

## Σχεδιασμός δαπέδων επί εδάφους από σκυρόδεμα Design of concrete ground floors

Στέλιος ΚΟΛΙΑΣ–Α<sup>1</sup>, Σπυρίδων ΤΣΟΥΚΑΝΤΑΣ–Β<sup>2</sup>,  
Γεωργία ΚΡΕΜΜΥΔΑ–Γ<sup>3</sup>, Τρύφων ΤΟΠΙΝΤΖΗΣ–Δ<sup>4</sup>

*Λέξεις κλειδιά: δάπεδα επί εδάφους, προδιαγραφές, τύποι δαπέδων και αρμών, σχεδιασμός*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Η εργασία αυτή συνοψίζει τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα του σχεδιασμού δαπέδων από σκυρόδεμα επί εδάφους και αντανακλά την αποκτηθείσα εμπειρία από τις μελέτες και επιβλέψεις μιας σειράς τέτοιων έργων. Συνοπτικά δίνονται πληροφορίες σχετικά με τους τύπους δαπέδων, τις προδιαγραφές που διέπουν το σχεδιασμό ενός δαπέδου, τα είδη των αρμών κ.α. Παρέχονται επίσης διεξοδικά πληροφορίες σχετικά με τις επικρατέστερες μεθόδους υπολογισμού του απαιτούμενου πάχους ενός δαπέδου για διάφορες περιπτώσεις φορτίσεων.

**ABSTRACT :** This paper reports the present knowledge on the design of concrete ground floors and illustrates particular aspects of floor design. Specifically the paper provides guidelines for the proper estimation of the slab thickness and the joint detailing, in accordance always to the type of loading. Matters concerning the thermal and shrinkage effects are presented.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια τόσο διεθνώς όσο και στην χώρα μας παρατηρείται αύξηση του αριθμού των κατασκευαζόμενων δαπέδων και ταυτόχρονα χρήση όλο και περισσότερο εξελιγμένων διατάξεων αποθήκευσης και διακίνησης των εμπορευμάτων, γεγονός που προκαλεί σημαντική αύξηση των απαιτήσεων που τίθενται στις προδιαγραφές κατασκευής και στις μεθόδους υπολογισμού. Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια συνοπτικής παρουσίασης των εξελίξεων αυτών από πλευράς υπολογισμού δαπέδων εσωτερικών χώρων και της

<sup>1</sup> τ. Αν. Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: [skolias@central.ntua.gr](mailto:skolias@central.ntua.gr)

<sup>2</sup> τ. Επ. Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: [s\\_tsoukantas@tee.gr](mailto:s_tsoukantas@tee.gr)

<sup>3</sup> Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός, Υποψ. Διδάκτωρ, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: [gkrem@ath.forthnet.gr](mailto:gkrem@ath.forthnet.gr)

<sup>4</sup> Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: [t\\_topintzis@tee.gr](mailto:t_topintzis@tee.gr)

εμπειρίας που αποκτήθηκε από την ενασχόληση των συγγραφέων στο αντικείμενο αυτό ως μελετητών και επιβλεπόντων.

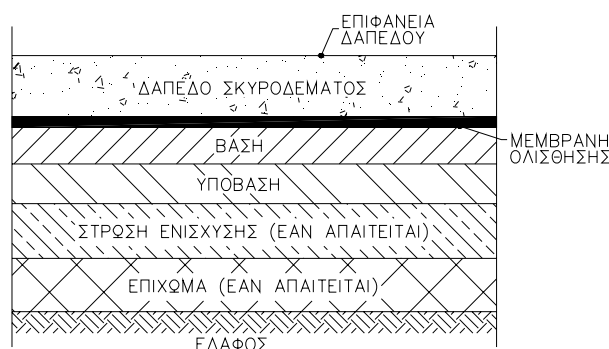
## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΑΠΕΔΩΝ

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά ενός δαπέδου επί εδάφους είναι τα ακόλουθα:

- **Φέρουσα ικανότητα.** Πρόκειται για την ικανότητα του δαπέδου να μεταβιβάζει στο έδαφος με ασφάλεια τα φορτία που εφαρμόζονται σε αυτό.
- **Επιπεδότητα.** Πρόκειται για μία από τις σημαντικότερες απαιτήσεις που οφείλει να ικανοποιεί ένα δάπεδο. Πρέπει να εξασφαλίζεται τόσο η οριζοντιότητα του δαπέδου αλλά και η επιθυμητή κλίση αυτού, ώστε να διασφαλίζεται η σταθερότητα των αντικειμένων που τίθενται επ' αυτού αλλά και η ασφαλής και ταχεία μετακίνηση των οχημάτων. Η επιπεδότητα είναι συνάρτηση τόσο της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ διαφόρων σημείων του δαπέδου αλλά και του ρυθμού μεταβολής των υψομετρικών διαφορών κατά μήκος του.
- **Ανθεκτικότητα.** Πρόκειται για την ανθεκτικότητα του δαπέδου έναντι φθοράς που προκαλείται στην επιφάνειά του λόγω δράσεων από τριβή, κύλιση, ολίσθηση, πρόσκρουση ή κοπή. Σπανιότερα δε, η ανθεκτικότητα ενός δαπέδου αναφέρεται σε αντοχή έναντι χημικών ουσιών.
- **Αντίσταση σε ολίσθηση.** Η ολισθηρότητα ή μη ενός δαπέδου εξαρτάται από το τελείωμα του δαπέδου που καθορίζει την μακροτραχύτητά του και από τα αδρανή του σκυροδέματος που καθορίζουν την μικροτραχύτητα της επιφάνειας. Η διάρκεια των ιδιοτήτων αυτών εξαρτάται από: την αντοχή του σκυροδέματος, την ανθεκτικότητα των αδρανών σε λείανση, τη χρήση του δαπέδου, τον τύπο των οχημάτων που κινούνται σ' αυτό (τύπος ελαστικών και τροχών) και την παρουσία στην επιφάνειά του ακαθαρσιών ή ουσιών που επικάθονται ή επικολλώνται σ' αυτήν και μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά της. Συχνά χρησιμοποιούνται ειδικές μέθοδοι τελειώματος που μπορεί να περιλαμβάνουν χρήση ειδικών σκληρών αδρανών τα οποία εμπήγνυνται μέσα στη μάζα της επιφανειακής στρώσεως του σκυροδέματος.
- **Εμφάνιση-αισθητική.** Η εμφάνιση της τελικής επιφάνειας του δαπέδου εξαρτάται από την τεχνική κατασκευής του δαπέδου, την επιλογή των κατάλληλων υλικών τελειώματος, τη χρήση κατάλληλων μηχανημάτων διάστρωσης και κοπής αρμών κ.α.

## ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Ξεκινώντας το σχεδιασμό ενός δαπέδου, ο μελετητής μηχανικός οφείλει να συλλέξει στοιχεία για τη φύση του εδαφικού υποβάθρου. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά θα αποφασισθεί η εξυγίανση του υπεδάφους ή όχι, η κατασκευή βάσης και υπόβασης επαρκούς πάχους, κατάλληλης σύστασης και συμπίκνωσης, η χρήση μεμβρανών κλπ. Μία τυπική διατομή πιθανής διαμόρφωσης των στρώσεων κάτω από την πλάκα του δαπέδου, δίδεται στο **Σχήμα 1** που ακολουθεί.



**Σχήμα 1.** Τυπική διαμόρφωση στρώσεων δαπέδου επί εδάφους

Η βάση αποτελεί την κρίσιμη στρώση μεταξύ του δαπέδου και του υπεδάφους. Ρόλος της στρώσεως βάσης είναι να εξασφαλίσει σταθερή επιφάνεια εργασίας που δεν υποχωρεί κατά την κίνηση επ' αυτής των οχημάτων κατασκευής του δαπέδου και των προβλεπόμενων οχημάτων λειτουργίας, να ορίσει το κατάλληλο επίπεδο για την κατασκευή του δαπέδου και να μεταβιβάσει τα φορτία αυτού στο υπέδαφος. Η βάση κατασκευάζεται συνήθως από καλώς διαβαθμισμένο θραυστό υλικό και το ελάχιστο πάχος της ορίζεται στα 15εκ. Η κατασκευή υπόβασης και λοιπών στρώσεων ενίσχυσης μπορεί να παραληφθεί στην περίπτωση υπεδάφους πολύ καλής ποιότητας. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η παρουσία μεμβρανών κάτω από το δάπεδο. Ο κύριος λόγος τοποθέτησης των μεμβρανών είναι η μείωση της τριβής μεταξύ δαπέδου και βάσης, η αποφυγή της απώλειας του ύδατος και των λεπτόκοκκων συστατικών του σκυροδέματος μέσα στη μάζα του υπεδάφους όπως επίσης και η υγρασιακή μόνωση της πλάκας του δαπέδου από μεταβολές της υγρασίας του υπεδάφους.

Η συμπεριφορά του υπεδάφους υπό φορτίο μπορεί να προσομοιωθεί υπολογιστικά με δύο μεθόδους:

- Με χρήση του μοντέλου Winkler. Κάθε σημείο του υπεδάφους που δέχεται ένα κατακόρυφα ασκούμενο φορτίο θεωρείται ότι αντιδρά μέσω μίας ίσης και αντίθετης δύναμης, χωρίς μεταβίβαση δυνάμεων σε γειτνιάζουσες περιοχές που δεν υπόκεινται σε φόρτιση

- Με θεώρηση του ελαστικού ημίχωρου σύμφωνα με την οποία η εφαρμογή οποιασδήποτε κατακόρυφης δύναμης προκαλεί συνεχή και μη πεπερασμένη απόκριση του υπεδάφους και της γειτνιάζουσας περιοχής

Για την προσομοίωση του υπεδάφους κατά Winkler απαιτείται προσδιορισμός του μέτρου αντιστάσεως του εδάφους γνωστού και ως σταθερά ελαστικής έδρασης, ή συντελεστής  $k$  του υπεδάφους. Είναι γνωστό ότι η τιμή του  $k$  δεν επηρεάζει σημαντικά τις αναπτυσσόμενες τάσεις αλλά επηρεάζει σημαντικότερα τις υποχωρήσεις και για τον λόγο αυτό ενώ δεν είναι ανάγκη να προσδιοριστεί η τιμή του  $k$  με μεγάλη ακρίβεια, είναι όμως επιτακτική ανάγκη να εξασφαλιστούν ομοιόμορφες συνθήκες έδρασης της πλάκας. Επισημαίνεται επίσης ότι κακώς ονομάζεται «σταθερά ελαστικής έδρασης» διότι στην πραγματικότητα δεν είναι «σταθερά» αφού μεταβάλλεται με το πάχος της πλάκας (μειώνεται όσο το πάχος της πλάκας αυξάνει) και με τη διάμετρο της πλάκας φόρτισης και δεν αποτελεί θεμελιώδη ιδιότητα του εδάφους (Eisenmann, J., Leykauf, G., 2003).

## ΤΥΠΟΙ ΔΑΠΕΔΩΝ ΕΠΙ ΕΔΑΦΟΥΣ

Τα δάπεδα επί εδάφους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες.

Ανάλογα με τη θέση τους σε:

- **Δάπεδα εξωτερικών χώρων**  
Τα δάπεδα αυτά υπόκεινται στις δράσεις του περιβάλλοντος (θερμοκρασιακές μεταβολές ημερήσιου ή ετήσιου κύκλου, βροχή και παγετός). Φορτίζονται από τα συνήθη φορητά οχήματα (max επιτρεπόμενο φορτίο άξονα 13t), τυχόν χρησιμοποιούμενα εμπορευματοκιβώτια και κυρίως από τους γερανούς φορτοεκφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων. Οι απαιτήσεις ως προς την αντίσταση σε ολίσθηση πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους ότι το δάπεδο μπορεί να είναι βρεγμένο έστω και αν η ταχύτητα μετακίνησης είναι συνήθως μικρή. Οι περιβαλλοντικές επιδράσεις καθορίζουν επίσης και τις απαιτήσεις ανθεκτικότητας.
- **Δάπεδα εσωτερικών χώρων**  
Τα δάπεδα αυτά υφίστανται σημαντικά μειωμένες θερμοκρασιακές δράσεις και διαφορετικό τρόπο φόρτισης που εξαρτάται από την διάταξη των ραφιών και το μηχάνημα φορτοεκφόρτωσης. Λόγω όμως των συστημάτων ραφιών και φορτοεκφόρτωσης πρέπει να τηρούν αυστηρές απαιτήσεις επιπεδότητας και ομαλότητας κύλισης. Τα δάπεδα αυτά συχνά κατασκευάζονται με ινοπλισμένο με χαλύβδινες ίνες σκυρόδεμα και απαιτούν ιδιαίτερης ακρίβειας διάστρωση, συμπύκνωση και τελική επιπέδωση που εξασφαλίζεται μόνο με χρήση ειδικών διαστρωτικών και συμπυκνωτικών μηχανημάτων καθώς και με τελική μόρφωση με ελικόπτερα. Επισημαίνεται ότι η τοποθέτηση ραφιών μεγάλου ύψους πακτωμένων στο δάπεδο, δημιουργεί ιδιαίτερα επιβαρυντική επιπόνηση

των δαπέδων σε περίπτωση σεισμικής δράσης, η οποία μπορεί να μετριασθεί σημαντικά με κατάλληλη σύνδεση των ραφιών μεταξύ τους έτσι ώστε σε περίπτωση σεισμού να δημιουργηθεί δράση πλαισίου και όχι προβόλου.

Ανάλογα με τον τύπο οπλίσεώς τους, διακρίνονται σε:

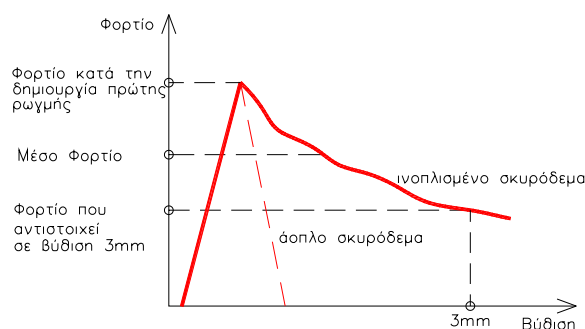
- **Αοπλα δάπεδα.** Τα δάπεδα αυτά διαστασιολογούνται με μεθόδους ελαστικής ανάλυσης έτσι ώστε οι αναπτυσσόμενες τάσεις εφελκυσμού από κάμψη να επιτρέψουν τον προβλεπόμενο αριθμό φορτίσεων από τα φορτία λειτουργίας και τις λοιπές δράσεις (π.χ. θερμοκρασιακές μεταβολές) χωρίς να παρουσιαστεί ρηγμάτωση του σκυροδέματος. Ο υπολογισμός αυτός βασίζεται σε νόμους αστοχίας άοπλου σκυροδέματος σε κόπωση από κάμψη και έχει μακρά ιστορία εφαρμογής -και επομένως εμπειρίας- σε οδοστρώματα οδών και αεροδρομίων (Κόλιας, Σ., 2008<sup>α</sup>).
- **Οπλισμένα με συνήθεις ράβδους οπλισμού, πλέγματα οπλισμού κ.α.** Σε αυτή την περίπτωση δαπέδων η ύπαρξη οπλισμών –εφ’ όσον γίνει ο ορθός υπολογισμός αυτών- εξασφαλίζει τοπικά την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του δαπέδου αλλά το σκυρόδεμα είναι ρηγματωμένο και ο οπλισμός αναλαμβάνει σημαντικό ποσοστό φορτίου ενώ το εύρος των ρωγμών πρέπει να διατηρείται μέσα σε επιτρεπτά όρια με κατάλληλους ελέγχους. Σημαντική στο τομέα αυτόν είναι η συμβολή των Abbas, A., Pavlovic, M., Kotsovos, M., (2007).
- **Ινοπλισμένα δάπεδα με ίνες μεταλλικές, συνθετικές κ.α.** Η παρουσία των ινών μεγάλου μέτρου ελαστικότητας στα δάπεδα συμβάλλει στον έλεγχο της μικρορηγματώσεως και την ανακατανομή των εντάσεων μετά την εμφάνιση της πρώτης ρωγμής, χωρίς ωστόσο οι ίνες να αυξάνουν την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος. Η πλαστιμότητα ενός ινοπλισμένου δαπέδου εξαρτάται από τον τύπο των ινών, τη δοσολογία και την αντοχή τους και εκφράζεται μέσω του συντελεστή  $R_{e,3}$  ως ο λόγος του μέσου φορτίου ως προς το φορτίο κατά τη δημιουργία της πρώτης ρωγμής. Το μέσο φορτίο (βλ. **Σχήμα 2**) ορίζεται ως η μέση τιμή του φορτίου κατά την πρώτη ρωγμή και του φορτίου που αντιστοιχεί σε βύθιση 3mm μετά την πρώτη ρωγμή (Concrete Society Technical Report no 34, 1994).

Ανάλογα με την κατασκευαστική μέθοδο που ακολουθείται, διακρίνονται σε:

- **Δάπεδα με αρμούς συστολής (jointed floors).** Πρόκειται για τη συνήθη διαδικασία κατασκευής δαπέδων επί εδάφους. Κατά τις πρώτες ώρες μετά τη σκυροδέτηση του δαπέδου, κόβονται με αρμοκόπη οι αρμοί συστολής σε κάρναβο περί τα 5.0 - 6.0m, οπότε το δάπεδο πλέον συμπεριφέρεται ως σύνολο επιμέρους πλακών με μικρότερες διαστάσεις. Οι επιβαλλόμενες τάσεις «καταναγκασμού» λόγω συστολής ξηράνσεως και θερμοκρασιακών μεταβολών είναι μικρότερες σε σύγκριση με δάπεδα με αρμούς σε μεγαλύτερες αποστάσεις και ο κίνδυνος ανάπτυξης ρωγμών

είναι μικρότερος. Ωστόσο όμως η μέθοδος αυτή μειονεκτεί ως προς το κόστος κατασκευής και συντήρησης των αρμών κατά τη διάρκεια ζωής του έργου.

- Δάπεδα χωρίς αρμούς συστολής (jointless floors). Σε αυτή την περίπτωση αναφερόμαστε σε δάπεδα τα οποία σκυροδετούνται κατά μεγάλες επιφάνειες ανά φάση σκυροδέτησης χωρίς να προβλέπονται αρμοί συστολής. Μία τέτοια επιφάνεια δαπέδου μπορεί να έχει διαστάσεις έως και 50m ανά κατεύθυνση. Τέτοιου τύπου δάπεδα προβλέπονται ινοπλισμένα με μεταλλικές ίνες σε κατάλληλο ποσοστό. Κατά τον σχεδιασμό αυτών των δαπέδων είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς, με ακρίβεια, οι αναπτυσσόμενες τάσεις λόγω συστολής ξηράνσεως και θερμοκρασιακών μεταβολών και οι πιθανές ρηγματώσεις να περιορισθούν σε εύρη που δεν θα επηρεάσουν τη χρήση του δαπέδου.



**Σχήμα 2.** Τυπικό διάγραμμα φορτίου-βύθισης για ινοπλισμένο σκυρόδεμα με μεταλλικές ίνες

## ΤΥΠΟΙ ΑΡΜΩΝ

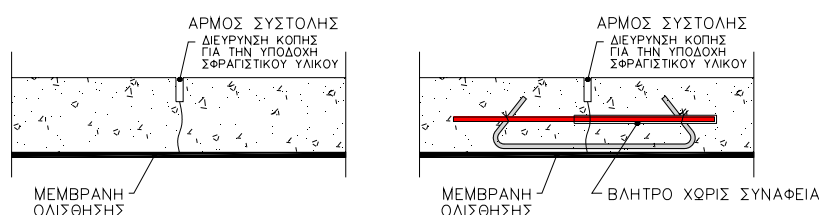
Ο αριθμός και ο τύπος των αρμών σε ένα δάπεδο εξαρτάται από τον σχεδιασμό του δαπέδου και την κατασκευαστική μέθοδο που πρόκειται να ακολουθηθεί (Κόλιας, Σ., 2008α, 2009β). Οι αρμοί προβλέπονται για δύο λόγους:

- για την εκτόνωση των εφελκυστικών τάσεων που αναπτύσσονται κυρίως από τις θερμοκρασιακές μεταβολές αλλά και από συστολή ξήρανσης
- για την εξασφάλιση κατάλληλων θέσεων διακοπής της κατασκευαστικής διαδικασίας (αρμοί διακοπής εργασίας)

### Αρμοί συστολής (contraction joints)

Οι αρμοί αυτής της κατηγορίας κατασκευάζονται με σκοπό τον έλεγχο της ρηγματώσης του σκυροδέματος και την απομείωση των τάσεων που

αναπτύσσονται στη μάζα του λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και συστολής ξήρανσης. Οι αρμοί συστολής διακρίνονται σε αρμούς χωρίς βλήτρα ή αρμούς με βλήτρα όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3** που ακολουθεί. Το βάθος αρχικής της κοπής ενός αρμού συστολής εξαρτάται από το πάχος του δαπέδου και είναι περίπου το 1/3 του πάχους του. Ο λόγος των πλευρών κάθε δημιουργούμενου τεμαχίου πλάκας πρέπει να μην ξεπερνά την τιμή 1.5 και για άοπλο σκυρόδεμα η μέγιστη απόσταση μεταξύ των αρμών συστολής να μην ξεπερνά περίπου τα 6.0m αν πρόκειται για στεγασμένα δάπεδα και τα 5.0m αν πρόκειται για δάπεδα υπαίθρου.



**Σχήμα 3.** Τύποι αρμών συστολής, χωρίς βλήτρα ή με βλήτρα

### Αρμοί απομόνωσης (isolation joints)

Οι αρμοί απομόνωσης κατασκευάζονται προκειμένου να αποφευχθεί επαφή και σύνδεση του σκυροδέματος των δαπέδων με υπάρχουσες υφιστάμενες κατασκευές εντός του κτιρίου π.χ. τοιχώματα, υποστυλώματα, φρεάτια κλπ. Οι αρμοί αυτού του τύπου διαμορφώνονται με την τοποθέτηση πολυστερίνης ή άλλου τύπου συμπίεσιμου υλικού γεμίματος, πάχους συνήθως 10-20mm. Το υλικό απομόνωσης πρέπει να τοποθετείται σε όλο το πάχος της πλάκας του δαπέδου και πρέπει να μονώνεται κατάλληλα ώστε να αποφεύγεται η πλήρωση του αρμού από άλλου τύπου υλικά.

### Αρμοί διακοπής εργασίας (construction joints)

Οι αρμοί διακοπής εργασίας χρησιμοποιούνται για να διαχωρίσουν τις περιοχές σκυροδέματος που σκυροδετούνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και διακρίνονται σε αρμούς με βλήτρα και - σπανιότερα σε ειδικές περιπτώσεις - αρμούς με οδοντώσεις (τόρμο και εντορμιά), όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4**.



**Σχήμα 4.** Διαμόρφωση αρμών διακοπής εργασίας, με βλήτρα ή με οδοντώσεις

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Παραδοσιακά, τα δάπεδα επί εδάφους υπολογίζονται με χρήση μεθόδων ελαστικής ανάλυσης. Οι εξισώσεις ελαστικής ανάλυσης του Westergaard (1920) χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα ευρέως. Τα πάχη των πλακών που προκύπτουν έπειτα από μία ελαστική ανάλυση είναι σχετικά συντηρητικά και οι προδιαγραφές για περιορισμό βυθίσεων ή άλλων παρόμοιων συνθηκών που επηρεάζουν τη λειτουργικότητα του δαπέδου συνήθως δεν είναι απαραίτητο να τεθούν. Ωστόσο όμως, στην περίπτωση των ινοπλισμένων με χαλύβδινες ίνες δαπέδων και με την εφαρμογή ελαστοπλαστικής αναλύσεως τα δάπεδα προκύπτουν λεπτότερα και φαινόμενα όπως είναι η μεταφορά φορτίων κατά μήκος των αρμών, ο περιορισμός των βυθίσεων, η ελεγχόμενη ρηγμάτωση κ.α. είναι πλέον πρωτεύουσας σημασίας και απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και πρόβλεψη. Επισημαίνεται ότι η διαφορά έναντι της ελαστικής ανάλυσης είναι ότι στην ελαστική ανάλυση η διαστασιολόγηση γίνεται έτσι ώστε το δάπεδο να παραμείνει αρρηγμάτωτο για την προβλεπόμενη διάρκεια λειτουργίας δηλαδή για τον προβλεπόμενο αριθμό επαναλήψεων φορτίσεων, ενώ στην ελαστοπλαστική ανάλυση το ινοπλισμένο σκυρόδεμα θεωρείται ρηγματωμένο με ρωγμές ελεγχόμενου εύρους.

Κατά τον σχεδιασμό διακρίνουμε δύο οριακές καταστάσεις, την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ) και την Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ). Συνιστάται συνήθως στην ΟΚΛ να αποκλείεται ο σχηματισμός ρωγμών ενώ στην ΟΚΑ δύναται να επιτρέπεται ο σχηματισμός ρωγμών στο κάτω πέλμα του δαπέδου.

### Οριακή κατάσταση αστοχίας

Η διαστασιολόγηση ενός ινοπλισμένου δαπέδου επί εδάφους στην ΟΚΑ μπορεί να γίνει σύμφωνα με την Έκθεση Νο34 της CONCRETE SOCIETY 1994 με τον υπολογισμό του πάχους του δαπέδου σύμφωνα τη θεωρία ελαστοπλαστικής ανάλυσης (π.χ. κατά Meyerhof, Hetenyi κλπ), τον υπολογισμό βλήτρων στις ακμές των πλακών και τον έλεγχο έναντι διάτρησης.

### Α. Υπολογισμός πάχους δαπέδου

#### Εξισώσεις υπολογισμού κατά Meyerhof για μεμονωμένα σημειακά φορτία

Σύμφωνα με τη θεωρία του Meyerhof δίδονται οι ακόλουθες εξισώσεις υπολογισμού του οριακού φορτίου αστοχίας  $P_u$  συναρτήσει των  $M_p$ ,  $M_n$ ,  $l$  και  $\alpha$  όπου:

$M_p$  είναι η θετική ροπή αντοχής κατά την αστοχία,  $M_n$  είναι η αρνητική ροπή αντοχής κατά την αστοχία,  $l$  είναι η ακτίνα σχετικής δυσκαμψίας κατά Westergaard =  $[E_{cm}h^3/12(1-\nu^2)k]^{0.25}$  και  $\alpha$  είναι η ισοδύναμη ακτίνα επαφής του φορτίου.



α. Για φόρτιση στο μέσο της πλάκας:

$$\text{Για } \alpha/l=0: \quad P_u = 2\pi(M_p+M_n) \quad (1)$$

$$\text{Για } \alpha/l>0.2: \quad P_u = 4\pi(M_p+M_n)/ [1-(\alpha/3l)] \quad (2)$$

β. Για φόρτιση στην ακμή της πλάκας:

$$\text{Για } \alpha/l=0: \quad P_u = [\pi(M_p+M_n)/2] + 2M_n \quad (3)$$

$$\text{Για } \alpha/l>0.2: \quad P_u = [\pi(M_p+M_n) + 4M_n] / [1-(2\alpha/3l)] \quad (4)$$

γ. Για φόρτιση στη γωνία της πλάκας

$$\text{Για } \alpha/l=0: \quad P_u = 2M_n \quad (5)$$

$$\text{Για } \alpha/l>0.2: \quad P_u = 4M_n/[1-(\alpha/l)] \quad (6)$$

όπου:

Για την περίπτωση άοπλου δαπέδου:

$$M_n = M_p = f_{ct,fl} h^2/(6\gamma_c) \quad (7)$$

όπου  $h$  = πάχος της πλάκας (mm),  $f_{ct,fl}$  = χαρακτηριστική καμπτική αντοχή άοπλου σκυροδέματος (N/mm<sup>2</sup>)

Για την περίπτωση ινοπλισμένου δαπέδου με δείκτη ισοδύναμης καμπτικής αντοχής  $R_{e,3}$  ισχύει:

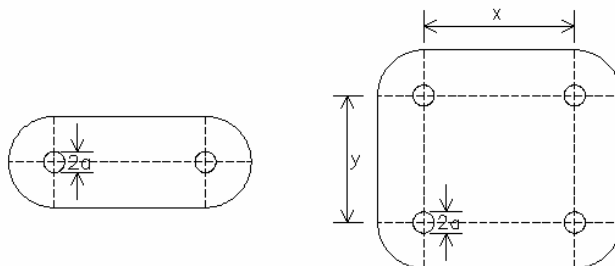
$$M_p = f_{ct,fl} (R_{e,3})h^2/(6\gamma_c) \quad (8)$$

**Εξισώσεις υπολογισμού κατά Meyerhof για δύο σημειακά φορτία**

$$\text{Για } \alpha/l=0: \quad P_u = [2\pi + (1.8x/l)] [M_p+M_n] \quad (9)$$

$$\text{Για } \alpha/l>0.2: \quad P_u = [4\pi/(1-\alpha/3l) + 1.8x/(1-\alpha/2)] [M_p+M_n] \quad (10)$$

όπου  $x$  = η απόσταση μεταξύ των κέντρων των φορτίων (βλ. **Σχήμα 5**). Για  $x > 2h$  ισχύουν οι εξισώσεις των μεμονωμένων σημειακών φορτίων.



**Σχήμα 5.** Απεικόνιση των γραμμών διαρροής πολλαπλών σημειακών φορτίων

**Εξισώσεις υπολογισμού κατά Meyerhof για τέσσερα σημειακά φορτία**

Για  $a/l=0$ : 
$$P_u = [2\pi + 1.8(x+y)/l] [M_p+M_n] \quad (11)$$

Για  $a/l>0.2$ : 
$$P_u = [4\pi/(1-a/3l) + 1.8(x+y)/(l-a/2)] [M_p+M_n] \quad (12)$$

όπου  $x, y$ = οι αποστάσεις μεταξύ των κέντρων των φορτίων (βλ. **Σχήμα 5**).

**Εξισώσεις υπολογισμού κατά Hetenyi για φορτία κατά λωρίδες**

Το μέγιστο φορτίο αστοχίας της πλάκας του δαπέδου ανά μέτρο μήκους,  $P_{lin}$ , προκύπτει από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$P_{lin,p} = 4 \lambda M_p \quad (13)$$

$$P_{lin,n} = 4 / 0.21 \lambda M_n \quad (14)$$

όπου

$P_{lin,p}$  = το μέγιστο οριακό φορτίο συναρτήσει της θετικής ροπής κάμψεως,  $P_{lin,n}$  = το μέγιστο οριακό φορτίο συναρτήσει της αρνητικής ροπής κάμψεως και  $\lambda = (3k/E_{cm}h^3)^{0.25}$

**Εξισώσεις υπολογισμού κατά Hetenyi για ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία**

$$\sigma_{max} = 1.008q/(\lambda^2 h^2) \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (15)$$

**B. Υπολογισμός μεταφοράς δύναμης μέσω βλήτρων**

Η μεταφορά δύναμης κατά μήκος ενός αρμού μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του μηχανισμού αλληλεμπλοκής των αδρανών του σκυροδέματος και μέσω βλήτρων. Λόγω της αβεβαιότητας της ενεργοποίησης ή όχι του μηχανισμού αλληλεμπλοκής των αδρανών, μόνο ένα ποσοστό 15% της δύναμης μπορεί να θεωρηθεί ότι μεταφέρεται κατά μήκος ενός αρμού, του οποίου το άνοιγμα δεν υπερβαίνει τα 2mm.

Ο μηχανισμός μεταφοράς δύναμης μέσω βλήτρων (βλ. **Σχήμα 6**) κατά μήκος ενός αρμού είναι ο πιο συνηθισμένος μηχανισμός εξασφάλισης μεταφοράς δύναμης. Ο υπολογισμός των βλήτρων γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του EC2 ως ακολούθως:



**Σχήμα 6.** Λειτουργία βλήτρου

α. Έλεγχος έναντι διατμήσεως

$$P_{sh} = 0.6 f_y A_v / \gamma_s \quad (16)$$

όπου  $f_y$  = όριο διαρροής χάλυβα,  $A_v$  = περιοχή διατμήσεως ίση με το 90% της επιφάνειας του βλήτρου ( $\pi d^2/4$  για κυκλικής διατομής βλήτρα και  $d^2$  για τετραγωνικής διατομής βλήτρα),  $\gamma_s$  = επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τον χάλυβα (=1.15)

β. Έλεγχος φέρουσας ικανότητας

$$P_{bear} = 0.5 f_{ck} b_l d_d / \gamma_c \quad (17)$$

όπου  $b_l$  = ενεργό μήκος βλήτρου όχι μεγαλύτερο από  $8d_b$ ,  $d_b$  = διάμετρος βλήτρου κυκλικής διατομής ή πλάτος μη κυκλικών διατομών,  $\gamma_c$  = επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα (=1.50),  $f_{cu}$  = χαρακτηριστική αντοχή σε μονοαξονική θλίψη κυβικού δοκιμίου σκυροδέματος ( $N/mm^2$ )

γ. Έλεγχος σε κάμψη

$$P_{bend} = (2 f_y Z_p) / x \gamma_s \quad (18)$$

όπου  $Z_p$  = πλαστική ροπή αντιστάσεως βλήτρου,  $d_b^3/4$  για τετραγωνικής διατομής βλήτρα και  $d_b^3/6$  για κυκλικής διατομής βλήτρα

δ. Έλεγχος σε συνδυασμένη κάμψη και διάτμηση

$$P_{app}/P_{sh} + P_{app}/P_{bend} \leq 1.40 \quad (19)$$

όπου  $P_{app}$  η δύναμη που μεταφέρεται από το βλήτρο

### Γ. Έλεγχος σε διάτρηση

Ο έλεγχος σε διάτρηση απαιτείται πραγματοποιείται σύμφωνα με τις διατάξεις του EC2 ελέγχοντας τις διατμητικές τάσεις στην παρειά της επιφάνειας επαφής αλλά και σε μία κρίσιμη περίμετρο σε απόσταση  $2.0d$  από αυτήν (όπου  $d$  το στατικό ύψος του δαπέδου). Ωστόσο επειδή το στατικό ύψος ορίζεται σαφώς για την περίπτωση δαπέδου με συμβατικό οπλισμό ράβδων, για την περίπτωση ινοπλισμένου σκυροδέματος εκτιμάται ότι το στατικό ύψος  $d$  μπορεί να λαμβάνεται ίσο με το 75% του συνολικού πάχους του δαπέδου.

α. Έλεγχος στην παρειά της επιφάνειας επαφής

$$P_{\max} = v_{\max} u_0 d \quad (20)$$

όπου

$v_{\max} = 0.5 * v * f_{cd}$ ,  $v = 0.7 - f_{ck} / 200$ ,  $u_0 =$  το μήκος της περιμέτρου της επιφάνειας επαφής

β. Έλεγχος στην κρίσιμη περίμετρο

Για σκυρόδεμα οπλισμένο με συμβατικό οπλισμό ράβδων:

$$v_f = (\tau_{RD} * k * 1.2) u_1 d \quad (21)$$

Για ινοπλισμένο σκυρόδεμα:

$$v_f = (\tau_{RD} * k * 1.2 + 0.12 R_{e,3} f_{ctk,fl}) u_1 d \quad (22)$$

όπου  $k=1.60-d \geq 1$ ,  $u_1$  το μήκος της κρίσιμης περιμέτρου όπου γίνεται ο έλεγχος

### Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Συνήθως ο σχεδιασμός ενός δαπέδου επί εδάφους στην ΟΚΛ συνίσταται στον έλεγχο του πάχους του δαπέδου σύμφωνα την ελαστική θεωρία κατά Westergaard, στον έλεγχο βυθίσεων και στον έλεγχο έναντι ρηγμάτωσης.

### Α. Έλεγχος πάχους δαπέδου

**Κατά Westergaard και Timoshenko (Modified Westergaard design method) για κυκλικά ομοιόμορφα καταναμημένα φορτία**

α. Για φόρτιση στο μέσο της πλάκας:

$$\sigma_{\max} = 0.275(1+v)P/h^2 \log(0.36Eh^3/k/b^4) \quad (23)$$

β. Για φόρτιση στην ακμή της πλάκας:

$$\sigma_{\max} = 0.529(1+0.54\nu)P/h^2 \log(0.20Eh^3/k/b^4) \quad (24)$$

γ. Για φόρτιση στη γωνία της πλάκας:

$$\sigma_{\max} = 3P/h^2 [1 - (1.41b/(Eh^3/(12(1-\nu^2)k))^{0.25})^{0.6}] \quad (25)$$

όπου

$\sigma_{\max}$  = η μέγιστη καμπτική τάση (N/mm<sup>2</sup>), P = το σημειακό φορτίο (N),  $\nu$  = λόγος Poisson, h = πάχος πλάκας (mm), E = μέτρο ελαστικότητας, k = δείκτης εδάφους (N/mm<sup>3</sup>) (λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία της υπόβασης), b = ακτίνα επαφής του φορτίου με το δάπεδο (mm)  $(P/\pi p)^{1/2}$ , p = τάση επαφής μεταξύ φορτίου και δαπέδου (N/mm<sup>2</sup>) = με την πίεση του ελαστικού επίσωτρου, l = ακτίνα σχετικής ακαμψίας κατά Westergaard,  $l = [E_{cm}h^3/12(1-\nu^2)k]^{0.25}$

*Σημείωση: Παρόμοιες εξισώσεις διατίθενται και για άλλους τύπους φόρτισης π.χ. δύο ή περισσότερα σημειακά φορτία, ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία, γραμμικά φορτία κλπ.*

## B. Έλεγχος βυθίσεων

Η βύθιση δ ενός δαπέδου επί εδάφους υπό φορτίο P δύναται να προσδιορισθεί σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση υπολογισμού κατά Westergaard:

$$\delta = c ( P / k l^2 ) \quad (26)$$

όπου k = ο δείκτης εδάφους, l = ακτίνα σχετικής ακαμψίας, c = συντελεστής βύθισης (εξαρτάται από τη θέση του φορτίου)

Για φορτίο που ασκείται στο μέσο ή στην ακμή μιας πλάκας επί εδάφους, ο συντελεστής c λαμβάνει την τιμή 0.125 και 0.442 αντίστοιχα. Για φορτίο στη γωνία μίας πλάκας, η τιμή του c εξαρτάται από το λόγο a/l σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:  $c = [1.1 - 1.24(a/l)]$ .

Η επίδραση του ερπυσμού στη βύθιση υπό την επενέργεια φορτίου μακράς διάρκειας μπορεί να εκτιμηθεί προσαρμόζοντας κατάλληλα την τιμή του συντελεστή l. Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος επηρεάζεται από τον ερπυσμό και μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να ληφθεί ως:

$$E_{cm(t)} = E_{cm} / (1 + \phi) \quad (27)$$

όπου  $\phi$  = συντελεστής ερπυσμού

### Γ. Έλεγχος ρηγμάτωσης

Ρηγμάτωση σε ένα δάπεδο επί εδάφους δημιουργείται λόγω της ανάπτυξης διαφόρων τύπων εσωτερικών μετακινήσεων που δύναται να εκδηλωθούν σε πλάκες σκυροδέματος, όταν αυτές περιορισθούν. Ορισμένοι από τους τύπους εσωτερικών μετακινήσεων είναι οι ακόλουθοι:

- Συστολή ξήρανσης πλαστικού σκυροδέματος
- Θερμική συστολή λόγω μεταβολών θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του ημερήσιου ή του ετήσιου κύκλου
- Συστολή ξήρανσης μακράς διάρκειας

Ειδικότερα το φαινόμενο της συστολής ξήρανσης μπορεί να διαρκέσει πολλά χρόνια ανάλογα με το περιβάλλον και τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος. Εκτιμάται ότι 3 μήνες μετά από τη σκυροδέτηση του δαπέδου η συστολή ξηράνσεως έχει εκδηλωθεί σε ποσοστό 30%. Οι τάσεις συστολής εκτιμώνται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$f_{sh} = E_{cm} \varepsilon_{sh} \quad (28)$$

όπου  $E_{cm}$  = το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος,  $\varepsilon_{sh}$  = παραμόρφωση συστολής μακράς διάρκειας

Το μέτρο ελαστικότητας στην παραπάνω σχέση μπορεί να τροποποιηθεί λόγω της επίδρασης του ερπυσμού. Για  $\phi = 2.0$  μπορεί να αντικατασταθεί με  $E_{cm(t)} = E_{cm}/3$ . Προκειμένου να περιορισθεί η τάση συστολής προβλέπεται συνήθως η τοποθέτηση μεμβράνης στο κάτω μέρος του δαπέδου πάνω από τη στρώση της υπόβασης. Για την περίπτωση χρησιμοποιούμενης πλαστικής μεμβράνης μπορεί να ληφθεί ένας συντελεστής απομείωσης της τιμής της  $f_{sh}$  ίσος με 20%.

- Ανασήκωμα ελευθέρων άκρων πλάκας (curling)

Η απώλεια υγρασίας από το άνω πέλμα της πλάκας του δαπέδου που εκδηλώνεται με μεγαλύτερο ρυθμό απ' ότι στο κάτω προκαλεί ανασήκωμα των ελευθέρων άκρων των πλακών (curling). Οι τάσεις αυτού του τύπου υπολογίζονται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_{cur} = (1/2) E_{cm(t)} [ \Delta \varepsilon / (1 - \nu) ] \quad (29)$$

όπου  $E_{cm}$  = το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος τροποποιημένο λόγω ερπυσμού,  $\nu$  = λόγος Poisson,  $\Delta \varepsilon$  = διαφορική παραμόρφωση μεταξύ άνω και κάτω πέλματος της πλάκας, συνήθως λαμβάνεται  $(1.5-2.0) \times 10^{-6}$  ανά mm του πάχους της πλάκας.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τόσο η διατιθέμενη επιστημονική γνώση σε θέματα σχεδιασμού δαπέδων, όσο και εν τω μεταξύ ο αναπτυχθείς μηχανολογικός εξοπλισμός κατασκευής τους αλλά και η αποκτηθείσα εμπειρία από την μέχρι σήμερα συμπεριφορά υπαρχόντων δαπέδων, άγουν στο συμπέρασμα ότι είναι δυνατόν να κατασκευασθούν δάπεδα που να ικανοποιούν με ασφάλεια όλες τις τιθέμενες απαιτήσεις (φέρουσα ικανότητα, επιπεδότητα, αντίσταση σε ολίσθηση κ.α.).

Προϋπόθεση ωστόσο προς τούτο είναι η πλήρης γνώση από τον μελετητή μηχανικό όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν την συμπεριφορά των δαπέδων επί εδάφους. Γενική δε απαίτηση για τον ορθό σχεδιασμό και κατασκευή τους είναι ότι όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς υλοποίησης ενός δαπέδου (μελετητής, κατασκευαστής) θα πρέπει να είναι έμπειροι και εξειδικευμένοι με τέτοιου τύπου μελέτες και κατασκευές.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Abbas,A.A., Pavlovic,M.N., Kotsovos,M.D., “Post-elastic behaviour of ground-floor slabs Part2: Fabric reinforced concrete slabs”, Magazine of Concrete Research Vol9,No6, August 2007

Concrete Industrial Ground Floors, A guide to design and construction, Concrete Society Technical Report No 34, Third Edition (1994)

Eisenmann,J., Leykauf,G., “Beton-fahrbahnen”, Ernst&Sohn (2003)

Eurocode 2, EN1998-1:2004, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, Comité Européen de Normalisation, Brussels (2004)

Κόλιας, Σ. “Υπολογισμός δυσκάμπτων οδοστρωμάτων”. Σεμινάριο «Οδοστρώματα από Σκυρόδεμα », Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, Αθήνα, Νοέμβριος 2008

Κόλιας, Σ. “Γενικές Αρχές Υπολογισμού Δαπέδων από Σκυρόδεμα Αεροδρομια”, Σεμινάριο Υ.Π.Α.- Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, Αθήνα, Απρίλιος 2009

Knaption J., “Ground Bearing Concrete Slabs”, Thomas Telford (2003)

Τέγος, Ι.Α., Γιάννακας, Ν.Χ., “Πλάκες επί εδάφους: οι γνωστοί-άγνωστοι φορείς Σκυροδέματος”, 15<sup>ο</sup> Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος (Αλεξανδρούπολη Οκτώβριος 18-20, 2006), Αλεξανδρούπολη (2006), 495-509