

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ

Προπτυχιακός Φοιτητής Π.Π., civ7236@upnet.gr

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει στόχο την κοστολογική σύγκριση των λύσεων (επικολλητά φύλλα από ινωπλισμένα πολυμερή (ΙΩΠ), επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα, προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος). Έγινε διερεύνηση ως προς τη διατομή της υπό ενίσχυση δοκού και του υφιστάμενου οπλισμού. Βάση της διαστασιολόγησης αποτελεί ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 [1].

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια της διερεύνησης έγινε επιλογή διαφόρων διατομών δοκών προς ενίσχυση και για την κάθε μία διατομή διάφορες διατομές εφελκόμενου οπλισμού. Σε όλες τις περιπτώσεις δεν υπήρχε θλιβόμενος οπλισμός (σύνηθες σε διατομές ανοιγμάτων παλαιότερα). Για τις μεθόδους των επικολλητών φύλλων εξετάστηκαν συγκεκριμένες διαστάσεις των υλικών ενίσχυσης, ενώ για την προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος επιλέχθηκε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα συγκεκριμένου πάχους με τον νέο οπλισμό να εξωθείται στα όρια της διαστασιολόγησης.

Παράλληλα, έγινε αναζήτηση τιμών των υλικών ενίσχυσης καθώς και του κόστους τοποθέτησης σε εταιρίες κατασκευής και εμπορίας των παραπάνω υλικών καθώς και σε επαγγελματίες του είδους.

Τελικά, γίνεται η σύγκριση των μεθόδων ενίσχυσης και εξάγονται παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

α) Γενικές παραδοχές

- Κοινά κόστη δεν υπολογίστηκαν (πχ κόστος μελέτης, απομάκρυνση-αποκατάσταση τοίχων).
- Δοκός εξασφαλισμένη έναντι διάτμησης.
- Διαστάσεις δοκών (mm): 400/200, 500/200, 500/300, 600/300, 700/300, 700/400, 800/400.
- Υφιστάμενα υλικά C16/20, S220.
- Ικανοποιητική ΣΑΔ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 4.5.3.1α [1]).
- Κανονικές (συνήθεις) συνθήκες προσπελασιμότητας (ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 Πίν. Σ4.3 [1]).
- Διατομή χωρίς θλιβόμενο οπλισμό και με απόσταση d_1 του κέντρου βάρους του εφελκόμενου οπλισμού από την περισσότερο εφελκόμενη ίνα 25mm.
- Όχι ανακυκλιζόμενη φόρτιση.
- Μήκος L δοκού για αναγωγή μεγεθών 4m.
- Αμμοβολή πέλματος δοκού.

β) Ενίσχυση με επικολλητά φύλλα ΙΩΠ και χάλυβα

- Το υφιστάμενο δομικό στοιχείο είναι σε θέση να αναλάβει χωρίς την ενίσχυση την ένταση από τα μόνιμα φορτία σχεδιασμού.
- Επιθυμητός τρόπος αστοχίας: αστοχία του υλικού ενίσχυσης με τον υφιστάμενο οπλισμό να έχει διαρρεύσει πριν την αστοχία της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος.
- Εξασφαλισμένη δοκός έναντι πρόωρης διατμητικής αστοχίας στην περιοχή απόληξης του υλικού ενίσχυσης.
- Μήκος αγκύρωσης μεγαλύτερο από το ενεργό μήκος αγκύρωσης L_e .

γ) Ενίσχυση με επικολλητά φύλλα ΙΩΠ

-Ενίσχυση της περιοχής αγκύρωσης με εγκάρσιο ΙΩΠ πλάτους 600mm (μεγαλύτερο από L_e στις περιπτώσεις που εξετάστηκαν) η συνεισφορά της οποίας δεν λήφθηκε υπόψη.

δ) Ενίσχυση με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα

- Ενίσχυση της περιοχής αγκύρωσης με βλήτρα τα οποία να μπορούν να αναλάβουν την διαρροή του ελάσματος η συνεισφορά της οποίας δεν λήφθηκε υπόψη.

ε) Ενίσχυση με προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος

-Ενίσχυση στα πλαίσια των προϋποθέσεων εφαρμογής της προσεγγιστικής διαδικασίας των συντελεστών μονολιθικότητας ($Mrd_{τελ} \leq 2Mrd_{αρχ}$ και εκτράχυνση της διεπιφάνειας (KAN.ΕΠΕ. 2013 Σχόλια 8.2.1.3βii [1])).

-Επιθυμητός τρόπος αστοχίας: αστοχία του υλικού ενίσχυσης με τον υφιστάμενο οπλισμό να έχει διαρρεύσει πριν την αστοχία της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος.

-Απόσταση d_{IN} του κέντρου βάρους του νέου οπλισμού από την περισσότερο εφελκόμενη ίνα 30mm.

-Ανάρτηση του νέου οπλισμού από αναρτήρες Φ8 σχήματος αναστρόφου T.

3. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

α) Γενικά

Σχέσεις που αφορούν την ανάλυση διατομής και το ωπλισμένο σκυρόδεμα προέρχονται από το βιβλίο: “ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΡΟΣ Γ’”, Μιχαήλ Ν. Φαρδής, Πάτρα 2016 [2].

-d: στατικό ύψος υφιστάμενης δοκού

-h: ύψος υφιστάμενης δοκού

- b_w : πλάτος υφιστάμενης δοκού

-Ελάχιστος οπλισμός υφιστάμενης δοκού:

$$A_{smin} = \max[0.0013, 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}] b_w d$$

β) Ενίσχυση με επικολλητά φύλλα ΙΩΠ

Υλικά ενίσχυσης:

- Sika® Carbodur S (Διαστάσεις ανά 50mm μέχρι $b_w - 50mm$ και στρώσεις 1,2,3×1.2mm)

- Sikadur®-30

Περιοχή αγκύρωσης:

- SikaWrap®-300 C (1 στρώση πλάτους 600mm)

- Sikadur®-300

Οι ιδιότητες των παραπάνω υλικών προέρχονται από τον ιστότοπο την εταιρίας Sika®: <https://grc.sika.com/> [3].

Για τον επιθυμητό τρόπο αστοχίας υπολογίζεται το μέγιστο ύψος της θλιβόμενης ζώνης x_{lim} ως το μικρότερο από τις εξής περιπτώσεις: 1) παραμόρφωση σκυροδέματος 0.35% και διαρροή του υφιστάμενου οπλισμού, 2) παραμόρφωση σκυροδέματος 0.35% και παραμόρφωση αστοχίας του ΙΩΠ.

Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν η μέγιστη τάση σχεδιασμού προκύπτει από την πρόωρη αποκόλληση του ΙΩΠ, όποτε:

$$\sigma_{jcrmax} = \beta \sqrt{\frac{E_j f_{ctm}}{2t_j}} \text{ KAN.ΕΠΕ.2013 Σ8.3,Σ8.4 [1],}$$

<https://eclass.upatras.gr/courses/ARCH148/> [4]

όπου t_j το πάχος του ΙΩΠ

Για πλάτος του ΙΩΠ $b_j=0 \Rightarrow$ ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 Σχόλια 8.2.1.3αν [1] $\Rightarrow \beta_{max}=\sqrt{2}$ και $t_j=1.2\text{mm}$ ως δυσμενέστερη περίπτωση καλύπτονται όλες οι περιπτώσεις.

$$e_{jcrmax} = \frac{\sigma_{jcrmax}}{E_j} = 3.1\% \leq \text{προτεινόμενες τιμές (πχ } 6\% \text{ [5])}$$

$$x_{lim} = \min\left[\frac{0.0035}{0.0035 + \frac{1.44f_{yk}}{E_y}} d, \frac{0.0035}{0.0035 + e_{jcrmax}} (h + 0.5t_j)\right]$$

-Δύναμη θλιβόμενης ζώνης: $F_{cd} = 0.81f_{cd}b_w x$

-Σε όρους S220: $A_{smax} = \frac{F_{cd}(x_{lim})}{f_{yd}}$

Θεωρήθηκαν οι εξής περιπτώσεις υφιστάμενου οπλισμού: A_{smin} , $A_{smin}+0.2A_{smax}$, $A_{smin}+0.4A_{smax}$, $A_{smin}+0.6A_{smax}$, $A_{smin}+0.8A_{smax}$.

-Δύναμη σχεδιασμού ΙΩΠ: $F_{jd} = A_j \sigma_{jd}$ όπου A_j η διατομή του υλικού ενίσχυσης

-Τάση σχεδιασμού ΙΩΠ: $\sigma_{jd} = \min\left[\frac{f_{jk}}{1.2}, \frac{\sigma_{jcr}}{\gamma_{rd}}\right]$ ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 (8.6), (8.7) [1]

-Διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης $\geq L_e \Rightarrow \sigma_{jcrmax} = \beta \sqrt{\frac{E_j f_{ctm}}{2t_j}}$ ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 Σ8.3,Σ8.4 [1],

<https://eclass.upatras.gr/courses/ARCH148/> [4]

- $\beta = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_j}{b_w}}{1 - \frac{b_j}{b_w}}}$ ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 Σχόλια 8.2.1.3αν [1]

-Δύναμη σχεδιασμού υφιστάμενου οπλισμού: $F_{yd} = A_y f_{yd}$

-Πρέπει: $F_{cd}(x_{lim}) \leq F_{yd} + F_{jd}$

-Μοχλοβραχίονες: $F_{cd} = F_{yd} + F_{jd} \Rightarrow x$

$$F_{yd}: z_y = d - 0.416x$$

$$F_{jd}: z_j = h + 0.5t_j - 0.416x$$

-Τελική αντοχή ενισχυμένης διατομής: $M_{rdτελ} = F_{yd}z_y + F_{jd}z_j$

γ) Ενίσχυση με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα

Υλικά ενίσχυσης:

- DCP S235JRC (Διαστάσεις από 50mm μέχρι $b_w-50\text{mm}$ και πάχη t_j : 1,2,3mm)

- Sikadur®-30

Περιοχή αγκύρωσης:

- Βλήτρα Φ16 S500

- Sika AnchorFix®-3+

Οι ιδιότητες των υλικών Sika® προέρχονται από τον ιστότοπο την εταιρίας: <https://grc.sika.com/> [3].

Για τον επιθυμητό τρόπο αστοχίας υπολογίζεται το μέγιστο ύψος της θλιβόμενης ζώνης x_{lim} ως το μικρότερο από τις εξής περιπτώσεις: 1) παραμόρφωση σκυροδέματος 0.35% και διαρροή του υφιστάμενου οπλισμού, 2) παραμόρφωση σκυροδέματος 0.35% και διαρροή του ελάσματος (ως δυσμενέστερο).

$$x_{lim} = \min\left[\frac{0.0035}{0.0035 + \frac{1.44f_{yk}}{E_y}} d, \frac{0.0035}{0.0035 + \frac{1.44f_{jk}}{E_j}} (h + 0.5t_j)\right]$$

-Δύναμη θλιβόμενης ζώνης: $F_{cd} = 0.81f_{cd}b_w x$

-Σε όρους S220: $As_{max} = \frac{F_{cd}(x_{lim})}{f_{yd}}$

Θεωρήθηκαν οι περιπτώσεις υφιστάμενου οπλισμού που θεωρήθηκαν στην ενίσχυση με επικολητά φύλλα ΙΩΠ και επιπλέον για $As_{min} + 0.8As_{max}$.

-Δύναμη σχεδιασμού υλικού ενίσχυσης: $F_{jd} = A_j \sigma_{jd}$ όπου A_j η διατομή του υλικού ενίσχυσης.

-Τάση σχεδιασμού χαλύβδινου ελάσματος:

$$\sigma_{jd} = \min\left[\frac{f_{jk}}{1.15 \cdot 1.05}, \frac{\sigma_{jcr}}{\gamma_{rd}}\right] \text{ ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 (8.6), (8.7) [1]}$$

- Διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης $\geq L_e \Rightarrow \sigma_{jcrmax} = \beta \sqrt{\frac{E_j f_{ctm}}{2t_j}}$ ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 Σ8.3, Σ8.4 [1],

<https://eclass.upatras.gr/courses/ARCH148/> [4]

$$\beta = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_j}{b_w}}{1 - \frac{b_j}{b_w}}} \text{ ΚΑΝ.ΕΠΕ.2013 Σχόλια 8.2.1.3αν [1]}$$

-Δύναμη σχεδιασμού υφιστάμενου οπλισμού: $F_{yd} = A_y f_{yd}$

-Πρέπει: $F_{cd}(x_{lim}) \leq F_{yd} + F_{jd}$

-Μοχλοβραχίονες: $F_{cd} = F_{yd} + F_{jd} \Rightarrow x$

$$F_{yd}: z_y = d - 0.416x$$

$$F_{jd}: z_j = h + 0.5t_j - 0.416x$$

-Τελική αντοχή ενισχυμένης διατομής: $M_{rd\tau\epsilon\lambda} = F_{yd}z_y + F_{jd}z_j$

-Βλήτρα: $d_b = \Phi 16$ και $A_b, S500$ ($8d_b$ έμπηξη στο υφιστάμενο σκυρόδεμα)

$$N_{BA} = 2 \text{Roundup} \left(\frac{A_j \frac{f_{jd}}{1.15 \cdot 1.05}}{V_{ud}} \right)$$

$$V_{ud} = \min \left[\frac{1.3}{\gamma_{rd}} d_b^2 \sqrt{f_{cd} f_{yd(BA)}}, \frac{A_b f_{yd(BA)}}{\sqrt{3}} \right] \text{ ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 (6.8) [1]}$$

δ) Ενίσχυση με προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος

Υλικά ενίσχυσης:

- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα C25/30 πάχους $t=80\text{mm}$
- Νέος οπλισμός S500 (Από 100mm^2 έως το μέγιστο δυνατό)
- Βλήτρα $\Phi 12$ S500
- Sika AnchorFix®-3+

Οι ιδιότητες των υλικών Sika® προέρχονται από τον ιστότοπο την εταιρίας: <https://grc.sika.com/> [3].

Για τον επιθυμητό τρόπο αστοχίας υπολογίζεται το μέγιστο ύψος της θλιβόμενης ζώνης x_{lim} ως το μικρότερο από τις εξής περιπτώσεις: 1) παραμόρφωση σκυροδέματος 0.35% και διαρροή του υφιστάμενου οπλισμού, 2) παραμόρφωση σκυροδέματος 0.35% και διαρροή του νέου οπλισμού.

$$x_{lim} = \min \left[\frac{0.0035}{0.0035 + \frac{1.44f_{yk}}{E_y}} d, \frac{0.0035}{0.0035 + \frac{1.44f_{jk}}{E_j}} (h + t - d_{1N}) \right]$$

-Δύναμη θλιβόμενης ζώνης: $F_{cd} = 0.81f_{cd}b_w x$

-Σε όρους S220: $A_{smax} = \frac{F_{cd}(x_{lim})}{f_{yd}}$

Θεωρήθηκαν οι εξής περιπτώσεις υφιστάμενου οπλισμού που θεωρήθηκαν στην ενίσχυση με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα.

-Δύναμη σχεδιασμού νέου οπλισμού: $F_{jd} = A_j \frac{f_{jk}}{1.15 \cdot 1.05}$ όπου A_j η διατομή του υλικού ενίσχυσης

-Δύναμη σχεδιασμού υφιστάμενου οπλισμού: $F_{yd} = A_y f_{yd}$

-Πρέπει: $F_{cd}(x_{lim}) \leq F_{yd} + F_{jd}$

-Μοχλοβραχίονες: $F_{cd} = F_{yd} + F_{jd} \Rightarrow x$

$$F_{yd}: z_y = d - 0.416x$$

$$F_{jd}: z_j = h + (t - d_{1N}) - 0.416x$$

-Τελική αντοχή ενισχυμένης διατομής: $M_{rd\tau\epsilon\lambda} = F_{yd}z_y + F_{jd}z_j$

Ο νέος οπλισμός A_j αυξήθηκε μέχρι τον διπλασιασμό της αρχικής ροπής αντοχής ή τη μέγιστη δύναμη που μπορούσε να παραλάβει η θλιβόμενη ζώνη της δοκού.

-Βλήτρα: $d_b = \Phi 12$ και A_b , S500 ($8d_b$ έμπηξη στο υφιστάμενο σκυρόδεμα και $6d_b$ στο νέο).

Θεωρώντας το τμήμα ελέγχου 2m με διαρροή στο ένα άκρο και μηδενική ένταση στο άλλο, η δύναμη της διεπιφάνειας είναι: $F = F_{jd} = A_j \frac{f_{jk}}{1.15 \cdot 1.05}$

$$V_{ud} = \min \left[\frac{1.3}{\gamma_{rd}} d_b^2 \sqrt{f_{cd}(\gamma_\Phi) f_{yd}(B\Lambda)}, 0.65 d_b^2 \sqrt{f_{cd}(NEO) f_{yd}(B\Lambda)}, \frac{A_b f_{yd}(B\Lambda)}{\sqrt{3}} \right]$$

KAN.ΕΠΕ. 2013 (6.8), (6.9) [1]

$$N_{B\Lambda} = \max \left[2 \text{Roundup} \left(\frac{F}{V_{ud}} \right), 2 \text{Roundup} \left(\frac{2b_w \rho_{\delta min}}{A_b} \right) \right]$$

όπου $\rho_{\delta min} = \max \left[0.2 \frac{f_{ctm(max)}}{f_{yk}(B\Lambda)}, 1.2\% \right]$ KAN.ΕΠΕ. 2013 (8.8α) [1]

4. ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ

α) Τιμές εργασιών και υλικών

Συμπεριλαμβάνουν το εργολαβικό κέρδος. Τιμές άνευ ΦΠΑ.

Sika® Carbodur S512	16.55	€/m
Sika® Carbodur S1012	29.80	€/m
SikaWrap®-300 C (600mm)	16.42	€/m
Sikadur®-30	8.70	€/Kg
Sikadur®-300	13.41	€/Kg
Sika AnchorFix®-3+	20.62	€/400mL
DCP S235JRC	1.30	€/Kg
Χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος	0.80	€/Kg
Αμμοβολή	15.00	€/m ²
	(30.00	m ² /wd)
Τοποθέτηση επικολητών φύλλων ΙΩΠ	100.00	€/m
	(10	m ² /wd)

Τοποθέτηση επικολλητών χαλύβδινων ελασμάτων	80.00	€/m
	(20	m/wd)
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα C25/30 t=80mm	26.00	€/m ²
(Υλικό + Εργασία)	(20.00	m ² /wd)
Μέσο ημερομίσθιο (8 ώρες)	40.00	€
Τοποθέτηση βλήτρου (επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα)	0.33	ΒΛ/min
Τοποθέτηση βλήτρου (προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος)	1.50	ΒΛ/min
Κατασκευή - τοποθέτηση αναρτήρων οπλισμού	1.00	ΑΝ/min
Τοποθέτηση οπλισμού	4.00	hrs
Μέση τιμή ενσήμου ΙΚΑ	30.00	€/wd

β) Τελικό κόστος ανά μέτρο πλάτους δοκού

Συμπεριλαμβάνεται ο ΦΠΑ.

1) Ενίσχυση με επικολλητά φύλλα ΙΩΠ

$$\begin{aligned}
 \text{ΚΟΣΤΟΣ} = & b_w * 15 * 1.24 + \frac{30*b_w}{30} + \frac{2}{L} \left((b_w + 2(h - 0.15)) (16.42 * 1.24 + 0.6 * \right. \\
 & \left. 1.25 * 13.41 * 1.24) \right) + (\text{Τιμή ΙΩΠ}) * (\text{Στρώσεις ΙΩΠ}) * 1.24 + \\
 & (\text{Κατανάλωση εποξειδικής ρητίνης ανά στρώση}) * (\text{Στρώσεις ΙΩΠ}) * 8.7 * 1.24 + \\
 & \left(100 * 1.24 + \frac{30*b_j}{10} \right) * (\text{Στρώσεις ΙΩΠ})
 \end{aligned}$$

2) Ενίσχυση με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα

$$\begin{aligned}
 \text{ΚΟΣΤΟΣ} = & b_w * 15 * 1.24 + \frac{30*b_w}{30} + \frac{N_{BL}}{L} \left((8 * \Phi_{BL} + t_j) * 1.58 * 0.8 * 1.24 + \right. \\
 & \left. \frac{40*1.24+30}{8*60} * 3 + 12.7 * 1.3 * \frac{20.62}{400} * 1.24 \right) + A_j * 7850 * 1.30 * 1.24 + b_j * 8.5 * 8.7 * \\
 & 1.24 + 80 * 1.24 + \frac{30}{20}
 \end{aligned}$$

3) Ενίσχυση με προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος

$$\begin{aligned}
 \text{ΚΟΣΤΟΣ} = & b_w * 15 * 1.24 + \frac{30*b_w}{30} + \frac{N_{BL}}{L} \left(14 * \Phi_{BL} * 0.888 * 0.8 * 1.24 + \frac{40*1.24+30}{8*60} * \right. \\
 & \left. \frac{1}{1.5} + 8.6 * 1.3 * \frac{20.62}{400} * 1.24 \right) + (8 * \Phi_{AN} + 0.06 + (b_w - 0.05)) * 0.395 * 0.8 * 1.24 + \\
 & \frac{40*1.24+30}{8*60} * 3 + 3.4 * 1.3 * \frac{20.62}{400} * 1.24 + \frac{1}{L} \left(\frac{40*1.24+30}{8} * 4 \right) + A_j * 7850 * 0.8 * 1.24 + \\
 & b_w * 26 * 1.24 + \frac{30*b_w}{20}
 \end{aligned}$$

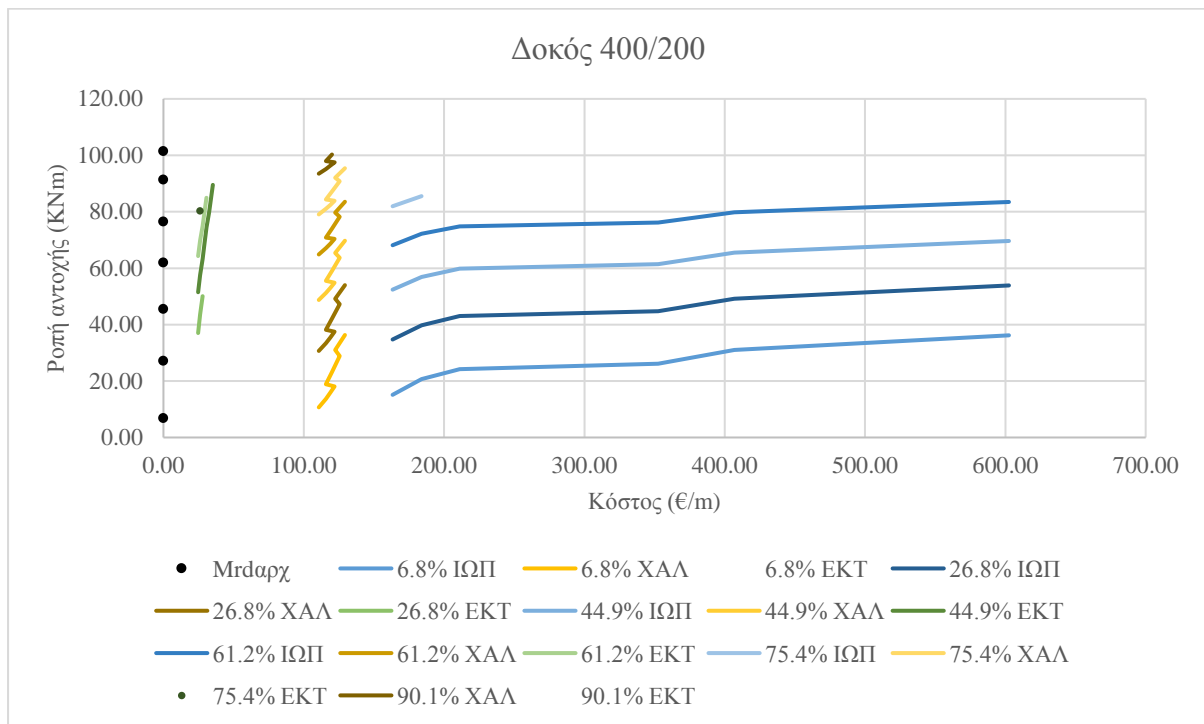
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αν M_{rdmax} η αντοχή της υφιστάμενης δοκού για υφιστάμενο οπλισμό S220 που αντιστοιχεί για θλιβόμενη ζώνη ύψους x_{lim} , τότε οι περιπτώσεις όπλισης που εξετάστηκαν αντιστοιχούν σε αύξουσα σειρά στα εξής ποσοστά του M_{rdmax} : 6.8%, 26.8%, 44.9%, 61.2%, 75.4%, 90.1%. Η μέγιστη τιμή του M_{rdarch} στα Σχήματα 1-7 είναι το M_{rdmax} .

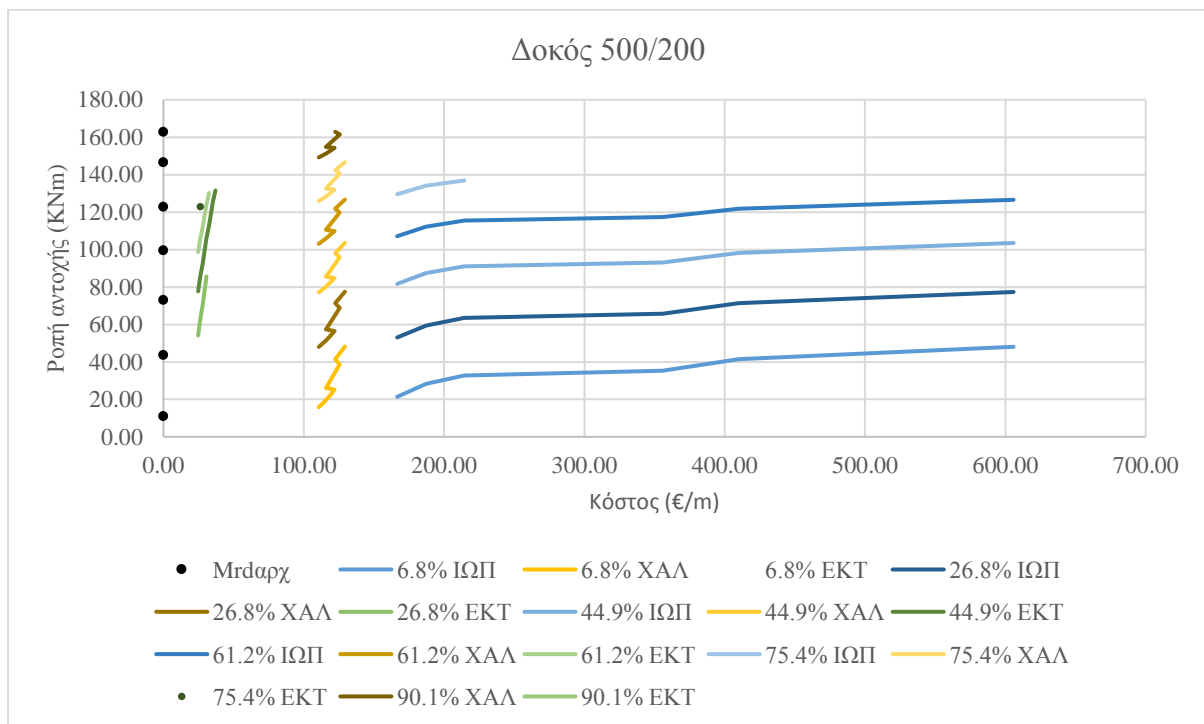
-ΙΩΠ: Ενίσχυση με επικολλητά φύλλα ΙΩΠ

-ΧΑΛ: Ενίσχυση με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα

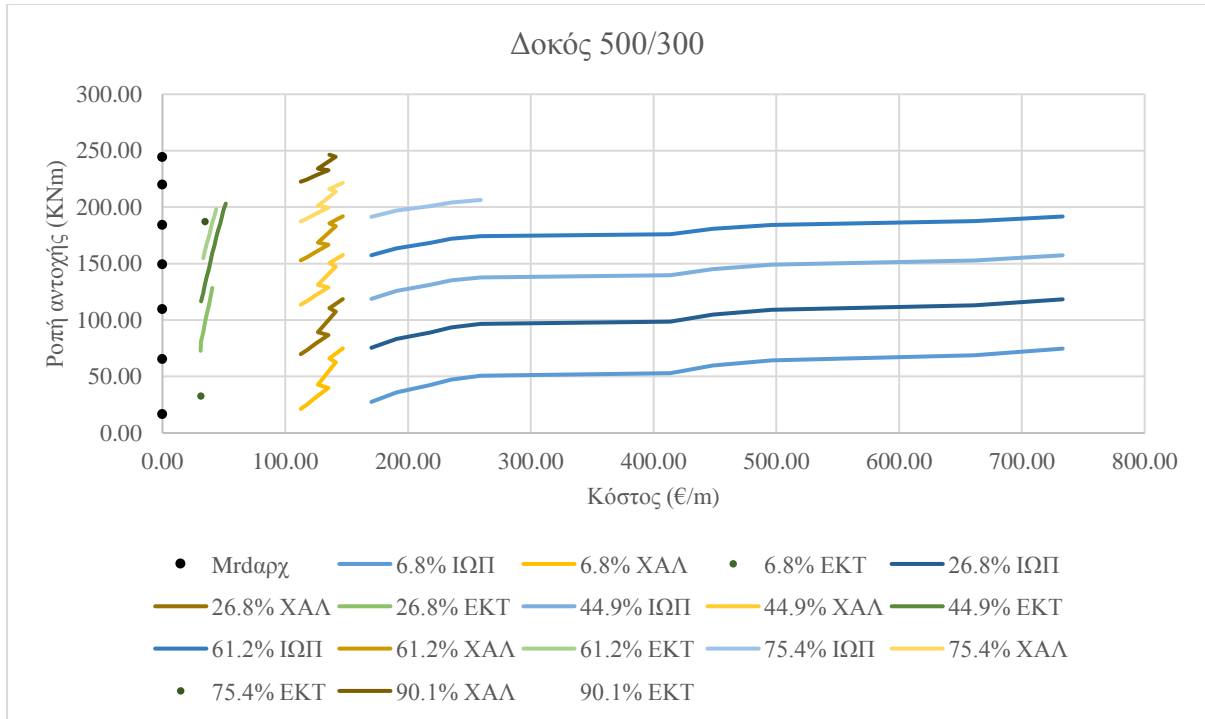
-ΕΚΤ: Ενίσχυση με προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος



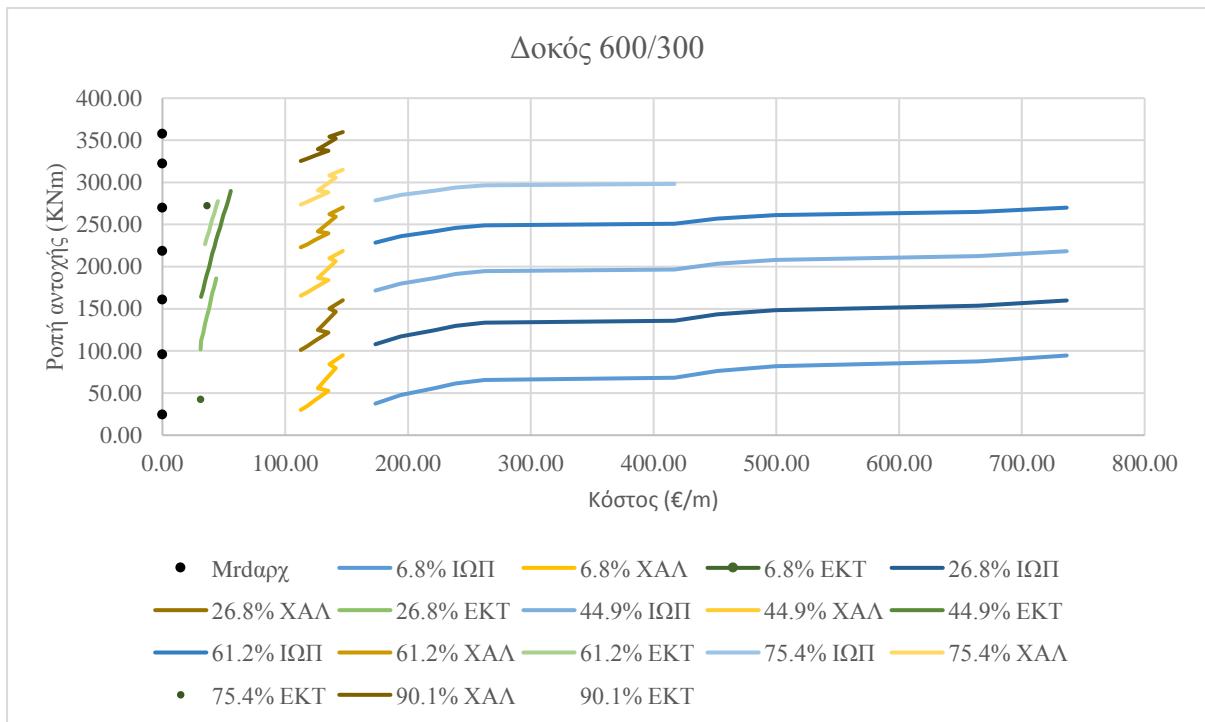
Σχήμα 1: Διάγραμμα Κόστους-Ροπής αντοχής (Δοκός 400/200)



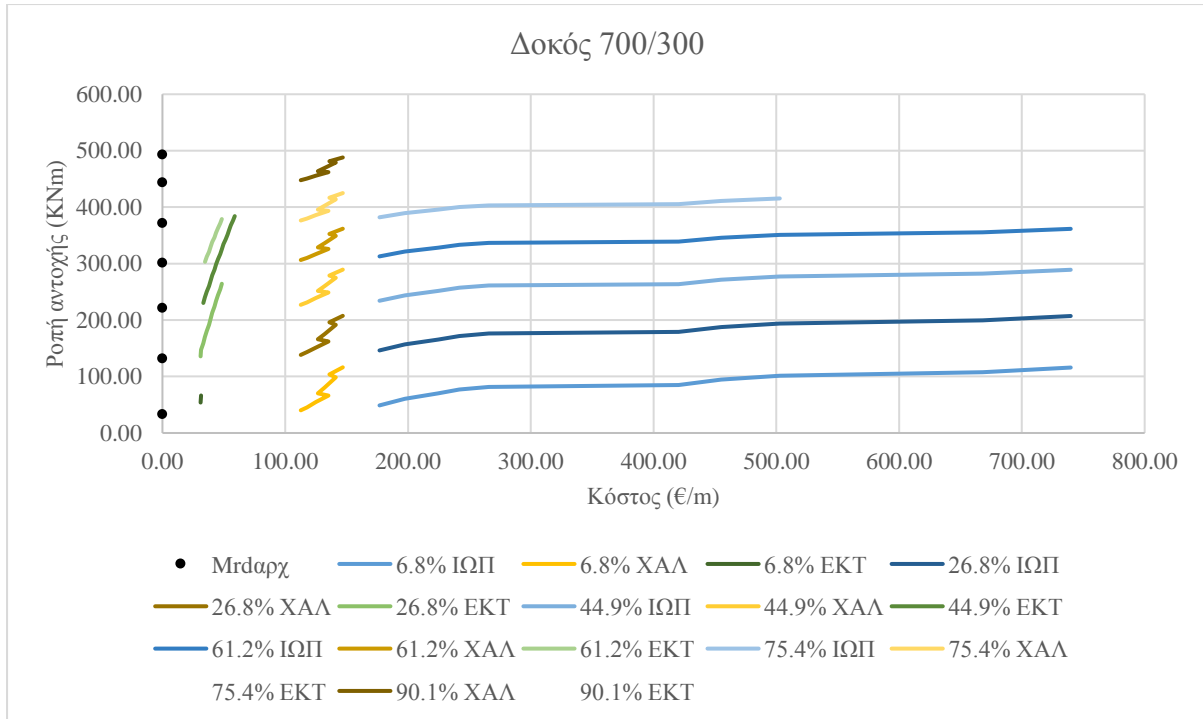
Σχήμα 2: Διάγραμμα Κόστους-Ροπής αντοχής (Δοκός 500/200)



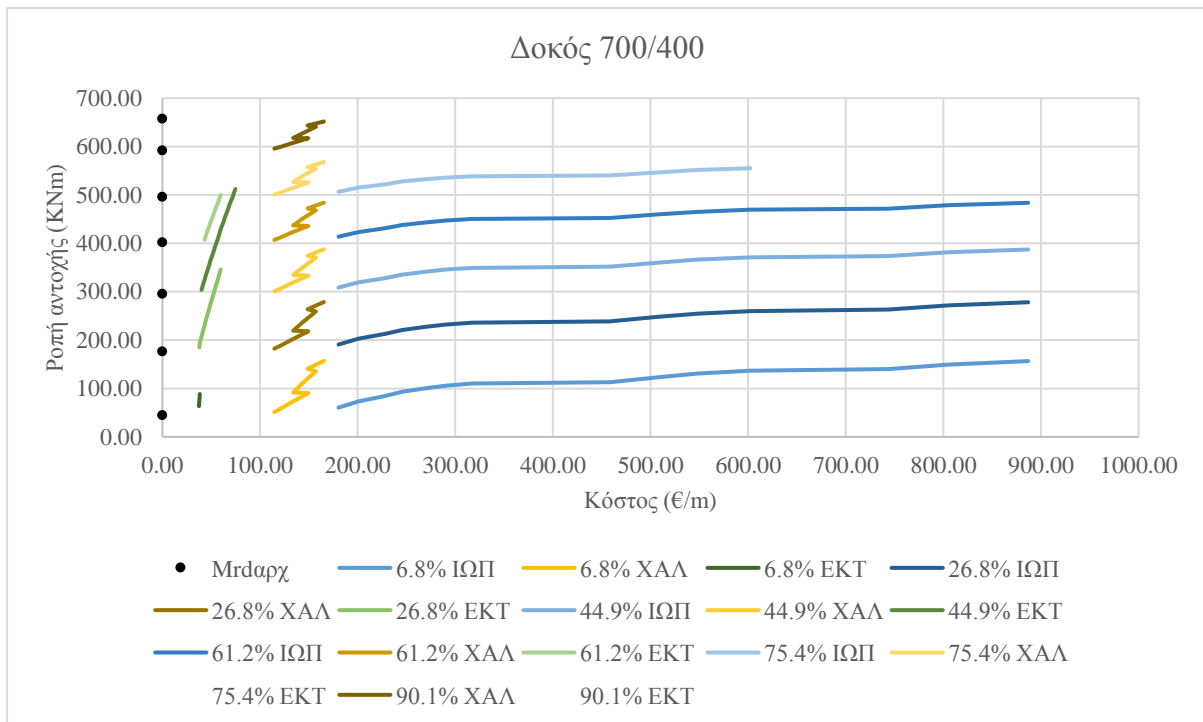
Σχήμα 3: Διάγραμμα Κόστους-Ροπής αντοχής (Δοκός 500/300)



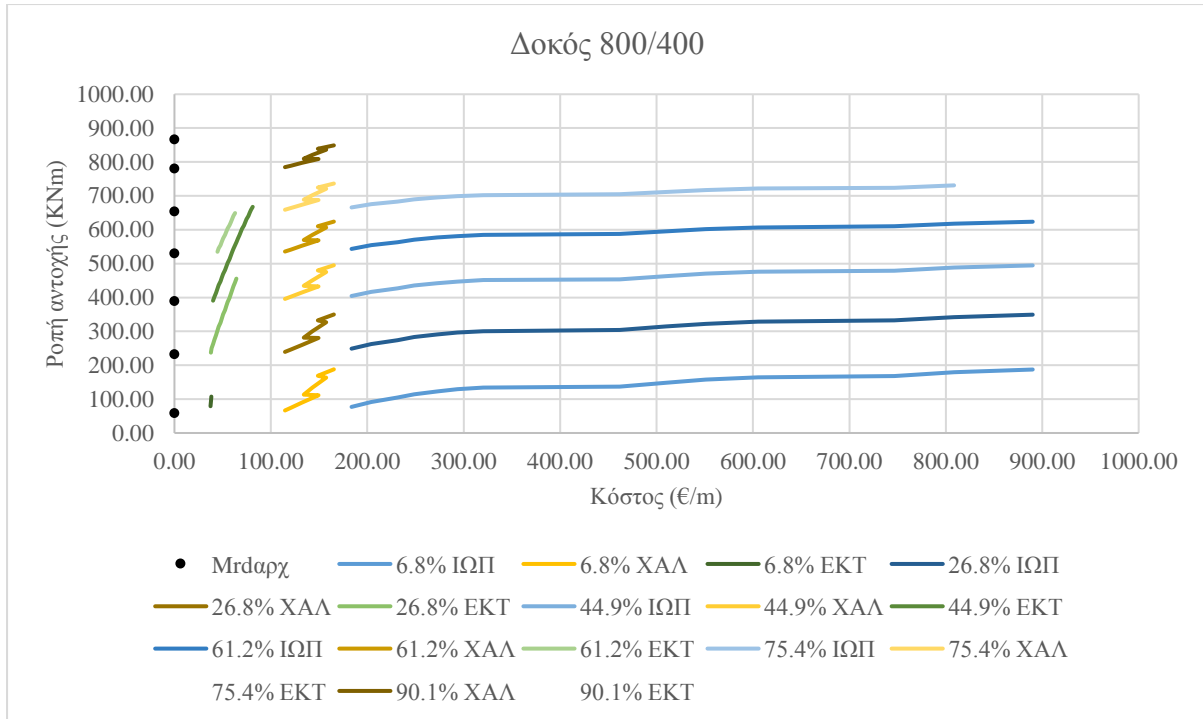
Σχήμα 4: Διάγραμμα Κόστους-Ροπής αντοχής (Δοκός 600/300)



Σχήμα 5: Διάγραμμα Κόστους-Ροπής αντοχής (Δοκός 700/300)



Σχήμα 6: Διάγραμμα Κόστους-Ροπής αντοχής (Δοκός 700/400)



Σχήμα 7: Διάγραμμα Κόστους - Ροπής αντοχής (Δοκός 800/400)

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑ

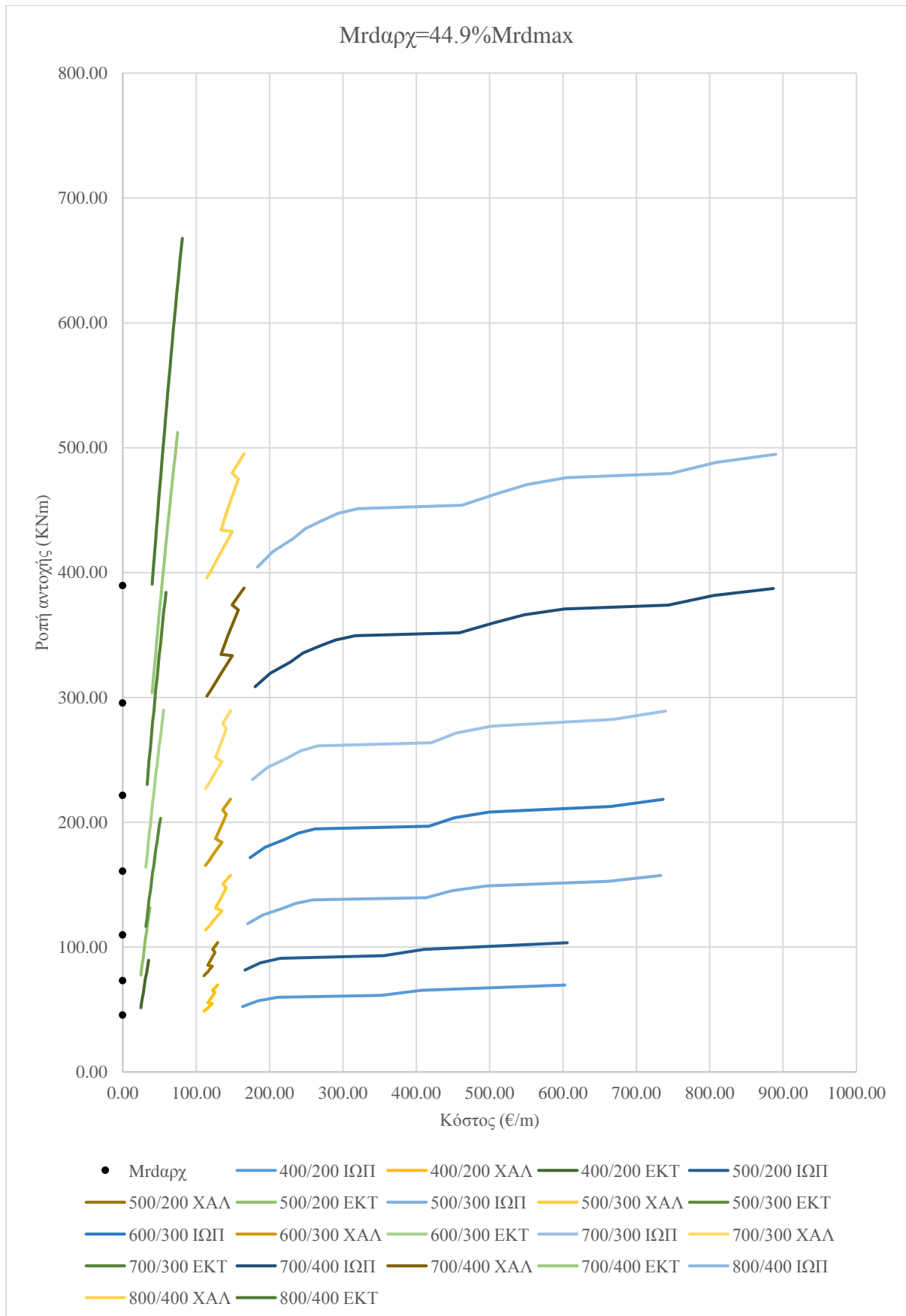
α) Αρχικά πρέπει να τονιστεί ότι προϋπόθεση για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων είναι οι παραδοχές που τέθηκαν εξαρχής. Αν αλλάξουν οι παραδοχές επηρεάζονται άμεσα τα αποτελέσματα.

β) Όπως φαίνεται στα Σχήματα 1-7, η διαφορά κόστους των τριών μεθόδων ενίσχυσης που εξετάστηκαν οριοθετούνται ξεκάθαρα και σε κάθε περίπτωση φθηνότερη είναι η ενίσχυση με προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος, ακολουθεί η ενίσχυση με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα και ακριβότερη είναι η ενίσχυση με επικολλητά φύλλα ΙΩΠ.

γ) Με την αύξηση της ζητούμενης ροπής αντοχής της ενισχυμένης διατομής, το κόστος της μεθόδου της προσθήκης νέας στρώσης σκυροδέματος αυξάνεται με μικρή κλίση. Ακολουθεί η μέθοδος επικολλητών χαλύβδινων ελασμάτων της οποίας το κόστος αυξάνεται λίγο ταχύτερα (εξαρτάται όμως άμεσα από το πάχος του ελάσματος). Όσον αφορά τη μέθοδο επικολλητών φύλλων ΙΩΠ, παρατηρείται μεγάλη αύξηση του κόστους για μικρή αύξηση της ζητούμενης ροπής αντοχής.

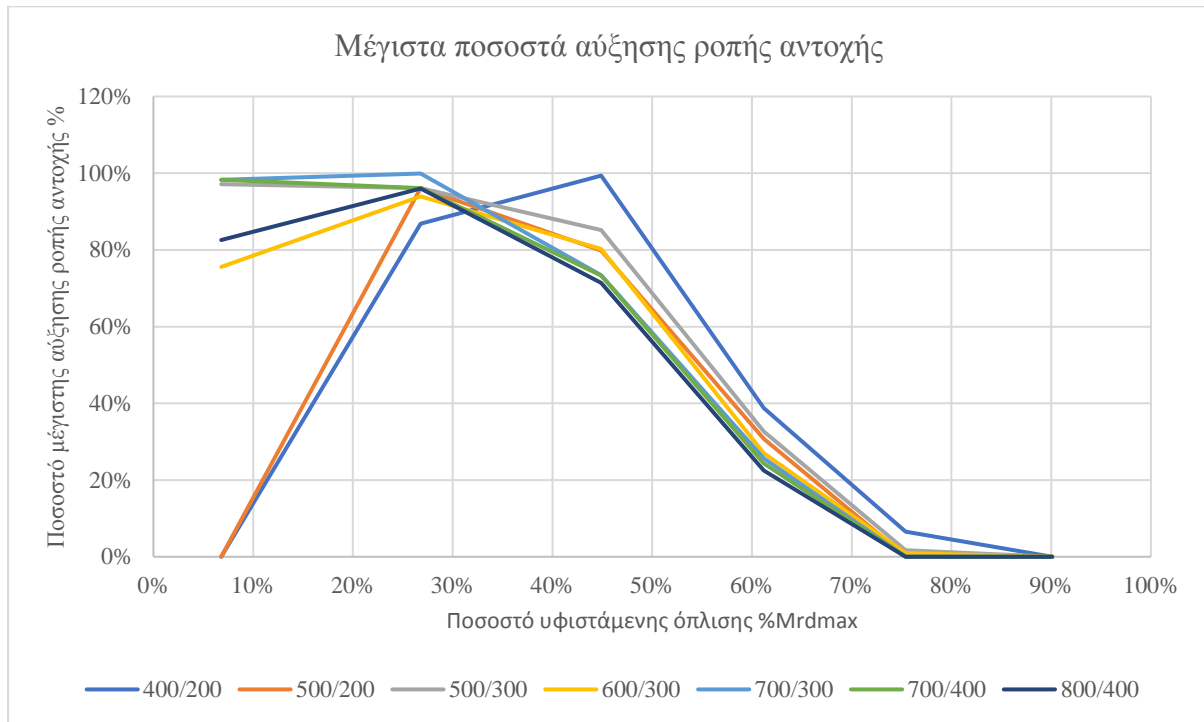
δ) **Δια-διαστασιακό διάγραμμα Κόστους - Ροπής αντοχής για $Mrd_{αρχ}=44.9\%Mrd_{max}$ (Σχήμα 8).**

Παρατηρούμε ότι το κόστος εξαρτάται άμεσα από το πλάτος της υπό ενίσχυση δοκού. Αντίθετα, το ύψος επηρεάζει τη διαφορά της ροπής αντοχής για δεδομένο πλάτος δοκού που αντικατοπτρίζεται και στις αρχικές αντοχές.



Σχήμα 8: Δια-διαστασιακό διάγραμμα Κόστους – Ροπής αντοχής για $M_{rdαρχ}=44.9\%M_{rdmax}$

ε) Σε αντίθεση με τις άλλες δύο μεθόδους ενίσχυσης, στην προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος το πάχος θεωρήθηκε σταθερό αλλά ο νέος οπλισμός ξεκινώντας από 100 mm^2 αυξήθηκε ανά 50 mm^2 μέχρι το μέγιστο δυνατό.



Σχήμα 9: Διάγραμμα μεγίστων ποσοστών αύξησης ροπής αντοχής για ενίσχυση με προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος

Παρατηρούνται τα εξής:

- 1) Για αρχική αντοχή μικρό ποσοστό της M_{rdmax} και μικρές διατομές, τα 100 mm^2 νέου οπλισμού οδηγούν σε υπέρβαση του διπλασίου της αρχικής αντοχής.
- 2) Για αρχική αντοχή ενδιάμεσα ποσοστά της M_{rdmax} φτάνουμε το διπλάσιο της αρχικής αντοχής.
- 3) Για αρχική αντοχή μεγάλα ποσοστά της M_{rdmax} , η θλιβόμενη ζώνη της διατομής δεν αντέχει τον διπλασιασμό της αρχικής αντοχής.

ς) Σχόλια σχετικά με την διαστασιολόγηση

1) Στην ενίσχυση με επικολλητά φύλλα ΙΩΠ το σ_{jcr} προέκυπτε πάντα κρίσιμο (δε λήφθηκε υπόψη η βελτίωση της αγκύρωσης). Σκόπιμη θα ήταν η θέσπιση κανονιστικών διατάξεων που αφορούν την βελτίωση της αγκύρωσης καθώς δεν αξιοποιούνται οι μεγάλες εφελκυστικές αντοχές των ΙΩΠ στο συγκεκριμένο είδος ενίσχυσης.

Στην ενίσχυση με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα το σ_{jcr} προέκυψε κρίσιμο μόνο για $t_j=3\text{mm}$ και $b_j \geq 250\text{mm}$ (δεν λήφθηκαν υπόψη τα βλήτρα ικανά να παραλάβουν τις δυνάμεις διαρροής).

2) Στην ενίσχυση με επικολλητά φύλλα ΙΩΠ το χ_{lim} προκύπτει από την αστοχία του ΙΩΠ. Αύξηση του μέτρου ελαστικότητας των ΙΩΠ θα βοηθούσε στην καλύτερη αξιοποίηση των μεγάλων εφελκυστικών αντοχών των ΙΩΠ στο συγκεκριμένο είδος ενίσχυσης.

Στην ενίσχυση με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα το χ_{lim} προκύπτει από την διαρροή του υφιστάμενου οπλισμού S220. Αυτό αποτελεί πλεονέκτημα για την μέθοδο.

Στην ενίσχυση με προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος το χ_{lim} προκύπτει από την διαρροή του νέου οπλισμού S500.

3) Στην μέθοδο ενίσχυσης με προσθήκη νέας στρώσης σκυροδέματος παρατηρήθηκε ότι για μικρές τιμές του νέου οπλισμού, προκύπτει τελική ροπή αντοχής μικρότερη από τη ροπή αντοχής της μη ενισχυμένης δοκού (πχ βλέπε Πίνακα 1 για δοκό 800/400). Το φαινόμενο οξύνεται όσο μεγαλώνει κατά απόλυτη τιμή η αρχική ροπή αντοχής (άρα όσο μεγαλώνει ως ποσοστό της M_{rdmax} και όσο μεγαλώνουν οι διαστάσεις της διατομής). Συνεπώς, η προσεγγιστική διαδικασία των συντελεστών μονολιθικότητας δεν ισχύει στην παραπάνω περίπτωση.

		A_s (mm)									
M_{rdmax} (KN)	866,80	100	150	200	250	300	350	400	450		
$M_{rdαρχ}$ (KN)	Ποσοστό της M_{rdmax}	$M_{rdτελ}$ (KN)									
232,46	26,8%	224,13									
389,51	44,9%	355,21	367,12	378,93							
530,06	61,2%	472,27	482,98	493,58	504,08	514,48	524,78				
654,10	75,4%	575,30	584,81	594,21	603,51	612,70	621,79	630,78	639,66		

Πίνακας 1: Αστοχία της προσεγγιστικής διαδικασίας των συντελεστών μονολιθικότητας για δοκό 800/400

7. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ως ανάδοχος της υποτροφίας «Ανδρέας Μεντζελόπουλος για προπτυχιακές και μεταπτυχιακές σπουδές στο Πανεπιστήμιο Πατρών», ευχαριστώ την χορηγό κ. Corinne Mentzelopoulou και την Επιτροπή Υποτροφιών.

Για τις οικονομικές προσφορές των τιμών των υλικών, των εργασιών και την παροχή τεχνογνωσίας ευχαριστώ τους κάτωθι:

- Sika® Hellas
- Πανουργιάς Constructions
- Μεταλλικές Κατασκευές Μόσχος
- Σιδηρεμπορική Διαμαντόπουλος
- Αγγελόπουλος Άγγελος Οικοδομικές Εργασίες

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]-“Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ.) 2013”, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2015.
- [2]-“Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος Μέρος Γ”, Μιχαήλ Ν. Φαρδής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2016.
- [3]-<https://grc.sika.com/> (Φυλλάδια Ιδιοτήτων Προϊόντων)
- [4]-<https://eclass.upatras.gr/courses/ARCH148/>, Ιστοσελίδα μαθήματος: “Ενισχύσεις και Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος”, Στέφανος Δρίτσος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών
- [5]-“Ενισχύσεις - Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος”, Στέφανος Δρίτσος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2014

