

FePool

***Πρόγραμμα υπολογισμού δεξαμενών με τη
μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων***

Το επίσημο εγχειρίδιο αναφοράς



Αθήνα, Απρίλιος 2025

Version 1.0.17

Περιεχόμενα

1	Συνοπτική περιγραφή του FePool	6
1.1	<i>Εγκατάσταση του προγράμματος</i>	<i>6</i>
1.2	<i>Τι είναι το FePool.....</i>	<i>7</i>
1.3	<i>Το περιβάλλον εργασίας του FePool</i>	<i>8</i>
1.4	<i>Οντότητες & παράμετροι.....</i>	<i>9</i>
1.5	<i>Βήματα εργασίας</i>	<i>15</i>
1.6	<i>Ορισμοί - συμβάσεις</i>	<i>18</i>
2	Γενική παρουσίαση του FePool	25
2.1	<i>Το περιβάλλον εργασίας του FePool</i>	<i>25</i>
2.2	<i>Κεντρικό Menu</i>	<i>26</i>
2.3	<i>Βοηθητική εργαλειογραμμή</i>	<i>31</i>
2.4	<i>Χρήση του mouse.....</i>	<i>32</i>
2.5	<i>Χρήση του πληκτρολογίου.....</i>	<i>34</i>
2.6	<i>Περιοχή 3d απεικόνισης</i>	<i>35</i>
3	Εντολές και παράμετροι	40
3.1	<i>Κοινές παράμετροι στατικών οντοτήτων</i>	<i>40</i>
3.2	<i>Οδηγός</i>	<i>41</i>
3.3	<i>Κατασκευή</i>	<i>43</i>
3.4	<i>Κόμβος</i>	<i>59</i>
3.5	<i>Γραμμή</i>	<i>65</i>
3.6	<i>Πλάκα</i>	<i>71</i>
3.7	<i>Οπή</i>	<i>77</i>
3.8	<i>Τοίχωμα</i>	<i>78</i>
3.9	<i>Επίλυση</i>	<i>88</i>
4	Αποτελέσματα	91
4.1	<i>Δράσεις.....</i>	<i>95</i>
4.2	<i>Συνδυασμοί δράσεων</i>	<i>100</i>
4.3	<i>Περιβάλλουσες</i>	<i>103</i>

5	Θεωρητικά στοιχεία.....	105
5.1	Μεθοδολογία ανάλυσης δεξαμενών υπό σεισμική φόρτιση.....	105
5.2	Σεισμικές δράσεις επί των τοιχωμάτων.....	106
5.2.1	Σεισμικές ωθήσεις γαιών $P_{E,s}$	106
5.2.2	Υδροδυναμικές πιέσεις.....	108
5.2.3	Αδρανειακές δυνάμεις τοιχωμάτων $P_{E,i}$	109
5.2.4	Βασικές υποθέσεις μεθοδολογίας.....	110
5.2.5	Όρια χρήσης μεθοδολογίας.....	110
5.2.6	Συνδυασμός σεισμικών δράσεων.....	113
5.2.7	Βιβλιογραφία.....	115
6	Δράσεις.....	116
6.1	Κατηγορίες Δράσεων.....	116
6.2	Υπολογισμοί Δράσεων.....	118
6.3	Συνδυασμοί Δράσεων.....	125
6.3.1	Στατικοί συνδυασμοί ULS.....	125
6.3.2	Στατικοί συνδυασμοί SLS.....	126
6.3.3	Σεισμικοί συνδυασμοί.....	128
7	Όπλιση πλακών και τοιχωμάτων.....	131
7.1	Διαστασιολόγηση σε κάμψη.....	131
7.1.1	Γενικά.....	131
7.1.2	Μοντέλο υπολογισμού <i>Th. Baumann</i>	132
7.1.3	Μοντέλο υπολογισμού <i>Wood-Armer</i>	138
7.1.4	Λοξό πλέγμα οπλισμών.....	139
7.2	Διάτμηση.....	140
7.2.1	Διατμητική ένταση.....	140
7.2.2	Έλεγχος διάτμησης.....	142
7.3	Έλεγχοι λειτουργικότητας.....	145
7.3.1	Περιορισμός τάσεων.....	145
7.3.2	Διαστασιολόγηση κελύφους στους ελέγχους λειτουργικότητας.....	145
7.3.3	Έλεγχος ρηγμάτωσης.....	155
7.3.4	Έλεγχος σε βέλος κάμψης.....	159
7.4	Βιβλιογραφία.....	160
8	Τεύχος Μελέτης.....	161

8.1	Αρχική σελίδα.....	161
8.2	Περιεχόμενα.....	161
8.3	Υπεύθυνη δήλωση	161
8.4	Εκτίμηση επιτρεπόμενης τάσης εδάφους.....	161
8.5	Τεχνική έκθεση	161
8.6	Γενικά Δεδομένα Προβλήματος	161
8.7	Δεδομένα Δράσεων.....	161
8.8	Δεδομένα Συνδυασμών Δράσεων	162
8.9	Αποτελέσματα επίλυσης.....	162
8.10	Διαγράμματα επιφανειών	162
8.11	Οπλισμοί επιφανειών	162
8.12	Βάρη – όγκοι πισίνας.....	163

1

Συνοπτική περιγραφή του FePool

1.1 Εγκατάσταση του προγράμματος

Η εγκατάσταση του προγράμματος FePool σε περιβάλλον Windows είναι εύκολη. Ανοίξτε το εκτελέσιμο αρχείο. Αμέσως, θα φορτωθεί το παράθυρο διαλόγου που φαίνεται στην **Εικόνα 1.1**.



Εικόνα 1.1: Εγκατάσταση του FePool

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\FePool».

Επιλέξτε «Επόμενο» και συνεχίστε. Μετά και την αποδοχή των όρων της άδειας χρήσης, 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».

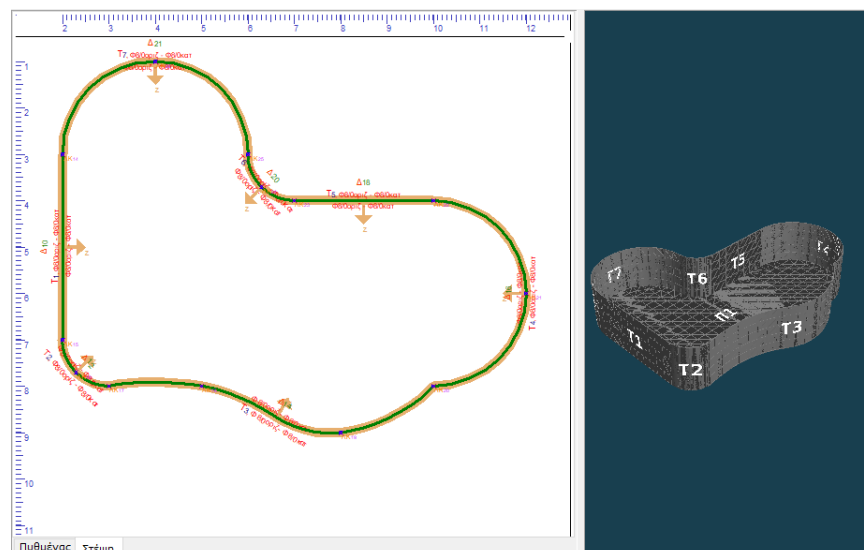
Προκειμένου να τρέξετε την εφαρμογή *FePool*, θα πρέπει να εισάγετε στην θύρα USB του υπολογιστή σας, το αντίστοιχο κλειδί ασφαλείας που σας έχει παραχωρηθεί από την LH Λογισμική.

1.2 Τι είναι το *FePool*

Το *FePool* είναι ένα λογισμικό το οποίο χρησιμοποιεί την αριθμητική μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων για την επίλυση **δεξαμενών**, η γεωμετρία των οποίων ορίζεται από επιφάνειες (πλάκες και τοιχώματα), ενώ μπορούν να αποδοθούν και στοιχεία δυσκαμψίας σε δοκούς (**Εικόνα 1.2**). Όσον αφορά τα πεπερασμένα στοιχεία, το πρόγραμμα διαθέτει δύο είδη στοιχείων: α) Το 3-κομβο τριγωνικό στοιχείο κελύφους **tric** και β) 2-κομβο στοιχείο **δοκού**.

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 δράσεις φορτίων 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), σε συνάρτηση με τις επιβαλλόμενες **δράσεις**, τους **συνδυασμούς δράσεων** και τις **περιβάλλοντες**. Τα αποτελέσματα μπορούν αποθηκευτούν είτε σε μορφή εικόνων είτε σε μορφή τεύχους μελέτης.

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.

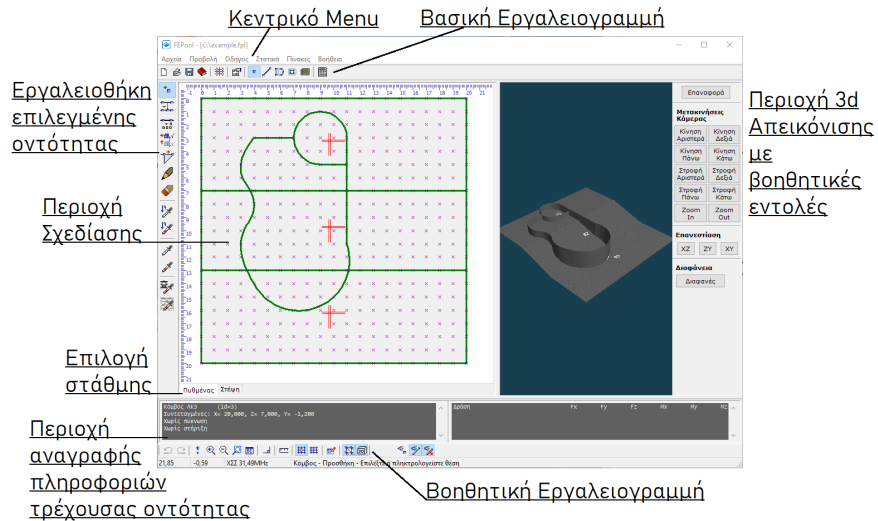


Εικόνα 1.2: Προσομοίωση κολυμβητικής δεξαμενής σε 2d κάτοψη και 3d

1.3 Το περιβάλλον εργασίας του FePool

Το περιβάλλον εργασίας του FePool (Εικόνα 1.3) αποτελείται από:

- την Περιοχή Σχεδίασης
- την Περιοχή 3d Απεικόνισης με βοηθητικές εντολές
- το Κεντρικό Menu
- την Βασική Εργαλειογραμμή
- την Εργαλειοθήκη επιλεγμένης οντότητας
- την Βοηθητική Εργαλειογραμμή



Εικόνα 1.3: Το περιβάλλον εργασίας του FePool

1.4 Οντότητες & παράμετροι

Σε γενικές γραμμές, η δημιουργία και επεξεργασία του μοντέλου βασίζεται στην λογική των **οντοτήτων**. Συνολικά υπάρχουν 6 είδη οντοτήτων: Ο **Οδηγός** και οι 5 Στατικές Οντότητες (**Κόμβος**, **Γραμμή**, **Πλάκα**, **Οπή**, **Τοίχωμα**). Κάθε οντότητα χαρακτηρίζεται από **παραμέτρους**. Επιπλέον παράμετροι υπάρχουν στις 2 γενικές ενότητες «**Κατασκευή**» και «**Επίλυση**». Οι παράμετροι αυτές αφορούν στις μηχανικές ιδιότητες, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες υλικών, 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, στις οποίες δίνει τις κατάλληλες παραμέτρους. Η παρακάτω λίστα δίνει μια σύντομη περιγραφή των οντοτήτων:



Οδηγός

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



Κατασκευή

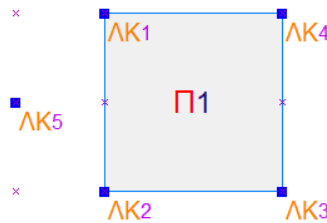
Σε αυτή την ενότητα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει συνολικές ιδιότητες και παραμέτρους για όλα τα στοιχεία της κατασκευής και να δώσει την εντολή επανυπολογισμού των συνδυασμών δράσεων.



Κόμβος

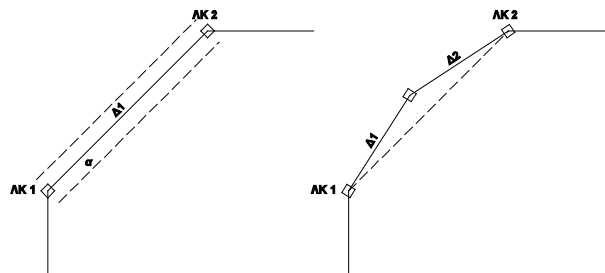
Σημειακή οντότητα που χρησιμεύει για την επιβολή στήριξης, συγκεντρωμένου φορτίου ή και για την πύκνωση του δικτύου των στοιχείων σε κάποια περιοχή. Ο κόμβος ορίζει επίσης τα άκρα ή/και ενδιάμεσα σημεία μιας γραμμής. Μπορεί να τοποθετηθεί στο περίγραμμα μιας επιφάνειας ή και στο εσωτερικό της. Ισχύουν οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- i. Κάθε κόμβος πρέπει **οπωσδήποτε** να ανήκει είτε σε επιφάνεια (πλάκα ή τοίχωμα), πάνω στο περίγραμμα της επιφάνειας ή στο εσωτερικό της είτε σε γραμμή. **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 πλάκα Π1

- 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 «ελάχιστη απόσταση γραμμής-κόμβου», 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.



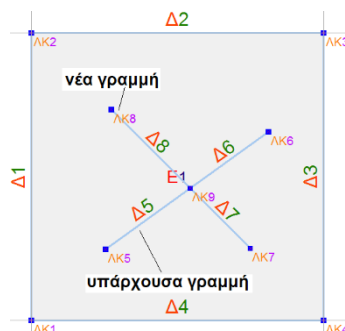
Σχήμα 1.2: Η «ελάχιστη απόσταση γραμμής-κόμβου» καθορίζει την ευαισθησία του προγράμματος στο να διασπά γραμμές από κόμβους που εισάγονται εκ των υστέρων



Γραμμή

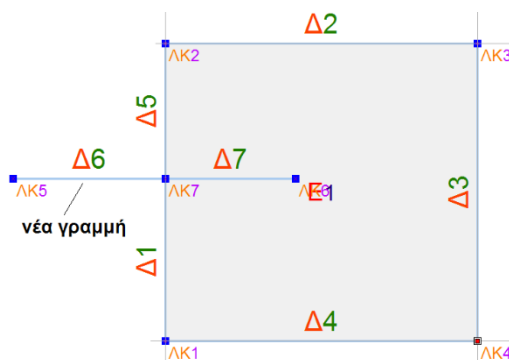
Γραμμική οντότητα που χρησιμεύει για τον γεωμετρικό ορισμό δοκού ή για την επιβολή κατανεμημένης στήριξης ή κατανεμημένου φορτίου. Η γραμμή μπορεί να αποτελεί μέρος του περιγράμματος μιας επιφάνειας ή να κατασκευαστεί στο εσωτερικό της.

Ισχύει ο ακόλουθος γενικός κανόνας για την εισαγωγή ευθείας γραμμής: Εάν η ευθεία γραμμή που εισάγεται τέμνει οποιαδήποτε προϋπάρχουσα ευθεία γραμμή -είτε αυτή είναι ανεξάρτητη, είτε ορίζει το περίγραμμα κάποιας επιφάνειας-, τότε στο σημείο τομής δημιουργείται κόμβος και η κάθε γραμμή διαιρείται αυτόματα σε δύο νέες γραμμές. (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Η τομή δύο γραμμών διαιρεί τις γραμμές και εισάγει κόμβο στο σημείο τομής

Επιπλέον, όπως και στους κόμβους, απαγορεύεται η ύπαρξη ελεύθερων γραμμών που δεν ανήκουν σε επιφάνειες, εκτός αν η γραμμή χρησιμοποιείται για την προσομοίωση δοκού, με την παράμετρο «Γραμμή» Ακαμψία> Ακαμψία / Υλικό» = Ναι.. Για παράδειγμα, στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1.4), η γραμμή και ο κόμβος που βρίσκονται έξω από την πλάκα πρέπει να διαγραφούν.



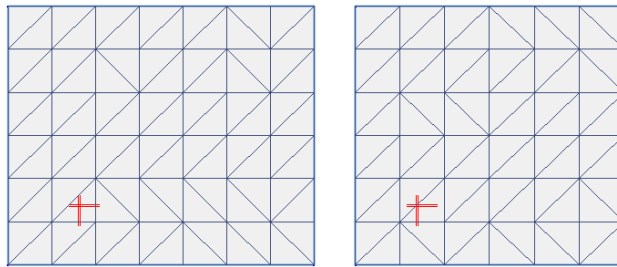
Σχήμα 1.4: Η νέα γραμμή τέμνει την πλάκα και για τον λόγο αυτό χωρίζεται σε δύο τμήματα Δ6 και Δ7. Η γραμμή Δ6 και ο κόμβος ΛΚ5, πρέπει να διαγραφούν από τον χρήστη.



Πλάκα

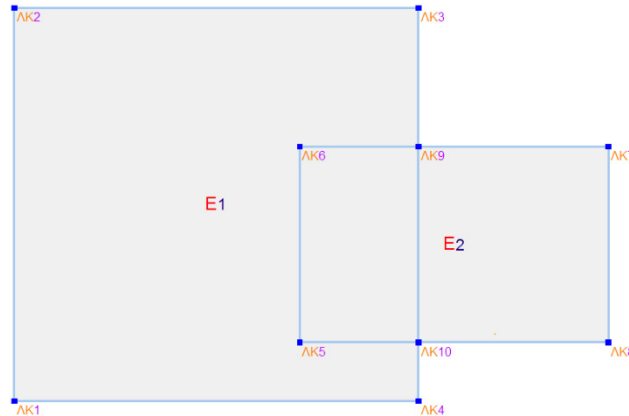
Επιφανειακή οντότητα που χρησιμεύει για τον ορισμό πλακών. Η πλάκα κατασκευάζεται με την επιλογή βοηθητικών σημείων του οδηγού. Οι παράμετροι της πλάκας αφορούν τον ορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος ή άλλου υλικού, το πάχος, την σταθερά εδάφους, τα φορτία, τις ιδιότητες του οπλισμού, την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

- i. **Απαγορεύεται** να υπάρχουν δύο ή περισσότερες πλάκες οι οποίες δεν έχουν τουλάχιστον ένα κοινό κόμβο ή μια κοινή γραμμή περιγράμματος (**Σχήμα 1.5**) 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 1.5: Ασύνδετες πλάκες. Απαγορεύεται.

- ii. Δύο πλάκες δεν επιτρέπεται να τέμνονται μεταξύ τους (Σχήμα 1.6). Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να χρησιμοποιείται η εντολή «ένωση / αφαίρεση πλακών» προκειμένου να διαχωριστούν οι επιφάνειες.



Σχήμα 1.6: Πλάκες που τέμνονται. Δεν επιτρέπεται.



Οπή

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

Τοίχωμα

Κατακόρυφη επιφανειακή οντότητα για τον ορισμό τοιχωμάτων. Οι παράμετροι του τοιχώματος αφορούν τον ορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος ή άλλου υλικού, το πάχος, τα φορτία, τις ιδιότητες του οπλισμού, την πυκνότητα του δικτύου των στοιχείων κλπ. Μπορεί να κατασκευαστεί είτε μεμονωμένα -με προσθήκη των 2 ακραίων άνω κόμβων ή με προσθήκη πάνω σε προϋπάρχουσα γραμμή- είτε ως τμήμα του περιγράμματος της πισίνας - με εισαγωγή από τη στάθμη της στέψης ή με ανέγερση με βάση το περίγραμμα του πυθμένα.

Επίλυση

Σε αυτή την ενότητα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει γενικές παραμέτρους που αφορούν την επίλυση και την παραγωγή αποτελεσμάτων, καθώς και να εκτελέσει τις αντίστοιχες εντολές.

1.5 Βήματα εργασίας

Όλη η διαδικασία δημιουργίας και επεξεργασίας του μοντέλου της δεξαμενής γίνεται μέσα από τα διαθέσιμα εργαλεία του FePool, σε μερικά απλά βήματα. Υπάρχουν δύο κεντρικές πορείες εργασίας που μπορεί να ακολουθήσει ο χρήστης για την εισαγωγή της γεωμετρίας, όπως απεικονίζονται στην **Εικόνα 1.4**. Η αλληλουχία των βημάτων δεν είναι αυστηρά προκαθορισμένη.

Δεξαμενές απλής γεωμετρίας			Δεξαμενές σύνθετης γεωμετρίας		
	Κάναβος			Κάναβος	
	Εισαγωγή πλακών πυθμένα και προσαρμογή υψομέτρων			Εισαγωγή επιπέδων πυθμένα και προσαρμογή υψομέτρων	
	Παραγωγή τοιχωμάτων από περίγραμμα πλακών πυθμένα			Εισαγωγή περιγράμματος πισίνας στη στέψη	
	Εισαγωγή παραμέτρων (σκυρόδεμα, φορτία, στηρίξεις, σπλισμός κλπ)			Αλληλοτομία	
	Επίλυση			Εισαγωγή παραμέτρων (σκυρόδεμα, φορτία, στηρίξεις, σπλισμός κλπ)	
	Προβολή αποτελεσμάτων (βυθίσεις, εντατικά μεγέθη, μεγέθη σχεδιασμού, απαιτούμενες επιφάνειες σπλισμών			Επίλυση	
	Παρουσίαση αποτελεσμάτων (εκτύπωση διαγραμμάτων, εκτύπωση τεύχους)			Προβολή αποτελεσμάτων (βυθίσεις, εντατικά μεγέθη, μεγέθη σχεδιασμού, απαιτούμενες επιφάνειες σπλισμών	
				Παρουσίαση αποτελεσμάτων (εκτύπωση διαγραμμάτων, εκτύπωση τεύχους)	

Εικόνα 1.4: Πορεία εργασίας στο FePool



Δημιουργία Οδηγού

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

Ο οδηγός 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.

Εισαγωγή γεωμετρίας δεξαμενής

Μόλις ο χρήστης ορίσει τον οδηγό, ξεκινάει η εισαγωγή της γεωμετρίας της δεξαμενής για τη δημιουργία των στατικών οντοτήτων. Αν και δεν υπάρχει κάποια υποχρεωτική αλληλουχία που πρέπει να ακολουθηθεί, μια καλή πρακτική είναι ο χρήστης να ακολουθήσει μία από τις 2 προτεινόμενες πορείες εργασίας

- i) **Για πισίνες απλής γεωμετρίας:** Αρχικά από την οντότητα Πλάκες



, εισαγωγή των πλακών του πυθμένα . Στη συνέχεια, προσαρμογή των υψομέτρων είτε με την εντολή «Αλλαγή υψομέτρου



πλάκας» της οντότητας Πλάκες, είτε με την εντολή «Αλλαγή



υψομέτρου γραμμής» της οντότητας Γραμμές, είτε με την εντολή



«Αλλαγή ονόματος και συντεταγμένων» της οντότητας Κόμβοι.

Στη συνέχεια, εκτέλεση της εντολής «Ανέγερση περιμετρικών τοίχων



πισίνας από πυθμένα» της οντότητας Τοιχώματα.

- ii) **Για πισίνες σύνθετης γεωμετρίας, που συνδυάζουν κεκλιμένο**

πυθμένα και περίγραμμα που περιλαμβάνει καμπύλες γραμμές: εισαγωγή επιπέδων (πλακών) πυθμένα και προσαρμογή των υψομέτρων τους όπως περιγράφουμε και προηγούμενως. Σε αυτή την περίπτωση, είναι προτιμότερο εάν είναι εφικτό, οι πλάκες να εξέχουν του τελικού σχήματος για να γίνει στη συνέχεια ευκολότερα η αλληλοτομία που θα ακολουθήσει. Στη συνέχεια, με την εντολή



«Εισαγωγή περιγράμματος πισίνας στη στέψη» της οντότητας Τοιχώματα, εισάγουμε την περίμετρο της πισίνας. Έπειτα, εκτελούμε



την εντολή «Αλληλοτομία Επιφανειών» , ώστε να τμήσουμε τα τοιχώματα με τις πλάκες του πυθμένα. Μετά την εκτέλεση της αλληλοτομίας, μπορούμε να διαγράψουμε με την εντολή «Διαγραφή»



των οντοτήτων Πλάκες και Τοιχώματα τα τμήματα των οντοτήτων που περισσεύουν από το επιθυμητό τελικό σχήμα.

Εισαγωγή Παραμέτρων

Κάθε οντότητα χαρακτηρίζεται από παραμέτρους (ιδιότητες υλικών, δράσεις, στηρίξεις κλπ). Προκειμένου ο χρήστης να δώσει σε κάποια οντότητα τις παραμέτρους που επιθυμεί, ενεργοποιεί το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων. Αφού εισάγει στις 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, τις κανονιστικές λεπτομέρειες για τη διαστασιολόγηση 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 προβάλλονται σε μορφή ισο-χρωματικών λωρίδων επί του πλέγματος των στοιχείων. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον αριθμό των χρωματικών επιπέδων που θα χρησιμοποιηθούν στην απεικόνιση. Επιπλέον, μπορεί με το κουμπί «Επιλογή μεμονωμένου στοιχείου για θέαση» , να επιλέξει να δει αποτελέσματα για ένα υπερστοιχείο (πλάκα ή τοίχωμα). Με την εντολή «καθάρισμα επιλογής» , επιστρέφει στην απεικόνιση των αποτελεσμάτων για ολόκληρη την κατασκευή.

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να δει αποτελέσματα για τις διαφορετικές:

- i) Δράσεις
- ii) Συνδυασμούς Δράσεων
- iii) Περιβάλλουσες

Για τις διαφορετικές περιπτώσεις, παρέχονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

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

- Κύρια εντατικά μεγέθη
- Τάσεις

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

- Μέγιστα εντατικά μεγέθη διαστασιολόγησης
- Μέγιστα εντατικά μεγέθη οπλισμού

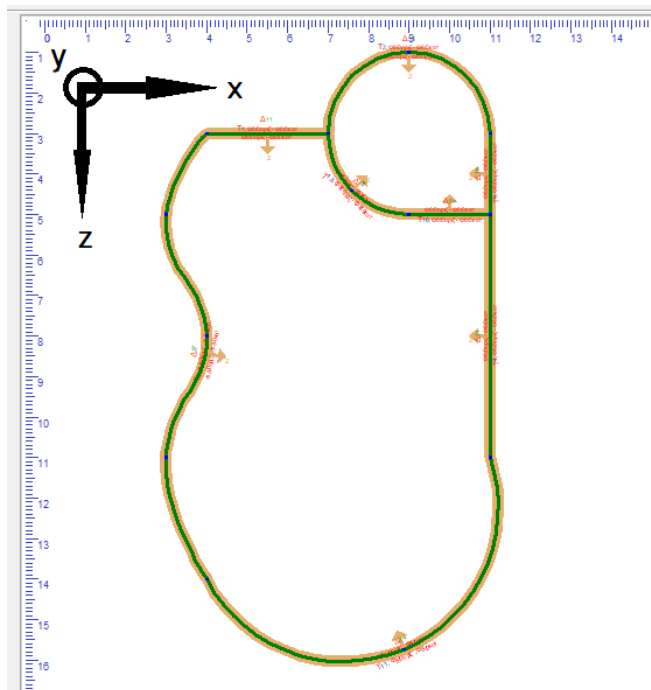
Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Με το πλήκτρο  παρέχεται στον χρήστη η δυνατότητα να δημιουργήσει τεύχος αποτελεσμάτων. Στο τεύχος περιέχονται τα δεδομένα του προβλήματος, οι δράσεις φορτίων, 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 1.5**). 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.

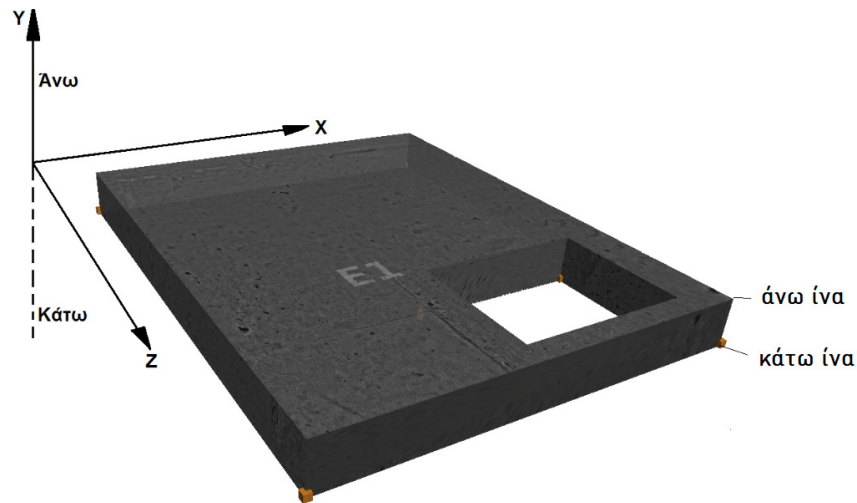


Εικόνα 1.5: Ορισμός καθολικού συστήματος συντεταγμένων

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).

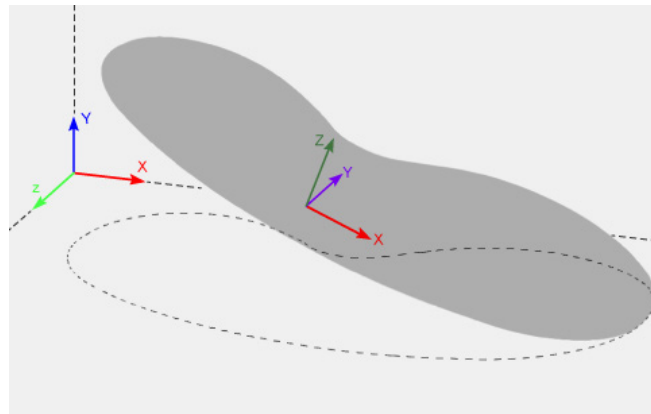
Τοπικό Σύστημα Συντεταγμένων & Άνω ίνα / κάτω ίνα πλάκας

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 1.7**).



Σχήμα 1.7: Ορισμός άνω και κάτω ίνας πλάκας

Όσον αφορά το τοπικό Σύστημα Συντεταγμένων της πλάκας, προκύπτει ως εξής: ο τοπικός άξονας x προκύπτει από την προβολή του καθολικού άξονα X στο επίπεδο της πλάκας. Ο τοπικός άξονας z είναι κάθετος στο επίπεδο της πλάκας με φορά προς τα πάνω. Και ο τοπικός άξονας y είναι εντός του επιπέδου της πλάκας, και προκύπτει από τον ορισμό των άλλων 2 αξόνων, εντός δεξιόστροφου συστήματος. (βλέπε **Σχήμα 1.8**).

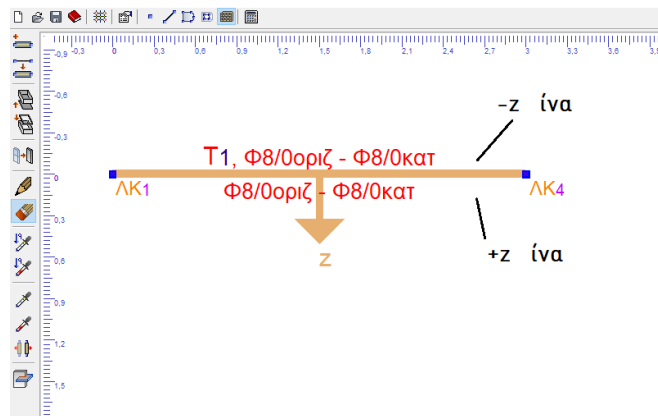


Σχήμα 1.8: Ορισμός τοπικού συστήματος συντεταγμένων πλάκας

Τοπικό Σύστημα Συντεταγμένων & $+z$ / $-z$ ίνα τοιχώματος

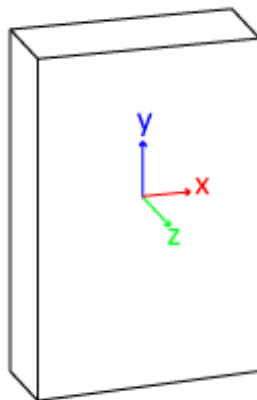
Αρκετά από τα αποτελέσματα που παράγει η επίλυση (εντατικά μεγέθη οπλισμού, επιφάνειες οπλισμού, τάσεις κλπ) αναφέρονται στην « $+z$ » και στην « $-z$ » ίνα του

τοιχώματος. Οι ίνες ορίζονται από την κατεύθυνση του τοπικού άξονα z ο οποίος είναι κάθετος στο τοίχωμα και φαίνονται στην κάτοψη (βλέπε **Εικόνα 1.6**). Όταν ο χρήστης εισάγει περίγραμμα δεξαμενής, η αρχική συνθήκη είναι οι κάθετοι άξονες των τοίχων να έχουν φορά προς το εσωτερικό της δεξαμενής. Ο χρήστης μπορεί να αλλάξει την αρχική συνθήκη, με την εντολή «Αντιστροφή τοπικού συστήματος συντεταγμένων τοιχώματος» της οντότητας «Τοίχωμα».



Εικόνα 1.6: Ορισμός $+z/-z$ ίνας τοιχώματος

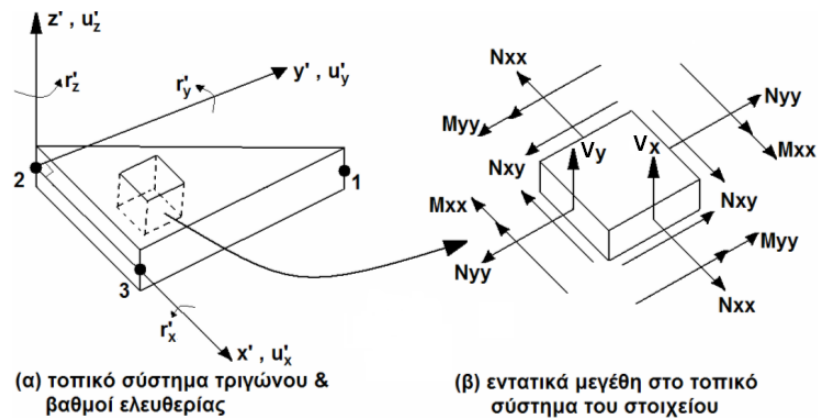
Όσον αφορά το τοπικό Σύστημα Συντεταγμένων του τοιχώματος, προκύπτει ως εξής: ο τοπικός άξονας z είναι όπως περιγράψαμε κάθετος στο τοίχωμα. Ο τοπικός άξονας y είναι εντός του επιπέδου του τοιχώματος, κατακόρυφος, με φορά προς τα πάνω. Ο τοπικός x είναι εντός του επιπέδου του τοιχώματος, οριζόντιος, με φορά που προκύπτει από τον ορισμό των άλλων 2 αξόνων, εντός δεξιόστροφου συστήματος. (βλέπε **Σχήμα 1.9**).



Σχήμα 1.9: Ορισμός τοπικού συστήματος συντεταγμένων τοιχώματος

Το 3-κομβο τριγωνικό στοιχείο κελύφους TRIC

Το τριγωνικό στοιχείο TRIC (Σχήμα 1.10), 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 που πραγματοποιεί τις επιλύσεις του FePool- ενσωματώνεται το βελτιωμένο πεπερασμένο στοιχείο **TRIC** το οποίο εξελίχθηκε από το Εργαστήριο Στατικής και Αντισεισμικών Ερευνών του Ε.Μ.Π. και διαθέτει πρόσθετα χαρακτηριστικά, ενώ εξασφαλίζεται και η συνεργασία του με ραβδωτά στοιχεία δοκού-υποστυλώματος.



Σχήμα 1.10: 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 [FELI92,92b,03], [ALVI92]. Κάθε κόμβος διαθέτει 6 βαθμούς ελευθερίας (3 μετατοπίσεις και 3 στροφές) 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.

2

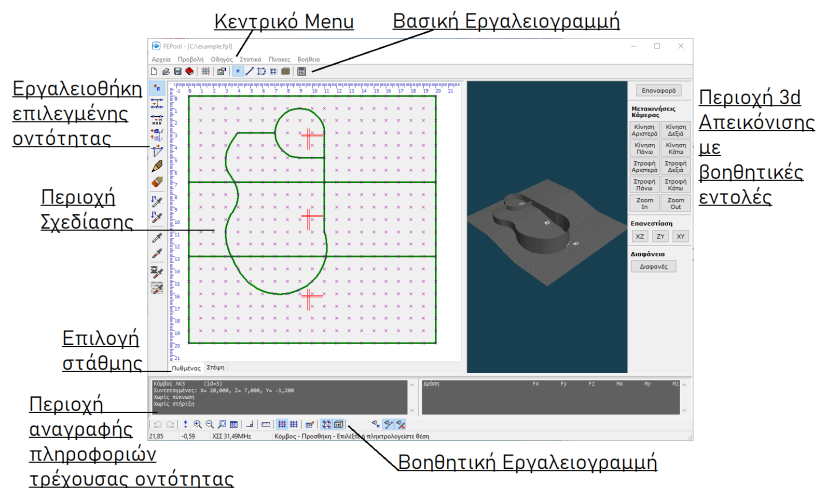
Γενική παρουσίαση του FePool

2.1 Το περιβάλλον εργασίας του FePool

Το περιβάλλον εργασίας του FePool αποτελείται από:

- την **Περιοχή Σχεδίασης**: Είναι ο χώρος στον οποίο ο χρήστης ορίζει την γεωμετρία του προβλήματος.
- την **Περιοχή 3d Απεικόνισης με βοηθητικές εντολές**: Είναι ο χώρος στον οποίο ο χρήστης μπορεί να δει τη 3d απεικόνιση του μοντέλου, και να χειριστεί την κάμερα.
- 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 οδηγό 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 2.1**.



Εικόνα 2.1: Το περιβάλλον εργασίας του FePool

2.2 Κεντρικό Menu

Από το κεντρικό Menu εκτελούνται οι παρακάτω λειτουργίες:

Αρχεία

Περιλαμβάνει τις κλασικές λειτουργίες κάθε εφαρμογής Windows, όπως άνοιγμα / αποθήκευση αρχείου / έξοδος, οι οποίες είναι γνωστές στον χρήστη και δεν χρειάζονται περαιτέρω εξήγηση. Σημειώνεται ότι αρκετές συντομεύσεις υπάρχουν και στην Βασική Εργαλειογραμμή. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής του αρχείου σε μορφή *.tek με την εξής εντολή:

Αρχεία > Τεύχος: Δημιουργείται το τεύχος μελέτης

Αρχεία > Εξαγωγή σε Tek: Παρέχεται η δυνατότητα εξαγωγής αρχείου γραμμών (*.tek), το οποίο μπορεί να διαβαστεί από το Fespa ή το Τέκτων.

Αρχεία > Αυτόματη αποθήκευση πριν την επίλυση: Όταν είναι επιλεγμένη αυτή η δυνατότητα, τα αρχεία σώζονται πριν προχωρήσει η επίλυση

Προβολή

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

Προβολή > Χάρακας: Εμφανίζει/αποκρύπτει τις διαβαθμίσεις των αποστάσεων στο περίγραμμα της περιοχής σχεδίασης κατά τους άξονες x και z

Προβολή > Αυτόματη απόκρυψη παραμέτρων: Όταν είναι επιλεγμένη η συγκεκριμένη δυνατότητα, το παράθυρο των παραμέτρων εξαφανίζεται μετά την επεξεργασία τους.

Οδηγός, Στατικά

Περιλαμβάνουν συντομεύσεις για την δημιουργία των αντίστοιχων οντοτήτων. Συντομεύσεις τους υπάρχουν και στην Βασική Εργαλειογραμμή. Τις εντολές τους θα τις εξηγήσουμε αναλυτικά στις αντίστοιχες οντότητες.

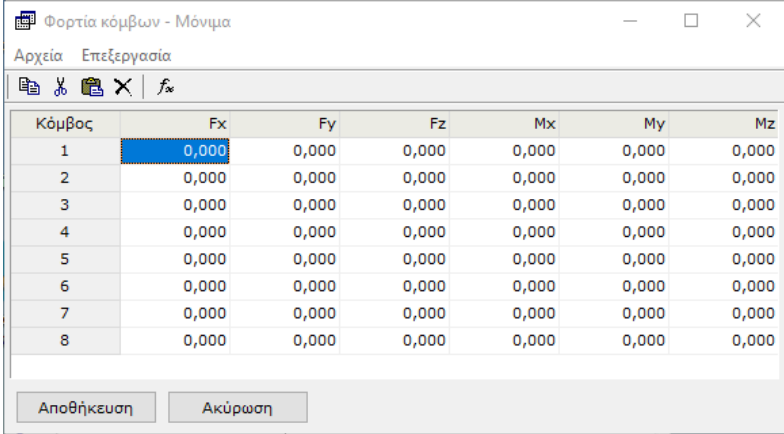
Πίνακες

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

Πίνακες > φορτία κόμβων / γραμμών / πλακών / τοιχωμάτων:

Η λειτουργία των πινάκων αυτών παρέχει τις εξής δυνατότητες:

- Την εποπτεία των φορτίων που έχουν δοθεί από το μελετητή ανά οντότητα (κόμβος, γραμμή, πλάκα, τοίχωμα) και ανά δράση (μόνιμα, κινητά κλπ.).
- Την επεξεργασία των φορτίων αυτών, είτε ως προσθήκη νέων φορτίων είτε ως τροποποίηση των υφιστάμενων. Με την επιλογή «Αποθήκευση», ενημερώνονται οι αντίστοιχες παράμετροι όλων των οντοτήτων.



Κόμβος	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Εικόνα 2.2: Επεξεργασία φορτίων μέσω των Πινάκων

Πίνακες > Δράσεις / Σεισμικές δράσεις:

Μέσω της λειτουργίας αυτής ο χρήστης μπορεί να προβάλλει της υπάρχουσες δράσεις φορτίων ή μπορεί να δημιουργήσει νέες δράσεις (**Εικόνα 2.3**). Το σύνολο των διαθέσιμων δράσεων του FePool διαμοιράζεται σε δύο υπο-ομάδες, οι οποίες καταχωρούνται στους αντίστοιχους πίνακες:

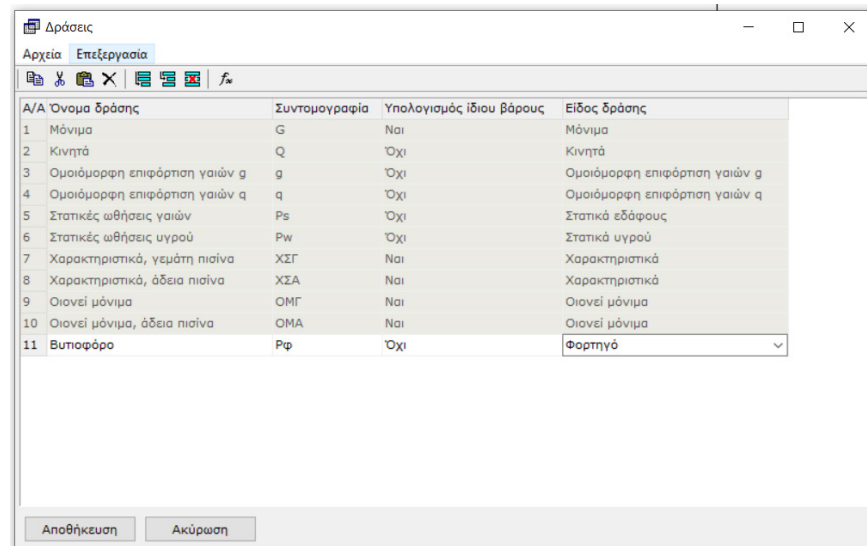
- ο πίνακας «Βασικές δράσεις» (**Εικόνα 2.3**) περιλαμβάνει τις βασικές δράσεις (μόνιμα, κινητά κτλ.),
- ο πίνακας «Σεισμικές δράσεις» (**Εικόνα 2.4**) περιλαμβάνει αυτόνομα τις σεισμικές δράσεις λόγω γαιών, υγρού και αδρανειακών δυνάμεων των τοιχωμάτων.

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα περιεχόμενα του πίνακα των βασικών δράσεων. Σημειώνεται ότι τα είδη δράσης δεν αντιστοιχούν μονοσήμαντα σε μια δράση, δηλαδή, υπάρχουν είδη δράσεων που περιλαμβάνουν περισσότερες της μιας δράσης. Τέτοιες περιπτώσεις είναι τα «χαρακτηριστικά» και «οιονεί μόνιμα» είδη δράσεων που περιλαμβάνουν δύο καταστάσεις υγρού (γεμάτη ή άδεια πισίνα), τα επιμέρους είδη σεισμικών δράσεων (υδροδυναμική, δυναμικές ωθήσεις γαιών κτλ.) που περιλαμβάνουν τέσσερις διευθύνσεις σεισμού κ.α.

Οι βασικές δράσεις, είναι «κλειδωμένες» με εξαίρεση τη δράση «Βυτιοφόρο» η οποία είναι προαιρετική και μπορεί να διαγραφεί. Νέες δράσεις δύναται να προστεθούν στις τελευταίες γραμμές του πίνακα με είδος δράσης «λοιπή» ή «φορηγό». Η νέα δράση προστίθεται αυτόματα στους στατικούς συνδυασμούς δράσεων ULS και SLS.

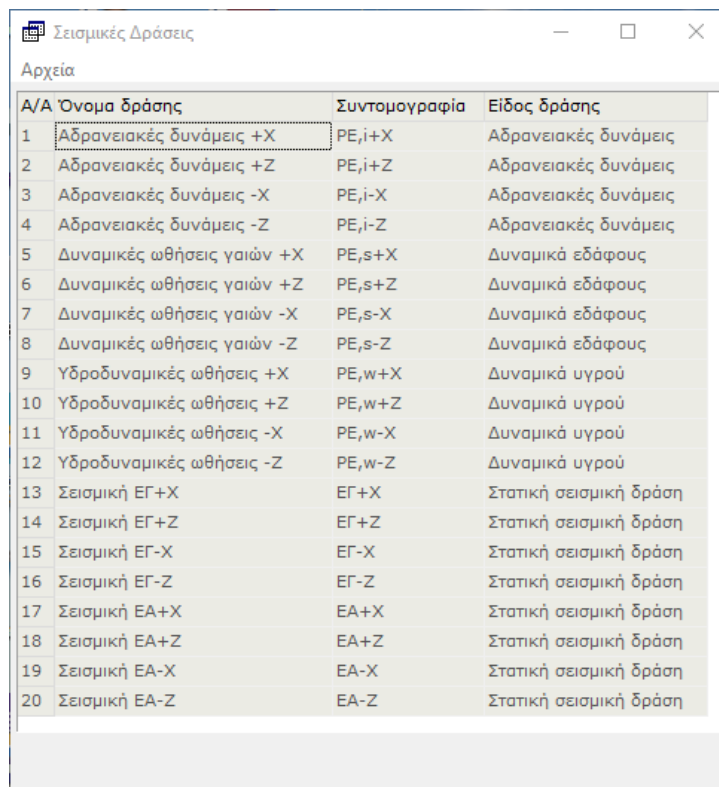
Για να παραχθούν οι κατάλληλοι συντελεστές των συνδυασμών δράσεων με βάση τους δεδομένους συντελεστές ασφαλείας κλπ, ο χρήστης μπορεί να

χρησιμοποιήσει την εντολή «Υπολογισμός Συνδυασμών Δράσεων»  της οντότητας «Κατασκευή». Με την εκτέλεση της συγκεκριμένης εντολής, υπολογίζονται αυτόματα οι συντελεστές για τις δράσεις, εκτός των δράσεων που είναι είδους «Λοιπή», που θα πρέπει να εισαχθούν στη συνέχεια από τον χρήστη.



A/A	Όνομα δράσης	Συντομογραφία	Υπολογισμός ίδιου βάρους	Είδος δράσης
1	Μόνιμα	G	Ναι	Μόνιμα
2	Κινητά	Q	Όχι	Κινητά
3	Ομοιόμορφη επιφόρτιση γαιών g	g	Όχι	Ομοιόμορφη επιφόρτιση γαιών g
4	Ομοιόμορφη επιφόρτιση γαιών q	q	Όχι	Ομοιόμορφη επιφόρτιση γαιών q
5	Στατικές ωθήσεις γαιών	Ps	Όχι	Στατικά εδάφους
6	Στατικές ωθήσεις υγρού	Pw	Όχι	Στατικά υγρού
7	Χαρακτηριστικά, γεμάτη πισίνα	XΣΓ	Ναι	Χαρακτηριστικά
8	Χαρακτηριστικά, άδεια πισίνα	XΣΑ	Ναι	Χαρακτηριστικά
9	Οιονεί μόνιμα	ΟΜΓ	Ναι	Οιονεί μόνιμα
10	Οιονεί μόνιμα, άδεια πισίνα	ΟΜΑ	Ναι	Οιονεί μόνιμα
11	Βυτιοφόρο	Pφ	Όχι	Φορτηγό

Εικόνα 2.3: Προβολή και επεξεργασία πίνακα «Βασικές δράσεις».



Α/Α	Όνομα δράσης	Συντομογραφία	Είδος δράσης
1	Αδρανειακές δυνάμεις +X	PE,i+X	Αδρανειακές δυνάμεις
2	Αδρανειακές δυνάμεις +Z	PE,i+Z	Αδρανειακές δυνάμεις
3	Αδρανειακές δυνάμεις -X	PE,i-X	Αδρανειακές δυνάμεις
4	Αδρανειακές δυνάμεις -Z	PE,i-Z	Αδρανειακές δυνάμεις
5	Δυναμικές ωθήσεις γαιών +X	PE,s+X	Δυναμικά εδάφους
6	Δυναμικές ωθήσεις γαιών +Z	PE,s+Z	Δυναμικά εδάφους
7	Δυναμικές ωθήσεις γαιών -X	PE,s-X	Δυναμικά εδάφους
8	Δυναμικές ωθήσεις γαιών -Z	PE,s-Z	Δυναμικά εδάφους
9	Υδροδυναμικές ωθήσεις +X	PE,w+X	Δυναμικά υγρού
10	Υδροδυναμικές ωθήσεις +Z	PE,w+Z	Δυναμικά υγρού
11	Υδροδυναμικές ωθήσεις -X	PE,w-X	Δυναμικά υγρού
12	Υδροδυναμικές ωθήσεις -Z	PE,w-Z	Δυναμικά υγρού
13	Σεισμική ΕΓ+X	ΕΓ+X	Στατική σεισμική δράση
14	Σεισμική ΕΓ+Z	ΕΓ+Z	Στατική σεισμική δράση
15	Σεισμική ΕΓ-X	ΕΓ-X	Στατική σεισμική δράση
16	Σεισμική ΕΓ-Z	ΕΓ-Z	Στατική σεισμική δράση
17	Σεισμική ΕΑ+X	ΕΑ+X	Στατική σεισμική δράση
18	Σεισμική ΕΑ+Z	ΕΑ+Z	Στατική σεισμική δράση
19	Σεισμική ΕΑ-X	ΕΑ-X	Στατική σεισμική δράση
20	Σεισμική ΕΑ-Z	ΕΑ-Z	Στατική σεισμική δράση

Εικόνα 2.4: Προβολή και επεξεργασία πίνακα «Σεισμικές δράσεις».

Πίνακες > Στατικοί συνδυασμοί δράσεων ULS/SLS – Σεισμικοί συνδυασμοί: Μέσω της λειτουργίας αυτής, ο χρήστης μπορεί να προβάλει ή να ορίσει νέους συνδυασμούς δράσεων (**Εικόνα 2.5**). Σε κάθε συνδυασμό δράσης αντιστοιχούν οι καταχωρημένοι σε στήλες συντελεστές ασφάλειας για κάθε δράση, οι οποίοι παράγονται αυτόματα κατά τον «υπολογισμό συνδυασμών δράσεων», με εξαίρεση το συντελεστή της «λοιπής» δράσης ο οποίος εισάγεται από το χρήστη.

Στατικοί συνδυασμοί δράσεων ULS

Αρχεία Επεξεργασία

A/A Όνομα	Εξίσωση	Αστοχία	Τύπος	Μόνιμα	Κινητά	Ομοιά
1 ULS, θεμελιώδης συνδ., (EC0, εξ.6.10)	$\gamma G \cdot (G + Ps + g) + \gamma F, w \cdot Pw + \gamma Q \cdot \psi 0, Q \cdot (Q + a)$	Ναι	ULS	1,35	1,05	1,35
2 ULS, θεμελιώδης συνδ., (EC0, εξ.6.10), Pw: ευμενές	$\gamma G \cdot (G + Ps + g) + \gamma Q \cdot (Q + a)$	Ναι	ULS	1,35	1,50	1,35
3 ULS, θεμελιώδης συνδ., (EC0, εξ.6.10), Ps: ευμενές	$\gamma G \cdot (G + g) + Ps + \gamma F, w \cdot Pw + \gamma Q \cdot \psi 0, Q \cdot (Q + a)$	Ναι	ULS	1,35	1,05	1,00
4 ULS, Τυχηματικός συνδ., (EC0, εξ.6.11b)	$G + g + Ps + P\phi + \psi 2, w \cdot Pw + \psi 2, Q \cdot (Q + a)$	Ναι	ULS-τυχηματικός	1,00	0,30	1,00
5 ULS, Τυχηματικός συνδ., (EC0, εξ.6.11b), Pw: ευμενές	$G + g + Ps + P\phi + \psi 2, Q \cdot (Q + a)$	Ναι	ULS-τυχηματικός	1,00	0,30	1,00

Αποθήκευση Ακύρωση

Εικόνα 2.5: Στατικοί συνδυασμοί δράσεων ULS

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, στην επιλογή «Περί...». Επιπλέον, περιλαμβάνει συντόμευση για την αριθμομηχανή καθώς και την παλέτα των χρωμάτων, αλλά και για εγχειρίδια χρήσης και video που διαθέτει διαδικτυακά η LH Λογισμική για την καλύτερη κατανόηση των λειτουργιών των προγραμμάτων της.

2.3 Βοηθητική εργαλειογραμμή

Η Βοηθητική Εργαλειογραμμή εμφανίζεται στο κάτω μέρος του περιβάλλοντος εργασίας του προγράμματος. Περιλαμβάνει τις εξής ενότητες:

Undo/redo  

Δυνατότητες παρουσίασης

Στις επιλογές σχεδίασης συμπεριλαμβάνονται οι επανασχεδίαση , Μεγέθυνση , Σμίκρυνση , Μεγέθυνση με παράθυρο , Πλήρης Όψη .

Χάρακας

Βοηθητικά εργαλεία σχεδίασης

Εδώ ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τη σχεδίαση με «**Ορθές γωνίες**» , την ενεργοποίηση της «**Έλξης Οδηγού**»  και την «**Εμφάνιση γραμμών οδηγού**» .

Εμφάνιση Παραμέτρων

Επιλογή απεικονίσεων

Με την επιλογή του πλήκτρου «**Εμφάνιση τριγώνων**»  εμφανίζονται (ή αποκρύπτονται) οι γραμμές του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων -εφόσον αυτό έχει προηγουμένως παραχθεί- τόσο στην κατοψική όσο και στην 3d απεικόνιση. Με το πλήκτρο «**Εμφάνιση 3D**»  ο χρήστης μπορεί να αποκρύψει την περιοχή της 3d απεικόνισης στη δεξιά πλευρά του περιβάλλοντος εργασίας.

Εμφάνιση/απόκρυψη οντοτήτων

Με τα πλήκτρα «**Εμφάνιση/Απόκρυψη κόμβων**» , «**Εμφάνιση/Απόκρυψη γραμμών**» , «**Εμφάνιση/Απόκρυψη τοπικών αξόνων τοίχων**»  ο χρήστης μπορεί να αποκρύπτει στοιχεία από την κάτοψη για να έχει καλύτερη εποπτεία, σε περίπτωση που απεικονίζονται πυκνά, και να τα επανεμφανίζει στη συνέχεια.

2.4 Χρήση του mouse

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

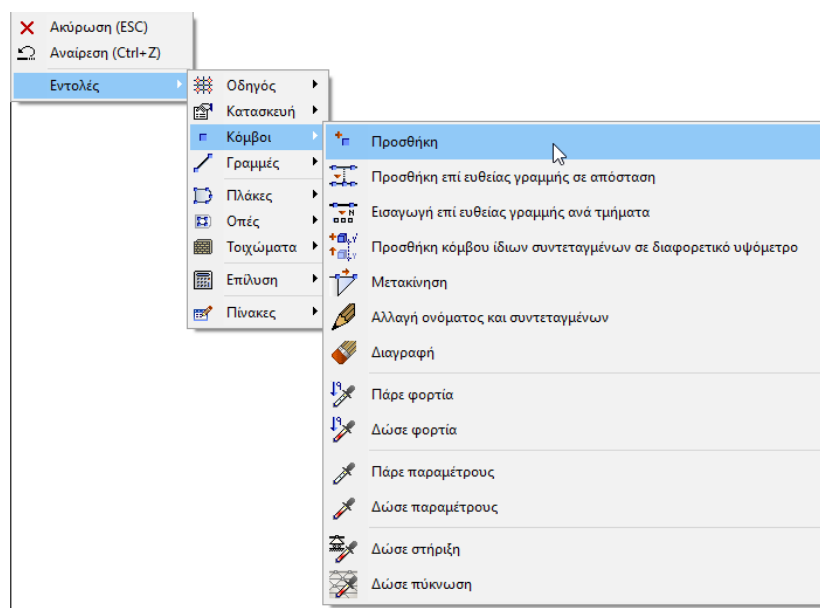
Αριστερό πλήκτρο: Με το αριστερό πλήκτρο ο χρήστης επιλέγει τις οντότητες (οδηγός, κόμβοι, γραμμές, πλάκες, οπές, τοιχώματα) με σκοπό να τις επεξεργαστεί (π.χ. να διαγράψει, να μετακινήσει, να δώσει παραμέτρους κλπ).

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 πλάκας), ενώ με την «**Αναίρεση**», ακυρώνονται πράξεις. Επιπλέον, επιλέγοντας διαδοχικά την «**Αναίρεση**», ακυρώνονται διαδοχικά όλες οι προηγούμενες πράξεις.

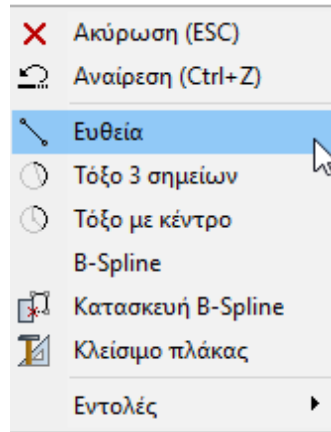
Επίσης, μέσω της συντόμευσης «Εντολές», μπορεί να εκτελέσει σχεδόν όλες τις βασικές λειτουργίες του προγράμματος (επεξεργασία οντότητας, επίλυση, πίνακες) όπως δείχνεται και στην **Εικόνα 2.6**.

Σε ορισμένες οντότητες, όπως οι «Πλάκες», οι συντομεύσεις του δεξιού πλήκτρου τροποποιούνται για να ανταποκρίνονται σε αντίστοιχες χρήσιμες εντολές.

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 2.6: Menu δεξιού πλήκτρου του mouse



Εικόνα 2.7: Menu δεξιού πλήκτρου του mouse στην οντότητα «Πλάκες»

Σημείωση: η χρήση του mouse στη 3D απεικόνιση αναλύεται στην αντίστοιχη ενότητα.

2.5 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 (undo)

Ctrl+Y: Επανάληψη πράξης (redo)

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 (εμφάνιση / απόκρυψη)

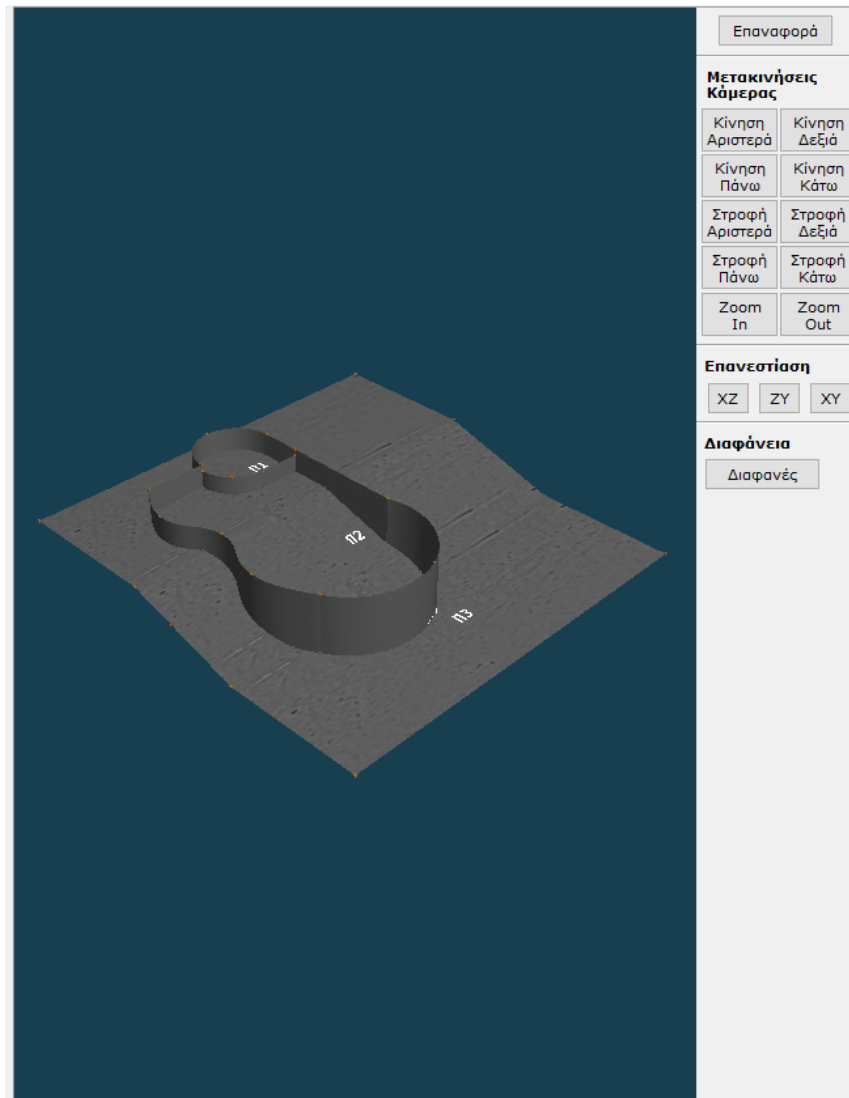
F10: Εμφάνιση αριθμομηχανής

Επίσης, είναι σημαντικό να τονισθεί ότι κατά την διάρκεια εισαγωγής δεδομένων ή συντεταγμένων περασιών οδηγού 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

Σημείωση: η χρήση του mouse στη 3D απεικόνιση αναλύεται στην αντίστοιχη ενότητα.

2.6 Περιοχή 3d απεικόνισης

Στο δεξί τμήμα του περιβάλλοντος εργασίας υπάρχει η περιοχή της 3d απεικόνισης του μοντέλου μας (**Εικόνα 2.8**). Όταν είναι επιλεγμένη η «Εμφάνιση τριγώνων» από την βοηθητική εργαλειογραμμή, εμφανίζεται και το τριγωνικό δίκτυο (mesh), εφόσον βέβαια έχει προηγηθεί η δημιουργία του.



Εικόνα 2.8: Περιοχή 3d απεικόνισης του περιβάλλοντος εργασίας

Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι περιήγησης στο μοντέλο:

■ **Βοηθητικά πλήκτρα στο δεξί μέρος:**

- **Επαναφορά:** Επιστροφή στην αρχική απεικόνιση, επιτρέπει μια συνολική εποπτεία του μοντέλου

- **Μετακινήσεις κάμερας:** μετακινούν την κάμερα αντίστοιχα, για να είναι ορατές άλλες πλευρές του μοντέλου
- **Επανεστίαση:** Τοποθετεί την κάμερα με τρόπο που εστιάζει κάθετα στο εκάστοτε επίπεδο XZ , ZY , XY
- **Διαφανές/Αδιαφανές:** Καθορίζει τη διαφάνεια/αδιαφάνεια του μοντέλου. Σημειώνεται ότι στις παραμέτρους των επιφανειακών οντοτήτων (πλάκα, τοίχωμα) υπάρχει παράμετρος για το συντελεστή διαφάνειας στην ενότητα «σχέδιο».

■ **Mouse εντός της περιοχής της 3d απεικόνισης:**

- **Κλικ στη ρόδα + κίνηση αριστερά:** κίνηση κάμερας δεξιά (μετατόπιση μοντέλου αριστερά)
- **Κλικ στη ρόδα + κίνηση δεξιά:** κίνηση κάμερας αριστερά (μετατόπιση μοντέλου δεξιά)
- **Κλικ στη ρόδα + κίνηση κάτω:** κίνηση κάμερας πάνω (μετατόπιση μοντέλου κάτω)
- **Κλικ στη ρόδα + κίνηση πάνω:** κίνηση κάμερας κάτω (μετατόπιση μοντέλου πάνω)
- **Ctrl + Κλικ στη ρόδα + κίνηση αριστερά:** στροφή αριστερά
- **Ctrl + Κλικ στη ρόδα + κίνηση δεξιά:** στροφή δεξιά
- **Ctrl + Κλικ στη ρόδα + κίνηση κάτω:** στροφή κάτω
- **Ctrl + Κλικ στη ρόδα + κίνηση δεξιά:** στροφή πάνω
- **Περιστροφή ρόδας εμπρός:** zoom in
- **Περιστροφή ρόδας πίσω:** zoom out

■ **Πληκτρολόγιο όταν το mouse είναι εντός της περιοχής της 3d απεικόνισης:**

- **Αριστερό βέλος:** κίνηση κάμερας αριστερά
- **Δεξί βέλος:** κίνηση κάμερας δεξιά
- **Κάτω βέλος:** κίνηση κάμερας κάτω
- **Πάνω βέλος:** κίνηση κάμερας πάνω
- **Ctrl + Αριστερό βέλος:** στροφή κάμερας δεξιά
- **Ctrl + Δεξί βέλος:** στροφή κάμερας αριστερά
- **Ctrl + Κάτω βέλος:** στροφή κάμερας κάτω
- **Ctrl + Πάνω βέλος:** στροφή κάμερας πάνω

Οι λειτουργίες από mouse, πληκτρολόγιο και πλήκτρα, συνοψίζεται στην παρακάτω πίνακα.

	Ποντίκι	Πλήκτρα	Κουμπιά
κίνηση αριστερά	<i>hold mouse wheel και κίνηση δεξιά</i>	←	Κίνηση Αριστερά
κίνηση δεξιά	<i>hold mouse wheel και κίνηση αριστερά</i>	→	Κίνηση Δεξιά
κίνηση πάνω	<i>hold mouse wheel και κίνηση κάτω</i>	↑	Κίνηση Πάνω
κίνηση κάτω	<i>hold mouse wheel και κίνηση πάνω</i>	↓	Κίνηση Κάτω
στροφή αριστερά	<i>ctrl+hold mouse wheel και κίνηση αριστερά</i>	ctrl+ →	Στροφή Αριστερά
στροφή δεξιά	<i>ctrl+hold mouse wheel και κίνηση δεξιά</i>	ctrl+ ←	Στροφή Δεξιά
στροφή πάνω	<i>ctrl+hold mouse wheel και κίνηση κάτω</i>	ctrl+ ↑	Στροφή Πάνω
στροφή κάτω	<i>ctrl+hold mouse wheel και κίνηση πάνω</i>	ctrl+ ↓	Στροφή Κάτω
zoom in	<i>mouse wheel scroll in</i>	+	Zoom in
zoom out	<i>mouse wheel scroll out</i>	-	Zoom out

Πίνακας 2.1: Σύνοψη λειτουργιών πλοήγησης κάμερας στη 3d απεικόνιση

3

Εντολές και παράμετροι

3.1 Κοινές παράμετροι στατικών οντοτήτων

Στα παράθυρα παραμέτρων όλων των στατικών οντοτήτων («Κόμβοι», «Γραμμές», «Πλάκες», «Οπές», «Τοιχώματα») υπάρχουν οι καρτέλες «Σχέδιο» και «Κείμενο» (Εικόνα 3.1), 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.

Παράμετρος	Τύπος	Τιμή
Χρώμα επιφάνειας πλάκας	Dropdown	37
Χρώμα σιδήρου	Color Picker	Red
Πένα σιδήρου	Dropdown	2
Πάχος γραμμής σόνης σιδήρου (pixels)	Dropdown	1
Μήκος αριστερού τμήματος [m]	Text	0,50
Μήκος δεξιού τμήματος [m]	Text	1,10
Απόσταση σχεδίασης ράβδων [m]	Text	0,10
Κλειδί αναλογιών	Dropdown	Όχι
Συντελεστής διαφάνειας	Text	1,00

Εικόνα 3.1: Κοινές παράμετροι στατικών οντοτήτων

3.2 Οδηγός

Ο οδηγός είναι ένα πλέγμα γραμμών με διακριτά και ενεργά τα σημεία τομής τους, που καλούνται **σημεία έλξης** του. Διευκολύνει την ακριβή εισαγωγή γεωμετρικών δεδομένων, διότι οι κόμβοι, τα άκρα των γραμμών και οι κορυφές πλακών και τοιχωμάτων έλκονται κατά την εισαγωγή ή μετακίνησή τους από σημεία έλξης.

Εντολές του οδηγού



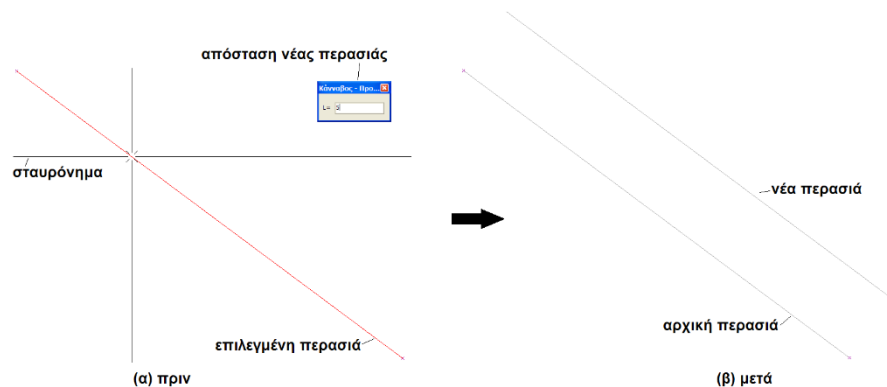
Περασιά Z: Οι κατακόρυφες περασίες. Ο άξονας Z είναι ο κατακόρυφος με θετική φορά προς τα κάτω.



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



Περασιά XZ: Οι λοξές περασίες, 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.



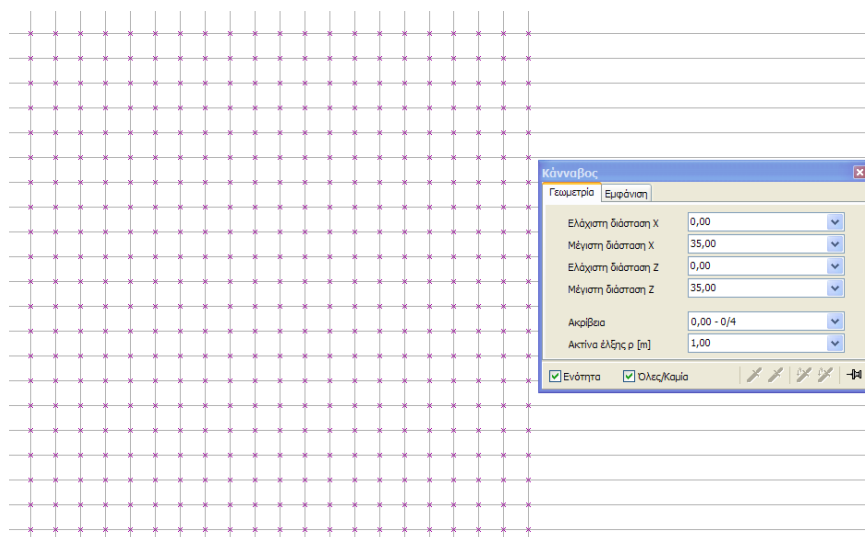
Παράλληλη: Εισαγωγή περασιάς παράλληλα σε υπάρχουσα, που διέρχεται σε δεδομένη απόσταση από αυτήν (Σχήμα 3.1).



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



Πλέγμα: Αυτόματη εισαγωγή πλήθους οριζόντιων και κατακόρυφων περασίων, εντός δεδομένης περιοχής (X_{min} έως X_{max} και Z_{min} έως Z_{max}), σε δεδομένες αποστάσεις μεταξύ τους (δX και δZ) (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2: Πλέγμα οδηγού



Διαγραφή: Διαγραφή μεμονωμένης περασιάς.



Αντιγραφή οδηγού: Αντιγράφει όλα τα στοιχεία του οδηγού της τρέχουσας στάθμης

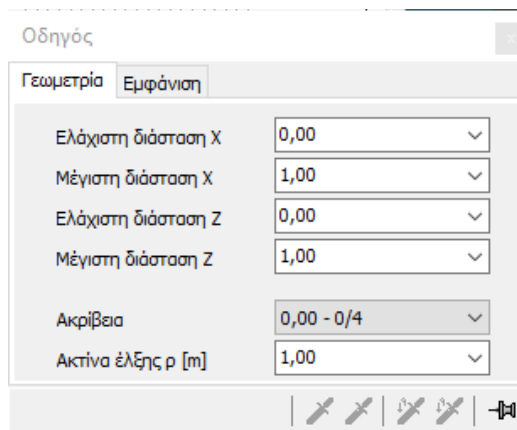


Επικόλληση οδηγού: Κατόπιν μηνύματος επιβεβαίωσης, διαγράφει τα στοιχεία οδηγού της τρέχουσας στάθμης, και επικολλά στην τρέχουσα στάθμη όλα τα στοιχεία του οδηγού που έχουν αντιγραφεί από την άλλη στάθμη

Νέος οδηγός (εντολή στο μενού Οδηγός της Κεντρικής Εργαλειογραμμής). Διαγράφει όλα τα προϋπάρχοντα στοιχεία οδηγού.

Παράμετροι του οδηγού

Οι παράμετροι του οδηγού εισάγονται από το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3: Παράθυρο παραμέτρων οδηγού

Γεωμετρία

- **Ελάχιστη / Μέγιστη διάσταση X / Z:** Αφορούν την περίπτωση που ο χρήστης θέλει να δημιουργήσει πλέγμα οδηγού. 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 οδηγού ή μιας περασιάς, από το σταυρόνημα του mouse, κάτω από την οποία επιλέγεται η συγκεκριμένη οντότητα.

3.3 Κατασκευή

Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται οι γενικές παράμετροι της συγκεκριμένης μελέτης, όπως π.χ. το μέγεθος της σεισμικής δράσης, ο συντελεστής σπουδαιότητας, η ποιότητα σκυροδέματος και χάλυβα κ.λπ. Κάθε αλλαγή που γίνεται σε αυτές τις παραμέτρους επιδρά μαζικά σε όλο το κτίριο, εφόσον ο χρήστης επιβεβαιώσει τη μαζική αλλαγή.

Παράμετροι της κατασκευής

Γενικά

Εθνικό προσάρτημα: Επιλέγεται το εθνικό προσάρτημα Ελλάδας ή Κύπρου. Βάσει της επιλογής αυτής καθορίζονται οι τιμές της σεισμικής δράσης.

Αντισεισμικός

Επίλυση με σεισμό: Στην επίλυση με σεισμό παράγονται οι σεισμικές δράσεις και οι αντίστοιχοι συνδυασμοί δράσεων (ULS). Σε διαφορετική περίπτωση η δεξαμενή σχεδιάζεται μόνο για τους στατικούς συνδυασμούς ULS και για τους συνδυασμούς SLS.

Σεισμική δράση

Σεισμική ζώνη: Επιλέγεται η σεισμική ζώνη της περιοχής σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 (Ζώνες Z1, Z2, Z3).

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση a_{gR} : Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση αναφοράς a_{gR} ως ποσοστό του g λαμβάνει για την κάθε σεισμική ζώνη τις εξής τιμές:

a_{gR}	Ελλάδα	Κύπρος
Z1	0.16	0.15
Z2	0.24	0.20
Z3	0.36	0.25

Πίνακας 3.1: Εδαφική επιτάχυνση αναφοράς a_{gR} για την κάθε σεισμική ζώνη.

Σπουδαιότητα κτιρίου & Συντελεστής σπουδαιότητας γ_I :

Σπουδαιότητα	Κτίρια	Συντ. γ_I
I	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.	0,80
II	Συνήθη κτίρια	1,00
III	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, μουσεία κλπ.	1,20
IV	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.	1,40

Πίνακας 3.2: Κατηγορίες και συντελεστές σπουδαιότητας στο ελληνικό και στο κυπριακό Εθνικό Προσάρτημα. Βλ. EC8-1 §4.2.5(5)A & Πίνακας 4.3.

Εδαφικός τύπος & συντελεστής εδάφους: Οι εδαφικοί τύποι A, B, C, D και E προσδιορίζονται σύμφωνα με τον πιν. 3.1 του EN1998-1. Εν συνεχεία, προσδιορίζεται ο συντελεστής εδάφους S, ο οποίος επαυξάνει τις φασματικές επιταχύνσεις λόγω εδαφικής ενίσχυσης, σύμφωνα με τον **Πίνακα 3.3**

Τύπος εδάφους	Συντελεστής εδάφους S
A	1.0
B	1.2
C	1.15
D	1.35
E	1.4

Πίνακας 3.3: Τιμές του συντελεστή εδάφους S ανά τύπο εδάφους σύμφωνα με την §3.2.2.2 του EN1998-1.

Συντελεστής συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης: Προσδιορίζεται ο συντελεστής με τον οποίο γίνεται ο συνδυασμός των οριζόντιων συνιστωσών της σεισμικής δράσης, σύμφωνα με τις σχέσεις του EN1998-1 (4.18-4.19):

$$E_{Edx} + 0.30E_{Edy}$$

$$0.30E_{Edx} + E_{Edy}$$

Σεισμική δράση

Θεμελιώδεις συνδυασμοί δράσεων

Επιμέρους συντελεστής μόνιμων & μεταβλητών δράσεων γ_G, γ_Q : Δίνονται οι τιμές των επιμέρους συντελεστών δράσεων για τα μόνιμα και μεταβλητά φορτία, οι οποίοι υπεισέρχονται στους στατικούς συνδυασμούς δράσεων ULS ($\gamma_G = 1.35, \gamma_Q = 1.50$).

Επιμέρους συντελεστής υγρού ως μεταβλητής δράσης $\gamma_{F,w}$: Δίνεται η τιμή του επιμέρους συντελεστή της δράσης $\gamma_{F,w}$ του υγρού περιεχομένου της δεξαμενής, η οποία υπεισέρχεται στους στατικούς συνδυασμούς δράσεων ULS. Στην περίπτωση δεξαμενών, η προτεινόμενη τιμή του συντελεστή $\gamma_{F,w}$ δίνεται από τον EN1991-4 B.3(2) ίση με $\gamma_{F,w} = 1.20$.

Συντελεστής $\psi_{0,Q}$ για κινητά φορτία Q : Στο πρόγραμμα *FePool* η υδροστατική δράση P_w θεωρείται η κύρια μεταβλητή δράση και επομένως υπεισέρχεται στο θεμελιώδη συνδυασμό *ULS* (EN1990, εξ.6.10):

$$\gamma_G G + \gamma_{F,w} P_w + \sum_{i>1}^n \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

και στο χαρακτηριστικό συνδυασμό *SLS* (EN1990, εξ.6.14):

$$G + P_w + \sum_{i>1}^n \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

χωρίς συνοδευτικό συντελεστή ψ_0 . Εν προκειμένω, ο συντελεστής $\psi_{0,Q}$ συνοδεύει τις δευτερεύουσες μεταβλητές δράσεις με τη συνήθη τιμή του να είναι $\psi_{0,Q} = 0.7$ (EN1990 πιν.Α1.1).

Συντελεστής $\psi_{2,w}$ συνδυασμού υγρού P_w ως (κύριας) μεταβλητής δράσης: Ο συντελεστής $\psi_{2,w}$ συνοδεύει τη δράση του υγρού στο σεισμικό συνδυασμό:

$$G + E_d + \psi_{2,w} P_w + \sum_{i>1}^n \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

και στο συνδυασμό *SLS* των οιονεί-μόνιμων φορτίων:

$$G + \psi_{2,w} P_w + \sum_{i>1}^n \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Συντελεστής οιονεί-μόνιμων φορτίων $\psi_{1,w}$: Ο συντελεστής $\psi_{2,Q}$ συνοδεύει τη δράση των κινητών φορτίων Q .

Έδαφος & υγρό

Έδαφος

Υδροφόρος ορίζοντας: Επιλέγοντας «Ναι» θεωρείται ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα ως την επιφάνεια του εδάφους, με αποτέλεσμα οι υπολογισμοί των στατικών και δυναμικών ωθήσεων γαιών επί των τοιχωμάτων να συμπεριλαμβάνουν την ύπαρξη στήλης νερού. Συγκεκριμένα, οι στατικές ωθήσεις υπολογίζουν τις ενεργές οριζόντιες πιέσεις σ_h στις οποίες προστίθεται η υδροστατική πίεση u , ενώ οι δυναμικές ωθήσεις θεωρούν την πίεση του συνολικού εδαφικού βάρους ($\gamma_{\text{κορ}}$) (δες §5.2.1 Σεισμικές ωθήσεις γαιών PE_s). Σε περίπτωση που επιλεγεί η τιμή «Όχι», υπολογίζονται οι αντίστοιχες ωθήσεις γαιών χωρίς την ύπαρξη στήλης νερού, θεωρώντας το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους γ_ϕ .

Στάθμη επίχωσης[m]: Δίνεται το υψόμετρο της επιφάνειας του εδάφους στο καθολικό σύστημα συντεταγμένων. Στη συνηθέστερη περίπτωση ταυτίζεται το υψόμετρο της στέψης της δεξαμενής με την επιφάνεια του εδάφους και επιλέγεται η στάθμη επίχωσης ίση με 0.0μ.

Είδος εδάφους: Επιλέγεται το είδος εδάφους θεμελίωσης και πλευρικών επιχώσεων και αυτόματα ενημερώνεται στο πρόγραμμα ο δείκτης εδάφους (βλ. επόμενη παράμετρο) με τιμές που προτείνονται στη βιβλιογραφία για κάθε εδαφικό τύπο. Σε περίπτωση που το είδος εδάφους της θεμελίωσης είναι διαφορετικό από αυτό ενός ή περισσότερων τοιχωμάτων πρέπει να δοθεί το αντίστοιχο είδος ανά τοίχωμα ή πλάκα (από τις καρτέλες «Εδαφος» των αντίστοιχων οντοτήτων).

Δείκτης K_s [$\text{kN/m}^2/\text{m}$]: Εισάγεται η σταθερά του εδάφους.

Ειδικό βάρος κορεσμένου εδάφους $\gamma_{\text{κορ}}$ [kN/m^3]: Χρησιμοποιείται σε περίπτωση που επιλεγεί «Υδροφόρος ορίζοντας = Ναι». Η τιμή της παραμέτρου ενημερώνεται αυτόματα από την προγενέστερη επιλογή της παραμέτρου «Είδος εδάφους».

Φαινόμενο ειδικό βάρος εδάφους γ_0 [kN/m^3]: Χρησιμοποιείται σε περίπτωση που επιλεγεί «Υδροφόρος ορίζοντας = Όχι». Η τιμή της παραμέτρου ενημερώνεται αυτόματα από την προγενέστερη επιλογή της παραμέτρου «Είδος εδάφους».

Ενεργός γωνία διατμητικής αντίστασης ϕ' [°]: Τιμή σχεδιασμού της εδαφικής παραμέτρου γωνίας διατμητικής αντίστασης. Βλ. EC7-1, Παράρτημα Δ.4 (για αμμώδη, μη-συνεκτικά εδάφη) και EC7-1 §1.6(1).

Κλίση πρανούς β [°]: Δίνεται η γωνία που σχηματίζει η επιφάνεια του εδάφους στη στέψη της δεξαμενής σε σχέση με την οριζόντια (θετική γωνία θεωρείται η προς τα πάνω κλίση). Η κλίση του πρανούς υπεισέρχεται στον υπολογισμό του συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων K_o .

Λόγος υπερ-στερεοποίησης OCR: Εφαρμόζεται στην περίπτωση αργιλικών εδαφών τα οποία έχουν υποβληθεί σε προγενέστερη φόρτιση. Σε διαφορετική περίπτωση $\text{OCR}=1$. Η τιμή της παραμέτρου υπεισέρχεται στον υπολογισμό του συντελεστή ουδέτερων ωθήσεων K_o . Η συγκεκριμένη παράμετρος είναι ενεργή μόνο σε ορισμένα είδη εδαφών.

Συντ. ωθήσεων ηρεμίας K_o : Η τιμή του συντελεστή ωθήσεων ηρεμίας υπεισέρχεται στον υπολογισμό των ενεργών οριζόντιων ωθήσεων σ' επί των κατακόρυφων τοιχωμάτων, σύμφωνα με τη σχέση:

$$K_o = (1 - \sin\phi') \cdot \text{OCR}^{0.5} \cdot (1 + \sin\beta)$$

Προκύπτει αυτόματα από τις τιμές που έχουν δοθεί στις προηγηθείσες παραμέτρους:

- Ενεργός γωνία διατμητικής αντίστασης ϕ'
 - Κλίση πρανούς β
 - Λόγος υπερ-στερεοποίησης OCR
- Ο χρήστης μπορεί όμως να επιλέξει και διαφορετική τιμή.

Για συγκεντρ. φορτίο Συντ. επαύξ. οριζ. ωθήσεων λ: Επαυξητικός συντελεστής που πολλαπλασιάζει την τιμή των οριζόντιων ωθήσεων επί των τοιχωμάτων λόγω της δράσης συγκεντρωμένων φορτίων (ύπαρξη βυτιοφόρου):

$$\sigma_h = \lambda \cdot K_o \cdot \sigma_v$$

Λαμβάνει υπόψη την επίδραση φαινομένων όπως η αύξηση των οριζόντιων ωθήσεων γαιών στην περίπτωση δύσκαμπτων τοιχωμάτων (σε σχέση με τη θεωρία ελαστικού ημίχωρου των λύσεων Boussinesq), καθώς και τυχόν φαινόμενα (ηθελημένης ή μη) δυναμικής συμπίκνωσης επιχώσεων. Ως προτεινόμενη τιμή δίνεται $\lambda=1.5$ [Concrete Basements].

Υγρό

Ειδικό βάρος υγρού γ_w [kN/m³]: Αναφέρεται στο υγρό περιεχόμενη της δεξαμενής. Η προκαθορισμένη τιμή αφορά την περίπτωση νερού και είναι ίση με $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$.

Υψόμετρο στάθμης υγρού δεξαμενής[m]: Ως στάθμη αναφοράς, δηλαδή υψόμετρο 0.0 m θεωρείται η στάθμη της επιφάνειας του εδάφους. Σημειώνεται ότι η παράμετρος δίνεται και ανά επιφανειακό στοιχείο, με σκοπό την προσομοίωση δεξαμενών πολλαπλών τμημάτων.

Η σημασία της στάθμης επίχωσης εδάφους και του υψομέτρου υγρού, αποτυπώνεται παρακάτω, στο Σχήμα 3.7.

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} .

Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος f_{ck} [MPa]: Αλλάζοντας την «Ποιότητα», ενημερώνεται αυτόματα η τιμή της χαρακτηριστικής αντοχής, αλλά ο μελετητής μπορεί να εισάγει και οποιαδήποτε ενδιάμεση τιμή.

Σταθερές υλικού

Οι σταθερές του υλικού του σκυροδέματος αλλάζουν με την επιλογή της «Ποιότητας σκυροδέματος», παρόλα αυτά μπορεί ο χρήστης να τις διαφοροποιήσει στη συνέχεια. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται: **Μέτρο ελαστικότητας E [kN/m²], Λόγος Poisson ν , Συντελεστής θερμοκρασιακής διαστολής $\alpha/^\circ\text{C}$, Ειδικό βάρος γ [kN/m³], Πυκνότητα ρ [tn/m³], συντελεστής δυσκαμψίας λόγω ρηγματωμένης διατομής και Συντελεστής ερπυσμού ϕ .**

Συντελεστές ασφαλείας

Συντελεστής ασφ. σκυροδέματος γ_c για Σ.Α. ULS: Δίνεται ο συντελεστής ασφαλείας γ_c του σκυροδέματος στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Βλ. EC2-1-1 πιν.2.1N. Η προτεινόμενη τιμή είναι $\gamma_c = 1.50$.

Συντελεστής ασφ. σκυροδέματος γ_c για Σ.Α. ULS-τυχηματικοί: Δίνεται ο συντελεστής ασφαλείας γ_c του σκυροδέματος στην οριακή κατάσταση αστοχίας για τον τυχηματικό συνδυασμό. Βλ. EC2-1-1 πιν.2.1N. Η προτεινόμενη τιμή είναι $\gamma_c = 1.20$.

Συντελεστής ασφ. σκυροδέματος γ_c για Σ.Α. SLS: Δίνεται ο συντελεστής ασφαλείας γ_c του σκυροδέματος στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας για τους συνδυασμούς της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας. Βλ. EC2-1-1 πιν.2.1N. Η προτεινόμενη τιμή είναι $\gamma_c = 1.00$.

Συντ. μακροχρόνιων επιδράσεων στη θλιπτική αντοχή α_{cc} : Ο συντελεστής α_{cc} εισάγεται προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι μακροχρόνιες επιδράσεις στην αντοχή του σκυροδέματος.

Η αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος για τους ελέγχους σε κάμψη με ή χωρίς αξονική δύναμη στην Οριακή Κατάσταση Αστοχίας προκύπτει ως:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$$

► $\alpha_{cc} = 0.85$ (δυσμενής παραδοχή - προτείνεται)

Στο κυριακό προσάρτημα μπορεί να επιλεγεί $\alpha_{cc} = 1.00$

Έλεγχος τάσεων σκυροδέματος & χάλυβα

Οι παράμετροι της ενότητας αυτής λαμβάνονται υπόψη κατά την εντολή «Κτίριο» Υπολογισμός συνδυασμών δράσεων».

Έλεγχος τάσεων χάλυβα & σκυροδέματος: (Ναι/Όχι). Με την επιλογή «Ναι» πραγματοποιούνται οι εξής έλεγχοι σύμφωνα με τον EN1992-1 §7.2:

- i. περιορισμός των θλιπτικών τάσεων στο σκυρόδεμα υπό τον χαρακτηριστικό συνδυασμό δράσεων:

$$\sigma_c \leq k_1 \cdot f_{ck}$$

όπου $k_1 = 0.6$. Με τον συγκεκριμένο έλεγχο αποφεύγεται η διαμήκης ρηγμάτωση η οποία οδηγεί στη μείωση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος. Επιπλέον οι θλιπτικές τάσεις περιορίζονται υπό τον οιονεί-μόνιμο συνδυασμό δράσεων:

$$\sigma_c \leq k_2 \cdot f_{ck}$$

όπου $k_2 = 0.45$. Με τον συγκεκριμένο έλεγχο εξασφαλίζεται η παραδοχή γραμμικού ερπυσμού και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι προαναφερθείσα διαδικασία του Ευρωκώδικα 2 για τη συνεκτίμηση του ερπυσμού στον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας.

- ii. Περιορισμός των εφελκυστικών τάσεων στον οπλισμό υπό το χαρακτηριστικό συνδυασμό δράσεων:

$$\sigma_s \leq k_3 \cdot f_{yk}$$

όπου $k_3 = 0.80$. Με τον συγκεκριμένο έλεγχο εξασφαλίζεται ο περιορισμός της ρηγμάτωσης και των παραμορφώσεων.

Συμπερίληψη ερπυσμού στον οιονεί-μόνιμο / χαρακτηριστικό Σ.Α.: (Ναι/Όχι). Με την επιλογή «Ναι» η επίλυση των δράσεων του οιονεί-μόνιμου συνδυασμού για τον έλεγχο περιορισμού των τάσεων σκυροδέματος και χάλυβα πραγματοποιείται με το απομειωμένο μέτρο ελαστικότητας (E_{eff}) λόγω ερπυσμού. Προτείνεται η διεξαγωγή του ελέγχου χωρίς την επίδραση του ερπυσμού, δεδομένου ότι η ρηγμάτωση λόγω υπέρβασης των προαναφερθέντων τάσεων μπορεί να λάβει χώρα από την έναρξη ζωής της κατασκευής και της σκλήρυνσης του σκυροδέματος.

Συντελεστές ελέγχου τάσεων σκυροδέματος k_1 / k_2 : Χρησιμοποιούνται στον έλεγχο τάσεων σκυροδέματος για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Οι προτεινόμενες τιμές από τον EN1992-1 §7.2(3) είναι $k_1 = 0.6$ και $k_2 = 0.45$.

Συντελεστής ελέγχου τάσεων οπλισμού k_3 : Χρησιμοποιείται στον έλεγχο τάσεων οπλισμού για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Η προτεινόμενη τιμή από τον EN1992-1 §7.2(3) είναι $k_3 = 0.8$.

Έλεγχος ρηγμάτωσης

Οι παράμετροι της ενότητας αυτής λαμβάνονται υπόψιν κατά την εντολή «Κτίριο> Υπολογισμός συνδυασμών δράσεων».

Έλεγχος ρηγμάτωσης: (Ναι/Όχι). Με την επιλογή «Ναι» πραγματοποιείται ο αναλυτικός έλεγχος ρηγμάτωσης σύμφωνα με τον EN1992-1 §7.3.

Συμπερίληψη ερπυσμού στον οιονεί-μόνιμο Σ.Α.: (Ναι/Όχι) Με την επιλογή «Ναι» η επίλυση των δράσεων του οιονεί-μόνιμου συνδυασμού για τον έλεγχο ρηγμάτωσης πραγματοποιείται με το απομειωμένο μέτρο ελαστικότητας (E_{eff}) λόγω ερπυσμού. Προτείνεται η διεξαγωγή του ελέγχου χωρίς την επίδραση του ερπυσμού, δεδομένου ότι η ρηγμάτωση λόγω υπέρβασης των τάσεων σκυροδέματος μπορεί να λάβει χώρα από την έναρξη ζωής της κατασκευής και της σκλήρυνσης του σκυροδέματος.

Μέγιστο εύρος ρωγμής ανοίγματος w_{max} [mm]: Δίνεται το όριο του εύρους ρωγμής που υπεισέρχεται στους ελέγχους. Μείωση της τιμής του εύρους ρωγμής οδηγεί σε αύξηση του οπλισμού. Το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα τον απαιτούμενο οπλισμό για να εξασφαλίσει ότι το εύρος ρωγμών που θα εμφανιστούν λόγω έντασης (υπολογιζόμενης από τους κατάλληλους συνδυασμούς δράσεων) θα προκύψει μικρότερο από την τιμή που δίνεται από το χρήστη.

Παραγωγή συνδυασμού δράσεων για παραμορφώσεις

Οι παράμετροι της ενότητας αυτής λαμβάνονται υπόψιν κατά την εντολή «Κτίριο» Υπολογισμός συνδυασμών δράσεων».

Παραγωγή συνδυασμού δράσεων για παραμορφώσεις: (Ναι/Όχι). Παράγεται ο συνδυασμός των οιονεί-μόνιμων δράσεων για τον έλεγχο παραμορφώσεων.

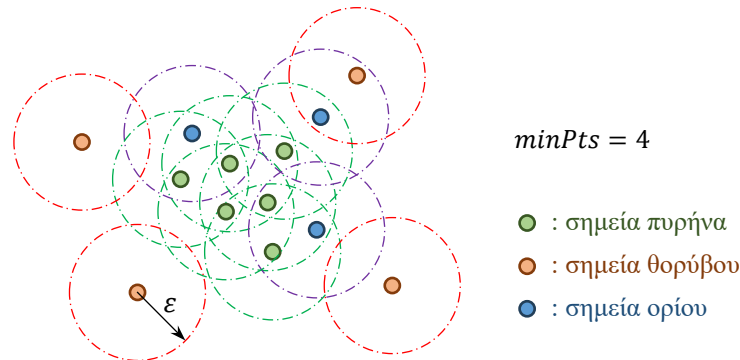
Συμπερίληψη ερπυσμού στον οιονεί-μόνιμο Σ.Δ.: (Ναι/Όχι). Η συμπερίληψη του ερπυσμού αποτελεί την δυσμενέστερη συνθήκη κατά τον έλεγχο των παραμορφώσεων και επομένως απαιτείται από τον EN1992-1.

Οπλισμός

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

Συντελεστής ομοιομόρφισης οπλισμού: Συντελεστής ο οποίος ρυθμίζει την ποικιλία των οπλισμών (εσχάρες οπλισμών εσωτερικής κι εξωτερικής παρειάς στοιχείων) που θα χρησιμοποιηθούν για το σύνολο της κατασκευής. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή, τόσο μικρότερη είναι η ποικιλία οπλισμών που προκύπτει, αλλά η σπατάλη αυξάνεται. Για μηδενική τιμή δεν πραγματοποιείται ομοιομόρφιση (ομαδοποίηση επιφανειών) και κάθε επιφάνεια οπλίζεται βάσει του απαιτούμενου από τους υπολογισμούς εμβαδού οπλισμού.

Η ομοιομόρφιση οπλισμού επιτυγχάνεται μέσω του αλγορίθμου «Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN)», ο οποίος είναι ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης βασισμένος στην πυκνότητα. Θεωρείται ευκλείδειος χώρος 4 διαστάσεων. Κάθε τοίχωμα ή πλάκα αντιπροσωπεύεται στον χώρο αυτό από ένα σημείο $\{A_{S,\alpha}^-, A_{S,\beta}^-, A_{S,\alpha}^+, A_{S,\beta}^+\}$, όπου A_S είναι το απαιτούμενο εμβαδόν οπλισμού, α, β οι δύο διευθύνσεις των ράβδων οπλισμού της εσχάρας και $-$, $+$ η θετική και αρνητική παρειά των στοιχείων, αντίστοιχα. Ο αλγόριθμος απαιτεί δύο παραμέτρους: 1) την ακτίνα γειτονιάς, ϵ , και 2) τον ελάχιστο αριθμό σημείων, $\minPts$, στην γειτονιά ϵ . Με βάση τα παραπάνω, η πυκνότητα για ένα σημείο ορίζεται ως ο αριθμός σημείων μέσα στην ακτίνα ϵ από αυτό (συμπεριλαμβανομένου του σημείου).



Σχήμα 3.2: Περιγραφή αλγορίθμου DBSCAN για την ομοιομόρφιση οπλισμού

Για να ομαδοποιηθούν τα σημεία αυτά, ο αλγόριθμος τα διαχωρίζει σε σημεία πυρήνα (core points), σημεία ορίου (border points) και σημεία θορύβου (noise points) [βλ. **Σχήμα 3.2**]. Σημείο πυρήνα είναι ένα σημείο για το οποίο υπάρχουν περισσότερα από $\minPts$ σημεία σε ακτίνα ε , σημείο ορίου είναι ένα σημείο για το οποίο υπάρχουν λιγότερα από $\minPts$ σημεία σε ακτίνα ε , αλλά περιλαμβάνεται τουλάχιστον ένα σημείο πυρήνα και τέλος, σημείο θορύβου είναι ένα σημείο που δεν είναι ούτε πυρήνα ούτε ορίου.

Βασικά πλεονεκτήματα του αλγορίθμου είναι ότι δεν χρειάζεται να οριστεί από την αρχή το πλήθος των ομάδων και ότι απαιτούνται μόνο δύο παράμετροι. Ένα μειονέκτημα είναι ότι ο αλγόριθμος δεν είναι απόλυτα ντετερμινιστικός, δηλαδή σε σπάνιες περιπτώσεις τα σημεία ορίου μπορεί να ανήκουν σε περισσότερες της μιας ομάδες και τελικά εντάσσονται σε κάποια από αυτές ανάλογα με τη σειρά επεξεργασίας των δεδομένων.

Στο πρόγραμμα ορίζεται εσωτερικά $\minPts = 1$.

Έστω φ η τιμή της παραμέτρου του συντελεστή ομοιομόρφισης οπλισμού, η ακτίνα ε ισούται με:

$$\varepsilon = 0.25 \cdot \pi \cdot (\varphi/10)^2 [cm^2]$$

Συντελεστές ασφάλειας οπλισμού

Συντελεστής ασφ. χάλυβα γ_s για Σ.Α. ULS: Δίνεται ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα οπλισμού για τους ελέγχους έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας (βλ. EC2-1-1 πιν.2.1N). Λαμβάνεται αυτόματα από το πρόγραμμα συντελεστής $\gamma_s = 1.15$.

Συντελεστής ασφ. χάλυβα γ_s για Σ.Α. ULS-τυχηματικοί: Δίνεται ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα οπλισμού για τους ελέγχους έναντι οριακής

κατάστασης αστοχίας για τους τυχατικούς συνδυασμούς δράσεων (βλ. EC2-1-1 πιν.2.1N). Λαμβάνεται αυτόματα από το πρόγραμμα συντελεστής $\gamma_s = 1.00$.

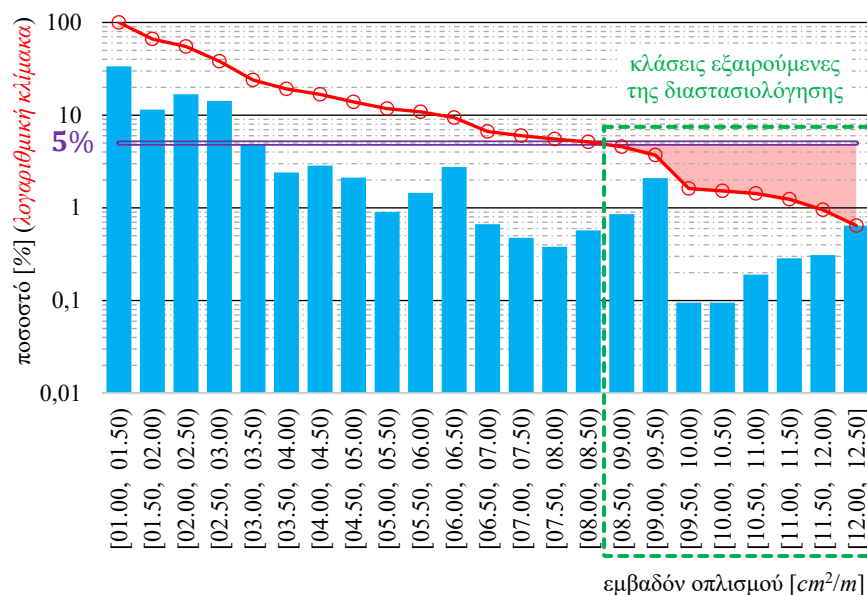
Συντελεστής ασφ. χάλυβα γ_s για Σ.Δ. SLS: Δίνεται ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα οπλισμού για τους ελέγχους έναντι οριακής κατάστασης λειτουργικότητας (βλ. EC2-1-1 πιν.2.1N). Λαμβάνεται αυτόματα από το πρόγραμμα συντελεστής $\gamma_s = 1.00$.

Οπλισμός πλακών

Ίδιος οπλισμός: Επιλέγεται αν ο οπλισμός σε κάθε παρειά και διεύθυνση των πλακών θα προκύψει απευθείας από τα αποτελέσματα της ανάλυσης ή αν θα τοποθετηθεί συμμετρικός οπλισμός για λόγους κατασκευαστικής ευκολίας. Υπάρχουν οι εξής δυνατότητες:

- ▶ **Όχι.** Ο οπλισμός προκύπτει απευθείας από τα αποτελέσματα της ανάλυσης.
- ▶ **Ανά παρειά.** Οι δύο παρειές της πλάκας (άνω/κάτω) οπλίζονται με τον ίδιο οπλισμό. Για παράδειγμα, αν για την άνω παρειά ο απαιτούμενος οπλισμός προκύψει $A_{s,1}$ (άνω) = $4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$ και για την κάτω $A_{s,1}$ (κάτω) = $2.5 \text{ cm}^2/\text{m}$, με την επιλογή «Ανά παρειά» θα τοποθετηθούν $A_{s,1}$ (κάτω) = $4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$.
- ▶ **Ανά διεύθυνση:** Τοποθετείται ο ίδιος οπλισμός και στις δύο διευθύνσεις όπλισης της πλάκας ($A_{s,1} / A_{s,2}$). Για παράδειγμα, αν για τη διεύθυνση 1 ο απαιτούμενος οπλισμός προκύψει $A_{s,1}$ (άνω) = $4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$ και για τη διεύθυνση 2 $A_{s,2}$ (άνω) = $2.5 \text{ cm}^2/\text{m}$, με την επιλογή «Ανά διεύθυνση» θα τοποθετηθούν $A_{s,2}$ (άνω) = $4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$.
- ▶ **Ανά παρειά & ανά διεύθυνση:** Τοποθετείται ο ίδιος οπλισμός σε κάθε παρειά και διεύθυνση της πλάκας. Για παράδειγμα, αν ο μέγιστος οπλισμός από τις διευθύνσεις 1 & 2 και τις άνω & κάτω παρειές προκύψει ο $A_{s,1}$ (άνω) = $4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$, τότε θα τοποθετηθούν $4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$ και στις υπόλοιπες διευθύνσεις και παρειές.

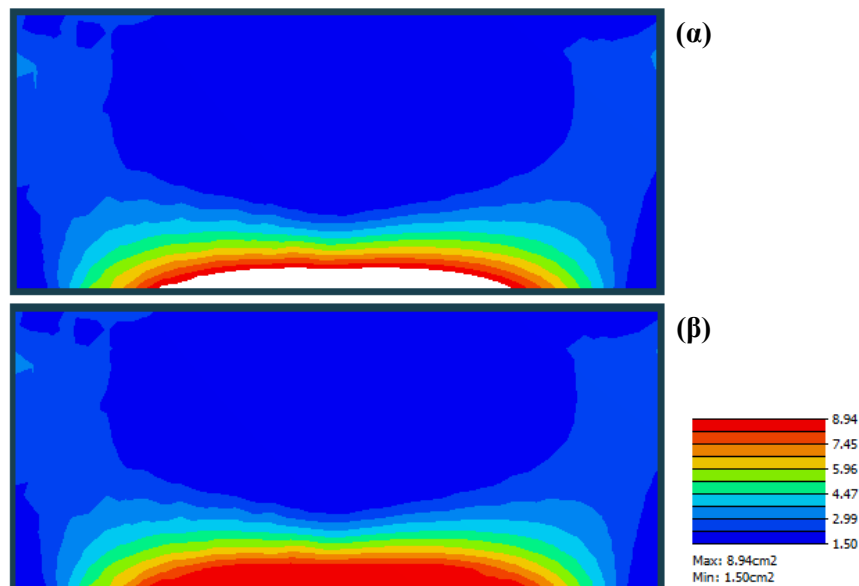
Φίλτρο ακραίων τιμών αποτελεσμάτων όπλισης: (5%). Επιλέγεται το ποσοστό αποκοπής των ακραίων τιμών των διαγραμμάτων. Η λειτουργία αυτή στοχεύει να εκτιμήσει με «στατιστικό τρόπο» τις τιμές που προέρχονται από υπερβολικές συγκεντρώσεις τάσεων και να τις εξαιρέσει από τον υπολογισμό του τελικού οπλισμού.



Σχήμα 3.3: Φίλτρο ακραίων τιμών αποτελεσμάτων όπλισης

Στην κατεύθυνση αυτή οι απαιτούμενες τιμές οπλισμού για όλα τα πεπερασμένα στοιχεία μιας συγκεκριμένης επιφάνειας ταξινομούνται σε πλήθος ομάδων, τις κλάσεις, και για κάθε κλάση υπολογίζεται το πλήθος των παρατηρήσεων, δηλαδή των πεπερασμένων στοιχείων, που απαιτούν οπλισμό του οποίου η τιμή βρίσκεται εντός των ορίων της κλάσης. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι σχετικές συχνότητες και κατασκευάζεται ιστόγραμμα σχετικών συχνοτήτων (**Σχήμα 3.3**). Η καμπύλη του σχήματος με κόκκινο χρώμα είναι η αντίστροφη αθροιστική καμπύλη σχετικών συχνοτήτων. Τέλος εξαιρούνται από την διαστασιολόγηση όλες οι κλάσεις των οποίων το άθροισμα των σχετικών συχνοτήτων δεν υπερβαίνει το ποσοστό που έχει ορίσει ο χρήστης μέσω της παραμέτρου «Φίλτρο ακραίων τιμών αποτελεσμάτων όπλισης».

Επισήμανση ακραίων τιμών (χρώμα λευκό) πλακών: (Ναι) Στην περίπτωση του «Ναι» οι περιοχές οι οποίες δεν καλύπτονται από τον τοποθετούμενο οπλισμό επισημαίνονται με λευκό χρώμα (βλ. **Σχήμα 3.4 – α**).



Σχήμα 3.4 (α, β): Επισημάνση ακραίων τιμών (χρώμα λευκό)

Ακολουθούν οι τρεις λόγοι για τους οποίους τμήμα μιας επιφάνειας μπορεί να επισημανθεί με λευκό χρώμα:

1. η μέγιστη διαθέσιμη διάμετρος οπλισμού και η ελάχιστη διαθέσιμη απόσταση μεταξύ των ράβδων, που έχουν οριστεί από τον χρήστη, οδηγούν σε εμβαδόν οπλισμού που δεν επαρκεί για να καλύψει την απαίτηση, όπως προκύπτει από τους υπολογισμούς
2. η διαστασιολόγηση των πεπερασμένων στοιχείων που αντιστοιχούν στο επισημανθέν τμήμα της επιφάνειας έχει παρουσιάσει σφάλμα
3. το συγκεκριμένο τμήμα της επιφάνειας δε λαμβάνεται υπόψιν στην διαστασιολόγηση, λόγω αποκοπής ακραίων τιμών βάσει της παραμέτρου «Φίλτρο ακραίων τιμών αποτελεσμάτων όπλισης»

Η επιλογή «Όχι» αποδίδει στις παραπάνω περιοχές των επιφανειών το χρώμα που αντιστοιχεί στην μέγιστη τιμή της κλίμακας των χρωματικών διαβαθμίσεων (βλ. Σχήμα 3.4 – β).

Αντίστοιχο σκεπτικό ισχύει και για το εύρος ρωγμής εκτός από τους οπλισμούς.

Όρια ποσοστών οπλισμού πλακών

Τα ποσοστά οπλισμού αναφέρονται σε επιφάνεια διατομής με πλάτος ίσο με 1μ. και πάχος ίσο με το πάχος της πλάκας/τοιχώματος.

Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού γενικώς[%]: Ορίζεται το ελάχιστο ποσοστό εφελκόμενου ή θλιβόμενου οπλισμού που εφαρμόζεται σε κάθε στρώση. Εν γένει

σε πλάκες ανωδομής μπορεί να τίθεται ίσο με 0%, ενώ στις πλάκες κοιτόστρωσης/έδρασης, 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 εγκάρσιος οπλισμός [% κύριου οπλισμού]: (20%). Στην περίπτωση επιφανειακών στοιχείων απαιτείται όπλιση στη δευτερεύουσα (εγκάρσια) διεύθυνση ίση με το 20% της όπλισης στην κύρια διεύθυνση (EN1992-1 §9.3.1.1(2)).

Ελάχιστος εφελκόμενος οπλισμός [%]: Δίνεται το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού εφόσον η συγκεκριμένη στρώση για κάποιο συνδυασμό φόρτισης προκύψει εφελκόμενη. Σημειώνεται ότι το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα τον ελάχιστο απαιτούμενο οπλισμό $A_{s,min}$ σύμφωνα με τη σχέση 9.1N του EN1992-1.

Ελάχιστος οπλισμός διάτμησης [%]: Δίνεται το μέγιστο ποσοστό οπλισμού, το οποίο θα εφαρμοστεί σε κάθε διεύθυνση και παρειά.

Αποφυγή οπλισμού διάτμησης:

- ▶ **Ναι-με αύξηση του οπλισμού κάμψης:** Υπολογίζεται το ποσοστό του εφελκόμενου οπλισμού κάμψης ρ_i ώστε η διατμητική αντοχή VR_{dc} χωρίς οπλισμό διάτμησης (βλ. EC2-1-1 (εξ. 6.2)) να υπερβαίνει την τέμνουσα σχεδιασμού V_i . Εφόσον το ποσοστό ρ_i προκύπτει μικρότερο του 2%, τότε αυτό κατανέμεται στις στρώσεις του εφελκόμενου οπλισμού, διαφορετικά εμφανίζεται μήνυμα πως δεν είναι δυνατή η αποφυγή του οπλισμού διάτμησης και εφαρμόζεται ο απαιτούμενος λόγω κάμψης οπλισμός. Η επιρροή του εφελκόμενου οπλισμού στην αύξηση της διατμητικής αντοχής είναι μικρή (βλ. EC2-1-1 (6.2)), αφού διπλασιασμός του ρ_i ισοδυναμεί με αύξηση της αντοχής μόλις κατά 25%.
- ▶ **Όχι:** στον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής VR_{dc} υπεισέρχεται το ποσοστό του απαιτούμενου εφελκόμενου οπλισμού κάμψης, χωρίς προσαύξηση.

Επιτρέπεται θλιβόμενος οπλισμός:

- ▶ **Ναι :** Σε θέσεις σχετικά μεγάλων ροπών η ένταση παραλαμβάνεται με συνδυασμό εφελκόμενου 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.

Οπλισμός άνω/κάτω παρειάς

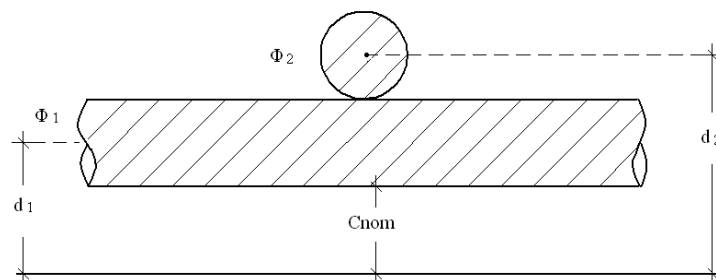
Διαθέσιμες Διάμετροι οπλισμού οριζόντιας διεύθυνσης 1 & 2: Επιλέγονται οι διάμετροι οπλισμού που θα χρησιμοποιηθούν κατά την μετατροπή της απαιτούμενης επιφάνειας οπλισμού σε ράβδους. Παρέχεται η δυνατότητα διαφορετικής επιλογής για τις στρώσεις του ανά παρειά και ανά διεύθυνση.

Διαθέσιμες Αποστάσεις οπλισμού οριζόντιας διεύθυνσης 1 & 2: Επιλέγονται οι διαθέσιμες αποστάσεις μεταξύ των ράβδων που θα τοποθετηθούν στις πλάκες.

Καθαρή απόσταση μεταξύ των οπλισμών των 2 διευθύνσεων $d[m]$: Η απόσταση μεταξύ των οπλισμών των 2 διευθύνσεων

Διάμετρος ράβδων για στατικό ύψος τους Φ, h_{stat} : Το στατικό ύψος λαμβάνεται υπόψη για τον αρχικό υπολογισμό της απόστασης των στρώσεων του οπλισμού από την επιφάνεια της πλάκας.

Επικάλυψη οπλισμού c_{nom} : Ορίζεται η ονομαστική επικάλυψη της εξωτερικής στρώσης οπλισμού της άνω και κάτω επιφάνειας της πλάκας. Η απόσταση των στρώσεων οπλισμού d_1 και d_2 από την επιφάνεια της πλάκας υπολογίζονται στο πρόγραμμα, ως εξής $d_1 = c_{nom} + \Phi, h_{stat}/2$ και $d_2 = c_{nom} + \Phi, h_{stat} * 3/2$, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 3.5**

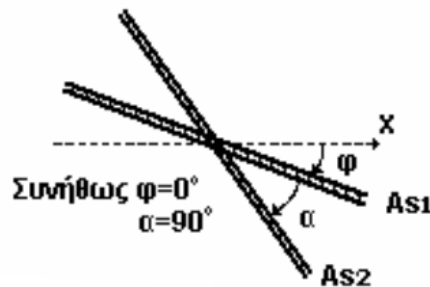


Σχήμα 3.5: Επικάλυψη και απόσταση στρώσεων οπλισμού από την παρειά της πλάκας.

Γωνία οπλισμών ϕ ($\pm 180^\circ$): Η γωνία που σχηματίζει η εξωτερική στρώση του οπλισμού (διεύθυνση 1) με τον καθολικό άξονα X (**Σχήμα 3.6**).

Γωνία οπλισμών α ($\pm 90^\circ$): 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 3.6**).

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



Σχήμα 3.6: Γωνία οπλισμού φ και σχετική γωνία λοξότητας α στρώσεων οπλισμού.

Οπλισμός τοιχωμάτων

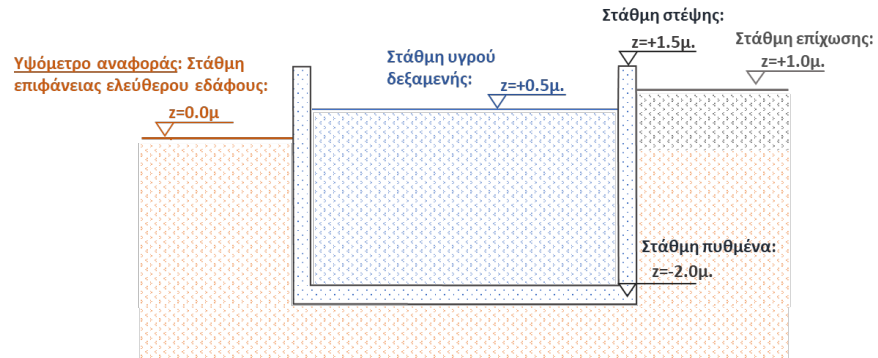
Οι παράμετροι είναι πρακτικά κοινές με αυτές των πλακών, πλην της «Επιτρέπεται θλιβόμενος οπλισμός».

Υψόμετρο σταθμών

Στο πρόγραμμα *FePool* υπάρχουν δύο διαθέσιμοι «όροφοι», ο όροφος - πυθμένας και ο όροφος - στεψη. Τα υψόμετά τους δίνονται με τις παρακάτω παραμέτρους.

Υψόμετρο στάθμης πυθμένα: Εισάγεται το υψόμετρο του ορόφου στάθμης πυθμένα θεωρώντας ως υψόμετρο αναφοράς την ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους, δηλαδή τη στάθμη με $z=0.0\mu$.

Υψόμετρο στάθμης στέψης: Εισάγεται το υψόμετρο του ορόφου στάθμης στέψης, το οποίο καθορίζει το ελεύθερο – ανώτερο – σημείο των περιμετρικών τοιχωμάτων. Δίνεται θεωρώντας υψόμετρο αναφοράς το υψόμετρο της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους ($z=0.0\mu$).



Σχήμα 3.7: Σχηματική επεξήγηση των υψομέτρων που εισάγονται μέσω παραμέτρων και του υψομέτρου αναφοράς στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους ($z=0.0\mu$). Η παράμετρος «στάθμη υγρού δεξαμενής» και «στάθμη επίχωσης» δίνονται στην καρτέλα [Κτίριο>Έδαφος & υγρό](#) καθώς και στα επιμέρους τοιχώματα.

3.4 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.

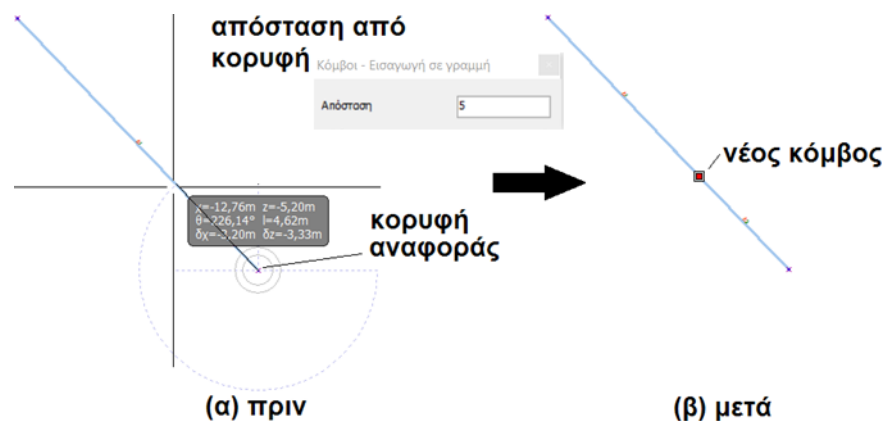
Εντολές του κόμβου



Προσθήκη: Προσθήκη νέου κόμβου. Ο νέος κόμβος μπορεί να τοποθετηθεί σε υπάρχον σημείο έλξης του οδηγού, επάνω σε γραμμή ή επάνω σε επιφάνεια. Οι περιορισμοί που διέπουν την δημιουργία κόμβου περιγράφονται στο κεφάλαιο 1.4 στην ενότητα Κόμβος.



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 3.8).



Σχήμα 3.8: Προσθήκη κόμβου επί γραμμής σε απόσταση



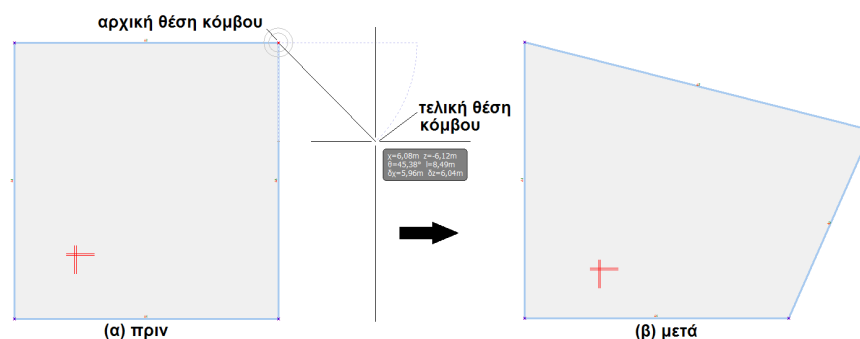
Εισαγωγή επί ευθείας γραμμής ανά τμήματα: Προσθήκη κόμβων σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους επί ευθείας γραμμής. Με την εκτέλεση της εντολής, δημιουργούνται νέες γραμμές ίσου μήκους στην θέση της παλιάς γραμμής. Η λειτουργία αυτή είναι παρόμοια με την λειτουργία «Προσθήκη επί γραμμής σε απόσταση» που περιγράφηκε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



Προσθήκη κόμβου ίδιων συντεταγμένων σε διαφορετικό υψόμετρο: Επειδή ο χειρισμός του προγράμματος γίνεται σε κάτοψη, η εντολή αυτή δίνει τη δυνατότητα να προσθέσουμε κόμβο που έχει συντεταγμένες στην κάτοψη (δλδ x-z) ίδιες με άλλον προϋπάρχοντα κόμβο, αλλά διαφορετικό υψόμετρο. Αφού επιλέξουμε την εντολή, το πρόγραμμα μας ζητάει αρχικά να επιλέξουμε υπάρχοντα κόμβο, και στη συνέχεια να εισάγουμε το υψόμετρο του νέου.



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 3.9).



Σχήμα 3.9: Η μετακίνηση ή αλλαγή των συντεταγμένων του κόμβου μεταβάλλει το σχήμα της οντότητας στην οποία ανήκει ο κόμβος.



Αλλαγή ονόματος και συντεταγμένων: Τροποποίηση της αρίθμησης του κόμβου και των συντεταγμένων του. Αν ο κόμβος είναι κόμβος περιγράμματος επιφάνειας, τότε τροποποιείται ανάλογα το περίγραμμα της επιφάνειας (Σχήμα 3.9).



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 3.10)



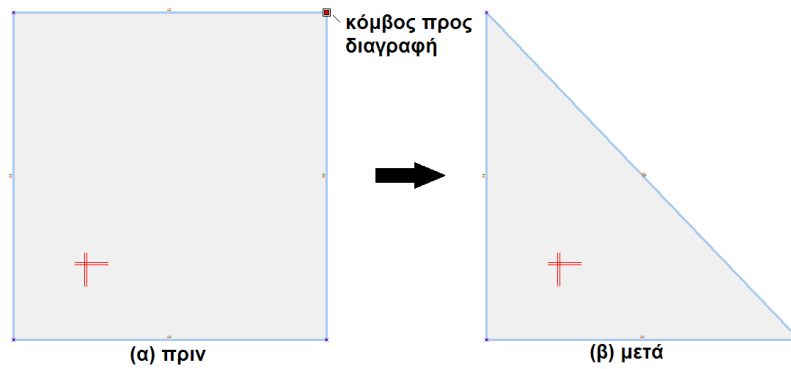
Πάρε / Δώσε φορτία: Μεταφέρονται μόνον οι παράμετροι της καρτέλας «Φορτία».



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



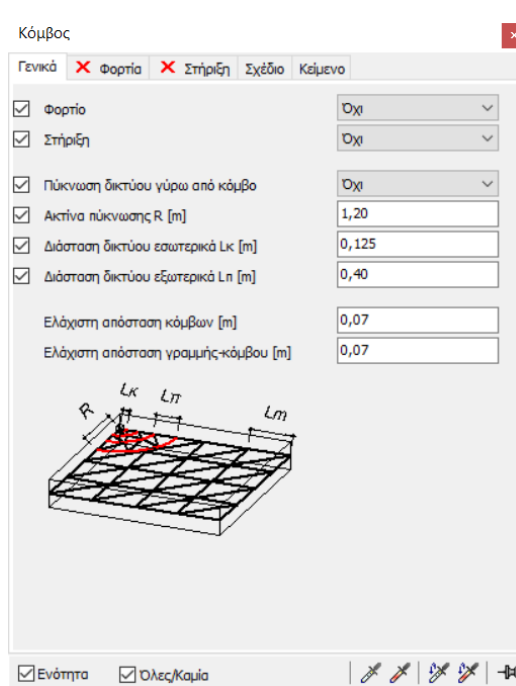
Δώσε πύκνωση: Μεταφέρονται μόνον οι 4 σχετικές παράμετροι της πύκνωσης δικτύου (βλέπε «Παράμετροι κόμβου» παρακάτω).



Σχήμα 3.10: 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 3.4).



Εικόνα 3.4: Παράθυρο παραμέτρων κόμβου

Γενικά

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

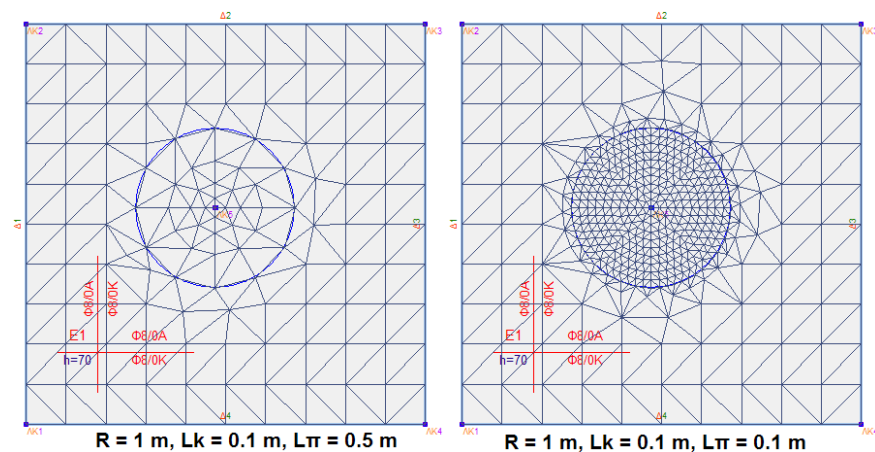
Στήριξη (Ναι / Όχι): Καθορίζει εάν στον κόμβο θα επιβληθεί δέσμευση κάποιου βαθμού ελευθερίας ή όχι.

Πύκνωση δικτύου γύρω από κόμβο (Ναι / Όχι): Καθορίζει εάν θα γίνει τοπική πύκνωση του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων γύρω από τον κόμβο αυτό (Εικόνα 3.5).

Ακτίνα πύκνωσης R [m]: Το εύρος της κυκλικής περιοχής εντός της οποίας θα γίνει πύκνωση του δικτύου (Εικόνα 3.5).

Διάσταση δικτύου εσωτερικά L_k [m]: Το μέσο μήκος των πεπερασμένων στοιχείων στο κέντρο της περιοχής πύκνωσης (Εικόνα 3.5). 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 3.5). Πρέπει να είναι μικρότερο από την ακτίνα πύκνωσης R και μεγαλύτερο από $0.05m$.



Εικόνα 3.5: Πύκνωση γύρω από κόμβο

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.

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 3.8). Δηλαδή ο κόμβος εισάγεται επί της γραμμής, διασπώντας την στα δύο.

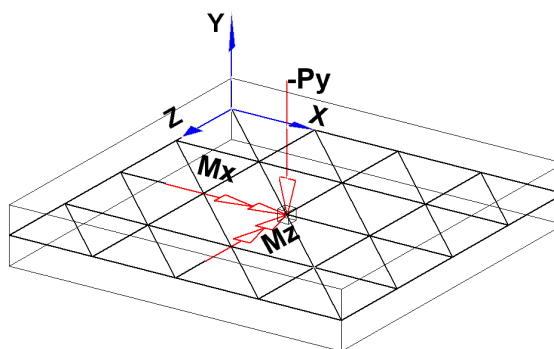
Φορτία

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

Όνομα δράσης και συντομογραφία: Καθορίζει σε ποια δράση ανήκει το συγκεντρωμένο φορτίο του κόμβου.

$F_x / F_y / F_z$ [kN], $M_x / M_y / M_z$ [kNm]: Τιμές των συγκεντρωμένων επικόμβιων δυνάμεων και ροπών ως προς το καθολικό σύστημα συντεταγμένων. Στο Σχήμα 3.11 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



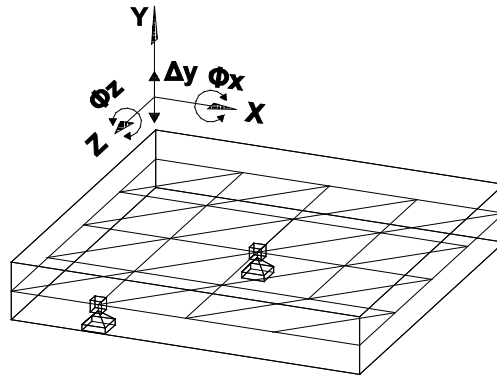
Σχήμα 3.11: Σήμανση σημειακών φορτίων

Στήριξη

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

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 (Σχήμα 3.12).



Σχήμα 3.12: Βαθμοί ελευθερίας του κόμβου

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

3.5 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 καταναμεμένων φορτίων
- (β) προσομοίωση στοιχείου δοκού (grid),
- (γ) εφαρμογή γραμμικών στήριξεων.

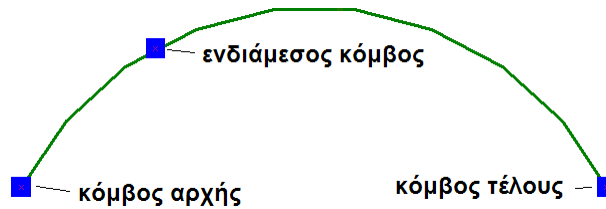
Εντολές της γραμμής



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.



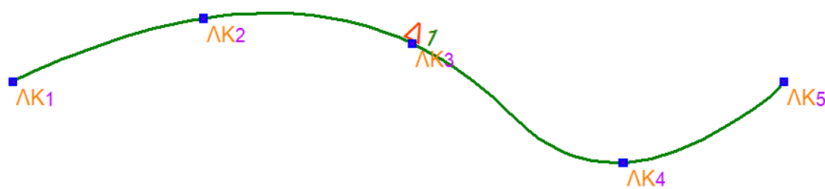
Προσθήκη τόξου: Ο χρήστης διαδοχικά δείχνει τα σημεία αρχής και τέλους του τόξου, καθώς και ένα τρίτο σημείο από το οποίο θα διέρχεται (**Σχήμα 3.13**).



Σχήμα 3.13: Προσθήκη τόξου



Προσθήκη B-spline: Η προσθήκη γραμμής b-spline δημιουργεί μια ομαλή γραμμή η οποία διέρχεται από τους επιλεγμένους κόμβους. Οι κόμβοι επιλέγονται με τη σειρά διέλευσης της γραμμής από αυτούς, δηλαδή ξεκινώντας από τον ΑΚ1 και ολοκληρώνοντας με τον ΑΚ5 (Σχήμα 3.14).



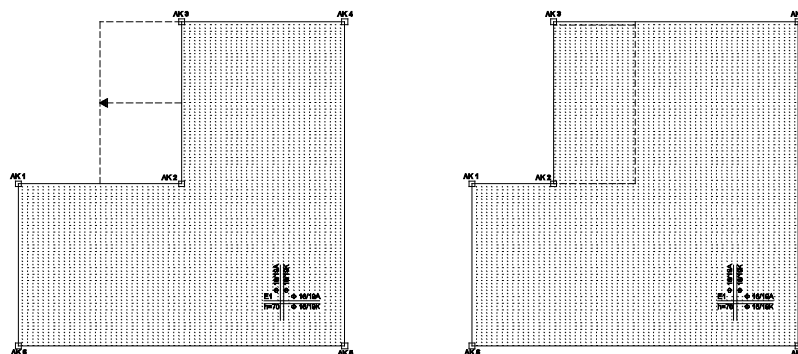
Σχήμα 3.14: Προσθήκη B-spline



Κατασκευή B-spline: Η εκτέλεση της εντολής αυτής είναι απαραίτητη για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού της γραμμής B-spline. Η εντολή αυτή ακολουθεί την επιλογή του τελευταίου σημείου της γραμμής (εδώ του ΑΚ5).



Μετακίνηση: Παράλληλη μετακίνηση γραμμής βάσει νέας θέσης του κόμβου – άκρου. Το μήκος και η κλίση της γραμμής παραμένουν αναλλοίωτα (Σχήμα 3.15).



Σχήμα 3.15: Η μετακίνηση γραμμής μεταβάλλει το περίγραμμα της επιφάνειας.



Αλλαγή υψομέτρου: Μετά την επιλογή της εντολής, ο χρήστης καλείται να επιλέξει δοκό, και στη συνέχεια ανοίγει μάσκα που ζητάει την εισαγωγή του νέου υψομέτρου της δοκού.



Αλλαγή ονόματος: Τροποποίηση της αρίθμησης της γραμμής.



Διαγραφή: Η εντολή ζητάει επιπλέον επιβεβαίωση για να διαγραφούν και οι κόμβοι που ορίζουν τη γραμμή. 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 όλες 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 (καρτέλα «Γενικά»).



Δώσε ακαμψία: Μεταφέρονται μόνον οι παράμετροι της καρτέλας «Ακαμψία»

Παράμετροι της γραμμής

Οι παράμετροι του κόμβου εισάγονται από το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων (Εικόνα 3.6).

Γραμμή

Γενικά ☒ Ακαμψία ☒ Υλικό ☒ Φορτία ☒ Στήριξη Σχέδιο Κείμενο

☒ Ακαμψία/Υλικό Όχι

☒ Φορτίο Όχι

☒ Στήριξη Όχι

☒ Πύκνωση δικτύου Όχι

☒ Προτιμητέα διάσταση Πεπερασμένων στοιχείων L[m] 0,20

☒ Ενότητα ☒ Όλες/Καμία

Εικόνα 3.6: Παράθυρο παραμέτρων γραμμής

Γενικά

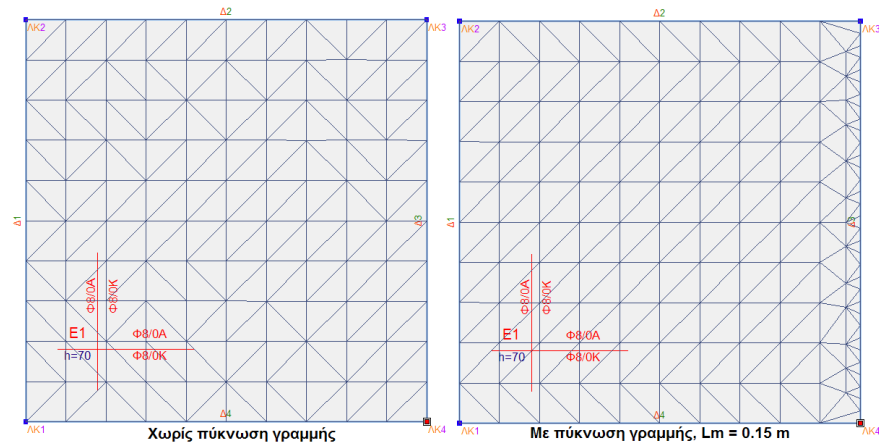
Ακαμψία/Υλικό (Ναι / Όχι): Κατά μήκος της γραμμής, στο μοντέλο θα υπάρχουν στοιχεία δοκού.

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

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

Πύκνωση δικτύου: Καθορίζει την τοπική διαφοροποίηση της διάστασης της πλευράς των πεπερασμένων στοιχείων κατά μήκος της γραμμής (Εικόνα 3.7).

Προτιμητέα διάσταση πεπερασμένων στοιχείων L[m]: Εφόσον επιλεγεί πύκνωση δικτύου, επιλέγεται η μέγιστη διάσταση της πλευράς των πεπερασμένων στοιχείων με πλευρά επί της γραμμής.



Εικόνα 3.7: 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.

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

Υλικό

Υλικό: Αν είναι σκυρόδεμα ή «Άλλο». Στο «άλλο» υλικό, δεν εμφανίζονται οι παράμετροι που αφορούν στο σκυρόδεμα.

Ποιότητα σκυροδέματος: Επιλογή σκυροδέματος με προκαθορισμένες μηχανικές ιδιότητες.

Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος f_{ck} [MPa]: Ορίζεται από την «ποιότητα σκυροδέματος», αλλά ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να την επιλέξει ελεύθερα στη συνέχεια.

Σταθερές υλικού

Οι σταθερές του υλικού του σκυροδέματος αλλάζουν με την επιλογή της «Ποιότητας σκυροδέματος», παρόλα αυτά μπορεί ο χρήστης να τις διαφοροποιήσει στη συνέχεια. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται: **Μέτρο ελαστικότητας E [kN/m^2]**, **Λόγος Poisson ν** , **Συντελεστής θερμοκρασιακής διαστολής α [$^\circ$]**, **Ειδικό βάρος ε [kN/m^3]**, **Πυκνότητα ρ [tn/m^3]**.

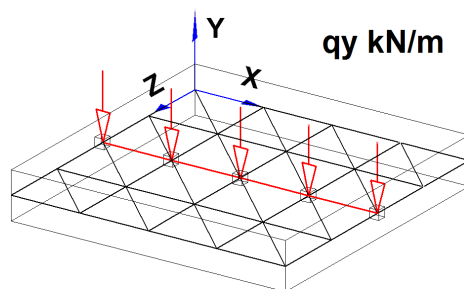
Φορτία

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

Όνομα δράσης και συντομογραφία (μόνιμα / κινητά / κλπ): Καθορίζει σε ποια δράση ανήκει το φορτίο που επιβάλλεται στη γραμμή.

Τιμή φορτίου q_x, q_y, q_z [kN/m]: Κατανεμημένο φορτίο επί της δοκού (Σχήμα 3.16) 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 3.16: Φορτίο γραμμής

Στήριξη

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

3.6 Πλάκα

Η οντότητα πλάκα χρησιμεύει για προσομοίωση των πλακών του πυθμένα της δεξαμενής καθώς και πλακών στο επίπεδο της στέψης. Οι πλάκες του πυθμένα εδράζονται επί ελαστικού εδάφους με κατακόρυφα ελατήρια, ενώ ο περιορισμός της οριζόντιας μετάθεσης προσομοιώνεται με οριζόντιες στήριξεις.

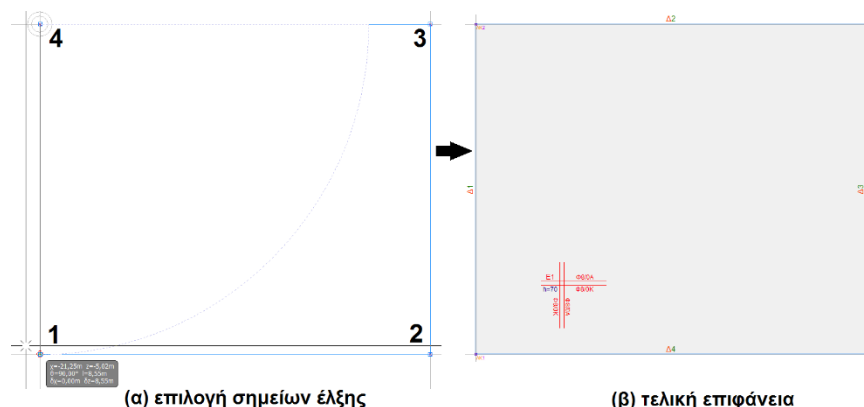
Το εσωτερικό των πλακών διακριτοποιείται σε πλέγμα τριγωνικών πεπερασμένων στοιχείων κελύφους.

Εντολές της πλάκας



Προσθήκη: Δημιουργία νέας πλάκας. Η πλάκα σχηματίζεται από την επιλογή διαδοχικών σημείων έλξεως ή υφιστάμενων κόμβων. Στην απλή εκδοχή, ανά δύο κόμβους που επιλέγονται σχηματίζεται μια ευθεία γραμμή (προεπιλεγμένη λειτουργία) η οποία ορίζει το περίγραμμα της πλάκας (**Σχήμα 3.17**). Προκειμένου να κλείσει η πλάκα, η επιλογή των σημείων πρέπει να καταλήγει στο αρχικό σημείο.

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



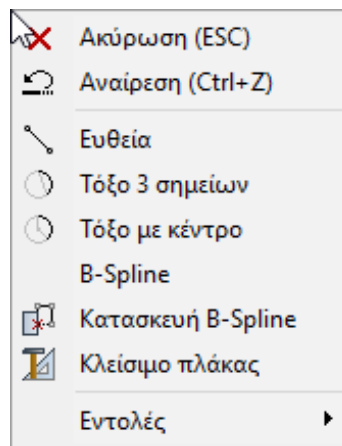
Σχήμα 3.17: Για να σχηματιστεί η πλάκα επιλέγονται τα σημεία 1,2,3,4 και ξανά πάλι το 1 για να κλείσει η πλάκα.

Επιπλέον, παρέχονται κάποιες ακόμα λειτουργίες στον χρήστη οι οποίες ενεργοποιούνται πιέζοντας το δεξί πλήκτρο του mouse κατά την φάση της επιλογής των κόμβων (**Εικόνα 3.8**). Οι επιλογές αυτές είναι:

- i. Ευθεία γραμμή
- ii. Τόξο 3 σημείων
- iii. Τόξο με κέντρο και αρχή / τέλος
- iv. B-Spline
- v. Κατασκευή B-Spline και
- vi. Κλείσιμο πλάκας

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

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



Εικόνα 3.8: Εργαλεία για την δημιουργία πλακών



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



Αλλαγή υψομέτρου πλάκας: Εντολή που φέρνει όλους τους κόμβους που σχηματίζουν το περίγραμμα της πλάκας (και το περίγραμμα πιθανών εσωτερικών οπών) στο ύψος που εισάγει ο χρήστης.



Ένωση πλακών: Συνενώνει δύο πλάκες σε μία με μοναδική αρίθμηση και μοναδικές ιδιότητες. Οι προς ένωση πλάκες πρέπει να έχουν τουλάχιστον ένα κοινό σύνορο ή επικαλυπτόμενα τμήματα.



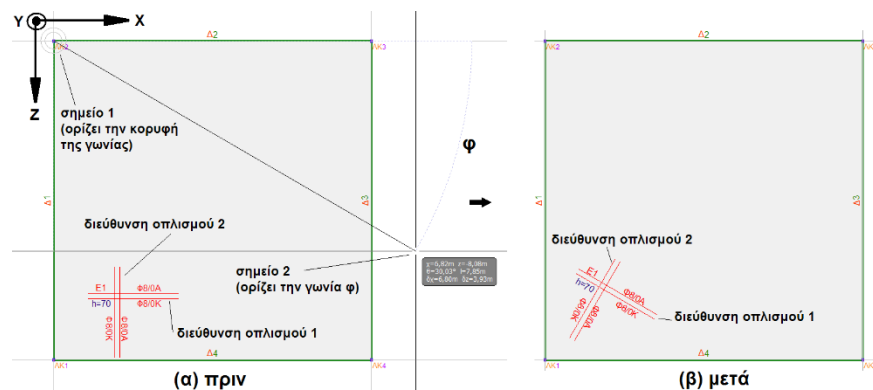
Αφαίρεση πλακών: Με την λειτουργία αυτή η πρώτη από δύο πλάκες που επιλέγονται παραχωρεί τμήμα της στην δεύτερη. Οι προς αφαίρεση πλάκες πρέπει να έχουν μια κοινή περιοχή πριν την αφαίρεση.



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



Περιστροφή οπλισμού: Ορίζεται η διεύθυνση της εξωτερικής στρώσης (1) του οπλισμού με επιλογή δυο σημείων οπουδήποτε στην οθόνη. Η γωνία ϕ της στρώσης 1 ως προς τον καθολικό άξονα X -μετρούμενη αριστερόστροφα-φαίνεται στην καρτέλα «Οπλισμός». (βλέπε Σχήμα 3.18).



Σχήμα 3.18: Περιστροφή οπλισμού πλάκας



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



Αλλαγή ονόματος: Τροποποίηση της αρίθμησης της πλάκας



Διαγραφή: Διαγραφή της πλάκας, και -εφόσον το επιλέξεις ο χρήστης- των γραμμών της περιμέτρου της και των κόμβων στις κορυφές της.



Μετατροπή σε οπή: Δημιουργείται οπή από το περίγραμμα προϋπάρχουσας πλάκας, και η πλάκα καταργείται. Υπάρχει η προϋπόθεση η επιλεγόμενη πλάκα να είναι περιγεγραμμένη σε άλλη πλάκα, εξωτερική, στην οποία θα ανήκει η οπή που θα δημιουργηθεί.



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



Πάρε / Δώσε παραμέτρους: Μεταφέρονται όλοι οι παράμετροι από την επιλεγμένη πλάκα στην εργαλειοθήκη των πλακών και αντίστροφα.



Αλληλοτομία επιφανειών: Η εντολή επιτρέπει την αλληλοτομία μεταξύ επιφανειών (πλακών και τοιχωμάτων). Ο χρήστης καλείται να επιλέξει 2 ομάδες επιφανειών. Στη συνέχεια το πρόγραμμα τέμνει τις επιφάνειες της 1^{ης} ομάδας, με τις επιφάνειες της 2^{ης}. Δημιουργούνται οι γραμμές που προκύπτουν από την αλληλοτομία. Σε περίπτωση που οι γραμμές αλληλοτομίας διατρέχουν πλήρως κάποια επιφάνεια, αυτή διαχωρίζεται σε 2 επιφάνειες. Η χρησιμότητα της συγκεκριμένης εντολής αναδεικνύεται και στο τεύχος με τα «παραδείγματα μελέτης κολυμβητικής δεξαμενής».

Παράμετροι της πλάκας

Οι παράμετροι της πλάκας εισάγονται από το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων (Εικόνα 3.9).

Εικόνα 3.9: Παράθυρο παραμέτρων πλάκας

Γενικά

Πάχος πλάκας: Εισάγεται το πάχος της πλάκας το οποίο είναι σταθερό σε όλη την πλάκα.

Προτιμητέα διάσταση πεπερασμένων στοιχείων L [m]: Εισάγεται η επιθυμητή διάσταση της πλευράς του πεπερασμένου στοιχείου που παράγεται. Η διάσταση αυτή αποτελεί, επί της ουσίας, τη μέγιστη τιμή διάστασης των στοιχείων, καθώς θα παραχθεί πυκνότερο δίκτυο όπου απαιτείται από τη γεωμετρία των επιφανειών.

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

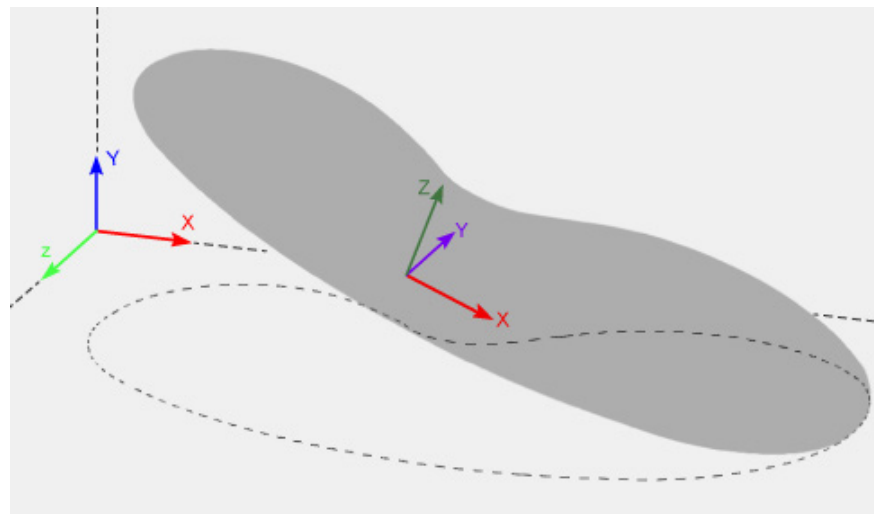
Φορτία

Όνομα δράσης και συντομογραφία (μόνιμα / κινητά / κλπ): Καθορίζει εάν το συγκεντρωμένο φορτίο του κόμβου ανήκει στα μόνιμα (Q), στα κινητά (G) φορτία ή στη δράση υγρού (P_w).

Γενικά είδη δράσης

Στα περισσότερα είδη δράσης εμφανίζονται οι 2 επόμενες παράμετροι

Σύστημα αναφοράς: Επιλογή μεταξύ του καθολικού και τοπικού συστήματος συντεταγμένων. Η σχέση των δύο συστημάτων αποτυπώνεται στο **Σχήμα 3.19**.



Σχήμα 3.19: Καταναμημένο φορτίο πλάκας

Τιμή φορτίου $q_x/q_y/q_z$ [kN/m²]: Καταναμημένο φορτίο, κατά την διεύθυνση του επιλεγμένου συστήματος αναφοράς συντεταγμένων.

Στατικά υγρού

Στις δράσεις που αφορούν στατικές ωθήσεις υγρού (υδροστατική πίεση), εμφανίζονται ειδικές παράμετροι

Υπαρξη υγρού (Ναι / Όχι): Επιλέγουμε εάν η πλάκα θα φορτίζεται ή όχι με υγρού. (Ενδεχομένως να πρόκειται για πλάκα στη στέψη στην περίμετρο της πισίνας, οπότε να μην έχει φορτίο υγρού).

Ειδικό βάρος υγρού [kN/m^3]: Το ειδικό βάρος του υγρού που φορτίζει τη συγκεκριμένη πλάκα.

Στάθμη νερού δεξαμενής [m]: Η στάθμη του υγρού που φορτίζει τη συγκεκριμένη πλάκα. Η σημασία της στάθμης έχει εξηγηθεί στο **Σχήμα 3.7**.

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

Στήριξη- Έδαφος

Επί ελαστικού εδάφους: Ναι: Είναι πλάκα κοιτόστρωσης και ο χρήστης πρέπει να εισάγει και τις αντίστοιχες ιδιότητες του εδάφους στην κάρτα «Έδαφος». **Όχι:** Πλάκα στο επίπεδο της στέψης η οποία δεν στηρίζεται επί του εδάφους.

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 [$kN/m^2/m$]: Εισάγεται η σταθερά του εδάφους.

Υλικό

Υλικό: Αν είναι σκυρόδεμα ή «Άλλο». Στο «άλλο» υλικό, δεν εμφανίζονται οι παράμετροι που αφορούν στο σκυρόδεμα.

Ποιότητα σκυροδέματος: Επιλογή σκυροδέματος με προκαθορισμένες μηχανικές ιδιότητες

Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος f_{ck} [MPa]: Ορίζεται από την «ποιότητα σκυροδέματος», αλλά ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να την επιλέξει ελεύθερα στη συνέχεια.

Σταθερές υλικού

Οι σταθερές του υλικού του σκυροδέματος αλλάζουν με την επιλογή της «Ποιότητας σκυροδέματος», παρόλα αυτά μπορεί ο χρήστης να τις διαφοροποιήσει στη συνέχεια. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται: **Μέτρο ελαστικότητας E [kN/m^2], Λόγος Poisson ν , Συντελεστής θερμοκρασιακής διαστολής α [$1/^\circ$], Ειδικό βάρος γ [kN/m^3], Πυκνότητα ρ [tn/m^3].**

Οπλισμός

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

Οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν αναλυθεί στο κεφάλαιο 3.3 (οντότητα «Κατασκευή») στην ενότητα **Οπλισμός πλακών**.

3.7 Οπή

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

Εντολές της οπής

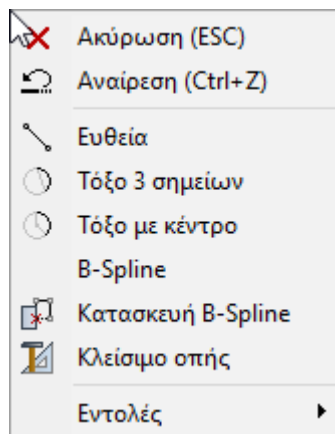


Προσθήκη: Δημιουργία νέας οπής. Η οπή σχηματίζεται από την επιλογή διαδοχικών σημείων έλξεως ή κόμβων. Ανά δύο κόμβους που επιλέγονται σχηματίζεται μια ευθεία γραμμή (προεπιλεγμένη λειτουργία) η οποία ορίζει το περίγραμμα της οπής. Προκειμένου να κλείσει η οπή, η επιλογή των σημείων πρέπει να καταλήγει 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 3.10**). Οι επιλογές αυτές είναι:

- vii. Ευθεία γραμμή
- viii. Τόξο 3 σημείων
- ix. Τόξο με κέντρο και αρχή / τέλος
- x. B-Spline
- xi. Κατασκευή B-Spline και
- xii. Κλείσιμο οπής

Οι λειτουργίες αυτές είναι σε ισχύ **μόνο** όταν ο χρήστης βρίσκεται στην οντότητα «Οπή».



Εικόνα 3.10: Εργαλεία για τη δημιουργία οπών



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



Αλλαγή ονόματος: Τροποποίηση της αρίθμησης της οπής



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

3.8 Τοίχωμα

Η οντότητα τοίχωμα χρησιμεύει για την προσομοίωση των κατακόρυφων τοιχωμάτων της δεξαμενής. Τα τοιχώματα μπορούν να κατασκευαστούν με τους εξής τρόπους:

- i. να σχεδιαστούν απευθείας με την εντολή «Προσθήκη 2 κόμβων».
- ii. να προστεθούν πάνω σε υφιστάμενη γραμμή
- iii. να ανεγερθούν περιμετρικά από τις υφιστάμενες πλάκες του πυθμένα ή
- iv. να εισαχθούν ως περίγραμμα της δεξαμενής από τη στέψη.

Στη συνήθη περίπτωση τα τοιχώματα φορτίζονται με τις ωθήσεις του υγρού στην εσωτερική παρειά και τις ωθήσεις γαιών στην εξωτερική. Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής με ή χωρίς δράσεις υγρού και γαιών καθώς και αντιστροφή τους,

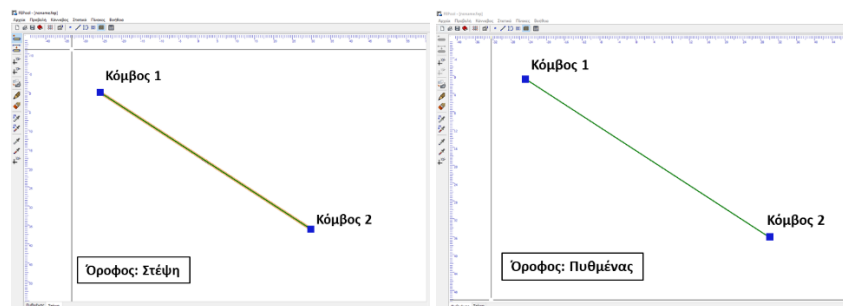
αποσκοπώντας στην προσομοίωση σύνθετων διατάξεων δεξαμενών. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να υπάρξει φόρτιση υγρού και στις 2 πλευρές ενός τοιχώματος.

Τα τοιχώματα σχεδιάζονται και, συνεπώς, εμφανίζονται ως γραμμικά στοιχεία στον όροφο της στέψης της δεξαμενής. Το εσωτερικό τους διακριτοποιείται σε πλέγμα τριγωνικών πεπερασμένων στοιχείων κελύφους.

Εντολές του τοιχώματος



Προσθήκη 2 κόμβων: Δημιουργία νέου τοιχώματος με την επιλογή του σημείου αρχής και του σημείου τέλους. Η δημιουργία του τοιχώματος μπορεί να γίνει είτε μεταξύ κόμβων που προϋπάρχουν είτε να δημιουργήσει νέους κόμβους. Με τη συγκεκριμένη εντολή το τοίχωμα κατασκευάζεται από πάνω προς τα κάτω, δηλαδή, η στέψη του εμφανίζεται στον όροφο «Στέψη», ενώ στον όροφο «Πυθμένας» σχεδιάζεται η βάση του ως στοιχείο γραμμής. Η εντολή είναι ενεργή μόνο στον όροφο «Στέψη».



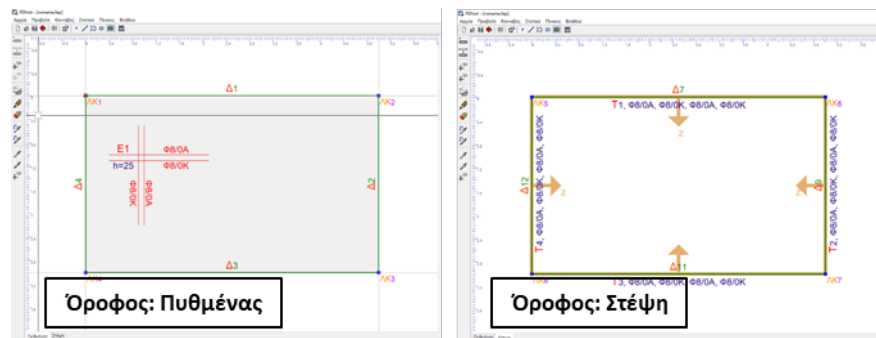
Εικόνα 3.11: (α) Στον όροφο «Στέψη» σχεδιάζεται και γίνεται η επεξεργασία της οντότητας του τοιχώματος, ενώ (β) στον όροφο «Πυθμένας» σχεδιάζεται η βάση του τοιχώματος με την οντότητα της γραμμής.



Προσθήκη πάνω σε υπάρχουσα γραμμή: Επιλέγεται η γραμμή πάνω στην οποία θα δημιουργηθεί το νέο τοίχωμα, η οποία ανήκει – υποχρεωτικά – στον όροφο της στέψης.



Ανέγερση περιμετρικών τοίχων πισίνας από πυθμένα: Ανεγείρονται αυτόματα οι περιμετρικοί τοίχοι της πισίνας. Αρχικά πρέπει να κατασκευαστεί η πλάκα ή πλάκες στον όροφο «Πυθμένας» (**Εικόνα 3.12α**). Εν συνεχεία εκτελείται η εντολή, και τα παραγόμενα τοιχώματα σχεδιάζονται στον όροφο «Στέψη» (**Εικόνα 3.12β**).



Εικόνα 3.12: (α) Στον όροφο «Στέψη» σχεδιάζεται και γίνεται η επεξεργασία της οντότητας του τοιχώματος, ενώ (β) στον όροφο «Πυθμένας» σχεδιάζεται η βάση του τοιχώματος με την οντότητα της γραμμής.



Εισαγωγή περιγράμματος πισίνας στη στέψη: Τα τοιχώματα σχεδιάζονται διαδοχικά στη στέψη, ως γραμμές στον όροφο. Μόλις ο χρήστης κλείσει το περίγραμμα, δημιουργούνται τα τοιχώματα, και ο προσανατολισμός των κάθετων διανυσμάτων τους είναι προς το εσωτερικό της πισίνας. Προκειμένου να κλείσει το περίγραμμα, η επιλογή των σημείων πρέπει να καταλήγει στο αρχικό σημείο.

Επίσης, υπάρχει και η επιλογή  (κλείσιμο πλάκας), η οποία ενεργοποιείται με δεξί κλικ του mouse. Για την εισαγωγή των γραμμών/πλευρών του περιγράμματος, ο χρήστης μπορεί να αξιοποιήσει και τις αντίστοιχες εντολές που εμφανίζονται αν επιλέξει δεξί κλικ:

- i. Ευθεία γραμμή
- ii. Τόξο 3 σημείων
- iii. Τόξο με κέντρο και αρχή / τέλος
- iv. B-Spline
- v. Κατασκευή B-Spline και
- vi. Κλείσιμο περιγράμματος πισίνας



Ένωση τοιχωμάτων: Με τη συγκεκριμένη εντολή ενώνονται καθ' ύψος δύο τοιχώματα, τα οποία έχουν προκύψει με την εντολή της αλληλοτομίας, η οποία έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 3.6 (Οντότητα «Πλάκα») στην αντίστοιχη εντολή.



Αλλαγή ονόματος: Τροποποίηση της αρίθμησης του τοιχώματος.



Διαγραφή: Διαγραφή του τοιχώματος, και -εφόσον επιθυμεί ο χρήστης- των γραμμών του και των κόμβων στις κορυφές του.



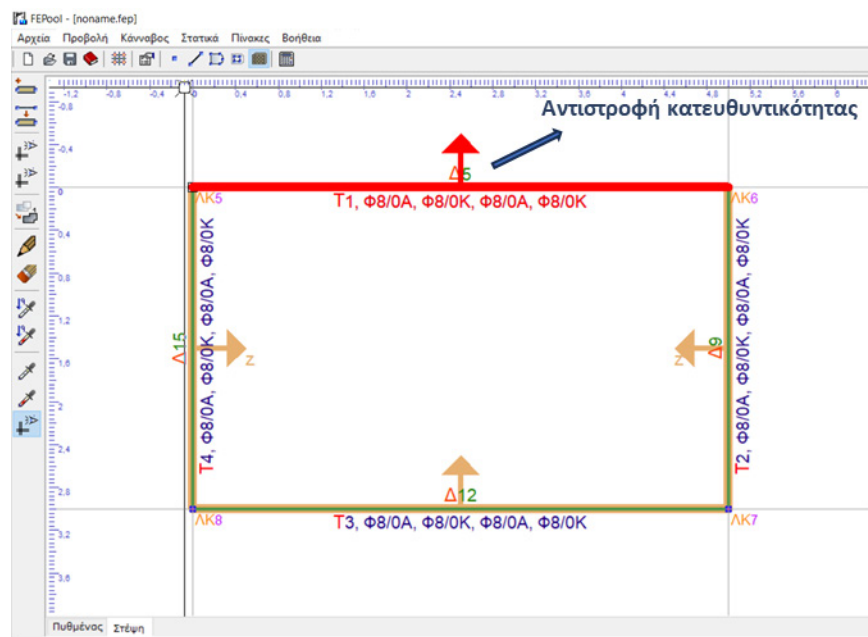
Πάρε / Δώσε φορτία: Μεταφέρονται όλοι οι παράμετροι της κάρτας «Φορτία» από το επιλεγμένο τοίχωμα στην εργαλειοθήκη των τοιχωμάτων και αντίστροφα.



Πάρε / Δώσε παραμέτρους: Μεταφέρονται όλες οι παράμετροι από το επιλεγμένο τοίχωμα στην εργαλειοθήκη των τοιχωμάτων και αντίστροφα.



Αντιστροφή τοπικού συστήματος συντεταγμένων τοιχώματος: Γίνεται αντιστροφή της φοράς της κατευθυντικότητας του τοιχώματος. Η προεπιλεγμένη τιμή έχει κατεύθυνση βέλους προς το εσωτερικό της δεξαμενής. Με τη συγκεκριμένη φορά ορίζεται και η παρουσία των γαιών και του υγρού, εξωτερικά και εσωτερικά της δεξαμενής, αντίστοιχα. Η αντιστροφή της κατευθυντικότητας μπορεί να απαιτηθεί σε περιπτώσεις σύνθετων δεξαμενών, στις οποίες ενδέχεται να υπάρχουν τοιχώματα με διαφορετική διάταξη των επιφορτίσεων.



Εικόνα 3.13: Αντιστροφή κατευθυντικότητας τοιχώματος



Αλληλοτομία επιφανειών: Η εντολή επιτρέπει την αλληλοτομία μεταξύ επιφανειών (πλακών και τοιχωμάτων). Ο χρήστης καλείται να επιλέξει 2 ομάδες επιφανειών. Στη συνέχεια το πρόγραμμα τέμνει τις επιφάνειες της 1^{ης} ομάδας, με τις επιφάνειες της 2^{ης}. Δημιουργούνται οι γραμμές που προκύπτουν από την αλληλοτομία. Σε περίπτωση που οι γραμμές αλληλοτομίας διατρέχουν πλήρως κάποια επιφάνεια, αυτή διαχωρίζεται σε 2 επιφάνειες. Η χρησιμότητα της συγκεκριμένης εντολής αναδεικνύεται και στο τεύχος με τα «παραδείγματα μελέτης κολυμβητικής δεξαμενής».

Παράμετροι του τοιχώματος

Οι παράμετροι του τοιχώματος εισάγονται από το αντίστοιχο παράθυρο παραμέτρων (Εικόνα 3.14).

Εικόνα 3.14: Παράθυρο παραμέτρων τοιχώματος

Γενικά

Πάχος: Εισάγεται το πάχος του τοιχώματος το οποίο είναι σταθερό σε όλο το ύψος του τοιχώματος.

Προτιμητέα διάσταση πεπερασμένων στοιχείων[m]: Εισάγεται η επιθυμητή διάσταση της πλευράς του πεπερασμένου στοιχείου που παράγεται. Η διάσταση αυτή αποτελεί, επί της ουσίας, τη μέγιστη τιμή διάστασης των στοιχείων, καθώς θα παραχθεί πυκνότερο δίκτυο όπου απαιτείται από τη γεωμετρία των επιφανειών.

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

Υλικό

Οι παράμετροι είναι κοινές με αυτές που αναπτύξαμε και στην αντίστοιχη ενότητα στις πλάκες (**Υλικό**). Σημειώνεται ότι με την επιλογή υλικού «Άλλο» μπορούμε να προσομοιώσουμε πισίνες που η μία πλευρά τους αποτελείται από άλλο υλικό, πχ γυαλί, και όχι σκυρόδεμα.

Φορτία

Στα τοιχώματα εφαρμόζονται διαφορετικά **είδη φορτίων**. Τα είδη φορτίων τοιχωμάτων απαριθμούνται στη συνέχεια:

- Τραπεζοειδές κατανεμημένο
- Κατανεμημένο επί του εδάφους
- Έδαφος
- Υγρό
- Συγκεντρωμένο επί του εδάφους

Όνομα δράσης και συντομογραφία (μόνιμα / κινητά / κλπ): Επιλέγεται η δράση επί του τοιχώματος, την οποία θέλουμε να επεξεργαστούμε. Οι κατηγορίες των διαθέσιμων δράσεων παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3.4). Αναλόγως του είδους της δράσης που επιλέγεται, διαφοροποιούνται και τα φορτία, όπως φαίνεται και παρακάτω, και οι παράμετροι που εμφανίζονται αντιστοίχως. Εάν ο χρήστης εισάγει «λοιπή» δράση, χρειάζεται να επιλέξει και είδος φορτίου.

Όνομα δράσης	Συντομογραφία	Είδος φορτίου
Μόνιμα G	G	Τραπεζοειδές κατανεμημένο
Κινητά Q	Q	Τραπεζοειδές κατανεμημένο
Ομοιόμορφη επιφόρτιση γαιών g	g	Κατανεμημένο επί του εδάφους
Ομοιόμορφη επιφόρτιση γαιών q	q	Κατανεμημένο επί του εδάφους
Έδαφος	Ps	Έδαφος
Υγρό	Pw	Υγρό
Βυτιοφόρο	Pφ	Συγκεντρωμένο επί του εδάφους

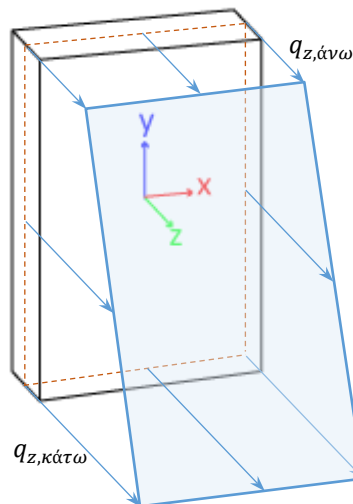
Πίνακας 3.4: Διαθέσιμες δράσεις επί των τοιχωμάτων.**Τραπεζοειδές κατανεμημένο φορτίο**

Κατανεμημένο φορτίο επί των τοιχωμάτων, το οποίο μπορεί να δρα είτε εκτός επιπέδου με τραπεζοειδή μορφή, είτε εντός επιπέδου στη διεύθυνση της βαρύτητας ως ομοιόμορφο φορτίο.

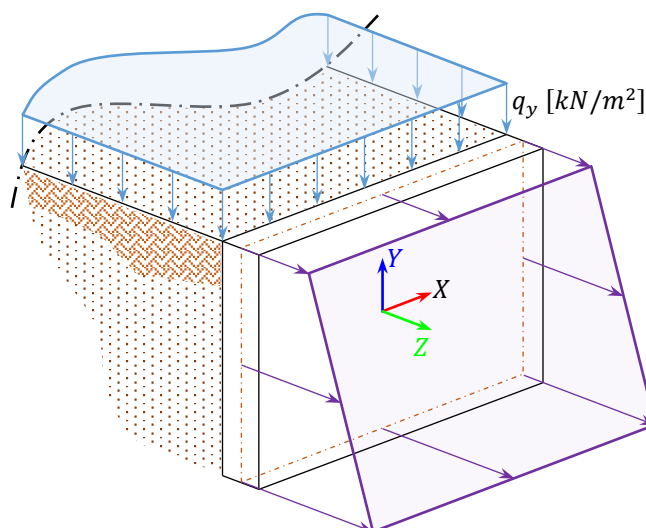
q_z άνω [kN/m^2]: δίνεται η τιμή της εκτός επιπέδου τραπεζοειδούς φόρτισης, στην άνω ίνα του τοιχώματος (**Σχήμα 3.20**).

q_z κάτω [kN/m^2]: δίνεται η τιμή της εκτός επιπέδου τραπεζοειδούς φόρτισης, στην κάτω ίνα του τοιχώματος (**Σχήμα 3.20**).

q_y [kN/m^2]: δίνεται η τιμή της ομοιόμορφης, εντός επιπέδου, φόρτισης κατά τη διεύθυνση του τοπικού y , όπως αυτός έχει περιγραφεί νωρίτερα στο **Σχήμα 1.9**.

**Σχήμα 3.20:** Τραπεζοειδές κατανεμημένο φορτίο επί τοιχώματος**Κατανεμημένο φορτίο (επί του εδάφους)**

Δίνεται το κατανεμημένο φορτίο επί της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους, το οποίο υπεισέρχεται στους συνδυασμούς δράσεων ως αυτόνομη δράση. Θεωρείται ότι ασκείται επί εδαφικής επιφάνειας «απείρου» μήκους και πλάτους και αντιπροσωπεύει τη φόρτιση επιπρόσθετων εδαφικών στρώσεων, σε περιπτώσεις επιχώσεων, ανομοιομορφιών κτλ. Το κατανεμημένο φορτίο επί του εδάφους θα συνυπολογιστεί ως οριζόντια ώθηση επί του τοιχώματος (**Σχήμα 3.21**).



Σχήμα 3.21: Κατανεμημένο φορτίο επί του εδάφους, που επιδρά σε τοίχωμα

Δράση q_y (kN/m^2): δίνεται το κατανεμημένο φορτίο επί του εδάφους ως κατακόρυφη ομοιόμορφη πίεση q_y .

Κατεύθυνση ώθησης γαιών: Δίνεται η κατεύθυνση που φορτίζεται το τοίχωμα, σχετιζόμενη με την κατευθυντικότητα του τοπικού z

- **+z τοιχώματος:** Το φορτίο δρα στην κατεύθυνση του z . Με βάση την αρχικοποίηση των τοιχωμάτων από τις εντολές «Ανέγερση περιμετρικών τοίχων πισίνας από πυθμένα» και «Εισαγωγή περιγράμματος πισίνας στη στέψη», αυτό σημαίνει κατεύθυνση προς το εσωτερικό της δεξαμενής, αφού προς τα εκεί δείχνουν και οι τοπικοί άξονες z των τοιχωμάτων.
- **-z τοιχώματος:** Το φορτίο δρα αντίστροφα από την κατεύθυνση του τοπικού z .
- **καμία:** Μηδενίζεται το φορτίο γαιών για την επιλεγμένη δράση στο συγκεκριμένο τοίχωμα. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να υπάρχει πλευρά της δεξαμενής που δεν είναι εντός εδάφους.

Στη συνέχεια ακολουθούν παράμετροι του εδάφους επί του οποίου επιδρά το κατανεμημένο φορτίο, και οι οποίες υπεισέρχονται στον υπολογισμό της επίδρασης του κατανεμημένου φορτίου επί του τοιχώματος, και συγκεκριμένα: Στάθμη επίχωσης[m], Είδος εδάφους, Ενεργός γωνία διατμητικής αντίστασης $\phi' [^\circ]$, Κλίση πρανούς $\beta [^\circ]$, Λόγος υπερ-στερεοποίησης OCR, Συντ. ωθήσεων ηρεμίας K_0 .

Η σημασία των παραμέτρων έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 3.3 (Οντότητα «κατασκευή») στην ενότητα «Έδαφος & υγρό Έδαφος».

Έδαφος

Εδώ εισάγονται οι παράμετροι που αφορούν τον υπολογισμό των φορτίων της ώθησης γαιών επί του επιλεγμένου τοιχώματος.

Κατεύθυνση ώθησης γαιών: Δίνεται η κατεύθυνση που φορτίζεται το τοίχωμα, σχετιζόμενη με την κατευθυντικότητα του τοπικού z , όπως και στα προηγούμενα είδη φορτίων.

Στη συνέχεια ακολουθούν παράμετροι του εδάφους, και οι οποίες υπεισέρχονται στον υπολογισμό των ωθήσεων γαιών επί του τοιχώματος, και συγκεκριμένα: Υδροφόρος ορίζοντας, Στάθμη επίωσης[m], Είδος εδάφους, Ειδικό βάρος κορεσμένου εδάφους $\gamma_{\text{κορ}}[\text{kN/m}^3]$, Φαινόμενο ειδικό βάρος εδάφους $\gamma_{\text{φ}}[\text{kN/m}^3]$, Ενεργός γωνία διατμητικής αντίστασης $\phi' [^\circ]$, Κλίση πρανούς $\beta [^\circ]$, Λόγος υπερστερεοποίησης OCR, Συντ. ωθήσεων ηρεμίας K_0 .

Η σημασία των παραμέτρων έχει αναλυθεί στο κεφάλαιο 3.3 (Οντότητα «κατασκευή») στην ενότητα «Έδαφος & υγρό>Έδαφος».

Υγρό

Εδώ εισάγονται οι παράμετροι που αφορούν τον υπολογισμό των φορτίων της υδροστατικής πίεσης επί του επιλεγμένου τοιχώματος.

Κατεύθυνση υδροστατικής πίεσης: Δίνεται η κατεύθυνση που φορτίζεται το τοίχωμα, σχετιζόμενη με την κατευθυντικότητα του τοπικού z

- ▶ **-z τοιχώματος:** Το φορτίο δρα αντίστροφα από την κατεύθυνση του z . Με βάση την αρχικοποίηση των τοιχωμάτων από τις εντολές «Ανέγερση περιμετρικών τοίχων πισίνας από πυθμένα» και «Εισαγωγή περιγράμματος πισίνας στη στέψη», αυτό σημαίνει κατεύθυνση προς το εξωτερικό της δεξαμενής, αφού προς τα εκεί δείχνουν και οι τοπικοί άξονες z των τοιχωμάτων.
- ▶ **+z τοιχώματος:** Το φορτίο στην κατεύθυνση του τοπικού z .
- ▶ **καμία:** Μηδενίζεται η υδροστατική πίεση για την επιλεγμένη δράση στο συγκεκριμένο τοίχωμα
- ▶ **και οι 2:** Το τοίχωμα φορτίζεται από στατικές ωθήσεις υγρού και από τις 2 πλευρές του. Διαφοροποιείται από την επιλογή «καμία» στους σεισμικούς συνδυασμούς.

Ειδικό βάρος υγρού $[\text{kN/m}^3]$: Το ειδικό βάρος του υγρού περιεχομένου που φορτίζει το συγκεκριμένο τοίχωμα. Η προκαθορισμένη τιμή αφορά την περίπτωση νερού και είναι ίση με $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$.

Στάθμη νερού δεξαμενής[m]: Η στάθμη του υγρού που φορτίζει το συγκεκριμένο τοίχωμα. Η σημασία της στάθμης έχει εξηγηθεί στο Σχήμα 3.7. Σημειώνεται ότι η παράμετρος δίνεται και ανά επιφανειακό στοιχείο, με σκοπό την προσομοίωση δεξαμενών πολλαπλών τμημάτων.

Συγκεντρωμένο φορτίο (φορηγό/βυτιοφόρο)

Δίνεται συγκεντρωμένο κατακόρυφο φορτίο επί της επιφάνειας του εδάφους το οποίο υπεισέρχεται στους συνδυασμούς δράσεων ως αυτόνομη δράση με τη συντομογραφία (Ρφ). Θεωρείται ότι ασκείται, δυσμενώς, επί της μεσοκαθέτου ευθύγραμμων τοίχων και σε απόσταση που προσδιορίζεται από το μελετητή. Αντιπροσωπεύει τη δράση βυτιοφόρων ανεφοδιασμού και λοιπών κινητών φορτίων τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τη δεξαμενή. Για το λόγο αυτό η δράση θεωρείται τυχνηματική και συμπεριλαμβάνεται στον τυχνηματικό συνδυασμό δράσης του EC0. Το συγκεντρωμένο φορτίο επί του εδάφους θα συνυπολογιστεί ως οριζόντια ώθηση επί του τοιχώματος.

Βάρος [tn]: Δίνεται το συνολικό βάρος του φορτηγού.

Απόσταση εφαρμογής από τον τοίχο: Δίνεται η απόσταση της θέσης του φορτίου από τον τοίχο. Θεωρείται ότι το συγκεντρωμένο φορτίο ασκείται, δυσμενώς, επί της μεσοκαθέτου ευθύγραμμων τοίχων.

Συντ. επαύξ. οριζ. ωθήσεων λ: Επαυξητικός συντελεστής που πολλαπλασιάζει την τιμή των οριζόντιων ωθήσεων επί των τοιχωμάτων λόγω της δράσης συγκεντρωμένων φορτίων (ύπαρξη φορτηγού κλπ):

$$\sigma_h = \lambda \cdot K_o \cdot \sigma_v$$

Λαμβάνει υπόψη την επίδραση φαινομένων όπως η αύξηση των οριζόντιων ωθήσεων γαιών στην περίπτωση δύσκαμπτων τοιχωμάτων (σε σχέση με τη θεώρηση ελαστικού ημιχώρου των λύσεων Boussinesq), καθώς και τυχόν φαινόμενα (ηθελημένης ή μη) δυναμικής συμπίκνωσης επιχώσεων. Ως προτεινόμενη τιμή δίνεται $\lambda=1.5$ [Concrete Basements].

Κατεύθυνση ώθησης γαιών: Δίνεται η κατεύθυνση που φορτίζεται το τοίχωμα, σχετιζόμενη με την κατευθυντικότητα του τοπικού z, όπως και στα προηγούμενα είδη φορτίων.

Στη συνέχεια ακολουθούν παράμετροι του εδάφους, και οι οποίες υπεισέρχονται στον υπολογισμό της επίδρασης του συγκεντρωμένου φορτίου επί του τοιχώματος, και συγκεκριμένα: Στάθμη επίχωσης[m], Είδος εδάφους, Ενεργός γωνία διατμητικής αντίστασης $\phi' [^\circ]$, Κλίση πρανού $\beta [^\circ]$, Λόγος υπερ-στερεοποίησης OCR, Συντ. ωθήσεων ηρεμίας K_o .

Σημείωση: Σε καμπύλους τοίχους (που η γεωμετρία τους ορίζεται από τόξο ή spline στην κάτοψη), λόγω γεωμετρίας, το φορτίο αυτό παραλαμβάνεται από μεμβρανικές δυνάμεις αντί από ροπές, λόγω της λειτουργίας τόξου που αναπτύσσεται. Ως εκ τούτου, στις περιπτώσεις τέτοιων τοίχων, η επίδρασή του είναι πρακτικά αμελητέα, και επομένως αγνοείται στους υπολογισμούς.

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

Οπλισμός

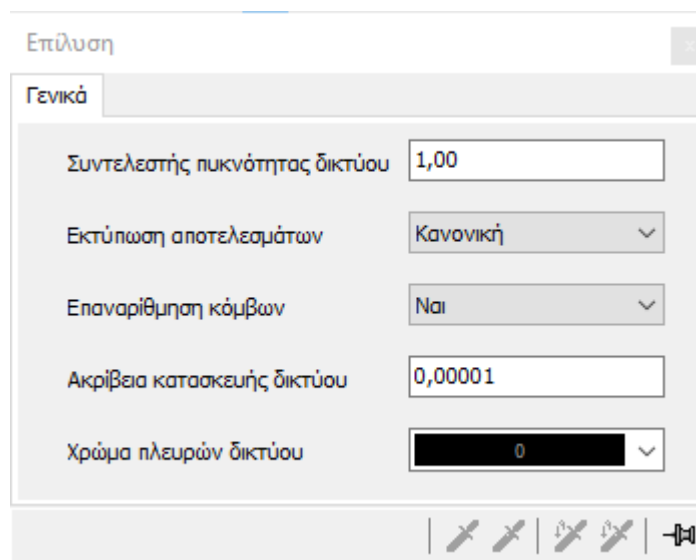
Ποιότητα χάλυβα f_{yk} [MPa]: Καθορίζεται η χαρακτηριστική αντοχή του χάλυβα οπλισμών του τοιχώματος.

Οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν αναλυθεί στο κεφάλαιο 3.3 (οντότητα «Κατασκευή») στην ενότητα **Οπλισμός τοιχωμάτων**.

3.9 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 3.15), η οποία εμφανίζεται με το πάτημα του πλήκτρου .

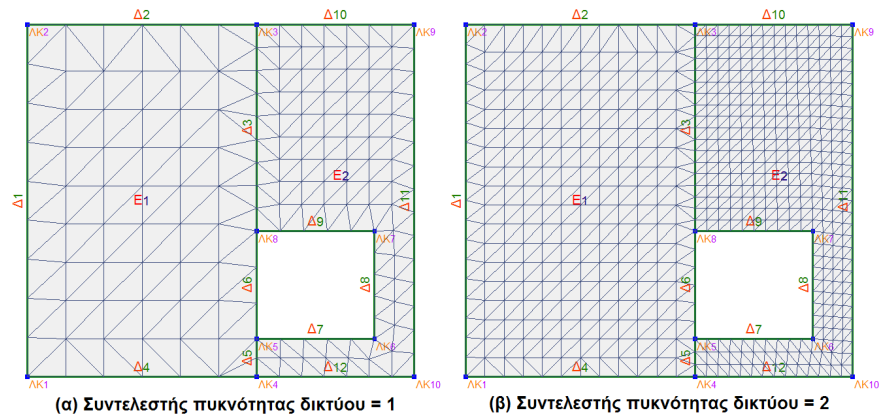


Εικόνα 3.15: Οι παράμετροι της επίλυσης

Γενικά

Συντελεστής πυκνότητας δικτύου: Με την χρήση του συντελεστή αυτού, υπάρχει η δυνατότητα πυκνώσης ή αραίωσης του πλέγματος, χωρίς να επηρεάζονται οι αντίστοιχες παράμετροι των οντοτήτων (πλάκες, 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 3.16**, δείχνεται ένα πλέγμα στοιχείων για συντελεστή πυκνώσης 1 και 2.



Εικόνα 3.16: Πύκνωση του δικτύου με χρήση του συντελεστή πυκνότητας

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

μέσω του πλήκτρου  στην κεντρική εργαλειογραμμή. Κατά την «Κανονική» εκτύπωση τυπώνονται στο τεύχος στοιχεία που αφορούν τα δεδομένα του προβλήματος (γεωμετρία, υλικά), τις δράσεις, τις αντιδράσεις κατά μήκος των γραμμών. 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. Συνιστάται να επιλέγεται πάντα το «Ναι».

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

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

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 πλήκτρον, 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.

Στη συνέχεια, εμφανίζονται ορισμένα ακόμα μηνύματα που αφορούν τους υπολογισμούς που οδηγούν στα αποτελέσματα της όπλισης. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία, επανανεργοποιούνται οι επόμενες εντολές, οι οποίες είναι απενεργοποιημένες κατά τη διάρκεια της επίλυσης.



Διαγράμματα: Με το πλήκτρο αυτό, ανοίγει το παράθυρο των διαγραμμάτων, μέσα από το οποίο προβάλλονται τα αποτελέσματα σε (μετατοπίσεις, εντατικά μεγέθη, εντατικά μεγέθη όπλισμού, απαιτούμενες επιφάνειες όπλισμού κλπ) σε μορφή ισοχρωματικών λωρίδων επί του δικτύου των στοιχείων. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στο κεφάλαιο 4 παρακάτω.

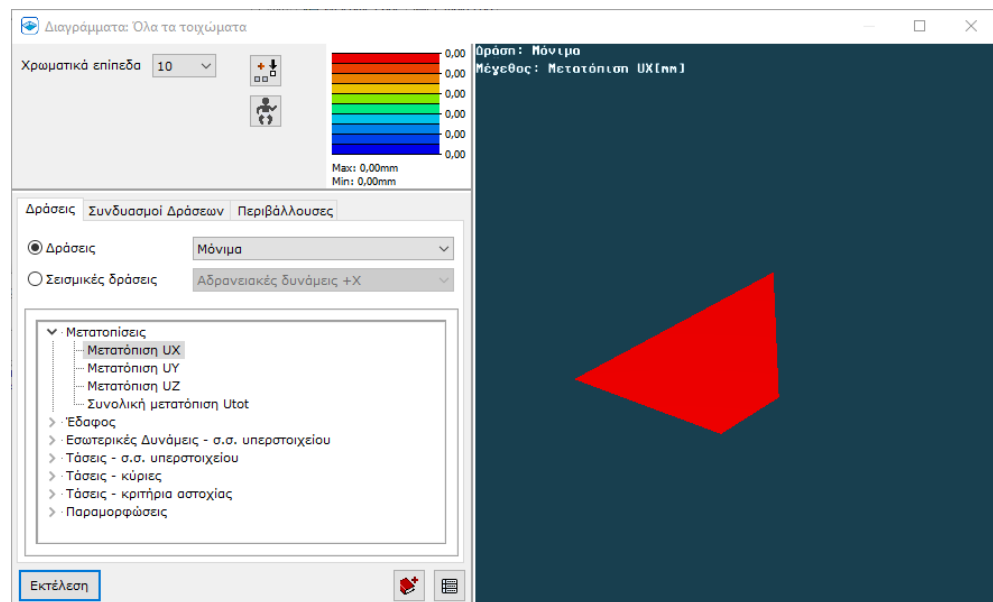


Αρχείο καταγραφής (log): Με το πλήκτρο αυτό, ο χρήστης μπορεί να ανατρέξει στα όσα έχουν καταγραφεί κατά τις φάσεις της επίλυσης στο αρχείο καταγραφής, τόσο από το FESPA.EXE όσο και από άλλες διεργασίες προετοιμασίας της επίλυσης που προηγούνται της κύριας επίλυσης ή επεξεργασίας των τελικών που ακολουθούν την κύρια επίλυση.

4

Αποτελέσματα

Με την εντολή  του μενού των Επιλύσεων ανοίγει το παράθυρο των Διαγραμμάτων (Εικόνα 4.1), μέσω του οποίου τα αποτελέσματα της επίλυσης και της όπλισης απεικονίζονται με την μορφή ισοχρωματικών λωρίδων επί του δικτύου των πεπερασμένων στοιχείων.



Εικόνα 4.1: Το παράθυρο των Διαγραμμάτων

Παράμετροι της εμφάνισης των αποτελεσμάτων

Χρωματικά επίπεδα: Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τον αριθμό των χρωματικών επιπέδων (layers) στα οποία κατανέμονται τα αποτελέσματα.



Επιλογή μεμονωμένου στοιχείου για θέαση: με το συγκεκριμένο πλήκτρο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να δει τα αποτελέσματα σε μία μεμονωμένη επιφάνεια.



Καθάρισμα επιλογής: με το συγκεκριμένο πλήκτρο η επιλογή εκκαθαρίζεται και εμφανίζονται αποτελέσματα για όλες τις επιφάνειες.



Προσθήκη τρέχοντος διαγράμματος στο Τεύχος: με το συγκεκριμένο πλήκτρο το διάγραμμα του τρέχοντος μεγέθους αποτυπώνεται για να εκτυπωθεί στη συνέχεια στο Τεύχος. Μπορούν να προστεθούν διαφορετικές εκδοχές διαγραμμάτων του ίδιου μεγέθους, από διαφορετικές γωνίες λήψης, zoom κλπ.



Επεξεργασία διαγραμμάτων Τεύχους: Εμφανίζεται πίνακας με τα διαγράμματα που έχει επιλέξει ο χρήστης, και έχει τη δυνατότητα να διαγράψει από τη συλλογή εκτύπωσης στο Τεύχος, όσα θεωρεί ότι τελικώς δεν χρειάζεται.

Επιλογές εμφάνισης αποτελεσμάτων

Εντός του παραθύρου αποτελεσμάτων υπάρχει μια σειρά καρτελών στις οποίες εμφανίζονται αποτελέσματα:

- Δράσεις
- Συνδυασμοί Δράσεων
- Περιβάλλοντες

Οι επιλογές αυτές, περιγράφονται παρακάτω:

Δράσεις

Δράσεις:

Εδώ μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα των βασικών δράσεων αλλά και των επιπλέον που έχει εισάγει ο χρήστης, οι οποίες εμφανίζονται στον πίνακα των δράσεων (**Εικόνα 2.3**)

Σεισμικές δράσεις:

Εδώ μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα των σεισμικών δράσεων, οι οποίες εμφανίζονται στον πίνακα των σεισμικών δράσεων (**Εικόνα 2.4**)

Συνδυασμοί Δράσεων

Στατικοί συνδυασμοί ULS:

Εδώ μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα στατικών συνδυασμών δράσεων που λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς έναντι οριακής κατάστασης αστοχίας (**Πίνακας 6.3**)

Στατικοί συνδυασμοί SLS:

Εδώ μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα στατικών συνδυασμών δράσεων που λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς έναντι οριακής κατάστασης λειτουργικότητας.(

Συνδυασμοί δράσεων							
A/A	Όνομα	Εξίσωση	Τύπος	Έλεγχος ρηγμάτωσης	Έλεγχος τάσεων σκυροδέματος & χάλυβα	Ερπυσμός	(στήλες συντελεστών δράσεων ...)
1	SLS, Οιονεί- μόνιμος συνδ., (EC0, εξ.6.16b) , με ερπυσμό	$G+g + Ps$ + $\psi_{2,w} \cdot P_w$ + $\psi_{2,Q} \cdot (Q+q)$	Οιονεί μόνιμος	Όχι	Όχι	Ναι	...
2	SLS, Οιονεί- μόνιμος συνδ., (EC0, εξ.6.16b) , P_w : ευμενές, με ερπυσμό	$G+g + Ps$ + $\psi_{2,Q} \cdot (Q+q)$	Οιονεί μόνιμος	Όχι	Όχι	Ναι	...
3	SLS, Οιονεί- μόνιμος συνδ., (EC0, εξ.6.16b) , χωρίς ερπυσμό	$G+g + Ps$ + $\psi_{2,w} \cdot P_w$ + $\psi_{2,Q} \cdot (Q+q)$	Οιονεί μόνιμος	Ναι	Ναι	Όχι	...
4	SLS, Οιονεί- μόνιμος συνδ., (EC0, εξ.6.16b) , P_w :	$G+g + Ps$ + $\psi_{2,Q} \cdot (Q+q)$	Οιονεί μόνιμος	Ναι	Ναι	Όχι	...

	ευμενές, χωρίς ερπυσμό						
5	SLS, Χαρακτη ριστικός συνδ., (EC0, εξ. 6.14)	$G+g + Ps$ + $P_w +$ $\psi\theta, Q \cdot (Q +$ $q)$	Χαρακτη ριστικός	Όχι	Ναι	Όχι	...
6	SLS, Χαρακτη ριστικός συνδ., (EC0, εξ. 6.14), P_w : ευμενές	$G+g + Ps$ + $\psi\theta, Q \cdot (Q +$ $q)$	Χαρακτη ριστικός	Όχι	Ναι	Όχι	

Πίνακας 6.4)**Σεισμικοί συνδυασμοί:**

Εδώ μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα σεισμικών συνδυασμών δράσεων.
(Πίνακας 6.5, Πίνακας 6.6)

Περιβάλλουσες**Γενική (ULS, ΣΣ, SLS):**

Εδώ μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα που τελικώς λαμβάνονται υπόψη από την περιβάλλουσα των αποτελεσμάτων των συνδυασμών δράσεων, στους υπολογισμούς της όπλισης των επιφανειακών στοιχείων.

ULS, ΣΣ:

Σε αυτή την περιβάλλουσα δεν λαμβάνονται υπόψη οι συνδυασμοί δράσεων για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS).

4.1 Δράσεις

Με την επιλογή του συγκεκριμένου υπομενού παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης με χρωματική διαβάθμιση. Παρέχονται τα ακόλουθα αποτελέσματα τόσο για τις στατικές, όσο και για τις σεισμικές:

Μετατοπίσεις

Μετατόπιση UX	Κομβικές μετατοπίσεις δX κατά τον καθολικό άξονα X
Μετατόπιση UY	Κομβικές μετατοπίσεις δY κατά τον καθολικό άξονα Y
Μετατόπιση UZ	Κομβικές μετατοπίσεις δZ κατά τον καθολικό άξονα Z
Συνολική μετατόπιση U _{tot}	Η τιμή της συνολικής διανυσματικής μετατόπισης

Έδαφος

Τάσεις Εδάφους	Εμφανίζει την τάση εδάφους: $\sigma_{soil} = K_s \cdot \delta Y$
----------------	--

Εσωτερικές δυνάμεις – σ.σ. υπερστοιχείου

Καμπτική ροπή m _x ανά μονάδα μήκους	Καμπτική ροπή η οποία δημιουργεί ορθές τάσεις στην τοπική διεύθυνση X της επιφάνειας: $m_x = - \left(\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_x z dz \right)$ (* παρουσιάζεται στα διαγράμματα με αντίθετο πρόσημο, ώστε στο άνοιγμα μιας αμφιέριστης πλάκας, της οποίας ο τοπικός άξονας z έχει διεύθυνση αντίθετη της επιταχύνσεως βαρύτητας, οι καμπτικές ροπές να είναι θετικές)
Καμπτική ροπή m _y ανά μονάδα μήκους	Καμπτική ροπή η οποία δημιουργεί ορθές τάσεις στην τοπική διεύθυνση Y της επιφάνειας: $m_y = - \left(\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_y z dz \right)$ (* παρουσιάζεται στα διαγράμματα με αντίθετο πρόσημο, ώστε στο άνοιγμα μιας αμφιέριστης πλάκας, της οποίας ο τοπικός άξονας z έχει διεύθυνση αντίθετη της επιταχύνσεως βαρύτητας, οι καμπτικές ροπές να είναι θετικές)
Ροπή συστροφής m _{xy} ανά μονάδα μήκους	Στρεπτική ροπή η οποία δημιουργεί διατμητικές τάσεις στο επίπεδο XY της επιφάνειας: $m_{xy} = - \left(\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{xy} z dz \right)$ (* παρουσιάζεται στα διαγράμματα με αντίθετο πρόσημο κατά αντιστοιχία με τις καμπτικές ροπές)

Εγκάρσια τέμνουσα δύναμη q_x ανά μονάδα μήκους	Εγκάρσια διατμητική δύναμη η οποία δημιουργεί εγκάρσιες διατμητικές τάσεις στο επίπεδο XZ της επιφάνειας: $q_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{xz} dz$
Εγκάρσια τέμνουσα δύναμη q_y ανά μονάδα μήκους	Εγκάρσια διατμητική δύναμη η οποία δημιουργεί εγκάρσιες διατμητικές τάσεις στο επίπεδο ZY της πλάκας: $q_y = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{yz} dz$
Αξονική δύναμη n_x ανά μονάδα μήκους	$n_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{xx} dz$
Αξονική δύναμη n_y ανά μονάδα μήκους	$n_y = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{yy} dz$
Διατμητική μεμβρανική δύναμη n_{xy} (εντός επιπέδου) ανά μονάδα μήκους	$n_{xy} = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_{xy} dz$

Τάσεις – σ.σ. υπερστοιχείου

Τάση σ_{x+}	Ορθή τάση στην θετική ίνα της επιφάνειας κατά την τοπική διεύθυνση X : $\sigma_{x+} = \frac{6M_{xx}}{h^2}$
Τάση σ_{y+}	Ορθή τάση στην θετική ίνα της επιφάνειας κατά την τοπική διεύθυνση Y : $\sigma_{y+} = \frac{6M_{yy}}{h^2}$
Τάση σ_{xy+}	Διατμητική τάση στην θετική ίνα της επιφάνειας στο επίπεδο XY : $\sigma_{xy+} = \frac{6M_{xy}}{h^2}$
Τάση σ_{x-}	Ορθή τάση στην αρνητική ίνα της επιφάνειας κατά την τοπική διεύθυνση X : $\sigma_{x-} = -\frac{6M_{xx}}{h^2}$

Τάση σ_y -	Ορθή τάση στην αρνητική ίνα της επιφάνειας κατά την τοπική διεύθυνση Y: $\sigma_{y-} = -\frac{6M_{yy}}{h^2}$
Τάση σ_{xy} - (άνω)	Διατμητική τάση στην αρνητική ίνα της επιφάνειας στο επίπεδο XY: $\sigma_{xz-(\acute{\alpha}\nu\omega)} = -\frac{6M_{xz}}{h^2}$

Τάσεις – κύριες

Κύρια Τάση σ_{1+}	Κύρια ορθή τάση (μέγιστη) στην θετική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{1+} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{xx+} + \sigma_{yy+} + \sqrt{(\sigma_{xx+} - \sigma_{yy+})^2 + 4\tau_{xy+}^2} \right)$
Κύρια Τάση σ_{2+}	Κύρια ορθή τάση (ελάχιστη) στην θετική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{2+} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{xx+} + \sigma_{yy+} - \sqrt{(\sigma_{xx+} - \sigma_{yy+})^2 + 4\tau_{xy+}^2} \right)$
Κύρια Τάση σ_{1-}	Κύρια ορθή τάση (μέγιστη) στην αρνητική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{1-} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{xx-} + \sigma_{yy-} + \sqrt{(\sigma_{xx-} - \sigma_{yy-})^2 + 4\tau_{xy-}^2} \right)$
Κύρια τάση σ_{2-}	Κύρια ορθή τάση (ελάχιστη) στην αρνητική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{2-} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{xx-} + \sigma_{yy-} - \sqrt{(\sigma_{xx-} - \sigma_{yy-})^2 + 4\tau_{xy-}^2} \right)$

Τάσεις – κριτήρια αστοχίας

Mises σ_{E+}	Ισοδύναμη τάση Von Mises στην θετική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{Mises+} = \sqrt{\sigma_{xx+}^2 + \sigma_{yy+}^2 - \sigma_{xx+}\sigma_{yy+} + 3\tau_{xy+}^2}$
Mises σ_{E-}	Ισοδύναμη τάση Von Mises στην αρνητική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{Mises-} = \sqrt{\sigma_{xx-}^2 + \sigma_{yy-}^2 - \sigma_{xx-}\sigma_{yy-} + 3\tau_{xy-}^2}$
Mises $\sigma_{E\max}$	Μέγιστη ισοδύναμη τάση Von Mises: $\max(\sigma_{Mises+}, \sigma_{Mises-})$
Tresca σ_{T+}	Ισοδύναμη τάση Tresca στην θετική ίνα της επιφάνειας:

	$\sigma_{Tresca+} = \sigma_{1+} - \sigma_{2+}$
Tresca $\sigma T-$	Ισοδύναμη τάση Tresca στην αρνητική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{Tresca-} = \sigma_{1-} - \sigma_{2-}$
Tresca $\sigma Tmax$	Μέγιστη ισοδύναμη τάση Tresca: $\max(\sigma_{Tresca+}, \sigma_{Tresca-})$
Rankine $\sigma R+$	Ισοδύναμη τάση Rankine στην θετική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{Rankine+} = \max(\sigma_{1+} , \sigma_{2+})$
Rankine $\sigma R-$	Ισοδύναμη τάση Rankine στην αρνητική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{Rankine-} = \max(\sigma_{1-} , \sigma_{2-})$
Rankine $\sigma Rmax$	Μέγιστη ισοδύναμη τάση Rankine: $\max(\sigma_{Rankine+}, \sigma_{Rankine-})$
Bach $\sigma B+$	Ισοδύναμη τάση Bach στην θετική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{Bach+} = \max(\sigma_{1+} - \mu\sigma_{2+} , \sigma_{2+} - \mu\sigma_{1+})$ Όπου μ ο λόγος poisson
Bach $\sigma B-$	Ισοδύναμη τάση Bach στην αρνητική ίνα της επιφάνειας: $\sigma_{Bach-} = \max(\sigma_{1-} - \mu\sigma_{2-} , \sigma_{2-} - \mu\sigma_{1-})$
Bach $\sigma Bmax$	Μέγιστη ισοδύναμη τάση Bach: $\max(\sigma_{Bach+}, \sigma_{Bach-})$

Παραμορφώσεις

ϵ_x	Διαμήκης παραμόρφωση στη μέση ίνα της επιφάνειας κατά την τοπική διεύθυνση x: $\epsilon_x = du/dx$
ϵ_y	Διαμήκης παραμόρφωση στη μέση ίνα της επιφάνειας κατά την τοπική διεύθυνση y: $\epsilon_y = dv/dy$
γ_{xy}	Εγκάρσια παραμόρφωση στη μέση ίνα της επιφάνειας: $\gamma_{xy} = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx}$
ϵ_{x+}	Διαμήκης παραμόρφωση στη θετική ίνα της επιφάνειας κατά την τοπική διεύθυνση x: $\epsilon_{x+} = \frac{du}{dx} + \frac{d\phi_y}{dx}$
ϵ_{y+}	Διαμήκης παραμόρφωση στη θετική ίνα της επιφάνειας κατά την τοπική διεύθυνση y:

	$\varepsilon_{y+} = \frac{dv}{dy} - \frac{d\phi x}{dy}$
γ_{xy+}	Εγκάρσια παραμόρφωση στη θετική ίνα της επιφάνειας: $\gamma_{xy+} = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} + \frac{d\phi y}{dy} - \frac{d\phi x}{dx}$
ε_{x-}	Διαμήκης παραμόρφωση στην αρνητική ίνα της επιφάνειας κατά την τοπική διεύθυνση x: $\varepsilon_{x-} = \frac{du}{dx} - \frac{d\phi y}{dx}$
ε_{y-}	Διαμήκης παραμόρφωση στην αρνητική ίνα της επιφάνειας κατά την τοπική διεύθυνση y: $\varepsilon_{y-} = \frac{dv}{dy} + \frac{d\phi x}{dy}$
γ_{xy-}	Εγκάρσια παραμόρφωση στη μέση ίνα της επιφάνειας: $\gamma_{xy-} = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} - \frac{d\phi y}{dy} + \frac{d\phi x}{dx}$

4.2 Συνδυασμοί δράσεων

Με την επιλογή του συγκεκριμένου υπομενού παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας σειράς μεγεθών για τους στατικούς συνδυασμούς δράσεων ULS και SLS, και τους σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων. Επειδή υπάρχουν ορισμένες διαφοροποιήσεις, θα παρουσιάζονται παράλληλα, επισημαίνοντας σε παρένθεση σε ποια είδη συνδυασμών δράσεων εμφανίζεται η αντίστοιχη ομάδα αποτελεσμάτων.

Αρχικά έχουμε τις ομάδες αποτελεσμάτων που έχουν αναλυθεί στην προηγούμενη παράγραφο (4.1), και είναι κοινά.

- Μετατοπίσεις
- Έδαφος
- Εσωτερικές δυνάμεις – σ.σ. υπερστοιχείου
- Τάσεις – σ.σ. υπερστοιχείου
- Τάσεις – κύριες
- Τάσεις – κριτήρια αστοχίας
- Παραμορφώσεις

Στη συνέχεια έχουμε:

Μεγέθη διαστασιολόγησης οπλισμού (για όλους τους σ.δ.)

$n1+$	Μεμβρανική δύναμη κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην θετική ίνα της επιφάνειας
$n2+$	Μεμβρανική δύναμη κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην θετική ίνα της επιφάνειας
$n1-$	Μεμβρανική δύναμη κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην αρνητική ίνα της επιφάνειας
$n2-$	Μεμβρανική δύναμη κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην αρνητική ίνα της επιφάνειας
q_{max}	Εγκάρσια συνισταμένη τέμνουσα δύναμη ανά μονάδα μήκους $q_{max} = \sqrt{q_x^2 + q_y^2}$

Οπλισμοί – απαιτούμενο A_s (σ.δ. ULS – σεισμικοί) / Οπλισμοί – A_s ελέγχου τάσεων SLS (σ.δ. SLS)

A_{s1+z}	Απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην θετική ίνα της επιφάνειας
A_{s2+z}	Απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην θετική ίνα της επιφάνειας
A_{s1-z}	Απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην αρνητική ίνα της επιφάνειας
A_{s2-z}	Απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην αρνητική ίνα της επιφάνειας
A_{sw}	Απαιτούμενη επιφάνεια οπλισμού διάτμησης ανηγμένη σε 1 m^2 επιφάνειας

Οπλισμοί – διάτμησης (σ.δ. ULS – σεισμικοί)

V_{rdmax}	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.
V_{Rdc}	Η διατμητική αντοχή της πλάκας χωρίς οπλισμό διάτμησης, λαμβάνοντας υπόψη και τον οπλισμό κάμψης. Βλ. EC2-1-1 §6.2.2.

θ	Η γωνία θ του λοξού θλιπτήρα, η οποία υπολογίζεται κατά τη διαστασιολόγηση έναντι τέμνουσας. $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$
----------	--

Τάσεις χάλυβα SLS (σ.δ. SLS)

$sl+$	Τάση χάλυβα οπλισμού κατά την διεύθυνση 1, στην θετική παρειά της επιφάνειας
$sl2+$	Τάση χάλυβα οπλισμού κατά την διεύθυνση 2, στην θετική παρειά της επιφάνειας
$sl-$	Τάση χάλυβα οπλισμού κατά την διεύθυνση 1, στην αρνητική παρειά της επιφάνειας
$sl2-$	Τάση χάλυβα οπλισμού κατά την διεύθυνση 2, στην αρνητική παρειά της επιφάνειας

Τάσεις σκυροδέματος SLS (σ.δ. SLS)

$sc1+$	Τάση σκυροδέματος κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην θετική παρειά της επιφάνειας
$sc2+$	Τάση σκυροδέματος κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην θετική παρειά της επιφάνειας
$sc1-$	Τάση σκυροδέματος κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην αρνητική παρειά της επιφάνειας
$sc2-$	Τάση σκυροδέματος κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην αρνητική παρειά της επιφάνειας

Εύρος ρωγμής για SLS (σ.δ. SLS)

$w1+$	Πλάτος ρωγμής κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην θετική παρειά της επιφάνειας
$w2+$	Πλάτος ρωγμής κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην θετική παρειά της επιφάνειας
$w1-$	Πλάτος ρωγμής κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην αρνητική παρειά της επιφάνειας
$w2-$	Πλάτος ρωγμής κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην αρνητική παρειά της επιφάνειας

4.3 Περιβάλλουσες

Με την επιλογή του συγκεκριμένου υπομενού παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας σειράς μεγεθών για δύο περιβάλλουσες, τη γενική -που περιλαμβάνει τα αποτελέσματα όλων των συνδυασμών δράσεων- και μια δεύτερη -στην οποία δεν λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα των συνδυασμών δράσης που αφορούν την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (SLS). Επειδή υπάρχουν ορισμένες διαφοροποιήσεις, θα παρουσιάζονται παράλληλα, επισημαίνοντας σε παρένθεση σε ποια περιβάλλουσα εμφανίζεται η αντίστοιχη ομάδα αποτελεσμάτων.

Αρχικά έχουμε τις ομάδες αποτελεσμάτων που έχουν αναλυθεί στην παράγραφο (4.1) για τις δράσεις. Η φυσική σημασία των μεγεθών είναι η ίδια, απλώς εμφανίζονται τιμές *min* και *max*, αναλόγως της επιλογής του χρήστη.

- Μετατοπίσεις
- Έδαφος
- Εσωτερικές δυνάμεις – σ.σ. υπερστοιχείου
- Τάσεις – σ.σ. υπερστοιχείου
- Τάσεις – κύριες
- Τάσεις – κριτήρια αστοχίας: εδώ, σε αντίθεση με την καρτέλα των δράσεων, εμφανίζονται μόνο μέγιστες τιμές (*max*)
- Παραμορφώσεις: εδώ εμφανίζονται μόνο μέγιστες τιμές (*max*)

Στη συνέχεια έχουμε τις ομάδες αποτελεσμάτων που αφορούν τους οπλισμούς, και έχουν αναλυθεί στην παράγραφο (4.2) για τους συνδυασμούς δράσης.

- Μεγέθη διαστασιολόγησης οπλισμού: εδώ εμφανίζονται μέγιστες (*MAX*) και ελάχιστες τιμές (*MIN*)
- Οπλισμοί – απαιτούμενο *As*: εδώ εμφανίζονται μόνο μέγιστες (*MAX*) τιμές. Στη γενική περιβάλλουσα, που περιλαμβάνει και τα αποτελέσματα της SLS, σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα δεν λαμβάνουν υπόψη την απαίτηση λόγω ρηγματώσης.
- Οπλισμοί – τοποθετούμενο *As*: εδώ εμφανίζεται το εμβαδόν του οπλισμού που τοποθετείται σε κάθε επιφάνεια.
- Οπλισμοί – διάτμησης: εδώ εμφανίζονται μόνο μέγιστες (*MAX*) τιμές
- Τάσεις χάλυβα SLS: εδώ εμφανίζονται μόνο μέγιστες (*MAX*) τιμές
- Τάσεις σκυροδέματος SLS: εδώ εμφανίζονται μόνο μέγιστες (*MAX*) τιμές
- Εύρος ρωγμής για SLS: εδώ εμφανίζονται μόνο μέγιστες (*MAX*) τιμές

Τέλος, υπάρχουν μια ομάδα αποτελεσμάτων που δεν εμφανίζονταν στις προηγούμενες καρτέλες για τις Δράσεις (4.1) και τους Συνδυασμούς Δράσεων (4.2)

Οπλισμοί – τοποθετούμενο As (Γενική)

Τοποθετούμενο $As1+z$	Τοποθετούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην θετική ίνα της επιφάνειας
Τοποθετούμενο $As2+z$	Τοποθετούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην θετική ίνα της επιφάνειας
Τοποθετούμενο $As1-z$	Τοποθετούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 1, στην αρνητική ίνα της επιφάνειας
Τοποθετούμενο $As2-z$	Τοποθετούμενη επιφάνεια οπλισμού κατά την διεύθυνση οπλισμού 2, στην αρνητική ίνα της επιφάνειας
Τοποθετούμενο Asw	Τοποθετούμενη επιφάνεια οπλισμού διάτμησης ανηγμένη σε 1 m^2 επιφάνειας

5

Θεωρητικά στοιχεία

5.1 Μεθοδολογία ανάλυσης δεξαμενών υπό σεισμική φόρτιση

Η προσομοίωση της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ του υγρού της δεξαμενής, των τοιχωμάτων της και του περιβάλλοντος εδάφους είναι ένα σύνθετο φαινόμενο για το οποίο έχουν προταθεί πολλές λύσεις στη βιβλιογραφία. Το πρόγραμμα *FePool* δίνει τη δυνατότητα στο μελετητή να πραγματοποιήσει μια ολοκληρωμένη ανάλυση και σχεδιασμό δεξαμενών συνυπολογίζοντας όλες τις παραμέτρους του προβλήματος:

- Τις σεισμικές δυνάμεις που ασκούνται επί της δεξαμενής που περιλαμβάνουν:
 - i. Τις υδροδυναμικές πιέσεις του περιεχόμενου υγρού της δεξαμενής επί των τοιχωμάτων
 - ii. Τις σεισμικές ωθήσεις γαιών επί των τοιχωμάτων
 - iii. Τις αδρανειακές δυνάμεις των τοιχωμάτων
- Την επιφόρτιση των τοιχωμάτων λόγω επιχώσεων, καθώς και τις λοιπές στατικές δράσεις επί των τοιχωμάτων και του πυθμένα.
- Τον κατάλληλο πιθανοτικό συνδυασμό όλων των δράσεων για τον τελικό σχεδιασμό και την όπλιση της δεξαμενής.
- Την αυτόματη παραγωγή των συνδυασμών δράσεων (στατικών, σεισμικών και για ελέγχους λειτουργικότητας) με την αντίστοιχη επιλογή των επιμέρους συντελεστών δράσεων γ (υγρού, γαιών, μόνιμων δράσεων κτλ.).

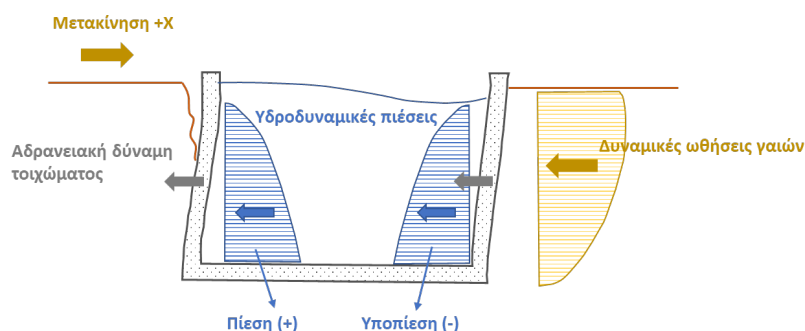
Η κατάλληλη επιλογή μεθοδολογίας για την ανάλυση του προβλήματος, σύμφωνα με τους σύγχρονους κανονισμούς (EN1998-4), εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις παραμέτρους του σχεδιασμού, όπως η σχετική δυσκαμψία μεταξύ τοιχωμάτων και υγρού, ο λόγος ύψους προς πλάτος της δεξαμενής, η τοποθέτηση της δεξαμενής (ανυψωμένης ή επί του εδάφους), οι συνθήκες – πιθανής – αγκύρωσης κτλ.

Στις επόμενες ενότητες θα εξεταστεί το θεωρητικό υπόβαθρο για τη σεισμική ανάλυση των δεξαμενών και θα δοθεί έμφαση στις ιδιαιτερότητες, τα κρίσιμα σημεία και τα όρια των χρησιμοποιούμενων μεθοδολογιών.

5.2 Σεισμικές δράσεις επί των τοιχωμάτων

Ο EN1998-4 [§2.3.1(5)] υιοθετεί ως μέθοδο σεισμικής ανάλυσης στην περίπτωση των δύσκαμπτων κατασκευών τη μέθοδο της οριζόντιας φόρτισης, δεδομένου ότι οι συγκεκριμένοι φορείς «δεν επηρεάζονται σημαντικά από τις συμβολές ταλάντωσης υψηλότερων από τη θεμελιώδη ιδιομορφή» (EN1998-1, § 4.3.3.2). Σε κάθε σεισμική διεύθυνση (X , Z) και για τις δύο φορές του σεισμού (+/-) υπολογίζονται οι σεισμικές δράσεις που ασκούνται επί των κατακόρυφων τοιχωμάτων. Στο **Σχήμα 5.1** παρουσιάζονται οι σεισμικές δυνάμεις μιας δεξαμενής που υπόκειται σε σεισμική διέγερση.

Αδρανειακές δυνάμεις επί της δεξαμενής



Σχήμα 5.1: Αδρανειακές δυνάμεις που ασκούνται επί των κατακόρυφων τοιχωμάτων της δεξαμενής για μετακίνηση $+X$ (παράγονται σεισμικές δυνάμεις ισοδύναμης στατικής ανάλυσης για την διεύθυνση $-X$).

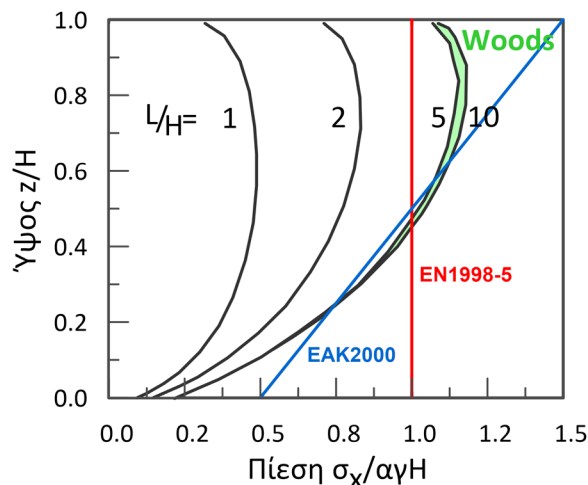
5.2.1 Σεισμικές ωθήσεις γαιών $P_{E,s}$

Η κινηματική αλληλεπίδραση μεταξύ εδάφους και κατασκευής οδηγεί στη φόρτιση της κατασκευής από το περιβάλλον έδαφος λόγω της παρεμβολής των δύσκαμπτων κατασκευαστικών στοιχείων στην κατακόρυφη διάδοση των σεισμικών διατμητικών κυμάτων προς την επιφάνεια του εδάφους.

Στην περίπτωση των δύσκαμπτων ή ακλόνητων κατασκευών, όπως οι δεξαμενές, οι σεισμικές τους μετακινήσεις είναι αρκετά μικρές με αποτέλεσμα να μην

δημιουργείται πρίσμα διατμητικής αστοχίας και, ως εκ τούτου, οι λύσεις Mononobe-Okabe που βασίζονται στις ενεργητικές και παθητικές οριακές καταστάσεις να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Οι λύσεις που προτείνονται στη βιβλιογραφία (Wood, 1973) και υιοθετούνται από τους κανονισμούς (EN1998, EAK2000) βασίζονται στην προσομοίωση της σεισμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ του δύσκαμπτου τοίχου και του ελαστικού ομοιογενούς εδάφους, ως συνεχές μέσο. Όπως θα εξεταστεί και στη συνέχεια, οι σεισμικές εδαφικές επιφορτίσεις στην περίπτωση των δεξαμενών προκύπτουν αρκετά μεγαλύτερες από την περίπτωση της ενεργητικής ώθησης κατά Mononobe-Okabe, ενώ η καθ' ύψος κατανομή τους είναι παραβολικής μορφής και όχι τριγωνικής. Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζεται η καθ' ύψος κατανομή των σεισμικών ωθήσεων:

- i) με τη μεθοδολογία Wood (1973),
- ii) σύμφωνα με τους κανονισμούς EN1997-1 & EAK2000
- iii) και η σύγκριση με τις ωθήσεις Mononobe-Okabe για εύκαμπτους τοίχους



Σχήμα 5.2: Σεισμικές ωθήσεις γαιών επί ακλόνητων τοίχων. Βιβλιογραφικές λύσεις (Woods, 1973) για διαφορετικούς λόγους μήκος προς ύψους δεξαμενής (L/H) και προτεινόμενες λύσεις από τους κανονισμούς (EN1998-5, EAK2000).

► Υλοποίηση στο FePool

Στο πρόγραμμα FePool υλοποιείται τη μεθοδολογία του EN1997-1, θεωρούμε, δηλαδή, ορθογωνική φόρτιση με ομοιόμορφη τιμή:

$$\sigma_h = \alpha \cdot \gamma \cdot H \cdot \sin\varphi$$

όπου,

- α : η τιμή του συντελεστή εδαφικής επιτάχυνσης (EK1998-5):

$$\alpha = \gamma_I \cdot S \cdot a_g / g$$

γ_I : συντελεστής σπουδαιότητας κατασκευής

S : συντελεστής εδάφους

- γ : το ειδικό βάρος του εδάφους. Στην περίπτωση ύπαρξης υδροφόρου ορίζοντα $\gamma = \gamma_{\text{κορ}}$, διαφορετικά $\gamma = \gamma_{\text{φ}}$.
- H : το συνολικό ύψος του επιχώματος από τη βάση του τοίχου. Στην περίπτωση κεκλιμένων πυθμένων το H μεταβάλλεται κατά μήκος του τοίχου.
- φ η γωνία μεταξύ του τοίχου και της σεισμικής διεύθυνσης $\pm X$, $\pm Z$.

5.2.2 Υδροδυναμικές πιέσεις

Η δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ του κινούμενου υγρού της δεξαμενής και των τοιχωμάτων της έχει αντιμετωπιστεί στη βιβλιογραφία με ποικίλες αναλυτικές μεθοδολογίες. Στην περίπτωση φραγμάτων, δεξαμενών, θυρών υπερχειλιστή και εν γένει συμπαγών κατασκευών, οι οποίες θεωρούνται αρκετά δύσκαμπτες σε σχέση με την περίοδο της σεισμικής διέγερσης, η πλέον χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία για τον υπολογισμό των υδροδυναμικών πιέσεων έχει αναπτυχθεί από τον Westergaard (1931).

► Υλοποίηση στο FePool

Οι υδροδυναμικές πιέσεις επί των κατακόρυφων τοιχωμάτων κατανέμονται καθ' ύψος σύμφωνα με την εξίσωση:

$$p_{wd}(z) = \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{H \cdot z}$$

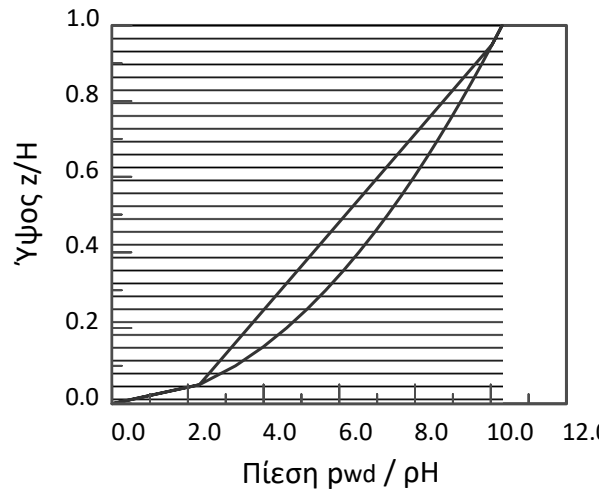
όπου

$k_h = a$: η τιμή του συντελεστή εδαφικής επιτάχυνσης (EK1998-5), όπως στην περίπτωση των σεισμικών ωθήσεων γαιών

H : είναι το βάθος του τοίχου κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού

z : το βάθος του εξεταζόμενου σημείου

Η υδροδυναμική πίεση ασκείται κάθετα στην επιφάνεια του τοιχώματος, επομένως, υπολογίζονται τέσσερις καθ' ύψος κατανομές υδροδυναμικών, δηλαδή μία για κάθε κατεύθυνση σεισμού ($\pm X$, $\pm Z$). Στην περίπτωση που η διεύθυνση του σεισμού βρίσκεται υπό γωνία με την επιφάνεια του τοιχώματος, η υδροδυναμική πίεση αναλύεται σε κάθετη και παράλληλη προς το τοίχωμα, με την τελευταία να δρα εντός επιπέδου και να αγνοείται.



Σχήμα 5.3: Υδροδυναμικές πιέσεις επί κατακόρυφων επιφανειών βάσει της αναλυτικής λύσης Westergaard (1931).

5.2.3 Αδρανειακές δυνάμεις τοιχωμάτων $P_{E,i}$

Οι αδρανειακές δυνάμεις των τοιχωμάτων που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια του σεισμού θεωρούνται σημαντικές, σύμφωνα με τους σύγχρονους κανονισμούς (EN1998-4), στην περίπτωση των δεξαμενών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς θεωρώντας ότι ασκούνται προς την κατεύθυνση του σεισμού με μέγεθος, σύμφωνα με τη σχέση (EN1998-4, §A.2.1.5):

$$p_{E,i} = \rho_s \cdot t \cdot a$$

όπου

a όπως στην περίπτωση των σεισμικών ωθήσεων γαιών

ρ_s η πυκνότητα του σκυροδέματος

t το πάχος του τοίχου

Η συνολική σεισμική δύναμη της δεξαμενής λόγω αδρανειακών δυνάμεων προκύπτει από τα οιονεί μόνιμα φορτία $G + \psi_2 Q$, τα οποία πολλαπλασιάζονται με το συντελεστή εδαφικής επιτάχυνσης a :

$$P_{E,i} = (G + \psi_2 Q) \cdot a$$

5.2.4 Βασικές υποθέσεις μεθοδολογίας

Ο υπολογισμός των υδροδυναμικών πιέσεων σε δύσκαμπτα, κατακόρυφα στοιχεία σκυροδέματος βασίζεται στις αναλυτικές λύσεις του Westergaard (1931), οι οποίες αναπτύχθηκαν αρχικά για την περίπτωση μεγάλων φραγμάτων ταμιευτήρων νερού. Οι λύσεις αυτές έχουν θεωρήσει τις εξής παραδοχές:

- ▶ Το τοίχωμα που συγκρατεί το υγρό είναι κατακόρυφο και συνεχές
- ▶ Οι ταλαντώσεις κατά τη διάρκεια του σεισμού παραμένουν οριζόντιες
- ▶ Η κατασκευή (φράγμα ή τοιχώματα δεξαμενής) είναι αρκετά δύσκαμπτη σε σχέση με την περίοδο του σεισμικού κύματος με αποτέλεσμα να ταλαντώνεται εν φάσει και με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ίση με αυτή του σεισμικού κύματος.
- ▶ Ο όγκος του νερού είναι, επίσης, αρκετά δύσκαμπτος σε σχέση με την περίοδο του σεισμικού κύματος με αποτέλεσμα η κίνησή του να μπορεί να θεωρηθεί ενιαία. Στην περίπτωση αυτή, οι υδροδυναμικές πιέσεις λόγω κυματισμού είναι αμελητέες.
- ▶ Η επίδραση της συμπιεστότητας του νερού είναι μικρή στο εύρος των συνήθων σεισμικών συχνοτήτων.

5.2.5 Όρια χρήσης μεθοδολογίας

Ταλάντωση μάζας νερού

Η μεθοδολογία Westergaard χρησιμοποιεί τη θεωρία ελαστικότητας για τη διάδοση κυμάτων σε στερεά μέσα, θεωρώντας το υγρό ως συμπιεστό μέσο και αγνοώντας τη δυνατότητα διατμητικής παραμόρφωσης. Η σεισμική διέγερση ασκείται ως αρμονική κίνηση στη βάση της δεξαμενής και οι υδροδυναμικές πιέσεις προκύπτουν από την κίνηση του τοιχώματος προς τη μάζα του υγρού. Η θεώρηση αυτή αγνοεί την επίδραση των επιφανειακών κυμάτων, γεγονός που αποτελεί εύλογη υπόθεση στην περίπτωση που η στήλη του υγρού έχει μικρότερη ιδιοπερίοδο από την περίοδο του σεισμού [“The seismic design of waterfront retaining structures”, 1993]. Συγκεκριμένα, η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της μάζας του υγρού είναι T :

$$T_{liq} = \frac{4H_{liq}}{V_{liq}}$$

όπου $V_{liq} = \sqrt{\frac{K}{\rho_{liq}}}$ είναι η ταχύτητα διάδοσης του διαμήκους κύματος στο υγρό,

K το μέτρο ογκομετρικής παραμόρφωσης (bulk modulus) και ρ_{liq} η πυκνότητα του υγρού.

Για παράδειγμα, εξετάζοντας την περίπτωση μιας δεξαμενής η οποία περιέχει νερό με μέτρο ογκομετρικής παραμόρφωσης $K=2.2$ GPa, πυκνότητα $\rho = 0.98 \text{ kg/m}^3$ και

συνολικό βάθος $H_{liq} = 4 \text{ m}$, διαπιστώνουμε ότι η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης της μάζας του νερού υπολογίζεται ως εξής:

$$V_{liq} = \sqrt{\frac{K}{\rho_{liq}}} = \sqrt{\frac{2.2 \text{ GPa}}{0.98 \text{ kg/m}^3}} = 1483 \text{ m/sec}$$

$$T_{liq} = \frac{4H_{liq}}{V_{liq}} = \frac{4 \cdot 4 \text{ m}}{1483 \text{ m/sec}} = 0.01 \text{ sec}$$

Επομένως, η μάζα του νερού είναι σημαντικά πιο δύσκαμπτη από το αναμενόμενο εύρος συχνοτήτων των σεισμικών κυμάτων, γεγονός που συνεπάγεται ότι η παράλειψη της επίδρασης των επιφανειακών κυμάτων του νερού είναι μια ασφαλής και λογική υπόθεση. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ανώτερο τμήμα του υγρού ταλαντώνεται – κυματίζει – με μεγάλη περίοδο επαναφοράς, η οποία είναι ίση με την ιδιοπερίοδό του, με αποτέλεσμα η επίδρασή του κυματισμού να είναι σημαντική μόνο σε εύκαμπτες δεξαμενές (πχ. με μεγάλο λόγο ύψους προς μήκος, σε λεπτότοιχες μεταλλικές) (βλ. **Εικόνα 5.1**).

Ταλάντωση κατακόρυφων τοιχωμάτων

Οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί θεωρούν τα τοιχώματα δεξαμενών από οπλισμένο σκυρόδεμα ως αρκετά δύσκαμπτα στοιχεία, σε αντίθεση με τα τοιχώματα μεταλλικών δεξαμενών. Αυτό συνεπάγεται ότι:

- Κατά τη διάρκεια της οριζόντιας σεισμικής διέγερσης, το υποκείμενο έδαφος και τα τοιχώματα της δεξαμενής ταλαντώνονται μονολιθικά, με μηδενική διαφορά φάσης, συνεπώς οι αδρανειακές δυνάμεις των τοιχωμάτων που αναπτύσσονται μπορούν να υπολογιστούν ως ευθέως ανάλογες της εδαφικής επιτάχυνσης, χωρίς την απαίτηση πλήρους δυναμικής ανάλυσης.
- Η αλληλεπίδραση τοιχώματος-υγρού θεωρείται ανεξάρτητη των δυναμικών τους χαρακτηριστικών κι επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια προηγούμενη αναλογία για τον υπολογισμό των υδροδυναμικών πιέσεων.

Το μέγεθος της δυσκαμψίας του τοιχώματος εξαρτάται από τη σύγκριση των συχνοτήτων τοιχώματος – σεισμικής διέγερσης. Για λόγους ποιοτικής διερεύνησης μπορούμε να εξετάσουμε απλοποιητικά την ιδιοπερίοδο ενός κατακόρυφου τοιχώματος, θεωρώντας το ως ένα γραμμικό στοιχείο με συνεχή κατανομημένη μάζα m και δυσκαμψίας EI , το οποίο είναι πακτωμένο στο κάτω άκρο και ελεύθερο στο άνω άκρο. Εξετάζεται, δηλαδή, η εκτός επιπέδου ταλάντωση του τοιχώματος ως η πλέον εύκαμπτη ιδιομορφή του, ενώ με τον τρόπο αγνοείται, υπέρ της ασφαλείας, η συμβολή των εγκάρσιων τοιχωμάτων στην αύξηση της δυσκαμψίας. Η ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης ενός προβόλου με ύψος H με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά δίνεται από τη σχέση [Chopra]:

$$\omega_n = \frac{3.66}{H^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

όπου m είναι η μάζα ανά τρέχον μέτρο μήκους. Εξετάζοντας, για παράδειγμα μια δεξαμενή με τοιχώματα ύψους $H=4m$ και πάχους $t=0.35cm$, μπορούμε να εκτιμήσουμε την ιδιοπερίοδο της εκτός επιπέδου ταλάντωσης του τοιχώματος ως εξής:

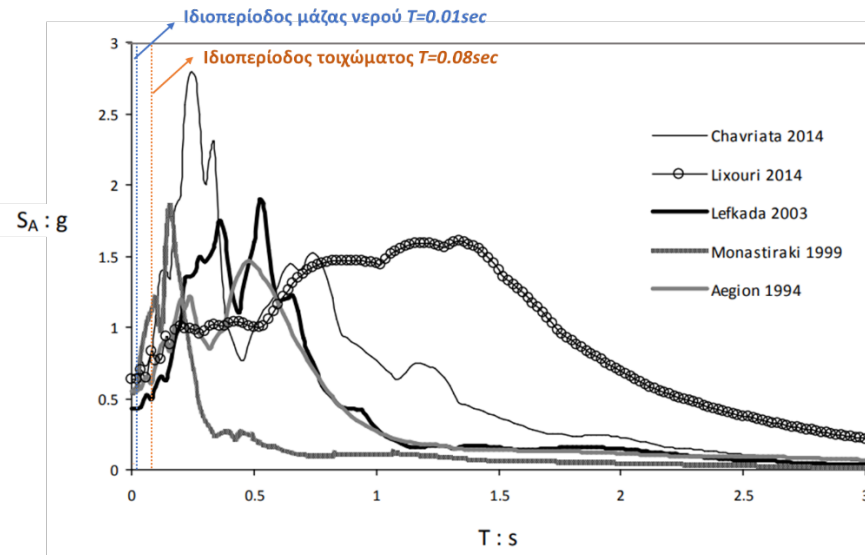
$$m = \rho \cdot t \cdot L = \frac{2.5 \text{ } Mgr}{m^3} \cdot 0.35 \text{ } cm \cdot 1 \text{ } m = 0.875 \text{ } Mgr/m$$

$$E = 3.1 \text{ } GPa$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1 \text{ } m \cdot 0.35^3 m^3}{12}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_n} = 2\pi \frac{H^2}{3.66} \sqrt{\frac{m}{EI}} = 2\pi \cdot \frac{4^2}{3.66} \sqrt{\frac{0.875 \frac{Mgr}{m}}{EI}} = 0,08 \text{ } sec$$

Διαπιστώνουμε, συνεπώς, ότι η ιδιοπερίοδος ταλάντωσης $T=0.08sec$ είναι εκτός του συνήθους εύρους συχνότητων των σεισμικών διεγέρσεων και επομένως η σχετική δυσκαμψία του τοιχώματος είναι, επίσης, μια λογική και ασφαλής υπόθεση.



Εικόνα 5.1: Ελαστικά φάσματα απόκρισης των σημαντικότερων σεισμικών καταγραφών στον ελλαδικό χώρο και σύγκρισή τους με την ιδιοπερίοδο i) της μάζας νερού και ii) της ιδιοπερίόδου τοιχώματος από ΟΣ για δεξαμενή ύψους 4μ. με τοιχώματα 35εκ. (G. Gazetas, E. Garini, 2017).

5.2.6 Συνδυασμός σεισμικών δράσεων

Ο συνδυασμός των σεισμικών δράσεων για το σχεδιασμό των δεξαμενών περιλαμβάνει τη χρονική και χωρική επαλληλία τους, καθώς και το συνδυασμό τους με τις οιονεί μόνιμες δράσεις.

Συνδυασμός επίδρασης σεισμικών δράσεων (χρονική επαλληλία)

Στην περίπτωση των δύσκαμπτων δεξαμενών, όπως συζητήθηκε, η ταλάντωση της δεξαμενής, της μάζας του νερού και του εδάφους γίνεται εν φάσει, επομένως, τα μέγιστα – κατ' απόλυτη τιμή – των μεγεθών ταλάντωσης (μετατόπιση, ταχύτητα, επιτάχυνση) συμβαίνουν, εν γένει, ταυτόχρονα [EC, experiment]. Η παρατήρηση αυτή στηρίζεται σε πειραματικές διερευνήσεις και αποτελεί απαίτηση του EN1998-4. Αντίθετα, ο Κανονισμός των ΗΠΑ [ACI 350.3-06] υιοθετεί μια λιγότερο συντηρητική προσέγγιση και επαλληλίζει πιθανοτικά με τη μέθοδο SRSS τις μέγιστες τιμές των μεγεθών αυτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι δυνάμεις που δρουν εκτός φάσης σε σχέση με τις προαναφερθείσες αποτελούνται από τις δυνάμεις που οφείλονται στον κυματισμό, καθώς και τις αδρανειακές δυνάμεις στην περίπτωση των εύκαμπτων τοιχωμάτων.

Ένα σημείο ιδιαίτερης προσοχής αποτελεί η φορά με την οποία θα συνυπολογιστούν οι μέγιστες τιμές των υδροδυναμικών πιέσεων $P_{E,w}$ σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των δυναμικών ωθήσεων γαιών $P_{E,s}$ και των αδρανειακών δυνάμεων των τοιχωμάτων $P_{E,i}$. Ο EN1998-4 θεωρεί ως δυσμενέστερη την περίπτωση κατά την οποία οι δυναμικές ωθήσεις γαιών δρουν επί του τοίχου ως παθητική ώθηση ενώ οι υδροδυναμικές πιέσεις δρουν με την ίδια φορά – υποπίεση (suction). Εν τέλει και οι τρεις δυνάμεις αθροίζονται αλγεβρικά ως εξής:

$$V = P_{E,s} + P_{E,w} + P_{E,i}$$

Συνδυασμός αποτελεσμάτων των οριζόντιων συνιστωσών των σεισμικών δράσεων (χωρική επαλληλία)

Ο χωρικός συνδυασμός των οριζόντιων συνιστωσών των σεισμικών δράσεων περιλαμβάνει συνολικά τέσσερις διευθύνσεις ($\pm X, \pm Z$) οι οποίες συνυπολογίζονται υιοθετώντας τη σχέση του EN1998-1 (4.18 - 4.19):

$$E_d = \begin{cases} \pm E_{d,x} \pm 0.3E_{d,z} \\ \pm 0.3E_{d,x} \pm E_{d,z} \end{cases}$$

Βάσει της άνω εξίσωσης προκύπτουν 8 συνδυασμοί σεισμικών δράσεων. Επιπλέον, σύμφωνα με την παράγραφο §2.5.2(4) του EN1988-4, η επίδραση του περιεχομένου της δεξαμενής θεωρείται μεταβλητή δράση και πρέπει να ληφθεί στις δύο οριακές καταστάσεις του: γεμάτη και άδεια δεξαμενή. Εν τέλει, προκύπτουν $2 \times 8 = 16$ σεισμικοί συνδυασμοί, οι οποίοι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

A/A	Περιεχόμενο δεξαμενής	Σεισμικοί Συνδυασμοί
1	Γεμάτη δεξαμενή	$E_{d,x} + 0.3E_{d,z}$
2	Γεμάτη δεξαμενή	$E_{d,x} - 0.3E_{d,z}$
3	Γεμάτη δεξαμενή	$-E_{d,x} + 0.3E_{d,z}$
4	Γεμάτη δεξαμενή	$-E_{d,x} - 0.3E_{d,z}$
5	Γεμάτη δεξαμενή	$0.3E_{d,x} + E_{d,z}$
6	Γεμάτη δεξαμενή	$0.3E_{d,x} - E_{d,z}$
7	Γεμάτη δεξαμενή	$-0.3E_{d,x} + E_{d,z}$
8	Γεμάτη δεξαμενή	$-0.3E_{d,x} - E_{d,z}$
9	Άδεια δεξαμενή	$E_{d,x} + 0.3E_{d,z}$
10	Άδεια δεξαμενή	$E_{d,x} - 0.3E_{d,z}$

11	Αδεια δεξαμενή	$-E_{d.x} + 0.3E_{d.z}$
12	Αδεια δεξαμενή	$-E_{d.x} - 0.3E_{d.z}$
13	Αδεια δεξαμενή	$0.3E_{d.x} + E_{d.z}$
14	Αδεια δεξαμενή	$0.3E_{d.x} - E_{d.z}$
15	Αδεια δεξαμενή	$-0.3E_{d.x} + E_{d.z}$
16	Αδεια δεξαμενή	$-0.3E_{d.x} - E_{d.z}$

5.2.7 Βιβλιογραφία

[1] EN1998-4

[2] EN1998-5

[3] EAK2000

[4] Westergaard H.M., "Water pressures on dams during earthquakes", *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 98 (1933).

[5] Ebeling R., Morrison E. "The seismic design of waterfront retaining structures", *Final Report, Information Technology Laboratory, Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Washington DC* (1993)

[6] Khanmohammadi, M., Lotfi Rad, P. & Ghalandarzadeh, A. "Experimental study on dynamic behavior of buried concrete rectangular liquid storage tanks using shaking table". *Bull Earthquake Eng* 15, 3747–3776 (2017)

[7] Gazetas G., Garini E., "The 2014 Cephalonia twin earthquakes: the seismic failure of memorial columns verify the strong directivity effect", *3rd International conference on performance-based design in earthquake geotechnical engineering, Vancouver* (2017)

6

Δράσεις

Το πρόγραμμα *FePool* υποστηρίζει την αυτόματη παραγωγή των δράσεων που ασκούνται επί των δεξαμενών, οι οποίες περιλαμβάνουν τις στατικές και τις σεισμικές δράσεις (υγρού, γαιών, ίδιων φορτίων της δεξαμενής, δράσεων επί των γαιών κ.α.), σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς (ευρωκώδικες). Επιπλέον, παράγονται αυτόματα από το πρόγραμμα οι συνδυασμοί δράσεων οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τον έλεγχο και διαστασιολόγηση της δεξαμενής για τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας.

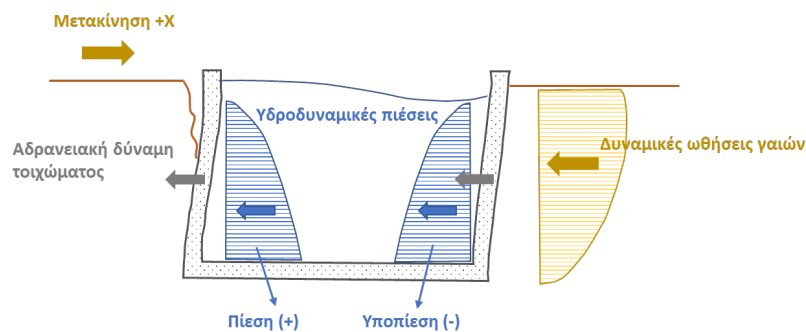
Στις ενότητες που ακολουθούν επεξηγούνται τα είδη των δράσεων, ο τρόπος υπολογισμού τους και οι παραγόμενοι συνδυασμοί δράσεων.

6.1 Κατηγορίες Δράσεων

Οι κατηγορίες των δράσεων που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό των δεξαμενών κατηγοριοποιούνται στις μόνιμες, μεταβλητές και τυχηματικές δράσεις. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι δράσεις που υπολογίζονται αυτόματα στο πρόγραμμα *FePool* ανά κατηγορία, καθώς και οι συνοδευτικοί συντελεστές που χρησιμοποιούνται στους συνδυασμούς δράσεων. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι εξής συντελεστές:

- Οι επιμέρους συντελεστές μόνιμων και μεταβλητών δράσεων γ_F .
- Οι συντελεστές συνδυασμού ψ_0, ψ_1, ψ_2 .

Στην περίπτωση των δεξαμενών οι τιμές των συγκεκριμένων συντελεστών για το σύνολο των καταστάσεων σχεδιασμού τόσο για τις συμβατικές δράσεις των μόνιμων και κινητών φορτίων, όσο και για τη δράση του περιεχόμενου εντός της δεξαμενής υγρού ορίζονται στον Ευρωκώδικα EN1991-4 / Παράρτημα Α.

Αδρανειακές δυνάμεις επί της δεξαμενής

Σχήμα 6.1: Αδρανειακές δυνάμεις που ασκούνται επί των κατακόρυφων τοιχωμάτων της δεξαμενής για μετακίνηση +X (παράγονται σεισμικές δυνάμεις ισοδύναμης στατικής ανάλυσης για την διεύθυνση -X).

Μόνιμες δράσεις		
Δράση	γ_F	Σχόλια
Μόνιμο G	1.35	EN1-4 A.4(2): $\xi_I = 0.9$, $\psi_{0,1} = 1.0$ Μπαίνει στο σεισμό ως μάζα
Επιφόρτιση γαιών g	1.35	Δε μπαίνει στο σεισμό ως μάζα
Στατικές ωθήσεις γαιών $P_{s,0}$	1.35	

Πίνακας 6.1: Συντελεστές Μόνιμων Δράσεων

Μεταβλητές δράσεις					
Δράση	ψ_0	ψ_1	ψ_2	γ_F	Σχόλια
Κινητά Q^{*2}	0.7	-	0.3	1.50	Τα ψ από EN1-4 πιν.Α2-Α5

					Μπαίνει στο σεισμό ως μάζα
					EN1-4/A.2.1(2): γ_F = 1.35
Υδροστατικά P_w	1.0	0.9	0.8	1.20 - 1.35	EN1-4/B.3 (2): γ_F = 1.20
Επιφόρτιση γαιών q	0.7	-	0	1.50	Δε μπαίνει στο σεισμό ως μάζα

Πίνακας 6.2:

Συντελεστές μεταβλητών δράσεων

6.2 Υπολογισμοί Δράσεων

Ο υπολογισμός των δράσεων γίνεται αυτόματα με την επιλογή των παραμέτρων της αντίστοιχης πηγής της δράσης (έδαφος, υγρό, ομοιόμορφη επιφόρτιση γαιών, φορτηγό). Η επιλογή των παραμέτρων μπορεί να γίνει από τις καρτέλες: i) Κτίριο>Έδαφος&υγρό, ii) Τοιχώματα>Φορτία και iii) Πλάκες>Φορτία. Η παραγωγή των σεισμικών δράσεων μπορεί επιπρόσθετα να αποκλειστεί από την παράμετρο Κτίριο>Αντισεισμικός>Επίλυση με σεισμό = Όχι.

► Στατικές δράσεις

i) Στατικές ωθήσεις γαιών P_s

Οι στατικές ωθήσεις γαιών που ασκούνται επί των τοιχωμάτων υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα βάσει των προεπιλεγμένων τιμών των παρακάτω παραμέτρων:

- Τοίχωμα > Φορτία > Έδαφος > Κατεύθυνση ώθησης γαιών > +z τοιχώματος / -z τοιχώματος / καμία:
Με την επιλογή «+z τοιχώματος» (προεπιλογή) ή «-z τοιχώματος» ορίζεται η πλευρά του τοιχώματος στην οποία εδράζονται οι γαίες, ενώ με την επιλογή «καμία» απενεργοποιείται η δράση τους.
- Τοίχωμα > Φορτία > Έδαφος > Κατεύθυνση ώθησης γαιών > Στάθμη επίχωσης > 0.0: Επιλέγεται το υψόμετρο της στάθμης επίχωσης. Η προεπιλεγμένη τιμή (0.0μ.) υποδηλώνει ότι η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας της επίχωσης για το συγκεκριμένο τοίχωμα ταυτίζεται με το υψόμετρο της ελεύθερης επιφάνειας αναφοράς.

- *Τοίχωμα > Φορτία > Έδαφος > Είδος εδάφους > Επίχωση/...: Με την επιλογή του κατάλληλου είδους εδάφους συμπληρώνονται αυτόματα οι τιμές των ιδιοτήτων του εδάφους (ειδικό βάρος κορεσμένου εδάφους $\gamma_{κορ}$, φαινόμενο ειδικό βάρος $\gamma_{φ}$ κ.α.).*

► Διαδικασία υπολογισμών

Οι στατικές ωθήσεις γαιών P_s συνίστανται στην τριγωνική οριζόντια ώθηση που ασκείται επί των κατακόρυφων τοιχωμάτων θεωρώντας τα μέλη της δεξαμενής ως ακλόνητα. Επομένως, ο υπολογισμός των οριζόντιων (ορθών) πιέσεων σ_h πραγματοποιείται με το συντελεστή ωθήσεων ηρεμίας K_o .

Η τιμή της πίεσης σ_h αναφέρεται στις ολικές πιέσεις, δηλαδή στο άθροισμα των ενεργών πιέσεων και των πιέσεων του νερού των πόρων:

$$\sigma_h = \sigma'_h + u$$

Επομένως, οι υπολογισμοί διαφοροποιούνται ανάλογα με την ύπαρξη ή μη υδροφόρου ορίζοντα (βλ. παράμετρο «Κτίριο > Φορτία > Έδαφος > Υδροφόρος ορίζοντας = Ναι/Όχι»), ως εξής:

- «Υπαρξη υδροφόρου ορίζοντα» = *NAI*

$$\sigma_h = (\gamma_{κορ} - \gamma_w) \cdot y \cdot K_o + \gamma_w \cdot y$$
- «Υπαρξη υδροφόρου ορίζοντα» = *OXI*

$$\sigma_h = \gamma_{φ} \cdot y \cdot K_o$$

όπου,

$\gamma_{κορ}$:	το ειδικό βάρος του κορεσμένου εδάφους. Αναφέρεται σε εδάφη τα οποία είναι πλήρως κορεσμένα, δηλαδή βρίσκονται εντός του υδροφόρου ορίζοντα και έχουν βαθμό κορεσμού $S_r = 1.0$.
$\gamma_{φ}$:	το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους. Αναφέρεται σε εδάφη τα οποία βρίσκονται εκτός του υδροφόρου ορίζοντα, συνεπώς χαρακτηρίζονται μόνο από τη φυσική υγρασία και έχουν βαθμό κορεσμού $0 < S_r < 1.0$.
γ_w :	το ειδικό βάρος του νερού.
y :	το βάθος από την ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους
K_o :	ο συντελεστής ωθήσεων ηρεμίας. Υπολογίζεται βάσει του Ευρωκώδικα 7 §9.5.2:

$$K_o = (1 - \sin \phi') \cdot OCR^{0.5} \cdot (1 + \sin \beta)$$

όπου,

OCR :	ο λόγος υπερ-στερεοποίησης των αργιλικών εδαφών
β :	η γωνία της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους πίσω από τον

τοιίχο (θετική προς τα πάνω).

Τοιχώματα

Γενικά Φορτία Υλικό Οπλισμός Ράβδοι οπλισμού Σχέδιο Κείμενο

Όνομα δράσης Στατικές ωθήσεις γαιών

Συντομογραφία δράσης Ps

Εδαφος

☒ Κατεύθυνση ώθησης γαιών	+z τοιχώματος
☒ Υδροφόρος ορίζοντας	Ναι
☒ Στάθμη επίχωσης [m]	0,00
☒ Είδος εδάφους	Επίχωση
☒ Ειδικό βάρος κορεσμένου εδάφους γκορ [kN/m ³]	20,0
☒ Φαινόμενο ειδικό βάρος εδάφους γφ [kN/m ³]	18,0
☒ Ενεργός γωνία διατμητικής αντίστασης φ' [°]	35,00
☒ Κλίση ηρανούς β [°]	0,0
☒ Λόγος υπερ-στερεοποίησης OCR	1,0
☒ Συντ. ωθήσεων ηρεμίας Ko	0,43

Εικόνα 6.1: Οι παράμετροι του εδάφους

ii) Στατικές ωθήσεις υγρού P_w

Οι στατικές ωθήσεις του υγρού της δεξαμενής ασκούνται ως ορθές πιέσεις επί των κατακόρυφων τοιχωμάτων και των πλακών πυθμένα και υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα βάσει των προεπιλεγμένων τιμών των παρακάτω παραμέτρων:

- Τοίχωμα > Φορτία > Υγρό > Κατεύθυνση υδροστατικής πίεσης > +z τοιχώματος / -z τοιχώματος / καμία: Με την επιλογή «+z τοιχώματος» ή «-z τοιχώματος» (προεπιλογή) ορίζεται η βρεχόμενη πλευρά του τοιχώματος, ενώ με την επιλογή «καμία» απενεργοποιείται η δράση του υγρού.
- Τοίχωμα > Φορτία > Υγρό > Στάθμη υγρού δεξαμενής > 0.0: Επιλέγεται το υψόμετρο της στάθμης του υγρού της δεξαμενής, το οποίο, όπως και στην περίπτωση της στάθμης της επίχωσης, ορίζεται σε σχέση με το υψόμετρο της ελεύθερης επιφάνειας αναφοράς.

Εικόνα 6.2: Οι παράμετροι που αφορούν τις στατικές ωθήσεις υγρού

► Διαδικασία υπολογισμών

Ορίζεται η υδροστατική πίεση, η οποία δρα κάθετα σε κάθε βρεχόμενη επιφάνεια, δηλαδή στα τοιχώματα και τις πλάκες, συναρτήσει του βάθους από την επιφάνεια του υγρού:

$$p_w = \gamma_w \cdot y$$

όπου,

γ_w : το ειδικό βάρος του υγρού.

y : το βάθος από την επιφάνεια του υγρού.

iii) Ομοιόμορφη επιφόρτιση γαιών g , q

Οι ομοιόμορφες επιφορτίσεις των μόνιμων (g) και κινητών (q) δράσεων επί της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους ασκούν οριζόντιες πιέσεις επί των τοιχωμάτων οι οποίες υπολογίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα όταν δοθεί από το χρήστη μη μηδενική τιμή για την παράμετρο:

- *Τοίχωμα > Φορτία > Καταναμημένο φορτίο επί εδάφους > Δράση p_y :* Η τιμή της παραμέτρου εκφράζει την ομοιόμορφη πίεση (kN/m^2) που ασκείται επί της επιφάνειας του εδάφους.

Εικόνα 6.3: Παράμετροι που αφορούν καταναμημένο φορτίου επί του εδάφους

► **Διαδικασία υπολογισμών**

Το καταναεμημένο φορτίο επί της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους (g, q) θεωρείται ότι ασκείται επί εδαφικής επιφάνειας «απείρου» μήκους και πλάτους (B, L) και αντιπροσωπεύει τη φόρτιση επιπρόσθετων εδαφικών στρώσεων, σε περιπτώσεις επιχώσεων, ανομοιομορφιών κτλ.

Επομένως, η οριζόντια πίεση επί του τοιχώματος σ_h υπολογίζεται, με τον ίδιο τρόπο που υπολογίζονται οι γεωστατικές πιέσεις, δηλαδή ως εξής:

$$\sigma_h = K_o p_y$$

όπου,

p_y : η ομοιόμορφη πίεση επί της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους.

K_o : ο συντελεστής ωθήσεων ηρεμίας.

iv) Επιφόρτιση γαιών από φορτηγό P_Φ

Η φόρτιση από το φορτηγό θεωρείται ως συγκεντρωμένο φορτίο, το οποίο δρα επί της ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους σε απόσταση d από το τοίχωμα, δηλαδή βρίσκεται επί της μεσοκαθέτου του τοιχώματος – ως δυσμενέστερη περίπτωση. Οι οριζόντιες ωθήσεις που ασκεί το συγκεντρωμένο φορτίο του φορτηγού επί των τοιχωμάτων υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα βάσει των παραμέτρων:

- **Τοίχωμα > Φορτία > Συγκεντρωμένο φορτίο > Βάρος:** Ορίζεται το βάρος του φορτηγού ως συγκεντρωμένο φορτίο.
- **Τοίχωμα > Φορτία > Συγκεντρωμένο φορτίο > d :** Ορίζεται η απόσταση του συγκεντρωμένου φορτίου από το τοίχωμα, θεωρώντας ότι βρίσκεται επί της μεσοκαθέτου.

Συγκεντρωμένο φορτίο επί του εδάφους	
☒ Βάρος [tn]	28,00
☒ Απόσταση εφαρμογής από τον τοίχο [m]	1,20
☒ Συντ. επαύξ. οριζ. ωθήσεων λ	1,50
Παράμετροι εδάφους	

Εικόνα 6.4: Παράμετροι που αφορούν καταναεμημένο φορτίου επί του εδάφους

► **Διαδικασία υπολογισμών**

Η κατακόρυφη πίεση συναρτήσει του βάθους από λύσεις Boussinesq

$$\sigma_v = \frac{3Q_y^3}{2\pi R^5}$$

όπου

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Εμείς θέτουμε: $x=1.2$

$y=0-H$ (δηλ. ξεκινάει από την επιφάνεια του εδάφους και φτάνει στο βάθος H)

$z=0-B/2$ (δηλ. από τη μεσοκάθετο μέχρι το άκρο του τοίχου)

Η **οριζόντια πίεση** συναρτήσει του βάθους είναι:

$$\sigma_h = \lambda \cdot K_o \cdot \sigma_v$$

Το λ δίνεται στην καρτέλα Τοίχωμα>έδαφος, με αρχική τιμή 1.5.

v) Οιονεί μόνιμα (πρώην G+ψ2Q)

Υπολογίζονται ως εξής

Πρώτα για γεμάτη πισίνα:

Όνομα: $G+g+P0,s+\psi2,w \cdot Pw+\psi2,Q \cdot (Q+q)$,

Συντομογραφία: OMI

Και μετά για άδεια:

Όνομα: $G+g+P0,s+\psi2,Q \cdot (Q+q)$

Συντομογραφία: OMA

vi) Χαρακτηριστικά

Υπολογίζονται ως εξής στο FePool:

Πρώτα για γεμάτη πισίνα:

Όνομα: $G+g+P0,s+Pw+\psi0,Q \cdot (Q+q)$

Συντομογραφία: XSI

Και μετά για άδεια:

Όνομα: $G+g+P0,s+\psi0,Q \cdot (Q+q)$

Συντομογραφία: XSA

► Σεισμικές δράσεις

i) Υδροδυναμικές ωθήσεις $P_{E,w}$

Η πίεση επί του τοίχου λαμβάνεται προς την κατεύθυνση του εκάστοτε σεισμού (πχ E_{xy}), μηδενίζοντας την παράλληλη συνιστώσα με τον τοίχο.

Άρα, η $P_{E,w}$ είναι τέσσερις, δηλαδή μία για κάθε κατεύθυνση σεισμού ($P_{E+X,w}$, $P_{E-X,w}$, $P_{E+Z,w}$, $P_{E-Z,w}$).

Από *Geotechnical Earthquake Engineering*, Steven L. Kramer (11,34):

$$p_{wd}(z) = \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{H \cdot z}$$

όπου

$$k_h = a$$

H είναι το βάθος του τοίχου κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού

z το βάθος του εξεταζόμενου σημείου

ii) Δυναμικές ωθήσεις γαιών $P_{E,s}$

Ο σεισμός ωθεί τις γαίες προς την κατεύθυνση του εκάστοτε σεισμού (πχ E_{xy}). Η δύναμη αυτή αναλύεται σε δύο συνιστώσες, παράλληλη και κάθετη στον τοίχο. Η παράλληλη (λόγω τριβής) λαμβάνεται μηδέν. Η κάθετη, όταν έχει φορά από τον τοίχο προς το έδαφος, μηδενίζεται κι αυτή.

Άρα, η $P_{E,s}$ είναι τέσσερις, δηλαδή μία για κάθε κατεύθυνση σεισμού ($P_{E+X,s}$, $P_{E-X,s}$, $P_{E+Z,s}$, $P_{E-Z,s}$).

Παίρνουμε ορθογωνική φόρτιση κατά ΕΚ με ομοιόμορφη τιμή:

$$\sigma_h = \alpha \cdot \gamma \cdot H \cdot \sin \varphi$$

όπου

$\gamma = \gamma_{\text{κορ}}$, αν «υδροφόρος ορίζοντας = ΝΑΙ») ή

$\gamma = \gamma_{\varphi}$, (αν «υδροφόρος ορίζοντας = ΟΧΙ»)

H το συνολικό ύψος του επιχώματος από τη βάση του τοίχου. Για κεκλιμένους πυθμένες το H μεταβάλλεται κατά μήκος του τοίχου.

φ η γωνία μεταξύ του τοίχου και του σεισμού

Από ΕΚ8-5:

$$\alpha = \gamma_I \cdot S \cdot a_{gR}$$

όπου

γ_I : συντελεστής σπουδαιότητας

S : συντελεστής εδάφους

iii) Αδρανειακές δυνάμεις $P_{E,i}$

Λαμβάνεται προς την κατεύθυνση του εκάστοτε σεισμού (πχ E_{+X}), άρα, είναι τέσσερις, δηλαδή μία για κάθε κατεύθυνση σεισμού ($P_{E+X,i}$, $P_{E-X,i}$, $P_{E+Z,i}$, $P_{E-Z,i}$).

Από ΕΚ8-4 / Α.2.1.5 (ειδικά για την ίδια μάζα του τοιχώματος):

$$P_{E,i} = \rho_s \cdot t \cdot a$$

όπου

a όπως στην περίπτωση (V)

ρ_s η πυκνότητα του σκυροδέματος

t το πάχος του τοίχου

Τελικά, το διάνυσμα φόρτισης των $P_{E,i}$ υπολογίζεται από την FY των $G + \psi 2Q$ σε κάθε κόμβο, στην εκάστοτε φορά του σεισμού, ως εξής:

$$P_{E,i} = (G + \psi 2Q) \cdot a$$

6.3 Συνδυασμοί Δράσεων

6.3.1 Στατικοί συνδυασμοί ULS

Ο αρχικός πίνακας των στατικών συνδυασμών ελέγχων για την οριακή κατάσταση αστοχίας είναι ο ακόλουθος. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέσει, να αφαιρέσει ή να τροποποιήσει τους συντελεστές των αρχικών συνδυασμών δράσεων.

Συνδυασμοί δράσεων					
Κωδ.	Όνομα	Εξίσωση	Αστοχία	Τύπος	(στήλες συντελεστών δράσεων ...)
1 ^{*1}	ULS, θεμελιώδης συνδ., (EC0, εξ.6.10)	$\gamma G \cdot (G + Ps + g) + \gamma F, w \cdot Pw + \gamma Q \cdot \psi 0, Q \cdot (Q + q)$	Ναι	ULS	...
2	ULS, θεμελιώδης συνδ., (EC0, εξ.6.10), Pw: ευμενές	$\gamma G \cdot (G + Ps + g) + \gamma Q \cdot \psi 0, Q \cdot (Q + q)$	Ναι	ULS	...
3	ULS, θεμελιώδης συνδ., (EC0, εξ.6.10), Ps: ευμενές	$\gamma G \cdot (G + g) + Ps + \gamma F, w \cdot Pw + \gamma Q \cdot \psi 0, Q \cdot (Q + q)$	Ναι	ULS	...
4	ULS, Τυχηματικός συνδ., (EC0, εξ.6.16b)	$G + g + Ps + P\phi + \psi 2, w \cdot Pw + \psi 2, Q \cdot (Q + q)$	Ναι	ULS - τυχηματικός	...
5	ULS, Τυχηματικός συνδ., (EC0, εξ.6.16b), Pw: ευμενές	$G + g + Ps + P\phi + \psi 2, Q \cdot (Q + q)$	Ναι	ULS - τυχηματικός	...

Πίνακας 6.3:

Αρχικοί Στατικοί συνδυασμοί ULS

6.3.2 Στατικοί συνδυασμοί SLS

Ο αρχικός πίνακας των στατικών συνδυασμών ελέγχων για την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι ο ακόλουθος. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέσει, να αφαιρέσει ή να τροποποιήσει τους συντελεστές των αρχικών συνδυασμών δράσεων.

Συνδυασμοί δράσεων							
A/A	Όνομα	Εξίσωση	Τύπος	Έλεγχος ρηγμάτωσης	Έλεγχος τάσεων σκυροδέματος & χάλυβα	Ερπυσμός	(στήλες συντελεστών δράσεων ...)
1	SLS, Οιονεί- μόνιμος συνδ., (EC0, εξ.6.16b) , με ερπυσμό	$G+g + Ps$ + $\psi_{2,w} \cdot P_w$ + $\psi_{2,Q} \cdot (Q+$ $q)$	Οιονεί μόνιμος	Όχι	Όχι	Ναι	...
2	SLS, Οιονεί- μόνιμος συνδ., (EC0, εξ.6.16b) , P_w : ευμενές, με ερπυσμό	$G+g + Ps$ + $\psi_{2,Q} \cdot (Q+$ $q)$	Οιονεί μόνιμος	Όχι	Όχι	Ναι	...
3	SLS, Οιονεί- μόνιμος συνδ., (EC0, εξ.6.16b) , χωρίς ερπυσμό	$G+g + Ps$ + $\psi_{2,w} \cdot P_w$ + $\psi_{2,Q} \cdot (Q+$ $q)$	Οιονεί μόνιμος	Ναι	Ναι	Όχι	...
4	SLS, Οιονεί- μόνιμος συνδ., (EC0, εξ.6.16b) , P_w :	$G+g + Ps$ + $\psi_{2,Q} \cdot (Q+$ $q)$	Οιονεί μόνιμος	Ναι	Ναι	Όχι	...

	ευμενές, χωρίς ερπυσμό						
5	SLS, Χαρακτη ριστικός συνδ., (EC0, εξ. 6.14)	$G+g + P_s + P_w + \psi_0 \cdot Q \cdot (Q+q)$	Χαρακτη ριστικός	Όχι	Ναι	Όχι	...
6	SLS, Χαρακτη ριστικός συνδ., (EC0, εξ. 6.14), P_w : ευμενές	$G+g + P_s + \psi_0 \cdot Q \cdot (Q+q)$	Χαρακτη ριστικός	Όχι	Ναι	Όχι	

Πίνακας 6.4:

Αρχικοί Στατικοί συνδυασμοί SLS

6.3.3 Σεισμικοί συνδυασμοί

Έτσι, προκύπτουν οι παρακάτω σεισμικοί συνδυασμοί, ανάλογα με την παράμετρο «Κτίριο» Σεισμική δράση» Συντελεστής συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης» λ:

Περίπτωση 1 ($\lambda > 0$), 16 Σεισμικοί Συνδυασμοί:

Σεισμικοί Συνδυασμοί	
1	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [1 \times E_{I+x} + \lambda \times E_{I+z}]$
2	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [\lambda \times E_{I+x} + 1 \times E_{I+z}]$
3	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [1 \times E_{I+x} + \lambda \times E_{I-z}]$
4	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [\lambda \times E_{I+x} + 1 \times E_{I-z}]$
5	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [1 \times E_{I-x} + \lambda \times E_{I+z}]$

6	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [\lambda \times E_{r-x} + 1 \times E_{r+z}]$
7	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [1 \times E_{r-x} + \lambda \times E_{r-z}]$
8	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [\lambda \times E_{r-x} + 1 \times E_{r-z}]$
9	$G+g+P_s + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [1 \times E_{A+x} + \lambda \times E_{A+z}]$
10	$G+g+P_s + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [\lambda \times E_{A+x} + 1 \times E_{A+z}]$
11	$G+g+P_s + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [1 \times E_{A+x} + \lambda \times E_{A-z}]$
12	$G+g+P_s + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [\lambda \times E_{A+x} + 1 \times E_{A-z}]$
13	$G+g+P_s + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [1 \times E_{A-x} + \lambda \times E_{A+z}]$
14	$G+g+P_s + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [\lambda \times E_{A-x} + 1 \times E_{A+z}]$
15	$G+g+P_s + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [1 \times E_{A-x} + \lambda \times E_{A-z}]$
16	$G+g+P_s + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + [\lambda \times E_{A-x} + 1 \times E_{A-z}]$

Πίνακας 6.5:

Σεισμικοί συνδυασμοί για $\lambda > 0$ Περίπτωση 2 ($\lambda=0$), 8 Σεισμικοί Συνδυασμοί:

A/A	Σεισμικοί Συνδυασμοί
1	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + E_{r+x}$
2	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + E_{r+z}$
3	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + E_{r-x}$
4	$G+g+P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + E_{r-z}$
5	$G+g+P_s + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + E_{A+x}$
6	$G+g+P_s + \psi_{2,Q} \cdot (Q+q) + E_{A+z}$

7	$G+g+Ps+\psi 2, Q \cdot (Q+q)$	$+ E_{\lambda-x}$
8	$G+g+Ps+\psi 2, Q \cdot (Q+q)$	$+ E_{\lambda-z}$

Πίνακας 6.6:Σεισμικοί συνδυασμοί για $\lambda=0$

Όπου:

$$E_{I\pm x/z} = PE_{\pm x/z, s} \pm PE_{+x/z, w} \pm PE_{+x/z, i} \quad \text{και}$$

$$E_{A\pm x/z} = PE_{\pm x/z, s} \pm PE_{+x/z, i}$$

7

Όπλιση πλακών και τοιχωμάτων

7.1 Διαστασιολόγηση σε κάμψη

7.1.1 Γενικά

Η διαστασιολόγηση επιφανειακών φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα εμφανίζει μεγαλύτερη περιπλοκότητα σε σχέση με την διαστασιολόγηση μιας ορθογωνικής διατομής σε μονοαξονική κάμψη, διότι οι διευθύνσεις των εσωτερικών δυνάμεων συνήθως δεν συμπίπτουν με αυτές των ράβδων οπλισμού. Οι κύριες δυνάμεις και τάσεις ενεργούν σε διαφορετικές διευθύνσεις σε σχέση με το πλέγμα οπλισμού και επιπρόσθετα υπάρχει διατμητική δύναμη εντός του επιπέδου της επιφάνειας, η οποία δεν μπορεί να αντισταθμιστεί από το πλέγμα οπλισμού, αλλά απαιτείται ο θλιπτήρας σκυροδέματος. Έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι για τον προσδιορισμό του ελάχιστου απαιτούμενου οπλισμού, ο οποίος είναι ικανός να αναλάβει με ασφάλεια τις καμπτικές και μεμβρανικές δυνάμεις, όπως:

- [1] Η μεθοδολογία του Th. Baumann [BAUM72], [CONC95] & [LEON77]
 - [2] Η κλασσική μεθοδολογία των Wood-Armer [WOOD68], [ARME68] & [MACG06]
 - [3] Η μέθοδος Capra Maury [CAPR78]
 - [4] Το προσομοίωμα Sandwich σύμφωνα με το παράρτημα LL του EN 1992-2:2005
 - [5] Η μεθοδολογία των Denton και Burgoyne [DENT96]
- Στο πρόγραμμα υποστηρίζεται η μεθοδολογία Baumann.

7.1.2 Μοντέλο υπολογισμού Th. Baumann

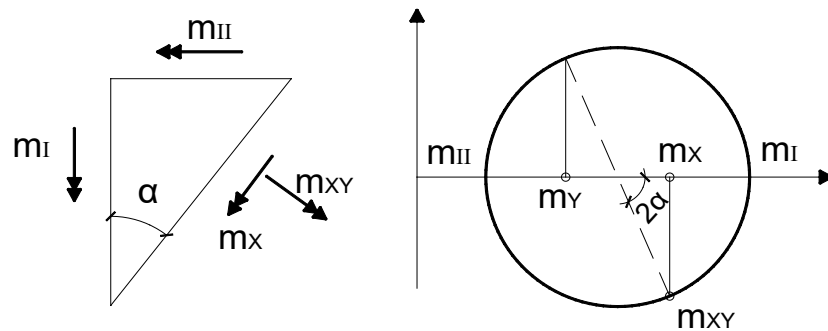
Το μοντέλο Baumann για τον υπολογισμό της διεύθυνσης της ρωγμής και του απαιτούμενου οπλισμού βασίζεται στην ελαχιστοποίηση του έργου παραμόρφωσης. Χαρακτηριστικό του μοντέλου Baumann είναι ότι η διαστασιολόγηση της πλάκας σε κάμψη ανάγεται σε πρόβλημα διαστασιολόγησης ισοδύναμων δίσκων υπό ορθές δυνάμεις.

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

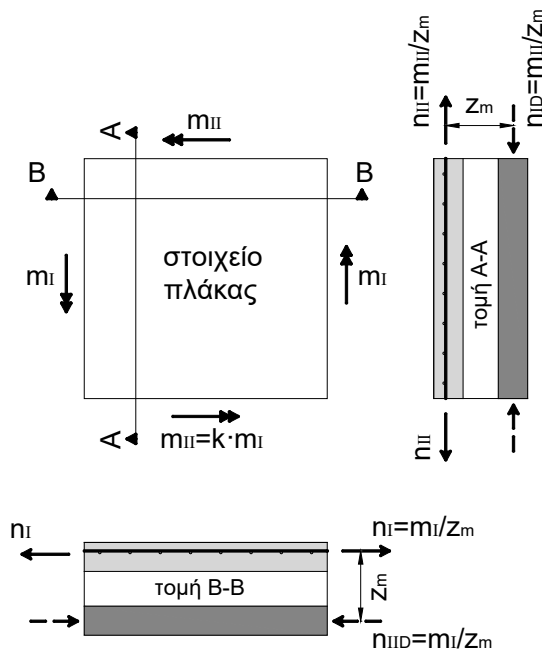
Αρχικά προσδιορίζεται η καμπτική ένταση του στοιχείου στο κύριο σύστημα με τη θεωρία του Mohr. Η κύρια ροπή m_I θα προκύπτει πάντα θετική.



Σχήμα 7.1: 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.

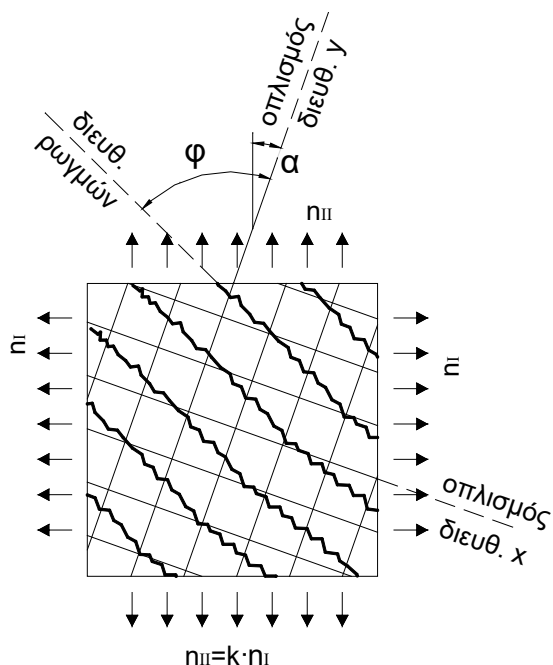


Σχήμα 7.2: Μετατροπή των κύριων καμπτικών ροπών σε μεμβρανική δράση ισοδύναμων δίσκων

Στο **Σχήμα 7.3** φαίνεται ένα ρηγματωμένο επιφανειακό στοιχείο με οπλισμό διατεταγμένο σε δυο ορθογωνικές διευθύνσεις x - y .

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

φ: η γωνία της διεύθυνσης της ρωγμής ϕ ως προς τον οπλισμό γ .



Σχήμα 7.3: Ρηγματωμένο επιφανειακό στοιχείο με ορθογωνικό πλέγμα οπλισμών x-y υπό δεδομένη κύρια μεμβρανική εφελκυστική ένταση n_I & n_{II} .

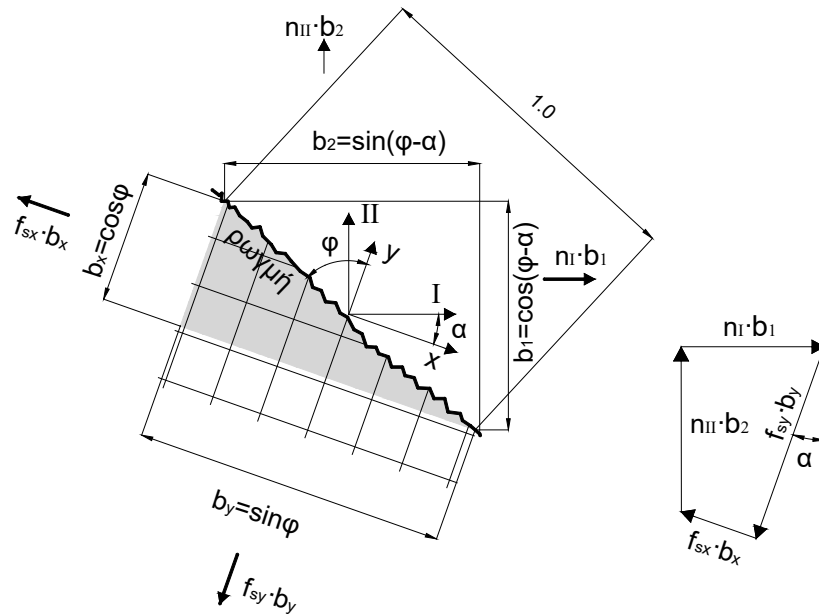
Έστω γωνία φ , όπως ορίζεται παραπάνω, τότε οι εφελκυστικές δυνάμεις στους οπλισμούς και η θλιπτική δύναμη στο σκυρόδεμα, προκύπτουν από τις συνθήκες ισορροπίας κατά μήκος της ρωγμής και κάθετα σε αυτή. (Σχήμα 7.3 & Σχήμα 7.4).

- Από το δυναμοπολύγωνο ισορροπίας δυνάμεων σε μια τομή μοναδιαίου μήκους παράλληλα στη ρωγμή (Σχήμα 7.4) 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 7.4: Δυναμοπολύγωνο ισορροπίας δυνάμεων σε μοναδιαίο μήκος ρωγμής.

- Θεωρώντας μοναδιαία τομή κάθετη στις ρωγμές (Σχήμα 7.4) τότε στην ισορροπία των δυνάμεων υπεισέρχεται και η θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος. Από το δυναμοπολύγωνο λαμβάνουμε την ακόλουθη εξίσωση.

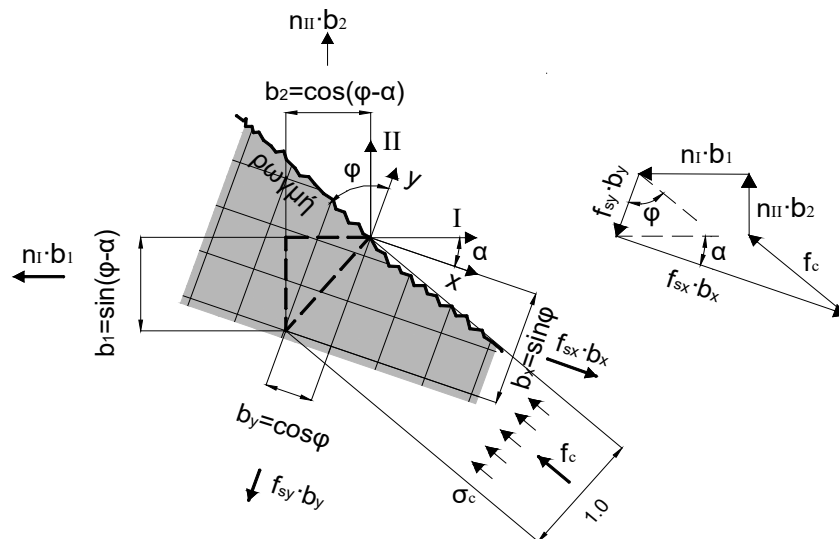
$$f_c = -n_I \cdot b_1 \cdot \sin(\varphi - \alpha) - n_{II} \cdot b_2 \cdot \cos(\varphi - \alpha) + f_{sx} \cdot b_x \cdot \sin \varphi + f_{sy} \cdot b_y \cdot \cos \varphi$$

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 7.5: 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
m1D+ (κάτω)	$m_1 + m_{12} $	για $m_1 \leq m_2$ & $m_1 \geq - m_{12} $ ή για $m_1 > m_2$ & $m_2 \geq - m_{12} $
Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 1 κάτω ίνας	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} $
m2D+ (κάτω)	$m_2 + m_{12} $	για $m_1 \leq m_2$ & $m_1 \geq - m_{12} $ ή για $m_1 > m_2$ & $m_2 \geq - m_{12} $
Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 2 κάτω ίνας	$m_2 + \frac{m_{12}^2}{ m_1 }$	για $m_1 \leq m_2$ & $m_1 < - m_{12} $
	0	για $m_1 > m_2$ & $m_1 < - m_{12} $
mcD+ (κάτω)	$-2 * m_{12} $	για $m_1 \leq m_2$ & $m_1 \geq - m_{12} $ ή για $m_1 > m_2$ & $m_2 \geq - m_{12} $
Ροπή σχεδιασμού της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος (κάτω ίνα)	$m_1 - \frac{m_{12}^2}{ m_1 }$	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} $
m1D- (άνω)	$-m_1 + m_{12} $	για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 \leq m_{12} $ ή για $m_1 > m_2$ & $m_1 \leq m_{12} $
Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 1 άνω ίνας	$-m_1 + \frac{m_{12}^2}{ m_2 }$	για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 > m_{12} $
	0	για $m_1 > m_2$ & $m_1 > m_{12} $
m2D- (άνω)	$-m_2 + m_{12} $	για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 \leq m_{12} $ ή για $m_1 > m_2$ & $m_1 \leq m_{12} $
Ροπή σχεδιασμού κατά τη διεύθυνση οπλισμού 2 άνω ίνας	0	για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 > m_{12} $
	$-m_2 + \frac{m_{12}^2}{ m_1 }$	για $m_1 > m_2$ & $m_1 > m_{12} $
mcD- (άνω)	$-2 * m_{12} $	για $m_1 \leq m_2$ & $m_2 \leq m_{12} $ ή για $m_1 > m_2$ & $m_1 \leq m_{12} $
Ροπή σχεδιασμού της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος (άνω ίνα)	$-m_2 - \frac{m_{12}^2}{ m_2 }$	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 7.1: 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.

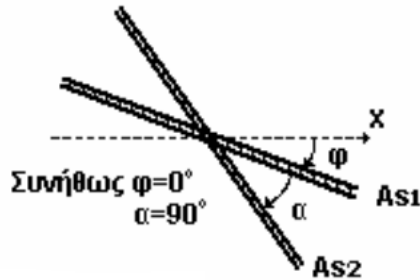
7.1.3 Μοντέλο υπολογισμού Wood-Armer

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

Πίνακας 7.2: 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 $m12$.

7.1.4 Λοξό πλέγμα οπλισμών

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



Σχήμα 7.6: Γωνία οπλισμού φ και σχετική γωνία λοξότητας α στρώσεων οπλισμού.

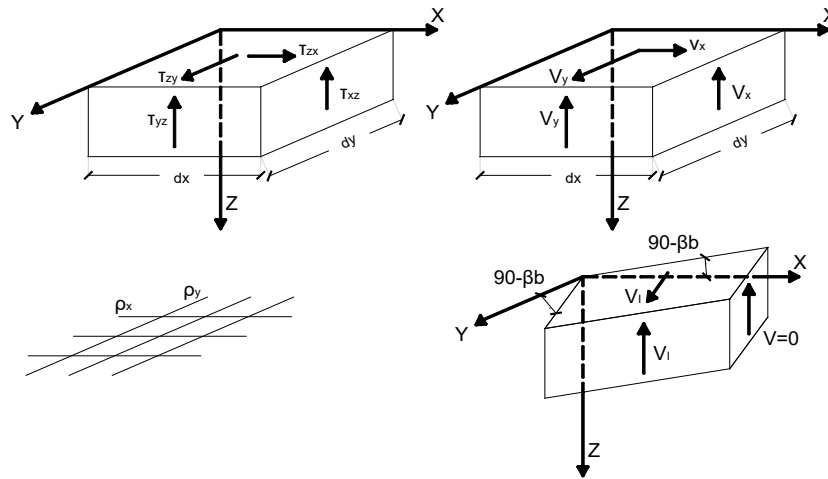
Σημείωση

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

7.2 Διάτμηση

7.2.1 Διατμητική ένταση

Θεωρούμε στοιχειώδες στοιχείο κελύφους $dx \cdot dz$ και τις διατμητικές τάσεις τ_{yz} & τ_{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.



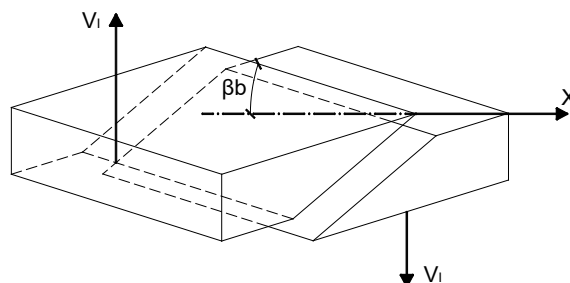
Σχήμα 7.7: Επίπεδο κύριας εγκάρσιας διατμητικής έντασης σχεδιασμού V_I σε στοιχείο πλάκας βάσει των διατμητικών δυνάμεων στο σύστημα συντεταγμένων του υπερστοιχείου.

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 β ως προς το επίπεδο $dy-Z$.

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

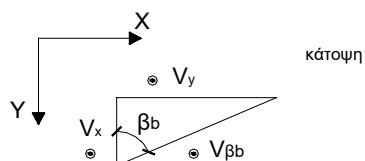


Σχήμα 7.8: Πιθανό επίπεδο διατμητικής αστοχίας στη διεύθυνση βb του εγκάρσιου επιπέδου, όπου εμφανίζεται η μέγιστη διατμητική δύναμη.

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

Παραγωγή τύπων

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



Σχήμα 7.9: 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 7.9** (βλ και [CEB90] §6.4.2.5) λαμβάνουμε:

$$V_{\beta b} \cdot l = V_x \cdot \cos \beta b + V_y \cdot \sin \beta b$$

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

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

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

7.2.2 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).

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

EC2-1-1 (6.9)

όπου

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

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

$z = 0,9 \cdot d$ προσεγγιστικά

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

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

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

ρ_x και ρ_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 εφελκόμενου 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 ρ_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 θ :

$$\sin 2\theta = \frac{2 \cdot V_{Ed}}{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}} \quad \text{και} \quad 1.0 \leq \cot \theta \leq 2.5$$

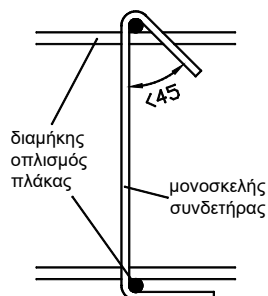
- ii. Υπολογισμός συνδετήρων $A_{sw}/m^2 = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cot \theta}$

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

Κατασκευαστικές διατάξεις

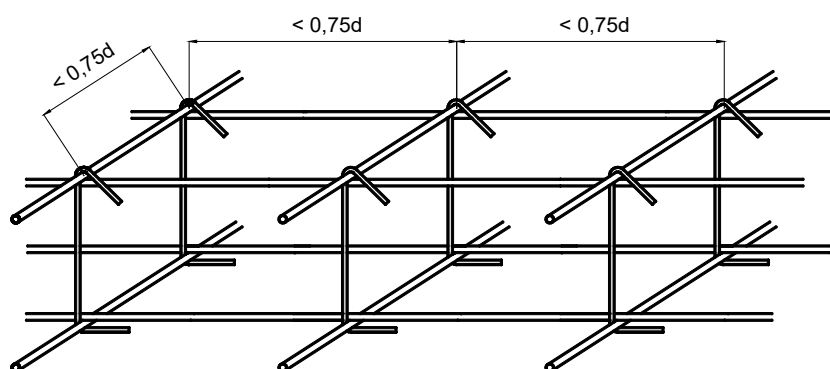
Στα τμήματα της πλάκας που απαιτείται οπλισμός διάτμησης εφαρμόζεται από το πρόγραμμα ποσοστό οπλισμού τουλάχιστον ίσο με $0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}/f_{yk}}$. Βλ. EC2-1-1. Ενώ παρέχεται η δυνατότητα να οριστεί διαφορετικό ποσοστό.

Όταν απαιτείται οπλισμός διάτμησης γενικά προτείνονται συνδετήρες με ένα σκέλος, οι οποίοι διαμορφώνονται με γάντζο 45° στο ένα άκρο και 90° στο άλλο ώστε να περιβάλλουν την εξωτερική στρώση του διαμήκη οπλισμού και να διευκολύνεται η τοποθέτησή τους. (Σχήμα 7.10).



Σχήμα 7.10: Όπλιση 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 οδηγό παρουσιάζεται ενδεικτικά στο **Σχήμα 7.11**.



Σχήμα 7.11: Ενδεικτική διάταξη οπλισμού διάτμησης πλάκας

7.3 Έλεγχοι λειτουργικότητας

7.3.1 Περιορισμός τάσεων

Η θλιπτική τάση στο σκυρόδεμα πρέπει να περιορίζεται ώστε να αποφεύγεται η διαμήκης ρηγμάτωση, η μικρο-ρηγμάτωση ή τα υψηλά επίπεδα ερπυσμού, σε περιπτώσεις στις οποίες τα παραπάνω θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε μη αποδεκτές συνέπειες στην λειτουργία της κατασκευής.

Επιπλέον, θα πρέπει να περιορίζονται οι εφελκυστικές τάσεις στον οπλισμό, ώστε να αποφεύγονται οι ανελαστικές ανηγμένες παραμορφώσεις και η μη αποδεκτή ρηγμάτωση ή παραμόρφωση.

Στην περίπτωση του χαρακτηριστικού συνδυασμού δράσεων, δηλ.

$$G + g + P_s + P_w + \psi_{0,Q} \cdot (Q + q)$$

η αναπτυσσόμενη τάση στο σκυρόδεμα δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή

$$\sigma_c \leq k_1 \cdot f_{ck} \quad , \quad k_1 = 0.6 \text{ (συνιστώμενη τιμή)}$$

ώστε να αποφευχθεί η διαμήκης ρηγμάτωση, η οποία με την σειρά της επιφέρει εξασθένιση της ανθεκτικότητας. Επιπλέον, η εφελκυστική δύναμη του οπλισμού πρέπει να υπακούει στον παρακάτω περιορισμό:

$$\sigma_s \leq k_3 \cdot f_{yk} \quad , \quad k_3 = 0.8 \text{ (συνιστώμενη τιμή)}$$

Στην περίπτωση του οιονεί-μόνιμου συνδυασμού δράσεων, δηλ.

$$G + g + P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q + q)$$

πραγματοποιείται ο έλεγχος:

$$\sigma_c \leq k_2 \cdot f_{ck} \quad , \quad k_2 = 0.45 \text{ (συνιστώμενη τιμή)}$$

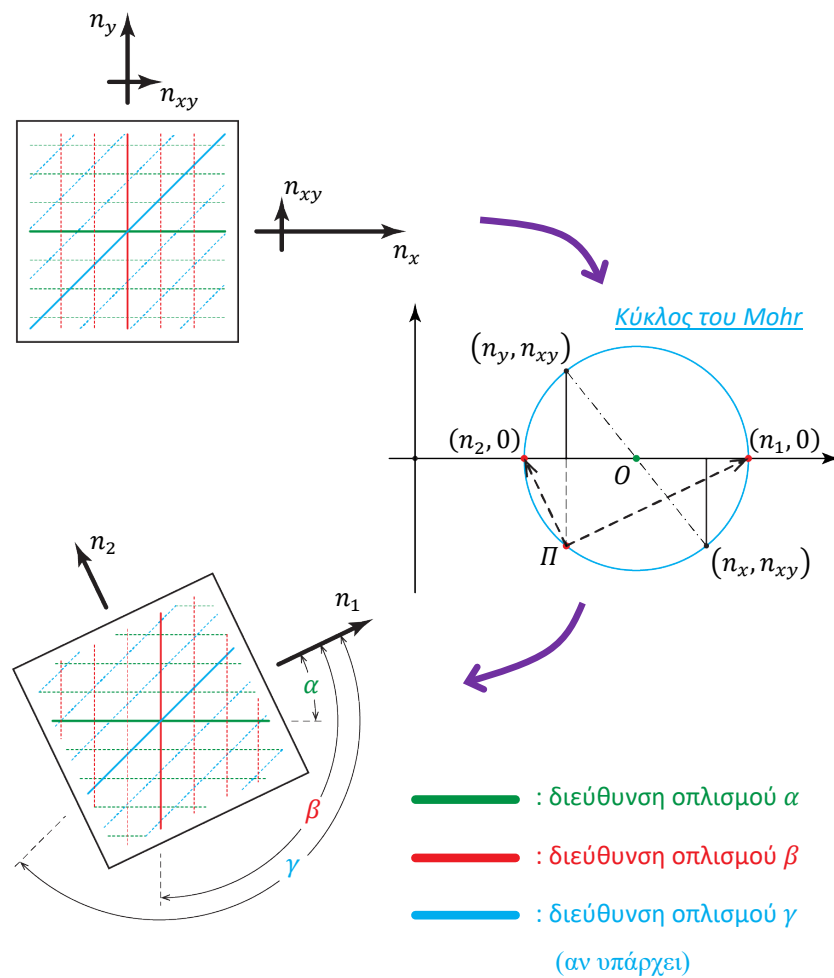
ο οποίος επιτρέπει την παραδοχή γραμμικού ερπυσμού.

7.3.2 Διαστασιολόγηση κελύφους στους ελέγχους λειτουργικότητας

Τα κελύφη είναι επιφανειακοί φορείς των οποίων η μέση επιφάνεια είναι καμπύλη. Από στατικής απόψεως, το κέλυφος συνδυάζει την συμπεριφορά πλάκας ως προς την καμπτική του λειτουργία και τη συμπεριφορά του δίσκου ως προς τη μεμβρανική του λειτουργία.

Συνεπώς, θα εξετάσουμε αρχικά τον τρόπο διαστασιολόγησης ενός δίσκου σύμφωνα με τη μέθοδο *Baumann* (βλ. § 7.1.1), δηλαδή της εύρεσης του κατάλληλου οπλισμού για την ικανοποίηση των ελέγχων λειτουργικότητας.

Ισχύει ότι, εάν οι διατμητικές και εφελκυστικές τάσεις του σκυροδέματος αμεληθούν, η εξωτερική φόρτιση (n_x, n_y, n_{xy}) ανά μονάδα μήκους μπορεί να παραληφθεί από τρεις δυνάμεις προσανατολισμένες σε τρεις οποιεσδήποτε διαφορετικές μεταξύ τους διευθύνσεις [1] (Σχήμα 7.12). Σε ένα πλέγμα οπλισμών με ράβδους σε τρεις διευθύνσεις αυτές οι δυνάμεις αντιστοιχούν στις τρεις διευθύνσεις οπλισμών, οι οποίες σχηματίζουν γωνίες α , β και γ με την δύναμη n_1 στο σύστημα κυρίων αξόνων (Σχήμα 7.12) και συμβολίζονται με n_α , n_β και n_γ .



Σχήμα 7.12: Πλέγμα οπλισμών με ράβδους σε τρεις διευθύνσεις

Για να προσδιοριστούν οι δυνάμεις n_α και n_β , πραγματοποιείται μια τομή μοναδιαίου μήκους ($\lambda_\gamma = 1$) παράλληλη στην 3^η διεύθυνση του πλέγματος οπλισμού (Σχήμα 7.13). Βάσει του σχήματος προκύπτουν τα προβαλλόμενα μήκη τομής λ_1 , λ_2 , λ_α και λ_β , τα οποία είναι κάθετα στις δυνάμεις n_1 , n_2 , n_α και n_β , αντίστοιχα:

$$\lambda_1 = \sin \gamma$$

$$\lambda_2 = -\cos \gamma$$

$$\lambda_\alpha = \sin(\gamma - \alpha)$$

$$\lambda_\beta = -\sin(\beta - \gamma)$$

Στη συνέχεια οι δυνάμεις n_1 , n_2 , n_α και n_β (οι οποίες ορίζονται ανά μονάδα μήκους) πολλαπλασιάζονται με τα αντίστοιχα μήκη στα οποία δρουν, λ_1 , λ_2 , λ_α και λ_β , και διατυπώνονται οι εξισώσεις ισορροπίας στο σύστημα κυρίων αξόνων της εξωτερικής φόρτισης. Οπότε εξάγονται οι παρακάτω εκφράσεις για τις δυνάμεις n_α και n_β :

$$n_\alpha = \frac{n_1 \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma) + n_2 \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma)}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\gamma - \alpha)}$$

$$n_\beta = \frac{n_1 \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\gamma) + n_2 \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma)}{\sin(\beta - \alpha) \cdot \sin(\beta - \gamma)}$$

Η αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται για τον προσδιορισμό της δύναμης n_γ (ανά μέτρο μήκους) βάσει της τομής μοναδιαίου μήκους ($\lambda_\beta = 1$), η οποία είναι παράλληλη στην 2^η διεύθυνση του πλέγματος οπλισμού (Σχήμα 7.13).

Τα προβαλλόμενα μήκη τομής λ_1 , λ_2 , λ_α και λ_γ , τα οποία είναι κάθετα στις δυνάμεις n_1 , n_2 , n_α και n_γ αντίστοιχα είναι:

$$\lambda_1 = \sin \beta$$

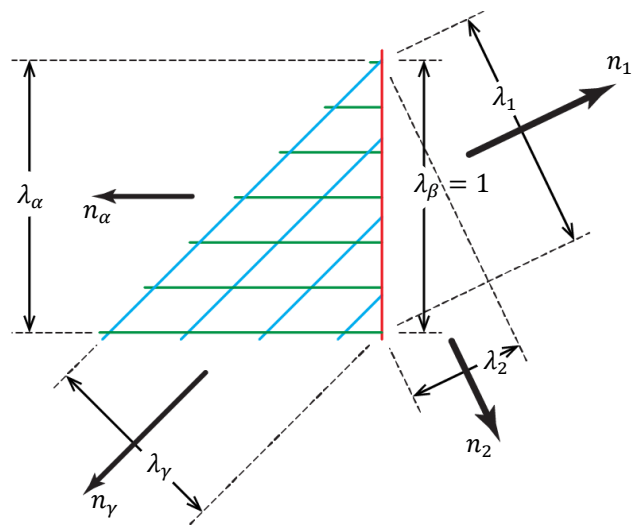
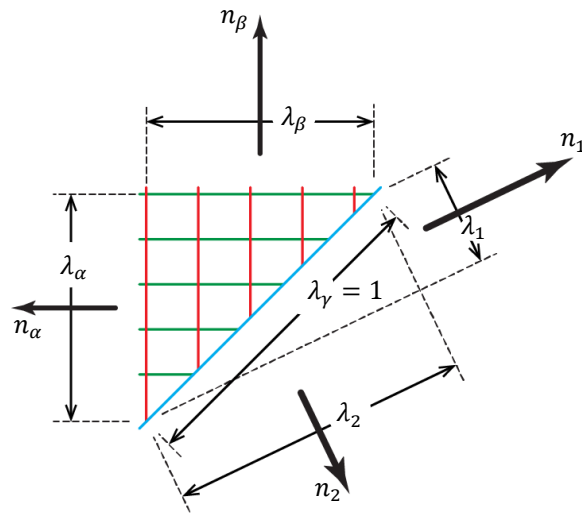
$$\lambda_2 = -\cos \beta$$

$$\lambda_\alpha = \sin(\beta - \alpha)$$

$$\lambda_\gamma = \sin(\gamma - \beta)$$

και από ισορροπία δυνάμεων τελικά προκύπτει:

$$n_\gamma = -\frac{n_1 \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) + n_2 \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)}{\sin(\beta - \gamma) \cdot \sin(\gamma - \alpha)}$$

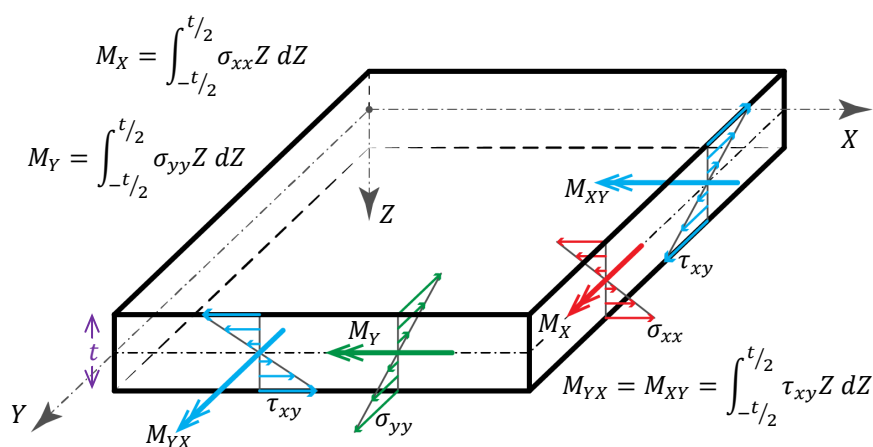


Σχήμα 7.13: Τομές παράλληλες στην 3^η και την 2^η διεύθυνση του πλέγματος οπλισμών αντίστοιχα, για τον υπολογισμό των δυνάμεων n_α , n_β και n_γ σύμφωνα με τον Baumann

Στην συνήθη περίπτωση της **εσχάρας οπλισμών σε 2 διευθύνσεις**, η διεύθυνση γ αντιστοιχεί στον θλιπτήρα σκυροδέματος, οπότε για την διεύθυνση γ δοκιμάζονται διαδοχικά οι τιμές:

$$\gamma = \frac{\alpha + \beta}{2} \quad \text{ή} \quad \gamma = \frac{\alpha + \beta}{2} + \frac{\pi}{2}$$

και τελικώς επιλέγεται η γωνία η οποία οδηγεί σε αρνητική τιμή της δύναμης n_γ (θλιπτική δύναμη).



Σχήμα 7.14: Καμπτικά εντατικά μεγέθη σε στοιχειώδες τμήμα της πλάκας

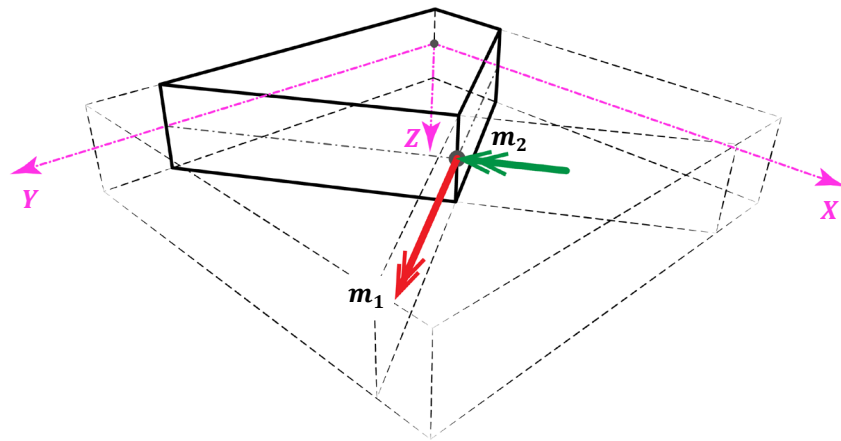
Οι σχέσεις για τον προσδιορισμό των δυνάμεων n_α , n_β και n_γ που αντιστοιχούν στις 3 διευθύνσεις οπλισμών ή στις 2 διευθύνσεις της εσχάρας οπλισμών και της διεύθυνσης του θλιπτήρα σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για τις ροπές στην περίπτωση της καμπτικής λειτουργίας του κελύφους. Αυτό προκύπτει καθώς οι ροπές αποτελούν ένα ζεύγος αντίρροπων δυνάμεων με συγκεκριμένο μοχλοβραχίονα. Μια σημαντική διαφορά μεταξύ πλάκας και δίσκου είναι ότι στην κάθε παρειά αναπτύσσονται τάσεις με διαφορετικό πρόσημο. Αυτό θα δικαιολογούσε την τοποθέτηση διαφορετικής εσχάρας με διαφορετικό προσανατολισμό σε κάθε παρειά (Σχήμα 7.14).

Δεδομένου όμως ότι οι κύριες ροπές m_1 και m_2 (οι οποίες προκύπτουν από τις καμπτικές ροπές M_x και M_y και την ροπή συστροφής M_{xy}) καθορίζονται στην μέση επιφάνεια της πλάκας (Σχήμα 7.15), θα πρέπει να κατανεμηθούν στις παρειές της πλάκας.

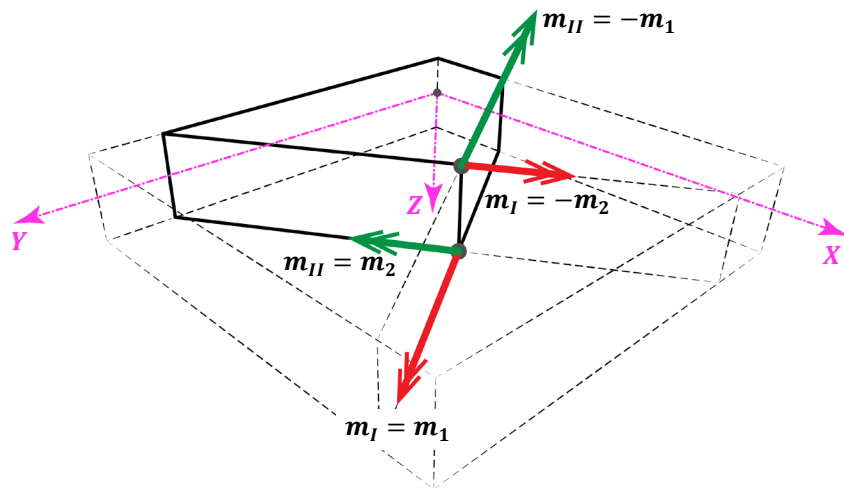
Για τον λόγο αυτό οι κύριες ροπές μετατοπίζονται στην θετική παρειά της πλάκας ή του κελύφους, χωρίς καμιά διαφοροποίηση και συμβολίζονται ως m_I και m_{II} (Σχήμα 7.16):

$$m_I^+ = m_1$$

$$m_{II}^+ = m_2$$



Σχήμα 7.15: Κύριες ροπές m_1 και m_2 στη μέση επιφάνεια της πλάκας



Σχήμα 7.16: Μετακίνηση κυρίων ροπών κάμψης στην άνω και κάτω παρειά

Αντίθετα, για την διαστασιολόγηση της εσχάρας οπλισμών της αρνητικής παρειάς, οι κύριες ροπές μετακινούνται στην αρνητική παρειά του κελύφους με αντίθετο πρόσημο. Κι επειδή η I^n κύρια ροπή έχει την μεγαλύτερη τιμή, ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$m_I^- = -m_2$$

$$m_{II}^- = -m_1$$

Το επόμενο βήμα είναι να καθοριστούν οι γωνίες που σχηματίζουν οι διευθύνσεις των οπλισμών με την I^n κύρια ροπή m_I και κατόπιν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι προαναφερθείσες σχέσεις της **μεθόδου Baumann** για δίσκους, τροποποιημένες ώστε να δώσουν τις ροπές διαστασιολόγησης σε κάθε διεύθυνση (το «+» αναφέρεται στην θετική παρειά, ενώ το «-» στην αρνητική):

$$m_a^{+/-} = \frac{m_I^{+/-} \cdot \sin(\beta^{+/-}) \cdot \sin(\gamma^{+/-}) + m_{II}^{+/-} \cdot \cos(\beta^{+/-}) \cdot \cos(\gamma^{+/-})}{\sin(\beta^{+/-} - \alpha^{+/-}) \cdot \sin(\gamma^{+/-} - \alpha^{+/-})}$$

$$m_\beta^{+/-} = \frac{m_I^{+/-} \cdot \sin(\alpha^{+/-}) \cdot \sin(\gamma^{+/-}) + m_{II}^{+/-} \cdot \cos(\alpha^{+/-}) \cdot \cos(\gamma^{+/-})}{\sin(\beta^{+/-} - \alpha^{+/-}) \cdot \sin(\beta^{+/-} - \gamma^{+/-})}$$

$$m_\gamma^{+/-} = -\frac{m_I^{+/-} \cdot \sin(\alpha^{+/-}) \cdot \sin(\beta^{+/-}) + m_{II}^{+/-} \cdot \cos(\alpha^{+/-}) \cdot \cos(\beta^{+/-})}{\sin(\beta^{+/-} - \gamma^{+/-}) \cdot \sin(\gamma^{+/-} - \alpha^{+/-})}$$

Συνδυάζοντας την καμπτική και μεμβρανική λειτουργία του κελύφους, με εφαρμογή της μεθόδου Baumann, προκύπτουν τα παρακάτω ζεύγη ροπών – αξονικών δυνάμεων ανά παρειά και διεύθυνση οπλισμού:

$$\left[\begin{Bmatrix} m_{\alpha/\beta}^{+/-} & n_{\alpha/\beta}^{+/-} \end{Bmatrix} \right] = \left[\begin{Bmatrix} \{-m_\alpha^- & n_\alpha\} \\ \{-m_\beta^- & n_\beta\} \\ \{m_\alpha^+ & n_\alpha\} \\ \{m_\beta^+ & n_\beta\} \end{Bmatrix} \right]$$

Κατά τον υπολογισμό της αντοχής μιας διατομής, επιλέγεται κάποιος οπλισμός ανά παρειά και διεύθυνση της εσχάρας:

$$\left\{ \begin{matrix} A_{S,\alpha}^- \\ A_{S,\beta}^- \\ A_{S,\alpha}^+ \\ A_{S,\beta}^+ \end{matrix} \right\}$$

$$B = -\frac{6n}{b} \cdot [As_1(e - y_e) + As_2(e + h - h_2 - y_e)]$$

$$C = \frac{6n}{b} \cdot [As_1 \cdot h \cdot (e - y_e) + As_2 \cdot h_2 \cdot (e + h - h_2 - y_e)]$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

Για την επίλυση της παραπάνω εξίσωσης γίνεται και η ακόλουθη απλοποιητική παραδοχή για τον λόγο των μέτρων ελαστικότητας χάλυβα και σκυροδέματος:

$$n = E_s / E_c = 7$$

Τελικά προκύπτουν 4 [δύο (2) παρειές με εσχάρα δύο (2) διευθύνσεων οπλισμού ανά παρειά] τιμές για το βάθος της θλιβόμενης ζώνης σκυροδέματος:

$$\begin{Bmatrix} x_{\alpha}^{-} \\ x_{\beta}^{-} \\ x_{\alpha}^{+} \\ x_{\beta}^{+} \end{Bmatrix}$$

Στην συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός του μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων από την σχέση:

$$\zeta = \frac{\left[\left(\frac{x \cdot \sigma_c}{2}\right) \cdot \left(h - \frac{x}{3}\right)\right] + [(A_{s,2} \cdot \sigma_{s,2}) \cdot (h - h_2)]}{\left(\frac{x \cdot \sigma_c}{2}\right) + (A_{s,2} \cdot \sigma_{s,2})}$$

Έτσι προκύπτουν 4 τιμές για τον μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων:

$$\{\zeta_{\alpha}^{-} \quad \zeta_{\beta}^{-} \quad \zeta_{\alpha}^{+} \quad \zeta_{\beta}^{+}\}$$

Μετά τον υπολογισμό των παραπάνω 4 τιμών, υπολογίζουμε τον ελάχιστο μοχλοβραχίονα για κάθε παρειά, δηλαδή:

$$\begin{Bmatrix} \zeta_{min}^{-} \\ \zeta_{min}^{+} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \min(\zeta_{\alpha}^{-}, \zeta_{\beta}^{-}) \\ \min(\zeta_{\alpha}^{+}, \zeta_{\beta}^{+}) \end{Bmatrix}$$

Με αυτόν τον τρόπο οι καμπτικές ροπές του κελύφους μπορούν να μετασχηματιστούν σε μεμβρανικές δυνάμεις διαιρώντας με τον ελάχιστο

μοχλοβραχίονα. Εφαρμόζοντας τους παρακάτω τύπους, λαμβάνονται οι τελικές μεμβρανικές δυνάμεις σχεδιασμού σε κάθε παρειά, $(n_{d,x}^{+/-}, n_{d,y}^{+/-}, n_{d,xy}^{+/-})$:

$$\begin{Bmatrix} n_{d,x}^{+/-} \\ n_{d,y}^{+/-} \\ n_{d,xy}^{+/-} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{n_x}{2} \pm \frac{m_x}{\zeta_{min}^{+/-}} \\ \frac{n_y}{2} \pm \frac{m_y}{\zeta_{min}^{+/-}} \\ \frac{n_{xy}}{2} \pm \frac{m_{xy}}{\zeta_{min}^{+/-}} \end{Bmatrix}$$

Τελικά, εφαρμόζονται για 2^η φορά οι σχέσεις της μεθοδολογίας του Baumann, αφού πρώτα έχουν υπολογιστεί οι νέες κύριες μεμβρανικές δυνάμεις σχεδιασμού, $n_{d,I}^{+/-}$ και $n_{d,II}^{+/-}$, και οι γωνίες που σχηματίζουν οι διευθύνσεις των ράβδων των εσχάρων οπλισμού με την I^η κύρια μεμβρανική δύναμη σχεδιασμού, $\alpha_d^{+/-}$, $\beta_d^{+/-}$ και $\gamma_d^{+/-}$. **Οπότε λαμβάνουμε τις μεμβρανικές δυνάμεις ανά διεύθυνση ράβδου της εσχάρας οπλισμού και ανά παρειά του κελύφους:**

$$\begin{Bmatrix} \begin{Bmatrix} n_{d,\alpha}^+ \\ n_{d,\beta}^+ \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} n_{d,\alpha}^- \\ n_{d,\beta}^- \end{Bmatrix} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \left(\frac{n_{d,I}^+ \cdot \sin(\beta_d^+) \cdot \sin(\gamma_d^+) + n_{d,II}^+ \cdot \cos(\beta_d^+) \cdot \cos(\gamma_d^+)}{\sin(\beta_d^+ - \alpha_d^+) \cdot \sin(\gamma_d^+ - \alpha_d^+)} \right) \\ \left(\frac{n_{d,I}^+ \cdot \sin(\alpha_d^+) \cdot \sin(\gamma_d^+) + n_{d,II}^+ \cdot \cos(\alpha_d^+) \cdot \cos(\gamma_d^+)}{\sin(\beta_d^+ - \alpha_d^+) \cdot \sin(\beta_d^+ - \gamma_d^+)} \right) \\ \left(\frac{n_{d,I}^- \cdot \sin(\beta_d^-) \cdot \sin(\gamma_d^-) + n_{d,II}^- \cdot \cos(\beta_d^-) \cdot \cos(\gamma_d^-)}{\sin(\beta_d^- - \alpha_d^-) \cdot \sin(\gamma_d^- - \alpha_d^-)} \right) \\ \left(\frac{n_{d,I}^- \cdot \sin(\alpha_d^-) \cdot \sin(\gamma_d^-) + n_{d,II}^- \cdot \cos(\alpha_d^-) \cdot \cos(\gamma_d^-)}{\sin(\beta_d^- - \alpha_d^-) \cdot \sin(\beta_d^- - \gamma_d^-)} \right) \end{Bmatrix}$$

Με βάση τις παραπάνω δυνάμεις υπολογίζονται οι τάσεις σκυροδέματος και χάλυβα για τον έλεγχο λειτουργικότητας. Π.χ. για την περίπτωση της μεμβρανικής δύναμης $n_{d,\alpha}^-$ στην αρνητική (κατά το τοπικό σύστημα του κελύφους) παρειά στην διεύθυνση του οπλισμού α , διακρίνουμε 2 περιπτώσεις (**Πίνακας 7.3**):

	$n_{d,\alpha}^- > 0$	$n_{d,\alpha}^- < 0$
$\sigma_{C,SLS,\alpha}^-$	0.0	$\frac{n_{d,\alpha}^-}{\left(\frac{1}{2} \cdot b \cdot x_{\alpha}^- \right) + \left(\frac{x_{\alpha}^- - h_{2,\alpha}^-}{x_{\alpha}^-} \cdot n \cdot A_{S,\alpha}^- \right)}$
$\sigma_{S,SLS,\alpha}^-$	$\frac{n_{d,\alpha}^-}{A_{S,\alpha}^-}$	0.0

Πίνακας 7.3: Υπολογισμός τάσεων σκυροδέματος και χάλυβα στους ελέγχους λειτουργικότητας. $n_{d,\alpha}^-$ μεμβρανική δύναμη σχεδιασμού, $\sigma_{C,SLS,\alpha}^-$ τάση σκυροδέματος, $\sigma_{S,SLS,\alpha}^-$ τάση χάλυβα

7.3.3 Έλεγχος ρηγμάτωσης

Σύμφωνα με τον EN1992-1-1, η ρηγμάτωση μιας κατασκευής θα πρέπει να περιορίζεται ώστε να μην παρεμποδίζει την ομαλή λειτουργία της κατασκευής, να μην υποβαθμίζει την ανθεκτικότητα της και να οδηγεί μόνο σε αποδεκτή εμφάνιση. Ο έλεγχος της ρηγμάτωσης πραγματοποιείται για τον οιονεί-μόνιμο συνδυασμό δράσεων, δηλ.

$$G + g + P_s + \psi_{2,w} \cdot P_w + \psi_{2,Q} \cdot (Q + q)$$

Το πλάτος ρωγμής, w_k , σύμφωνα με τον EN1992-1 (§7.3.4), μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση [εξ. (7.8), EN1992-1]:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

όπου $s_{r,max}$ είναι η μέγιστη απόσταση των ρωγμών, ε_{sm} είναι η μέση ανηγμένη παραμόρφωση του οπλισμού υπό τον κατάλληλο συνδυασμό φορτίων, περιλαμβάνοντας και την επιρροή των επιβεβλημένων παραμορφώσεων καθώς και της συμβολής στη δυσκαμψία του εφελκόμενου σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών και λαμβάνοντας υπόψιν μόνο την πρόσθετη τάση εφελκυσμού πέρα από την κατάσταση μηδενικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος στην ίδια στάθμη. Τέλος, το ε_{cm} είναι η μέση ανηγμένη παραμόρφωση του σκυροδέματος μεταξύ των ρωγμών.

Για τον υπολογισμό της ποσότητας $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ εφαρμόζεται η σχέση (7.9) του EN1992-1:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + a_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

όπου σ_s είναι η τάση στον εφελκόμενο οπλισμό, που προκύπτει με την παραδοχή ρηγματωμένης διατομής, a_e είναι ο λόγος E_s/E_{cm} , E_s η τιμή σχεδιασμού του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα οπλισμού και E_{cm} το επιβατικό (τέμνον) μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος. Απλοποιητικά, θεωρούμε ότι:

$$a_e = 7$$

Επιπλέον:

$$\rho_{p,eff} = A_s/A_{c,eff}$$

όπου A_s είναι το εμβαδόν του οπλισμού και $A_{c,eff}$ είναι η ενεργός επιφάνεια του εφελκόμενου σκυροδέματος που περιβάλλει τον οπλισμό, ύψους $h_{c,ef}$:

$$h_{c,ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2.5 \cdot (h - d) \\ (h - x)/3 \\ h/2 \end{array} \right\}$$

Σε περιπτώσεις που ο οπλισμός με συνάφεια είναι τοποθετημένος σε εύλογα μικρές αποστάσεις μέσα στην εφελκόμενη ζώνη, δηλαδή ισχύει ότι:

$$\text{απόσταση ράβδων} \leq 5 \cdot (c + \varphi/2)$$

η μέγιστη τελική απόσταση υπολογίζεται από τη σχέση (7.11) του EN1992-1:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \varphi}{\rho_{p,eff}}$$

όπου φ είναι η διάμετρος της ράβδου. Όταν χρησιμοποιείται ποικιλία διαμέτρων, θα πρέπει να εισάγεται στη σχέση μια ισοδύναμη διάμετρος, φ_{eq} . Για μια διατομή με n_1 ράβδους διαμέτρου φ_1 και n_2 ράβδους διαμέτρου φ_2 , θα πρέπει να χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση [(7.12), EN1992-1]:

$$\varphi_{eq} = \frac{n_1 \cdot \varphi_1^2 + n_2 \cdot \varphi_2^2}{n_1 \cdot \varphi_1 + n_2 \cdot \varphi_2}$$

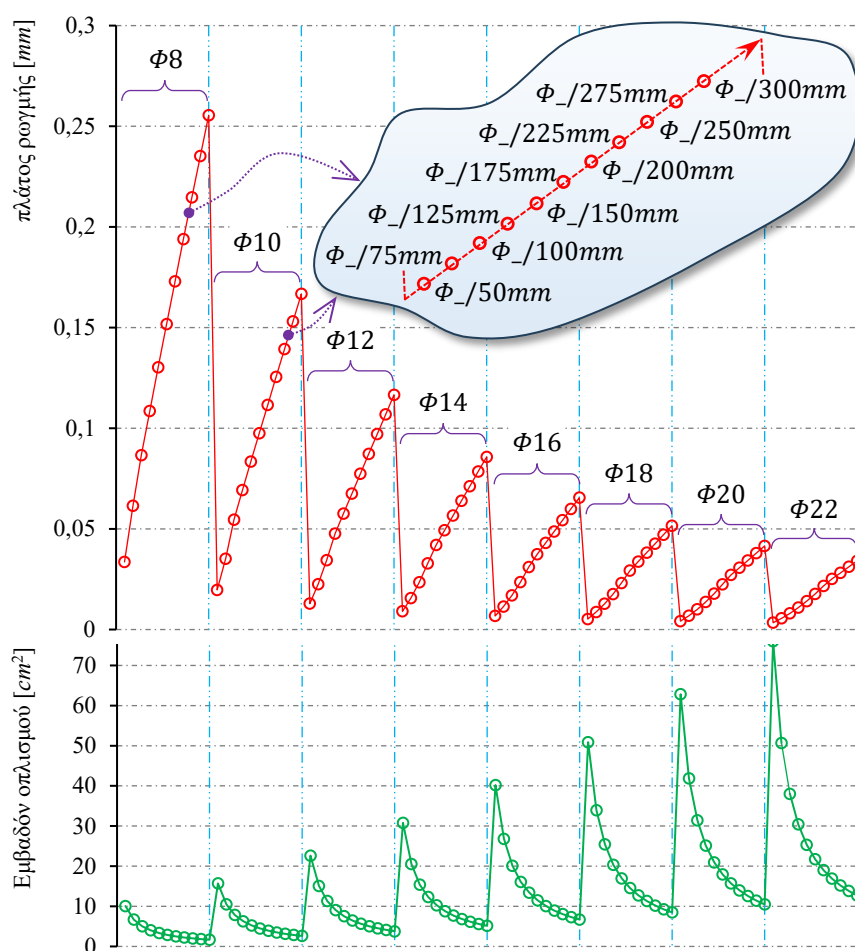
Επιπλέον, c είναι η επικάλυψη του διαμήκους οπλισμού, k_1 είναι ένας συντελεστής για να ληφθούν υπόψη οι ιδιότητες συνάφειας του οπλισμού ($= 0.8$ για ράβδους υψηλής συνάφειας), k_2 είναι ένας συντελεστής για να ληφθεί υπόψη η κατανομή των ανηγμένων παραμορφώσεων, ο οποίος παίρνει τιμή 0.5 για κάμψη και 1.0 για αμυγή εφελκυσμό. Οι συνιστώμενες τιμές για τα k_3 και k_4 είναι 3.4 και 0.425, αντίστοιχα.

Όταν η απόσταση του οπλισμού με συνάφεια υπερβαίνει την τιμή $5 \cdot (c + \varphi/2)$, ένα άνω όριο για το εύρος της ρωγμής βρίσκεται υποθέτοντας την ακόλουθη μέγιστη απόσταση μεταξύ των ρωγμών [(7.14), EN1992-1]:

$$s_{r,max} = 1.3 \cdot (h - x)$$

Η εξαγωγή του τελικώς τοποθετούμενου οπλισμού βασίζεται στη διερεύνηση της μεταβολής του πλάτους της ρωγμής συναρτήσει του εμβαδού του τοποθετούμενου

εφελκνόμενου οπλισμού, της διαμέτρου των ράβδων και της απόστασής μεταξύ των ράβδων.



Σχήμα 7.18: Εύρος ρογμής [mm] και εμβαδόν εφελκνόμενου οπλισμού για διάφορες διαμέτρους ράβδων και διάφορες αποστάσεις μεταξύ των ράβδων

Παράδειγμα τέτοιας διερεύνησης παρουσιάζεται στο **Σχήμα 7.18** και αφορά σε διατομή με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- διαστάσεις διατομής: $1.00m \times 0.35m$
- επικάλυψη: $5cm$

- αμελείται η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος
- τριγωνικό διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος
- θλιβόμενος οπλισμός: $\Phi 12/200\text{mm}$
- Ροπή: 10.0 kNm/m
- Αξονική δύναμη: 2.0 kN/m

Ο υπολογισμός του επιτρεπόμενου εύρους ρωγμής γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις της 7.3.1 του EN1992-3.

- Κατηγορία στεγανότητας 0 (αποδεκτός κάποιος βαθμός διαρροής ή η διαρροή υγρών δεν αφορά)

Ισχύουν οι διατάξεις του EN1992-1 / §7.3.1, δηλ. υπολογίζεται το επιτρεπόμενο εύρος ρωγμής $w_{\max}$ συναρτήσει της κατηγορίας περιβαλλοντικής έκθεσης βάσει του Πίνακα 7.1N του EN1992-1:

Κατηγορία περιβαλλοντικής έκθεσης	Στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος
	Οιονεί-μόνιμος συνδυασμός δράσεων
$X0, XC1$	0.4 (Το εύρος ρωγμής δεν επηρεάζει την ανθεκτικότητα σε διάρκεια, και το σχετικό όριο τίθεται για την εξασφάλιση αποδεκτής αισθητικής εμφάνισης. Εφόσον δεν τίθεται απαιτήσεις αισθητικής εμφάνισης, το όριο αυτό μπορεί να αυξηθεί.)
$XC2, XC3, XC4$	0.3
$XD1, XD2, XS1, XS2, XS3$	

Πίνακας 7.4: Προτεινόμενες τιμές για το $w_{\max}$ (mm)

- Κατηγορία στεγανότητας 1 (η διαρροή πρέπει να περιοριστεί σε μικρή ποσότητα. Αποδεκτή η δημιουργία λεκέδων υγρασίας)

Ρωγμές οι οποίες αναμένονται να διαπεράσουν το συνολικό πάχος της διατομής πρέπει να μην ξεπερνούν την τιμή w_{k1} . Η προτεινόμενη τιμή για τις υδατοδεξαμενές ορίζεται ως συνάρτηση του λόγου της υδροστατικής πίεσης, h_D , προς το πάχος του στοιχείου, h :

$$w_{k1} = \begin{cases} 0.05 \text{ mm} & h_D/h \geq 35 \\ 0.225 - 0.005 \cdot (h_D/h) & 5 < h_D/h < 35 \\ 0.2 \text{ mm} & h_D/h \leq 5 \end{cases}$$

Στην περίπτωση που δεν ρηγματώνεται το συνολικό πάχος της διατομής εφαρμόζονται οι προβλέψεις της Κατηγορίας στεγανότητας 0.

- Κατηγορία στεγανότητας 2 (η διαρροή πρέπει να είναι ελάχιστη, δεν πρέπει να εμφανίζονται λεκέδες υγρασίας)

Δεν επιτρέπονται ρωγμές οι οποίες αναμένονται να διαπεράσουν το πλήρες πάχος της διατομής, εκτός αν ληφθούν κατάλληλα μέτρα (μεμβράνες και διατομές για στεγανοποίηση κατασκευαστικών αρμών)

- Κατηγορία στεγανότητας 3 (δεν επιτρέπεται καθόλου διαρροή)

Είναι απαραίτητα τα κατάλληλα μέτρα (μεμβράνες και διατομές για στεγανοποίηση κατασκευαστικών αρμών) για την εξασφάλιση της υδατοστεγανότητας.

Για να εξασφαλιστεί ότι στις κατασκευές κατηγορίας στεγανότητας 2 ή 3 οι ρωγμές δεν διαπερνούν το συνολικό πάχος της διατομής, θα πρέπει το βάθος της θλιβόμενης ζώνης, υπολογιζόμενο για τον οιονεί-μόνιμο συνδυασμό δράσεων, να είναι τουλάχιστον $x_{\min}$. Όταν μια διατομή υποβάλλεται σε δράσεις εναλλασσόμενου προσήμου, θεωρείται ότι οι ρωγμές διαπερνούν το συνολικό πάχος του στοιχείου, εκτός αν προκύπτει ότι μέρος της διατομής πάντα παραμένει σε θλίψη. Αυτό το μέρος της διατομής πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον $x_{\min}$ για τους κατάλληλους συνδυασμούς δράσεων. Στα παραπάνω αμελείται η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και γίνεται παραδοχή τριγωνικού διαγράμματος τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος. Η προτεινόμενη τιμή για το $x_{\min}$ είναι:

$$x_{\min} = \min \left\{ \begin{matrix} 50 \text{ mm} \\ 0.2 \cdot h \end{matrix} \right\}$$

7.3.4 Έλεγχος σε βέλος κάμψης

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

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

όπου

- φ είναι ο συντελεστής ερπυσμού, ο οποίος συνήθως λαμβάνεται ίσος με 2,5.

- ο συντελεστής ϵ 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. $l/250$ ή $l/500$.

7.4 Βιβλιογραφία

- [1] [BAUM72] **T. Baumann**, «Zur Frage der Netzbewehrung von Flächentragwerken», *Concrete*, 2(8), pp. 319–320, 1968.
- [2] [CONC95] «Concrete Structures Euro-Design Handbook», Ernst & Sohn, 1995.
- [3] [LEON77] **F. Leonardt** και **E. Mönning**, «Ολόσομες Κατασκευές», μετάφραση από τη 2η γερμανική έκδοση 1975, εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, 1977.
- [4] [WOOD68] **R. H. Wood**, «The reinforcement of slabs in accordance with a predetermined field of moments», *Concrete*, 2(2), pp. 69–76, 1968.
- [5] [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.
- [6] [MACG06] **J. G. MacGregor** and **J. K. Wight**, «Reinforced Concrete Mechanics and Design», 4th ed., Pearson Education South Asia Pte Ltd, 2006.
- [7] [CAPR78] **A. Capra** and **J-F. Maury**, "Calcul automatique du ferrailage optimal des plaques et coques en beton arme", *Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics*, No.367, Decembre 1978.
- [8] [DENT96], **S. Denton** and **C.J. Burgoyne**, "The assessment of reinforced concrete slabs", *The Structural engineer*, 74, 1996.

8

Τεύχος Μελέτης

Στο Τεύχος Μελέτης εκτυπώνονται οι παρακάτω ενότητες

8.1 Αρχική σελίδα

Αποτυπώνονται τα βασικά στοιχεία της μελέτης

8.2 Περιεχόμενα

8.3 Υπεύθυνη δήλωση

Η υπεύθυνη δήλωση του μηχανικού

8.4 Εκτίμηση επιτρεπόμενης τάσης εδάφους

8.5 Τεχνική έκθεση

8.6 Γενικά Δεδομένα Προβλήματος

Εδώ καταγράφονται τα παρακάτω δεδομένα:

- Δεδομένα δικτύου πεπερασμένων στοιχείων
- Δεδομένα σεισμικής δράσης
- Δεδομένα δράσεων σχετικά με τους συντελεστές ασφαλείας
- Δεδομένα σκυροδέματος και οπλισμού
- Δεδομένα πλακών
- Δεδομένα τοιχωμάτων

8.7 Δεδομένα Δράσεων

Εδώ καταγράφονται αναλυτικά τα δεδομένα:

- για τις Γενικές Δράσεις

- για τις Σεισμικές Δράσεις

8.8 Δεδομένα Συνδυασμών Δράσεων

Εδώ καταγράφονται αναλυτικά τα δεδομένα:

- για τους Στατικούς Συνδυασμούς Δράσεων ULS
- για τους Στατικούς Συνδυασμούς Δράσεων SLS
- για τους Σεισμικούς Συνδυασμούς Δράσεων

8.9 Αποτελέσματα επίλυσης

Εδώ καταγράφονται αναλυτικά:

- Τα δεδομένα της επίλυσης: αριθμός κόμβων, μελών καθώς και στοιχεία που αφορούν τις σεισμικές δράσεις και τον ερπυσμό
- Δεδομένα για τα φορτία
 - Μόνιμα φορτία
 - Κινητά φορτία
 - Ομοιόμορφη επιφόρτιση γαιών g
 - Ομοιόμορφη επιφόρτιση γαιών q
 - Στατικές ωθήσεις γαιών
 - Στατικές ωθήσεις υγρού
 - Οιονεί μόνιμα φορτία για τη γεμάτη πισίνα OMF
 - Οιονεί μόνιμα φορτία για την άδεια πισίνα OMA
 - Χαρακτηριστικά φορτία για τη γεμάτη πισίνα XT
 - Χαρακτηριστικά φορτία για την άδεια πισίνα XA
 - Σεισμικές δράσεις
 - Επιφόρτιση γαιών σημειακού φορτίου (τύπου φορητού) εάν υπάρχει
 - Ενδεχόμενα λοιπά φορτία
- Επιλύσεις με ερπυσμό

8.10 Διαγράμματα επιφανειών

Εδώ προστίθενται οι εκτυπώσεις των 3d αποτελεσμάτων που έχει επιλέξει ο χρήστης να προσθέσει στο τεύχος, χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο πλήκτρο της μάσκας αποτελεσμάτων, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4.

8.11 Οπλισμοί επιφανειών

Εδώ αναγράφονται οι οπλισμοί που προκύπτουν για όλες τις επιφάνειες της κατασκευής -πλάκες και τοιχώματα- οι οποίες έχουν επιλεγεί για διαστασιολόγηση

8.12 Βάρη – όγκοι πισίνας

- Αναγράφονται όγκοι και βάρη σκυροδέματος της πισίνας και άλλα στοιχεία που επιτρέπουν στο χρήστη μια γενικότερη εποπτεία των μεγεθών της κατασκευής.

Με τα αποτελέσματα αυτά μπορεί εύκολα να γίνει έλεγχος επίπλευσης της πισίνας λόγω άνωσης από τον υδροφόρο ορίζοντα. Η ανίσωση του ελέγχου αυτού βάσει EC7 είναι η εξής:

$$F_{st} \leq F_{dst}$$

Όπου:

$$F_{st} = \gamma_{ευμ} * W_c = 0,9 * W_c$$

$$F_{dst} = \gamma_{δυσμ} * F_A = 1,1 * F_A$$

και

$$F_A = A_c * h_{νερού} * \gamma_{νερού}$$

Τα W_c [Βάρος σκυροδέματος πισίνας] και A_c [Εμβαδον κάτοψης πυθμένα] εκτυπώνονται στον πίνακα αυτό.

Δες και **Παραδείγματα μελέτης κολυμβητικής δεξαμενής: Παράδειγμα 1**.

- Ακολουθεί η συνολική προμέτρηση της κατασκευής, με πίνακες ποσοτήτων σκυροδέματος – σιδηρού οπλισμού.