



ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Ε. Μ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Γεώργιος Δ. Μπουκοβάλας

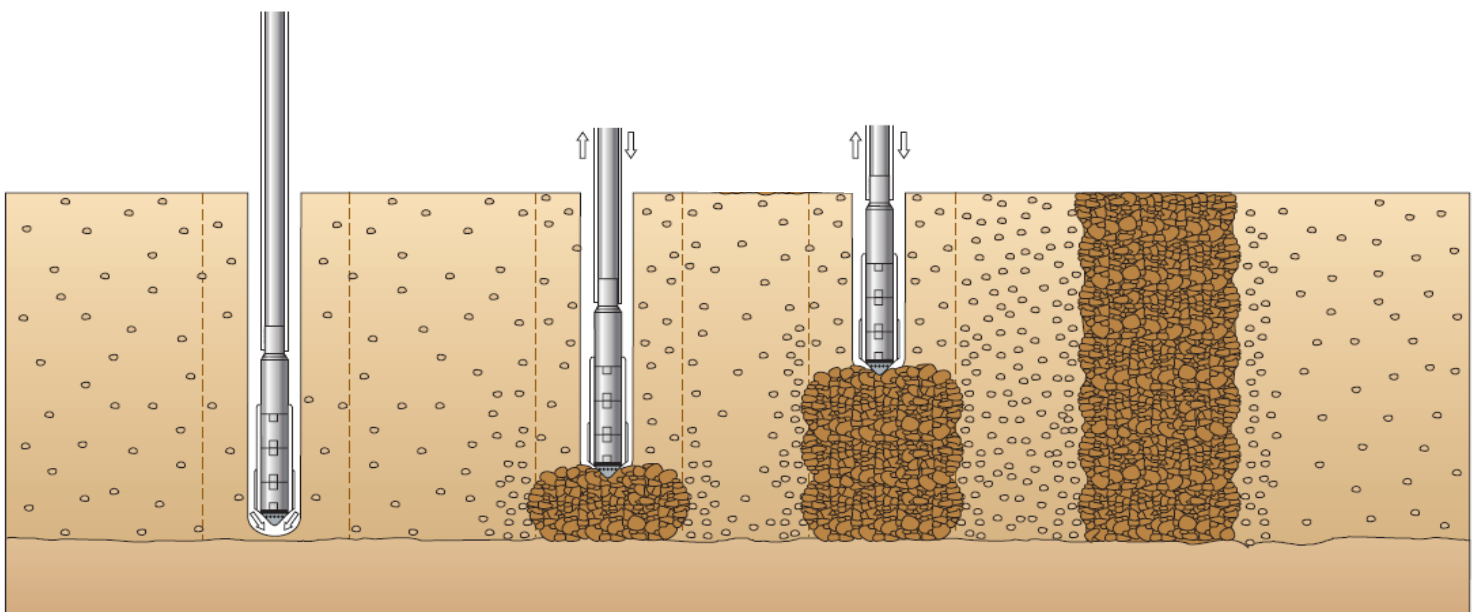
Μάϊος 2010

Video of Drain-improved Test Site



- ✚ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΩΝ
- ✚ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
- ✚ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ
- ✚ Η ΣΧΕΣΗ $r_u - N/N_1$
- ✚ Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ (m_{v3})
- ✚ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Χαλικοπάσσαλοι - Στραγγιστήρια



Σωστή επιλογή των αδρομερών

Μεγάλη διαπερατότητα:

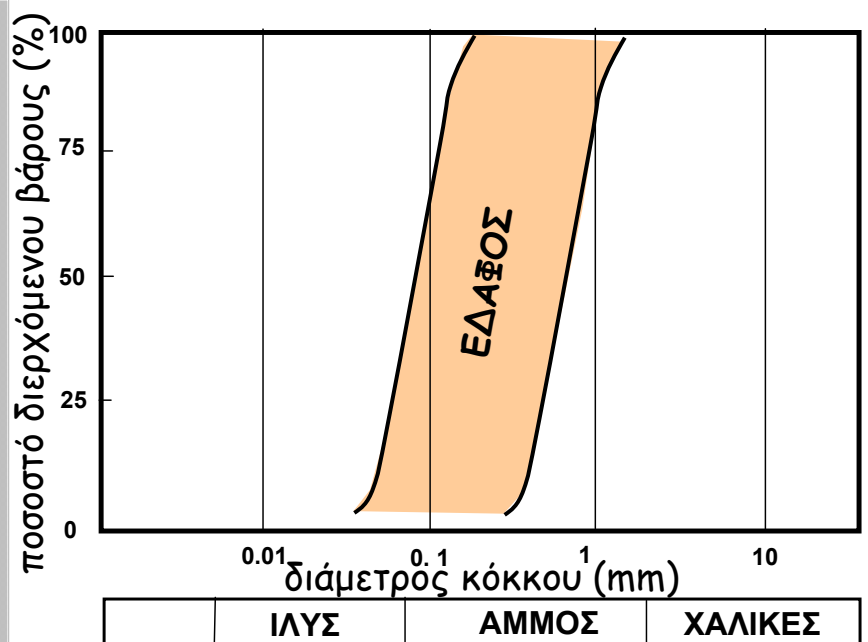
$$\frac{k_{\text{well}}}{k_{\text{soil}}} \geq 0.20 \div 0.40 \left(\frac{H}{d_{\text{well}}} \right)^2$$

$$\text{ή} \quad \frac{k_{\text{well}}}{k_{\text{soil}}} \geq 150 \div 200$$

$$\text{Haazen:} \quad k \approx 100 D_{10}^2$$

άρα

$$D_{10} \geq 12 \div 15 d_{10}$$



$D \rightarrow$ στραγγιστήριο $d \rightarrow$ έδαφος

Σωστή επιλογή των αδρομερών

Μεγάλη διαπερατότητα:

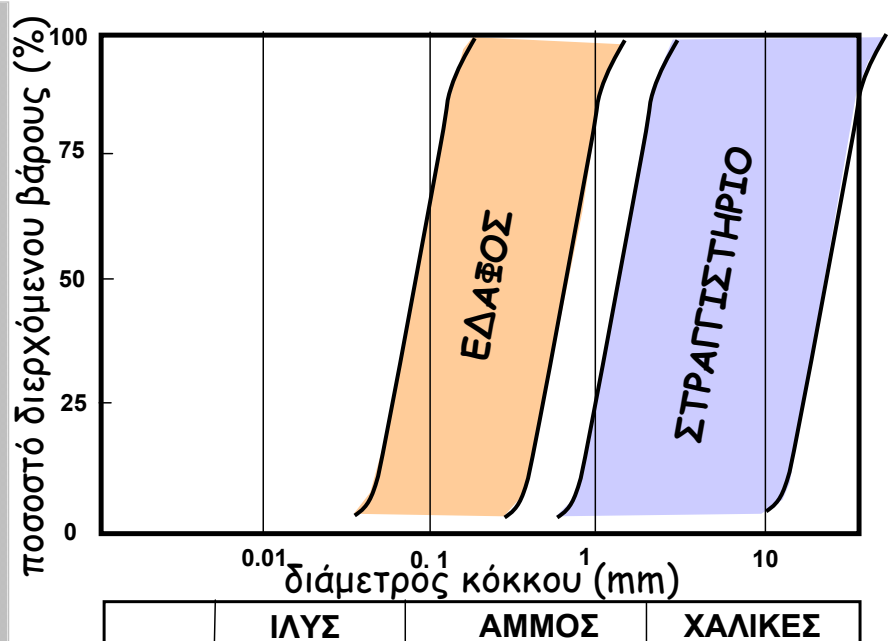
$$\frac{k_{\text{well}}}{k_{\text{soil}}} \geq 0.20 \div 0.40 \left(\frac{H}{d_{\text{well}}} \right)^2$$

$$\text{ή} \quad \frac{k_{\text{well}}}{k_{\text{soil}}} \geq 150 \div 200$$

$$\text{Haazen:} \quad k \approx 100 D_{10}^2$$

άρα

$$D_{10} \geq 12 \div 15 d_{10}$$



$D \rightarrow$ στραγγιστήριο $d \rightarrow$ έδαφος

Σωστή επιλογή των αδρομερών

Μεγάλη διαπερατότητα:

$$\frac{k_{\text{well}}}{k_{\text{soil}}} \geq 0.20 \div 0.40 \left(\frac{H}{d_{\text{well}}} \right)^2$$

$$\text{ή} \quad \frac{k_{\text{well}}}{k_{\text{soil}}} \geq 150 \div 200$$

$$\text{Haazen: } k \approx 100 D_{10}^2$$

άρα

$$D_{10} \geq 12 \div 15 d_{10}$$

Περιορισμός διείσδυσης ιλύος & άμμου

$$\text{+ } D_{15}/d_{85} < 4 \div 9 \quad (1)$$

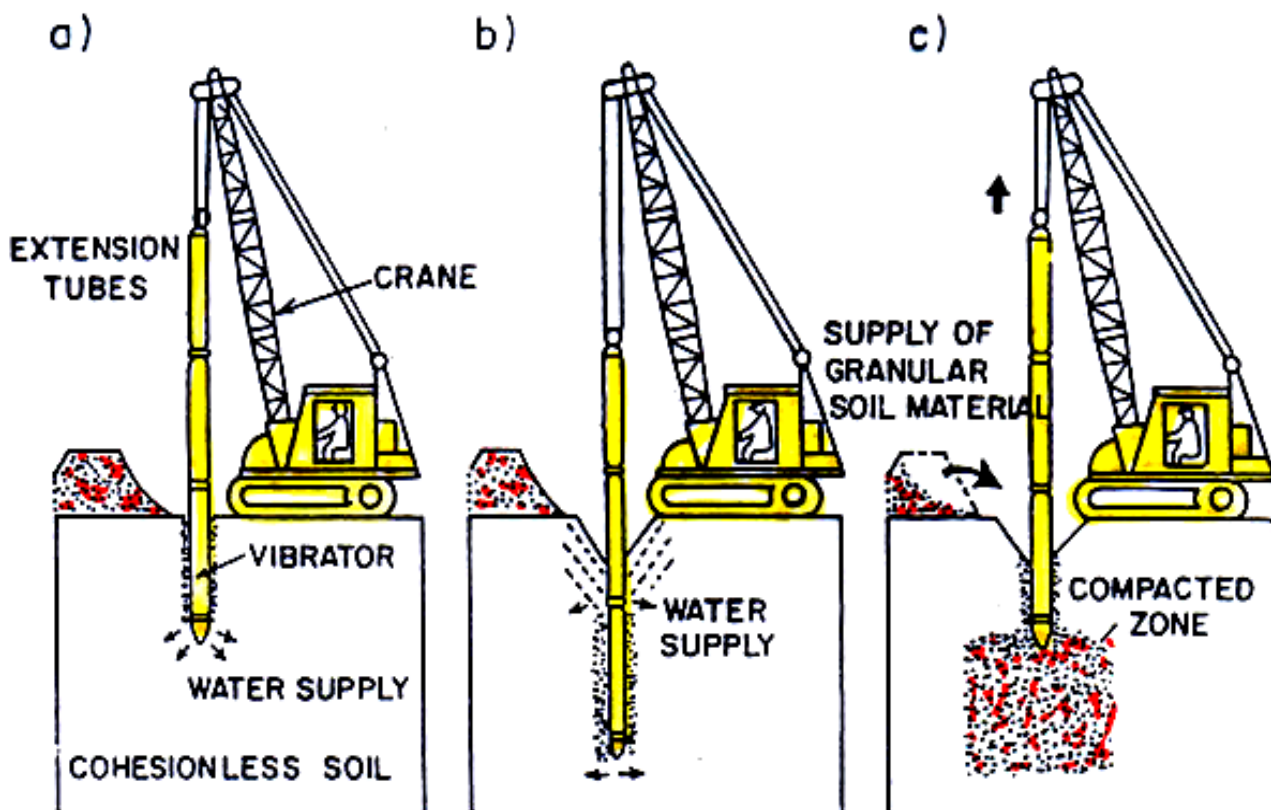
$$\text{+ } 20d_{15} < D_{15} < 8 \div 9 d_{85} \quad (2)$$

(1) Ohno et al. (1984), PHRI (1997), JGS (1998)

(2) Nakajima et al. (1985), DDH (1997)

$D \rightarrow$ στραγγιστήριο $d \rightarrow$ έδαφος

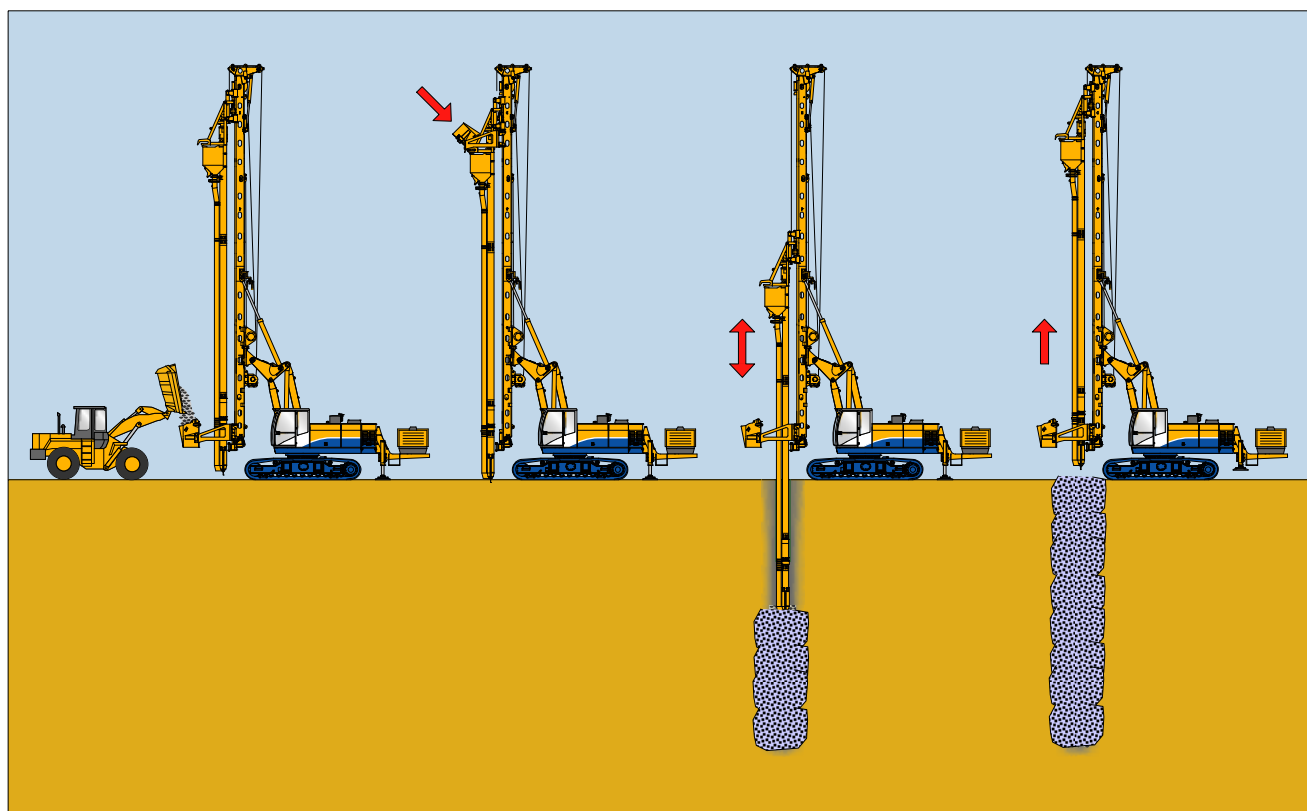
Κατασκευή «εκ των ΑΝΩ» (TOP FEED)



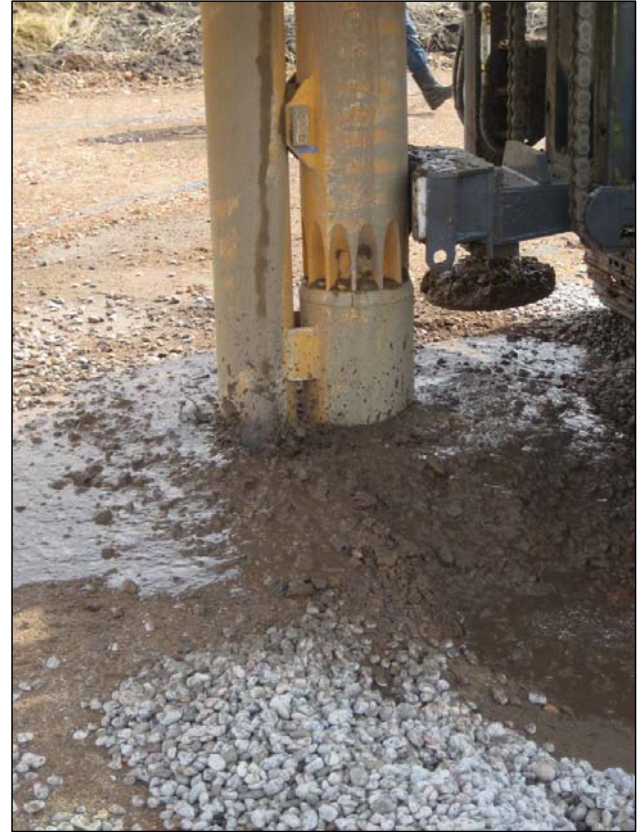
Κατασκευή «ΕΚ ΤΩΝ ΑΝΩ» (TOP FEED)



Κατασκευή «ΕΚ ΤΩΝ ΚΑΤΩ» (BOTTOM FEED)



Κατασκευή «εκ των ΚΑΤΩ» (BOTTOM FEED)



Προκατασκευασμένα Στραγγιστήρια

EQ - Drains



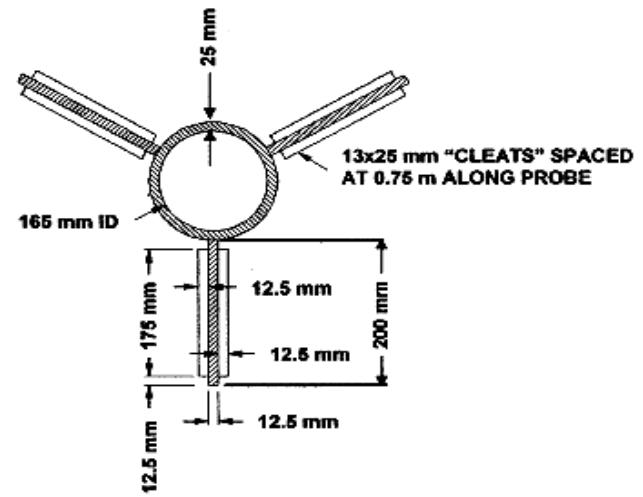
Πλαστικός σωλήνας:

- High-density polyethylene (HDPE)
- Minimum average wall thickness: .0.1cm
- Typical Diameter: 7.5-10.0 cm

Γεωύφασμα - φίλτρο:

- Non woven polypropylene
- Min. weight: 128g/m²
- Max. Apparent Opening Size: 0.21mm
- Minimum grab strength: 440N

Μηχανικός εξοπλισμός

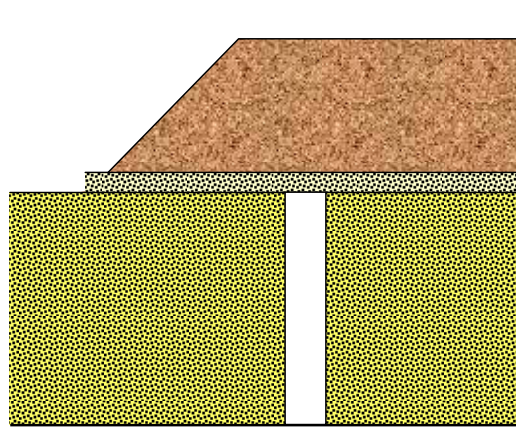


Σύγκριση με χαλικοπασσάλους-στραγγιστήρια

	EQ-drains	Gravel drains
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	7.5 ÷ 10 cm	60 ÷ 80 cm
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ...	1 ÷ 2 m	1.5 ÷ 3.0 m
ΚΟΣΤΟΣ (υλικό & τοποθέτηση)	4 ÷ 8 €/m	60 ÷ 80 €/m
ΧΡΟΝΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ	1 ÷ 3 min/drain	15 ÷ 45 min/drain
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΠΟΤΟΝΩΣΗΣ ΥΠΕΡΠΙΕΣΕΩΝ	0.093 m ³ /s (για Φ10)	0.007 m ³ /s (για Φ100)
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΟΧΛΗΣΗ	μικρή	μεγάλη

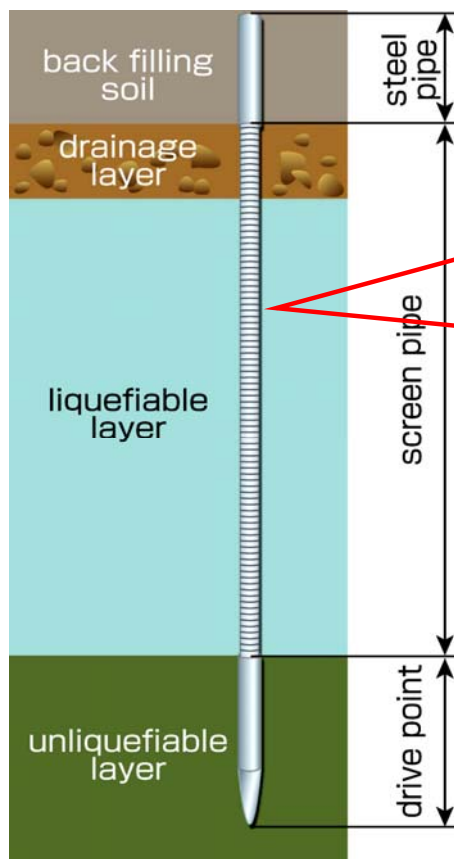
αλλά και

κίνδυνος απόφραξης
λόγω καθιζήσεων ???

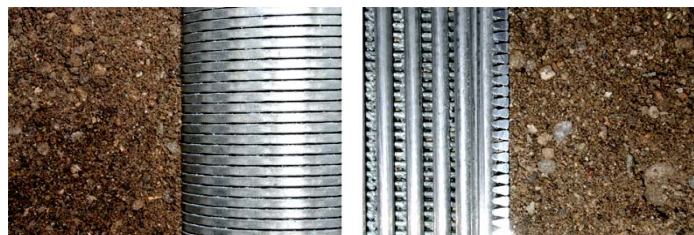


Προκατασκευασμένα Στραγγιστήρια

Screen Pipes

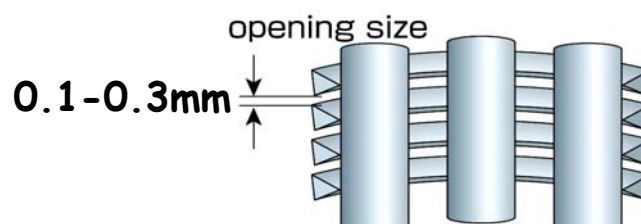


Screen pipe : Φ50-100mm



outside

inside



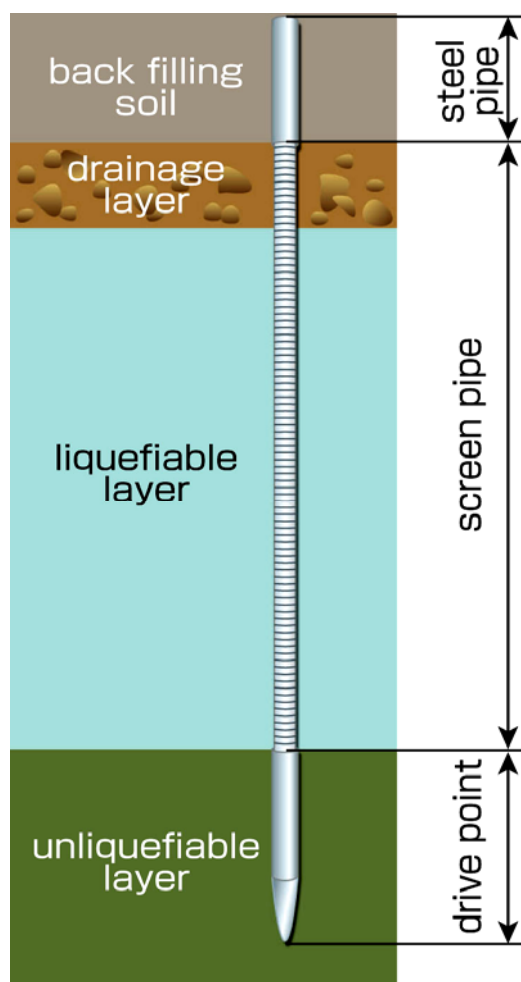
Spacing dimension : 0.5-1.50 m

Τοποθέτηση

Αερόσφυρα (Air Hammer)



Διάτρητικός μηχανισμός



Πλεονεκτήματα

- ✚ Βελτίωση εδάφους σε υπάρχουσες κατασκευές
- ✚ Εφαρμογή ακόμη και σε περιορισμένο χώρο (3m ύψος, 2 m πλάτος)
- ✚ Μικρός χρόνος τοποθέτησης.
- ✚ Μικρή περιβαλλοντική όχληση (vibration, noise etc.)
- ✚ Δεν υπάρχει κίνδυνος απόφραξης λόγω καθιζήσεων.

ΑΛΛΑ . . .

δεν υπάρχει δυνατότητα συμπύκνωσης του ρευστοποιήσιμου εδάφους.

Περιεχόμενα

✚ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΩΝ

✚ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

✚ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ

✚ Η ΣΧΕΣΗ $r_u - N/N_1$

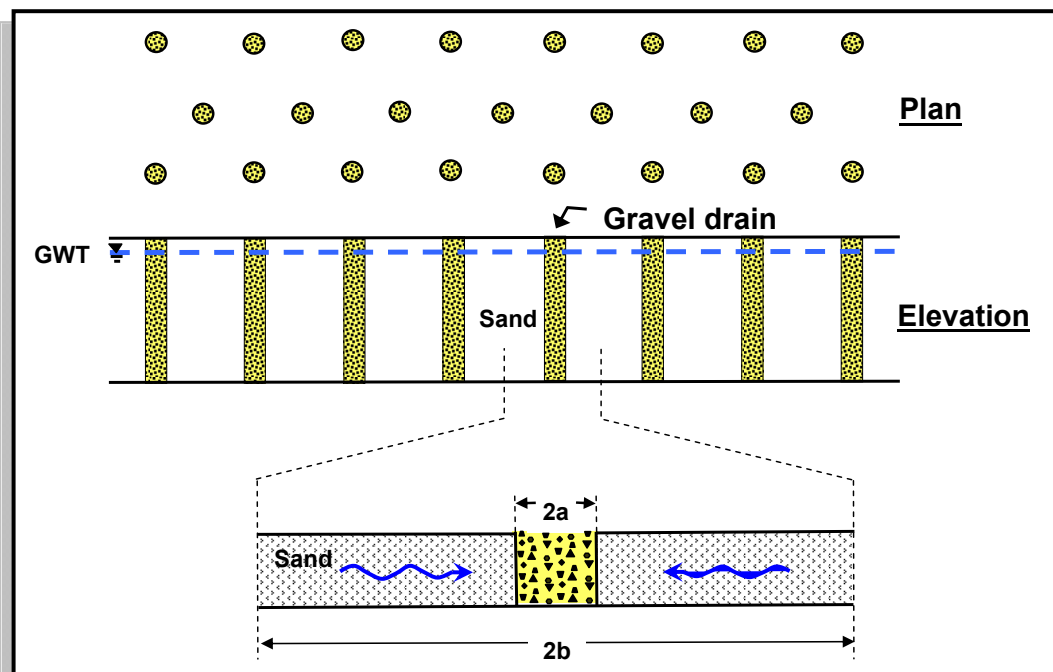
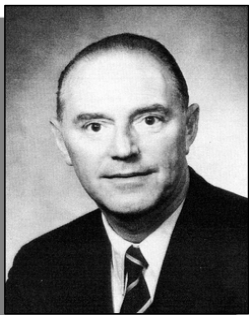
✚ Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ (m_{v3})

✚ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Seed & Booker (1977)

- ✚ Αξονο-συμμετρική στράγγιση (χωρίς κατακόρυφη ροή)
- ✚ Απόλυτα διαπερατό στραγγιστήριο
- ✚ Ομοιόμορφο έδαφος

$$\frac{k_h}{\gamma_w} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$$



Seed & Booker (1977)

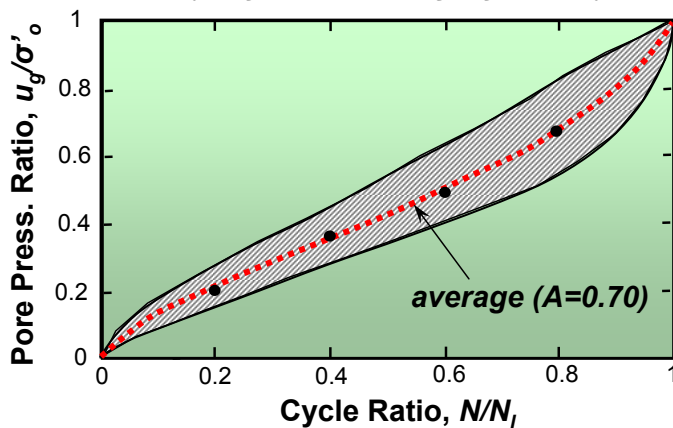
- Αξονο-συμμετρική στράγγιση
(χωρίς κατακόρυφη ροή)
- Απόλυτα διαπερατό στραγγιστήριο
- Ομοιόμορφο έδαφος

$$\frac{k_h}{\gamma_w} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$$

- $m_{v,3} = \Delta \varepsilon_{vol} / \Delta u = \text{σταθερό}$
από 3-ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ
ρευστοποίησης

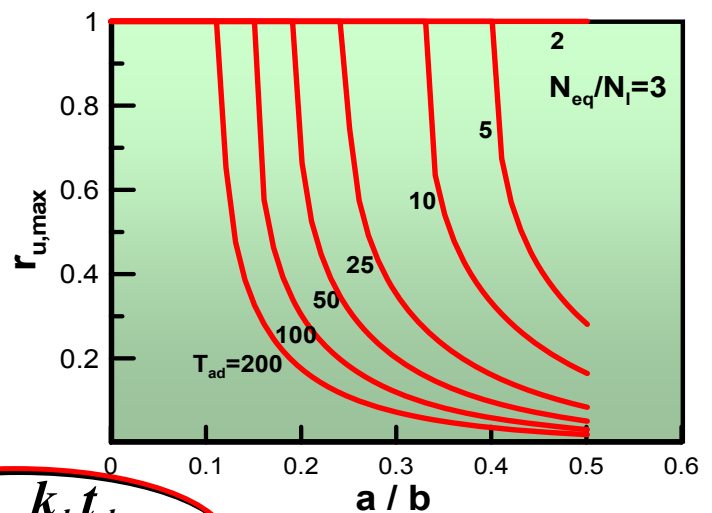
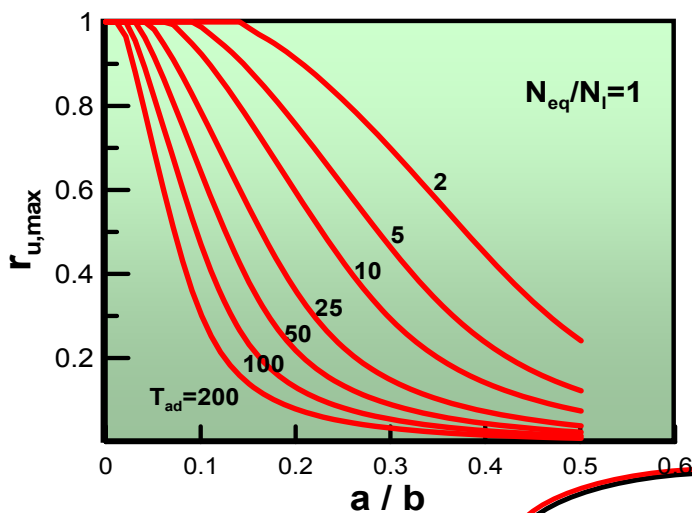
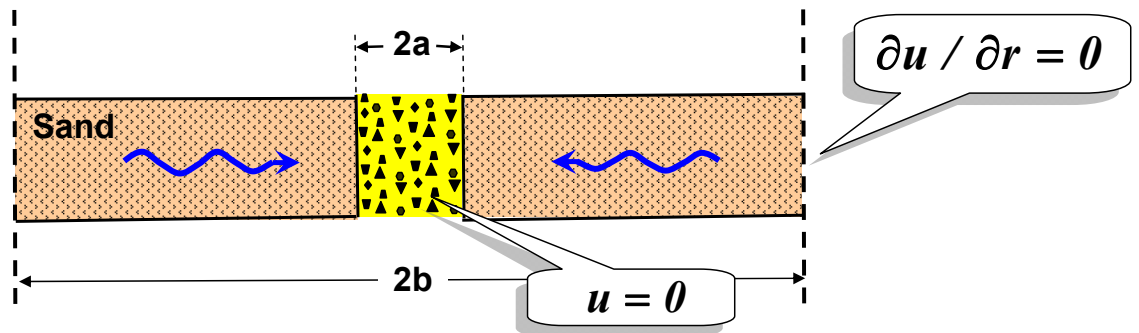
$$d\varepsilon = m_{v,3} \left(du - \frac{\partial u_g}{\partial N} dN \right)$$

- Ρυθμός ανάπτυξης υπερπίεσεων

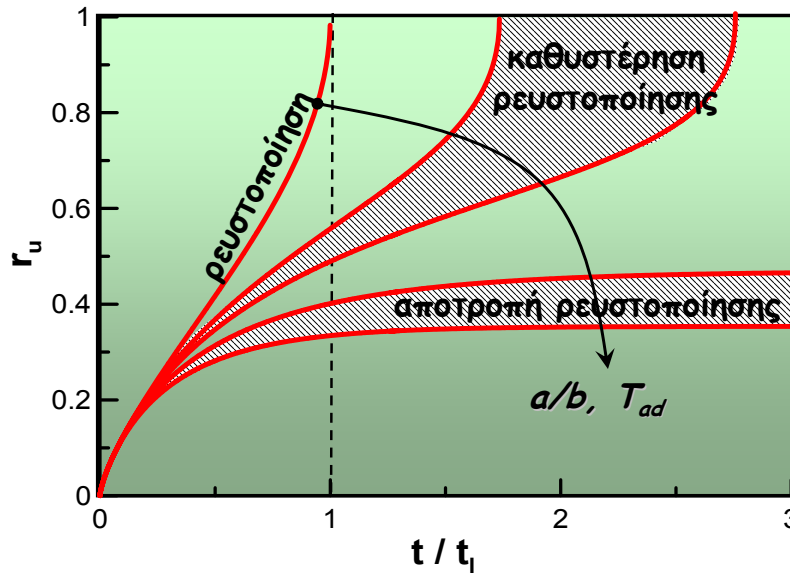
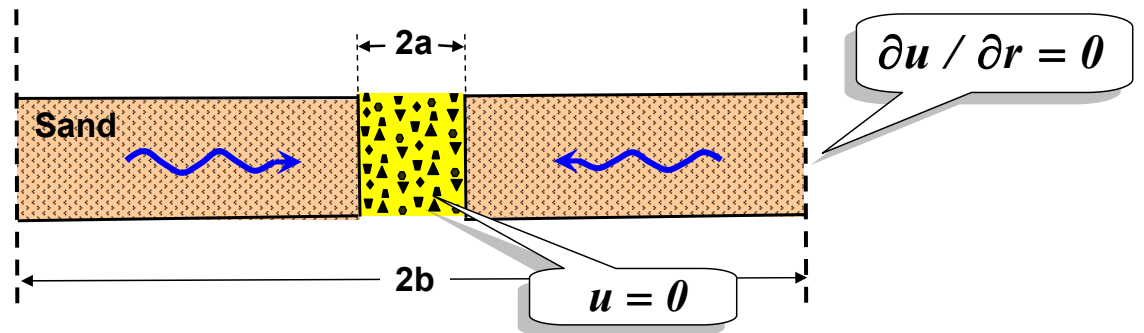


$$r_u = \frac{u_g}{\sigma'_o} = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2 A}$$

$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = . . = f(r_u)$$



$$T_{ad} = \frac{k_h t_d}{\gamma_w m_{v,3} a^2}$$



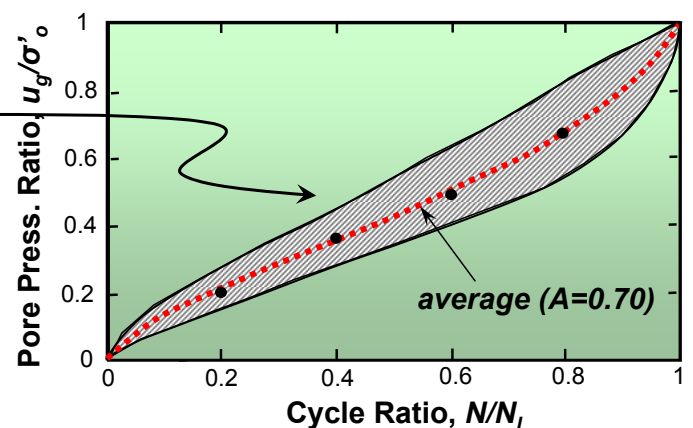
$$T_{ad} = \frac{k_h t_d}{\gamma_w m_{v,3} a^2}$$

Βασικές παραδοχές

- ✚ Ακτινική στράγγιση (χωρίς κατακόρυφη ροή)
- ✚ Απόλυτα διαπερατό στραγγιστήριο
- ✚ Ομοιόμορφο έδαφος
- ✚ $m_{v,3} = \Delta \varepsilon_{vol} / \Delta u$
από 3-ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ
ρευστοποίησης
- ✚ Ρυθμός ανάπτυξης υπερπιέσεων

$$r_u = \frac{u_g}{\sigma'_o} = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2 A}$$

$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = \dots = f(r_u)$$



Βασικές παραδοχές

- ✚ Ακτινική στράγγιση
(χωρίς κατακόρυφη ροή)
- ✚ Απόλυτα διαπερατό στραγγιστήριο
- ✚ Ομοιόμορφο έδαφος

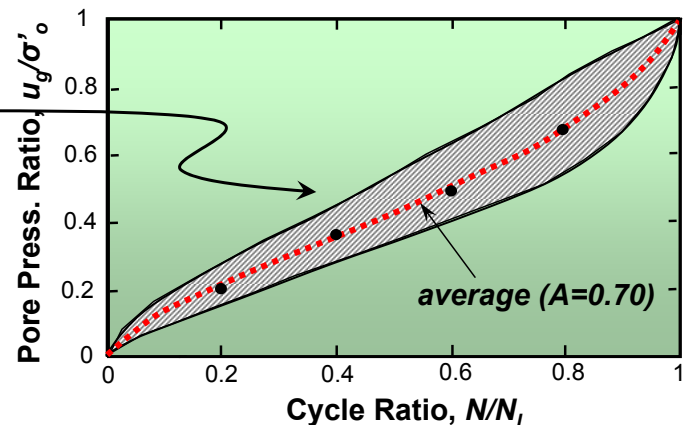
Οπουε (1988),
κλπ.

- ✚ $m_{v,3} = \Delta \varepsilon_{vol} / \Delta u$
από 3-ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ
ρευστοποίησης

- ✚ Ρυθμός ανάπτυξης υπερπίεσεων

$$r_u = \frac{u_g}{\sigma_o} = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2 A}$$

$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = . . = f(r_u)$$



Βασικές παραδοχές

- ✚ Ακτινική στράγγιση
(χωρίς κατακόρυφη ροή)
- ✚ Απόλυτα διαπερατό στραγγιστήριο
- ✚ Ομοιόμορφο έδαφος

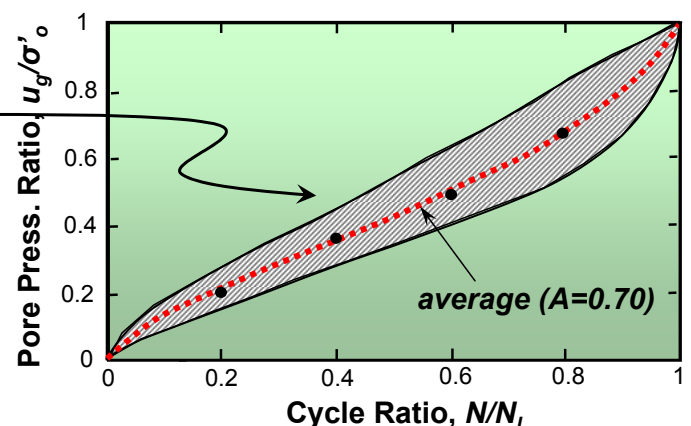
Οπουε (1988),
Madhvan & Adapa
(2007)

- ✚ $m_{v,3} = \Delta \varepsilon_{vol} / \Delta u$
από 3-ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ
ρευστοποίησης

- ✚ Ρυθμός ανάπτυξης υπερπίεσεων

$$r_u = \frac{u_g}{\sigma_o} = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2 A}$$

$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = . . = f(r_u)$$



Βασικές παραδοχές

- ✚ Ακτινική στράγγιση
(χωρίς κατακόρυφη ροή)
- ✚ Απόλυτα διαπερατό στραγγιστήριο
- ✚ Ομοιόμορφο έδαφος

Onoue (1988),
Pestana et al. (1997)

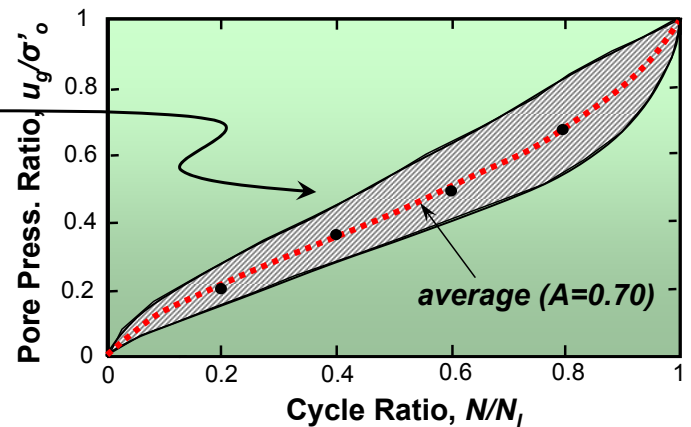
$$m_{v,3} = \Delta \varepsilon_{vol} / \Delta u$$

από 3-ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ
ρευστοποίησης

- ✚ Ρυθμός ανάπτυξης υπερπίεσεων

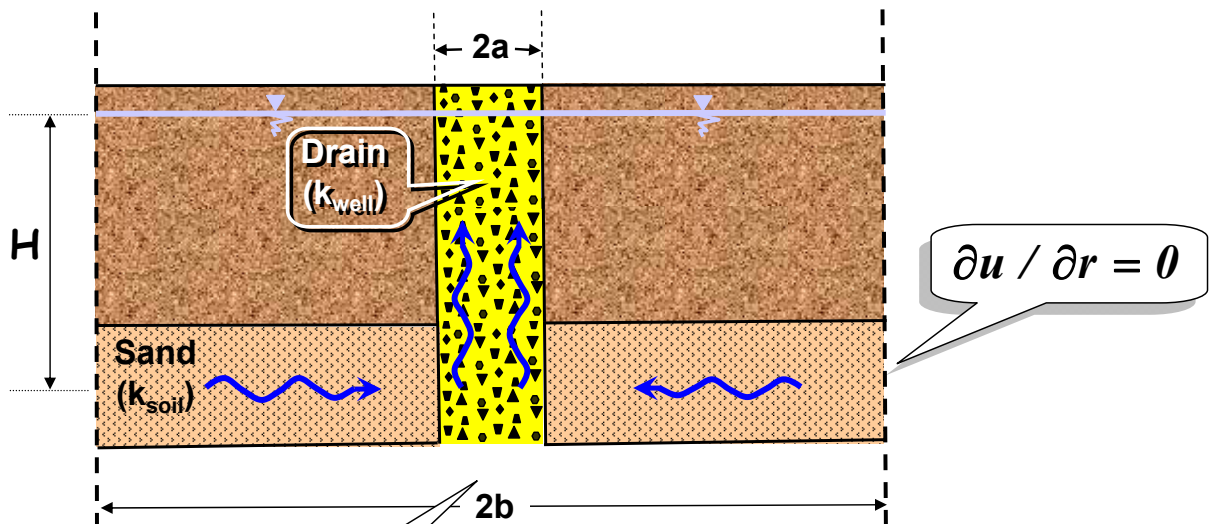
$$r_u = \frac{u_g}{\sigma'_o} = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2 A}$$

$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = \dots = f(r_u)$$



Onoue (1988)

για χαλικοπασσάλους - στραγγιστήρια

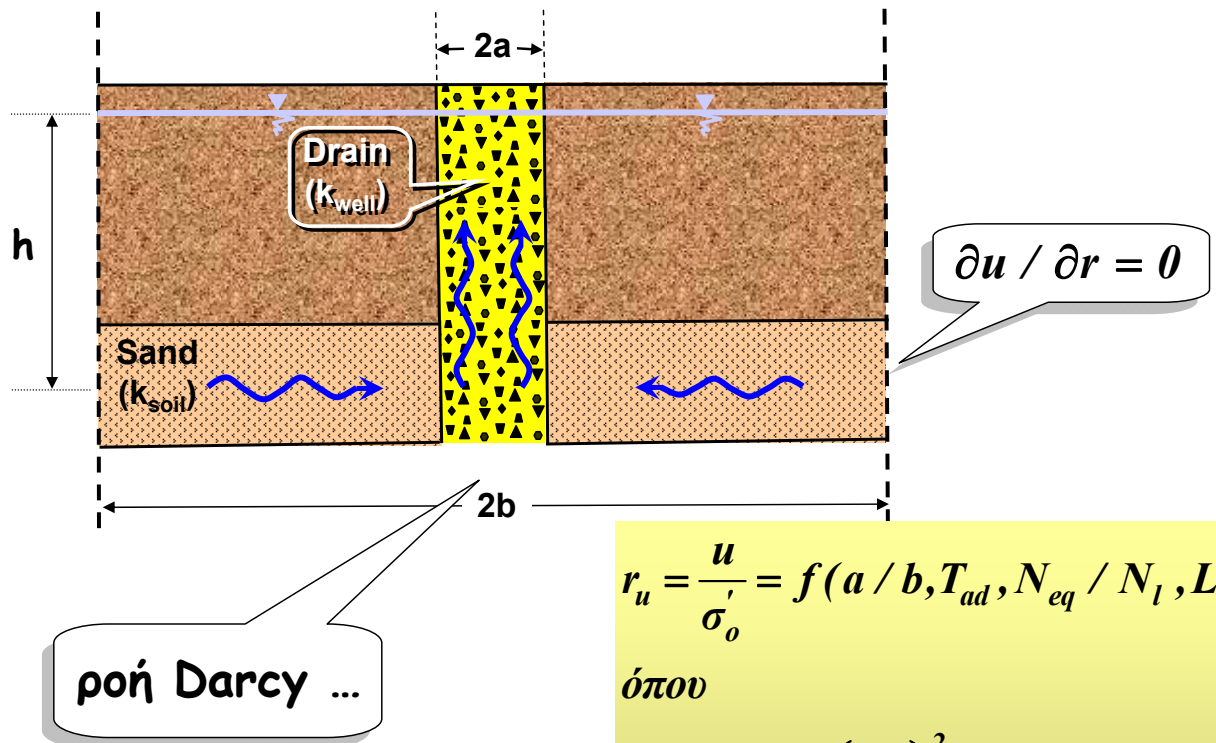


ροή Darcy ...

$$\dots \left(\frac{\partial u}{\partial r} \right)_{r=a} + \frac{a k_d}{2 k_s} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)_{r=a} = 0$$

Οπουε (1988)

για χαλικοπασσάλους - στραγγιστήρια



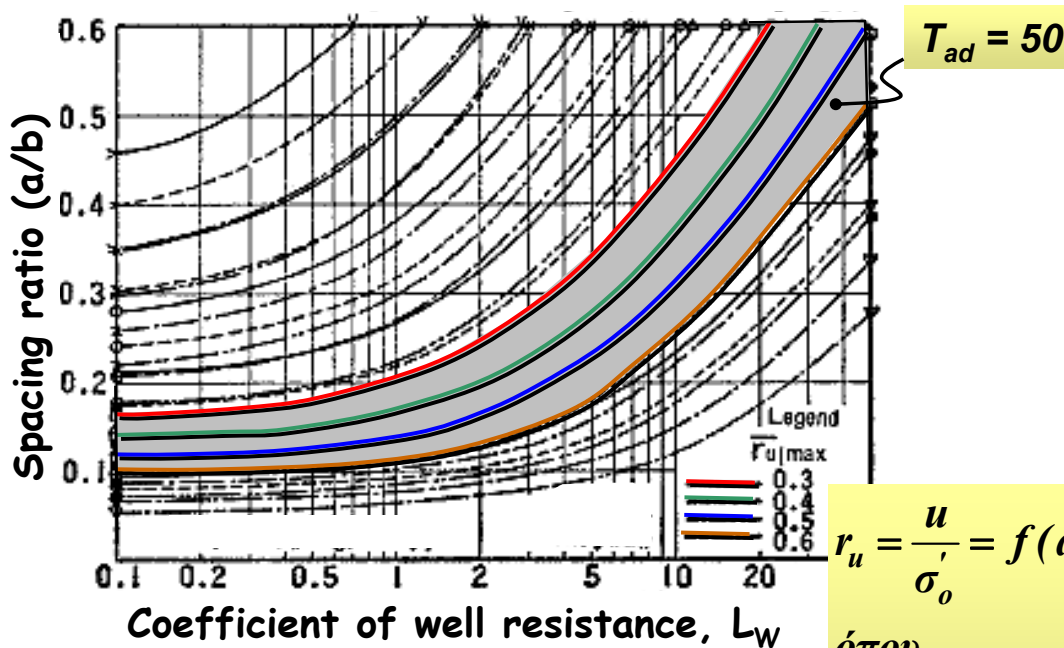
$$r_u = \frac{u}{\sigma_o} = f(a/b, T_{ad}, N_{eq}/N_l, L_w)$$

όπου

$$L_w \approx \pi \frac{k_{soil}}{k_{well}} \left(\frac{h}{2a} \right)^2$$

Οπουε (1988)

για χαλικοπασσάλους - στραγγιστήρια



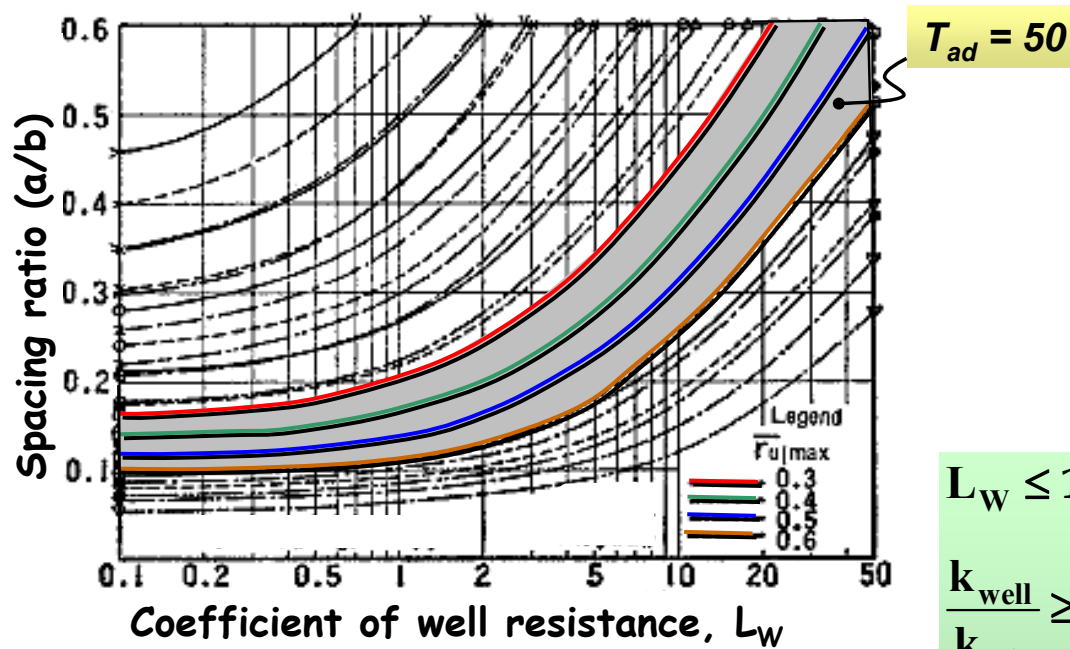
$$r_u = \frac{u}{\sigma_o} = f(a/b, T_{ad}, N_{eq}/N_l, L_w)$$

όπου

$$L_w \approx \pi \frac{k_{soil}}{k_{well}} \left(\frac{h}{2a} \right)^2$$

Onoue (1988)

για χαλικοπασσάλους - στραγγιστήρια



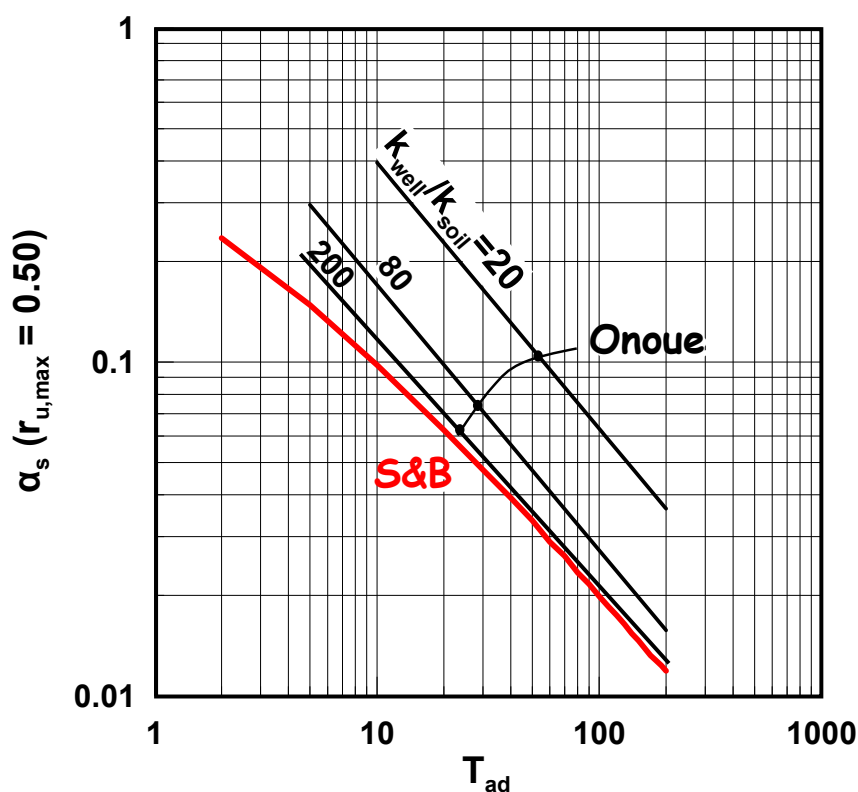
$$L_w \leq 1.0$$

$$\frac{k_{well}}{k_{soil}} \geq 0.20 \div 0.40 \left(\frac{H}{d_{well}} \right)^2$$

$$\eta \quad \frac{k_{well}}{k_{soil}} \geq 150 \div 200$$

Onoue (1988)

για χαλικοπασσάλους - στραγγιστήρια



π.χ.

$$N_{eq}/N_l = 2$$

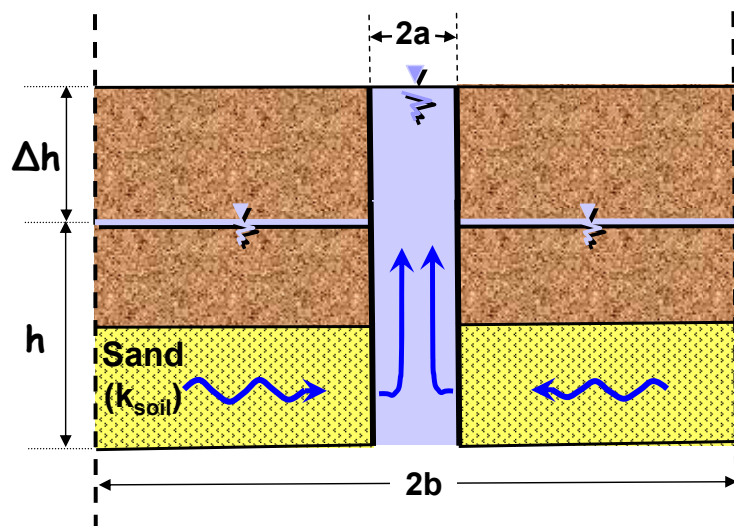
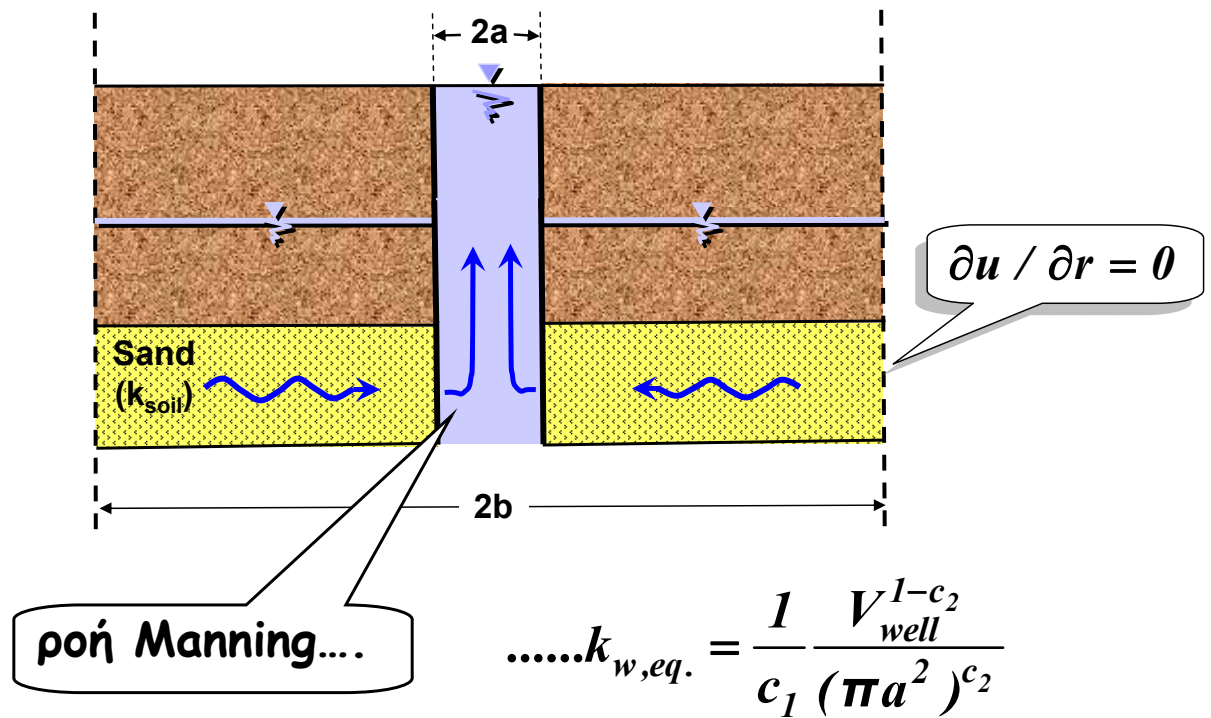
$$FS_l \approx 0.80$$

$$2a = 0.80 \text{ m}$$

$$H = 8 \text{ m}$$

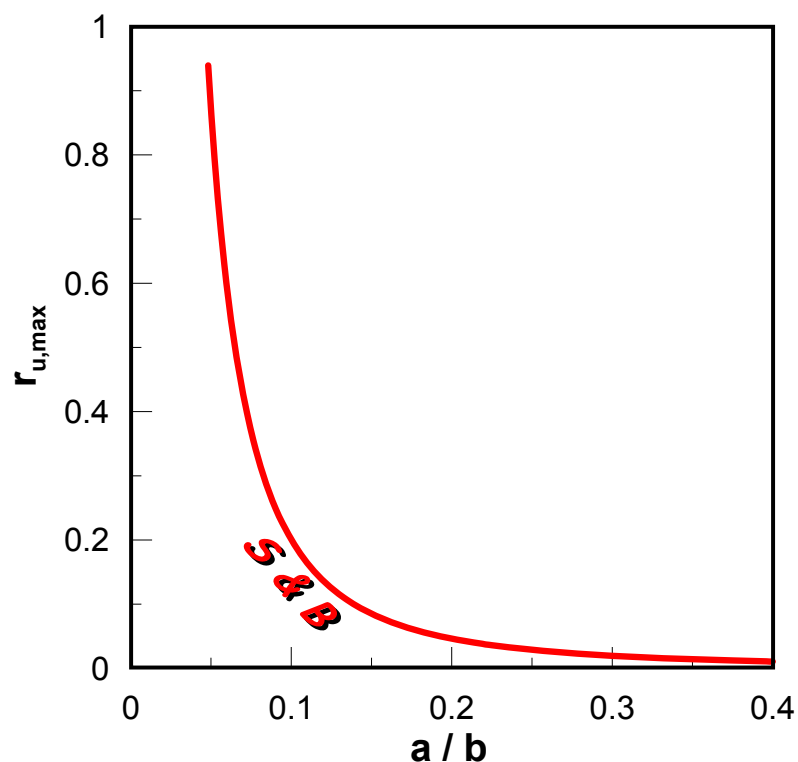
Pestana et al. (1997)

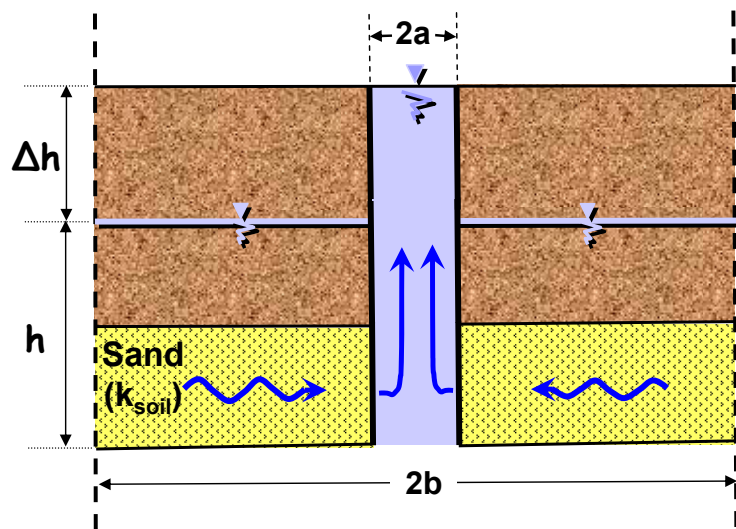
για
EQ-drains, Screen pipes, κλπ.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

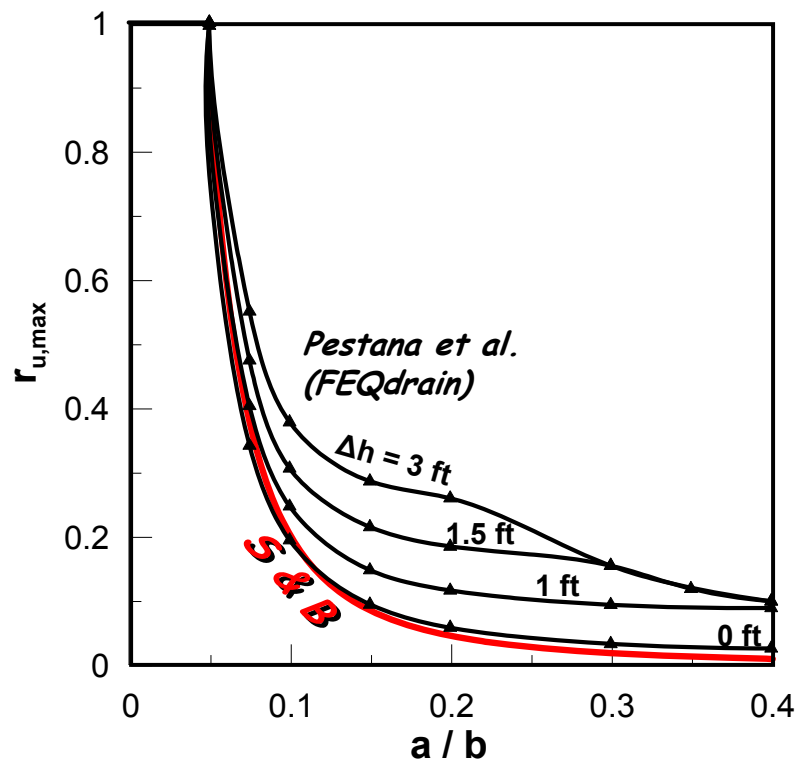
$\alpha = 6\text{cm}$ (0.195')
 $h = 10\text{m}$ (32.8')
 $\Delta h = 0 \div 1\text{ m}$ (0 ÷ 3')
 $N_{eq} = 25$ & $N_l = 15$
 $T_{ad} = 640$





ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

$\alpha = 6 \text{ cm (0.195')}$
 $h = 10 \text{ m (32.8')}$
 $\Delta h = 0 \div 1 \text{ m (0} \div 3')$
 $N_{eq} = 25 \text{ \& } N_l = 15$
 $T_{ad} = 640$



Seed & Booker (1977) : Βασικές Παραδοχές

- ✚ Ακτινική στράγγιση (χωρίς κατακόρυφη ροή)
- ✚ Απόλυτα διαπερατό στραγγιστήριο
- ✚ Ομοιόμορφο έδαφος

Onoue (1988),
Pestana et al. (1997)

✚ $m_{v,3} = \Delta \varepsilon_{vol} / \Delta u$

από **3-ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ**
ρευστοποίησης

- ✚ Ρυθμός ανάπτυξης υπερπίεσεων

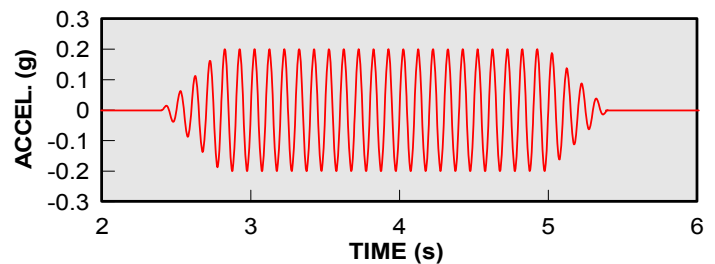
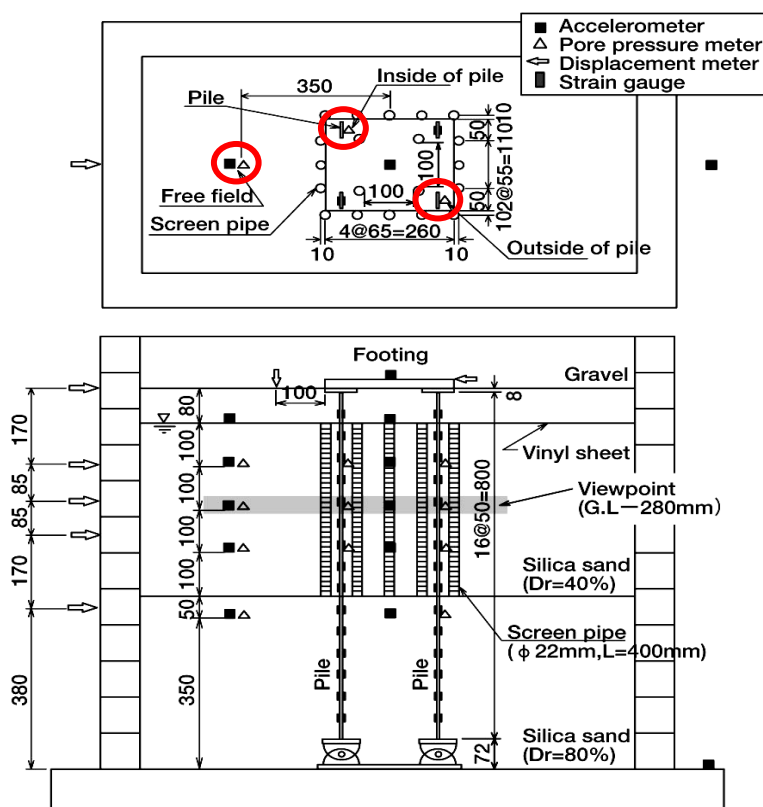
$$r_u = \frac{u_g}{\sigma_o} = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2 A}$$

$A = 0.70$?

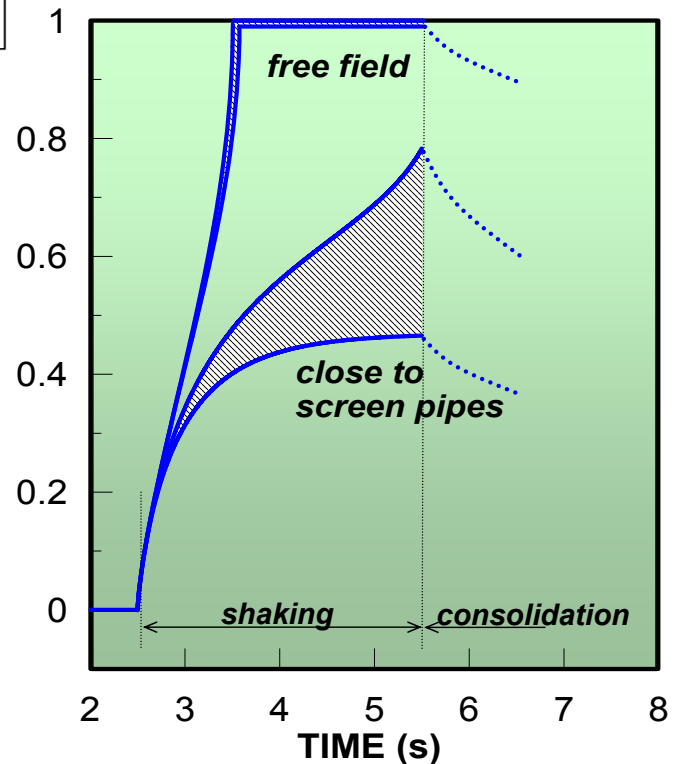
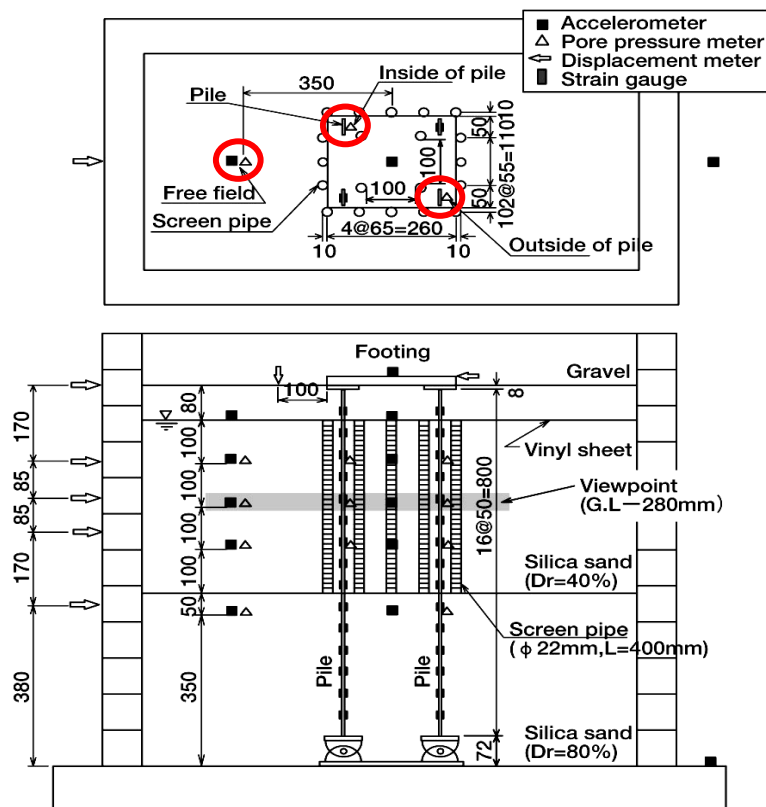
$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = \dots = f(r_u) \quad ?$$

- ✚ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΩΝ
- ✚ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
- ✚ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ
- ✚ Η ΣΧΕΣΗ $r_u - N/N_1$
- ✚ Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ (m_{v3})
- ✚ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

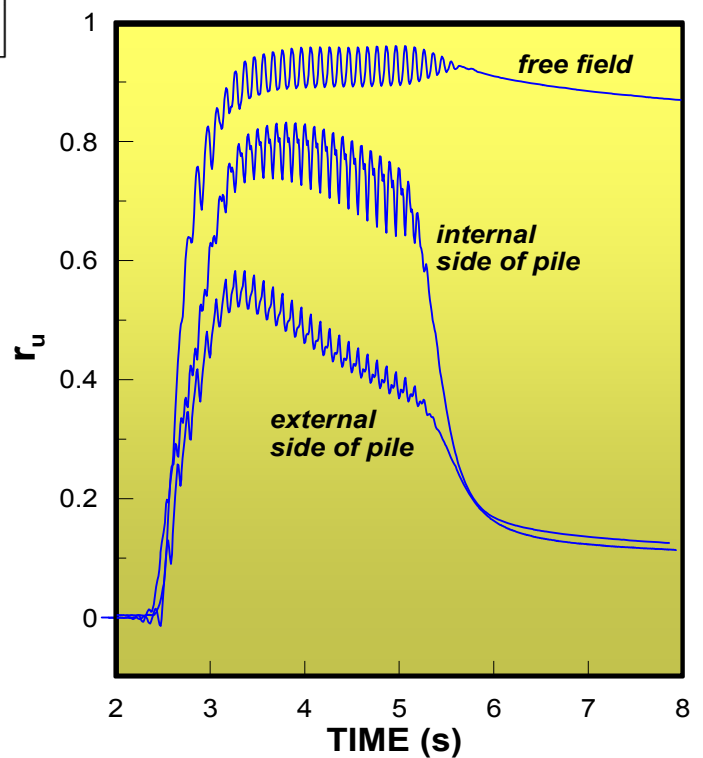
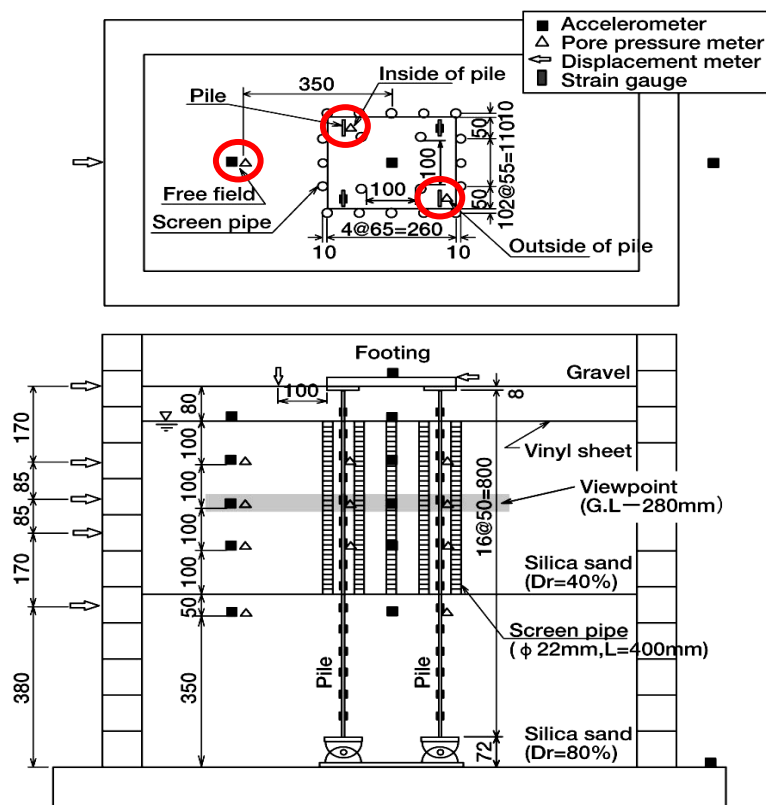
Δοκιμές Σεισμικής Τράπεζας (Harada et al. 2006)



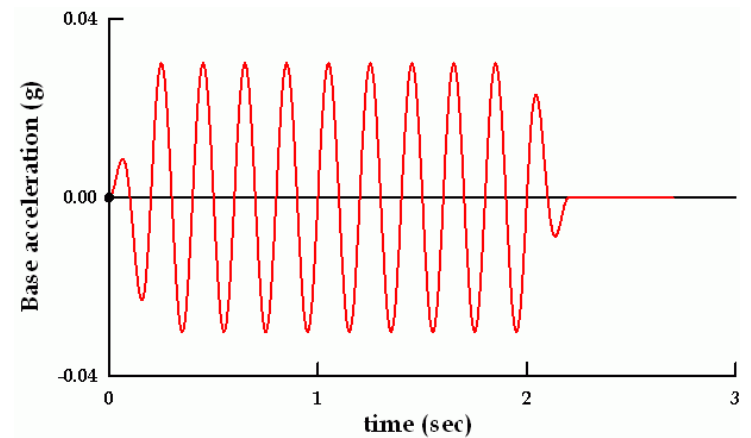
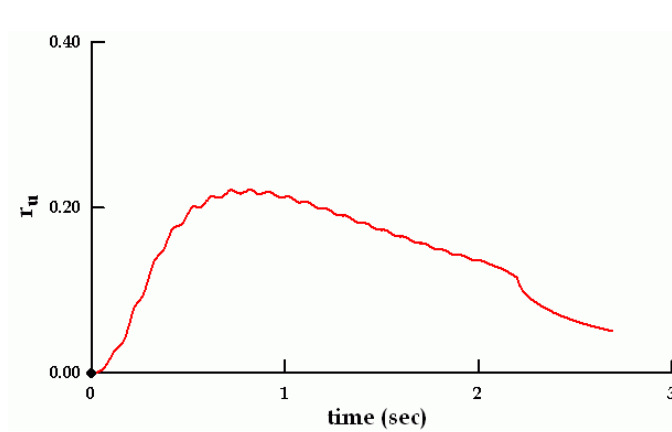
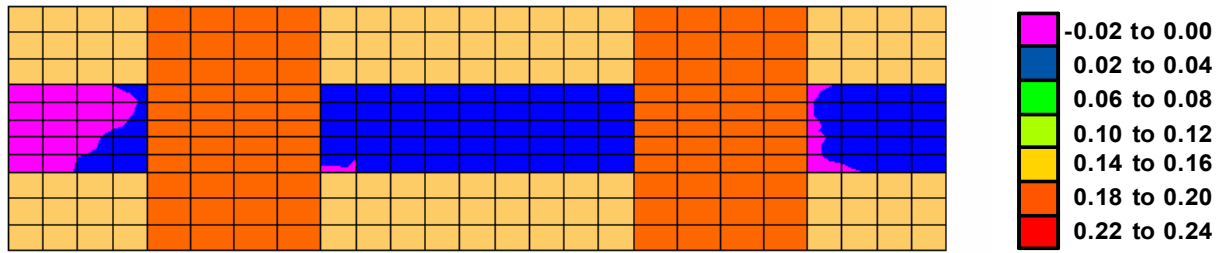
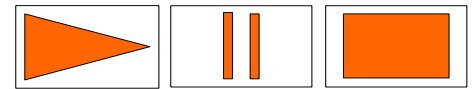
Δοκιμές Σεισμικής Τράπεζας (Harada et al. 2006)



Δοκιμές Σεισμικής Τράπεζας (Harada et al. 2006)



Αριθμητική προσομοίωση . . .



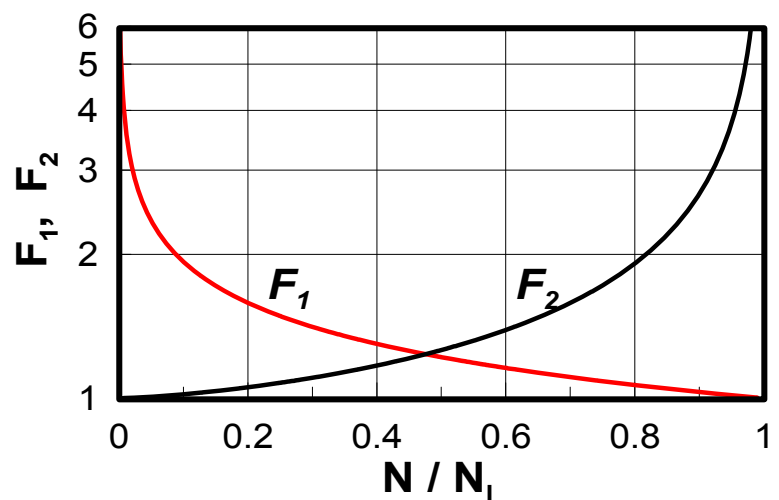
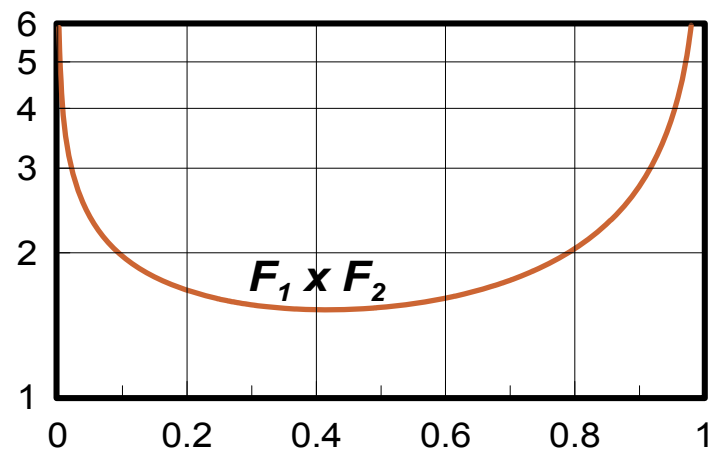
Seed & Booker (1977)

$$r_u = \frac{u_g}{\sigma'_o} = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2A}$$

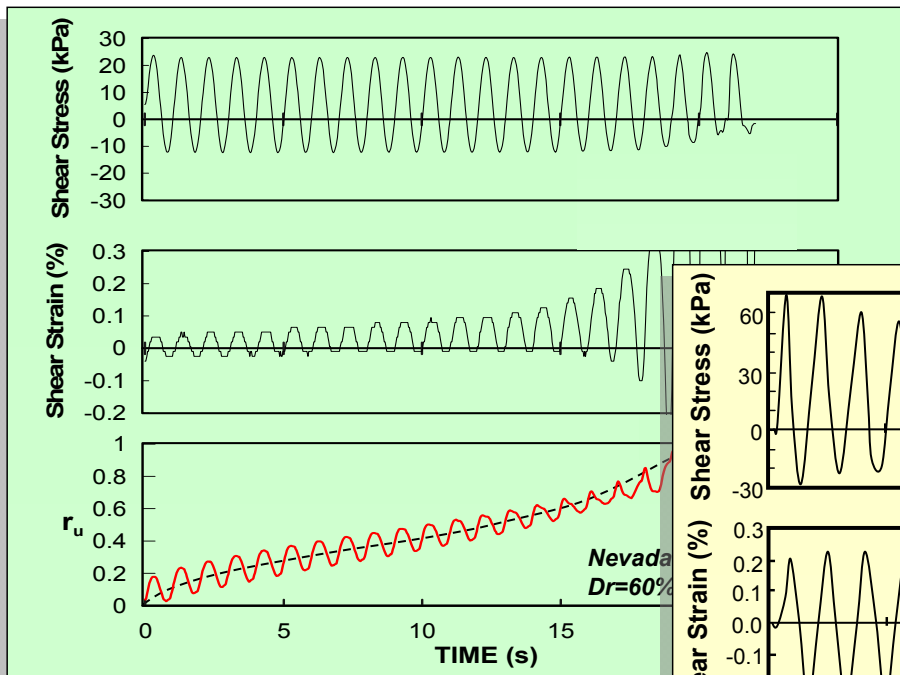
$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = \frac{\sigma'_o}{A\pi N_l} F_1 \cdot F_2$$

$$F_1 = \frac{1}{(N / N_l)^{1-1/2A}}$$

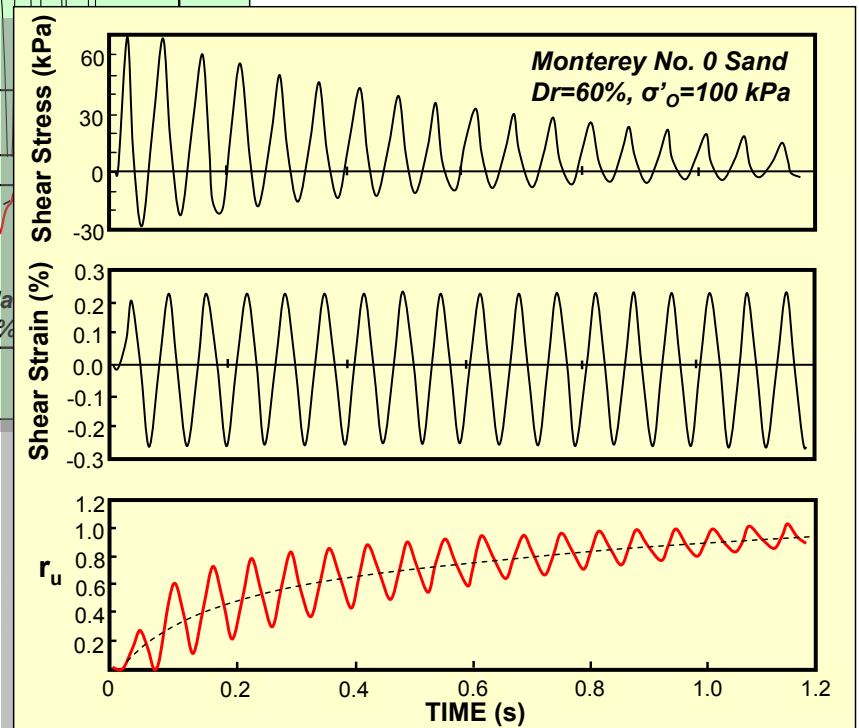
$$F_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - (N / N_l)^{1/A}}}$$



δοκιμές ρευστοποίησης
ελεγχόμενης
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ



δοκιμές ρευστοποίησης
ελεγχόμενης ΤΑΣΗΣ



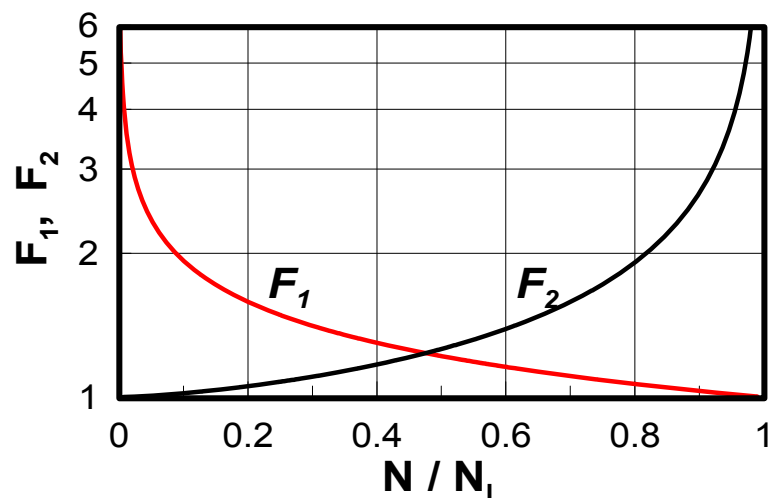
αναθεωρημένη λύση

$$r_u = \frac{u_g}{\sigma'_o} = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2 A}$$

$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = \frac{\sigma'_o}{A \pi N_l} F_1 \cdot F_2$$

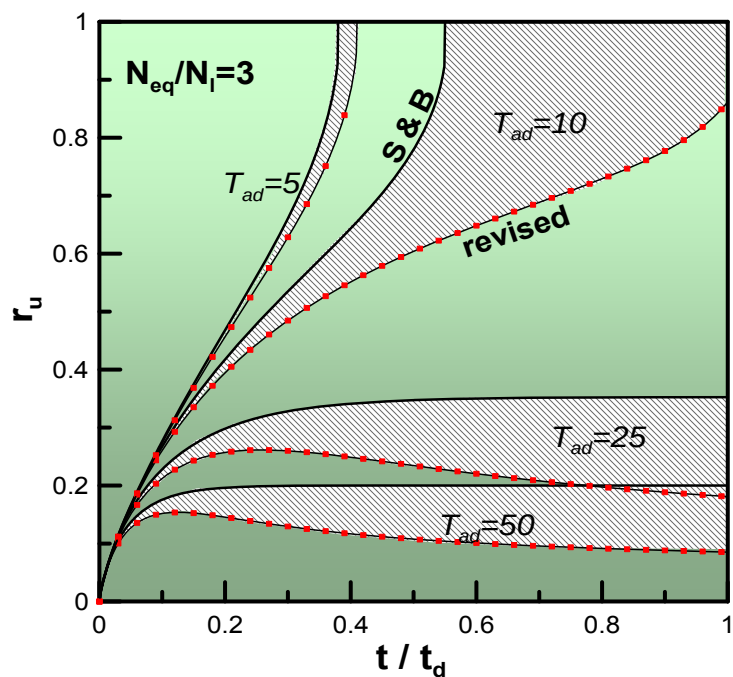
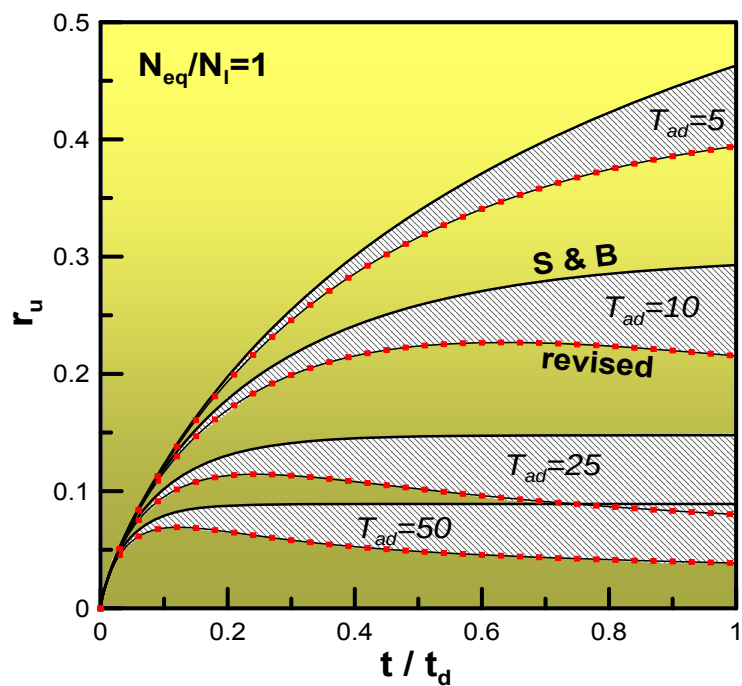
$$F_1 = \frac{1}{(N / N_l)^{1-1/2 A}} = \frac{1}{(t / T N_l)^{1-1/2 A}}$$

$$F_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - (N / N_l)^{1/A}}} = \frac{1}{\cos \left(\frac{\pi}{2} r_u \right)}$$

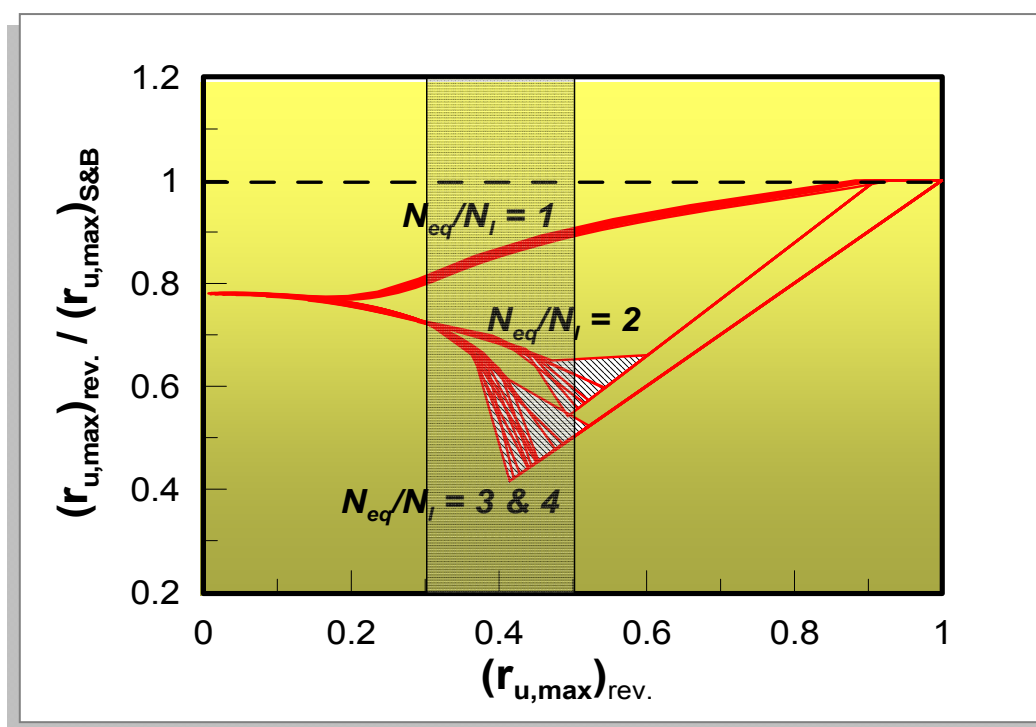


$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = \frac{\sigma'_o}{A \pi N_l} \frac{1}{\sin^{2A-1} \left(\frac{\pi}{2} r_u \right) \cos \left(\frac{\pi}{2} r_u \right) (t / T N_l)^{1-1/2 A}}$$

αναθεωρημένες χρονο-ιστορίες r_u



επίδραση στις τιμές του $r_{u,max}$



Περιεχόμενα

- ✚ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΩΝ
- ✚ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
- ✚ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ
- ✚ Η ΣΧΕΣΗ $r_u - N/N_1$
- ✚ Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ (m_{v3})
- ✚ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Seed & Booker (1977) : Βασικές Παραδοχές

- ✚ Ακτινική στράγγιση
(χωρίς κατακόρυφη ροή)
- ✚ Απόλυτα διαπερατό στραγγιστήριο
- ✚ Ομοιόμορφο έδαφος

$$\text{✚ } m_{v,3} = \Delta \varepsilon_{vol} / \Delta u$$

από 3-ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ
ρευστοποίησης

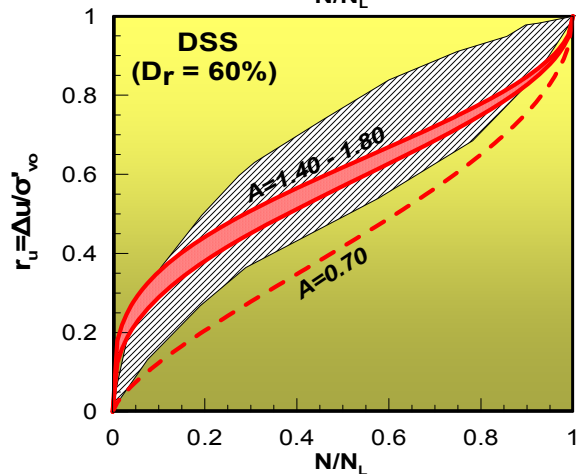
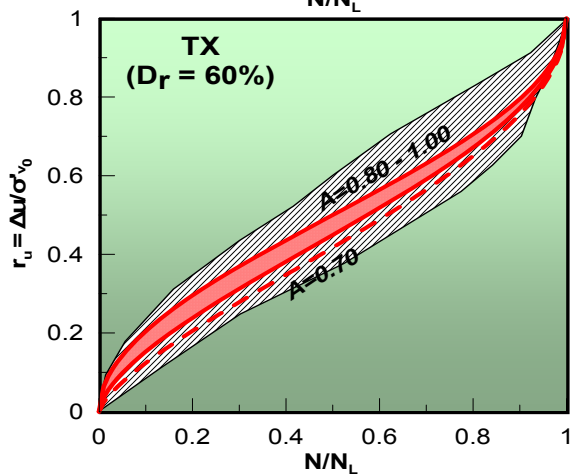
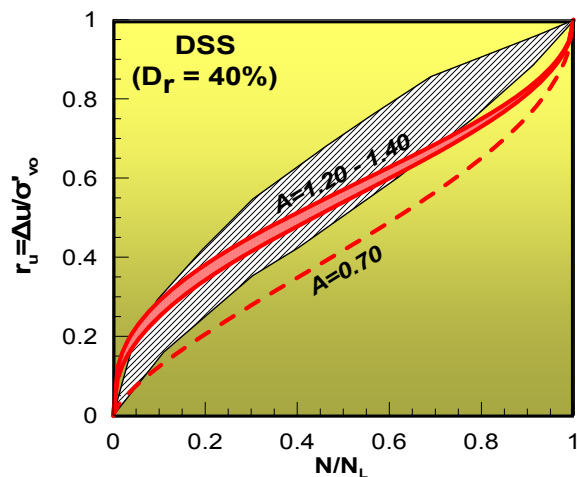
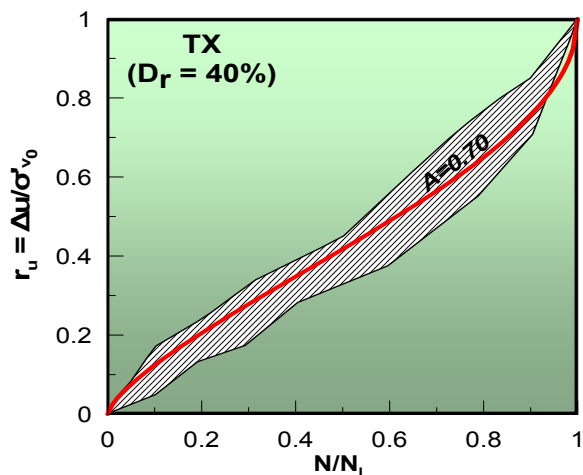
- ✚ Ρυθμός ανάπτυξης υπερπιέσεων

$$r_u = \frac{u_g}{\sigma_o} = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2 A}$$

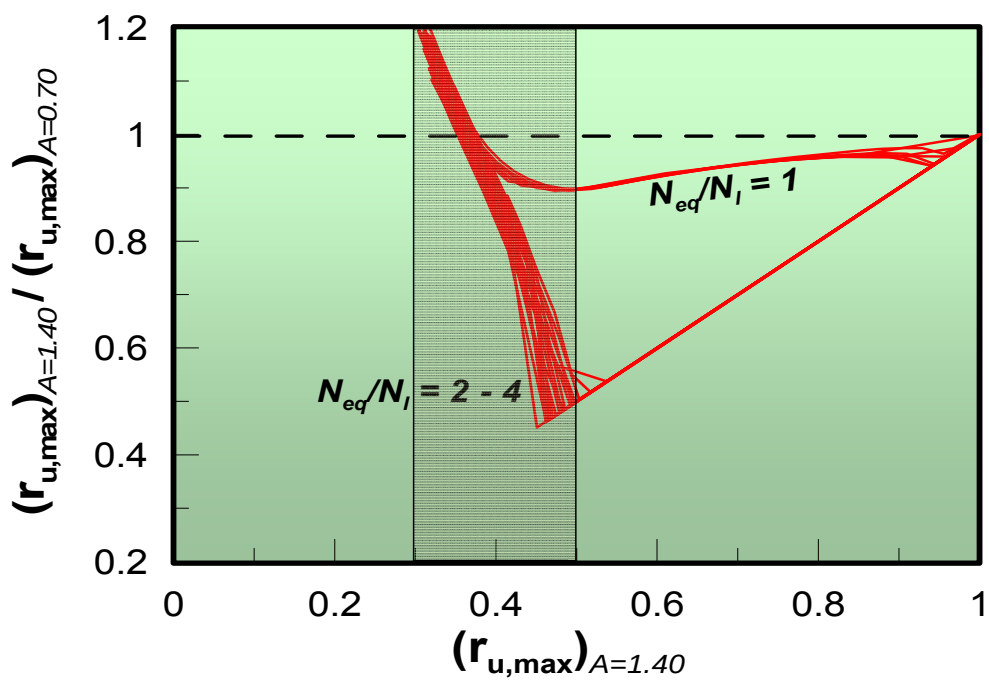
$$A = 0.70 \quad ?$$

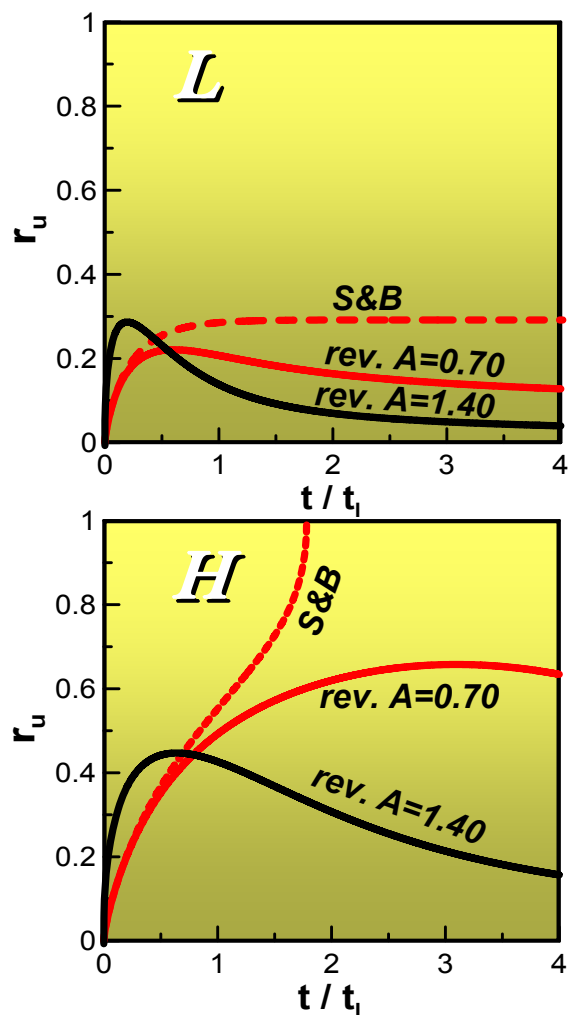
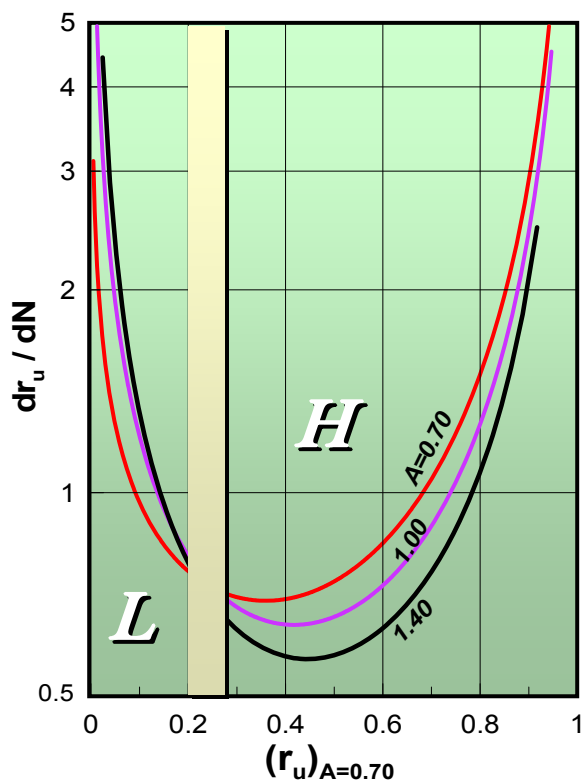
$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = . . = f(r_u)$$

Nevada Sand (VELACS)



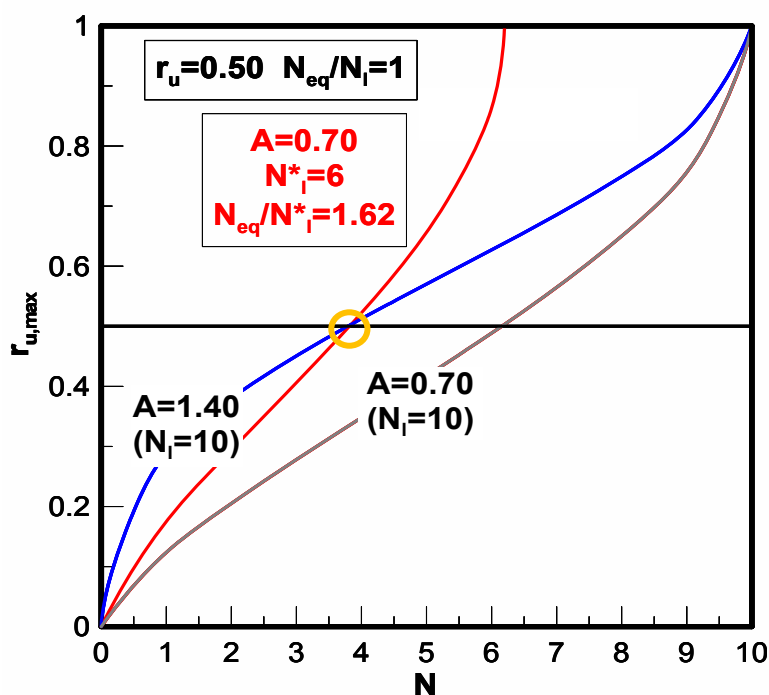
$A = 1.40$ vs. $A=0.70$





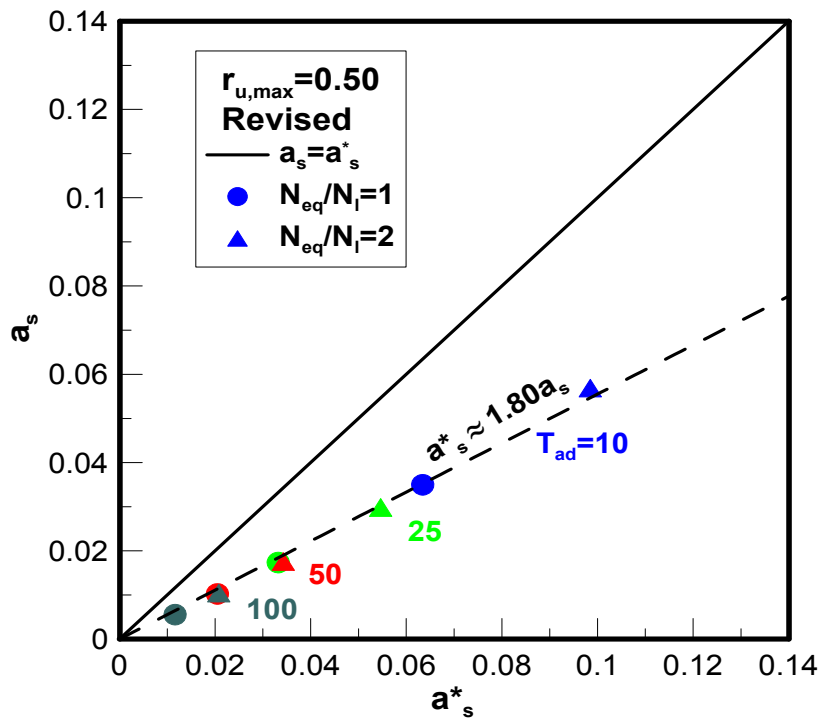
Τροποποίηση Διαγραμμάτων Σχεδιασμού για $A=0.70$

... με βάση την επιθυμητή τιμή του $r_{u,max}$
(PHRI 1997)



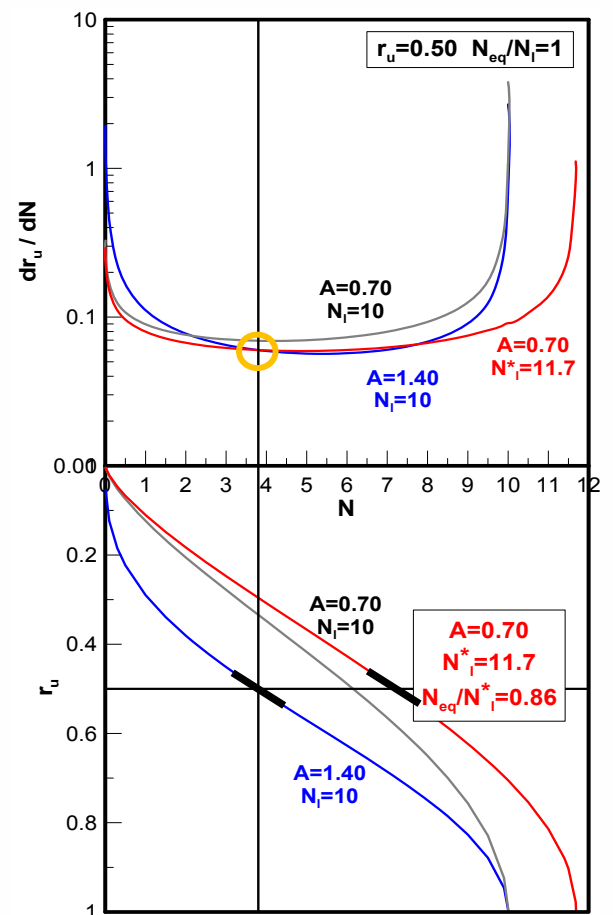
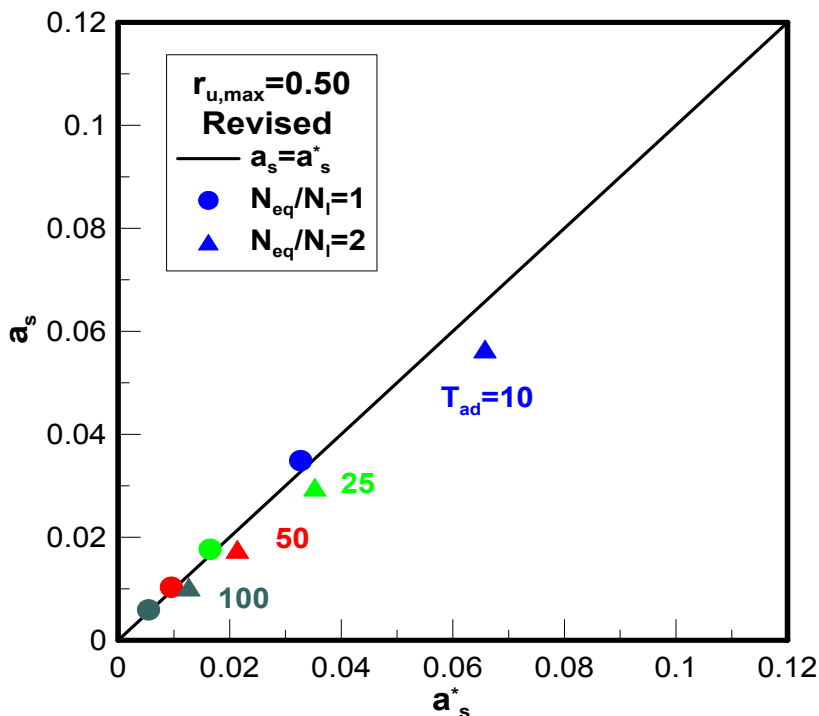
Τροποποίηση Διαγραμμάτων Σχεδιασμού για $A=0.70$

... με βάση την επιθυμητή τιμή του $r_{u,max}$
(PHRI 1997)

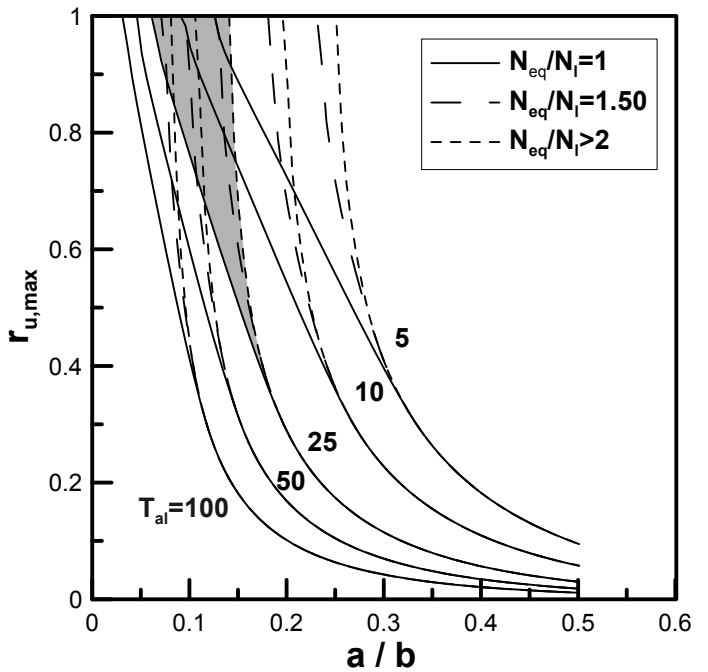
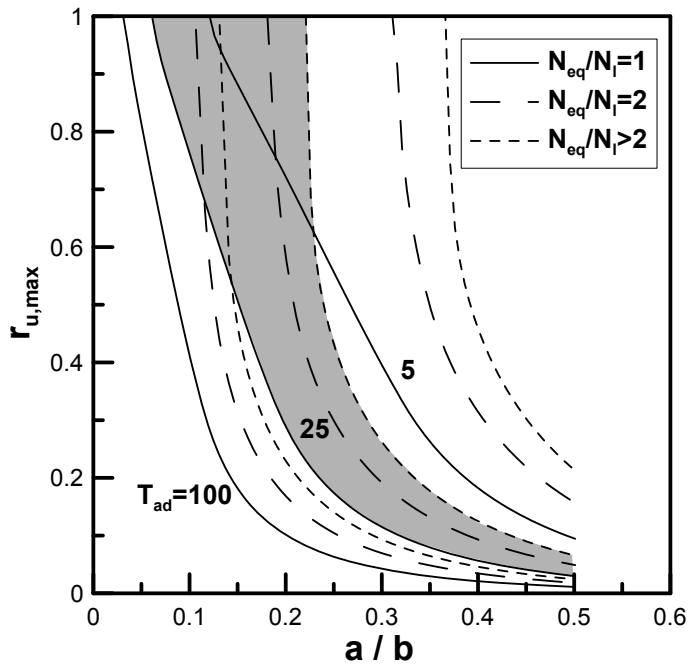


Τροποποίηση Διαγραμμάτων Σχεδιασμού για $A=0.70$

... με βάση την επιθυμητή τιμή
του dr_u/dN
(Τσιάπας & Τσιούλου, 2010)



Νέα Διαγράμματα Σχεδιασμού

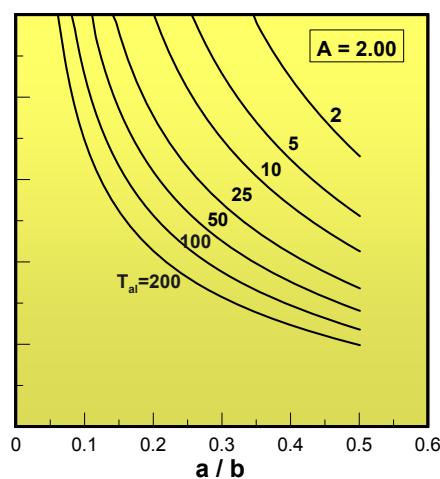
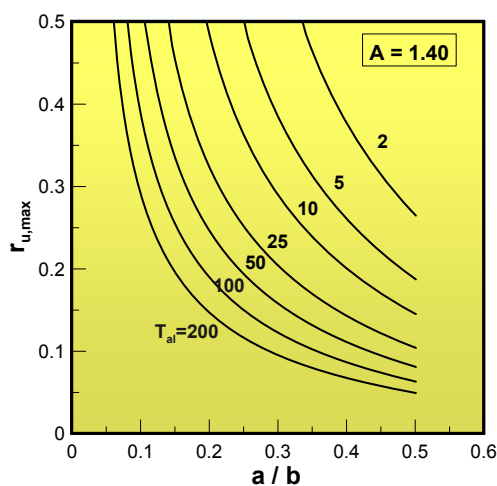
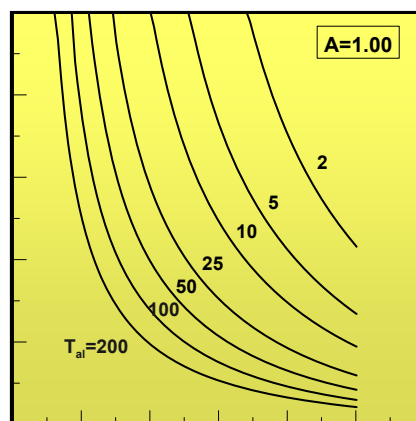
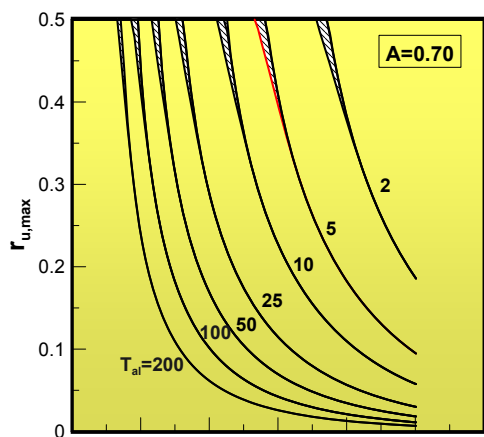


$$T_{ad} = \frac{k_h t_d}{\gamma_w m_{v,3} a^2}$$



$$T_{al} = \frac{k_h t_l}{\gamma_w m_{v,3} a^2}$$

Νέα Διαγράμματα Σχεδιασμού



$$T_{al} = \frac{k_h t_l}{\gamma_w m_{v,3} a^2}$$

Περιεχόμενα

- ✚ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΩΝ
- ✚ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
- ✚ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ
- ✚ Η ΣΧΕΣΗ $r_u - N/N_1$
- ✚ Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ (m_{v3})
- ✚ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Seed & Booker (1977) : Βασικές Παραδοχές

- ✚ Ακτινική στράγγιση
(χωρίς κατακόρυφη ροή)
- ✚ Απόλυτα διαπερατό στραγγιστήριο
- ✚ Ομοιόμορφο έδαφος

✚ $m_{v,3} = \Delta \varepsilon_{vol} / \Delta u$

από **3-ΑΞΟΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ**
ρευστοποίησης

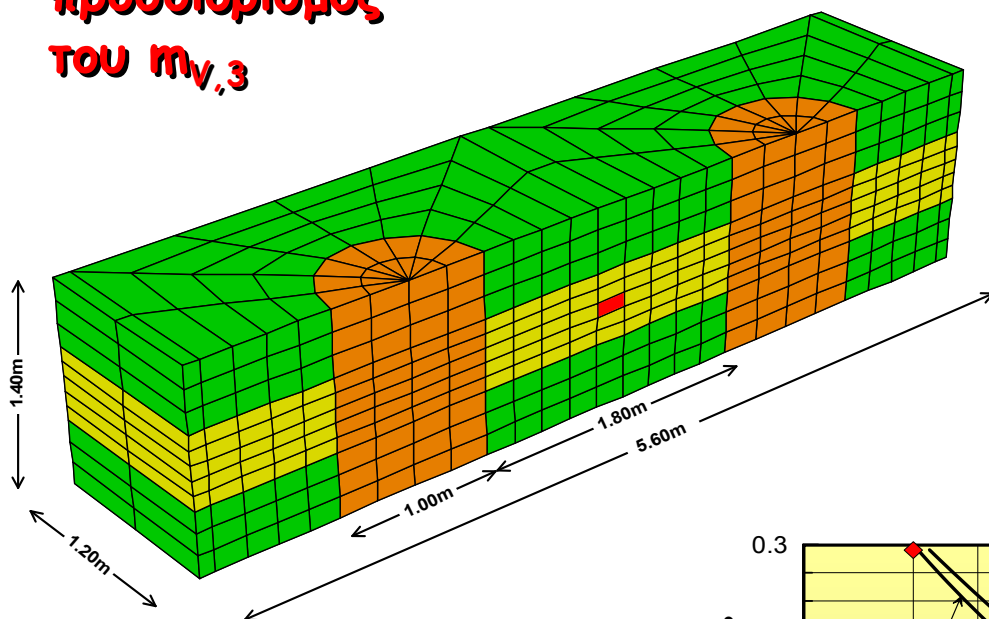
?

- ✚ Ρυθμός ανάπτυξης υπερπιάσεων

$$r_u = \frac{u_g}{\sigma_o} = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{N}{N_l} \right)^{1/2 A}$$

$$\frac{\partial u_g}{\partial N} = \dots = f(r_u)$$

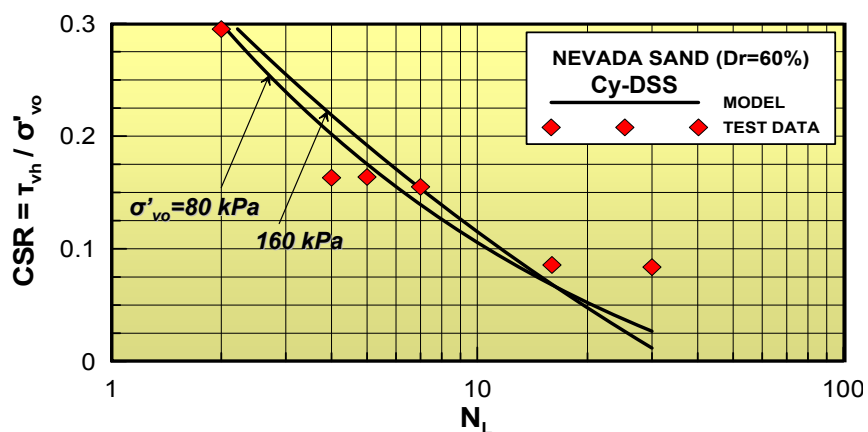
ΕΠΑΝΑ- ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $m_{v,3}$



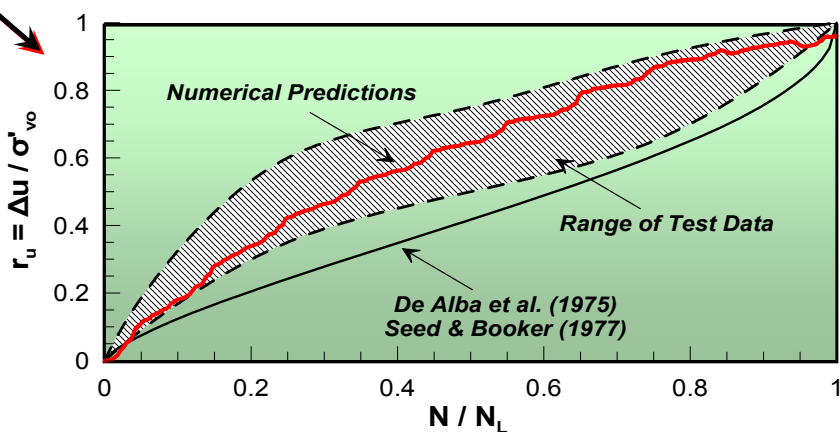
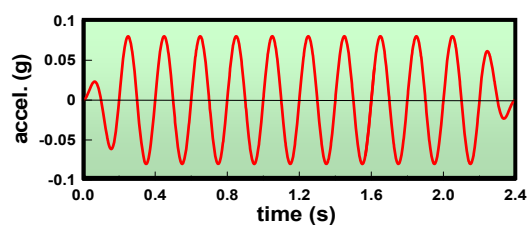
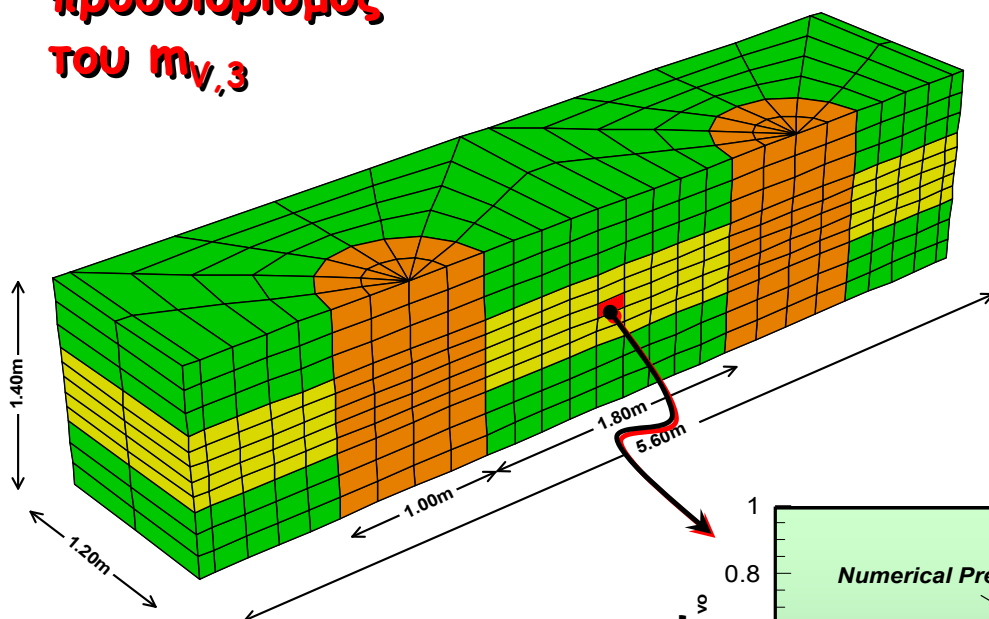
$$a/b = 0.35$$

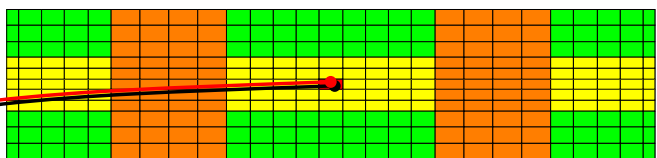
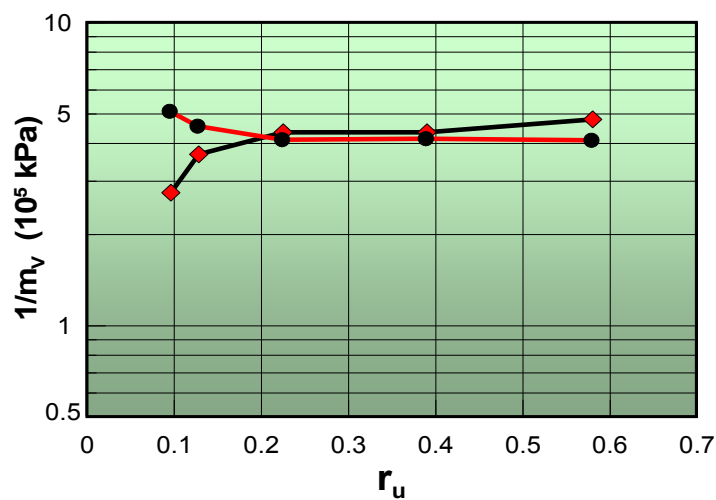
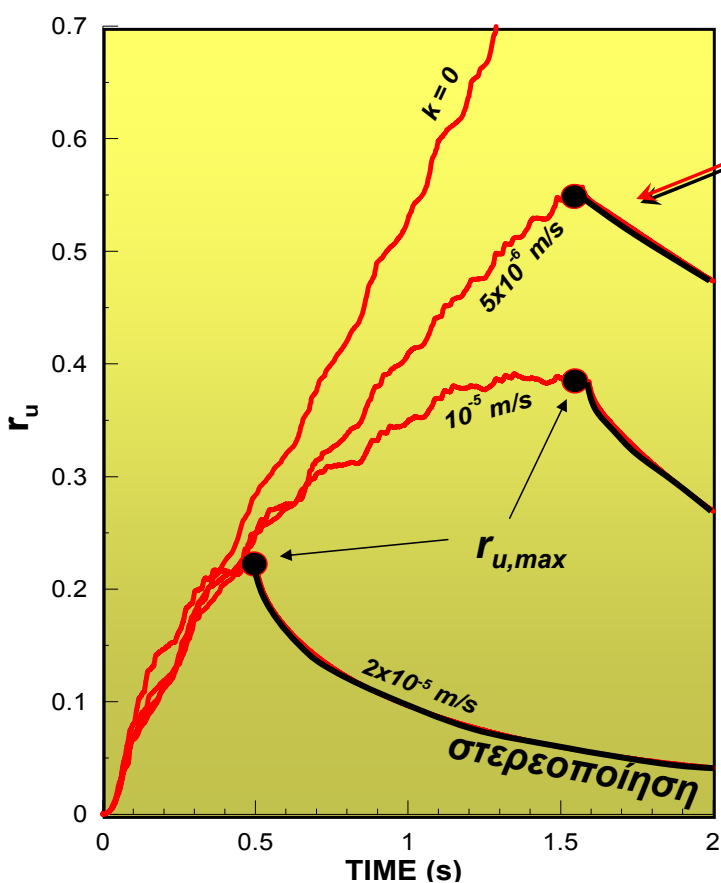
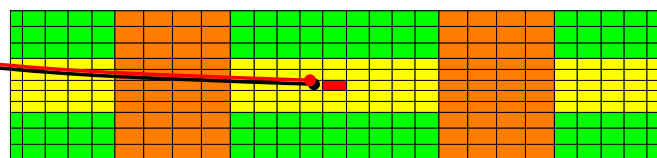
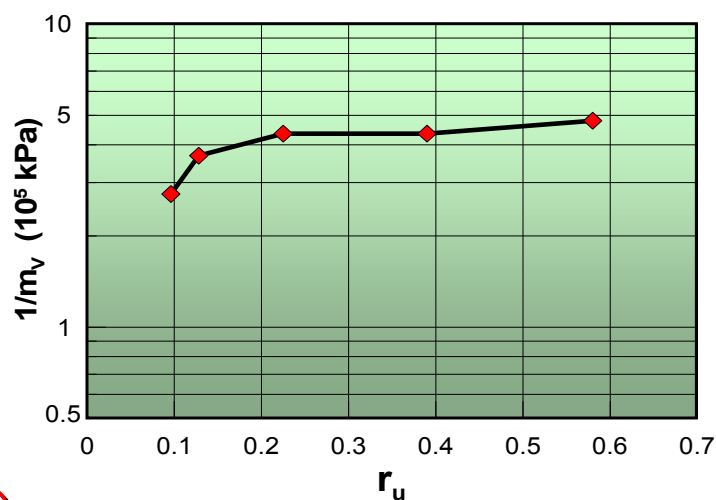
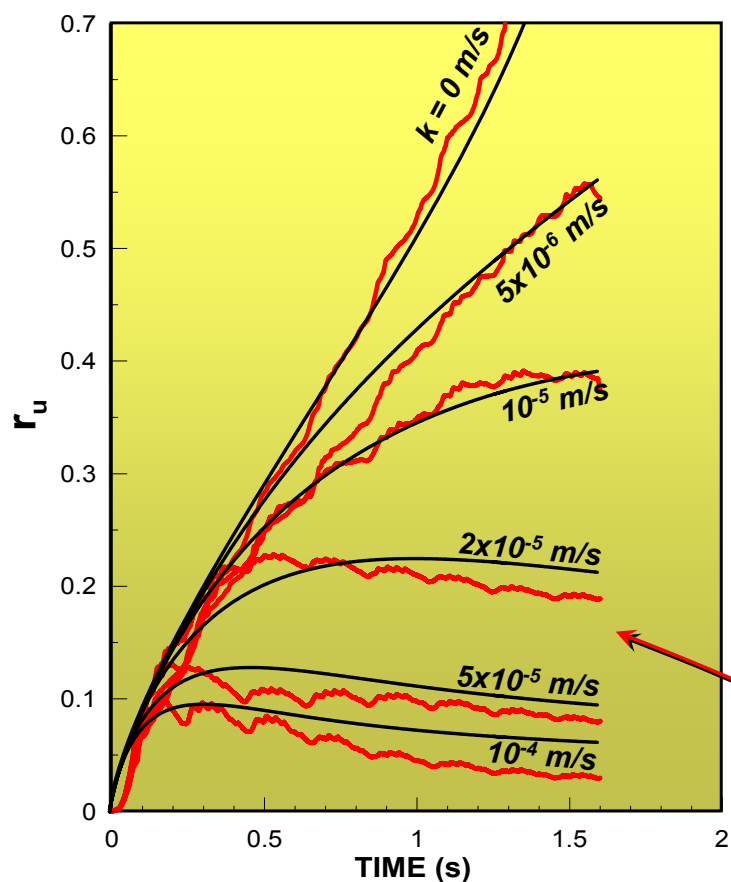
$$a_s = 0.10$$

FLAC 3D + NTUA Sand
Andrianopoulos et al.
(2004, 2009)



ΕΠΑΝΑ- ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ $m_{v,3}$

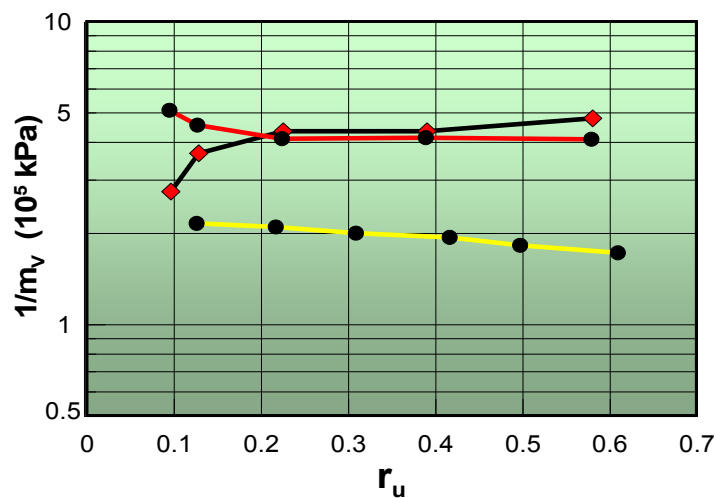
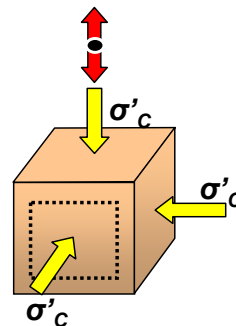
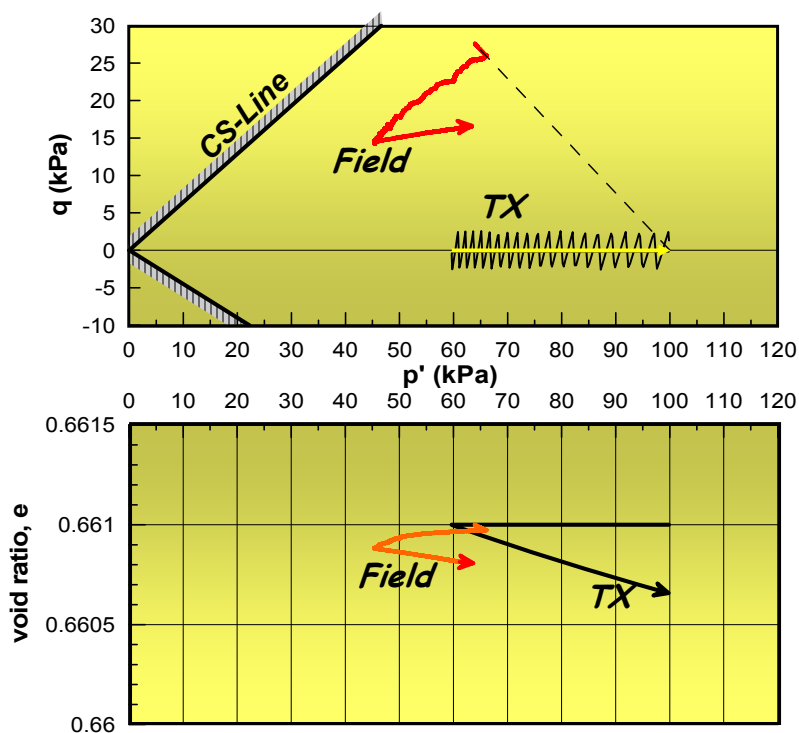




εκτίμηση από
μετα-σεισμική
στερεοποίηση . .

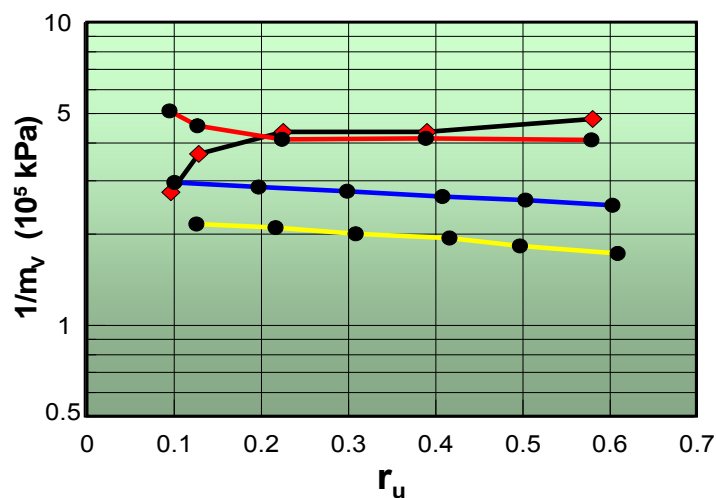
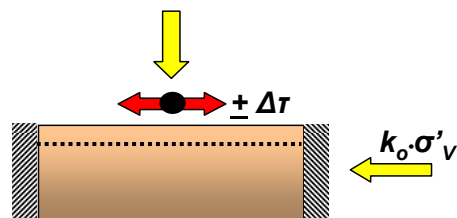
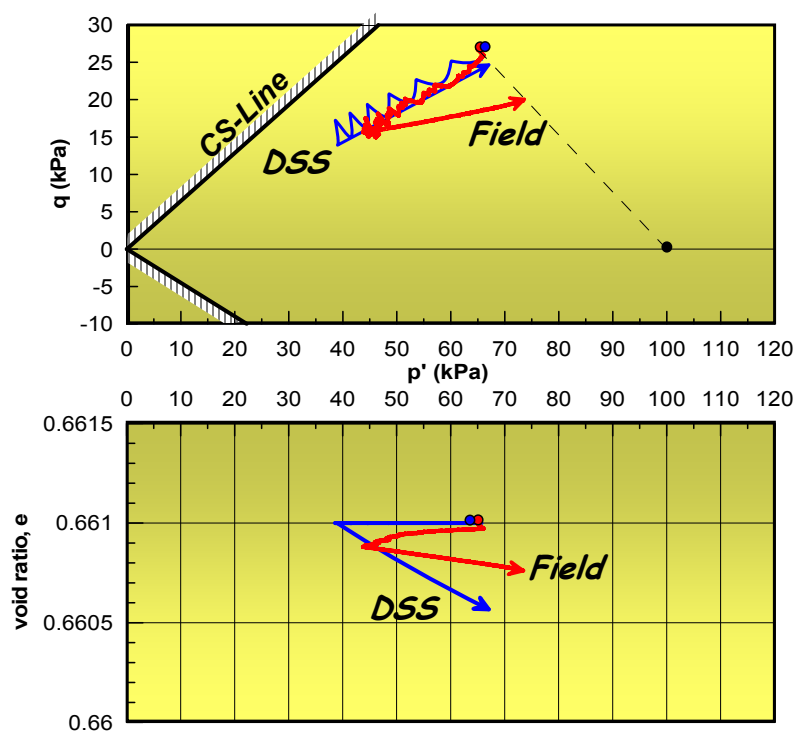
$$\frac{1}{m_v} = \frac{\Delta u}{\Delta \varepsilon_{VOL}}$$

3-αξονικές δοκιμές ρευστοποίησης



$$\frac{1}{m_v} = \frac{\Delta u}{\Delta \varepsilon_{VOL}}$$

δοκιμές ανακυκλικής απλής διάτμησης

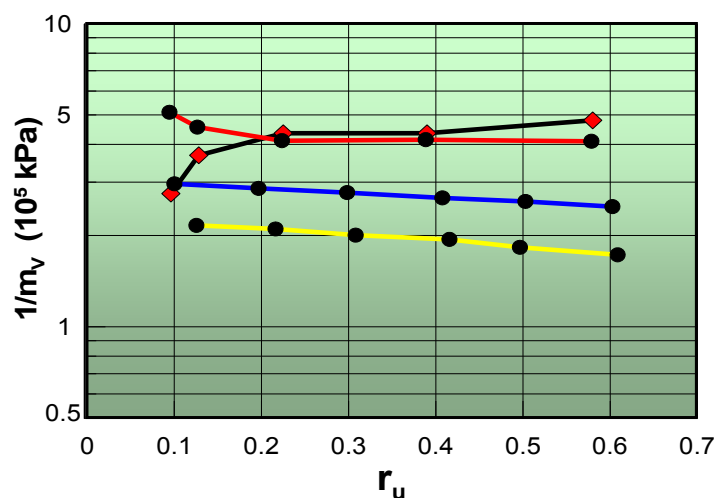


$$\frac{1}{m_v} = \frac{\Delta u}{\Delta \varepsilon_{VOL}}$$

που οφείλεται η διαφορά ?

$$\Delta \varepsilon_{VOL} = \Delta \varepsilon_{VOL}^{p'} + \Delta \varepsilon_{VOL}^n \quad \text{or} \quad \Delta \varepsilon_{VOL} = \frac{\Delta p - \Delta u}{K} + \Delta \varepsilon_{VOL}^n \quad \left(n = q/p' \right)$$

$$m_v = -\frac{\Delta \varepsilon_{VOL}}{\Delta u} = \frac{1}{K} \left(1 - \frac{\Delta p}{\Delta u} \right) - \frac{\Delta \varepsilon_{VOL}^n}{\Delta u}$$



Παράδειγμα ...

Έδαφος: $T_{al} = \frac{k_h t_l}{\gamma_w m_{v,3} a^2} = 4,$

Σεισμική διέγερση: $N_{eq}/N_l = 1, 2 \text{ \& } 4$ ($FS_L \approx 1.00 \div 0.65$)

$a_s = 0.91(a/b)^2$ που απαιτείται $r_{u,max} = 0.40$

	$N_{eq}/N_l=1$ ($FS_L=1.0$)	$N_{eq}/N_l=2$ ($FS_L \approx 0.80$)	$N_{eq}/N_l=4$ ($FS_L \approx 0.65$)
S & B (1977)	0.086	0.102	0.105
Revised ($A=0.70$ & $m_{V,TX}$)	0.075 (-13.2%)	0.084 (-18.0%)	0.084 (-20.0%)
Revised ($A=1.40$ & $m_{V,TX}$)	0.066 (-24.0%)	0.066 (-35.8%)	0.066 (-37.4%)
Revised ($A=1.40$ & $m_{V,DSS}$)	0.050 (-42.1%)	0.050 (-51.1%)	0.050 (-52.3%)

Περιεχόμενα

- ✚ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΩΝ
- ✚ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
- ✚ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ
- ✚ Η ΣΧΕΣΗ $r_u - N/N_1$
- ✚ Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ (m_{v3})
- ✚ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπεράσματα . . .

ΤΑ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΑ (χαλικοπάσσαλοι ή προκατασκευασμένα) μπορεί να προσφέρουν **αποτελεσματική & οικονομική προστασία** έναντι ρευστοποίησης του εδάφους,

ΑΡΚΕΙ

ΝΑ **ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΘΟΥΝ** & ΝΑ **ΣΧΕΔΙΑΣΘΟΥΝ** ΣΩΣΤΑ !

Συμπεράσματα . . .

ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΟΙ-ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΑ:

Με αδρομερές υλικό

+ **υψηλής διαπερατότητας**, και

+ **κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης**
(για την αποτροπή της διείσδυσης άμμου και ιλύος)

Συμπεράσματα . . .

ΠΡΟ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΑ (EQ-Drains, Corrugated Pipes, κλπ.):

Νέες **προοπτικές** και **δυνατότητες**

+ ελεύθερη πρακτικά ροή & μεγαλύτερη παροχή

+ ελαφρύς τεχνικός εξοπλισμός εγκατάστασης

+ χαμηλό επίπεδο δονήσεων

+ εφαρμογή σε δομημένο περιβάλλον

Συμπεράσματα . . .

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ:

ΠΡΟΣΟΧΗ !

Δεν κάνουν όλες για όλα τα στραγγιστήρια:

Seed & Booker (1977)

Χαλικοπάσσαλοι μεγάλης διαπερατότητας ($k_w > 200 k_s$)
& προκατασκευασμένα στραγγιστήρια,
μόνον όταν η στράγγιση γίνεται στην στάθμη του Υ.Ο. !

Onoue (1988)

Ημι-διαπερατοί χαλικοπάσσαλοι ($k_w < 200 k_s$),
μόνον όταν η στράγγιση γίνεται στην στάθμη του Υ.Ο. !

Pestana et al. (1997) – FEQdrain

Όταν αναμένεται ανύψωση της στάθμης του νερού μέσα
στο στραγγιστήριο.

Συμπεράσματα . . .

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ:

Σημαντικός **υπέρ-σχεδιασμός**, με όλες ανεξαιρέτως τις μεθοδολογίες σχεδιασμού, λόγω:

- ✚ “επίδρασης της δομής της ρευστοποιήσιμης άμμου” επί της ταχύτητας μεταβολής υπερπιέσεων στο ελεύθερο πεδίο, η οποία (εκ λάθους) παραβλέπεται
- ✚ μονοσήμαντης χρήσης εκθέτη $A=0.70$ στη σχέση $r_u - N/N_L$ ανεξαρτήτως τύπου εδάφους
- ✚ χρήσης έως και 100% μεγαλύτερου συντελεστή συμπίεστότητας m_{v3} , από τριαξονικές δοκιμές

Συμπεράσματα . . .

ΝΕΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ:

- ✚ Στην πράξη, η ανηγμένη διάρκεια της δόνησης N_{eq}/N_L , ή ο συντελεστής ασφάλειας FS_L , **δεν επηρεάζουν** την πυκνότητα του καννάβου στραγγιστηρίων.
- ✚ Αντίθετα, **είναι σημαντική** και θα πρέπει να λαμβάνεται απαραίτητα υπόψη η ακριβής σχέση $r_U - N/N_L$ (π.χ. η τιμή του εκθέτη A)

ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ

✚ ΑΧΙΛΛΕΑΣ ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, **Λέκτορας Παν. Θεσσαλίας**

✚ ΒΑΛΙΑ ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗ

Υποψήφιοι Διδάκτορες

✚ ΓΙΑΝΝΗΣ ΧΑΛΛΟΥΛΟΣ

✚ ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΝΙΑΡΧΟΣ

✚ ΓΙΑΝΝΗΣ ΤΣΙΑΠΑΣ

Πολ. Μηχανικοί
(Διπλωματική Εργασία)

✚ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ ΤΣΙΟΥΛΟΥ