

# Σύστημα δομήσεως με βάση προκατασκευασμένα διπλά τοιχώματα

Σ. Γ. Τσουκαντάς

*Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.*

Τ. Δ. Τοπιντζής

*Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π*

*Λέξεις κλειδιά:* Ανοιχτή προκατασκευή, κλειστή προκατασκευή, σύστημα προκατασκευής, προκατασκευασμένος διπλός τοίχος, μεταλλική δικτυοδοκός, πρόπλακα, ενυδάτωση τσιμέντου.

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Περιγράφονται οι διαφοροποιήσεις μεταξύ ανοιχτής και κλειστής προκατασκευής. Περιγράφεται το σύστημα δομήσεως με βάση τον προκατασκευασμένο διπλό τοίχο και αντίστοιχη πρόπλακα. Συγκρίνεται η συμπεριφορά μονολιθικών τοιχείων με βάση τον προκατασκευασμένο διπλό τοίχο έναντι μικρορηγματώσεων εξαιτίας της θερμοκρασίας ενυδάτωσης του τσιμέντου. Τεκμηριώνεται η μονολιθική συμπεριφορά των τοιχείων με βάση το διπλό τοίχωμα, γίνονται προτάσεις για την χρήση αυτού του συστήματος δομήσεως με βάση τους Ελληνικούς Κανονισμούς και παρουσιάζονται μερικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες μετά από μελέτη τυπικού κτιρίου με βάση τον ΕΚΩΣ και ΕΑΚ.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

α) Όπως είναι γνωστό, η προκατασκευή από σκυρόδεμα αναπτύσσεται όλο και περισσότερο διεθνώς αλλά και στην Ελλάδα. Παγκοσμίως έχει καθιερωθεί κυρίως η χρήση της «ανοιχτής προκατασκευής», όπου μέλη κατασκευών (κυρίως στοιχεία πλακών, υποστρωμάτων, δοκών, τοιχωμάτων, φορέων γεφυρών κ.λπ.) παράγονται βιομηχανικώς, τα οποία μέλη εντάσσονται στις οικοδομικές δραστηριότητες ή γεφυροποιία. Κατά κανόνα δε ο κατασκευαστής είναι διαφορετικός φορέας από τον παραγωγό προκατασκευασμένων στοιχείων.

Όμως ισχυρά ανεπτυγμένη παγκοσμίως είναι επίσης και η «κλειστή προκατασκευή» όπου παραγωγός και κατασκευαστής είναι κατά κανόνα ο ίδιος φορέας, διαθέτει-παράγει συγκεκριμένους τύπους προκατασκευασμένων στοιχείων ή διαθέτει συγκεκριμένα συστήματα δομήσεως και με βάση αυτά, μελετά και κατασκευάζει διάφορους τύπους προκατασκευασμένων έργων βασισμένους στα στοιχεία που παράγει-αναπτύσσει ή στα συστήματα προκατασκευής που διαθέτει.

Στην Ελλάδα μέχρι σήμερα κυριαρχεί η λογική της «κλειστής προκατασκευής».

Συνήθη έργα κλειστής προκατασκευής στον τόπο μας είναι βιομηχανικά κτίρια, κτίρια κατοικιών και εκπαιδευτήρια (κυρίως με βάση συστήματα δομήσεως που ανέπτυξε ο Ο.Σ.Κ. για τα εκπαιδευτήρια).

Στην ανοιχτή προκατασκευή, διατίθενται στην ελεύθερη αγορά κυρίως φορείς γεφυρών και εν μέρει πλάκες για κατασκευή πατωμάτων, αλλά και άλλα προκατασκευασμένα στοιχεία προσαρμοσμένα σε ανάγκες ειδικών έργων (π.χ. επενδύσεις σιράγγων κ.λπ.).

β) Το σύστημα προκατασκευής το οποίο παρουσιάζουμε σήμερα, δεν είναι νέο, εφαρμόζεται δε εδώ και πολλές δεκαετίες στην Ευρώπη. Στην Γερμανία (όπου και αναπτύχθηκε) μεγάλο ποσοστό των κτιρίων κατοικιών και γραφείων (αλλά και άλλων δομημάτων) ανεγείρονται με το σύστημα

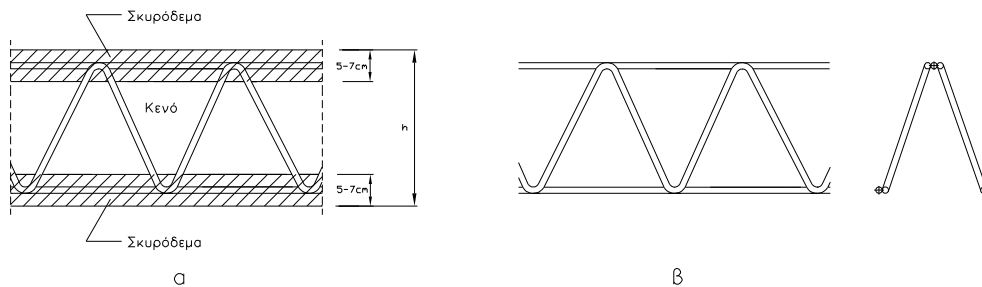
αυτό, και η εμπειρία εκ της Γερμανικής πρακτικής έχει αποδείξει ότι πρόκειται περί καθιερωμένου συστήματος δομής που διαθέτει πλήθος πλεονεκτημάτων.

Δεν είναι τυχαίο ότι ήδη από το 1979 το σύστημα αυτό έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία στην Ελλάδα και παρά την σχετικά μικρή μονάδα παραγωγής (Kaizer Omnia) «διπλών τοιχωμάτων» [6] έχουν κατασκευασθεί αξιόλογα κτιριακά συγκροτήματα και εκπαιδευτήρια.

Στην εργασία αυτή συγκρίνεται η συμπεριφορά μονολιθικών τοιχείων με βάση τον προκατασκευασμένο διπλό τοίχο έναντι μικρορηγματώσεων εξαιτίας της θερμοκρασίας ενυδάτωσης του τσιμέντου. Τεκμηριώνεται η μονολιθική συμπεριφορά των τοιχείων με βάση το διπλό τοίχωμα, γίνονται προτάσεις για την χρήση αυτού του συστήματος δομής με βάση τους Ελληνικούς Κανονισμούς και παρουσιάζονται μερικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες μετά από μελέτη τυπικού κτιρίου με βάση τον ΕΚΩΣ και ΕΑΚ.

## 2. ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

α) Το σύστημα βασίζεται στην βιομηχανική παραγωγή προκατασκευασμένου «διπλού τοίχου», δηλαδή τοίχου τύπου «σάντουιτς» ο οποίος διαθέτει δύο στρώσεις από σκυρόδεμα (βλέπε Σχ. 1), και κενό μεταξύ τους, οι οποίες (δύο στρώσεις) από την παραγωγή τους συνδέονται εγκαρσίως μεταξύ τους με τρισεδιάστατους μεταλλικούς «δικτυοδοκούς» τύπου filigran, που τίθενται σε κατάλληλες αποστάσεις μεταξύ τους.



Σχήμα 1. α) διπλός τοίχος, β) μεταλλική δικτυοδοκός

Η «δικτυοδοκός» αυτή παράγεται βιομηχανικά και συντίθεται κατά κανόνα από διαμήκειες ράβδους S500s (άνω με 1Φ5÷16, κάτω 2Φ5÷16), οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με διαγώνιες ράβδους Φ5÷7, ανά 20cm συγκολλημένες σε όλες τις θέσεις συναντήσεώς τους με τις διαμήκειες ράβδους (βλ. Σχ.1.β).

β) Στο εργοτάξιο οι προκατασκευασμένοι αυτοί διπλοί τοίχοι συναρμολογούνται κατακορύφως ο ένας επί ή δίπλα του άλλου, τοποθετούνται καταλλήλως επ' αυτών πρόπλακες (βλ. γ παρακάτω), πραγματοποιείται η επί τόπου του έργου όπλιση όπου απαιτείται (βλ. § 7.2.β και Σχ. 10 και 11) και το κενό μεταξύ των δύο στρώσεων των προκατασκευασμένων διπλών τοίχων καθώς και επί των προπλακών εγχύνεται επί τόπου του έργου σκυρόδεμα, δημιουργώντας έτσι τελικά μονολιθική συνολική κατασκευή. Η καθ' ύψος συνέχιση των τοιχωμάτων καθώς και η πάκτωσή τους στην θεμελίωση πραγματοποιείται με επί τόπου του έργου κατάλληλη όπλιση στο σώμα του επιτόπου διαστρωμένου σκυροδέματος (βλ. Σχ. 11).

γ) Η τελική πλάκα συντίθεται από δύο στρώσεις σκυροδέματος :

Την κάτω στρώση αποτελεί η προκατασκευασμένη πλάκα (πρόπλακα) πάχους 5÷7 cm, στο σώμα της οποίας είναι ενσωματωμένος ο συνολικός οπλισμός της τελικής πλάκας και την πάνω στρώση αποτελεί το χυτό επιτόπου σκυρόδεμα.

Στο σώμα της πρόπλακας είναι επίσης ενσωματωμένες αντίστοιχες «δικτυοδοκοί» (όπως και στα τοιχώματα) τοποθετημένες ανά αποστάσεις, με κατεύθυνση αυτήν της κύριας φέρουσας στατικής κατεύθυνσης της τελικής πλάκας (βλ. Σχ. 2).



Σχήμα 2. Εγκάρσια τομή πρόπλακας με χυτό επιτόπου σκυρόδεμα

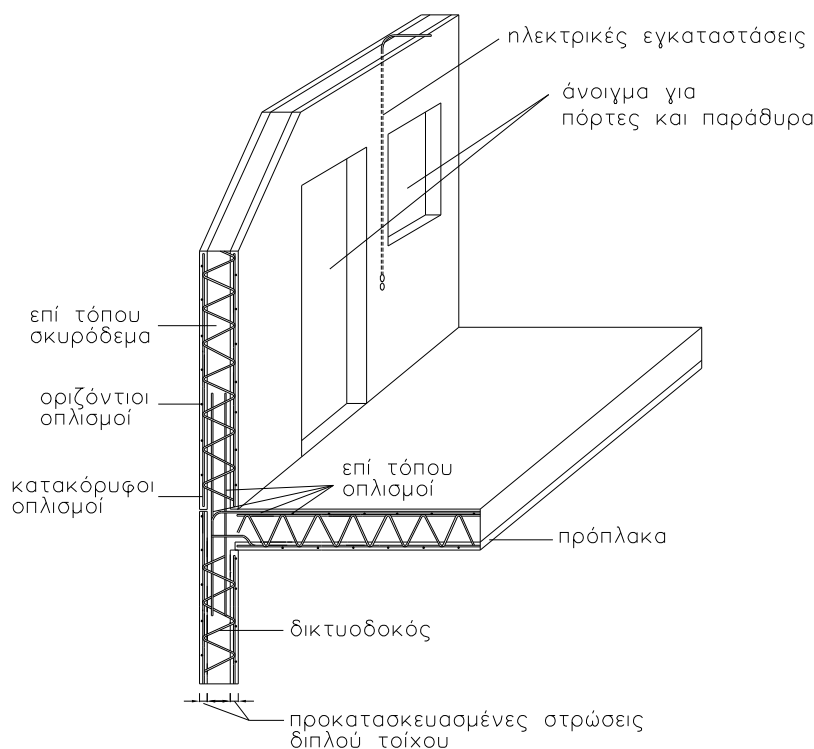
Οι «δικτυοδοκοί» στην πλάκα, πέραν της εξασφάλισης της συνεργασίας μεταξύ των δύο στρώσεων της πλάκας, συμβάλλουν ουσιαστικά στην ακαμψία της πρόπλακας κατά την φάση αναρτήσεώς της (απομάκρυνση από την τράπεζα παραγωγής και μεταφορά) καθώς και κατά την φάση σκυροδετήσεως του υπόλοιπου πάχους της τελικής πλάκας. Η τελική κάτω εμφανής επιφάνεια της πλάκας διαθέτει εξαιρετική επιπεδότητα και εμφάνιση, ενώ η εσωτερική είναι κατασκευασμένη επιτηδευμένα τραχεία για την εξασφάλιση της διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας μεταξύ προκατασκευασμένου και χυτού σκυροδέματος (πέραν της συμβολής των δικτυοδοκών – βλ. και § 4.β.ii).

δ) Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ποιοτικά η κατασκευαστική λογική του συστήματος.

Αρχικά τοποθετούνται στην θέση τους, μέσω κατάλληλου γερανού, τα τοιχώματα του κάτω ορόφου (με ή χωρίς ανοίγματα ανάλογα με την αρχιτεκτονική μελέτη) και συγκρατούνται στην τελική τους θέση με κατάλληλες πλευρικές αντηρίδες. Επί των τοιχωμάτων τοποθετούνται καταλλήλως οι πρόπλακες και εν συνεχεία τοποθετούνται οι πρόσθετοι οπλισμοί, στις πλάκες και στο σώμα των τοιχωμάτων.

Ανάλογα τώρα με το πάχος της πρόπλακας, τον τύπο της τελικής της λειτουργίας και το άνοιγμα της, προβλέπονται (ή όχι) και ένας ή δύο προσωρινοί πύργοι αντιστήριξης της πρόπλακας προς αποφυγή βελών κάμψεως. Ακολουθεί η τοποθέτηση όλων των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων σε κατάλληλες θέσεις στο κενό μεταξύ των κατακόρυφων τοιχωμάτων και επί της πρόπλακας όπως προβλέπεται από την αντίστοιχη μελέτη.

Πραγματοποιείται η επιτόπου σκυροδέτηση, επάνω στην πρόπλακα για την αποκατάσταση του τελικού της πάχους καθώς και στο κάτω τοίχωμα και μετά την σκλήρυνση του σκυροδέματος ακολουθείται η ίδια διαδικασία για τον επόμενο όροφο κ.ο.κ.



Σχήμα 3. Ποιοτική παράσταση κατασκευαστικής διαδικασίας

### 3. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΙΠΛΩΝ ΤΟΙΧΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΟΥΣ

Η δημιουργία τελικού φέροντος τοίχου, συντιθέμενου από το διπλό προκατασκευασμένο στοιχείο και την επιτόπου σκυροδέτηση επί τόπου του έργου του υπολοίπου του πάχους του (μεταξύ των δύο προκατασκευασμένων στρώσεων), προσφέρει πλεονεκτήματα σε σχέση με αντίστοιχους μονολιθικούς τοίχους παραδοσιακής κατασκευής ως ακολούθως :

#### 3.1. Συμπεριφορά έναντι μικρορρηγματώσεων

##### 3.1.1. Γενικά

α) Όπως είναι γνωστό σε δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα μικρής ηλικίας, αναπτύσσονται μικρορωγμές που επηρεάζουν τα στοιχεία αυτά στην φάση λειτουργίας τους και ίσως και την αντοχή τους στο χρόνο ανάλογα με τα μήκη και εύρη των ρωγμών αυτών.

Βασικές αιτίες για τέτοιες μικρορωγμές είναι επιβαλλόμενες παραμορφώσεις λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών, συστολών εκ ξηράνσεως και ερπυσμών (με την πάροδο του χρόνου).

Σε τοιχώματα με βάση τον διπλό προκατασκευασμένο τοίχο, οι παραμορφώσεις αυτές εκδηλώνονται ως τάσεις λόγω της παρεμποδίσεως τους. Οι εν λόγω τάσεις οφείλονται αφενός μεν στην διαφορετική κατανομή των θερμοκρασιών στα προκατασκευασμένα στοιχεία, στο χυτό επιτόπου σκυρόδεμα και την θεμελίωση του τοίχου, αφετέρου δε στην διαφορετική εξέλιξη των συστολών εκ ξηράνσεως στα προκατασκευασμένα και χυτά μέλη του τελικού τοιχώματος λόγω της διαφορετικής τους ηλικίας.

β) Η σκλήρυνση του σκυροδέματος, συνοδεύεται από έκλυση θερμοκρασίας, λόγω της ενυδάτωσης του τσιμέντου που εκκινά περί τις 2 έως 4 ώρες (χωρίς επιβραδυντή) μετά την ανάμειξη του μείγματος με το νερό. Η ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται λόγω της ενυδάτωσης του τσιμέντου μπορεί απλοποιημένα να εκφραστεί με την σχέση :

$$\bar{Q}_z(t) = \bar{Q}_z(\infty) \cdot e^{(a - t^b)}$$

όπου

$\bar{Q}_z(t)$  = η ποσότητα θερμότητας του τσιμέντου στον χρόνο, t

$\bar{Q}_z(\infty)$  = η ποσότητα θερμότητας του τσιμέντου στον χρόνο  $t = \infty$

a και b = συντελεστές προσαρμογής: -74.80 και -1.50 αντίστοιχα για τσιμέντο C32,5 με  $\bar{Q}_z(\infty) = 216[\text{J/g}]$

Η εκλύομενη τώρα ποσότητα θερμότητας του σκυροδέματος προκύπτει μετά από τον πολλαπλασιασμό της ποσότητας  $\bar{Q}_z(t)$  με την ποσότητα του τσιμέντου που περιέχεται σε ένα κυβικό μέτρο σκυροδέματος.

γ) Για την κατανομή της ως άνω θερμότητας σε ένα δομικό στοιχείο πρέπει να είναι γνωστά [4] :

- η εκπομπή θερμότητας (από ενυδάτωση, από ηλιακή ακτινοβολία κ.λπ.)
- η παρεμπόδιση διάδοσης της θερμότητας
- η αρχική θερμοκρασία του νωπού σκυροδέματος καθώς και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου κατά την σκυροδέτηση
- τα θερμικά χαρακτηριστικά των υλικών σκυροδέματος.

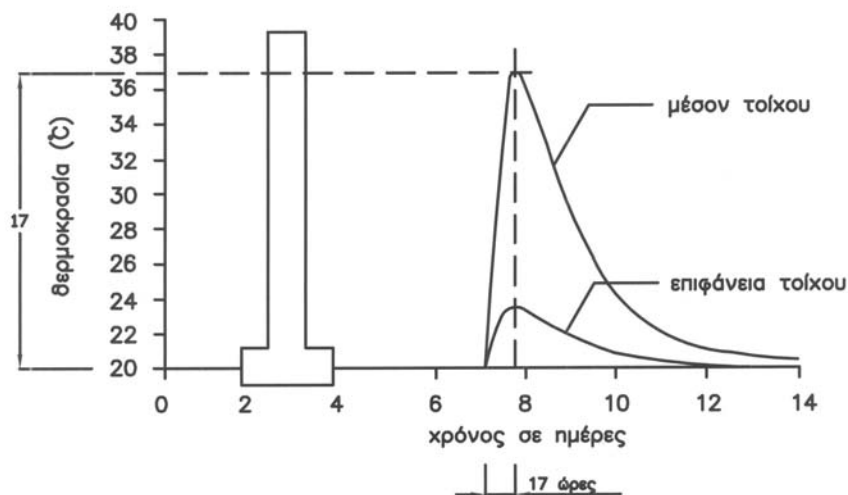
Εκτοτε μπορούν να εφαρμοσθούν οι γνωστές εξισώσεις (π.χ. διαφορική εξίσωση Fourier) όπως εφαρμόζονται π.χ. και για την διάδοση των ηλεκτρικών ρευμάτων, λαμβάνοντας υπόψη το ενεργειακό ισοζύγιο και την ποσότητα θερμότητας (ως ανωτέρω) που εκλύεται από το σκυρόδεμα.

δ) Εν τούτοις η ακριβής μεθοδολογία για την εκτίμηση των τάσεων-εντάσεων που προκαλούνται σε δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα λόγω της θερμοκρασίας που εκλύεται κατά την ενυδάτωση λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη και ερπυστικές επιρροές καθώς και εκ συστολής εκ ξηράνσεως, είναι παρά πολύ δύσκολη.

Παρά τούτα, μέσω ενδεδειγμένης έρευνας τόσο πειραματικής όσο και λογιστικής (μέσω πεπερασμένων στοιχείων) προκύπτουν με βάση την διεθνή βιβλιογραφία [1], [2], [3], [4], τα ακόλουθα συγκριτικά συμπεράσματα για μονολιθικά τοιχώματα και τοιχώματα με βάση τον προκατασκευασμένο δομικό τοίχο, με ίδια λοιπά χαρακτηριστικά τοίχου (πάχος = 24 cm, μήκος, ύψος, ποιότητα σκυροδέματος κ.λπ.).

### 3.1.2. Μονολιθικά τοιχώματα

Στο Σχήμα 4 φαίνεται η εξέλιξη με το χρόνο της θερμοκρασίας στο μέσο του τοίχου και στην εξωτερική του επιφάνεια. Η σκυροδέτηση του τοίχου πραγματοποιήθηκε σε χρόνο  $t = 7$  ημέρες μετά την σκυροδέτηση του θεμελίου του ( $t=0$ ). Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ήταν  $20^\circ \text{C}$ .

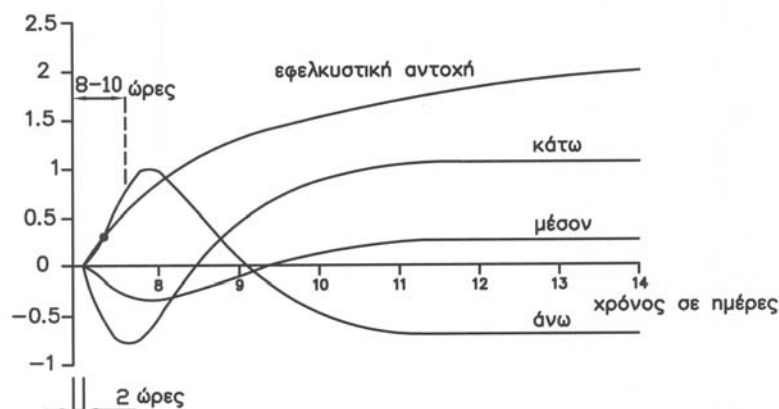


Σχήμα 4. Εξέλιξη της θερμοκρασίας στο μέσο και στην επιφάνεια μονολιθικού τοίχου

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα η μέγιστη θερμοκρασία του τοίχου αναπτύχθηκε περί τις 17 ώρες μετά την σκυροδέτηση του και ήταν περί τους  $37^{\circ}\text{C}$ . Δηλαδή λόγω της ενυδάτωσης ανέβηκε η θερμοκρασία του σκυροδέματος στο μέσο του τοίχου περί τους  $37-20 = 17^{\circ}\text{C}$ . Μετά 7 περίπου ημέρες η θερμοκρασία του τοίχου ήταν μόνο  $1^{\circ}\text{C}$  μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Στο Σχήμα 5 φαίνονται η εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος με τον χρόνο (μετά την σκυροδέτησή του) καθώς και οι αναπτυσσόμενες διαμήκειες τάσεις στο σκυροδέμα στο άνω τμήμα του, στο μέσον και στο κάτω τμήμα του.

Παρατηρείται ότι κίνδυνος ρηγματώσεως υπάρχει μόνο για το άνω τμήμα του τοίχου, περί τις 8÷10 ώρες μετά την σκυροδέτηση.



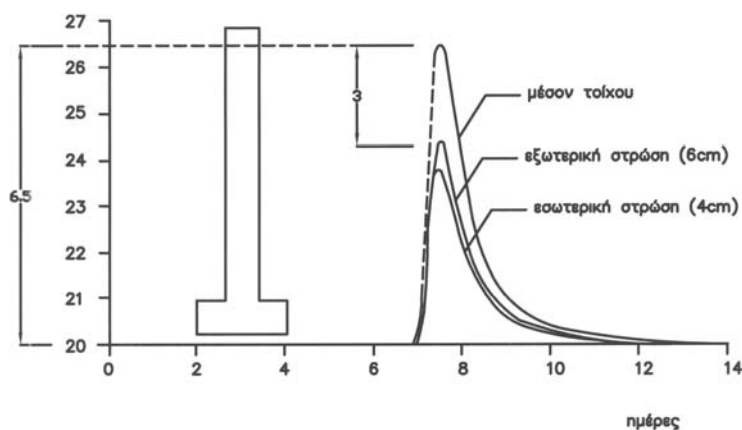
Σχήμα 5. Ανάπτυξη της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και των τάσεων εξαιτίας της θερμοκρασίας κατά την ενυδάτωση, καθώς επίσης λόγω ερπυσμών και συστολών εκ ξηράνσεως σε μονολιθικό τοίχο.

3.1.3. Τοιχώματα με βάση τον προκατασκευασμένο διπλό τοίχο, με δύο στρώσεις σκυροδέματος (6 cm και 4 cm) και χυτό επιτόπου σκυρόδεμα 14 cm (μεταξύ των δύο στρώσεων)

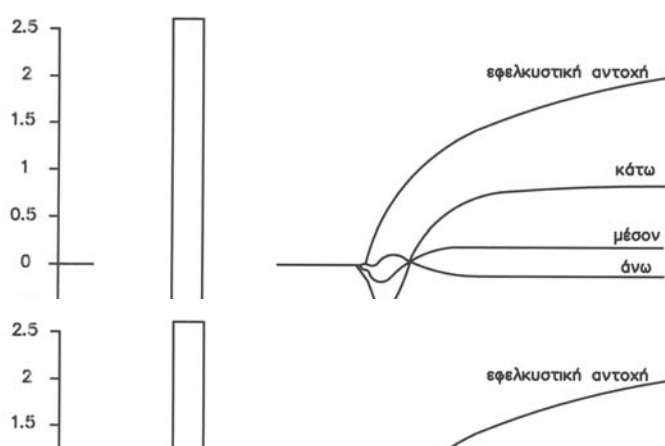
Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται για τοιχώματα από διπλό τοίχο η εξέλιξη της θερμοκρασίας με τον χρόνο στο χυτό σκυρόδεμα πλήρωσεως στο μέσο του τοίχου καθώς και στις δύο στρώσεις σκυροδέματος του προκατασκευασμένου διπλού τοίχου.

Στο Σχήμα 7, φαίνεται για τοίχωμα από διπλό τοίχο η εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος πλήρωσεως με το χρόνο, καθώς και η εξέλιξη των διαμήκων τάσεων στο άνω τμήμα, στο μέσον και στο κάτω τμήμα του τοίχου.

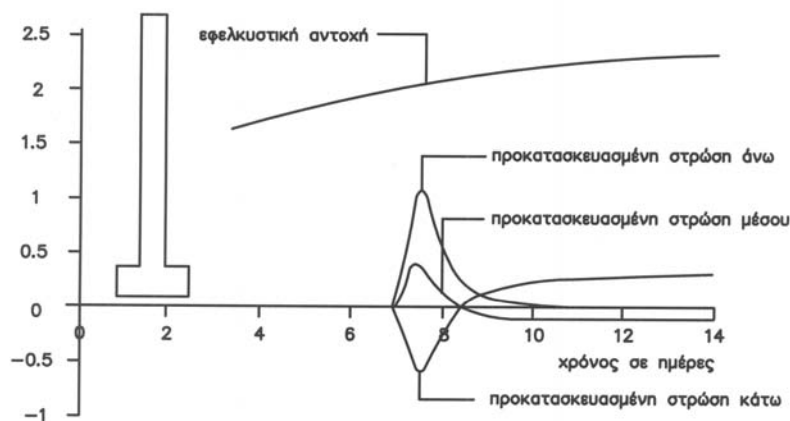
Στο Σχήμα 8 φαίνεται για τοιχώματα με διπλό τοίχο η εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής και των τάσεων (άνω, μέσον, κάτω τμήμα) του προκατασκευασμένου διπλού τοίχου.



Σχήμα 6. Εξέλιξη της θερμοκρασίας με τον χρόνο τοιχώματος με βάση το προκατασκευασμένο διπλό τοίχωμα συνολικού πάχους 24 cm. Το θεμέλιο του τοίχου σκυροδετήθηκε σε χρόνο  $t=0$ , ενώ το σκυρόδεμα πλήρωσεως του τοίχου σκυροδετήθηκε σε χρόνο  $t=7$  ημέρες.



Σχήμα 7. Εξέλιξη εφελκυστικής αντοχής και τάσεων στο σκυρόδεμα πλήρωσεως διπλού τοίχου, λόγω της θερμοκρασίας ενυδατώσεως του σκυροδέματος πλήρωσεως λαμβάνοντας υπόψη και την επιρροή του ερπυσμού και συστολής εκ ξηράνσεως.



Σχήμα 8. Εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής και των τάσεων στις προκατασκευασμένες στρώσεις του διπλού τοίχου εξαιτίας της θερμοκρασίας ενυδατώσεως λαμβάνοντας υπόψη και την επιρροή του ερπυσμού και συστολής ξηράνσεως.

### 3.1.4. Συγκρίσεις εκ των ως άνω αποτελεσμάτων (§ 3.1.2 και 3.1.3) για μονολιθικό τοίχωμα και τοίχωμα με βάση τον διπλό προκατασκευασμένο τοίχο.

α) Από τα Σχήματα 4 και 6 προκύπτει ότι στο μονολιθικό τοίχωμα η αύξηση της θερμοκρασίας ήταν περί τους  $17^{\circ}\text{C}$ , ενώ στο τοίχωμα από διπλό τοίχο η αύξηση της θερμοκρασίας ήταν μόνο περί τους  $6.6^{\circ}\text{C}$ .

Η σημαντικά μικρότερη αυτή αύξηση της θερμοκρασίας στο τοίχωμα από διπλό τοίχο σε σχέση με τον μονολιθικό, οδηγεί σε αντίστοιχα μικρότερες τάσεις, και αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα των τοιχωμάτων με διπλό τοίχο.

β) Το ως άνω πλεονέκτημα καθίσταται σαφές από την σύγκριση των Σχημάτων 5 και 7. Παρατηρείται δηλαδή ότι οι αναπτυσσόμενες τάσεις στο σκυρόδεμα πλήρωσης του τοιχώματος από διπλό τοίχο είναι σημαντικά μικρότερη από την παράλληλη αναπτυσσόμενη εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος πλήρωσεως, ενώ στον μονολιθικό τοίχο (Σχ. 5), τις πρώτες ώρες μετά την σκυροδέτηση υπάρχει περίπτωση ρηγματώσεως της πάνω περιοχής του ( $\sigma_{c,t} > f_{ct}$ ).

γ) Ίδια ως άνω ασφάλεια έναντι ρηγματώσεως στο τοίχωμα από διπλό τοίχο φαίνεται και στο Σχήμα 8.

Σημείωση :

Ως προς την ανάπτυξη τάσεων λόγω θερμοκρασίας υπενθυμίζονται τα εξής :

- Τις πρώτες ώρες μετά την σκυροδέτηση δεν παρατηρείται αξιόλογη αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος.
- Αμέσως μετά η θερμοκρασία αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς, με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να διαστέλλεται.
- Όταν αυτή η διαστολή του παρεμποδίζεται, τότε το σκυρόδεμα υπόκειται σε θλίψη.
- Τις πρώτες ώρες όμως το σκυρόδεμα ευρίσκεται ακόμη σε πλαστική φάση έτσι ώστε οι τάσεις αυτές να μην είναι αξιόλογες.
- Μετά περίπου 6 ώρες (από την σκυροδέτηση) στο σκυρόδεμα αναπτύσσονται μετρήσιμες θλιπτικές τάσεις οι οποίες εξελίσσονται με την αύξηση της θερμοκρασίας.



- Στην μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας, οι θλιπτικές αυτές τάσεις λαμβάνουν την μέγιστη τιμή τους.
- Έκτοτε η θερμοκρασία του σκυροδέματος αρχίζει να κατεβαίνει (η θερμοκρασία που εκλύεται από την ενυδάτωση είναι μικρότερη από αυτήν που διαχέεται). Με την κάθοδο της θερμοκρασίας το σκυρόδεμα συστέλλεται και παρεμποδιζόμενης αυτής της συστολής το σκυρόδεμα υπόκειται σε εφελκυστικές τάσεις.

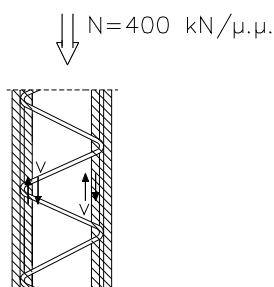
Παράλληλα όμως με τα ανωτέρω, με την πάροδο του χρόνου το σκυρόδεμα έχει συνεχή αύξηση θλιπτικής και αντίστοιχα εφελκυστικής αντοχής.

#### 4. ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

α) Το σύστημα κατασκευής τελικού τοίχου με χρήση του προκατασκευασμένου διπλού τοίχου και επιτόπου εγχυόμενου σκυροδέματος πληρώσεως, έχει περάσει όλους τους απαιτούμενους ελέγχους από αναγνωρισμένα εργαστήρια της Γερμανίας και έχει εγκριθεί.

β) Για πρακτικούς λόγους παρουσιάζεται εδώ στοιχειώδη εκτίμηση μονολιθικής συμπεριφοράς.

Έστω εσωτερικό τοίχωμα 6/15/6 3m ύψος με C=20/25 5-όροφης κατασκευής από τοιχώματα και έστω ότι το κάτω τοίχωμα φορτίζεται με αξονικό φορτίο  $N_d \cong 400 \text{ kN/μ.μ.}$  (βλ. Σχ. 9). Οι δύο στρώσεις του διπλού τοίχου συνδέονται μεταξύ τους με δικτυοδοκούς (βλ. § 2α) ανά 50 cm με διαμήκεις ράβδους Φ8 και διαγώνιες Φ5.



Σχήμα 9

i. Δράσεις στην διεπιφάνεια προκατασκευασμένου και χυτού σκυροδέματος πληρώσεως

Με την χονδροειδή παραδοχή ότι η μεταφορά της δύναμης  $N$  στα επιμέρους τμήματα του τοίχου είναι ανάλογη με τα πάχη των στρωμάτων, προκύπτει  $V_d \cong 23 \text{ kN/m}$ .

Υπό αυτά τα δεδομένα η διατμητική τάση σε κάθε διεπιφάνεια μεταξύ προκατασκευασμένου και χυτού τμήματος του τοίχου είναι  $\tau_{jd} \cong 8 \text{ kN/m}^2 = 0.008 \text{ MPa}$ .

ii. Αντοχή διεπιφάνειας

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Προκατασκευής, η αντοχή της διεπιφάνειας υπό διατμητική δράση προκύπτει από την σχέση :

$$\tau_{Rdj} = k_T \cdot \tau_{Rd} + \mu \cdot \sigma_N + \mu \cdot \rho \cdot f_{syd} \leq 0.5 \text{ v } f_{cd}$$

όπου

$k_T$  = συντελεστής που προσδιορίζει την τραχύτητα της διεπιφάνειας (λαμβάνεται  $k_T = 1.4$  εδώ υπέρ της ασφαλείας)

$\tau_{Rd}$  = διατμητική αντοχή σκυροδέματος (0.26 MPa)

$\mu$  = συντελεστής τριβής (λαμβάνεται  $\mu = 0.5$  εδώ υπέρ της ασφαλείας)

$A_s = 5 \cdot 0.196 \cdot 2 = 1.96 \text{ cm}^2$

$A_j = 100 \cdot 300 = 3 \cdot 10^4$

$\rho = A_s/A_j = 1.96 / (3 \cdot 10^4) = 0.065 \cdot 10^{-3}$

$f_{syd} = 500 : 1.15 = 434 \text{ MPa}$

$\sigma_N = 0$

Έτσι προκύπτει :  $\tau_{Rdj} = 1.4 \cdot 0.26 + 0.5 \cdot 0.065 \cdot 10^{-3} \cdot 434 = 0.378 \text{ MPa}$

Θεωρώντας τώρα την γενική σχέση (B3) της § B.2.2 του Ελληνικού Κανονισμού Προκατασκευής :

$$R_{pd} = \frac{R_d}{\gamma_{Rd} \gamma_{cycl}}$$

προκύπτει :

$$\tau_{Rdj} = \frac{0.375}{1.2 \cdot 1.2} = 0.26 \text{ MPa}$$

με  $\gamma_{Rd} = 1.2$  και  $\gamma_{cycl} = 1.2$

ή  $0.26 > 0.008$  υπό δυσμενέστερες συνθήκες.

Η ως άνω εκτίμηση, όσο και χονδροειδής και αντιεπισημονική που ίσως είναι (για τις δράσεις), δείχνει όμως την πλήρη μονολιθικότητα του τελικού τοίχου.

Σημείωση

Και αν ακόμη ληφθεί ο συντελεστής  $k_T = 0$  και πάλι θεωρώντας μόνο την συμμετοχή των δικτυοδοκών στην ανάληψη όλων των διατμητικών τάσεων, επίσης προκύπτει ότι :

$\tau_{Rdj} (=0.014) > \tau_{jd} (=0.008)$ , για  $q=1.5$  (βλ. § 7.1.β) ή  $\tau_{Rdj} (=0.0097) > \tau_{jd} (=0.008)$  για  $q=3.0$ .

## 5. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### α) Παραγωγική διαδικασία

Κατά κανόνα πραγματοποιείται αυτόματα με εντολή μέσω λογισμικού στον κεντρικό επεξεργαστή της μονάδας παραγωγής, το οποίο επεξεργάζεται το αρχικό αρχιτεκτονικό σχέδιο, κάνει κατάτμηση των δομικών στοιχείων (τοιχεία, πλάκες κ.τ.λ.) και κατανέμει αυτά σε μήτρες (καλούπια) κατά τρόπο τέτοιο ώστε να επιτευχθεί η παραγωγή αυτών στον ελάχιστο χρόνο και με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Όλη η παραγωγική διαδικασία πραγματοποιείται με την αυτόματη και ταυτόχρονη μετακίνηση των καλουπιών στις διαδοχικές θέσεις εργασίας. Μετά την όπλιση ελέγχονται οι οπλισμοί με χρήση Laser και ακολούθως πραγματοποιείται αυτόματα και επακριβώς η σκυροδέτηση μέσω εντολών του κεντρικού συστήματος αυτοματισμού. Ακολουθούν αυτόματα η δόνηση, η τεχνική ωρίμανση του διπλού τοίχου με διπλή κυκλική διαδικασία και η αφαίρεση των καλουπιών.

β) Γεωμετρικά δεδομένα

i) Διαστάσεις διατομής τοίχων

Μπορούν να παραχθούν σε κάθε επιθυμητή διάσταση, ώστε ο τελικός τοίχος να έχει διατομή  $20 \div 40$  cm.

ii) Πάχη στρώσεων

Μπορούν να είναι διαφορετικά το ένα από το άλλο και παράγονται κατά κανόνα με πάχη  $5 \div 7$  cm.

iii) Άλλες γεωμετρικές διαστάσεις

Κατά κανόνα οι μέγιστες διαστάσεις επιβάλλονται για λόγους μεταφοράς.

Ως μέγιστες διαστάσεις επιφανείας για τους ως άνω λόγους μπορούν να θεωρηθούν : ύψος 3.0 m, μήκος 7,5 m.

## 6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η τεχνολογία των διπλών τοίχων μπορεί να έχει πολλαπλές εφαρμογές :

α) Είτε ως ενιαίο αυτοδύναμο σύστημα κατασκευής κτιρίων.

β) Είτε ως ένταξη μεμονωμένων στοιχείων σε μονολιθικές κατασκευές όπως π.χ. για κατασκευή :

- τοιχωμάτων, ιδίως δε υπόγειων χώρων
- πατωμάτων
- κλιμακοστασίων
- διαχωριστικών τοίχων
- τοίχων αντιστήριξης
- πυροδιαμερισμάτων (πυράντοχων τοίχων)
- υψίκορμων δοκών ή τοιχείων κ.λπ.

## 7. ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ [ΕΚΩΣ, ΕΑΚ, ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ]

### 7.1. Γενικά

α) Θέματα Ανάλυσης

Από την δομή του συστήματος κατά την οποία όλα σχεδόν τα κατακόρυφα μέλη του δομήματος αποτελούνται από φέροντα τοιχώματα, για την Ανάλυση θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα προσομοιώματα.

Διαφαίνεται ότι η προσομοίωση μέσω της χρήσης της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι πλέον πρόσφορος για την ορθότερη προσομοίωση και εκτίμηση των εντατικών μεγεθών που δρουν τόσο στις συνδέσεις (οριζοντίως και κατακορύφως) μεταξύ των τοιχωμάτων – πλακών όσο και στις περιοχές των ανοιγμάτων (πόρτες, παράθυρα) των τοιχωμάτων.

## β) Θέματα Διαστασιολόγησης

- Γενικά ισχύουν οι περί κατασκευών από μονολιθικά τοιχώματα διατάξεις του ΕΩΚ και ΕΑΚ.
- Στην συγκεκριμένη περίπτωση του εν λόγω συστήματος κατά την οποία όλα σχεδόν τα κατακόρυφα μέλη της κατασκευής αποτελούνται από φέροντα τοιχώματα ο δείκτης σεισμικής συμπεριφοράς θα πρέπει να λαμβάνεται το πολύ  $q = 3.0$  υπό την προϋπόθεση ότι τηρούνται όλοι οι κανόνες περί κρίσιμων περιοχών – περισφίξεων – ικανοτικός έλεγχος και παρόμοια, οι οποίοι όμως οδηγούν σε δυσχέρειες κατασκευής και οπλίσεως.
- Συνιστάται λοιπόν τέτοιου τύπου κατασκευές να σχεδιάζονται με δείκτη σεισμικής συμπεριφοράς  $q=1.5$  οπότε σύμφωνα με την § 4.1.4 [5] του ΕΑΚ δεν απαιτούνται ικανοτικοί έλεγχοι για την εξασφάλιση ελαστοπλαστικού μηχανισμού του φορέα, καθώς επίσης δεν απαιτούνται και οι αντίστοιχοι κανόνες εφαρμογής της § 4.15 του παραρτήματος Β του ΕΑΚ που εξασφαλίζουν την υπεραντοχή των τμημάτων του φορέα που προορίζονται να παραμείνουν στην ελαστική περιοχή, την αποφυγή ψαθυρών μορφών αστοχίας, καθώς και την επαρκή τοπική πλαστιμότητα στις θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων διαμέσου κατασκευαστικών απαιτήσεων όπως η περισφίξη των υποστυλωμάτων κ.α. Δεν απαιτούνται επίσης να εφαρμόζονται οι έλεγχοι για «φύσει» ή «θέση» κοντά υποστυλώματα σύμφωνα με την § 18.4.9 του ΕΚΩΣ 2000.

## Σημείωση

Η μικρή αυτή τιμή  $q=1.5$  που συνιστάται εδώ αν και αυξάνει τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού, κατά κανόνα δεν οδηγεί σε αντικοινομικές λύσεις αφού εκ της λογικής του συστήματος διατίθεται πολύ καλή κατανομή και κυρίως υπερεπάρκεια αναλήψεως και μεταφοράς των σεισμικών δράσεων.

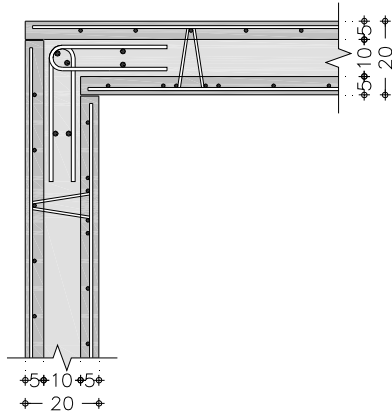
γ) Σε ότι αφορά τις διατάξεις του Ελληνικού Κανονισμού Προκατασκευής αυτοί εφαρμόζονται κυρίως σε θέματα παραγωγής, μεταφοράς και συναρμολόγησης των προκατασκευασμένων διπλών τοίχων.

## 7.2. Μερικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες με εφαρμογή των Ελληνικών Κανονισμών

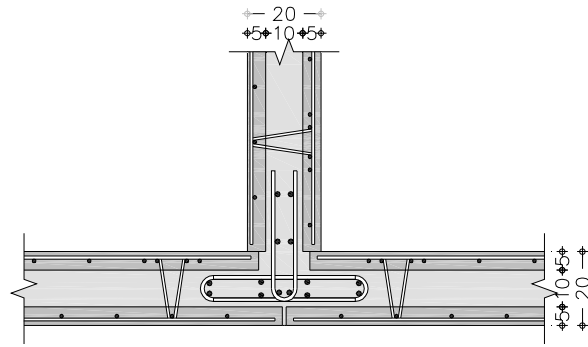
α) Στα πλαίσια της αναγνώρισης του συστήματος και τον σχεδιασμό με βάση τους Ελληνικούς Κανονισμούς οι συντάκτες αυτής εδώ της εργασίας σχεδίασαν συνήθη λογική κάτοψη 3-ορόφου κτιρίου. Διέταξαν κατάλληλα τα τοιχώματα εσωτερικά του κτιρίου και για τα εξωτερικά τοιχώματα επέλεξαν μεγάλα ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα) επ' αυτών (επί το δυσμενέστερον).

Κατά τους υπολογισμούς χρησιμοποίησαν  $A=0.36g$ ,  $q=1.5$  και  $C=20/25$  (επί το δυσμενέστερον).

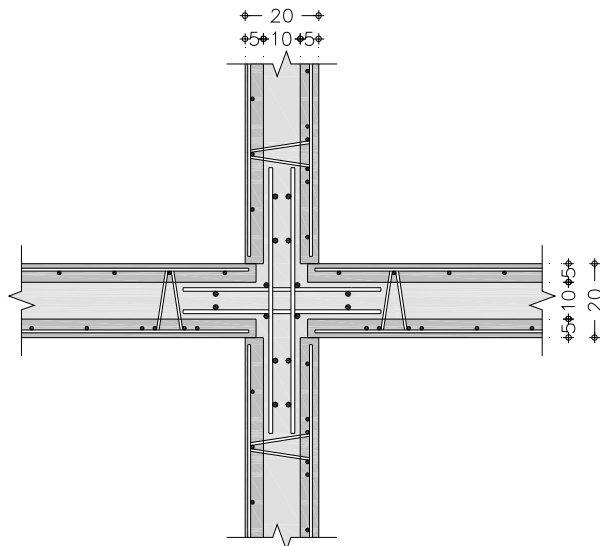
β) Στα Σχήματα 10 και 11 που ακολουθούν φαίνονται ποιοτικά η πρόσθετη επιτόπου του έργου όπλιση σε μερικές συνδέσεις των τοιχωμάτων μεταξύ τους καθώς και με τις πλάκες και την θεμελίωση.



Οριζόντια Τομή  
Σύνδεση τοιχωμάτων  
υπό γωνία

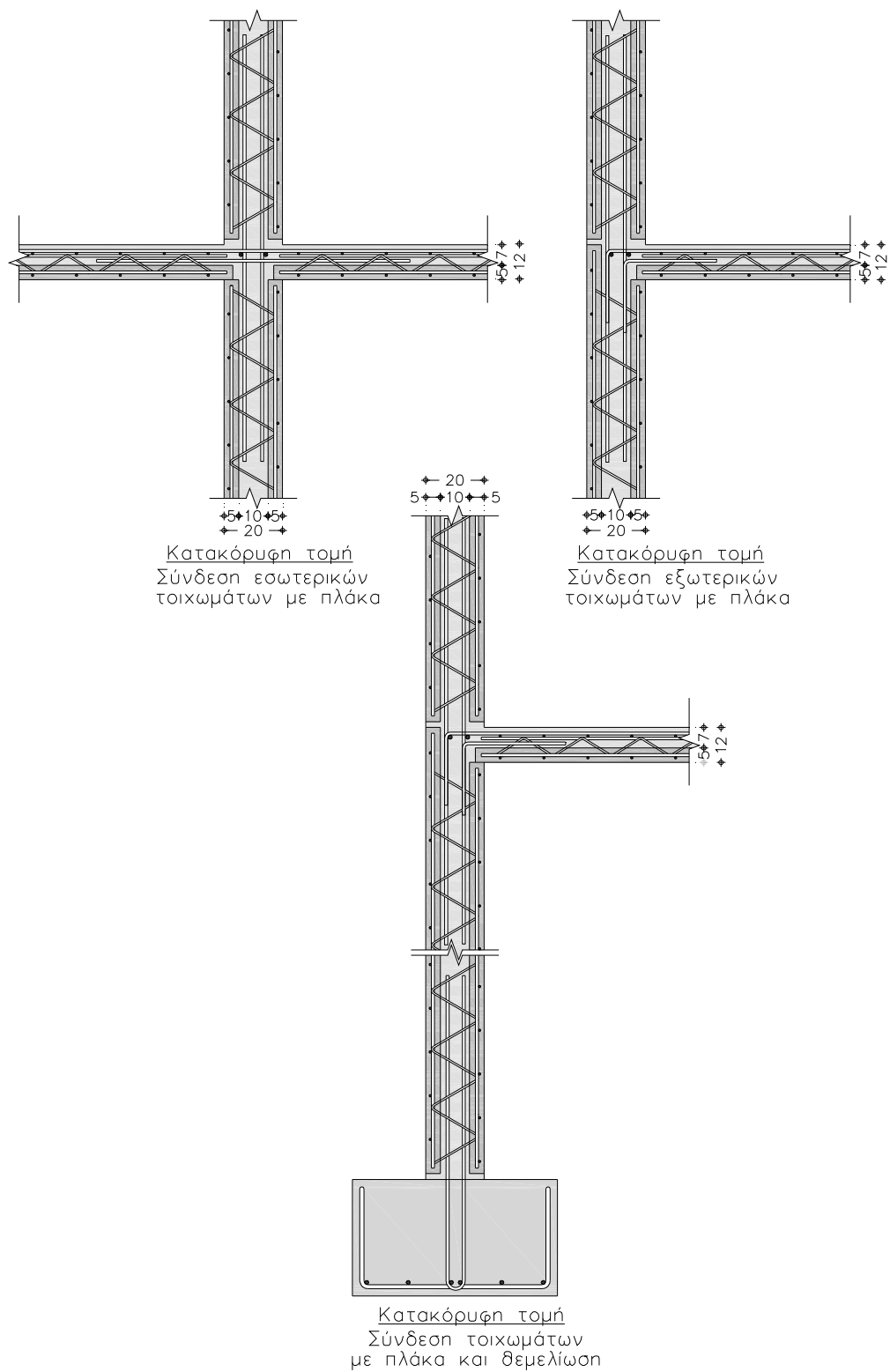


Οριζόντια Τομή  
Σύνδεση τοιχωμάτων  
μορφής T



Οριζόντια Τομή  
Σύνδεση τοιχωμάτων  
μορφής σταυρού

Σχήμα 10



Σχήμα 11

## 8. ΠΡΩΤΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

- Πρόκειται περί απλού και σύγχρονου συστήματος.
- Εκ της δομής του :
  - Παρέχεται η μεγαλύτερη δυνατή προστασία έναντι σεισμικών δράσεων λόγω της μονολιθικότητας των συνδέσεων και της υπεραντοχής των φερόντων στοιχείων.
  - Εξασφαλίζεται ταχύτητα παραγωγής.
  - Διατίθεται σταθερή και ηλεγμένη εργοστασιακή ποιότητα όπου λόγω της υπερσύγχρονης τεχνολογίας παραγωγής των τοιχωμάτων περιορίζεται στο ελάχιστο το ανθρώπινο λάθος, επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ακρίβεια διαστάσεων και διασφαλίζεται η ποιότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών.
  - Εξασφαλίζεται μείωση του χρόνου κατασκευής και παράδοσης του έργου.
  - Παρέχεται ευελιξία σε διάφορες φάσεις του έργου π.χ.
    - στην εργοστασιακή ενσωμάτωση κασών κουφωμάτων και παρόμοια
    - στην υλοποίηση Η/Μ εγκαταστάσεων (τίθενται στα κενά μεταξύ των στρώσεων του διπλού τοίχου)
    - στην διαμόρφωση και διάταξη χώρων κ.λπ.
    - στην μεταφορά των προκατασκευασμένων στοιχείων τα οποία είναι ελαφρύτερα από αντίστοιχα προκατασκευασμένα στοιχεία ίδιων διαστάσεων άλλης τεχνολογίας
  - Άψογο αισθητικό αποτέλεσμα, κ.λπ.

## 9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (που χρησιμοποιήθηκε)

1. Betonkalender, 2006.
2. Trost, H., 1967, Auswirkungen des Superpositionsprinzips auf Kriech – und Relaxationsprobleme bei Beton und Spannbeton. Beton – und Stahlbetonbau 63, S 230-238 und 261-269.
3. Paas, U., 1998, Mindestbewehrung für verformungsbehinderte Betonbauteile im jungen Alter. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 489, Beuth, Berlin.
4. Kerkeni, N., Hegger, J., Kahmer, H., 2002, Mindestbewehrung in weißen Wannen aus Doppelwänden. Beton-und Stahlbetonbau, Heft 1, Ernst & Sohn, Berlin.
5. Syspopart, die tragende Qualitätswand, 1997, Syspro-Gruppe Betonhbauteile e.v., Hockenheim.
6. Εσωτερικά δεδομένα της εταιρείας «KAIZER OMNIA», Α.Παπαϊκονόμου, Β. Σοφίας 86, Αθήνα.
7. Εσωτερικά δεδομένα της εταιρείας «ΤΑΧΥΔΟΜΗ Α.Ε.», Βιομηχανία ταχείας δόμησης κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, Ε. Λεδάκης, Παζινός – Ακρωτηρίου 73100 Χανιά Κρήτη.
8. Εσωτερικά δεδομένα της εταιρείας «ΑΡΜΟΣ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ Α.Ε.», Γ. Ωρολογόπουλος, 4<sup>ο</sup> χλμ. Εθνικής οδού Λάρισας – Συκουρίου, Τ.Θ.1669, Τ.Κ. 41002, Λάρισα.