

ΧΡΗΣΗ ΠΕΡΛΙΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Δ. Φραγκούλης, Χ. Τέας, Δ. Παπαγεωργίου, Ε. Χανιωτάκης

*Διεύθυνση Έρευνας & Ποιότητας, ΑΕ Τσιμέντων TITAN, Εργοστάσιο Καμαρίου, 19200 Ελευσίνα,
τηλ. +30 210 5537739*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η εκμετάλλευση κοιτασμάτων περλίτη για την παραγωγή διογκωμένων προϊόντων έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή εκτεταμένων απορρίψεων. Στην παρούσα δημοσίευση εξετάστηκε η δυνατότητα χρήσης τους στην παραγωγή τσιμέντου και κονιαμάτων. Έτσι παράχθηκαν εργαστηριακά τσιμέντα με προσθήκη περλιτικών απορρίψεων από τη Μήλο, οι ιδιότητες των οποίων τσιμέντων συγκρίθηκαν με τσιμέντα αναφοράς. Επιπλέον έγιναν εργαστηριακές συνθέσεις κονιαμάτων με χρήση παρόμοιων απορρίψεων και σύγκριση των ιδιοτήτων τους πάλι με αυτών των κονιαμάτων αναφοράς. Η προσθήκη περλιτικών απορρίψεων σε σύμμεικτα τσιμέντα και κονιάματα προσδίδει θετικές ιδιότητες στα τσιμέντα (αντοχές, απαίτηση σε νερό) και στα κονιάματα (αντοχές, ειδικό βάρος). Εφόσον και η ανθεκτικότητα των παραγόμενων προϊόντων είναι ικανοποιητική η χρήση τους μπορεί να οδηγήσει στην εκμετάλλευση σημαντικών ποσοτήτων περλιτικών απορρίψεων.

Λέξεις κλειδιά: περλίτης, τσιμέντα, κονιάματα

EXPLOITATION OF PERLITE REJECTS FOR CEMENT AND MORTAR PRODUCTION

D. Fragoulis, C. Teas, D. Papageorgiou, E. Chaniotakis

*Department of R&D and Quality, TITAN Cement SA, Kamari Plant, 19200 Elefsina,
tel. +30 210 5537739*

ABSTRACT: The exploitation of perlite deposits for the production of expanded commercial products results into the production of large quantities of rejects. In the present paper the possibility of utilizing those rejects for cement and mortar production was studied. Therefore, laboratory cements were produced with addition of perlite rejects from the island of Milos and the cement properties were compared to those of a reference cement. Further more, laboratory trial mixes of mortars with the same rejects were evaluated and the mortar properties were compared again to those of reference mortars. Addition of perlite rejects in blended cements and mortars may result in enhanced cement (strength, water demand) and mortar properties (strength, specific weight). If the durability of the produced products is satisfactory, their use may lead to exploitation of significant quantities of perlite rejects.

Keywords: perlite, cement, mortars

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία αξιολογήθηκε η συμπεριφορά δύο περλιτικών απορρίψεων στην παραγωγή τσιμέντου και κονιαμάτων. Οι απορρίψεις προέρχονται από την επεξεργασία περλίτη στις εγκαταστάσεις της S&B στην Μήλο. Τα υλικά χρησιμοποιήθηκαν ως είχαν στην σύνθεση κονιαμάτων με τσιμέντο ενώ συναλέστηκαν με κλίνκερ και γύψο σε εργαστηριακό μύλο για την παραγωγή τσιμέντου. Τα υλικά που εξορρύνονται στην περιοχή της Μήλου αποτελούν γενικά ικανοποιητικές ποζολανικές προσθήκες στο τσιμέντο (Stamatakis 1996, 2003), καθώς και σε κονιάματα με ασβέστη και τσιμέντο (Μογορούλου 2004, 2005, Fragoulis 2005).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΥΛΙΚΩΝ

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Η χημική ανάλυση των υλικών παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 1. Περλιτικές απορρίψεις

Υλικό	Χαρακτηριστικά
Περλίτης-1	Συμπαραγόμενο περλιτικό υλικό κατά την κατάτμηση με μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία και κοκκομετρία -1,3 mm. Ετήσια παραγωγή 100 - 150.000 τόνοι.
Περλίτης-2	Συμπαραγόμενο ξηρό περλιτικό υλικό

Πίνακας 2. Χημική ανάλυση δειγμάτων περλίτη

Υλικό		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	LOI	Reac. SiO ₂
Περλίτης-1	%	75,08	12,47	0,14	1,02	0,21	1,26	4,05	3,02	2,75	38,0
Περλίτης-2	%	75,54	11,78	0,15	1,00	0,17	1,29	4,49	3,04	2,54	34,1

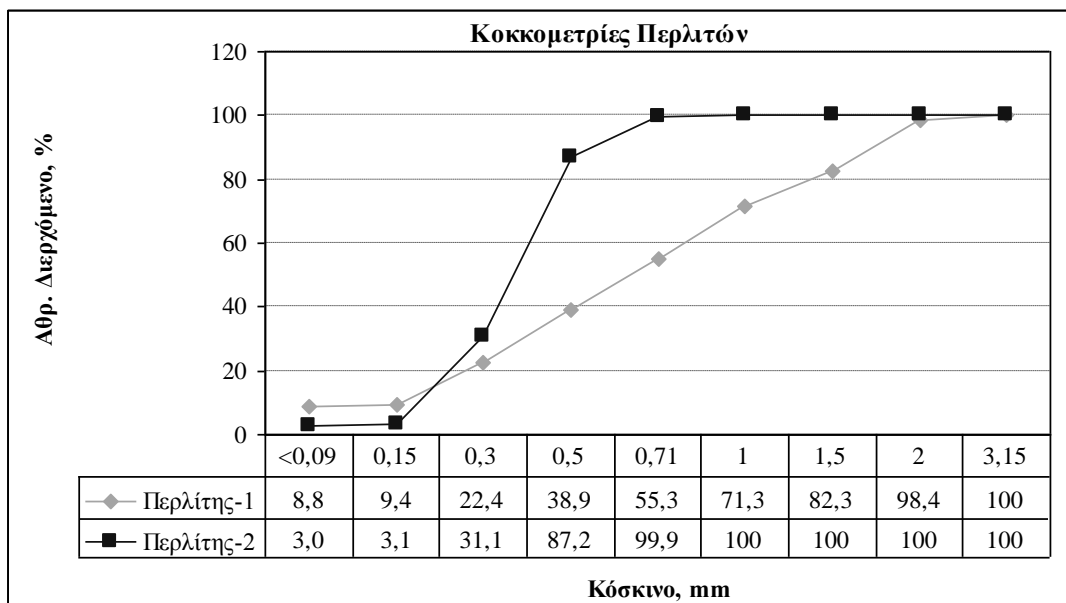
Η χημική σύσταση των δύο περλιτών είναι παρόμοια. Τα δύο υλικά είναι πλούσια σε πυρίτιο μέρος του οποίου είναι σε μορφή χαλαζία. Το δραστικό πυρίτιο υπερβαίνει το όριο του κανονισμού για χρήση σαν πρόσθετο στο τσιμέντο.

Οι κατανομές κοκκομετρίας για τα δείγματα Περλίτης-1, και Περλίτης-2 παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα 1.

Το ειδικό βάρος των δειγμάτων περλίτη παρουσιάζονται στον πίνακα 4. Όπως προκύπτει, τα δείγματα Περλίτης-1 και Περλίτης-2, έχουν ειδικό βάρος της τάξης του 2,3 gr/cm³.

Πίνακας 3. Ειδικό βάρος δειγμάτων περλίτη

Υλικό	Εδικό Βάρος (gr/cm ³)
Περλίτης-1	2,36
Περλίτης-2	2,32



Σχήμα 1. Διάγραμμα κοκκομετρικής κατανομής, % (αθροιστικό διερχόμενο - μέγεθος κοσκίνου mm για τα δείγματα)

Με βάση τα διαγράμματα περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD) προσδιορίστηκαν οι κρυσταλλικές φάσεις που υπάρχουν στα εξεταζόμενα δείγματα περλίτη. Οι ορυκτολογικές φάσεις που υπάρχουν σε κάθε δείγμα παρουσιάζονται στον πίνακα 4. Γενικά, η ορυκτολογική ανάλυση των περλιτικών υλικών δείχνει παρουσία υψηλού ποσοστού αμόρφου υλικού (φυσικό γυαλί) καθώς και παρουσία χαλαζία και ανορθίτη και είναι παρόμοια της ποζολάνης από Μήλο που χρησιμοποιείται στην παραγωγή τσιμέντου.

Πίνακας 4. Ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων περλίτη

Κρυστ. Φάση	Χαλαζίας (SiO ₂)	Αλβίτης / Ανορθίτης (Ca,Na)(Si,Al) ₄ O ₈	Άμορφο υλικό
Περλίτης-1	√	√	√
Περλίτης-2	√	√	√
Μηλαϊκή γη	√	√	√

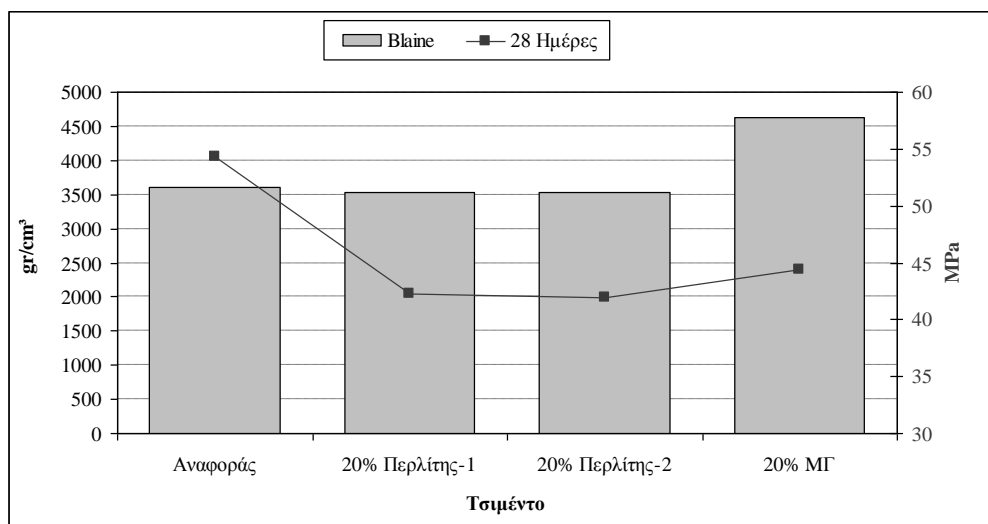
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Παρασκευή τσιμέντων

Για την παραγωγή των τσιμέντων έγινε συνάλεση κλίνκερ (75%), δειγμάτων περλιτικών απορίψεων (20%) και γύψου (5%) σε εργαστηριακό μύλο σε σταθερό χρόνο. Για σύγκριση χρησιμοποιήθηκε ποζολάνη από τη Μήλο με παρόμοιο ποσοστό δραστικού πυριτίου. Μετρήθηκαν οι κύριες ιδιότητες των τσιμέντων όπως απαίτηση σε νερό, χρόνος πήξης, αντοχές και Blaine. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα και στο ακόλουθο διάγραμμα.

Πίνακας 5. Ιδιότητες εργαστηριακών τσιμέντων

Τσιμέντο	Blaine	Χρόνος άλεσης	%H ₂ O	IST, min	FST, min	1	2	7	28
Αναφορά	3600	45	23,4	85	125	14,8	24,5	40,5	54,3
20% Περγλίτης-1	3540	45	26,2	115	165	9,6	15,6	30,0	42,3
20% Περγλίτης-2	3540	45	25,8	120	180	10,2	16,0	28,7	41,9
20% ΜΓ	4630	45	28,8	130	170	11,5	18,5	31,8	44,4



Εικόνα 2. Αντοχές και ειδική επιφάνεια τσιμέντων.

Η χρήση των περλιτικών απορρίψεων ως ποζολάνη δυσχεραίνει την αλεσιμότητα του τσιμέντου σε σχέση με την υπάρχουσα μηλαϊκή γη. Επίσης η διαφορά στην κοκκομετρία μεταξύ των δύο υλικών φαίνεται ότι η χρήση του λεπτόκοκκου περγλίτη δεν επηρεάζει σημαντικά την αλεσιμότητα του τσιμέντου.

Η απαίτηση σε νερό των παραγόμενων με απορρίψεις τσιμέντων βρίσκεται ενδιάμεσα του δείγματος αναφοράς και αυτών με μηλαϊκή γη. Οι αντοχές των δειγμάτων με απορρίψεις υστερούν αυτών με μηλαϊκή γη αλλά πρέπει να ληφθεί υπόψη και η διαφορά στην ειδική επιφάνεια των τσιμέντων.

Συνθέσεις κονιαμάτων

Η παραγωγή κονιαμάτων έγινε με προσθήκη των υλικών Περγλίτης-1, και Περγλίτης-2 ως έχουν. Για την παραγωγή χρησιμοποιήθηκαν επίσης ασβεστολιθική άμμος, τσιμέντο τύπου CEM I-42.5, υδράσβεστος σε σκόνη, καθώς και χημικά πρόσθετα (αιθέρας κυτταρίνης, αερακτικό και συμπολυμερή. Τα χαρακτηριστικά του τσιμέντου παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 και της υδρασβέστου στον Πίνακα 7.

Πίνακας 6. Ιδιότητες τσιμέντου

Blaine	IST (min)	FST (min)	H ₂ O (%)	7d (MPa)	28d (MPa)
3600	120	170	25.3	38.4	51.5

Πίνακας 7. Ιδιότητες υδρασβέστου

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LOI	Ca(OH) ₂	CaCO ₃
%	0.17	0.18	0.07	70.06	2.35	0.77	25.60	89.10	5.98

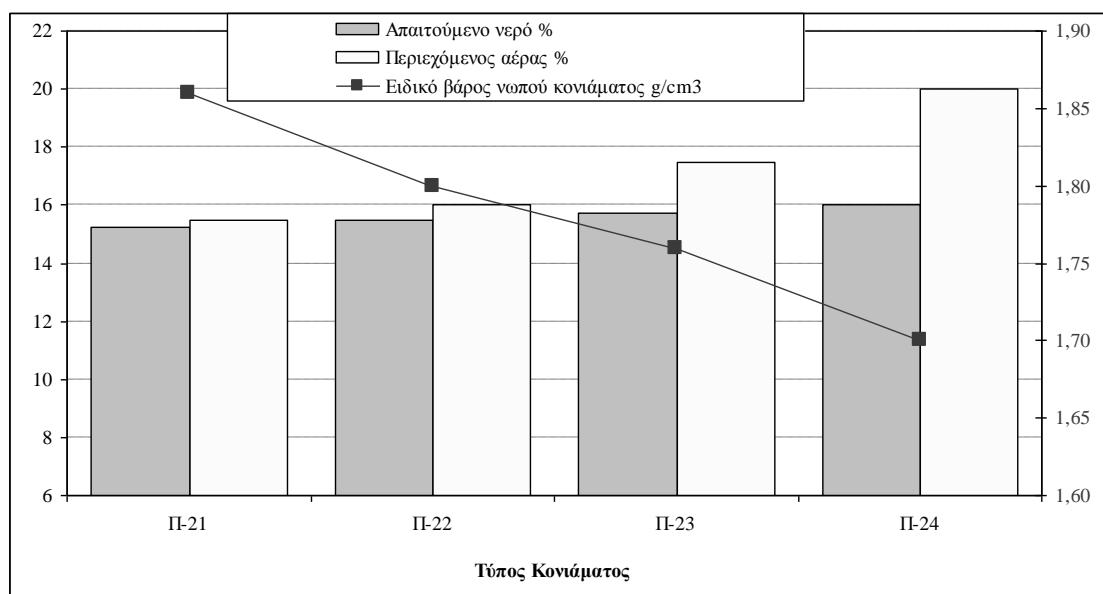
Οι συνθέσεις των κονιαμάτων παρουσιάζονται στους Πίνακες 8Α και Β, μαζί με τα αποτελέσματα για το νωπό και σκληρυμένο κονίαμα. Η απαίτηση σε νερό προσδιορίστηκε βάσει του προτύπου EN 1015-2 και η εξάπλωση κατά το EN 1015-3 (flow table method). Η πυκνότητα του νωπού κονιάματος (EN 1015-6), το ποσοστό αέρα (EN 1015-7), η συγκράτηση νερού (EN 1015-8), οι αντοχές θλίψης και κάμψης (EN1015-11) και ο συντελεστής υδατοαπορρόφησης (EN 1015-18) ήταν οι άλλες ιδιότητες που προσδιορίστηκαν.

Παρατηρείται ότι σε κονιάματα απουσία υδρασβέστου είναι χαμηλή η ανάπτυξη αντοχών μετά τις 28ημ. Η παρουσία υδρασβέστου δείχνει να ενεργεί θετικά στην δραστικότητα του πυριτίου των περλιτικών απορρίψεων και την βελτίωση των αντοχών των κονιαμάτων ειδικά μετά τις 28 ημ.(Shi. 2001).

Όλα τα υλικά επιδρούν στην απαίτηση σε νερό αυξάνοντας την. Τα υλικά επιδρούν επίσης στο ειδικό βάρος του κονιάματος οδηγώντας σε ελαφρύτερα κονιάματα, αφού και το ειδικό βάρος των περλιτικών απορρίψεων είναι χαμηλότερο του ασβεστόλιθου. Επίσης ο συντελεστής υδατοαπορρόφησης των κονιαμάτων δεν μεταβάλλεται με την χρήση των υλικών.

Πίνακας 8Α. Συνθέσεις κονιαμάτων

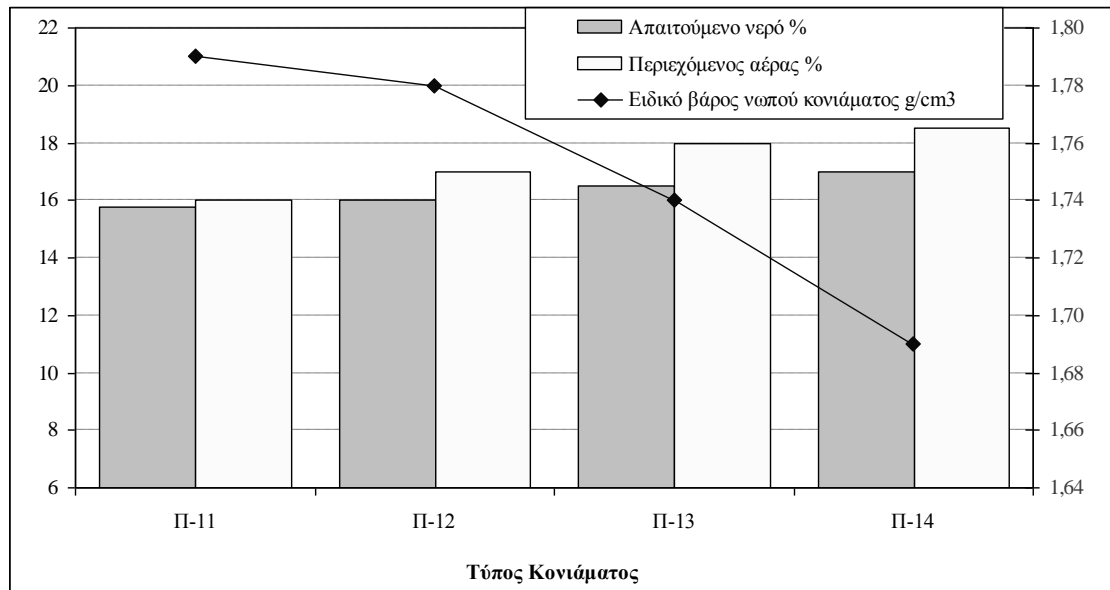
ΣΥΝΘΕΣΗ/ΤΥΠΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	Π-21	Π-22	Π-23	Π-24
Ασβεστολιθική άμμος	91	86	81	71
Τσιμέντο CEM I-42,5	8	8	8	8
Υδράσβεστος	1	1	1	1
Περλίτης 2	0	5	10	20
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ				
Απαιτούμενο νερό %	15,25	15,5	15,75	16
Εξάπλωση cm	17,5	17,5	17,8	17,4
Συγκρατούμενο νερό %	89,4	90,6	88,5	88,6
Περιεχόμενος αέρας %	15,5	16,0	17,5	20,0
Ειδικό βάρος νωπού κονιάματος g/cm ³	1,86	1,80	1,76	1,70
Αντοχή θλίψης 7 ΗΜ (Μρα)	1,7	1,7	1,9	1,3
Αντοχή θλίψης 28 ΗΜ (Μρα)	3,4	3,3	3,8	3,1
Αντοχή θλίψης 60 ΗΜ (Μρα)	5,2	4,8	4,5	3,7
Αντοχή κάμψης 7 ΗΜ (Μρα)	0,8	0,8	0,9	0,7
Αντοχή κάμψης 28 ΗΜ (Μρα)	1,5	1,2	1,6	1,3
Αντοχή κάμψης 60 ΗΜ (Μρα)	2,0	1,8	1,8	1,6
Συντελεστής υδατοαπορρόφησης (Kg/m ² /min ^{1/2})	1,5	---	1,4	---



Εικόνα 3. Απαιτούμενο νερό, περιεχόμενος αέρας, ειδικό βάρος κονιαμάτων

Πίνακας 8B. Συνθέσεις κονιαμάτων

ΣΥΝΘΕΣΗ/ΤΥΠΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	Π-11	Π-12	Π-13	Π-14
Ασβεστολιθική άμμος	90,5	85,5	80,5	70,5
Τσιμέντο CEM I-42,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Περλίτης-1	0	5	10	20
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ				
Απαιτούμενο νερό %	15,75	16	16,5	17
Εξάπλωση cm	17,3	17,0	17,1	17,1
Συγκρατούμενο νερό %	92,9	91,3	91,4	90,3
Περιεχόμενος αέρας %	16,0	17,0	18,0	18,5
Ειδικό βάρος νωπού κονιάματος g/cm ³	1,79	1,78	1,74	1,69
Αντοχή θλίψης 7 HM (MPa)	2,1	2,3	1,8	1,5
Αντοχή θλίψης 28 HM (MPa)	4,3	4,3	3,7	3,0
Αντοχή θλίψης 60 HM (MPa)	4,5	4,5	4,0	3,3
Αντοχή κάμψης 7 HM (MPa)	0,8	1,0	0,7	0,7
Αντοχή κάμψης 28 HM (MPa)	2,0	1,9	1,7	1,5
Αντοχή κάμψης 60 HM (MPa)	2,1	2,0	1,9	1,6
Συντελεστής υδατοαπορρόφησης (Kg/m ² /min ^{1/2})	1,1	---	1,2	---



Εικόνα 4. Απαιτούμενο νερό, περιεχόμενος αέρας, ειδικό βάρος κονιαμάτων

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, οι περλιτικές απορρίψεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ποζολάνες στην παραγωγή τσιμέντου, υποκαθιστώντας ήδη χρησιμοποιούμενες ποζολάνες. Από τα πειράματα φαίνεται ότι η ανάπτυξη αντοχών του παραγόμενου τσιμέντου είναι ικανοποιητική ενώ ικανοποιούν και το όριο του κανονισμού ως προς το δραστικό πυρίτιο. Παρουσιάζουν όμως μικρότερη αλεσιμότητα σε σχέση με άλλες ποζολάνες.

Επιπλέον είναι δυνατή η προσθήκη των περλιτικών απορρίψεων σε κονιάματα υποκαθιστώντας μέρος των αδρανών σε ποσοστά ως και 10%. Οι απορρίψεις επιδρούν θετικά στο ειδικό βάρος των κονιαμάτων αλλά έχουν τάση να αυξάνουν την απαίτηση σε νερό.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Fragoulis, D. Stamatakis, M. Teas, C. Chaniotakis, E. Papageorgiou, D. 2005. Utilization of masonry mortars produced with diatomaceous silica and volcanic glass-rich rocks. A case study from Zakynthos and Milos Islands, Greece, 10th Euroseminar on Microscopy applied to building materials, Paisley.
2. Moropoulou, A., Bakolas, A., Aggelakopoulou, E. 2004. Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis, *Thermochimica Acta*, 420: 135-140.
3. Moropoulou, A., Bakolas, A., Anagnostopoulou, S. 2005. Composite materials in ancient structures, *Cement & Concrete Composites*, 27: 295-300.
4. Shi, C. 2001. An overview of the activation of reactivity of natural pozzolans, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28: 778-786.
5. Stamatakis, M.G., Lutat, U., Ragueiro, M. and Calvo, J.P. 1996. Milos. The mineral island. *Industrial Minerals*, February 1996, London, 57-61.

6. Stamatakis, M.G, Fragoulis, D., Csiric, G., Bedelea, I., Pedersen, S. 2003. The influence of biogenic micro-silica-rich rocks on the properties of blended cements, *Cement & Concrete Composites*, 25: 177-184.