



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Γ. ΓΚΟΥΤΖΗΚΩΣΤΑΣ
ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ Κ. ΚΕΧΑΓΙΑΣ
ΚΥΡΙΑΚΟΣ Π. ΟΡΦΑΝΟΣ

ΧΡΗΣΗ ΖΕΟΛΙΘΙΚΩΝ ΤΟΦΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2014

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Γ. ΓΚΟΥΤΖΗΚΩΣΤΑΣ
ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ Κ. ΚΕΧΑΓΙΑΣ
ΚΥΡΙΑΚΟΣ Π. ΟΡΦΑΝΟΣ

ΧΡΗΣΗ ΖΕΟΛΙΘΙΚΩΝ ΤΟΦΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Καθηγητής Ανέστης Φιλιππίδης

© Δημήτριος Γ. Γκουτζηκώστας, Ελευθέριος Κ. Κεχαγιάς, Κυριάκος Π. Ορφανός,
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2014
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΧΡΗΣΗ ΖΕΟΛΙΘΙΚΩΝ ΤΟΦΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Στους δικούς μας ανθρώπους
Που είναι πάντα δίπλα μας
Δημήτρης – Κυριάκος – Λευτέρης

Στον Κυριάκο και την Ελένη, τα παιδιά μου,
Που η ζωή τώρα ανοίγεται μπροστά τους.
Λευτέρης Κεχαγιάς

Στην οικογένειά μου, για την υποστήριξη και
την υπομονή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.
Κυριάκος Ορφανός

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Περιεχόμενα	1
1. Εισαγωγή	2
1.1. Ανάθεση πτυχιακής εργασίας	2
1.2. Αντικείμενο και σκοπός της πτυχιακής εργασίας	2
1.3. Συλλογή και επεξεργασία στοιχείων	2
1.4. Δομή της πτυχιακής εργασίας	2
1.5. Ευχαριστίες	3
2. Ζεόλιθοι – Ζεολιθικοί Τόφοι	4
2.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των ζεολιθικών τόφων	4
2.2. Γεωγραφική κατανομή των ζεολιθικών τόφων	5
2.2.1. Παγκόσμια	5
2.2.2. Ελλάδα	5
2.3. Είδη ζεολίθων	8
2.4. Συνθετικοί ζεόλιθοι	8
2.5. Φυσικοί ζεόλιθοι	8
2.6. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των ζεολίθων	10
2.6.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες	10
2.6.2. Χαρακτηριστικά ζεολίθων	10
2.6.3. Σχηματισμός ζεολίθων	11
2.6.4. Κρυσταλλική δομή ζεολίθων	11
2.7. Διαφορές συνθετικών και φυσικών ζεολίθων	11
2.8. Μορφές ζεολιθικών τόφων για χρήση	12
2.9. Οι ζεολιθικοί τόφοι της Νήσου Σάμου	12
2.10. Ο Ελληνικός Φυσικός Ζεόλιθος (ΕΛΦΥΖΕ)	13
3. Εφαρμογές των ζεολιθικών τόφων	15
3.1. Υλικά καθαρισμού λυμάτων και υγρών αποβλήτων	15
3.2. Εξυγίανση και οξυγόνωση υδάτινων οικοσυστημάτων	16
3.3. Βιομηχανία	16
3.4. Κτηνοτροφία-ζωοτροφές	17
4. Χρήση των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία	18
4.1. Γενικά	18
4.2. Πλεονεκτήματα από τη χρήση των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία	18
4.3. Αποτελέσματα ερευνών	19
4.3.1. Εφαρμογές για την αύξηση της συγκράτησης νερού	19
4.3.2. Εφαρμογές για την ελάττωση απαιτούμενων λιπασμάτων	19
4.3.3. Εφαρμογές για τη βελτίωση εδαφών-υδάτων και ρύθμιση του pH	22
4.3.4. Εφαρμογές για την αύξηση της παραγωγής (εκτός Ελλάδας)	24
4.3.5. Εφαρμογές για την αύξηση της παραγωγής (εντός Ελλάδας)	38
4.4. Σχέδια για την αποκατάσταση λιγνιτορυχείων	39
4.5. Ματιά στο μέλλον: Καλλιέργειες στο διάστημα και σε άλλους πλανήτες	41
5. Συμπεράσματα	42
5.1. Σύνοψη	42
5.2. Επιφυλάξεις και προβληματισμοί για τη χρήση των ζεολιθικών τόφων	43
6. Βιβλιογραφία	44
6.1. Ελληνόγλωσση	44
6.2. Ξενόγλωσση	46
6.3. Ηλεκτρονική	51

1. Εισαγωγή

1.1. Ανάθεση πτυχιακής εργασίας.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Η ανάθεσή της έγινε από τον Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος και ειδικότερα από τον Καθηγητή Ορυκτολογίας-Κοιτασματολογίας κ. Ανέστη Φιλιππίδη.

1.2. Αντικείμενο και σκοπός της πτυχιακής εργασίας.

Αντικείμενο της εργασίας μας είναι η συγκέντρωση εφαρμογών των ζεολιθικών τόφων στον πρωτογενή τομέα (γεωργία). Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί πως παρά το γεγονός ότι εκτεταμένες έρευνες για τη χρήση των ζεολιθικών τόφων διεξάγονται παγκοσμίως από τη δεκαετία του 1970 και μετά, στην ελληνική βιβλιογραφία δεν υπάρχουν, έως σήμερα, συνολικά τα αποτελέσματα των ερευνών/πειραμάτων αυτών. Κατά συνέπεια, κύριος σκοπός της εργασίας είναι η συλλογή στοιχείων από εφαρμογές των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία, για την δημιουργία μιας πρώτης βάσης δεδομένων.

1.3. Συλλογή και επεξεργασία στοιχείων.

Για την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη ηλεκτρονική αναζήτηση σε δημοσιεύσεις ερευνητών από πλήθος ιδρυμάτων και πανεπιστημίων ανά την υφήλιο. Αναζητήθηκαν έρευνες με κατά το δυνατόν ομοιόμορφη γεωγραφική κατανομή, ενώ ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε σε μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην Ελλάδα. Συλλογή στοιχείων από το ύπαιθρο ή εκτέλεση πειραμάτων σε καλλιέργειες ή θερμοκήπια δεν πραγματοποιήθηκαν, αφού δεν ήταν αυτός ο σκοπός της πτυχιακής μας εργασίας.

1.4. Δομή της πτυχιακής εργασίας.

Η πτυχιακή εργασία αποτελείται, μαζί με το παρόν, από 6 συνολικά κεφάλαια.

Στο 2^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ζεόλιθοι – ζεολιθικοί τόφοι ως βιομηχανικό ορυκτό και πέτρωμα, τα χαρακτηριστικά τους, οι φυσικές και χημικές τους ιδιότητες, οι περιοχές εντός της ελληνικής επικράτειας στις οποίες έχουν εντοπισθεί, αλλά και οι μορφές στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθούν.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική αναφορά στις χρήσεις τους εκτός του τομέα της πρωτογενούς παραγωγής.

Στο 4^ο κεφάλαιο, πραγματεύεται τη χρήση των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία. Εκεί παρουσιάζονται συγκεντρωμένα αποτελέσματα ερευνών που πραγματοποιήθηκαν είτε σε εργαστήρια είτε σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Η βιβλιογραφική αναζήτηση μας κατέδειξε πως πανεπιστημιακά ιδρύματα και στις 5 ηπείρους διεξήγαγαν εκτενείς έρευνες σε πληθώρα καλλιεργήσιμων φυτών, όπως λουλούδια, λαχανικά και φρούτα. Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων επιλέχθηκε η γεωγραφική κατανομή, ως προσφορότερη μέθοδος.

Στο 5^ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε από την έρευνά μας. Επιπρόσθετα, σε αυτό καταγράφονται και προβληματισμοί σχετικά με πιθανές επιπλοκές από τη λανθασμένη χρήση των ζεολιθικών τόφων.

Η πτυχιακή μας εργασία ολοκληρώνεται με το 6^ο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής αναφοράς. Σε αυτό παρατίθεται λίστα με Ελληνόγλωσσες και Ξενόγλωσσες επιστημονικές εργασίες-δημοσιεύσεις και ιστοσελίδες του διαδικτύου, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν κατά το διάστημα εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας.

1.5. Ευχαριστίες.

Κλείνοντας την εισαγωγή, θα θέλαμε να κάνουμε ιδιαίτερη αναφορά σε ορισμένα άτομα τα οποία μας βοήθησαν κατά την αναζήτησή μας. Αυτά ήταν: ο κ. Κ. Νικολαΐδης, γεωλόγος, προϊστάμενος τμήματος φυσικών πόρων και περιβαλλοντικών μελετών της Αναπτυξιακής Κοζάνης (ΑΝ.ΚΟ.), για τη βοήθειά του στην ορθότερη ταξινόμηση των συλλεχθέντων πληροφοριών, η κα. Σ. Χρηστίδου - Κιοσέογλου, καθηγήτρια Αγγλικής Γεωλογικής Ορολογίας στο Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., για την αναπάντεχα ευχάριστη συνδρομή της στη συλλογή βιβλιογραφίας, τον κ. Σ. Ελπέκο, πολιτικό μηχανικό, υπάλληλο της Π.Κ.Μ. και πρόεδρο ΚΩ.Δ.Υ., για την πληθώρα πληροφοριών σχετικά με τη χρήση των ζεολιθικών τόφων σε έργο στην περιοχή της λίμνης Κορώνειας και φυσικά, τον κ. Α. Φιλιππίδη, Καθηγητή Ορυκτολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., χωρίς την συνδρομή, κατανόηση και στήριξη του οποίου η εκπόνηση της παρούσης δεν θα ήταν δυνατή σε καμία περίπτωση.

Θεσσαλονίκη, Ιούνιος 2014
Δημήτριος Γ. Γκουτζηκώστας (3664)
Ελευθέριος Κ. Κεχαγιάς (3964)
Κυριάκος Π. Ορφανός (3604)

2. Ζεόλιθοι – Ζεολιθικοί Τόφοι

2.1. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των ζεολιθικών τόφων

Ο ζεόλιθος είναι ένα φυσικό πορώδες ορυκτό με τεράστια ιοντοανταλλακτική ικανότητα χάρη στην οποία μπορεί να φιλτράρει το νερό δεσμεύοντας μέταλλα και οργανικές ενώσεις. Το όνομά του το πήρε από τα αρχαία Ελληνικά, όπου ζέω σημαίνει βράζω και λίθος σημαίνει πέτρα, γιατί όταν θερμανθεί, αποβάλλει, με τη μορφή φυσαλίδων, το νερό που έχει συγκρατήσει, δίνοντας την εντύπωση ότι βράζει. Μερικοί το ονομάζουν «μαγική πέτρα». Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1756 από τον Cronsted, για την περιγραφή καλοσχηματισμένων κρυστάλλων, οι οποίοι όταν θερμαίνονται αποβάλλουν νερό και δίνουν την εντύπωση ότι βράζουν. Είναι φυσικό προϊόν με πολλές δυνατότητες χάρη στην μοναδική του κρυσταλλική δομή που παγιδεύει μέταλλα και οργανικές ενώσεις τις οποίες αποσύρει με ασφάλεια και αυτό επειδή οι ζεόλιθοι είναι από τα λίγα αρνητικά φορτισμένα προϊόντα στη φύση. Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, κυρίως στο εξωτερικό αλλά και στην Ελλάδα, οι ζεόλιθοι μπορούν να βρουν αρκετές εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Στη φύση υπάρχουν πολλά είδη φυσικού ζεόλιθου ενώ παρασκευάζονται και είδη συνθετικού (Mumpton 1984, 1985, 1999, Gottardi & Galli 1985, Tsitsishvili et al. 1992, Misaelides et al. 1995a,b, Filippidis et al. 1996, Godelitsas et al. 1996a,b, 1999, 2001, 2003, Charistos et al. 1997, Colella & Mumpton 2000, Bish & Ming 2001, Filippidis & Kantiranis 2007, Mitchell et al. 2012, Tsirambides & Filippidis 2012, Φιλιππίδης 2014).

Τα σημαντικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά για βιομηχανικές, περιβαλλοντικές, υδατικές, αγροτικές και διατροφικές χρήσεις των ζεολιθικών τόφων τύπου-HEU (κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης) είναι δέκα (10). Οι αναγκαίες προϋποθέσεις είναι οι πρώτες πέντε (1^η-5^η) και αναδεικνύονται με την πλήρη ορυκτολογική και χημική σύσταση. Οι δέκα προϋποθέσεις είναι (Φιλιππίδης & Τσιραμπίδης 2012, Φιλιππίδης 2014):

- 1^η) Ορυκτολογικά, να μην περιέχουν ινώδης ζεολίθους και άλλα ινώδη ορυκτά (Σχήμα 2). Η παρουσία ινωδών ζεολίθων (π.χ. εριονίτη, μορντενίτη, σκολεσίτη, μεσόλιθο, νατρόλιθο, ρογγιανίτη, μαζίτη, φερριερίτη) είναι απαγορευτική για τη χρήση των ζεολιθικών τόφων.
- 2^η) Ορυκτολογικά, η περιεκτικότητα σε ζεόλιθο τύπου-HEU να είναι >75 κ.β.%. Ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής του ζεόλιθου τύπου-HEU, οι ζεολιθικοί τόφοι διακρίνονται ως: α) >85% πολύ υψηλής ποιότητας, β) 85-76% υψηλής ποιότητας, γ) 75-66% μέτριας ποιότητας, δ) 65-56% χαμηλής ποιότητας, ε) <55% φτωχής ποιότητας.
- 3^η) Χημικά, τα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία να μην υπερβαίνουν τις Μέγιστες Επιτρεπτές Συγκεντρώσεις (ΜΕΣ) γεωργικών εδαφών, σύμφωνα με την Παγκόσμια, Ευρωπαϊκή και Ελληνική νομοθεσία, καθώς επίσης να μην είναι εμπλουτισμένα σε σύγκριση με τη μέση τιμή του φλοιού της Γης.
- 4^η) Ορυκτολογικά, να μην περιέχουν διογκούμενα αργιλικά ορυκτά (ποζολανική δράση).
- 5^η) Ορυκτολογικά, η περιεκτικότητα των μη μικροπορωδών ορυκτών (χαλαζίας, χριστοβαλίτης, τριδυμίτης, οπάλιος-CT, αλκαλιούχοι-άστριοι, πλαγιόκλαστα) να είναι <14% (ιδιαίτερα για διατροφικές χρήσεις η περιεκτικότητα των πολύμορφων φάσεων του διοξειδίου του πυριτίου να είναι <3%), ενώ των μικροπορωδών ορυκτών (ζεόλιθος τύπου-HEU, μαρμαρυγίας, σμεκτίτης, ιλλίτης, σελαδονίτης) >86%.
- 6^η) Τα βασικά ιοντο-ανταλλάξιμα κατιόντα στον ζεόλιθο τύπου-HEU να είναι Ca, K, Mg και Na.

7^η) Οι δεσμευτική ικανότητα (ιοντο-ανταλλακτική ικανότητα) των ζεολιθοφόρων τόφων να είναι $>160 \text{ meq}/100\text{g}$.

8^η) Η βιοδιαθεσιμότητα κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων να είναι $<1\%$ (έδαφος) και $<5\%$ (εντερικό σύστημα).

9^η) Οι κοκκομετρίες χρήσης των ζεολιθικών τόφων να λαμβάνουν υπόψη το μέγεθος των shards και το είδος της χρήσης.

10^η) Συσχέτιση κόστους, οικονομικού και περιβαλλοντικού οφέλους.

Χαμηλότερης ποιότητας ζεολιθικοί τόφοι προτείνονται για χρήσεις ως δομικό υλικό. Σήμερα, έχουν αναγνωριστεί πάρα πολλά είδη φυσικών ζεόλιθων, αλλά το κοιτασματολογικό ενδιαφέρον βρίσκεται στους ηφαιστειο-ιζηματογενείς σχηματισμούς που συνήθως περιέχουν τα είδη: Κλινοπτιλόλιθο, ευλανδίτη, ανάλκιμο, χαμπαζίτη και φιλλιψίτη. Ο χρωματισμός του ζεολιθοφόρου τόφου (Σχήμα 2.1), συνήθως αποδίδεται στη συμμετοχή αργιλικών ορυκτών, συνήθως δεν σχετίζεται με την ποιότητά του (Φιλιππίδης 2014).



Σχήμα 2.1. Ζεολιθικοί τόφοι Ελλάδας (αριστερά), Βουλγαρίας (κέντρο) και Τουρκίας (δεξιά) (Φιλιππίδης 2014).

2.2. Γεωγραφική κατανομή των ζεολιθικών τόφων

2.2.1. Παγκόσμια

Η ανακάλυψή τους ως ορυκτό, έγινε το 1756 από τον Σουηδό ορυκτολόγο Freiherr Alex Frederick Cronstedt (Polat et al. 2004). Οι ζεολιθικοί τόφοι απαντούν ως γεωλογικές εμφανίσεις σε όλο τον κόσμο, ιδίως σε πετρώματα που τμηματικά ή στο σύνολό τους έχουν ηφαιστειο-ιζηματογενή προέλευση. Έτσι εξηγείται η συχνή παρουσία τους σε γεωγραφικές περιοχές με σχετικά πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Αν και δεν έχει καθορισθεί με ακρίβεια η συνολική ποσότητα των ζεολιθικών τόφων παγκοσμίως, αυτοί απαντώνται σε όλες τις ηπείρους, με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Στο τέλος της δεκαετίας του 1950 αναγνωρίστηκαν ως το κύριο συστατικό πολυάριθμων ηφαιστειο-ιζηματογενών πετρωμάτων που είχαν εναποτεθεί σε λίμνες των δυτικών ΗΠΑ, και σε θαλάσσια ιζήματα της Ιταλίας και της Ιαπωνίας. Έκτοτε έχουν αναφερθεί ζεολιθοφόρες περιοχές σε περισσότερες από 40 χώρες, όπως στην Κούβα, τη Ρωσία, τη Νότιο Αφρική, την Ουγγαρία, τη Βουλγαρία, Τουρκία, Ελλάδα και άλλες (Gottardi & Galli 1985, Savin et al. 1993, Bish & Ming 2001, Colella & Mumpton 2000, Παπαϊωάννου 2012, Φιλιππίδης & Τσιραμπίδης 2012, Τσιραμπίδης & Φιλιππίδης 2013, Κατσιγιάννη 2014).

2.2.2. Ελλάδα

Ο ζεόλιθος «στιλβίτης» εντοπίστηκε σε φλέβες στη Βάθη του Νομού Κιλκίς, στο Κιζάρι του Νομού Ροδόπης και στη Σαμοθράκη του Νομού Έβρου (Filippidis et al. 1988, Voudouris et al. 2010, Βλάχου 2003).

Στην Ελλάδα, 55 περίπου θέσεις (Θράκη, Μήλο, Κίμωλο, Πολύαιγο, Θήρα, Σάμο) ζεολιθικών τόφων (Σχήμα 2.2, Πίνακας 2.1) περιέχουν 9 είδη ζεολίθων (κλινιππιλόλιθος-εουλανδίτης, μορντενίτης, ανάλκιμο, στιλβίτης, λομοντίτης, φιλλιψίτης, χαβαζίτης, σκολεσίτης, εριονίτης). Στη μεγάλη πλειοψηφία των θέσεων, οι ζεολιθικοί τόφοι δεν είναι εκμεταλλεύσιμοι, είτε γιατί περιέχουν χαμηλά ποσοστά ζεολίθου, είτε γιατί περιέχουν ινώδη ζεόλιθο, είτε γιατί τα αποθέματα είναι μικρά. Δυστυχώς, η χώρα μας δεν έχει εκμετάλλευση ζεολιθικών τόφων, εισάγει όμως ετησίως περίπου 200 χιλιάδες τόνους, κυρίως από την Τουρκία, Βουλγαρία, Ρουμανία, Σερβία, Σλοβακία, κ.α.



Σχήμα 2.2. Θέσεις ζεολιθικών τόφων στην Ελλάδα (Filippidis et al. 2007).

Στη Νήσο Σάμο εντοπίστηκαν 8 θέσεις ζεολιθικών τόφων που περιέχουν 6 είδη ζεολίθων (κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης, μορντενίτης, ανάλκιμο, φιλλιψίτης, χαβαζίτης, εριονίτης). Κατά μέσο όρο καταγράφηκαν οι εξής περιεκτικότητες: 75% (διακύμανση 34-91%) κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης, 64% μορντενίτης, 62% (27-72%) ανάλκιμο, 66% χαβαζίτης, 80% (78-81%) κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης + μορντενίτης, 55% κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης + ανάλκιμο και 47% κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης + φιλλιψίτης (Stamatakis 1989a,b, Pe-Piper & Tsolis-Katagas 1991, Hall & Stamatakis 1992, Stamatakis et al. 1996, Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2002, Kantiranis et al. 2004, 2006, 2010, 2011, Filippidis et al. 2005, 2007).

Στο Νομό κυκλάδων (Μήλο, Κίμωλο, Πολύαιγο και Θήρα) εντοπίστηκαν 8 θέσεις ζεολιθικών τόφων που περιέχουν 3 είδη ζεολίθων (κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης, μορντενίτης, ανάλκιμο). Κατά μέσο όρο καταγράφηκαν οι εξής περιεκτικότητες: 46% (33-70%) κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης, 45% (23-75%) μορντενίτης και 62% (53-72%) κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης + μορντενίτης (Tsolis-Katagas & katagas 1989, Hall et al. 1994, Kitsopoulos & Dunham 1996, 1998, Stamatakis et al. 1996, Kitsopoulos 1997a,b, 1999, 2001, Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2002, Filippidis et al. 2007).

Στο Νομό Ροδόπης εντοπίστηκαν 9 θέσεις ζεολιθικών τόφων που περιέχουν 6 είδη ζεολίθων (κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης, μορντενίτης, ανάλκιμο, λομοντίτης, στιλβίτης, σκολεσίτης). Κατά μέσο όρο καταγράφηκαν οι εξής περιεκτικότητες: 53% (44-60%) κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης + μορντενίτης και 17% (16-18%) ανάλκιμο (Marantos et al. 1997, Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2002, Φιλιππίδης & Καντηράνης 2005, Filippidis et al. 2007).

Πίνακας 2.1. Ορισμένες εμφανίσεις ζεολιθοφόρων τόφων της Ελλάδας (Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2000).

Περιοχή	Είδος Ζεόλιθου	Μέγιστη περιεκτικότητα (%)
ΝΟΜΟΣ ΕΒΡΟΥ		
Πετρωτά	Κλινοπτιλόλιθος	81
	Μορντενίτης	45
Πεντάλοφος	Κλινοπτιλόλιθος	90
Μεταξάδες	Κλινοπτιλόλιθος	75
	Χουλιανδίτης	50
	Μορντενίτης	α
Δαδιά-Λευκίμμη-Φέρρες	Κλινοπτιλόλιθος	α
	Χουλιανδίτης	α
	Μορντενίτης	α
ΝΗΣΟΣ ΠΟΛΥΑΙΓΟΣ	Κλινοπτιλόλιθος	α
	Μορντενίτης	90
ΝΗΣΟΣ ΣΑΜΟΣ	Κλινοπτιλόλιθος	α
	Μορντενίτης	α
	Ανάλκιμο	α
	Εριονίτης	α
	Χαμπαζίτης	α
	Φιλλιψίτης	α
	Μορντενίτης	α
ΝΗΣΟΣ ΜΗΛΟΣ	Κλινοπτιλόλιθος	α
ΝΗΣΟΣ ΚΙΜΩΛΟΣ	Κλινοπτιλόλιθος	α
	Μορντενίτης	α
ΝΗΣΟΣ ΘΗΡΑ	Κλινοπτιλόλιθος	60
	Μορντενίτης	α
ΝΗΣΟΣ ΛΕΥΚΑΔΑ	Κλινοπτιλόλιθος	α
ΝΗΣΟΣ ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑ	Κλινοπτιλόλιθος	α
ΝΗΣΟΣ ΖΑΚΥΝΘΟΣ	Κλινοπτιλόλιθος	α

Στα κεντρικά και νότια του Νομού Έβρου (Δαδιά-Λευκίμμη-Φέρρες-Κίρκη) εντοπίστηκαν 18 θέσεις ζεολιθικών τόφων που περιέχουν 4 είδη ζεολίθων (κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης, μορντενίτης, λομοντίτης, στιλβίτης). Κατά μέσο όρο καταγράφηκαν οι εξής περιεκτικότητες: 39% (11-53%) κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης, 29% (5-50%) μορντενίτης, 51% (2-88%) κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης + μορντενίτης

και 31% κλινοπτιλόλιθος-εულανδίτης + σπιλβίτης (Skarpelis et al. 1993, Hall et al. 1994, Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2002, Φιλιππίδης & Καντηράνης 2005, Filippidis et al. 2007, Marantos et al. 2007, 2008).

Στη περιοχή Μεταξάδων-Αβδέλλας του Νομού Έβρου εντοπίστηκαν 2 θέσεις ζεολιθικών τόφων που περιέχουν 2 είδη ζεολίθων (κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης, ίχνη μορντενίτη). Κατά μέσο όρο καταγράφηκαν οι περιεκτικότητες 60% (27-75%) κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης (Tsirambides et al. 1989, 1993, Tsolis-Katagas & Katagas 1990, Filippidis 1993, Savin et al. 1993, Μισαηλίδης κ.α. 1994, Koutles et al. 1995, Γιαννακόπουλος κ.α. 1996, Stamatakis et al. 1996, Haidouti 1997, Φιλιππίδης κ.α. 1997, Tserveni-Gousi et al. 1997, Filippidis & Kassoli-Fournaraki 2000, Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2002, Φιλιππίδης & 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.α. 2011, 2012).

Στη περιοχή Πενταλόφου-Πετρωτών του Νομού Έβρου εντοπίστηκαν 10 θέσεις ζεολιθικών τόφων που περιέχουν 2 είδη ζεολίθων (κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης, μορντενίτης). Μία θέση περιέχει 45% μορντενίτη, ενώ άλλες 5 θέσεις περιέχουν <66% κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης. Η περιεκτικότητα σε κλινοπτιλόλιθο-εουλανδίτη των άλλων 3 θέσεων είναι 76% (37-95%), ενώ μία θέση περιέχει 89% (74-95%) κλινοπτιλόλιθο-εουλανδίτη (Kiron et al. 1990, Kassoli-Fournaraki et al. 2000, Yannakopoulos et al. 2000, 2002, Barbieri et al. 2001, Kantiranis et al. 2002, Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2002, Perraki et al. 2003, Perraki & Orfanoudaki 2004, Φιλιππίδης 2005, 2007, 2009, Φιλιππίδης & Καντηράνης 2005, Kantiranis et al. 2006, Φιλιππίδης κ.α. 2006, 2007α,β,γ, 2008α,β,γ, 2009, 2011α,β, 2012, Filippidis & Kantiranis 2007, Βογιατζής κ.α. 2008, Filippidis et al. 2007, 2008a,b,c,d, 2009, 2010a,b,c, 2011, 2012, 2013, Filippidis 2008, 2010a,b, 2013, Βογιατζής 2009, Pavlidou et al. 2009, Φιλιππίδης & Τσιραμπίδης 2012, Tsirambides & Filippidis 2012, Vogiatzis et al. 2012).

2.3. Είδη ζεόλιθων

Έχουν αναγνωριστεί περίπου 80 είδη φυσικών ζεόλιθων στη φύση και άλλα 100 περίπου έχουν παρασκευαστεί στο εργαστήριο (Tsitsishvili et al. 1992, Colella & Mumpton 2000, Baerlocher et al. 2001, Bish & Ming 2001, Φιλιππίδης 2014).

2.4. Συνθετικοί ζεόλιθοι

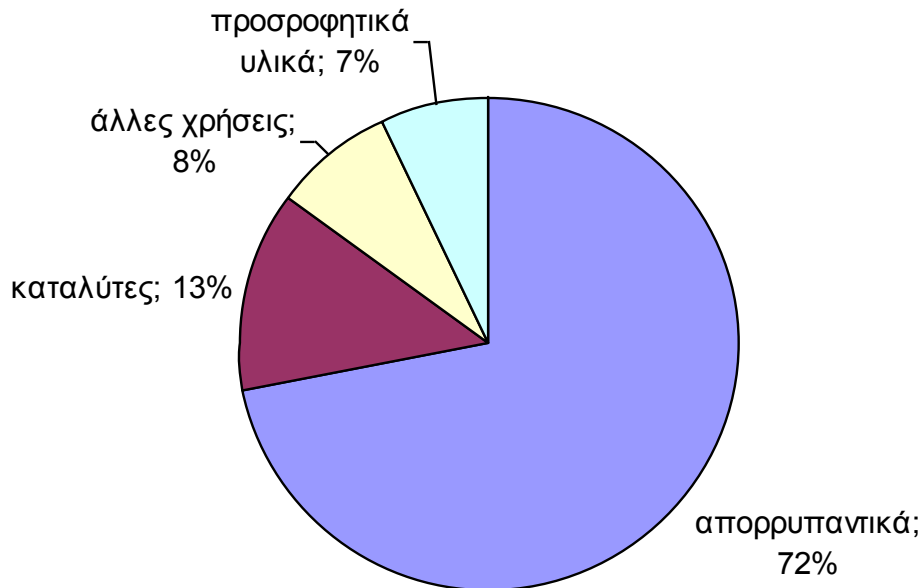
Η ανάγκη υψηλής καθαρότητας με συγκεκριμένη δομή σε μικροπορώδη ορυκτά, οδήγησε τους επιστήμονες στην παρασκευή συνθετικών ζεόλιθων κυρίως για την εξυπηρέτηση ειδικών χρήσεων της βιομηχανίας. Κύριο μέλημα ήταν η επίτευξη παρόμοιων φυσικοχημικών ιδιοτήτων καθώς το εμπορικό ενδιαφέρον για τους ζεόλιθους πηγάζει από αυτές. Μέχρι σήμερα έχουν συντεθεί και καταγραφεί πάνω από 100 διαφορετικοί τύποι συνθετικών ζεόλιθων και οι πιο γνωστοί είναι οι ζεόλιθοι τύπου A, X, B, Y και SZM-5. Λόγω των ιδιαίτερων φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους οι συνθετικοί ζεόλιθοι έχουν βρει πληθώρα εφαρμογών (Σχήμα 2.3) και η ετήσια παραγωγή τους υπερβαίνει τους 12.000 τόνους.

2.5. Φυσικοί Ζεόλιθοι

Οι φυσικοί ζεόλιθοι είναι ένυδρα αργυλοπυριτικά υλικά με διακριτή κρυσταλλική δομή που συνδέονται με αλκάλια και αλκαλικές γαίες και εντοπίζονται σε ηφαιστειο-ιζηματογενούς προελεύσεως πετρώματα. Χαρακτηρίζονται από την ικανότητα αποβολής και πρόσληψης νερού και άλλων μορίων και ιόντων με

αντιστρεπτό τρόπο και την ικανότητα ανταλλαγής των συστατικών τους στοιχείων χωρίς να αλλοιώνεται η δομή τους.

Ζεολιθικός τόφος είναι το πέτρωμα που περιέχει ένα ή περισσότερα από τα 80 είδη ζεολίθων. Ο ζεόλιθος με τις πολυάριθμες εφαρμογές / χρήσεις είναι ο ζεόλιθος τύπου-HEU (κλινοπτιλόλιθος-ευλανδίτης) που παρουσιάζει πινακοειδείς κρυστάλλους και περιέχει μικρο/νανο-πόρους σε πλέγμα 10-μελών και 8-μελών δακτυλίων, διαστάσεων 7,5x3,1 Å, 4,6x3,6 Å και 4,7x2,8 Å (Gottardi & Galli 1985, Baerlocher et al. 2001, Mitchell et al. 2012).



Σχήμα 2.3. Χρήσεις συνθετικών ζεολίθων
(<http://www.scribd.com/doc/84307463/ZEOΛΙΘΟΙ>)

Ο πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικός τόφος τύπου-HEU, δεσμεύει βακτήρια, μύκητες, αέρια, ανόργανες, οργανικές και οργανομεταλλικές ενώσεις. Ρυθμίζει προς το ουδέτερο το pH εδαφών και υδάτων, εμπλουτίζει τα ύδατα με οξυγόνο (οξυγονούχα ρεύματα). Η αύξηση του pH των όξινων υδάτων οφείλεται στη δέσμευση H^+ στις βασικές ενεργές θέσεις κατά Lewis του ζεόλιθου τύπου-HEU, ενώ η μείωση του pH των αλκαλικών υδάτων οφείλεται στη μετακίνηση OH^- από τις όξινες ενεργές θέσεις κατά Brønsted ή/και από τα μόρια H_2O των ανταλλάξιμων κατιόντων του ζεόλιθου τύπου-HEU. Η δέσμευση αερίων έχει ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του αέρα σε οξυγόνο και την αξιοσημείωτη μείωση της δυσοσμίας. Η ρόφηση και καθήλωση διάφορων συστατικών στους μικρο/νανο-πόρους του ζεόλιθου τύπου-HEU, καθώς και τους μέσο- και μακρο-πόρους του ζεολιθικού τόφου, αποδίδονται σε διεργασίες απορρόφησης (ιοντο-ανταλλαγή), προσρόφησης και επιφανειακής επικάθισης. Σημαντικό ρόλο στις διεργασίες αυτές παίζουν οι επιφανειακές όξινες κατά Brønsted (+) και οι βασικές κατά Lewis (-) θέσεις των κρυστάλλων του ζεόλιθου τύπου-HEU. Ο ζεόλιθος τύπου-HEU, εξαιτίας της ύπαρξης στη δομή του, των όξινων ενεργών θέσεων κατά Brønsted και των βασικών ενεργών θέσεων κατά Lewis, αντιδρά με θετικά ή/και αρνητικά φορτισμένα χημικά συστατικά, ακόμη και με μόρια στην αέρια κατάσταση. Οι χημικές αυτές διεργασίες σχετίζονται με φυσικοχημικά φαινόμενα ρόφησης και καθήλωσης ιόντων και μορίων και αφορούν τόσο τους κενούς χώρους στο εσωτερικό (μικρο/νανο-πόρους), όσο και την επιφάνεια των κρυστάλλων του ζεόλιθου τύπου-HEU, συνεπώς και τους μέσο- και μακρο-πόρους

του ζεολιθικού τόφου (Filippidis et al. 1996, Godelitsas et al. 1996a,b, 1999, 2001, 2003, Charistos et al. 1997, Colella & Mumpton 2000, Bish & Ming 2001, Filippidis & Kantiranis 2007).

2.6. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των ζεολίθων

2.6.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες

Οι ζεόλιθοι είναι αργιλοπυριτικά ορυκτά τα οποία ανήκουν στην ομάδα των τεκτοπυριτικών, άρα αναπτύσσονται τρισδιάστατα στον χώρο στα οποία ο λόγος (Si+Al)/O ισούται με 1/2. Ο γενικός χημικός τύπος είναι: $M_2/nO \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$. Οι ζεόλιθοι όταν είναι καθαροί είναι άχρωμοι ή λευκοί. Συχνά όμως λόγω της παρουσίας τους σε λεπτομερή διασπορά οξειδίων του σιδήρου και άλλων προσμίξεων παρουσιάζονται έγχρωμοι. Η πυκνότητα τους ποικίλει από 2 έως 2,3 gr/cm³ εκτός των πλούσιων σε Ba (Βάριο) ζεόλιθων, στους οποίους η πυκνότητα κυμαίνεται μεταξύ 2,5 και 2,8 gr/cm³. Η μικρή σχετικά πυκνότητα τους οφείλεται στην παρουσία του νερού, που πληροί τους διαύλους του πλέγματος. Ο δείκτης διάθλασης των διαφόρων μελών της ομάδας κυμαίνεται μεταξύ 1,47 και 1,52. Εμφανίζουν τρισδιάστατη δομή η οποία αποτελείται από τετράεδρα του πυριτίου και τετράεδρα αργιλίου, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με οξυγόνα (150 διαφορετικές δομές γνωστές μέχρι σήμερα). Είναι αρνητικά φορτισμένοι με αποτέλεσμα να έλκουν κατιόντα τα οποία δεσμεύουν στο εσωτερικό τους.

Μεγάλο ενδιαφέρον προκάλεσε η παρουσία μεγάλων κενών χώρων και καναλιών (μέγεθος από 0,3 έως 0,8nm) στο πλέγμα των ζεόλιθων σε σχέση με τα υπόλοιπα τεκτοπυριτικά ορυκτά. Όταν το νερό αποβληθεί, οι χώροι αυτοί είναι δυνατόν να πληρωθούν με διάφορες αεριώδεις ουσίες, όπως αμμωνία, ατμούς ιωδίου ή ακόμα και ατμούς υδραργύρου. Η διεργασία αυτή εξαρτάται από το εκάστοτε είδος ζεόλιθου. Ειδικότερα μόρια που έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από αυτή των καναλιών δεν μπορούν να μπουν στα κοιλάσματα της δομής των ζεόλιθων και έτσι είναι αδύνατον να προσροφηθούν. Σε αυτή την απλή αρχή βασίζεται η γνωστή εφαρμογή πολλών ζεόλιθων ως «μοριακά κόσκινα» που χρησιμοποιούνται κυρίως για τον διαχωρισμό αέριων μειγμάτων. Το εύρος των καναλιών όμως, δεν είναι η μόνη προϋπόθεση για την διαπερατότητα αφού η παρουσία πολλών κατιόντων μπορεί, να φράξει τα κανάλια ενώ η μοριακή και η ιοντική διάχυση επηρεάζονται από το προσροφημένο νερό. Γενικά η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ελαττώνεται με την απώλεια νερού. Με εξαίρεση τον ανάλκιμο και τον νατρόλιθο, στους περισσότερους πυριτικούς ζεόλιθους το K⁺ και το Na⁺ τείνουν να είναι πιο εύκολα ανταλλάξιμα από το Ca⁺² αφού είναι μονοσθενή κι έτσι συγκρατούνται με ασθενέστερο ηλεκτροστατικό φορτίο.

Στους περισσότερους ζεόλιθους σε κάθε μόριο νερού αντιστοιχεί ένας αριθμός από πιθανές θέσεις στο εσωτερικό του πλέγματος κι αυτό μπορεί να μετακινείται από τη μία στην άλλη. Γενικά οι ασβεστούχοι ζεόλιθοι απορροφούν περισσότερο νερό, και στον χαβαζίτη, τον ευλανδίτη και τον στιλβίτη, το νερό συγκρατείται ευκολότερα όταν αυτοί έχουν στο πλέγμα τους Ca⁺² και όχι K⁺ (Κατσιγιάννη 2014).

2.6.2. Χαρακτηριστικά ζεολίθων

Οι ζεόλιθοι χαρακτηρίζονται από τις ακόλουθες ιδιότητες που τους κάνουν να έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον:

- Ενυδάτωση υψηλού βαθμού.
- Μικρή πυκνότητα και μεγάλο όγκο, κενό κατά την ενυδάτωση.
- Σταθερότητα κρυσταλλικής δομής.
- Μεγάλη εναλλακτική ικανότητα κατιόντων (C.E.C.).

- Ομοιομορφία διαύλων, μοριακού μεγέθους.
- Ικανότητα προσρόφησης (αερίων και ατμών).
- Κάποια είδη ανθεκτικά σε αλκαλικό και κάποια άλλα σε όξινο περιβάλλον.
- Θερμικά πολύ σταθεροί.
- Καλοί καταλύτες.

2.6.3. Σχηματισμός ζεολίθων

Οι ζεόλιθοι σχηματίζονται σε διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα (Sand & Mumpton 1978, Gottardi & Galli 1985, Tsitsishvili et al. 1992, Colella & Mumpton 2000, Bish & Ming 2001, Diale et al. 2011), τα κυριότερα από τα οποία είναι:

- Σε αλμυρές / αλκαλικές λίμνες, από ηφαιστειακά υλικά.
- Σε αλκαλικά εδάφη, από ηφαιστειακά υλικά.
- Σε λίμνες ή υδροφόρα στρώματα γλυκού νερού.
- Σε θαλάσσια περιβάλλοντα.
- Σε χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης ιζήματα.
- Σε υδροθερμικά μεταμορφωμένα ιζήματα.
- Σε διαγενετικά συστήματα ενταφιασμού.

Οι ζεόλιθοι είναι δυνατόν να σχηματισθούν ως προϊόντα αλλοίωσης του ηφαιστειακού γυαλιού, ή μπορούν να καθιζήσουν απευθείας από ρευστά κινούμενα διαμέσου βραχωδών ή ιζηματογενών σχηματισμών.

2.6.4. Κρυσταλλική δομή ζεολίθων

Οι ζεόλιθοι έχουν ως κύρια δομική μονάδα τα τετράεδρα SiO_4 - Al_2O_3 . Ο κάθε ζεόλιθος διακρίνεται από άλλους ζεόλιθους σύμφωνα με τις διαφορές δομής στην μοναδιαία κυψελίδα (unit cell). Έχει κρυσταλλική δομή που μοιάζει με την κηρύθρα των μελισσών, η δομή αυτή προσφέρει πολυάριθμα τρισδιάστατα κενά ή θαλάμους που φθάνουν μέχρι το 50% του αφυδατωμένου όγκου του. Τα κενά αυτά είναι ανοιχτά για κατιόντα, βαρέα μέταλλα, τοξίνες και νερό ώστε να εισχωρήσουν και να παγιδευτούν. Μοναδιαία κυψελίδα είναι η μικρότερη ομάδα ατόμων η οποία εμφανίζει όλες τις χημικές και φυσικές ιδιότητες του ενός κρυστάλλου. Η δομή κάθε κυψελίδας αποτελείται από τετραεδρικές μονάδες οι οποίες μπορούν να διευθετούνται με ποικίλους συνδυασμούς.

Οι δομικές μονάδες των ζεολίθων (Gottardi & Galli 1985, Tsitsishvili et al. 1992, Colella & Mumpton 2000, Baerlocher et al. 2001, Bish & Ming 2001, Δασκαλάκη 2004, Mitchell et al. 2012) είναι:

- ❖ Κύρια δομική μονάδα: Τετράεδρα. Δημιουργούνται τετράεδρα στα οποία τέσσερα ιόντα οξυγόνου ενώνονται με ένα κεντρικό ιόν (T) το οποίο συνήθως είναι Si^{4+} ή Al^{3+} .
- ❖ Δευτερεύουσα δομική μονάδα: Δακτύλιοι απλοί S-4, S-5, S-6, S-8, S-10, S-12 (δηλαδή δακτύλιοι τεσσάρων, πέντε, έξι, οκτώ, δέκα, και δώδεκα τετραέδρων), και δακτύλιοι διπλοί D-4, D-6, D-8 (δηλαδή δακτύλιοι τεσσάρων, έξι και οκτώ τετραέδρων).
- ❖ Μεγαλύτερα συμμετρικά πολύεδρα: Κούλουρο οκτάεδρο, 11-εδρο, 14-εδρο.

2.7. Διαφορές συνθετικών και φυσικών ζεολίθων

- Η δομή των φυσικών ζεολίθων είναι σταθερότερη σε όξινο περιβάλλον.
- Οι φυσικοί ζεόλιθοι είναι αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών ενώ οι συνθετικοί κατασκευάζονται από χημικές ενώσεις με κατανάλωση ενέργειας.
- Στους φυσικούς ζεόλιθους ο λόγος πυρίτιο - αργίλιο είναι από 5/1 έως 2/1 ενώ στους συνθετικούς 1/1 (Διονυσίου 2010)

2.8. Μορφές ζεολιθικών τόφων για χρήση

Στην αγορά εμφανίζονται σε διάφορες μορφές ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων (Σχήμα 2.4) και τη χρήση, όπως π.χ.:

- ❖ Σε μορφή πούδρας για ψεκασμούς στο φύλλωμα, αλλά και για ιατρική χρήση.
- ❖ Μέγεθος 0,01-0,8 χιλιοστά. Για εμπλουτισμό της τροφής σε ζώα εκτροφής.
- ❖ Μέγεθος 0,8-2,5 χιλιοστά. Για καταπολέμηση της δυσοσμίας, για σιτηρέσια πτηνών, για φιλτράρισμα πόσιμου νερού.
- ❖ Μέγεθος 2,5-5,0 χιλιοστά. Για γεωργική χρήση στη βελτίωση της γονιμότητας των εδαφών, ως βελτιωτικό σε χημικά λιπάσματα σε ποσοστό 2-5% (βραδεία αποδέσμευση), στην υδροπονία, χωρίς να αποκλείεται η χρήση των προηγούμενων που είναι πιο δραστικές (Πετρίδης & Καρασαββίδης 2012).



Σχήμα 2.4. Ζεολιθικοί τόφοι σε διάφορες κοκκομετρίες (άνω-αριστερά) 5-30 mm, (άνω-δεξιά) 2,5-5 mm, (κάτω-αριστερά) 0,8-2,5 mm και (κάτω-δεξιά) 0-0,15 mm (σκόνη) (Ζεόλιθος Αλέξανδρος <http://zeolithosalexandros.blogspot.gr/>).

2.9. Οι ζεολιθικοί τόφοι της Νήσου Σάμου

Οι ζεολιθικοί τόφοι της Νήσου Σάμου περιέχουν 72% ανάλκιμο, 7% μοσχοβίτη και 3% σμεκίτη και παρουσιάζουν αξιοσημείωτη ιοντο-ανταλλακτική ικανότητα (334 meq/100g), εξαιρετική ικανότητα εξουδετέρωσης του pH όξινων και βασικών υδάτων καθώς και απομάκρυνσης μετάλλων, ραδιονουκλιδίων, αερίων, οργανικών και οργανομεταλλικών ενώσεων από τα υδατικά τους διαλύματα (Filippidis et al. 2005, Kantiranis et al. 2010).

Ειδικότερα όμως όσον αφορά τον κλινοπτιλολιθικό τόφο από την περιοχή Μαραθόκαμπου Σάμου (Kantiranis et al. 2002, 2004, 2006, 2011), πρέπει να

σημειωθεί πως είναι ένα πολλά υποσχόμενο υλικό, όσον αφορά την χρήση του ως υπόστρωμα στις υδροκαλλιέργειες (Καμένου 2011). Με βάση τα κριτήρια που καθιστούν κάποιο υλικό κατάλληλο για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και τις παρατηρήσεις που προέκυψαν από πειραματικές διαδικασίες της παρούσας εργασίας το πέτρωμα συγκεντρώνει θετικά χαρακτηριστικά.

Ενδεικτικά αναφέρονται:

Η υψηλή ιοντοανταλλακτική ικανότητα και μεγάλη επιλεκτικότητα για τα ιόντα K^+ και NH_4^+ . Ως εκ τούτου, όταν έρθει σε επαφή με το θρεπτικό διάλυμα αναμένεται να δεσμεύει σημαντικές ποσότητες των κατιόντων αυτών, για να τα αποδώσει όταν η συγκέντρωσή τους στο περιβάλλον διάλυμα μειωθεί, πχ. λόγω της πρόσληψής τους από τους φυτικούς οργανισμούς άρα όποτε αυτά είναι απαραίτητα.

Ουδέτερο ως αλκαλικό pH (8) και ικανότητα να δεσμεύει υδρογονοκατιόντα. Οπότε, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με όξινα, ευρείας εφαρμογής υποστρώματα (όπως η τύρφη ή τα φυτοχώματα) ως ρυθμιστής της οξύτητας του υποστρώματος της καλλιέργειας.

Περιέχει ποσότητες Ca^{2+} , άλλα και K^+-Mg^{2+} σε μικρότερο βαθμό, σε μορφή που είναι διαθέσιμη στους φυτικούς οργανισμούς. Έτσι θα συμβάλλει θετικά στην θρέψη των τελευταίων.

Περιέχει μικρές ποσότητες ανταλλάξιμου νατρίου σε σύγκριση με άλλους ζεολιθικούς τόφους και δεν υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης μείωσης της παραγωγής κατά την εφαρμογή του.

Σε μεγάλες κοκκομετρίες ($>1mm$) η υδραυλική διαπερατότητα του είναι υψηλή. Έτσι εξασφαλίζεται άριστη απορροή και δεν διατρέχεται κίνδυνος προβλημάτων αερισμού στις ρίζες των φυτών.

Λόγω της μεγάλης του ανθεκτικότητας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλές καλλιεργητικές περιόδους, χωρίς να παρουσιάζει φυσική φθορά ή μείωση της ιοντοανταλλακτικής του ικανότητας.

Αποτελείται από ορυκτά τα οποία είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά σε ακόμα και σε χαμηλές συνθήκες pH και επιπλέον δεν περιέχει το ευκόλως διαλυτό ανθρακικό ασβέστιο.

Παράλληλα διακρίνονται και τα εξής μειονεκτήματα:

Η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας που παρουσιάζει είναι μικρή, αν συγκριθεί με αυτήν άλλων υλικών που εφαρμόζονται σε υδροκαλλιέργειες, όπως ο περλίτης, ο βερμικουλίτης, ο ορυκτοβάμβακας κλπ.

Το ειδικό του βάρος, είναι υψηλό (βρέθηκε 1 gr/cm^3 σε δείγμα κοκκομετρίας 1-2,5mm). Έτσι το κόστος μεταφοράς του, θα είναι υψηλό και η μεταχείρισή του, θα παρουσιάζει δυσκολίες.

Το υψηλό του pH (8), δεν είναι κατάλληλο για καλλιέργειες που απαιτούν όξινο υπόστρωμα.

2.10. Ο Ελληνικός Φυσικός Ζεόλιθος (ΕΛΦΥΖΕ)

Σε συγκεκριμένη περιοχή (Ρέμα Ντρίστα) των Πετρωτών Έβρου (δέσμευση της GEO-VET Ν.Αλεξανδρίδης & ΣΙΑ Ο.Ε.), εντοπίστηκε πακέτο ζεολιθικών στρωμάτων πάχους 20 περίπου μέτρων, με πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικό τόφο που περιέχει κατά μέσο όρο 89% ζεόλιθο τύπου-HEU (κλινοπτιλόλιθο-εουλανδίτη), αποκαλούμενος Ελληνικός Φυσικός Ζεόλιθος (ΕΛΦΥΖΕ). Ο Ελληνικός Φυσικός Ζεόλιθος (ΕΛΦΥΖΕ) είναι πολύ υψηλής ποιότητας με 89% ζεόλιθο τύπου-HEU (διακύμανση 74-95%) (Σχήμα 2.5, Πίνακες 2.2 και 2.3) και ικανότητα ανταλλαγής ιόντων (δεσμευτική ικανότητα) 187 meq/100g (διακύμανση 176-226 meq/100g). Ο ΕΛΦΥΖΕ δεσμεύει αποτελεσματικά μέταλλα, ραδιονουκλίδια και οργανικές ουσίες

από τα υδατικά τους διαλύματα, καθώς επίσης ρυθμίζει το pH των υδάτων προς το ουδέτερο, αυξάνοντας ή μειώνοντας αυτό, ανάλογα με την οξύτητα ή βασικότητα των υδάτων. Η ορυκτολογική του σύσταση και οι φυσικοχημικές του ιδιότητες, καθιστούν τον ΕΛΦΥΖΕ, κατάλληλο υλικό για τη βελτίωση της ποιότητας του πόσιμου νερού, τον καθαρισμό των αστικών, βιομηχανικών και ραδιενεργών υγρών αποβλήτων, καθώς επίσης πολυάριθμες βιομηχανικές, περιβαλλοντικές, αγροτικές και υδατικές εφαρμογές. Η προσθήκη του ΕΛΦΥΖΕ σε τεχνητούς υδροβιότοπους, σε λοιπές μονάδες διαχείρισης υδάτων καθώς και στις αγροτικές καλλιέργειες, θα συμβάλλει θετικά στη βελτίωση της ποιότητας των υδάτων, στη μείωση της έκπλυσης ιχνοστοιχείων (τοξικά εδάφη και φυτοφάρμακα) και μετακίνησής τους από το χερσαίο στο υδάτινο περιβάλλον, στη μείωση του προβλήματος του ευτροφισμού των υδάτων, καθώς επίσης στην εξοικονόμηση, μέχρι και 50%, του ύδατος άρδευσης στις αγροτικές καλλιέργειες. Η ρίψη του ΕΛΦΥΖΕ σε λίμνες και λοιπά κλειστά υδάτινα συστήματα θα εμπλουτίσει σε οξυγόνο το νερό (οξυγονούχα ρεύματα), θα μειώσει την ανάπτυξη φυτοπλαγκτόν και φυκιών, βελτιώνοντας έτσι τη διαβίωση των ψαριών και άλλων οργανισμών στα υδάτινα οικοσυστήματα (Φιλιππίδης κ.α. 2006, 2007α-γ, 2008α-γ, 2009, 2011α,β, Φιλιππίδης 2007, 2009, 2014, Filippidis & Kantiranis 2007, Filippidis 2008, 2010a,b, 2013, Βογιατζής κ.α. 2008, Filippidis et al. 2008a-d, 2009, 2010a-c, 2011, 2012, 2013, Βογιατζής 2009, Φιλιππίδης & Τσιραμπίδης 2012, Tsirambides & Filippidis 2012, Vogiatzis et al. 2012).



Σχήμα 2.5. ΕΛΦΥΖΕ: Ελληνικός φυσικός ζεόλιθος (από αριστερά προς δεξιά: χαμηλότερη προς υψηλότερη περιεκτικότητα) (Φιλιππίδης κ.α. 2011α, Filippidis et al. 2011, 2013).

Πίνακας 2.2. Ορυκτολογική σύσταση του ΕΛΦΥΖΕ: Ελληνικός Φυσικός Ζεόλιθος (Φιλιππίδης 2005, 2007, Φιλιππίδης κ.α. 2007γ).

Ορυκτά	%κ.β.	Σύνολα ορυκτών (%κ.β.)
Ζεόλιθος (Κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης)	89	Σύν. μικροπορώδων ορυκτών 92
Μαρμαρυγίας + αργιλικά ορυκτά	3	
Άστριοι	6	Σύν. μη μικροπορώδων ορυκτών 8
Χαλαζίας	2	
Σύνολο	100	Σύνολο 100

Πίνακας 2.3. Χημική σύσταση του ΕΛΦΥΖΕ: Ελληνικός Φυσικός Ζεόλιθος (Φιλιππίδης 2005, 2007, Φιλιππίδης κ.α. 2007γ)

	%κ.β.		%κ.β.		%κ.β.		%κ.β.
SiO ₂	68,62	Fe ₂ O _{3 tot}	0,07	CaO	2,14	P ₂ O ₅	0,04
TiO ₂	0,02	MnO	0,02	Na ₂ O	1,13	L.O.I.	12,34
Al ₂ O ₃	11,80	MgO	0,75	K ₂ O	2,92	Σύνολο	99,85

3. Εφαρμογές των ζεολιθικών τόφων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά οι εφαρμογές των ζεολιθικών τόφων σε θέματα που δεν άπτονται της γεωργίας. Όπου βρέθηκαν σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές, αυτές δίνονται στο τέλος κάθε περίπτωσης.

3.1. Υλικά καθαρισμού λυμάτων και υγρών αποβλήτων

- Οι πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικοί τόφοι έχουν την ικανότητα δέσμευσης, αερίων, ραδιονουκλιδίων, μετάλλων, ανόργανων, οργανικών και οργανομεταλλικών ενώσεων, καθώς και ρυθμίζουν προς το ουδέτερο το pH των υδάτων. Το ποσοστό βελτίωσης των ποιοτικών παραμέτρων, κυμαίνεται από 10% έως 950% (Ming & Allen 2001, Ackley et al. 2003, Φιλιππίδης 2007, 2014, Filippidis et al. 2008a, Filippidis 2010a, 2013, Tzamos et al. 2011).
- Με την κατεργασία των αστικών λυμάτων (Σχήμα 3.1) προκύπτει ως ίζημα, η άοσμη και συνεκτική ζεολυματολάσπη, κατάλληλη για χρήση ως εδαφο-βελτιωτικό, ενώ με την κατεργασία των βιομηχανικών υγρών αποβλήτων προκύπτει, η άοσμη και συνεκτική ζεολάσπη κατάλληλη για ασφαλή απόθεση, λόγω της καθήλωσης των επιβλαβών ουσιών στους μικρο/νάνο-πόρους του ζεόλιθου, καθώς και τους μεσο- και μακροπόρους του ζεολιθικού τόφου, οι οποίες ουσίες δεν εκπλύνονται και δεν μεταφέρονται με το νερό της βροχής στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα (Φιλιππίδης 2007, 2009, Φιλιππίδης κ.α. 2007α,γ, 2008α,γ, Filippidis 2008, 2010a,b, 2013, Filippidis et al. 2008a-d, 2010a, 2012).
- Οι πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικοί τόφοι δεσμεύουν και απομακρύνουν ραδιενεργά ισότοπα από απόβλητα πυρηνικών εργοστασίων και επιβλαβή ιχνοστοιχεία από βιομηχανικά υγρά απόβλητα. Σε όλα τα πυρηνικά ατυχήματα έχουν χρησιμοποιηθεί υψηλής ποιότητας φυσικοί ζεόλιθοι κυρίως τύπου-HEU (Tsitsishvili et al. 1992, Μάλλιου 1994, Ming & Allen 2001, Misaelides et al. 1995a,β).
- Γίνεται αφαίρεση χημικών ουσιών (π.χ. αμμωνίας) και ιχνοστοιχείων για καθαρισμό διαφόρων τύπων λυμάτων. Η αμμωνία (NH_4) δεν είναι τοξική σε υδάτινες μορφές ζωής, αλλά συντελεί στη ραγδαία ανάπτυξη φυκιών και οδηγεί στον ευτροφισμό των νερών (Tsitsishvili et al. 1992, Nguyen & Tanner 1998, Filippidis et al. 2008a,b, Tzamos et al. 2011).
- Διαχείριση αποβλήτων βυρσοδεψίας και υφαντουργίας (Σχήμα 3.1) (απομάκρυνση θείου, αμμωνίας και χλωριδίων και μείωση του COD) (Φιλιππίδης 2007, 2009, 2014, Φιλιππίδης κ.α. 2007γ, 2008α,β, 2011β, Filippidis 2008, 2010a, 2013, Filippidis et al. 2008b,c, 2011, Φιλιππίδης & Τσιραμπίδης 2012).



Σχήμα 3.1. Αστικά λύματα, υγρά απόβλητα βαφείου και υγρά απόβλητα βυρσοδεψείου πριν και μετά την κατεργασία με πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικό τόφο, καθώς και οι παραγόμενες ζεο-λυματολάσπες και ζεο-λάσπες (Φιλιππίδης 2007, Φιλιππίδης κ.α. 2007γ, 2008γ, Filippidis 2008).

3.2. Εξυγίανση και οξυγόνωση υδάτινων οικοσυστημάτων

- Οι πολύ υψηλής ποιότητας φυσικοί ζεόλιθοι κατά τη χρήση τους σε υδατικά συστήματα και στις γεωργικές καλλιέργειες, δεσμεύουν βακτήρια, αέριες, ανόργανες, οργανικές και οργανομεταλλικές ενώσεις κατά 20-100% (Φιλιππίδης κ.α. 1997, 2006, 2007β, 2011α, Φιλιππίδης 2005, 2014, Filippidis & Kantiranis 2007, Filippidis 2010a, Filippidis et al. 2010b,c).
- Μειώνουν τη χρήση των λιπασμάτων και του ύδατος άρδευσης, εμποδίζουν την έκπλυση και μετακίνηση (με το νερό της βροχής) των επιβλαβών συστατικών από το χερσαίο στο υδάτινο περιβάλλον, προστατεύοντας έτσι την ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.
- Επίσης, οι υψηλής ποιότητας φυσικοί ζεόλιθοι, εμπλουτίζουν το νερό σε οξυγόνο (οξυγονούχα ρεύματα) και ρυθμίζουν το pH των υδάτων προς το ουδέτερο, αυξάνοντας ή μειώνοντας αυτό, ανάλογα με την οξύτητα ή αλκαλικότητα των υδάτων.
- Δέσμευση και απομάκρυνση κυανοβακτηρίων. Τα κυανοβακτήρια αποτελούν μια από τις πιο ανεπιθύμητες ομάδες στα υδάτινα συστήματα που εμφανίζονται διότι προκαλούν προβλήματα στην οικολογική ισορροπία (ευτροφισμός). Μέχρι σήμερα δεν ήταν δυνατή η αξιοποίηση του ζεόλιθου στην βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των λιμναίων οικοσυστημάτων με την ελάττωση του ποσοστού κυανοβακτηρίων (δέσμευση φωσφόρου, αζώτου) και δεδομένου ότι η χρήση του ζεόλιθου μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητο εμπλουτισμό του ιζήματος του πυθμένα κυρίως για τους έμβιους οργανισμούς. Απαιτείται η πιλοτική εφαρμογή του σε περιορισμένης έκτασης των κλειστών λιμνών.

3.3. Βιομηχανία

Οι συνθετικοί ζεόλιθοι βρίσκουν πολλές βιομηχανικές εφαρμογές εδώ και δεκαετίες. Τα τελευταία όμως χρόνια η χρήση πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικών τόφων κερδίζει έδαφος. Ορισμένες από τις βιομηχανικές χρήσεις (Tsitsishvili et al. 1992, Colella & Mumpton 2000, Bish & Ming 2001, Βογιατζής κ.α. 2008, Andronikashvili et al. 2009, Βογιατζής 2009, Φιλιππίδης κ.α. 2011β, Filippidis et al. 2011, 2013, Vogiatzis et al. 2012, Κατσιγιάννη 2014) είναι:

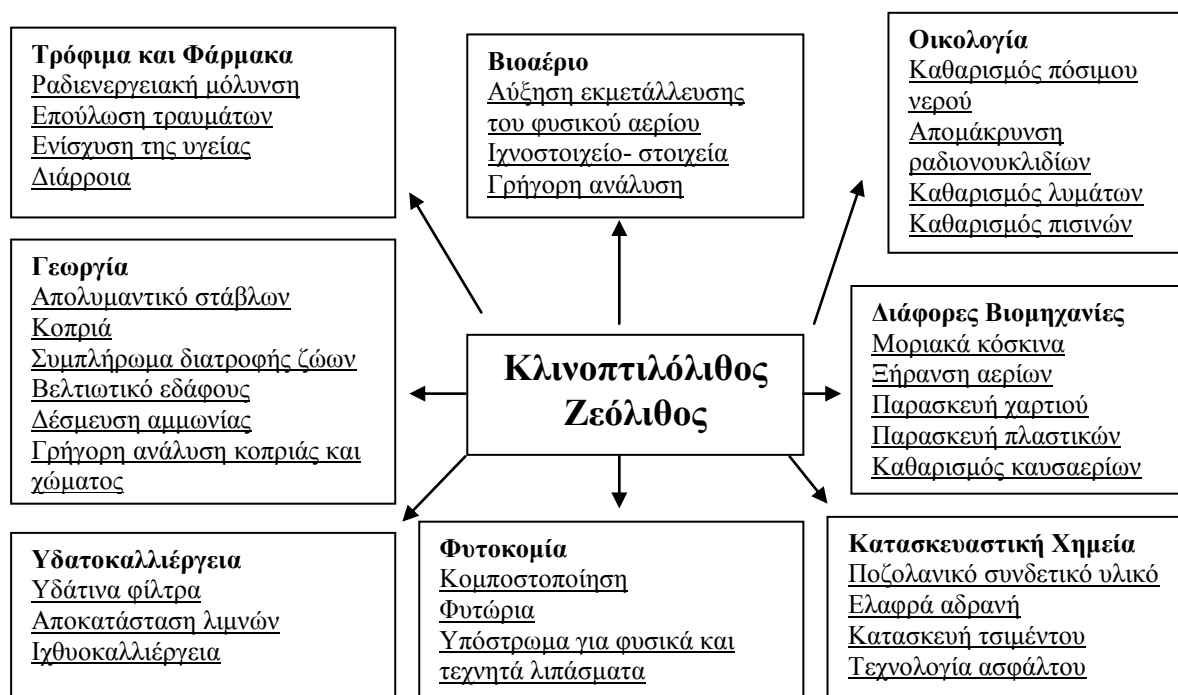
- Συμπληρώματα διατροφής.
- Παρασκευή φαρμάκων για την κτηνιατρική.
- Συνήθως οι συνθετικοί ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται ως στιλβωτικό υλικό σε οδοντόπαστες.
- Συνθετικοί ζεόλιθοι είναι υπέρτεροι άλλων υλικών στον διαχωρισμό αμμωνιακού αζώτου στα υγρά αιμοδιάλυσης.
- Εμπλουτισμός οξυγόνου και καταπολέμηση της δυσοσμίας.
- Εξόρυξη μεταλλευμάτων και μεταλλουργία.
- Ως αποξηραντικά και απορροφητικά υλικά.
- Στη βιομηχανία λιπαντικών.
- Πληρωτικά στη βιομηχανία χάρτου.
- Υγιεινή και ασφάλεια τροφίμων, βελτίωση γεύσης, ποιότητας και διατήρησης τροφίμων.
- Στην οικοδομική, τόσο ως δομικοί λίθοι όσο και στην παραγωγή τσιμέντων και κονιαμάτων, ως υποκαταστάτες του περλίτη και της κίσης.
- Στην κατασκευή των συμπιεσμένων σανίδων, σαν υλικό πλήρωσης.
- Αποθήκευση ενέργειας.
- Αδρανοποίηση στερεών και υγρών αποβλήτων βιομηχανικών ζωνών ζώνης.

3.4. Κτηνοτροφία – Ζωοτροφές

Τα οφέλη από τη χρήση πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικών τόφων είναι πολύ σημαντικά (Mumpton 1984, 1985, 1999, Γιαννακόπουλος κ.α. 1996, Tsitsishvili et al. 1992, Tserveni-Gousi et al. 1997, Colella & Mumpton 2000, Yannakopoulos et al. 2000, 2002, Bish & Ming 2001, Πουρλιώτης 2009, Φιλιππίδης & Τσιραμπίδης 2012, Φιλιππίδης 2014).

- Αυξάνει την παραγωγή και βελτιώνει την ποιότητα των σχετικών προϊόντων.
- Μειώνει την κατανάλωση τροφής, τις ασθένειες και τη φαρμακευτική αγωγή των ζώων.
- Μειώνει τη θνησιμότητα των νεογνών.
- Μειώνει τη δυσσομία, μετατρέποντας την κοπριά σε άοσμο λίπασμα.
- Η υψηλή απορροφητική ικανότητα και η συγκράτηση της αμμωνίας αποτελούν τις βασικές αιτίες χρήσης των πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικών τόφων ως συμπλήρωμα στις ζωοτροφές (χοίρους, αγελάδες, πουλερικά κλπ.).
- Η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων ζωικής προέλευσης (κρέας, γάλα, αυγά κλπ.) που αποτελούν βασική τροφή για τον άνθρωπο, είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ποιότητα και ασφάλεια των τροφίμων.
- Η ικανότητα των πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικών τόφων να δεσμεύουν και να απομακρύνουν ανόργανες και οργανικές τοξικές συγκεντρώσεις από το στομάχι των ζώων, είναι η βασική αιτία παραγωγής υγιεινότερων τροφών για τον άνθρωπο.

Κλείνοντας το θέμα «χρήσεις των ζεολιθικών τόφων», πρέπει να πούμε πως αναφέρθηκε ένα μικρό κομμάτι αυτών γιατί εκτενέστερη αναφορά θα ξέφευγε από τους σκοπούς της εργασίας, αφού σκοπός της όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή είναι να παρουσιαστούν οι χρήσεις των ζεολιθικών τόφων στην γεωργία. Επίσης υπάρχουν πολλές δημοσιεύσεις και συγγράμματα που δίνουν λεπτομερέστερες πληροφορίες των ζεολιθικών τόφων, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ζεόλιθοι τύπου-HEU κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2. Περιοχές εφαρμογών του κλινοπτιλόλιθου (Lesjak 2011).

4. Χρήση των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία

4.1. Γενικά

Η διαρκώς αυξανόμενη απαίτηση για γεωργικά προϊόντα, ως αποτέλεσμα της ραγδαίας αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού κατά τα τελευταία 150 περίπου χρόνια, έχει ως αποτέλεσμα, μεταξύ άλλων, την παρασκευή πλειάδας τεχνητών ουσιών οι οποίες χρησιμοποιούνται εντατικά προκειμένου να βελτιωθεί η αγροτική παραγωγή και να καταπολεμηθούν ασθένειες των φυτών. Δυστυχώς, η εντατικοποίηση των καλλιεργειών έχει οδηγήσει σε πληθώρα προβλημάτων, όπως είναι η ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων από φυτοφάρμακα, η συχνότερη εμφάνιση φαινομένων ευτροφισμού σε λίμνες και θάλασσες, η εμφάνιση ανθεκτικότερων στα φάρμακα ζιζανίων κ.ά.

Μέρος της έρευνας που πραγματοποιείται τα τελευταία χρόνια για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προβλημάτων αποτελεί και η χρήση των ζεολιθικών τόφων. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό, ώστε να βοηθηθεί η αξιολόγηση της δυνατότητας αξιοποίησης των ζεολιθικών τόφων σε γεωργικές εφαρμογές.

4.2. Πλεονεκτήματα από τη χρήση των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία

Οι πιθανές χρήσεις των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία δεν έχουν πλήρως διασαφηνιστεί, καθώς πρόκειται για τεχνολογία αιχμής, η οποία εξελίσσεται με ταχείς ρυθμούς τα τελευταία 25 περίπου χρόνια. Μάλιστα, αξίζει να σημειωθεί πως μεταξύ των ερευνώμενων εφαρμογών των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία είναι και η χρήση αυτού σε καλλιέργειες που θα βρίσκονται στο διάστημα, ακόμα και σε συνθήκες μηδενικής βαρύτητας, δηλαδή σε διαστημικούς σταθμούς ή σε διαστημόπλοια που θα εκτελούν διαπλανητικά ταξίδια ή σε καλλιέργειες που θα δημιουργηθούν κατά τον αποικισμό άλλων ουρανίων σωμάτων (Σελήνη, Άρης).

Οι κυριότερες χρήσεις των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία μπορούν να συνοψισθούν στις παρακάτω:

- ❖ Κατεργασία γεωργικών αποβλήτων και μετατροπή κοπριάς σε άοσμο λίπασμα.
- ❖ Βελτιωτικά αγροτικών καλλιεργειών, βελτιωτικό όξινων και αλκαλικών εδαφών.
- ❖ Διαχείριση αποβλήτων μεταλλείων και επιστροφή εδαφών σε γεωργική χρήση.
- ❖ Υπόστρωμα θερμοκηπίων.
- ❖ Υγιεινή και ασφάλεια τροφίμων, βελτίωση γεύσης, ποιότητας και διατήρησης τροφίμων.
- ❖ Υπόστρωμα ανθοκομικής (Σχήμα 4.1).
- ❖ Καταπολέμηση των εντόμων, ραντισμός καρποφόρων-οπορωφόρων δένδρων.
- ❖ Ανθεκτικότερο και υγιέστερο γρασίδι (γήπεδα τένις, γκολφ, ποδοσφαίρου κ.ά.).
- ❖ Ανάπλαση λιγνιτωρυχείων. Προσθήκη ζεολιθικού τόφου προς την επανακαλλιέργεια εδαφών στα εξοφλημένα λιγνιτωρυχεία της ΔΕΗ. Πρόκειται για πολύ φτωχά σε οργανικές ουσίες εδάφη τα οποία θα μπορούσαν να αναβαθμιστούν με την προσθήκη μείγματος πηλώδων εδαφών και ζεολιθικών τόφων (Βλέπε 4.4)

Κοινό αποτέλεσμα αυτών των χρήσεων είναι συνήθως η αύξηση της παραγωγής (ποσοτικά ή/και ποιοτικά) καθώς και η αύξηση της κερδοφορίας μιας καλλιέργειας, στοιχεία που αποτελούν και τους αληθινούς στόχους των ερευνών σχετικά με τη χρήση των ζεολιθικών τόφων (Mumpton 1984, 1985, 1999, Tsitsishvili et al. 1992, Haidouti 1997, Colella & Mumpton 2000, Bish & Ming 2001, Φιλιππίδης 2007, 2014, Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2000, Filippidis 2010a, Φιλιππίδης & Τσιραμπίδης 2012, Φιλιππίδης κ.α. 2007γ, 2012).



Σχήμα 4.1. (Αριστερά) Καλλιέργεια δενδρολίβανου με τη χρήση ζεολιθικού τόφου (H.B.8) <http://www.tovima.gr/science/article/?aid=574818&h1=true#commentForm>.

4.3. Αποτελέσματα ερευνών

4.3.1. Εφαρμογές για την αύξηση της συγκράτησης νερού

Εκτός από την αύξηση της παραγωγής, η εφαρμογή των ζεολιθικών τόφων στις γεωργικές καλλιέργειες είναι δυνατόν να οδηγήσει και σε ελάττωση της κατανάλωσης νερού. Ενδεικτικά αναφέρεται (Tsitsishvili et al. 1992, Φιλιππίδης 2014), πως σε έρευνες που έγιναν σε καλλιέργειες τριφυλλιού, ραπανιών, καλαμποκιού και σιταριού διαπιστώθηκε ότι η προσθήκη 5 έως 20 τόνων ζεόλιθου ανά 10 στρέμματα καλλιέργειας είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη συγκράτηση νερού στο έδαφος.

Στις ΗΠΑ, ομάδα ερευνητών (Irrpolito et al. 2011) πραγματοποίησε το 2010 πειράματα σε εργαστήριο προκειμένου να διαπιστώσει τη δυνατότητα κλινοπτιλολιθοφόρου ζεολιθικού τόφου να επιδράσει στην συγκράτηση νερού σε εδάφη. Τα δείγματα τα οποία μελετήθηκαν ήταν αμμώδη και επομένως δεν είχαν τη δυνατότητα συγκράτησης σημαντικών ποσοτήτων νερού από μόνα τους. Από τα πειράματα που διεξήχθησαν προέκυψε πως η περιεχόμενη στα εδάφη υγρασία αυξήθηκε κατά 2,6% κατά μέσο όρο όταν σε αυτά προστέθηκε ζεολιθικός τόφος σε ποσότητα $44,8 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, ποσοστό το οποίο είναι δυνατόν να βοηθήσει στην ανάπτυξη των καλλιεργειών αφού είναι άμεσα διαθέσιμο στα φυτά.

4.3.2. Εφαρμογές για την ελάττωση απαιτούμενων λιπασμάτων

Σημαντικό ακόμα πλεονέκτημα το οποίο προκύπτει από την εφαρμογή ζεολιθικών τόφων σε καλλιέργειες είναι η μείωση της απαίτησης για νιτρικό αμμώνιο. Η χρήση των ζεολιθικών τόφων αποδεδειγμένα αυξάνει την αποδοτικότητα των λιπασμάτων και μειώνει την έκπλυση των θρεπτικών συστατικών. Τα θρεπτικά συστατικά μπορούν να απελευθερώνονται σταδιακά για χρήσεις των φυτών. Έτσι θα

λειτουργήσει σαν ένα αργής απελευθέρωσης λίπασμα, το οποίο θα καθυστερήσει ή θα μειώσει την διαρροή των διαρροή των θρεπτικών πέρα απ' τη ζώνη των ριζών των φυτών, και συνεπώς θα μειώσει τη μετακίνηση αυτών των στοιχείων προς το υπόγειο νερό ή το νερό επιφανειακής απορροής και θα ελαττώσει την πιθανότητα περιβαλλοντικής μόλυνσης (όπως σε ποτάμια και λίμνες). Έρευνες που έγιναν στη Γεωργία (Tsitsishvili et al. 1992) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μείωση της απαίτησης είναι δυνατόν να φτάσει ακόμα και το 50%.

Αντίστοιχα πειράματα έγιναν το 2002 και στις ΗΠΑ (He et al. 2002), όπου πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε φυτείες εσπεριδοειδών προκειμένου να διαπιστωθεί η δυνατότητα του κλινοπτιλόλιθου να συγκρατήσει νιτρικές ενώσεις σε αμμώδες έδαφος ώστε αυτές να μην κινηθούν προς τον υδροφόρο ορίζοντα. Στα πειράματα αυτά χρησιμοποιήθηκε και κυτταρίνη, ως εναλλακτική του ζεόλιθου λύση, και μίγμα κυτταρίνης-ζεόλιθου. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν πως το μίγμα κυτταρίνης-ζεόλιθου παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα στη συγκράτηση του αζώτου (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1. Εξαέρωση νιτρικών από το έδαφος μετά από 28 μέρες επώασης. Η αρχική ποσότητα νιτρικής ένωσης ήταν 200 mg/kg εδάφους (He et al. 2002).

Προσθετικό	Νιτρικό αμμώνιο	Θειικό αμμώνιο	Ουρία
Κανένα	94	125	239
15mg/kg κυτταρίνη	27	40	125
15mg/kg κλινοπτιλόλιθος	17	32	60
15mg/kg κυτταρίνη+15mg/kg κλινοπτιλόλιθος	3	6	29

Ομάδα ερευνητών (Ippolito et al. 2011) προσπάθησε να διερευνήσει τη δυνατότητα κλινοπτιλολιθοφόρου τόφου στον περιορισμό διαρροής αζώτου προς το υπέδαφος, καθώς και τα αποτελέσματα της εφαρμογής του σε καλλιέργειες καλαμποκιού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο (2) διαφορετικά εδάφη από το Idaho στις βορειοδυτικές ΗΠΑ. Κατά τα πειράματα αυτά, στα μελετώμενα εδάφη προστέθηκε ουρία (είτε μεταξύ διαδοχικών στρώσεων εδάφους, είτε αναμεμιγμένη σε όλο το εδαφικό δείγμα), καθώς και διαφορετικές ποσότητες ζεολιθικού τόφου. Τα δείγματα διαβρέχονταν 2 φορές την εβδομάδα, ενώ διατηρούνταν σε θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας 220°C και 30% υγρασίας. Σε διάφορες χρονικές στιγμές (1, 4, 7, 14, 21, 28 και 35 ημέρες) γινόταν έλεγχος των περιεχόμενων NO₃-N και NH₄-N (Πίνακας 4.2).

Εκτός όμως από τη μείωση της απαίτησης για τεχνητά λιπάσματα, ο ζεολιθικός τόφος είναι δυνατόν να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά της κοπριάς όταν ανακατευτεί μαζί της, και να δώσει ένα μίγμα πλούσιο σε συστατικά όπως το άζωτο για χρήση στις καλλιέργειες ως φυσικό λίπασμα. Σύμφωνα με σχετικές έρευνες (Krasen & Knud-Hansen 2004), η προσθήκη ζεολιθικού τόφου στην κοπριά δίνει ευεργετικές αλλαγές (Πίνακας 4.3).

Η χρήση του ζεολιθικού τόφου ως «αργό» λίπασμα για την ενδυνάμωση και καλύτερη ανάπτυξη του γκαζόν βρίσκει εφαρμογή και σε γήπεδα γκολφ (Πίνακας 4.4). Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε ζεολιθικούς τόφους εμπλουτισμένους με θρεπτικά συστατικά, απέδειξαν του λόγου το αληθές, καθώς η παραγωγή γρασιδιού ήταν αυξημένη, ενώ και η απορροή λιπασμάτων προς τον υπόγειο υδροφόρο ή επιφανειακά ήταν πολύ μειωμένη σε σύγκριση με παραδοσιακότερες μεθόδους. Το χορτάρι ενός γηπέδου γκολφ αποτελείται κυρίως από αδρανή άμμο και γι' αυτό δοκιμάζονται διάφορες προσθήκες ώστε να αυξηθεί η ικανότητα της άμμου να

διατηρήσει τα θρεπτικά συστατικά και να μειωθεί η διαρροή και η εξαέρωσή τους. Οι ζεολιθικοί τόφοι βελτιώνουν τις φυσικές ιδιότητες του χορταριού που καλύπτει τα γήπεδα του γκολφ, όπως φιλτράρισμα του νερού, ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος και εξαερισμό.

Πίνακας 4.2. Επίδραση κλινοπτιλολιθοφόρου τόφου (KT) στη συγκέντρωση $\text{NH}_4\text{-N}$ και $\text{NO}_3\text{-N}$ σε εδάφη (Ippolito et al. 2011).

Ποσότητα ΚΤ (Mg.ha ⁻¹)	Στρώσεις- Ανάμειξη	Ημέρες						
		1	4	7	14	21	28	35
		Μέτρηση NH ₄ -N, mg.kg ⁻¹						
0.0	Στρώσεις	26.0	54.4	78.9	17.6	0.5	0.6	0.7
6.7	Στρώσεις	26.3	89.5	78.1	35.8	2.7	1.1	0.9
13.4	Στρώσεις	31.2	66.0	66.3	37.5	7.1	2.5	1.5
20.2	Στρώσεις	30.6	95.7	63.1	30.7	10.5	6.1	4.3
0.0	Ανάμειξη	29.3	78.8	84.5	44.4	5.5	0.6	0.3
6.7	Ανάμειξη	29.4	76.7	109.8	53.3	6.3	0.9	0.6
13.4	Ανάμειξη	34.4	84.2	78.4	55.2	9.4	1.6	0.6
20.2	Ανάμειξη	31.7	82.0	76.8	41.9	11.7	3.0	0.9
		Μέτρηση NO ₃ -N, mg.kg ⁻¹						
0.0	Στρώσεις	6.2	10.3	14.0	72.3	89.8	77.4	89.6
6.7	Στρώσεις	5.7	10.2	13.9	76.4	97.4	101.5	126.5
13.4	Στρώσεις	7.6	8.8	13.5	71.8	102.4	100.3	117.1
20.2	Στρώσεις	6.2	11.4	13.8	82.6	106.0	98.0	102.8
0.0	Ανάμειξη	4.4	8.8	11.6	63.6	107.4	98.2	111.8
6.7	Ανάμειξη	5.0	10.3	12.4	64.3	114.5	102.2	114.2
13.4	Ανάμειξη	6.8	10.6	11.2	56.5	104.8	101.9	115.6
20.2	Ανάμειξη	6.2	9.0	10.2	63.6	105.7	100.4	116.8

Πίνακας 4.3. Επίδραση ζεολιθικού τόφου (ZT) στα χαρακτηριστικά κοπριάς ζώων φάρμας (Krasen and Knud-Hansen 2004).

Ιδιότητες ή χαρακτηριστικά	Κοπριά χωρίς ζύμωση	Κοπριά κομπο- στοποιημένη	Κοπριά με ZT
Προσθέτει N και P ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών	Όχι	Όχι	Ναι
Σχετικά σταθερή σύνθεση	Όχι	Ναι	Ναι
Αργή απελευθέρωση του Αζώτου	Όχι	Όχι	Ναι
Περιορίζει τις απώλειες του Αζώτου	Όχι	Όχι	Ναι
Περιορίζει τις ενοχλητικές μυρωδιές	Όχι	Όχι	Ναι
Αυξημένη συγκράτηση Αζώτου στα χωράφια	Όχι	Όχι	Ναι
Συγκρατεί τα ιχνοστοιχεία του εδάφους	Όχι	Όχι	Ναι
Περιέχει παθογόνους οργανισμούς	Ναι	Όχι	Όχι
Προσθέτει οργανική ουσία στα χωράφια	Ναι	Ναι	Ναι
Αυξάνει τη διαπερατότητα στα χωράφια	Ναι	Ναι	Ναι
Περιορίζει την επιφανειακή διάβρωση	Ναι	Ναι	Ναι

Πίνακας 4.4. Προσθήκη κλινοπτιλολιθοφόρου τόφου από το Όρεγκον των Η.Π.Α. με C.E.C. 160 meq/100g, για τη μείωση της διαρροής θρεπτικών συστατικών (Ming & Allen 2001).

Έδαφος	Λίπασμα (kg N/ha)	Ποσοστό τροποποίησης	Ποσότητα θρεπτικών που διέφυγαν (NO ₃ -N/NH ₄ -N)
Άμμος γηπέδου γκολφ	98	0	20,52/0,25 mg pot ⁻¹
	98	10 % επί του βάρους	18,72/0,22
	196	0	31,64/1,90
	196	10 % επί του βάρους	16,58/11,0
	293	0	141,84/11,0
	293	10 % επί του βάρους	18,27/0,15

Τέλος, από πειράματα έχει διαπιστωθεί πως εξοικονόμηση στην απαιτούμενη ποσότητα αζώτου στη γεωργία είναι δυνατόν να επιτευχθεί και στον τομέα της γεωργοκτηνοτροφίας. Σύμφωνα με ερευνητές (Δαουτόπουλος 2011), αν χρησιμοποιηθεί ο ζεόλιθος και οι ΕΜ στη διατροφή των ζώων και στα δάπεδα των στάβλων, τότε θα παραχθεί μια κοπριά με εξαιρετικές ιδιότητες. Όλη η αμμωνία που φεύγει στην ατμόσφαιρα και επιδρά αρνητικά στην υγεία των ζώων θα δεσμευτεί από τον ζεολιθικό τόφο στο μεγαλύτερο της ποσοστό. Η αμμωνία δεσμεύεται στους μικροπόρους του υλικού στους οποίους δε μπορούν να εισέλθουν τα νιτροποιητικά βακτήρια και να την οξειδώσουν. Αυτή η κοπριά μεταφερόμενη στα χωράφια θα προσφέρει τις ευεργετικές ιδιότητες των ΕΜ, του αζώτου και του ζεολιθικού τόφου. Ο ζεολιθικός τόφος στο σιτηρέσιο των ζώων δεσμεύει την αμμωνία που παράγεται κατά το χώνεμα της τροφής ενώ ταυτόχρονα απελευθερώνει κάλιο που ρυθμίζει την οξύτητα του στομάχου γεγονός που διευκολύνει την απορρόφηση μετάλλων και θρεπτικών στοιχείων.

Σε πειράματα διατροφής που έγιναν διαπιστώθηκε βελτίωση του συντελεστή πέψης της τροφής κατά 5%. Η προσθήκη ζεολιθικού τόφου στο σιτηρέσιο των πουλερικών σε ποσοστό 2% είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αζώτου στην κοπριά κατά 40%. Επίσης η προσθήκη ζεολιθικού τόφου στην υδαρή κοπριά σε ποσοστό 6,25% μείωσε την απώλεια της αμμωνίας σε ποσοστό 55%.

4.3.3. Εφαρμογές για τη βελτίωση εδαφών-υδάτων και ρύθμιση του pH

Η εφαρμογή ζεολιθικών τόφων σε εδάφη τα οποία στερούνται οργανικής μάζας είναι δυνατόν να προσφέρει σε σημαντικό βαθμό στη βελτίωσή τους. Σύμφωνα με τον Parham (1989), έχει διαπιστωθεί πως, με τη σωστή παρακολούθηση, ζεολιθικοί τόφοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όξινα εδάφη (pH έως και 2) χωρίς να αλλοιωθούν οι δυνατότητες ιοντοανταλλαγής που διαθέτουν. Έρευνες που γίνονται δείχνουν πως ο ζεολιθικός τόφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό σε αμμώδη εδάφη, ακόμη και όταν αυτά βρίσκονται σε ξηρά κλίματα, αφού έχει σημαντικές ικανότητες αφαίρεσης υγρασίας από την ατμόσφαιρα και διοχέτευσής της στο ριζικό σύστημα των φυτών.

Βελτίωση όμως είναι δυνατόν να επέλθει και σε εδάφη πλούσια σε φωσφόρο, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται ζεολιθικός τόφος κορεσμένος με αμμώνιο. Η αύξηση της παραγωγής είναι δυνατόν να φτάσει τις δύο τάξεις μεγέθους, όπως διαπιστώθηκε από πειράματα σε θερμοκήπια. Για τον κορεσμό σε αμμώνιο, έχει δοκιμασθεί κοπριά, φρέσκια και παλιά, με τα αποτελέσματα να καταδεικνύουν πως η φρέσκια κοπριά από χοιροστάσια ή ορνιθοτροφεία είναι συγκριτικά καλύτερη ως μέσο κορεσμού του ζεολιθικού τόφου σε αμμώνιο, αφού δεν έχουν προλάβει να αποσπάσουν ή να

εξατμισθούν σημαντικές ποσότητες αμμωνίου. Επιπρόσθετα, η ανάμιξη κοπριάς χοιροτροφείου με ζεολιθικό τόφο οδηγεί στη συγκράτηση διά της ιοντοανταλλαγής βαρέων μετάλλων όπως ο χαλκός, ο ψευδάργυρος και το κάδμιο - συνήθη πρόσθετα στη διατροφή των χοίρων - τα οποία είναι τοξικά για τον άνθρωπο αν ληφθούν σε μεγάλες ποσότητες.

Από τη μελέτη της συμπεριφοράς του, γνωρίζουμε ότι κατά την προσθήκη ζεολιθικού τόφου στο έδαφος, αυξάνεται η ρυθμιστική ικανότητα του τελευταίου έναντι της συστάσεως του θρεπτικού διαλύματος (Καμένου 2001). Ο ζεολιθικός τόφος δεσμεύει κάποια θρεπτικά συστατικά που προστίθενται με την λίπανση, για να τα αποδώσει αργότερα, όταν μειωθεί η συγκέντρωσή τους στην υγρά φάση (την στιγμή που τα έχουν ουσιαστικά ανάγκη οι φυτικοί οργανισμοί) και έτσι δρα ως “αποθήκη” θρεπτικών συστατικών. Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι απώλειες της λίπανσης λόγω έκπλυσης, ενώ βελτιώνονται οι συνθήκες θρέψης των φυτών. Επιπλέον, τα ορυκτά της ομάδας των ζεολιθων μπορούν να δράσουν και ως “παγίδα” στοιχείων που ρυπαίνουν το περιβάλλον (όπως τα βαρέα μέταλλα), να μειώσουν την κινητικότητα αυτών και να περιορίσουν την ρύπανση των επιφανειακών υδάτων και του υδάτινου ορίζοντα.

Ειδικότερα, σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στην Ιαπωνία, φρέσκια κοπριά χοιροστασίου - η οποία περιέχει μόλις περί το 10% στερεά – αναμείχθηκε με λάσπη πλούσια σε κλινοπτιλολιθοφόρο τόφο. Το προϊόν είχε λιγότερο έντονη μυρωδιά, και ήταν περιείχε μεγαλύτερο ποσοστό στερεών, ενώ διαπιστώθηκε πως ήταν δυνατή η χρήση του ως βελτιωτικό-λίπασμα εδάφους σε ορυζώνες. Οι αντίστοιχες έρευνες σε κοπριά ορνιθοτροφείου στις Η.Π.Α. έδειξαν πως είναι δυνατή η μείωση της υγρασίας κατά 25% περίπου, δίνοντας έτσι προϊόν το οποίο είναι ευκολότερα διαχειρίσιμο από το αρχικό.

Επιπρόσθετα, θετικά είναι και τα αποτελέσματα από την ρίψη ζεολιθικών τόφων σε βασικά ύδατα (Φιλιππίδης 2005, Φιλιππίδης κ.α. 2006, Φιλιππίδης 2014). Από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με ύδατα της λίμνης Κορώνειας, που χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές του pH (της τάξης του 9.5), η ρίψη ζεολιθικού τόφου είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του pH σε ουδέτερες τιμές (της τάξης του 7.2) εντός μίας ώρας περίπου.

Αναφορικά με τη ρύθμιση του pH του εδάφους, η προσθήκη ζεόλιθου στα εδάφη είναι θεωρητικά δυνατόν να επιφέρει μετατόπιση αυτού προς ουδέτερες τιμές. Εντούτοις, όπως φαίνεται και στους επόμενους πίνακες (Πίνακες 4.5, 4.6, 4.7, 4.8), η μεταβολή του pH σε διάφορες καλλιέργειες και εδάφη δεν έδωσε τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Πίνακας 4.5. Μεταβολή του pH σε καλλιέργεια σίκαλης μετά την εφαρμογή ζεολιθικών τόφων (ZT) (Leggo et al. 2006).

Λίπασμα	pH
Δείγμα ελέγχου	8.05
16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 34.5 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	7.63
16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 88.3 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	7.83
16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 136.8 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	7.86
16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 180.4 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	8.03
16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 219.5 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	7.93

Πίνακας 4.6. Μεταβολή του pH σε καλλιέργειες φάβας και καλαμποκιού μετά την εφαρμογή ζεολιθικού τόφου και μπεντονίτη (Hassan & Mahmoud 2013).

Λίπασμα	pH
Άνευ προσθήκης	8,75
1.5 τον. / fed	8,80
2.0 τον. / fed	8,86
2.5 τον. / fed	9,02

Πίνακας 4.7. Μεταβολή του pH σε σπωρώνες μήλων μετά την εφαρμογή ζεολιθικού τόφου (ZT), τεχνητού λίπασματος και κοπριάς (Milosevic & Milosevic 2009).

Λίπασμα	pH βάθος 0-20 εκ.	pH βάθος 20-40 εκ.	pH βάθος 40-60 εκ.
Έλεγχος	5,19	4,91	4,89
Τεχνητό λίπασμα + κοπριά	6,42	5,89	5,35
Τεχνητό λίπασμα	5,15	4,87	4,62
ZT + τεχνητό λίπασμα + κοπριά	6,67	6,01	5,22
ZT + τεχνητό λίπασμα	6,45	5,93	5,30

Πίνακας 4.8. Μεταβολή του pH κατά την καλλιέργεια καλαμποκιού μετά την εφαρμογή ζεολιθικού τόφου (ZT), ουρίας και στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη (Omar et al. 2011).

Λίπασμα	pH
Κανένα λίπασμα	4,58
2.02γρ ουρίας	3,94
2.02γρ ουρίας, 30γρ ZT και 7λίτρα στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη	3,95
2.02γρ ουρίας, 40γρ ZT και 7λίτρα στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη	4,08
2.02γρ ουρίας και 7λίτρα στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη	3,89

4.3.4. Εφαρμογές για την αύξηση της παραγωγής (εκτός Ελλάδας)

Όπως και στις περισσότερες άλλες πρακτικές εφαρμογές της επιστήμης, έτσι και στην περίπτωση του ζεολιθικού τόφου, ο κύριος σκοπός χρήσης του στη γεωργία είναι η βελτίωση και η αύξηση της παραγωγής. Για το λόγο αυτό, τα πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί επικεντρώνονται στη διερεύνηση της δυνατότητας αύξησης παραγωγής σχεδόν κάθε τύπου καλλιεργειών, όπως είναι τα φρούτα (σταφύλια, φράουλες, βατόμουρα, μήλα κ.ά.), τα λαχανικά (καρότα, πιπεριές, κρεμμύδια, αγγούρια κ.ά.), τα δημητριακά (καλαμπόκι, σιτάρι, σόγια, σίκαλη κ.ά.), ακόμα και λουλούδια (γεράνια κ.ά.).

Στις περισσότερες έρευνες οι παραγόμενες ποσότητες παρουσιάστηκαν σε σύγκριση με καλλιέργειες ίδιου τύπου όπου δεν πραγματοποιούνταν παρεμβάσεις - προσθήκες (καλλιέργειες ελέγχου). Στην παρούσα εργασία, οι μεταβολές στην παραγωγή παρουσιάζονται μαζί ώστε να είναι ευκολότερη η εξαγωγή συμπερασμάτων.

Αναλυτικότερα,

Σύμφωνα με τον Mumpton (1999), η χρησιμοποίηση κλινοπτιλολιθοφόρου τόφου, για τη φροντίδα του εδάφους, οδήγησε σε σημαντικές αυξήσεις στις σοδειές σιταριού (13-15%), μελιτζάνας (19-55%), μήλων (13-38%) και καρότου (63%) όταν

χρησιμοποιήθηκαν 4-8 τόνοι/εκτάριο ζεολιθικών τόφων. Ακόμα, η προσθήκη κλινοπτιλολιθοφόρου τόφου αύξησε τις σοδειές κριθαριού.

Επίσης, αυξήθηκαν οι σοδειές πατάτας, κριθαριού, τριφυλλίου και σιταριού προσθέτοντας 15τόνους/εκτάριο σε Ουκρανικά αμμώδη εδάφη. Ο κλινοπτιλολιθοφόρος τόφος σαν μέσο στο φύτεμα χρυσανθέμων συμπεριφέρθηκε σαν αργής ροής Καλιούχο λίπασμα οδηγώντας στην ίδια ανάπτυξη για τα φυτά όπως με καθημερινό πότισμά τους με το διάλυμα Hoagland. Η ιοντοαλλαγή NH_4 -κλινοπτιλολιθοφόρου τόφου σε πειράματα σε θερμοκήπια είχε σαν αποτέλεσμα αύξηση κατά 59% και 53% στο βάρος ρίζας των ραπανιών σε εδάφη με μέτριο και ελαφρύ πηλό αντίστοιχα.

Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα που μνημονεύονται από άλλους ερευνητές (Tsitsishvili et al. 1992). Πειράματα που έγιναν στην Ιαπωνία κατέδειξαν ότι είναι δυνατή η αύξηση παραγωγής καρότων, μελιτζανών, μήλων και σιταριού από 15 έως 63% σε σύγκριση με εδάφη όπου δεν έγινε εφαρμογή ζεολιθικού τόφου. Στην ίδια έρευνα γίνεται αναφορά πως σε παρόμοιες έρευνες που έλαβαν χώρα στην Ταϊβάν διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή ζεολιθικών τόφων στους οποίους είχε προστεθεί αμμώνιο και κάλιο είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής κριθαριού 26% κατά μέσο όρο. Σε αντίστοιχες έρευνες στα εύφορα εδάφη της Σιβηρίας, μετρήθηκε πως η προσθήκη 2,5-5 τόνων ανά 10 στρέμματα ζεολιθικών τόφων μαζί με σημαντικές ποσότητες ανόργανων λιπασμάτων έδωσε αυξημένη κατά 12-25% παραγωγή πατάτας, 18-36% παραγωγή καλαμποκιού και 8-11% παραγωγή σιταριού. Έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί και σε καλλιέργειες βαμβακιού, όπου η εφαρμογή 1,5-2 τόνων ζεολιθικού τόφου ανά στρέμματα καλλιέργειας αύξησε την παραγωγή κατά 250 με 310 κιλά ανά 10 στρέμματα. Τέλος, στοιχεία που συγκεντρώθηκαν μετά από έρευνες στη Γεωργία καταδεικνύουν πως η χρήση ζεολιθικού τόφου είναι δυνατόν να οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγής γερανιών και αιθέριων ελαίων κατά 10% περίπου.

Οι έρευνες στη χώρα της **Γεωργίας** όμως δεν επικεντρώθηκαν μόνο στην καλλιέργεια γερανιών. Σύμφωνα με το (Andronikashvili et al. 2007), η εφαρμογή ζεολιθικών τόφων σε όξινα εδάφη στα δυτικά της χώρας είχε ευεργετικές συνέπειες στο πλήθος των μικροοργανισμών που ρυθμίζουν το άζωτο στο καλλιεργήσιμο έδαφος, με αυξήσεις στον πληθυσμό τους που έφτασαν το 270% (Πίνακας 4.9).

Πίνακας 4.9. Ποσοστιαίες μεταβολές στους πληθυσμούς μικροοργανισμών από την εφαρμογή οργανοζεολιθικών λιπασμάτων κατά την πάροδο του χρόνου (Andronikashvili et al. 2007).

Δείγματα	Χειμώνας 1989-90	Άνοιξη 1990	Καλοκαίρι 1990	Φθινόπωρο 1990	Άνοιξη 1990-1991
Έλεγχος $\text{N}_{60}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$ kg/ha	100,0%	153,4%	161,0%	125,6%	67,2%
Οργανοζεολιθικά λιπάσματα 60t/ha	100,0%	250,0%	270,9%	232,1%	133,4%

Η ευεργετική επίδραση της εφαρμογής σε φτωχά εδάφη ζεολιθικών τόφων με ή χωρίς οργανικά λιπάσματα γίνεται ακόμα περισσότερο κατανοητή εάν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι θετικά αποτελέσματα παρατηρούνται πέρα από το έτος εφαρμογής, και για δύο με τρία χρόνια μετά, σύμφωνα με έρευνες που διεξήχθησαν σε καλλιέργειες καλαμποκιού, τεύτλων, κρεμμυδιών και σκόρδου (Πίνακας 4.10).

Πίνακας 4.10. Επίδραση εδαφών πλούσιων σε ζεολιθικό τόφο στην αγροτική παραγωγή. CLIN = τόφος με κλινοπυρόλιθο, PHI = τόφος με φιλλιπσίτη, LAU = τόφος με λομοντίτη, p.m. = κοπριά ορνιθοτροφείου. (%) = Αύξηση παραγωγής ως προς την καλλιέργεια ελέγχου (Andronikashvili et al. 2007).

Καλλι- έργεια	Έδαφος	Έτη λήψης μετρήσεων	Δοσολογία θρεπτικών συστατικών	Έλεγχος	(%)
Καλα- μπόκι	Ξηρό υποτροπικό ποντζολικό	2001-2003	CLIN (20t/ha) + p.m. (20t/ha) PHI (20t/ha) + p.m. (20t/ha)	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ kg/ha N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ kg/ha	≈27 σπόρος ≈40 σπόρος
Σιτάρι	Καφέ – γκρι (αλκαλικό)	1985-1986	CLIN (45t/ha) + N ₁₂₀ P ₁₈₀ K ₉₀ kg/ha	N ₁₂₀ P ₁₈₀ K ₉₀ kg/ha	≈11 σπόρος
Σιτάρι	Τυπικό καφέ (ελαφρώς αλκαλικό)	2000-2001	LAU (6t/ha)	N ₁₂₀ P ₁₈₀ K ₉₀ kg/ha	≈40 σπόρος
Σόγια	Κόκκινο (όξινο)	2003	PHI (20t/ha) + cattle manure p.m. (20t/ha)	N ₆₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ kg/ha	≈54 σπόρος
Τεύτλα	Τυπικό καφέ (ελαφρώς αλκαλικό)	2000-2002	CLIN (15t/ha) + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ kg/ha PHI (15t/ha) + N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ kg/ha	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ kg/ha N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ kg/ha	≈17 ≈37
Καρότα	Καφέ – γκρι (ελαφρώς αλκαλικό)	1986	CLIN (21t/ha) + N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ kg/ha	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ kg/ha	≈30
Πιπεριές	Καφέ – γκρι (ελαφρώς αλκαλικό)	1986	CLIN (21t/ha) + N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ kg/ha	N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀ kg/ha	≈23
Κρεμ- μύδια	Ξηρό υποτροπικό ποντζολικό	2000-2002	CLIN (10t/ha) + p.m. (10t/ha) PHI (10t/ha) + p.m. (10t/ha)	N ₆₀ P ₈₀ K ₅₀ kg/ha N ₆₀ P ₈₀ K ₅₀ kg/ha	≈29 ≈12
Σκόρδα	Ξηρό υποτροπικό ποντζολικό	2000-2002	CLIN (7.5t/ha) + p.m. (7.5t/ha) PHI (7.5t/ha) + p.m. (7.5t/ha)	N ₇₀ P ₈₀ K ₆₀ kg/ha N ₇₀ P ₈₀ K ₆₀ kg/ha	≈20 ≈21
Αγγούρια	Καφέ – γκρι (ελαφρώς αλκαλικό)	2001	NH ₄ - ANAL (4t/ha)	N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀ kg/ha	≈17
Χτένια	Καφέ – γκρι (ελαφρώς αλκαλικό)	2001	NH ₄ - ANAL (4t/ha)	N ₆₀ P ₆₀ K ₃₀ kg/ha	≈19
Σταφύλια	Καφέ – γκρι (ελαφρώς αλκαλικό)	2002	NH ₄ - ANAL (100g/plant) NH ₄ - PHI (100g/plant) NH ₄ - CLIN (100g/plant)	δεν εφαρ- μόστηκαν λιπάσματα	≈67 ≈80 ≈100

Παραμένοντας στην ευρύτερη γεωγραφική περιοχή, μεταφερόμαστε στο γειτονικό **Ιράν**, όπου κατά τα έτη 2004-2005 εργαστηριακές έρευνες πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκήπια που καλλιεργούνταν φράουλες (Abdi et al. 2006). Κατά τα πειράματα αυτά, σε γλάστρες χωρητικότητας 3kg τοποθετήθηκε μίγμα

εδάφους και χώματος από φύλλα σε αναλογία 1:1. Στα φυτά εφαρμοζόταν λίπασμα σε μηνιαία βάση σε συγκέντρωση 1.5 g/L. Ο φωτισμός στο θερμοκήπιο ήταν φυσικός, ενώ η θερμοκρασία διατηρούνταν περί τους 25°C τη μέρα και περί τους 13°C τη νύχτα. Ο ζεολιθικός τόφος εφαρμόστηκε σε ποσότητες 1, 2 ή 3g/kg εδάφους (Πίνακας 4.11).

Πίνακας 4.11. Επίδραση ζεολιθικού τόφου (ZT) στο ρυθμό φωτοσύνθεσης κ.λπ. σε φράουλες (Abdi et al. 2006).

Χαρακτηριστικά	ZT g/kg εδάφους			
	0	1	2	3
Ρυθμός φωτοσύνθεσης ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	20,586	29,628	29,512	26,65
Ρυθμός διαπνοής στομάτων ($\text{Mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	0,221	0,678	0,746	0,462
Αποτελεσματικότητα μεσόφυλλου ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}/\text{rpm}$)	0,13	0,23	0,21	0,28
Επάρκεια χρήσης νερού ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}/\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	2,12	2,60	2,83	3,12
Παραγωγή (g)	70,02	87,97	91,39	104,69

Παρόμοια πειράματα διεξήχθησαν κατά το ίδιο περίπου χρονικό διάστημα σε καλλιέργειες φράουλας (Ghazvini et al. 2007), με τη διαφορά ότι σε αυτά χρησιμοποιήθηκε μείγμα περλίτη και ζεολιθικού τόφου (κλινοπτιλόλιθου). Οι αναλογίες ανάμειξης που εξετάστηκαν κυμαίνονταν από 100% περλίτη έως 100% ζεολιθικός τόφος (Πίνακας 4.12).

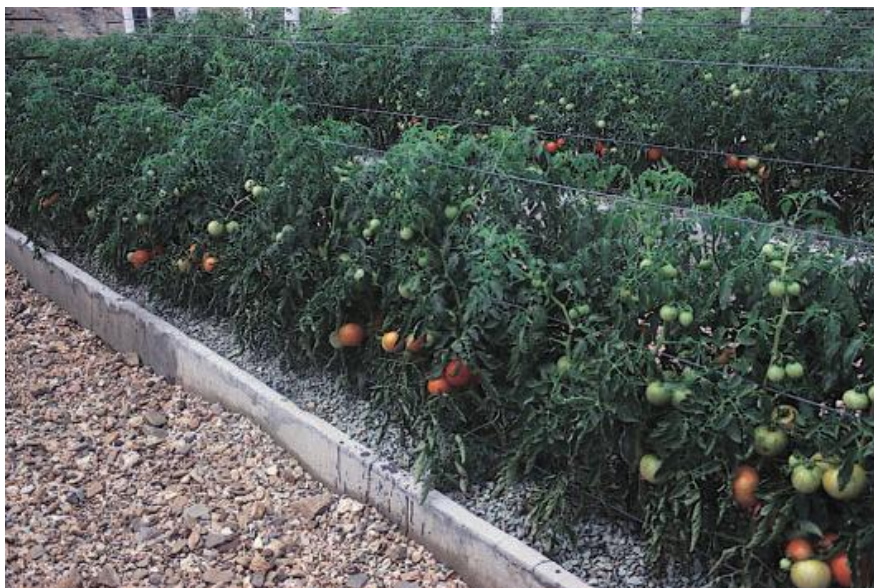
Πίνακας 4.12. Επίδραση μιγμάτων ζεολιθικού τόφου (ZT) - περλίτη στην παραγωγή φράουλας (Ghazvini et al. 2007).

Συστατικό	Απόδοση (gr/φυτό)
Περλίτης 100%	210,00
Περλίτης 75% - ZT 25%	256,84
Περλίτης 50% - ZT 50%	260,81
Περλίτης 25% - ZT 75%	158,87
ZT 100%	98,83

Άξια αναφοράς είναι, τα πειράματα που έγιναν για με την καλλιέργεια φράουλας χωρίς τη χρήση εδαφικού υλικού (Ashraf 2011). Με σκοπό την αποφυγή προβλημάτων αλατότητας, ασθενειών, κακής απορρόφησης και απορροής, εξετάστηκε η δυνατότητα ανάπτυξης καλλιεργητικών συστημάτων στα οποία το ρόλο του εδαφικού υλικού υποκαθιστούν μέσα όπως ο περλίτης, ο ζεολιθικός τόφος (ZT) και η ελαφρόπετρα. Μελετήθηκε η ανάπτυξη του φυτού της ντομάτας σε συνθήκες θερμοκηπίου, ενώ το πότισμα γινόταν με υφάλμυρο νερό. Τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν, περλίτης, ελαφρόπετρα, ZT, μίγμα περλίτη-ZT, μίγμα περλίτη-ελαφρόπετρας και μίγμα ZT-ελαφρόπετρας (Πίνακας 4.13).

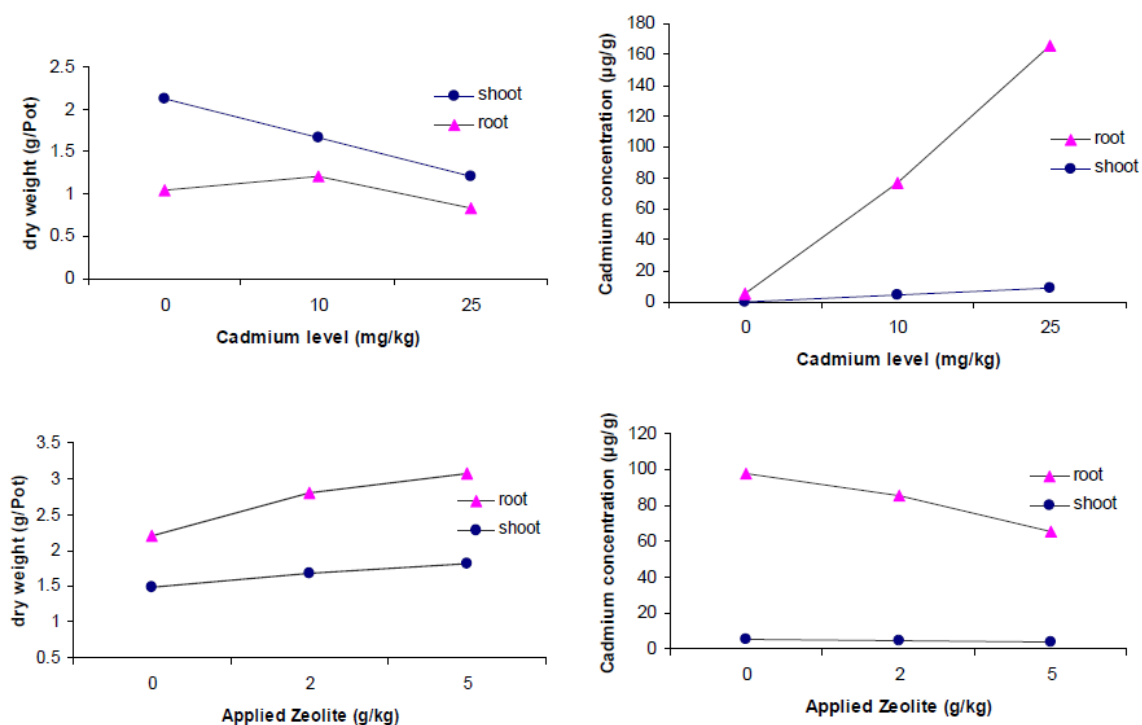
Πίνακας 4.13. Επίδραση υποστρωμάτων στην καλλιέργεια ντομάτας (Ashraf 2011).

Υπόστρωμα	Παραγωγή ανά φυτό (kg)
Περλίτης	1,50
Ελαφρόπετρα	1,40
Ζεολιθικός Τόφος (ZT)	1,55
Περλίτης - ZT	2,70
Περλίτης - Ελαφρόπετρα	1,58
Ελαφρόπετρα - ZT	2,42



Σχήμα 4.2. Ντομάτες που καλλιεργούνται με τη χρήση ζεολιθικού τόφου στην Αβάνα, Κούβα (Mumpton 1999)

Πειράματα στο Ιράν έχουν γίνει και σχετικά με την παραγωγή σόγιας (Mahmoodabadi et al. 2009), και μάλιστα σε εδάφη τα οποία είναι ρυπασμένα με βαριά μέταλλα, τα οποία δεν είναι βιοαποικοδομήσιμα. Έτσι, σε θερμοκήπια στο Shiraz, σε επιφανειακό εδαφικό υλικό προστέθηκε ζεολιθικός τόφος σε αναλογίες 0, 2 και 5 gr/kg εδάφους μαζί με Κάδμιο (σε αναλογία 0, 10 και 25 mg/kg εδάφους), ενώ προστέθηκαν και κατάλληλες ποσότητες αζώτου, φωσφόρου, σιδήρου και άλλων μετάλλων (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3. Εφαρμογή ζεολιθικού τόφου και Καδμίου στο ξηρό βάρος και τη συγκέντρωση Καδμίου φυτών σόγιας (Mahmoodabadi et al. 2009).

Πέραν από τις έρευνες σε εδάφη ρυπασμένα με βαρέα μέταλλα, έρευνες έχουν γίνει και σχετικά με τη δυνατότητα χρήσης του ζεολιθικού τόφου (κλινοπτιλόλιθου) για τον έλεγχο σε νερό ιχθυοκαλλιέργειας του αζώτου (Rafiee & Saad 2006). Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε πείραμα σε δεξαμενή όπου μεγάλωναν κόκκινες τιλάπιες (είδος ψαριού), από την οποία, με τη βοήθεια αντλίας, μεταφερόταν νερό σε ελεγχόμενο χώρο όπου είχαν τοποθετηθεί γλάστρες με μαρούλια (Πίνακας 4.14).

Πίνακας 4.14. Επίδραση ζεολιθικού τόφου (ΖΤ) στην ανάπτυξη ψαριών και μαρουλιού (Rafiee & Saad 2006).

Καλλιέργεια μαρουλιού	Βάρος ψαριού (g)	Συγκομιδή μαρουλιού (g)
Χωρίς ΖΤ	32,5	275
Με ΖΤ	37,5	1507

Λίγο δυτικότερα, στην **Ιορδανία**, αναζητήθηκαν (Mohammad et al. 2004) οι επιδράσεις του ζεολιθικού τόφου με Φιλλιπσίτη στην ανάπτυξη του κρότωνα, είδους διακοσμητικού φυτού. Το λίπασμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν μίγμα Σκανδιναβικού λιπάσματος από φυτάνθρακα, περλίτη και ζεολιθικού τόφου, σε αναλογία όγκων 1:1,5:1,5. Ακόμα, ο ζεολιθικός τόφος είχε υποστεί εμπλουτισμό με μίγμα το οποίο περιείχε 1,5% $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ και 1,5% K_2SO_4 . Η αναλογία ανάμιξης του μίγματος με τον ζεολιθικό τόφο ήταν 1:1 κατ' όγκο. Για την σύγκριση της αποτελεσματικότητας των δοκιμών μετρήθηκε η συνολική επιφάνεια των φύλλων κάθε φυτού (Πίνακας 4.15).

Πίνακας 4.15. Επίδραση λιπάσματος στην ανάπτυξη κρότωνα (Mohammad et al. 2004)

Συγκέντρωση διαλύματος λιπάσματος (mg.L^{-1})	Επιφάνεια Φύλλων (cm)
0	437
75	427
150	391
225	369

Στην **Τουρκία**, έρευνες εστιάστηκαν σε χωράφια με πολύ φτωχά ποσοστά οργανικής ύλης και θρεπτικών στοιχείων (Yolcu et al. 2011). Στη χαμηλή παραγωγή συμβάλουν και οι ισχυρές διαβρώσεις τόσο από το νερό όσο και από τον άνεμο. Σε καλλιέργειες σίκαλης εφαρμόστηκαν, διακριτά, ζωικό λίπασμα, ζεολιθικός τόφος και λεοναρδίτης. Η εφαρμογή ζεολιθικού τόφου σε καλλιέργειες σίκαλης δίνει σημαντικά (έως και διπλάσιο) παραγόμενο βάρος (Πίνακας 4.16).

Πίνακας 4.16. Επίδραση ζεολιθικού τόφου σε παραγωγή σίκαλης (Yolcu et al. 2011).

Λίπασμα	Ποσότητα (t.ha^{-1})	Βάρος σανού (kg.ha^{-1})
Άνευ λιπάσματος	0.00	1318
Κοπριά	20.00	1232
Κοπριά	40.00	1507
Ζεολιθικός τόφος	0.25	2599
Ζεολιθικός τόφος	0.50	1482
Ζεολιθικός τόφος	0.75	1731
Λεοναρδίτης	0.25	2012
Λεοναρδίτης	0.50	1429
Λεοναρδίτης	0.75	1473

Παραμένοντας στη Μεσόγειο, άξια αναφοράς είναι τα αποτελέσματα πειραμάτων που διεξήχθησαν το 2009 και το 2010 στην **Αίγυπτο** και αφορούσαν τη χρήση ζεολιθικού τόφου σε καλλιέργειες φάβας και καλαμποκιού (Hassan & Mahmoud 2013). Η ιδιαιτερότητα των συγκεκριμένων πειραμάτων βρίσκεται στο γεγονός ότι εκτός από τον ζεολιθικό τόφο, στο έδαφος προστέθηκε και μπετονίτης, ως μέσο ρύθμισης των χαρακτηριστικών του εδάφους. Η αναλογία των δύο συστατικών ήταν 1:10 (Πίνακες 4.17 και 4.18).

Πίνακας 4.17. Βάρος παραγόμενης φάβας (Hassan & Mahmoud 2013).

Λίπασμα	Ύψος φυτού (εκ.)	Αρ. κλαδιών/φυτό	Αρ. σπόρων/φυτό	Παραγωγή σπόρων (τον./ fed)
Άνευ προσθήκης	64,6	3,00	43,00	3,09
1.5 τον. / fed	68,5	4,99	51,82	4,48
2.0 τον. / fed	74,5	5,00	60,00	4,59
2.5 τον. / fed	79,8	6,00	79,00	4,85

Πίνακας 4.18. Βάρος παραγόμενου καλαμποκιού (Hassan & Mahmoud 2013).

Λίπασμα	Μήκος φυτού (εκ.)	Αρ. γραμμών/φυτό	Βάρος φυτού (γρ)	Παραγωγή σπόρων (τον./ fed)
Άνευ προσθήκης	14,90	12,00	123,6	2,184
1.5 τον. / fed	16,19	16,19	134,2	2,252
2.0 τον. / fed	20,19	20,19	211,0	2,362
2.5 τον. / fed	20,39	20,39	241,3	2,995

Περνώντας στα Βαλκάνια, αξιοσημείωτα είναι τα αποτελέσματα μελετών για την επίδραση ζεολιθικών τόφων στην καλλιέργεια σίκαλης (Beqiraj et al. 2008). Στα θερμοκήπια της Γεωπονικής Σχολής Τιράνων, στη γειτονική **Αλβανία**, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες σε γλάστρες οι οποίες περιείχαν αμμώδη εδάφη προστέθηκε ζεολιθικός τόφος, είτε μόνος του, είτε σε ανάμειξη με φυσική κοπριά. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν ότι η παρουσία των ζεολιθικών τόφων είχε θετική επίδραση στην παραγόμενη ποσότητα σίκαλης, στις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών και στη συγκράτηση θρεπτικών συστατικών (Πίνακας 4.19).

Πίνακας 4.19. Βάρος παραγόμενης σίκαλης για τέσσερις σοδιές με τη χρήση ζεολιθικού τόφου (ΖΤ) (Beqiraj et al. 2008).

Λίπασμα	Ποσότητα (gr ξηρής μάζας / γλάστρα)	Ποσότητα (gr ξηρής μάζας / γλάστρα)	Ποσότητα (gr ξηρής μάζας / γλάστρα)	Ποσότητα (gr ξηρής μάζας / γλάστρα)
Άνευ προσθήκης	0,74	0,40	0,39	0,29
Φυσική Κοπριά(148:75:60kg/ha N,P,K)	1,78	1,11	0,62	0,28
ZT (600 kg/ha)	1,55	1,11	0,59	0,09
ZT (1200 kg/ha)	1,45	1,07	0,61	0,26
ZT (600 kg/ha) + Κοπριά (148:75:60 kg/ha N,P,K)	2,04	1,10	1,04	0,14
ZT (1200 kg/ha) + Κοπριά (148:75:60 kg/ha N,P,K)	1,64	0,94	0,88	0,08
ZT (5% βάρους εδαφικού υλικού)	0,84	0,65	0,77	0,13

Εκτεταμένες έρευνες (Manolov et al. 2005) για τη χρήση του ζεολιθικού τόφου στη γεωργία έχουν πραγματοποιηθεί και στη γειτονική μας **Βουλγαρία**. Στα εν λόγω πειράματα χρησιμοποιήθηκε ακόμα καφέ ζεολιθικός τόφος από την Ιορδανία, ενώ ορισμένες ποσότητες των δύο ζεολιθικών τόφων αναμίχθηκαν με πολυμερείς ενώσεις οι οποίες βελτίωναν την απορροφητικότητα ύδατος. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε γλάστρες υπό ελεγχόμενες συνθήκες, ενώ οι καλλιέργειες που δοκιμάστηκαν ήταν οι ντομάτες και τα αγγούρια (Πίνακες 4.20 και 4.21).

Πίνακας 4.20. Μήκος αγγουριάς (εκ.) σε διάφορες χρονικές στιγμές (Manolov et al. 2005).

Λιπάσματα	05.08.2004	10.08.2004	20.08.2004	01.09.2004
JZT	3,3	6,3	13,0	30,2
BGZ	4,8	8,7	18,4	39,4
JZT:BGZ = 1:1	5,2	9,8	18,6	44,6
JZT:BGZ = 3:1	3,8	7,5	17,2	43,6
JZT:Org. = 7:3	4,1	7,0	14,8	47,8
JZT+TW	3,1	6,4	14,2	35,6
BGZ+TW	7,0	12,2	22,2	49,2
JZT:BGZ = 1:1+TW	6,7	10,8	22,2	45,4
JZT:BGZ = 3:1+TW	4,3	8,2	18,2	48,0

JZT = Ζεολιθικός Τόφος Ιορδανίας, BGZ = Βουλγαρικός ζεολιθικός τόφος,
TW = πολυμερή πρόσθετα, Org. = οργανικό προϊόν δράσης γεωσκώληκων.

Πίνακας 4.21. Μήκος ντοματιάς (εκ.) σε διάφορες χρονικές στιγμές (Manolov et al. 2005).

Λιπάσματα	12.08.2004	23.08.2004	03.09.2004
JZT	3,1	8,0	19,8
BGZ	5,2	12,8	24,0
JZT:BGZ = 1:1	4,7	11,8	26,2
JZT:BGZ = 3:1	4,3	9,0	25,8
JZT:Org. = 7:3	4,9	12,0	28,6
JZT+TW	3,5	9,0	19,2
BGZ+TW	5,3	13,0	28,6
JZT:BGZ = 1:1+TW	5,3	11,0	28,2
JZT:BGZ = 3:1+TW	4,6	10,6	23,8

JZT = Ζεολιθικός Τόφος Ιορδανίας, BGZ = Βουλγαρικός ζεολιθικός τόφος,
TW = πολυμερή πρόσθετα, Org. = οργανικό προϊόν δράσης γεωσκώληκων.

Ο Βουλγαρικός ζεολιθικός τόφος χρησιμοποιήθηκε και σε έρευνες (Leggo et al. 2006) που έγιναν εκτός των βουλγαρικών συνόρων. Ομάδα ερευνητών από το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Γαλλία πραγματοποίησαν πειράματα με ζεολιθικό τόφο (κλινοπτιλόλιθου), αναμεμιγμένο σε ορισμένες περιπτώσεις με κοπριά από ορνιθοτροφία (αμμωνιακά ενισχυμένος ζεολιθικός τόφος), σε διάφορες αναλογίες βάρους. Το μίγμα χρησιμοποιήθηκε για την καλλιέργεια σιταριού και σίκαλης σε γλάστρες. Για την σύγκριση των διαφόρων δειγμάτων μετρήθηκε το βάρος του καλαμιού (Πίνακας 4.22).

Πίνακας 4.22. Βάρος καλαμιού σιταριού και σίκαλης (Leggo et al. 2006).

Δείγμα σιταριού	Καλάμι (γρ.)	Δείγμα σίκαλης	Καλάμι (γρ.)
Δείγμα ελέγχου	1,42	Δείγμα ελέγχου	6,76
16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 34.5 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ζεολιθικός τόφος (ZT)	7,67	16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 34.5 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	25,83
16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 88.3 gr/kg αμμωνιακά ZT	11,41	16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 88.3 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	26,49
16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 136.8 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	11,32	16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 136.8 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	25,46
16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 180.4 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	10,83	16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 180.4 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	25,10
16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 219.5 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	12,50	16.7% κ.ό. λίπασμα στο οποίο 219.5 gr/kg αμμωνιακά ενισχυμένος ZT	24,51

Η χρησιμότητα της εφαρμογής ζεολιθικού τόφου (κλινοπτιλόλιθου) σε συνδυασμό με λίπασμα από φάρμες αγελάδων για την βελτίωση της παραγωγής φρούτων ερευνήθηκε στη **Σερβία** (Glisic et al. 2009). Σε όξινες εκτάσεις (pH ~ 5) στα δυτικά της χώρας, καλλιεργήθηκαν φράουλες και βατόμουρα (blackberry) για δύο έτη (2002-2003) με τη χρήση ζεολιθικού τόφου, ενώ σε γειτονικές καλλιέργειες εφαρμόστηκε κοπριά αναμεμιγμένη με τεχνητό λίπασμα πλούσιο σε μεταλλικά στοιχεία (Πίνακας 4.23).

Πίνακας 4.23 Επίδραση ζεολιθικού τόφου (ZT) αναμεμιγμένου με λίπασμα σε παραγωγή φράουλας και βατόμουρων (Glisic et al. 2009).

Μετρούμενο μέγεθος	Είδος φρούτου	Τεχνητό λίπασμα	ZT
		Μ.Ο. 2002-2003	Μ.Ο. 2002-2003
Απόδοση (t.ha ⁻¹)	Φράουλες	8.69	9.41
	Βατόμουρα	13.86	14.34

Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτει ότι η εφαρμογή του ζεολιθικού τόφου σε όξινα εδάφη είναι σημαντικά αποτελεσματικότερη από την εφαρμογή τεχνητών λιπασμάτων, ενώ παράλληλα επιτυγχάνει και τη ρύθμιση του pH προς ουδέτερες τιμές, στοιχείο το οποίο δεν κατάφερε να πετύχει το τεχνητό λίπασμα.

Παραμένοντας στην ίδια χώρα, απαραίτητο είναι να παρουσιαστούν και έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε οπωρώνες μήλων στη δυτική Σερβία (Milosevic & Milosevic 2009). Εκεί, εφαρμόστηκε συνδυασμός ζεολιθοφόρου τόφου, ζωικής κοπριάς και τεχνητού λιπάσματος, σε αντιπαραβολή με εφαρμογές τεχνητού λιπάσματος μόνο, ή τεχνητού λιπάσματος και ζωικής κοπριάς (Πίνακας 4.24).

Από τις έρευνες αυτές δεν προέκυψαν σαφή αποτελέσματα, αφού, σύμφωνα με τους ερευνητές, για την αποδοτική ανάπτυξη μιας μηλιάς απαιτείται συνδυασμός βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων. Αντίστοιχα πειράματα (Milosevic & Milosevic 2013) έγιναν και σε καλλιέργειες ροδάκινων στη ίδια περιοχή, στο διάστημα μεταξύ των ετών 2008 και 2010 (Πίνακας 4.25).

Πίνακας 4.24. Επίδραση ζεολιθικού τόφου (ΖΤ) στην παραγωγή μήλων (Milosevic & Milosevic 2009).

Λίπασμα	Απόδοση (kg/δέντρο)	Απόδοση (t/ha)
Έλεγχος (ποικιλία Idared)	21.75	60.42
Τεχνητό λίπασμα + κοπριά	21.37	59.38
Τεχνητό λίπασμα	20.37	56.60
ΖΤ + τεχνητό λίπασμα + κοπριά	21.87	60.77
ΖΤ + τεχνητό λίπασμα	21.50	59.72
Έλεγχος (ποικιλία Melrose)	19.87	55.20
Τεχνητό λίπασμα + κοπριά	20.43	55.20
Τεχνητό λίπασμα	19.87	53.99
ΖΤ + τεχνητό λίπασμα + κοπριά	20.93	58.16
ΖΤ + τεχνητό λίπασμα	20.56	57.12

Πίνακας 4.25. Επίδραση ζεολιθικού τόφου (ΖΤ) στην παραγωγή ροδάκινων (Milosevic & Milosevic 2013).

Ποικιλία ροδάκινου	Λίπασμα	Συνολική παραγωγή (kg/δέντρο)
Aleksandar	Οργανικό λίπασμα αγελάδων (0,5% N, 0,3% P, 0,6% K, 25% οργανικά) – 5kg/m ² T ₁	8.76
	NPK σε αναλογία 15-15-15 – 0.05kg/m ² T ₂	12.18
	Μεταλλικό λίπασμα – 0.03kg/m ² T ₃	17.34
	ΖΤ – 1kg/m ² T ₄	16.56
Biljana	Οργανικό λίπασμα αγελάδων (0,5% N, 0,3% P, 0,6% K, 25% οργανικά) – 5kg/m ² T ₁	7.79
	NPK σε αναλογία 15-15-15 – 0.05kg/m ² T ₂	8.57
	Μεταλλικό λίπασμα – 0.03kg/m ² T ₃	8.24
	ΖΤ – 1kg/m ² T ₄	8.16
Vera	Οργανικό λίπασμα αγελάδων (0,5% N, 0,3% P, 0,6% K, 25% οργανικά) – 5kg/m ² T ₁	4.95
	NPK σε αναλογία 15-15-15 – 0.05kg/m ² T ₂	10.33
	Μεταλλικό λίπασμα – 0.03kg/m ² T ₃	10.77
	ΖΤ – 1kg/m ² T ₄	10.86
Harcot	Οργανικό λίπασμα αγελάδων (0,5% N, 0,3% P, 0,6% K, 25% οργανικά) – 5kg/m ² T ₁	8.25
	NPK σε αναλογία 15-15-15 – 0.05kg/m ² T ₂	10.52
	Μεταλλικό λίπασμα – 0.03kg/m ² T ₃	15.32
	ΖΤ – 1kg/m ² T ₄	17.13
Roxana	Οργανικό λίπασμα αγελάδων (0,5% N, 0,3% P, 0,6% K, 25% οργανικά) – 5kg/m ² T ₁	14.08
	NPK σε αναλογία 15-15-15 – 0.05kg/m ² T ₂	20.82
	Μεταλλικό λίπασμα – 0.03kg/m ² T ₃	24.42
	ΖΤ – 1kg/m ² T ₄	31.41

Η περιήγησή μας στα Βαλκάνια για το σκοπό της αναζήτησης βιβλιογραφικών αναφορών καταλήγει στην **Ρουμανία**. Εκεί, ερευνητές πειραματίστηκαν με την καλλιέργεια σε θερμοκήπια υβριδίων ντομάτας με την προσθήκη ζεολιθικών τόφων τύπου κλινοπτιλόλιθου-μορντενίτη (Berar et al. 2010). Για τους σκοπούς των

πειραμάτων δημιουργήθηκαν διάφορα μίγματα κοπριάς, κηπευτικού χώματος, άμμου, ζεολιθικού τόφου και τύρφης (Πίνακας 4.26).

Πίνακας 4.26. Συγκριτική παρουσίαση παραγωγής ντομάτας για διάφορα πρόσθετα (Berar et al. 2010).

Σύγκριση προσθέτων	Μέση παραγωγή (kg)	Σύγκριση προσθέτων	Μέση παραγωγή (kg)
40% κοπριά, 40% χώμα, 10% τύρφη, 10% άμμος	0,837-0,755	20% κοπριά, 20% χώμα, 5% τύρφη, 5% άμμος, 50% ζεόλιθος	0,807-0,837
50% κοπριά, 40% χώμα, 10% άμμος		40% κοπριά, 40% χώμα, 10% τύρφη, 10% άμμος	
50% κοπριά, 10% χώμα, 10% τύρφη, 5% άμμος, 25% ζεόλιθος	1,034-0,755	10% κοπριά, 5% χώμα, 5% τύρφη, 5% άμμος, 75% ζεόλιθος	0,661-0,837
50% κοπριά, 40% χώμα, 10% άμμος		40% κοπριά, 40% χώμα, 10% τύρφη, 10% άμμος	
20% κοπριά, 20% χώμα, 5% τύρφη, 5% άμμος, 50% ζεόλιθος	0,807-0,755	20% κοπριά, 20% χώμα, 5% τύρφη, 5% άμμος, 50% ζεόλιθος	0,807-1,034
50% κοπριά, 40% χώμα, 10% άμμος		50% κοπριά, 10% χώμα, 10% τύρφη, 5% άμμος, 25% ζεόλιθος	
10% κοπριά, 5% χώμα, 5% τύρφη, 5% άμμος, 75% ζεόλιθος	0,661-0,755	10% κοπριά, 5% χώμα, 5% τύρφη, 5% άμμος, 75% ζεόλιθος	0,661-1,034
50% κοπριά, 40% χώμα, 10% άμμος		50% κοπριά, 10% χώμα, 10% τύρφη, 5% άμμος, 25% ζεόλιθος	
50% κοπριά, 10% χώμα, 10% τύρφη, 5% άμμος, 25% ζεόλιθος	1,034-0,837	10% κοπριά, 5% χώμα, 5% τύρφη, 5% άμμος, 75% ζεόλιθος	0,661-0,807
40% κοπριά, 40% χώμα, 10% τύρφη, 10% άμμος		20% κοπριά, 20% χώμα, 5% τύρφη, 5% άμμος, 50% ζεόλιθος	

Μεταφερόμενοι στην άλλη άκρη του Ατλαντικού, και ειδικότερα στις **ΗΠΑ**, συναντάμε δοκιμές που έγιναν εκεί (Mumpton 1985), σε καλλιέργειες ραπανακιών σε θερμοκήπια. Από αυτές διαπιστώθηκε ότι η προσθήκη ζεολιθικού τόφου (κλινοπτιλόλιθου) είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση βάρους της ρίζας και την αύξηση του μεγέθους των φύλλων. Ακόμα, παρατηρήθηκε πως όταν στον ζεολιθικό τόφο προστέθηκε ουρία τότε η απορροή αζώτου προς το έδαφος ήταν μικρότερη από τις περιπτώσεις κατά τις οποίες η ουρία εφαρμοζόταν μόνη της. Επιπρόσθετα, μετρήθηκε ότι η ανάπτυξη των φυτών ήταν καλύτερη όταν ο ζεολιθικός τόφος (κλινοπτιλόλιθου) εφαρμοζόταν μαζί με την ουρία παρά όταν αυτή εφαρμοζόταν μόνη της (Πίνακες 4.27 και 4.28).

Πίνακας 4.27. Επίδραση ζεολιθικού τόφου κλινοπτιλόλιθου (ZTK) στην ανάπτυξη ραπτανακιών (Mumpton 1985).

Παράμετρος	13% αργιλικό χώμα		6% αργιλικό χώμα	
	NH ₄ - ZTK	(NH ₄) ₂ SO ₄	NH ₄ - ZTK	(NH ₄) ₂ SO ₄
Επιφάνεια φύλλων (cm ² / φυτό)	243.00	187.00	187.00	150.00
Βάρος φυτού (ξηρό βάρος – g)	1.84	1.12	1.40	1.10
Βάρος ρίζας (g)	13.50	8.50	11.60	7.60
Απορρόφηση αζώτου (mg N)	57.20	35.90	42.60	38.90

Πίνακας 4.28. Επίδραση ζεολιθικού τόφου κλινοπτιλόλιθου (ZTK) με ουρία στην ανάπτυξη ραπτανακιών (Mumpton 1985).

Παράμετρος	13% αργιλικό χώμα		6% αργιλικό χώμα	
	ZTK + ουρία	Ουρία	ZTK + ουρία	Ουρία
Επιφάνεια φύλλων (cm ² / φυτό)	210.00	187.00	208.00	116.00
Βάρος φυτού (ξηρό βάρος – g)	1.59	1.23	1.38	0.71
Βάρος ρίζας (g)	13.80		12.40	6.30
Απορρόφηση αζώτου (mg N)	45.50	38.60	44.40	18.90

Παραμένοντας στην ίδια χώρα, εργαστηριακές έρευνες (Ippolito et al. 2011), έδειξαν ότι ο ζεολιθικός τόφος κλινοπτιλόλιθου σε αμμώδη εδάφη, δεν έχει αναλογικά ευεργετική επίδραση στην ανάπτυξη του καλαμποκιού, αφού παρατηρήθηκε πως από μία συγκέντρωση και πάνω η αύξηση στην συγκέντρωση Νατρίου είχε αρνητικές συνέπειες στην ανάπτυξη του καλαμποκιού.

Γειτονικά με τις ΗΠΑ, στο νησί της **Κούβας**, σε καλλιέργειες ζαχαροκάλαμου που αναπτύχθηκαν σε διαφορετικά είδη εδάφους και οι οποίες τροποποιήθηκαν με διαφορετικά ποσοστά ζεολιθικού τόφου κλινοπτιλόλιθου, τα αποτελέσματα ήταν ανάμικτα (mixed), ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, τα ποσοστά εφαρμογής και τη μέθοδο εφαρμογής του ζεολιθικού τόφου κλινοπτιλόλιθου (Πίνακας 4.29) (Ming & Allen 2001).

Οι μεγαλύτερη αύξηση παραγωγής παρουσιάστηκε σε αρκετά αποσαθρωμένο έδαφος όπου η σοδειά ζαχαροκάλαμου διπλασιάστηκε από 38,0 τόνους ανά εκτάριο σε έδαφος χωρίς τροποποιήσεις, σε 75,4 τόνους ανά εκτάριο σε έδαφος ενισχυμένο με 3 τόνους ανά εκτάριο ζεολιθικού τόφου κλινοπτιλόλιθου (clinoptilolite-rich tuff). Η προσθήκη 6 τόνων ανά εκτάριο σχεδόν τριπλασίασε τη σοδειά ζαχαροκάλαμου σε 110,9 τόνους ανά εκτάριο .

Στην μακρινή **Αυστραλία** πειράματα διεξήχθησαν με ζεολιθικό τόφο (κλινοπτιλόλιθου) προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδρασή του στην καλλιέργεια κριθαριού. Κατά τις δοκιμές αυτές χρησιμοποιήθηκε ζεολιθικός τόφος (κλινοπτιλόλιθου) σε συνδυασμό με φωσφορικό λίπασμα (Πίνακας 4.30).

Πίνακας 4.29. Περιοχές που προστέθηκαν Ζεολιθικοί Τόφοι Κλινοπτιλόλιθου (ZTK) και Ζεολιθικοί Τόφοι Κλινοπτιλόλιθου-Μορντενίτη (ZTK-M) μαζί με λιπάσματα σε εδάφη για να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα του λιπάσματος και τις σοδειές των καλλιεργειών (Ming & Allen 2001).

ΖΤ	Χώρα, Περιοχή	Τύπος εδάφους	Λίπασμα (kg/ha)	Καλλιέργεια	Προστιθέμενος όγκος ΖΤ	Σοδειά
ZTK	Γουαϊ-όμινγκ, ΗΠΑ	Έδαφος κορεσμένο σε νερό	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Ζαχαρόχορτο	0 t/ha 0,5 2,0 8,0	3,1 g/γλάστρα 3,0 3,2 3,0
ZTK	Γουαϊ-όμινγκ, ΗΠΑ	Έδαφος κορεσμένο σε νερό	Ουρία	Αγγούρι	0 t/ha 4,0 8,0	8,0 t/ha 8,7 9,0
ZTK-M	Κορέα	Παχύ έδαφος άμμου και αργίλου	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{SO}_4$	Ρύζι	0 kg/στρ 50,0	82,44 kg/στ 87,5
ZTK	Αζερμπαϊτζάν	-	100 N/ 100 P/ 90 K	Σιτάρι (παραγωγή σπόρων)	0 t/ha 5,0 10,0 20,0	2,95 t/ha 3,32 3,52 3,42
ZTK	Κούβα	Έδαφος με πολύ άργιλο	Ουρία	Βραχιάρια (τροπικό είδος χορταριού)	0 γραμμάρια/360 κιλά εδάφους 60 γρ. 120 γρ. 180 γρ.	63,8 t/ha 88,4 103,6 143,8
ZTK	Κούβα	Αρκετά αποσαθρωμένο	120 N/ 50 P_2O_5 / 180 K_2O	Ζαχαροκάλαμο	0 t/ha 3,0 6,0	38,0 t/ha 75,4 110,9
ZTK	Ελλάδα	Ελάχιστα ανεπτυγμένο και αμμώδες έδαφος	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Σιτάρι (παραγωγή σπόρων)	0 (χ. λίπασμα) 0 (με λίπασμα) 6,0 t/ha 15,0 30,0 45,0 60,0	10,42 g/γλάστρα 13,71 15,50 9,60 14,80 18,20 17,70

Πίνακας 4.30. Επίδραση λιπασμάτων στη συγκομιδή κριθαριού (Zeolite Australia)

Λίπασμα	Βάρος συγκομιδής ανά εκτάριο (τόνοι)
75kg/ha $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1,35
Ζεολιθικός τόφος + 75kg/ha $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1,56
75kg/ha $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	1,53
Ζεολιθικός τόφος + 75kg/ha $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	1,81

Κλείνοντας τον κύκλο των βιβλιογραφικών αναζητήσεων σχετικά με την χρήση ζεολιθικών τόφων στη γεωργία, αξίζει να αναφέρουμε τα πειράματα που διεξήχθησαν στη μακρινή Άπω Ανατολή (Omar et al. 2011). Ξεκινώντας από τη **Μαλαισία**, οι

έρευνες είχαν σα σκοπό τη διερεύνηση της χρήσης στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη για την καλλιέργεια καλαμποκιού με την προσθήκη ουρίας (ως πηγής αζώτου) και ζεολιθικού τόφου κλινοπτιλόλιθου προέλευσης από την Ινδονησία για τη ρύθμιση των χημικών συστατικών του εδάφους. Η καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε στις ελεγχόμενες συνθήκες ενός θερμοκηπίου, μέσα σε γλάστρες όπου φυτευτήκαν σπόροι καλαμποκιού. Δημιουργήθηκαν σενάρια με τη χρήση διαφορετικών συνδυασμών πρόσθετων, τα οποία είναι: (α) κανένα λίπασμα, (β) 2.02 γρ. ουρίας, (γ) 2.02 γρ. ουρίας, 30 γρ. ζεολιθικού τόφου και 7 λίτρα στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη, (δ) 2.02 γρ. ουρίας, 40 γρ. ζεολιθικού τόφου και 7 λίτρα στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη και (ε) 2.02 γρ. ουρίας και 7 λίτρα στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη. Η σύγκριση των διαφόρων συνδυασμών έγινε με την καταγραφή του βάρους του φυτού μετά από 56 ημέρες ανάπτυξης (Πίνακας 4.31).

Πίνακας 4.31. Επίδραση συνδυασμών λιπασμάτων στην ανάπτυξη καλαμποκιού (Omar et al. 2011).

Λίπασμα	Συνολικό βάρος φυτού (γρ)
Κανένα λίπασμα	12.74
2.02 γρ. ουρίας	14.89
2.02 γρ. ουρίας, 30 γρ. ζεολιθικού τόφου και 7 λίτρα στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη	18.05
2.02 γρ. ουρίας, 40 γρ. ζεολιθικού τόφου και 7 λίτρα στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη	21.88
2.02 γρ. ουρίας και 7 λίτρα στραγγισμάτων από εδάφη με τύρφη	17.41

Μεταφερόμενοι λίγο πιο ανατολικά στην **Ιαπωνία**, ερευνητές διεξήγαγαν πειράματα τόσο σε θερμοκήπια, όσο και σε αγρούς, κατά τα οποία θαλασσινό νερό χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση αμμωδών εκτάσεων στις οποίες είχε φυτευτεί κριθάρι, φυτό ανεκτικό στο αλμυρό νερό (Al Busaidi et al. 2008). Στο νερό της άρδευσης προστέθηκαν ποσότητες αζώτου, καλίου και φωσφόρου, ενώ στο αμμώδες έδαφος προστέθηκε ζεολιθικός τόφος (Πίνακας 4.32).

Πίνακας 4.32. Επίδραση ζεολιθικού τόφου (ΖΤ) στην ανάπτυξη κριθαριού (Al-Busaidi et al. 2008).

Αλατότητα	Αναλογία ΖΤ	Ξηρό βάρος κριθαριού (g)
3 dS m ⁻¹	0%	417,0
	1%	448,7
	5%	454,5
16 dS m ⁻¹	0%	166,6
	1%	187,2
	5%	205,4

4.3.5. Εφαρμογές για την αύξηση της παραγωγής (εντός Ελλάδας)

Έρευνες σχετικά με τη χρήση ζεολιθικού τόφου στη γεωργία έχουν πραγματοποιηθεί όμως και στη χώρα μας. Ο πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικός τόφος (ΕΛΦΥΖΕ: Ελληνικός Φυσικός Ζεόλιθος) χρησιμοποιήθηκε σε διάφορα είδη καλλιεργειών, όπως τομάτα, σιτάρι, ρύζι και καλαμπόκι και διαπιστώθηκε βελτίωση της ποιότητας, καθώς και αύξηση της παραγωγής (Φιλιππίδης 2007, 2014, Φιλιππίδης κ.α. 2007γ, Filippidis 2010a, Φιλιππίδης & Τσιραμπίδης 2012).

Ο ζεολιθικός τόφος βελτίωσε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ντομάτας κατά 4% στα διαλυτά στερεά, 26% στη βιταμίνη C και 46% στη συνεκτικότητα (Πίνακας 4.33).

Πίνακας 4.33. Ποιοτικά χαρακτηριστικά ντομάτας σε καλλιέργεια στο Άσπρο Πέλλας με την προσθήκη ζεολιθικού τόφου (ΖΤ) στο έδαφος (Φιλιππίδης κ.α. 2007γ).

Ποιοτικά χαρακτηριστικά	Παραγωγή χωρίς την προσθήκη ΖΤ	Παραγωγή με την προσθήκη ΖΤ	Βελτίωση (%)
Διαλυτά στερεά συστατικά (%)	4,20	4,35	4
Βιταμίνη C (mg/100g)	6,81	8,61	26
Συνεκτικότητα της σάρκας του καρπού (Kg)	0,619	0,906	46

Επίσης, προκύπτει ότι η χρήση του ζεολιθικού τόφου σε καλλιέργειες στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, και ειδικότερα στην ευρύτερη περιοχή της Χαλάστρας, αλλά και σε περιοχές στην κοιλάδα του ποταμού Στρυμόνα αύξησε την παραγωγή, ειδικότερα, στο σιτάρι διαπιστώθηκε ότι ο ζεολιθικός τόφος, χωρίς την προσθήκη λιπάσματος, αύξησε την παραγωγή κατά 29% έναντι του μάρτυρα που δέχθηκε 20 κιλά λιπάσματος (Πίνακας 4.34).

Πίνακας 4.34. Μεταβολές στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων από τη χρήση πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικό τόφο (ΠΥΠΖΤ: ΕΛΦΥΖΕ) (Φιλιππίδης κ.α. 2007γ).

Είδος	Περιοχή	Λίπα- σμα Kg/στρ.	Αρ. αρδεύ- σεων	Μείωση αρδεύ- σεων (%)	Παραγωγή χωρίς την προσθήκη ΖΤ Kg/στρ.	Παραγωγή με την προσθήκη ΖΤ Kg/στρ.	Αύξηση παρα- γωγής (%)
Ντομάτα	Άσπρο Πέλλας	-	-	-	395	602	52
Σιτάρι	Δρυμός Θεσ/νίκης	20	-	-	170	-	29
		0	-	-	-	220	
	Λιβαδοχώρι Σερρών	10	-	-	70	-	57
		0	-	-	-	110	
Ρύζι	Μάλαρα Θεσ/νίκης	90	-	-	880	-	34
		40	-	-	-	1180	
Καλα- μπόκι	Γέφυρα Θεσ/νίκης	120	3	-	800	-	50
		0	2	33	-	1200	
		0	1	67	-	800	0

Στο ρύζι, με λίπασμα λιγότερο κατά 65% από αυτό που δέχθηκε ο μάρτυρας, είχαμε αύξηση της παραγωγής κατά 34%. Στο καλαμπόκι, με ένα λιγότερο πότισμα και χωρίς τα 120 κιλά λιπάσματος που δέχθηκε ο μάρτυρας, είχαμε αύξηση της παραγωγής κατά 50%. Ταυτόχρονα, η προσθήκη του ζεολιθικού τόφου στα γεωργικά εδάφη αποτρέπει την έκπλυση και μετακίνηση ιχνοστοιχείων και επιβλαβών ουσιών (επιβαρυμένα εδάφη εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων) από το χερσαίο στο υδάτινο περιβάλλον, συμβάλλοντας στη μείωση του ευτροφισμού των υδάτων, στην προστασία των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, καθώς επίσης και στην εξοικονόμηση του ύδατος άρδευσης στις αγροτικές καλλιέργειες. Σε καλλιέργεια καλαμποκιού, η μείωση του ύδατος άρδευσης ήταν 67% για μηδενική αύξηση παραγωγής και 33% για αύξηση παραγωγής κατά 50%. Επίσης μειώνει τη χρήση λιπασμάτων κατά 56% σε καλλιέργεια ρυζιού και 100% σε καλλιέργειες σιταριού και καλαμποκιού.

4.4. Σχέδια για την αποκατάσταση λιγνιτορυχείων

Οι φυσικοχημικές ιδιότητές των πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικών τόφων, τους καθιστούν κατάλληλα υλικά για την ανάπτυξη των λιγνιτωρυχείων του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου (ΛΚΠ-Α) (Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2000). Τα λιγνιτωρυχεία του ΛΚΠ-Α δεσμεύουν σταδιακά μεγάλες επιφάνειες γεωργικών και δασικών εκτάσεων, δημιουργώντας εκτεταμένες εκσκαφές και αποθέσεις. Έτσι προκαλούνται αλλοιώσεις και διαταραχές στο τοπίο, στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα, καθώς και στη χλωρίδα και πανίδα της λεκάνης. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων η ΔΕΗ εκτελεί έργα αποκατάστασης εδαφών, ανάπτυξη τοπίου και ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων κατά την εκμετάλλευσή.

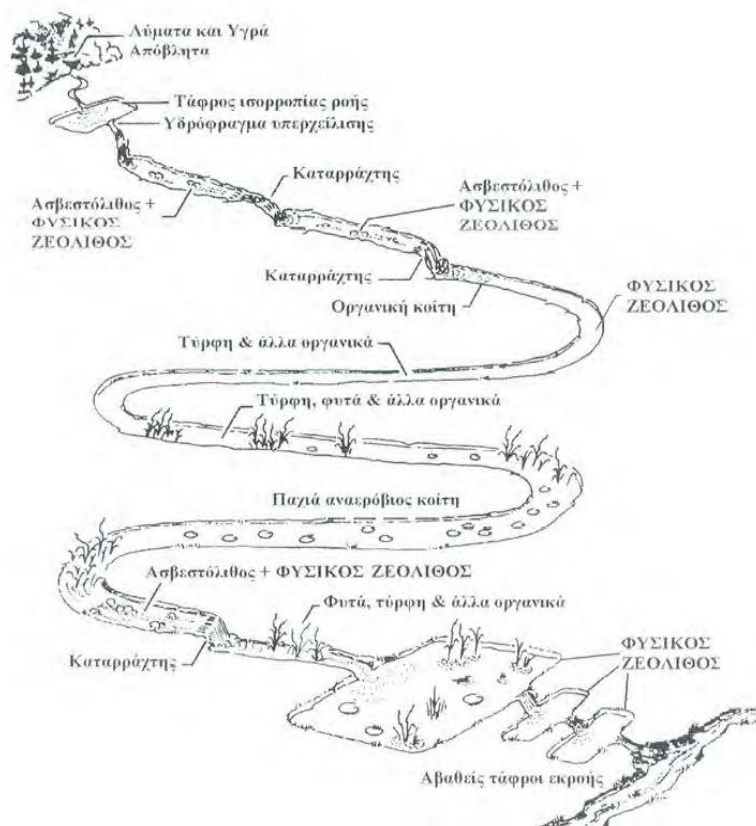
Η προσθήκη ζεολιθικών τόφων σε τεχνητούς υδροβιότοπους (Σχήμα 4.4) θα βελτιώσει την ποιότητα των υδάτων σε ανόργανα και οργανικά συστατικά, θα συμβάλλει στη ρύθμιση του pH των υδάτων προς το ουδέτερο, καθώς επίσης θα εμπλουτίσει σε οξυγόνο τα ύδατα των τεχνητών λιμνών του ΛΚΠ-Α. Η αποκατάσταση των τελικών επιφανειών στα λιγνιτωρυχεία και η απόδοσή τους σε γεωργική και κτηνοτροφική χρήση, καθώς επίσης σε χώρους αναψυχής, είναι εφικτή με οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Η εξόρυξη και καύση των λιγνιτών μπορεί να οδηγήσει στη διασπορά των ιχνοστοιχείων στην ατμόσφαιρα, εδάφη και ύδατα. Παρακάτω περιγράφεται η δυνητική χρήση των ζεολιθικών τόφων α) σε υδάτινο και β) χερσαίο περιβάλλον:

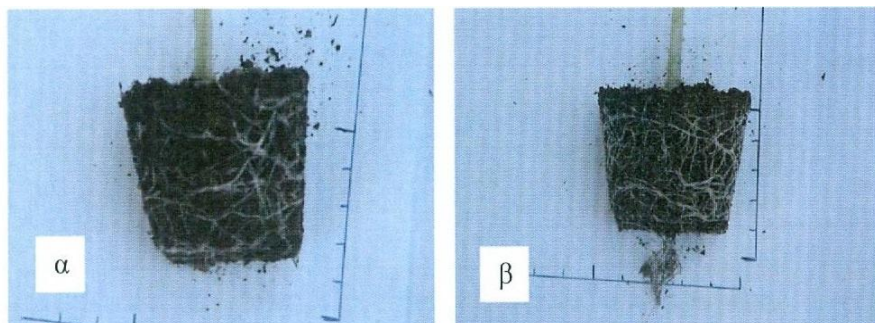
α) Υδάτινο περιβάλλον: Μέτρο περιβαλλοντικής προστασίας στη διαχείριση των υδάτων, αποτελεί συνήθως η χρήση τεχνητού υδροβιότοπου. Η προσθήκη ζεολιθικών τόφων σε διάφορα σημεία, σύνθετου ή απλού τεχνητού υδροβιότοπου, θα βελτιώσει την ποιότητα των υδάτων του ΛΚΠ-Α σε ιχνοστοιχεία και οργανικές ουσίες. Οι ζεολιθικοί τόφοι, εκτός της δέσμευσης ανόργανων και οργανικών ουσιών, ρυθμίζουν το pH των υδάτων προς το ουδέτερο, αυξάνοντας ή μειώνοντας το pH, ανάλογα με την οξύτητα ή βασικότητα των υδάτων. Η ρίψη των ζεολιθικών τόφων στις τεχνητές λίμνες του ΛΚΠ-Α επιφέρει εμπλουτισμό σε οξυγόνο του νερού της λίμνης (οξυγονούχα ρεύματα), βελτιώνοντας έτσι τη διαβίωση των ψαριών και άλλων οργανισμών.

β) Χερσαίο περιβάλλον: Η αποκατάσταση των τελικών επιφανειών στα λιγνιτωρυχεία και η απόδοσή τους σε γεωργική και κτηνοτροφική χρήση, καθώς και χώρους αναψυχής, θα είναι αποτελεσματική με τη χρήση των ζεολιθικών τόφων. Η αποκατάσταση των εδαφών με τη χρήση των ζεολιθικών τόφων μπορεί να επιφέρει μεγαλύτερη γονιμότητα από αυτήν που επικρατούσε στα εδάφη πριν την

εκμετάλλευση του λιγνίτη. Η συγκράτηση του καλίου, αμμωνίας και άλλων θρεπτικών συστατικών από τους ζεολιθικούς τόφους στο έδαφος αυξάνει τον βαθμό διάθεσης των συστατικών αυτών για τα διάφορα φυτά. Οι ζεολιθικοί τόφοι επίσης, περιορίζουν τις ασθένειες στο ριζικό σύστημα, έτσι αυτό γίνεται πλουσιότερο και αποτελεσματικότερο στην ανάκτηση θρεπτικών συστατικών (Σχήμα 4.5). Το περιβαλλοντικό όφελος είναι επίσης, η μείωση της τοξικότητας των εδαφών και των υδάτων, καθώς και η παραγωγή υγιεινών καρπών/τροφών για τον άνθρωπο και τα ζώα. Η υψηλή απορροφητική ικανότητα και η συγκράτηση της αμμωνίας αποτελούν τις βασικές αιτίες χρήσης των ζεολιθικών τόφων στο σιτηρέσιο της διατροφής των ζώων (πχ. χοίρους, αγελάδες, πουλερικά). Εκτός από την αύξηση του βάρους και τη μείωση της θνησιμότητας των νεογνών, παρατηρήθηκε και βελτίωση της ποιότητας του κρέατος και των λοιπών προϊόντων που αποτελούν βασική τροφή του ανθρώπου.



Σχήμα 4.4. Σχηματική παράσταση τεχνητού υδροβιότοπου με ζεολιθικό τόφο (Φυσικό Ζεόλιθο) (Φιλιππίδης & Κασώλη-Φουρναράκη 2000).



Σχήμα 4.5. Ριζικό σύστημα αγγουριάς: (α) Έδαφος, (β) 15% ζεολιθικός τόφος + 85% έδαφος (Φιλιππίδης κ.α. 2007γ).

4.5. Ματιά στο μέλλον: Καλλιέργειες στο διάστημα και σε άλλους πλανήτες.

Τελευταίο μέρος των εφαρμογών των ζεολιθικών τόφων σε θέματα γεωργίας αποτελεί και η χρησιμοποίησή τους σε θερμοκήπια που δημιουργούνται στο διάστημα. Ειδικότερα, ένα υπόστρωμα θρεπτικά εμπλουτισμένο με ζεολιθικό τόφο Ν.Α. Βουλγαρίας, δημιουργήθηκε από Βούλγαρους επιστήμονες για πειράματα σχετικά με την ανάπτυξη φυτών στον διαστημικό σταθμό SVET Space Greenhouse (Ivanova et al. 1995). Το υπόστρωμα ονομάστηκε «Balkanine» και περιείχε ζεολιθικό τόφο κλινοπτιλόλιθου από τα λοιτάσματα του Beli Plast της Βουλγαρίας. Ο εμπλουτισμένος ζεολιθικός τόφος χρησιμοποιήθηκε μαζί με αλατούχα θρεπτικά φυτών $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, \text{NH}_4^-]$. Η ξηρή σε βάρος βιομάζα ενός ραπανιού ή ενός Κινέζικου λάχανου που αναπτύχθηκαν στην «Balkanine» στο Διαστημικό σταθμό Mir ήταν 2 με 5 και 5 με 10 φορές μικρότερα από ότι στις καλλιέργειες εδάφους. Κατά τη διάρκεια μιας επίσκεψης στο Διαστημικό σταθμό Mir από έναν αστροναύτη της NASA, το σιτάρι “Super Dwarf” καλλιεργούνταν από σπόρους στην «Balkanine». Παρόλα αυτά, τα πρώτα πειράματα σιταριού απέτυχαν να επιφέρουν καρπούς. Το τελευταίο πείραμα σιταριού που διεξήχθη στον Διαστημικό Σταθμό Mir απέδωσε καρπό που επεστράφη στη Γη και στη συνέχεια η διαστημική καλλιέργεια σιταριού παρήγαγε δύο γενιές σιταριού στα πλαίσια πειραματικής καλλιέργειας του Utah State University.

Τα ζεωπονικά υποστρώματα που αναπτύχθηκαν από τη NASA για διαστημικές πτήσεις περιείχε K^+ και NH_4^+ κλινοπτιλόλιθο και είτε συνθετικό είτε φυσικό απατίτη. Το σιτάρι Dwarf (ποικιλία “Super Dwarf”) και η ταχέως κύκλου “Wisconsin Fast Plants” (Brassica Rapa) αναπτύχθηκαν για 8 ημέρες σε ζεωπονικά υποστρώματα στο Διαστημικό Καταφύγιο τον Φεβρουάριο του 1995. Η ανάπτυξη και των δύο αυτών φυτών σε τροχιά φάνηκε φυσιολογική και σχεδόν παρόμοια με αυτή των καλλιεργειών εδάφους, παρόλο που η ανάπτυξη σιταριού στο διάστημα ήταν πιο κοντή σε ύψος. Εξαιτίας του μικρού χρονικού διαστήματος στο διάστημα (8 ημέρες), ήταν δύσκολο να ερμηνευτεί πλήρως η αποτελεσματικότητα των ζεωπονικών υποστρωμάτων για την ανάπτυξη φυτών σε περιβάλλον μικροβαρύτητας.

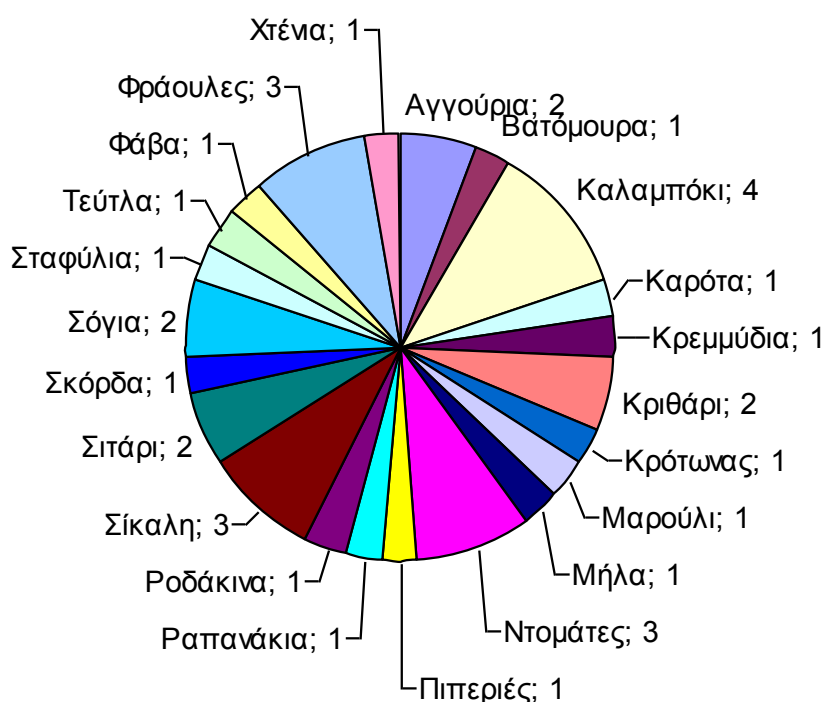
5. Συμπεράσματα

5.1. Σύνοψη

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η συλλογή στοιχείων σχετικά με την εφαρμογή των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία. Προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος αυτός πραγματοποιήθηκε εκτενής αναζήτηση, συλλογή και καταγραφή στοιχείων από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία χρόνια σε πλειάδα χωρών (Αλβανία, Σερβία, ΗΠΑ, Τουρκία, Αίγυπτος, Ελλάδα, κ.ά.) και έλαβαν χώρα τόσο σε εργαστήρια/θερμοκήπια, όσο και σε αγρούς. Τα φυτά στα οποία πραγματοποιήθηκαν πειράματα ήταν διαφόρων ειδών. Επρόκειτο τόσο για λαχανικά, όσο και για δημητριακά, φρούτα, ακόμα και λουλούδια. Στον Πίνακα 5.1 και Σχήμα 5.1, παρουσιάζονται τα είδη τα οποία καλλιεργήθηκαν, μαζί με το σχετικό πλήθος εύρεσής τους. Ακόμα, πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη έρευνα για πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί στη χώρα μας. Κατά την αναζήτησή μας, προσδιορίστηκαν καλλιέργειες στις οποίες εφαρμόστηκε ζεολιθικός τόφος, αλλά και εργαστηριακές μετρήσεις που στόχευαν στον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των ζεολιθικών τόφων.

Πίνακας 5.1. Κατάλογος δημοσιεύσεων ανά τύπο καλλιέργειας.

Καλλιέργεια	Αρ. Δημοσι- εύσεων	Καλλιέργεια	Αρ. Δημοσι- εύσεων	Καλλιέργεια	Αρ. Δημοσι- εύσεων
Αγγούρια	2	Μαρούλι	1	Σκόρδα	1
Βατόμουρα	1	Μήλα	1	Σόγια	2
Ζαχαροκάλαμο	1	Ντομάτες	3	Σταφύλια	1
Καλαμπόκι	4	Πιπεριές	1	Τεύτλα	1
Καρότα	1	Ραπανάκια	1	Φάβα	1
Κρεμμύδια	1	Ροδάκινα	1	Φράουλες	3
Κριθάρι	2	Σίκαλη	3	Χτένια	1
Κρότωνα	1	Σιτάρι	2		



Σχήμα 5.1. Διάγραμμα τύπου πίτας των βιβλιογραφικών αναφορών ανά καλλιέργεια.

Η ορυκτολογική σύσταση και οι φυσικοχημικές ιδιότητες καθιστούν, τους πολύ υψηλής ποιότητας ζεολιθικούς τόφους, κατάλληλα υλικά για πολυάριθμες και πολύμορφες περιβαλλοντικές, βιομηχανικές, κτηνοτροφικές, γεωργικές και υδατικές εφαρμογές, όπως: Καθαρισμός αστικών λυμάτων και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων, παραγωγή άοσμης και συνεκτικής ζεολυματολάσπης, κατεργασία λυματολάσπης και βιομηχανικής λάσπης για ασφαλή απόθεση, εξυγίανση και οξυγόνωση υδάτινων οικοσυστημάτων, δέσμευση και απομάκρυνση κυανοβακτηρίων, εξασθενούς χρωμίου και ραδιονουκλιδίων, τεχνητοί υγροβιότοποι και λοιπές μονάδες διαχείρισης υδάτων, βελτίωση ποιότητας πόσιμου νερού, ιχθυοκαλλιέργειες, αποσμητικό υλικό, μετατροπή κοπριάς σε άοσμο λίπασμα, καθαρισμός και ξήρανση αερίων, ζωοτροφές, βελτιωτικό αγροτικών καλλιεργειών, βελτιωτικό όξινων και βασικών εδαφών, διαχείριση αποβλήτων μεταλλείων και επιστροφή εδαφών σε γεωργική χρήση, υπόστρωμα θερμοκηπίων και ανθοκομικής, υγιεινή και ασφάλεια τροφίμων, βελτίωση γεύσης και ποιότητας τροφίμων, ανθεκτικότερο και υγιέστερο γρασίδι.

Αξιολογώντας συνολικά τις έρευνες για τη χρήση των ζεολιθικών τόφων στη γεωργία, είναι δυνατόν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- ❖ Η εφαρμογή ζεολιθικού τόφου οδηγεί σε αύξηση της παραγωγής, αύξηση όμως η οποία δεν είναι σταθερή σε όλα τα καλλιεργούμενα είδη, αφού αυτή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των εδαφών όπου γίνεται η εφαρμογή των ζεολιθικών τόφων, τις κρατούσες καιρικές συνθήκες (θερμοκρασία, ηλιοφάνεια, υετός) κατά την περίοδο των μετρήσεων, αλλά και από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του εφαρμοζόμενου ζεολιθικού τόφου (κοκκομετρία, χημική σύνθεση, κ.ά.).
- ❖ Οι παραγόμενες ποσότητες μεταβάλλονται όταν μαζί με το ζεολιθικό τόφο εφαρμόζεται και κάποιο λίπασμα, π.χ. φυσική κοπριά από βοοειδή, ή από ορνιθοτροφεία.
- ❖ Η εφαρμογή ζεολιθικού τόφου στα εδάφη έχει και άλλες θετικές επιδράσεις πέρα από την αύξηση της παραγωγής. Μία τέτοια επίδραση είναι η μείωση της κατανάλωσης νερού αλλά και η αύξηση της συγκράτησης νερού στο έδαφος σε βάθη όπου αυτού είναι εύκολα προσβάσιμο στο ριζικό σύστημα των φυτών. Ακόμα, ελαττώνει τη διάχυση αζωτούχων ενώσεων στο υπέδαφος και επομένως βοηθά στην προστασία των υδροφορέων από χημική ρύπανση.

5.2 Επιφυλάξεις και προβληματισμοί για των ζεολιθικών τόφων

Πέραν όσων αναφέρθηκαν παραπάνω, πρέπει οπωσδήποτε να σημειωθεί ότι η χρήση των ζεολιθικών τόφων απαιτεί προσοχή και μέτρο. Με πάνω από 80 διαφορετικά είδη ζεόλιθων, κάθε ένα με τη δική του ιδιαίτερη χημική δομή και σύνθεση, είναι δυνατόν η λανθασμένη επιλογή τύπου για εφαρμογή να έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της παραγωγής και τον περιορισμό της ανάπτυξης των φυτών. Το σημαντικότερο όμως είναι να τονιστεί πως έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις όπου, η κατανάλωση ζεολιθικού τόφου από ανθρώπους ή ζώα ήταν επιβλαβής για την υγεία τους (Van Straaten 1982). Αξίζει να αναφερθεί πως έρευνες που έγιναν στις ΗΠΑ πάνω σε πειραματόζωα έδειξαν ότι η κατανάλωση φυσικών ινώδων ζεόλιθων είναι δυνατόν να προκαλέσει καρκινογενέσεις (Rom et al. 1983). Η προαναφερθείσα διαπίστωση δεν ήταν μεμονωμένη, παρά μία μεταξύ πολλών, οδήγησε δε τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας στην κατάταξη των ινώδων ζεόλιθων στην 1η Ομάδα Συστατικών τα οποία προκαλούν καρκίνο στον άνθρωπο (IARC 2014).

Εκτός όμως από θέματα υγείας, άξια αναφοράς είναι και πειράματα που διεξήχθησαν με ζεόλιθικούς τόφους με κύριο κατιόν το νάτριο. Από αυτά προέκυψε

ότι οι εν λόγω ζεολιθικοί τόφοι μπορεί να αποβούν τοξικοί για τους φυτικούς οργανισμούς (Καμένου 2001). Στη συγκεκριμένη έρευνα, χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα ζεολιθικός τόφος κλινοπτιλόλιθου, ο οποίος είχε σαν κύριο ανταλλάξιμο κατιόν το Na^+ . Η εφαρμογή του υλικού επέφερε μείωση της παραγωγής καλαμποκιού, πράγμα που αποδόθηκε στις αυξημένες ποσότητες νατρίου που απελευθέρωσε ο ζεόλιθος προς το εδαφικό διάλυμα. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές που ασχολήθηκαν σχετικά με την καλλιέργεια της φασολιάς. Από τις μετρήσεις τους προέκυψε πως ο μέσος όρος της παραγωγής φασολιάς που αναπτύχθηκε σε μείγματα εδάφους με ζεολιθικό τόφο που περιέχει νατρίου ζεόλιθο, ήταν κατά 10 % περίπου χαμηλότερος σε σχέση με το έδαφος μάρτυρα. Αντίθετα, η προσθήκη του ίδιου ζεολιθικού τόφου αφού πρώτα μετατράπηκε στην ασβεστούχο μορφή του, δεν επηρέασε την παραγωγή. Η μείωση της παραγωγής που επέφερε η προσθήκη νατρίου ζεολιθικού τόφου, αποδόθηκε στην υψηλή συγκέντρωση Na (7%) που περιείχε ο ζεόλιθος, ο οποίος προφανώς προκάλεσε υψηλή ώσμωση και προβλήματα τοξικότητας στους φυτικούς οργανισμούς.

Τα σημαντικότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά για βιομηχανικές, περιβαλλοντικές, υδατικές, αγροτικές και διατροφικές χρήσεις των ζεολιθικών τόφων τύπου-HEU (κλινοπτιλόλιθος-εουλανδίτης) είναι δέκα. Οι αναγκαίες προϋποθέσεις είναι οι πρώτες πέντε ($1^{\text{η}}$ - $5^{\text{η}}$) και αναδεικνύονται με την πλήρη ορυκτολογική και χημική σύσταση (Φιλιππίδης & Τσιραμπίδης 2012, Φιλιππίδης 2014). Οι δέκα προϋποθέσεις περιγράφονται στο κεφάλαιο 2.1.

6. Βιβλιογραφία

6.1. Ελληνόγλωσση

- Αποστολίδης Ν.Α. 2010. Ορυκτολογία και δεσμευτική ικανότητα των ζεολιθοφόρων σχηματισμών Βορείου Γουρουνορέματος (Αβδέλλα Έβρου) και πιθανές περιβαλλοντικές εφαρμογές. Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Βλάχου Μ. 2003. Τριτογενής ηφαιστειότητα της Σαμοθράκης και συνδεδεμένα με αυτήν βιομηχανικά ορυκτά (ζεόλιθοι, Κ-άστριοι). Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Βογιατζής Δ. 2009. Χρήση ιπτάμενης τέφρας και φυσικού ζεόλιθου στην παρασκευή ελαφροβαρών κονιαμάτων. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Βογιατζής Δ., Χρηστάρας Β., Φιλιππίδης Α., Κασώλη-Φουρναράκη Α., Καντηράνης Ν., Μοροπούλου Α. & Μπακόλας Α. 2008. Αξιολόγηση της Συμπαγοποίησης Κονιαμάτων Τσιμέντου-Αμμου-Ελληνικού Φυσικού Ζεόλιθου με Τεχνικές Υπερήχων. 1^ο Πανελ. Συν. Δομικών Υλικών, Αθήνα, Πρακτ., Β, 1099-1110.
- Βούτα Σ. 2009. Ορυκτολογία και δεσμευτική ικανότητα ζεόλιθου Βορείου Ξεροβουνίου (Αβδέλλα Έβρου) και πιθανές περιβαλλοντικές εφαρμογές. Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Γιαννακόπουλος Α.Λ., Τσερβένη-Γούση Α.Σ., Κατσαούνης Ν.Κ., Κασώλη-Φουρναράκη Α. & Φιλιππίδης Α. 1996. Η επίδραση του Ελληνικού φυσικού ζεόλιθου στις αποδόσεις των ορνίθων σε όλη τη διάρκεια της περιόδου ωοτοκίας τους. Επισθ. Ζωοτεχν. Επιστ., 17, 43-44.
- Δαουτόπουλος Γ. 2011. Το Ιπποφαές και η καλλιέργειά του με τη χρήση ενεργών μικροοργανισμών. Ινστιτούτο Περιφερειακής Ανάπτυξης Δυτικής Μακεδονίας.
- Δασκαλάκη Β. 2004. Αξιολόγηση ζεολιθικών τόφων ως προς την καταλληλότητά τους για αποσκληρυνση νερών. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Διονυσίου Ο.Ν.Σ. 2010. Μελέτη της ικανότητας του τροποποιημένου ζεόλιθου ως μέσο απορρύπανσης υδάτων άρδευσης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ.
- Καλαμπάλικη Σ. 2009. Ορυκτολογία και δεσμευτική ικανότητα ζεόλιθου Κεντρικού Ξεροβουνίου (Αβδέλλα Έβρου) και πιθανές περιβαλλοντικές εφαρμογές. Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Καμένου Ε. 2001. Πειραματικές δοκιμές χρήσης των ζεολιθικών τόφων Σάμου ως εδαφοβελτιωτικών. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Ε.Κ.Π.Α.
- Κατσιγιάννη Α. 2014. Χρήση του ζεόλιθου για τη δέσμευση και απομάκρυνση τοξικών ουσιών από το περιβάλλον και τον ανθρώπινο οργανισμό. Διατριβή Ειδίκευσης, Ε.Κ.Π.Α.

- Μάλλιου Ε.Δ. 1994. Απομάκρυνση ιόντων βαρέων μετάλλων από υδατικά διαλύματα με τη χρήση Ελληνικών φυσικών ζεολιθών. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.
- Μισαηλίδης Π., Γκοντελίτσας Α. & Φιλιππίδης Α. (1994). Δέσμευση Καισίου από ζεολιθοφόρο πέτρωμα της περιοχής Μεταξάδων (Ν. Έβρου, Θράκη). 15^ο Πανελ. Συν. Χημείας, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., Α, 218-221.
- Παπαϊωάννου Μ. 2012. Σύνθεση ζεολίθου τύπου ZSM-5 από τέφρα φλοιών ρυζιού με χρήση φούρνου μικροκυμάτων. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.
- Πετρίδης Π. & Καρασαββίδης Χ. 2012. Ζεόλιθος: Μια συνοπτική προσέγγιση. Διεύθυνση Αγροτικής Οικονομίας και Κτηνιατρικής Π.Ε. Καστοριάς, Π.Δ.Μ., Καστοριά.
- Πουρλιώτης Κ. 2009. Μελέτη της Επίδρασης του Ζεολίθου στην Απορρόφηση των Αντισωμάτων κατά της *Escherichia coli*, στην Υγιεινή Κατάσταση και στα Παραγωγικά Χαρακτηριστικά των Γαλουχημένων Μόσχων, μετά την Προσθήκη του στο Πρωτόγαλα και το Γάλα, Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ.
- Τζάμος Ε. 2009. Ορυκτολογία και δεσμευτική ικανότητα ζεολίθου Νοτίου Ξεροβουνίου (Αβδέλλα Έβρου) και πιθανές περιβαλλοντικές εφαρμογές. Διατριβή Ειδίκευσης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
- Τζάμος Ε., Αποστολίδης Ν., Παραγίος Ι., Καντηράνης Ν., Παπαστέργιος Γ., Φιλιππίδης Α., Σικαλίδης Κ. & Τσιραμπίδης Α. 2011. Ικανότητα ανταλλαγής ιόντων ζεολιθικών τόφων Γουρουνορέματος (Αβδέλλα Έβρου) και πιθανές περιβαλλοντικές εφαρμογές. 4^ο Περιβαλ. Συν. Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 8σ.
- Τζάμος Ε., Φιλιππίδης Α., Τσιραμπίδης Α., Παπαδόπουλος Α., Αποστολίδης Ν., Βούτα Σ., Καλαμπάκη Σ. & Παραγίος Ι. 2012. Ορυκτολογία, χημεία και ικανότητα ανταλλαγής ιόντων των ζεολιθικών τόφων Αβδέλλας-Μεταξάδων (Έβρος, Ελλάς). Επιστ. Επετ., Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, 101, 119-124.
- Τσιραμπίδης Α. & Φιλιππίδης Α. 2013. Ορυκτοί Πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και Αξία. Α.Π.Θ.
- Φιλιππίδης Α. 2005. Εξυγίανση και προστασία των υδάτων της λίμνης Κορώνειας με φυσικό ζεόλιθο. 13^ο Σεμ. Προστασία του Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 73-84.
- Φιλιππίδης Α. 2007. Ζεόλιθοι Δήμου Τριγώνου του Νομού Έβρου στη βιομηχανική, αγροτική, κτηνοτροφική και περιβαλλοντική τεχνολογία. Ημερίδα: Δυνατότητες Ανάπτυξης στο Βόρειο Έβρο, Πετρωτά, Πρακτ., 89-107.
- Φιλιππίδης Α. 2009. Διαχείριση αστικών λυμάτων και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων με Ελληνικό φυσικό ζεόλιθο. Άρθρο ανασκόπησης. Συν. ΕΥΕ & ΕΕΔΥΠ: Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων, Βόλος, Πρακτ., 2, 829-836.
- Φιλιππίδης Α. 2014. Ζεόλιθοι-Φυσικοί Ζεόλιθοι-Ζεολιθικοί Τόφφοι-Πολύ Υψηλής Ποιότητας-Χρήσεις 1982-2014. Θεσσαλονίκη.
- Φιλιππίδης Α. & Καντηράνης Ν. 2005. Βιομηχανικές, αγροτικές, κτηνοτροφικές και περιβαλλοντικές χρήσεις των φυσικών ζεολιθών της Θράκης. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 37, 90-101.
- Φιλιππίδης Α. & Κασώλη-Φουρναράκη Α. 2000. Δυνατότητα χρήσης Ελληνικών φυσικών ζεολιθών στην ανάπτυξη λιγνιτωρυχείων του Λιγνιτικού Κέντρου Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου. 1^ο Συν. Επιτρ. Οικον. Γεωλ. Ορυκτ. Γεωχ., ΕΓΕ, Κοζάνη, Πρακτ., 506-515.
- Φιλιππίδης Α. & Κασώλη-Φουρναράκη Α. 2002. Διαχείριση υδάτινων οικοσυστημάτων με τη χρήση Ελληνικών φυσικών ζεολιθών. 12^ο Σεμ. Προστασία του Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 75-82.
- Φιλιππίδης Α. & Τσιραμπίδης Α. 2012. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των Ελληνικών ζεολιθών, περιβαλλοντικές, βιομηχανικές, αγροτικές και υδατικές χρήσεις του Ελληνικού φυσικού ζεολίθου: Ανασκόπηση. Επιστ. Επετ., Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 101, 125-133.
- Φιλιππίδης Α., Κασώλη-Φουρναράκη Α., Χαριστός Δ. & Τσιραμπίδης Α. 1997. Οι Ελληνικοί ζεόλιθοι ως μέσο απομάκρυνσης από το νερό ιχνοστοιχείων και ρύθμισης του pH. 4^ο Υδρογ. Συν., Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 539-546.
- Φιλιππίδης Α., Καντηράνης Ν., Δρακούλης Α. & Βογιατζής Δ. 2006. Εξυγίανση και προστασία της λίμνης Κορώνειας με φυσικό ζεόλιθο. 2^ο Συν. Συμβ. Περιβάλλοντος Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 273-279.
- Φιλιππίδης Α., Αποστολίδης Ν., Φιλιππίδης Σ. & Παραγίος Ι. 2007α. Καθαρισμός αστικών λυμάτων και παραγωγή άοσμης λυματολάσπης με τη χρήση πορώδους Ελληνικού φυσικού ζεολίθου των Πετρωτών Έβρου. 3^ο Πανελ. Συμπ. Πορώδων Υλικών, Θεσσαλονίκη, 23-25.
- Φιλιππίδης Α., Αποστολίδης Ν., Φιλιππίδης Σ. & Παραγίος Ι. 2007β. Εξυγίανση και προστασία της λίμνης Κορώνειας με Ελληνικό φυσικό ζεόλιθο των Πετρωτών Έβρου. 3^ο Πανελ. Συμπ. Πορώδων Υλικών, Θεσσαλονίκη, 110-112.

- Φιλιππίδης Α., Σιώμος Α., Μπαρμπαγιάννης Ν. & Φιλιππίδης Σ. 2007γ. Αγροτικές και περιβαλλοντικές εφαρμογές με τη Χρήση Ελληνικού Φυσικού Ζεόλιθου των Πετρωτών Έβρου. Συν. Jean Monnet: Βιώσιμη ανάπτυξη στην Ευρώπη, Βέροια, Πρακτ., 557-569.
- Φιλιππίδης Α., Αποστολίδης Ν., Παραγιός Ι. & Φιλιππίδης Σ. 2008α. Παραγωγή άοσμης λυματολάσπης, καθαρισμός υγρών αποβλήτων βαφείου και αστικών λυμάτων, με Ελληνικό Φυσικό Ζεόλιθο. 3^ο Περιβαλ. Συν. Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 8σ.
- Φιλιππίδης Α., Αποστολίδης Ν., Παραγιός Ι. & Φιλιππίδης Σ. 2008β. Καθαρισμός βιομηχανικών υγρών αποβλήτων βαφείου και παραγωγή συνεκτικής ζεο-λάσπης με Ελληνικό Φυσικό Ζεόλιθο. 8^ο Υδρεγελ. Συν. Ελλάδας, Αθήνα, Πρακτ., 2, 783-788.
- Φιλιππίδης Α., Αποστολίδης Ν., Φιλιππίδης Σ. & Παραγιός Ι. 2008γ. Καθαρισμός αστικών λυμάτων, παραγωγή άοσμης και συνεκτικής ζεο-λυματολάσπης με Ελληνικό Φυσικό Ζεόλιθο. 8^ο Υδρεγελ. Συν. Ελλάδας, Αθήνα, Πρακτ., 2, 789-798.
- Φιλιππίδης Α., Αποστολίδης Ν., Φιλιππίδης Σ. & Παραγιός Ι. 2009. Καθαρισμός αστικών λυμάτων και παραγωγή άοσμης-συνεκτικής λυματολάσπης με Ελληνικό Φυσικό Ζεόλιθο. ΥΔΡΟΓΑΙΑ, 425-434.
- Φιλιππίδης Α., Μουστάκα-Γούνη Μ., Κατσιάπη Μ. & Φιλιππίδης Σ. 2011α. Απομάκρυνση κυανοβακτηρίων με τη χρήση Ελληνικού Φυσικού Ζεόλιθου. 4^ο Περιβαλ. Συν. Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 9σ.
- Φιλιππίδης Α., Τσιραμπίδης Α., Τζάμος Ε., Βογιατζής Δ., Παπαστέργιος Γ., Γεωργιάδης Ι., Παπαδόπουλος Α. & Φιλιππίδης Σ. 2011β. Καθαρισμός Υγρών Αποβλήτων της Βιομηχανικής Ζώνης Θεσσαλονίκης με τη χρήση Ελληνικού Φυσικού Ζεόλιθου. 21^ο Πανελ. Συν. Χημείας, Θεσσαλονίκη, Πρακτ., 8σ.
- Φιλιππίδης Α., Γκοντελίτσας Α., Τζάμος Ε., Γκαμαλέτσος Π. & Φιλιππίδης Σ. 2012. Παραγωγή άοσμης-συνεκτικής ζεο-λυματολάσπης και ζεο-λάσπης με φυσικό ζεόλιθο. 4^ο Διεθν. Συν. Ελλ. Εταιρ. Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, Αθήνα, Πρακτ., 355-360.

6.2. Ξενόγλωσση

- Abdi G., Khosh-Khui M. & Eshghi S. 2006. Effects of natural zeolite on growth and flowering of strawberry. Intern. J. Agricultural Res., 4, 384-389.
- Ackley M.W., Rege S.U. & Saxena H. 2003. Application of natural zeolites in the purification and separation of gases. Microp. & Mesop. Mat., 61, 25-42.
- Al-Busaidi A., Yamamoto T., Inoue M., Eneji A.E., Mori Y. & Irshad M. 2008. Effects of Zeolite on Soil Nutrients and Growth of Barley Following Irrigation with Saline Water. 3rd Intern. Conf. Water Resources & Arid Environments and 1st Arab Water Forum.
- Andronikashvili T., Pagava K., Kurashvili T. & Eprikashvili L. 2009. Possibility of Application of Natural Zeolites for Medicinal Purposes. Bull. Georgian Nat. Acad. Sci., 3(2), 158-167.
- Andronikashvili T.G., Urushadze T.F., Eprikashvili L.G. & Gamisonia M.K. 2007. Use of Natural Zeolites in Plant Growing-Transition to Biological Agriculture. Bull. Georgian Nat. Acad. Sci., 175(4), 112-117.
- Ashraf S. 2011. The Effect of Different Substrates on The Vegetative, Productivity Characters and Relative Absorption of Some Nutrient Elements By The Tomato Plant. Adv. Environ. Biology, 5(10), 3091-3096.
- Barbieri M., Castorina F., Masi U., Garbarino C., Nicoletti M., Kassoli-Fournaraki A., Filippidis A. & Mignardi S. 2001. Geochemical and isotopic evidence for the origin of rhyolites from Petrota (Northern Thrace, Greece) and geodynamic significance. Chem. Erde, 61, 13-29.
- Baerlocher Ch., Meier W.M. & Olson D.H. 2001. Atlas of Zeolite Framework Types. Elsevier, Amsterdam.
- Beqiraj E., Gjoka F., Muller F. & Baillif P. 2008. Use of Zeolitic Material from Munella Region (Albania) as Fertilizer in the Sandy Soil of Divjaka Region (Albania). Carpth. J. Earth & Environ. Sci., 3(2), 33-47.
- Berar V., Posta G., Sala F., Radulov I. & Lungu I. 2010. Researches Concerning the Use of Zeolites in the Culture Substrate of Tomatoes in Greenhouses. Bull. UASVM Horticulture, 67(1), 219-223.
- Bish D.L. & Ming D.W. 2001. Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications. Reviews in Mineralogy & Geochemistry, Vol. 45, Miner. Soc. Amer. & Geochem. Soc., Virginia, USA.
- Charistos D., Godelitsas A., Tsiplis C., Sofoniou M., Dwyer J., Manos G., Filippidis A. & Triantafyllidis C. 1997. Interaction of natrolite and thomsonite intergrowths with aqueous solutions of different initial pH values at 25^ο C in the presence of KCl: Reaction mechanisms. Appl. Geochem., 12, 693-703.
- Colella C. & Mumpton F.A. 2000. Natural Zeolites for the Third Millenium. De Frede Editore, Napoli.

- Diale P.P., Muzenda E. & Zimba J. 2011. A Study of South African Natural Zeolites Properties and Applications. World Congr. Engin. & Computer Sci., San Francisco, USA, Πρακτ. II, 19-21.
- Filippidis A. 1993. New find of moissanite in the Metaxades zeolite-bearing volcanoclastic rocks, Thrace County, Greece. N. Jb. Miner. Msh, 11, 521-527.
- Filippidis A. 2008. Treatment and recycling of municipal and industrial waste waters using Hellenic Natural Zeolite. AQUA 3rd Intern. Conf. Water Sci. & Techn., Athens, Proc., 5p.
- Filippidis A. 2010a. Environmental, industrial and agricultural applications of Hellenic Natural Zeolite. Hellenic J. Geosci., 45, 91-100.
- Filippidis A. 2010b. Purification of municipal wastewaters and production of odorless and cohesive zeo-sewage sludge, using Hellenic Natural Zeolite. Scientific Annals, School of Geology, Aristotle Univ., 100, 55-62.
- Filippidis A. 2013. Industrial and municipal wastewater treatment by zeolitic tuff. Water Today, Jan., V(X), 34-38.
- Filippidis A. & 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. & Kassoli-Fournaraki A. 2000. Environmental uses of natural zeolites from Evros district, Thrace, Greece. Fifth Intern. Conf. Environ. Pollution, Thessaloniki, Proc., 149-155.
- Filippidis A., Kougoulis C. & Michailidis K. 1988. Sr-bearing stilbite in a quartz-monzonite from Vathi, Kilikis, Northern Greece. Schweiz. Miner. Petr. Mitt., 68, 67-76.
- Filippidis A., Godelitsas A., Charistos D., Misaelides P. & 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. Appl. Clay Sci., 11, 199-209.
- Filippidis A., Kantiranis N., Drakoulis A. & Vogiatzis D. 2005. Quality, pollution, treatment and management of drinking, waste, underground and surface waters, using analcime-rich zeolitic tuff from Samos island, Hellas. 7th Hellenic Hydrogeol. Conf., Athens, Proc., 2, 219-224.
- Filippidis A., Kantiranis N., Stamatakis M., Drakoulis A. & 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. & Philippidis S. 2008a. Zeolites clean up. Industrial Minerals, 487, 68-71.
- Filippidis A., Apostolidis N., Philippidis S. & Paragios I. 2008b. Purification of industrial and urban wastewaters, production of odorless and cohesive zeo-sewage sludge using Hellenic Natural Zeolite. Second Intern. Conf. Small Decentral. Water & Wastewater Treat. Plants, Skiathos, Proc., 403-408.
- Filippidis A., Apostolidis N., Paragios I. & Philippidis S. 2008c. Purification of dye-work and urban wastewaters, production of odorless and cohesive zeo-sewage sludge, using Hellenic Natural Zeolite. 1st Intern. Conf. Hazardous Waste Manag., Chania, Proc., 8p.
- Filippidis A., Apostolidis N., Paragios I. & Philippidis S. 2008d. Safe management of sewage sludge, produced by treatment of municipal sewage with Hellenic Natural Zeolite. AQUA 3rd Intern. Conf. Water Sci. & Techn., Athens, Proc., 5p.
- Filippidis A., Papastergios G., Apostolidis N., Paragios I., Philippidis S. & Sikalidis C. 2009. Odorless and cohesive zeo-sewage sludge produced by Hellenic Natural Zeolite treatment. 3rd AMIREG Intern. Conf. Assess. Footprint Res. Utilization & Hazardous Waste Manag., Athens, Proc., 96-100.
- Filippidis A., Papastergios G., Apostolidis N., Philippidis S., Paragios I. & Sikalidis C. 2010a. Purification of urban wastewaters by Hellenic Natural Zeolite. Bull. Geol. Soc. Greece, 43(5), 2597-2605.
- Filippidis A., Moustaka-Gouni M., Papastergios G., Katsiapi M., Kantiranis N., Karamitsou V., Vogiatzis D. & Philippidis S. 2010b. Cyanobacteria removal by Hellenic Natural Zeolite. Third Intern. Conf. Small Decentral. Water & Wastewater Treat. Plants, Skiathos, Proc., 383-387.
- Filippidis A., Moustaka-Gouni M., Kantiranis N., Katsiapi M., Papastergios G., Karamitsou V., Vogiatzis D. & Philippidis S. 2010c. Chroococcus (Cyanobacteria) removal by Hellenic Natural Zeolite. 8th Intern. Conf. Natural Zeolites, Sofia, 91-92.
- Filippidis A., Tsirambides A., Kantiranis N., Tzamos E., Vogiatzis D., Papastergios G., Papadopoulos A. & Philippidis S. 2011. Purification of wastewater from Sindos industrial area of Thessaloniki (N. Greece) using Hellenic Natural Zeolite. Environ. Earth Sci., Springer Berlin, Advances Res. Aquatic Environ., 2, 435-442.
- Filippidis A., Kantiranis N., Vogiatzis D., Tzamos E., Papastergios G. & Philippidis S. 2012. Odourless-cohesive zeosewage sludge production and urban wastewater purification by natural zeolite. Intern. Conf. Prot. Restor. Environ. XI, Thessaloniki, Proc., 582-588.

- Filippidis A., Godelitsas A., Kantiranis N., Gamaletsos P., Tzamos E. & Philippidis S. 2013. Neutralization of sludge and purification of wastewater from Sindos industrial area of Thessaloniki (Greece) using natural zeolite. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 47, 8p.
- Ghazvini R.F., Payvast G. & Azarian H. 2007. Effect of Clinoptilolitic-zeolite and Perlite Mixtures on the Yield and Quality of Strawberry in Soil-less Culture. *Intern. J. Agriculture & Biology*.
- Glisic P., Milosevic T.M., Glisic I.S. & Milosevic N.T. 2009. The effect of natural zeolites and organic fertilisers on the characteristics of degraded soils and yield of crops grown in western Serbia. *Land Degradation & Development*, 20, 33-40.
- Godelitsas A., Misaelides P., Charistos D., Philippidis A. & Anousis I. 1996a. Interaction of HEU-type zeolite crystals with Thorium aqueous solutions. *Chem. Erde*, 56, 143-156.
- Godelitsas A., Misaelides P., Philippidis A., Charistos D. & Anousis I. 1996b. Uranium sorption from aqueous solutions on sodium-form of HEU-type zeolite crystals. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 208, 393-402.
- Godelitsas A., Charistos D., Dwyer J., Tsipis C., Philippidis A., Hatzidimitriou A. & Pavlidou E. 1999. Copper (II)-loaded HEU-type zeolite crystals: characterization and evidence of surface complexation with N,N-diethyldithiocarbamate anions. *Microp. Mesop. Mat.*, 33, 77-87.
- Godelitsas A., Charistos D., Tsipis A., Tsipis C., Philippidis A., Triantafyllidis C., Manos G. & 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. *Chem. Eur. J.*, 7, 3705-3721.
- Godelitsas A., Charistos D., Tsipis C., Misaelides P., Philippidis A. & Schindler M. 2003. Heterostructures patterned on aluminosilicate microporous substrates: Crystallisation of cobalt (III) tris(N,N-diethyldithiocarbamate) on the surface of HEU-type zeolite. *Microp. Mesop. Mat.*, 61, 69-77.
- Gottardi G. & Galli E. 1985. *Natural Zeolites*. Springer-Verlag, Berlin.
- Haidouti C. (1997). Inactivation of mercury in contaminated soils using natural zeolites. *Sci. Total Envir.*, 208, 105-109.
- Hassan A.Z.A. & Mahmoud A.W.M. 2013. The combined effect of bentonite and natural zeolite on sandy soil properties and productivity of some crops. *J. Agricultural Research*, 1(3), 22-28.
- He Z.L., Calvert D.V., Alva A.K., Li Y.C. & Banks D.J. 2002. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant & Soil*, 247, 253-260.
- Hall A. & Stamatakis M.G. 1992. Ammonium in zeolitized tuffs of the Karlovassi basin, Samos, Greece. *Can. Miner.*, 30, 423-430.
- Hall A., Stamatakis M.G. & Walsh J.N. 1994. Ammonium enrichment associated with diagenetic alteration in Tertiary pyroclastic rocks from Greece. *Chem. Geol.*, 118, 173-183.
- IARC (Intern. Agency for Reserch on Cancer) 2014. Agents Classified by the IARC Monographs.
- Ippolito J.A., Tarkalson D.D., Lehrs G.A. 2011. Zeolite Soil Application Method Affects Inorganic Nitrogen, Moisture, and Corn Growth. *Soil Sci.*, 176(3), 136-142.
- Ivanova T., Stoyanov I., Stoilov G., Kostov P. & Sapunova S. 1995. Zeolite gardens in space. *Natural Zeolites-Sofia'95, Proc.*, 3-10.
- Kantiranis N., Philippidis A., Mouhtaris Th., Charistos D., Kassoli-Fournaraki A. & Tsirambidis A. 2002. The uptake ability of the Greek natural zeolites. 6th Intern. Conf. Natural Zeolites, Thessaloniki, 155-156.
- Kantiranis N., Stamatakis M., Philippidis A. & 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., Philippidis A. & Paraskevopoulos K. 2006. Thermal distinction of HEU-type mineral phases contained in Greek zeolite-rich volcanoclastic tuffs. *Eur. J. Miner.*, 18(4), 509-516.
- Kantiranis N., Sikalidis C., Papastergios G., Squires C. & Philippidis A. 2010. Continuous extra-framework Na^+ release from Greek Analcime-rich volcanoclastic rocks on exchange with NH_4^+ . *Scientific Annals, School of Geology, Aristotle Univ.*, 100, 81-87.
- Kantiranis N., Sikalidis K., Godelitsas A., Squires C., Papastergios G. & Philippidis A. 2011. Extra-framework cation release from heulandite-type rich tuffs on exchange with NH_4^+ . *J. Environ. Manag.*, 92, 1569-1576.
- Kassoli-Fournaraki A., Stamatakis M., Hall A., Philippidis A., Michailidis K., Tsirambides A. & Koutles Th. 2000. The Ca-rich clinoptilolite deposit of Pentalofos, Thrace, Greece. In: *Natural Zeolites for the Third Millennium* (Colella & Mumpton, Eds), De Frede, Napoli, 193-202.
- Kirov G.N., Philippidis A., Tsirambidis A., Tzvetanov R.G. & Kassoli-Fournaraki A. 1990. Zeolite-bearing rocks in Petrota area (Eastern Rhodope Massif, Greece). *Geologica Rhodopica*, 2, 500-511.

- Kitsopoulos K.P. 1997a. The genesis of a mordenite deposit by hydrothermal alteration of pyroclastics on Polyegos Island, Greece. *Clays & Clay Minerals*, 45(5), 632-648.
- Kitsopoulos K.P. 1997b. Comparison of the methylene blue absorption and the ammonium acetate saturation methods for determination of CEC values of zeolite-rich tuffs. *Clay Minerals*, 32, 319-322.
- Kitsopoulos K.P. 1999. Cation-exchange capacity (CEC) of zeolitic volcanoclastic materials: Applicability of the ammonium acetate saturation (AMAS) method. *Clays & Clay Minerals*, 47(6), 688-696.
- Kitsopoulos K.P. 2001. The relationship between the thermal behaviour of clinoptilolite and its chemical composition. *Clays & Clay Minerals*, 49(3), 236-243.
- Kitsopoulos K.P. & Dunham A.C. 1996. Heulandite and mordenite-rich tuffs from Greece: A potential source for pozzolanic materials. *Mineralium Deposita*, 31, 576-583.
- Kitsopoulos K.P. & Dunham A.C. 1998. Compositional variations of mordenite from Polyegos island, Greece: Na-Ca and K-rich mordenite. *Eur. J. Miner.*, 10, 569-577.
- Koutles Th., Kassoli-Fournaraki A., Filippidis A. & Tsirambides A. 1995. Geology and geochemistry of the Eocene zeolitic-bearing volcanoclastic sediments of Metaxades, Thrace, Greece. *Estudios Geologicos*, 51, 19-27.
- Krason J. & Knud-Hansen C.F. 2004. Natural Zeolites, Remedy for Concentrated Animal Feeding Operations and Sustainable Agriculture. *Organic Waste Treatments: Safety Implications*, 265-268.
- Leggo P.J., Ledesert B. & Christie G. 2006. The role of clinoptilolite in organo-zeolitic-soil systems used for phytoremediation. *Science of the Total Environment*, 363, 1-10.
- Lesjak M. 2011. Vielfältige Anwendungen von Klinoptilolith-Vom Rohstoff bis zur Anwendung. Das Naturmineral des 21. Jahrhunderts? *Klinoptilolith-Zeolith im Focus regionaler Kompetenzen und vielfältiger Einsatzbereiche*, Rottenmann, Proc., 1-4.
- Mahmoodabadi M.R., Ronaghi A., Khayyat M. & Hadarbadi G. 2009. Effects of zeolite and cadmium on growth and chemical composition of soybean. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 515-521.
- Manolov I., Antonov D., Stoilov G., Tsareva I. & Baev M. 2005. Jordanian Zeolitic tuff as a raw material for the preparation of substrates used for plant growth. *J. Central Eur. Agriculture*, 6(4), 485-494.
- Marantos I., Kosharis G., Perdikatsis V., Karantassi S., Michael C. & Papadopoulos P. 1997. A preliminary study on the zeolitic tuffs in the Komotini-Sappes, Tertiary basin, W. Thrace, NE Greece. In: *Natural Zeolites* (Kirov, Filizova & Petrov, Eds), Pensoft publ., Sofia-Moscow, 276-281.
- Marantos I., Markopoulos T. & Christidis G.E. 2007. Zeolitic alteration in the Tertiary Feres volcano-sedimentary basin, Thrace, NE Greece. *Mineralogical Magazine*, 71(3), 327-346.
- Marantos I., Markopoulos Th., Christidis G.E. & Perdikatsis V. 2008. Geochemical characteristics of the alteration of volcanic and volcanoclastic rocks in the Feres Basin, Thrace, NE Greece. *Clay Minerals*, 43, 575-595.
- Milosevic T. & Milosevic N. 2009. The effect of zeolite, organic and inorganic fertilizers on soil chemical properties, growth and biomass yield of apple trees. *Plant Soil Environment*, 55(12), 525-535.
- Milosevic T. & Milosevic N. 2013. Response of young apricot trees to natural zeolite, organic and inorganic fertilizers. *Plant Soil Environment*, 59(1), 44-49.
- Ming D.W. & Allen E.R. 2001. Natural Zeolites in Agronomy, Horticulture, Environmental Soil Remediation. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 88, 619-654.
- Misaelides P., Godelitsas A., Filippidis A., Charistos D. & Anousis I. 1995a. Thorium and uranium uptake by natural zeolitic materials. *Sci. Total Environ.*, 173/174, 237-246.
- Misaelides P., Godelitsas A. & Filippidis A. 1995b. The use of zeoliferous rocks from Metaxades-Thrace, Greece, for the removal of caesium from aqueous solutions. *Fresenius Environ. Bull.*, 4, 227-231.
- Mitchell S., Michels N.L., Kunze K. & Perez-Ramirez J. 2012. Visualization of hierarchically structured zeolite bodies from macro to nano length scales. *Nature Chem.*, 4, 825-831.
- Mohammad M.J., Karam N.S., Al-Lataifeh N.K. 2004. Response of Croton Growth in a Zeolite-Containing Substrate to Different Concentrations of Fertilizer Solution. *Communications Soil Sci. & Plant Analysis*, 35 (15&16), 2283-2297.
- Mumpton F.A. 1984. Natural zeolites. In: *Zeo-Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture* (Pond W.G. & Mumpton F.A. eds), I.C.N.Z., Brockport, New York, 33-44.

- Mumpton F.A. 1985. Using zeolites in agriculture. *Innovative Biological Technologies for Lesser Developed Countries*, Proc., 125-158.
- Mumpton F.A. 1999. La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *USA Nat. Acad. Sci.*, 96, 3463-3470.
- Nguyen M.L. & Tanner C.C. 1998. Ammonium removal from wastewaters using natural New Zealand zeolites. *New Zealand J. Agricultural Research*, 41, 427-446.
- Omar L., Ahmed O.H. & Majid N.M.A. 2011. Enhancing nutrient use efficiency of maize from mixing urea with zeolite and peat soil water. *Intern. J. Physical Sci.*, 6(14), 3330-3335.
- Parham W. 1984. Future perspectives for natural zeolites in agriculture and aquaculture. In: *Zeo-Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture* (Pond W.G. & Mumpton F.A. eds), I.C.N.Z., Brockport, New York, 283.
- Parham W. 1989. Natural Zeolites: Some potential agriculture applications for developing countries. *Natural Resources Forum*, 107-115.
- Pavlidou E., Filippousi M., Zamboulis D., Vouroutzis N., Filippidis A. & Georgiadis I. 2009. Preparation and characterization of Palladium supported on zeolites. *XXV Panhellenic Conf. Solid State Physics Mat. Sci.*, Thessaloniki, 294-295.
- Pe-Piper G. & Tsolis-Katagas P. 1991. K-rich mordenite from Late Miocene rhyolitic tuffs, Island of Samos, Greece. *Clays & Clay Minerals*, 39(3), 239-247.
- Perraki Th. & Orfanoudaki A. 2004. Mineralogical study of zeolites from Pentalofos area, Thrace, Greece. *Appl. Clay Sci.*, 25, 9-16.
- Perraki Th., Kakali G. & Kontoleon F. 2003. The effect of natural zeolites on the early hydration of Portland cement. *Microp. Mesop. Mat.*, 61, 205-212.
- Polat E., Karaca M., Demir H.I. & Onus A.N. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *J. Fruit & Ornamental Plant Research Sp. Ed.*, 12, 183-189.
- Rafiee G. & Saad C.R. 2006. The Effect of Natural Zeolite (Clinoptilolite) on Aquaponic Production of Red Tilapia (*Oreochromis sp.*) and Lettuce (*Lactuca sativa var. longifolia*) and Improvement of Water Quality. *J. Agricultural Sci. & Techn.*, 8, 313-322.
- Rom W.N., Casey K.R., Parry W.T., Mjaatvedt C.H., Moatamed F. 1983. Health implications of Natural Fibrous Zeolites for the Intermountain West. *Environmental Research*, 30, 1-8.
- Sand L.B. & Mumpton F.A. 1978. *Natural Zeolites, Occurrence, Properties, Use*. Pergamon, Oxford.
- Savin S.M., Tsirambides A., Kassoli-Fournaraki A. & Filippidis A. 1993. Oxygen-isotope evidence for the alteration of the Eocene zeolite-bearing volcanoclastic sediments of Metaxades, Thrace, Greece. *4th Intern. Conf. Natural Zeolites*, Idaho, 180-181.
- Skarpelis N., Marantos I. & Christidis G. 1993. Zeolites in Oligocene volcanic rocks, Dadia-Lefkimi area, Thrace, Northern Greece: Mineralogy and cation exchange properties. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 28(2), 305-315.
- Stamatakis M.G. 1989a. Authigenic silicates and silica polymorphs in the Miocene saline-alkaline deposits of the Karlovassi basin, Samos, Greece. *Econ. Geol.*, 84, 788-798.
- Stamatakis M.G. 1989b. A boron-bearing potassium feldspar in volcanic ash and tuffaceous rocks from Miocene lake deposits, Samos Island, Greece. *Amer. Miner.*, 74, 230-235.
- Stamatakis M.G., Hall A. & Hein J.R. 1996. The zeolite deposits of Greece. *Mineralium Deposita*, 31, 473-481.
- Tserveni-Gousi A.S., Yannakopoulos A.L., Katsaounis N.K., Filippidis A. & Kassoli-Fournaraki A. 1997. Some interior egg characteristics as influenced by addition of Greek clinoptilolitic rock material in the hen diet. *Archiv Geflugelk.*, 61(6), 291-296.
- Tsirambides A. & Filippidis A. 2012. Exploration key to growing Greek industry. *Industrial Minerals*, 533, 44-47.
- Tsirambides A., Kassoli-Fournaraki A., Filippidis A. & 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. & Kassoli-Fournaraki A. 1993. Zeolitic alteration of Eocene volcanoclastic sediments at Metaxades, Thrace, Greece. *Appl. Clay Sci.*, 7, 509-526.
- Tsitsishvili G.V., Andronikashvili T.G., Kirov G.N. & Filizova L.D. 1992. *Natural Zeolites*. Ellis Horwood, New York.
- Tsolis-Katagas P. & Katagas C. 1989. Zeolites in pre-caldera pyroclastic rocks of the Santorini volcano, Aegean sea, Greece. *Clays & Clay Minerals*, 37(6), 497-510.
- Tsolis-Katagas P. & 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., Tsirambidis A., Papastergios G. & 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. & Sikalidis C. 2011. Ammonium exchange capacity of the Xerovouni zeolitic tuffs, Avdella area, Evros Prefecture, Greece. Clay Minerals, 46, 179-187.
- Van Straaten P. 1982. Rocks for Crops: Agrominerals of Sub-Saharan Africa, ICRAF.
- Vogiatzis D., Kantiranis N., Filippidis A., Tzamos E. & Sikalidis C. 2012. Hellenic Natural Zeolite as a replacement of sand in mortar: Mineralogy monitoring and evaluation of its influence on mechanical properties. Geosci., 2, 298-307.
- Voudouris P., Magganas A., Kati M., Gerogianni N., Kastanioti G. & Sakelaris G. 2010. Mineralogical constraints to the formation of vein-type zeolites from Kizari area, Thrace Northern Greece. Bull. Geol. Soc. Greece, 43(5), 2786-2797.
- Yolcu H., Seker H., Gullap M.K., Lithourgidis A. & Gunes A. 2011. Application of cattle manure, zeolite and leonardite improves hay yield and quality of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) under semiarid conditions. Australian J. Crop Sci., 5(8), 926-931.
- Yannakopoulos A., Tserveni-Gousi A., Kassoli-Fournaraki A., Tsirambides A., Michailidis K., Filippidis A. & Lutat U. 2000. Effects of dietary clinoptilolite-rich tuff on the performance of growing-finishing pigs. In: Natural Zeolites for the Third Millennium (Colella & Mumpton, Eds), De Frede, Napoli, 471-481.
- Yannakopoulos A., Tserveni-Gousi A., Fortomaris P., Arsenos G., Filippidis A. & Kassoli-Fournaraki A. 2002. Effects of dietary inclusion of natural Greek zeolite on the reproductive characteristics of sows. 6th Intern. Conf. Natural Zeolites, Thessaloniki, 393-394.

6.3. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- H.B.1 Ελληνικός Ζεόλιθος, <http://ellhnikos-zeolithos.blogspot.gr/2013/04/zeolithos-mia-synoptikh-proseggish.html>
- H.B.2 StergioG, Ενημέρωση δεν είναι μόνο οι ειδήσεις http://stergiog.blogspot.com/2013/11/blog-post_3895.html
- H.B.3 Εναλλακτική Δράση http://alttherapy.blogspot.gr/2013/04/blog-post_4350.html#axzz31c9wCvfP
- H.B.4 Ζεόλιθος Αλέξανδρος <http://zeolithosalexandros.blogspot.gr/>
- H.B.5 Ζεόλαδο <http://zeolado.gr/el/>
- H.B.6 Wooster Geologists <http://woostergeologists.scotblogs.wooster.edu/>
- H.B.7 Ελευθεροτυπία <http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=296016>
- H.B.8 Το Βήμα: <http://www.tovima.gr/science/article/?aid=574818&h1=true#commentForm>
- H.B.9 Zeolite Australia PTY Ltd <http://www.zeolite.com.au/products/zeolite.html>
- H.B.10 Ζωκόμος και Περιβάλλον: <http://www.zookomos.gr/>