

# ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

➤ Στέφανος Δρίτσος  
Αναπλ. Καθηγητής

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

1

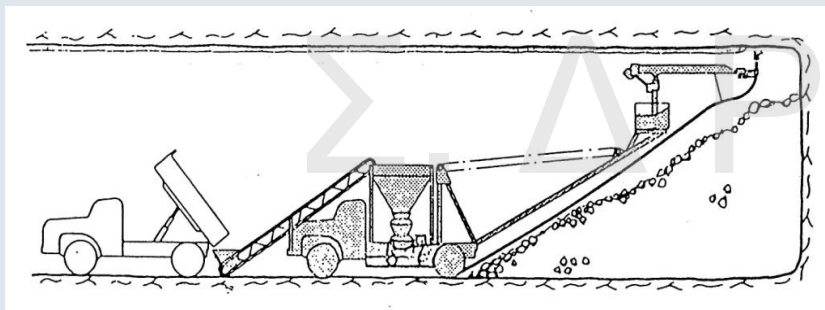
# ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

- Τι Είναι;
- Γιατί Χρησιμοποιείται;  
Υψηλή Θλιπτική Αντοχή  
Πολύ Καλή Πρόσφυση  
Αυτοστηρίζεται  
Κινητή Εγκατάσταση

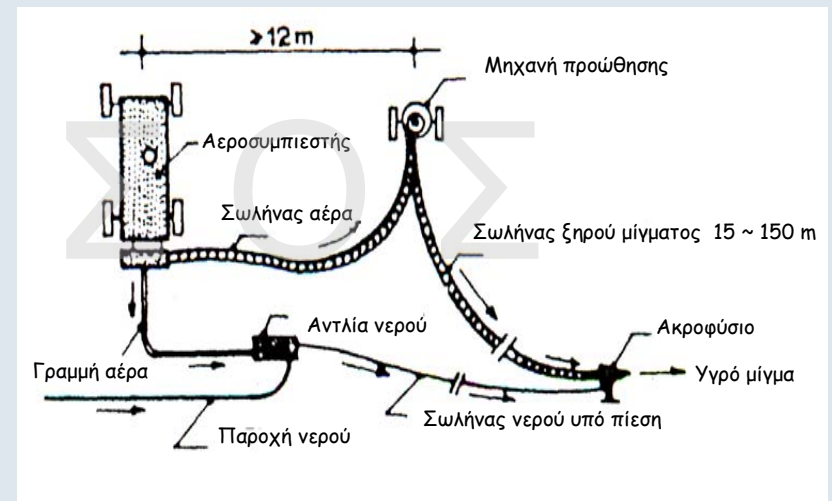
“Αν υπάρχει χώρος για έναν άνθρωπο και έναν σωλήνα, μπορούμε να σκυροδετήσουμε”

- Διαδικασίες

2

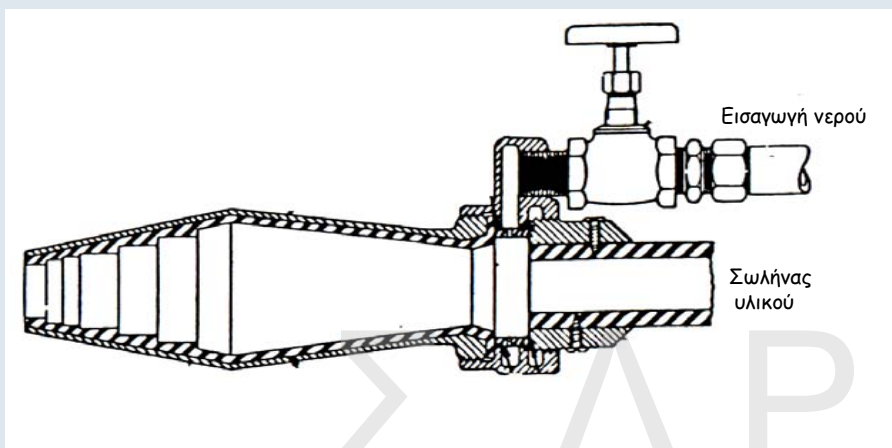


3



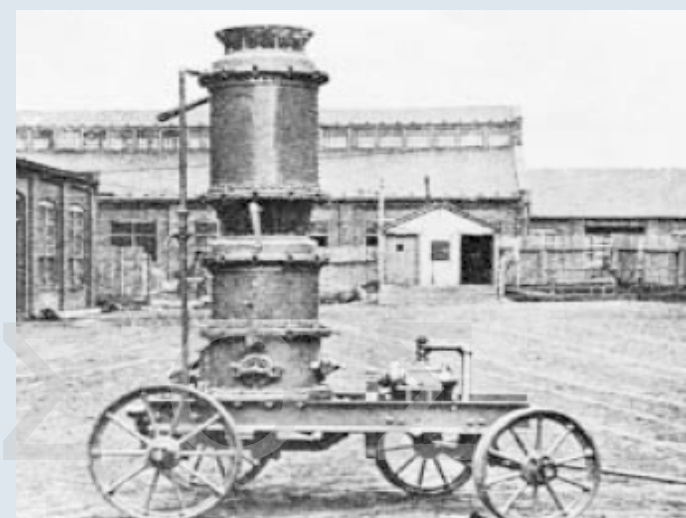
Τυπική Εγκατάσταση για Ξηρά Διαδικασία

4



Τομή Ακροφυσίου

5



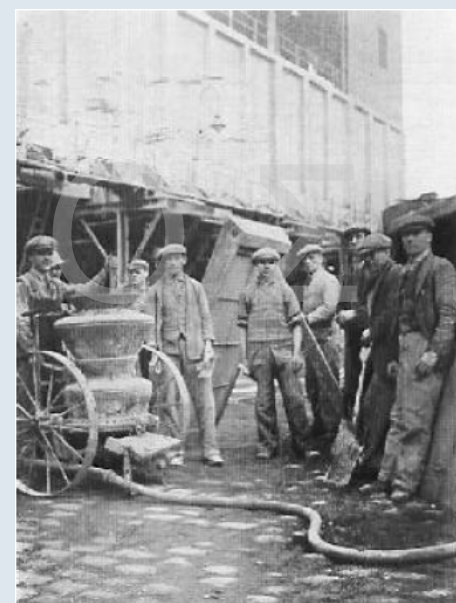
Η πρώτη Μηχανή Ε.Σ. (Carl Akeley το 1907)

6



Μία από τις πρώτες μηχανές του Ε.Σ. που βγήκε στην αγορά το 1914

7



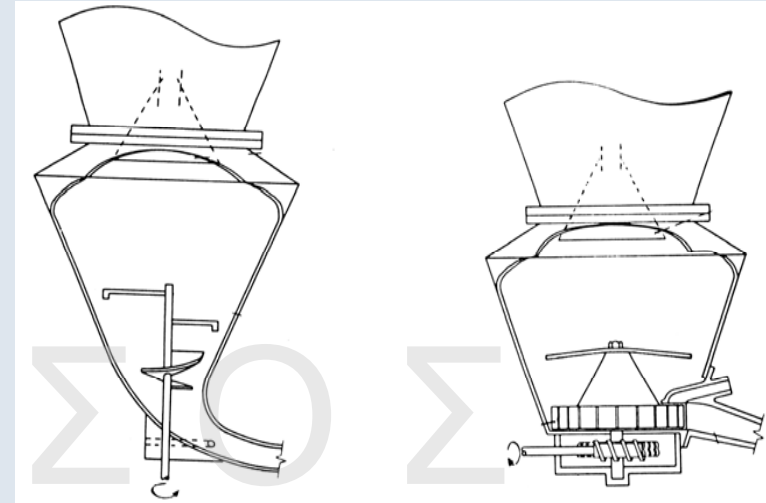
Ογδόντα χρόνια πριν. Συνεργείο έτοιμο για εργασία

8



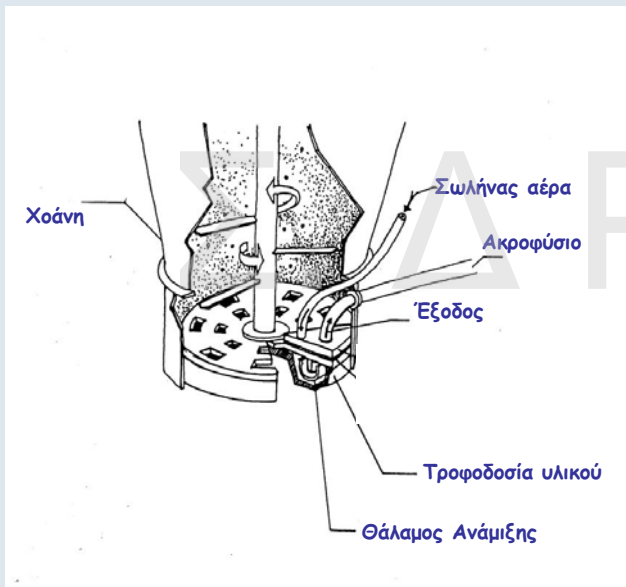
Εκτόξευση σκυροδέματος το 1919 για κατασκευή δεξαμενής νερού

9



Σχηματικές Τομές Ενόσ Τύπου Μηχανής Προώθησης

10



11

### ΞΗΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗ

- Ανάμιξη Τσιμέντο και Αδρανή
- Μηχανή Προώθησης
- Λαστιχένιος Σωλήνας - Πεπ. Αέρας - Ακροφύσιο
- Παροχή Νερού
- Εκτόξευση

### ΥΓΡΑ ΑΝΑΜΙΞΗ

- Ανάμιξη Τσιμέντο, Αδρανή, Νερό
- Μηχανή Προώθησης
- Λαστιχένιος Σωλήνας - Πεπ. Αέρας - Ακροφύσιο
- Επιταχυντικό Υλικό
- Πρόσθετος Πεπ. Αέρας
- Εκτόξευση

12

## ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΞΗΡΑΣ και ΥΓΡΑΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

### ΞΗΡΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

- Έλεγχος Νερού από Χειριστή
- Απόκτηση Αντοχών Γρήγορα
- Υψηλές Αντοχές
- Μεγάλες Αποστάσεις
- Κόστος Εγκατάστασης Όχι Μεγάλο

### ΥΓΡΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

- Έλεγχος Νερού (μέτρηση) στον Αναμικτήρα
- Πλήρης Ανάμιξη
- Λιγότερο Ανακλώμενο Υλικό
- Μεγάλη Παραγωγή

13

Δείγμα No.	Θλιπτική Αντοχή Ε.Σ. (MPa)	Διατμητική Αντοχή Διεπιφάνειας (MPa)
------------	-------------------------------	---

#### A. Εκτοξευόμενο Ξηράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό συμβατικό σκυρόδεμα

1	40,3	5,0
2	49,2	4,1
3	40,7	2,9
4	37,3	3,6
5	48,7	6,0
6	31,9	2,8
7	31,6	3,5

#### B. Εκτοξευόμενο Ξηράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό εκτοξευόμενο υγράς ανάμιξης

8	33,0	3,9
9	30,1	3,7
10	32,1	3,4

#### Γ. Εκτοξευόμενο Υγράς ανάμιξης πάνω σε παλαιό εκτοξευόμενο υγράς ανάμιξης

11	33,2	0,9
12		1,3
13	30,5	1,7
14		1,5
15	33,5	2,3

Πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών εκτοξευόμενου σκυροδέματος

14

### Αεροσυμπιεστής

- Απαιτούμενη πίεση

Μήκος Σωλήνα

Ειδικό Βάρος Μίγματος

Διαφορά ύψους ακροφυσίου - Θέσης εγκατάστασης

Καμπύλες στον λαστ. σωλήνα διανομής κ.α.

Πρακτική Εκτίμηση

$$P = 200 + 2,5 (l + 2h) \text{ KPa}$$

όπου: l (m) μήκος σωλήνα

h (m) διαφορά ύψους ακροφυσίου

- Προδιαγραφές Αεροσυμπιεστή  
Πολλοί παράγοντες

15

Απαιτ. Παραγωγή Ε.Σ. (m <sup>3</sup> /hr)	Απαιτήσεις παροχής πεπιεσμένου αέρα (m <sup>3</sup> /min)	Συνιστώμενη εσωτερική διάμετρος σωλήνων και ακροφυσίου (mm)
1	3	25
2	4-5	32
4	8-10	40
6	12-14	50
9	17-20	65

Απαιτήσεις Εξοπλισμού Ξηράς Ανάμιξης

16

## ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ

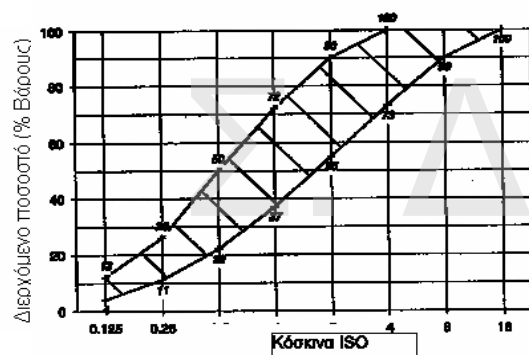
- Τρεις Δυνατές Περιοχές Διαβάθμισης (Α.Σ.Ι.)
- Μεγαλύτερα Πάχη → Χονδρότερα Αδρανή
- Λεπτά Αδρανή → Μεγάλη Συστολή Ξήρανσης
- Χονδρότερα Αδρανή → Μεγάλο Ανακλώμενο Ποσοστό

17

Μέγεθος Κόσκινου	Ποσοστό επί τοις εκατό διερχόμενου υλικού		
	Διαβάθμιση No. 1	Διαβάθμιση No. 2	Διαβάθμιση No. 3
3/4 in. (19 mm)	-	-	100
1/2 in. (12 mm)	-	100	80-95
3/8 in. (10 mm)	100	90-100	70-90
No. 4 (4.75 mm)	95-100	70-85	50-70
No. 8 (2.4 mm)	80-100	50-70	35-55
No. 16 (1.2 mm)	50-85	35-55	20-40
No. 30 (600 μm)	25-60	20-35	10-30
No. 50 (300 μm)	10-30	8-20	5-17
No. 100 (150 μm)	2-10	2-10	2-10

**Όρια Κοκκομετρικής Διαβάθμισης Αδρανών για Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα**

18



**Όρια Κοκκομετρικής Διαβάθμισης Αδρανών για Χρήση Ε.Σ.**

19

$f_{ck}$ (MPa)	Ποσότητα τσιμέντου (Kg/m <sup>3</sup> )
20	370
25	400
30	450
35	500

**Χονδρική συσχέτιση ποσότητας τσιμέντου και αντοχής Ε.Σ. ξηράς ανάμιξης**

20

## ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΜΙΞΗΣ

- Λόγος Τσιμέντο/Αδρανή  
Εκκίνηση - Τελική Θέση  
Συνέπειες

- Εν γένει τιμές εκκίνησης 1:2 έως 1:6  
Για  $f_{ck} \approx 30 \text{ MPa}$  1:3,5 έως 1:4

- Τσιμέντο; Νερό;  
Δοκιμαστικό Τμήμα

Έχει προκύψει:

$$\begin{aligned} z &= 300 - 380 \text{ kgr/m}^3 && \text{για } f_c \approx 21 \text{ MPa} \\ &= 325 - 425 \text{ kgr/m}^3 && \text{για } f_c \approx 28 \text{ MPa} \\ &= 380 - 500 \text{ kgr/m}^3 && \text{για } f_c \approx 35 \text{ MPa} \end{aligned}$$

21

Εκκίνηση	Τελική Θέση
1:3,0	1:2,0
1:3,5	1:2,8
1:4,0	1:3,25
1:4,5	1:3,6
1:5,0	1:3,8
1:6,0	1:4,1

Σχέση λόγου Τ/Α στην εκκίνηση και στην τελική θέση

22

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Έστω η απαιτούμενη χαρακτηριστική αντοχή είναι:

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

Προεκτιμάται πυκνότητα Ε.Σ.:

$$2.300 \text{ Kg/m}^3$$

Ποσότητα τσιμέντου (Πίνακας εκτίμησης τσιμέντου) Ε.Σ.:

$$400 \text{ Kg/m}^3$$

Ποσότητα νερού:

$$0,40 \times 400 = 160 \text{ Kg/m}^3$$

Απαιτούμενη στη θέση εκτόξευσης ποσότητα αδρανών:  $2.300 - 400 - 160 = 1.740 \text{ Kg/m}^3$

Απώλειες λόγω ανακλώμενου υλικού  
(θεωρώντας εκτόξευση σε κατακόρυφα στοιχεία):

$$20 \%$$

Απαιτούμενη στο αρχικό μίγμα ποσότητα αδρανών:  $\frac{1.740 \text{ Kg/m}^3}{0,80} = 2.175 \text{ Kg/m}^3$

23

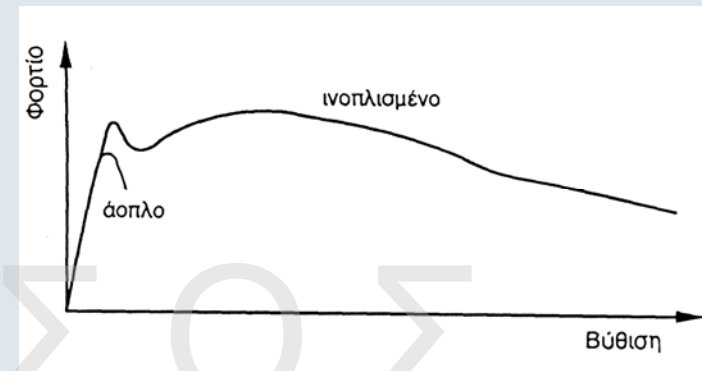
## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

- Συντελεστής  $w/z = 0,3 - 0,5$  ξηρά ανάμιξη  
 $w/z = 0,4 - 0,55$  υγρά ανάμιξη
- Θλιπτική Αντοχή  
Συνήθως 20-50 MPa  
Συχνά μέχρι 70 MPa με ξηρά ανάμιξη  
Ιδιαίτερη προσοχή αν  $f_c > 35 \text{ MPa}$
- Εφελκυστική Αντοχή σε κάμψη 4-5 MPa
- Συστολή ξήρασης: 0,06% - 0,10 %  
Μεγαλύτερο από συνηθισμένο σκυρόδεμα  
Πλέγμα, οπλισμοί

24

- Ειδικό βάρος 2200 - 2400 kg/m<sup>3</sup>  
Παρόμοιο με συνηθισμένο σκυρόδεμα
- Μέτρο Ελαστικότητας 14.000 - 41.000 MPa  
Ίδιας τάξης μεγέθους με συνηθισμένο σκυρόδεμα
- Κοκκομετρική Διαβάθμιση και Αναλογίες Ανάμιξης  
Διαφορετικές από το συνηθισμένο σκυρόδεμα

25



Επίδραση ινών στη συμπεριφορά σε κάμψη

26

### Ανακλώμενο Υλικό και Υπερψεκαζόμενο (Overspray)

- Ανεπιθύμητα προϊόντα εκτόξευσης
- Έλεγχος και ελαχιστοποίηση από χειριστή
- Υπερψεκαζόμενο είναι...  
Προβλήματα
- Ανακλώμενο Υλικό είναι...  
Μειώνεται προοδευτικά  
Δεν ξαναχρησιμοποιείται

- Σπατάλη
- Συνθήκες εργασίας χειριστή
- Αδύναμα σημεία

Περισσότερο Ανακλώμενο → Αυξημένη Αντοχή (!)

Αλλά Αυξημένη Συστολή Ξήρανση

27

Εκτοξευόμενη Επιφάνεια	Ξηρά Ανάμιξη	Υγρά Ανάμιξη
Δάπεδα	5-15%	0-5%
Κεκλιμένοι ή κατακόρυφοι τοίχοι	15-25%	5-10%
Οροφή	25-50%	10-20%

Ποσοστά ανακλώμενου υλικού

28



## Εκτέλεση Εργασίας

### Προετοιμασία Επιφάνειας

- Απομάκρυνση κάθε αποσαθρωμένου
- Αγρίεμα επιφάνειας
- Διαβροχή με νερό

### Έλεγχος Νερού

Τόσο όσο χρειάζεται για να φαίνεται ελαφρά γυαλιστερό

Πολύ νερό → κυλάει, κρεμάει

Λίγο νερό → αυξάνει το ανακλώμενο

(Ξηρά, σκούρα  
αμμώδης επιφάνεια  
χωρίς να γυαλίζει)

Συσώρευση αδρανών  
κακή τελική επιφάνεια  
κακή σύνδεση στρώσεων  
μικρή αντοχή

Δείγματα έδειξαν ανεπαρκή διαβροχή

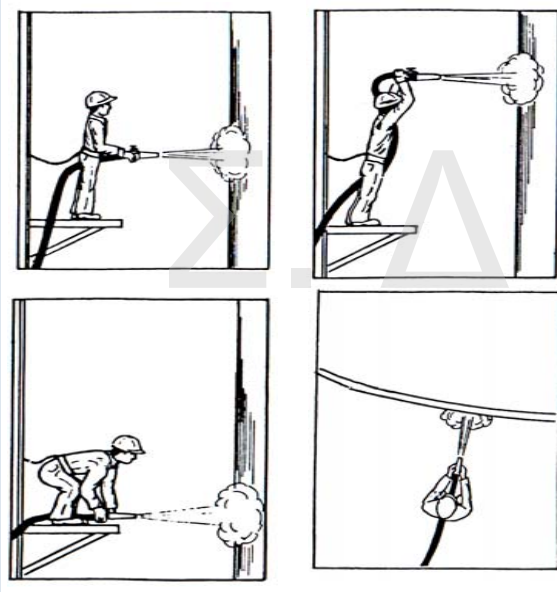
Πίεση νερού = Πίεση αέρα + (100 - 200) ΚΡα

29

## ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ

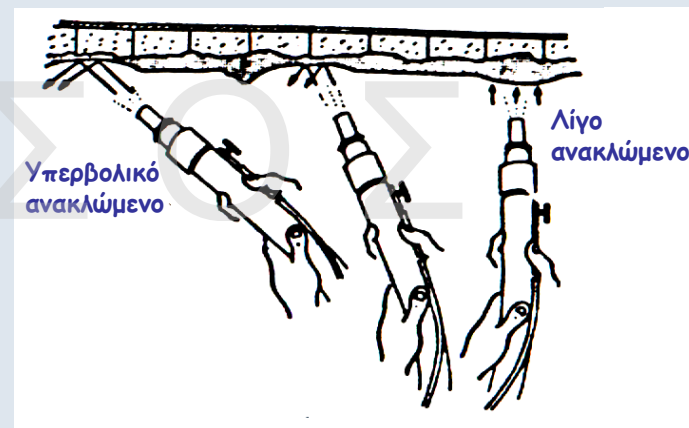
- Αποτελεσματικός χειρισμός
- Λιγότερες δυνατόν στρώσεις
- Σταθερή ροή χωρίς διακυμάνσεις
- Απόσταση 0,6 m έως 1,8 m
- Εν γένει κάθετα στην επιφάνεια  
Ποτέ σε γωνία > 45°
- Κυκλική περιστροφή ακροφυσίου  
Όχι μπρος-πίσω
- Σε μεγάλα πάχη κάθετα στην επιφάνεια υλικού σε γωνία 45°  
προς την επιφάνεια βάσης
- Όχι ανακλώμενο και overspray στην επιφάνεια βάσης π.χ. πλάκες
- Εσωτερικές γωνίες προηγούνται
- Υγρότερη πρώτη στρώση

30



Σωστές θέσεις εκτόξευσης

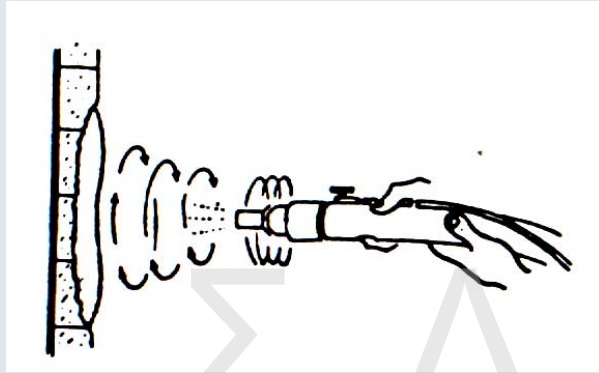
31



Σχέση ανακλώμενου υλικού και γωνίας πρόσπτωσης

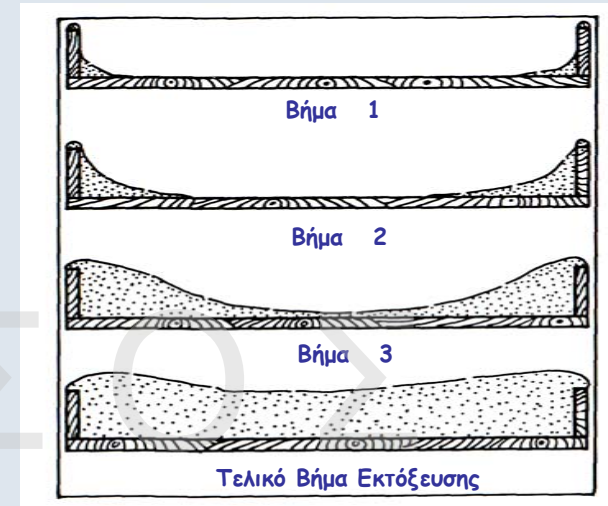
32





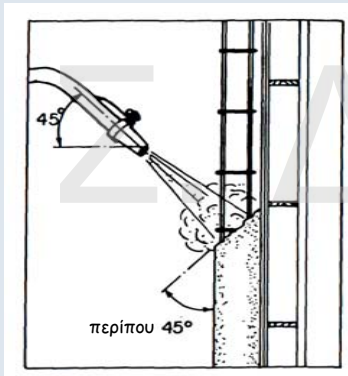
Οι στρώσεις συμπληρώνονται με επάλληλες μικρές κυκλικές ή ελλειπτικές κινήσεις του ακροφυσίου

33



Κατάλληλη διαδικασία εκτόξευσης σε εσωτερικές γωνίες

34



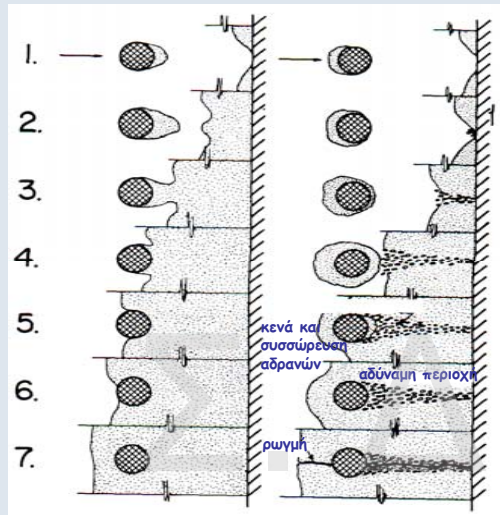
Συνιστώμενος τρόπος εκτόξευσης για μεγάλα πάχη

35

### Εγκιβωτισμός Οπλισμών

- Σκοπός: Να πάει καλά πίσω από τις ράβδους  
 Να μην προηγείται συσσωμάτωμα με το σίδερο
- Μικρότερη Απόσταση
- Ελαφρά γωνία από πάνω  
 (για οριζόντιες ράβδους)
- Λίγο πιο υγρό μίγμα
- Δύο στρώσεις οπλισμοί  
 12  $\Phi$  αποστάσεις εξωτερικής στρώσης  
 6 $\Phi$  αποστάσεις εσωτερικής στρώσης

36



Εκτόξευση παρουσία σπλισμού

37

## ΕΛΕΓΧΟΙ

(α) ΟΠΤΙΚΟΣ

(β) ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ

(γ) ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ (ΚΡΟΥΣΤΙΚΟΣ)

(δ) ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ

(i) Έλεγχος Θλιπτικής Αντοχής

(ii) Έλεγχος Συνάφειας

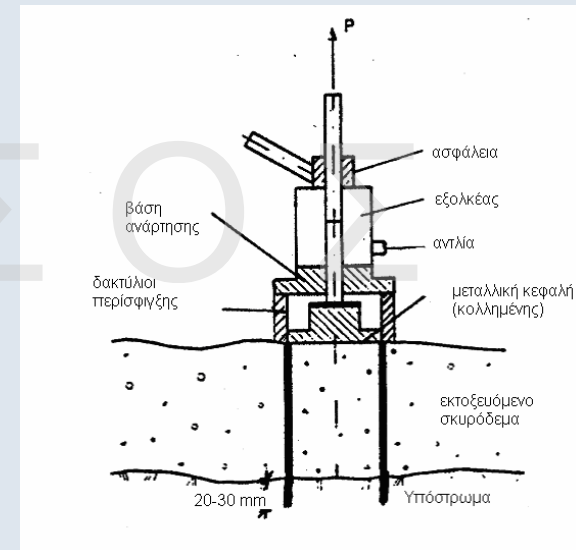
(ε) ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

38



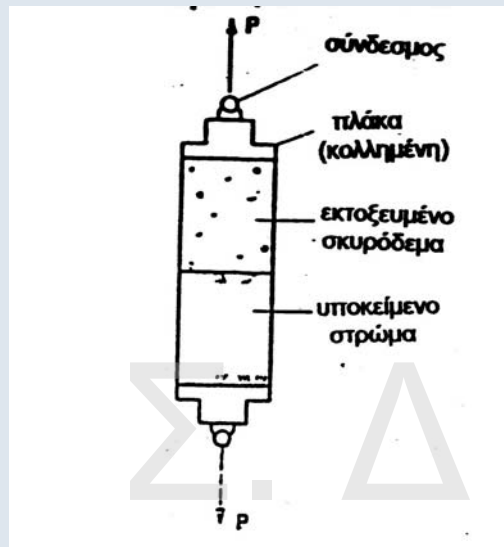
Κατηγοριοποίηση ποιότητας Ε.Σ. με βάση τον οπτικό έλεγχο  
Πιθανές εικόνες των πέντε κατηγοριών

39



Εργαστηριακός Έλεγχος Συνάφειας επί τόπου του έργου με διαχωρισμό δείγματος

40



Εργαστηριακός Έλεγχος Συνάφειας με αποκοπή δείγματος στις περιπτώσεις υποστρώματος με μικρό πάχος



Εκτόξευση Μανδύα Υποστρώματος







45



46



47



48



49



50



51



52





53



54



55



56





57



58



59



60





61



62



63



64