



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΛΑΖΑΡΟΣ Γ. ΧΑΡΙΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΤΩΝ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ: ΠΕΡΛΙΤΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022





ΛΑΖΑΡΟΣ Γ. ΧΑΡΙΤΟΠΟΥΛΟΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ:5655

ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ: ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας,
Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Καντηράνης Νικόλαος, Αν. Καθηγητής



© Λάζαρος Γ. Χαριτόπουλος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ANATOMIA KAI PROOPTIKES TOY ELLHNIKOU KΛΑΔΟΥ ΤΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ: ΠΕΡΛΙΤΗΣ– *Διπλωματική Εργασία*

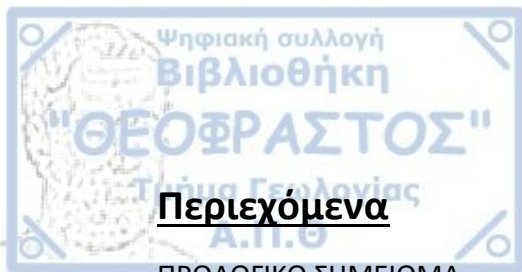
© Lazaros G. Charitopoulos, School of Geology, Dept. of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, 2022

All rights reserved.

ANATOMY AND PROSPECTS OF THE GREEK INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS: PERLITE– *Bachelor Thesis*

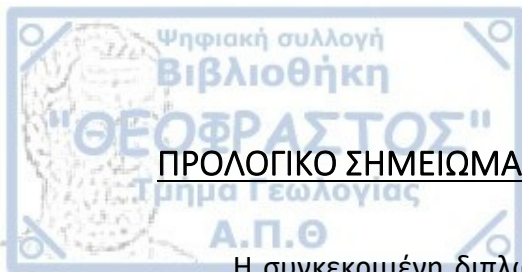
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται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

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



Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ.....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	8
1.1 Ορισμοί.....	8
1.2 Ιδιότητες	8
1.3 Χρήσεις.....	11
Κεφάλαιο 2: Γεωλογικά στοιχεία	17
2.1 Γεωλογία, κοιτασματολογία και συνθήκες γένεσης του περλίτη στην Ελλάδα	17
Κεφάλαιο 3: Αποθέματα και Παραγωγή περλίτη	24
3.1 Παγκόσμια αποθέματα.....	24
3.2 Παγκόσμια παραγωγή	24
3.3 Ελληνικά αποθέματα	26
3.4 Ελληνική παραγωγή.....	27
Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα και προοπτικές του περλίτη.....	28
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	31



ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να αναλύσει τον τρόπο σχηματισμού και της ιδιότητες, κυρίως της διόγκωσής, ενός από τα πιο σημαντικά βιομηχανικά ορυκτά της Ελλάδας. Εκτός αυτών έχει σκοπό να αναλύσει τις πολυάριθμες χρήσεις του και τις προοπτικές ανάπτυξης του στην Ελλάδα. Εκτός των προοπτικών αναφέρεται και σε κάποιες δυσκολίες που υπάρχουν στην Ελλάδα που εμποδίζουν την εκμετάλλευση του περλίτη και πρέπει να αλλάξουν ώστε να αναπτυχθεί περισσότερο ο κλάδος της εκμετάλλευσης του, που προσφέρει οικονομικά οφέλη στις τοπικές κοινωνίες και στο κράτος χωρίς να εμποδίζει την άσκηση άλλων οικονομικών δραστηριοτήτων π.χ. τουρισμός.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Νικόλαο Καντηράνη που με την εμπειρία του και τις γνώσεις του με βοήθησε στην επιλογή του θέματος της πτυχιακής και στην τελική της διαμόρφωση.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο περλίτης είναι ένα υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα, που αν θερμανθεί σε ειδικό κλίβανο διογκώνεται εξαιτίας του περιεχόμενου νερού που διαφεύγει. Αυτή η διογκωμένη του μορφή έχει πληθώρα εφαρμογών στον κατασκευαστικό τομέα, στον αγροτικό τομέα επίσης είναι πολύ διαδεδομένος στην διήθηση υγρών και στις κρυογενικές εφαρμογές. Ο περλίτης σχηματίζεται από την ενυδάτωση του οψιδιανού γι' αυτό τα κοιτάσματά του είναι επιφανειακά. Οι πιο κοινοί τύποι περλίτη με βάση τον ιστό του είναι τρεις ο κοκκώδης, ο κισσηρώδης και ο κλασικός περλίτης. Η Ελλάδα είναι μια χώρα με σημαντικά αποθέματα περλίτη, η παραγωγή του επικεντρώνεται στην Μήλο. Η εξόρυξη του περλίτη είναι φιλική προς το περιβάλλον και προς τον άνθρωπο οπότε η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων του είναι ποιο εύκολη.

ABSTRACT

ANATOMY AND PROSPECTS OF THE GREEK INDUSTRIAL MINERALS AND ROCKS: PERLITE

by LAZAROS G. CHARITOPOULOS

Perlite is a glassy volcanic rock, which, if heated in a special furnace, pops due to the escaping water content. This expanded form has a multitude of applications in the construction sector, in the agricultural sector it is also very common in liquid filtration and cryogenic applications. Perlite is formed by the hydration of obsidian so its deposits are surface deposits. The most common types of perlite based on its texture are three: granular, pumiceous and classical perlite. Greece is a country with significant reserves of perlite, the production of which is concentrated in Milos. The extraction of perlite is environmentally and human-friendly so the exploitation of its deposits is easier.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμοί

Ο περλίτης είναι ένα υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα όξινης, ρυολιθικής σύστασης με χαρακτηριστικό περλιτικό ιστό που χαρακτηρίζεται από την διάταξη της κύριας μάζας του σε συγκεντρικές σφαίρες. Ο διαχωρισμός του περλίτη από άλλα ηφαιστειακά γυαλιά με κογχοειδή θραυσμό, που συνήθως χαρακτηρίζει τα φυσικά ηφαιστειακά γυαλιά έγινε τον 19ο αιώνα ίσως και τον 18ο σύμφωνα με τον Howell (1974) όμως σύμφωνα με τους Caley και Richards (1956) η αναγνώριση του περλίτη ως ένα ξεχωριστό πέτρωμα έγινε πολύ νωρίτερα πιθανότατα στον 3ο αιώνα π.Χ.

1.2 Ιδιότητες

Οι φυσικές ιδιότητες του περλίτη έχουν μεγάλο εύρος. Το χρώμα του είναι τεφρό συνήθως, αλλά μπορεί να είναι και καστανωπό, πράσινο, ρόδινο και μαύρο, το χρώμα του εξαρτάται από τις προσμίξεις του. Η σκληρότητα του κυμαίνεται από 5,5 έως 7,0 της κλίμακας Mohs, το ειδικό του βάρος από 2,3 έως 2,8 g/cm³, ο δείκτης διάθλασης κυμαίνεται από 1,490 έως 1,610 και το σημείο τήξεως έχει εύρος από 1260 έως 1340 °C, ενώ η ειδική επιφάνεια των κόκκων του κυμαίνεται από 1-10 m²/g. Πέραν αυτών έχει κογχοειδή θραυσμό, μεταξώδη ή στεατώδη λάμψη, είναι χημικά αδρανής και η τιμή του pH του είναι γύρω στο 7. Η τιμή αυτή του pH σε συνδυασμό με τη κυψελώδη δομή του, του προσδίδουν την ικανότητα να απορροφά διάφορα υγρά. Η διαλυτότητα του στο νερό, στο θειικό οξύ και σε διάλυμα 50% NaOH είναι 0,1-0,3%, 1% και 90%, αντίστοιχα, ενώ και είναι ανθεκτικός στην επίδραση μικροοργανισμών.

Η χημική σύσταση του ακατέργαστου περλίτη είναι η εξής:

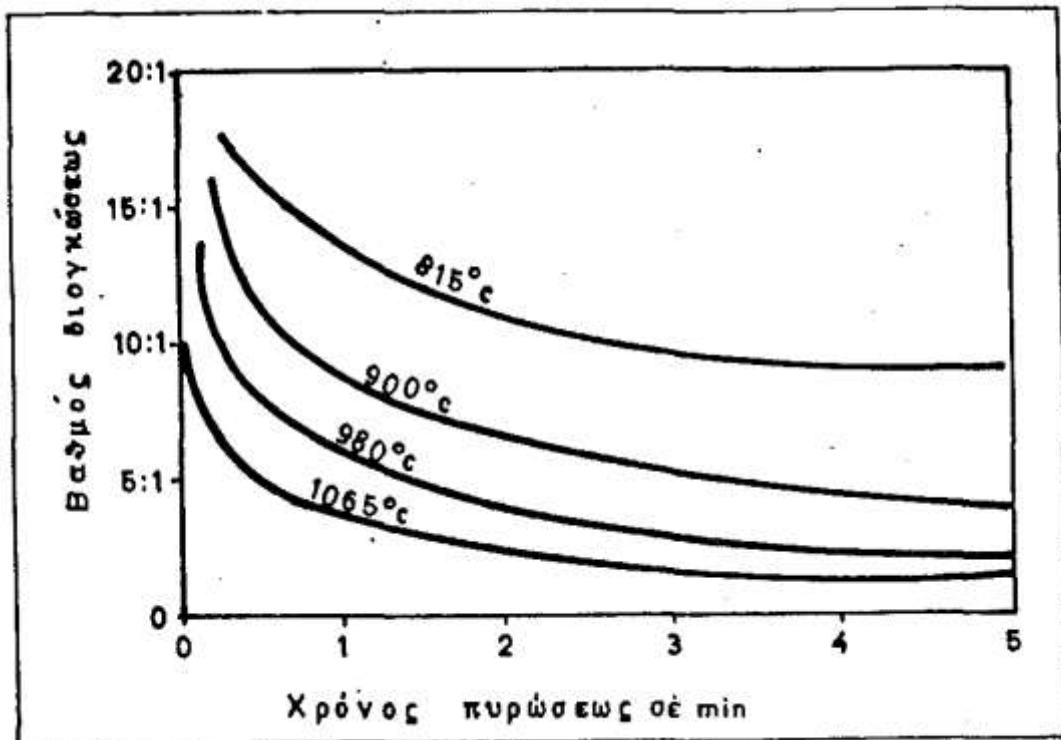
- SiO₂ : 65 -78%
- H₂O: 2-5%
- R²⁺O 5%
- Αλκάλια 3%

Η περιεκτικότητα σε αλκάλεια και $R^{2+}O$ (δισθενή κατιόντα) είναι η μέγιστη.

Η πιο χαρακτηριστική ιδιότητα του περλίτη είναι η διόγκωσή (porring) του κάτω από γρήγορη και ελεγχόμενη θέρμανση από 870-1.100 °C. Το αποτέλεσμα της διεργασίας αυτής είναι η μετατροπή του ακατέργαστου τεφρό υαλώδους πετρώματος σε ένα αφρώδες λευκό υλικό με όγκο 10 με 20 φορές μεγαλύτερο από τον αρχικό κατά το ελάχιστον και ταυτόχρονη μείωση του ειδικού του βάρους. Αυτή η ιδιότητα έχει παρατηρηθεί και σε άλλα ηφαιστειακά πετρώματα υαλώδους σύστασης (δακίτες, ανδεσίτες), έτσι από την πλευρά της βιομηχανίας ως περλίτης χαρακτηρίζεται κάθε πέτρωμα ή άλλο υλικό που έχει την ιδιότητα της διόγκωσης με γρήγορη θέρμανση. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στο χημικά ενωμένο νερό το οποίο εξατμίζεται κατά την θέρμανση και προκαλεί την διόγκωση. Ο περλίτης περιέχει 1-10% χημικά ενωμένο νερό. Το νερό των περλιτών είναι κατά κύριο λόγο μοριακό μέσα στην ύαλο και μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτού βρίσκεται μέσα στα ορυκτά με την μορφή υδροξυλίων. Τα εντονότερα φαινόμενα διόγκωσης τα εμφανίζουν οι όξινοι περλίτες που αποτελούνται από υαλώδη μάζα οι περισσότεροι εξ αυτών. Κάποιοι περλίτες όμως περιέχουν εγκλείσματα σφαιρόλιθων, μικρόλιθων, κρυσταλλιτών και φαινοκρυστάλλων ορυκτών χαλαζία, βιοτίτη, αστρίων, κεροστίλβης, μαγνητίτη, ιλμενίτη και αιματίτη. Τα εγκλείσματα αυτά δεν συμμετέχουν στην διόγκωση με αποτέλεσμα να μειώνουν την ικανότητα διόγκωσης του πετρώματος. Όταν τα εγκλείσματα αυτά φτάσουν σε περιεκτικότητες μεγαλύτερες από 30% κ.β. ο περλίτης χάνει το μεγαλύτερο μέρος της διογκωτικής του ικανότητας.

Εκτός από το ποσοστό των εγκλεισμάτων, άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ικανότητα διόγκωσης του περλίτη είναι το είδος του περλίτη, η περιεκτικότητα σε χημικά ενωμένο νερό (που είναι και από της σημαντικότερες παραμέτρους), η θερμοκρασία του κλιβάνου, καθώς επίσης και ο χρόνος παραμονής στον κλίβανο (Εικ. 1). Έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο δείγματα με παρόμοια ορυκτολογική και χημική σύσταση, με παρόμοιες φυσικές ιδιότητες και από την ίδια περιοχή, συγκεκριμένα τη Μήλο, που επεξεργάστηκαν θερμικά υπό τις ίδιες συνθήκες κλιβάνου, να δώσουν διαφορετικές συμπεριφορές διόγκωσής (Tsikouras et al. 2016). Ένας ακόμα παράγοντας είναι ο γεωλογικός χρόνος, καθώς με την πάροδο του γεωλογικού χρόνου ο περλίτης και τα άλλα υαλώδη πετρώματα αφυαλώνονται προς μια μικροκρυσταλλική ύλη αποτελούμενη από χαλαζία και άστριο και χάνουν την

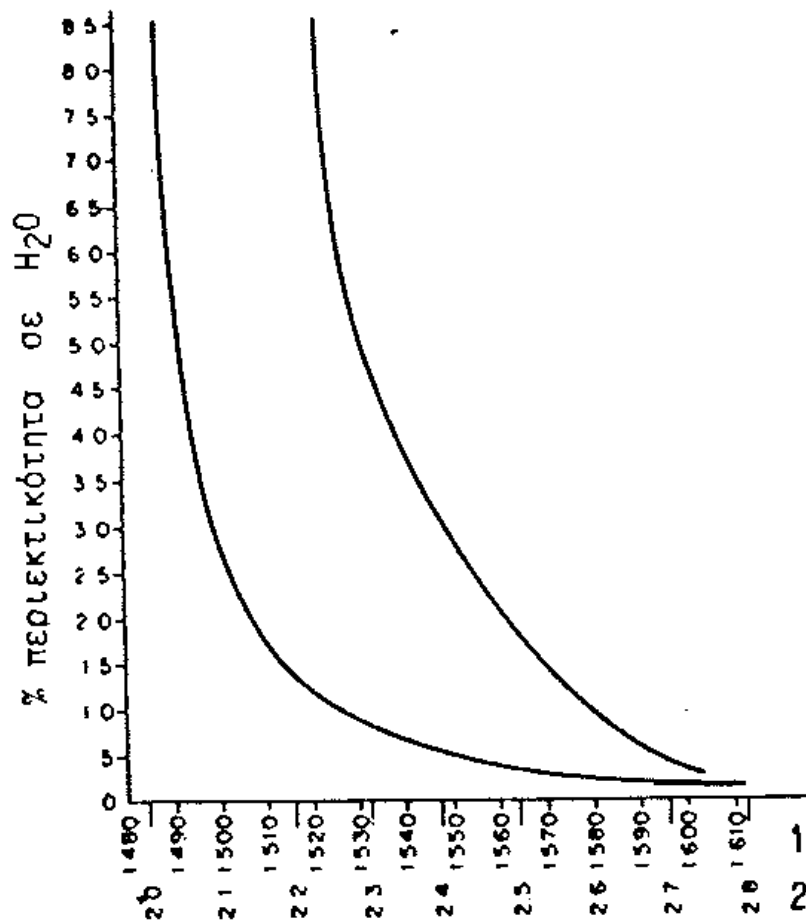
ικανότητα της διόγκωσης μερικώς ή ολικώς. Γι' αυτό είναι σπάνια τα κοιτάσματα πριν το Τριτογενές.



Εικόνα 1. Επίδραση του χρόνου πυρώσεως στο βαθμό διογκώσεως του περλίτη για διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας (Μιχαηλίδης κ.ά. 2013)

Υπάρχει μια συνάρτηση για τη διόγκωση του περλίτη που είναι χαρακτηριστική για κάθε περλίτη και ονομάζεται «Σχέση διόγκωσης» της οποίας η εξίσωση είναι $\Sigma\Delta = V_2/V_1$, όπου V_2 είναι ο τελικός όγκος και V_1 ο αρχικός. Όταν ο περλίτης είναι καλής ποιότητας τότε η $\Sigma\Delta$ είναι >20 και οδηγεί σε μεταβολή του ειδικού βάρους από 2,3-2,4 g/cm³ σε 0,08-0,2 g/cm³. Το ειδικό βάρος και ο δείκτης διάθλασης της υάλου σχετίζονται με την ικανότητα διόγκωσής ενός περλίτη, οπότε οι μικρές τιμές του ειδικού βάρους και του δείκτη διαθλάσεως σχετίζεται με υψηλότερη περιεκτικότητα νερού και υψηλότερη ικανότητα διόγκωσης (Εικ. 2). Σε αντίθεση με τον όγκο του περλίτη που αυξάνεται από όλη την διαδικασία της επεξεργασίας του το βάρος μειώνεται σημαντικά. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τους Μιχαηλίδη κ.ά. (2013) χρειάζονται περίπου 150 τόνοι εξορυγμένου περλίτη για να παραχθούν 100 τόνοι διογκωμένου περλίτη, χάνει δηλαδή το 1/3 του βάρους του κατά την πύρωση. Οι απώλειες αυτές οφείλονται στην απώλεια του νερού κατά την πύρωση, στην

απομάκρυνση των υπέρλεπτων κόκκων και στις απώλειες κατά την ξήρανση. Ο διογκωμένος περλίτης μπαίνει σε σακιά και πηγαίνει προς κατανάλωση (Εικ. 3).

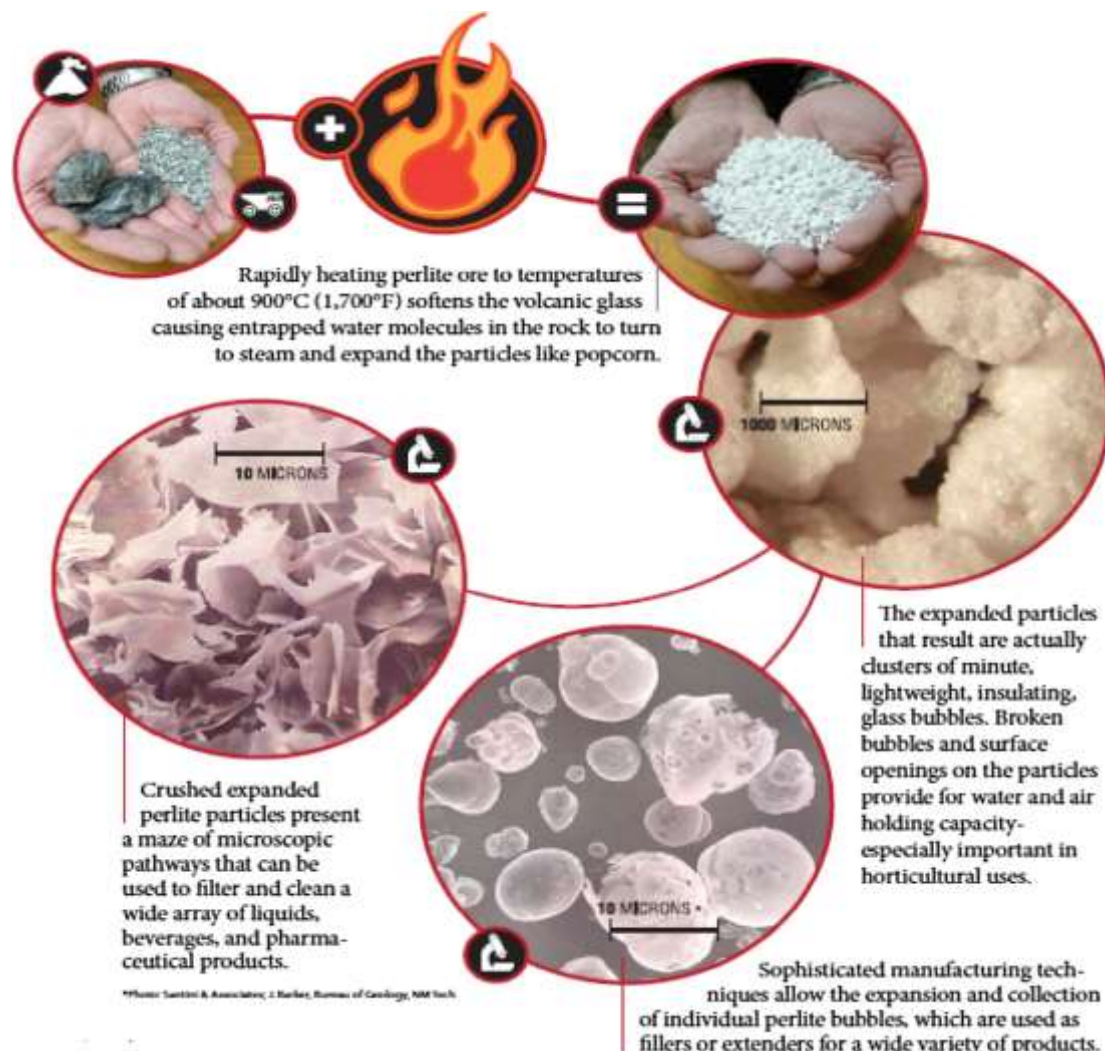


Εικόνα 2. Περιεκτικότητα σε H_2O (% κ.β.) και η επίδραση της στην διόγκωση του περλίτη (Μιχαηλίδης κ.ά. 2013).

1.3 Χρήσεις

Ο περλίτης έχει ευρεία εμπορική χρήση στην διογκωμένη του μορφή, αλλά και στην ακατέργαστη. Οι εφαρμογές του ακατέργαστου περλίτη περιορίζονται στην χρήση για την κατασκευή πυρίμαχων, χημικών προϊόντων ως πηγή πυριτίας. Χρησιμοποιείται επίσης στις βιομηχανικές μονάδες για την αποθείωση των καπνοδόχων και στη συγκέντρωση μεταλλικής σκωρίας, συμβάλει επίσης στην δημιουργία αποξεστικών προϊόντων όπως σαπούνια, καθαριστικά και σιλβωτικά και ως ευτηκτικό χύτευσης (Τσιραμπίδης 2005). Ο διογκωμένος περλίτης έχει ένα ευρύ φάσμα χρήσεων εξαιτίας των φυσικών και χημικών του ιδιοτήτων που τον καθιστούν

ένα μοναδικό εμπορικό προϊόν. Οι ιδιότητες αυτές είναι το μικρό ειδικό βάρος, η χημική αδράνεια, η υψηλή δυνατότητα μόνωσης (ήχου και θερμότητας), η μεγάλη αντοχή στη φωτιά και η υψηλή προσροφητική ικανότητα.



Εικόνα 3. Παραγωγή διογκωμένου περλίτη (Rashad 2016).

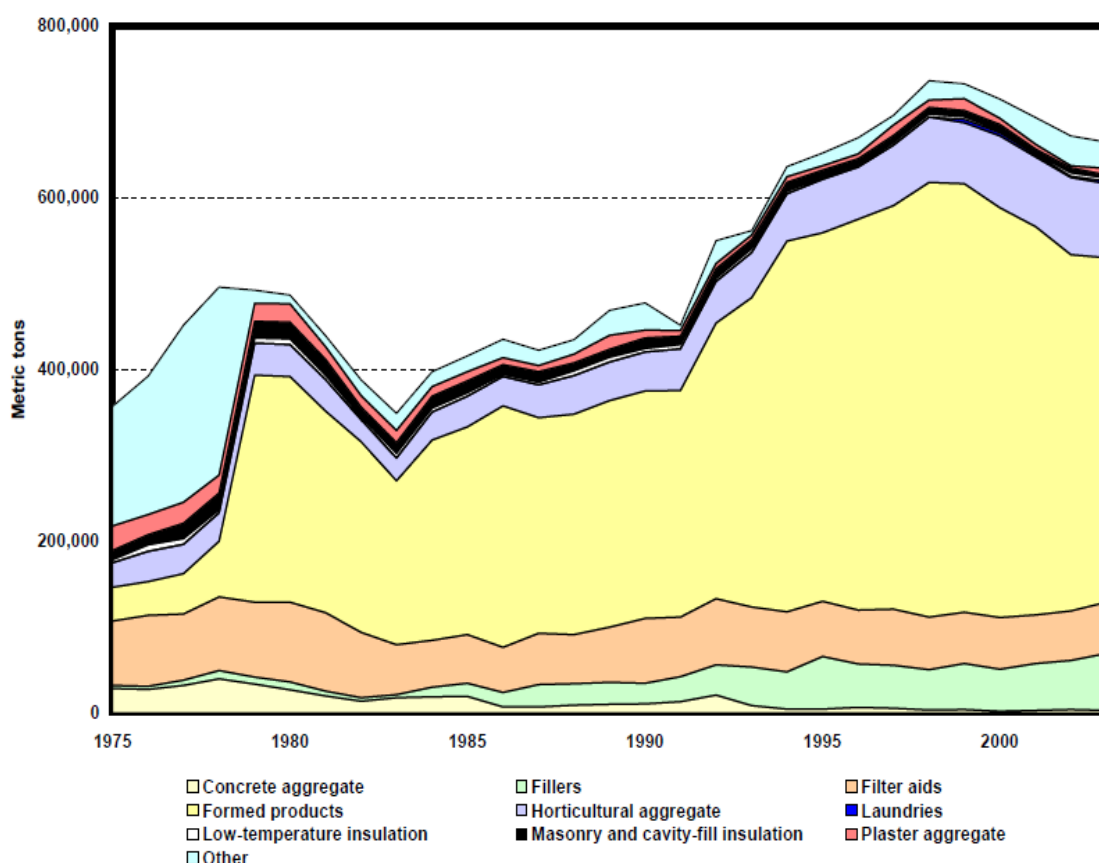
Στην Ευρώπη και τις Η.Π.Α. το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής καταλήγει στον κατασκευαστικό τομέα που χρειάζεται η μονωτική, ακουστική και θερμική ικανότητα του περλίτη και όχι μόνο, καθώς η προσθήκη διογκωμένου περλίτη στα οικοδομικά υλικά προσδίδει αύξηση της δυνατότητας επεξεργασίας, μείωση του βάρους, μείωση της αυτογενούς συρρίκνωσης, μείωση της συρρίκνωσης ξήρανσης, μεγαλύτερη αντοχή στη φωτιά, αυξημένη αντοχή στην αλλοίωση από το θειικό νάτριο (Na_2SO_4) και μειώνει την έκταση της αλκαλοπυριτικής αντίδρασης. Εκτός αυτών υπάρχουν και άλλα πλεονεκτήματα για τη χρήση του διογκωμένου περλίτη,

ως μέρος των οικοδομικών υλικών όπως η χαμηλότερη εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα και η μείωση της κατανάλωσης των φυσικών πόρων (Rashad 2016). Ειδικά για τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) έχει μελετηθεί απορροφητικό υλικό με βάση το πυριτικό λίθιο (Li_4SiO_4) που προέρχεται από διογκωμένο περλίτη. Η έρευνα έδειξε σε σύγκριση με άλλα απορροφητικά υλικά είχε μεγάλη επίδραση στην απόδοση των παρασκευασμένων απορροφητικών υλικών. Σε σύγκριση με το εμπορικό διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), αυτό που προέρχεται από τον διογκωμένο περλίτη περιείχε προσμίξεις, οι οποίες ήταν ευεργετικές για την προώθηση της διάχυσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και για την εμπόδιση της ανάπτυξης των σωματιδίων. Το απορροφητικό υλικό με βάση το πυριτικό λίθιο (Li_4SiO_4) που προέρχεται από διογκωμένο περλίτη είχε υψηλότερη ικανότητα απορρόφησης διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στους 500-650 °C και ταχύτερο ρυθμό διάχυσης διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στους 650 °C υπό καθαρό διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το οποίο οφείλεται στην παρουσία αλκαλικών μετάλλων και στο μικρό μέγεθος των σωματιδίων του απορροφητικού υλικού. Το απορροφητικό υλικό με βάση το πυριτικό λίθιο (Li_4SiO_4) που προέρχεται από διογκωμένο περλίτη διατήρησε επίσης τις υψηλότερες ικανότητες σύλληψης κατά τη διάρκεια πολλαπλών κύκλων απορρόφησης/εκρόφησης (Ni et al. 2021).

Στον κατασκευαστικό τομέα ο περλίτης χρησιμοποιείται στην κατασκευή ψευδοροφών, μονωτικών πλακών, σοβάδων, κονιαμάτων και άλλων χυδών δομικών υλικών, καθώς επίσης και για παραγωγή περλιτικού – πορτλανδικού μπετόν που προσφέρει θερμική μόνωση 20 φορές μεγαλύτερη και εξαιτίας του μικρού ειδικού του βάρους το “πρερλομπετον” εξοικονομεί βάρος στην κατασκευή μεγάλων κτιρίων. Μία καινοτόμα χρήση του περλίτη εφαρμόστηκε από την IMERYS (www.imerys.com) η οποία μετέτρεψε υπολείμματα αποβλήτων περλίτη σε τούβλα, ικανά για κατασκευή. Πριν την εφαρμογή αυτής της τεχνικής τα υπολείμματα αποβλήτων του περλίτη χρησιμοποιούντουσαν για την πλήρωση άγονων λατομείων, χρήση που πληρούσε περιβαλλοντικά κριτήρια, αλλά δημιούργησε περισσότερο κόστος και λιγότερη αξία για την κοινωνία. Το 2018 το εργοστάσιο της Imerys στο Τουκουμάν της Αργεντινής άρχισε να δωρίζει υπολείμματα αποβλήτων περλίτη σε έναν τοπικό συνεταιρισμό που ονομάζεται "Los Parceros". Ο συνεταιρισμός παράγει το τούβλο στην περιοχή Τουκουμάν χρησιμοποιώντας 90% υπολείμματα αποβλήτων

περλίτη και 10% τοιμέντο. Στην Αργεντινή, 50 σπίτια έχουν ήδη κατασκευαστεί με αυτό τον νέο τύπο τούβλου.

Οι περλίτες με προσροφητική ικανότητα (περιεκτικότητα σε SiO_2 μεγαλύτερη από 70% κ.β.) και χημική αδράνεια σε διαφορετικά περιβάλλοντα, αποτελούν ένα πολύ καλό υλικό για φίλτρα που χρησιμοποιούνται για φιλτράρισμα ποτών, χυμών και ελαίων, καθώς επίσης φαρμακευτικών, πετρελαϊκών και χημικών προϊόντων, χρησιμοποιείται επιπλέον στο ραφινάρισμα της ζάχαρης και στην επεξεργασία των ρητινών (Εικ. 4). Η προσροφητική ικανότητα του περλίτη, εκτός των παραπάνω, τον καθιστά έναν καλό φορέα εντομοκτόνων, ενώ είναι και χρήσιμος στην ξηρή λίπανση. Οι ιδιότητες που καθιστούν τον περλίτη ένα πολύ καλό υλικό για φίλτρα των καθιστούν και ένα πολύ καλό πληρωτικό υλικό σε στεγανοποιητικά και σε σύνθετα παρασκευάσματα που τους προσδίδει ειδικές ικανότητες π.χ. επιμήκυνση του χρόνου κατεργασίας.



Εικόνα 4. Ποσότητες του περλίτη για κάθε εφαρμογή (Σιώπη 2019).

Ένας άλλος τομέας που ο περλίτης έχει μεγάλη επιτυχία είναι οι γεωργικές εφαρμογές. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται ως συστατικό μιγμάτων με τύρφη για τη δημιουργία κατάλληλων υποστρωμάτων για την ανάπτυξη των φυτών σε γλάστρες και ως υπόστρωμα στις υδροπονικές καλλιέργειες. Ο διογκωμένος περλίτης προσφέρει όλον τον χρόνο την ιδανική αναλογία αέρα και νερού στο υπόστρωμα των φυτών και αποτελεί ένα ομοιόμορφο υπόστρωμα για την ανάπτυξη των ριζών που έχει ως αποτέλεσμα οι ρίζες των φυτών να είναι πυκνότερες και πιο ομοιόμορφα κατανομημένες, παρουσιάζει επίσης ιδανικές συνθήκες στράγγισης. Ο περλίτης χρησιμοποιείται επίσης ως αραιωτικό λιπασμάτων για αύξηση του όγκου, στην παραγωγή ζωοτροφών και ειδικών απορρυπαντικών, στις γεωτρήσεις πετρελαίου έχει χρήση ως σφραγιστικό μεγάλων κενών.

Έκτος των προαναφερθέντων χρήσεων ο περλίτης έχει και ποιο σύγχρονες χρήσεις. Μία από αυτές είναι ο συνδυασμός ειδικά διογκωμένου περλίτη με ίνες κελλουλόζης και μαζί με άλλες προσμίξεις χρησιμοποιούνται στην αφαίρεση πετρελαιοκηλίδων από τη θάλασσα. Μία δεύτερη χρήση είναι η μεταφορά και η αποθήκευση υδροποιημένων αερίων όπως υγρού φυσικού αερίου, οξυγόνου και υδροποιημένου θείου (κρυογενετική μόνωση). Η χρήση του περλίτη στις κρυογενετικές μονώσεις αυξάνεται συνεχώς εξαιτίας της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας του και του γεγονότος ότι είναι άκαυστος. Ο διογκωμένος περλίτης γεμίζει το χώρο μεταξύ των διπλών τοιχωμάτων των δεξαμενών και των δοχείων που περιέχουν το υδροποιημένο αέριο, βοηθώντας έτσι τα υγρά αέρια να διατηρούν τη θερμοκρασία τους. Ακόμα μία σύγχρονη χρήση του περλίτη επινοήθηκε από την IMERYS (www.imerys.com) και είναι η χρήση περλίτη και καολίνη για την παραγωγή μιας 100% φυσικής οδοντόκρεμας βασισμένης σε ορυκτά.

Μία χρήση του περλίτη που έχει εξεταστή εργαστηριακά και δεν έχει εφαρμοστεί σε βιομηχανική κλίμακα είναι η μετατροπή του σε ζεόλιθο όπως ο υδροξυσωδαλίτης. Η μετατροπή του περλίτη σε ζεόλιθο γίνεται με την βοήθεια αλκαλικών διαλυμάτων (NaOH-NaCl) σε θερμοκρασία μικρότερη των $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ με μετατροπή της αφανιτικής μάζας του περλίτη σε ζεόλιθο. Το κυριότερο χαρακτηριστικό που καθιστά τον περλίτη κατάλληλο για αυτήν την διεργασία είναι η χημική του σύσταση και πιο συγκεκριμένα η αναλογία διοξειδίου του

πυριτίου/τριοξείδιο του αργιλίου ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) συν ο σχετικά μικρός χρόνος αντίδρασης (Antonucci et al. 1985).

Είναι εμφανές ότι οι κυριότερες χρήσεις του περλίτη αφορούν την διογκωμένη του μορφή της οποίας η μεταφορά ειδικά για μεγάλες αποστάσεις είναι πολύ κοστοβόρα λόγω του πολύ μικρού της βάρους. Οπότε οι περισσότερες ποσότητες περλίτη διογκώνονται σε εγκαταστάσεις που βρίσκονται σχετικά κοντά στους τελικούς προορισμούς κατανάλωσης του διογκωμένου περλίτη.

Λόγω των πολλών χρήσεων του ο περλίτης έχει και αρκετά ανταγωνιστικά προϊόντα για τις περισσότερες από αυτές. Τα ανταγωνιστικά προϊόντα στα μονωτικά υλικά είναι το αφρώδες γυαλί, ο βερμικουλίτης, ο διατομίτης, ο βολαστονίτης, οι κεραμικοί πλίθοι, οι ζεόλιθοι, ο ορυκτός βάμβακας και η κίσσηρης. Στα συμπληρώματα ζωοτροφών ο περλίτης μπορεί να αντικατασταθεί από αταπουλγίτη/σεπιόλιθο, ζεόλιθους, βερμικουλίτη, τάλκη και μπεντονίτη. Στα διηθητικά υλικά αντικαθίσταται από διατομίτη, κίσσηρη, πυριτική άμμο, κυτταρίνη και από ενεργοποιημένο άνθρακα. Στα πυρίμαχα υλικά τον περλίτη ανταγωνίζονται ο βερμικουλίτης, το βρώμιο, ο βωξίτης και η αλουμίνα, τα βορικά, ο διατομίτης, ο δολομίτης, ο ολιβίνης, ο μαγνησίτης, τα πυριτία, τα φωσφορικά, ο χρωμίτης, ο τριϋδρίτης του αλουμινίου και το τριοξείδιο του αντιμονίου. Ο βερμικουλίτης, οι ζεόλιθοι, η κίσσηρης, ο σχιστοπηλός και ο διογκωμένος άργιλος είναι ανταγωνιστικά στα αδρανή ελαφροβαρή. Στα εδαφοβελτιωτικά τον περλίτη ανταγωνίζονται ο βερμικουλίτης, ο διατομίτης, οι ζεόλιθοι, η γύψος, ο μπεντονίτης, η τύρφη και ο καολίνης. Στα χυτήρια τον περλίτη μπορούν να τον αντικαταστήσουν ο βωξίτης και η αλουμίνα, ο χρωμίτης, ο πυροφυλλίτης, ο ολιβίνης, το ζirkόνιο, η πυριτική άμμος, οι πυροεπεξεργασμένοι άργιλοι και ο βερμικουλίτης. Τέλος, στα πληρωτικά υλικά τον περλίτη ανταγωνίζονται ο βαρύτης, ο διατομίτης, ο άστριος, ο βολαστονίτης, ο καολίνης, ο μαρμαρυγίας, η κίσσηρης, η μικροκρυσταλλική πυριτία, ο τάλκης, ο νεφελινικός συηνίτης, ο τριϋδρίτης του αλουμινίου, το υδροξύλιο του μαγνησίου και το ανθρακικό ασβέστιο (Τσιραμπίδης 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 Γεωλογία, κοιτασματολογία και συνθήκες γένεσης του περλίτη στην Ελλάδα

Ο περλίτης είναι ένα όξινο πέτρωμα από χημική άποψη, οπότε η λάβα από την οποία προέρχεται έχει μεγάλο ιξώδες. Τα χαρακτηριστικής μορφής κοιτάσματα περλίτη οφείλονται στην έξοδο της λάβας στον πυθμένα της θάλασσας ή στην επιφάνεια της γης με την συνακόλουθη απότομη ψύξη κάτω από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Όταν η λάβα εκχύνεται στη χέρσο πρέπει αυτή η έκχυση να γίνει κάτω από ένα λεπτό κάλυμμα με ικανή εξωτερική πίεση για να αποτραπεί η μετατροπή της λάβας σε οψιδιανό ή κίσηρη. Σύμφωνα με την επικρατούσα θεωρία σχηματισμού ο περλίτης αποτελεί ένα προϊόν εξαλλοίωσης, υδροθερμικής ή απλής ενυδάτωσης υαλωδών πετρωμάτων (ρυόλιθος, οψιδιανός). Το νερό μπορεί να προέρχεται από την βροχή, το λιώσιμο του χιονιού ή επίσης μπορεί να είναι υπόγειο ή θαλασσινό νερό. Ο Chesterman (1954) βρήκε ότι ο περλίτης προήλθε από οψιδιανό με προσθήκη υδρατμών και πρότεινε μία σειρά διεργασιών για να αιτιολόγησε αυτή την περλιτοποίηση. Σύμφωνα με αυτή την σειρά, ρυόλιθος ή οψιδιανός που αποτέθηκε σε δόμους, σε σωρούς και φλέβες λατυποπαγοποιήθηκε κατά ή μετά την απόθεση και ακολούθως έγινε είσοδος υδρατμών και μετατροπή του ρυόλιθου ή του οψιδιανού σε περλίτη και τελικά μετατροπή μέρους του περλίτη σε άργιλο. Αυτή η άποψη ενισχύεται από την ύπαρξη μικρών μαύρων σωμάτων γυαλιού στρογγυλού σχήματος, ως υπολείμματα σε ζώνες που δεν έχει ολοκληρωθεί η περλιτοποίηση. Τα υπολείμματα αυτά είναι γνωστά ως "marekanites" και "Apache tear drops" (δάκρυα των Απάτσι).

Οι Jezek and Noble (1978) περιέγραψαν την διαδικασία σχηματισμού του περλίτη ως συσχετισμένη με την σταδιακή ενσωμάτωση του νερού και ανταλλαγής ιόντων. Σύμφωνα με τους Friedman and Long (1976) η σύσταση της υάλου και η θερμοκρασία δείχνουν να παίζουν σημαντικό ρόλο στον βαθμό της ενυδάτωσης. Ο βαθμός ενυδάτωσης μειώνεται με την μείωση της θερμοκρασίας και με την αύξηση της περιεκτικότητας του μαγνησίου και του ασβεστίου. Ο βαθμός ενυδάτωσης αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε πυρίτιο. Οι τοξοειδής ή οι

συγκεντρικές επιφάνειες που χαρακτηρίζουν τις πιο πυκνές υφές του περλίτη είναι αποτέλεσμα της έντονης πίεσης που συνδέεται με την ενυδάτωση της υάλου που έχει ως συνέπεια την αύξηση του όγκου (Friedman and Smith 1958, Jezek and Noble 1978).

Τα περλιτοποιημένα ηφαιστειακά γυαλιά βρίσκονται σε ζώνες αλλοίωσης των όξινων μαγματικών θόλων, των ροών λάβας με υαλώδη τέφρα και σε υαλώδης ζώνες τόφφων από ροή τέφρας. Έχουν παρατηρηθεί επίσης περλιτοποιημένοι λακόλιθοι, φλέβες και υαλώδης διεισδύσεις, όμως η παρουσία τους είναι περιορισμένη ή δεν έχουν περιγραφεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Η εξώθηση της υψηλού ιξώδους λάβας συχνά σχηματίζει θόλους με μια απότομη πλευρά που δημιουργείται από την εξωτερική διάταση και επέκταση της μάζας της λάβας, καθώς αυτή συσσωρεύεται πάνω από το σημείο εξόδου της. Οι υαλώδης ζώνες εμφανίζονται συχνά σε θόλους και ροές ως εξωτερικές ζώνες εξαλλοίωσης, ως μανδύες και ως συνδεδεμένη τέφρα. Τέτοιες εμφανίσεις όταν ενυδατωθούν μπορούν να μετατραπούν σε σημαντικές πηγές εμπορεύσιμου περλίτη. Η έκταση των κοιτασμάτων περλίτη που έχουν την μορφή δομών, κοιτών, σωρών, παρεμβολών μεταξύ άλλων ηφαιστιτών και φλεβών είναι κάπως περιορισμένη και φθάνει μέχρι μερικά τετραγωνικά χιλιόμετρα. Ο περλίτης είναι σύνηθες να βρίσκεται μαζί με παχιές στρώσεις πυροκλαστικών υλικών, το πάχος των επί μέρους στρωμάτων περλίτη φτάνει μέχρι τα 30 μέτρα, οι φλέβες και οι σωροί έχουν μικροί έκταση σε αντίθεση με τους δόμους που η διάμετρος τους μπορεί να είναι αρκετά χιλιόμετρα (Breese and Barker 1994.).

Μια τυπική ζώνωση που παρατηρείται σε πολλές ροές και θόλους αποτελείται από μία εξωτερική υαλώδη μάζα που περικλείει εσωτερικά μερικώς αποσαθρωμένο ύαλο και πυρήνα φελσίτη. Η συγκεντρική αυτή ζώνωση προκύπτει από την γρήγορη ψύξη των εξωτερικών επιφανειών και την κρυστάλλωση στα πιο εσωτερικά τμήματα που ψύχονται με πιο αργό ρυθμό. Ο υαλώδης μανδύας μπορεί να υπάρχει ως κυρίως περιθωριακά και σε ζώνες εξαλλοίωσης και μπορεί να έχει πάχος δεκάδων μέτρων. Τα εξωτερικά γυαλιά έχουν κισσηρώδη μορφή και περικλείουν προοδευτικά προς εσωτερικότερα μέρη πυκνότερο οψιδιανό. Αυτά τα πετρώματα εισέρχονται και συχνά παρεμβάλλονται στα πιο υψηλού βαθμού κρυστάλλωσης πετρώματα εσωτερικότερα, αλλά και μέχρι τον πυρήνα. Οι ύαλοι που είναι εκτεθειμένοι στην ενυδάτωση, συμπεριλαμβανομένων των συνδεδεμένων υαλοειδών τεφρών, σταδιακά μετατρέπονται σε περλίτη με την ενσωμάτωση νερού.

Στη βάση του εξωτερικού περλιτικού μανδύα και κάτω από τη ζώνη του περλίτη που είναι εμπορικά εκμεταλλεύσιμη, η ενυδάτωση του οψιδιανού σε περλίτη είναι ατελής και υπάρχουν χαρακτηριστικές ζώνες με πολυάριθμα υπολείμματα οψιδιανού δίνοντας χαρακτηριστικές εικόνες που καλούνται "δάκρυα των Απάτσι" (Breese and Barker 1994.). Τα υπολείμματα του οψιδιανού εμφανίζονται ως απομονωμένα τεμάχια ή ως αλληλοσυνδεόμενα συσσωματώματα που σχηματίζουν λοβούς διαφόρων διαστάσεων. Η ενότητα αυτή εκτείνεται ως ζώνη διαβάθμισης στο εξωτερικό τμήμα του εσωτερικού περιβλήματος του απολιθωμένου γυαλιού, το οποίο με τη σειρά του περικλείει τον κρυσταλλικό πυρήνα του φελσίτη. Σύμφωνα με τη θεωρία σχηματισμού του περλίτη ρυολιτικά συμπλέγματα του Ολιγοκαίνου έως του Πρώιμου-Μέσου Τεταρτογενούς έχουν αποδειχθεί επιτυχείς περιοχές-στόχοι για την αρχική αναγνώριση μιας ελπιδοφόρας περιοχής για την ανεύρεση κοιτάσματος περλίτη. Τα ηφαιστειακά υλικά αυτής της ηλικίας είναι αρκετά εκτεταμένα και υπό συνθήκες είναι δυνατόν να έχουν ενυδατωθεί εκτενώς όμως είναι αρκετά φρέσκα ώστε να έχει αποφευχθεί η εκτενής διάβρωση και αφυάλωση. Τα νεότερα ηφαιστειακά υλικά είναι πιθανόν ατελώς ενυδατωμένα και έχουν μικρότερες εμπορικές δυνατότητες ως πηγές υψηλής ποιότητας περλίτη.

Έτσι, οι πιο κοινοί τύποι περλίτη με βάση τον ιστό του είναι:

- Ο κισσηρώδης περλίτης που βρίσκεται στο εξωτερικό τμήμα της απόθεσης και γι' αυτό είναι πορώδης, έχει μικρό ειδικό βάρος και είναι αφρώδης με κισσηρώδη υφή. Η εύθραυστη υφή αυτού του τύπου περλίτη μπορεί να προκαλέσει μείωση του ανακτηθέντος πυρήνα κατά το στάδιο των ερευνητικών εργασιών γι' αυτό το λόγο πρέπει να λαμβάνεται ειδική μέριμνα ώστε να μην γίνει υποεκτίμηση των πιθανών αποθεμάτων.
- Ο κοκκώδης περλίτης είναι ποιο συμπαγής από τον κισσηρώδη περλίτη και χαρακτηρίζεται από ζαχαρώδη υφή, ενώ μπορεί να εμφανίζει και ρευστικές ροές. Επειδή είναι ποιο συμπαγής, ο κοκκώδης περλίτης αναγνωρίζεται εύκολα και η έρευνα για την ύπαρξη κοιτάσματος είναι πιο ασφαλής.
- Ο κλασικός περλίτης έχει τυπική περλιτική μορφή με μαργαριταρένια έως ρητινώδη λάμψη που εμφανίζονται μόνο σε αυτόν τον τύπο του περλίτη που ήταν και η βάση για τον ορισμό του περλίτη. Αυτός ο τύπος του περλίτη είναι ο ποιο συμπαγής, επίσης περιέχει υπολείμματα οψιδιανού τα οποία μπορεί να

είναι αρκετά άφθονά σε αυτόν τον τύπο, σε αντίθεση με την περιορισμένη παρουσία ή και την απουσία τους από τους προηγούμενους τύπου περλίτη. Ο οψιδιανός μπορεί να βρίσκεται είτε σε απομονωμένους κόκκους ή με την μορφή λοβών διαφόρων διαστάσεων. Η παρουσία του οψιδιανού μπορεί να αυξηθεί γρήγορα προς το εσωτερικό του σχηματισμού ή πλευρικά σε συγκεκριμένες υποζώνες όπου η ενυδάτωση του οψιδιανού είναι ελλιπής.

Για την έρευνα και την εύρεση των κοιτασμάτων χρησιμοποιούνται παραδοσιακές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εξερεύνηση των κοιτασμάτων. Περιλαμβάνουν γεωλογική χαρτογράφηση, πυρηνοληψία και διάνοιξη τάφρων. Χρησιμοποιείται λεπτομερής χαρτογράφηση για να οριοθετηθούν οι βασικοί τύποι πετρωμάτων, η υφή του περλίτη και η αφθονία μη περλιτικών υλικών, όπως η άργιλος, ο φελσίτης και ο οψιδιανός. Η χαρτογράφηση και η μοντελοποίηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με γεωφυσικές τεχνικές για την αναγνώριση της έκτασης του κοιτάσματος. Οι γεωτρήσεις και οι εκσκαφές τάφρων χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί η υπόγεια και πλευρική συνέχεια της λιθολογίας του κοιτάσματος και για να επιτραπεί η αντιπροσωπευτική δειγματοληψία. Η διάμετρος των πυρηνοληπτικών γεωτρήσεων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να εξασφαλίζεται η υψηλή ανάκτηση του πυρήνα και να παρέχεται επαρκές δείγμα για την αξιολόγηση του υλικού. Όπου η ποιότητα του περλίτη είναι ομοιόμορφη και όπου η γεωλογία είναι γνωστή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί καταστρεπτική διάτρηση με κρουστικά μέσα.

Εξαιτίας του τρόπου σχηματισμού του ο περλίτης δίνει επιφανειακά κοιτάσματα με αποτέλεσμα να προτιμάτε η επιφανειακή εκμετάλλευση των ανοιχτών ορυχείων, που είναι και οικονομικότερη, από την υπόγεια εκμετάλλευση (Εικ. 5). Στα περισσότερα ορυχεία χρησιμοποιείτε εκσκαφή με μηχανικά μέσα ή χρήση εκρηκτικών ή συνδυασμός αυτών των δύο μεθόδων. Όπου ο περλίτης είναι μαλακός και εύθρυπτος, σπασμένος ή έντονα κατακερματισμένος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διάνοιξη με μηχανικά μέσα με σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων. Η ανάπτυξη των αναβαθμίδων και η ανατίναξη απαιτούνται σε περιπτώσεις όπου ο περλίτης είναι σκληρός και δεν μπορεί να σπάσει εύκολα με τη χρήση μηχανικών μέσων. Αφού θρυμματιστεί ο περλίτης, μεταφέρεται στο συγκρότημα θραύσης για περαιτέρω επεξεργασία. Η επιλεκτική εξόρυξη χρησιμοποιείται συνήθως σε δύο περιπτώσεις, η

πρώτη όταν η ποιότητα του περλίτη είναι μεταβαλλόμενη και η δεύτερη όταν παρατηρούνται σημαντικές προσμίξεις από στείρα υλικά. Όταν τα κοιτάσματα περιέχουν περλίτες διαφορετικής υφής, τα υλικά αυτά αναμιγνύονται για να παραχθεί ένα υλικό με σταθερά χαρακτηριστικά για την τροφοδοσία του συγκροτήματος θραύσης για την παραγωγή σταθερής ποιότητας τελικού προϊόντος.



Εικόνα 5. Ανοιχτό ορυχείο περλίτη (Πηγή: <http://milos-greece.com/en/mining/perlite.html>).

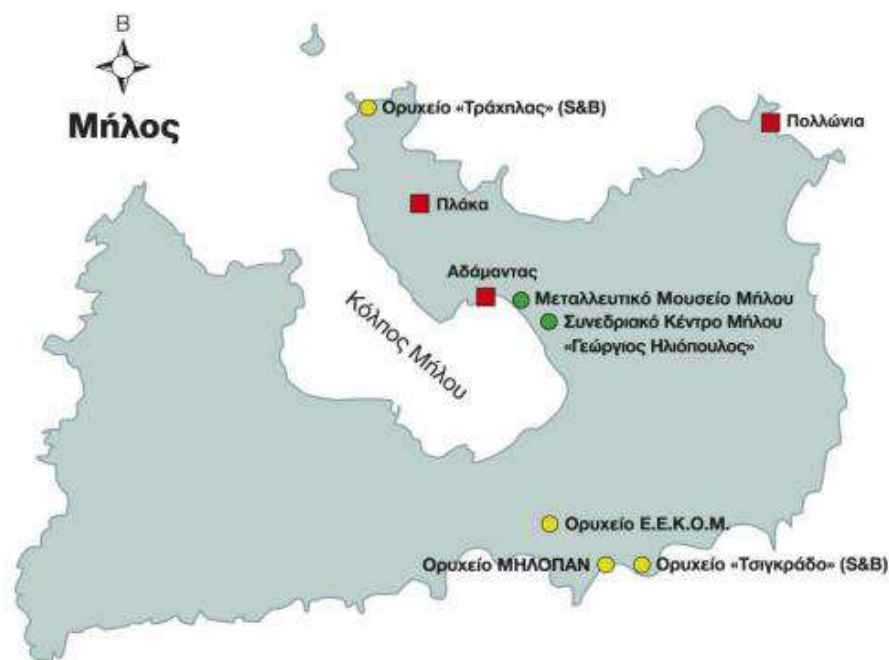
Αφού εξορυχθεί ο περλίτης ακολουθεί η επεξεργασία του, που γίνεται σε δύο βασικά στάδια, την προετοιμασία και την διόγκωση. Στο πρώτο στάδιο, αυτό της προετοιμασίας, πραγματοποιείται η θραύση-λειοτριβήση του περλίτη, από οδοντοτούς σπαστήρες, τα προϊόντα της θραύσης είναι σύνηθες να ξηραίνονται για να φύγει η υγρασία, ενώ σκοπός της θραύσης είναι να παραχθούν κυβικού σχήματος σώματα συγκεκριμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης που βοηθάνε στην καλύτερη διόγκωση του περλίτη. Ακολουθεί το στάδιο της διόγκωσης όπου ο επεξεργασμένος περλίτης εισέρχεται σε ειδικούς κλιβάνους (οριζόντιους ή κατακόρυφους) και σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα κάτω από ελεγχόμενη θερμοκρασία διογκώνεται.

Οι κατάλληλου μεγέθους κόκκοι περλίτη εισέρχονται με μεγάλη ταχύτητα στον κλίβανο, με την χρήση κατάλληλων αναρροφητήρων. Εκεί θερμαίνονται στους 750°C, η διόγκωση ολοκληρώνεται όταν ο περλίτης φτάσει στην θερμοκρασία διογκώσεως η οποία εξαρτάται από την ποιότητα του περλίτη, με τις θερμοκρασίες αυτές να κυμαίνονται από 870 °C έως 1100°C. Όταν ο περλίτης φτάσει στην θερμοκρασία διόγκωσης του αρχίζει να γίνεται ποιο μαλακός και να αποκτά πλαστική μορφή, που επιτρέπει την απελευθέρωση του νερού με την μορφή ατμού. Αυτή η διαδικασία σε συνδυασμό με την φλοιώδη μορφή του περλίτη έχει ως αποτέλεσμα την διόγκωσή του. Η μεγάλη ταχύτητα με την οποία περνάνε οι κόκκοι του περλίτη από τον κλίβανο βοηθάει στην στιγμιαία πύρωσή τους ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη διόγκωση αυτών χωρίς να τακούν και να συρρικνωθούν. Η θερμοκρασία τήξεως του περλίτη κυμαίνεται μεταξύ 1260 °C έως 1340 °C, συνεπώς η θερμοκρασία διόγκωσης δεν πρέπει να υπερβαίνεται αυτή τη θερμοκρασία διότι τότε η φάση διόγκωσης του περλίτη έχει ξεπεραστεί με αποτέλεσμα το προϊόν να συρρικνώνεται και να δημιουργείται τεχνητό γυαλί.

Είναι συνηθισμένη πρακτική ο κονιοποιημένος περλίτης να προθερμαίνεται στους 200 °C -300 °C στο πρώτο τμήμα του φούρνου και στη συνέχεια να ακολουθεί η κανονική διαδικασία της διόγκωσης. Η προθέρμανση χρησιμοποιείται για να αφαιρεθεί μέρος του νερού που έχει εγκλωβιστεί μηχανικά (υγρασία), τα τεμαχίδια του περλίτη πηγαίνουν ποιο κοντά στην θερμοκρασία διογκώσεως, να ελαττώνεται ο χρόνος παραμονής στο τμήμα διογκώσεως και γενικότερα η διόγκωση να γίνεται κάτω από ηπιότερες συνθήκες. Αφού ολοκληρωθεί και αυτό το στάδιο ακολουθεί ο έλεγχος της ποιότητας του περλίτη και της επιτυχούς διόγκωσης. Οι δοκιμές και οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται είναι οι δοκιμές διόγκωσης, οι μετρήσεις της αντοχής σε θλίψη του διογκωμένου περλίτη, ο υπολογισμός της περιεκτικότητας του μη διογκωμένου υλικού, ο υπολογισμός του ειδικού βάρους αρχικού και τελικού προϊόντος, η μέτρηση της αντοχής σε θλίψη των δοκιμίων από περλομπετόν (μίγμα περλίτη και τσιμέντου) και τέλος, η κοκκομετρική διαβάθμιση κατά βάρος και κατά όγκο.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα κατά το άνω Πλειόκαινο-κάτω Πλειστόκαινο στο χώρο του Αιγαίου, που ήταν και ο δεύτερος γύρος ηφαιστειακής δραστηριότητας, ήταν αυτή που δημιούργησε τα κοιτάσματα περλίτη στην Ελλάδα (Fytikas and

Νουγιουκαλάκης 1992) η διαπίστωση αυτή προέρχεται από τη μελέτη των πετρωμάτων της Κιμώλου, ενώ η ηφαιστειότητα αυτή προέρχεται από την υποβύθιση της Αφρικανικής τεκτονικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική πλάκα. Τα κοιτάσματα περλίτη στην Ελλάδα βρίσκονται στη Λέσβο, στο Γυαλί, στην Αντίπαρο, στη Νίσυρο, στην Πολύαιγο, στη Μήλο και στην Κω, καθώς και στον Έβρο (Λευκίμμη, Λυκόφως, Δαδιά) (πηγή, www.orgkta.gr). Η εξόρυξη στην Ελλάδα γίνεται κατά κύριο λόγο στην Μήλο (Εικ. 6) από την εταιρία IMERYS GREECE S.A. και περιστασιακά σε μικρότερη κλίμακα στην Κω. Η IMERYS GREECE S.A. είναι η σημαντικότερη εταιρία παραγωγός περλίτη στην Ελλάδα και ο μεγαλύτερος προμηθευτής αδιόγκωτου διαβαθμισμένου περλίτη παγκόσμια. Η εξόρυξη περλίτη στην Μήλο γίνεται από το 1954. Τα ορυχεία βρίσκονται δίπλα στους δύο μεγάλους κρατήρες των μη ενεργών ηφαιστείων του νησιού, τον Τράχηλα και το Τσιγκράδο. Το μεγαλύτερο ορυχείο περλίτη βρίσκεται πάνω από το ακρωτήριο Τσιγκράδο και εκεί βρίσκεται επίσης ένα από τα τρία εργοστάσια επεξεργασίας της εταιρίας. Στην περιοχή υπάρχουν άλλα δύο ορυχεία που ανήκουν στις εταιρείες ΕΕΚΟΜ και Μίλοραν. Ο συνολικός ετήσιος όγκος του περλίτη που εξορύσσεται στη Μήλο είναι περίπου 500.000 τόνοι (πηγή, www.milos-greece.com). Εκτός από της προαναφερθείσες εταιρίες στον Ελληνικό χώρο δραστηριοποιείται και η εταιρία ΠΕΡΛΙΤΕΣ ΑΙΓΙΑΟΥ Α.Ε.



Εικόνα 6. Περλίτης της Μήλου (Πηγή: Μεταλλευτικό Μουσείο Μήλου).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΕΡΛΙΤΗ

(Τα δεδομένα είναι από το USGS science for a changing world:

<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/perlite-statistics-and-information>)

3.1 Παγκόσμια αποθέματα

Στο διάγραμμα 1 είναι εμφανές ότι τα παγκόσμια αποθέματα περλίτη είναι σταθερά 700 εκατομμύρια τόνοι, πρέπει να σημειωθεί όμως ότι μετά το 2012 δεν υπάρχουν δεδομένα επειδή από το 2012 και μετά άρχισαν περισσότερες χώρες να παράγουν περλίτη χωρίς όμως να υπάρχουν δεδομένα για τα διαθέσιμα αποθέματα που διέθεταν οι χώρες αυτές.



Διάγραμμα 1. Παγκόσμια αποθέματα (εκ. τόνοι) περλίτη (<https://www.usgs.gov/>).

3.2 Παγκόσμια παραγωγή

Από το 1996 μέχρι το 2012 η παγκόσμια παραγωγή ήταν σχετικά σταθερή και κυμαίνονταν από 1,5 εκατομμύρια τόνους μέχρι 2 εκατομμύρια τόνους, το 2013 η παραγωγή σχεδόν διπλασιάστηκε, ενώ την επόμενη χρονιά η παραγωγή έπεσε κοντά

στα προηγούμενα επίπεδα, από εκεί και έπειτα ακολουθεί μία συνεχόμενη αύξηση που φτάνει το 2017 τους 5,1 εκατομμύρια τόνους που είναι και η μεγαλύτερη παραγωγή που έχει υπάρξει μέχρι σήμερα, καθώς τα επόμενα χρόνια μέχρι το 2020 η παραγωγή έπεσε (Διαγρ. 2). Μία από της σημαντικότερες χώρες παραγωγούς περλίτη είναι η Η.Π.Α. που έχει δύο από τα σημαντικότερα κοιτάσματα περλίτη στον κόσμο το Socorro (Νέο Μεξικό) και το Cedar Top (Καλιφόρνια). Οι σημαντικές χώρες παραγωγής στην Ευρώπη είναι η Ιταλία με τα σημαντικότερα κοιτάσματα να βρίσκονται στην Σαρδηνία, η Τουρκία της οποίας τα παραγωγικά της κοιτάσματα είναι συγκεντρωμένα στο δυτικό μέρος της χώρας, άλλη και η Ουγγαρία με τα περισσότερα κοιτάσματα να βρίσκονται στο βορειοδυτικό κομμάτι της χώρας. Τέλος, η Ελλάδα είναι από τις σημαντικότερες χώρες παραγωγούς περλίτη με κέντρο εξορυκτικής δραστηριότητας την Μήλο.



Διάγραμμα 2. Παγκόσμια παραγωγή (χιλ.τοννοι) περλίτη (<https://www.usgs.gov/>).

Στην Ασία δύο είναι οι χώρες που παράγουν περλίτη, η Ιαπωνία της οποίας τα ορυχεία βρίσκονται στο Χονσούα (Honshua), στο Χοκάιντο (Hokaido) και στο Κιούσου (Kyushu). Η δεύτερη χώρα είναι η Κίνα η οποία άρχισε να παράγει σημαντικές ποσότητες από το 2015, παράγοντας 1,8 εκατομμύρια τόνους περλίτη που είναι σχεδόν το 41,1% της παγκόσμια παραγωγής, και από τότε η παραγωγή της δεν έχει

πέσει κάτω από τους 1800 τόνους. Οι πιο γνωστές περιοχές παραγωγής περλίτη είναι η Τζιανπίνγκ (Jianping) που βρίσκεται στην επαρχία Λιαονίνγκ (Liaoning), η Τζινιούν (Jinyun) στην επαρχία Ζεζιάνγκ (Zhejiang) και η Ξινγιάνγκ (Xinyang) που βρίσκεται στην επαρχία Χενάν (Henan). Το Μεξικό και η Αργεντινή είναι οι μόνες χώρες που παράγουν περλίτη στην λατινική Αμερική. Το Μεξικό παράγει περλίτη κοντά στο Οριεντάλ (Oriental), στο Πουέμπλο (Pueblo). Η Αργεντινή έχει δύο ανοιχτά ορυχεία, ένα στο Σαλάρ ντε Ποσίτος (Salar de Pocitos) και ένα στο Σαν Αντόνιο (San Antonio) που βρίσκονται στην επαρχία Σάλτα (Salta).

3.3 Ελληνικά αποθέματα

Η Ελλάδα όντας μια χώρα που παράγει σημαντικές ποσότητες περλίτη ήταν λογικό και λόγω της γεωτεκτονικής της θέσης να ψάξει για περισσότερα αποθέματα περλίτη τα οποία ανακάλυψε το 2016 και τα συνολικά της αποθέματα από 50 εκατομμύρια τόνους έφτασαν τους 120 εκατομμύρια τόνους (Διάγ. 3). Σύμφωνα με τους Τσιραμπίδη και Φιλιππίδη (2013) η ακαθάριστη αξία του ελληνικού περλίτη είναι 12 δισεκατομμύρια ευρώ.



Διάγραμμα 3. Ελληνικά αποθέματα (εκ. τόνοι) περλίτη (<https://www.usgs.gov/>).

3.4 Ελληνική παραγωγή

Η Ελληνική παραγωγή (Διαγ. 4) από το 1996 μέχρι 2000 αυξάνεται με μοναδική εξαίρεση το 1999 που καταγράφηκε μια μικρή μείωση. Από το 2000 μέχρι το 2002 η παραγωγή ήταν σταθερή στους 500 χιλιάδες τόνους, την επόμενη χρονιά η παραγωγή έπεσε στους 360 χιλιάδες τόνους. Το 2004 όμως η παραγωγή επανέρχεται στα προηγούμενα επίπεδα και παραμένει σταθερή με μικρές αυξομειώσεις μέχρι το 2011. Το 2012 παρατηρείται μία μείωση και η παραγωγή πέφτει στους 400 χιλιάδες τόνους, το 2013 η παραγωγή διπλασιάζεται και παραμένει σταθερή για το 2014, το 2015 η παραγωγή μειώνεται στους 700 χιλιάδες τόνους. Έπειτα ακολουθεί μία σημαντική αύξηση της παραγωγής μέχρι το 2017 όπου φτάνει στην κορυφαία τιμή της μέχρι και σήμερα στους 1550 χιλιάδες τόνους από τότε μέχρι το 2020 η παραγωγή μειώνεται στους 700 χιλιάδες τόνους. Το ποιο αξιοσημείωτο γεγονός στην Ελληνική παραγωγή είναι η αλματώδης αύξηση της από 700 χιλιάδες τόνους σε 1550 χιλιάδες σε δύο μόλις χρόνια.



Διάγραμμα 4. Ελληνική παραγωγή (χιλ. τόνοι) περλίτη (<https://www.usgs.gov/>).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΟΥ ΠΕΡΛΙΤΗ

Η ζήτηση για τον περλίτη αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια λόγω της χρήσης του στην παραγωγή φίλτρων, στην γεωργία, στις κρυογενικές εφαρμογές και στις κατασκευές που είναι και ο τομέας με την μεγαλύτερη κατανάλωση. Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλα αποθέματα και μπορεί να επωφεληθεί από αυτή την κατάσταση σε συνδυασμό με την γεωστρατηγική της θέση που της δίνει πρόσβαση στην Βαλκανική αγορά, μια αγορά 170 εκατομμυρίων καταναλωτών (Τσιραμπίδης και Φιλιππίδης 2013), εκτός των αγορών στις οποίες δραστηριοποιείται ήδη. Με αυτές τις συνθήκες η Ελλάδα έχει μια πολύ καλή ευκαιρία να αναπτύξει τα κοιτάσματα περλίτη που διαθέτει και σε περιοχές εκτός της Μήλου δημιουργώντας θέσεις εργασίας από τις οποίες θα επωφεληθούν οι τοπικές κοινότητες και το κράτος γενικότερα αφού όπως προ αναφέρθηκε μόνο η ακαθάριστη αξία του περλίτη είναι 12 δισεκατομμύρια ευρώ καθιστώντας τον περλίτη το δεύτερο πιο "πολύτιμο" βιομηχανικό ορυκτό της Ελλάδας πίσω από τους ζεόλιθους (Τσιραμπίδης και Φιλιππίδης 2013).

Η Ελλάδα είναι μία χώρα που έχει παράδοση στον τουρισμό, ο οποίος αποτελεί μία μεγάλη πηγή εισόδων για το κράτος και τις τοπικές κοινωνίες, και όπως πιστεύεται έρχεται σε αντίθεση με την εξορυκτική βιομηχανία κάτι που στην περίπτωση του περλίτη δεν ισχύει όπως δείχνει το παράδειγμα της Μήλου. Στη Μήλο ο τουρισμός και η εξορυκτική βιομηχανία συνυπάρχουν και προσφέρουν στην τοπική κοινωνία μια οικονομική δραστηριότητα που διαρκεί όλο το χρόνο. Οι υπηρεσίες (συμπεριλαμβανομένου του τουρισμού) αντιστοιχούν στο 55% του εγχώριου προϊόντος της Μήλου, ενώ η μεταποίηση (κυρίως η εξόρυξη) αντιπροσωπεύει το 40%, συμβάλλοντας σημαντικά στην τοπική οικονομία της Μήλου. Ένα αξιοσημείωτο

γεγονός είναι στο νησί της Μήλου δεν υπάρχει ανεργία, ενώ στην Ελλάδα στο σύνολό της η ανεργία ήταν περίπου στο 27% (έτος αναφοράς 2013). Επιπλέον, το κατά κεφαλήν ΑΕΠ του νησιού ήταν υψηλότερο από τον μέσο όρο της χώρας, ως αποτέλεσμα της αρμονικής συνύπαρξης των δύο οικονομικών δραστηριοτήτων. Επομένως, η εξόρυξη και ο τουρισμός είναι δύο δραστηριότητες που μπορούν να συμβαδίζουν προς όφελος των τοπικών οικονομιών. Η S&B Αργυρομεταλλευμάτων και Βαρυτύνης και μετέπειτα η IMERYS GREECE S.A. συνείσφεραν άμεσα και έμμεσα το 1/3 του ΑΕΠ της Μήλου (μελέτη του Ιδρύματος Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών, 2011) και ήταν ο μεγαλύτερος εργοδότης του νησιού, με το 18% του εργατικού δυναμικού της Μήλου εργάζονταν για τις δραστηριότητες της εταιρείας (άμεσα και έμμεσα εμπλεκόμενοι). Το ετήσιο CAPEX (κεφαλαιακές δαπάνες) της S&B Milos (μετέπειτα η IMERYS GREECE S.A.) ήταν το 15% των συνολικών επενδύσεων στο νησί (δημόσιες & ιδιωτικές), χωρίς να περιλαμβάνονται οι δραστηριότητες Κοινωνικής Συνεισφοράς που φτάνουν τα 600.000 ευρώ/έτος για τη στήριξη του τουρισμού και των τοπικών κοινωνιών. Στον τομέα του τουρισμού, οι επισκέπτες υπολογίζονται σε 85.000 ετησίως για ένα νησί με περίπου 5.000 κατοίκους (Androulakis 2013).

Ένας πολύ σημαντικός λόγος για να σταματήσει οποιαδήποτε εξορυκτική δραστηριότητα είναι αν επιβαρύνεται σοβαρά η υγεία των κατοίκων. Στην περίπτωση του περλίτη δεν χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες για την επεξεργασία του, γεγονός που δημιουργεί σχετικά ήπιες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τις εργασίες εξόρυξης και εμπλουτισμού πολλών άλλων μεταλλευμάτων. Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω ο περλίτης περιέχει διάφορες προσμίξεις με πιο σημαντικά από τοξικολογική άποψη να είναι το κρυσταλλικό διοξείδιο του πυριτίου (χαλαζίας, χριστοβαλίτης και τριδυμίτης). Τα δεδομένα ασφαλείας για τον εμπορικό περλίτη αναφέρουν διάφορα ποσοστά κρυσταλλικού διοξειδίου του πυριτίου (που κυμαίνονται από 0,05 έως 5% κ.β.). Ο Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον καρκίνο (IARC 2012) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το αναπνεύσιμο κρυσταλλικό διοξείδιο του πυριτίου με τη μορφή σκόνης χαλαζία ή χριστοβαλίτη είναι καρκινογόνο για τον άνθρωπο. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι εταιρείες θα πρέπει να χρησιμοποιούν τα διαθέσιμα μέσα (τεχνικοί έλεγχοι, πρακτικές στο χώρο εργασίας και ατομικός προστατευτικός εξοπλισμός) για να διασφαλίσουν ότι οι εκθέσεις στο

χώρο εργασίας είναι σύμφωνες με τις ισχύουσες νομοθεσίες. Συνεχής ιατρική παρακολούθηση των επαγγελματικά εκτεθειμένων ομάδων αποτελεί επίσης εύλογη προφύλαξη. Ειδική προσοχή πρέπει να δοθεί στην παρακολούθηση και τον έλεγχο για τυχόν έκθεση σε εισπνεύσιμο κρυσταλλικό διοξείδιο του πυριτίου που σχετίζεται με οποιαδήποτε ορυκτά που εξορύσσονται. Η μελέτη θνησιμότητας των κατοίκων της Μήλου κατά τη χρονική περίοδο από το 1999 έως το 2009 θεωρείται αρνητική, με μόνο ασθενείς και όχι στατιστικά σημαντικές αυξήσεις του SMR (τυπική αναλογία θνησιμότητας) για την πνευμονία και τη χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (Maxim et al. 2014). Με βάση αυτά τα στοιχεία φαίνεται ότι οι εταιρίες που δραστηριοποιούνταν στην Μήλο τηρούν τους κανόνες και αυτός είναι ο λόγος που δεν υπήρχε επιβάρυνση της υγείας των εργαζόμενων και των κατοίκων της Μήλου. Είναι συνεπώς εμφανές ότι με σωστή διαχείριση και τήρηση των κανόνων και της νομοθεσίας οι εξορυκτικές εργασίες και η επεξεργασία του περλίτη μπορούν να είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τους ανθρώπους.

Συνοψίζοντας αν εφαρμοστούν οι κανόνες τόσο στον τομέα της υγείας και στον τομέα της προστασίας του περιβάλλοντος η εξόρυξη του περλίτη μπορεί να συνυπάρξει μαζί με άλλες δραστηριότητες προς όφελος των τοπικών κοινωνιών και του κράτους.

- Antonucci P.L., Crisafulli M.L. , Giordano N. and Burriesci N. 1985. Zeolitization of perlite, Materials Letters, Volume 3, number 7,8 , a Istituto CNR, Trasformazione e Accumulo Energib, Cattedra di Chimica Industriale, Universita di Messina, Italy
- Breese R.O.Y. and Barker J.M. 1994. Perlite. In Industrial Minerals and Rocks, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, Colorado, 6th Edition, pp. 735-749.
- Koukouzas N. 1998. Volcanic glass (perlite) of Kimolos island Greece: Mineral chemistry and structure, Δελτίο της Ελληνικής γεωλογικής εταιρίας Πρακτικά 8^{ου} συνεδρίου, Πάτρα
- Maxim L.D., Niebo R. and McConnell E. E., 2014. Perlite toxicology and epidemiology, Inhalation Toxicology International Forum for Respiratory Research, Everest Consulting Associates, Cranbury, NJ, USA and 2 ToxPath Inc., Raleigh, NC, USA
- Ni S., Wang N., Guo X. and Liu J., 2021. Li₄SiO₄-based sorbents from expanded perlite for high-temperature CO₂ capture. State Key Laboratory of Coal Combustion, School of Energy and Power Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, People's Republic of China.
- Rashad A. M. 2016. A synopsis about perlite as building material – A best practice guide for Civil Engineer, Construction and Building Materials, . Building Materials Research and Quality Control Institute, Housing & Building National Research Center, HBRC, Cairo.
- Tsikouras B., Passa K. S., Iliopoulos I. and Katagas C. 2016. Microstructural Control on Perlite Expansibility and Geochemical Balance with a Novel Application of Isocon Analysis: An Example from Milos Island Perlite (Greece), Minerals, Faculty of Science, Physical and Geological Sciences, Universiti Brunei Darussalam, Department of Geology, Section of Earth Materials, University of Patras, Patras, Greece.

Ελληνική βιβλιογραφία

Κοιτασματολογία Βιομηχανικών Ορυκτών & Πετρωμάτων, Παρουσίαση του μαθήματος Βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα του Τμήματος Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα.



Μιχαηλίδης Κ.Μ., Βαβελίδης Μ.Κ. και Φιλιππίδης Α.Α., 2013. Σημειώσεις.
Κοιτασματολογίας Βιομηχανικών Ορυκτών και Πετρωμάτων, Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα

Σιώπη Α. - ΑΕΜ:14157, 2019. Μελέτη Σύνθεσης Κονιαμάτων με Μπεντονίτη και
Περλίτη, Πτυχιακή εργασία ως μέρος του Προπτυχιακού Τίτλου Σπουδών στη
Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης, Ελλάδα.

Τσιραμπίδης Α. και Φιλιππίδης Α., 2013. Ορυκτοί Πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και
Αξία. Ορυκτοί Πόροι Ελλάδος: Αποθέματα και Αξία. Τομέας
Ορυκτολογίας Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελλάδα

Τσιραμπίδης Α. 2005. Ο ορυκτός πλούτος της Ελλάδος, Εκδόσεις Γιαχούδη,
Θεσσαλονίκη, Ελλάδα.

Διαδικτυακές πηγές

Androulakis T. 2013.S&B's Sustainable case of mining & tourism in Milos island,
Greece: [http://www.euromines.org/news/newsletters/1-2013/sbs-sustainable-
case-mining-tourism-milos-island-greece](http://www.euromines.org/news/newsletters/1-2013/sbs-sustainable-case-mining-tourism-milos-island-greece)

Perlite MILOS – GREECE: <http://milos-greece.com/en/mining/perlite.html>

Something to smile about: a 100% natural, mineral-based toothpaste, 2020.

IMERYS.com: [https://www.imerys.com/news-stories/Something-to-smile-
about-a-100-natural-minerals-based-toothpaste](https://www.imerys.com/news-stories/Something-to-smile-about-a-100-natural-minerals-based-toothpaste)

Transforming perlite waste residue into construction bricks, 2021. IMERYS.com:
[https://www.imerys.com/news-stories/transforming-perlite-waste-residue-
into-construction-bricks](https://www.imerys.com/news-stories/transforming-perlite-waste-residue-into-construction-bricks)

USGS science for a changing world: [https://www.usgs.gov/centers/national-
minerals-information-center/perlite-statistics-and-information](https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/perlite-statistics-and-information)