

ΕΠΙΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ

“ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ. ΟΙ ΔΡΟΜΟΙ ΤΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΟΣ”

3 - 6 Νοεμβρίου, 2008, Αθήνα

**Σχεδιασμός Σκυροδεμάτων Οδοστρωσίας.
Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και
ανθεκτικότητα των σκυρ/των αυτών**

Ι. Παπαγιάννη
Καθηγήτρια Α.Π.Θ.



Στόχος

- **Το σκυρόδεμα:** να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της κατηγορίας του δρόμου που θα εφαρμοστεί (μηχανικά χαρακτηριστικά, αντολισθηρότητα, μειωμένος θόρυβος) και στις συνθήκες (υγρασία, θερμοκρασία, παγετός), του περιβάλλοντος λειτουργίας, έτσι ώστε να έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Αυτό απαιτεί γνώση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των σκυρ/των οδοστρώσας και συστηματικό έλεγχο σε όλα τα στάδια παραγωγής-κατασκευής-συντήρησης.



Τύποι οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα

- Πλάκες με αρμούς
- Πλάκες με συνεχή οπλισμό

→ Σκυρ/μα χαμηλής κάθισης
(δονούμενο)

- Κυλινδρούμενο σκυρόδεμα
- Υποβάσεις

→ Σκυρ/μα μηδενικής κάθισης



Τεχνικά χαρακτηριστικά που επιζητούνται

- Καλή συμπεριφορά του σκυροδέματος σε κόπωση
- Υψηλή εφελκυστική αντοχή
- Χαμηλό μέτρο ελαστικότητας για να εισάγονται μειωμένες τάσεις από τις επιβαλλόμενες παραμορφώσεις
- Χαμηλή μεταφορά υγρασίας
- Χαμηλή παραμόρφωση λόγω συστολών
- Χαμηλή θερμική διαστολή
- Χαμηλή έκλυση θερμότητας ενυδάτωσης για να μη συντελεί σε υψηλές θερμοκρασιακές βαθμίδες
- Ανθεκτικότητα σε παγετό
- Ανθεκτικότητα σε τριβή για να πληρούνται απαιτήσεις ολισθηρότητας
- Ανθεκτικότητα σε έκπλυση από νερό όξινης βροχής

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΑΔΡΑΝΗ

ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΗΓΜΑ

ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΖΩΝΗ

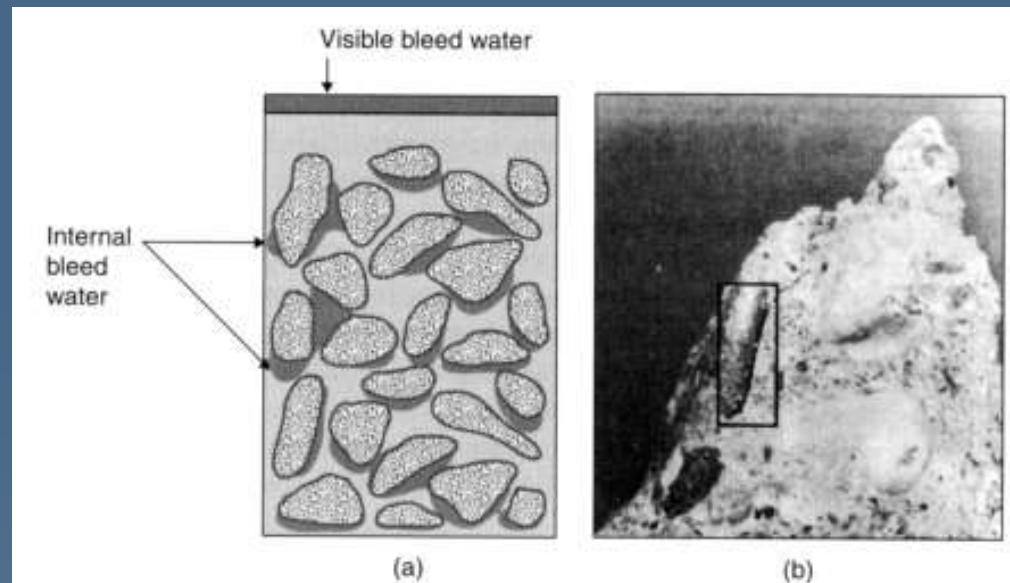


Figure 2-4 (a) Diagrammatic representation of bleeding in freshly deposited concrete; (b) shear-bond failure in a concrete specimen tested in uniaxial compression.

Internal bleed water tends to accumulate in the vicinity of elongated, flat, and large pieces of aggregate. In these locations, the aggregate-cement paste interfacial transition zone tends to be weak and easily prone to microcracking. This phenomenon is responsible for the shear-bond failure at the surface of the aggregate particle marked in the photograph.



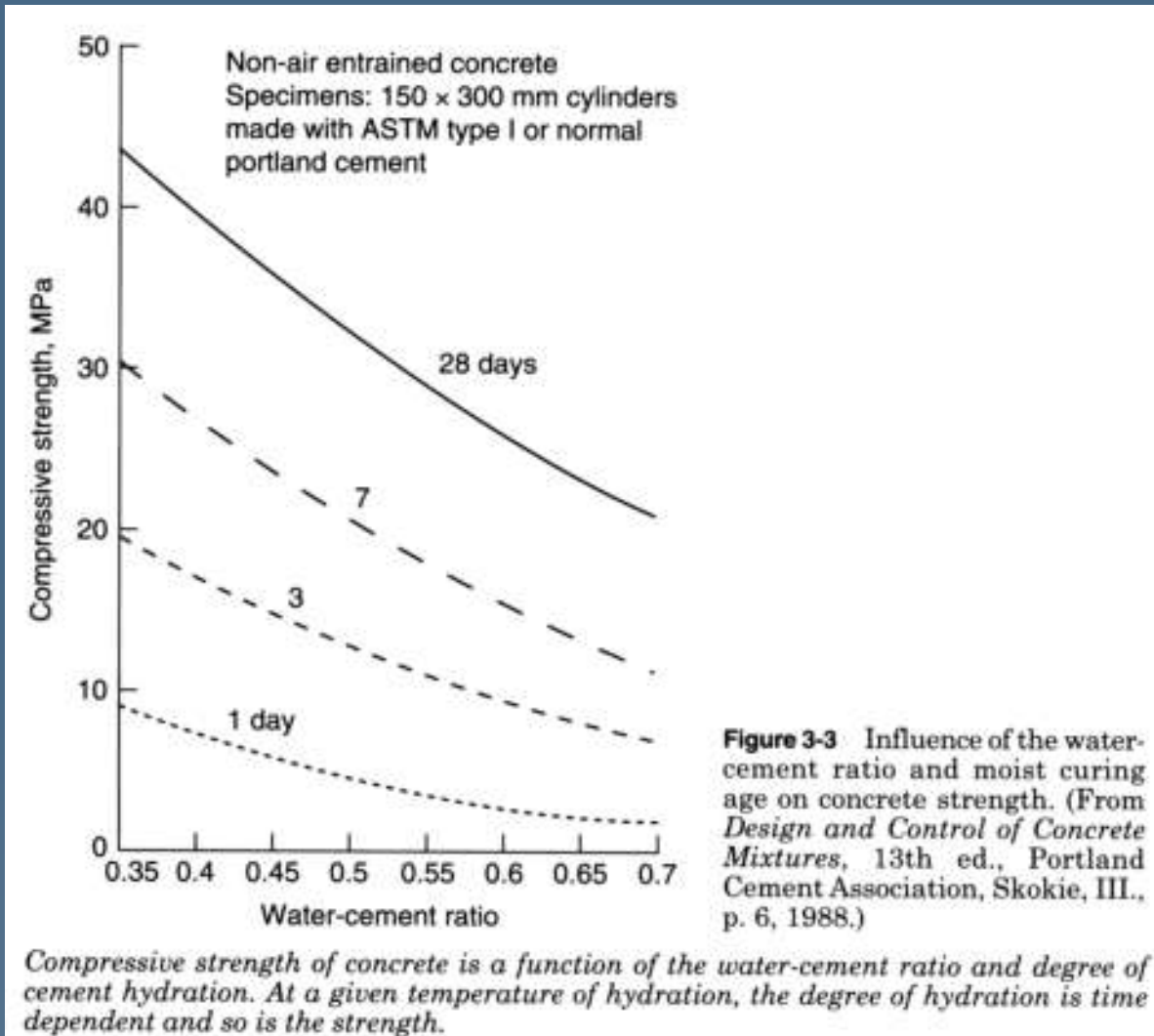
Μηχανικά χαρακτηριστικά (θλιπτική, εφελκυστική αντοχή, Μέτρο Ελαστικότητας) & Παραμορφωσιμότητα

Για τα σκυρ/τα χαμηλής κάθισης ισχύουν οι βασικές σχέσεις που επηρεάζουν τις ιδιότητες του σκυρ/τος, όπως:

- Η εργασιμότητα εξαρτάται από την ποσότητα νερού στο ανάμιγμα, την προσθήκη ρευστοποιητών, την ποσότητα τσιμέντου, το μέγιστο κόκκο αδρανών
- Η αντοχή σχετίζεται άμεσα από το λόγο W/C , τον τύπο και ποσότητα του τσιμέντου, τον τύπο, ποσότητα και κοκκομετρία αδρανών, την προσθήκη αερακτικών.



Μηχανικά χαρακτηριστικά (θλιπτική, εφελκυστική αντοχή, Μέτρο Ελαστικότητας) & Παραμορφωσιμότητα





Μηχανικά χαρακτηριστικά (θλιπτική, εφελκυστική αντοχή, Μέτρο Ελαστικότητας) & Παραμορφωσιμότητα

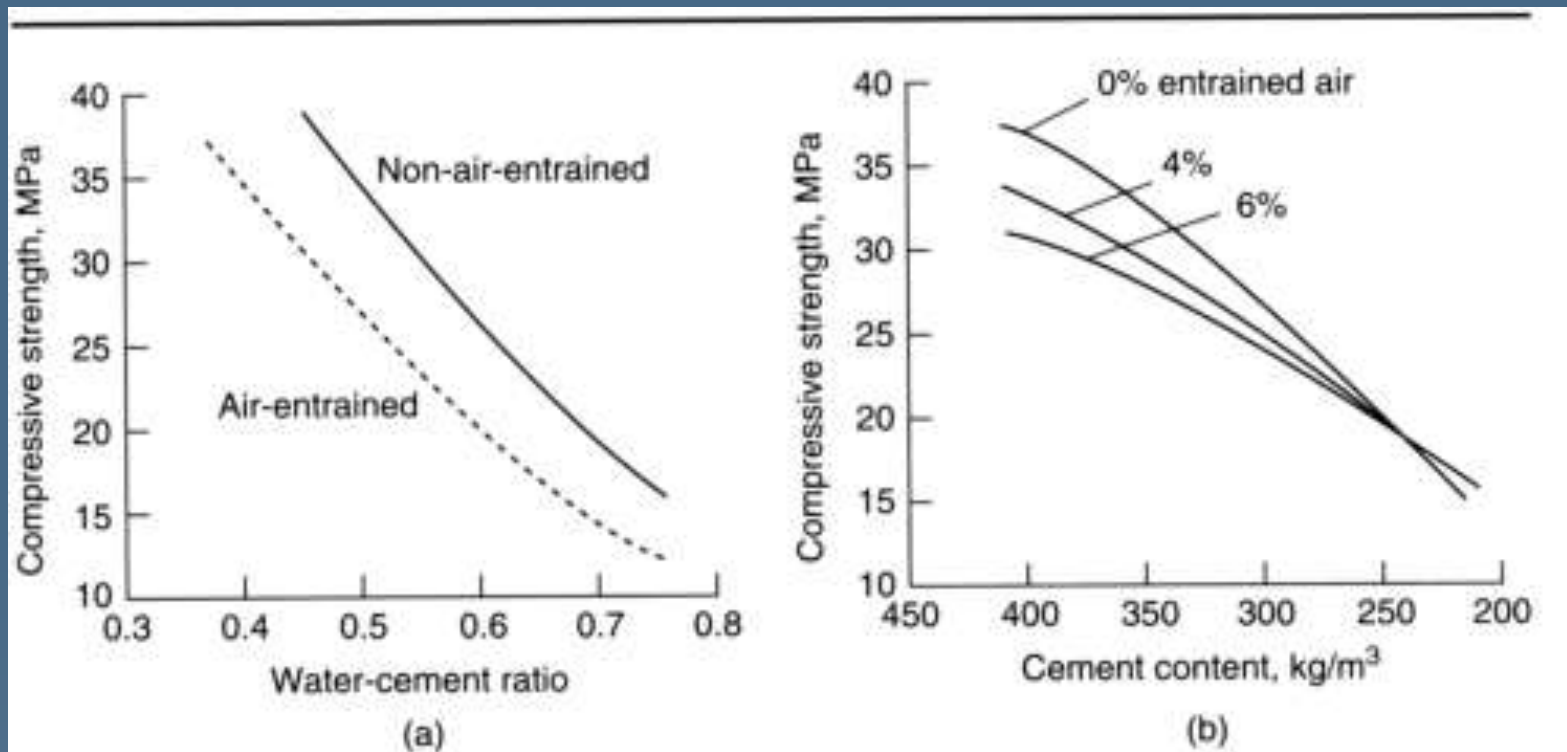
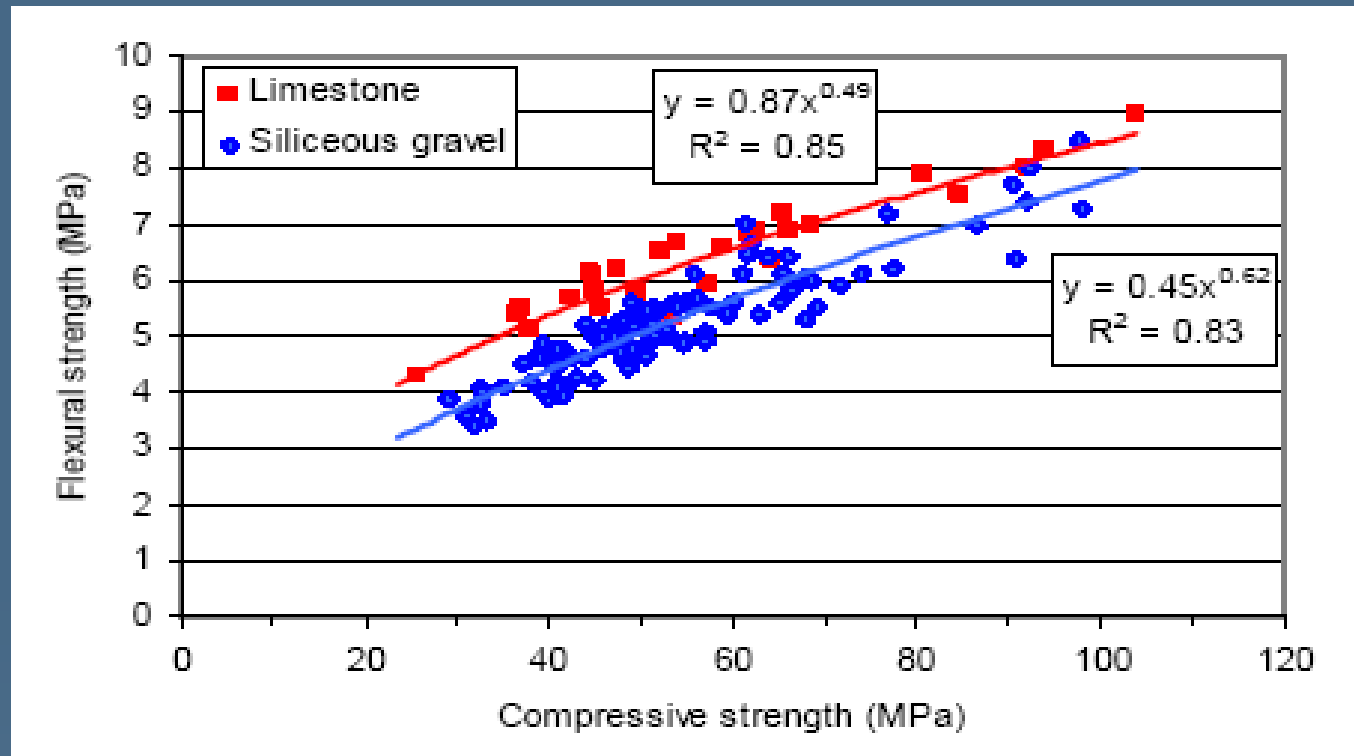


Figure 3-4 Influence of the water-cement ratio, entrained air, and cement content on concrete strength. (From *Concrete Manual*, U.S. Bureau of Reclamation, 1981, and Cordon, W.A., *Properties, Evaluation, and Control of Engineering Materials*, McGraw-Hill, New York, 1979.)

At a given water-cement ratio or cement content, entrained air generally reduces the strength of concrete. For very low cement contents, entrained air may actually increase the strength.



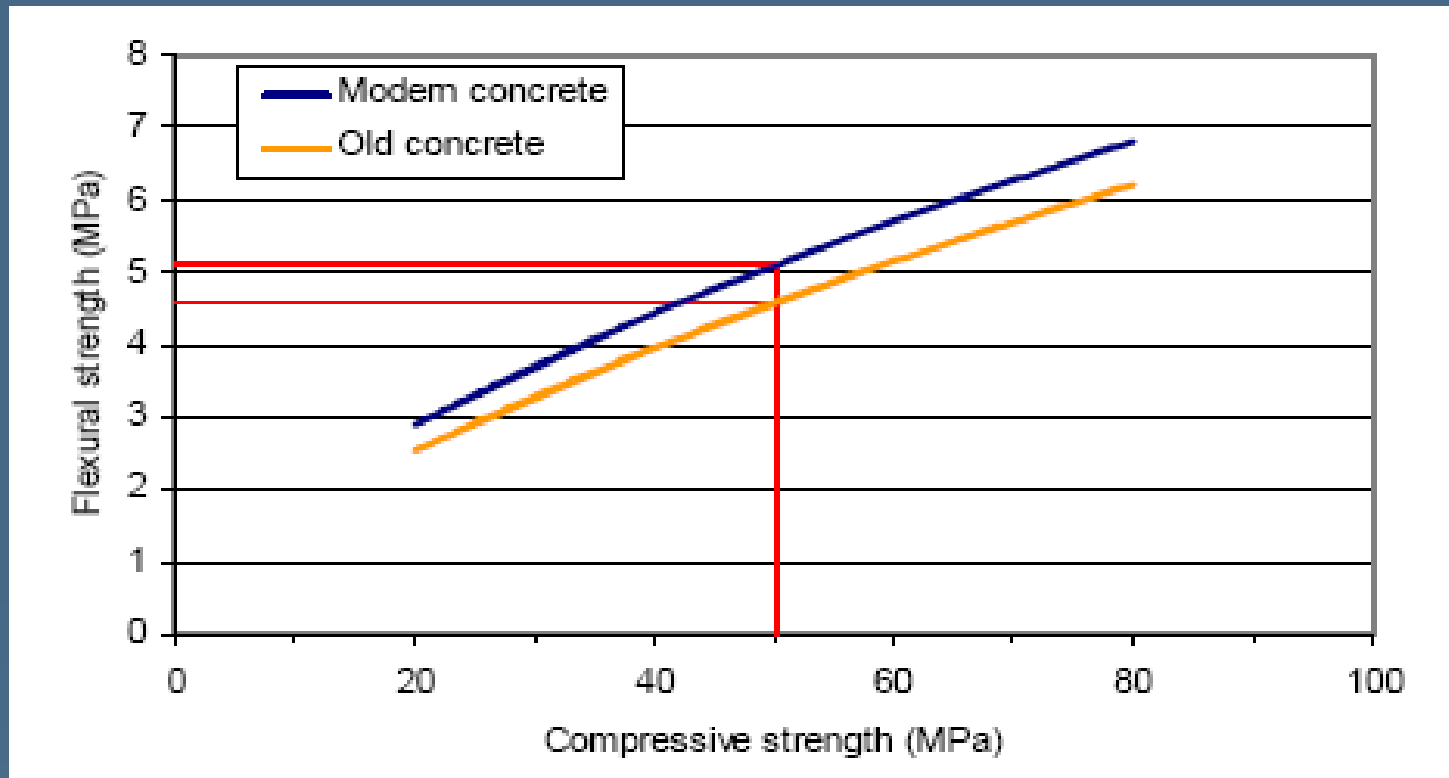
- Στα σκυρ/τα οδοστρωμάτων συνεχούς οπλισμού ενδιαφέρει ιδιαίτερα η σχέση θλιπτικής, καμπτικής αντοχής.



Σχέση θλιπτικής, καμπτικής αντοχής στις 28 ημέρες



➤ Επιρροή τύπου αδρανών. Σκυρόδεμα για CRCP



Σχέση καμπτικής και θλιπτικής αντοχής (28 ημέρες) για παλαιό και νέο σκυ/μα από πυριτικά αδρανή



Συμβολή του τύπου των αδρανών στον περιορισμό του εύρους και της απόστασης των ρωγμών σε CRCP

(Αποτελέσματα ελέγχου CRCP στη Μ. Βρετανία)

- Τα ασβεστολιθικά αδρανή λόγω του χαμηλότερου συντελεστή θερμικής διαστολής και της αυξημένης συνάφειας με το τσιμεντόπηγμα, επηρεάζουν θετικά την αποφυγή ρηγματώσης, αυξάνοντας τη μέση απόσταση.

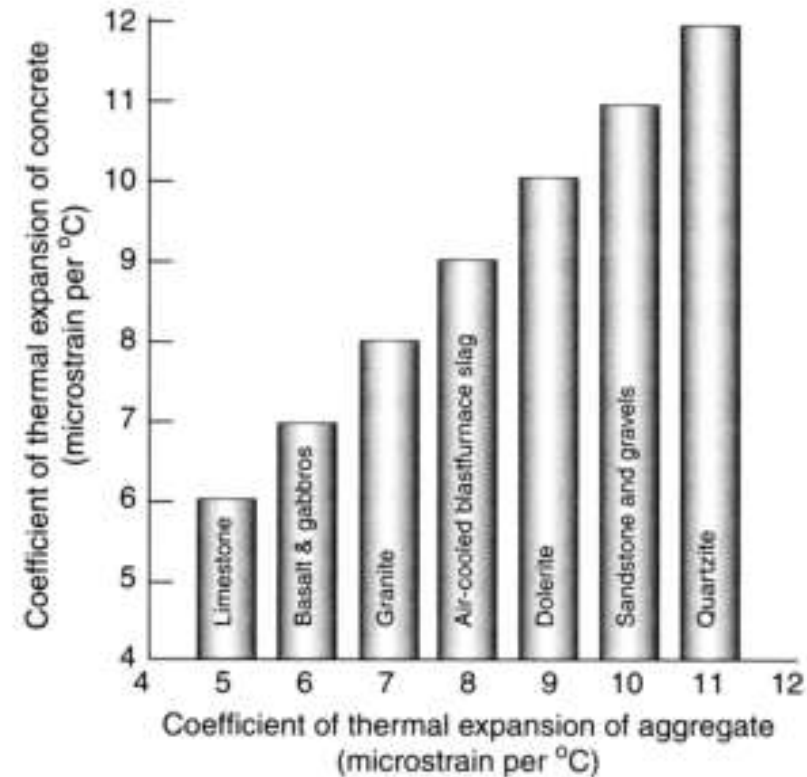


Figure 4-24 Influence of the aggregate type on the coefficient of thermal expansion of concrete.

Since the coefficient of thermal expansion of concrete is directly related to the coefficient of expansion of the aggregate present, in mass concrete the selection of an aggregate with a lower coefficient provides another approach toward lowering the thermal strain.



Συμβολή του τύπου των αδρανών στον περιορισμό του εύρους και της απόστασης των ρωγμών σε CRCP

(Αποτελέσματα ελέγχου CRCP στη Μ. Βρετανία)

Aggregate	No. of section	Subbase type	No. of cracks	Crack spacing (m)	Percentage of total cracks						Crack index (mm/100m)
					H	N	M	W	S	B	
Siliceous gravel	1	Unbound	67	1.5	0	70	30	0	60	3	32
	2	Asphalt	111	0.9	32	53	15	0	47	25	34
	8	Cemented	95	1.1	14	64	20	2	37	15	38
Limestone	4	Unbound	36	2.7	1	84	15	0	8	6	13
	12	Asphalt	41	2.4	23	75	2	0	5	6	10
	11	Cemented	53	1.8	8	89	3	0	15	10	16

H = Hair, observed only with difficulty

M = Medium, between 0.5 and 1.5mm in width

S = Spalled crack

N = Narrow, less than 0.5mm in width

W = Wide, greater than 1.5mm in width

B = Bifurcated crack

Εγκάρσιες ρηγματώσεις για 100m μήκους CRCP



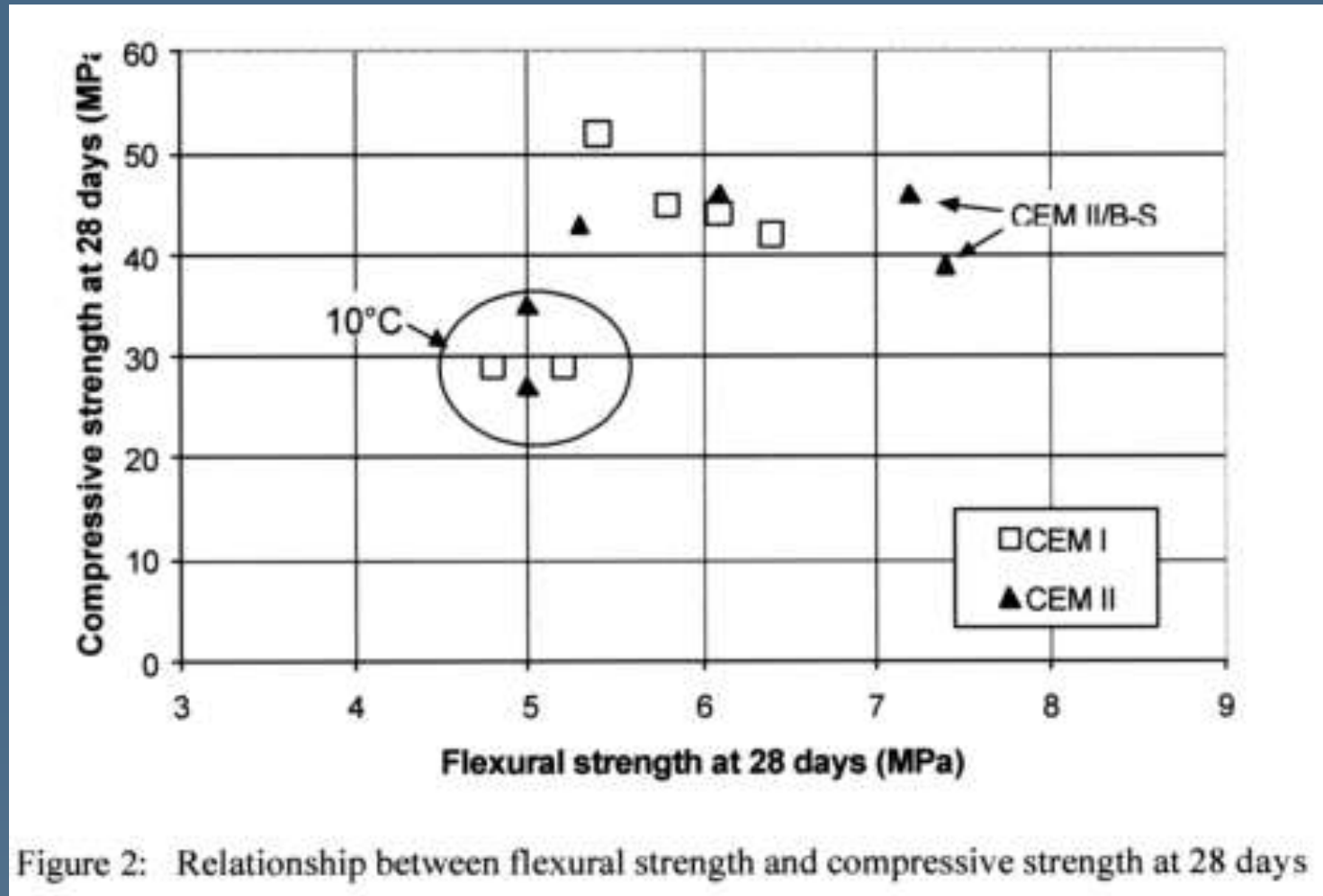
Συμβολή του τύπου του τσιμέντου στην ανάπτυξη αντοχής

Table 1: Definition and composition of main cement types of EN 197-1 [1]

Cement type		Clinker content (proportion by weight)	Other main constituents	
CEM I	Portland cement	95 - 100	No	
CEM II	Portland-composite cement	65 - 94	6 - 35	Different
CEM III	Blastfurnace cement	5 - 64	36 - 95	Gran. blastfurnace slag (gbfs)
CEM IV	Pozzolanic cement	45 - 89	11 - 55	Pozzolans
CEM V	Composite cement	20 - 64	36 - 80	Mix of gbfs and pozzolan

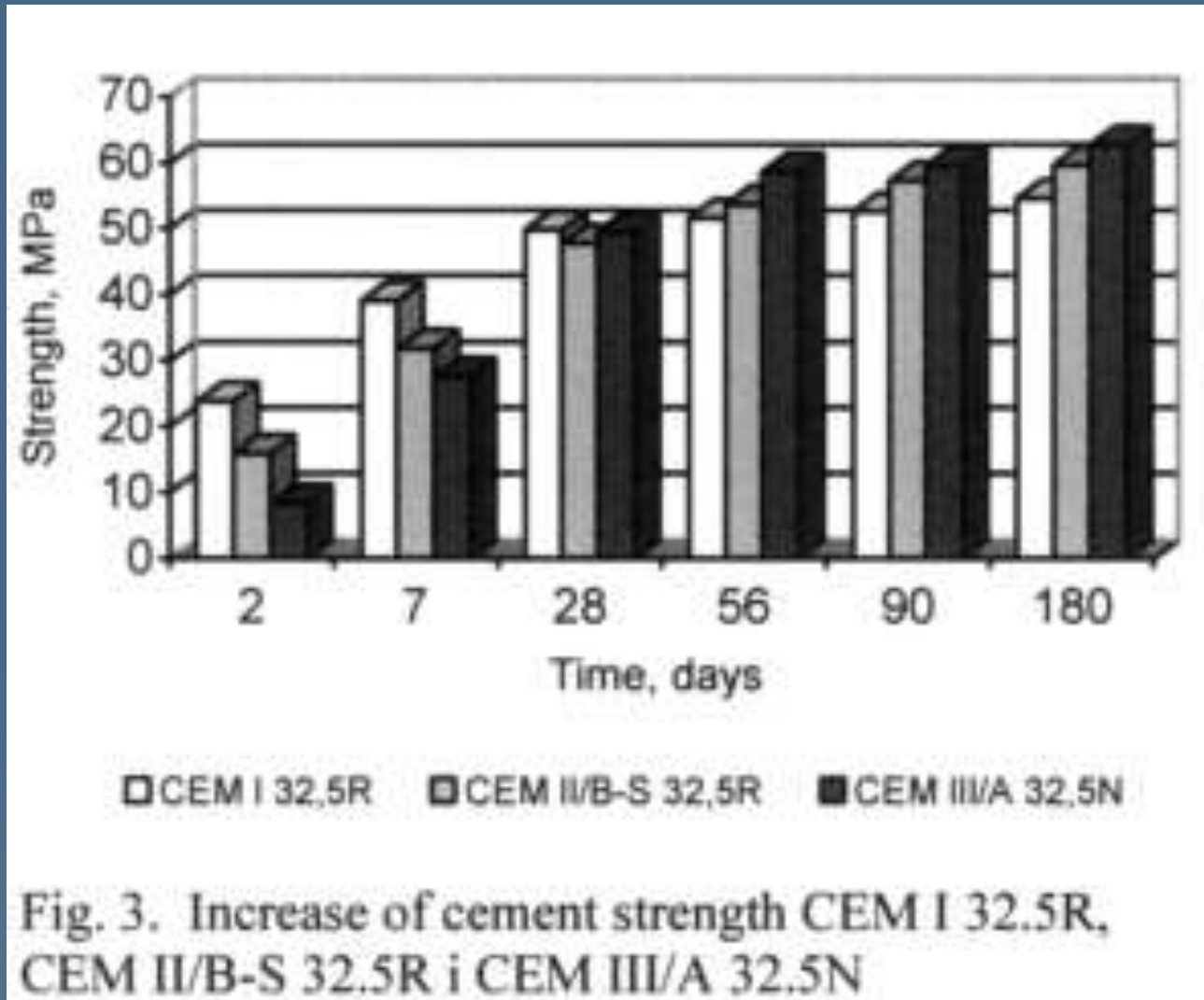


Συμβολή του τύπου του τσιμέντου στην ανάπτυξη αντοχής





Συμβολή του τύπου του τσιμέντου στην ανάπτυξη αντοχής





Θερμότητα ενυδάτωσης των διαφόρων τύπων τσιμέντων

Table 3. Heat of hydration

Kind of cement	Heat of hydration after 72 hrs [kJ/kg]
CEM I 32,5R	332
CEM II/B-S 32.5R (30% of slag)	281
CEM III/A 32.5N (60% of slag)	213

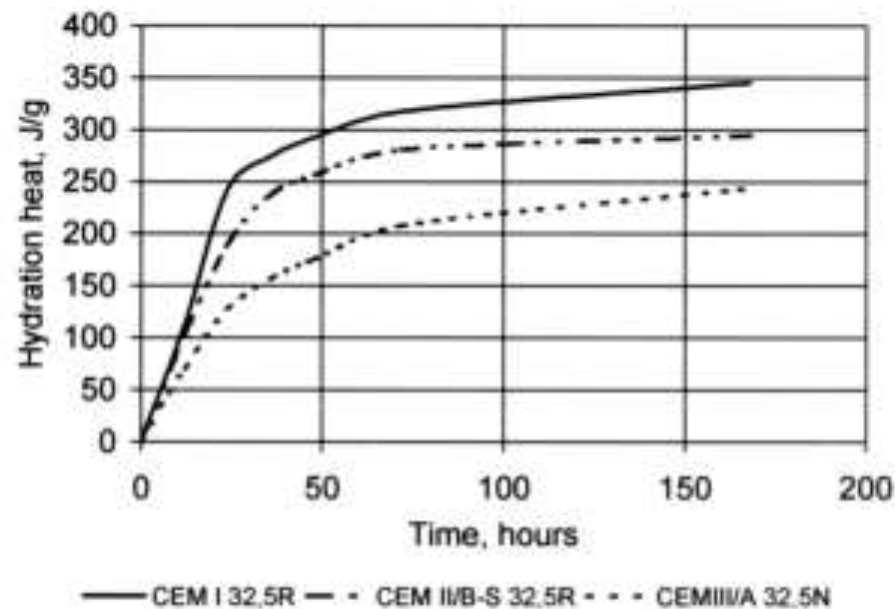
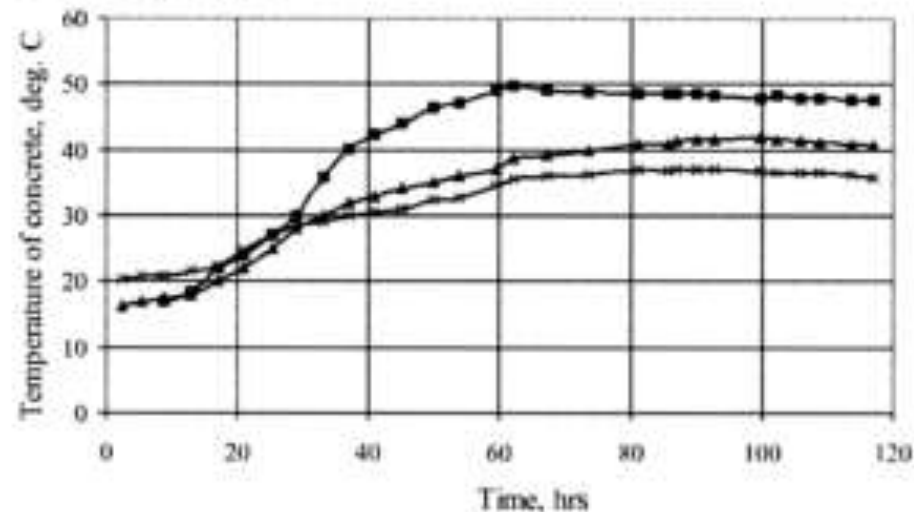


Fig. 1. Cement hydration heat



Θερμότητα ενυδάτωσης των διαφόρων τύπων τσιμέντων

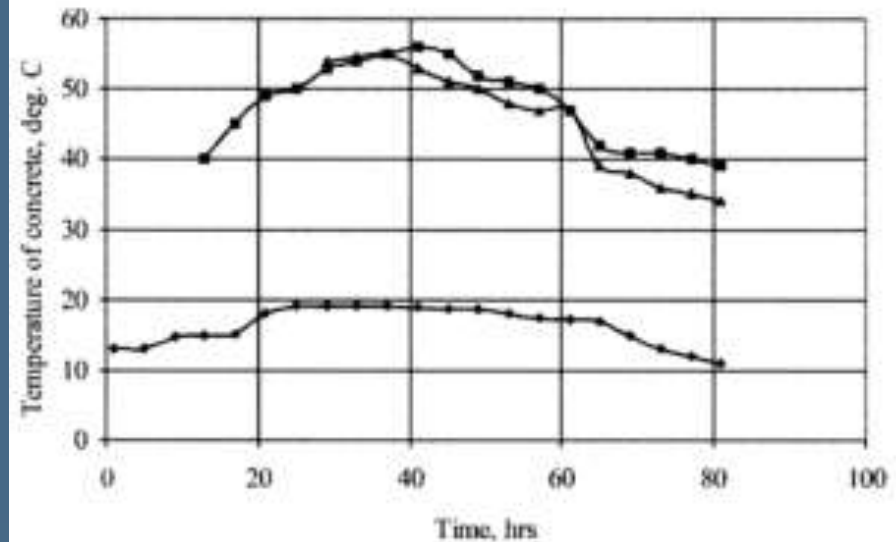
CEM II/A 32.5 N



temperature measurement point

- in the middle of width, 100 cm high above foundation bottom
- in the middle of width, 180 cm away from foundation bottom
- ▲ 20 cm from side wall and 20 cm from foundation bottom

CEM I 42.5 N



temperature measurement spot temperature:

- near cooling tube, 100 cm away from foundation bottom
- in the middle of width, 100 cm from foundation bottom
- ▲ near side wall, 100 cm from foundation bottom

Fig. 2. Temperature curves in measuring points of a bridge support foundation made of cement CEM I 42.5 and CEM III/A 32.5N (concrete C 25/30) [6]

Ρηγμάτωση λόγω θερμικού φορτίου προερχόμενο από θερμοκρασιακή βαθμίδα

- Η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι εξώθερμη αντίδραση
- Το ποσό της θερμότητας που εκλύεται εξαρτάται από την ποσότητα του τσιμέντου και του τύπου του τσιμέντου
- Σε δεδομένο χρόνο (t) η θερμότητα που αναπτύσσεται από 1kg σκυρ/τος (Q_t) δίνεται από την εξίσωση:

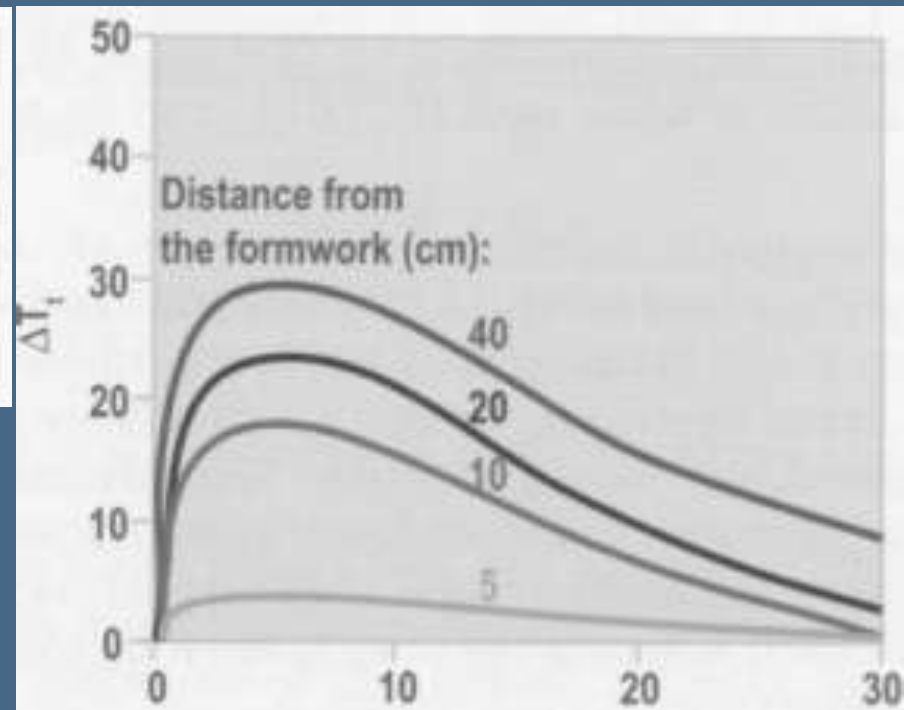
$Q_t = q_t \cdot C$, όπου (q_t) η θερμότητα ενυδάτωσης του τσιμέντου σε kilojoules ανά kg (kJ/kg), C, η ποσότητα σε kg του τσιμέντου στο 1m³ σκυρ/τος

Για t = 3ημ. C = 300 kg/m³, $q_{3\text{CEMIIA/L}} = 315$, $q'_{3\text{CEMIII425}} = 160$

$$Q_3 = 315 \cdot 300 = 94.500 \text{ KJ/m}^3$$

$$Q'_3 = 160 \cdot 300 = 48.000 \text{ KJ/m}^3$$

Time (days)	Heat (kJ/kg) of the following cements				
	I 52.5R	II-A/L 42.5R	III-B 42.5	IV-B 42.5	V-B 42.5R
1	200	130	60	100	70
3	350	315	160	230	170
7	400	375	200	290	210
28	440	420	250	340	270



$$Q_t = q_t \cdot c = m \cdot \rho \cdot (\Delta T_t)_{ad}$$

m = μάζα 1m³ σκυρ/τος 2400 kg/m³

ρ = ειδική θερμότητα σκυρ/τος 1.1

KJ/kg.°C

(ΔT_t)_{ad} = max temp. Σε αδιαβατικές συνθήκες

$$(\Delta T)_{ad} = \frac{d_t c}{m \rho} = \frac{315300}{2400 \cdot 1.1} = 36^\circ C$$

$$E_t = \Delta T \cdot \beta_T = 20 \cdot 10^{-5} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ ή } 200 \mu\text{m/m}$$

β_T συντελεστής θερμικής διαστολής = 10⁻⁵ °C⁻¹

E_c λόγω εφελκυσμού ≈ 200μm/m

- Από την απλή αυτή ανάλυση προκύπτει ότι πρέπει να επιλέγεται ανάμιγμα κονιών που η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του περισσότερο κρύου (επιφάνεια) και του πιο θερμού (πυρήνα) τμήματος να είναι μικρότερη από 20 °C
- Θεωρώντας στην εξίσωση $Q_t = q_t \cdot c = m\rho (\Delta T_t)_{ad}$ ότι το $(\Delta T_t)_{ad}$ είναι η max δυνατή τιμή βαθμίδας που μπορεί να δημιουργηθεί και ότι αυτό εμφανίζεται μέσα στις 3 πρώτες ημέρες μπορούμε για ένα συγκεκριμένο τύπο τσιμέντου να υπολογίσουμε την βέλτιστη ποσότητα του τσιμέντου.



ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

- ΑΔΡΑΝΩΝ για σκυρ/μα: EN 12620
- -»- για ασφαλτομίγματα: EN 13043
- -»- για υποβάσεις: EN 13242

- ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ: EN 197
- ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ/ΠΡΟΣΘΕΤΑ: EN 934-2 part 2, part 6
- ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: EN 206-1



Απαιτήσεις σκυρ/τος για οδοποιΐα κατά EN 206-1

- Κατηγορία ανθεκτικότητας: XF4
- Θλιπτική αντοχή: C30/37
- W/C_{max} : 0,45
- Ποσότητα τσιμέντου (min): 340kg/m³
- Ποσό κενών αέρα 4,0% στο σκυρ/μα
- Ανθεκτικά αδρανή στον παγετό κατά EN 126 20
- Απορροφητικότητα $\leq 5\%$
- Ανθεκτικότητα στον παγετό: F150
- Ανθεκτικότητα σε αντιπαγωτικά (μετά 50 κύκλους σε 3,0% διάλυμα NaCl)



Επιρροή της συντήρησης στην αντοχή των οδοστρωμάτων από σκυρ/μα

- Υλικά που χρησιμοποιούνται για μεμβράνες συντήρησης σκυρ/τος
- C1: παραφίνη σε υδατικό διάλυμα
- C2: ακρυλικό πολυμερές σε υδατικό διάλυμα
- C3: πετρελαϊκή ρητίνη σε λευκό οινόπνευμα
- C4: λάδι σε υδατικό διάλυμα
- C5: hydrogenated carbohydrate resin σε λευκό οινόπνευμα
- C6: πυριτικό νάτριο σε υδατικό διάλυμα
- C8: εποξειδικό γαλάκτωμα σε νερό



Μέθοδος ελέγχου επιτελεστικότητας

(Procedure introduced by CEN TC 104/SC3)

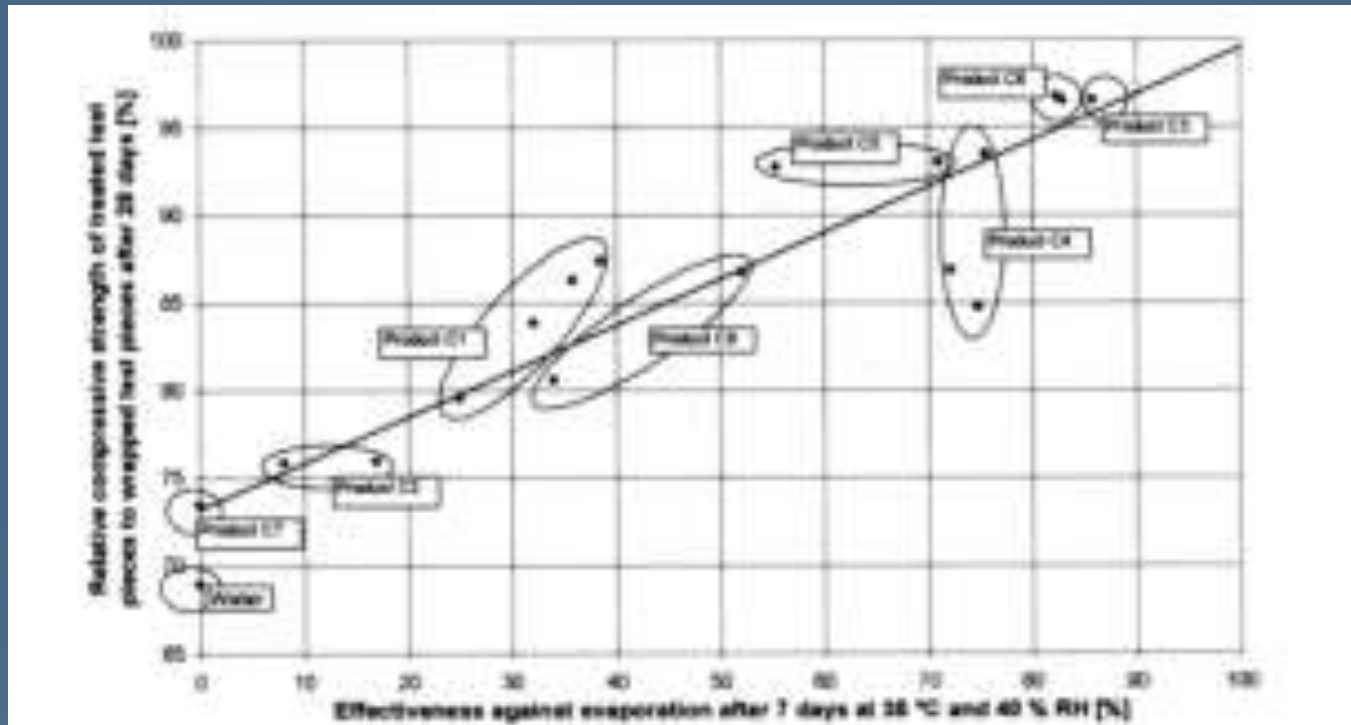


Fig. 1. Relative compressive strength of treated test pieces to wrapped test pieces after 28 days - Effectiveness against evaporation after 7 days at 35 °C and 40 % RH (%).



Μέθοδος ελέγχου επιτελεστικότητας

(Procedure introduced by CEN TC 104/SC3)

- Reference Concrete mixture: CEM I 42.5 R400kg/m³, αδρανή 0/8 1728kg/m³
- Tested Concrete mixture: CEM I 42.5 R450kg/m³, W/C ratio σταθερός



Μέθοδος ελέγχου επιτελεστικότητας

(Procedure introduced by CEN TC 104/SC3)

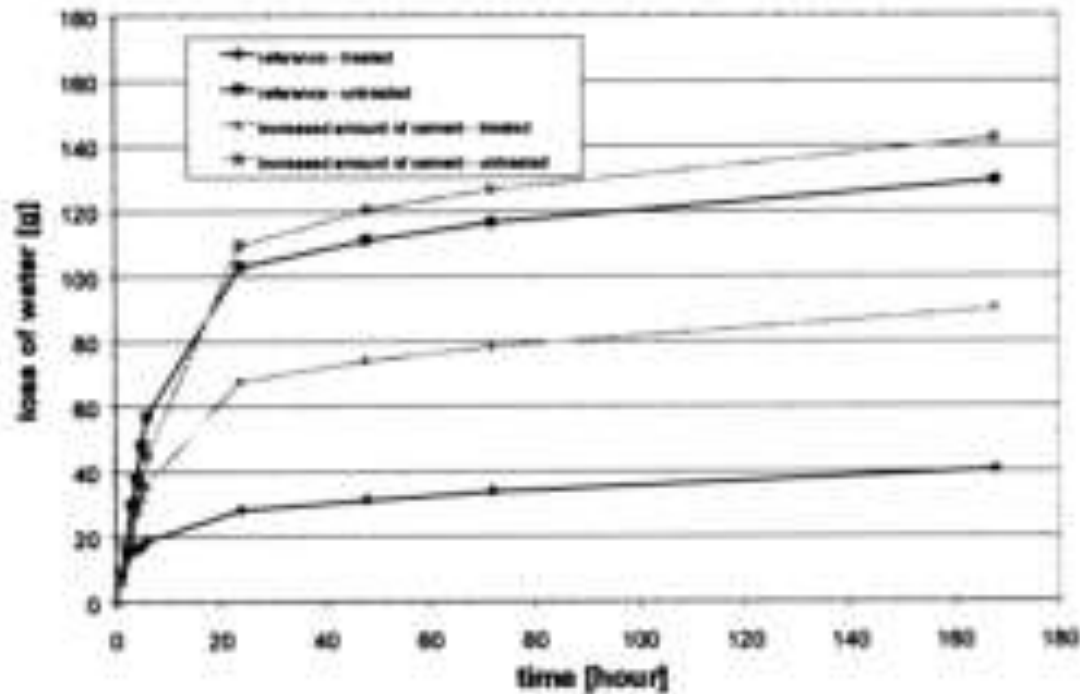
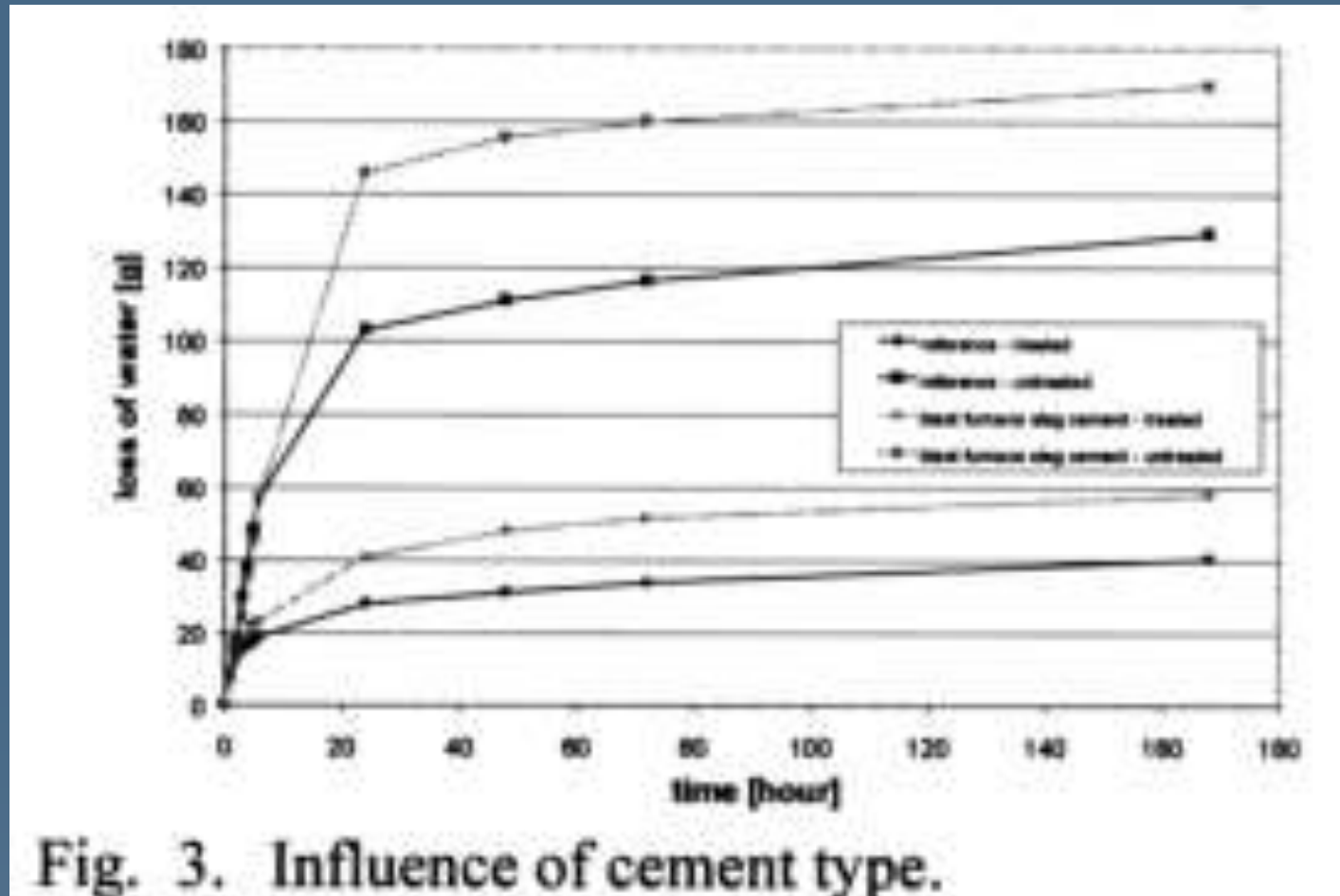


Fig. 2. Influence of cement content.



Μέθοδος ελέγχου επιτελεστικότητας

(Procedure introduced by CEN TC 104/SC3)



- Το σκυρ/μα με σκωρία και γενικότερα με πουζολάνες είναι πιο ευαίσθητο στη συντήρηση



Σχεδιασμός κυλινδρούμενου σκυρ/τος για οδοστρώματα

- Βρίσκει εφαρμογή κυρίως όπου υπάρχει κυκλοφορία βαρέων οχημάτων με αργή σχετικά ταχύτητα, δάπεδα εμπορευμάτων, σταθμών, χώροι στάθμευσης αεροπλάνων.
- Είναι σκυρ/μα μηδενικής κάθισης που παράγεται συνήθως σε μονάδα παραγωγής στο έργο και διαστρώνεται με τη χρήση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για τα ασφαλτοοδοστρώματα.

Σχεδιασμός κυλινδρούμενου σκυρ/τος για οδοστρώματα

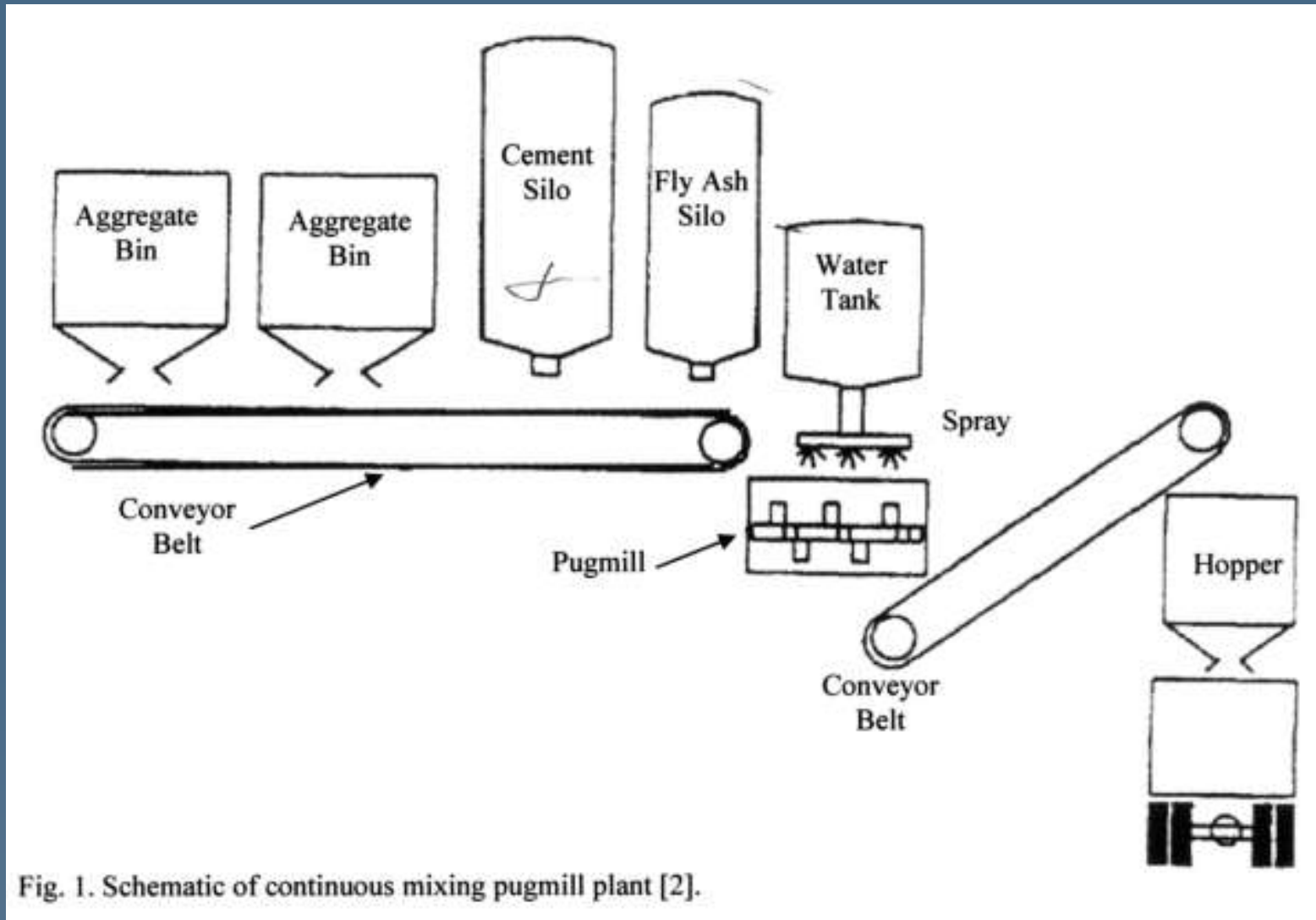


Fig. 1. Schematic of continuous mixing pugmill plant [2].



Σχεδιασμός κυλινδρούμενου σκυρ/τος για οδοστρώματα

- Στόχος η επίτευξη της μέγιστης πυκνότητας

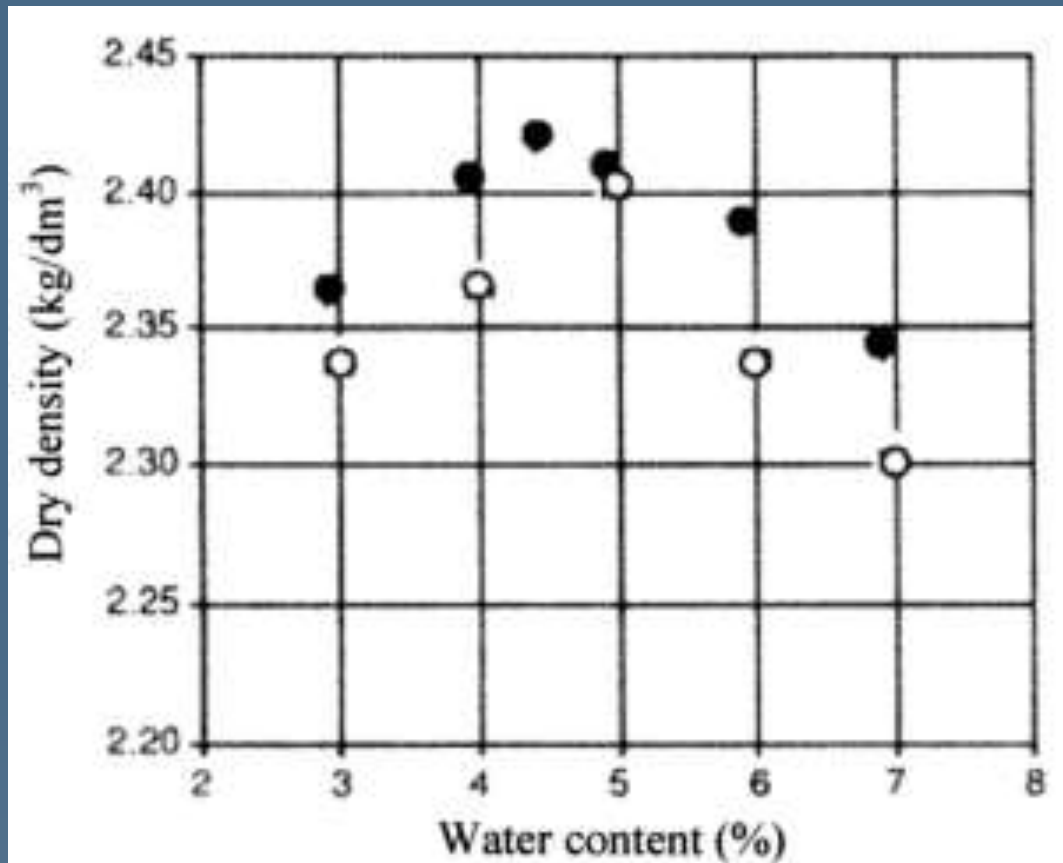


Fig. 3. Water content-dry density relationship for two binder contents [6].



Σχεδιασμός κυλινδρούμενου σκυρ/τος για οδοστρώματα

- Επιρροή της αντοχής από το βαθμό συμπίκνωσης

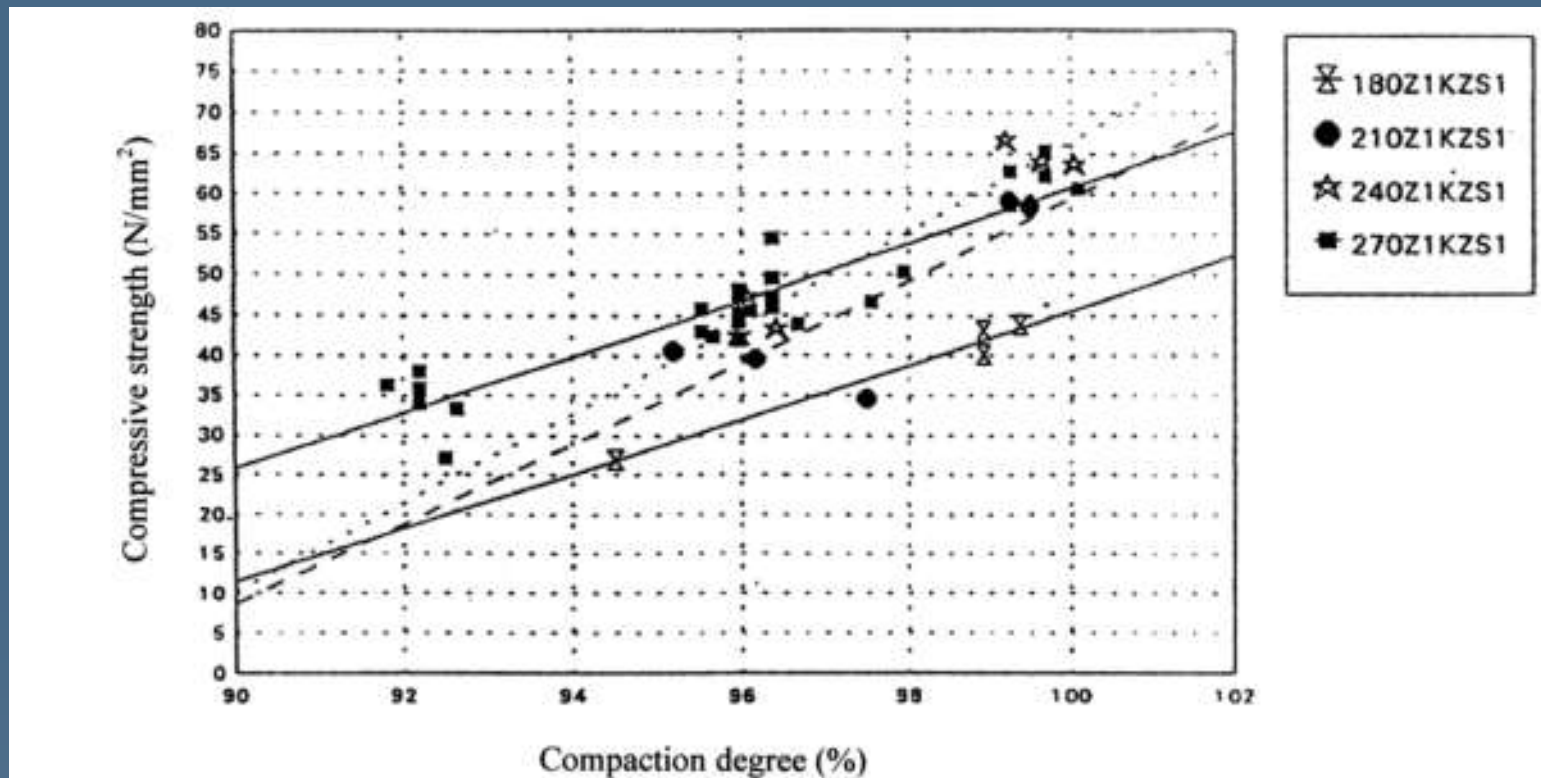


Fig. 5. Influence of the degree of compaction on the compressive strength of RCC with gravel on the basis of different amounts of cement ranging from 180 to 270 kg/m³ and with pit-coal fly-ash ranging from 90 to 180 kg/m³ [11].



Συστολή ξήρανσης RCC

- Η 28-ημερών συστολή κυμαίνεται από 80-460 μ strain

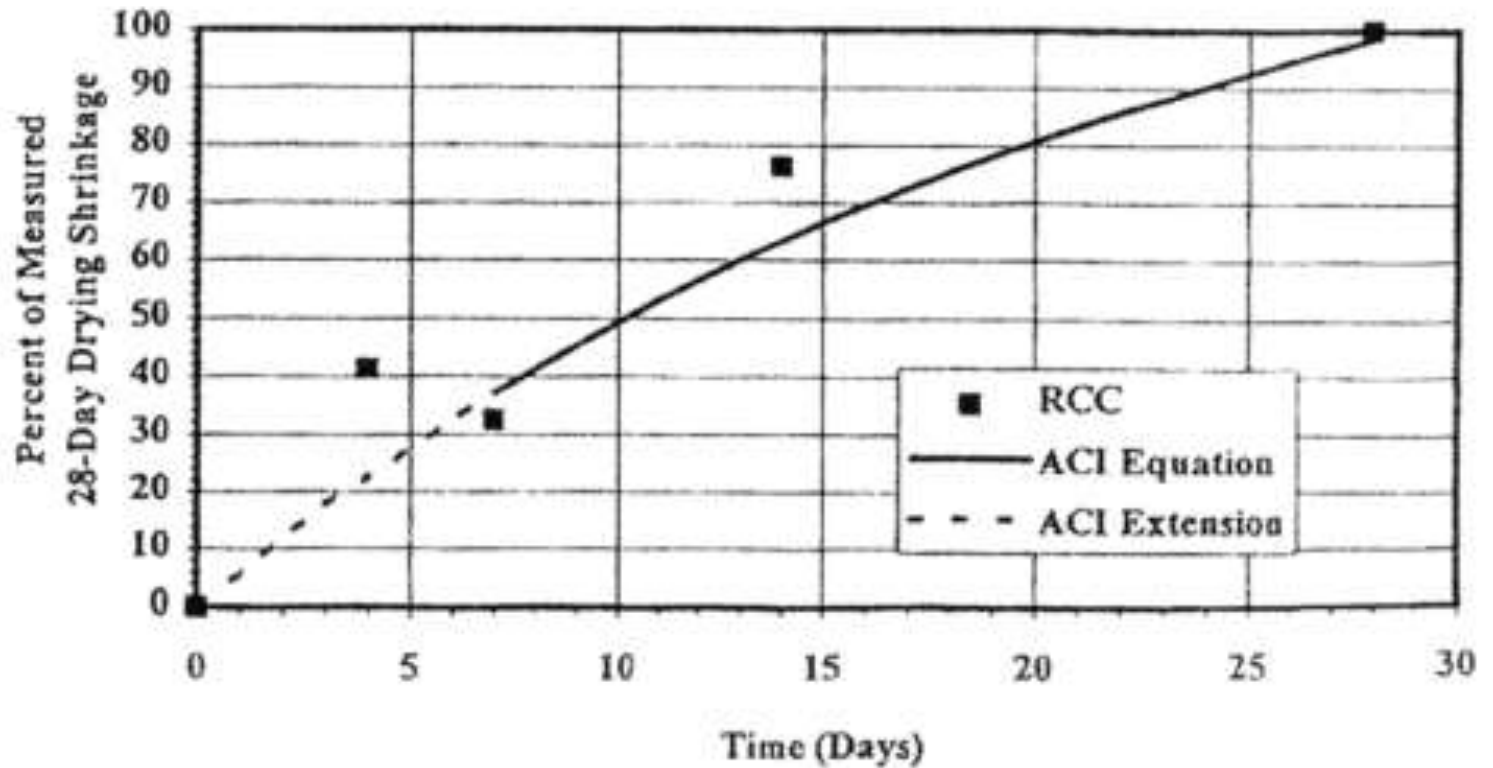


Fig. 6. Comparison of ACI Committee 209 drying shrinkage model to RCC data [12].

Ανθεκτικότητα RCC σε παγοπληξία

- Εξαρτάται από τη μέση απόσταση των κενών αέρα που εισάγονται στο σκυρ/μα

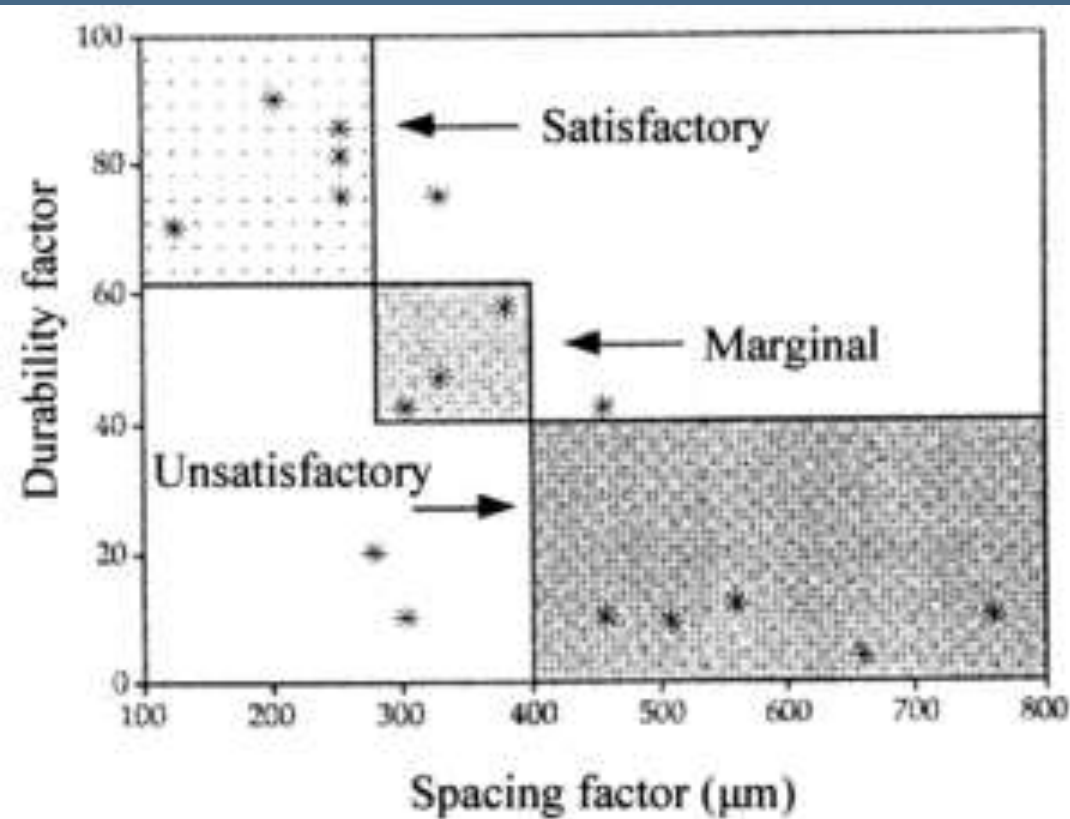


Fig. 7. Relationship between the durability and the air voids spacing factors for various roller-compacted concretes [13].

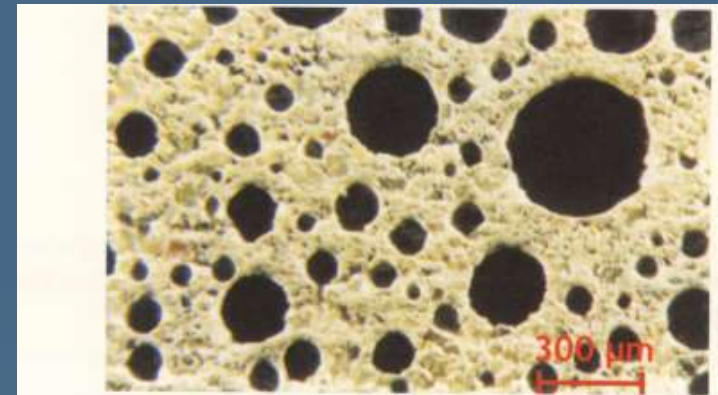


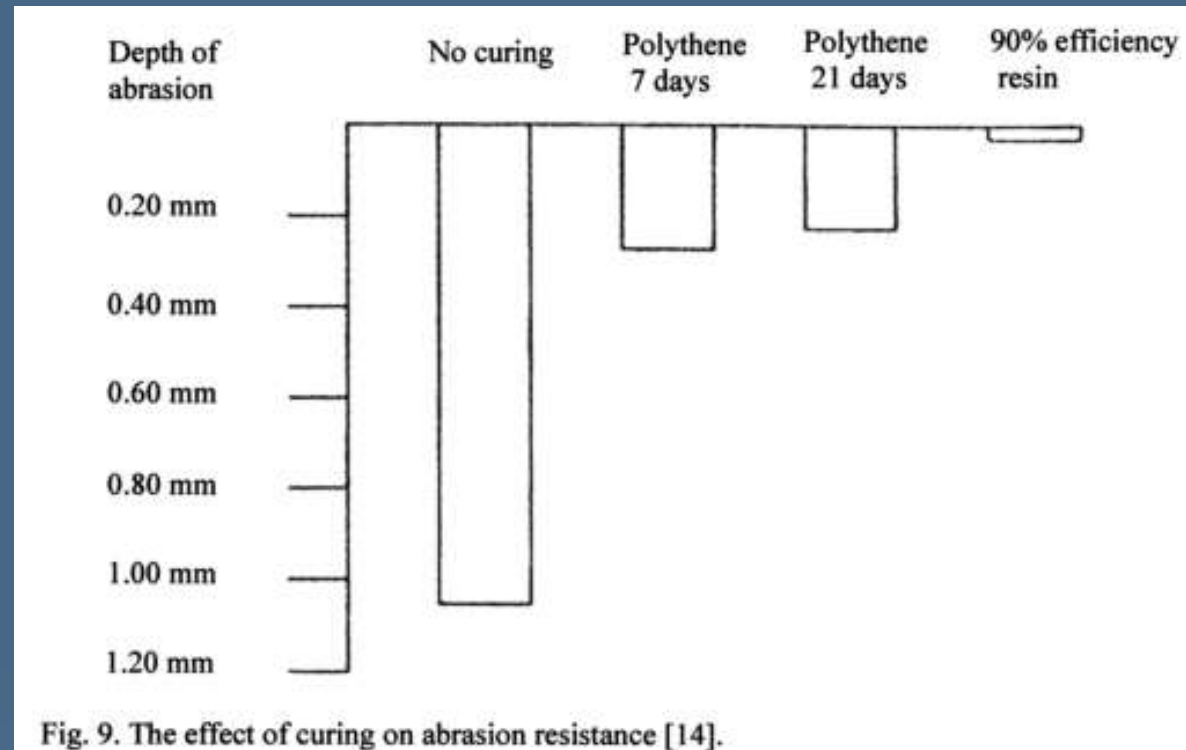
Fig. 8.3 – Entrained air dispersed in the cement matrix of a concrete



Ανθεκτικότητα RCC σε τριβή

Εξαρτάται από:

- Θλιπτική αντοχή
- Λεπτά αδρανή
- Χονδρόκοκκα αδρανή
- Κατεργασία φινιρίσματος
- Συντήρηση





Κόπωση RCC

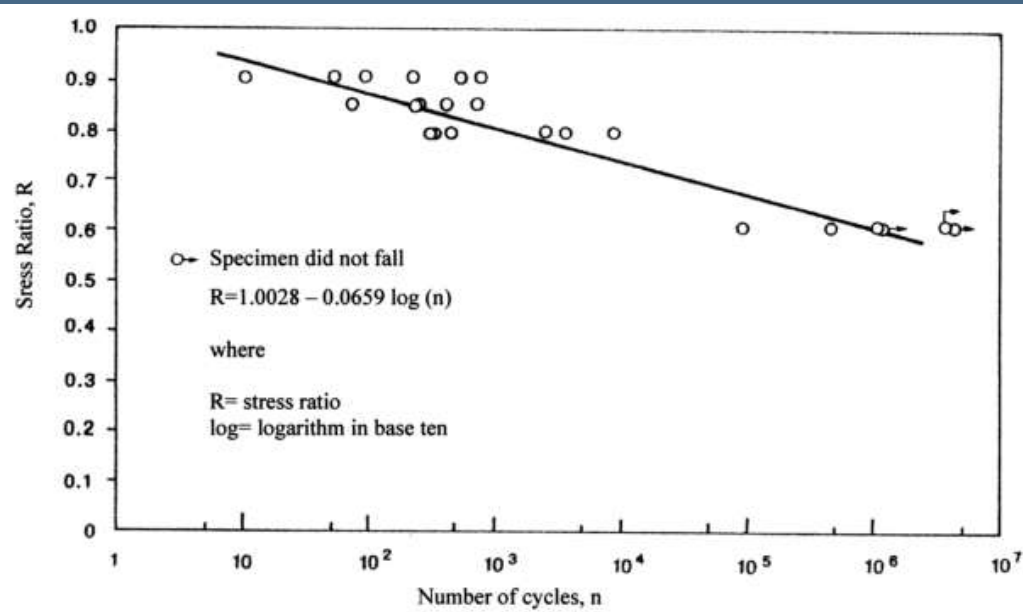
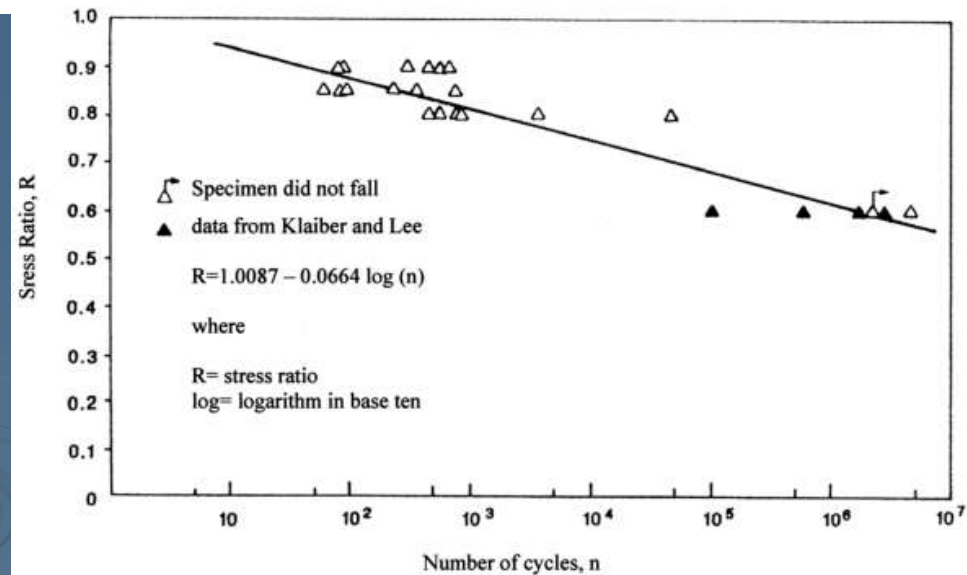


Fig. 11. Fatigue life of roller compacted concrete [3]





Χρήση Ιπτάμενων τεφρών στο RCC οδόστρωμα

- Χρησιμοποιούνται τοπικά παραγόμενες τέφρες σε σημαντικά ποσοστά, γιατί βελτιώνουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά
- Συνήθως είναι αλεσμένες και εμπίπτουν σε Κανονιστικά πλαίσια ASTM C618, EN 450

Table 4. Specification requirements of EN 450 [29] and ASTM C 618 [25] for fly ashes.

	EN 450	ASTM C 618		Fly Ash used
		Class F	Class C	
S + A + F, min. %	70.0	70.0	50.0	88.6
SO ₃ , max. %	3.0	5.0	5.0	0.5
Moisture content, max. %	3.0	3.0	3.0	0.1
LOI, max. %	5.0	6.0	6.0	0.4
Available alkalis, as Na ₂ O max. %	-	1.5	1.5	0.3
Amount retained when wet-sieved on No.325 (45μm) sieve, max. %	40.0	34.0	34.0	3.7



Χρήση Ιπτάμενων τεφρών στο RCC οδόστρωμα

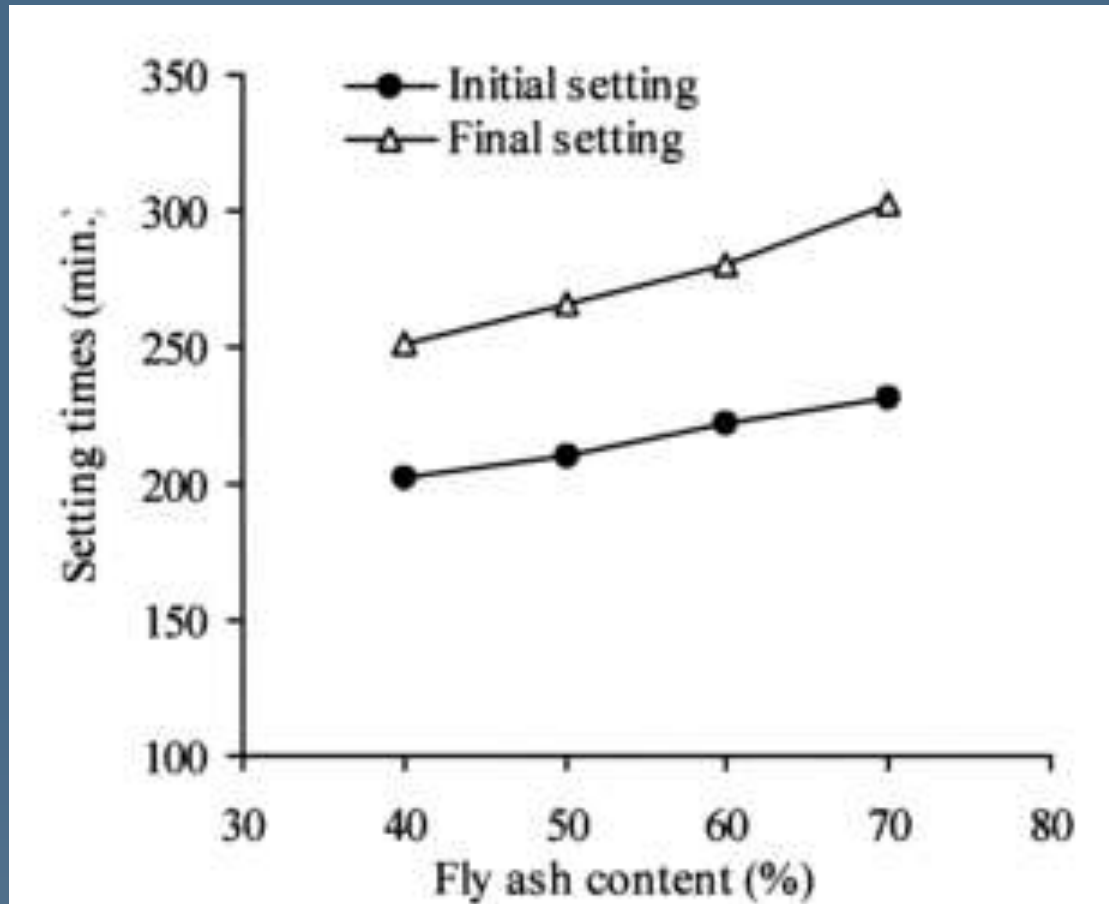


Fig. 13. Setting times versus fly ash contents in the paste [27, 28].



Χρήση Ιπτάμενων τεφρών στο RCC οδόστρωμα

Table 6. Mix proportions and some properties of fresh concretes

Mix Code	FAC 40	FAC 50	FAC 60	FAC 70
Cement (C), kg/m ³	283	237	189	142
Fly Ash (FA), kg/m ³	189	237	284	330
Water (W), kg/m ³	165	165	165	165
Superplasticizer, kg/m ³	2.5	2.5	2.5	2.5
Sand (0-2mm), kg/m ³	255	254	252	249
Basalt fines, (0-4 mm), kg/m ³	465	463	460	456
Crushed basalt No. 1, (4-16 mm) kg/m ³	1096	1092	1084	1074
Air, %	2.1	1.8	1.9	2.2
W/(C+FA)	0.35	0.35	0.35	0.35
Unit weight, kg/m ³	2455	2450	2436	2418

Table 7. Mechanical properties of concretes

Mix Code	Cube compressive strength of concrete, MPa		Modulus of elasticity at 56 days, GPa
	28 days	56 days	
FAC 40	66.1	84.7	47.5
FAC 50	58.5	74.6	46.2
FAC 60	43.4	64.3	44.6
FAC 70	34.1	49.3	40.1



Χρήση Ιπτάμενων τεφρών στο RCC οδόστρωμα

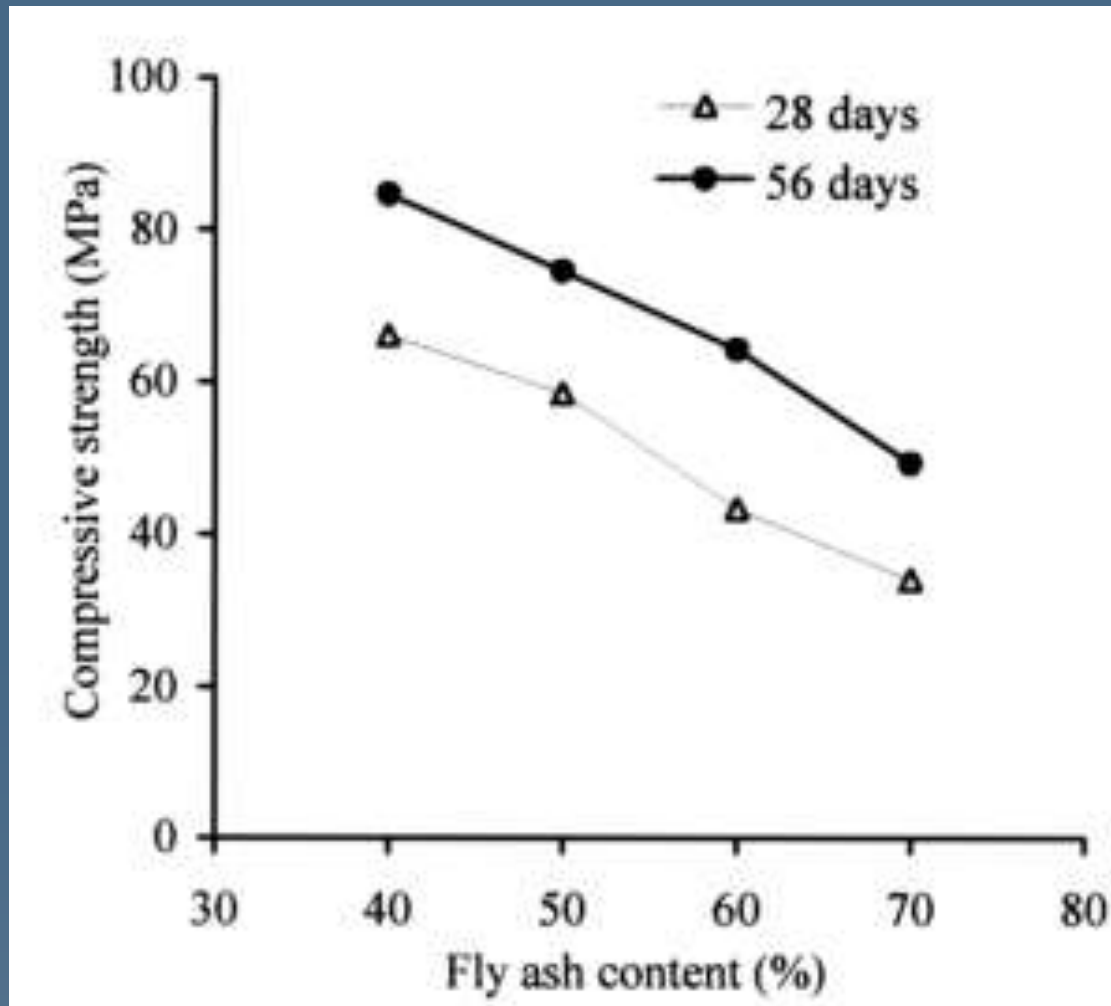
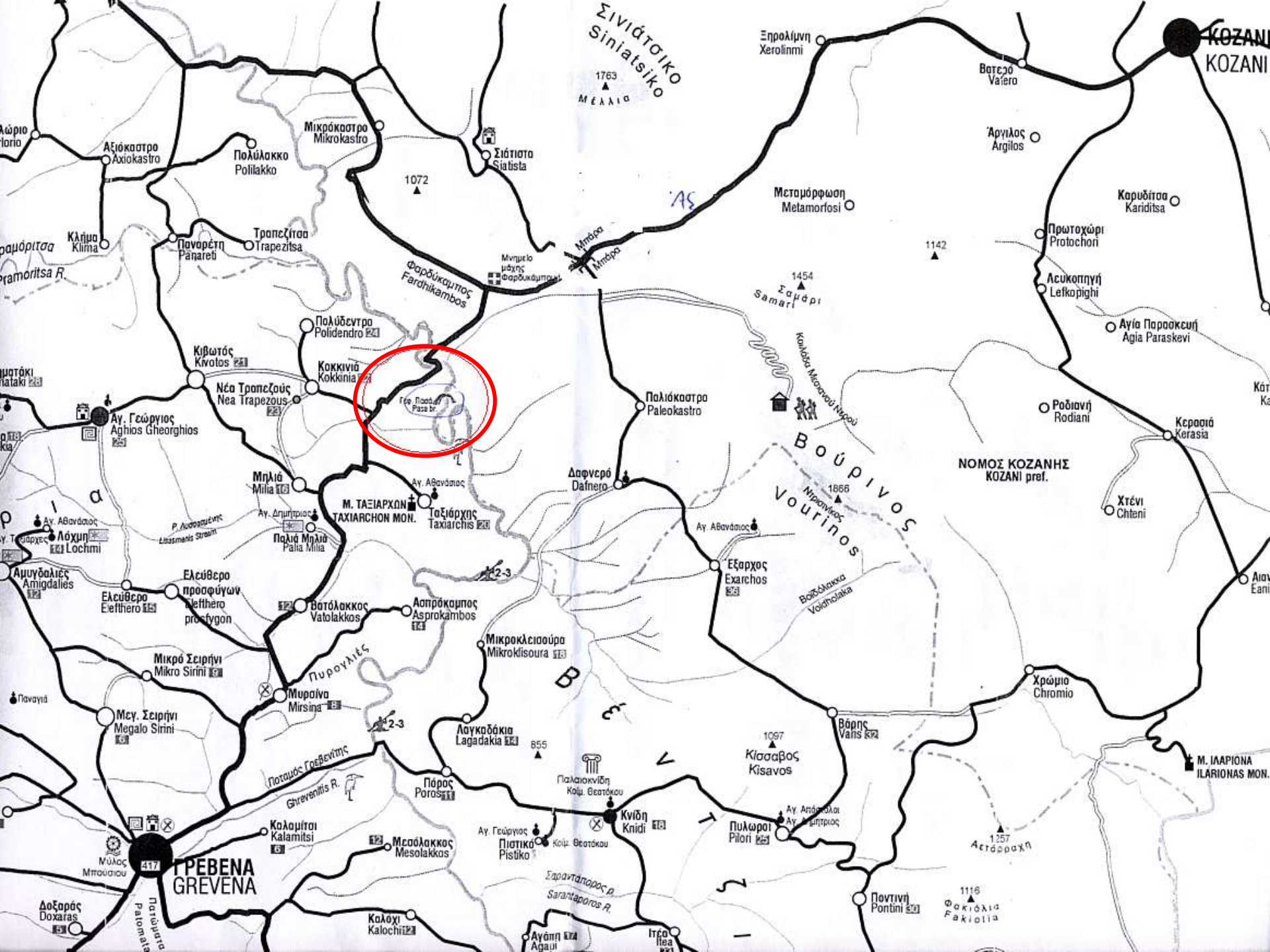


Fig. 15. Compressive strengths of concretes at 28 and 56 days.

Πιλοτική Εφαρμογή Ελληνικής IT σε οδόστρωμα από σκυρ/μα

- Κατά τη διάρκεια του Ερευνητικού Προγράμματος ΕΠΕΤ 98ΒΙΑ19 «Χρησιμοποίηση Ιπτάμενης Τέφρας Πτολεμαΐδας σε Δομικές Εφαρμογές» 1998-2001, με ανάδοχο το Α.Π.Θ. και εταίρους τη Δ.Ε.Η. και την κατασκευαστική εταιρεία Α.Ε.Γ.Ε.Κ., έγινε ένα τμήμα δρόμου 500 μέτρων σε προϋπάρχοντα αγροτικό δρόμο που αποτελεί διακλάδωση του κεντρικού άξονα Γρεβενά-Κοζάνη, στη θέση Γεφύρι του Πασά.



Δεδομένα

- Η κατασκευή του δρόμου έγινε με δαπάνες της Α.Ε.Γ.Ε.Κ. Η μελέτη των διαστάσεων του οδοστρώματος έγινε από το Εργαστήριο Οδοποιίας του Α.Π.Θ.[\[1\]](#)
- Για τη σύνθεση των σκυροδεμάτων με τέφρα που χρησιμοποιήθηκαν και την επίβλεψη της κατασκευής υπεύθυνο ήταν το Εργαστήριο Δομικών Υλικών του Α.Π.Θ.
- Οι αναλογίες αναμίξεως των συστατικών για τις στρώσεις d2–20cm και d2–25cm του σκυροδέματος χωρίς και με επικάλυψη φαίνονται στον Πίνακα 1.

[\[1\]](#) Καθ. κ.κ. Α. Μουρατίδης, Γ. Τσώχος

Πίνακας 1. Αναλογίες σύνθεσης σκυροδέματος

Υλικά	Χωρίς επικάλυψη	Με επικάλυψη
Ιπτάμενη Τέφρα (Ι.Τ.)	203	126
Τσιμέντο CEM Ι42.5	87	54
Άμμος	643	} 1925
Ρύζι	255	
Γαρμπίλι	273	
Σκύρα	728	
Νερό / (Ι.Τ. + Τσιμέντο)	0,40-0,41	0,58
Rheobuild (SPL)	300-600lt/m ³	2,5% κ.β. Ι.Τ+τσιμέντο

Δεδομένα

Η τέφρα που χρησιμοποιήθηκε ήταν αλεσμένη και ομογενοποιημένη. Τα στοιχεία της τέφρας ήταν:

- Συγκρατούμενο ποσοστό στο κόσκινο 45 μ m: R45 = 19%
- Ποσοστό διαθέσιμου CaO: 5,33%
- Ποσοστό ελεύθερου CaO: 2,99%
- Ποσοστό SO₄: 4,7%

Δεδομένα

Συνθήκες κατασκευής:

- Δεν ήταν οι ευνοϊκότερες για την οδόστρωση (υψηλή θερμοκρασία, μεταφορά του υλικού με ανοικτά οχήματα, μη κατάλληλο όχημα δόνησης στρώσεων πάνω από 10 εκ., δυσλειτουργία του δονητικού οχήματος).
- Το σκυρόδεμα διαστρώθηκε με δονητικό όχημα χωρίς εγκιβωτισμό.
- Αρμοί χάραχθηκαν ανά 4m και πληρώθηκαν με ασφαλική μαστίχη.

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ

- Το τμήμα του δρόμου, που κατασκευάστηκε το 2000, χρησιμοποιείται κυρίως από βαρέως τύπου οχήματα (Εικόνα 1) του παρακείμενου εργοστάσιου ασφάλτου με τα οποία μεταφέρονται και αδρανή υλικά.
- Στο χρονικό αυτό διάστημα των πέντε περίπου ετών ο δρόμος έχει εκτεθεί σε αρκετούς παγετούς.

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ



Εικόνα 1. Γειτονικό εργοστάσιο ασφάλτου

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ

- Μεγάλο μέρος του δρόμου είναι επίσης πλημμυρισμένο από το παράλληλο με το δρόμο αρδευτικό κανάλι (εικ. 2).



Εικόνα 2. Διαβροχή δρόμου από άρδευση γειτονικών αγρών

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ

Κατά την επιθεώρηση του δρόμου (τμήμα με σκυρ/μα και τμήμα με σκυρ/μα + 4-5εκ. ασφαλτική επικάλυψη) έγινε:

- οπτική παρατήρηση και φωτογράφιση κατά μήκος και κατά πλάτος του δρόμου και
- λήψη 9 καρτών, σε τρεις οριζόντιες τομές από 3 κάρτα σε κάθε τομή (διαστάσεων 5x10cm ή 10x20cm) (Εικόνες 3, 4)

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ



Εικόνα 3. Πυρηνοληψία σε θέση με καλά συμπυκνωμένο σκυρόδεμα



Εικόνα 4. Πυρηνοληψία σε θέση με ασφαλτική επικάλυψη

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ

- Τα δοκίμια που εξήχθησαν ελέγχθηκαν ως προς την αντοχή τους σε θλίψη.
- Μερικά από αυτά δοκιμάστηκαν σε εφελκυσμό από διάρρηξη και σε ορισμένα έγινε ενδεικτικά μέτρηση του μέτρου ελαστικότητας.

ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ

- Επιπρόσθετα έγινε μικροσκοπική εξέταση,
- μέτρηση του pH και
- ορυκτολογική ανάλυση του σκυροδέματος των στρώσεων, καθώς και
- μέτρηση του ποσοστού διαλυτών αλάτων που περιέχονται στο σκυρόδεμα, λόγω της ιδιαιτερότητας του σκυροδέματος, που περιείχε μεγάλο ποσοστό ιπτάμενης τέφρας.

Οπτική παρατήρηση

- Όπως έχει αναφερθεί στην εισαγωγή τα τμήματα που κατασκευάστηκαν δεν είναι εγκιβωτισμένα και ιδιαίτερα στην περίπτωση του δρόμου χωρίς ασφαλτόστρωση, στα άκρα το σκυρόδεμα χαλαρώνει και απομακρύνεται (Εικόνες 5, 6).

Οπτική παρατήρηση



Εικόνα 5. Άκρο δρόμου χωρίς
ασφαλτόστρωση



Εικόνα 6. Άκρο δρόμου με
ασφαλτόστρωση

Οπτική παρατήρηση

- Χαρακτηριστικές εικόνες ποιότητας σκυροδέματος στο κέντρο και στα άκρα δίνονται στις Εικόνες 9, 10 και 11.



Εικόνα 9. Υγιές τμήμα στο κέντρο του δρόμου

Οπτική παρατήρηση



Εικόνες 10, 11. Διαβρωμένο τμήμα του δρόμου

Οπτική παρατήρηση

- Αξίζει να σημειωθεί ότι το χαλαρό υλικό στις λακκούβες δεν είναι το αποτριμμένο, αλλά συσσωρευμένο φερτό υλικό αδρανών που μεταφέρονται με ανοικτά οχήματα (Εικ. 12, 13).



Εικ. 12. Λακκούβα πριν από καθαρισμό φερτών υλών



Εικ. 13. Λακκούβα μετά από καθαρισμό φερτών υλών

Οπτική παρατήρηση

- Στα άκρα του δρόμου υπάρχουν περιορισμένου αριθμού ρηγματώσεις (Εικόνα 14).



Εικόνα 14. Ρηγμάτωση στο άκρο του δρόμου

Οπτική παρατήρηση

- Αξιολογώντας την κατάσταση του δρόμου φαίνεται ότι το τμήμα με 4 εκατοστά ασφαλτόστρωση συμπεριφέρθηκε καλύτερα.
- Το τμήμα με σκυρόδεμα πάσχει από απότριψη, κυρίως στα άκρα αριστερά-δεξιά, όπου η συνεχής διαβροχή από τα νερά του αρδευτικού σε συνδυασμό με τη φθορά από τα φερτά αδρανή έχουν συντελέσει στο να δημιουργηθούν αποφλοιώσεις.
- Δεν υπάρχουν εκτεταμένες ρηγματώσεις, αλλά σε ορισμένα μόνο σημεία στα άκρα. Επίσης, δεν παρατηρήθηκαν ρωγμές γύρω από τους αρμούς.

Πίνακας 2. Θέσεις δειγματοληψίας

Θέση δειγματοληψίας	Θέση κατά μήκος του άξονα του δρόμου	Απόσταση από το αριστερό άκρο του δρόμου
1	6 ^{ος} αρμός	1,00 m
2	6 ^{ος} αρμός	1,60 m
3	6 ^{ος} αρμός	2,10 m
4	9 ^{ος} αρμός	0,90 m
5	9 ^{ος} αρμός	1,30 m
6	9 ^{ος} αρμός	1,55 m
7	μεταξύ 14 ^{ου} και 15 ^{ου} αρμού	0,90 m
8	μεταξύ 14 ^{ου} και 15 ^{ου} αρμού	1,45 m
9	μεταξύ 14 ^{ου} και 15 ^{ου} αρμού	1,90 m

Πίνακας 3. Έλεγχος αντοχής σε θλίψη καρώτων

Θέση δειγματοληψίας	Δείγμα	D (cm)	h (cm)	P (kN)	σ (MPa)	Συντ. αναγωγής 15x30cm	Τελική αντοχή
1	2-άνω	4,85	8,95	31,9	17,27	1,3662	23,6
	2-κάτω	4,85	8,95	42,0	22,73	1,3662	31,1
	3-άνω	4,85	9,92	42,0	22,73	1,38	31,4
	3-κάτω	4,85	8,84	40,4	21,87	1,3662	29,9
2	4	9,28	15,96	125,0	18,48	1,1466	21,2
	5-άνω	4,85	9,34	40,8	22,08	1,38	30,5
	6-άνω	4,85	8,44	31,0	16,78	1,3524	22,7
	6-κάτω	4,85	8,22	18,6	10,07	1,3524	13,5
3	7	9,27	17,11	144,0	21,34	1,1583	24,7
	8-άνω	4,85	9,61	30,7	16,62	1,38	22,9
	8-κάτω	4,85	9,59	20,0	10,80	1,38	14,9
	9-άνω	4,85	9,81	22,2	12,02	1,38	16,6

Θραύση καρώτων

- Με εξαίρεση ένα δείγμα με αντοχή 13,5 MPa που ήταν προβληματικό, στα άλλα η αντοχή κυμαίνεται από 22 έως 31 MPa, με ένα μέτρο ελαστικότητας 21-24 GPa και αντοχή σε διάρρηξη 1,3-3,0 MPa.
- Στο σκυρόδεμα με ασφαλτόστρωση οι αντοχές είναι χαμηλότερες, 16,5-24,7 MPa, με μέτρο ελαστικότητας 23 GPa και αντοχή σε διάρρηξη 1,37 MPa.

Θραύση καρώτων

- Παρόλο που οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές (δεν έχει ληφθεί κανός αριθμός πυρήνων) επιτρέπουν μια πρώτη εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας των οδοστρωμάτων που κατασκευάστηκαν.
- Είναι φανερό ότι η ασφαλική επικάλυψη επηρεάζει αισθητά την αντοχή σε απότριψη και προστατεύει το σκυρ/μα από τη δημιουργία κοιλοτήτων στο οδόστρωμα.
- Κατά τη λήψη πυρήνων έγινε αποκόλληση της ασφαλικής στρώσης λόγω μη καλής πρόσφυσης κατά την εφαρμογή της.

Συμπεράσματα

- Από την επιθεώρηση των κατασκευασθέντων τμημάτων σε συνδυασμό με το ιστορικό κατασκευής βγαίνει το συμπέρασμα ότι τα τσιμεντοτεφροσκυροδέματα συμπεριφέρθηκαν ικανοποιητικά.
- Οι τιμές αντοχής των πυρήνων είναι μέσα στις αναμενόμενες, καθώς και του μέτρου ελαστικότητας (στη διαστασιολόγηση έχει ληφθεί η τιμή $E_d = 20 \text{ GPa}$).

Συμπεράσματα

- Η τέφρα λόγω των συστατικών της (ελεύθερο CaO , παρουσία θειικών πάνω από το επιτρεπόμενο όριο στους κανονισμούς τσιμέντου) δε φαίνεται να σχετίζεται με το κύριο πρόβλημα στο σκυρόδεμα των οδοστρωμάτων που είναι η απότριψη επιφάνειας, κυρίως στα άκρα του δρόμου.
- Η ασφαλική επικάλυψη, τέλος, λειτουργεί θετικά ως προς την προστασία από συνδυασμό απότριψης – έκπλυσης.