

## ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΟΜΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRP) ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΕΓΜΑΤΑ ΣΕ ΑΝΟΡΓΑΝΗ ΜΗΤΡΑ (TRM) – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

### ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΜΑΛΛΙΑΡΗΣ

Προπτυχιακός Φοιτητής Παν. Πατρών, bmalliaris@gmail.com

#### Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει την ενίσχυση βλαμμένων κόμβων Οπλισμένου Σκυροδέματος σε εξεταζόμενο διώροφο κτίριο με χρήση δύο σύγχρονων τεχνικών : α) Την χρήση υφασμάτων Ινοπλισμένων Πολυμερών από ίνες Άνθρακα (CFRP) και β) Την χρήση Ινοπλεγμάτων σε Ανόργανη Μήτρα (IAM) ή όπως έχουν καθιερωθεί στη διεθνή βιβλιογραφία (TRM-Textile-Reinforced Mortars).

Αρχικά έγινε αποτίμηση του διώροφου κτιρίου που παρουσιάζεται παρακάτω και έλεγχος εσωτερικού κόμβου δοκών-υποστυλώματος με την μέθοδο τοπικών δεικτών πλαστιμότητας  $m$  για την εύρεση των εντατικών μεγεθών των στοιχείων.

Η ενίσχυση περιλαμβάνει τη χρήση σύνθετων υλικών που οι τεχνικές εφαρμογής τους χρησιμοποιούνται την τελευταία 20-ετία με πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα τόσο σε πειραματικό όσο και σε επίπεδο πρακτικών εφαρμογών σε κτίρια Ο/Σ και από Φέρουσα Τοιχοποιία.

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση των σύνθετων υλικών στις επεμβάσεις, η αποτελεσματικότητά τους, η σύγκριση των μεθόδων 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> γενιάς σύνθετων υλικών ιδιαίτερα στην ενίσχυση ενός κρίσιμου μέρους της κατασκευής όπως είναι οι κόμβοι δοκών-υποστυλωμάτων σε πλαισιακές κατασκευές.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αρχικά, αξίζει να αναφέρουμε ότι οι κόμβοι αποτελούν σημαντικό πεδίο μελέτης για τις επισκευές-ενισχύσεις αφού στον Ελλαδικό χώρο με βάση τους πρόσφατους σεισμούς της τελευταίας 20-ετίας ( Αίγιο 1995, Πάρνηθα 1999, Ηλεία 2008, Κεφαλλονιά 2014, Λέσβος και Κως 2017) έχουν παρατηρηθεί μεγάλες βλάβες στους κόμβους για τους εξής λόγους :

- Η διατμητική ένταση στους κόμβους είναι ιδιαίτερα υψηλή.
- Ο σχεδιασμός των κόμβων, δεν αποτελούσε αντικείμενο μελέτης τοπικής έντασης αφού θεωρείται ότι αρκούν οι οπλισμοί που έχουν τοποθετηθεί στα υποστυλώματα και τις δοκούς.
- Οι κόμβοι είναι συχνά περιοχές κακής σκυροδέτησης λόγω μεγάλης πυκνότητας οπλισμών.
- Οι βλάβες στους κόμβους είναι από τις πλέον κρίσιμες για την ασφάλεια της ακεραιότητας του φορέα λόγω της σύνδεσης των υποστυλωμάτων.
- Οι εντάσεις που εισάγονται στο φορέα-με τις σύγχρονες θεωρήσεις ανελαστικότητας-λόγω κάμψης και διάτμησης, από την σεισμική δράση, είναι μεγαλύτερες από τις σχεδιαζόμενες και συνήθως αποτελούν τις κρίσιμες.

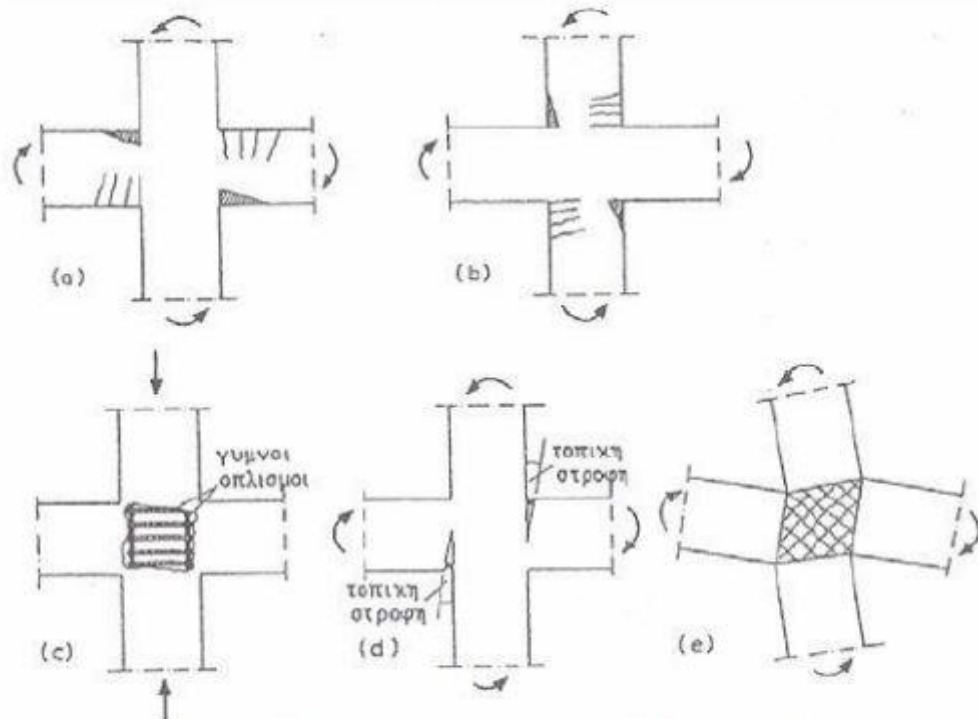
### 2. ΤΡΟΠΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΟΜΒΩΝ Ο/Σ

Ο κάθε ξεχωριστός τρόπος αστοχίας των κόμβων είναι και αυτός που θα μας καθορίσει τον τρόπο ενίσχυσης του, την αποτελεσματικότητά της μεθόδου καθώς και τα υλικά ενίσχυσης. Οι κυριότεροι τρόποι αστοχίας κόμβων είναι οι εξής :

- α) Σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς (επιθυμητός τρόπος αστοχίας).
- β) Σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα (μη επιθυμητός τρόπος αστοχίας).
- γ) Αποφλοίωση της επικάλυψης του σκυροδέματος των παρειών του κόμβου με συνέπεια τη μείωση της φέρουσας ικανότητας των υποστυλωμάτων.

- d) Αστοχία της αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων της δοκού οδηγεί στην πτώση της αντοχής και σε σημαντικές τοπικές στρώσεις στη διεπιφάνεια δοκού-υποστυλώματος που συνεπάγεται μείωση της δυσκαμψίας του συστήματος.
- e) Αστοχία κόμβου από διάτμηση με συνέπειες τη μείωση της αντοχής και της δυσκαμψίας.

Παρακάτω φαίνονται οι πιθανοί τρόποι αστοχίας καθώς και περιπτώσεις μετά από σεισμικά γεγονότα.



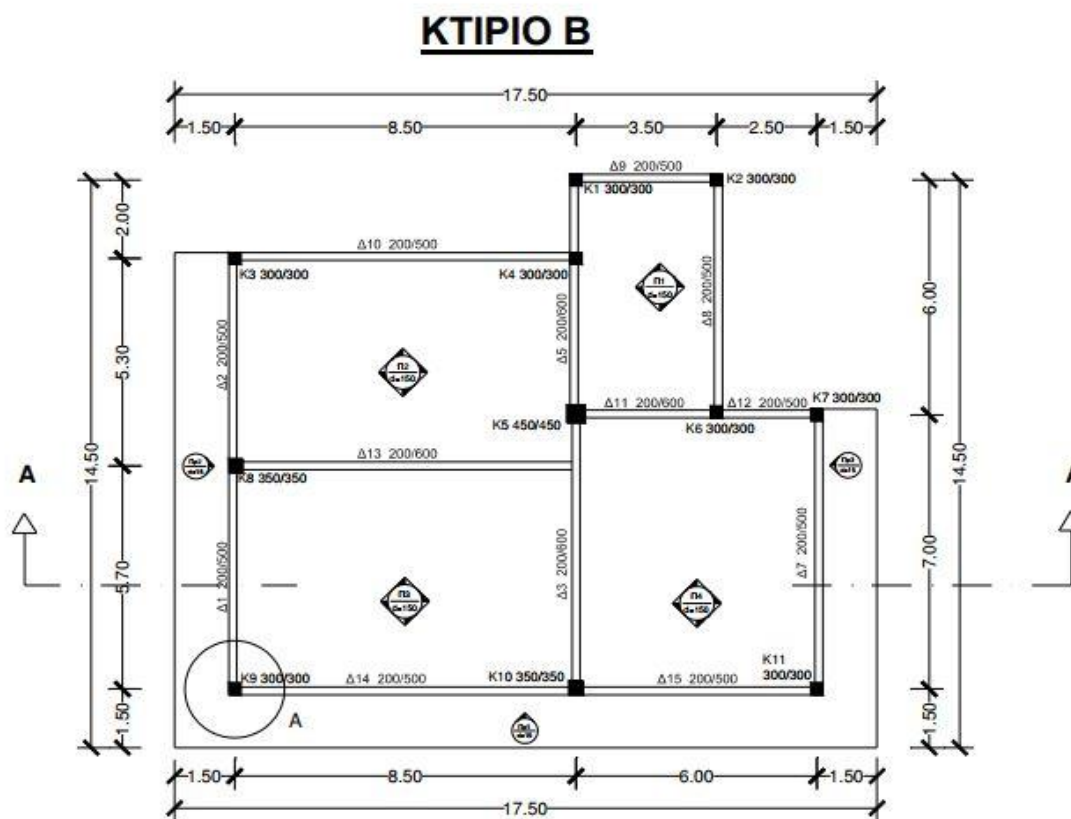
Σχήμα 1: Τύποι αστοχίας συνδέσεων δοκών υποστυλωμάτων. [2]



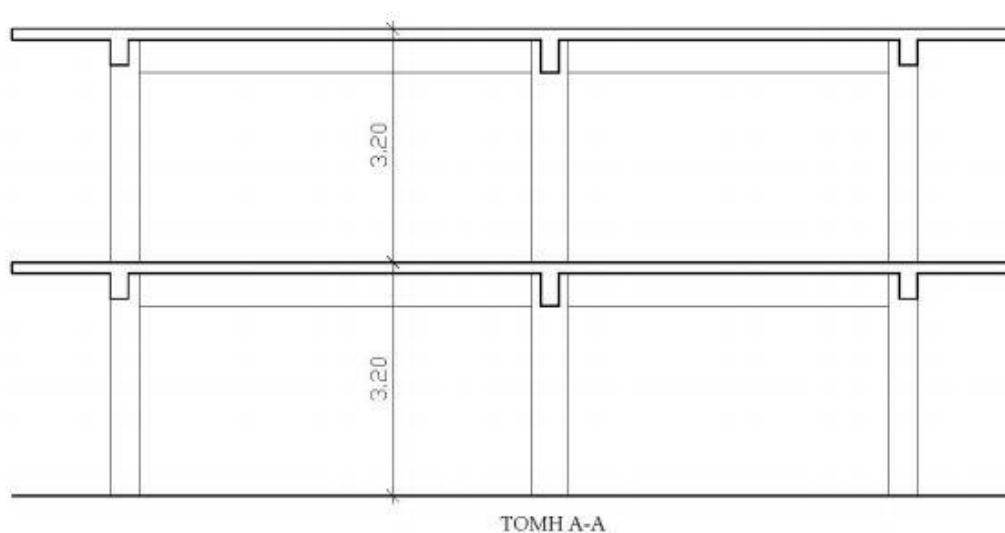
Σχ.2 : Διατμητική αστοχία κόμβου με αποφλοίωση σκυροδέματος [3]

### 3. ΚΤΙΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στα σχήματα δίνεται η διαμόρφωση των φερόντων στοιχείων ενός τυπικού ορόφου του διώροφου κτιρίου κατασκευασμένου το 1975 ( Κάτοψη ορόφου και τομή).



Σχ.3(επάνω),4(κάτω) Κάτοψη του φέροντα οργανισμού και αντίστοιχη τομή



Το δοθέν κτίριο χρησιμοποιήθηκε από τα δοσμένα κτίρια που μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε στα πλαίσια του μαθήματος “Ενισχύσεις-Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος” .

Αφού το κτίριο είναι κατασκευασμένο το 1975 δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι νέες αντισεισμικές διατάξεις του 1985 πρόκειται δηλαδή για “παλιό” κτίριο.

Τα δεδομένα για την ανάλυση του είναι τα εξής :

Οι διαστάσεις και οι οπλισμοί των υποστυλωμάτων είναι: (α) Στα γωνιακά: 300/300 με οπλισμό 4Φ20 (β) Στα περιμετρικά (που δεν είναι γωνιακά): 350/350 με οπλισμό 4Φ18 (γ) Στο κεντρικό: 450/450 με οπλισμό 8Φ16. Οι περιμετρικές δοκοί έχουν διαστάσεις 200/500 και οπλίζονται στο κάτω πέλμα με 4Φ14 στα ανοίγματα, από τα οποία τα μισά κάμπτονται στις στηρίξεις, όπου υπάρχουν επιπλέον 2Φ14 ως πρόσθετος αντισεισμικός οπλισμός. Οι εσωτερικές δοκοί έχουν διαστάσεις 200/600 και οπλίζονται στο κάτω πέλμα με 4Φ16 στα ανοίγματα, από τα οποία επίσης τα μισά κάμπτονται στις στηρίξεις. Ο πρόσθετος οπλισμός των στηρίξεων είναι 2Φ18. Οι συνδετήρες είναι Φ8/200 σε όλα τα υποστυλώματα, καλά αγκυρωμένοι με ημικυκλικά άγκιστρα, και Φ8/300 στις δοκούς με επαρκή αγκύρωση. Οι πλάκες έχουν πάχος  $h_f = 150\text{mm}$  και είναι οπλισμένες σε δύο διευθύνσεις με Φ8/150.

Επί των πλακών υπάρχει φορτίο από επίστρωση ίσο με  $1.5\text{ kN/m}^2$ . Τα ωφέλιμα φορτία έχουν ληφθεί με βάση τους ισχύοντες Κανονισμούς Φορτίσεων (κατά EC-1). Το δώμα θεωρείται μη βατό. Περιμετρικά σε κάθε όροφο υπάρχει μπατική τοιχοποιία με εκτιμώμενο φαινόμενο βάρος  $3.6\text{ kN/m}^2$  επιφάνειας όψης και εσωτερικά, κάτω από κάθε (εσωτερική) δοκό, δρομική τοιχοποιία με φαινόμενο βάρος  $2.1\text{ kN/m}^2$ . Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η μείωση των φορτίων των τοιχοπληρώσεων λόγω των ανοιγμάτων, τα φαινόμενα βάρη θεωρούνται μειωμένα κατά 50% και 35% αντίστοιχα. Επί των περιμετρικών δοκών της οροφής υπάρχει μπατική τοιχοποιία ύψους 1.20 m.

Το κτίριο θεωρείται ότι βρίσκεται σε περιοχή ζώνης σεισμικότητας II ( $a_g=0,24g$ , EAK 2003), με κατηγορία εδάφους B και σπουδαιότητα συνήθη ( $\gamma_I=1,00$ ).

Το ελαστικό φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων για τις παραπάνω συνθήκες έγινε με τροποποίηση του φάσματος του EC-8 σε αυτό του EAK 2003 ( $T_B=0,15s$ ,  $T_C=0,6s$ ,  $T_D=2,0s$ ).

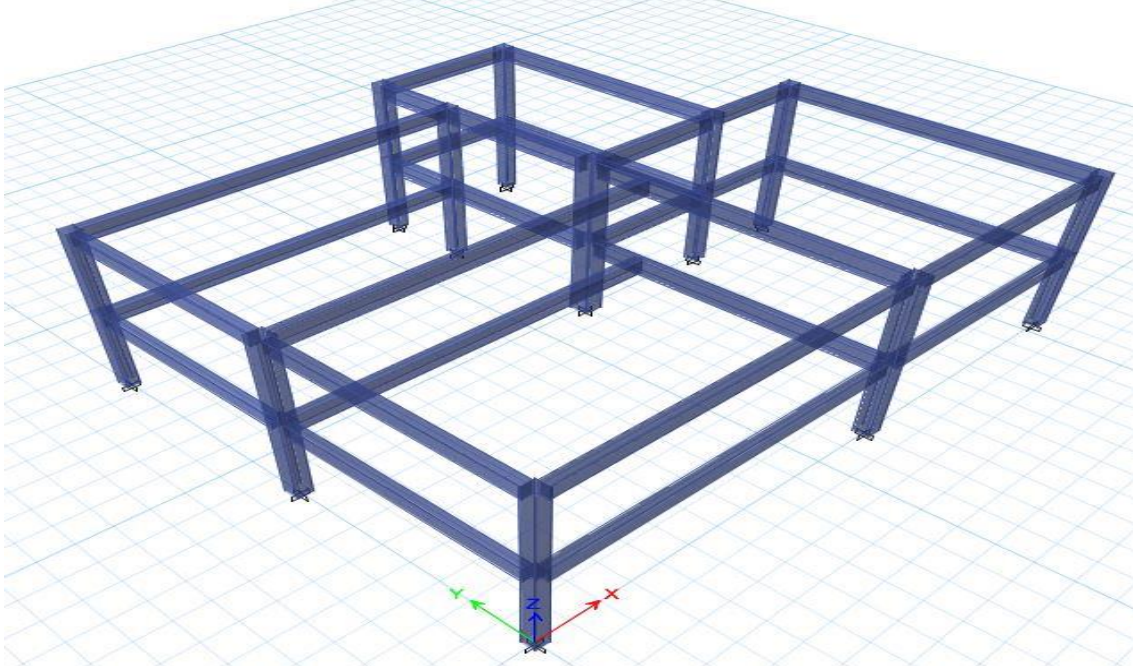
Για τα υλικά έχει θεωρηθεί:

Σκυρόδεμα  $f_{cm}=19\text{MPa}$ ,  $f_{cm-s}=14\text{MPa}$ ,

Χάλυβας οπλισμού  $f_{ym}=460\text{MPa}$ ,  $f_{ym-s}=410\text{MPa}$  και

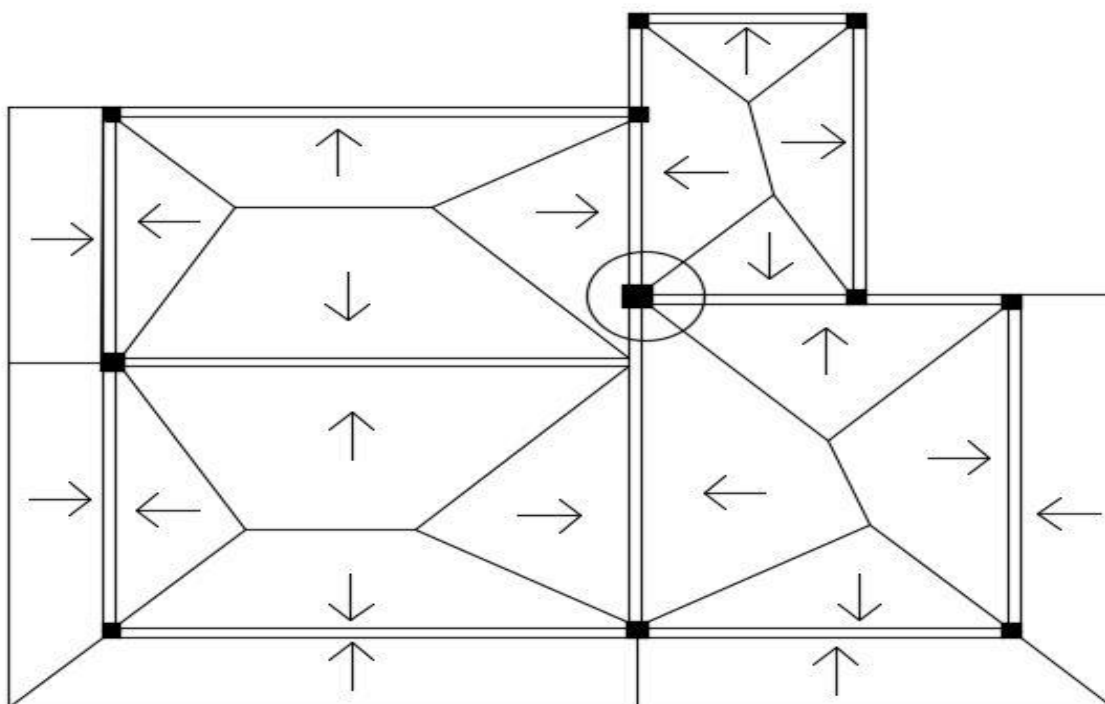
Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ) “Ίκανοποιητική” κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013.

Με βάση αυτά τα δεδομένα το κτίριο εισάχθηκε στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων ETABS 2016. Ο φορέας του κτιρίου φαίνεται στο επόμενο σχήμα σε 3-D



Σχ.5 Φέρων οργανισμός κτιρίου στο ETABS 2016

Για τις φορτίσεις σχεδιασμού που αφορούν τα μόνιμα και κινητά φορτία λήφθηκαν οι παραπάνω τιμές με την δημιουργία επιφανειών επιρροής από τις πλάκες που φαίνεται παρακάτω :



Σχ.6 Επιφάνειες επιρροής φορτίων και σήμανση του κόμβου μελέτης

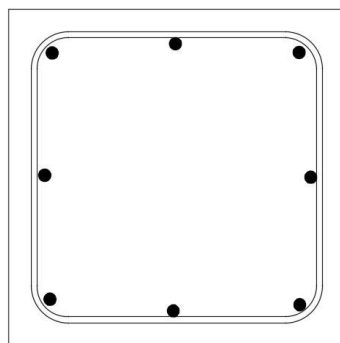
Για τη σεισμική δράση επιλέχθηκε να γίνει δυναμική φασματική ανάλυση από το πρόγραμμα ETABS 2016 με εισαγωγή του φάσματος όπως παραπάνω για σεισμική δράση στην X διεύθυνση και επιλογή ως μέγιστου αριθμού ιδιομορφών τις 12. Επίσης, για την θεμελίωση θεωρήθηκαν απλοποιητικά στις βάσεις των υποστυλωμάτων πακτώσεις.

Μετά την ανάλυση παρατηρήθηκε ότι οι ανώτερες ιδιομορφές δεν έχουν μεγάλη συμμετοχή άρα δεν χρειάζεται κάποια επιπλέον διάταξη για τους υπολογισμούς.

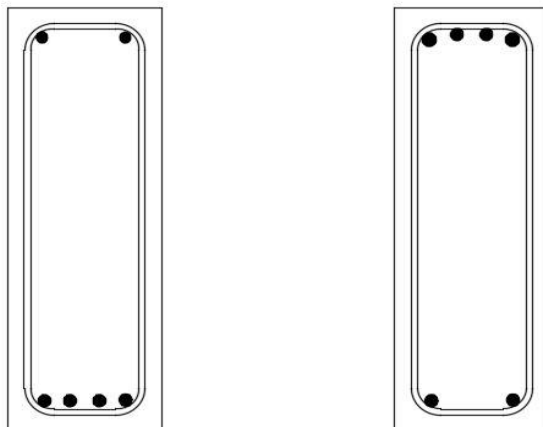
Ως συνδυασμοί σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν οι: α)  $G+\psi_2Q+E_x$  β)  $G+\psi_2Q-E_x$  με  $\psi_2=0,30$  σύμφωνα με τον EC-1 για κοινά κτίρια.

Ο κόμβος μελέτης είναι αυτός που περιλαμβάνει το υποστύλωμα K5 και τις δοκούς Δ3-Δ5-Δ11. Από την ανάλυση για αυτά τα στοιχεία προκύπτουν οι παρακάτω τιμές εντατικών μεγεθών (ροπών κάμψης M, τεμνουσών V και αξονικών δυνάμεων N)

Παρακάτω φαίνονται οι διατομές υποστυλώματος και δοκών με τους οπλισμούς τους.



ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ K5 450mmX450mm α)



ΔΟΚΟΙ Δ3-Δ5-Δ11 200mmX600mm ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΔΟΚΟΙ Δ3-Δ5-Δ11 200mmX600mm ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Σχ.7 α),β) Διατομές υποστυλώματος και δοκού με τους αντίστοιχους οπλισμούς β)

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ  $G+\psi_2Q$

	M(kNm)	V(kN)	N(kN)
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ Κ5	-12	21	-590
ΔΟΚΟΣ Δ3	-168	212	22
ΔΟΚΟΣ Δ5	-76	-69	-2
ΔΟΚΟΣ Δ11	18	-19	6

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ +E, -E

	M(kNm)	V(kN)	N(kN)
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ Κ5	-197	344	-273
ΔΟΚΟΣ Δ3	-44	37	12
ΔΟΚΟΣ Δ5	-55	-24	-5
ΔΟΚΟΣ Δ11	482	-227	42

Τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού, αφού δουλεύουμε με τους τοπικούς δείκτες πλαστιμότητας  $m$  υπολογίζονται ως εξής :  $S_d = S_{G+\psi_2Q} + S_E/m < R_d$  ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 ( Κεφ.9 Εξ. 4 )

Όσο αφορά τις δυσκαμψίες των στοιχείων αυτές βρίσκονται από την σχέση :

➤ Για υποστυλώματα  $K=0.08(0.8+\ln\{\max[0.6,a_s]\})(1+0.048N/A_c(\text{MPa}))E_cI_c$   
ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 (Εξ. Σ1α)

➤ Για δοκούς  $K=0.1(0.8+\ln\{\max[0.6,a_s]\}) E_cI_c$  ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 (Εξ. Σ1β)

Όπου  $I_c$  η ροπή αδράνειας της αρηγμάτωτης διατομής,  $E_c$  το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος,  $N (>0$  για θλίψη) η αξονική δύναμη λόγω των κατακορύφων δράσεων,  $A_c$  η επιφάνεια της διατομής, και  $a_s=M/(Vh)$  ο “λόγος διατμήσεως”.

#### 4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ $m$

Επιλέγουμε στάθμη επιτελεστικότητας  $B$  “Σημαντικές βλάβες” κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Αυτό σημαίνει ότι το  $m$  υπολογίζεται από τη σχέση  $m=d_d/d_y$

όπου  $d_d=\theta_{lim}^B=(\theta_u+\theta_y)/(2\gamma_{Rd})$  και  $d_y=\theta_y$  ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 (Κεφ.9 Εξ. 5)

με  $\gamma_{Rd}=1,50$  για ΣΑΔ “Ίκανοποιητική” και πλάστιμο τρόπο αστοχίας.

Για τον υπολογισμό του  $\theta_y$  χρησιμοποιούμε την Εξ. Σ.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για δοκούς και υποστυλώματα

$$\theta_y=(1/r)_y((L_s+a_vz)/3)+0.0014(1+1.5h/L_s)+(1/r)_y d_b f_y / (8\sqrt{f_c})$$

Για υποστυλώματα ή δοκούς:  $(1/r)_y=1,73f_y/Esh$  ή  $(1/r)_y=1,52f_y/Esd$  ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 Εξ.

A.7α

Επειδή το κτίριο είναι κατασκευασμένο πριν από το 1985 οι τιμές για το  $\theta_u$  θα διαιρούνται με 1,2 ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7B

Για τον υπολογισμό της  $\theta_u$  χρησιμοποιούμε την Εξ. Σ.8α του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για δοκούς και υποστυλώματα

$$\theta_u=0.016(0.3^v)((\max\{0.01,\omega'\}/\max\{0.01,\omega\})f_c)^{0.225}(a_s)^{0.35}25^{a_p s f_y w/f_c}(1.25^{100\rho_d})$$

όπου:

$a_s=M/Vh$ , ο λόγος διάτμησης.

$\omega,\omega'$ : ολικό μηχανικό ποσοστό οπλισμού και μηχανικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού.

$v=N/bhfc$ : ( $b$ = πλάτος θλιβόμενης ζώνης).

$\rho_s=A_{sh}/b_w s h$ : γεωμετρικό ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού παράλληλα στη διεύθυνση της φόρτισης.

$\rho_d$ : γεωμετρικό ποσοστό τυχόν δισδιαγώνιου οπλισμού. Δισδιαγώνιος οπλισμός δεν υπάρχει στον υπό εξέταση κόμβο άρα ο όρος αυτός ισούται με 1.

	$\theta_y$	$\theta_u/1.2$	$\theta_{lim}^B=(\theta_u+\theta_y)/(2\gamma_{Rd})$	$m=\theta_d/\theta_y$
Υποστύλωμα Κ5	0,007344	0,022	0,00978	1,332
Δοκός Δ3	0,00693	0,02875	0,01189	1,716
Δοκός Δ5	0,007485	0,03524	0,01424	1,903
Δοκός Δ11	0,00847	0,04	0,01616	1,907

Όλες οι παραπάνω τιμές γωνιών στροφής χορδής είναι εκφρασμένες σε rad.

Με βάση τις παραπάνω τιμές των  $m$  διαιρούμε τα σεισμικά εντατικά μεγέθη με  $m$  και έχουμε

	$G+\psi_2Q$			$E/m$			$G+\psi_2Q+E$		
	<b>M</b>	<b>V</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>V</b>	<b>N</b>	<b>M</b>	<b>V</b>	<b>N</b>
ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ Κ5	-12	21	-590	-148	259	-205	<b>-160</b>	<b>280</b>	<b>-795</b>
ΔΟΚΟΣ Δ3	-168	212	22	-26	22	7	<b>-194</b>	<b>234</b>	<b>29</b>
ΔΟΚΟΣ Δ5	-76	-69	-2	-29	-13	-3	<b>-105</b>	<b>-82</b>	<b>-5</b>
ΔΟΚΟΣ Δ11	18	-19	6	253	-119	22	<b>271</b>	<b>-138</b>	<b>28</b>

Οι τιμές του τελευταίου πίνακα είναι οι τιμές σχεδιασμού.

## 5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ

**5.1.Ίνες:** Στον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων, οι πιο κοινές χρησιμοποιούμενες ίνες διαμέτρου 5-25 mm είναι :

α) Οι ίνες γυαλιού (με πυκνότητα 2300-2400 kg/m<sup>3</sup>). Υπάρχουν 4 τύποι υαλονημάτων: τύπου E με μειονέκτημα τη μείωση της αντοχής στο αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος, τύπου Z ή AR(alkali-resistant) με μεγάλη αντοχή σε αλκαλικό περιβάλλον, τύπου S με υψηλή αντοχή και υψηλό μέτρο ελαστικότητας.

β) Οι ίνες άνθρακα(με πυκνότητα 1800-1900 kg/m<sup>3</sup>). Οι τύποι των ανθρακονημάτων διαφέρουν ανάλογα αν παρασκευάζονται από θερμική κατεργασία του πολυακρυλονιτριλίου (υψηλής εφελκυστικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας) είτε μέσω απόσταξης κάρβουνου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωριστά ή από κοινού με τις ίνες γυαλιού ως υβρίδιο για να αυξηθεί η ακαμψία ενός δομικού μέλους.

γ) Οι ίνες αραμιδίου (με πυκνότητα 1450 kg/m<sup>3</sup>) διακρίνονται ανάλογα αν προέρχονται από αρωματικό πολυαμίδιο (Κέβλαρ 29-χαμηλού μέτρου ελαστικότητας, Κέβλαρ 49-υψηλού μέτρου ελαστικότητας) ή αρωματικό πολυαιθεραμίδιο, με κύριο πλεονέκτημα την πολύ καλή συμπεριφορά σε κρουστικά φορτία.

**5.2.Μήτρα:** Η μήτρα στα σύνθετα υλικά αποτελεί την συγκολλητική ουσία μεταξύ των ινών και είναι υπεύθυνη για την μεταφορά των δυνάμεων προς αυτές. Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι πολυμερών που χρησιμοποιούνται ως μήτρες: θερμοσκληρυνόμενα και θερμοπλαστικά. Τα θερμοσκληρυνόμενα (δηλαδή οι εποξειδικές ρητίνες και σπανιότερα ο πολυεστέρας ή βινυλεστέρας) χρησιμοποιούνται στον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων, γιατί συνεισφέρουν στα εξής:

- Συνδέουν τις ίνες μεταξύ τους χημικά και μηχανικά.
- Εξασφαλίζουν τη μεταφορά δυνάμεων στις ίνες μέσω της ανάπτυξης διατμητικής δύναμης στην διεπιφάνεια.
- Καθορίζουν κάποιες μηχανικές ιδιότητες των ινών,όπως η διατμητική και η θλιπτική τους αντοχή.
- Προστατεύουν τις ίνες από διάφορες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Παρέχουν ανθεκτικότητα και ηλεκτρική μόνωση.

Για την παραγωγή των σύνθετων υλικών χρησιμοποιούνται συχνότερα οι εποξειδικές ρητίνες,σε σύγκριση με πολυεστερικές και βινυλεστερικές. Παρότι οι εποξειδικές ρητίνες είναι ακριβότερες των άλλων τύπων μήτρας, υπερέχουν λόγω των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις.

**5.3.Κόλλα:** Συχνότερα χρησιμοποιείται η εποξειδική ρητίνη ως κόλλα δυο συστατικών που εφαρμόζεται μεταξύ του υποστρώματος και του σύνθετου υλικού, εξασφαλίζοντας, έτσι, τη συνεργασία τους και τη μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο. Η χρήση εποξειδικών ρητινών στις κατασκευές προϋποθέτει την κατανόηση τριών βασικών εννοιών:του «χρόνου εργασιμότητας (pot life)», του «χρόνου εφαρμογής (open time)» και της «θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης Tg (glass transition temperature)».

Τα ινοπλισμένα πολυμερή με μήτρα εποξειδωτικής ρητίνης (FRP) παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα τα οποία οφείλονται κατά κύριο λόγο στην χρήση ρητινών:

- Απώλεια αντοχής του υλικού λόγω της πτωχής συμπεριφοράς των ρητινών σε θερμοκρασίες πάνω από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (70-80 C)
- Οι ρητίνες είναι ιδιαίτερος εύφλεκτες και κατά την καύση τους απελευθερώνουν τοξικά αέρια.
- Υψηλό κόστος ρητινών.



- Ασυμβατότητα μεταξύ ρητινών και επιφάνειας υποστρώματος (αφορά κυρίως ιστορικές κατασκευές).
- Η εφαρμογή των ρητινών σε χαμηλές θερμοκρασίες, σε υγρές επιφάνειες και επιφάνειες ανώμαλες ή με μεγάλη τραχύτητα είναι αδύνατη.
- Αποτελούν μη ανακυκλώσιμο υλικό και μη αναστρέψιμη μέθοδο ενίσχυσης (κάτι το οποίο απαιτείται από διεθνείς συμβάσεις όταν πρόκειται για επεμβάσεις σε κατασκευές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος.) □
- Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και εξοπλισμός καθώς οι ρητίνες είναι ένα ιδιαίτερος “ευαίσθητο” υλικό κατά την εφαρμογή τους.
- Η επαφή με τις ρητίνες εγκυμονεί κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία.
- Οι μανδύες FRP δεν επιτρέπουν στα δομικά στοιχεία να «αναπνεύσουν» με αποτέλεσμα τη συσσώρευση υγρασίας.
- Μετά από σεισμό η αποτίμηση πιθανών βλαβών πίσω από μανδύες FRP είναι αδύνατη μόνο με οπτική παρατήρηση.

Εξαιτίας ,λοιπόν, των ανωτέρω προβλημάτων η έρευνα εστιάστηκε στην αντικατάσταση της μήτρας δηλ. της ρητίνης (οργανικό υλικό) η οποία συγκολλά τις ίνες, με πολύ λεπτόκοκκο ανόργανο υλικό – τύπου κονιάματος που έχει ως βάση του το τσιμέντο. Λόγω όμως, της σχετικά υψηλής κοκκομετρίας του κονιάματος, ακόμη και του εξαιρετικά λεπτόκοκκου, ο εμποτισμός των ινών δεν ήταν επαρκής δηλ. δεν εξασφαλιζόταν η απαιτούμενη συνάφεια μεταξύ μήτρας (κονίαμα) και ινών. Ως άμεσο επακόλουθο των ανωτέρω ήταν η αντικατάσταση των συμβατικών συνεχών υφασμάτων από ίνες , με πλέγματα με βροχίδες (textiles). Τα πλέγματα αυτά κατασκευάζονται ανά αποστάσεις σε 2 ή περισσότερες διευθύνσεις έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η καλή συνεργασία ινών και μητρικού υλικού κυρίως μέσω μηχανικής εμπλοκής του κονιάματος στα κενά μεταξύ των δεσμών. Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα πλέγματα ινών είναι από άνθρακα, γυαλί, αραμίδιο και βασάλτη ενώ κυκλοφορούν κονιάματα διαφορετικής σύστασης/ιδιοτήτων τα οποία πρέπει να διαθέτουν ένα συγκεκριμένο όριο ρευστότητας/εργασιμότητας. Το κονίαμα ενδέχεται να έχει πρόσθετα πολυμερή σε ποσοστό περίπου 20% κατά βάρος των λεπτόκοκκων ενώ συχνά ως μήτρα χρησιμοποιείται κονίαμα υδραυλικής ασβέστου το οποίο δεν περιέχει τσιμέντο ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή του σε αρχαιολογικές κατασκευές. Ο όρος που χρησιμοποιείται για τα εξελιγμένα αυτά σύνθετα υλικά μανδύων ενίσχυσης είναι Ινοπλέγματα Ανόργανης Μήτρας (IAM) ή Textile Reinforced Mortar (TRM).

Πέρα από τις διαφορές στη χημική τους σύσταση τα δυο αυτά υλικά έχουν και διαφορές στη μορφή τους. Η εποξειδική ρητίνη είναι σε υγρή μορφή, ενώ το κονίαμα της ανόργανης μήτρας είναι παχύρευστο μείγμα κονιάς και λεπτόκοκκης άμμου που αναμειγνύεται με πολυμερή πρόσθετα. Συνεπώς η εποξειδική ρητίνη, λόγω της ρευστότητάς της παρουσιάζει κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της ανόργανης μήτρας. Οι ρητίνες έχουν την δυνατότητα να διεισδύσουν στις ίνες, δημιουργώντας ισχυρό δεσμό μεταξύ ινών και μήτρας σε αντίθεση με το κονίαμα, το οποίο λόγω της κοκκώδους μορφής του, είναι δύσκολο να διεισδύσει σε ένα πλέγμα ινών ώστε να γίνει σωστός ο εμποτισμός των ινών. Γι’ αυτό άλλωστε η μέθοδος ινοπλεγμάτων ανόργανης μήτρας χρησιμοποιεί τα σύνθετα υλικά σε πλέγμα αντί για τα συνεχή ύφασματα που χρησιμοποιούνται στην FRP μέθοδο. Συμπερασματικά, το πλεονέκτημα των ινοπλισμένων πολυμερών έγκειται στο γεγονός ότι συνεργάζονται πιο αποτελεσματικά με τις ίνες και εξασφαλίζουν προβλέψιμη μηχανική συμπεριφορά. Αντιθέτως, τα σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας δεν εξασφαλίζουν τόσο καλή μονολιθική σύνδεση. Ταυτόχρονα απαιτούνται περισσότερες στρώσεις πλέγματος για να επιτευχθεί η ίδια αποδοτικότητα (αντοχή) με τα ινοπλισμένα πολυμερή, μιας και η απόσταση των ινών είναι αρκετά μεγαλύτερη. Ωστόσο έχει αποδειχθεί ότι η συνεισφορά της αντοχής του μανδύα στη συνολική αντοχή του ενισχυμένου στοιχείου, από ένα σημείο και πέρα είναι αμελητέα. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα της εποξειδικής ρητίνης έναντι της

τσιμεντοκονιάς είναι η ταχύτερη πήξη, χωρίς ωστόσο αυτό να σημαίνει και ταχύτερη εφαρμογή του συστήματος ενίσχυσης. Στον αντίποδα, το γεγονός ότι η μέθοδος ινοπλεγμάτων ανόργανης μήτρας δεν εξασφαλίζει την ίδια μονολιθική σύνδεση με τη μέθοδο FRP στο στοιχείο οπλισμένου σκυροδέματος, δεν αποτελεί πάντα μειονέκτημα. Κατά τη ρηγμάτωση του σκυροδέματος του μέλους, εμφανίζονται μικρές ρωγμές στην εξωτερική επιφάνεια του κονιάματος, προειδοποιώντας για την αστοχία, ενώ παράλληλα μειώνεται η πιθανότητα να συμβεί αποκόλληση των συνθέτων υλικών καθώς δεν αξιοποιείται όλη η εφελκυστική αντοχή των ινών. Σε αντίθεση με τα κονιάματα, για την εφαρμογή της εποξειδικής ρητίνης απαιτείται κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας ενίσχυσης. Πιο συγκεκριμένα πρέπει να εκτραχύνεται η επιφάνεια εφαρμογής, έτσι ώστε να αποκαλύπτονται τα αδρανή του δομικού στοιχείου για να είναι εφικτή η καλή συνάφεια του μανδύα με το μέλος. Ένα σημαντικό μειονέκτημα της εποξειδικής ρητίνης είναι ότι για να επιτευχθεί καλή συνάφεια με το σκυροδέμα πρέπει η επιφάνεια που θα εφαρμοστεί να μην είναι υγρή, κάτι που δεν είναι απαραίτητο για τα τσιμεντοκονιάματα. Επίσης, η επιφάνεια εφαρμογής πρέπει να είναι καθαρή από σκόνη, για να υπάρχει μονολιθική σύνδεση μεταξύ μανδύα και υποστρώματος. Οι μανδύες των ινοπλισμένων πολυμερών υστερούν έναντι των τσιμεντοκονιαμάτων στο γεγονός ότι είναι αδιαπέρατοι. Σαν αποτέλεσμα στο εσωτερικό του συστήματος ενίσχυσης εγκλωβίζεται υγρασία και συσσωρεύεται το οξυγόνο των πόρων προξενώντας προβλήματα απώλειας αντοχής στον πυρήνα του σκυροδέματος και στον εσωτερικό οπλισμό λόγω διάβρωσης. Αντίθετα, η μήτρα ανόργανης σύστασης προσφέροντας πλήρη, μηχανική, φυσική και χημική συμβατότητα του μανδύα με το ενισχυόμενο μέλος, εξασφαλίζει την επιθυμητή διαπερατότητα του μανδύα. Επιπλέον οι εποξειδικές ρητίνες, όπως είναι γνωστό, έχουν πτωχή συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες, φωτιά και ακτινοβολίες. Συγκεκριμένα σε θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (που κυμαίνεται ενδεικτικά μεταξύ των 50 και 80 °C ) απομειώνεται ραγδαία το μέτρο ελαστικότητάς τους, μειώνοντας έτσι την ικανότητά τους να μεταφέρουν δυνάμεις. Επίσης σε θερμοκρασίες της τάξης των 200 έως 300°C προκαλείται ανάφλεξη και η καύση τους απελευθερώνει τοξικές ουσίες που ενδέχεται να δημιουργήσουν ένα επιβλαβές περιβάλλον για το εργατικό προσωπικό.

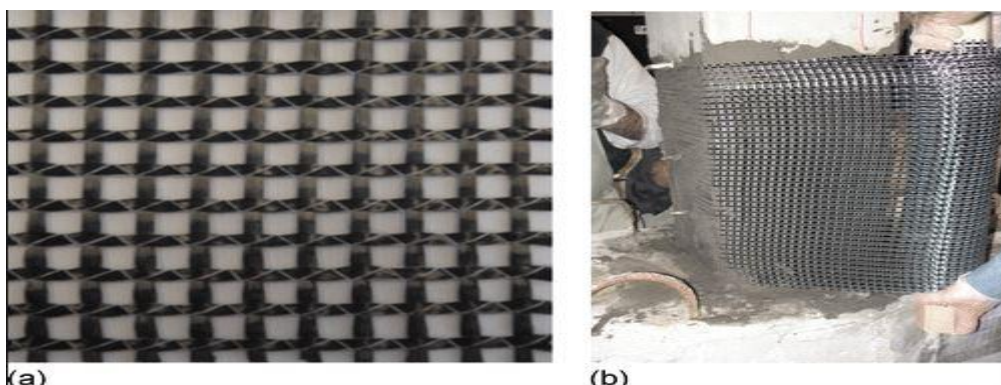
Αντιθέτως, τα τσιμεντοειδή κονιάματα δεν έχουν πρόβλημα σε υψηλές θερμοκρασίες, φωτιά και ακτινοβολίες και παράλληλα είναι φιλικά προς το εργατικό προσωπικό. Παράλληλα, εξασφαλίζουν καλύτερη προστασία των ινών από περιβαλλοντικούς παράγοντες και εξωτερικές φθορές. Γενικότερα η μέθοδος ινοπλεγμάτων ανόργανης μήτρας υπερισχύει της μεθόδου FRP στον οικονομικό τομέα. Παρά το γεγονός ότι για την επίτευξη ίδιας αποδοτικότητας απαιτούνται περισσότερες στρώσεις σύνθετου υλικού, το υψηλό κόστος των εποξειδικών ρητινών έναντι των κονιαμάτων είναι ανασταλτικός παράγοντας στην επιλογή της μεθόδου των ινοπλισμένων πολυμερών. Τροχοπέδη στη χρήση των εποξειδικών ρητινών είναι η απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού και η υποχρεωτική χρήση προστατευτικού εξοπλισμού, σε αντίθεση με τα κονιάματα με τα οποία ο τεχνικός κόσμος είναι περισσότερο εξοικειωμένος. Σοβαρό πρόβλημα της τεχνικής ενίσχυσης με FRP αποτελεί και η μεγάλη δυσκολία της αποτίμησης της σεισμικής επάρκειας της ενισχυμένης κατασκευής πίσω από τους πολυμερικά ινοπλισμένους μανδύες. Τέλος τα σύνθετα υλικά ανόργανης μήτρας εφαρμόζονται εύκολα και γρήγορα στην ενίσχυση, προκαλούν λιγότερη όχληση στο περιβάλλον, έχουν δυνατότητα ανακύκλωσης και απαιτούν λιγότερο εξοπλισμό για την εφαρμογή τους. Όλα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω δείχνουν την υπεροχή των συνθέτων υλικών ανόργανης μήτρας έναντι των ινοπλισμένων πολυμερών και συνηγορούν στο γεγονός ότι η μέθοδος ινοπλεγμάτων ανόργανης μήτρας είναι κατάλληλη να αντικαταστήσει τη μέθοδο FRP σε ορισμένες περιπτώσεις.



Σχ.8 Ενίσχυση κόμβων με φύλλα FRP

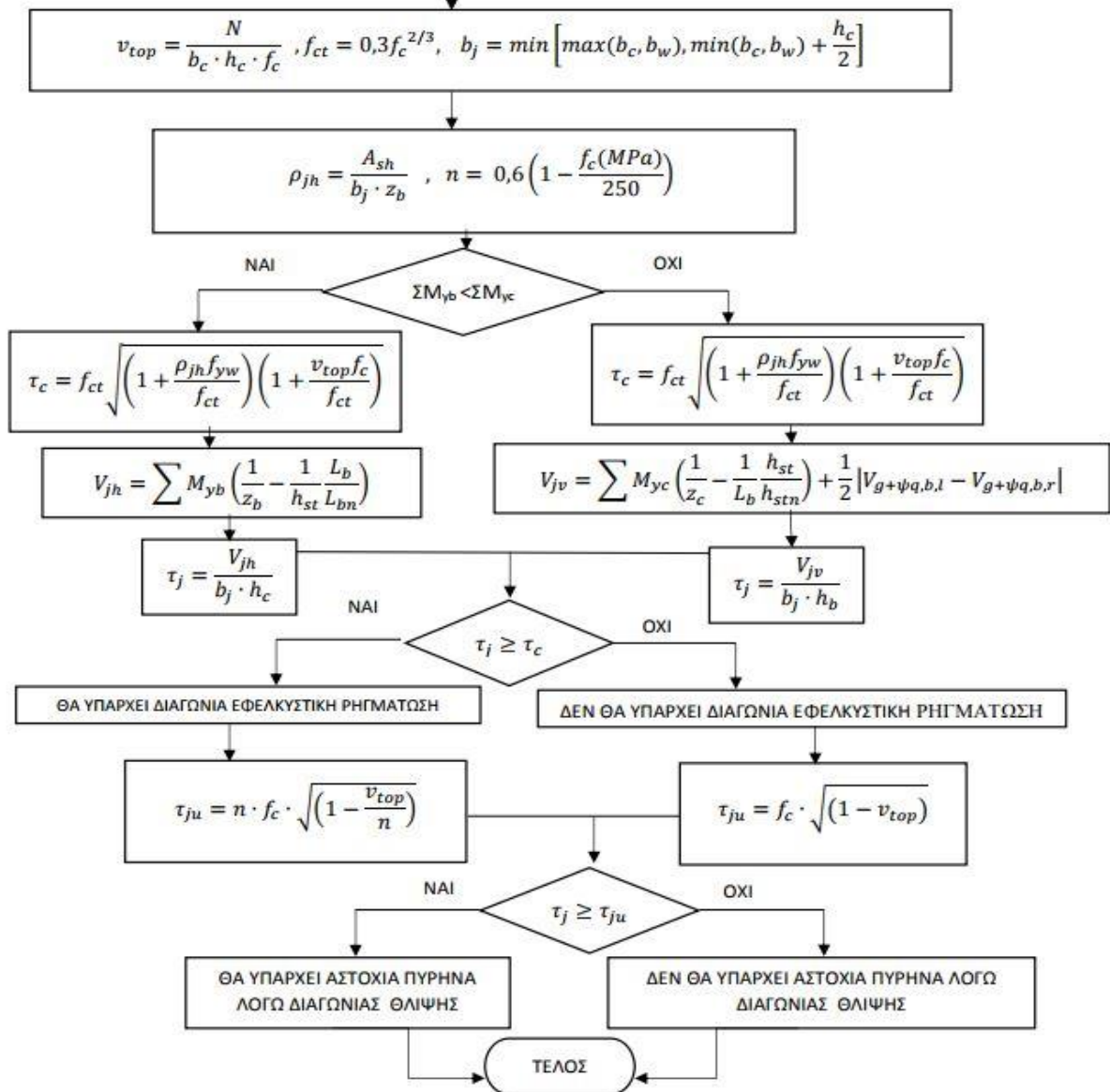


Σχ.9 Ενίσχυση κόμβων πειραματικού κτιρίου με ΙΟΠ ( CEA, Seasley, Γαλλία)



Σχ. 10 a) Ίνες Ινοπλέγματος 2 διευθύνσεων b) Εφαρμογή των TRM για ενίσχυση κρίσιμης περιοχής υποστυλώματος

**6. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ**



Σχ.11 Διάγραμμα ροής για τον έλεγχο του κόμβου [4]

Με βάση τον παραπάνω πίνακα έχω

$v_{top} = 0.1404$ ,  $f_{ct} = 1.74 \text{ MPa}$ ,  $b_j = 0.425 \text{ m}$ ,  $f_c = 14 \text{ MPa}$ ,  $A_{sh} = 300 \text{ mm}^2$  ( $\Phi 8/200$  σε  $h_c = 0.45 \text{ m}$ )

$\rho_{jh} = 0.001412$ ,  $n = 0.5664$ ,  $f_y = f_{yw} = 410 \text{ MPa}$ ,  $h_{st} = 3.2 \text{ m}$ ,  $h_{stn} = 2.75 \text{ m}$ ,  $V_{G+\psi 2Q, l} = 0 \text{ kN}$

$V_{G+\psi 2Q, r} = 300 \text{ kN}$ ,  $L_b = 7.3 \text{ m}$

$\Sigma M_{yb} = 541.2 \text{ kNm} > \Sigma M_{yc} = 476 \text{ kNm}$  άρα

$\tau_c = 2.93 \text{ MPa}$ ,  $V_{jv} = 1397.4 \text{ kN}$ ,  $\tau_j = 5.48 \text{ MPa} > \tau_c = 2.93 \text{ MPa}$

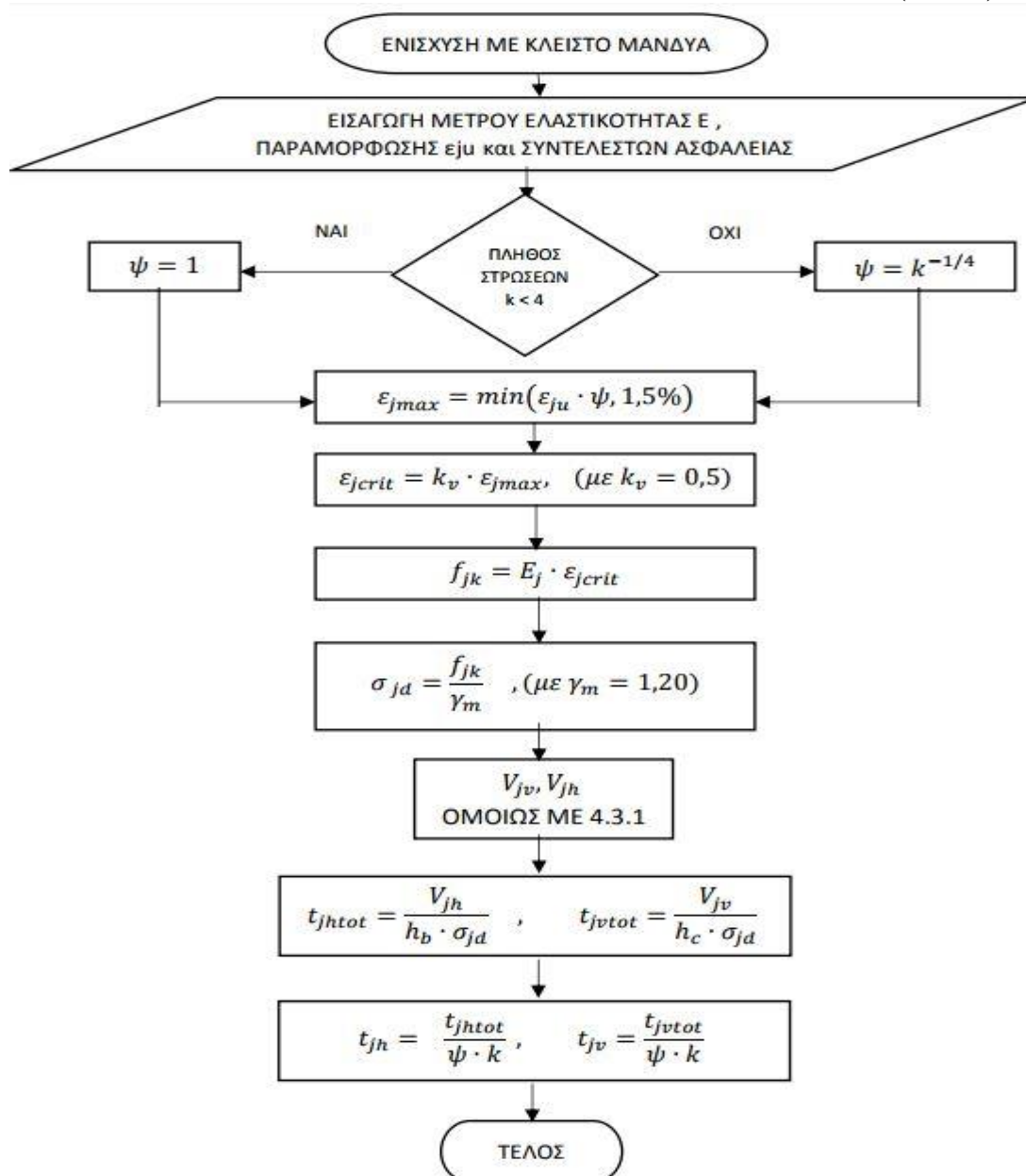
άρα **υπάρχει διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση στον κόμβο.**

Συνεπώς,  $\tau_{ju} = 6.88 \text{ MPa} > \tau_j = 5.48 \text{ MPa}$  που σημαίνει ότι **δεν θα υπάρξει αστοχία πυρήνα λόγω διαγώνιας θλίψης.**

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι ο κόμβος χρίζει ενίσχυσης έναντι διαγώνιας εφελκυστικής ρηγμάτωσης.

Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι η επιλογή για την ενίσχυση σύνθετων υλικών υψηλής εφελκυστικής αντοχής είναι και πιο πολλά υποσχόμενη.

## 7.ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΜΑΝΔΥΑ ΙΟΠ ΑΝΘΡΑΚΑ (CFRP)



Σχ.12 Διάγραμμα ροής για ενίσχυση κόμβου με κλειστό ύφασμα(μανδύα) ΙΟΠ [4]

Η επιλογή κλειστού μανδύα για την ενίσχυση με FRP αφενός, πλεονεκτεί έναντι του ανοιχτού μανδύα αφού επιτρέπει μεγαλύτερο εμβαδό υλικού να ενισχύσει τον κόμβο, αφετέρου, είναι δύσκολο κατασκευαστικά λόγω της ύπαρξης πλάκας ακριβώς επάνω από τον κόμβο που μας αναγκάζει να επέμβουμε στην πλάκοδοκό ενώ για το υποστύλωμα είναι πιο εύκολη η τοποθέτηση του. Τα χαρακτηριστικά του ΙΟΠ ενίσχυσης είναι τα εξής :

Ίνες άνθρακα υψηλής αντοχής με  $E=235$  GPa,  $f_t = 4800$  MPa, Οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας = 1.5% . Θεωρούμε ότι οι ίνες αποτελούν το 35% του όγκου του συνολικού υλικού. Για το συνολικό σύνθετο υλικό το μέτρο ελαστικότητας E και η μέγιστη εφελκυστική αντοχή δίνονται από τους παρακάτω τύπους (‘‘Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Τοιχοποιίας με Σύνθετα Υλικά’’ Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Πανεπιστημιακό Σύγγραμμα )

$$E_f \approx E_{fib} V_{fib} + E_m V_m$$

$$f_f \approx f_{fib} V_{fib} + f_m V_m$$

όπου:

$E_f$	= μέτρο ελαστικότητας συνθέτων υλικών παράλληλα στις ίνες
$E_{fib}$	= μέτρο ελαστικότητας ινών
$E_m$	= μέτρο ελαστικότητας μήτρας
$V_{fib}$	= ογκομετρικό ποσοστό ινών
$V_m$	= ογκομετρικό ποσοστό μήτρας = $1 - V_{fib}$
$f_f$	= εφελκυστική αντοχή συνθέτων υλικών παράλληλα στις ίνες
$f_{fib}$	= εφελκυστική αντοχή ινών
$f_m$	= εφελκυστική αντοχή μήτρας

Εδώ πρέπει να τονισθεί ότι επειδή  $E_{fib}/E_m \gg 1$  και  $f_{fib}/f_m \gg 1$ , οι παραπάνω εξισώσεις ισχύουν κατά προσέγγιση ακόμα και αν στα αθροίσματα του δεξιού σκέλους αγνοηθούν οι δεύτεροι όροι. Δηλαδή, τόσο το μέτρο ελαστικότητας, όσο και η εφελκυστική αντοχή των συνθέτων υλικών ουσιαστικά μπορούν να εκτιμηθούν από το γινόμενο της αντίστοιχης ιδιότητας για τις ίνες επί το ογκομετρικό ποσοστό αυτών.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει  $E_f = 235 \times 0.35 = 82$  GPa και  $f_f = 4800 \times 0.35 = 1680$  MPa

Θα γίνει ενίσχυση με μία στρώση άρα  $k = 1 < 4 \Rightarrow \psi = 1$

$\epsilon_{jmax} = \min(\epsilon_{ju}\psi, 1.5\%) = \min(1.5\%, 1.5\%) = 1.5\%$

$\epsilon_{jcrit} = k_v \epsilon_{jmax}$  για  $k_v = 0.5 \Rightarrow \epsilon_{jcrit} = 0.75\%$

$f_{jk} = E_j \epsilon_{jcrit} = 82000 \times 0.0075 = 615$  MPa  $\sigma_{jd} = f_{jk}/\gamma_m = 615/1.2 = 512.5$  MPa

$t_{jh} = V_{jh}/h_b \sigma_{jd} = 906.03/(0.6 \times 512500) = 2.9$  mm

$t_{jv} = V_{jv}/h_c \sigma_{jd} = 1397.4/(0.45 \times 512500) = 6.06$  mm

Παρατηρούμε ότι τα πάχη που προκύπτουν είναι αρκετά μεγάλα άρα θα χρειαστούν περισσότερες στρώσεις ώστε με αύξηση του  $k$  και του  $\psi$  να προκύψουν μικρότερα απαιτούμενα πάχη.

## 8.ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΙΑΜ (TRM)

Η μέθοδος αυτή που το θεωρητικό της υπόβαθρο αναπτύχθηκε παραπάνω στηρίζεται στην ανάληψη φορτίων με ίνες 2 διευθύνσεων. Για το παράδειγμα μας θα θεωρήσουμε ότι τα ινοπλέγματα είναι έτσι τοποθετημένα ώστε να αναλαμβάνουν τα φορτία με γωνία  $45^\circ$  σε κάθε διεύθυνση. Η διαδικασία είναι ίδια με την πορεία που περιγράφει το Σχ.12 με τη διαφορά να βρίσκεται στον τύπο των ινών και την μήτρα αφού οι ίνες που θα επιλέξουμε είναι γυαλιού τύπου Z ή αλλιώς AR(alkali-resistant) ενώ η μήτρα θα αποτελείται από κονίαμα με βάση το τσιμέντο.

Οι επιλογές αυτές δεν είναι τυχαίες αφού :

- Οι ίνες γυαλιού τύπου Z είναι ανθεκτικές στην αλληλεπίδραση τους με αλκαλικό περιβάλλον όπως είναι αυτό που δημιουργείται μέσα στο τσιμεντοκονίαμα, σε αντίθεση με τις ίνες άνθρακα που είναι ευάλωτες σε αλκαλικό περιβάλλον και θα επηρέαζαν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.
- Το τσιμεντοκονίαμα είναι αυτό που έχει χρησιμοποιηθεί στην πλειοψηφία των πειραμάτων ενίσχυσης αυτής της μεθόδου και έχουμε επαρκή στοιχεία, αλλά και είναι το μόνο που μπορεί να έχει κατάλληλο “δέσιμο” με το μητρικό σκυρόδεμα.

Θα χρησιμοποιήσουμε ίνες γυαλιού τύπου Z με  $E=75\text{GPa}$ ,  $f_t = 3000\text{MPa}$ , Οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας = 4.5% . Θεωρούμε ότι οι ίνες αποτελούν το 30% του όγκου του συνολικού υλικού. Σύμφωνα με τις προηγούμενες θεωρήσεις για τα ΙΟΠ

$$E_f = 75 \times 0.3 = 22.5 \text{ GPa} \text{ και } f_f = 3000 \times 0.3 = 900 \text{ MPa}$$

Θα γίνει ενίσχυση με μία στρώση άρα  $k = 1 < 4 \Rightarrow \psi = 1$

Για τα  $V_{jh}$ ,  $V_{jv}$  του ινοπλέγματος ισχύει ότι είναι ίσα (αφού τοποθετούνται σε γωνία  $45^\circ$ ) και υπολογίζονται από τη σχέση  $V_t = \sum A_{ti} / s_i (\epsilon_{te,i} E_{fib}) 0.9d(\cot\theta + \cot\beta_i) \sin\beta_i$  [5] όπου  $i=1,2$   $\theta=45^\circ \Rightarrow \cot\theta=1$

$$\beta_1 = \beta_2 = 45^\circ \Rightarrow \cot\beta = 1, \sin\beta = 0.707 \epsilon_{te,i} = 4.5\% E_{fib} = 75\text{GPa} \text{ άρα}$$

$$V_t = 2 \times A_{ti} / s_i \times 0.045 \times 75 \times 0.9 \times 0.55(1+1) \times 0.707 = 4.77 \times (A_{ti} / s_i) \Rightarrow A_{ti} / s_i = V / 4770 \text{ (mm)}$$

Για  $V_{jh} = 906.03 \text{ kN}$   $A_{ti} / s_i = 906.03 / 4770 = 0.19 \text{ mm}$  για κενό μεταξύ των ινών  $10 \text{ mm}$

$A_{ti} = 1.9 \text{ mm}^2$  που αναφέρεται σε 2 μέρη του ινοπλέγματος άρα για κάθε ίνα θα αντιστοιχούσαν  $0.95 \text{ mm}^2$  που είναι πολύ μικρή τιμή άρα χρειάζεται μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των ινών της τάξης των  $20\text{-}30 \text{ mm}$ .

Για  $V_{jv} = 1397.4 \text{ kN}$   $A_{ti} / s_i = 1397.4 / 4770 = 0.29 \text{ mm}$  και κενό μεταξύ των ινών  $10 \text{ mm}$   $A_t = 2.9 \text{ mm}^2$

## 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η ενίσχυση των κόμβων από Ο/Σ είναι πολύ σημαντική από κατασκευαστική άποψη όσο και από υπολογιστική, που αφορά άμεσα τον Πολιτικό Μηχανικό, αφού η σημαντικότητα τους είναι παραπάνω από υψηλή ιδιαίτερα για κτίρια κατασκευασμένα με ελάχιστες αντισεισμικές διατάξεις.

Όσο αφορά τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τα ΙΟΠ παρατηρούμε ότι με αύξηση των στρώσεων τους δεν ανεβαίνει αισθητά η αντοχή τους για αυτό θα πρέπει από την αρχή να επιλέξουμε κατάλληλες ιδιότητες ώστε να μην προκύψει αντικοινομική λύση.

Όσο αφορά τα ΙΑΜ παρατηρούμε ότι έχουν την επιθυμητή συμπεριφορά και συνδυάζουν τόσο την ανάληψη δράσεων σε 2 διευθύνσεις (πράγμα απαραίτητο για ένα κόμβο), όσο και την καλή συνάφεια μεταξύ φέροντος στοιχείου και νέου υλικού ενίσχυσης.

Επίσης, η ανόργανη μήτρα σε σχέση με την οργανική μας επιτρέπει να βλέπουμε τυχόν αστοχίες αλλά και να συνδυάζουμε μη-συρρικνούμενα κονιάματα μαζί με υλικά μεγάλης εφελκυστικής αντοχής. Πρόκειται, για πολλά υποσχόμενη τεχνική που χρίζει περαιτέρω έρευνας και εφαρμογές της.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- “Ενισχύσεις-Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος” Σ.Η.Δρίτσος, Πανεπιστημιακό Σύγγραμμα για το ομώνυμο μάθημα του 9<sup>ου</sup> εξαμήνου.
- “Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Τοιχοποιίας με Σύνθετα Υλικά” Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Πανεπιστημιακό Σύγγραμμα για το ομώνυμο Μεταπτυχιακό μάθημα
- ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013, 1<sup>η</sup> ΑΝΑΘΕΩΡΗΜΕΝΗ ΕΚΔΟΣΗ)
- Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος, Μέρος Ι, Μιχαήλ Ν. Φαρδής, Πάτρα 2016
- Triantafyllou and Papanikolaou et.al. 2006 “Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material”

[2],[3] [www.google.com](http://www.google.com) (Λήψη Φωτογραφικού Υλικού)

[4] “Έλεγχος και Ενίσχυση Κόμβου Δοκού Υποστυλώματος με Ανάπτυξη Εφαρμογής για Windows”, Παναγιώτης Α. Περιβολάρης, 23<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο Ενισχύσεις και Επισκευές Κατασκευών 2017, Πάτρα, Φεβρουάριος 2017

[5] “Shear strengthening of reinforced concrete members with textile reinforced mortar (TRM) jackets” Thanasis C. Triantafyllou · Catherine G. Papanicolaou, 2006

