

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση



**Απόκριση Θεμελιώσεων με Πασσάλους  
υπό Οριζόντια Φόρτιση**

---

Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας | Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

## Απόκριση Πασσάλων υπό Οριζόντια Φόρτιση

Μενονωμένος Πάσσαλος      Ομάδα Πασσάλων

### Φέρουσα Ικανότητα

Μέθοδος Broms

### Υπολογισμός Καμπύλης Απόκρισης

Μέθοδος  $p$ - $y$

3D ανάλυση

### Προσδιορισμός Απόκρισης με 3D ανάλυση

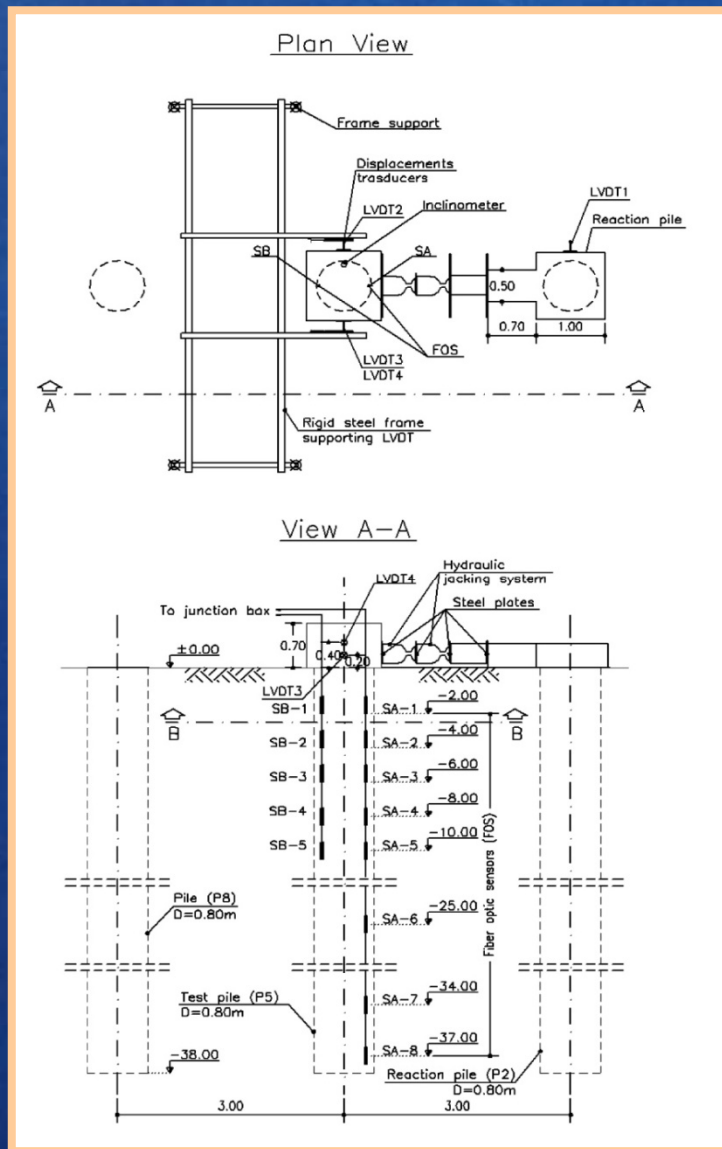
- ✚ Δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου  
για το σχεδιασμό θεμελιώσεων σημαντικών έργων
- ✚ Αντίστροφη Ανάλυση  
με βάση τα αποτελέσματα (μετακινήσεις, παραμορφώσεις, φορτία)  
της δοκιμαστικής φόρτισης
- ✚ Απόκριση μεμονωμένου πασσάλου  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης (P-γ) και κατανομής  
καμπυλοτήτων ή/και ροπών με το βάθος (φ-z, M-z)
- ✚ Ενιαία Παρουσίαση (συνέδριο)
- ✚ Απόκριση ομάδας πασσάλων  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης ομάδας (συντελεστής μείωσης  
της δυσκαμψίας της ομάδας, RG) και κατανομής του φορτίου στους  
χαρακτηριστικούς πασσάλους

### Προσδιορισμός Απόκρισης με 3D ανάλυση

- ✚ **Δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου**  
για το σχεδιασμό θεμελιώσεων σημαντικών έργων
- ✚ **Αντίστροφη Ανάλυση**  
με βάση τα αποτελέσματα (μετακινήσεις, παραμορφώσεις, φορτία) της δοκιμαστικής φόρτισης
- ✚ **Απόκριση μεμονωμένου πασσάλου**  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης (P-γ) και κατανομής καμπυλοτήτων ή/και ροπών με το βάθος (φ-z, M-z)
- ✚ **Ενιαία Παρουσίαση (συνέδριο)**
- ✚ **Απόκριση ομάδας πασσάλων**  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης ομάδας (συντελεστής μείωσης της δυσκαμψίας της ομάδας, RG) και κατανομής του φορτίου στους χαρακτηριστικούς πασσάλους

# Βαθείς Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## Δοκιμαστική Φόρτιση Πασσάλου

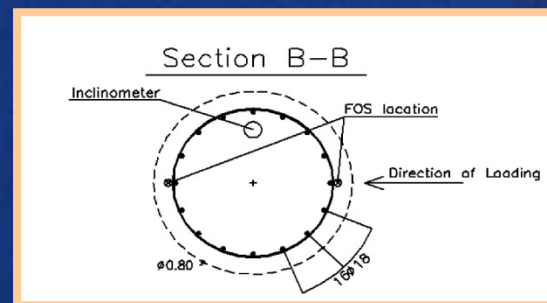


- Διάταξη δοκιμαστικής φόρτισης
- Ενοργάνωση

- οπτικές ίνες
- αποκλισιόμετρο
- μηχανοστάσια
- load cell

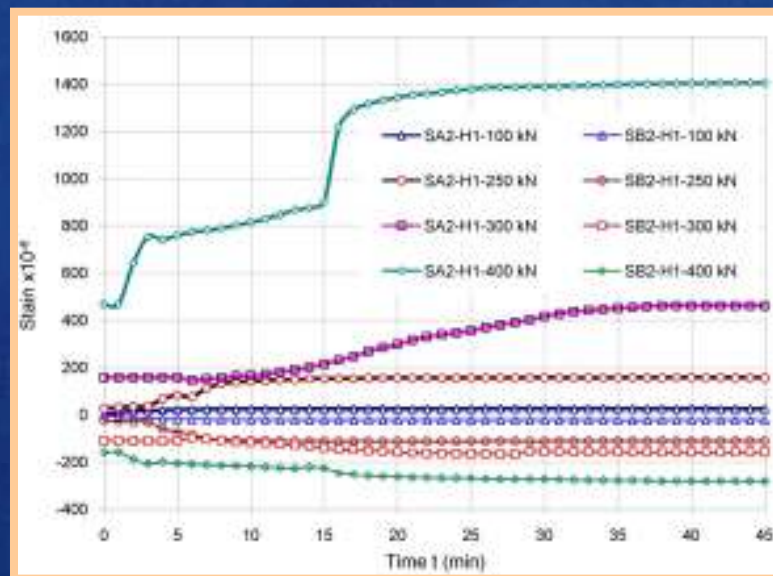
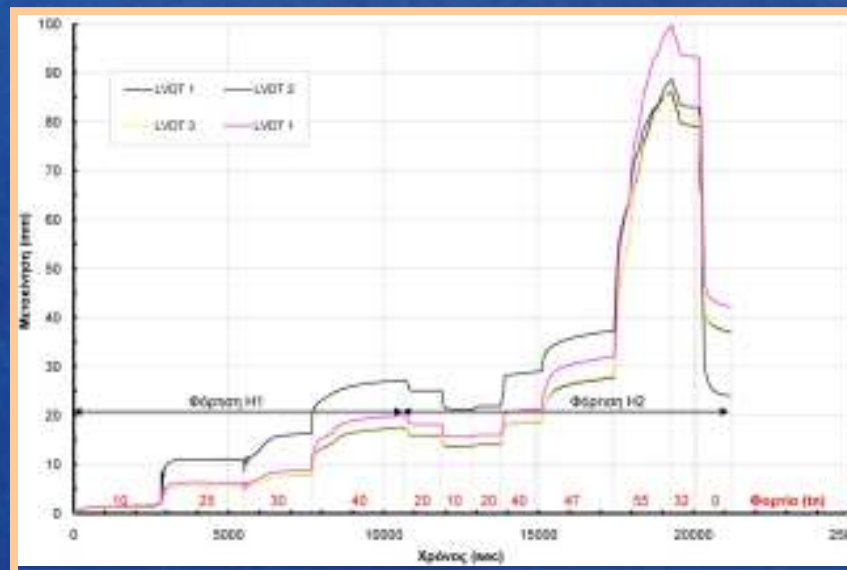
- Βήματα φόρτισης

(H1): 0 → 0.10 → 0.25 → 0.30 → 0.40 → 0.20 → 0.10 MN  
(H2): 0.10 → 0.20 → 0.40 → 0.47 → 0.60 → 0.32 → 0 MN



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

Αποτελέσματα δοκιμαστικής φόρτισης



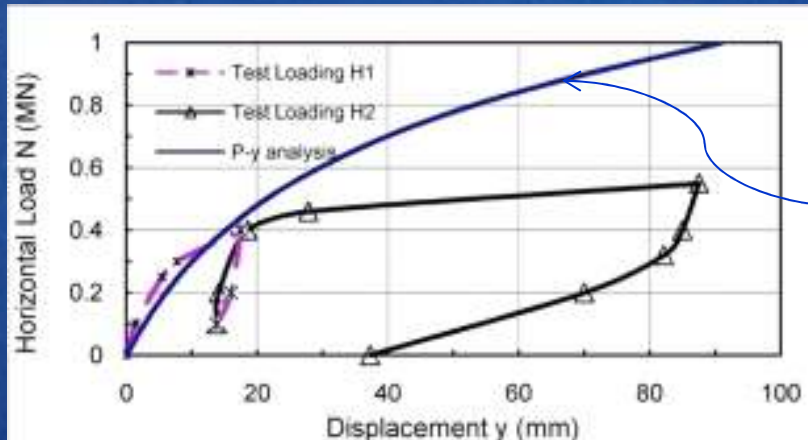
Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας | Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

### Προσδιορισμός Απόκρισης με 3D ανάλυση

- ✚ Δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου  
για το σχεδιασμό θεμελιώσεων σημαντικών έργων
- ✚ **Αντίστροφη Ανάλυση**  
με βάση τα αποτελέσματα (μετακινήσεις, παραμορφώσεις, φορτία)  
της δοκιμαστικής φόρτισης
- ✚ Απόκριση μεμονωμένου πασσάλου  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης (P-γ) και κατανομής  
καμπυλοτήτων ή/και ροπών με το βάθος (φ-z, M-z)
- ✚ Ενιαία Παρουσίαση (συνέδριο)
- ✚ Απόκριση ομάδας πασσάλων  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης ομάδας (συντελεστής μείωσης  
της δυσκαμψίας της ομάδας, RG) και κατανομής του φορτίου στους  
χαρακτηριστικούς πασσάλους

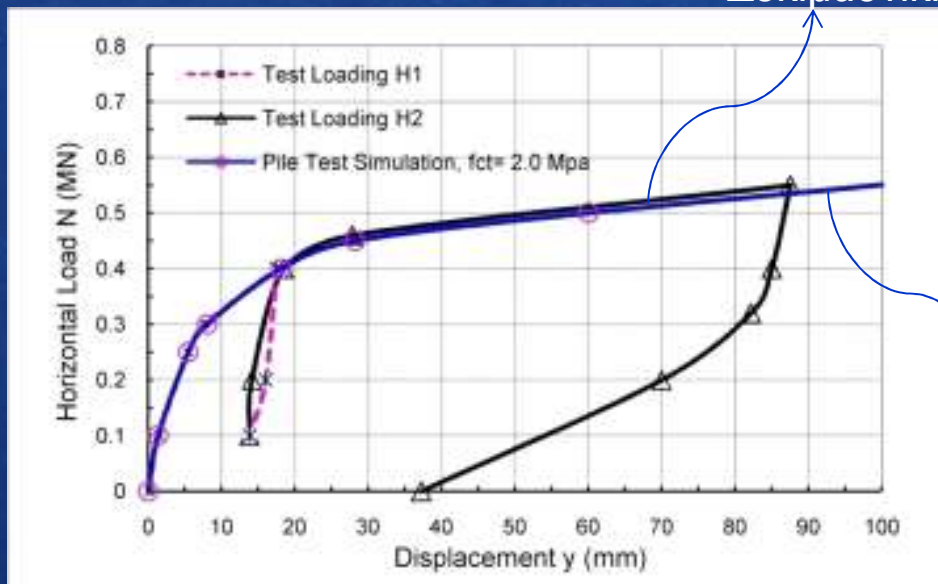
# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## Αντίστροφη Ανάλυση

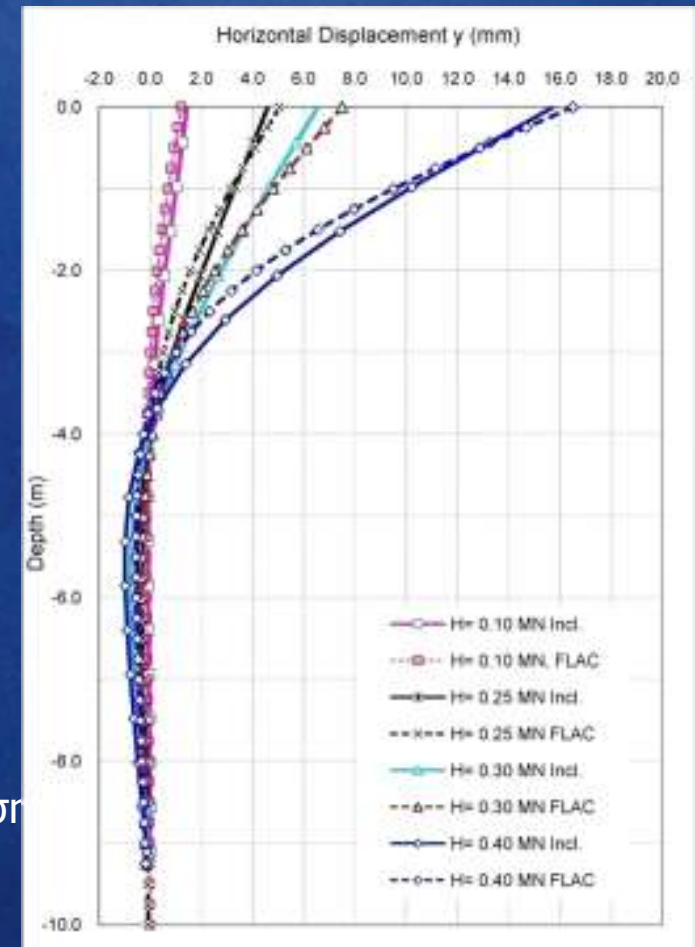


Μέθοδος p-y

Δοκιμαστική φόρτιση



Αριθμητική ανάλυση

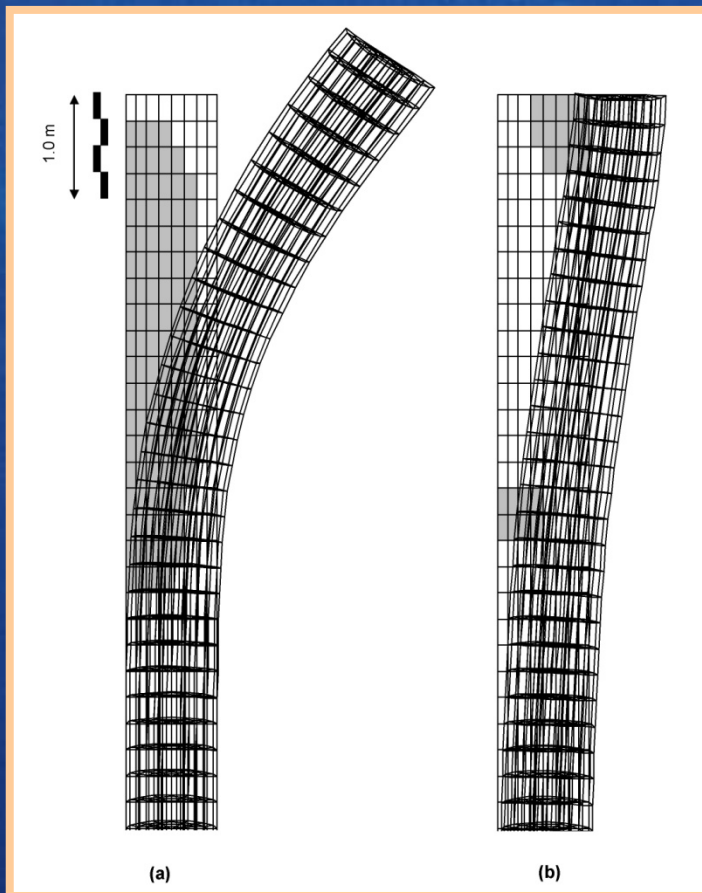




### Προσδιορισμός Απόκρισης με 3D ανάλυση

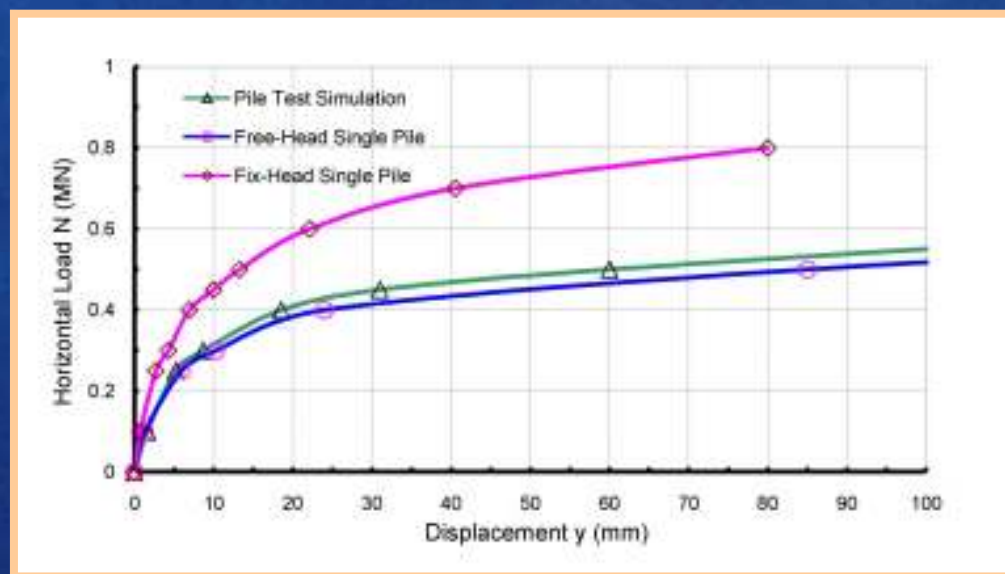
- ✚ Δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου  
για το σχεδιασμό θεμελιώσεων σημαντικών έργων
- ✚ Αντίστροφη Ανάλυση  
με βάση τα αποτελέσματα (μετακινήσεις, παραμορφώσεις, φορτία)  
της δοκιμαστικής φόρτισης
- ✚ Απόκριση μεμονωμένου πασσάλου  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης (P-γ) και κατανομής  
καμπυλοτήτων ή/και ροπών με το βάθος (φ-z, M-z)
- ✚ Ενιαία Παρουσίαση (συνέδριο)
- ✚ Απόκριση ομάδας πασσάλων  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης ομάδας (συντελεστής μείωσης  
της δυσκαμψίας της ομάδας, RG) και κατανομής του φορτίου στους  
χαρακτηριστικούς πασσάλους

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

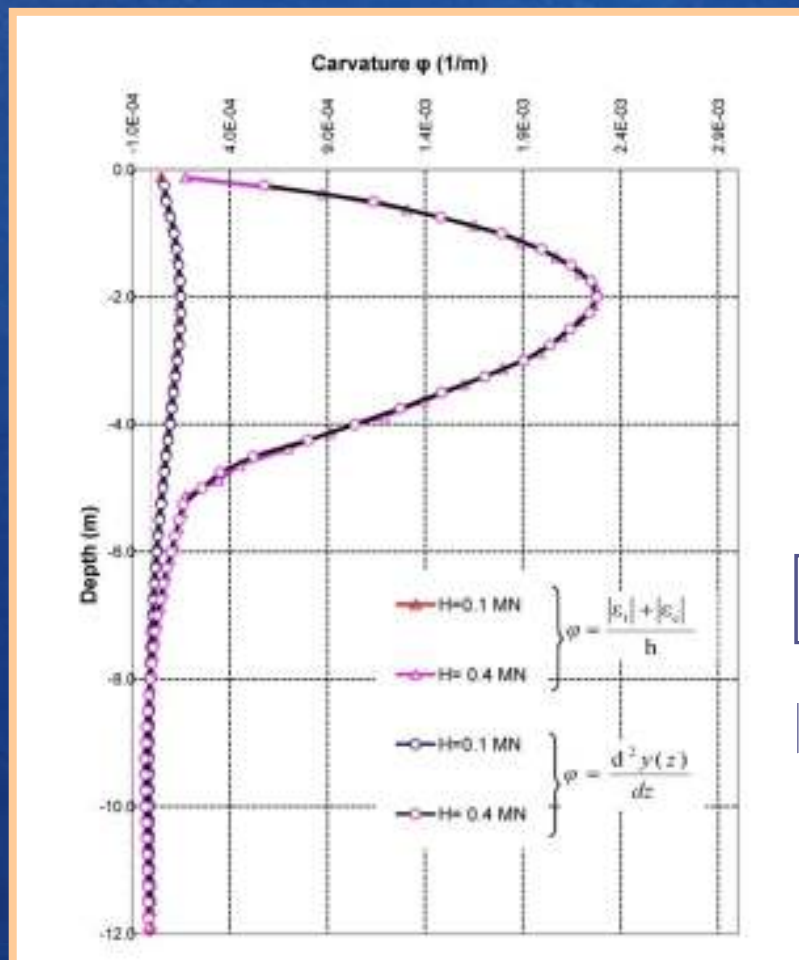


(a) Συνθήκες ελεύθερης κεφαλής

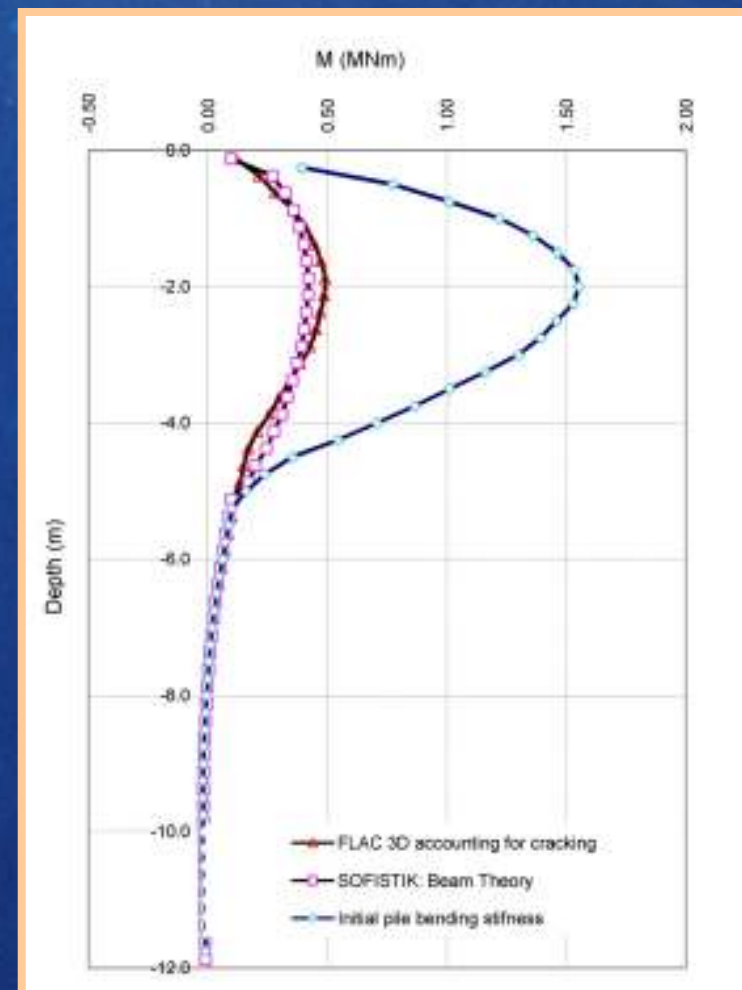
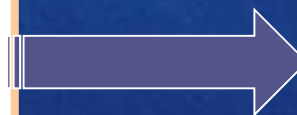
(b) Συνθήκες πακτωμένης κεφαλής



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

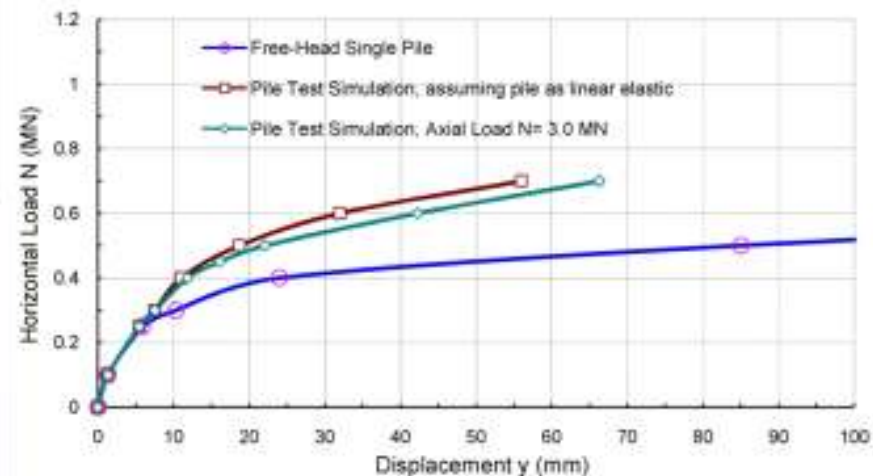
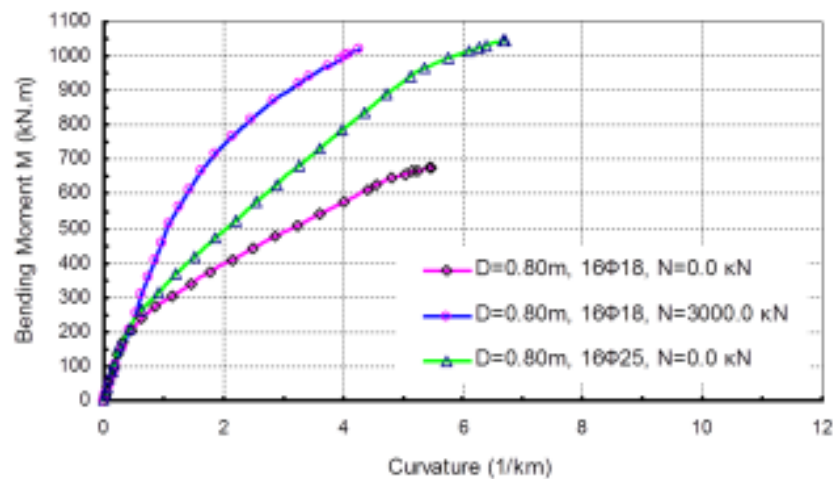
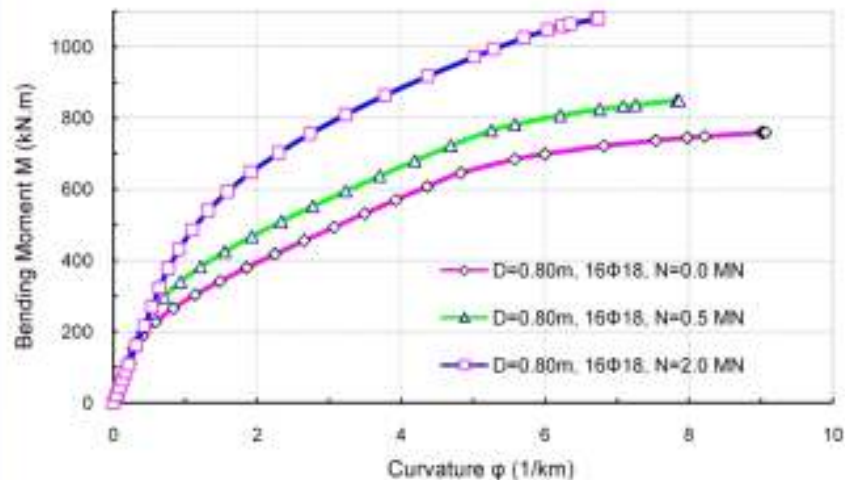


$$M = E_p \cdot I_p \cdot \phi$$



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

Επίδραση αξονικού φορτίου



### Προσδιορισμός Απόκρισης με 3D ανάλυση

- ✚ Δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου  
για το σχεδιασμό θεμελιώσεων σημαντικών έργων
- ✚ Αντίστροφη Ανάλυση  
με βάση τα αποτελέσματα (μετακινήσεις, παραμορφώσεις, φορτία)  
της δοκιμαστικής φόρτισης
- ✚ Απόκριση μεμονωμένου πασσάλου  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης (P-γ) και κατανομής  
καμπυλοτήτων ή/και ροπών με το βάθος (φ-z, M-z)
- ✚ **Ενιαία Παρουσίαση** (συνέδριο)
- ✚ Απόκριση ομάδας πασσάλων  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης ομάδας (συντελεστής μείωσης  
της δυσκαμψίας της ομάδας, RG) και κατανομής του φορτίου στους  
χαρακτηριστικούς πασσάλους

# Πειραματική και αριθμητική διερεύνηση απόκρισης ρηγματωμένης διατομής πασσάλου από οπλισμένο σκυρόδεμα

*Κωμοδρόμος Α. Μ., Ρεντζεπέρης Ι.Κ., Παπαδοπούλου Μ. Κ.  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών - Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Κατά τη διερεύνηση της απόκρισης κατασκευών η ανάλυση περιορίζεται κατά κύριο λόγο στην μετελαστική συμπεριφορά της ανωδομής

(η απόκριση της θεμελίωσης θεωρείται ελαστική ή ακόμη στερεοπλαστική)

Πιο αξιόπιστη προσέγγιση

- σύζευξη της απόκρισης ανωδομής και θεμελίωσης

Μέθοδος ανάλυσης

- αλληλεπίδραση εδάφους - ανωδομής
- τεχνική υποσυστημάτων (substructuring)



## Μη γραμμική απόκριση πασσάλων

 Μη γραμμική συμπεριφορά τους εδάφους

 Αλληλεπίδραση πασσάλων λόγω λειτουργίας ομάδας

 Μετελαστική συμπεριφορά πασσάλου



## Μεταλαστική συμπεριφορά πασσάλου

### Πειραματική διερεύνηση

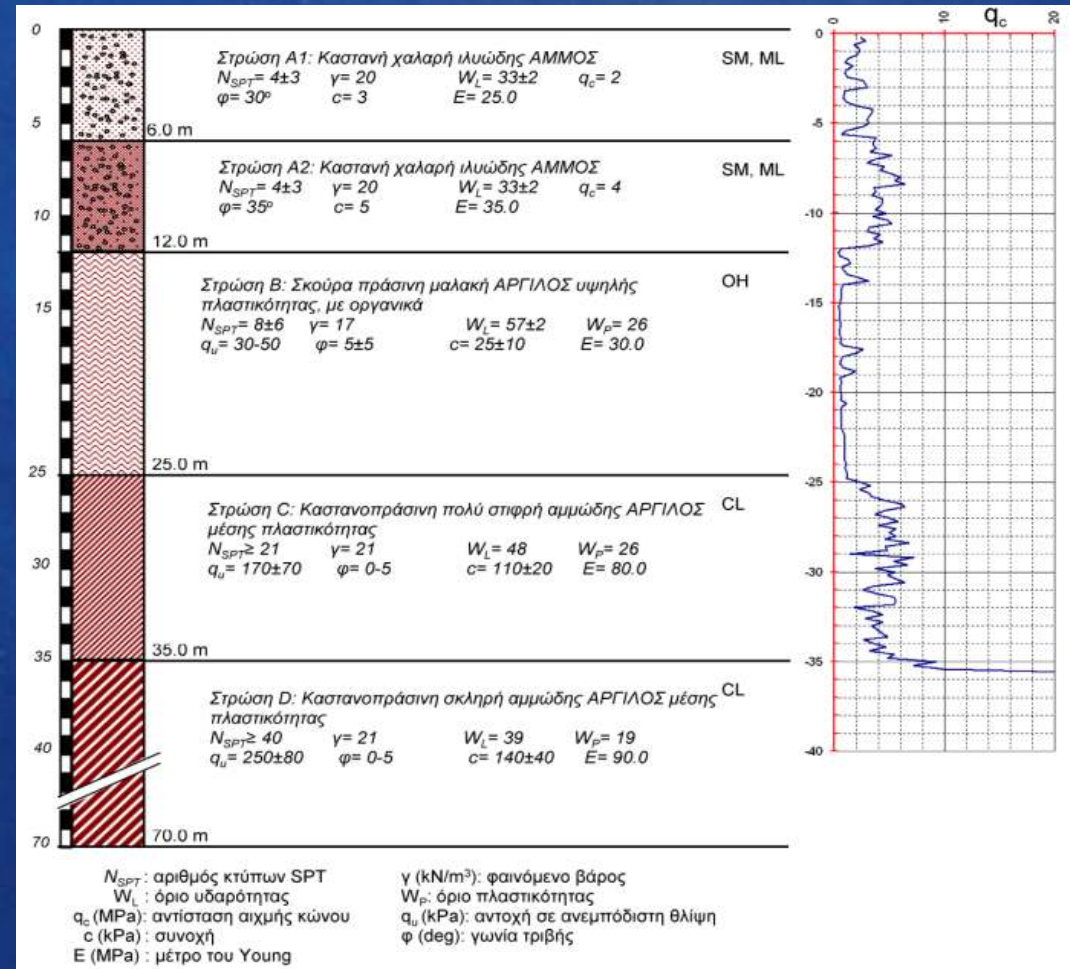
- δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου  
προσδιορισμός απόκρισης  
δεδομένα για επαλήθευση – προσαρμογή παραμέτρων αντοχής  
και παραμορφωσιμότητας

### Αριθμητική διερεύνηση

- αντίστροφη ανάλυση – επαλήθευση παραμέτρων
- επίλυση πασσάλου σε διαφορετικές συνθήκες φόρτισης  
και διάταξης

## Δοκιμαστική φόρτιση: Εδαφική τομή – γεωτεχνικά στοιχεία

Θέση κατασκευής γέφυρας σύνδεσης 6<sup>ου</sup> προβλήτα Θεσσαλονίκης και εθνικής οδού Αθήνας – Θεσ/νίκης

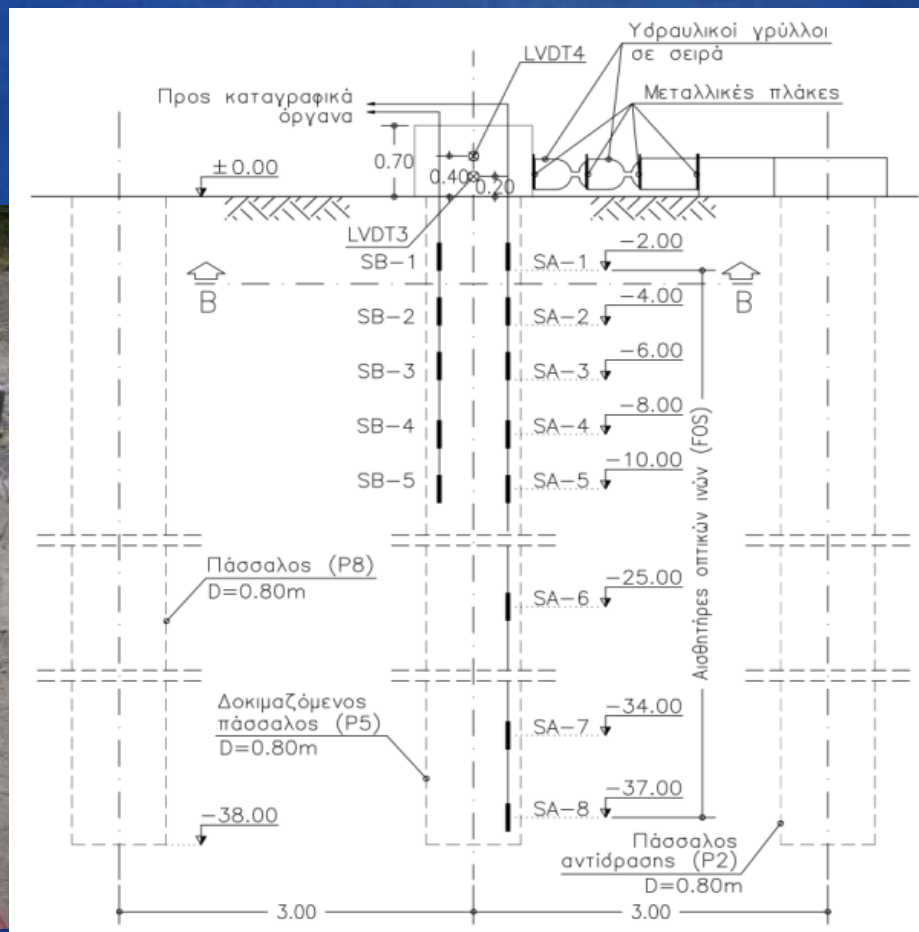


## Δοκιμαστική φόρτιση: Ενοργάνωση

Τοποθέτηση  
αισθητήρων οπτικών  
ινών και  
αποκλισιομετρικού  
σωλήνα



## Δοκιμαστική φόρτιση: Διάταξη



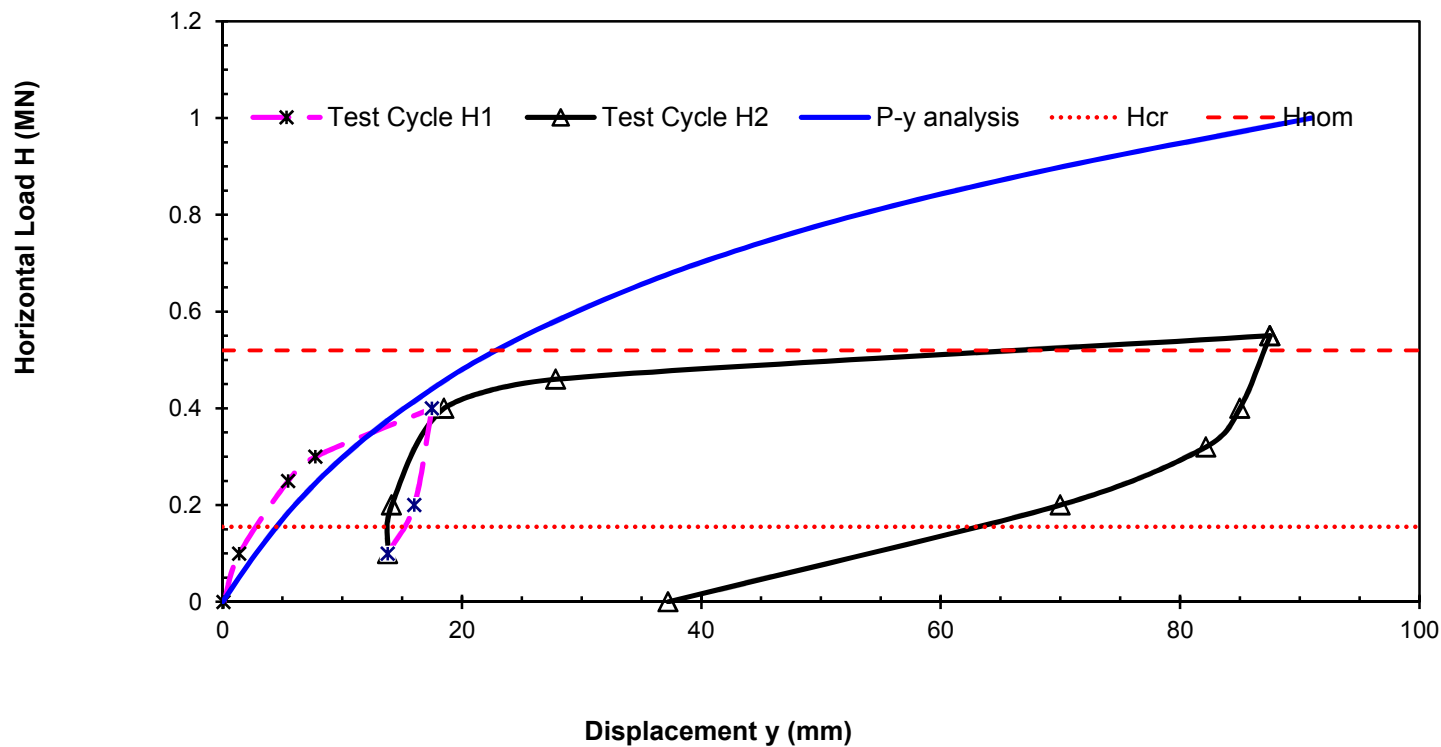
### Δοκιμαστική φόρτιση: Επιβολή φορτίου

Κύκλος Η1: 0 → 0.10 → 0.25 → 0.30 → 0.40 → 0.20 → 0.10 MN

Κύκλος Η2: 0.10 → 0.20 → 0.40 → 0.47 → 0.60 → 0.32 → 0 MN



## Δοκιμαστική φόρτιση: απόκριση φορτίου μετακίνησης



## Δοκιμαστική φόρτιση:

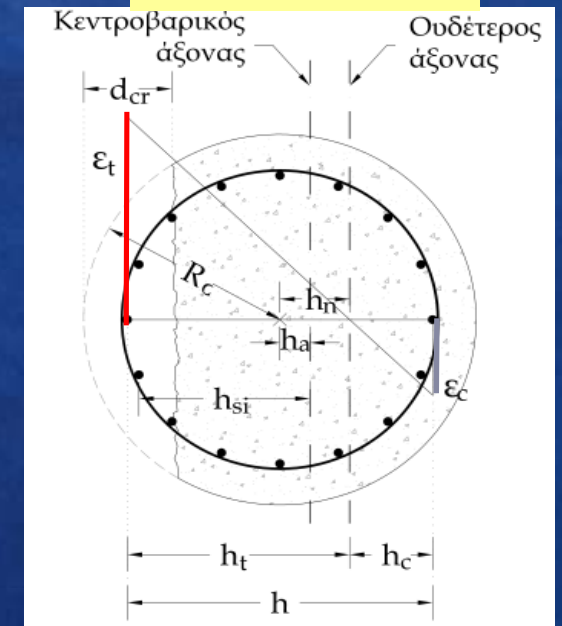
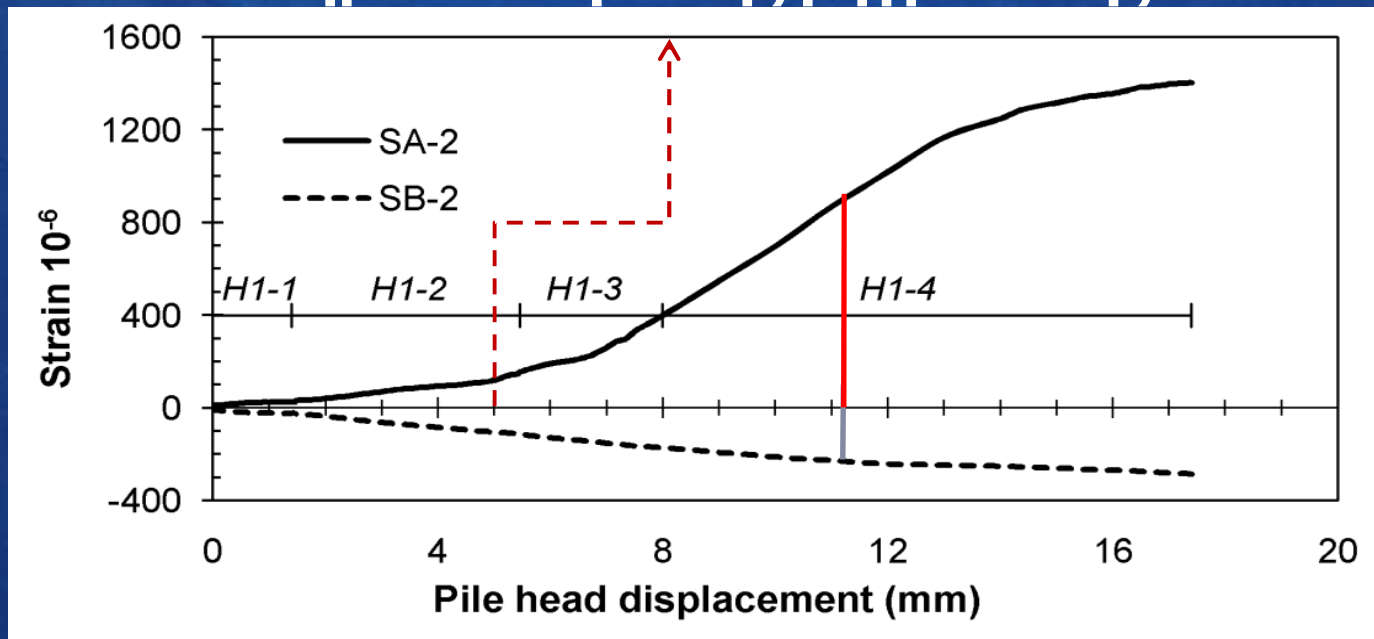
καταγραφή αισθητήρων οπτικών ινών SA-2 ελκυσμός, SB-2 θλίψη

υπολογισμός παραμορφώσεων, καμπυλότητας, δυσκαμψίας και ροπής

$$M = E_p I_p \varphi = (E_c I_c + E_s I_s) \varphi$$

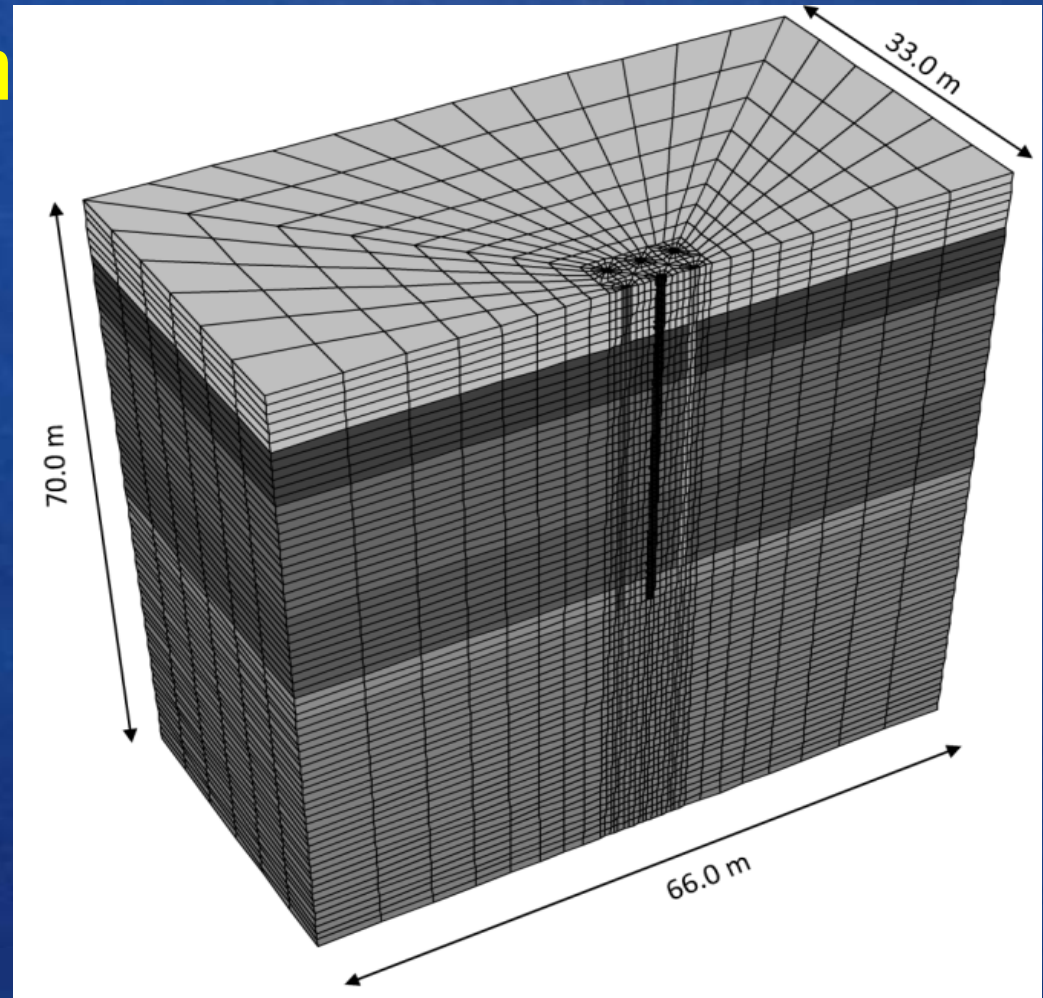
$$\varphi = \frac{|\varepsilon_t| + |\varepsilon_c|}{h}$$

### Σημείο εκδήλωσης ρηγμάτωσης



## 3-D Αριθμητική προσομοίωση δοκιμαστικής φόρτισης

- Μη γραμμική ανάλυση (με προσομοίωση ρηγματώσεως)
- 87424 κόμβους
- 87332 στοιχεία
- 342 στοιχεία ράβδου
- Στοιχεία διεπιφάνειας πασσάλους - έδαφος  
ράβδους χάλυβα - σκυρόδεμα





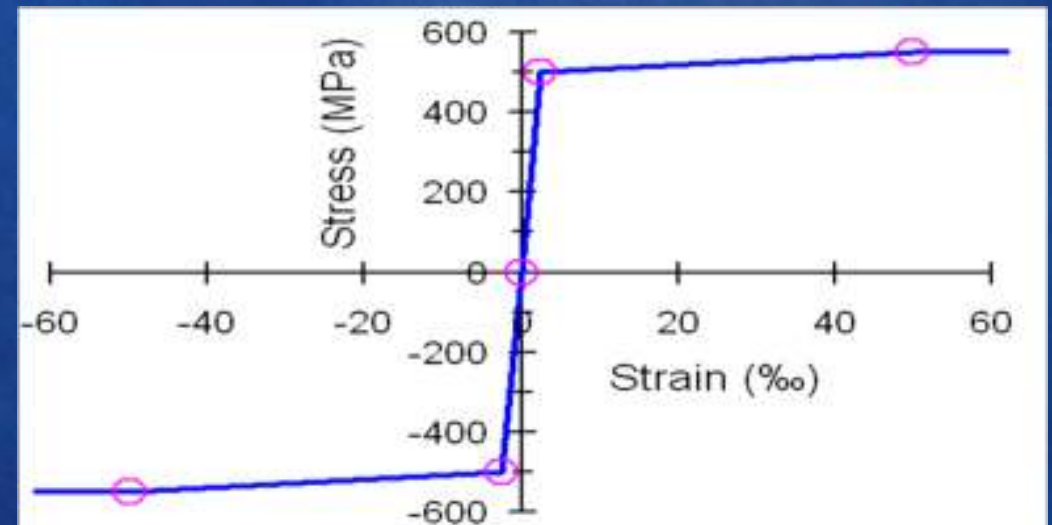
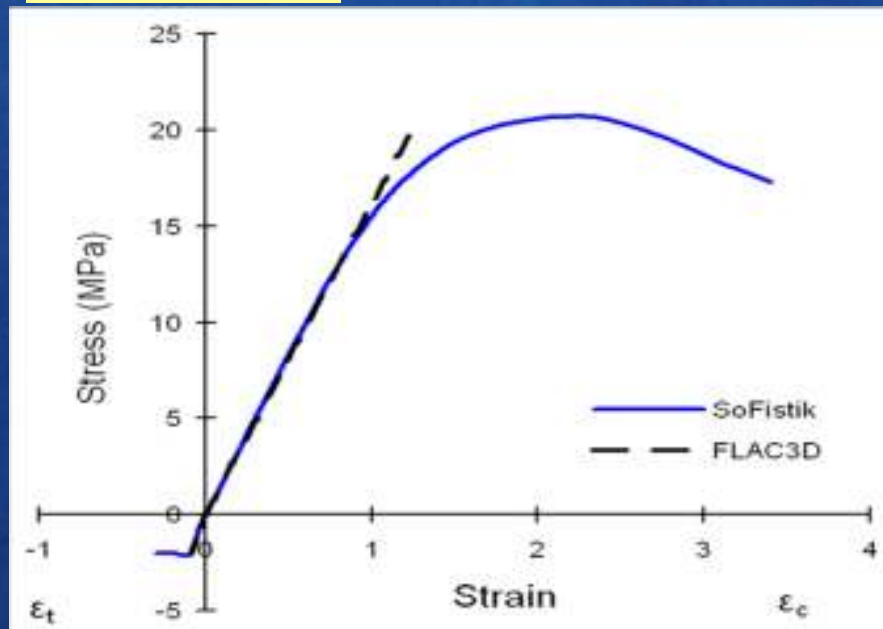
## 3-D Αριθμητική προσομοίωση δοκιμαστικής φόρτισης

$$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ct} = 2 \sqrt{f_{ck}}$$

Αντοχή σκυροδέματος σε ελκυσμό, Ευρωκώδικας 2

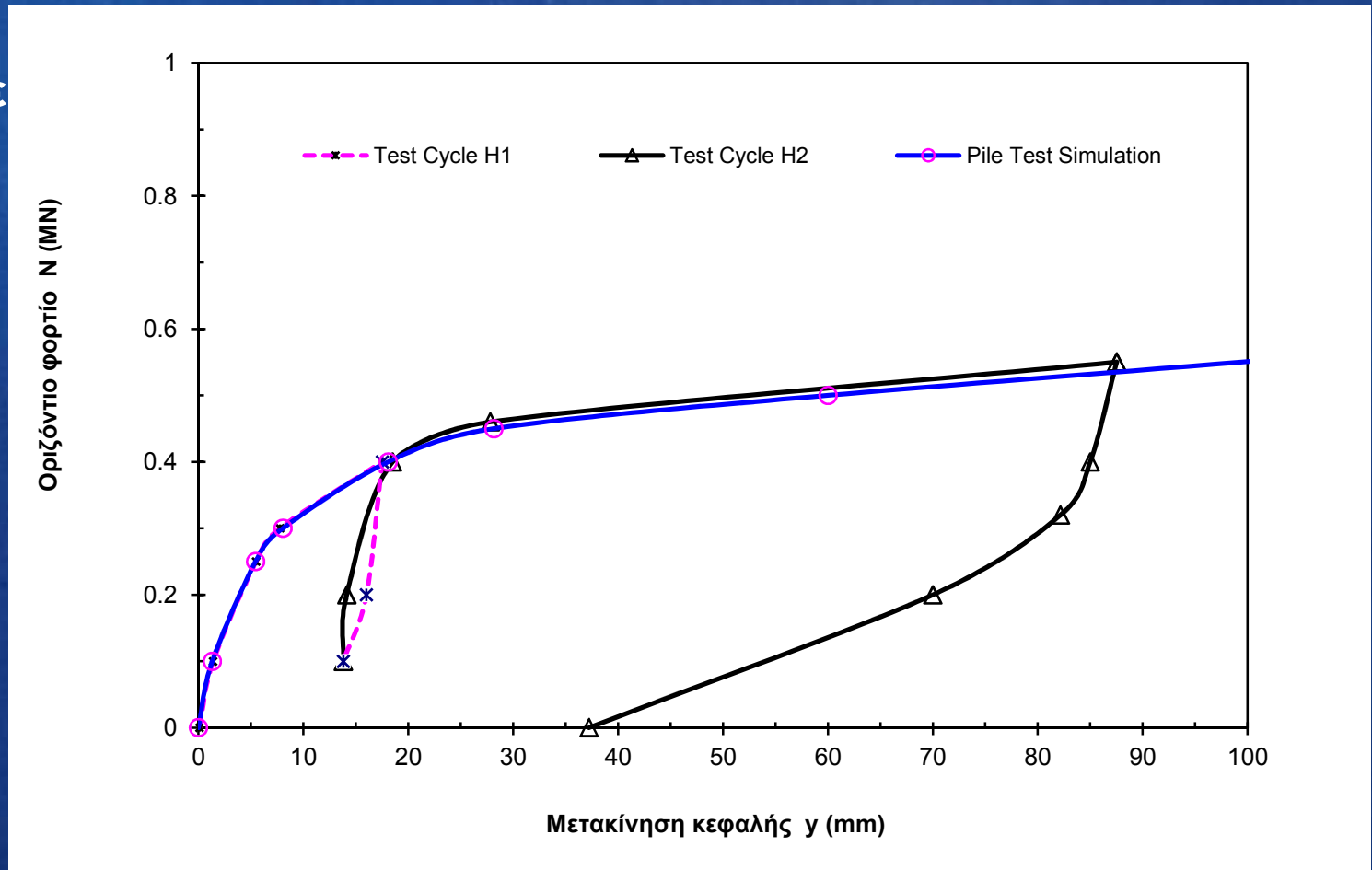
Αντοχή σκυροδέματος σε ελκυσμό, ACI



Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος και χάλυβα σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2

## 3-D Αριθμητική προσομοίωση δοκιμαστικής φόρτισης

Διαδοχικές επιλύσεις με διορθώσεις των παραμέτρων μέχρι να επέλθει ικανοποιητική προσέγγιση. Οι τιμές των παραμέτρων βέλτιστης προσέγγισης χρησιμοποιούνται στις περαιτέρω επιλύσεις.



# Η επίδραση της ρηγματώσεως στην απόκριση πασσάλου οπλισμένου σκυροδέματος υπό οριζόντια φόρτιση

*Κωμοδρόμος Α. Μ., Παπαδοπούλου Μ. Κ., Ρεντζεπέρης Ι.Κ.,  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών - Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

## Προσομοίωση θεμελίωσης με πασσάλους

### Αντικατάσταση με οριακές συνθήκες πάκτωσης



- ιδιότυπη περίπτωση της τεχνικής *substructuring* όπου δεν ικανοποιούνται οι αρχές συμβιβαστού στο κοινό όριο ανωδομής και θεμελίωσης

### Αλληλεπίδραση εδάφους – ανωδομής



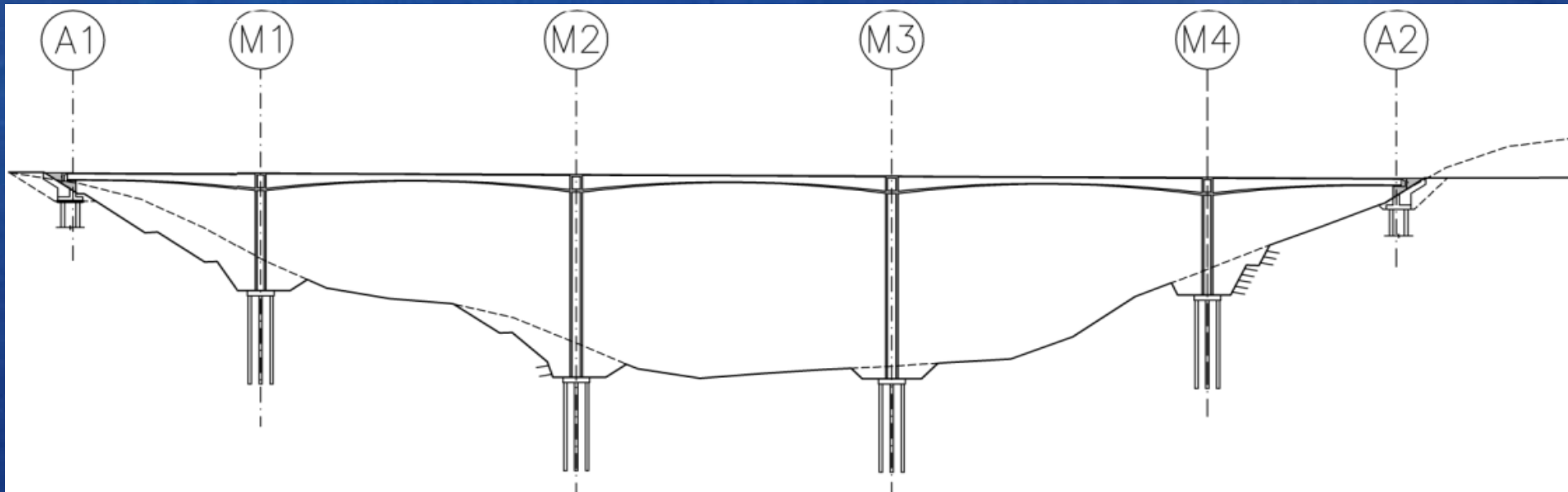
- σύζευξη της απόκρισης ανωδομής και θεμελίωσης

### Μέθοδος υποσυστημάτων (*substructuring*)



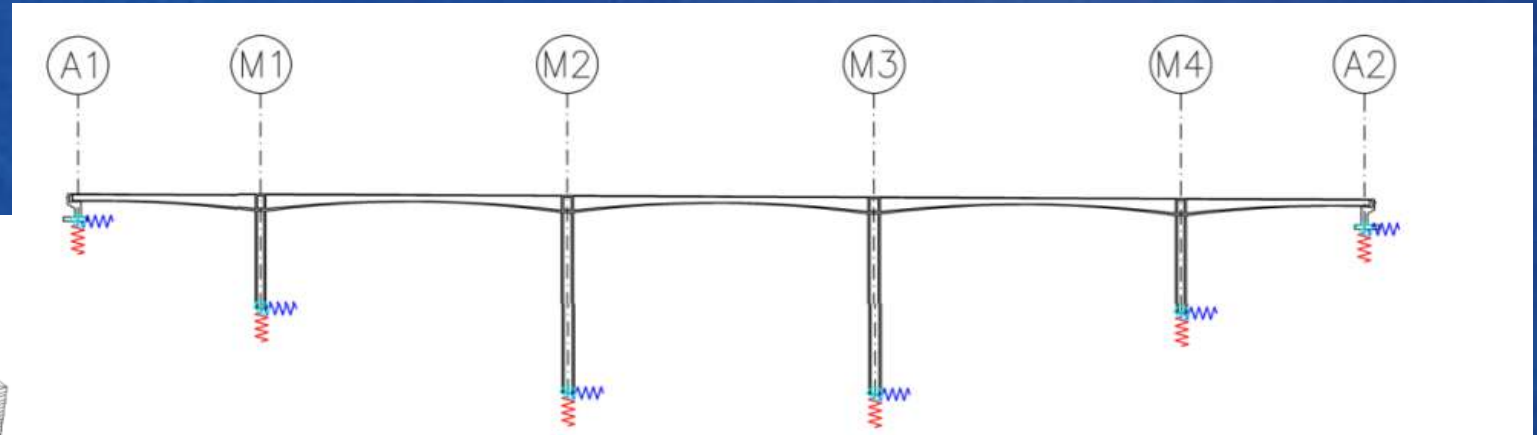
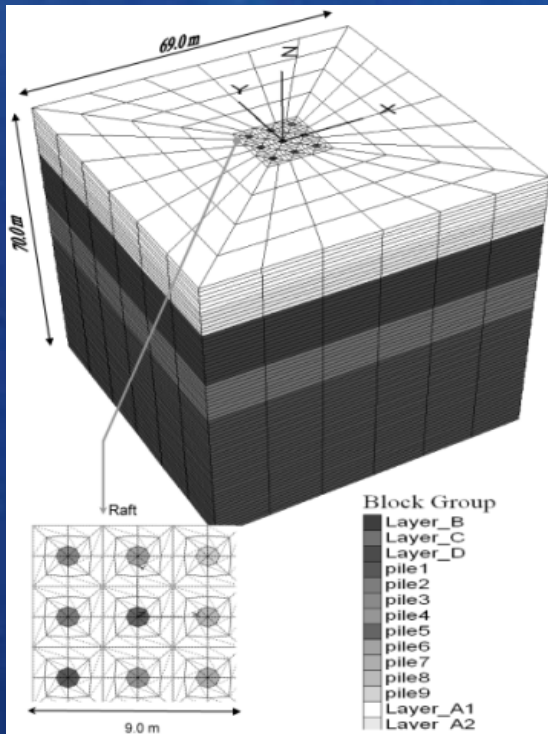
- ξεχωριστή μη γραμμική επίλυση ανωδομής και θεμελίωσης στο πλαίσιο εξασφάλισης συμβιβαστού παραμορφώσεων και τάσεων στο κοινό όριο

## Εφαρμογή σε περίπτωση χαραδρογέφυρας



- **πλήρης αλληλεπίδραση** (υπερβολικές υπολογιστικές απαιτήσεις)
- **τεχνική υποσυστημάτων**  
(επαναληπτική διαδικασία επίλυσης με απλούστερη προσέγγιση και συγκριτικά πολύ μικρότερο υπολογιστικό κόστος)

## Εφαρμογή σε περίπτωση χαραδρογέφυρας



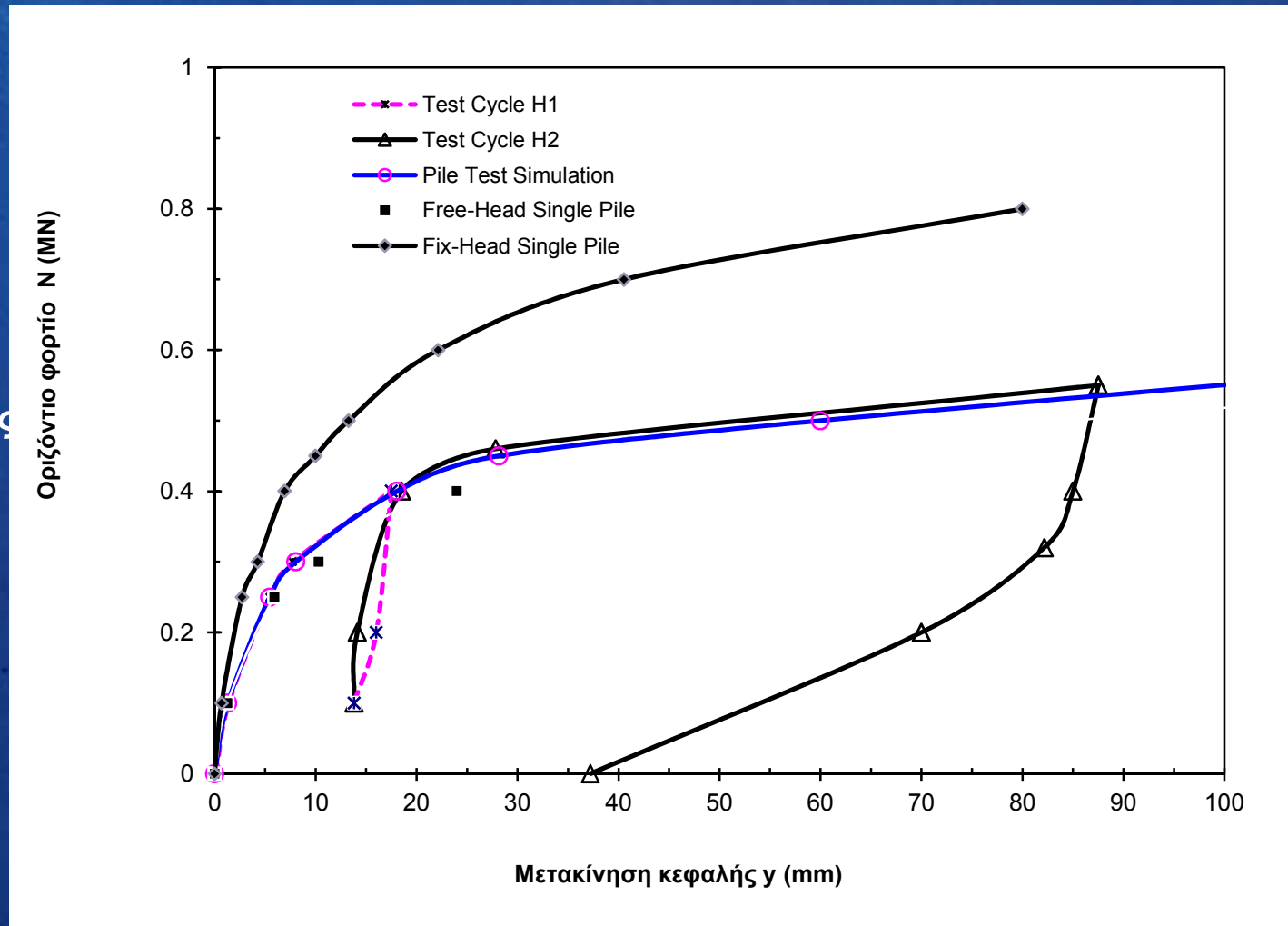
Αντικατάσταση της θεμελίωσης πασσάλων με μητρώο δυσκαμψίας 6 x 6 το οποίο συμπεριλαμβάνει και τις επιπτώσεις λόγω λειτουργίας ομάδας

Οι επιπτώσεις της ρηγμάτωσης αγνοούνται σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις

## 3-D Αριθμητική ανάλυση

### απόκριση

- Δοκιμαστικής φόρτισης
- Προσομοίωσης Δ.Φ.
- Πασσάλου ελεύθερης κεφαλής
- Πασσάλου πακτωμένης κεφαλής

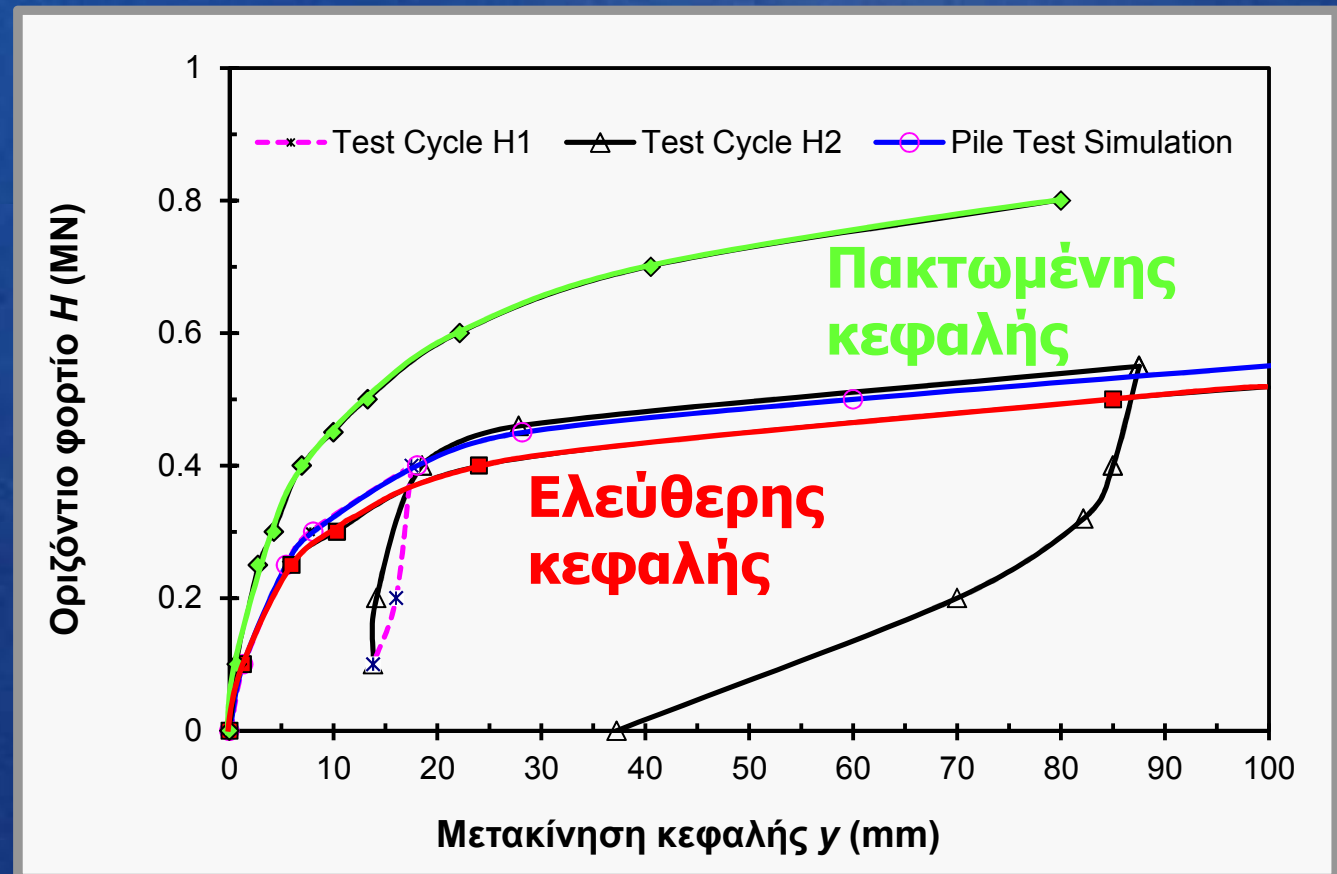


## ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

### 3-D Αριθμητική ανάλυση

#### απόκριση

- Δοκιμαστικής φόρτισης
- Προσομοίωσης Δ.Φ.
- Πασσάλου ελεύθερης κεφαλής
- Πασσάλου πακτωμένης κεφαλής

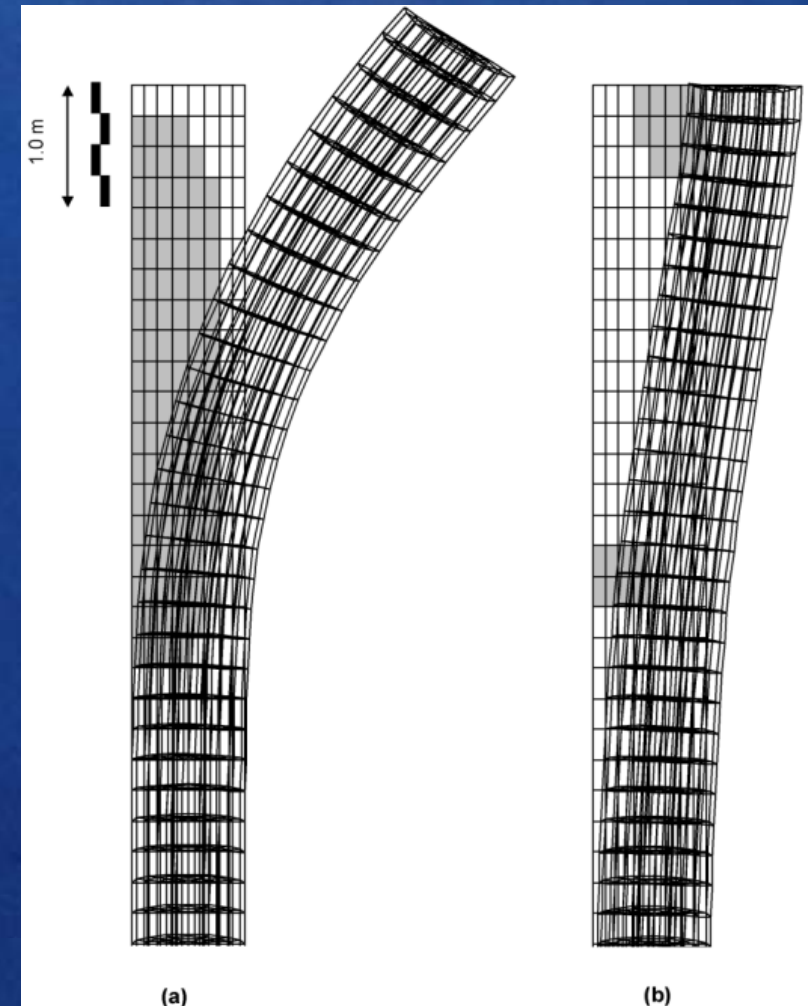


Η δοκιμαστική φόρτιση αντιστοιχεί σε συνθήκες ελεύθερης κεφαλής (ανάπτυξη μεγάλων καμπυλοτήτων στο άνω μέρος του πασσάλου → ρηγμάτωση και εκδήλωση μεγαλύτερων μετακινήσεων)



## 3-D Αριθμητική ανάλυση

Οι οριακές συνθήκες καθιστούν τον πάσσαλο ελεύθερης κεφαλής πιο ευπαθή λόγω της διαφορετικής τοπολογίας ρηγμάτωσης. Για το ίδιο φορτίο η ρηγματωμένη περιοχή εμφανίζει πολύ μεγαλύτερο εύρος απ' ό,τι στον πάσσαλο πακτωμένης κεφαλής



## Ρηγμάτωση

Μεταβολή της δυσκαμψίας

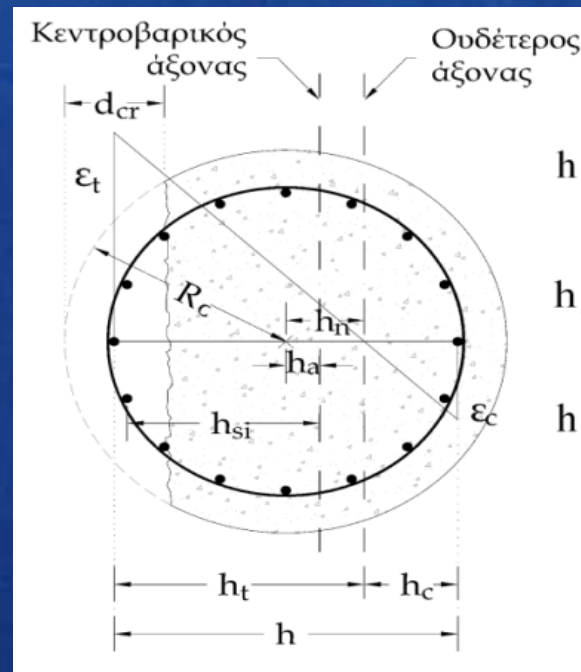
vs ανηγμένου εύρους

ρηγμάτωσης

$(d_{cr} / D)$

$$M = E_p I_p \varphi = (E_c I_c + E_s I_s) \varphi$$

$$I_s = \sum_{i=1}^n \left( \frac{I_{si}^2}{16 \pi} + A_{si} h_{si}^2 \right) \approx \sum_{i=1}^n A_{si} h_{si}^2$$



$$h_t = \frac{h}{|\varepsilon_t| + |\varepsilon_c|} |\varepsilon_t| = \frac{h}{2} + h_n \quad \forall 0 \leq h_n \leq \frac{h}{2}$$

$$h_c = \frac{h}{|\varepsilon_t| + |\varepsilon_c|} |\varepsilon_c| = \frac{h}{2} - h_n \quad \forall 0 \leq h_n \leq \frac{h}{2}$$

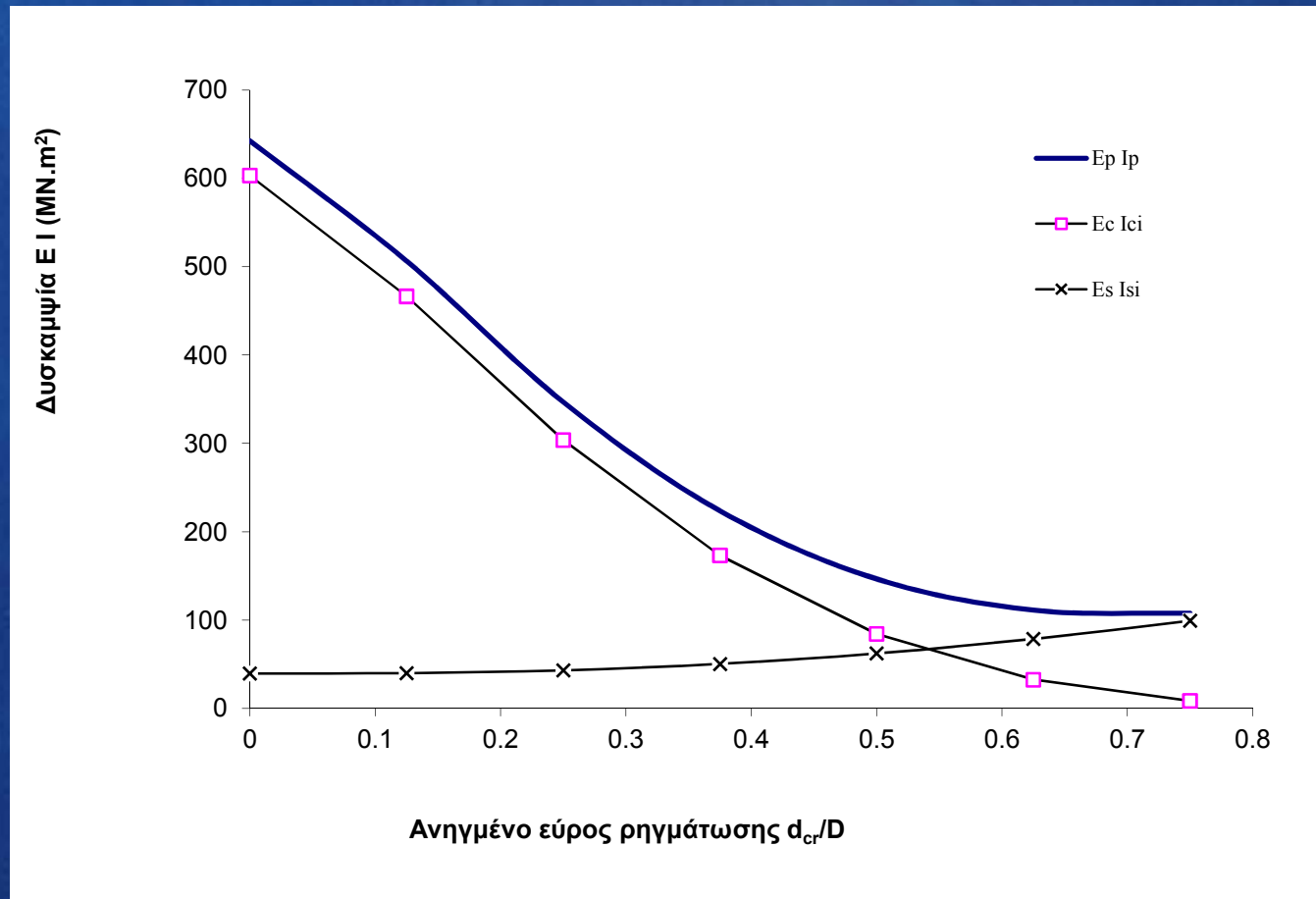
$$h_n = h_t - \frac{h}{2} = \frac{h}{|\varepsilon_t| + |\varepsilon_c|} |\varepsilon_t| - \frac{h}{2} = \frac{h}{2} \frac{(|\varepsilon_t| - |\varepsilon_c|)}{(|\varepsilon_t| + |\varepsilon_c|)}$$

## Ρηγμάτωση

Μεταβολή της δυσκαμψίας  
vs ανηγμένου εύρους  
ρηγμάτωσης

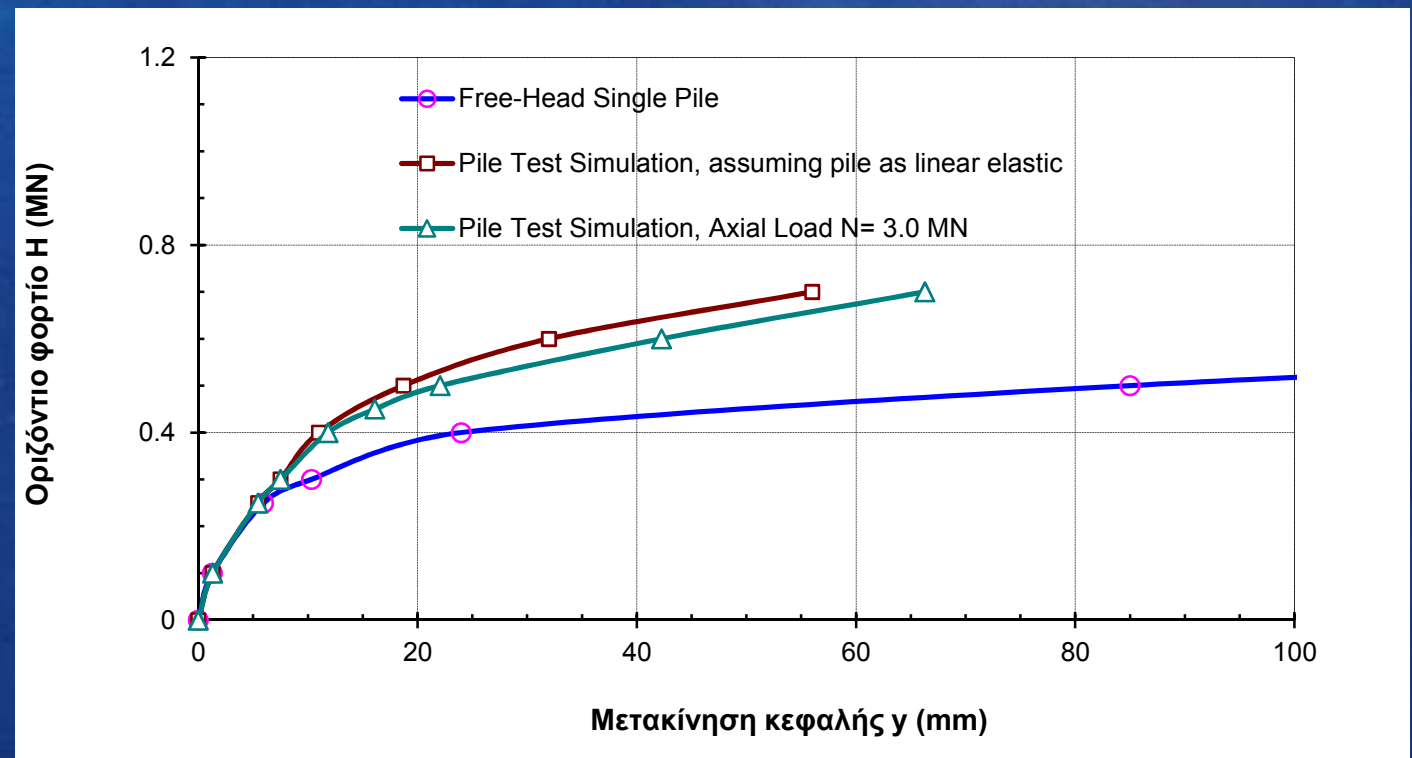
$(d_{cr}/D)$

Ενσωμάτωση σε κώδικα μη  
γραμμικής μονοδιάστατης  
ανάλυσης με επαναληπτική  
διαδικασία



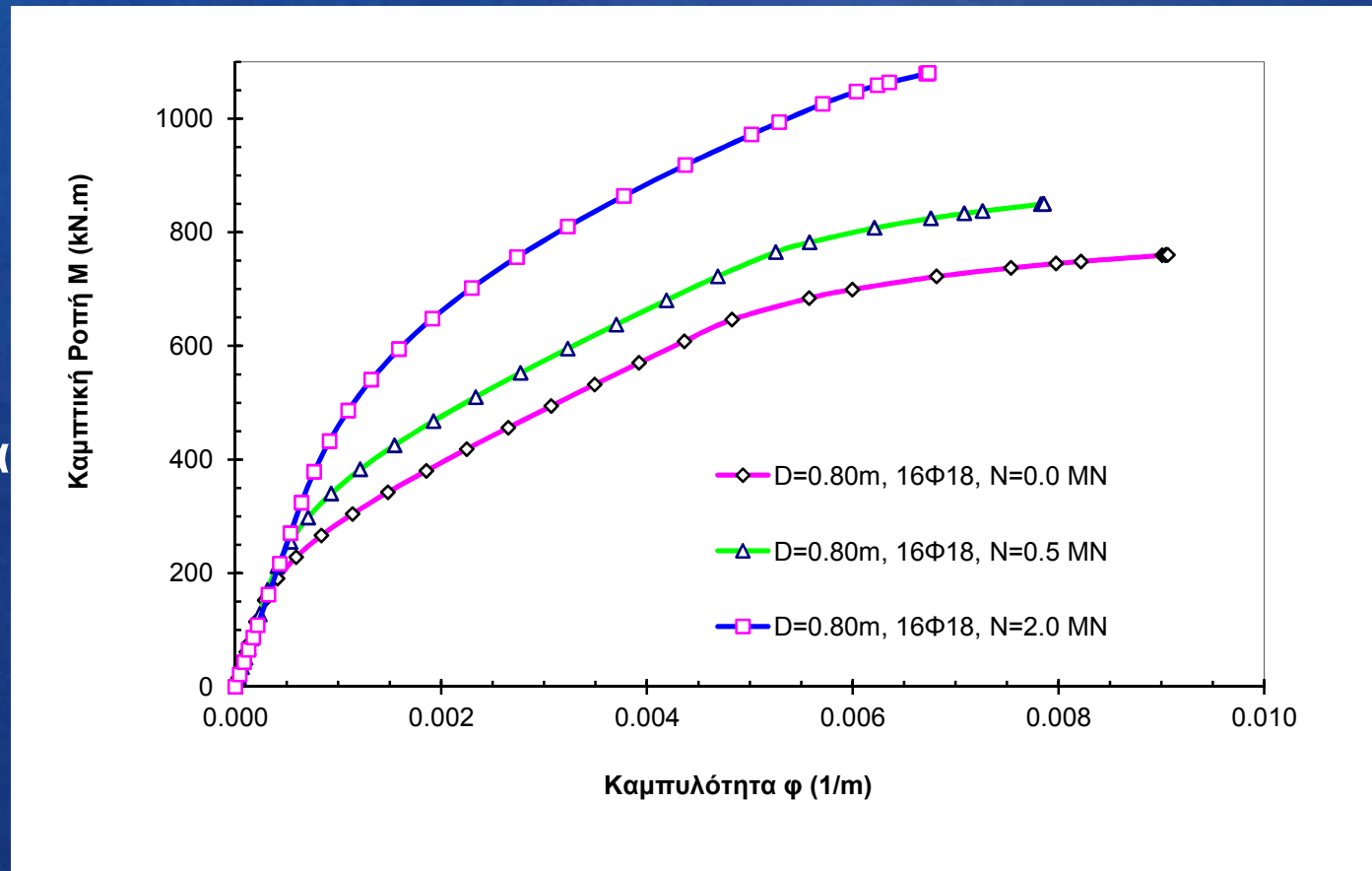
## Ευεργετική δράση θλιπτικής αξονικής δύναμης (3-D ανάλυση)

Η συνύπαρξη θλιπτικής αξονικής δύναμης περιορίζει τη διεύρυνση της ρηγμάτωσης με ευεργετικά αποτελέσματα στην απόκριση και την αντοχή



## Ευεργετική δράση θλιπτικής αξονικής δύναμης (1-D ανάλυση)

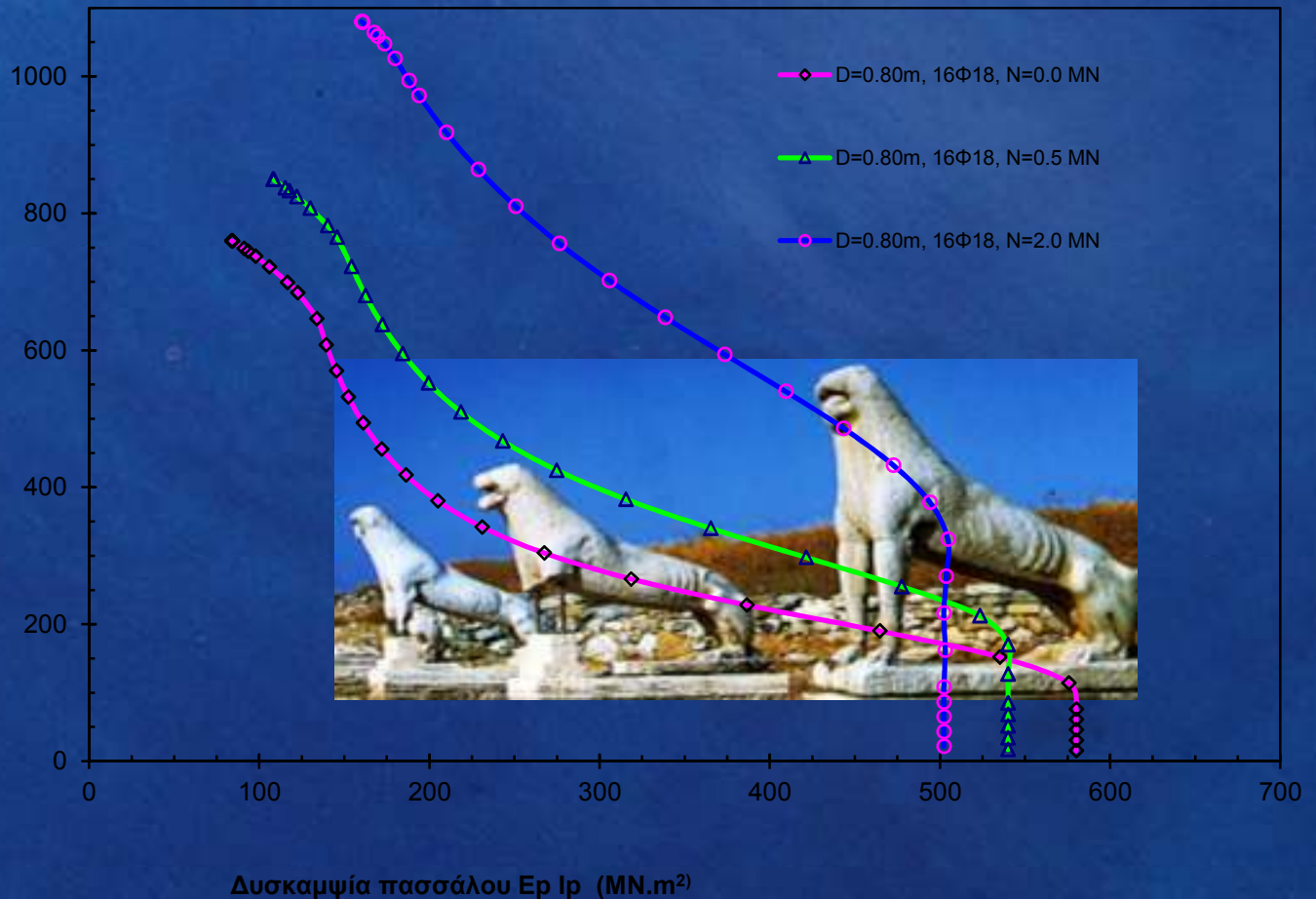
Η συνύπαρξη θλιπτικής αξονικής δύναμης περιορίζει τη διεύρυνση της ρηγμάτωσης με ευεργετικά αποτελέσματα στην απόκριση και την αντοχή



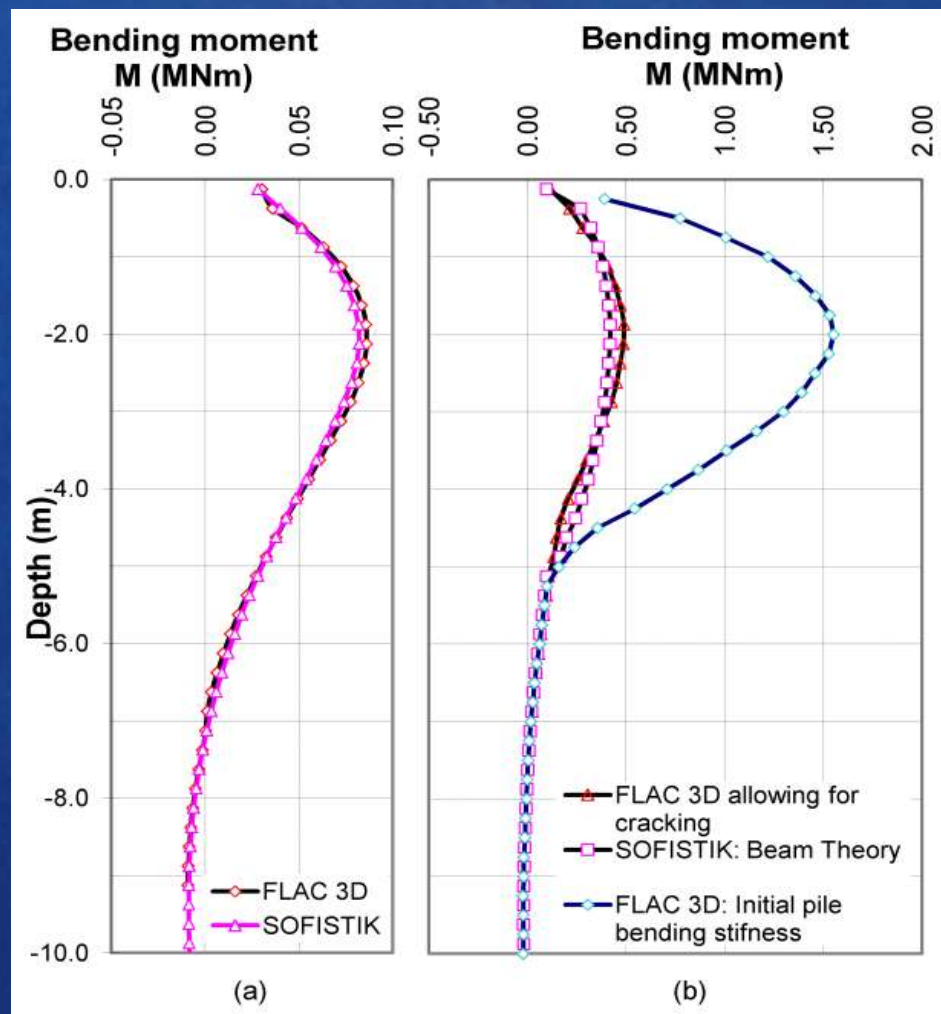
## Ευεργετική δράση θλιπτικής αξονικής δύναμης (1-D ανάλυση)

Η συνύπαρξη θλιπτικής αξονικής δύναμης περιορίζει τη διεύρυνση της ρηγμάτωσης με ευεργετικά αποτελέσματα στην απόκριση και την αντοχή

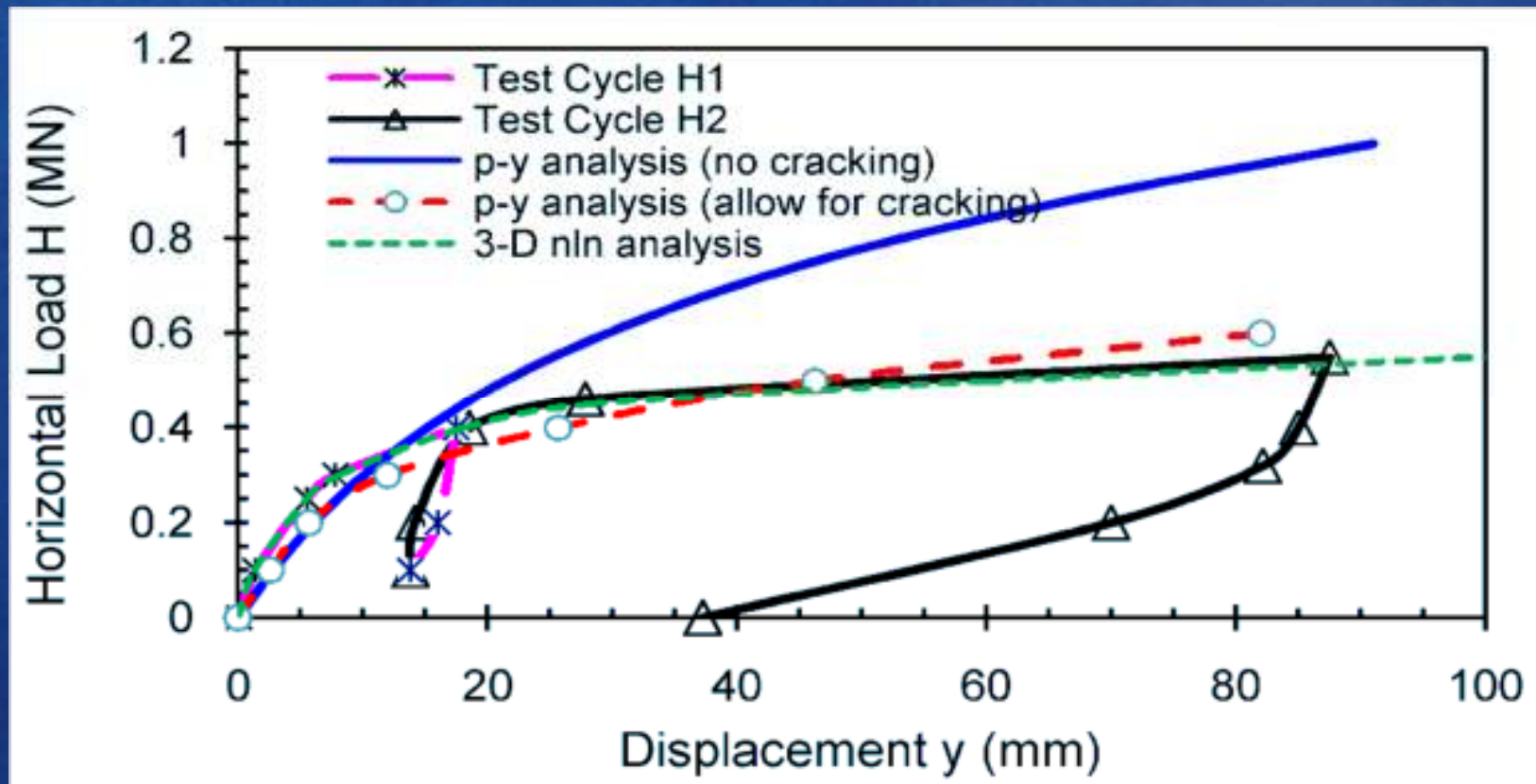
Καμπυτική Ροπή  $M$  (kN.m)



## Λάθος εκτίμηση καμπτικής ροπής

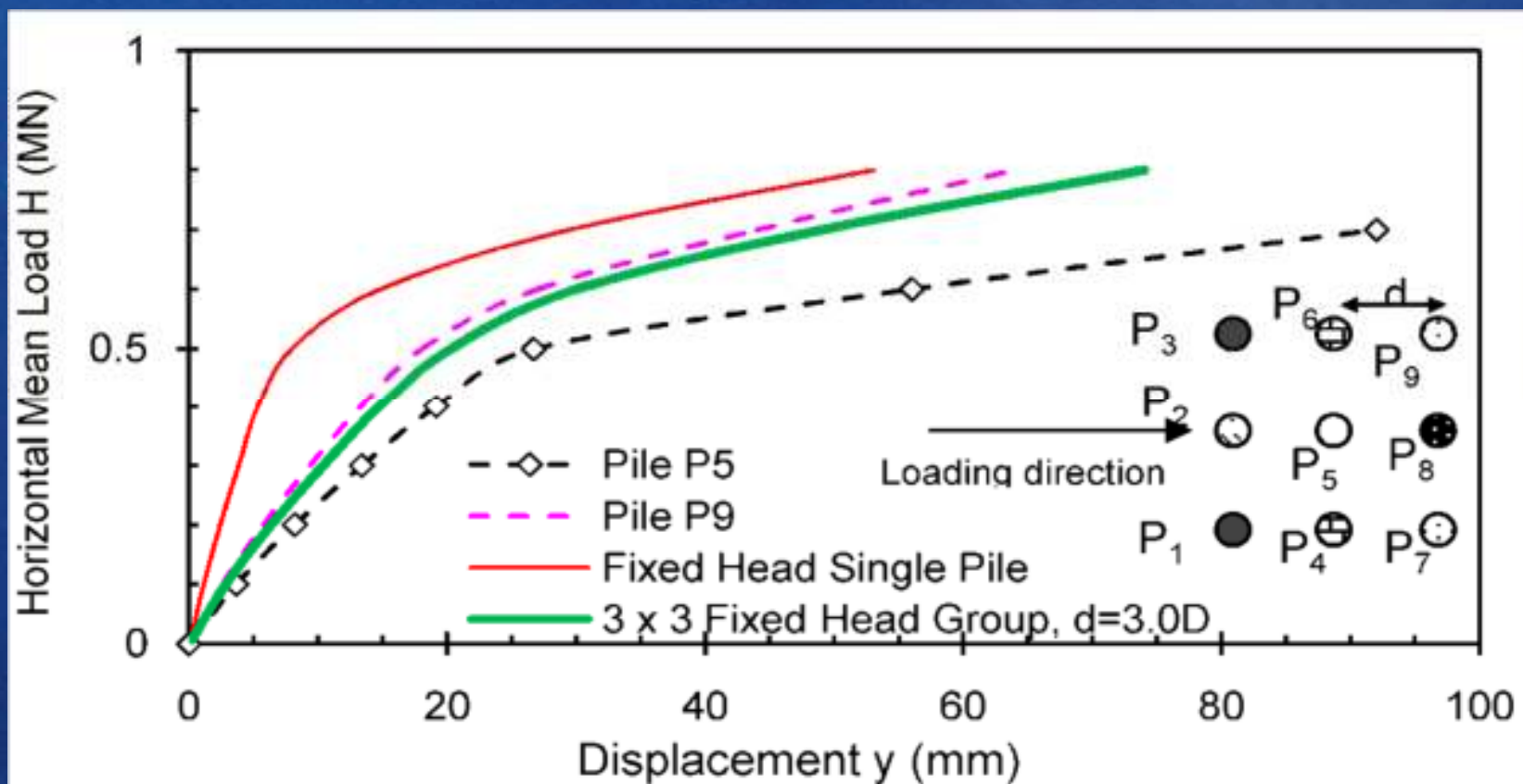


## Συγκεντρωτική παρουσίαση αποκρίσεων Πειραματικά αποτελέσματα και αριθμητικός προσδιορισμός





## Πρόβλεψη απόκρισης χαρακτηριστικών πασσάλων ομάδας



## Συμπεράσματα







Η ρηγμάτωση των πασσάλων οδηγεί σε σημαντικές επιπτώσεις στην απόκριση των πασσαλοθεμελιώσεων (μικρότερη αντοχή και δυσκαμψία). Η μεταβολή αυτή επηρεάζει με τη σειρά της την απόκριση των ανωδομών.



Για την αποτίμηση των επιπτώσεων πραγματοποιήθηκε δοκιμαστική φόρτιση με κατάλληλη ενοργάνωση. Τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για τη διεξαγωγή 3-D μη γραμμικής ανάλυσης. Κατά τον τρόπο αυτό προσδιορίσθηκαν με υψηλή ακρίβεια οι παράμετροι διατμητικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας των συστατικών στοιχείων.

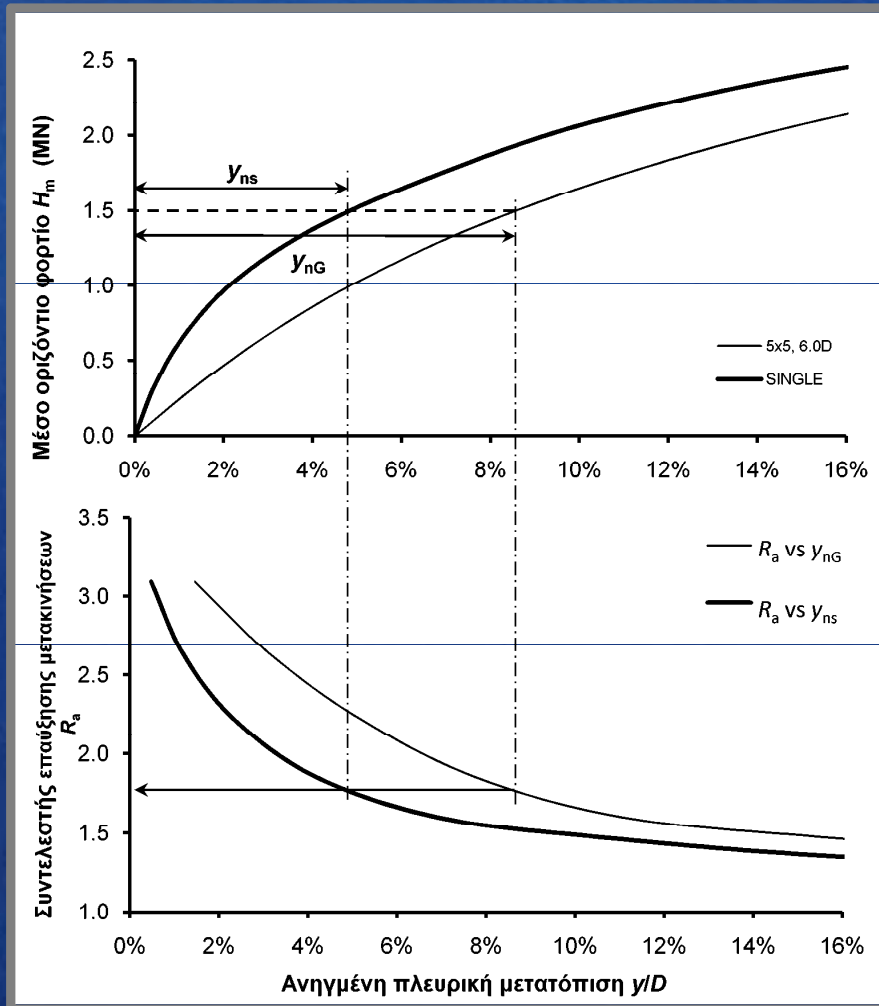
## Συμπεράσματα

-  Διερευνήθηκε στη συνέχεια η ευεργετική δράση θλιπτικής αξονικής δύναμης και οι επιπτώσεις των οριακών συνθηκών στην ανάπτυξη της ρηγμάτωσης
-  Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε τόσο με σύνθετη ανάλυση (τρισδιάστατη μη γραμμική ανάλυση) όσο και με απλούστερη προσέγγιση (μονοδιάστατη ανάλυση με χρήση στοιχείων δοκού).
-  Η τρισδιάστατη ανάλυση επιτρέπει την ακριβέστερη δυνατή ανάλυση με πολύ υψηλό εντούτοις υπολογιστικό κόστος
-  Η μονοδιάστατη ανάλυση φαίνεται ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα δεδομένου ότι με μικρό υπολογιστικό κόστος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, ενώ μπορεί εύκολα να ενταχθεί σε κώδικα πλήρους ανάλυσης

## Προσδιορισμός Απόκρισης με 3D ανάλυση

- ✚ Δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου  
για το σχεδιασμό θεμελιώσεων σημαντικών έργων
- ✚ Αντίστροφη Ανάλυση  
με βάση τα αποτελέσματα (μετακινήσεις, παραμορφώσεις, φορτία)  
της δοκιμαστικής φόρτισης
- ✚ Απόκριση μεμονωμένου πασσάλου  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης (P-γ) και κατανομής  
καμπυλοτήτων ή/και ροπών με το βάθος (φ-z, M-z)
- ✚ Ενιαία Παρουσίαση (συνέδριο)
- ✚ **Απόκριση ομάδας πασσάλων**  
Προσδιορισμός καμπύλης απόκρισης ομάδας (συντελεστής μείωσης  
της δυσκαμψίας της ομάδας, RG) και κατανομής του φορτίου στους  
χαρακτηριστικούς πασσάλους

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση



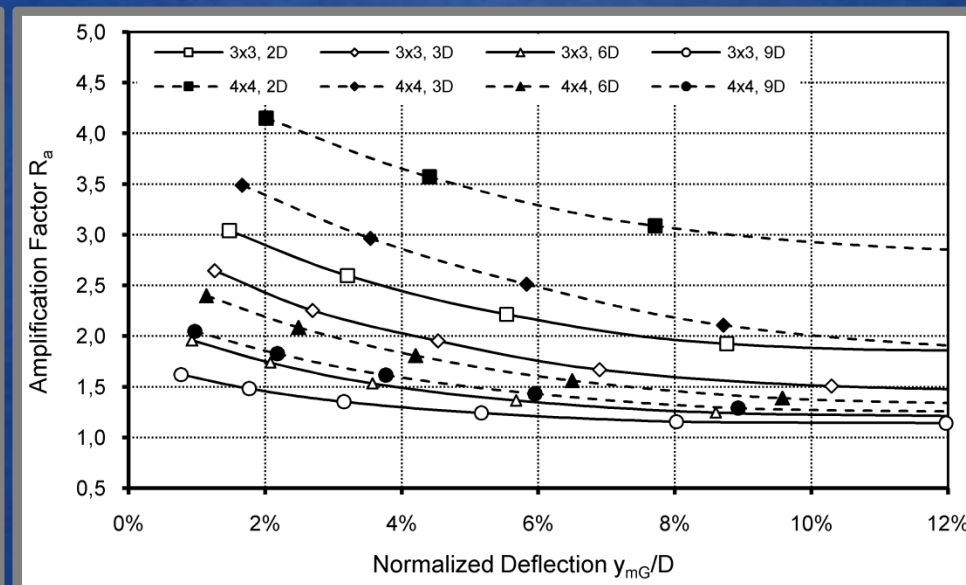
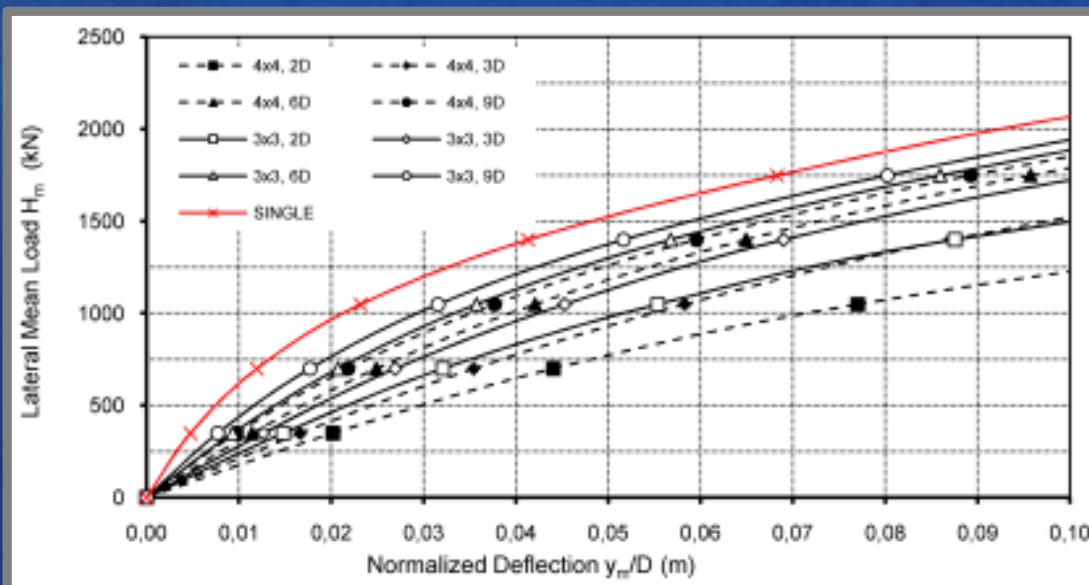
## ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΟΜΑΔΑΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΠΑΣΣΑΛΟΥ

$$R_a = \frac{y_{nG}}{y_{ns}} = \frac{y_G}{y_s}$$

$y_G$  = μετακίνηση ομάδας

$y_s$  = μετακίνηση μεμονωμένου πασσάλου

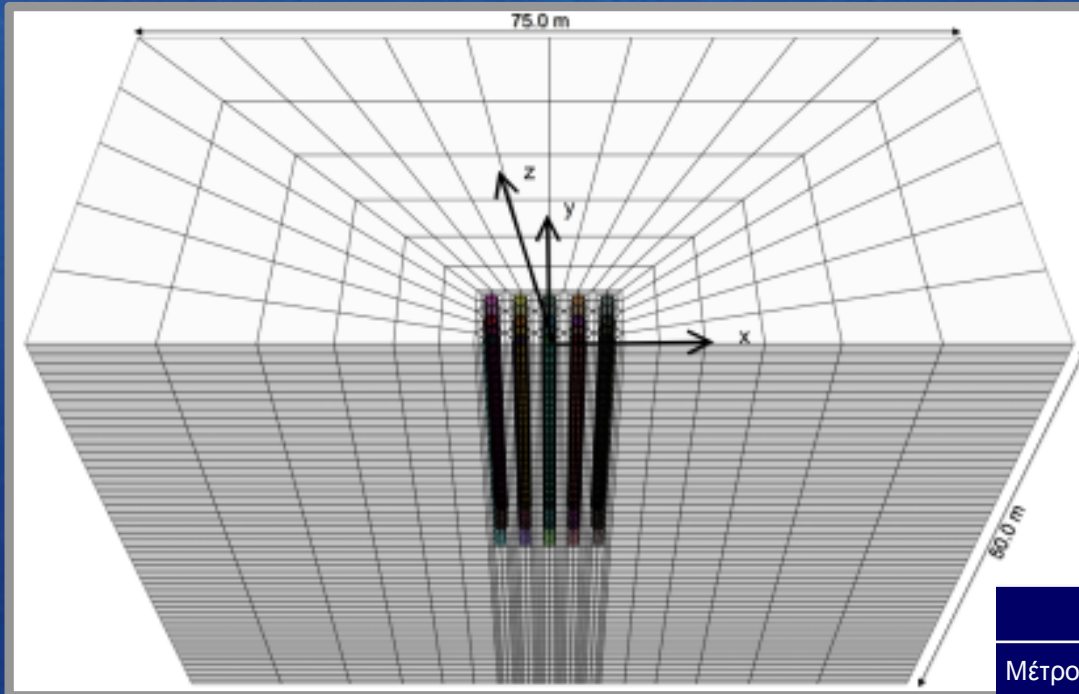
# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση



$$R_a = \frac{y_{nG}}{y_{ns}} = \frac{y_G}{y_s}$$

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

Αριθμητική διερεύνηση απόκρισης ομάδας πασσάλων



## Παραμετρική ανάλυση

$$D = 1.0 \text{ m}$$

$$L/D = 25.0$$

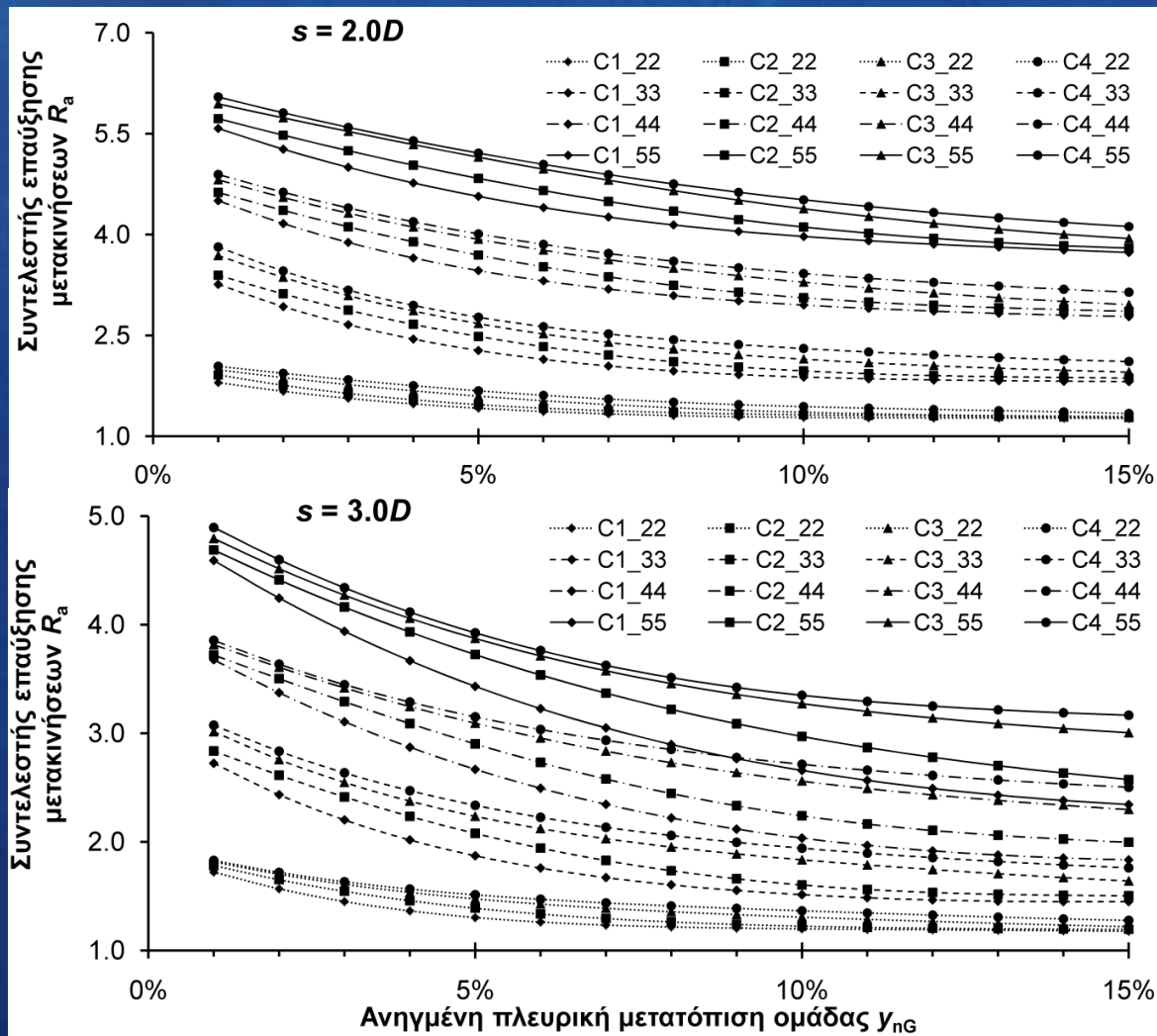
Διατάξεις:	2 x 2	Αξ. αποστάσεις:	2.0 D
	3 x 3		3.0 D
	4 x 4		6.0 D
	5 x 5		9.0 D

Αριθμητικό προσομοίωμα

	C1	C2	C3	C4	S1	S2	S3
Μέτρο του Young $E$ (MPa)	400 $c_u$	300 $c_u$	200 $c_u$	150 $c_u$	15	30	80
Συντελεστής Poisson $\nu$	0.49	0.49	0.49	0.49	0.25	0.30	0.35
Αστράγγιστη συνοχή $c_u$ (kPa)	25+1.0z	50+1.0z	100+1.0z	150+1.0z			
Συνάφεια εδάφους – πασσάλου στη διεπιφάνεια $c_a$ (kPa)	25	50	72	75			
Γωνία τριβής $\varphi$ (°)					30	35	40
Γωνία τριβής διεπιφάνειας $\varphi_i$ (°)					28	31	35
Φαινόμενο βάρος $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20	20	20	20	20	20	20

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ



Επίδραση:

- επιπέδου μετακίνησης



- διάταξης

- αξονικής απόστασης



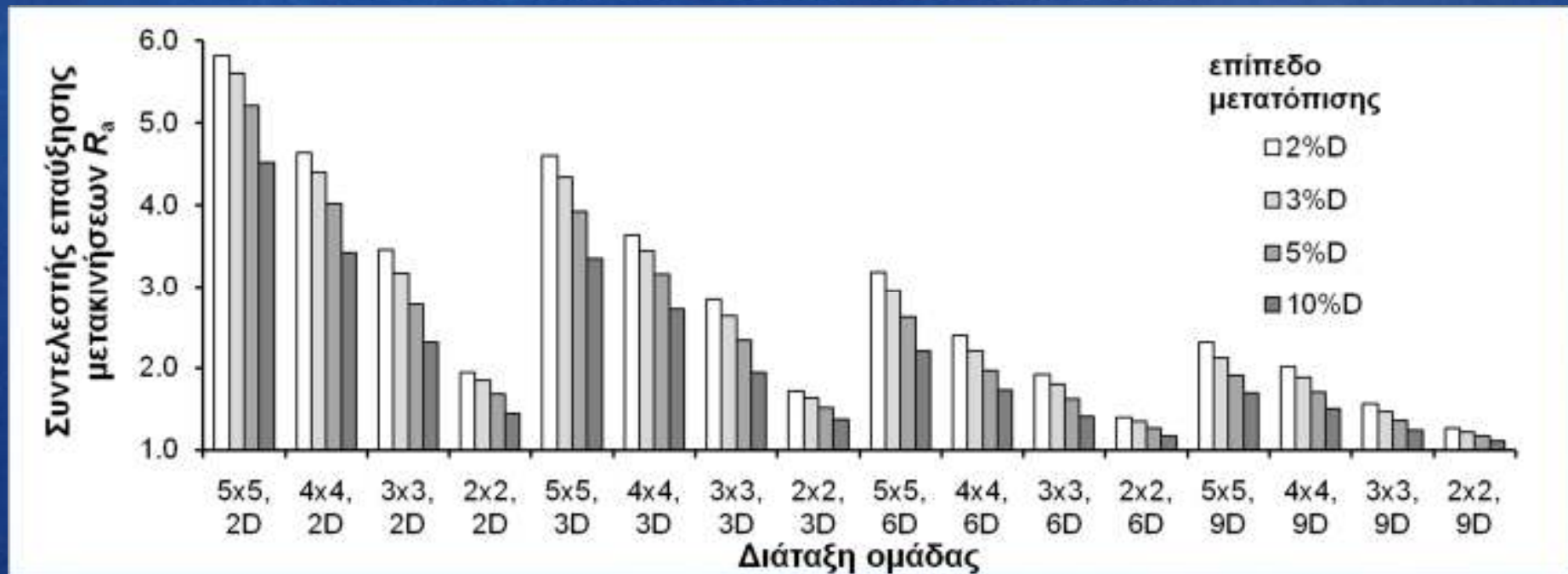
- διατμητικής αντοχής



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

Αριθμητική διερεύνηση απόκρισης ομάδας πασσάλων

## ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΟ ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

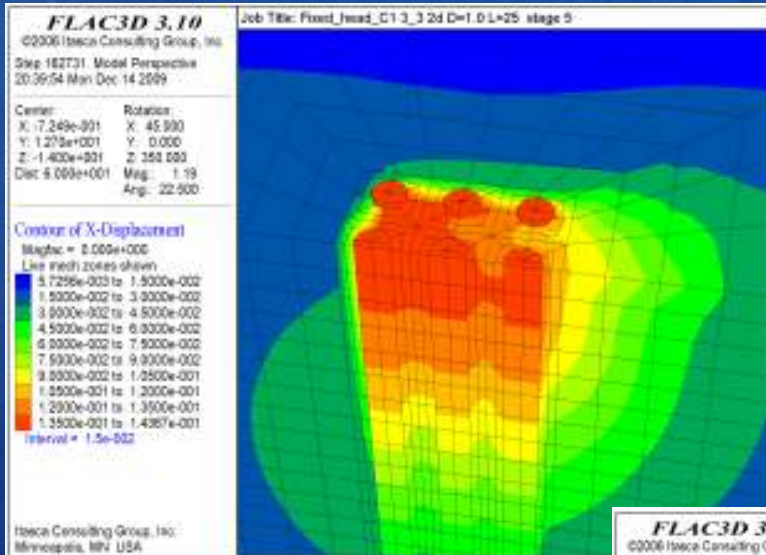


Κατηγορία C<sub>4</sub>

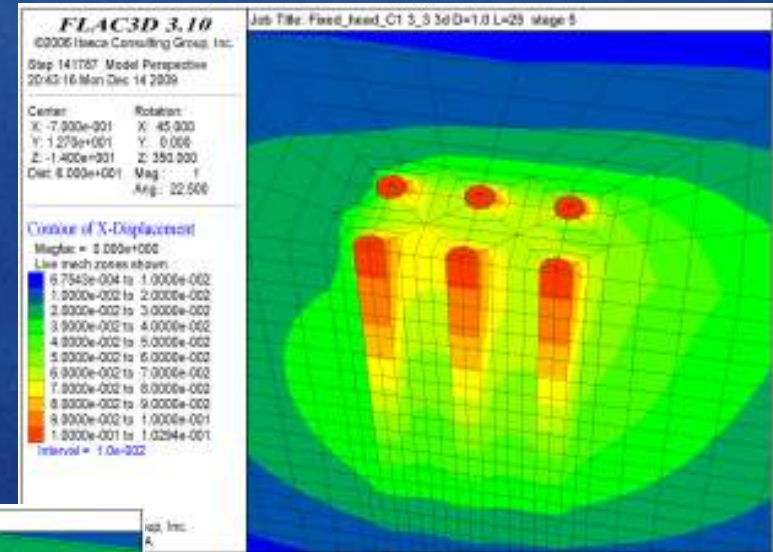
# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

Αριθμητική διερεύνηση απόκρισης ομάδας πασσάλων

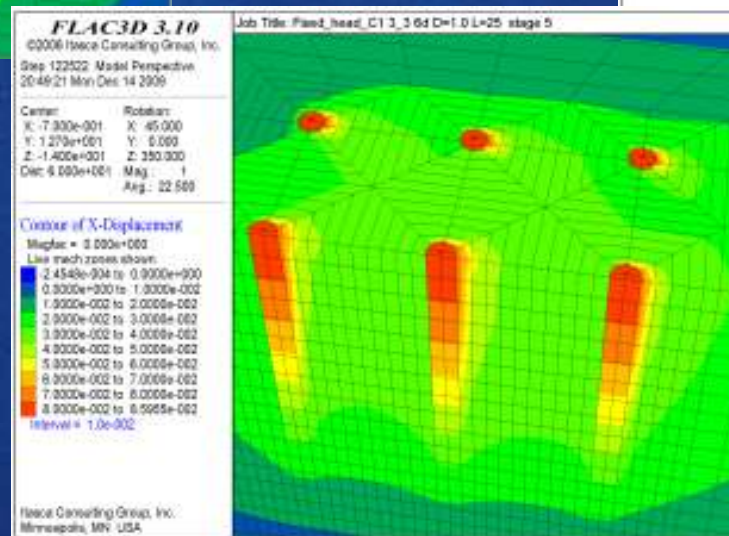
## ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΟ – ΕΠΙΠΤΩΣΗ ΔΕΟΝΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ



$C_{1,3} \times 3, 2.0D$   
 $y_G = 14.4 \text{ cm}$



$C_{1,3} \times 3, 3.0D$   
 $y_G = 10.3 \text{ cm}$



$C_{1,3} \times 3, 6.0D$   
 $y_G = 8.6 \text{ cm}$

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

$$Q_{G15} = \eta_{L15} n Q_{S15}$$

$Q_{G15}$ : οριζόντια φέρουσα ικανότητα ομάδας πασσάλων, αντιστοιχούσα σε μετακίνηση  $15\%D$ ,

$Q_{S15}$ : η οριζόντια φέρουσα ικανότητα μεμονωμένου πασσάλου, αντιστοιχούσα σε μετακίνηση  $15\%D$ ,

$\eta_{L15}$ : ο συντελεστής απόδοσης φέρουσας ικανότητας για μετακίνηση  $15\%D$ ,

$n$ : ο αριθμός πασσάλων της ομάδας.

		Τύπος εδάφους s	C1	C2	C3	C4
			2 × 2	2.0D	0.90	0.92
3.0D	0.94	0.94		0.92	0.90	
6.0D	0.97	0.97		0.96	0.94	
9.0D	0.98	0.98		0.97	0.96	
3 × 3	2.0D	0.80	0.79	0.75	0.70	
	3.0D	0.86	0.85	0.81	0.75	
	6.0D	0.94	0.93	0.90	0.88	
	9.0D	0.96	0.95	0.94	0.92	
4 × 4	2.0D	0.67	0.66	0.61	0.56	
	3.0D	0.78	0.76	0.69	0.63	
	6.0D	0.91	0.89	0.85	0.81	
	9.0D	0.93	0.91	0.89	0.86	
5 × 5	2.0D	0.59	0.57	0.52	0.47	
	3.0D	0.70	0.67	0.61	0.54	
	6.0D	0.86	0.82	0.77	0.72	
	9.0D	0.92	0.89	0.86	0.83	

$\eta_{L15} \rightarrow 1.0$ , για μεγάλη αξονική απόσταση

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

$$K_G = R_G K_S n$$

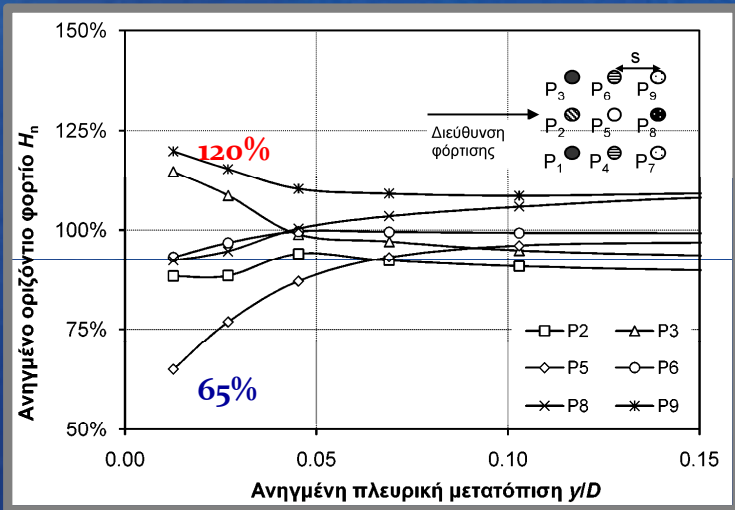
$$R_G = \frac{1}{R_a} = \frac{y_{ns}}{y_{nG}} = \frac{y_s}{y_G}$$

Μέγιστη επίπτωση της αλληλεπίδρασης σε μικρά επίπεδα μετακίνησης, σε πυκνά διατεταγμένες ομάδες, με μεγάλο αριθμό πασσάλων και μεγάλης συνεκτικότητας αργίλους.

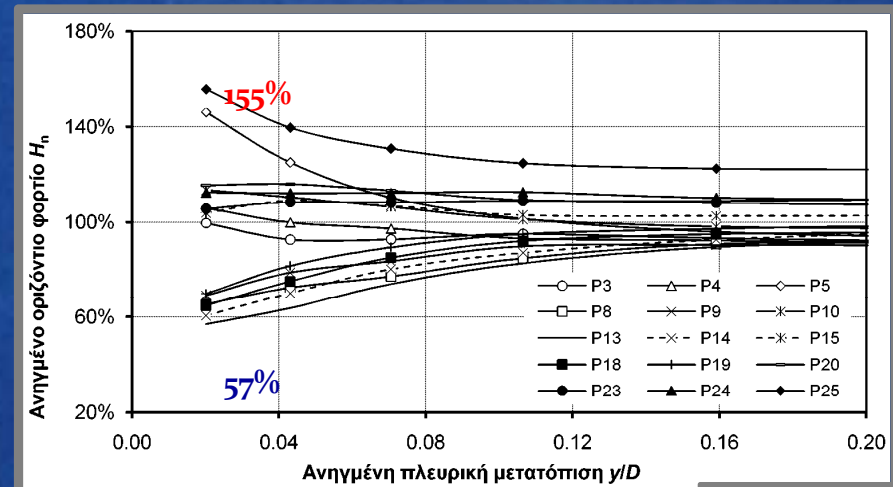
	Τύπος εδάφους  s	C1			C2			C3			C4		
		R <sub>G1</sub>	R <sub>G5</sub>	R <sub>G10</sub>	R <sub>G1</sub>	R <sub>G5</sub>	R <sub>G10</sub>	R <sub>G1</sub>	R <sub>G5</sub>	R <sub>G10</sub>	R <sub>G1</sub>	R <sub>G5</sub>	R <sub>G10</sub>
2 × 2	2.0D	0.56	0.70	0.78	0.52	0.68	0.76	0.50	0.63	0.74	0.49	0.60	0.69
	3.0D	0.58	0.77	0.83	0.56	0.72	0.82	0.55	0.68	0.77	0.55	0.66	0.73
	6.0D	0.70	0.87	0.92	0.69	0.82	0.90	0.69	0.81	0.87	0.68	0.79	0.85
	9.0D	0.79	0.90	0.94	0.78	0.87	0.93	0.77	0.87	0.91	0.77	0.86	0.90
3 × 3	2.0D	0.31	0.44	0.53	0.29	0.40	0.51	0.27	0.37	0.47	0.26	0.36	0.43
	3.0D	0.37	0.53	0.66	0.35	0.48	0.62	0.33	0.45	0.54	0.33	0.43	0.51
	6.0D	0.51	0.71	0.81	0.51	0.67	0.79	0.49	0.64	0.74	0.49	0.62	0.71
	9.0D	0.63	0.80	0.88	0.62	0.76	0.86	0.61	0.75	0.82	0.60	0.74	0.81
4 × 4	2.0D	0.22	0.29	0.34	0.22	0.27	0.33	0.21	0.25	0.30	0.20	0.25	0.29
	3.0D	0.27	0.37	0.49	0.27	0.34	0.45	0.26	0.32	0.39	0.26	0.32	0.37
	6.0D	0.41	0.59	0.72	0.39	0.54	0.69	0.39	0.52	0.62	0.38	0.51	0.58
	9.0D	0.49	0.67	0.79	0.48	0.62	0.74	0.47	0.59	0.69	0.46	0.59	0.67
5 × 5	2.0D	0.18	0.22	0.25	0.17	0.21	0.24	0.17	0.19	0.23	0.17	0.19	0.22
	3.0D	0.22	0.29	0.38	0.21	0.27	0.34	0.21	0.26	0.31	0.20	0.25	0.30
	6.0D	0.31	0.44	0.60	0.31	0.41	0.54	0.30	0.39	0.47	0.29	0.38	0.45
	9.0D	0.43	0.60	0.74	0.41	0.55	0.68	0.40	0.53	0.62	0.39	0.52	0.59

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

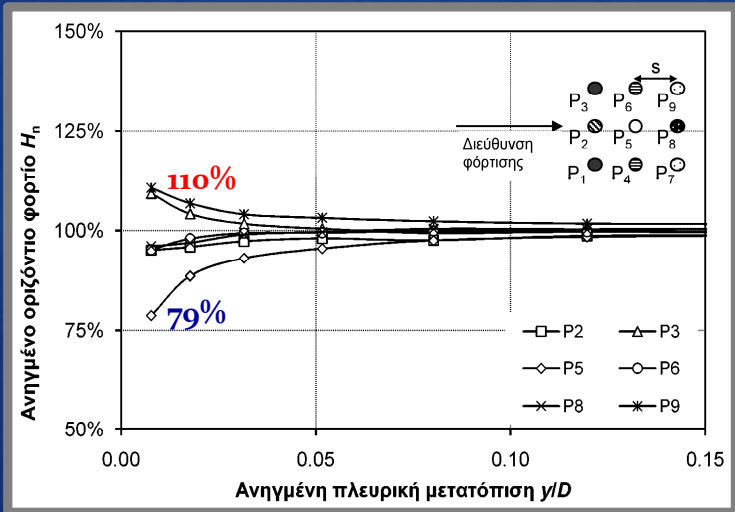
## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ



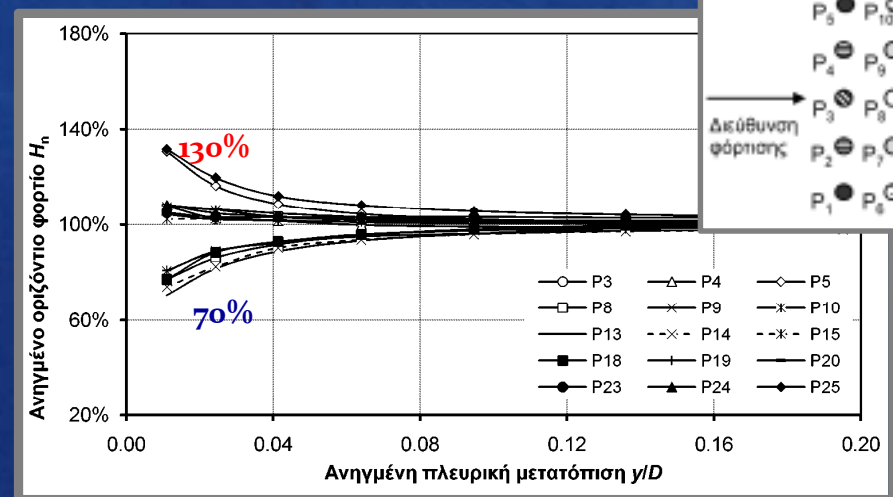
3 × 3, 3.0D



5 × 5, 3.0D



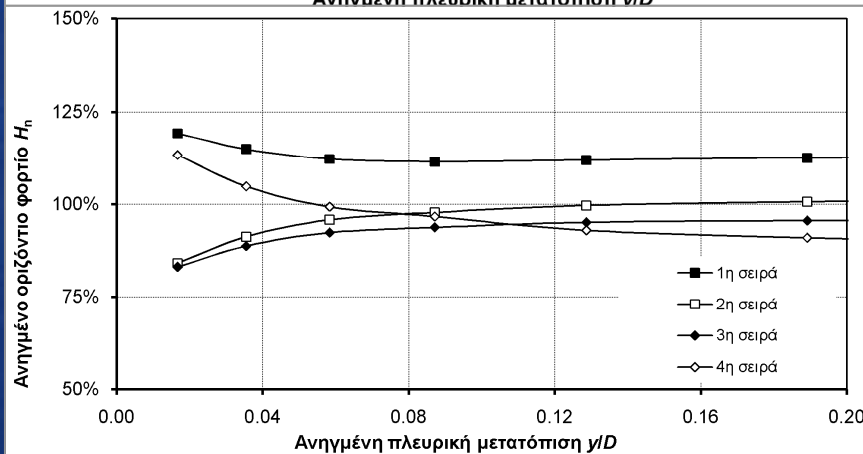
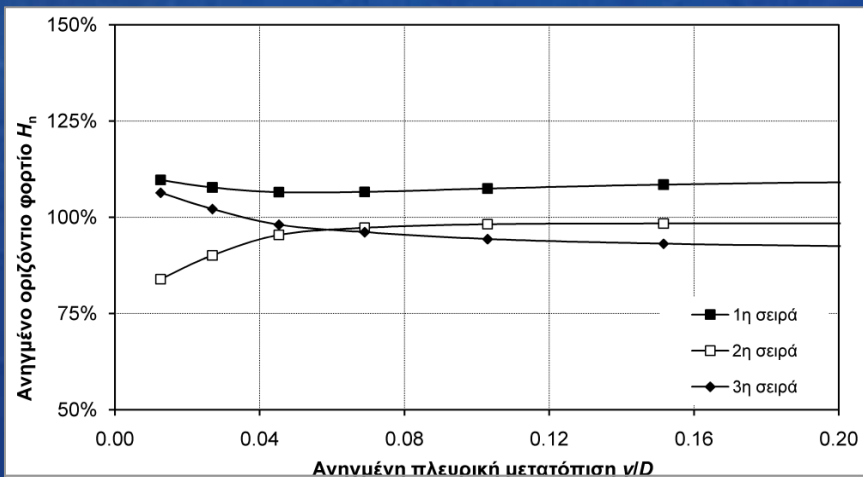
3 × 3, 9.0D



5 × 5, 9.0D

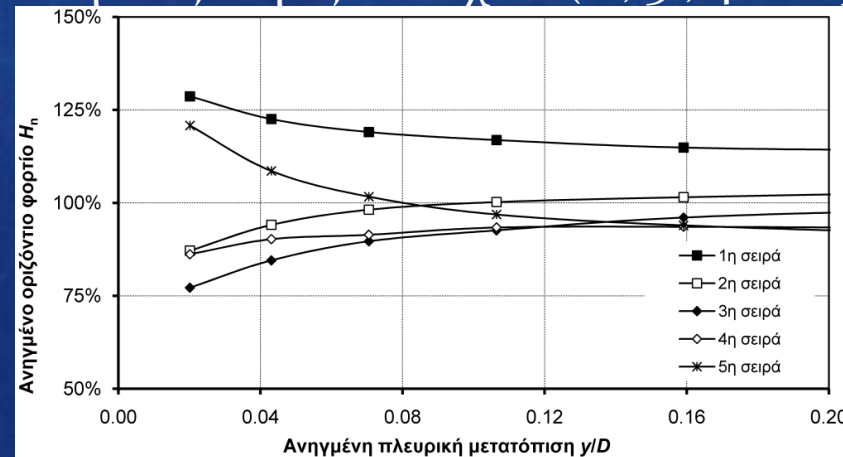
# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ



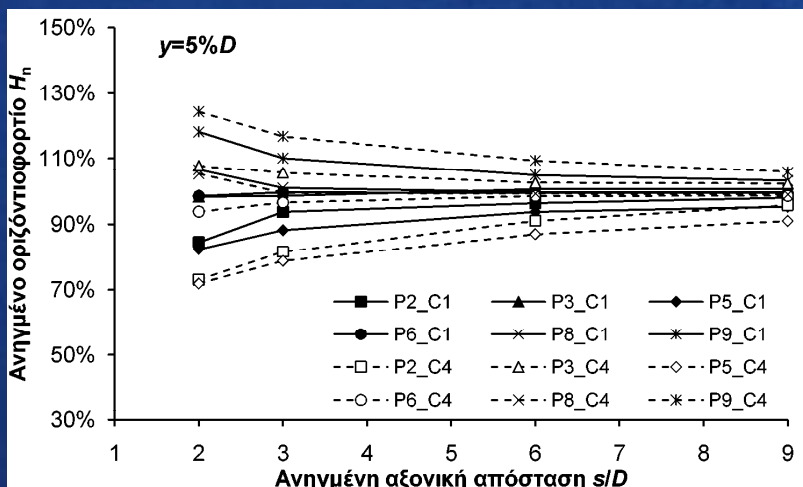
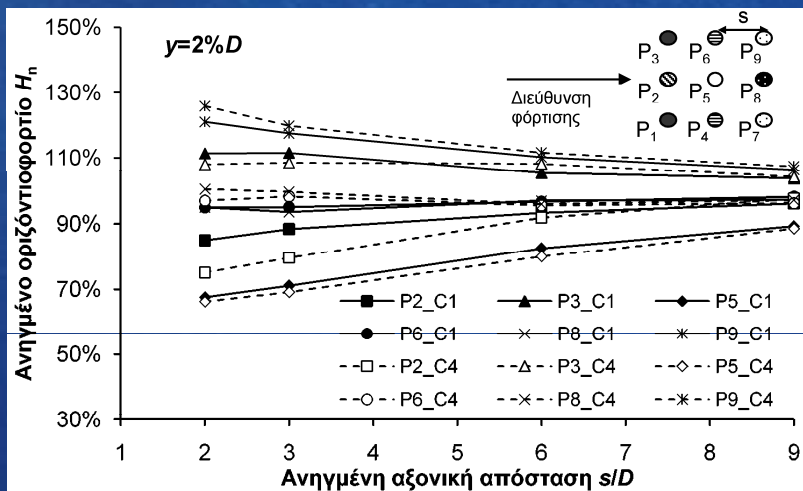
### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΙΣ ΣΕΙΡΕΣ

- Η 1<sup>η</sup> σειρά αναλαμβάνει πάντα το μεγαλύτερο φορτίο
- Για  $\gamma < 10\%D$  η τελευταία σειρά προηγείται πάντα της προτελευταίας
- Για μεγάλες μετακινήσεις ακολουθούν οι επόμενες σειρές διαδοχικά (2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup>, 4<sup>η</sup> και 5<sup>η</sup>)

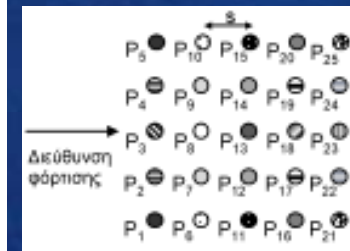
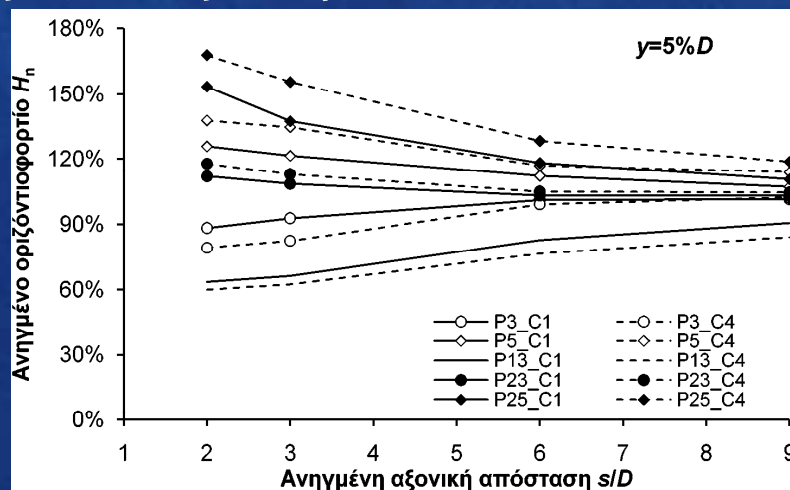


# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

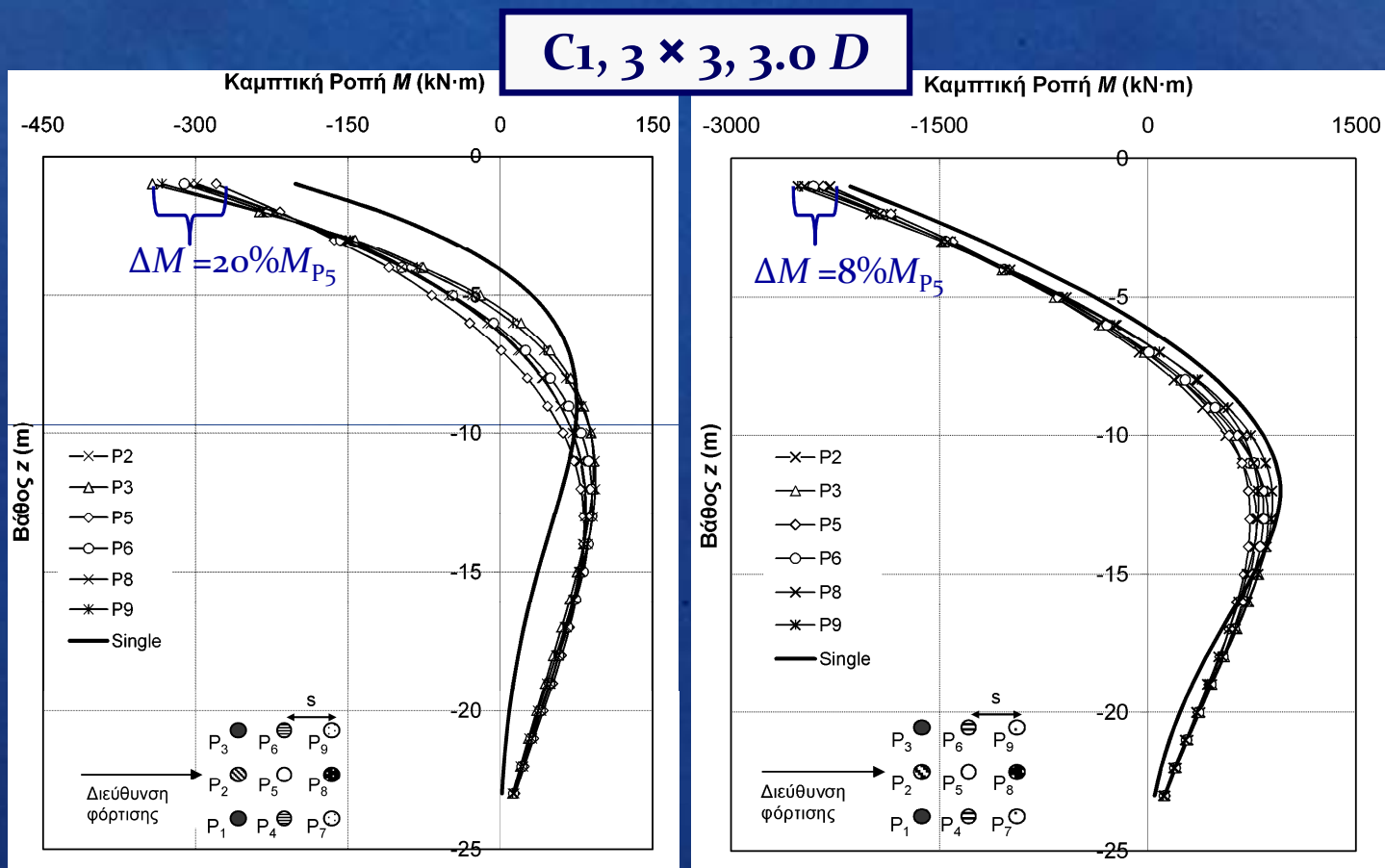


- Η αύξηση της **συνοχής** οδηγεί σε μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των πασσάλων της ομάδας
- Η αύξηση της **μετακίνησης** οδηγεί σε μικρότερη διακύμανση μεταξύ των πασσάλων της ίδιας ομάδας και σε μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των ίδιων πασσάλων διαφορετικής ομάδας
- Μεγαλύτερος **αριθμός πασσάλων** οδηγεί σε μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΟΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ



$\gamma_G = 1.3\%D, H_m = 350 \text{ kN}$

$\gamma_G = 10.3\%D, H_m = 1750 \text{ kN}$

- Σημαντικά μεγαλύτερη ροπή από τον μεμονωμένο
- Μεγαλύτερη διακύμανση για μικρότερα φορτία
- Υψηλότερο σημείο μηδενισμού ροπών για μικρότερα φορτία
- Μικρότερη διακύμανση σε σχέση με τις τέμνουσες

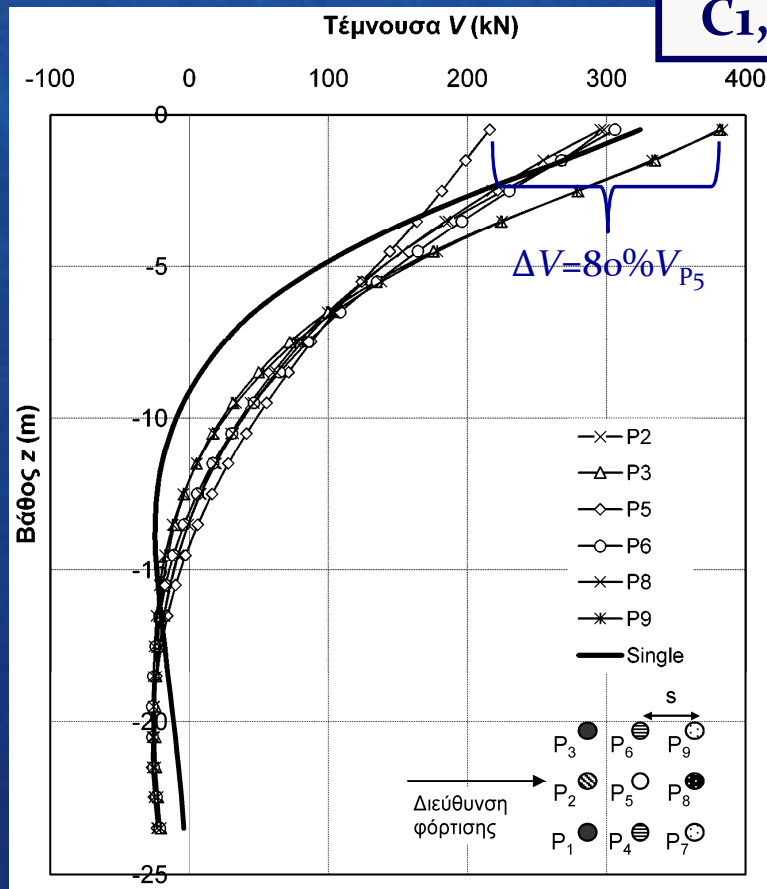




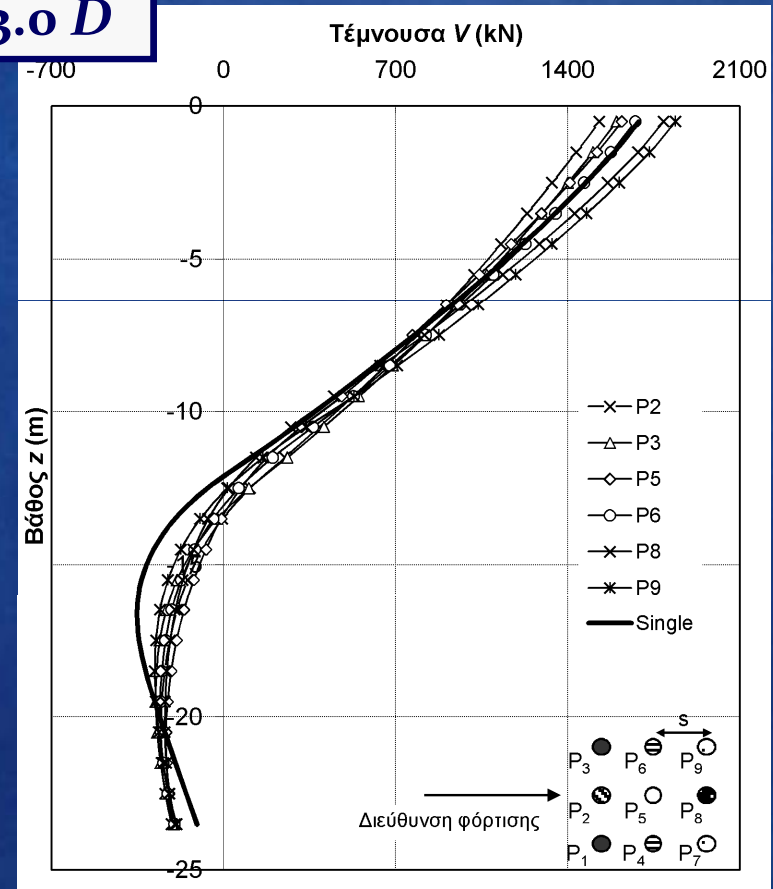
# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

$C_{1,3} \times 3, 3.0 D$



$y_G = 1.3\%D, H_m = 350 \text{ kN}$



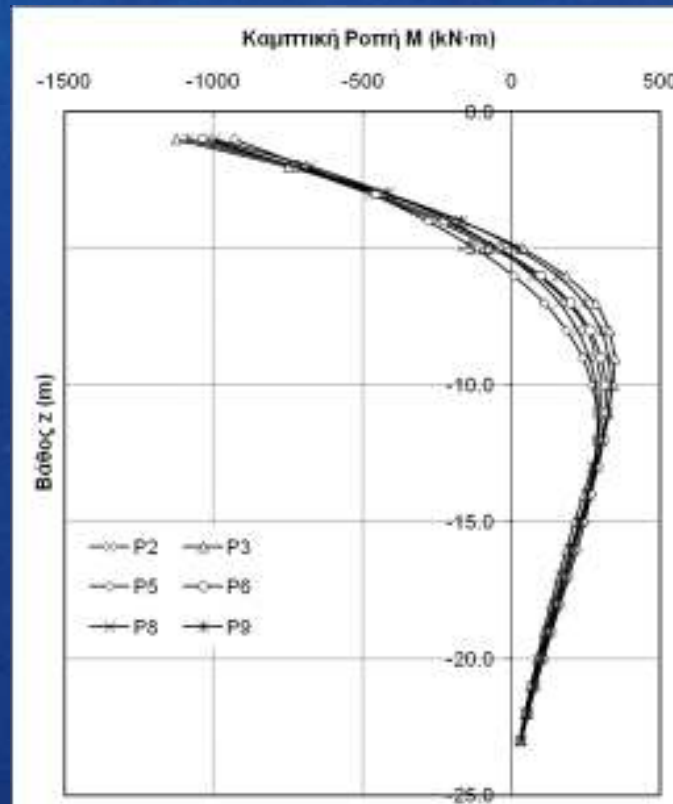
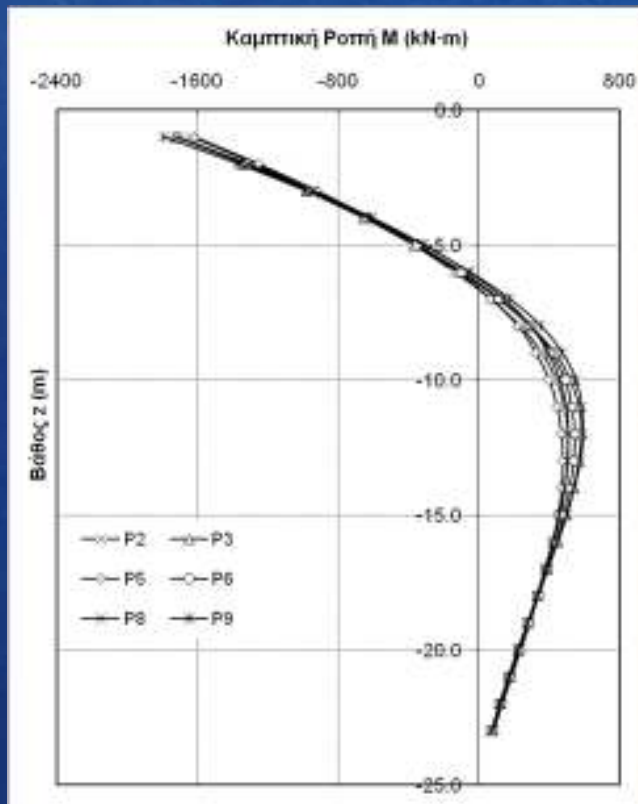
$y_G = 10.3\%D, H_m = 1750 \text{ kN}$

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΟΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ

$C_{1, 3 \times 3, 3.0 D}$

$C_{3, 3 \times 3, 3.0 D}$



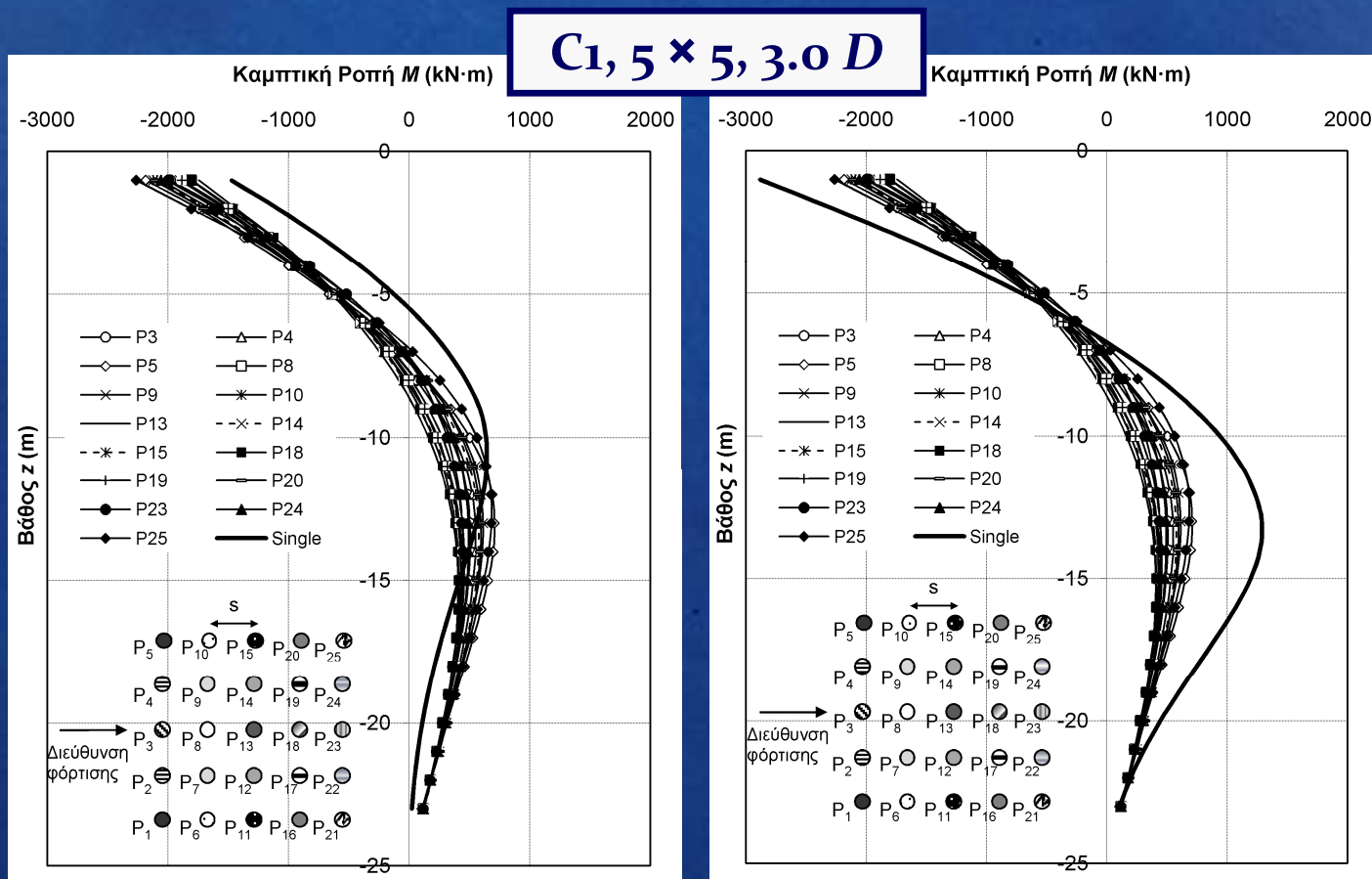
$H_m = 1400 \text{ kN}$

$H_m = 1300 \text{ kN}$

- Η αύξηση της διατμητικής αντοχής οδηγεί σε μικρότερες ροπές – τέμνουσες, με μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης
- Υψηλότερο σημείο μηδενισμού ροπών για στιφρότερες αργίλους

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΟΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ



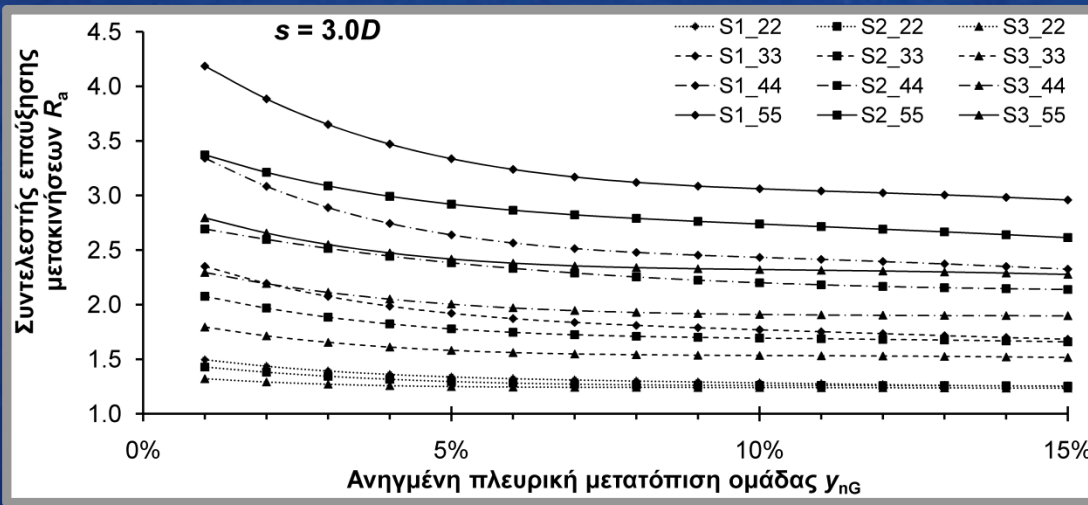
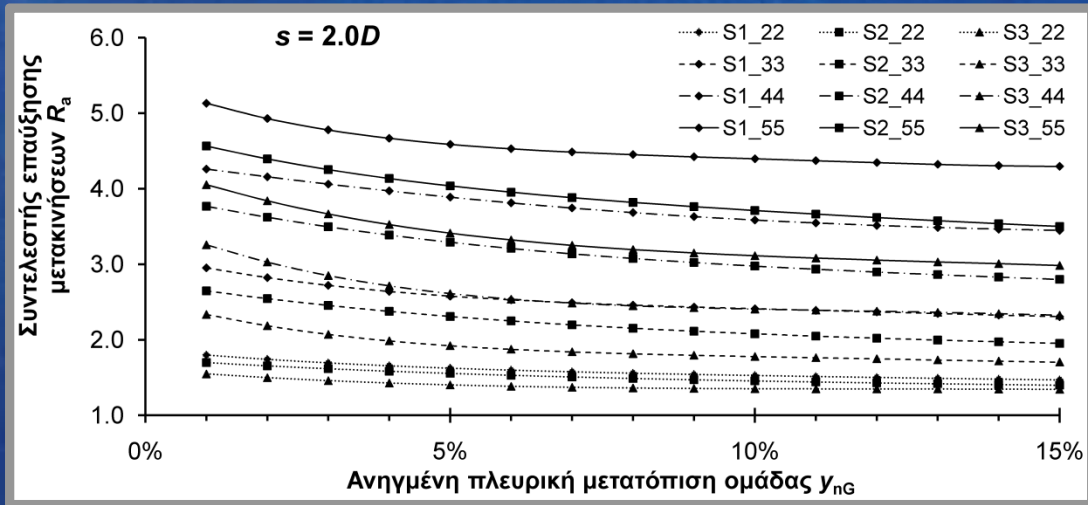
➤ Για την *ίδια μετακίνηση*, ο μεμονωμένος πάσσαλος αναπτύσσει σημαντικά μεγαλύτερη ροπή από τους πασσάλους της ομάδας.

$$H_s = H_m = 1400 \text{ kN}$$

$$y_G = y_s \approx 10\%D \quad (H_s = 2100 \text{ kN}, H_m = 1400 \text{ kN})$$

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ

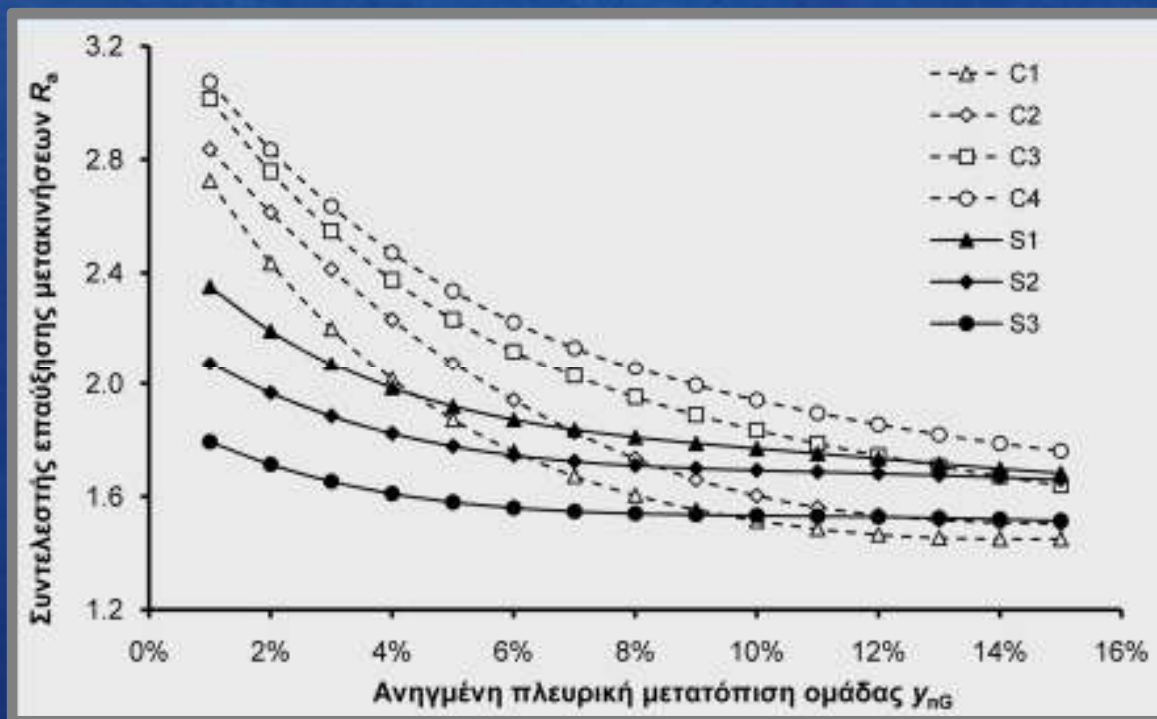


Η αύξηση του αριθμού των πασσάλων και η μείωση της αξονικής τους απόστασης εντείνουν την αλληλεπίδραση και οδηγούν σε μεγαλύτερες τιμές συντελεστών  $R_a$ .

Μικρότερες τιμές  $R_a$  σε σχέση με τις αργίλους.

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ



Η αύξηση του αριθμού των πασσάλων και η μείωση της αξονικής τους απόστασης εντείνουν την αλληλεπίδραση και οδηγούν σε μεγαλύτερες τιμές συντελεστών  $R_a$ .

Μικρότερες τιμές  $R_a$  σε σχέση με τις αργίλους.

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ

	Τύπος εδάφους  s	S1		S2		S3	
		$\eta_{L10}$	$\eta_{L15}$	$\eta_{L10}$	$\eta_{L15}$	$\eta_{L10}$	$\eta_{L15}$
2 × 2	2.0D	0.80	0.84	0.83	0.85	0.84	0.84
	3.0D	0.88	0.89	0.86	0.87	0.87	0.87
	6.0D	0.91	0.92	0.93	0.93	0.95	0.95
	9.0D	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98
3 × 3	2.0D	0.63	0.68	0.67	0.72	0.72	0.73
	3.0D	0.72	0.73	0.72	0.74	0.77	0.77
	6.0D	0.83	0.85	0.85	0.87	0.90	0.90
	9.0D	0.89	0.91	0.90	0.90	0.96	0.96
4 × 4	2.0D	0.50	0.54	0.55	0.59	0.60	0.61
	3.0D	0.59	0.61	0.61	0.63	0.67	0.67
	6.0D	0.76	0.79	0.79	0.80	0.84	0.85
	9.0D	0.82	0.84	0.84	0.85	0.91	0.92
5 × 5	2.0D	0.44	0.48	0.49	0.53	0.51	0.53
	3.0D	0.51	0.53	0.54	0.56	0.59	0.60
	6.0D	0.68	0.71	0.72	0.74	0.78	0.79
	9.0D	0.78	0.80	0.81	0.83	0.90	0.90

Συντελεστής φέρουσας ικανότητας  $\eta_{L15}$  :

- ίδιας τάξης με των αργιλικών εδαφών
- αυξάνεται με την αύξηση της διατμητικής αντοχής της άμμου

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ

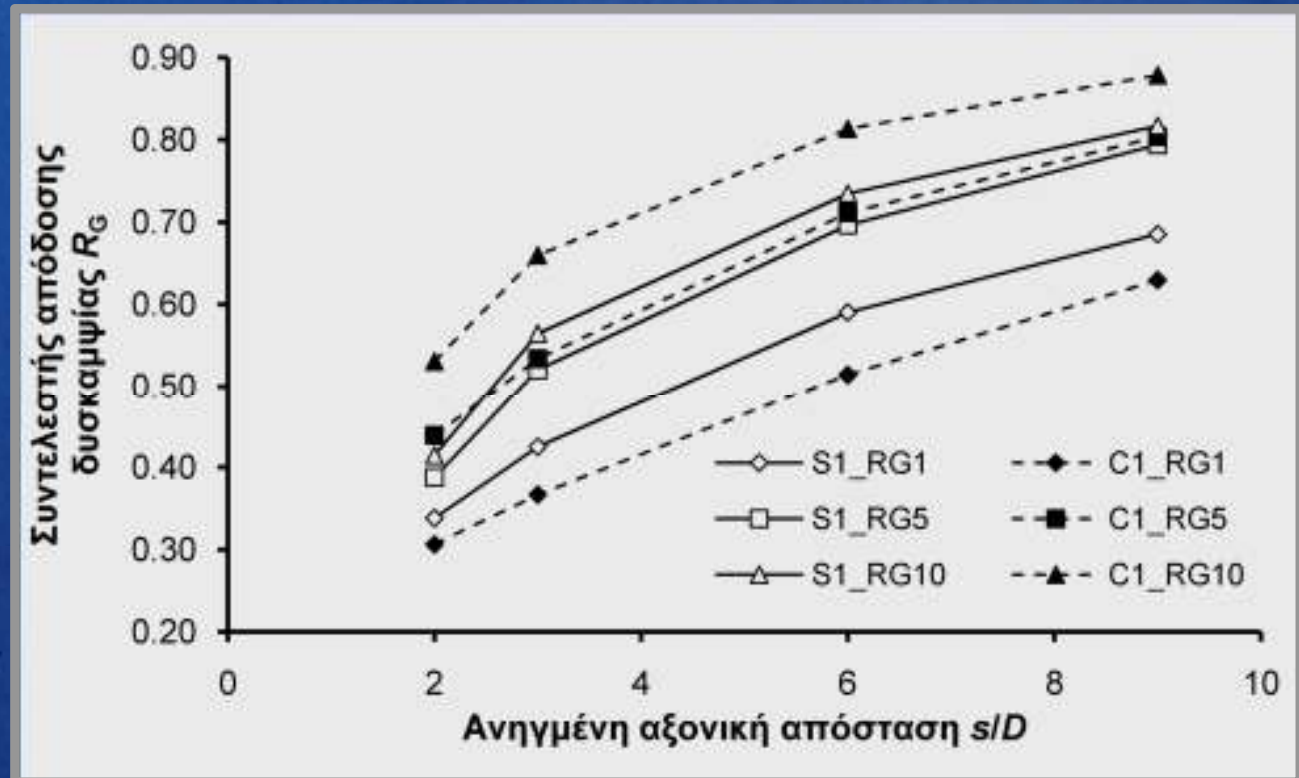
Μέγιστη επίπτωση της αλληλεπίδρασης σε μικρά επίπεδα μετακίνησης, σε πυκνά διατεταγμένες ομάδες, με μεγάλο αριθμό πασσάλων και χαμηλής πυκνότητας άμμους (αντίθετη επίπτωση διατμητικής αντοχής σε σχέση με τις αργίλους).

	Τύπος εδάφους  s	S1			S2			S3		
		R <sub>G1</sub>	R <sub>G5</sub>	R <sub>G10</sub>	R <sub>G1</sub>	R <sub>G5</sub>	R <sub>G10</sub>	R <sub>G1</sub>	R <sub>G5</sub>	R <sub>G10</sub>
2 × 2	2.0D	0.56	0.62	0.65	0.59	0.64	0.69	0.65	0.71	0.74
	3.0D	0.67	0.75	0.78	0.70	0.77	0.79	0.76	0.80	0.81
	6.0D	0.76	0.84	0.85	0.78	0.85	0.88	0.87	0.91	0.92
	9.0D	0.82	0.90	0.92	0.87	0.93	0.95	0.92	0.96	0.96
3 × 3	2.0D	0.34	0.39	0.41	0.38	0.43	0.48	0.43	0.52	0.56
	3.0D	0.43	0.52	0.56	0.48	0.56	0.59	0.56	0.63	0.65
	6.0D	0.59	0.70	0.73	0.67	0.74	0.78	0.75	0.83	0.84
	9.0D	0.69	0.79	0.82	0.74	0.81	0.83	0.84	0.91	0.92
4 × 4	2.0D	0.23	0.26	0.28	0.27	0.30	0.33	0.31	0.38	0.42
	3.0D	0.30	0.38	0.41	0.37	0.42	0.45	0.44	0.50	0.52
	6.0D	0.48	0.58	0.63	0.55	0.64	0.67	0.65	0.73	0.75
	9.0D	0.56	0.66	0.72	0.62	0.71	0.75	0.72	0.83	0.87
5 × 5	2.0D	0.19	0.22	0.23	0.22	0.25	0.27	0.25	0.29	0.32
	3.0D	0.24	0.30	0.33	0.30	0.34	0.37	0.36	0.41	0.43
	6.0D	0.36	0.46	0.51	0.45	0.54	0.58	0.56	0.64	0.67
	9.0D	0.48	0.59	0.64	0.56	0.66	0.70	0.67	0.77	0.84

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΔΥΣΚΑΜΨΙΑ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ

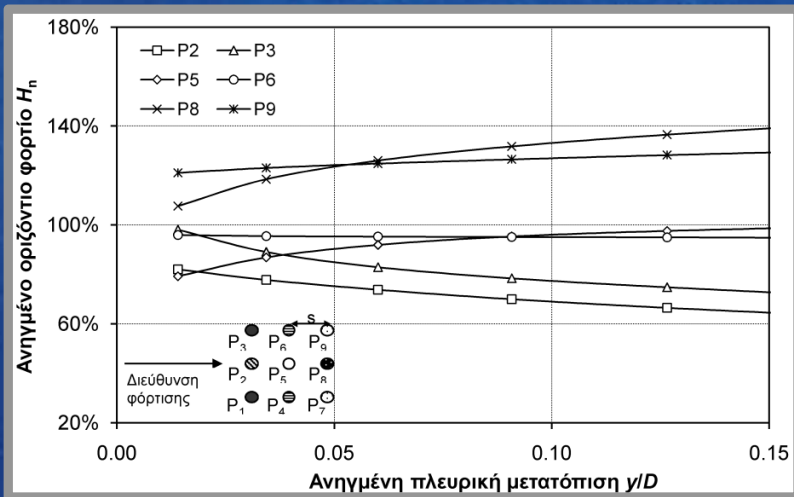
Μέγιστη επίπτωση της αλληλεπίδρασης σε μικρά επίπεδα μετακίνησης, σε πυκνά διατεταγμένες ομάδες, με μεγάλο αριθμό πασσάλων και χαμηλής πυκνότητας άμμους (αντίθετη επίπτωση διατμητικής αντοχής σε σχέση με τις αργίλους).



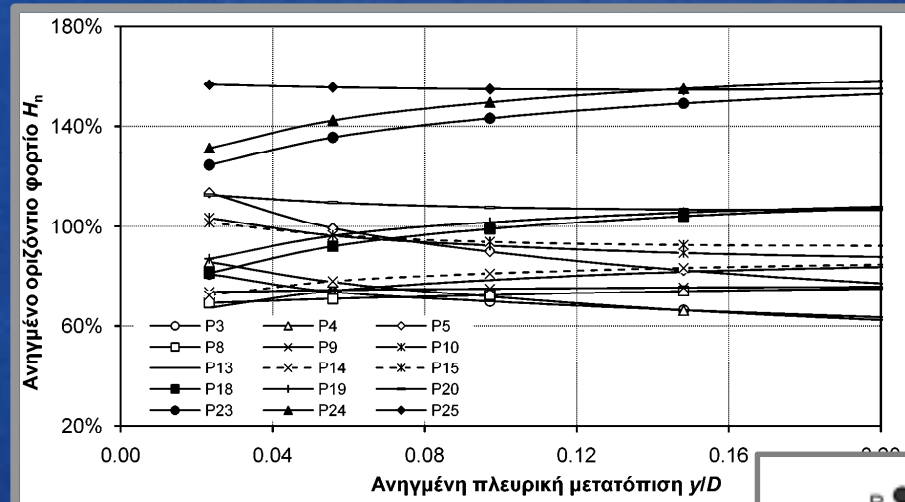


# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

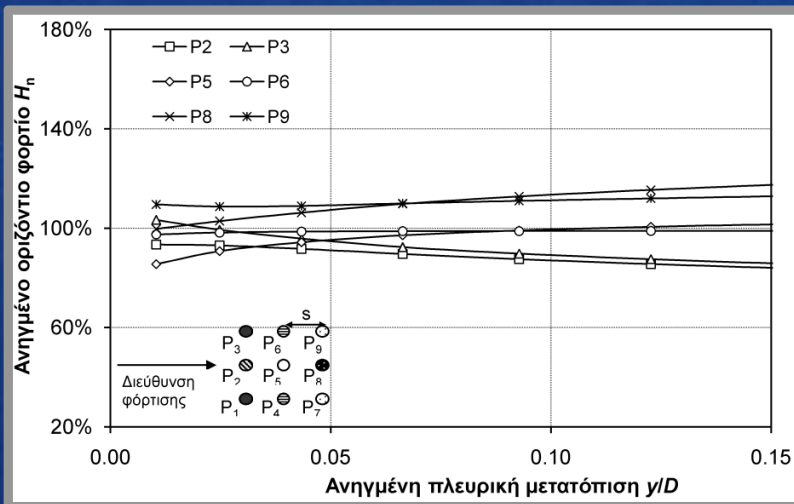
## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ



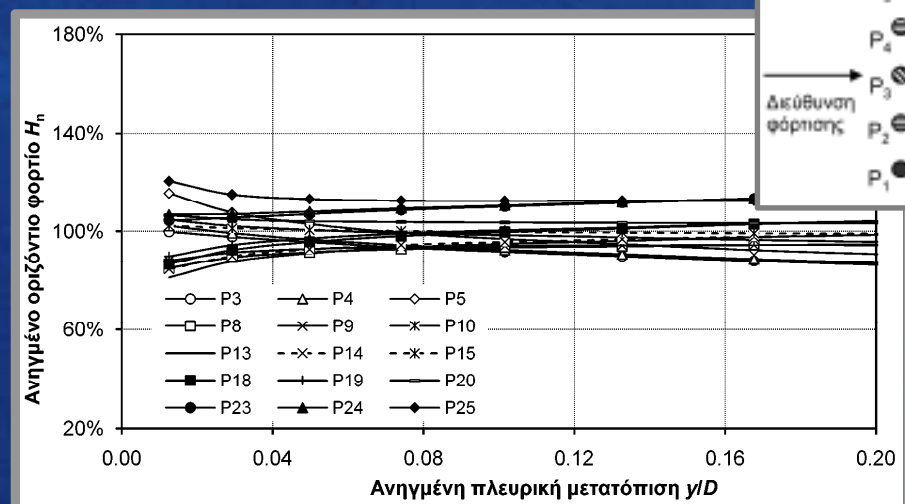
3 x 3, 3.0D



5 x 5, 3.0D



3 x 3, 9.0D

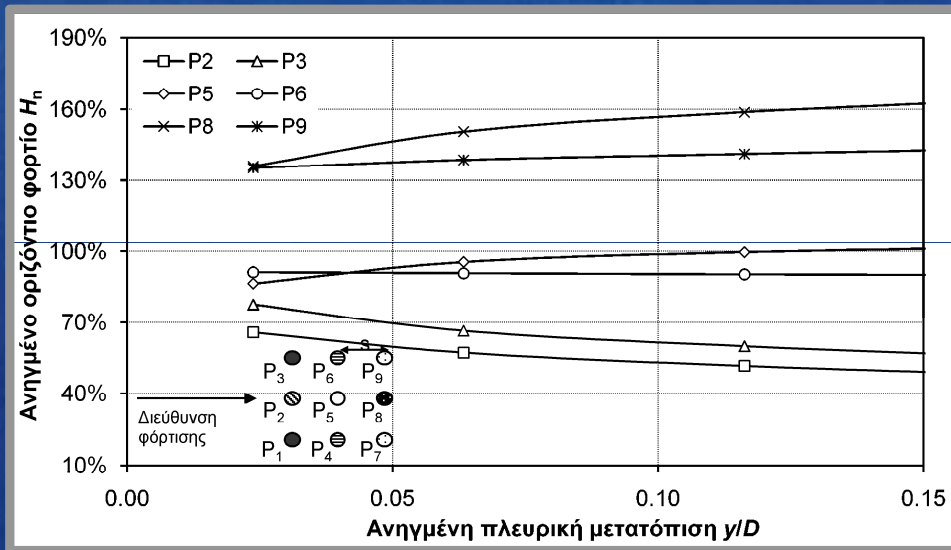


5 x 5, 9.0D

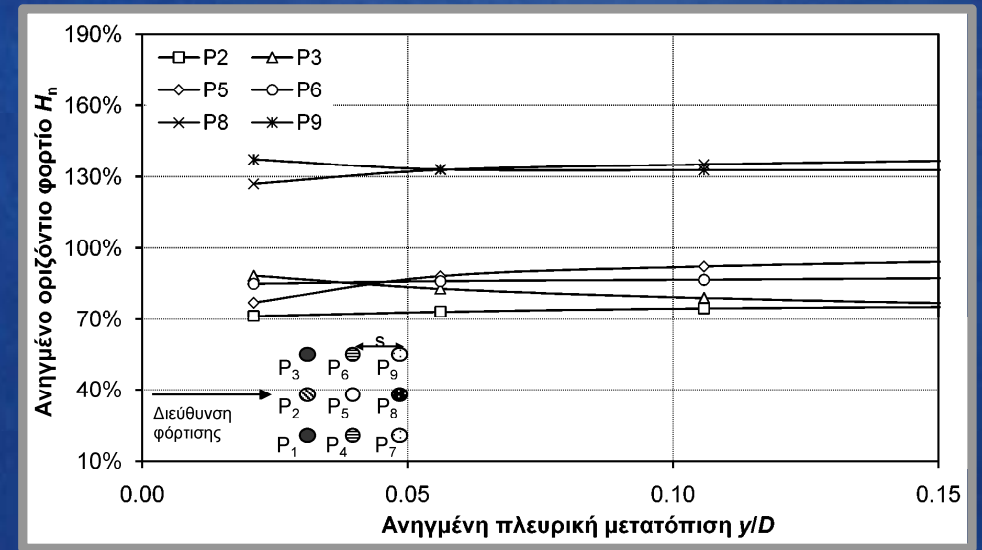
# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ

$S_{2,3} \times 3, 3.0D$



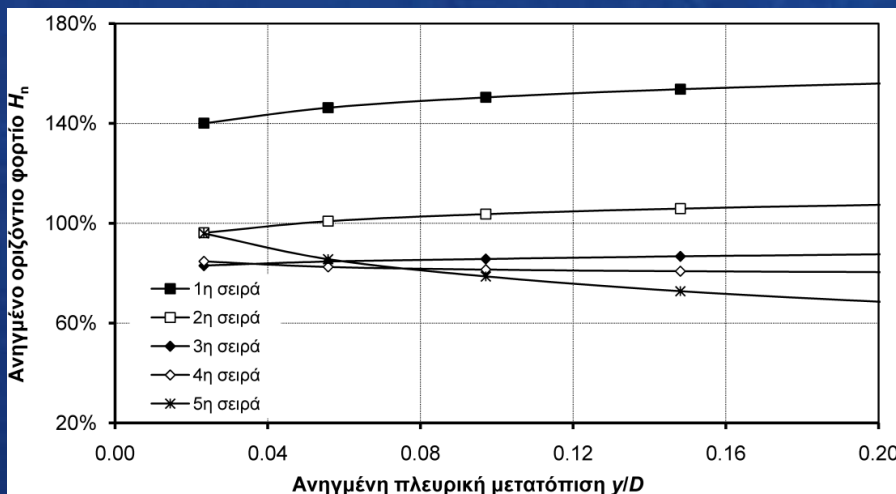
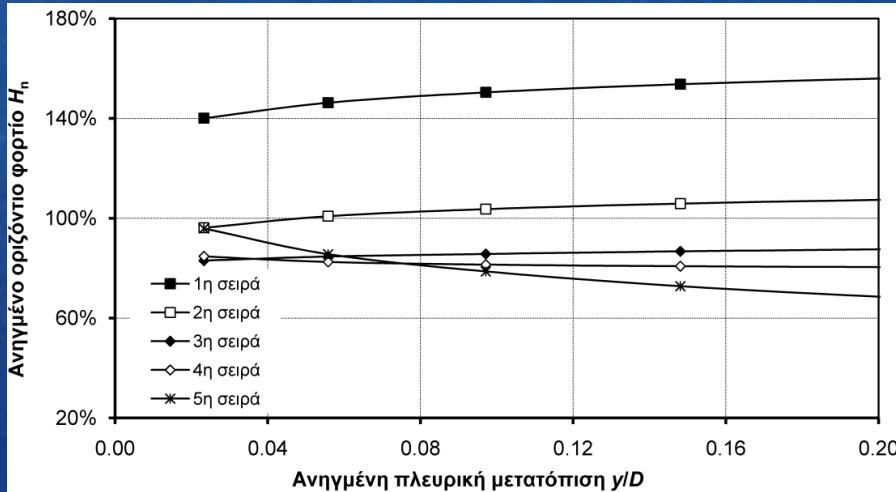
Αυξανόμενη διατμητική αντοχή διεπιφανειών



Σταθερή διατμητική αντοχή διεπιφανειών

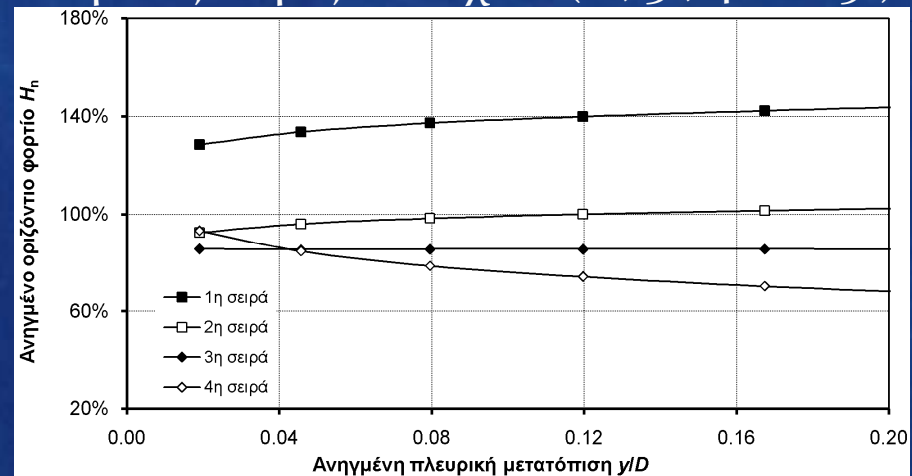
# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ



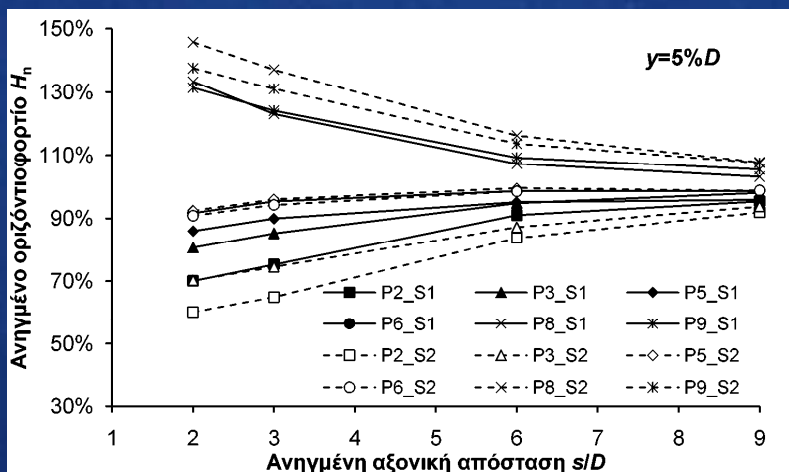
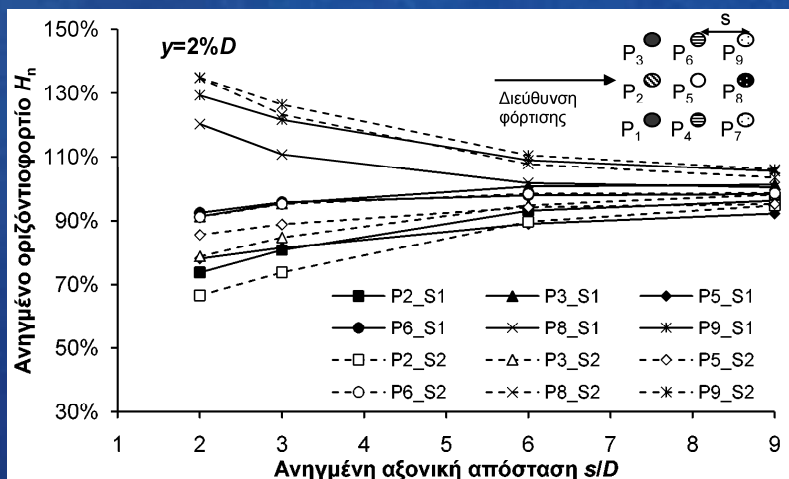
### ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΙΣ ΣΕΙΡΕΣ

- Η 1<sup>η</sup> σειρά αναλαμβάνει πάντα το μεγαλύτερο φορτίο
- Για μικρές μετακινήσεις η τελευταία σειρά προηγείται πάντα τουλάχιστον της προτελευταίας και έπεται της 1<sup>ης</sup>
- Για μεγάλες μετακινήσεις ακολουθούν οι επόμενες σειρές διαδοχικά (2<sup>η</sup>, 3<sup>η</sup>, 4<sup>η</sup> και 5<sup>η</sup>)

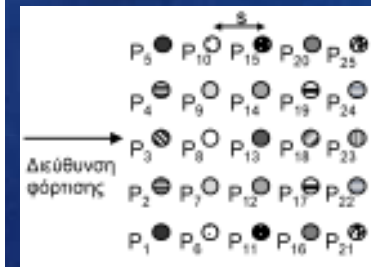
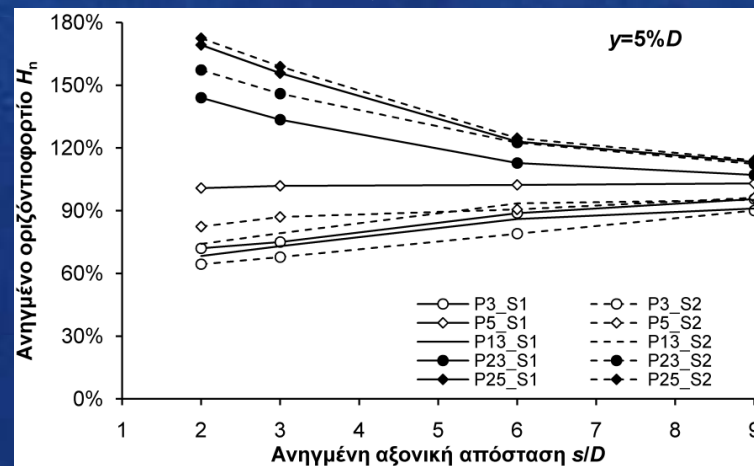


# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ



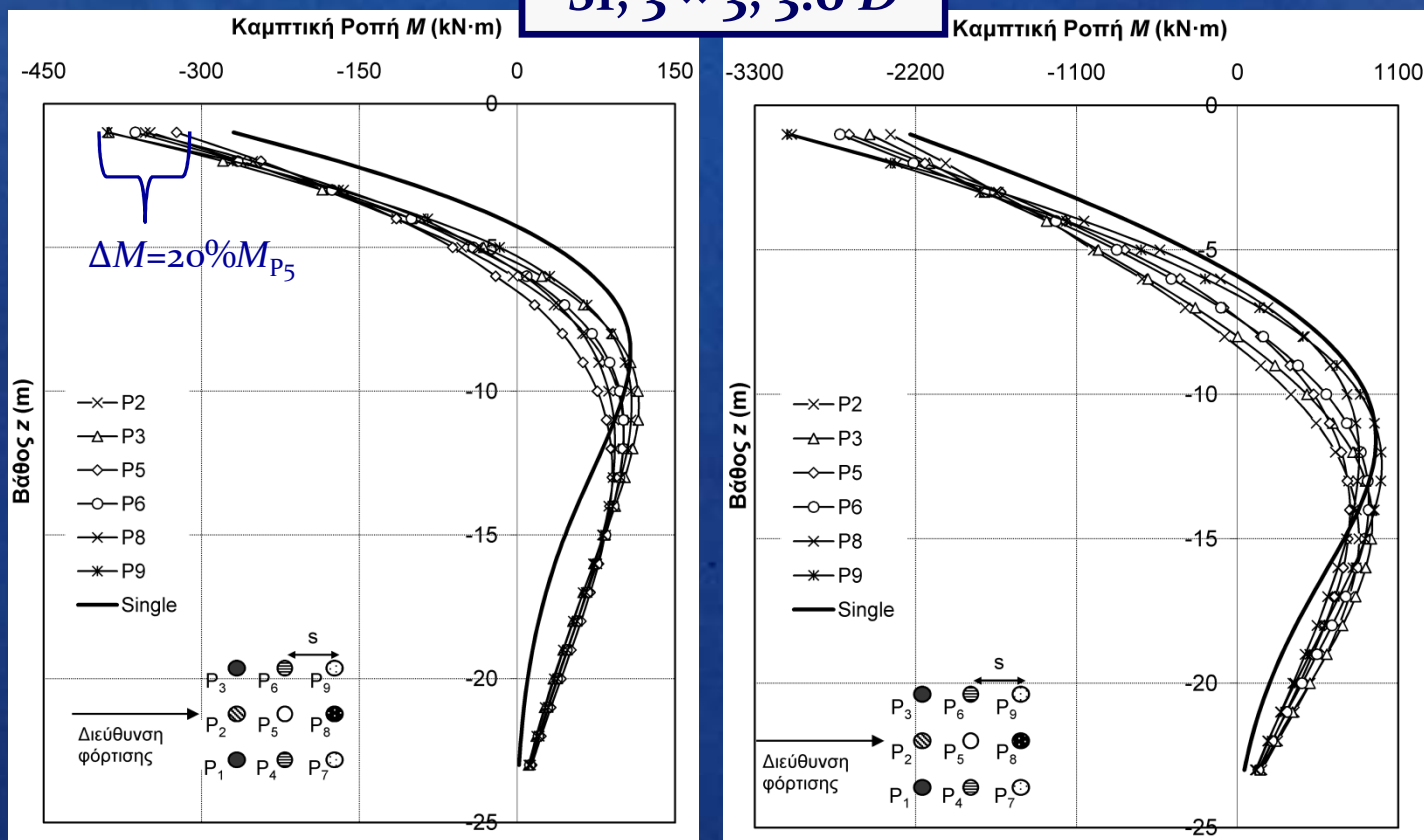
- Η αύξηση της **πυκνότητας** οδηγεί σε μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των πασσάλων της ομάδας
- Η αύξηση της **μετακίνησης** οδηγεί σε μεγαλύτερη διακύμανση μεταξύ των πασσάλων της ίδιας ομάδας και σε μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των ίδιων πασσάλων διαφορετικής ομάδας
- Μεγαλύτερος **αριθμός πασσάλων** οδηγεί σε μεγαλύτερο εύρος διακύμανσης



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΟΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ

$S_{1, 3 \times 3, 3.0 D}$



$\gamma_G = 1.4\%D, H_m = 350 \text{ kN}$

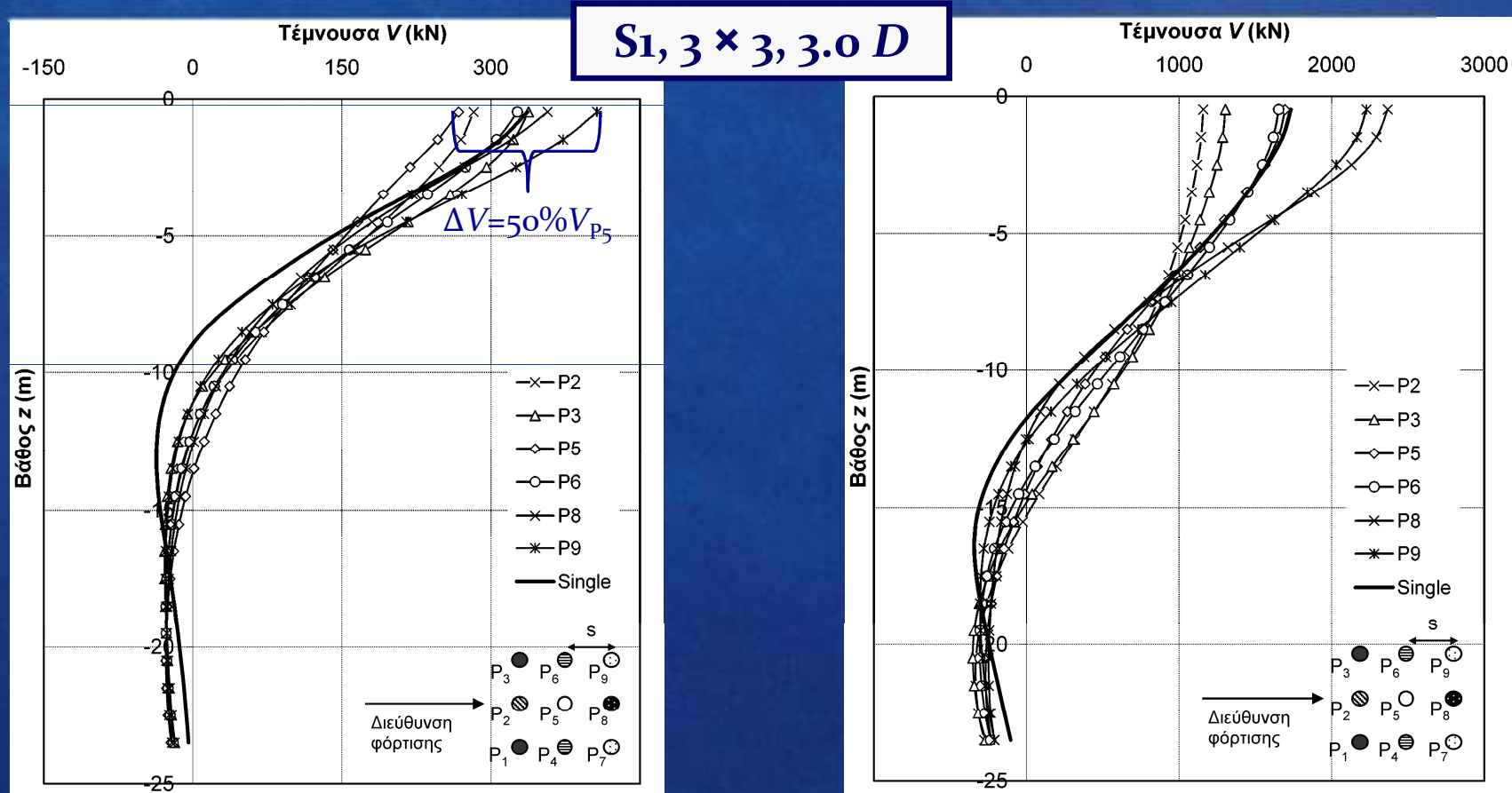
$\gamma_G = 12.5\%D, H_m = 1750 \text{ kN}$

- Σημαντικά μεγαλύτερη ροπή από τον μεμονωμένο
- Υψηλότερο σημείο μηδενισμού ροπών για μικρότερα φορτία
- Μικρότερη διακύμανση σε σχέση με τις τέμνουσες



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ



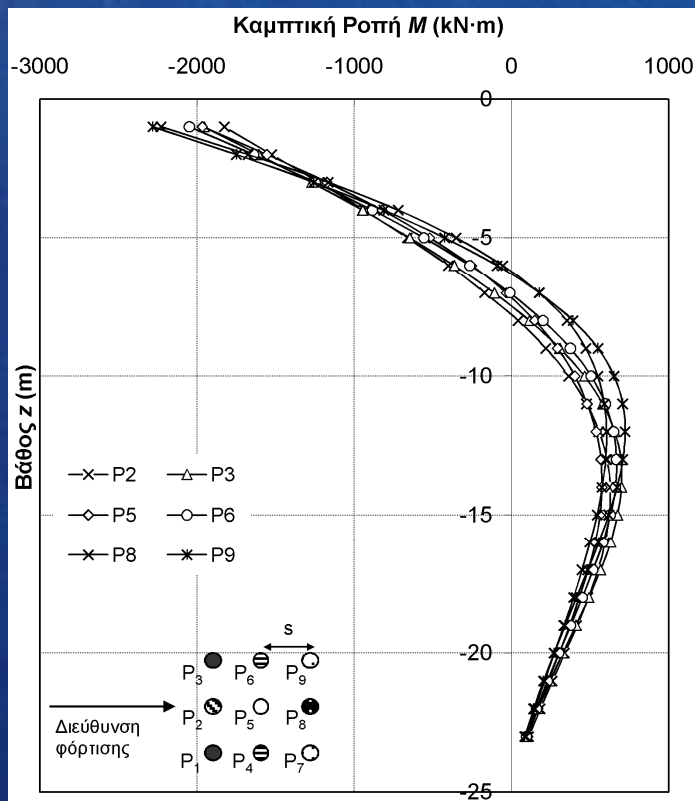
$\gamma_G = 1.4\%D, H_m = 350 \text{ kN}$

$\gamma_G = 12.5\%D, H_m = 1750 \text{ kN}$

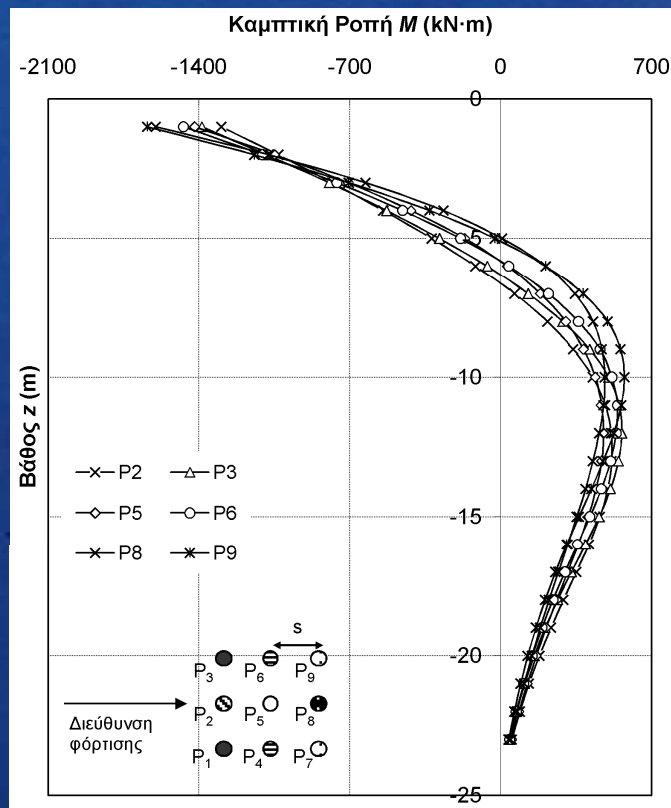
# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΟΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ

$S_{1, 3 \times 3, 3.0 D}$



$S_{2, 3 \times 3, 3.0 D}$



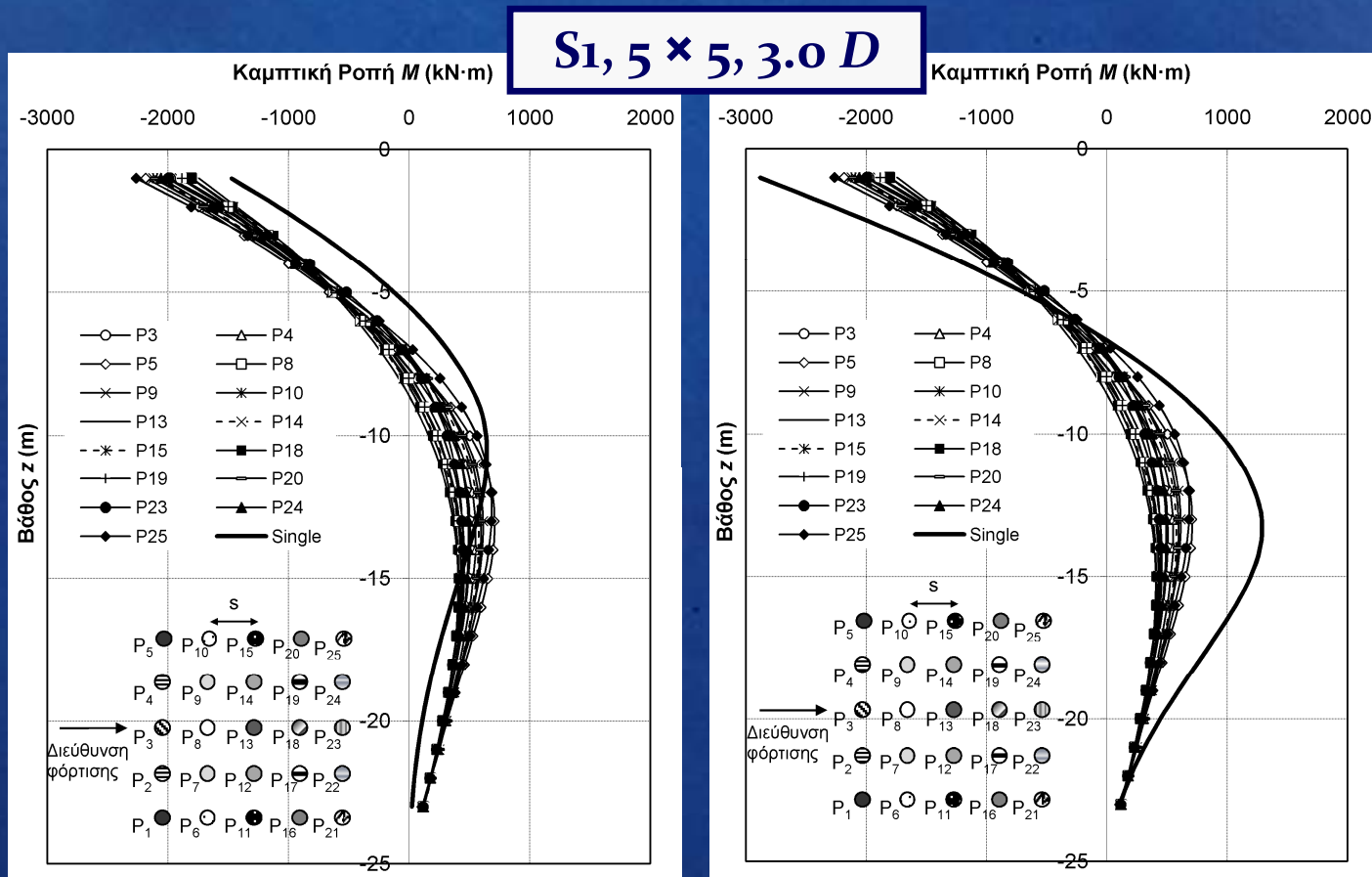
- Η αύξηση της διατμητικής αντοχής οδηγεί σε μικρότερες ροπές – τέμνουσες
- Υψηλότερο σημείο μηδενισμού ροπών – τεμνουσών για πυκνότερες άμμους

$$H_m = 1400 \text{ kN}$$

$$H_m = 1300 \text{ kN}$$

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΡΟΠΩΝ ΣΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ ΟΜΑΔΑΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΕΣ ΕΔΑΦΟΣ



➤ Για την *ίδια μετακίνηση*, ο μεμονωμένος πάσσαλος αναπτύσσει σημαντικά μεγαλύτερη ροπή από τους πασσάλους της ομάδας.

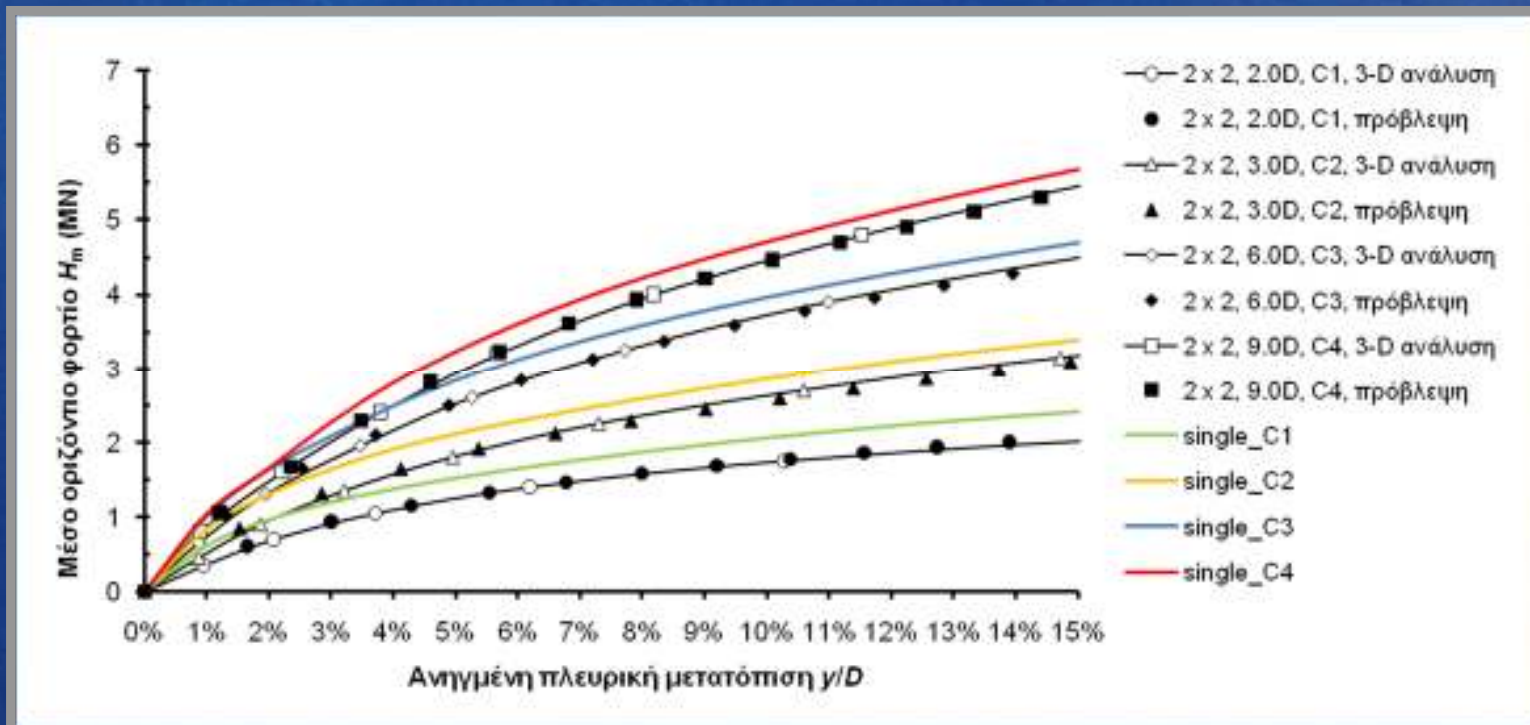
$$H_s = H_m = 1050 \text{ kN}$$

$$y_G = y_s \approx 9.5\%D \quad (H_s = 2100 \text{ kN}, H_m = 1050 \text{ kN})$$



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

Συσχέτιση απόκρισης ομάδας και μεμονωμένου πασσάλου, αξιοποιώντας τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης.



$$y_{nG} = R_a y_{ns}$$

$$y_G = R_a y_s$$

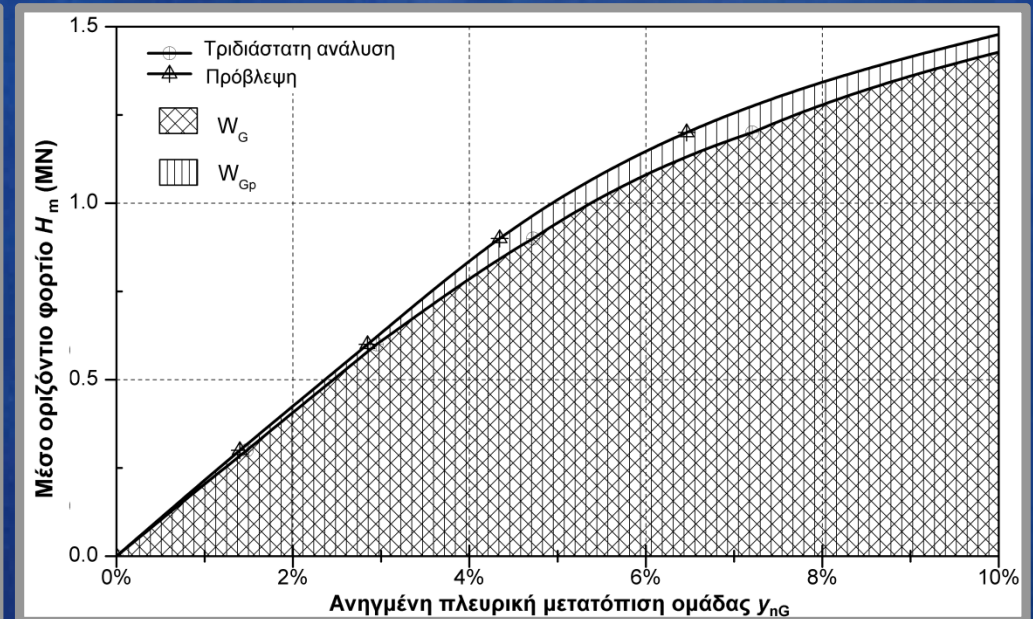
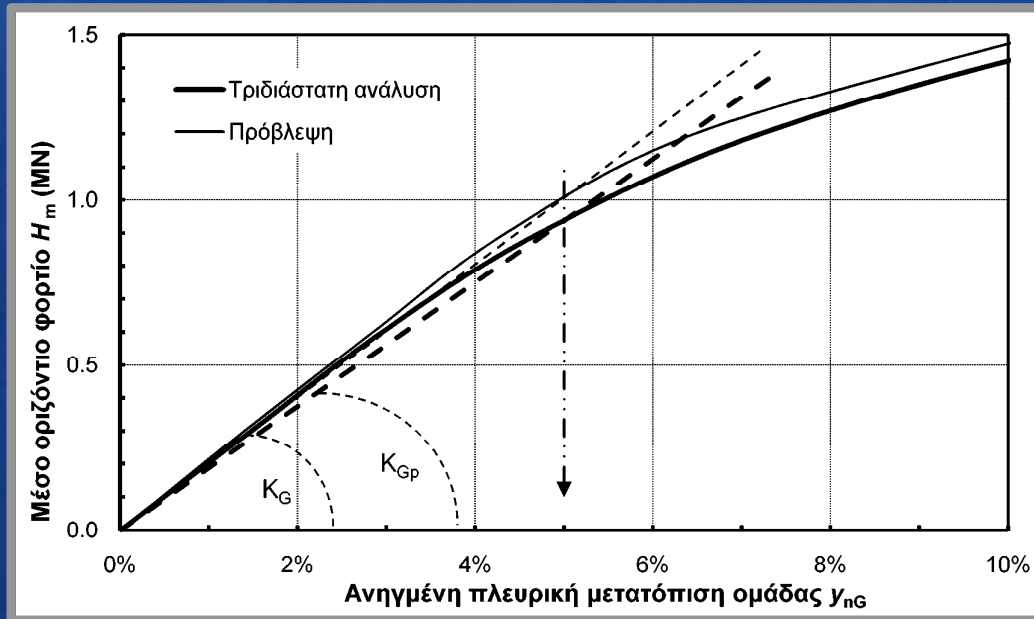
$$R_a = 1 + (m-1) \left(\frac{d}{5}\right)^a y_{ns}^{-b} d^{-1.3} + \frac{m}{3} (0.70 + \log nc_u) \log \frac{15}{d} (1 - 2y_{ns}), \quad m = \log(n_x^4 + n_y^2) \quad \forall n_x \geq 2$$

$$R_a = 1 + 2(m-1) \left(\frac{d}{20}\right)^a \frac{y_{ns}^{-b}}{d} - \frac{m}{3} \ln \frac{\tan \varphi}{\tan 25^\circ} \log \frac{30}{d} (1 - 2y_{ns}), \quad m = \log(n_x^4 + n_y^2) \quad \forall n_x \geq 2$$

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

➤ Υπολογισμός του μέσου σφάλματος δυσκαμψίας και του σφάλματος δυναμικής ενέργειας για τις 112 περιπτώσεις της τριδιάστατης ανάλυσης.



$$K_{err}^m = \frac{1}{j} \sum_{i=1,j} \frac{K_G^i - K_{Gp}^i}{K_G^i}$$

$$W_{err} = \frac{W_G - W_{Gp}}{W_G}$$

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΕΔΑΦΗ

	ΤΥΠΟΣ εδάφους	C1		C2		C3		C4	
		$K_{err,m}$ (%)	$W_{err}$ (%)	$K_{err,m}$ (%)	$W_{err}$ (%)	$K_{err,m}$ (%)	$W_{err}$ (%)	$K_{err,m}$ (%)	$W_{err}$ (%)
	s								
2 × 2	2.0D	0.5	0.1	-2.0	-3.5	-3.2	-4.8	-3.5	-4.2
	3.0D	2.6	0.9	1.8	-0.4	1.2	-0.1	-1.1	-0.2
	6.0D	2.3	0.7	1.9	0.1	1.1	-0.1	-0.3	-0.3
	9.0D	1.6	0.6	1.9	0.8	1.1	0.3	0.4	0.4
3 × 3	2.0D	-8.7	-6.2	-8.8	-7.8	-9.7	-7.7	-11.4	-7.7
	3.0D	-2.2	-2.8	-1.4	-2.4	2.9	3.5	-5.7	-2.3
	6.0D	0.7	-0.8	1.0	-0.9	0.1	-0.8	-1.8	-0.6
	9.0D	0.0	-0.7	0.8	-0.4	0.2	-0.4	-1.0	-0.3
4 × 4	2.0D	-6.1	-1.9	-5.4	-2.7	-6.5	-2.2	-8.9	-3.5
	3.0D	1.0	0.8	2.6	2.4	1.6	3.3	-3.1	0.6
	6.0D	2.2	0.3	3.3	1.0	2.6	1.8	0.1	1.8
	9.0D	4.1	2.0	6.2	3.7	6.7	4.9	5.8	5.8
5 × 5	2.0D	-3.3	1.7	-1.8	1.4	-3.4	1.6	-6.4	-0.6
	3.0D	4.7	5.3	6.5	6.9	5.2	7.6	5.2	7.6
	6.0D	9.2	6.8	12.8	9.3	12.8	11.1	10.7	11.5
	9.0D	5.5	2.9	8.5	5.5	9.0	6.9	8.2	8.0

$$R_a = 1 + (m - 1) \left( \frac{d}{5} \right)^a y_{ns}^{-b} d^{-1.3} + \frac{m}{3} (0.70 + \log nc_u) \log \frac{15}{d} (1 - 2y_{ns})$$

όπου:

$$m = \log(n_x^4 + n_y^2) \quad \forall n_x \geq 2$$

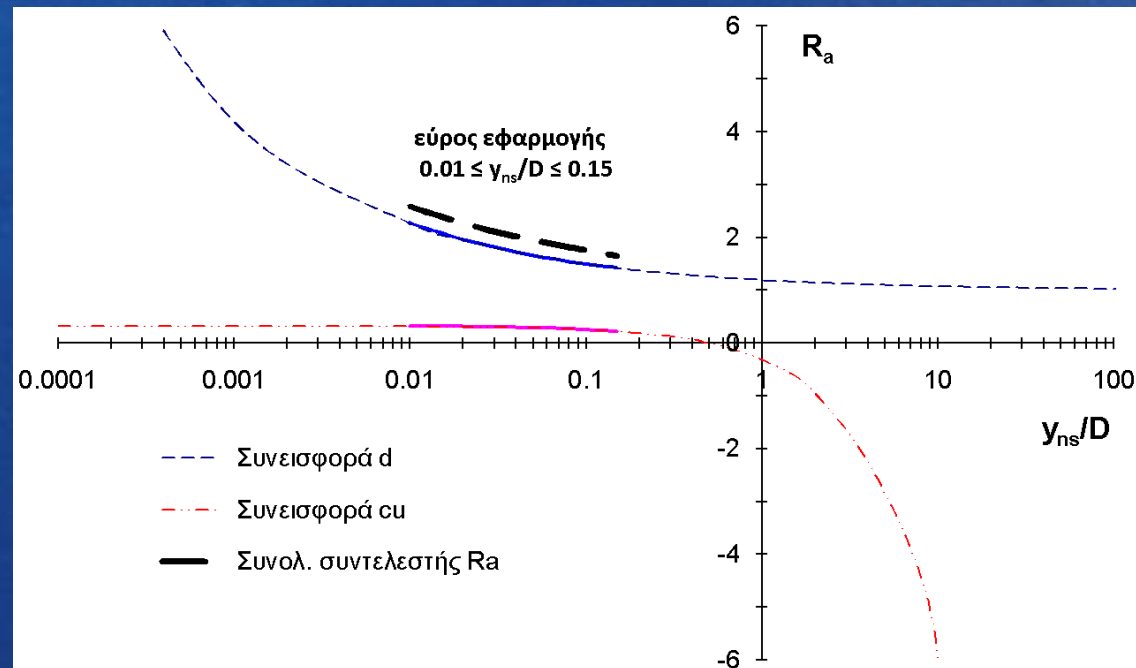
- $R_a$  : ο συντελεστής επαύξησης των μετακινήσεων,
- $d$  : η ανηγμένη αξονική απόσταση των πασσάλων της ομάδας ( $d = s/D$ ),
- $y_{ns}$  : η ανηγμένη πλευρική μετατόπιση του μεμονωμένου πασσάλου ( $y_{ns} = y_s/D$ ),
- $nc_u$  : η αστράγγιστη συνοχή σε kPa ανηγμένη ως προς την ατμοσφαιρική πίεση ( $nc_u = c_u/101.3$  kPa),
- $n_x$  : ο αριθμός των πασσάλων κατά τη διεύθυνση της φόρτισης,
- $n_y$  : ο αριθμός των πασσάλων κάθετα στη διεύθυνση της φόρτισης,
- $a, b$  : παράμετροι προσδιοριζόμενες από ειδική διαδικασία προσαρμογής (curve fitting procedure) ( $a = 0.25$  και  $b = 0.40$ ).

Εύρος εφαρμογής:  $1\%D \leq y_{ns} \leq 15\%D$



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΕΥΡΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ $R_a$



Εύρος εφαρμογής:  $1\%D \leq y_{ns} \leq 15\%D$

## ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Πειραματικά στοιχεία από διατάξεις ομάδας:



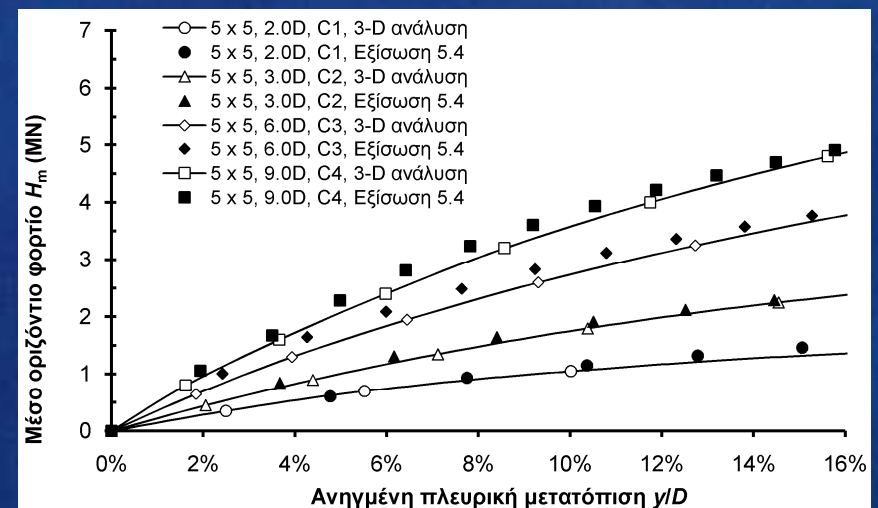
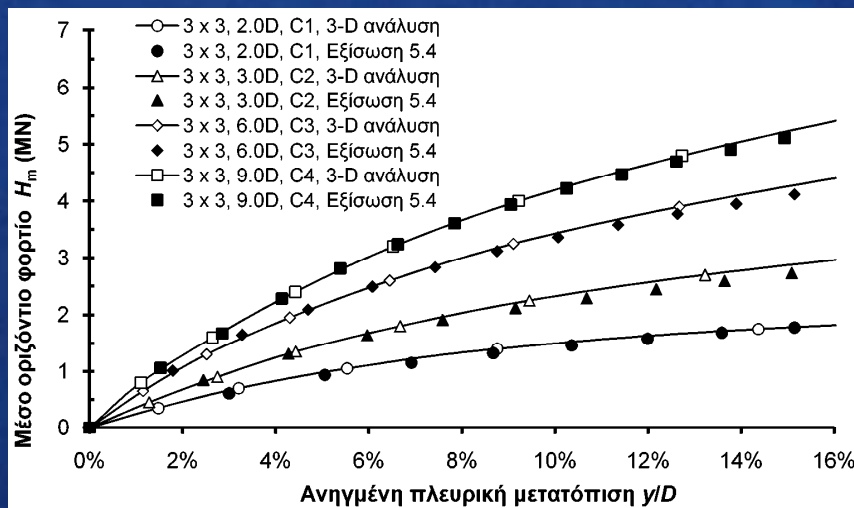
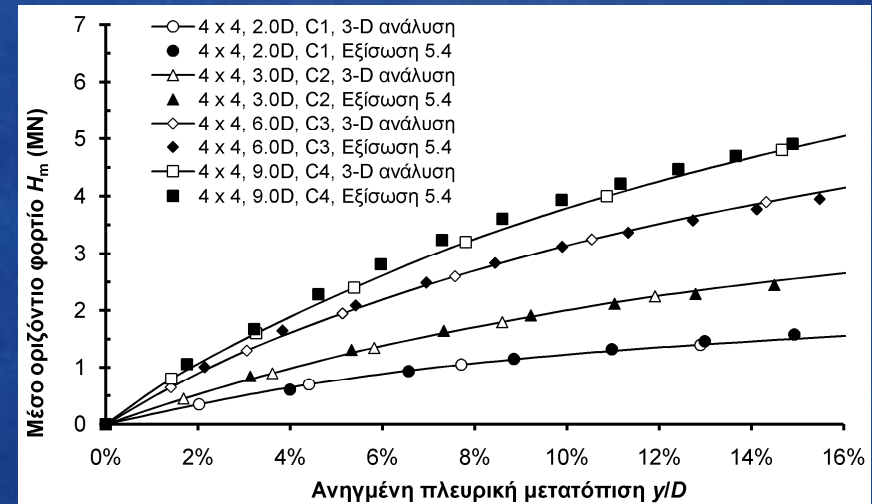
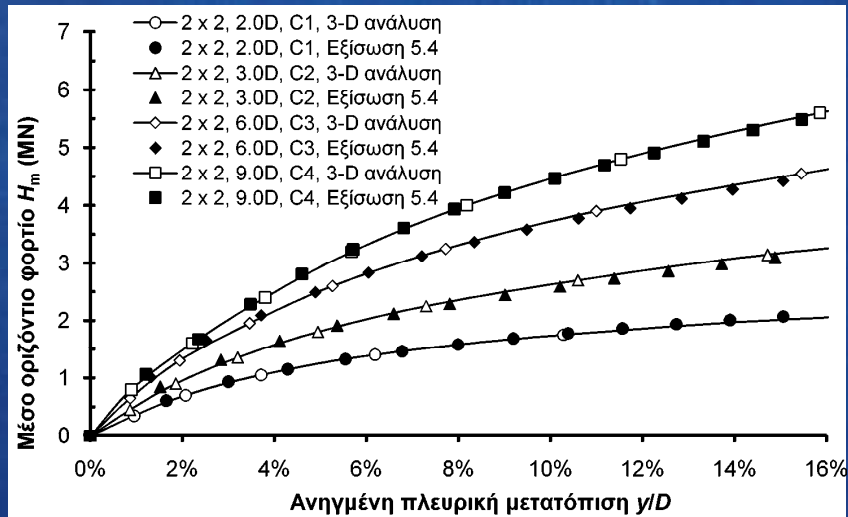
- **Brown κ.ά., 1987:** 3 x 3, 3.0D,  $c_u = 70 \div 180$  kPa, οριακές συνθήκες ίσης μετακίνησης και ελεύθερης περιστροφής κεφαλής
- **Rollins κ.ά., 1998:** 3 x 3, 3.0D,  $c_u = 25 \div 50$  kPa (τοπικά 100kPa), οριακές συνθήκες ίσης μετακίνησης και ελεύθερης περιστροφής κεφαλής
- **Payas κ.ά., 2004:** σε φυγοκεντριστή, 2 x 2 και 3 x 3, 3.0D, NC καολίνης  $c_u = 0 \div 20$  kPa, OC καολίνης  $c_u = 10 \div 25$  kPa, πακτωμένης κεφαλής

Επαλήθευση μεθοδολογίας για συνθήκες ελεύθερης κεφαλής και για μικρότερο μήκος πασσάλων ( $L/D = 12$ ):



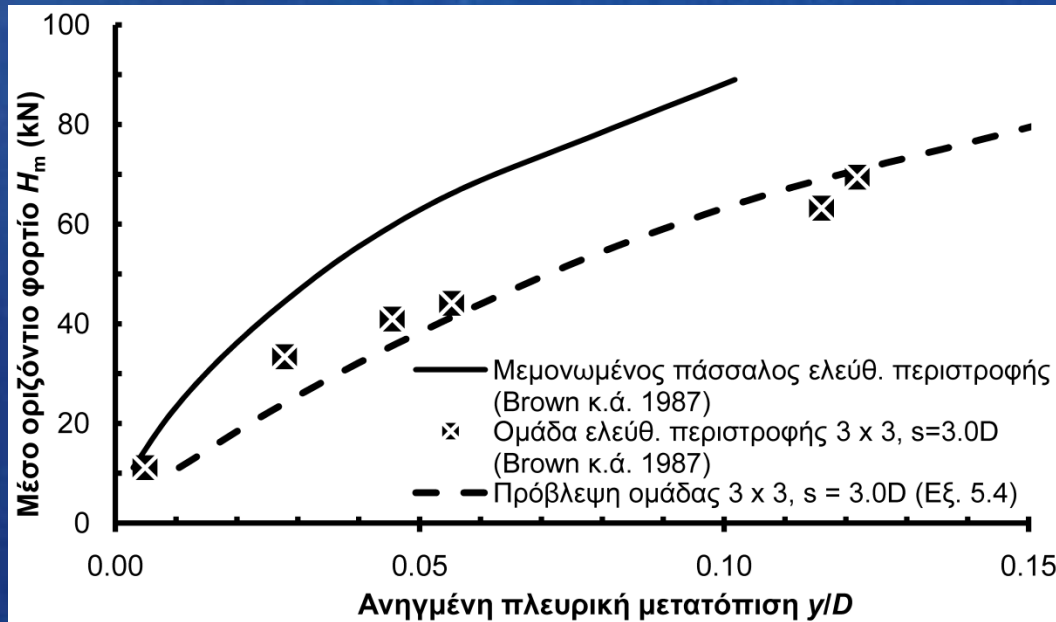
# Βαθείς Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΚΑΙ 3D ΑΝΑΛΥΣΗΣ



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

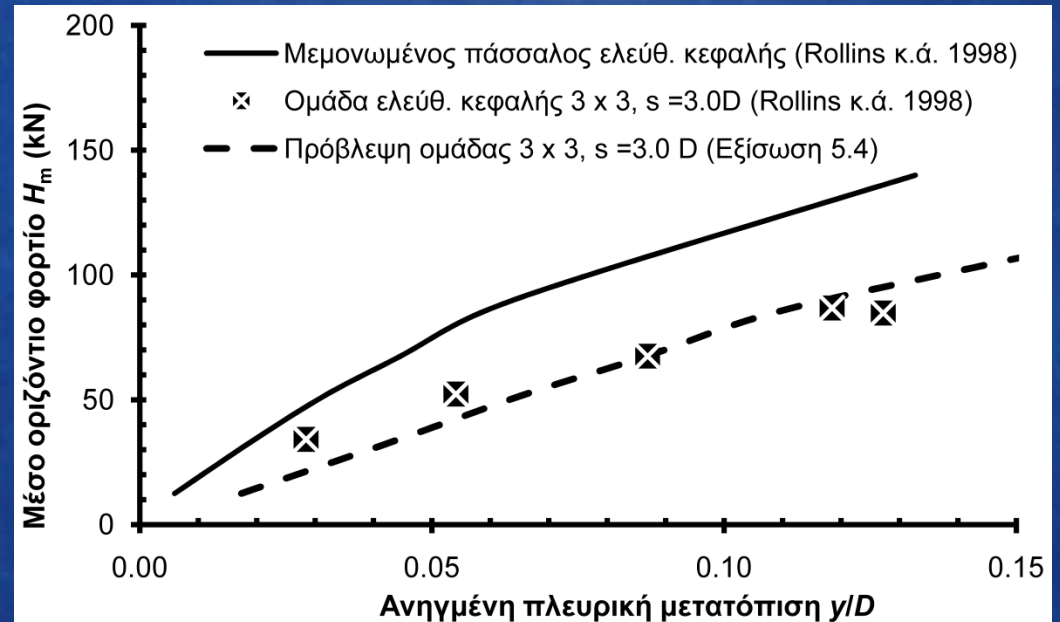
## ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



(Brown et al, 1987)

3 x 3, 3.0D

$c_u = 100$  kPa



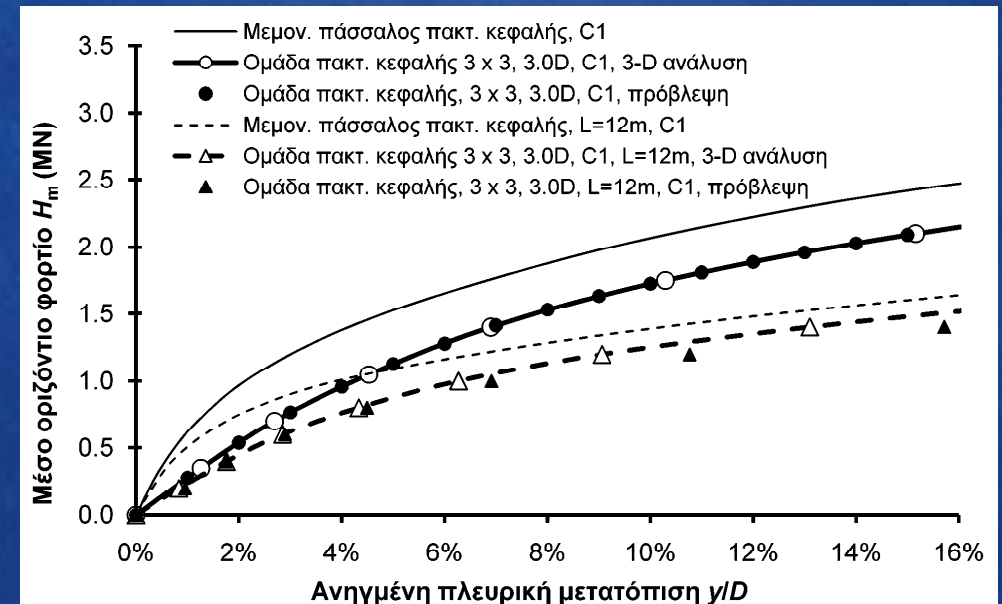
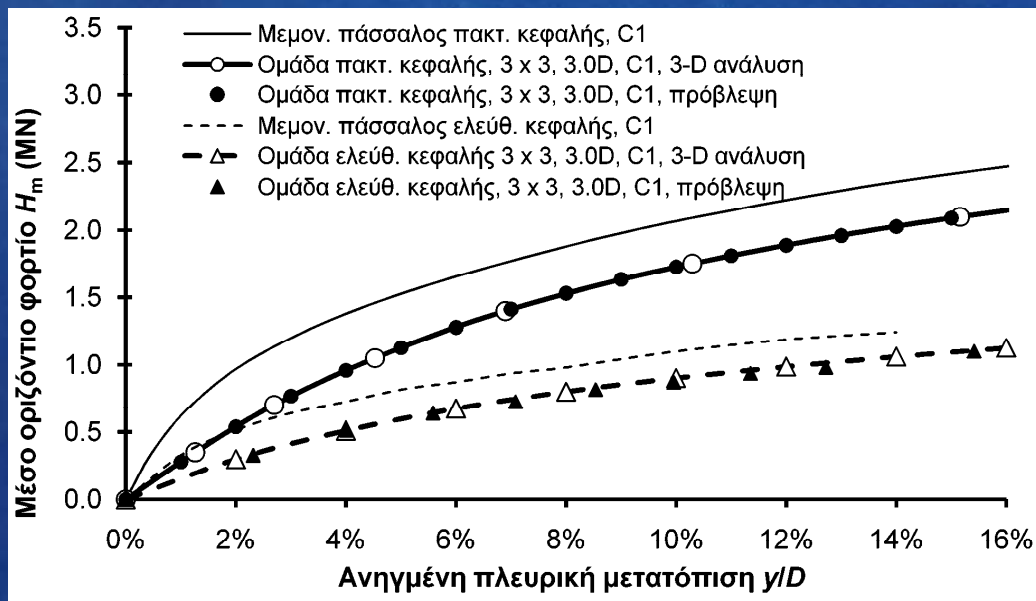
(Rollins et al, 1998)

3 x 3, 3.0D

$c_u = 50$  kPa

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΕΠΙΛΥΣΕΙΣ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ



Επαλήθευση για οριακές  
συνθήκες ελεύθερης  
κεφαλής

Επαλήθευση για  $L/D = 12$



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΗ ΕΔΑΦΗ

	ΤΥΠΟΣ εδάφους	S1		S2		S3	
		K <sub>err,m</sub> (%)	W <sub>err</sub> (%)	K <sub>err,m</sub> (%)	W <sub>err</sub> (%)	K <sub>err,m</sub> (%)	W <sub>err</sub> (%)
2 × 2	2.0D	9.7	10.0	10.0	10.0	8.5	9.3
	3.0D	3.8	3.5	7.0	7.2	8.1	8.9
	6.0D	4.9	4.7	6.7	5.8	5.1	5.1
	9.0D	2.8	2.3	2.6	2.0	3.1	3.0
3 × 3	2.0D	0.2	4.0	-3.3	-0.1	-11.4	-8.1
	3.0D	-2.7	-1.0	-3.5	-1.4	-7.2	-3.8
	6.0D	-1.4	-0.4	-2.5	-1.2	-5.9	-3.8
	9.0D	-2.4	-1.6	-1.4	-0.6	-6.1	-4.6
4 × 4	2.0D	3.0	7.7	-2.6	2.0	-13.6	-9.1
	3.0D	0.1	2.2	-3.6	-0.3	-10.9	-6.1
	6.0D	-1.3	-0.5	-4.3	-2.7	-8.5	-5.4
	9.0D	0.1	0.6	-1.1	-0.3	-7.8	-6.8
5 × 5	2.0D	1.2	6.5	-3.5	1.4	-11.2	-5.4
	3.0D	2.7	5.1	-2.0	1.8	-10.7	-5.2
	6.0D	5.3	4.9	-1.3	-0.2	-8.4	-5.2
	9.0D	1.3	1.4	-2.5	-1.7	-10.0	-9.0

$$R_a = 1 + 2(m-1) \left( \frac{d}{20} \right)^a \frac{y_{ns}^{-b}}{d} - \frac{m}{3} \ln \frac{\tan \varphi}{\tan 25^\circ} \log \frac{30}{d} (1 - 2y_{ns})$$

όπου:

$$m = \log(n_x^4 + n_y^2) \quad \forall n_x \geq 2$$

- R<sub>a</sub> : ο συντελεστής επαύξησης των μετακινήσεων,
- d : η ανηγμένη αξονική απόσταση των πασσάλων της ομάδας (d = s/D),
- y<sub>ns</sub> : η ανηγμένη πλευρική μετατόπιση του μεμονωμένου πασσάλου (y<sub>ns</sub> = y<sub>s</sub>/D),
- φ : η γωνία τριβής της άμμου,
- n<sub>x</sub> : ο αριθμός των πασσάλων κατά τη διεύθυνση της φόρτισης,
- n<sub>y</sub> : ο αριθμός των πασσάλων κάθετα στη διεύθυνση της φόρτισης,
- a, b : παράμετροι προσδιοριζόμενες από ειδική διαδικασία προσαρμογής (curve fitting procedure) (a = 0.10 και b = 0.20).

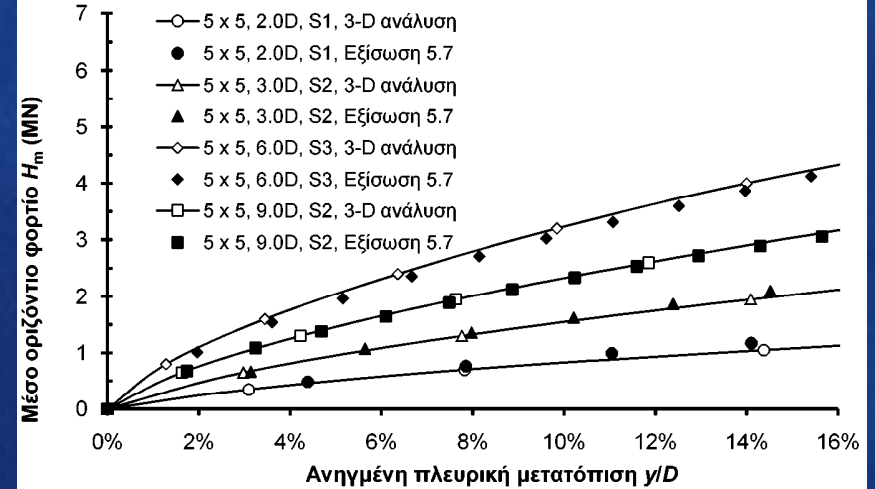
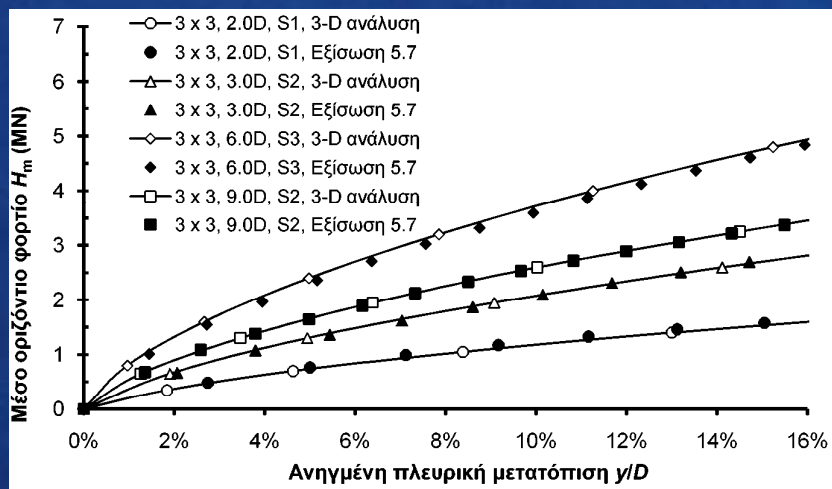
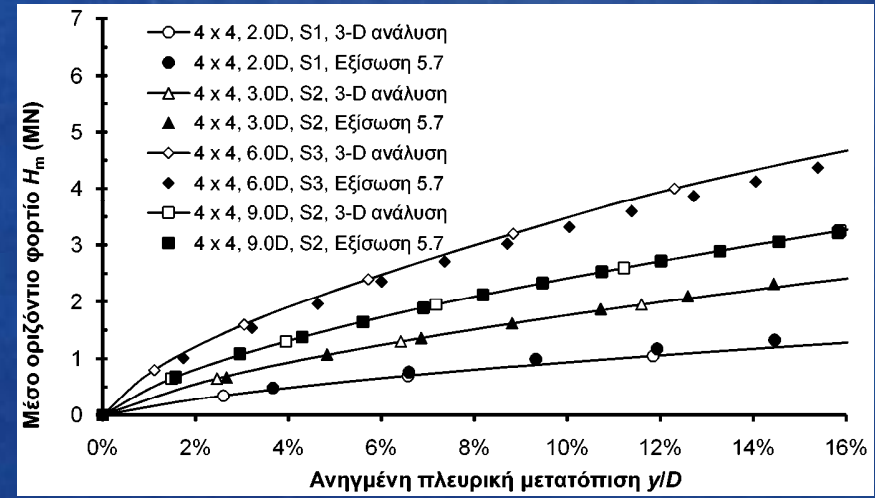
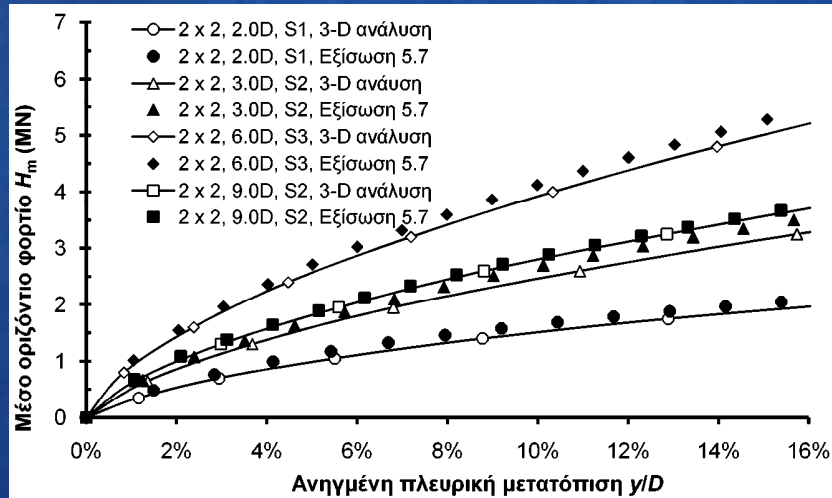
Σύγκριση απόκρισης πρόβλεψης και 3D  
ανάλυσης

Επαλήθευση μεθοδολογίας για μεταβαλλόμενο  
μέτρο ελαστικότητας με το βάθος



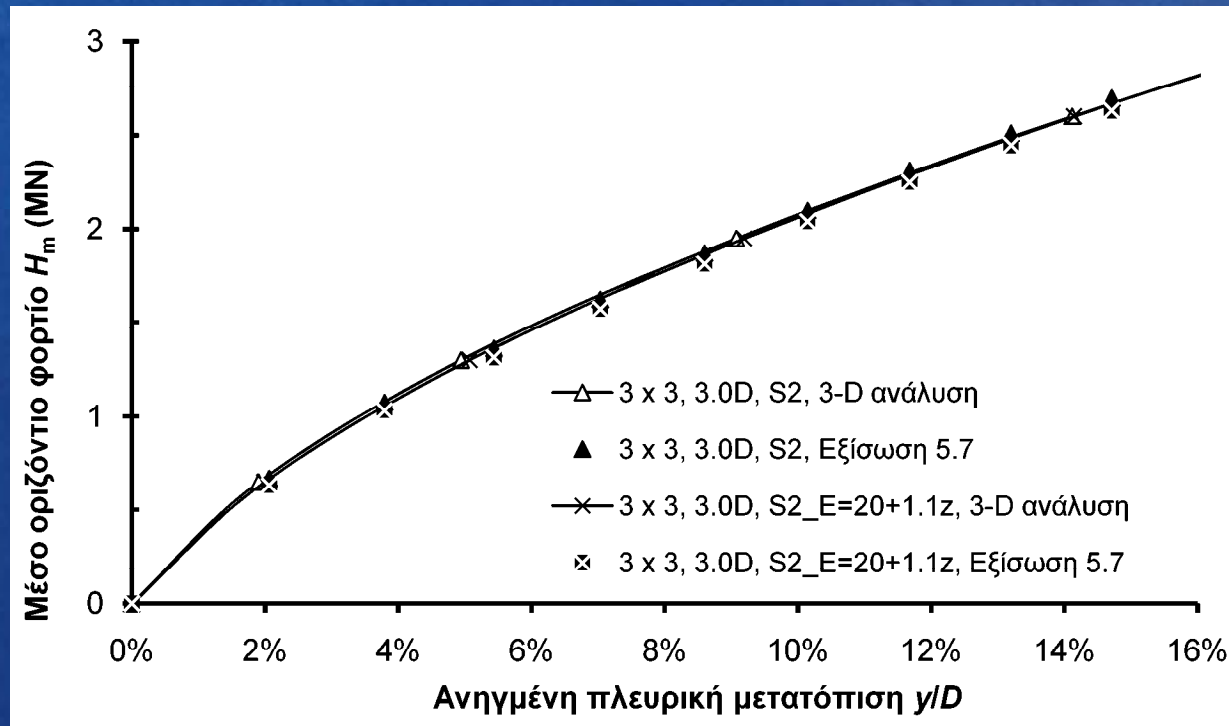
# Βαθείς Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΚΑΙ 3D ΑΝΑΛΥΣΗΣ



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΗ ΕΔΑΦΗ ΠΡΟΣΘΕΤΕΣ ΕΠΙΛΥΣΕΙΣ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗΣ



Σύγκριση αποκρίσεων για μέτρο ελαστικότητας σταθερό ( $E = 30 \text{ MPa}$ ) και μεταβαλλόμενο ( $E=20+1.1z = 20 \div 47.5 \text{ MPa}$ )

## Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

### ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΑΜΜΩΔΗ ΕΔΑΦΗ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

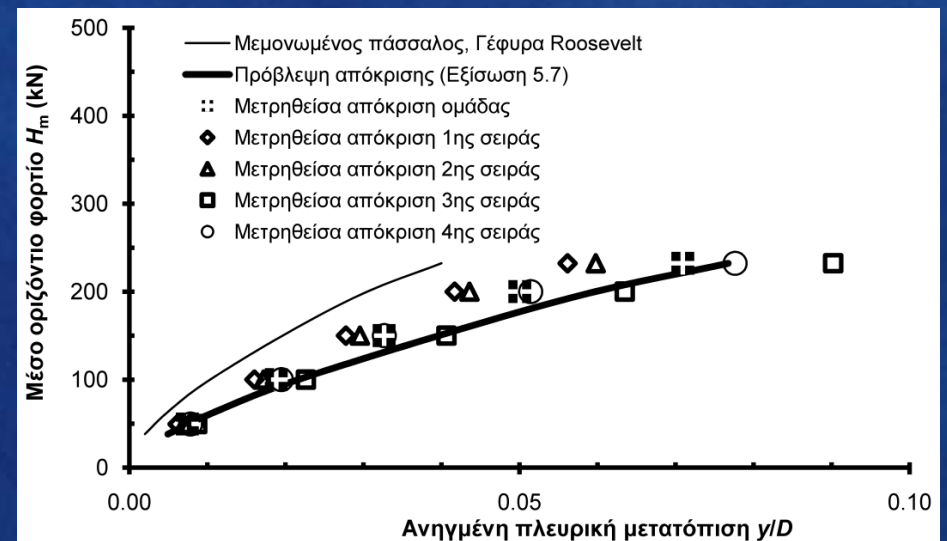
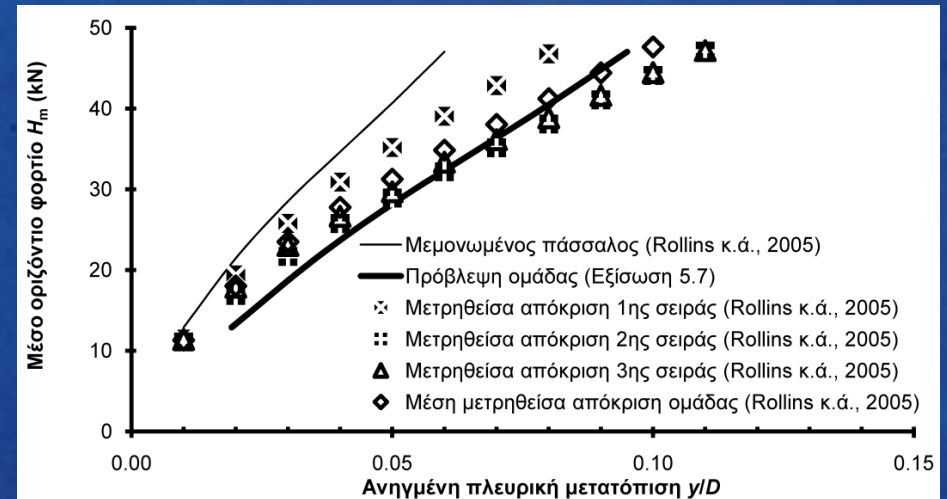
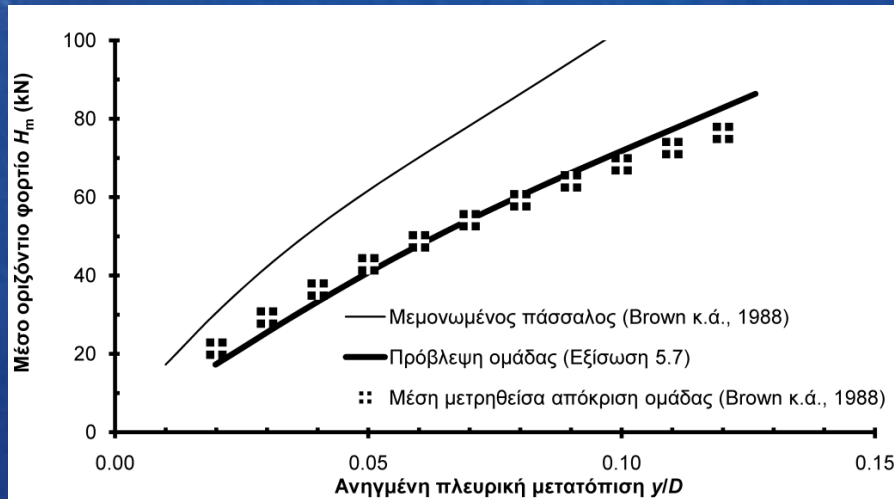
#### Πειραματικά στοιχεία από διατάξεις ομάδας:



- **Brown κ.ά., 1988:** 3 x 3, 3.0D,  $\varphi = 38.5^\circ$ , οριακές συνθήκες ίσης μετακίνησης και ελεύθερης περιστροφής κεφαλής
- **Rollins κ.ά., 2005:** 3 x 3, 3.3D,  $\varphi = 30 \div 33^\circ$ , οριακές συνθήκες ίσης μετακίνησης και ελεύθερης περιστροφής κεφαλής
- **Ruesta & Townsend, 1997:** πραγματικής κλίμακας, 4 x 4, 3.0D,  $\phi = 32^\circ$ , ελεύθερης κεφαλής

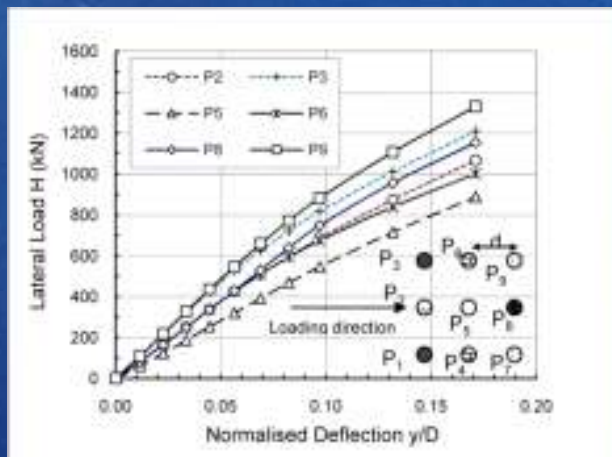
# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

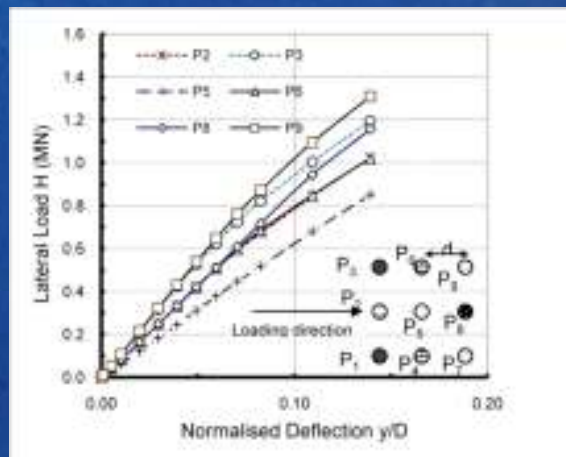


# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

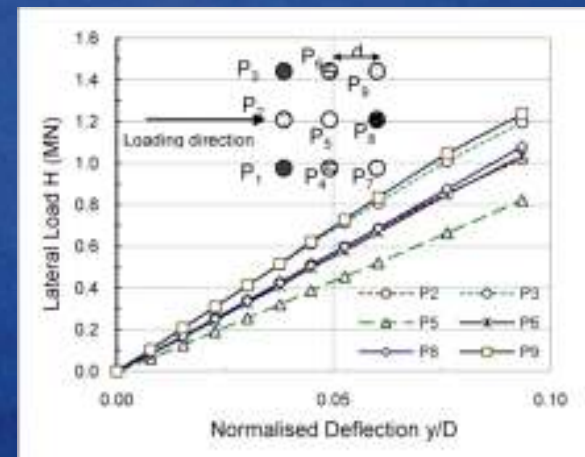
## Κατανομή φορτίου στους χαρακτηριστικούς πασσάλους



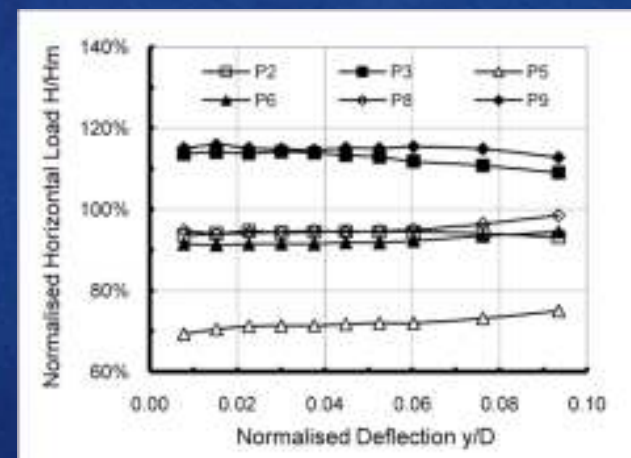
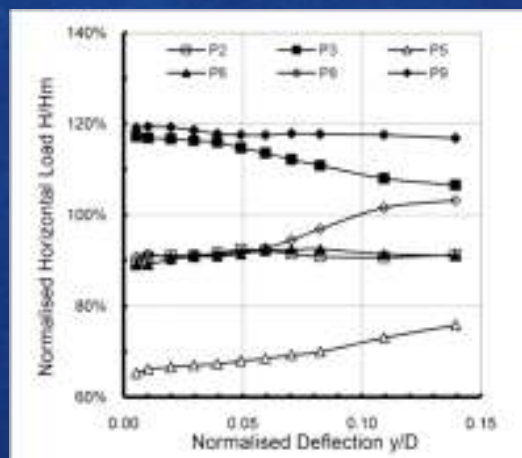
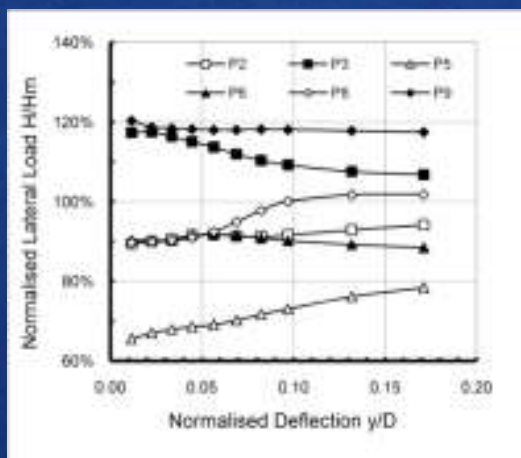
3x3, s=2.0D



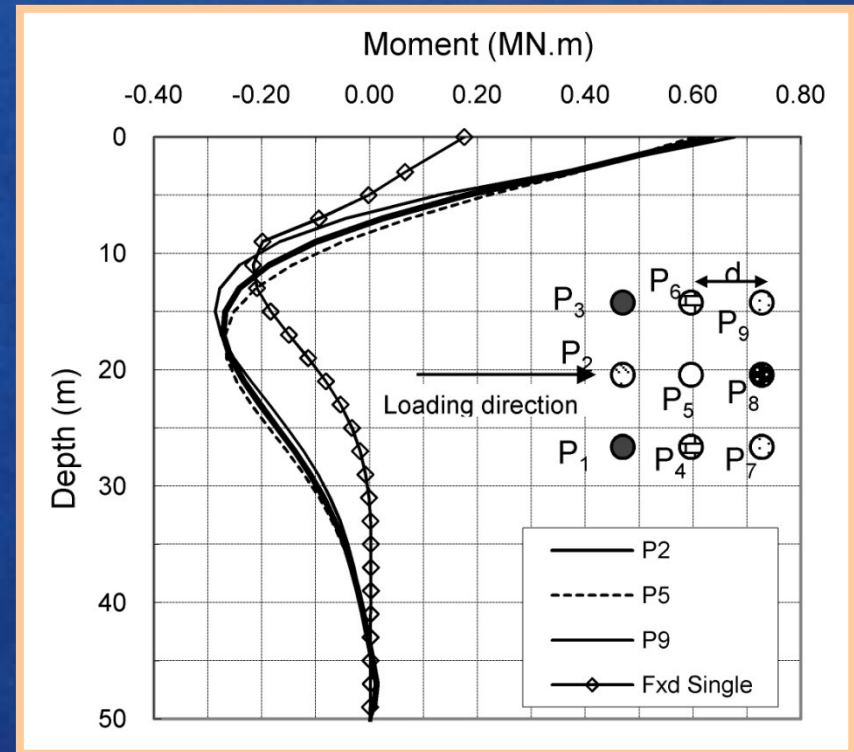
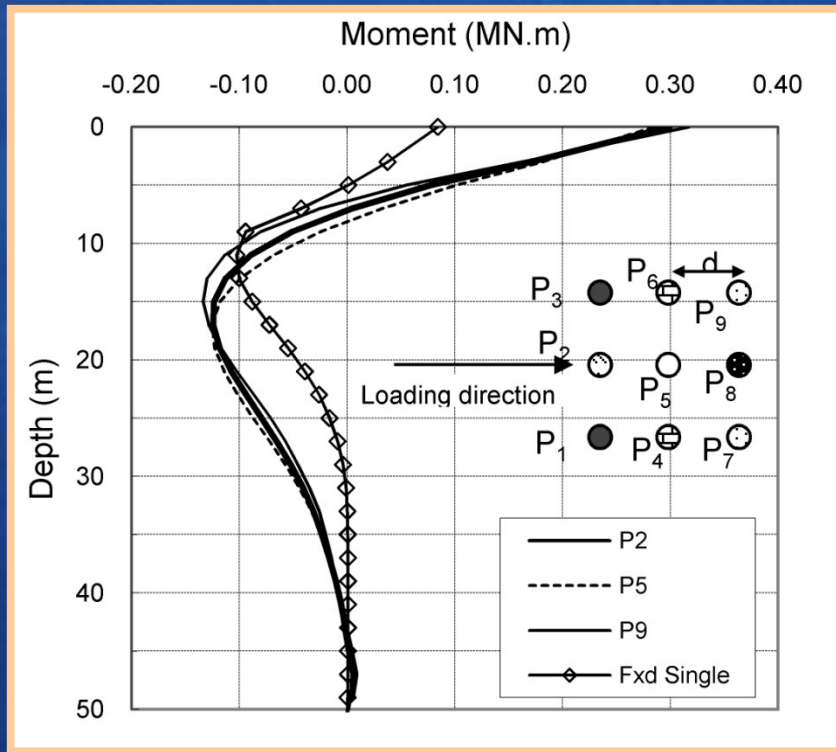
3x3, s=3.0D



3x3, s=6.0D

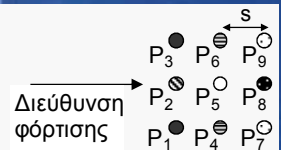


# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

## ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΩΝ $\rho$



Πολλαπλασιαστές $\rho$ για $\gamma_G = \gamma_s = 5\%D$	s		2.0D			3.0D			9.0D		
	έδαφος										
C1			0.62	0.63	0.76	0.73	0.74	0.81	0.91	0.90	0.93
			0.54	0.53	0.69	0.70	0.66	0.75	0.89	0.86	0.90
			0.62	0.63	0.76	0.73	0.74	0.81	0.91	0.90	0.93
μ.ό. σειράς			0.60	<b>0.60</b>	<b>0.74</b>	<b>0.72</b>	<b>0.71</b>	<b>0.79</b>	<b>0.90</b>	<b>0.89</b>	<b>0.92</b>
C2			0.67	0.59	0.72	0.72	0.68	0.78	0.89	0.88	0.92
			0.47	0.46	0.46	0.63	0.58	0.69	0.87	0.84	0.88
			0.67	0.59	0.72	0.72	0.68	0.78	0.89	0.88	0.92
μ.ό. σειράς			0.61	<b>0.54</b>	<b>0.63</b>	<b>0.69</b>	<b>0.65</b>	<b>0.75</b>	<b>0.89</b>	<b>0.87</b>	<b>0.90</b>
C3			0.60	0.51	0.66	0.69	0.60	0.72	0.86	0.84	0.89
			0.40	0.39	0.57	0.50	0.50	0.62	0.82	0.79	0.84
			0.60	0.51	0.66	0.69	0.60	0.72	0.86	0.84	0.89
μ.ό. σειράς			0.53	<b>0.47</b>	<b>0.63</b>	<b>0.63</b>	<b>0.57</b>	<b>0.68</b>	<b>0.85</b>	<b>0.82</b>	<b>0.87</b>
C4			0.54	0.47	0.62	0.60	0.55	0.68	0.83	0.80	0.86
			0.36	0.36	0.52	0.47	0.45	0.57	0.78	0.74	0.81
			0.54	0.47	0.62	0.60	0.55	0.68	0.83	0.80	0.86
μ.ό. σειράς			0.48	<b>0.43</b>	<b>0.59</b>	<b>0.56</b>	<b>0.52</b>	<b>0.64</b>	<b>0.82</b>	<b>0.78</b>	<b>0.84</b>

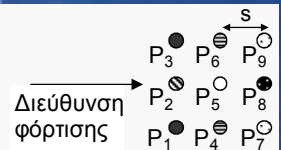
Πολλαπλασιαστές $\rho$ για $\gamma_G = \gamma_s = 10\%D$	s		2.0D			3.0D			9.0D		
	έδαφος										
C1			0.65	0.72	0.84	0.80	0.83	0.91	0.93	0.94	0.96
			0.66	0.70	0.77	0.76	0.80	0.89	0.92	0.92	0.95
			0.65	0.72	0.84	0.80	0.83	0.91	0.93	0.94	0.96
μ.ό. σειράς			<b>0.66</b>	<b>0.72</b>	<b>0.82</b>	<b>0.78</b>	<b>0.82</b>	<b>0.90</b>	<b>0.93</b>	<b>0.94</b>	<b>0.95</b>
C2			0.65	0.68	0.84	0.78	0.81	0.88	0.93	0.93	0.95
			0.60	0.63	0.63	0.77	0.76	0.84	0.91	0.91	0.93
			0.65	0.68	0.84	0.78	0.81	0.88	0.93	0.93	0.95
μ.ό. σειράς			<b>0.63</b>	<b>0.66</b>	<b>0.77</b>	<b>0.78</b>	<b>0.79</b>	<b>0.86</b>	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>	<b>0.95</b>
C3			0.65	0.63	0.76	0.71	0.74	0.82	0.92	0.91	0.94
			0.53	0.56	0.71	0.68	0.65	0.77	0.90	0.89	0.91
			0.65	0.63	0.76	0.71	0.74	0.82	0.92	0.91	0.94
μ.ό. σειράς			<b>0.61</b>	<b>0.61</b>	<b>0.74</b>	<b>0.70</b>	<b>0.71</b>	<b>0.81</b>	<b>0.91</b>	<b>0.90</b>	<b>0.93</b>
C4			0.59	0.58	0.71	0.67	0.67	0.78	0.90	0.89	0.93
			0.46	0.49	0.65	0.59	0.57	0.72	0.87	0.86	0.89
			0.59	0.58	0.71	0.67	0.67	0.78	0.90	0.89	0.93
μ.ό. σειράς			<b>0.55</b>	<b>0.55</b>	<b>0.69</b>	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>	<b>0.76</b>	<b>0.89</b>	<b>0.88</b>	<b>0.92</b>



# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

Αποτίμηση της προτεινόμενης μεθόδου

## ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΩΝ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΩΝ $\rho$



Πολλαπλασιαστές $\rho$ για $\gamma_G = \gamma_s = 5\%D$	s		2.0D			3.0D			9.0D		
	έδαφος										
<b>C1</b>			0.62	0.63	0.76	0.73	0.74	0.81	0.91	0.90	0.93
			0.54	0.53	0.69	0.70	0.66	0.75	0.89	0.86	0.90
			0.62	0.63	0.76	0.73	0.74	0.81	0.91	0.90	0.93
	μ.ό. σειράς		0.60	<b>0.60</b>	<b>0.74</b>	<b>0.72</b>	<b>0.71</b>	<b>0.79</b>	<b>0.90</b>	<b>0.89</b>	<b>0.92</b>
<b>C2</b>			0.67	0.59	0.72	0.72	0.68	0.78	0.89	0.88	0.92
			0.47	0.46	0.46	0.63	0.58	0.69	0.87	0.84	0.88
			0.67	0.59	0.72	0.72	0.68	0.78	0.89	0.88	0.92
	μ.ό. σειράς		0.61	<b>0.54</b>	<b>0.63</b>	<b>0.69</b>	<b>0.65</b>	<b>0.75</b>	<b>0.89</b>	<b>0.87</b>	<b>0.90</b>
<b>C3</b>			0.60	0.51	0.66	0.69	0.60	0.72	0.86	0.84	0.89
			0.40	0.39	0.57	0.50	0.50	0.62	0.82	0.79	0.84
			0.60	0.51	0.66	0.69	0.60	0.72	0.86	0.84	0.89
	μ.ό. σειράς		0.53	<b>0.47</b>	<b>0.63</b>	<b>0.63</b>	<b>0.57</b>	<b>0.68</b>	<b>0.85</b>	<b>0.82</b>	<b>0.87</b>
<b>C4</b>			0.54	0.47	0.62	0.60	0.55	0.68	0.83	0.80	0.86
			0.36	0.36	0.52	0.47	0.45	0.57	0.78	0.74	0.81
			0.54	0.47	0.62	0.60	0.55	0.68	0.83	0.80	0.86
	μ.ό. σειράς		0.48	<b>0.43</b>	<b>0.59</b>	<b>0.56</b>	<b>0.52</b>	<b>0.64</b>	<b>0.82</b>	<b>0.78</b>	<b>0.84</b>

Πολλαπλασιαστές $\rho$ για $\gamma_G = \gamma_s = 10\%D$	s		2.0D			3.0D			9.0D		
	έδαφος										
<b>C1</b>			0.65	0.72	0.84	0.80	0.83	0.91	0.93	0.94	0.96
			0.66	0.70	0.77	0.76	0.80	0.89	0.92	0.92	0.95
			0.65	0.72	0.84	0.80	0.83	0.91	0.93	0.94	0.96
	μ.ό. σειράς		<b>0.66</b>	<b>0.72</b>	<b>0.82</b>	<b>0.78</b>	<b>0.82</b>	<b>0.90</b>	<b>0.93</b>	<b>0.94</b>	<b>0.95</b>
<b>C2</b>			0.65	0.68	0.84	0.78	0.81	0.88	0.93	0.93	0.95
			0.60	0.63	0.63	0.77	0.76	0.84	0.91	0.91	0.93
			0.65	0.68	0.84	0.78	0.81	0.88	0.93	0.93	0.95
	μ.ό. σειράς		<b>0.63</b>	<b>0.66</b>	<b>0.77</b>	<b>0.78</b>	<b>0.79</b>	<b>0.86</b>	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>	<b>0.95</b>
<b>C3</b>			0.65	0.63	0.76	0.71	0.74	0.82	0.92	0.91	0.94
			0.53	0.56	0.71	0.68	0.65	0.77	0.90	0.89	0.91
			0.65	0.63	0.76	0.71	0.74	0.82	0.92	0.91	0.94
	μ.ό. σειράς		<b>0.61</b>	<b>0.61</b>	<b>0.74</b>	<b>0.70</b>	<b>0.71</b>	<b>0.81</b>	<b>0.91</b>	<b>0.90</b>	<b>0.93</b>
<b>C4</b>			0.59	0.58	0.71	0.67	0.67	0.78	0.90	0.89	0.93
			0.46	0.49	0.65	0.59	0.57	0.72	0.87	0.86	0.89
			0.59	0.58	0.71	0.67	0.67	0.78	0.90	0.89	0.93
	μ.ό. σειράς		<b>0.55</b>	<b>0.55</b>	<b>0.69</b>	<b>0.64</b>	<b>0.64</b>	<b>0.76</b>	<b>0.89</b>	<b>0.88</b>	<b>0.92</b>

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση

INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS IN GEOMECHANICS  
*Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.*, 2005; 29:597–625  
Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/nag.428

## Response evaluation for horizontally loaded fixed-head pile groups using 3-D non-linear analysis

Emilios M. Comodromos<sup>1,\*</sup> and Kyriazis D. Pitilakis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, University of Thessaly, Pedion Areos, 383 34 Volos, G  
<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, PO Box 450, 54 006

## Effect of Cracking on the Response of Pile Test under Horizontal Loading

Emilios M. Comodromos<sup>1</sup>; Mello C. Papadopoulou<sup>2</sup>; and Ioannis K. Rentzeperis<sup>3</sup>

JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING © ASCE / SEPTEMBER 2009 / 1275



Contents lists available at ScienceDirect

Computers and Geotechnics

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/compgeo](http://www.elsevier.com/locate/compgeo)



## On the response prediction of horizontally loaded fixed-head pile groups in sands

Mello C. Papadopoulou, Emilios M. Comodromos\*

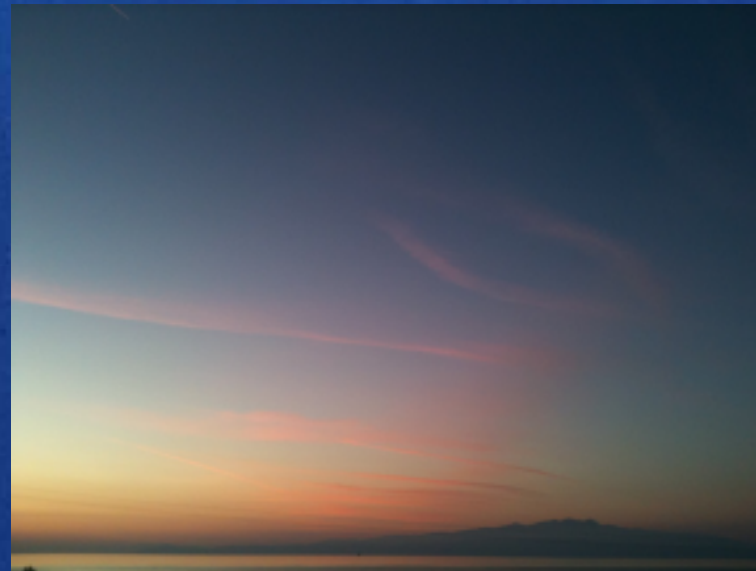
Department of Civil Engineering, University of Thessaly, Pedion Areos, 383 34 Volos, Greece

Comodromos, E. M. & Papadopoulou, M. C. (2011). *Géotechnique* 61, No. 00, 1–11 [<http://dx.doi.org/10.1680/geot.2011.61.00.1>]

## Response evaluation of horizontally loaded pile groups in clayey soils

E. M. COMODROMOS\* and M. C. PAPAPOULOU\*

# Βαθιές Θεμελιώσεις | Πάσσαλοι υπό Οριζόντια Φόρτιση



τέλος