

# Φράγματα – Υδραυλικές κατασκευές

9ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

## Διάλεξη 3<sup>η</sup>: Γεωφράγματα (Α' μέρος)

**Σπύρος Μίχας, Δημήτρης Δερματάς, Ανδρέας Ευστρατιάδης**

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ακαδημαϊκό έτος 2015-16

# Απαιτήσεις εφαρμογής γεωφραγμάτων

---

- ❑ Χαμηλές απαιτήσεις αντοχής και παραμορφωσιμότητας της επιφάνειας θεμελίωσης στη βάση και τα αντερείσματα (Γεωτεχνική Μηχανική, Τεχνική Γεωλογία)
  
- ❑ Διαθεσιμότητα σε επαρκείς ποσότητες, κατάλληλων υλικών πυρήνα, σωμάτων στήριξης, φίλτρων & στραγγιστηρίων και υλικών λιθορριπής
  
- ❑ Η διαθεσιμότητα κατάλληλων υλικών διερευνάται:
  - στη λεκάνη κατάκλυσης
  - σε απόσταση από τη θέση κατασκευής του έργου που να μην καθιστά το κόστος μεταφοράς απαγορευτικό

# Βασικές αρχές λειτουργίας των γεωφραγμάτων

## □ Βασικοί στόχοι του έργου

1. Έλεγχος όλων των οδών αποστράγγισης του νερού του ταμιευτήρα
2. Συγκρότηση ενός ευσταθούς αναχώματος

→ *Εκμηδένιση της διήθησης με ένα σώμα ελάχιστων δυνατών διαστάσεων*

## □ Πώς επιτυγχάνεται αυτό:

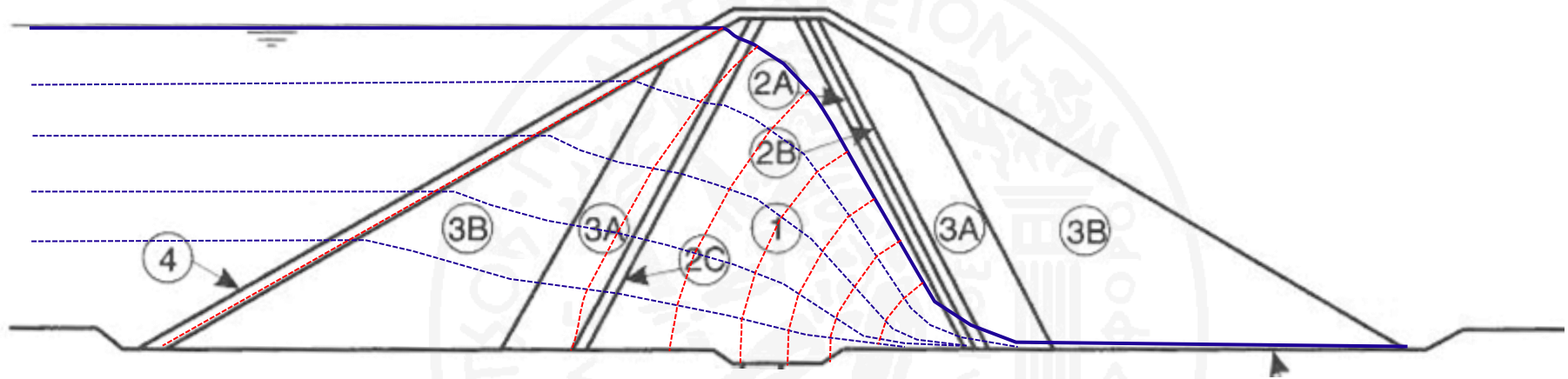
- Ο πυρήνας είναι στεγανός αλλά η αντοχή του υλικού του γενικά μικρή
- Τα σώματα και τα διαπερατά υλικά έχουν μεγαλύτερη αντοχή αλλά πολύ μεγάλη διαπερατότητα

→ *Ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών μπορεί να βελτιστοποιήσει το επιθυμητό αποτέλεσμα.*

## □ Συνθήκες Terzaghi μεταξύ των ζωνών του υλικού:

- Υδραυλική
- Μηχανική

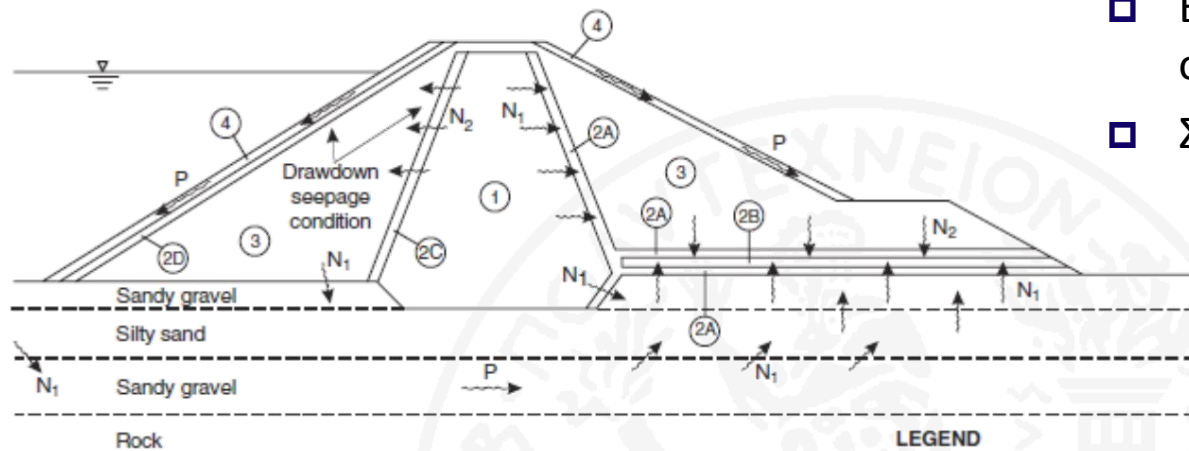
# Έλεγχος της ροής διά του σώματος του φράγματος



- ❑ Εκμηδένιση της διήθησης (Τσόγκας, 1990)
- ❑ Συνδυάζουμε τα επί μέρους υλικά και τη γεωμετρία τους ώστε να επιτύχουμε:
  - Μηδενική διήθηση
  - Ευστάθεια
  - Βελτιστοποίηση κατασκευής και χρήσης υλικών

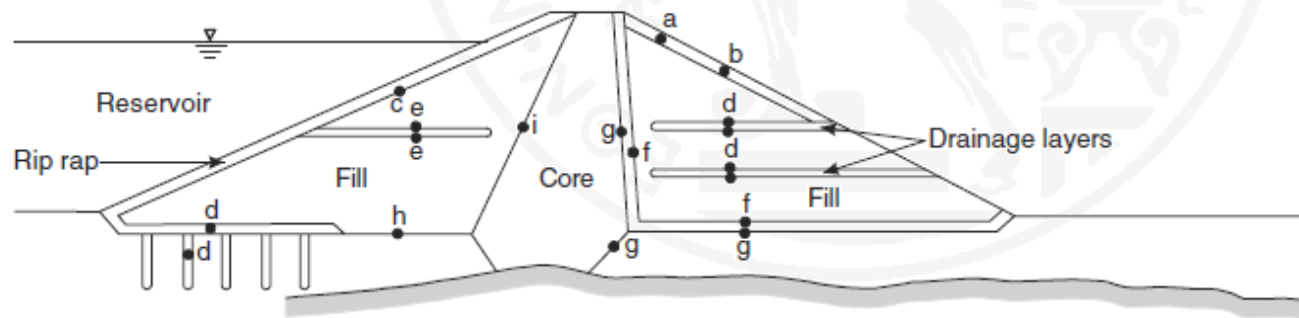


# Υδραυλική λειτουργία των γεωφραγμάτων



Zone	Description
①	Earthfill
②A ②B ②C ②D	Filter/drains
③	Earth or rockfill
④	Rip rap

- Έλεγχος της ροής διά του σώματος (πορώδους μέσου)
- Συνθήκες ροής:
  - N1: ροή μεταξύ εδάφους και φράγματος
  - N2: ροή μεταξύ ζωνών φράγματος
  - P: ροή παράλληλη με τις ζώνες



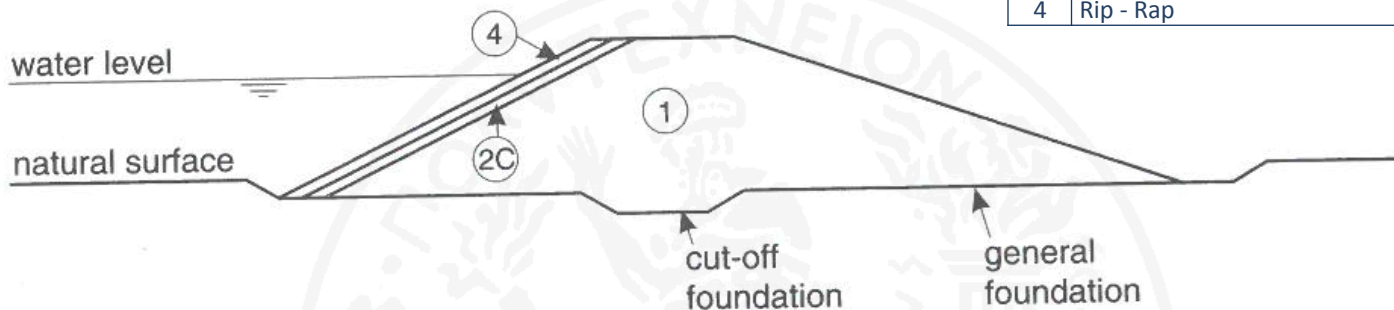
internal erosion under  $N_1$  flow conditions.

Figure 9.2. Filter functions (adapted from ICOLD, 1986).

# Τύποι γεωφραγμάτων

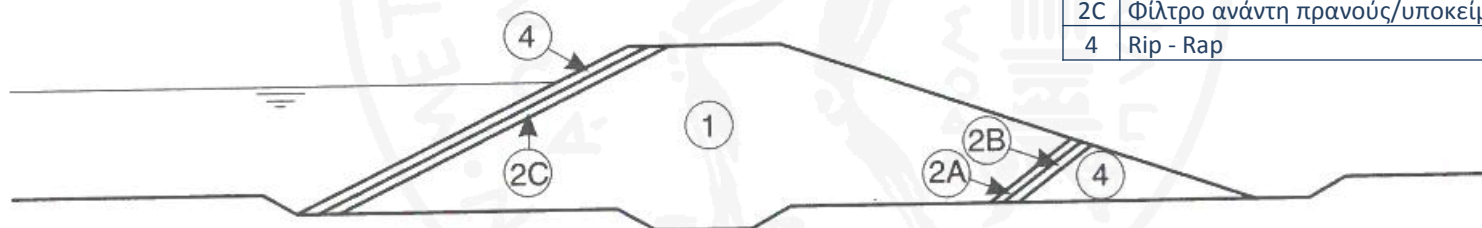
## ■ Χωμάτινα

### □ Ομοιογενή



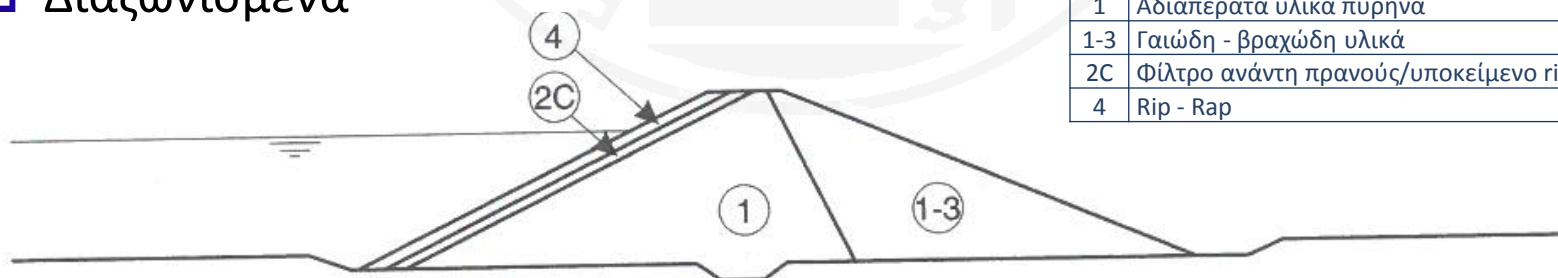
1	Αδιαπέρατα υλικά πυρήνα
2A	Λεπτόκοκκο φίλτρο
2C	Φίλτρο ανάντη πρανούς/υποκείμενο rip-rap
4	Rip - Rap

### □ Με στραγγιστική στρώση στον κατάντη πόδα



1	Αδιαπέρατα υλικά πυρήνα
2A	Λεπτόκοκκο φίλτρο
2B	Χονδρόκοκκο φίλτρο
2C	Φίλτρο ανάντη πρανούς/υποκείμενο rip-rap
4	Rip - Rap

### □ Διαζωνισμένα



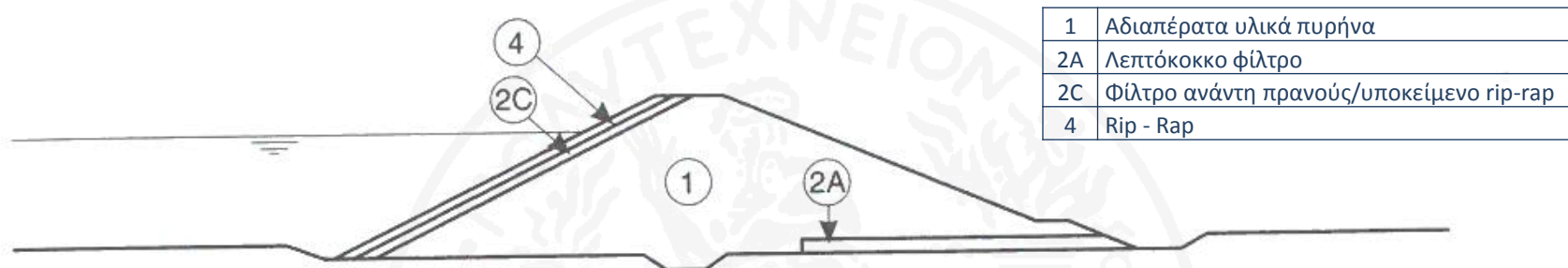
1	Αδιαπέρατα υλικά πυρήνα
1-3	Γαιώδη - βραχώδη υλικά
2C	Φίλτρο ανάντη πρανούς/υποκείμενο rip-rap
4	Rip - Rap

Πηγή: Geotechnical engineering of dams, R.Fell, P.MacGregor etc

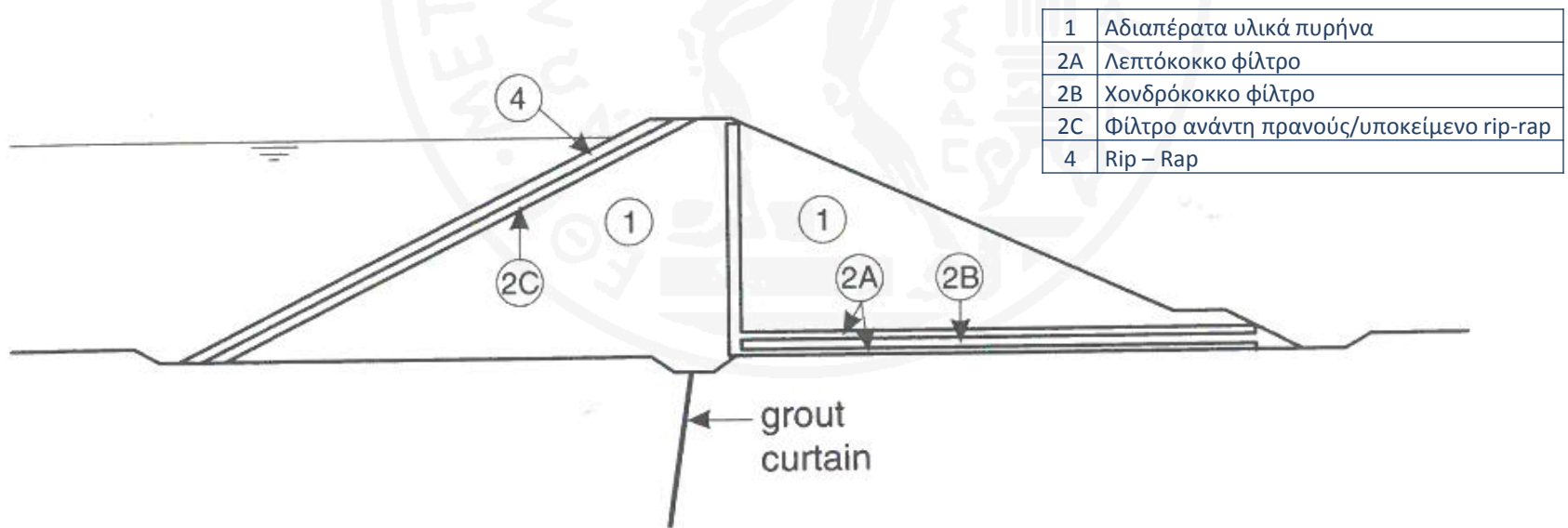
# Τύποι γεωφραγμάτων

## ■ Χωμάτινα

- Με οριζόντιο στραγγιστήριο στην βάση του κατάντη πρανούς



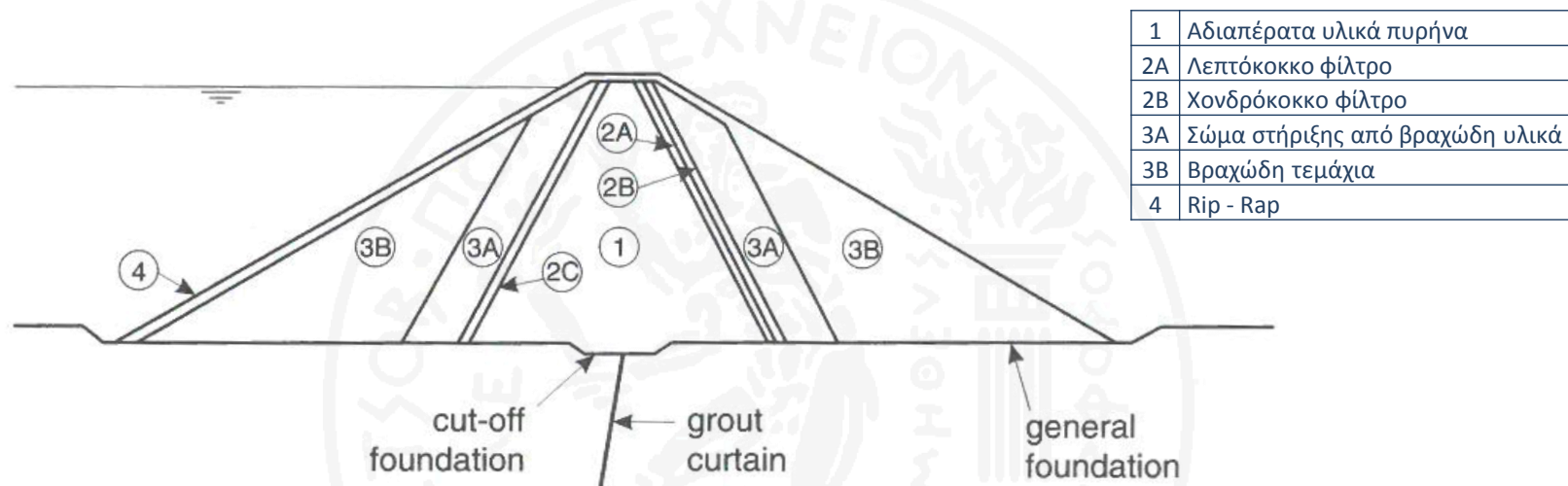
- Με κατακόρυφη και οριζόντια στραγγιστική στρώση



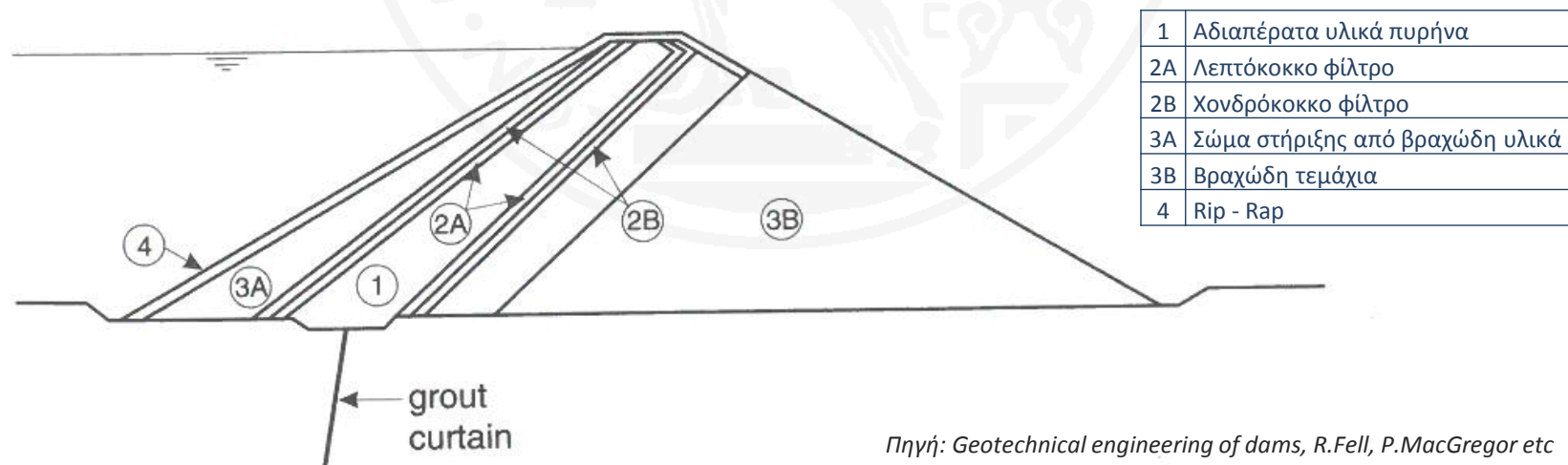
# Τύποι γεωφραγμάτων

## ■ Χωμάτινα & Λιθόρριπτα

- Με κεντρικό αδιαπέρατο πυρήνα και πρανή από γαιώδη ή βραχώδη υλικά



- Με κεκλιμένο αδιαπέρατο πυρήνα και πρανή από γαιώδη ή βραχώδη υλικά



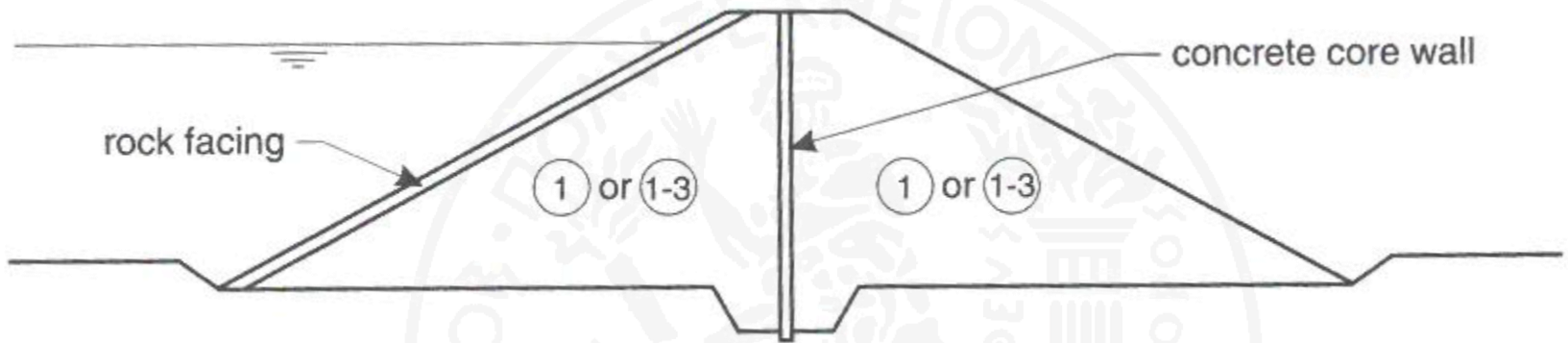
Πηγή: Geotechnical engineering of dams, R.Fell, P.MacGregor etc

# Τύποι γεωφραγμάτων

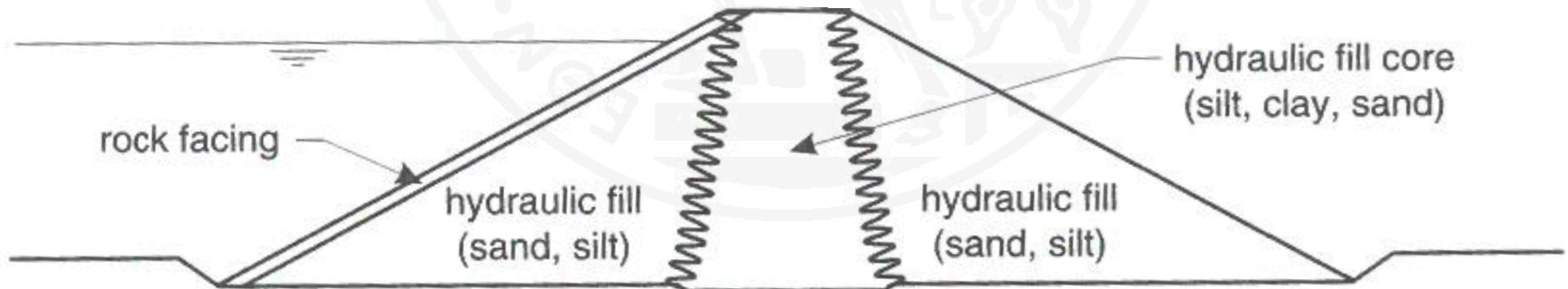
## ■ Χωμάτινα & Λιθόρριπτα

- Με κεντρικό τοίχο από σκυρόδεμα

1	Αδιαπέρατα υλικά πυρήνα
1-3	Γαϊώδη - βραχώδη υλικά



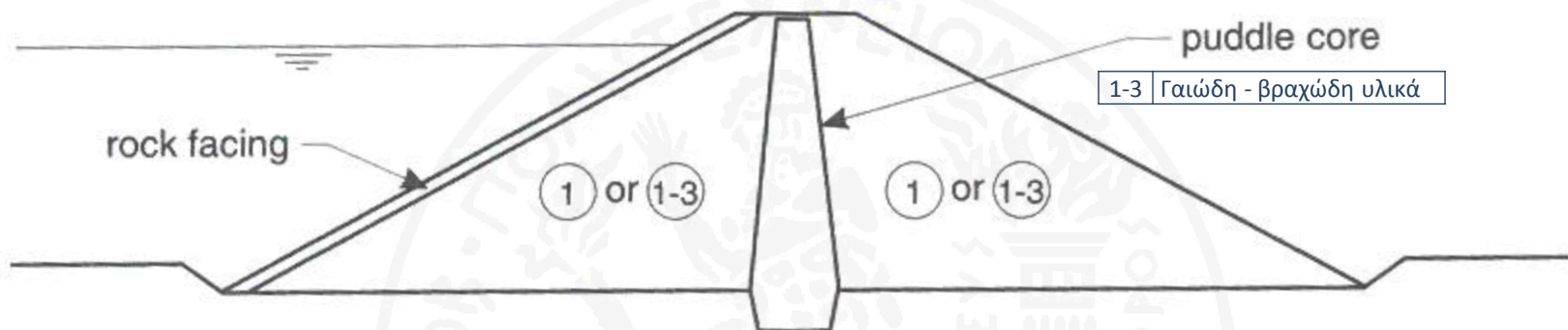
- Με υδραυλική πλήρωση



# Τύποι γεωφραγμάτων

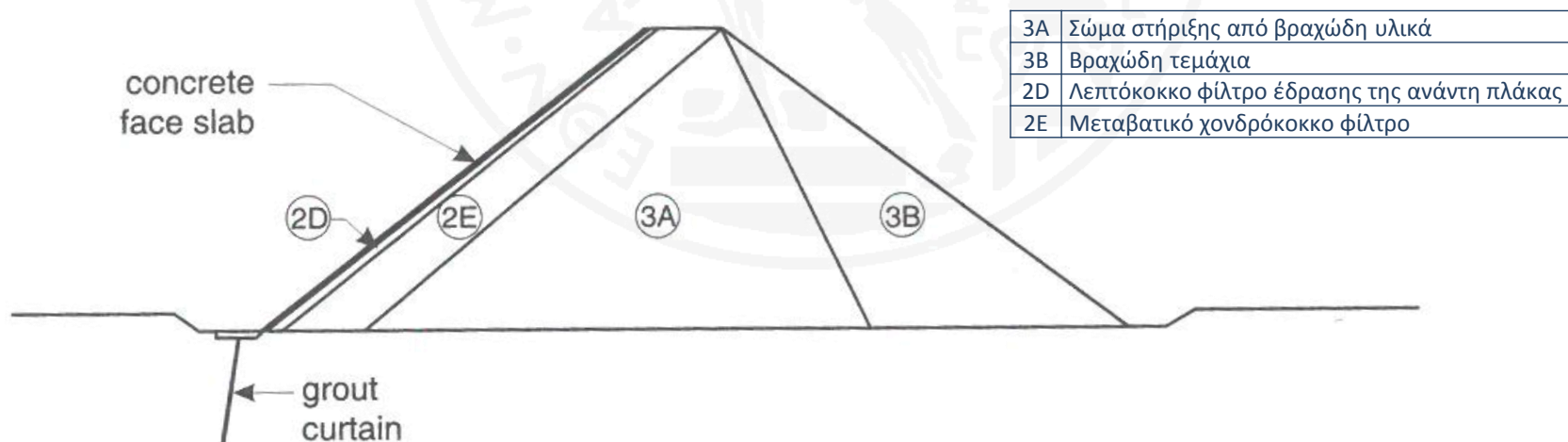
## ■ Χωμάτινα & Λιθόρριπτα

- Με τάφρο βάσης πυρήνα



## ■ Λιθόρριπτα

- Με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα



Πηγή: Geotechnical engineering of dams, R.Fell, P.MacGregor etc

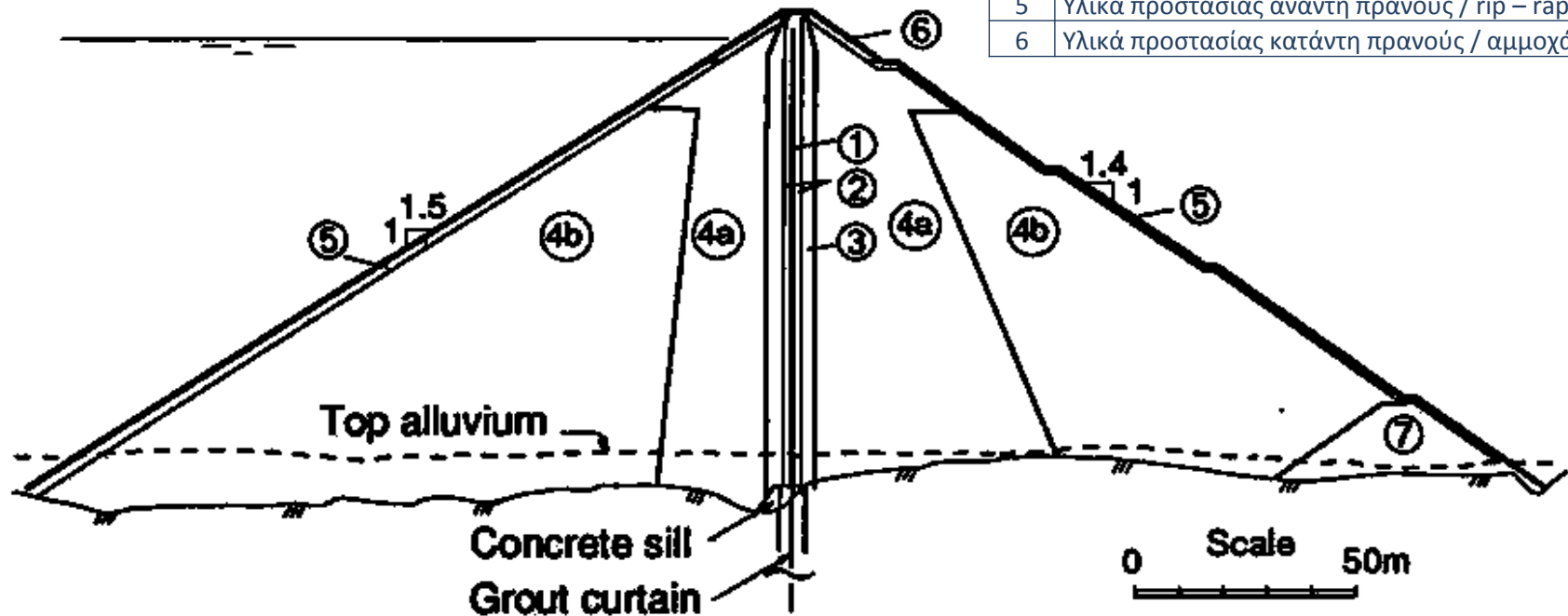


# Τύποι γεωφραγμάτων

## ■ Λιθόρριπτα

- με ασφαλτικό πυρήνα

1	Πυρήνας από ασφαλτικό υλικό
2	Λεπτόκοκκο φίλτρο
3	Χονδρόκοκκο φίλτρο
4a	Σώμα στήριξης από βραχώδη υλικά
4b	Βραχώδη τεμάχια
5	Υλικά προστασίας ανάντη πρανούς / rip – rap
6	Υλικά προστασίας κατόντη πρανούς / αμμοχάλικα



- Storglomvatn Asphalt Core Dam, Norway(125m)

Kaare Höeg, 2009

# Ζώνες γεωφραγμάτων – λειτουργικός ρόλος

Table 1.1. Embankment dam zones description and function.

Zone	Description	Function
1	Earthfill (“core”)	Controls seepage through the dam
2A	Fine filter (or filter drain)	(a) Controls erosion of Zone 1 by seepage water, (b) Controls erosion of the dam foundation (where used as horizontal drain), (c) Controls buildup of pore pressure in downstream face when used as vertical drain
2B	Coarse filter (or filter drain)	(a) Controls erosion of Zone 2A into rockfill, (b) Discharge seepage water collected in vertical or horizontal drain
2C	(i) Upstream filter (ii) Filter under rip rap	Controls erosion of Zone 1 into rockfill upstream of dam core Controls erosion of Zone 1 through rip rap
2D	Fine cushion layer	Provides uniform support for concrete face; limit leakage in the event of the concrete face cracking or joints opening
2E	Coarse cushion layer	Provides uniform layer support for concrete face. Prevents erosion of Zone 2D into rockfill in the event of leakage in the face
1–3	Earth-rockfill	Provides stability and has some ability to control erosion
3A	Rockfill	Provides stability, commonly free draining to allow discharge of seepage through and under the dam. Prevents erosion of Zone 2B into coarse rockfill
3B	Coarse rockfill	Provides stability, commonly free draining to allow discharge of seepage through and under the dam
4	Rip rap	Controls erosion of the upstream face by wave action, and may be used to control erosion of the downstream toe from backwater flows from spillways



# Ζώνες γεωφραγμάτων – τυπικά χαρακτηριστικά

Table 1.4. Embankment dam typical construction materials.

Zone	Description	Construction materials
1	Earthfill	Clay, sandy clay, clayey sand, silty sand, possibly with some gravel. Usually more than 15% passing 75 $\mu\text{m}$ , preferably more. Note that weathered siltstone, shale and sandstone can be compacted in thin layers to give sufficiently fine material
2A	Fine filter	Sand or gravelly sand, with less than 5% (preferably less than 2%) fines passing 75 $\mu\text{m}$ . Fines should be non plastic. Manufactured by crushing, washing, screening and recombining sand-gravel deposits and/or quarried rock
2B	Coarse filter	Gravelly sand or sandy gravel, manufactured as for Zone 2A. Zones 2A and 2B are required to be dense, hard durable aggregates with similar requirements to that specified for concrete aggregates. They are designed to strict particle size grading limits to act as filters
2C	Upstream filter and filter under rip rap	Sandy gravel/gravelly sand, well graded, 100% passing 75 mm, not greater than 8% passing 75 $\mu\text{m}$ , fines non plastic. Usually obtained as crusher run or gravel pit run with a minimum of washing, screening and regrading. Relaxed durability and filter design requirements compared to Zones 2A and 2B
2D	Fine cushion layer	Silty sandy gravel well graded, preferably with 2-12% passing 75 $\mu\text{m}$ to reduce permeability (Sherard 1985). Obtained by crushing and screening rock or naturally occurring gravels or as crusher run. Larger particles up to 200 mm are allowed by some authorities (Fitzpatrick et al. 1985)
2E	Coarse cushion layer	Fine rockfill placed in 500 mm layers to result in a well graded sand/gravel/cobbles mix which satisfies filter grading requirements compared to Zone 2D
3A	Rockfill	Quarry run rockfill, possibly with oversize removed in quarry or on dam. Preferably dense, strong, free draining after compaction, but lesser properties are often accepted. Compacted in 0.5 to 1 metre layers with maximum particle size equal to compacted layer thickness
3B	Coarse rockfill	Quarry run rockfill. Preferably dense, strong, free draining after compaction, but lesser properties are often accepted. Compacted in 1.0 to 1.5 m layers with maximum particle size equal to compacted layer thickness
4	Rip rap	Selected dense durable rockfill sized to prevent erosion by wave action. In earth and rockfill dams often constructed by sorting larger rocks from adjacent 3A and 3B zones. In earthfill dams either selected rockfill or a wider zone of quarry run rockfill

- Τα χαρακτηριστικά αυτά δίνονται ως τυπικά, κατά συνέπεια δεν χρησιμοποιούνται πάντα ή η χρήση τους διαφοροποιείται
- Η αρίθμηση είναι γενικώς τυποποιημένη, κι εδώ όμως συναντάμε διάφορες παραλλαγές

Πηγή: *Geotechnical engineering of dams, R.Fell, P.MacGregor etc*

# Επιλογή γεωμετρίας γεωφραγμάτων

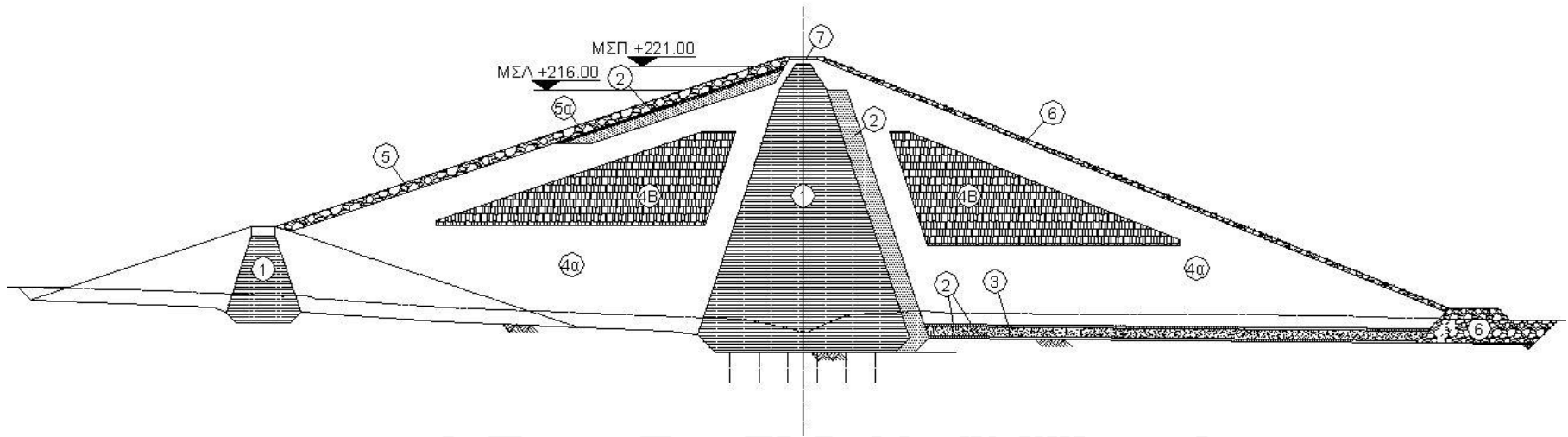
- Χαρακτηριστικά διαθέσιμων υλικών
  - Πυρήνα
  - Σωμάτων στήριξης
- Ποσότητες διαθέσιμων υλικών
- Χαρακτηριστικά περιοχής και υποβάθρου θεμελίωσης
  - Διαπερατότητα
  - Αντοχή
  - Ειδικά γεωλογικά θέματα
  - Μορφολογία
  - Ανομοιομορφία

# Παραδείγματα γεωφραγμάτων



# Παραδείγματα Ελληνικών γεωφραγμάτων

## ■ Φράγμα Αποσελέμη (Κρήτη) – Τυπική Διατομή



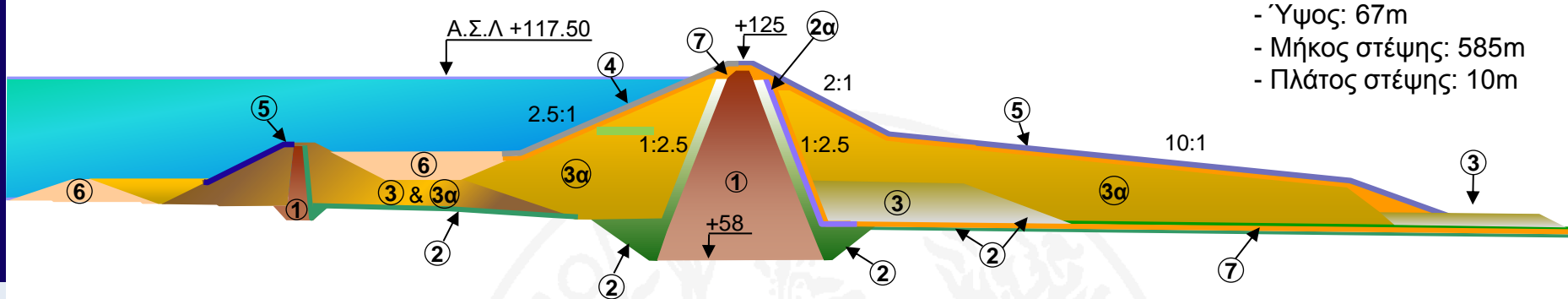
Ζώνη	Περιγραφή
1	Αδιαπέρατος πυρήνας
2	Φίλτρο (επεξεργασμένα, διαβαθμισμένα θραυστά υλικά λατομείου)
3	Στραγγιστήριο (επεξεργασμένα, θραυστά υλικά λατομείου)
4α	Σώματα στήριξης (αποσαθρωμένος φυλλίτης ή αμμοχαλικοϊλίες από δανειοθαλάμους)
4β	Σώματα στήριξης (βραχώδη προϊόντα φυλλίτη από απαιτούμενες εκσκαφές)
5	Λιθορριπή προστασίας ανάντη πρανούς (βραχώδη υλικά λατομείου)
5α	Μεταβατική ζώνη (θραυστός βράχος λατομείου)
6	Λιθορριπή προστασίας κατόντη πρανούς (θραυστός βράχος λατομείου)
7	Στέψη (βάση από θραυστό υλικό λατομείου και ασφαλτικές στρώσεις)

Φράγμα	
Όγκος	3.350.000 m <sup>3</sup>
Ύψος	62,0 m
Υψόμετρο θεμελίωσης	+161
Υψόμετρο Στέψης	+223
Πλάτος Στέψης	8,0 m
Μήκος Στέψης	660,0 m
Κλίση Πρανών	ανάντη 1:3 κατόντη 1:2.5

Κυρίως Ανάντη Πρόφραγμα	
Όγκος	~300.000 m <sup>3</sup>
Ύψος	23,0 m
Υψόμετρο θεμελίωσης	+165
Υψόμετρο Στέψης	+188
Πλάτος Στέψης	5,0 m
Μήκος Στέψης	350,0 m
Κλίση Πρανών	1:3

# Παραδείγματα Ελληνικών γεωφραγμάτων

## ■ Φράγμα Γαδουρά (Ρόδος) – Τυπική Διατομή



- Ύψος: 67m
- Μήκος στέψης: 585m
- Πλάτος στέψης: 10m

Ζώνη	Περιγραφή
1	Αδιαπέρατος πυρήνας
2	Φίλτρο (διαβαθμισμένο αμμοχάλικο)
2α	Λεπτόκοκκο στραγγιστήριο
3	Κελύφη (αμμοχάλικα ποταμού)
3 α	Κελύφη (κροκαλοπαγή)
4	Προστασία ανάντη πρανών (λιθορριπή λατομείου)
5	Προστασία κατάντη πρανών (κροκάλες)
6	Αναβαθμίδες (τυχαία υλικά)
7	Στραγγιστήριο (διαβαθμισμένο αμμοχάλικο)

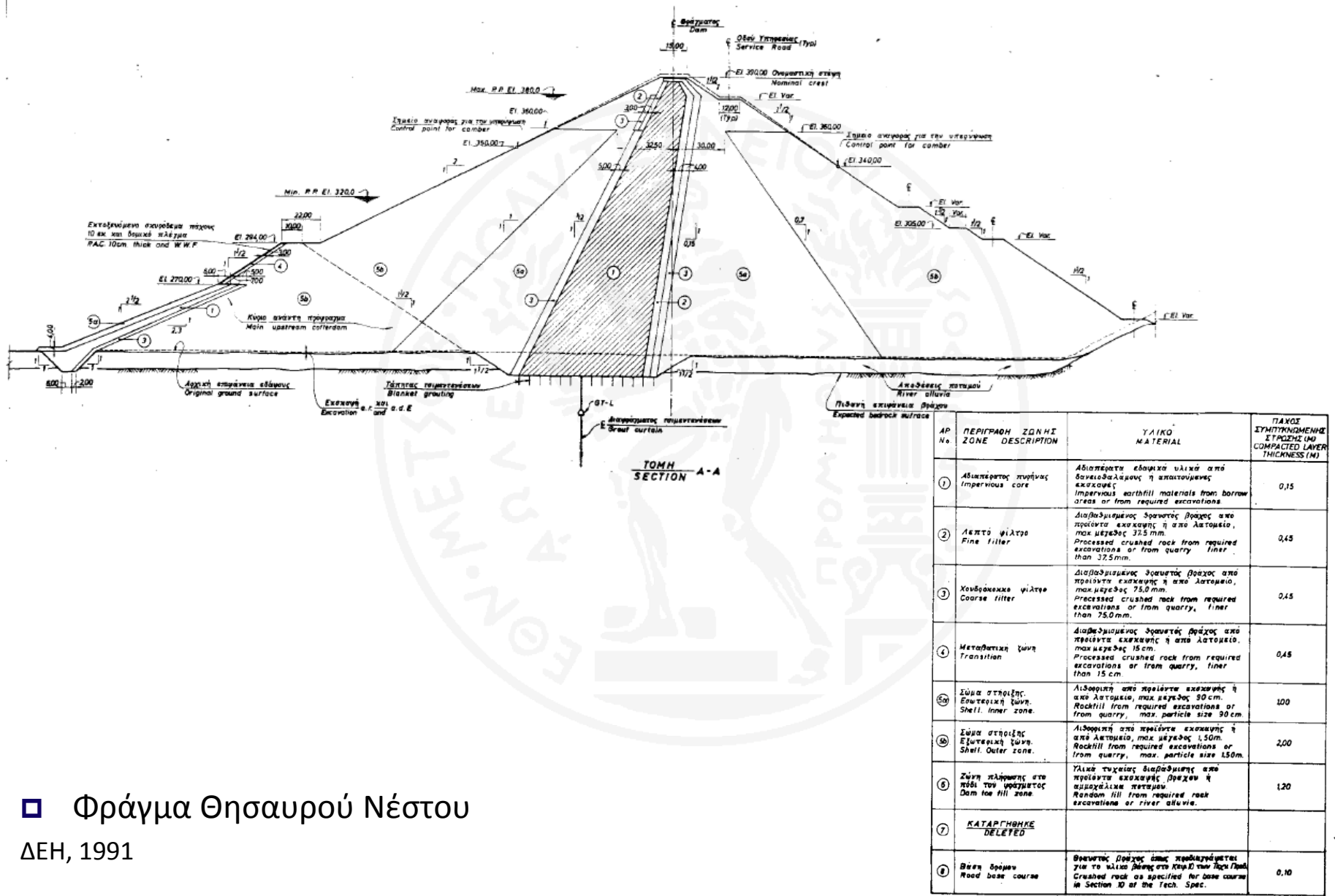
Γενική άποψη εργασιών κυρίως φράγματος (2004)







# Παραδείγματα Ελληνικών γεωφραγμάτων



## ■ Φράγμα Θησαυρού Νέστου

ΔΕΗ, 1991

# Πυρήνας από αδιαπέρατα υλικά

Στοιχεία σχεδιασμού και κατασκευής





# Υλικά Κατασκευής Γεωφραγμάτων

## ■ Πυρήνας από αδιαπέρατα υλικά

### A.Γεωμετρία πυρήνα

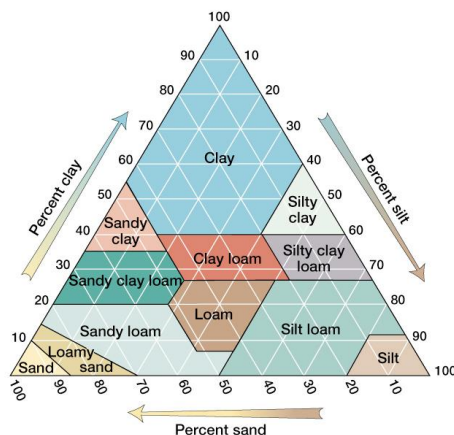
- ❑ Συμμετρικός στη μέση της διατομής ή κεκλιμένος με κλίση προς τα ανάντη
- ❑ Το ελάχιστο **πλάτος** στη **στέψη** πρέπει να είναι, για λόγους συμπύκνωσης και αντιμετώπισης μετακινήσεων λόγω σεισμών, μεγαλύτερο από 3,0 – 4,0μ.
- ❑ Το πλάτος αυξάνει με την αύξηση του ύψους. Για την εκτίμηση του **πλάτους καθ' ύψος**, εφαρμόζονται οι γενικές αρχές:
  - Το κατάλληλο πλάτος ορίζεται από την εκμηδένιση της διήθησης, δηλαδή την πλήρη στράγγιση της ροής στη βάση του κατάντη πόδα του φράγματος
  - Το πλάτος του πυρήνα, σε οποιοδήποτε βάθος από τη στέψη του, θα πρέπει να εξασφαλίζει *υδραυλική κλίση* (κατά πλάτος) του πυρήνα, *μικρότερη από 2*, δηλαδή το πλάτος του πυρήνα σε οποιοδήποτε βάθος να είναι μεγαλύτερο από το μισό (50%) του αντίστοιχου υδροστατικού φορτίου.
- ❑ Η **κλίση των πρανών** εξαρτάται από την φύση του υλικού: όσο πιο πλαστικά είναι τα διατιθέμενα υλικά, τόσο πιο απότομες κλίσεις μπορούν να εφαρμοστούν.
- ❑ Συνήθεις κλίσεις σε «πλαστικούς πυρήνες» 1:5 και 1:4 (ο:κ)
- ❑ Σε λιγότερο «πλαστικούς πυρήνες» ή στις περιπτώσεις υπερεπάρκειας υλικού, οι κλίσεις μπορούν να είναι ηπιότερες, 1:2.5 (ο:κ)

# Υλικά Κατασκευής Γεωφραγμάτων

## ■ Πυρήνας από αδιαπέρατα υλικά

### B. Προδιαγραφές επιλογής καταλληλότητας υλικού

- ❑ Γενικά, η χαμηλή διαπερατότητα προσδίδεται σε υλικά με λεπτόκοκκα (ποσοστό διερχόμενο από το κόσκινο No200) μεγαλύτερο από 15%-20% κ.β.
- ❑ Οι συνήθεις προδιαγραφές περιλαμβάνουν υλικά χαμηλής διαπερατότητας με ελάχιστες απαιτήσεις:
  - Τουλάχιστον 60% κ.β. διερχόμενα από το κόσκινο No4 (διάμετρος 4.75mm), ASTM
  - Τουλάχιστον 20% κ.β. διερχόμενα από το κόσκινο No200 (διάμετρος 0.075mm), ASTM
  - Δεν περιέχουν οργανικά υλικά
  - Δεν περιέχουν κροκάλες και τεμάχια βράχου με διάσταση μεγαλύτερη των 10εκ.
- ❑ Η κατάταξη του υλικού μπορεί να είναι CL, CL-ML, SC-SM κλπ
- ❑ Η περιοχή εγγύς στη στάθμη θεμελίωσης έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις σε πλαστικότητα



Κόσκινο No.	mm
4	4.75
10	2.00
20	0.841
40	0.420
70	0.210
100	0.150
200	0.075

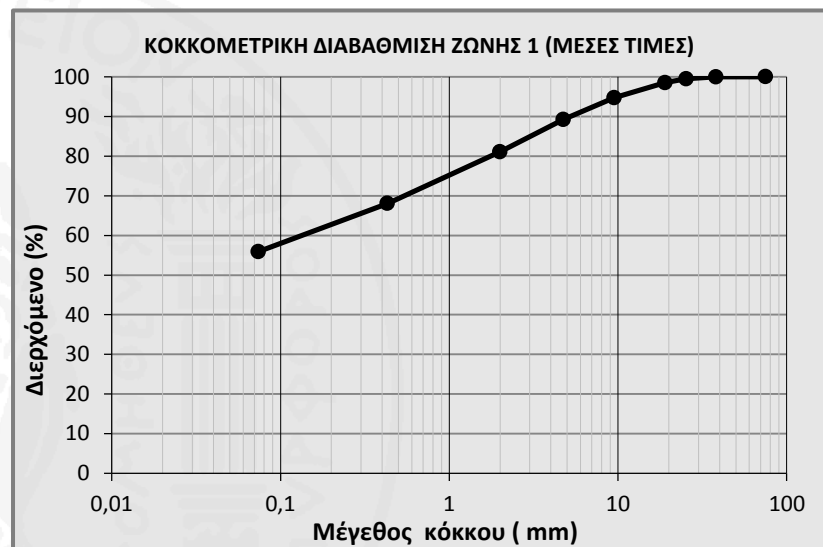
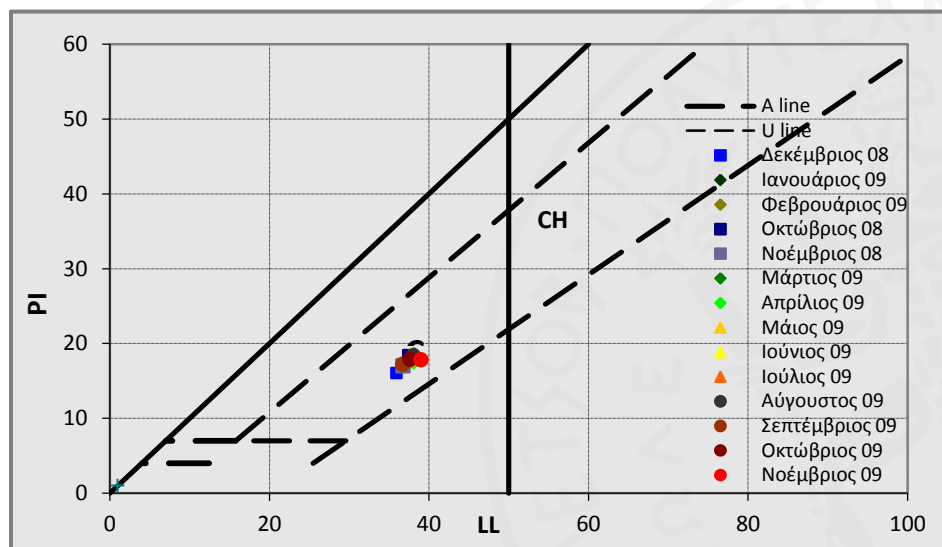
First and/or second letters	Second letter
<b>Letter Definition</b>	<b>Letter Definition</b>
<b>G</b> <a href="#">gravel</a>	<b>P</b> poorly graded (uniform particle sizes)
<b>S</b> <a href="#">sand</a>	<b>W</b> well-graded (diversified particle sizes)
<b>M</b> <a href="#">silt</a>	<b>H</b> high <a href="#">plasticity</a>
<b>C</b> <a href="#">clay</a>	<b>L</b> low plasticity
<b>O</b> <a href="#">organic</a>	

# Υλικά Κατασκευής Γεωφραγμάτων

## ■ Πυρήνας από αδιαπέρατα υλικά

### Παραδείγματα Κοκκομετρικής Διαβάθμισης Υλικών Πυρήνα

#### Φράγμα Αποσελέμη (Κρήτη)



Τεχνικές Προδιαγραφές Περιοχή διάστρωσης	%κ.β. διερχόμενο από το κόσκινο				
	3"	No.4	No.200	LL	PI
Ζώνη εγγύς στη στάθμη θεμελίωση	100	≥60	≥30	<50	>15
Κυρίως σώμα	100	≥60	≥20	<50	>7

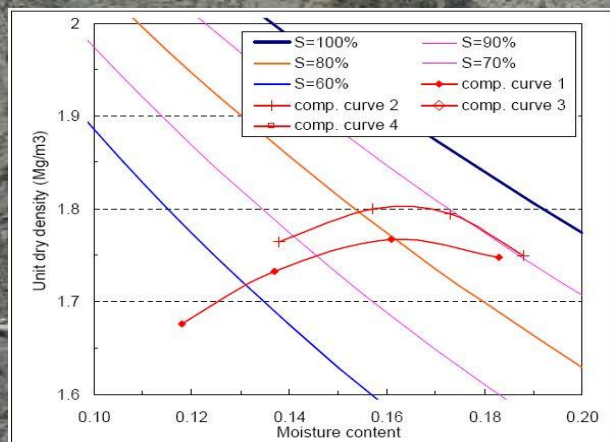
Δανειοθάλαμος (περιοχή ταμιευτήρα)	%κ.β. διερχόμενο από το κόσκινο			LL	PI	Standard Proctor	
	3"	No.4	No.200			$\rho_{dmax}$ Mg/m	$W_{opt}$ %
1A	100	90	57	38	17	1,763	17,5
3A	100	91	57	38	18	1,752	17,7
5A	100	90	55	38	18	1,743	18,2



# Υλικά Κατασκευής Γεωφραγμάτων

## ■ Πυρήνας από αδιαπέρατα υλικά

### Παραδείγματα Κοκκομετρικής Διαβάθμισης Υλικών Πυρήνα Φράγμα Γαδουρά (Ρόδος)



Zone 1 core materials	Borrow area	Levels		% passing sieve No 200	Liquid Limit LL	plasticity index PI	Standard Proctor test results	
		from	to				$\gamma_{dry, max}$	$W_{opt}$
alluvial clay CL	reservoir area	+58	+80.8	53.9% ÷ 72.9%	39.7% ÷ 45.7%	17.6% ÷ 24.3%	1.67 ÷ 1.82%	16.15 ÷ 18.96%
weathered flysch CL-ML	right abutment	+80.8	+122.10	29% ÷ 54%	21.5% ÷ 34.5%	4.4% ÷ 14.8%	1.76 ÷ 1.80%	16 ÷ 17%

# Υλικά Κατασκευής Γεωφραγμάτων

## ■ Πυρήνας από αδιαπέρατα υλικά

### Γ.Συμπύκνωση και διάστρωση πυρήνα

- ❑ Για την επίτευξη της μέγιστης πυκνότητας, γίνονται δοκιμές Proctor και προσδιορίζεται η βέλτιστη υγρασία συμπύκνωσης.
- ❑ Δεν θέλουμε το υλικό να συμπυκνωθεί επί τόπου σε υγρασία μικρότερη της βέλτιστης, γιατί μπορεί να αναπτυχθούν ρωγμές αλλά και να εκδηλωθούν μεγαλύτερες καθιζήσεις μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα (οπότε και θα πληρωθούν με νερό τα κενά που έχουν δημιουργηθεί στη δομή του πυρήνα)
- ❑ Δεν θέλουμε επίσης το υλικό να συμπυκνωθεί με πολύ μεγαλύτερη της βέλτιστης, υγρασία, γιατί ενδέχεται να αναπτυχθούν υπερπιέσεις πόρων κατά την κατασκευή (μειώνεται η διατμητική αντοχή του υλικού)
- ❑ Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, το υλικό συμπυκνώνεται ιδανικά με υγρασία  $+1\%$  έως  $+3\%w_{opt}$
- ❑ Γενικά, αποδεκτές τιμές υγρασίας συμπύκνωσης υλικού πυρήνα κυμαίνονται από  $-2\%$  έως  $+3\%w_{opt}$
- ❑ Για την επίτευξη των παραπάνω, το υλικό, κατά τη διάστρωση, διαβρέχεται και αναμοχλεύεται (για την ομοιόμορφη κατανομή).
- ❑ Η διάστρωση του υλικού γίνεται σε στρώσεις πάχους 15-20εκ.



# Υλικά Κατασκευής Γεωφραγμάτων

## □ Δ. Προετοιμασία θεμελίωσης πυρήνα

- Ο πυρήνα πρέπει να «κολλήσει» με το υπόβαθρο
- Αφαίρεση αποσαθρωμένων και ασθενών υλικών, σε συνέπεια με τις παραδοχές σχεδιασμού (διαφοροποιήσεις πρέπει να αντιμετωπιστούν)
- Προσαρμογή κλίσεων αν απαιτείται
- Αποφυγή ή περιορισμός κίνησης βαρέωνοχημάτων
- Ενδεδειγμένος καθαρισμός από χαλαρό υλικό κάθε μεγέθους (χειρωνακτικά, με πεπιεσμένο αέρα ή νερό)
- Πλήρωση κενών με σκυρόδεμα ή ένεμα

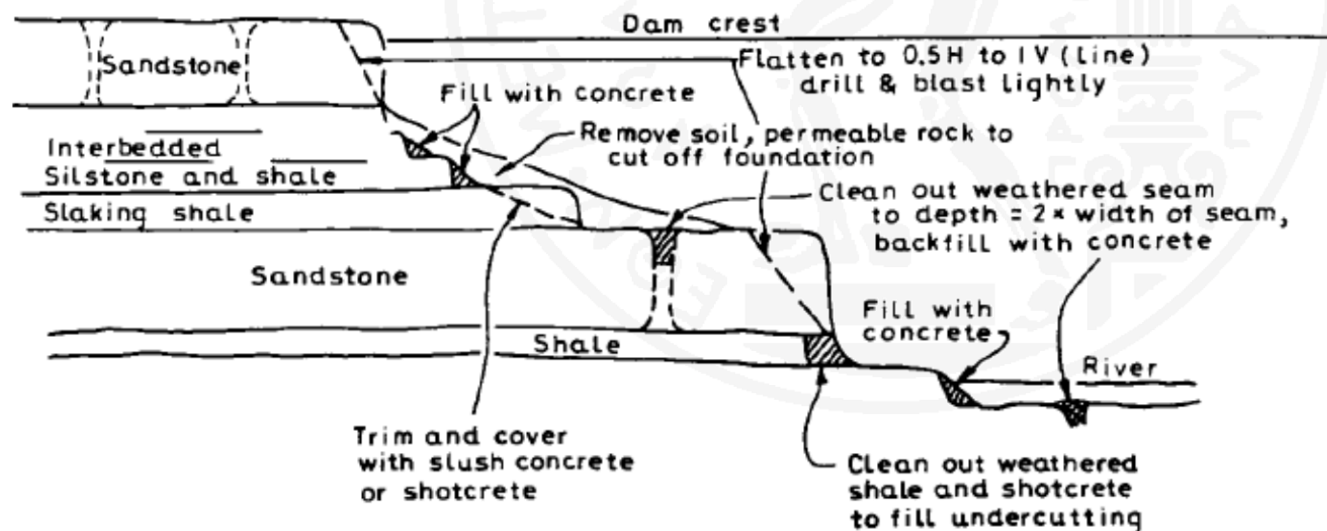


Figure 11.10. Slope modification in the cutoff foundation for interbedded sandstone and siltstone, near horizontal bedding.

Πηγή: Geotechnical engineering of dams, R.Fell, P.MacGregor etc

# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



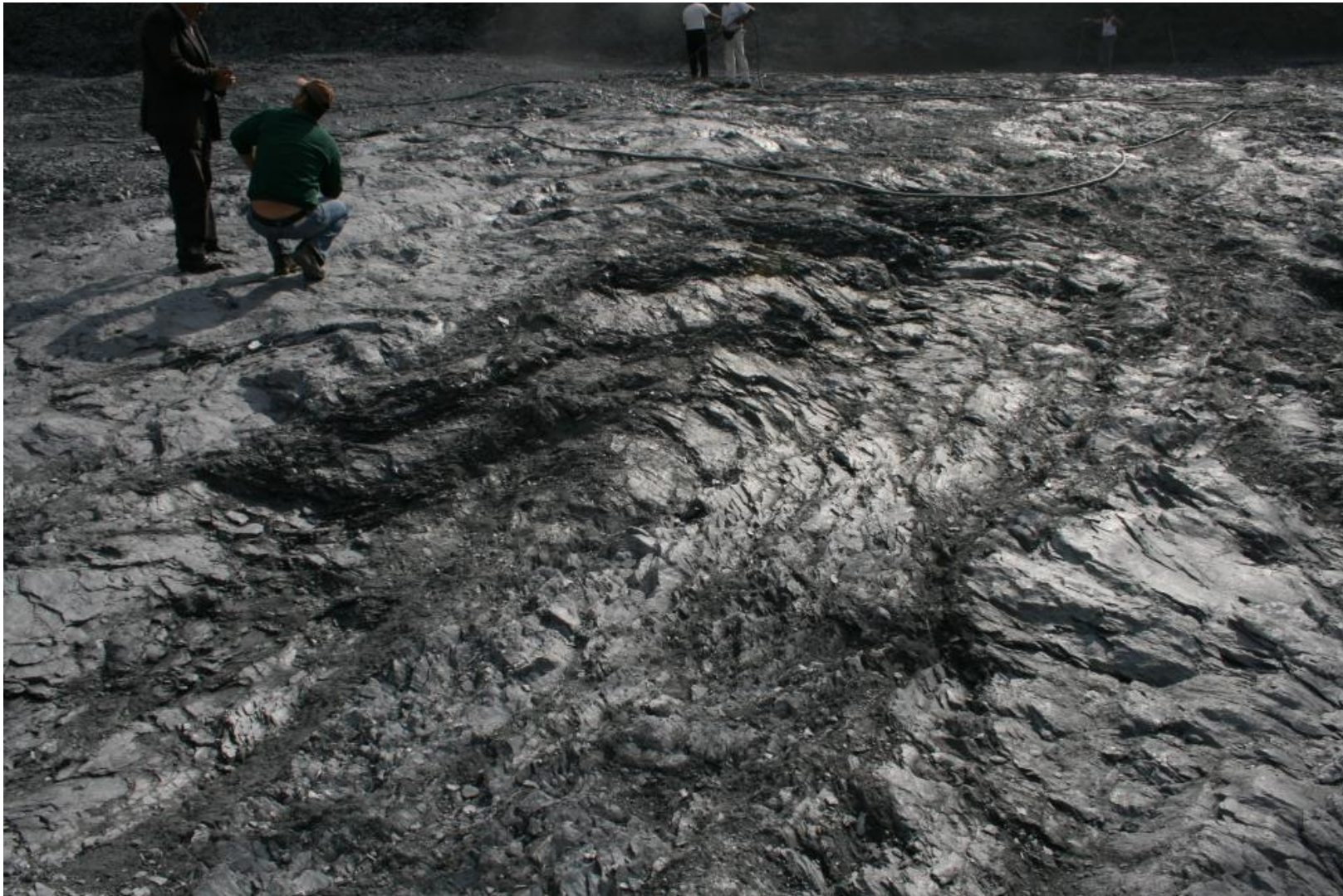
▣ Φράγμα Αποσελέμη

▣ Προετοιμασία επιφάνειας θεμελίωσης (Φυλλίτης). Λεία επιφάνεια

*Σπύρος Μίχας, Δημήτρης Δερματάς, Ανδρέας Ευστρατιάδης – Φράγματα και υδραυλικές κατασκευές - Εισαγωγή*



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Αποσελέμη Κρήτης
- ❑ Προετοιμασία επιφάνειας θεμελίωσης (Φυλλίτης). Λείες επιφάνειες και πτυχώσεις



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Αποσελέμη Κρήτης
- ❑ Προετοιμασία επιφάνειας θεμελίωσης (Φυλλίτης). Τραχεία περιοχή. Προσαρμογή κλίσεων



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Αποσελέμη Κρήτης
- ❑ Τοπική συμπύκνωση με επίπεδο δονητή χειρός



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Τριανταφυλλιάς
- ❑ Καθαρισμός επιφάνειας (εικόνα λείας επιφάνειας). Ελαστιχοφόρα χωματοουργικά.

Πηγή : Ι.Χρυσανίδης



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Τριανταφυλλιάς
- ❑ Καθαρισμός με πεπιεσμένο αέρα ή νερό. Χρήση ελαφρού χωματουργικού εξοπλισμού.
- ❑ Σήμανση ορίου φίλτρου

Πηγή : Ι.Χρυσανίδης



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Τριανταφυλλιάς
- ❑ Καθαρισμός επιφάνειας με πεπιεσμένο νερό



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Γέμισμα κοιλοτήτων, ρωγμών και ασυνεχειών επιφάνειας με ένεμα ή σκυρόδεμα
- ❑ Τοπική συμπύκνωση με επίπεδους δονητές χειρός

# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Ιλαρίωνα
- ❑ Προετοιμασία επιφανειών θεμελίωσης. Πλήρωση ανοιγμάτων/ρωγμών με ένεμα



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Ιλαρίωνα
- ❑ Προετοιμασία επιφανειών θεμελίωσης. Τοπική εφαρμογή και συμπύκνωση υλικού πυρήνα πριν τη διάστρωση με χωματουργικά μηχανήματα



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Ιλαρίωνα
- ❑ Προετοιμασία επιφανειών θεμελίωσης. Επίπεδος δονητικός συμπυκνωτής χειρός.



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Ιλαρίωνα
- ❑ Προετοιμασία επιφανειών θεμελίωσης. Πλήρως λεία και καθαρισμένη επιφάνεια.



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Ιλαρίωνα
- ❑ Προετοιμασία επιφανειών θεμελίωσης. Συνεργείο καθαρισμού προηγείται της διάστρωσης.



# Θεμελίωση πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Γαδουρά Ρόδου, η πρώτη διάστρωση υλικού πυρήνα.
- ❑ Πρώτο φορτίο αργίλου με ελαστιχοφόρο εξοπλισμό. Διαβροχή.



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Ιλαρίωνα
- ❑ Αναμόχλευση υλικού με δισκόσβαρνα
- ❑ Αναμόχλευση υλικού με όνυχες ισοπεδωτή





# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Ιλαρίωνα
- ❑ Ανύψωση υλικού στα πλευρά της τάφρου του πυρήνα, για να μην υπάρχουν «απότομες» αλλαγές στις επιφάνειες



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ **Φράγμα Αποσελέμη**
- ❑ Διάστρωση ζώνης πυρήνα με ελαστιχοφόρο προωθητή ή φορτωτή
- ❑ Συμπύκνωση με αυτοκινούμενο ή συρόμενο «κατσικοπόδαρο» ή με κοπανοφόρο κυλινδρο-συμπιεστή



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Ιλαρίωνα
- ❑ Αυτοκινούμενος προωθητής με κατσικοπόδαρα



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Ιλαρίωνα
- ❑ Προσοχή στη συμπύκνωση λείων επιφανειών



# Υλικά Κατασκευής Γεωφραγμάτων



- ❑ Φράγμα Αποσελέμη
- ❑ Διάστρωση κατώτερης πλαστικής ζώνης πυρήνα



# Υλικά Κατασκευής Γεωφραγμάτων



- ❑ Φράγμα Αποσελέμη
- ❑ Διάστρωση κατώτερης πλαστικής ζώνης πυρήνα



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Αποσελέμη
- ❑ Προσοχή! Συμπύκνωση αργίλου σε επαφή με λείες και κατακόρυφες επιφάνειες



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Φράγμα Ιλαρίωνα. Λεία επιφάνεια θεμελίωσης πυρήνα στα αντερείσματα.
- ❑ Ανάπτυξη εργοταξίου: Ερπυστριοφόροι προωθητές, Κατσικοπόδαρα ελκόμενα ή αυτοκινούμενα, ελαστιχοφόροι φορτωτές, κυλινδροσυμπιεστές, φορτηγά (ντάμπερ)



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά

## Ε.Ελεγχος συμπίκνωσης

- ❑ Μετά από κάθε διάστρωση γίνεται δειγματοληψία επί τόπου υλικού και έλεγχος της πυκνότητας (με αντικατάσταση άμμου)
- ❑ Η συμπίκνωση θεωρείται αποδεκτή εφόσον η επί τόπου μέση ξηρή πυκνότητα είναι μεγαλύτερη από το 98%  $\gamma_{drymax}$  (Proctor) και
- ❑ Το 95% των δοκιμών συμπίκνωσης να είναι μεγαλύτερες από το 98%  $\gamma_{drymax}$  (Proctor)



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ❑ Παράδειγμα κατασκευής ασφαλτικού πυρήνα. Ταυτόχρονη συμπύκνωση με φίλτρα.
- ❑ Kaare Höeg, 2009



# Κατασκευή πυρήνα από αδιαπέρατα υλικά



- ▣ Κατασκευή ασφαλτικού πυρήνα.
- ▣ Kaare Höeg, 2009