

Επιστημονική Επετηρίδα, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τιμητική έκδοση στη μνήμη του ομότιμου καθηγητή Κ. Σολδάτου	Ειδικός τόμος 101	119-124	Θεσσαλονίκη 2012
--	----------------------	---------	---------------------

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ, ΧΗΜΕΙΑ ΚΑΙ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΙΟΝΤΩΝ ΤΩΝ ΖΕΟΛΙΘΙΚΩΝ ΤΟΦΩΝ ΑΒΔΕΛΛΑΣ-ΜΕΤΑΞΑΔΩΝ (ΕΒΡΟΣ, ΕΛΛΑΣ)

Τζάμος Ε., Φιλιππίδης Α., Τσιραμπίδης Α., Παπαδόπουλος Α., Αποστολίδης Ν., Βούτα Σ., Καλαμπαλίκη Σ. και Παραγιός Ι.

Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 546 21 Θεσσαλονίκη, tzamos@geo.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ζεολιθικοί τόφοι Αβδέλλας-Μεταξάδων του Νομού Έβρου κατά μέσο όρο αποτελούνται από: 53% κ.β. ζεόλιθο τύπου-HEU, 7% κ.β. σμεκτίτη, 4% κ.β. μαρμαρυγία, 16% κ.β. αστρίους, 12% κ.β. χριστοβαλίτη και 8% κ.β. χαλαζία. Η μέση χημική σύσταση αυτών των τόφων είναι: 72,3% κ.β. SiO₂, 0,1% κ.β. TiO₂, 11,8% κ.β. Al₂O₃, 1,2% κ.β. Fe₂O₃, 0,1% κ.β. MnO, 1,1% κ.β. MgO, 2,8% κ.β. CaO, 1,2% κ.β. Na₂O, 1,9% κ.β. K₂O και 7,8% κ.β. απώλεια πύρωσης. Οι εξεταζόμενοι ζεολιθικοί τόφοι παρουσιάζουν μέση ικανότητα ανταλλαγής ιόντων (δεσμευτική ικανότητα) 143 meq/100g, η οποία αποδίδεται κυρίως στο ζεόλιθο τύπου-HEU. Η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων συσχετίζεται θετικά: (α) με την περιεκτικότητα σε ζεόλιθο τύπου-HEU, (β) με τη συνολική περιεκτικότητα σε μικροπορώδη ορυκτά (ζεόλιθος + μαρμαρυγίας + σμεκτίτης), (γ) με την περιεκτικότητα σε CaO και (δ) με την απώλεια πύρωσης.

ABSTRACT

MINERALOGY, CHEMISTRY AND ION EXCHANGE CAPACITY OF THE AVDELLA-METAXADES (EVROS, GREECE) ZEOLITIC TUFFS

Tzamos E., Filippidis A., Tsiambides A., Papadopoulos A., Apostolidis N., Vouta S., Kalampaliki S. and Paragios I.

Department of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 546 21, Thessaloniki, tzamos@geo.auth.gr

The zeolitic tuffs of Avdella-Metaxades area of Evros Prefecture (Greece) consist by average: 53 wt.% HEU-type zeolite, 7 wt.% smectite, 4 wt.% mica, 16 wt.% feldspars, 12 wt.% cristobalite and 8 wt.% quartz. The average chemical composition of these tuffs is: 72.3 wt.% SiO₂, 0.1 wt.% TiO₂, 11.8 wt.% Al₂O₃, 1.2 wt.% Fe₂O₃, 0.1 wt.% MnO, 1.1 wt.% MgO, 2.8 wt.% CaO, 1.2 wt.% Na₂O, 1.9 wt.% K₂O and 7.8 wt.% loss of ignition. The studied zeolitic tuffs show an average ion exchange capacity (uptake ability) of 143 meq/100g, which is mainly attributed to the HEU-type zeolite. The ion exchange capacity is positively correlated with: (a) the HEU-type zeolite content, (b) the total microporous minerals (zeolite + mica + smectite) content, (c) the CaO content and (d) the loss of ignition.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε υδατικά περιβάλλοντα, μικροπορώδη ορυκτά όπως ζεόλιθοι και αργιλικά ορυκτά εμφανίζουν φαινόμενα δέσμευσης ιόντων. Οι διάφορες διεργασίες δέσμευσης ιόντων με τη χρήση ορυκτών ή πετρωμάτων μπορούν να αποδοθούν σε διεργασίες απορρόφησης (absorption), προσρόφησης (adsorption) και επιφανειακής επικάλυψης (surface precipitation). Στα μικροπορώδη ορυκτά (π.χ. ζεόλιθοι και αργιλικά ορυκτά) η απορρόφηση γίνεται κυρίως με ιοντοανταλλαγή (e.g., Misaelides et al. 1995, Filippidis et al. 1996, Charistos et al. 1997, Godelitsas et al. 1999, 2001, 2003, Colella & Mumpton 2000, Bish & Ming 2001, Filippidis & Kantiranis 2007). Ο ζεόλιθος τύπου-HEU, περιέχει μικρο-πόρους σε πλέγμα 10-μελών και 8-μελών δακτυλίων διαστάσεων 7,5×3,1Å, 4,6×3,6Å και 4,7×2,8Å (Baerlocher et al. 2001). Η υψηλή δεσμευτική ικανότητα των ζεόλιθων τύπου-HEU, αποτελεί τη βασική αιτία χρήσης των τόφων που περιέχουν αυτόν τον τύπο ζεόλιθου, σε πολυάριθμες και πολύμορφες περιβαλ-

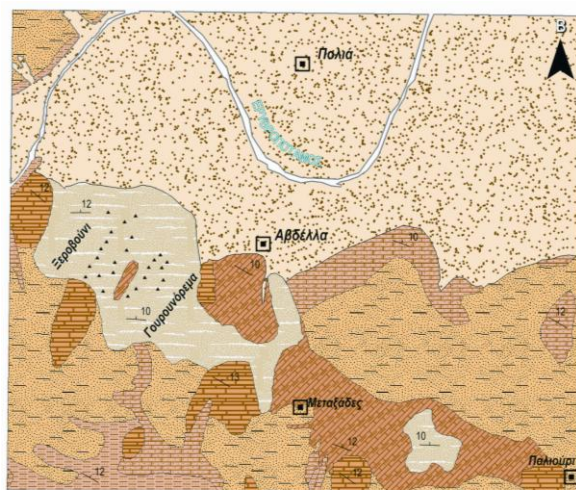
λοντικές, βιομηχανικές, γεωργικές, κτηνοτροφικές και υδατικές εφαρμογές (e.g., Tsitsishvili et al. 1992, Haidouti 1997, Tserveni-Gousi et al. 1997, Colella & Mumpton 2000, Bish & Ming 2001, Φιλιππίδης & Καντηράνης 2005, Φιλιππίδης 2007, Filippidis 2008, 2010, Filippidis et al. 2008).

Δείγματα ζεολιθικών τόφων από διαφορετικά σημεία της περιοχής Γουρουνόρεμα (Αποστολίδης 2010, Τζάμος κ.ά. 2011) και της περιοχής Ξεροβούνι (Βούτα 2009, Καλαμπαλίκη 2009, Τζάμος 2009, Tzamos et al. 2010, 2011), μελετήθηκαν ως προς την ορυκτολογική και χημική τους σύσταση, αλλά και ως προς την ικανότητα ανταλλαγής ιόντων. Η παρούσα εργασία εξετάζει τη συσχέτιση μεταξύ ορυκτολογικής και χημικής σύστασης με την ικανότητα ανταλλαγής ιόντων (δεσμευτική ικανότητα) των ζεολιθικών τόφων Γουρουνόρεματος και Ξεροβουνίου της Αβδέλλας-Μεταξάδων του Νομού Έβρου.

2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Τα ζεολιθικά ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα της περιοχής Αβδέλλας-Μεταξάδων είναι Άνω Ηωκαινικής ηλικίας, ανήκουν στην Τριτογενή μολασική λεκάνη της Ορεστιάδας και έχουν μέγιστο βάθος ενταφιασμού τα 1500 m (Tsolis-Katagas & Katagas 1990, Tsirambides et al. 1993, Koutles et al. 1995). Οι Ηωκαινικοί σχηματισμοί, από τη βάση προς την επιφάνεια, αποτελούνται από: α) Λατυποκροκαλοπαγή πάχους 10-15 m, που υπέρκεινται ασυνεχώς της μεταμορφωμένης βάσης που αποτελείται από φυλλίτη, γνεύσιο, αμφιβολίτη και χαλαζίτη ή ανδεσίτη, β) Τεφρούς ιλυόλιθους πάχους περίπου 100 m με ενστρώσεις φαμμίτων και μαργών, γ) Ψαμμίτες πάχους 40-50 m ποικίλης κοκκομετρίας, με ενστρώσεις πολύ λεπτού αργίλου, δ) Λευκότεφρους, κίτρινους ή πράσινους ζεολιθικούς τόφους, ορατού πάχους 20-25 m, που αποτέθηκαν σε συμφωνία με τους ψαμμίτες ή ιλυόλιθους. Ένα λεπτό στρώμα από τεφρή μάργα είναι ευδιάκριτο στο ανώτερο μέρος των τόφων και ε) Λευκοκίτρινους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους πάχους 5-10 m και ασβεστόλιθους πάχους περίπου 30 m πλούσιους σε απολιθώματα (Tsirambides et al. 1993, Koutles et al. 1995).

Τα λευκά έως ανοιχτότερα ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα της Αβδέλλας-Μεταξάδων εμφανίζουν γεώδη λάμψη. Λεπτομερής παρατήρηση δείχνει ότι τα ανώτερα και κατώτερα στρώματα της ηφαιστειοκλαστικής ακολουθίας παρουσιάζουν μαζοειδή έως παράλληλη στρωμάτωση στο κέντρο (Tsirambides et al. 1993). Τα δείγματα της παρούσας εργασίας πάρθηκαν από τις περιοχές του Γουρουνορέματος, όπου για περισσότε-



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- ΠΟΤΑΜΟΧΕΡΣΑΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΟΛΟΚΑΙΝΟΥ
- ΙΖΗΜΑΤΑ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟΥ-ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟΥ
- ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΗΩΚΑΙΝΟΥ
- ΜΑΡΓΑΪΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟΥ
- ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟΙ ΤΟΦΟΙ ΗΩΚΑΙΝΟΥ
- ΨΑΜΜΙΤΕΣ ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟΥ
- ΙΛΥΟΛΙΘΟΙ ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟΥ
- ΠΑΡΑΤΑΞΕΙΣ/ΚΛΙΣΕΙΣ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ
- ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ
- ΟΙΚΙΣΜΟΣ



Σχήμα 1. Γεωλογία της περιοχής μελέτης (Koutles et al. 1995) και θέσεις δειγματοληψίας.

ρο από 100 χρόνια γίνονταν εξόρυξη των ζεολιθοφόρων τόφων για χρήση στις κτιριακές κατασκευές της ευρύτερης περιοχής και του Ξεροβουνίου (Σχ. 1).

3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης και των πετρογραφικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων παρασκευάστηκαν λεπτές τομές οι οποίες μελετήθηκαν σε πολωτικό μικροσκόπιο.

Επίσης όλα τα δείγματα μετά από κονιοποίηση εξετάστηκαν με τη μέθοδο XRPD (X-Ray Powder Diffraction). Ο τρόπος παρασκευής τυχαία προσανατολισμένων δειγμάτων, καθώς και οι συνθήκες σάρωσης ήταν ακριβώς οι ίδιες, σε όλα τα δείγματα. Χρησιμοποιήθηκε ακτινοβολία $\text{CuK}\alpha$ με φίλτρο Ni και περιθλασίμετρο Philips, με συνθήκες λειτουργίας 35 kV και 25 mA, ταχύτητα γωνιομέτρου $1,2^\circ/\text{min}$ και περιοχή σάρωσης $3-63^\circ$ και $3-23^\circ$ 2θ. Ο ορυκτολογικός ημιποσοτικός προσδιορισμός των δειγμάτων έγινε με βάση τις απαριθμήσεις (counts) συγκεκριμένων ανακλάσεων, την πυκνότητα και το συντελεστή απορρόφησης μάζας των ορυκτών που προσδιορίστηκαν στην ακτινοβολία $\text{CuK}\alpha$ (Kantiranis et al. 2004, Filippidis et al. 2007). Η διάκριση και ο προσδιορισμός των αργλικών ορυκτών έγινε με εφαρμογή της μεθόδου XRD σε ειδικά παρασκευάσματα: α) Παράλληλου προσανατολισμού (Oriented), β) Διαποτισμού σε γλυκόλη (Glycolated) και γ) Πύρωσης στους 550°C για 2 ώρες (Heated).

Η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων (δεσμευτική ικανότητα) των ζεολιθικών τόφων προσδιορίστηκε με την μέθοδο AMAS: Ammonium Acetate Saturation (Kantiranis et al. 2004, Filippidis et al. 2007) σε δείγματα με κοκκομετρίας $<125\ \mu\text{m}$. Για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Φασματομετρίας Ατομικής Απορρόφησης (AAS: Atomic Absorption Spectroscopy).

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

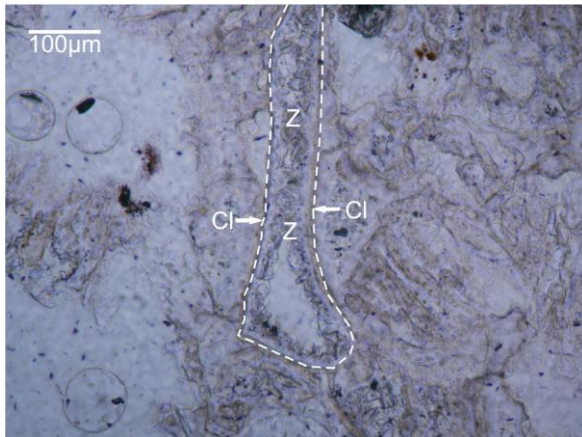
Η εξέταση των λεπτών τομών με πολωτικό μικροσκόπιο, έδειξε την παρουσία ζεόλιθου, μαρμαρυγία, σμεκτίτη, αστρίων και χαλαζία. Χαρακτηριστικά είναι τα «shards» που παρατηρούνται σε όλες τις λεπτές τομές. Τα shards στο εσωτερικό τους περιέχουν πινακοειδείς κρυστάλλους ζεόλιθου που περιβάλλονται από πολύ λεπτή ζώνη μικροκρυστάλλων σμεκτίτη (Σχ. 2-5).

Η ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση και η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων των δειγμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, ενώ η χημική σύσταση των ζεολιθικών τόφων στον Πίνακα 2.

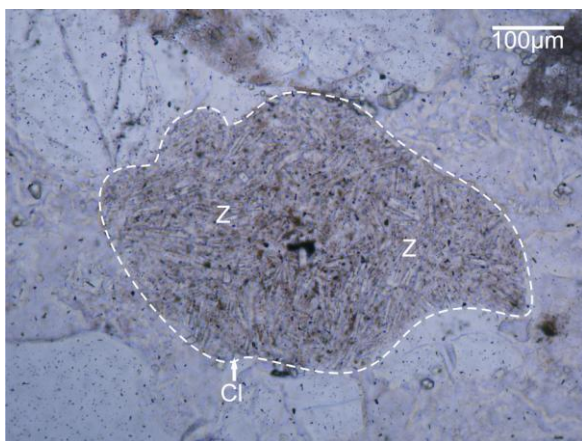
5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ημιποσοτικός ορυκτολογικός προσδιορισμός των δειγμάτων, επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα της μικροσκοπικής εξέτασης. Οι ζεολιθικοί τόφοι Αβδέλλας-Μεταξάδων περιέχουν κατά μέσο όρο 53% κ.β. (διάκμανση 29-68%) ζεόλιθο τύπου-HEU, 4% κ.β. (3-6%) μαρμαρυγία, 7% κ.β. (3-16%) σμεκτίτη, 16% κ.β. (6-40%) αστρίους, 8% κ.β. (3-26%) χαλαζία και 12% κ.β. (3-26%) χριστοβαλίτη. Το σύνολο των μικροπορωδών

ορυκτών (ζεόλιθος + μαρμαρυγίας + σμεκτίτης) κατά μέσο όρο είναι 64% κ.β. (διακύμανση 37-81%). Η σημαντική παρουσία χριστοβαλίτη οφείλεται στην αρχική σύσταση του ηφαιστειακού υλικού και στα ενδοπορώδη διαλύματα και σημαίνει ότι ο σχηματισμός του ζεόλιθου και του χριστοβαλίτη έγινε σε θερμοκρασίες από επιφανειακές έως <70 °C (Tsirambides et al. 1993). Η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων των ζεολιθικών τόφων της Αβδέλλας-Μεταξάδων κατά μέσο όρο είναι 143 meq/100g (διακύμανση 79-183 meq/100g) και αποδίδεται κυρίως στην παρουσία του ζεόλιθου τύπου-HEU και πολύ λιγότερο στα υπόλοιπα μικροπορώδη ορυκτά (μαρμαρυγίας και σμεκτίτης).



Σχήμα 2. Φωτογραφία πολωτικού μικροσκοπίου (με πολωτή). Z=Ζεόλιθος, Cl=Σμεκτίτης. Shard (ασυνεχής γραμμή): Κρύσταλλοι ζεόλιθου περιβάλλονται από πολύ λεπτή ζώνη μικροκρυστάλλων σμεκτίτη.



Σχήμα 3. Φωτογραφία πολωτικού μικροσκοπίου (με πολωτή). Z=Ζεόλιθος, Cl=Σμεκτίτης. Shard (ασυνεχής γραμμή): Κρύσταλλοι ζεόλιθου περιβάλλονται από πολύ λεπτή ζώνη μικροκρυστάλλων σμεκτίτη.

Τα αποτελέσματα του ημιποσοτικού ορυκτολογικού προσδιορισμού και της ικανότητας ανταλλαγής ιόντων βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με παλαιότερες μετρήσεις που έχουν γίνει στους ζεολιθικούς τόφους της περιοχής Μεταξάδων, όπου κατά μέσο όρο παρουσιάζουν περιεκτικότητα 57% κ.β. σε ζεόλιθο και ικανότητα ανταλλαγής ιόντων 141 meq/100g. (e.g., Tsirambides et al. 1989, 1993, Τσιραμπίδης 1991, Filippidis 1993, Koutles et al. 1995, Misaelides et al. 1995, Haidouti 1997, Tserveni-Gousi et al. 1997, Φιλιππίδης και Καντηράνης 2005, Kantiranis et al.

2006, Filippidis et al. 2007, Βούτα 2009, Καλαμπάλικη 2009, Τζάμος 2009, Αποστολίδης 2010, Tzamos et al. 2010, 2011, Τζάμος κ.ά. 2011). Ο ζεόλιθος της Αβδέλλας-Μεταξάδων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιβαλλοντικές, αγροτικές, υδατικές και βιομηχανικές εφαρμογές, αλλά, λόγω της περιεκτικότητάς του σε κλινοπτιλόλιθο (53% κ.β.) και της ικανότητας ανταλλαγής ιόντων (143 meq/100g), θα ήταν ιδιαίτερα δύσκολη η διακίνησή του στην αγορά, με τη σκέψη ότι σήμερα οι φυσικοί ζεόλιθοι που διακινούνται στην εθνική και διεθνή αγορά είναι πολύ καλύτερης ποιότητας, με περιεκτικότητες σε κλινοπτιλόλιθο από 75 έως 97% κ.β. και ικανότητα ανταλλαγής ιόντων από 147 έως 226 meq/100g.

Πίνακας 1. Ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) και ικανότητα ανταλλαγής ιόντων (meq/100g) των ζεολιθικών τόφων Αβδέλλας-Μεταξάδων Έβρου.

	Z	M	Σ	A	X	Χρ	ΣΥΝ	Σ.Μ.Ο.	I.A.I.
G1	40	3	7	20	19	11	100	50	109
G2	57	3	8	9	6	17	100	68	153
G3	39	4	6	33	6	12	100	49	106
G4	67	3	6	12	3	9	100	76	177
G5	61	5	7	10	7	10	100	73	163
G6	31	3	16	20	11	19	100	50	95
G7	53	5	3	10	5	24	100	61	139
G8	66	5	3	6	4	16	100	74	172
G9	50	4	9	15	9	13	100	63	136
G10	62	3	3	14	10	8	100	68	161
X1	42	3	4	40	8	3	100	49	111
X2	62	3	6	16	3	10	100	71	164
X3	52	4	11	18	4	11	100	67	143
X4	67	3	5	12	3	10	100	75	176
X5	59	4	5	9	6	17	100	68	156
X6	29	4	4	29	26	8	100	37	79
X7	68	3	10	6	5	8	100	81	183
X8	60	3	6	17	5	9	100	69	159
X9	55	5	8	16	8	8	100	68	148
X10	46	6	9	19	10	10	100	61	127
X11	34	3	3	19	15	26	100	40	90
X12	64	3	7	9	5	12	100	74	170
X13	63	4	6	14	3	10	100	73	167
X14	49	5	8	18	10	10	100	62	133
X15	58	3	3	18	9	9	100	64	151
M.O.	53	4	7	16	8	12	100	64	143

Z=Ζεόλιθος τύπου-HEU, M=Μαρμαρυγίας, Σ=Σμεκτίτης, A=Αστριοί, X=Χαλαζίας, Χρ=Χριστοβαλίτης, ΣΥΝ: Σύνολο, Σ.Μ.Ο.=Σύνολο Μικροπορώδων ορυκτών: Ζεόλιθος τύπου-HEU+Μαρμαρυγίας+Σμεκτίτης, I.A.I.=Ικανότητα Ανταλλαγής Ιόντων, Μ.Ο.=Μέσος Όρος

Η μέση χημική σύσταση των ζεολιθικών τόφων Αβδέλλας-Μεταξάδων είναι: 72,3% κ.β. SiO₂, 0,1% κ.β. TiO₂, 11,8% κ.β. Al₂O₃, 1,2% κ.β. Fe₂O₃, 0,1% κ.β. MnO, 1,1% κ.β. MgO, 2,8% κ.β. CaO, 1,2% κ.β. Na₂O, 1,9% κ.β. K₂O και 7,8% κ.β. απώλεια πύρωσης.

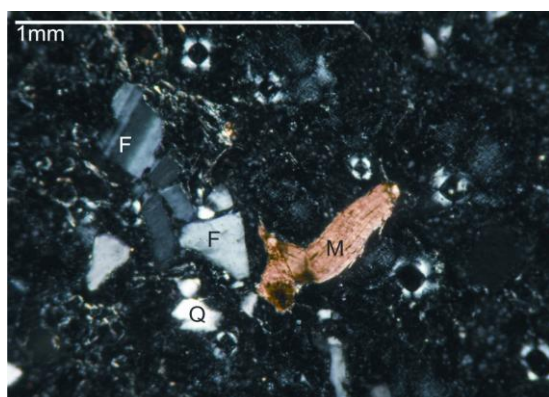
Συγκρίνοντας την ικανότητα ανταλλαγής ιόντων με τα ορυκτολογικά και χημικά χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων δειγμάτων, προκύπτει πως υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της ικανότητας ανταλλαγής ιόντων και την περιεκτικότητα σε: α) ζεόλιθο, β) μικροπορώδη

Πίνακας 2. Χημική σύσταση(% κ.β.) των ζεολιθικών τόφων Αβδέλλας-Μεταξάδων Έβρου.

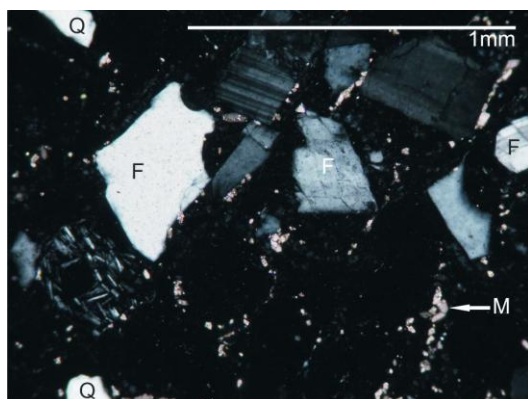
Δείγμα	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3 tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ΑΠ ¹	Σύνολο
G2	73,42	0,07	10,89	0,94	0,09	0,97	2,90	0,73	1,35	8,70	100,06
G3	71,18	0,09	13,21	1,34	0,08	1,03	2,44	1,96	2,89	6,07	100,29
G4	70,17	0,07	12,31	0,94	0,11	0,95	3,35	0,90	1,69	9,60	100,09
G6	74,05	0,08	11,55	1,24	0,06	1,19	2,15	1,35	1,60	6,87	100,14
G8	72,77	0,10	10,67	1,21	0,11	1,08	3,14	0,55	1,46	8,94	100,03
G9	72,59	0,09	11,46	1,17	0,09	1,11	2,62	0,92	2,03	8,01	100,09
X1	69,24	0,08	14,57	1,25	0,09	0,89	2,75	2,47	3,00	6,07	100,41
X3	69,91	0,10	12,81	1,30	0,09	1,22	2,89	1,21	1,98	8,63	100,14
X4	70,63	0,07	12,12	0,92	0,11	0,92	3,33	0,90	1,69	9,42	100,11
X6	76,58	0,09	10,86	1,29	0,06	0,92	1,95	1,78	2,32	4,44	100,29
X7	70,08	0,08	12,00	0,94	0,11	1,08	3,36	0,57	1,35	10,46	100,03
X10	71,18	0,13	12,20	1,68	0,09	1,39	2,63	1,27	2,07	7,52	100,16
X11	79,42	0,07	9,22	1,01	0,06	0,76	2,07	1,35	1,38	4,88	100,22
X12	71,64	0,07	11,59	0,95	0,10	0,98	3,23	0,79	1,32	9,40	100,07
X14	71,62	0,11	12,04	1,46	0,09	1,24	2,74	1,24	1,91	7,71	100,16
Μέσος Όρος	72,30	0,09	11,83	1,18	0,09	1,05	2,77	1,20	1,87	7,78	100,16

¹ ΑΠ: Απώλεια πύρωσης

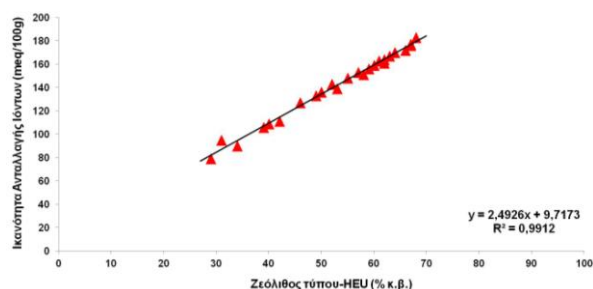
ορυκτά, γ) CaO και δ) απώλεια πύρωσης. Οι συντελεστές συσχέτισης βρέθηκαν να είναι από 0,99 για την πρώτη περίπτωση μέχρι 0,93 για την τέταρτη περίπτωση (Σχ. 6-9). Αντίθετα, δεν βρέθηκε συσχέτιση με την περιεκτικότητα σε μαρμαρυγία και αργιλικά ορυκτά, πιθανόν εξαιτίας της μικρής % κ.β. συμμετοχής τους περιεκτικότητας στα εξεταζόμενα δείγματα.



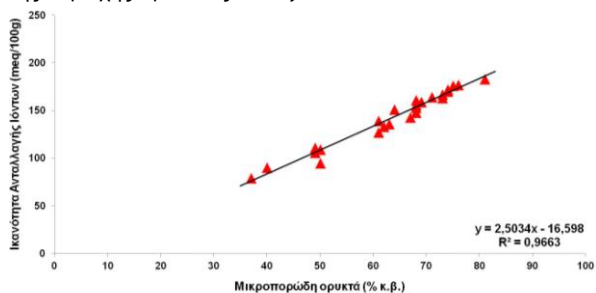
Σχήμα 4. Φωτογραφία πολωτικού μικροσκοπίου (με πολωτή και αναλυτή). Q=Χαλαζίας, M=Μαρμαρυγίας, F=Άστροιο.



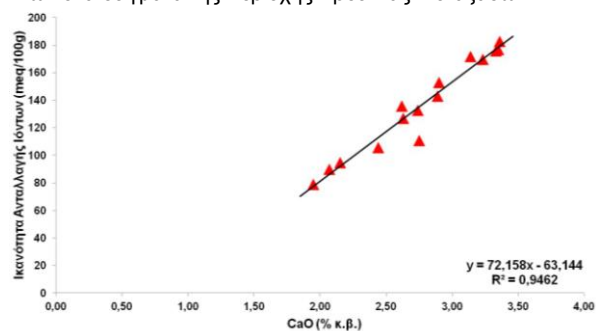
Σχήμα 5. Φωτογραφία πολωτικού μικροσκοπίου (με πολωτή και αναλυτή). Q=Χαλαζίας, F=Άστροιο.



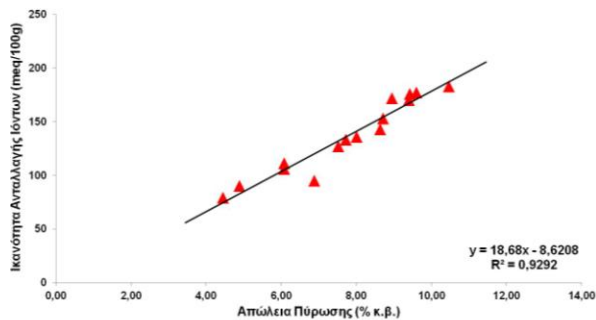
Σχήμα 6. Συσχέτιση της ικανότητας ανταλλαγής ιόντων με το ποσοστό συμμετοχής του ζεόλιθου τύπου-HEU στα δείγματα της περιοχής Αβδέλλας-Μεταξάδων.



Σχήμα 7. Συσχέτιση της ικανότητας ανταλλαγής ιόντων με το ποσοστό συμμετοχής του συνόλου των μικροπορώδων ορυκτών στα δείγματα της περιοχής Αβδέλλας-Μεταξάδων.



Σχήμα 8. Συσχέτιση της ικανότητας ανταλλαγής ιόντων με το ποσοστό του CaO (% κ.β.) στα δείγματα της περιοχής Αβδέλλας-Μεταξάδων.



Σχήμα 9. Συσχέτιση της ικανότητας ανταλλαγής ιόντων με το ποσοστό της απώλειας πύρωσης (% κ.β.) στα δείγματα της περιοχής Αβδέλλας-Μεταξάδων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αποστολίδης Ν.Α. 2010. Ορυκτολογία και δεσμευτική ικανότητα των ζεολιθοφόρων σχηματισμών Βορείου Γουρουνόρεματος (Αβδέλλα Έβρου) και πιθανές περιβαλλοντικές εφαρμογές. Διατριβή Ειδικεύσεως, Τμήμα Γεωλογίας, ΣΘΕ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 29ρ.
- Βούτα Σ. 2009. Ορυκτολογία και δεσμευτική ικανότητα ζεόλιθου Βορείου Ξεροβουνίου (Αβδέλλα Έβρου) και πιθανές περιβαλλοντικές εφαρμογές. Διατριβή Ειδικεύσεως, Τμήμα Γεωλογίας, ΣΘΕ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 29 σελ.
- Καλαμπαλίκη Σ. 2009. Ορυκτολογία και δεσμευτική ικανότητα ζεόλιθου Κεντρικού Ξεροβουνίου (Αβδέλλα Έβρου) και πιθανές περιβαλλοντικές εφαρμογές. Διατριβή Ειδικεύσεως, Τμήμα Γεωλογίας, ΣΘΕ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 35 σελ.
- Τζάμος Ε. 2009. Ορυκτολογία και δεσμευτική ικανότητα ζεόλιθου Νοτίου Ξεροβουνίου (Αβδέλλα Έβρου) και πιθανές περιβαλλοντικές εφαρμογές. Διατριβή Ειδικεύσεως, Τμήμα Γεωλογίας, ΣΘΕ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 42 σελ.
- Τζάμος Ε., Αποστολίδης Ν., Παραγιός Ι., Καντηράνης Ν., Παπαστέργιος Γ., Φιλίππιδης Α., Σικαλίδης Κ. και Τσιραμπίδης Α. 2011. Ικανότητα ανταλλαγής ιόντων ζεολιθικών τόφων Γουρουνόρεματος (Αβδέλλα Έβρου) και πιθανές περιβαλλοντικές εφαρμογές. Πρακτικά 4^{ου} Περιβαλλοντικού Συνεδρίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, 8σ.
- Τσιραμπίδης Α.Ε. 1991. Μελέτη των ζεολιθοφόρων ηφαιστειοκλαστικών ιζημάτων των Μεταξάδων Έβρου. Ορυκτός Πλούτος, 72, 41-48.
- Φιλίππιδης Α. 2007. Ζεόλιθοι Δήμου Τριγώνου του Νομού Έβρου στη βιομηχανική, αγροτική, κτηνοτροφική και περιβαλλοντική τεχνολογία. Πρακτικά Ημερίδας: Δυνατότητες Ανάπτυξης στο Βόρειο Έβρο, Πετρωτά, 89-107.
- Φιλίππιδης Α. και Καντηράνης Ν. 2005. Βιομηχανικές, αγροτικές, κτηνοτροφικές και περιβαλλοντικές χρήσεις των φυσικών ζεόλιθων της Θράκης. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 37, 90-101.
- Baerlocher, Ch., Meier, W.M. and Olson, D.H.. Atlas of Zeolite Framework Types. Elsevier, Amsterdam.
- Bish D.L. and Ming D.W. 2001. Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications, (ed. Mineralogical Society of America), Washington DC, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, vol. 4
- Charistos D., Godelitsas A., Tspis C., Sofoniou M., Dwyer J., Manos G., Filippidis A. and Triantafyllidis C. 1997. Interaction of natrolite and thomsonite intergrowths with aqueous solutions of different initial pH values at 25° C in the presence of KCl: Reaction mechanisms. Applied Geochemistry, 12, 693-703.
- Colella C. and Mumpston F.A. 2000. Natural Zeolites for the Third Millennium. De Frede Editore, Napoli.
- Filippidis A. 1993. New find of moissanite in the Metaxades zeolite-bearing volcanoclastic rocks, Thrace County, Greece. Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte, 11, 521-527.
- Filippidis A. 2008. Treatment and recycling of municipal and industrial waste waters using Hellenic Natural Zeolite. AQUA 2008, Proc. 3rd Intern. Conf. Water Science and Technology, Athens, 5p.
- Filippidis A. 2010. Environmental, industrial and agricultural applications of Hellenic Natural Zeolite. Hellenic Journal of Geosciences, 45, 91-100.
- Filippidis A. and Kantiranis N. 2007. Experimental neutralization of lake and stream waters from N. Greece using domestic HEU-type rich natural zeolitic material. Desalination, 213, 47-55.
- Filippidis A., Godelitsas A., Charistos D., Misaelides P. and Kassoli-Fournaraki A. 1996. The chemical behavior of natural zeolites in aqueous environments: Interactions between low-silica zeolites and 1M NaCl solutions of different initial pH-values. Applied Clay Science, 11, 199-209.
- Filippidis A., Kantiranis N., Stamatakis M., Drakoulis A. and Tzamos E. 2007. The cation exchange capacity of the Greek zeolitic rocks. Bull. Geol. Soc. Greece, 40(2), 723-735.
- Filippidis A., Apostolidis N., Paragios I. and Filippidis S. 2008. Zeolites clean up. Industrial Minerals, April, 68-71.
- Godelitsas A., Charistos D., Dwyer J., Tspis C., Filippidis A., Hatzidimitriou A. and Pavlidou E. 1999. Copper (II)-loaded HEU-type zeolite crystals: characterization and evidence of surface complexation with N,N-diethyldithiocarbamate anions. Microporous and Mesoporous Materials, 33, 77-87.
- Godelitsas A., Charistos D., Tspis A., Tspis C., Filippidis A., Triantafyllidis C., Manos G. and Siapakas D. 2001. Characterisation of zeolitic materials with a HEU-type structure modified by transition metal elements: Definition of acid sites in Nickel-loaded crystals in the light of experimental and quantum-chemical results. Chemistry European Journal, 7(17), 3705-3721.
- Godelitsas A., Charistos D., Tspis C., Misaelides P., Filippidis A. and Schindler M. 2003. Heterostructures patterned on aluminosilicate microporous substrates: Crystallisation of cobalt (III) tris(N,N-diethyldithiocarbamate) on the surface of HEU-type zeolite. Microporous and Mesoporous Materials, 61, 69-77.
- Haidouti C. 1997. Inactivation of mercury in contaminated soils using natural zeolites. The Science of the Total Environment, 208, 105-109.
- Kantiranis N., Stamatakis M., Filippidis A. and Squires C. 2004. The uptake ability of the clinoptilolitic tuffs of Samos Island, Greece. Bull. Geol. Soc. Greece, 36(1), 89-96.
- Kantiranis N., Chrissafis C., Filippidis A. and Paraskevopoulos K. 2006. Thermal distinction of HEU-type mineral phases contained in Greek zeolite-rich volcanoclastic tuffs. European Journal of Mineralogy, 18(4), 509-516.
- Koutles Th., Kassoli-Fournaraki A., Filippidis A. and Tsirambides A. 1995. Geology and geochemistry of the Eocene zeolitic-bearing volcanoclastic sediments of Metaxades, Thrace, Greece. Estudios Geologicos, 51, 19-27.
- Misaelides P., Godelitsas A., Filippidis A., Charistos D. and Anousis I. 1995. Thorium and uranium uptake by natural zeolitic materials. The Science of the Total Environment, 173/174, 237-246.
- Tserveni-Gousi A.S., Yannakopoulos A.L., Katsaounis N.K., Filippidis A. and Kassoli-Fournaraki A. 1997. Some interior egg characteristics as influenced by addition of Greek clinoptilolitic rock material in the hen diet. Archiv fur Geflugelkunde, 61(6), 291-296.

- Tsirambides A., Kassoli-Fournaraki A., Filippidis A. and Soldatos K. 1989. Preliminary results on clinoptilolite-containing volcanoclastic sediments from Metaxades, NE Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 23(2), 451-460.
- Tsirambides A., Filippidis A. and Kassoli-Fournaraki A. 1993. Zeolitic alteration of Eocene volcanoclastic sediments at Metaxades, Thrace, Greece. *Applied Clay Science*, 7, 509-526.
- Tsitsishvili G.V., Andronikashvili T.G., Kirov G.N. and Filizova L.D. 1992. *Natural Zeolites*. Ellis Horwood Ltd, Chichester, West Sussex, U.K.
- Tsolis-Katagas P. and Katagas C. 1990. Zeolitic diagenesis of Oligocene pyroclastic rocks of the Metaxades area, Thrace, Greece. *Mineralogical Magazine*, 54, 95-103.
- Tzamos E., Filippidis A., Kantiranis N., Sikalidis C., Tsirambides A., Papastergios G. and Vogiatzis D. 2010. Uptake ability of zeolitic rock from South Xerovouni, Avdella, Evros, Hellas. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 43(5), 2762-2772.
- Tzamos E., Kantiranis N., Papastergios G., Vogiatzis D., Filippidis A. and Sikalidis C. 2011. Ammonium exchange capacity of the Xerovouni zeolitic tuffs, Avdella area, Evros Prefecture, Greece. *Clay Minerals*, 46, 179-187.