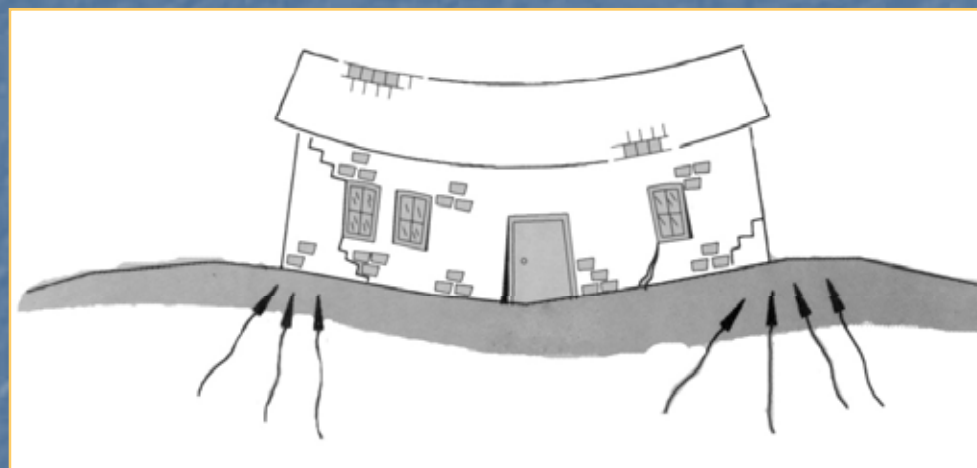


ΔΙΟΓΚΟΥΜΕΝΑ ΕΔΑΦΗ

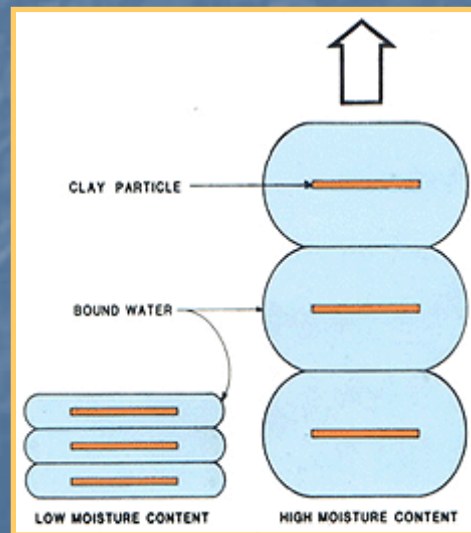
Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου



Δρ. Κυριάκος Κύρου
Ανώτερος Εκτελεστικός Μηχανικός
Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων

Ορισμός διογκούμενου εδάφους

Διογκούμενα είναι τα εδάφη τα οποία περιέχουν αργιλικά ορυκτά που επιδέχονται μεγάλες ογκομετρικές αλλαγές με τη διακύμανση της υγρασίας. Η διόγκωση προκαλείται από την προσέλκυση νερού από τα αργιλικά πλακίδια ορισμένων αργιλικών ορυκτών (Chen, 1988).



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Παρουσία διογκούμενων εδαφών

Συναντιόνται σε περιοχές με ημίξηρα κλίματα, δηλαδή με μεγάλες ξηρές περιόδους και μικρής διάρκειας έντονες βροχοπτώσεις. Τέτοιες περιοχές είναι οι ΗΠΑ (Colorado, Texas, Wyoming), η Ινδία, χώρες της Αφρικής και της Μέσης Ανατολής (περιοχές της Κύπρου).

Παρουσία διογκούμενων εδαφών

- Διογκούμενα εδάφη (ΔΕ) υπάρχουν σε πολλά μέρη του κόσμου
- Αποτελούν πηγή πρόκλησης ζημιών σε κτίρια, κατασκευές, δρόμους, υπηρεσίες κ.τ.λ.
- Με την αύξηση της οικοδομικής δραστηριότητας το δομημένο περιβάλλον επεκτείνεται σε νέες περιοχές ΔΕ και το πρόβλημα συνεχίζει να μεγαλώνει.

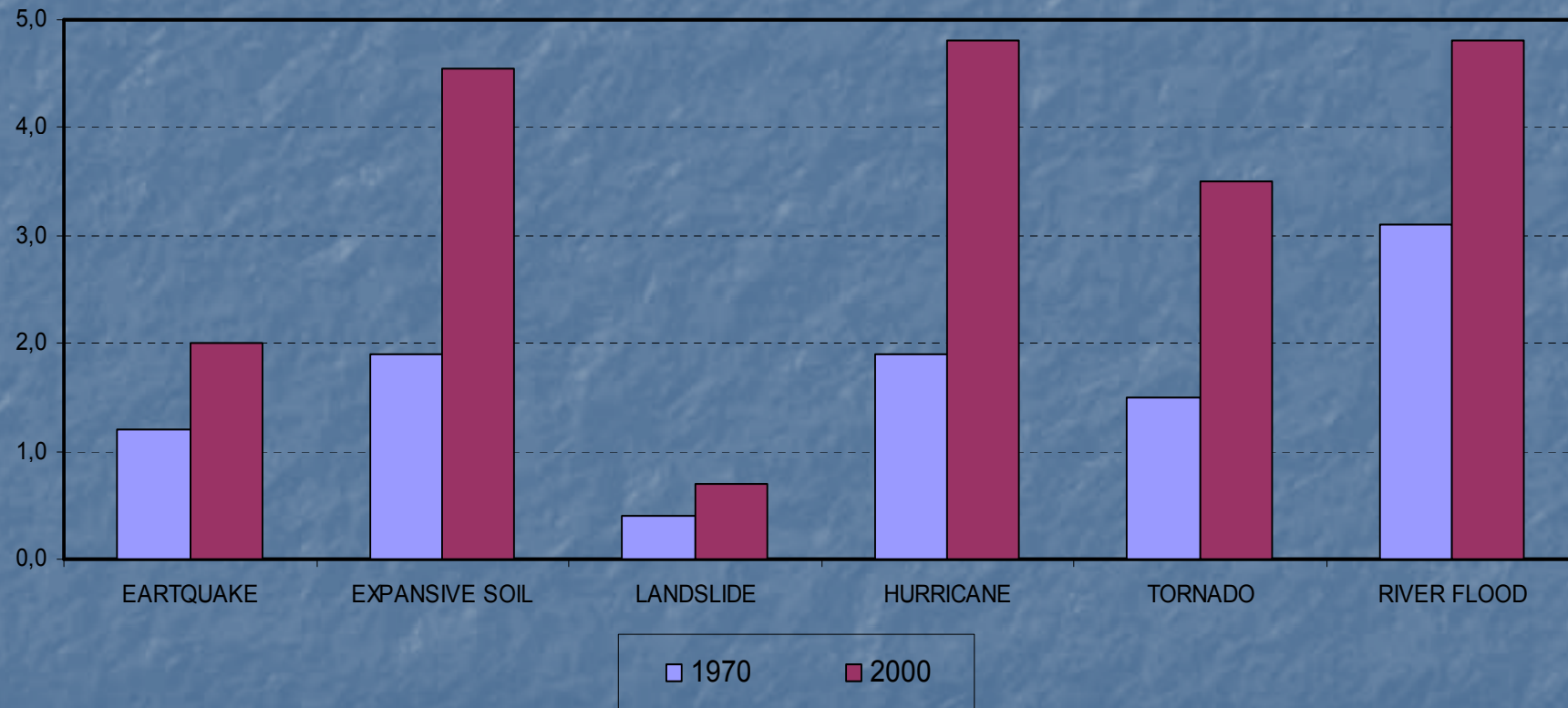
Διάσταση του προβλήματος - Διεθνώς

- Τα διογκούμενα εδάφη αποτελούν μια από τις χειρότερες φυσικές καταστροφές και οι ζημιές που προκαλούνται είναι περισσότερες από αυτές των πλημμυρών, των κατολισθήσεων και των σεισμών μαζί.

(Xeidakis et al., 2004)

Διάσταση του προβλήματος - Διεθνώς

AVERAGE TOTAL ANUAL BUILDING LOSSES
UNDER 1970 AND YEAR 2000 CONDITIONS
(dollars in billions - after Chen 1988)



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

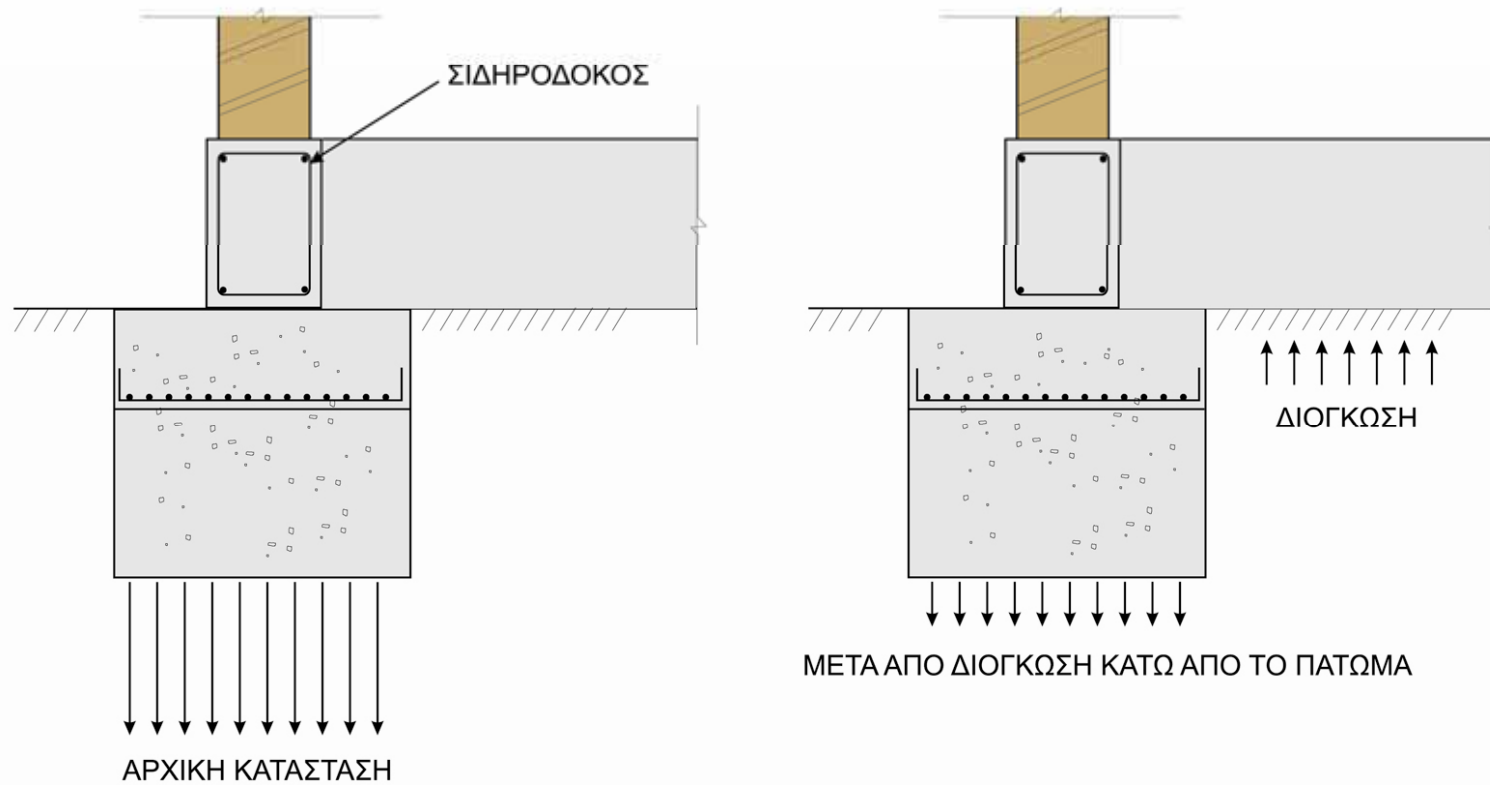
Διάσταση του προβλήματος - Διεθνώς

- Ο Chen (1988) υπολόγισε τις ζημιές από τα διογκούμενα εδάφη στις ΗΠΑ σε 2 δισεκατομμύρια δολάρια περίπου το 1970, υπερβαίνοντας κατά πολύ τις ζημιές από τους σεισμούς και
 - ⇒ είχε προβλέψει για το 2000 αντίστοιχες ζημιές ύψους 4,5 δισ. δολαρίων
 - ⇒ Σήμερα (2010) το κόστος από τις αστοχίες σε κτίρια και υποδομές δύναται να ξεπερνά τα 10 δισ. δολάρια

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις

- Με την απορρόφηση νερού το ΔΕ διογκώνεται και προκαλεί διαφορικές ανυψώσεις στο έδαφος και ακολούθως ζημιές στις κατασκευές λόγω αυξημένης παραμόρφωσης.
- Σε πολλές περιπτώσεις η τάση εδάφους κάτω από το θεμέλιο είναι πολύ πιο μικρή από την πίεση διόγκωσης του ΔΕ και η ανύψωση είναι αναπόφευκτη.

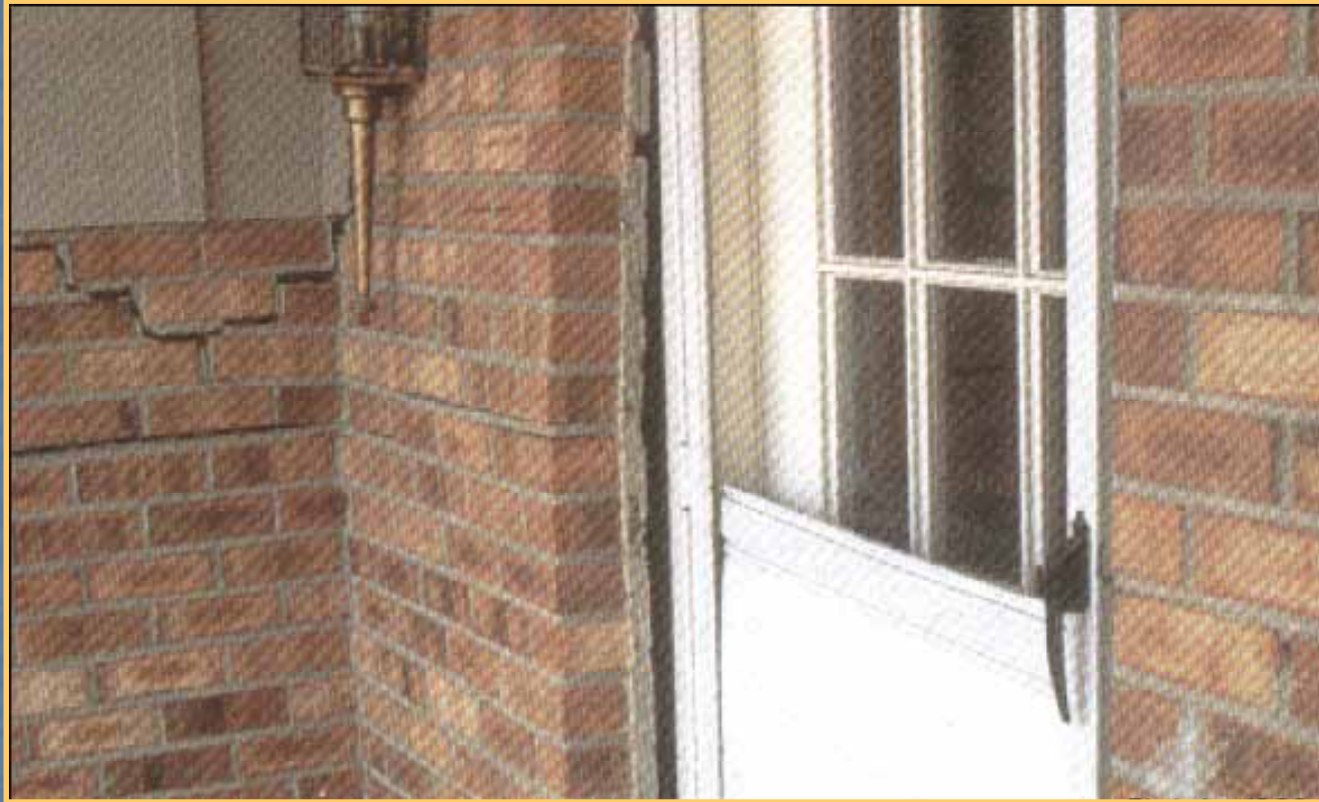
Θεμελίωση



ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟ ΠΕΔΙΛΟ

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις



Αστοχία της τοιχοποιίας λόγω διαφορικών καθιζήσεων

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις



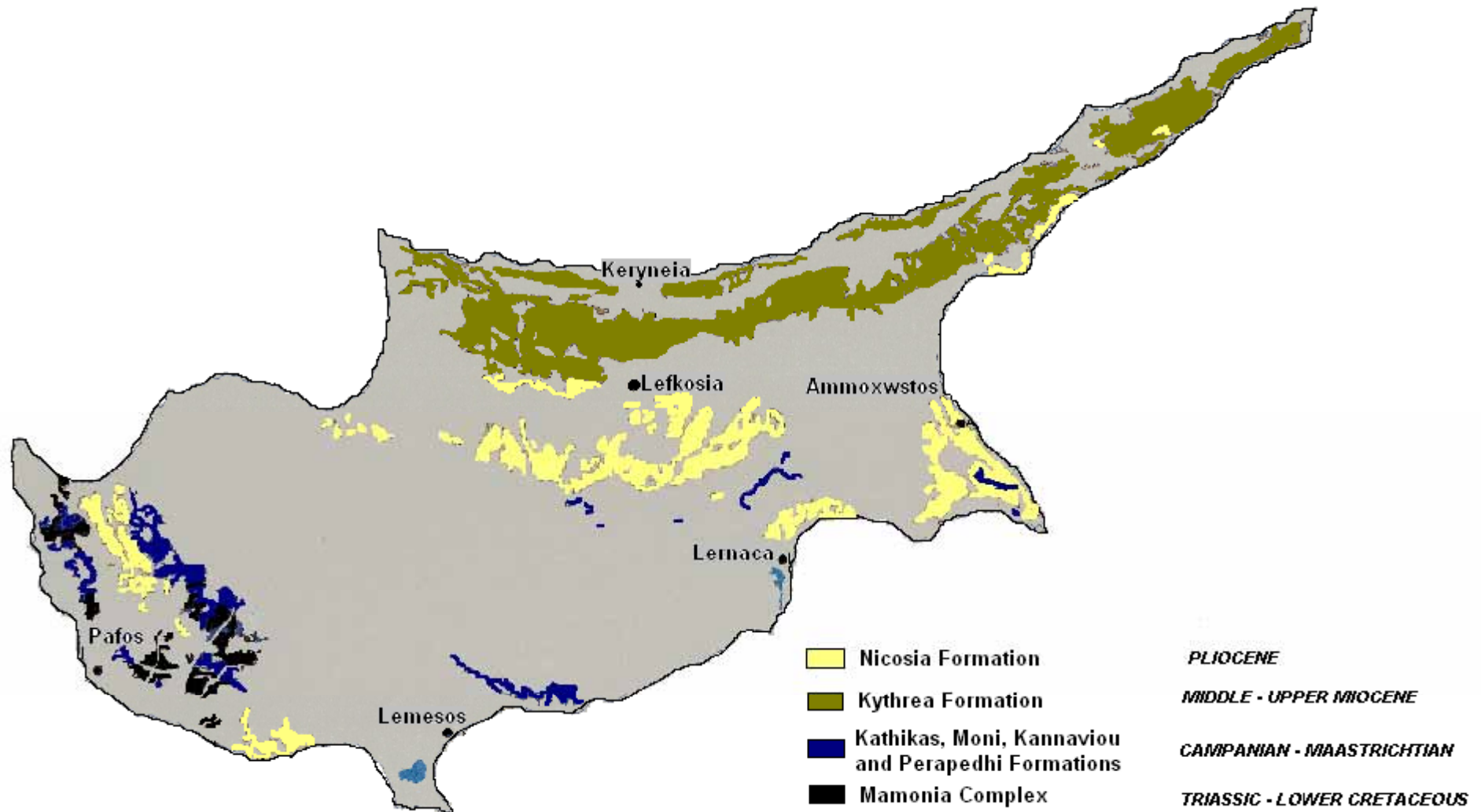
Δρόμος κατασκευασμένος σε διογκούμενο έδαφος

*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Διάσταση του προβλήματος στην Κύπρο

- Στην Κύπρο τα διογκούμενα εδάφη αποτελούν αναμφίβολα τη χειρότερη φυσική καταστροφή και οι ζημιές που προκαλούνται είναι πολλαπλάσιες από αυτές των πλημμυρών, των κατολισθήσεων και των σεισμών μαζί. Ανέρχονται σε δεκάδες εκατομμύρια Ευρώ κάθε χρόνο.

Παρουσία ΔΕ στην Κύπρο



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Χαρακτηριστική μορφή ρωγματώσεων σε κτίρια

*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Διαφορικές μετακινήσεις του αρμού της κατασκευής και προς τις δύο κύριες διευθύνσεις

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Μορφή ρηγματώσεων στο οδόστρωμα

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

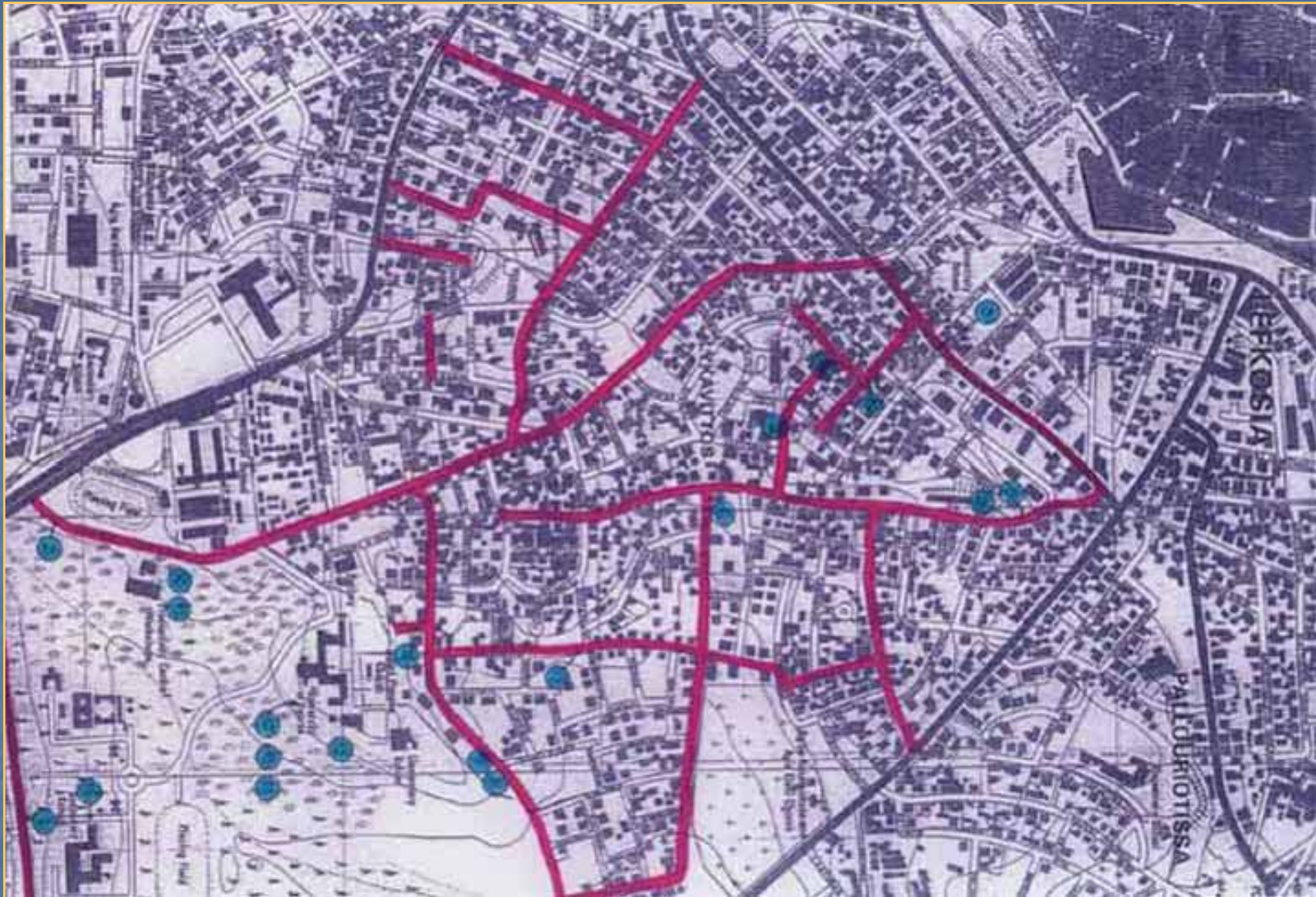
Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Οικοδομικά τετράγωνα της υπό μελέτη περιοχής

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Δρόμοι που μελετήθηκαν

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



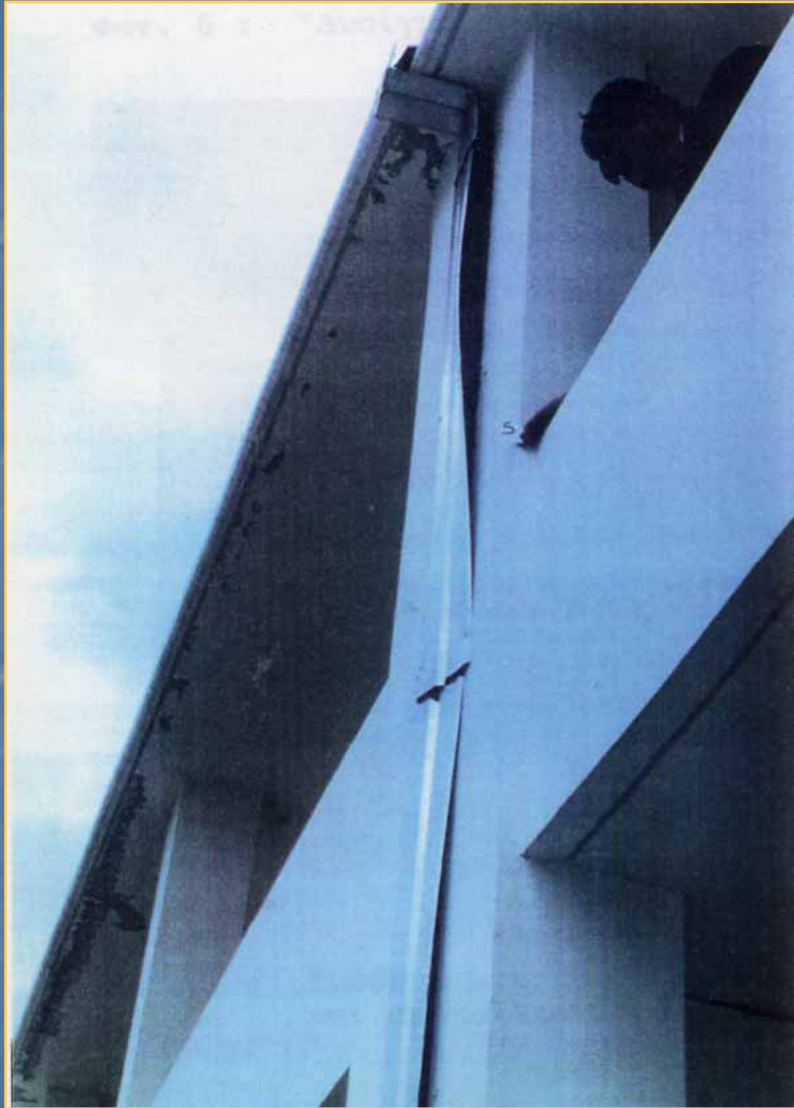
*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



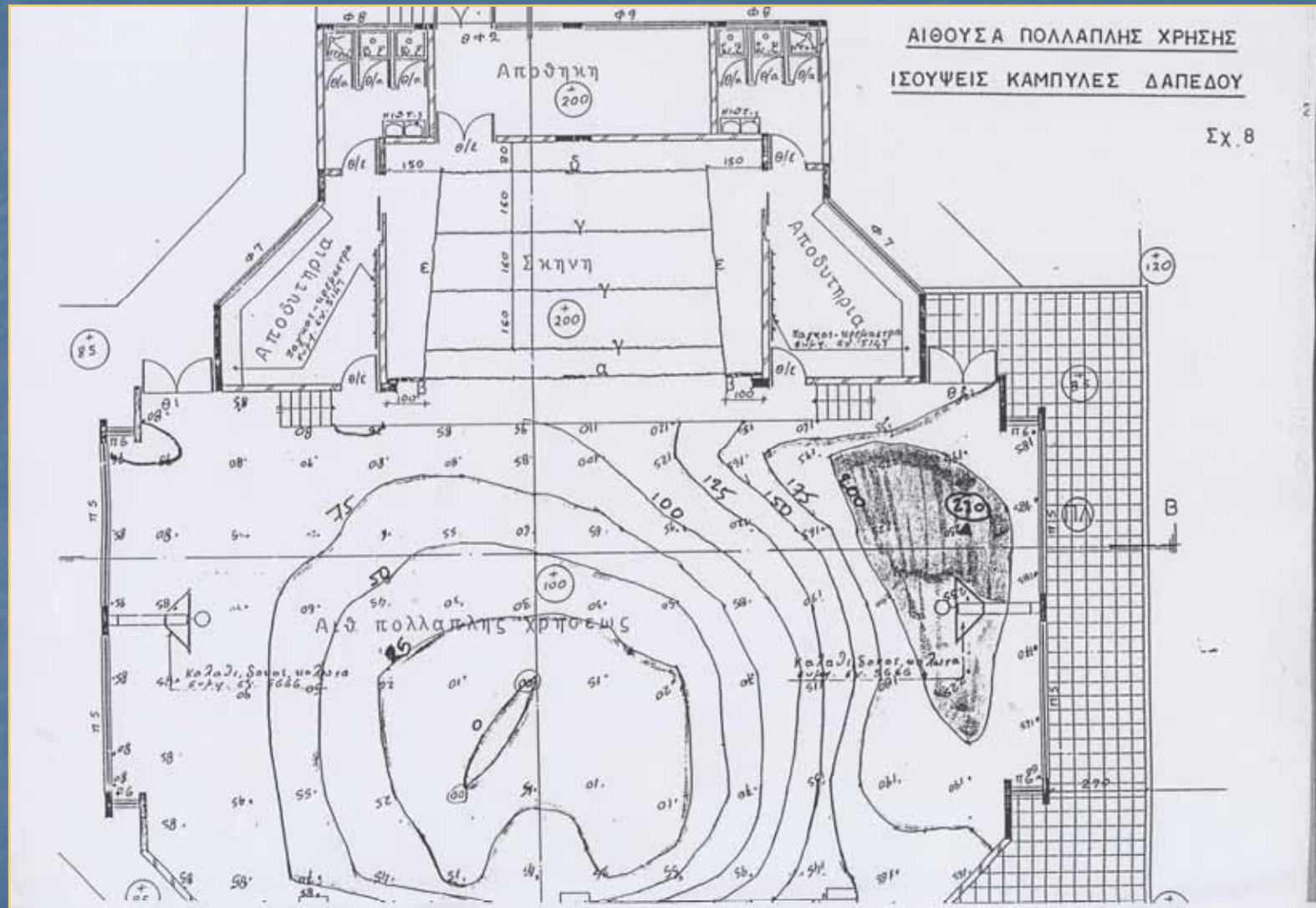
Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



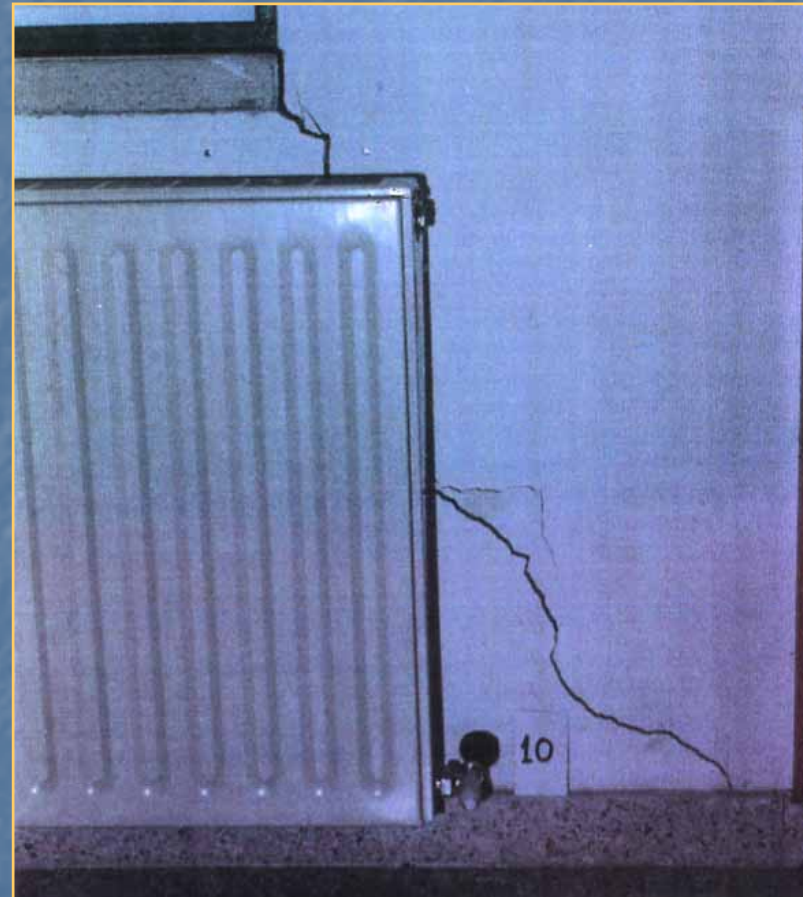
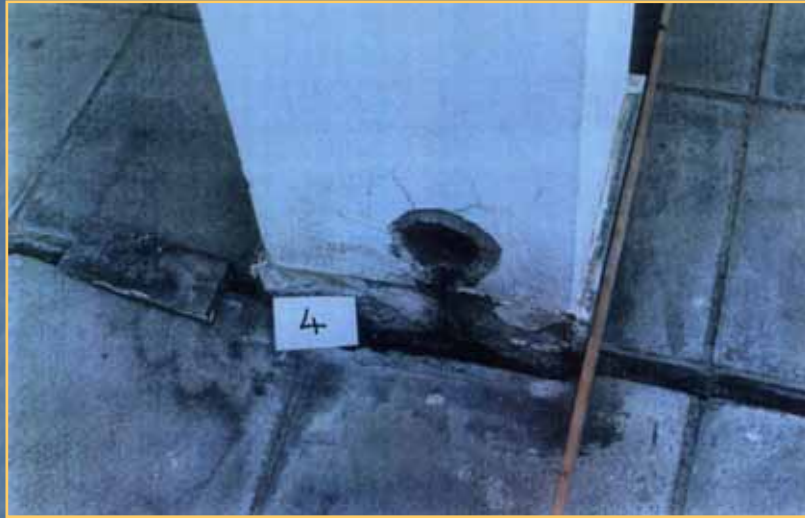
*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Αναγνώριση του προβλήματος

- Το πρόβλημα των ΔΕ δεν έτυχε μελέτης από τους εδαφομηχανικούς μέχρι τη δεκαετία του 1930.
- Τότε στις ΗΠΑ άρχισε η κατασκευή κατοικιών με τούβλα, οι οποίες άρχισαν να παθαίνουν ζημιές σε περιοχές ΔΕ.
- Σήμερα υπάρχει παγκόσμιο ενδιαφέρον με συνέδρια, συμπόσια, εργαστήρια και σεμινάρια.
- Μεγάλη πρόοδος στην κατανόηση της φύσης και των μηχανισμών του ΔΕ – σχετικά μικρή πρόοδος στην επίλυση του προβλήματος.

Αναγνώριση των ΔΕ

- Διογκούμενοι άργιλοι παράγονται συνήθως από την αποσάθρωση:
 - Βασικών πυριγενών πετρωμάτων
 - Ιζηματογενών πετρωμάτων που περιέχουν μοντμοριλλονίτη
- Ο μοντμοριλλονίτης είναι πιο λεπτός από άλλα αργιλικά ορυκτά και έχει ψηλό όριο υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας

Μέθοδοι Αναγνώρισης των ΔΕ

- Με ορυκτολογική αναγνώριση (ορυκτολογική σύσταση)
- Με έμμεσες μεθόδους (δοκιμές κατάταξης, μύζησης, PVC κτλ)
- Με άμεσες μεθόδους (πίεση διόγκωσης, δυνητική διόγκωση)

Ορυκτολογική αναγνώριση

- X Ray Diffraction
(υπολογίζεται η % αναλογία των αργιλικών ορυκτών)
- Differential Thermal Analysis
(όχι ιδιαίτερα ακριβής – βασίζεται στις αλλαγές στις οποίες υπόκειται το υλικό κατά τη θέρμανση)
- Dye Absorption Method
(εντοπίζεται το ποσοστό μοντμοριλλονίτη > 5%)
- Chemical Analysis
(μέθοδος συμπληρωματική των υπολοίπων μεθόδων)
- Microscopic examination
(ο μοντμοριλλονίτης έχει άγρια επιφάνεια ενώ τα μη διογκούμενα ορυκτά, λείαν)

Παράμετροι που επηρεάζουν τις ογκομετρικές αλλαγές του εδάφους

- Αρχική ξηρή πυκνότητα
- Αρχική υγρασία
- Αρχική τάση φόρτισης του εδάφους
- Επιβαλλόμενη τάση
- Πάχος διογκούμενου στρώματος
- Βαθμός ξήρανσης
- Διαπερατότητα

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι

- Δοκιμές κατάταξης
(Holtz and Gibbs, 1954; Seed et al., 1962; Chen, 1988)
- Έμμεσες δοκιμές
(PVC meter, expansion Index test, California Bearing Ratio test, coefficient of linear extensibility, suction κτλ)

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι

Οι Holtz και Gibbs (1954), εισηγήθηκαν ότι το όριο υδαρότητας και ο δείκτης πλαστικότητας μπορούν να δώσουν μια ένδειξη της διογκοσιμότητας των αργιλικών εδαφών.

Οι Seed et al. (1962), διατύπωσαν την άποψη ότι η διογκοσιμότητα θα μπορούσε να καθορισθεί με βάση μόνο το δείκτη πλαστικότητας ως ακολούθως:

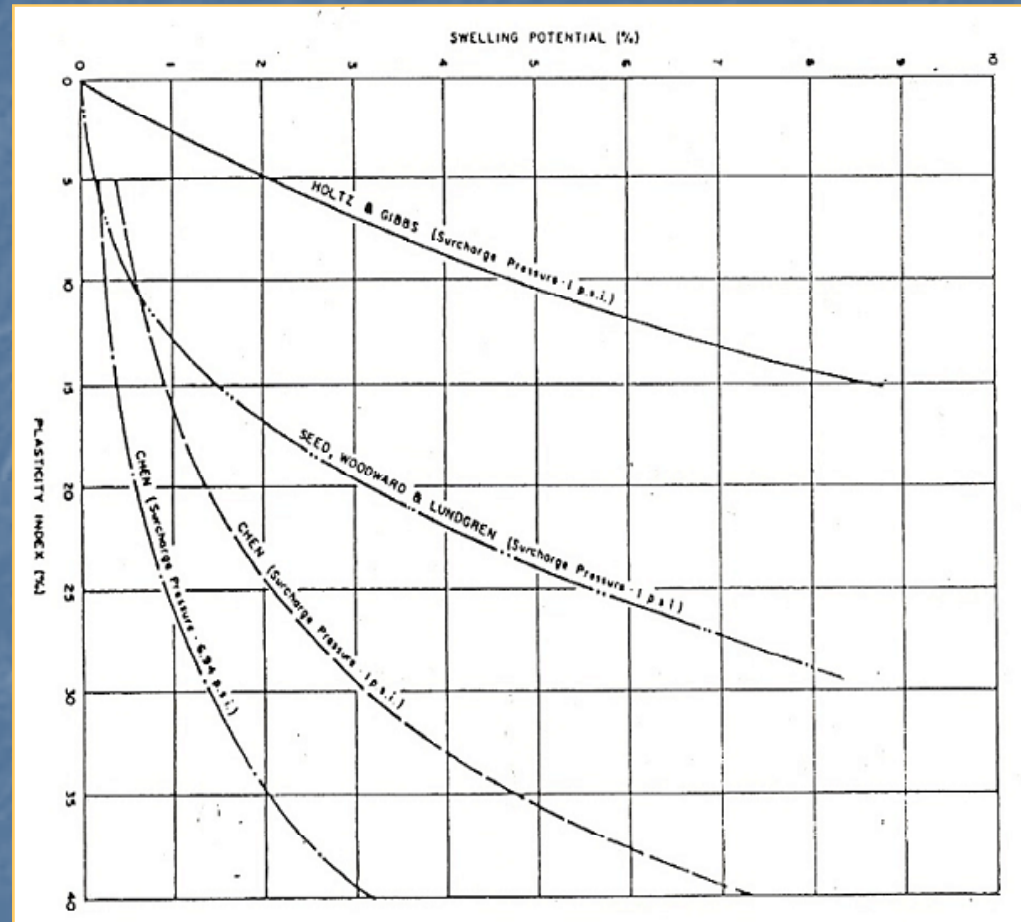
Διογκοσιμότητα	Δείκτης Πλαστικότητας
Χαμηλή	0-15
Μέτρια	10-35
Ψηλή	20-35
Πολύ ψηλή	35+

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι

Σχέσεις μεταξύ διογκοσιμότητας και φυσικών χαρακτηριστικών έχουν προταθεί από τους Holtz και Gibbs (1954), Seed et (1962) και Chen (1988).

Όπως φαίνεται στο σχήμα, οι σχέσεις που προτείνονται δίνουν σημαντικά διαφοροποιημένα μεγέθη διογκοσιμότητας.



Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι

Ο Altermeyer (1955), εισηγήθηκε ότι η διογκοσιμότητα ενός αργιλικού εδάφους σχετίζεται με το όριο συρρίκνωσης.

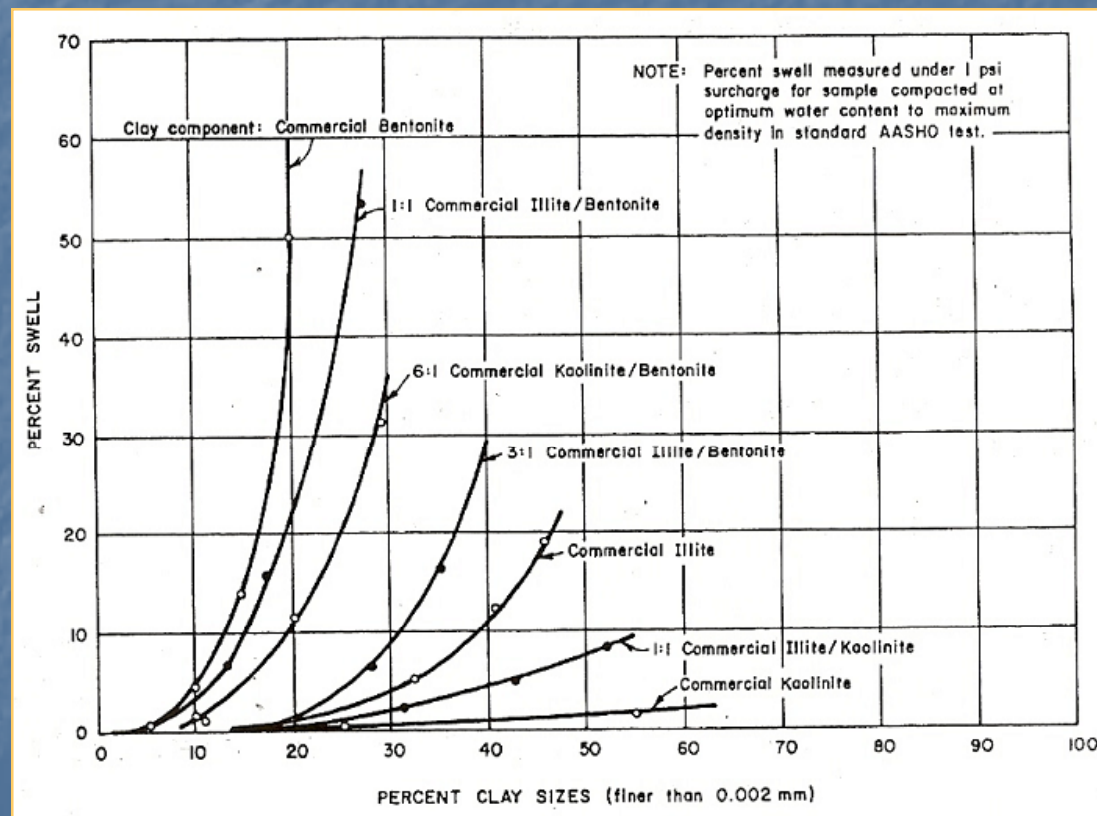
Η σχέση μεταξύ ορίου συρρίκνωσης, γραμμικής συρρίκνωσης και βαθμού διόγκωσης, όπως αρχικά προτάθηκαν από τον Altermeyer (1955), έχει ως εξής:

Όριο συρρίκνωσης	Γραμμική συρρίκνωση	Βαθμός Διόγκωσης
<10	>8	Κρίσιμος
10-12	5-8	Οριακός
>12	0-5	Μη κρίσιμος

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι

Οι Seed et al. (1962), έχουν αποδείξει ότι για δεδομένο τύπο αργίλου, η διογκοσιμότητα αυξάνεται με την αύξηση του ποσοστού των κόκκων (particles) με μέγεθος αργίλου ($<0,002\text{mm}$).



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι

Ο Chen (1988), πρότεινε μια εξίσωση που δίνει τη σχέση μεταξύ της διογκοσιμότητας, S , (εκφραζόμενης σαν την ποσοστιαία διόγκωση συμπυκνωμένου δείγματος στη μέγιστη πυκνότητα κατά AASHTO κάτω από φόρτιση 1 psi) προς το ποσοστιαίο ποσοστό αργιλικών κόκκων, C , ως ακολούθως:

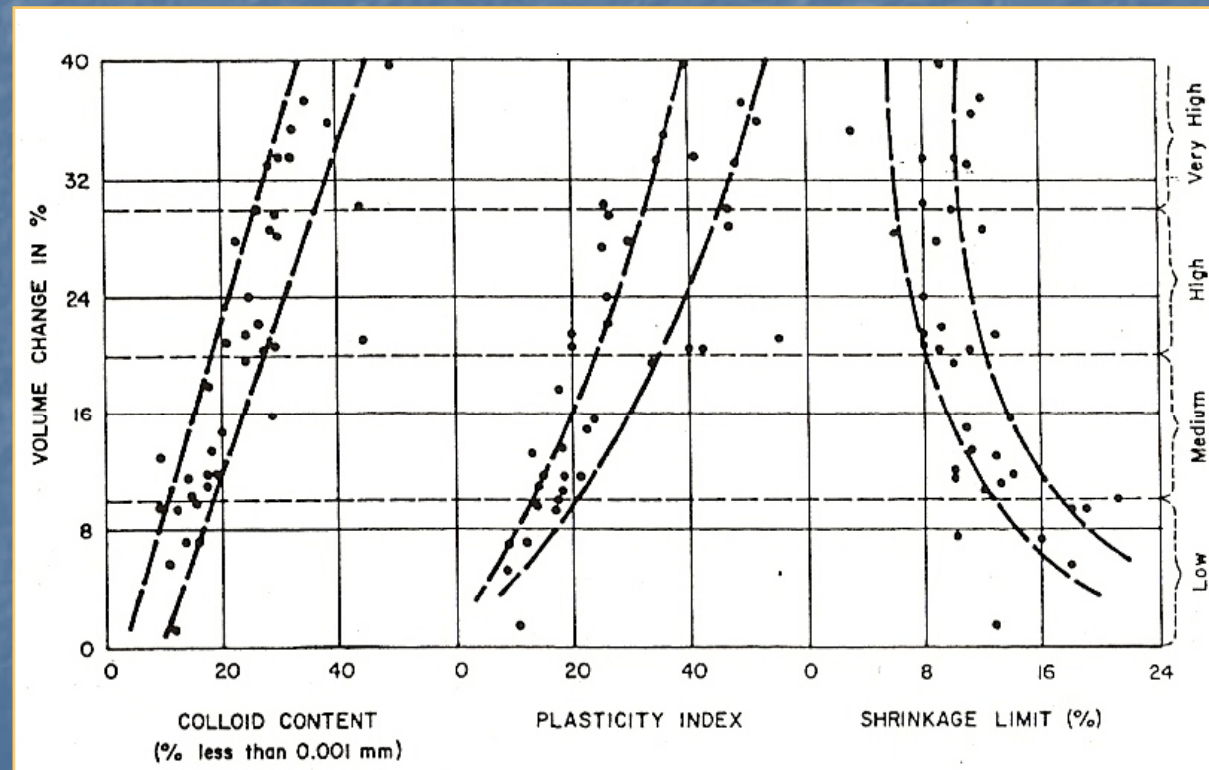
$$S = KC^x$$

όπου: x : εξαρτάται από τον τύπο της αργίλου
 K : συντελεστής που επίσης εξαρτάται από τον τύπο της αργίλου

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι

Οι Holtz και Gibbs (1954), πρότειναν μια μέθοδο ταξινόμησης της διογκοσιμότητας, η οποία βασίζεται σε ταυτόχρονη αξιολόγηση διαφόρων εδαφικών παραμέτρων.



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι

Τα αντίστοιχα κριτήρια της ταξινόμησης αυτής δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

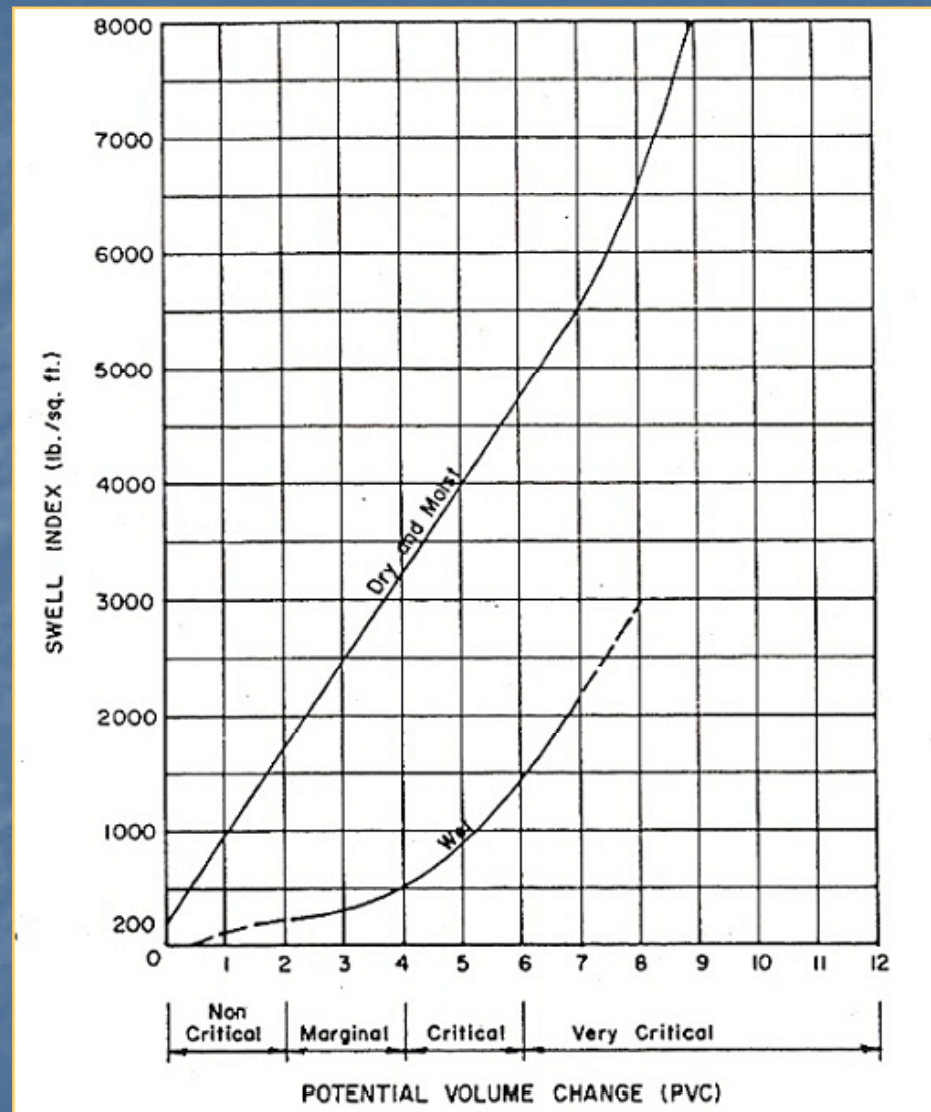
Η μέθοδος βασίζεται στις μετρήσεις διογκοσιμότητας 45 μόνο δοκιμίων, επομένως θα πρέπει να χρησιμοποιείται με μεγάλη προσοχή.

Data from Index Tests			Probable expansion, percent total vol. change	Degree of expansion
Colloid content, percent minus 0.001 mm	Plasticity Index	Shrinkage Limit		
>28	>35	<11	>30	Very high
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	High
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 30	Medium
>15	<18	>15	<10	Low

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι – Μετρητής PVC

Η μέθοδος αναπτύχθηκε από τον T.W.Lambe, προς όφελος της Federal Housing Administration των ΗΠΑ. Ένα δείγμα υλικού συμπυκνώνεται σε πρότυπο κυλινδρικό δοκιμαστή και ακολούθως εφαρμόζεται σε αυτό σταθερή πίεση. Προσθέτοντας νερό το δείγμα τείνει να διογκωθεί αλλά αυτή η τάση για διόγκωση περιορίζεται μερικώς από ένα ειδικό μηχανισμό που περιλαμβάνει και ένα δυναμομετρικό δακτύλιο. Η μέτρηση του δυναμομετρικού δακτυλίου δυο ώρες μετά από την προσθήκη νερού μετατρέπεται σε τάση, η οποία ονομάζεται δείκτης διόγκωσης. Ο δείκτης διόγκωσης μετατρέπεται σε δυνητική ογκομετρική αλλαγή.



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι – Δείκτης Διογκοσιμότητας

Ο δείκτης διόγκωσης EI (ASTM) θεωρείται βασική ιδιότητα ενός εδάφους και μετριέται με την ετοιμασία ενός δοκιμίου σε πρότυπο δοκιμαστικό δακτύλιο, χρησιμοποιώντας πρότυπη μέθοδο συμπύκνωσης και υγρασία που αντιστοιχεί με βαθμό κορεσμού 49 - 51%.

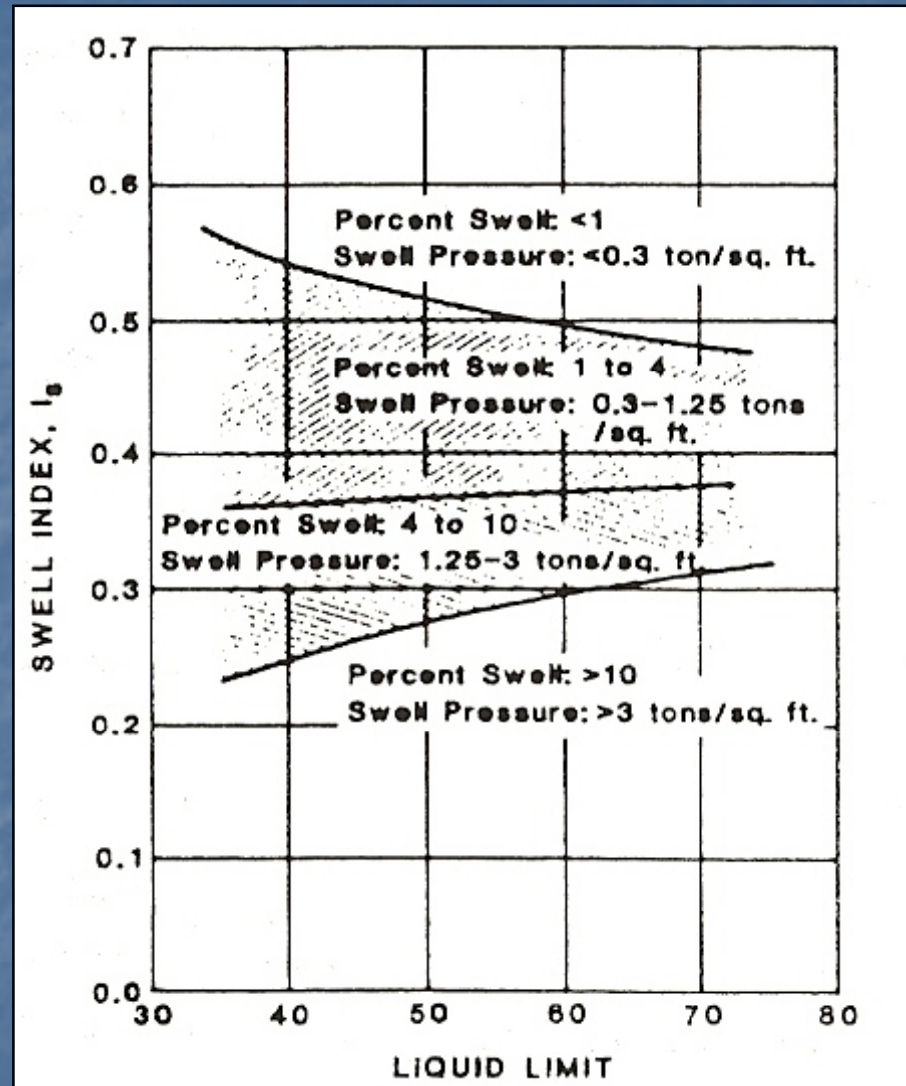
Το δείγμα καταβρέχεται κάτω από τάση 1 psi και η ανύψωση καταμετρείται. Ο συντελεστής EI είναι ίσος με το λόγο της αλλαγής του πάχους του δοκιμίου προς το αρχικό πάχος επί 100.

Expansion Index EI	Δυνητική Διόγκωσης
0-20	Πολύ χαμηλή
21-50	Χαμηλή
51-90	Μέτρια
91-130	Ψηλή
>130	Πολύ ψηλή

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες μέθοδοι – Swell Index (I_s)

Η μέθοδος αυτή προτάθηκε από τους Vijayrergiya and Ghazzaly (1973) και με βάση αυτή ο συντελεστής I_s ορίζεται σαν ο λόγος της φυσικής υγρασίας προς το όριο υδαρότητας.



*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες - Εμπειρικές μέθοδοι

Η πιο διαδεδομένη εμπειρική μέθοδος είναι αυτή του Van Der Merwe (1964) που είναι γνωστή και σαν Νοτιοαφρικανική μέθοδος.

Βασίζεται σε μια απλή εξίσωση που προβλέπει την ολική ανύψωση, P , λόγω διόγκωσης n στρωμάτων αργίλου ως ακολούθως:

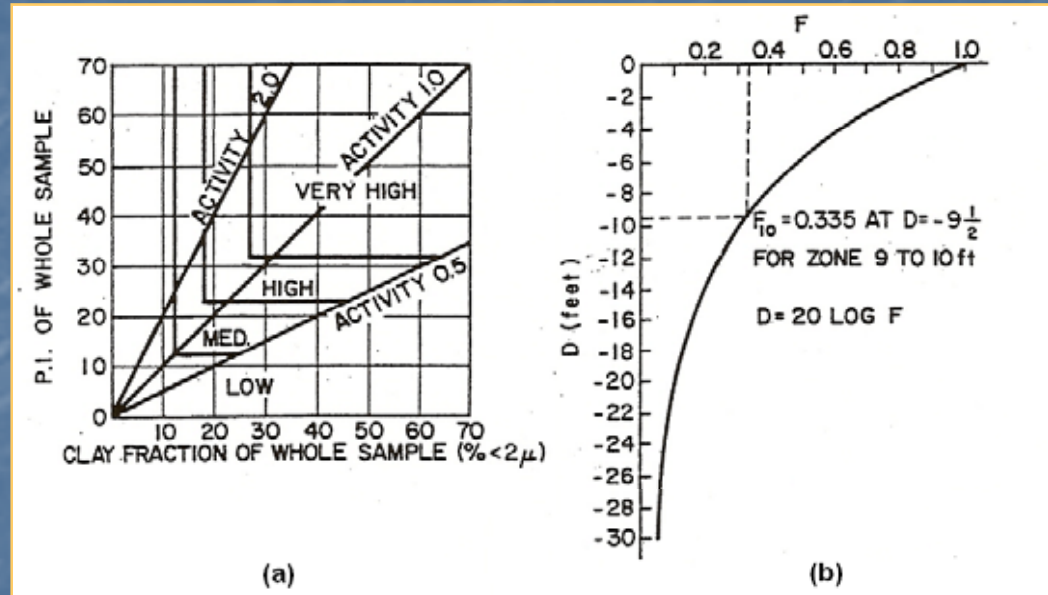
$$\rho = \sum_{i=1}^{i=n} F_i \times PE_i$$

όπου: F_i : μειωτικός συντελεστής που αφορά το στρώμα i
 PE_i : δυνητική διόγκωση για το στρώμα i

Εκτίμηση της διόγκωσης

Έμμεσες Εμπειρικές μέθοδοι

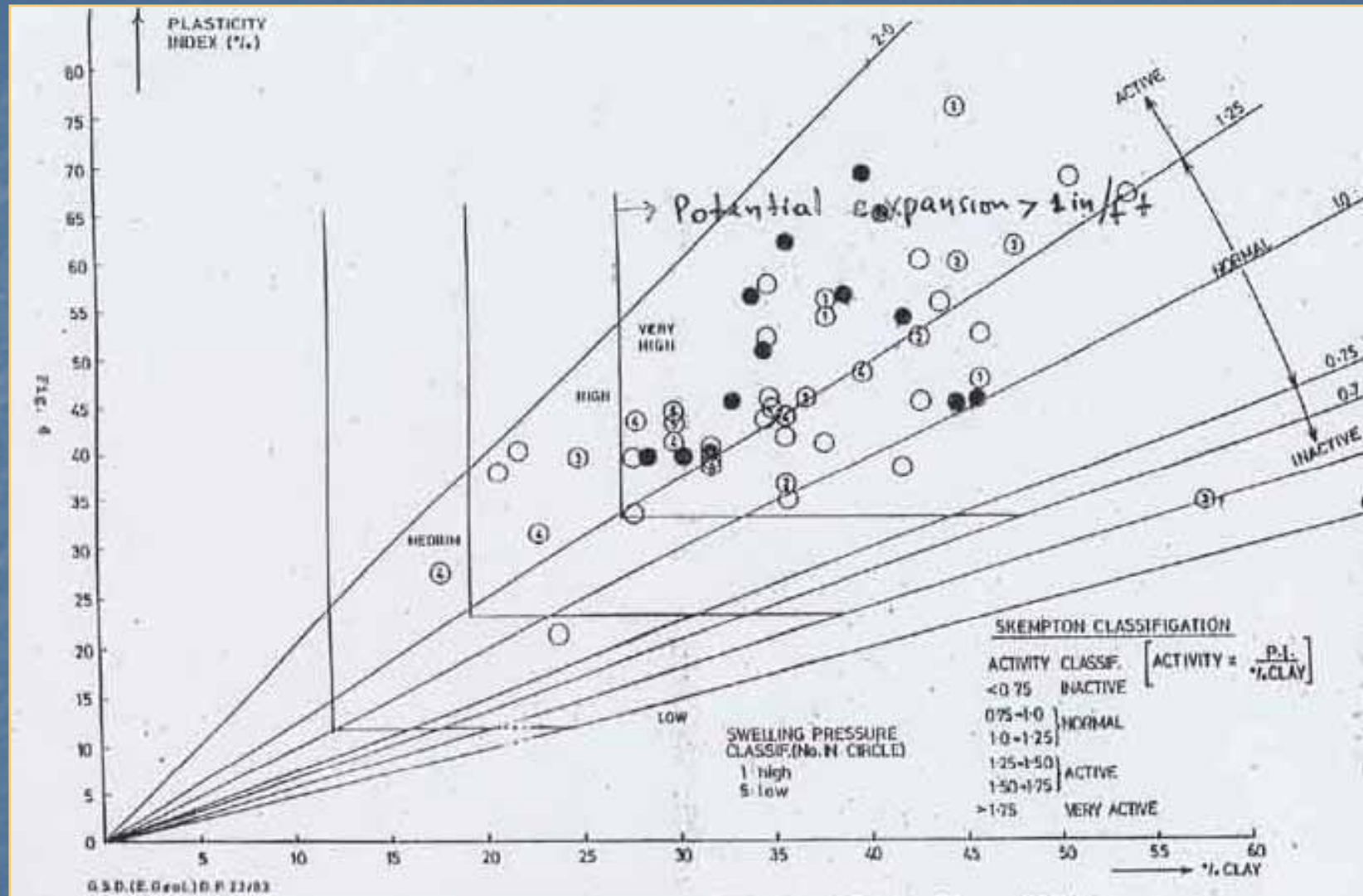
Οι συντελεστές F_i και PE_i υπολογίζονται από την αντίστοιχη γραφική παράσταση και βασίζονται στο δείκτη πλαστικότητας και το ποσοστό αργίλου ενός υλικού.



Με βάση το Νοτιοαφρικανικό σύστημα κατάταξης, η δυνητική διόγκωση δίνεται ως ακολούθως:

- Πολύ ψηλή $\Rightarrow PE = 1$ in/ft βάθος
- Ψηλή $\Rightarrow PE = 1/2$ in/ft βάθος
- Μέτρια $\Rightarrow PE = 1/4$ in/ft βάθος
- Χαμηλή $\Rightarrow PE = 0$ in/ft βάθος

Εκτίμηση της διόγκωσης



South African classification chart (Van der Merwe, 1964)

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Εκτίμηση της διόγκωσης

Μέθοδοι βασισμένες στην ολική μύζηση (soil total suction)

Τα μη κορεσμένα εδάφη αναπτύσσουν αρνητική πίεση πόρων, γνωστή σαν μύζηση (suction). Η ολική μύζηση σε ένα έδαφος αποτελείται από την οσμωτική μύζηση (osmotic suction) η οποία οφείλεται σε διαλυμένες ουσίες στο νερό των πόρων και τη μύζηση που οφείλεται στην αλληλεπίδραση του νερού των πόρων με τον εδαφικό ιστό (matrix suction).

$$h = H (h_o, h_c)$$

Εκτίμηση της διόγκωσης

Μέθοδοι βασισμένες στην ολική μύζηση (soil total suction)

Οι ογκομετρικές αλλαγές μπορούν να υπολογιστούν με την εξίσωση που προτάθηκε από τον Fredlund (1979), ως ακολούθως:

$$\Delta e = C_t \Delta \log(\sigma - u_\alpha) + c_m \Delta \log(u_\alpha - u_w)$$

όπου : e : λόγος των κενών

C_t : συντελεστής συμπίεσης

$\sigma - u_\alpha$: ενεργές τάσεις υπό κορεσμένες συνθήκες

c_m : συντελεστής απορρόφησης με βάση το λόγο των κενών και τη μύζηση

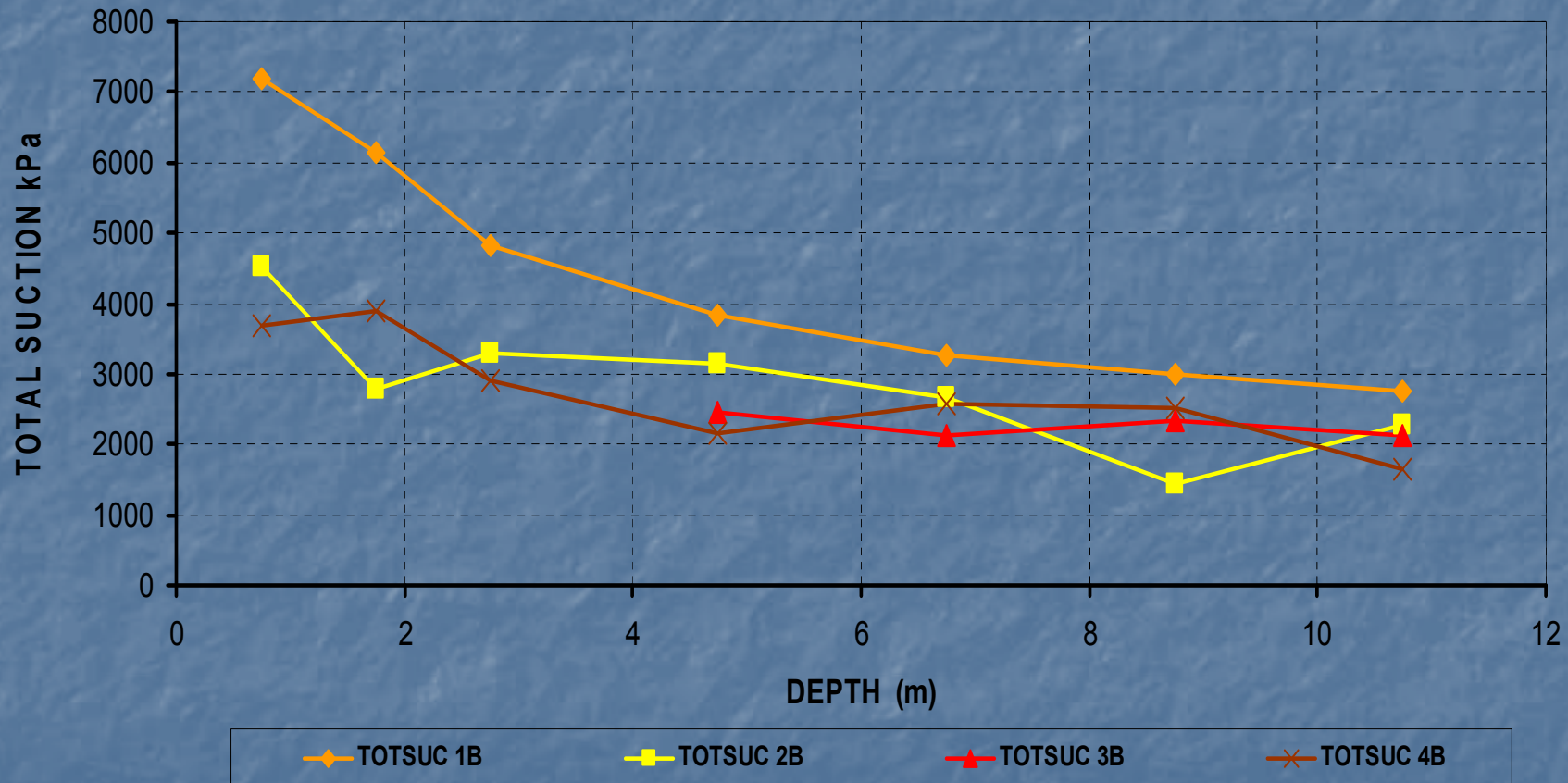
$u_\alpha - u_w$: matrix suction

Εάν οι ολικές τάσεις είναι σχετικά σταθερές η εξίσωση απλοποιείται ως ακολούθως:

$$\Delta e = C_m \Delta \log(u_\alpha - u_w)$$

Εκτίμηση της διόγκωσης

Swelling Clays : A continuous threat to the built environment of Cyprus
BOREHOLES 1B-4B-TOTAL SUCTION



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Εκτίμηση της διόγκωσης

Άμεσες μέθοδοι βασισμένες στη δοκιμή του οιδημέτρου

Χρησιμοποιείται μια ποικιλία μεθόδων υπολογισμού της διόγκωσης βασισμένες στη δοκιμή οιδημέτρου, (Nelson and Miller, 1992).

Test Name (in chronological order)	Location	Reference
1. Double oedometer method	South Africa	Jennings and Knight (1957)
2. Volumenometer method	South Africa	BeBruijn (1961)
3. Sampson, Schuster, and Budge method	Colorado	Sampson et al. (1965)
4. Noble method	Canada	Noble (1966)
5. Sullivan and McClelland method	Texas	Sullivan and McClelland (1969)
6. Komornik, Wiseman, and Ben-Yacob method	Israel	Komornik et al. (1969)
7. Navy method	United States	Navy (1971)
8. Wong and Yong method	England	Wong and Yong (1973)
9. USBR method	United States	Gibbs (1973)
10. Simple oedometer test	South Africa	Jennings et al. (1973)
11. Direct model method (Texas State and Highway Dep.)	Texas	Smith (1973)
12. Mississippi State Highway Dept. method	Mississippi	Teng et al. (1972; 1973) Teng and Clisby (1975)
13. Controlled strain test	Colorado	Porter and Nelson (1980)
14. Univ. of Saskatchewan	Canada	Fredlund et al. (1980)

Εκτίμηση της διόγκωσης

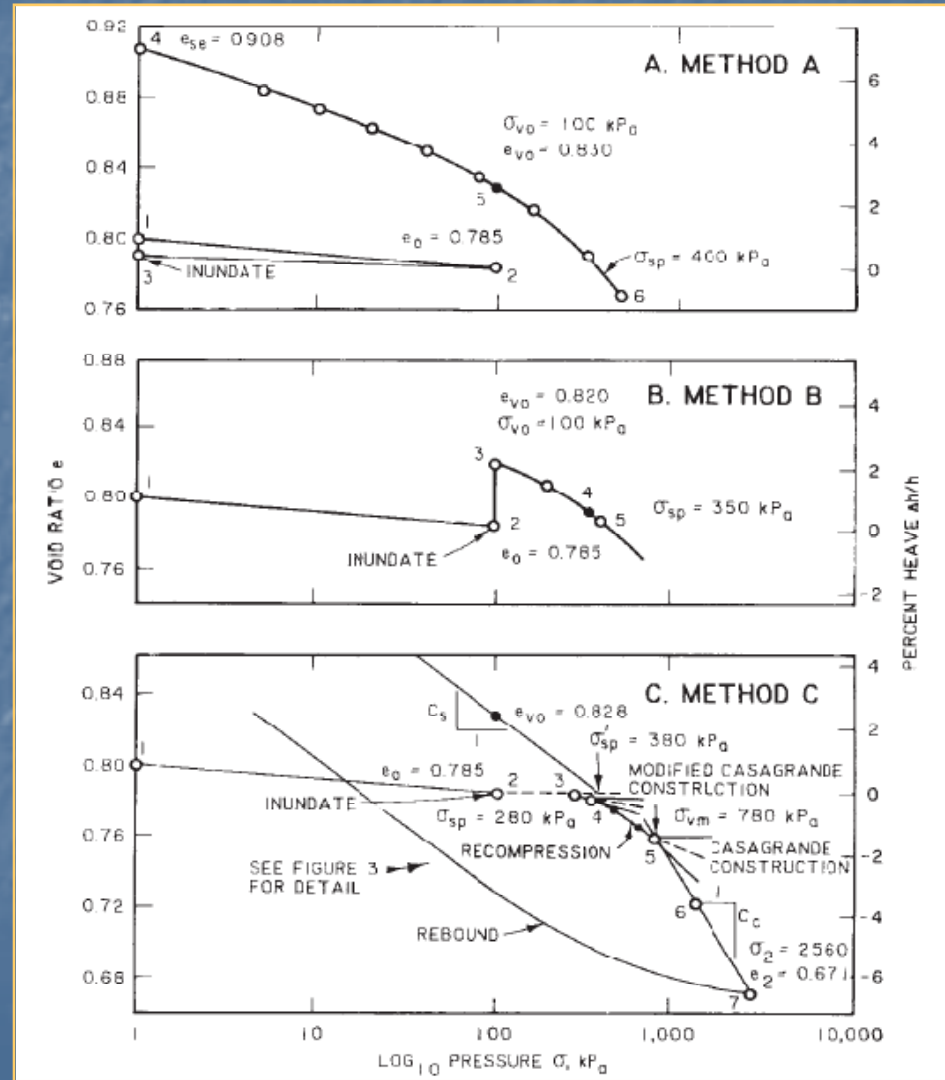
Άμεσες μέθοδοι βασισμένες στη δοκιμή του οιδημέτρου(ASTM)

Η πιο γνωστή μέθοδος υπολογισμού ανύψωσης λόγω διόγκωσης βασίζεται στη χρήση της μονοδιάστατης δοκιμής οιδημέτρου. Χρησιμοποιούνται δυο βασικές δοκιμές ως ακολούθως:

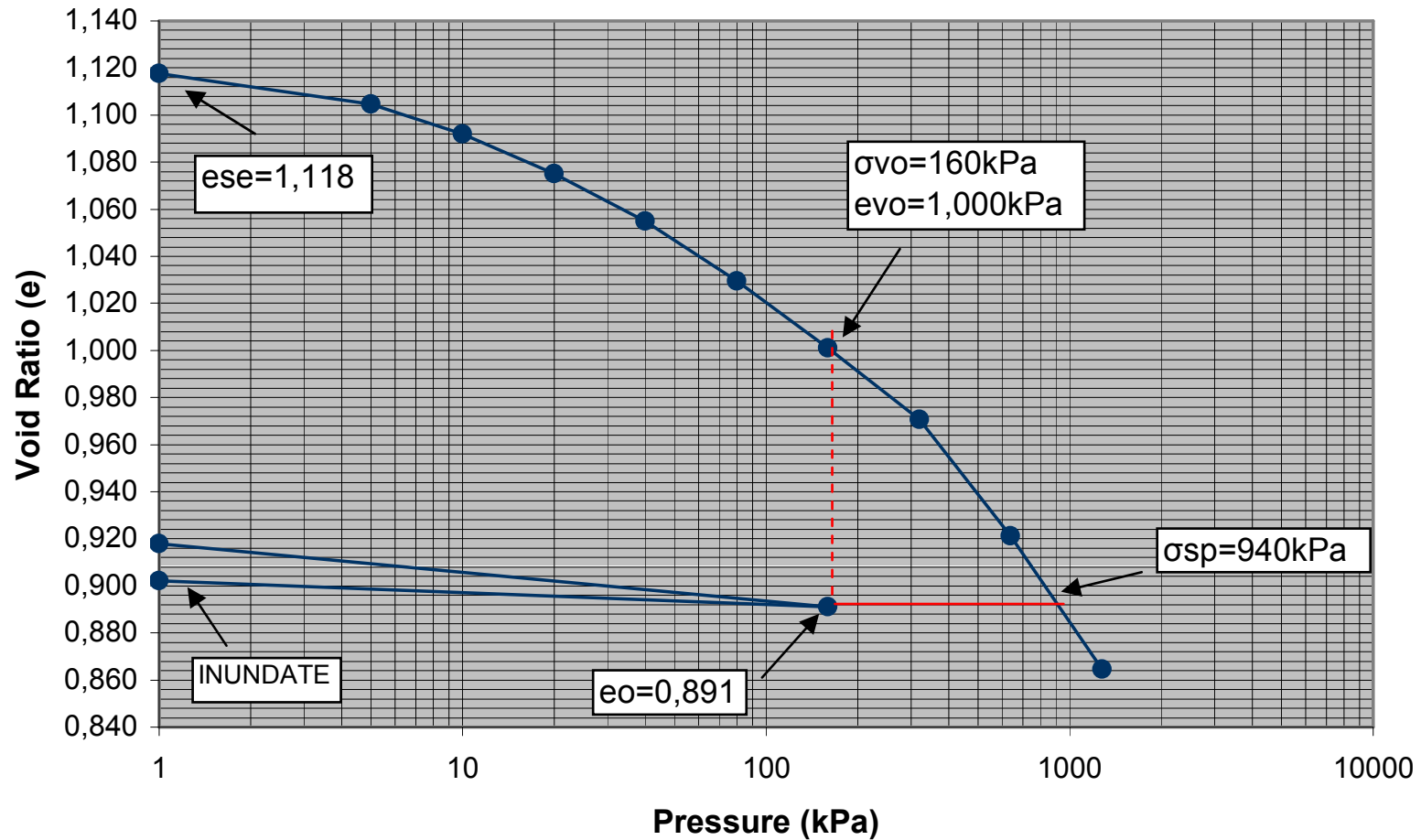
- Δοκιμή στερεοποίηση / διόγκωσης (ελεγχόμενης τάσης)
- Δοκιμή σταθερού όγκου (ελεγχόμενης παραμόρφωσης)

Εκτίμηση της διόγκωσης

Άμεσες μέθοδοι βασισμένες στη δοκιμή του οιδημέτρου

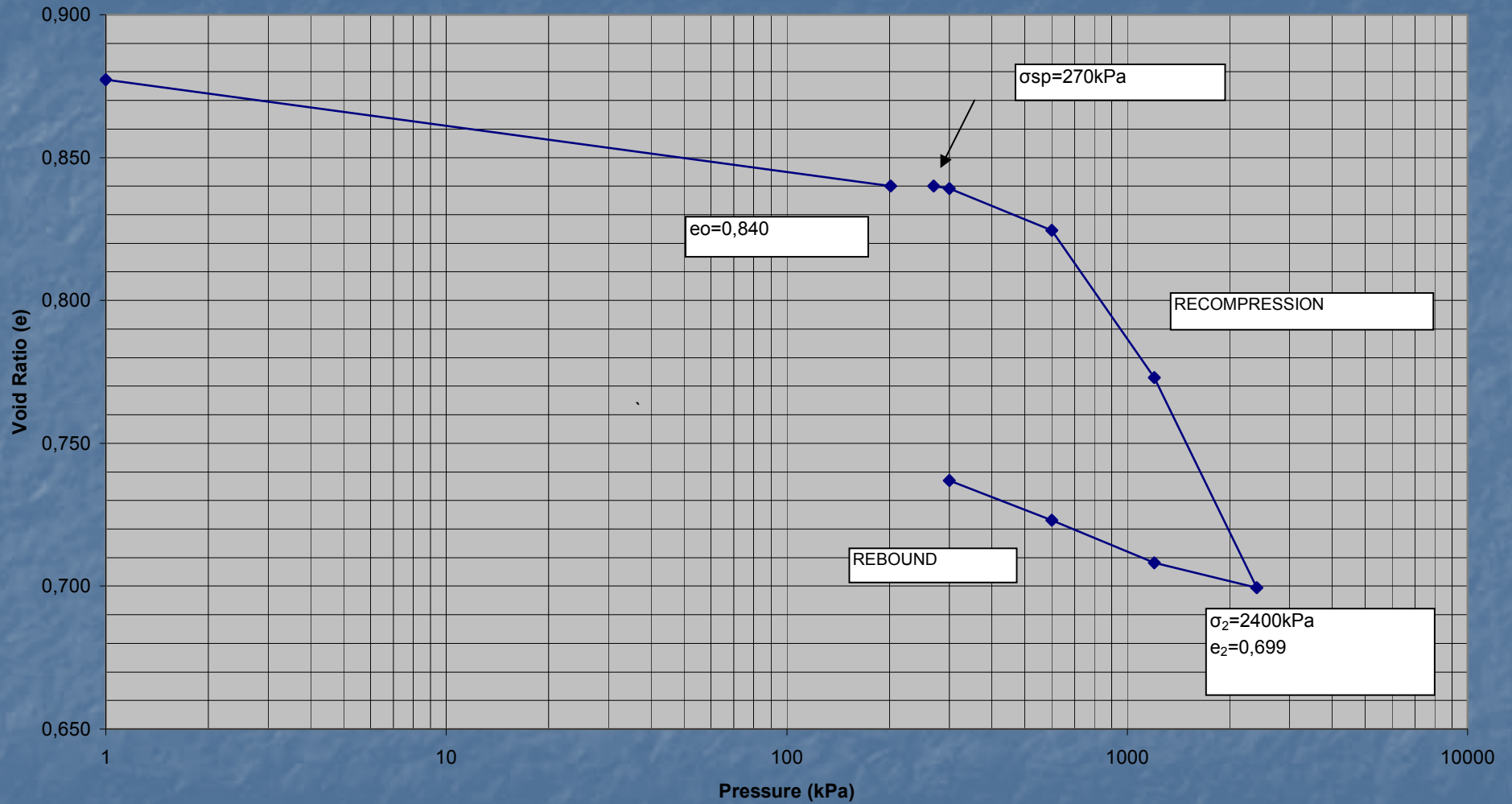


VOID RATIO - LOG PRESSURE CURVE



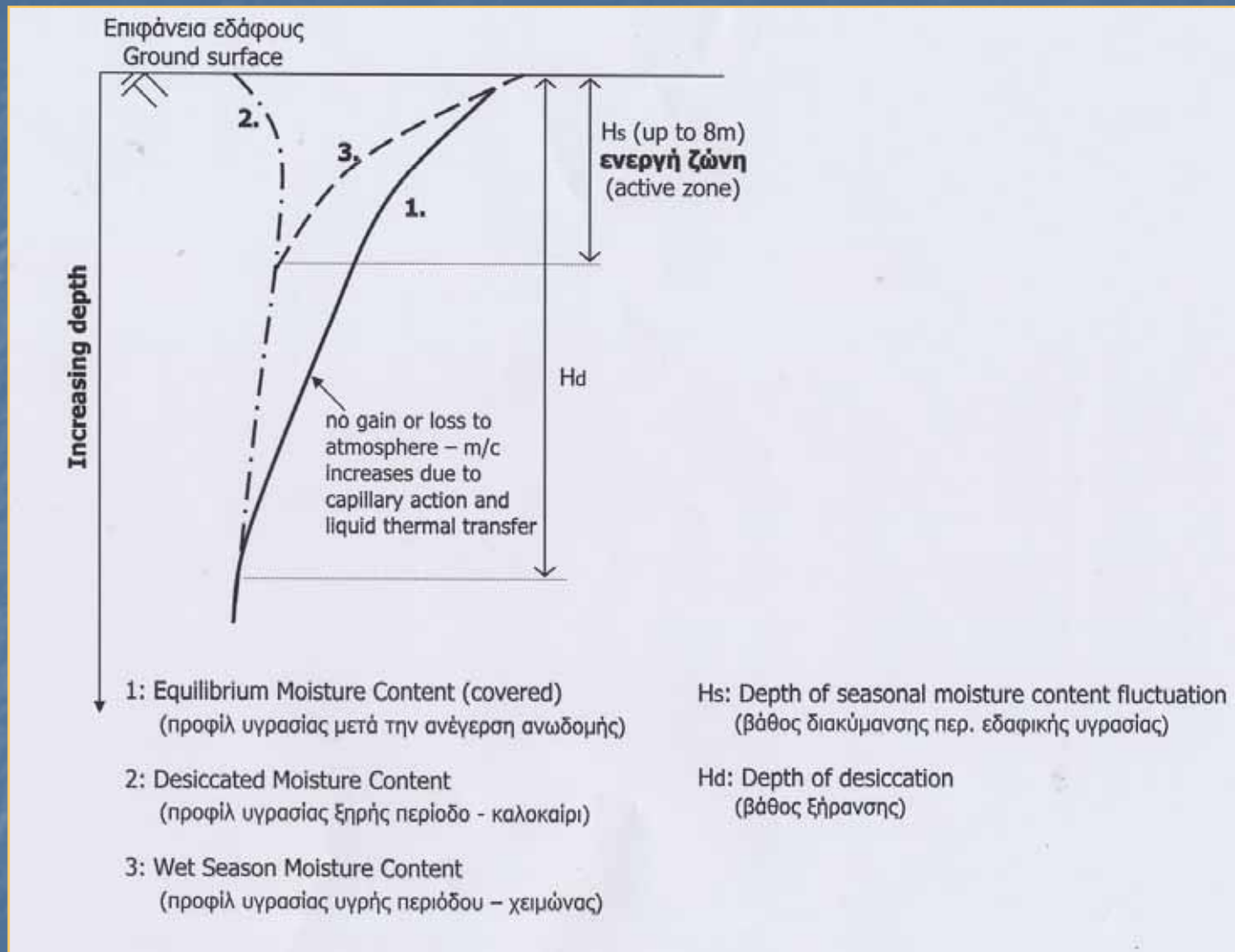
A S T M D 45 46 Method A

VOID RATIO - LOG PRESSURE CURVE



A S T M D4546 Method C

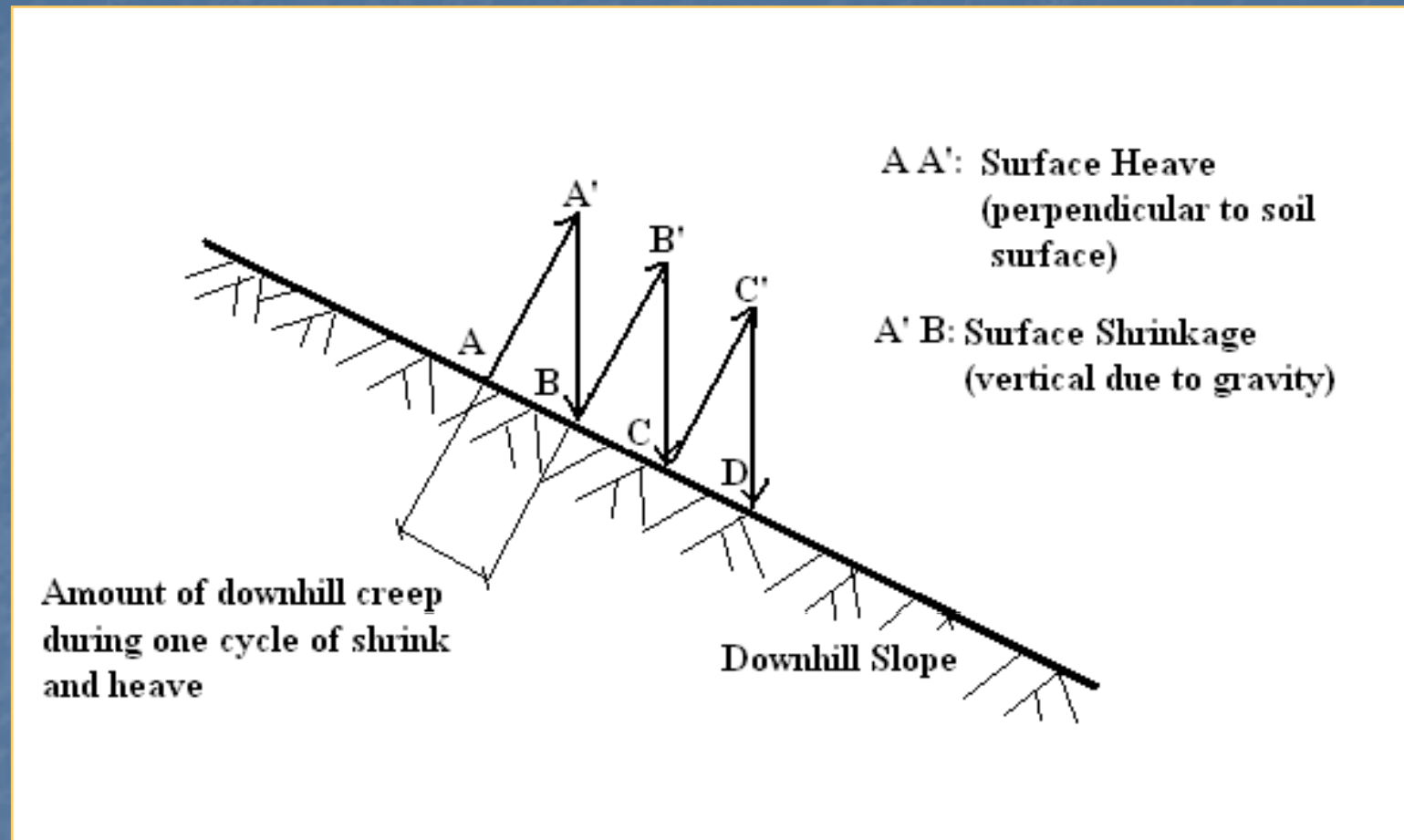
Ενεργή ζώνη



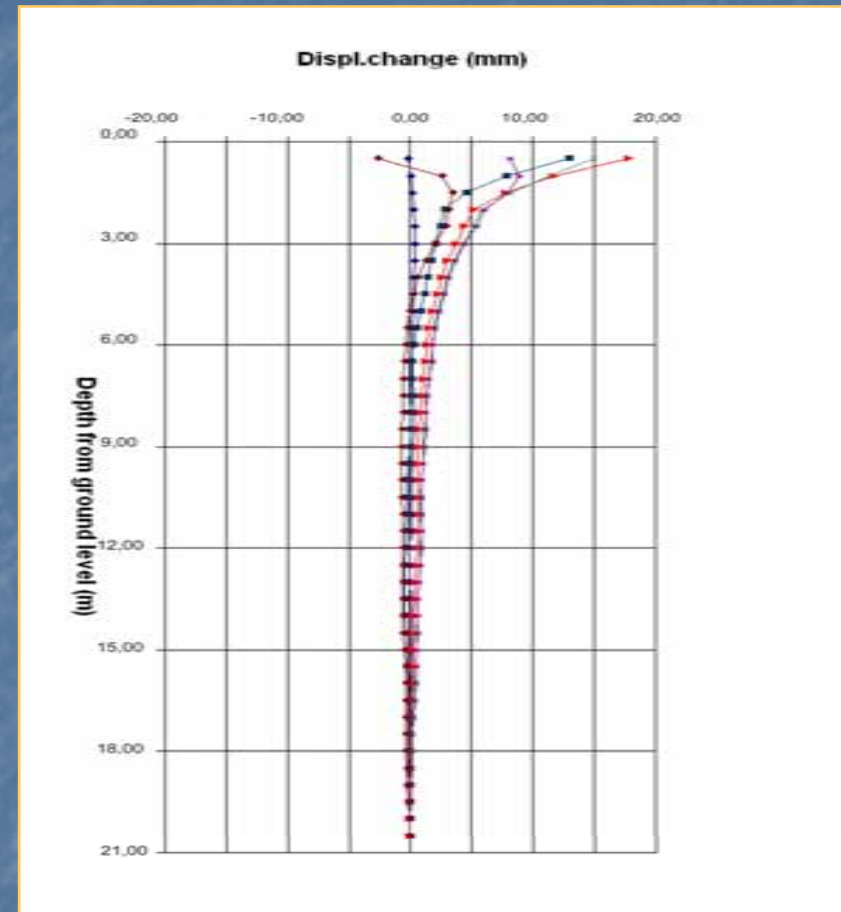
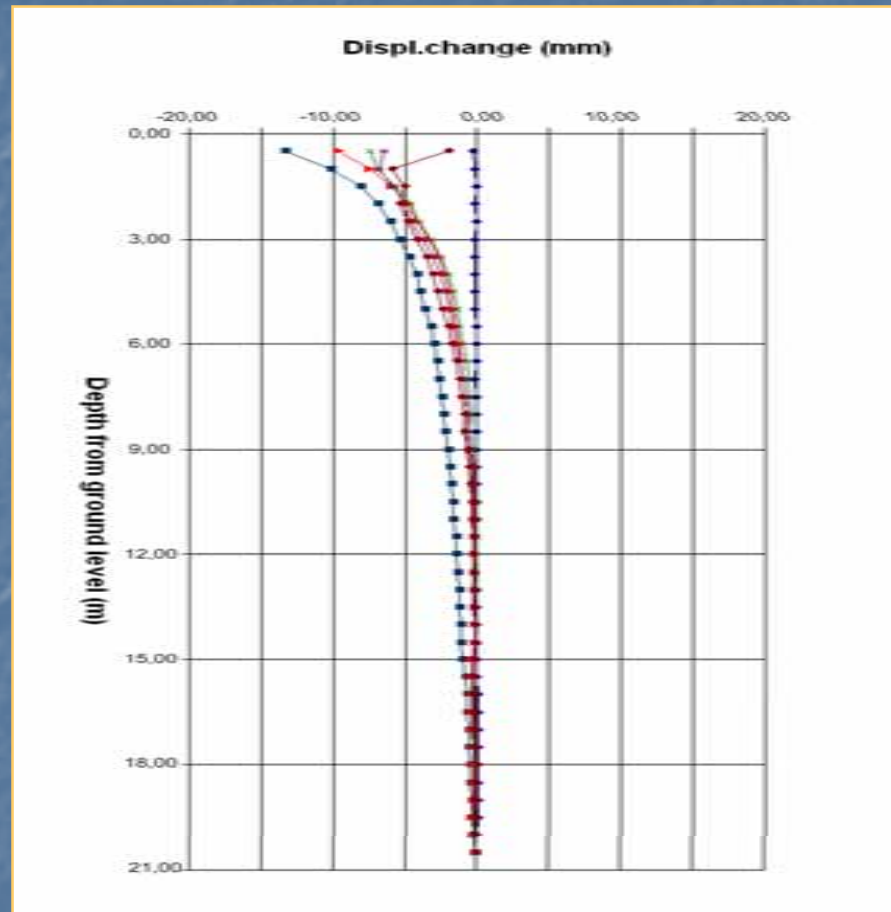
(After Kraynski, 1967)

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Ερπυσμός



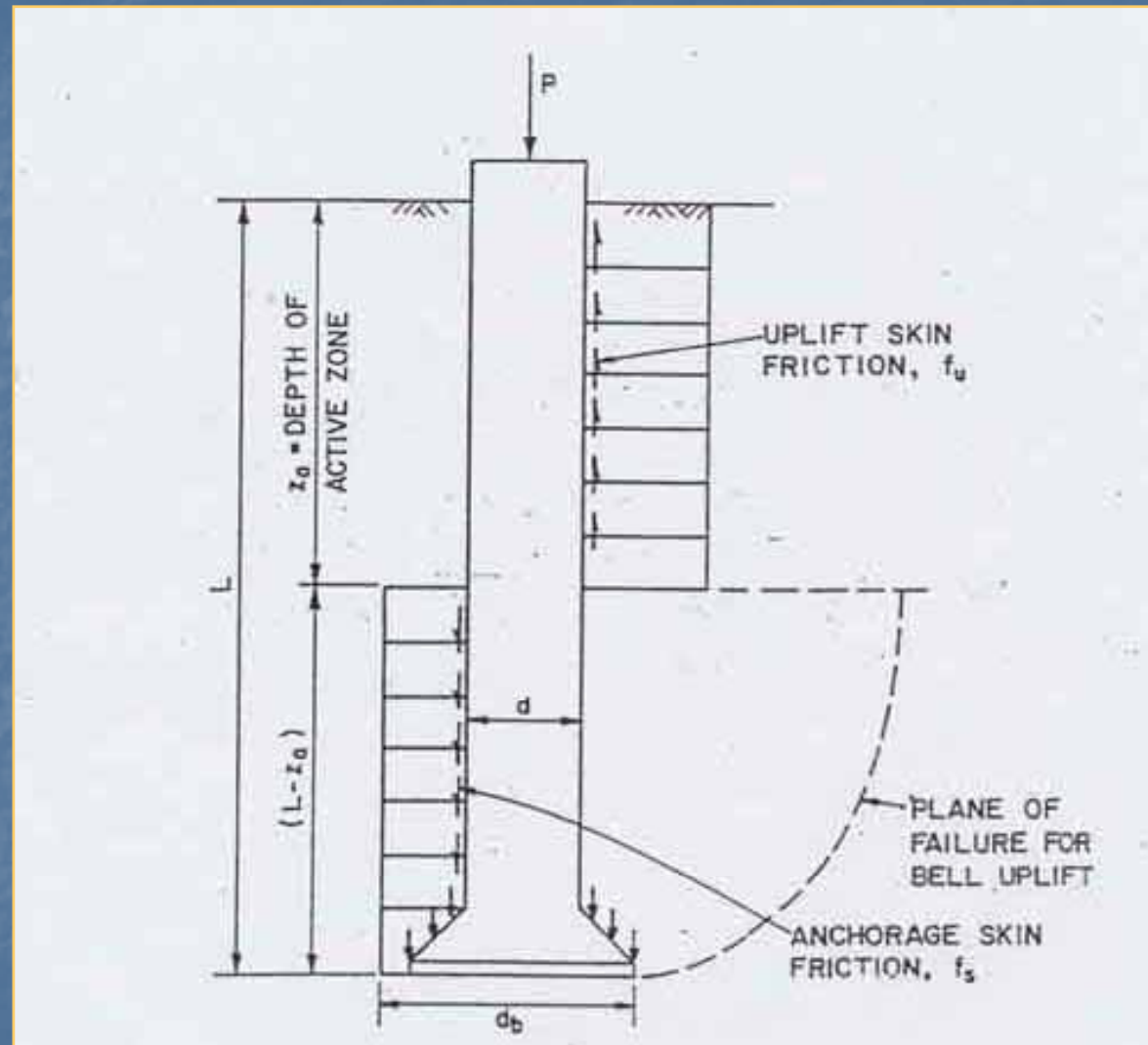
Ζημιές σε κτίρια και εγκαταστάσεις στην Κύπρο



Ενδεικτικές μετρήσεις από κλισιόμετρα σε δύο κάθετες διευθύνσεις

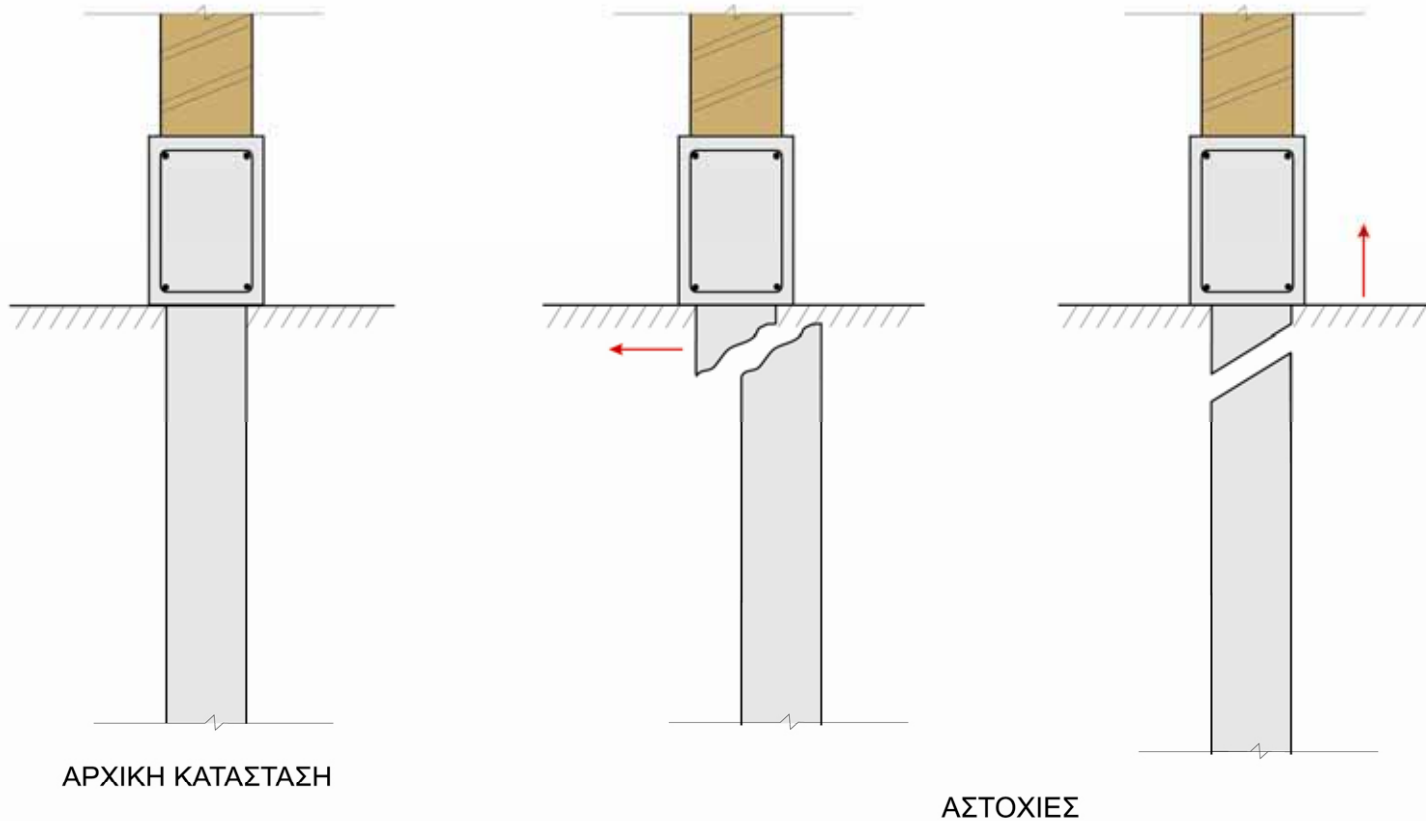
Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Θεμελίωση



Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

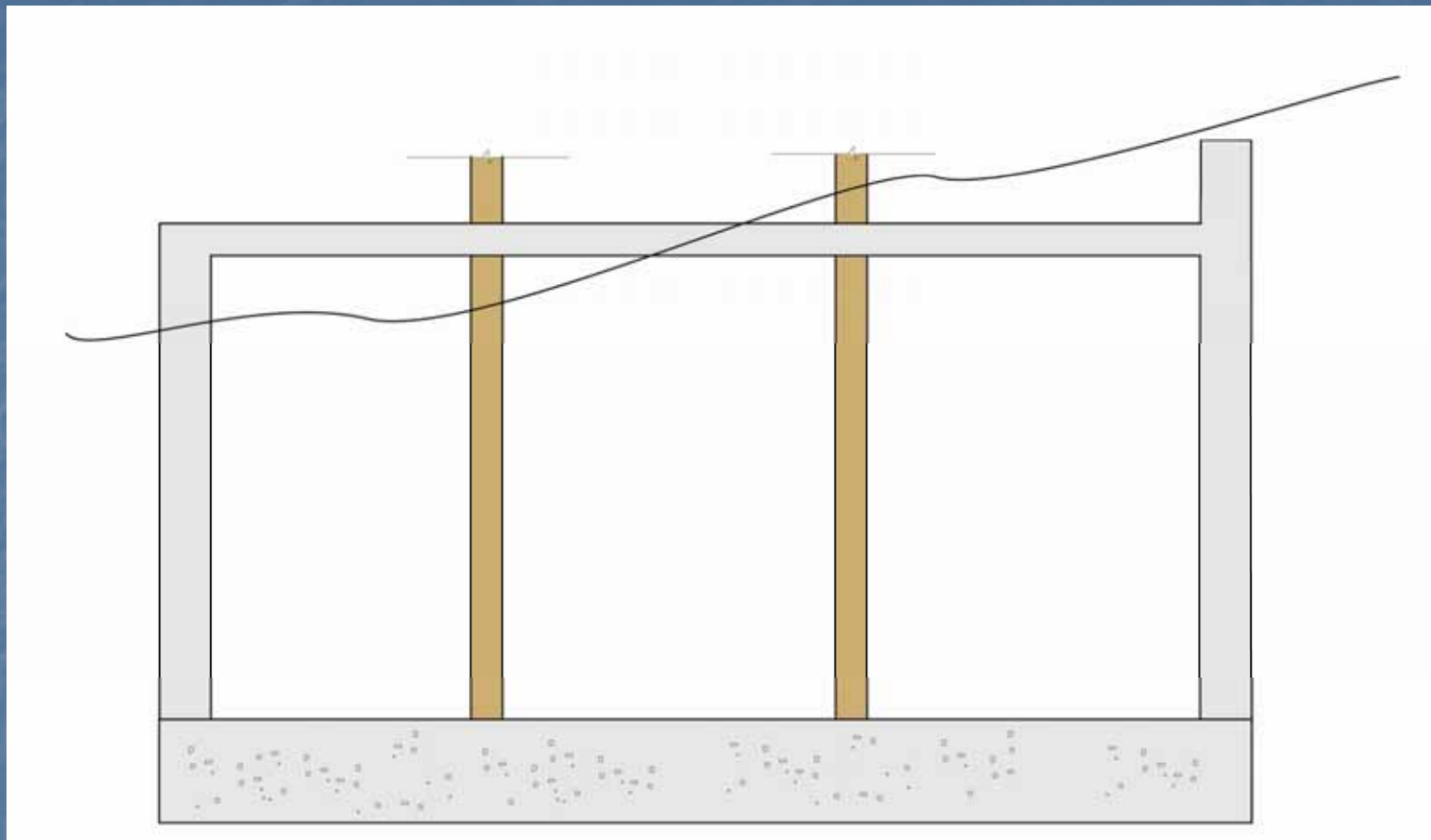
Θεμελίωση



ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΚΟΛΛΕΓΙΟΥ ΔΑΣΚΑΛΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

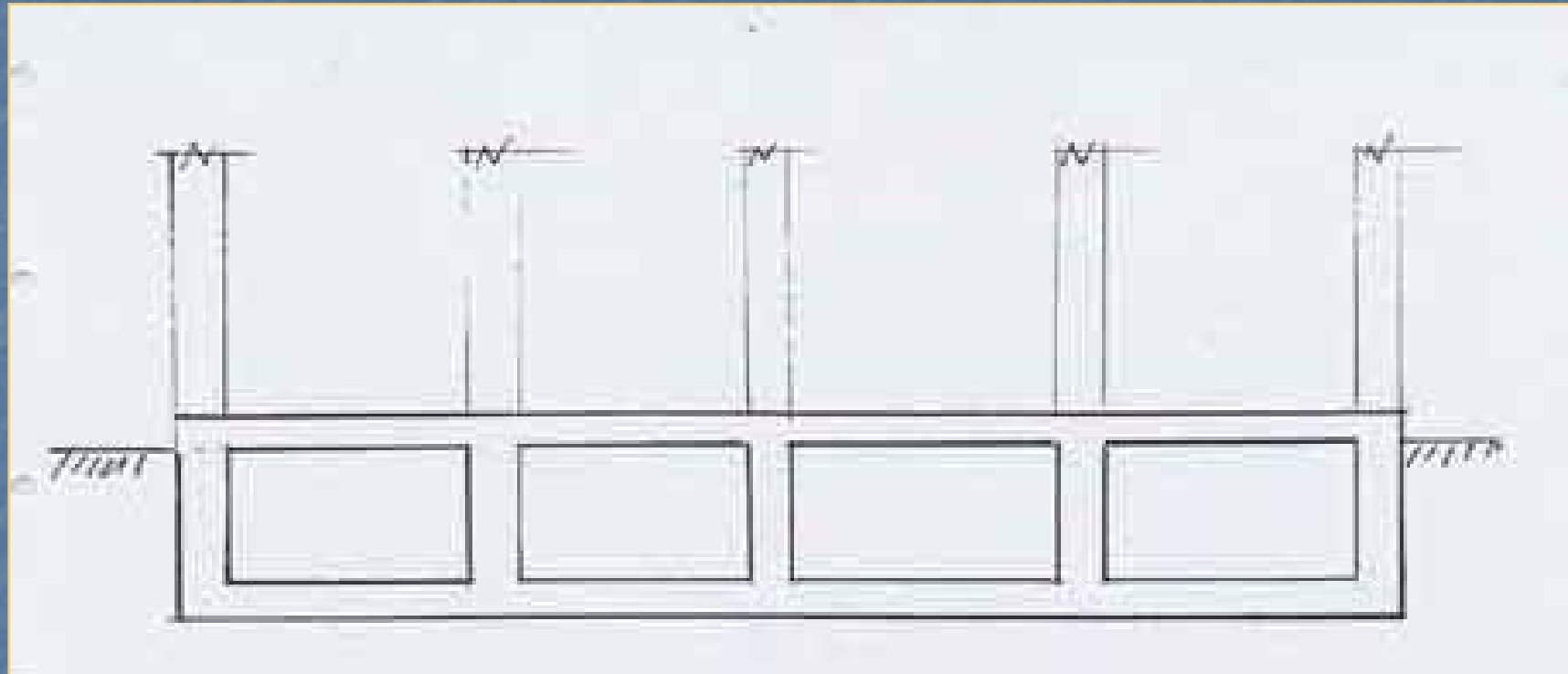
Θεμελίωση



ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΣΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΥΠΟΓΕΙΟΥ
(ΚΑΛΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ)

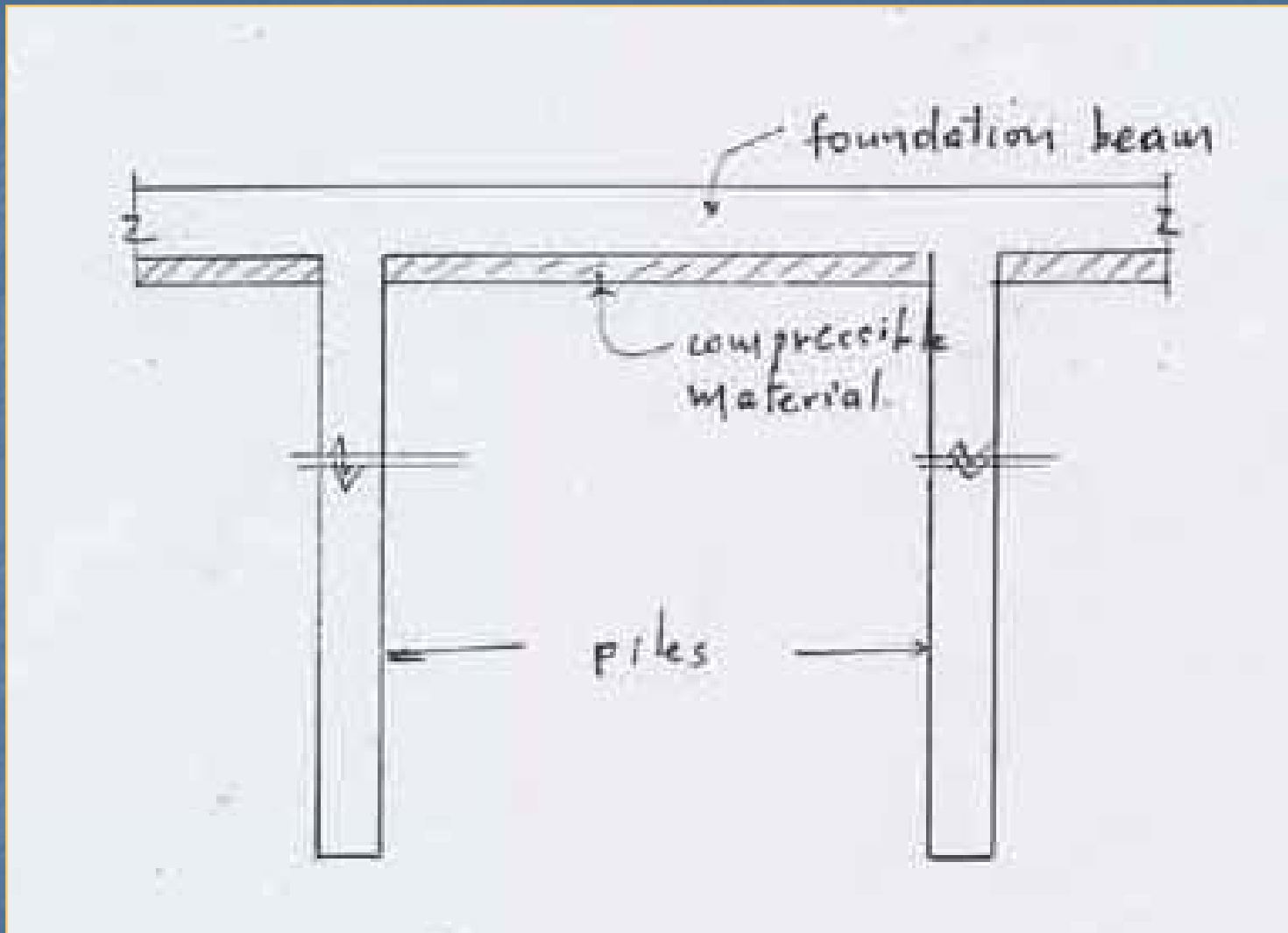
*Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το
δομημένο περιβάλλον της Κύπρου*

Θεμελίωση



Raft foundations (good performance)

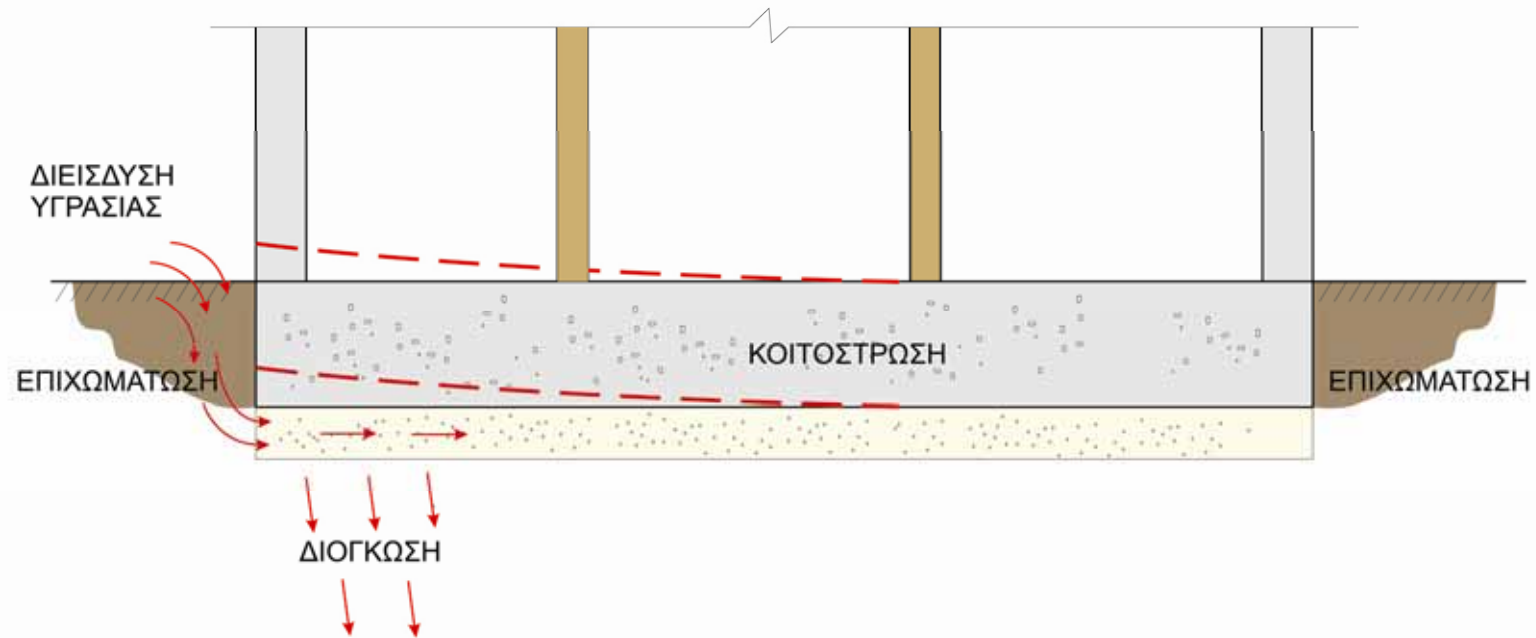
Θεμελίωση



Piles (good performance)

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Θεμελίωση



ΧΡΗΣΗ ΦΙΛΤΡΟΥ Η ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟΥ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΘΕΜΕΛΙΟ

Διογκούμενα Εδάφη - Μια συνεχής απειλή για το δομημένο περιβάλλον της Κύπρου

Αδρανοποίηση

Για τη μείωση της διόγκωσης των εδαφών στα οποία εδράζονται κατασκευές, οι Μηχανικοί έχουν καταφύγει σε διάφορες τεχνικές όπως:

- χρήση χημικών πρόσθετων
- κατάβρεξη (pre-wetting)
- αντικατάσταση εδάφους
- σταθεροποίηση υγρασίας

Το πρόβλημα των ΔΕ είναι αναμφίβολα το πιο δύσκολο που αντιμετωπίζει ο Κύπριος Μηχανικός. Υπάρχουν αποτελεσματικά μέτρα που μπορούν να ληφθούν εκ των προτέρων νοουμένου ότι θα εντοπιστεί το πρόβλημα. Διορθωτικά μέτρα εκ των υστέρων είναι δύσκολα, δαπανηρά και στις περισσότερες περιπτώσεως αναποτελεσματικά.

Ευχαριστώ