



Μυ

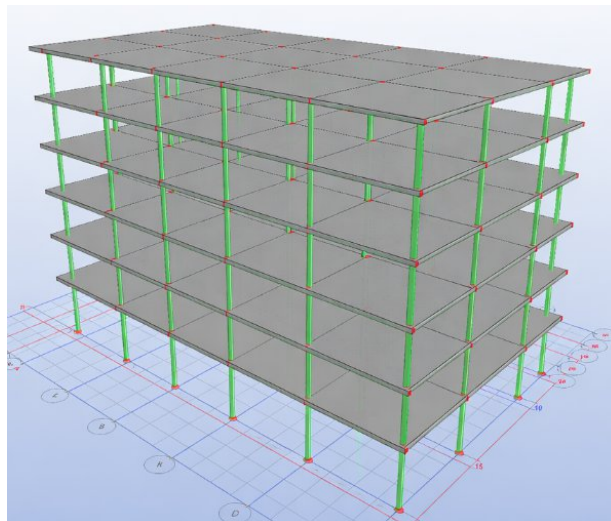
Μυκητοειδείς Πλάκες: Απαιτητικός σχεδιασμός, υψηλή δομική απόδοση

1. Εισαγωγή

Στη σύγχρονη κατασκευαστική πρακτική, οι μυκητοειδείς πλάκες (flat slabs) αποτελούν συχνή σκέψη και προβληματισμό για επιλογή δομικού συστήματος σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η ανάγκη για τη χρήση τους οφείλεται κυρίως στα αρχιτεκτονικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν, όπως η δυνατότητα δημιουργίας χώρων ανοικτής διάταξης με μεγάλα ανοίγματα, το μειωμένο συνολικό ύψος ορόφου, καθώς και η ευκολότερη κυκλοφορία ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, λόγω της μη ύπαρξης κρέμασης δοκών.

Λόγω των πλεονεκτημάτων τους, συχνά αντιμετωπίζονται λανθασμένα ως απλοϊκό δομικό σύστημα μιας κοινής πλάκας με απουσία δοκών. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για ιδιαίτερα απαιτητική δομική λύση, η οποία εμφανίζει αυξημένη ευαισθησία σε κρίσιμους ελέγχους λειτουργικότητας και ασφάλειας, όπως τα βέλη κάμψης, η διάτρηση και η σεισμική συμπεριφορά.

Σκοπός του παρόντος άρθρου είναι η παρουσίαση, με τεχνικό αλλά κατανοητό τρόπο, της φιλοσοφίας λειτουργίας και της δομικής συμπεριφοράς των μυκητοειδών πλακών.



Εικόνα 1: Στατικό μοντέλο συστήματος flat slabs



2.

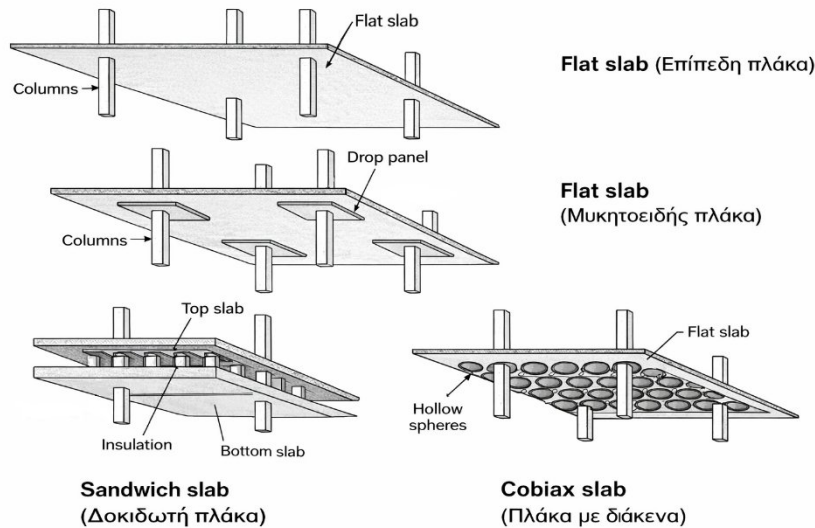
Βασική Φιλοσοφία του Συστήματος

Οι μυκητοειδείς πλάκες (flat slabs) αποτελούν δομικό σύστημα στο οποίο η πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα στηρίζεται απευθείας στα υποστυλώματα, χωρίς την παρουσία δοκών. Τα κατακόρυφα φορτία μεταφέρονται μέσω της πλάκας προς τα υποστυλώματα, με την πλάκα να λειτουργεί ως συνεχής φορέας κάμψης σε δύο διευθύνσεις. Η βασική αυτή φιλοσοφία διαφοροποιεί ουσιαστικά το σύστημα από τα συμβατικά πλαίσια πλάκας-δοκών και επηρεάζει τόσο τη δομική συμπεριφορά, τον αντισεισμικό σχεδιασμό και τις απαιτήσεις σχεδιασμού.

Οι πρώτες εφαρμογές των μυκητοειδών πλακών εμφανίστηκαν στις αρχές του 20ού αιώνα, κυρίως σε κτίρια γραφείων και βιομηχανικές κατασκευές, με βασικό στόχο τη δημιουργία μεγάλων ανοικτών χώρων χωρίς ενδιάμεσες δοκούς. Η αρχική τους χρήση συνοδεύτηκε από προβλήματα, κυρίως λόγω αστοχιών διάτρησης και περιορισμένης κατανόησης της δομικής τους συμπεριφοράς. Η εξέλιξη των κανονισμών, η πρόοδος των υπολογιστικών μεθόδων και η ανάπτυξη ειδικών οπλισμών διάτρησης συνέβαλαν καθοριστικά στη βελτίωση του σχεδιασμού και στη σταδιακή καθιέρωση του συστήματος στη σύγχρονη δομική πρακτική, κυρίως σε χώρες χωρίς σεισμικές καταπονήσεις.

Η απλούστερη μορφή πλάκας χωρίς δοκούς είναι η επίπεδη πλάκα σταθερού πάχους χωρίς τοπικές ενισχύσεις (flat plate). Αντίθετα, ο όρος flat slab ή μυκητοειδής πλάκα αφορά πλάκες που στηρίζονται απευθείας στα υποστυλώματα και ενισχύονται τοπικά στις περιοχές στήριξης, είτε μέσω αύξησης του πάχους της πλάκας (drop panels) είτε μέσω διαπλάτυνσης κεφαλών υποστυλωμάτων. Οι τοπικές αυτές ενισχύσεις αποτελούν ουσιώδες δομικό χαρακτηριστικό, καθώς βελτιώνουν την καμπτική δυσκαμψία, ευνοούν την κατανομή των καμπτικών ροπών και αυξάνουν ουσιαστικά την αντοχή έναντι διάτρησης.

Στο πλαίσιο της εξέλιξης των μυκητοειδών πλακών έχουν αναπτυχθεί και σύγχρονες παραλλαγές πλακών που εδράζονται απευθείας σε υποστυλώματα, όπως οι δοκιδωτές πλάκες τύπου sandwich ή οι πλάκες με διάκενα τύπου Cobiax. Στις περιπτώσεις αυτές, η μείωση του ιδίου βάρους επιτυγχάνεται μέσω της ενσωμάτωσης κενών σωμάτων εντός της διατομής της πλάκας, χωρίς να μεταβάλλεται η βασική φιλοσοφία λειτουργίας του συστήματος. Οι πλάκες αυτές εξακολουθούν να λειτουργούν ως φορείς κάμψης σε δύο διευθύνσεις, με τη διαφοροποίηση να αφορά κυρίως τη γεωμετρική διαμόρφωση της διατομής και τη μάζα του φορέα, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ευνοϊκότερη κατανομή φορτίων και μειωμένες απαιτήσεις σε μόνιμες δράσεις.



Εικόνα 2: Συστήματα πλακών οπλισμένου σκυροδέματος που εδράζονται σε υποστυλώματα

3. Βέλη Κάμψης και Λειτουργικότητα

Η λειτουργικότητα των μυκητοειδών πλακών ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από τα βέλη κάμψης, τα οποία αποτελούν έναν από τους πιο κρίσιμους ελέγχους σχεδιασμού. Σε αντίθεση με άλλα δομικά συστήματα, όπου κυριαρχούν οι έλεγχοι αντοχής, στις μυκητοειδείς πλάκες τα βέλη κάμψης συχνά καθορίζουν το απαιτούμενο πάχος της πλάκας και τη γεωμετρική διαμόρφωση του φορέα.

Λόγω της απουσίας δοκών, η καμπτική δυσκαμψία του συστήματος είναι μειωμένη, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αυξημένων παραμορφώσεων υπό κατακόρυφη φόρτιση. Η πρώιμη ρηγμάτωση στις περιοχές αρνητικών ροπών οδηγεί σε περαιτέρω μείωση της δυσκαμψίας, καθιστώντας αναγκαίο τον έλεγχο των άμεσων βελών ήδη από τα αρχικά στάδια της μελέτης.

Σε μακροχρόνια φόρτιση, τα φαινόμενα ερπυσμού και συστολής του σκυροδέματος, σε συνδυασμό με το υψηλό ποσοστό μόνιμων φορτίων, επιφέρουν σημαντική αύξηση των βελών κάμψης. Η μακροχρόνια παραμόρφωση μπορεί να υπερβαίνει αισθητά το αρχικό ελαστικό βέλος, γεγονός που καθιστά τη ρητή εκτίμηση των μακροχρόνιων επιδράσεων απαραίτητη για την αξιόπιστη αξιολόγηση της συμπεριφοράς του συστήματος.

Οι Ευρωκώδικες αντιμετωπίζουν τα βέλη κάμψης στο πλαίσιο των ελέγχων λειτουργικότητας, επιτρέποντας τόσο απλοποιημένους ελέγχους μέσω ορίων λόγου ανοίγματος προς στατικό ύψος όσο και αναλυτικό υπολογισμό των παραμορφώσεων. Να τονίσουμε ότι για μυκητοειδείς πλάκες, οι απλοποιημένοι έλεγχοι βελών παρουσιάζουν περιορισμένη αξιοπιστία, ιδιαίτερα σε μεγάλα ανοίγματα. Ο ρητός υπολογισμός των παραμορφώσεων, με συνεκτίμηση ρηγμάτωσης, ερπυσμού και συστολής, κρίνεται απαραίτητος για την ορθή αξιολόγηση της λειτουργικότητας.



H

υπέρβαση των ορίων βελών δεν συνδέεται συνήθως με απώλεια φέρουσας ικανότητας, μπορεί όμως να οδηγήσει σε μη αποδεκτή αισθητική και λειτουργική συμπεριφορά, όπως ρηγματώσεις σε μη φέροντα στοιχεία, αστοχίες ψευδοροφών και βλάβες ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων.

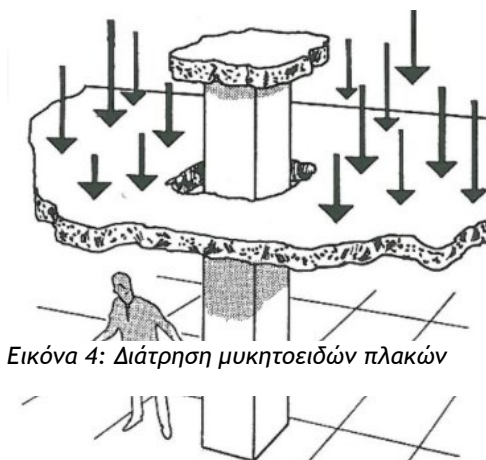


Εικόνα 3: Μακροχρόνια συμπεριφορά των flat slabs υπό μόνιμα φορτία, με επίδραση ερπυσμού και συστολής σκυροδέματος

4. Διάτρηση (Punching Shear)

Η διάτρηση αποτελεί κρίσιμο έλεγχο αντοχής των μκητοειδών πλακών και έναν από τους βασικούς παράγοντες που καθορίζουν τη δυνατότητα εφαρμογής του συστήματος με ασφάλεια. Σε αντίθεση με την κάμψη, η οποία χαρακτηρίζεται από προοδευτική συμπεριφορά και εμφανή προειδοποιητικά σημάδια μέσω ρηγματώσεων και παραμορφώσεων, η αστοχία λόγω διάτρησης είναι κατά κανόνα ψαθυρή.

Ο μηχανισμός διάτρησης σχετίζεται με τη συγκέντρωση των κατακόρυφων φορτίων της πλάκας σε περιορισμένη επιφάνεια γύρω από το υποστύλωμα. Οι υψηλές διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στην περιοχή αυτή οδηγούν στη δημιουργία κωνικής επιφάνειας αστοχίας, μέσω της οποίας το υποστύλωμα «τρυπάει» την πλάκα.



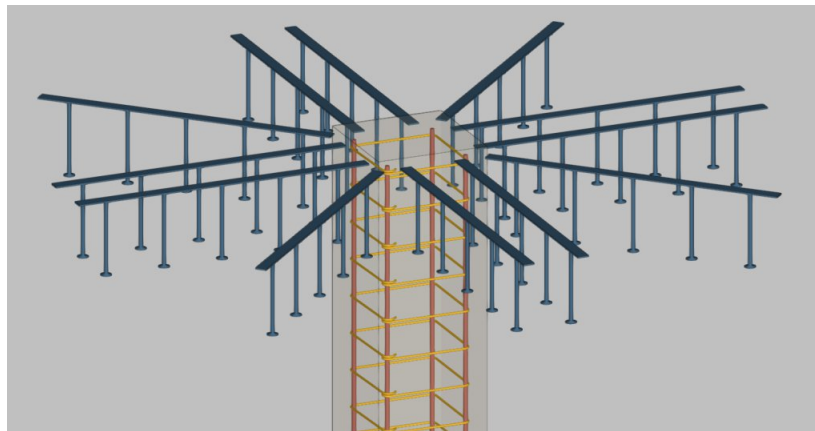
Εικόνα 4: Διάτρηση μκητοειδών πλακών



Στις μυκητοειδείς πλάκες, ο κίνδυνος διάτρησης είναι αυξημένος σε σύγκριση με συστήματα πλάκας-δοκών, καθώς η πλάκα καλείται να μεταφέρει απευθείας τα φορτία στα υποστυλώματα. Ιδιαίτερα δυσμενείς περιπτώσεις αποτελούν τα ακριανά και γωνιακά υποστυλώματα, όπου η διαθέσιμη περίμετρος ελέγχου είναι μειωμένη, καθώς και οι περιπτώσεις όπου αναπτύσσονται σημαντικές ροπές μεταφοράς λόγω εκκεντρότητας φορτίων ή οριζόντιων δράσεων.

Ο Ευρωκώδικας EC2-EN 1992-1-1, 6.4 αντιμετωπίζει τη διάτρηση μέσω ρητών ελέγχων αντοχής, καθορίζοντας τη διαδικασία υπολογισμού των διατμητικών τάσεων στην κρίσιμη περίμετρο ελέγχου γύρω από το υποστύλωμα και τη σύγκρισή τους με την αντίστοιχη αντοχή του σκυροδέματος ή του συνδυασμού σκυροδέματος και οπλισμού διάτρησης. Όταν η αντοχή του σκυροδέματος δεν επαρκεί, η χρήση ειδικού οπλισμού διάτρησης, όπως συνδετήρες ή προκατασκευασμένα συστήματα αγκυρωμένων ράβδων, αποτελεί συνήθη και αποτελεσματική λύση. Εναλλακτικά ή συμπληρωματικά, η αύξηση του πάχους της πλάκας ή η χρήση τοπικών ενισχύσεων, όπως drop panels ή κεφαλές υποστυλωμάτων, μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της συμπεριφοράς έναντι διάτρησης.

Στην πράξη φαίνεται ότι η ανεπαρκής αντιμετώπιση της διάτρησης αποτελεί μία από τις συχνότερες αιτίες αποτυχίας ή υπερβολικά συντηρητικών λύσεων στις μυκητοειδείς πλάκες.



Εικόνα 5: Shear-stud rails to resist punching shear in flat slabs



5.

Σεισμική Συμπεριφορά Μυκητοειδών Πλακών

Στην πράξη, σε σεισμογενείς περιοχές όπως η Κύπρος, η χρήση μυκητοειδών πλακών συνδυάζεται σχεδόν πάντοτε με τοιχώματα ή πυρήνες οπλισμένου σκυροδέματος, τα οποία αποτελούν το κύριο σύστημα ανάληψης των οριζόντιων σεισμικών δράσεων. Η προσέγγιση αυτή δεν προκύπτει μόνο από λόγους καλής μελετητικής πρακτικής, αλλά εναρμονίζεται και με τη βασική φιλοσοφία του Ευρωκώδικα 8 σχετικά με τη διάκριση των δομικών στοιχείων σε κύρια (primary seismic elements) και δευτερεύοντα σεισμικά στοιχεία (secondary seismic elements).

Σύμφωνα με το EN 1998-1 §4.2.2, τα δευτερεύοντα σεισμικά στοιχεία επιτρέπεται να συμμετέχουν στη συνολική σεισμική απόκριση του φορέα, υπό την προϋπόθεση ότι η συνολική συνεισφορά τους στην πλευρική δυσκαμψία δεν υπερβαίνει το 15% της αντίστοιχης δυσκαμψίας των κύριων σεισμικών στοιχείων. Στις κατασκευές με μυκητοειδείς πλάκες, τα τοιχώματα και οι πυρήνες διαμορφώνονται συνήθως ως κύρια σεισμικά στοιχεία, ενώ οι πλάκες και τα υποστυλώματα αντιμετωπίζονται ως δευτερεύοντα. Ως αποτέλεσμα, η πλευρική δυσκαμψία του φορέα πρέπει να προέρχεται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τα τοιχώματα, τα οποία στην πράξη παρέχουν τουλάχιστον το 85% της συνολικής δυσκαμψίας του κτηρίου.

Η απαίτηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία στις μυκητοειδείς πλάκες, καθώς η απουσία δοκών περιορίζει τη δυνατότητα ανάπτυξης πλαστικής δράσης και ελεγχόμενων πλαστικών μηχανισμών. Για τον λόγο αυτό, ο αντισεισμικός σχεδιασμός δεν βασίζεται στη συμβολή των πλακών και των υποστυλωμάτων στην ανάληψη των οριζόντιων φορτίων, αλλά στην επαρκή δυσκαμψία και αντοχή των τοιχωμάτων, τα οποία αποτελούν το κύριο σύστημα πλευρικής αντίστασης του φορέα.

Παράλληλα, ο Ευρωκώδικας 8 απαιτεί τα δευτερεύοντα σεισμικά στοιχεία να διατηρούν την ικανότητά τους να φέρουν με ασφάλεια τα κατακόρυφα φορτία ακόμη και όταν υποβάλλονται στις σεισμικές μετακινήσεις του κτηρίου (EN 1998-1 §5.7). Η απαίτηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στις μυκητοειδείς πλάκες, όπου οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων δημιουργούν σημαντικές ροπές μεταφοράς (unbalanced moments) στις συνδέσεις πλάκας-υποστυλώματος. Οι ροπές αυτές συνδυάζονται με τα κατακόρυφα φορτία και αυξάνουν σημαντικά τις απαιτήσεις διάτρησης στις περιοχές στήριξης.

Για τον λόγο αυτό, πέραν των συνήθων ελέγχων αντοχής, ιδιαίτερη βαρύτητα πρέπει να δίδεται στον έλεγχο της διάτρησης υπό σεισμική φόρτιση, στη συμπεριφορά των συνδέσεων πλάκας-υποστυλώματος, στον έλεγχο των σχετικών μετακινήσεων ορόφων (interstorey drifts), καθώς και στην αξιολόγηση των φαινομένων δεύτερης τάξης (P-Δ). Η εμπειρία από ισχυρούς σεισμούς έχει δείξει ότι η ασφαλής λειτουργία των συνδέσεων πλάκας-υποστυλώματος αποτελεί συχνά τον καθοριστικό παράγοντα για τη συνολική αντισεισμική αξιοπιστία του συστήματος.

6. Πλεονεκτήματα των Μυκητοειδών Πλακών

Τα πλεονεκτήματα των μυκητοειδών πλακών προκύπτουν άμεσα από τη βασική φιλοσοφία του συστήματος και σχετίζονται κυρίως με την αρχιτεκτονική ελευθερία και τη λειτουργικότητα των χώρων.



Αρχικά, η απουσία δοκών επιτρέπει τη δημιουργία χώρων ανοικτής διάταξης με μεγάλα ανοίγματα, περιορίζοντας τον αριθμό των υποστυλωμάτων και διευκολύνοντας την διαμόρφωση των κατόψεων. Το χαρακτηριστικό αυτό καθιστά τις μκητοειδείς πλάκες ιδιαίτερα ελκυστικές σε κτίρια γραφείων, σε ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εμπορικούς χώρους, χώρους στάθμευσης και οποιοδήποτε είδος κτιρίου όπου απαιτείται ελευθερία στη χωροθέτηση ή δυνατότητα μελλοντικών αλλαγών χρήσης.

Επίσης, σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί και το μειωμένο συνολικό ύψος ορόφου που μπορεί να επιτευχθεί. Το γεγονός αυτό επιτρέπει είτε τη μείωση του συνολικού ύψους του κτιρίου είτε την αύξηση του καθαρού ύψους των χώρων για δεδομένο συνολικό ύψος, με θετικές επιπτώσεις τόσο στη λειτουργικότητα όσο και στην αρχιτεκτονική αισθητική. Παράλληλα, η επίπεδη επιφάνεια της πλάκας διευκολύνει σημαντικά την ενσωμάτωση ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων, περιορίζοντας τις τοπικές επεμβάσεις και τις ασυνέχειες που συναντώνται συχνά σε συστήματα με δοκούς.

Ακόμη, από κατασκευαστικής άποψης, οι μκητοειδείς πλάκες έχουν απλό ξυλότυπο. Η απουσία δοκών συνεπάγεται απλούστερη γεωμετρία και λιγότερες κατασκευαστικές λεπτομέρειες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτερη πρόοδο των εργασιών.

Επιπλέον, οι μκητοειδείς πλάκες μπορούν να συμβάλουν σε αποδοτικές και οικονομικά ανταγωνιστικές λύσεις, ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται με επαναλαμβανόμενη κάρναβο και συμμετρία τοιχωμάτων και υποστυλωμάτων.



Εικόνα

6: Πλεονεκτήματα μυκητοειδών πλακών

7. Περιορισμοί των Μυκητοειδών Πλακών

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, οι μυκητοειδείς πλάκες συνοδεύονται από συγκεκριμένα μειονεκτήματα και περιορισμούς, τα οποία οφείλουν να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη. Η αγνόηση των ιδιοτήτων αυτών αποτελεί συχνά αιτία προβλημάτων στη λειτουργία ή και στη δομική επάρκεια των κατασκευών.

Αρχικά, ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα των μυκητοειδών πλακών είναι η αυξημένη ευαισθησία τους ως προς τα βέλη κάμψης, ιδιαίτερα σε κατασκευές με μεγάλα ανοίγματα ή αυξημένες απαιτήσεις λειτουργικότητας. Στην πράξη, ο έλεγχος των παραμορφώσεων συχνά αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα στον σχεδιασμό, καθώς μπορεί να επιβάλει αυξημένο πάχος πλάκας ή πρόσθετα μέτρα ενίσχυσης, περιορίζοντας τη γεωμετρική ευελιξία και επηρεάζοντας τη συνολική αποδοτικότητα της λύσης.

Ακόμη, ο κίνδυνος αστοχίας λόγω διάτρησης αποτελεί εξαιρετικά κρίσιμο περιορισμό. Σε περιπτώσεις συγκέντρωσης πολύ υψηλών φορτίων, μεγάλων ανοιγμάτων ή έντονης σεισμικής δράσης, η διάτρηση μπορεί να απαιτήσει τη χρήση ειδικού οπλισμού, τοπικών ενισχύσεων ή αυξημένου πάχους πλάκας, γεγονός που επηρεάζει τη λειτουργικότητα και την οικονομία της λύσης.

Επίσης, σημαντικός περιορισμός των μυκητοειδών πλακών αφορά και τη σεισμική τους συμπεριφορά, όχι λόγω κανονιστικής απαγόρευσης, αλλά λόγω των αυξημένων απαιτήσεων που επιβάλλονται στον σχεδιασμό.

Επιπλέον, οι μυκητοειδείς πλάκες απαιτούν υψηλό επίπεδο ακρίβειας τόσο στη μελέτη όσο και στην κατασκευή. Κατασκευαστικές αστοχίες ή αποκλίσεις από τη



μελέτη

μπορεί να έχουν δυσανάλογα μεγάλες επιπτώσεις στη συμπεριφορά του συστήματος, σε σύγκριση με πιο συμβατικά δομικά συστήματα.

Τέλος, η δυνατότητα μελλοντικών επεμβάσεων σε κτίρια με μυκητοειδείς πλάκες είναι περιορισμένη. Η διάνοιξη ανοιγμάτων, η προσθήκη βαρέων φορτίων ή η αλλαγή της κατανομής των φορτίων μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς τη συμπεριφορά της πλάκας και να απαιτήσει ενισχύσεις, οι οποίες δεν είναι εύκολα υλοποιήσιμες.