



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
"Αντισεισμική και Ενεργειακή Αναβάθμιση Κατασκευών και Δειφόρος  
Ανάπτυξη"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
«**ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΡΙΟΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ  
ΥΠΟΓΕΙΟ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**»

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή  
**ΧΑΛΚΙΑΔΑΚΗ ΕΙΡΗΝΗ**

Επιβλέπων  
**ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

Ακαδημαϊκό Έτος  
2019-2020

## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
SUMMARY .....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....	9
ΚΑΝ.ΕΠΕ.....	9
1.1 Σκοπός του Κανονισμού .....	9
1.2 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....	10
1.2.1 Γενικά.....	10
1.2.2 Δομήματα χωρίς βλάβες .....	11
1.2.3 Δομήματα χωρίς βλάβες .....	12
1.3 Υποχρεώσεις και ευθύνες των παραγόντων σχεδιασμού-Εκτελέσεις των έργων, καθώς και των χρηστών.....	12
1.3.1 Γενικά.....	12
1.3.2 Υποχρεώσεις.....	13
1.3.3 Ευθύνες .....	13
1.4 Διερεύνηση, τεκμηρίωση φέροντος οργανισμού υφιστάμενου δομήματος. ....	14
1.4.1 Γενικά.....	14
1.4.2 Αποτύπωση φέροντος οργανισμού .....	17
1.4.3 Ιστορικό .....	17
1.4.4 Καταγραφή Βλαβών .....	18
1.5 Διερευνητικές εργασίες.....	19
1.5.1 Γενικά.....	19
1.5.2 Αποτύπωση αφανών στοιχείων .....	19
1.5.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών δόμησης .....	20
1.5.4 Έδαφος θεμελίωσης.....	21
1.5.5 Άλλοι παράγοντες .....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....	23
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ.....	23
2.1 Υλικά.....	23
2.1.1 Γενικά.....	23
2.1.2 Ίνες.....	23
2.1.3 Μήτρα.....	24
2.1.4 Σύνθετα υλικά .....	24
2.1.5 Κόλλα.....	25
2.2 Συστήματα Ενίσχυσης .....	26
2.2.1 Συστήματα υγρής εφαρμογής.....	26

2.2.2 Προκατασκευασμένα υλικά.....	27
2.3 Τεχνικές Εφαρμογής.....	27
2.3.1 Βασική Τεχνική .....	27
2.3.2 Ειδικές Τεχνικές.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> .....	30
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ .....	30
3.1 Γενικά.....	30
3.2 Ανάλυση τέμνουσας από τα σύνθετα υλικά .....	32
3.3 Κόμβοι .....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> .....	36
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ .....	36
4.1 Γενικά.....	36
4.2 Αρχική κατάσταση.....	37
4.3 Οριακή κατάσταση αντοχής-μηχανισμοί αστοχίας .....	38
4.4 Υπολογισμοί για την οριακή κατάσταση αντοχής.....	40
4.4.1 Μηχανισμοί πλήρους συνεργασίας .....	40
4.4.2 Μηχανισμοί με απώλεια της πλήρους συνεργασίας.....	41
4.5 Απαιτήσεις πλαστιμότητας .....	43
4.6 Σύνοψη διαδικασίας υπολογισμών-οριακή κατάσταση αντοχής.....	44
4.7 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.....	44
4.8 Υποστυλώματα .....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> .....	48
ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ .....	48
5.1 Γενικά.....	48
5.2 Συμπεριφορά και καταστατικός νόμος σκυροδέματος περισφιγμένου μέσω συνθέτων υλικών .....	48
5.3 Πλαστιμότητα.....	49
5.4 Ματίσεις .....	51
5.5 Λυγισμός ράβδων.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> .....	52
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ .....	52
6.1. Γενικά.....	52
6.2 Εκτίμηση επιβαλλόμενης σεισμικής μετακίνησης και διαθέσιμης ικανότητας για οριζόντια μετάθεση.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup> .....	56
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....	56

7.1	Γενικά.....	56
7.2	Κατασκευαστικές λεπτομέρειες.....	56
7.2.1	Ενίσχυση σε κάμψη.....	56
7.2.2.	Ενίσχυση σε διάτμηση.....	58
7.2.3.	Περίσφιγξη .....	59
7.3.	Μέθοδος εφαρμογής .....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο .....		62
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ .....		62
8.1.	Γενικά.....	62
8.2	Θερμοκρασιακές επιδράσεις .....	62
8.3	Υγρασία .....	62
8.4	Υπεριώδης ακτινοβολία .....	63
8.5	Αλκαλικό και όξινο περιβάλλον .....	63
8.6	Γαλβανική διάβρωση .....	63
8.7	Ερπυσμός, θραύση υπό τάση, διάβρωση υπό τάση.....	63
8.8	Κόπωση.....	64
8.9	Κρούση .....	64
8.10	Αξιολόγηση τύπου ινών .....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 <sup>ο</sup> .....		66
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ .....		66
9.1	Περιγραφή υφιστάμενης κατασκευής.....	66
9.2	Εισαγωγή υφιστάμενου κτιρίου στο πρόγραμμα ri-SUITE.....	68
9.3	Αναφορά προβλημάτων.....	72
9.4	Ενίσχυση με FRP .....	78
	Συμπέρασμα.....	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....		106

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΡΙΟΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΥΠΟΓΕΙΟ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: Χαλκιαδάκη Ειρήνη  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Πνευματικός Νικόλαος  
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ: 2019-2020

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πεδίο των επισκευών και ενισχύσεων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος έχει αρχίσει να απασχολεί σε σημαντικό βαθμό τον τεχνικό κόσμο της χώρας, για λόγους που σχετίζονται αφενός με την μείωση της σεισμικής τρωτότητας και αφετέρου με την αναβάθμιση κατασκευών λόγω παλαιότητας, φθοράς, αλλαγή χρήσης κλπ. Τα τελευταία 15 χρόνια (περίπου 10 στη χώρα μας) έχει αναπτυχθεί μια νέα τεχνική ενίσχυσης, η οποία βασίζεται στη χρήση προηγμένων υλικών που αποτελούνται από το συνδυασμό ινών (π.χ. άνθρακα, γυαλιού, αραμιδίου) σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης. Τα υλικά αυτά, γνωστά ως ινοπλισμένα πολυμερή (FRP) ή απλά σύνθετα υλικά, χαρακτηρίζονται από εξαιρετικές ιδιότητες, που κάνουν την εφαρμογή τους στα τεχνικά έργα, και ιδιαίτερα στο πεδίο των ενισχύσεων/επισκευών ιδιαίτερα ελκυστική. Η εφαρμογή τους ως οπλισμός ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος συνίσταται μέσω εποξειδικών ρητινών επικόλληση τους σε εξωτερικές επιφάνειες δομικών στοιχείων, με προσανατολισμό ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν σημαντικές εφελκυστικές δυνάμεις.

Τα σύνθετα υλικά έχουν τύχει ευρείας εφαρμογής κατά τις τελευταίες δεκαετίες στην παραγωγή τεράστιας ποικιλίας προϊόντων, που σχετίζονταν σε μεγάλο ποσοστό με την αυτοκινητοβιομηχανία, τη ναυσιπλοΐα, την αεροναυπηγική, τα είδη σπορ, μέρη ηλεκτρονικών συσκευών κλπ. Γι' αυτό και η μελέτη των συνθέτων υλικών αποτελούσε ένα από τα γνωστικά πεδία μηχανολόγων μηχανικών, αεροναυπηγών, χημικών μηχανικών, ηλεκτρολόγων κλπ. Η εικόνα αυτή έχει αλλάξει δραματικά τα τελευταία χρόνια, κατά τα οποία ένα μεγάλο τμήμα της παγκόσμιας παραγωγής συνθέτων υλικών απορροφάται στο πεδίο τεχνικών έργων. Οι εκτιμήσεις για την παγκόσμια χρήση των συνθέτων υλικών στο πεδίο των τεχνικών έργων προβλέπουν ετήσιο ρυθμό αύξησης της τάξης του 3%, με την ετήσια κατανάλωση στο έτος 2007 να ξεπερνά τους 300.000 τόνους. Μάλιστα, ορισμένα από τα πιο αισιόδοξα σενάρια προβλέπουν ότι οι χρησιμοποιούμενες ποσότητες συνθέτων υλικών στα τεχνικά έργα θα είναι στο μακρινό μέλλον συγκεκριμένες με αυτές άλλων υλικών, όπως είναι ο χάλυβας και το σκυρόδεμα.

Τα σύνθετα υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί από 20ετίας περίπου για την παραγωγή ράβδων οπλισμού ή τενόντων προέντασης σκυροδέματος, αγκυρίων εδάφους, για την κατασκευή κτιρίων ειδικής χρήσης, ελαφρών γεφυρών, δεξαμενών, σιλό και γενικά σε εφαρμογές όπου το βασικό κριτήριο επιλογής υλικών είναι η ανθεκτικότητα σε διάρκεια, το χαμηλό βάρος και η υψηλή αντοχή (ή συνδυασμός αυτών). Το πεδίο όμως στο οποίο τα σύνθετα υλικά έχουν τύχει εξαιρετικά ευρείας χρήσης σε όλο τον κόσμο σήμερα είναι αυτό των ενισχύσεων (οι εφαρμογές ανά τον κόσμο αριθμούν ήδη μερικές δεκάδες χιλιάδες). Στο πεδίο αυτό, βασικά πλεονεκτήματα των συνθέτων υλικών είναι: η ανθεκτικότητα σε διάβρωση, το χαμηλό βάρος (περίπου  $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{5}$  του χάλυβα), η εξαιρετικά υψηλή (εφελκυστική) αντοχή (πολλαπλάσια του κοινού χάλυβα), η διαθεσιμότητα των υλικών σε πολύ μεγάλα μήκη και η μεγάλη "ευκαμψία" τους, με αποτέλεσμα η αντίστοιχη τεχνική ενίσχυση να χαρακτηρίζεται από εξαιρετική ευκολία και ταχύτητα εφαρμογής,

ακόμα και σε δύσκολα προσβάσιμα τμήματα κατασκευών. Μειονεκτήματα τους είναι η πτωχή συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες, το σχετικά υψηλό κόστος (το οποίο μειώνεται όμως δραματικά χρόνο με το χρόνο) και η έλλειψη πλαστιμότητας (όχι όμως και παραμορφωσιμότητας, αποτέλεσμα της οποίας είναι η σημαντική αύξηση της πλαστιμότητας στοιχείων σκυροδέματος σε πολλές περιπτώσεις.)

Βασικό μειονέκτημα επίσης σχετικά με την εφαρμογή των συνθέτων υλικών στο πεδίο των ενισχύσεων είναι η σημαντική (αλλά δικαιολογημένη) έλλειψη "παιδείας" που διακρίνει τον τεχνικό κόσμο της χώρας, λόγω της σχετικά πρόσφατης (και ραγδαίας) ανάπτυξης της συγκεκριμένης. Είναι γεγονός ότι η τεχνική της ενίσχυσης κατασκευών μέσω συνθέτων υλικών έτυχε εξαιρετικά ευρείας εφαρμογής στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια, κυρίως μετά το σεισμό των Αθηνών το 1999. Οι εφαρμογές της τεχνικής ήταν πολύ περισσότερες από αυτές που δικαιολογούσε η διαθέσιμη γνώση και εμπειρία, και σε κάποιες περιπτώσεις εσφαλμένες. Κλασσικά σφάλματα εφαρμογής ήταν η χρήση μανδύα (όχι συνεχούς μέσω των κόμβων) σε υποστυλώματα με στόχο την αύξηση της καμπτικής αντοχής, η καθολική εφαρμογή "υφασμάτων" με τις ίνες σε μη ευθύγραμμη διάταξη σε φέρουσες τοιχοποιίες κ.α.

Έτσι λοιπόν κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί ότι η τεχνικής των συνθέτων υλικών δεν αποτελεί πανάκεια, σίγουρα δίνει ενδιαφέρουσες λύσεις σε πληθώρα περιπτώσεων, σε κάποιες άλλες όμως δεν προσφέρεται ως πλέον δόκιμη και γι' αυτό θα πρέπει να θεωρείται ως μια ακόμα τεχνική ενίσχυσης, η οποία συμπληρώνει τις υφιστάμενες, χωρίς να τις υποκαθιστά αδιακρίτως.

# POST-GRADUATE THESIS: REPAIR AND STRENGTHENING THREE-FLOOR BUILDING WITH BASEMENT FROM CONCRET

STUDENT: Chalkiadaki Eirini

SUPERVISOR: Pnevmatikos Nikolaos

ACADEMIC YEAR: 2019-2020

## SUMMARY

The field of repairs and reinforcements of reinforced concrete structures has begun to occupy a considerable part of the technical world of the country, for reasons related both to the reduction of seismic vulnerability and to the upgrading of structures due to aging, wear, change of use, etc. In the last 15 years (about 10 in our country) a new reinforcement technique has been developed, based on the use of advanced materials consisting of a combination of fibers (eg carbon, glass, aramid) in an epoxy resin matrix. These materials, known as fiber reinforced polymers (FRP) or simple composites, are characterized by excellent properties, which make them applicable to technical projects, and especially in the field of reinforcement / repairs particularly attractive. Their application as reinforced concrete reinforcement elements consists of epoxy resins adhering to outer structural surfaces, with fiber orientation such that they receive significant tensile forces.

Composites have been widely used in recent decades in the production of a huge variety of products, largely related to the automotive, navigation, aeronautics, sports, electronics, etc. That is why the study of composites has been one of the areas of knowledge of mechanical engineers, aeronautics, chemical engineers, electricians, etc. This picture has changed dramatically in recent years, with much of the world's synthetic materials being absorbed in the field. technical works. Estimates for the worldwide use of composites in the field of engineering projects an annual growth rate of 3%, with annual consumption in 2007 exceeding 300,000 tonnes. Indeed, some of the most optimistic scenarios predict that the quantities of composite materials used in the technical works will in the distant future be specific to those of other materials, such as steel and concrete.

Composites have been used for nearly 20 years for the production of reinforcing bars or tendons, concrete anchors, for the construction of special purpose buildings, light bridges, tanks, silos and generally in applications where the main criterion for material selection is durability, low weight and high strength (or a combination of these). But the area where composites have been extremely popular around the world today is that of reinforcement (worldwide applications already number in the tens of thousands). In this field, the main advantages of composites are: corrosion resistance, low weight (about 1/4-1/5 of steel), extremely high (tensile) strength (multiple of steel), availability of materials in many their long lengths and their high rigidity, making the corresponding reinforcement technique extremely easy and fast to implement, even in difficult to reach sections of construction. Their disadvantages are poor handling at high temperatures, relatively high costs (but decreasing dramatically year by year) and a lack of plasticity (but not deformability, which results in a significant increase in the ductility of concrete elements in many cases.)

A major disadvantage also in the application of composite materials in the field of aid is the significant (but justified) lack of "education" that distinguishes the technical world of the country due to its relatively recent (and rapid) development. It

is a fact that the technique of building reinforcement through composite materials has been extremely widespread in our country in recent years, mainly after the Athens earthquake in 1999. The applications of the technique were much more than justified by the available knowledge and experience, and in some cases wrong. Classical application errors were the use of a mantle (not continuous through the nodes) in columns to increase flexural strength, the universal application of "fabrics" with fibers in a non-linear arrangement in bearing walls, etc.

So it should be emphasized that the composite technique is not a panacea, it certainly gives interesting solutions in a multitude of cases, but in others it is no longer offered as a test and should therefore be regarded as yet another augmentation technique that complements existing ones, without substituting for them.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΚΑΝ.ΕΠΕ

### 1.1 Σκοπός του Κανονισμού

Σκοπός του παρόντος Κανονισμού είναι η θεσμοθέτηση κριτηρίων για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας υφισταμένων δομημάτων και κανόνων εφαρμογής για τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό τους, καθώς και για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις, επισκευές ή ενισχύσεις.

#### 1.1.1 Διατάξεις υποχρεωτικής εφαρμογής

Ο παρών Κανονισμός περιέχει διατάξεις υποχρεωτικής εφαρμογής, οι οποίες καθορίζουν:

- a) Τα κριτήρια αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας υφισταμένου δομήματος. Οι απαιτήσεις πληρότητας των ελέγχων καθορίζονται σε συνάρτηση με τον σκοπό για τον οποίο γίνεται ο έλεγχος. Η διαδικασία και τα κριτήρια αποτίμησης της φέρουσας ικανότητας που προτείνονται στον παρόντα Κανονισμό αποτελούν ένα σύνολο κανόνων, με την τήρηση των οποίων θεωρείται ότι ικανοποιούνται οι θεμελιώδεις συνθήκες επάρκειας ενός δομήματος ή τμημάτων του.

Οι ελάχιστες υποχρεωτικές απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας οι οποίες πρέπει να ικανοποιούνται από τις υφιστάμενες κατασκευές, μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να είναι μειωμένες σε σχέση με τις προβλέψεις των ισχύοντων Κανονισμών σχεδιασμού νέων δομημάτων κατά τον χρόνο της αποτίμησης.

Η εφαρμογή άλλων μεθόδων, πέραν των αναφερομένων στον παρόντα Κανονισμό, γίνεται αποδεκτή εφόσον αποδεδειγμένως εξασφαλίζουν τουλάχιστον την ίδια στάθμη ασφάλειας, είναι επιστημονικά τεκμηριωμένες και έχουν την έγκριση της αρμόδιας Δημόσιας Αρχής.

Η επέμβαση σε υφιστάμενες κατασκευές παρουσιάζει συνήθως «ιδιαιτερότητες» που δεν μπορούν να προβλεφθούν στο σύνολό τους από τον παρόντα Κανονισμό, ο οποίος καθορίζει το πλαίσιο μέσα στο οποίο θα κινηθεί η μελέτη και η κατασκευή του έργου της επέμβασης. Οι υποχρεωτικές ελάχιστες απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας που πρέπει να ικανοποιούνται από τις υφιστάμενες κατασκευές, μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να είναι μειωμένες σε σχέση με τις προβλέψεις των ισχύοντων Κανονισμών σχεδιασμού νέων δομημάτων κατά τον χρόνο της επέμβασης. Οι υποχρεωτικές ελάχιστες απαιτήσεις, που θα πρέπει να ικανοποιούνται πριν και μετά την επέμβαση, καθορίζονται σε συνάρτηση με το είδος του δομήματος, τη χρήση του, τον χρόνο κατασκευής του, και τους ισχύοντες τότε Κανονισμούς.

- b) Τις ελάχιστες υποχρεωτικές απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας ανασχεδιασμένων δομημάτων ή μελών τους.

Στον παρόντα Κανονισμό καθορίζονται τα μέσα με τα οποία μπορεί να γίνει η κάθε επέμβαση. Ο Κανονισμός δεν περιορίζει τον Μελετητή που επιθυμεί να προχωρήσει σε ακριβέστερους υπολογισμούς από τους απαιτούμενους στις συνηθισμένες περιπτώσεις. Για να γίνει αποδεκτή η

εφαρμογή των ακριβέστερων μεθόδων θα πρέπει αυτές να ικανοποιούν τις απαιτούμενες προϋποθέσεις (ακρίβεια προσομοιωμάτων κ.λπ.), να συνοδεύονται από αποδείξεις για την αξιοπιστία τους και για την επίτευξη του απαιτούμενου από τον Κανονισμό επιπέδου ασφάλειας, ενώ -σε κάθε περίπτωση -υπόκεινται στην έγκριση χρήσης τους από την αρμόδια Δημόσια Αρχή.

Ο Κανονισμός αυτός ισχύει παράλληλα τόσο με τον εκάστοτε ισχύοντα Αντισεισμικό Κανονισμό, όσο και με τους εκάστοτε ισχύοντες Κανονισμούς σχεδιασμού δομημάτων με συγκεκριμένο υλικό (π.χ. σκυρόδεμα), οι οποίοι περιλαμβάνουν και τα αντίστοιχα ειδικά κριτήρια, καθώς και λεπτομερείς και πρακτικούς κανόνες διαστασιολόγησης. Για δομήματα που έχουν οικοδομηθεί με βάση παλαιότερες από τις τελευταίες, κάθε φορά, εκδόσεις των ισχυόντων Κανονισμών, ακόμη δε και χωρίς Αντισεισμική Μελέτη (με χρήση παραδοσιακών κανόνων κατασκευής) είναι πιθανόν να είναι πρακτικώς ανεφάρμοστη η ολοκληρωτική ικανοποίηση των τρεχουσών απαιτήσεων. Τυχόν πρόβλεψη μερικής ικανοποίησης των απαιτήσεων των παραπάνω Κανονισμών, ή ικανοποίησης απαιτήσεων προγενέστερων Κανονισμών, γίνεται είτε με ρητή αναφορά στον παρόντα Κανονισμό είτε με σχετική απόφαση της Δημόσιας Αρχής. Με σχετική απόφαση της αρμόδιας Δημόσιας Αρχής καθορίζονται οι αναγκαίες εξαιρέσεις από τις διατάξεις της Πολεοδομικής Νομοθεσίας (κατ' αναλογία με τα ισχύοντα για τα σεισμόπληκτα δομήματα), ώστε να είναι δυνατή η κατασκευή των ενισχύσεων οι οποίες προκύπτουν κατ' εφαρμογή των διατάξεων του παρόντος Κανονισμού. Σε δομήματα που ελέγχονται ή/και ανασχεδιάζονται με τον παρόντα Κανονισμό δεν επιτρέπονται τροποποιήσεις δομικών στοιχείων, φερόντων ή μη, ούτε η αλλαγή χρήσης τους, χωρίς προηγούμενη μελέτη των συνεπειών από τις παραπάνω αλλαγές.

- c) Τον καθορισμό των τρόπων με τους οποίους μπορεί να γίνει επέμβαση.
- d) Τη συσχέτιση του Κανονισμού αυτού με άλλους Κανονισμούς (υλικών, φορτίσεων κ.λ.π.).

## 1.2 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

### 1.2.1 Γενικά

Ως δομήματα νοούνται κυρίως κτίρια, με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα (με βλάβες ή χωρίς βλάβες). Δεδομένου ότι οι διατάξεις του παρόντος Κανονισμού αναφέρονται και σε τυχηματικές (κυρίως σεισμικές) φορτίσεις των οποίων είναι δυνατόν να υπάρξει υπέρβαση, ότι η διατιθέμενη γνώση εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς και ότι υφίστανται οικονομικοί περιορισμοί, θα πρέπει να γίνει σαφώς αντιληπτό ότι, ακόμη και αν εφαρμοσθούν πλήρως οι κανόνες του παρόντος Κανονισμού, λαμβανομένων υπόψη των εγγενών αβεβαιοτήτων, η πιθανότητα αστοχίας του δομήματος δεν μπορεί να αποκλεισθεί.

- a) Ο Κανονισμός αυτός αφορά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό υφισταμένων δομημάτων ή μελών τους. Βασικές αρχές και κριτήρια του Κανονισμού, όπως π.χ. οι στάθμες επιτελεστικότητας και οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού, οι στάθμες αξιοπιστίας των δεδομένων (και η επιρροή τους), οι προβλέψεις για τον

καθολικόδείκτη συμπεριφοράς  $q$ , ή τους δείκτες μελών  $m$  κ.λ.π., μπορούν να εφαρμόζονται και για κτίρια με φέρονταοργανισμό από άλλα υλικά.

Ο ανασχεδιασμός υφιστάμενου δομήματος περιλαμβάνει κάθε είδους επέμβαση. Ως επέμβαση θεωρείται και η επέμβαση στον οργανισμό πλήρωσής του.

- b) Έργα «υψηλής διακινδύνευσης» για τον πληθυσμό δεν καλύπτονται από τον Κανονισμό αυτόν.

Ο Κανονισμός καλύπτει τα έργα «συνήθους διακινδύνευσης», δηλαδή έργα των οποίων ενδεχόμενη βλάβη τους περιορίζεται στο ίδιο το έργο, στο περιεχόμενό του και στην άμεση γειτονία του. Ο Κανονισμός δεν καλύπτει τα έργα «υψηλής διακινδύνευσης», δηλαδή αυτά των οποίων ενδεχόμενη βλάβη μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες σε μεγάλη έκταση έξω από την περιοχή του έργου (π.χ. φράγματα ή θαλάσσια έργα). Για τα έργα αυτά η απαιτούμενη στάθμη προστασίας θα καθορίζεται από ειδικές συμπληρωματικές διατάξεις.

- c) Η εφαρμογή του Κανονισμού προϋποθέτει άτομα που διαθέτουν τις απαραίτητες εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις και τα σχετικά προσόντα

Ο Κανονισμός προϋποθέτει ότι θα υπάρχει εξασφάλιση έναντι κακοτεχνιών ή σφαλμάτων λόγω απειρίας, τα οποία αποτελούν σημαντική αιτία αστοχίας στις κατασκευές. Ακριβώς για την εξασφάλιση έναντι τέτοιων σφαλμάτων, ο Κανονισμός δεν είναι δυνατόν να εφαρμόζεται παρά μόνον από άτομα που διαθέτουν τα τυπικά και ουσιαστικά (παιδεία, εμπειρία, ικανότητα) προς τούτο προσόντα τα οποία καθορίζονται με απόφαση της Δημόσιας Αρχής, υπό την προϋπόθεση ότι η μελέτη της και ο επιβλέπων μηχανικός είναι διπλωματούχοι πολιτικοί μηχανικοί με τουλάχιστον 5ετή επαγγελματική εμπειρία. Υπό την ως άνω προϋπόθεση ο Κανονισμός εφαρμόζεται και πριν την έκδοση της ανωτέρω απόφασης Δημόσιας Αρχής.

### 1.2.2 Δομήματα χωρίς βλάβες

- a. Ο Κανονισμός καλύπτει τους ελέγχους υφισταμένων δομημάτων χωρίς εμφανείς βλάβες ή φθορές, όπως επίσης και τον ενδεχόμενο αντισεισμικό ανασχεδιασμό των δομημάτων αυτών.

Ο όρος εμφανείς βλάβες αναφέρεται σε βλάβες που είναι εφικτό να εντοπισθούν στο πλαίσιο των αυτοψιών και ελέγχων.

- b. Οι περιπτώσεις υποχρεωτικού ελέγχου υφισταμένων δομημάτων καθορίζονται με απόφαση της Δημόσιας Αρχής.

Ο έλεγχος υφισταμένου δομήματος, έραν των περιπτώσεων προσθηκών ή αλλαγών χρήσεως όπου, κατά κανόνα, γίνεται έλεγχος, είναι δυνατόν να επιβληθεί στις εξής περιπτώσεις:

- Τεχνικών έργων χωρίς μελέτη ή με μελέτη μη εγκεκριμένη (αυθαιρέτων)
- Τεχνικών έργων με μελέτη χωρίς εφαρμογή Αντισεισμικού Κανονισμού
- Τεχνικών έργων με μελέτη στην οποία έγινε εφαρμογή Αντισεισμικού Κανονισμού αλλά βρίσκονται σε περιοχή όπου καθορίστηκε, εν τω μεταξύ, υψηλότερη σεισμικότητα
- Τεχνικών έργων με αυξημένη τρωτότητα (π.χ. πιλοτή, κοντά υποστυλώματα κ.λπ.).

- c. Στον Κανονισμό προβλέπονται (Κεφ. 3) οι αναγκαίοι έλεγχοι και περιγράφονται οι τυχόν αναγκαίες επεμβάσεις (Κεφ.4 και επόμενα) για την αναβάθμιση του επιπέδου ασφάλειας υφισταμένου δομήματος.  
Αναβάθμιση του επιπέδου ασφαλείας μπορεί να ζητηθεί από τον κύριο του έργου, προκειμένου υφιστάμενο δόμημα να ικανοποιεί τις σύγχρονες απαιτήσεις των Κανονισμών (στο σύνολό τους ή εν μέρει).
- d. Στον Κανονισμό καθορίζονται οι απαιτήσεις του ανασχεδιασμού για κάθε περίπτωση, κατά τα προηγούμενα.

### 1.2.3 Δομήματα χωρίς βλάβες

- a) Ο Κανονισμός καλύπτει τον έλεγχο, την επισκευή ή ενίσχυση και τον αντισεισμικό ανασχεδιασμό υφισταμένων δομημάτων που έχουν υποστεί βλάβες.
- b) Από τον Κανονισμό καλύπτονται όλες οι παθολογικές αιτίες βλαβών, όμως αξιόπιστα κριτήρια ανασχεδιασμού δίνονται μόνο για τις συνηθέστερες από αυτές.  
Η αντιμετώπιση βαρέων φθορών και βλαβών από φυσικοχημικές δράσεις θα καλύπτονται με συμπληρωματικές διατάξεις. Οι επεμβάσεις σε περιπτώσεις βλαβών από πυρκαγιά θα αποτελέσουν αντικείμενο ιδιαίτερου Κανονισμού. Οι γενικές αρχές και επεμβάσεις που προβλέπονται από τον παρόντα Κανονισμό έχουν εφαρμογή σε κάθε περίπτωση και συμπληρώνονται από τα κείμενα των παραρτημάτων ή/και ειδικών Κανονισμών.
- c) Από τον Κανονισμό προσδιορίζονται οι προϋποθέσεις υπό τις οποίες είναι υποχρεωτικός ο ανασχεδιασμός και η ενίσχυση υφισταμένου δομήματος με βλάβες και εκείνες υπό τις οποίες θα αρκεί απλή επισκευή του δομήματος.  
Ο κύριος του έργου δύναται να επιλέξει αν θα γίνει απλή αποκατάσταση, με τήρηση των ελάχιστων υποχρεωτικών απαιτήσεων ασφαλείας που καθορίζονται από την πολιτεία, ή αποκατάσταση και ενίσχυση πέραν των ελάχιστων υποχρεωτικών απαιτήσεων.

## 1.3 Υποχρεώσεις και ευθύνες των παραγόντων σχεδιασμού-Εκτελέσεις των έργων, καθώς και των χρηστών.

### 1.3.1 Γενικά

- a. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η χρήση ενός δομήματος έναντι συνδυασμών δράσεων στις οποίες περιλαμβάνονται τυχηματικές δράσεις, όπως ο σεισμός, γίνεται με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ικανοποίηση, εν όλω ή εν μέρει, των ακολούθων απαιτήσεων, αναλόγως της στάθμης επιτελεστικότητας:
- Η πιθανότητα κατάρρευσης του δομήματος (ή τμημάτων του) να είναι επαρκώς μικρή
  - Οι βλάβες σε στοιχεία του φέροντος οργανισμού υπό τη δράση σχεδιασμού να είναι περιορισμένες και επιδιορθώσιμες
  - Οι βλάβες για δράσεις μικρότερης έντασης να ελαχιστοποιούνται, και

- Να διασφαλίζεται μια ελάχιστηστάθμη λειτουργιών του δομήματος, ανάλογα με τη χρήση και τη σημασία του.
- b. Τα υφιστάμενα δομήματα:
- Αντικατοπτρίζουν τον βαθμό γνώσεων κατά το χρονικό διάστημα που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν
  - Πιθανώς εμπεριέχουν αφανή σφάλματα, ενώ
  - Ενδέχεται να έχουν υποστεί άγνωστες καταπονήσεις και επιδράσεις.
- c. Κατά τους Κανονισμούς που αφορούν νέες κατασκευές, είναι αποδεκτή μία ορισμένη πιθανότητα αστοχίας. Με την προσθήκη των αβεβαιοτήτων που υπεισέρχονται στα υφιστάμενα δομήματα ήδη από τη φάση της μελέτης τους, αυξάνεται η στάθμη αβεβαιότητας και η πιθανότητα αστοχίας. Οι αβεβαιότητες αυτές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον καθορισμό των υποχρεώσεων και των ευθυνών των παραγόντων των έργων.  
Π.χ., ο σεισμός σχεδιασμού έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% στη σκοπούμενη τεχνική διάρκεια των συνήθων έργων, ίση με 50 έτη.
- d. Οι διατάξεις του Κανονισμού τελούν υπό την παραδοχή ότι ο υπεύθυνος μελετητής Μηχανικός κατέχει τα αναγκαία επαγγελματικά προσόντα και την κατάλληλη εμπειρία σχετικά με τον τύπο των κατασκευών που ελέγχονται ή επισκευάζονται ή ενισχύονται.

### 1.3.2 Υποχρεώσεις

Κατά τις επεμβάσεις για ενίσχυση ή επισκευή υφισταμένων έργων πρέπει να επιλέγεται, μεταξύ των άρτιων τεχνικά λύσεων, εκείνη που οδηγεί σε βελτιστοποίηση του κόστους επέμβασης και σε μείωση τυχόν σχετικών μελλοντικών δαπανών (συναρτήσει και της απομένουσας ζωής του δομήματος). Ο μελετητής Μηχανικός οφείλει να υποδεικνύει στον κύριο του έργου όλα τα αναγκαία μέτρα ασφαλείας, πριν από οποιαδήποτε εργασία.

Ο μελετητής Μηχανικός έχει την υποχρέωση εκπόνησης πλήρους και τεχνικά άρτιας μελέτης επέμβασης.

Ο επιβλέπων Μηχανικός έχει την υποχρέωση της πλήρους τεχνικής υλοποίησης της εγκεκριμένης μελέτης επέμβασης. Οι λοιποί παράγοντες υποχρεούνται να εκτελέσουν το έργο της επέμβασης, σύμφωνα με την μελέτη, τον παρόντα Κανονισμό, τις ισχύουσες τεχνικές προδιαγραφές και οδηγίες, καθώς και τους κανόνες της τέχνης, τηρώντας όλα τα αναγκαία μέτρα ασφαλείας.

### 1.3.3 Ευθύνες

Για τον προσδιορισμό των κάθε είδους ευθυνών θα λαμβάνεται υπόψη πάντοτε η στάθμη αξιοπιστίας των δεδομένων αποτίμησης και ανασχεδιασμού, για την οποία γίνεται αναφορά στα επόμενα κεφάλαια αυτού του Κανονισμού.

Την ευθύνη για την παρακολούθηση και αξιολόγηση των τυχόν απαιτούμενων ερευνητικών εργασιών έχει ο φορέας εκτέλεσης των εργασιών αυτών, ο οποίος πρέπει να διαθέτει τα ανάλογα προσόντα. Η ευθύνη του μελετητή Μηχανικού, προκειμένου για τον έλεγχο υφιστάμενου δομήματος, περιορίζεται στην ορθή εκτέλεση του ελέγχου σύμφωνα με τα οριζόμενα στον παρόντα Κανονισμό.

Ο μελετητής Μηχανικός δεν ευθύνεται για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων ερευνητικών εργασιών, εκτός εάν έχει αναλάβει ο ίδιος την εκτέλεσή τους. Η ευθύνη του μελετητή Μηχανικού στη φάση αποτίμησης / τεκμηρίωσης συνίσταται στην υποβολή των σχετικών τεκμηριωμένων προτάσεων, στον κύριο του έργου, οι οποίες θα πρέπει να είναι σύμφωνες προς τους ισχύοντες Κανονισμούς.

Τα συμπεράσματα της διερεύνησης / τεκμηρίωσης υφισταμένου δομήματος δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για άλλους σκοπούς πέραν αυτού που προβλέπεται από τον παρόντα Κανονισμό.

Τα συμπεράσματα της διερεύνησης / τεκμηρίωσης υφισταμένου δομήματος γίνονται με βάση τις σημερινές γνώσεις και τους σήμερα κοινώς αναγνωρισμένους τεχνικούς κανόνες, και όχι με τα ισχύοντα κατά τον χρόνο κατασκευής του υφισταμένου δομήματος. Απ' αυτή την άποψη, τα αποτελέσματα της διερεύνησης δεν τεκμηριώνουν νομικές ευθύνες για τους παράγοντες του υφισταμένου δομήματος.

Ο μελετητής Μηχανικός δεν ευθύνεται για τυχόν αστοχίες που είναι δυνατόν να προκληθούν από τυχαίο γεγονός ( π.χ. σεισμός) κατά τη φάση συγκέντρωσης των απαιτούμενων στοιχείων, εκτός αν αίτιο της αστοχίας αποδειχθεί ότι ήταν εργασίες που είχαν υποδειχθεί από τον ίδιο. Η ευθύνη του μελετητή Μηχανικού συνίσταται στην ορθή σύνταξη της μελέτης επέμβασης σύμφωνα με τις προβλέψεις του παρόντος Κανονισμού ανάλογα με τον επιλεγέντα στόχο επανελέγχου (αποτίμησης ή ανασχεδιασμού).

Η ευθύνη του επιβλέποντα Μηχανικού συνίσταται στην ορθή επίβλεψη του έργου της επέμβασης σύμφωνα με τις προβλέψεις του παρόντος Κανονισμού με στόχο την υλοποίηση της εγκεκριμένης μελέτης, με χρήση τεχνικώς δοκίμων μεθόδων. Η ευθύνη των λοιπών παραγόντων του έργου συνίσταται στην έντεχνη εκτέλεση των εργασιών σύμφωνα με τον παρόντα Κανονισμό και την μελέτη της επέμβασης, τις ισχύουσες τεχνικές προδιαγραφές και οδηγίες και τους κανόνες της τέχνης, καθώς και στην τήρηση των μέτρων ασφαλείας που έχουν υποδειχθεί.

Εάν γίνει απλή αποκατάσταση βλαβών (επισκευή) ή τοπική ενίσχυση μελών υφισταμένου δομήματος, η ευθύνη των παραγόντων του έργου της αποκατάστασης περιορίζεται στην ορθή εκτέλεση του έργου αυτού σύμφωνα με τον παρόντα Κανονισμό, ενώ η ευθύνη για τη συνολική ασφάλεια του δομήματος παραμένει στους παράγοντες της κατασκευής του αρχικού έργου.

Η ευθύνη του κυρίου του έργου συνίσταται στην επιλογή του στόχου επανελέγχου (αποτίμησης ή ανασχεδιασμού), ο οποίος δεν μπορεί να είναι χαμηλότερος από τον οριζόμενο από την Δημόσια Αρχή. Η ευθύνη των χρηστών του έργου συνίσταται στη διατήρηση του έργου σε καλή κατάσταση σύμφωνα με την ισχύουσα Νομοθεσία, και στην αποφυγή κάθε είδους μεταβολών χωρίς προηγούμενη μελέτη των συνεπειών αυτών των μεταβολών. Σε καμία περίπτωση δεν στοιχειοθετείται υπαιτιότητα τυχόν βλάβης γειτονικού κτιρίου, εκ του γεγονότος ότι όμορον αυτού κτίριον έχει ενισχυθεί αντισεισμικώς.

## **1.4 Διερεύνηση, τεκμηρίωση φέροντος οργανισμού υφιστάμενου δομήματος.**

### **1.4.1 Γενικά**

- a. Πριν από οποιαδήποτε μελέτη ή επέμβαση, απαιτείται η διερεύνηση και τεκμηρίωση του υφιστάμενου δομήματος σε επαρκή έκταση και βάθος, ώστε να καταστούν όσο γίνεται πιο αξιόπιστα τα δεδομένα στα οποία θα στηριχθεί η μελέτη αποτίμησης ή ανασχεδιασμού. Προς τούτο απαιτείται η αποτύπωση του δομήματος και της κατάστασής του, η σύνταξη του ιστορικού της κατασκευής και της συντήρησής του, η καταγραφή των τυχόν βλαβών ή φθορών, καθώς και η εκτέλεση επιτόπου διερευνητικών εργασιών και μετρήσεων.

Καταγράφονται οι βλάβες και οι φθορές ανεξαρτήτως του αν οφείλονται σε σεισμό ή άλλες δράσεις (πυρκαγιά, δράσεις περιβάλλοντος κ.λπ.).

- b. Η επιζητούμενη κάθε φορά στάθμη αξιοπιστίας των πιο πάνω δεδομένων, εξαρτάται από σειρά παραγόντων, και επηρεάζει τους υπολογισμούς των δράσεων και των αντιστάσεων

Η αξιοπιστία των δεδομένων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- Διαθεσιμότητα εγκεκριμένης μελέτης
- Χρονική περίοδος κατασκευής δομήματος
- Επάρκεια διερεύνησης ποιότητας υλικών και τρόπου δομήσεων
- Διαθεσιμότητα πληροφοριών για λεπτομέρειες οπλίσεως, αγκυρώσεων και αναμονών.
- Τρόπος κατασκευής, κατάσταση και χαρακτηριστικά των τοιχοπληρώσεων
- Δυσκολίες στην εκτίμηση των πραγματικών επιτόπου χαρακτηριστικών των υλικών.

- c. Κατά την διερεύνηση/τεκμηρίωση μετά από έναν σεισμό, πρέπει να λαμβάνονται όλα τα αναγκαία μέτρα ασφαλείας των ενοίκων και του προσωπικού. Η φύση και η έκταση αυτών των μέτρων και ενεργειών θα εξαρτάται από την ένταση των βλαβών και απ' τη σπουδαιότητα των λειτουργιών του κτιρίου.

Ανάλογα με την ένταση και την έκταση των βλαβών ή φθορών, και σε ό,τι αφορά τη δυνατότητα χρήσης του κτιρίου, αναφέρονται οι εξής περιπτώσεις:

- Καθόλου ή μικρές βλάβες: Το κτίριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς.
- Σοβαρές βλάβες :Θα πρέπει να περιορίζεται σημαντικά η δυνατότητα χρήσης του κτιρίου, μέχρις ότου πραγματοποιηθεί ακριβέστερη και τελική εκτίμηση της κατάστασης. Επίσης θα πρέπει να εξετάζεται η πιθανότητα λήψης μέτρων ασφαλείας και υποστυλώσεων ή αντιστηρίξεων.
- Βαρίες βλάβες, με ή χωρίς κατάρρευση : Θα πρέπει να απαγορεύεται η πρόσβαση στο κτίριο και η πρόσβαση στη γύρω περιοχή. Τα τμήματα που ενδέχεται να καταρρεύσουν ξαφνικά, πρέπει να κατεδαφίζονται άμεσα, πρέπει δε να εξετάζεται το ενδεχόμενο άμεσων μέτρων επέμβασης.

- d. Για την εκτίμηση της κατάστασης υφιστάμενου δομήματος, θα συλλέγονται δεδομένα από διαθέσιμα δημόσια ή ιδιωτικά αρχεία, από σχετικές υπεύθυνες και αξιόπιστες πληροφορίες και από επιτόπου διερευνήσεις και ελέγχους. Οι διαδικασίες επιθεώρησης, οι κατάλογοι ελέγχου και οι λοιπές διαδικασίες συλλογής στοιχείων, θα ακολουθούν προδιαγραφές επαγγελματικών ή δημοσίων οργανισμών, θα πρέπει δε να είναι συμβατές με τα διαθέσιμα μέσα για επιθεώρηση, διερεύνηση και λήψη μέτρων επισκευής/ενίσχυσης. Περιληπτικά, δίνονται παρακάτω

ενδεικτικές προτάσεις για έναν κατάλογο απαιτούμενων πληροφοριών και στοιχείων, καθώς και η μεθοδολογία που μπορεί να ακολουθείται σε περίπτωση όπου δεν υπάρχουν παρόμοιες προδιαγραφές. Ωστόσο, ενδέχεται να είναι δύσκολο να συλλέγουν πάντοτε τόσο λεπτομερείς πληροφορίες. Στις περιπτώσεις αυτές, οι αβεβαιότητες μπορούν να καλύπτονται με την εισαγωγή της έννοιας «στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων».

Απαιτούμενες πληροφορίες:

- α. Προσδιορισμός του δομητικού συστήματος.
- β. Πληροφορίες σχετικά με τις δομικές αλλαγές από την εποχή κατασκευής, οι οποίες πιθανόν μεταβάλλουν τη συμπεριφορά και την απόκριση του κτιρίου.
- γ. Προσδιορισμός των συνθηκών του υπεδάφους (κατάταξη σε κατηγορίες εδάφους).
- δ. Προσδιορισμός του τύπου και των χαρακτηριστικών θεμελίωσης του κτιρίου.
- ε. Προσδιορισμός της κατηγορίας περιβαλλοντικών συνθηκών, ενδεχομένως βλαπτικών για τα στοιχεία του δομήματος.
- στ. Πληροφορίες σχετικά με τις διαστάσεις και τις διατομές των δομικών στοιχείων του κτιρίου και σχετικά με την κατάσταση των υλικών που τα απαρτίζουν, του τρόπου δόμησης και κατασκευής κ.λπ.
- ζ. Περιγραφή της πραγματικής ή /και σχεδιαζόμενης χρήσης του κτιρίου (με προσδιορισμό και της κατηγορίας σπουδαιότητας).η. Εκτίμηση των κινητών φορτίων, λαμβάνοντας υπόψη την πραγματική χρήση των διαφόρων χώρων του κτιρίου.
- θ. Πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα των υφισταμένων υλικών, με ποσοτικούς όρους όπου είναι δυνατόν.
- ι. Πληροφορίες σχετικές με τον τύπο και την έκταση προηγούμενων και σημερινών δομητικών βλαβών ή φθορών, εάν υπάρχουν, συμπεριλαμβανομένων προηγούμενων μέτρων επισκευής ή ενίσχυσης.
- ια. Πληροφορίες σχετικές με αναγνωρίσιμα σημαντικά σφάλματα στη μελέτη, σχετικά με ελαττώματα των υλικών, καθώς και περιγραφή τους.
- ιβ. Γεωμετρικές μετρήσεις όπως:
  - Διαστάσεις των διατομών, του μήκους των δομικών στοιχείων και του πάχους των τελειωμάτων, όπως κατασκευάστηκαν.
  - Χωροσταθμίσεις, μετρήσεις εκκεντροτήτων, αποκλίσεων κ.λπ.
  - Εύρος ρωγμών ή αποκολλήσεις σε κατασκευές από σκυρόδεμα ή τοιχοποιία.
  - Παραμορφώσεις και ασυνέχειες σε αρμούς, μετατοπίσεις κ.λπ.
  - Παραμένουσες παραμορφώσεις.
  - Χρονική εξέλιξη των ανωτέρω χαρακτηριστικών, ιδιαίτερα λόγω μετασεισμών (ενδεχόμενη εγκατάσταση αισθητήρων παρακολούθησης).



### 1.4.2 Αποτύπωση φέροντος οργανισμού

- a. Η αποτύπωση του φέροντος οργανισμού και των τοιχοπληρώσεων γίνεται παράλληλα με την αρχιτεκτονική αποτύπωση, τα σχέδια της οποίας χρησιμοποιούνται ως υπόβαθρο.  
Σχετικώς, αποτυπώνονται και οι τοίχοι πλήρωσης, οι οποίοι ενδέχεται να ληφθούν υπόψη στην αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό κατά τις διατάξεις του παρόντος Κανονισμού.
- b. Η μελέτη επεμβάσεων μπορεί να βασιστεί σε "υπάρχοντα σχέδια" του φέροντος οργανισμού, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει μελέτη η οποια διαπιστώνεται ότι έχει επαρκώς εφαρμοστεί. Σε αντίθετη περίπτωση, απαιτείται η σύνταξη καταλλήλων σχεδίων του φέροντος οργανισμού (αποτύπωση).
- c. Για την αποτύπωση αφανών στοιχείων, ο μελετητής Μηχανικός συντάσσει πρόγραμμα διερευνητικών τομών.

### 1.4.3 Ιστορικό

- a. Απαιτείται η σύνταξη του ιστορικού του δομήματος, δηλαδή η συγκέντρωση των πληροφοριών σχετικά με:
  - Τις φάσεις κατασκευής
  - Μεταγενέστερες επεμβάσεις ή αλλαγές χρήσης, φορτίων κ.λπ.
  - Εμφάνιση βλαβών ή φθορών κατά το παρελθόν, και τρόπος αποκατάστασής τους
  - Έκτακτες δράσεις (σεισμοί, πυρκαγιά, πρόσκρουση, κατασκευή μεγάλου γειτονικού έργου κ.λ.π.).
- b. Η έκταση του ιστορικού είναι ανάλογη με τη σπουδαιότητα του αντικειμένου. Σε ιδιωτικά έργα περιορισμένης σημασίας, το ιστορικό μπορεί να είναι μια απλή καταγραφή υπευθύνων πληροφοριών που δίνονται από τον κύριο του έργου.

Περιλαμβάνονται:

- I. Ημερομηνία κατασκευής, Κανονισμός μελέτης που ίσχυε και εφαρμόστηκε, εκτίμηση της παραμένουσας οικονομικής αξίας του κτιρίου, καθώς και πληροφορίες από τον φάκελο ποιοτικού ελέγχου (εάν υπάρχει) κατά την κατασκευή.
- II. Αξιολόγηση των τευχών του φακέλου της υφιστάμενης μελέτης, η οποία περιλαμβάνει εξέταση των κατασκευαστικών σχεδίων και των υπολογισμών.
- III. Συλλογή πληροφοριών όσον αφορά την προηγούμενη κατάσταση του κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των ενδεχόμενων προηγούμενων εργασιών επισκευής ή ενίσχυσης, τη συμπεριφορά κατά τη διάρκεια προηγούμενων σεισμών, τις προϋπάρχουσες βλάβες ή φθορές, καθώς και πληροφορίες από εκσκαφές που έχουν πραγματοποιηθεί σε μικρή απόσταση, κ.λ.π. Η συμπεριφορά κατά τους προηγούμενους σεισμούς (συγκριτικά και με την συμπεριφορά άλλων κτιρίων της περιοχής) αποτελεί πληροφορία η οποία θα πρέπει να λαμβάνεται δεόντως υπόψη ως μια συνολική φυσική δοκιμή της κατασκευής. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να

βοηθήσουν σημαντικά τη βαθμονόμηση των μεθόδων αξιολόγησης, καθώς και τη λήψη αποφάσεων.

#### 1.4.4 Καταγραφή Βλαβών

- a. Για κτίρια με βλάβες, η καταγραφή τους συμπληρώνει την αποτύπωση του φέροντος οργανισμού. Οι βλάβες ή φθορές πρέπει να σημειώνονται στα σχέδια της αποτύπωσης, με τις απαραίτητες επεξηγήσεις.
- b. Με τον όρο «βλάβη», νοείται κάθε αλλοίωση ή απομείωση της γεωμετρίας ή των μηχανικών χαρακτηριστικών των στοιχείων του φέροντος οργανισμού ή των τοιχοπληρώσεων. Στις βλάβες, συμπεριλαμβάνονται γενικώς και οι φθορές, π.χ. λόγω φυσικοχημικών δράσεων.

Ως βλάβες νοούνται, λόγου χάρι:

- Σημαντικές παραμορφώσεις ή αποκλίσεις
- Ρηγματώσεις ή αποκολλήσεις
- Τοπικές αστοχίες και θραύσεις
- Απομειώσεις διατομών, απολεπίσεις και αποφλοιώσεις
- Διάβρωση οπλισμών ή προσβολή σκυροδέματος.

- c. Καταγράφονται και λαμβάνονται καταλλήλως υπόψη και οι κακοτεχνίες που προκαλούν αλλοίωση της γεωμετρίας ή των χαρακτηριστικών των στοιχείων του φέροντος οργανισμού, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της φέρουσας ικανότητας ή/και της λειτουργικότητας, της ανθεκτικότητας κ.λπ.

Η ένταση και έκταση των βλαβών, αλλά και των κακοτεχνιών, συνδέονται άμεσα με την απομένουσα φέρουσα ικανότητα και τα διαθέσιμα περιθώρια ασφαλείας ή πλαστιμότητας των βλαβέντων δομικών στοιχείων και του δομήματος ως σύνολου.

- d. Ανάλογα με την ένταση και έκταση των βλαβών εξετάζεται η ανάγκη λήψεως άμεσων μέτρων επέμβασης.

1. Τα άμεσα μέτρα επέμβασης μπορεί να είναι:

- Άμεση κατεδάφιση τμημάτων που ενδέχεται να καταρρεύσουν
- Απομάκρυνση χαλαρών ή επικρεμάμενων στοιχείων.
- Μείωση ή /και αφαίρεση μεγάλων φορτίων
- Υποστύλωση έναντι κατακορύφων φορτίων
- Αντιστήριξη έναντι οριζοντίων φορτίων
- Απαγόρευση χρήσης του κτιρίου (ολόκληρου ή τμημάτων του).

2. Η επιλογή των προσωρινών επειγόντων μέτρων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- Ο τύπος και η χρήση του κτιρίου, σε συνδυασμό με το μέγεθος και τη σπουδαιότητά του
- Το είδος της βλάβης-Τα διαθέσιμα μέσα (προσωπικό, εξοπλισμός κ.λ.π.)
- Ο βαθμός του επείγοντος της κατάστασης
- Η πιθανή εξέλιξη των βλαβών
- Η αναμενόμενη συμπεριφορά κατά τους μετασεισμούς
- Το κόστος των επεμβάσεων

## 1.5 Διερευνητικές εργασίες

### 1.5.1 Γενικά

- a. Οι διερευνητικές εργασίες αποβλέπουν στη συγκέντρωση στοιχείων τα οποία μπορεί να είναι χρήσιμα για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου. Διακρίνονται διάφορα τμήματα της διερεύνησης, ανάλογα με το είδος του εξεταζόμενου στοιχείου:

- Αποτύπωση αφανών στοιχείων.
- Χαρακτηριστικά των υλικών και του τρόπου δόμησης.
- Έδαφος θεμελίωσης.
- Άλλοι παράγοντες.

Οι κατάλληλες μετρήσεις και δοκιμές μπορούν να πραγματοποιούνται επιτόπου ή /και σε εργαστήριο. Η επιλογή των μετρήσεων και δοκιμών θα πρέπει να γίνεται κατά περίπτωση κατά την κρίση του μελετητή Μηχανικού. Πάντως, για την ελαχιστοποίηση των αμφιβολιών, καλόν είναι να πραγματοποιείται διασταύρωση των πληροφοριών της κάθε πηγής. Ο μελετητής Μηχανικός, βάσει των ως άνω διερευνητικών εργασιών, οφείλει να αιτιολογήσει τις παραδοχές με τις οποίες θα γίνει η αποτίμηση και ο ανασχεδιασμός, κατ' εφαρμογή και των Κεφ. 2 και 4. Χρήσιμο βοήθημα για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, αποτελεί η έκδοση του Τ.Ε.Ε.: «Μέθοδοι για την επιτόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών», Αθήνα, 2002. Κατά τη σύνταξη του προγράμματος διερευνήσεων, ο μελετητής Μηχανικός λαμβάνει υπόψη του τη σπουδαιότητα του κτιρίου καθώς και το είδος και τις μεθόδους υπολογισμού που θα χρησιμοποιήσει για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό.

- b. Ο μελετητής Μηχανικός συντάσσει το πρόγραμμα των διερευνητικών εργασιών, οι οποίες εκτελούνται από αναγνωρισμένα προς τούτο Εργαστήρια. Για την επιλογή του πλήθους και των θέσεων δειγματοληψίας πρέπει να εφαρμοστούν κριτήρια όπως:
- Η αντιπροσωπευτικότητα των δειγμάτων ή των θέσεων, και
  - Οι τοπικές βλάβες και οι κακοτεχνίες του φέροντος οργανισμού που ενδεχομένως έχουν παρατηρηθεί, ενώ
  - Ο καθορισμός του ελάχιστου πλήθους δοκιμών πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να είναι δυνατή η στατιστική επεξεργασία ή η βαθμονόμηση.
- c. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η σημασία κάθε δομικού στοιχείου για την αντισεισμική ικανότητα του κτιρίου.
- d. Η παρακολούθηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των διερευνήσεων, γίνεται από τον μελετητή ή από άλλον Μηχανικό με τα απαιτούμενα προσόντα.

### 1.5.2 Αποτύπωση αφανών στοιχείων

Με διερευνητικές τομές ή και με ενόργανες μεθόδους, αναζητούνται τα αφανή στοιχεία τα οποία καθορίζουν:

- Τη μορφή του φέροντος οργανισμού (και της θεμελίωσης).

- Το είδος και τη γεωμετρία του οργανισμούπληρώσεως και των επιστρώσεων.
- Τις λεπτομέρειες δόμησης των τοίχων πληρώσεως.
- Τις διατομές και τη διάταξη του οπλισμού των δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος.
- Τις λεπτομέρειες όπλισης (επικαλύψεις, αγκυρώσεις, ενώσεις με παράθεση, άγκιστρα, κάμψειςκ.λπ).
- Την παρουσία άλλων υλικών που ενδέχεται να συνυπάρχουν στον φέροντα οργανισμό (μέταλλα, ξύλα, συνθετικά υλικά κ.λπ).

Σε κτίρια για τα οποία διατίθεται μελέτη (η οποία έχει εφαρμοστεί χωρίς ουσιώδεις παρεκκλίσεις) ή τουλάχιστον διατίθενται κατασκευαστικά σχέδια, η αποτύπωση αφανών στοιχείων μπορεί να περιορίζεται σε δειγματοληπτικό έλεγχο/επιβεβαίωση της εφαρμογής των σχεδίων. Ειδικά για τις λεπτομέρειες όπλισης, τρεις (3) διερευνητικές τομές ανά κατηγορία εξεταζόμενου δομικού στοιχείου θεωρούνται απαραίτητες, με ιδιαίτερη έμφαση στα μήκη αγκυρώσεων και ενώσεων ράβδων με παράθεση σε περιοχές ελέγχου, καθώς και στις λεπτομέρειες των συνδετήρων. Σε κτίρια για τα οποία δεν διατίθενται σχέδια ή διαπιστώνονται σημαντικές αποκλίσεις από την εγκεκριμένη μελέτη, η έκταση της διερεύνησης πρέπει να είναι ικανή να δώσει αξιόπιστες πληροφορίες για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό. Αυτό συνεπάγεται την ανάγκη μέτρησης των διαστάσεων όλων των μελών του φέροντος οργανισμού, ίσως δε και των τοιχοπληρώσεων.

Σε ό,τι αφορά τις διατομές και την διάταξη του οπλισμού, είναι πρακτικώς αδύνατος ο προσδιορισμός τους για όλα τα δομικά στοιχεία και όλες τις θέσεις. Απαιτείται επομένως να γίνει επιλογή των σημείων ελέγχου, ανάλογα με τη σημασία κάθε στοιχείου για την αντισεισμική ικανότητα του κτιρίου.

Πάντως, για την εκτίμηση των μεγεθών τα οποία είναι δύσκολο να μετρηθούν ευθέως, είναι χρήσιμη η γνώση των συνθηκών και των συνηθειών που επικρατούσαν την εποχή κατασκευής του κτιρίου, ώστε σε συνδυασμό με ένα ελάχιστο πλήθος διερευνητικών τομών να είναι δυνατή η συναγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων.

### 1.5.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών δόμησης

Τα κύρια δομικά υλικά στα οποία αναφέρονται οι διατάξεις του Κανονισμού αυτού, είναι το σκυρόδεμα και οι οπλισμοί, ενδεχομένως δε και οι τοιχοπληρώσεις (τούβλα και κονιάματα).

- Τα ζητούμενα χαρακτηριστικά είναι κατά κύριο λόγο η θλιπτική αντοχή (και το μέτρο ελαστικότητας)για το σκυρόδεμα, το όριο διαρροής, η εφελκυστική αντοχή και η παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο για τον χάλυβα.
- Όταν στην αποτίμηση ή στον ανασχεδιασμό, πρόκειται να ληφθεί υπόψη η συνεισφορά των τοίχων πληρώσεως στην ανάληψη σεισμικών φορτίων, απαιτείται η διερεύνηση των μηχανικών χαρακτηριστικών και των τοίχων αυτών.
- Τέλος, ενδέχεται να συμμετέχουν στον φέροντα οργανισμό και άλλα υλικά (π.χ. χάλυβας ή ξύλο) ή υλικά από προγενέστερες επεμβάσεις (μανδύες, εποξιδικές κόλλες, ινοπλισμένα πολυμερή κλπ), των οποίων τα χαρακτηριστικά πρέπει να διερευνηθούν.

### 1.5.4 Έδαφος θεμελίωσης

- a. Όταν διατίθεται εδαφοτεχνική έρευνα βάσει της οποίας έγινε η κατασκευή του υφιστάμενου κτιρίου, και δεν υπάρχουν ενδείξεις αστοχίας θεμελίωσης, δεν απαιτείται νέα έρευνα. Στις άλλες περιπτώσεις, ακολουθούνται οι απαιτήσεις του Πίνακα 1.1

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

Εδαφοτεχνική έρευνα	Προηγούμενη συμπεριφορά θεμελίωσης	Πρόσθετες δράσεις στο έδαφος(1)	Ανάγκη νέας έρευνας εδάφους
Διατίθεται	κακή		ναι
Δεν διατίθεται	καλή	όχι	οχι
		ναι	ναι
	κακή		ναι

(1): Όταν προκαλείται αύξηση των τάσεων εδάφους τουλάχιστον σε ένα στοιχείο θεμελίωσης μεγαλύτερη από 20%.

Επίσης, όταν κατά την αποτίμηση ή τον ανασχεδιασμό λαμβάνεται υπόψη αλληλεπίδραση εδάφους -κατασκευής και εφόσον δεν διατίθεται επαρκής εδαφοτεχνική έρευνα, γίνεται έρευνα εδάφους (ενδεχομένως νέα ή συμπληρωματική), κατά την αιτιολογημένη κρίση του Μηχανικού. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες υπάρχει υπόνοια αστοχίας της θεμελίωσης του υφιστάμενου κτιρίου. Αναφορικά με το είδος της εδαφοτεχνικής έρευνας έχουν εφαρμογή οι ισχύουσες κανονιστικές διατάξεις που αφορούν την μελέτη νέων κατασκευών.

Η διάταξη αυτή ισχύει ανεξαρτήτως του αν η επέμβαση προκαλεί ή δεν προκαλεί πρόσθετες δράσεις στο έδαφος.

- b. Για κτίρια σπουδαιότητας I και II κατά τον ΕΚ 8-1 (§ 4.2.5, Πιν. 4.3), οι τιμές σχεδιασμού των εδαφικών παραμέτρων μπορούν να λαμβάνονται από τη βιβλιογραφία, βάσει της περιγραφής των εδαφικών στρωμάτων που επηρεάζονται από τη θεμελίωση.

τις περιπτώσεις όπου τα χαρακτηριστικά του εδάφους δεν είναι γνωστά από εδαφοτεχνική έρευνα, συνιστάται η διενέργεια παραμετρικών επιλύσεων, χρησιμοποιώντας εύλογες ακραίες τιμές παραμορφωσιμότητας. Εξαιρούνται οι περιπτώσεις θεμελίωσης με γενική κοιτόστρωση ή εσχάρα δύσκαμπτων θεμελιοδοκών, καθώς και οι περιπτώσεις κτιρίων με υπόγεια με περιμετρικά τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος. Η γενικότερη γνώση του εδάφους είναι απαραίτητη για την κατάταξή του σύμφωνα με τον ΕΚ 8-1.

- c. Στις περιπτώσεις όπου τα χαρακτηριστικά του εδάφους δεν είναι γνωστά από εδαφοτεχνική έρευνα, συνιστάται η διενέργεια παραμετρικών επιλύσεων, χρησιμοποιώντας εύλογες ακραίες τιμές παραμορφωσιμότητας. Εξαιρούνται οι περιπτώσεις θεμελίωσης με γενική κοιτόστρωση ή εσχάρα δύσκαμπτων θεμελιοδοκών, καθώς και οι περιπτώσεις κτιρίων με υπόγεια με περιμετρικά τοιχώματα οπλισμένου σκυροδέματος. Οι συνθήκες στήριξης του κτιρίου στο έδαφος, αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την ακρίβεια των αναλύσεων της ανωδομής.

### 1.5.5 Άλλοι παράγοντες

Σε ειδικές περιπτώσεις, ενδέχεται να επηρεάζουν τη φέρουσα ικανότητα του κτιρίου και άλλοι παράγοντες, όπως:

- Το φυσικό περιβάλλον
- Η γειτονία άλλων δομημάτων ή υπογείων έργων
- Η λειτουργία μηχανημάτων κ.λπ., οι οποίοι και πρέπει να αξιολογηθούν

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

#### 2.1 Υλικά

##### 2.1.1 Γενικά

Η επιλογή του τύπου, της μορφής και της μεθόδου εφαρμογής των συνθέτων υλικών εξαρτώνται κάθε φορά από πολλούς παράγοντες όπως: η γεωμετρία και οι διαστάσεις των προς ενίσχυση στοιχείων, το είδος της εντατικής τους καταπόνησης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. σε θερμοκρασίες κάτω των 10 °C περίπου η σκλήρυνση των ρητινών είναι δύσκολη), εμπειρία του μηχανικού και του διατιθέμενου εργατοτεχνικού προσωπικού και, τέλος, ο προϋπολογισμός της επέμβασης. Βεβαίως, εκτός από την προσεκτική επιλογή των συνθέτων υλικών και την επιμελημένη εφαρμογή τους, ένας παράγοντας που καθορίζει αν η επέμβαση θα είναι επιτυχής είναι η αντοχή και η ποιότητα του υποστρώματος (σκυροδέμα) στο οποίο θα γίνει η επικόλληση. Πολύ χαμηλή εφελκυστική αντοχή ή επιφάνεια τραχιά, γεμάτη με σκόνη, λάδια κ.τλ. δεν θα εξασφαλίσουν καλή ποιότητα δεσμού μεταξύ σκυροδέματος-συνθέτων υλικών, με αποτέλεσμα πρόωρη αστοχία του οπλισμού ενίσχυσης. Ακολουθώς επιχειρείται μια συνοπτική περιγραφή των βασικών συστατικών ενός συστήματος ενίσχυσης: τα σύνθετα υλικά, που αποτελούνται από ίνες σε πολυμερική μήτρα, και η κόλλα εφαρμογής τους σε επιφάνειες σκυροδέματος.

##### 2.1.2 Ίνες

Οι ίνες στα σύνθετα υλικά, διαμέτρου 5-25 μm, αποτελούν τον φορέα ανάληψης δυνάμεων (κατά κανόνα εφελκυστικών), παράλληλα στη διεύθυνση τους. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή και η γραμμικά ελαστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση τους. Οι κυριότεροι τύποι ινών που χρησιμοποιούνται στο πεδίο των ενισχύσεων είναι οι ίνες άνθρακα (ανθρακονήματα), οι ίνες γυαλιού (υαλονήματα) και οι ίνες αραμιδίου. Επισημαίνεται ότι οι ιδιότητες αυτές αναφέρονται στις ίνες υπό μονοτονική φόρτιση, χωρίς να έχει ληφθεί υπόψη και η επίδραση μακροχρόνιας φόρτισης και τυχόν περιβαλλοντικών παραγόντων.

Οι ίνες άνθρακα (πυκνότητα 1800-1900 kg/m<sup>3</sup>) παρασκευάζονται είτε από θερμική κατεργασία του πολυακρυλονιτριλίου (PAN) είτε μέσω απόσταξης καρβούνου (pitch). Οι πρώτες χαρακτηρίζονται γενικά από μεγαλύτερες αντοχές και μέτρα ελαστικότητας σε σύγκριση με τις δεύτερες. Οι ίνες γυαλιού (παρασκευάζονται από λειωμένο γυαλί, πυκνότητα 2300-2500 kg/m<sup>3</sup>) μπορεί να είναι: α) τύπου E, που ο κοινός και πλέον συνηθισμένος τύπος γυαλιού (με βασικό μειονέκτημα την μείωση της αντοχής σε αλκαλικό περιβάλλον, όπως είναι αυτό του σκυροδέματος), β) τύπος Z (ή AR), με μεγάλη αντοχή στο αλκαλικό περιβάλλον και γ) τύπου S, με κύρια χαρακτηριστικά την υψηλή αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας. Ένα πλεονέκτημα των ινών γυαλιού (έναντι των άλλων τύπων) είναι το αρκετά χαμηλότερο κόστος. Τέλος, οι ίνες αραμιδίου (πυκνότητα 1450 kg/m<sup>3</sup>) που διατίθενται στη διεθνή αγορά διακρίνονται σε αυτές οι οποίες προέρχονται από αρωματικό πολυαμίδιο (Κέβλαρ,

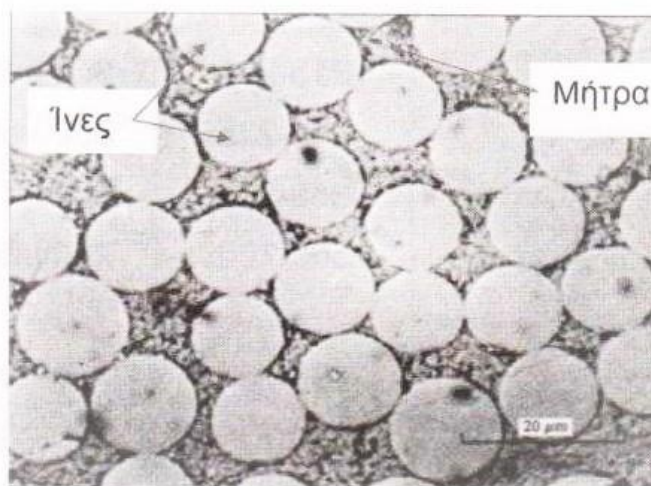
Twaron), και σε εκείνες οι οποίες προέρχονται από αρωματικό πολυαιθεραμίδιο (Technora). Κύριο πλεονέκτημά τους είναι η πολύ καλή συμπεριφορά σε κρουστικά φορτία, γι' αυτό και τα τελευταία χρόνια προτιμούνται (π.χ. στη Μ. Βρετανία) για την κατασκευή μανδύων σε υποστυλώματα γεφυρών, όπου υπάρχει κίνδυνος πρόσκρουσης οχημάτων.

### 2.1.3 Μήτρα

Η μήτρα στα σύνθετα υλικά αποτελεί τη συγκολλητική ύλη μεταξύ των ινών. Συνήθως είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές, το οποίο συνδέει τις ίνες μεταξύ τους, τις προστατεύει, εξασφαλίζει τη μεταφορά δυνάμεων σε αυτές, αλλά καθορίζει και αρκετές μηχανικές ιδιότητες των συνθέτων υλικών, όπως είναι η αντοχή κάθετα στη διεύθυνση των ινών, η διατμητική και η θλιπτική αντοχή. Ο πλέον συνηθισμένος (καίτοι ακριβότερος) τύπος μήτρας είναι οι εποξειδικές ρητίνες, σπανιότερα όμως χρησιμοποιείται πολυεστέρας ή βινυλεστέρας. Οι εποξειδικές ρητίνες υπερέχουν των άλλων τύπων μήτρας λόγω των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις.

### 2.1.4 Σύνθετα υλικά

Τα σύνθετα υλικά που εφαρμόζονται στο πεδίο των ενισχύσεων προκύπτουν από τον συνδυασμό συνεχών ινών, συνήθως μίας διεύθυνσης, και πολυμερικής μήτρας. Στην περίπτωση ελασμάτων σύνθετων υλικών οι ίνες καταλαμβάνουν περίπου το 50-70% του συνολικού όγκου υλικού, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για μανδύες που κατασκευάζονται με επί τόπου εφαρμογή της ρητίνης είναι 20-35%.



Σχ. 2.2 Τομή ελάσματος συνθέτου υλικού σε μεγέθυνση.

Οι βασικές μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών με ίνες σε μία κυρίως διεύθυνση μπορούν να μετρηθούν πειραματικά, είτε να εκτιμηθούν βάσει των αντίστοιχων για τις ίνες και τη μήτρα. Μέσω της σχέσης που είναι γνωστή και ως “κανόνας ανάμιξης”:



$$E_f = E_{fib} V_{fib} + E_m V_m \quad (2.1)$$

$$F_f = f_{fib} V_{fib} + f_m V_m \quad (2.2)$$

Όπου:

$E_f$  = μέτρο ελαστικότητας σύνθετων 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 σύνθετων 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 σύνθετων υλικών ουσιαστικά μπορούν να εκτιμηθούν από το γινόμενο της αντίστοιχης ιδιότητας για τις ίνες επί το ογκομετρικό ποσοστό αυτών. Οι προμηθευτές συστημάτων ενίσχυσης με βάση τα σύνθετα υλικά διαθέτουν στην αγορά συνήθως είτε προκατασκευασμένα ελάσματα, όπου η παραγωγή του σύνθετου υλικού έχει γίνει σε βιομηχανική μονάδα, είτε υφάσματα με ίνες μίας διεύθυνσης. Στην πρώτη περίπτωση οι μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών είναι γνωστές εκ των προτέρων, π.χ. βάσει εργαστηριακών μετρήσεων. Στη δεύτερη όμως, όπου η επικόλληση των ινών με τη μήτρα γίνεται επί τόπου του έργου, υπάρχει μία σχετική αβεβαιότητα ως προς την ποσότητα ρητίνης η οποία θα εμποτίσει τις ίνες, και άρα ως προς το ογκομετρικό ποσοστό ινών στο σύνθετο υλικό. Οι πιθανές λύσεις σχετικά με τις ιδιότητες των σύνθετων υλικών που θα πρέπει να υιοθετηθούν στους υπολογισμούς είναι δύο: (α) Χρήση των ιδιοτήτων των τελικώς διαμορφωμένων συστημάτων (σύνθετων υλικών) όπως αυτές έχουν μετρηθεί (εργαστηριακά) από τον προμηθευτή με βάση τη χρήση δεδομένης ποσότητας ρητίνης. (β) Χρήση των ιδιοτήτων των ινών, αφού προηγηθεί ελαφρά μείωση (βάσει πολλαπλασιασμού με μειωτικό συντελεστή  $r_1$ , ο οποίος θα πρέπει να έχει προσδιοριστεί πειραματικά από τον προμηθευτή.

### 2.1.5 Κόλλα

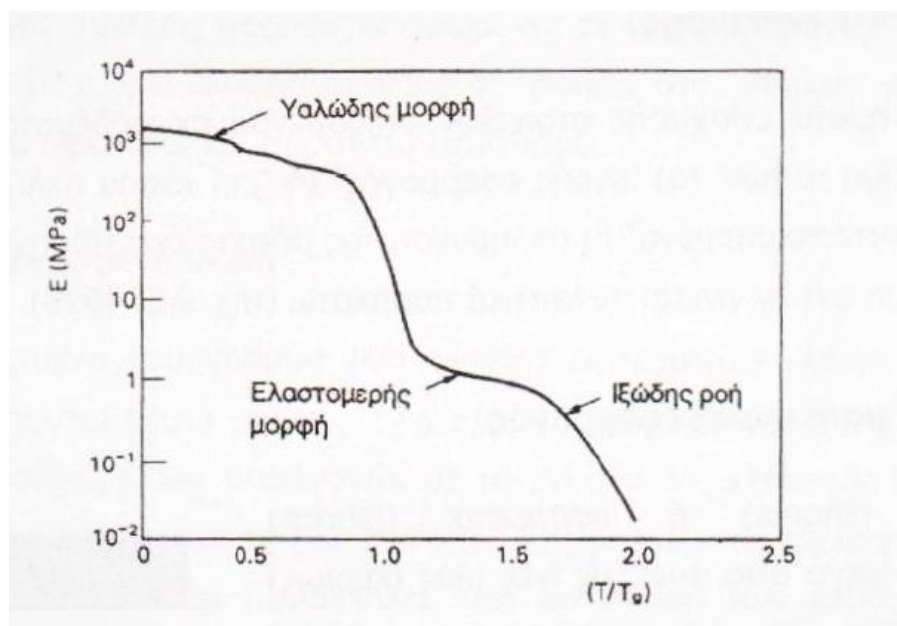
Η κόλλα (κατά κανόνα εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών) εφαρμόζεται μεταξύ του σκυροδέματος και του σύνθετου υλικού, εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεργασία τους και τη μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο. Η χρήση εποξειδικών ρητινών στις κατασκευές προϋποθέτει την κατανόηση τριών βασικών εννοιών. Η πρώτη είναι ο χρόνος εργασιμότητας, η δεύτερη είναι ο χρόνος εφαρμογής και η Τρίτη είναι η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης,  $T_g$  (glass transition temperature).

Ο χρόνος εργασιμότητας είναι αυτός που έχει κανείς στη διάθεσή του για να χρησιμοποιήσει την κόλλα με ευκολία πριν αρχίσει να μειώνεται το ιξώδες της και να σκληρύνεται στο δοχείο όπου έγινε η ανάμιξη. Εξαρτάται από τον τύπο της κόλλας, από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά και από την ποσότητα κόλλας, που

προκύπτει με την ανάμιξη των δύο συστατικών. Ενδεικτικοί χρόνοι για ποσότητα (τυπικής) κόλλας 5 kg είναι 90 min σε 15 °C και 30 min σε 35 °C.

Ο χρόνος εφαρμογής αντιπροσωπεύει το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο η κόλλα είναι ενεργή, δηλαδή έχει ικανοποιητικές συγκολλητικές ιδιότητες. Μέσα σε αυτό το διάστημα θα πρέπει να ολοκληρώνεται η επικόλληση του οπλισμού ενίσχυσης στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Τέλος, στη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (χαρακτηριστική ιδιότητα όλων των πολυμερών) οι κόλλες υφίστανται ραγδαία απομείωση του μέτρου ελαστικότητας (Σχ 2.3), οπότε έχουν περιορισμένη πλέον ικανότητα μεταφοράς δυνάμεων.



Σχ. 2.3 Επίδραση της θερμοκρασίας στο μέτρο ελαστικότητας των πολυμερών.

## 2.2 Συστήματα Ενίσχυσης

Τα συστήματα ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά είναι γενικά δύο τύπων: (α) “υγρής εφαρμογής” και (β) “προκατασκευασμένα”.

### 2.2.1 Συστήματα υγρής εφαρμογής

- Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μίας (κυρίως) διεύθυνσης, χωρίς μήτρα. Για την εφαρμογή τους απαιτείται συνήθως η εφαρμογή “ασταρώματος” στο σκυρόδεμα και ακολούθως ο εμποτισμός των ινών με ρητίνη, βάσει μίας εκ των εξής μεθόδων:

- εφαρμογή της ρητίνης στο σκυρόδεμα, τοποθέτηση των ινών απευθείας στη ρητίνη.

- προεμποτισμός των ινών (επί τόπου στο έργο αλλά όχι επάνω στο υπό ενίσχυση στοιχείο) με ρητίνη και ακολούθως επικόλληση

- Υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις.

- Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μίας (κυρίως) διεύθυνσης, προεμποτισμένα με ρητίνη (μήτρα) σε μη σκληρυμένη μορφή. Η εφαρμογή τους γίνεται με ή χωρίς επί πλέον ρητίνη.
- Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις, προεμποτισμένα με ρητίνη (μήτρα) σε μη σκληρυμένη μορφή. Η εφαρμογή τους γίνεται με ή χωρίς επί πλέον ρητίνη.
- Συνεχείς ίνες χωρίς μήτρα (“ξηρή” κατάσταση), συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος (tow), το οποίο εμποτίζεται με ρητίνη ενώ τυλίγεται (π.χ. με αυτοματοποιημένη τρόπο) στο στοιχείο σκυροδέματος.
- Προεμποτισμένες συνεχείς ίνες, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος (tow), το οποίο ενώ τυλίγεται (π.χ. με αυτοματοποιημένο τρόπο) στο στοιχείο σκυροδέματος, ενδεχομένως να υφίσταται και πρόσθετο εμποτισμό.

### 2.2.2 Προκατασκευασμένα υλικά

- Προκατασκευασμένα ευθύγραμμα (και σχετικά δύσκαμπτα) ελάσματα (strips), τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης. Τα ελάσματα διατίθεται συνήθως σε μορφή ρολλών (“κουλούρες”), και παράγονται με τη μέθοδο της εξέλασης, ή σπανιότερα, της στρωμάτωσης. Στη μέθοδο της εξέλασης οι ίνες είναι κατά κανόνα συνεχείς και παράλληλες στη διεύθυνση των ελασμάτων, ενώ η στρωμάτωση επιτρέπει τη χρήση ινών σε διαφορετικές διευθύνσεις (π.χ. παράλληλες και κάθετες στη διεύθυνση των ελασμάτων ή και υπό γωνίες +45°).
- Προκατασκευασμένα κελύφη (shells), μανδύες (jackets) ή γωνίες (angles), τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης.

Γενικά μπορεί να διαπιστωθεί το συμπέρασμα ότι τα προκατασκευασμένα ελάσματα προτιμούνται έναντι των υφασμάτων (ή φύλλων) όταν η εφαρμογή γίνεται σε επίπεδες επιφάνειες (π.χ. καμπτική ενίσχυση δοκών ή πλακών), ενώ σε άλλες περιπτώσεις (π.χ. μανδύες υποστρωμάτων, διατμητική ενίσχυση δοκών) η εφαρμογή υφασμάτων μέσω της υγρής μεθόδου είναι προτιμητέα.

## 2.3 Τεχνικές Εφαρμογής

### 2.3.1 Βασική Τεχνική

Βασική τεχνική, είναι και η συνηθισμένη (και εφαρμόζεται κατ’ αποκλειστικότητα στη χώρα μας), περιλαμβάνει την δια χειρός επικόλληση είτε υφασμάτων, είτε προκατασκευασμένων στοιχείων σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, μέσω εποξειδικών ρητινών.

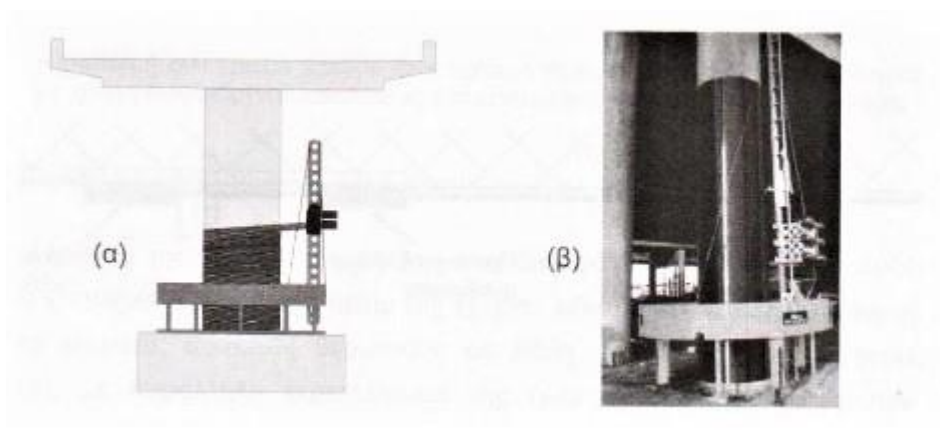
### 2.3.2 Ειδικές Τεχνικές

Οι περισσότερες από τις παρακάτω τεχνικές δεν έχουν τύχει ακόμα ευρείας εφαρμογής στη χώρα μας, αλλά αναφέρονται παρακάτω κυρίως για λόγους πληρότητας.

#### 2.3.2.1 Αυτοματοποιημένη περιτύλιξη

Η τεχνική της αυτοματοποιημένης περιτύλιξης “νημάτων” αναπτύχθηκε στην Ιαπωνία στις αρχές της δεκαετίας του ‘90 και λίγο αργότερα στις Η.Π.Α. Περιλαμβάνει την χωρίς διακοπή περιτύλιξη προεμποτισμένων με ρητίνη νημάτων

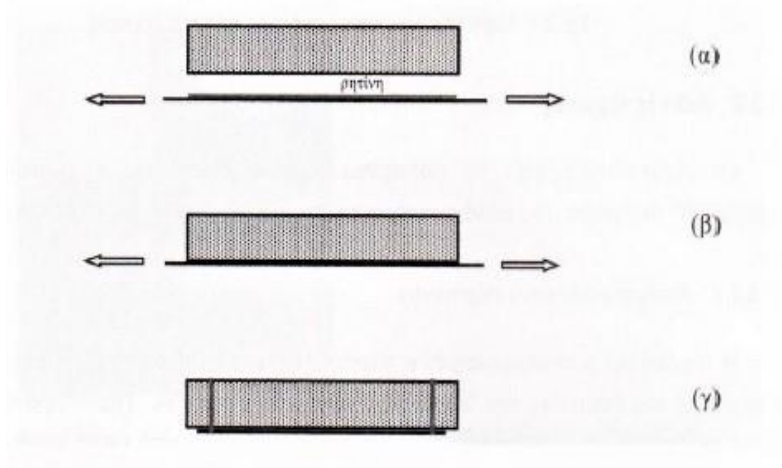
υπό μικρή γωνία γύρω από υποστυλώματα γεφυρών ή άλλα στοιχεία (π.χ. καπνοδόχοι), μέσω ειδικής συσκευής-ρομπότ (Σχ 2.4) Βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής, πλέον του καλού ποιοτικού ελέγχου, είναι η μεγάλη ταχύτητα εφαρμογής.



**Σχ. 2.4** Αυτοματοποιημένη περιτύλιξη προεπιμοτισμένων “νημάτων”. (α) Σχηματική διάταξη, (β) φωτογραφία συσκευής-ρομπότ.

### 2.3.2.2 Εφαρμογή με προένταση

Η μέθοδος προέντασης, η οποία αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '90, περιλαμβάνει την επικόλληση των ελασμάτων ενώ αυτά βρίσκονται υπό τάνυση. Έτσι εκμεταλλευόμαστε τα βασικά πλεονεκτήματα τα προέντασης (αύξηση δυσκαμψίας, καθυστέρηση ρηγμάτωσης, μείωση πλάτους ρωγμών, αύξηση καμπτικής και διατμητικής αντοχής σε σχέση με τη εφαρμογή τα τεχνικής χωρίς προένταση κλπ), με τίμημα την αύξηση του κόστους αλλά και του βαθμού πολυπλοκότητας της μεθόδου εφαρμογής, λόγω της ανάγκης για τη χρήση ειδικών αγκυρώσεων.



**Σχ. 2.5** Σχηματική διάταξη προέντασης με ελάσματα συνθέτων υλικών. (α) Προένταση, (β) Επικόλληση υπό τάνυση, (γ) Αγκύρωση άκρων και αποφόρτιση (μετά τη σκλήρυνση της ρητίνης)

Η τεχνική της προέντασης μπορεί να εφαρμοστεί και σε μανδύες υποστυλωμάτων, π.χ. είτε εφαρμόζοντας τα σύνθετα υλικά με

τις ίνες υπό τάνυση, είτε εισάγοντας στο κενό μεταξύ του μανδύα και του σκυροδέματος ρητίνη υπό πίεση ή διογκούμενο κονίαμα.

#### 2.3.2.3 Επιταχυμένη σκλήρυνση με θέρμανση

Η σκλήρυνση της εποξειδικής ρητίνης στη διεπιφάνεια ελασμάτων-σκυροδέματος μπορεί να επιταχυνθεί σημαντικά μέσω της χρήσης ειδικών συσκευών θέρμανσης (π.χ. θερμαντικά σώματα, συσκευές θέρμανσης με βάση υπέρυθρες ακτίνες, θερμαντικά καλύμματα), με παράλληλη εκμετάλλευση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των ινών άνθρακα. Έτσι αυξάνεται σημαντικά η ταχύτητα εφαρμογής της ενίσχυσης ακόμα και σε περιπτώσεις που η τελευταία θα ήταν αδύνατη (π.χ. λόγω χαμηλής θερμοκρασίας, οπότε δεν ευνοείται η σκλήρυνση της ρητίνης). Πρόσθετο πλεονέκτημα της επιταχυμένης σκλήρυνσης είναι η αύξηση της θερμοκρασίας αλώδους μετάπτωσης της ρητίνης.

#### 2.3.2.4 Προκατασκευασμένα στοιχεία

Τα προκατασκευασμένα στοιχεία από σύνθετα υλικά είναι συνήθως μορφής:

- (α) Ελάσματος (πάχους της τάξης του 1 mm και πλάτους π.χ. 50 mm, 100mm).
- (β) Γωνιών, που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ενίσχυσης (π.χ. πλακοδοκών) έναντι τέμνουσας.
- (γ) Μανδύα-κελύφους, που τοποθετείται περιμετρικά υποστυλωμάτων με στόχο την αύξηση της περίσφυξης ή της διατμητικής αντοχής.

#### 2.3.2.5 Εφαρμογή σε εγκοπές

Η τοποθέτηση και επικόλληση (μέσω εποξειδικής ρητίνης) ράβδων ή ελασμάτων σε εγκοπές αποσκοπεί συνήθως στην αύξηση της καμπτικής αντοχής υφιστάμενων μελών σκυροδέματος.

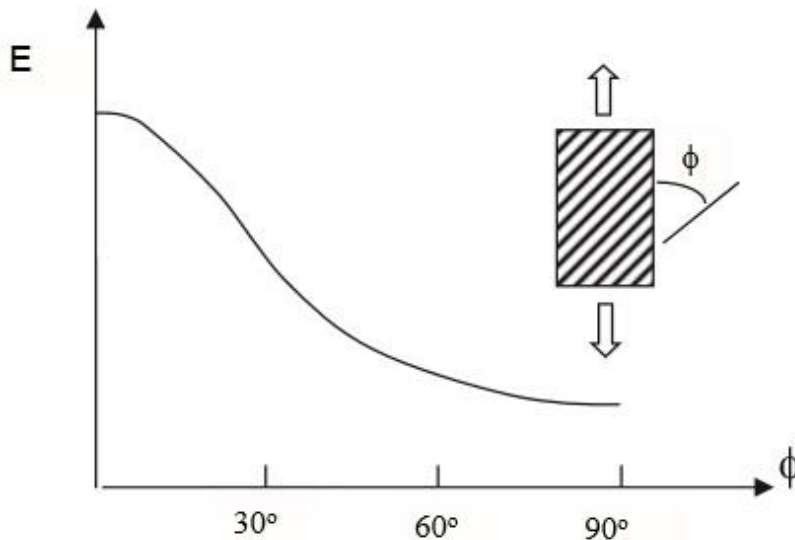
Κύριο πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής, σε σχέση με την επιφανειακή επικόλληση, είναι η εξαιρετικά βελτιωμένη συνάφεια των σύνθετων υλικών με το σκυρόδεμα και εν γένει η καλύτερη προστασία τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

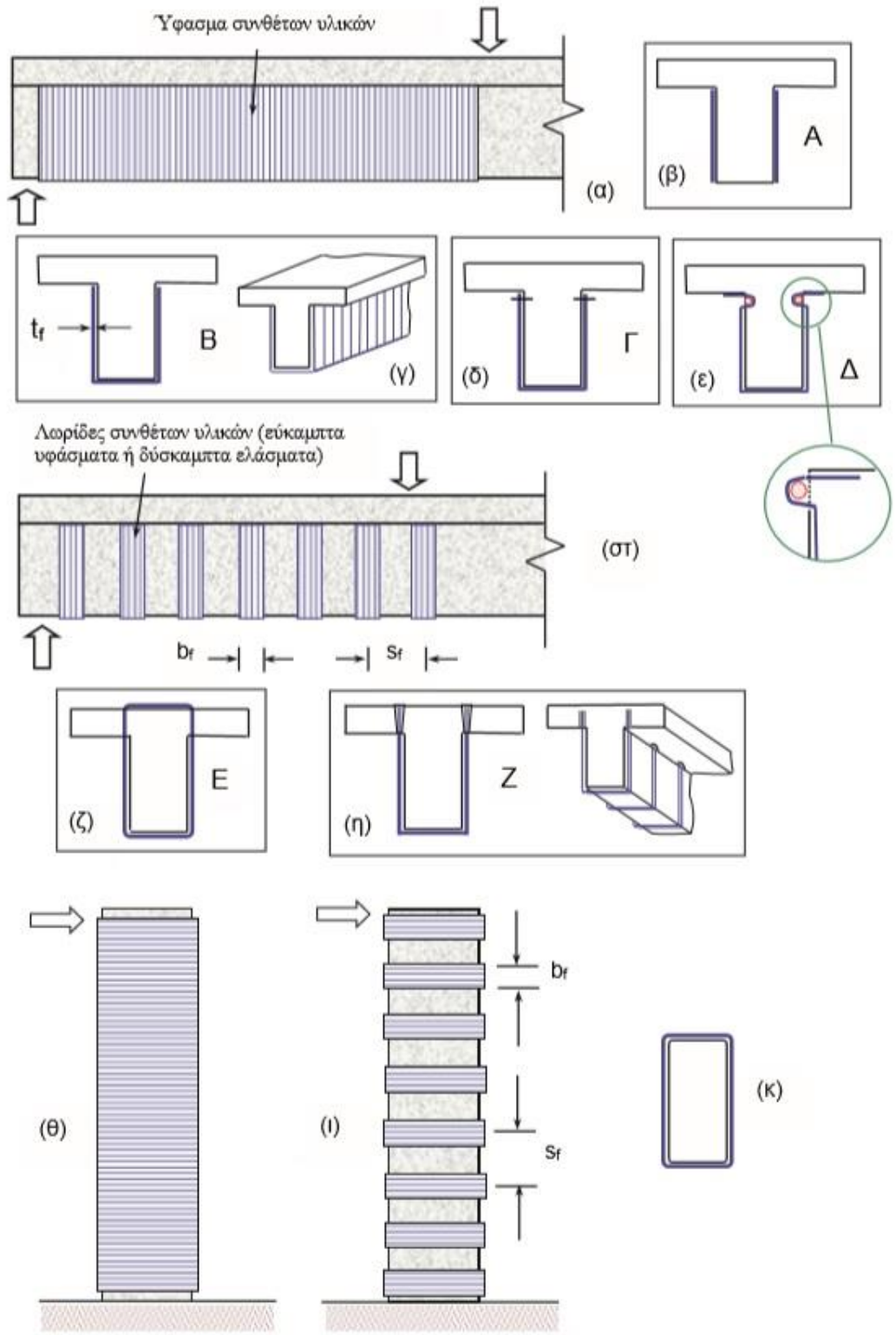
### ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

#### 3.1 Γενικά

Η ενίσχυση στοιχείων οπλισμού σκυροδέματος σε διάτμηση με σύνθετα υλικά επιτυγχάνεται μέσω της επικόλλησης υφασμάτων ή, σπανιότερα, ελασμάτων, τα οποία επικολλούνται στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες κατά το δυνατόν παράλληλες στις τροχιές των κυρίων τάσεων, δηλαδή περίπου κάθετα σε πιθανές ρωγμές. Τούτο βέβαια δεν είναι γενικά εφικτό, γι' αυτό, όπως και στην περίπτωση της χρήσης συνδετήρων για την ανάληψη τέμνουσας, οι ίνες εφαρμόζονται στις πιο πολλές περιπτώσεις με διεύθυνση κάθετη στον άξονα των δομικών μελών. Για σύνθετα υλικά με ίνες μιας διεύθυνσης, η σχέση διεύθυνσης ινών-αποτελεσματικότητας ως προς την ανάληψη φορτίων καταδεικνύεται στο σχ 3.1 ενώ ενδεικτικές διατάξεις ενίσχυσης δομικών στοιχείων σε τέμνουσα δίνονται στο σχ 3.2



**Σχ. 3.1** Μέτρο ελαστικότητας (παράλληλα στη διεύθυνση φόρτισης) συνθέτων υλικών με ίνες μιας διεύθυνσης συναρτήσεως της γωνίας των ινών ως προς τη διεύθυνση φόρτισης.



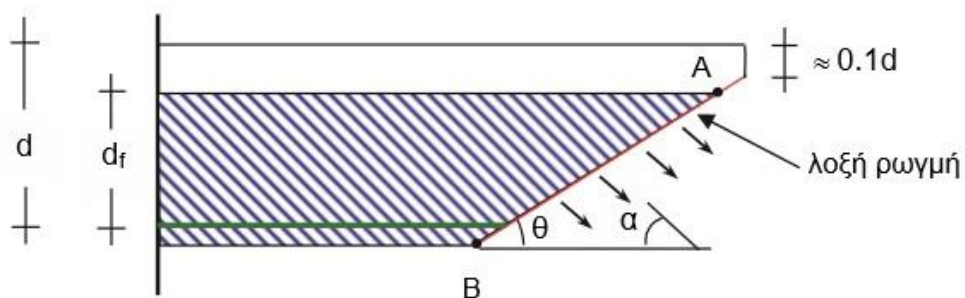
Σχ. 3.2 Ενδεικτικές διατάξεις ενίσχυσης (α)-(ζ) δοκού, (η)-(ι) υποστυλώματος



Σχ. 3.3 Ενίσχυση (α) κρίσιμης περιοχής δοκού και (β) υποστυλώματος σε διάτμηση.

### 3.2 Ανάλυση τέμνουσας από τα σύνθετα υλικά

Κατά την οριακή κατάσταση διατμητικής αστοχίας, οι ίνες που διαπερνούν μια λοξή (διατμητικού τύπου) ρωγμή ενεργοποιούνται και παραλαμβάνουν δυνάμεις κατ' αναλογία με τους εσωτερικούς συνδετήρες σχ 3.4



Σχ. 3.4 Μηχανισμός ανάλυσης τέμνουσας από τα σύνθετα υλικά σε λοξή ρωγμή.

Για την περίπτωση χρήσης λωρίδων πάχους  $t_f$  και πλάτους  $b_f$  (κάθετα στον άξονα κάθε λωρίδας), ανά αποστάσεις  $s_f$  (παράλληλα στον άξονα του μέλους), η



τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού που παραλαμβάνεται από τα συνθετικά υλικά,  $V_{fd}$ , δίνεται από την σχέση:

$$V_{fd} = \frac{2t_f b_f}{s_f} d_f (\varepsilon_{fe,d} E_f) (\cot \theta + \cot \alpha) \sin a \quad (3.1)$$

όπου  $d_f$  = ύψος του μανδύα που διαπερνάται από την ρωγμή, μετρούμενο από τη στάθμη του διαμήκους οπλισμού (και ίσο με  $0.9d$  στην περίπτωση που ο οπλισμός διάτμησης καλύπτει πλήρως τις πλευρές,  $\theta$  = γωνία ρωγμής ως προς τον άξονα του μέλους (μπορεί να θεωρηθεί  $45^\circ$ ),  $\alpha$  = γωνία διεύθυνσης ινών ως προς τον άξονα του μέλους,  $E_f$  = μέτρο ελαστικότητας συνθέτων υλικών παράλληλα στη διεύθυνση των ινών και  $\varepsilon_{fe,d}$  = μέση τιμή, κατά το μήκος της ρωγμής, της παραμόρφωσης στα σύνθετα υλικά παράλληλα στη διεύθυνση των ινών, κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω τέμνουσας ("ενεργή" παραμόρφωση).

Εδώ αξίζει να επισημανθεί ότι οι μόνες διαφορές της εξ. (3.1) με την αντίστοιχη για τη συνεισφορά  $V_{wd}$  του συμβατικού οπλισμού διάτμησης (συνδετήρες), είναι:  $2t_f b_f$  αντί  $A_{sw}$  (εμβαδόν διατομής συνδετήρων),  $s_f$  αντί  $s$  (απόσταση συνδετήρων) και  $\varepsilon_{fe,d} E_f$  αντί για  $f_{ywd}$  (τάση διαρροής συνδετήρων).

Στην πιο συνηθισμένη περίπτωση εφαρμογής συνεχούς υφάσματος αντί των λωρίδων (οπότε  $b_f = s_f \sin a$ ), η εξ. (3.1) γράφεται:

$$V_{fd} = 2t_f d_f (\varepsilon_{fe,d} E_f) (\cot \theta + \cot \alpha) \sin^2 a \quad (3.2)$$

Επίσης, συνήθως τα σύνθετα υλικά εφαρμόζονται με τις ίνες κάθετα στον άξονα του μέλους ( $\alpha = 90^\circ$ ), οπότε:

$$V_{fd} = 2t_f d_f (\varepsilon_{fe,d} E_f) \cot \theta \quad (3.3)$$

Παραπάνω αναφέρθηκε ότι κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας του μέλους σε τέμνουσα, στα σύνθετα υλικά έχει αναπτυχθεί μια "ενεργή" παραμόρφωση  $\varepsilon_{fe,d}$ , με αντίστοιχη ορθή τάση  $\varepsilon_{fe,d} E_f$ . Ο υπολογισμός της πραγματικής κατανομής των ορθών τάσεων και παραμορφώσεων στα σύνθετα υλικά κατά μήκος της λοξής ρωγμής είναι σχετικά περίπλοκος. Η παραμόρφωση αυτή είναι περίπου ανάλογη του ανοίγματος της ρωγμής, το οποίο είναι ελάχιστο στη θέση Α του Σχ. 3.4 και μέγιστο στη θέση Β, οπότε και η παραμόρφωση μεταβάλλεται περίπου γραμμικά μέχρι μια μέγιστη τιμή,  $\varepsilon_{fd,max}$ , η οποία είναι και η καθοριστική για την αστοχία του συνθέτου υλικού. Βάσει των παραπάνω υποθέσεων, η "ενεργή" παραμόρφωση ισούται με:

$$\varepsilon_{fe,d} = D_f \varepsilon_{fd,max} = 1 - \frac{0.5d_f}{0.9d} \varepsilon_{fd,max} \quad (3.4)$$

Η τιμή της παραμόρφωσης  $\varepsilon_{fd,max}$  κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω τέμνουσας που εξαρτάται από το μηχανισμό αστοχίας, που μπορεί να είναι ένας από τους παρακάτω:

- Θραύση των συνθέτων υλικών

Αναμένεται να συμβεί κατά κανόνα σε επαρκώς αγκυρωμένους (κλειστούς) μανδύες. Στην περίπτωση αυτή

$$\varepsilon_{fd, max} = \frac{f_{fde}}{E_f} \quad (3.5)$$

όπου  $f_{fde}$  η μειωμένη ως προς την εφελκυστική αντοχή, λόγω συγκεντρώσεων τάσεων στις γωνίες του μέλους αντοχή σχεδιασμού. Ελλείψη περισσότερων στοιχείων μπορεί να θεωρηθεί ότι ο μειωτικός συντελεστής  $\eta_e$  για τον υπολογισμό της  $f_{fde}$  είναι 0,80 (αντιστοιχεί σε 20% μείωση της αντοχής που προκύπτει μέσω δοκιμής εφελκυσμού).

- Αποκόλληση των συνθέτων υλικών

Για μανδύες ανοικτού τύπου η πιθανότητα αστοχίας με θραύση του μανδύα είναι σχετικά μικρή. Κύριος μηχανισμός αστοχίας είναι η αποκόλληση των συνθέτων υλικών (Σχ. 3.5). Ας σημειωθεί ότι στην περίπτωση τρίπλευρου μανδύα το καλύτερα αγκυρωμένο τμήμα συνθέτων υλικών είναι αυτό στο κάτω τμήμα, με μήκος αγκύρωσης  $df/\sin\alpha$ , ενώ στην περίπτωση δίπλευρου μανδύα το μήκος αγκύρωσης είναι μέγιστο στο μέσο της ρωγμής.



Σχ. 3.5 Αποκόλληση οπλισμών διάτμησης

- Πρόωρη αστοχία λόγω μεγάλου ανοίγματος της λοξής ρωγμής

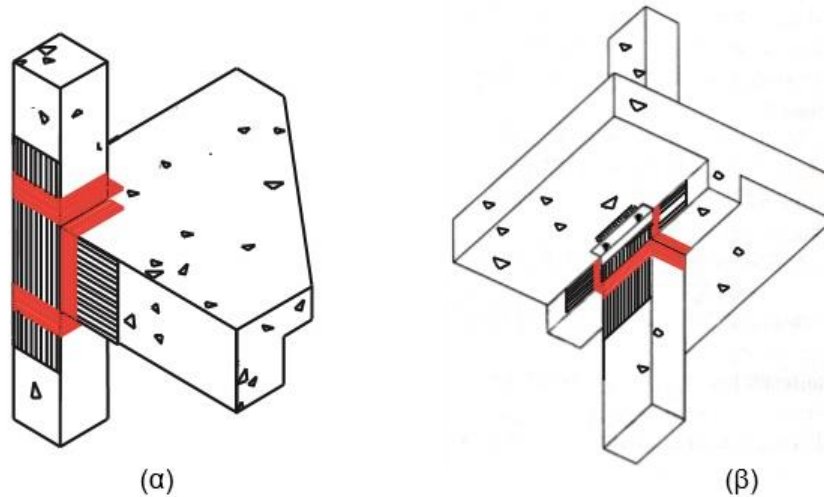
Η ανάπτυξη μεγάλου ανοίγματος ρωγμής ενδέχεται να μειώσει σημαντικά την συνεισφορά των μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας που εκφράζονται μέσω του όρου  $V_{cd}$  (λόγω σημαντικής μείωσης της αλληλεμπλοκής των αδρανών και/ή της θλιβόμενης ζώνης), με αποτέλεσμα να βρεθεί το μέλος στην οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω τέμνουσας πριν αστοχήσουν (λόγω θραύσης ή αποκόλλησης) τα σύνθετα υλικά. Γι' αυτό είναι σκόπιμο να περιορίζεται η  $\varepsilon_{fd, max}$  σε μια μέγιστη τιμή, της τάξης του 0.6%.

### 3.3 Κόμβοι

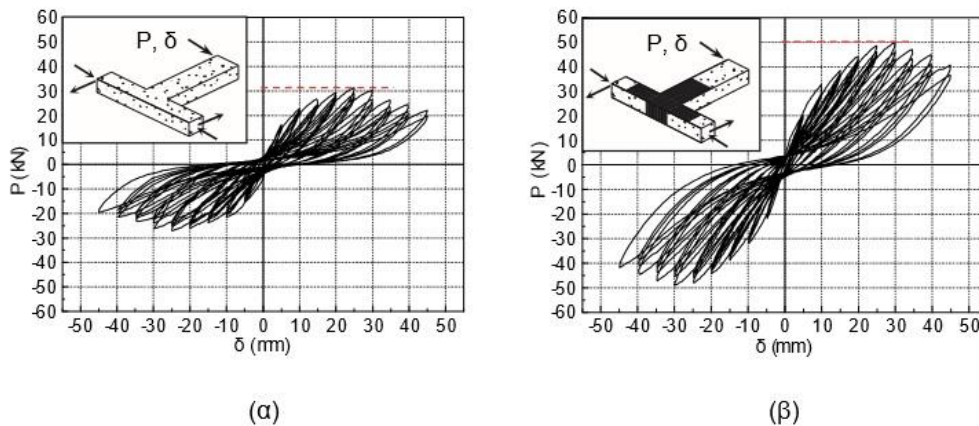
Η μελέτη της ενίσχυσης κόμβων δοκών-υποστυλωμάτων σε διάτμηση ξεκίνησε σχετικά πρόσφατα και κατέδειξε ότι ακόμα και σχετικά μικρά ποσοστά συνθέτων υλικών (π.χ. 2-3 στρώσεις υφάσματος με ίνες άνθρακα) καλά αγκυρωμένων έξω από τις περιοχές των κόμβων επαρκούν για την αύξηση της διατμητικής αντοχής των κόμβων σε ποσοστά μέχρι και 80-100%. Η διάταξη των συνθέτων υλικών για να καταστεί τούτο επικ'το θα πρέπει να

περιλαμβάνει υφάσματα τοποθετημένα με τη διεύθυνση των ινών παράλληλη κατά προτεραιότητα στις δοκούς, αλλά όπου είναι δυνατόν και στα υποστυλώματα (π.χ. Σχ. 3.10)

Η σημαντική αύξηση της διατμητικής αντοχής κόμβων μέσω της ενίσχυσης με σύνθετα υλικά καταδεικνύεται μέσω των αποτελεσμάτων του Σχ. 3.11, το οποίο δίνει την καμπύλη φορτίου-μετατόπισης μη ενισχυμένου και ενισχυμένου (με 2 στρώσεις υφάσματος ινών άνθρακα) δοκιμίου μορφής κόμβου σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση.



Σχ. 5.10 Ενδεικτικές διατάξεις ενίσχυσης κόμβων με σύνθετα υλικά σε 2 διευθύνσεις (δοκού, υποστυλώματος) και αγκύρωση των υλικών εκτός περιοχής κόμβου. (α) Εξωτερικός κόμβος, (β) Εσωτερικός κόμβος.



Σχ. Καμπύλες φορτίου-μετατόπισης για κόμβο οπλισμένου σκυροδέματος με ανεπαρκή οπλισμό διάτμησης (έλλειψη συνδετήρων στην περιοχή του κόμβου). (α) Μη ενισχυμένο δοκίμιο. (β) αύξηση διατμητικής αντοχής της τάξης του 70% για το ενισχυμένο δοκίμιο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

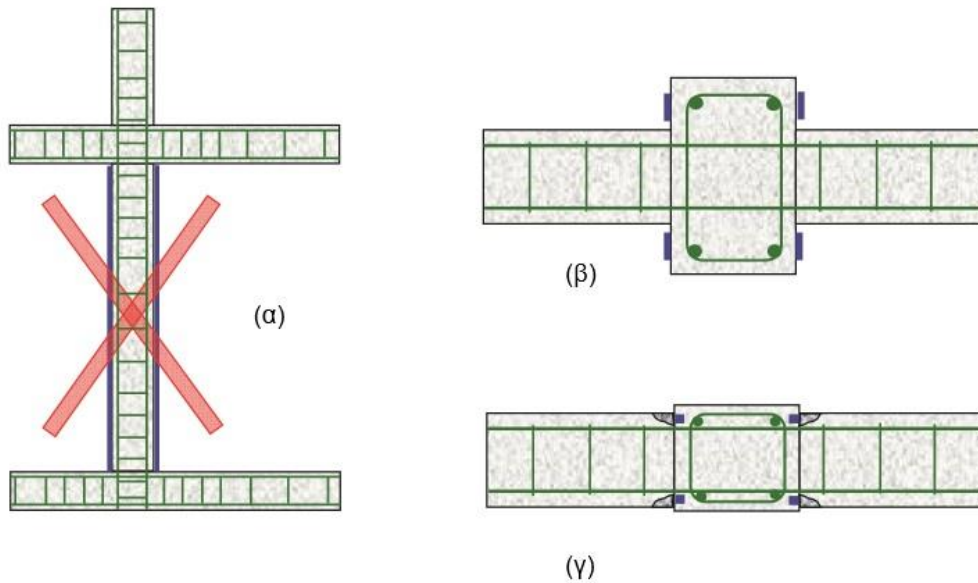
#### 4.1 Γενικά

Η εφαρμογή σύνθετων υλικών για ενισχύσεις έναντι κάμψης (Σχ. 4.1) γίνεται συνήθως σε στοιχεία τύπου δοκού ή πλάκας, μέσω ελασμάτων ή υφασμάτων τα οποία επικολλούνται στο εφελκόμενο πέλμα με διεύθυνση των ινών τέτοια ώστε να παραλαμβάνουν τις λόγω κάμψης εφελκυστικές δυνάμεις (πχ παράλληλα στον άξονα του μέλους, για την περίπτωση των δοκών, σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις για την περίπτωση τετραέρειστων πλακών). Στην περίπτωση υποστυλωμάτων με κρίσιμες σε κάμψη τις ακραίες διατομές, η εφαρμογή των συνθέτων υλικών σε μορφή ελασμάτων ή υφασμάτων είναι γενικά δύσκολη, δεδομένου ότι στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να εξασφαλισθεί η συνέχεια (αγκύρωση) των οπλισμών εντός των κόμβων. Αυτό γίνεται εφικτό όταν οι δοκοί έχουν μικρότερο πλάτος από τα υποστυλώματα ή όταν χρησιμοποιούνται οπλισμοί συνθέτων υλικών μικρού πλάτους (πχ μορφής ράβδων), όπως δείχνει το Σχ. 4.2.



Σχ. 4.1 Παραδείγματα εφαρμογής ελασμάτων για την καμπτική ενίσχυση δοκών.

Οι υπολογισμοί για τους ελέγχους αντοχής και λειτουργικότητας σε εφαρμογές καμπτικών ενισχύσεων γίνονται κατ' αναλογία με αυτούς για συμβατικά οπλισμένα (με χαλύβδινες ράβδους) μέλη, λαμβάνονται υπόψη όμως: (α) τις ιδιαιτερότητες της μηχανικής συμπεριφοράς των συνθετικών υλικών (πχ γραμμική ελαστικότητα μέχρι τη θραύση) και (β) το ενδεχόμενο πρόωρης αποκόλλησης τους από το σκυρόδεμα.



Σχ. 4.2 Ενδεικτικές διατάξεις καμπτικής ενίσχυσης υποστυλωμάτων για μέγιστη ροπή στα άκρα. (α) Εσφαλμένη εφαρμογή, (β) συνέχεια οπλισμού τύπου ελάσματος μέσω του κόμβου, (γ) συνέχεια οπλισμού τύπου ράβδου σε εγκοπές μέσω του κόμβου.

## 4.2 Αρχική κατάσταση

Όπως θα φανεί παρακάτω, οι υπολογισμοί των απαιτούμενων ποσοτήτων συνθέτων υλικών προκειμένου να ικανοποιηθούν οι έλεγχοι για τις ορισμένες καταστάσεις αντοχής και λειτουργικότητας προϋποθέτουν γνώση των παραμορφώσεων ( και τάσεων) στα υπό ενίσχυση δομικά στοιχεία κατά τη χρονική στιγμή που λαμβάνει χώρα η ενίσχυση (αρχική κατάσταση). Σημειώνεται δε ότι τα δομικά στοιχεία δρουν ως ενισχυμένα μόνο για τα πρόσθετα φορτία, αυτά δηλαδή τα οποία ασκούνται μετά την ενίσχυση.

Ας υποθέσουμε ότι κατά τη φάση της ενίσχυσης η κρίσιμη διατομή μιας δοκού καταπονείται σε ροπή  $M_o$ , μεγαλύτερη από τη ροπή ρηγμάτωσης  $M_{cr}$  (αν είναι μικρότερη, η επίδραση της  $M_o$  είναι αμελητέα). Από ισορροπία δυνάμεων στην διατομή προκύπτει το ύψος της θλιβόμενης ζώνης  $x_o$ :

$$\frac{1}{2} b x_o^2 + (a_s - 1) A_s^2 (x_o - d_2) = a_s A_s (d - x_o) \quad (4.1)$$

όπου  $A_{s1}$ =εμβαδόν εφελκόμενου χάλυβα,  $A_{s2}$ = εμβαδόν θλιβόμενου χάλυβα,  $d_1$ = απόσταση κέντρου βάρους διατομής εφελκόμενου χάλυβα από την ακραία εφελκόμενη ίνα,  $d_2$ = απόσταση κέντρου βάρους διατομής θλιβόμενου χάλυβα από την ακραία θλιβόμενη ίνα,  $d$ = στατικό ύψος,  $h$ = ύψος διατομής,  $b$ = πλάτος διατομής και  $a_s = E_s/E_c$ = λόγος μέτρου ελαστικότητας σκυροδέματος. Η παραμόρφωση  $\epsilon_{co}$  στην ακραία θλιβόμενη ίνα σκυροδέματος είναι

$$\epsilon_{co} = \frac{M_o x_o}{E_c I_{o2}} \quad (4.2)$$

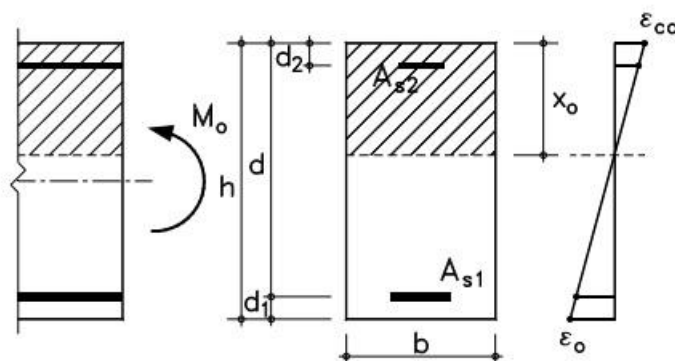
όπου  $I_{o2}$  είναι ροπή αδράνειας της ρηγμάτωσης διατομής, ίση με

$$I_{o2} = \frac{bx_{o3}}{3+(as-1)A_{s2}(x_o-d_2)2+asAs1(d-x_o)^2} \quad (4.3)$$

Τέλος, η παραμόρφωση  $\epsilon_o$  στην ακραία εφελκόμενη ίνα υπολογίζεται βάσει του συμβιβαστού των παραμορφώσεων ως εξής:

$$\epsilon_o = \epsilon_{co} \frac{h-x_o}{x_o} \quad (4.4)$$

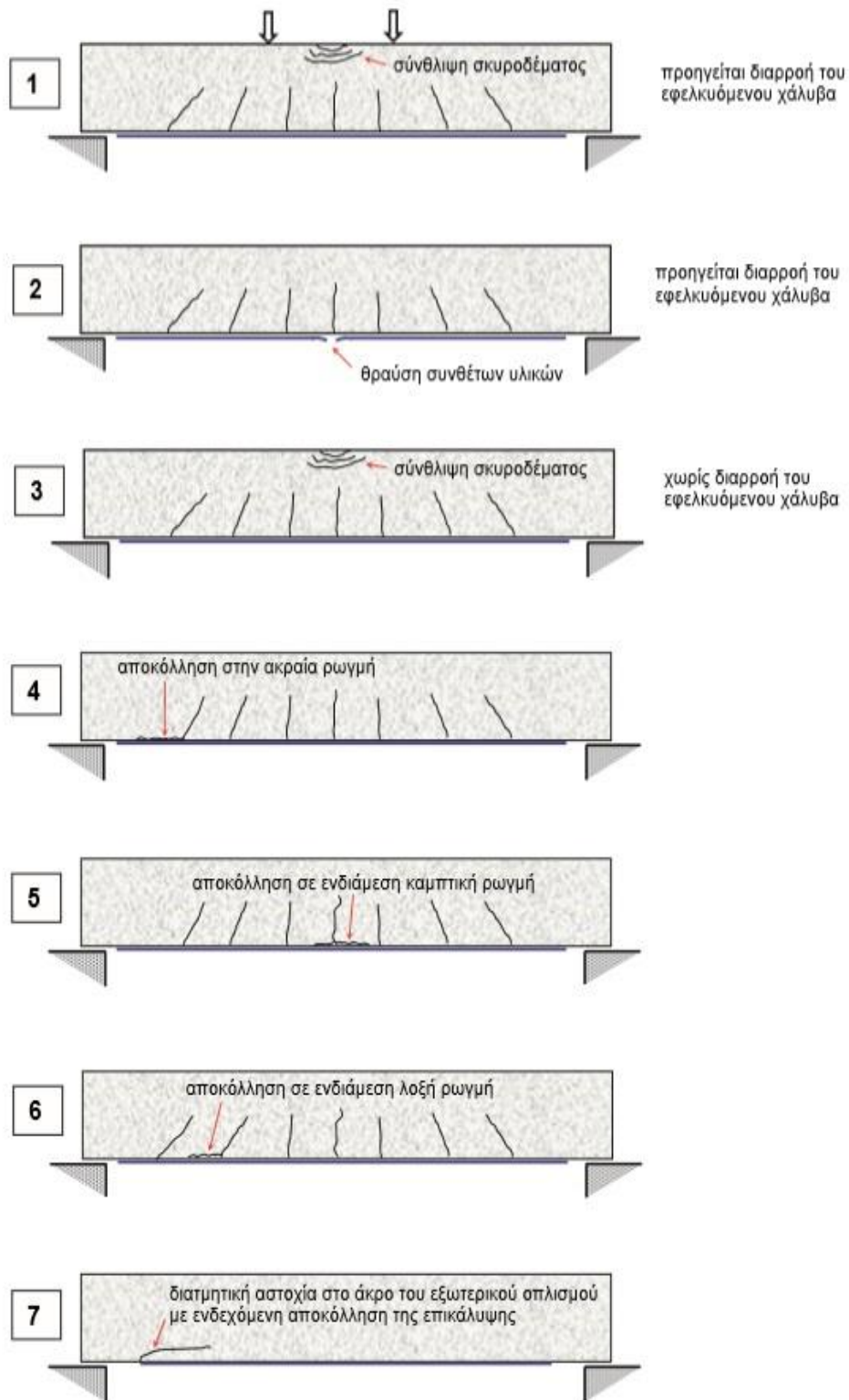
Το  $\epsilon_o$  που προσδιορίζεται από την εξ. (4.4) αποτελεί την αρχική παραμόρφωση στη θέση επικόλλησης του οπλισμού ενίσχυσης.



Σχ. 4.3 Παραμορφώσεις σε ορθογωνική διατομή δοκού υπό ροπή  $M_o$  κατά τη φάση ενίσχυσης.

### 4.3 Οριακή κατάσταση αντοχής-μηχανισμοί αστοχίας

Οι πιο πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος ενισχυμένων σε κάμψη με σύνθετα υλικά περιγράφονται παραστατικά στο σχ 4.4



Σχ. 4.4 Μορφές αστοχίας δοκού ενισχυμένης σε κάμψη με σύνθετα υλικά.

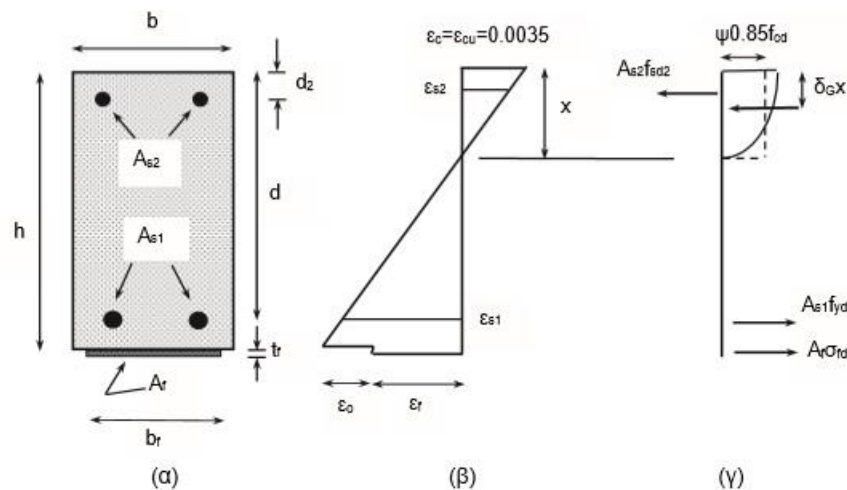
#### 4.4 Υπολογισμοί για την οριακή κατάσταση αντοχής

Οι τρεις πρώτοι από τους παραπάνω μηχανισμούς δεν σχετίζονται με πρόωρες αστοχίες (πχ αποκολλήσεις των συνθέτων υλικών). Έτσι το ενισχυμένο στοιχείο μπορεί να μελετηθεί ως ένα σύμμικτο στοιχείο, στο οποίο υπάρχει πλήρης συνεργασία μεταξύ του σκυροδέματος και των εξωτερικών οπλισμών. Όλοι οι υπόλοιποι μηχανισμοί αντιστοιχούν σε απώλεια της πλήρους συνεργασίας και αναλύονται ξεχωριστά.

##### 4.4.1 Μηχανισμοί πλήρους συνεργασίας

1) Διαρροή εφελκόμενου χάλυβα, σύνθλιψη σκυροδέματος

Σύμφωνα με τον μηχανισμό αυτό, ο οποίος είναι ο πλέον επιθυμητός, πρώτα διαρρέει ο διαμήκης οπλισμός σε εφελκυσμό και ακολούθως υφίσταται σύνθλιψη το σκυροδέμα στην θλιβόμενη ζώνη, χωρίς να υπάρχει αστοχία ή κάποιου είδους αποκόλληση στα σύνθετα υλικά. Ο υπολογισμός της ροπής αντοχής στην κρίσιμη διατομή του μέλους (Σχ. 4.5) γίνεται βάσει ισορροπίας των εσωτερικών δυνάμεων και του συμβιβαστού των παραμορφώσεων:



Σχ. 4.5 Ανάλυση διατομής στην οριακή κατάσταση αντοχής. (α) Γεωμετρικά χαρακτηριστικά, (β) κατανομή παραμορφώσεων καθ' ύψος της διατομής, (γ) κατανομή εσωτερικών δυνάμεων.

Υπολογισμός ύψους θλιβόμενης ζώνης,  $x$ , από ισορροπία εσωτερικών δυνάμεων:

$$0.85\psi f_{cd}bx + A_{s2}E_s\varepsilon_{s2} = A_{s1}f_{yd} + A_f E_f \varepsilon_f \quad (4.5)$$

όπου  $\psi=0.8$ ,  $f_{cd}$ =θλιπτική αντοχή σκυροδέματος (τιμή σχεδιασμού),  $x$ =ύψος θλιβόμενης ζώνης,  $f_{yd}$ = τάση διαρροής χάλυβα (τιμή σχεδιασμού) και  $A_f$ =εμβαδόν διατομής συνθέτων υλικών,  $\varepsilon_{s2}$  και  $\varepsilon_f$  είναι οι παραμορφώσεις του θλιβόμενου χάλυβα και των συνθέτων υλικών, αντίστοιχα, οι οποίες δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις (σχέσεις παραμορφώσεων):

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_c \frac{x - d_2}{x} \quad (4.6)$$



$$\varepsilon_f = \varepsilon_c \frac{h-x}{x} - \varepsilon_o \quad (4.7)$$

Στις παραπάνω σχέσεις  $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$  είναι η οριακή παραμόρφωση του σκυροδέματος ( $=0.0035$ ) και  $\varepsilon_o$  η αρχική παραμόρφωση στην ακραία εφελκόμενη ίνα [εξ. (3.4)]. Επίσης, το γινόμενο  $E_s \varepsilon_{s2}$  (τάση στον θλιβόμενο χάλυβα) στην εξ. (4.5) δεν θα πρέπει να λαμβάνεται πάνω από  $f_{yd}$ .

Υπολογισμός ροπής αντοχής:

$$M_{Rd} = A_{s1} f_{yd} (d - \delta_G x) + A_f E_f \varepsilon_f (h - \delta_G x) + A_{s2} E_s \varepsilon_{s2} (\delta_G x - d_2) \quad (4.8)$$

$$\delta_G = 0.4$$

Προϋποθέσεις για την εφαρμογή των παραπάνω εξισώσεων είναι ότι ο εφελκόμενος χάλυβας έχει πράγματι διαρρέψει και ότι η παραμόρφωση στα σύνθετα υλικά είναι μικρότερη της οριακής,  $\varepsilon_{f,lim}$  (αυτής δηλαδή που αντιστοιχεί στη θραύση ή αποκόλληση τους), δηλαδή:

$$E_{s1} = \varepsilon_c \frac{d-x}{x} \geq \frac{f_y d}{E_s} \quad (4.9)$$

$$E_f = \varepsilon_c \left( \frac{h-x}{x} - \varepsilon_o \right) \leq \varepsilon_{f,lim} \quad (4.10)$$

Όπου  $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ .

### 2) Διαρροή εφελκόμενου χάλυβα, θραύση συνθέτων υλικών

Ο μηχανισμός αστοχίας κατά τον οποίο μετά τη διαρροή του εφελκόμενου χάλυβα ακολουθεί θραύση των συνθέτων υλικών είναι γενικά σπάνιος (ενδέχεται να εμφανιστεί αν το εμβαδόν διατομής των συνθέτων υλικών είναι πάρα πολύ μικρό). Πάντως, για λόγους πληρότητας μπορούμε να αναφέρουμε ότι η ανάλυση της κρίσιμης διατομής στην περίπτωση αυτή γίνεται όπως παραπάνω, δηλαδή ισχύουν οι εξ (4.5)-(4.10), με τις εξής τροποποιήσεις: (α) Η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση στο σκυρόδεμα δεν είναι κατ' ανάγκη ίση με την οριακή. (β) Η παραμόρφωση στα σύνθετα υλικά ισούται με την οριακή δηλ.  $\varepsilon_f = \varepsilon_{fud}$ ,

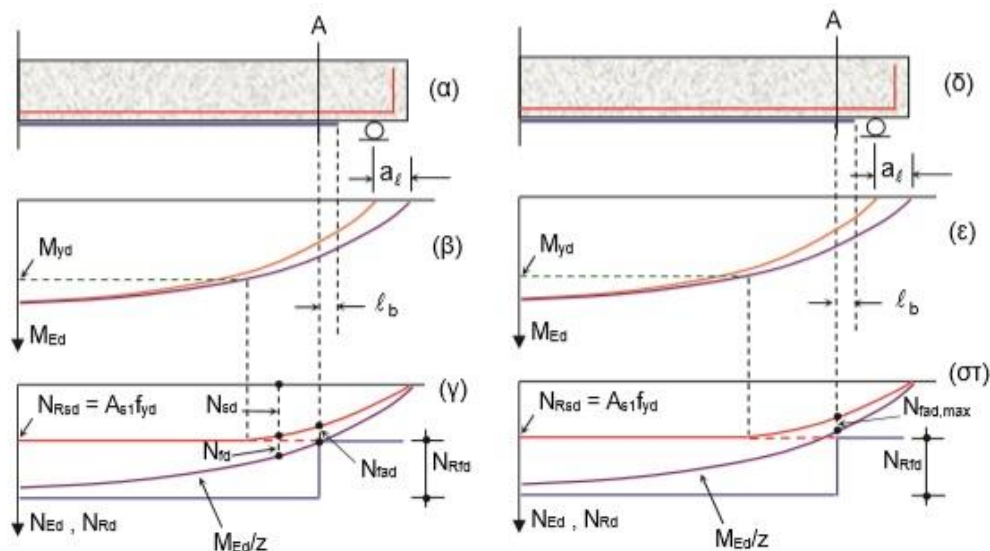
### 3) Σύνθλιψη σκυροδέματος

Ο μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο η θραύση του σκυροδέματος στην θλιβόμενη ζώνη προηγείται οποιασδήποτε άλλης αστοχίας αντιστοιχεί σε ψαθυρή συμπεριφορά και δεν είναι αποδεκτός, γι αυτό και δεν αναλύεται περαιτέρω. Η μη ενεργοποίηση του εν λόγω μηχανισμού επιτυγχάνεται περιορίζοντας το εμβαδόν των συνθέτων υλικών κάτω από μια κρίσιμη τιμή, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η διαρροή του εφελκόμενου χάλυβα.

## 4.4.2 Μηχανισμοί με απώλεια της πλήρους συνεργασίας

### 4) Αποκόλληση στην ακραία ροπή

Εφαρμόζοντας το αναλυτικό προσομοίωση μπορεί να γίνει ο υπολογισμός του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης. Ας θεωρήσουμε, για παράδειγμα, τη δοκό του ΣΧ 4.6α, με διαγράμματα ροπών αυτό του Σχ. 4.6β (σημειώνεται ότι το διάγραμμα ροπών πρέπει να μεταθεί κατά  $a_1$ , βάσει του μηχανισμού ισοδύναμου δικτυώματος για το μηχανισμό ανάληψη τέμνουσας). Το σχ 46γ δίνει τις δυνάμεις που ασκούνται τόσο στον εφελκόμενο χάλυβα ( $N_{sd}$ ) όσο και στα σύνθετα υλικά ( $N_{fd}$ ) σε κάθε διατομή ως αποτέλεσμα της δράσης ροπής σχεδιασμού  $M_{sd}$ . Προσεγγιστικά, η συνολική εφελκυστική δύναμη (σε ράβδους οπλισμού και σύνθετα υλικά) δηλαδή το άθροισμα  $N_{sd} + N_{fd}$ , ισούται με  $M_{sd}/z$ , όπου  $z$  ο μοχλοβραχίονας της δύναμης αυτής, περίπου με  $0,95d$



Σχ. 4.6 Αγκύρωση συνθέτων υλικών

Βάσει του Σχ. 4.6γ, η θέση (διατομή A) πέρα από την οποία υπολογίζεται το μήκος αγκύρωσης των συνθέτων υλικών προσδιορίζεται εκεί όπου η καμπύλη της συνολικής εφελκυστικής δύναμης  $M_{sd}/z$  τέμνει τη μέγιστη δύναμη που μπορεί να παραληφθεί από το χάλυβα μόνο,  $N_{Rsd}=A_{s1}f_{yd}$ . Στη θέση αυτή η εφελκυστική δύναμη στα συνθετικά υλικά είναι  $N_{fad}$ , ενώ το αντίστοιχο μήκος αγκύρωσης είναι  $l_b$ . Η προς αγκύρωση δύναμη  $N_{fad}$  (τιμή σχεδιασμού) μπορεί να προσεγγιστεί βάσει ισορροπίας εσωτερικών εντατικών μεγεθών ως εξής:

$$M_{sd}/z = N_{fad} [1 + (A_{s1} E_s \epsilon_{s1} / A_f E_f \epsilon_f)] \approx N_{fad} [1 + (A_{s1} E_s / A_f E_f)] \quad (4.13)$$

Στην παραπάνω σχέση θεωρήθηκε ότι  $\epsilon_{s1}/\epsilon_f \approx 1$ .

Είναι αυτονόητο ότι η  $N_{fad}$  δεν πρέπει να ξεπερνά την  $N_{fad,max}$  [εξ. (4.3α) με συντελεστή ασφαλείας  $\gamma_b$ ] και ότι θα πρέπει να υπάρχει επαρκής διαθέσιμος χώρος για το μήκος αγκύρωσης  $l_b$ . Αν αυτό δεν συμβαίνει, η διατομή A θα πρέπει να ορισθεί παραπέρα (προς την κατεύθυνση όπου μειώνεται η ροπή κάμψης, δηλ. κοντά στη στήριξη), Σχ 4.6δ-στ, έτσι ώστε ή να μειωθεί η  $N_{fad}$  μέχρι την τιμή  $N_{fad,max}$ , ή να απαιτείται μικρότερο  $l_b$ . Αν το μήκος αγκύρωσης και πάλι δεν επαρκεί, θα πρέπει είτε να αυξηθεί το πλάτος και να μειωθεί το πάχος των ελασμάτων, είτε να βελτιωθεί η αγκύρωση με μηχανικό τρόπο.

### 5) Αποκόλληση σε ενδιάμεση καμπτική ροπή

Και εδώ μπορεί να εφαρμοστεί το αναλυτικό προσομοίωμα, στο οποίο όμως πρέπει να γίνει μια μικρή διόρθωση, δεδομένου ότι η πραγματική εντατική κατάσταση στην διεπιφάνεια συνθέτων υλικών-σκυροδέματος στις περιοχές δοκών με κατακόρυφη ρηγμάτωση (χαμηλή τιμή τέμνουσας) διαφέρει ως προς αυτήν της πειραματικής διάταξης. Λεπτομερείς αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία αλλά και πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι για αποκολλήσεις σε περιοχές πολύ μικρής ή

μηδενικής τέμνουσας η μέγιστη διατμητική τάση στην διεπιφάνεια είναι αισθητά μικρότερη σε σχέση με αυτήν της διάταξης του σχ 4.2.

#### 6) Αποκόλληση σε ενδιάμεση λοξή ρωγμή

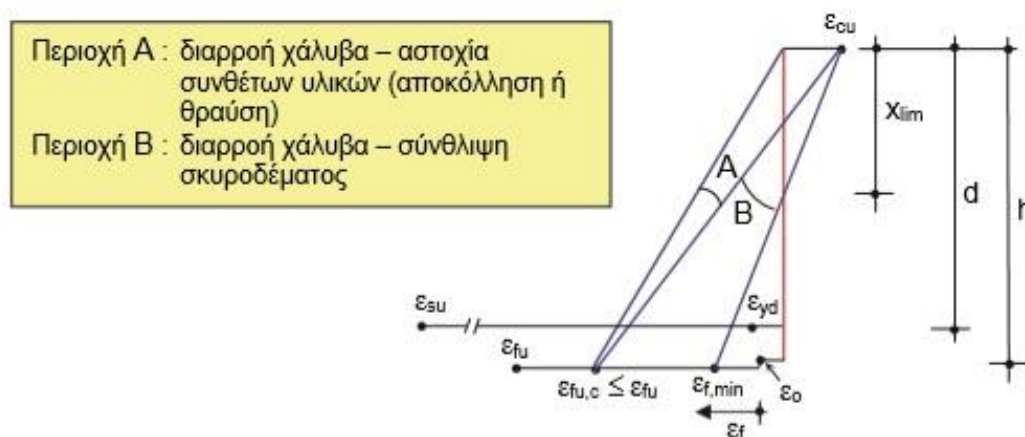
Για αποκολλήσεις σε καμπτο-διατμητικές ρωγμές ισχύουν οι παρατηρήσεις της προηγούμενης παραγράφου, με τη διαφορά ότι η προσαύξηση της δύναμης αποκόλλησης είναι μικρότερη, της τάξης των 25%.

#### 7) Διατμητική αστοχία στο άκρο-αποκόλληση της επικάλυψης

Η αποκόλληση των συνθέτων υλικών λόγω της ανάπτυξης διατμητικής ρωγμής στο άκρο με κατεύθυνση επέκτασης περίπου οριζόντια (κάπου μεταξύ της κάτω στρώσης οπλισμού χάλυβα και της κόλλας), αποτελεί έναν από τους πιο συνηθισμένους μηχανισμούς αστοχίας δοκών (και πλακών) ενισχυμένων σε κάμψη. Ο μηχανισμός αυτός, ο οποίος οφείλει τη γένεσή του κατά βάσει στην ανάπτυξη σημαντικών οριζοντίων διατμητικών αλλά και καθέτων στον άξονα του οπλισμού ενίσχυσης εφελκυστικών τάσεων, στη στρώση επικάλυψης του σκυροδέματος, έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης δεκάδων ερευνητών.

### 4.5 Απαιτήσεις πλαστιμότητας

Βασική απαίτηση πλαστιμότητας αποτελεί η ενεργοποίηση μηχανισμού αστοχίας κατά τον οποίο η διαρροή του εφελκυσμένου χάλυβα θα προηγείται σαφώς οποιασδήποτε άλλης αστοχίας, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται μια ελάχιστη τιμή πλαστιμότητας καμπυλωτήτων ( $\mu_\phi$ ). Αυτό σημαίνει ότι η εφελκυστική παραμόρφωση των συνθέτων υλικών στην κρίσιμη διατομή κατά την οριακή κατάσταση αντοχής,  $\epsilon_{fu,c}$ , θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από μια ελάχιστη τιμή,  $\epsilon_{f,min}$ , ενώ έχει ως άνω όριο είτε την παραμόρφωση θραύσης,  $\epsilon$ ,  $f_{ud}$ , είτε την παραμόρφωση εκείνη η οποία αντιστοιχεί σε αποκόλληση. Σχ 4.7



Σχ. 4.7 Κατανομή παραμορφώσεων καθ' ύψος της κρίσιμης διατομής.

Η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή παραμόρφωσης στα σύνθετα υλικά κατά την οριακή κατάσταση αντοχής,  $\epsilon_{f,min}$ , για δεδομένη πλαστιμότητα καμπυλωτήτων,  $\mu_\phi$ , υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\varepsilon_{f,\min} = \varepsilon_{yd} \left[ \mu_{\phi} / (d/h - x_y/h) \right] * \frac{h}{d} - \varepsilon_{cu} - \varepsilon_o \quad (4.18)$$

όπου  $x_y$  το ύψος της θλιβόμενης ζώνης κατά την εκκίνηση διαρροής του χάλυβα. Σημειώνεται πάντως ότι η επίτευξη μεγάλης πλαστιμότητας δεν είναι πάντα εφικτή ιδιαίτερα όταν η απαιτούμενη ποσότητα συνθέτων υλικών καθορίζεται από τις απαιτήσεις της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας, οπότε το μέλος είναι υπερ-διαστασιολογημένο σε όρους αντοχής.

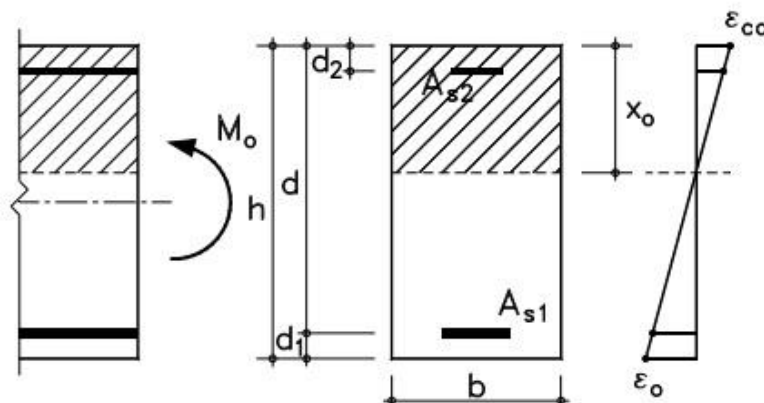
#### 4.6 Σύνοψη διαδικασίας υπολογισμών-οριακή κατάσταση αντοχής

Η προτεινόμενη διαδικασία ελέγχων για την οριακή κατάσταση αντοχής συνοψίζεται στα παρακάτω βήματα:

- Υπολογισμός ροπής αντοχής πριν από την ενίσχυση ( $M_{o,Rd}$ )
- Υπολογισμός της αρχικής παραμόρφωσης  $\varepsilon_o$  στην ακραία εφελκυσμένη ίνα βάσει της ροπής  $M_o$  που ασκείται στην κρίσιμη διατομή κατά τη φάση της ενίσχυσης.
- Υπολογισμός απαιτούμενης ποσότητα οπλισμού συνθέτων υλικών  $A_f$  (για δεδομένη  $M_{Rd}$ ) για τις περιπτώσεις αστοχίας (1), (2) και (6) [ ή (5), αν δεν δρα τέμνουσα δύναμη] στην κρίσιμη διατομή, βάσει των εξ. (4.4)-(4.12). Σημειώνεται ότι οι εξισώσεις αυτές με  $\varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$  και  $\varepsilon_f \leq \varepsilon_{f,\lim} = \min(\varepsilon_{f,ud}, \varepsilon_{f,bd,fl-sh})$  περιγράφουν ταυτοχρόνως τρεις πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας ( διαρροή χάλυβα-σύνθλιψη σκυροδέματος, διαρροή χάλυβα-θραύση συνθέτων υλικών, διαρροή χάλυβα-αποκόλληση σε ενδιάμεση ρωγμή). Ακολουθεί ο έλεγχος των απαιτήσεων πλαστιμότητας.
- Υπολογισμός μήκους αγκύρωσης και γενικά οριστικοποίηση της διάταξης των συνθέτων υλικών βάσει του ελέγχου αγκύρωσης.
- Έλεγχος μηχανισμού (διατμητική αστοχία στο άκρο). Αν ο έλεγχος δεν ικανοποιείται γίνεται ενίσχυση σε τέμνουσα.
- Έλεγχος της οριακής κατάστασης αστοχίας του μέλους από διάτμηση (δεδομένου ότι έχει αυξηθεί η καμπτική αντοχή). Αν ο έλεγχος δεν ικανοποιείται απαιτείται ενίσχυση).

#### 4.7 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Οι υπολογισμοί για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας μπορούν να βασισθούν σε γραμμικά ελαστική συμπεριφορά των υλικών (εξαιρουμένου βεβαίως του σκυροδέματος σε εφελκυσμό), όπως δίνει το Σχ. 4.10



Σχ. 4.10 Ανάλυση ρηγματωμένης διατομής βάσει γραμμικά ελαστικής συμπεριφοράς των υλικών.

Η ροπή αδρανείας τη ρηγματωμένης διατομής δίνεται από τη σχέση:

$$I_2 = (bx_e^3/3) + (\alpha_s - 1)A_{s2}(x_e - d_2)^2 + \alpha_s A_{s1}(d - x_e)^2 + a_f A_f (h - x_e)^2 \quad (4.19)$$

ενώ της αρηγματάωτης μπορεί προσεγγιστικά να ληφθεί ως:

$$I_1 \approx \frac{bh^3}{12} \quad (4.20)$$

Σε ότι αφορά ελέγχους τάσεων, πλέον αυτών για το σκυρόδεμα και το χάλυβα, θα πρέπει να ελεγχθεί ότι η τάση στα σύνθετα υλικά,  $\sigma_f$ , για το μακροχρόνιο συνδυασμό δράσεων ικανοποιεί τη συνθήκη:

$$\sigma_f = E_f [\varepsilon_c (h - x_e / x_e) - \varepsilon_o] \leq \eta f_{fk} \quad (4.21)$$

όπου ο μειωτικός συντελεστής  $\eta < 1$  αντανακλά την πτωχή συμπεριφορά (μείωση αντοχής) ορισμένων τύπων σύνθετων υλικών (π.χ. αυτών με ίνες γυαλιού) όταν βρίσκονται υπό την μακροχρόνια ένταση. Βάσει πειραματικών δεδομένων, ενδεικτικές τιμές για το συντελεστή  $\eta$  είναι 0.8, 0.5 και 0.3 για υλικά με ίνες άνθρακα, αραμιδίου και γυαλιού, αντίστοιχα. Γενικά πάντως ο παραπάνω έλεγχος σπανίως είναι κρίσιμος.

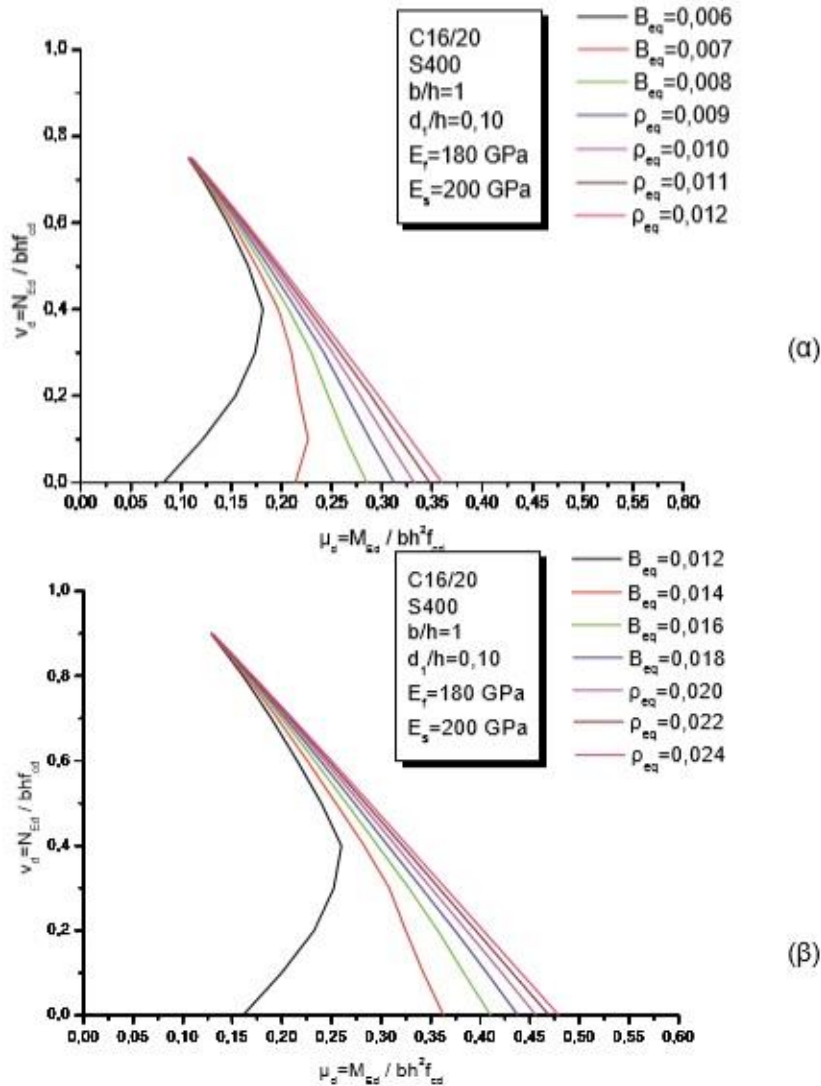
Η διαδικασία υπολογισμών βέλους κάμψης και ανοίγματος ρωγμών είναι αντίστοιχη αυτής για στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος.

## 4.8 Υποστυλώματα

Η ανάλυση διατομών για τις οποίες πρέπει να ληφθεί υπόψη η αλληλεπίδραση ροπής κάμψης-αξονικής δύναμης (υποστυλώματα) γίνεται σε πλήρη αναλογία με τα προαναφερθέντα, με βασική διαφορά την προσθήκη ενός επί πλέον όρου στις εξισώσεις ισοροπίας δυνάμεων και υπολογισμού ροπών, αυτού που αντιστοιχεί στην αξονική δύναμη (τιμή σχεδιασμού) που ασκείται στη διατομή. Επί πλέον μπορεί να αγνοηθεί η συνεισφορά των συνθέτων υλικών σε θλίψη. Υπό την προϋπόθεση επαρκούς αγκύρωσης, ο μηχανισμός αστοχίας θα είναι ένας από τους παρακάτω:

- διαρροή εφελκόμενου χάλυβα ( $\varepsilon_{s1} \geq f_{yd}/E_s$ ), σύνθλιψη σκυροδέματος ( $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ )
- διαρροή εφελκόμενου χάλυβα ( $\varepsilon_{s1} \geq f_{yd}/E_s$ ), αποκόλληση ή θραύση συνθέτων υλικών [ $\varepsilon_f = \varepsilon_{f,lim} = \min(\varepsilon_{fud}, \varepsilon_{fbd,fl-sh})$ ]
- σύνθλιψη σκυροδέματος ( $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$ )

Ο συνδυασμός ροπής-αξονικής δύναμης κατά την αστοχία της κρίσιμης διατομής μπορεί να παρασταθεί γραφικά μέσω διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης (Σχ. 4.11α-β)



Σχ.4.11 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης τετραγωνικής διατομής ( $b=h$ ) για μονοαξονική κάμψη με αξονική δύναμη. Σκυρόδεμα C16/20, χάλυβας S400,  $d_1/h=0.10$ ,  $E_f=180$  GPa. (α)  $A_{s,tot}=0.006$ , (β)  $A_{s,tot}=0.012$

Στα παραπάνω διαγράμματα το ισοδύναμο ογκομετρικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού,  $\rho_{eq}$ , ορίζεται ως:

$$\rho_{eq} = \rho_s + \rho_f \frac{E_f}{E_s} \frac{A_{s,tot}}{bd} + \frac{A_{s,tot}}{bd} \frac{E_f}{E_s} \quad (4.23)$$

όπου  $A_{s,tot} = 2A_{s1} = 2A_{s2}$  (συμμετρικά τοποθετημένος οπλισμός χάλυβα) και  $A_{f,tot} = 2A_f$  (συμμετρικά τοποθετημένος οπλισμός ενίσχυσης). Επίσης, απλουστευτικά έχει υποθεθεί ότι  $\epsilon_{f,min} = 0.008$ .

Από τα παραπάνω διαγράμματα αλληλεπίδρασης φαίνεται ότι η αποτελεσματικότητα των συνθέτων υλικών στην αύξηση της ροπής αντοχής εξαρτάται σημαντικά από το μέγεθος του αξονικού φορτίου, και πάντων μειώνεται όσο αυξάνεται. Επίσης φαίνεται ότι οι καμπύλες αλληλεπίδρασης συγκλίνουν προς το σημείο πάνω από το οποίο ολόκληρη η διατομή βρίσκεται σε θλίψη, και επομένως η

δράση των συνθέτων υλικών μπορεί (προσεγγιστικά) να αγνοηθεί (οπότε όλες οι καμπύλες ταυτίζονται).

Ως γενικό συμπέρασμα μπορούμε να αναφέρουμε ότι η εφαρμογή των συνθέτων υλικών για την αύξηση της καμπτικής αντοχής υποστυλωμάτων δεν είναι πάντοτε πρακτικά (κατασκευαστικά) εφικτή, ενώ είναι γενικά περιορισμένης αποτελεσματικότητας, εκτός αν η αξονική δύναμη διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα (πχ.  $v_d < 0.2$ ).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

#### 5.1 Γενικά

Η δράση των συνθέτων υλικών κατά την περίσφιγξη του σκυροδέματος είναι εξαιρετικά ευνοϊκή και γενικά ευνοϊκότερη σε σχέση με αυτήν μεταλλικών μανδύων ίσης δυσκαμψίας. Κατά την αξονική καταπόνηση υποστυλωμάτων (π.χ. λόγω κάμψης και/ή αξονικού φορτίου) το σκυρόδεμα διογκώνεται εγκάρσια, με αποτέλεσμα ο μανδύας συνθέτων υλικών που το περιβάλλει να ενεργοποιείται (μέσω της ανάπτυξης εφελκυστικών παραμορφώσεων στις ίνες), επιβάλλοντας έτσι εγκάρσιες θλιπτικές τάσεις (περίσφιγξης) κάθετα στον άξονα του μέλους, μέχρις ότου αστοχήσει. Οι τάσεις περίσφιγξης έχουν ως αποτέλεσμα:

1. Αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και αύξηση της παραμορφωσιμότητας, δηλαδή της μέγιστης παραμόρφωσης που καταγράφεται στο σκυρόδεμα μέχρι τη θλιπτική αστοχία.
2. Αύξηση της πλαστιμότητας, λόγω αύξησης της παραμορφωσιμότητας.
3. Αύξηση της συνάφειας μεταξύ ράβδων οπλισμού και σκυροδέματος σε περιοχές με ματίσεις και άρα παρεμπόδιση της ολίσθησης των διαμήκων ράβδων στις περιοχές αυτές.
4. Καθυστέρηση της εμφάνισης λυγισμού των διαμήκων ράβδων σε περιοχές με έλλειψη συνθετήρων.

Καθένα από τα παραπάνω εξετάζεται ακολούθως σε χωριστές ενότητες.

#### 5.2 Συμπεριφορά και καταστατικός νόμος σκυροδέματος περισφιγμένου μέσω συνθέτων υλικών

##### 5.2.1 Συμπεριφορά

Ας θεωρήσουμε ένα κυλινδρικό στοιχείο από σκυρόδεμα με διάμετρο  $d$ , το οποίο περιβάλλεται από μανδύα συνθέτων υλικών πάχους  $t_f$  και μέτρου ελαστικότητας (παράλληλα στη διεύθυνση των ινών, δηλαδή κατά την έννοια της περιμέτρου)  $E_f$ .

Οι λόγω διόγκωσης εγκάρσιες (κατά την ακτινική διεύθυνση) τάσεις στο μανδύα (ίσες και αντίθετες ασκούνται στο σκυρόδεμα),  $\sigma_l$ , δίνονται από τη σχέση:

$$\sigma_l = \frac{2t_f}{d} \sigma_f = \frac{2t_f}{d} E_f \varepsilon_f \quad (5.1)$$

όπου  $\sigma_f$  και  $\varepsilon_f$  εφελκυστική τάση και παραμόρφωση στο μανδύα, αντίστοιχα. Αποτέλεσμα των τάσεων περίσφιγξης  $\sigma_l$  είναι η παρεμπόδιση της ρηγμάτωσης και άρα η αύξηση αντοχής και παραμορφωσιμότητας, έως ότου η εφελκυστική τάση  $\sigma_f$  (αντίστοιχη παραμόρφωση  $\varepsilon_f$ ) στον μανδύα φτάσει την αντοχή του,  $f_{fd,e}$  (αντίστοιχη παραμόρφωση  $\varepsilon_{fid,e}$ ), οπότε θα προκληθεί θραύση του μανδύα που σηματοδοτεί και την αντοχή του στοιχείου (υπό την προϋπόθεση φυσικά ότι δεν θα προηγηθεί αποκόλληση των συνθετικών υλικών).



Εδώ σημειώνεται και πάλι ότι η εφελκυστική αντοχή του μανδύα κατά την έννοια της περιμέτρου είναι γενικά μικρότερη από την εφελκυστική αντοχή των συνθέτων υλικών όπως αυτή μετράται μέσω δοκιμών εφελκυσμού. Αυτό οφείλεται στην πολυαξονικότητα της εντατικής κατάστασης στον μανδύα, σε τυχόν συγκεντρώσεις τάσεων κοντά σε γωνίες, στην ενδεχόμενη ύπαρξη αρκετών στρώσεων αλλά και στην ποιότητα εφαρμογής του μανδύα, η διαφορά αυτή μπορεί να ληφθεί υπόψη μέσω του μειωτικού συντελεστή  $\eta_e$ , που μπορεί να θεωρηθεί προσεγγιστικά περίπου ίσος με 0.7-0.9:

$$f_{fde} = \eta_e f_{fd} \quad (5.2)$$

Βάσει πειραματικών αποτελεσμάτων μπορεί να διατυπώσει κανείς τις εξής παρατηρήσεις:

- Γενικά η καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης είναι περίπου διγραμμική, με αλλαγή κλίσης στην παραμόρφωση ( $\epsilon_{co} \approx 0.002$ ) που αντιστοιχεί στην αντοχή του απερίσφιγκτου σκυροδέματος ( $f_c$ ).
- Μανδύες εξαιρετικά μικρού πάχους αυξάνουν μόνο την μέγιστη παραμόρφωση  $\epsilon_{ccu}$ .
- Για μανδύες σχετικά μικρού πάχους η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος  $f_{cc}$  αντιστοιχεί σε παραμόρφωση  $\epsilon_{cc}$  μικρότερη από τη μέγιστη ( $\epsilon_{ccu}$ ).
- Για δεδομένο τύπο συνθέτων υλικών, η αντοχή  $f_{cc}$  και η μέγιστη παραμόρφωση  $\epsilon_{ccu}$  του περισφιγμένου σκυροδέματος αυξάνονται με το πάχος του μανδύα.
- Για μανδύες ίσου πάχους αλλά διαφορετικού τύπου ινών (π.χ. άνθρακας, γυαλί), η αντοχή  $f_{cc}$  αυξάνεται με την αντοχή του μανδύα  $f_{fde}$  (εδώ πλεονεκτούν οι ίνες άνθρακα), ενώ η μέγιστη παραμόρφωση του σκυροδέματος  $\epsilon_{ccu}$  αυξάνεται με την αντοχή του μανδύα  $f_{fde}$  αλλά κυρίως με την μέγιστη παραμόρφωση του,  $\epsilon_{fid,e}$  (εδώ πλεονεκτούν οι ίνες γυαλιού).
- Για μανδύες ίσης δυστένειας (εκφράζεται από το γινόμενο  $E_{ftf}$ ), η αντοχή  $f_{cc}$  αυξάνεται με την μέγιστη παραμόρφωση του μανδύα  $\epsilon_{fid,e}$ .

### 5.3 Πλαστιμότητα

Ένας από τους βασικούς στόχους αντισεισμικών ενισχύσεων σε υφιστάμενα δομικά στοιχεία είναι η αύξηση της πλαστιμότητας, η οποία μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μέσω του δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων  $\mu_\Delta$  (ή γωνιών στροφής χορδής  $\mu_\theta$ ):

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = (\mu_\theta = \frac{\theta_u}{\theta_y}) \quad (5.3)$$

όπου  $\Delta_u$  η μετατόπιση κατά την αστοχία του μέλους και η  $\Delta_y$  η μετατόπιση κατά τη διαρροή του διαμήκους οπλισμού (οι αντίστοιχες γωνίες στροφής χορδής είναι  $\theta_u$  και  $\theta_y$ ). Σημειώνεται ότι στην περίπτωση μη διακριτής πτώσης της δύναμης λόγω κάποιας αστοχίας (π.χ. θραύση ή λυγισμός ράβδου, θραύση του μανδύα ενίσχυσης) η  $\Delta_u$  (ή  $\theta_u$ ) συνήθως ορίζεται εκεί όπου το μέγιστο φορτίο υφίσταται μείωση κατά 20%.

Ο δείκτης πλαστιμότητας  $\mu_{\Delta}$  ( $=\mu_{\theta}$ ) μπορεί να αυξηθεί μέσω της κατασκευής μανδύα συνθέτων υλικών στις κρίσιμες περιοχές εκεί δηλαδή όπου ενδέχεται να αναπτυχθούν σημαντικές παραμορφώσεις στο χάλυβα και στο σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλων καμπυλοτήτων. Η περίσφιγξη του σκυροδέματος στις περιοχές αυτές αυξάνει τη μέγιστη παραμόρφωση του (πλέον του ότι ενδέχεται να παρεμποδίσει το λυγισμό ράβδων και/ή την απώλεια συνάφειας σε περιοχές με ματίσεις) και άρα την πλαστιμότητα

Ο σχεδιασμός μανδύα συνθέτων υλικών για την επίτευξη δεδομένης πλαστιμότητας προϋποθέτει τη συσχέτιση του  $\mu_{\Delta}$  με τα χαρακτηριστικά του μανδύα. Τούτο μπορεί να γίνει βάσει βημάτων:

1. Εκτίμηση του απαιτούμενου δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων  $\mu_{\Delta}$  βάσει της μετατόπισης κατά τη διαρροή  $\Delta_y$  και της επιθυμητής μετατόπισης κατά την αστοχία  $\Delta_u$ .
2. Υπολογισμός του μήκους πλαστικής άρθρωσης  $L_p$  βάσει της γεωμετρίας του μέλους και των χαρακτηριστικών των διαμήκων οπλισμού.

$$L_p = 0.08L_s + 0.022f_y d_b \geq 0.044f_y d_b \quad (5.4)$$

όπου  $L_s$ =διατμητικό μήκος (απόσταση από τη βάση του υποστύλωματος μέχρι το σημείο μηδενισμού ροπών),  $f_y$ =τάση διαρροής διαμήκους οπλισμού (MPa),  $d_b$ = διάμετρος ράβδων διαμήκους οπλισμού. Εναλλακτικά, το  $L_p$  μπορεί να ληφθεί περίπου ίσο με το στατικό ύψος της διατομής.

3. Υπολογισμός του δείκτη πλαστιμότητας καμπυλοτήτων,  $\mu_{\phi}$  ( $=\phi_u/\phi_y$ ) από τη σχέση:

$$\mu_{\Delta} = 1 + 3(\mu_{\phi} + 1) \frac{L_p}{L_s} - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \quad (5.5)$$

4. Υπολογισμός της καμπυλότητας της διατομής κατά τη διαρροή,  $\phi_y$ . Το βήμα αυτό προϋποθέτει ανάλυση της διατομής (εύρεση της σχέσης ροπών-καμπυλοτήτων).
5. Υπολογισμός της καμπυλότητας της διατομής κατά την αστοχία (θραύση σκυροδέματος),  $\phi_u = \mu_{\phi} \phi_y$ .
6. Υπολογισμός της μέγιστης παραμόρφωσης στο σκυρόδεμα κατά την αστοχία,  $\epsilon_{ccud} = \phi_u x_u$ , όπου  $x_u$ =ύψος θλιβόμενης ζώνης κατά την αστοχία (και εδώ απαιτείται ανάλυση της διατομής για εύρεση του  $x_u$ ).
7. Εφαρμογή του αναλυτικού προσομοιώματος περίσφιγξης για τη συσχέτιση του  $\epsilon_{ccud}$  με τα χαρακτηριστικά (πάχος, εφελκυστική αντοχή) του μανδύα.

Εναλλακτική (και απλούστερη) μέθοδο συσχέτισης του  $\mu_{\Delta}$  με τα χαρακτηριστικά του μανδύα αποτελεί η χρήση της παρακάτω εμπειρικής (αλλά αρκετά συντηρητικής) σχέσης:

$$\mu_{\Delta} = 1.3 + 12.4[(\sigma_{lud}/f_{cd}) - 0.1] \geq 1.3 \quad (5.6)$$

όπου  $\sigma_{lud}$  η τάση περίσφιγξης στο σκυρόδεμα κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας (τιμή σχεδιασμού).

## 5.4 Ματίσεις

Σε υφιστάμενες κατασκευές πολλά προβλήματα πτώχης αντισεισμικής συμπεριφοράς άπτονται του μηχανισμού συνάφειας μεταξύ ράβδων οπλισμού και σκυροδέματος σε περιοχές ματίσεων των διαμήκων οπλισμών (π.χ. ακριβώς πάνω από την βάση του κάθε ορόφου, όπου σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις αντισεισμικού σχεδιασμού προβλέπεται η πραγματοποίηση πλαστικών αρθρώσεων, χωρίς όμως την πρόβλεψη περίσφιγξης μέσω εγκάρσιου οπλισμού). Συνηθισμένα αίτια αστοχιών σε περιοχές ματίσεων είναι το μικρό μήκος μάτισης και/ή χρήση λείων ράβδων (οπότε η αντοχή σε συνάφεια εξαρτάται κυρίως από τον μηχανισμό τριβής στο διάστημα που αναπτύσσεται η αγκύρωση).

Η ευνοϊκή δράση της περίσφιγξης που παρέχουν οι μανδύες συνθέτων υλικών σε περιοχές ματίσεων έχει καταδειχθεί σε αρκετές ερευνητικές εργασίες.

## 5.5 Λυγισμός ράβδων

Σύμφωνα με τους Priestley et al. (1996), σε υποστυλώματα για τα οποία ο λόγος  $M/Vd > 4$  ( $M$  και  $V$  είναι η μέγιστη δρώσα ροπή κάμψης και τέμνουσας, αντίστοιχα, και  $d$  είναι το μήκος της πλευράς της διατομής που είναι παράλληλη με το επίπεδο κάμψης) και ο λόγος της απόστασης συνδετήρων προς τη διάμετρο των διαμήκων ράβδων,  $s/db$ , ξεπερνά μια κρίσιμη τιμή, τότε υπάρχει ενδεχόμενο λυγισμού των διαμήκων ράβδων λόγω υψηλής τιμής του αξονικού φορτίου. Ο λυγισμός αυτός καθυστερεί σημαντικά όταν ο μανδύας συνθέτων υλικών ο οποίος επιβάλλει τάσεις περίσφιγξης στο υποστυλώμα έχει πάχος τουλάχιστον ίσο με:

$$t_f = (0.45 n f_s^2 d / 4 E_{ds} E_f k_e) \quad (5.7)$$

όπου  $n$  = ο συνολικός αριθμός διαμήκων ράβδων στη διατομή,  $f_s$  = τάση στον διαμήκη οπλισμό για παραμόρφωση ίση με 0.04 και  $E_{ds}$  = "διπλό" μέτρο ελαστικότητας του διαμήκους οπλισμού, το οποίο ορίζεται ως εξής (Σχ. 5.16):

$$E_{ds} = [4 E_s E_i / (\sqrt{E_s} + \sqrt{E_i})^2] \quad (5.8)$$

Στην εξ. (5.8)  $E_s$  = τέμνον μέτρο ελαστικότητας του διαμήκους χάλυβα από την τάση  $f_s$  στην τάση  $f_u$  (αντοχή του χάλυβα) και  $E_i$  = αρχικό μέτρο ελαστικότητας του διαμήκους χάλυβα. Στην εξ. (5.7) η ποσότητα  $0.45 n f_s^2 d / E_{ds}$  μπορεί να ληφθεί προσεγγιστικά (και συντηρητικά) ίση με 40 MPa, οπότε:

$$t_f = \frac{10 n d}{E_f k_e} \quad (5.9)$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

#### 6.1. Γενικά

Θα πρέπει να καταστεί σαφές ότι η χρήση μανδύα σύνθετων υλικών σε υποστυλώματα προσδίδει αντοχή και παραμορφωσιμότητα χωρίς να αυξάνει την δυσκαμψία των ενισχυμένων στοιχείων (όπως συμβαίνει στην περίπτωση συμβατικού μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος). Σε ιδιαίτερα εύκαμπτες κατασκευές (π.χ. κτίρια με πιλοτή) αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, διότι αν η οριζόντια μετάθεση ορόφου, αποτελέσει παράμετρο ελέγχου στο σχεδιασμό ενίσχυσης των επιμέρους μανδύα σύνθετων υλικών μπορεί να αποδειχθεί ανεπαρκής λύση σε σχέση με τις σύγχρονες απαιτήσεις αντισεισμικότητας (οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν και αύξηση της δυσκαμψίας).

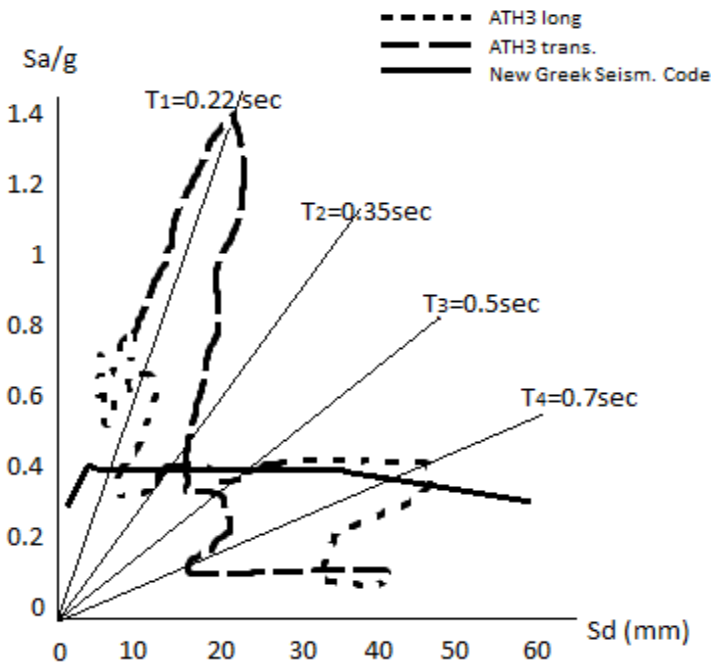
Υπό την προϋπόθεση ότι η επέμβαση δεν αποσκοπεί σε αύξηση δυσκαμψίας, με δεδομένη την επιβαλλόμενη σεισμική καταπόνηση θα πρέπει αρχικά να υπολογισθεί για κάθε υποστύλωμα (α) η απαιτούμενη τιμή του δείκτη πλαστιμότητας μετατοπίσεων ή γωνιών στροφής χορδής και (β) η τέμνουσα σχεδιασμού (η οποία ανάλογα με τη δυσκαμψία κάθε υποστυλώματος, θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η διαρροή του διαμήκους οπλισμού να προηγείται της διατμητικής αστοχίας – ικανοτική τέμνουσα). Το πάχος του μανδύα σύνθετων υλικών είναι το μέγιστο των παχών που απαιτούνται για την εξασφάλιση του απαιτούμενου δείκτη πλαστιμότητας, της τέμνουσας σχεδιασμού, της καθυστέρησης λυγισμού των διαμήκων ράβδων και της αποφυγής αστοχίας σε περιοχές με ματίσεις (αν υπάρχουν).

#### 6.2 Εκτίμηση επιβαλλόμενης σεισμικής μετακίνησης και διαθέσιμης ικανότητας για οριζόντια μετάθεση

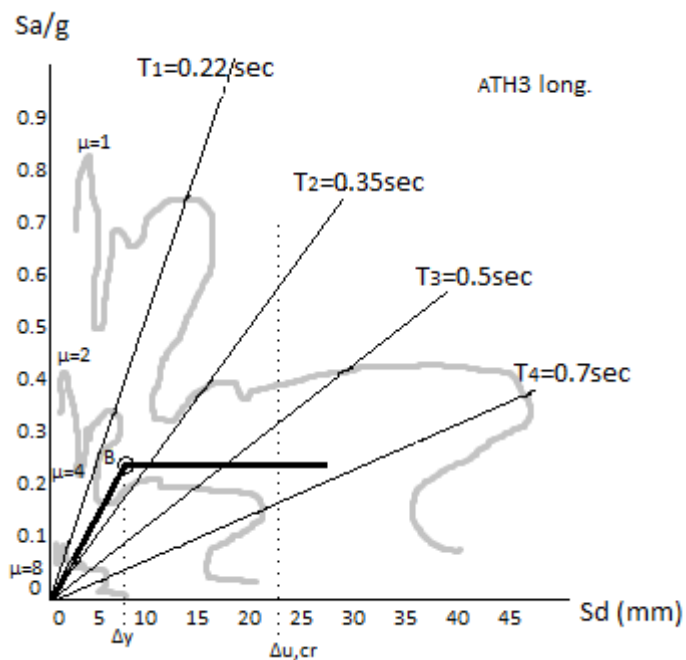
Η παρακάτω μέθοδος υπολογισμού της απαιτούμενης πλαστιμότητας έχει βασιστεί στην εργασία των Tastani και Pantazopoulou (2002). Η τέμνουσα βάσης  $V$  και η μέγιστη οριζόντια μετάθεση μιας κατασκευής μπορεί να απεικονιστεί σε ένα φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων – μετατοπίσεων, όπως π.χ. αυτό του Σχ. 1.1 (σεισμός Αθηνών, 1999). Στον κατακόρυφο άξονα του Σχ. 1.1 η ανοιγμένη επιτάχυνση  $S_a/g$  είναι ίση με τον λόγο  $V/W$ , όπου  $W$  είναι το βάρος της κατασκευής =  $M_g$  και  $M$  η μάζα. Στον οριζόντιο άξονα  $S_d$  είναι η ελάχιστη μετατόπιση που αναπτύσσει το σύστημα κατά την απόκρισή του σε σεισμική τέμνουσα  $V$  και είναι ίση με:

$$S_d = \frac{S_a}{\omega^2} \quad S_a = \frac{V}{M} \quad \omega^2 = \frac{k}{M} \quad S_d = \frac{V}{k}$$

Συνεπώς, για δεδομένη μάζα  $M$  η κλίση της γραμμής που διέρχεται από την αρχή των αξόνων και τέμνει το φάσμα απόκρισης είναι ανάλογη της δυσκαμψίας  $k$  του αντίστοιχου γραμμικά ελαστικού ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή.



Σχ. 6.1 Φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης – μετατόπισης του σεισμού Αθηνών 1999 (Tastani and Pantazopoulou 2000)



Σχ. 6.2 Ισοδύναμο φάσμα απόκρισης για το ATH3 long. (Tastani and Pantazopoulou 2002)

Από το ελαστικό φάσμα μπορεί να προκύψει το ισοδύναμο φάσμα διαρροής χρησιμοποιώντας κάποια από τις θεωρήσεις συσχέτισης του ελαστικού με το ανελαστικό σύστημα (π.χ. θεώρηση ίσων μετατοπίσεων ή ίσων ενεργειών). Στο

Σχήμα 6.2 χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή ATH3 long η θεώρηση ίσων μετατοπίσεων, οπότε για διάφορες τιμές του δείκτη πλαστιμότητας  $\mu\Delta$  προέκυψαν διαφορετικά φάσματα διαρροής.

Επόμενο βήμα είναι η παράθεση της καμπύλης ανελαστικής στατικής ανάλυσης (μονότονη σχέση τέμνουσας βάσης – μετακίνησης κορυφής που προκύπτει από ανελαστική στατική ανάλυση – pushover analysis) στο φάσμα απόκρισης επιτάχυνσης – μετατόπισης (βλ. Σχήμα 6.2), μετά από κατάλληλη τροποποίηση των αξόνων. Σημειώνεται ότι εδώ απαιτείται μια προκαταρκτική ανάλυση του κτιρίου με τις κλασσικές μεθόδους ιδιομορφικής ανάλυσης για τον υπολογισμό του συντελεστή συμμετοχής της θεμελιώδους ιδιομορφής στην απόκριση του κτιρίου. Εναλλακτικά, στις αντίστοιχες εκφράσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα οποιοδήποτε σχήμα που προσεγγίζει ποιοτικά τη θεμελιώδη ιδιομορφή του κτιρίου. Απουσία άλλης, πιο τεκμηριωμένης επιλογής, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και η τριγωνική κατανομή, όπου η μέγιστη συντεταγμένη του σχήματος είναι μονάδα στην κορυφή του κτιρίου. Έτσι, εάν  $\Gamma$  είναι ο συντελεστής συμμετοχής της μάζας του κτιρίου στην απόκριση και  $\alpha$  ο συντελεστής της μάζας του κτιρίου στη συγκεκριμένη ιδιομορφή αντιστοίχως, τότε η τέμνουσα διαρροής καθώς και η μετακίνηση διαρροής του ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή ισούνται με την τέμνουσα διαρροής και τη μετακίνηση διαρροής του κτιρίου πολλαπλασιασμένη με το λόγο  $\Gamma/\alpha$ .

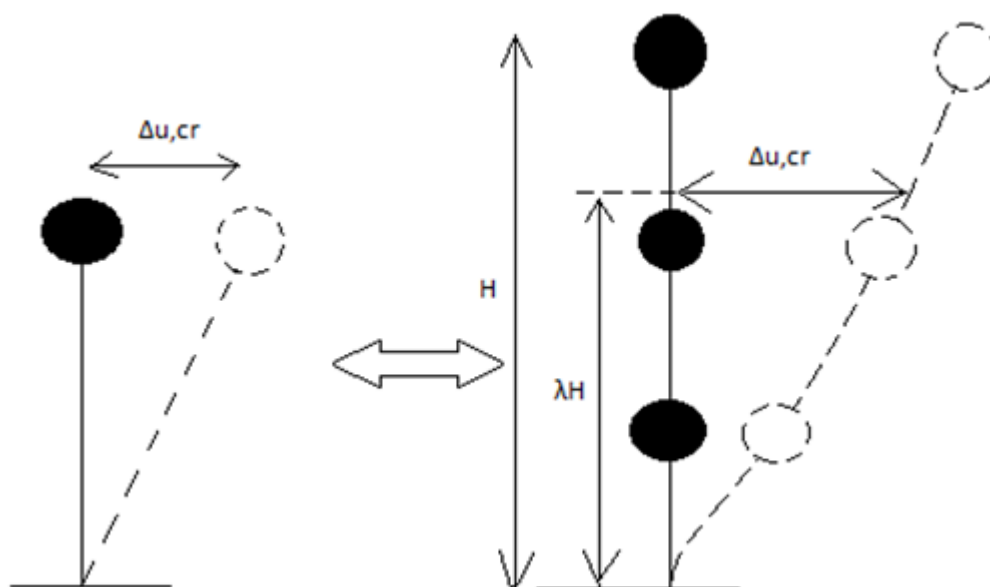
Με αναγωγή των τιμών του κατακόρυφου άξονα προς την μάζα του ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή ο άξονας των δυνάμεων στην καμπύλη ανελαστικής στατικής ανάλυσης μετατρέπεται εύκολα σε επιτάχυνση. Έτσι, με εναπόθεση της καμπύλης ανελαστικής στατικής ανάλυσης του μονοβάθμιου ταλαντωτή στο φάσμα επιτάχυνσης – μετατόπισης προκύπτει αφενός το μέγεθος της απαιτούμενης πλαστιμότητας για το δεδομένο σεισμό (αυτή είναι η τιμή  $\mu\Delta$  που χαρακτηρίζει το ανελαστικό φάσμα που διέρχεται από το σημείο διαρροής), αφετέρου η μέγιστη αναμενόμενη ανελαστική μετακίνηση του ισοδύναμου μονοβάθμιου ταλαντωτή από το γινόμενο της μετακίνησης διαρροής επί την απαιτούμενη πλαστιμότητα. Με περαιτέρω πολλαπλασιασμό αυτού του μεγέθους με το λόγο  $\alpha/\Gamma$  προκύπτει η αναμενόμενη μετακίνηση στην κορυφή του κτιρίου, η οποία μπορεί να συγκριθεί με τη διαθέσιμη ικανότητα μετακίνησης, καθώς και με τις προεπιλεγμένες τιμές που σχετίζονται με τα διάφορα στάδια επιτελεστικότητας.

Η ανηγμένη καμπύλη ανελαστικής στατικής ανάλυσης παρεμβάλει το σημείο διαρροής  $B$  μεταξύ των ισοδύναμων φασμάτων διαρροής για διάφορες τιμές του δείκτη πλαστιμότητας. Το μέγεθος αυτό του δείκτη πλαστιμότητας  $\mu B$  (στο παράδειγμα του Σχ 6.2 είναι μεταξύ των τιμών 1 και 2) προσδιορίζει την απαίτηση για πλαστιμότητα του ανελαστικού συστήματος για το δεδομένο ιστορικό μετατοπίσεων. Η οριακή μετατόπιση σχεδιασμού  $\Delta u_{cr}$  προκύπτει άμεσα με πολλαπλασιασμό του  $\mu B$  με τη μετατόπιση διαρροής  $\Delta y$ , ενώ η αντίστοιχη αναλαμβανόμενη δύναμη συνάγεται από την καμπύλη ανελαστικής στατικής ανάλυσης.

Στην περίπτωση εύκαμπτων κατασκευών, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής παραμόρφωσης αναλαμβάνεται από έναν όροφο (π.χ. κτίριο με πιλοτή), η στροφή των κατακόρυφων στοιχείων θα πρέπει να περιοριστεί σε ένα εύρος τιμών συνήθως 1% - 2%, προκειμένου να αποφευχθεί ανεξέλεγκτη βλάβη λόγω φαινομένων δεύτερης τάξης (κυρίως από το μόνιμο αξονικό φορτίο της κατασκευής). Σημειώνεται ότι η συσχέτιση της ποσότητας  $\Delta u_{cr}$  από το εξιδανικευμένο μονοβάθμιο σύστημα με την πραγματική στροφή της κατασκευής γίνεται με βάση τη σχέση:

$$\Delta u_{cr} = \lambda \theta_{cr} H \quad (6.2)$$

Όπου  $H$  = το συνολικό ύψος της κατασκευής και  $\lambda$  = ο συντελεστής που προκύπτει από την ισοδυναμία των δύο συστημάτων (εξίσωση ροπών των αδρανειακών δυνάμεων στη στάθμη των μαζών – Σχ. 6.3)



Σχ. 6.3 Ισοδυναμία μονοβάθμιου συστήματος με την πραγματική κατασκευή.

Ο ορισμός τιμής της στροφής εντός των ορίων που έχουν αναφερθεί οδηγεί στον καθορισμό ενός κατακόρυφου ορίου  $\Delta u_{cr}$  στο φάσμα του Σχ. 1.2. Αποδεκτό σύστημα ενίσχυσης είναι γενικά αυτό που μπορεί να βελτιώσει την αντοχή και την δυσκαμψία (σχηματικά, τιμές δεξιά του ορίου  $\Delta u_{cr}$  και πάνω από την καμπύλη ισοδύναμου φάσματος διαρροής που αντιστοιχεί στην οριακή διαθέσιμη πλαστιμότητα  $\mu$  του μονοβάθμιου συστήματος όπως προκύπτει από τα χαρακτηριστικά των πλαστικών αρθρώσεων των κατακόρυφων στοιχείων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

#### 7.1 Γενικά

Το κεφάλαιο παρουσιάζει κατά συνοπτικό τρόπο βασικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες και μία σειρά από οδηγίες για την αρτιότερη δυνατή εφαρμογή της τεχνικής ενίσχυσης μέσω σύνθετων υλικών.

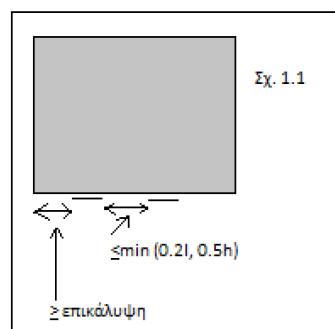
#### 7.2 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Στην ενότητα αυτή δίνονται μία σειρά από κατασκευαστικές λεπτομέρειες για τις τρεις βασικές περιπτώσεις ενίσχυσης, οι οποίες αποσκοπούν (α) στην αύξηση της καμπτικής αντοχής, (β) στην αύξηση της διατμητικής αντοχής και (γ) στην περίσφιγξη.

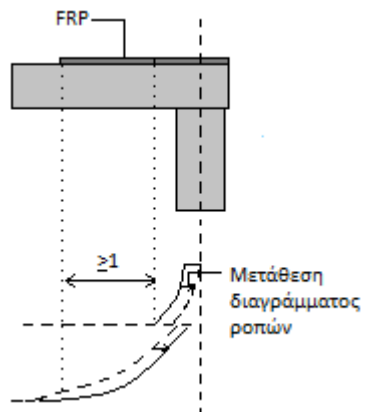
##### 7.2.1 Ενίσχυση σε κάμψη

Στο fib bulletin 14 (2001) προτείνονται οι παρακάτω κατασκευαστικοί κανόνες (για την ενίσχυση δοκών):

- Μέγιστη απόσταση μεταξύ ελασμάτων =  $\min(0.2l, 5h)$ , όπου  $l$  = μήκος δοκού και  $h$  = ύψος δοκού (στην περίπτωση προβόλου το 0.2 γίνεται 0.4).
- Ελάχιστη απόσταση ελάσματος (ή υφάσματος) από τη γωνία της διατομής τουλάχιστον ίση με το πάχος επικάλυψης του διαμήκους οπλισμού.
- Να αποφεύγονται οι ματίσεις ελασμάτων (ή υφασμάτων) με υπερκάλυψη (τούτο είναι πολύ εύκολο, λόγω της διαθεσιμότητας των σύνθετων υλικών σε πολύ μεγάλα μήκη). Όπου αυτές είναι τελείως απαραίτητες, να γίνονται (παράλληλα στη διεύθυνση των ινών) με μήκος υπερκάλυψης τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται ότι η εφελκυστική αστοχία του οπλισμού θα προηγείται της αποκόλλησης στη μάτιση.
- Επιτρέπονται οι διασταυρώσεις ελασμάτων ή υφασμάτων (με επικόλληση στην διασταυρούμενη επιφάνεια), π.χ. για την ενίσχυση επιφανειακών στοιχείων (όπως οι πλάκες).
- Να αποφεύγεται η τοποθέτηση των ελασμάτων ή υφασμάτων σε πολλές στρώσεις. Αυτές δεν θα πρέπει να ξεπερνούν τις 3 ή 5 για ελάσματα ή υφάσματα, αντίστοιχα.
- Οι οπλισμοί στήριξης (αρνητική ροπή) θα πρέπει να έχουν μήκος επικόλλησης της τάξης του 1 m στη θλιβόμενη περιοχή. (Σχ. 7.2)

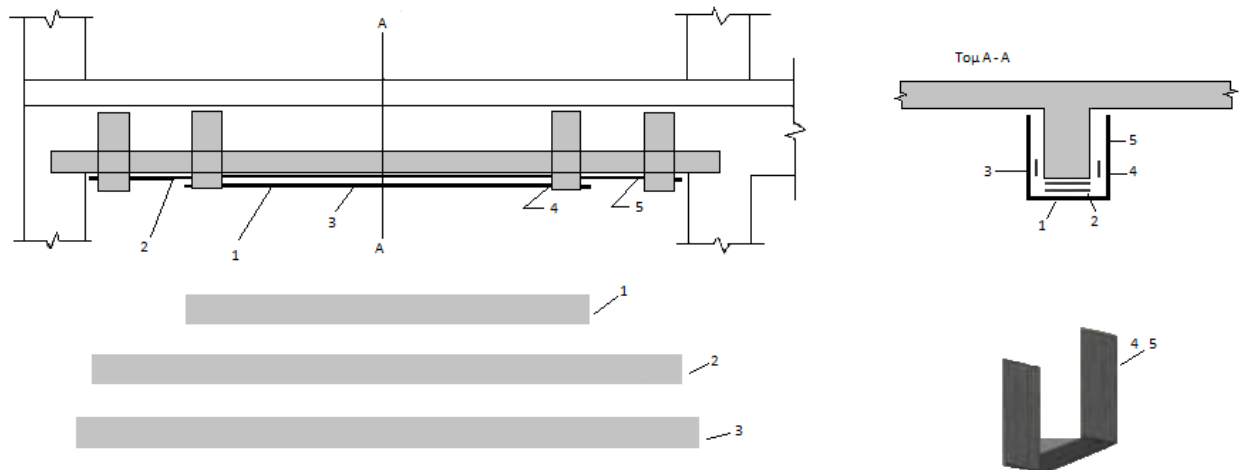






Σχ. 7.2 Επικόλληση σε εσωτερικές στηρίξεις

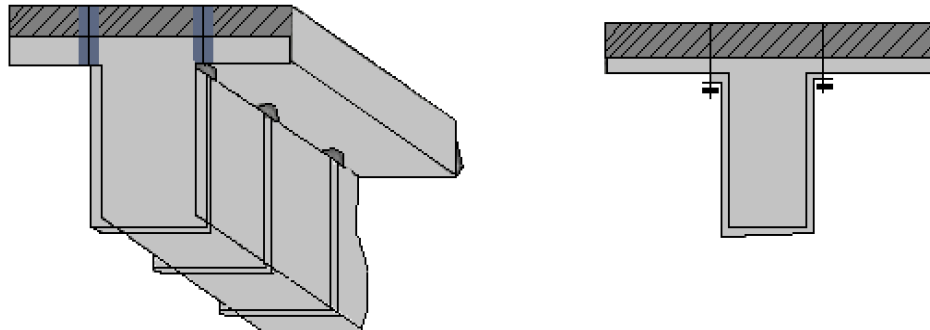
- Στις θέσεις τερματισμού των ελασμάτων ή υφασμάτων συνιστάται η επικόλληση υφασμάτων μορφής U (όπως οι οπλισμοί διάτμησης) ώστε να βελτιωθούν οι συνθήκες αγκύρωσης. Σχ. 7.3



Σχ. 7.3 Πιθανή διάταξη καμπτικής ενίσχυσης και βελτίωση αγκυρώσεων με εγκάρσιους οπλισμούς διάτμησης.

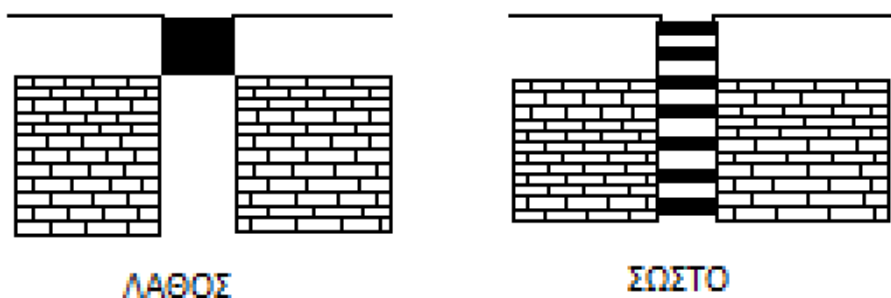
### 7.2.2. Ενίσχυση σε διάτμηση

- Στην περίπτωση ενίσχυσης πεδίλοδοκών, συνιστάται η αγκύρωση των οπλισμών διάτμησης στη θλιβόμενη ζώνη. Σχ. 7.4



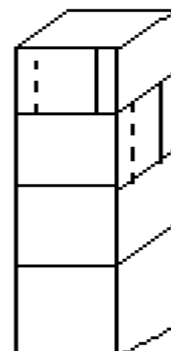
Σχ 7.4 Αγκύρωση οπλισμών διάτμησης πλακοδοκών στη θλιβόμενη ζώνη.

- Στην περίπτωση ενίσχυσης υποστυλωμάτων ορθογωνικής διατομής θα πρέπει να στρογγυλεύονται οι γωνίες της διατομής με ακτίνα
- καμπυλότητας της τάξης των 20 mm (ειδικά για υλικά με ίνες αραμιδίου η ακτίνα μπορεί να μειωθεί στα 10mm).
- Στην περίπτωση ενίσχυσης υποστυλωμάτων μεταξύ τοίχων πλήρωσης οι οποίοι καλύπτουν μερικώς το ύψος ορόφου, η διατμητική ενίσχυση θα πρέπει να γίνεται σε όλο το ύψος του υποστυλώματος και όχι μόνο στο ελεύθερο άκρο.



Σχ. 7.5 Διατμητική ενίσχυση υποστυλωμάτων μεταξύ τοίχων πλήρωσης σε τμήμα του συνολικού ύψους ορόφου.

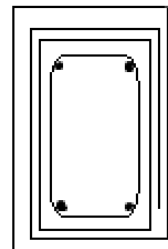
- Όταν γίνεται καθολική περιτύλιξη υποστυλωμάτων με υφάσματα, η μάτιση κάθε τμήματος θα πρέπει να γίνεται σε διαφορετική πλευρά. (Σχ. 7.6)



Σχ. 1.6

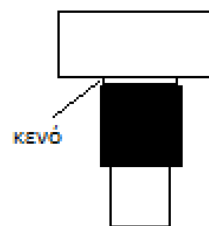
### 7.2.3. Περίσφιγξη

- Συνιστάται να στρογγυλεύονται οι γωνίες της διατομής με τη μέγιστη εφικτή ακτίνα καμπυλότητας (η οποία καθορίζεται συνήθως από το πάχος επικάλυψης).
- Η υπερκάλυψη των δύο άκρων σε επάλληλες στρώσεις επί υποστρωμάτων ορθογωνικής διατομής (Σχ 7.7) θα πρέπει να έχει μήκος τέτοιο ώστε η θραύση του μανδύα να προηγείται της αποκόλλησης. Ενδεικτικό ελάχιστο μήκος υπερκάλυψης είναι τα 200 mm, για υφάσματα ινών άνθρακα ονομαστικού πάχους 0.12 – 0.13 mm.



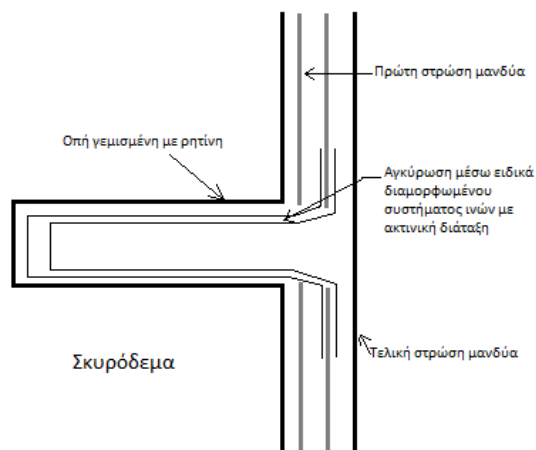
Σχ. 7.7

- Ο μέγιστος επιτρεπόμενος αριθμός στρώσεων για την κατασκευή μανδύα είναι της τάξης του 15 (ή όπως συνιστάται από τον προμηθευτή του συστήματος ενίσχυσης).
- Στην περίπτωση εφαρμογής μανδύα στις κρίσιμες περιοχές υποστρωμάτων πρέπει να αφήνεται κενό της τάξης των 15 mm, (Σχ.7.8) ώστε αφενός να μην παρεμποδίζεται η στροφή της ακραίας διατομής, αφετέρου να μην υφίσταται σύνθλιψη ο μανδύας λόγω της στροφής αυτής.



Σχ. 7.8

- Όταν ο μανδύας αποσκοπεί στην αποτελεσματική περισφιγξη υποστρωμάτων ορθογωνικής διατομής με μεγάλο λόγο πλευρών (π.χ. >3) ή τοιχωμάτων, τα τμήματα του μανδύα επί των μεγάλων πλευρών θα πρέπει να είτε να συνδέονται μεταξύ τους μέσω κατάλληλα διαμορφωμένων βλήτρων (κατά προτίμηση), είτε να στερεώνονται επαρκώς στις πλευρές αυτές μέσω ειδικών βλήτρων σε οπές. (Σχ 7.9)



Σχ. 7.9 Στερέωση μανδύα μέσω ειδικού βλήτρου – αγκυρίου σε οπή.

- Όπως και στην περίπτωση διατμητικής ενίσχυσης υποστυλώματος με καθολική περιτύλιξη υφασμάτων, η μάτιση κάθε τμήματος θα πρέπει να γίνεται σε διαφορετική πλευρά.

### 7.3. Μέθοδος εφαρμογής

Τα σύνθετα υλικά που εφαρμόζονται συνήθως στο πεδίο των ενισχύσεων είναι (α) τύπου ελάσματος (ινών άνθρακα σε εποξειδική μήτρα) πάχους 1.0 – 1.5 mm και πλάτους αρκετών χιλιοστών (π.χ. 50 – 100 mm) ή (β) τύπου υφάσματος (ινών άνθρακα ή γυαλιού, και σπανιότερα αραμιδίου), πάχους 0.1 – 0.5 mm. Τα ελάσματα επικολλώνται στην επιφάνεια σκυροδέματος μέσω εποξειδικής ρητίνης δύο συστατικών, ενώ τα υφάσματα εμποτίζονται με εποξειδική ρητίνη επί τόπου. Τα διαθέσιμα συστήματα ενισχύσεων σύνθετων υλικών στην Ελληνική αγορά σήμερα είναι αρκετά. Στα περισσότερα εξ αυτών οι ίνες χαρακτηρίζονται από τις ίδιες ή παρόμοιες ιδιότητες, ενώ οι ρητίνες ποικίλλουν μεταξύ των διαφόρων προμηθευτών. Κάθε σύστημα συνοδεύεται (ή θα πρέπει να συνοδεύεται), εκτός από πλήρη κατάλογο των ιδιοτήτων που ενδιαφέρουν τους μηχανικούς – μελετητές, και από λεπτομερείς οδηγίες εφαρμογής. Έτσι, η παρουσίαση των λεπτομερειών της εφαρμογής των σύνθετων υλικών (οι οποίες μάλιστα τροποποιούνται ή συμπληρώνονται κάθε φορά που εμφανίζονται νέα προϊόντα στην αγορά) ξεφεύγει από το στόχο του παρόντος συγγράμματος. Αντ' αυτών δίνονται βασικές συστάσεις, οι οποίες θα πρέπει να ακολουθούνται σε κάθε περίπτωση, ώστε η εφαρμογή των σύνθετων υλικών να γίνεται με άρτιο τρόπο. Περισσότερα στοιχεία δίνονται στο JBDPA (1999), στο fib bulletin 14 (2001) και στο ACI 440.2R-02 (2002).

- Οι επιφάνειες σκυροδέματος όπου θα γίνει επικόλληση θα πρέπει να απαλλαγμένες σαθρού υλικού, επίπεδες (πλήρωση μεγάλων ρωγμών με ένεμα, επισκευή κοιλοτήτων με κονίαμα), εκτραχυμένες (π.χ. με συρματόβουρτσα ή αμμοβολή ή υδροβολή), απόλυτα καθαρές και στεγνές. Τυχόν υγρασία (τόσο επιφανειακή όσο και εγκλωβισμένη στο υπό ενίσχυση στοιχείο) προϋποθέτει τη χρήση ειδικών ρητινών.

- Η επιλογή της ρητίνης θα πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη, εκτός από τις συνθήκες υγρασίας και τις συνθήκες θερμοκρασίας, οι οποίες είναι καθοριστικές για την σκλήρυνση της ρητίνης αλλά και για την μετέπειτα συμπεριφορά της. Η εφαρμογή των ρητινών σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος ενδέχεται να πρέπει να γίνεται σε συνδυασμό με επιβολή τοπικής θέρμανσης.
- Τα ελάσματα σύνθετων υλικών θα πρέπει να καθαρίζονται σχολαστικά (π.χ. με διάλυμα ακετόνης) λίγο πριν την εφαρμογή τους, να υφίστανται προσεκτική μεταχείριση (από εργάτες που θα φορούν γάντια) και να τοποθετούνται χωρίς να υφίστανται στρέβλωση. Ιδιαίτερη φροντίδα απαιτείται κατά την εφαρμογή των υφασμάτων, στα οποία οι ίνες θα πρέπει να είναι απόλυτα ευθύγραμμες (με εξαίρεση τις περιοχές όπου θα πρέπει να εφαρμόζονται υπό καμπυλότητα, όπως π.χ. στις γωνίες υποστυλωμάτων) και όσο τεντωμένες γίνεται (ώστε να “ενεργοποιηθούν”, δηλαδή να παραλάβουν δυνάμεις, αμέσως μετά την εφαρμογή φορτίων στο ενισχυμένο στοιχείο).
- Η στρώση εποξειδικής ρητίνης για την επικόλληση ελασμάτων θα πρέπει να έχει πάχος της τάξης του 1.5 mm. Αυτή που χρησιμοποιείται για τον επί τόπου εμποτισμό υφασμάτων θα πρέπει να έχει την κατάλληλη ρευστότητα (ιξώδες) και να εφαρμόζεται στην κατάλληλη ποσότητα ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης κάλυψη (εμποτισμός) των ινών, χωρίς παράλληλα να εγκλωβίζεται αέρας (το τελευταίο επιτυγχάνεται όταν η ρητίνη απλώνεται και ταυτόχρονα πιέζεται με ειδικούς κυλίνδρους).
- Για να διευκολύνεται η εφαρμογή επιχρίσματος πάνω στα σύνθετα υλικά, θα πρέπει προτού σκληρυνθεί η εξωτερική στρώση ρητίνης να γίνει πάνω σ’ αυτήν ρίψη επαρκούς ποσότητας (της τάξης του 1 kg/m<sup>2</sup>) χαλαζιακής άμμου, ώστε να δημιουργηθεί τραχεία επιφάνεια.
- Γενικά η εφαρμογή του συστήματος ενίσχυσης θα πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένα συνεργεία και με εξαιρετική επιμέλεια.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο

## ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

### 8.1. Γενικά

Στο Κεφάλαιο αυτό γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση της ανθεκτικότητας συστημάτων ενίσχυσης σύνθετων υλικών υπό τη επίδραση μίας σειράς παραγόντων, που γίνονται ακολούθως:

- Υψηλές θερμοκρασίες
- Υγρασία
- Υπεριώδης ακτινοβολία
- Αλκαλικό και όξινο περιβάλλον
- Γαλβανική διάβρωση
- Ερπυσμός, θραύση υπό τάση, διάβρωση υπό τάση
- Κόπωση
- Κρούση

### 8.2 Θερμοκρασιακές επιδράσεις

Οι υψηλές θερμοκρασίες της τάξης των 50 – 80 οC, μειώνουν σημαντικά την ικανότητα ανάληψης δυνάμεων στις ρητίνες (μήτρα σύνθετων υλικών, κόλλα στη διεπιφάνεια σύνθετων υλικών- σκυροδέματος). Ακόμα, υψηλότερες θερμοκρασίες όπως αυτές κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς, προκαλούν πλήρη αποσύνθεση των ρητινών (πολλές από τις οποίες κατά την καύση τους εκλύουν τοξικά αέρια) και επομένως τα σύνθετα υλικά δεν μπορούν να φέρουν τάσεις. Οι θερμοκρασίες αποσύνθεσης των ινών είναι 1000 οC για το γυαλί, 650 οC για τον άνθρακα και 200 οC για το αραμίδιο. Πειραματικά αποτελέσματα έχουν δείξει ότι μανδύες σύνθετων υλικών με ίνες άνθρακα σε εποξειδική μήτρα υφίστανται απώλεια αντοχής για θερμοκρασίες πάνω από περίπου 260 οC. Έτσι, κατά τη διάρκεια ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών (αλλά και μετά) το σύστημα ενίσχυσης θα πρέπει να θεωρείται ανενεργό, εκτός αν φέρει πυροπροστασία. Η τελευταία είναι εφικτή σε σημαντικό βαθμό νέσω επικάλυψης των σύνθετων υλικών είτε με ειδικά επιχρίσματα (ή κοινά επιχρίσματα μεγάλου πάχους, της τάξης των 40 – 50 mm, σύμφωνα με τις Ιαπωνικές Συστάσεις JSCE 2001) είτε με ειδικά προστατευτικά (π.χ. τύπου γυψοσανίδας μεγάλου πάχους).

### 8.3 Υγρασία

Γενικά τα σύνθετα υλικά έχουν πολύ καλή συμπεριφορά σε συνθήκες υγρασίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως και μετά από μακροχρόνια δράση του νερού ή ρευστών γενικότερα, κάποιοι συνδυασμοί ινών – ρητίνης ενδέχεται να παρουσιάσουν προβλήματα. Οι ρητίνες απορροφούν μικρές ποσότητες νερού, οι οποίες μειώνουν ελαφρά την αντοχή τους καθώς και τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης. Αυτές βέβαια που χρησιμοποιούνται συνήθως για την επικόλληση σύνθετων υλικών (καλής ποιότητας εποξειδικές ρητίνες) έχουν γενικά εξαιρετική ανθεκτικότητα στην υγρασία. Από τις ίνες, παρουσία υγρασίας το γυαλί υφίσταται μικρή μείωση αντοχής (λόγω απομάκρυνσης ιόντων από την επιφάνεια των ινών) και

το αραμίδιο, το οποίο μπορεί να απορροφήσει υγρασία μέχρι και 13% κ.β., αρκετά μεγαλύτερη. Οι ίνες άνθρακα είναι πρακτικά απρόσβλητες.

Εδώ αξίζει να επισημάνουμε ότι η πλήρης κάλυψη στοιχείων σκυροδέματος με μανδύες σύνθετων υλικών δημιουργεί στεγανές (σε νερό και αέρα) εξωτερικές επιφάνειες με αποτέλεσμα την προστασία του μέλους από δυσμενείς περιβαλλοντικούς παράγοντες (π.χ. χλωριόντα, δράση χημικών). Τούτο σε στοιχεία τα οποία είτε παρουσιάζουν έντονη διάβρωση είτε εκτίθενται σε διαβρωτικό περιβάλλον, είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό, διότι ο ρυθμός διάβρωσης μειώνεται δραστικά. Πρέπει να τονιστεί βέβαια ότι σε στοιχεία τα οποία θα πρέπει να «αναπνέουν» (να είναι δηλαδή σχετικά εύκολα διαπερατά) ένας καθολικός μανδύας (ο οποίος ενδέχεται μάλιστα να εγκλωβίσει την υγρασία) θα πρέπει να αποφεύγεται.

#### **8.4 Υπεριώδης ακτινοβολία**

Η υπεριώδης ακτινοβολία του ήλιου (UV) επιφέρει αλλοίωση της ισχύος των δεσμών και γενικά μείωση της αντοχής στα πολυμερή (μήτρα σύνθετων υλικών) που εκτίθενται σε αυτή. Φαινομενικά, το αποτέλεσμα της επίδρασης της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι η χρωματική αλλοίωση και μικρορηγμάτωση των εκτιθέμενων επιφανειών. Για την περίπτωση των σύνθετων υλικών η υπεριώδης ακτινοβολία επηρεάζει κάπως την επιφανειακή στρώση ρητίνη, επιφέροντας χρωματική αλλοίωση και ενδεχομένως μικρή μείωση της αντοχής της, όχι όμως και τις ίνες (εξαιρέση αποτελούν οι ίνες αραμιδίου, οι οποίες είναι ελαφρώς ευπαθείς). Ως μέθοδος προστασίας στην περίπτωση απευθείας έκθεσης στον ήλιο επί μακρόν προτείνεται η εφαρμογή επιχρισμάτων ή ειδικών αντι-UV (ακρυλικής ή πολυουρεθανικής σύστασης) βαφών ανοικτού χρώματος (π.χ. γκρι ανοικτό).

#### **8.5 Αλκαλικό και όξινο περιβάλλον**

Γενικά, τόσο το αλκαλικό περιβάλλον, (π.χ. αυτό του σκυροδέματος) όσο και το όξινο δεν έχουν δυσμενείς επιδράσεις σε σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα. Οι ίνες γυαλιού είναι όμως αρκετά ευπαθείς (υφίστανται μείωση αντοχής), ενώ οι ίνες αραμιδίου έχουν ενδιάμεση συμπεριφορά. Προστασία σε ευπαθείς ίνες παρέχεται από την μήτρα (ρητίνη), υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι αυτή τις απομονώνει από το αλκαλικό ή το όξινο περιβάλλον.

#### **8.6 Γαλβανική διάβρωση**

Η επαφή των ινών άνθρακα με χάλυβα θα πρέπει να αποφεύγεται, διότι ο τελευταίος θα υποστεί γαλβανική διάβρωση. Τέτοιο πρόβλημα δεν υφίσταται όταν χρησιμοποιούνται ίνες γυαλιού ή αραμιδίου.

#### **8.7 Ερπυσμός, θραύση υπό τάση, διάβρωση υπό τάση**

Γενικά, οι ερπυστικές παραμορφώσεις (αυτές δηλαδή που αναπτύσσονται με το χρόνο υπό σταθερή τάση) σύνθετων υλικών τα οποία φορτίζονται κυρίως παράλληλα στις ίνες είναι μικρές. Για γυαλιά με ίνες άνθρακα είναι πρακτικά μηδενικές, για ίνες γυαλιού πολύ μικρές (αμελητέες), ενώ για ίνες αραμιδίου κάπως μεγαλύτερες. Δεδομένου όμως ότι σε περιπτώσεις ενισχύσεων συνήθως (α) τα σύνθετα υλικά ευρίσκονται υπό τάση μόνο για τα πρόσθετα φορτία (πλέον του ίδιου βάρους) και (β) το σκυρόδεμα δεν είναι «μικρής ηλικίας», οπότε έχει αναπτύξει το

μεγαλύτερο τμήμα των ερπυστικών παραμορφώσεων, ο ερπυσμός σπανίως αποτελεί φαινόμενο προς εξέταση.

Μία αξιοσημείωτη παρατήρηση είναι η εξαιρετικά πτωχή συμπεριφορά των σύνθετων υλικών με ίνες γυαλιού υπό τάση. Οι τελευταίες μπορεί να αστοχήσουν όταν βρίσκονται υπό μόνιμη τάση, ακόμα και αν αυτή είναι εξαιρετικά χαμηλή (π.χ. 20% της εφελκυστικής αντοχής). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται θραύση υπό τάση (stress rupture).

Το φαινόμενο της διάβρωσης υπό τάση (stress corrosion) αφορά στη μείωση της αντοχής των σύνθετων υλικών λόγω της συνδυασμένης δράσης εφελκυστικών τάσεων και διαβρωτικού (π.χ. όξινου ή αλκαλικού) περιβάλλοντος (το οποίο όμως, απουσία τάσεων, δεν θα είχε ως αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής). Γενικά τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα δεν έχουν πρόβλημα διάβρωσης υπό τάση ακόμα και αν η τάση φθάνει στο 80 % της εφελκυστικής αντοχής. Οι ίνες γυαλιού όμως είναι εξαιρετικά ευπαθείς (ειδικά όταν συνδυάζονται με ρητίνες όχι τόσο καλές όσο οι εποξειδικές) ενώ οι ίνες αραμιδίου δείχνουν ενδιάμεση συμπεριφορά.

Συμπερασματικά, όταν τα σύνθετα υλικά φέρουν μόνιμα φορτία, η βέλτιστη επιλογή, υλικού ινών είναι ο άνθρακας (σε συνδυασμό) με εποξειδική ρητίνη.

## 8.8 Κόπωση

Γενικά, η συμπεριφορά των σύνθετων υλικών σε κόπωση (δράση μεγάλου αριθμού κύκλων επαναλαμβανόμενης φόρτισης) είναι πολύ καλή. Ειδικά για υλικά με ίνες άνθρακα η διεθνής βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι η αντοχή σε κόπωση είναι μεγαλύτερη από αυτή του χάλυβα οπλισμού: σε περιπτώσεις καμπτικής ενίσχυσης δοκών με υλικά ινών άνθρακα υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση πρώτα παρατηρήθηκαν αστοχίες λόγω κόπωσης στον εφελκυσμένο χάλυβα και σε καμία περίπτωση στους εξωτερικούς οπλισμούς ενίσχυσης.

## 8.9 Κρούση

Σε ότι αφορά στην επίδραση της κρούσης (π.χ. λόγω πρόσκρουσης οχήματος σε υποστύλωμα γέφυρας ενισχυμένο με μανδύα σύνθετων υλικών) στην εναπομένουσα αντοχή των σύνθετων υλικών, καλύτερη συμπεριφορά δίνουν τα υλικά με ίνες αραμιδίου (δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι αυτές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αλεξίσφαιρων γιλέκων), ακολουθούν αυτά με ίνες γυαλιού και τέλος με ίνες άνθρακα.

## 8.10 Αξιολόγηση τύπου ινών

Ένα ερώτημα το οποίο τίθεται συχνά στην πράξη από τους μηχανικούς – μελετητές ενισχύσεων με σύνθετα υλικά αφορά στην επιλογή του πλέον κατάλληλου για κάθε περίπτωση τύπου ινών. Η παράμετρος που καθορίζει τον σχεδιασμό μίας επέμβασης σε πολλές περιπτώσεις (π.χ. ενίσχυση σε κάμψη, ενίσχυση σε τέμνουσα, περίσφιξη με στόχο αύξηση της θλιπτικής αντοχής, περίσφιξη στις κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων με στόχο την αποτροπή λυγισμού των διαμήκων ράβδων) είναι η «δυστένεια» του υλικού, δηλαδή το γινόμενο  $E\epsilon_{tf}$  (μέτρο ελαστικότητας επί συνολικό πάχος). Έτσι, ένα πρώτο κριτήριο επιλογής υλικού ινών θα μπορούσε να αποτελέσει το κόστος για δεδομένη δυστένεια. Για παράδειγμα, ένα ύφασμα ινών άνθρακα με μέτρο ελαστικότητας 230 GPa και πάχος  $t_{fib} = 0.12$  mm είναι ουσιαστικά ισοδύναμο ενός υφάσματος ινών γυαλιού με μέτρο ελαστικότητας 69 GPa και πάχος



$t_{fib} = 0.40$  mm. Το σύνθετο υλικό που θα προκύψει και από τα δύο θα έχει «δυστένεια» κάτι λιγότερι (λόγω του μειωτικού συντελεστή  $r_1$ ) από  $nE_{ftfib}$  όπου  $n =$  ο αριθμός των στρώσεων.

Σαν δεύτερο παράδειγμα, δύο στρώσεις υφάσματος ινών άνθρακα με μέτρο ελαστικότητας 230 GPa και πάχος 0.12 mm είναι ουσιαστικά ισοδύναμες 5 στρώσεις υφάσματος γυαλιού με μέτρο ελαστικότητας 69 GPa και πάχος 0.16 mm. Έτσι, αν το κόστος (π.χ. ανά  $m^2$ ) κάθε υφάσματος γυαλιού, στο τελευταίο παράδειγμα, είναι πάνω από 2.5 φορές χαμηλότερου του αντίστοιχου για το ύφασμα άνθρακα, η επιλογή του αποτελεί τη βέλτιστη λύση. Στην περίπτωση που στόχος της ενίσχυσης είναι η αύξηση της παραμορφωσιμότητας του σκυροδέματος μέσω περίσφιγξης (π.χ. σε περιοχές πλαστικών αρθρώσεων με στόχο την αύξηση του δείκτη πλαστιμότητας) η παράμετρος που καθορίζει τον σχεδιασμό μίας επέμβασης είναι το γινόμενο  $ff_{dtf}$  (εφελκυστική αντοχή επί συνολικό πάχος), οπότε ως κριτήριο επιλογής του τύπου ινών θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το κόστος για δεδομένη τιμή του παραπάνω γινομένου.

Πίνακας 8.1 Αξιολόγηση ινών με βάση ανθεκτικότητα

Κριτήριο	Ίνες Άνθρακα	Ίνες Γυαλιού	Ίνες Αραμιδίου
Υψηλές θερμοκρασίες	+	-	-
Υγρασία	+	-	-
Υπεριώδης ακτινοβολία	++	+	-
Αλκαλικό και όξινο περιβάλλον	++	--	+
Γαλβανική διάβρωση	--	+	+
Ερπυσμός	++	--	-
Θραύση υπό τάση, διάβρωση υπό τάση	++	--	+
Κόπωση	++	-	+
Κρούση	-	+	++

Στους παραπάνω συλλογισμούς όμως θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη και άλλες παράμετροι, όπως είναι το κόστος εργατικών (αυξάνεται με τον αριθμό στρώσεων), η αποδοτικότητα των πολλαπλών στρώσεων (δεν είναι ανάλογη του αριθμού των στρώσεων), η δυσκολία εμποτισμού στρώσεων μεγάλου πάχους και, φυσικά η ανθεκτικότητα του συστήματος σε διάρκεια. Σε ότι αφορά στον τελευταίο παράγοντα, τα σύνθετα υλικά με ίνες άνθρακα είναι αυτά που έχουν την καλύτερη συμπεριφορά, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 8.1

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>

### ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

#### 9.1 Περιγραφή υφιστάμενης κατασκευής

Στην παρούσα μελέτη θα δούμε την ενίσχυση και τον έλεγχο αντοχής τριώροφου κτιρίου με υπόγειο, κατασκευής του 1985 με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το κτίριο αυτό βρίσκεται στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης και είναι κτισμένο σε αργιλικό έδαφος.

Για την ενίσχυση και την ανάλυση του κτιρίου χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ri-SUITE. Στο πρόγραμμα αυτό θα δούμε τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν από την ανάλυση όλων των δομικών στοιχείων της υφιστάμενης κατασκευής.

Στις εικόνες 9.1-9.4 παρουσιάζονται οι ξυλοτύποι του υφιστάμενου κτιρίου.



Εικ. 9.1 Ξυλότυπος θεμελίωσης



Εικ. 9.2 Ξυλότυπος υπογείου



Εικ. 9.3 Ξυλότυπος Ισογείου



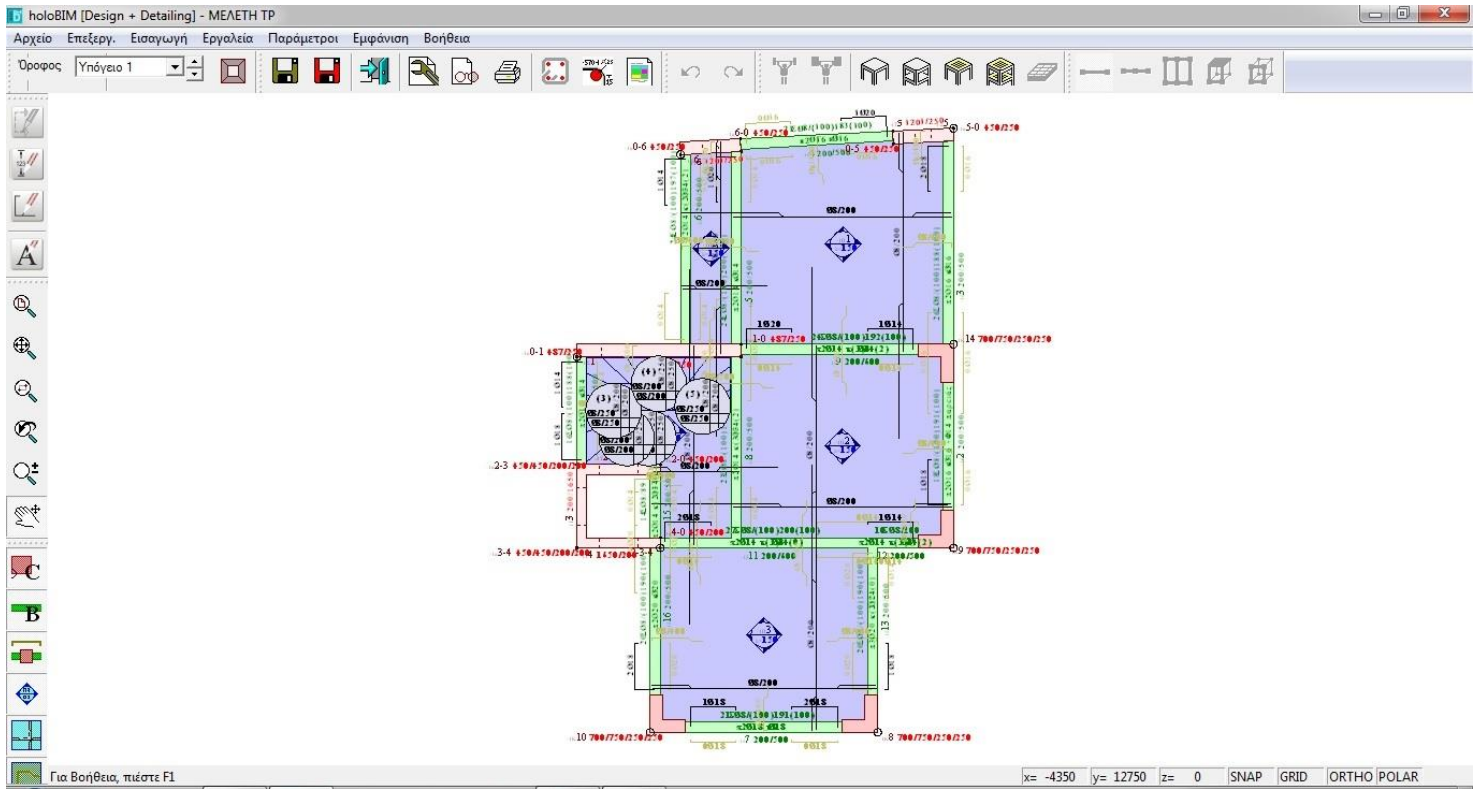
Εικ. 9.4 Ξυλότυπος Α' και Β' ορόφου

## 9.2 Εισαγωγή υφιστάμενου κτιρίου στο πρόγραμμα ri-SUITE

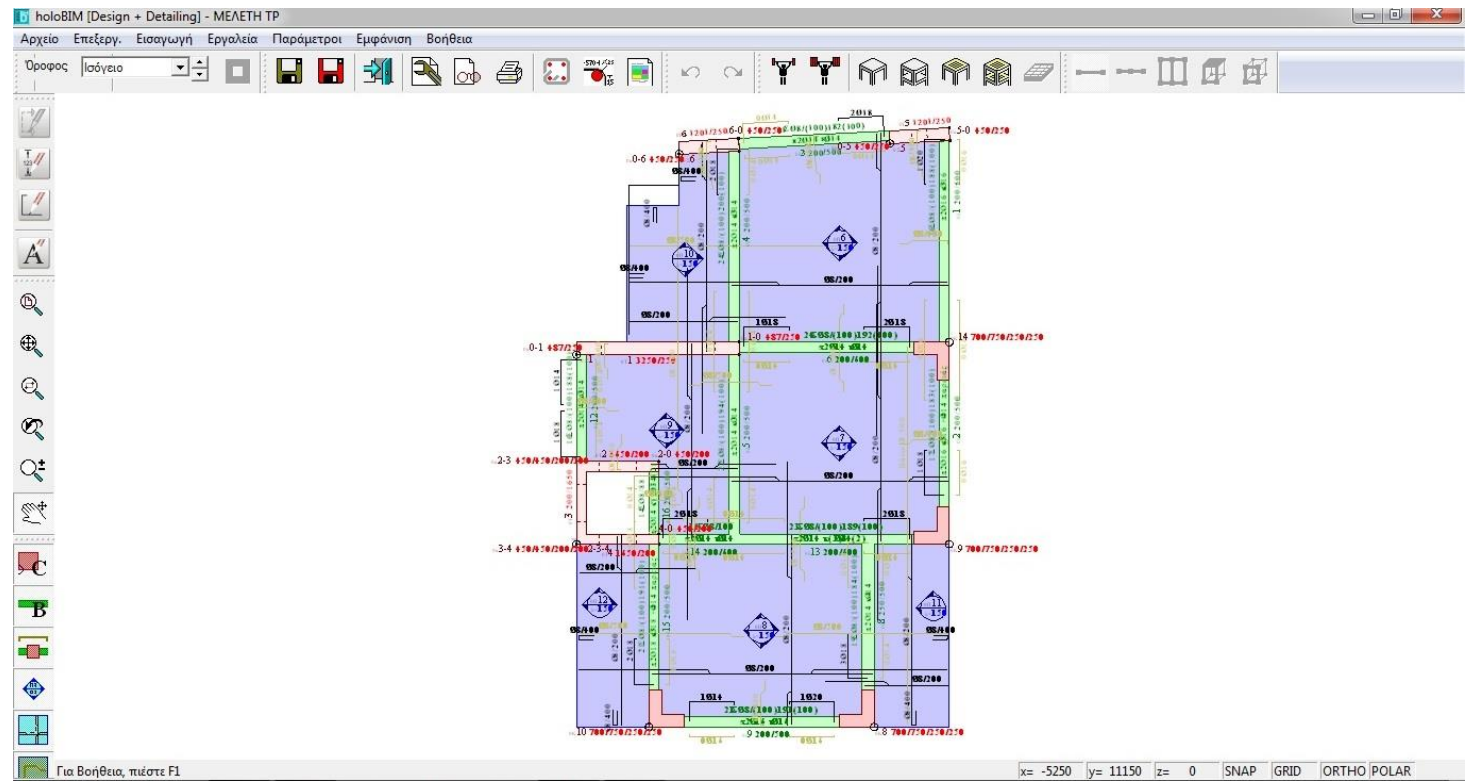
Με την εισαγωγή μας στο πρόγραμμα ri-SUITE δηλώνουμε τα στοιχεία της υφιστάμενης κατασκευής τα οποία είναι:

- το υλικό της κατασκευής (σκυρόδεμα)
- η ποιότητα του σκυροδέματος ( C16/20)
- η ποιότητα του χάλυβα (F400)
- οι συνδετήρες κολωνών (Φ10/10)
- οι συνδετήρες δοκών (Φ10/10)

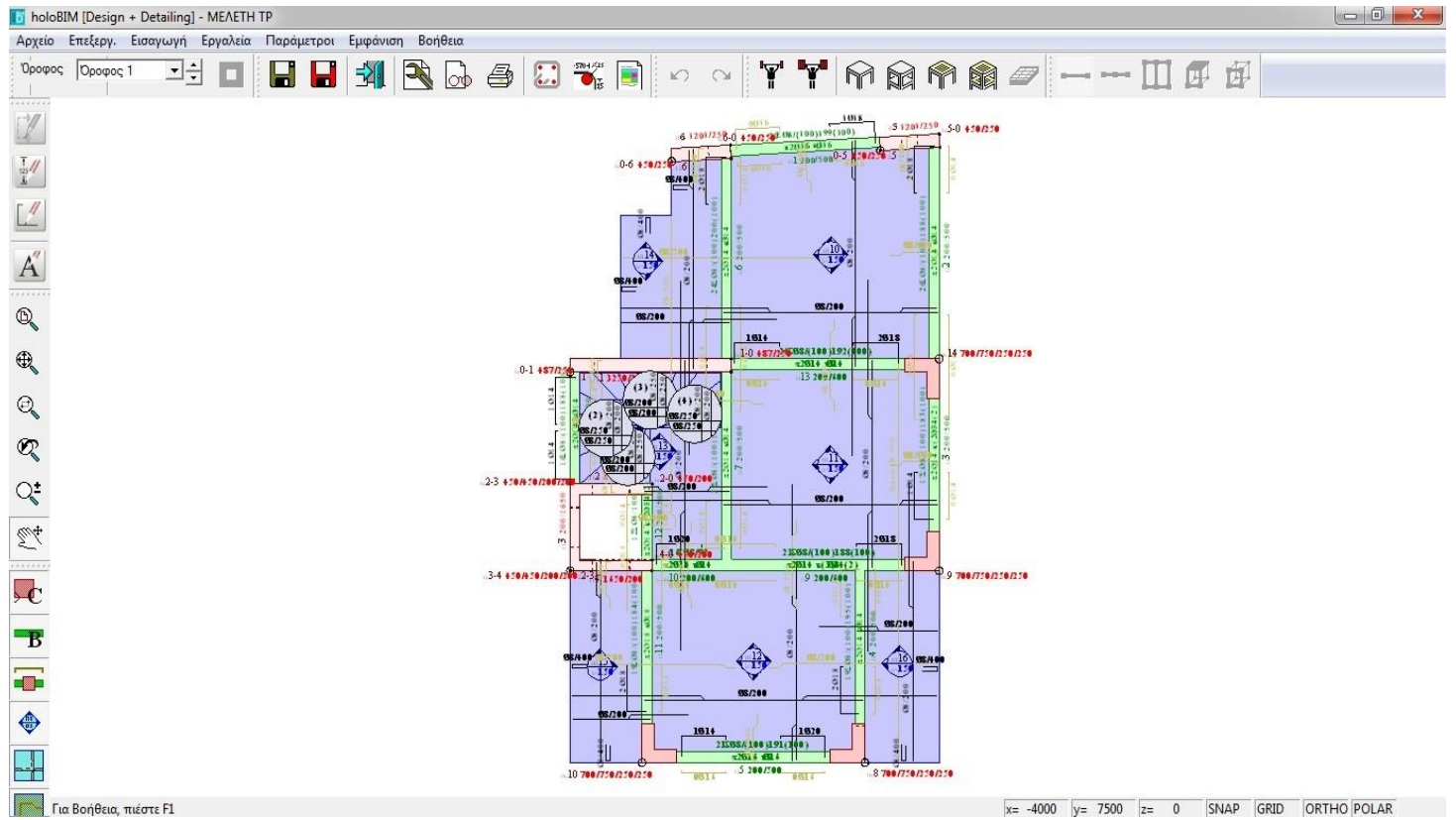
Μόλις εισάγουμε όλα τα στοιχεία της υφιστάμενης κατασκευής ξεκινάμε να την σχεδιάζουμε στο πρόγραμμα όπως φαίνεται στις εικόνες 9.5-9.9.



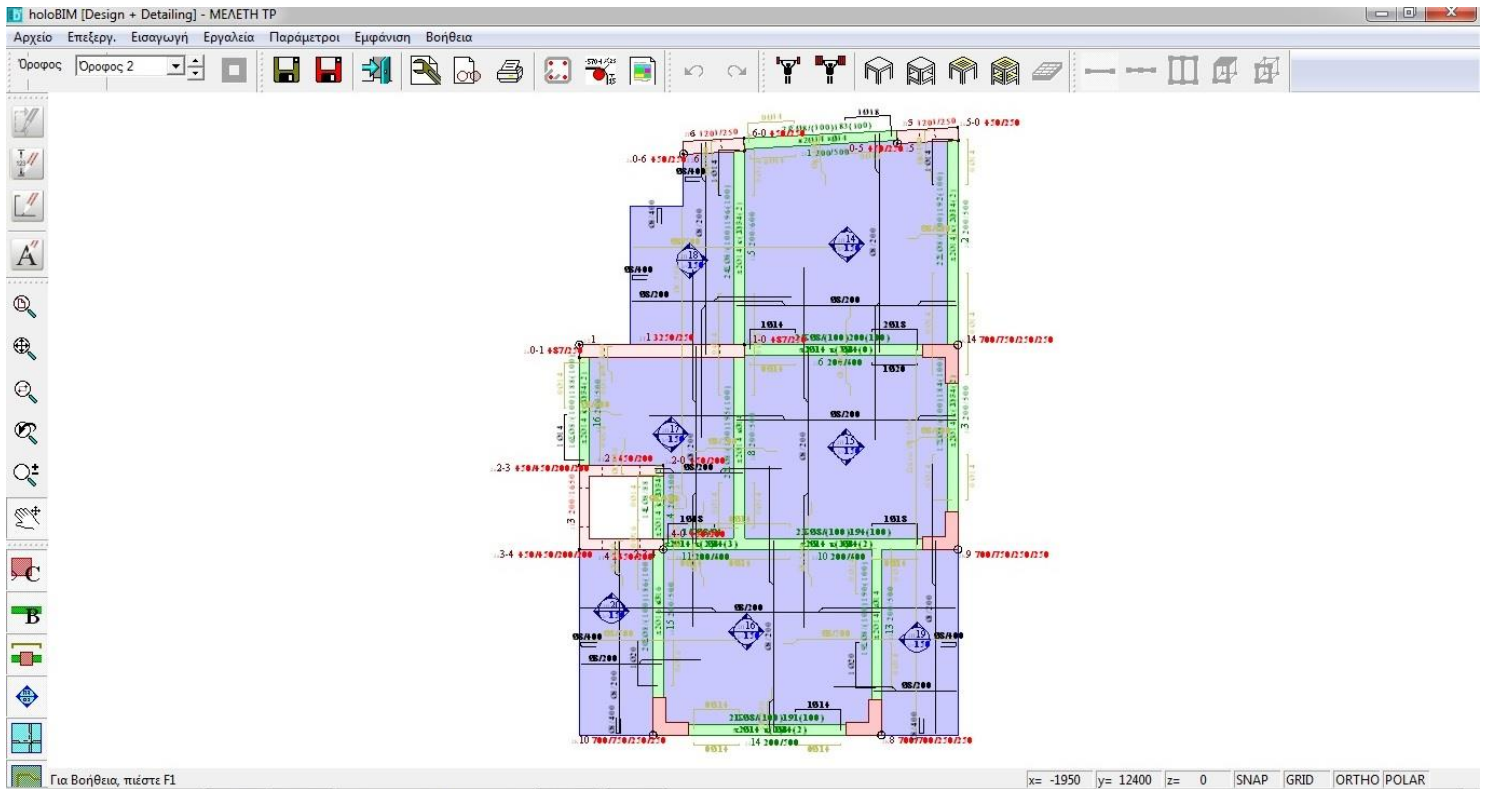
Εικ. 9.6 Ξυλότυπος υπογείου



Εικ. 9.7 Ξυλότυπος ισογείου

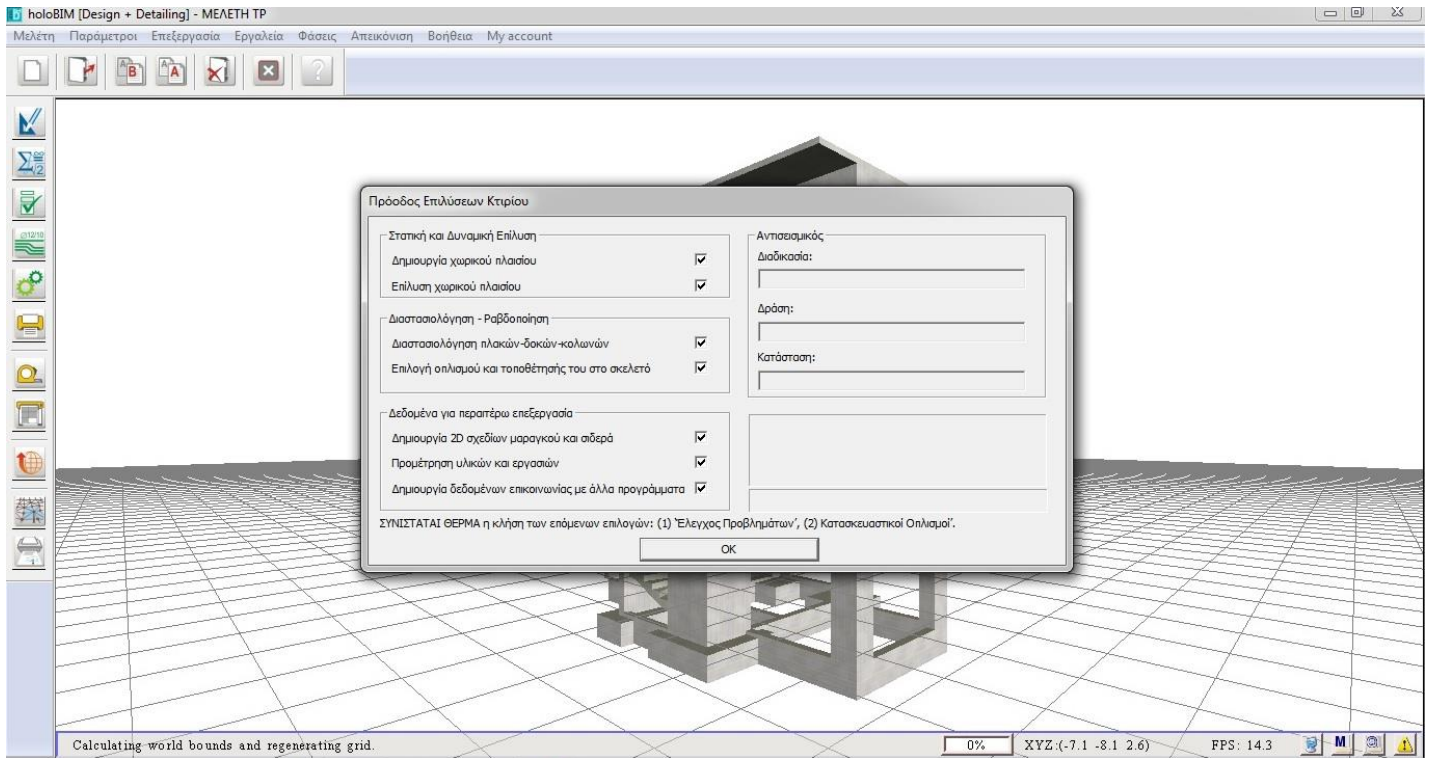


Εικ. 9.8 Ξυλότυπος Α' ορόφου

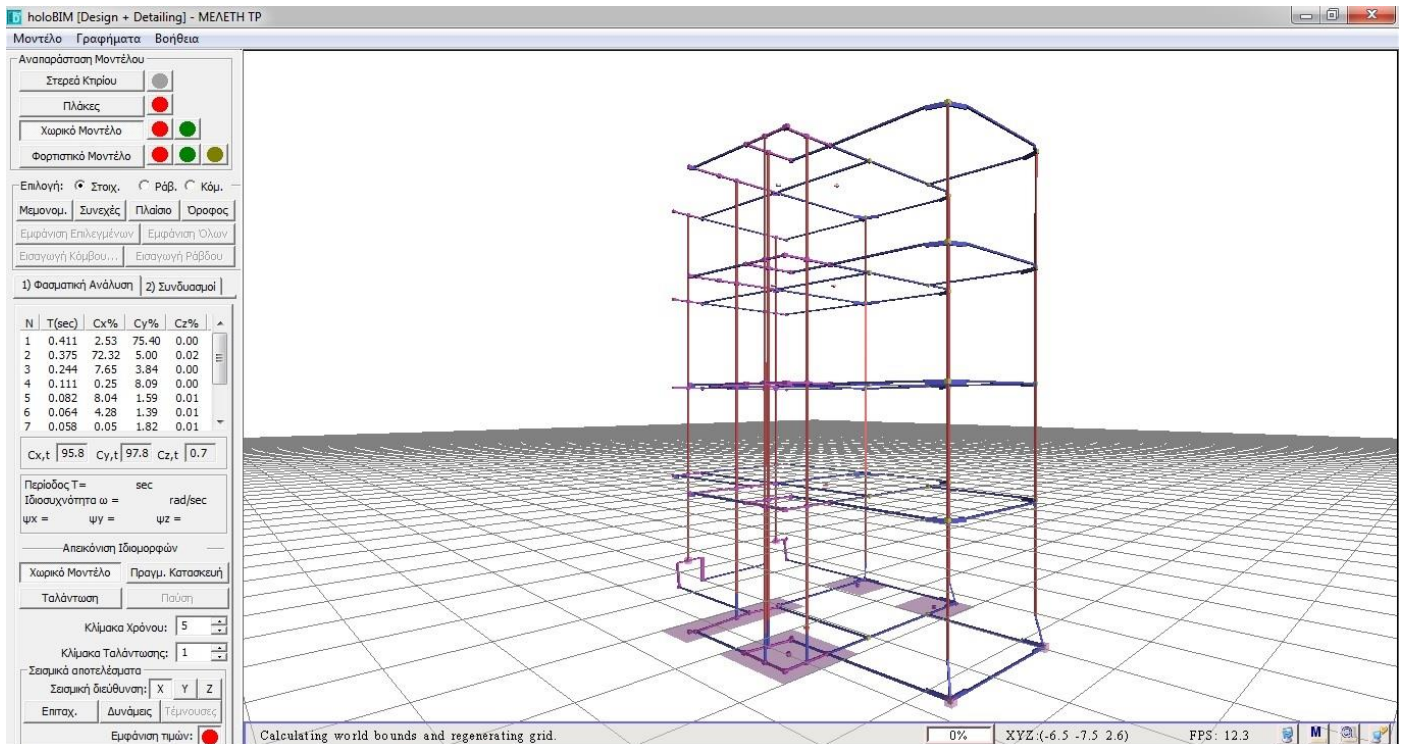


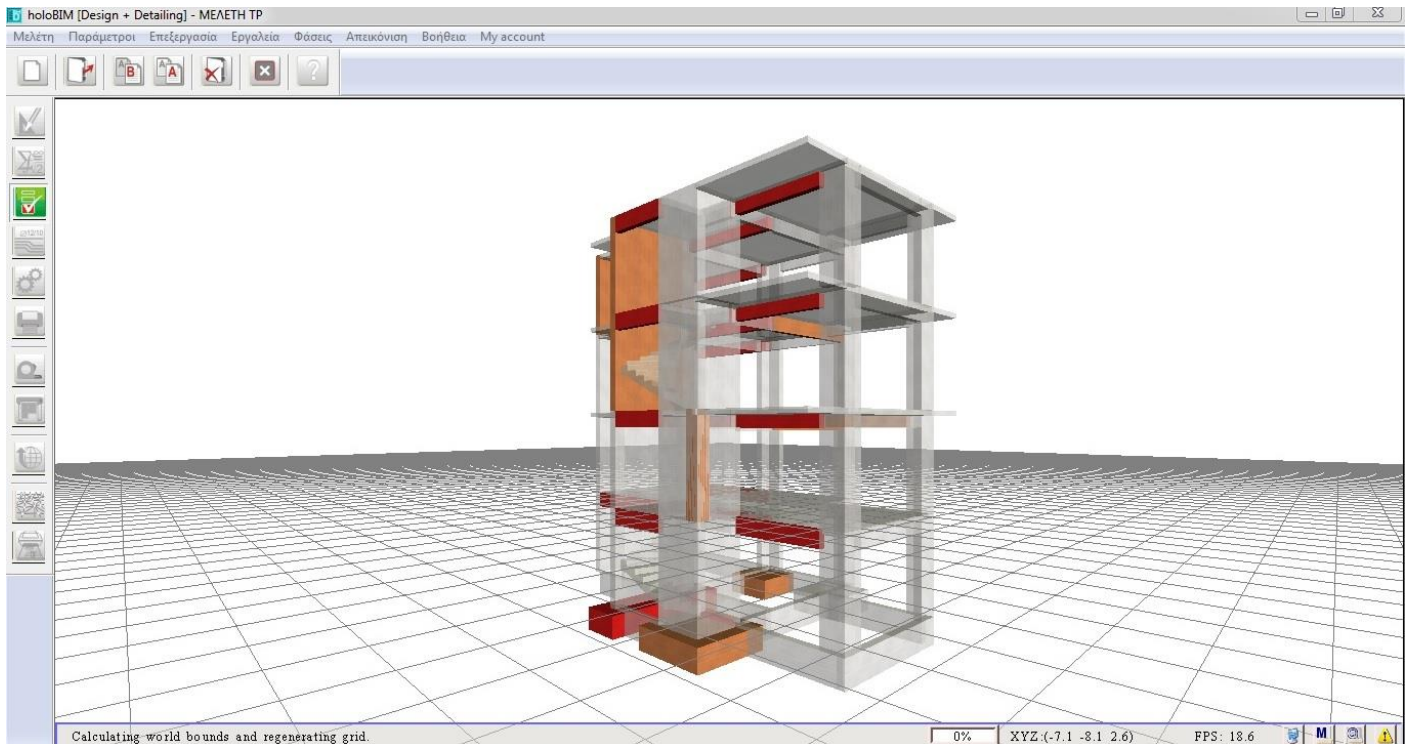
Εικ. 9.9 Ξυλότυπος Β' ορόφου

Στη συνέχεια κάνουμε επίλυση για να δούμε σε ποια στοιχεία της κατασκευής μας υπάρχουν προβλήματα και χρειάζονται ενίσχυση.



Εικ. 9.10 Επίλυση





Εικ. 9.11 Αποτελέσματα ανάλυσης

Εικ. 9.12 Τρισδιάστατο προσομοίωμα κτιρίου που υποδεικνύει τα στοιχεία με προβλήματα

### 9.3 Αναφορά προβλημάτων

#### Συνολικά αποτελέσματα ελέγχων:

**Στοιχεία με προβλήματα: 23, Στοιχεία με προειδοποιήσεις: 29**

#### Γενικοί έλεγχοι:

#### Έλεγχοι αντισεισμικού κανονισμού:

#### **Προειδοποιήσεις: 9**

Προειδοποίηση Κανονικότητας: Το κτίριο δεν είναι κανονικό.

Προειδοποίηση Περίσφυξης:  $N_{v,y}=0.363 < 0.600$

Προειδοποίηση Ικανοτικού:  $N_{v,y}=0.363 < 0.650$

-(Ισόγειο) Προειδοποίηση Ικανοτικού: Απαιτείται κατά τη διεύθυνση X

-(Ισόγειο) Προειδοποίηση Ικανοτικού: Απαιτείται κατά τη διεύθυνση Y

-(Οροφος 1) Προειδοποίηση Ικανοτικού: Απαιτείται κατά τη διεύθυνση X

-(Οροφος 1) Προειδοποίηση Ικανοτικού: Απαιτείται κατά τη διεύθυνση Y

-(Οροφος 2) Προειδοποίηση Ικανοτικού: Απαιτείται κατά τη διεύθυνση X

-(Οροφος 2) Προειδοποίηση Ικανοτικού: Απαιτείται κατά τη διεύθυνση Y



## Έλεγχοι στοιχείων - Όροφος 2:

### **Στοιχεία με προβλήματα: 5**

#### **Στοιχεία Ανωδομής:**

2δ2:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 14 > 12.60 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 14 > 12.60 \text{ mm}$

2δ5:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 14 > 10.11 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 14 > 10.11 \text{ mm}$

2δ8:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 14 > 10.64 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 14 > 10.64 \text{ mm}$

2δ15:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 16 > 4.97 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 16 > 4.97 \text{ mm}$

2δ16:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 14 > 12.58 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 14 > 12.58 \text{ mm}$

### **Στοιχεία με προειδοποιήσεις: 7**

#### **Στοιχεία Ανωδομής:**

2T1:

- Προειδοποίηση Ικανοτικού Ελέγχου (+y):  $\Sigma Mrb=309.07 \text{ kNm} > \Sigma Mrc=161.16 \text{ kNm}$
- Προειδοποίηση Ικανοτικού Ελέγχου (-y):  $\Sigma Mrb=295.84 \text{ kNm} > \Sigma Mrc=161.16 \text{ kNm}$

2α2-3:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw=66 \text{ mm} < sw, \min=80 \text{ mm}$

2α2-0:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw=66 \text{ mm} < sw, \min=80 \text{ mm}$

2α3-4:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw=67 \text{ mm} < sw, \min=80 \text{ mm}$

2α4-0:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw=67 \text{ mm} < sw, \min=80 \text{ mm}$

2T6:

- Προειδοποίηση Ικανοτικού Ελέγχου (-y):  $\Sigma M_{rb}=120.65 \text{ kNm} > \Sigma M_{rc}=112.29 \text{ kNm}$

2δ8:

- Προειδοποίηση Κάμψης: Εφελκόμενος οπλισμός αριστερά  $A_s=154 \text{ mm}^2 < A_{s,\min}=300 \text{ mm}^2$

Έλεγχοι στοιχείων - Όροφος 1:

### **Στοιχεία με προβλήματα: 5**

**Στοιχεία Ανωδομής:**

1δ2:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 12.68 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 12.68 \text{ mm}$

1δ6:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 9.78 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 9.78 \text{ mm}$

1δ7:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 9.78 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 9.78 \text{ mm}$

1δ8:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 12.67 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 12.67 \text{ mm}$

1δ11:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 18 > 5.00 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 18 > 5.00 \text{ mm}$

### **Στοιχεία με προειδοποιήσεις: 7**

**Στοιχεία Ανωδομής:**

1T1:

- Προειδοποίηση Ικανοτικού Ελέγχου (-y):  $\Sigma M_{rb}=365.08 \text{ kNm} > \Sigma M_{rc}=349.06 \text{ kNm}$

1α2-0:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw=66 \text{ mm} < sw_{,\min}=80 \text{ mm}$

1α2-3:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw=66 \text{ mm} < sw_{,\min}=80 \text{ mm}$

1α3-4:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw=67 \text{ mm} < sw, \text{min}=80 \text{ mm}$

1α4-0:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw=67 \text{ mm} < sw, \text{min}=80 \text{ mm}$

1δ7:

- Προειδοποίηση Κάμψης: Εφελκυσόμενος οπλισμός αριστερά  $A_s=154 \text{ mm}^2 < A_s, \text{min}=300 \text{ mm}^2$

1δ9:

- Προειδοποίηση Κάμψης: Θλιβόμενος οπλισμός δεξιά  $A_s=308 \text{ mm}^2 < A_s, \text{min}=409 \text{ mm}^2$

Έλεγχοι στοιχείων - Ισόγειο:

### **Στοιχεία με προβλήματα: 5**

**Στοιχεία Ανωδομής:**

0δ1:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 16 > 12.77 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 16 > 12.77 \text{ mm}$

0δ4:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 9.85 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 9.85 \text{ mm}$

0δ5:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 9.85 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 9.85 \text{ mm}$

0δ12:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 12.75 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 14 > 12.75 \text{ mm}$

0δ15:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 18 > 5.10 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  $dbl = 18 > 5.10 \text{ mm}$

### **Στοιχεία με προειδοποιήσεις: 7**

**Στοιχεία Ανωδομής:**

0α2-0:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw=66 \text{ mm} <$

sw,min=80 mm

0α2-3:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο sw=66 mm < sw,min=80 mm

0α3-4:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο sw=67 mm < sw,min=80 mm

0α4-0:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο sw=67 mm < sw,min=80 mm

0δ5:

- Προειδοποίηση Κάμψης: Εφελκόμενος οπλισμός αριστερά As=154 mm<sup>2</sup> < As,min=300 mm<sup>2</sup>

0δ8:

- Προειδοποίηση Κάμψης: Εφελκόμενος οπλισμός δεξιά As=308 mm<sup>2</sup> < As,min=375 mm<sup>2</sup>

0δ13:

- Προειδοποίηση Κάμψης: Θλιβόμενος οπλισμός δεξιά As=308 mm<sup>2</sup> < As,min=409 mm<sup>2</sup>

Έλεγχοι στοιχείων - Υπόγειο 1:

**Στοιχεία με προβλήματα: 8**

**Στοιχεία Ανωδομής:**

-1δ3:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή: dbl = 16 > 12.82 mm
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή: dbl = 16 > 12.82 mm

-1δ5:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή: dbl = 14 > 9.93 mm
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή: dbl = 14 > 9.93 mm

-1δ6:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή: dbl = 14 > 12.63 mm
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή: dbl = 14 > 12.63 mm

-1δ8:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή: dbl = 14 > 9.93 mm
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή: dbl = 14 > 9.93 mm

-1δ14:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή: dbl = 14 > 12.85 mm
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:

$$dbl = 14 > 12.85 \text{ mm}$$

-1δ16:

- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(κάτω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 20 > 5.10 \text{ mm}$
- Η διάμετρος των διαμήκων ράβδων(πάνω γωνιακά) ξεπερνά τη μέγιστη τιμή:  
 $dbl = 20 > 5.10 \text{ mm}$

### Στοιχεία Θεμελίωσης:

-1θ1:

- Πρόβλημα Τάσης Εδάφους: Τάση ακμής για τον συνδυασμό 1C  $\sigma_2 = 0.51 > \sigma_{Rd} = 0.46$
- Πρόβλημα Τάσης Εδάφους: Τάση ακμής για τον συνδυασμό 2C  $\sigma_2 = 0.51 > \sigma_{Rd} = 0.46$
- Πρόβλημα Τάσης Εδάφους: Τάση ακμής για τον συνδυασμό 3C  $\sigma_2 = 0.51 > \sigma_{Rd} = 0.46$
- Πρόβλημα Τάσης Εδάφους: Τάση ακμής για τον συνδυασμό 4C  $\sigma_2 = 0.51 > \sigma_{Rd} = 0.46$

-1Σδ16:

- Πρόβλημα Γεωμετρίας :  $h/b > 3.5$

### Στοιχεία με προειδοποιήσεις: 8

#### Στοιχεία Ανωδομής:

-1α2-0:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw = 66 \text{ mm} < sw_{,min} = 80 \text{ mm}$

-1α2-3:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw = 66 \text{ mm} < sw_{,min} = 80 \text{ mm}$

-1α3-4:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw = 67 \text{ mm} < sw_{,min} = 80 \text{ mm}$

-1α4-0:

- Προειδοποίηση Διάτμησης: απόσταση συνδετήρων στο άκρο  $sw = 67 \text{ mm} < sw_{,min} = 80 \text{ mm}$

#### Στοιχεία Θεμελίωσης:

-1θ1:

- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Διπλής Εκκεντρότητας για τον συνδυασμό 1C  
 $(e_x/l_x)^2 + (e_y/l_y)^2 = 0.16 > 0.11$
- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Διπλής Εκκεντρότητας για τον συνδυασμό 2C  
 $(e_x/l_x)^2 + (e_y/l_y)^2 = 0.16 > 0.11$
- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Διπλής Εκκεντρότητας για τον συνδυασμό 3C  
 $(e_x/l_x)^2 + (e_y/l_y)^2 = 0.16 > 0.11$

- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Διπλής Εκκεντρότητας για τον συνδυασμό 4C  
( $e_x/l_x)^2 + (e_y/l_y)^2 = 0.16 > 0.11$

-1Ø2-3-4:

- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Ολίσθησης πέλματος (βλέπε αναλυτικές εκτυπώσεις)
- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;
- Προειδοποίηση Εκκεντρότητας κατα x;

-1Ø14:

- Προειδοποίηση Ολίσθησης πέλματος (βλέπε αναλυτικές εκτυπώσεις)

-1Σδ16:

- Προειδοποίηση Κάμψης: Εφελκόμενος οπλισμός δεξιά  $A_s = 402 \text{ mm}^2 < A_{s,\min} = 494 \text{ mm}^2$
- Προειδοποίηση Κάμψης: Εφελκόμενος οπλισμός ανοίγματος  $A_s = 402 \text{ mm}^2 < A_{s,\min} = 494 \text{ mm}^2$

## 9.4 Ενίσχυση με FRP

### Βήμα 1<sup>ο</sup> : Γεωμετρία

#### ΠΛΑΚΑ Π1

$$d_f = d + c = 18 + 3 = 21 \text{ cm}$$

$$l_x = 4,50 - 2 * 0,70 = 3,10 \text{ m}$$

$$l_y = 3,65 - (2 * 0,70) / 2 = 2,95 \text{ m}$$

#### ΚΑΘΑΡΟ ΥΨΟΣ ΟΡΟΦΟΥ

$$H_n = H - H_{\delta_{οκ}} / 2 = 3 - 0,70 / 2 = 2,65 \text{ m}$$

#### ΠΛΑΚΑ Π5

$$d_f = d + c = 18 + 3 = 21 \text{ cm}$$

$$l_x = 4,20 - 0,70 = 3,50 \text{ m}$$

$$l_y = 4,03 - (2 * 0,70) / 2 = 3,28 \text{ m}$$

#### ΚΑΘΑΡΟ ΥΨΟΣ ΟΡΟΦΟΥ

$$H_n = H - H_{\delta_{οκ}} / 2 = 3 - 0,70 / 2 = 2,65 \text{ m}$$

#### ΠΛΑΚΑ Π4

$$d_f = d + c = 18 + 3 = 21 \text{ cm}$$

$$l_x = 4,20 - 0,70 - 1,20 = 2,30 \text{ m}$$

$$l_y = 4,03 - (2 * 0,70) / 2 = 3,28 \text{ m}$$

#### ΚΑΘΑΡΟ ΥΨΟΣ ΟΡΟΦΟΥ

$$H_n = H - H_{\delta_{οκ}} / 2 = 3 - 0,70 / 2 = 2,65 \text{ m}$$

$$l_x = 4,20 - 0,70 - 1,20 = 2,30 \text{ m}$$

$$l_y = 4,27 - 0,25 = 4,02 \text{ m}$$

#### ΠΡΟΒΟΛΟΣ ΠΡ2

$$h_f = d + c = 18 + 3 = 21 \text{ cm} = 0,21 \text{ m}$$

$$l_x=1,45\text{m}$$

$$l_y=3,65\text{m}$$

#### ΚΑΘΑΡΟ ΥΨΟΣ ΟΡΟΦΟΥ

$$H_n=H-(H_{\delta\sigma\kappa}/2)=3-(0,70/2)=2,65\text{m}$$

#### ΠΡΟΒΟΛΟΣ ΠΡ2

$$h_f=d+c=18+3=21\text{cm}=0,21\text{m}$$

$$l_x=2,00\text{m}$$

$$l_y=3,90\text{m}$$

#### ΚΑΘΑΡΟ ΥΨΟΣ ΟΡΟΦΟΥ

$$H_n=H-(H_{\delta\sigma\kappa}/2)=3-(0,70/2)=2,65\text{m}$$

#### ΠΡΟΒΟΛΟΣ ΠΡ3

$$h_f=d+c=18+3=21\text{cm}=0,21\text{m}$$

$$l_x=1,50\text{m}$$

$$l_y=3,65\text{m}$$

#### ΚΑΘΑΡΟ ΥΨΟΣ ΟΡΟΦΟΥ

$$H_n=H-(H_{\delta\sigma\kappa}/2)=3-(0,70/2)=2,65\text{m}$$

#### ΠΡΟΒΟΛΟΣ ΠΡ4

$$h_f=d+c=18+3=21\text{cm}=0,21\text{m}$$

$$l_x=1,20\text{m}$$

$$l_y=4,03\text{m}$$

#### ΚΑΘΑΡΟ ΥΨΟΣ ΟΡΟΦΟΥ

$$H_n=H-(H_{\delta\sigma\kappa}/2)=3-(0,70/2)=2,65\text{m}$$

### **Βήμα 2<sup>ο</sup>: Φορτία**

#### ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ ΔΟΚΟΥΣ

$$A\Delta_8=[4,50+(4,50-1,83-1,83)*1,83]/2=4,89\text{m}^2$$

$$A\Delta_2=1/2*3,65*1,83=3,34\text{m}^2$$

$$A\Delta_8=A\Delta_9=4,89\text{m}^2$$

$$A\Delta_2=A\Delta_5=3,34\text{m}^2$$

#### ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

$$I.B. \text{ Πλάκας} = gI.B. = 25h_f = 25*0,21 = 5,25 \text{ KN/m}^2$$

#### ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΠΛΑΚΩΝ

$$g=1,5 \text{ KN/m}^2$$

$$q=2 \text{ KN/m}^2$$

#### ΦΟΡΤΙΑ ΔΟΚΟΥ Δ<sub>8</sub>

$$\text{Από I.B. Πλάκας: } A\Delta_8/l_x * gI.B. = 4,89/3,10 * 5,25 = 8,28 \text{ KN/m}$$

$$\text{Από I.B. Δοκού } \Delta_8 = 25 * (h_\Delta - h_f) * b_w = 25 * (0,50 - 0,21) * 0,20 = 1,45 \text{ KN/m}$$

#### ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΜΟΝΙΜΟ ΠΛΑΚΩΝ

$$A_{\Delta 8}/l_x * g = 4,89/3,1 * 1,5 = 2,37 \text{ KN/m}$$

$$\text{Κινητό } A_{\Delta 8}/l_x * q = 4,89/3,1 * 2 = 3,15 \text{ KN/m}$$

#### ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ

$$p_{\Delta 8} = G + 0,3Q = 5,25 + 1,45 + 2,37 + 0,3 * 3,15 = 10,02 \text{ KN/m}$$

#### ΦΟΡΤΙΑ ΔΟΚΟΥ $\Delta_2$

$$\text{Από I.B. Πλάκα: } A_{\Delta 2}/l_y * g \text{ I.B.} = 3,34/2,95 * 5,25 = 5,94 \text{ KN/m}$$

$$\text{Από I.B. Δοκού } \Delta_2 = 25 * (h_{\Delta} - h_f) * b_w = 25 * (0,50 - 0,21) * 0,20 = 1,45 \text{ KN/m}$$

#### ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΜΟΝΙΜΟ ΠΛΑΚΩΝ

$$A_{\Delta 2}/l_x * g = 3,34/2,95 * 1,5 = 1,70 \text{ KN/m}$$

$$\text{Κινητό } A_{\Delta 2}/l_x * q = 3,34/2,95 * 2 = 2,26 \text{ KN/m}$$

#### ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ

$$p_{\Delta 2} = G + 0,3Q = 5,94 + 1,45 + 1,70 + 0,3 * 2,26 = 9,77 \text{ KN/m}$$

#### ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ ΔΟΚΟΥΣ

$$A_{\Delta 11} = [4,20 + (4,20 - 2,02 - 2,02) * 2,02] / 2 = 4,40 \text{ m}^2$$

$$A_{\Delta 4} = 1/2 * 4,03 * 2,02 = 4,07 \text{ m}^2$$

$$A_{\Delta 11} = A_{\Delta 12} = 4,40 \text{ m}^2$$

$$A_{\Delta 4} = A_{\Delta 6} = 4,07 \text{ m}^2$$

#### ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

$$\text{I.B. Πλάκα: } g \text{ I.B.} = 25h_f = 25 * 0,21 = 5,25 \text{ KN/m}^2$$

#### ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΠΛΑΚΩΝ

$$g = 1,5 \text{ KN/m}^2$$

$$q = 2 \text{ KN/m}^2$$

#### ΦΟΡΤΙΑ ΔΟΚΟΥ $\Delta_{11}$

$$\text{Από I.B. Πλάκα: } A_{\Delta 11}/l_x * g \text{ I.B.} = 4,40/3,50 * 5,25 = 6,60 \text{ KN/m}$$

$$\text{Από I.B. Δοκού } \Delta_{11} = 25 * (h_{\Delta} - h_f) * b_w = 25 * (0,60 - 0,21) * 0,20 = 1,92 \text{ KN/m}$$

#### ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΜΟΝΙΜΟ ΠΛΑΚΩΝ

$$A_{\Delta 11}/l_x * g = 4,40/3,50 * 1,5 = 1,89 \text{ KN/m}$$

$$\text{Κινητό } A_{\Delta 11}/l_x * q = 4,40/3,50 * 2 = 2,51 \text{ KN/m}$$

#### ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ

$$p_{\Delta 11} = G + 0,3Q = 6,6 + 1,92 + 1,89 + 0,3 * 2,51 = 11,16 \text{ KN/m}$$

#### ΦΟΡΤΙΑ ΔΟΚΟΥ $\Delta_4$

$$\text{Από I.B. Πλάκα: } A_{\Delta 4}/l_x * g \text{ I.B.} = 4,07/4,03 * 5,25 = 5,30 \text{ KN/m}$$

$$\text{Από I.B. Δοκού } \Delta_4 = 25 * (h_{\Delta} - h_f) * b_w = 25 * (0,50 - 0,21) * 0,20 = 1,45 \text{ KN/m}$$



#### ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΜΟΝΙΜΟ ΠΛΑΚΩΝ

$$A\Delta_4/l_x * g = 4,07/4,03 * 1,5 = 1,51 \text{ KN/m}$$

$$\text{Κινητό } A\Delta_4/l_x * q = 4,07/4,03 * 2 = 2,02 \text{ KN/m}$$

#### ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ

$$p_{\Delta 4} = G + 0,3Q = 5,30 + 1,45 + 1,51 + 0,3 * 2,02 = 8,87 \text{ KN/m}$$

#### ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΕ ΔΟΚΟΥΣ

$$A\Delta_{12} = [4,20 + (4,20 - 2,14 - 2,14) * 2,14] / 2 = 4,41 \text{ m}^2$$

$$A\Delta_3 = 1/2 * 4,27 * 2,14 = 4,57 \text{ m}^2$$

$$A\Delta_{12} = A\Delta_{13} = 4,41 \text{ m}^2$$

$$A\Delta_3 = A\Delta_7 = 4,57 \text{ m}^2$$

#### ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

$$\text{I.B. Πλάκας} = g_{\text{I.B.}} = 25h_f = 25 * 0,21 = 5,25 \text{ KN/m}^2$$

#### ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΠΛΑΚΩΝ

$$g = 1,5 \text{ KN/m}^2$$

$$q = 2 \text{ KN/m}^2$$

#### ΦΟΡΤΙΑ ΔΟΚΟΥ Δ<sub>12</sub>

$$\text{Από I.B. Πλάκας: } A\Delta_{12}/l_x * g_{\text{I.B.}} = 4,41/2,30 * 5,25 = 10,07 \text{ KN/m}$$

$$\text{Από I.B. Δοκού } \Delta_{12} = 25 * (h_{\Delta} - h_f) * bw = 25 * (0,60 - 0,21) * 0,20 = 1,91 \text{ KN/m}$$

#### ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΜΟΝΙΜΟ ΠΛΑΚΩΝ

$$A\Delta_{12}/l_x * g = 4,41/2,30 * 1,5 = 2,88 \text{ KN/m}$$

$$\text{Κινητό } A\Delta_{12}/l_x * q = 4,41/2,30 * 2 = 3,83 \text{ KN/m}$$

#### ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ

$$p_{\Delta 12} = G + 0,3Q = 10,07 + 1,91 + 2,88 + 0,3 * 3,83 = 16,01 \text{ KN/m}$$

#### ΦΟΡΤΙΑ ΔΟΚΟΥ Δ<sub>3</sub>

$$\text{Από I.B. Πλάκας: } A\Delta_3/l_x * g_{\text{I.B.}} = 4,57/4,02 * 5,25 = 5,97 \text{ KN/m}$$

$$\text{Από I.B. Δοκού } \Delta_3 = 25 * (h_{\Delta} - h_f) * bw = 25 * (0,50 - 0,21) * 0,20 = 1,45 \text{ KN/m}$$

#### ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΜΟΝΙΜΟ ΠΛΑΚΩΝ

$$A\Delta_3/l_x * g = 4,57/4,02 * 1,5 = 1,71 \text{ KN/m}$$

$$\text{Κινητό } A\Delta_3/l_x * q = 4,57/4,02 * 2 = 2,27 \text{ KN/m}$$

#### ΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ

$$p_{\Delta 3} = G + 0,3Q = 5,97 + 1,45 + 1,71 + 0,3 * 2,27 = 9,81 \text{ KN/m}$$

### **Βήμα 3<sup>ο</sup>: Φορτία διατομής**

ΠΛΑΚΑ Π1

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>8</sub>, Δ<sub>2</sub>

$$\Delta_{8, \Delta_2}: (20/50) J_{\Delta} = b \cdot h^3 / 12 = 0,2 \cdot 0,5^3 / 12 = 2,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\Delta_{11, \Delta_9}: (20/60) J_{\Delta} = b \cdot h^3 / 12 = 0,2 \cdot 0,6^3 / 12 = 3,60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$(0,75 \cdot 0,25) J_{\Sigma} = b \cdot h^3 / 12 = 0,75 \cdot 0,25^3 / 12 = 9,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$(0,70 \cdot 0,25) J_{\Sigma} = b \cdot h^3 / 12 = 0,70 \cdot 0,25^3 / 12 = 9,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$K_{\Delta_8} = (J_{\Delta} / J_{\Sigma}) \cdot (H / l_x) = [2,08 \cdot 10^{-3} / (9,77 \cdot 10^{-4} + 9,11 \cdot 10^{-4})] \cdot (3/3,1) = 1,19$$

$$K_{\Delta_9} = (J_{\Delta} / J_{\Sigma}) \cdot (H / l_x) = [3,6 \cdot 10^{-3} / (9,77 \cdot 10^{-4} + 9,11 \cdot 10^{-4})] \cdot (3/3,1) = 1,85$$

$$K_{\Delta_2} = K_{\Delta_5} = (J_{\Delta} / J_{\Sigma}) \cdot (H / l_x) = [2,08 \cdot 10^{-3} / (9,77 \cdot 10^{-4} + 9,11 \cdot 10^{-4})] \cdot (3/2,95) = 1,12$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>8</sub>

$$Q_A = P_{\Delta_8} \cdot l_x^2 / 4 \cdot H (K_{\Delta_8} + 2) = 10,02 \cdot 3,1^2 / 4 \cdot 3(1,19 + 2) = 2,52 \text{ KN}$$

$$M_A = M_B = 2,52 \cdot (4/3) = 3,36 \text{ KN/m}$$

$$M_C = M_D = (-2/3) \cdot 2,52 \cdot 3 = -5,04 \text{ KN/m}$$

$$\text{Max } M = M_C + (P_{\Delta_8} \cdot l_x^2) / 8 = -5,04 + (10,02 \cdot 3,1^2) / 8 = 7 \text{ KN/m}$$

$$V_A^{F\Sigma} = V_B^{F\Sigma} = F_{\Sigma} / 2 = 400 / 2 = 200 \text{ KN}$$

$$M_A^{F\Sigma} = -M_B^{F\Sigma} = (H/3) \cdot V_A = (3/3) \cdot 200 = 200 \text{ KNm}$$

$$M_{CF\Sigma} = -M_{DF\Sigma} = (-2/3) / V_A \cdot H = (-2/3) \cdot 200 \cdot 3 = -400 \text{ KNm}$$

#### ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

$$\Delta\text{ΟΚΟΣ } \Delta_8: M_{sd,c} = 7 + 400 = 407 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,c} = 7 - 400 = -393 \text{ KNm}$$

$$\text{ΣΤΥΛΟΙ: } M_{sd,A} = 3,36 + 200 = 203,36 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,A} = 3,36 - 200 = -196,64 \text{ KNm}$$

$$\text{Max } Q = 200 + 2,52 = 202,52 \text{ KN}$$

$$N_A = N_B = (P_{\Delta_8} \cdot l_x) / 2 = (10,02 \cdot 3,1) / 2 = 15,53 \text{ KN}$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>2</sub>

$$Q_A = P_{\Delta 2} * I_y^2 / 4 * H (K_{\Delta 2} + 2) = 9,77 * 3,1^2 / 4 * 3(1,12 + 2) = 2,27 \text{ KN}$$

$$M_A = M_B = 2,27 * (4/3) = 3,03 \text{ KN/m}$$

$$M_C = M_D = (-2/3) * 2,27 * 3 = -4,54 \text{ KN/m}$$

$$\text{Max } M = M_C + (P_{\Delta 2} * I_y^2) / 8 = -4,54 + (9,77 * 2,95^2) / 8 = 6,09 \text{ KN/m}$$

$$V_{AF\Sigma} = V_{BF\Sigma} = F_{\Sigma} / 2 = 400 / 2 = 200 \text{ KN}$$

$$M_{AF\Sigma} = -M_{BF\Sigma} = (H/3) * V_A = (3/3) * 200 = 200 \text{ KNm}$$

$$M_{CF\Sigma} = -M_{DF\Sigma} = (-2/3) / V_A * H = (-2/3) * 200 * 3 = -400 \text{ KNm}$$

### ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

$$\Delta \text{ΟΚΟΣ } \Delta_2: M_{sd,c} = 6,09 + 400 = 406,09 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,c} = 6,09 - 400 = -393,91 \text{ KNm}$$

$$\Sigma \text{ΤΥΛΟΙ: } M_{sd,A} = M_{sd,B} = 3,03 + 200 = 203,03 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,A} = M_{sd,B} = 3,03 - 200 = -196,97 \text{ KNm}$$

$$\text{Max } Q = 200 + 2,27 = 202,27 \text{ KN}$$

$$N_A = N_B = (P_{\Delta 2} * I_y) / 2 = (9,77 * 2,95^2) / 2 = 42,51 \text{ KN}$$

### ΠΛΑΚΑ Π5

$$\Delta \text{ΟΚΟΣ } \Delta_{11}, \Delta_4$$

$$\Delta_{11}, \Delta_{12}: (20/60) J_{\Delta} = b * h^3 / 12 = 0,2 * 0,6^3 / 12 = 3,6 * 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\Delta_4, \Delta_6: (20/50) J_{\Delta} = b * h^3 / 12 = 0,2 * 0,5^3 / 12 = 2,08 * 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$(0,75 * 0,25) J_{\Sigma} = b * h^3 / 12 = 0,75 * 0,25^3 / 12 = 9,77 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$(0,70 * 0,25) J_{\Sigma} = b * h^3 / 12 = 0,70 * 0,25^3 / 12 = 9,11 * 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$K_{\Delta 11} = K_{12}: (J_{\Delta} / J_{\Sigma}) * (H / I_x) = [3,6 * 10^{-3} / (9,77 * 10^{-4} + 9,11 * 10^{-4})] * (3/3,50) = 1,63$$

$$K_{\Delta 4} = K_6: (J_{\Delta} / J_{\Sigma}) * (H / I_y) = [2,08 * 10^{-3} / (9,77 * 10^{-4} + 9,11 * 10^{-4})] * (3/3,28) = 1,01$$

### \Delta \text{ΟΚΟΣ } \Delta\_{11}

$$Q_A = P_{\Delta 11} * I_x^2 / 4 * H (K_{\Delta 11} + 2) = 11,16 * 3,5^2 / 4 * 3(1,63 + 2) = 3,14 \text{ KN}$$

$$M_A = M_B = 3,14 * (4/3) = 4,19 \text{ KN/m}$$

$$M_C = M_D = (-2/3) * 3,14 * 3 = -6,28 \text{ KN/m}$$

$$\text{Max}M=M_C+(P_{\Delta 11} * l_x^2)/8=-6,28+(11,16*3,5^2)/8=10,81 \text{ KN/m}$$

$$V_{AF\Sigma}=V_{BF\Sigma}=F_\Sigma/2=400/2=200 \text{ KN}$$

$$M_{AF\Sigma}=-M_{BF\Sigma}=(H/3)*V_A=(3/3)*200=200 \text{ KNm}$$

$$M_{CF\Sigma}=-M_{DF\Sigma}=(-2/3)/V_A * H=(-2/3)*200*3=-400 \text{ KNm}$$

#### ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

$$\Delta\text{ΟΚΟΣ } \Delta_{11}: M_{sd,c}=10,81+400=410,81 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,c}=10,81-400=-389,19 \text{ KNm}$$

$$\Sigma\text{ΤΥΛΟΙ}: M_{sd,A}=4,19+200=204,19 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,A}=4,19-200=-195,81 \text{ KNm}$$

$$\text{Max}Q=200+3,14=203,14 \text{ KN}$$

$$N_A=N_B=(P_{\Delta 11} * l_x)/2=(11,16*3,5)/2=19,53 \text{ KN}$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>4</sub>

$$Q_A=P_{\Delta 2} * l_y^2/4 * H(K_{\Delta 4}+2)=8,84*3,28^2/4*3(1,01+2)=5,91 \text{ KN}$$

$$M_A=M_B=5,91*(4/3)=7,88 \text{ KN/m}$$

$$M_C=M_D=(-2/3)*5,91*3=-11,82 \text{ KN/m}$$

$$\text{Max}M=M_C+(P_{\Delta 4} * l_y^2)/8=-11,82+(8,84*3,28^2)/8=0,1 \text{ KN/m}$$

$$V_{AF\Sigma}=V_{BF\Sigma}=F_\Sigma/2=400/2=200 \text{ KN}$$

$$M_{AF\Sigma}=-M_{BF\Sigma}=(H/3)*V_A=(3/3)*200=200 \text{ KNm}$$

$$M_{CF\Sigma}=-M_{DF\Sigma}=(-2/3)/V_A * H=(-2/3)*200*3=-400 \text{ KNm}$$

#### ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

$$\Delta\text{ΟΚΟΣ } \Delta_4: M_{sd,c}=0,1+400=400,1 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,c}=0,1-400=-399,9 \text{ KNm}$$

$$\Sigma\text{ΤΥΛΟΙ}: M_{sd,A}=7,88+200=207,88 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,A}=7,88-200=-192,12 \text{ KNm}$$

$$\text{Max}Q=200+5,91=205,91 \text{ KN}$$

$$N_A=N_B=(P_{\Delta 4} * l_y)/2=(8,84*3,28)/2=14,15 \text{ KN}$$

#### ΠΛΑΚΑ Π<sub>4</sub>

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>12</sub>, Δ<sub>3</sub>

$$\Delta_{12}: (20/60) J_{\Delta}=b \cdot h^3/12=0,2 \cdot 0,6^3/12=3,6 \cdot 10^{-3} \text{m}^4$$

$$\Delta_{13}: (20/50) J_{\Delta}=b \cdot h^3/12=0,2 \cdot 0,5^3/12=2,08 \cdot 10^{-3} \text{m}^4$$

$$\Delta_{3, \Delta 7}: (20/50) J_{\Delta}=b \cdot h^3/12=0,2 \cdot 0,5^3/12=2,08 \cdot 10^{-3} \text{m}^4$$

$$(0,75 \cdot 0,25) J_{\Sigma}=b \cdot h^3/12=0,75 \cdot 0,25^3/12=9,77 \cdot 10^{-4} \text{m}^4$$

$$(0,70 \cdot 0,25) J_{\Sigma}=b \cdot h^3/12=0,70 \cdot 0,25^3/12=9,11 \cdot 10^{-4} \text{m}^4$$

$$(1,20 \cdot 0,25) J_{\Sigma}=b \cdot h^3/12=1,20 \cdot 0,25^3/12=1,56 \cdot 10^{-3} \text{m}^4$$

$$K_{\Delta 12}: (J_{\Delta}/J_{\Sigma})=3,6 \cdot 10^{-3}/(9,77 \cdot 10^{-4}+9,11 \cdot 10^{-4}+1,56 \cdot 10^{-3})=1,04$$

$$K_{\Delta 13}: (J_{\Delta}/J_{\Sigma})=2,08 \cdot 10^{-3}/(9,77 \cdot 10^{-4}+9,11 \cdot 10^{-4}+1,56 \cdot 10^{-3})=0,60$$

$$K_{\Delta 3}, K_{\Delta 7}: (J_{\Delta}/J_{\Sigma})=2,08 \cdot 10^{-3}/(9,77 \cdot 10^{-4}+9,11 \cdot 10^{-4}+1,56 \cdot 10^{-3})=0,60$$

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>12</sub>

$$Q_A=P_{\Delta 12} \cdot l_x^2/4 \cdot H(K_{\Delta 12}+2)=16,01 \cdot 2,30^2/4 \cdot 3(1,04+2)=2,32 \text{ KN}$$

$$M_A=M_B=2,32 \cdot (4/3)=3,09 \text{ KN/m}$$

$$M_C=M_D=(-2/3) \cdot 2,32 \cdot 3=-4,64 \text{ KN/m}$$

$$\text{Max} M=M_C+(P_{\Delta 12} \cdot l_x^2)/8=-4,64+(16,01 \cdot 2,30^2)/8=5,95 \text{ KN/m}$$

$$V_{AF\Sigma}=V_{BF\Sigma}=F\Sigma/2=400/2=200 \text{ KN}$$

$$M_{AF\Sigma}=-M_{BF\Sigma}=(H/3) \cdot V_A=(3/3) \cdot 200=200 \text{ KNm}$$

$$M_{CF\Sigma}=-M_{DF\Sigma}=(-2/3) \cdot V_A \cdot H=(-2/3) \cdot 200 \cdot 3=-400 \text{ KNm}$$

### ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

$$\Delta \text{ΟΚΟΣ } \Delta_{12}: M_{sd,c}=5,95+400=405,95 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,c}=5,95-400=-394,05 \text{ KNm}$$

$$\Sigma \text{ΤΥΛΟΙ}: M_{sd,A}=3,09+200=203,09 \text{ KNm}$$

$$M_{sd,A}=3,09-200=-196,91 \text{ KNm}$$

$$\text{Max} Q=200+2,32=202,32 \text{ KN}$$

$$N_A=N_B=(P_{\Delta 12} \cdot l_x)/2=(16,01 \cdot 2,30^2)/2=42,85 \text{ KN}$$

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>3</sub>

$$Q_A=P_{\Delta 3} \cdot l_y^2/4 \cdot H(K_{\Delta 3}+2)=9,81 \cdot 4,02^2/4 \cdot 3(0,60+2)=5,08 \text{ KN}$$

$$M_A=M_B=5,08*(4/3)=6,77 \text{ KN/m}$$

$$M_C=M_D=(-2/3)*5,08*3=-10,16 \text{ KN/m}$$

$$\text{Max}M=M_C+(P_{\Delta 3}*l_y^2)/8=-10,16+(9,81*4,02^2)/8=9,66 \text{ KN/m}$$

$$V_{AF\Sigma}=V_{BF\Sigma}=F\Sigma/2=400/2=200 \text{ KN}$$

$$M_{AF\Sigma}=-M_{BF\Sigma}=(H/3)*V_A=(3/3)*200=200 \text{ KNm}$$

$$M_{CF\Sigma}=-M_{DF\Sigma}=(-2/3)/V_A*H=(-2/3)*200*3=-400 \text{ KNm}$$

### ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

$$\begin{aligned} \Delta 3: M_{sd,c} &= 9,66+400=409,66 \text{ KNm} \\ M_{sd,c} &= 9,66-400=-390,34 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ΣΤΥΛΟΙ: } M_{sd,A} &= 6,77+200=206,77 \text{ KNm} \\ M_{sd,A} &= 6,77-200=-193,23 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\text{Max}Q=200+5,08=205,08 \text{ KN}$$

$$N_A=N_B=(P_{\Delta 3}*l_y)/2=(9,81*4,02)/2=19,72 \text{ KN}$$

### **Βήμα 4ο: Έλεγχος επάρκειας δοκού**

#### ΠΛΑΚΑ Π1

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>8</sub>

$$M_{sdmax}=407 \text{ KNm}$$

$$\text{ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: } 2\phi 14 \rightarrow 2*1,54=3,08 \text{ cm}^2$$

$$\text{ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: } M_{Rd}=A_s*0,9*d*f_{yd,v\phi}=3,08*0,9*(0,50-0,03)*(400/1,15)*10^{-4} * 10^{-3}=45,32 \text{ cm}^2$$

$$M_{sd}=407 > M_{Rd}=45,32 \text{ cm}^2 \text{ ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ}$$

Άρα απαιτείται ενίσχυση σε κάμψη

$$\text{Απαιτούμενη ενίσχυση: } M_{ev}=(407-45,32)/0,8=452,1 \text{ KNm}$$

Διατμητική Αντοχή:

$$V_{Rd}=V_{wd,v\pi}=(A_{sw}/s)*z*f_{ywd}=[(2*0,5)/25]*0,423*(400/1,15)*10^{-2}*10^{-3}=58,85 \text{ KN}$$

$$V_{wd,v\pi}=58,85 < Q_{\Delta 8}=202,52 \text{ KN ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ}$$

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>2</sub>

$$M_{sdmax}=406,09 \text{ KNm}$$

$$\text{ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: } 2\phi 14 \rightarrow 2*1,54=3,08 \text{ cm}^2$$

$$\text{ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: } M_{Rd}=A_s*0,9*d*f_{yd,υφ}=3,08*0,9*(0,50-0,03)*(400/1,15)*10^{-4} * 10^{-3}=45,32 \text{ cm}^2$$

$$M_{sd}=406,09 > M_{Rd}=45,32 \text{ cm}^2 \text{ ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ}$$

Άρα απαιτείται ενίσχυση σε κάμψη

$$\text{Απαιτούμενη ενίσχυση: } M_{ev}=(406,09-45,32)/0,8=450,96 \text{ KNm}$$

Διατμητική Αντοχή:

$$V_{Rd}=V_{wd,υπ}=(A_{sw}/s)*z*f_{ywd}=[(2*0,5)/25]*0,423*(400/1,15)*10^{-2}*10^{-3}=58,85 \text{ KN}$$

$$V_{wd,υπ}=58,85 < Q_{\Delta 2}=202,27 \text{ KN ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ}$$

### ΠΛΑΚΑ Π5

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>11</sub>

$$M_{sdmax}=410,81 \text{ KNm}$$

$$\text{ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: } 2\phi 14 \rightarrow 2*1,54=3,08 \text{ cm}^2$$

$$\text{ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: } M_{Rd}=A_s*0,9*d*f_{yd,υφ}=3,08*0,9*(0,60-0,03)*(400/1,15)*10^{-4} * 10^{-3}=54,96 \text{ cm}^2$$

$$M_{sd}=410,81 > M_{Rd}=54,96 \text{ cm}^2 \text{ ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ}$$

Άρα απαιτείται ενίσχυση σε κάμψη

$$\text{Απαιτούμενη ενίσχυση: } M_{ev}=(410,81-54,96)/0,8=444,81 \text{ KNm}$$

Διατμητική Αντοχή:

$$V_{Rd}=V_{wd,υπ}=(A_{sw}/s)*z*f_{ywd}=[(2*0,5)/25]*0,513*(400/1,15)*10^{-2}*10^{-3}=71,37 \text{ KN}$$

$$V_{wd,υπ}=71,37 < Q_{\Delta 11}=203,14 \text{ KN ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ}$$

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>4</sub>

$$M_{sdmax}=400,1 \text{ KNm}$$

$$\text{ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: } 2\phi 14 \rightarrow 2*1,54=3,08 \text{ cm}^2$$

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $M_{Rd} = A_s \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{yd, \text{υφ}} = 3,08 \cdot 0,9 \cdot (0,50 - 0,03) \cdot (400/1,15) \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-3} = 45,32 \text{ cm}^2$

$M_{sd} = 400,1 > M_{Rd} = 45,32 \text{ cm}^2$  ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ

Άρα απαιτείται ενίσχυση σε κάμψη

Απαιτούμενη ενίσχυση:  $M_{ev} = (400,1 - 45,32) / 0,8 = 443,48 \text{ KNm}$

Διατμητική Αντοχή:

$V_{Rd} = V_{wd, \text{υπ}} = (A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{ywd} = [(2 \cdot 0,5) / 25] \cdot 0,423 \cdot (400/1,15) \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} = 58,85 \text{ KN}$

$V_{wd, \text{υπ}} = 58,85 < Q_{\Delta 4} = 205,91 \text{ KN}$  ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ

#### ΠΛΑΚΑ Π4

##### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>12</sub>

$M_{sdmax} = 405,95 \text{ KNm}$

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 14 \rightarrow 2 \cdot 1,54 = 3,08 \text{ cm}^2$

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $M_{Rd} = A_s \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{yd, \text{υφ}} = 3,08 \cdot 0,9 \cdot (0,60 - 0,03) \cdot (400/1,15) \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-3} = 54,96 \text{ cm}^2$

$M_{sd} = 405,95 > M_{Rd} = 54,96 \text{ cm}^2$  ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ

Άρα απαιτείται ενίσχυση σε κάμψη

Απαιτούμενη ενίσχυση:  $M_{ev} = (405,95 - 54,96) / 0,8 = 438,74 \text{ KNm}$

Διατμητική Αντοχή:

$V_{Rd} = V_{wd, \text{υπ}} = (A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{ywd} = [(2 \cdot 0,5) / 25] \cdot 0,513 \cdot (400/1,15) \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} = 71,37 \text{ KN}$

$V_{wd, \text{υπ}} = 71,37 < Q_{\Delta 12} = 202,34 \text{ KN}$  ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ

##### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>3</sub>

$M_{sdmax} = 409,66 \text{ KNm}$

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 14 \rightarrow 2 \cdot 1,54 = 3,08 \text{ cm}^2$

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $M_{Rd} = A_s \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{yd, \text{υφ}} = 3,08 \cdot 0,9 \cdot (0,50 - 0,03) \cdot (400/1,15) \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-3} = 45,32 \text{ cm}^2$

$M_{sd} = 409,66 > M_{Rd} = 45,32 \text{ cm}^2$  ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ

Άρα απαιτείται ενίσχυση σε κάμψη



Απαιτούμενη ενίσχυση:  $M_{ev}=(409,66-45,32)/0,8=455,43 \text{ KNm}$

Διατμητική Αντοχή:

$$VRd=V_{wd, \nu\pi}=(A_{sw}/s)*z*fy_{wd}=[(2*0,5)/25]*0,423*(400/1,15)*10^{-2}*10^{-3}=58,85 \text{ KN}$$

$V_{wd, \nu\pi}=58,85 < Q\Delta 3=205,08 \text{ KN}$  ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ

### **Βήμα 5ο: Ενίσχυση δοκού σε κάμψη και διάτμηση**

#### ΠΛΑΚΑ Π1

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>8</sub>

Επιλογή πάχους μανδύα  $t=10\text{cm}$

$$M_{ev, \epsilon\pi}=452,1 \text{ KNm}$$

$$M_{ev, \alpha\pi}=58,85 \text{ KN}$$

$h=50\text{cm}$   $b=20\text{cm}$

$$h'=h+2t=50+2*10=70\text{cm}$$

$$b'=b+2t=20+2*10=40\text{cm}$$

$$d=h'-c=70-3=67\text{cm}=0,67\text{m}$$

$$z=0,9d=0,9*0,67=0,603 \text{ m}$$

$$f_{yd}=f_{yk}/1,15=400/1,15=347,83 \text{ MPa}=347,83*10^3 \text{ kPa}$$

$$M_{ev}=A_s*z*f_{yd} \Rightarrow A_s=M_{ev}/z*f_{yd}=(452,1*10^4)/(0,603*347,83*10^3)=21,55 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 14=1,54\text{cm}^2$$

$$1\phi 16=2,01\text{cm}^2$$

$$1\phi 18=2,54\text{cm}^2$$

$$14\phi 14=21,56\text{cm}^2 \rightarrow \text{λόγω κόστους}$$

$$h_{\alpha\pi}=21,55/1,54=14 \text{ ράβδοι} \rightarrow 14\phi 16=28,14\text{cm}^2 \rightarrow \text{για καλύτερη αγκύρωση}$$

$$14\phi 18=35,56\text{cm}^2$$

Έλεγχος ελάχιστου οπλισμού (3 $\phi$ 12)

$$14\phi 16 > 3\phi 12$$

Ενίσχυση σε διάτμηση

$$V_{sd}=(A_{sw}/s)*z*f_{yd} \Rightarrow (A_{sw}/s)=[V_{wd, \alpha\pi}/(z*f_{yd})]=58,85/(0,603*347,83*10^3)]*10^2=0,028 \approx 0,03$$

$$\phi 8/15=(0,5*2)/15=0,07 > 0,03 \text{ Τοποθετούνται επιπλέον } \phi 8/15$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>2</sub>

Επιλογή πάχους μανδύα  $t=10\text{cm}$

$$M_{ev, \epsilon\pi}=450,96 \text{ KNm}$$

$$M_{ev, \alpha\pi}=58,85 \text{ KN}$$

$h=50\text{cm}$   $b=20\text{cm}$

$$h' = h + 2t = 50 + 2 \cdot 10 = 70 \text{ cm}$$

$$b' = b + 2t = 20 + 2 \cdot 10 = 40 \text{ cm}$$

$$d = h' - c = 70 - 3 = 67 \text{ cm} = 0,67 \text{ m}$$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot 0,67 = 0,603 \text{ m}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 400 / 1,15 = 347,83 \text{ MPa} = 347,83 \cdot 10^3 \text{ kPa}$$

$$M_{\text{εν}} = A_s \cdot z \cdot f_{yd} \Rightarrow A_s = M_{\text{εν}} / z f_{yd} = (450,96 \cdot 10^4) / (0,603 \cdot 347,83 \cdot 10^3) = 21,50 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 14 = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 16 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 18 = 2,54 \text{ cm}^2$$

$$14\phi 14 = 21,56 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{λόγω κόστους}$$

$$n_{\text{απ}} = 21,50 / 1,54 = 14 \text{ ράβδοι} \rightarrow 14\phi 16 = 28,14 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{για καλύτερη αγκύρωση}$$

$$14\phi 18 = 35,56 \text{ cm}^2$$

Έλεγχος ελάχιστου οπλισμού (3 $\phi$ 12)

$$14\phi 16 > 3\phi 12$$

Ενίσχυση σε διάτμηση

$$V_{sd} = (A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{ywd} \Rightarrow (A_{sw}/s) = [V_{wd, \alpha\pi} / (z \cdot f_{ywd})] = 58,85 / (0,603 \cdot 347,83 \cdot 10^3) \cdot 10^2 = 0,028 \approx 0,03$$

$$\phi 8/15 = (0,5 \cdot 2) / 15 = 0,07 > 0,03 \text{ Τοποθετούνται επιπλέον } \phi 8/15$$

ΠΛΑΚΑ Π5

ΔΟΚΟΣ Δ<sub>11</sub>

Επιλογή πάχους μανδύα  $t = 10 \text{ cm}$

$$M_{\text{εν, επ}} = 444,81 \text{ KNm}$$

$$M_{\text{εν, απ}} = 71,37 \text{ KN}$$

$$h = 60 \text{ cm} \quad b = 20 \text{ cm}$$

$$h' = h + 2t = 60 + 2 \cdot 10 = 80 \text{ cm}$$

$$b' = b + 2t = 20 + 2 \cdot 10 = 40 \text{ cm}$$

$$d = h' - c = 80 - 3 = 77 \text{ cm} = 0,77 \text{ m}$$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot 0,77 = 0,693 \text{ m}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 400 / 1,15 = 347,83 \text{ MPa} = 347,83 \cdot 10^3 \text{ kPa}$$

$$M_{\text{εν}} = A_s \cdot z \cdot f_{yd} \Rightarrow A_s = M_{\text{εν}} / z f_{yd} = (444,81 \cdot 10^4) / (0,693 \cdot 347,83 \cdot 10^3) = 18,45 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 14 = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 16 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 18 = 2,54 \text{ cm}^2$$

$$12\phi 14 = 18,48 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{λόγω κόστους}$$

$$n_{\text{απ}} = 18,45 / 1,54 = 12 \text{ ράβδοι} \rightarrow 12\phi 16 = 24,12 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{για καλύτερη αγκύρωση}$$

$$12\phi 18 = 30,48 \text{ cm}^2$$

Έλεγχος ελάχιστου οπλισμού (3ø12)

$$12ø16 > 3ø12$$

Ενίσχυση σε διάτμηση

$$V_{sd} = (A_{sw}/s) * z * f_{ywd} \Rightarrow (A_{sw}/s) = [V_{wd, \alpha\pi} / (z * f_{ywd}) = 71,37 / (0,693 * 347,83 * 10^3)] * 10^2 = 0,03$$

$$\ø 8/15 = (0,6 * 2) / 15 = 0,08 > 0,03 \text{ Τοποθετούνται επιπλέον } \ø 8/15$$

ΔΟΚΟΣ Δ<sub>4</sub>

Επιλογή πάχους μανδύα t=10cm

$$M_{\epsilon\nu, \epsilon\pi} = 443,8 \text{ KNm}$$

$$M_{\epsilon\nu, \alpha\pi} = 58,85 \text{ KN}$$

$$h = 50 \text{ cm} \quad b = 20 \text{ cm}$$

$$h' = h + 2t = 50 + 2 * 10 = 70 \text{ cm}$$

$$b' = b + 2t = 20 + 2 * 10 = 40 \text{ cm}$$

$$d = h' - c = 70 - 3 = 67 \text{ cm} = 0,67 \text{ m}$$

$$z = 0,9d = 0,9 * 0,67 = 0,603 \text{ m}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 400 / 1,15 = 347,83 \text{ MPa} = 347,83 * 10^3 \text{ kPa}$$

$$M_{\epsilon\nu} = A_s * z * f_{yd} \Rightarrow A_s = M_{\epsilon\nu} / z f_{yd} = (443,8 * 10^4) / (0,603 * 347,83 * 10^3) = 21,16 \text{ cm}^2$$

$$1ø14 = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$1ø16 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$1ø18 = 2,54 \text{ cm}^2$$

$$14ø14 = 21,56 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{λόγω κόστους}$$

$$h_{\alpha\pi} = 21,16 / 1,54 = 14 \text{ ράβδοι} \rightarrow 14ø16 = 28,14 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{για καλύτερη αγκύρωση}$$

$$14ø18 = 35,56 \text{ cm}^2$$

Έλεγχος ελάχιστου οπλισμού (3ø12)

$$14ø16 > 3ø12$$

Ενίσχυση σε διάτμηση

$$V_{sd} = (A_{sw}/s) * z * f_{ywd} \Rightarrow (A_{sw}/s) = [V_{wd, \alpha\pi} / (z * f_{ywd}) = 58,85 / (0,603 * 347,83 * 10^3)] * 10^2 = 0,03$$

$$\ø 8/15 = (0,5 * 2) / 15 = 0,07 > 0,03 \text{ Τοποθετούνται επιπλέον } \ø 8/15$$

ΠΛΑΚΑ Π<sub>4</sub>

ΔΟΚΟΣ Δ<sub>12</sub>

Επιλογή πάχους μανδύα t=10cm

$$M_{\epsilon\nu, \epsilon\pi} = 438,74 \text{ KNm}$$

$$M_{\epsilon\nu, \alpha\pi} = 71,37 \text{ KN}$$

$$h = 60 \text{ cm} \quad b = 20 \text{ cm}$$

$$h' = h + 2t = 60 + 2 * 10 = 80 \text{ cm}$$

$$b' = b + 2t = 20 + 2 \cdot 10 = 40 \text{ cm}$$

$$d = h' - c = 80 - 3 = 77 \text{ cm} = 0,77 \text{ m}$$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot 0,77 = 0,693 \text{ m}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 400 / 1,15 = 347,83 \text{ MPa} = 347,83 \cdot 10^3 \text{ kPa}$$

$$M_{ev} = A_s \cdot z \cdot f_{yd} \Rightarrow A_s = M_{ev} / z f_{yd} = (438,74 \cdot 10^4) / (0,693 \cdot 347,83 \cdot 10^3) = 18,20 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 14 = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 16 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 18 = 2,54 \text{ cm}^2$$

$$12\phi 14 = 18,48 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{λόγω κόστους}$$

$$h_{\alpha\pi} = 18,20 / 1,54 = 12 \text{ ράβδοι} \rightarrow 12\phi 16 = 24,12 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{για καλύτερη αγκύρωση}$$

$$12\phi 18 = 30,48 \text{ cm}^2$$

Έλεγχος ελάχιστου οπλισμού (3 $\phi$ 12)

$$12\phi 16 > 3\phi 12$$

Ενίσχυση σε διάτμηση

$$V_{sd} = (A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{ywd} \Rightarrow (A_{sw}/s) = [V_{wd, \alpha\pi} / (z \cdot f_{ywd}) = 71,37 / (0,693 \cdot 347,83 \cdot 10^3)] \cdot 10^2 = 0,03$$

$$\phi 8 / 15 = (0,6 \cdot 2) / 15 = 0,08 > 0,03 \text{ Τοποθετούνται επιπλέον } \phi 8 / 15$$

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>3</sub>

Επιλογή πάχους μανδύα  $t = 10 \text{ cm}$

$$M_{ev, \epsilon\pi} = 455,43 \text{ kNm}$$

$$M_{ev, \alpha\pi} = 58,85 \text{ kN}$$

$$h = 50 \text{ cm} \quad b = 20 \text{ cm}$$

$$h' = h + 2t = 50 + 2 \cdot 10 = 70 \text{ cm}$$

$$b' = b + 2t = 20 + 2 \cdot 10 = 40 \text{ cm}$$

$$d = h' - c = 70 - 3 = 67 \text{ cm} = 0,67 \text{ m}$$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot 0,67 = 0,603 \text{ m}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 400 / 1,15 = 347,83 \text{ MPa} = 347,83 \cdot 10^3 \text{ kPa}$$

$$M_{ev} = A_s \cdot z \cdot f_{yd} \Rightarrow A_s = M_{ev} / z f_{yd} = (455,8 \cdot 10^4) / (0,603 \cdot 347,83 \cdot 10^3) = 21,71 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 14 = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 16 = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$1\phi 18 = 2,54 \text{ cm}^2$$

$$14\phi 14 = 21,56 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{λόγω κόστους}$$

$$h_{\alpha\pi} = 21,71 / 1,54 = 14 \text{ ράβδοι} \rightarrow 14\phi 16 = 28,14 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{για καλύτερη αγκύρωση}$$

$$14\phi 18 = 35,56 \text{ cm}^2$$

Έλεγχος ελάχιστου οπλισμού (3 $\phi$ 12)

$$14\phi 16 > 3\phi 12$$

Ενίσχυση σε διάτμηση

$$V_{sd}=(A_{sw}/s)*z*fy_{wd} \Rightarrow (A_{sw}/s)=[V_{wd, \alpha\pi}/(z*fy_{wd})=58,85/(0,603*347,83*10^3)]*10^2=0,03$$

$$\phi 8/15=(0,5*2)/15=0,07 > 0,03 \text{ Τοποθετούνται επιπλέον } \phi 8/15$$

### **Βήμα 6<sup>ο</sup>: Έλεγχος επάρκειας και ενίσχυσης στύλου**

#### **ΠΛΑΚΑ Π1**

$$N_{sd}=Q_{\Delta 8}+Q_{\Delta 2}=202,52+202,27=404,79 \text{ KN}$$

$$M_y=M_{\Delta 8}=407 \text{ KNm}$$

$$M_x=M_{\Delta 2}=406,9 \text{ KNm}$$

$$V=N/(b*h*f_{cd})=404,79/(25*75*70*10667)=2,89*10^{-7}=0$$

$$\mu_x=M_x/(b*h^2*f_{cd})=407/(25*75^2*70*10667)=3,88*10^{-9} \approx 0$$

$$\mu_y=M_y/(b*h^2*f_{cd})=406,9/(25*75^2*70*10667)=3,88*10^{-9} \approx 0$$

$$\mu_x=0$$

$$\mu_y=0 \quad \left. \begin{array}{l} \} \text{ ωtot προκύπτει } \ll 2,0 \\ \text{ απαιτείται ενίσχυση} \end{array} \right\}$$

Υφιστάμενη αντοχή

$$A_{s_{tot}}=\omega_{tot}*b*h*(f_{cd}/f_{yd}) \Rightarrow \omega_{tot}=[A_{s_{tot}}/(b*h)]*(f_{yd}/f_{cd})=[(4*1,13)/25*75*70]*[(400/1,15)/10,667]=1,12*10^{-3}$$

Από το διάγραμμα παίρνουμε 2 περιπτώσεις για  $v=0,2$  και  $v=0,4$

$$\text{για } v=0,2 \rightarrow \mu_1=\mu_2=0$$

$$v=0,4 \rightarrow \mu_1=\mu_2=0$$

$$\text{Τοποθετείται ο min οπλισμός } A_{s, \min}=0,01*A_c=0,01*25*75=18,75 \text{ cm}^2$$

#### **ΠΛΑΚΑ Π5**

$$N_{sd}=Q_{\Delta 11}+Q_{\Delta 4}=203,14+205,91=409,05 \text{ KN}$$

$$M_y=M_{\Delta 11}=410,81 \text{ KNm}$$

$$M_x=M_{\Delta 4}=400,1 \text{ KNm}$$

$$V=N/(b*h*f_{cd})=409,05/(25*75*70*10667)=3,12*10^{-3}$$

$$\mu_x=M_x/(b*h^2*f_{cd})=400,1/(25*75^2*70*10667)=3,81*10^{-9} \approx 0$$

$$\mu_y = M_y / (b \cdot h^2 \cdot f_{cd}) = 410,81 / (25 \cdot 75^2 \cdot 70 \cdot 10667) = 3,92 \cdot 10^{-9} \approx 0$$

$$\mu_x = 0$$

$\left. \begin{array}{l} \mu_x = 0 \\ \mu_y = 0 \end{array} \right\} \text{ \textit{ωtot προκύπτει} } \ll 2,0$   
 απαιτείται ενίσχυση

Υφιστάμενη αντοχή

$$A_{stot} = \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot (f_{cd} / f_{yd}) \Rightarrow \omega_{tot} = [A_{stot} / (b \cdot h)] \cdot (f_{yd} / f_{cd}) = [(4 \cdot 1,13) / (25 \cdot 75 \cdot 70)] \cdot [(400 / 1,15) / 10,667] = 1,12 \cdot 10^{-3}$$

Από το διάγραμμα παίρνουμε 2 περιπτώσεις για  $v=0,2$  και  $v=0,4$

$$\text{για } v=0,2 \rightarrow \mu_1 = \mu_2 = 0$$

$$v=0,4 \rightarrow \mu_1 = \mu_2 = 0$$

Τοποθετείται ο min σπλισμός  $A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 25 \cdot 75 = 18,75 \text{ cm}^2$

#### ΠΛΑΚΑ Π4

$$N_{sd} = Q_{\Delta 12} + Q_{\Delta 3} = 202,3 + 205,08 = 407,38 \text{ KN}$$

$$M_y = M_{\Delta 12} = 405,95 \text{ KNm}$$

$$M_x = M_{\Delta 3} = 409,66$$

KNm

$$V = N / (b \cdot h \cdot f_{cd}) = 407,38 / (25 \cdot 75 \cdot 70 \cdot 10667) = 2,91 \cdot 10^{-7}$$

$$\mu_x = M_x / (b \cdot h^2 \cdot f_{cd}) = 409,66 / (25 \cdot 75^2 \cdot 70 \cdot 10667) = 3,90 \cdot 10^{-9} \approx 0$$

$$\mu_y = M_y / (b \cdot h^2 \cdot f_{cd}) = 405,95 / (25 \cdot 75^2 \cdot 70 \cdot 10667) = 3,87 \cdot 10^{-9} \approx 0$$

$$\mu_x = 0$$

$\left. \begin{array}{l} \mu_x = 0 \\ \mu_y = 0 \end{array} \right\} \text{ \textit{ωtot προκύπτει} } \ll 2,0$   
 απαιτείται ενίσχυση

Υφιστάμενη αντοχή

$$A_{stot} = \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot (f_{cd} / f_{yd}) \Rightarrow \omega_{tot} = [A_{stot} / (b \cdot h)] \cdot (f_{yd} / f_{cd}) = [(4 \cdot 1,13) / (25 \cdot 75 \cdot 70)] \cdot [(400 / 1,15) / 10,667] = 1,12 \cdot 10^{-3}$$

Από το διάγραμμα παίρνουμε 2 περιπτώσεις για  $v=0,2$  και  $v=0,4$

$$\text{για } v=0,2 \rightarrow \mu_1 = \mu_2 = 0$$

$$v=0,4 \rightarrow \mu_1 = \mu_2 = 0$$

Τοποθετείται ο min σπλισμός  $A_{s,min} = 0,01 \cdot A_c = 0,01 \cdot 25 \cdot 75 = 18,75 \text{ cm}^2$

## ΥΠΟΓΕΙΟ

A/A	Asπ	AsN	MrdΠ	MrdN	M <sub>ev</sub>
Δ <sub>1</sub>					
Δ <sub>2</sub>					
Δ <sub>3</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	8,04 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	147,87 cm <sup>2</sup>	128,19 KNm
Δ <sub>4</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	8,04 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	147,87 cm <sup>2</sup>	128,19 KNm
Δ <sub>5</sub>					
Δ <sub>6</sub>					
Δ <sub>7</sub>					
Δ <sub>8</sub>					
Δ <sub>9</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	8,04 cm <sup>2</sup>	54,96 cm <sup>2</sup>	179,32 cm <sup>2</sup>	155,45 KNm
Δ <sub>11</sub>					
Δ <sub>12</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	8,04 cm <sup>2</sup>	54,96 cm <sup>2</sup>	179,32 cm <sup>2</sup>	155,45 KNm
Δ <sub>13</sub>					

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>3</sub>-Δ<sub>4</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 4ø16→4\*2,01=8,04 cm<sup>2</sup>→As<sup>N</sup>

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: MRdN=AsN\*0,9\*d\*f<sub>yd</sub>N=8,04\*0,9\*(0,5-0,03)\*(500/1,15)\*10<sup>-4</sup>\*10<sup>3</sup>=147,87 cm<sup>2</sup>

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>9</sub>-Δ<sub>12</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 4ø16→4\*2,01=8,04 cm<sup>2</sup>→As<sup>N</sup>

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: MRdN=AsN\*0,9\*d\*f<sub>yd</sub>N=8,04\*0,9\*(0,6-0,03)\*(500/1,15)\*10<sup>-4</sup>\*10<sup>3</sup>=179,32 cm<sup>2</sup>

$$M_{ev} \Delta^3 = (MRdN - MRd\Pi) / 0,8 = (147,87 - 45,32) / 0,8 = 128,19 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta^4 = (MRdN - MRd\Pi) / 0,8 = (147,87 - 45,32) / 0,8 = 128,19 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta^9 = (MRdN - MRd\Pi) / 0,8 = (179,32 - 54,96) / 0,8 = 155,45 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta^9 = (MRdN - MRd\Pi) / 0,8 = (179,32 - 54,96) / 0,8 = 155,45 \text{ KNm}$$

## ΙΣΟΓΕΙΟ

A/A	Asπ	AsN	MrdΠ	MrdN	M <sub>ev</sub>
Δ <sub>1</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>2</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	5,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	93,42 cm <sup>2</sup>	60,13 KNm
Δ <sub>3</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>4</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>5</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>6</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	4,02 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	73,93 cm <sup>2</sup>	35,76 KNm
Δ <sub>7</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	4,02 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	73,93 cm <sup>2</sup>	35,76 KNm
Δ <sub>8</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	4,02 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	73,93 cm <sup>2</sup>	35,76 KNm
Δ <sub>9</sub>	6,28 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	112,05 cm <sup>2</sup>	68,69 cm <sup>2</sup>	-71,39 KNm
Δ <sub>11</sub>	6,28 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	112,05 cm <sup>2</sup>	68,69 cm <sup>2</sup>	-71,39 KNm
Δ <sub>12</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	54,96 cm <sup>2</sup>	68,69 cm <sup>2</sup>	17,16 KNm
Δ <sub>13</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>-Δ<sub>2</sub>-Δ<sub>3</sub>-Δ<sub>4</sub>-Δ<sub>5</sub>-Δ<sub>6</sub>-Δ<sub>7</sub>-Δ<sub>8</sub>-Δ<sub>13</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 14 \rightarrow 2*1,54=3,08 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{As}\Pi$   
ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRd}\Pi = \text{As}\Pi*0,9*d*f_{yd}\Pi = 3,08*0,9*(0,5-0,03)*(400/1,14)*10^{-4}*10^3 = 45,32 \text{ cm}^2$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>9</sub>-Δ<sub>11</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 20 \rightarrow 2*3,14=6,28 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{As}\Pi$   
ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRd}\Pi = \text{As}\Pi*0,9*d*f_{yd}\Pi = 6,28*0,9*(0,6-0,03)*(400/1,15)*10^{-4}*10^3 = 112,05 \text{ cm}^2$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>12</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 14 \rightarrow 2*1,54=3,08 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{As}\Pi$   
ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRd}\Pi = \text{As}\Pi*0,9*d*f_{yd}\Pi = 3,08*0,9*(0,6-0,03)*(400/1,15)*10^{-4}*10^3 = 54,96 \text{ cm}^2$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>-Δ<sub>3</sub>-Δ<sub>4</sub>-Δ<sub>5</sub>-Δ<sub>13</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 14 \rightarrow 2*1,54=3,08 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{As}\text{N}$   
ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRd}\text{N} = \text{As}\text{N}*0,9*d*f_{yd}\text{N} = 3,08*0,9*(0,5-0,03)*(400/1,15)*10^{-4}*10^3 = 56,64 \text{ cm}^2$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>2</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 18 \rightarrow 2*2,54=5,08 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{As}\text{N}$   
ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRd}\text{N} = \text{As}\text{N}*0,9*d*f_{yd}\text{N} = 5,08*0,9*(0,5-0,03)*(500/1,15)*10^{-4}*10^3 = 93,42 \text{ cm}^2$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>6</sub>-Δ<sub>7</sub>-Δ<sub>8</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 16 \rightarrow 2*2,01=4,02 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{As}\text{N}$   
ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRd}\text{N} = \text{As}\text{N}*0,9*d*f_{yd}\text{N} = 4,02*0,9*(0,5-0,03)*(500/1,15)*10^{-4}*10^3 = 73,93 \text{ cm}^2$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>-Δ<sub>3</sub>-Δ<sub>4</sub>-Δ<sub>13</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 14 \rightarrow 2*1,54=3,08 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{As}\text{N}$   
ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRd}\text{N} = \text{As}\text{N}*0,9*d*f_{yd}\text{N} = 3,08*0,9*(0,5-0,03)*(500/1,15)*10^{-4}*10^3 = 68,69 \text{ cm}^2$

$$M_{ev} \Delta_2 = (\text{MRd}\text{N} - \text{MRd}\Pi) / 0,8 = (93,42 - 45,32) / 0,8 = 60,13 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_6 = (\text{MRd}\text{N} - \text{MRd}\Pi) / 0,8 = (73,93 - 45,32) / 0,8 = 35,76 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_7 = (\text{MRd}\text{N} - \text{MRd}\Pi) / 0,8 = (73,93 - 45,32) / 0,8 = 35,76 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_8 = (\text{MRd}\text{N} - \text{MRd}\Pi) / 0,8 = (73,93 - 45,32) / 0,8 = 35,76 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_9 = (\text{MRd}\text{N} - \text{MRd}\Pi) / 0,8 = (54,94 - 112,05) / 0,8 = -71,39 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_{11} = (\text{MRd}\text{N} - \text{MRd}\Pi) / 0,8 = (54,94 - 112,05) / 0,8 = -71,39 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_1, \Delta_3, \Delta_4, \Delta_5, \Delta_{13} = (\text{MRd}\text{N} - \text{MRd}\Pi) / 0,8 = (56,64 - 45,32) / 0,8 = 14,15 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_{12} = (\text{MRd}\text{N} - \text{MRd}\Pi) / 0,8 = (68,69 - 54,96) / 0,8 = 17,16 \text{ KNm}$$



## Α' ΟΡΟΦΟΣ

A/A	Asπ	AsN	MrdΠ	MrdN	M <sub>εν</sub>
Δ <sub>1</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>2</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	5,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	93,42 cm <sup>2</sup>	60,13 KNm
Δ <sub>3</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>4</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>5</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>6</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>7</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>8</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	4,02 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	73,93 cm <sup>2</sup>	35,76 KNm
Δ <sub>9</sub>	6,28 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	112,05 cm <sup>2</sup>	68,69 cm <sup>2</sup>	-71,39 KNm
Δ <sub>11</sub>	-	3,08 cm <sup>2</sup>	-	68,69 cm <sup>2</sup>	85,86 KNm
Δ <sub>12</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	54,96 cm <sup>2</sup>	68,69 cm <sup>2</sup>	17,16 KNm
Δ <sub>13</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	4,02 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	73,93 cm <sup>2</sup>	35,76 KNm

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>-Δ<sub>2</sub>-Δ<sub>3</sub>-Δ<sub>4</sub>-Δ<sub>5</sub>-Δ<sub>6</sub>-Δ<sub>7</sub>-Δ<sub>8</sub>-Δ<sub>13</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 2ø14→2\*1,54=3,08 cm<sup>2</sup>→AsΠ

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: MRdΠ=AsΠ\*0,9\*d\*fydΠ=3,08\*0,9\*(0,5-0,03)\*(400/1,14)\*10<sup>-4</sup>\*10<sup>3</sup>=45,32 cm<sup>2</sup>

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>9</sub>-Δ<sub>11</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 2ø20→2\*3,14=6,28 cm<sup>2</sup>→AsΠ

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: MRdΠ=AsΠ\*0,9\*d\*fydΠ=6,28\*0,9\*(0,6-0,03)\*(400/1,15)\*10<sup>-4</sup>\*10<sup>3</sup>=112,05 cm<sup>2</sup>

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>12</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 2ø14→2\*1,54=3,08 cm<sup>2</sup>→AsΠ

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: MRdΠ=AsΠ\*0,9\*d\*fydΠ=3,08\*0,9\*(0,6-0,03)\*(400/1,15)\*10<sup>-4</sup>\*10<sup>3</sup>=54,96 cm<sup>2</sup>

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>-Δ<sub>3</sub>-Δ<sub>4</sub>-Δ<sub>5</sub>-Δ<sub>13</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 2ø14→2\*1,54=3,08 cm<sup>2</sup>→AsN

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: MRdN=AsN\*0,9\*d\*fydN=3,08\*0,9\*(0,5-0,03)\*(400/1,15)\*10<sup>-4</sup>\*10<sup>3</sup>=56,64 cm<sup>2</sup>

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>2</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 2ø18→2\*2,54=5,08 cm<sup>2</sup>→AsN

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: MRdN=AsN\*0,9\*d\*fydN=5,08\*0,9\*(0,5-0,03)\*(500/1,15)\*10<sup>-4</sup>\*10<sup>3</sup>=93,42 cm<sup>2</sup>

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>6</sub>-Δ<sub>7</sub>-Δ<sub>8</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 2ø16→2\*2,01=4,02 cm<sup>2</sup>→AsN

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ: MRdN=AsN\*0,9\*d\*fydN=4,02\*0,9\*(0,5-0,03)\*(500/1,15)\*10<sup>-4</sup>\*10<sup>3</sup>=73,93 cm<sup>2</sup>

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>-Δ<sub>3</sub>-Δ<sub>4</sub>-Δ<sub>13</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 2ø14→2\*1,54=3,08 cm<sup>2</sup>→AsN

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $MRdN=AsN*0,9*d*f_{ydN}=3,08*0,9*(0,5-0,03)*(500/1,15)*10^{-4}*10^3=68,69 \text{ cm}^2$

$M_{ev} \Delta_2=(MRdN-MRd\Pi)/0,8=(74,74-45,32)/0,8=36,78 \text{ KNm}$

$M_{ev} \Delta_6=(MRdN-MRd\Pi)/0,8=(73,93-45,32)/0,8=35,76 \text{ KNm}$

$M_{ev} \Delta_7=(MRdN-MRd\Pi)/0,8=(73,93-45,32)/0,8=35,76 \text{ KNm}$

$M_{ev} \Delta_8=(MRdN-MRd\Pi)/0,8=(73,93-45,32)/0,8=35,76 \text{ KNm}$

$M_{ev} \Delta_9=(MRdN-MRd\Pi)/0,8=(54,96-112,05)/0,8=-71,36 \text{ KNm}$

$M_{ev} \Delta_{11}=(MRdN-MRd\Pi)/0,8=(54,94-112,05)/0,8=-71,39 \text{ KNm}$

$M_{ev} \Delta_1,\Delta_3,\Delta_4,\Delta_5,\Delta_{13}=(MRdN-MRd\Pi)/0,8=(56,64-45,32)/0,8=14,15 \text{ KNm}$

$M_{ev} \Delta_{12}=(MRdN-MRd\Pi)/0,8=(68,69-54,96)/0,8=17,16 \text{ KNm}$

### Β' ΟΡΟΦΟΣ

A/A	Asπ	AsN	MrdΠ	MrdN	M <sub>ev</sub>
Δ <sub>1</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>2</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	5,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	73,93 cm <sup>2</sup>	35,76 KNm
Δ <sub>3</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>4</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>5</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>6</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>7</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>8</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	4,02 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm
Δ <sub>9</sub>	6,28 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	112,05 cm <sup>2</sup>	68,69 cm <sup>2</sup>	-71,39 KNm
Δ <sub>11</sub>	-	3,08 cm <sup>2</sup>	-	68,69 cm <sup>2</sup>	85,86 KNm
Δ <sub>12</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	54,96 cm <sup>2</sup>	68,69 cm <sup>2</sup>	17,16 KNm
Δ <sub>13</sub>	3,08 cm <sup>2</sup>	3,08 cm <sup>2</sup>	45,32 cm <sup>2</sup>	56,64 cm <sup>2</sup>	14,15 KNm

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>-Δ<sub>2</sub>-Δ<sub>3</sub>-Δ<sub>4</sub>-Δ<sub>5</sub>-Δ<sub>6</sub>-Δ<sub>7</sub>-Δ<sub>8</sub>-Δ<sub>13</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 2ø14→2\*1,54=3,08 cm<sup>2</sup>→AsΠ

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $MRd\Pi=As\Pi*0,9*d*f_{yd\Pi}=3,08*0,9*(0,5-0,03)*(400/1,14)*10^{-4}*10^3=45,32 \text{ cm}^2$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>9</sub>-Δ<sub>11</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 2ø20→2\*3,14=6,28 cm<sup>2</sup>→AsΠ

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $MRd\Pi=As\Pi*0,9*d*f_{yd\Pi}=6,28*0,9*(0,6-0,03)*(400/1,15)*10^{-4}*10^3=112,05 \text{ cm}^2$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>12</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ: 2ø14→2\*1,54=3,08 cm<sup>2</sup>→AsΠ

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $MRd\Pi=As\Pi*0,9*d*f_{yd\Pi}=3,08*0,9*(0,6-0,03)*(400/1,15)*10^{-4}*10^3=54,96 \text{ cm}^2$

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>-Δ<sub>3</sub>-Δ<sub>4</sub>-Δ<sub>5</sub>-Δ<sub>13</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 14 \rightarrow 2*1,54=3,08 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{AsN}$

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRdN}=\text{AsN}*0,9*d*f_{ydN}=3,08*0,9*(0,5-0,03)*(400/1,15)*10^{-4}*10^3=56,64 \text{ cm}^2$

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>2</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 18 \rightarrow 2*2,54=5,08 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{AsN}$

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRdN}=\text{AsN}*0,9*d*f_{ydN}=5,08*0,9*(0,5-0,03)*(500/1,15)*10^{-4}*10^3=93,42 \text{ cm}^2$

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>6</sub>-Δ<sub>7</sub>-Δ<sub>8</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 16 \rightarrow 2*2,01=4,02 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{AsN}$

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRdN}=\text{AsN}*0,9*d*f_{ydN}=4,02*0,9*(0,5-0,03)*(500/1,15)*10^{-4}*10^3=73,93 \text{ cm}^2$

### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>-Δ<sub>3</sub>-Δ<sub>4</sub>-Δ<sub>13</sub>

ΥΠΑΡΧΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:  $2\phi 14 \rightarrow 2*1,54=3,08 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{AsN}$

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:  $\text{MRdN}=\text{AsN}*0,9*d*f_{ydN}=3,08*0,9*(0,5-0,03)*(500/1,15)*10^{-4}*10^3=68,69 \text{ cm}^2$

$$M_{ev} \Delta_2=(\text{MRdN}-\text{MRdII})/0,8=(74,74-45,32)/0,8=36,78 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_6=(\text{MRdN}-\text{MRdII})/0,8=(73,93-45,32)/0,8=35,76 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_7=(\text{MRdN}-\text{MRdII})/0,8=(73,93-45,32)/0,8=35,76 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_8=(\text{MRdN}-\text{MRdII})/0,8=(73,93-45,32)/0,8=35,76 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_9=(\text{MRdN}-\text{MRdII})/0,8=(54,96-112,05)/0,8=-71,36 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_{11}=(\text{MRdN}-\text{MRdII})/0,8=(54,94-112,05)/0,8=-71,39 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_1,\Delta_3,\Delta_4,\Delta_5,\Delta_{13}=(\text{MRdN}-\text{MRdII})/0,8=(56,64-45,32)/0,8=14,15 \text{ KNm}$$

$$M_{ev} \Delta_{12}=(\text{MRdN}-\text{MRdII})/0,8=(68,69-54,96)/0,8=17,16 \text{ KNm}$$

### ΣΤΥΛΟΣ R1

$$\text{AswII}/s=[(36*3,14)+(22*2,01)]/25=6,29 \text{ cm}^2$$

$$\text{VRdII}=(\text{AswII}/s)*f_{ywdII}*0,9(h-c)=6,29*(400/1,15)*0,9(1,70-0,03)=32,88 \text{ KNm}$$

$$\text{AswN}/s=[(36*3,14)+(22*2,01)]/25=6,29 \text{ cm}^2$$

$$\text{VRdN}=(\text{AswN}/s)*f_{ywdN}*0,9(h-c)=6,29*(500/1,15)*0,9(1,70-0,03)=41,10 \text{ KNm}$$

$$V_{ev}=(\text{VRdN}-\text{VRdII})/0,8=(41,10-32,88)/0,8=10,28 \text{ KNm}$$

### ΣΤΥΛΟΣ R2

$$A_{sw\Pi/s}=[(12*3,14)+(8*2,01)]/25=2,15 \text{ cm}^2$$

$$VRd\Pi=(A_{sw\Pi/s})*f_{ywd\Pi}*0,9(h-c)=2,15*(400/1,15)*0,9(3,25-0,03)=21,67 \text{ KNm}$$

$$A_{swN/s}=[(12*3,14)+(8*2,01)]/25=2,15 \text{ cm}^2$$

$$VRdN=(A_{swN/s})*f_{ywdN}*0,9(h-c)=2,15*(500/1,15)*0,9(3,25-0,03)=27,09 \text{ KNm}$$

$$V_{ev}=(VRdN-VRd\Pi)/0,8=(27,09-21,67)/0,8=6,78 \text{ KNm}$$

#### ΣΤΥΛΟΣ R3,R5

$$A_{sw\Pi/s}=(13*3,14)/25=1,63 \text{ cm}^2$$

$$VRd\Pi=(A_{sw\Pi/s})*f_{ywd\Pi}*0,9(h-c)=1,63*(400/1,15)*0,9(0,75-0,03)=36,7 \text{ KNm}$$

$$A_{swN/s}=(13*3,14)/25=1,63 \text{ cm}^2$$

$$VRdN=(A_{swN/s})*f_{ywdN}*0,9(h-c)=1,63*(500/1,15)*0,9(0,75-0,03)=45,9 \text{ KNm}$$

$$V_{ev}=(VRdN-VRd\Pi)/0,8=(45,9-36,7)/0,8=11,5 \text{ KNm}$$

#### ΣΤΥΛΟΣ R4

$$A_{sw\Pi/s}=[(4*2,01)+(8*3,14)]/25=1,33 \text{ cm}^2$$

$$VRd\Pi=(A_{sw\Pi/s})*f_{ywd\Pi}*0,9(h-c)=1,33*(400/1,15)*0,9(1,20-0,03)=48,7 \text{ KNm}$$

$$A_{swN/s}=[(4*2,01)+(8*3,14)]/25=1,33 \text{ cm}^2$$

$$VRdN=(A_{swN/s})*f_{ywdN}*0,9(h-c)=1,33*(500/1,15)*0,9(1,20-0,03)=60,8 \text{ KNm}$$

$$V_{ev}=(VRdN-VRd\Pi)/0,8=(60,8-48,7)/0,8=15,13 \text{ KNm}$$

#### ΣΤΥΛΟΣ R6,R7

$$A_{sw\Pi/s}=[(8*2,01)+(5*3,14)]/25=1,27 \text{ cm}^2$$

$$VRd\Pi=(A_{sw\Pi/s})*f_{ywd\Pi}*0,9(h-c)=1,27*(400/1,15)*0,9(0,75-0,03)=28,6 \text{ KNm}$$

$$A_{swN/s}=[(8*2,01)+(5*3,14)]/25=1,27 \text{ cm}^2$$

$$VRdN=(A_{swN/s})*f_{ywdN}*0,9(h-c)=1,27*(500/1,15)*0,9(0,75-0,03)=35,7 \text{ KNm}$$

$$V_{ev}=(VRdN-VRd\Pi)/0,8=(35,7-28,6)/0,8=8,88 \text{ KNm}$$

### **Βήμα 7<sup>ο</sup>: Ενίσχυση σε κάμψη**

#### ΥΠΟΓΕΙΟ

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>3</sub>

$$Z \cdot f_{y,FRP} \cdot A_{S,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{S,FRP} = M_{ev} / (0,9 \cdot h \cdot E \cdot \varepsilon) \cdot 10^4 = 128,19 / (0,9 \cdot 0,5 \cdot 215 \cdot 10^6 \cdot 0,017) \cdot 10^4 = 7,79$$

$$t_{FRP} \cdot b_{FRP} = A_{S,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{S,FRP} / t_{FRP} = 7,79 / 0,12 = 64,92$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 64,92 > 20 \quad \text{1η στρώση FRP}$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>4</sub>

$$Z \cdot f_{y,FRP} \cdot A_{S,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{S,FRP} = M_{ev} / (0,9 \cdot h \cdot E \cdot \varepsilon) \cdot 10^4 = 128,19 / (0,9 \cdot 0,5 \cdot 215 \cdot 10^6 \cdot 0,017) \cdot 10^4 = 7,79$$

$$t_{FRP} \cdot b_{FRP} = A_{S,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{S,FRP} / t_{FRP} = 7,79 / 0,12 = 64,92$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 64,92 > 20 \quad \text{1η στρώση FRP}$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>9</sub>

$$Z \cdot f_{y,FRP} \cdot A_{S,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{S,FRP} = M_{ev} / (0,9 \cdot h \cdot E \cdot \varepsilon) \cdot 10^4 = 155,45 / (0,9 \cdot 0,6 \cdot 215 \cdot 10^6 \cdot 0,017) \cdot 10^4 = 7,88$$

$$t_{FRP} \cdot b_{FRP} = A_{S,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{S,FRP} / t_{FRP} = 7,88 / 0,12 = 65,67$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 65,67 > 20 \quad \text{1η στρώση FRP}$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>11</sub>

$$Z \cdot f_{y,FRP} \cdot A_{S,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{S,FRP} = M_{ev} / (0,9 \cdot h \cdot E \cdot \varepsilon) \cdot 10^4 = 155,45 / (0,9 \cdot 0,6 \cdot 215 \cdot 10^6 \cdot 0,017) \cdot 10^4 = 7,88$$

$$t_{FRP} \cdot b_{FRP} = A_{S,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{S,FRP} / t_{FRP} = 7,88 / 0,12 = 65,67$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 65,67 > 20 \quad \text{1η στρώση FRP}$$

#### ΙΣΟΓΕΙΟ

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>, Δ<sub>3</sub>, Δ<sub>4</sub>, Δ<sub>5</sub>, Δ<sub>13</sub>

$$Z \cdot f_{y,FRP} \cdot A_{S,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{S,FRP} = M_{ev} / (0,9 \cdot h \cdot E \cdot \varepsilon) \cdot 10^4 = 14,15 / (0,9 \cdot 0,6 \cdot 215 \cdot 10^6 \cdot 0,017) \cdot 10^4 = 0,86$$

$$t_{FRP} \cdot b_{FRP} = A_{S,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{S,FRP} / t_{FRP} = 0,86 / 0,12 = 7,17$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 7,17 < 20 \quad \text{1η στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/2) \cdot b_{FRP} = A_{S,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{S,FRP} / (t_{FRP}/2) = 0,86 / (0,12/2) = 14,33$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 14,33 < 20 \quad \text{2η στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/3) \cdot b_{FRP} = A_{S,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{S,FRP} / (t_{FRP}/3) = 0,86 / (0,12/3) = 21,5$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 21,5 > 20 \quad 3\eta \text{ στρώση FRP}$$

ΔΟΚΟΣ Δ<sub>2</sub>

$$Z * f_{y,FRP} * A_{s,FRP} = M_{εv} \Rightarrow A_{s,FRP} = M_{εv} / (0,9 * h * E * ε) * 10^4 = 60,13 / (0,9 * 0,5 * 215 * 10^6 * 0,017) * 10^4 = 3,66$$

$$t_{FRP} * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / t_{FRP} = 3,66 / 0,12 = 30,5$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 30,5 > 20 \quad 1\eta \text{ στρώση FRP}$$

ΔΟΚΟΣ Δ<sub>6, Δ<sub>7, Δ<sub>8</sub></sub></sub>

$$Z * f_{y,FRP} * A_{s,FRP} = M_{εv} \Rightarrow A_{s,FRP} = M_{εv} / (0,9 * h * E * ε) * 10^4 = 35,76 / (0,9 * 0,5 * 215 * 10^6 * 0,017) * 10^4 = 2,17$$

$$t_{FRP} * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / t_{FRP} = 2,17 / 0,12 = 18,08$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 18,08 < 20 \quad 1\eta \text{ στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/2) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/2) = 2,17 / (0,12/2) = 36,17$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 36,17 > 20 \quad 2\eta \text{ στρώση FRP}$$

ΔΟΚΟΣ Δ<sub>12</sub>

$$Z * f_{y,FRP} * A_{s,FRP} = M_{εv} \Rightarrow A_{s,FRP} = M_{εv} / (0,9 * h * E * ε) * 10^4 = 17,16 / (0,9 * 0,6 * 215 * 10^6 * 0,017) * 10^4 = 0,87$$

$$t_{FRP} * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / t_{FRP} = 0,87 / 0,12 = 7,25$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 7,25 < 20 \quad 1\eta \text{ στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/2) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/2) = 0,87 / (0,12/2) = 14,5$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 14,5 > 20 \quad 2\eta \text{ στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/3) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/3) = 0,87 / (0,12/3) = 21,75$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 21,75 > 20 \quad 3\eta \text{ στρώση FRP}$$

Α' ΟΡΟΦΟΣ

ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1, Δ<sub>3, Δ<sub>4, Δ<sub>5, Δ<sub>6, Δ<sub>13</sub></sub></sub></sub></sub></sub>

$$Z * f_{y,FRP} * A_{s,FRP} = M_{εv} \Rightarrow A_{s,FRP} = M_{εv} / (0,9 * h * E * ε) * 10^4 = 14,15 / (0,9 * 0,6 * 215 * 10^6 * 0,017) * 10^4 = 0,86$$

$$t_{FRP} * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / t_{FRP} = 0,86 / 0,12 = 7,17$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 7,17 < 20 \quad 1\eta \text{ στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/2) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/2) = 0,86 / (0,12/2) = 14,33$$
$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 14,33 < 20 \quad 2\eta \text{ στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/3) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/3) = 0,86 / (0,12/3) = 21,5$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 21,5 > 20 \quad 3\eta \text{ στρώση FRP}$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>2</sub>, Δ<sub>8</sub>, Δ<sub>13</sub>

$$Z * f_{y,FRP} * A_{s,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{s,FRP} = M_{ev} / (0,9 * h * E * \epsilon) * 10^4 = 35,76 / (0,9 * 0,5 * 215 * 10^6 * 0,017) * 10^4 = 2,17$$

$$t_{FRP} * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / t_{FRP} = 2,17 / 0,12 = 18,08$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 18,08 < 20 \quad 1\eta \text{ στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/2) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/2) = 2,17 / (0,12/2) = 36,17$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 36,17 > 20 \quad 2\eta \text{ στρώση FRP}$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>12</sub>

$$Z * f_{y,FRP} * A_{s,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{s,FRP} = M_{ev} / (0,9 * h * E * \epsilon) * 10^4 = 17,16 / (0,9 * 0,6 * 215 * 10^6 * 0,017) * 10^4 = 0,87$$

$$t_{FRP} * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / t_{FRP} = 0,87 / 0,12 = 7,25$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 7,25 < 20 \quad 1\eta \text{ στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/2) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/2) = 0,87 / (0,12/2) = 14,5$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 14,5 < 20 \quad 2\eta \text{ στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/3) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/3) = 0,87 / (0,12/3) = 21,75$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 21,75 > 20 \quad 3\eta \text{ στρώση FRP}$$

#### Β' ΟΡΟΦΟΣ

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>1</sub>, Δ<sub>3</sub>, Δ<sub>4</sub>, Δ<sub>5</sub>, Δ<sub>6</sub>, Δ<sub>7</sub>, Δ<sub>8</sub>, Δ<sub>13</sub>

$$Z * f_{y,FRP} * A_{s,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{s,FRP} = M_{ev} / (0,9 * h * E * \epsilon) * 10^4 = 14,15 / (0,9 * 0,6 * 215 * 10^6 * 0,017) * 10^4 = 0,86$$

$$t_{FRP} * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / t_{FRP} = 0,86 / 0,12 = 7,17$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 7,17 < 20 \quad 1\eta \text{ στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/2) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/2) = 0,86 / (0,12/2) = 14,33$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 14,33 < 20 \quad \text{2η στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/3) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/3) = 0,86 / (0,12/3) = 21,5$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 21,5 > 20 \quad \text{3η στρώση FRP}$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>2</sub>

$$Z * f_{y,FRP} * A_{s,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{s,FRP} = M_{ev} / (0,9 * h * E * \epsilon) * 10^4 = 35,76 / (0,9 * 0,5 * 215 * 10^6 * 0,017) * 10^4 = 2,17$$

$$t_{FRP} * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / t_{FRP} = 2,17 / 0,12 = 18,08$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 18,08 < 20 \quad \text{1η στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/2) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/2) = 2,17 / (0,12/2) = 36,17$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 36,17 > 20 \quad \text{2η στρώση FRP}$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>12</sub>

$$Z * f_{y,FRP} * A_{s,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{s,FRP} = M_{ev} / (0,9 * h * E * \epsilon) * 10^4 = 17,16 / (0,9 * 0,6 * 215 * 10^6 * 0,017) * 10^4 = 0,87$$

$$t_{FRP} * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / t_{FRP} = 0,87 / 0,12 = 7,25$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 7,25 < 20 \quad \text{1η στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/2) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/2) = 0,87 / (0,12/2) = 14,5$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 14,5 < 20 \quad \text{2η στρώση FRP}$$

$$(t_{FRP}/3) * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / (t_{FRP}/3) = 0,87 / (0,12/3) = 21,75$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 21,75 > 20 \quad \text{3η στρώση FRP}$$

#### ΔΟΚΟΣ Δ<sub>11</sub>

$$Z * f_{y,FRP} * A_{s,FRP} = M_{ev} \Rightarrow A_{s,FRP} = M_{ev} / (0,9 * h * E * \epsilon) * 10^4 = 85,86 / (0,9 * 0,6 * 215 * 10^6 * 0,017) * 10^4 = 4,35$$

$$t_{FRP} * b_{FRP} = A_{s,FRP} \Rightarrow b_{FRP} = A_{s,FRP} / t_{FRP} = 4,35 / 0,12 = 36,25$$

$$b_{FRP} > b_w \Rightarrow 36,25 > 20 \quad \text{1η στρώση FRP}$$



## **Συμπέρασμα**

Από τις παραπάνω αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε ένα κτίριο που έχει μελετηθεί και κατασκευασθεί με παλαιότερους κανονισμούς, βλέπουμε τα προβλήματα που προκύπτουν αν εφαρμόσουμε υποθετικό σεισμό. Από αυτές τις ενέργειες προκύπτουν προβλήματα και βλάβες στο κτίριο που μπορούν πολλές φορές να οδηγήσουν και σε κατάρρευση μερικών δομικών στοιχείων ή και ολόκληρης της κατασκευής.

Εκτός από τα παραπάνω, είναι προφανείς οι διαφορές στην αντοχής και στατικότητα του υφιστάμενου κτιρίου σε σχέση με το ενισχυμένο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κανονισμός επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ)-2<sup>η</sup> Αναθεώρηση 2017
- American Concrete Institute (1996), State-of-the-art Report on Fiber Reinforced Plastic Reinforcement for Concrete Structures, ACI Report 440R-96, Detroit, Michigan.
- American Concrete Institute (2002), Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, ACI Report 440.2R-02, Detroit, Michigan.
- Ahmad, S. H. and Plecnik, J.M. (1989), Transfer of Composites Technology to Design and Construction of Bridges, Report of the California State University.
- Antonopoulos, C. P. and Triantafillou, T. C. (2002), Analysis of FRP-Strengthened RC Beam-Column Joints, Journal of Composites for Construction, ASCE.
- Antonopoulos, C. P. and Triantafillou, t. c. (2003), Experimental Investigation of FRP-Strengthened RC Beam-Column Joints, Journal of Composites for Construction, ASCE.
- Barnes, R. A. and Mays, G. C. (1999), Fatigue performance of concrete beams strengthened with CFRP plates, Journal of Composites for Construction, ASCE.
- Bizindavyi, L. and Neale, K. W. (1999), Transfer lengths and bond strengths for composites bonded to concrete, Journal of Composites for Construction, ASCE.
- Blaschko M. Nierdermeier R. and Zilch, K. (1998), Bond failure modes of flexural members strengthened with FRP, Proceedings of Second International Conference on Composites in Infrastructures, Saadatmanesh, H. and Ehsani, M. R. eds., Tucson, Arizona.
- Business Communications Co. Inc (2002), Internal Report.
- Deuring, M. (1993), Strengthening of RC with with Prestressed Fiber Reinforced Plastic Sheets. EMPA Research Report 224, Dubendorf, Switzerland.
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός-ΕΑΚ (2000), Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, Αθήνα.
- Feldman, D. (1989), Polymeric Building Materials, Elsevier Science Publishers Ltd., UK
- Federation International du Beton-fib (2001), Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures, Bulletin 14, Lausanne.
- Haroun, M. A., Mosallam, A. S., Feng, M. Q. and Elsanedebey L. L. (2001), Experimental investigation of seismic repair and retrofit of bridge columns by composite jackets, Proceedings of the International Conference of FRP composites in Civil Engineering, J-G. Teng, ed., Hong Kong.
- Holzenkampfer, P. (1994), Ingenieurmodelle des verbundes geklebter bewehrung fur betonbauteile. Dissertation, TU Braunschweig.
- Jansze, W. (1997), Strengthening of Reinforced Concrete Members in Bending by Externally Bonded Steel Plates, TU Delft, The Netherlands.
- Kim, D.-H. (1995), Composite Structures for Civil and Architectural Engineering, E & FN Spon, London.

- Lam, L., and Teng, J.G. (2003), “Stress-strain models for FRP-confined concrete”, submitted for publication.
- Ma, R. and Xiao, Y. (1997), “Seismic retrofit and repair of circular bridge columns with advanced composite materials”, *Earthquake Spectra*.
- Matthys, S. (2000), *Structural Behaviour and Design of Concrete Members Strengthened with Externally Bonded FRP Reinforcement*, Doctoral Thesis, Ghent University.
- Neubauer, U. and Rostasy, F. S. (1999), “Bond failure of concrete fibre reinforced polymer at inclined cracks-experiments and fracture mechanics model”, *Proceedings of the 4th International Conference on Fibre Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures*, Eds. C. W. Dolan, S. H. Rizkalla and A. Nanni, ACI, Michigan, USA.
- Oehlers, D. J. (1992), “Reinforced concrete beams with plates glued to their soffits”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE.
- Osada, K., Yamaguchi, T. and Ikeda, S. (1999), “Seismic performance and the retrofit of hollow circular reinforced concrete piers having reinforcement cut-off planes and variable wall thickness”, *Transactions of the Japan Concrete Institute*.
- Plevris, N. and Triantafillou, T. C. (1994), “Time-dependent behaviour of RC members strengthened with FRP Laminates”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE.
- Priestley, M. J. N., Seible, F. and Calvi, G.M. (1996), *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Raof, M. and Hassanen, M. A. H. (2000), “Peeling failure of reinforced concrete beams with fibre-reinforced plastic or steel plates glued to their soffits”, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Building*.
- Restrepo, J. I., Wang, Y. C., Irwin, R. W. and DeVino, B. (1988) “Fibreglass/epoxy composites for the seismic upgrading of reinforced concrete beams with shear and bar curtailment deficiencies”, *Proceedings 8th European Conference on Composite Materials*, Naples, Italy.
- Saadatmanesh, H., Ehsani, M. R. and Jin, L. (1997) “Repair of earthquake-damaged RC columns with FRP wraps”, *ACI Structural Journal*.
- Seibe, F., Priestley, M. J. N., Hegemier, G. A. and Innamorato, D. (1997) “Seismic retrofit of RC columns with continuous carbon fiber jackets”, *Journal of Composites for Construction*, ASCE.
- Τριανταφύλλου, Αθ. (2001), *Δομικά Υλικά*.
- Tastani, S. and Pantazopoulos, S. (2002), “Design of seismic strengthening for brittle RC members using FRP jackets”, *Proceedings of 12th European Conference on Earthquake Engineering*, London.
- Teng, J. G. Chen. J. F. Smith, S. T. and Lam, L. (2001), *FRP Strengthening RC Structures*, John Wiley & Sons Inc.
- Triantafillou, T. C. (1998), “Shear strengthening of reinforced concrete beams using epoxy-bonded FRP composites”, *ACI Structural Journal*.
- Triantafillou, T. C. and Deskovic (1991), “Innovative prestressing with FRP sheets: mechanics of short-term behavior”, *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE.
- Triantafillou, T. C. and Plevris (1992), “Strengthening of RC beams with epoxy-bonded fibre-composite materials”, *Materials and Structures*.

- ΥΠΕΧΩΔΕ (2000), Έγκριση Ελληνικού Κανονισμού για τη Μελέτη και Κατασκευή Έργων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, ΕΚΩΣ-2000.