

ΠΛΑΚΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕΙΩΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

ΕΛΑΦΡΑ ΔΟΜΗΣΗ ΜΕ ΠΛΑΚΕΣ ΜΕ ΔΙΑΚΕΝΑ ΓΙΑ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ, ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ



Το ίδιο βάρος των κατασκευών αποτελεί διαχρονικά έναν παράγοντα που επηρεάζει τον σχεδιασμό τους. Ιδιαίτερα, το ίδιο βάρος του φέροντος οργανισμού σχετίζεται με τη φέρουσα ικανότητα, το μέγεθος των ανοιγμάτων μεταξύ στηρίξεων και το τελικό ύψος της κατασκευής. Ιστορικά, είναι γνωστή η χρήση κίσηρης για τη μείωση του βάρους στους υψηλότερους ορόφους των κτιρίων. Η ελαφρά δόμηση έχει συσχετιστεί με καλύτερη θερμομόνωση, βελτιωμένη ηχομόνωση και σημαντικές οικονομίες κλίμακας, ενώ βασικότερο μειονέκτημα –και ο βασικότερος λόγος για τη μειωμένη εφαρμογή της– είναι οι χαμηλότερες αντοχές.

Η ελαφρά δόμηση σε φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα μπορεί να επιτευχθεί είτε με τη μείωση του ειδικού βάρους του υλικού κατασκευής (π.χ. ελαφροσκυρόδεμα ή ελαφροβαρή δομικά στοιχεία) είτε με τη μείωση της ποσότητας του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται (π.χ. λεπτές



διατομές σκυροδέματος υπερυψηλής αντοχής, πλάκες μειωμένου βάρους). Ειδικότερα, σχετικά με την τελευταία περίπτωση, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια η παραγωγή σκυροδέματος αντοχής μεγαλύτερης των 120 MPa με σκοπό τη θεαματική μείωση των διατομών, λύση όμως που αφορά σε κατασκευές υψηλών απαιτήσεων (ουρανοξύστες, γέφυρες). Στις συνήθεις κατασκευές, μια δημοφιλής λύση για τη μείωση βάρους του φέροντος οργανισμού σε θέσεις με χαμηλές απαιτήσεις, όπως οι πλάκες, είναι η εισαγωγή μεγάλων διάκενων όπου αυτό είναι εφικτό.

Στατική θεώρηση

Στις πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος το σκυρόδεμα μεταξύ του ουδέτερου άξονα και της εφελκυστικής (κάτω) παρειάς δεν συνεισφέρει στην εφελκυστική αντοχή, αλλά παραλαμβάνει μέρος των διατμητικών τάσεων. Όμως οι διατμητικές τάσεις στις πλάκες είναι συνήθως χαμηλές, οπότε όλο αυτό το σκυρόδεμα δεν είναι απαραίτητο από στατική άποψη. Προκειμένου να μειωθεί το ίδιο βάρος της κατασκευής και να γίνει οικονομία στο σκυρόδεμα, εφαρμόζονται διάφορες λύσεις που

κατηγοριοποιούνται ως πλάκες μειωμένου βάρους. Μια τέτοια μορφή είναι **οι δοκιδωτές πλάκες**, στις οποίες αφαιρείται το μεγαλύτερο μέρος του σκυροδέματος μεταξύ της κάτω παρειάς και του ουδέτερου άξονα, ενώ παραμένουν οι δοκοί. Αυτές οι δοκοί διαστασιολογούνται, ώστε να μεταφέρουν τις διατμητικές τάσεις και να περιλαμβάνουν τον απαιτούμενο εφελκυστικό χάλυβα. Πολλές φορές είναι επιθυμητό να στηρίζεται η πλάκα από τέσσερις πλευρές, οπότε και σχεδιάζονται δοκοί και προς τις δύο κατευθύνσεις (**πλάκες Zöllner**). Αυτές οι πλάκες έχουν ιδιαίτερη εμφάνιση από την κάτω παρειά, που δεν είναι πάντα αποδεκτή από τη ζητούμενη αρχιτεκτονική αισθητική. Επιλέγεται τότε να κατασκευαστεί ψευδοροφή που να καλύπτει την κάτω παρειά, ώστε να υπάρχει το επιθυμητό οπτικό αποτέλεσμα. Μια σύγχρονη εναλλακτική λύση στις πλάκες μειωμένου βάρους είναι και **οι πλάκες με διάκενα** (hollow core slabs) ή **οι πλάκες τύπου σάντουιτς** (sandwich slabs). Σ' αυτές τις πλάκες επιλέγεται να διατηρηθεί η κάτω παρειά από οπλισμένο σκυρόδεμα, αλλά να δημιουργηθεί διάκενο μεταξύ άνω και κάτω παρειάς. Από αντισεισμική άποψη αυτό συνεπάγεται μείωση της αδρανειακής μάζας του κτιρίου και επομένως μείωση του σεισμικού φορτίου, που καταπονεί την κατασκευή. Επιπροσθέτως,

1. Οροφή στο εσωτερικό γυμναστηρίου με πλάκες "waffle".
Φωτογραφία: Marcelo Donadussi.



μειώνεται το συνολικό βάρος που φέρει η θεμελίωση, επιτρέποντας απλούστερες λύσεις. Όσον αφορά στο σκυρόδεμα και εφόσον η κατασκευή των πλακών γίνει με ορθό τρόπο, η ελάττωση της μάζας τους συνεπάγεται λιγότερες παραμορφώσεις λόγω συστολής ξήρανσης και λιγότερες ρηγματώσεις. Γενικά, ο σχεδιασμός με πλάκες μειωμένου βάρους επιτρέπει μεγαλύτερα ανοίγματα. Στον αντισεισμικό σχεδιασμό τους αυτές οι πλάκες αντιμετωπίζονται σαν κανονικές πλάκες σκυροδέματος χωρίς δοκούς, με έδραση απευθείας σε υποστυλώματα. Ένα ζήτημα που ανακύπτει σχετίζεται με την αντοχή τους σε διάτμηση και διάτρηση, που λόγω του μειωμένου όγκου του σκυροδέματος θα είναι μικρότερη. Επομένως, σε θέσεις, στις οποίες υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη αντοχή της πλάκας, δεν πρέπει να εφαρμόζεται τοπικά η μείωση βάρους και θα πρέπει να τοποθετείται ο κατάλληλος σπλισμός. Στην περίπτωση προκατασκευής, τα τμήματα των πλακών ενώνονται μεταξύ τους και αγκυρώνονται με τα δομικά στοιχεία μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων με ενέματα στο έργο, ώστε να έχουν διαφραγματική λειτουργία και να ανθίστανται στα πλευρικά φορτία. Αν είναι επιθυμητή από τον σχεδιασμό η εφαρμογή προέντασης, μπορεί να χρησιμοποιηθούν χαλύβιδινο

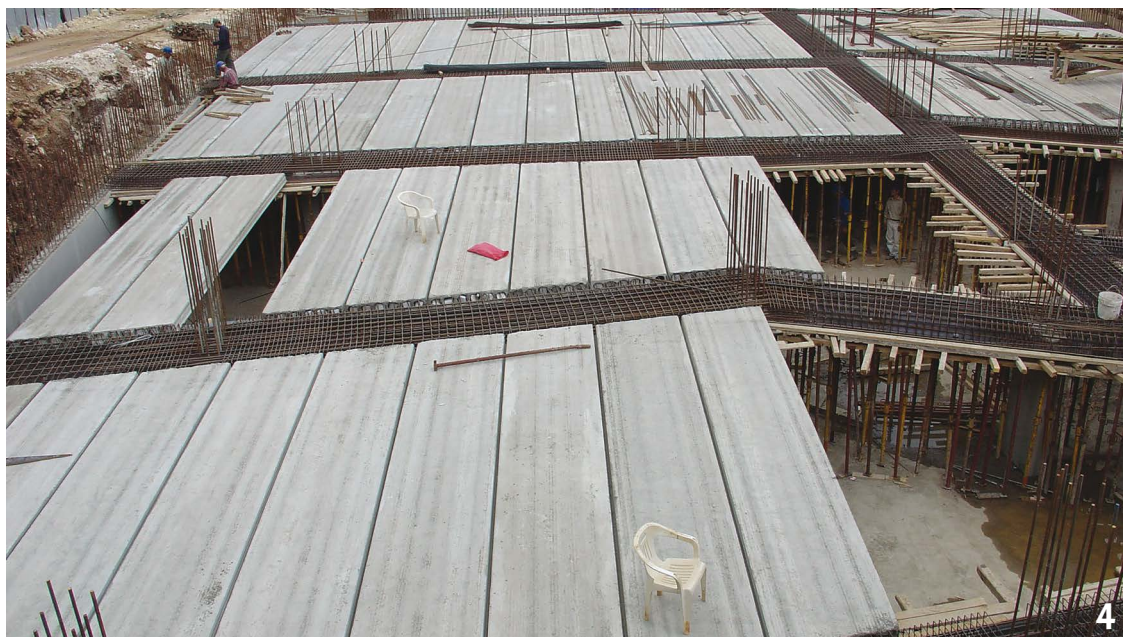
τένοντες με τρόπο όμοιο με των συνήθων πλακών είτε στην περίπτωση προκατασκευής είτε στην περίπτωση χύτευσης επί τόπου. Οι πλάκες μειωμένου βάρους εμφανίζουν επίσης πολύ καλή αντίσταση σε πυρκαγιά. Ο δείκτης πυραντίστασης εξαρτάται από το πάχος επικάλυψης, το ισοδύναμο πάχος πλάκας και τον τρόπο έδρασης της πλάκας.

Αρχιτεκτονική θεώρηση

Οι πλάκες με διάκενα αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σε πλάκες εδραζόμενες επί εδάφους ή σε μη βατές πλάκες οροφής, αλλά γρήγορα εφαρμόστηκαν και σε οριζόντια και κατακόρυφα τοιχία, θολωτές κατασκευές και καταστρώματα γεφυρών. Στις συνήθεις κτιριακές κατασκευές εμφανίστηκαν ως μια πιο ευέλικτη λύση συγκριτικά με τις πλάκες Zöllner και τις δοκιδωτές πλάκες. Κάποια από τα προβλήματα που παρουσιάζονται στις τελευταίες είναι η ανάγκη για ειδικούς ξυλότυπους και τα μεγάλα πάχη των πλακών.

Με τις πλάκες με διάκενα επιτυγχάνεται μείωση του πάχους της πλάκας, κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερα καθαρά ύψη ορόφων. Πλεονεκτήματα εμφανίζονται και από τη μείωση του

2. Πλάκες Zöllner εφαρμόστηκαν στην κατασκευή της οροφής του σταθμού μετρό της Ουάσιγκτον.



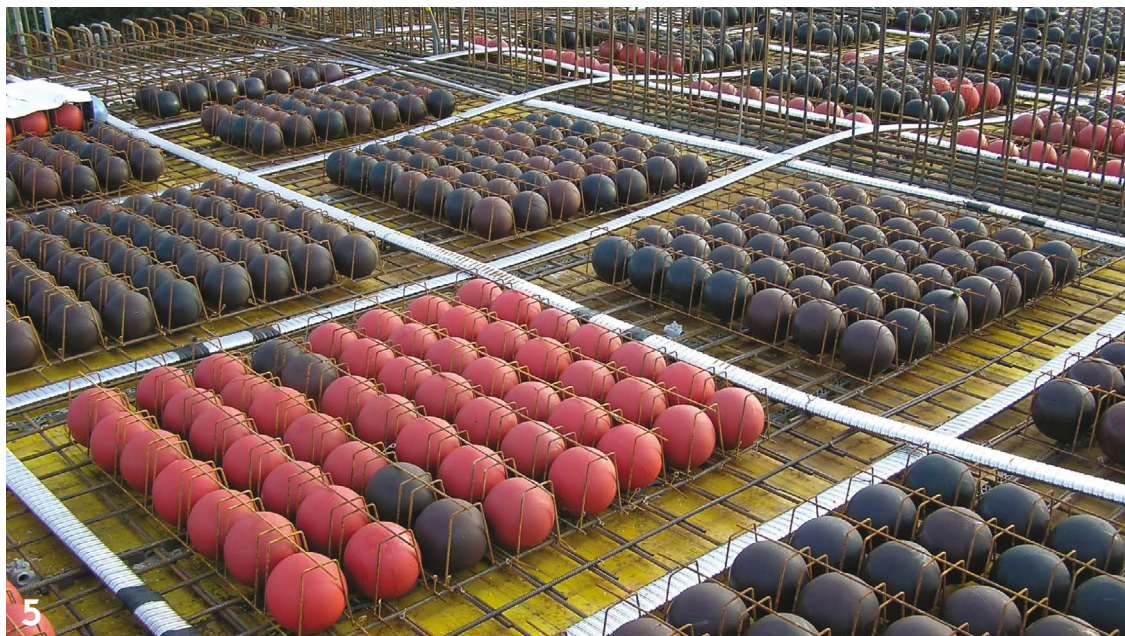
3. Δοκιδωτή προκατασκευασμένη πλάκα με ελαφροβαρές υλικό πλήρωσης.

4. Σύνδεση προκατασκευασμένων πλακών μειωμένου βάρους στο έργο.

συνολικού βάρους της πλάκας, ομοίως με αυτά των ελαφροβαρών κατασκευών. Συγκεκριμένα, υπάρχουν οι δυνατότητες για μεγαλύτερα ανοίγματα, για πλάκες χωρίς δοκούς και για μείωση της διατομής των υποστυλωμάτων.

Το κυριότερο πεδίο εφαρμογής τους, βέβαια, είναι είτε ως πλάκες δαπέδων είτε ως πλάκες οροφής. Ακόμη και αν οι πλάκες μειωμένου βάρους αποτελούνται από προκατασκευασμένα στοιχεία που ενώνονται με κατάλληλο τσιμεντοκονίαμα με πολυμερή, η επιφάνειά τους μπορεί να διαμορφωθεί ως κανονική πλάκα σκυροδέματος με τη χρήση εξισωτικής στρώσης ελαφροσκυροδέματος πάχους από 2 έως 5 εκατοστών. Το κάτω μέρος μιας πλάκας μειωμένου βάρους μπορεί να επιχριστεί και να βαφεί σαν να ήταν κανονική πλάκα. Τα προκατασκευασμένα στοιχεία επίσης μπορούν να κοπούν

στις επιθυμητές διαστάσεις ή να διαμορφωθούν κατάλληλα στις άκρες τους. Ένα πλεονέκτημα από αρχιτεκτονική άποψη είναι ότι τα διάκενα στις πλάκες μπορούν χρησιμοποιηθούν για να ενσωματωθούν καλωδιώσεις και σωληνώσεις θέρμανσης ή ύδρευσης - αποχέτευσης. Σε περίπτωση εγκατάστασης παθητικού ηλιακού συστήματος, οι πλάκες με διάκενα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διανομή θερμού αέρα μέσα από τα κενά τους. Επίσης, όσον αφορά στην ακουστική τους συμπεριφορά, η ύπαρξη μεγάλων κενών συνεπάγεται και καλές ηχομονωτικές ιδιότητες, τόσο ως προς την απόσβεση ηχητικών κυμάτων, όσο και ως προς την ηχοπροστασία από κρουστικά φορτία. Το ελάχιστο προτεινόμενο πάχος για καλή ηχοπροστασία είναι 20 cm. Το αυξημένο τελικό πάχος συγκριτικά με των συμβατικών πλακών αποτελεί και ένα από τα μειονεκτή-



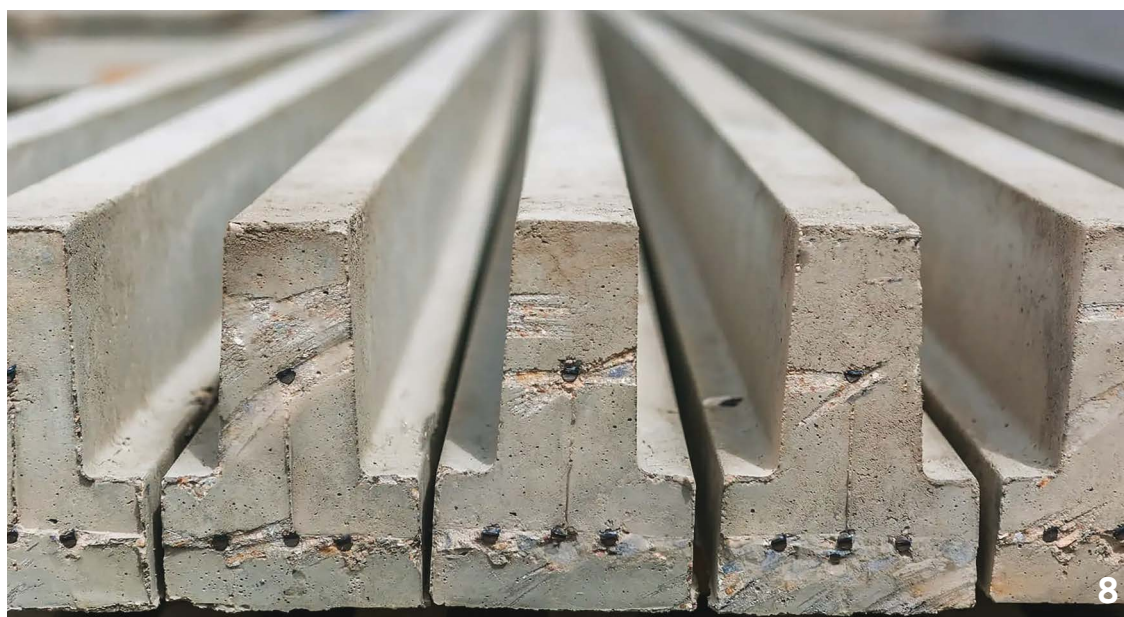
ματα των πλακών με διάκενα. Ειδικότερα σε πολυώροφα κτίρια, το αυξημένο πάχος πλάκας μπορεί να αυξήσει αρκετά το συνολικό ύψος της κατασκευής, που μπορεί να υπόκειται σε περιορισμούς. Περιορισμοί μπορεί να προκύψουν ακόμη και σε περιπτώσεις, κατά τις οποίες μελλοντικά μπορεί να χρειάζεται να γίνει αλλαγή χρήσης και να απαιτούνται τροποποιήσεις στην πλάκα, είτε ως προς τη λειτουργία τους, είτε ως προς την ενσωμάτωση στοιχείων στα διάκενα (δυσκολία επισκευών και τροποποιήσεων).

Κατασκευαστικές μέθοδοι

Ο μελετητής πρέπει να λάβει υπόψη του διάφορους παράγοντες ως προς τον τρόπο κατασκευής πλακών με διάκενα. Οι

πλάκες με διάκενα μπορεί να είναι χυτές επί τόπου ή προκατασκευασμένες και η προκατασκευή μπορεί να περιλαμβάνει και προένταση. Όταν πρόκειται για προκατασκευή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κανονικό σκυρόδεμα, το οποίο τοποθετείται με κατάλληλη διάταξη σε καλούπια και κατόπιν δονείται ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ύφυγρο σκυρόδεμα, το οποίο ξεκαλουπώνεται γρηγορότερα, αλλά πρέπει να δονηθεί υπό πίεση. Το χαμηλής εργασιμότητας σκυρόδεμα επιτυγχάνεται με έναν λόγο νερού προς τσιμέντο 0,30 και χρειάζεται ιδιαίτερη επιμέλεια κατά την ανάμειξη, ώστε να ομογενοποιηθεί, ενώ για το κανονικό σκυρόδεμα εφαρμόζεται λόγος νερού προς τσιμέντο έως 0,45. Και στις δύο περιπτώσεις επιλέγεται σχετικά μικρός μέγιστος κόκκος αδρανών λόγω των μικρών διατομών που προκαλεί η ύπαρξη των διακένων και προτεί-

5, 6. Στις επί τόπου κατασκευές επιλέγεται να δημιουργηθούν τα κενά, τοποθετώντας μέσα στους ξυλότυπους ελαφρά καλούπια κενού, τα οποία είναι συνήθως από πλαστικό υλικό, ώστε να επιτευχθεί μείωση του βάρους της πλάκας.
Πηγή: CCL

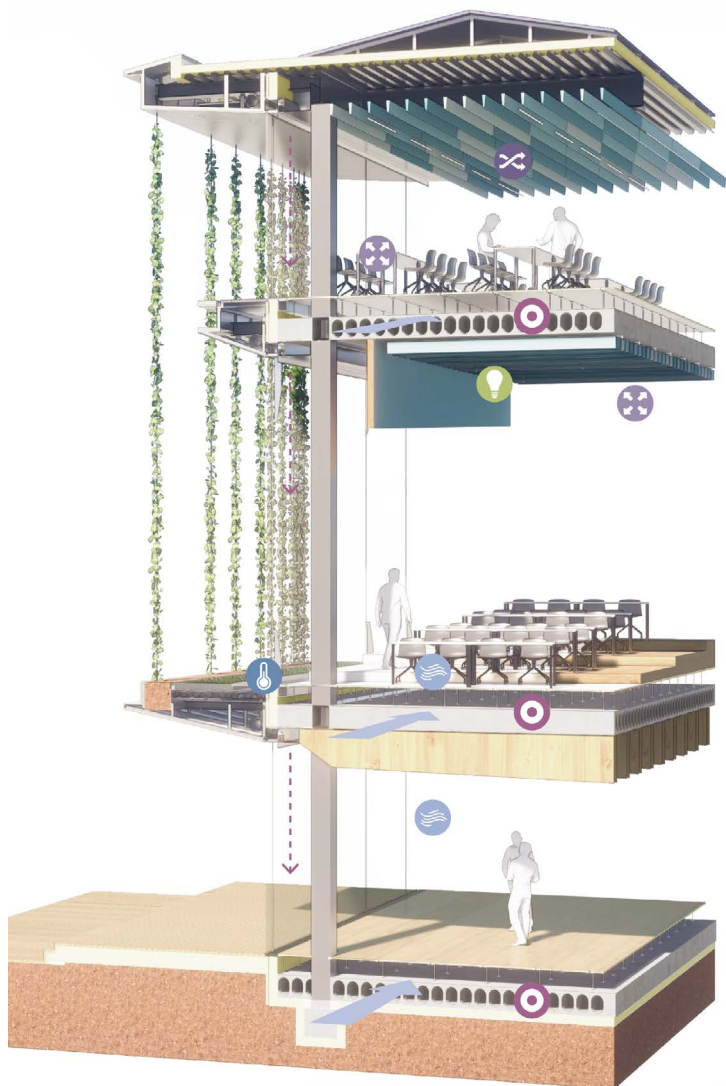


7. Πλάκες με διάκενα για μείωση του βάρους κατασκευής.

8. Δοκιδωτές πλάκες για περιπτώσεις ιδιαίτερης καταπόνησης της κατασκευής.

νεται η χρησιμοποίηση κατάλληλων ρευστοποιητών για την εξασφάλιση της ομογένειας. Τα διάκενα εξασφαλίζονται με τοποθέτηση σωλήνων στο μέσο των καλούπιών. Η προκατασκευή εξασφαλίζει ταχύτητα παραγωγής, οικονομία κλίμακας και μειωμένο εργατικό κόστος, αλλά προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλης γραμμής παραγωγής και τη σωστή σύνδεση των δομικών στοιχείων στο έργο. Στην περίπτωση της κατασκευής επί τόπου επιλέγεται να δημιουργηθούν τα κενά, τοποθετώντας μέσα στους ξυλότυπους ελαφρά καλούπια κενού. Τα καλούπια κενού είναι συνήθως από πλαστικό υλικό, στερεώνονται μέσα στον κανονικό ξυλότυπο και δεν επηρεάζουν σημαντικά τον οπλισμό της πλάκας ή την αγκύρωση των οπλισμών. Ανάλογα με την πυκνότητα και τον όγκο που καταλαμβάνουν τα

καλούπια κενού, επιτυγχάνεται και ανάλογη μείωση βάρους της πλάκας και αντίστοιχη εξοικονόμηση σκυροδέματος. Το τελείωμα, η συντήρηση και η διαμόρφωση των εξωτερικών επιφανειών των πλακών μειωμένου βάρους δεν διαφέρουν από τις κοινές πλάκες. Η κατασκευή πλακών με διάκενα από καλούπια κενού είναι μια γρήγορη και φθηνή κατασκευαστική λύση. Στα μειονεκτήματά της είναι ότι απαιτείται μια εξοικείωση του εργατικού προσωπικού με τις μεθόδους και επομένως αρχικά μπορεί να υπάρξουν καθυστερήσεις λόγω τεχνικών δυσκολιών και η διαθεσιμότητα σχετικών λύσεων στην αγορά μέχρι στιγμής παραμένει περιορισμένη. Επιπροσθέτως, πρέπει να σημειωθεί και η έλλειψη στον ελληνικό χώρο σχετικών τεχνικών οδηγιών και κανονισμών.



9



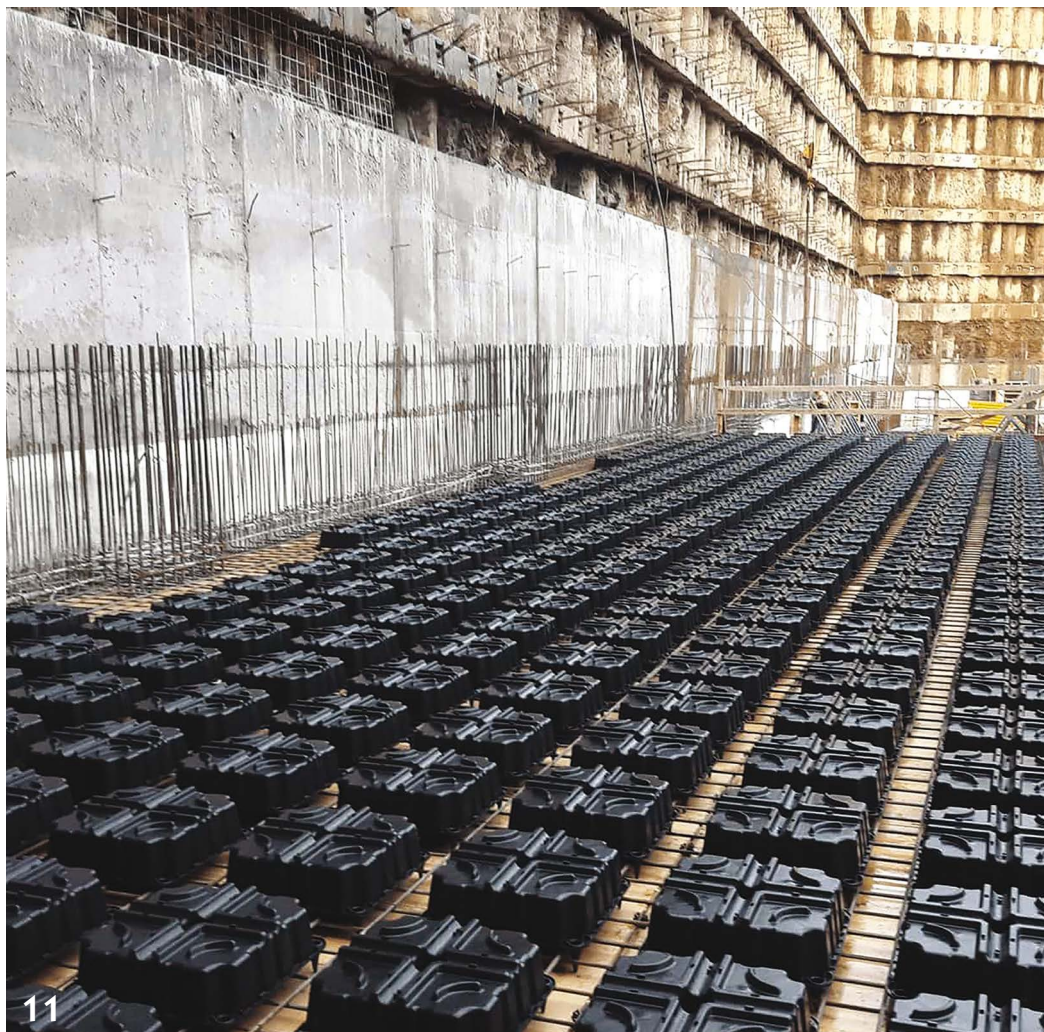
10

Οικονομική και περιβαλλοντική θεώρηση

Όπως αναφέρθηκε ήδη, η μείωση του κόστους αποτέλεσε εξαρχής τον κύριο λόγο για την ανάπτυξη της τεχνολογίας των πλακών μειωμένου βάρους. Το μέγεθος της εξοικονόμησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το μέγεθος της κατασκευής, οι κατασκευαστικές συνήθειες και οι απαιτήσεις των κανονισμών στη χώρα κατασκευής. Σε σύγκριση με τις κλασικές συμπαγείς πλάκες προκύπτει μείωση κόστους λόγω ελάττωσης του όγκου του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται στην πλάκα, αλλά και λόγω μείωσης του ίδιου βάρους του φέροντος οργανισμού της κατασκευής, που σημαίνει μικρότερες απαιτούμενες διατομές υποστυλωμάτων και θεμελιώ-

σεων. Ειδικά στην περίπτωση της προκατασκευής μπορεί να επιτευχθεί περαιτέρω μείωση κόστους, εφόσον δεν απαιτούνται ξυλότυποι στο έργο και χρειάζονται μειωμένα εργατικά. Πέρα από τη μείωση του κόστους, η ελάττωση του όγκου του σκυροδέματος σε μια κατασκευή συνεπάγεται και σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Το σκυρόδεμα, και ειδικότερα το τσιμέντο, είναι ένα προϊόν που κατά την παραγωγή του εκλύονται σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα και επομένως θεωρείται ότι φέρει μεγάλο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η κατασκευαστική βιομηχανία, που αποτελεί μια ενεργοβόρο βιομηχανία και καταναλώνει τεράστιες ποσότητες φυσικών πόρων, έχει θέσει ως στόχο τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από την κατασκευαστική δραστηριότητα και

9, 10. Οι πλάκες στο εκπαιδευτικό κτίριο "Echo" στην Ολλανδία διαμορφώθηκαν με οπές, στις οποίες κυκλοφορεί ο αέρας και αποδίδεται με άντληση στον χώρο, αποφεύγοντας τα κλασικά συστήματα με αεραγωγούς οροφής. Αρχιτέκτονες: UNStudio. Φωτογραφία: ©Hufton+Crow.



11

την υιοθέτηση πρακτικών περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον. Σ' αυτό το πλαίσιο έχουν θεσμοθετηθεί διάφορα συστήματα πιστοποίησης και επιβράβευσης κατασκευών με μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας πιστοποίησης είναι το σύστημα LEED, που εξετάζει από περιβαλλοντική άποψη πολλές πτυχές μιας κατασκευής, μεταξύ των οποίων και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των υλικών κατασκευής. Η χρήση των πλακών μειωμένου βάρους μπορεί να μειώσει κατά 25% - 30% τη χρήση σκυροδέματος σε μια πλάκα και μαζί με τη συνολική εξοικονόμηση σκυροδέματος στο σύνολο της κατασκευής μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην περιβαλλοντική πιστοποίηση ενός κτιρίου. Η μείωση του ίδιου βάρους των κατασκευών με την αφαίρεση σκυροδέματος από τις πλάκες στα σημεία που αυτό είναι εφικτό είναι μια κατασκευαστική λύση που ενδιέφερε ανέκαθεν τους μελετητές. Η σύγχρονη δυνατότητα να κατασκευαστούν ελαφροβαρείς πλάκες οπτικά και λειτουργικά όμοιες με τις συμβατικές επιβεβαιώνει αυτό το ενδιαφέρον. Οι τεχνικές λύσεις που προσφέρουν οι σύγχρονες πλάκες με διάκενα επιτρέπουν μεγαλύτερα ανοίγματα, τη δυνατότητα στήριξης πλακών χωρίς δοκούς και σημαντική μείωση του ίδιου βάρους της κατασκευής. Το γεγονός ότι προσφέρουν και πλεονεκτήματα όπως οικονομία, μείωση χρόνου κατασκευής και μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος καθιστούν τις πλάκες μειωμένου βάρους μια πολλά υποσχόμενη κατασκευαστική πρακτική.

II.
Η χρήση των πλακών μειωμένου βάρους μπορεί να μειώσει κατά 25% - 30% τη χρήση σκυροδέματος σε μια πλάκα.
Πηγή: ABS YAPI

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Fanella, D. A., Mahamid, M., & Mota, M., **Flat plate - voided concrete slab systems: design, serviceability, fire resistance, and construction**, Practice Periodical on Structural Design and Construction, 22(3), 04017004, 2017.
- Building and Construction Authority, **Sustainable construction - A guide on concrete usage index**, Centre of Sustainable Buildings and Construction, Σιγκαπούρη, 2012.
- EN 1168:2005+A3, **Precast concrete products - Hollow core slabs**, CEN, 2011.
- **PCI Manual for the design of hollow core slabs and walls**, MNL-126-15E Precast / Prestressed Concrete Institute, 2015.
- Adil, A. I., Hejazi, F., & Rashid, R. S., **Voided biaxial slabs-state of art**, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (vol. 357, no. 1, p. 012004), IOP Publishing, November 2019.
- Mota, M., **Voided slabs**, Concrete International, 32(10), 41-45, 2010.
- Churakov, A., **Biaxial hollow slab with innovative types of voids. Construction of unique buildings and structures**, (6), 70, 2014.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΑΡΘΡΑ ΣΤΟ "ΚΤΙΡΙΟ"

- **Πλάκες με προένταση μετά τη σκλήρυνση σκυροδέματος**. Τεύχος 2/2014, σελ. 55.
- **Μείωση του βάρους σκυροδέματος. Μέθοδοι & νέες τεχνολογίες**. Τεύχος 4/2014, σελ. 63.
- **Πλάκες σκυροδέματος σε επαφή με το έδαφος για την αποφυγή ρωγμών**. Τεύχος 184, σελ. 83.