

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ ΣΤΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΑ / ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΠΑΡΑΓΩΓΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ, ΛΑΣΠΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΖΑΡΟΣΙΤΗ / ΑΛΟΥΝΙΤΗ

Μ. Κατσιώτη, Α. Χειλάς, Α. Γεωργιάδης

Σχολή Χημικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

Χ. Τέας, Ε. Χανιωτάκης

Α.Ε. Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, Εργοστάσιο Καμαρίου, 19200 Ελευσίνα, τηλ. 210-5537739

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Ο βασικός στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση εναλλακτικής χρήσης για τελική απόρριψη λάσπης, από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με τη χρήση μίγματος λάσπης – τσιμέντου και ιζήματος ζαροσίτη / αλουνίτη (Z/A). Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια σκλήρυνσης των παραγώγων με δύο τεχνικές: 1) σε κανονικές και 2) σε επιταχυνόμενες συνθήκες. Για τον σκοπό αυτό παρασκευάστηκαν δοκίμια διαστάσεως 4x4x16cm με περιεκτικότητα 50% λάσπης 30% τσιμέντου και 20% Z/A. Τα δοκίμια μετά από 7 ημέρες από την παρασκευή τους τοποθετήθηκαν σε αυτόκλειστο ενώ επίσης παρέμειναν σε εργαστηριακές συνθήκες για 28 και 90 ημέρες. Ο έλεγχος της πορείας ενυδάτωσης έγινε με χημικές αναλύσεις, ορυκτολογικές, θερμικής ανάλυσης και δοκιμές αντοχής σε θλίψη και κάμψη. Επιπλέον έγιναν δοκιμές εκχύλισης βαρέων μετάλλων με την πρότυπη μέθοδο TCLP και την prEN14405. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορούν να παραχθούν σταθεροποιημένα / στερεοποιημένα παράγωγα για δομική χρήση.

Λέξεις κλειδιά: λάσπη, τσιμέντο, ζαροσίτης/αλουνίτης, σταθεροποίηση/στερεοποίηση

IMPACT OF HARDENING CONDITIONS ON STABILIZED / SOLIDIFIED PRODUCTS OF CEMENT, MUNICIPAL WASTE SLUDGE AND JAROSITE / ALOUNITE

M. Katsioti, A. Cheilas, A. Georgiadis

School of Chemical Engineering, NTUA

C. Teas, E. Chaniotakis

TITAN Cement Company SA, Kamari Plant, 19200 Elefsis, tel. 210-5537739

ABSTRACT: The aim of the present paper is to evaluate the performance of an alternative use for the final utilization of the municipal waste sludge. The sludge is combined with cement and jarosite/alounite (J/A) precipitate for the development of construction materials. Two different methods were used for the hardening of stabilized/solidified products: laboratory conditions and autoclave conditions. For this purpose, 4X4X16 prisms were prepared. After 7 days curing, specimens were autoclave treated and also remained in laboratory conditions for 28 and 90 days. Evaluation of hydration was made with chemical, mineral and thermal analyses. Specimens were tested also for compressive and flexural strength. Leaching test according to TCLP and prEN14405 were also performed. Results showed that the production of stabilized/solidified products for construction with the use of the J/A precipitate is possible.

Keywords: municipal waste sludge, cement, jarosite/alounite, stabilization/soilidification

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Σταθεροποίηση/Στερεοποίηση (Σ/Σ) είναι η διεργασία επεξεργασίας επικίνδυνων αποβλήτων, πριν την απόρριψή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Ο κύριος λόγος που κάνει τη Σ/Σ τόσο ευρέως διαδεδομένη είναι το γεγονός ότι ακινητοποιεί και εγκλωβίζει επικίνδυνες ουσίες όπως είναι τα βαρέα μέταλλα, που περιέχονται στα απόβλητα. Ο βασικός στόχος αυτής της εργασίας είναι η διερεύνηση μιας εναλλακτικής χρήσης για τελική απόρριψη λάσπης από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, με την χρήση μίγματος λάσπης – τσιμέντου – ζαροσίτη/αλουνίτη (Z/A) για την δημιουργία νέων κατασκευαστικών υλικών. Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια εφαρμογής σκλήρυνσης των Σ/Σ παραγώγων με δύο τεχνικές: 1) σε κανονικές και 2) σε επιταχυνόμενες συνθήκες. Η επεξεργασία του Z/A με λάσπη στο αυτόκλειστο αποδίδει ένα προϊόν που περιέχει μέταλλα πιο σταθερά από αυτά στον αρχικό Z/A. Τα περισσότερα από τα μέταλλα μετασχηματίζονται σε οξείδια η ακόμα σε σουλφίδια τα οποία δεν εκχειλίζονται από το προσομοιωμένο βρόχινο νερό.

Ο Z/A παράγεται ως προϊόν μιας ολοκληρωμένης μεθόδου υδρομεταλλουργικής κατεργασίας ελληνικών νικελιούχων λατεριτών η οποία έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Μεταλλουργίας του Ε.Μ.Π. και συνίσταται στην εκχύλιση σε σωρούς (heap leaching), με θειικό οξύ, λατεριτών με χαμηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο (<1%) σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και στην κατεργασία του προκύπτοντος μεταλλοφόρου διαλύματος. Η λάσπη αναμιγνύεται σε διάφορες αναλογίες με το Z/A το τσιμέντο και την άμμο. Οι παράμετροι κλειδιά της έρευνας αυτής είναι η εκχυλιστικότητα των βαρέων μετάλλων από τα επεξεργασμένα απόβλητα και η αντοχή σε θλίψη των επεξεργασμένων δειγμάτων λάσπης. Τα κριτήρια για την επίτευξη του στόχου είναι τα ακόλουθα:

- Η αντοχή σε θλίψη των σταθεροποιημένων/στερεοποιημένων παραγώγων να υπερβαίνει την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή των 350 kPa στις 28 ημέρες.
- Το pH του εκχυλίσματος των παραγώγων να κυμαίνεται στην περιοχή χαμηλής διαλυτότητας των οξειδίων των μετάλλων (pH=7-9).
- Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων των παραγώγων να μην υπερβαίνει τα όρια της επικινδυνότητας για την ασφαλή απόρριψη αυτών στο περιβάλλον.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Υλικά και μέθοδοι

Η λάσπη που χρησιμοποιήθηκε στην πειραματική διαδικασία προέρχεται από το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων και Βοθρολυμάτων της Μεταμόρφωσης. Αυτή αφού ξηράνθηκε, μέχρι σταθερού βάρους, στους 105 °C ακολούθως λειοτριβήθηκε. Το περιεχόμενο της υγρασίας και το pH μετρήθηκαν σύμφωνα με τις πρότυπες μεθόδους. Ο Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC) καθορίστηκε με τη μέθοδο τιτλοδότησης και η συγκέντρωση σε βαρέα μέταλλα μετρήθηκε μέσω Φασματοφωτομέτρου Ατομικής Απορρόφησης Perkin Elmer 3300. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών φαίνονται στον Πίνακα 1. Στο δείγμα ζαροσίτη/αλουνίτη πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση του ιζήματος και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, ενώ στο Σχήμα 1 δίδονται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης του ιζήματος. Ακολούθως έγινε κοκκομετρική ανάλυση για τη λάσπη και το ίζημα του Z/A.

Στο Σχήμα 2 δίδονται τα αποτελέσματα της μέτρησης του % διερχόμενου ποσού για κάθε υλικό. Από το Σχήμα 2 φαίνεται ότι το 100% του διερχόμενου ποσού για το Ζ/Α είναι 32 μm ενώ για τη λάσπη αντιστοιχεί ποσοστό 64.7%.

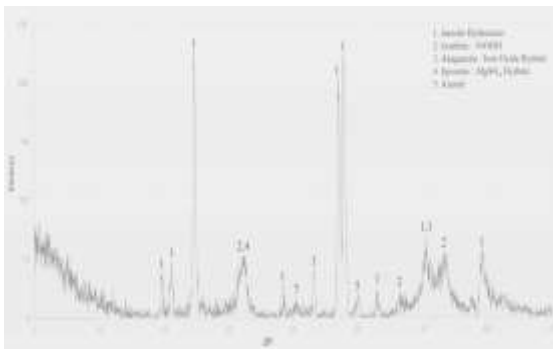
Πίνακας 1. Χαρακτηρισμός δείγματος λάσπης

Παράμετροι	Ιλύς Μεταμόρφωσης
Υγρασία (%)	78
TOC (%)	10
PH	7.00
Βαρέα Μέταλλα (mg/g)*	
Cr	0.470
Cu	0.460
Fe	13.160
Ni	0.230
Pb	1.090
Zn	2.400

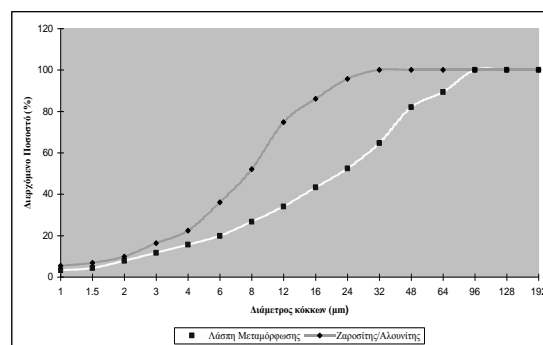
*Συγκέντρωση βαρέων μετάλλων σε mg ανά g δείγματος ξηρής λάσπης

Πίνακας 2. Χημική ανάλυση ιζήματος ζαροσίτη/αλουνίτη

ΟΞΕΙΔΙΑ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	LOI	SO ₃	Cr ₂ O ₃	CoO	Σύνολο
(%)	1.20	18.55	39.66	0.46	0.04	20.00	17.34	1.36	0.05	98.66



Σχήμα 1. Ανάλυση XRD του ιζήματος Ζ/Α.



Σχήμα 2. Κοκκομετρική διαβάθμιση Ζ/Α και λάσπης Μεταμόρφωσης

Προετοιμασία των δειγμάτων

Για την προετοιμασία των αναφερόμενων δοκιμών χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο τύπου CEM II 32.5 N/mm², με αντοχές 28 ημ 40MPa. Επίσης χρησιμοποιήθηκε πρότυπη άμμος σύμφωνα με το EN 196-1. Κάθε παρτίδα τριών δοκιμών αποτελείται από μίγμα τσιμέντου – λάσπης – Z/A, άμμου και νερού. Η διαδικασία ανάμειξης ήταν ίδια για όλα τα δείγματα. Τα δοκίμια ελέγχθηκαν για τον καθορισμό της αντοχής σε θλίψη σύμφωνα με τις μεθόδους που περιγράφονται στο EN 196-1. Η αναλογία στερεών λάσπης/συνδετικού που εφαρμόστηκε ήταν 0.22/1. Η σύσταση του κονιάματος τσιμέντου-Z/A-λάσπης στα δείγματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Το αυτόκλειστο αποτελείται από ένα δοχείο υψηλής πίεσης ατμού εφοδιασμένο και με θερμόμετρο. Επίσης είναι εξοπλισμένο με ρυθμιστή αυτόματης πίεσης και μία βαλβίδα ασφαλείας. Δύο από τα δοκίμια μας επεξεργάστηκαν σε αυτόκλειστο με σκοπό την ταχύτερη ανάπτυξη αντοχών του υλικού. Τα δείγματα αυτά ήταν α) με συνδετικό υλικό τσιμέντο και β) με συνδετικό υλικό τσιμέντο και ζαροσίτη. Τα δοκίμια παρέμειναν στο αυτόκλειστο για 3 ώρες σε θερμοκρασία T = 200 °C και πίεση P = 16 atm.

Πίνακας 3: Σύσταση Κονιαμάτων Και Αναλογίες Συστατικών

Δείγματα	Λάσπη/ Συνδετικό	Στερεά λάσπης/ Συνδετικό	Στερεά λάσπης/ Τσιμέντο	Ξηρή λάσπη (g)	Τσιμέντο (g)	Ζαροσίτης (g)	Άμμος (g)	Νερό (ml)
MYT	1/1	0.22/1	0.22/1	49.5	225	0	1350	180
MYTZ	1/1	0.22/1	0.36/1	49.5	135	90	1350	185
MYTA	1/1	0.22/1	0.22/1	49.5	225	0	1350	170
MYTZA	1/1	0.22/1	0.36/1	49.5	135	90	1350	180

M:Μεταμόρφωση, T:Τσιμέντο, Z:Ζαροσίτης/Αλουμίτης, Y:Υγρή A:Αυτόκλειστο

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μετρήσεις Αντοχών

Τα αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε θλίψη και σε κάμψη όλων των δειγμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Τα συμπεράσματα είναι ότι, όλα τα μίγματα ξεπέρασαν το όριο αντοχής σε θλίψη των 350 kPa στις 28 ημέρες και η υποκατάσταση μέρους του τσιμέντου από Z/A μείωσε τις τιμές των αντοχών. Το γεγονός αυτό αντισταθμίζεται με το οικονομικό όφελος που προκύπτει λόγω της χρήσης μικρότερης ποσότητας τσιμέντου.

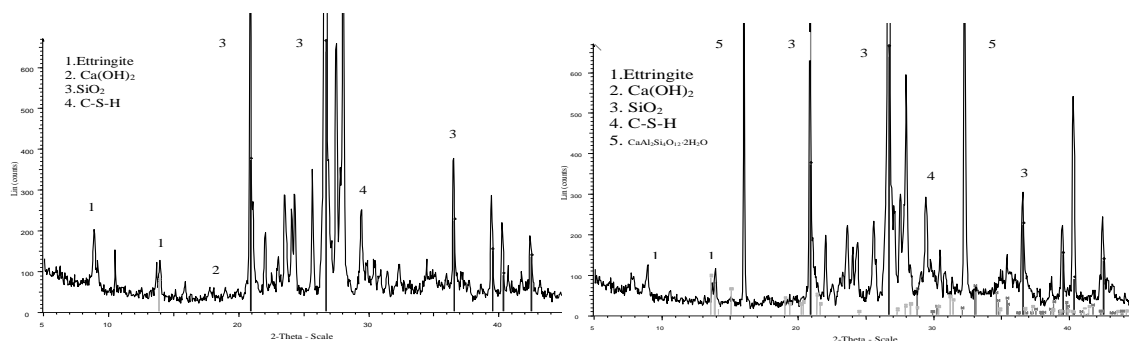
Πίνακας 4. Αποτελέσματα μετρήσεων αντοχής σε θλίψη (kPa)

Δείγματα	Αντοχή σε κάμψη kPa (28 ημέρες)	Αντοχή σε θλίψη kPa (28 ημέρες)	Αντοχή σε κάμψη kPa (3 μήνες)	Αντοχή σε θλίψη kPa (3 μήνες)	Αυτόκλειστο	
					Αντοχή σε κάμψη kPa (7 ημέρες)	Αντοχή σε θλίψη kPa (7 ημέρες)
ΜΥΖΤΑ	-	-	-	-	675	2125
ΜΥΤΑ	-	-	-	-	1525	5140
ΜΥΖΤ	1120	2640	1846	4365	-	-
ΜΥΤ	1450	4815	2200	6500	-	-

M:Μεταμόρφωση, T:Τσιμέντο, Z:Ζαροσίτης/Αλουνίτης, A:Αυτόκλειστο, Y:Υγρή

Αποτελέσματα με ορυκτολογική ανάλυση (XRD)

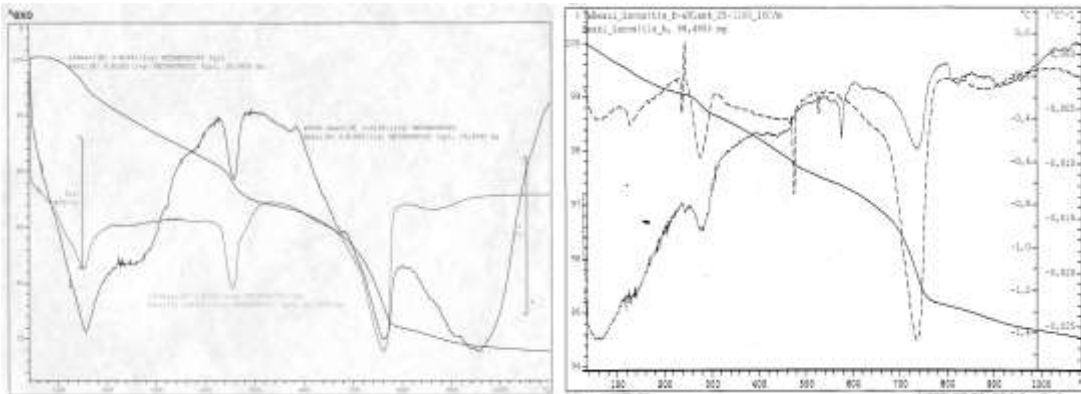
Οι αναλύσεις με XRD δίδονται έδειξαν ότι και τα τέσσερα κονιάματα περιείχαν ετρινγκίτη. Η παρουσία του Z/A ενισχύει τον σχηματισμό του ετρινγκίτη λόγω των επιπλέον θειικών του Z/A. Ο ετρινγκίτης είναι το κύριο προϊόν ενυδάτωσης όταν χρησιμοποιείται το ίζημα Z/A και δίδει τις υψηλές αντοχές σε θλίψη. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται τα διαγράμματα XRD για τα δείγματα ΜΥΖΤ και ΜΥΖΤΑ.



Σχήμα 3. XRD Ανάλυση του κονιάματος ΜΥΖΤ και ΜΥΖΤΑ

Μελέτη με θερμικές μεθόδους ανάλυσης

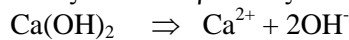
Χρησιμοποιήθηκε το TGA/SDTA 851 της METTLER TOLEDO του Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Τα διαγράμματα εμφανίζονται στο Σχήμα 4 όπου δίνονται οι καμπύλες που αναφέρονται στην θερμοβαρυστρική ανάλυση (TGA), στην διαφορική θερμοβαρυστρική ανάλυση (DTG) και στην ταυτόχρονη διαφορική θερμική ανάλυση (SDTA) των δειγμάτων ΜΥΖΤ και ΜΥΖΤΑ.



Σχήμα 4. Καμπύλες TG-DTG-SDTA για το κονίαμα MYZT και MYZTA

Από τη μελέτη των παραπάνω διαγραμμάτων φαίνεται ότι υπάρχουν χαρακτηριστικές κορυφές που αντιστοιχούν σε τρία διαφορετικά είδη αντιδράσεων:

- Η πρώτη κορυφή είναι ενδόθερμης αντίδρασης οφείλεται στην απώλεια του απορροφούμενου νερού και παρουσιάζεται μετά τους 100°C.
- Στους 300°C προκύπτουν κορυφές από τα διάφορα στάδια αφυδάτωσης των ενυδατωμένων προϊόντων C-S-H και C-A-H
- Στους 450°C παρουσιάζεται η κορυφή που οφείλεται στην ενδόθερμη αντίδραση:



με την οποία υποδηλώνεται η παρουσία του Ca(OH)_2 . Η κορυφή δεν παρατηρείται στο κονίαμα που περιέχει Ζ/Α παρά μόνο στο κονίαμα που έχει τσιμέντο, λόγω του ότι παρουσία Ζ/Α είναι ευκολότερος ο σχηματισμός του ετρινγκίτη.

- Στους 750°C έχουμε την ενδόθερμη αντίδραση διάσπασης του CaCO_3 :



εξαιτίας του ασβεστόλιθου του τσιμέντου, όπου παρατηρείται επίσης και μεταβολή βάρους.

Δοκιμές εκχύλισης

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του ελέγχου εκχύλισης TCLP και της πρότυπης δοκιμής εκχύλισης prEN 14405, στα παράγωγα της τεχνικής Σ/Σ παρουσιάζονται στους Πίνακες 6α και 6β. Οι έλεγχοι αυτοί εφαρμόστηκαν σε όλα τα δείγματα, αφού αυτά πέρασαν το όριο των 350 kPa στον έλεγχο σε αντοχή σε θλίψη.

- Η δοκιμή εκχύλισης TCLP και η πρότυπη μέθοδος prEN 14405 έδειξαν υψηλά ποσοστά συγκράτησης των βαρέων μετάλλων στις φάσεις του τσιμέντου. Η συγκράτηση αυτή των μορίων των βαρέων μετάλλων στην πάστα του ενυδατωμένου τσιμέντου Πόρτλαντ είναι συνδυασμός περισσότερων της μίας χημικών διεργασιών. Οι πιθανοί μηχανισμοί περιλαμβάνουν ιοντική προσρόφηση στο C-S-H προϊόν ενυδάτωσης, ιοντική ενσωμάτωση στο κρυσταλλικό πλέγμα ορισμένων σωματιδίων του ενυδατωμένου τσιμέντου, όπως του ετρινγκίτη, και τέλος φυσική ρόφηση στους πόρους.
- Η χρήση ιζήματος ζαροσίτη/αλουνίτη δεν είχε καμία επίδραση στη συγκράτηση των βαρέων μετάλλων. Γίνεται φανερό ότι αυτά συγκρατούνται από το τσιμέντο.

- Τέλος από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι και στα τέσσερα δείγματα είχαμε περίπου την ίδια συγκράτηση των βαρέων μετάλλων. Άρα η επεξεργασία στο αυτόκλειστο έχει την ίδια επίδραση με τις εργαστηριακές συνθήκες, που εξετάστηκαν, στη συγκράτηση των βαρέων μετάλλων.

Πίνακας 6α. Αποτελέσματα από την εφαρμογή ελέγχου TCLP σε δείγματα με λάσπη.

	Cu		Fe		Zn		Ni		Cr		Pb		pH
	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	
M	2.43	0	9.40	0	4.20	0	2.22	0	0.73	0	0.30	0	
MYT	0.214	91.2	0.328	96.5	0.015	99.6	0.072	96.7	0.030	95.9	0	100	6.74
MYZT	0.134	94.4	5.298	43.6	0.430	89.8	1.955	11.9	0.142	80.5	0.29	3.33	6.67
MYTA	0.212	91.3	0.548	94.2	0.022	99.5	0	100	0.005	99.3	0	100	6.75
MYZTA	0.590	75.7	1.088	88.4	0.209	95.0	1.841	17.1	0.289	60.4	0	100	6.95

Πίνακας 6β. Αποτελέσματα από την εκχύλιση κατά EN 14405 σε δείγματα με λάσπη.

	Cu		Fe		Zn		Ni		Cr		Pb		pH
	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	
M	2.43	0	9.40	0	4.20	0	2.22	0	0.73	0	0.30	0	
MYT	0.179	92.6	0.035	99.6	0	100	0.135	93.9	0.087	88.1	0.22	26.7	6.71
MYZT	0.148	93.9	0.043	99.5	0	100	1.649	25.7	0.109	85.1	0	100	6.75
MYTA	0.185	92.4	0.043	99.5	0	100	0	100	0.009	98.8	0	100	6.71
MYZTA	0.231	90.5	0.093	99.0	0	100	1.250	43.7	0.009	98.8	0	100	6.74

M:Μεταμόρφωση, T:Τσιμέντο, Z:Ζαροσίτης, A:Αυτόκλειστο, Y:Υγρή

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κύρια συμπεράσματα είναι τα εξής:

1. Υπάρχει η δυνατότητα Στερεοποίησης/Σταθεροποίησης λάσπης από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων με τη χρήση τσιμέντου CEM II, καθώς και μίγματος τσιμέντου CEM II με ίζημα ζαροσίτη/αλουμίτη χρησιμοποιώντας και τις δύο μεθόδους: 1) σε κανονικές και 2) σε επιταχυνόμενες συνθήκες.
2. Η δοκιμή εκχύλισης TCLP και η πρότυπη μέθοδος prEN 14405 έδειξαν υψηλά ποσοστά συγκράτησης των βαρέων μετάλλων στις φάσεις του τσιμέντου. Η συγκράτηση αυτή των μορίων των βαρέων μετάλλων στην πάστα του ενυδατωμένου τσιμέντου Πόρτλαντ είναι συνδυασμός περισσότερων της μίας χημικών διεργασιών.
3. Στα τέσσερα δείγματα (είτε χρησιμοποιώντας συνδετικό μόνο τσιμέντο είτε τσιμέντο - ζαροσίτη) είχαμε περίπου την ίδια συγκράτηση των βαρέων μετάλλων. Το γεγονός αυτό ενισχύει τη χρήση

του Ζ/Α ως συνδετικό καθώς προσφέρει μία οικονομική αλλά και αποδοτική μέθοδο κατεργασίας των λυμμάτων.

4. Η συγκράτηση των μετάλλων είναι παρόμοια για τα δείγματα τα οποία δημιουργήθηκαν στο εργαστήριο με αυτά που επεξεργάστηκαν σε αυτόκλειστο. Επομένως η επεξεργασία σε επιταχυνόμενες συνθήκες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή δειγμάτων και την συγκράτηση των βαρέων μετάλλων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς ευχαριστούν θερμά την κ. Σ. Αγατζίνη-Λεονάρδου Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Μεταλλουργίας και τον κ. Πασχάλη Ουσταδάκη Μόνιμο Ερευνητή του Εργαστηρίου για την παραγωγή και παροχή του ιζήματος ζαροσίτη/αλουνίτη και για την εν γένει συνεργασία τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Valls S., Vazquez E., (2002). 'Leaching properties of stabilized/solidified cement admixtures - sewage sludges systems', Waste Management 22, pp. 37-45.
2. Hage J.L.T. and Shuiling R.D. (2000). 'Comparative Column Elution of Jarosite Waste and its Autoclaved Product – Evidence for the Immobilization of Deleterious Elements in Jarosite', Minerals Engineering, Vol. 13, No3, pp. 287-296.
3. Industrial Exploitation of the Solid Wastes Produced from Hydrometallurgical Treatment of Greek Laterites. PENED '99.
4. Mymrin V. and Vaamond V.A. (1999). 'New construction materials from Spanish jarosite processing wastes.', Minerals Engineering Technical note, 12 (11), 1399-1402.
5. Katsioti M., Boura P., Agatzini-Leonardou S., Tsakiridis P. and Oustadakis P. (2003). 'Use of jarosite/alunite precipitate as a substitute for Gypsum in Portland Cement.', Cement and Concrete Composites, Vol. 27, p. 3-9.
6. U.S. Environmental Protection Agency, (1989). 'Stabilization/Solidification of CERCLA and RCRA Wastes: Physical Tests, Chemical Testing Procedures, Technology Screening and Field Activities', EPA/625/6-89/022, U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC.
7. APHA – AWWA – WPCF. (1985). 'Standard methods for the examination of water and wastewater.', American Public Health Association, Washington.
8. Adams V.D. (1990). 'Water and wastewater examination manual.', Lewis Publishers, Michigan.
9. Kim H. Tan (1996). 'Soil sampling, preparation and analysis', Marcel Dekker, inc. U.S.A.
10. EN196-1 "Methods of testing cement – Determination of compressive strength".
11. P. Boura, M. Katsioti, P. Tsakiridis, A. Katsiri (2003). 'Stabilization / Solidification of sewage sludge', Pros. Int. Conf. BIOSOLIDS 2003, Wastewater Sludge as a Resource (eds Hallvard Ødegaard), Trondheim, Norway.
12. ASTM C 151-00 (2000). 'Standard Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement',
13. Επίσημη εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, (2002). 'Απόφαση του συμβουλίου της 19^{ης} Δεκεμβρίου 2002 (20003/33/EK)'.