

## **ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΙΛΟΤΙΚΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ-ΤΕΦΡΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ 5 ΧΡΟΝΙΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ**

**Ι. Παπαγιάννη<sup>1</sup>, Χ. Βασιλόπουλος<sup>2</sup>, Γ. Κουτσός<sup>3</sup>, Ε. Αναστασίου<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,

<sup>2</sup>Χ. Βασιλόπουλος Ε.Ε., <sup>3</sup>ΤΕΧΝΟΜΠΕΤΟΝ Α.Ε.

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στο πλαίσιο του προγράμματος ΕΠΕΤ 98ΒΙΑ19 κατασκευάστηκε, σε συνεργασία με τους φορείς ΔΕΗ και ΑΕΓΕΚ κατασκευαστική, 500m πιλοτικού οδοστρώματος από σκυρόδεμα. Πιο συγκεκριμένα 250m άκαμπτο οδόστρωμα από σκυρόδεμα και 250m οδόστρωμα από σκυρόδεμα με 4-5cm ασφαλική κάλυψη στη θέση Γεφύρι Του Πασά, οδικού άξονα Κοζάνης-Γρεβενών. Στο σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε μίγμα τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας Πτολεμαΐδας 30-70 ως κονία. Ο δρόμος αυτός έχει αφεθεί στις κλιματικές συνθήκες και σε κυκλοφορία βαρέων οχημάτων παρακείμενης βιομηχανίας. Στην εργασία παρουσιάζονται τα δεδομένα κατασκευής των οδοστρωμάτων αυτών και τα αποτελέσματα από τους ελέγχους που έγιναν σε αριθμό καρώτων που λήφθηκαν πέντε χρόνια μετά την κατασκευή των πιλοτικών αυτών τμημάτων δρόμου. Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά, οι αλλοιώσεις της μικροδομής του σκυροδέματος με μεγάλο ποσοστό τέφρας. Βάσει των αποτελεσμάτων είναι φανερό ότι είναι εφικτή η κατασκευή δρόμων επαρχιακού δικτύου με τσιμεντοτεφροσκυρόδεμα προς όφελος της οικονομίας των έργων, εφόσον δοθεί η δέουσα προσοχή στη φάση κατασκευής.

*Λέξεις κλειδιά: οδόστρωμα από σκυρόδεμα, τσιμέντο, ιπτάμενη τέφρα, ανθεκτικότητα.*

# TESTING A CONCRETE PAVEMENT DEMONSTRATION PROJECT 5 YEARS AFTER ITS CONSTRUCTION

**Ι. Παπαγιάννη<sup>1</sup>, Χ. Βασιλόπουλος<sup>2</sup>, Γ. Κουτσός<sup>3</sup>, Ε. Αναστασίου<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Laboratory of Building Materials, Aristotle University of Thessaloniki*

<sup>2</sup>*H. Vasilopoulos Ltd.,* <sup>3</sup>*TECHNOBETON S.A.*

**ABSTRACT:** In the framework of EPET 98BIA19 European Research Programme and in cooperation with the Greek Public Power Corporation and AEGEK General construction Company, 500m of concrete pavement was constructed as a demonstration project for concrete road construction. The pavement has 250m length of visible concrete surface and 250m length with a 5cm bituminous surface layer and is situated at Gefyri Tou Pasa location, Grevena. A mixture of Portland cement and Greek High Calcium Fly Ash at 30-70% proportioning was used as a binder. The road has been exposed without maintenance to environmental conditions and to the wearing due to heavy vehicle traffic from a nearby industry. In the report are presented the construction data for the pavement and the results of the tests carried out on a number of cores drilled five years after the construction of the demonstration project. The properties measured were mechanical characteristics and alterations of the high fly ash concrete microstructure. Based on the results it is obvious that rural network road construction by using cement and high volume of fly ash is feasible, provided that care will be taken in keeping construction details. This has a direct impact to the cost of road construction.

*Keywords: concrete pavements, cement, high calcium fly ash, durability*

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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.

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.\* 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  $d_2-20\text{cm}$  και  $d_2-25\text{cm}$  του σκυροδέματος χωρίς και με επικάλυψη φαίνονται στον Πίνακα 1. Η τέφρα που χρησιμοποιήθηκε ήταν αλεσμένη και ομογενοποιημένη. Τα στοιχεία της τέφρας ήταν:

- Συγκρατούμενο ποσοστό στο κόσκινο 45 $\mu\text{m}$ :  $R_{45} = 19\%$
- Ποσοστό διαθέσιμου CaO: 5,33%
- Ποσοστό ελεύθερου CaO: 2,99%
- Ποσοστό SO<sub>4</sub>: 4,7%

Σημειώνεται ότι οι 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 χαράχθηκαν ανά 4m και πληρώθηκαν με ασφαλτική μαστίχη.

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 <sup>3</sup> | 2,5% κ.β. Ι.Τ+τσιμέντο |

## ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ

Το τμήμα του δρόμου, που κατασκευάστηκε το 2000, χρησιμοποιείται κυρίως από βαρέως τύπου οχήματα του παρακείμενου εργοστάσιου ασφάλτου (Εικόνα 1) με τα οποία μεταφέρονται και αδρανή υλικά. Στο χρονικό αυτό διάστημα των πέντε περίπου ετών ο δρόμος έχει εκτεθεί σε αρκετούς παγετούς. Μεγάλο μέρος του δρόμου είναι επίσης πλημμυρισμένο από το παράλληλο με το δρόμο αρδευτικό κανάλι (Εικόνα 2).

\* Καθ. κ.κ. Α. Μουρατίδης, Γ. Τσώχος



Εικόνα 1. Γειτονικό εργοστάσιο ασφάλτου



Εικόνα 2. Διαβροχή δρόμου από άρδευση γειτονικών αγρών

Κατά την επιθεώρηση του δρόμου (τμήμα με σκυρόδεμα και τμήμα με σκυρόδεμα + 4-5 εκατοστά ασφαλτική επικάλυψη) έγινε οπτική παρατήρηση και φωτογράφιση κατά μήκος και κατά πλάτος του δρόμου και λήψη εννέα καρτών, σε τρεις οριζόντιες τομές από τρία κάρωτα σε κάθε τομή (διαστάσεων 5x10cm ή 10x20cm) (Εικόνες 3, 4). Τα δοκίμια που εξήχθησαν ελέγχθηκαν ως προς την αντοχή τους σε θλίψη. Μερικά από αυτά θραύτηκαν σε εφελκυσμό από διάρρηξη και σε ορισμένα έγινε ενδεικτικά μέτρηση του μέτρου ελαστικότητας. 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 στα άκρα στην περίπτωση του δρόμου χωρίς ασφαλτόστρωση το σκυρόδεμα χαλαρώνει και απομακρύνεται (Εικόνες 5, 6). Το οδόστρωμα από σκυρόδεμα χωρίς ασφαλτόστρωση είναι καλύτερα συμπυκνωμένο και σταθερό στο κέντρο (ένα μέτρο αριστερά και ένα μέτρο δεξιά του κατά μήκος άξονα), ενώ στα άκρα –όπου η συμπύκνωση ήταν κακή από κατασκευής– το οδόστρωμα έχει αρχίσει να αποτρίβεται (Εικόνες 7, 8). Χαρακτηριστικές εικόνες ποιότητας σκυροδέματος στο κέντρο και στα άκρα δίνονται στις Εικόνες 9, 10 και 11.



Εικόνα 3. Πυρηνοληψία σε θέση με καλά συμπυκνωμένο σκυρόδεμα



Εικόνα 4. Πυρηνοληψία σε θέση με ασφαλτική επικάλυψη



Εικόνα 5. Άκρο δρόμου χωρίς ασφαλτόστρωση



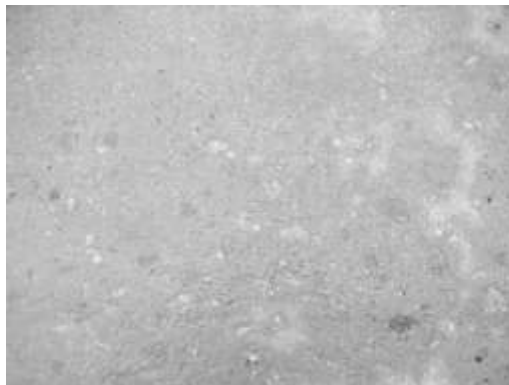
Εικόνα 6. Άκρο δρόμου με ασφαλτόστρωση



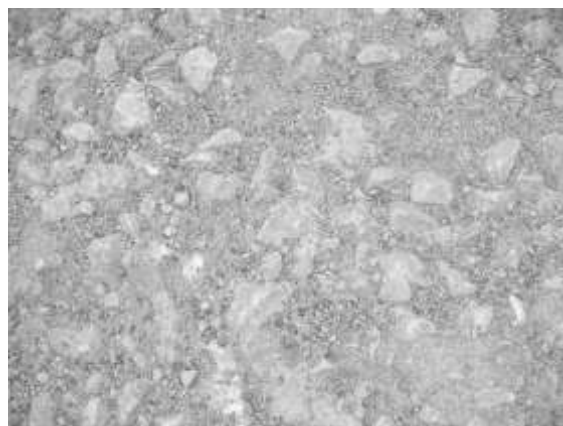
Εικόνα 7. Τμήμα δρόμου χωρίς ασφαλτόστρωση. Διάβρωση στα ακραία τμήματα



Εικόνα 8. Τμήμα δρόμου με ασφαλτόστρωση. Διάβρωση στα ακραία τμήματα



Εικόνα 9. Υγιές τμήμα στο κέντρο του δρόμου



Εικόνες 10, 11. Διαβρωμένο τμήμα του δρόμου



Εικόνα 12. Λακούβα πριν από καθαρισμό  
φερτών υλών



Εικόνα 13. Λακούβα μετά από καθαρισμό  
φερτών υλών

Αξίζει να σημειωθεί ότι το χαλαρό υλικό στις λακούβες δεν είναι το αποτριμμένο, αλλά συσσωρευμένο φερτό υλικό αδρανών που μεταφέρονται με ανοικτά οχήματα (Εικόνες 12, 13). Στα άκρα του δρόμου υπάρχουν περιορισμένου αριθμού ρηγματώσεις (Εικόνα 14).



Εικόνα 14. Ρηγματώση στο άκρο του δρόμου



Εικόνα 15. Καλή εικόνα συμπύκνωσης

Αξιολογώντας την κατάσταση του δρόμου φαίνεται ότι το τμήμα με 4 εκατοστά ασφαλτόστρωση είναι σε καλύτερη κατάσταση. 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.

Στο εσωτερικό του οδοστρώματος από σκυρόδεμα και γύρω από το κατά μήκος άξονα, όπως εμφανίστηκε από τη λήψη του πυρήνα, το σκυρόδεμα παρουσιάζει πολύ καλή εικόνα συμπίκνωσης (Εικόνα 15).

#### Θραύση καρώτων

Οι θέσεις δειγματοληψίας δίνονται στον Πίνακα 2, με σημείο αναφοράς τον αριθμό του αρμού με αρχή μέτρησης τον αρμό προς τη γέφυρα. Ο 6<sup>ος</sup> και ο 9<sup>ος</sup> αρμός στο τμήμα σκυροδέματος, ενώ ο 14<sup>ος</sup>-15<sup>ος</sup> αρμός στο τμήμα σκυροδέματος με ασφαλτική επίστρωση. Τα αποτελέσματα της θραύσης των καρώτων φαίνονται στους Πίνακες 3, 4.

Πίνακας 2. Θέσεις δειγματοληψίας

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

Πίνακας 4. Αντοχή σε διάρρηξη και μέτρο ελαστικότητας καρώτων

| Θέση δειγματοληψίας | Δείγμα | D (cm) | h (cm) | E <sub>st</sub> (GPa) | E <sub>d</sub> (GPa) | P <sub>διάρρηξης</sub> (kN) | σ <sub>δ</sub> (MPa) |
|---------------------|--------|--------|--------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1                   | 1      | 9,31   | 6,69   | -                     | 41,7                 | 30,60                       | 3,13                 |
| 2                   | 4      | 9,28   | 15,96  | 21,5                  | 48,6                 | -                           | -                    |
|                     | 5-κάτω | 4,85   | 5,61   | -                     | -                    | 5,30                        | 1,24                 |
| 3                   | 7      | 9,27   | 17,11  | 23,9                  | 49,4                 | -                           | -                    |
|                     | 9-κάτω | 4,85   | 8,99   | -                     | -                    | 9,40                        | 1,37                 |

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. Παρόλο που οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές (δεν έχει ληφθεί ικανός 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 – δημιουργία λακκούβας στο οδόστρωμα σκυροδέματος. Κατά τη λήψη πυρήνων έγινε αποκόλληση της ασφαλικής στρώσης λόγω μη καλής πρόσφυσης κατά την εφαρμογή της.

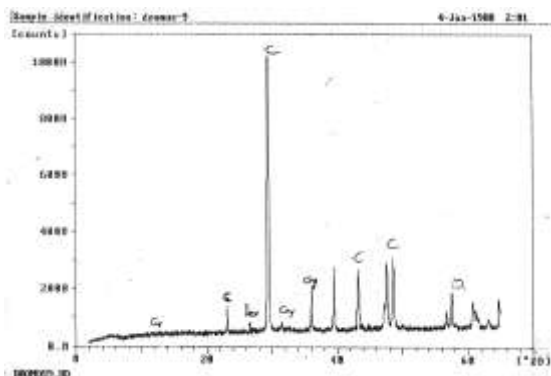
#### Μέτρηση του pH, ορυκτολογική ανάλυση και μικροσκοπική εξέταση

Στα δείγματα πυρήνων μετρήθηκε το pH σε τρία τμήματα: άνω, μέση, κάτω και οι τιμές φαίνονται στον Πίνακα 5. Το pH των σκυροδεμάτων κυμαίνεται από 9,3 έως 10,4 και δε φαίνεται να διαφοροποιείται στο πάχος της στρώσης. Οι χαμηλές τιμές του pH αποδίδονται στη χρήση του υψηλού ποσοστού τέφρας ως συμπληρωματικής κονίας με το τσιμέντο.

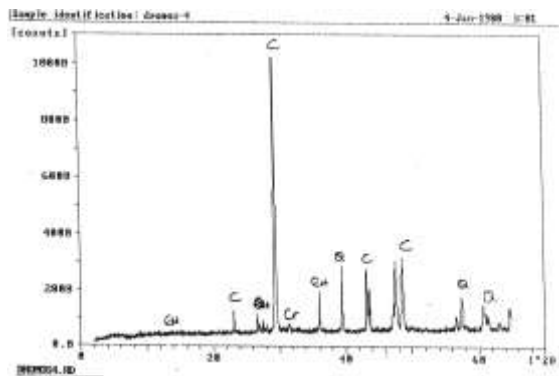
Πίνακας 5. Τιμές pH και ποσοστό διαλυτών αλάτων

| Θέση δειγματοληψίας 1 |      |                 |                               | Θέση δειγματοληψίας 2 |      |                 |                               | Θέση δειγματοληψίας 3 |      |                 |                               |
|-----------------------|------|-----------------|-------------------------------|-----------------------|------|-----------------|-------------------------------|-----------------------|------|-----------------|-------------------------------|
| Δείγμα                | pH   | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Δείγμα                | pH   | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Δείγμα                | pH   | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> |
| 1-άνω                 | 9,3  | 0,01            | 0,46                          | 4-άνω                 | 9,9  | <0,01           | 1,32                          | 7-άνω                 | 9,8  | <0,01           | 1,20                          |
| 2-άνω                 | 9,8  | 0,02            | 1,15                          | 4-μέση                | 10,2 | <0,01           | 1,06                          | 7-μέση                | 10,0 | 0,02            | 1,13                          |
| 2-μέση                | 10,1 | 0,01            | 1,23                          | 4-κάτω                | 10,3 | <0,01           | 1,10                          | 7-κάτω                | 10,4 | 0,01            | 0,95                          |
| 2-κάτω                | 10,2 | 0,05            | 0,92                          | 5-άνω                 | 10,0 | <0,01           | 0,77                          | 8-άνω                 | 10,0 | 0,02            | 1,15                          |
| 3-άνω                 | 10,0 | 0,03            | 1,02                          | 5-μέση                | 9,9  | 0,02            | 1,37                          | 8-μέση                | 10,1 | <0,01           | 1,06                          |
| 3-μέση                | 10,0 | 0,02            | 1,15                          | 5-κάτω                | 9,9  | 0,02            | 1,46                          | 8-κάτω                | 10,2 | 0,02            | 1,20                          |
| 3-κάτω                | 9,7  | 0,06            | 1,10                          | 6-άνω                 | 9,6  | <0,01           | 0,95                          | 9-άνω                 | 10,2 | <0,01           | 1,04                          |
|                       |      |                 |                               | 6-μέση                | 9,6  | 0,01            | 0,95                          | 9-μέση                | 10,1 | 0,02            | 1,04                          |
|                       |      |                 |                               | 6-κάτω                | 9,6  | <0,01           | 1,27                          | 9-κάτω                | 10,0 | 0,02            | 0,89                          |





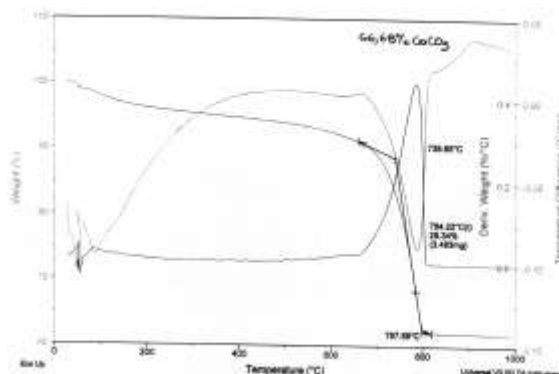
Εικόνα 16. X-ray diffraction – Δείγμα 9



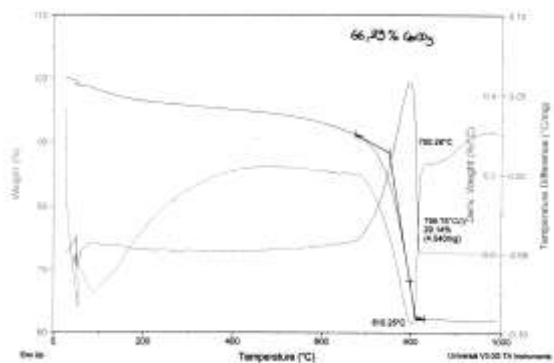
Εικόνα 17. X-ray diffraction – Δείγμα 4



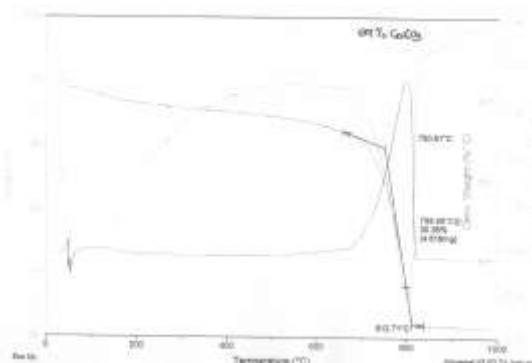
Εικόνα 18. Άλατα συγκεντρωμένα σε πόρους (στερεοσκόπιο x8)



Εικόνα 19. Θερμική ανάλυση DTA-TG-Δείγμα2



Εικόνα 20. Θερμική ανάλυση DTA-TG-Δείγμα3



Εικόνα 21. Θερμική ανάλυση DTA-TG-Δείγμα4

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων με ακτίνες X έδειξε ότι εκτός από ασβεστίτη και χαλαζία υπάρχουν ορυκτά με θειικά, όπως ανυδρίτης, γύψος,  $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$  (Glauberite),  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (Thenardite) και ετρινγκίτης, όπως φαίνεται στις εικόνες 16, 17. Στη στερεοσκοπική παρατήρηση φαίνονται πόροι μέσα στους οποίους είναι συγκεντρωμένα θειικά άλατα υπό μορφή κρυστάλλων (Εικόνα 18). Η περιεκτικότητα σε θειικά άλατα κυμαίνεται από 0,46% έως 1,46% κατά βάρος του τσιμεντοπήγματος (Πίνακας 5). Στην ανάλυση των δειγμάτων με διαφορική θερμική ανάλυση DTA-TG δε φαίνεται να υπάρχει  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  παρά μόνο ασβεστίτης (Εικόνες 19, 20, 21). Αυτό ως γνωστό είναι ενδεικτικό της ισχυρής πουζολανικής δράσης της ιπτάμενης τέφρας.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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  $E_d = 20 \text{ GPa}$ ).

Η τέφρα λόγω των συστατικών της (ελεύθερο  $\text{CaO}$ , παρουσία θεικών 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.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τη Μαρία Στεφανίδου και τη Φωτεινή Καρκαντελίδου για τη βοήθειά τους στη διεξαγωγή των εργαστηριακών ελέγχων.