



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ

Ανάλυση Απόκρισης Μεμονωμένων Πασσάλων σε Οριζόντια Φόρτιση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

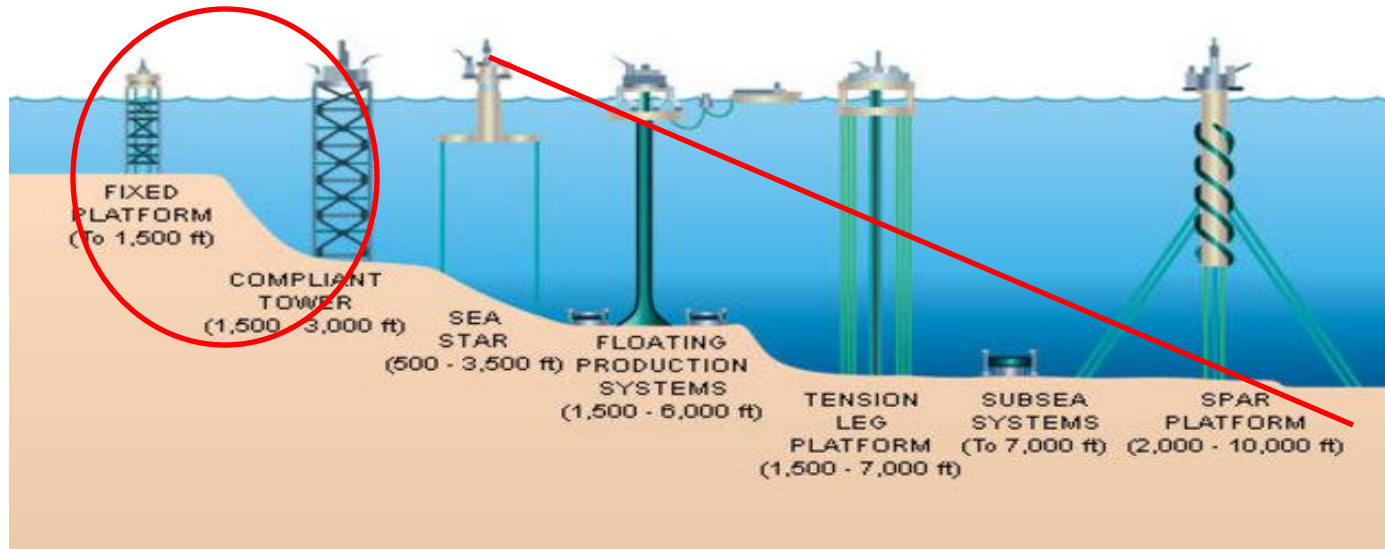
Ιωάννης Γ. Τσαπέκης

Επιβλέπων: Μιχαήλ Καββαδάς
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος, 2017

Υπεράκτιες κατασκευές

- Πλατφόρμες εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου
- Ανεμογεννήτριες



1

- Ορισμός προβλήματος
- Στόχοι εργασίας

2

- Βιβλιοθήκη καμπυλών p - y στον κώδικα MATLAB

3

- Οριζόντια φόρτιση πασσάλου

4

- Επιρροή της κλίσης του εδάφους στις καμπύλες p - y

5

- Συμπεράσματα
- Προτάσεις για περισσότερη έρευνα

Το πρόβλημα της οριζόντιας φόρτισης

Οριζόντια φόρτιση πασσάλων από:

Κύματα

Ρεύματα

Άνεμο

Πάγο

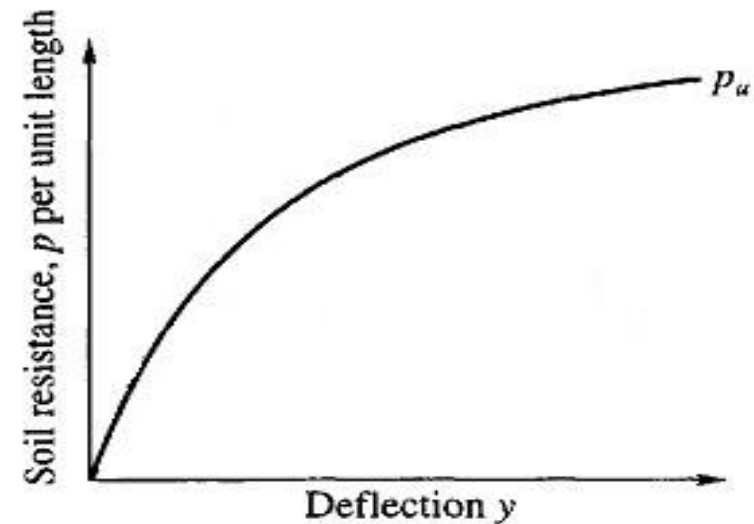
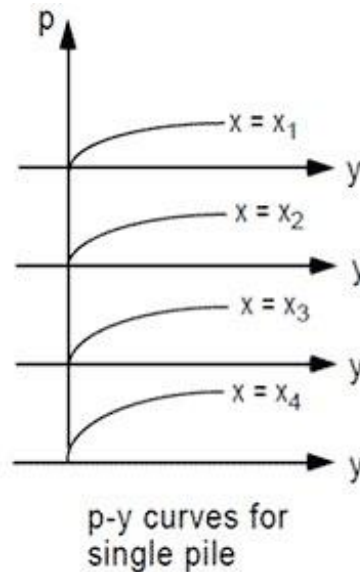
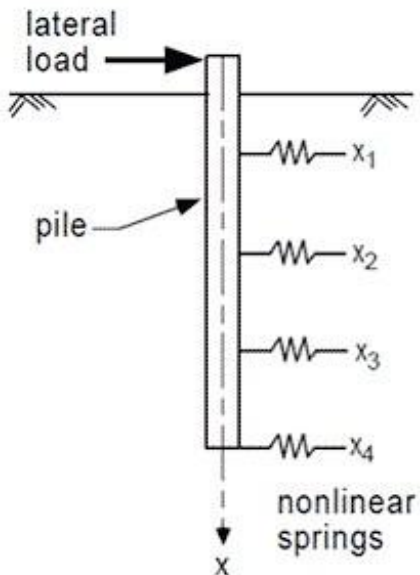
Πρόσκρουση πλοίων κ.α



Επιρροή οριζόντιας φόρτισης:

Μετατοπίσεις έως $z=3\sim 10b$

Ανάπτυξη εντατικών μεγεθών (ροπή και τέμνουσα)



Στόχοι εργασίας

Βιβλιογραφική ανασκόπηση καμπυλών p-y



Προγραμματισμός καμπυλών p-y σε κώδικα MATLAB



Σύγκριση καμπυλών p-y

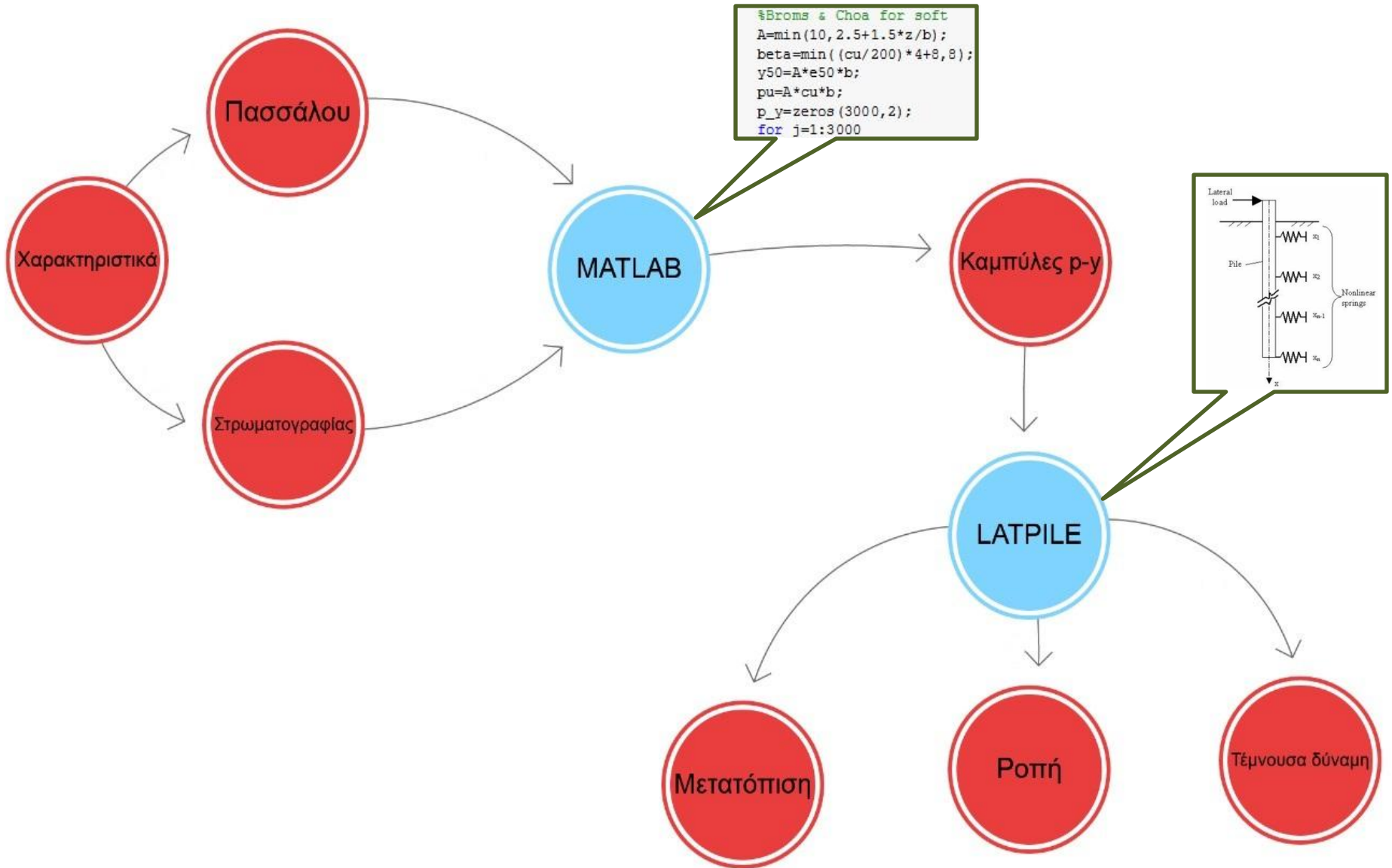


Σύγκριση απόκρισης πασσάλου (μετακινήσεις & εντατικά μεγέθη) βάσει των διαφόρων καμπυλών



Επιρροή κεκλιμένου εδάφους στην οριζόντια απόκριση του πασσάλου

Πορεία εργασίας



1

- Ορισμός προβλήματος
- Στόχοι εργασίας

2

- **Βιβλιοθήκη καμπυλών p-y στον κώδικα MATLAB**

3

- Οριζόντια φόρτιση πασσάλου

4

- Επιρροή της κλίσης του εδάφους στις καμπύλες p-y

5

- Συμπεράσματα
- Προτάσεις για περισσότερη έρευνα

Βιβλιογραφική ανασκόπηση καμπυλών p-y

Μαλακή άργιλος

Στιφρή άργιλος

Άμμος

Matlock (1970)

Gill (1970)

Gill (1970)

Sullivan (1980)

Welch & Reese (1972)

Reese (1974)

O'Neill & Gazioglu (1984)

Reese (1975)

Murchison & O'Neill (1984)

Broms & Choa (1998)

Sullivan (1980)

Γεωργιάδης (1992)

Jeanjean (2009)

O'Neill & Gazioglu (1984)

Novello (1999)

Jeong (2009)

Dunnivant & O'Neill (1989)

API (2007)

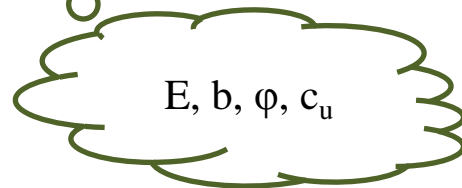
Γεωργιάδης (2010)

Broms & Choa (1998)

Sryasantana & Lehane (2014)

Lehane (2014)

Dewaikar (2009)



NGI-11 (2014)

Jeong (2009)

Γεωργιάδης (2010)

| | | |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|
| $0 < c_u \text{ (kPa)} < 50$ | $E = 5 \text{ MPa}$ | $\epsilon_{50} = 2\%$ |
| $50 < c_u \text{ (kPa)} < 100$ | $E = 20 \text{ MPa}$ | $\epsilon_{50} = 1\%$ |
| $100 < c_u \text{ (kPa)} < 200$ | $E = 40 \text{ MPa}$ | $\epsilon_{50} = 0.5\%$ |
| $200 < c_u \text{ (kPa)}$ | $E = 75 \text{ MPa}$ | $\epsilon_{50} = 0.2\%$ |

| | | |
|------------------------------|----------------------|-------------------------|
| $0^\circ < \phi < 30^\circ$ | $E = 5 \text{ MPa}$ | $\epsilon_{50} = 2\%$ |
| $30^\circ < \phi < 36^\circ$ | $E = 20 \text{ MPa}$ | $\epsilon_{50} = 1\%$ |
| $36^\circ < \phi$ | $E = 40 \text{ MPa}$ | $\epsilon_{50} = 0.5\%$ |

Προγραμματισμός καμπυλών p-y σε κώδικα MATLAB

επιλογή καμπύλης p-y

επιλογή μεθοδολογίας απομείωσης p-y

The screenshot shows a MATLAB-based software interface for generating p-y curves. The interface includes several dropdown menus for selecting methods (e.g., Matlock, Reese, API, Georgiadis, Barker), input fields for parameters (Diameter-b, Length, Pile Young Modulus, Soil's specific weight, slope), and a central plot area showing a p-y curve. Red circles and arrows highlight the selection menus and the input fields. A red arrow points from the input fields to a text box at the bottom.

Choose p-y method for soft clay: Matlock, Georgiadis, Sullivan, Naji & Gaziglu, Eroms & Choa, Lehane, Jeanjean, Jeong, NGI-11, Average of all

Choose p-y method for stiff clay: Reese, Dewaikar, Eroms & Choa, Sullivan, O'Neill & Gaziglu, Gill, Duncan & O'Neill, Welch & Reese, Georgiadis, Jeong, Average of all

Choose p-y method for sand: API, Reese, Gill, Novello, Sureshanna & Lehane, Murdochison & O'Neill, Georgiadis, Average of all

Choose p-y reduction method for clay: Georgiadis, Nimityongskul, Reese

Choose p-y reduction method for sand: Barker, Muthukkumaran, Reese, Gabr & Borden, Mezaizigh & Levacher

Input Parameters:

- Diameter-b (m): 1
- Length (m): 30
- Pile Young Modulus (GPa): 30
- Soil's specific weight (kN/m³): 18
- a (1 to 0 for less to more smooth pile): 0
- slope (degrees): 0

Plot p-y curve:

max y (m): 0.5 Update curves

depth/b: 2

Clear curves

Toggle the data cursor mode: OFF

Message:

Analysis is ready, you may plot the curves or export them.

P-Y curve plot:

Y-axis: kN/m (0 to 100)

X-axis: m (0 to 0.5)

Legend: Matlock, soft clay, b=1.00m, z=2b, slope:0.0 degrees

Annotation: καμπύλη p-y

εισαγωγή δεδομένων:
 $b, L, E_p, \gamma, \alpha, \theta$
 c_u, ϕ, N, q_c

Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε πάσσαλος με:

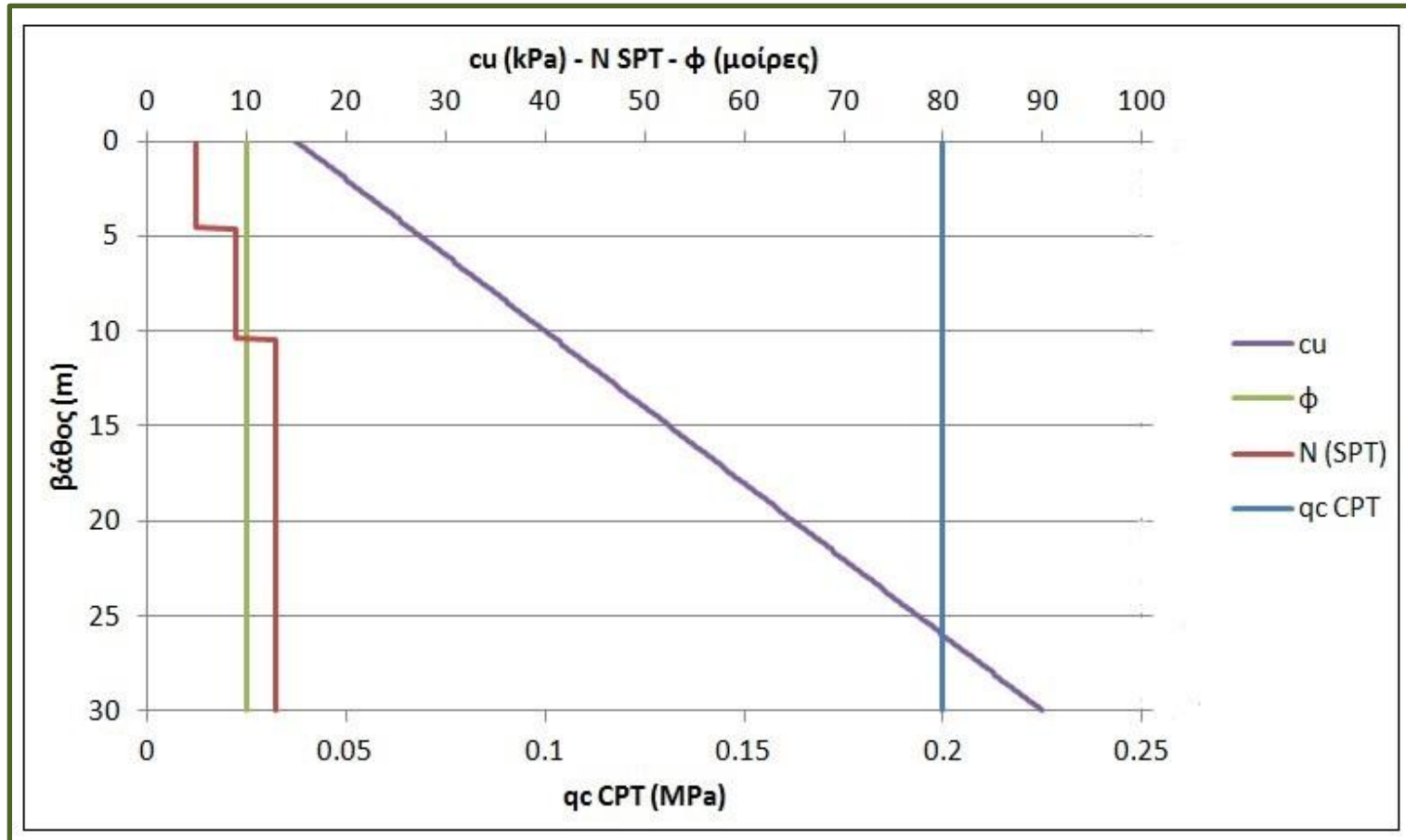
$b=1 \text{ m}$

$L=30 \text{ m}$

$E_p=30 \text{ GPa}$

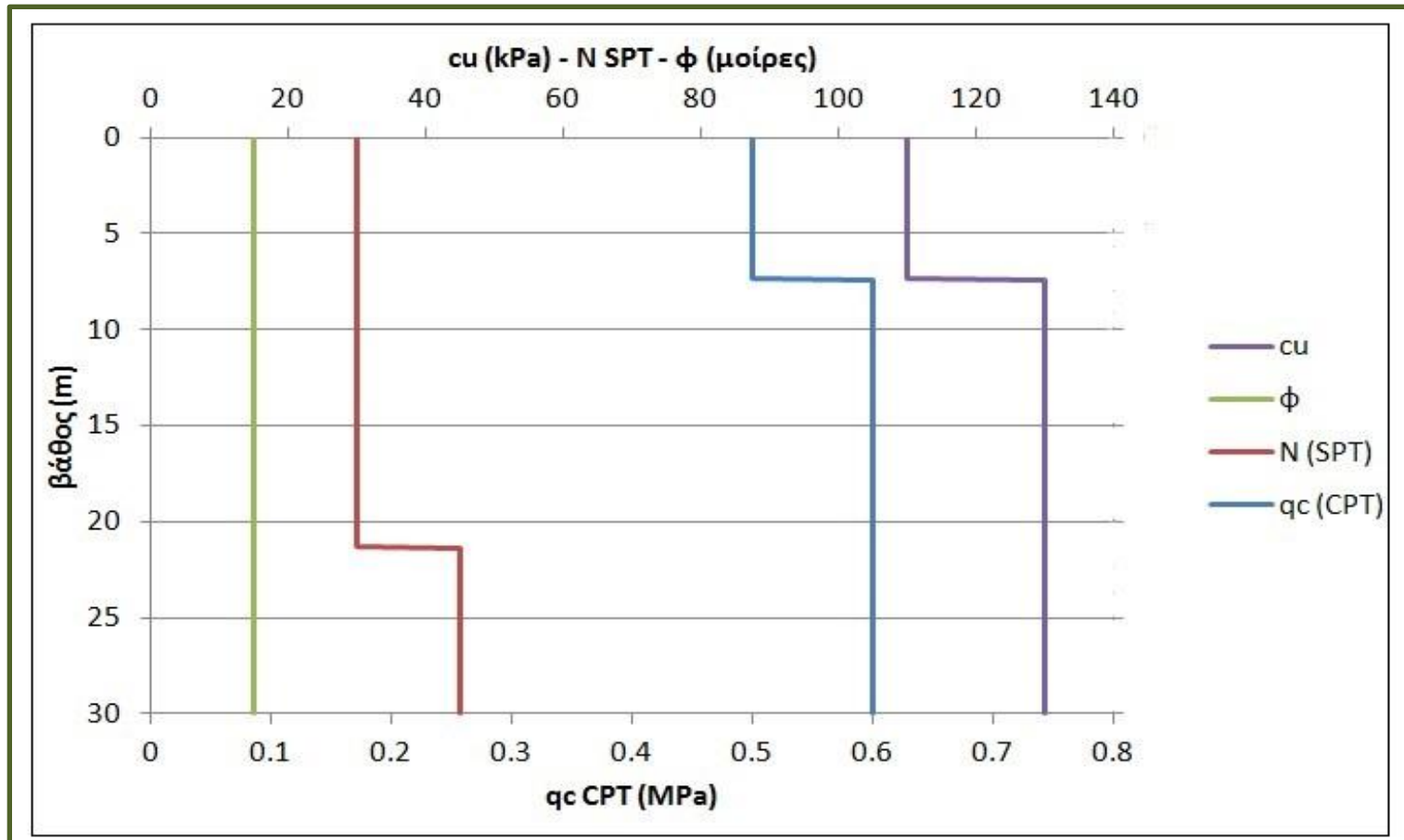
Λεία διεπιφάνεια

Στρωματογραφία μαλακής αργίλου



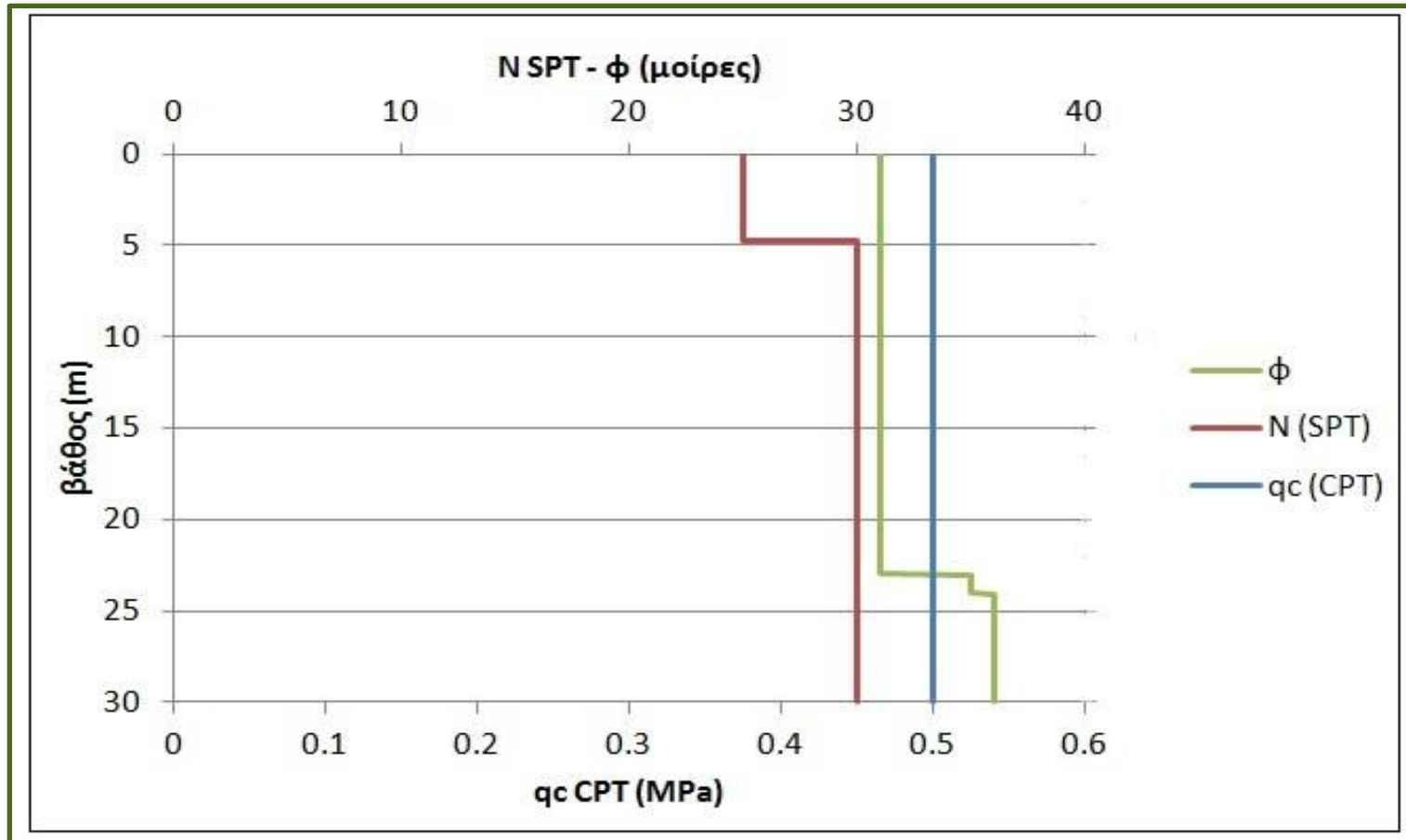
$$c_u = 15 + 2.5z \text{ kPa}$$
$$N = 5 \sim 13 \text{ χτύποι}$$
$$q_c = 0.2 \text{ MPa}$$

Στρωματογραφία σιφικής αργίλου



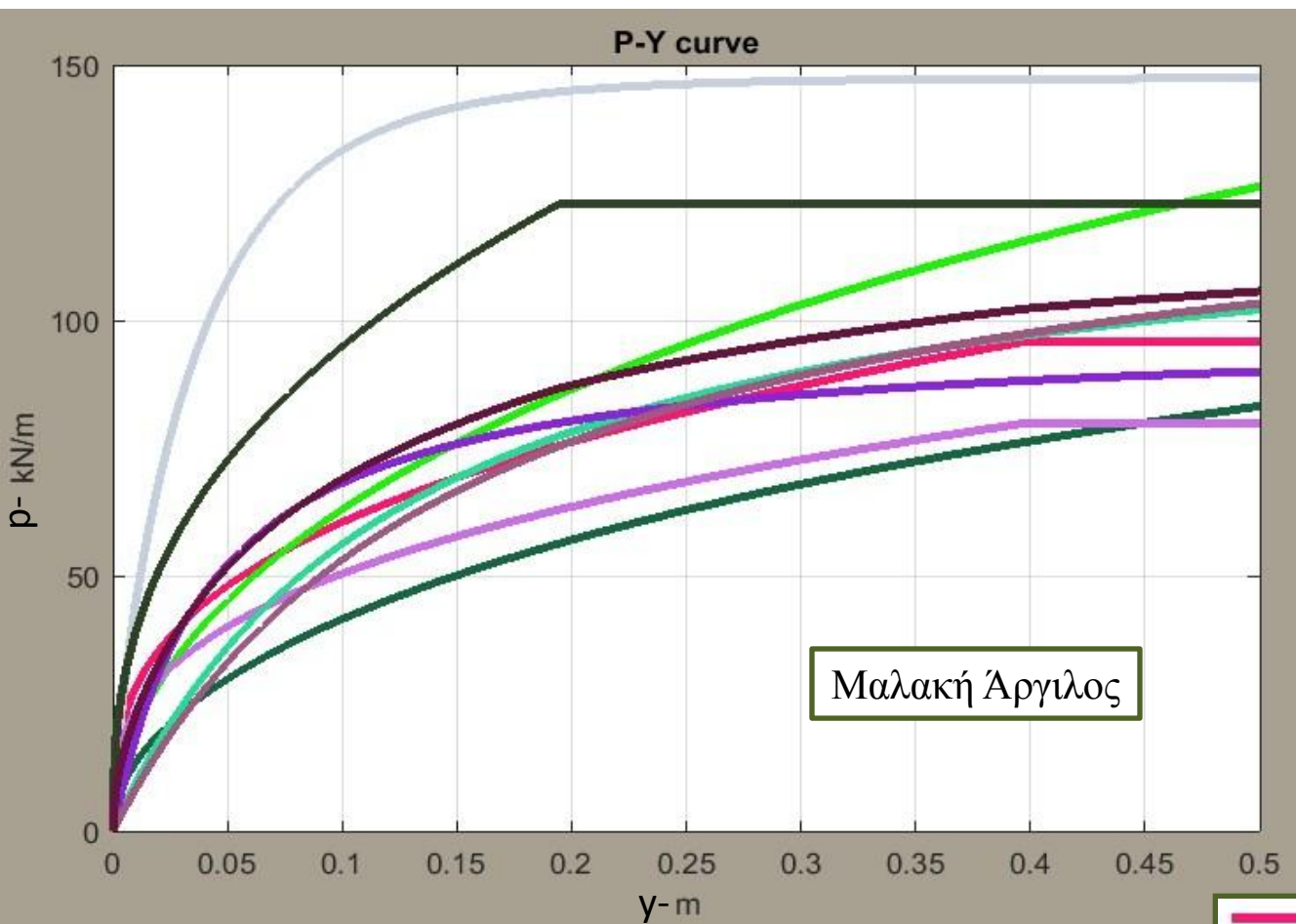
$c_u \sim 120$ kPa
N=30 χτύποι
 $q_c = 0.5$ MPa

Στρωματογραφία άμμου



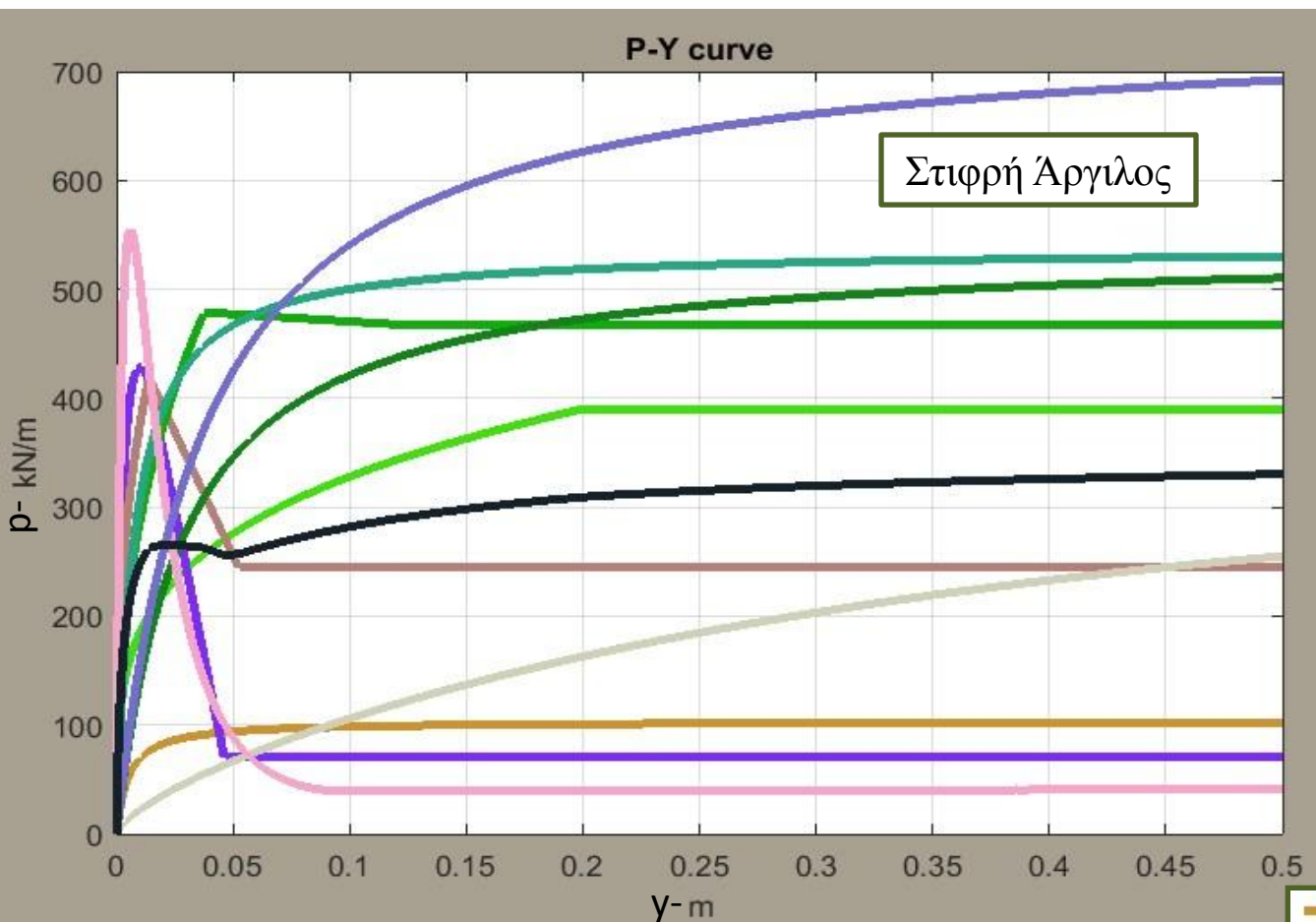
N=25~30 χτύποι
qc=0.5 MPa
φ=31° ~ 36°

Καμπύλες p-y από κώδικα MATLAB (z=2b) (1/3)



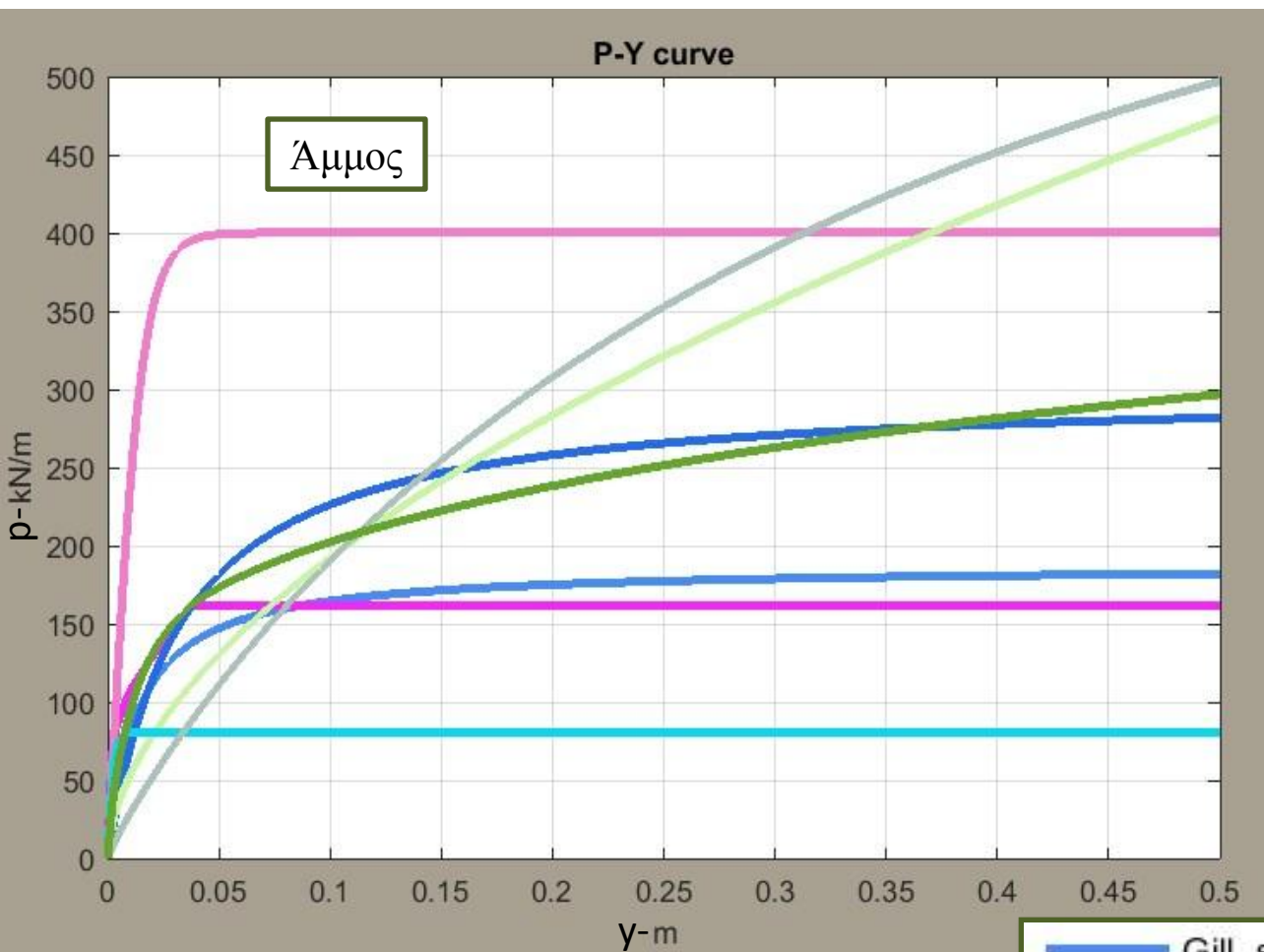
- Matlock, soft clay, b=1.00m
- Jeanjean, soft clay, b=1.00 m
- Lehane, soft clay, b=1.00 m
- NGI-11, soft clay, b=1.00 m
- Sullivan, soft clay, b=1.00 m
- O'Neill & Gazioglu, soft clay, b=1.00 m
- Broms & Choa, soft clay, b=1.00 m
- Jeong, soft clay, b=1.00 m
- Georgiadis, soft clay, b=1.00 m
- Average, soft clay, b=1.00 m

Καμπύλες p-y από κώδικα MATLAB (z=2b) (2/3)



- Gill, stiff clay, b=1.00 m
- Welch & Reese, stiff clay, b=1.00 m
- Reese, stiff clay, b=1.00 m
- Sullivan, stiff clay, b=1.00 m
- O'Neill & Gazioglu, stiff clay, b=1.00 m
- Broms & Choa, stiff clay, b=1.00 m
- Dunnivant & O'Neill, stiff clay, b=1.00 m
- Jeong, stiff clay, b=1.00 m
- Dewaikar, stiff clay, b=1.00 m
- Georgiadis, stiff clay, b=1.00 m
- Average, stiff clay, b=1.00 m

Καμπύλες p-y από κώδικα MATLAB (z=2b) (3/3)



- Gill, sand, b=1.00 m
- Reese, sand, b=1.00 m
- Murchison & O'Neill, sand, b=1.00
- Georgiadis, b=1.00 m
- Novello, sand, b=1.00 m
- API, sand, b=1.00 m
- Suryasentana & Lehane, sand, b=1.00 m
- Average, sand, b=1.00 m

1

- Ορισμός προβλήματος
- Στόχοι εργασίας

2

- Βιβλιοθήκη καμπυλών p-y στον κώδικα MATLAB

3

- **Οριζόντια φόρτιση πασσάλου**

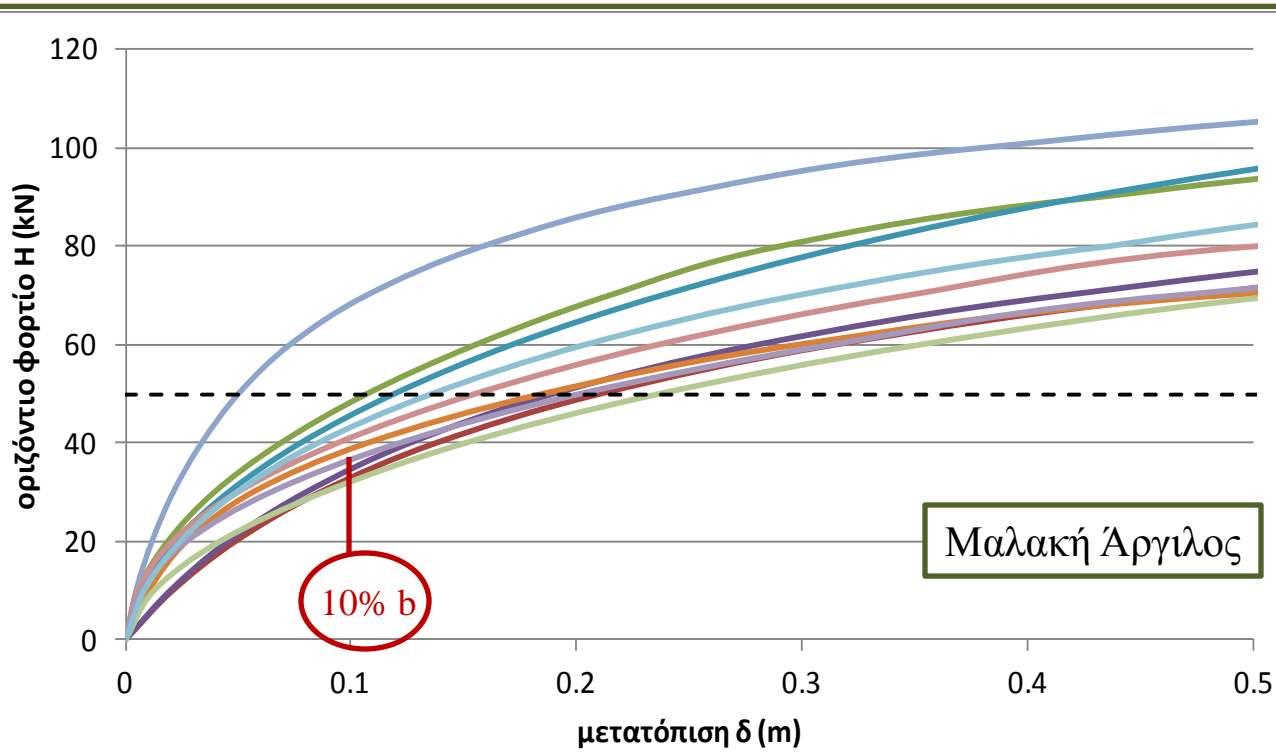
4

- Επιρροή της κλίσης του εδάφους στις καμπύλες p-y

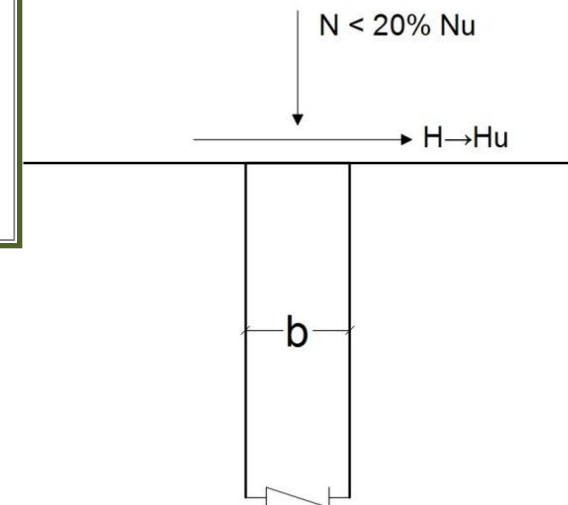
5

- Συμπεράσματα
- Προτάσεις για περισσότερη έρευνα

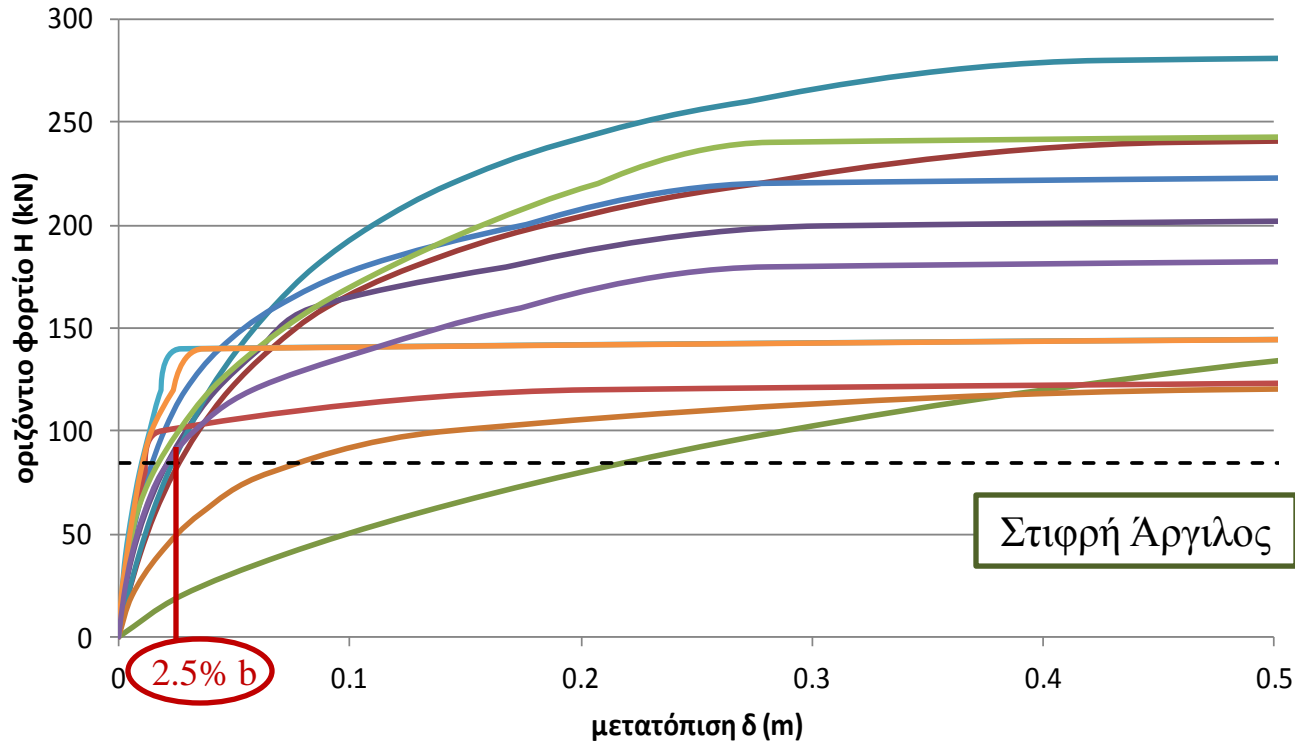
Οριζόντια φόρτιση πασσάλου – Απόκριση κεφαλής (1/3)



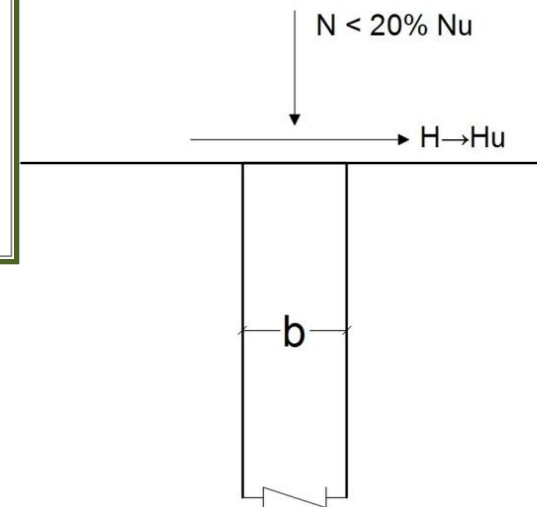
- | | | |
|----------------|----------------------|--------------|
| — Broms & Choa | — O'Neill & Gazioglu | — Γεωργιάδης |
| — Jeanjean | — Jeong | — Lehane |
| — Matlock | — NGI-11 | — Sullivan |
| — Average | - - - Applied H | |



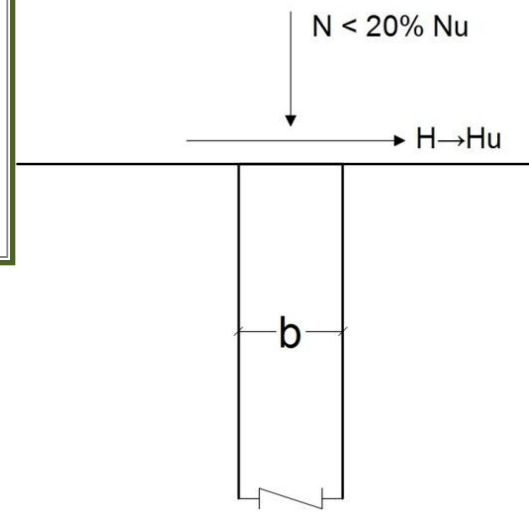
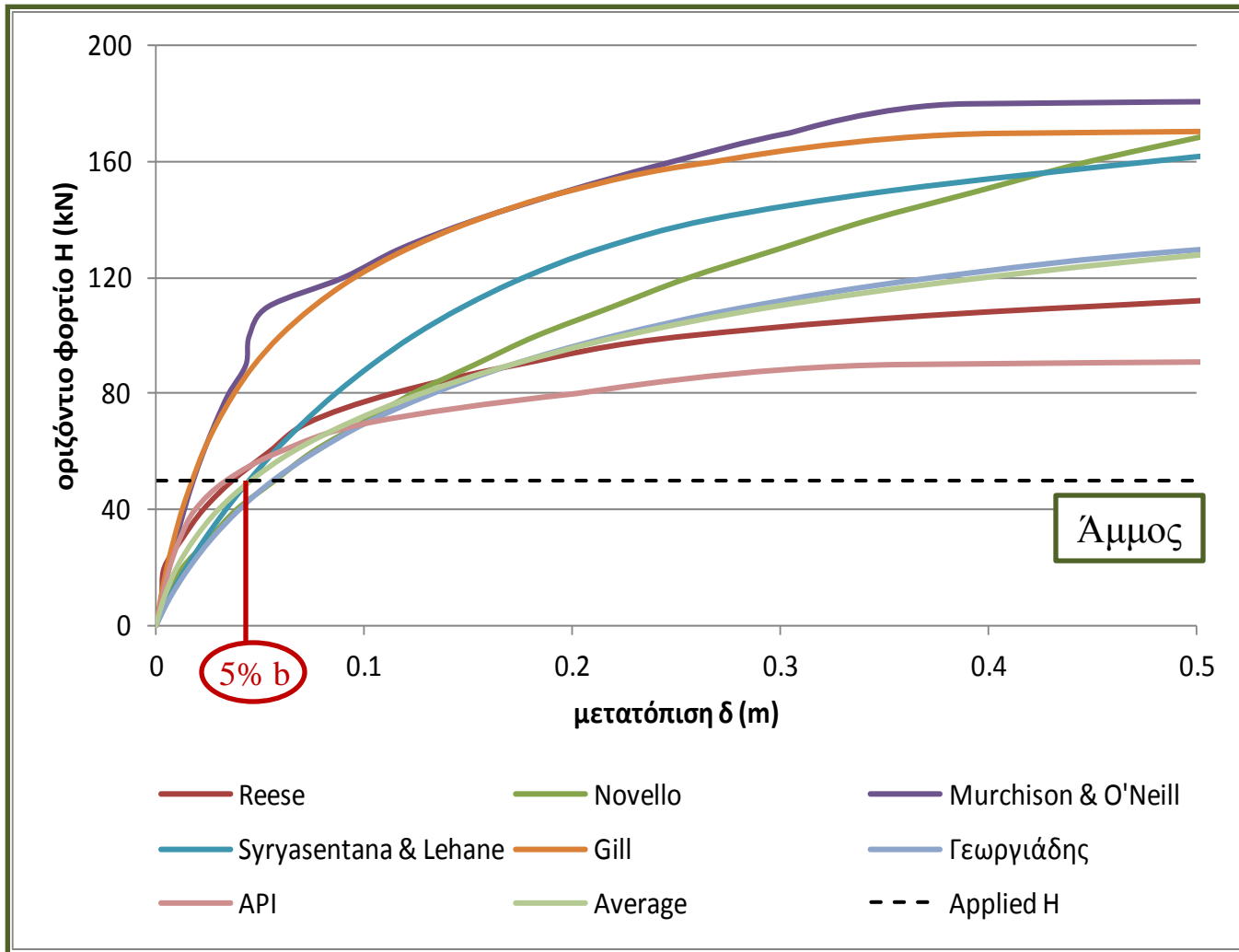
Οριζόντια φόρτιση πασσάλου – Απόκριση κεφαλής



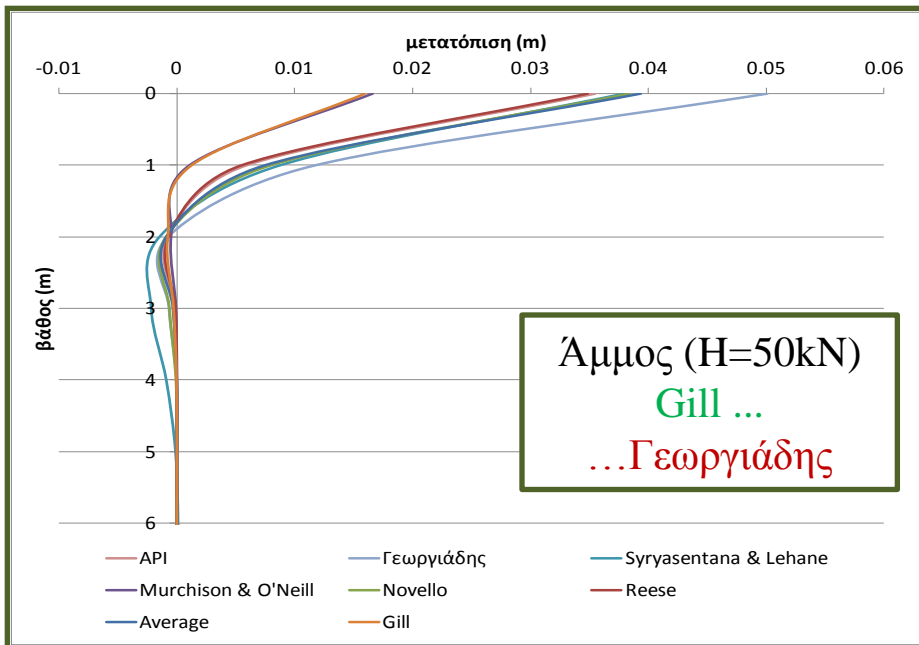
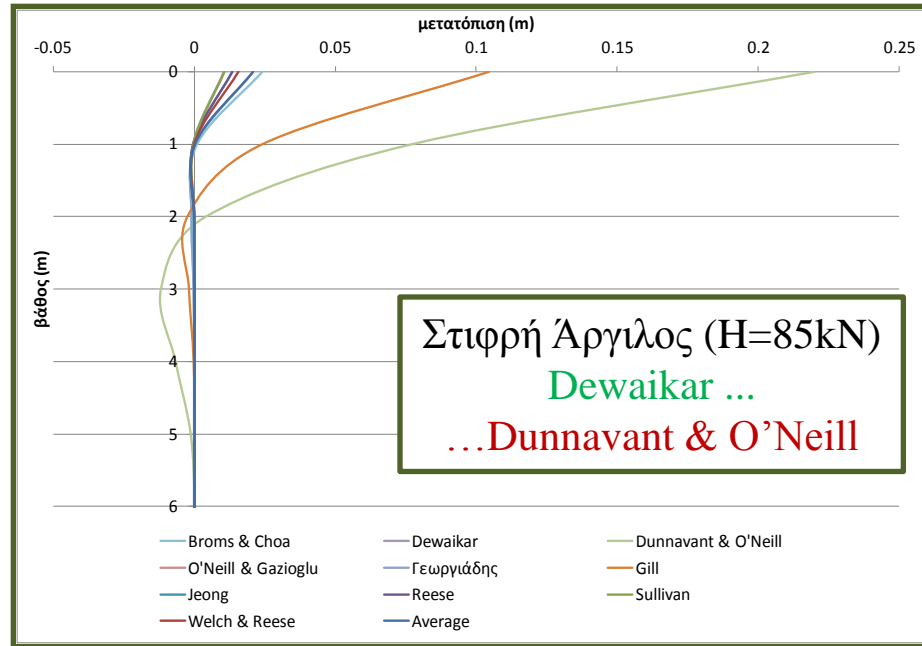
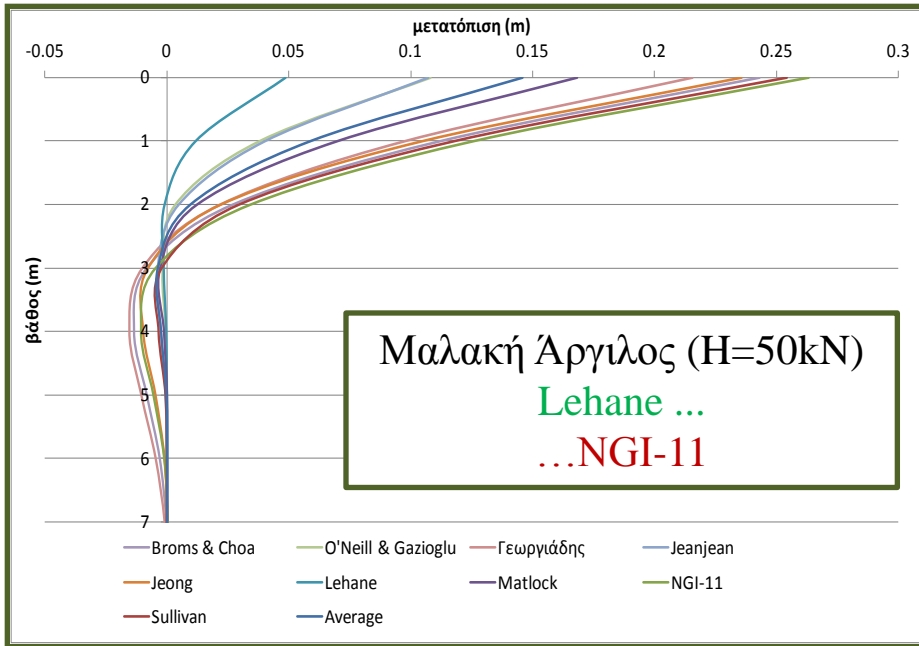
- | | | |
|--------------|---------------------|--------------------|
| Broms & Choa | Dunnavant & O'Neill | O'Neill & Gazioglu |
| Γεωργιάδης | Gill | Jeong |
| Reese | Welch & Reese | Dewaikar |
| Sullivan | Average | Applied H |



Οριζόντια φόρτιση πασσάλου – Απόκριση κεφαλής (3/3)



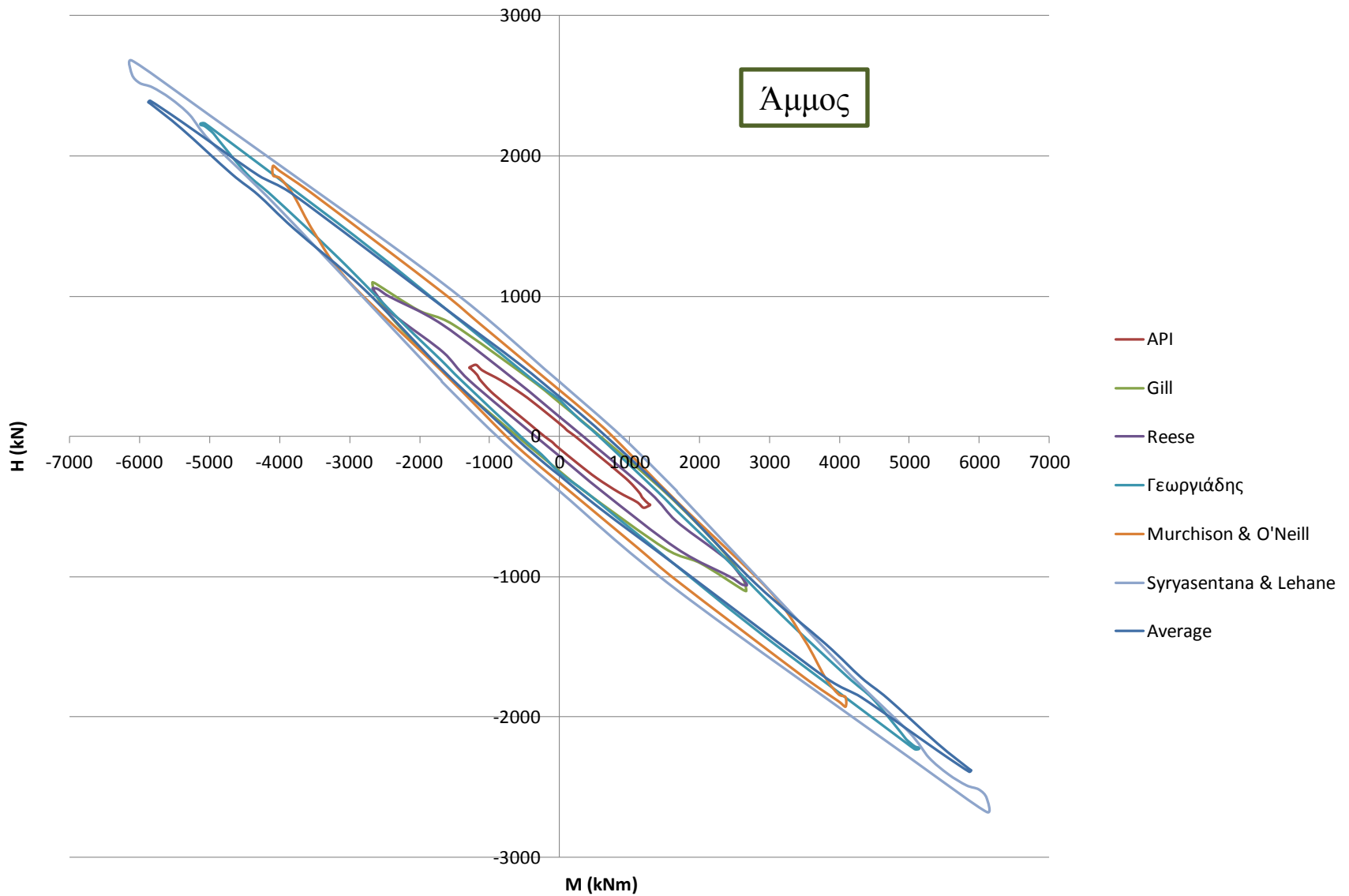
Οριζόντια φόρτιση πασσάλου – Παραμόρφωση πασσάλου



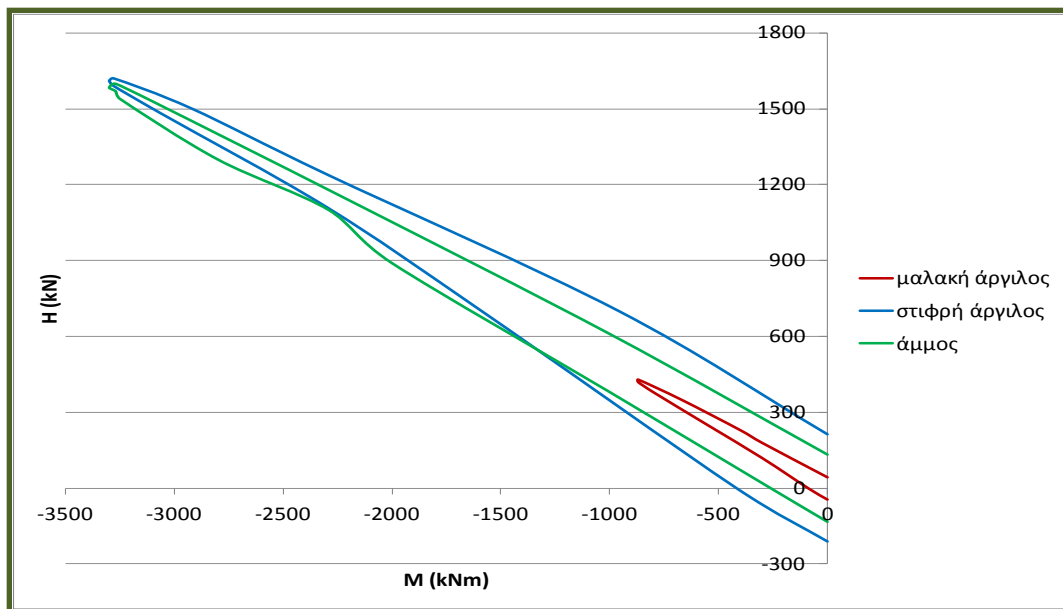
Κάποιες μεθοδολογίες p-y είναι εμφανώς πιο **συντηρητικές** από κάποιες μακράν **τολμηρότερες**

Η οριζόντια φόρτιση επιδρά έως $z=5\sim 7b$

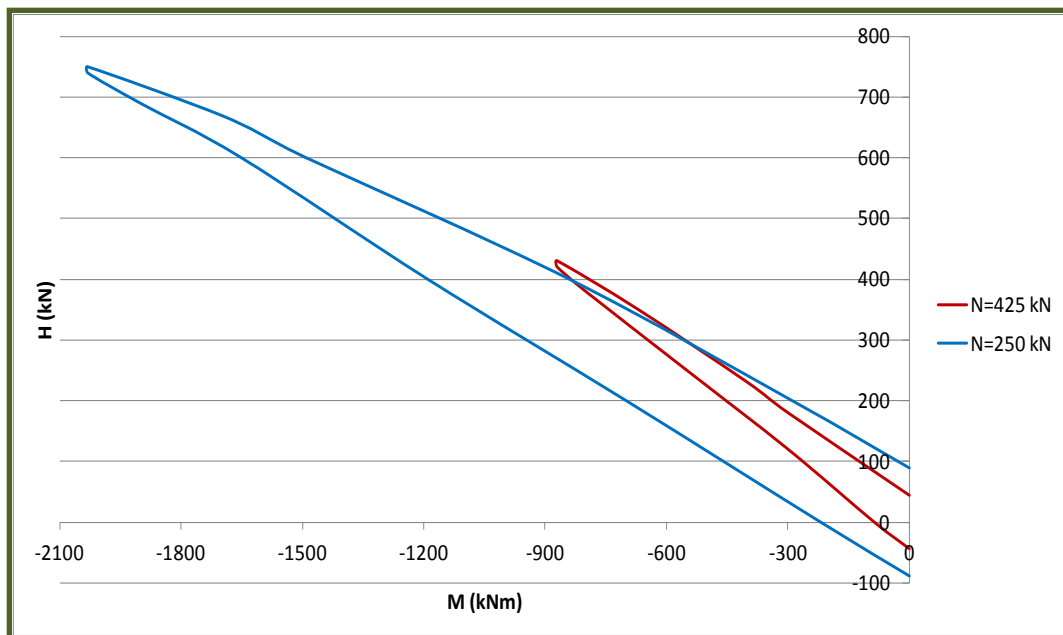
Οριζόντια φόρτιση πασσάλου – Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (1/2)



Οριζόντια φόρτιση πασσάλου – Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (2/2)



Σημαντική διαφορά στο εύρος της περιβάλλουσας μεταξύ μαλακής αργίλου και στιφρής αργίλου ή άμμου



Η θλιπτική αξονική δύναμη περιορίζει το εύρος της περιβάλλουσας λόγω ανάπτυξης ροπών 2^{ας} τάξεως

1

- Ορισμός προβλήματος
- Στόχοι εργασίας

2

- Βιβλιοθήκη καμπυλών p - y στον κώδικα MATLAB

3

- Οριζόντια φόρτιση πασσάλου

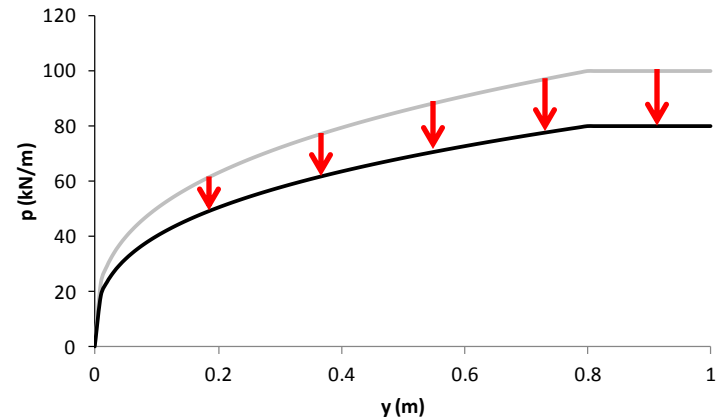
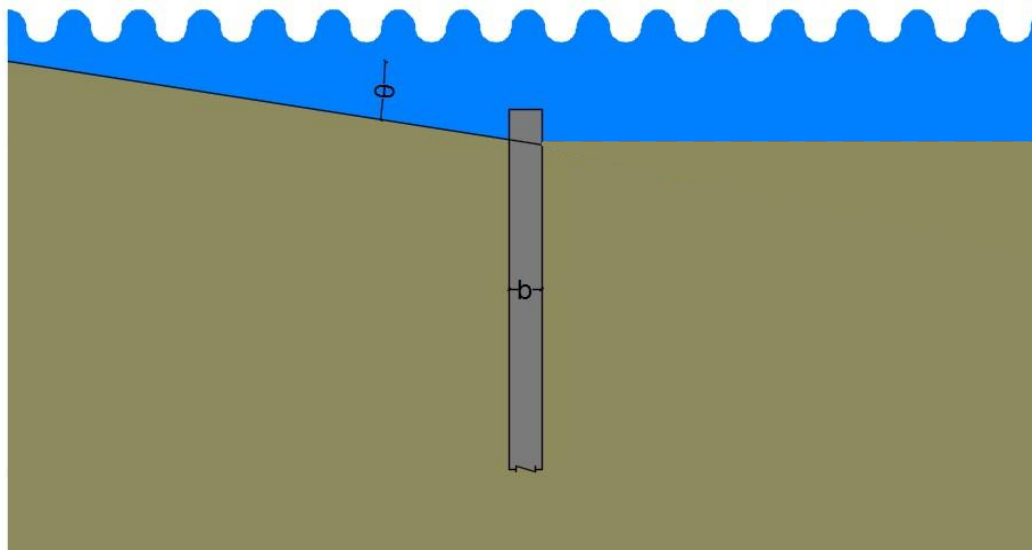
4

- **Επιρροή της κλίσης του εδάφους στις καμπύλες p - y**

5

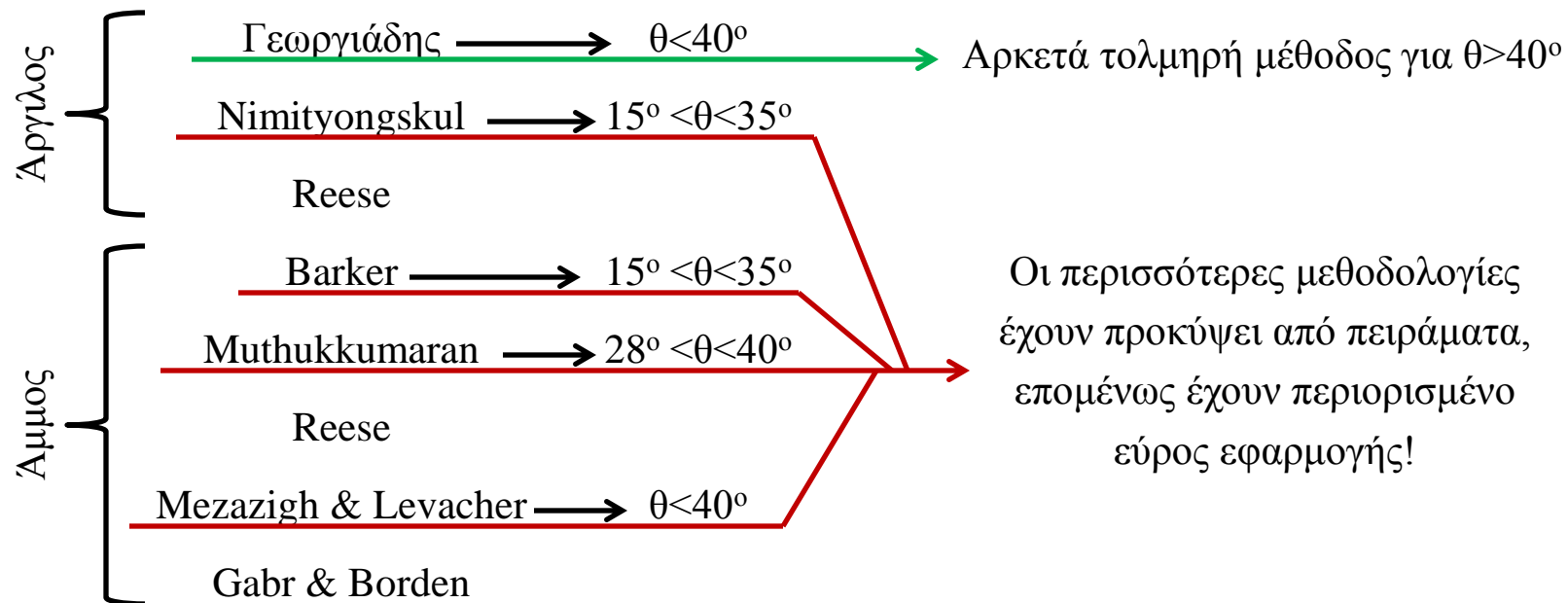
- Συμπεράσματα
- Προτάσεις για περισσότερη έρευνα

Επιρροή της κλίσης του εδάφους στις καμπύλες p-y

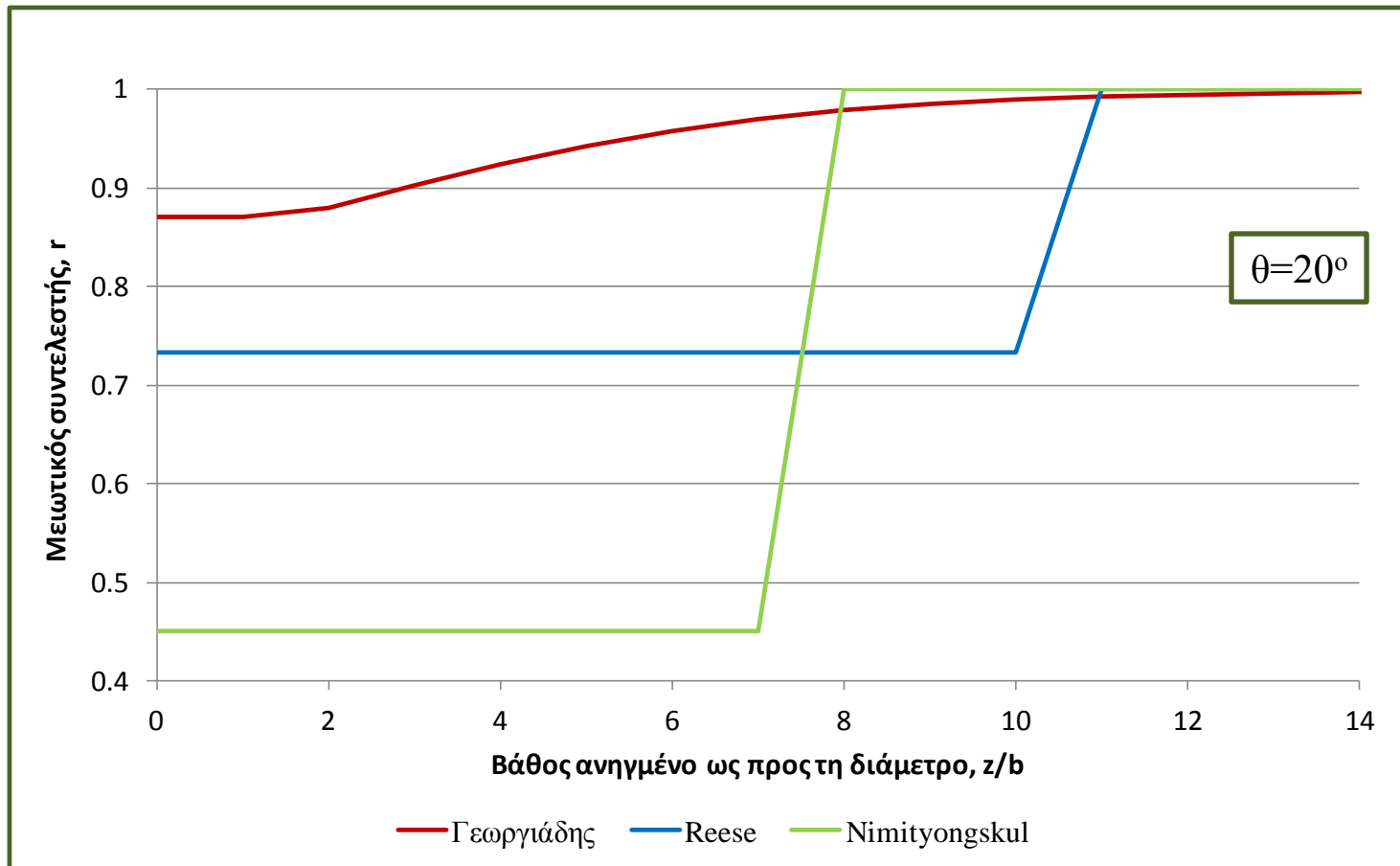


$$p_{\text{modified}} = r * p$$

$$p_{u,\text{modified}} = r * p_u$$



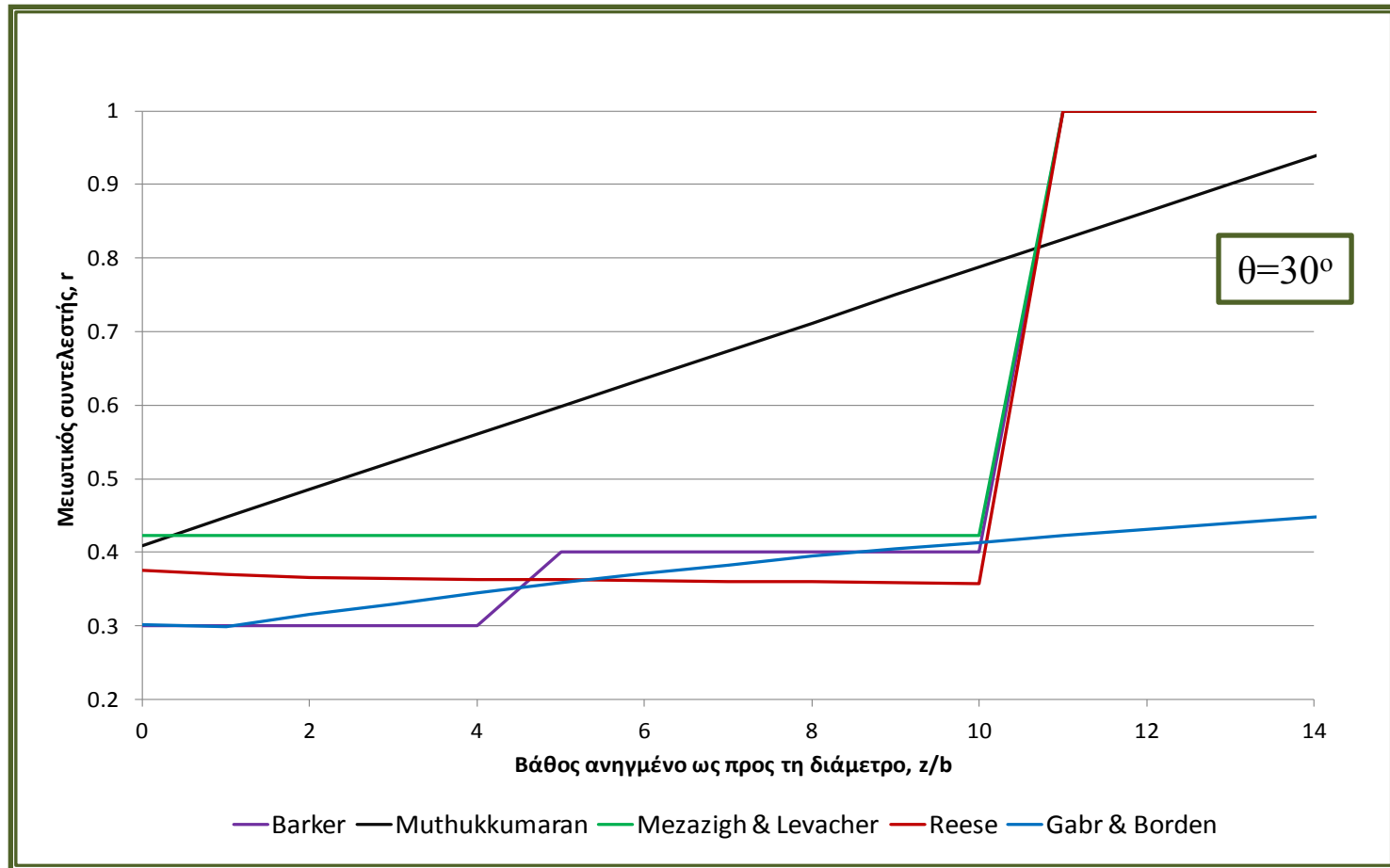
Τιμές μειωτικού συντελεστή r (1/2)



Αργιλικά εδάφη:

- Η επιρροή του κεκλιμένου εδάφους σταματά σε $z=5\sim 10b$
 - Ο Γεωργιάδης είναι ο μόνος όπου $r=r_{(z)}$
- Η μέθοδος του Nimityongskul είναι μάλλον υπερσυντηρητική
- Πέρα από τον Nimityongskul, οι τιμές του r κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα

Τιμές μειωτικού συντελεστή r (2/2)

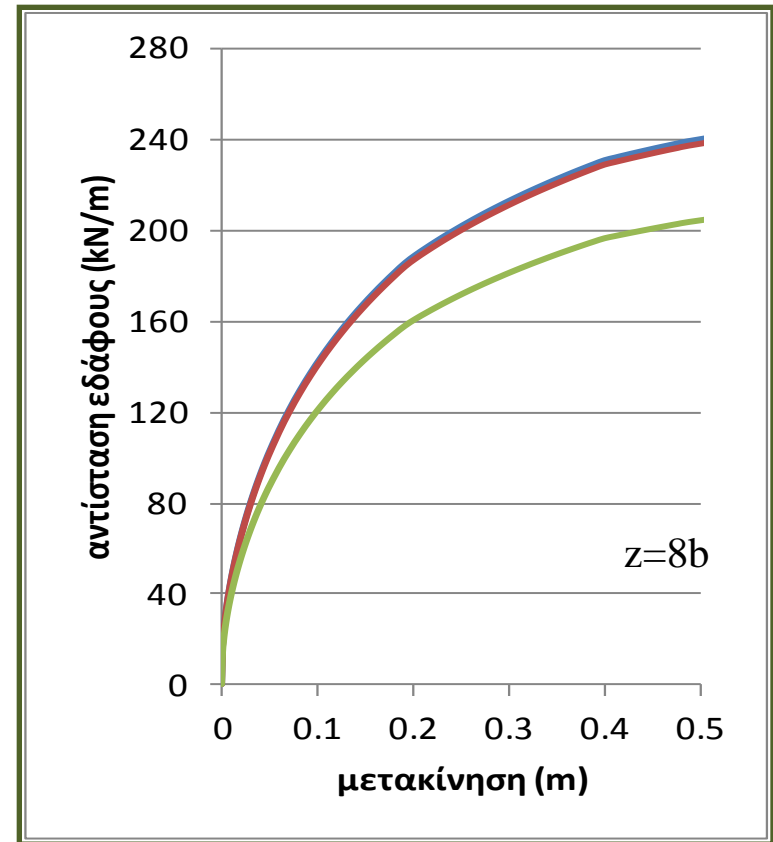
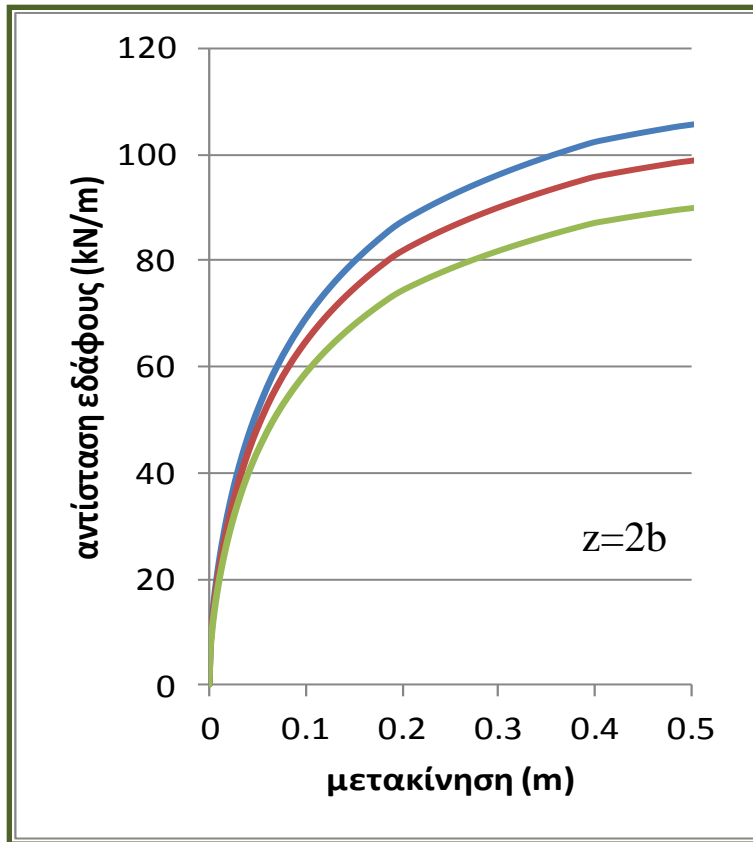


Αμμώδη εδάφη:

- Η επιρροή του κεκλιμένου εδάφους σταματά σε $z=3 \sim 12b$
 - Ο Muthukkumaran είναι ο μόνος όπου $r=r_{(z)}$
 - Το r παίρνει χαμηλές τιμές, έως και 0.25

Εφαρμογή μεθόδων απομείωσης στις καμπύλες p-y (1/3)

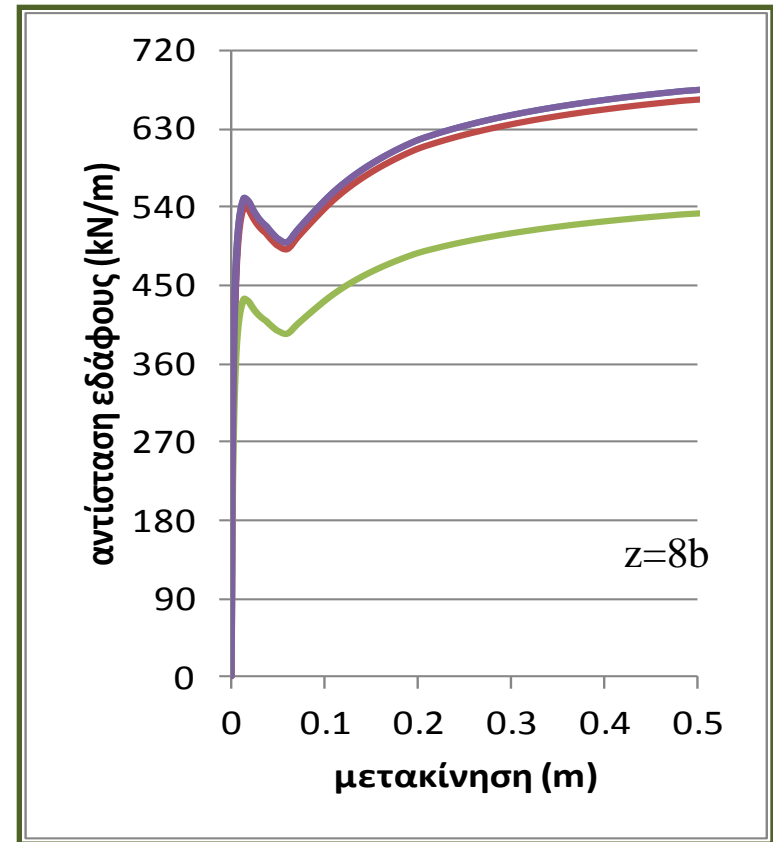
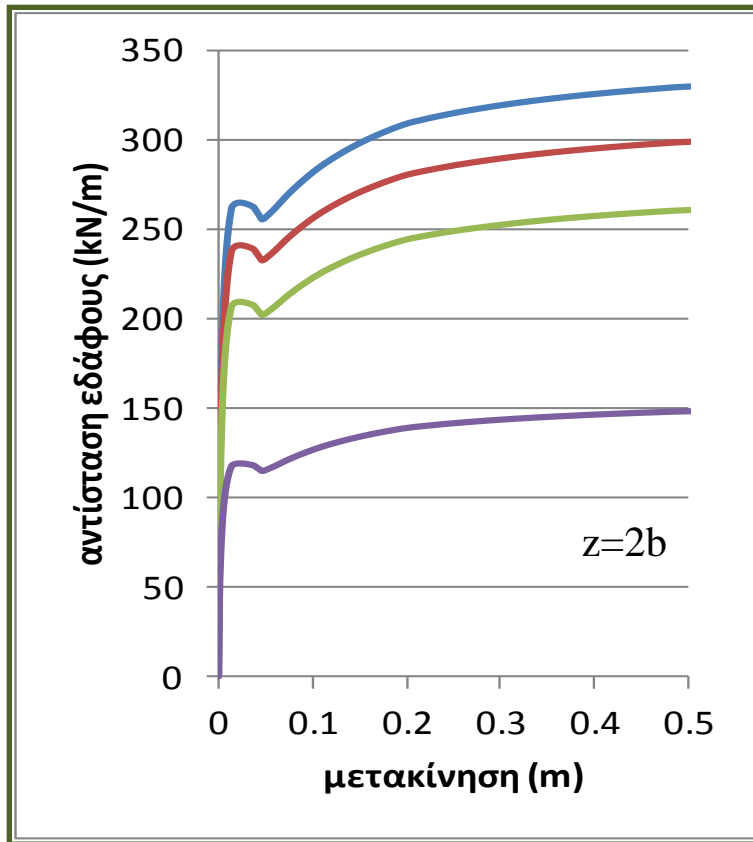
Μαλακή Άργιλος, $\theta=10^\circ$



- Οριζόντιο έδαφος
- Γεωργιάδης
- Reese

Εφαρμογή μεθόδων απομείωσης στις καμπύλες p-y (2/3)

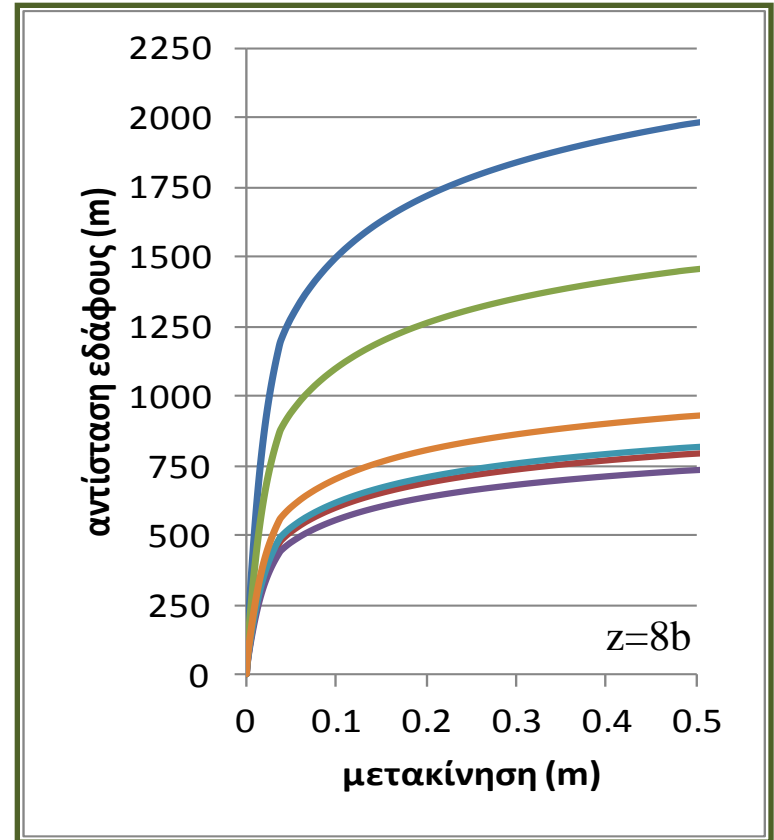
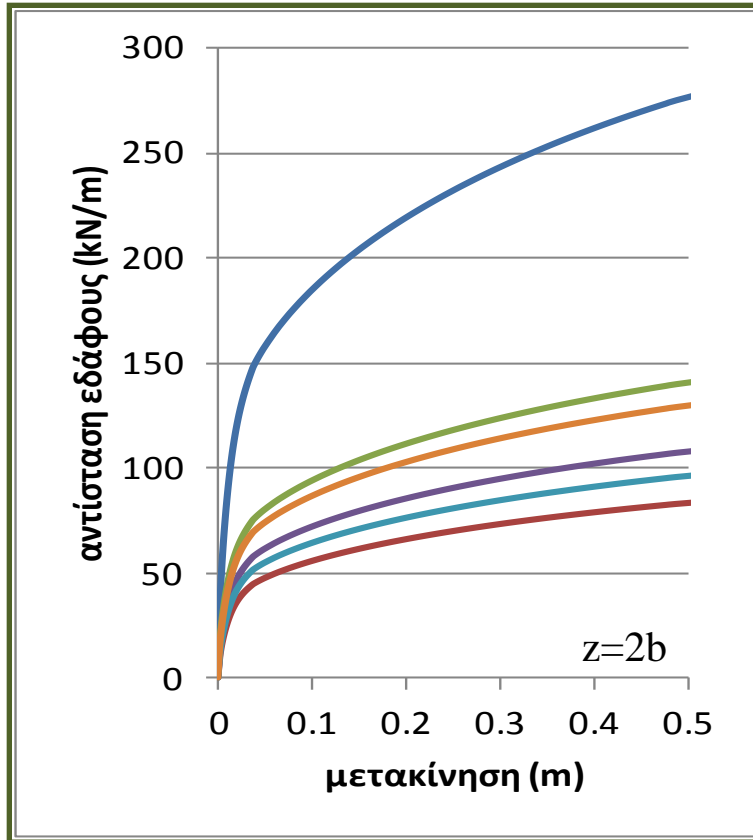
Στιφρή Άργιλος, $\theta=15^\circ$



- Οριζόντιο έδαφος
- Γεωργιάδης
- Reese
- Nimityongskul

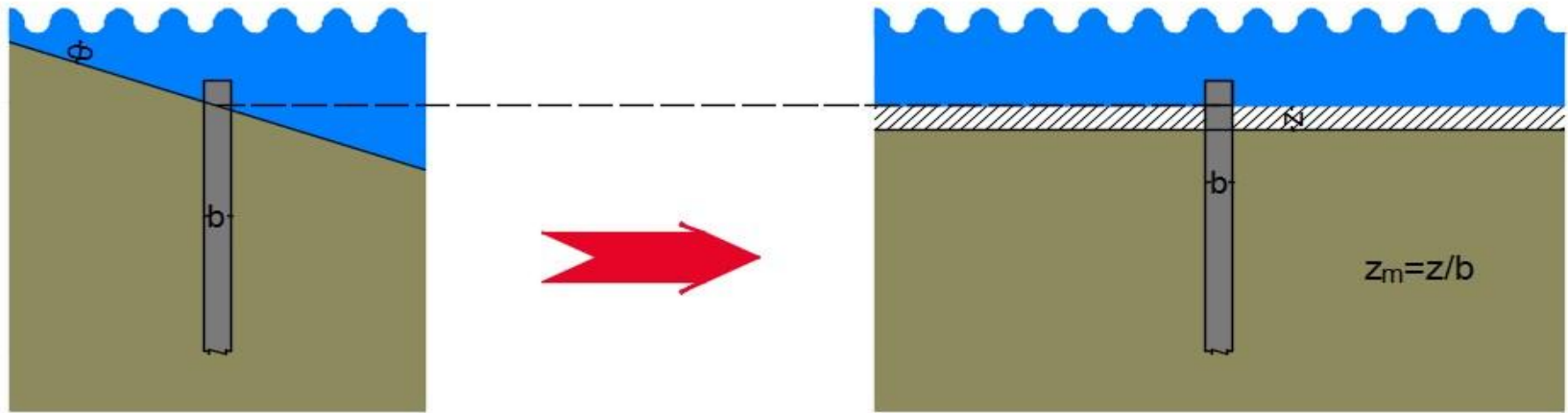
Εφαρμογή μεθόδων απομείωσης στις καμπύλες p-y (3/3)

Άμμος, $\theta=28^\circ$

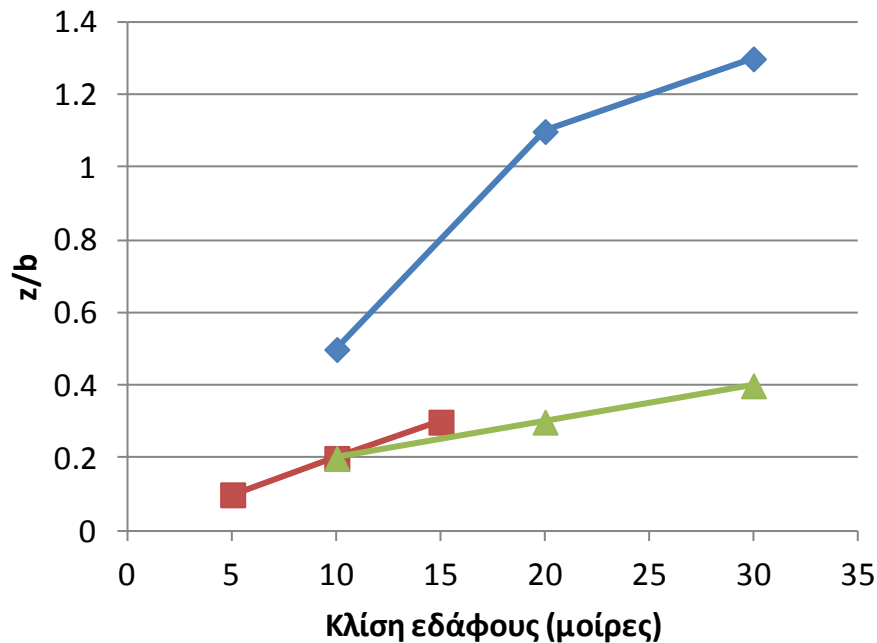


- Οριζόντιο έδαφος
- Muthukkumaran
- Mezazigh & Levacher
- Reese
- Gabr & Borden
- Barker

Εναλλακτική προσέγγιση επίλυσης προβλήματος πρανού



Στόχος: Να βρεθεί το ανηγμένο πάχος $z_m = z/b$ έτσι ώστε το σφάλμα μεταξύ των δύο μεθόδων ως προς τη μετακίνηση κορυφής να είναι αμελητέο.



Αργιλικά εδάφη:
 $z_m = 0.1 \sim 0.4$

Αμμώδη εδάφη:
 $z_m = 0.5 \sim 1.3$

1

- Ορισμός προβλήματος
- Στόχοι εργασίας

2

- Βιβλιοθήκη καμπυλών p - y στον κώδικα MATLAB

3

- Οριζόντια φόρτιση πασσάλου

4

- Επιρροή της κλίσης του εδάφους στις καμπύλες p - y

5

- **Συμπεράσματα**
- **Προτάσεις για περισσότερη έρευνα**

Συμπεράσματα - Προτάσεις για περισσότερη έρευνα

+

Συγκέντρωση 21 διαφορετικών καμπυλών $p-y$ για αργιλικά και αμμώδη εδάφη

Ανάπτυξη λογισμικού στον κώδικα MATLAB που υπολογίζει και εξάγει καμπύλες $p-y$

Σύγκριση καμπυλών $p-y$
Σύγκριση απόκρισης πασσάλου σε οριζόντια φόρτιση βάσει της κάθε καμπύλης

Επιρροή κλίσης του εδάφους στις καμπύλες $p-y$
Ανάπτυξη εναλλακτικής προσέγγισης

-

Προσθήκη επιπλέον καμπυλών $p-y$ στη βιβλιοθήκη του κώδικα MATLAB

Βελτίωση λογισμικού

Εφαρμογή δυνάμεων σχεδιασμού υπεράκτιας κατασκευής
Μελέτη συνδετήριας κατασκευής μεταξύ πασσάλων και εξέδρας

Επιρροή απόστασης πασσάλου από πρανές στις καμπύλες $p-y$

Σας Ευχαριστώ Πολύ !!!

