

## Σύνταξη και τιμολόγηση άρθρων για Κυλινδρούμενα Σκυροδέματα με τη χρήση Ιπτάμενης Τέφρας

**Π. Χριστοπούλου<sup>1</sup>, Ε. Αναστασιού<sup>2</sup>, Ν. Κοϊμτσίδης<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας/Τμήμα Δυτικής Μακεδονίας

<sup>2</sup>Εργαστήριο Δομικών Υλικών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

*Λέξεις κλειδιά:* Κυλινδρούμενο Σκυρόδεμα, Ιπτάμενη Τέφρα, Τιμολόγια Δημοσίων Έργων

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα, που αποτελεί μία εναλλακτική λύση στην οδοστρωσία από σκυρόδεμα, είναι μια εφαρμογή που θα μπορούσε να απορροφήσει μεγάλες ποσότητες βιομηχανικών παραπροϊόντων όπως η ιπτάμενη τέφρα και η σκωρία χαλυβουργίας. Η κατασκευή οδοστρωμάτων από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες συγκριτικά με το συμβατικό σκυρόδεμα και παρόλο που θα μπορούσε να βρει πολλαπλές εφαρμογές στην Ελλάδα, η χρήση του είναι ουσιαστικά μηδενική. Σε μία προσπάθεια εξοικείωσης και διευκόλυνσης του τεχνικού κόσμου με τα οφέλη της οδοστρωσίας με κυλινδρούμενο σκυρόδεμα παρουσιάζεται η μεθοδολογία σύνταξης σχετικών άρθρων για τα τιμολόγια των δημοσίων έργων. Στην εργασία παρουσιάζεται η διαδικασία σύνταξης επτά (7) νέων άρθρων σχετικά με την παραγωγή σκυροδέματος κατηγορίας από C12/15 έως C20/25 (κυλινδρούμενου), τα οποία περιλαμβάνουν σκυρόδεμα κοιτοστρώσεων, άοπλο σκυρόδεμα μικροκατασκευών και σκυρόδεμα οδοστρωσίας με υδραυλική κονία μεγάλης περιεκτικότητας σε ιπτάμενη τέφρα και εναλλακτικά με συνδυασμό τσιμέντου Portland και τέφρας. Επίσης, ως αδρανή λήφθηκαν συμβατικά αδρανή και αδρανή σκωρίας χαλυβουργίας για σκυροδέματα ανθεκτικά σε τριβή, ενώ γίνεται αναφορά και στις ιδιαιτερότητες της μεθόδου σκυροδέτησης, οι οποίες και λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό, όπως επίσης και στις δυσκολίες στον προσδιορισμό των τιμών των υλικών. Η όλη εκπόνηση αυτού του έργου αποτελεί τμήμα εργασίας ειδικής επιτροπής που συστήθηκε από το ΤΕΕ-ΤΑΜ για τη σύνταξη προδιαγραφών για οδοστρώματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα.

## Cost and legislation issues regarding the use of Fly Ash in Roller Compacted Concrete

**P. Christopoulou<sup>1</sup>, E. Anastasiou<sup>2</sup>, N. Koimtsidis<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Technical Chamber of Greece / Department of West Macedonia

<sup>2</sup>Laboratory of Building Materials, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki

*Keywords:* Roller Compacted Concrete, Fly Ash, Public Works Legislation

**ABSTRACT:** Roller Compacted Concrete (RCC), which is an alternative for concrete pavement construction, is an application where large quantities of industrial by-products, such as fly ash and steel slag, could be used for the benefit of the economy and for environmental protection. The construction of rigid pavements with RCC has not been used in Greece, although high inclination roads in mountainous areas favor RCC pavements. In an effort to familiarize engineers and contractors with RCC pavements, the methodology of the constitution of articles concerning the cost of public works is presented. Seven new articles concerning the production of C12/15 and C20/25 concrete for ground concrete layers, plain concrete of parallel small construction and RCC pavements are introduced. Two types of binder have been used; the first is a hydraulic road binder with high volume of fly ash and the second is a combination of Portland cement with fly ash, while particularities in producing RCC for road pavements are taken into consideration. This work of costing road pavement construction with RCC is part of a collective work of a Committee formed by the Technical

Chamber of Greece, Department of West Macedonia, on Technical Specifications for RCC road pavements.

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης είναι θεμελιώδες να γίνεται όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση όλων των διαθέσιμων πόρων. Όμοια και στον κατασκευαστικό τομέα πρέπει να γίνεται βέλτιστη χρήση των πρώτων υλών, κάτι που ουσιαστικά αφορά και στην ικανότητα απορρόφησης σημαντικού μέρους δευτερευόντων υλικών, συμπεριλαμβανομένων και των βιομηχανικών παραπροϊόντων. Η δυνατότητα απορρόφησης μεγάλων ποσοτήτων τέτοιων υλικών εξαρτάται αφενός από τα προϊόντα της επιστημονικής έρευνας σε αυτή την κατεύθυνση, αφετέρου από το κανονιστικό και νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τη χρήση τους, αλλά και από την ενημέρωση του τεχνικού κόσμου σχετικά με τα οφέλη από την αξιοποίησή τους. Σε αυτή την κατεύθυνση, για την αξιοποίηση βιομηχανικών παραπροϊόντων που βρίσκονται σε μεγάλη αφθονία στην Ελλάδα, όπως η ιπτάμενη τέφρα, πέρα από την προώθηση της έρευνας στην παραγωγή, απαιτείται και η προσαρμογή της τεχνικής νομοθεσίας.

Μετά από σημαντική επιστημονική έρευνα δεκαετιών τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό είναι πλέον ευρέως γνωστές οι δυνατότητες χρήσης της ιπτάμενης τέφρας στο σκυρόδεμα (Mehta 1999, Malhotra & Mehta 2002, Parayianni 1987), η απορρόφηση, όμως, της ετήσιας παραγωγής τέφρας παραμένει χαμηλή (περίπου 10%) (Τσίμας & Μουτσάτσου 2005). Η σύνταξη Εθνικής Προδιαγραφής για τη χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στο Σκυρόδεμα (ΦΕΚ 551/2007) αποτέλεσε ένα πολύ σημαντικό βήμα για την αύξηση του ποσοστού αξιοποίησης, προτείνοντας μάλιστα και συγκεκριμένες εφαρμογές. Η κατασκευή οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα είναι μία από αυτές τις εφαρμογές, η οποία μάλιστα έχει δοκιμαστεί με επιτυχία σε πιλοτικά έργα και ιδιαίτερα αυτή του κυλινδρούμενου σκυροδέματος είναι μία εναλλακτική που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε αυτή την περίπτωση (Parayianni 1992). Το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα είναι ένας ειδικός τύπος σκυροδέματος οδοστρωσίας που σαν γενικά χαρακτηριστικά έχει την πολύ χαμηλή εργασιμότητα (ύφυγρο μίγμα), τη χαμηλή περιεκτικότητα σε κονία και τη διάστρωση με κατάλληλο κυλινδροφόρο όχημα, όμοιο με αυτά που χρησιμοποιούνται στην οδοστρωσία με άσφαλτο (PIARC 1993, ACI 1995).

Αναγκαία συνθήκη, βέβαια, για την ενσωμάτωση του κυλινδρούμενου σκυροδέματος στην κατασκευή δημοσίων έργων οδοποιίας είναι η σύνταξη νέων άρθρων τιμολογίου που θα περιλαμβάνονται στα υφιστάμενα τιμολόγια έργων οδοποιίας του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η διαδικασία σύνταξης των άρθρων αυτών για την κατασκευή οδοστρωμάτων από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα διαφόρων κατηγοριών με τη χρήση μεγάλου ποσοστού ιπτάμενης τέφρας. Το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα μπορεί να παρασκευασθεί με τσιμέντο οδοποιίας που είναι μια blended type υδραυλική κονία με προσθήκη τέφρας σε ποσοστό  $\geq 50\%$  κατά βάρος ή με το συνδυασμό τσιμέντου Portland και μεγάλου ποσοστού τέφρα στην μπετονιέρα. Παρόλο που έχει γίνει δοκιμαστική παραγωγή τέτοιου είδους κονιάς και υπάρχει και ενδεικτική τιμή που δόθηκε από Ελληνική τσιμεντοβιομηχανία, θεωρήθηκε πρώιμη η σχετική κοστολόγηση με την εναλλακτική αυτή εφόσον δεν υπάρχει ακόμα η κονία στην Ελληνική αγορά. Η εναλλακτική αυτή προβλέπεται να αξιολογηθεί από την ομάδα εργασίας του ΤΕΕ για την κοστολόγηση των σχετικών τιμολογίων. Πιο συγκεκριμένα, για το συνδυασμό τσιμέντου-τέφρας, τροποποιείται η Ομάδα Β Τεχνικά έργα του Τιμολογίου Έργων Οδοποιίας του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ ως εξής: ενσωματώνεται η κατηγορία των κυλινδρούμενων σκυροδεμάτων στην υφιστάμενη γενική περιγραφή των σκυροδεμάτων (Άρθρο Β-29) και προστίθενται επτά (7) νέα άρθρα, για τα οποία δίνεται μία βασική μεθοδολογία τιμολόγησης προκειμένου να συγκριθούν με τα ήδη υπάρχοντα.

## 2 ΣΥΝΤΑΞΗ ΚΑΙ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΝΕΩΝ ΑΡΘΡΩΝ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Το έργο της σύνταξης και τιμολόγησης άρθρων τιμολογίου για έργα οδοποιίας αποτελεί τμήμα των εργασιών ομάδας εργασίας του ΤΕΕ-ΤΔΜ για τη σύσταση Τεχνικών Προδιαγραφών για RCC οδοστρώματα.

### 2.1 Γενική περιγραφή σκυροδεμάτων

Αρχικά ενσωματώνεται η δυνατότητα χρήσης της ιπτάμενης τέφρας –όπως αυτή προκύπτει από την Εθνική Προδιαγραφή για την Ιπτάμενη Τέφρα– στην υφιστάμενη γενική περιγραφή των σκυροδεμάτων (Άρθρο Β-29), η πρώτη παράγραφος της οποίας διαμορφώνεται ως εξής (με έντονα η προσθήκη):

«Για την κατασκευή σκυροδέματος, σύμφωνα με την Τ.Σ.Υ. και τους λοιπούς όρους δημοπράτησης, από θραυστό υλικό λατομείου κατάλληλης κοκκομέτρησης και διαστάσεων μέγιστου κόκκου, με χρήση τσιμέντου κατάλληλου τύπου, κατηγορίας, αντοχής και ποσότητας **και σε περίπτωση άοπλου σκυροδέματος κατάλληλου τύπου ιπτάμενης τέφρας (κατά περίπτωση)**, ως και τυχόν αναγκαίων πρόσθετων ρευστοποιητικών, υπερρευστοποιητικών, αερακτικών, σταθεροποιητικών κλπ. υλικών, για τεχνικά έργα κάθε είδους και οποιουδήποτε ανοίγματος και ύψους καθώς και για έργα σηράγγων».

Στη συνέχεια του άρθρου διαμορφώνεται η περιγραφή των δαπανών προκειμένου να ενσωματωθεί η κατηγορία του κυλινδρούμενου σκυροδέματος, στο οποίο απαιτείται ειδική διάστρωση και συμπύκνωση (κυλίνδρωση). Συγκεκριμένα, προστίθεται η παρακάτω παράγραφος:

«Ειδικά για τα κυλινδρούμενα σκυροδέματα στην τιμή περιλαμβάνεται η δαπάνη ειδικής διάστρωσης και κυλίνδρωσής τους καθώς και κάθε επιπλέον δαπάνη υλικών και εργασίας που απαιτείται για την έντεχνη εκτέλεση της κατασκευής, όπως ορίζεται στην αντίστοιχη προδιαγραφή που θα προκύψει από το έργο της ομάδας εργασίας του ΤΕΕ-ΤΔΜ για το θέμα αυτό, στην Τ.Σ.Υ. και στους υπόλοιπους όρους δημοπράτησης».

Με αυτές τις προσθήκες εξασφαλίζεται η ενσωμάτωση της γενικής περιγραφής της χρήσης ιπτάμενης τέφρας στα σκυροδέματα των δημόσιων έργων οδοποιίας, η οποία θα εξασφαλιστεί περαιτέρω με τη χρήση συγκεκριμένων άρθρων τιμολογίου.

### 2.2 Νέα άρθρα τιμολογίου έργων οδοποιίας

Μετά τις απαραίτητες τροποποιήσεις στη γενική περιγραφή του άρθρου των σκυροδεμάτων (Β-29), επιλέχθηκε να προστεθούν επτά (7) νέα άρθρα τα οποία ουσιαστικά ενσωματώνουν τη χρήση της ιπτάμενης τέφρας στα σκυροδέματα των έργων οδοποιίας.

Ειδικότερα, τα άρθρα που προστίθενται στο υφιστάμενο τιμολόγιο έργων οδοποιίας του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ εισάγονται στις τρεις βασικές κατηγορίες σκυροδεμάτων C12/15, C16/20 και C20/25. Όσον αφορά το σκυρόδεμα κατηγορίας C12/15 προστίθεται ένα (1) νέο άρθρο για χρήση κοινού τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας σε κοιτοστρώσεις, στο σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20 προστίθενται τέσσερα (4) νέα άρθρα για χρήση κοινού τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας σε άοπλα και ελαφρώς οπλισμένα σκυροδέματα και τέλος στο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 προστίθενται δύο (2) νέα άρθρα κυλινδρούμενου σκυροδέματος με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας και κυλινδρούμενου σκυροδέματος ανθεκτικού σε τριβή με χρήση επίσης κοινού τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας.

Στη συνέχεια παρατίθενται εν συντομία οι τίτλοι των νέων άρθρων ανά κατηγορία σκυροδέματος:

- Άρθρο B-29.2: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ C12/15 (B10 ή B15)

Άρθρο B-29.2.5.: Άοπλο ή ελαφρώς οπλισμένο C12/15 (B10) ρείθρων, τάφρων, κοιτοστρώσεων, περιβλημάτων αγωγών, εξομαλυντικών στρώσεων, πλήρωσης γεωλογικών καταπτώσεων κλπ με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας.

- Άρθρο B-29.3: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ C16/20

Άρθρο B- 29.3.7: C16/20 ρείθρων, τραπεζοειδών τάφρων, προστασίας στεγάνωσης γεφυρών κλπ με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας

Άρθρο B-29.3.8: C16/20 μικροκατασκευών με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας (φρεατίων, ορθογωνικών τάφρων κλπ)

Άρθρο B-29.3.9: C16/20 πλήρωσης γεωλογικών καταπτώσεων με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας κλπ

Άρθρο B-29.3.10: C16/20 θολωτών οχετών με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας  
Σε όλα τα προηγούμενα άρθρα, οι περιγραφές τους συμπίπτουν με τα αντίστοιχα του οπλισμένου σκυροδέματος με την προσθήκη εκτός από τσιμέντο και ιπτάμενης τέφρας.

- Άρθρο B-29.4: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ C20/25

Άρθρο B- 29.4.13: C20/25 κυλινδρούμενο (RCC) με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας για την κατασκευή άκαμπτων οδοστρωμάτων.

Κυλινδρούμενο (RCC) σκυρόδεμα C20/25 μη οπλισμένο με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας χρησιμοποιούμενο για την κατασκευή άκαμπτων οδοστρωμάτων, δαπέδων, parking και υποβάσεων δαπέδων σύνθετων διατομών και άλλων.

Άρθρο B- 29.4.14: C20/25 κυλινδρούμενο (RCC) ανθεκτικό σε τριβή με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας για την κατασκευή άκαμπτων οδοστρωμάτων

Κυλινδρούμενο (RCC) σκυρόδεμα C20/25 μη οπλισμένο με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας και βαρέα αδρανή ειδικού βάρους μεγαλύτερου από 2,9 tn χρησιμοποιούμενο για την κατασκευή άκαμπτων οδοστρωμάτων, δαπέδων και parking και υποβάσεων δαπέδων σύνθετων διατομών και άλλων.

### 3 Διαδικασία τιμολόγησης νέων άρθρων τιμολογίου έργων οδοποιίας

Προκειμένου να οριστεί η διαδικασία τιμολόγησης των νέων άρθρων του τιμολογίου έργων οδοποιίας του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ, χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικές συνθέσεις για τις τρεις βασικές κατηγορίες σκυροδεμάτων C12/15, C16/20 και C20/25, οι οποίες προήλθαν από το Εργαστήριο Δομικών Υλικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ και δίνονται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί.

**Πίνακας 1.** Ενδεικτικές συνθέσεις βασικών κατηγοριών σκυροδέματος

Κατηγορία Σκυροδέματος	Τσιμέντο τύπου Ι42,5N (kg/m <sup>3</sup> )	Ιπτάμενη τέφρα (kg/m <sup>3</sup> )	Νερό (kg/m <sup>3</sup> )	Άμμος (kg/m <sup>3</sup> )	Χονδρόκοκκα αδρανή σε 3 κλάσματα (kg/ m <sup>3</sup> )	Ρευστοποιητής (kg/m <sup>3</sup> )
<b>C 12/15</b>	110	110	110	1140	930	2
<b>C 16/20</b>	125	125	140	1120	915	2
<b>C 20/25</b>	112	168	140	1100	900	2

Σε πρώτο στάδιο επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί ανάλυση τιμής βάσει του παλαιού Α.Τ.Ε.Ο. (Αναλυτικού Τιμολογίου Έργων Οδοποιίας). Προκειμένου να γίνει κατανοητή η διαδικασία που ακολουθήθηκε, παρατίθεται ένα παράδειγμα αυτής της ανάλυσης για το νέο Άρθρο Β-29.4.13 (C20/25 κυλινδρούμενο RCC με χρήση τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας για την κατασκευή άκαμπτων οδοστρωμάτων) στον Πίνακα 2 που ακολουθεί. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των άρθρων 2511 και 2512 των παλαιών τιμολογίων και οι τιμές που λαμβάνονται στην ανάλυση του άρθρου είναι του 3ου τριμήνου του 2011 και πρόκειται για τις τελευταίες τιμές που είναι διαθέσιμες από τη Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων).

**Πίνακας 2.** Ενδεικτική ανάλυση τιμής του νέου Άρθρου Β – 29.4.13

<b>Υλικά</b>	112 kgr τσιμέντου [κωδικός 221] (0,0999 τιμή πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ) * 112 = 11,19 168 kgr ιπτάμενης τέφρας (τιμή προεπιλεγμένης τέφρας, εκτίμηση ΔΕΗ, παραδοτέας στο σταθμό): 0,007 * 168 = 1,18 140 kgr νερό [κωδικός 630] 0,547120 / 1000 (καθώς στο άρθρο του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ είναι σε m <sup>3</sup> ) = 0,000547120 * 140 = 0,077 1100 kgr άμμος [κωδικός 625] 0,0087 (=16,441683/1900) * 1100 = 9,57 900 kgr χαλίκι [κωδικός 623] 0,011 (= 14,921368/1400) * 900 = 9,9 1,4 kgr ρευστοποιητής (ενδεικτική τιμή) 1,4*2 = 2,8	34,72 ευρώ/m <sup>3</sup>
<b>Ξυλότυποι</b>	[κωδικός 641] 0,3 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> 7,543443*0,3	2,26 ευρώ/m <sup>3</sup>
<b>Εργασία</b>	α. αναμικτήρ σκυροδέματος [κωδικός 511] 393,828903 / 25 = 15,75 β. τεχνίτης [κωδικός 113] 20,419486 * 1,0 = 20,42 γ. εργάτης ειδικευμένος [κωδικός 112] 17,312112 * 1,2 = 20,77	56,94 ευρώ/m <sup>3</sup>
<b>Μεταφορά υλικών</b>	[κωδικός 509] Α. ψηφίδες (7 km) 1,5*0,8 * (2,5 + 0,7*7)* (573,766253/1000) = 1,2*7,4 * (573,766253/1000) = 5,10 Β. Άμμος (7 km) 1,5*0,5*(2,5+0,7*7)* (573,766253/1000)= 0,75*7,4*(573,766253/1000) = 3,18 Γ. νερό (5 km) 0,25*(2,5+0,7*5)* (573,766253/1000) = 0,25*6*(573,766253/1000) = 0,86 Δ. η μεταφορά του τσιμέντου και της ιπτάμενης τέφρας αντίστοιχα περιλαμβάνεται στα υλικά	9,14 ευρώ/m <sup>3</sup>
<b>Διάστρωση - Συμπύκνωση<sup>1</sup></b>	Διαστρωτήρας ασφαλτομίγματος (finisher) [κωδικός 528] 868,44993/3000 = 0,29 / m <sup>2</sup> * 5 m <sup>2</sup> = 1,45 ευρώ / m <sup>3</sup> Οδοστρωτήρας 12 – 14 tn [κωδικός 521] 342,750277 / 800 = 0,43 / m <sup>2</sup> * 5 m <sup>2</sup> = 2,15 ευρώ / m <sup>3</sup> Δαπάνη σταλίας αυτοκινήτου από εγκατάσταση παραγωγής σε θέση διάστρωσής του επί τόπου στο έργο 1,7*1,42*0,05*2,5* [509]/1000 = 1,7*1,42*0,05*2,5*573,766253/1000 = 0,17 * 5 m <sup>2</sup> = 0,85 ευρώ / m <sup>3</sup>	4,45 ευρώ/m <sup>3</sup>
<b>Σύνολο</b>		107,51 ευρώ/m <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Λήφθηκε υπόψη το άρθρο 4321 των παλαιών τιμολογίων έργων οδοποιίας – ασφαλτική στρώση βάσης. Η εργασία είναι η ίδια και η αντίστοιχα σε m<sup>2</sup> και m<sup>3</sup> προκύπτει με πάχος στρώσης 20 cm.

Στον παραπάνω πίνακα εάν αντικατασταθεί στο πρώτο πεδίο των υλικών η ποσότητα της ιπτάμενης τέφρας με τσιμέντο, η τιμή των υλικών διαμορφώνεται ως 50,32 ευρώ/m<sup>3</sup> και η τελική τιμή του άρθρου προκύπτει 123,11 ευρώ/m<sup>3</sup>. Προκύπτει δηλαδή όφελος της τάξης των 15,60 ευρώ/m<sup>3</sup> υπέρ της ενσωμάτωσης της ιπτάμενης τέφρας.

Στον Πίνακα 3 που ακολουθεί, γίνεται μία προσπάθεια σύγκρισης της τιμής του σκυροδέματος C20/25 με χρήση ιπτάμενης τέφρας και χωρίς που προέκυψε με την ανάλυση τιμής σε σχέση με τις τιμές του συνήθους σκυροδέματος C20/25, όπως προκύπτουν από τα εν ισχύ τιμολόγια έργων οδοποιίας του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ.

**Πίνακας 3.** Σύγκριση τιμών σκυροδέματος C20/25

Κατηγορία σκυροδέματος	Με χρήση ιπτάμενης τέφρας (από ανάλυση τιμής)	Χωρίς χρήση ιπτάμενης τέφρας (από ανάλυση τιμής)	Τιμολόγια έργων οδοποιίας πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ (Άρθρο Β-29.4.1)			
			Για έργα < 1,5 εκατ	Για έργα 1,5 – 5 εκατ	Για έργα 5 – 10 εκατ	Για έργα > 10 εκατ
<b>C 20/25 (ευρώ/m<sup>3</sup>)</b>	107,51	123,11	98,6	85,8	81,9	78

Η διαφορά μεταξύ των τιμών των σκυροδεμάτων C20/25 είναι προφανές ότι οφείλεται στο γεγονός ότι σήμερα η παραγωγή σκυροδέματος πραγματοποιείται στο εργοστάσιο παραγωγής και όχι επί τόπου του έργου. Η δυσανάλογα μεγάλη τιμή που προέκυψε με αυτή τη μεθοδολογία, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δε συνίσταται καθώς δεν προσεγγίζει το πραγματικό κόστος. Η διαφορά της τιμής μεταξύ του σκυροδέματος C20/25 με χρήση ιπτάμενης τέφρας και χωρίς οφείλεται στη μειωμένη τιμή της ιπτάμενης τέφρας σε σχέση με το κοινό τσιμέντο.

Κατά συνέπεια, η μεθοδολογία που προτείνεται τελικά είναι να χρησιμοποιηθεί ως βάση η τιμή του συνήθους σκυροδέματος C20/25, να αφαιρεθεί η διαφορά τιμής μεταξύ της ποσότητας της ιπτάμενης τέφρας και του κοινού τσιμέντου και να προστεθεί μόνο η εργασία για διάστρωση και συμπύκνωση (κυλινδρούμενα σκυροδέματα). Όσον αφορά το σκυρόδεμα C20/25 που είναι ανθεκτικό στην τριβή, η τιμή του θα προκύψει από τη διαφορά στην αξία της αντικατάστασης των αδρανών με τα αντιολισθηρά.

Σε μία προσπάθεια αναγωγής αυτού του συμπεράσματος και στις άλλες κατηγορίες σκυροδεμάτων C12/15 και C16/20 και με βάση πάντα τις ενδεικτικές συνθέσεις του Πίνακα 1:

- για το σκυρόδεμα κατηγορίας C 12/15 η διαφορά τιμής θα προκύψει από τον εξής τύπο: ισχύουσα τιμή τιμολογίων πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ – τιμή 110 kgf τσιμέντου + τιμή 110 kgf ιπτάμενης τέφρας
- για το σκυρόδεμα κατηγορίας C16/2 η διαφορά τιμής θα προκύψει από τον εξής τύπο: ισχύουσα τιμή τιμολογίων πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ – τιμή 125 kgf τσιμέντου + τιμή 125 kgf ιπτάμενης τέφρας. Στην τιμή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η καθυστέρηση αφαίρεσης του ξυλοτύπου λόγω της βραδύτερης απόκτησης της απαιτούμενης αντοχής.

### 3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μία προσπάθεια ενσωμάτωσης της ιπτάμενης τέφρας στα εν ισχύ τιμολόγια έργων οδοποιίας του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ και εντοπίστηκαν οι

αδυναμίες κατά την τιμολόγησή τους. Επιλέχθηκε η προσθήκη της ιπτάμενης τέφρας τόσο στην κατηγορία σκυροδέματος C20/25 (κυλινδρούμενου), όσο και στις λοιπές συνήθεις κατηγορίες C12/15 και C16/20 λόγω της οικονομικής τιμής του υλικού σε σχέση με το κοινό τσιμέντο. Η διαδικασία τιμολόγησης που προτάθηκε για τα νέα αυτά άρθρα συνοψίζεται στα εξής: α) για την κατασκευή τεχνικών έργων από άοπλο σκυρόδεμα ή ελαφρώς οπλισμένο σκυρόδεμα και συγκεκριμένα για τα άρθρα Β -29.2.5, Β-29.3.7, Β-29.3.8., Β-29.3.9. και Β-29.3.10, η τιμή τους θα προκύψει από την αντικατάσταση μέρους του τσιμέντου από ιπτάμενη τέφρα, καθώς όλοι οι υπόλοιποι συντελεστές κόστους δε διαφοροποιούνται. Για τα άρθρα Β-29.4.13 και Β-29.4.14 που αναφέρονται σε κυλινδρούμενο σκυρόδεμα υπεισέρχεται στους υπολογισμούς επίσης το θέμα της διάστρωσης και της συμπύκνωσης που είναι ειδικών απαιτήσεων στην κατηγορία αυτή. Ένα επίσης βασικό ζήτημα που εντοπίστηκε είναι η διαφοροποίηση, κατ' αντιστοιχία με τα υφιστάμενα τιμολόγια του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ, ανάλογα με τον προϋπολογισμό του έργου (τέσσερις κατηγορίες) και εφαρμογή της ανάλογης έκπτωσης με τα υφιστάμενα άρθρα. Όλα αυτά τα ζητήματα αποτελούν αντικείμενο της αρμόδιας Ομάδας Εργασίας του Τ.Ε.Ε./Τ.Δ.Μ. και βρίσκονται σε διαδικασία ολοκλήρωσης στο προσεχές διάστημα, οπότε θα αποτελέσουν και το αντικείμενο νέας δημοσίευσης. Με την παρούσα εργασία τίθενται οι βάσεις για την τελική ενσωμάτωση της ιπτάμενης τέφρας στα τιμολόγια έργων οδοποιίας του πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρέως στο σύνολο των δημοσίων έργων. Είναι φανερό ότι οι οικονομικότερες λύσεις όσον αφορά το αρχικό κόστος (και όχι το κόστος συντήρησης) προκύπτουν από τη χρήση σκυροδεμάτων με μεγάλο ποσοστό τέφρας.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ACI 325.10R-95 (1995). Report on Roller-Compacted Concrete Pavements. Reported by ACI Committee 325, American Concrete Institute.
- Malhotra, V., & Mehta, P.K. (2002). High Performance, High Volume Fly Ash Concrete; Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories. Ottawa: Marquardt Printing.
- Mehta, P.K. (1999). Concrete Technology for Sustainable Development – An Overview of Essential Principles. Proceedings of the International Symposium on concrete for sustainable development in the twenty-first century. Edited by Mehta, P.K., Hyderabad, India, pp 1-22.
- Papayianni, I. (1987). An investigation of the pozzolanicity and hydraulic reactivity of a high-lime fly ash. Magazine of Concrete Research, Vol. 39, No. 138, pp 19-28.
- Papayianni, I. (1992). Performance of a High Calcium Fly Ash in RCC. ACI Special Publication, Vol. 132, pp. 367-386.
- PIARC (1993). The use of roller compacted concrete for roads. Technical committee on concrete roads, Permanent International Association of Road Congresses, Spain.
- Τσίμας, Σ. & Μουτσάτσου, Α. (2005). Διαχείριση ιπτάμενης τέφρας ΔΕΗ. Ουτοπία ή πραγματικότητα; Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου για την Αξιοποίηση Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση. Επιμέλεια έκδοσης Παπαγιάννη, Ι. & Τσίμας Σ., 24-26 Νοεμβρίου 2005, Θεσσαλονίκη: ΕΒΙΠΑΡ, σελ 431-438.
- ΦΕΚ 551, Τεύχος Β, Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, «Ελληνικές Ιπτάμενες Τέφρες» Αθήνα 18/4/2007.