

# Πλάκες επί εδάφους: οι γνωστοί-άγνωστοι φορείς Σκυροδέματος

Ι. Α. Τέγος

*Καθηγητής, Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας των Κατασκευών ΑΠΘ.*

Ν. Χ. Γιάννακας

*Πολιτικός Μηχανικός, Υποψ. Διδ. Πολ. Μηχ. ΑΠΘ.*

*Λέξεις κλειδιά:* Βιομηχανικά δάπεδα, Προβλήματα Σχεδιασμού, άοπλες πλάκες επί εδάφους,

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Οι πλάκες σκυροδέματος επί εδάφους, μολονότι εφαρμόζονται ως οδοστρώματα, βιομηχανικά δάπεδα κ.λπ. εδώ και έναν αιώνα, ωστόσο δε διαθέτουν ως φορείς την αξιοπιστία των πλακών των κατασκευών, οι οποίες στηρίζονται είτε επί δοκών, είτε άμεσα σε υποστυλώματα. Η ικανοποίηση των κριτηρίων λειτουργικότητας, ασφάλειας και ανθεκτικότητας για το είδος αυτό των πλακών δεν είναι καθόλου εύκολη με αποτέλεσμα να εμφανίζονται πολύ συχνά αστοχίες στους συχνής εφαρμογής και πολύ διαδεδομένους αυτούς φορείς. Για το λόγο αυτό κρίνεται ότι απαιτείται μία κατά το δυνατόν πληρέστερη παρουσίαση των προβλημάτων σχεδιασμού των, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ένα οικονομικό αποτέλεσμα, υπό την έννοια του συνδυασμού αφενός μικρού κόστους κατασκευής και αφετέρου μειωμένου κόστους συντήρησης του έργου. Στην εργασία δίνονται συνοπτικά ουσιαστικοί κανόνες κατασκευής και υπολογισμού για πλάκες από σκυροδέμα επί εδάφους προερχόμενοι από την πείρα των συντακτών της καθώς και πρόσφατες δημοσιεύσεις επί του θέματος, με στόχο να διευκολύνουν τον μελετητή στην ανεύρεση της ενδεδειγμένης κατά περίπτωση λύσης..

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πλάκες που εδράζονται άμεσα στο έδαφος αποτελούν τους γνωστούς – αγνώστους φορείς των κατασκευών. Αυτό σημαίνει ότι ενώ όλοι οι μηχανικοί νομίζουν ότι γνωρίζουν τα «μυστικά» τους, στην πραγματικότητα δεν είναι τόσο απλές, όσο δείχνουν και emπίπτουν στον υπαινιγμό της γνωστής άποψης σύμφωνα με την οποία «δεν υπάρχει τίποτε πιο δύσκολο από το προφανές»! Έτσι παρουσιάζεται το παράδοξο, ενώ για τις πλάκες των ανωδομών, οι ισχύοντες Κανονισμοί Ωπλισμένου Σκυροδέματος περιέχουν άφθονες οδηγίες, για τις εδραζόμενες στο έδαφος πλάκες οι ίδιοι Κανονισμοί να μη δίνουν καμία οδηγία. Γιατί συμβαίνει αυτό; Γιατί οι πλάκες αυτές κατά κανόνα κατασκευάζονται άοπλες, δηλαδή, χωρίς καθόλου οπλισμούς, δεδομένου ότι εδράζονται άμεσα στο έδαφος και επομένως δεν τίθενται γι' αυτές, σε αντίθεση με τις πλάκες των ανωδομών, θέματα ασφαλείας δηλαδή της τοπικής ή και αλυσιδωτής κατάρρευσης. Θα πρέπει να τονισθεί ότι άλλη είναι η σημασία της ρηγματώσης για τις υπόψιν πλάκες επί εδάφους και άλλη για τις πλάκες των ανωδομών. Π.χ. μία ρωγμή εύρους μερικών χιλιοστών σε δομικό στοιχείο της ανωδομής συνεπάγεται άμεσο κίνδυνο κατάρρευσης αυτού και πιθανόν περαιτέρω δυσάρεστες συνέπειες που σχετίζονται με την τοπική ή και γενική ασφάλεια του δομήματος. Το ίδιο φαινόμενο σε μία πλάκα εδραζόμενη επί εδάφους δεν δημιουργεί επουδενί πρόβλημα ασφαλείας ούτε ανθεκτικότητας δεδομένου ότι αυτές οι πλάκες δεν διαθέτουν κατά κανόνα οπλισμούς, οι οποίοι άλλως θα έπρεπε, εάν υπήρχαν, μακροπροθέσμως να προστατευθούν από διάβρωση εξαιτίας της ρωγμής. Βεβαίως δημιουργείται πρόβλημα αισθητικής και πιθανόν λειτουργικότητας, το οποίο όμως είναι εύκολο να διορθωθεί μετά από τοπική επισκευή. Δεν αποτελεί υπερβολή να λεχθεί ότι αυτές οι πλάκες κατά κανόνα ρηγματώνονται. Διότι όσο επιμελημένης κατασκευής και αν τύχουν πάντοτε ελλοχεύει ο κίνδυνος του τυχαίου παράγοντα.

Οι πλάκες που εδράζονται στο έδαφος κατά κανόνα κατασκευάζονται χωρίς οπλισμούς. Γιατί δεν τους χρειάζονται. Τι χρειάζονται; Χρειάζονται αρμούς συστολής για τις λεγόμενες «δράσεις

καταναγκασμών». Για τον λόγο αυτό είναι φρόνιμο και ενώ το σκυρόδεμα είναι σχετικά νεαρό, να χαράζονται με δισκοπρίονο σε βάθος περίπου το 1/3 του πάχους της πλάκας, σε κάναβο το πολύ 7.0x7.0 m. Με τον τρόπο αυτό αφενός εκτονώνονται οι δράσεις καταναγκασμών, οι οποίες στην περίπτωση καλής συμπύκνωσης του υποκείμενου εδάφους, είναι κρίσιμες καθώς προκαλούν εντατικές καταπονήσεις στην πλάκα, και αφετέρου οι αναπόφευκτες ρηγματώσεις δεν εμφανίζονται αντιαισθητικώς, «εική και ως έτυχε», αλλά σε θέσεις που έχουν «υποβοηθηθεί» προς τούτο με τις χαράξεις που έγιναν. Ωστόσο, επειδή, όπως θα λεχθεί παρακάτω, οι αρμοί «φορτώνουν» την πλάκα μακροπρόθεσμα με δαπάνες συντήρησης υπάρχει και μια δεύτερη φιλοσοφία, για την κατασκευή των επί εδάφους πλακών, η οποία σπανιότατα προτιμάται. Στην περίπτωση αυτή αποφεύγονται μεν οι αρμοί, αλλά οι απαιτούμενοι οπλισμοί μέσω των οποίων κατανέμονται χωρίς να είναι ορατές οι ρηγματώσεις εκ των καταναγκασμών, υπολογίζονται με βάση τον ισχύοντα Κανονισμό Ωπλισμένου Σκυροδέματος.

## 2 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΑΡΜΩΝ

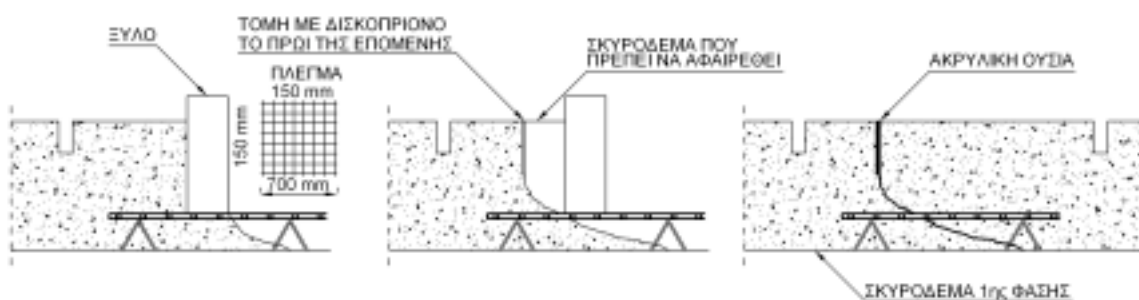
Οι αρμοί που απαιτούνται σε μία πλάκα που εδράζεται στο έδαφος διακρίνονται σε αρμούς κατασκευαστικούς, αρμούς διαχωριστικούς και αρμούς συστολής. Αρμοί διαστολής λόγω ήπιων θερμοκρασιακών, υπό σκιά, φορτίων δεν είναι, κατά κανόνα, απαραίτητοι, επειδή κυρίως το πρόβλημα της αύξησης της θερμοκρασίας εξισορροπείται περίπου από την ισοδύναμη συστολή ξήρανσης του σκυροδέματος και από τη συνδρομή των διαχωριστικών αρμών.

Οι διαστάσεις της κάτοψης ενός δαπέδου είναι σημαντικές, ωστόσο κατά τα τρία πρώτα έτη της χρήσης του, τα οποία είναι και τα πλέον κρίσιμα ως προς την εμφάνιση φαινομένων διαστολής καθώς δεν έχει ολοκληρωθεί το φαινόμενο της ξήρανσης, δεν παρουσιάζει κατά κανόνα συμπτώματα παρεμποδιζόμενης διαστολής.

### 2.1 Αρμοί Κατασκευαστικοί

Οι κατασκευαστικοί αρμοί, δηλαδή οι αρμοί διακοπής της σκυροδέτησης, είναι για τις μεγάλες σε κάτοψη πλάκες αναπόφευκτοι. Η παρουσία των συνιστά αρνητικό δεδομένο καθώς μπορούν να παρομοιαστούν με «ουλές». Ωστόσο, κατά το «ουδέν κακόν αμιγές καλού» παρέχουν τη δυνατότητα εκτόνωσης της πρώιμης συστολής ξήρανσης, γεγονός που εκμεταλλεύεται η ισχύουσα δόκιμη κατασκευαστική μέθοδος διάστρωσης των δαπέδων των «εναλλασσόμενων λωρίδων».

Για τη σύνδεση μεταξύ των εκατέρωθεν με μικρή διαφορά φάσης σκυροδετούμενων τμημάτων προτείνονται από τον Μπαϊρακτάρη (1993) για τα δάπεδα υψηλών απαιτήσεων διάφορα μέτρα, μεταξύ των οποίων και η τοποθέτηση πλέγματος μικρού μήκους 70 cm περίπου στο κατώτερο ήμισυ του πάχους της πλάκας. Το εν λόγω πλέγμα, χωρίς αυτό να αποτελεί κρίσιμο παράγοντα, καλόν είναι να διαθέτει ράβδους διαμέτρου της τάξης Ø8 ανά αποστάσεις 15 cm.



Σχήμα 1. Μία περίπτωση κατασκευαστικού αρμού (διακοπής εργασίας)

Στην περίπτωση λήψης πλημμελών μέτρων σύνδεσης, υπάρχει το ενδεχόμενο αυτό να έχει κάποτε ελαφρές συνέπειες στο κόστος συντήρησης, δεδομένου ότι τα σημεία αυτά, όπως τονίσθηκε, είναι επικρατέστερα.

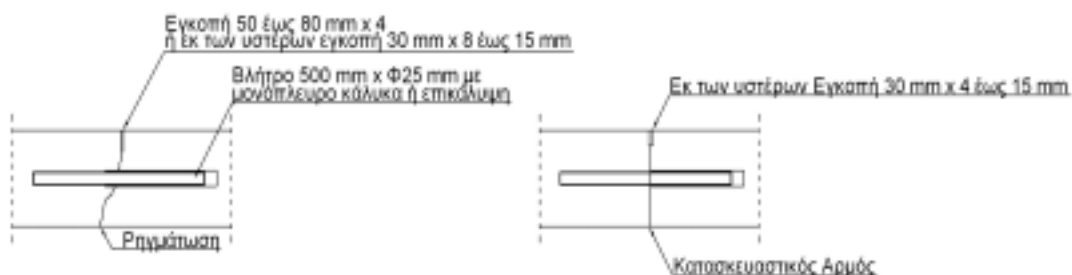
## 2.2 Αρμοί Διαχωριστικοί

Προς αποφυγήν του κινδύνου της αλληλεπίδρασης πρέπει να προβλέπονται, κατά την κατασκευή, αρμοί κατά μήκος των γραμμών επαφής της πλάκας με υποστυλώματα, τοιχώματα, περιμετρικά στοιχεία εγκιβωτισμού, φρεάτια κ.λπ. Οι επιπτώσεις παράλειψης αυτών των αρμών συνεπάγεται ενίοτε από εμφάνιση αντιαισθητικών ρηγματώσεων και πιθανώς κάποια ελαφρώς αυξημένα μέτρα συντήρησης στην περιοχή.

## 2.3 Αρμοί Συστολής

Είναι τεχνητοί αρμοί βάθους περίπου του 1/3 του πάχους της πλάκας που περιγράφηκαν ανωτέρω, οι οποίοι χαράσσονται στο στάδιο της κατασκευής με δισκοπρίονο και αποβλέπουν στην εκτόνωση των συστολών από ξήρανση, ενανθράκωση και πτώση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Συνέπεια τυχόν πλημμελούς κατασκευής των εν λόγω αρμών, σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 7.0 m, είναι δυνατόν να αποτελέσει η εμφάνιση ρηγματώσεων, οι οποίες όπως και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις αρμών, έχουν κάποιο μικρό αντίκτυπο στην απαιτούμενη συντήρηση του δαπέδου στο χρόνο ζωής του Έργου.

Ρητέον εν κατακλείδι, ότι οι αρμοί δεν αποτελούν πανάκεια, γιατί είναι δυνατόν και παρά την άσπογη κατασκευή τους, πάλι να εμφανιστούν ρηγματώσεις. Όπως και είναι δυνατόν να μην εμφανιστούν ρωγμές σε περιπτώσεις που δεν προβλέφθηκαν με την αρμόζουσα πυκνότητα.



Σχήμα 2. Αρμοί

## 3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΑΠΕΔΩΝ

Κατά κανόνα όλα τα δάπεδα αποτελούνται από την υποδομή (θεμελίωση) και το κυρίως δάπεδο (πλάκα). Τα επί μέρους στοιχεία ενός δαπέδου σε δύο παραλλαγές φαίνονται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3. Δύο περιπτώσεις πλάκας επί εδάφους από σκυρόδεμα

### 3.1 Το υπόστρωμα

Αυτό συνήθως είναι το φυσικό έδαφος στο επίπεδο εκσκαφής, εφόσον είναι αρκετά ανθεκτικό. Το έδαφος πρέπει να εμφανίζει ομοιομορφία και να αποφεύγονται νησίδες από σκληρό ή μαλακό υλικό. Κατά κανόνα απαιτούνται και κάποιες επιχώσεις πάνω από τη στάθμη εκσκαφής προκειμένου να διαμορφωθούν οι απαιτούμενες γενικές κλίσεις ή μια εξυγίανση ανάλογα με τις απαιτήσεις της εδαφοτεχνικής μελέτης. Στην περίπτωση αυτή το υλικό των επιχώσεων πρέπει να είναι επιλεγμένο και υγιές. Π.χ. χρησιμοποιούνται προϊόντα γενικών και ειδικών εκσκαφών απαλλαγμένα από φυσικές ύλες ή καταλληλότερα χρώματα από δανειοθαλάμους εκτός του έργου. Η επιχωμάτωση γίνεται κατά στρώσεις 200 mm, κατάβρεγμα και συμπύκνωση. Η συμπύκνωση γίνεται με στατικούς ή δονητικούς οδοστρωτήρες και μηχανήματα κρούσης. Για πολύ ενδοτικά εδάφη με ακλόνητες βαθιές θεμελιώσεις των φερόντων κατακόρυφων στοιχείων (π.χ. πασσάλους) ενδέχεται να απαιτηθεί σταθεροποίηση του εδάφους με αμμοπασσάλους, jet-grouting κ.λπ.

### 3.2 Υπόβαση

Υπόβαση είναι η στρώση επί της οποίας θα κατασκευαστεί η πλάκα του δαπέδου. Αποτελείται από θραυστό υλικό με ελάχιστο, για λόγους αποστράγγισης, πάχος 150 mm, ώστε να μην υπάρχει δυνατότητα διείσδυσης υγρασίας και παγετού. Για την εξουδετέρωση των τριβών μεταξύ πλάκας και υπόβασης είναι καλό να παρεμβάλλεται ένα στρώμα λεπτής άμμου ελαχίστου πάχους 75 mm, ώστε να μειώνονται οι τριβές και να γίνεται ανεμπόδιστα η συστολή ξήρανσης της πλάκας. Ύγρανση της άμμου με το νερό συμπύκνωσης μπορεί να γίνεται την παραμονή της διάστρωσης. Η εμφανιζόμενη και ως «φέρων στρώμα» σύμφωνα με τον Stenzel (2005) υπόβαση είναι απαραίτητη ώστε να επιτευχθεί μία ομοιόμορφη και ομογενής έδραση. Σε υπέδαφος μεγάλης αντοχής μπορεί το «φέρων στρώμα» να κατασκευαστεί δια της χρησιμοποίησης του υπάρχοντος υλικού του εδάφους.

### 3.3 Στεγανωτική μεμβράνη

Χρησιμεύει για την παρεμπόδιση της διείσδυσης τσιμεντοπολτού στην υπόβαση και μειώνει τις τριβές μεταξύ πλάκας σκυροδέματος και υπόβασης. Ο ρόλος της, πάντως, είναι αμφιλεγόμενος γιατί δημιουργεί ανομοιόμορφες συνθήκες ξήρανσης και συστολής κατά το πάχος της πλάκας. Όταν το έδαφος είναι κεκορεσμένο, οπότε η χρησιμοποίησή της είναι αναπόφευκτη, πρέπει απαραίτητα να παρεμβάλλεται στρώση άμμου πάχους 75 mm .

### 3.4 Βάση

Είναι η πλάκα σκυροδέματος και αποτελεί το κύριο μέρος του δαπέδου. Το πάχος της και τα υλικά κατασκευής της συναρτούνται από τα φορτία και τις τυχόν παραμποδιζόμενες παραμορφώσεις της. Προκειμένου να μελετηθεί η πλάκα σκυροδέματος απαιτείται κα' αρχήν η αποτίμηση των παρακάτω βασικών απαιτήσεων:

- Το είδος των δράσεων (μηχανικές ή χημικές) στην επιφάνεια της πλάκας
- Ο τύπος των φορτίων (στατικά ή δυναμικά)
- Η επιθυμητή διάρκεια ζωής του δαπέδου
- Οι συνθήκες έδρασης (φέρουσα ικανότητα, τριβές, πιθανότητα παρεμπόδισης συστολών, πιθανότητα διαφορικών καθιζήσεων)

Η ελάχιστη ποιότητα σκυροδέματος που έχει καθιερωθεί τα τελευταία χρόνια για τα ελληνικά δάπεδα είναι C25/30 με τάσεις περαιτέρω βελτίωσης.

### 3.5 Τελείωμα της επιφάνειας

Ο τρόπος που διαμορφώνεται η τελική επιφάνεια της βάσης σκυροδέματος εξαρτάται από τη φύση των δράσεων που καταπονούν το φορέα. Αυτές είναι δυνατόν να είναι μηχανικής ή χημικής φύσης.

Όταν αυτή είναι αναγκαία ή προβλέπεται να κατασκευαστεί ακόμα και μελλοντικά, η κατασκευή με αρμούς που φαίνεται στο Σχήμα 2 μπορεί να πραγματοποιηθεί, εφόσον η τελική επιφάνεια διακόπτεται πάνω από τους αρμούς, διότι άλλως κατά την μετακίνηση τους θα προκαλούσαν ρηγμάτωση ή παραμόρφωση της τελικής επιφάνειας προς τα πάνω

### 3.6 Κατασκευή

Της κατασκευής της πλάκας δαπέδου επί της υπόβασης προηγούνται: (α) η προετοιμασία των αρμών διαχωρισμού και (β) η τοποθέτηση ξύλινων ή μεταλλικών υψομετρικών δεικτών, κατά προτίμηση στις κορυφές του κανάβου των αρμών συστολής.

Σε μερικές Ευρωπαϊκές χώρες μία συχνά εμφανιζόμενη τεχνική κατασκευής βιομηχανικών, κυρίως, δαπέδων είναι αυτή των εναλλασσόμενων λωρίδων» (long-strip technique). Η τεχνική συνίσταται στη διάστρωση του σκυροδέματος σε λωρίδες ίσους πλάτους, οι οποίες κατασκευάζονται μία παρά μία σε δύο φάσεις και έχουν μήκος το συνολικό μήκος του δαπέδου (Σχήμα 4). Αφού σκληρυνθεί αρκετά το σκυροδέμα των λωρίδων της πρώτης φάσης, ώστε να μην επηρεάζεται από τη δόνηση του νωπού σκυροδέματος των μεταξύ των λωρίδων, διαστρώνεται και το υπόλοιπο του δαπέδου σε δεύτερη φάση. Μετά την ολοκλήρωση της διάστρωσης του σκυροδέματος χαράσσονται εγκάρσια προς τις λωρίδες αρμοί συστολής, σύμφωνα με το σχήμα 4. Η τεχνική των λωρίδων συνδυάζεται με τη διάθεση ειδικού εξοπλισμού και κυρίως «δονητικής δοκού», από το πλάτος λειτουργίας, της οποίας εξαρτάται και ο καθορισμός του πλάτους που θα εφαρμοστεί για τις λωρίδες. Γενικά, το πλάτος που επιλέγεται για τις λωρίδες είναι όσο και των αρμών συστολής (4 μέχρι 6 m). Διάστρωση σε πεσοειδή μορφή, καίτοι ευνοϊκότερη, αποφεύγεται για λόγους κυκλοφορίας κατά την κατασκευή.



Σχήμα 4. Τεχνική διάστρωσης των εναλλασσόμενων λωρίδων

## 4 ΔΡΑΣΕΙΣ

Οι δράσεις πάνω στις πλάκες επί εδάφους, οι οποίες είναι δομικά στοιχεία με πολλές λειτουργίες, είναι οι εξής:

- κυκλοφορία περνοφόρων και βαρέων οχημάτων
- φορτία έδρασης π.χ παλέτες, χύμα υλικά
- φορτία ραφιών
- φόρτιση μέσω φέρουσας / μη φέρουσας τοιχοποιίας
- τοποθέτηση μηχανών
- μηχανικές και χημικές καταπονήσεις
- πίεση νερού (προς τα κάτω) ή άνωση
- διαφορικές καθιζήσεις
- ομοιόμορφες θερμοκρασιακές μεταβολές  $t_s$
- διαφορικές θερμοκρασίες άνω και κάτω πέλματος  $\Delta t$
- ξήρανση του σκυροδέματος

- ερπυστικές παραμορφώσεις του σκυροδέματος

Μεγάλη σημασία στο σχεδιασμό πλακών επί εδάφους έχει η αξιόπιστη παραλαβή φορτίου. Τα ίδια βάρη και τα φορτία λειτουργίας καθορίζονται από το DIN 1055-3 (2002), όπου δίνονται τα μοναχικά φορτία από περονοφόρα οχήματα, τα οποία κατατάσσονται σε έξι κατηγορίες. Στον πίνακα 1 δίνονται οι τιμές για τα επιφανειακά φορτία και τα φορτία τροχών από τα οχήματα αυτά, λαμβανομένου υπόψη του συντελεστή δυναμικής επαύξησης, ο οποίος για τα φορτία τροχών είναι ίσος με  $\varphi = 1.4$ . Η τιμή των φορτίων τροχών (χωρίς  $\varphi$ ) που προτείνει ο Lohmeyer (1996) για τη περίπτωση πολύ βαριών περονοφόρων οχημάτων και Κοντέινερ είναι της τάξης των 150 kN. Όσον αφορά τα φορτία τροχών και τις τιμές του συντελεστή δυναμικής επαύξησης μηχανολογικών εξοπλισμών θα πρέπει να καθοριστούν από κοινού με τον κύριο του έργου κατά περίπτωση.

Το ίδιο ισχύει επίσης και για τα ίδια βάρη και τα φορτία λειτουργίας εγκαταστάσεων ραφιών. Εδώ είναι αναγκαίο να εξεταστούν λεπτομερώς τα δεδομένα του κατασκευαστή και θα πρέπει για το ίδιο βάρος των ραφιών να χρησιμοποιηθεί ως τιμή ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας αντί του 1.35 η τιμή 1.50 που ισχύει για τα μεταβλητά φορτία λειτουργίας. Επίσης απαιτείται πάντοτε για την περίπτωση των ραφιών να λαμβάνονται μέτρα για την ευστάθειά τους έναντι ανατροπής, μέσω της θεώρησης οριζοντίου φορτίου ίσου προς το 1/100 του βάρους ασκουμένου στο κέντρο βάρους (DIN 1055-3 (2002)). Η θεώρηση πλήρους φορτίου για τα ράφια και των φορτίων των περονοφόρων οχημάτων σύμφωνα με τον πίνακα 1 είναι κρίσιμη για την εύρεση των προκυπτουσών καταπονήσεων στις πλάκες επί εδάφους, οι οποίες βρίσκονται σε μη στεγασμένους χώρους ή σε περιοχές θυρών εσωτερικών χώρων.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικές τιμές για περονοφόρα οχήματα κατά το DIN 1055-3 (2002)

Κατηγορία	Ανώτατο	Χαρακτηριστική	Επιφανειακό	Φορτίο Τροχού $1.4Q_k$			
	Επιτρεπόμενο			Αντοχή	Φορτίο $q_k$	σε 0.20 m x 0.20 m	
	Συνολικό Φορτίο			[kN]	a [m]	l [m]	b[m]
	[kN]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]				
G1	31	10	12.5	18	0.85	2.60	1.00
G2	46	15	15.0	28	0.95	3.00	1.10
G3	69	25	17.5	44	1.00	3.30	1.20
G4	100	40	20.0	63	1.20	4.00	1.40
G5	150	60	20.0	98	1.50	4.60	1.90
G6	190	80	20.0	120	1.80	5.10	2.30



Σχήμα 5. Γεωμετρία περονοφόρου οχήματος και επιφάνεια έδρασης τροχού.

Για να ληφθεί υπόψη η κυκλοφορία φορτηγών αρκεί σύμφωνα με το DIN 1055-3 (2002) η προσφυγή στα ισχύοντα για την κλάση 30/30 των γεφυρών σύμφωνα με το DIN 1072 (1985) που ισχύει για τις γέφυρες, όπου ο μονός άξονας των 130 kN αποτελεί για την προκειμένη περίπτωση κρίσιμη φόρτιση. Η επιρροή του συντελεστή δυναμικής επαύξησης δεν λαμβάνεται υπόψη: Φορτίο τροχού  $0.5 \cdot 130 = 65$  kN, με επιφάνεια έδρασης τροχού 200 mm x 460 mm.

Όσον αφορά τις πλάκες επί εδάφους σε μη στεγασμένο χώρο και σε ανοιχτές αίθουσες, αλλά ακόμα και σε δάπεδα εσωτερικών χώρων κοντά στην περιοχή των εισόδων καθώς και των υάλινων προσόψεων, πρέπει να ληφθούν υπόψη ομοιόμορφες μεταβολές θερμοκρασίας  $t_s$ . Σύμφωνα με το DIN 1055-7 στη Γερμανία λαμβάνεται η τιμή της ελάχιστης εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα  $-24^\circ$  C και η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία αέρα  $+37^\circ$  C. Αυτό συνεπάγεται μεταβολές μήκους του ανοίγματος των πλακών που βρίσκονται σε μη στεγασμένο χώρο για  $24$  K  $+37$  K =  $60$  K. Ως

θερμοκρασία κατασκευής λαμβάνεται η μέση θερμοκρασία νεπού σκυροδέματος, συνυπολογιζόμενης και της επιρροής της θερμότητας ενυδάτωσης (περίπου 10 K έως 20 K). Επίσης πρέπει να καθοριστούν οι παραμορφώσεις ξήρανσης ή και ενδεχόμενης διόγκωσης λόγω τυχόν επαφής της πλάκας με νερό του σκυροδέματος κατά τον καθορισμό του εύρους και των καννάβων των αρμών. Ιδιαίτερα στην περίπτωση εκτεταμένων υάλινων προσόψεων μπορούν ακόμα σε κλειστές αίθουσες να εμφανίζονται θερμοκρασίες μέχρι και άνω των 35° C.

Οδηγίες για την διαφορά θερμοκρασιών άνω και κάτω πέλματος θερμοκρασιακών βαθμίδων – π.χ. λόγω ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα (πάνω θερμότερη) ή καταιγίδας το καλοκαίρι (κάτω θερμότερη) – δίνονται από το παράρτημα A του DIN 1072 (1985), όπου για την άνω θερμότερη επιφάνεια λαμβάνεται:  $\Delta t = 0.08$  έως  $0.09$  K/mm και για την κάτω θερμότερη:  $\Delta t = 0.03$  έως  $0.04$  K/mm. Ο Stenzel (2005) προτείνει, να ορίζεται για υπαίθριες επιφάνειες και ανοιχτές αίθουσες  $0.09$  K/mm (πάνω θερμότερη) και  $0.04$  K/mm (αυτό ισχύει υπό ορισμένες συνθήκες ακόμα και για την κατάσταση κατασκευής σε δάπεδα αιθουσών). Σε κλειστές αίθουσες εν γένει δεν είναι αναγκαία η εφαρμογή μίας θερμοκρασιακής βαθμίδας, εφόσον η πλάκα σκυροδέματος σκυροδετηθεί μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της στέγης και των εξωτερικών τοίχων ή εάν η αίθουσα θερμαίνεται ήδη. Όταν η πλάκα επί εδάφους κατασκευάζεται σε χώρο στεγασμένο αλλά ανοιχτό πλευρικά ή χώρο που περιλαμβάνει ήδη μεγάλες γυάλινες επιφάνειες προσόψεων ή πολλές πύλες, προτείνει ο Stenzel (2005) να γίνεται η διαστασιολόγηση με μία θερμοκρασιακή βαθμίδα των  $0.04$  K/mm (τόσο για την άνω θερμότερη πλευρά όσο και για την κάτω). Τα απαραίτητα χαρακτηριστικά μεγέθη υλικών για την ξήρανση, τη διόγκωση και τον ερπυσμό του σκυροδέματος μπορούν να λαμβάνονται από το DIN 1045 (2001).

Χάριν εποπτείας και απλότητας τα μεταβλητά φορτία καθορίζονται με τον επιμέρους συντελεστή ασφαλείας  $\gamma_R = 1.5$  και οι καταναγκασμοί (θερμοκρασία, ξήρανση / διόγκωση, ερπυσμός και τυχόν προένταση) με  $\gamma_{κατ.} = 1.0$ . Μία προσπάθεια εισαγωγής των συντελεστών συνδυασμού  $\psi$  θα έδινε την επίφαση μίας υπολογιστικής ακρίβειας, η οποία ωστόσο στις πλάκες επί εδάφους από σκυρόδεμα λόγω της επιρροής από πολυπληθών παραμέτρων δεν θα ήταν προς το παρόν πειστική. Το ίδιο ισχύει ακόμα και για τον καθορισμό του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος. Για την κατασκευή και υπολογισμό των πλακών επί εδάφους η παραδοχή τιμής μέτρου ελαστικότητας ίσης με  $E_c = 30000$  N/mm<sup>2</sup> (όπως προτείνεται από τον Eisenmann (1979)) είναι επαρκής για τα συνηθισμένα σκυροδέματα B25, B35 σύμφωνα με το FSV του ZTV Beton-StB 01 όπως και για τα C25/30, C30/37 σύμφωνα με το DIN 1045 (2001). Ο γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής  $\alpha_t$  για σκυρόδεμα, χάλυβα και χάλυβα προέντασης λαμβάνεται ίσος με  $1.0 \cdot 10^{-5}$  K<sup>-1</sup> σύμφωνα με το DIN 1045 (2001).

## 5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΟΠΛΩΝ ΠΛΑΚΩΝ ΕΠΙ ΕΔΑΦΟΥΣ

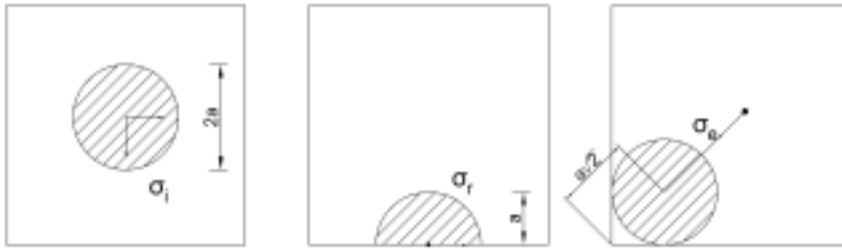
### 5.1 Πλάκες οδοστρωμάτων

#### 5.1.1 Γενικά

Η ευρύτερη χρήση άοπλων πλακών επί εδάφους στην οδοποιία αποτελεί πλεονέκτημα για τα οδοστρώματα, διότι διαθέτουν υψηλή ανθεκτικότητα στο χρόνο. Η οδηγία RStO 01 στη Γερμανία, η οποία αφορά την τυποποίηση της άνω διαμόρφωσης των επιφανειών κυκλοφορίας, κατατάσσει τις πλάκες επί εδάφους σε διάφορους τρόπους κατασκευής ανάλογα την κυκλοφοριακή τους φόρτιση.

#### 5.1.2 Διαστασιολόγηση έναντι φορτίων

Η διαστασιολόγηση των κλάσεων δόμησης που δίνει η RStO 01 στηρίζεται σε μακρόχρονη εμπειρία και πολυάριθμες έρευνες από τον Eisenmann (1979) σε σχέση με την εμπειρικά βελτιωμένη υπολογιστική μέθοδο κατά Westergaard.



Σχήμα 6. Φορτίσεις σε πλάκες επί εδάφους

Μολονότι αυτή η μέθοδος δεν είναι ούτε «ακριβής» ούτε «αδιάστατη», παρουσιάζει μέχρι τώρα την παραστατικότερη και την καταλληλότερη μέθοδο εύρεσης των καμπτικών εφελκυστικών τάσεων σε επιφανειακά εδραζόμενες πλάκες επί εδάφους. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στον υπολογισμό των καμπτικών εφελκυστικών τάσεων μίας ελαστικής πλάκας πολλών στρώσεων υπό ένα κυκλικό σε κάτοψη φορτίο («φορτίο δοχείου») για τις τρεις περιπτώσεις θέσεων φορτίου, το μέσο της πλάκας, την περιφέρεια της πλάκας και της γωνία της πλάκας. Οι τύποι φόρτισης που δίνονται από τον Eisenmann (1987) φαίνονται στο Σχήμα 6 και περιγράφονται από τις εξισώσεις που ακολουθούν:

Για τη θέση του φορτίου στο μέσο της πλάκας:

$$\sigma_i = \frac{0.275 \cdot Q}{h^2} (1 + \mu) \cdot \left[ \log \left( \frac{E_c \cdot h^3}{k \cdot b^4} \right) - 0.436 \right] [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

Για τη θέση του φορτίου στην περίμετρο της πλάκας:

$$\sigma_r = \frac{0.529 \cdot Q}{h^2} (1 + 0.54\mu) \cdot \left[ \log \left( \frac{E_c \cdot h^3}{k \cdot b^4} \right) + \log \left( \frac{b}{1 - \mu^2} \right) - 2.48 \right] [\text{N/mm}^2] \quad (2)$$

Για τη θέση του φορτίου στην περίμετρο της πλάκας:

$$\sigma_e = \frac{3 \cdot Q}{h^2} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{12(1 - \mu^2)k}{E_c \cdot h^3} \right) \cdot (a\sqrt{2})^{1/2} \right] [\text{N/mm}^2] \quad (3)$$

με  $E_c$  το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος σε  $[\text{N/mm}^2]$ ,  $h$  το πάχος της πλάκας σκυροδέματος, με  $p$  η πίεση επαφής,  $Q$  το φορτίο τροχού,  $k$  η σταθερά ελαστικής έδρασης,  $\mu$  ο λόγος Poisson που για το σκυρόδεμα λαμβάνεται ίσο με 0.17 και το  $a$  και  $b$  δίνονται από τις εξισώσεις:

$$\alpha = \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot p}} \quad \text{και} \quad b = \sqrt{1.6 \cdot \alpha^2 + h^2} - 0.675 \text{ για } \alpha < 1.724 \text{ h ενώ} \quad (4)$$

$$b = a \text{ για } \alpha > 1.724$$

Οι παραπάνω εξισώσεις δείχνουν παραστατικά τις επιρροές των δύο σημαντικότερων παραμέτρων που είναι:

- το φορτίο τροχού  $Q$  που μπαίνει γραμμικά στον υπολογισμό των καμπτικών εφελκυστικών τάσεων
- το πάχος  $h$  της πλάκας που μπαίνει στο τετράγωνο (η ροπή αδράνειας κυριαρχεί) στην εύρεση των καμπτικών τάσεων

Μία περαιτέρω αποτίμηση των υπολογιστικών τύπων οδηγεί στα κάτωθι συμπεράσματα:

- μία αλλαγή της σταθεράς ελαστικής έδρασης  $k$  (δείκτης εδάφους) κατά  $\pm 50\%$  δε μεταβάλλει τις καμπτικές εφελκυστικές τάσεις ουσιαστικά
- μία διακύμανση του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος κατά  $\pm 20\%$  έχει μικρή επιρροή στις καμπτικές τάσεις



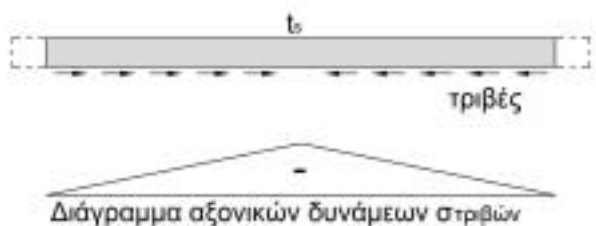
- η μέγιστη καμπτική εφελκυστική τάση για τις θέσεις του φορτίου στην περιφέρεια πλάκας και στη γωνία της πλάκας είναι ίση και περίπου διπλάσια αντίστοιχα σε σχέση με τις τάσεις σε περίπτωση που το φορτίο τοποθετείται στο μέσο πλάκας

Οι συνηθισμένες διατάξεις βλήτρων στους αρμούς στην οδοποιία (Σχήμα 2) μειώνουν τη μέγιστη καμπτική εφελκυστική τάση στην περίμετρο της πλάκας και στη γωνία της πλάκας περίπου 1.5 φορά της τιμής της θέσης του φορτίου στο μέσο της πλάκας. Ωστόσο προτείνεται από την DBV (2005), για τον υπολογισμό δαπέδων αιθουσών, όπου η συστολή ξήρανσης είναι μεγάλη, αυτή η περίπτωση να αγνοηθεί, γιατί διαφορετικά η πλάκα επί εδάφους θα ήταν υποδιαστασιολογημένη στην περιοχή ρηγματώσεων, οι οποίες δεν μπορούν να αποφευχθούν, ή στην περιοχή εκ των υστέρων κατασκευαστικών αλλαγών. Επίσης οι καμπτικές εφελκυστικές τάσεις που εμφανίζονται στις πλάκες επί εδάφους υπό τη δράση μοναχικών φορτίων εκτονώνονται σε μικρή απόσταση και οι συνηθισμένοι δίδυμοι και διπλοί άξονες σε σύγκριση με την εφαρμογή ενός μοναχικού φορτίου τροχού δεν προκαλούν καμία αξιόλογη αύξηση της μέγιστης καμπτικής εφελκυστικής τάσης στην πλάκα. Ισχύει το ίδιο ακριβώς για το μοναχικό φορτίο τροχού περονοφόρων που δίνεται στον πίνακα 1.

### 5.1.3 Διαστασιολόγηση έναντι θερμοϋγρομετρικών μεταβολών

#### Ομοιόμορφη μεταβολή της θερμοκρασίας

Οι τριβές της πλάκας με το έδαφος δημιουργούν στο κάτω πέλμα της θλιπτικές τάσεις όταν η θερμοκρασία αυξάνεται και εφελκυστικές όταν ελαττώνεται, Σχήμα 7. Μεγαλύτερη ευαισθησία εμφανίζουν οι πλάκες μεγάλου μήκους.



Σχήμα 7. Εντατική καταπόνηση πλάκας για ομοιόμορφη μεταβολή της θερμοκρασίας  $t_s$

Όσον αφορά την αντιμετώπιση των θερμοκρασιακών τάσεων μιας πλάκας σκυροδέματος, απαιτούνται για τις πλάκες οδοστρωμάτων και βιομηχανικών δαπέδων πάντοτε αρμοί. Το κόψιμό τους καλύτερο είναι να γίνεται όσο το δυνατόν νωρίτερα και αποδοτικότεροι είναι οι εφοδιασμένοι με πύρους αρμοί. Οι αρμοί είναι αναγκαίοι για την μείωση των καταναγκασμών λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας περιβάλλοντος  $t_s$ , ξήρανσης /διόγκωσης καθώς και αυτών λόγω της ανομοιόμορφης θέρμανσης /μείωσης της θερμοκρασίας. Μία πλάκα επί εδάφους, το οποίο εμποδίζει την παραμόρφωσή της και δεν περιλαμβάνει αρμούς, ρηγματώνεται αμέσως υπό μία μείωση της θερμοκρασίας κατά 20 K, όπως εύκολα προκύπτει:

$$\sigma_t = \alpha_t \cdot t_s \cdot E_c = 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 20 \cdot 30000 = 6 \text{ N/mm}^2 = 2f_{ctm}$$

Η αντοχή σε εφελκυσμό  $f_{ctm}$  του σκυροδέματος δεν επαρκεί, ώστε να περιορίσει την ρηγματώση. Αυτό ισχύει για τις περιβαλλοντολογικά εκτεθειμένες επιφάνειες εξαιτίας μακροχρόνιων εν μέρει θερμοκρασιακών διαφορών και για τους εσωτερικούς χώρους (αίθουσες) εξαιτίας του τελικού μεγέθους της συστολής ξήρανσης από 0.20‰ έως 0.40‰, κάτι που αντιστοιχεί σε μία ισοδύναμη επιπλέον μείωση της θερμοκρασίας κατά 20 K έως 40 K. Γι' αυτό στην κατασκευή οδών από σκυρόδεμα τοποθετούνται πάντα αρμοί σε απόσταση  $25h$ . Αυτό για ένα τυπικό πάχος των 260 mm απαιτεί μία απόσταση αρμών των 6.50 m. Συνήθως αυτή ανέρχεται σε 5.00 m. Υπό την προϋπόθεση, ότι κανένα φορτίο κυκλοφορίας δεν ασκείται, μπορεί να υπολογιστεί η υπάρχουσα ορθή τάση  $\sigma_t$  λόγω μείωσης της θερμοκρασίας ως εξής:

$$\max \sigma_t = 0.5 \cdot \gamma \cdot L \cdot \mu_R \leq \alpha_t \cdot t_s \cdot E_c \quad (5)$$

με  $\gamma$  το ειδικό βάρος ανά μέτρο μήκους του σκυροδέματος σε  $\text{MN/m}^2$ ,  $L$  το μήκος της πλάκας σε  $\text{m}$ ,  $\mu_R$  ο συντελεστής τριβής στον αρμό της πλάκας με το έδαφος, ο οποίος λαμβάνει τιμές 1.6 για την αρχική μετακίνηση (πάνω στο υπέδαφος), 0.8 για επαναλαμβανόμενη μετακίνηση, 0.8 για διπλή μεμβράνη (αρχική μετακίνηση), 0.4 για επιφανειακές λείες εδράσεις (αρχική μετακίνηση). Για μία φορτιζόμενη μέσω του ίδιου βάρους πλάκα επί εδάφους με 6.50 m απόσταση αρμών προκύπτει για την αρχική μετακίνηση:

$$\max \sigma_t = 0.5 \cdot 24 \cdot 10^{-3} \cdot 6.50 \cdot 1.6 = 0.12 \text{ N/mm}^2$$

Όπως προέκυψε η επιρροή δεν είναι κρίσιμη για τη διαστασιολόγηση.

Με την παραδοχή ότι η επιρροή της εξαιτίας των τριβών με το έδαφος είναι δυνατόν να αγνοηθεί, το μέγεθος των ανοιγμάτων των αρμών μπορεί να προσδιοριστεί με βάση τη γενική σχέση:

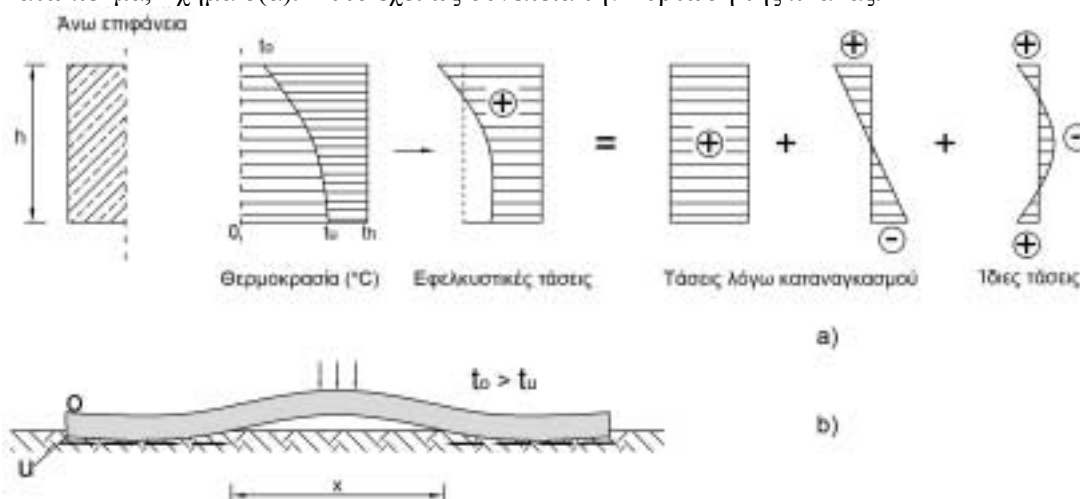
$$\Delta l = \alpha_t \cdot t_s \cdot L \quad (6)$$

Για μία πλάκα από σκυρόδεμα επί εδάφους και με μία απόσταση αρμών των 6.50 m προκύπτει για μία μείωση της θερμοκρασίας κατά 30 K:

$$\Delta l = 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 30 \cdot 6500 = 2.0 \text{ mm}$$

### Ανομοιόμορφη μεταβολή της θερμοκρασίας

Η αύξηση της θερμοκρασίας του άνω πέλματος συνοδεύεται από βραδύτητα να φθάσει αυτή στο κάτω πέλμα, Σχήμα 8(α). Αυτό έχει ως συνέπεια την κύρτωση της πλάκας.



Σχήμα 8. (α) Κατανομή θερμοκρασιών στο πάχος της πλάκας και (β) κύρτωση πλάκας

Για τον υπολογισμό των τάσεων κύρτωσης σε πλάκες επί εδάφους λαμβάνεται υπόψη η θερμοκρασιακή βαθμίδα  $\Delta t$ . Στην άνω επιφάνεια της πλάκας λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχει μία μέγιστη θερμοκρασιακή βαθμίδα των  $\Delta t = 0.09 \text{ K/mm}$ . Αυτή η θέρμανση από πάνω προκαλεί μία αυξημένη κύρτωση της πλάκας στο μέσο του ανοίγματος. Σ' αυτήν την αυξημένη κύρτωση δρα αντίθετα το ίδιο βάρος και ενεργοποιείται μία ροπή κάμψης, η οποία στην κάτω πλευρά της πλάκας οδηγεί σε καμπτικές εφελκυστικές τάσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται τάσεις κύρτωσης. Όταν η πλάκα που διαστασιολογείται είναι θεωρητικά απείρου μήκους εμφανίζει την εικόνα παραμόρφωσης μίας αμφίπακτης ή τετράπακτης φορτισμένης πλάκας, Σχήμα 8(β). Στην περίπτωση αυτή στο μέσο του κάτω πέλματος στο υπερυψωμένο τμήμα της πλάκας προκαλούνται εφελκυστικές τάσεις κατά Westergaard ίσες προς:

$$\sigma_w = \frac{1}{1 - \mu} \cdot \Delta t \cdot \frac{h}{2} \cdot \alpha_t \cdot E_c \quad (7)$$

όπου  $\mu$  ο συντελεστής Poisson = 0.17,  $\Delta t$  η θερμοκρασιακή βαθμίδα σε K/mm, η οποία λαμβάνει τιμές για ηλιακή ακτινοβολία 0.09 K/mm και για καταιγίδα 0.04 K/mm και  $h$  το πάχος πλάκας σε mm.

Για μία ανεμπόδιστα διαστελλόμενη πλάκα πάχους 26 cm προκύπτει λόγω ηλιακής ακτινοβολίας τάση:

$$\sigma_w = \frac{1}{1-0.17} \cdot 0.09 \cdot \frac{260}{2} \cdot 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 30000 = 4.2 \text{ N/mm}^2$$

Ωστόσο η πραγματική κατανομή των θερμοκρασιών στο εσωτερικό της πλάκας εν συνδυασμό με την πρόβλεψη κατάλληλων αρμών, μειώνει σημαντικά το μήκος κύρτωσης  $x$  και επιτρέπει έναν υποδιπλασιασμό της παραπάνω τάσης. Οι Eisenmann/Leykauf (1987) δίνουν γι' αυτό την εξίσωση της μειωμένης τάσης κύρτωσης  $red\sigma_w$ :

$$red\sigma_w = \left( \frac{L-400}{0.9 \cdot l_{crit}} \right)^2 \cdot \sigma_w \quad (8)$$

όπου  $L$  το μήκος της πλάκας σε [mm] και  $l_{crit}$  το  $33h$  για μικρού πλάτους πλάκες και το  $37h$  για τετραγωνικές πλάκες με την προϋπόθεση ότι δεν ασκείται καμία αξονική δύναμη στην πλάκα. Για την 26 cm πάχους, τετραγωνική πλάκα σκυροδέματος με μία απόσταση αρμών των 6.50 m προκύπτει:

$$red\sigma_w = \left( \frac{6500-400}{0.9 \cdot 37 \cdot 260} \right)^2 \cdot 4.2 = 2.1 \text{ N/mm}^2$$

και έτσι προκύπτει μία δραστική μείωση στο 50% της τάσης κύρτωσης σε μία πλάκα χωρίς αρμούς. Αυτή η καμπτική εφελκυστική τάση εμφανίζεται στο μέσο του ανοίγματος στην κάτω ίνα της πλάκας και πρέπει να επαλληλιστεί με την τάση που προκύπτει στη θέση του φορτίου στο μέσο της πλάκας.

Σε μία μείωση της θερμοκρασίας της άνω πλευράς της πλάκας (νυχτερινές ώρες και καταιγίδα το καλοκαίρι) εμφανίζονται μέγιστες θερμοκρασιακές βαθμίδες των 0.04 K/mm, κάτι που για την 26 cm πάχους, χωρίς αρμούς πλάκα οδηγεί σε μέγιστες καμπτικές εφελκυστικές τάσεις των περίπου 1.9 N/mm<sup>2</sup> στην άνω πλευρά της πλάκας. Για τις συνήθεις πλάκες με 6.50 m απόσταση των αρμών υπάρχουν σε αυτή την περίπτωση τάσεις κύρτωσης της τάξης των 1.5 N/mm<sup>2</sup> στην άνω ίνα της πλάκας και στο μέσο του ανοίγματος, οι οποίες στην επαλληλία με τη θέση του φορτίου στη γωνία της πλάκας δεν οδηγούν σε καμία αξιόλογη αύξηση των καμπτικών εφελκυστικών τάσεων.

### Σταθερά ελαστικής έδρασης

Για τη διαστασιολόγηση του φέροντος στρώματος έχει πραγματοποιηθεί εκτεταμένη έρευνα, αναλυτική και πειραματική, στο Πολυτεχνείο του Μονάχου. Εκτός των οδηγιών για το πάχος των μεμονωμένων στρωμάτων ερευνήθηκαν ακόμα μέτρα παραμόρφωσης  $E_{v2}$ , τα οποία πρέπει να τηρούνται πάνω για το υπέδαφος με ελάχιστο  $E_{v2}$  45 N/mm<sup>2</sup>. Το μέτρο ελαστικότητας  $E_{v2}$  βρίσκεται με δοκιμές θλίψης πλακόμορφων δοκιμίων σύμφωνα με το DIN 18134 (2001). Με τη δοκιμή θλιβόμενων πλακών καθορίζεται η φέρουσα συμπεριφορά του δαπέδου μέχρι ενός ανάλογου βάθους του διπλάσιου της διαμέτρου της πλάκας-δοκιμίου (300 mm και 762 mm). Για να ληφθούν αξιόπιστα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τα φέροντα στρώματα μία πλάκα φόρτισης με διάμετρο 300 mm και για το υπέδαφος με διάμετρο 762 mm.

Για μία πλάκα από σκυρόδεμα επί εδάφους που βρίσκεται άμεσα πάνω σε (ομογενές) υπέδαφος (σύστημα δύο στρωμάτων) μπορεί η σταθερά  $k$  για την εύρεση των ασκούμενων πιέσεων λόγω των μοναχικών φορτίων σύμφωνα με τους Eisenmann/Leykauf (1987) να βρεθεί ως εξής:

$$k = \frac{E_u}{0.83 \cdot h \cdot \sqrt[3]{E_c / E_u}} \quad (9)$$

με τη σταθερά εδάφους  $k$  σε  $\text{N/mm}^3$  και  $E_u$  το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους σε  $\text{N/mm}^2$  (π.χ. μέτρο δυσκαμψίας  $E_s$  ή μέτρο παραμόρφωσης  $E_{V2}$ ). Για μία πλάκα πάχους 220 mm επί εδάφους από σκυρόδεμα, η οποία βρίσκεται άμεσα πάνω στο υπέδαφος ( $E_{V2} = 45 \text{ N/mm}^2$ ), προκύπτει:

$$k = 45 / (0.83 \cdot 220 \cdot \sqrt[3]{30000 / 45}) = 0.03 \text{ N/mm}^3 \text{ (30000 kN/mm}^3\text{)}$$

Μία απόδοση του τύπου για ένα σύστημα τριών στρωμάτων που αποτελείται από την πλάκα σκυροδέματος, το φέρον στρώμα και το υπέδαφος δεν είναι αναγκαία καθόσον το φέρον στρώμα επηρεάζει ελάχιστα την τιμή της σταθεράς  $k$  και συνεπώς η εφαρμογή του ανωτέρω τύπου, χωρίς τον συνυπολογισμό του φέροντος στρώματος, είναι αποδεκτή. Ωστόσο κρίνεται ότι το φέρον στρώμα είναι απαραίτητο και «εκ των ων ουκ άνευ» για την ανθεκτικότητα της κατασκευής.

Η παραπάνω σχέση που αναφέρθηκε για τον υπολογισμό της σταθεράς  $k$  ισχύει μόνο για μοναχικά φορτία, όπου πρέπει να ληφθεί υπόψη η κατανομή του φορτίου στο υπέδαφος. Για επιφανειακά φορτία, όπως φορτία στηρίξεων σε ένα σύστημα περονοφόρου οχήματος, πρέπει το  $k$  να καθορίζεται βάσει ενός υπολογισμού της καθίζησης με το συνηθισμένο τρόπο ως «επιφανειακό ελατήριο»,  $k = q/s$  [ $\text{N/mm}^2$ ], με  $q$  το επιφανειακό φορτίο σε  $\text{N/mm}^2$  και  $s$  η καθίζηση που προκύπτει εξαιτίας αυτού σε mm.

Λόγω της μειωμένης επιφανειακά εξάπλωσης του φορτίου στο υπέδαφος υπολογίζονται εδώ μικρότερα μέτρα ελαστικής σταθεράς ( $0.03 \text{ N/mm}^3$  έως  $0.005 \text{ N/mm}^3$ ). Για να εφαρμοστεί η αρχή της επαλληλίας για την περίπτωση φόρτισης – άνω έδρασης, πρέπει προς την πλευρά της ασφάλειας να καθορίζεται για την εύρεση των τάσεων εξαιτίας μοναχικών φορτίων η μικρότερη σταθερά  $k$ . Στον υπολογισμό ελαστικών πλακών πολλών στρώσεων και ιδιαίτερα για τον υπολογισμό της επιρροής της θερμοκρασιακής βαθμίδας, το υπολογιστικά εμφανιζόμενο «εφελευκόμενο ελατήριο» σε ανασηκωμένες περιοχές της πλάκας θεωρείται ανενεργό, και η αρχή της επαλληλίας προφανώς δεν ισχύει (μη γραμμικός υπολογισμός).

Δύσκαμπτα θερμομονωτικά υλικά κάτω από πλάκες επί εδάφους από σκυρόδεμα (π.χ. αφρώδες γυαλί ή σκληρές πλάκες αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης) δεν έχουν καμία αξιόλογη επιρροή στην εύρεση της σταθεράς εδάφους  $k$ , διότι αυτά είναι ουσιαστικά δύσκαμπτότερα απ' ό,τι τα συνηθισμένα εδάφη, Σχήμα 3.

## 5.2 Πλάκες βιομηχανικών δαπέδων

Οι πλάκες επί εδάφους των βιομηχανικών δαπέδων δεν είναι κατά κανόνα τόσο δυσμενώς εκτεθειμένες σε θερμοκρασιακές δράσεις και φορτία όπως είναι στην οδοποιία, πρέπει όμως συχνά να φέρουν υψηλά μοναχικά φορτία καθώς και επιφανειακά φορτία, π.χ. κοντέινερ, παλέτες, χιτά υλικά.

Ο Lohmeyer (1996) καθόρισε σε συνάρτηση με το μέγιστο μοναχικό φορτίο  $Q$  διάφορες απαιτήσεις όσον αφορά το μέτρο παραμόρφωσης  $E_{V2}$  του υπεδάφους και του φέροντος στρώματος καθώς και ελάχιστες τιμές του πάχους του φέροντος στρώματος. Για την λειτουργικότητα και την ανθεκτικότητα είναι απαραίτητο, να τηρούνται αυτοί οι κατασκευαστικοί κανόνες. Πρέπει να πραγματοποιείται μία υποδιαίρεση σε κατά προσέγγιση τετραγωνικές πλάκες, π.χ. μέσω αποκοπής των αρμών, σε απόσταση των  $25h$ , μέγιστο 7.50 m (σε μη στεγασμένους χώρους) και σε απόσταση των  $33h$ , μέγιστο 8.50 m (σε κλειστές αίθουσες). Λόγω του κινδύνου της πρόωρης αστοχίας των γωνιών στους αρμούς κατά την κυκλοφορία περονοφόρων οχημάτων προτείνεται από την DBV (2005), οι κατασκευές με αρμούς να εφαρμόζονται μόνο για λειτουργία περονοφόρου οχήματος έως την κατηγορία φόρτισης G3 (επιτρεπόμενο συνολικό φορτίο 69 kN) σύμφωνα με το DIN 1055-3 (2002). Επισημαίνεται ότι οι αρμοί συστολής χρειάζονται συντήρηση και ότι οι θραύσεις των γωνιών τους δεν μπορούν κατά κανόνα να αποφευχθούν.

Όσον αφορά τη διαστασιολόγηση των πλακών επί εδάφους προτείνει για την οριακή κατάσταση της αστοχίας η DBV (2005) έναν έλεγχο μέσω ορθών τάσεων, όπου επιβάλλεται να θεωρηθεί αντί της αξονικής εφελκυστικής αντοχής  $f_{ctk}$  η, για το σκυρόδεμα, μεγαλύτερη καμπτική εφελκυστική αντοχή  $f_{ctk,fl}$ . Επειδή η εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος που δίνεται στο νέο DIN 1045 (2001) δεν είναι η καμπτική αλλά η αξονική αντοχή, προτείνεται από την DBV (2005) ένας

προσεγγιστικός τύπος για τον υπολογισμό της χαρακτηριστικής καμπτικής εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος  $f_{ctk,\beta}$ , ο οποίος λαμβάνει υπόψη και την ευνοϊκή για τις λεπτές πλάκες επιρροή του πάχους της πλάκας:

$$f_{ctk,\beta} = k_h \cdot f_{ctk,0.05}$$

με το συντελεστή πάχους  $k_h = 1.6 - h \text{ [m]} \geq 1.0$ ,  $h$  το πάχος της πλάκας σε m και  $f_{ctk,0.05}$  την αξονική χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.

Μία αποτίμηση της χαρακτηριστικής καμπτικής εφελκυστικής αντοχής για διάφορα πάχη πλακών δίνει ο Πίνακας 2.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικές καμπτικές αντοχές  $f_{ctk,\beta}$  σε  $\text{N/mm}^2$  για συνήθη πάχη πλακών

Πάχος Πλάκας $h \text{ [m]}$	$k_h$	$f_{ctk,\beta}$ για κατηγορία αντοχής σκυροδέματος*		
		C25/30	C30/37	C35/45
0.16	1.44	2.59	2.88	3.17
0.18	1.42	2.56	2.84	3.12
0.20	1.40	2.52	2.80	3.08
0.22	1.38	2.48	2.76	3.04
0.24	1.36	2.45	2.72	2.99
0.26	1.34	2.41	2.68	2.95
0.28	1.32	2.38	2.64	2.90
0.30	1.30	2.34	2.60	2.86

\*  $f_{ctk,\beta} = k_h f_{ctk,0.05}$  με  $k_h = 1.6 - h \text{ [m]} \geq 1.0$

Ο επιμέρους συντελεστής ασφάλειας  $\gamma_{ct}$  για άοπλο σκυρόδεμα σε εφελκυσμό λαμβάνεται σύμφωνα με την DBV (2005) σε συνάρτηση με την επιδιωκόμενη επιτελεστικότητα (A, B ή C) αναλόγως της οικονομικής σημασίας που καθορίζεται από τον κύριο του έργου μεταξύ 1.00 και 1.67.

Πίνακας 3. Βαθμοί επιτελεστικότητας και συντελεστές ασφαλείας για άοπλο σκυρόδεμα

Επιτελεστικότητα	Περιγραφή	$\gamma_{ct}$
A	συνήθης οικονομική σπουδαιότητα και καμία απαίτηση αναφορικά με το εύρος ρηγμάτωσης	1.0
B	υψηλή οικονομική σημασία και συνήθεις απαιτήσεις αναφορικά με το εύρος ρηγμάτωσης	1.33
C	υψηλότερη οικονομική σημασία και αυξημένες απαιτήσεις ως προς το εύρος ρηγμάτωσης	1.67

### 5.3 Παράδειγμα διαστασιολόγησης

Δεδομένα: Βαθμός επιτελεστικότητας: B, Περονοφόρα οχήματα G3, Σταθερά  $k = 0.06 \text{ N/mm}^2$ ,  $h = 300 \text{ mm}$  και ποιότητα σκυροδέματος C25/30.

Επιλέγεται απόσταση αρμών  $9.00 \text{ m} < 37 \cdot h = 11.10 \text{ m}$ , οπότε μπορούν να αγνοηθούν οι καταναγκασμοί λόγω συστολής ξήρανσης. Από τον πίνακα 1 λαμβάνεται για περονοφόρα οχήματα κατηγορίας G3:  $Q = 44 \text{ kN}$  με επιφάνεια επαφής τροχού  $200 \times 200$

$$a = \sqrt{\frac{1.5 \cdot 44000}{\pi \cdot 1.5 \cdot 44000 / 200^2}} = 113 \text{ mm} < 1.724 \cdot 300 = 448 \text{ mm} \text{ άρα}$$

$$b = \sqrt{1.6 \cdot 113^2 + 300^2} - 0.675 \cdot 300 = 130 \text{ mm}$$

$$\sigma_i = \frac{0.275 \cdot 1.5 \cdot 44 \cdot 10^3}{300^2} (1 + 0.17) \cdot \left[ \log \left( \frac{30000 \cdot 300^3}{0.06 \cdot 130^4} \right) - 0.436 \right] = 1.00 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_r = \frac{0.529 \cdot 1.5 \cdot 44 \cdot 10^3}{300^2} (1 + 0.54 \cdot 0.17) \cdot \left[ \log \left( \frac{30000 \cdot 300^3}{0.06 \cdot 130^4} \right) + \log \left( \frac{130}{1 - 0.17^2} \right) - 2.48 \right] = 1.83 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_e = \frac{3 \cdot 1.5 \cdot 44 \cdot 10^2}{300^2} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{12(1 - 0.17^2)k}{30000 \cdot 300^3} \right) \cdot (113\sqrt{2})^{1/2} \right] = 1.97 \text{ N/mm}^2$$

Από τους πίνακες 2 και 3 προκύπτει για C25/30  $f_{ctk,fl} = 2.34$  και  $\gamma_{ct} = 1.33$ , οπότε

$$\sigma_{επ} = 2.34 / 1.33 = 1.76 \text{ N/mm}^2$$

Εάν η ίδια πλάκα κατασκευαστεί σε περιοχές μεγάλων θυρών ή σε αίθουσα εκτεταμένων υάλινων προσόψεων στην δυτική, μεσημβρινή ή ανατολική πλευρά του κτιρίου, πρέπει η απόσταση των αρμών να μειωθεί στα  $25 \cdot h = 6.50 \text{ m}$ .

Λαμβάνοντας  $\Delta t = 0.04 \text{ K/mm}$  προκύπτει στο μέσο της πλάκας:

$$\sigma_w = \frac{1}{1 - 0.17} \cdot 0.04 \cdot \frac{300}{2} \cdot 1.0 \cdot 10^{-5} \cdot 30000 = 2.17 \text{ N/mm}^2 \text{ από την κύρτωση}$$

$$red\sigma_w = \left( \frac{6500 - 400}{0.9 \cdot 37 \cdot 300} \right)^2 \cdot 2.17 = 0.81 \text{ N/mm}^2, \text{ επαλληλία φορτίων και κύρτωσης}$$

$$\sigma_i + red\sigma_w = 1.00 + 0.81 = 1.80 \text{ N/mm}^2 \approx 1.76 \text{ N/mm}^2.$$

Εάν η πλάκα ευρίσκονταν σε μη στεγασμένο χώρο, θα έπρεπε η απόσταση των αρμών να μειωθεί στα  $5.00 \text{ m}$ , οπότε στο μέσο θα προέκυπτε:

$$red\sigma_w = \left( \frac{5000 - 400}{0.9 \cdot 37 \cdot 300} \right)^2 \cdot 2.17 = 0.46 \text{ N/mm}^2 \text{ από την κύρτωση}$$

$$\sigma_i + red\sigma_w = 1.00 + 0.46 = 1.46 \text{ N/mm}^2 < 1.76 \text{ N/mm}^2.$$

Σημειωτέον ότι σε πλάκες μη στεγασμένων χώρων η προτίμηση σκυροδέματος υψηλότερης αντοχής αποδεικνύεται οικονομικότερη, καθόσον μέσω της υψηλότερης εφελκυστικής αντοχής που οδηγεί σε μικρότερο πάχος, υπερκαλύπτεται η διαφορά κόστους αγοράς του υλικού.

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι πλάκες επί εδάφους αποτελούν περίπτωση πολύ απαιτητικών φορέων και ως εκ τούτου για το σχεδιασμό τους πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- (1) αξιοπιστία του υποκείμενου εδάφους
- (2) υψηλός βαθμός συμπίκνωσης της βάσης (φέροντος στρώματος)
- (3) καλή επιπεδότητα βάσης και εδάφους
- (4) επιμελής κατασκευή των υπόλοιπων στρωμάτων της διατομής
- (5) στην περίπτωση μη στεγασμένων πλακών αποτελεσματική στράγγιση της βάσης
- (6) ακριβής τοποθέτηση των βλήτρων στους αρμούς
- (7) ελάχιστη ποιότητα σκυροδέματος C25/30 και σχολαστική τήρηση των σχετικών άρθρων του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος και άλλων Προδιαγραφών και ιδίως των αφορώντων στη σκυροδέτηση υπό υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες
- (8) επιμελής συμπίκνωση και σχολαστική συντήρηση του σκυροδέματος
- (9) «μαστάρωμα» και λείανση της άνω επιφάνειας του σκυροδέματος
- (10) πρόβλεψη μιας σκληρυντικής στρώσης ως τελικής άνω επιφάνειας της πλάκας σκυροδέματος με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες
- (11) έγκαιρη αποκοπή των αρμών εν' όση το σκυρόδεμα είναι νεαρό
- (12) αποφυγή πρόωρης φόρτισης των πλακών με όριο τις δύο εβδομάδες από την κατασκευή για την πλήρη φόρτιση
- (13) αποφυγή χρήσης αλατιού για τον υποβιβασμό του σημείου πήξης (ξεπάγωμα) του νερού τους δύο πρώτους μήνες μετά την κατασκευή. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατόν, επιβάλλεται η εφαρμογή υδροφοβικής σφραγιστικής επάλειψης

(14) στην περίπτωση των μη στεγασμένων πλακών επιβάλλεται να τοποθετείται σύμφωνα με το ZTV Fug-StB 01 πάντα ένα ελαστικό στεγανωτικό υλικό αρμού, το οποίο βεβαίως απαιτεί επιμελημένη εφαρμογή και οπωσδήποτε συντήρηση, (Σχήμα 9). Ατέλειες εφαρμογής θα πρέπει κατά τη διάρκεια της χρήσης να βελτιωθούν, διότι η υγρασία και διάφορες ακαθαρσίες θα μπορούν να διεισδύσουν και ο αρμός συν τω χρόνω να σφραγιστεί.

(15) σε κλειστές αίθουσες χωρίς μεγάλες θερμοκρασιακές καταπονήσεις μπορούν οι αρμοί επίσης να σφραγιστούν ελαστικά. Σε περίπτωση που το κλείσιμο μπορεί να γίνει με μία χρονική υστέρηση, υπό την προϋπόθεση της απαγόρευσης της κίνησης των περονοφόρων, τότε είναι συμφέρουσα για την προστασία των αρμών η χρήση μίας σκληρότερης περισσότερο ανθεκτικής πλήρωσης, ειδικά στις διαδρομές των οχημάτων. Στην περίπτωση αυτή δεν πρέπει να γίνεται καμία λοξοτόμηση των χειλών της ρωγμής του αρμού (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Επισφράγισμα αρμών σύμφωνα με την ZTV Fug-StB 01

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Deutscher Beton – und Bautechnik Verein DBV: Merkblatt Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen, in Vorbereitung, geplante Veröffentlichung 2005.

DIN 1045 (2001): Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Bemessung und Ausführung, Berlin: Beuth Verlag

DIN 1055-3 (2002): Einwirkungen auf Tragwerke: Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten, Berlin: Beuth Verlag

DIN 1055-7 (2002): Einwirkungen auf Tragwerke: Teil 7: Temperatureinwirkungen, Berlin: Beuth Verlag

DIN 1072 (1985): Straßen- und Wegbrücken – Lastannahmen, Berlin, Beuth Verlag

DIN 18134 (2001): Plattendruckversuch, Berlin: Beuth Verlag

Eisenmann, J. και Leykauf (1987), G.: Bau von Verkehrsflächen, Ernst&Sohn στο Beton Kalender

Eisenmann, J. (1979): Betonfahrbahnen, Handbuch für Beton-, Stahlbeton- und Spannbeton, Ernst&Sohn

Lohmeyer, G (1996).: Betonböden im Industriebau: Hallen- und Freiflächen, Düsseldorf; Beton-Verlag

Stenzel, G. (2005): Beton-Bodenplatten für Hallen- und Freiflächen, Beton- und Stahlbetonbau 100, S. 277-288

Μπαϊρακτάρης, Δ. (1993). «Βιομηχανικά Δάπεδα», Επιστ. Διήμερο Τ.Ε.Ε. για τα Βιομηχανικά Κτίρια, Αθήνα

Τέγος, Ι.(1998). «Ειδικές Κατασκευές Σκυροδέματος», Θεσσαλονίκη

Χατζηστεργίου, Γ. και Συν. (1994-1995). «ΣυνΕργον», Τεχνολογικά και Οικονομικά Συστήματα Κατασκευών, Αθήνα