

Οικοδόμηση Με Μεταλλικές Διατομές  
Ψυχρής Διαμόρφωσης

## ΣΥΝΤΟΜΟ ΤΕΧΝΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΨΥΧΡΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Βουτσελάς Αθανάσιος  
Μηχανολόγος-Ηλεκτρολόγος Μηχανικός  
Μέλος Τ.Ε.Ε

### Γενικά :

Οι οικοδομές που κατασκευάζονται με τη μέθοδο των μεταλλικών διατομών ψυχρής διαμόρφωσης χαρακτηρίζονται από μεταλόφυτο ενιαίου κελύφους-πλαϊσίου. Το μεταλλικό δικτυωτό πλαίσιο είναι φορέας που περιλαμβάνει τα φορτία και τα μεταφέρει σε θεμελίωση.

Το μεταλλικό πλαίσιο σχηματίζει τους τείχους και τις πλάκες του κτηρίου (εικόνα 1). Αποτελείται από πάρα πολλές μεταλλικές κολόνες τοποθετημένες σε πυκνή σειρά. Η σκεπή της οικοδομής, σχηματίζεται από δικτυώματα λεπτών μεταλλικών δοκών, όπως από χοντρές μεταλλικές δοκούς σχηματίζονται τα δικτυώματα που στηρίζουν τις πλατφόρμες στις γέφυρες. Τα πατώματα των οροφών, σχηματίζονται από πυκνό κάναβο μεταλλικών δοκών, που λειτουργούν όπως τα ξύλινα δοκάρια που στήριζαν τις σανίδες του πατώματος στα παλιά πέτρινα σπίτια. Ο μεταλλικός αυτός σκελετός, ντύνεται εξωτερικά και εσωτερικά



Εικόνα 1: Εσωτερικό βίλας με αρχιτεκτονική κλιμακωτής οροφής

με διαφραγματικά υλικά (τσιμεντοσανίδες, OSB κλπ), τα οποία δημιουργούν και την αναγνωρίσιμη τελική επιφάνεια τοιχοποιίας.

Χαρακτηριστικό αυτής της κατασκευής είναι ότι οι κολόνες αποτελούν μέρος του τοίχου και κρύβονται μέσα σε αυτόν. Δεν προεξέχουν της τοιχοποιίας όπως συμβαίνει συχνά σε ένα κτήριο από σκυρόδεμα. Κατά τον ίδιο τρόπο, τα δοκάρια αποτελούν μέρος του πατώματος, εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις με ιδιαίτερο αρχιτεκτονικό σχέδιο, όπου το κόστος απόκρυψης των δοκαριών είναι απαγορευτικό.

Η συνολική κατασκευή μοιάζει με τη κατασκευή των ξύλινων σπιτιών των ΗΠΑ και παλαιότερα της Βόρειας Ευρώπης. Η μέθοδος

κατασκευής με μεταλλικές διατομές ψυχρής έλασης, αποτελεί ουσιαστικά εξέλιξη των κατασκευών αυτών.

Μια βασική διαφορά της μεθόδου σε σχέση με τα κτήρια σκελετού από ενισχυμένο σκυρόδεμα, έγκειται στο πλήθος των ορθοστατών-κολόνων που μεταφέρουν τα κατακόρυφα φορτία και το συνολικό βάρος της κατασκευής. Ένα κτήριο από διατομές ψυχρής διαμόρφωσης, διαστάσεων

ορόφου 10x10 μέτρα, έχει σε κάθε όροφο τουλάχιστον 70 κολόνες-ορθοστάτες (μια ανά 0,6 μέτρα τοίχου και περισσότερες στις γωνίες και κάτω από δοκάρια), ενώ ξυλότυπος αντίστοιχης κατασκευής θα σχεδιαζόταν με περίπου 11 κολόνες.

Επίσης, το βάρος μιας ολοκληρωμένης τυπικής κατοικίας από μεταλλικές διατομές ψυχρής έλασης, με κεραμίδια στην σκεπή, μπετά κλίσεων και πλακάκια σε όλα δάπεδα κλπ, δεν ξεπερνά τα 360 κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο, με αποτέλεσμα να μην απαιτείται μεγάλη διατομή των ορθοστατών.

Η μειωμένη μάζα του κτηρίου, έχει επίσης ως αποτέλεσμα μικρότερες φορτίσεις κατά το σεισμό. Μόνο ο σκελετός σκυροδέματος ενός συμβατικού κτηρίου 160τμ ζυγίζει περίπου 30 τόνους περισσότερο από ολόκληρο το μεταλλικό κτήριο με τις επικαλύψεις, τα πλακάκια, τη κεραμοσκεπή του κλπ. Σημειώνεται ότι στον υπολογισμό αυτό γίνεται η υπόθεση ότι τα δυο κτήρια έχουν την ίδια θεμελίωση από σκυρόδεμα, παρόλο που για το μεταλλικό κτήριο απαιτούνται κατά κανόνα λιγότερα κ.μ. σκυροδέματος σε πεδιλοδοκούς κλπ. Αποτέλεσμα του ότι οι όροφοι του μεταλλικού κτηρίου είναι περίπου 52% ελαφρύτεροι από το αντίστοιχο συμβατικό, είναι να προκύπτουν πολύ μικρότερες φορτίσεις από την επιτάχυνση των μαζών που προκαλεί ο σεισμός.



Εικόνα 2: Κατασκευή μεταλλικού σκελετού βίλας στο Ναύπλιο

### Μεταφορά Φορτίων:

Τα στατικά φορτία του κτηρίου που δημιουργούνται από το ίδιο βάρος του μεταλλικού σκελετού, των υλικών τοιχοποιίας κλπ, αλλά και τα δυναμικά φορτία του ανέμου κλπ, μοιράζονται σε όλες τις κολόνες του κτηρίου. Το βάρος από το χιόνι και τα υλικά επικάλυψης της σκεπής, μοιράζεται σε όλες τις τεγίδες των δικτυωμάτων της σκεπής, που "τρέχουν" κάτω από τα υλικά επικάλυψης και στηρίζουν τη σκεπή ανά 60 εκατοστά. Ο κορφιάς στηρίζεται στη κορυφή των τριγώνων που σχηματίζουν οι τεγίδες της σκεπής, και σε κάθε σημείο σύνδεσης κορφιά με τεγίδα (δηλαδή ανά 60 εκατοστά) υπάρχει μεταλλική κολόνα που μεταφέρει τα φορτία από τον κορφιά στην οριζόντια αντηρίδα-ελκυστή. Κολόνες και χιαστά που συνδέουν τις τεγίδες με τα οριζόντια δοκάρια-αντηρίδες της σκεπής, τοποθετούνται ανά λίγα εκατοστά κατά μήκος όλης της τεγίδας, ανάλογα με τη φόρτιση που θα λάβει η κατασκευή.

Έτσι τα στατικά και δυναμικά φορτία της στέγης μεταφέρονται ως κατακόρυφα η οριζόντια φορτία στις άκρες των τριγώνων των τεγίδων. Κάθε τρίγωνο πατεί πάνω σε κολόνα του τοίχου, μεταφέροντας σε αυτή τις φορτίσεις. Ένα σύνολο μεταλλικών χιαστών επί της κεκλιμένης σκεπής και της επίπεδης επιφάνειας που ορίζουν οι ελκυστήρες, προσδίδει ακαμψία στο σύστημα της στέγης.



Εικόνα 3: Δικτύωμα τυπικής σκεπής



Εικόνα 4: Προσθήκη ορόφου με κεκλιμένη στέγη

Το συνολικό βάρος μιας σκεπής 5x15 μέτρων, μοιράζεται με τη διαδικασία αυτή σε τουλάχιστον 50 μεταλλικές κολόνες στους τοίχους που 'πατάνε' τα ψαλίδια της σκεπής. Ταυτόχρονα, το βάρος αυτό είναι σημαντικά μικρότερο από το βάρος μιας ίδιας σκεπής κατασκευασμένης από σκυρόδεμα.



Εικόνα 5: Εσωτερική τοιχοποιία

Οι μεταλλικές κολόνες των τοίχων, "πατάνε" πάνω στα δοκάρια του πατώματος και όπου "πατάει" κολόνα, στο κάτω μέρος του δοκαριού ξεκινά νέα κολόνα που μεταφέρει τα φορτία στη θεμελίωση.

Σε όποια σημεία υπάρχει παράθυρο ή πόρτα που διακόπτει τις κολόνες του τοίχου, κατασκευάζονται ισχυρά δοκάρια πάνω από το άνοιγμα, και πολλές πυκνές κολόνες δεξιά και αριστερά του ανοίγματος, που παραλαμβάνουν φορτία από το δοκάρι.

Ανάλογα με το αρχιτεκτονικό σχέδιο, πιθανότατα να κατασκευαστούν και άλλα σημεία με ενισχυμένα δοκάρια και κολόνες, κάτω από την κορυφή του κορφιά για παράδειγμα, ξεκινάει κολόνα που καταλήγει σε ενισχυμένο οριζόντιο δοκάρι. Το δοκάρι αυτό πατάει πάνω στους δυο εξωτερικούς τοίχους, όπως πατάγανε τα δοκάρια των παλιών πέτρινων σπιτιών στους εξωτερικούς πέτρινους τοίχους. Στο σημείο που πατά το δοκάρι, ο τοίχος κρύβει μέσα του πολλές κολόνες

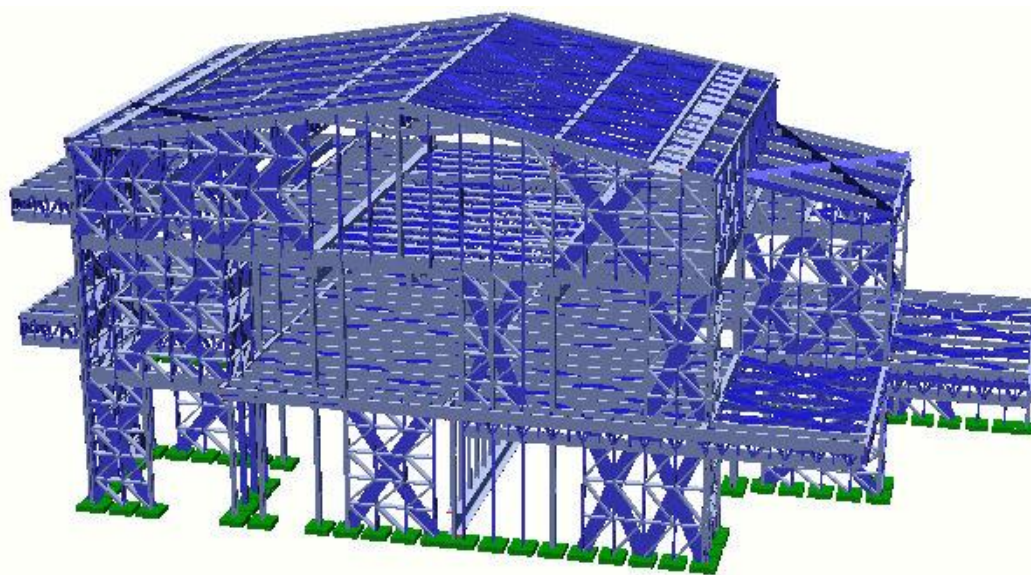
πακτωμένες ή σε ένα ενιαίο σύνολο ενισχυμένης κολόνας (σύνθετη διατομή).



Εικόνα 8: Στήριξη δοκών πατώματος



Εικόνα 7: Σύμμεικτη κατασκευή με ξύλινη σκεπή

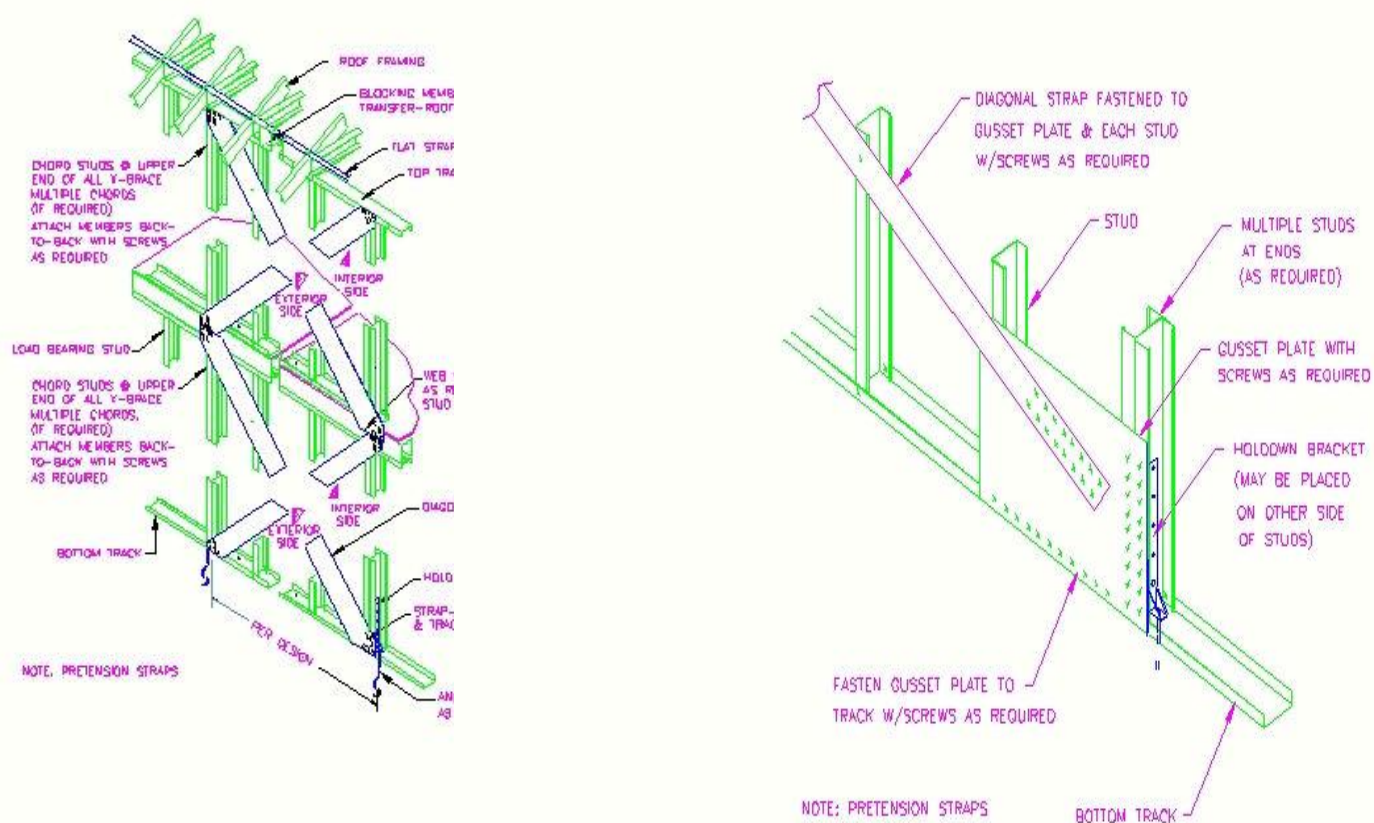


Εικόνα 6: Τρισδιάστατο στατικό μοντέλο "πανωσηκώματος" τριών ορόφων

### Σύνδεσμοι και χιαστά:

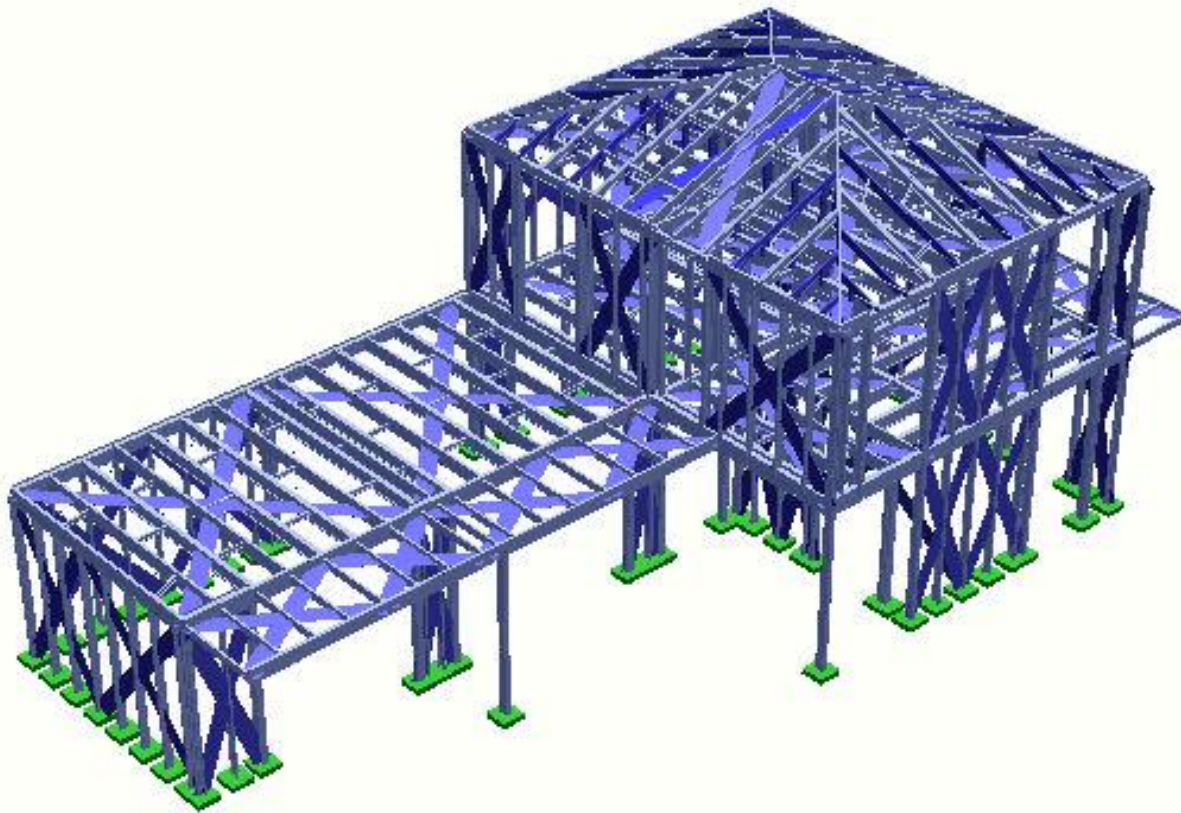
Όλοι οι σύνδεσμοι γίνονται με βίδες. Σε ένα τυπικό αρχιτεκτονικό σχέδιο, τα μεταλλικά στοιχεία μεταφέρουν τα κάθετα φορτία πατώντας μέταλλο πάνω σε μέταλλο, με αποτέλεσμα να μην μεταφέρονται κάθετα φορτία(βάρος) μέσω βιδών. Οι βίδες καταπονούνται μόνο στα μικρότερης έντασης οριζόντια φορτία, και σε περίπτωση σεισμού, οι εκατοντάδες κολόνες και τελικά στις αγκυρώσεις της θεμελίωσης.

Κατά τη μελέτη του κτηρίου σχεδιάζεται τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο εξετάζεται σε καταπονήσεις σεισμικές, άνεμου, κλπ, καθώς και στους δυσμενέστερους συνδέσμους αυτών. Με βάση την τρισδιάστατη προσομοίωση των καταπονήσεων, γίνεται έλεγχος των συνδέσμων σε όλες τις περιπτώσεις (αξονικού εφελκυσμού εξόλκευσης, διατμητικής φόρτισης αστοχίας, σύνθλιψης των μεταλλικών ελασμάτων κλπ).



Εικόνα 9: Λεπτομέρειες συνδέσμων

Το μεγάλο πλήθος των κρυμμένων στους τοίχους κολονών, έχει ως αποτέλεσμα το κτήριο να μην καταρρέει καταστροφικά, ακόμα και στην περίπτωση αστοχίας. Περιγράφοντας απλουστευμένα τη διαδικασία, σε περίπτωση στατικής αστοχίας ενός συμβατικού κτηρίου από σκυρόδεμα, παρατηρείται πλήρη θραύση του σκυροδέματος στους συνδέσμους ή στις κολόνες, ειδικά εάν αυτές καταπονηθούν εφελκυστικά. Μετά τη θραύση του σκυροδέματος, τη καθολική κατάρρευση των τόνων μπετού εμποδίζουν μόνο οι βέργες του οπλισμού των κολόνων να μη «γλιστρήσει» και «φύγει» από το κάτω κομμάτι που το στηρίζει. Εάν η απορρόφηση ενέργειας από την παραμόρφωση του οπλισμού δεν είναι αρκετή, οι «μπετόβεργες» θα φτάσουν στο όριο διαρροής τους και οι τόνοι μπετόν των οροφών θα καταρρεύσουν τους υποκείμενους χώρους.



Εικόνα 10: Μοντέλο προσθήκης δύο ορόφων

Αντιθέτως, στην απίθανη περίπτωση όπου ένα κτήριο από μεταλλικές διατομές ψυχρής έλασης φορτιστεί πέραν του υπερβολικού και η φόρτιση είναι τόσο μεγάλη ώστε το κτήριο να «αστοχήσει», ο μεταλλικός σκελετός αρχικά θα παραμορφωθεί, χωρίς να καταρρεύσει τελείως. Απλουστεύοντας, θα μπορούσε κάποιος να περιγράψει ότι κάποιο τμήμα του κτηρίου θα «στραβώσει» και θα «τσαλακωθεί» ραγίζοντας πλακάκια, μαρμαροποδιές κλπ, αλλά δεν θα καταρρεύσουν οι όροφοι. Αυτό οφείλεται στο ότι όταν θα αστοχήσουν κάποιες κολόνες, αυτές θα παραμορφωθούν και το φορτίο τους θα μεταφερθεί στις υπόλοιπες κολόνες. Όλες οι εκατοντάδες κολόνες και τα χιαστά του κτηρίου απορροφούν την ενέργεια της υπερβολικής φόρτισης καθώς παραμορφώνονται πλαστικά, γιατί είναι κατασκευασμένα από χάλυβα που δεν είναι ψαθυρό υλικό όπως το σκυρόδεμα.

Στην διαδικασία αυτή, σημαντικό ρόλο παίζουν οι σύνδεσμοι του δικτυώματος, καθώς πρέπει να είναι ικανοί να μεταφέρουν φορτία μεγαλύτερα από το όριο πλαστικής διαρροής των κολόνων και των χιαστών, για να συμπεριφερθεί ο σκελετός ως ενιαίος οργανισμός. Καθώς όμως οι κολόνες και τα χιαστά είναι αρκετά λεπτά γιατί είναι πολλά στον αριθμό, η αντοχή κάθε κολόνας είναι συγκριτικά μικρή και δεν είναι δύσκολη ούτε δαπανηρή η κατασκευή ικανών συνδέσμων.

Παρόλη την αντισεισμική ικανότητα του κτηρίου από διατομές ψυχρής έλασης, τα κτήρια σχεδιάζονται ώστε οι ορθοστάτες των τοίχων να μην ξεπερνάνε το 50% της αντοχής τους ακόμα και σε συνδυασμούς φορτίσεων δυσμενέστερους από τους αυστηρότερους που απαιτεί ο ΕΑΚ και ο Ευρωκώδικας.

Η κατασκευή μέγιστης φόρτισης 50% είναι οικονομικά συμφέρουσα διότι το κτήριο είναι ελαφρύ, και οι ορμές των επιταχυνόμενων μαζών κατά το σεισμό προκύπτουν ελάχιστες σε σύγκριση με ένα κτήριο από ενισχυμένο σκυρόδεμα. Σε περίπτωση κτηρίων ψηλότερων από τρεις ορόφους, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα το κόστος τέτοιας κατασκευής να προκύψει μεγαλύτερο της συμβατικής.

Σημειώνεται επίσης ότι στις στατικές μελέτες δεν λαμβάνεται υπόψη ότι οι πλάκες κάλυψης των τοίχων ενισχύουν την κατασκευή. Ο μεταλλικός σκελετός κατασκευάζεται να αντέχει αυτόνομα τις υψηλότερες των καταπονήσεων, αλλά στην πράξη η κατασκευή είναι ακόμα ισχυρότερη, καθώς για να παραμορφωθεί εφελκυστικά ένα χιαστό θα πρέπει πρώτα να θρυμματιστεί από συνεπίεδη διάτμηση ή τσιμεντοσανίδα ή το υλικό που δημιουργεί τη διαφραγματική επιφάνεια επικάλυψης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένα "πάνελ" επικάλυψης συνδέεται σε τουλάχιστον 3 κολόνες με περισσότερες από 35 βίδες, η ενίσχυση αυτή από τις τοιχοκαλύψεις, δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό και σχεδιασμό του μεταλλικού φορέα.

### **Κατασκευή πέραν του μεταλλικού σκελετού:**

Για να ολοκληρωθεί το κτήριο, ο μεταλλικός φορέας επικαλύπτεται εξωτερικά με πλάκες OBS, τσιμεντοσανίδας ή παρόμοιων υλικών. Ιδιαίτερη σημασία έχει η ποιότητα υγραμόνωσης της κατασκευής, η οποία γίνεται με παραδοσιακά υλικά και τεχνικές. Όμοια με τις συμβατικές κατασκευές γίνονται και οι υπόλοιπες εργασίες(σοβάτισμα, Η/Μ δίκτυα, πλακάκια κλπ).

Όλες οι εργασίες όμως, γίνονται σε περιβάλλον ξηράς δόμησης και παράγονται ελάχιστα "μπάζα". Σε περίπτωση όπου ο υδραυλικός και ο ηλεκτρολόγος αντιλαμβάνονται τις δυνατότητες που τους παρέχει η "ανοικτή" τοιχοποιία, το κόστος των εγκαταστάσεων αυτών μπορεί να μειωθεί σημαντικά.

Η τελική εσωτερική επικάλυψη του κτηρίου μπορεί να γίνει με τα ίδια υλικά που χρησιμοποιήθηκαν εξωτερικά και η τελική επιφάνεια να σοβατιστεί και να βαφτεί. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα κτήριο που ο επισκέπτης δεν θα εντοπίζει διαφορά από το συμβατικό τούβλινο τοίχο ακόμα και αν "χτυπάει" δοκιμαστικά την τοιχοποιία. Όμως, η εσωτερική επένδυση με γυψοσανίδα έχει ως αποτέλεσμα οικοδομή καλύτερων ποιοτικών χαρακτηριστικών με χαμηλότερο κόστος, και συνίσταται ως η ενδεδειγμένη κατασκευαστική μέθοδος για το εσωτερικό κατοικιών από διατομές ψυχρής έλασης.



Εικόνα 11: Εξωτερικά επιχρίσματα



Εικόνα 12: Ολοκληρωμένη κατοικία



Εικόνα 13: Ολοκληρωμένη κατοικία