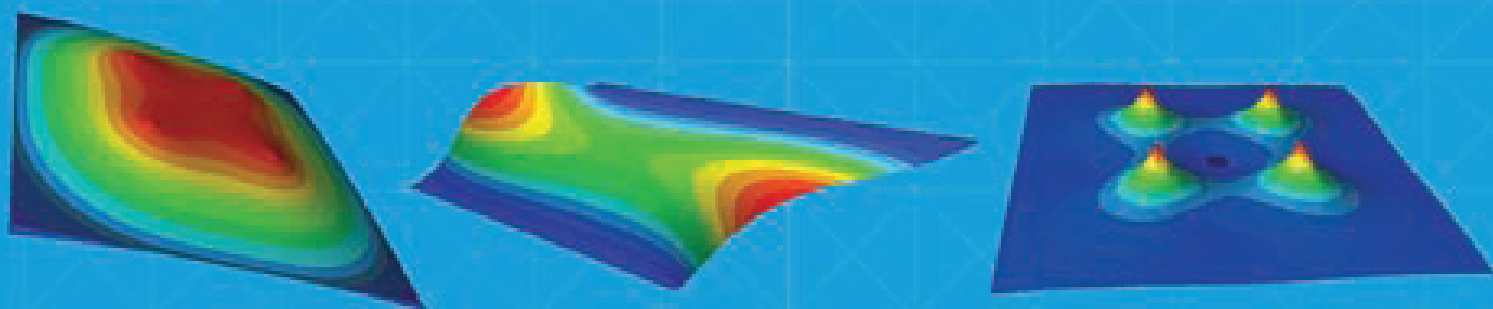


# fepla

Πρόγραμμα υπολογισμού  
επίπεδων φορέων με το  
πεπερασμένο στοιχείο TRIC

**ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΧΡΗΣΗΣ**



**LH** ΛΟΓΙΣΜΙΚΗ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ



# **Fepia**

*Πρόγραμμα υπολογισμού επίπεδων  
φορέων με το πεπερασμένο  
στοιχείο TRIC*

*Εγχειρίδιο χρήσης*



Αθήνα, Ιούλιος 2021

Version 2.0.2

LH Λογισμική

Στουρνάρη 23 – Αθήνα TK 106 82

Τηλέφωνα: (210) 3816151, 3837260, 3813781, 3836657 (fax)

[www.lhlogismiki.gr](http://www.lhlogismiki.gr), [support@lhlogismiki.gr](mailto:support@lhlogismiki.gr)

## Περιεχόμενα

|          |                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Συνοπτική περιγραφή του FePla.....</b>          | <b>5</b>  |
| 1.1      | Εγκατάσταση του προγράμματος .....                 | 5         |
| 1.2      | Τι είναι το FePla.....                             | 6         |
| 1.3      | Το περιβάλλον εργασίας του FePla .....             | 7         |
| 1.4      | Οντότητες & παράμετροι .....                       | 8         |
| 1.5      | Βήματα εργασίας .....                              | 14        |
| 1.6      | Ορισμοί - συμβάσεις.....                           | 17        |
| <b>2</b> | <b>Εισαγωγικά παραδείγματα .....</b>               | <b>22</b> |
| 2.1      | Σκοπός .....                                       | 22        |
| 2.2      | Πλάκα κοιτόστρωσης.....                            | 22        |
| 2.3      | Καμπύλος πρόβολος ανωδομής .....                   | 35        |
| 2.4      | Μυκητοειδής πλάκα ανωδομής με ενισχύσεις.....      | 43        |
| 2.5      | Παράδειγμα επαλήθευσης: Λοξή πλάκα Leonhardt ..... | 48        |
| <b>3</b> | <b>Γενική παρουσίαση του FePla.....</b>            | <b>52</b> |
| 3.1      | Το περιβάλλον εργασίας του FePla .....             | 52        |
| 3.2      | Κεντρικό Μενυ.....                                 | 53        |
| 3.3      | Χρήση του mouse.....                               | 58        |
| 3.4      | Χρήση του πληκτρολογίου .....                      | 59        |
| 3.5      | Κοινές παράμετροι .....                            | 60        |
| 3.6      | Κάβναβος.....                                      | 61        |
| 3.7      | Κόμβος .....                                       | 63        |
| 3.8      | Γραμμή .....                                       | 69        |
| 3.9      | Επιφάνεια .....                                    | 74        |
| 3.10     | Υποστύλωμα .....                                   | 82        |
| 3.11     | Ενίσχυση .....                                     | 87        |
| 3.12     | Η επίλυση .....                                    | 90        |
| 3.13     | Εμφάνιση αποτελεσμάτων .....                       | 95        |
|          | 3.13.1 Αποτελέσματα πλακών .....                   | 99        |
|          | 3.13.2 Οπλισμός.....                               | 104       |
|          | 3.13.3 Περιβάλλουσες.....                          | 105       |
|          | 3.13.4 Ρυθμίσεις.....                              | 106       |

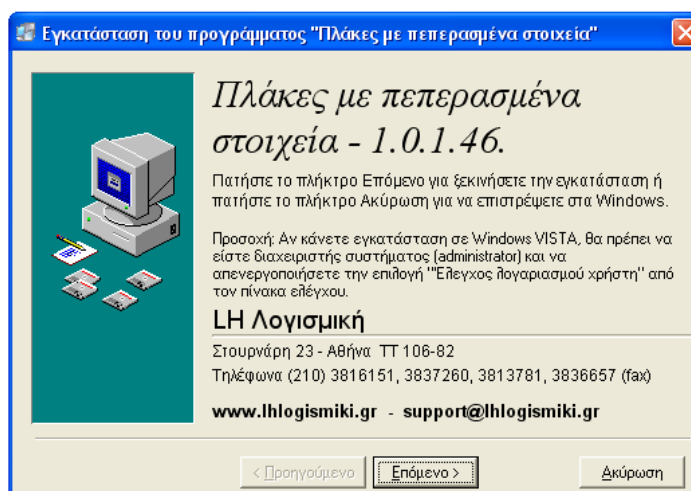
|          |                                       |            |
|----------|---------------------------------------|------------|
| <b>4</b> | <b>Όπλιση πλακών .....</b>            | <b>109</b> |
| 4.1      | Διαστασιολόγηση σε κάμψη .....        | 109        |
| 4.1.1    | Γενικά .....                          | 109        |
| 4.1.2    | Μοντέλο υπολογισμού Th. Baumann ..... | 109        |
| 4.1.3    | Μοντέλο υπολογισμού Wood-Armer .....  | 117        |
| 4.1.4    | Λοξό πλέγμα οπλισμών .....            | 118        |
| 4.1      | Διάτμηση.....                         | 118        |
| 4.2.1    | Διατμητική ένταση.....                | 118        |
| 4.2.2    | Έλεγχος διάτμησης.....                | 120        |
| 4.3      | Έλεγχος λειτουργικότητας .....        | 123        |
| 4.3.1    | Έλεγχος σε βέλος κάμψης .....         | 123        |
| 4.2      | Βιβλιογραφία .....                    | 124        |
| 4.2.1    | Ελληνική.....                         | 124        |
| 4.2.2    | Αγγλική .....                         | 124        |

# 1

## Συνοπτική περιγραφή του FePla

### 1.1 Εγκατάσταση του προγράμματος

Η εγκατάσταση του προγράμματος FePla σε περιβάλλον Windows είναι εύκολη. Ανοίξτε το CD εγκατάστασης και κάντε διπλό κλικ στο εκτελέσιμο αρχείο SetUp\_FePla.Exe. Αμέσως, θα φορτωθεί το παράθυρο διαλόγου που φαίνεται στην **Εικόνα 1.1**.



**Εικόνα 1.1:** Εγκατάσταση του FePla

Επιλέξτε «Επόμενο». Στο επόμενο παράθυρο διαλόγου, θα σας ζητηθεί να επιλέξετε τον φάκελο εγκατάστασης των αρχείων του προγράμματος. Συνιστάται να κρατήσετε την αρχική επιλογή «C:\Program Files\LH Software\FePla». Πιέστε

«Επόμενο» και συνεχίστε. Αμέσως θα αρχίσει η μεταφορά των αρχείων. Μόλις η εγκατάσταση τελειώσει, θα εμφανιστεί ένα μήνυμα που θα σας βεβαιώνει ότι η εγκατάσταση ολοκληρώθηκε με επιτυχία. Πιέστε «OK».

Προκειμένου να τρέξετε την εφαρμογή FePla, θα πρέπει να εισάγετε στην θύρα USB του υπολογιστή σας, το αντίστοιχο κλειδί ασφαλείας που σας έχει παραχωρηθεί από την LH Λογισμική.

## 1.2 Τι είναι το FePla

---

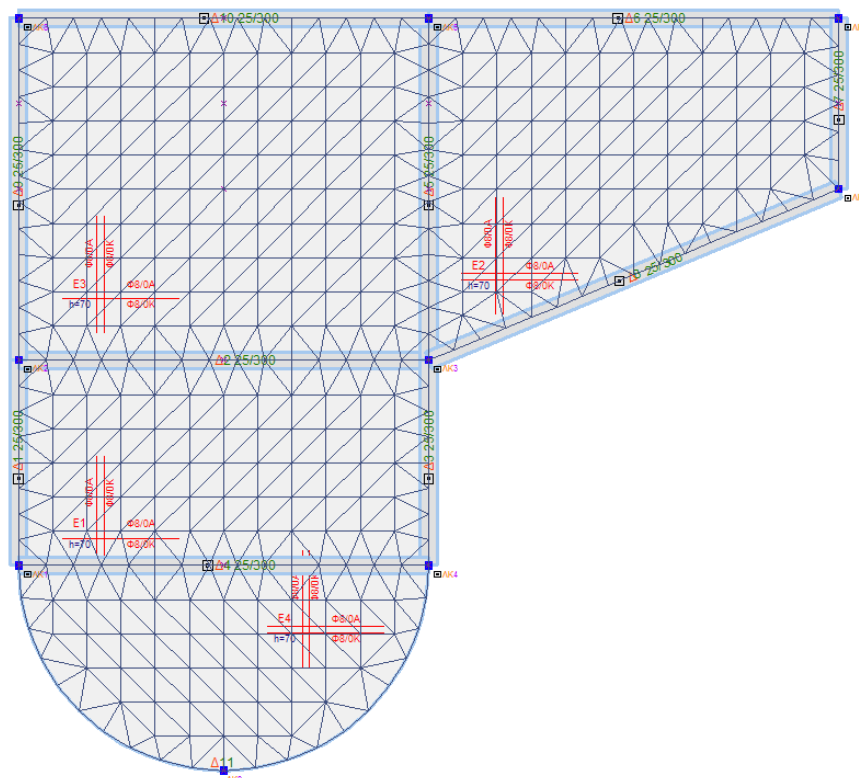
Το FePla είναι ένα λογισμικό το οποίο χρησιμοποιεί την αριθμητική μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων για την επίλυση **πλακών** σε συνδυασμό με στοιχεία **δοκών** (**Εικόνα 1.2**). Το πρόγραμμα διαθέτει δύο είδη στοιχείων: α) Το 3-κομβο τριγωνικό στοιχείο κελύφους **tric** και β) 2-κομβο στοιχείο **δοκού**. Στην παρούσα μορφή, το FePla χρησιμοποιείται για την επίλυση και διαστασιολόγηση **πλακών ανωδομής και κοιτόστρωσης**.

Το πρόγραμμα διαθέτει ένα πλήρες γραφικό περιβάλλον, φιλικό προς τον χρήστη, με το οποίο ο χρήστης μπορεί να ορίσει την γεωμετρία, τα υλικά, τις στηρίξεις και τις φορτίσεις της υπό μελέτη κατασκευής. Ως αποτέλεσμα, το πρόγραμμα υπολογίζει τις **μετατοπίσεις** (βυθίσεις, στροφές), τα **εντατικά μεγέθη** (καμπτικές ροπές, τάσεις κλπ) και τα **μεγέθη του οπλισμού** (απαιτούμενες επιφάνειες οπλισμού, ροπές σχεδιασμού κλπ). Τα αποτελέσματα μπορούν αποθηκευτούν είτε σε μορφή εικόνων είτε σε μορφή τεύχους.

Η αναπαράσταση της γεωμετρίας, του δικτύου των στοιχείων, καθώς και των αποτελεσμάτων γίνεται γραφικά τόσο σε δισδιάστατη (2D), όσο και σε τρισδιάστατη (3D) προβολή, δίνοντας έτσι στον χρήστη πλήρη εποπτεία του φυσικού προβλήματος.

Για την κατασκευή της γεωμετρίας υπάρχουν δύο δυνατότητες:

- i. Δημιουργία της γεωμετρίας εκ του μηδενός από τον χρήστη.
- ii. Εισαγωγή της γεωμετρίας από το λογισμικό FESPA. Στην περίπτωση αυτή, ο χρήστης μπορεί να εισάγει είτε την γενική κοιτόστρωση του κτιρίου είτε οποιονδήποτε όροφο της ανωδομής. Σε κάθε περίπτωση, κατά την εισαγωγή στο FePla, εισάγονται αυτόματα οι θέσεις ίχνους των υποστυλωμάτων καθώς και οι αντιδράσεις (για κάθε φόρτιση) από την επίλυση του χωρικού πλαισίου.



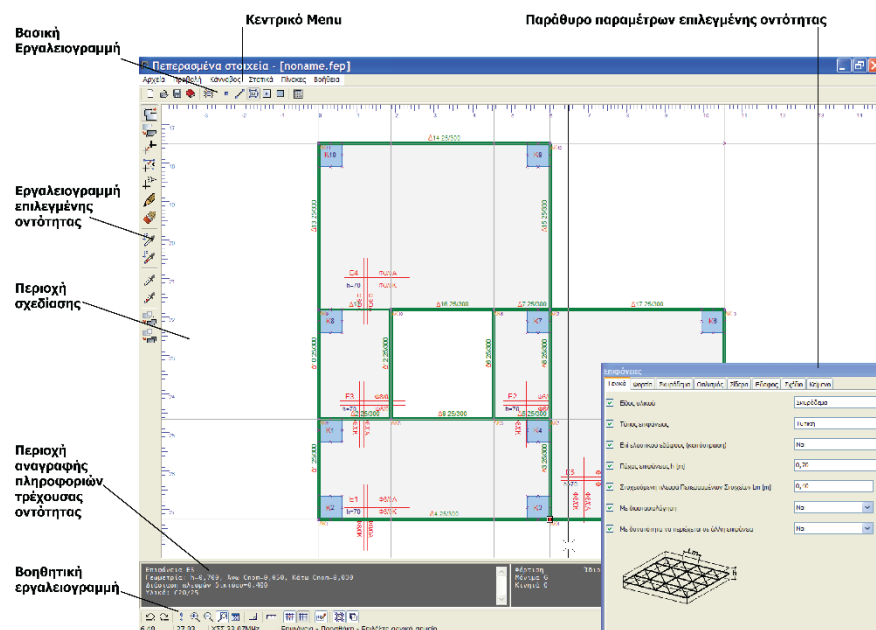
**Εικόνα 1.2:** Προσομοίωση πλάκας με τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία κελύφους και με στοιχεία δοκού

## 1.3 Το περιβάλλον εργασίας του FePla

Το περιβάλλον εργασίας του FePla (**Εικόνα 1.3**) αποτελείται από:

- την Περιοχή Σχεδίασης
- το Κεντρικό Menu

- την Βασική Εργαλειογραμμή
- την Εργαλειοθήκη επιλεγμένης οντότητας
- την Βοηθητική Εργαλειογραμμή



Εικόνα 1.3: Το περιβάλλον εργασίας του FePla

## 1.4 Οντότητες & παράμετροι

Σε γενικές γραμμές, η δημιουργία και επεξεργασία του μοντέλου βασίζεται στην λογική των **οντοτήτων**. Συνολικά υπάρχουν 7 είδη οντοτήτων: Ο **Κάναβος** και οι 6 Στατικές Οντότητες (**Κόμβος**, **Γραμμή**, **Επιφάνεια**, **Οπή**, **Ενίσχυση**, **Υποστύλωμα**). Κάθε οντότητα χαρακτηρίζεται από **παραμέτρους**. Οι παράμετροι αυτοί αφορούν στις μηχανικές ιδιότητες, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τον τρόπο στήριξης, τα επιβαλλόμενα φορτία κλπ. Οι παράμετροι κάθε οντότητας εισάγονται μέσα από την αντίστοιχη εργαλειοθήκη. Ο χρήστης προκειμένου να «χτίσει» το μοντέλο, δημιουργεί οντότητες (**Εικόνα 1.4**) στις οποίες δίνει τις κατάλληλες παραμέτρους. Η παρακάτω λίστα δίνει μια σύντομη περιγραφή των οντοτήτων:



## Κάνναβος

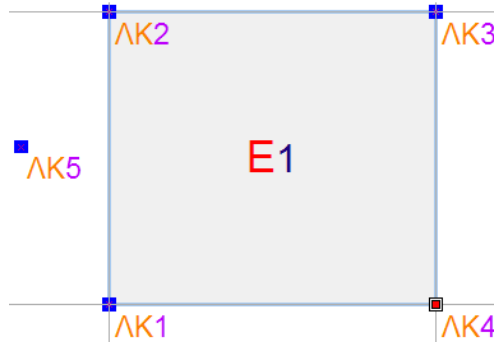
Ο κάνναβος είναι ένα σύνολο βοηθητικών γραμμών και σημείων οι οποίες χρησιμοποιούνται στην δημιουργία των Στατικών Οντοτήτων.



## Κόμβος

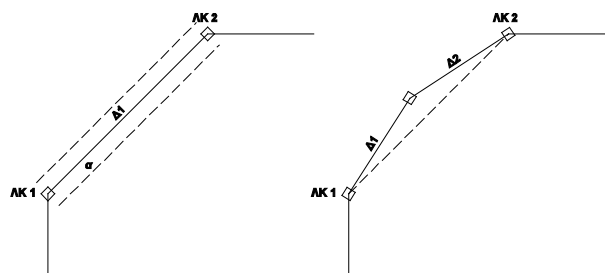
Σημειακή οντότητα που χρησιμοποιεί για την επιβολή στήριξης, συγκεντρωμένου φορτίου ή και για την πύκνωση του δικτύου των στοιχείων σε κάποια περιοχή. Ο κόμβος μπορεί να τοποθετηθεί στο περίγραμμα μιας επιφάνειας ή και στο εσωτερικό της. Ισχύουν οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- i. Κάθε κόμβος πρέπει **οπωσδήποτε** να ανήκει σε επιφάνεια, είτε σε γραμμή πάνω στο περίγραμμα της επιφάνειας είτε στο εσωτερικό της.  
**Απαγορεύεται** να υπάρχουν ελεύθεροι κόμβοι έξω από επιφάνειες οι οποίοι δεν ανήκουν σε καμία επιφάνεια (**Σχήμα 1.1**).



**Σχήμα 1.1:** Ο κόμβος ΛΚ5 βρίσκεται εσφαλμένα έξω από την επιφάνεια Ε1

- ii. Δεν είναι δυνατό να προστεθεί νέος κόμβος δίπλα σε ένα υπάρχοντα κόμβο εάν η μεταξύ τους απόσταση είναι μικρότερη από την παράμετρο «ελάχιστη απόσταση κόμβων». Η τιμή αυτή δίνεται από το παράθυρο παραμέτρων του κόμβου. Ο λόγος είναι ότι εάν δύο κόμβοι είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, τότε η γεννήτρια δικτύου θα δημιουργήσει πολύ μικρά πεπερασμένα στοιχεία στην περιοχή αυτή, τα οποία θα είναι δυσανάλογα μικρά σε σχέση με το υπόλοιπο δίκτυο. Επιπλέον, εάν οι εν λόγω κόμβοι ανήκουν σε διαφορετικές επιφάνειες, οι επιφάνειες αυτές δεν θα έχουν συνέχεια στο κοινό τους σύνορο.
- iii. Εάν ένας νέος κόμβος προστεθεί δίπλα σε κάποια υπάρχουσα γραμμή, και η απόστασή του από την γραμμή είναι μικρότερη από την τιμή της παραμέτρου «απόσταση ανίχνευσης από γραμμή», τότε ο κόμβος έλκει την γραμμή η οποία σπάει σε δύο τμήματα τα οποία ξεκινούν από τον κόμβο (Σχήμα 1.2). Εάν ο κόμβος είναι πολύ κοντά στην γραμμή, τότε η γεννήτρια δικτύου θα δημιουργήσει πολύ μικρά πεπερασμένα στοιχεία στην περιοχή αυτή, τα οποία θα είναι δυσανάλογα μικρά σε σχέση με το υπόλοιπο δίκτυο.



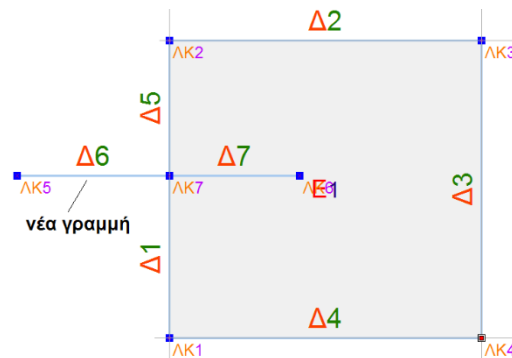
**Σχήμα 1.2:** Η «Απόσταση ανίχνευσης κόμβου από γραμμή» καθορίζει την ευαισθησία του προγράμματος στο να διασπά γραμμές από κόμβους που εισάγονται εκ των υστέρων



## Γραμμή

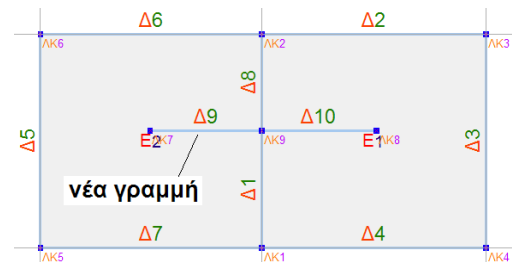
Γραμμική οντότητα που χρησιμεύει για τον γεωμετρικό ορισμό δοκού ή για την επιβολή κατανεμημένης στήριξης ή κατανεμημένου φορτίου. Η γραμμή μπορεί να αποτελεί μέρος του περιγράμματος μιας επιφάνειας ή να κατασκευαστεί στο εσωτερικό της. Ισχύουν οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- i. Εάν κατά την προσθήκη νέας γραμμής, η γραμμή **τέμνει** το περίγραμμα μιας επιφάνειας, τότε η γραμμή σπάει σε δύο τμήματα: Ένα τμήμα που βρίσκεται μέσα και ένα τμήμα έξω από την επιφάνεια (**Σχήμα 1.3**). Αντίστοιχα, η γραμμή που ορίζει το περίγραμμα της επιφάνειας, σπάει και αυτή σε δύο τμήματα. Στο σημείο τομής δημιουργείται νέος κόμβος. Η γραμμή και ο κόμβος που βρίσκονται έξω από την επιφάνεια πρέπει να διαγραφούν, διότι **απαγορεύεται** να υπάρχουν ελεύθερες γραμμές ή κόμβοι που δεν ανήκουν σε επιφάνεια.



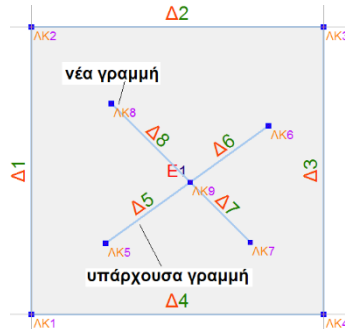
**Σχήμα 1.3:** Η νέα γραμμή τέμνει την επιφάνεια και για τον λόγο αυτό χωρίζεται σε δύο τμήματα Δ6 και Δ7. Η γραμμή Δ6 και ο κόμβος ΑΚ5, πρέπει να διαγραφούν από τον χρήστη.

- ii. Εάν κατά την προσθήκη νέας γραμμής, η γραμμή τέμνει το κοινό σύνορο δύο επιφανειών, τότε η γραμμή χωρίζεται σε δύο τμήματα. Αντίστοιχα η γραμμή που ορίζει το κοινό σύνορο των επιφανειών χωρίζεται και αυτή σε δύο τμήματα. Στο σημείο τομής δημιουργείται νέος κόμβος (**Σχήμα 1.4**).



**Σχήμα 1.4:** Η νέα γραμμή τέμνει τις δύο επιφάνειες και για τον λόγο αυτό χωρίζεται σε δύο νέα τμήματα Δ9 και Δ10.

- iii. Γενικά, σε κάθε περίπτωση κατά την τομή δύο γραμμών, η κάθε γραμμή διαιρείται αυτόματα σε δύο νέες γραμμές και στο σημείο τομής δημιουργείται κόμβος (Σχήμα 1.5).



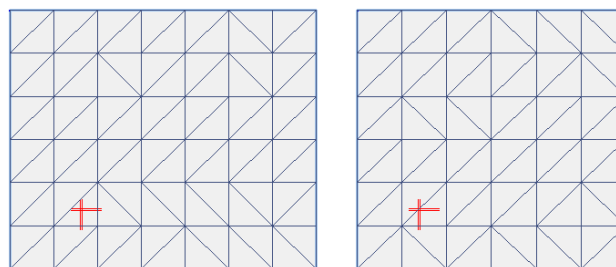
**Σχήμα 1.5:** Η τομή δύο γραμμών διαιρεί τις γραμμές και εισάγει κόμβο στο σημείο τομής



## Επιφάνεια

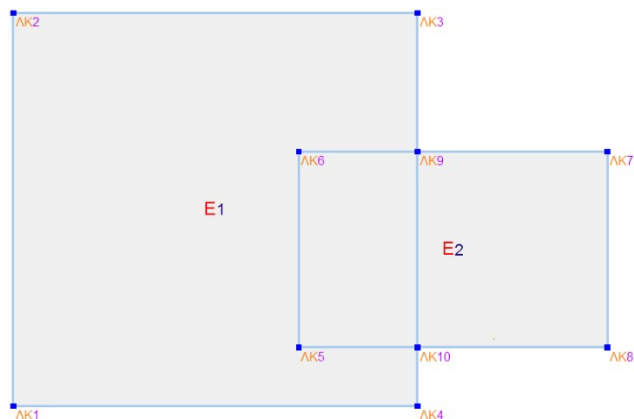
Επιφανειακή οντότητα που χρησιμεύει για τον ορισμό πλακών ανωδομής ή κοιτόστρωσης. Η επιφάνεια κατασκευάζεται με την επιλογή βοηθητικών σημείων του καννάβου. Οι παράμετροι της επιφάνειας αφορούν τον ορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος, το πάχος, την σταθερά εδάφους, τα φορτία, τις ιδιότητες του οπλισμού, την πυκνότητα του δικτύου των στοιχείων κλπ. Ισχύουν οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- Απαγορεύεται** να υπάρχουν δύο ή περισσότερες επιφάνειες οι οποίες δεν έχουν τουλάχιστον ένα κοινό κόμβο ή μια κοινή γραμμή περιγράμματος (Σχήμα 1.6) Στην περίπτωση αυτή το μητρώο ακαμψίας που προκύπτει είναι ιδιόμορφο και κατά την επίλυση τυπώνεται το ακόλουθο μήνυμα στο παράθυρο του FESPA.EXE: «Ο κόμβος i ενδέχεται να μη συνδέεται με μέλη».



**Σχήμα 1.6:** Ασύνδετες επιφάνειες. Απαγορεύεται.

- ii. Δύο επιφάνειες δεν επιτρέπεται να τέμνονται μεταξύ τους (**Σχήμα 1.7**). Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να χρησιμοποιείται η εντολή «ένωση / αφαίρεση επιφανειών» προκειμένου να διαχωριστούν οι επιφάνειες.



**Σχήμα 1.7:** Επιφάνειες που τέμνονται. Δεν επιτρέπεται.



### Οπή

Επιφανειακή οντότητα για την περιγραφή ανοιγμάτων στις επιφάνειες. Η κατασκευή μπορεί να γίνει αντίστοιχα με αυτή της επιφάνειας, αφού επιλεγεί πρώτα η επιφάνεια στην οποία ανήκει η οπή. Η οπή δεν επιτρέπεται να εξέρχεται της επιφάνειας.



### Ενίσχυση

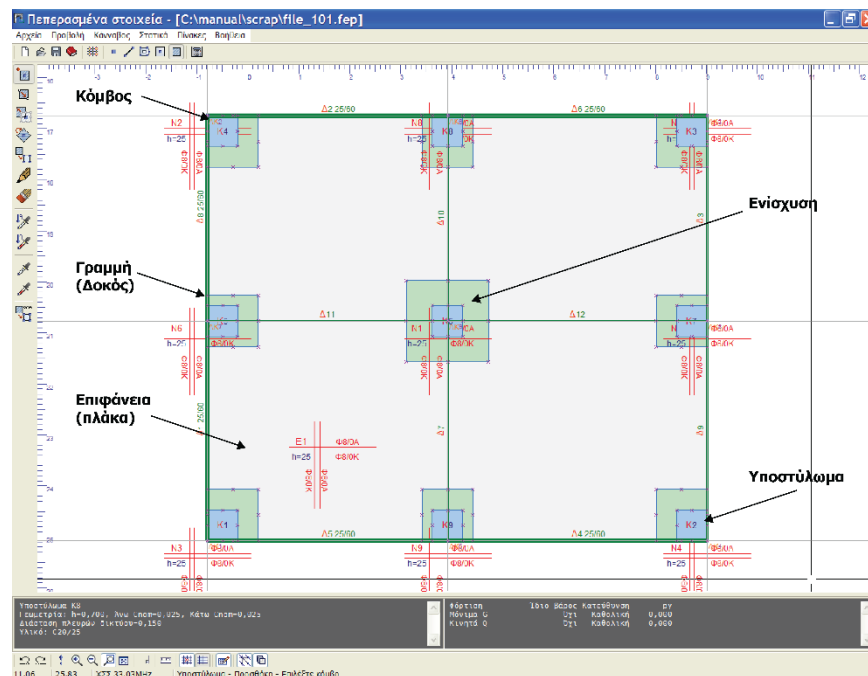
Επιφανειακή οντότητα ορθογωνικής κάτοψης με πάχος εν γένει διαφορετικό της επιφάνειας στην οποία ανήκει. Διαθέτει δικό της δίκτυο επιφανειακών στοιχείων.



### Υποστύλωμα

Κατακόρυφο μέλος, το ίχνος του οποίου φαίνεται επί της επιφάνειας. Φέρει φορτίο και συμμετέχει στην ακαμψία της επιφάνειας. Στην πραγματικότητα είναι και αυτό μια επιφανειακή οντότητα και διαθέτει δικό του δίκτυο επιφανειακών στοιχείων.

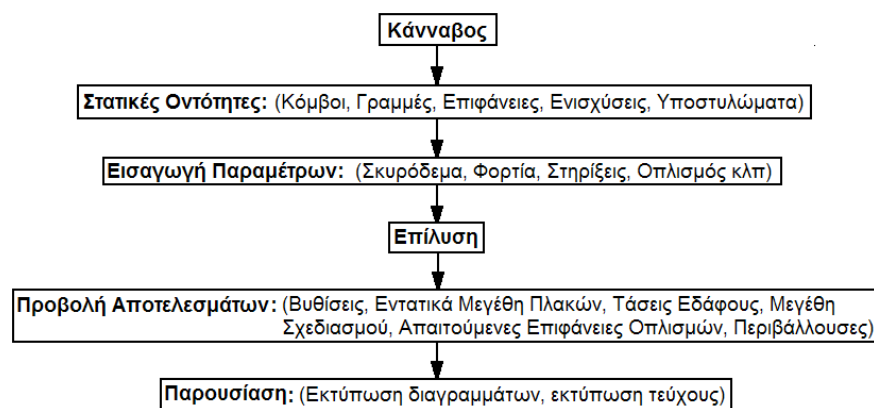
Η **Εικόνα 1.4** παρακάτω, δείχνει ένα μοντέλο πλάκας, το οποίο περιέχει ενισχύσεις και υποστυλώματα.



Εικόνα 1.4: Οντότητες στο FePla

## 1.5 Βήματα εργασίας

Όλη η διαδικασία δημιουργίας και επεξεργασίας του μοντέλου της κατασκευής, γίνεται μέσα από τα διαθέσιμα εργαλεία του FePla, σε μερικά απλά βήματα. Η πορεία εργασίας συνοψίζεται στην **Εικόνα 1.5**. Η αλληλουχία των βημάτων δεν είναι αυστηρά προκαθορισμένη, αλλά μπορεί να γίνεται αυθαίρετα σε κάποιο βαθμό.



**Εικόνα 1.5:** Πορεία εργασίας στο FePla



### Δημιουργία Καννάβου

Κάθε νέο μοντέλο ξεκινάει με την δημιουργία βοηθητικών γραμμών καννάβου. Ο χρήστης τοποθετεί γραμμές καννάβου σε όλα τα σημεία από τα οποία θέλει να περάσει επιφάνειες ή δοκούς.

Ο κάνναβος είναι ένα πλέγμα γραμμών με διακριτά και ενεργά τα σημεία τομής τους, που καλούνται **σημεία έλξης** του. Διευκολύνει την ακριβή εισαγωγή δεδομένων, διότι οι κορυφές των πλακών και τα άκρα των δοκών έλκονται κατά την κίνησή τους από τα σημεία έλξης.

### Δημιουργία στατικών οντοτήτων

Μόλις ο χρήστης ορίσει τον κάνναβο, ξεκινάει η δημιουργία των στατικών οντοτήτων. Αν και δεν υπάρχει κάποια δεδομένη αλληλουχία που πρέπει να ακολουθηθεί, καλό είναι η ανάπτυξη του μοντέλου να ξεκινάει με την δημιουργία

των Επιφανειών  ενώνοντας διαδοχικά σημεία έλξης του καννάβου. Η δημιουργία των Επιφανειών δίνει απευθείας οπτική αναπαράσταση του μοντέλου. Με την κατασκευή των Επιφανειών δημιουργούνται ταυτόχρονα δύο νέα είδη

οντοτήτων: οι Κόμβοι  στις κορυφές των Επιφανειών και οι Γραμμές  στα όρια των Επιφανειών. Κατόπιν ο χρήστης μπορεί να ορίσει και νέους Κόμβους ή Γραμμές επί των Επιφανειών προκειμένου π.χ. να πυκνώσει τοπικά το δίκτυο ή εισάγει μια τοπική φόρτιση ή στήριξη. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να

χρησιμοποιήσει σημεία έλξης ή Κόμβους, προκειμένου να ορίσει Ενισχύσεις 

ή Υποστυλώματα . Οι οντότητες αυτές στην ουσία είναι μακροστοιχεία επιφανειών με δικές τους παραμέτρους.

## Εισαγωγή Παραμέτρων

Κάθε οντότητα χαρακτηρίζεται από παραμέτρους (ιδιότητες υλικών, φορτίσεις, στηρίξεις κλπ). Προκειμένου ο χρήστης να δώσει σε κάποια οντότητα της παραμέτρους που επιθυμεί ενεργοποιεί το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων. Αφού εισάγει τις παραμέτρους, τις τιμές που επιθυμεί, τότε με την εντολή «Δώσε παραμέτρους»  μπορεί να αποδώσει τις παραμέτρους στην οντότητα. Αντίστοιχη εντολή είναι η «Πάρε παραμέτρους»  με την οποία μπορεί να «φορτώσει» τις παραμέτρους μιας υπάρχουσας οντότητας στο παράθυρο παραμέτρων. Αντίστοιχες εντολές είναι οι «Πάρε φορτία»  / «Δώσε φορτία» , με τις οποίες αποδίδονται μόνο τα φορτία σε μια οντότητα, χωρίς να επηρεάζονται οι υπόλοιπες παράμετροι της οντότητας.

## Επίλυση

Μόλις ολοκληρωθεί η δημιουργία του μοντέλου, είναι η ώρα της επίλυσης . Σε αυτή την φάση ο χρήστης, μπορεί να επιλέξει μια σειρά από παραμέτρους, όπως την πυκνότητα του δικτύου, την έκταση του τεύχους των αποτελεσμάτων, τον κανονισμό διαστασιολόγησης του οπλισμού κλπ.

## Προβολή Αποτελεσμάτων

Με το πλήκτρο , ανοίγει η φόρμα «Διαγράμματα», μέσα από την οποία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την προβολή των αποτελεσμάτων που επιθυμεί. Τα αποτελέσματα μπορούν προβληθούν είτε σε μορφή ισο-χρωματικών λωρίδων επί του πλέγματος των στοιχείων, είτε σε μορφή ισοβαρών γραμμών. Για κάθε φόρτιση διατίθενται τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Βυθίσεις
- Τάσεις εδάφους
- Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού
- Απαιτούμενες επιφάνειες οπλισμού
- Κύρια εντατικά μεγέθη
- Τάσεις

Επιπλέον, για όλες τις φορτίσεις παρέχονται οι περιβάλλουσες των ακόλουθων μεγεθών:

- Μέγιστα εντατικά μεγέθη διαστασιολόγησης
- Μέγιστα εντατικά μεγέθη οπλισμού

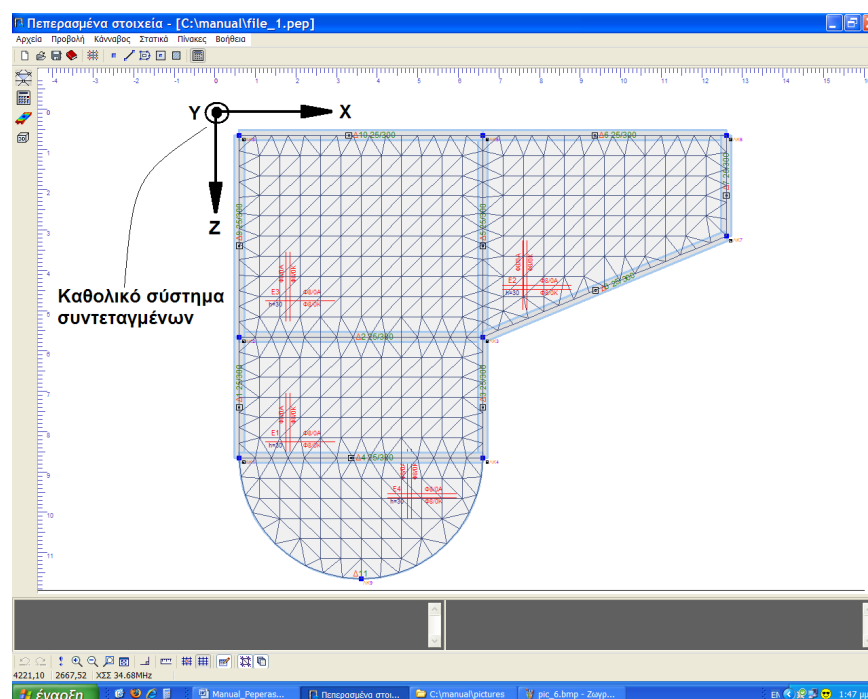
## Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Με το πλήκτρο  παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα να δημιουργήσει τεύχος αποτελεσμάτων. Στο τεύχος περιέχονται τα δεδομένα του προβλήματος, οι φορτίσεις, τα αποτελέσματα της επίλυσης, οι αντιδράσεις, καθώς και διαγράμματα των μεγεθών σχεδιασμού.

## 1.6 Ορισμοί - συμβάσεις

### Καθολικό σύστημα συντεταγμένων

Το επίπεδο εργασίας στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων είναι το X-Z (**Εικόνα 1.6**). Η αρχή του συστήματος συντεταγμένων στο βρίσκεται στην επάνω αριστερή γωνία της Περιοχής Σχεδίασης με τον θετικό ημιάξονα X να έχει κατεύθυνση από τα αριστερά προς τα δεξιά και τον θετικό ημιάξονα Z να έχει κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω. Ο θετικός ημιάξονας Y έχει φορά από το επίπεδο της Περιοχής Σχεδίασης προς τον χρήστη, ορίζοντας έτσι ένα δεξιόστροφο σύστημα συντεταγμένων.

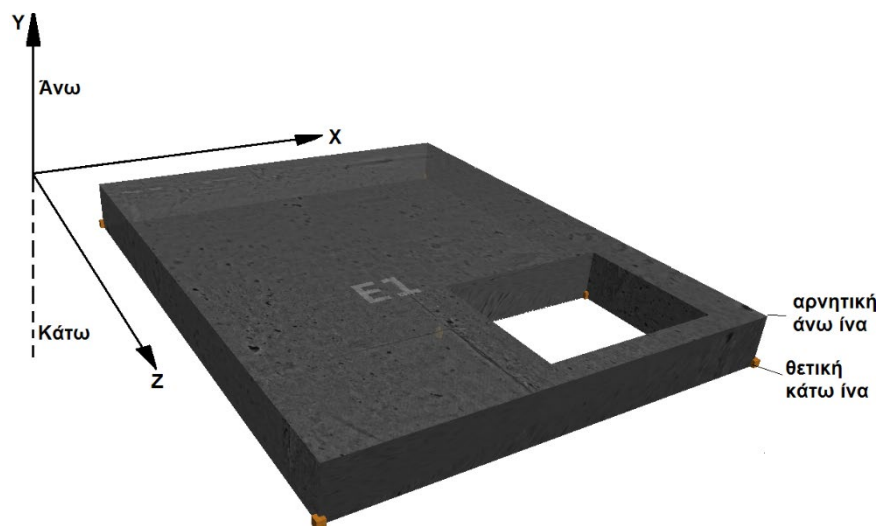


**Εικόνα 1.6:** Ορισμός καθολικού συστήματος συντεταγμένων

Κατά την δημιουργία του μοντέλου, ο χρήστης εισάγει συντεταγμένες X, Z στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων. Επιπλέον, τα αποτελέσματα που παράγει το πρόγραμμα αναφέρονται όλα στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων (μετατοπίσεις, εντατικά μεγέθη κλπ).

### Άνω ίνα / κάτω ίνα

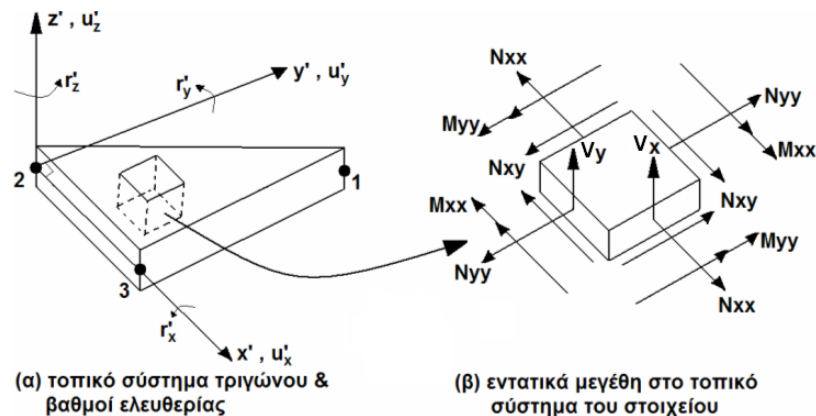
Αρκετά από τα αποτελέσματα που παράγει η επίλυση (εντατικά μεγέθη οπλισμού, επιφάνειες οπλισμού, τάσεις κλπ) αναφέρονται στην «Άνω» και στην «Κάτω» ίνα της πλάκας. Η «Άνω» πλευρά της πλάκας βρίσκεται προς την διεύθυνση του θετικού καθολικού ημιάξονα Y, ενώ η «Κάτω» πλευρά της πλάκας βρίσκεται προς την διεύθυνση του αρνητικού ημιάξονα Y (βλέπε **Σχήμα 1.8**).



**Σχήμα 1.8:** Ορισμός άνω και κάτω ίνας

### Το 3-κομβο τριγωνικό στοιχείο κελύφους TRIC

Το τριγωνικό στοιχείο TRIC (**Σχήμα 1.9**), το οποίο επινοήθηκε από τον καθ. Ι. Αργύρη, εμφανίζει λόγω σχήματος, αλλά και λόγω απουσίας περιορισμών ως προς τη μορφή του, αυξημένη ευελιξία στην προσομοίωση σύνθετων φορέων, όπως π.χ. τρούλοι, επιφανειακοί φορείς με οπές κλπ., ενώ ταυτόχρονα είναι απαλλαγμένο από τις αδυναμίες που χαρακτηρίζουν άλλα στοιχεία κελύφους. Στο πρόγραμμα FESPA ενσωματώνεται το βελτιωμένο πεπερασμένο στοιχείο **TRIC** το οποίο εξελίχθηκε από το Εργαστήριο Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών του Ε.Μ.Π. διαθέτει πρόσθετα χαρακτηριστικά, ενώ εξασφαλίζεται και η συνεργασία του με ραβδωτά στοιχεία δοκού-υποστυλώματος.



**Σχήμα 1.9:** Βαθμοί ελευθερίας στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων του *tric*

Το TRIC είναι ένα τριγωνικό επίπεδο στοιχείο κελύφους (**Shell**) τριών κόμβων, το οποίο χρησιμοποιείται για τη γραμμική και μη γραμμική ανάλυση λεπτών, αλλά και σχετικά παχέων ισότροπων και ανισότροπων κελυφών. Ανήκει στην κατηγορία στοιχείων που μορφώνονται βάσει της μεθόδου των φυσικών μορφών [ARGY79]. Η μέθοδος παρουσιάστηκε από τον καθηγητή Ι. Αργύρη στις αρχές του 1950 και η βασική της θεώρηση είναι ο διαχωρισμός των μορφών παραμόρφωσης (ή αλλιώς φυσικών μορφών) από τις κινήσεις στερεού σώματος του στοιχείου. Η θεωρία των φυσικών μορφών σε συνδυασμό με το τριγωνικό σχήμα του στοιχείου παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες στοιχείων κελύφους:

- Υποστηρίζει πλήρη θεώρηση της μεμβρανικής λειτουργίας [GISA03], [GISA05] τόσο στον υπολογισμό της αξιμούθιας δυσκαμψίας όσο και στον υπολογισμό του καθολικού μητρώου δυσκαμψίας.
- Είναι απαλλαγμένο από το φαινόμενο της παρασιτικής δυσκαμψίας (shear locking effect).
- Ικανοποιεί τον έλεγχο συρραφής (patch test), συγκλίνει δηλαδή, στην ακριβή λύση.

Δεν απαιτεί αριθμητική ολοκλήρωση καθώς οι υπολογισμοί γίνονται με αναλυτικές μεθόδους.

Το στοιχείο TRIC είναι ένα απλό αλλά εκλεπτυσμένο τρικομβικό, επίπεδο στοιχείο κελύφους με σταθερό πάχος καθ' όλη την έκτασή του [ARGY94,97,98,00] & [GISA03,05]. Ως ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του στοιχείου μπορούν να αναφερθούν τα εξής:

- Η διατύπωση της μεμβρανικής δυσκαμψίας του στοιχείου περικλείει τη στροφή γύρω από την κάθετο στο επίπεδο του στοιχείου. Τα παραδοσιακά κατά Mindlin στοιχεία κελύφους είτε έχουν 5 βαθμούς

ελευθερίας ανά κόμβο, είτε οι όροι που αναφέρονται στους εγκάρσιους στροφικούς βαθμούς ελευθερίας (drilling degrees of freedom) δεν αναφέρονται σε πραγματική δυσκαμψία αλλά συμμετέχουν για υπολογιστικούς λόγους [NAST05]. Στο στοιχείο TRIC έχουν υπολογιστεί κατά βέλτιστο τρόπο οι όροι αυτοί, βάσει της διατύπωσης της βιβλιογραφίας [FEL92,92b,03], [ALV92]. Κάθε κόμβος διαθέτει 6 βαθμούς ελευθερίας (3 μετατοπίσεις και 3 στρόφες) και μπορεί να παραλάβει με επιτυχία στρεπτικές ροπές σε άξονα κάθετο στο επίπεδο του.

- Κατά την παραγωγή του μητρώου δυσκαμψίας, του μητρώου μάζας και των γεωμετρικών μητρώων του στοιχείου υπεισέρχονται αποκλειστικά αναλυτικοί υπολογισμοί και δεν απαιτείται σε κανένα σημείο της διαδικασίας αριθμητική ολοκλήρωση.
- Το στοιχείο ενσωματώνει εγγενώς τη θεώρηση **εγκάρσιας διατμητικής παραμόρφωσης**. Για αυτόν τον λόγο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αναλύσεις τόσο λεπτών όσο και παχέων πλακών, δίνοντας ακριβή αποτελέσματα. Επίσης με τη θεώρηση αυτή αποκλείεται το φαινόμενο της παρασιτικής δυσκαμψίας.
- Τα δύο τελευταία χαρακτηριστικά δίνουν τη δυνατότητα, στο στοιχείο TRIC, πραγματοποίησης μεγάλης κλίμακας γραμμικών και μη γραμμικών αναλύσεων με οικονομικό τρόπο όσον αφορά τον υπολογιστικό χρόνο [KAPA99].
- Το στοιχείο μπορεί να ορισθεί επί ελαστικού εδάφους.

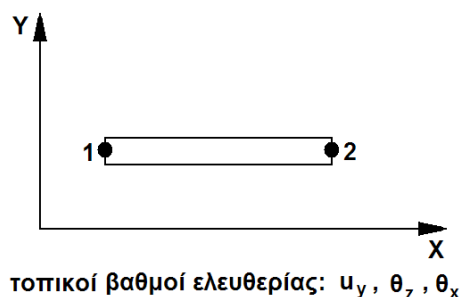
Τα εντατικά μεγέθη του στοιχείου υπολογίζονται στο κέντρο του τριγώνου και περιλαμβάνουν:

- ορθές και διατμητικές δυνάμεις  $N_{xx}$ ,  $N_{yy}$  και  $N_{xy}$ ,
- καμπτικές ροπές  $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$ ,
- ροπή συστροφής  $M_{xy}$ ,
- εγκάρσιες διατμητικές δυνάμεις,  $V_x$ ,  $V_y$
- τα ανάλογα μεγέθη σε οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς και η μετατροπή τους στο καθολικό σύστημα.

### Το 2-κομβο δισδιάστατο στοιχείο δοκού Grid

Για την προσομοίωση δοκών, το FePla χρησιμοποιεί το κλασικό, δισδιάστατο στοιχείο δοκού με δύο κόμβους (**Grid**) element (**Σχήμα 1.10**). Στην περίπτωση του FePla, το στοιχείο κάμπτεται κατά το ένα επίπεδο μόνο, επειδή οι πλάκες δημιουργούνται πάντοτε στο καθολικό επίπεδο X-Z. Το στοιχείο διαθέτει καμπτική και στρεπτική ακαμψία. Επιπλέον, το στοιχείο μπορεί να ορισθεί επί

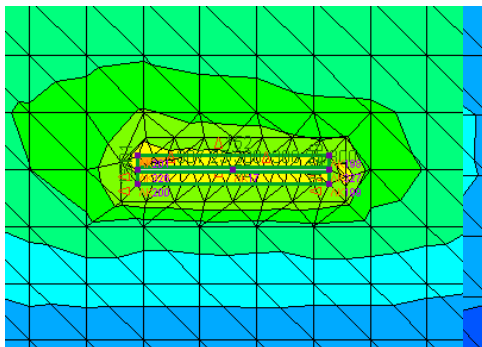
ελαστικού εδάφους. Στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων, το στοιχείο έχει 3 βαθμούς ελευθερίας ανά κόμβο (1 βύθιση και 2 στροφές). Περισσότερες λεπτομέρειες για το στοιχείο αυτό μπορούν να βρεθούν σε οποιοδήποτε εγχειρίδιο πεπερασμένων στοιχείων [TSAM94], [ZIEN00].



**Σχήμα 1.10:** Βαθμοί ελευθερίας στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων της δοκού

Η παρουσία του γραμμικού στοιχείου μαζί με τις επιφάνειες από τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία, χρησιμεύει:

- i. για τη ομοιόμορφη κατανομή των ροπών που προέρχονται από τα αντισεισμικά τοιχώματα ανωδομής, δηλαδή οι ροπές εκ των τοιχωμάτων διανέμονται μέσω της ακαμψίας των ραβδόμορφων μελών της εσχάρας σε όλο το μήκος της επιφάνειας,
- ii. για τη ρεαλιστική προσομοίωση της έδρασης πλακών ανωδομής επί δοκών (**Εικόνα 1.7**).



**Εικόνα 1.7:** Με και Χωρίς την παρουσία γραμμικού στοιχείου

## 2

# Εισαγωγικά παραδείγματα

## 2.1 Σκοπός

Τα παραδείγματα που επισυνάπτονται έχουν ως στόχο να δώσουν στον χρήστη την ευκαιρία να έχει μια πρώτη γρήγορη επαφή με το FePla και τις λειτουργίες του. Μέσα από τα παραδείγματα, αναπτύσσεται η πορεία εργασίας για την ανάπτυξη ενός μοντέλου που ξεκινάει από την δημιουργία της γεωμετρίας, την απόδοση παραμέτρων και καταλήγει στην επίλυση και στην προβολή των αποτελεσμάτων.

Ωστόσο, συνίσταται να έχετε διαβάσει πρώτα τουλάχιστον το Κεφάλαιο 1 ώστε να έχετε εξοικειωθεί με τις βασικές θεωρητικές και πρακτικές έννοιες που πραγματεύεται το FePla. Επιπλέον, καλό θα ήταν κατά την διάρκεια υλοποίησης των παραδειγμάτων να ανατρέχετε και στο Κεφάλαιο 3, το οποίο περιέχει λεπτομερή περιγραφή των οντοτήτων, των εντολών και των παραμέτρων.

Τέλος, αφού ολοκληρώσετε με επιτυχία τα παραδείγματα, «παίξτε» με το FePla, δημιουργώντας δικά σας μοντέλα και δοκιμάζοντας όλες τις δυνατές επιλογές και εντολές. Είναι ο πιο γρήγορος τρόπος μάθησης.

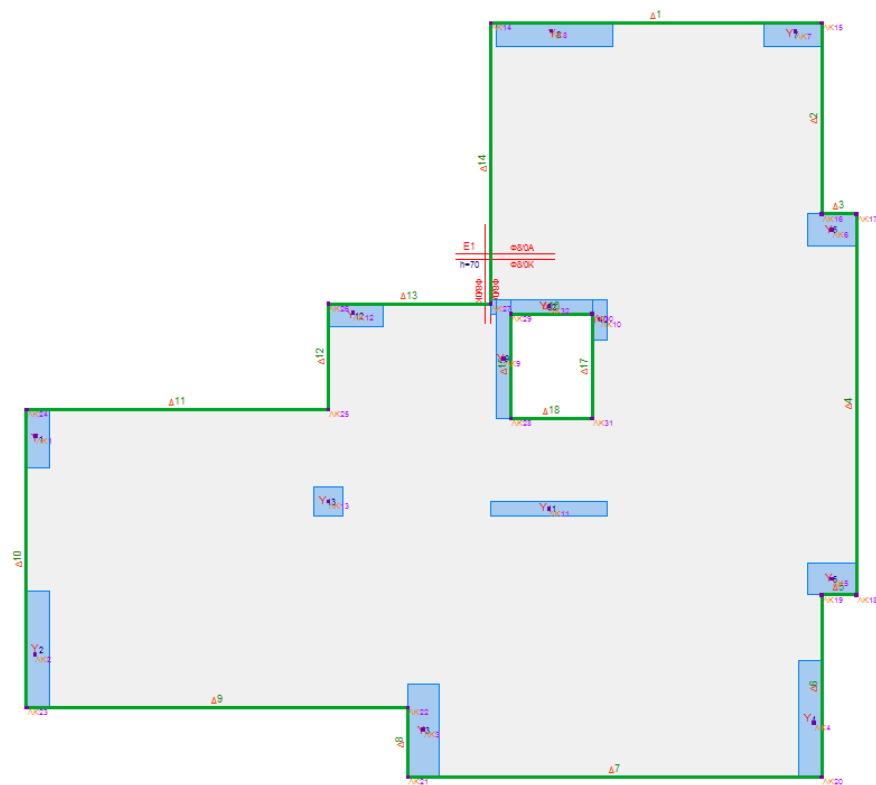
## 2.2 Πλάκα κοιτόστρωσης

Στις επόμενες σελίδες περιγράφεται αναλυτικά η πορεία εργασίας για την δημιουργία και επίλυση του μοντέλου μιας πλάκας κοιτόστρωσης. Σκοπός του παραδείγματος είναι να εισάγει τον χρήστη στις παρακάτω έννοιες:

- Εξοικείωση με το περιβάλλον του FePla
- Ανάγνωση των συντεταγμένων των υποστυλωμάτων της κοιτόστρωσης από το FESPA.
- Δημιουργία βοηθητικού καννάβου και προσθήκη επιφανειών.
- Δημιουργία οπής.

- Ανάγνωση των φορτίων των υποστυλωμάτων από το FESPA (για λεπτομέρειες βλέπε Παρ. 3.2)
- Μετατροπή υποστυλωμάτων σε επιφάνειες.
- Επίλυση και παραγωγή διαγραμμάτων οπλισμών.

Η πλάκα κοιτόστρωσης που θα μελετήσουμε δείχνεται στην **Εικόνα 2.1**. Θεωρείται ότι ο χρήστης έχει ήδη προβεί στην επίλυση του κτιρίου με το πρόγραμμα FESPA. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί ότι η επίλυση χωρικού πλαισίου του FESPA, θα πρέπει να έχει γίνει με τους κόμβους της θεμελίωσης πλήρως πακτωμένους. Επιπλέον, ο χρήστης θα πρέπει να διαθέτει είτε το FESPA version 5.0.0.34 είτε το MASTER version 5.0.0.34.



**Εικόνα 2.1:** *Πλάκα κοιτόστρωσης*

## Πορεία Εργασίας

### Βήμα 1:

Επίλυση χωρικού πλαισίου στο FESPA. Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι κατά την επίλυση χωρικού πλαισίου, όλοι οι κόμβοι της θεμελίωσης θα πρέπει να είναι πακτωμένοι, ώστε να υπολογιστούν οι αντιδράσεις στήριξης οι οποίες θα τροφοδοτήσουν το FEPLA. Για τον σκοπό αυτό δίνεται εδώ μια περιγραφή των απαιτούμενων βημάτων μέσα στο FESPA.

Πριν την επίλυση χωρικού πλαισίου επιλέξτε **Όροφος > Θεμελίωση**. Ύστερα, επιλέξτε **Πίνακες** (  ) > **Στηρίξεις > 501: Δυνατότητες Μετατόπισης**. Επιλέξτε όλους τους κόμβους της θεμελίωσης και επιβάλλετε «Πλήρη Πάκτωση» (βλέπε **Εικόνα 2.2**).

| 501 | Κόμβος | Τύπος          | Dx      | Dy      | Dz      | Φx      | Φy      | Φz      |
|-----|--------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1   | 1      | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 2   | 2      | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 3   | 3      | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 4   | 4      | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 5   | 5      | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 6   | 6      | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 7   | 7      | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 8   | 8      | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 9   | 9      | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 10  | 10     | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 11  | 11     | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 12  | 12     | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 13  | 13     | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |
| 14  | 32     | Πλήρης πάκτωση | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή | Σταθερή |

**Εικόνα 2.2:** Επιβολή πάκτωσης στους κόμβους θεμελίωσης

Σε περίπτωση που υπάρχουν στοιχεία θεμελίωσης, μπορείτε να τα διαγράψετε επιλέγοντας **Επεξεργασία** (  ) > **Επιλογή > + Χρώμα** (  ) και **Διαγραφή** (  ).

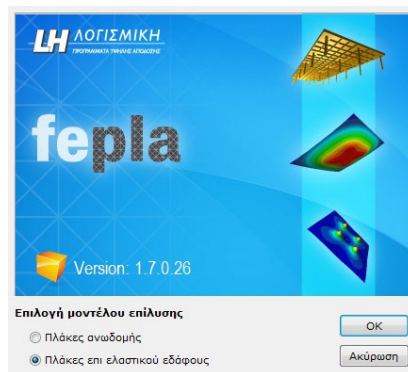
Επλύστε το κτίριο και κλείστε την εφαρμογή FESPA.

### Βήμα 2:

Ξεκινήστε την εφαρμογή FePla επιλέγοντας **Προγράμματα > LH-Software > Πλάκες με πεπερασμένα στοιχεία > Πλάκες με πεπερασμένα**.

### Βήμα 3:

Στο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται (βλέπε **Εικόνα 2.3**) επιλέξτε **Επιλογή μοντέλου επίλυσης > Πλάκες επί ελαστικού εδάφους > OK**.



**Εικόνα 2.3:** Επιλογή μοντέλου επίλυσης κατά την δημιουργία νέου αρχείου

#### Βήμα 4:

Φορτώστε το αρχείο \*.tek που λύσατε στο FESPA, επιλέγοντας **Αρχεία > Άνοιγμα > Αρχεία τύπου TEKTON**. Στο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται επιλέξτε **Όροφος > -1** (κοιτόστρωση) όπως δείχνεται στην **Εικόνα 2.4**.

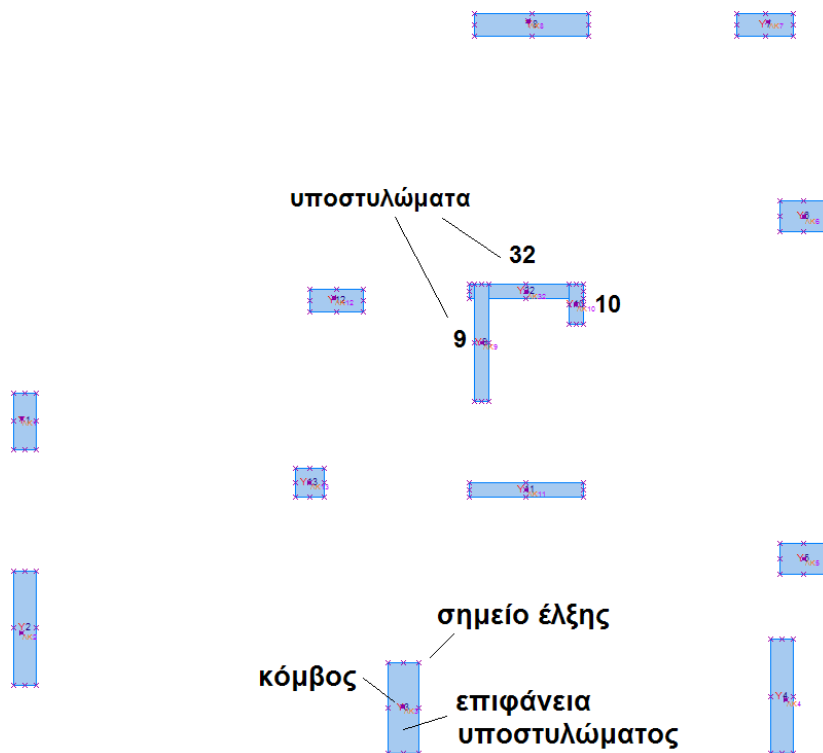
| Επιλογή ορόφου                                            |       |       |        |              |
|-----------------------------------------------------------|-------|-------|--------|--------------|
| <b>example_1.TEK</b>                                      |       |       |        |              |
| C:\manual\paradeigmata_v2\                                |       |       |        |              |
| Έκδοση αρχείου: 251, ημερομηνία αρχείου: Τρι 14 Ιουλ 2009 |       |       |        |              |
| Όροφος                                                    | Βάση  | Οροφή | Κόμβοι | Υποστυλώματα |
| -1                                                        | -4.00 | -2.90 | 14     | 0            |
| 0                                                         | -2.90 | 0.00  | 35     | 14           |
| 1                                                         | 0.00  | 3.00  | 42     | 14           |
| 2                                                         | 3.00  | 6.00  | 42     | 14           |
| 3                                                         | 6.00  | 9.00  | 43     | 14           |
| 4                                                         | 9.00  | 12.00 | 42     | 14           |
| 5                                                         | 12.00 | 15.00 | 42     | 14           |
| 6                                                         | 15.00 | 18.00 | 51     | 12           |

**Εικόνα 2.4:** Επιλογή ορόφου κατά την εισαγωγή αρχείου \*.tek (TEKTON)

Αυτή την στιγμή έχετε φορτώσει τους κόμβους της κοιτόστρωσης. Σε αυτή την φάση, η οθόνη σας θα πρέπει να δείχνει όπως στην **Εικόνα 2.5**.

Εάν παρατηρήσετε την οθόνη σας θα διαπιστώσετε ότι υπάρχουν τρία είδη οντοτήτων:

- Υπάρχουν κόμβοι, οι οποίοι ορίζουν το ίχνος του κόμβου του κάθε υποστυλώματος.
- Υπάρχουν επιφάνειες ορθογωνικής διατομής, οι οποίες ορίζουν την διατομή του κάθε υποστυλώματος. Οι επιφάνειες αυτές είναι οντότητες τύπου υποστυλώματος οι οποίες διακριτοποιούνται με πεπερασμένα στοιχεία κελύφους και συμμετέχουν στην ακαμψία της πλάκας, χωρίς όμως να οπλίζονται.
- Υπάρχουν σημεία έλξης, στις κορυφές και στο μέσο κάθε επιφανειακής οντότητας υποστυλώματος. Τα σημεία έλξης είναι βοηθητικά σημεία, με τα οποία θα ορίσουμε το περίγραμμα της πλάκας κοιτόστρωσης.



**Εικόνα 2.5:** Εισαγωγή υποστυλωμάτων από αρχείο \*.tek

#### Βήμα 5:

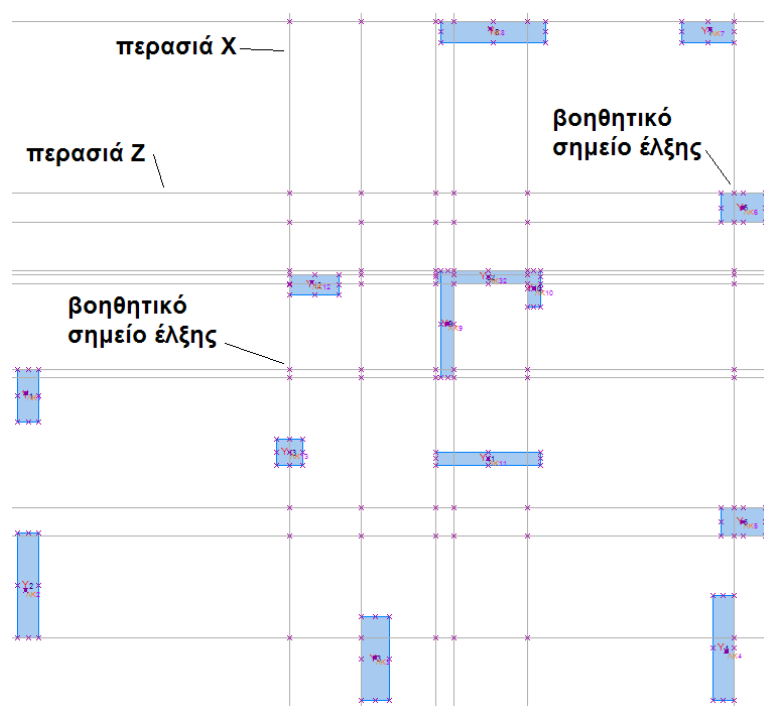
Το επόμενο βήμα είναι να ορίσουμε την επιφάνεια που αντιπροσωπεύει την πλάκα της κοιτόστρωσης. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να δημιουργήσουμε ένα

βοηθητικό καννάβο που θα αποτελείται από περασιές κατά X και Z, στα σημεία τομής των οποίων θα δημιουργηθούν σημεία έλξης.

Επιλέξτε **Κύριο Menu > Κάνναβος > Κάνναβος > Περαισία X** προκειμένου να δημιουργήσετε περασιές κατά X, όπως δείχνεται στην **Εικόνα 2.6**. Για να δημιουργήσετε τις περασιές Z που φαίνονται στην **Εικόνα 2.6**, επιλέξτε κατάλληλα σημεία έλξης από τα υπάρχοντα που βρίσκονται επί των επιφανειών των υποστυλωμάτων. Σε περίπτωση που δεν μπορείτε να διακρίνετε τα σημεία έλξης, περιστρέψτε μπροστά ή πίσω την μεσαία ρόδα του mouse, προκειμένου να κάνετε zoom in / zoom out στο μοντέλο. Επίσης, με τα βέλη του πληκτρολογίου μπορείτε να κάνετε pan.

Επαναλάβετε την ίδια διαδικασία για να δημιουργήσετε περασιές κατά Z,

πιέζοντας το εικονίδιο  (περασιά κατά Z).



**Εικόνα 2.6:** Δημιουργία βοηθητικού καννάβου

#### Βήμα 6:

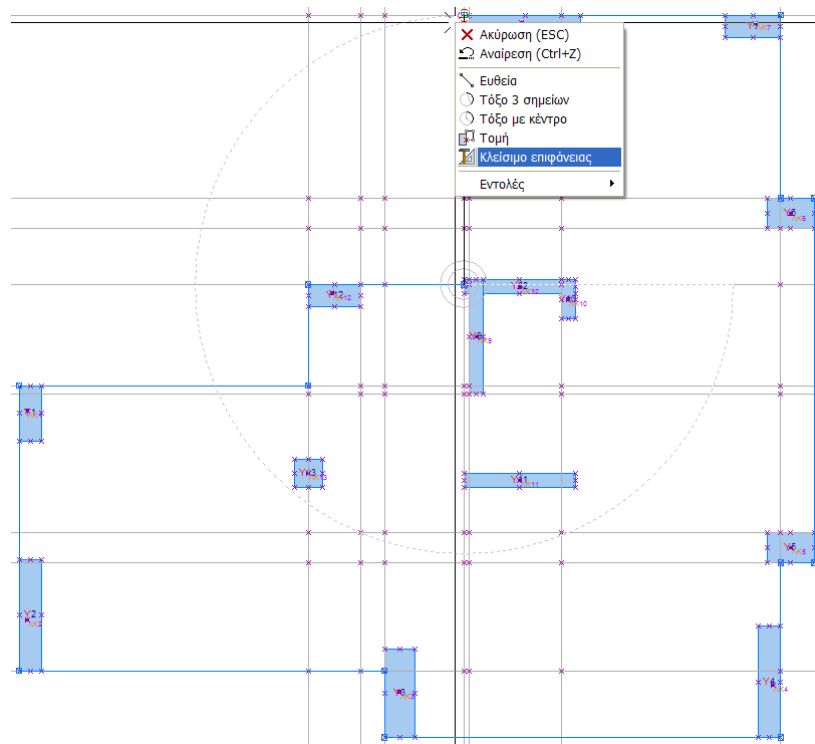
Διαθέτοντας πλέον όλα τα σημεία έλξης που ορίζουν το περίγραμμα της πλάκας, είστε σε θέση να ορίσετε την πλάκα της κοιτόστρωσης. Η πλάκα θα οριστεί ως οντότητα «Επιφάνεια», οπότε επιλέξτε **Κύριο Menu > Στατικά > Επιφάνειες >**

**Προσθήκη** ή πιέστε το εικονίδιο  που βρίσκεται στην κύρια εργαλειογραμμή, στο επάνω τμήμα της οθόνης. Στα αριστερά της οθόνης έχει ενεργοποιηθεί η εργαλειοθήκη εντολών των Επιφανειών.

Επιλέξτε το εικονίδιο  για να κάνετε προσθήκη νέας επιφάνειας. Ξεκινώντας από οποιοδήποτε σημείο έλξης του περιγράμματος επιλέξτε διαδοχικά όλα τα απαιτούμενα σημεία έλξης του περιγράμματος καταλήγοντας πάλι στο αρχικό περίγραμμα, προκειμένου να κλείσει η επιφάνεια (**Εικόνα 2.7**). Μόλις φτάσετε ένα σημείο πριν το αρχικό σημείο, μπορείτε να κάνετε δεξί κλικ και να επιλέξετε «Κλείσιμο επιφάνειας» ή μπορείτε να επιλέξετε πάλι το αρχικό σημείο, προκειμένου να κλείσει η επιφάνεια. Το μοντέλο σας θα πρέπει να δείχνει όπως στην **Εικόνα 2.1**, στην αρχή του παραδείγματος χωρίς όμως να διαθέτει την οπή που βρίσκεται στην μέση της πλάκας.

Η επιφάνεια που δημιουργήθηκε έχει κάποιες προεπιλεγμένες (default) παραμέτρους σε ότι αφορά το πάχος, το μέγεθος των στοιχείων, τις ιδιότητες σκυροδέματος, τους οπλισμούς κλπ. Για να τις αλλάξετε, χρησιμοποιήστε τα

εικονίδια   (πάρε / δώσε παραμέτρους) προκειμένου να μεταφέρετε τιμές από και προς το παράθυρο παραμέτρων των Επιφανειών. Ωστόσο, για τους σκοπούς του παρόντος, κρατήστε τις προεπιλεγμένες (default) τιμές.

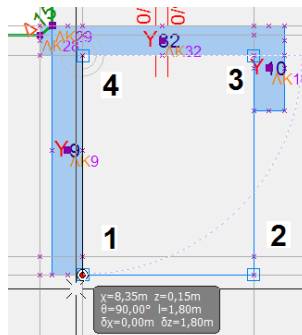


**Εικόνα 2.7:** Προσθήκη επιφάνειας από σημεία έλξης του περιγράμματος. Η μπλε γραμμή αποτελεί το περίγραμμα της επιφάνειας.

### Βήμα 7:

Η διαδικασία για την δημιουργία της οπής είναι απλή. Από την οντότητα της οπής,

επιλέξτε  (προσθήκη). Κατόπιν, με το σταυρόνημα του mouse, επιλέξτε διαδοχικά τα σημεία 1,2,3,4 και ξανά πάλι το 1 για να κλείσει η οπή, όπως δείχνεται στην **Εικόνα 2.8**. Με την ολοκλήρωση και αυτού του βήματος, το μοντέλο σας θα πρέπει να δείχνει όπως στην **Εικόνα 2.1**.



**Εικόνα 2.8:** Επιλογή σημείων για δημιουργία οπής

#### Βήμα 8:

Κατά την ανάγνωση του αρχείου TEKTON, διαβάστηκαν και τα φορτία των υποστυλωμάτων. Μπορείτε τα δείτε επιλέγοντας **Κύριο Menu > Πίνακες > Φορτία Κόμβων**. Στο παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται, επιλέξτε **Επιλογή Δράσης > Μόνιμα > G** και πιάστε **Επιλογή** για να τα δείτε.

**Φορτία κόμβων - Μόνιμα G**

Αρχείο Επεξεργασία

| Κόμβος | Fy    | Mx    | Mz    | Fy Χωρ.πλ. | Mx Χωρ.πλ. | Mz Χωρ.πλ. |
|--------|-------|-------|-------|------------|------------|------------|
| 1      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -34.143    | 0.016      | -0.071     |
| 2      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -203.430   | -0.886     | -0.708     |
| 3      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -219.230   | -0.214     | 0.056      |
| 4      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -196.880   | -0.616     | 0.593      |
| 5      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -404.740   | 6.943      | 12.981     |
| 6      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -844.150   | -6.167     | 11.735     |
| 7      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -26.324    | 0.031      | 0.025      |
| 8      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -110.270   | 0.221      | 0.034      |
| 9      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -142.760   | -0.526     | 0.087      |
| 10     | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -16.699    | -0.089     | -0.013     |
| 11     | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -249.020   | 0.067      | 0.146      |
| 12     | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -150.740   | 0.713      | -5.442     |
| 13     | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -752.310   | -13.986    | -4.167     |
| 14     | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000      | 0.000      | 0.000      |

Αποθήκευση Ακύρωση

**Εικόνα 2.9:** Φορτία υποστυλωμάτων από επίλυση χωρικού πλαισίου του Fespa

Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 2.9**, στους Πίνακες των κομβικών φορτίων υπάρχουν έξι (6) στήλες συνολικά. Οι τρεις στήλες στα αριστερά αντιστοιχούν στα κομβικά φορτία (Fy, Mx, Mz) που τυχόν θα θέλει να επιβάλλει ο χρήστης, ενώ οι τρεις στήλες στα δεξιά αντιστοιχούν στα κομβικά φορτία που προέκυψαν από την επίλυση χωρικού πλαισίου του στατικού προγράμματος FESPA. Κατά

την επίλυση, το FePIa επιβάλλει το άθροισμα των δύο φορτίων (του χρήστη + της επίλυσης χωρικού πλαισίου). Ο λόγος που διαχωρίζονται με αυτό τον τρόπο τα κομβικά φορτία είναι για να δίνει την ευχέρεια στον χρήστη να επιβάλλει φορτία της επιλογής του χωρίς όμως να αλλοιώνει τα φορτία που προέκυψαν από την επίλυση χωρικού πλαισίου.

Τα φορτία κόμβων μπορείτε επίσης να τα επεξεργαστείτε εάν επιλέξετε **Κύριο Menu > Στατικά > Κόμβοι > Πάρε φορτία**, που θα σας οδηγήσει στην αντίστοιχη κάρτα **Φορτία** του παράθυρου παραμέτρων των κόμβων και με τα



εικονίδια (πάρε / δώσε φορτία) να επεξεργαστεί τα φορτία του κόμβου που επιθυμείτε.

### Βήμα 9:

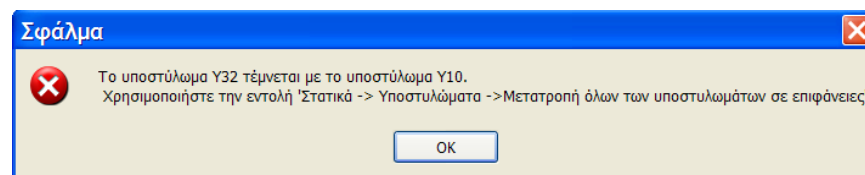
Σε αυτό το σημείο, έχει οριστεί η γεωμετρία, τα υλικά και τα φορτία. Για το συγκεκριμένο μοντέλο δεν χρειάζεται να ορίσετε στηρίξεις διότι πρόκειται για κοιτόστρωση, οπότε ολόκληρη η επιφάνεια εδράζεται επί ελαστικού εδάφους.

Πιέστε το εικονίδιο  προκειμένου να ενεργοποιήσετε τις εντολές της επίλυσης. Μην αλλάξετε κάποια από τις προεπιλεγμένες τιμές που εμφανίζονται



στο παράθυρο διαλόγου «Επίλυση». Κατόπιν επιλέξτε το εικονίδιο (Δίκτυο), το οποίο βρίσκεται στα αριστερά της οθόνης, προκειμένου να δημιουργήσετε το δίκτυο των πεπερασμένων στοιχείων.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει μια διόρθωση στο μοντέλο. Με το που θα εκτελέσετε την εντολή, θα εμφανιστεί το μήνυμα λάθους που δείχνεται στην **Εικόνα 2.10**.

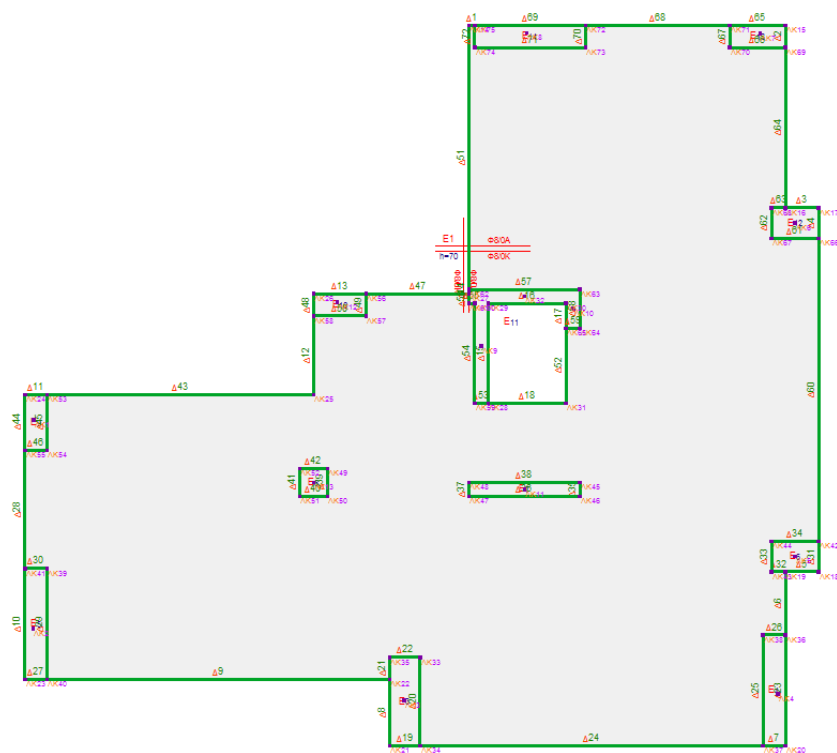


**Εικόνα 2.10:** Μήνυμα σφάλματος που οφείλεται σε επικαλυπτόμενες επιφάνειες

Ο λόγος που εμφανίζεται το εν λόγω μήνυμα είναι ότι η επιφάνεια που αντιπροσωπεύει την διατομή του υποστυλώματος – κόμβου 32 – επικαλύπτεται με την επιφάνεια του υποστυλώματος – κόμβου 10 καθώς και του 9 – (**Εικόνα 2.2**), γεγονός το οποίο δεν επιτρέπεται. Υπάρχουν δύο λύσεις για την αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης:

- i. Να μικρύνετε τις διαστάσεις του υποστυλώματος 32, ώστε να μην επικαλύπτεται με τις επιφάνειες των υποστυλωμάτων 10 και 9. Αυτό μπορεί να γίνει επιλέγοντας **Κύριο Menu > Στατικά > Υποστυλώματα > Πάρε / Δώσε Παραμέτρους** και μετά παράθυρο παραμέτρων **Υποστυλώματα > Διαστάσεις > διάσταση dx και dy**.
- ii. Να μετατρέψετε όλα τα υποστυλώματα σε επιφάνειες. Με την μέθοδο αυτή όλες οι οντότητες «Υποστυλώματα» μετατρέπονται σε οντότητες «Επιφάνειες» διατηρώντας όμως όλες τους τις παραμέτρους. Αυτό δεν αλλάζει σε τίποτα την ανάλυση. Απλά, οι επιφάνειες που προέρχονται από υποστυλώματα δεν οπλίζονται (κάρτα **Επιφάνειες > Γενικά > Με διαστασιολόγηση > Όχι**). Με την εκτέλεση της εντολής αυτής, οι τυχόν επικαλύψεις των υποστυλωμάτων καταργούνται και δημιουργούνται νέες γραμμές στα όρια των επικαλύψεων.

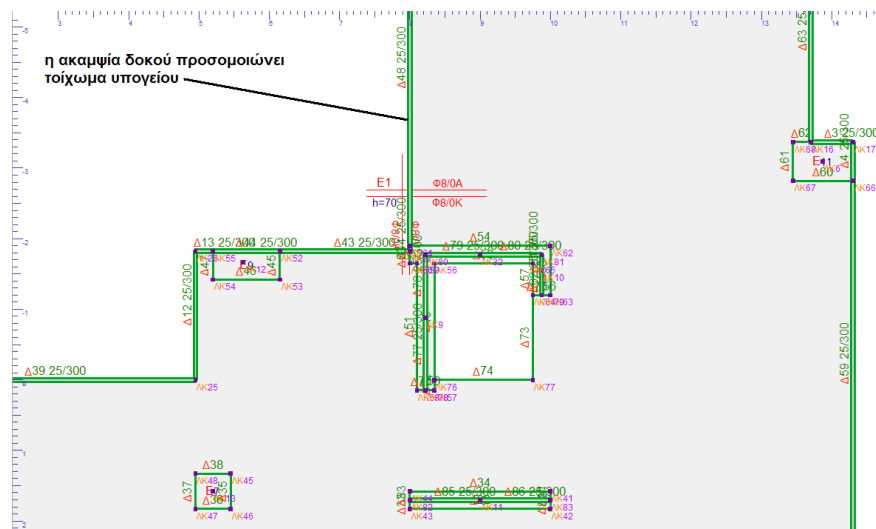
Για τους σκοπούς του παρόντος παραδείγματος θα χρησιμοποιήσουμε την δεύτερη μέθοδο. Επιλέξτε **Κύριο Menu > Στατικά > Υποστυλώματα > Μετατροπή όλων των υποστυλωμάτων σε επιφάνειες**. Με την εκτέλεση της εντολής, το μοντέλο σας θα πρέπει να δείχνει όπως στην **Εικόνα 2.11**.



**Εικόνα 2.11:** Μετατροπή υποστυλωμάτων σε επιφάνειες

**Βήμα 10:**

Επιλέξτε τις γραμμές που σχηματίζουν το περίγραμμα της επιφάνειας και δώστε τους ακαμψία (ιδιότητες δοκού) ώστε να προσομοιώσετε τα τοιχώματα υπογείου. Επιλέξτε **Κύριο Menu > Στατικά > Γραμμές > Δώσε δοκό** και διαστάσεις δοκού Δ25/300. Με την εντολή δώσε παραμέτρους αποδώστε τις ιδιότητες αυτές στις γραμμές του περιγράμματος. Κάνετε το ίδιο και για τις περιοχές των υποστυλωμάτων γύρω από την οπή και στο κέντρο της πλάκας όπως δείχνεται στην **Εικόνα 2.12**.

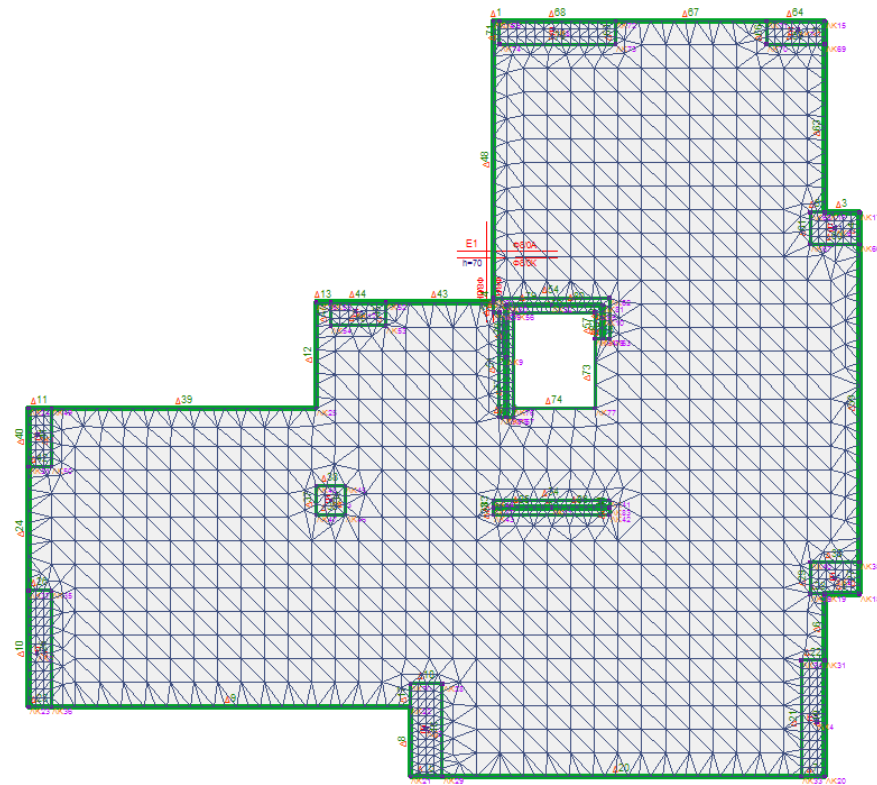


**Εικόνα 2.12:** Επιβολή ιδιοτήτων δοκού στις γραμμές του περιγράμματος

**Βήμα 11:**

Επιλέξτε πάλι «Επίλυση» και «Δίκτυο» προκειμένου να δημιουργήσετε το πλέγμα των στοιχείων. Το δίκτυο θα πρέπει να δείχνει περίπου όπως στην **Εικόνα 2.13**.

Κατόπιν πιάστε το εικονίδιο  για να ξεκινήσει η επίλυση. Όση ώρα διαρκεί η επίλυση, στην οθόνη εμφανίζεται το παράθυρο του FESPA.EXE.



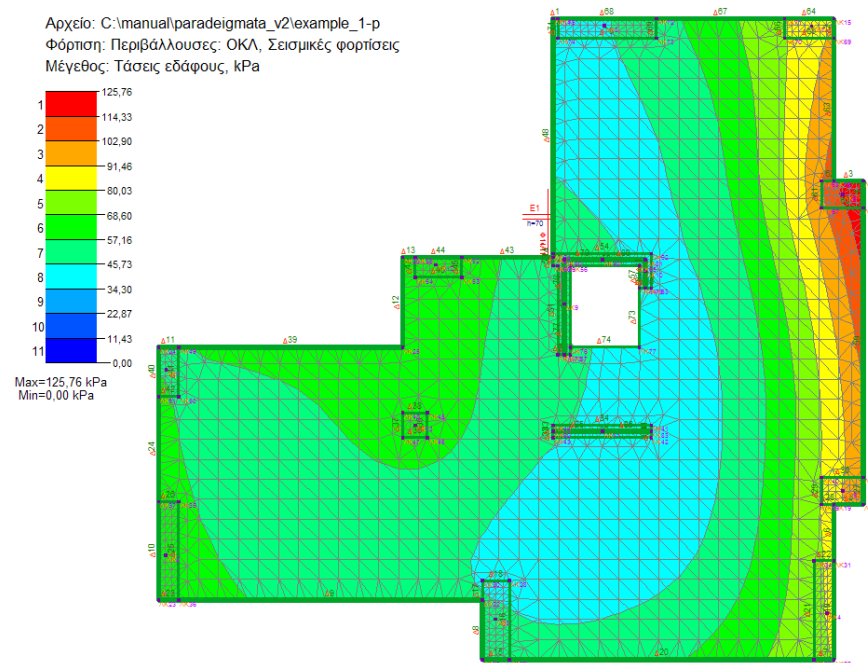
**Εικόνα 2.13:** Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων

### Βήμα 12:

Μόλις ολοκληρωθεί η επίλυση, εμφανίζεται ένα άλλο παράθυρο, με τίτλο «Αποτελέσματα FESPA», το οποίο περιέχει στατιστικά στοιχεία της επίλυσης.



Κλείστε το παράθυρο αυτό και πιάστε το εικονίδιο , προκειμένου να δείτε (να φορτώσετε) το παράθυρο των Διαγραμμάτων. Επιλέξτε **Περιβάλλοντες > Έδαφος > Τάσεις εδάφους**, ώστε να δείτε την κατανομή της τάσης εδάφους με ισοχρωματικές λωρίδες. Το διάγραμμα που θα πάρετε θα έχει την μορφή που βλέπετε στην **Εικόνα 2.14**. Πειραματιστείτε και με άλλα μεγέθη για να δείτε τις κατανομές τους.



Εικόνα 2.14: Περιβάλλουσα τάσεων εδάφους

## 2.3 Καμπύλος πρόβολος ανωδομής

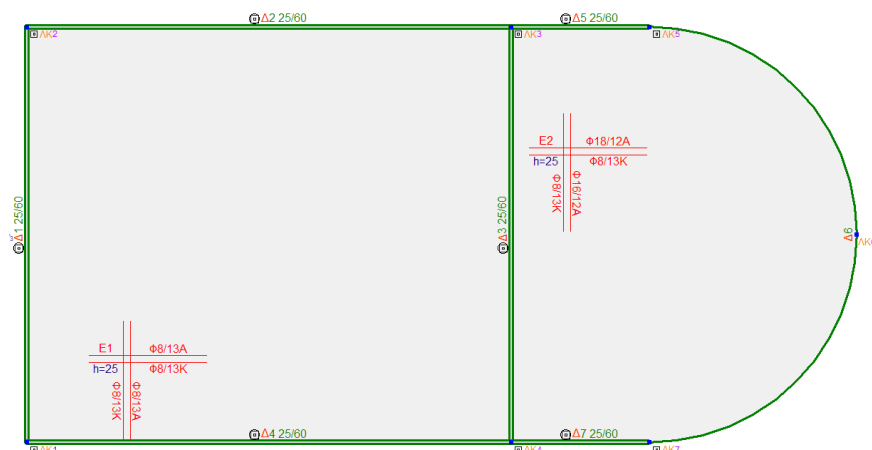
Το δεύτερο παράδειγμα με το οποίο θα ασχοληθούμε είναι ένας πρόβολος ανωδομής με καμπύλο περίγραμμα (Εικόνα 2.15). Σκοπός του παραδείγματος είναι να εισάγει τον χρήστη στις παρακάτω έννοιες:

- Δημιουργία καμπύλου περιγράμματος
- Πύκνωση δικτύου γύρω από κόμβο
- Γραμμικό φορτίο στο καμπύλο τμήμα

### Πορεία Εργασίας

Η πορεία που θα ακολουθήσουμε για την δημιουργία του μοντέλου είναι:

- α) Δημιουργία καννάβου
- β) Δημιουργία επιφανειών
- γ) Επίλυση



Εικόνα 2.15: Πρόβολος ανωδομής με καμπύλο περίγραμμα

#### Βήμα 1:

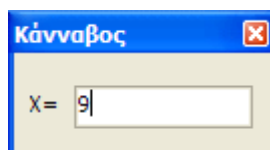
Ξεκινήστε την εφαρμογή FePla επιλέγοντας **Προγράμματα > LH-Software > Πλάκες με πεπερασμένα στοιχεία > Πλάκες με πεπερασμένα**.

#### Βήμα 2:

Επιλέξτε **Επιλογή μοντέλου επίλυσης > Πλάκα ανωδομής > OK**.

#### Βήμα 3:

Δημιουργήστε τις περασιές του καννάβου κατά Z στις θέσεις  $X=0\text{m}$ ,  $X=7\text{m}$ ,  $X=9\text{m}$  και  $X=12\text{m}$ . Επιλέξτε **Κύριο Menu > Κάνναβος > Κάνναβος > Περαισιά Z**. Από το πληκτρολόγιο πληκτρολογήστε **0** και **Enter**, **7** και **Enter**, **9** και **Enter**. Παρατηρήστε ότι με το που πληκτρολογείτε έναν αριθμό εμφανίζεται ένα μικρό παράθυρο στο οποίο εισάγετε την συντεταγμένη που επιθυμείτε και πατάτε Enter (Εικόνα 2.16).



Εικόνα 2.16: Εισαγωγή συντεταγμένων καννάβου μέσω του πληκτρολογίου

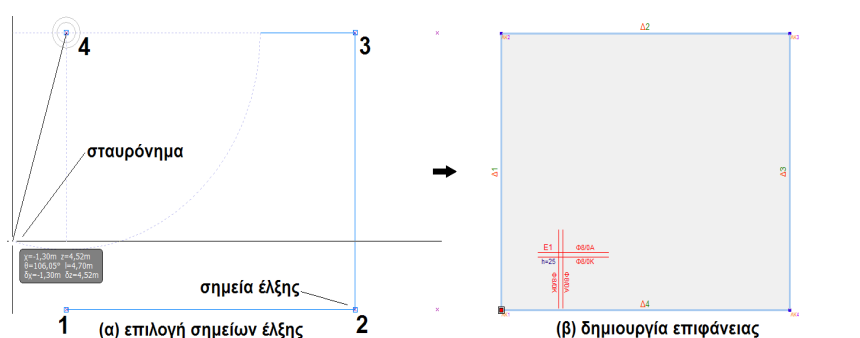
#### Βήμα 4:

Δημιουργήστε τις περασιές του καννάβου κατά X στις θέσεις  $Z=0\text{m}$ ,  $Z=3\text{m}$  και  $Z=6\text{m}$ . Επιλέξτε **Κύριο Menu > Κάνναβος > Κάνναβος > Περαισιά X**. Από το πληκτρολόγιο πληκτρολογήστε **0** και **Enter**, **3** και **Enter**, **6** και **Enter**. Από την

Βοηθητική Εργαλειογραμμή στο κάτω τμήμα της οθόνης πιάστε το εικονίδιο  ή πιάστε το πλήκτρο **Home** από το πληκτρολόγιο προκειμένου να δείτε τις περασσιές σε πλήρη όψη (Fit).

### Βήμα 5:

Αυτή την στιγμή έχετε δημιουργήσει όλες τις περασσιές και τα σημεία έλξης του καννάβου. Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία των επιφανειών. Αρχικά θα δημιουργήσουμε την ορθογωνική επιφάνεια που βρίσκεται στα αριστερά. Επιλέξτε **Κύριο Menu > Στατικά > Επιφάνειες > Προσθήκη**. Με το σταυρόνημα του mouse επιλέξτε διαδοχικά (βλέπε **Εικόνα 2.17**) τα σημεία 1,2,3,4 και τέλος ξανά το σημείο 1 για να κλείσει η επιφάνεια.



**Εικόνα 2.17:** Προσθήκη επιφάνειας από σημεία έλξης

### Βήμα 6:

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία της επιφάνειας στα δεξιά, με το καμπύλο περίγραμμα. Η διαδικασία είναι παρόμοια με πριν, ωστόσο εδώ θα δώσουμε έμφαση στην δημιουργία του καμπύλου μήματος. Από την εργαλειογραμμή των

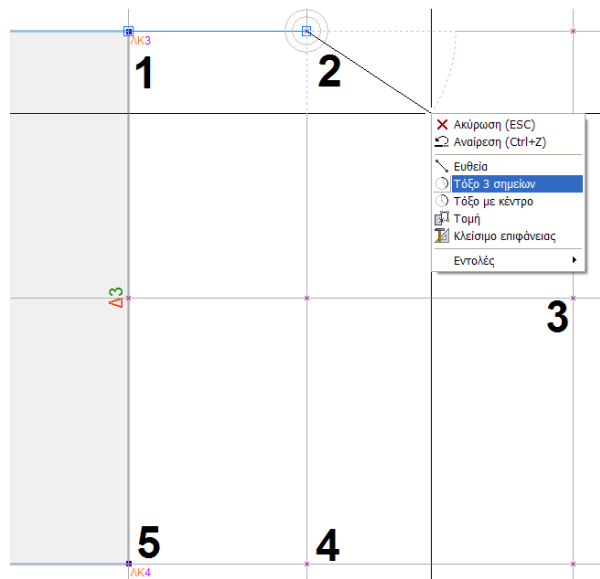


επιφανειών στα αριστερά της οθόνης, πιάστε το εικονίδιο  (Προσθήκη νέας επιφάνειας) και επιλέξτε διαδοχικά τα σημεία έλξης 1 και 2 με το σταυρόνημα του mouse, όπως δείχνεται στην **Εικόνα 2.18**. Αφού έχετε επιλέξει το σημείο 2, πατήστε το δεξί πλήκτρο του mouse και από το μενού που εμφανίζεται, επιλέξτε **Τόξο 3 σημείων**. Με την μέθοδο αυτή θα κατασκευάσουμε μια χορδή, η οποία είναι τμήμα κύκλου, τα άκρα της οποίας είναι τα σημεία 2 και 4, με ενδιάμεσο σημείο το σημείο 3.

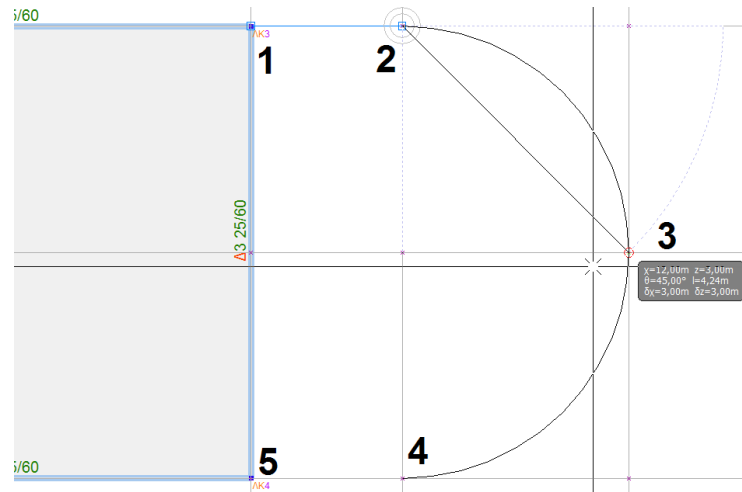
Σε αυτή την φάση έχετε ήδη επιλέξει το σημείο 2 ως αρχή της χορδής (πρώτο σημείο). Εάν παρατηρήσετε την Βοηθητική Εργαλειογραμμή στο κάτω τμήμα της οθόνης, θα δείτε το μήνυμα «Επιφάνεια – Προσθήκη – Επιλέξτε τέλος χορδής». Με το σταυρόνημα επιλέξτε το σημείο 4 (δεύτερο σημείο). Κατόπιν, εμφανίζεται το μήνυμα «Επιφάνεια – Προσθήκη – Επιλέξτε τρίτο σημείο τόξου». Επιλέξτε το σημείο 3 (**Εικόνα 2.19**). Με την επιλογή του σημείου 3, θα δείτε να σχηματίζεται

το κυκλικό τόξο που ζητήσατε. Κατόπιν επιλέξτε το σημείο 5 και τέλος ξανά το σημείο 1 για να κλείσει η επιφάνεια.

Είναι προφανές ότι για την δημιουργία του τόξου με την μέθοδο των 3 σημείων, απαιτήθηκε η ύπαρξη του βοηθητικού σημείου 3. Ο λόγος λοιπόν που κατασκευάστηκαν οι βοηθητικές περασιές  $X=12\text{m}$  και  $Z=3\text{m}$ , είναι για να δώσουν το σημείο έλξης 3 (Εικόνα 2.19).



**Εικόνα 2.18:** Δημιουργία τόξου – Επιλογή πρώτου σημείου τόξου (σημείο 2)



Εικόνα 2.19: Επιλογή τρίτου σημείου τόξου (σημείο 3)

#### Βήμα 7:

Αυτή την στιγμή έχετε δημιουργήσει τις δύο επιφάνειες. Είναι η στιγμή να ορίσετε το πάχος και τα φορτία των επιφανειών. Από το παράθυρο παραμέτρων των

Επιφανειών, επιλέξτε το εικονίδιο  (Πάρε παραμέτρους) και κάντε κλικ στην αριστερή ορθογωνική επιφάνεια για να φορτώσετε τις παραμέτρους της στο παράθυρο παραμέτρων. Επιλέξτε κάρτα **Γενικά > Πάχος επιφάνειας h [m] > 0.25** για να ορίσετε το πάχος των 0.25m. Επίσης επιλέξτε **Γενικά > Στοιχειωμένη πλευρά πεπερασμένων στοιχείων Lm [m] > 0.4** για να ορίσετε την μέγιστη επιτρεπόμενη διάσταση κάθε πεπερασμένου τριγωνικού στοιχείου. Προφανώς, όσο μικρότερη είναι η τιμή αυτή, τόσο πιο πυκνό θα είναι το δίκτυο των στοιχείων.

Επιλέξτε στην κάρτα **Φορτία > Όνομα δράσης > Μόνιμα G > py [kN/m2] > -0.8** και **Φορτία > Όνομα δράσης > Κινητά Q > py [kN/m2] > -2**, για να ορίσετε τα μόνιμα και κινητά φορτία αντίστοιχα. Αφού έχετε εισάγει όλες τις παραμέτρους

που επιθυμείτε, επιλέξτε το εικονίδιο  (Δώσε παραμέτρους) και κάντε κλικ στην αριστερή ορθογωνική επιφάνεια για να της αποδώσετε τις παραμέτρους.

Για την δεξιά επιφάνεια, με το καμπύλο περίγραμμα, ακολουθήστε την ίδια διαδικασία εισάγοντας τις τιμές  $h=0.25\text{m}$ ,  $L_m=0.4\text{m}$ ,  $G=-0.8\text{ kN/m}^2$  και  $Q=-2\text{ kN/m}^2$ .

**Βήμα 8:**

Το επόμενο βήμα είναι ο ορισμός των δοκών που βρίσκονται στο περίγραμμα της πλάκας. Για τον ορισμό των δοκών θα χρησιμοποιηθούν οι υπάρχουσες γραμμές που ορίζουν το περίγραμμα των δύο επιφανειών. Επιλέξτε **Κύριο Menu > Στατικά > Γραμμές > Δώσε παραμέτρους**. Ακολουθώντας αντίστοιχη διαδικασία με τις επιφάνειες (Πάρε / Δώσε Παραμέτρους), επιλέξτε όλες τις γραμμές του περιγράμματος **εκτός** από το τόξο.

Επιλέξτε κάρτα **Ακαμψία > Πλάτος  $b_w$  [m] > 0.25** και **Ακαμψία > Ύψος  $h$  [m] > 0.6m** για να ορίσετε την διατομή της δοκού.

Πιέστε το εικονίδιο  για να κάνετε προσαρμογή (fit) του μοντέλου στην οθόνη. Σε αυτή την φάση, το μοντέλο σας θα πρέπει να φαίνεται όπως στην **Εικόνα 2.15**.

**Βήμα 9:**

Το επόμενο βήμα είναι να ορίσουμε τις συνθήκες στήριξης κατά μήκος των δοκών. Έχοντας ενεργό το παράθυρο παραμέτρων των γραμμών, επιλέξτε στην κάρτα **Γενικά > Στήριξη > Στήριξη > Ναι** για να δηλώσετε ότι οι επιλεγμένες γραμμές θα έχουν δεσμεύσεις βαθμών ελευθερίας. Επιλέξτε **Γενικά > Στήριξη >**

**Τύπος Στήριξης > Άρθρωση XZ**. Με το εικονίδιο  (Δώσε στήριξη) μεταφέρετε τις παραμέτρους στήριξης όλες τις γραμμές εκτός από την καμπύλη γραμμή του προβόλου. Με την επιλογή κάθε γραμμής, ένα μικρό άσπρο τετράγωνο εμφανίζεται δίπλα από κάθε γραμμή, το οποίο υποδηλώνει άρθρωση (**Εικόνα 2.15**).

**Βήμα 10:**

Επιλέξτε **Κύριο Menu > Στατικά > Γραμμές > Δώσε φορτία** για να δώσετε ομοιόμορφο γραμμικό φορτίο  $-2 \text{ kN/m}$  στο καμπύλο τμήμα του προβόλου.

**Βήμα 11:**

Το μοντέλο είναι πλέον έτοιμο προς επίλυση. Έχουν οριστεί οι πλάκες, οι δοκοί, τα φορτία και οι στηρίξεις. Σε αυτό το σημείο μπορούμε να δούμε το δίκτυο των πεπερασμένων στοιχείων που θα δημιουργήσει η γεννήτρια δικτύου. Πιέστε το

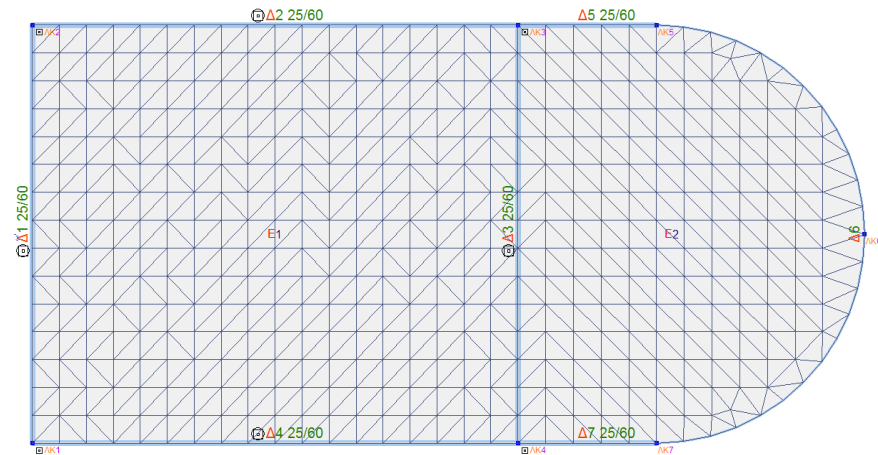
εικονίδιο  (Επίλυση) προκειμένου να γίνουν προσβάσιμες οι εντολές της

επίλυσης. Κατόπιν, πιέστε το εικονίδιο  (Δίκτυο), προκειμένου να δημιουργήσετε το δίκτυο των πεπερασμένων στοιχείων. Το δίκτυο θα έχει την μορφή που βλέπετε στην **Εικόνα 2.20**.

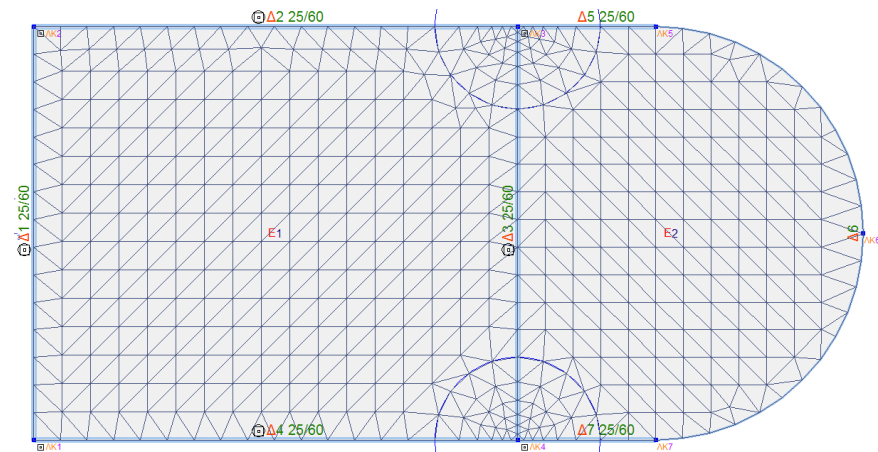
Σε αυτό το σημείο μπορείτε να πυκνώσετε το δίκτυο τοπικά γύρω από κάποιους κόμβους. Επιλέξτε **Κύριο Menu > Στατικά > Κόμβοι > Δώσε παραμέτρους**. Κατόπιν, επιλέξτε κάρτα **Γενικά > Πύκνωση δικτύου γύρω από κόμβο > Ναι**. Ύστερα, εισάγετε τις ακόλουθες παραμέτρους: **Ακτίνα πύκνωσης  $R$  [m] > 1.2**,

Διάσταση δικτύου εσωτερικά  $L_k > 0.12$ , Διάσταση δικτύου εξωτερικά

$L_m > 0.4m$ . Με το εικονίδιο  (Δώσε πύκνωση), μεταφέρετε τις παραμέτρους πύκνωσης στους κόμβους που βρίσκονται στο κοινό όριο των δύο επιφανειών. Επιλέξτε, πάλι «Επίλυση» και «Δίκτυο» για να δημιουργήσετε το νέο πλέγμα. Το νέο δίκτυο θα έχει την μορφή που βλέπετε στην **Εικόνα 2.21**.



**Εικόνα 2.20:** Δίκτυο στοιχείων χωρίς τοπική πύκνωση στους κόμβους



**Εικόνα 2.21:** Δίκτυο στοιχείων με τοπική πύκνωση στους κόμβους

**Βήμα 12:**

Επλύστε το πρόβλημα, επιλέγοντας το εικονίδιο (Επίλυση) που βρίσκεται στα αριστερά της οθόνης. Θα ανοίξει ένα παράθυρο του εκτελέσιμου προγράμματος FESPA.EXE. Μόλις τελειώσει η επίλυση, επιλέξτε το εικονίδιο



(Διαγράμματα) για να ανοίξετε το παράθυρο των Διαγραμμάτων. Πειραματιστείτε με διάφορα μεγέθη για να δείτε τις κατανομές τους.

Επίσης, το FePla υπολογίζει τις αντιδράσεις κατά μήκος των στηριγμένων γραμμών και κόμβων. Τα μεγέθη αυτά μπορείτε να τα δείτε στο Τεύχος (Εικόνα



**2.22)** επιλέγοντας το εικονίδιο (Τεύχος > Αντιδράσεις.).

**4.1 Αντιδράσεις γραμμών**

Πίνακας αντιδράσεων - Φόρτιση: Μόνιμο G

| Γραμμή<br>[l] | Αντίδραση<br>[kN/m] |
|---------------|---------------------|
| Δ1            | 39.99               |
| Δ2            | -74.36              |
| Δ3            | 101.76              |
| Δ4            | -76.25              |

Πίνακας αντιδράσεων - Φόρτιση: Κινητά Q

| Γραμμή<br>[l] | Αντίδραση<br>[kN/m] |
|---------------|---------------------|
| Δ1            | 6.89                |
| Δ2            | -62.79              |
| Δ3            | 48.33               |
| Δ4            | -64.08              |

**4.2 Αντιδράσεις κόμβων**

Πίνακας αντιδράσεων - Φόρτιση: Μόνιμο G

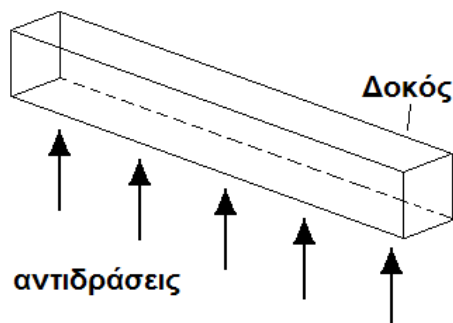
| Κόμβος<br>[j] | Αντίδραση FY<br>[kN] | Αντίδραση MX<br>[kNm] | Αντίδραση MZ<br>[kNm] |
|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| AK1           | -148.33              | .....                 | .....                 |
| AK2           | -147.39              | .....                 | .....                 |
| AK3           | 566.59               | .....                 | .....                 |
| AK4           | 570.23               | .....                 | .....                 |

Πίνακας αντιδράσεων - Φόρτιση: Κινητά Q

| Κόμβος<br>[j] | Αντίδραση FY<br>[kN] | Αντίδραση MX<br>[kNm] | Αντίδραση MZ<br>[kNm] |
|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
|---------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|

**Εικόνα 2.22:** Εκτύπωση αντιδράσεων δοκών και κόμβων στο τεύχος

Οι αντιδράσεις των γραμμών (**Εικόνα 2.23**) είναι σε μονάδες δύναμης ανά μήκος (κατανεμημένα φορτία) ενώ οι αντιδράσεις των κόμβων είναι σε μονάδες δύναμης (συγκεντρωμένα φορτία). Οι αντιδράσεις γραμμών και κόμβων μπορούν να εισαχθούν στο FESPA ως φορτία δοκών και κόμβων αντίστοιχα.



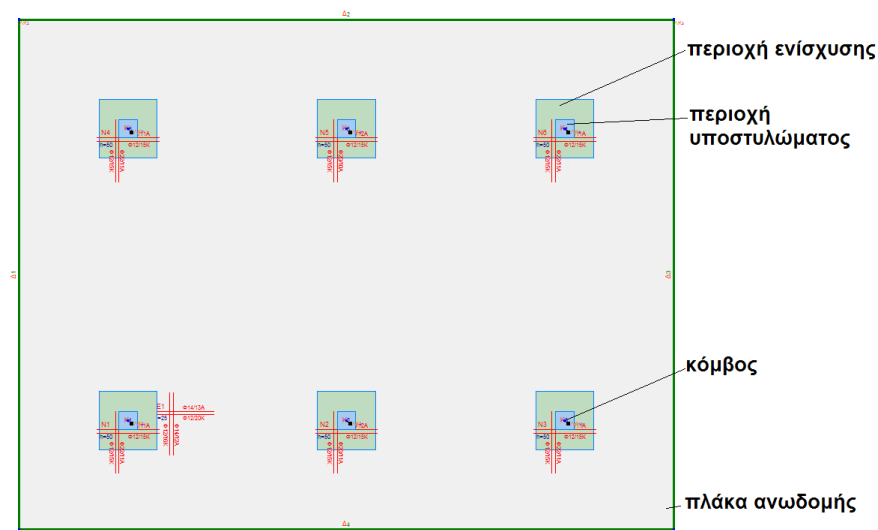
Εικόνα 2.23: Αντιδράσεις δοκών

## 2.4 Μυκητοειδής πλάκα ανωδομής με ενισχύσεις

Στο παράδειγμα που ακολουθεί εξετάζεται η περίπτωση μιας μυκητοειδούς πλάκας ανωδομής διαστάσεων 18m x 14m (βλέπε **Εικόνα 2.24**). Η πλάκα εδράζεται σε έξι (6) υποστυλώματα, η διατομή των οποίων μοντελοποιείται με επιφανειακά στοιχεία. Γύρω από κάθε υποστυλώμα υπάρχει μια περιοχή ενίσχυσης, η οποία επίσης διακριτοποιείται με επιφανειακά στοιχεία. Σκοπός του παραδείγματος είναι να εισάγει τον χρήστη στις παρακάτω έννοιες:

- Μοντελοποίηση υποστυλωμάτων ως άκαμπτες στηρίξεις
- Μοντελοποίηση υποστυλωμάτων ως ελαστικές αρθρώσεις

Θεωρείται ότι ο χρήστης έχει υλοποιήσει τα δύο προηγούμενα παραδείγματα, οπότε έχει εξοικειωθεί με τις βασικές εντολές δημιουργίας γεωμετρικών οντοτήτων. Για τον λόγο αυτό, στο τρέχον παράδειγμα, ορισμένα βήματα θα δίνονται περιγραφικά χωρίς να δίνονται λεπτομέρειες για την υλοποίησή τους.



Εικόνα 2.24: Μυκητοειδής πλάκα

**Βήμα 1:**

Κατά τα γνωστά, σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν στα προηγούμενα παραδείγματα ξεκινήστε νέο αρχείο και επιλέξτε μοντέλο ανωδομής.

**Βήμα 2:**

Ξεκινήστε το μοντέλο από την δημιουργία καννάβου. Δημιουργήστε περασιές Z στις θέσεις X=0, 3, 9, 15, 18 m. Δημιουργήστε περασιές X στις θέσεις Z=0, 3, 11, 14m (**Κύριο Menu > Κάνναβος > Κάνναβος > Περασιά X και Z**). Με τον κάνναβο που έχετε δημιουργήσει έχουν σχηματιστεί σημεία έλξης σε όλα τα σημεία που ορίζουν το περίγραμμα της πλάκας καθώς και στα σημεία που θα ορισθούν τα υποστυλώματα.

**Βήμα 3:**

Δημιουργήστε την επιφάνεια της πλάκας επιλέγοντας τα τέσσερα ακραία σημεία έλξης στις συντεταγμένες (0,0), (18,0), (18,14) και (0,14), (**Κύριο Menu > Στατικά > Επιφάνειες > Προσθήκη**). Στο παράθυρο παραμέτρων των Επιφανειών εισάγετε τα παρακάτω δεδομένα που αφορούν το πάχος, την πυκνότητα του δικτύου και τα φορτία:

- κάρτα **Γενικά > Πάχος επιφάνειας h [m]: 0.25**
- κάρτα **Γενικά > Στοχευόμενη πλευρά πεπερασμένων στοιχείων Lm [m] :0.5**
- κάρτα **Φορτία > Όνομα δράσης > Μόνιμα G >  $p_g = -2 \text{ kN/m}^2$**

■ κάρτα **Φορτία** > Όνομα δράσης > Κινητά Q >  $q_y = -5 \text{ kN/m}^2$



Επιλέξτε το εικονίδιο και κάντε κλικ στην επιφάνεια για να της αποδώσετε τις ανωτέρω παραμέτρους.

**Βήμα 4:**

Δημιουργήστε τους κόμβους οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τα υποστυλώματα. Επιλέξτε **Κύριο Menu** > **Στατικά** > **Κόμβοι** > **Προσθήκη** και με το σταυρόνημα του mouse επιλέξτε τα έξι εσωτερικά σημεία έλξης που προέκυψαν κατά το βήμα 2, στις θέσεις που δείχνονται στην **Εικόνα 2.24**. Σε πρώτη φάση οι κόμβοι που αντιπροσωπεύουν τα υποστυλώματα θα είναι πλήρως πακτωμένοι. Στο παράθυρο παραμέτρων των κόμβων επιλέξτε στην κάρτα **Στήριξη** > **Στήριξη** > **Ναι** και **Τύπος Στήριξης** > **Πλήρης πάκτωση**. Κατόπιν, με την εντολή δώσε παραμέτρους αποδώστε τις παραμέτρους αυτές στους κόμβους.

**Βήμα 5:**

Έχοντας ορίσει τους κόμβους των υποστυλωμάτων, μπορείτε τώρα να ορίσετε τις επιφάνειες των υποστυλωμάτων. Επιλέξτε **Κύριο Menu** > **Στατικά** > **Υποστυλώματα** > **Προσθήκη**. Στο παράθυρο παραμέτρων των υποστυλωμάτων, εισάγετε τις διαστάσεις της διατομής επιλέγοντας κάρτα **Διαστάσεις** > **Διάσταση dx** > **0.5** και **dy** > **0.5**. Κατόπιν, με το σταυρόνημα του mouse επιλέξτε τους έξι κόμβους αναφοράς, που δημιουργήσατε στο βήμα 4. Δώστε ότι και στα υποστυλώματα κάποιο πάχος. Το ορθότερο είναι να δώσετε το ίδιο πάχος που θα δώσετε και στην ενίσχυση εάν υπάρχει. Εάν δεν υπάρχει ενίσχυση δώστε το ίδιο πάχος με την πλάκα. Οι επιφάνειες των υποστυλωμάτων δεν οπλίζονται, απλά συμμετέχουν στην ακαμψία της πλάκας.

**Βήμα 6:**

Το επόμενο βήμα είναι να ορίσετε τις ενισχύσεις. Οι ενισχύσεις είναι περιοχές αυξημένου πάχους της πλάκας. Η διαδικασία είναι παρόμοια με εκείνη για την δημιουργία υποστυλωμάτων. Επιλέξτε **Κύριο Menu** > **Στατικά** > **Ενισχύσεις** > **Προσθήκη**. Στο παράθυρο παραμέτρων των ενισχύσεων, εισάγετε τις ακόλουθες παραμέτρους:

- κάρτα **Γενικά** > **Πάχος ενίσχυσης** > **0.5**.
- κάρτα **Γενικά** > **Στοχευόμενη πλευρά πεπερασμένων στοιχείων Lm [m]** > **0.5**
- κάρτα **Διαστάσεις** > **Διάσταση dx** > **1.7** και **dy** > **1.7**.

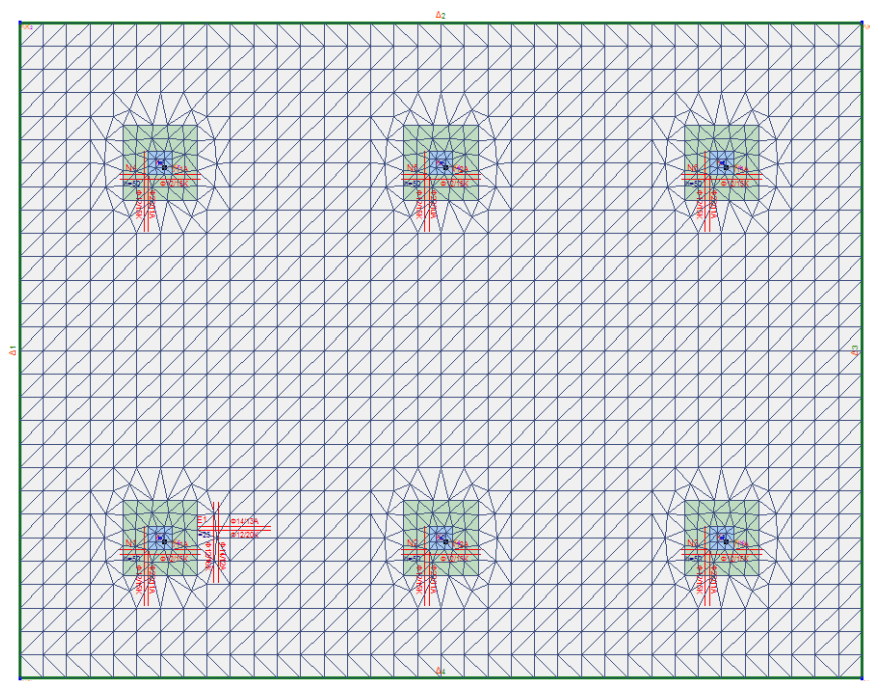
Κατόπιν, με το σταυρόνημα του mouse επιλέξτε τους έξι κόμβους αναφοράς, που δημιουργήσατε στο βήμα 4. Σε αυτή την φάση το μοντέλο σας θα πρέπει να δείχνει όπως στην **Εικόνα 2.24**.

**Βήμα 7:**

Το μοντέλο είναι πλέον ολοκληρωμένο. Επιλέξτε «Επίλυση» και «Δίκτυο» για να δημιουργήσετε το πλέγμα των στοιχείων. Το μοντέλο σας θα πρέπει να δείχνει όπως στην **Εικόνα 2.25**. Κατόπιν λύστε το μοντέλο επιλέγοντας το εικονίδιο



(επίλυση), στα δεξιά της οθόνης.



**Εικόνα 2.25:** Δίκτυο πεπερασμένων στοιχείων

**Βήμα 8:**

Μόλις ολοκληρωθεί η επίλυση, επιλέξτε την εντολή «Διαγράμματα», για να δείτε τα αποτελέσματα. Επιλέξτε να δείτε τις Περιβάλλουσες των επιφανειών όπλισης As2+. Σε αυτή την περίπτωση, με τους κόμβους αναφοράς των υποστυλωμάτων πλήρως πακτωμένους, η μέγιστη απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού As2+ είναι 5.79 cm<sup>2</sup>/cm και τα απαιτούμενα σίδερα είναι Φ12/20 (**Εικόνα 2.26**).

Τώρα, θα δοκιμάσουμε να αντικαταστήσουμε την άκαμπτη στήριξη των κόμβων των υποστυλωμάτων με ελαστικές στηρίξεις.

Επιλέξτε **Κύριο Menu > Στατικά > Κόμβοι > Δώσε στήριξη**. Στο παράθυρο παραμέτρων των κόμβων επιλέξτε στην κάρτα **Στήριξη > Στήριξη > Όχι**. Με την

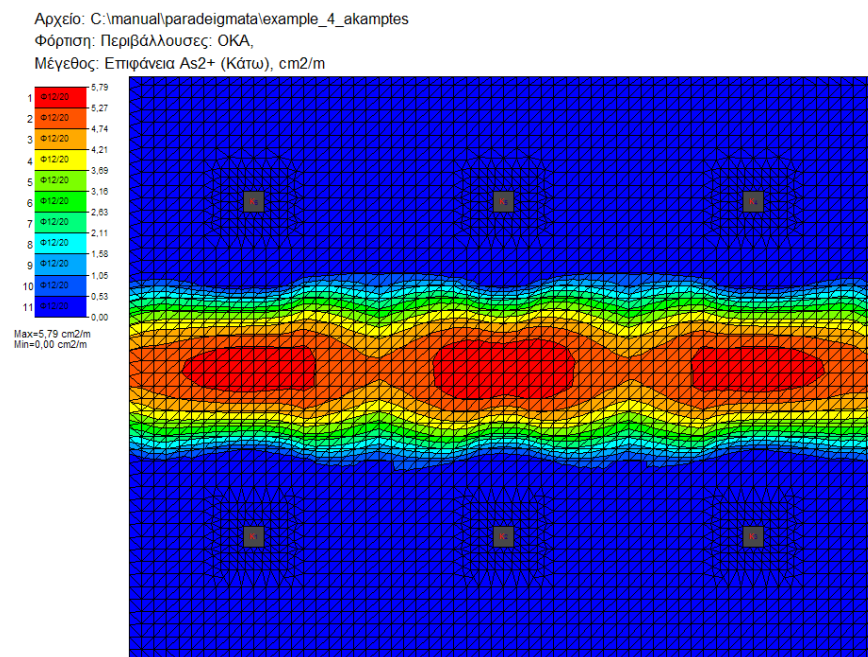
εντολή «Δώσε στήριξη» μεταφέρατε την παράμετρο αυτή στους έξι κόμβους αναφοράς των υποστυλωμάτων.

Στις επιφάνειες των υποστυλωμάτων, θα επιβάλλουμε ελαστική στήριξη με σταθερά που αντιστοιχεί στην αξονική ακαμψία του υποστυλώματος μήκους  $L = 3m$ . Η σταθερά της ελαστικής στήριξης δίνεται από την σχέση:

$$K_S = \frac{E}{L} = \frac{29GPa}{3m} = 9666666 \frac{kN}{m^3}, \text{ όπου } E = 29GPa \text{ είναι το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος.}$$

Πάρτε παραμέτρους από τα υποστυλώματα και εισάγετε τις ακόλουθες παραμέτρους:

- κάρτα Γενικά > Επί ελαστικού εδάφους (κοιτόστρωση) > Ναι.
- Κάρτα Έδαφος > Δείκτης εδάφους  $K_s$  [kN/m<sup>2</sup>/m] > 9666666.



**Εικόνα 2.26:** Μοντέλο με άκαμπτες στηρίξεις στους κόμβους των υποστυλωμάτων. Επιφάνεια  $As2+ = 5.79 \text{ cm}^2/\text{cm}$ ,  $\Phi 12/20$

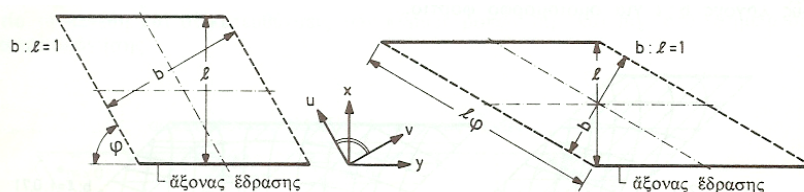
Με την εντολή «Δώσε παραμέτρους», αποδώστε τις τιμές αυτές στα υποστυλώματα, και λύστε πάλι το μοντέλο. Επιλέξτε να δείτε τις Περιβάλλουσες των επιφανειών όπλισης  $As2+$ . Σε αυτή την περίπτωση, με την ελαστική στήριξη στα υποστυλώματα, η μέγιστη απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού  $As2+$  είναι 6.01

$\text{cm}^2/\text{cm}$  και τα απαιτούμενα σίδερα είναι  $\Phi 12/19$ . Οι διαφορές δηλαδή μεταξύ των δύο τρόπων στήριξης είναι μικρές. Οι ίδιες ομοιότητες παρατηρούνται και σε όλα τα άλλα αποτελέσματα (μετατοπίσεις, εντατικά μεγέθη, οπλισμοί).

## 2.5 Παράδειγμα επαλήθευσης: Λοξή πλάκα Leonhardt

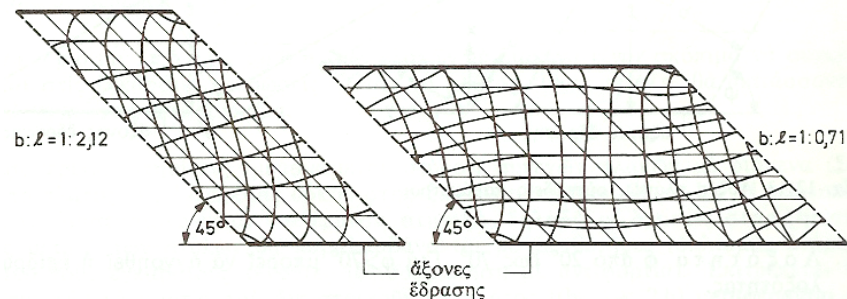
Οι σημαντικότερες παράμετροι επιρροής της στατικής λειτουργίας των λοξών πλακών είναι (Σχήμα 2.1):

- Λοξότητα  $\phi$  από  $20^\circ$  έως  $70^\circ$ . Για  $\phi > 70^\circ$  μπορεί να αγνοηθεί η επίδραση της λοξότητας.
- Λόγος  $b/l$  όπου  $b$ =πλάτος της πλάκας κάθετα προς τον άξονα της γέφυρας,  $l$ =άνοιγμα κάθετα προς τους άξονες έδρασης.
- Είδος έδρασης: ελεύθερα στρεπτή γραμμική έδραση κατά την κατεύθυνση των αξόνων έδρασης ή μεμονωμένα εφέδρανα (αρθρωτά) ελεύθερα στρεπτά προς όλες τις κατευθύνσεις (οπότε έχει σημασία η απόστασή τους) ή πάκτωση στα τοιχώματα των βάθρων.



**Σχήμα 2.1:** Λοξές πλάκες, ουσιώδεις παράμετροι για γωνίες  $\phi = 30^\circ$  και  $60^\circ$  αντίστοιχα

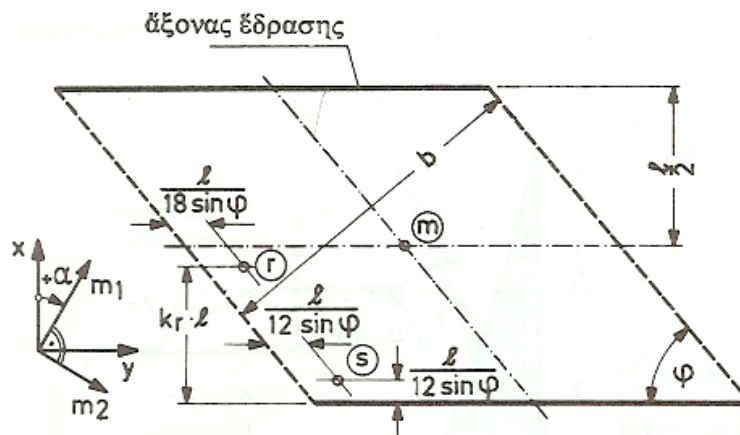
Σύμφωνα με τον F. Leonhardt η διανομή των κύριων ροπών για πλάκες με  $\phi = 45^\circ$  και διάφορους λόγους  $b/l$  για ομοιόμορφο φορτίο δίνεται στο Σχήμα 2.2.



**Σχήμα 2.2:** Τροχιές των κύριων ροπών λοξών πλακών υπό ομοιόμορφο φορτίο

Σύμφωνα με την εμπειρία οι  $m_1$  και  $m_2$  αναμένεται να πάρουν τις μέγιστες τιμές τους στα σημεία  $m$ ,  $r$  και  $s$  όπως σημειώνονται στο **Σχήμα 2.3**.

- Το σημείο  $m$  παρουσιάζει τις μέγιστες θετικές ροπές ανοίγματος στο εσωτερικό της πλάκας.
- Το σημείο  $r$  παρουσιάζει τις μέγιστες θετικές ροπές ανοίγματος κατά μήκος της μακράς ελεύθερης παρυφής.
- Το σημείο  $s$  παρουσιάζει τις μέγιστες αρνητικές καμπτικές ροπές που προκύπτουν στην αμβλεία γωνία λόγω της δράσης πάκτωσης που ασκεί η γραμμική έδραση.



**Σχήμα 2.3:** Θέση των σημείων που είναι καθοριστικά για τη διαστασιολόγηση λοξών πλακών κατά Homberg.

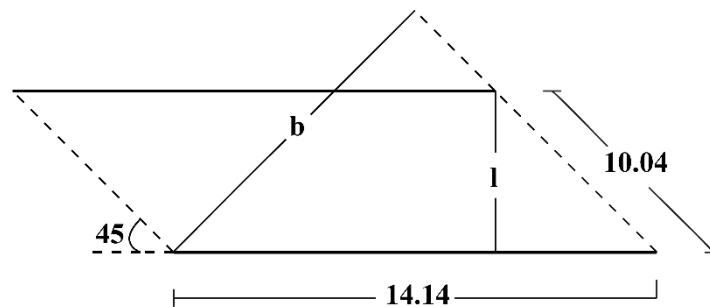
### Γεωμετρία πλάκας

Πάχος πλάκας:  $t=0.40\text{m}$

$b=10\text{m}$

$b/l=1/0.71$

$\varphi=45^\circ$



**Σχήμα 2.4:** Γεωμετρία πλάκας

### Φόρτιση

Ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο:  $p_y=10\text{ kN/m}^2$

### Συνθήκες στήριξης

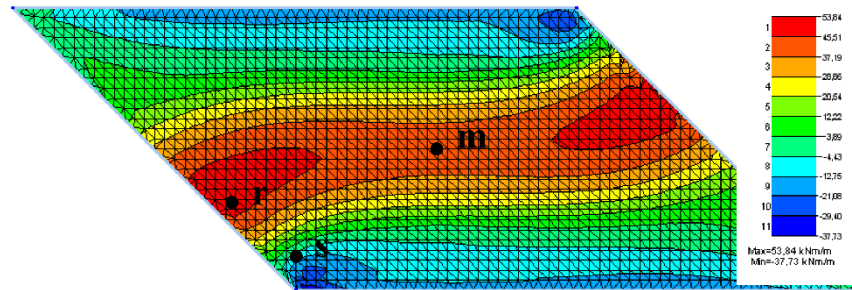
- i. Πλήρης πάκτωση κατά μήκος των αξόνων έδρασης
- ii. Άρθρωση κατά μήκος των αξόνων έδρασης

Σύμφωνα με το **Σχήμα 2.3** τα  $m$ ,  $r$  και  $s$  θα βρίσκονται στις παρακάτω θέσεις:

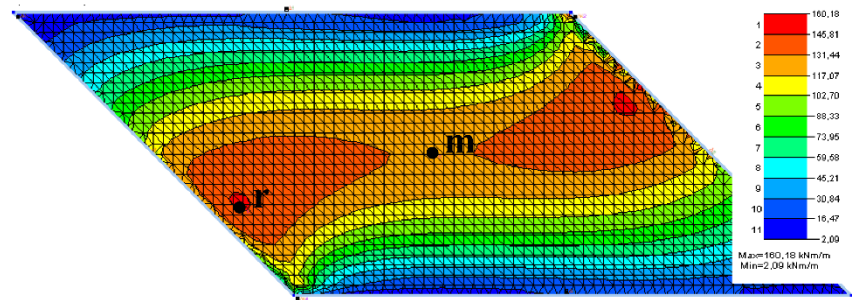
$$\underline{r:} \quad \frac{l}{18 \sin(\phi)} = 0.56\text{ m} , \quad k_r \times l = 0.31 \times 7.1 = 2.2\text{ m}$$

$$\underline{s:} \quad \frac{l}{12 \sin(\phi)} = 0.84\text{ m}$$

## Αποτελέσματα



**Εικόνα 2.27:** Λοξή πλάκα πλήρως πακτωμένη κατά μήκος των αξόνων έδρασης



**Εικόνα 2.28:** Λοξή πλάκα με αρθρώσεις κατά μήκος των αξόνων έδρασης

## Συμπεράσματα

Στην **Εικόνα 2.27** και στην **Εικόνα 2.28** εμφανίζονται οι θεωρητικές θέσεις των  $m$ ,  $r$  και  $s$  οι οποίες φαίνεται να συμπίπτουν με τις αντίστοιχες θέσεις που προέκυψαν κατά την επίλυση των λοξών πλακών με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων **FePla**.

# 3

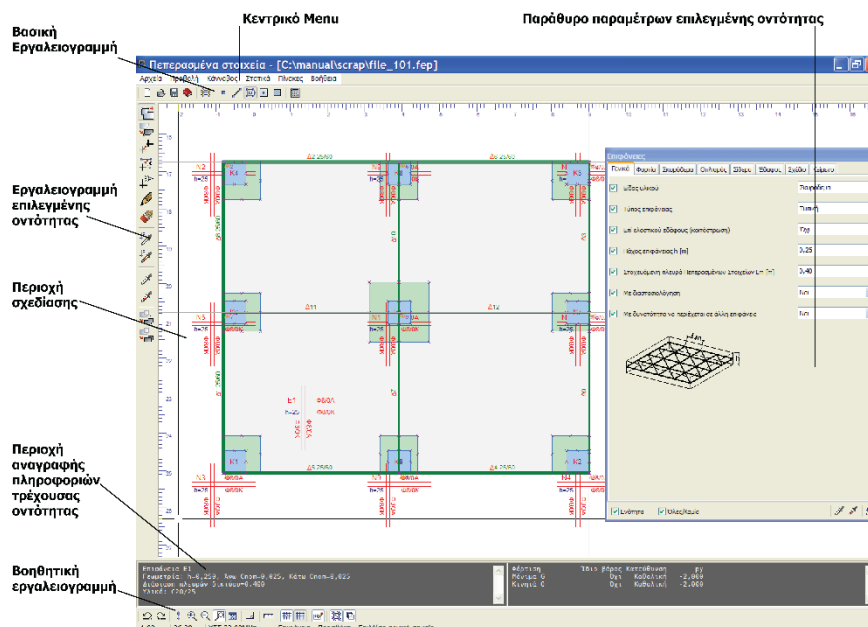
## Γενική παρουσίαση του FePla

### 3.1 Το περιβάλλον εργασίας του FePla

Το περιβάλλον εργασίας του FePla αποτελείται από:

- την **Περιοχή Σχεδίασης**: Είναι ο χώρος στον οποίο ο χρήστης ορίζει την γεωμετρία του προβλήματος.
- το **Κεντρικό Menu**: Περιλαμβάνει εντολές σχετικά με την διαχείριση αρχείων, τις μεθόδους προβολής της γεωμετρίας, την διαχείριση του βοηθητικού καννάβου, την διαχείριση των στατικών οντοτήτων και την διαχείριση των πινάκων δεδομένων.
- την **Βασική Εργαλειογραμμή**: Από την εργαλειογραμμή αυτή, η οποία περιέχει βασικές συντομεύσεις του Κεντρικού Menu εργαλείων, ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει ορισμένες βασικές λειτουργίες όπως άνοιγμα / αποθήκευση αρχείου, και επιλογή στατικής οντότητας ή καννάβου προς επεξεργασία.
- την **Εργαλειοθήκη Εντολών επιλεγμένης οντότητας**: Με την εργαλειογραμμή αυτή ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί τις στατικές οντότητες ή τον βοηθητικό κάνναβο μέσα στην Περιοχή Σχεδίασης.
- την **Βοηθητική Εργαλειογραμμή**: Με την εργαλειογραμμή αυτή, η οποία περιέχει συντομεύσεις του Κεντρικού Menu εργαλείων, ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει λειτουργίες όπως αναίρεση εντολής, ζουμ μέσα / έξω, εμφάνιση / απόκρυψη γεωμετρικών οντοτήτων.

Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται στην **Εικόνα 3.1**.



Εικόνα 3.1: Το περιβάλλον εργασίας του FePla

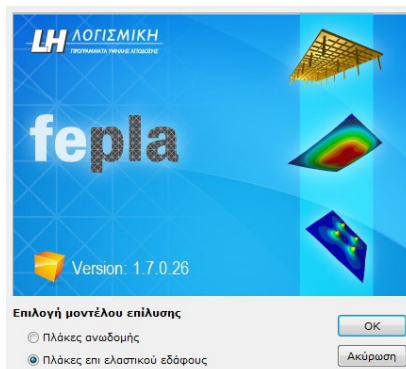
## 3.2 Κεντρικό Menu

Από το κεντρικό Menu εκτελούνται οι παρακάτω λειτουργίες:

### Αρχεία

Περιλαμβάνει τις κλασσικές λειτουργίες κάθε εφαρμογής Windows, όπως άνοιγμα / αποθήκευση αρχείου, οι οποίες είναι γνωστές στον χρήστη και δεν χρειάζονται περαιτέρω εξήγηση. Επίσης αρκετές συντομεύσεις υπάρχουν και στην Βασική Εργαλειογραμμή. Περιγράφονται μόνο οι παρακάτω λειτουργίες:

**Αρχεία > Νέο:** Κατά την δημιουργία νέου αρχείου, ζητείται από τον χρήστη να επιλέξει εάν θα επιλύσει πλάκα ανωδομής ή πλάκα επί ελαστικού εδάφους (Εικόνα 3.2). Μεταξύ των δύο μοντέλων επίλυσης δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές. Απλά, οι αρχικές προεπιλεγμένες τιμές κάποιων παραμέτρων όπως η σταθερά εδάφους, το πάχος και οι διαθέσιμες διαμέτροι οπλισμού έχουν διαφορετικές τιμές.



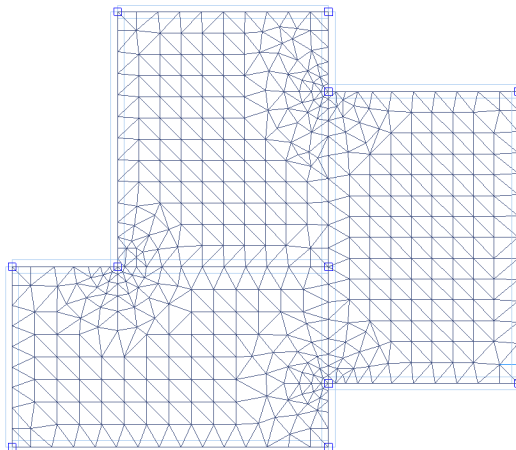
**Εικόνα 3.2:** Επιλογή μοντέλου επίλυσης κατά την δημιουργία νέου αρχείου

**Αρχεία > Ανάγνωση φορτίων από FESPA:** Με την λειτουργία αυτή, το FePla, μπορεί να διαβάσει αρχεία τύπου \*.fr2, τα οποία παράγει το πρόγραμμα FESPA, και τα οποία περιέχουν τις επικόμβιες αντιδράσεις έδρασης του κτιρίου για κάθε συνδυασμό φόρτισης. Κατόπιν, με την επιλογή

> Φορτία κόμβων ο χρήστης μπορεί να δει ποιες είναι οι τιμές αυτών των αντιδράσεων για κάθε Δράση. Ωστόσο, απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή ανάγνωση του αρχείου \*.fr2, είναι να έχει προηγηθεί η ανάγνωση του αντίστοιχου αρχείου ΤΕΚΤΩΝ τύπου \*.tek, το οποίο περιέχει τις συντεταγμένες των κόμβων των εδράσεων του κτιρίου. Εάν έχουν αλλαχτεί οι συντεταγμένες των κόμβων ή οι συνδυασμοί δράσεων, τότε πρέπει να διαβαστεί ξανά το αρχείο \*.tek και δεν επαρκεί η ανάγνωση του αρχείου \*.fr2 για να περάσουν οι αλλαγές στο FePla

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι μέσα στο FESPA, το κτίριο θα πρέπει να επιλύεται θεωρώντας πακτωμένες τις θέσεις θεμελίωσης των υποστυλωμάτων (στον όροφο θεμελίωσης) ώστε να παραχθούν αντιδράσεις. Εάν θεωρηθούν ελαστικές πακτώσεις, δεν παράγονται αντιδράσεις στο αρχείο \*.fr2.

**Αρχεία > Εξαγωγή σε Tek:** Παρέχεται η δυνατότητα εξαγωγής αρχείου γραμμών (\*.tek), το οποίο μπορεί να διαβαστεί από το Fespa ή το Τέκτων. Επιπλέον, ανάλογα με την επιλογή του πλήκτρου «Εμφάνιση τριγώνων» της κάτω εργαλειογραμμής, στο παραγόμενο TEK μπορεί να υπάρχουν (ή όχι) οι γραμμές του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων (Εικόνα 3.3).



**Εικόνα 3.3:** Εισαγωγή αρχείου γραμμών στο πρόγραμμα Fespa.

### Προβολή

Περιλαμβάνει τις κλασσικές λειτουργίες κάθε σχεδιαστικού προγράμματος όπως μεγέθυνση / σμίκρυνση κλπ. Επίσης αρκετές συντομεύσεις υπάρχουν και στην Βοηθητική Εργαλειογραμμή.

### Κάνναβος, Στατικά

Περιλαμβάνουν συντομεύσεις για την δημιουργία των αντίστοιχων οντοτήτων. Συντομεύσεις τους υπάρχουν και στην Βασική Εργαλειογραμμή.

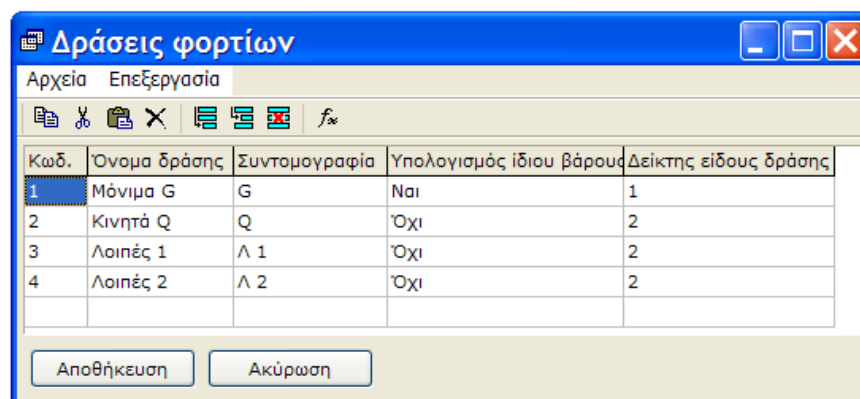
### Πίνακες

Μέσω των Πινάκων είναι δυνατή η εκτέλεση μιας σειράς από λειτουργίες όπως η προβολή ή η επεξεργασία των φορτίων, των συνδυασμών των φορτίσεων καθώς και των ιδιοτήτων του εδάφους και του σκυροδέματος. Παρακάτω περιγράφονται οι εξής λειτουργίες:

**Πίνακες > Δράσεις φορτίων:** Μέσω της λειτουργίας αυτής ο χρήστης μπορεί να προβάλλει της υπάρχουσες δράσεις φορτίων ή μπορεί να δημιουργήσει νέες δράσεις (**Εικόνα 3.4**). Στον Πίνακα 3.1 δείχνεται η εξήγηση του είδους της δράσης. Σημειώνεται ότι οι δράσεις με δείκτη μεγαλύτερο του 2 αντιστοιχούν σε φορτία που προήλθαν από επίλυση του FESPA. Νέες δράσεις πρέπει να προστίθενται πάντα στην τελευταία γραμμή του πίνακα.

| Δείκτης είδους δράσης | Φόρτιση               |
|-----------------------|-----------------------|
| 0                     | Λοιπές φορτίσεις      |
| 1                     | Μόνιμα G              |
| 2                     | Κινητά Q              |
| 3                     | G+Ψ2Q                 |
| 5                     | Σεισμική φόρτιση      |
| 6                     | Φόρτιση εκκεντρότητας |
| 7                     | Φόρτιση ατελειών      |

Πίνακας 3.1



Εικόνα 3.4: Προβολή και επεξεργασία δράσεων φορτίων

Τα φορτία της ανωδομής, από την επίλυση του χωρικού πλαισίου, φαίνονται ξεχωριστά από τα κομβικά φορτία που δίνει ο χρήστης στην κοιτόστρωση στον πίνακα «φορτία κόμβων» και στις παραμέτρους των κόμβων. Κατά την επίλυση, η κοιτόστρωση φορτίζεται με το άθροισμά των φορτίων αυτών.

Η φόρτιση  $G + \Psi 2Q$  (οιονεί μόνιμα) είναι απαραίτητη **μόνο** για την δημιουργία των σεισμικών συνδυασμών και **μόνο** στις κοιτοστρώσεις.

Τρόπος εισαγωγής :

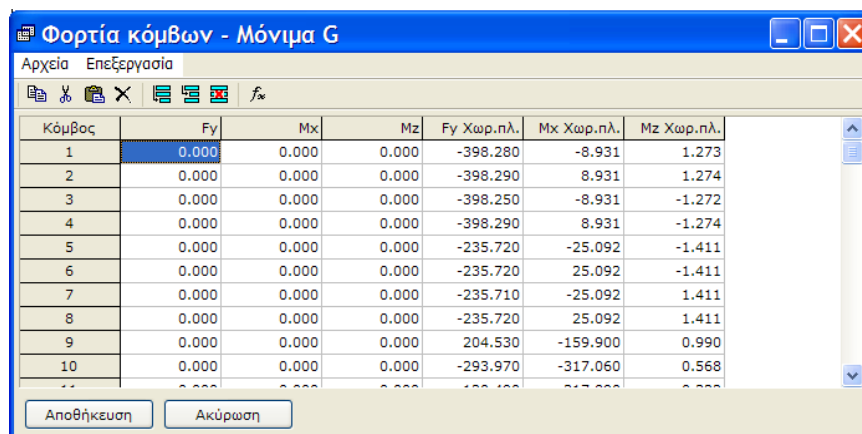
- Τα κομβικά συγκεντρωμένα φορτία που δίνονται από τον χρήστη για την  $G + \Psi 2Q$  στην πλάκα κοιτόστρωσης προστίθενται σε αυτά που έχουν τυχόν περαστεί στο πρόγραμμα των πεπερασμένων στοιχείων από την επίλυση (ανωδομής) του Master, όπως ακριβώς γίνεται και για τις υπόλοιπες φορτίσεις.
- Τα γραμμικά κατανεμημένα φορτία δίνονται από τον χρήστη για την  $G + \Psi 2Q$  σε γραμμές της πλάκας κοιτόστρωσης

- Τα επιφανειακά κατανεμημένα φορτία για την  $G + \Psi 2Q$  στην πλάκα κοιτόστρωσης **δεν δίνονται από τον χρήστη, αλλά σχηματίζονται αυτόματα** από αυτά των φορτίσεων  $G$  και  $Q$ , τα οποία δίνονται από τον χρήστη κανονικά.

### Σημείωση

Η συνέπειες των πιο πάνω, περιγράφονται με το εξής παράδειγμα: Σε μια πλάκα γενικής κοιτόστρωσης, γραμμικά κατανεμημένα φορτία τοίχων θα ληφθούν υπόψη μέσω της εισαγωγής γραμμών – φορτίων στις κατάλληλες θέσεις. Εκτός από την φόρτιση μόνιμα  $G$  το ίδιο φορτίο πρέπει να εισαχθεί και ως φόρτιση  $G + 2Q$ . Αυτό προκειμένου να ληφθεί υπόψη στους διάφορους σεισμικούς συνδυασμούς.

**Πίνακες > Φορτία κόμβων / γραμμών / επιφανειών:** Μέσω των λειτουργιών αυτών είναι δυνατή η προβολή και η επεξεργασία των φορτίων όλων των οντοτήτων ταυτόχρονα (**Εικόνα 3.5**). Με την επιλογή «Αποθήκευση», ενημερώνονται οι αντίστοιχες παράμετροι όλων των οντοτήτων.

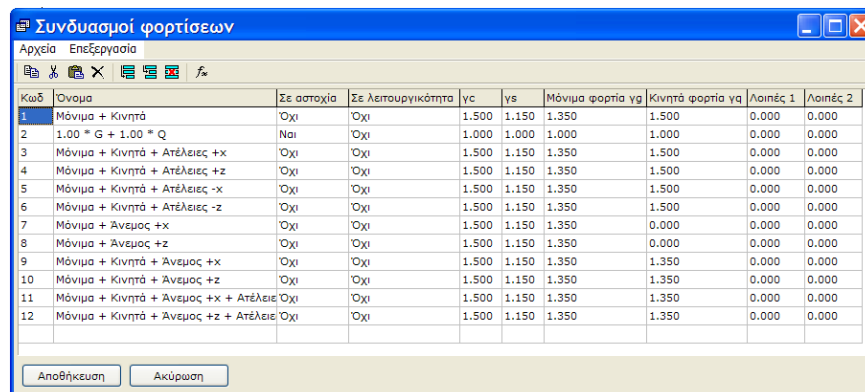


The screenshot shows a software window titled "Φορτία κόμβων - Μόνιμα G". It contains a table with 7 columns: Κόμβος, Fy, Mx, Mz, Fy Χωρ.πλ., Mx Χωρ.πλ., and Mz Χωρ.πλ.. The table lists 10 nodes. The first three columns (Fy, Mx, Mz) are all 0.000 for all nodes. The last three columns (Fy Χωρ.πλ., Mx Χωρ.πλ., Mz Χωρ.πλ.) contain numerical values for each node. At the bottom of the window, there are two buttons: "Αποθήκευση" and "Ακύρωση".

| Κόμβος | Fy    | Mx    | Mz    | Fy Χωρ.πλ. | Mx Χωρ.πλ. | Mz Χωρ.πλ. |
|--------|-------|-------|-------|------------|------------|------------|
| 1      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -398.280   | -8.931     | 1.273      |
| 2      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -398.290   | 8.931      | 1.274      |
| 3      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -398.250   | -8.931     | -1.272     |
| 4      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -398.290   | 8.931      | -1.274     |
| 5      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -235.720   | -25.092    | -1.411     |
| 6      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -235.720   | 25.092     | -1.411     |
| 7      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -235.710   | -25.092    | 1.411      |
| 8      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -235.720   | 25.092     | 1.411      |
| 9      | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 204.530    | -159.900   | 0.990      |
| 10     | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -293.970   | -317.060   | 0.568      |

**Εικόνα 3.5:** Επεξεργασία φορτίων μέσω των Πινάκων

**Πίνακες > Συνδυασμοί δράσεων:** Μέσω της λειτουργίας αυτής, ο χρήστης μπορεί να προβάλλει ή να ορίσει νέους συνδυασμούς φορτίσεων (**Εικόνα 3.6**).



| Κωδ | Όνομα                                  | Σε αστοχία | Σε λειτουργικότατο | γs    | γq    | Μόνιμα φορτία γg | Κινητά φορτία γq | Λοιπός 1 | Λοιπός 2 |
|-----|----------------------------------------|------------|--------------------|-------|-------|------------------|------------------|----------|----------|
| 1   | Μόνιμα + Κινητά                        | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 1.500            | 0.000    | 0.000    |
| 2   | 1.00 * G + 1.00 * Q                    | Ναι        | Όχι                | 1.000 | 1.000 | 1.000            | 1.000            | 0.000    | 0.000    |
| 3   | Μόνιμα + Κινητά + Ατέλειες +x          | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 1.500            | 0.000    | 0.000    |
| 4   | Μόνιμα + Κινητά + Ατέλειες +z          | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 1.500            | 0.000    | 0.000    |
| 5   | Μόνιμα + Κινητά + Ατέλειες -x          | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 1.500            | 0.000    | 0.000    |
| 6   | Μόνιμα + Κινητά + Ατέλειες -z          | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 1.500            | 0.000    | 0.000    |
| 7   | Μόνιμα + Άνεμος +x                     | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 0.000            | 0.000    | 0.000    |
| 8   | Μόνιμα + Άνεμος +z                     | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 0.000            | 0.000    | 0.000    |
| 9   | Μόνιμα + Κινητά + Άνεμος +x            | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 1.350            | 0.000    | 0.000    |
| 10  | Μόνιμα + Κινητά + Άνεμος +z            | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 1.350            | 0.000    | 0.000    |
| 11  | Μόνιμα + Κινητά + Άνεμος +x + Ατέλειες | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 1.350            | 0.000    | 0.000    |
| 12  | Μόνιμα + Κινητά + Άνεμος +z + Ατέλειες | Όχι        | Όχι                | 1.500 | 1.150 | 1.350            | 1.350            | 0.000    | 0.000    |

**Εικόνα 3.6:** Δημιουργία συνδυασμών φορτίσεων (αρχείο \*.fp2 από FESPA)

**Πίνακες > Είδη εδάφους / Ποιότητα σκυροδέματος:** Μέσω των λειτουργιών αυτών, ο χρήστης μπορεί να προβάλλει ή να ορίσει τιμές ιδιοτήτων για το έδαφος και το σκυρόδεμα αντίστοιχα.

## Βοήθεια

Περιλαμβάνει συντομεύσεις που αφορούν στην ταυτότητα της έκδοσης. Επιπλέον, περιλαμβάνει συντόμευση για την αριθμομηχανή καθώς και την παλέτα των χρωμάτων.

## 3.3 Χρήση του mouse

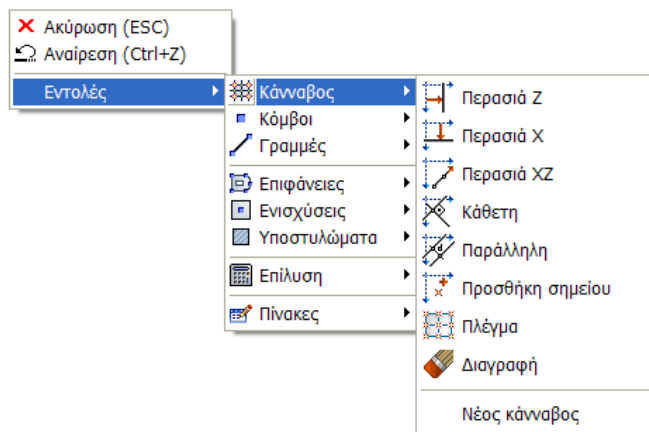
Τα πλήκτρα του mouse παρέχουν μια σειρά από συντομεύσεις και λειτουργίες στον χρήστη, προκειμένου αυτός να είναι πιο παραγωγικός:

**Αριστερό πλήκτρο:** Με το αριστερό πλήκτρο ο χρήστης επιλέγει τις οντότητες (κάνναβος, κόμβοι, γραμμές, επιφάνειες, ενισχύσεις, υποστυλώματα) με σκοπό να τις επεξεργαστεί (π.χ. να διαγράψει, να μετακινήσει, να δώσει παραμέτρους κλπ).

**Δεξί πλήκτρο:** Με το δεξί πλήκτρο ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει τις λειτουργίες «Ακύρωση» και «Αναίρεση». Με την «Ακύρωση», σταματάει η λειτουργία μιας εντολής που είναι σε εξέλιξη (π.χ. προσθήκη επιφάνειας), ενώ με την «Αναίρεση», ακυρώνονται πράξεις. Επιπλέον, επιλέγοντας διαδοχικά την «Αναίρεση», ακυρώνονται διαδοχικά όλες οι προηγούμενες πράξεις.

Επίσης, μέσω της συντόμευσης «Εντολές», μπορεί να εκτελέσει σχεδόν όλες τις βασικές λειτουργίες του προγράμματος (επεξεργασία οντότητας, επίλυση, πίνακες) όπως δείχνεται και στην **Εικόνα 3.7**.

**Μεσαίο πλήκτρο (ρόδα):** Περιστρέφοντας την «ρόδα» του mouse προς τα εμπρός, προκαλείται μεγέθυνση του μοντέλου (zoom in). Περιστρέφοντας τη «ρόδα» προς τα πίσω προκαλείται σμίκρυνση του μοντέλου (zoom out).



Εικόνα 3.7: Ενεργοποίηση του δεξιού πλήκτρου του mouse

## 3.4 Χρήση του πληκτρολογίου

Εκτός από το mouse, και το πληκτρολόγιο παρέχει συντομεύσεις για τον χρήστη. Ειδικότερα, παρέχονται οι εξής συντομεύσεις:

**Ctrl+N:** Δημιουργία νέου αρχείου

**Ctrl+O:** Άνοιγμα υπάρχοντος αρχείου

**Ctrl+S:** Αποθήκευση αρχείου

**Ctrl+Z:** Ακύρωση πράξης

**Ctrl+A:** Επανάληψη πράξης

**F5 / End:** Επανασχεδίαση

**Arrows:** Με τα βέλη, ο χρήστης μπορεί να μετακινήσει το μοντέλο αριστερά, δεξιά, πάνω και κάτω (pan).

**Num+:** Μεγέθυνση (zoom in)

**Num-:** Σμίκρυνση (zoom out)

**Home:** Πλήρης όψη (Fit)

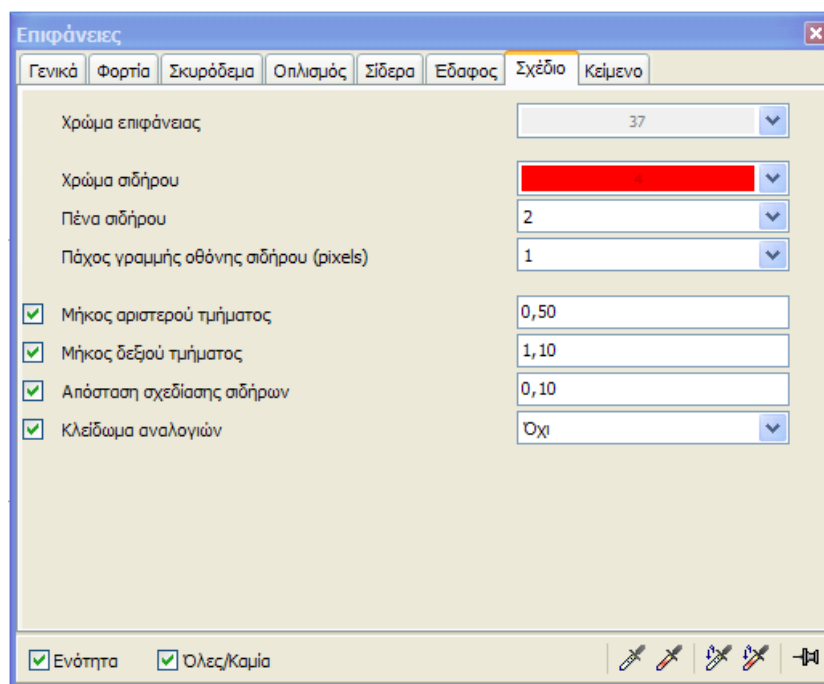
**F6:** Παράθυρο παραμέτρων (on / off)

**F10:** Εμφάνιση αριθμομηχανής

Επίσης, είναι σημαντικό να τονισθεί ότι κατά την διάρκεια εισαγωγής δεδομένων ή συντεταγμένων περασιών καννάβου ή κόμβου, μπορείτε να εισάγετε τα αριθμητικά δεδομένα από το πληκτρολόγιο. Με το που θα πληκτρολογήσετε τα δεδομένα που επιθυμείτε, εμφανίζεται ένα μικρό παράθυρο στο οποίο εισάγετε την συντεταγμένη που επιθυμείτε και πατάτε Enter (βλέπε Κεφάλαιο 2, **Εικόνα 2.16**).

### 3.5 Κοινές παράμετροι

Στα παράθυρα παραμέτρων όλων των οντοτήτων υπάρχουν οι κάρτες **Σχέδιο** και **Κείμενο** (**Εικόνα 3.8**), οι οποίες αφορούν την εμφάνιση της οντότητας καθώς και των λεκτικών (labels) που εμφανίζονται σε αυτή. Μέσω των παραμέτρων αυτών ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το χρώμα των οντοτήτων (έως 255 χρώματα), τα πάχη των γραμμών και τις γραμματοσειρές των λεκτικών.



**Εικόνα 3.8:** Εμφάνιση οντοτήτων

## 3.6 Κάνναβος

Ο κάνναβος είναι ένα πλέγμα γραμμών με διακριτά και ενεργά τα σημεία τομής τους, που καλούνται **σημεία έλξης** του. Διευκολύνει την ακριβή εισαγωγή δεδομένων, διότι οι κορυφές των πλακών και τα άκρα των δοκών έλκονται κατά την κίνησή τους από τα σημεία έλξης.

### Εντολές του καννάβου



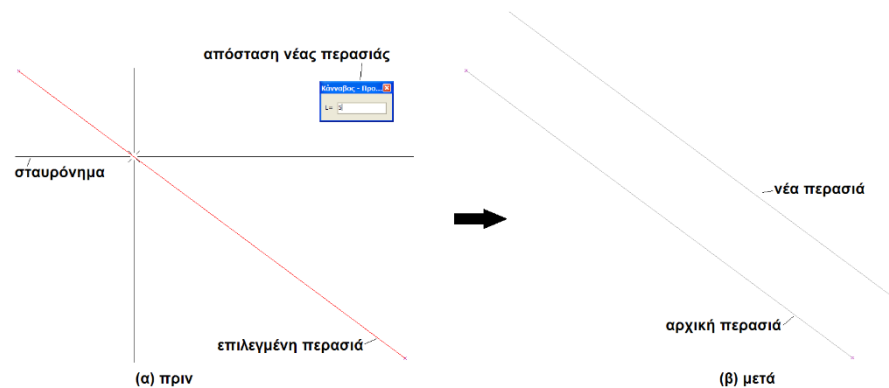
**Περασιά X:** Οι οριζόντιες περασιές. Ο άξονας X είναι ο οριζόντιος με θετική φορά προς τα δεξιά.



**Περασιά Z:** Οι κατακόρυφες περασιές. Ο άξονας Z είναι ο κατακόρυφος με θετική φορά προς τα κάτω.



**Περασιά XZ:** Οι λοξές περασιές, οι οποίες ορίζονται με βάση δύο τυχόντα σημεία της κάτοψης.



**Σχήμα 3.1:** Προσθήκη παράλληλης περασιάς



**Κάθετη:** Εισαγωγή περασιάς κάθετα σε άλλη, που διέρχεται από δεδομένο σημείο της κάτοψης.



**Παράλληλη:** Εισαγωγή περασιάς παράλληλα σε υπάρχουσα, που διέρχεται σε δεδομένη απόσταση από αυτήν (**Σχήμα 3.1**).



**Προσθήκη σημείου:** Εισαγωγή μεμονωμένου σημείου (που δεν προκύπτει από τομή περασιών).

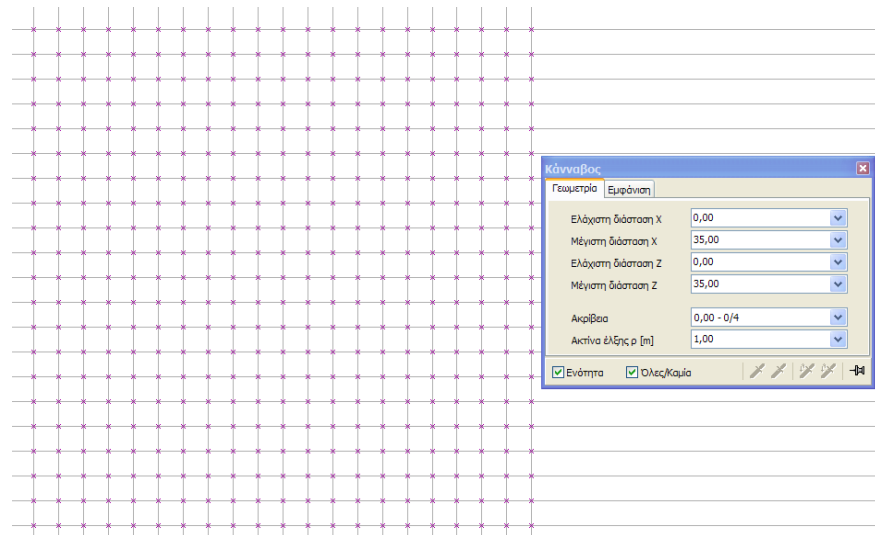


**Πλέγμα:** Αυτόματη εισαγωγή πλήθους οριζόντιων και κατακόρυφων περασιών, εντός δεδομένης περιοχής ( $X_{min}$  έως  $X_{max}$  και  $Z_{min}$  έως  $Z_{max}$ ), σε δεδομένες αποστάσεις μεταξύ τους ( $\delta X$  και  $\delta Z$ ) (Εικόνα 3.9).



**Διαγραφή:** Διαγραφή μεμονωμένης περασιάς.

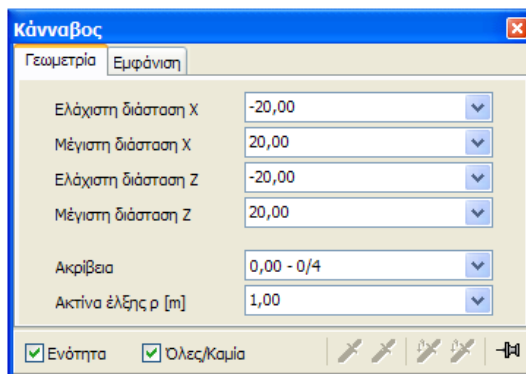
**Νέος κάνναβος** (εντολή στο μενού Κάνναβος). Κατάργηση του υπάρχοντος καννάβου (διαγραφή όλων των περασιών).



**Εικόνα 3.9:** Πλέγμα καννάβου

### Παράμετροι του καννάβου

Οι παράμετροι του καννάβου εισάγονται από το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων (Εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.10: Παράθυρο παραμέτρων καννάβου

### Γεωμετρία

- **Ελάχιστη / Μέγιστη διάσταση X / Z:** Αφορούν την περίπτωση που ο χρήστης θέλει να δημιουργήσει πλέγμα καννάβου. Είναι τα μέγιστα και τα ελάχιστα όρια της περιοχής σχεδίασης εντός των οποίων θα σχεδιαστούν περασιές.
- **Ακρίβεια:** πλήθος δεκαδικών ψηφίων κατά την πληκτρολόγηση της θέσης X ή Z της περασιάς.
- **Ακτίνα έλξης ρ [m]:** Η μέγιστη απόσταση μεταξύ ενός σημείου έλξης του καννάβου ή μιας περασιάς, από το σταυρόνημα του mouse, κάτω από την οποία επιλέγεται η συγκεκριμένη οντότητα.

## 3.7 Κόμβος

Οι κόμβοι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή επιφανειών καθώς και γραμμών. Επίσης, τοποθετούνται και εντός των επιφανειών προκειμένου να επιτευχθεί:

- (α) η επιβολή σημειακών φορτίων επί της πλάκας.
- (β) η εφαρμογή σημειακών στηρίξεων.
- (γ) η τοπική πύκνωση του δικτύου.
- (δ) η τοποθέτηση ενίσχυσης ή υποστυλώματος.

### Εντολές του κόμβου

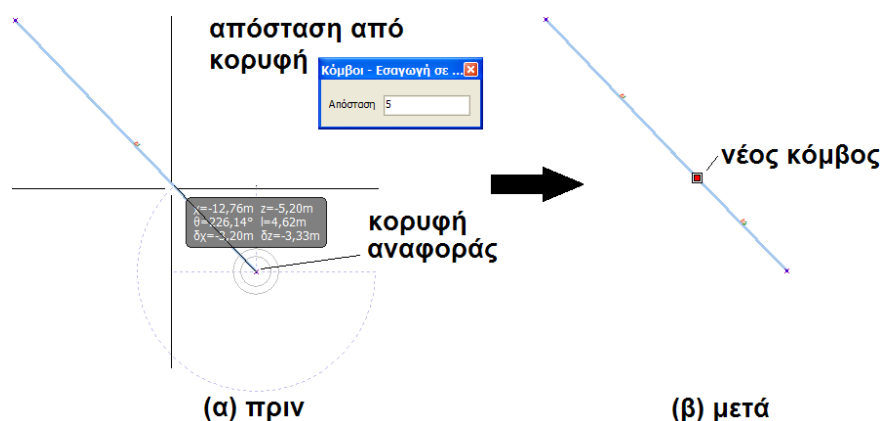


**Προσθήκη:** Προσθήκη νέου κόμβου. Ο νέος κόμβος μπορεί να τοποθετηθεί σε υπάρχον σημείο έλξης του καννάβου, επάνω σε γραμμή

ή επάνω σε επιφάνεια. Οι περιορισμοί που διέπουν την δημιουργία κόμβου περιγράφονται στην παράγραφο 1.4.



**Προσθήκη επί γραμμής σε απόσταση:** Ο νέος κόμβος τοποθετείται σε δεδομένη απόσταση από το ένα από τα δύο άκρα μιας γραμμής. Με την εκτέλεση της εντολής, δημιουργούνται δύο νέες γραμμές στην θέση της παλιάς γραμμής (Σχήμα 3.2).



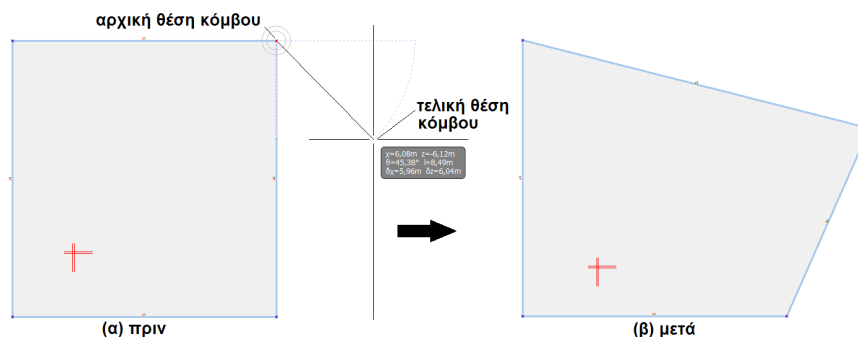
Σχήμα 3.2: Προσθήκη κόμβου επί γραμμής σε απόσταση



**Προσθήκη επί γραμμής ανά τμήματα:** Προσθήκη κόμβων σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους επί γραμμής. Με την εκτέλεση της εντολής, δημιουργούνται νέες γραμμές ίσου μήκους στην θέση της παλιάς γραμμής. Η λειτουργία αυτή είναι παρόμοια με την λειτουργία «Προσθήκη επί γραμμής σε απόσταση» που περιγράφηκε προηγουμένως.



**Μετακίνηση:** Μετακίνηση κόμβου. Εάν ο κόμβος είναι κόμβος περιγράμματος επιφάνειας ή ανήκει σε γραμμή, τότε αλλάζει και το σχήμα της επιφάνειας ή της γραμμής αντίστοιχα (Σχήμα 3.3).



**Σχήμα 3.3:** Η μετακίνηση ή αλλαγή των συντεταγμένων του κόμβου μεταβάλλει το σχήμα της οντότητας στην οποία ανήκει ο κόμβος.



**Αλλαγή ονόματος:** Τροποποίηση της αρίθμησης του κόμβου και των συντεταγμένων του αυτού. Αν ο κόμβος είναι κόμβος περιγράμματος επιφάνειας, τότε τροποποιείται ανάλογα το περίγραμμα της επιφάνειας (**Σχήμα 3.3**).



**Διαγραφή:** Διαγραφή κόμβου συνεπάγεται και την αυτόματη διαγραφή όσων γραμμών συνδέονται με αυτή. Αν ο κόμβος είναι κόμβος περιγράμματος επιφάνειας, τότε τροποποιείται ανάλογα το περίγραμμα της επιφάνειας. (**Σχήμα 3.4**)



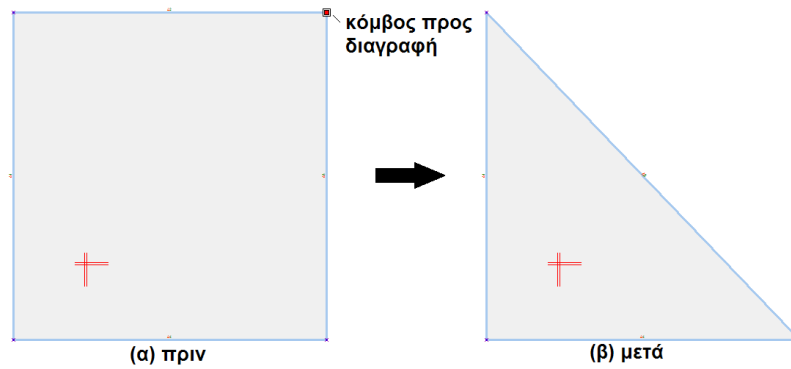
**Πάρε / Δώσε φορτία:** Μεταφέρονται μόνον οι παράμετροι της κάρτας «Φορτία».



**Δώσε στήριξη:** Μεταφέρονται μόνον οι παράμετροι της κάρτας «Στήριξη».



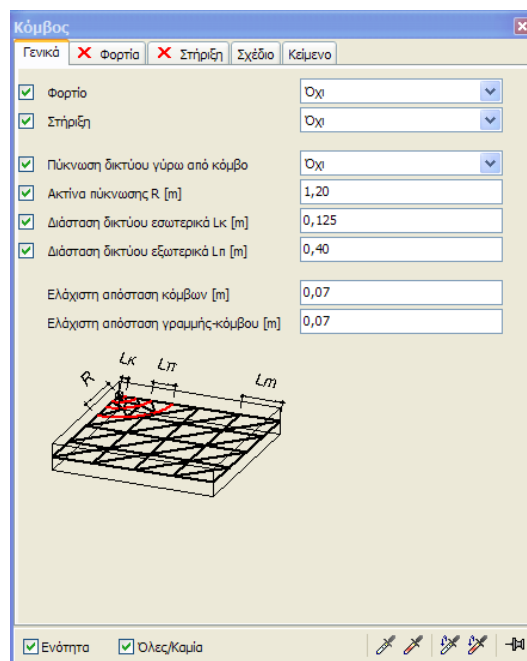
**Δώσε πύκνωση:** Μεταφέρονται μόνον οι 4 σχετικές παράμετροι της πύκνωσης δικτύου (βλέπε «Παράμετροι κόμβου» παρακάτω).



**Σχήμα 3.4:** Η διαγραφή κόμβου μεταβάλλει το σχήμα της οντότητας στην οποία ανήκει ο κόμβος.

### Παράμετροι του κόμβου

Οι παράμετροι του κόμβου εισάγονται από το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων (Εικόνα 3.11).



**Εικόνα 3.11:** Παράθυρο παραμέτρων κόμβου

## Γενικά

**Φορτίο (Ναι / Όχι):** Καθορίζει εάν στον κόμβο θα επιβληθεί συγκεντρωμένο φορτίο ή όχι.

**Στήριξη (Ναι / Όχι):** Καθορίζει εάν στον κόμβο θα επιβληθεί δέσμευση κάποιου βαθμού ελευθερίας ή όχι.

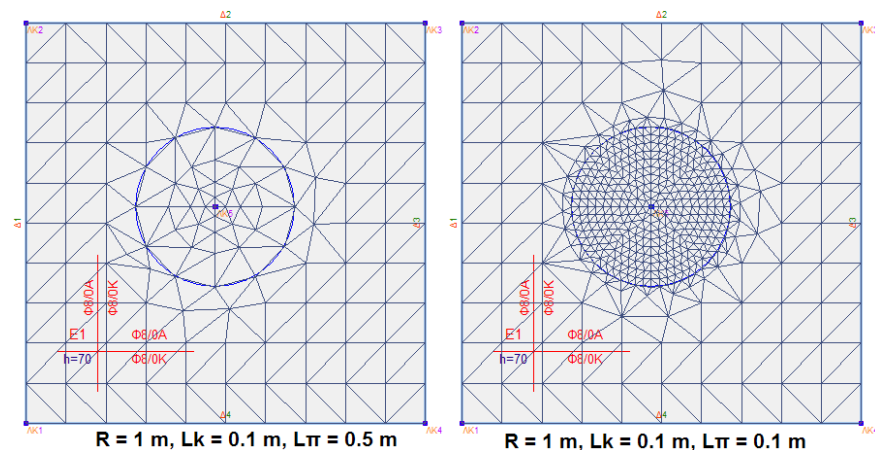
**Πύκνωση δικτύου γύρω από κόμβο (Ναι / Όχι):** Καθορίζει εάν θα γίνει τοπική πύκνωση του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων γύρω από τον κόμβο αυτό (Εικόνα 3.12).

**Ακτίνα πύκνωσης  $R$  [m]:** Το εύρος της κυκλικής περιοχής εντός της οποίας θα γίνει πύκνωση του δικτύου (Εικόνα 3.12).

**Διάσταση δικτύου εσωτερικά  $L_k$  [m]:** Το μέσο μήκος των πεπερασμένων στοιχείων στο κέντρο της περιοχής πύκνωσης (Εικόνα 3.12). Πρέπει να είναι μικρότερο από την ακτίνα πύκνωσης  $R$  και μεγαλύτερο από 0.05m.

**Διάσταση δικτύου εξωτερικά  $L_p$  [m]:** Το μέσο μήκος των πεπερασμένων στοιχείων στην περιφέρεια της περιοχής πύκνωσης (Εικόνα 3.12). Πρέπει να είναι μικρότερο από την ακτίνα πύκνωσης  $R$  και μεγαλύτερο από 0.05m.

**Ελάχιστη απόσταση κόμβων [m]:** Αν υπάρχει ήδη κόμβος σε απόσταση μικρότερη ή ίση με αυτή την τιμή, τότε δεν είναι δυνατή η εισαγωγή νέου κόμβου σε απόσταση μικρότερη από αυτή.



Εικόνα 3.12: Πύκνωση γύρω από κόμβο

**Ελάχιστη απόσταση γραμμής - κόμβου [m]:** Κατά την εισαγωγή κόμβου σε απόσταση ίση ή μικρότερη από αυτή την τιμή, η γραμμή έλκει τον κόμβο και

διασπάται σε δύο γραμμές (Σχήμα 3.2). Δηλαδή ο κόμβος εισάγεται επί της γραμμής, διασπώντας την στα δύο.

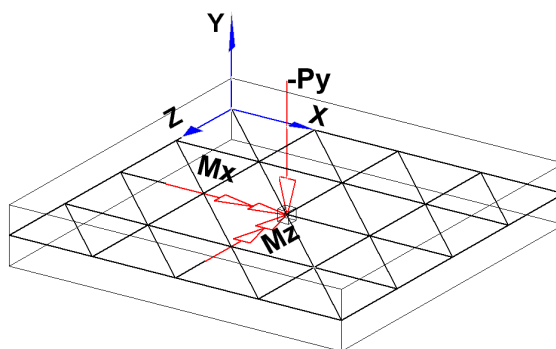
### Φορτία

**Φορτίο (Ναι / Όχι):** Καθορίζει εάν στον κόμβο θα επιβληθεί συγκεντρωμένο φορτίο ή όχι.

**Όνομα δράσης και συντομογραφία:** Καθορίζει εάν το συγκεντρωμένο φορτίο του κόμβου ανήκει στα Μόνιμα (Q) ή στα Κινητά (G) φορτία.

**Fy (kN), Mx (kNm), Mz (kNm):** Τιμές των συγκεντρωμένων επικόμβιων δυνάμεων και ροπών ως προς το καθολικό σύστημα συντεταγμένων. Στο Σχήμα 3.5 δείχνεται η σήμανση των σημειακών φορτίων.

**Εφαρμογή όλων των δράσεων (Ναι / Όχι):** Επιλέγεται εάν η εντολή «δώσε παραμέτρους» θα αφορά όλες τις δράσεις ή μόνο την τρέχουσα



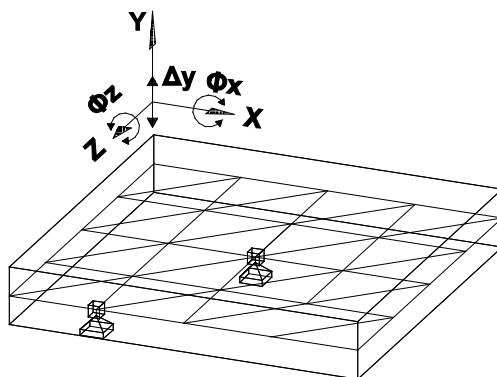
Σχήμα 3.5: Σήμανση σημειακών φορτίων

### Στήριξη

**Στήριξη (Ναι / Όχι):** Καθορίζει εάν στον κόμβο θα επιβληθεί δέσμευση κάποιου βαθμού ελευθερίας ή όχι.

**Τύπος στήριξης:** Προεπιλεγμένοι τύποι στήριξεων.

**$\Delta x / \Delta y / \Delta z / \Phi x / \Phi y / \Phi z$ :** Ο χρήστης επιλέγει εάν η στήριξη του αντίστοιχου βαθμού ελευθερίας θα είναι Ελεύθερη ή Σταθερή (δεσμευμένη). Τα  $\Delta x / \Delta y / \Delta z$  είναι μετατοπίσεις κατά τους άξονες X, Y, Z αντίστοιχα του καθολικού συστήματος συντεταγμένων και τα  $\Phi x / \Phi y / \Phi z$ , αντίστοιχα, είναι στροφές (Σχήμα 3.6).



**Σχήμα 3.6:** Βαθμοί ελευθερίας του κόμβου

**Σήμανση ορατή:** Με την εντολή αυτή εμφανίζεται δίπλα από κάθε κόμβο ένα σύμβολο που χαρακτηρίζει το είδος της στήριξης.

## 3.8 Γραμμή

Οι γραμμές χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του περιγράμματος επιφανειών αλλά και για την προσομοίωση δοκών. Συνοπτικά μια γραμμή μπορεί να εκτελέσει μια ή περισσότερες από τις παρακάτω λειτουργίες:

- (α) επιβολή γραμμικά κατανεμημένων φορτίων
- (β) προσομοίωση στοιχείου δοκού (grid),
- (γ) εφαρμογή γραμμικών στηρίξεων.

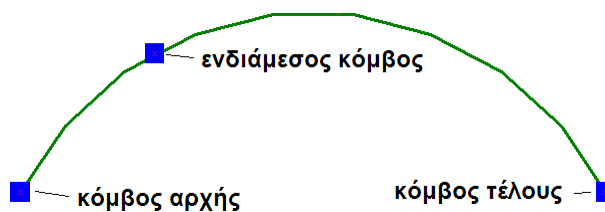
### Εντολές της γραμμής



**Προσθήκη:** Η προσθήκη γραμμής εισάγει αυτόματα και τους δύο κόμβους των άκρων της. Αν στις θέσεις αυτές προϋπάρχουν κόμβοι, η γραμμή τους χρησιμοποιεί ως άκρα της. Οι περιορισμοί που διέπουν την δημιουργία γραμμής περιγράφονται στην παράγραφο 1.4.



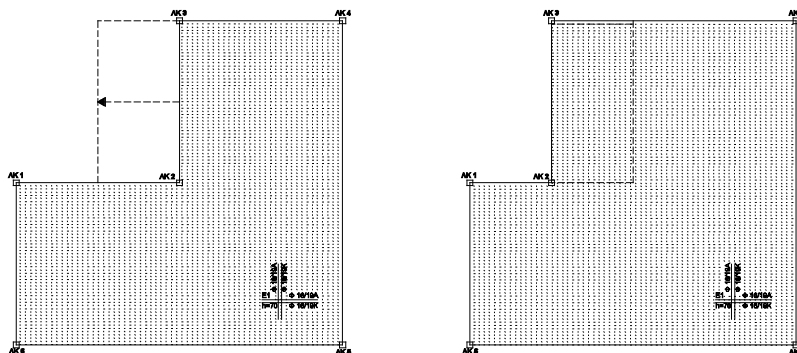
**Προσθήκη τόξου:** Ο χρήστης διαδοχικά δείχνει τα σημεία αρχής και τέλους του τόξου, καθώς και ένα τρίτο σημείο από το οποίο θα διέρχεται (**Σχήμα 3.7**).



Σχήμα 3.7: Προσθήκη τόξου



**Μετακίνηση:** Παράλληλη μετακίνηση γραμμής βάσει νέας θέσης του κόμβου – άκρου. Το μήκος και η κλίση της γραμμής παραμένουν αναλλοίωτα (Σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8: Η μετακίνηση γραμμής μεταβάλλει το περίγραμμα της επιφάνειας.



**Αλλαγή ονόματος:** Τροποποίηση της αρίθμησης της γραμμής.



**Διαγραφή:** Η διαγραφή γραμμής δεν διαγράφει αυτόματα και τους κόμβους των άκρων της. Αν η γραμμή είναι γραμμή περιγράμματος επιφάνειας, τότε η επιφάνεια δεν μεταβάλλεται, ωστόσο δεν είναι πλέον εφικτή η απόδοση παραμέτρων δοκού, στήριξης ή φόρτισης στην πλευρά εκείνη της επιφάνειας.



**Πάρε / Δώσε παραμέτρους:** Μεταφέρονται όλοι οι παράμετροι από την επιλεγμένη γραμμή στην εργαλειοθήκη των γραμμών και αντίστροφα.



**Πάρε / Δώσε φορτία:** Μεταφέρονται μόνον οι παράμετροι της κάρτας «Φορτία».



**Δώσε στήριξη:** Μεταφέρονται μόνον οι παράμετροι της κάρτας «Στήριξη».



**Δώσε πύκνωση:** Μεταφέρονται μόνον οι παράμετροι της πύκνωσης δικτύου (κάρτα «Γενικά»).



**Δώσε δοκό:** Μεταφέρονται μόνον οι παράμετροι της κάρτας «Δοκός»

### Παράμετροι της γραμμής

Οι παράμετροι του κόμβου εισάγονται από το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων (Εικόνα 3.13).

Εικόνα 3.13: Παράθυρο παραμέτρων γραμμής

### Γενικά

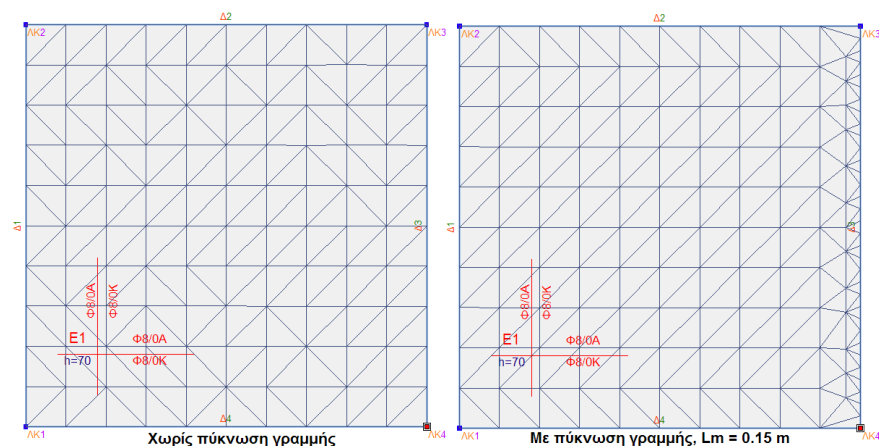
**Ακαμψία (Ναι / Όχι):** Κατά μήκος της γραμμής, στο μοντέλο θα υπάρχουν στοιχεία δοκού.

**Φορτίο (Ναι / Όχι):** Κατανεμημένο φορτίο στο μήκος της γραμμής.

**Στήριξη (Ναι / Όχι):** Καθορίζεται η δέσμευση των βαθμών ελευθερίας των κόμβων του πλέγματος, οι οποίοι κείνται στη γραμμή.

**Πύκνωση δικτύου:** Καθορίζει την τοπική διαφοροποίηση της διάστασης της πλευράς των πεπερασμένων στοιχείων κατά μήκος της γραμμής (Εικόνα 3.14).

**Στοχευόμενη πλευρά πεπερασμένων στοιχείων  $L_m$  [m]:** Εφόσον επιλεγεί πύκνωση δικτύου, επιλέγεται η μέγιστη διάσταση της πλευράς των πεπερασμένων στοιχείων με πλευρά επί της γραμμής.



Εικόνα 3.14: Πύκνωση γραμμής

## Ακαμψία

**Ακαμψία (Ναι / Όχι):** Κατά μήκος της γραμμής, στο μοντέλο θα υπάρχουν στοιχεία δοκού.

**Πλάτος  $b_w$  / Ύψος  $h$  [m]:** Οι διαστάσεις της δοκού.

**Συντελεστής καμπτικής δυσκαμψίας:** Εισάγεται πολλαπλασιαστικός συντελεστής της καμπτικής ροπής αδρανείας της δοκού, επιπλέον των συντελεστών με τους οποίους λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της ρηγμάτωσης και του ερπυσμού (βλ. σχετικές παραμέτρους στην «Επίλυση»)

**Συντελεστής στρεπτικής δυσκαμψίας:** Μεταβάλλοντας τον συντελεστή αυτόν και εφόσον έχουμε εξασφαλίσει στρεπτική στήριξη στα άκρα της δοκού, έχουμε τη δυνατότητα να αυξομειώσουμε το βαθμό πάκτωσης της πλάκας κατά μήκος της δοκού π.χ. σε δοκούς με τις οποίες προσομοιώνουμε τοιχώματα υπογείου.

**Ποιότητα σκυροδέματος:** Επιλογή σκυροδέματος με προκαθορισμένες μηχανικές ιδιότητες (βλέπε παρακάτω «Σταθερές υλικού»).

**Σταθερές υλικού:** Δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει τις δικές του τιμές στις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος (μέτρο ελαστικότητας, λόγος poisson, συντελεστής θερμικής διαστολής, ειδικό βάρος, πυκνότητα).

**Διαστάσεις ορατές (Ναι / Όχι):** Με την επιλογή αυτή εμφανίζονται ή αποκρύπτονται οι διαστάσεις (ύψος / πλάτος) κάθε δοκού επάνω σε κάθε γραμμή.

### Φορτία

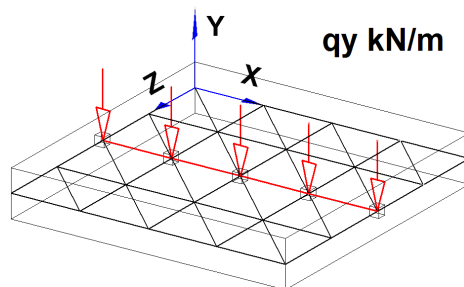
**Φορτίο (Ναι / Όχι):** Καθορίζει εάν στην γραμμή θα επιβληθεί συγκεντρωμένο φορτίο ή όχι.

**Όνομα δράσης και συντομογραφία (μόνιμα / κινητά / κλπ):** Καθορίζει εάν το συγκεντρωμένο φορτίο του κόμβου ανήκει στα Μόνιμα (Q) ή στα Κινητά (G) φορτία.

**Υπολογισμός ιδίου βάρους (Ναι / Όχι):** Καθορίζει εάν το φορτίο  $q_y$ , που δίδεται στην επόμενη παράμετρο, θα προσαυξηθεί με το ίδιο βάρος της δοκού. Εν γένει, μόνο στα μόνιμα φορτία συνυπολογίζεται το ίδιο βάρος.

**Τιμή φορτίου  $q_y$  [kN/m]:** Καταναμημένο φορτίο επί της δοκού (Σχήμα 3.9) κατά την διεύθυνση Y του καθολικού συστήματος συντεταγμένων (κάθετα στην επιφάνεια της πλάκας).

**Εφαρμογή όλων των δράσεων (Ναι / Όχι):** Επιλέγεται εάν η εντολή «δώσε φορτία» θα αφορά όλες τις δράσεις ή μόνο την τρέχουσα



Σχήμα 3.9: Φορτίο δοκού

### Στήριξη

**Στήριξη (Ναι / Όχι):** Καθορίζεται η δέσμευση των βαθμών ελευθερίας των κόμβων του πλέγματος, οι οποίοι κείνται στη γραμμή.

**Τύπος στήριξης:** Προεπιλεγμένοι τύποι στηρίξεων.

**$\Delta x$  /  $\Delta y$  /  $\Delta z$  /  $\Phi x$  /  $\Phi y$  /  $\Phi z$ :** Ο χρήστης επιλέγει εάν η στήριξη του αντίστοιχου βαθμού ελευθερίας θα είναι Ελεύθερη ή Σταθερή (δεσμευμένη). Τα  $\Delta x$  /  $\Delta y$  /  $\Delta z$  είναι μετατοπίσεις κατά τους άξονες X, Y, Z αντίστοιχα του καθολικού συστήματος συντεταγμένων και τα  $\Phi x$  /  $\Phi y$  /  $\Phi z$ , αντίστοιχα, είναι στροφές.

**Σήμανση ορατή (Ναι / Όχι):** Με την εντολή αυτή εμφανίζεται στο μέσο κάθε γραμμής ένα σύμβολο που χαρακτηρίζει το είδος της στήριξης. Το σύμβολο αυτό είναι διαφορετικό για κάθε τύπο στήριξης. Για παράδειγμα, για πλήρη πάκτωση χρησιμοποιείται το σύμβολο  ενώ για απλή άρθρωση χρησιμοποιείται το σύμβολο .

### 3.9 Επιφάνεια

Η οντότητα επιφάνεια χρησιμεύει για προσομοίωση πλακών ανωδομής και πλακών κοιτόστρωσης.

Στην περίπτωση των **πλακών κοιτόστρωσης**, οι επιφάνειες εδράζονται επί ελαστικού εδάφους και οι αντιδράσεις στήριξης του χωρικού πλαισίου (ροπές και αξονικές εισάγονται ως συγκεντρωμένα φορτία στους κόμβους του επιφανειακού φορέα.

Στην περίπτωση των **πλακών ανωδομής**, η έδραση των επιφανειών υλοποιείται είτε μέσω σημειακών και γραμμικών στηρίξεων είτε έμμεσα σε μέλη μεγαλύτερης ακαμψίας όπως στοιχεία δοκού.

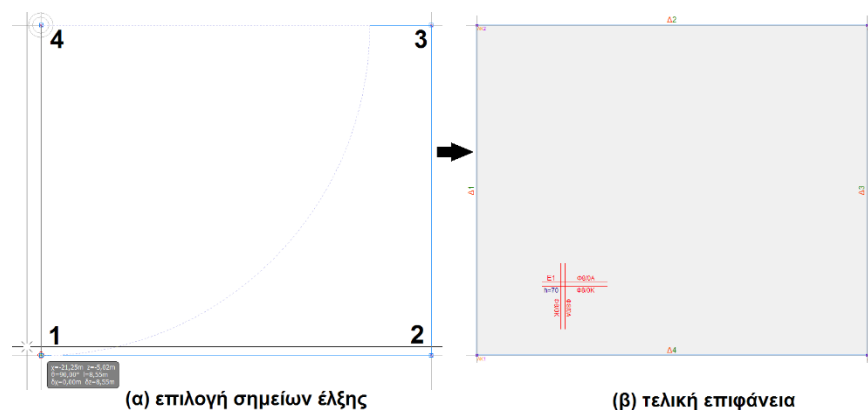
Το εσωτερικό της επιφάνειας διακριτοποιείται σε πλέγμα τριγωνικών πεπερασμένων στοιχείων κελύφους.

#### Εντολές της επιφάνειας



**Προσθήκη:** Δημιουργία νέας επιφάνειας. Η επιφάνεια σχηματίζεται από την επιλογή διαδοχικών σημείων έλξεως ή κόμβων. Ανά δύο κόμβους που επιλέγονται σχηματίζεται μια ευθεία γραμμή (προεπιλεγμένη λειτουργία) η οποία ορίζει το περίγραμμα της επιφάνειας (**Σχήμα 3.10**). Προκειμένου να κλείσει η επιφάνεια, η επιλογή των σημείων πρέπει να καταλήγει στο αρχικό σημείο.

Επίσης, υπάρχει και η επιλογή  (κλείσιμο επιφάνειας), η οποία ενεργοποιείται με δεξί κλικ του mouse.



**Σχήμα 3.10:** Για να σχηματιστεί η επιφάνεια επιλέγονται τα σημεία 1,2,3,4 και ξανά πάλι το 1 για να κλείσει η επιφάνεια.

Επιπλέον, παρέχονται κάποιες ακόμα λειτουργίες στον χρήστη οι οποίες ενεργοποιούνται πιέζοντας το δεξί πλήκτρο του mouse κατά την φάση της επιλογής των κόμβων (**Εικόνα 3.15**). Οι επιλογές αυτές είναι:

- i. Ευθεία γραμμή
- ii. Τόξο 3 σημείων
- iii. Τόξο με κέντρο και αρχή / τέλος και
- iv. Τομή με γραμμή επιφάνειας.

Οι λειτουργίες αυτές είναι σε ισχύ **μόνο** όταν ο χρήστης έχει επιλέξει επεξεργασία επιφάνειας.

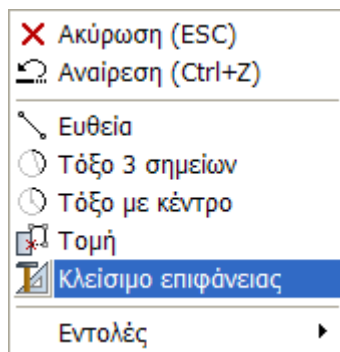
Οι περιορισμοί που διέπουν την δημιουργία επιφάνειας περιγράφονται στην παράγραφο 1.4.



**Μετακίνηση:** Παράλληλη μετακίνηση της επιφάνειας από αρχική σε τελική θέση. Ως σημείο αναφοράς λαμβάνεται μια από τις κορυφές της επιφάνειας. Το σχήμα της επιφάνειας παραμένει αμετάβλητο.



**Θέση σχεδίασης οπλισμού:** Παράλληλη μετακίνηση της σήμανσης του οπλισμού από αρχική σε τελική θέση.



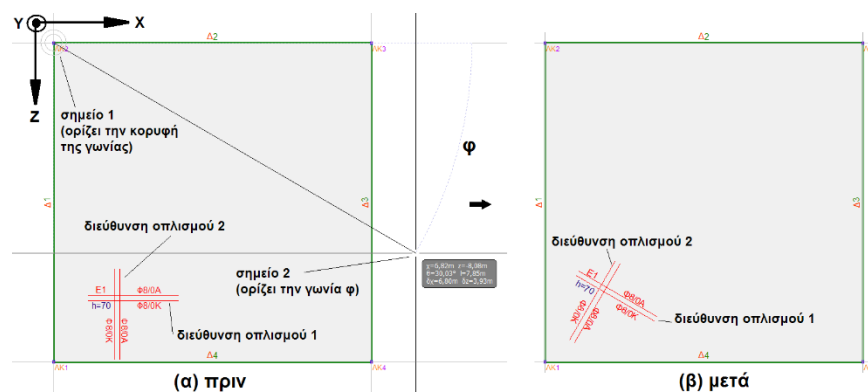
**Εικόνα 3.15:** Εργαλεία για την δημιουργία επιφανειών



**Περιστροφή οπλισμού:** Ορίζεται η διεύθυνση της εξωτερικής στρώσης (1) του οπλισμού με επιλογή δυο σημείων οπουδήποτε στην οθόνη. Η γωνία  $\varphi$  της στρώσης 1 ως προς τον καθολικό άξονα X -μετρούμενη αριστερόστροφα-φαίνεται στην καρτέλα «Οπλισμός». (βλέπε **Σχήμα 3.11**).



**Εμφάνιση / Απόκρυψη οπλισμού:** Εμφανίζει ή αποκρύπτει την σήμανση του οπλισμού επάνω σε μια επιφάνεια.



**Σχήμα 3.11:** Περιστροφή οπλισμού



**Αλλαγή ονόματος:** Τροποποίηση της αρίθμησης της επιφάνειας



**Διαγραφή:** Διαγραφή της επιφάνειας, των γραμμών της περιμέτρου της και των κόμβων στις κορυφές της.



**Πάρε / Δώσε παραμέτρους:** Μεταφέρονται όλοι οι παράμετροι από την επιλεγμένη επιφάνεια στην εργαλειοθήκη των επιφανειών και αντίστροφα.



**Πάρε / Δώσε φορτία:** Μεταφέρονται όλοι οι παράμετροι της κάρτας «Φορτία» από την επιλεγμένη επιφάνεια στην εργαλειοθήκη των επιφανειών και αντίστροφα.



**Ένωση επιφανειών:** Συνενώνει δύο επιφάνειες σε μία με μοναδική αρίθμηση και μοναδικές ιδιότητες. Οι προς ένωση επιφάνειες πρέπει να έχουν ένα κοινό σύνορο.



**Αφαίρεση επιφανειών:** Με την λειτουργία αυτή η πρώτη από δύο επιφάνειες που επιλέγονται παραχωρεί τμήμα της στην δεύτερη επιφάνεια. Οι προς αφαίρεση επιφάνειες πρέπει να έχουν μια κοινή περιοχή πριν την αφαίρεση.

### Παράμετροι της επιφάνειας

Οι παράμετροι της επιφάνειας εισάγονται από το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων (Εικόνα 3.16).

Εικόνα 3.16: Παράθυρο παραμέτρων επιφάνειας

### Γενικά

**Είδος υλικού (Σκυρόδεμα / Άλλο):** Όταν τεθεί η τιμή «άλλο» θα πρέπει να δοθούν οι παράμετροί του (μέτρο ελαστικότητας, κλπ), στην κάρτα «Σκυρόδεμα», στις σταθερές υλικού.

#### Επί ελαστικού εδάφους:

**Ναι:** Είναι πλάκα κοιτόστρωσης και ο χρήστης πρέπει να εισάγει και τις αντίστοιχες ιδιότητες του εδάφους στην κάρτα «Εδαφος».

**Όχι:** Πλάκα ανωδομής

**Πάχος επιφάνειας:** Εισάγεται το πάχος της πλάκας το οποίο είναι σταθερό σε όλη την επιφάνεια.

**Στοχευόμενη πλευρά πεπερασμένων στοιχείων [m]:** Η προτιμητέα διάσταση της πλευράς του πεπερασμένου στοιχείου που παράγεται.

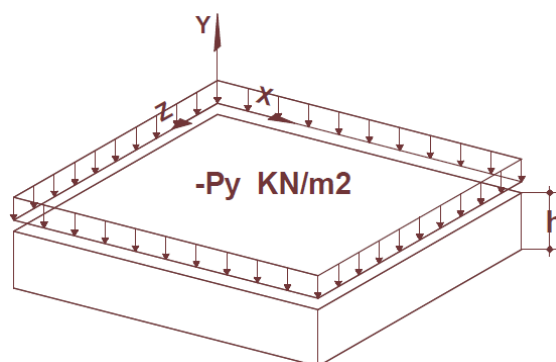
**Με διαστασιολόγηση (Ναι / Όχι):** Παρέχεται η δυνατότητα να εξαιρεθούν επιφάνειες από τον υπολογισμό και την εκτύπωση του απαιτούμενου οπλισμού.

## Φορτία

**Όνομα δράσης και συντομογραφία (μόνιμα / κινητά / κλπ):** Καθορίζει εάν το συγκεντρωμένο φορτίο του κόμβου ανήκει στα Μόνιμα (Q) ή στα Κινητά (G) φορτία.

**Τιμή φορτίου  $P_y$  [kN/m<sup>2</sup>]:** Κατανεμημένο φορτίο, κατά την διεύθυνση Y του καθολικού συστήματος συντεταγμένων (Σχήμα 3.12).

**Εφαρμογή όλων των δράσεων (Ναι / Όχι):** Επιλέγεται εάν η εντολή «δώσε φορτία» θα αφορά όλες τις δράσεις ή μόνο την τρέχουσα.



Σχήμα 3.12: Κατανεμημένο φορτίο πλάκας

## Σκυρόδεμα

**Ποιότητα σκυροδέματος:** Επιλογή σκυροδέματος με προκαθορισμένες μηχανικές ιδιότητες (βλέπε παρακάτω «Σταθερές υλικού»).

Η επιλεγόμενη ποιότητα σκυροδέματος καθορίζει τη **χαρακτηριστική αντοχή  $f_{ck}$**  και το μέτρο ελαστικότητας  $E_{cm}$

**Σταθερές υλικού:** Δίδεται η δυνατότητα να καθοριστούν οι μηχανικές ιδιότητες του υλικού (μέτρο ελαστικότητας, λόγος poisson, συντελεστής θερμικής διαστολής, ειδικό βάρος, πυκνότητα).

**Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού γενικώς [%]:** Ορίζεται το ελάχιστο ποσοστό εφελκυσμένου ή θλιβόμενου οπλισμού που εφαρμόζεται σε κάθε στρώση. Εν γένει σε πλάκες ανωδομής μπορεί να τίθεται ίσο με 0%, ενώ στις πλάκες κοιτόστρωσης, όπου η συνήθης πρακτική είναι να τοποθετείται πλέγμα οπλισμών άνω και κάτω, προτείνεται να επιλέγεται ελάχιστο ποσοστό 1%.

**Μέγιστο ποσοστό οπλισμού γενικώς [%]:** Εφόσον κατά τη διαστασιολόγηση της πλάκας απαιτηθεί σε κάποιο στοιχείο περισσότερος οπλισμός από το δεδομένο

μέγιστο, τότε εμφανίζεται μήνυμα, ενώ για το στοιχείο αυτό δεν εξάγονται αποτελέσματα. Βάσει των κανονισμών είναι  $\rho_{\max} = 4\%$ .

**Ελάχιστος εφελκυσμένος οπλισμός [%]:** Δίδεται το ελάχιστο ποσοστό που θα εφαρμοστεί σε κάποια στρώση οπλισμού εφόσον για κάποιο συνδυασμό φόρτισης προκύψει εφελκυσμένη. Ως ελάχιστος εφελκυσμένος οπλισμός σε πλάκες ορίζεται  $0,26 \cdot f_{ctm}/f_{yk}$  (1,3‰ για C20) [EC2-1-1 §9.3.1.1].

**Ελάχιστος εγκάρσιος οπλισμός (% του κύριου οπλισμού):** Στον EC2-1-1 §9.3.1.1(2) το ποσοστό αυτό ορίζεται στο 20%. Π.χ. θα τίθεται ελάχιστος οπλισμός σε κάθε στρώση τουλάχιστον ίσος με το 20% του οπλισμού που εφαρμόζεται στην άλλη στρώση.

**Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης [%]:** Ορίζεται το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης σε θέσεις υπέρβασης της διατμητικής αντοχής της πλάκας  $VR_{dc}$ . Ο ελάχιστος οπλισμός διάτμησης ορίζεται στον EC2-1-1 §9.3.2 ίσος με  $0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}/f_{yk}$ . Προκειμένου να ληφθεί η τιμή αυτή από το πρόγραμμα αρκεί να τεθεί η τιμή της παραμέτρου ίση με 0‰.

#### Αποφυγή οπλισμού διάτμησης:

**Ναι-με αύξηση του οπλισμού κάμψης:** Υπολογίζεται το ποσοστό του εφελκυσμένου οπλισμού κάμψης  $\rho_l$  ώστε η διατμητική αντοχή  $VR_{dc}$  χωρίς οπλισμό διάτμησης (βλ. EC2-1-1 (6.2)) να υπερβαίνει την τέμνουσα σχεδιασμού  $V_l$ . Εφόσον το ποσοστό  $\rho_l$  προκύπτει μικρότερο του 2%, τότε αυτό κατανέμεται στις στρώσεις του εφελκυσμένου οπλισμού, διαφορετικά εμφανίζεται μήνυμα πως δεν είναι δυνατή η αποφυγή του οπλισμού διάτμησης και εφαρμόζεται ο απαιτούμενος λόγω κάμψης οπλισμός.

Η επιρροή του εφελκυσμένου οπλισμού στην αύξηση της διατμητικής αντοχής είναι μικρή (βλ. EC2-1-1 (6.2)), αφού διπλασιασμός του  $\rho_l$  ισοδυναμεί με αύξηση της αντοχής μόλις κατά 25%.

**Όχι:** στον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής  $VR_{dc}$  υπεισέρχεται το ποσοστό του απαιτούμενου εφελκυσμένου οπλισμού κάμψης.

## Οπλισμός

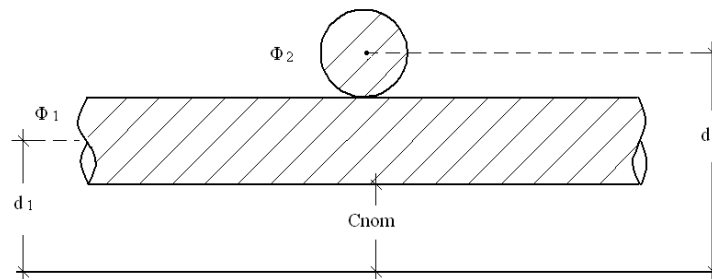
**Ποιότητα χάλυβα  $f_{yk}$  [MPa]:** Καθορίζεται η χαρακτηριστική αντοχή του χάλυβα οπλισμών.

**Διάμετροι άνω / κάτω οπλισμού:** Επιλέγονται οι διάμετροι οπλισμού που θα χρησιμοποιηθούν κατά την μετατροπή της απαιτούμενης επιφάνειας οπλισμού σε ράβδους. Παρέχεται η δυνατότητα διαφορετικής επιλογής για τις στρώσεις του άνω και κάτω οπλισμού.

**Επικάλυψη  $c_{nom}$  άνω / κάτω οπλισμού:** Ορίζεται η ονομαστική επικάλυψη της εξωτερικής στρώσης οπλισμού της άνω και κάτω επιφάνειας της πλάκας. Η απόσταση των στρώσεων οπλισμού  $d1$  και  $d2$  από την επιφάνεια της πλάκας (βλ.

επόμενη παρ/τρο) και συνακόλουθα το αντίστοιχο στατικό ύψος  $d=h-d_1$  υπολογίζονται αυτόματα στο πρόγραμμα, ως εξής  $d_1=c_{nom}+0,014/2$  και  $d_2=c_{nom}+0,014*3/2$

**Εσωτερική / Εξωτερική στρώση d1 & d2 άνω / κάτω οπλισμού:** Πέρα από τον αυτόματο υπολογισμό των αποστάσεων d1 και d2 παρέχεται η δυνατότητα να οριστούν οι αποστάσεις για κάθε στρώση από την άνω και κάτω επιφάνεια της πλάκας.

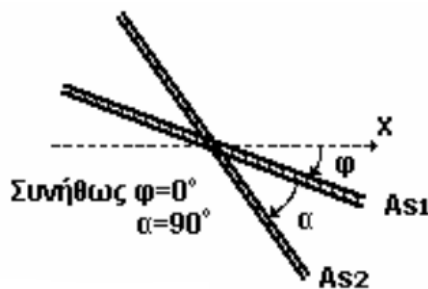


**Σχήμα 3.13:** Επικάλυψη και απόσταση στρώσεων οπλισμού από την παρειά της πλάκας.

**Γωνία οπλισμών  $\varphi$  ( $\pm 180^\circ$ ):** Η γωνία που σχηματίζει η εξωτερική στρώση του οπλισμού (διεύθυνση 1) με τον καθολικό άξονα X (Σχήμα 3.14).

**Γωνία οπλισμών  $\alpha$  ( $\pm 90^\circ$ ):** Η σχετική λοξότητα των δυο στρώσεων ή αλλιώς η γωνία που σχηματίζει η εσωτερική στρώση του οπλισμού (διεύθυνση 2) ως προς την εξωτερική στρώση (διεύθυνση 1) (Σχήμα 3.14).

Υπενθυμίζεται ότι οι διευθύνσεις των δύο στρώσεων οπλισμού είναι κοινές για την πάνω και την κάτω ίνα της πλάκας.



**Σχήμα 3.14:** Γωνία οπλισμού  $\varphi$  και σχετική γωνία λοξότητας  $\alpha$  στρώσεων οπλισμού.

## Σίδερα

**Ορατό (Ναι / Όχι):** Επιλέγεται εάν θα εμφανίζεται ο οπλισμός στην επιφάνεια.

**Διάμετρος και απόσταση άνω & κάτω ράβδων στις διευθύνσεις 1 & 2:** Για κάθε στρώση οπλισμού και με δεδομένη την μέγιστη απαιτούμενη επιφάνεια, που έχει προκύψει κατά τη διαστασιολόγηση, προσδιορίζεται ο βέλτιστος συνδυασμός διαμέτρου/ απόστασης ράβδων.

Οι διαθέσιμες διαμέτρου οπλισμού ορίζονται στην καρτέλα «Οπλισμός»

Η μέγιστη απόσταση ράβδων είναι ορισμένη στα 20cm.

## Έδαφος

**Είδος εδάφους:** Επιλέγεται το είδος εδάφους θεμελίωσης και αυτόματα ενημερώνεται στο πρόγραμμα ο δείκτης εδάφους (βλ. επόμενη παράμετρο) με τιμές που προτείνονται στη βιβλιογραφία για κάθε εδαφικό τύπο.

**Δείκτης εδάφους  $K_s$  [kN/m<sup>2</sup>/m]:** Εισάγεται η σταθερά του εδάφους.

**Επιτρεπόμενη τάση σεπ:** Εδώ εισάγεται η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση που μπορεί να δεχτεί το έδαφος.

Η μέγιστη αναπτυσσόμενη τάση εδάφους, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους συνδυασμούς, φαίνεται στις περιβάλλουσες των αποτελεσμάτων. Πέρα από την φέρουσα ικανότητα, θα πρέπει να ελέγχεται από τον μελετητή και η πιθανότητα δημιουργίας χαίνοντος αρμού, κυρίως σε συνδυασμούς που περιλαμβάνουν σεισμό ή άνεμο, η οποία δηλώνεται με την αρνητική τάση εδάφους.

## 3.10 Οπή

Η οπή πρέπει να βρίσκεται εξολοκλήρου μέσα σε πλάκα. Δεν επιτρέπεται η μερική επικάλυψη πλάκας με οπή.

### Εντολές της οπής



**Προσθήκη:** Δημιουργία νέας οπής. Η οπή σχηματίζεται από την επιλογή διαδοχικών σημείων έλξεως ή κόμβων. Ανά δύο κόμβους που επιλέγονται σχηματίζεται μια ευθεία γραμμή (προεπιλεγμένη λειτουργία) η οποία ορίζει το περίγραμμα της οπής. Προκειμένου να κλείσει η οπή, η επιλογή των σημείων πρέπει να καταλήγει στο αρχικό σημείο. Επίσης, υπάρχει και η επιλογή  (κλείσιμο οπής), η οποία ενεργοποιείται με δεξί κλικ του mouse.

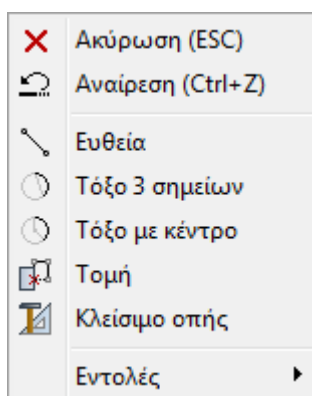
Επιπλέον, παρέχονται κάποιες ακόμα λειτουργίες στον χρήστη οι οποίες ενεργοποιούνται πιέζοντας το δεξί πλήκτρο του mouse κατά την φάση της επιλογής των κόμβων (**Εικόνα 3.17**). Οι επιλογές αυτές είναι:

- v. Ευθεία γραμμή
- vi. Τόξο 3 σημείων
- vii. Τόξο με κέντρο και αρχή / τέλος και
- viii. Τομή με γραμμή επιφάνειας.

Οι λειτουργίες αυτές είναι σε ισχύ **μόνο** όταν ο χρήστης έχει επιλέξει επεξεργασία οπής.



**Μετακίνηση:** Παράλληλη μετακίνηση της επιφάνειας από αρχική σε τελική θέση. Ως σημείο αναφοράς λαμβάνεται μια από τις κορυφές της επιφάνειας. Το σχήμα της επιφάνειας παραμένει αμετάβλητο.



**Εικόνα 3.17:** Εργαλεία για την δημιουργία οπών



**Αλλαγή ονόματος:** Τροποποίηση της αρίθμησης της επιφάνειας

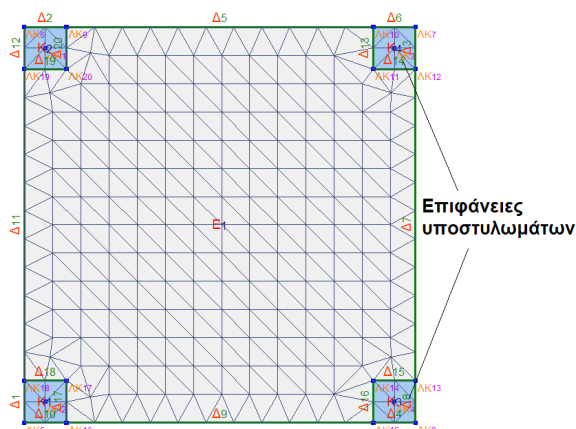


**Διαγραφή:** Διαγραφή της επιφάνειας, των γραμμών της περιμέτρου της και των κόμβων στις κορυφές της.

### 3.11 Υποστύλωμα

Στις θέσεις όπου υπάρχει υποστύλωμα, υπάρχει η δυνατότητα μοντελοποίησης της περιοχής του **ίχνους πόδα** (footprint) του υποστυλώματος με επιφανειακά στοιχεία κελύφους (**Εικόνα 3.18**). Δηλαδή, στην θέση όπου υπάρχει υποστύλωμα ορίζεται ένας κόμβος αναφοράς επί του οποίου, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει μια επιφάνεια ορθογωνικού σχήματος. Για την περιγραφή υποστυλώματος πρέπει να υπάρχει κόμβος στη θέση εισαγωγής. Το πρόγραμμα δεν υπολογίζει οπλισμό στα στοιχεία της επιφάνειας αυτής.

Ωστόσο, μια περιοχή υποστυλώματος πρέπει είτε να στηρίζεται επί ελαστικού εδάφους, είτε ο κόμβος αναφοράς να είναι στηριγμένος. Σε αντίθετη περίπτωση ο ορισμός μιας περιοχής ως οντότητα υποστυλώματος ενώ στην πραγματικότητα δεν υπάρχει υποστύλωμα εκεί είναι λάθος, καθώς η περιοχή αυτή δεν θα οπλιστεί.



**Εικόνα 3.178:** Ορισμός περιοχής υποστυλώματος

#### Εντολές του υποστυλώματος



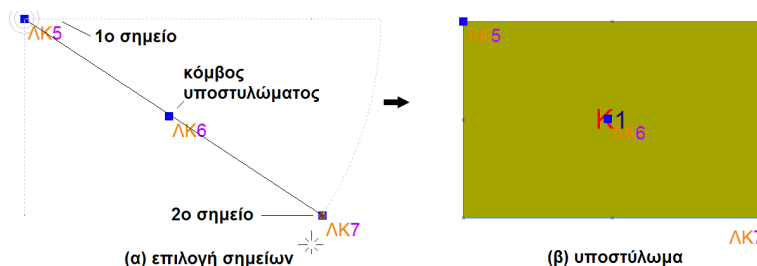
**Προσθήκη:** Η προσθήκη νέου υποστυλώματος γίνεται σε τρία βήματα: α) Επιλογή κόμβου αναφοράς, β) επιλογή κορυφής και γ) επιλογή τελικής θέσης κορυφής. Κάθε διατομή υποστυλώματος έχει συνολικά 8 σημεία κορυφής τα οποία μπορεί να επιλέξει ο χρήστης ως σημεία αναφοράς. Η διαδικασία προσθήκης νέου υποστυλώματος δείχνεται στο **Σχήμα 3.15**.



Σχήμα 3.15: Προσθήκη νέου υποστυλώματος



**Προσθήκη με δύο σημεία:** Με την επιλογή αυτή, ο χρήστης αρχικά επιλέγει τον κόμβο αναφοράς, ο οποίος ορίζει το υποστυλόμεμα, και ύστερα επιλέγει δύο σημεία τα οποία ορίζουν την κύρια διαγώνιο της διατομής του υποστυλώματος (Σχήμα 3.16).



Σχήμα 3.16: Προσθήκη υποστυλώματος με δύο σημεία



**Μετακίνηση:** Η μετακίνηση υποστυλώματος γίνεται σε τρία βήματα: α) Επιλογή υποστυλώματος, β) επιλογή κορυφής και γ) επιλογή τελικής θέσης κορυφής. Η διαδικασία είναι παρόμοια με την εκείνη της προσθήκης νέου υποστυλώματος.



**Περιστροφή:** Η περιστροφή υποστυλώματος γίνεται σε πέντε βήματα: α) Επιλογή κέντρου στροφής, β) και γ) Επιλογή δύο σημείων που ορίζουν την αρχική κλίση του υποστυλώματος ως προς τον καθολικό άξονα X, δ) και ε) Επιλογή δύο σημείων που ορίζουν την τελική κλίση ως προς τον καθολικό άξονα X.



**Μετατροπή σε επιφάνεια:** Με την επιλογή αυτή το υποστυλόμεμα μετατρέπεται σε επιφανειακή οντότητα. Με την λειτουργία αυτή το υποστυλόμεμα δεν χάνει τις παραμέτρους του, αλλά μετατρέπεται σε οντότητα επιφάνεια η οποία

δεν οπλίζεται. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι είτε τα υποστυλώματα μοντελοποιηθούν ως οντότητες «Υποστυλώματα» είτε ως οντότητες «Επιφάνειες» που προέκυψαν από υποστυλώματα, η επίλυση θα δώσει ακριβώς τα ίδια αποτελέσματα. Ο λόγος που υπάρχει αυτή η λειτουργία είναι για να αντιμετωπίζει προβλήματα επικάλυψης υποστυλωμάτων που εμφανίζονται κατά την εισαγωγή συντεταγμένων κόμβων (αρχεία \*.tek) από το πρόγραμμα FESPA. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι επιφάνειες των υποστυλωμάτων επικαλύπτονται με αποτέλεσμα αν είναι αδύνατη η δημιουργία δικτύου πεπερασμένων στοιχείων. Με την λειτουργία αυτή οι επικαλύψεις καταργούνται.



**Αλλαγή ονόματος:** Τροποποίηση της αρίθμησης του υποστυλώματος.



**Διαγραφή:** Διαγραφή του υποστυλώματος.



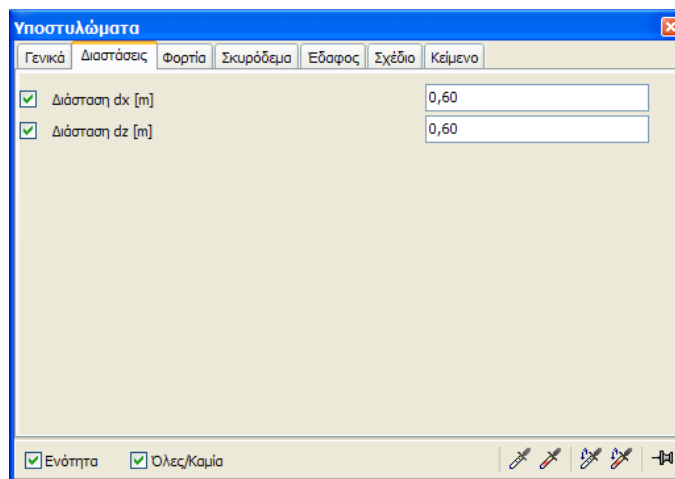
**Πάρε / Δώσε παραμέτρους:** Μεταφέρονται όλοι οι παράμετροι από το επιλεγμένο υποστυλώμα στην εργαλειοθήκη των υποστυλωμάτων και αντίστροφα.



**Πάρε / Δώσε φορτία:** Μεταφέρονται όλοι οι παράμετροι της κάρτας «Φορτία» από το επιλεγμένο υποστυλώμα στην εργαλειοθήκη των υποστυλωμάτων και αντίστροφα.

### Παράμετροι του υποστυλώματος

Οι παράμετροι του υποστυλώματος εισάγονται από το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων (Εικόνα 3.19).



Εικόνα 3.18: Παράθυρο παραμέτρων υποστυλώματος

### Γενικά, Φορτία, Σκυρόδεμα, Έδαφος

Σε γενικές γραμμές το υποστυλώμα διαθέτει ίδιες παραμέτρους με την επιφάνεια. Δεν διαθέτει όμως καθόλου παραμέτρους οπλισμού. Οι κάρτες Γενικά, Φορτία, Σκυρόδεμα, Έδαφος έχουν ακριβώς τις ίδιες παραμέτρους με τις αντίστοιχες της οντότητας επιφάνεια.

### Διαστάσεις

**Διάσταση dx / dz:** Οι διαστάσεις της διατομής του υποστυλώματος.

## 3.12 Ενίσχυση

Η ενίσχυση σκοπεύει να διαχωρίσει ορισμένες περιοχές εντός της πλάκας (π.χ. γύρω από υποστυλώματα), όπου θα απαιτηθεί είτε διαμόρφωση γεωμετρική (π.χ. διαφορετικό πάχος) είτε πυκνωση οπλισμού (**Εικόνα 3.19**). Η ενίσχυση είναι στην ουσία μια επιφανειακή οντότητα και διακριτοποιείται με τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία κελύφους. Για την περιγραφή ενίσχυσης πρέπει να υπάρχει κόμβος στη θέση εισαγωγής. Το πρόγραμμα υπολογίζει οπλισμό στα στοιχεία της επιφάνειας αυτής.

### Εντολές της ενίσχυσης

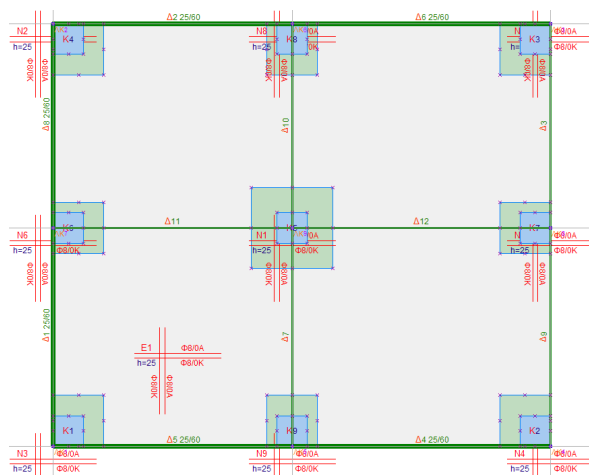


**Προσθήκη:** Η προσθήκη νέας ενίσχυσης γίνεται σε τρία βήματα: α) Επιλογή υπάρχοντος κόμβου, β) επιλογή κορυφής και γ) επιλογή τελικής θέσης κορυφής. Κάθε διατομή ενίσχυσης έχει συνολικά 8 σημεία κορυφής τα οποία

μπορεί να επιλέξει ο χρήστης ως σημεία αναφοράς. Η διαδικασία προσθήκης νέας ενίσχυσης είναι αντίστοιχη εκείνης για την προσθήκη νέου υποστυλώματος που δείχνεται στο **Σχήμα 3.15**.



**Προσθήκη με δύο σημεία:** Η διαδικασία προσθήκης νέας ενίσχυσης με δύο σημεία είναι αντίστοιχη εκείνης για την προσθήκη νέου υποστυλώματος που δείχνεται στο **Σχήμα 3.16**.



**Εικόνα 3.19:** Πλάκα ανωδομής με υποστυλώματα και ενισχύσεις



**Μετακίνηση:** Η μετακίνηση ενίσχυσης γίνεται σε τρία βήματα: α)Επιλογή υποστυλώματος, β) επιλογή κορυφής και γ) επιλογή τελικής θέσης κορυφής. Η διαδικασία είναι παρόμοια με την εκείνη της προσθήκης νέας ενίσχυσης.



**Περιστροφή:** Η περιστροφή ενίσχυσης γίνεται σε πέντε βήματα: α)Επιλογή κέντρου στροφής, β) και γ) Επιλογή δύο σημείων που ορίζουν την αρχική κλίση της ενίσχυσης ως προς τον καθολικό άξονα X, δ) και ε)Επιλογή δύο σημείων που ορίζουν την τελική κλίση ως προς τον καθολικό άξονα X.



**Μετατροπή σε επιφάνεια:** Με την επιλογή αυτή η ενίσχυση μετατρέπεται σε επιφανειακή οντότητα.



**Αλλαγή ονόματος:** Τροποποίηση της αρίθμησης της ενίσχυσης.



**Διαγραφή:** Διαγραφή της ενίσχυσης.



**Πάρε / Δώσε παραμέτρους:** Μεταφέρονται όλοι οι παράμετροι από την επιλεγμένη ενίσχυση στην εργαλειοθήκη των ενισχύσεων και αντίστροφα.



**Πάρε / Δώσε φορτία:** Μεταφέρονται όλοι οι παράμετροι της κάρτας «Φορτία» από την επιλεγμένη ενίσχυση στην εργαλειοθήκη των ενισχύσεων και αντίστροφα.

### Παράμετροι της ενίσχυσης

Οι παράμετροι του υποστυλώματος εισάγονται από το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων (Εικόνα 3.21).

**Εικόνα 3.20:** Παράθυρο παραμέτρων ενίσχυσης

### Γενικά, Φορτία, Σκυρόδεμα, Οπλισμός, Σίδερα, Έδαφος

Η ενίσχυση διαθέτει ίδιες παραμέτρους με την επιφάνεια. Οι κάρτες Γενικά, Φορτία, Σκυρόδεμα, Οπλισμός, Σίδερα, Έδαφος έχουν ακριβώς τις ίδιες παραμέτρους με τις αντίστοιχες της οντότητας επιφάνεια.

### Διαστάσεις

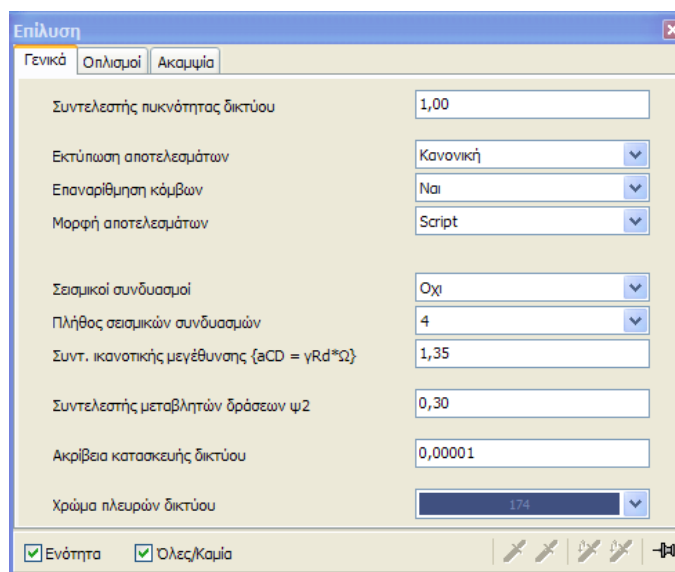
**Διάσταση dx / dz:** οι διαστάσεις της διατομής της ενίσχυσης.

### 3.13 Η επίλυση

#### Παράμετροι της επίλυσης

Όταν ολοκληρωθεί η δημιουργία του μοντέλου, έρχεται η στιγμή της επίλυσης. Σε αυτή την φάση, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ελέγξει κάποιες επιπλέον παραμέτρους του μοντέλου μέσα από την το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων

(Εικόνα 3.22), η οποία εμφανίζεται με το πάτημα του πλήκτρου .



Εικόνα 3.21: Οι παράμετροι της επίλυσης

#### Γενικά

**Συντελεστής πυκνότητας δικτύου:** Με την χρήση του συντελεστή αυτού, υπάρχει η δυνατότητα πύκνωσης ή αραιώσης του πλέγματος, χωρίς να επηρεάζονται οι αντίστοιχες παράμετροι των οντοτήτων (επιφάνειες, γραμμές κλπ). Η τιμή 1 αντιστοιχεί στις παραμέτρους που έχει δώσει σε κάθε οντότητα ο χρήστης. Έτσι ο χρήστης μπορεί να τρέξει το ίδιο μοντέλο πολλές φορές με διαφορετικά πλέγματα στοιχείων. Στην Εικόνα 3.22, δείχνεται ένα πλέγμα στοιχείων για συντελεστή πύκνωσης 1 και 2.

**Εκτύπωση αποτελεσμάτων (Κανονική / Εκτεταμένη):** Κατά την φάση της επίλυσης δημιουργείται τεύχος αποτελεσμάτων, το οποίο ο χρήστης μπορεί να δει

μέσω του πλήκτρου . Κατά την «Κανονική» εκτύπωση τυπώνονται στο

τεύχος στοιχεία που αφορούν τα δεδομένα του προβλήματος (γεωμετρία, υλικά), τις φορτίσεις, τις αντιδράσεις κατά μήκος των γραμμών καθώς και κάποια χαρακτηριστικά διαγράμματα (περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών σχεδιασμού, περιβάλλουσες επιφανειών οπλισμού). Κατά την «Εκτεταμένη» εκτύπωση, τυπώνονται όλα τα προηγούμενα καθώς και αναλυτικά όλα τα μεγέθη της επίλυσης. Δηλαδή μετατοπίσεις και αντιδράσεις σε όλους στους κόμβους του πλέγματος και εντατικά μεγέθη σε όλα τα στοιχεία.

**Επαναρίθμηση κόμβων (Ναι / Όχι):** Η επιλογή «Ναι» προκαλεί εσωτερική επαναρίθμηση των κόμβων με σκοπό να μειώσει το εύρος ζώνης (bandwidth) του ολικού μητρώου ακαμψίας της κατασκευής, καθώς όσο πιο μικρό είναι το εύρος ζώνης τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος επίλυσης και οι απαιτήσεις σε μνήμη. Συνίσταται να επιλέγεται πάντα το «Ναι».

**Μορφή αποτελεσμάτων (Απλά / Script):** Η επιλογή «Απλά» τυπώνει ένα αρχείο σε μορφή ASCII, το οποίο όμως δεν μπορεί να διαβαστεί από το Τεύχος. Για τον λόγο αυτό συνίσταται να επιλέγεται πάντα το «Script» το οποίο παράγει αρχεία τα οποία είναι αναγνώσιμα από το τεύχος.

**Σεισμικοί συνδυασμοί (Ναι / Όχι):** Επιλέγεται εάν στην δημιουργία των περιβαλλουσών των φορτίσεων θα περιληφθούν και αποτελέσματα σεισμικών συνδυασμών.

Εφόσον στον πίνακα φορτίων υπάρχουν και σεισμικές δράσεις, τότε τα αποτελέσματα των περιβαλλουσών διαμορφώνονται και βάσει αυτών.

■ Πλήθος σεισμικών συνδυασμών :

**4:** Σχηματίζονται οι συνδυασμοί που περιλαμβάνουν τις οιονεί μόνιμες δράσεις και τη σεισμική φόρτιση σε κάθε διεύθυνση με εναλλασσόμενο πρόσημο:

$$G + \psi_2 \cdot Q \pm \Sigma 1 \text{ \& } G + \psi_2 \cdot Q \pm \Sigma 2$$

**8:** Η σεισμική δράση  $\Sigma$  προκύπτει από χωρική επαλληλία των δύο οριζόντιων συνιστωσών  $\Sigma 1$  και  $\Sigma 2$  (βλ. EC8-1 §5.3.3.5), δηλαδή

$$G + \psi_2 \cdot Q + \Sigma, \text{ όπου } \Sigma = \pm \Sigma 1 \pm 0,3 \cdot \Sigma 2 \text{ ή } \Sigma = \pm 0,3 \cdot \Sigma 1 \pm \Sigma 2$$

**32:** Λαμβάνεται υπόψη και η τυχαματική εκκεντρότητα στην εφαρμογή της σεισμικής δράσης με αποτέλεσμα στα  $\Sigma 1$  και  $\Sigma 2$  να προσθαφαιρείται η δράση  $E_1$  και  $E_2$  αντίστοιχα. Βλ. EC8-1 §4.3.3.3.

■ **Συντ. ικανοτικής μεγέθυνσης  $\gamma_{Rd} \cdot \Omega$ :** Εισάγεται ο συντελεστής με τον οποίο πολλαπλασιάζεται η σεισμική συνιστώσα  $E_{F,E}$  των μεγεθών σχεδιασμού (αξονική, ροπή) του σεισμικού συνδυασμού. Βλ. EC8-1 §4.4.2.6.

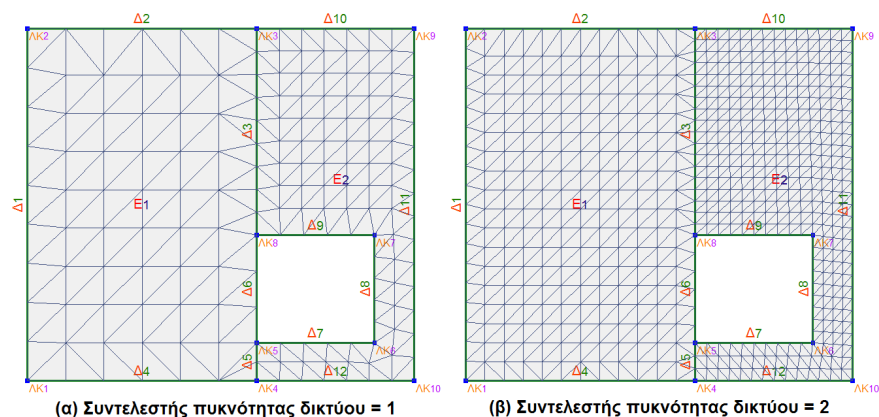
$$E_{Fd} = E_{F,G} + \gamma_{Rd} \cdot \Omega \cdot E_{F,E}$$

EC8-1 (4.30)

Σε στοιχεία θεμελίωσης που φέρουν περισσότερα από ένα στοιχεία ανωδομής (π.χ. κοιτοστρώσεις) ο συντελεστής ικανοτικής μεγέθυνσης  $\gamma_{Rd} \cdot \Omega$  μπορεί να λαμβάνεται ίσος με **1,40** σύμφωνα με τον EC8-1 §4.4.2.6(8).

**Ακρίβεια κατασκευής δικτύου:** Σταθερά που σχετίζεται με την γεννήτρια δικτύου (mesh generator). Συνίσταται να χρησιμοποιείται η προεπιλεγμένη τιμή 0.00001.

**Χρώμα πλευρών δικτύου:** Επιλογή του χρώματος των ακμών κάθε περασμένου στοιχείου. Διατίθενται 256 διαφορετικά χρώματα.



**Εικόνα 3.22:** Πύκνωση του δικτύου με χρήση του συντελεστή πυκνότητας

### Οπλισμοί

Επιτρέπεται θλιβόμενος οπλισμός:

**Ναι :** Σε θέσεις σχετικά μεγάλων ροπών η ένταση παραλαμβάνεται με συνδυασμό εφελκυσμένου και θλιβόμενου οπλισμού ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συνολική απαίτηση οπλισμού.

**Όχι :** Εφόσον σε κάποιο στοιχείο η καμπτική ένταση υπερβεί το όριο πέρα από το οποίο απαιτείται και θλιβόμενος οπλισμός, τότε εμφανίζεται μήνυμα, ενώ το στοιχείο αυτό δεν οπλίζεται έναντι κάμψης.

**Μέθοδος υπολογισμού εντατικών μεγεθών σχεδιασμού:** Για τη μέθοδο διαστασιολόγησης έναντι κάμψης παρέχεται η δυνατότητα επιλογής μεταξύ της κλασικής μεθόδου των Wood-Armer και την βελτιστοποιημένη μέθοδο του Ευρωκώδικα 2, η οποία έχει προκύψει από την πρόταση Baumann. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα αποτελέσματα των δυο μεθόδων ταυτίζονται. Για περισσότερες πληροφορίες βλ. παρ 4 του παρόντος.

## Ακαμψία

**Επιρροή ερπυσμού - ρηγμάτωσης – ξήρανσης (Ναι / Όχι):** Επιλέγεται εάν θα μειωθεί το μέτρο ελαστικότητας ώστε να ληφθεί υπόψη η μειωμένη ακαμψία των πλακών και των δοκών λόγω των φαινομένων του ερπυσμού, της ρηγμάτωσης και της συστολής ξήρανσης. Στην βιβλιογραφία προτείνεται:

$$E_{C,eff} = \varepsilon \cdot E_C / (1 + \varphi)$$

όπου

- $\varphi$  είναι ο **συντελεστής ερπυσμού**, ο οποίος συνήθως λαμβάνεται ίσος με 2,5.
- ο συντελεστής  $\varepsilon$  λαμβάνει υπόψη τα φαινόμενα της **ρηγμάτωσης** και της συστολής **ξηράνσης**. (συνήθως ίσος με 0,5)

Σε πλάκες ανωδομής, το βέλος που προκύπτει θα πρέπει να ελεγχθεί από το μελετητή βάσει των ορίων που υποδεικνύονται στον κανονισμού, π.χ. 1/250 ή 1/500.

## Εντολές της επίλυσης



**Δίκτυο:** Μόλις ο χρήστης ολοκληρώσει την εισαγωγή των παραμέτρων της επίλυσης, τότε έρχεται η στιγμή της δημιουργίας του δικτύου των στοιχείων. Σε αυτή την φάση, εάν ο χρήστης δεν είναι ικανοποιημένος με το δίκτυο που προέκυψε, μπορεί να τροποποιήσει το δίκτυο κάποιας οντότητας με την εντολή «Πάρε / Δώσε Παραμέτρους», σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν παραπάνω.



**Επίλυση:** Με το πάτημα αυτού το πλήκτρου, καλείται το εκτελέσιμο αρχείο FESPA.EXE, το οποίο επιλύει το πρόβλημα σύμφωνα με τα δεδομένα που δόθηκαν από τον χρήστη. Όση ώρα διαρκεί η επίλυση, στην οθόνη εμφανίζεται το παράθυρο του FESPA.EXE. Μόλις ολοκληρωθεί η επίλυση, εμφανίζεται ένα άλλο παράθυρο, το με τίτλο «Αποτελέσματα FESPA», το οποίο περιέχει στατιστικά στοιχεία της επίλυσης. Στο κάτω τμήμα αυτού του παραθύρου θα πρέπει πάντα να τυπώνεται το μήνυμα «Η επίλυση ολοκληρώθηκε επιτυχώς !». Εάν δεν εμφανίζεται αυτό το μήνυμα, τότε υπάρχει κάποιο πρόβλημα στον ορισμό του μοντέλου. Ο πιο συχνός λόγος για τον οποίο μπορεί να αποτύχει η επίλυση είναι η απουσία ή η ανεπάρκεια στηρίξεων.



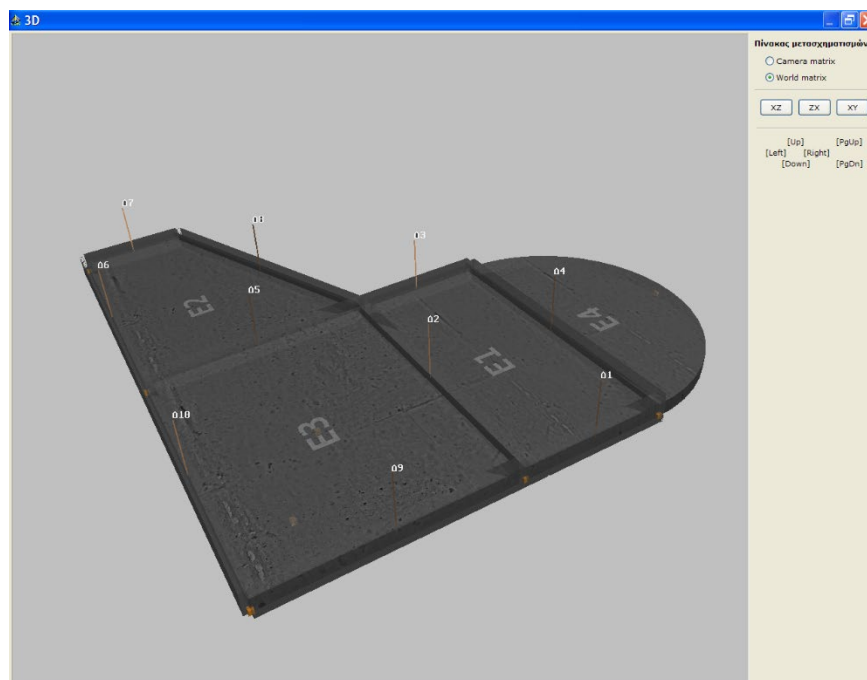
**Διαγράμματα:** Με το πλήκτρο αυτό, ανοίγει το παράθυρο των διαγραμμάτων, μέσα από το οποίο προβάλλονται τα αποτελέσματα σε (μετατοπίσεις, εντατικά μεγέθη, εντατικά μεγέθη οπλισμού, απαιτούμενες επιφάνειες οπλισμού κλπ) σε μορφή ισοχρωματικών λωρίδων επί του δικτύου των στοιχείων. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στην παράγραφο 3.13, παρακάτω.



**3D:** Με το πλήκτρο αυτό, ανοίγει το παράθυρο 3D στο οποίο η γεωμετρία προβάλλεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση (**Εικόνα 3.24**). Η απεικόνιση αυτή είναι ρεαλιστική καθώς όλες οι οντότητες προβάλλονται με τις πραγματικές τους διαστάσεις. Δηλαδή, κάθε πλάκα προβάλλεται με το πάχος που έχει δώσει ο χρήστης και κάθε δοκός με τις πραγματικές διαστάσεις της διατομής της. Έτσι, ο χρήστης μπορεί να έχει μια ρεαλιστική απεικόνιση της γεωμετρίας που μοντελοποιεί.

Στο δεξιό τμήμα του παράθυρου 3D, υπάρχουν τα πλήκτρα «XZ», «ZX», «XY», με οποία ο χρήστης μπορεί να προβάλει την γεωμετρία σε προεπιλεγμένα επίπεδα.

Επιπλέον υπάρχουν οι επιλογές «Camera matrix» και «World matrix», οι οποίες καθορίζουν τον τρόπο κίνησης του μοντέλου σύμφωνα με την κίνηση του mouse. Μετακινώντας το mouse και κρατώντας ταυτόχρονα πατημένο το αριστερό πλήκτρο το μοντέλο περιστρέφεται στο χώρο. Αντίστοιχα, κρατώντας σταθερό το mouse και περιστρέφοντας την «ρόδα» του mouse, γίνεται σμίκρυνση (zoom out) ή μεγέθυνση (zoom in), του μοντέλου.



**Εικόνα 3.23:** Παράθυρο 3D

### 3.14 Εμφάνιση αποτελεσμάτων



Με την εντολή του μενού των Επιλύσεων ανοίγει το παράθυρο των Διαγραμμάτων, μέσω του οποίου τα αποτελέσματα της επίλυσης και της όπλισης απεικονίζονται με την μορφή ισοχρωματικών λωρίδων ή ισοβαρών γραμμών επί του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων.

Στην επάνω δεξιά γωνία της φόρμας «Διαγράμματα» υπάρχουν οι επιλογές «Φορτίσεις» και «Σεισμικοί Συνδυασμοί», με τις οποίες ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το είδος της φόρτισης στο οποίο αντιστοιχούν τα αποτελέσματα. Οι επιλογές αυτές, περιγράφονται παρακάτω:

#### Φορτίσεις

|                 |                                                                                                                               |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Μόνιμα G        | Τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στη μόνιμη δράση G                                                                               |
| Κινητά Q        | Τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στη μεταβλητή δράση Q                                                                            |
| Σεισμική Σ1     | Τα αποτελέσματα απλοποιημένης φασματικής ανάλυσης στη <b>διεύθυνση +X</b>                                                     |
| Σεισμική Σ2     | Τα αποτελέσματα απλοποιημένης φασματικής ανάλυσης στη <b>διεύθυνση +Z</b>                                                     |
| Εκκεντρότητα E1 | Τα αποτελέσματα των στρεπτικών επιδράσεων λόγω της εφαρμογής της σεισμικής δράσης <b>Σ1</b> με <b>εκκεντρότητα</b> $e_t=0,05$ |
| Εκκεντρότητα E1 | Τα αποτελέσματα των στρεπτικών επιδράσεων λόγω της εφαρμογής της σεισμικής δράσης <b>Σ2</b> με <b>εκκεντρότητα</b> $e_t=0,05$ |

#### Συνδυασμοί στατικών φορτίσεων

|                               |                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Μόνιμα + Κινητά               | Τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στον θεμελιώδη συνδυασμό δράσεων για τον έλεγχο στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας <b><math>1,35 \cdot G + 1,50 \cdot Q</math></b>                                 |
| $1,00 \cdot G + 1,00 \cdot Q$ | Τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στον χαρακτηριστικό συνδυασμό δράσεων για τον έλεγχο στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας <b><math>1,00 \cdot G + 1,00 \cdot Q</math></b>                    |
| Οιονεί μόνιμος συνδυασμός     | Τα αποτελέσματα αντιστοιχούν στον συνδυασμό των Οιονεί μόνιμων δράσεων <b><math>G + \psi 2 \cdot Q</math></b> , βάσει του οποίου ελέγχεται η λειτουργικότητα της κατασκευής σε βέλη κάμψης. |

**Σεισμικοί συνδυασμοί**

4 συνδυασμοί

|     |                                                                  |
|-----|------------------------------------------------------------------|
| ΣΣ1 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot \Sigma 1$ |
| ΣΣ2 | $G + \psi_2 \cdot Q - (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot \Sigma 1$ |
| ΣΣ3 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot \Sigma 2$ |
| ΣΣ4 | $G + \psi_2 \cdot Q - (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot \Sigma 2$ |

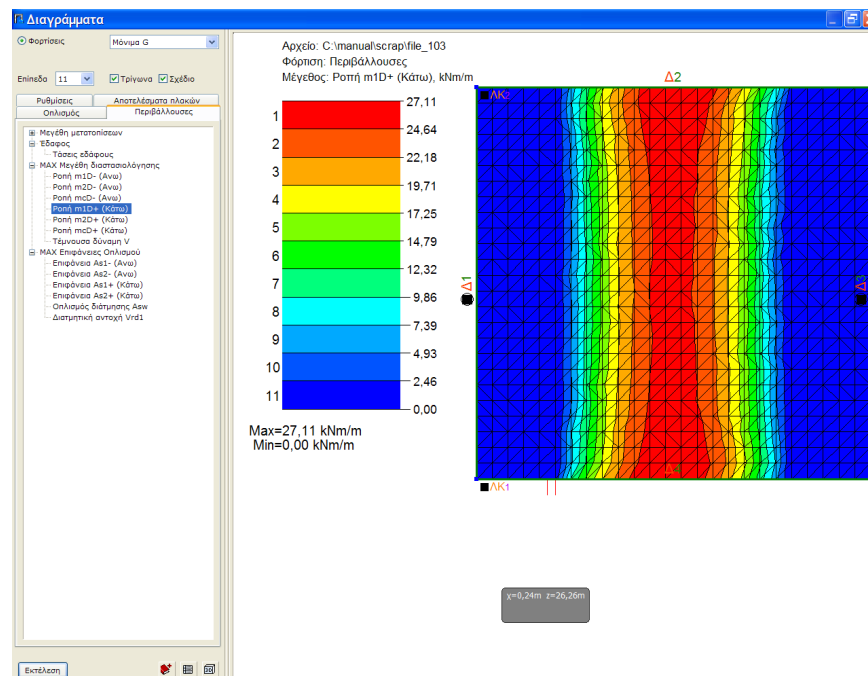
8 συνδυασμοί

|     |                                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ΣΣ1 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 1.0 \cdot \Sigma 1 + 0,3 \cdot \Sigma 2 ]$  |
| ΣΣ2 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 0,3 \cdot \Sigma 1 + 1.0 \cdot \Sigma 2 ]$  |
| ΣΣ3 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 1.0 \cdot \Sigma 1 - 0,3 \cdot \Sigma 2 ]$  |
| ΣΣ4 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0,3 \cdot \Sigma 1 + 1.0 \cdot \Sigma 2 ]$ |
| ΣΣ5 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -1.0 \cdot \Sigma 1 + 0,3 \cdot \Sigma 2 ]$ |
| ΣΣ6 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0,3 \cdot \Sigma 1 + 1.0 \cdot \Sigma 2 ]$ |
| ΣΣ7 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -1.0 \cdot \Sigma 1 - 0,3 \cdot \Sigma 2 ]$ |
| ΣΣ8 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0,3 \cdot \Sigma 1 + 1.0 \cdot \Sigma 2 ]$ |

32 συνδυασμοί

|      |                                                                                                                           |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ΣΣ1  | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 1.0 \cdot (\Sigma 1 + E1) + 0,3 \cdot (\Sigma 2 + E2) ]$         |
| ΣΣ2  | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 1.0 \cdot (\Sigma 1 + E1) + 0,3 \cdot (\Sigma 2 - E2) ]$         |
| ΣΣ3  | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 1.0 \cdot (\Sigma 1 - E1) + 0,3 \cdot (\Sigma 2 + E2) ]$         |
| ΣΣ4  | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 1.0 \cdot (\Sigma 1 - E1) + 0,3 \cdot (\Sigma 2 - E2) ]$         |
| ΣΣ5  | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 0,3 \cdot (\Sigma 1 + E1) + 1.0 \cdot (\Sigma 2 + E2) ]$         |
| ΣΣ6  | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 0,3 \cdot (\Sigma 1 + E1) + 1.0 \cdot (\Sigma 2 - E2) ]$         |
| ΣΣ7  | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 0,3 \cdot (\Sigma 1 - E1) + 1.0 \cdot (\Sigma 2 + E2) ]$         |
| ΣΣ8  | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 0,3 \cdot (\Sigma 1 - E1) + 1.0 \cdot (\Sigma 2 - E2) ]$         |
| ΣΣ 9 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot D \cdot [ 1.0 \cdot (\Sigma 1 + E1) - 0,3 \cdot (\Sigma 2 + E2) ]$ |
| ΣΣ10 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 1.0 \cdot (\Sigma 1 + E1) - 0,3 \cdot (\Sigma 2 - E2) ]$         |
| ΣΣ11 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 1.0 \cdot (\Sigma 1 - E1) - 0,3 \cdot (\Sigma 2 + E2) ]$         |

|      |                                                                                                                      |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ΣΣ12 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 1.0 \cdot (\Sigma_1 - E_1) - 0.3 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$  |
| ΣΣ15 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 0.3 \cdot (\Sigma_1 + E_1) - 1.0 \cdot (\Sigma_2 + E_2) ]$  |
| ΣΣ14 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 0.3 \cdot (\Sigma_1 + E_1) - 1.0 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$  |
| ΣΣ15 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 0.3 \cdot (\Sigma_1 - E_1) - 1.0 \cdot (\Sigma_2 + E_2) ]$  |
| ΣΣ16 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ 0.3 \cdot (\Sigma_1 - E_1) - 1.0 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$  |
| ΣΣ17 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -1.0 \cdot (\Sigma_1 + E_1) + 0.3 \cdot (\Sigma_2 + E_2) ]$ |
| ΣΣ18 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -1.0 \cdot (\Sigma_1 + E_1) + 0.3 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$ |
| ΣΣ19 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -1.0 \cdot (\Sigma_1 - E_1) + 0.3 \cdot (\Sigma_2 + E_2) ]$ |
| ΣΣ20 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -1.0 \cdot (\Sigma_1 - E_1) + 0.3 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$ |
| ΣΣ21 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0.3 \cdot (\Sigma_1 + E_1) + 1.0 \cdot (\Sigma_2 + E_2) ]$ |
| ΣΣ22 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0.3 \cdot (\Sigma_1 + E_1) + 1.0 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$ |
| ΣΣ23 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0.3 \cdot (\Sigma_1 - E_1) + 1.0 \cdot (\Sigma_2 + E_2) ]$ |
| ΣΣ24 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0.3 \cdot (\Sigma_1 - E_1) + 1.0 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$ |
| ΣΣ25 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -1.0 \cdot (\Sigma_1 + E_1) - 0.3 \cdot (\Sigma_2 + E_2) ]$ |
| ΣΣ26 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -1.0 \cdot (\Sigma_1 + E_1) - 0.3 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$ |
| ΣΣ27 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -1.0 \cdot (\Sigma_1 - E_1) - 0.3 \cdot (\Sigma_2 + E_2) ]$ |
| ΣΣ28 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -1.0 \cdot (\Sigma_1 - E_1) - 0.3 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$ |
| ΣΣ29 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0.3 \cdot (\Sigma_1 + E_1) - 1.0 \cdot (\Sigma_2 + E_2) ]$ |
| ΣΣ30 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0.3 \cdot (\Sigma_1 + E_1) - 1.0 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$ |
| ΣΣ31 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0.3 \cdot (\Sigma_1 - E_1) - 1.0 \cdot (\Sigma_2 + E_2) ]$ |
| ΣΣ32 | $G + \psi_2 \cdot Q + (\gamma_{Rd} \cdot \Omega) \cdot [ -0.3 \cdot (\Sigma_1 - E_1) - 1.0 \cdot (\Sigma_2 - E_2) ]$ |



**Εικόνα 3.24:** Το παράθυρο των Διαγραμμάτων

Με την επιλογή «**Επίπεδα**» ο χρήστης επιλέγει τον αριθμό των χρωματικών διαβαθμίσεων οι οποίες παρεμβάλλονται μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης του εκάστοτε μεγέθους που προβάλλεται στην οθόνη. Η μεταβλητή αυτή λαμβάνει τιμές από 3 έως 255. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 11.

Με την επιλογή «**Τρίγωνα**» ο χρήστης επιλέγει την προβολή ή όχι του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων ταυτόχρονα με την προβολή των αποτελεσμάτων.

Με την επιλογή «**Σχέδιο**» ο χρήστης επιλέγει την προβολή ή όχι των γεωμετρικών οντοτήτων (κόμβοι, γραμμές, πλάκες) ταυτόχρονα με την προβολή των αποτελεσμάτων.

Στο παράθυρο «Διαγράμματα» υπάρχουν 4 υπομενού, η χρησιμότητα των οποίων εξηγείται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους:

- Αποτελέσματα πλακών
- Οπλισμός
- Περιβάλλουσες
- Ρυθμίσεις

Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 3.25**, σε κάθε υπομενού αντιστοιχεί ένα «δέντρο» επιλογών. Κάθε επιλογή ενεργοποιείται είτε με διπλό κλικ είτε με την εντολή «**Εκτέλεση**», που βρίσκεται στο κάτω αριστερό τμήμα της φόρμας «Διαγράμματα».

Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα προβολής των αποτελεσμάτων σε τρισδιάστατη μορφή μέσω της εντολής «**3D**», που βρίσκεται στο κάτω τμήμα της φόρμας «Διαγράμματα». Με την εντολή αυτή, ανοίγει το παράθυρο 3D, στο οποίο προβάλλεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση το μέγεθος που επιθυμεί ο χρήστης. Ωστόσο, εδώ πρέπει να γίνει μια διευκρίνιση. Η τρισδιάστατη επιφάνεια που βλέπει ο χρήστης **δεν** αντιστοιχεί πάντα στην παραμορφωμένη κατάσταση της πλάκας. Αυτό συμβαίνει **μόνο** στην περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει «Μετατοπίσεις > Υ-βύθιση» όπως π.χ. στην **Εικόνα 3.26**. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις, σε κάθε σημείο X, Z της πλάκας, η τεταγμένη Y είναι ίση με το μέγεθος που έχει επιλέξει ο χρήστης. Στην πραγματικότητα δηλαδή, αυτό που βλέπει ο χρήστης είναι ένα τρισδιάστατο γράφημα.

### 3.14.1 Αποτελέσματα πλακών

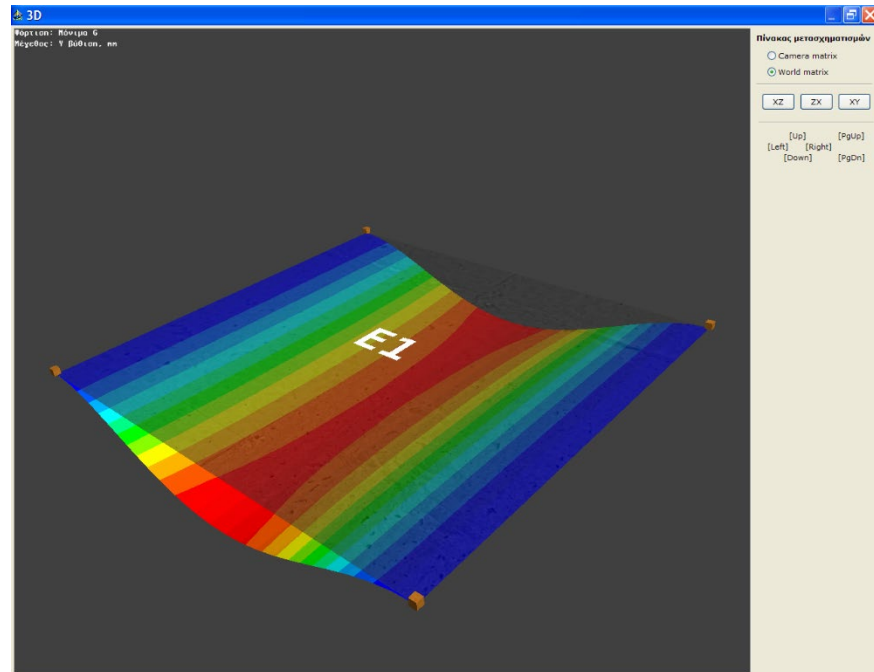
Με την επιλογή του συγκεκριμένου υπομενού παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης με χρωματική διαβάθμιση. Παρέχονται τα ακόλουθα αποτελέσματα:

#### Ιδιότητες πλακών

|         |                                         |
|---------|-----------------------------------------|
| Πάχος h | Εμφανίζει το πάχος κάθε μακρο-στοιχείου |
|---------|-----------------------------------------|

#### Μεγέθη μετατοπίσεων

|          |                                                    |
|----------|----------------------------------------------------|
| Υ βύθιση | Κομβικές μετατοπίσεις δY κατά τον καθολικό άξονα Y |
| X στροφή | Κομβικές στροφές θX γύρω από τον καθολικό άξονα X  |
| Z στροφή | Κομβικές στροφές θZ γύρω από τον καθολικό άξονα Z  |



**Εικόνα 3.25:** Τρισδιάστατη απεικόνιση της βύθισης  $Y$

### Τάσεις εδάφους

|                 |                                                                  |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|
| Πιέσεις Εδάφους | Εμφανίζει την τάση εδάφους: $\sigma_{soil} = K_S \cdot \delta Y$ |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|

### Εσωτερικές δυνάμεις

|               |                                                                                                                                                       |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ροπή $M_{xx}$ | <p>Καμπτική ροπή η οποία δημιουργεί ορθές τάσεις στην καθολική διεύθυνση <math>X</math> της πλάκας:</p> $M_{xx} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{xx} y dy$ |
| Ροπή $M_{zz}$ | <p>Καμπτική ροπή η οποία δημιουργεί ορθές τάσεις στην καθολική διεύθυνση <math>Z</math> της πλάκας:</p> $M_{zz} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{zz} y dy$ |

|                                  |                                                                                                                                                 |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ροπή $M_{xz}$                    | Στρεπτική ροπή η οποία δημιουργεί διατμητικές τάσεις στο επίπεδο XZ της πλάκας:<br>$M_{xz} = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{xz} y dy$                |
| Εγκάρσια Διατμητική δύναμη $V_x$ | Εγκάρσια διατμητική δύναμη η οποία δημιουργεί εγκάρσιες διατμητικές τάσεις στο επίπεδο XY της πλάκας:<br>$V_x = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{xy} dy$ |
| Εγκάρσια Διατμητική δύναμη $V_z$ | Εγκάρσια διατμητική δύναμη η οποία δημιουργεί εγκάρσιες διατμητικές τάσεις στο επίπεδο ZY της πλάκας:<br>$V_z = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{zy} dy$ |

## Κύριες εσωτερικές δυνάμεις

|                                        |                                                                                                                                 |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Κύρια Ροπή $m_I$                       | Κύρια ροπή (μέγιστη):<br>$m_I = \frac{1}{2} \left( M_{xx} + M_{zz} + \sqrt{(M_{xx} - M_{zz})^2 + 4M_{xz}^2} \right)$            |
| Κύρια Ροπή $m_{II}$                    | Κύρια ροπή (ελάχιστη):<br>$m_{II} = \frac{1}{2} \left( M_{xx} + M_{zz} - \sqrt{(M_{xx} - M_{zz})^2 + 4M_{xz}^2} \right)$        |
| Γωνία κυρίων αξόνων $\alpha_b$         | Γωνία κύριων καμπτικών ροπών:<br>$\alpha_b = \frac{1}{2} \left( \arctan \left( \frac{2M_{xz}}{M_{xx} - M_{zz}} \right) \right)$ |
| Μέγιστη Στρεπτική Ροπή $M_{xy \max}$   | Μέγιστη στρεπτική ροπή στο επίπεδο xz της πλάκας:<br>$M_{xy \max} = \frac{\sqrt{(M_{xx} - M_{zz})^2 + 4M_{xz}^2}}{2}$           |
| Κύρια Εγκάρσια Διατμητική δύναμη $V_I$ | Μέγιστη εγκάρσια διατμητική δύναμη:<br>$V_I = \sqrt{V_x^2 + V_z^2}$                                                             |

|                                                    |                                                                                                |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Γωνία Κύριας<br>Εγκάρσιας<br>Διατμητικής $\beta_b$ | Γωνία κύριας εγκάρσιας διατμητικής δύναμης:<br>$\beta_b = \arctan\left(\frac{V_z}{V_x}\right)$ |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Τάσεις

|                                            |                                                                                                                        |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Τάση $\sigma_{xx}+(\text{κάτω})$           | Ορθή τάση στην κάτω ίνα της πλάκας κατά την καθολική διεύθυνση X:<br>$\sigma_{xx+(\text{κάτω})} = \frac{6M_{xx}}{h^2}$ |
| Τάση $\sigma_{zz}+(\text{κάτω})$           | Ορθή τάση στην κάτω ίνα της πλάκας κατά την καθολική διεύθυνση Z:<br>$\sigma_{zz+(\text{κάτω})} = \frac{6M_{zz}}{h^2}$ |
| Τάση $\tau_{xz}+(\text{κάτω})$             | Διατμητική τάση στην κάτω ίνα της πλάκας στο επίπεδο XZ:<br>$\sigma_{xz+(\text{κάτω})} = \frac{6M_{xz}}{h^2}$          |
| Τάση $\sigma_{xx}-(\text{άνω})$            | Ορθή τάση στην άνω ίνα της πλάκας κατά την καθολική διεύθυνση X:<br>$\sigma_{xx-(\text{άνω})} = -\frac{6M_{xx}}{h^2}$  |
| Τάση $\sigma_{zz}-(\text{άνω})$            | Ορθή τάση στην άνω ίνα της πλάκας κατά την καθολική διεύθυνση Z:<br>$\sigma_{zz-(\text{άνω})} = -\frac{6M_{zz}}{h^2}$  |
| Τάση $\tau_{xz}-(\text{άνω})$              | Διατμητική τάση στην άνω ίνα της πλάκας στο επίπεδο XZ:<br>$\sigma_{xz-(\text{άνω})} = -\frac{6M_{xz}}{h^2}$           |
| Εγκάρσια<br>Διατμητική<br>Τάση $\tau_{xy}$ | Διατμητική τάση στο εγκάρσιο επίπεδο XY:<br>$\tau_{xy} = \frac{3V_x}{2h}$                                              |
| Εγκάρσια<br>Διατμητική<br>Τάση $\tau_{zy}$ | Διατμητική τάση στο εγκάρσιο επίπεδο ZY:<br>$\tau_{zy} = \frac{3V_z}{2h}$                                              |

|                                           |                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Κύρια Τάση<br>σI+(κάτω)                   | Κύρια ορθή τάση (μέγιστη) στην κάτω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{I+(κάτω)} = \frac{1}{2} \left( \sigma_{xx+} + \sigma_{zz+} + \sqrt{(\sigma_{xx+} - \sigma_{zz+})^2 + 4\tau_{xz+}^2} \right)$   |
| Κύρια Τάση<br>σII+(κάτω)                  | Κύρια ορθή τάση (ελάχιστη) στην κάτω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{II+(κάτω)} = \frac{1}{2} \left( \sigma_{xx+} + \sigma_{zz+} - \sqrt{(\sigma_{xx+} - \sigma_{zz+})^2 + 4\tau_{xz+}^2} \right)$ |
| Γωνία κυρίων<br>αξόνων<br>α+(κάτω)        | Γωνία κυρίων τάσεων στην κάτω ίνα της πλάκας:<br>$\alpha_{+(κάτω)} = \frac{1}{2} \left( \arctan \left( \frac{2\sigma_{xz+}}{\sigma_{xx+} - \sigma_{zz+}} \right) \right)$                      |
| Κύρια τάση<br>σI-(άνω)                    | Κύρια ορθή τάση (μέγιστη) στην άνω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{I-(άνω)} = \frac{1}{2} \left( \sigma_{xx-} + \sigma_{zz-} + \sqrt{(\sigma_{xx-} - \sigma_{zz-})^2 + 4\tau_{xz-}^2} \right)$     |
| Κύρια τάση<br>σII-(άνω)                   | Κύρια ορθή τάση (ελάχιστη) στην άνω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{II-(άνω)} = \frac{1}{2} \left( \sigma_{xx-} + \sigma_{zz-} - \sqrt{(\sigma_{xx-} - \sigma_{zz-})^2 + 4\tau_{xz-}^2} \right)$   |
| Γωνία κυρίων<br>αξόνων<br>α-(άνω)         | Γωνία κυρίων τάσεων στην άνω ίνα της πλάκας:<br>$\alpha_{-(άνω)} = \frac{1}{2} \left( \arctan \left( \frac{2\sigma_{xz-}}{\sigma_{xx-} - \sigma_{zz-}} \right) \right)$                        |
| Μέγιστη<br>Διατμητική<br>τ <sub>max</sub> | Μέγιστη εγκάρσια διατμητική τάση:<br>$\tau_{\max} = \sqrt{\tau_{xy}^2 + \tau_{zy}^2}$                                                                                                          |
| Ισοδύναμη<br>Von Mises+                   | Ισοδύναμη τάση Von Mises στην κάτω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{Mises+} = \sqrt{\sigma_{xx+}^2 + \sigma_{zz+}^2 - \sigma_{xx+}\sigma_{zz+} + 3\tau_{xz+}^2}$                                    |
| Ισοδύναμη<br>Von Mises-                   | Ισοδύναμη τάση Von Mises στην άνω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{Mises-} = \sqrt{\sigma_{xx-}^2 + \sigma_{zz-}^2 - \sigma_{xx-}\sigma_{zz-} + 3\tau_{xz-}^2}$                                     |
| Μέγιστη<br>Ισοδύναμη<br>Von Mises         | Μέγιστη ισοδύναμη τάση Von Mises:<br>$\max(\sigma_{Mises+}, \sigma_{Mises-})$                                                                                                                  |
| Ισοδύναμη<br>Tresca+                      | Ισοδύναμη τάση Tresca στην κάτω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{Tresca+} = \sigma_{1+} - \sigma_{2+}$                                                                                              |
| Ισοδύναμη<br>Tresca-                      | Ισοδύναμη τάση Tresca στην άνω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{Tresca-} = \sigma_{1-} - \sigma_{2-}$                                                                                               |

|                                 |                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Μέγιστη<br>Ισοδύναμη<br>Tresca  | Μέγιστη ισοδύναμη τάση Tresca:<br>$\max(\sigma_{Tresca+}, \sigma_{Tresca-})$                                                                                           |
| Ισοδύναμη<br>Rankine+           | Ισοδύναμη τάση Rankine στην κάτω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{Rankine+} = \max( \sigma_{1+} ,  \sigma_{2+} )$                                                           |
| Ισοδύναμη<br>Rankine-           | Ισοδύναμη τάση Rankine στην άνω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{Rankine-} = \max( \sigma_{1-} ,  \sigma_{2-} )$                                                            |
| Μέγιστη<br>ισοδύναμη<br>Rankine | Μέγιστη ισοδύναμη τάση Rankine:<br>$\max(\sigma_{Rankine+}, \sigma_{Rankine-})$                                                                                        |
| Ισοδύναμη<br>Bach+              | Ισοδύναμη τάση Bach στην κάτω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{Bach+} = \max( \sigma_{1+} - \mu\sigma_{2+} ,  \sigma_{2+} - \mu\sigma_{1+} )$<br>Όπου $\mu$ ο λόγος poisson |
| Ισοδύναμη<br>Bach-              | Ισοδύναμη τάση Bach στην άνω ίνα της πλάκας:<br>$\sigma_{Bach-} = \max( \sigma_{1-} - \mu\sigma_{2-} ,  \sigma_{2-} - \mu\sigma_{1-} )$                                |
| Μέγιστη<br>ισοδύναμη<br>Bach    | Μέγιστη ισοδύναμη τάση Bach:<br>$\max(\sigma_{Bach+}, \sigma_{Bach-})$                                                                                                 |

### 3.14.2 Οπλισμός

Με την επιλογή του συγκεκριμένου υπομενού παρουσιάζονται τα μεγέθη του οπλισμού με χρωματική διαβάθμιση. Παρέχονται τα ακόλουθα αποτελέσματα:

#### Μεγέθη διαστασιολόγησης οπλισμού

|                  |                                                                                 |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Ροπή m1D- (Άνω)  | Μέγιστη ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 1 άνω ίνας                   |
| Ροπή m2D- (Άνω)  | Μέγιστη Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 2 άνω ίνας                   |
| Ροπή mcD- (Άνω)  | Απόλυτα μέγιστη Ροπή σχεδιασμού της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος (άνω ίνα) |
| Ροπή m1D+ (Κάτω) | Μέγιστη ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 1 κάτω ίνας                  |
| Ροπή m2D+ (Κάτω) | Μέγιστη ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 2 κάτω ίνας                  |

|                  |                                                                                  |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Ροπή mcD+ (Κάτω) | Απόλυτα μέγιστη ροπή σχεδιασμού της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος (κάτω ίνα) |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|

Βλ. και παρ. 4 του παρόντος

### Απαιτούμενες επιφάνειες οπλισμού

|                                                                          |                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Επιφάνεια $A_{S1-}$ (Άνω)<br>[cm <sup>2</sup> /m]                        | Απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην άνω ίνα της πλάκας  |
| Επιφάνεια $A_{S2-}$ (Άνω)<br>[cm <sup>2</sup> /m]                        | Απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην άνω ίνα της πλάκας  |
| Επιφάνεια $A_{S1+}$ (Κάτω)<br>[cm <sup>2</sup> /m]                       | Απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην κάτω ίνα της πλάκας |
| Επιφάνεια $A_{S2+}$ (Κάτω)<br>[cm <sup>2</sup> /m]                       | Απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην κάτω ίνα της πλάκας |
| Επιφάνεια οπλισμού διάτμησης $A_{sw}$ [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ] | Απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού διάτμησης ανηγμένη σε 1 m <sup>2</sup> επιφάνειας       |

### Διατμητική Αντοχή

|                |                                                                                                                                              |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $V_{Rdc}$      | Η διατμητική αντοχή της πλάκας χωρίς οπλισμό διάτμησης, λαμβάνοντας υπόψη και τον οπλισμό κάμψης. Βλ. EC2-1-1 §6.2.2.                        |
| $V_{Rd,max}$   | Η μέγιστη τέμνουσα που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο και καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων. Βλ. EC2-1-1 §6.2.3(1) & (3). |
| $V_{Rds}$      | Η διατμητική αντοχή της πλάκας στις θέσεις όπου απαιτείται οπλισμός διάτμησης. Βλ. EC2-1-1 §6.2.3.                                           |
| theta (μοίρες) | Η γωνία $\theta$ του λοξού θλιπτήρα, η οποία υπολογίζεται κατά τη διαστασιολόγηση έναντι τέμνουσας. $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$   |

Βλ. και παρ. 4 του παρόντος

### 3.14.3 Περιβάλλουσες

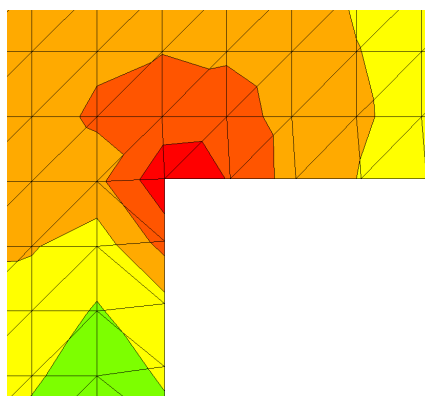
Με την επιλογή του συγκεκριμένου υπομενού παρουσιάζονται οι μέγιστες ή ελάχιστες τιμές, που προκύπτουν από επεξεργασία του συνόλου των φορτίσεων και των συνδυασμών σε επιλεγμένα μεγέθη, όπως **βυθίσεις**, **τάσεις εδάφους**, **ροπές σχεδιασμού** και **απαιτούμενες επιφάνειες οπλισμού**.

### 3.14.4 Ρυθμίσεις

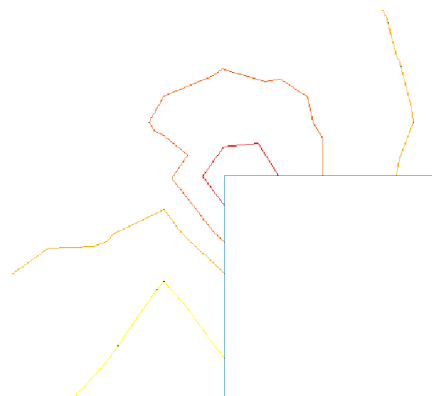
Με την επιλογή του συγκεκριμένου υπομενού παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα ελέγχου του τρόπου αναπαράστασης των αποτελεσμάτων. Υπάρχουν οι παρακάτω δυνατότητες:

Μορφή αποτελεσμάτων

- **Ισοχρωματικές λωρίδες.** Περιοχές με δεδομένο εύρος τιμών απεικονίζονται με το ίδιο χρώμα (**Εικόνα 3.27**)
- **Ισοβαρείς καμπύλες.** Καμπύλες κατά μήκος των οποίων η τιμή του μεγέθους είναι σταθερή (**Εικόνα 3.28**).
- **Τροχιές κυρίων μεγεθών.** Σε κάθε στοιχείο σχεδιάζεται ένα άνυσμα με διεύθυνση αυτήν του κύριου μεγέθους που απεικονίζεται. Ως εκ τούτου βρίσκει εφαρμογή μόνο όταν ζητούνται κύριες ροπές, κύριες τέμνουσες ή κύριες τάσεις.



(α) ισοχρωματικές λωρίδες



(β) ισοβαρείς γραμμές

**Εικόνα 3.26:** Μορφή αποτελεσμάτων

Εξομάλυνση κατανομής αποτελεσμάτων

Η επιλογή αυτή διαχειρίζεται την παρουσίαση των αποτελέσματα των στοιχείων.

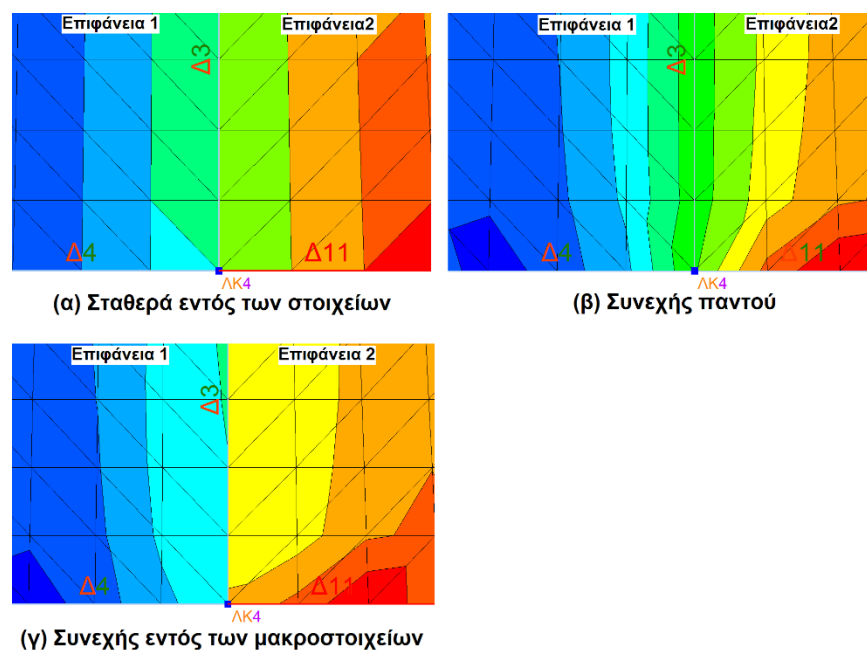
- **Σταθερά εντός των στοιχείων.** Με την επιλογή αυτή αποδίδεται μια τιμή σε κάθε στοιχείο. Η επιλογή αυτή οδηγεί σε ασυνεχείς απεικονίσεις των μεγεθών εντός των στοιχείων.
- **Στους κόμβους χωρίς συνέχεια.** Με την επιλογή αυτή αποδίδεται μια τιμή στους κόμβους κάθε στοιχείου, χωρίς όμως να γίνεται εξομάλυνση των τιμών με τα γειτονικά στοιχεία. Η επιλογή αυτή

οδηγεί σε ασυνεχείς απεικονίσεις των μεγεθών εντός των στοιχείων (βρίσκει εφαρμογή σε τετρακομβικά στοιχεία).

- **Συνεχής παντού.** Με την επιλογή αυτή, σε κάθε κόμβο του πλέγματος, αποδίδεται η μέση τιμή που προκύπτει από τις τιμές των στοιχείων που γειτνιάζουν με τον εν λόγω κόμβο. Η επιλογή αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή. Για να λειτουργήσει σωστά η επιλογή αυτή πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- α) Στο κοινό σύνορο δεν πρέπει να έχουν επιβληθεί δεσμεύσεις στηρίξεων.
- β) Ειδικά για την περίπτωση των μεγεθών του οπλισμού, οι διευθύνσεις οπλισμού των εκατέρωθεν επιφανειών πρέπει να είναι ίδιες.

- **Συνεχής εντός των μακροστοιχείων.** Η επιλογή αυτή είναι ίδια με την προηγούμενη, με την διαφορά ότι εάν τα στοιχεία που γειτνιάζουν σε κάποιο κόμβο ανήκουν σε διαφορετικά μακροστοιχεία, τότε στον κόμβο αυτό δεν γίνεται εξομάλυνση των τιμών των εκατέρωθεν στοιχείων. Η επιλογή αυτή δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα 3.27: Εξομάλυνση αποτελεσμάτων

**Σημείωση**

Τα αποτελέσματα της όπλισης ενδέχεται να διαφέρουν ως συνάρτηση της επιλογής παρουσίασης των αποτελεσμάτων.

**Συντελεστής παραμόρφωσης**

Ο συντελεστής αυτός καθορίζει την κλίμακα μεγέθυνσης, όταν ζητείται τρισδιάστατη απεικόνιση των αποτελεσμάτων (3D). Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 0, με την οποία η κλίμακα μεγέθυνσης υπολογίζεται αυτόματα.

# 4

## Όπλιση πλακών

### 4.1 Διαστασιολόγηση σε κάμψη

#### 4.1.1 Γενικά

Κατά τη διαστασιολόγηση επιφανειακών φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα το ζητούμενο είναι η ανάληψη των κύριων εφελκυστικών τάσεων από πλέγμα οπλισμών σε διάταξη, η οποία εν γένει αποκλίνει από τις διεύθυνση των κυρίων τάσεων. Η εξαγωγή των δυνάμεων διαστασιολόγησης σε ρηγματωμένο στοιχείο πλάκας για δεδομένη εξωτερική φόρτιση αποτελεί ένα στατικά αόριστο πρόβλημα, το οποίο επιδέχεται πολλές αποδεκτές λύσεις. Με κριτήριο την οικονομικότητα των οπλισμών έχουν προταθεί διάφορες λύσεις, π.χ. από τους Wood-Armer, Baumann, Denton –Burgoyne.

Στο πρόγραμμα υποστηρίζονται δυο εναλλακτικές μεθοδολογίες:

- Η μεθοδολογία τους παραρτήματος F του EC2-1-1, η οποία έχει προκύψει από τη πρόταση του Th. Baumann [BAUM72], [CONC95] & [LEON77]
- Η κλασσική μεθοδολογία των Wood-Armer [WOOD68], [ARME68] & [MACG05].

#### 4.1.2 Μοντέλο υπολογισμού Th. Baumann

Το μοντέλο Baumann για τον υπολογισμό της διεύθυνσης της ρωγμής και του απαιτούμενου οπλισμού βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του έργου παραμόρφωσης. Χαρακτηριστικό του μοντέλου Baumann είναι ότι η διαστασιολόγηση της πλάκας σε κάμψη ανάγεται σε πρόβλημα διαστασιολόγησης ισοδύναμων δίσκων υπό ορθές δυνάμεις.

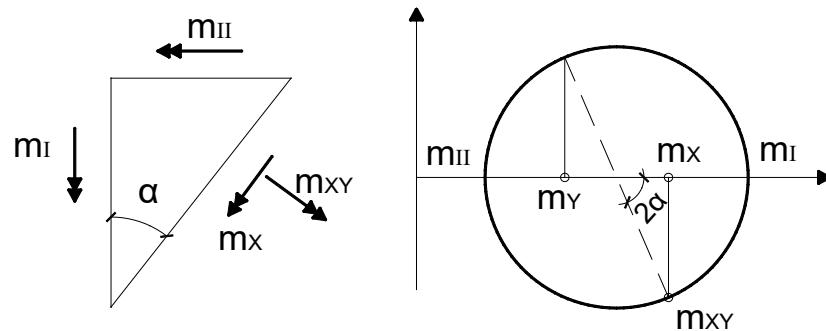
##### Παραδοχές

- Ο υπολογισμός των εσωτερικών δυνάμεων βασίζεται στην γραμμική-ελαστική συμπεριφορά των υλικών.
- Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αμελείται

- Διατμητικές τάσεις στη θλιβόμενη ζώνη δεν λαμβάνονται υπόψη διότι προκαλούν μόνο κύριες εφελκυστικές τάσεις

#### Μεθοδολογία

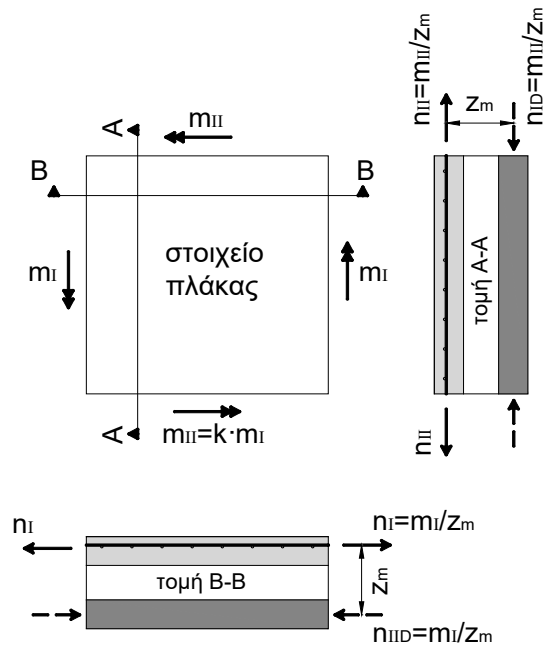
Αρχικά προσδιορίζεται η καμπτική ένταση του στοιχείου στο κύριο σύστημα με τη θεωρία του Mohr. Η κύρια ροπή  $m_I$  θα προκύπτει πάντα θετική.



**Σχήμα 4.1:** Μετατροπή καμπτικών ροπών από το σύστημα  $X-Y$  στο κύριο  $I-II$ .

Η καμπτική καταπόνηση του στοιχείου πλάκας από τις κύριες ροπές  $m_I$  και  $m_{II}$  ( $m_I > m_{II}$ ) παριστάνεται από τις κύριες αξονικές δυνάμεις  $n_I = m_I/z_m$  και  $n_{II} = m_{II}/z_m$  στην εφελκυσόμενη λόγω κάμψης ζώνη και από τις  $n_{IID} = -m_I/z_m$  και  $n_{IID} = -m_{II}/z_m$  στη θλιβόμενη λόγω κάμψης ζώνη. Βλ. σχ. 4.2. Ο μέσος μοχλοβραχίονας  $z_m$  των εσωτερικών δυνάμεων λαμβάνεται ίσος με 0,8-0,9 του στατικού ύψους.

Σε περίπτωση που η  $m_{II}$  προκύπτει αρνητική, τότε απαιτείται εφελκυσμένος οπλισμός και στην θλιβόμενη λόγω κάμψης ζώνη.

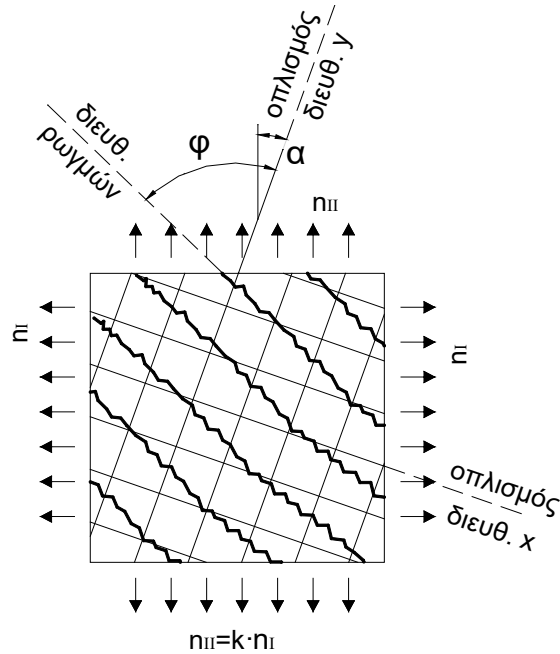


**Σχήμα 4.2:** Μετατροπή των κύριων καμπτικών ροπών σε μεμβρανική δράση ισοδύναμων δίσκων

Στο **Σχήμα 4.3** φαίνεται ένα ρηγματωμένο επιφανειακό στοιχείο με οπλισμό διατεταγμένο σε δυο ορθογωνικές διευθύνσεις x-y.

**α:** η γωνία του οπλισμού  $y$  ως προς τη διεύθυνση της μεγαλύτερης κύριας εφελκυστικής δύναμης  $n_I$ .

**φ:** η γωνία της διεύθυνσης της ρωγμής  $\varphi$  ως προς τον οπλισμό  $y$ .



**Σχήμα 4.3:** Ρηγματωμένο επιφανειακό στοιχείο με ορθογωνικό πλέγμα οπλισμών  $x$ - $y$  υπό δεδομένη κύρια μεμβρανική εφελκυστική ένταση  $n_I$  &  $n_{II}$ .

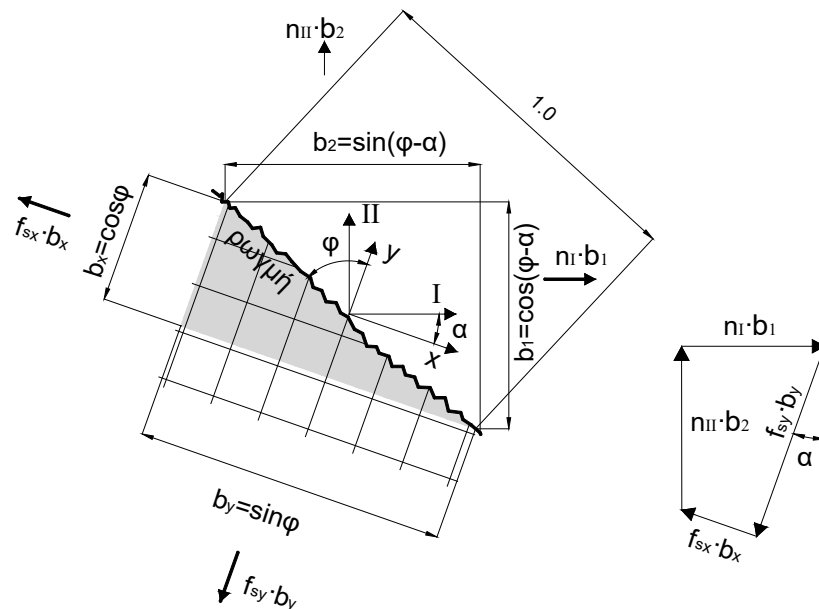
Επιλέγοντας γωνία  $\varphi$  οι εφελκυστικές δυνάμεις στους οπλισμούς και η θλιπτική δύναμη στο σκυρόδεμα, προκύπτουν από τις συνθήκες ισορροπίας κατά μήκος της ρωγμής και κάθετα σε αυτή. (Σχήμα 4.4 & Σχήμα 4.5).

- Από το δυναμοπολύγωνο ισορροπίας δυνάμεων σε μια τομή μοναδιαίου μήκους παράλληλα στη ρωγμή (Σχήμα 4.4) λαμβάνουμε τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$n_I \cdot b_1 - f_{SX} \cdot b_X \cdot \cos \alpha - f_{SY} \cdot b_Y \cdot \sin \alpha = 0$$

$$n_{II} \cdot b_2 - f_{SY} \cdot b_Y \cdot \cos \alpha + f_{SX} \cdot b_X \cdot \sin \alpha = 0$$

Αποδεικνύεται ότι η ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου οπλισμού προκύπτει για διάταξη του οπλισμού παράλληλα στην διεύθυνση που αναπτύσσεται η κύρια ένταση.



**Σχήμα 4.4:** Δυναμοπολύγωνο ισορροπίας δυνάμεων σε μοναδιαίο μήκος ρωγμής.

- Θεωρώντας μοναδιαία τομή κάθετη στις ρωγμές (Σχήμα 4.4) τότε στην ισορροπία των δυνάμεων υπεισέρχεται και η θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος. Από το δυναμοπολύγωνο λαμβάνουμε την ακόλουθη εξίσωση.

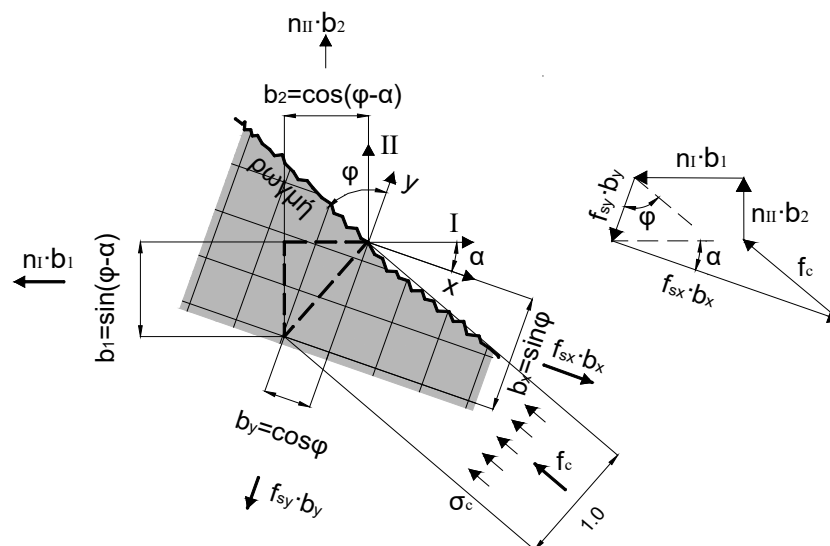
$$f_c = - n_I \cdot b_1 \cdot \sin(\varphi - \alpha) - n_{II} \cdot b_2 \cdot \cos(\varphi - \alpha) + f_{sx} \cdot b_x \cdot \sin \varphi + f_{sy} \cdot b_y \cdot \cos \varphi$$

Οι τάσεις στο σκυρόδεμα θα πρέπει να περιορίζονται από την τιμή

$$0,6 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \cdot f_{cd}. \text{ Βλ. EC2-1-1 παράρτ. F.}$$

**Σημείωση**

Εφόσον σε κάποιο στοιχείο έχουμε υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης σκυροδέματος, τότε στη θέση αυτή δεν εξάγεται οπλισμός.



**Σχήμα 4.5:** Δυναμοπολύγωνο ισορροπίας δυνάμεων σε μοναδιαίο πλάτος θλιβόμενης ζώνης μεταξύ ρωγμών.

Στο πρόγραμμα τα εντατικά μεγέθη διαστασιολόγησης της μεθοδολογίας Baumann εκφράζονται σε όρους ροπής αναφορικά με τη διεύθυνση των οπλισμών. Με δεδομένες, λοιπόν, τις ροπές της ανάλυσης  $m_x$ ,  $m_y$  και  $m_{xy}$  στο ορθογωνικό σύστημα x-y (ή 1-2) του πλέγματος των οπλισμών, προκύπτουν για την άνω και κάτω ίνα της πλάκας οι ροπές διαστασιολόγησης των οπλισμών.

| Περιγραφή                                                                              | Ροπή σχεδιασμού                 | Συνθήκη υπολογισμού                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>m1D+ (κάτω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 1 κάτω ίνας           | $m_1 +  m_{12} $                | για $m_1 \leq m_2$ & $m_1 \geq - m_{12} $<br>ή για $m_1 > m_2$ & $m_2 \geq - m_{12} $ |
|                                                                                        | 0                               | για $m_1 \leq m_2$ & $m_1 < - m_{12} $                                                |
|                                                                                        | $m_1 + \frac{m_{12}^2}{ m_2 }$  | για $m_1 > m_2$ & $m_2 < - m_{12} $                                                   |
| <b>m2D+ (κάτω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 2 κάτω ίνας           | $m_2 +  m_{12} $                | για $m_1 \leq m_2$ & $m_1 \geq - m_{12} $<br>ή για $m_1 > m_2$ & $m_2 \geq - m_{12} $ |
|                                                                                        | $m_2 + \frac{m_{12}^2}{ m_1 }$  | για $m_1 \leq m_2$ & $m_1 < - m_{12} $                                                |
|                                                                                        | 0                               | για $m_1 > m_2$ & $m_1 < - m_{12} $                                                   |
| <b>mcD+ (κάτω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος (κάτω ίνα) | $-2 *  m_{12} $                 | για $m_1 \leq m_2$ & $m_1 \geq - m_{12} $<br>ή για $m_1 > m_2$ & $m_2 \geq - m_{12} $ |
|                                                                                        | $m_1 - \frac{m_{12}^2}{ m_1 }$  | για $m_1 \leq m_2$ & $m_1 < - m_{12} $                                                |
|                                                                                        | $m_2 - \frac{m_{12}^2}{ m_2 }$  | για $m_1 > m_2$ & $m_1 < - m_{12} $                                                   |
| <b>m1D- (άνω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 1 άνω ίνας             | $-m_1 +  m_{12} $               | για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 \leq  m_{12} $<br>ή για $m_1 > m_2$ & $m_1 \leq  m_{12} $   |
|                                                                                        | $-m_1 + \frac{m_{12}^2}{ m_2 }$ | για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 >  m_{12} $                                                 |
|                                                                                        | 0                               | για $m_1 > m_2$ & $m_1 >  m_{12} $                                                    |
|                                                                                        | $-m_2 +  m_{12} $               | για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 \leq  m_{12} $<br>ή για $m_1 > m_2$ & $m_1 \leq  m_{12} $   |
|                                                                                        | 0                               | για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 >  m_{12} $                                                 |

|                                                                                      |                                 |                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>m2D- (άνω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 2 άνω ίνας           | $-m_2 + \frac{m_{12}^2}{ m_1 }$ | για $m_1 > m_2$ & $m_1 >  m_{12} $                                                  |
| <b>mcD- (άνω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος (άνω ίνα) | $-2 *  m_{12} $                 | για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 \leq  m_{12} $<br>ή για $m_1 > m_2$ & $m_1 \leq  m_{12} $ |
|                                                                                      | $-m_2 - \frac{m_{12}^2}{ m_2 }$ | για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 >  m_{12} $                                               |
|                                                                                      | $-m_1 - \frac{m_{12}^2}{ m_1 }$ | για $m_1 > m_2$ & $m_1 >  m_{12} $                                                  |

**Πίνακας 4.1:** Μέθοδος EC2 (Baumann). Ροπή σχεδιασμού οπλισμού m1D, m2D και σκυροδέματος mcD άνω και κάτω ίνας πλάκας στις δοθείσες διευθύνσεις οπλισμών 1-2, βάσει των εντατικών μεγεθών m1, m2 και m12 στις αντίστοιχες διευθύνσεις.

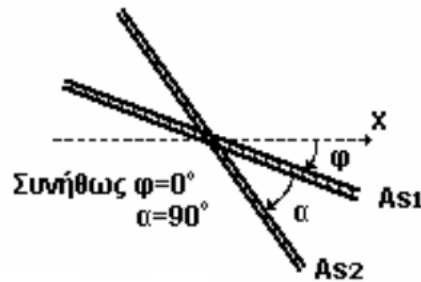
### 4.1.3 Μοντέλο υπολογισμού Wood-Armer

| Περιγραφή                                                                              | Ροπή σχεδιασμού                 | Συνθήκη υπολογισμού      |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <b>m1D+ (κάτω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 1 κάτω ίνας           | $m_1 +  m_{12} $                | για $m_1 \geq - m_{12} $ |
|                                                                                        | 0                               | για $m_1 < - m_{12} $    |
| <b>m2D+ (κάτω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 2 κάτω ίνας           | $m_2 +  m_{12} $                | για $m_2 \geq - m_{12} $ |
|                                                                                        | $m_2 + \frac{m_{12}^2}{ m_1 }$  | για $m_2 < - m_{12} $    |
| <b>mcD+ (κάτω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος (κάτω ίνα) | $-2 *  m_{12} $                 |                          |
| <b>m1D- (άνω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 1 άνω ίνας             | $-m_1 +  m_{12} $               | για $m_2 \leq  m_{12} $  |
|                                                                                        | $-m_1 + \frac{m_{12}^2}{ m_2 }$ | για $m_2 >  m_{12} $     |
| <b>m2D- (άνω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 2 άνω ίνας             | $-m_2 +  m_{12} $               | για $m_2 \leq  m_{12} $  |
|                                                                                        | 0                               | για $m_2 >  m_{12} $     |
| <b>mcD- (άνω)</b><br>Ροπή σχεδιασμού της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος (άνω ίνα)   | $-2 *  m_{12} $                 |                          |

**Πίνακας 4.2:** Κλασική μέθοδος (Wood-Armer). Ροπή σχεδιασμού οπλισμού m1D, m2D και σκυροδέματος mcD άνω και κάτω ίνας πλάκας στις δοθείσες διευθύνσεις οπλισμών 1-2, βάσει των εντατικών μεγεθών m1, m2 και m12.

#### 4.1.4 Λοξό πλέγμα οπλισμών

Σε περίπτωση που έχει επιλεγεί πλέγμα οπλισμών, όπου οι οπλισμοί σχηματίζουν γωνία διάφορη των  $90^\circ$  μεταξύ τους, τότε στην εξαγωγή των αντίστοιχων μεγεθών διαστασιολόγησης υπεισέρχεται και η σχετική γωνία (λοξότητα) των οπλισμών.



**Σχήμα 4.6:** Γωνία οπλισμού  $\varphi$  και σχετική γωνία λοξότητας  $\alpha$  στρώσεων οπλισμού.

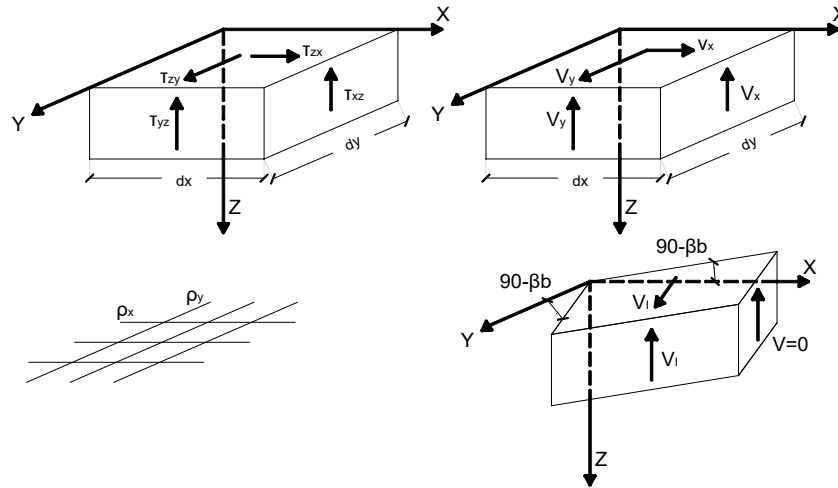
##### Σημείωση

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν η σχετική γωνία των οπλισμών λαμβάνεται μεγαλύτερη από  $120^\circ$  ή μικρότερη από  $60^\circ$ , διότι σε τέτοια περίπτωση το εύρος ρωγμής ενδέχεται να προκύπτει αρκετά μεγάλο, ενώ η όπλιση καθίσταται **αντιοικονομική**.

## Διάτμηση

#### 4.2.1 Διατμητική ένταση

Θεωρούμε στοιχειώδες στοιχείο κελύφους  $dx \cdot dz$  και τις διατμητικές τάσεις  $\tau_{yz}$  &  $\tau_{xz}$  σε οριζόντιο και εγκάρσιο επίπεδο. Από τις εγκάρσιες διατμητικές δυνάμεις  $V_x$  &  $V_y$  στο σύστημα συντεταγμένων του υπερστοιχείου  $XYZ$  υπολογίζεται η μέγιστη (ή κύρια) εγκάρσια διατμητική δύναμη  $V_I$  καθώς και η διεύθυνση του εγκάρσιου επιπέδου στο οποίο αυτή εμφανίζεται. Αυτή είναι η ένταση σχεδιασμού έναντι τέμνουσας της πλάκας.



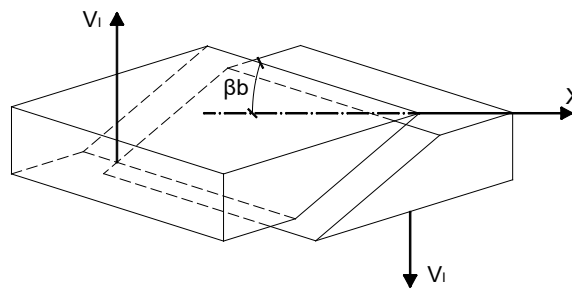
**Σχήμα 4.7:** Επίπεδο κύριας εγκάρσιας διατμητικής έντασης σχεδιασμού  $V_I$  σε στοιχείο πλάκας βάσει των διατμητικών δυνάμεων στο σύστημα συντεταγμένων του υπερστοιχείου.

η κύρια εγκάρσια διατμητική δύναμη σχεδιασμού  $V_I$  ανά μέτρο μήκους δίνεται από [CEB90] §6.4.2.5:

$$V_{Ed} = V_I = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2}$$

η οποία δρα σε μια κατακόρυφη επιφάνεια η οποία σχηματίζει γωνία  $\beta b$  ως προς το επίπεδο  $dy-Z$ .

$$\beta b = \arctan(V_Y/V_X)$$

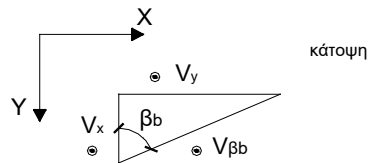


**Σχήμα 4.8:** Πιθανό επίπεδο διατμητικής αστοχίας στη διεύθυνση  $\beta b$  του εγκάρσιου επιπέδου, όπου εμφανίζεται η μέγιστη διατμητική δύναμη.

Στα αποτελέσματα της ανάλυσης του FePla εμφανίζεται τόσο η μέγιστη εγκάρσια διατμητική δύναμη σχεδιασμού  $V_1$ , ενώ στο menu «Τροχιές κύριων μεγεθών» παρέχεται εποπτεία της διακύμανση της διεύθυνσης  $\beta_b$  στην πλάκα.

#### Παραγωγή τύπων

Αναζητούμε τη γωνία  $\beta_b$  του εγκάρσιου επιπέδου, όπου μεγιστοποιείται η εγκάρσια διατμητική δύναμη  $V_{\beta_b}$ . Βλ. σχ. 4.8.



**Σχήμα 4.9:** Εγκάρσιες διατμητικές δυνάμεις  $V_x$  &  $V_y$  σε επίπεδο στοιχείο.

Από την ισορροπία των εγκάρσιων δυνάμεων που δρουν επί του στοιχείου που βλέπετε στο **Σχήμα 4.9** (βλ και [CEB90] §6.4.2.5) λαμβάνουμε:

$$V_{\beta_b} \cdot 1 = V_x \cdot \cos\beta_b + V_y \cdot \sin\beta_b$$

Το  $V_{\beta_b}$  μεγιστοποιείται όταν  $\frac{dV_{\beta_b}}{d\beta_b} = 0 \rightarrow$

$$-V_x \cdot \sin\beta_b + V_y \cdot \cos\beta_b = 0 \rightarrow \tan\beta_b = \frac{V_y}{V_x}$$

$$\text{Και } V_{\beta_b} = V_{\max} = \frac{V_x^2}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} + \frac{V_y^2}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

### 4.2.2 Έλεγχος διάτμησης

Στο πρόγραμμα ακολουθείται η μεθοδολογία του EC2-1-1 όπως περιγράφεται στα επόμενα.

#### Αντοχή σε σύνθλιψη λοξού θλιπτήρα $V_{Rd, \max}$

Η μέγιστη τέμνουσα  $V_{Rd, \max}$  που μπορεί να αναληφθεί από το στοιχείο καθορίζεται από τη συντριβή των λοξών θλιπτήρων. Βλ. EC2-1-1 §6.2.3(1) & (3).

$$V_{Rd, \max} = a_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

EC2-1-1 (6.9)

όπου

$$\cot\theta = 1,00 \text{ ώστε να μεγιστοποιηθεί η αντοχή}$$

$\alpha_{cw} = 1.0$  για μη προεντεταμένες κατασκευές

$z = 0,9 \cdot d$  προσεγγιστικά

$$v_1 = v = 0,6 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \text{ \& } f_{ck} \text{ σε Mpa} \quad \text{EC2-1-1}$$

(6.6)

Εφόσον η τέμνουσα σχεδιασμού  $V_{Ed}$  υπερβαίνει την  $V_{Rd,max}$  θα πρέπει να αυξηθεί το πάχος της διατομής.

### Πλάκες χωρίς οπλισμό διάτμησης

Σε περιοχές της πλάκας, όπου η τέμνουσα σχεδιασμού  $V_{Ed}$  δεν υπερβαίνει την αντοχή του στοιχείου χωρίς οπλισμό διάτμησης  $V_{Rd,c}$ , εκεί δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης. Βλ. EC2 1-1, 6.2.1(3).

Η διατμητική αντοχή  $V_{Rd,c}$  στην συνήθη περίπτωση απουσίας ορθής έντασης ( $\sigma_{cp} \approx 0$ ) δίδεται από EC2 1-1, 6.2.2:

$$V_{Rd,c} = \max \{ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} ; 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \} \cdot d$$

Όπου για τα  $C_{Rd,c}$   $k$  και  $d$  βλ. EC2-1-1 §6.2.2(1) και

$$\rho_l = \rho_x \cdot \cos^4 \beta_b + \rho_y \cdot \sin^4 \beta_b \leq 2\%$$

$\rho_x$  και  $\rho_y$  είναι τα ποσοστά του οπλισμού πλησίον της επιφάνειας που βρίσκεται σε εφελκυσμό. Βλ. [CEB90] § 6.4-12.

### Παρατηρήσεις:

- Εφόσον σε μια πλάκα εφαρμόζεται οπλισμός διάτμησης θα πρέπει αυτή να έχει πάχος τουλάχιστον 200 mm. Βλ. EC2 1-1 § 9.3.2.
- Ως διαμήκης οπλισμός λαμβάνεται στο πρόγραμμα ο μεγαλύτερος από τον κατασκευαστικά ελάχιστο και αυτόν που απαιτείται από την ανάλυση σε κάμψη. Ενδέχεται η τοποθέτηση οπλισμού διάτμησης σε πλάκα να είναι ιδιαίτερα δυσχερής. Γι' αυτό στο πρόγραμμα παρέχεται η δυνατότητα να αυξηθεί το ποσοστό του ελάχιστου εφελκυσμένου οπλισμού ώστε να αυξηθεί η αντοχή σε τέμνουσα.  $V_{rdc} > V_{Ed}$ . Σε περιπτώσεις, βέβαια, σχετικά μεγάλης διατμητικής έντασης ενδέχεται η αύξηση του διαμήκους οπλισμού να αποδειχθεί ατελέσφορη αφού διπλασιασμός του  $\rho_l$  ισοδυναμεί με αύξηση της αντοχής μόλις κατά 25%.

### Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης

Στα σημεία που προκύπτει  $V_{Ed} > V_{Rd,c}$  υπολογίζεται οπλισμός διάτμησης με την ακόλουθη διαδικασία:

i. Προσδιορισμός γωνίας λοξού θλιπήρα σκυροδέματος  $\theta$ :

$$\sin 2\theta = \frac{2 \cdot V_{Ed}}{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd}} \quad \text{και} \quad 1.0 \leq \cot \theta \leq 2.5$$

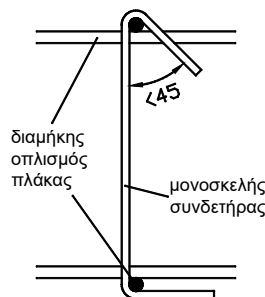
ii. Υπολογισμός συνδετήρων  $A_{sw} / m^2 = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cot \theta}$

Στα αποτελέσματα εκτός από την απαιτούμενη επιφάνεια συνδετήρων  $A_{sw}/m^2$  φαίνεται και η υπολογιζόμενη γωνία  $\theta$  καθώς και η αντοχή του στοιχείου με οπλισμό διάτμησης  $V_{Rd}$ .

### Κατασκευαστικές διατάξεις

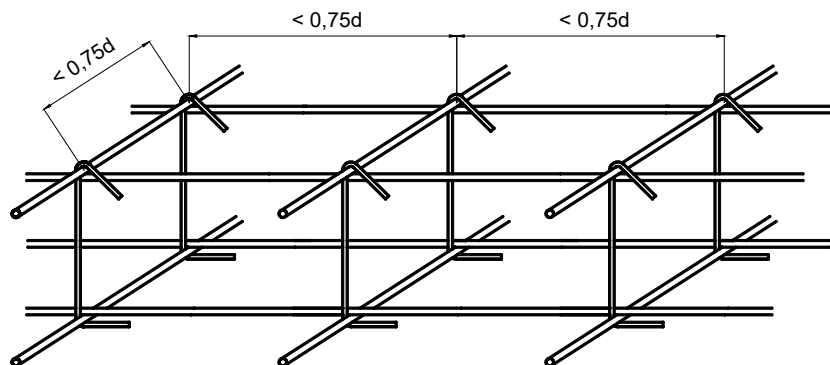
Στα τμήματα της πλάκας που απαιτείται οπλισμός διάτμησης εφαρμόζεται από το πρόγραμμα ποσοστό οπλισμού τουλάχιστον ίσο με  $0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$ . Βλ. EC2-1-1. Ενώ παρέχεται η δυνατότητα να οριστεί διαφορετικό ποσοστό.

Όταν απαιτείται οπλισμός διάτμησης γενικά προτείνονται συνδετήρες με ένα σκέλος, οι οποίοι διαμορφώνονται με γάντζο  $45^\circ$  στο ένα άκρο και  $90^\circ$  στο άλλο ώστε να περιβάλλουν την εξωτερική στρώση του διαμήκη οπλισμού και να διευκολύνεται η τοποθέτησή τους. (Σχήμα 4.10).



**Σχήμα 4.10:** Οπλιση πλάκας έναντι τέμνουσας με μονοσκελείς συνδετήρες [ACI318]

Κατά τη διάταξη του οπλισμού στη κάτοψη θα πρέπει να ληφθούν υπόψη από το μελετητή οι απαιτήσεις διαμόρφωσης της EC2-1-1 §9.3.2. Π.χ. η μέγιστη διαμήκης απόσταση μεταξύ διαδοχικών σειρών κατακόρυφων συνδετήρων είναι  $0,75d$  και η μέγιστη εγκάρσια απόσταση  $1,5d$ . Η διάταξη του οπλισμού διάτμησης πλάκας σε ορθογωνικό κάρναβο παρουσιάζεται ενδεικτικά στο Σχήμα 4.11.



Σχήμα 4.11: Ενδεικτική διάταξη οπλισμού διάτμησης πλάκας

## 4.3 Έλεγχος λειτουργικότητας

### 4.3.1 Έλεγχος σε βέλος κάμψης

Προκειμένου να ληφθούν υπόψη φαινόμενα ρηγμάτωσης, ερπυσμού και συστολής ξήρανσης προτείνεται στην βιβλιογραφία η ελαστική ανάλυση με μειωμένο μέτρο ελαστικότητας:

$$E_{C,eff} = \varepsilon \cdot E_C / (1 + \varphi)$$

όπου

- $\varphi$  είναι ο συντελεστής ερπυσμού, ο οποίος συνήθως λαμβάνεται ίσος με 2,5.
- ο συντελεστής  $\varepsilon$  λαμβάνει υπόψη τα φαινόμενα της ρηγμάτωσης και της συστολής ξήρανσης. (συνήθως ίσος με 0,5)

Το βέλος που προκύπτει θα πρέπει να ελεγχθεί από το μελετητή βάσει των ορίων που υποδεικνύονται στον κανονισμού, π.χ. 1/250 ή 1/500.

## Βιβλιογραφία

---

### 4.2.1 Ελληνική

[GISA03] **Γκισάκης, Α.Γ.**, “Βελτίωση της μεμβρανικής συμπεριφοράς του πεπερασμένου στοιχείου κελύφους TRIC”, *Μεταπτυχιακή εργασία (Επιβλέπων Μ. Παπαδρακάκης)*, Αθήνα, Μάρτιος 2003.

[LEON77] **F. Leonardt** και **E. Mönnig**, «Ολόσομες Κατασκευές», μετάφραση από τη 2η γερμανική έκδοση 1975, εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, 1977.

[STIG76] **K. Stiglat** και **H. Wippel**, «Πλάκες», μετάφραση από τη 2η γερμανική έκδοση, εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, 1976.

[TSAM94] **Τσαμασφύρος Γ., Θεοτόκογλου Ε.**, “Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων”, Αθήνα 1994.

### 4.2.2 Αγγλική

[ACI318] Building Code Requirements for structural Concrete (ACI318-02) and Commentary (ACI318R02).

[ALVI92] **Alvin, K., de la Fuente, H.M., Haugen, B., Felippa, C.A.** “Membrane triangles with corner drilling freedoms: I. The EFF element”, *Finite Elements Anal. Des.*, **12** (1992) 163-187.

[ARGY79] **Argyris, J.H., Balmer, H., Doltsinis, J.St., Dunne, P.C., Haase, M., Kleiber, M., Malejannakis, G.A., Mlejnek, H.P., Muller, M., Scharpf, D.W.**, “Finite Element Method – The Natural Approach”, *Comput. Methods Appl. Mech. and Engrg.*, **17/18** (1979) 1-106.

[ARGY94] **Argyris, J.H., Tenek, L., Olofsson, L.**, “Nonlinear free vibrations of composite plates”, *Comput. Methods Appl. Mech. and Engrg.*, **115** (1994) 1-51.

[ARGY97] **Argyris, J.H., Tenek, L., Olofsson, L.**, “Tric: a simple but sophisticated 3-node triangular element based on 6 rigid-body and 12 straining modes for fast computational simulations of arbitrary isotropic and laminated composite shells”, *Comput. Methods Appl. Mech. and Engrg.*, **145** (1997) 11-85.

[ARGY98] **Argyris, J.H., Tenek, L.**, “Finite Element Analysis for Composite Structures”, *Kluwer Academic Publishers*, (1998).

[ARGY00] **Argyris, J.H., Papadrakakis, M., Apostolopoulou, C., Koutsourelakis, S.**, “The TRIC shell element: theoretical and numerical investigation”, *Comput. Methods Appl. Mech. and Engrg.*, **182** (2000) 217-245.

- [ARME68] **G. S. T. Armer**, «*Discussion of the reinforcement of slabs in accordance with a predetermined field of moments*», *Der Bauingenieur*, 47, s. 367–377, Springer-Verlag, 1972.
- [BAUM72] **T. Baumann**, «*Zur Frage der Netzbewehrung von Flächentragwerken*», *Concrete*, 2(8), pp. 319–320, 1968.
- [CONC95] «*Concrete Structures Euro-Design Handbook*», Ernst & Sohn, 1995.
- [CEB90] «*CEB-FIP Model Code 1990*», Thomas Telford, 1993.
- [DENT96] **S. R. Denton and C. J. Burgoyne**, «*The assessment of reinforced concrete slabs*», *The Structural Engineer*, Volume 74, Number 9, May 1996.
- [EC2-1-1] «*EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*», CEN, 4/2004.
- [FELI03] **Felippa, C.A.**, “A study of optimal membrane triangles with drilling freedoms”, *Comput. Methods Appl. Mech. and Engrg.*, **192** (2003) 2125-2168.
- [FELI92] **Felippa, C.A., Militello, C.**, “Membrane triangles with corner drilling freedoms: II. The ANDES element”, *Finite Elements Anal. Des.*, **12** (1992) 189-201.
- [FELI92b] **Felippa, C.A., Alexander, S.**, “Membrane triangles with corner drilling freedoms: III. Implementation and performance evaluation”, *Finite Elements Anal. Des.*, **12** (1992) 203-235.
- [GISA05] **Gisakis, A.G., Papadrakakis, M., Karapitta, L.**, “Improving the performance of the TRIC shell element”, *5<sup>th</sup> GRACM International Congress on Computational Mechanics*, Limassol (2005) June 29 – July 1.
- [MACG06] **J. G. MacGregor and J. K. Wight**, «*Reinforced Concrete Mechanics and Design*», 4th ed., Pearson Education South Asia Pte Ltd, 2006.
- [ROMB04] **G. A. Rombach**, «*Finite Element Design of Concrete Structures*», Thomas Telford, 2004.
- [WOOD68] **R. H. Wood**, «*The reinforcement of slabs in accordance with a predetermined field of moments*», *Concrete*, 2(2), pp. 69–76, 1968.
- [ZIEN89] **O. C. Zienkiewicz and R. T. Taylor**, «*The finite element method*», 4th ed., Vol. 1-2, McGraw Hill, 1989.
- [ZIEN00] **Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L.**, “The Finite Element Method, volume 2: Solid Mechanics”, *Butterworth-Heinemann*, Oxford (2000).