

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ μφ, μθ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 ΚΑΙ 2017, ΓΙΑ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟ ΜΕ FRP ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ

ΣΤΑΜΑΤΙΝΑ ΒΙΝΙΕΡΑΤΟΥ

Προπτυχιακή φοιτήτρια ΠΠ, matina_vinieratou@hotmail.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θέμα της συγκεκριμένης εργασίας είναι ο υπολογισμός και σύγκριση των δεικτών πλαστιμότητας μφ και μθ σύμφωνα με σχέσεις από τους επεμβατικούς κανονισμούς ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 και 2017, για περισφιγμένο με FRP υποστήλωμα υφιστάμενου κτιρίου. Σκοπός της εργασίας είναι ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων και τελικά η προσπάθεια εύρεση μιας βελτιωμένης σχέσης που συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πλαστιμότητα είναι μια πολύ σημαντική ικανότητα για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών, κάτι που προκύπτει τόσο από τον Ευρωκώδικα, όσο και από τους Ελληνικούς κανονισμούς. Τα περισσότερα παλαιά υφιστάμενα κτίρια είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με παλαιούς αντισεισμικούς κανονισμούς, ή ακόμα και απουσία κανονισμού, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν αδυναμίες όσον αφορά στην απόκρισή τους σε σεισμικά φορτία σε σχέση με τα σημερινά κτίρια. Η έλλειψη πλαστιμότητας σε μέλη υφιστάμενων κατασκευών είναι μία από τις σημαντικότερες αδυναμίες που παρουσιάζουν. Πλαστιμότητα ενός μέλους είναι η ικανότητά του να παραμορφώνεται πέραν του ορίου διαρροής του, να λαμβάνει δηλαδή μεγάλες σχετικά παραμορφώσεις, χωρίς σημαντική μείωση της αντοχής του.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να επιτευχθεί αύξηση πλαστιμότητας σε ραβδόμορφα δομικά μέλη, όπως δοκούς και υποστηλώματα, σημαντικότεροι από τους οποίους είναι η εφαρμογή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα και επιβολή εξωτερικής περίσφιξης. Η επιβολή εξωτερικής περίσφιξης μπορεί να γίνει με προσθήκη επικολλητών κολλάρων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή, με χρήση προεντεταμένων κολλάρων, με χρήση σπειροειδούς οπλισμού, με προσθήκη ολόσωμου μανδύα από φύλλα χαλύβδινων ελασμάτων ή από ινοπλισμένα υφάσματα επικολλημένα επί των πλευρών του στοιχείου, με χρήση χαλύβδινου κλωβού (§ 8.2.3 ΚΑΝ.ΕΠΕ).

2.ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ FRP

Μία από τις πιο σύγχρονες και διαδεδομένες τεχνικές αύξησης τοπικής πλαστιμότητας μέλους είναι η ενίσχυση με FRP (Fiber Reinforced Polymeres). Τα σύνθετα υλικά προέρχονται από συνδυασμό ινών γυαλιού, άνθρακα και αραμιδίου, σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης. Οι ίνες αποτελούν το φορέα ανάληψης εφελκυστικών δυνάμεων παράλληλα στη διεύθυνση τους, ενώ η μήτρα αποτελεί τη συγκολλητική

ουσία μεταξύ των ινών και εξασφαλίζει τη μεταφορά δυνάμεων σε αυτές. Ανάλογα με τον τύπων των ινών από τις οποίες είναι κατασκευασμένα, τα FRPs χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: GFRP (ίνες γυαλιού), CFRP (ίνες άνθρακα), AFRP (ίνες αραμιδίου). Η ενίσχυση με FRP μπορεί να εφαρμοσθεί είτε με τη μορφή συνεχών υφασμάτων (sheets), είτε με τη μορφή λωρίδων με ορισμένο κενό ανάμεσά τους (strips).



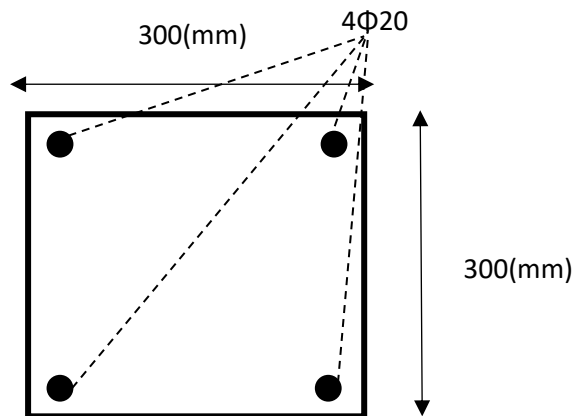
Εικόνα 1: Συνεχή υφάσματα (Sheets) από FRP



Εικόνα 2: Λωρίδες (Strips) από FRP

3.ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η παρούσα εργασία μελετά τη σχέση των δεικτών πλαστιμότητας μ_f και μ_θ , που εκφράζουν την πλαστιμότητα σε επίπεδο διατομής και μέλους αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας σχέσεις από τους επεμβατικούς κανονισμούς ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 και ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017. Για την μελέτη αυτή θεωρείται διατομή υποστηλώματος πλαισιακού κτιρίου κατασκευασμένου πριν από το 1985, για το οποίο ισχύουν τα εξής:



Σχήμα 1: Διατομή υποστηλώματος

- $b = h = 300$ (mm)
- Καθαρό ύψος $H=2.70$ (m)
- Στατικό ύψος διατομής $d_1 = d_2=40$ (mm)
- Οπλισμός: 4 $\Phi 20$ γωνιακοί ράβδοι
- Επικάλυψη $c = 25$ (mm)
- Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ): Υψηλή
- Υλικά:

Σκυρόδεμα

- Μέση τιμή αντοχής $f_{cm} = 17$ (MPa)
- Μέτρο ελαστικότητας $E_c = 26$ (GPa)

Χάλυβας

- Όριο διαρροής $f_{ym} = 450$ (MPa)
- Μέτρο ελαστικότητας $E_s = 200$ (GPa)

3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013-2017 ΓΙΑ ΑΠΕΡΙΣΦΙΚΤΟ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ

1. Καμπυλότητα διαρροής

Για τον υπολογισμό της καμπυλότητας κατά τη διαρροή ο ΚΑΝ.ΕΠΕ χρησιμοποιεί δυο περιπτώσεις, κατά τις οποίες ακολουθείται η ίδια διαδικασία [Βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013-2017_ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7Α (7-41,42)]

- Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού:

$$\varphi_y = \frac{f_y}{E_S(1-\xi_y)d} \quad (A.1)$$

$$\xi_y = (\alpha^2 A^2 + 2\alpha B)^{1/2} - \alpha A \quad (A.3)$$

το ύψος της θλιβόμενης ζώνης, ανηγμένο στο στατικό υψος d

$$\alpha = \frac{E_S}{E_C}$$

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + \frac{N}{bdf_y}$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0,5 \rho_v (1 + \delta') + \frac{N}{bdf_y} \quad (A.4)$$

- Αν η διαρροή διατομής οφείλεται σε μη-γραμμικότητα των παραμορφώσεων του θλιβόμενου σκυροδέματος:

$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1,8f_c}{E_C \xi_y d} \quad (A.2)$$

$$A = \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{1,8abdf_c}$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0,5 \rho_v (1 + \delta') \quad (A.5)$$

Όπου:

ρ, ρ', ρ_v : τα ποσοστά του εφελκόμενου, του θλιβόμενου και του μεταξύ τους κατανεμημένου οπλισμού (ανηγμένα στο bd)

$$\delta' = d'/d$$

d' : η απόσταση από το κέντρο του θλιβόμενου οπλισμού μέχρι την ακραία θλιβόμενη ίνα σκυροδέματος

b : το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης
 N : το αξονικό φορτίο (θετικό σε θλίψη)

2. Καμπυλότητα κατά την αστοχία

Ο αναλυτικός υπολογισμός του ϕ (καμπυλότητα κατά την αστοχία) βρίσκεται στο παράρτημα 7Ε (7-62,66) του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017. Λόγω της περιπλοκότητας του υπολογισμού αυτού, σε αυτή την εργασία ο υπολογισμός του έγινε με την εισαγωγή κατάλληλων σχέσεων στο πρόγραμμα ΒΙΑΧ.

3. Γωνία στροφής χορδής κατά τη διαρροή

Η γωνία στροφής κατά τη διαρροή βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013, 2017_7.2.2 (7-11) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0.0014 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_y}{8\sqrt{f_c}} \quad (\Sigma.2)$$

Όπου:

L_s : η απόσταση της ακραίας διατομής από το σημείο μηδενισμού των ροπών

z : ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων

ο συντελεστής $a_v = 1$ όταν η τέμνουσα που προκαλεί λοξή ρηγμάτωση του στοιχείου, υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά την αστοχία

ρ_L : το ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού

ο συντελεστής a_v ισούται με 1 εάν η τέμνουσα, VRI , που προκαλεί λοξή ρηγμάτωση του στοιχείου, υπολείπεται της τιμής της τέμνουσας κατά την καμπτική διαρροή $VMu = My/Lv$, και με 0 εάν είναι μεγαλύτερη. Για την εργασία αυτή, θεωρείται, χάριν πληρότητας $a_v=1$

4. Γωνία στροφής χορδής κατά την αστοχία

Βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 2017_7.2.4 (7-16)

$$\theta_{um} = 0.0016 * (0.3^v) \left[\frac{\max(0.01, \omega')}{\max(0.01, \omega - \omega')} f_c \right]^{0.225} (\alpha_s)^{0.35} 25^{(\alpha_s * f_y w / f_c)} (1.25^{100pd})$$

(Σ.8α) ή (Σ.11α)

$\alpha_s = M/Vh$, ο λόγος διάτμησης

ω, ω' : ολικό μηχανικό ποσοστό οπλισμού και θλιβόμενου οπλισμού αντίστοιχα

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

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

ρ_d : γεωμετρικό ποσοστό τυχόν διασδιαγώνιου οπλισμού

α : συντελεστής αποδοτικότητας περίσφιξης

f_{yw} : η τάση διαρροής των συνδετήρων

3.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Η αριθμητική εφαρμογή θα γίνει για διατμητικό οπλισμό Φ8/110 και ανηγμένη αξονική θλιπτική δύναμη $\nu=0.2$.

1. Υπολογισμός ϕ_y

Ισχύει ότι:

$$\nu = N/bhfc \text{ άρα } N=\nu bhfc \Leftrightarrow N= 0.2 * 0.3 * 0.3 * 17000 = 306 \text{ KN}$$

$$\alpha = E_s/E_c = 200/26 = 7.69$$

- Έστω ότι η διαρροή οφείλεται σε διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού

$$A = \rho + \rho' + \rho_v + \frac{N}{bdf_y} = 0,008 + 0,008 + 0,00872 = 0,0247$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0,5 \rho_v (1 + \delta') + \frac{N}{bdf_y} = 0,008 + 0,008 * 40/260 + 0,00872 = 0,0179$$

*Το ρ_v είναι ίσο με 0 αφού δεν υπάρχει οπλισμός ενδιάμεσα του θλιβόμενου και του εφελκόμενου.

$$\xi_y = (\alpha^2 A^2 + 2\alpha B)^{1/2} - \alpha A = (7,69^2 * 0,0247^2 + 2 * 7,69 * 0,0179)^{1/2} - 7,69 * 0,0247 = 0,367957$$

$$\phi_y = \frac{f_y}{E_s(1-\xi_y)d} = 450 / [200000 * (1-0,368) * 0,26] = 0,01369$$

- Έστω ότι η διαρροή διατομής οφείλεται σε μη-γραμμικότητα των παραμορφώσεων του θλιβόμενου σκυροδέματος

$$A = \rho + \rho' + \rho_v - \frac{N}{1,8\alpha bdf_c} = 0,008 + 0,008 - 306 / (1,8 * 7,69 * 0,3 * 0,26 * 17000) = -0,00067$$

$$B = \rho + \rho' \delta' + 0,5 \rho_v (1 + \delta') = 0,008 + 0,008 * 40/260 = 0,00923$$

$$\xi_y = 0,38$$

$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_c}{\xi_y d} \approx \frac{1.8 f_c}{E_c \xi_y d} = 0,0119$$

Οπότε τελικά $\varphi_y = \max [0.0119, 0.01369] = 0.0136$

Με δεδομένη καμπυλότητα στη διαρροή υπολογίζεται η ροπή διαρροής ως εξής (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 2017, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7^A, εξίσωση (Α.6))

$$\frac{M_y}{bd^3} = \varphi_y \left\{ E_c \frac{\xi_y^2}{2} \left(0.5(1 + \delta') - \frac{\xi_y}{3} \right) + \left[(1 - \xi_y)\rho + (\xi_y - \delta')\rho' + \frac{\rho_v}{6}(1 - \delta') \right] \right.$$

$$\left. (1 - \delta') \frac{E_s}{2} \right\} \quad (A.6)$$

$$M_y = 165.7851 \text{ KNm}$$

2. Υπολογισμός φ_u

Ο υπολογισμός της καμπυλότητας κατά την αστοχία γίνεται μέσω ενός διαγράμματος ροής στο Παράρτημα 7Ε του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017. Σε αυτή την εργασία, έγινε χρήση του προγράμματος BIAx για τον υπολογισμό του. Το αποτέλεσμα για $\nu = 0,2$ και ποσοστό περίσφιξης $\omega_w = 0.168$ ($\Phi 8 / 110$) είναι $\varphi_u = 0,047612$.

3. Υπολογισμός θ_y

Για τον υπολογισμό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα εξής μεγεθη:

- $L_s = 1.35\text{m}$
- $z = 0.9 * d = 0.234$

- $a_v = 0$ γιατί $V_{R,C} > V_{Mu} = M_y / L_s$. Το $V_{R,C}$ δίνεται από τη σχέση (Σ.3) (ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013, 2017_7.2.2(7-11))
- $\rho_L = 0.008$

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_s + a_v z}{3} + 0.0014 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\varphi_y d_b f_y}{8 \sqrt{f_c}} = 0.049308$$

4. Υπολογισμός θ_u

- $M_y = 153.204$
- $V = 130.88$
- $a_s = 0.3511$
- $\omega = 0.42$
- $\omega' = 0.21$
- $p_s = A_{sw}/b*s = 0.00303$
- $f_{yw} = 450$

$$\theta_{um} = 0.0016 * (0.3^v) \left[\frac{\max(0.01, \omega')}{\max(0.01, \omega - \omega')} f_c \right]^{0.225} (\alpha_s)^{0.35} 25^{(a_p s * f_{yw} / f_c)} (1.25^{100 p d})$$

$$= 0.120198$$

Επομένως οι δείκτες πλαστιμότητας μ_ϕ και μ_θ είναι :

$$\mu_\phi = \phi_u / \phi_y = 4$$

$$\mu_\theta = \theta_u / \theta_y = 2.437$$

Ο υπολογισμός των δεικτών αυτών με σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ έγινε για διαφορετικές τιμές ανηγμένου αξονικού φορτίου με χρήση του προγράμματος Excel, και παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες.

v	N	ΔΙΑΡΡΟΗ ΕΦΕΛΚ. ΟΠΛΙΣΜΟΥ				ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΘΛΙΒ. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ			
		A	B	ξ_y	ϕ_y	A	B	ξ_y	ϕ_y
0,1	153	0,020359	0,013559	0,326223	0,012844	0,007667	0,0092	0,321836	0,014065
0,2	306	0,024718	0,017918	0,368264	0,013699	-0,00067	0,0092	0,381379	0,011869
0,3	459	0,029077	0,022277	0,403029	0,014496	-0,009	0,0092	0,451764	0,01002
0,4	612	0,033436	0,026636	0,432681	0,015254	-0,01733	0,0092	0,532478	0,008501
0,5	765	0,037795	0,030995	0,458515	0,015982	-0,02567	0,0092	0,622312	0,007274
0,6	918	0,042154	0,035354	0,481376	0,016686	-0,034	0,0092	0,719731	0,006289
0,7	1071	0,046513	0,039713	0,501849	0,017372	-0,04233	0,0092	0,823216	0,005499
0,8	1224	0,050872	0,044072	0,520358	0,018042	-0,05067	0,0092	0,931443	0,00486
0,9	1377	0,055231	0,048431	0,537223	0,0187	-0,059	0,0092	1,04335	0,004339

Πίνακας 1: Υπολογισμός καμπυλότητας κατά τη διαρροή (ϕ_y)

v	$\phi\gamma$	$\phi\upsilon$ (biax)	$\mu\phi$
0,1	0,012844	0,061698	4,8037
0,2	0,011869	0,047612	4,011399
0,3	0,01002	0,035416	3,534535
0,4	0,008501	0,027031	3,179743
0,5	0,007274	0,022819	3,137138
0,6	0,006289	0,020619	3,278379
0,7	0,005499	0,018653	3,392284
0,8	0,00486	0,016911	3,479773
0,9	0,004339	0,015371	3,542773

Πίνακας 2 : Υπολογισμός $\mu\phi$

v	av	Vmu	M γ	V	$\theta\gamma$	as	$\theta\upsilon$	$\mu\theta$
0,1	1	122,8037	165,7851	110,9908	0,054206	0,448105	0,147651	2,723881
0,2	0	113,4844	153,204	130,8808	0,049308	0,351168	0,120198	2,437672
0,3	0	95,80363	129,3349	150,7708	0,041917	0,257347	0,095579	2,280182
0,4	0	81,28151	109,73	170,6608	0,035846	0,192891	0,076604	2,137016
0,5	0	69,5481	93,88993	190,5508	0,030941	0,147819	0,061874	1,999739
0,6	0	60,13436	81,18139	210,4408	0,027006	0,11573	0,050353	1,86452
0,7	0	52,57503	70,97629	230,3308	0,023845	0,092445	0,041265	1,730532
0,8	0	46,46616	62,72932	250,2208	0,021292	0,075209	0,034036	1,598537
0,9	0	41,48233	56,00115	270,1108	0,019208	0,062198	0,028234	1,469893

Πίνακας 3: Υπολογισμός $\mu\theta$

4. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ FRP

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ δίνει ορισμένους προσεγγιστικούς τύπους για τον υπολογισμό των δεικτών πλαστιμότητας $\mu\phi$ και $\mu\theta$. Θα γίνει προσπάθεια προσδιορισμού ακριβέστερων τιμών μέσω του προγράμματος BIAX, και στη συνέχεια, βάσει των αποτελεσμάτων, θα γίνει πρόταση μίας καλύτερης σχέσης των δύο αυτών δεικτών.

Ωστόσο, το πρόγραμμα BIAX, χρησιμοποιεί σχέσεις κατά τον ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 και δεν έχει σαν επιλογή περίσφιξη με FRP. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνει κατάλληλη προσαρμογή του. Αρχικά λοιπόν, θα πρέπει να γίνει ο προσδιορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών της ενισχυμένης διατομής, δηλαδή της αντοχής f_{cc} και της παραμόρφωσης αστοχίας $\epsilon_{cu,c}$.

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή θα θεωρηθεί ότι το ανηγμένο αξονικό φορτίο $v = 0.2$, το t_j (πάχος στρώσης) θα είναι 0,0186 mm και θα εφαρμοσθεί 1 στρώση ολόσωμου μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή CFRP (από ίνες άνθρακα). Θα γίνει εφαρμογή και 2 και 3 στρώσεων επιπλέον, αλλά όχι αναλυτικά. Θα αγνοηθούν πλήρως οι υφιστάμενοι συνδετήρες.

Χαρακτηριστικά του υλικού τοποθέτησης

- μέτρο ελαστικότητας $E = 235 \text{ GPa}$
- αντοχή $f_u = 3800 \text{ MPa}$
- παραμόρφωση αστοχίας $\epsilon_{ju} = 1.5\%$
- οι γωνίες στρογγυλοποιούνται πριν την τοποθέτηση με μήκη στρογγύλευσης $b_p = d_p = 50 \text{ mm}$

4.1 Μηχανικά χαρακτηριστικά ενισχυμένης διατομής

Οι υπολογισμοί θα γίνουν για μία στρώση πάχους $t_j = 0.086 \text{ mm}$.

- $A_c = b_c \cdot d_c = 0.3 \cdot 0.3 = 0.09$
- $\beta = 2 \cdot b_p / b_c = 0,33$
- $\gamma = 2 \cdot d_p / d_c = 0,33$
- $\alpha_s = 1$ γιατί πρόκειται για συνεχή φυλλά
- $\alpha_n = 1 - (1/3 \cdot A_c) \cdot [b_c^2 (1-\beta)^2 + d_c^2 (1-\gamma)^2] = 0,7$
- $\rho_f = 2t/bw = 0.000573$
- $f_j \cdot u = f_{ju} \cdot \psi = 3800$, το ψ (συντελεστής επιρροής του πλήθους των στρώσεων) είναι ίσο με 1 όταν $k < 4$, όπου k το πλήθος των στρώσεων, και $k^{-1/4}$ για $k > 4$.

$$f_{cc} = (1.125 + 1.25\alpha\omega_{wd}) f_c = 22.94$$

[KAN.ΕΠΕ 2013 _ 6.2.3 (6-27)]

$$f_{cc} = (1 + 3,5\alpha \cdot 2 \cdot \rho_f \cdot f_{ju} / f_c) \cdot f_c = 26.75$$

[KAN.ΕΠΕ 2017 _ 6.2.3 (6-29)]

$$\epsilon_{cu,c} = \gamma_{10\pi} 0,0035 \left(\frac{f_{cc}}{f_c}\right)^2$$

[KAN.ΕΠΕ 2013, 2017_ 8.2.3 (8-36)]

Κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013: $\epsilon_{cu,c} = 0,0063719$

Κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017: $\epsilon_{cu,c} = 0,008668$

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι υπολογισμοί που έγιναν για 1, 3, 5, 7 στρώσεις μανδύα με τη βοήθεια του προγράμματος Excel.

ΣΤΡΩΣΕΙΣ	tj(m)	ψ	ρ_{fx}	ρ_f	ω_{wd}	α	$\alpha*\omega_{wd}$	f'ju	Λ
1	0,086	1	0,000573	0,001147	0,256314	0,7	0,17942	3800	0,08971
3	0,258	1	0,00172	0,00344	0,768941	0,7	0,538259	3800	0,269129
5	0,43	0,66874	0,002867	0,005733	0,857037	0,7	0,599926	2541,213	0,299963
7	0,602	0,614788	0,004013	0,008027	1,10305	0,7	0,772135	2336,195	0,386068

ΣΤΡΩΣΕΙΣ	fcc (2013)	$\epsilon_{cu,c}$ (2013)	fcc(2017)	ϵ_{cu} (2017)
1	22,93767	0,006372	26,75319	0,008668
3	30,563	0,011313	39,23248	0,018641
5	31,87342	0,012303	41,11668	0,020474
7	35,53288	0,015291	46,14168	0,025784

Πίνακας 4: Υπολογισμός των fcc και ϵ_{cu} με σχέσεις των ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 και 2017

4.2 Υπολογισμός του δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων από ΒΙΑΧ

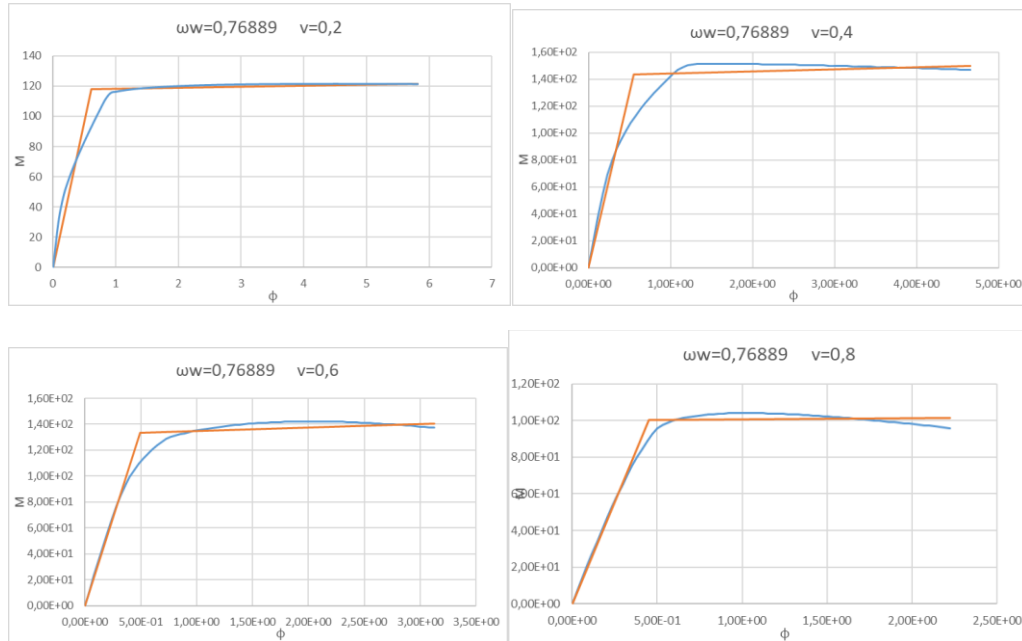
Το πρόγραμμα ανάλυσης διατομής ΒΙΑΧ δεν έχει επιλογή για ενίσχυση με FRP και οι σχέσεις που χρησιμοποιεί, είναι οι αναλυτικές σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 για τον υπολογισμό των ϕ_y , ϕ_u από τους οποίους προκύπτουν ο δείκτης πλαστιμότητας καμπυλοτήτων:

$$\mu\phi = \phi_u / \phi_y$$

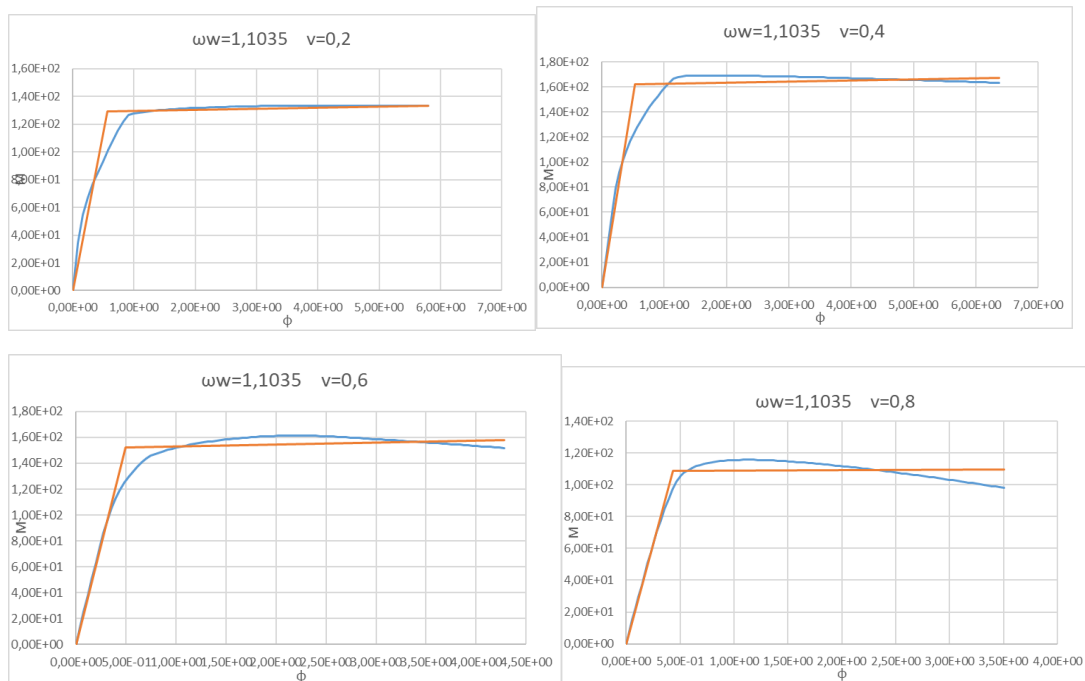
Για την προσαρμογή του προγράμματος η διατομή θα επιλυθεί ως απερίσφικτη (θα αγνοηθεί η ύπαρξη συνδετήρων), με χαρακτηριστικά μεγέθη f_c και ϵ_{cu} αυτά που προέκυψαν για την ενισχυμένη με FRP διατομή, δηλαδή fcc και $\epsilon_{cu,c}$. Η ανάλυση έγινε για 1, 3, 5, 7 στρώσεις, και για ανηγμένα αξονικά φορτία $\nu = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$.

Ο τρόπος υπολογισμού των καμπυλοτήτων κατά τη διαρροή και την αστοχία γίνεται ως εξής: Αφού το ΒΙΑΧ προσαρμοστεί κατάλληλα όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, δίνει ορισμένες τιμές για τη ροπή (M) και καμπυλότητα (ϕ). Από το διάγραμμα M- ϕ και μέσω διγραμμικοποίησης της καμπύλης με ελαστοπλαστικό νόμο και κανόνα ίσων εμβαδών με το πρόσθετο του Excel, Bilin, προκύπτουν οι τιμές της καμπυλότητας στην διαρροή και στην αστοχία.

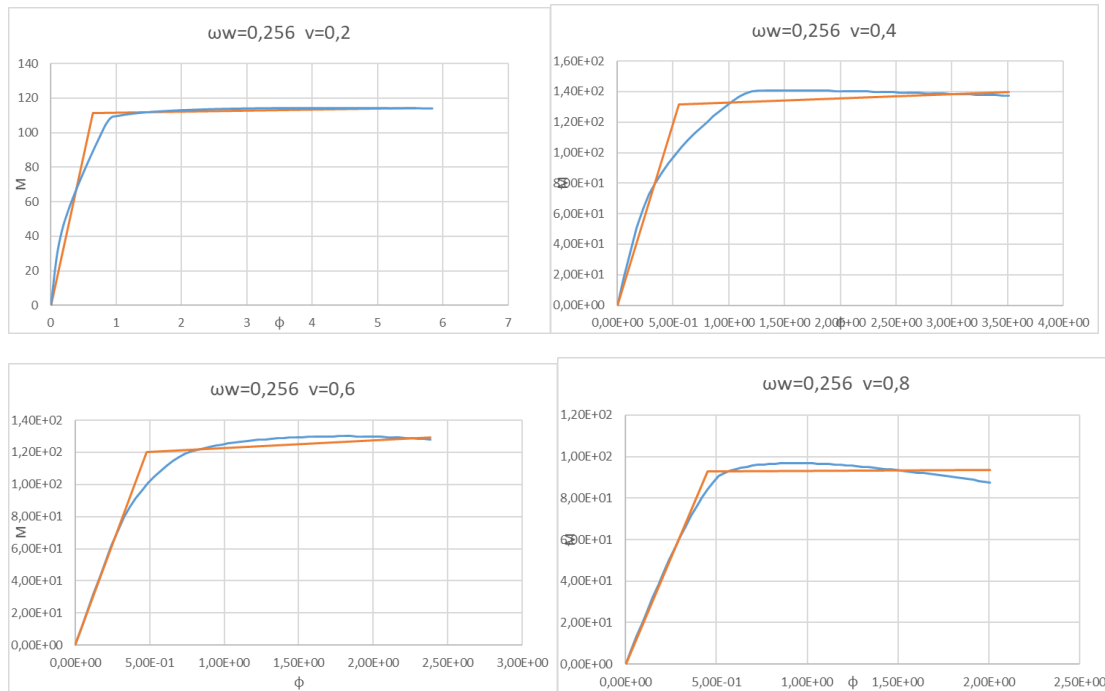
Ακολουθούν κάποια παραδείγματα διγραμμικοποίησης.



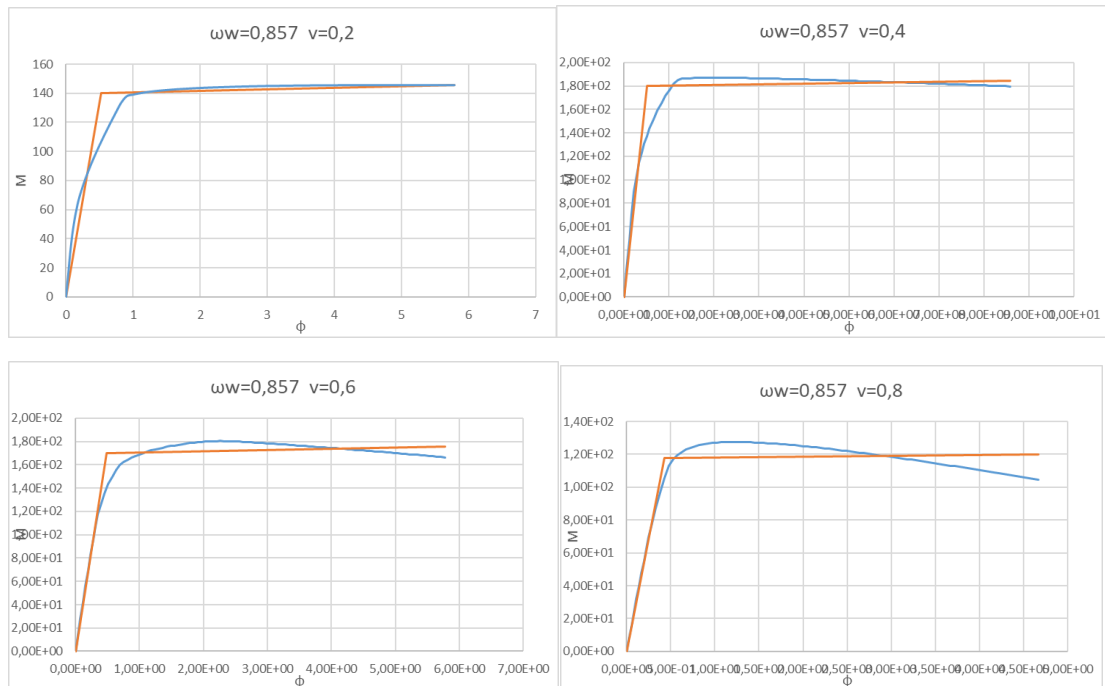
Διάγραμμα 1-4 : Η διγραμμικοποίηση που έγινε στην καμπύλη M-φ για τα δεδομένα 3 στρώσεων και v=0,2-0,8 με σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013



Διάγραμμα 5-8 : Η διγραμμικοποίηση που έγινε στην καμπύλη M-φ για τα δεδομένα 7 στρώσεων και v=0,2-0,8 με σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013



Διάγραμματα 9-12 : Η διγραμμικοποίηση που έγινε στην καμπύλη M-φ για τα δεδομένα 1 στρώσης και ν=0,2-0,8 με σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017



Διάγραμματα 13-16 : Η διγραμμικοποίηση που έγινε στην καμπύλη M-φ για τα δεδομένα 5 στρώσεων και ν=0,2-0,8 με σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το ΒΙΑΧ για τις καμπυλότητες διαρροής (ϕ_y), αστοχίας (ϕ_u) και δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων (μ_ϕ) βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 και 2017 παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες:

2013				2017			
v	ϕ_u	ϕ_y	μ_ϕ	v	ϕ_u	ϕ_y	μ_ϕ
0,2	5,77785	0,661593	8,733239	0,2	5,58729	0,638897	8,745212
0,4	2,95295	0,558326	5,288935	0,4	3,51523	0,555746	6,325246
0,6	2,04317	0,474728	4,303875	0,6	2,38634	0,481238	4,958752
0,8	1,70935	0,451948	3,782183	0,8	2,0066	0,449371	4,465353
0,2	5,8165	0,609193	9,547877	0,2	5,79061	0,534638	10,8309
0,4	4,65725	0,548873	8,485114	0,4	7,80053	0,514831	15,15163
0,6	3,12667	0,491991	6,355137	0,6	5,24799	0,489996	10,71027
0,8	2,22462	0,451099	4,931556	0,8	4,25652	0,430277	9,892511
0,2	5,81051	0,591995	9,815134	0,2	5,78727	0,520861	11,11097
0,4	5,08443	0,540213	9,411899	0,4	8,58004	0,507598	16,90322
0,6	3,41414	0,491913	6,940536	0,6	5,77639	0,488142	11,83342
0,8	2,83172	0,441754	6,410174	0,8	4,6647	0,426962	10,92533
0,2	5,79856	0,560235	10,35023	0,2	5,78056	0,49094	11,77447
0,4	6,36835	0,526425	12,09735	0,4	8,484	0,493988	17,17451
0,6	4,27971	0,492175	8,695505	0,6	7,30192	0,483831	15,09188
0,8	3,50475	0,435462	8,048349	0,8	5,84483	0,41983	13,9219

Πίνακες 5-6 : Αποτελέσματα από διγραμμικοποίηση καμπύλης M-φ για καμπυλότητες αστοχίας, διαρροής και δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων για 1, 3, 5, 7 στρώσεις μανδύα, κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013-2017

4.3 Υπολογισμός δείκτη πλαστιμότητας σε όρους στροφής χορδής (μ_θ)

Ο υπολογισμός αυτός θα γίνει μέσω των κλειστών προσεγγιστικών σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Θεωρείται ότι τα κατακόρυφα στοιχεία του δομήματος έχουν επαρκή αντοχή ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός πλαστικού μηχανισμού ορόφου, επομένως ισχύει ότι: $\mu_\delta = \mu_\theta$ [ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013_2017_7.2.6.2 (7-26)]

όπου μ_δ : δείκτης πλαστιμότητας συνολικών μεταθέσεων του δομήματος

Σύμφωνα με την παράγραφο 8.2.3 των ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013,2017:

$$(\mu_\phi - 1) : (\mu_\delta - 1) = 2$$

$$\text{Όπου} \quad \mu_{\varphi} = \frac{\varepsilon_{cu,c}}{2.2\nu\varepsilon_{sy}} \quad (\Sigma 8.11)$$

ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 _ 8.2.3 (8-35)

$$\mu_{\varphi} = \frac{f_{cc}}{f_c} \frac{\varepsilon_{cu,c}}{2.6\nu\varepsilon_{sy}} \quad (\Sigma 8.11\beta)$$

ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017 _ 8.2.3 (8-35)

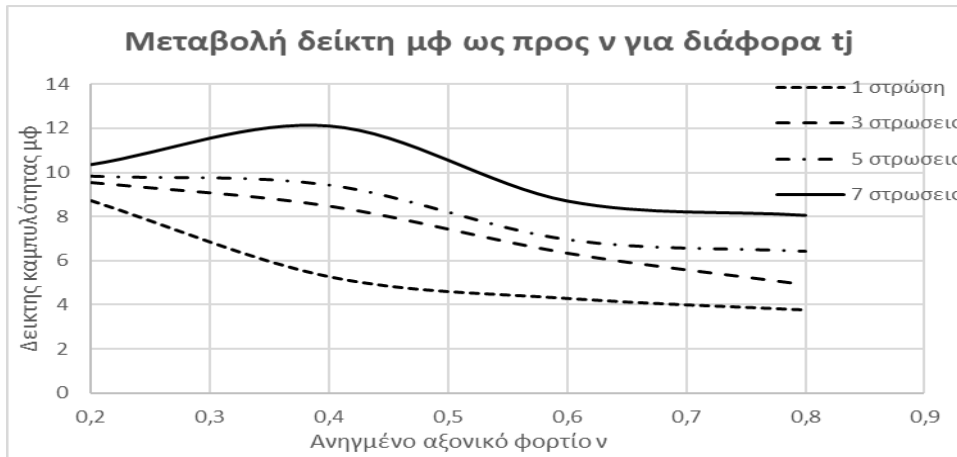
- ε_{sy} : η παραμόρφωση διαρροής του διαμήκους οπλισμού του στοιχείου
- $\varepsilon_{cu,c}$: η παραμόρφωση του περισφιγμένου σκυροδέματος
- ν : η ανηγμένη αξονική θλιπτική δύναμη
- f_{cc} , f_c : οι μέσες τιμές αντοχής του απερίσφικτου και του περισφιγμένου σκυροδέματος αντίστοιχα

Βάσει αυτών των τύπων έγιναν οι υπολογισμοί για το μ_{θ} για 1, 3, 5, 7 στρώσεις μανδύα από FRP και για ανηγμένα αξονικά φορτία $\nu= 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ με τη βοήθεια του προγράμματος Excel. Παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

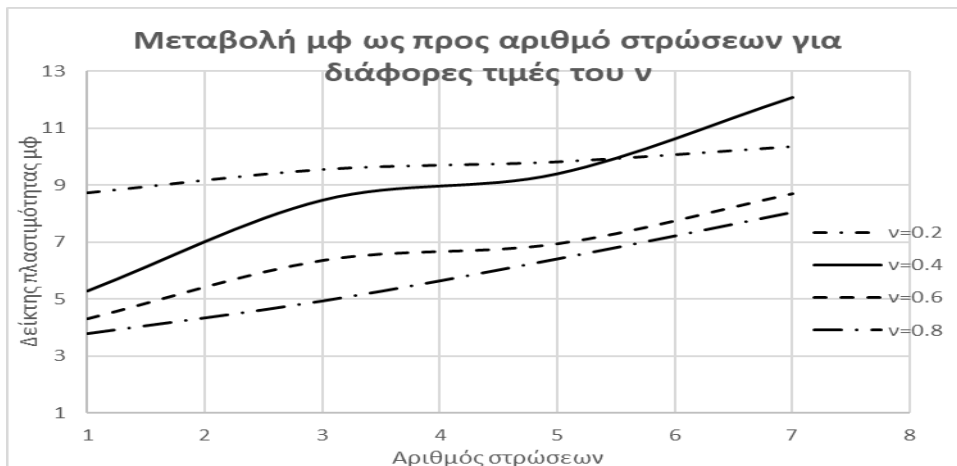
v	ΣΤΡΩΣΕΙΣ	ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013			ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017		
		f _{cc}	ε _{cu,c}	μ _θ	f _{cc}	ε _{cu,c}	μ _θ
0,2	1	22,93767	0,006372	2,812086	26,75319	0,008668	4,55301
0,4		22,93767	0,006372	1,739376	26,75319	0,008668	2,609838
0,6		22,93767	0,006372	1,381807	26,75319	0,008668	1,962114
0,8		22,93767	0,006372	1,203022	26,75319	0,008668	1,638252
0,2	3	30,563	0,011313	4,475621	39,23248	0,018641	12,92274
0,4		30,563	0,011313	2,571144	39,23248	0,018641	6,794703
0,6		30,563	0,011313	1,936318	39,23248	0,018641	4,752024
0,8		30,563	0,011313	1,618905	39,23248	0,018641	3,730685
0,2	5	31,87342	0,012303	4,809248	41,11668	0,020474	14,77476
0,4		31,87342	0,012303	2,737957	41,11668	0,020474	7,720713
0,6		31,87342	0,012303	2,047527	41,11668	0,020474	5,369364
0,8		31,87342	0,012303	1,702312	41,11668	0,020474	4,19369
0,2	7	35,53288	0,015291	5,815093	46,14168	0,025784	20,60525
0,4		35,53288	0,015291	3,24088	46,14168	0,025784	10,63596
0,6		35,53288	0,015291	2,382809	46,14168	0,025784	7,312861
0,8		35,53288	0,015291	1,953773	46,14168	0,025784	5,651312

Πίνακας 7 : Υπολογισμός δείκτη πλαστιμότητας μ_{θ} κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013-2017

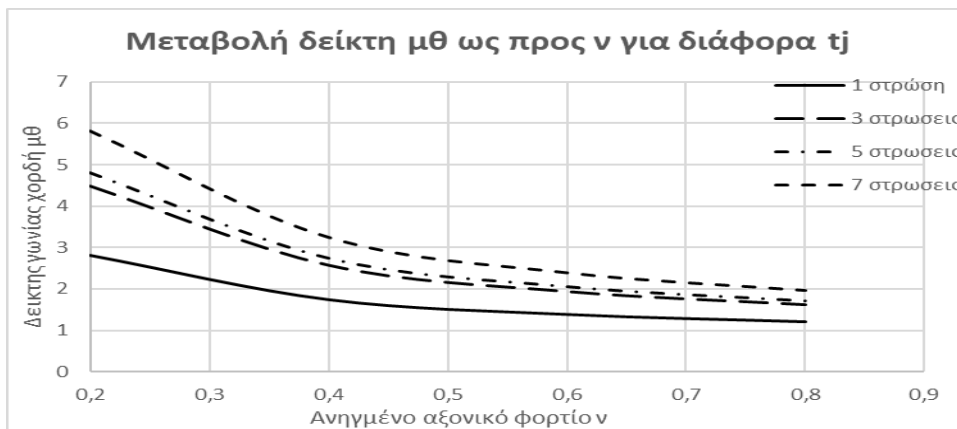
Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν τα παρακάτω διαγράμματα:



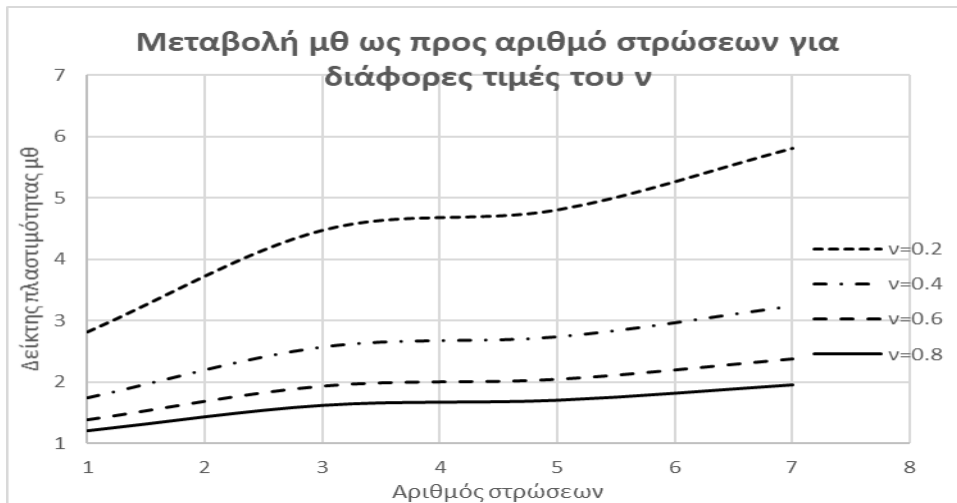
Διάγραμμα 17 : Μεταβολή δείκτη πλαστιμότητας $\mu\phi$ ως προς ανηγμένο αξονικό φορτίο για διάφορα πάχη μανδύα κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013



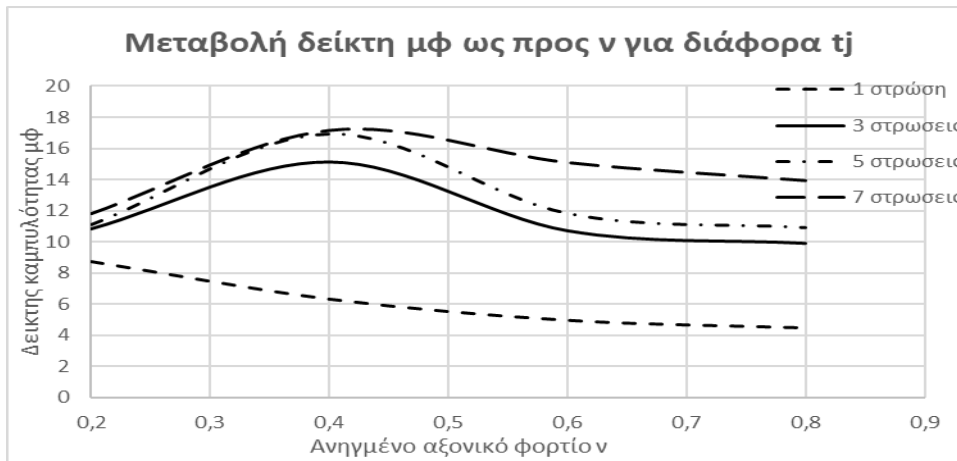
Διάγραμμα 18 : Μεταβολή δείκτη πλαστιμότητας $\mu\phi$ ως προς τον αριθμό στρώσεων του μανδύα για διάφορα ανηγμένα αξονικά φορτία κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013



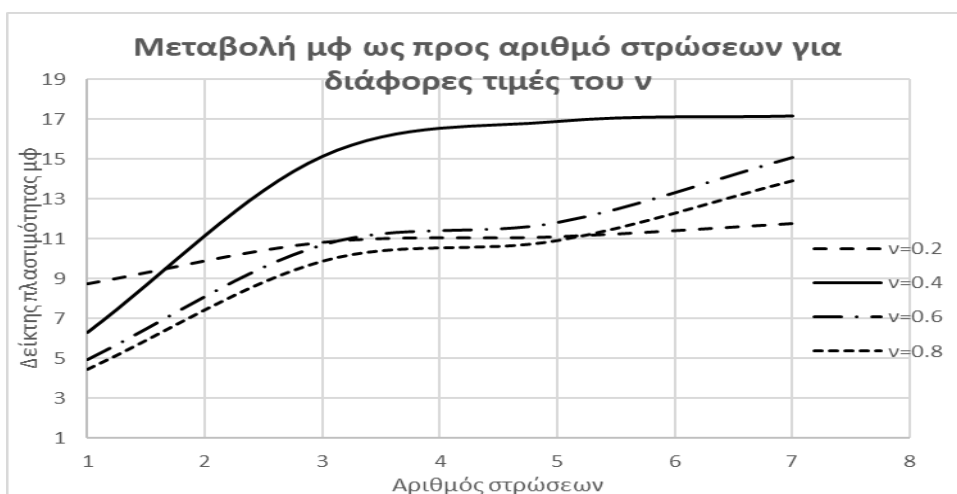
Διάγραμμα 19 : Μεταβολή δείκτη πλαστιμότητας $\mu\theta$ ως προς ανηγμένο αξονικό φορτίο για διάφορα πάχη μανδύα κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013



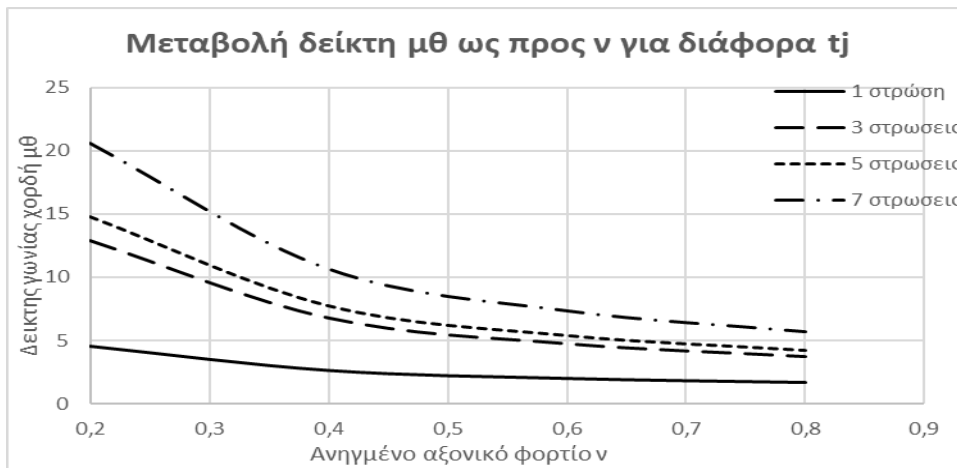
Διάγραμμα 20 : Μεταβολή δείκτη πλαστιμότητας $\mu\theta$ ως προς τον αριθμό στρώσεων του μανδύα για διάφορα ανηγμένα αξονικά φορτία κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013



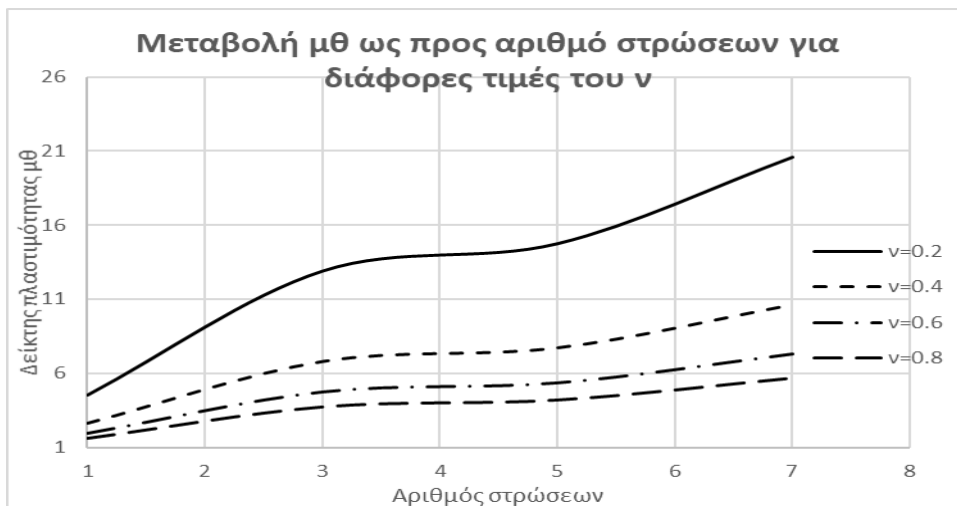
Διάγραμμα 21 : Μεταβολή δείκτη πλαστιμότητας $\mu\theta$ ως προς ανηγμένο αξονικό φορτίο για διάφορα πάχη μανδύα κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017



Διάγραμμα 22 : Μεταβολή δείκτη πλαστιμότητας $\mu\theta$ ως προς τον αριθμό στρώσεων του μανδύα για διάφορα ανηγμένα αξονικά φορτία κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017



Διάγραμμα 23 : Μεταβολή δείκτη πλαστιμότητας μθ ως προς ανηγμένο αξονικό φορτίο ν για διάφορα πάχη μανδύα κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017

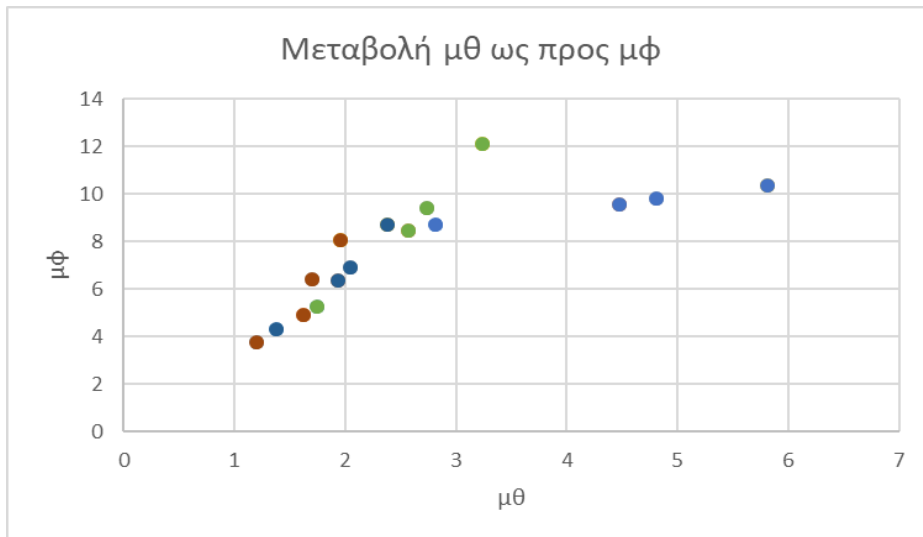


Διάγραμμα 24 : Μεταβολή δείκτη πλαστιμότητας μθ ως προς τον αριθμό στρώσεων του μανδύα για διάφορα ανηγμένα αξονικά φορτία κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017

Ο σχολιασμός των διαγραμμάτων γίνεται στα συμπεράσματα.

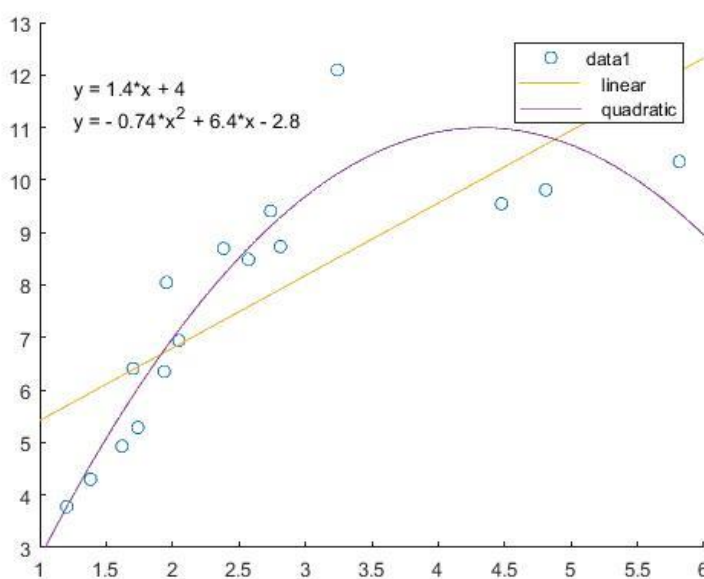
5.Πρόταση βελτιωμένης σχέσης που συνδέει τους δείκτες πλαστιμότητας $\mu\phi$ και $\mu\theta$

Για να γίνει η σύγκριση των δύο αυτών δεικτών, δημιουργείται ένα διάγραμμα στο οποίο φαίνεται η μεταβολή του ενός ως προς τον άλλο δείκτη με σταθερό αξονικό φορτίο ν και μεταβαλλόμενο πάχος μανδύα εκφρασμένο σε στρώσεις, και το αντίθετο.



Διάγραμμα 25 : Μεταβολή δείκτη πλαστιμότητας $\mu\theta$ ως προς $\mu\phi$ βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013

Δεν είναι εύκολο από το παραπάνω διάγραμμα να βγει συμπέρασμα για τη σχέση που συνδέει τα μεγέθη $\mu\phi$ και $\mu\theta$. Για το λόγο αυτό θα γίνει καλύτερη προσαρμογή καμπύλης στα σημεία αυτά χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα MATLAB.

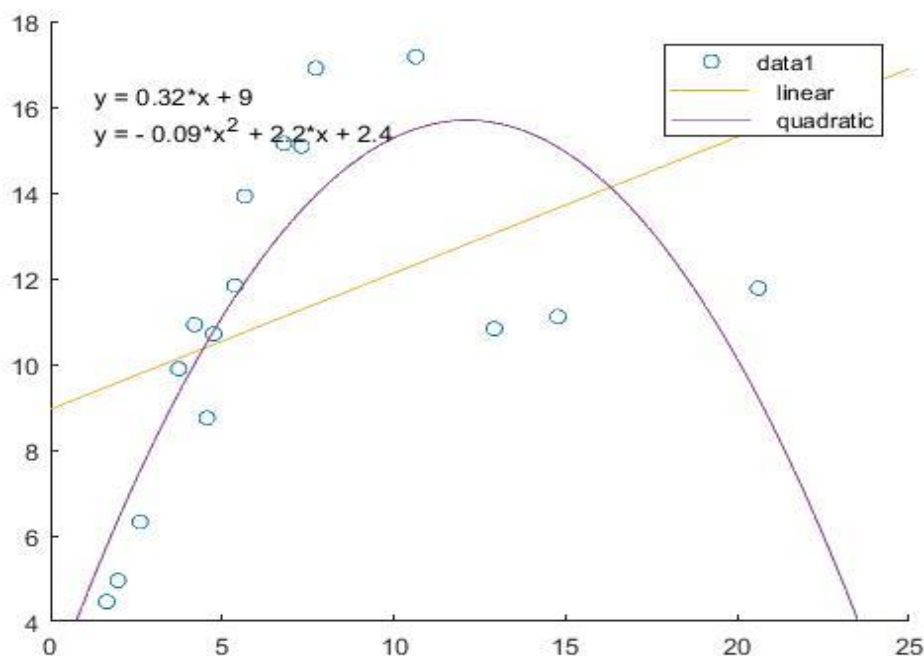


Βρέθηκε, λοιπόν, μία σχέση 1^{ου} και μία 2^{ου} βαθμού που συνδέει τους δείκτες πλαστιμότητας καμπυλοτήτων και τοπικών μετακινήσεων. Στο παραπάνω διάγραμμα στον άξονα x είναι οι τιμές των μ_θ , ενώ στον άξονα y οι τιμές των μ_φ . Επομένως οι τελικές σχέσεις που βρέθηκαν σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 είναι:

$$1^{\text{ου}} \text{ βαθμου: } \mu_\varphi = 1.4 * \mu_\theta + 4 \quad \text{Σχέση [1]}$$

$$2^{\text{ου}} \text{ βαθμού: } \mu_\varphi = -0.74\mu_\theta^2 + 6.4 \mu_\theta - 2.8 \quad \text{Σχέση [2]}$$

Ακριβώς η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για την εύρεση των αντίστοιχων σχέσεων χρησιμοποιώντας τις τιμές των δεικτών πλαστιμότητας που προέκυψαν από τις σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2017.



Εδώ, οι τελικές σχέσεις είναι:

$$1^{\text{ου}} \text{ βαθμού: } \mu_\varphi = 0.32\mu_\theta + 9 \quad \text{[Σχέση 3]}$$

$$2^{\text{ου}} \text{ βαθμού: } \mu_\varphi = -0,09\mu_\theta^2 + 2.2\mu_\theta + 2.4 \quad \text{[Σχέση 4]}$$

6.Συμπεράσματα

- Όσο αυξάνονται οι στρώσεις μανδύα, συνεπώς και το ποσοστό περίσφιξης, τόσο μεγαλώνει η διαφορά του μ_f που έχει υπολογιστεί με τη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013 με αυτό του 2017. [διαγράμματα 7-24]
- Το μ_f είναι ανάλογο του συνολικού πάχους μανδύα. Σύμφωνα με τη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013, παρουσιάζει μικρή αύξηση καθώς το ποσοστό περίσφιξης αυξάνεται, σε αντίθεση με το υπολογισμένο από τη σχέση του 2017 το οποίο παρουσιάζει μεγάλη αύξηση καθώς αυξάνονται οι στρώσεις υφάσματος.
- Ενώ το μ_f φαίνεται να μεταβάλλεται σημαντικά όταν αυξάνεται το ποσοστό περίσφιξης, το μ_θ δεν παρουσιάζει τόσο σημαντική μεταβολή.
- Σύμφωνα με τη σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ για την καμπυλότητα στη διαρροή (ϕ), το μέγεθος αυτό δεν εξαρτάται από το ποσοστό περίσφιξης, συνεπώς μένει αμετάβλητο καθώς το ποσοστό αυτό αυξάνεται. Αντιθέτως, στα αποτελέσματα του προγράμματος ΒΙΑΧ παρατηρείται μεταβολή. Αυτό πιθανόν οφείλεται στο ότι το πρόγραμμα θεωρεί ότι η καμπύλη M- ϕ μεταβάλλεται καθώς αλλάζει το ποσοστό περίσφιξης, συνεπώς αλλάζει και το σημείο διαρροής που προκύπτει από τη διαγραμματικοποίηση της.
- Η σχέση [1] έχει μεγαλύτερη κλίση από τη σχέση [3], αλλά μικρότερη κλίση από τη σχέση που προτείνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ ($\mu_f=3\mu_\theta-2$).
- Οι σχέσεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ επηρεάζονται σημαντικά από τη μεταβολή του αξονικού φορτίου.

6.Βιβλιογραφία

- [1] « ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013 , Κανονισμός Επεμβάσεων» ΟΑΣΠ
- [2] « ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2017 , Κανονισμός Επεμβάσεων» ΟΑΣΠ
- [3] Στέφανος. Η. Δρίτσος «Επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα» , Πάτρα 2014
- [4] Μ. Γ. Σφακιανάκης, «Πρόγραμμα ΒΙΑΧ-οδηγίες χρήσης», Πάτρα 2015
- [5] ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ (ιστοσελίδα): <http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/>
- [6] Αθανασοπούλου Σωτηρία «Συγκρίσεις ΚΑΝ.ΕΠΕ. και EC8 για επεμβάσεις με στόχο την αύξηση της τοπικής πλαστιμότητας μέσω περίσφιξης», διατριβή διπλώματος ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πάτρα 2016