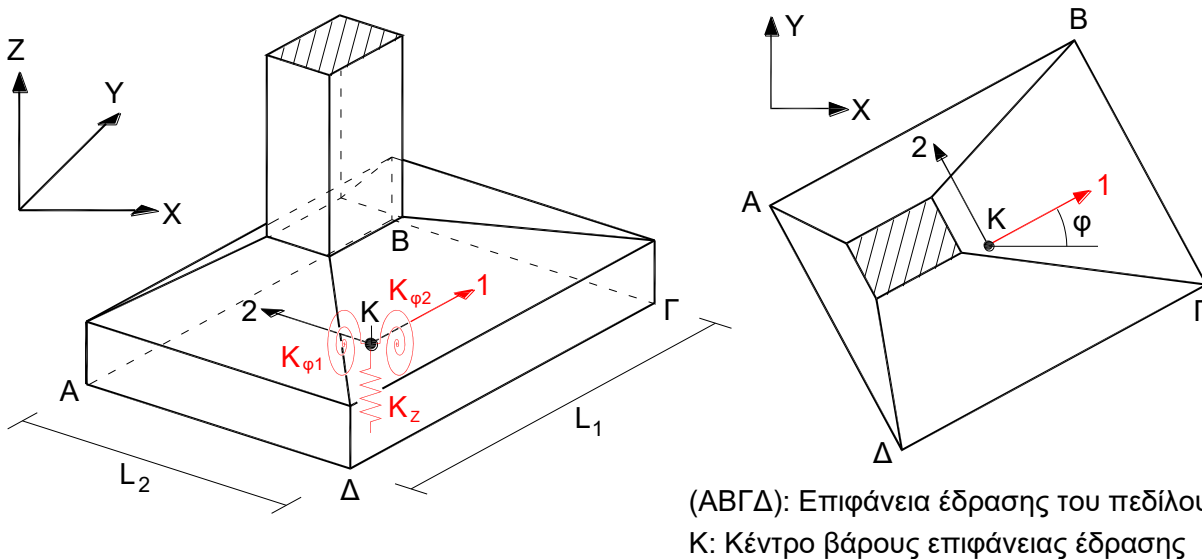


ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ ΡΑΦ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ

Πέδιλα με συνδετήριες δοκούς

Το ΡΑΦ προσομοιώνει πέδιλα ορθογωνικής κάτοψης (κεντρικώς ή εκκέντρως καταπονούμενα) με επιφάνεια επαφής με το έδαφος παράλληλη με το επίπεδο που σχηματίζουν οι άξονες X και Y του καθολικού συστήματος αναφοράς $OXYZ$ (Σχήμα 8.26). Το κάθε πέδιλο έχει το δικό του τοπικό σύστημα αναφοράς με άξονες 1, 2 που μπορούν να σχηματίζουν οποιαδήποτε γωνία φ ως προς τους καθολικούς άξονες X, Y .

Η περιγραφή ενός πεδίου στο ΡΑΦ – για τις ανάγκες της ανάλυσης – γίνεται με τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους της επιφανείας έδρασης (όπου και εισάγεται ένας κόμβος), με τη γωνία φ που σχηματίζει το τοπικό σύστημα συντεταγμένων του με το καθολικό σύστημα, καθώς και με τις ελατηριακές σταθερές $K_z, K_{\varphi 1}, K_{\varphi 2}$ των τριών ελατηρίων (ενός μεταφορικού κατά την διεύθυνση του καθολικού άξονα Z , και δυο στροφικών για στροφές περί τους τοπικούς άξονες 1 και 2 του πεδίου) που τοποθετούνται στο κέντρο βάρους της επιφανείας έδρασης (βλ. ακόλουθο σχήμα).



(ΑΒΓΔ): Επιφάνεια έδρασης του πεδίου
K: Κέντρο βάρους επιφανείας έδρασης

Σχήμα 8.26 Παράμετροι περιγραφής των ορθογωνικών πεδίων στο ΡΑΦ.

Η φιλοσοφία του μοντέλου προσομοίωσης ενός μεμονωμένου πεδίου με το ΡΑΦ στηρίζεται στην παραδοχή ότι το πέδιλο συμπεριφέρεται ως απολύτως στερεό σώμα. Η θεώρηση αυτή δίνει τις εξής δυνατότητες προσομοίωσης:

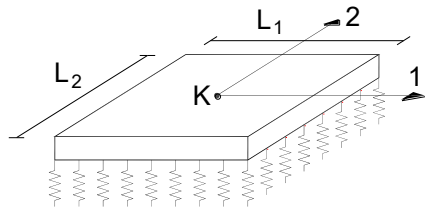
1. Δυνατότητα προσομοίωσης της έδρασης του πεδίου μόνον με τρία ελατήρια τα οποία τοποθετούνται στον κόμβο του προσομοιώματος ο οποίος ταυτίζεται με το κέντρο βάρους της επιφανείας έδρασης. Στο σχήμα 8.27 παρουσιάζεται η διαδικασία υπολογισμού των σταθερών των ελατηρίων η οποία εκτελείται αυτομάτως από το ΡΑΦ.
2. Δυνατότητα προσομοίωσης του σώματος του πεδίου με τη βοήθεια απολύτως στερεών βραχιόνων, οι οποίοι θα πρέπει να συνδέουν το κέντρο βάρους της επιφανείας έδρασης, με τους κόμβους όλων των

ραβδωτών στοιχείων που συνδέονται με το πέδιλο (π.χ. φερόμενα υποστυλώματα, ή και συνδετήριες δοκούς). Η υλοποίηση των στερεών αυτών βραχιόνων (βλ. σχήματα 8.28 και 8.29) επιτυγχάνεται με τον ενσωματωμένο μηχανισμό εξαρτημένων κόμβων τύπου στερεού σώματος (body constraint) με τρόπο ανάλογο όπως και στην περίπτωση της προσομοίωσης της διαφραγματικής λειτουργίας των πλακών (βλ. παράγραφο 8.2.2. του παρόντος εγχειριδίου).

Το πρόγραμμα έχει επίσης τη δυνατότητα υπολογισμού της ενεργού τάσης που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια εδάφους-πεδίου. Πρόκειται για την ισοδύναμη ομοιόμορφη τάση η οποία υπολογίζεται με την παραδοχή Meyerhof σύμφωνα με την οποία προβλέπεται η ύπαρξη αδρανούς ζώνης σε τμήμα της διεπιφάνειας (βλ. π.χ. [22], [46]).

Η σχέση υπολογισμού της ενεργού τάσης είναι (βλ. [22]):

$$\sigma_{\text{αντπ}} = \frac{F_z}{[L_1 + 2 \cdot (M_2/F_z)] \cdot [L_2 - 2 \cdot (M_1/F_z)]} \quad (\text{Όπου } F_z, M_1, M_2 \text{ είναι οι αντιδράσεις των ελατηρίων του πεδίου}) \quad (8.4)$$

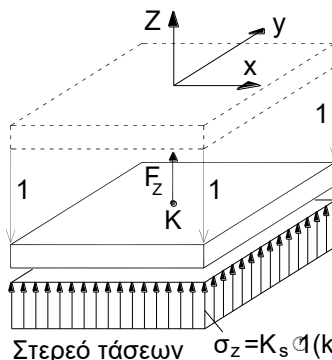


Παραδοχές:

Επιφάνεια έδρασης απαραμόρφωτη

Προσομοίωση εδάφους: Winkler

Δείκτης εδάφους K_s [kN/m³]



Στερεό τάσεων $\sigma_z = K_s \cdot 1$ (kN/m²)

Υπολογισμός σταθεράς K_z

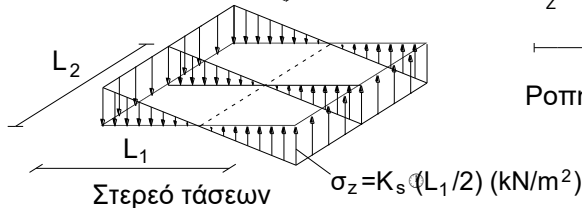
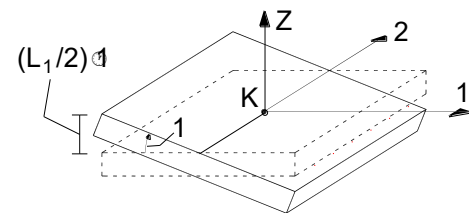
Μοναδιαία κατακόρυφη μετακίνηση

Συνολική αντίδραση εδάφους:

$$F_z = \sigma_z \cdot 1 \cdot 1 = K_s \cdot 1 \cdot 1 \text{ (kN)}$$

Σταθερά μεταφορικού ελατηρίου:

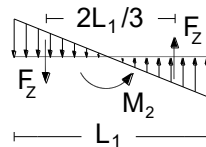
$$K_z = F_z = K_s \cdot 1 \cdot 1 \text{ (kN/m)}$$



Στερεό τάσεων $\sigma_z = K_s \cdot (L_1/2)$ (kN/m²)

Υπολογισμός σταθεράς $K_{\phi 2}$

Μοναδιαία στροφή: $\phi_2 = 1$ [rad]



$$F_z = (1/2) \cdot \sigma_z \cdot (L_1/2) \cdot 1 = (1/8) \cdot K_s \cdot 1 \cdot 1$$

$$\text{Ροπή - αντίδραση: } M_2 = F_z \cdot (2L_1/3) = (K_s \cdot 1^3 \cdot 1)/12$$

Σταθερά στροφικού ελατηρίου $K_{\phi 2}$:

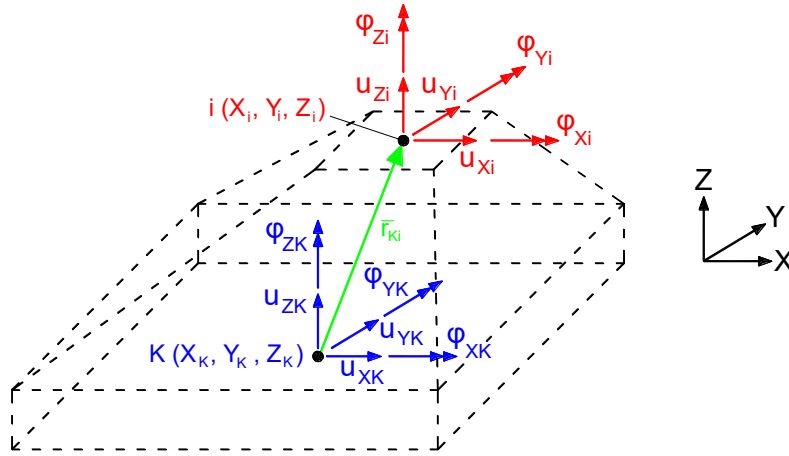
$$K_{\phi 2} = M_2 = (K_s \cdot 1^3 \cdot 1)/12 \text{ (kNm/rad)}$$

Υπολογισμός σταθεράς $K_{\phi 1}$: (Αντιστοίχως με $K_{\phi 2}$)

Σταθερά στροφικού ελατηρίου $K_{\phi 1}$:

$$K_{\phi 1} = M_1 = (K_s \cdot 1 \cdot 1^3)/12 \text{ (kNm/rad)}$$

Σχήμα 8.27 Διαδικασία υπολογισμού των σταθερών των ελατηρίων με τα οποία προσομοιώνεται η έδραση ενός πεδίου στο έδαφος με βάση τις παραδοχές του ΡΑΦ.



K =κόμβος στο Κ.Β. της επιφάνειας έδρασης (master joint)

i =ένας εκ των εξαρτώμενων κόμβων του κόμβου K (dependent joint)

Σχήμα 8.28 Η προσομοίωση του πεδίου μέσω μηχανισμού εξάρτησης κόμβων τύπου στερεού σώματος.

➤ *Μαθηματική διατύπωση λειτουργίας στερεού σώματος*

Η μαθηματική διατύπωση της εξάρτησης των β.ε. των εξαρτώμενων κόμβων (κόμβου i) από τους β.ε. του master joint (κόμβος K) εκφράζεται με τις παρακάτω σχέσεις:

$$u_{xi} = u_{xK} + (Z_i - Z_K) \cdot \phi_{yK} - (Y_i - Y_K) \cdot \phi_{zK} = u_{xK} + \bar{Z}_{iK} \cdot \phi_{yK} - \bar{Y}_{iK} \cdot \phi_{zK} \quad (8.5\alpha)$$

$$u_{yi} = u_{yK} - (Z_i - Z_K) \cdot \phi_{xK} + (X_i - X_K) \cdot \phi_{zK} = u_{yK} - \bar{Z}_{iK} \cdot \phi_{xK} + \bar{X}_{iK} \cdot \phi_{zK} \quad (8.5\beta)$$

$$u_{zi} = u_{zK} + (Y_i - Y_K) \cdot \phi_{xK} - (X_i - X_K) \cdot \phi_{yK} = u_{zK} + \bar{Y}_{iK} \cdot \phi_{xK} - \bar{X}_{iK} \cdot \phi_{yK} \quad (8.5\gamma)$$

$$\phi_{xi} = \phi_{xK} \quad (8.5\delta)$$

$$\phi_{yi} = \phi_{yK} \quad (8.5\epsilon)$$

$$\phi_{zi} = \phi_{zK} \quad (8.5\sigma\tau)$$

Η μέθοδος που εφαρμόζεται στο ΡΑΦ, για την προσομοίωση της λειτουργίας στερεού σώματος, στηρίζεται στον μετασχηματισμό των μητρώων δυσκαμψίας και φόρτισης των ραβδωτών του στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, εφόσον ένας από τους δυο (ή και οι δυο) κόμβους ενός ραβδωτού στοιχείου δηλώνεται πως συνδέεται σε κάποιο πέδilo, τότε το μητρώο δυσκαμψίας και το διάνυσμα φόρτισης του στοιχείου αυτού υπόκειται αυτόματα σε κατάλληλο μητρωϊκό μετασχηματισμό έτσι ώστε να εισάγονται στα μητρώα αυτά, οι σχέσεις (8.5α) – (8.5στ). Οι απαιτούμενοι μητρωϊκοί μετασχηματισμοί έχουν την ακόλουθη μορφή:

$$[\bar{K}] = [A]^T \cdot [K] \cdot [A] \quad (8.6\alpha)$$

$$[\bar{P}_0] = [A]^T \cdot [P_0] \quad (8.6\beta)$$

Όπου : $[K]$ το αρχικό μητρώο δυσκαμψίας του στοιχείου,

$[P_0]$ το αρχικό διάνυσμα φόρτισης του στοιχείου,

$[A]$ κατάλληλα διαμορφωμένο μητρώο μετασχηματισμού.

Έτσι η σύνθεση του μητρώου δυσκαμψίας και του διανύσματος φόρτισης όλου του φορέα πραγματοποιείται με τα μετασχηματισμένα μητρώα.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθούν τα εξής:

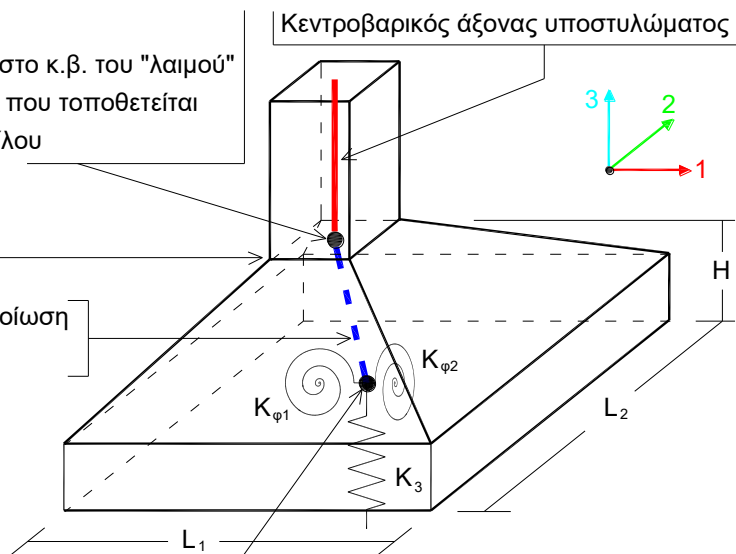
- Ο αλγόριθμος ανάλυσης του ΡΑΦ δίνει την δυνατότητα συνδυασμένης θεώρησης της σύζευξης μετακινήσεων διαφράγματος και της σύζευξης μετακινήσεων στερεού σώματος. Αυτό σημαίνει ότι ο ένας από τους δυο κόμβους ενός στοιχείου μπορεί να ανήκει σε ένα διάφραγμα και ο άλλος σε πέδιλο, και αυτό το γεγονός λαμβάνεται αυτόματα υπόψη μέσω ενός κατάλληλα τροποποιημένου μητρώου [Α].
- Η διαδικασία με την οποία εισάγεται ένα πέδιλο στο ΡΑΦ δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης της έδρασης πολλών υποστυλμάτων σε ένα πέδιλο, όταν αυτό είναι επιθυμητό. Επι παραδείγματι, ανάγκη για την πρακτική εφαρμογή αυτής της δυνατότητας εμφανεται πολύ συχνά κατά την προσομοίωση της έδρασης ενός πυρήνα ή ενός συμπλέγματος διασταυρούμενων τοιχωμάτων. Όπως είναι γνωστό η προσομοίωση των στοιχείων αυτών γίνεται μέσω μίας σειράς ισοδυνάμων στύλων για τους οποίους το προσομοίωμα οφείλει να λάβει υπόψη την κοινή τους έδραση σε κάποιο στοιχείο θεμελίωσης. Με την μεθοδολογία του ΡΑΦ αυτή η απαίτηση ικανοποιείται πολύ απλά με την εξάρτηση των κόμβων όλων των ισοδυνάμων στύλων από ένα κοινό κόμβο ο οποίος συμπίπτει με το κέντρο βάρους της επιφάνειας έδρασης του πεδίου επί του οποίου εδράζεται ο πυρήνας ή το σύμπλεγμα των διασταυρούμενων τοιχωμάτων (βλ. σχήμα 8.30).

Κόμβος πέρατος του υποστυλώματος:

- * Τοποθετείται στην κορυφή του πεδίου, στο κ.β. του "λαιμού"
- * Είναι εξαρτώμενος από τον κύριο κόμβο που τοποθετείται στο κ.β της επιφάνειας έδρασης του πεδίου

"Λαιμός" πεδίου = η επιφάνεια σύνδεσης πεδίου - υποστυλώματος

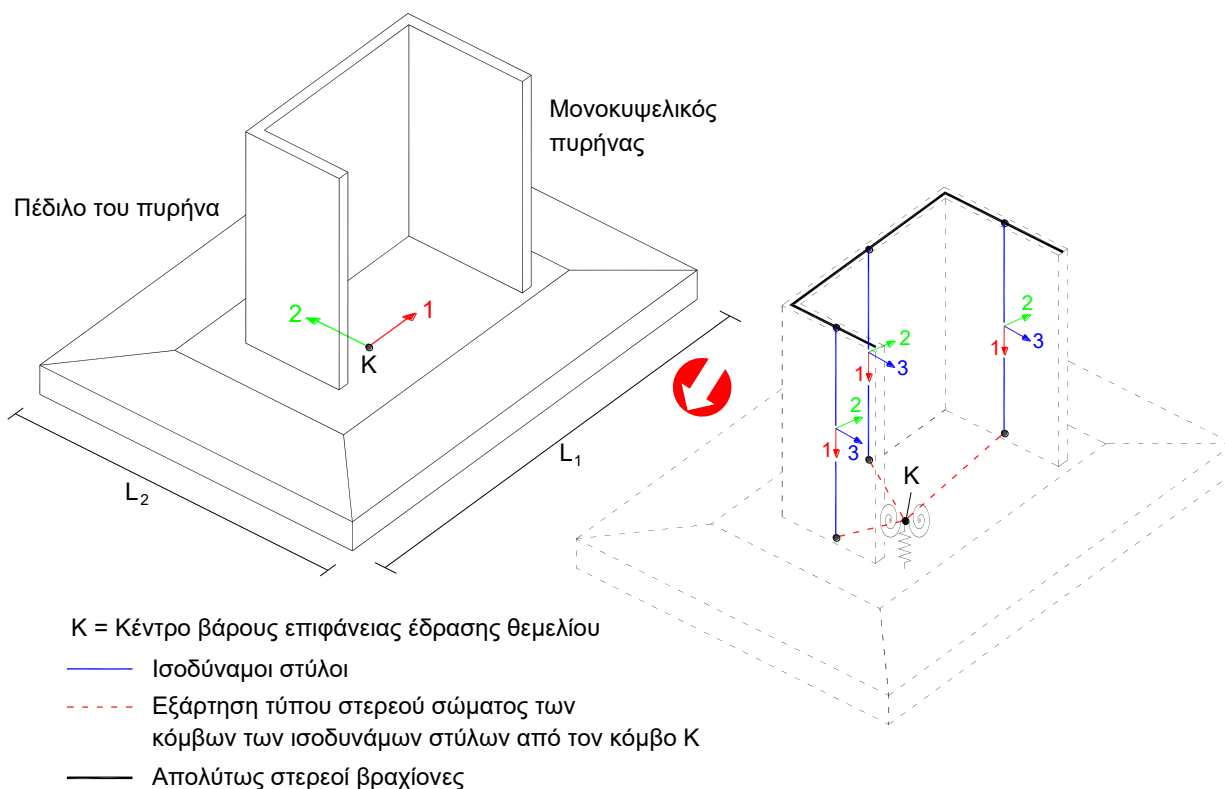
Εξάρτηση τύπου "body" για την προσομοίωση της λειτουργίας στερεού σώματος.



Κόμβος υλοποίησης της έδρασης του πεδίου στο έδαφος:

- * Τοποθετείται στο γεωμετρικό κ. β. της επιφάνειας έδρασης του πεδίου, η οποία θεωρείται ότι βρίσκεται σε απόσταση $H/3$ από το "λαιμό" του φέροντος στοιχείου (H =το ύψος του πεδίου).
- * Εφοδιάζεται με ένα κατακόρυφο και δύο στρωφικά ελατήρια που οι τιμές τους αντιστοιχούν στη συνεχή ελαστική έδραση όλης της επιφάνειας έδρασης.
- * Αποτελεί τον κύριο κόμβο της εξάρτησης τύπου body.

Σχήμα 8.29 Λεπτομέρειες προσομοίωσης ενός μεμονωμένου πεδίου με το ΡΑΦ



Σχήμα 8.30 Η προσομοίωση της θεμελίωσης ενός μονοκυψελικού πυρήνα με το ΡΑΦ.

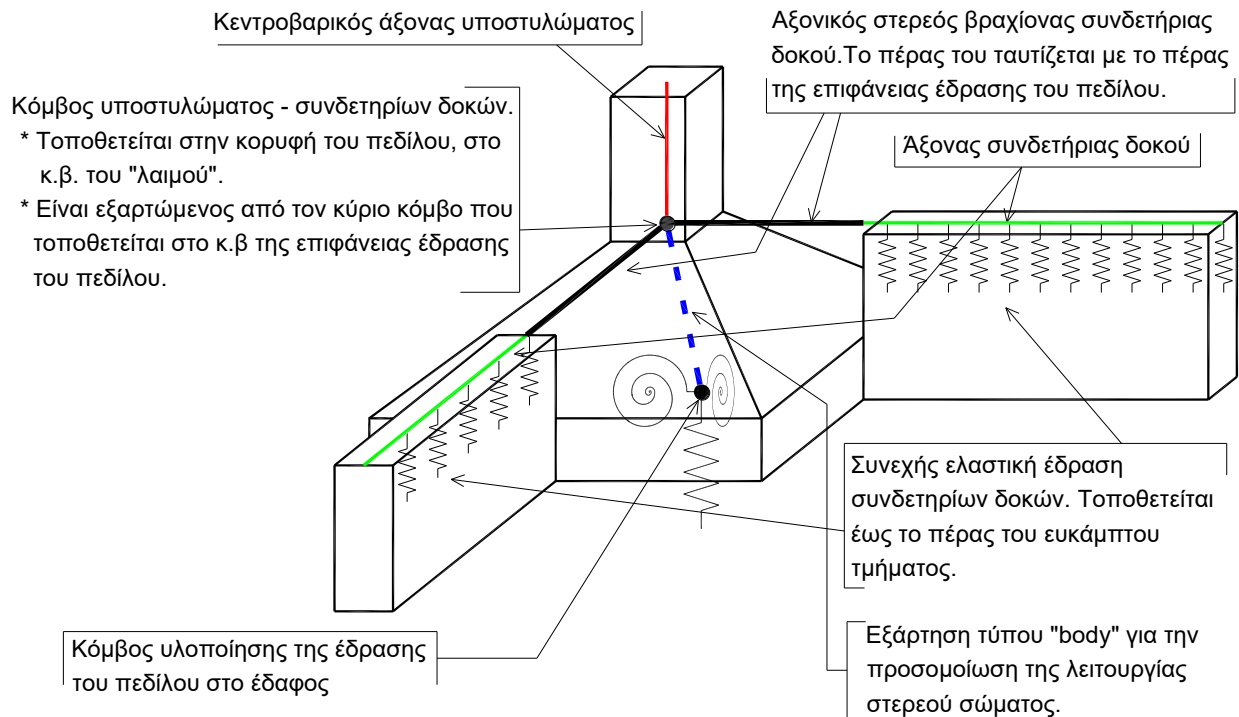
➤ *Προσομοίωση πεδίων με συνδετήριες δοκούς*

Η προσομοίωση πεδίων με συνδετήριες δοκούς γίνεται από το ΡΑΦ με συνδυασμένη χρήση των παρακάτω δυνατοτήτων του:

- Της δυνατότητας αυτόματης προσομοίωσης των πεδίων και της έδρασης τους επί του εδάφους όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως.
- Της δυνατότητας προσομοίωσης της συνεχούς ελαστικής έδρασης δοκών μέσω της ακριβούς λύσης που δίδει την κάμψη δοκών Timoshenko επί ελαστικού υποβάθρου προσομοιούμενου με το μοντέλο του Winkler (βλ. παράγραφο 5.4.). [Επομένως δεν απαιτείται διακριτοποίηση των συνδετηρίων δοκών προκειμένου να ληφθεί υπόψη ή συνεχής ελαστική τους έδραση με πυκνά τοποθετημένα μεμονωμένα ελατήρια].
- Της δυνατότητας επιλεκτικής έδρασης των στερεών βραχιόνων των ελαστικώς εδραζόμενων δοκών (βλ. παράγραφο 5.4.). Η δυνατότητα αυτή προσφέρει εξαιρετική ακρίβεια στις περιοχές σύνδεσης των συνδετηρίων δοκών με τα πέδιλα. Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές αυτές θεωρούνται απολύτως στερεές και προσομοιώνονται με την βοήθεια στερεών βραχιόνων. Όμως ενώ το εύκαμπτο τμήμα των συνδετηρίων δοκών είναι ελαστικώς εδραζόμενο, οι στερεοί βραχίονες δεν θα πρέπει να θεωρούνται εδραζόμενοι, καθώς βρίσκονται σε κοινή περιοχή με το πέδιλο η έδραση της επιφάνειας του οποίου λαμβάνεται υπόψη από τα τρία μεμονωμένα ελατήρια που τοποθετούνται στο κέντρο βάρους της επιφάνειας έδρασης. Άρα εάν θεωρούνταν και οι στερεοί βραχίονες ελαστικώς εδραζόμενοι, τότε θα λαμβάνονταν η έδραση της περιοχής σύνδεσης με το πέδιλο δυο φορές. Βεβαίως στην περίπτωση κατά την οποία οι συνδετήριες δοκοί κατασκευάζονται με τρόπο τέτοιο ώστε να μην βρίσκονται σε επαφή με

το έδαφος, τότε υπάρχει η δυνατότητα να αφαιρείται η ελαστική έδραση των συνδετήριων δοκών και από το εύκαμπτο τμήμα τους.

Όλες οι λεπτομέρειες που περιγράφηκαν, παρουσιάζονται με την βοήθεια του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 8.31 Λεπτομέρειες προσομοίωσης ενός πεδίου με συνδετήριες δοκούς από το ΡΑΦ.