

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΞΑΛΛΟΙΩΜΕΝΩΝ ΠΥΡΟΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΡΟΔΟΠΗΣ ΣΑΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ*

Ι. ΜΑΡΑΝΤΟΣ¹, Γ. ΚΟΣΙΑΡΗΣ¹, Β. ΠΕΡΔΙΚΑΤΣΗΣ¹, Σ. ΚΑΡΑΝΤΑΣΗ¹,
Β. ΚΑΛΟΕΙΔΑΣ², Χ. ΜΑΛΑΜΗ²

ΣΥΝΟΨΗ

Στην Τριτογενή λεκάνη της Κομοτηνής, τόφφοι, τοφφίτες και πηλιτο-ψαμμιτο-μαργαϊκά ιζήματα εναλλάσσονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μια ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά. Τα πυροκλαστικά μέλη της σειράς είναι εξαλλοιωμένα σε ζεολίθους, αργιλικά ορυκτά και ορυκτά του SiO₂. Ο ανάλκιμος και τα αργιλικά ορυκτά είναι τα συνηθέστερα ορυκτά εξαλλοίωσης των τόφφων. Στην περιοχή του Σκαλώματος οι τόφφοι είναι εξαλλοιωμένοι σε ευλανδίτη-2 και μορδενίτη. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης οι αναλκιμικοί τόφφοι έχουν ποζολανικές ιδιότητες και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν συστατικά ποζολανικών τσιμεντών. Αξίζει να σημειωθεί ότι: α) διερευνάται για πρώτη φορά στην Ελλάδα η ποζολανικότητα τόφφων εξαλλοιωμένων σε ανάλκιμο, β) οι τόφφοι απαντούν σε εκτεταμένα αποθέματα στο νομό Ροδόπης και γ) αντίθετα με τους άλλους ζεολιθικούς τόφφους, οι αναλκιμικοί παρουσιάζουν περιορισμένο ενδιαφέρον σε άλλες, και μάλιστα υψηλής αξίας εφαρμογές.

ABSTRACT

In the Komotini Tertiary basin, tuffs of various types are alternated with tuffites, siltstones, sandstones and marls forming a thick volcanosedimentary sequence. The tuffs are characterised as ash-, fine ash- and in some cases as welded ash tuffs. Crystal-, lapilli- and breccia tuffs also occur. The tuffs are built up of glass shards, pumice shards and crystal fragments which are cemented by glassy material. Crystal fragments are represented by quartz crystals. Plagioclase, albite, sanidine and biotite exist as well. Essentially, the vitric parts of the tuffs are altered to zeolites (heulandite 2 and/or mordenite, analcime, laumontite / scolecite), clay minerals (smectite, kaolinite ±/or mixed layer I/S of regular type), SiO₂ minerals (quartz, cristobalite) and K-feldspar.

For the purposes of this study, firstly, standard portland cement concrete specimens and concrete specimens with pyroclastic material from three different places, replacing portland cement by 20%, were prepared.

The mineralogical composition of the samples under study and the area where they come from, is as follows:

- Iampolis: analcime + quartz + K-feldspar + albite + Illite/Smectite
- Darmeni : analcime + quartz + K-feldspar + albite + calcite
- Skaloma : smectite + cristobalite + heulandite-2 + mordenite + K-feldspar + quartz

The compressive strength of the prepared specimens after periods of 7 and 28 days was measured and the pozzolanic activity of the samples was calculated according to ASTM Standard C618.

Following the first test, the pozzolanic activity of a second sample from Iampolis area was more extensively studied. The compressive strength of concrete specimens made of 100% Portland cement of I45 type, and concrete specimens that were prepared by replacing Portland cement in proportions of 10, 20, 30 and 40% was determined.

From the results of this study it is concluded that the analcimic tuffs could be a potential source for pozzolanic cement. More extensive study is needed for the estimation of the percentage of the altered pyroclastics that gives the optimum results concerning the cement pozzolanic activity. The optimization of the pozzolanic properties of the altered pyroclastics by calcination may be investigated as well.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Εξαλλοιωμένα πυροκλαστικά, ανάλκιμος, ποζολανικότητα

KEY WORDS: Altered pyroclastics, analcime, pozzolanic activity

* EVALUATION OF ALTERED PYROCLASTICS FROM RHODOPE PREFECTURE, THRACE, GREECE AS CONSTITUENTS OF POZZOLANIC CEMENTS

1. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα

2. Ελληνικό Κέντρο Ερευνών Τοιμ. Π. Ροδόπης, Κ. Περδικατσης 23, 55100 Σκαλώμα, Αττικής

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ποζολάνες είναι φυσικά (συνήθως άμορφα) ή τεχνητά υλικά πυριτικής κυρίως ή και αργιλοπυριτικής σύστασης, τα οποία στη φυσική τους κατάσταση δεν παρουσιάζουν υδραυλικές ιδιότητες, παρουσία όμως νερού, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, αντιδρούν χημικά με το υδροξείδιο του ασβεστίου και σχηματίζουν ενώσεις υδραυλικού χαρακτήρα. Οι ποζολάνες συνάλεθονται με κλίνκερ σε αναλογίες από 10 μέχρι 40%, για την παραγωγή ποζολανικών τοιμέντων. Η ποζολανικότητα των υλικών βελτιώνεται με θερμική κατεργασία.

Τα ποζολανικά υλικά βελτιώνουν τις φυσικομηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος, αλλά ο μηχανισμός με τον οποίο οι ιδιότητες αυτές ενεργοποιούνται δεν είναι ακόμη πλήρως γνωστός.

Ζεολιθικοί τόφφοι έχουν χρησιμοποιηθεί σε αντικατάσταση της παραδοσιακά χρησιμοποιούμενης ποζολάνης σε μίγματα τοιμέντου τύπου πόρτλαντ, με σαφή βελτίωση των φυσικο-μηχανικών ιδιοτήτων τους (Burgiesci et al., 1985, Sersale, 1995). Σε ανάλογα συμπεράσματα καταλήγουν και οι έρευνες που έγιναν τα τελευταία χρόνια σε ζεολιθικούς τόφφους από την Ελλάδα, (Kitsopoulos and Dunham, 1994, Kitsopoulos and Dunham, 1996, Stamatakis et al, 2000).

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, διερευνήθηκε καταρχήν η δυνατότητα αξιοποίησης εξαλλοιωμένων πυροκλαστικών από τη λεκάνη της Κομοτηνής, στην παρασκευή ποζολανικών τοιμέντων.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα δείγματα που μελετήθηκαν συλλέχθηκαν από τα πυροκλαστικά πετρώματα της Τριτογενούς ηφαιστειο-ιζηματογενούς λεκάνης Κομοτηνής-Οργάνης-Σαπτιών. Υπόβαθρο αυτής της λεκάνης αποτελούν τα μεταμορφωμένα πετρώματα της μάζας της Ροδόπης και της Περιοδοπικής ενότητας, ενώ στο νότιο τμήμα της περιοχής το Τριτογενές καλύπτεται από τις αποθέσεις του Τεταρτογενούς (Σχ 1).

Η ηφαιστειοιζηματογενής ακολουθία αποτελείται από παχυπλακώδεις έως λεπτοστρωματώδεις τόφφους διαφόρων τύπων (τεφρώδεις, κονιώδεις, λιθαριτικοί), οι οποίοι εναλλάσσονται μεταξύ τους, με τοφφίτες και με πηλιτο-ψαμμιτο-μαργαϊκά ιζήματα. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία κάθε ομάδας, (Μάραντος κ.α., 2000), είναι τα παρακάτω:

Τόφφοι

Ακολουθώντας την κοκκομετρική ταξινόμηση κατά Schmid (1981), οι τόφφοι χαρακτηρίζονται σαν τεφρώδεις (ash tuffs) και λεπτομερείς τεφρώδεις (fine ash tuffs). Υπάρχουν επίσης πυρομβρίτες (ignimbrites), κρυσταλλοτόφφοι (crystal tuffs), λαπιλλικοί τόφφοι (lapilli tuffs) και λατυποπαγείς τόφφοι (tuff breccia).

Με βάση την ορυκτολογία τους και το χημισμό τους χαρακτηρίζονται από ρουδακιτική έως ανδσειτική σύσταση.

Οι ρουδακιτικοί-δακτιτικοί τόφφοι αποτελούνται κύρια από θραύσματα γυαλιού (glass shards), τα οποία ορισμένες φορές έχουν περιλιτική υφή, κισηρώδη κομμάτια γυαλιού (pumice glass shards) και θραύσματα κρυστάλλων που συγκολλούνται από υαλώδες συνδετικό υλικό. Τα θραύσματα των κρυστάλλων αντιπροσωπεύονται κύρια από κρυστάλλους χαλαζία, ενώ συχνά απαντούν πλαγιόκλαστα, αλβίτης, σανιδίνο και βιοτίτης. Σαν επουσιώδη ορυκτά μπορεί να απαντούν απατίτης, λευκόξενος και ζιρκόνιο.

Οι ανδσειτικοί τόφφοι απαντούν με μορφή λατυποπαγών τόφφων, λαπιλλικών, και κρυσταλλικών τόφφων.

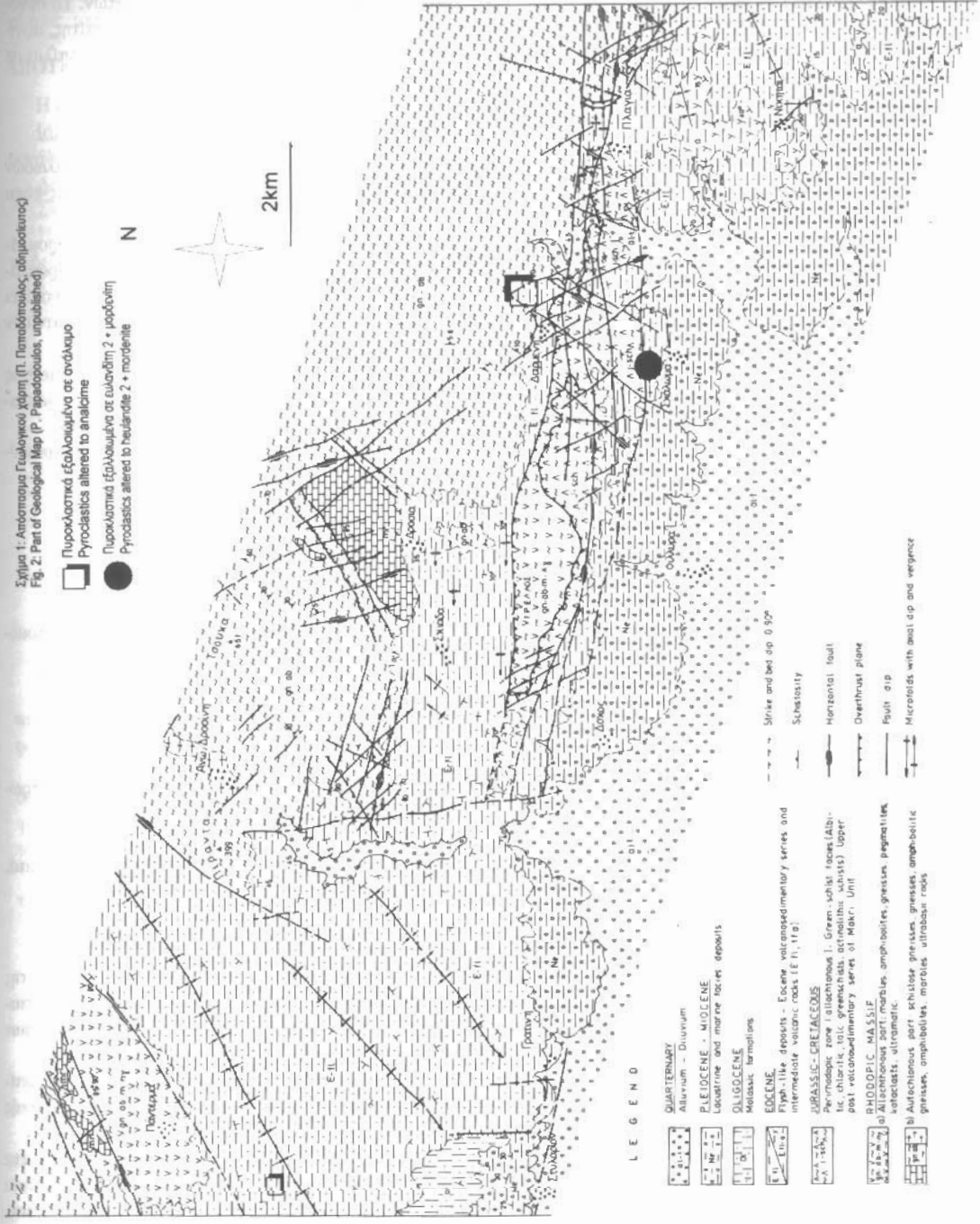
Ηφαιστίτες

Οι ηφαιστίτες εμφανίζονται κύρια με τη μορφή λαβών τραχειανδσειτικής, ανδσειτικής και δακτιτικής σύστασης και ο ιστός τους είναι συχνά πορφυριτικός. Η θεμελιώδης μάζα των ηφαιστίτων μπορεί να είναι μικροκρυσταλλική, άμορφη ή υαλοπηλιτική.

Τοφφίτες

Η ομάδα αυτή περιλαμβάνει πετρώματα μικτού χαρακτήρα, ηφαιστειακής και ιζηματογενούς προέλευσης. Οι πυροκλάστες είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος τους θραύσματα λάβας τραχειανδσειτικής-ανδσειτικής σύστασης, υγιή, χλωριτωμένα ή ασβεστιτωμένα, καθώς και κρυσταλλικά θραύσματα πλαγιοκλάστων. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρούνται επίσης θραύσματα χαλαζία, πυρόξενου, αμφίβολου και βιοτίτη. Το ιζηματογενές υλικό αντιπροσωπεύεται από λιθοκλάστες μικριτικού ασβεστολίθου, μαρμαρυγιακού σχιστολίθου, χαλαζίτη και θραύσματα ασβεστιτικών απολιθωμάτων. Η συγκολλητική ύλη είναι ασβεστίτης ή μίγμα ασβεστίτη και λεπτόκοκκου ηφαιστειακού υλικού. Απαντά επίσης σιδηροπυρίτης σφαιροειδούς μορφής. Σε ορισμένα δείγματα παρατηρείται Ψηφιακή Βιβλιοθήκη «Θεόφραστος»-Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. ούωσης. Σαν συμπληρωμα-

Σχήμα 1: Απόσπασμα Γεωλογικού χάρτη (Π. Παπαδόπουλος, αδημοσίευτος)
 Fig. 2: Part of Geological Map (P. Papadopoulos, unpublished)



Πυροκλαστικά εξηλωμένα σε ανάκλιση
 Pyroclastics altered to analcime
 Πυροκλαστικά εξηλωμένα σε ελιανθίτη 2 + μορδανίτη
 Pyroclastics altered to heulandite 2 + mordantite

LEGEND

QUATERNARY
 Alluvium - Διuvium
 Pleistocene - ΜΙΟΛΕΝΕ
 Lacustrine and marine facies deposits
 Holocene
 Aeolianic formations

Eocene
 Flysch-like deposits - Eocene volcanosedimentary series and intermediate volcanic rocks (E1, 1f)

JURASSIC-CRETACEOUS
 Permo-triassic zone (allactonous I: Green schist facies (Albite, chlorite, talc, greenschists, actinolitic schists) Upper part volcanosedimentary series of Maki Unit)

RHODOPIC MASSIF
 a) Altitriassic part: marble, amphibolites, gneiss, pegmatites, talc-schists, ultramafic
 b) Aurochthonous part: schistose gneisses, gneisses, amphibolitic gneisses, amphibolites, marbles, ultrabasic rocks

Strike and slip slip 0-50°
 Schistosity
 Horizontal fault
 Overthrust plane
 Fault dip
 Microfolds with anal dip and vergence

τικά ορυκτά απαντούν τιτανίτης και λευκός μαρμαρυγίας (μοσχοβίτης-σερικίτης).

Πηλιτο-ψαμμιτο-μαργαϊκά ιζημάτα

Αντιπροσωπεύουν το ιζηματογενές υλικό της λεκάνης απόθεσης των ηφαιστειακών πετρωμάτων. Το σύνολο των ορυκτολογικών στοιχείων που απαντώνται και στις τρεις λιθολογικές μονάδες είναι: ασβεστίτης, αργιλικά, χαλαζίας, άστριοι, βιοτίτης, σερικίτης, οξειδία-υδροξείδια σιδήρου, ο τουρμαλίνης και το ρουτίλιο σε διάφορους ποιοτικούς και ποσοτικούς συνδυασμούς.

Εξαλλοιώσεις πυροκλαστικών

Κοινό γνώρισμα των τόφρων της λεκάνης της Κομοτηνής είναι η μερική ή ολική εξαλλοίωση των υαλωδών τμημάτων τους σε ζεολίθους και αργιλικά ορυκτά. Οι κρύσταλλοι των αστρίων σε άλλες περιπτώσεις είναι υγιείς, ενώ σε άλλες παρουσιάζονται εξαλλοιωμένοι.

Ο αρχικός ιστός των πυροκλαστικών στην περιοχή του Σκαλώματος διατηρείται πολύ καλά και οι πυροκλάστες των αστρίων είναι κατά κανόνα υγιείς. Αντίθετα στην ευρύτερη λεκάνη της Κομοτηνής τόσο οι πυροκλάστες του γυαλιού όσο και αυτοί των αστρίων παρουσιάζουν έντονη εξαλλοίωση. Το ασπριούχο υλικό παρουσιάζει μια καθολική εξαλλοίωση μέχρι ψευδομόρφωση κύρια σε αργιλικά ορυκτά και/ή ασβεστίτη. Επίσης απαντούν οξειδία/υδροξείδια σιδήρου που προέρχονται από εξαλλοίωση σιδηροπυρίτη.

Τα ορυκτά εξαλλοίωσης που εντοπίστηκαν είναι ζεόλιθοι, αργιλικά ορυκτά, ορυκτά του SiO_2 , καλιούχος άστριος και ασβεστίτης (Marantos et al, 1997, Μάραντος κ.α., 2000). Η ορυκτολογική σύσταση των πυροκλαστικών της λεκάνης της Κομοτηνής μπορεί να περιγραφεί από τα παρακάτω ορυκτολογικά αθροίσματα:

- Ευλανδίτης 2 + μορδενίτης + χριστοβαλίτης + σμηκίτης + χαλαζίας + πλαγιόκλαστο ± ιλίτης ± καλιούχος άστριος ± ασβεστίτης
- Μορδενίτης + χαλαζίας + χριστοβαλίτης + αλβίτης ± I/Σ
- I/Σ +/ή καολινίτης + αλβίτης + χαλαζίας
- Καολινίτης + χαλαζίας + αλβίτης
- Ανάλκιμος + χαλαζίας + αλβίτης + ασβεστίτης
- Λωμοντίτης + σκολεσίτης ± χλωρίτης + πλαγιόκλαστο + χαλαζίας

Με βάση τα χαρακτηριστικά ορυκτά και την κατανομή τους στο χώρο, (Μάραντος κ.α. 2000), οι εξαλλοιώσεις των πυροκλαστικών μπορούν να ομαδοποιηθούν όπως παρακάτω :

1. τόφφοι εξαλλοιωμένοι σε ευλανδίτη/μορδενίτη
2. τόφφοι εξαλλοιωμένοι σε μορδενίτη
3. τόφφοι εξαλλοιωμένοι σε ανάλκιμο
4. τόφφοι εξαλλοιωμένοι σε λωμοντίτη/σκολεσίτη
5. τόφφοι με αργιλική εξαλλοίωση (καολινίτη και/ή αργίλους μικτών δομικών μονάδων κανονικής διαστρωμάτωσης)
6. τόφφοι εξαλλοιωμένοι σε σμηκίτη

Οι τόφφοι στην λεκάνη της Κομοτηνής είναι συνήθως εξαλλοιωμένοι σε ανάλκιμο και/ή αργιλικά ορυκτά, πλην της περιοχής του Σκαλώματος όπου η κυριαρχεί ο ευλανδίτης τύπου 2 και ο μορδενίτης.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, εξετάστηκαν σε πρώτη φάση τρία μεγάλα δείγματα από τις περιοχές της Ιάμβολης, της Δαριμένης και του Σκαλώματος (Σχ. 1). Τα δείγματα είναι αντιπροσωπευτικά της μέσης σύστασης των πυροκλαστικών και πάρθηκαν ως εξής: τα δύο πρώτα από τομή κάθετη στην παράταξη των στρωμάτων το μήκος της οποίας ήταν της τάξης των 100 m και το τρίτο είναι ένα μέσο δείγμα από πυρήνα γεώτρησης.

Η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων προσδιορίσθηκε με την μέθοδο της περιθλασιμετρίας των ακτίνων X. Οι χημικές αναλύσεις έγιναν με την μέθοδο της ατομικής απορρόφησης, στο χημείο της Περιφερειακής Μονάδας Ανατολικής Μακεδονίας Θράκης του ΙΓΜΕ.

Σε πρώτη φάση παρασκευάστηκαν δοκίμια από καθαρό τοιμένο τύπου πορτλαντ Ι45 και από μίγματα πυροκλαστικού υλικού / τοιμέντου σε αναλογία 20/80%. Η αντοχή των δοκιμών σε θλίψη, μετά από διάστημα 7 και 28 ημερών, μετρήθηκε στα εργαστήρια του ΕΚΕΤ. Υπολογίσθηκε επίσης ο λόγος των αντοχών του μίγματος προς τις αντοχές του καθαρού τοιμέντου, που αναφέρεται ως «δείκτης ποζολανικότητας». Ολη η διαδικασία έγινε σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο ASTM C311, όπως ορίζεται από την προδιαγραφή ASTM C618. Τα δείγματα αλέσθηκαν σε γειτονικές κομομετρικές κατανομές (%R45μm 9,4-13,7), επειδή ο ρυθμός της ετερογενούς ποζολανικής αντίδρασης εξαρτάται από τη διαθέσιμη επι-

φάνεια των κόκκων του στερεού.

Σε δεύτερη φάση, εξετάστηκε ένα ακόμη μικτό δείγμα εξαλλοιωμένων πυροκλαστικών από διαφορετική τομή της περιοχής της Ιάμπολης. Παρασκευάστηκαν δοκίμια από μίγματα πυροκλαστικού υλικού με καθαρό τοιμένο τύπου πορτλαντ Ι/45, σε αναλογίες 0/100, 10/90, 20/80, 30/70 και 40/60 και μετρήθηκε η θλιπτική αντοχή τους, μετά από διάστημα 7 και 28 ημερών.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ορυκτολογική σύσταση των τριών μικτών δειγμάτων που μελετήθηκαν είναι η παρακάτω:

Ιάμπολη: Ανάλκιμος + Χαλαζίας + Καλιούχος άστριος + Αλβίτης + πκ (Ι-Σ) (Αργίλοι μικτών δομικών μονάδων κανονικής ενδοστρωμάτωσης Ιλλίτη/Σμηκτίτη)

Δαομένη: Ανάλκιμος + Χαλαζίας + Καλιούχος άστριος + ασβεσίτης

Σκάλωμα(3Μ): Σμηκτίτης + χριστοβαλίτης + ευλανδίτης 2 + μορδενίτης + καλιούχος άστριος + χαλαζίας
Η χημική σύσταση των δειγμάτων που εξετάζονται δίνεται στον Πίνακα Ι. Από τις αναλύσεις φαίνεται ότι το δείγμα από το Σκάλωμα είναι πολύ πλούσιο σε CaO και έχει πολύ υψηλή τιμή απώλειας πύρωσης. Οι δύο αναλκιμικοί τόφφοι έχουν σχετικά χαμηλότερη περιεκτικότητα σε CaO και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αλκάλια.

Πίνακας Ι: Χημική σύσταση % κ.β. των δειγμάτων που αναλύθηκαν
Table I: Chemical composition (wt%) of studied samples

	ΣΚΑΛΩΜΑ	ΔΑΡΜΕΝΗ	ΙΑΜΠΟΛΗ
SiO ₂	64,20	73,00	76,00
Al ₂ O ₃	11,15	11,53	11,72
Fe ₂ O ₃	1,43	1,14	0,86
CaO	5,60	1,68	0,56
MgO	0,76	0,41	0,43
Na ₂ O	0,98	2,54	1,88
K ₂ O	3,24	3,84	4,20
LOI	12,25	5,06	3,72
TOTAL	99,61	99,2	99,37

Στον πίνακα ΙΙ δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής στη θλίψη των μιγμάτων τόφφου/τοιμένου και του καθαρού τοιμένου, καθώς και ο δείκτης ποζολανικότητας μετά από πάροδο 7 και 28 ημερών.

Σύμφωνα με τις μετρήσεις, η προσθήκη 20% αναλκιμικών και ευλανδιτικών τόφφων στο τοιμένο μειώνει σημαντικά την αντοχή στη θλίψη, κύρια στα δοκίμια των 7 ημερών. Η αντοχή των μιγμάτων αναλκιμικών τόφφου/τοιμένου μειώνεται στο 73-74% της αντοχής του τοιμένου τύπου πόρτλαντ, ενώ στο μίγμα με ευλανδιτικό τόφφο μόλις στο 64,3%.

Μετά πάροδο 28 ημερών, έχουμε σημαντική αύξηση της αντοχής των κονιαμάτων, η οποία φθάνει το 86 % της αντοχής του τοιμένου τύπου πορτλαντ.

Πίνακας ΙΙ: Δοκιμή ποζολανικότητας κατά ASTM C 618
Table II: Pozzolanicity tests according to ASTM C618 standard

Αποτελέσματα	ΔΑΡΜΕΝΗ	ΙΑΜΠΟΛΗ	ΣΚΑ-3	100% τοιμένο	ASTM C618
Φυσικά χαρακτηριστικά					
®R45, μετά από άλεση	9,36	13,71	13,42		
Ειδικό βάρος (gr/cm ³)	2,54	2,54	2,36		
Αντοχές κονιαμάτων (N/mm²) Μίγμα: 20% δείγμα - 80% τοιμένο					
7 ημερών	27,6	28	24,3	37,8	
28 ημερών	40,1	39,9	39,9	46,4	
Δείκτης ποζολανικότητας					
7ημερών	73%	74,1%	64,3%		>75%
28ημερών	86,4%	86%	86%		>75%

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων και λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές του προτύπου της ASTM C618, σύμφωνα με το οποίο σαν ποζολανικό χαρακτηρίζεται ένα υλικό με δείκτη ποζολανικότητας μεγαλύτερο από 75% συμπεραίνουμε ότι:

- Ο δείκτης ποζολανικότητας των 7 ημερών, για τα μίγματα με αναλογία αναλκιμικών τόφφων / τσιμέντου 20/80, δεν καλύπτει οριακά τις απαιτήσεις του αμερικάνικου προτύπου (θα πρέπει να είναι >75%).
- Αντίθετα, ο δείκτης ποζολανικότητας των 28 ημερών υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις του αμερικάνικου προτύπου και για τα τρία δείγματα.
- Οι αντοχές των δοκιμών των μιγμάτων που παρασκευάστηκαν στη δεύτερη φάση της έρευνας, δίνονται στον Πίνακα III. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των "δοκιμών ποζολανικότητας" προκύπτουν τα εξής:
- Οι δείκτες ποζολανικότητας, τόσο των 7 όσο και των 28 ημερών, των δοκιμών του μίγματος αναλκιμικών τόφφων/τσιμέντου 10/90 και 20/80 καλύπτουν τις απαιτήσεις του αμερικάνικου προτύπου.
- Οι αντοχές στην θλίψη των μιγμάτων αναλκιμικών τόφφων-τσιμέντου, 30-70 και 40-60 δεν πληρούν τις απαιτήσεις του προτύπου.

Πίνακας III: Δοκιμή ποζολανικότητας δείγματος Ιάμπολης κατά ASTM C618
Table III: Pozzolanicity tests of Iampolis sample, according to ASTM C618 standard

Αποτελέσματα	Μίγματα δείγματος/τσιμέντου %					Προδιαγραφές ASTM C618
	10/90	20/80	30/70	40/60	100% τσιμέντο I45	
Φυσικά χαρακτηρισικά						
%R45, μετά από άλεση	11,4					
Αντοχές κονιαμάτων (N/mm²)						
7 ημερών	34,6	30,7	25,5	18,8	35,5	
28 ημερών	45,5	39,8	32,8	25,5	50	
Δείκτης ποζολανικότητας						
7 ημερών	97%	87%	72%	53%		>75%
28 ημερών	91%	80%	66%	51%		>75%

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα πυροκλαστικά πετρώματα, που μελετήθηκαν σαν πρώτες ύλες στην παραγωγή ποζολανικών τσιμέντων, είναι εξαιλωμένα σε ανάλκιμο και/ή αργιλικά ορυκτά ή σε ευλανδίτη τύπου 2 + μορδενίτη + αργιλικά ορυκτά.

Αξίζει να σημειωθεί ότι διερευνάται για πρώτη φορά στην Ελλάδα η ποζολανικότητα τόφφων εξαιλωμένων σε ανάλκιμο.

Από τις εργαστηριακές δοκιμές στα τρία πρώτα δείγματα, φαίνεται ότι ο δείκτης ποζολανικότητας των 7 ημερών, για τα μίγματα με αναλογία αναλκιμικών τόφφων / τσιμέντου 20/80, δεν καλύπτει οριακά τις απαιτήσεις του αμερικάνικου προτύπου. Αντίθετα, ο δείκτης ποζολανικότητας των 28 ημερών τις υπερκαλύπτει και για τα τρία δείγματα.

Οι αντοχές των μιγμάτων αναλκιμικών τόφφων/τσιμέντου 10/90 και 20/80, που παρασκευάστηκαν από το δεύτερο δείγμα από την περιοχή της Ιάμπολης, καλύπτουν τις απαιτήσεις του αμερικάνικου προτύπου, τόσο των 7 όσο και των 28 ημερών. Αντίθετα, οι αντοχές στην θλίψη των μιγμάτων αναλκιμικών τόφφων/τσιμέντου με αναλογίες 30/70 και 40/60 δεν πληρούν τις απαιτήσεις του προτύπου.

Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης, θεωρούμε ότι οι αναλκιμικοί τόφφοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ποζολανικών τσιμέντων.

Χρειάζεται συμπληρωματική λεπτομερής έρευνα για τον προσδιορισμό του ποσοστού των εξαιλωμένων πυροκλαστικών που βελτιστοποιεί τις ποζολανικές ιδιότητες του τσιμέντου. Επιπλέον απαιτείται η διερεύνηση της δυνατότητας βελτίωσης των ποζολανικών ιδιοτήτων του υλικού μετά από θέρμανση σε επιλεγμένες θερμοκρασίες.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι αναλκιμικοί τόφφοι απαντούν σε εκτεταμένα αποθέματα στο νομό Ροδόπης και αντίθετα με τους άλλους ζεολιθικούς τόφφους παρουσιάζουν περιορισμένο ενδιαφέρον σε άλλες εφαρμογές, πρέπει να γίνει περαιτέρω λεπτομερής διερεύνηση των ποζολανικών ιδιοτήτων τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASTM C311 "Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete"
- ASTM C618 "Coal Fly Ash and Raw or calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete"
- BURRIESCI N., ARCORACI C., GIORDANO N. AND ANTONUCCI, P.L., (1985): Zeolites from pumice and tuff as evaluation of pozzolanic cement constituents. *Zeolites* 5, 96-100.
- KITSOPOULOS K., DUNHAM A., (1994): Application of zeolitic volcanic tuffs from Greece (Lefkimi-Dadia, Metaxades, and Santorini island, Greece) as pozzolanic materials. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXX/3, 323-323
- KITSOPOULOS P. K., DUNHAM A. C., (1996): Heulandite and mordenite-rich tuffs from Greece: a potential source for pozzolanic materials. *Mineralium Deposita* 31, 576-583.
- MARANTOS I., KOSHARIS G., PERDIKATSI V., KARANTASSI S., MICHAEL C., PAPADOPOULOS P., (1997): A preliminary study on the zeolitic tuffs in the Komotini-Sappes tertiary basin, W. Thrace, N.E., Greece. In Kirov G.L., Filizova & O. Petrov (eds), Sofia, Bulgaria, *Natural zeolites* 95, p.276-281.
- ΜΑΡΑΝΤΟΣ Ι., ΚΟΣΙΑΡΗΣ Γ., ΠΕΡΔΙΚΑΤΣΗΣ Β., ΚΑΡΑΝΤΑΣΗ Σ., (2000): Κοιτασματολογική μελέτη ζεολιθικών τόρφων περιοχής Σκαλώματος Ν. Ροδόπης. Τελική έκθεση έργου Β' ΚΠΣ 9831531, «Μελέτη αξιοποίησης ζεολίθων Ν. Ροδόπης».
- SCHMID R. (1981): Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendation of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology* 9, 41-43.
- SERSALE R., (1995): Zeolite tuff as a pozzolanic addition in the manufacture of blended cements. In *Natural zeolites '93*, Ming, D. W., and Mumpton, F.A. Eds, Boise, Idaho, pp. 603-612
- STAMATAKIS G. M., FRAGOULIS D., CHANIOTAKIS E., BEDELIAN I, CSIRIC G., (2000): Clinoptilolite - rich tuffs from Greece, Romania and Hungary and their industrial potential as cement additive. *Proceedings of 3d Congress on Mineral Wealth*, pp. 451-457.