



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΝΟΛΑ



Διπλωματική Εργασία

Γεωργούσης Ορέστης

Αθήνα, Αύγουστος 2022

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΣ-ΦΙΛΗΣ ΚΟΚΚΙΝΟΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: **Γεωργούσης Ορέστης**

Τίτλος
Διπλωματικής Εργασίας:

ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΝΟΛΑ

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή:

Τριαντ.-Φίλης Κόκκινος
Αναπληρωτής Καθηγητής
Επιβλέπων

Νικόλαος Πνευματικός
Καθηγητής
Μέλος

Σταυρούλα Δενεζάκη
Λέκτορας
Μέλος

Ιούλιος 2022, ΑΙΓΑΛΕΩ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Γεωργούσης Ορέστης** του Θεόφιλου, με αριθμό μητρώου 44368440226, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνει υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο *ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΝΟΛΑ* και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών, που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο Δηλών



Γεωργούσης Ορέστης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Κόκκινο Τριαντάφυλλο-Φίλη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε εξ' αρχής, αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, τις υποδείξεις του, το αμείωτο ενδιαφέρον του, τη συμπαράστασή του, τη συνεχή του υποστήριξη και το ενδιαφέρον που έδειξε από την αρχή της εργασίας μέχρι το τέλος.

Επίσης, ευχαριστώ τους υπόλοιπους καθηγητές για την προσφορά τους και το ενδιαφέρον τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Τμήμα.

Τέλος, θα ήθελα εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για όλη τη στήριξη, την αγάπη, το αμείωτο ενδιαφέρον, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προκατασκευασμένη δόμηση, αποτελεί μια εναλλακτική μέθοδο της συμβατικής, η οποία στην Ελλάδα είναι υπό ανάπτυξη, τουλάχιστον στις οικιακές εφαρμογές. Προσφέρει μια ταχύτερη και οικονομικότερη λύση κατασκευής, όμως δεν παύει κι αυτή να έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Είναι μια μέθοδος που έχει βρει ευρεία αποδοχή στις βιομηχανικές εφαρμογές, καθώς και στην κατασκευή γεφυρών, που σχετίζονται ιδιαίτερα με μεγάλους αυτοκινητόδρομους, όπου η διακοπή της κυκλοφορίας για μεγάλα χρονικά διαστήματα μπορεί να προκαλέσει προβλήματα.

Οι μέθοδοι προκατασκευασμένης δόμησης είναι πολλές και ποικίλουν ανάλογα με την εφαρμογή. Αυτός είναι και ο βασικός λόγος για τον οποίο η ανέγερση ενός προκατασκευασμένου δομικού συνόλου χρειάζεται τις περισσότερες φορές λιγότερο εργατικό προσωπικό και μηχανήματα, όμως υπάρχει ο περιορισμός της τεχνογνωσίας. Απαιτείται δηλαδή η γνώση της διαδικασίας σύνδεσης των προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων και η σωστή στήριξή τους, ώστε η κατασκευή να είναι σωστά δομημένη.

Η διαδικασία ανέγερσης μιας προκατασκευασμένης δομής ως προς τη θεμελίωση μοιάζει με αυτή της συμβατικής, όμως τις περισσότερες φορές, πρόκειται για πιο ελαφριές κατασκευές με μικρότερες απαιτήσεις. Στις νέες εφαρμογές έχει γίνει μέριμνα και για την ενεργειακή τους απόδοση, έτσι ώστε να αποτελούν μια επένδυση εναρμονισμένη με τις περιβαλλοντικές και κλιματικές αλλαγές.

Τέλος μια ενδιαφέρουσα τεχνική που αναφέρεται στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι και η τεχνική της τρισδιάστατης εκτύπωσης 3D Printing, η οποία αποτελεί την τεχνική κατασκευής του μέλλοντος. Ήδη έχει κατακτήσει πολλούς τομείς κατασκευής υλικών και εφαρμογών, με στόχο την ανάπτυξη της μεθόδου και της χρήση της και στη δόμηση.

ABSTRACT

Prefabrication is an alternative method for building and infrastructure construction which is currently growing in Greece, at least in domestic applications. It is a faster and cheaper construction solution, with its own pros and cons. On the other hand, it is widely accepted method as far as industry is concerned, as well as in bridge construction, in big highways, where the disruption of vehicles circulation for extended periods is not possible.

The methods of prefabrication are many and vary according to the application. This is the reason why the construction of a prefabricated structure needs less workers and erection machines, but there is the constrain of the specific technical knowledge and skills required. Workers must be trained on the methods of construction, in order to deliver a safe and well assembled prefabricated structure.

The erection procedure of a prefabricated application needs also to start from the provision of the right foundation, which is similar to the conventional buildings, but sometimes is not as heavy, since the prefabricated structures are much lighter than the conventional ones. In the recent applications of prefabricated structures vendors provide solutions which are energy efficient according to the new legislation regarding the environmental and climatic changes.

At last, one more technique mentioned in this essay is 3D Printing, which is considered the future of construction. It already has many applications in materials fabrication in many sectors, and with R&D programs already assigned for the use of this method in the buildings and infrastructure construction.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
Κεφάλαιο 1 Προκατασκευασμένα δομικά σύνολα	4
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	4
1.2 Γενικές πληροφορίες	11
Κεφάλαιο 2 Συστήματα Προκατασκευασμένων Συνόλων	16
2.1 Σπίτια-Δημόσια Κτίρια-Ξενοδοχεία.....	16
2.2 Αποθήκες και Βιομηχανικά κτίρια.....	21
2.3 Γέφυρες	23
2.3.1 Προκατασκευασμένα καταστρώματα.....	25
2.3.2 Προκατασκευασμένες δοκοί.....	31
2.3.3 Προεντεταμένες καλύπτρες	32
2.3.4 Στηθαία και τοιχία	33
2.3.5 Κολώνες και βάσεις γέφυρας.....	34
2.4 Άλλα προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία.....	34
Κεφάλαιο 3 Κατασκευή Προκατασκευασμένων Συνόλων με 3D Printing	36
3.1 Αρχή λειτουργία του 3D Printing.....	37
3.2 3D Printing και κατασκευές	41
3.3 Πειραματική εργασία για την τρισδιάστατη εκτύπωση στη δόμηση	42
3.4 Εκτύπωση βιοϋλικών	46

3.5	Μελλοντικές τάσεις.....	47
Κεφάλαιο 4	Διαδικασία Ανέγερσης Προκατασκευασμένου Σπιτιού.....	49
4.1	Γενικά.....	49
4.2	Σχεδιαστικές λεπτομέρειες.....	52
4.2.1	Θεμελίωση.....	54
4.2.2	Πλάκα ισογείου.....	55
4.2.3	Προκατασκευασμένοι φέροντες τοίχοι.....	55
4.2.4	Προκατασκευασμένες προσόψεις.....	56
4.2.4.1	Θέση συνδέσμων.....	57
4.2.4.2	Διαχείριση των ανοιγμάτων παραθύρων.....	58
4.2.5	Προκατασκευασμένο σύστημα δαπέδου.....	59
4.2.5.1	Εναλλακτικό δάπεδο 1 – προεντεταμένη σανίδα και δάπεδο ημι-πλάκας.....	60
4.2.5.2	Εναλλακτικό Σύστημα Δαπέδου 2 – Προκατασκευασμένες δοκοί και προκατασκευασμένες πλάκες.....	61
4.2.6	Λεπτομέρειες ενώσεων.....	62
4.2.7	Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις.....	64
4.3	Μέθοδοι ανέγερσης και κατασκευής.....	66
4.4	Γενικές πληροφορίες κατασκευής προκατασκευασμένου σπιτιού.....	69
Κεφάλαιο 5	Συμπεράσματα.....	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	77

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1:	Ο σκελετός του Manning Portable Colonial Cottage (Egege, 2018)	5
Εικόνα 2:	Το τυπικό του Manning Portable Colonial Cottage (Egege, 2018).....	5
Εικόνα 3:	Κάτοψη και τομή του Renkioi Hospital (Egege, 2018).....	6
Εικόνα 4:	Το Renkioi Hospital, φτιαγμένο από προκατασκευασμένη ξυλεία (Egege, 2018).....	6
Εικόνα 5:	Το Uxbridge Travelodge Hotel (Smith, 2009)	8
Εικόνα 6:	Προκατασκευασμένο σπίτι από το ΙΚΕΑ κατά την ανέγερσή του με γερανό και ύστερα από την τις εργασίες μόνωσης, οι οποίες γίνονται επί τόπου (Smith, 2009).....	10
Εικόνα 7:	Η βιομηχανία προκατασκευασμένων Toyota Homes (Smith, 2009)	11
Εικόνα 8:	Ανέγερση σπιτιού με χρήση προκατασκευασμένων πάνελ (Jagtap & Dhawadw, 2015).....	14
Εικόνα 9:	Αρθρωτή Δόμηση κυψελίδων (Jagtap & Dhawadw, 2015)	14
Εικόνα 10:	Προκατασκευασμένη Δόμηση Μεταλλικού Πλαισίου (Jagtap & Dhawadw, 2015).....	15
Εικόνα 11:	Τυπικό Μεταστεγόμενης Αρθρωτής Κατασκευής (Egege, 2018).....	18
Εικόνα 12:	Πολυπλοκότητα και Κλίμακα Δομοστοιχειωτών κατασκευών (Bertram, et al., 2019).....	18
Εικόνα 13:	Το κατάστημα ΙΚΕΑ πρόσοψη και λεπτομέρεια σύνδεσης (Guy, Ciarimboli, & Hendrickson, 2005).....	21

Εικόνα 14: Ο χώρος παραγωγής και ο κοινόχρηστος χώρος (Guy, Ciarimboli, & Hendrickson, 2005)	23
Εικόνα 15: Κατασκευή προκατασκευασμένης γέφυρας (Roddenberry & Servos, 2012)	25
Εικόνα 16: Πάνελ σχηματισμού πλατφόρμας ολικού βάθους (Roddenberry & Servos, 2012)	26
Εικόνα 17: Κατάστρωμα ανοιχτού πλέγματος (Roddenberry & Servos, 2012)	29
Εικόνα 18: Εγκατάσταση εξωτερικού καταστρώματος γέφυρας (Roddenberry & Servos, 2012)	29
Εικόνα 19: Κατασκευή καταστρώματος από ενισχυμένο με ίνες πολυμερές (Roddenberry & Servos, 2012)	30
Εικόνα 20: Κατασκευή γέφυρας ξύλινου καταστρώματος (Roddenberry & Servos, 2012)	31
Εικόνα 21: Γέφυρα με διαδοχικές δοκούς σε σχήμα κουτιού (Roddenberry & Servos, 2012)	32
Εικόνα 22: Δοκός ανεστραμμένου T (Roddenberry & Servos, 2012)	32
Εικόνα 23: Σύνδεση δοκού με καλύπτρα (Roddenberry & Servos, 2012)	33
Εικόνα 24: Το προτεινόμενο περίπτερο ANT και η κατασκευαστική λεπτομέρεια μιας πλευράς που αποτελείται από εκτυπωμένα στοιχεία (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)	43
Εικόνα 25: Το προσαρμοζόμενο κέντρο για την κατασκευή της ασίδας (αριστερά) και η σύνδεση του τελευταίου κομματιού με το θεμέλιο λίθο (δεξιά) (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)	46
Εικόνα 26: Παράδειγμα θεμελίωσης και δράσης των φορτίων (Chudley & Greeno, 2014)	50
Εικόνα 27: Τυπική θεμελίωση από οπλισμένο σκυρόδεμα και η κατανομή του οπλισμού (Chudley & Greeno, 2014)	50
Εικόνα 28: Σύστημα πρώτου ορόφου (Building and Construction Authority, 2003)	52

Εικόνα 29: Σύστημα δεύτερου ορόφου (Building and Construction Authority, 2003).....	52
Εικόνα 30: Σύστημα τρίτου ορόφου (Building and Construction Authority, 2003).....	53
Εικόνα 31: Σύστημα οροφής (Building and Construction Authority, 2003)	53
Εικόνα 32: Βάση κάτω από φορτισμένους τοίχους (Building and Construction Authority, 2003)	54
Εικόνα 33: Στήριξη φορτισμένου τοίχου σε βάση τύπου ταινία ή τύπου πλατφόρμας (αριστερά) και ο φορτισμένος τοίχος στηριζόμενος από πασσάλους (δεξιά) (Building and Construction Authority, 2003).....	54
Εικόνα 34: Πάνελ πρόσοψη στηριζόμενο από εξωτερικούς φορτισμένους τοίχους (Building and Construction Authority, 2003).....	56
Εικόνα 35: Άνοιγμα για παράθυρο σε προκατασκευασμένη πρόσοψη (αριστερά) και Άνοιγμα για παράθυρο προεξοχής (δεξιά) (Building and Construction Authority, 2003)	59
Εικόνα 36: Τυπική κάτοψη δαπέδου για προκατασκευασμένους τοίχους με προκατασκευασμένη πλάκα (Building and Construction Authority, 2003)	60
Εικόνα 37: Τυπική κάτοψη δαπέδου για προκατασκευασμένους τοίχους με προκατασκευασμένες δοκούς και πλάκα (Building and Construction Authority, 2003)	61
Εικόνα 38: Ενώσεις σε μεσοτοιχίες και σύνδεση ανάμεσα σε μεσοτοιχίες και τοίχους-προσόψεις (Building and Construction Authority, 2003)	62
Εικόνα 39: Σύνδεση για πάνελ προσόψεως μεγάλου μήκους ή για τελικούς τοίχους (Building and Construction Authority, 2003).....	63
Εικόνα 40: Τομή λωρίδας χύτευσης για προκατασκευασμένη πλάκα (αριστερά) και τομή για πλάκα με μεταβολή στο πάχος της πλάκας (δεξιά) (Building and Construction Authority, 2003).....	63
Εικόνα 41: Τομή λωρίδας χύτευσης με επιπλέον ράβδους για στήριξη της πλάκας (αριστερά) και τομή λωρίδας χύτευσης με επιπλέον κάλυψη για πλάκες (Building and Construction Authority, 2003).....	63

Εικόνα 42: Τομή λεπτομερειών πλάκας με τοίχο προσόψεως (αριστερά) και τομή λεπτομερειών πλάκας με μεσοτοιχία (δεξιά) (Building and Construction Authority, 2003)	64
Εικόνα 43: Η όδευση των ηλεκτρικών καλωδίων ενσωματωμένων στην επικάλυψη της πλάκας (Building and Construction Authority, 2003).....	65
Εικόνα 44: Παράδειγμα λεπτομέρειας ένωσης μεταξύ οριζόντιων και κάθετων προκατασκευασμένων Η/Μ συστημάτων (Building and Construction Authority, 2003)	65
Εικόνα 45: Χρήση εξωτερικής εσχάρας (Building and Construction Authority, 2003).....	66
Εικόνα 46: Βελτιστοποίηση χρήσης γερανού 50 τόνων και του βάρους των δομικών στοιχείων (Building and Construction Authority, 2003)	67
Εικόνα 47: Οι προκατασκευασμένοι τοίχοι στερεώνονται πριν την τοποθέτηση των συνδέσεων (απαιτείται τέλεια ευθυγράμμιση) αριστερά και η ταινία σύνδεσης που έχει κατασκευαστεί ανάμεσα στους δύο προκατασκευασμένους τοίχους (δεξιά) (Building and Construction Authority, 2003)	67
Εικόνα 48: Τοποθέτηση προκατασκευασμένων σανίδων (αριστερά) και Προετοιμασία κατασκευής πλατύσκαλου σε προκατασκευασμένη σκάλα (δεξιά (Building and Construction Authority, 2003))	69

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Περιορισμοί και λύσεις κατά την ανέγερση προκατασκευασμένου δομικού συνόλου (Building and Construction Authority, 2003).....	68
--	----

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Προκατασκευή, είναι η μέθοδος συναρμολόγησης τμημάτων μιας κατασκευής στο βιομηχανικό ή άλλο κατασκευαστικό χώρο και της μεταφοράς ολόκληρων συγκροτημάτων στο χώρο ανέγερσης. Προκατασκευασμένα κτίρια είναι τα ολικά συγκροτημένα και ανεγερθέντα κτίρια, των οποίων τα δομικά στοιχεία αποτελούνται από προκατασκευασμένες ξεχωριστές μονάδες απλών ή σύνθετων υλικών. Η προκατασκευασμένη ανέγερση είναι μια νέα τεχνική πολύ ελκυστική, ειδικά σε προγράμματα κατασκευής οικισμών μεγάλης κλίμακας. (Smith, 2009)

Η προκατασκευή βρίσκει εφαρμογή στον κατασκευαστικό τομέα, στην κατασκευή σπιτιών, γραφείων, αποθηκών και βιομηχανικών κτιρίων. Άλλος τομέας εφαρμογής είναι η κατασκευή γεφυρών, φραγμάτων, σηράγγων, προβλητών, αλλά και κινητών τηλεφώνων, αεροσκαφών, διαστημόπλοιων, και πολλών ακόμη τεχνολογικών κλάδων. (Gopalakrishnan) Αποτελεί μια παγκόσμια καινοτομία, η οποία παρουσιάζει το σημαντικό μειονέκτημα της μικρότερης διάρκειας ζωής σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο. Παρόλα αυτά η προκατασκευασμένη δόμηση συνεχίζει την ανάπτυξη της κάνοντας χρήση και νέων υλικών φιλικότερων προς το περιβάλλον, όπως και με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την ενεργειακή αναβάθμιση της κατασκευής. (Smith, 2009)

Παράλληλα, η προκατασκευή αποτελεί λύση για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής και της ποιότητας μιας κατασκευής. Η βιωσιμότητα ενός κτιρίου επιτυγχάνεται μέσω της προκατασκευής, η οποία προσφέρει ένα ελεγχόμενο περιβάλλον για την καλύτερη διαχείριση τόσο των υλικών όσο και των αποβλήτων. Πολλά έργα στην πορεία της ιστορίας έχουν γίνει μέσω προκατασκευής για διάφορους λόγους, άλλοτε σαν καινοτομία, άλλοτε για να μειώσουν το κόστος της κατασκευής και άλλοτε για να επιταχύνουν το χρόνο παράδοσής τους. Το μεγαλύτερο

μερίδιο της αγοράς προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων το έχει η κατασκευή σπιτιών. (Smith, 2009)

Η κύρια δομική διαφορά μεταξύ της συμβατικής κατασκευής και της προκατασκευής έγκειται στη δομική συνέχεια. Η δομική συνέχεια της συμβατικής κατασκευής είναι συμφυής και αναπτύσσεται αυτόματα, ενώ στην προκατασκευή πρέπει να γίνει μια συνειδητή προσπάθεια να διασφαλιστεί η δομική συνέχεια των προκατασκευασμένων τμημάτων της κατασκευής, όταν αυτά συνδεθούν μεταξύ τους. Οι συνδέσεις αυτές λειτουργούν σαν σύνδεσμος γεφύρωσης ανάμεσα στα εξαρτήματα. Καθώς τα δομικά εξαρτήματα θα δημιουργήσουν μια σταθερή κατασκευή μετά την ένωση των συνδέσμων, η δομική σταθερότητα και η ασφάλεια πρέπει να ελέγχονται σε κάθε στάδιο. Απαιτείται η δημιουργία ενός σκελετού-φορέα των στατικών φορτίων με σταθεροποιημένα εξαρτήματα, τα οποία μπορούν να συγκρατούν τα οριζόντια και κάθετα φορτία και να μεταδίδουν αυτά στη βάση και στο έδαφος. Η κατασκευή πρέπει να είναι στιβαρή και σχεδιασμένη επαρκώς έναντι οποιασδήποτε δομικής αστοχίας, ραγίσματος και επικίνδυνων παραμορφώσεων. (Sai & Kjaerbye, 2001)

Δεν μπορεί να αγνοήσει κανείς και την παγκόσμια απαίτηση για μείωση των εκπομπών του CO₂, η οποία προκρίνει νεωτεριστικές μεθόδους και τεχνολογίες κατασκευής φιλικότερες προς το περιβάλλον, που έχουν παράλληλα και το πλεονέκτημα της καλής διαχείρισης των υλικών και της μείωσης του κόστους κατασκευής. Σε αυτές τις κατηγορίες ανήκουν τόσο η προκατασκευασμένη δόμηση, όσο και η τρισδιάστατη εκτύπωση κτιρίων, με χρήση νέας τεχνολογίας εκτυπωτών και νέας τεχνολογίας υλικών. (Tay, et al., 2017)

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία σκοπός είναι η παρουσίαση των προκατασκευασμένων δομικών συνόλων, η ταξινόμηση τους, η περιγραφή της τεχνολογίας τους και της εγκατάστασης των επιμέρους στοιχείων, καθώς και η ανάδειξη των μελλοντικών τάσεων στη δόμηση, με τη χρήση της μεθόδου 3D Printing. Στο πλαίσιο αυτό, η εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή της προκατασκευασμένης δόμησης, Αναφέρεται η εξέλιξη του κλάδου από τα πρώτα χρόνια της παρουσίας του, όπως και ο χαρακτήρας των κατασκευών, ανάλογα με την αρχιτεκτονική προσέγγιση ανάμεσα στους διάφορους λαούς. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται και γενικές πληροφορίες σχετικά με την προκατασκευασμένη δόμηση, όπως είναι η γενική κατηγοριοποίησή της καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των βασικότερων κατηγοριών προκατασκευασμένης δόμησης. Αναφέρονται πληροφορίες σχετικές με τη χρήση των υλικών, καθώς και τις βασικές μεθόδους προκατασκευασμένης δόμησης σχετικά με σπίτια, ξενοδοχεία, αποθήκες, γέφυρες, καθώς και διάφορα προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται η εφαρμογή του 3D Printing, τόσο σαν μια νέα μέθοδο κατασκευής, όσο και σχετικά με τις εφαρμογές του στην οικοδομική δραστηριότητα, ως μελλοντικά αναπτυσσόμενη μέθοδο. Αρχικά δίνεται ο ορισμός της μεθόδου και περιγράφεται ένα πείραμα κατασκευής ενός κτιρίου στο Παλέρμιο της Σικελίας, από βιβλιογραφική πηγή. Δίνονται στοιχεία για σημερινή εφαρμογή της μεθόδου και αναφέρονται οι ερευνητικές δραστηριότητες προς την περαιτέρω ανάπτυξη της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται η διαδικασία ανέγερσης ενός προκατασκευασμένου σπιτιού. Για το λόγο αυτό, περιγράφονται οι ενέργειες που απαιτούνται για τις διαδικασίες ανέγερσης, από τη θεμελίωση έως και την κατασκευή των εσωτερικών υποδομών για την ολοκλήρωση και την παράδοσή τους.

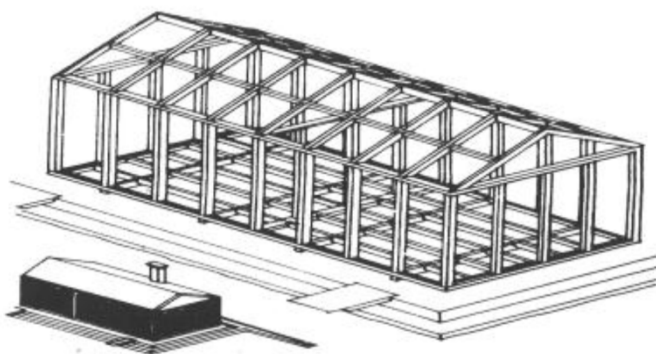
Στο πέμπτο κεφάλαιο ακολουθεί η ανακεφαλαίωση και συμπληρώνονται οι μελλοντικές τάσεις όσον αφορά την προκατασκευασμένη δόμηση και σε σχέση με την προσπάθεια ανάπτυξης ενεργειακά πιο αποδοτικών τεχνικών δόμησης. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο παρατίθεται η σχετική με την συγγραφή της Διπλωματικής αυτής βιβλιογραφία.

ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΝΟΛΑ

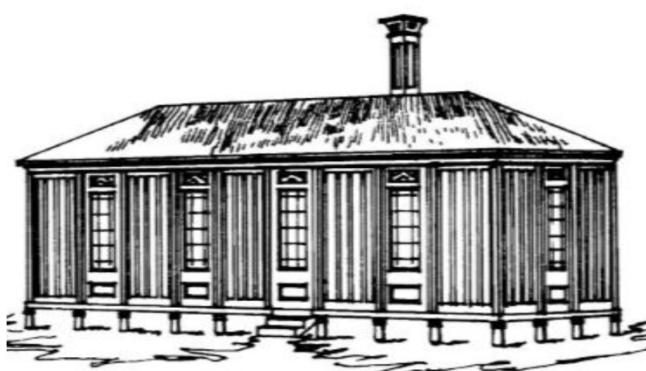
1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία της πρώτης προκατασκευασμένης δόμησης βρίσκεται στην εποχή της Βρετανικής αποικιοκρατίας. Επειδή οι άποικοι δεν ήξεραν στο μέρος που θα αποικούσαν τι υλικά θα έβρισκαν, γι' αυτό κουβαλούσαν με τα πλοία τους δομικά στοιχεία προκατασκευασμένα στη Μεγάλη Βρετανία. Τα σπίτια που φτιάχτηκαν στην Αγγλία και στάλθηκαν στο Cape Anne (Μασαχουσέτη) ήταν τα πρώτα στην ιστορία που καταγράφηκαν, γύρω στο 1624. Η πρώτη εγκατάσταση ήταν ένα νοσοκομείο στη Νέα Νότια Ουαλία, το οποίο ήταν προκατασκευασμένο και κάποιες αποθήκες που μεταφέρθηκαν από το Σίδνεϋ γύρω στο 1790. Τα κτίρια αυτά ήταν κατασκευασμένα από ξύλο που χρησιμοποιήθηκε για το σκελετό, τις πόρτες, τους τοίχους και τις οροφές. Χρόνια αργότερα αυτό το σύστημα υιοθετήθηκε στην κατασκευή εκκλησιών και άλλων τύπων κατασκευών στο Φριτάουν. (Egege, 2018)

Το επόμενο επίτευγμα προκατασκευασμένου σπιτιού ήταν μια κατασκευή, η οποία ονομάστηκε “Manning Portable Colonial Cottage for emigrant” (Εικόνα 1 & Εικόνα 2) και ήταν σχεδιασμένη από τον Η. John Manning, έναν Λονδρέζο ξυλουργό. Το πρωτότυπο, που αναπτύχθηκε για τον μετανάστη γιό του στην Αυστραλία, γύρω στο 1830, έγινε το πρώτο πλήρως προκατασκευασμένο σπίτι. (Egege, 2018)

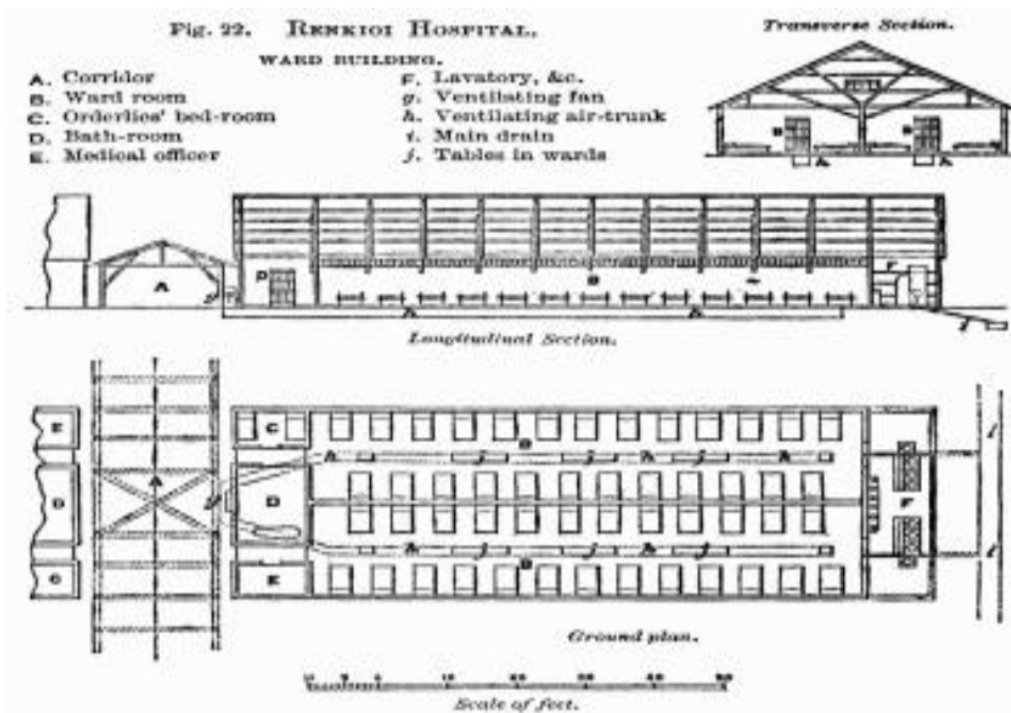


Εικόνα 1: Ο σκελετός του Manning Portable Colonial Cottage (Egege, 2018)



Εικόνα 2: Το τυπικό του Manning Portable Colonial Cottage (Egege, 2018)

Ένα προκατασκευασμένο νοσοκομείο του στρατού γνωστό με το όνομα Renkioi Hospital χτίστηκε κατά τη διάρκεια του Πολέμου της Κριμαίας το 1855 (Εικόνα 3 & Εικόνα 4). Η κατασκευή σχεδιάστηκε από τον Isambard Kingdom Brunel και μεταφέρθηκε με πλοίο στην Κριμαία, βοηθώντας έτσι στη μείωση των θανάτων των τραυματισμένων Βρετανών στρατιωτών. (Egege, 2018)



Εικόνα 3: Κάτοψη και τομή του Renkioi Hospital (Egege, 2018)



Εικόνα 4: Το Renkioi Hospital, φτιαγμένο από προκατασκευασμένη ξυλεία (Egege, 2018)

Η πρώτη εργοστασιακή παραγωγή προκατασκευασμένης αρχιτεκτονικής άρχισε στη Δύση το 1906. Τα σπίτια ήταν τα πρώτα που κατασκευάστηκαν σε αυτή τη μορφή. Μετά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο, η μεγάλη ανάγκη ανέγερσης σπιτιών στη Μεγάλη Βρετανία, στη Γαλλία και στη Γερμανία, προώθησε το σκυρόδεμα και το

ατσάλι σαν τα καλύτερα υλικά για τη γρήγορή κατασκευή, ενώ στη Σουηδία έγιναν διάσημα τα προκατασκευασμένα σπίτια από ξύλο. Το 1910 ξεκίνησε η προσπάθεια ανάπτυξης μιας νέας αρχιτεκτονικής για τη νέα εποχή από τον Walter Gropius, ιδρυτή της εταιρείας Bauhaus. Δεκαετίες αργότερα, η δομή των σπιτιών με επίπεδη οροφή εισήχθη στην παραγωγή προκατασκευασμένων σπιτιών, σε συνεργασία με τον Adolf Mayer. (Chern Yen, 2015)

Λίγα χρόνια αργότερα το 1927, ο Robert Tarran εισήγαγε τα σπίτια με ατσάλινο σκελετό, που μείωνε τα δομικά φορτία και αύξανε την απόδοση της κατασκευής. Στη δεκαετία του 1930, 30 εταιρείες άρχισαν την κατασκευή προκατασκευασμένων σπιτιών σε 8 μόλις χρόνια. Η κυβέρνηση των ΗΠΑ υποσχέθηκε να στηρίζει τους κατασκευαστές προκατασκευασμένων κατοικιών, ενώ το 1954 μια πρωτότυπη εργοστασιακή παραγωγή σπιτιών σχεδιάστηκε από τον αρχιτέκτονα Harry Seidler, στοχεύοντας στην ευελιξία της εσωτερικής διαρρύθμισης, με τη χρήση προκατασκευασμένων μπάνιων. Παράλληλα στη Γαλλία, ο Prouve ανέπτυξε ενωμένη μεταλλική κατασκευή, η οποία μπορούσε να ανεγερθεί χωρίς τη χρήση σκαλωσιάς. Τα σπίτια αυτά πωλήθηκαν σε ένα ευρύ κοινό, παρόλο που ο στόχος τους ήταν να εξυπηρετήσουν τον πληθυσμό με χαμηλότερο εισόδημα, λόγω της αισθητικής τους αξίας. Μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο οι κατασκευαστές προκατασκευασμένων σπιτιών εστίασαν περισσότερο στην παραγωγή και όχι στην ανάπτυξη νέων σχεδίων. Το 1963, η Marlette Company εγκαινίασε μια εταιρεία ανάπτυξης πρωτότυπων σχεδίων για βιομηχανική χρήση. Στη δεκαετία του 1970 τη σκυτάλη πήρε η Ιαπωνία με τον αρχιτέκτονα Kisho Kurokawa, ο οποίος είχε τη δική του φίρμα προκατασκευασμένων γνωστή ως «αρχιτεκτονική κάψουλας». (Chern Yen, 2015)

Η τεχνολογία, όπως αναφέρει ο Smith στη σχετική του εργασία (2009), είναι κοινωνική πριν γίνει τεχνική. Η προκατασκευή εξαρτάται από την κοινωνική και πολιτισμική κουλτούρα. Ερευνάται λοιπόν, η ανάπτυξη της προκατασκευασμένης δόμησης σε σχέση με την ιστορία και τον πολιτισμό τριών περιοχών, του Ηνωμένου Βασιλείου, των Σκανδιναβικών χωρών και της Ιαπωνίας. (Smith, 2009)

Σχετικά με το Ηνωμένο Βασίλειο έγινε αναφορά ήδη παραπάνω, όμως αναφέρεται και η ανάπτυξη των μεταλλικών προκατασκευών, που ξεκίνησε στις αρχές του 1800. Οι μεταλλικές κατασκευές, παρόλο που είχαν αναπτυχθεί από τόσο νωρίς, είχαν το μειονέκτημα της χρήσης χαμηλής ποιότητας υλικών για κατασκευή οροφών και τοίχων. Η χρήση της λαμαρίνας προσέφερε ένα υλικό που κατασκευάζεται γρήγορα είναι οικονομικό και δομικά είχε καλές ιδιότητες.

Προφανώς η διάβρωση ήταν το βασικό πρόβλημα μέχρι το 1837, όπου αρκετές εταιρείες άρχισαν να κάνουν χρήση του γαλβανισμένου μετάλλου για την προστασία της κατασκευής. Η λαμαρίνα προσφερόταν σε πάνελ 3'x2'', τα οποία μπορούσαν να τα διαχειριστούν εύκολα οι κτίστες. Σήμερα το Ηνωμένο Βασίλειο είναι μια από τις πρώτες χώρες στην κατασκευή προκατασκευασμένων δομών. Μια σχετικά πρόσφατη καινοτομία σχετικά με τα σπίτια είναι το Uxbridge Travelodge Hotel (Εικόνα 5), που χρησιμοποιεί μια μεταλλική κατασκευή και δωμάτια-κυψελίδες κατασκευασμένα από εμπορευματοκιβώτια αποστολής. (Smith, 2009)

Το ξενοδοχείο αυτό δεν σχεδιάστηκε από αρχιτέκτονα αλλά από δύο πολιτικούς μηχανικούς και έναν κατασκευαστή, με χρήση 86 εμπορευματοκιβωτίων, τα οποία εξοπλίστηκαν στην Κίνα με την απαραίτητη καλωδίωση, τα υδραυλικά και με εγκατάσταση γυψοσανίδων για τελείωμα. Μεταφέρθηκαν με πλοίο στο Uxbridge και εγκαταστάθηκαν, ενώ συνδέθηκαν μεταξύ τους με βιδωτές αρθρώσεις. Τα παράθυρα, η εσωτερική διακόσμηση και η εξωτερική επένδυση έγιναν στο πεδίο. Με τη χρήση δύο μεγθών εμπορευματοκιβωτίων, το ξενοδοχείο εξοπλίστηκε με 120 δωμάτια και ένα χώρο τραπεζαρίας-μπαρ. Το Travelodge in Uxbridge θεωρήθηκε ένα επαναστατικό μοντέλο για την κατασκευή καταλυμάτων (Εικόνα 5). Παρόλο που θεωρήθηκε μια μόνιμη κατασκευή, η αρχική ιδέα ήταν ότι το σύστημα αυτό θα ήταν ιδανικό για εφαρμογές σε προσωρινή δόμηση όπως φεστιβάλ, αθλητικές εκδηλώσεις, κ.λπ. (Smith, 2009)



Εικόνα 5: Το Uxbridge Travelodge Hotel (Smith, 2009)

Στις Σκανδιναβικές χώρες -Φινλανδία, Σουηδία, Νορβηγία- η προκατασκευή ακολουθεί ένα ανάλογο τρόπο δομής, όπως και στις άλλες χώρες. Η διαφορά αυτών των χωρών είναι ότι χρησιμοποιούν σαν δομικό υλικό στην πλειοψηφία των κατασκευών, το ξύλο. Το ξύλο είναι από τα επικρατέστερα υλικά διότι χώρες όπως η Νορβηγία καλύπτεται κατά 37% από δάση. Παρόλο που η Φινλανδία σήμερα έχει το πλεονέκτημα της κατασκευής σκελετών από ξύλο CNC, η προκατασκευή ξεκίνησε από τη Σουηδία και τη Νορβηγία. Ο Fredrick Blom ήταν ένας αρχιτέκτονας και βαθμοφόρος στο Σουηδικό Ναυτικό το 1781. Εμπνεύστηκε ένα σύστημα τοίχων που μπορούσε να αποσυναρμολογηθεί και να μεταφερθεί σε άλλο μέρος. Παρόλο που η αρχική του σκέψη ήταν για μια κατασκευή εύκολα λύσιμη και μεταφερόμενη, τελικά κατάφερε να φτιάξει μια δομή που διακρίθηκε για τη μεγάλη της αντοχή και διάρκεια. Τα σπίτια ήταν φτιαγμένα από ξύλο και ανεγείρονταν με τα χέρια. Η έλλειψη σπιτιών το 1917 επέκτεινε την ανάγκη προκατασκευής. Έτσι, μέχρι το 1930 υπήρχαν πάνω από 20 κατασκευαστές προκατασκευασμένων σπιτιών με καταλόγους μοντέλων, τα οποία αντιστοιχούσαν σε συστήματα προκομμένων συστημάτων. Η συγκεκριμένη διαδικασία ακολουθήθηκε και για την ανέγερση δημόσιων κτιρίων, όπως εκκλησίες και ξενοδοχεία. Μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο τα σπίτια αυτά έγιναν ανάρπαστα, όχι μόνο στη Σκανδιναβία αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο. Υπολογίζεται ότι περίπου 70 εταιρείες παρήγαγαν περισσότερο από το 50% των σπιτιών στη Σκανδιναβία. Το 1947, 17,500 προκατασκευασμένα σπίτια πουλήθηκαν μόνο στη Σουηδία. (Smith, 2009)

Από τη δεκαετία του 1950 έγινε μια στροφή των προκατασκευασμένων προς νέες εφαρμογές, νέες μεθόδους και πειράματα κατασκευής τοίχων για την εγκατάσταση των υδραυλικών και ηλεκτρολογικών δομών. Κυρίως το 1960 έγινε πιο συστηματική η έρευνα, παρόλο που η αγορά δεν είχε τόσο μεγάλη ζήτηση όσο μετά τον πόλεμο. Αρχιτέκτονες όπως οι Gullichsen, Mikkola και Pallasma επινόησαν ξύλινα συστήματα κολώνων και δοκών με διάφορα επίσης συστήματα πλήρωσης. Μέχρι το 1980 η προκατασκευή αντιστοιχούσε στο 85% στη Σκανδιναβία. Δεν επρόκειτο για υψηλής αρχιτεκτονικής κτίρια, αλλά για σχέδια που ικανοποιούσαν τις απαιτήσεις της αγοράς. (Smith, 2009)

Η προκατασκευή στη Σουηδία επεκτείνεται και πέρα από την παραδοσιακή κτιριακή δόμηση, όπως είναι η επίπλωση, με γνωστό εκπρόσωπο το ΙΚΕΑ. Τα υλικά που χρησιμοποιούν είναι ελαφριά και χαμηλού κόστους, ενώ η μέθοδος του

πακεταρίσματος και της μεταφοράς, μειώνει ακόμη περισσότερο την τελική τιμή. Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε φθηνά αλλά μικρότερης διάρκειας ζωής υλικά και πιο ακριβά, μεγαλύτερης διάρκειας ζωής. Τέλος, τα υλικά χρήσης είναι αποικοδομήσιμα και ανακυκλώσιμα, συνεπώς φιλικά προς το περιβάλλον. Σημειώνεται ότι το IKEA προσφέρει και σπίτι προκατασκευασμένο. Είναι ένα παραδοσιακό σπίτι από ξύλο. (Εικόνα 6) (Smith, 2009)



Εικόνα 6: Προκατασκευασμένο σπίτι από το IKEA κατά την ανέγερσή του με γερανό και ύστερα από την τις εργασίες μόνωσης, οι οποίες γίνονται επί τόπου.

Στην Ιαπωνία η τοπική μέθοδος κατασκευής με ξύλινες δοκούς και στήλες μπορεί να θεωρηθεί ένα από τα πιο πρώιμα προβιομηχανικά επιτεύγματα στις αρχές προκατασκευασμένης δόμησης. Η παράδοση στην τυποποίηση έχει αναδείξει τις Ιαπωνικές κατασκευές ανθεκτικές και όμορφες. Χρησιμοποιούνται τυποποιημένες αρθρώσεις αλλά και μεγέθη ξύλων και δομικά δίκτυα γνωστά ως Ken, με παραπετάσματα Shoji και πατώματα τύπου tatami. Αυτός ο τύπος δόμησης δεν έχει ακολουθηθεί μόνο στα σπίτια αλλά και σε δημόσια και κυβερνητικά κτίρια. Όλη, λοιπόν η προκατασκευασμένη δόμηση μπορούμε να πούμε πως είναι μια επέκταση της Ιαπωνικής παράδοσης. Η χρήση της μηχανικής ανέγερσης υιοθετήθηκε στην Ιαπωνία μετά την εποχή του πολέμου. (Smith, 2009)

Όπως και στη Σκανδιναβία, η Ιαπωνία ανέπτυξε πρωτότυπα σύγχρονα σπίτια στις δεκαετίες 1950 και 1960, με σκοπό τη μαζική παραγωγή. Στην εποχή αυτή ανήκει ο Kiyoshi Ikebe, ο οποίος εισήγαγε μια σειρά σπιτιών που χρησιμοποιούσαν τυποποιημένα στοιχεία που μέχρι τότε δεν ήταν διαθέσιμα στην Ιαπωνία, όπως τα παράθυρα. Η Ιαπωνία αναδείχθηκε στην πιο επιτυχημένη βιομηχανία προκατασκευα-

σμένων σπιτιών, λόγω του χαμηλότερου κόστους ανέγερσης που προσέφερε έναντι της αντίστοιχης Αμερικάνικης αγοράς. (Smith, 2009)

Σήμερα οι περισσότεροι κατασκευαστές προκατασκευασμένων σπιτιών στην Ιαπωνία προτιμούν τη αρθρωτή μέθοδο ή τη μέθοδο «σκελετού και πλήρωσης». Μια ομάδα που ονομάζεται «Big 5» κατέχει την πρώτη θέση τα τελευταία χρόνια στην Ιαπωνία στη βιομηχανία προκατασκευασμένων. Τελευταία όμως, έκανε την εμφάνισή του ένα νέο-ανερχόμενο αστέρι, η Toyota Homes, η οποία κατασκευάζει σπίτια αρθρωτά από μεταλλικό σκελετό και ξύλινη πλήρωση. (Εικόνα 7) (Smith, 2009)



Εικόνα 7: Η βιομηχανία προκατασκευασμένων Toyota Homes (Smith, 2009)

1.2 Γενικές πληροφορίες

Η παραδοσιακή μέθοδος κατασκευής στην οικοδομική βιομηχανία, έχει αποδειχθεί με τα χρόνια ως μια επίπονη διαδικασία και σχετίζεται με πολλές ανησυχίες για την υγεία και ασφάλεια, τον προϋπολογισμό, τις καιρικές συνθήκες, την ποιότητα, κ.λπ. Από την πλευρά της εργασίας, τα εργατικά ατυχήματα και η ασθένεια των εργαζομένων κατά τη διάρκεια της κατασκευής, τείνουν να μειώσουν το κέρδος αυτών των έργων. Το κόστος που σχετίζεται άμεσα με τα εργατικά ατυχήματα και την ασθένεια περιλαμβάνει μεγάλα ιατρικά έξοδα, ασφάλειες των εργατών, αξιοπιστία, αποζημιώσεις και απώλεια περιουσίας. (Gopalakrishnan)

Από την πλευρά της παραγωγικότητας και της ποιότητας, το εργατικό κόστος αποτελεί περίπου το 30% όλου του κόστους ενός έργου. Η κακή διαχείριση του ανθρωπίνου δυναμικού και οι καθυστερήσεις στην κατασκευή μελετήθηκαν και έδειξαν, ότι ο μη παραγωγικός χρόνος ενός εργάτη κατασκευής μέσα στη διάρκεια της μέρας κυμαίνεται από 40-60%. Το κόστος που σχετίζεται με τυχούσες

ανακατασκευές, σε περίπτωση κακοτεχνιών καλύπτει το 12% όλου του κόστους της κατασκευής, αφαιρώντας τις απώλειες χρημάτων από την καθυστέρηση στην παράδοση, αγωγές και άλλα απρόοπτα έξοδα. Η κακή ποιότητα της εργασίας και οι ανασφαλείς συνθήκες εργασίας έχουν κοστίσει στους πελάτες και τις εταιρείες απώλειες εκατομμυρίων. (Gopalakrishnan)

Στην προκατασκευασμένη δόμηση μόνο η θεμελίωση ακολουθεί τη συμβατική μέθοδο, ενώ τα τμήματα όπως τοίχοι, πατώματα και οροφές είναι προκατασκευασμένα, συμπεριλαμβανομένων των πλαισίων των παραθύρων και των θυρών. Μεταφέρονται στον τόπο ανέγερσης όπου ανυψώνονται με τη βοήθεια γερανού, τοποθετούνται στις θέσεις τους και βιδώνονται μεταξύ τους. (SKP Group of Institutions)

Η προκατασκευασμένη δόμηση μπορεί να χωριστεί στις παρακάτω γενικές κατηγορίες:

1. Μικρή προκατασκευή
2. Μεσαία προκατασκευή
3. Μεγάλη προκατασκευή
4. Προκατασκευή στο πεδίο
5. Προκατασκευή εκτός πεδίου
6. Προκατασκευή ανοιχτού συστήματος
7. Προκατασκευή κλειστού συστήματος
8. Μερική προκατασκευή
9. Ολική προκατασκευή.

Οι πρώτες τρεις κατηγορίες ταξινομούν το σύστημα της προκατασκευής ανάλογα με το βαθμό των προκατασκευασμένων τμημάτων. Οι επόμενες δύο αφορούν στον τόπο της προκατασκευής ενώ η κατηγοριοποίηση σε ανοιχτό ή κλειστό σύστημα αφορά στο αν τα δομικά στοιχεία παραδίδονται στο χώρο ως δομημένο σύνολο (κλειστό σύστημα) ή μονάδες προς ανέγερση στο πεδίο (ανοιχτό σύστημα). (Gopalakrishnan)

Η δομική κατασκευή εκτός πεδίου είναι μια βιώσιμη μέθοδος κατασκευής, η οποία μπορεί να μειώσει τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνέπειες που προκύπτουν από τη συμβατική οικοδομική δραστηριότητα. Η απασχόληση στον τομέα της κατασκευής είναι μια από τις πιο επικίνδυνες εργασίες, με τη θνησιμότητα να έχει αυξηθεί παγκοσμίως και κυρίως στην Ευρώπη, όπου παρουσιάζεται ρυθμός θνησιμότητας 23%. Χώρες όπως η Γερμανία, η Γαλλία, η Ισπανία, το Ηνωμένο

Βασίλειο και η Πορτογαλία βρίσκονται στις πρώτες θέσεις. Εξαιτίας της περιπλοκότητας μιας κατασκευής, υπάρχει η ανάγκη για καινοτομίες και υιοθέτηση νέων τεχνολογιών για την εξυγίανση του τομέα των κατασκευών. (Egege, 2018)

Τα προκατασκευασμένα Δομικά Σύνολα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- ❖ Χαμηλότερο κόστος κατασκευής.
- ❖ Μειωμένη απαίτηση σε εργατικό προσωπικό.
- ❖ Μειωμένες εργασίες στο πεδίο.
- ❖ Λιγότερος χρόνος για την κατασκευή.
- ❖ Λιγότεροι κίνδυνοι ατυχημάτων.
- ❖ Καλύτερη ποιότητα κατασκευής, με τη μείωση των πιθανών κακοτεχνιών. (Egege, 2018)

Παράλληλα όμως έχουν και μειονεκτήματα, με τα κυριότερα να συνοψίζονται παρακάτω:

- ❖ Απαιτείται προσεκτική διαχείριση των προκατασκευασμένων τμημάτων.
- ❖ Απαιτείται προσοχή στην αντοχή και την αντιδιαβρωτική προστασία των συνδέσμων των προκατασκευασμένων τμημάτων.
- ❖ Το κόστος μεταφοράς των προκατασκευασμένων τμημάτων μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο, ανάλογα πάντα με την κατασκευή.
- ❖ Μεγάλες προκατασκευασμένες δομές απαιτούν τη χρήση βαρέως τύπου γερανών και ακριβείς μετρήσεις αλλά και χειρισμούς για την ορθή τοποθέτησή τους.
- ❖ Μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα από προκατασκευασμένες κυψελίδες αισθητικά είναι μονότονα.
- ❖ Η ανεργία ενισχύεται λόγω απασχόλησης μικρότερου εργατικού δυναμικού. (Gopalakrishnan)

Σχετικά με τη δόμηση κτιρίων υπάρχουν τρία είδη προκατασκευής, τα κτίρια που δομούνται από προκατασκευασμένα πάνελ, η αρθρωτή δόμηση και η δόμηση μεταλλικού πλαισίου. Στην πρώτη περίπτωση, τα κτίρια αποτελούνται από αυτοστηριζόμενα πάνελ που συνδέονται μεταξύ τους με βίδες. Αυτός ο τύπος κατασκευής επιτρέπει τη γρήγορη συναρμολόγησή τους. Πρόκειται για ελαφριά κατασκευή, η οποία ελαχιστοποιεί το φορτίο της και κατ' επέκταση και το μέγεθος της θεμελίωσης. Η δυνατότητα των πάνελ να φορτωθούν και να μεταφερθούν όρθια, επάνω σε φορτηγά, το ένα δίπλα στο άλλο, ελαχιστοποιεί και τη φθορά κατά τη μεταφορά, ενώ τα αυτοστηριζόμενα πάνελ είναι ιδανικά για κατασκευή κτιρίων

χαμηλού ύψους σε όλες τις κλιματολογικές συνθήκες. (Εικόνα 8) Η αρθρωτή δόμηση από την άλλη πλευρά είναι κι αυτή γρήγορη στην κατασκευή και αποτελείται από επαναλαμβανόμενες κυψελίδες, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους. (Εικόνα 9) Η δόμηση μεταλλικού πλαισίου παρέχει τη δυνατότητα ανέγερσης κτιρίων οποιουδήποτε γεωμετρικού σχηματισμού και μεγάλου ύψους. Το μεταλλικό πλαίσιο δρα σαν υποστήριγμα και για την κατασκευή δαπέδου. Η οροφή και τα συστήματα τοιχοποιίας ενώνονται με το σκελετό με βίδες και όχι συγκολλητά. (Εικόνα 10) (Jagtap & Dhawadw, 2015)



Εικόνα 8: Ανέγερση σπιτιού με χρήση προκατασκευασμένων πάνελ (Jagtap & Dhawadw, 2015)



Εικόνα 9: Αρθρωτή Δόμηση κυψελίδων (Jagtap & Dhawadw, 2015)



Εικόνα 10: Προκατασκευασμένη Δόμηση Μεταλλικού Πλαισίου (Jagtap & Dhawadw, 2015)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ

2.1 Σπίτια-Δημόσια Κτίρια-Ξενοδοχεία

Η συμβατική μέθοδος ανέγερσης σπιτιών γίνεται με τη μεταφορά τούβλων, ξυλείας, τσιμέντου, άμμου, χάλυβα, αδρανών, κ.α. στο πεδίο ανέγερσης και την κατασκευή του σπιτιού με χρήση αυτών των υλικών. Στην προκατασκευασμένη κατασκευή, μόνο η θεμελίωση φτιάχνεται με αυτά τα υλικά, καθώς τμήματα όπως τοίχοι, πατώματα, οροφές είναι προκατασκευασμένα μαζί με τα πλαίσια των παραθύρων και των θυρών, μεταφέρονται στο πεδίο και ανεγείρονται με τη βοήθεια γερανού, όπου και συναρμολογούνται. (Gopalakrishnan)

Οι πιο διαδεδομένες εφαρμογές των προκατασκευασμένων κατασκευών είναι η χρήση του προκατασκευασμένου σκυροδέματος ή των προκατασκευασμένων χαλύβδινων δομικών τμημάτων, όπου μια επαναλαμβανόμενη διάταξη χρησιμοποιείται για την ανέγερση του κτιρίου. (Gopalakrishnan)

Η Δομική κατασκευή εκτός πεδίου (Off-Site Modular Construction) αναφέρεται στο σχεδιασμό, τη μελέτη, την κατασκευή και ανέγερση στοιχείων ενός κτιρίου σε ένα μέρος διαφορετικό από το χώρο τοποθέτησης, με σκοπό την ταχύτερη και πιο συστηματική κατασκευή ενός κτιρίου, το οποίο είτε μπορεί να μεταφερθεί (λυόμενο) είτε είναι μόνιμο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα διάφορα μέρη του κτιρίου

προκατασκευάζονται στο εργοστάσιο παραγωγής τους και παραδίδονται στο πεδίο εγκατάστασης ή ακόμα μπορεί να προκατασκευαστούν σε ένα χώρο κοντά στο χώρο εγκατάστασης και στη συνέχεια να τοποθετηθούν στις θέσεις τους. Πρόκειται για δομοστοιχειωτά, σε πάνελ και δομημένα σε στοιχεία-μέρη τα οποία χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετήσουν ένα σύστημα, για τη στατικότητα, το περίβλημα και την εσωτερική διαρρύθμιση. (Egege, 2018)

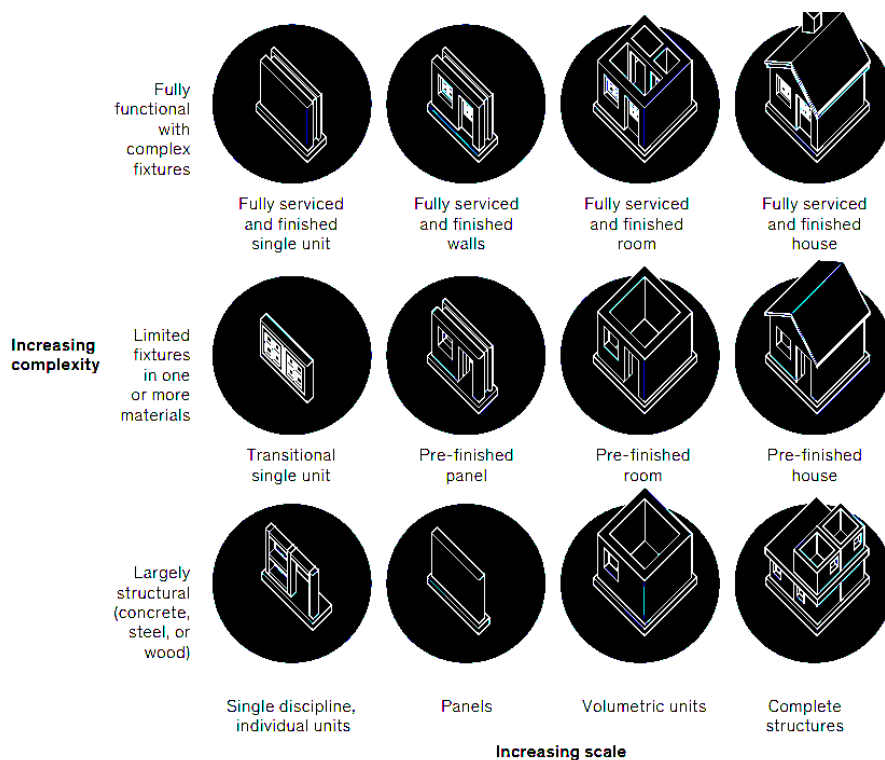
Σε μια προσπάθεια ορισμού της Δομικής Κατασκευής το Modular Building Institute (MBI) στην ετήσια έκθεσή του την όρισε σαν διαδικασία ή μέθοδο κατασκευής, που επιτρέπει ένα δομικό στοιχείο να κατασκευαστεί σαν μια ξεχωριστή μονάδα ή σε συνδυασμό με άλλες δομικές μονάδες, οι οποίες συνιστούν ένα μεγαλύτερο κτιριακό οικοδόμημα. Η πρόθεση μιας τέτοιας κατασκευής είναι η παράδοση μιας δομής, όπου το μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής της έχει γίνει σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον και στην συνέχεια η παράδοσή της στο χώρο εγκατάστασης. Με αυτό τον τρόπο, στο πεδίο γίνονται μόνο οι εργασίες της θεμελίωσης και της βάσης ενώ τα δομικά στοιχεία κατασκευάζονται παράλληλα στο εργοστάσιο. Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, τα κτίρια που χτίζονται με αυτό τον τρόπο είναι δομικά πιο σταθερά και δυνατά σε σύγκριση με τα αντίστοιχα που κατασκευάστηκαν με τον συμβατικό τρόπο κι αυτό γιατί όλα τα δομικά στοιχεία είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα να αντέχουν στη μεταφορά και την ανύψωση, ώστε να τοποθετηθούν στη θέση τους και να σχηματίσουν μια σταθερή δομή. (Egege, 2018)

Η Αρθρωτή Δόμηση χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, τη μεταστεγόμενη (Relocate-able Modular Construction), η οποία ακολουθεί τρόπους δόμησης για την ικανοποίηση προσωρινών αναγκών, όπως είναι προσωρινές σχολικές αίθουσες, τροχοβίλες πεδίου, κ.λπ. και στη μόνιμη (Permanent Modular Construction, PMC), η οποία ακολουθεί το Διεθνή Κώδικα Δόμησης (International Building Code, IBC) και απαιτεί την εργοστασιακή προκατασκευή. Είναι ιδανική λύση για κατασκευή σχολείων, ξενοδοχείων, κοιτώνων και δομών παροχής υγείας (Εικόνα 11).



Εικόνα 11: Τοπικό Μεταστεγόμενης Αρθρωτής Κατασκευής (Egege, 2018)

Οι όροι Δομική κατασκευή εκτός πεδίου, Προκατασκευή και Δομοστοιχειωτή Κατασκευή χρησιμοποιούνται εναλλακτικά για να καλύψουν ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών προσεγγίσεων και συστημάτων (Εικόνα 12). Αυτά τα συστήματα διαφέρουν ως προς την πολυπλοκότητα των στοιχείων τα οποία τις αποτελούν. Το πιο απλό σύστημα είναι απλά στοιχεία που συνδέονται με πρότυπους συνδέσμους.



Εικόνα 12: Πολυπλοκότητα και Κλίμακα Δομοστοιχειωτών κατασκευών (Bertram, et al., 2019)

Τα υλικά κατασκευής των προκατασκευασμένων σπιτιών είναι το αλουμίνιο, το ξύλο, ο υαλοβάμβακας και το σκυρόδεμα.

Τα προκατασκευασμένα συστήματα από σκυρόδεμα είναι κατάλληλα για εμπορικά κτίρια, σχολεία, νοσοκομεία, χώρους στάθμευσης και αθλητικές εγκαταστάσεις, όπου ο βαθμός ευελιξίας στην οργάνωση και διαμόρφωση των ορόφων επιτυγχάνεται με τη χρήση μεγάλης διάταξης στήλης-δοκού που εκτείνεται. Συστήματα με σταυρωτά εσωτερικά τοιχώματα, ενδιάμεσους τοίχους ή προσόψεις χρησιμοποιούνται σε κατασκευές σπιτιών, διαμερισμάτων και ξενοδοχείων. Πλεονεκτήματα αυτών είναι ο μικρότερος χρόνος κατασκευής, η παράδοση επιφανειών που είναι έτοιμες για βάψιμο, οι προσόψεις σαν αρχιτεκτονική προκατασκευή, η καλή ηχομόνωση και η καλή αντίσταση στη φωτιά. (Sai & Kjaerbye, 2001)

Τα προκατασκευασμένα στοιχεία είναι τα ακόλουθα:

1. Σύστημα δαπέδου και οροφής
2. Δοκάρια
3. Προκατασκευασμένες κολώνες
4. Προκατασκευασμένα πάνελ
5. Προκατασκευασμένες οπές (Gopalakrishnan)

Μια άλλη μέθοδος είναι η DfD (Design for Disassembly), η οποία ανήκει σε μια άλλη γενική κατηγορία που ονομάζεται DfE (Design for Environment). Σκοπός της είναι η ανάπτυξη μιας στρατηγικής, ώστε να εξαλείψει κάποια προβλήματα που αφορούν την κατασκευή, όπως είναι η διαχείριση των προϊόντων που βρίσκονται στο τέλος της ζωής τους. Το πρόβλημα ξεκινά από τις αυξημένες ποσότητες αποβλήτων. Η αρχή που υιοθετήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση, έθεσε περιορισμούς στην παραγωγή αποβλήτων και μετέφερε την ευθύνη αυτών στους παραγωγούς των προϊόντων. Έτσι, απαιτείται ο σχεδιασμός προϊόντων και η χρήση υλικών, έχοντας λάβει υπόψιν τον κύκλο ζωής τους. Η μέθοδος λοιπόν DfD προβλέπεται για χρήση σε κτίρια, ώστε να μειωθεί η κατανάλωση νέων υλικών και αποβλήτων στην κατασκευή, ανακαίνιση και κατεδάφιση, να αυξηθεί ο χρόνος ζωής και να δημιουργηθούν κτίρια, τα οποία θα μπορούν να ανακυκλωθούν σε μελλοντικές κατασκευές. Έτσι, φτιάχνονται κτίρια που προσφέρουν οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη στους κατασκευαστές, στους ιδιοκτήτες και στους ενοίκους αυτών. (Guy, Ciarimboli, & Hendrickson, 2005) Οι δέκα βασικές αρχές της μεθόδου DfD είναι οι ακόλουθες:

1. Η καταγραφή των υλικών και των μεθόδων αποσυναρμολόγησης
2. Η επιλογή υλικών με γνώμονα την υψηλή ποιότητα σε συνδυασμό με την επαναχρησιμοποίηση-ανακύκλωσή τους
3. Εργονομικές συνδέσεις προσιτές και ασφαλείς προς τους εργαζόμενους κατασκευαστές
4. Ελαχιστοποίηση των χημικών συνδέσεων, τα οποία δυσκολεύουν την αποσυναρμολόγηση και την επαναχρησιμοποίηση και βλάπτουν το περιβάλλον
5. Χρήση κοχλιωτών, καρφωτών και βιδωτών ενώσεων, ώστε να ελαττώνονται τα απαιτούμενα εργαλεία διαχωρισμού των υλικών
6. Διαχωρισμένα μηχανολογικά, ηλεκτρολογικά και υδραυλικά συστήματα από τις συνδεσμολογίες που τα οργανώνουν, ώστε να είναι εύκολος ο διαχωρισμός των στοιχείων και των υλικών για λόγους συντήρησης, επισκευής, αντικατάστασης, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης
7. Σχεδιασμένα ώστε να είναι εύκολη η εργασία και ο χρόνος διαχωρισμού τους
8. Απλότητα των σκελετών και των σχημάτων και τυποποιημένα πλέγματα που επιτρέπουν την ευκολία της κατασκευής και της αποσυναρμολόγησης σταδιακά. (Guy, Ciarimboli, & Hendrickson, 2005)

Η κατασκευή οποιουδήποτε οικιστικού κτιρίου, βιομηχανικού κτιρίου, ή άλλου τύπου κτιρίου αρχίζει με τη μελέτη και την προετοιμασία του χώρου εγκατάστασης. Ο σωστός υπολογισμός και η εγκατάσταση της υποδομής αποτελεί εγγύηση για μακροχρόνια λειτουργία του κτιρίου. Στη σύγχρονη κατασκευή χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι θεμελίων, η επιλογή των οποίων εξαρτάται από: τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο οποίο θα χτιστεί το κτίριο, το μέγεθος του κτιρίου και δεδομένα όπως εάν χρησιμοποιούνται τοίχοι και δομικά υλικά, οι κλιματικές συνθήκες, το επίπεδο υπόγειων υδάτων, κ.λπ.. (EXPERTEXPRO, 2022)

Αυτοί και άλλοι παράγοντες καθορίζουν την επιλογή σχεδιασμού που είναι βέλτιστη για ένα συγκεκριμένο κτίριο. Η βάση πρέπει όχι μόνο να υποστηρίζει το βάρος του κτιρίου, αλλά και να διαθέτει επαρκές περιθώριο ασφαλείας για να αντισταθμίσει απρόβλεπτα φορτία, φυσικές καταστροφές (π.χ. πλημμύρες, σοβαρούς παγετούς που προκαλούν διόγκωση του εδάφους κλπ.) ή πιθανή αύξηση του βάρους του κτιρίου λόγω πρόσθετης εξωτερικής και εσωτερικής διακόσμησης,

ανακατασκευή, αύξηση του αριθμού των ορόφων, χιόνι στην οροφή. (EXPERTEXPPO, 2022)

Σε οικιστικές και βιομηχανικές κατασκευές χρησιμοποιούνται διάφορα θεμέλια, τα οποία διαφέρουν στην πολυπλοκότητα της εγκατάστασης, τη φέρουσα ικανότητα, το κόστος. Οι τύποι των θεμελίων για μια ιδιωτική κατοικία περιορίζονται σε διάφορες επιλογές όπως τύπου ταινίας, πλάκας, σωρού. (EXPERTEXPPO, 2022)

2.2 Αποθήκες και Βιομηχανικά κτίρια

Τα προκατασκευασμένα μεταλλικά κτίρια χρησιμοποιούν γαλβανισμένο χάλυβα και galvalume (ένας τύπος γαλβανισμού με ψευδάργυρο, αλουμίνιο και πυρίτιο για την προστασία του χάλυβα από τη διάβρωση, τη σκουριά και τη φωτιά). Αποτελούν επίσης ένα προστατευτικό κάλυμμα για το προκατασκευασμένο κτίριο. Σχεδόν όλα τα τμήματα του μεταλλικού κτιρίου όπως τα δοκάρια, τα πλαίσια, οι τοίχοι και οι οροφές είναι φτιαγμένες από χάλυβα. Τα περισσότερα προκατασκευασμένα κτίρια του στρατού χρησιμοποιούν χαλύβδινα ή αλουμινένια πλαίσια. (Gopalakrishnan)

Η μέθοδος DfD, η οποία αναφέρθηκε στην προηγούμενη υποενότητα, βρίσκει εφαρμογή και στην κατασκευή βιομηχανικών κτιρίων και αποθηκών. Πρώτο παράδειγμα αποτελούν τα καταστήματα της εταιρείας IKEA. Πρόκειται για μια κατασκευή «Μεγάλου Κουτιού» (Big Box). Μια ιδιαιτερότητα που ακολουθεί η συγκεκριμένη εταιρεία είναι η χρήση δεύτερου ορόφου, χρησιμοποιώντας πιο αποδοτικά την επιφάνεια του κτιρίου. Η βασική κατασκευή είναι μεταλλικές κολώνες και σύστημα ζευκτού ανοιχτού ιστού με θεμελίωση σε πλάκα. Ο χάλυβας σαν υλικό είναι 100% ανακυκλώσιμος, ενώ τα ημιτελή εσωτερικά του, παρέχουν πλήρη πρόσβαση για οποιαδήποτε εργασία αποσυναρμολόγησης και οπτικά και φυσικά. (Εικόνα 13) (Guy, Ciarimboli, & Hendrickson, 2005)



Εικόνα 13: Το κατάστημα IKEA πρόσοψη και λεπτομέρεια σύνδεσης (Guy, Ciarimboli, & Hendrickson, 2005)

Η επένδυση της κατασκευής είναι από κυματοειδή χάλυβα και χρησιμοποιεί φεγγίτες για το φυσικό φωτισμό του κτιρίου. Η διαφορά μεταξύ δομής και κελύφους επιτρέπει σε ένα σύστημα κολώνας και δοκαριού την διαφοροποίηση του εξωτερικού κελύφους ανάμεσα σε μεγάλες εκτάσεις τζαμιών, μετάλλου ή πλήρωσης με μονάδες τοιχοποιίας από σκυρόδεμα. Οι μεγάλοι χώροι προβολής οργανώνονται με μια σειρά τοίχων μερικού ύψους, οι οποίοι είναι εύκολα μετακινούμενοι. Στην οροφή υπάρχουν μεγάλα μεταλλικά αιωρούμενα πλέγματα σχήματος U, για την τοποθέτηση των καλωδίων και του φωτισμού. Το αιωρούμενο πλέγμα δημιουργεί μια επίπεδη οροφή, ενώ σε κάποιες χώρες χρησιμοποιούνται και φωτοβολταϊκά για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι πως τα πάνελ των εσωτερικών τοίχων στο Τορόντο είναι φτιαγμένα από απόβλητα λιναριού και γυψοσανίδας. Το λινάρι είναι ένα ταχέως ανακυκλώσιμο υλικό και τα στερεά πάνελ προσκολλούνται στις ραφές με ελαφριά κόλλα, η οποία επιτρέπει τον εύκολο διαχωρισμό τους και την αναδιάταξή τους. Όλα τα καταστήματα διαθέτουν σύστημα συλλογής ανακύκλωσης και ένα κατάστημα στη Σουηδία διαθέτει και τοπική μονάδα ανακύκλωσης.

Μένοντας στην ίδια μέθοδο, αλλά αλλάζοντας πεδίο εφαρμογής, δηλαδή στον βιομηχανικό τομέα, περιγράφεται και ένα κτίριο 290,000 ft², το οποίο έχει χαρακτηριστεί «πράσινο» κτίριο. Το κτίριο αυτό είναι ένας συνδυασμός εργοστασίου, αποθήκης και γραφείων. Τα γραφεία ενώνονται με την υπόλοιπη υποδομή με ένα γυάλινο αίθριο που θεωρείται σαν κοινόχρηστος χώρος. Περιοχές φόρτωσης τοποθετήθηκαν από τις τρεις πλευρές του κτιρίου, έτσι ώστε να παρέχεται ευελιξία στην εσωτερική διαρρύθμιση.

Το δομικό σύστημα της οροφής του κτιρίου αποτελείται από θολωτά ζευκτά ανοιχτού ιστού, που επιτρέπει την τοποθέτηση φεγγιτών που παρέχουν φυσικό φωτισμό. Η χαλύβδινη δομική κατασκευή χρησιμοποιεί κοχλιωτές συνδέσεις και ανακυκλώσιμα υλικά. Το κτίριο περιλαμβάνει περίπου 47,000 ft² παράθυρα που επιτρέπουν την είσοδο του φυσικού φωτός και εξοικονομούν ενέργεια. Η εξωτερική επένδυση από τούβλα είναι κατασκευασμένη επί τόπου. Χρησιμοποιείται ενδοδαπέδια θέρμανση για την αποφυγή χρήσης μεγάλων αεραγωγών. Με χρήση ανεμιστήρων η θερμότητα κατανέμεται σε όλο το χώρο. Ο τεχνητός φωτισμός του κτιρίου χρησιμοποιεί έναν παθητικό δέκτη υπέρυθρης ακτινοβολίας και ένα ρολόι, επιτρέποντας στο σύστημα να ρυθμίζει το τεχνητό φως ανάλογα με την ώρα της

ημέρας και μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση. (Εικόνα 14) (Guy, Ciarimboli, & Hendrickson, 2005)



Εικόνα 14: Ο χώρος παραγωγής και ο κοινόχρηστος χώρος (Guy, Ciarimboli, & Hendrickson, 2005)

2.3 Γέφυρες

Τα προκατασκευασμένα δομικά σύνολα μπορούν να συνδυάσουν την ανέγερση προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων για την κατασκευή μιας γέφυρας. Υπάρχει όμως και η ανωδομή, η οποία συνδυάζει προκατασκευασμένες δοκούς στήριξης και πλατφόρμες σε ενότητες, οι οποίες μπορούν να μεταφέρονται και να τοποθετούνται παράλληλα, μειώνοντας την ανάγκη για τοποθέτηση πολλαπλών αυτόνομων στοιχείων. Σε κάποιες περιπτώσεις, προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία μπορούν να συνδυαστούν με παραδοσιακές κατασκευές, οι οποίες δομούνται επί τόπου. (Roddenberry & Servos, 2012)

Γενικά υπάρχουν δύο αρχικές μέθοδοι κατασκευής, η ανά πλάτος “span by span” κατασκευή και η μέθοδος κατασκευής προβόλου. Και για τις δύο μεθόδους κατασκευής τα προκατασκευασμένα τμήματα πρέπει να φτιαχτούν στο χώρο χύτευσης, είτε με τη μέθοδο της μακράς γραμμής χύτευσης ή τη μέθοδο της βραχείας γραμμής χύτευσης. Στην κατασκευή “span by span” η ανέγερση των τμημάτων γίνεται είτε με τη μέθοδο γερανογέφυρας από κάτω, είτε με μηχανές αυτόματης εκτόξευσης από επάνω. Η ισορροπημένη και ακόμη και χωρίς χρήση προβόλου μέθοδος κατασκευής, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με μορφή ταξιδιώτη είτε με

σύστημα εκτόξευσης από επάνω, ενώ η προοδευτική κατασκευή προβόλου. η οποία είναι μια παραλλαγή κατασκευής χωρίς πρόβολο, μπορεί να απαιτεί τη χρήση μόνιμων γερανών. (Heggade)

Η μέθοδος ανέγερσης προκατασκευασμένης γέφυρας με τον όρο Prefabricated Bridge Elements and Systems (PBES) αναφέρει ότι σχεδόν όλα τα τμήματα της γέφυρας κατασκευάζονται εκτός του εργοταξίου σε ελεγχόμενο περιβάλλον, όπου δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη διασφάλιση της υψηλής ποιότητας και του αυξημένου χρόνου ζωής. Ο βασικός λόγος που χρησιμοποιείται η μέθοδος είναι για να μειωθούν όσο το δυνατόν οι συνέπειες των εργασιών ανέγερσης στη μετακίνηση του κοινού. Όλες οι εργασίες ανέγερσης γεφυρών, όπως είναι σαφές απαιτούν την κατασκευή εναλλακτικών πρόχειρων διόδων και παρακάμψεων και επιδρούν αρνητικά στο περιβάλλον. Έτσι, η μέθοδος των προκατασκευασμένων τμημάτων μιας γέφυρας μειώνει το κόστος ανέγερσής της, το χρόνο ανέγερσής της και βελτιώνει την ασφάλεια των οδηγών και μειώνει την ενόχληση που προκαλούν τα έργα σε αυτούς που πρέπει να μετακινούνται. (Roddenberry & Servos, 2012)

Κατασκευαστικά, η ανέγερση ξεκινά από κάτω προς τα επάνω, συνεπώς το πρώτο βήμα είναι η κατασκευή της θεμελίωσης. Αυτό απαιτεί την κατασκευή καλουπιών, την τοποθέτηση οπλισμού και την έγχυση σκυροδέματος πριν τοποθετηθούν οι βάσεις ή οι κολώνες της γέφυρας. Το σκυρόδεμα πρέπει να προενταθεί καλά πριν τοποθετηθούν τα φορτία, κάτι που αυξάνει το χρόνο κατασκευής. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται όχι μόνο για τις κολώνες αλλά και για τις καλύπτρες της βάσης, που τοποθετούνται στην κορυφή των κολώνων και της ανωδομής. (Roddenberry & Servos, 2012)

Με τη μέθοδο PBES, όλα τα δομικά στοιχεία μπορούν να κατασκευάζονται παράλληλα, ώστε να είναι έτοιμα για αποστολή, πριν τα ζητήσουν από το εργοτάξιο. Μιας και τα δομικά στοιχεία κατασκευάζονται συνήθως σε ελεγχόμενο περιβάλλον, οι καιρικές συνθήκες δεν επιδρούν στο χρόνο κατασκευής τους και τέτοιου είδους καθυστερήσεις μπορούν να υπάρξουν μόνο κατά την ανέγερση. Ειδικά σε περιοχές με τροπικό κλίμα, η προκατασκευή αποτελεί μια ιδανική λύση για την επίσπευση των εργασιών. (Roddenberry & Servos, 2012)

Στοιχεία από την αμερικάνικη αγορά έδειξαν και αρκετά μεγάλη μείωση στο κόστος ανέγερσης μιας γέφυρας. Στην Εικόνα 15 δίνονται δύο στιγμιότυπα από τις εργασίες ανέγερσης μιας γέφυρας με τη μέθοδο της προκατασκευής. Στην πρώτη

εικόνα φαίνεται η τοποθέτηση του πρώτου δοκαριού και στη δεύτερη, η τοποθέτηση του τελευταίου.



Εικόνα 15: Κατασκευή προκατασκευασμένης γέφυρας (Roddenberry & Servos, 2012)

Οι εργασίες εγκατάστασης προκατασκευασμένων γεφυρών απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό, μεγαλύτερο εύρος χρήσης διαδικασιών ειδικών κατασκευών, χρήσης εξοπλισμού για μεγάλα φορτία, και ειδικές προδιαγραφές σχεδίασης και συνδεσμολογίας των προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων. Η μέθοδος λοιπόν δεν προτείνεται σε περιπτώσεις όπου η συμβατική μέθοδος ανέγερσης δεν σχετίζεται με λειτουργικά, περιβαλλοντικά ή χρονοδιαγραμματικά θέματα.

2.3.1 Προκατασκευασμένα καταστρώματα

Ένα πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου η ομαλή επιφάνεια οδοστρώματος, η οποία μπορεί να δουλευτεί και να έρθει στο σωστό ύψος και προφίλ. Δυστυχώς αυτή η μέθοδος απαιτεί την κατασκευή προσωρινών καλουπιών ή καλουπιών τα οποία δεν αφαιρούνται στο τέλος της διαδικασίας, για τη συγκράτηση του υγρού σκυροδέματος. Όσο παραμένει το καλούπι, πρέπει να δεθεί ο οπλισμός, και να γίνει η έγχυση του σκυροδέματος. Κατόπιν το σκυρόδεμα αφήνεται μέχρι να αποκτήσει αντοχή και στη συνέχεια επιτρέπεται η διέλευση των αυτοκινήτων. Η μέθοδος αυτή είναι γενικά χρονοβόρα και χρειάζεται αρκετή εργασία, εξαιτίας όλης της προαναφερόμενης διαδικασίας. Με τη χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων πλατφόρμας, αποφεύγονται οι παραπάνω περιορισμοί. (Roddenberry & Servos, 2012)

Υπάρχουν δύο τύποι προκατασκευασμένων πάνελ σκυροδέματος: μερικού βάθους και ολικού βάθους. Και οι δύο τύποι πάνελ για τον σχηματισμό καταστρώματος είναι προκατασκευασμένοι σε χώρο μακριά από το εργοτάξιο και

μεταφέρονται στον τόπο ανέγερσης όταν απαιτείται. Όταν φθάσουν στο χώρο ανέγερσης, τα πάνελ μεταφέρονται με γερανό και τοποθετούνται απευθείας επάνω στις προκατασκευασμένες δοκούς και ενώνονται μεταξύ τους με διάφορους τρόπους. (Roddenberry & Servos, 2012)

Πάνελ ολικού βάθους για κατασκευή καταστρωμάτων

Χρησιμοποιούνται πιο συχνά διότι δεν απαιτούν την οποιαδήποτε επεξεργασία στο πεδίο. Μπορούν να τοποθετηθούν εγκάρσια ή κατά μήκος και διαφέρουν σε μεγέθη και σχήματα. (Εικόνα 16) Συνήθως, τα δομικά στοιχεία κατασκευάζονται με εγκάρσιους συνδέσμους και κάθε πάνελ έχει άνοιγμα όσο είναι του άνοιγμα του δρόμου της γέφυρας. Επειδή αυτά τα δομικά στοιχεία έχουν φτιαχτεί στο εργοστάσιο, μπορούν εύκολα να έχουν προενταθεί και συνήθως η προέντασή τους στο πεδίο είναι διαμήκης μετά την τοποθέτηση. Έτσι, διασφαλίζεται ότι τα πάνελ είναι ασφαλώς ενωμένα μεταξύ τους για το σχηματισμό της πλατφόρμας της γέφυρας. (Roddenberry & Servos, 2012)



Εικόνα 16: Πάνελ σχηματισμού πλατφόρμας ολικού βάθους (Roddenberry & Servos, 2012)

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να συνδέσει κανείς τα πάνελ μεταξύ τους. Ο πιο συνήθης είναι ένας σύνδεσμος ρευστοποιημένου αντιδιατμητικής οδόντωσης. Υπάρχουν τύποι αντιδιατμητικής οδόντωσης περιλαμβανομένων των θηλυκό-θηλυκό, αρσενικό-θηλυκό και ενώσεις ταιριαστών καλουπιών που είναι προεντεταμένες, βιδωτές, συγκολλητές ή παθητικά ενισχυμένες. Η δημιουργία ρωγμών στις ενώσεις των πάνελ αποτελεί ίσως μια από τις πιο δύσκολα αντιμετωπίσιμες καταστάσεις στην

περίπτωση αυτών των κατασκευών και οδηγούν στη φθορά και τη διαρροή νερού. (Roddenberry & Servos, 2012)

Δυστυχώς, οι προεντεταμένοι σύνδεσμοι είναι οι πιο περίπλοκες μορφές ενώσεων, αλλά και οι πιο αποτελεσματικές. Με την ανάπτυξη δυνάμεων συμπίεσης στους συνδέσμους, το σκυρόδεμα έχει τις μικρότερες πιθανότητες να αναπτύξει ρωγμές. Ο παθητικά ενισχυμένος σύνδεσμος κατασκευάζεται με ένα ειδικό κλείσιμο. Η ενίσχυση τοποθετείται έτσι ώστε να εκτείνεται έξω από το προκατασκευασμένο στοιχείο μέχρι το σημείο ένωσης. Όταν τοποθετηθούν τα στοιχεία, το κενό γεμίζεται με σκυρόδεμα. (Roddenberry & Servos, 2012)

Οι συγκολλητοί σύνδεσμοι κατασκευάζονται με την προσεκτική τοποθέτηση χαλύβδινων επενδύσεων στο στοιχείο πριν την προκατασκευή του. Η τοποθέτηση των επενδύσεων γίνεται σε συνδυασμό με άλλα χαλύβδινα πλέγματα, ώστε όταν τοποθετηθούν, ευθυγραμμιστούν και συγκολληθούν να εξασφαλίζουν τη μεταφορά των φορτίων. Γενικά οι συγκολλητές ενώσεις χρειάζονται λιγότερο χρόνο για να κατασκευαστούν, έχουν όμως το μειονέκτημα ότι χρειάζονται πιστοποιημένους συγκολλητές και ότι είναι δύσκολες στην κατασκευή τους σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και πολλές φορές αμφισβητούμενης ποιότητας. (Roddenberry & Servos, 2012)

Ένας ακόμη τύπος ένωσης καλείται θύλακας διάτμησης, ο οποίος είναι προκατασκευασμένος στο δομικό στοιχείο. Χρειάζεται επίσης τα στηρίγματα να προεξέχουν από τους θύλακες και όταν το πάνελ τοποθετηθεί στη θέση του, χρησιμοποιείται μη συρρικνούμενο ένεμα για την πλήρωση του θύλακα και την ολοκλήρωση της ένωσης. (Roddenberry & Servos, 2012)

Τα πάνελ ολικού βάθους έχουν μεγάλο φορτίο ανύψωσης, γι' αυτό προτιμάται η κατασκευή τους να γίνεται με χαμηλού βάρους σκυρόδεμα ή ο οπλισμός τους να είναι από πολυμερή. Αυτά τα υλικά προτιμώνται όταν είναι απαραίτητη η μείωση των φορτίων στις ανωδομές, ή υπάρχει περιορισμός χώρου και πρέπει να χρησιμοποιηθεί γερανός μικρότερης δυναμικότητας ανύψωσης. Επόμενο πρόβλημα είναι η εξασφάλιση της ευθυγράμμισης ανάμεσα στα πάνελ, έτσι ώστε να είναι ομοιόμορφο το επίπεδο του οδοστρώματος, διότι τότε μπορεί να προκληθούν δυναμικές δονήσεις, οι οποίες επιδρούν αρνητικά στο χρόνο ζωής της γέφυρας. Το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί με την επιλογή μιας μεθόδου ευθυγράμμισης μέσω ειδικής σύνδεσης μεταξύ των πάνελ, η οποία μπορεί μετά την ευθυγράμμιση να αφαιρεθεί. (Roddenberry & Servos, 2012)

Πάνελ μερικού βάρους για κατασκευή καταστρωμάτων

Με τη μέθοδο αυτή, αφού εγκατασταθούν τα πάνελ που σχηματίζουν το κατάστρωμα της γέφυρας, τότε κατασκευάζεται από επάνω μια ενιαία πλάκα. Τα πάνελ έχουν συνήθως πάχος από 3.5 έως 4 in, και τοποθετούνται πάνω από δοκάρια που ενώνουν τα ανοίγματα της γέφυρας. Στη μέθοδο αυτή δεν απαιτείται η κατασκευή καλουπιού, ενώ ένα μειονέκτημά της αποτελεί ο σχηματισμός ρωγμών στην επάνω πλάκα, στα σημεία που συνδέονται τα πάνελ. Εξαιτίας του μικρού πάχους των πάνελ, είναι σημαντική η άσκηση μιας ελάχιστης δύναμης προέντασης και η χρήση μικρής διαμέτρου συρματόσκοινου ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος ρωγμών στα άκρα. (Roddenberry & Servos, 2012)

Τα πάνελ κατασκευάζονται από χαλύβδινα και τσιμεντένια δοκάρια και φέρουν συνδέσμους για την ένωσή τους. Όταν τοποθετηθεί η επάνω πλάκα, τότε οι σύνδεσμοι αυτοί καλύπτονται. Σημαντικό για το σύστημα αυτό είναι η κατασκευή τσιμεντένιου υποστρώματος μεταξύ των πάνελ και των δοκών στήριξης ώστε τα πάνελ να έχουν υποστήριξη έναντι των ζωντανών φορτίων, αλλιώς το οδόστρωμα δεν θα είναι καλό και οι ενώσεις μπορεί να θρυμματιστούν. (Roddenberry & Servos, 2012)

Κατάστρωμα ανοιχτού πλέγματος

Χρησιμοποιούνται κυρίως όπου απαιτείται ένα κατάστρωμα μικρού βάρους, όπως είναι οι κινητές και οι αιωρούμενες γέφυρες. Παρουσιάζουν το μειονέκτημα της μικρής αντοχής των στοιχείων που στηρίζουν την ανοιχτή σχάρα. Τα πάνελ που αποτελούν το κατάστρωμα ενώνονται μεταξύ τους με συγκόλληση ή με βίδες. Εάν τα πάνελ έρθουν στο πεδίο της εγκατάστασης και βαμμένα, τότε δε γίνεται ούτε βαφή των συνδέσμων. (Εικόνα 17) (Roddenberry & Servos, 2012)



Εικόνα 17: Κατάστρωμα ανοιχτού πλέγματος (Roddenberry & Servos, 2012)

Υβριδικό κατάστρωμα τσιμέντου/γάλυβα

Αυτά τα συστήματα συνδυάζουν το χάλυβα με το σκυρόδεμα. Υπάρχουν δύο τύποι: το κατάστρωμα ημιτελούς χαλύβδινης πλήρωσης και το εξωτερικό κατάστρωμα. Η πρώτη αποτελείται από χαλύβδινο κατάστρωμα, το οποίο είναι ημιτελές και το σκυρόδεμα κατασκευάζεται μετά την τοποθέτησή του, έτσι ώστε να αυξήσει την απόδοσή του. Στο εξωτερικό κατάστρωμα (Εικόνα 18) η διαφορά είναι το στρώμα του σκυροδέματος είναι προκατασκευασμένο. (Roddenberry & Servos, 2012)



Εικόνα 18: Εγκατάσταση εξωτερικού καταστρώματος γέφυρας (Roddenberry & Servos, 2012)

Κατάστρωμα από σκυρόδεμα ενισχυμένο με ίνες πολυμερούς

Το ενισχυμένο με ίνες πολυμερές χρησιμοποιήθηκε πρώτα στην αεροδιαστημική τεχνολογία και μπορούν να κατασκευαστούν από διάφορους τύπους ινών και να σχηματίσουν διάφορα σχήματα. Τα προϊόντα από ενισχυμένες ίνες πολυμερών έχουν υψηλή αντοχή, μικρό βάρος και είναι ανθεκτικά στη διάβρωση. Έχουν επίσης χαμηλό συντελεστή ελαστικότητας, με αποτέλεσμα να μη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δοκοί, αλλά δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα στη χρήση τους στα καταστρώματα, καθώς τα δομικά ανοίγματα των στοιχείων είναι πολύ μικρά. Η σύνδεση των πάνελ γίνεται με τη χρήση υψηλής ποιότητας εποξικού συγκολλητικού μέσου, ενώ τα πάνελ συνδέονται και με το σκελετό της γέφυρας (Εικόνα 19). (Roddenberry & Servos, 2012)



Εικόνα 19: Κατασκευή καταστρώματος από ενισχυμένο με ίνες πολυμερές (Roddenberry & Servos, 2012)

Ξύλινα καταστρώματα

Οι περισσότερες ξύλινες γέφυρες κατασκευάζονται για μικρές κυκλοφορίες, αλλά οι προκατασκευασμένες ξύλινες δοκοί που φτιάχνονται εργοστασιακά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για πιο μεγάλης κυκλοφορίας γέφυρες. Τα προκατασκευασμένα ξύλινα πάνελ και οι ξύλινες δοκοί κατασκευάζονται με τη διαδικασία κολλητού λαμινέιτ, όπου μικρά κομμάτια ξυλείας μικρών διαστάσεων κολλούνται μεταξύ τους δίπλα-δίπλα για να σχηματίσουν το πάνελ (Εικόνα 20). Για τις δοκούς, η μεγάλη διάσταση των λαμινέιτ είναι οριζόντια και για πάνελ η μεγαλύτερη διάσταση των λαμινέιτ είναι κάθετη. Εφόσον οι γέφυρες εκτίθενται στα καιρικά φαινόμενα,

απαιτείται προστασία της ξύλινης κατασκευής από τη δράση του νερού, γι' αυτό η κατασκευή των κομματιών του λαμινείτ, όσο και των προκατασκευασμένων στοιχείων κάνει χρήση αδιάβροχης κόλλας.



Εικόνα 20: Κατασκευή γέφυρας ξύλινου καταστρώματος (Roddenberry & Servos, 2012)

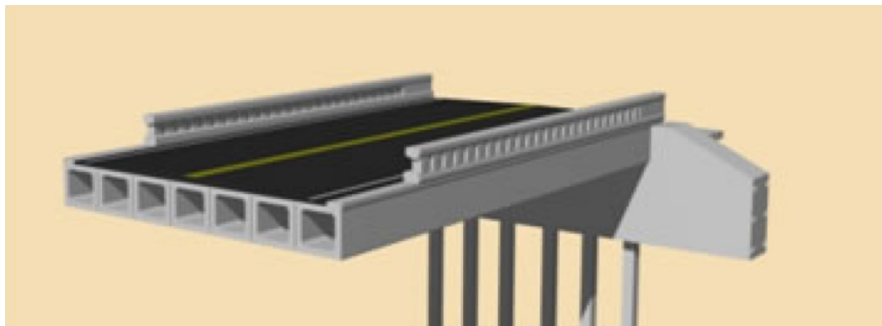
2.3.2 Προκατασκευασμένες δοκοί

Το πιο διαδεδομένο δομικά στοιχείο που χρησιμοποιείται στην κατασκευή γεφυρών είναι η προκατασκευασμένη και προεντεταμένη δοκός. Παρόλο που η κύρια δοκός στήριξης που χρησιμοποιείται είναι σε σχήμα I, υπάρχουν και εναλλακτικές επιλογές όπως είναι η δοκός σε σχήμα U, η δοκός μονού και διπλού T, η δοκός σε σχήμα κουτιού, επίπεδης πλάκας και η δοκός από πλάκες με κενά. (Roddenberry & Servos, 2012)

Διαδογικές δοκοί σε σχήμα κουτιού

Σε αυτό το σύστημα χρησιμοποιούνται προκατασκευασμένες δοκοί σε σχήμα κουτιού, διαδοχικά τοποθετημένες, η μία δίπλα στην άλλη (Εικόνα 21). Η κάθε δοκός έχει μήκος όσο το άνοιγμα την γέφυρας και το μειονέκτημά τους είναι στη διαμήκη ένωση των δοκών, όπου παρουσιάζονται θέματα διαρροών και αντοχής. Για την αντιμετώπιση των θεμάτων αυτών μπορεί να γίνει προένταση, ώστε να ενωθούν οι

δοκοί εγκάρσια. Μπορούν επίσης οι δοκοί να προενταθούν κατά μήκος, ώστε να αποκτήσουν μεγαλύτερη αντοχή και να αυξηθεί το άνοιγμα της γέφυρας. (Roddenberry & Servos, 2012)



Εικόνα 21: Γέφυρα με διαδοχικές δοκούς σε σχήμα κουτιού (Roddenberry & Servos, 2012)

Δοκοί ανεστραμμένου T

Πρόκειται για ένα ευρωπαϊκό σύστημα προκατασκευής. Όταν οι δοκοί τοποθετούνται η μία δίπλα στην άλλη, σχηματίζεται ανάμεσά τους ένα κανάλι από ενισχυτικά άγκιστρα οπλισμού. (Εικόνα 22) Αφού γίνει δέσιμο του οπλισμού, το κανάλι κλείνεται με σκυρόδεμα. Παρόλο που πρόκειται για εύκολη κατασκευή, η τελική στερεά διατομή δεν είναι τόσο καλή όσο η αντίστοιχη με χρήση των δοκών σε σχήμα κουτιού. (Roddenberry & Servos, 2012)



Εικόνα 22: Δοκός ανεστραμμένου T (Roddenberry & Servos, 2012)

2.3.3 Προεντεταμένες καλύπτρες

Στα προκατασκευασμένα δομικά σύνολα γίνεται χρήση συχνότερα της προκατασκευασμένης λυγισμένης καλύπτρας. Εξαιτίας της φύσης των καλουπιών και

του οπλισμού τους είναι ευκολότερο να κατασκευαστούν εκτός του εργοταξίου. Η προκατασκευή τους επιπλέον μειώνει τα θέματα ασφάλειας των εργατών, διότι χρειάζεται να περάσουν λιγότερο χρόνο σε επικίνδυνα ύψη. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι προκατασκευασμένων καλυπτρών: Το παραλληλόγραμμο και το ανεστραμμένο T. Οι καλύπτρες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε δοκούς που φτιάχνονται επί τόπου στο εργοτάξιο είτε με προκατασκευασμένες δοκούς. Όπως και για τα προκατασκευασμένα πάνελ, υπάρχουν διάφοροι τρόποι σύνδεσης των καλυπτρών με τα στηρίγματά τους (Εικόνα 23), (Roddenberry & Servos, 2012)



Εικόνα 23: Σύνδεση δοκού με καλύπτρα (Roddenberry & Servos, 2012)

2.3.4 Στηθαία και τοιχία

Τα προκατασκευασμένα στηθαία και τοιχία εξοικονομούν χρόνο από την κατασκευή τους στο εργοτάξιο με τους συμβατικούς τρόπους. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα προκατασκευασμένων στοιχείων, τα οποία χρησιμοποιούνται ως στηθαία γεφυρών, όπως και τοιχίων: καλύπτρες για θεμέλια κασονιών ή πασσάλων, προκατασκευασμένες βάσεις, πτερύγια ή οπίσθια τοιχώματα, χαλύβδινο ή μπετονένιο διάφραγμα από πασσαλοσανίδες, προκατασκευασμένα πάνελ τοίχου πλήρους ύψους, τσιμεντένια στηθαία που κατασκευάζονται επί τόπου, τοιχία μηχανικά στηριγμένα, και στηθαία από χώμα γεωσυνθετικά ενισχυμένα. (Roddenberry & Servos, 2012)

2.3.5 Κολώνες και βάσεις γέφυρας

Παραδείγματα τέτοιων προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων είναι οι τμηματικές κολώνες, οι ολόκληρες κολώνες, οι τμηματικές βάσεις, οι ολόκληρες βάσεις και οι στήλες. Μια τμηματική κολώνα αποτελείται από πολλαπλά τμήματα τα οποία τοποθετούνται το ένα επάνω από το άλλο μέχρι το επιθυμητό ύψος. Τέτοιες κολώνες μπορούν να ενώνονται με προεντεταμένες συνδέσεις ή ενώσεις έγχυσης. Οι τμηματικές κολώνες είναι μια καλή επιλογή επειδή είναι εύκολα διαχειρίσιμες και ανεγείρονται με λιγότερο κόπο. (Roddenberry & Servos, 2012)

Η επόμενη επιλογή είναι ολόκληρες οι κολώνες να είναι προκατασκευασμένες. Μπορούν να τοποθετηθούν είτε σε προκατασκευασμένες βάσεις ή σε βάσεις που φτιάχνονται στο πεδίο. Για τη σύνδεσή τους με τη βάση μπορεί να τοποθετηθούν τένοντες είτε προκατασκευασμένοι στις κολώνες είτε στη βάση. Αυτές οι κολώνες έχουν συχνά κενές περιοχές για να μειώνεται το βάρος ανύψωσης. Βάσεις ή ενδιάμεσα στηρίγματα γέφυρας μπορούν επίσης να είναι προκατασκευασμένα, όπως και οι κολώνες είτε τμηματικά είτε ως σύνολα. Προκατασκευασμένες στήλες είναι ένα άλλο παράδειγμα προκατασκευασμένης κολώνας. Χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις προεντεταμένες καλύπτρες, όταν κάποια εύκαμπτη σωλήνα έχει εγκατασταθεί μέσα στην καλύπτρα. Όταν οι κολώνες φτάσουν το κατάλληλο ύψος, η καλύπτρα χαμηλώνεται επάνω στην κολώνα και το κενό γεμίζεται με ενέματα. (Roddenberry & Servos, 2012)

2.4 Άλλα προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία

Η προκατασκευή είναι αναγνωρισμένη σαν μια μοντέρνα μέθοδος κατασκευής με αρκετές εφαρμογές που όμως απαιτούν καλά εκπαιδευμένο και εξειδικευμένο προσωπικό για τη σωστή εγκατάστασή της. Εκτός από τα προκατασκευασμένα δομικά σύνολα, σημαντικές είναι και κάποιες δομικές εφαρμογές που εξυπηρετούν την επίτευξη μιας ανέγερσης, όπως είναι οι ακόλουθες:

- Προκατασκευασμένα κλιμακοστάσια για σπίτια και βιομηχανικές εφαρμογές που εξυπηρετούν διάφορα ύψη ορόφων. Είναι κατασκευασμένες από σκυρόδεμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για εξόδους διαφυγής.
- Προκατασκευασμένους αγωγούς απόρριψης σκουπιδιών σε πολυώροφα κτίρια.
- Προκατασκευασμένα σκέπαστρα κυρίως για οικιακή χρήση.

- Προκατασκευασμένες μονάδες αποχωρητηρίων για οικιακή και επαγγελματική χρήση (Building and Construction Authority, 2000).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ 3D PRINTING

Η μέθοδος 3D Printing είναι η διαδικασία κατασκευής στερεών αντικειμένων στο χώρο κάνοντας χρήση ενός ψηφιακού αρχείου. Η ανάπτυξη της μεθόδου αυτής στηρίχθηκε στη χρήση προσθετικών διαδικασιών. Σε μια προσθετική διαδικασία ένα αντικείμενο δημιουργείται τοποθετώντας διαδοχικά στρώματα υλικού μέχρι να δημιουργηθεί το αντικείμενο. Αυτή η διαδικασία αφήνει ελάχιστα ή και καθόλου υπολείμματα και η δυνατότητα τοπικής εφαρμογής της μεθόδου μειώνει τα απόβλητα που σχετίζονται με το πακετάρισμα και τη μεταφορά. Η μέθοδος 3D Printing απαιτεί λιγότερη εργασία και μικρότερο κόστος κατασκευής και ανέγερσης. (Kholiya, 2016)

Η τεχνολογία αναπτύχθηκε το 1980 και μέχρι σήμερα η χρήση της περιοριζόταν στη δημιουργία γρήγορων πρωτοτύπων. Τα τελευταία όμως χρόνια, έχει αρχίσει να εξελίσσεται στην τεχνολογία κατασκευών της επόμενης γενεάς που έχει τη δυνατότητα να επιτρέψει την τοπική κατά παραγγελία παραγωγή τελικών προϊόντων ή κάποιων τμημάτων αυτών. (Kholiya, 2016)

Ήδη η μέθοδος επιτρέπει την εκτύπωση διαφόρων υλικών όπως θερμοπλαστικά, καθαρά μέταλλα, κράματα μετάλλων, κεραμικά και διάφορες μορφές φαγητού. Στις επόμενες γενεές και σε συνδυασμό με τη συνθετική βιολογία και τη νανοτεχνολογία, θα μπορέσει να μεταμορφώσει πολλές από τις διαδικασίες σχεδιασμού, παραγωγής και διαχείρισης. (Kholiya, 2016)

Η τρισδιάστατη εκτύπωση θεωρείται ότι θα πυροδοτήσει μια τρίτη βιομηχανική επανάσταση γιατί η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει νέο και επεκτεινόμενο τεχνικά, οικονομικά και κοινωνικά αντίκτυπο. Θα στηρίζεται στο μέλλον, σε μεγάλο αριθμό, μικρών επενδύσεων σε κατανεμημένες βιομηχανικές μονάδες. Η κατανεμημένη βιομηχανία τρισδιάστατης εκτύπωσης προσφέρει επίσης την υπόσχεση της χαμηλής επένδυσης, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για μεγάλης κλίμακας αποθήκευση πρώτων υλών, τα ημι-βιομηχανικά τμήματα και το κόστος των εργατικών. Η κατασκευή ποσοτήτων κοντά στις ανάγκες της αγοράς μετατρέπει την εφοδιαστική αλυσίδα και η διαχείριση γίνεται πιο απλή και πολύ πιο αποτελεσματική. Μόνο πρώτες ύλες πρέπει να διακινηθούν. Μειώνεται και η παραγωγή αποβλήτων και υπολειμμάτων διότι παράγεται μόνο όσο απαιτείται. Σε πολλές περιπτώσεις, η ανάπτυξη και ο σχεδιασμός ενός προϊόντος μπορεί να γίνει μια διαδικασία ανοιχτής πηγής, στην οποία μπορούν πολλοί άνθρωποι να συνεισφέρουν. Το τελικό σχέδιο μπορεί να διατίθεται και στο διαδίκτυο για τη δυνατότητα αναπαραγωγής του οπουδήποτε στον κόσμο. (Wijk & Wijk, 2013)

3.1 Αρχή λειτουργία του 3D Printing

Όλα ξεκινούν από τον εικονικό σχεδιασμό κάποιου υλικού, του οποίου η κατασκευή είναι επιθυμητή. Αυτό το εικονικό σχέδιο είναι για παράδειγμα ένα αρχείο CAD (Computer Aided Design). Αυτό το αρχείο CAD φτιάχνεται με τη βοήθεια μιας εφαρμογής μοντελοποίησης 3D ή με ένα 3D σαρωτή, για την αντιγραφή ενός υπάρχοντος αντικειμένου. Ένας 3D σαρωτής μπορεί να παράξει ένα 3D ψηφιακό αντίγραφο ενός αντικειμένου. (Kholiya, 2016)

Οι σαρωτές 3D χρησιμοποιούν διάφορες τεχνολογίες για την παραγωγή ενός 3D μοντέλου. Για παράδειγμα τεχνολογία TOF (Time-of-flight), τρισδιάστατο σαρωτή δομημένου φωτός, ογκομετρική σάρωση και άλλα πολλά. Πρόσφατα, εταιρείες όπως η Microsoft και η Google κατάφεραν να φτιάξουν το λογισμικό τους ώστε να μπορεί να κάνει σάρωση 3D, όπως για παράδειγμα το Microsoft Kinect. Στο κοντινό μέλλον η ψηφιοποίηση ζωντανών αντικειμένων σε τρισδιάστατα μοντέλα θα γίνει τόσο εύκολη όσο το τράβηγμα μιας φωτογραφίας. Οι μελλοντικές εκδόσεις των smartphones πιθανότατα θα έχουν ενσωματωμένους σαρωτές 3D. (Kholiya, 2016)

Από την άλλη πλευρά, τα λογισμικά μοντελοποίησης 3D επίσης έχουν διάφορες εκδόσεις. Υπάρχουν τα βιομηχανικά λογισμικά που κοστίζουν χιλιάδες ανά άδεια

χειριστή, όπως και ελεύθερες πηγές λογισμικών, όπως το Blender, για παράδειγμα. Οι χρήστες αυτών των προγραμμάτων που είναι ακόμη σε αρχικά στάδια μπορούν να χρησιμοποιήσουν το Tinkercad. Το Tinkercad για παράδειγμα κυκλοφορεί σε ελεύθερη έκδοση και λειτουργεί με μηχανές περιήγησης που υποστηρίζουν το WebGL, για παράδειγμα το Google Chrome. Προσφέρουν μαθήματα για αρχάριους και έχει επιλογή εκτύπωσης αντικειμένων μέσω υπηρεσιών εκτύπωσης 3D. (Kholiya, 2016)

Πριν την εκτύπωση όμως, πρέπει πρώτα να φτιαχτεί το τρισδιάστατο μοντέλο. Αυτό ονομάζεται τεμαχισμός (slicing) διότι γίνεται διαίρεση του τρισδιάστατου μοντέλου σε χιλιάδες οριζόντια επίπεδα και αυτή η εργασία γίνεται με τη χρήση ειδικού λογισμικού. Κάποιες φορές ο τεμαχισμός μπορεί να γίνεται και από το ίδιο το λογισμικό απεικόνισης του τρισδιάστατου μοντέλου. Υπάρχει επίσης περίπτωση να πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα ειδικό εργαλείο τεμαχισμού για έναν συγκεκριμένο τρισδιάστατο εκτυπωτή. Όταν το μοντέλο τεμαχιστεί, τότε τροφοδοτείται στον τρισδιάστατο εκτυπωτή. Αυτό γίνεται μέσω USB, SD ή Wi-fi. Όταν το αρχείο φορτωθεί στον τρισδιάστατο εκτυπωτή, το αντικείμενο είναι έτοιμο να εκτυπωθεί το ένα επίπεδο πάνω από το άλλο. Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής ουσιαστικά διαβάζει κάθε επίπεδο (εικόνα δύο διαστάσεων) και σταδιακά παράγει το τρισδιάστατο αντικείμενο. (Kholiya, 2016)

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές δεν χρησιμοποιούν όλοι την ίδια τεχνολογία. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι εκτύπωσης και όλοι οι διαθέσιμοι είναι προσθετικοί, διαφέροντας κυρίως στον τρόπο που τα επίπεδα αναπτύσσονται ώστε να σχηματίσουν το τελικό αντικείμενο. (Kholiya, 2016)

Κάποιες μέθοδοι χρησιμοποιούν υλικό τήξης για την παραγωγή των επιπέδων. Οι πιο γνωστές τεχνολογίες είναι η επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση λέιζερ (Selective laser sintering, SLS) και η κατασκευή συντηγμένου νήματος (Fused deposition modeling, FDM). Άλλη μέθοδος είναι η στερεολιθογραφία (stereolithography, SLA ή SL, επίσης γνωστή ως συσκευή στερεολιθογραφίας, οπτική κατασκευή, φωτοστερεοποίηση ή εκτύπωση ρητίνης) είναι μια μορφή τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων, πρωτοτύπων, μοτίβων και εξαρτημάτων παραγωγής στρώμα-στρώμα, χρησιμοποιώντας φωτοχημικές διεργασίες με τις οποίες το φως αναγκάζει τα χημικά μονομερή και τα ολιγομερή να διασταυρωθούν μεταξύ τους για να σχηματίσουν πολυμερή. Αυτά τα πολυμερή στη συνέχεια συνθέτουν το σώμα ενός τρισδιάστατου στερεού. (Kholiya, 2016)

Πιο συγκεκριμένα, από το 2010, ο Αμερικανικός Οργανισμός Τυποποίησης ASTM ανέπτυξε έναν αριθμό προτύπων (ASTM F42) που κατηγοριοποιούν τις Διαδικασίες Παραγωγής Τρισδιάστατων Εκτυπώσεων σε 7 κατηγορίες:

1. Φωτοπολυμερισμός Vat (Vat Photopolymerisation): Ο πολυμερισμός βάτου χρησιμοποιεί μια δεξαμενή υγρής φωτοπολυμερούς ρητίνης, από την οποία το μοντέλο κατασκευάζεται στρώμα-στρώμα. Ένα υπεριώδες φως (UV) χρησιμοποιείται για τη διόρθωση ή τη σκλήρυνση της ρητίνης όπου απαιτείται, ενώ μια πλατφόρμα μετακινεί το αντικείμενο που κατασκευάζεται προς τα κάτω μετά τη σκλήρυνση κάθε νέας στρώσης.
2. Έγχυση υλικού (Material Jetting): Η εκτόξευση υλικού δημιουργεί αντικείμενα με παρόμοια μέθοδο με έναν δισδιάστατο εκτυπωτή έγχυσης μελάνης. Το υλικό εκτοξεύεται σε μια πλατφόρμα κατασκευής χρησιμοποιώντας είτε συνεχή είτε προσέγγιση Drop on Demand (DOD). Το υλικό εκτοξεύεται στην επιφάνεια κατασκευής ή στην πλατφόρμα, όπου στερεοποιείται και το μοντέλο κατασκευάζεται στρώμα-στρώμα. Το υλικό εναποτίθεται από ένα ακροφύσιο που κινείται οριζόντια κατά μήκος της πλατφόρμας κατασκευής. Οι μηχανές ποικίλλουν ως προς την πολυπλοκότητα και τις μεθόδους ελέγχου της εναπόθεσης υλικού. Τα στρώματα υλικού στη συνέχεια διορθώνονται ή σκληρύνονται χρησιμοποιώντας υπεριώδες φως (UV).
3. Binder Jetting: Το Binder jetting είναι μια διαδικασία κατασκευής προσθέτων κατά την οποία μια βιομηχανική κεφαλή εκτύπωσης εναποθέτει επιλεκτικά ένα υγρό συνδετικό σε ένα λεπτό στρώμα σωματιδίων σκόνης - άμμος χυτηρίου, κεραμικά, μέταλλο ή σύνθετα υλικά, για την κατασκευή εξαρτημάτων υψηλής αξίας και μοναδικότητας καθώς και εργαλεία. Παρόμοια με την εκτύπωση σε φύλλα χαρτιού, η διαδικασία επαναλαμβάνεται στρώμα-στρώμα, χρησιμοποιώντας έναν χάρτη από ένα ψηφιακό αρχείο σχεδίασης, μέχρι να ολοκληρωθεί το αντικείμενο.
4. Material extrusion (Εξώθηση υλικού): Η εξώθηση υλικού είναι μια μεθοδολογία κατασκευής πρόσθετων (AM) όπου ένα καρούλι υλικού (συνήθως θερμοπλαστικό πολυμερές) ωθείται μέσω ενός θερμαινόμενου ακροφύσιου σε συνεχή ροή και επιλεκτικά εναποτίθεται στρώμα-στρώμα για την κατασκευή ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Η κατασκευή

συντηγμένου νήματος (FFF) και η μοντελοποίηση τηγμένης εναπόθεσης (FDM) είναι δύο παραδείγματα τεχνολογίας εξώθησης υλικού.

5. Powder bed fusion (PBF): Είναι μια διαδικασία κατασκευής πρόσθετων και λειτουργεί με την ίδια βασική αρχή, καθώς τα μέρη σχηματίζονται μέσω της προσθήκης υλικού αντί της αφαίρεσής του μέσω συμβατικών εργασιών διαμόρφωσης, όπως η άλεση. Η διαδικασία PBF ξεκινά με τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου CAD, το οποίο αριθμητικά «τεμαχίζεται» σε διάφορα διακριτά στρώματα. Για κάθε στρώμα, υπολογίζεται μια διαδρομή σάρωσης πηγής θερμότητας, η οποία ορίζει τόσο το οριακό περίγραμμα όσο και κάποια μορφή ακολουθίας πλήρωσης, συχνά ένα μοτίβο ράστερ, καθώς η πηγή θερμότητας είναι συνήθως μια δέσμη ενέργειας (π.χ. λέιζερ).
6. Πλαστικοποίηση φύλλων (Sheet Lamination): Η πλαστικοποίηση φύλλων είναι η διαδικασία κατασκευής ενός τρισδιάστατου αντικειμένου με στοίβαξη και πλαστικοποίηση λεπτών φύλλων υλικού. Η μέθοδος πλαστικοποίησης μπορεί να είναι συγκόλληση, συγκόλληση με υπερήχους ή συγκόλληση ενώ το τελικό σχήμα επιτυγχάνεται είτε με κοπή με λέιζερ είτε με κατεργασία με CNC.
7. Κατευθυνόμενη εναπόθεση ενέργειας (Directed Energy Deposition,DED): Η κατευθυνόμενη εναπόθεση ενέργειας (DED) είναι μια πιο περίπλοκη διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης, που συνήθως χρησιμοποιείται για την επισκευή ή την προσθήκη πρόσθετου υλικού σε υπάρχοντα εξαρτήματα. Είναι απολύτως δυνατή η κατασκευή εξαρτημάτων από την αρχή χρησιμοποιώντας αυτήν την τεχνολογία, αλλά χρησιμοποιείται συχνά για βιομηχανικές εφαρμογές, όπως η επισκευή πτερυγίων στροβίλου ή ελίκων που έχουν υποστεί ζημιά. Παρόμοια με ορισμένες τεχνολογίες Powder Bed Fusion (PBF) (όπως LPBF ή EBM), η Κατευθυνόμενη Εναπόθεση Ενέργειας χρησιμοποιεί μια εστιασμένη πηγή ενέργειας, όπως ένα λέιζερ ή μια δέσμη ηλεκτρονίων για να λιώσει το υλικό. Ωστόσο, το υλικό τήκεται την ίδια στιγμή που εναποτίθεται από ένα ακροφύσιο. Κατά κάποιο τρόπο, η τεχνολογία βρίσκεται στα σύνορα της εξώθησης υλικών και της σύντηξης σε στρώμα σκόνης. (Kholiya, 2016)

3.2 3D Printing και κατασκευές

Η διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι μια αυτοματοποιημένη, διεργασία κατασκευής προσθετικών υλικών για την παραγωγή στερεών αντικειμένων με τη χρήση ενός ψηφιακού μοντέλου. Παρόλο που η διαδικασία είναι γνωστή εδώ και 40 χρόνια περίπου, η χρήση της περιορίζεται μόνο στον λίκου από τους κατασκευαστικούς τομείς. Πρόσφατα έγινε η προσπάθεια της επέκτασης της χρήσης της τρισδιάστατης εκτύπωσης και στον κατασκευαστικό τομέα, με σκοπό την τυποποίηση και τη μείωση του κόστους τόσο των υλικών όσο και της εργασίας κατασκευής.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι ένας πολλά υποσχόμενος τομέας, με εφαρμογή κατά κύριο λόγο στην Ιταλία στην παραγωγή πρωτοτύπων, όμως υπάρχουν αρκετοί τομείς όπου η έρευνα και η εφαρμογή οδηγούν σε πολύ γρήγορα και εκπληκτικά αποτελέσματα. Ας αναφερθούν κάποια από αυτά, όπως οι εφαρμογές στην ιατρική και στην στις εφαρμογές περίθαλψης (εκτύπωση ανατομικών μοντέλων, προσωπικές προσθετικές, οργανικός ιστός), στην αεροναυπηγική (τμήματα αεροσκαφών υψηλής αντοχής), στη βιομηχανία αυτοκινήτων (θάλαμοι καύσης, κιβώτια ταχυτήτων, κ.λπ.), στη βιομηχανία τροφίμων (παρασκευή σοκολάτας, ζυμαρικών, κ.λπ.) και στη μόδα, στην κασμηματοποιία και στην κατασκευή παιχνιδιών.

Μέχρι σήμερα, στον τομέα της αρχιτεκτονικής και της κατασκευής έχουν φτιαχτεί κάποια ενδιαφέροντα πρωτότυπα και γίνονται αρκετά πειράματα ιδιαίτερα σχετικά με την κατασκευή μικρών κτιρίων με χρήση υλικών όπως σκυρόδεμα, βιοπλαστικά και πηλό. Ακολουθούν κάποια παραδείγματα που μπορεί κανείς να συναντήσει στο διαδίκτυο:

1. Η Contour crafting (FDM), μια τεχνολογία κατασκευής στρώμα-στρώμα ανεπτυγμένη από τον Behrokh Khoshnevis του Πανεπιστημίου της Νότιας Καλιφόρνια, η οποία επιτρέπει την εκτύπωση ολόκληρου σπιτιού με τη βοήθεια μιας μεγάλης μηχανής.
2. Η Win sun (FMD), μια εταιρεία η οποία χτίζει σπίτια με τη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή, στην ολόκληρά τους, και 6 αποθηκευτικά κτίρια παρόλο που επικαλούνται ότι πρόκειται μόνο για τους φορτισμένους τοίχους, με τις υπόλοιπες εργασίες, όπως τη στεγανοποίηση και τα τελειώματα των επιφανειών να γίνονται αργότερα με τις συμβατικές μεθόδους.

3. Ο D-Shape (SLS), ένας ιδιαίτερα μεγάλος τρισδιάστατος εκτυπωτής που επινοήθηκε από τον Ιταλό Μηχανικό Enrico Dini, ο οποίος, μέσω της διαδικασίας εκτύπωσης στρώσης-στρώσης, αναμιγνύει άμμο με ανόργανο θαλασσινό νερό και μαζί με ένα συνδετικό με βάση το μαγνήσιο, κατασκευάζει αντικείμενα που μοιάζουν με πέτρες και άλλα δομικά υλικά.
4. Η DUS Architects (FMD), ένα γερμανικό αρχιτεκτονικό γραφείο που εκτυπώνει κάποιες καμπίνες και σπίτια από ανακυκλώσιμα βιο-πλαστικά, με σκοπό να επιδείξει πώς η προσθετική τεχνολογία μπορεί να προσφέρει λύσεις για προσωρινές κατοικίες ή πρόχειρους καταυλισμούς που απαιτούνται μετά από φυσικές καταστροφές.
5. Το WASP (FMD), ένα ιταλικό έργο, το οποίο εστιάζει στην ανάπτυξη τρισδιάστατης εκτύπωσης ανοιχτής πηγής με σκοπό την κατασκευή σπιτιών “zero-mile”, με τη χρήση υλικών που βρίσκει κανείς στον περιβάλλοντα χώρο. Η εταιρεία παράγει τρισδιάστατους εκτυπωτές διαφόρων μεγεθών, ακόμα και μεγάλων όπως ο “Big Delta”, που έχει ύψος 12 μέτρα και μπορεί να συναρμολογηθεί μέσα σε μία ώρα με τη συνεργασία τριών ατόμων και μπορεί να τροφοδοτηθεί από ηλιακά πάνελ μερικών ft².
6. Η ARUP (DMLS), η οποία έχει επιδείξει την κατασκευαστική βιωσιμότητα των δομικά σύνθετων μεταλλικών συνδέσμων που φτιάχνονται μέσω τρισδιάστατου εκτυπωτή, τοποθετώντας το υλικό μόνο όπου είναι απαραίτητο με βάση τη διαδρομή φορτίου.

Αυτές οι τεχνολογίες παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών, όπως είναι:

- Ο ευέλικτος σχεδιασμός των σύνθετων σχημάτων
- Η χρήση υλικών φιλικών προς το περιβάλλον
- Η απαλλαγή από τις κατασκευές καλουπιών ή εκμαγείων
- Το μειωμένο κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης
- Η μη παραγωγή αποβλήτων.

3.3 Πειραματική εργασία για την τρισδιάστατη εκτύπωση στη δόμηση

Στο παρόν θα γίνει η περιγραφή θεωρητικής εργασίας όπου είχε σαν σκοπό να ερευνησει τους πρακτικούς και λειτουργικούς περιορισμούς ενός μικρού αστικού

σπιτιού. Η “ANT” ήταν μια ιδέα για μια σειρά μικρών πολιτιστικών κέντρων για τη βελτίωση των κοινωνικών συνθηκών μερικών περιοχών στο Παλέρμο της Ιταλίας. Έξι περιοχές, οι οποίες βρίσκονταν κυρίως στα άκρα της πόλης, επιλέχθηκαν για την κατασκευή ANT περίπτερων, με σκοπό τη βελτίωση των κοινωνικών και πολιτιστικών τους συνθηκών. Ανάμεσα σε αυτά, η πρόταση για την περιοχή Cala, δίπλα στο παλιό λιμάνι του Παλέρμο, επιλέχθηκε για την λεπτομερή ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής, τεχνολογικής και στατικής πλευράς. (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

Το σχήμα του έργου κάνει αναφορά στο αρχαίο λιμάνι. Το περίπτερο ANT είναι ο σκελετός ενός πλοίου, όπου οι «πλευρές» είναι οι καμάρες της κατασκευής, η «καρίνα» είναι η κορυφογραμμή της στέγης, ενώ το «σανίδωμα» είναι το εξωτερικό κέλυφος που δείχνει το όριο ανάμεσα στον εσωτερικό και τον εξωτερικό χώρο. (Εικόνα 24). Η εσωτερική κατανομή του περίπτερου είναι πολύ απλή, καθώς ο χώρος είναι ψηλός και περιλαμβάνει ένα κανονικό κουτί για χώρο γραφείων, μηχανολογικά συστήματα και μια αποθήκη προσθετικής κατασκευής. Ο ανοιχτός ισόγειος χώρος είναι ένα πολυλειτουργικός χώρος για παρουσιάσεις, συζητήσεις και άλλες συλλογικές δραστηριότητες. (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)



Εικόνα 24: Το προτεινόμενο περίπτερο ANT και η κατασκευαστική λεπτομέρεια μιας πλευράς που αποτελείται από εκτυπωμένα στοιχεία (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

Η διπλή καμπύλη της οροφής έδωσε την ιδέα της εκμετάλλευσης των προσθετικών τεχνικών κατασκευής, ώστε να κατασκευαστούν τα δομικά στοιχεία από σκυρόδεμα χωρίς τη χρήση καλουπιών. Όταν τοποθετηθούν και συνδεθούν, τα

στοιχεία σχηματίζουν και τις κατασκευαστικές ασπίδες, στηρίζοντας την οροφή και την συνεχή επιφάνεια που επιτρέπει την τοποθέτηση θερμικής μόνωσης, στεγάνωσης και εξωτερικών στρώσεων τελειώματος. Χάρης στη χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης, τα στοιχεία σχεδιάστηκαν με την καλύτερη διαχείριση των υλικών, με σκυρόδεμα συγκεντρωμένο στις πιο άκαμπτες περιοχές των πλευρών σύμφωνα με την κατανομή των φορτίων. Επίσης κατέστη δυνατόν να γίνει ένας καλός έλεγχος της ενεργειακής απόδοσης και των οπτικών επιπέδων άνεσης που παρέχονται από τα στοιχεία, χάρις στη χρήση ενός βελτιστοποιημένου πηλίκου αδιαφάνειας προς διαφάνεια και των λοξών ανοιγμάτων τα οποία μειώνουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και την αντηλιά. (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

Αναφορικά με την τεχνική κατασκευής του, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν ακολουθήθηκε ο συμβατικός τρόπος σχεδιασμού που ξεκινά από την αρχιτεκτονική ιδέα και ακολουθεί ο σχεδιασμός των δομικών στοιχείων. Ένας από τους γενικούς στόχους του έργου αυτού ήταν να εκφράσει εξωτερικά την καλύτερη σχέση μεταξύ του κελύφους του κτιρίου και του δομικού συστήματος, το οποίο συγχωνεύεται απρόσκοπτα στις τρισδιάστατες μονάδες. Αυτές έπρεπε να ακολουθήσουν όχι μόνο τη διπλή καμπυλότητα της οροφής, όπως καθορίζεται σε αρχιτεκτονικό επίπεδο, αλλά και την κατανομή των φορτίων, ώστε να γίνει η βελτιστοποίηση της χρήσης των υλικών. Η ανάπτυξη του σχεδιασμού ακολούθησε μια επαναληπτική διαδικασία όπου το τελικό σχήμα της οροφής και οι τομές των στοιχείων της συνεχώς προσαρμόζονταν όσο εξελίσσονταν οι στατικές αναλύσεις. (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας ήταν η ταυτοποίηση των στατικών προδιαγραφών και ο καθορισμός των υλικών για τη διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το σκυρόδεμα θεωρήθηκε ως ένα αξιόπιστο υλικό χάρις στα μηχανικά του χαρακτηριστικά, ενώ η αφιδωτή οροφή ήταν η πιο κατάλληλη δομική λύση με τους παρόντες περιορισμούς. (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

Η κατασκευή έπειτα συντέθηκε από δέκα αυτοϋποστηριζόμενες ασπίδες διαφόρων υψών και ανοιγμάτων. Τα μέρη των ασπίδων είναι κάποια καμπυλωτά τσιμεντένια στοιχεία, τα οποία είναι σχεδιασμένα ώστε να μπορούν να κατασκευαστούν μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης. Ο σχεδιασμός των στοιχείων βασίστηκε στο μέγεθος και το βάρος τους, ώστε να επιτρέπεται η μεταφορά και η ανύψωσή τους στο εργοτάξιο. Κάθε στοιχείο έχει ένα κεντρικό τμήμα, διαφορετικού σχήματος, που αποτελεί ένα τμήμα της ασπίδας. Η διατομή του και η θέση του στην

επιφάνεια της οροφής εξαρτάται από τη ροπή κάμψης στο συγκεκριμένο σημείο. Κάθε τμήμα επίσης έχει δύο πλευρικές επιφάνειες που συγκροτούν το στερεό μέρος του κελύφους του κτιρίου. Το μέγεθός τους επίσης ποικίλει για να εξυπηρετήσει τη γεωμετρία της στέγης με διπλή καμπυλότητα και την παρουσία των παραθύρων. (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

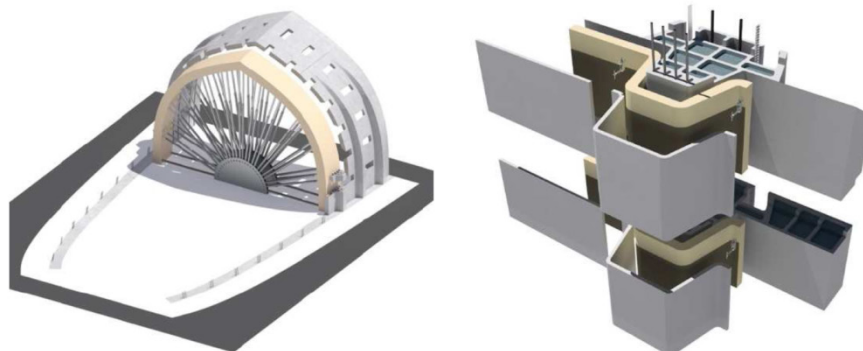
Θεωρώντας την πιο φορτωμένη αψίδα ανάμεσα στις 10, το βάρος της, τα στατικά και μη στατικά μόνιμα φορτία (εξωτερικά τελειώματα, μόνωση, ψευδοροφή, κ.λπ.), τα ζωντανά φορτία (άνεμος, χιόνι) και η επίδραση της σεισμικής δραστηριότητας, όλα υπολογίστηκαν με βάση τα Ιταλικά Πρότυπα (NTC 2008). (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

Άλλοι σημαντικοί περιορισμοί στην υιοθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων σχετίζονται με λειτουργικές προκλήσεις αναφορικά με το μέγεθος και το βάρος, και διαδικαστικά με τη μεταφορά, την ανύψωση και την εγκατάσταση. Στην περίπτωση ενός συμβατικού κτιρίου, αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν το κόστος της κατασκευής. (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

Από στατικής πλευράς, το ANT περίπτερο καλύπτεται από μια πλευρική οροφή που αποτελείται από διακριτά στοιχεία, εκτυπωμένα από τρισδιάστατο εκτυπωτή. Ωστόσο, η οροφή δε μπορεί να στηριχθεί μόνη της, ούτε να σηκώσει επιπλέον φορτία, εκτός εάν το αψιδωτό σχήμα μιας πλευράς φτιαχτεί συνολικά και προενταθεί. Τότε ένα κέντρο είναι απαραίτητο σαν πρόχειρο στήριγμα που μπορεί να αφαιρεθεί μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του τμήματος. Τα κέντρα είναι εργαλεία από αρχαιοτάτων χρόνων, παραδοσιακά χρησιμοποιούμενα για την κατασκευή αψίδων και καμπυλωτών κατασκευών. Σήμερα, υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής ενός μεταλλικού κέντρου, το οποίο είναι επαναχρησιμοποιούμενο. Στην περίπτωση όμως του ANT περίπτερου, κάθε αψίδα έχει διαφορετικό μέγεθος, συνεπώς απαιτούνταν η χρήση ενός τύπου κέντρου το οποίο να είναι προσαρμοζόμενο σε κάθε αψίδα χωρίς να πρέπει να αποσυναρμολογηθεί. Επιλέχθηκε λοιπόν ένα εύκαμπτο αμφίπλευρο μεταλλικό κέντρο, φτιαγμένο από 48 προσαρμοζόμενα στηρίγματα (Εικόνα 25). (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

Όταν τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα τμήματα μπουν στη σωστή θέση, είναι απαραίτητο να συνδεθούν σε μια σταθερή δομή μέσω εσωτερικών ράβδων ενίσχυσης και αρμών κονιάματος. (Εικόνα 25) Στην κορυφή της αψίδας, η ένωση μεταξύ του τελευταίου κομματιού και του θεμέλιου λίθου επιτυγχάνεται χάρις σε μια εσοχή που έχει το εκτυπωμένο σκυρόδεμα, ώστε να επιτρέπει την εύκολη χειροκίνητη ένωση με

βιδωτό σύνδεσμο ανάμεσα στις ράβδους ενίσχυσης. Η εγκοπή που σχηματίζεται αποκαθίσταται με την τοποθέτηση κονιάματος. (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)



Εικόνα 25: Το προσαρμοζόμενο κέντρο για την κατασκευή της αψίδας (αριστερά) και η σύνδεση του τελευταίου κομματιού με το θεμέλιο λίθο (δεξιά) (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

Ένας τελευταίος παράγοντας που επηρεάζει την κατασκευή αυτή ήταν το κόστος της. Είναι δύσκολος ο υπολογισμός του πραγματικού κόστους καθώς πρόκειται για πειραματική διαδικασία. Έτσι, ακολουθήθηκε μια προσέγγιση υπολογισμού της συναρμολόγησης της οροφής με βάση το κόστος μιας αντίστοιχης συμβατικής κατασκευής με τη χρήση καλουπιών. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις, βασισμένες σε δεδομένα ιταλικών καταλόγων, φαίνεται ότι θα ήταν πιθανή η εξοικονόμηση του 20% στο συνολικό κόστος και η αντίστοιχη εξοικονόμηση χρόνου στο 70%. Τα αποτελέσματα οφείλονται κυρίως στον περιορισμό των εργασιών καλουπώματος για τα διάφορα δομικά στοιχεία και τον σχετικό χρόνο παραγωγής και εγκατάστασης. Πρόκειται βέβαια για αρχικές εκτιμήσεις βασισμένες μόνο στην κατασκευή και την εγκατάσταση των δομικών στοιχείων της οροφής από σκυρόδεμα. (Masera, Muscogiuri, Bongiovanni, & Colombo, 2017)

3.4 Εκτύπωση βιοϋλικών

Παρόλο που η εκτύπωση βιοϋλικών στην κατασκευή κτιρίων είναι αρκετά περίπλοκη διαδικασία, είτε η δόμηση είναι σε ένα ή περισσότερα τμήματα. Ειδικά σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση κτιρίων, προσφέρεται η κατασκευή ενιαίων σχημάτων, η προσαρμογή του κτιρίου στις προσωπικές προτιμήσεις χωρίς επίδραση στην τελική του τιμή, και με ελαχιστοποίηση των λαθών κατά την κατασκευή. Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει τη δυνατότητα της μείωσης των πρώτων υλών, ειδικά του

σκυροδέματος, και την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων της κατασκευής, με μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επιπρόσθετα, προσφέρει νέες δυνατότητες, νέες αρχιτεκτονικές, νέες σχεδιαστικές δυνατότητες, νέες δυνατότητες χρήσης του φυσικού φωτός και άλλες πολλές προοπτικές. (Wijk & Wijk, 2013)

Πολλοί αρχιτέκτονες και ερευνητές ανά τον κόσμο αναπτύσσουν νέες τεχνολογίες και διαδικασίες κατασκευής κτιρίων με τρισδιάστατους εκτυπωτές. Η γενική σκέψη είναι η εκτύπωση το κελύφους του κτιρίου και των εσωτερικών δομών των τοίχων με τη χρήση πλαστικών. Η κατασκευή γεμίζεται με βαριά (άμμος, σκυρόδεμα) απομονωτικά υλικά και η υποδομή και άλλα στοιχεία ενσωματώνονται στην κατασκευή. Τέτοιου είδους σχέδια δομούνται με τη χρήση λιγότερων υλικών και μεγάλη ελευθερία στο σχήμα και την ευελιξία. Γίνεται χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών και ρομπότ στο χώρο κατασκευής για την εκτύπωση και τη συναρμολόγηση του κτιρίου. (Wijk & Wijk, 2013)

Ο Bram van den Haspel έχει παρουσιάσει ένα σενάριο βήμα-βήμα για την τρισδιάστατη εκτύπωση κτιρίων που απαιτούν έναν εκτυπωτή, ο οποίος θα χρησιμοποιεί διάφορα υλικά. Στο πρώτο βήμα εκτυπώνονται μικρά τούβλα από πλαστικό. Στο δεύτερο βήμα ακολουθείται η εκτύπωση σύνθετων καλουπιών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των μεγαλύτερων τμημάτων του κτιρίου με κάποιο επίπεδο ενσωματωμένων λειτουργιών. Στο τρίτο βήμα, τυπώνονται σύνθετα τμήματα κτιρίων με ενσωματωμένη μόνωση, εξαερισμό και σωλήνες. Ακολουθεί η εκτύπωση του κτιρίου κατά τμήματα στο χώρο κατασκευής. Στο τελευταίο βήμα γίνεται η εκτύπωση όλου του κτιρίου ως ενότητα στο χώρο ανέγερσης ή σε κάποιο κοντινό χώρο. Το πόσο σύντομα μπορεί να γίνει μια τέτοια διαδικασία εξαρτάται από την τεχνολογία του τρισδιάστατου εκτυπωτή, την τεχνολογία του ρομπότ, το σχεδιασμό της κατασκευής και την ανάπτυξη των υλικών. Με βάση της τεχνολογίας που είχε αναπτυχθεί έως το τέλος του 2013, θα χρειαζόταν περίπου ένας χρόνος για την εκτύπωση ενός απλού σπιτιού με τη χρήση 20 τρισδιάστατων εκτυπωτών. (Wijk & Wijk, 2013)

3.5 Μελλοντικές τάσεις

Η χρήση του τσιμέντου στην τεχνολογία του 3D Printing είναι ακόμα υπό μελέτη από πολλές εταιρείες στον κόσμο. Ως τεχνολογία για χρήση στις κατασκευές πρέπει να βρει το σωστό συνδυασμό υλικών. Σήμερα πολλά δοκιμαστικά έργα που χρησιμο-

ποιούν την τεχνολογία αυτή στην ανέγερση δομικών στοιχείων, σπιτιών, μικρών γεφυρών, τεχνητών υφάλων και αγαλμάτων πραγματοποιήθηκαν από εταιρείες σε ερευνητικό επίπεδο μελετώντας ρεαλιστικές εφαρμογές. Η τεχνολογία του 3D Printing επιτρέπει την ευελιξία στο σχεδιασμό, μειώνει το κόστος και το χρόνο της κατασκευής, επιτρέπει την πραγματοποίηση της εφαρμογής σε απομακρυσμένο χώρο, ο οποίος έχει την προοπτική να μεταμορφώσει τη βιομηχανία των κατασκευών. Αυτό που αναμένεται από την τεχνολογία αυτή είναι η αυξημένη αξιοπιστία της κατασκευής έναντι της βασικής μεθόδου. Στον 3D printer σκυροδέματος, το σκυρόδεμα τοποθετείται κατευθείαν χωρίς τη χρήση καλουπιών. Η NASA έχει χρηματοδοτήσει διάφορα ερευνητικά έργα για την ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων 3D Printing, ώστε να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος στην κατασκευή κτιρίων με τη χρήση διαπλανητικών υλικών, εδώ και δύο δεκαετίες. Αναμένεται αυτή η τεχνολογία να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή εξωγήινων δομών για αστροναύτες και εξοπλισμό στο μέλλον. (Raval & Patel, 2020)

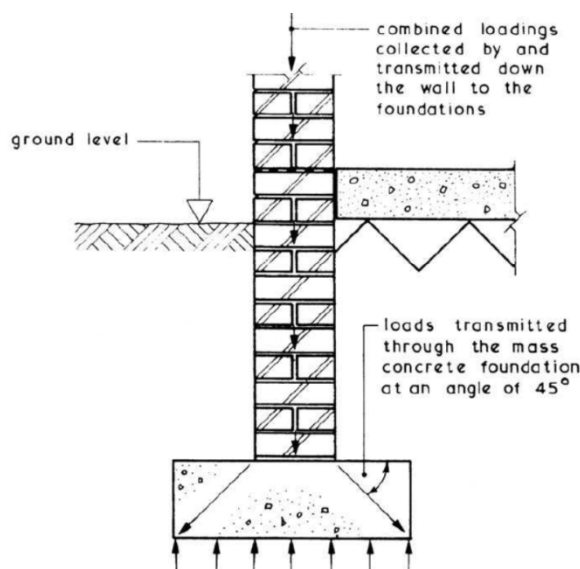
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ

4.1 Γενικά

Η ανέγερση μιας προκατασκευασμένης δομής αρχικά απαιτεί τον έλεγχο της προσβασιμότητας του πεδίου καθώς και τη δυνατότητα κατασκευής προσωρινού χώρου αποθήκευσης για προστασία από τις καιρικές συνθήκες. Επίσης ελέγχεται εάν οι δρόμοι πρόσβασης στο πεδίο είναι ομαλοί, διότι αναταράξεις κατά τη μεταφορά των προκατασκευασμένων στοιχείων μπορεί να προκαλέσει σε αυτά ρωγμές ή άλλες ζημιές. Σχετικά με τις εργασίες ανέγερσης είναι σημαντικό να παραβρίσκονται στο χώρο ανέγερσης ο ειδικός εγκαταστάτης της εταιρείας προκατασκευής, ώστε να επιβλέπει τους εργάτες ανέγερσης. Άλλη σημαντική εργασία αποτελεί ο σχεδιασμός της διάταξης του γερανού, καθώς και ο καθορισμός της ικανότητας ανύψωσης του γερανού και των ταχυτήτων ανύψωσης με βάση το μεγαλύτερο βάρος των προκατασκευασμένων στοιχείων, το ύψος ανύψωσης, τη γωνία εργασίας, την τοποθέτηση του γερανού σε σχέση με το πεδίο εγκατάστασης. Παράλληλα εξετάζεται η ανάγκη και άλλου βοηθητικού εξοπλισμού όπως αλυσίδα ανύψωσης και ψαλιδιού ανύψωσης, κ.α. Όλα τα παραπάνω μηχανήματα απαιτούν και τους ανάλογους έμπειρους χειριστές. (Gopalakrishnan)

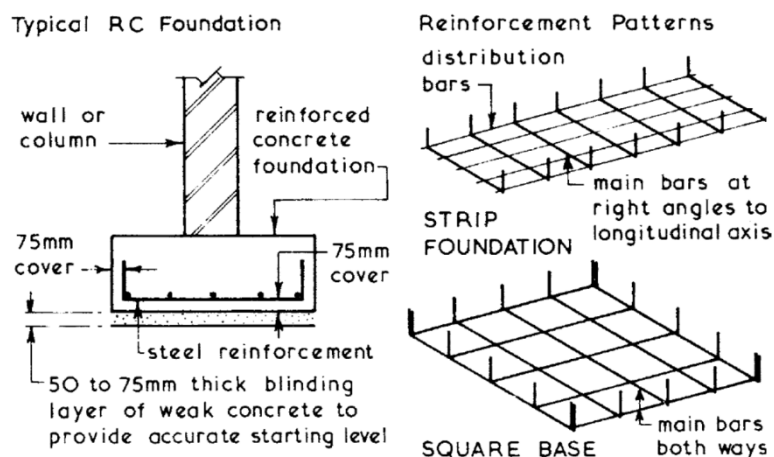
Ο γενικός εξοπλισμός ανέγερσης περιλαμβάνει από μικρά χειροκίνητα εργαλεία μέχρι μηχανικούς εκσκαφείς και τους γερανούς ανέγερσης. Οι εργασίες, όμως

ξεκινούν με την κατασκευή των θεμελίων του κτιρίου. Ο ρόλος του θεμελίου είναι να διατηρεί με ασφάλεια και να μεταφέρει στο έδαφος το βάρος της κατασκευής προς ανέγερση, έτσι ώστε να μην προκαλεί μετακίνηση ή καθίζηση του εδάφους. (Εικόνα 26) (Chudley & Greeno, 2014)



Εικόνα 26: Παράδειγμα θεμελίωσης και δράσης των φορτίων (Chudley & Greeno, 2014)

Το υπέδαφος κάτω από τη θεμελίωση συμπιέζεται και αντιδρά ασκώντας μια ανοδική πίεση ως αντίσταση προς τη θεμελίωση. Η επιλογή της θεμελίωσης εξαρτάται τόσο από τη δομή του υπεδάφους, όσο και από το βάρος της κατασκευής. Συνήθως για την κατασκευή της βάσης γίνεται χρήση οπλισμένου σκυροδέματος (Εικόνα 27). (Chudley & Greeno, 2014)



Εικόνα 27: Τυπική θεμελίωση από οπλισμένο σκυρόδεμα και η κατανομή του οπλισμού (Chudley & Greeno, 2014)

Υπάρχουν δύο τύποι θεμελίων, τα ρηγά και τα βαθιά θεμέλια. Τα ρηγά θεμέλια (μερικές φορές ονομάζονται «απλωμένα πέλματα») περιλαμβάνουν τακάκια («απομονωμένα βάσεις»), λωρίδες και σχεδίες. Τα βαθιά θεμέλια περιλαμβάνουν πασσάλους, τοίχους πασσάλων, τοίχους με διάφραγμα και κιβώτια. Οι περισσότεροι τύποι ρηχής θεμελίωσης κατασκευάζονται σε απόσταση 2000 mm από το επίπεδο του εδάφους, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί να κατέβει ολόκληρο ή μέρος των θεμελίων σε βάθος 2000 mm έως 5000 mm, όπως στην περίπτωση κατασκευής ενός βαθιού υπογείου, όπου τα δομικά στοιχεία του υπογείου σχεδιάζονται για να μεταφέρουν τα φορτία της ανωδομής. Γενικά τα θεμέλια που πρέπει να ληφθούν με βάθος κάτω από 5000 mm είναι φθηνότερα όταν σχεδιάζονται και κατασκευάζονται ως θεμέλια με πασσάλους και αυτά είναι τα βαθιά θεμέλια. (Chudley & Greeno, 2014)

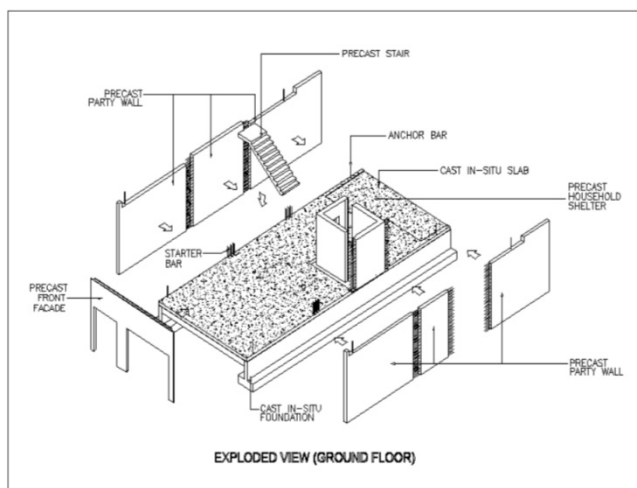
Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι εργασίες θεμελίωσης απαιτείται η χρήση ειδικών μηχανημάτων, όπως μπουλντόζες, αποξεστήρες, ισοπεδωτήρες, οχήματα ελκυστήρες, εκσκαφείς, οχήματα μεταφοράς, ανυψωτήρες, χωνιά και κάδοι χαλικιών, γερανοί αλλά και μια μονάδα παρασκευής σκυροδέματος. (Chudley & Greeno, 2014)

Η συνήθης τεχνική που ακολουθείται για την ελαχιστοποίηση της συσσώρευσης υγρασίας κάτω από το σπίτι είναι η τοποθέτηση μιας μεμβράνης από πολυαιθυλένιο πάχους τουλάχιστον 6 mm. Η μεμβράνη περιορίζει την υγρασία στο έδαφος. Παράλληλα με την τοποθέτηση της μεμβράνης, χρειάζεται και η πρόβλεψη αποχέτευσης έτσι ώστε να εμποδίζεται η συσσώρευση του νερού στην περιοχή της θεμελίωσης. Η καλύτερη τεχνική είναι η διαμόρφωση του εδάφους με κλίση, ώστε το νερό να απομακρύνεται φυσικά. Αυτή η διαμόρφωση γίνεται σε δύο στάδια. Πρώτα κατασκευάζονται οι κλίσεις με σκοπό το νερό να αποχέτεται μακριά από το σπίτι και σε δεύτερο επίπεδο, όταν το σπίτι τοποθετηθεί στη θέση του, δίνονται οι τελικές κλίσεις, με επιχωμάτωση του περιβάλλοντα χώρου έναντι των τοίχων θεμελίωσης. Τελική είναι η αποχέτευση των βρόχινων υδάτων από την οροφή και τις στρωμένες εξωτερικές ισόγειες επιφάνειες. (US Department of Housing and Urban Development, 2002)

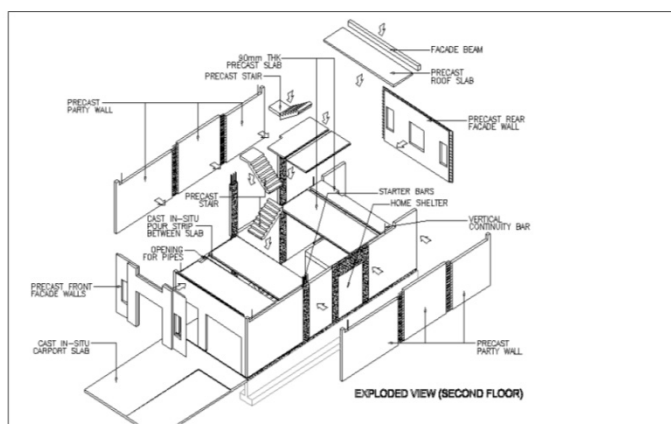
4.2 Σχεδιαστικές λεπτομέρειες

Με βάση τους στόχους που εξυπηρετεί η προκατασκευασμένη δόμηση, δηλαδή τη διάρκεια, την οικονομία και την τυποποίηση των προκατασκευασμένων τμημάτων αυτής, υπάρχουν κάποιες βασικές σχεδιαστικές λεπτομέρειες:

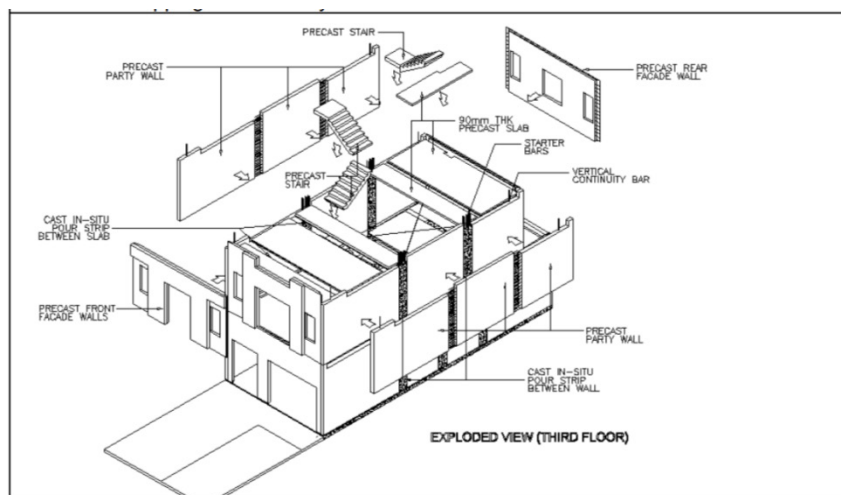
- Συμβατική κατασκευή θεμελίωσης
- Κατασκευή επί τόπου του πρώτου ορόφου, τυπικά μια πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Προκατασκευασμένοι φέροντες τοίχοι, από σκυρόδεμα.
- Προκατασκευασμένα αφόρτιστων πάνελ προσόψεων.
- Προκατασκευασμένο σύστημα πατώματος (Building and Construction Authority, 2003)



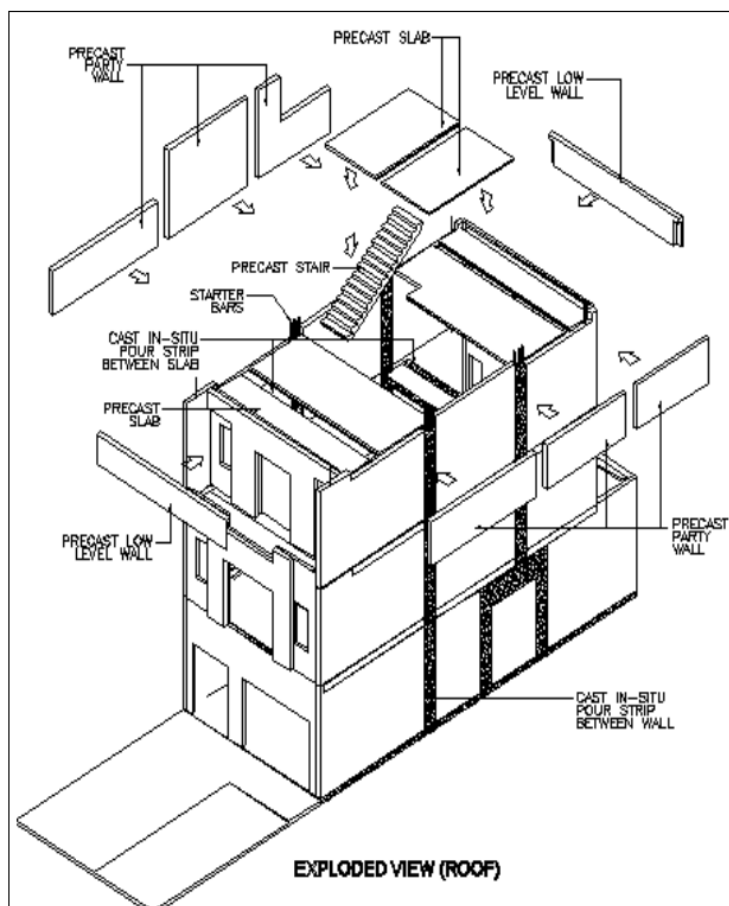
Εικόνα 28: Σύστημα πρώτου ορόφου (Building and Construction Authority, 2003)



Εικόνα 29: Σύστημα δεύτερου ορόφου (Building and Construction Authority, 2003)



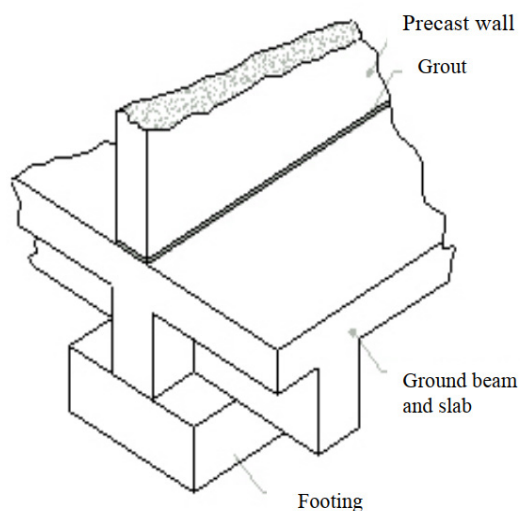
Εικόνα 30: Σύστημα τρίτου ορόφου (Building and Construction Authority, 2003)



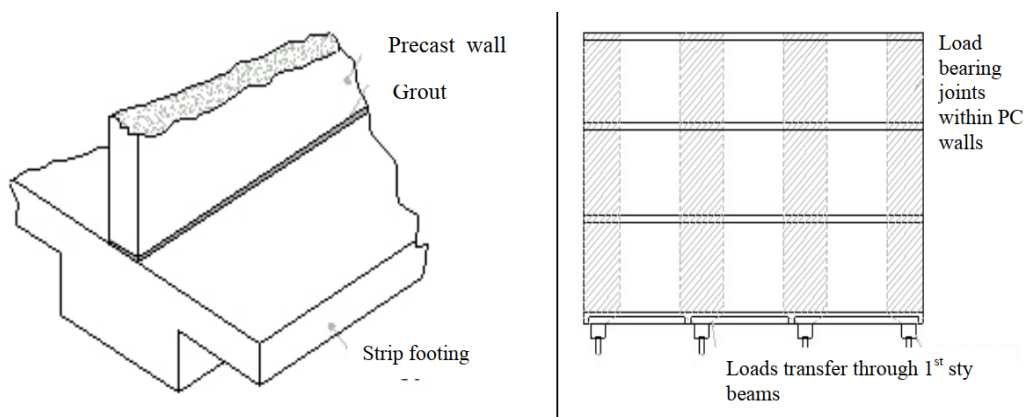
Εικόνα 31: Σύστημα οροφής (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.1 Θεμελίωση

Τα φορτία της θεμελίωσης για ένα προκατασκευασμένο δομικό σύστημα δόμησης είναι παρόμοια με αυτά της συμβατικής κατασκευής. Ωστόσο, η διάταξη της θεμελίωσης κάτω από τους τοίχους που φέρουν φορτία είναι διαφορετικά. Η επιθυμητή διάταξη πρέπει να παρέχει μια ομοιόμορφα κατανεμημένη στήριξη καθ' όλο το μήκος του τοίχου και να ελαχιστοποιεί την έκκεντρη δράση εξαιτίας της μη ευθυγράμμισης των τοίχων με τους τοίχους που σχετίζονται με τα θεμέλια. Σε περίπτωση θεμελίωσης τύπου βάσης προτείνεται η λύση της συνεχούς βάσης τύπου ταινίας κάτω από τους φορτισμένους τοίχους (Εικόνα 32). (Building and Construction Authority, 2003)



Εικόνα 32: Βάση κάτω από φορτισμένους τοίχους (Building and Construction Authority, 2003)



Εικόνα 33: Στήριξη φορτισμένου τοίχου σε βάση ταινία ή τύπου πλατφόρμας (αριστερά) και ο φορτισμένος τοίχος στηριζόμενος από πασσάλους (δεξιά) (Building and Construction Authority, 2003)

Ομοίως, ένα σύστημα θεμελίωσης τύπου πλατφόρμας (Εικόνα 33), θα προσφέρει μια ομοιόμορφη στήριξη.

Για θεμελίωση τύπου πασσάλων, η στήριξη αυτή μπορεί να προσφέρεται με τη χρήση πασσάλων σε μικρότερες αποστάσεις μεταξύ τους και χρήση δοκού κάλυψης. Η λύση αυτή δεν θεωρείται από τις πιο οικονομικές γι' αυτό προτείνονται τα ακόλουθα:

- Η τοποθέτηση πασσάλων κάτω από όλες τις φορτισμένες ζώνες.
- Η δοκός του πρώτου ορόφου χρησιμοποιείται για την ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων κατά μήκος του τοίχου, αλλά δεν είναι σχεδιασμένη σαν δοκός κάλυψης.
- Οι πάσσαλοι τοποθετούνται κατά ομάδες, τοποθετημένοι σε κάθε πλευρά του άξονα του τοίχου. Εάν απαιτούνται μονοί πάσσαλοι, τότε απαιτούνται και δοκοί εγκάρσιοι ώστε να παρέχουν καλύτερη στήριξη. (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.2 Πλάκα ισογείου

Παρόλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια προκατασκευασμένη πλάκα για τον πρώτο όροφο, δεν πρόκειται να προσφέρει ούτε οικονομικό όφελος, ούτε και θα προσφέρει στην καλύτερη κατασκευή του κτιρίου έναντι της συμβατικής μεθόδου. Επιπλέον, η χρήση της συμβατικής μεθόδου έχει το επιπλέον πλεονέκτημα ότι παρέχει περισσότερο χρόνο για την κατασκευή των προκατασκευασμένων τμημάτων. Ωστόσο, είναι επίσης πιθανό, κάποιες φορές να είναι πιο πλεονεκτική η χρήση ενός προκατασκευασμένου συστήματος για την ισόγεια πλάκα και τις δοκούς. (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.3 Προκατασκευασμένοι φέροντες τοίχοι

Προσφέρουν γενικά μια οικονομική λύση συγκριτικά με την συμβατική μέθοδο κατασκευής, αλλά το πρώτο και μεγάλο πλεονέκτημά τους είναι η ταχύτητα κατασκευής. Στον καθορισμό του πάχους τους, εκτός από την στατική επάρκεια, λαμβάνονται υπόψιν και τα ακόλουθα:

- Οι λεπτομέρειες σύνδεσης για τις πλάκες και τις δοκούς στήριξης
- Η ηχομόνωση και η αντίσταση στη φωτιά

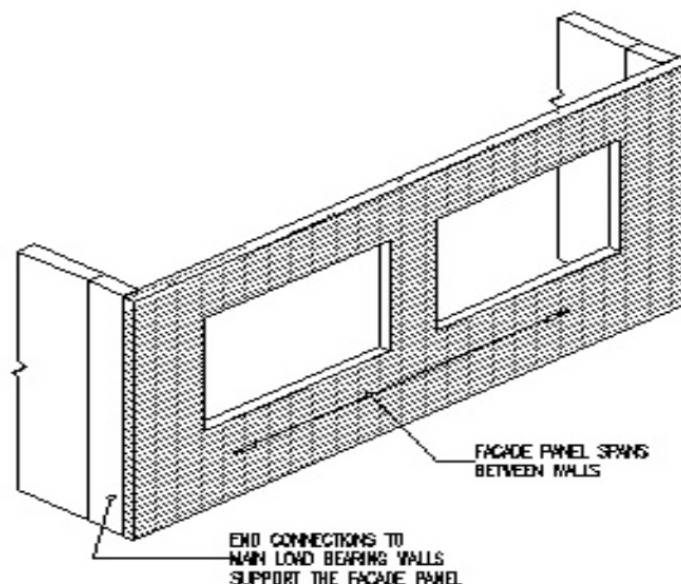
- Οι ανάγκες θερμομόνωσης
- Οι λεπτομέρειες σύνδεσης ανάμεσα στα πάνελ
- Πιθανές μελλοντικές χρήσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να μειώσουν την ελεύθερη επιφάνεια

Βασισμένα σε τυπικά σχέδια κτιρίων, το πάχος των 180 mm προτείνεται για τα προκατασκευασμένα πάνελ που χρησιμοποιούνται για ενδιάμεσοι τοίχοι. (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.4 Προκατασκευασμένες προσόψεις

Συνήθως, τα πάνελ τοίχοι για την πρόσοψη και την πίσω πλευρά του κτιρίου είναι αφόρτιστα. Η στήριξη αυτών των πάνελ γίνεται με μια από τις παρακάτω μεθόδους:

- Το πάνελ-πρόσοψη ενώνεται με τους φορτισμένους τοίχους και σχεδιάζεται να στηρίζει το δικό του βάρος ανάμεσα στα στηρίγματα.
- Το πάνελ-πρόσοψη ενώνεται με τη βάση ή το δοκάρι, το οποίο σχεδιάζεται τότε να παρέχει στήριξη στον τοίχο.



Εικόνα 34: Πάνελ πρόσοψη στηριζόμενο από εξωτερικούς φορτισμένους τοίχους (Building and Construction Authority, 2003)

Αυτά τα πάνελ συνήθως σχεδιάζονται για κάθετα φορτία εξαιτίας του δικού τους βάρους και μια ανοχή για βάρη από το δάπεδο, εάν χρειάζεται, και επιπλέον

οριζόντια φορτία εξαιτίας των οριζόντιων φορτίων που οφείλονται σε εξωτερικές πιέσεις ανέμου. Ένα τυπικό πάχος του πάνελ είναι 120 mm και προτείνεται με βάση τα δεδομένα φόρτωσης και επιπλέον το βάρος των παραθύρων και των πλαισίων τους, εφόσον υπάρχουν. (Building and Construction Authority, 2003)

Πάνελ προσόψεως συχνά χρειάζονται αρχιτεκτονικά στοιχεία σε τρεις διαστάσεις, όπως περβάζια, προβόλους, στηθαία. Είναι γενικά πιο οικονομική μέθοδος να φτιάχνεται το επίπεδο πάνελ και στη συνέχεια να προστεθούν τα υπόλοιπα στοιχεία, κατασκευασμένα ξεχωριστά με τη χρήση υλικών, όπως είναι το προκατασκευασμένο σκυρόδεμα, σκυρόδεμα οπλισμένο με ίνες υάλου (Glass Fiber Reinforced Concrete, GRC), αλουμίνιο ή χάλυβα. (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.4.1 Θέση συνδέσμων

Η θέση των συνδέσμων ανάμεσα στα πάνελ των εξωτερικών τοίχων επιλέγεται με βάση τους παρακάτω παράγοντες:

- Στατικά δεδομένα: Κάποιοι εξωτερικοί τοίχοι μπορεί να είναι φορτισμένοι ή όχι. Για την επιλογή των συνδέσμων των πάνελ, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η σταθερότητα του κάθε πάνελ (δηλαδή η ικανότητα να αντιστέκεται στα οριζόντια φορτία όπως η πίεση από τον άνεμο ή τα φορτία που καθορίζονται από τους τοπικούς κανονισμούς)
- Αισθητική: Παρόλο που οι συνδέσεις των πάνελ γενικά δεν είναι πολύ ορατές, η επιλογή της θέσης τους πρέπει να επιλεγεί, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση στην αισθητική της πρόσοψης. Γενικά, κάθετες συνδέσεις πρέπει να ευθυγραμμίζονται καθ' όλο το ύψος του κτιρίου και να τοποθετούνται, κατά προτίμηση, όσο πιο συμμετρικά γίνεται.
- Βάρος των πάνελ: Το βάρος των πάνελ θα καθορίσουν την ανυψωτική ικανότητα του γερανού που θα χρησιμοποιηθεί για την εγκατάστασή τους. Πέρα το μεγαλύτερο κόστος, ένας μεγαλύτερος γερανός μπορεί να μην μπορεί να έχει πρόσβαση στον τόπο ανέγερσης. Συνήθως υπάρχει ο περιορισμός των 4 τόνων στο βάρος των πάνελ. Γενικά το μέγεθος των πάνελ πρέπει να βελτιστοποιηθεί, ώστε να αυξηθεί και η ταχύτητα της κατασκευής αλλά και ο αριθμός των πάνελ που θα συνδεθούν.

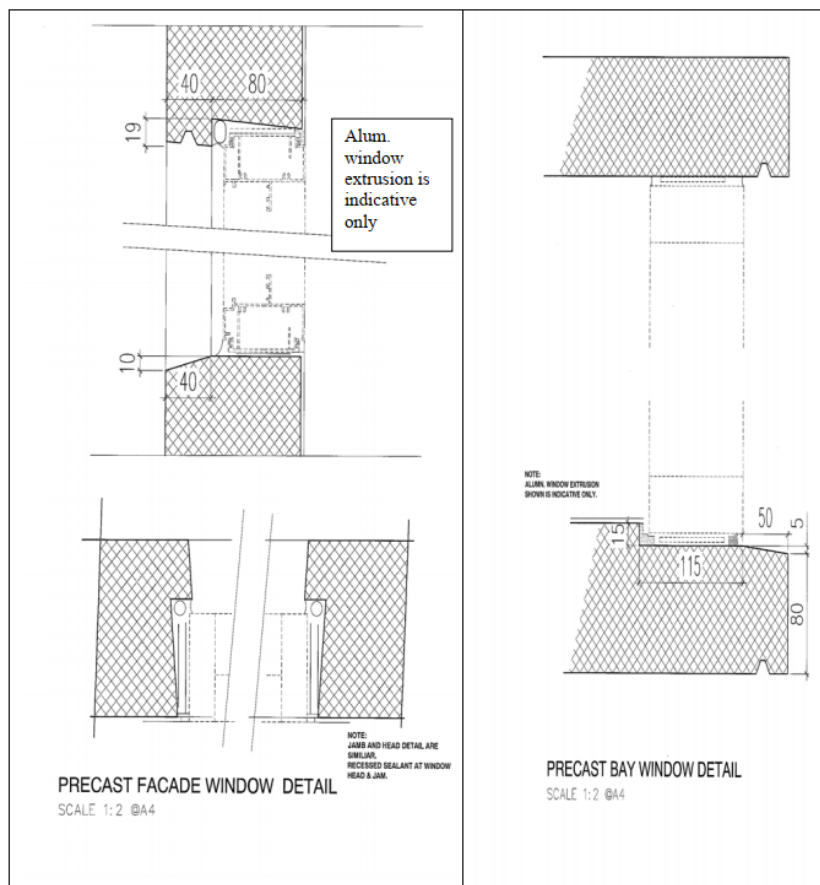
- Περιορισμοί μεταφοράς: Για λόγους μεταφοράς, είναι σημαντικό να περιοριστεί η μία διάσταση των πάνελ στα 3.6 m. Γενικά, το ύψος των πάνελ δεν ξεπερνά τα 3.6 m και το μήκος των πάνελ βασίζεται στο βάρος ή σε άλλες κατασκευαστικές ανάγκες. Όταν το ύψος των πάνελ ξεπεράσει τα 3.6 m, το μήκος των πάνελ πρέπει να περιοριστεί στα 3.6 m ή λιγότερο.
- Έλεγχος εσωτερικών ρωγμών: Για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου ρωγμών στο εσωτερικό των συνδέσμων των πάνελ-τοιχών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τα ακόλουθα:
 - ♦ Εάν είναι δυνατόν, τοποθετούνται οι συνδέσεις στο εσωτερικό τμήμα των πάνελ, μέσα σε βοηθητικούς αγωγούς και άλλα μη ορατά σημεία.
 - ♦ Αποφεύγονται συνδέσεις πάνελ προς το μεσοδιάστημα των ορόφων, όπου καμπτικές παραμορφώσεις των δοκαριών ή των πλακών μπορεί να οδηγήσει σε άνοιγμα της σύνδεσης.
 - ♦ Αποφεύγεται η χρήση πάνελ μεγάλου μήκους, όπου η συσσωρευμένη συρρίκνωση μπορεί να προκαλέσει ρωγμή στη σύνδεση. (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.4.2 Διαχείριση των ανοιγμάτων παραθύρων

Υπάρχει η τάση να γίνετε μια τυποποίηση των ανοιγμάτων παραθύρων στα πάνελ. Η προτεινόμενη λεπτομέρεια θεωρείται αποδεκτή στις περισσότερες κατασκευές. Στην Εικόνα 35 φαίνεται το προτεινόμενο προφίλ για τα παράθυρα. (Building and Construction Authority, 2003)

Ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων για παράθυρα έγινε με βάση τα παρακάτω δεδομένα:

- Σύστημα αποστράγγισης προβλέπεται για το επάνω μέρος και τα πλάγια, ώστε να αποτρέπεται η είσοδος του νερού.
- Οι προεξοχές της κάσας κατασκευάζονται στεγανές και επιτρέπουν στην κάσα του παραθύρου να τοποθετηθεί από την εσωτερική πλευρά του κτιρίου. Με αυτό τον τρόπο, δεν απαιτείται η χρήση σκαλωσιάς.
- Η προεξοχή επιτρέπει την παρουσία αρκετού χώρου για την τοποθέτηση στόκου στη σύνδεση για τη στεγανοποίηση.
- Η προεξοχή προστατεύει τα σφραγιστικά από την άμεση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία. (Building and Construction Authority, 2003)



Εικόνα 35: Άνοιγμα για παράθυρο σε προκατασκευασμένη πρόσοψη (αριστερά) και Άνοιγμα για παράθυρο προεξοχής (δεξιά) (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.5 Προκατασκευασμένο σύστημα δαπέδου

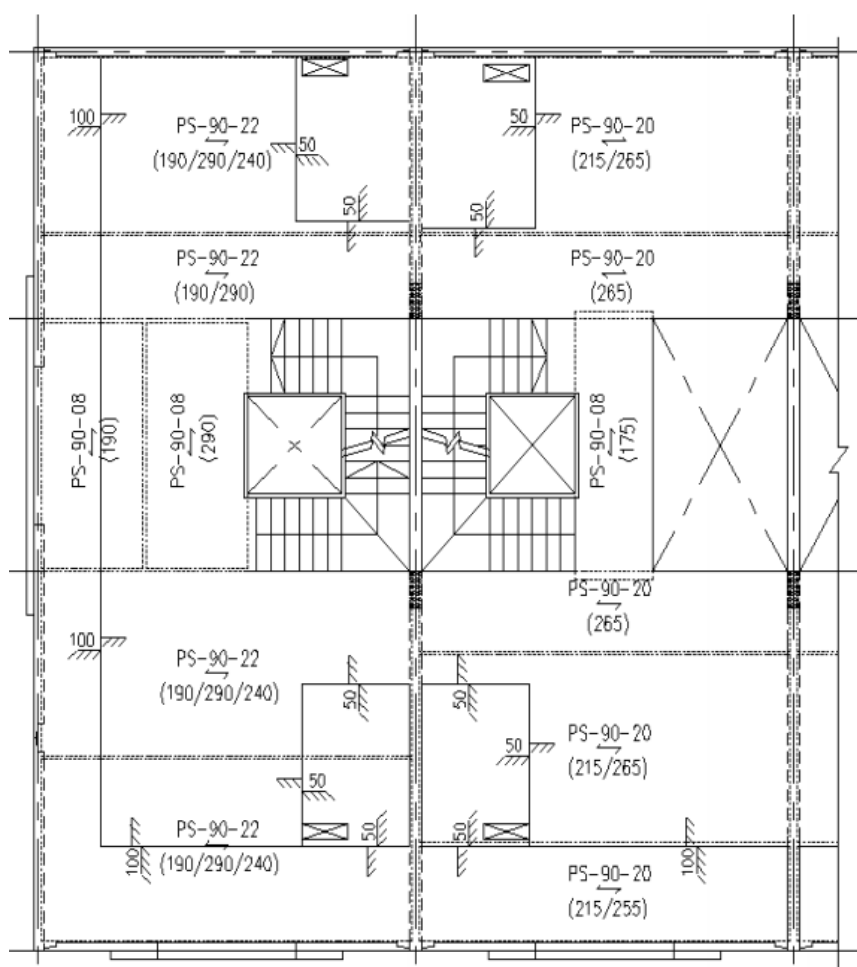
Προτείνονται δύο διαφορετικά συστήματα προκατασκευασμένων δαπέδων. Και στα δύο συστήματα, απαιτείται η τοποθέτηση της τελικής επικάλυψης κατά την ανέγερση, με βάση τα παρακάτω δεδομένα:

- Οι προκατασκευασμένες πλάκες είναι πιο λεπτές με μικρότερο βάρος.
- Προσφέρεται ευελιξία στην επιλογή του πάχους της πλάκας, ανάλογα με τις ανάγκες της κατασκευής, αλλάζοντας το πάχος της επικάλυψης του δαπέδου.
- Το σκυρόδεμα που τοποθετείται πάνω από την προκατασκευασμένη πλάκα και ο οπλισμός προσφέρει και μια ευελιξία στην εύκολη ένωση του δαπέδου με τους τοίχους.
- Βοηθητικές εργασίες γίνονται στο εργοτάξιο στα πλαίσια της τοποθέτησης της επικάλυψης από σκυρόδεμα.

Η/Μ εργασίες στο δάπεδο μέσα στο μπάνιο και την τουαλέτα έχουν κάποιο σημαντικό ρόλο, λόγω της διαμέτρου των σωλήνων, οι οποίες πρέπει να τοποθετηθούν και με κλίση. Σε αυτούς τους χώρους, είναι πιθανόν το πάχος της επικάλυψης να έχει το ελάχιστο πάχος των 85 mm, ώστε να μπορούν να εγκατασταθούν οι σωλήνες της παροχής νερού και της αποχέτευσης. (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.5.1 Εναλλακτικό δάπεδο 1 – προεντεταμένη σανίδα και δάπεδο ημι-πλάκας

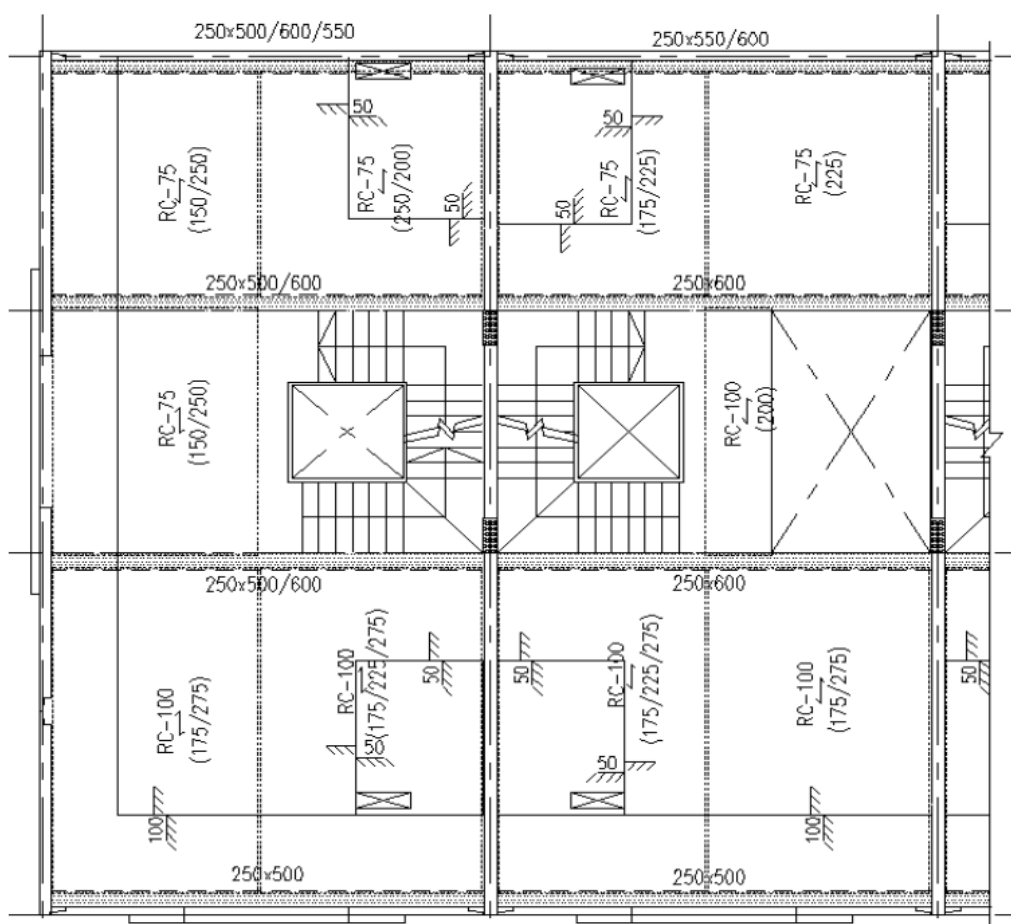
Το προκατασκευασμένο δάπεδο αυτού του τύπου (Εικόνα 36) περιλαμβάνει προεντεταμένες σανίδες που εκτείνονται ανάμεσα στους τοίχους που φέρουν φορτία. Όπου κενά, κλίμακες και άλλα στοιχεία εμποδίζουν την πλάκα από το να εκτείνεται αντίστοιχα ανάμεσα στους τοίχους, προτείνονται πλάκες που εκτείνονται κάθετα και στηρίζονται από τις προσκείμενες σανίδες.



Εικόνα 36: Τυπική κάτοψη δαπέδου για προκατασκευασμένους τοίχους με προκατασκευασμένη πλάκα (Building and Construction Authority, 2003)

Τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι:

- Τα δοκάρια δαπέδου ελαχιστοποιούνται, απλοποιώντας την κατασκευή.
- Προσβάσεις στο όριο δόμησης μπροστά και πίσω εγκαθίστανται εύκολα.
- Παράθυρα και άλλα στοιχεία της πρόσοψης μπορούν να σχεδιαστούν.
- Μπορεί να γίνει εγκατάσταση με διάφορους τρόπους των Η/Μ στοιχείων με μικρότερη τελική απαίτηση σε ψευδοδάπεδο. (Building and Construction Authority, 2003)



Εικόνα 37: Τοπική κάτοψη δαπέδου για προκατασκευασμένους τοίχους με προκατασκευασμένες δοκούς και πλάκα (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.5.2 Εναλλακτικό Σύστημα Δαπέδου 2 – Προκατασκευασμένες δοκοί και προκατασκευασμένες πλάκες

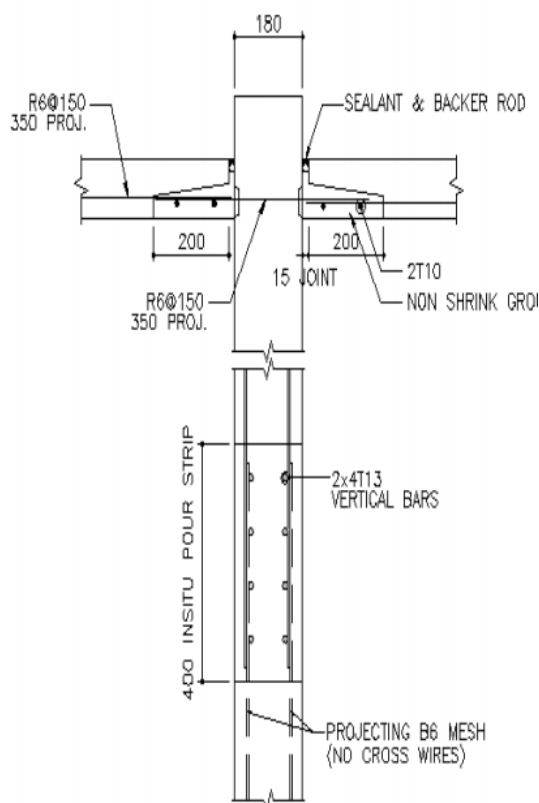
Το σύστημα αυτό (Εικόνα 37) περιλαμβάνει ημιδοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα που εκτείνονται ανάμεσα στους τοίχους που φέρουν φορτία και ημι-πλάκες που εκτείνονται ανάμεσα στις δοκούς. Δεδομένα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν είναι:

- Οι εισχωρήσεις των δοκών χρειάζονται συχνά για την ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση, γι' αυτό και το σύστημα αυτό δεν εξυπηρετεί την εγκατάστασή των συστημάτων αυτών.
- Οι συνδέσεις των δοκών που στηρίζουν τους τοίχους γίνονται κατά προτίμηση μέσω κιβωτίων, τα οποία κατασκευάζονται βαθιά όταν τα ύψη των δαπέδων ανάμεσα σε διπλάνες κατασκευές διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους. (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.6 Λεπτομέρειες ενώσεων

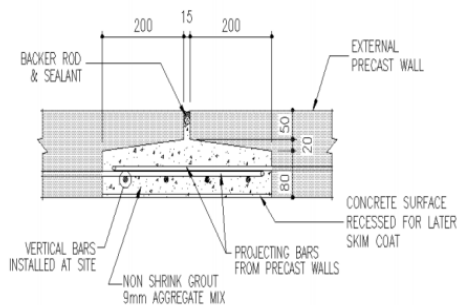
Ακολουθεί η παράθεση κάποιων λεπτομερειών ενώσεων για διαφορετικές εφαρμογές με σκοπό την προσπάθεια όσο το δυνατόν καλύτερης προσέγγισης του θέματος. (Building and Construction Authority, 2003)

1. Ενώσεις για μεσοτοιχίες που φέρουν φορτία (Εικόνα 38)



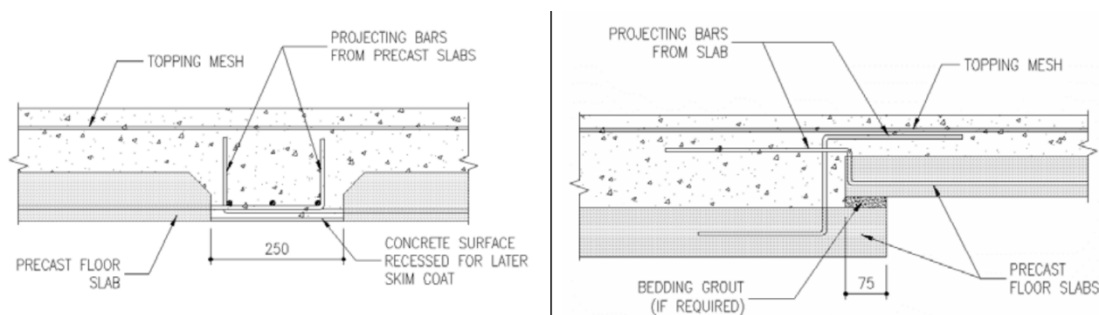
Εικόνα 38: Ενώσεις σε μεσοτοιχίες και σύνδεση ανάμεσα σε μεσοτοιχίες και τοίχους-προσόψεις (Building and Construction Authority, 2003)

2. Ενώσεις για πάνελ προσόψεων που δεν φέρουν φορτία (Εικόνα 39)

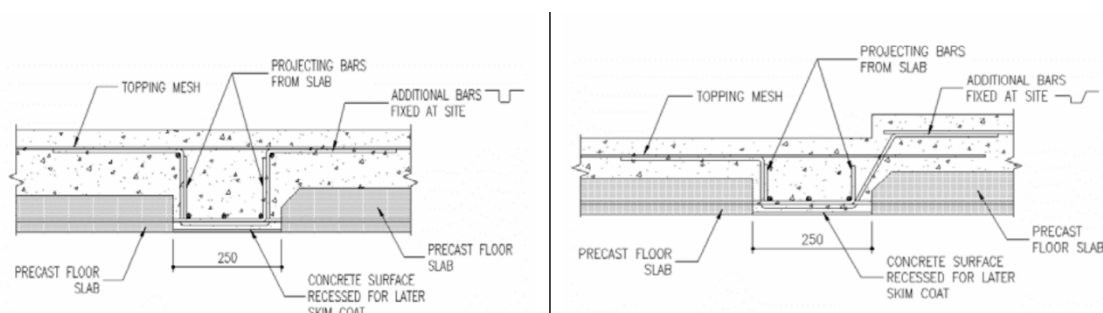


Εικόνα 39: Σύνδεση για πάνελ προσόψεως μεγάλου μήκους ή για τελικούς τοίχους (Building and Construction Authority, 2003)

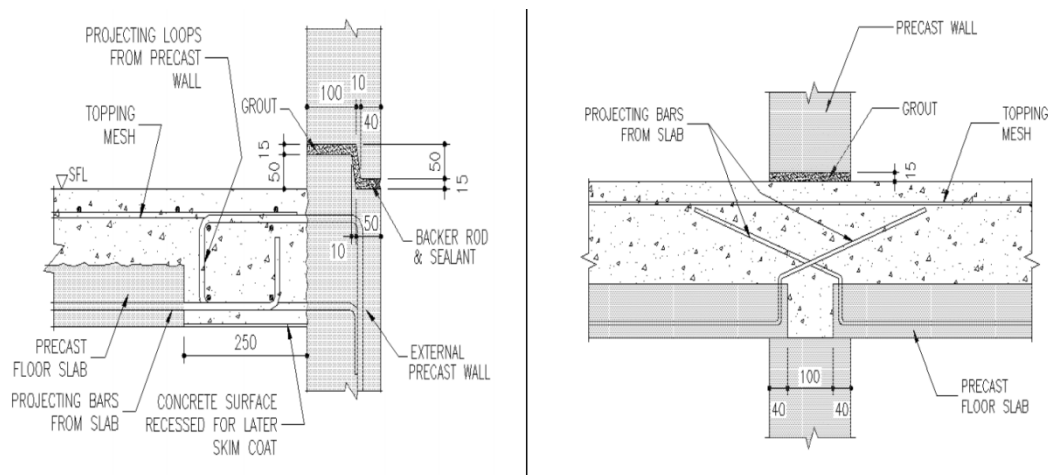
3. Σύνδεση σανίδων δαπέδου (Εικόνες 40, 41 & 42)



Εικόνα 40: Τομή λωρίδας χύτεσης για προκατασκευασμένη πλάκα (αριστερά) και τομή για πλάκα με μεταβολή στο πάχος της πλάκας (δεξιά) (Building and Construction Authority, 2003)



Εικόνα 41: Τομή λωρίδας χύτεσης με επιπλέον ράβδους για στήριξη της πλάκας (αριστερά) και τομή λωρίδας χύτεσης με επιπλέον κάλυψη για πλάκες (Building and Construction Authority, 2003)



Εικόνα 42: Τομή λεπτομεριών πλάκας με τοίχο προσόψεως (αριστερά) και τομή λεπτομεριών πλάκας με μεσοτοιχία (δεξιά) (Building and Construction Authority, 2003)

4.2.7 Ηλεκτρομηχανολογικές Εγκαταστάσεις

Στη συμβατική κατασκευή, οι Η/Μ εγκαταστάσεις ενσωματώνονται στα δομικά τμήματα, καθώς αυτά ανεγείρονται. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις στις οποίες οι εγκαταστάτες δεν είναι σε θέση να διαβάσουν καλά τα σχέδια ή γίνεται κακός συντονισμός των εργασιών και τότε παρουσιάζονται τα φαινόμενα των κακοτεχνιών. Στην προκατασκευασμένη δόμηση, σχεδόν όλες οι Η/Μ εγκαταστάσεις είναι ήδη ενσωματωμένες στα προκατασκευασμένα πάνελ, με αποτέλεσμα οι εργασίες που απομένουν στο εργοτάξιο να είναι πολύ μικρότερης κλίμακας. (Building and Construction Authority, 2003)

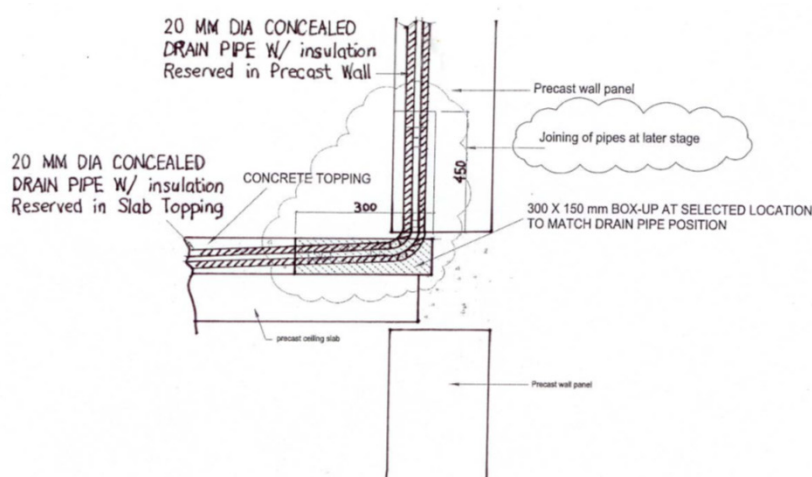
Υπάρχουν δύο τρόποι προεγκατάστασης των Η/Μ συστημάτων (καλώδια, υδραυλικά), ο πρώτος είναι τα οριζόντια τμήματα των συστημάτων να ενσωματωθούν στην επικάλυψη της πλάκας (Εικόνα 43) ή στην προκατασκευασμένη σανίδα και τα κάθετα στους προκατασκευασμένους τοίχους. Τότε πρέπει να γίνει συντονισμός των εργασιών, ώστε να γίνει η ένωση των συστημάτων μεταξύ οριζόντιων και κάθετων (Εικόνα 44). Οι παρακάτω οδηγίες συνοδεύουν το συντονισμό των διαδικασιών εγκατάστασης:

- Όλες οι διαδικασίες όδευσης και εγκατάστασης των Η/Μ συστημάτων πρέπει να επιβεβαιωθούν πριν την έναρξη των εργασιών ανέγερσης.
- Όλα τα προκατασκευασμένα πάνελ πρέπει να λάβουν μοναδικό όνομα ώστε να εξασφαλιστεί η τοποθέτησή τους στη σωστή θέση.

- Όλα τα Η/Μ συστήματα πρέπει να παρέχονται στα σχετικά σχέδια όδευσης και εγκατάστασης ώστε να γίνει η σωστή τοποθέτησή τους. (Building and Construction Authority, 2003)



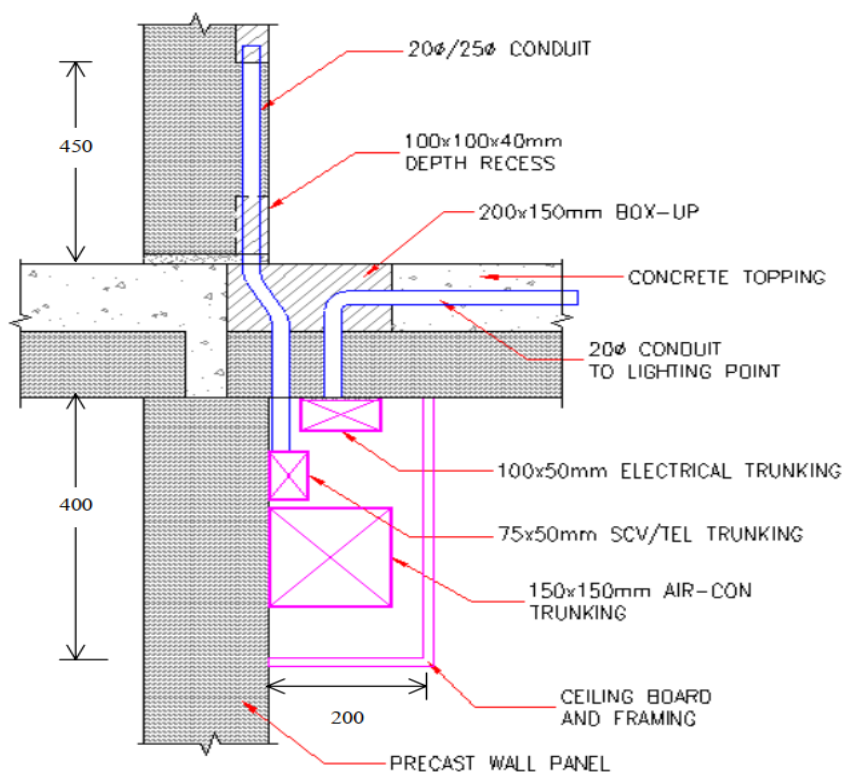
Εικόνα 43: Η όδευση των ηλεκτρικών καλωδίων ενσωματωμένων στην επικάλυψη της πλάκας (Building and Construction Authority, 2003)



Εικόνα 44: Παράδειγμα λεπτομέρειας ένωσης μεταξύ οριζόντιων και κάθετων προκατασκευασμένων Η/Μ συστημάτων (Building and Construction Authority, 2003)

Ο δεύτερος τρόπος εγκατάστασης είναι η όδευση των Η/Μ συστημάτων επάνω σε εσχάρες, εξωτερικά της κατασκευής (Εικόνα 45). Ο τρόπος αυτός γενικά είναι πιο ευέλικτος και δεν απαιτεί ιδιαίτερη προετοιμασία για την εγκατάσταση των συστημάτων. Όλα τα Η/Μ συστήματα στεγάζονται μαζί σε μια εξωτερική εσχάρα, η οποία στηρίζεται στους τοίχους και τις οροφές. Στην περίπτωση αυτή γίνεται χρήση ψευδοροφής περίπου 400mm. Οι κάθετες γραμμές ενσωματώνονται στους τοίχους μέσα σε ειδικά κανάλια που έχουν προβλεφθεί για τη χρήση αυτή. Οι οριζόντιες

γραμμές εγκαθίστανται επάνω στην προκατασκευασμένη πλάκα στο εργοτάξιο, πριν την επικάλυψη με σκυρόδεμα. (Building and Construction Authority, 2003)

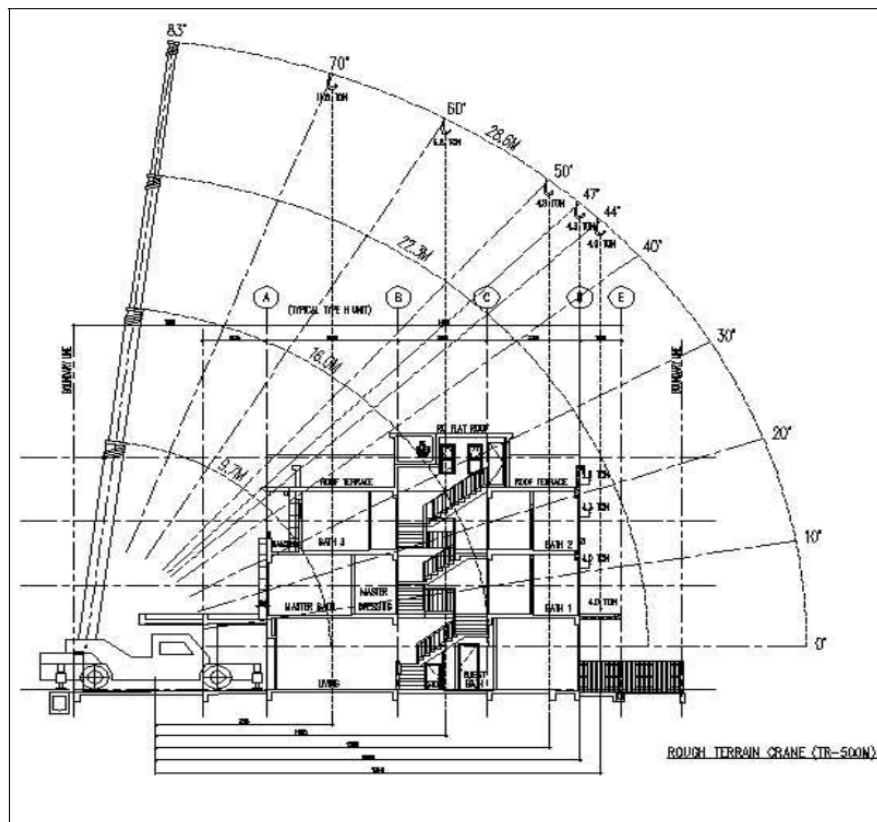


Εικόνα 45: Χρήση εξωτερικής εσχάρας (Building and Construction Authority, 2003)

4.3 Μέθοδοι ανέγερσης και κατασκευής

Κατά την ανέγερση μιας προκατασκευασμένης κατοικίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τα ακόλουθα:

- Όλα τα θέματα ασφάλειας κατά τη διαχείριση των προκατασκευασμένων δομικών στοιχείων, ειδικά όταν ο χώρος ανέγερσης είναι περιορισμένος.
- Η ικανότητα ανύψωσης του γερανού που έχει επιλεγεί.
- Η κάλυψη όλου του απαιτούμενου εύρους ανέγερσης, κατά τη διάρκεια των εργασιών.
- Η καταλληλότητα των υλικών κατασκευής για την χρήση που προορίζονται, π.χ. σφραγιστικά, κ.λπ.
- Συντονισμός με τον κατασκευαστή και τον προμηθευτή ώστε να εξασφαλιστεί η καλύτερη ποιότητα εργασιών (Building and Construction Authority, 2003)



Εικόνα 46: Βελτιστοποίηση χρήσης γερανού 50 τόνων και του βάρους των δομικών στοιχείων (Building and Construction Authority, 2003)



Εικόνα 47: Οι προκατασκευασμένοι τοίχοι στερεώνονται πριν την τοποθέτηση των συνδέσεων (απαιτείται τέλεια ευθυγράμμιση) αριστερά και η ταινία σύνδεσης που έχει κατασκευαστεί ανάμεσα στους δύο προκατασκευασμένους τοίχους (δεξιά) (Building and Construction Authority, 2003)

Στον επόμενο πίνακα συνοψίζονται διάφοροι περιορισμοί κατά την κατασκευή και οι τρόποι αντιμετώπισής τους.

Πίνακας 1: Περιορισμοί και λύσεις κατά την ανέγερση προκατασκευασμένου δομικού συνόλου (Building and Construction Authority, 2003)

Περιορισμοί	Τρόποι αντιμετώπισης
Στενοί παρακείμενοι του εργοταξίου δρόμοι μπορεί να μην επιτρέπουν την στάθμευση του γερανού και των οχημάτων μεταφοράς των προκατασκευασμένων στοιχείων	Χρήση μικρότερου γερανού και οχημάτων μεταφοράς για την παράδοση και την εγκατάσταση μικρών δομικών στοιχείων
Ο γερανός και το όχημα μεταφοράς δυσκολεύονται να στρίψουν σε διασταυρώσεις μικρών δρόμων	Μελέτη της περιοχής και εύρεση εναλλακτικών οδών στροφής. Τοποθέτηση ενός εργαζόμενου για ρύθμιση της κυκλοφορίας
Υπάρχουσες εγκαταστάσεις όπως στύλοι φωτισμού κ.λπ. εμποδίζουν την ανέγερση	Πρόταση προσωρινής μετατόπισης αυτών έως το πέρας της ανέγερσης
Υπάρχοντα δέντρα εμποδίζουν την πρόσβαση και τις εργασίες ανέγερσης	Άδεια για προσωρινή μετατόπιση αυτών και αποκατάσταση μετά το πέρας των εργασιών ανέγερσης
Η ανυψωτική ικανότητα του μικρού γερανού δεν είναι αρκετή για την ανύψωση και την μεταφορά των δομικών στοιχείων	Ενοικίαση μεγαλύτερου γερανού με μακρύτερο βραχίονα. Εναλλακτικά, εξέταση εάν η μετακίνηση του υπάρχοντος σε διαφορετικά σημεία μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της ανέγερσης
Παράδοση στο εργοτάξιο λάθος υλικών	Έλεγχος των σχεδίων και των αριθμημένων στοιχείων του εξοπλισμού πριν την ανέγερση
Λάθος σειρά παράδοσης των δομικών στοιχείων	Εξασφάλιση καλής επικοινωνίας μεταξύ του προμηθευτή και του κατασκευαστή
Οι αναμονές δεν ταιριάζουν με τις ανάλογες οπές ή υπάρχει σύγκρουση ράβδων στις ενώσεις ανάμεσα στις κολόνες και τις δοκούς	Πρόνοια για εξοπλισμό και εργάτες για την επί τόπου διαμόρφωση
Ζημιά όπως ρωγμές και φθορές στις γωνίες εξαιτίας χτυπημάτων κατά τη μεταφορά	Εάν η ζημιά είναι μικρή, ακολουθείται η επισκευή της τοπικά με χρήση εποξικής ρητίνης. Για τις γωνίες μπορεί να γίνει χρήση μη συστελλόμενου σοβά



Εικόνα 48: Τοποθέτηση προκατασκευασμένων σανίδων (αριστερά) και Προετοιμασία κατασκευής πλατύσκαλου σε προκατασκευασμένη σκάλα (δεξιά (Building and Construction Authority, 2003))

4.4 Γενικές πληροφορίες κατασκευής προκατασκευασμένου σπιτιού

Στη συνέχεια, γίνεται μια γενική αναφορά σχετικά με τον τρόπο κατασκευής μιας προκατασκευασμένης οικίας. Το πρώτο βήμα, αφορά στην κατασκευή των δομικών στοιχείων της οικίας στο εργοστάσιο, ενώ στη συνέχεια τα δομικά αυτά στοιχεία μεταφέρονται με τη χρήση νταλίκας στο οικόπεδο που έχει επιλεγεί και τοποθετούνται πάνω σε βάση που έχει ήδη χτιστεί στον τόπο του έργου. Αναφορικά με τη σύνδεση των δομικών αυτών στοιχείων που περιγράφονται, στα λυόμενα σπίτια, στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται με βίδες, ενώ στα μόνιμα σπίτια χρησιμοποιείται οξυγονοκόλληση ή αντίστοιχα χυτευόμενο μπετόν. Η παράδοση των σπιτιών, γίνεται με όλα τα απαραίτητα στοιχεία όπως είναι τα πλακίδια, η μόνωση, οι καλωδιώσεις, τα κουφώματα και τα είδη υγιεινής. Ένα προκατασκευασμένο σπίτι, μπορεί να κατασκευαστεί με πρώτη ύλη το σπλισμένο σκυρόδεμα, και θεωρείται ως προκάτ βαριάς κατασκευής, ή αντίστοιχα το ξύλο και το μέταλλο, και θεωρείται αντιστοίχως ελαφριάς κατασκευής.

Για την κατασκευή του προκατασκευασμένου σπιτιού, υπάρχουν δύο διαφορετικοί τύποι τοιχοποιίας, ο εξωτερικός και ο εσωτερικός. Η μεταφορά των σπιτιών γίνεται με φορτηγά και γεραμούς, και η συναρμολόγησή τους πραγματοποιείται «τοίχο – τοίχο» στο οικόπεδο που έχει επιλεγεί, σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Όσον αφορά τις μεθόδους κατασκευής, η μέθοδος της εξωτερικής τοιχοποιίας, μπορεί

να αποτελείται από σκελετό ξυλείας 15 *15,10 * 5, σαν μια επιπρόσθετη επένδυση με όλα τα στοιχεία τα οποία είναι βιδωμένα μεταξύ τους. Ο σκελετός περιλαμβάνεται από μόνωση διογκωμένης πολυστερίνης και ξύλινη θωράκιση και γυψοσανίδα στην εσωτερική του πλευρά.

Έτσι κατά τη διαδικασία κατασκευής του προκατασκευασμένου σπιτιού, όταν επιθυμείται να υπάρχει μεγαλύτερη θερμομόνωση, το σύστημα του εξωτερικού του τοιχίου θα πρέπει να αποτελείται από μια ξύλινη θωράκιση, είτε μονοπλεύρως είτε αμφίπλευρα, και διογκωμένη πολυστερίνη με τη χρήση ακρυλικού σοβά στην εξωτερική πλευρά του σπιτιού. Ο σοβάς θα πρέπει να έχει συνολικό πάχος έως 24,5εκ. Παράλληλα, για την κατασκευή του σπιτιού μπορεί να χρησιμοποιηθούν για μόνωση μονωτικές πλάκες ηρακλείτη στην εξωτερική του πλευρά, ενώ παράλληλα μπορεί και να αξιοποιηθεί το δομικό πλέγμα και να γίνει παραδοσιακό σοβάτισμα. Σε περίπτωση που το συνολικό πάχος του εξωτερικού τοιχίου, βάσει των αναγκών του κτιρίου επιθυμείτε να αλλάξει, αυτό είναι εφικτό.

Τα υλικά δίνουν τη δυνατότητα στον τοίχο να αναπνέει αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο το χρόνο ζωής του. Όσον αφορά στην εξωτερική τοιχοποιία, αυτή αποτελείται από ένα σύστημα με ξύλινο ιστό. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι το ξύλο είναι ένα υλικό το οποίο έχει ιδιότητες και χαρακτηριστικά υψηλής αντοχής. Παράλληλα είναι μη τοξικό, οργανικό και ανανεώσιμο υλικό που αξιοποιείται στην κατασκευή των προκάτ σπιτιών. Συγκριτικά με το μπετόν έχει τα πλεονεκτήματα ότι είναι πιο ελαφρύ και έχει αντισεισμικές ιδιότητες εφόσον έχει μεγάλη ελαστικότητα. Το υλικό αυτό μπορεί εύκολα να επεξεργαστεί και αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια πληθώρα κατασκευών βιδώνοντας όλα τα μέρη του σκελετού μεταξύ τους. Το υλικό είναι απόλυτα οικολογικό και φιλικό προς τον άνθρωπο. Η ξυλεία είναι σύμφωνη με το DIN 1052 το οποίο ικανοποιεί τις συνθήκες και τις προδιαγραφές καταλληλότητας του DIN4074 όπου υποστηρίζει υψηλή αντοχή σε φορτίσεις.

Η κατασκευή του προκατασκευασμένου σπιτιού με τη χρήση ξύλου, προσφέρει ομοιομορφία χωρίς να υπάρχουν εξωτερικά κι εσωτερικά κενά και εξογκώματα λόγω του ότι οι φλούδες του ξύλου ενώνονται με συνθετικές ρητινοφόρες ουσίες οι οποίες έχουν το χαρακτηριστικό να είναι αδιάβροχες και βοηθούν στην ακαμψία του υλικού αλλά και στην αντοχή του στην υγρασία. Ο ξύλινος σκελετός στην πόρτα του σπιτιού οδηγεί σε σημαντική αύξηση της στιβαρότητας του τοίχου είτε αυτός είναι εξωτερικός είτε εσωτερικός, ενώ παράλληλα συμβάλλει στην καλύτερη στατική αντοχή του

κτίσματος. Το ξύλο είναι ένα μονωτικό για τον ήχο και τις κλιματολογικές συνθήκες υλικό και ενισχύει με καλύτερο τρόπο την αντοχή της γυψοσανίδας σε μεγάλες θερμοκρασίες και χτυπήματα. Παράλληλα δίνει τη δυνατότητα να κρεμάται βάρος σε οποιοδήποτε σημείο του τοίχου χωρίς να είναι αναγκαίες ειδικές προσθήκες.

Σε ένα προκάτ σπίτι, το οποίο είναι διώροφο και έχει μπαλκόνια, για τα ενδιάμεσα πατώματα χρησιμοποιείται μια συγκεκριμένη διαδικασία κατασκευής. Αρχικά γίνεται χρήση ξύλινων δοκών διατομής 25εκ και άνω ευρωπαϊκής προέλευσης. Ωστόσο η διατομή εξαρτάται από τις διαστάσεις που έχει κάθε προκάτ οικία. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η αμφίπλευρη επένδυση της ξύλινης θωράκισης. Πρέπει να σημειωθεί ότι στα μπαλκόνια η άνω πλευρά καλύπτεται με τη χρήση ασφαλτικού βερνικιού, και πάνω στο βερνίκι γίνεται η τοποθέτηση μέσω θερμοκόλλησης ασφαλτόπανου έτσι ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη υδρομόνωση. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί, ότι στα μπαλκόνια του προκάτ διώροφου σπιτιού, είναι απαραίτητη η τοποθέτηση υδροροών.

Αναφορικά με τη στέγη και την κατασκευή της, η διαδικασία είναι η εξής. Το πρώτο βήμα, συμπεριλαμβάνει την κατασκευή της σκέπης του προκατασκευασμένου σπιτιού η οποία γίνεται στο εργοστάσιο. Η σκεπή του σπιτιού, αποτελείται από κεραμίδι ρωμαϊκού τύπου στο οποίο είναι καρφωμένες οι βίδες, το ασφαλτόπανο που χρησιμοποιείται για την υδρομόνωση, πολυστερίνη που χρησιμοποιείται για τη θερμομόνωση, μεταλλικά καλύμματα που χρησιμοποιούνται για τον αερισμό της στέγης και την αποφυγή πουλιών και τρωκτικών. Αναλόγως των επιθυμιών που έχουν οι ιδιοκτήτες για το προκάτ σπίτι, στο εσωτερικό του μπορεί να είναι εμφανή τα δοκάρια ή το ταβάνι, με ξύλινη θωράκιση.

Όσον αφορά στη διώροφη οικία, η τοποθέτηση της σκάλας γίνεται απευθείας στο οίκημα, προτού τοποθετηθεί η σκεπή. Η σκάλα, μπορεί να κατασκευάζεται είτε με τη χρήση πρώτων υλών από μπετόν, είτε από ανθεκτικό συμπαγές ξύλο. Η σκάλα συμπεριλαμβάνει και κούτελα, εκτός από πατήματα, όσον αφορά τα κάγκελα της θα επιλέξει ο ιδιοκτήτης του προκατασκευασμένου σπιτιού την πρώτη ύλη είτε είναι το ξύλο είτε το γυαλί, είτε τα σιδερένια κιγκλιδώματα. Όπως συμβαίνει και με τις συμβατικές κατοικίες, και στις προκάτ υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας αποθηκευτικού χώρου, που θα βρίσκεται κάτω από το κλιμακοστάσιο.

Ο διαχωρισμός του εσωτερικού της προκάτ οικίας, γίνεται με τη χρήση γυψοσανίδας. Όσον αφορά στα χωρίσματα των δωματίων, γίνεται χρήση γυψοσανίδας κοινού τύπου, ενώ στο εσωτερικό μέρος της εξωτερικής τοιχοποιίας του σπιτιού

γίνεται χρήση πυραντοχής γυψοσανίδα για τη δημιουργία πυροδιαμερισμάτων. Όσον αφορά στα μάνια του σπιτιού, στα τοιχώματα τους γίνεται η τοποθέτηση ανθυγρής γυψοσανίδα, εφόσον υπάρχει περιοχή με μεγάλη υγρασία. Στα μάνια, η επένδυση του πατώματος πραγματοποιείται με τη χρήση τσιμεντοσανίδας, και αδιάβροχης κόλλας, ενώ παράλληλα στους ορόφους γίνεται μηχανική υποστήριξη και στο ισόγειο χρησιμοποιείται τσιμεντόκολλα.

Η επένδυση των πατωμάτων και του τοίχου, γίνεται όπως και στα συμβατικά σπίτια, χρησιμοποιώντας πλακίδια επιλογής του ιδιοκτήτη. Τα είδη υγιεινής, τοποθετούνται κανονικά. Στο προκάτ σπίτι που μελετάται, τα κουφώματα είναι είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά, και είναι ίδια σε σχέση με αυτά μιας συμβατικής κατασκευής. Οι πρώτες ύλες κατασκευής των κουφωμάτων μπορεί να είναι είτε το αλουμίνιο, είτε το PVC με τη χρήση διπλών τζαμιών και διπλού λάστιχου ασφάλειας, αλλά πάντα σε σχέδιο που προτιμά ο ιδιοκτήτης. Για τις εσωτερικές πόρτες ενός προκατασκευασμένου σπιτιού, χρησιμοποιούνται Lamina, με οβάλ κάσα από πλάκαζ και MDF στο στρογγύλεμα με λάστιχα και οβάλ πρεβάζια ή αντίστοιχα MDF πρεσαριστό βαμμένο με λαδομπογιά. Η μελέτη της κουζίνας, και η κατασκευή των ντουλαπιών γίνεται από τον μελετητή της εκάστοτε εταιρείας, ο οποίος συμφωνεί με τον πελάτη αναφορικά με το είδος των πρώτων υλών που θα χρησιμοποιηθούν και το χρωματισμό. Τα ίδια δεδομένα ισχύουν και για τις ντουλάπες που υπάρχουν στο υπνοδωμάτιο.

Συνεχίζοντας με την περιγραφή της διαδικασίας της κατασκευής ενός προκατασκευασμένου σπιτιού, πρέπει να γίνει αναφορά στην κατηγορία των ηλεκτρικών και υδραυλικών εγκαταστάσεων. Η διαφορά των συμβατικών και προκάτ, έγκειται στο γεγονός ότι στη συμβατική κατασκευή, η συνδεσμολογία είναι διαφορετική εφόσον γίνεται στο δάπεδο ενώ αντίστοιχα στην προκάτ η συνδεσμολογία γίνεται στο εσωτερικό του τοίχου. Αντιστοίχως η εγκατάσταση μπορεί να είναι τριφασική ή μονοφασική αναλόγως του είδους της τοιχοποιίας. Στις υδραυλικές εγκαταστάσεις, η τοποθέτηση γίνεται με τη χρήση συγκεκριμένων σωλήνων και αποχετεύσεων από PVC. Το σύνολο των σωληνώσεων και των καλωδιώσεων, σταματούν στην εξωτερική πόρτα του προκατασκευασμένου σπιτιού.

Το τελευταίο στάδιο της κατασκευής ενός προκάτ, αφορά στο χρωματισμό. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο, απλά στις γυψοσανίδες δεν είναι αναγκαίο τόσο σοβάτισμα και αυτό είναι ιδιαίτερα θετικό από άποψη του κόστους. Ο ιδιοκτήτης, σε κάθε περίπτωση είναι υπεύθυνος για την επιλογή των

χρωμάτων. Αναφορικά με τη θέρμανση, οι παροχές μιας προκάτ οικίας προσιδιάζουν αυτές της συμβατικής. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετούνται ηλεκτρικά σώματα θέρμανσης με τη χρήση ρεύματος με χαμηλή κατανάλωση. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δε χρειάζεται επιπλέον χώρος για καυστήρα αλλά και για αποθήκη δεξαμενής καυσίμου. Ωστόσο, γίνεται η εγκατάσταση σωληνώσεων καλοριφέρ αν το επιθυμεί ο ιδιοκτήτης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα προκατασκευασμένα δομικά σύνολα στις μέρες μας ελκύουν το ενδιαφέρον όλο και περισσότερο του καταναλωτικού κοινού διότι συνδυάζουν έναν καλό αριθμό πλεονεκτημάτων. Αυτός όμως δεν είναι ο μοναδικός λόγος που σήμερα προτιμώνται έναντι των εναλλακτικών μεθόδων κατασκευής. Οι λόγοι είναι πολλοί και έχουν σταδιακά κάνει την εμφάνισή τους, ωθώντας όλο και περισσότερο προς την κατεύθυνση της προκατασκευής.

Αρχικά ήταν η οικονομική κρίση, η οποία έφερε την άνοδο των τιμών στις συμβατικές κατασκευές, λόγω της αύξησης του κόστους των πρώτων υλών, των εργατικών, του εξοπλισμού κ.α. στοιχείων, τα οποία είναι απαραίτητα για την ανέγερση οποιασδήποτε κατασκευής. Η οικονομική κρίση με τη σειρά της πυροδότησε την ανάγκη ανεύρεσης εναλλακτικών, πιο οικονομικών λύσεων, σε συνδυασμό με την απαίτηση για γρήγορη παράδοση των κατασκευών λόγω της αναγκαιότητάς τους, της ανάγκης μείωσης των εργατικών αλλά και του περιορισμού του αρχικού διαθέσιμου κεφαλαίου, το οποίο δεν έδινε περιθώρια για καθυστερήσεις ή κακοτεχνίες.

Ακολούθησε η κλιματική αλλαγή και οι νέοι νόμοι σχετικά με τη διαχείριση των πρώτων υλών, των εκπομπών αλλά και των αποβλήτων των εργοταξίων, κάτι που ανέβασε ακόμα περισσότερο το κόστος της συμβατικής κατασκευής. Παράλληλα, λόγω έλλειψης πρώτων υλών για να καλυφθούν τις ανάγκες όλου του πλανήτη, προκρίθηκε τη λύση της χρήσης των υλικών κατασκευής που βρίσκει κανείς διαθέσιμα στο κοντινό του περιβάλλον.

Άλλο πρόβλημα προέκυψε από την έλλειψη χώρου στα μεγάλα αστικά κέντρα, όπως και ο υπερπληθυσμός του πλανήτη. Παράλληλα, στα πλαίσια της προσπάθειας σωτηρίας του πλανήτη από την αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας προωθήθηκε η μείωση των απορριμμάτων, η τεχνολογία νέων υλικών, τα οποία είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον, αλλά και εύκολα κατασκευάσιμα. Σε όλα αυτά προστέθηκαν οι φυσικές καταστροφές, που άφησαν χιλιάδες ανθρώπους άστεγους, με αποτέλεσμα την ανάγκη άμεσης εξυπηρέτησής τους με φθηνές και γρήγορα κατασκευάσιμες κατοικίες.

Τελευταίο και πιο φλέγον θέμα είναι η ενεργειακή κρίση, η οποία επίσης επέβαλε την εξοικονόμηση ενέργειας σε όλους τους τομείς των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, άρα και της δόμησης. Σε συνδυασμό με τις ακραίες θερμοκρασίες που παρουσιάζονται στον πλανήτη, φέρνουν στο προσκήνιο την ανάγκη για κατασκευή ενεργειακών κατοικιών, με καλή αντισεισμικότητα και με τη χρήση των νέων συστημάτων θερμομόνωσης. Εδώ έρχεται και η τεχνολογία να εξυπηρετήσει τη δόμηση, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας, πρώτων υλών, αλλά και να ελαχιστοποιήσει τις εκπομπές σε αέρια του θερμοκηπίου και ρύπανση, δίνοντας το πλεονέκτημα στη βιώσιμη προκατασκευασμένη δόμηση, για την οποία υπάρχουν περιθώρια καλής διαχείρισης όλων των παραπάνω.

Η προκατασκευασμένη δόμηση βέβαια έχει και τους περιορισμούς της, διότι δεν είναι μικρής σημασίας η ανάγκη μεταφοράς των προκατασκευασμένων στοιχείων, όπως και η ανάγκη σε καλά εκπαιδευμένο προσωπικό, το οποίο να μπορεί να διαχειριστεί τις νέες τεχνολογίες δόμησης. Αυτό παραπέμπει είτε στην τυποποίηση των κατασκευών, είτε στη μεγάλη εξειδίκευση των εργαζόμενων στην ανέγερση συγκεκριμένων κατασκευών.

Η τεχνολογία ωστόσο προχωράει και η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης αποτελεί μια αληθινή καινοτομία, όπως και η ανάπτυξη των ρομπότ, τα οποία μπορούν να αντικαταστήσουν την ανάγκη της παρουσίας του εργάτη στο εργοτάξιο, την καλύτερη ποιότητα της εργασίας, όπως και τη συντόμευση του χρόνου ανέγερσης, λόγω του γεγονότος ότι πρόκειται για μηχάνημα και όχι για τον άνθρωπο, ο οποίος έχει αρκετούς περιορισμούς στην αποδοτικότητά του στην εργασία. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο, αλλά ήδη υπάρχουν ισότοποι, οι οποίοι προωθούν λύσεις τρισδιάστατης εκτύπωσης για απλές κατασκευές σπιτιών, με τη χρήση των ανάλογων λογισμικών.

Παράλληλα, η τεχνολογία των αυτοματισμών αναπτύσσει το μοντέλο του μελλοντικού σπιτιού, το οποίο θα είναι ενεργειακά οικονομικότερο, διότι θα μπορεί κανείς μέσω των έξυπνων συσκευών να προγραμματίζει τη λειτουργία τους με βάση τις ατομικές του ανάγκες. Στο επίπεδο της τεχνολογίας εμπίπτουν και τα νέα συστήματα καταγραφής των στοιχείων ενός προκατασκευασμένου δομικού συστήματος με τη χρήση των bar codes και την σύνδεση συστημάτων αποστολής και παραλαβής, έτσι, ώστε να συντομεύονται όλες οι γραφειοκρατικές διαδικασίες.

Τέλος, να σημειωθεί ότι η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα παραδοσιακή, η οποία δεν έχει υιοθετήσει την προκατασκευασμένη δόμηση ιδιαίτερα, παρά μόνο στα βιομηχανικά έργα, και τα έργα υποδομής. Η κατοικία ακόμα στην Ελλάδα, με βάση την ύπαρξη της ιδιοκτησίας παρουσιάζει μια πιο αργή εξέλιξη, όμως αποτελεί μια αγορά που έχει πιθανότητες ανάπτυξης και παρουσιάζει ενδιαφέρον, καθώς το εισόδημα των Ελλήνων δεν επιτρέπει τη σκέψη αγοράς ή κατασκευής νέας κατοικίας με βάση τη συμβατική μέθοδο κατασκευής. Ζητούνται νέες λύσεις, μικρότερης διάρκειας ζωής πιθανόν, αλλά με δυνατότητα στήριξης του κόστους συντήρησής τους, αλλά και οποιασδήποτε μελλοντικής εργασίας επισκευής. Οι νέες προκατασκευασμένες κατοικίες που προωθούνται σήμερα στο διαδίκτυο μπορούν να προσφέρουν λειτουργικότητα, αισθητική, ευελιξία, εύκολη και γρήγορη κατασκευή, αντισεισμικότητα, ενεργειακή εξοικονόμηση ή και αυτονομία, όπως και άλλα πολλά πλεονεκτήματα για τις ανάγκες του οικιακού, κατασκευαστικού και βιομηχανικού τομέα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strue, G., & Woetzel, J. (2019). *Modular Construction: From projects to products*. Vancouver: McKinsey & Company. Retrieved, from <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>
- Building and Construction Authority. (2003). *Buildability Solutions for landed residential development in Singapore*. Singapore: Building and Construction Authority.
- Building and Construction Authority. (2000, August). Reference Guide on Standard Prefabricated Building Components. *Reference Guide on Standard Prefabricated Building Components*. Singapore: Building and Construction Authority. Retrieved from https://www.bca.gov.sg/Publications/BuildabilitySeries/others/STANDARD_PREFABRICATED_BUILDING_COMPONENTS_lowres.pdf
- Chern Yen, S. F. (2015). *Prefab and Modular Innovation: A Study of Implementing Prefab & Modular Residence into Local Context of Malaysia*. First City: First City University College. Retrieved from https://www.academia.edu/21747396/Prefab_and_Modular_Innovation_A_Study_of_Implementing_Prefab_and_Modular_Residence_into_Local_Context_of_Malaysia
- Chudley, R., & Greeno, R. (2014). *Building Construction Handbook* (10th ed.). Abingdon, Oxon: Routledge Taylor & Francis Group. Retrieved from <https://easyengineering.net/building-construction-handbook-pdf-by/>
- Egege, C. O. (2018). Off-site Modular Construction as a Method of Construction Quality and Safety. *International Journal of Structural and Civil Engineering*

- Research*, 7, 259-268. Retrieved from
<http://www.ijscer.com/uploadfile/2018/0807/20180807112708620.pdf>
- EXPERTEXPRO. (2022, 03 02). *ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΙΔΙΩΤΙΚΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ*. Ανάκτηση από techno.expertexpro.com:
<https://techno.expertexpro.com/el/>
- Gopalakrishnan, S. (n.d.). *Prefabricated Structures*. Vijayamangalam: Sasurie Institutions - College of Engineering.
- Guy, B., Ciarimboli, N., & Hendrickson, K. (2005). DfD Design for Disassembly in the built environment. Pennsylvania, USA. Retrieved from
<https://www.lifecyclebuilding.org/docs/DfDseattle.pdf>
- Heggade, V. N. (n.d.). Evolution of precast segmental technology for bridges in India. Mumbai: Gammon India Limited. Retrieved from Academia education:
https://www.academia.edu/34986586/Evolution_of_precast_segmental_technology_for_bridges_in_India
- Jagtap, A. D., & Dhawadw, S. M. (2015, December). Benefits of Prefabricated Building Material Over on Site Construction - A Review. *International Journal of Reserch in Engineering, Science and Technologies*, 1(8), 195-202. Retrieved from
https://www.academia.edu/33094539/Benefits_of_Prefabricated_Building_Material_Over_on_Site_Construction_A_Review
- Kholiya, R. (2016, September). 3D Printing: The Face of Future Fashion. *International Journal of Reserch Aspects*, 3(3), 80-85. Retrieved from
<https://www.ijrra.net/Vol3issue3/IJRRRA-03-03-18.pdf>
- Masera, G., Muscogiuri, M., Bongiovanni, A., & Colombo, M. (2017). *Towards a new digital craft. Potential and limitations of 3D printing in architecture and construction*. Milano: Politecnico di Milano, Department of Architecture, Build Environment and Construction Engineering. Retrieved from
https://www.academia.edu/35587050/Towards_a_new_digital_craft_Potential_and_limitations_of_3D_printing_in_architecture_and_construction
- Raval, A. D., & Patel, C. G. (2020). Development, Challenges and Future Outlook of 3D Concrete Printing Technology. *International Journal of Emerging Technologies*, 11(2), 892-896. Retrieved from
<https://www.semanticscholar.org/paper/Development%2C-Challenges-and->

- Future-Outlook-of-3D-Raval-Patel/80e0199a6388e8e0144c8ab2ce7b0b526b6c553c
- Roddenberry, M., & Servos, J. (2012). *Prefabricated / Precast Bridge Elements and Systems (PBES) for Off-System Bridges*. Tallahassee: FAMU-FSU College of Engineering .
- Sai, L. H., & Kjaerbye, P. (2001). *Structural Precast Concrete Handbook* (2nd ed.). Singapore: Building and Construction Authority.
- SKP Group of Institutions. (n.d.). *CE2045 Prefabricated Structures (IS4020)*. Chennai: SKP Group of Institutions. Retrieved from <https://www.vidyarthiplus.com/vp/Thread-CE2045-Prefabricated-Structures-IS4020-Codes>
- Smith, R. E. (2009). *History of Prefabrication: A Cultural Survey*. Cottbus: Third International Congress on Construction History. Retrieved from <https://docplayer.net/41128594-History-of-prefabrication-a-cultural-survey.html>
- Tay, Y. D., Panda, B., Paul, S. C., Mohamed, N. A., Tan, M. J., & Leong, K. F. (2017). 3D printing trends in building and construction industry: a review. *Visual and Physical Prototyping*. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/17452759.2017.1326724>
- US Department of Housing and Urban Development. (2002). *Guidance to foundation and support systems for manufactured homes*. Washington: PATH.
- Wijk, A. V., & Wijk, I. V. (2013). *Printing with Biomaterials*. Amsterdam: IOS Press. Retrieved,from https://www.researchgate.net/publication/309857895_3D_printing_with_biomaterials_Towards_a_sustainable_and_circular_economy