

Αξιοποίηση ιπτάμενης τέφρας αποτεφρωτήρα νοσοκομειακών αποβλήτων για την παραγωγή συνθετικού βολλαστονίτη μέσω υαλοποίησης

Κατερίνα Σηφάκη
Μηχανολόγος Μηχανικός ΤΕ,
MSc ΔΙΑ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ
kathysifa@gmail.com, std112447@ac.eap.gr

Δρ. Πέτρος Τσακιρίδης
Σχολή Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π.
Μέλος ΣΕΠ ΔΙΑ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ
ptsakiri@central.ntua.gr

Περίληψη – Στόχος της παρούσας Εργασίας είναι η παραγωγή συνθετικού Βολλαστονίτη μέσω υαλοποίησης Ιπτάμενης Τέφρας Νοσοκομειακών Αποβλήτων, χρησιμοποιώντας υαλότριμμα από ανακύκλωση γυαλιού. Ο βολλαστονίτης είναι πυριτικό ορυκτό του ασβεστίου, με εφαρμογές ως πληρωτικό υλικό, στην παραγωγή σύνθετων πολυμερών που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία και άλλες βιομηχανίες, σε υλικά τριβής (φρένα), σε χρώματα και αντιδιαβρωτικά επιχρίσματα, σε κεραμικά και σε μεταλλουργικά συλλιπάσματα κλπ. Η διεργασία της υαλοποίησης θα λάβει χώρα σε εργαστηριακό φούρνο με αντιστάσεις γραφίτη στην θερμοκρασία των 1300°C. Ο χαρακτηρισμός της αρχικής Ιπτάμενης Τέφρας αλλά και των προϊόντων Υαλοποίησης θα πραγματοποιηθεί μέσω των Τεχνικών της Χημικής Ανάλυσης, της Περίθλασης Ακτίνων Χ και της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης. Η μελέτη εκπλυσιμότητας βαρέων μετάλλων θα πραγματοποιηθεί μέσω της εφαρμογής της μεθόδου TCLP 1311, σύμφωνα με το πρότυπο της ΕΡΑ.

Λέξεις-Κλειδιά: απόβλητα υγειονομικών μονάδων, ιπτάμενη τέφρα, βολλαστονίτης, ανακυκλώσιμο γυαλί, υαλοποίηση, εκπλυσιμότητα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή έχει σαν στόχο να παρουσιάσει τον τρόπο αξιοποίησης της ιπτάμενης τέφρας, η οποία προέρχεται από επικίνδυνα νοσοκομειακά απόβλητα, προκειμένου να μετατραπεί σε συνθετικό βολλαστονίτη μέσω της διαδικασίας της υαλοποίησης. Όπως είναι γνωστό η ιεράρχηση των επιλογών για την διαχείριση των στερεών αποβλήτων έχει ως εξής: πρόληψη, ελαχιστοποίηση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανάκτηση ενέργειας, τελική διάθεση. Τα παραπάνω στάδια δεν διαφοροποιούνται όσον αφορά και τα επικίνδυνα νοσοκομειακά απόβλητα. Αδιαμφισβήτητα η πρόληψη είναι το αρχικό και ίσως βασικότερο στάδιο, και που οφείλει να υπάρχει σε όλες τις υγειονομικές μονάδες. Η ελαχιστοποίηση, δηλαδή η μείωση του όγκου των επικίνδυνων νοσοκομειακών αποβλήτων, προκύπτει με την διαδικασία της αποτέφρωσης, που σαν τελικό προϊόν προκύπτει η τέφρα (καθιζάνουσα ή ιπτάμενη). Που

αντιστοίχως η καθεμία προκύπτει με άλλα χαρακτηριστικά και συστάσεις, συγκεκριμένα στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με την ιπτάμενη τέφρα. Η επαναχρησιμοποίηση είναι εξίσου σημαντική, διότι παρέχει τη δυνατότητα για κάποια άλλη μορφή ή χρήση του παραγόμενου προϊόντος. Όπως θα δούμε στα παρακάτω κεφάλαια, η ιπτάμενη τέφρα, που έχει παραχθεί από επικίνδυνα νοσοκομειακά απόβλητα, έχει την δυνατότητα να 'μετατραπεί' σε κεραμικά, σαν πρόσθετο σε οικοδομικά υλικά, σε αυτοκινητοβιομηχανίες κ.α. Κάποια από τα απόβλητα των ΕΑΥΜ έχουν την ικανότητα να διατεθούν σε ΧΥΤΑ, τα υπόλοιπα μετά από κατάλληλες διεργασίες και υπομάκρυνσης των επικίνδυνων συστατικών, τότε μπορούν να διατεθούν. Σίγουρο είναι με την διαδικασία της αποτέφρωσης παράγεται ενέργεια η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους ωφέλιμους τρόπους.

Ι. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΕΦΡΩΝ

Α. Μεθοδολογία

Η ιπτάμενη τέφρα προήλθε κυρίως από τα σακκόφιλτρα του συστήματος αποκονίωσης των καυσαερίων. Διενεργήθηκε προσδιορισμός του μεγέθους των κόκκων της τέφρας με χρήση της μεθόδου σκέδασης ακτίνων laser μικρής γωνίας, χημική ανάλυση με τη μέθοδο φθορισμού ακτίνων Χ (XRF), ανάλυση των περιεχόμενων βαρέων μετάλλων σε φασματοφωτόμετρο επαγωγικής σύζευξης πλάσματος (ICP), ορυκτολογική ανάλυση μέσω περίθλασης ακτίνων Χ (XRD) και επίσης μελέτη των μορφολογικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



Σχήμα 1. Ιπτάμενη Τέφρα Αποτεφρωτήρα Νοσοκομειακών Αποβλήτων

Στη συνέχεια το δείγμα της ιπτάμενης τέφρας υποβλήθηκε στις δοκιμές TCLP & EN 12457-2 προκειμένου να προσδιοριστεί εκπλυσιμότητα των περιεχόμενων βαρέων μετάλλων.

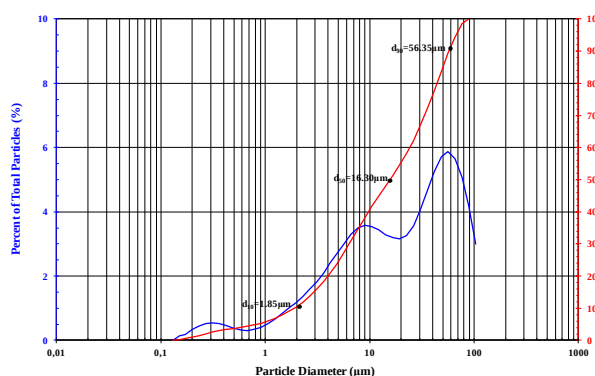
Κατά τη δοκιμή TCLP το δείγμα της ιπτάμενης τέφρας τοποθετήθηκε μαζί με διάλυμα οξικού οξέος σε δοχεία ζέσεως με αναλογία υγρού προς στερεό 20:1 και εκχυλίστηκαν επί 18 ώρες, προσομοιώνοντας έτσι το σενάριο της διάθεσής τους σε χώρο υγειονομικής ταφής υπό εργαστηριακές συνθήκες (E.P.A., 1992).

Κατά τη δοκιμή EN 12457-2 το δείγμα της τέφρας με κοκκομετρία κάτω των 4 mm, τοποθετήθηκε σε αντιδραστήρα μαζί με απιονισμένο νερό υπό συνεχή ανάδευση (10 rpm) για 24 ώρες σε ελεγχόμενη θερμοκρασία 20 ± 5 °C, με αναλογία σε ένα στερεού προς υγρό 1:10, και ακολούθησε διήθηση και προσδιορισμός διαλυμένων στοιχείων. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα κανονιστικά όρια της οδηγίας της ΕΕ, ώστε να αξιολογηθεί το κατάλληλο είδος του χώρου υγειονομικής ταφής (αδρανών, μη επικίνδυνων ή των επικίνδυνων αποβλήτων) για τη διάθεση των υπό εξέταση τεφρών (EN-12457-2, 2003).

Β. Αποτελέσματα-συζήτηση

1) Χαρακτηρισμός δείγματος με αναλυτικές μεθόδους:

Από το δείγμα της ιπτάμενης τέφρας, παρατηρήθηκε κοκκομετρία εύρους 0,15 έως 88 μm, ενώ το 90% κβ ήταν μικρότερο από 56,23 μm, με το 50% αυτού μικρότερο από 16,57 μm. Η δημιουργία μεγαλύτερων σωματιδίων μπορεί να αποδοθεί στην έγχυση υδράσβεστου για την εξουδετέρωση των καυσαερίων, προκειμένου να ελεγχθούν οι εκπομπές HCl αλλά και σε φαινόμενα κατακερματισμού λόγω της συσσωμάτωσης μικρότερων σωματιδίων σε σωματίδια άσβεστου. Η κοκκομετρική κατανομή μπορεί επίσης να παρατηρηθεί μέσω της ανάλυσης SEM. Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής κατανομής της ιπτάμενης τέφρας απεικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα .



Σχήμα 2. Κοκκομετρική Κατανομή Ιπτάμενης Τέφρας

Τόσο η χημική όσο και η ορυκτολογική σύνθεση της ιπτάμενης τέφρας εξαρτάται όχι μόνο από το είδος των εισερχόμενων ιατρικών αποβλήτων, αλλά και από τη διεργασία της καύσης (περιστροφικός κλίβανος, θερμοκρασίες, περίσσεια αέρα, παροχή κλπ.) και από την

εκάστοτε διεργασία επεξεργασίας των καυσαερίων (κυκλώνες, σακκόφιλτρα, υδράσβεστος, ενεργός άνθρακας κλπ). Η ανάλυση με τη μέθοδο XRF έδειξε ότι η τέφρα παρουσιάστηκε σημαντικά διαφοροποιημένη κυρίως λόγω της διεργασίας καθαρισμού των καυσαερίων και της χρήσης υδράσβεστου για την εξουδετέρωση των όξινων συστατικών τους. Κατά συνέπεια το οξείδιο του ασβεστίου είναι το κύριο συστατικό της ιπτάμενης τέφρας με ποσοστό 62,02 %κβ, ενώ η παρουσία των αλκαλίων (Na₂O και K₂O) ανιχνεύθηκε 5,29 %κβ, δηλαδή σχετικά μικρή και αντίστοιχη με εκείνη της καθιζάνουσας τέφρας.

Η ανάλυση της τέφρας με φασματοφωτόμετρο επαγωγικής σύζευξης πλάσματος (ICP-MS), έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

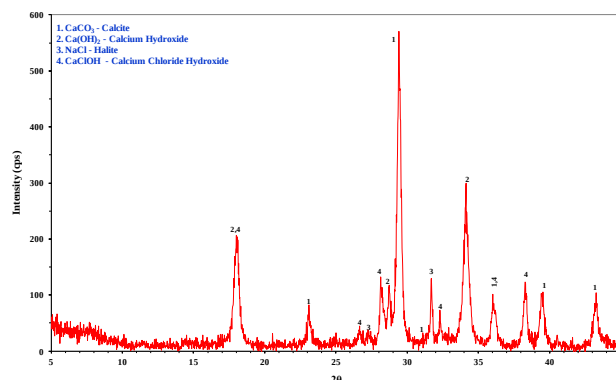
ΠΙΝΑΚΑΣ 1
Ανάλυση Βαρέων Μετάλλων Ιπτάμενης Τέφρας

FA	Ιγνωστοί (mg/Kg)							
	As	Cd	Hg	Ag	Mo	Ni	Mn	Sb
	13.1	3.2	2.1	3.8	24.5	24.3	2.3	11.7
	Ba							
	98.7							
	Ga	Ge	Co	La	Ce	Cu	Pb	Y
	0.4	-0.1	25.7	53.4	58.7	154.7	144.8	7.2
	Nb							
	0.1							

Οι συγκεντρώσεις στην ιπτάμενη τέφρα είναι αντίστοιχα οι ακόλουθες με φθίνουσα σειρά: Cu>Pb>Ba>Ce>La>Co>Mo>Ni>As>Sb>Y>Ag>Cd>Mn>Hg>Ga>Nb>Ge. Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα, στο υπό εξέταση δείγμα της ιπτάμενης τέφρας έδειξε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να αποδοθεί στην πτητικότητα κάποιων μεταλλικών συστατικών, που έχουν την ιδιότητα να συγκεντρώνονται στα καυσαέρια και ειδικότερα στην ιπτάμενη τέφρα. (Zhao et al, 2008)

Η ορυκτολογική ανάλυση μέσω XRD έδειξε ότι η ιπτάμενη τέφρα αποτελείται από τα ακόλουθα: ασβεστίτη (CaCO₃), υδράσβεστο [Ca(OH)₂], αλίτη (NaCl) και υδροξυχλωρίδιο του ασβεστίου (CaClOH).

Τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης μέσω XRD απεικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα.



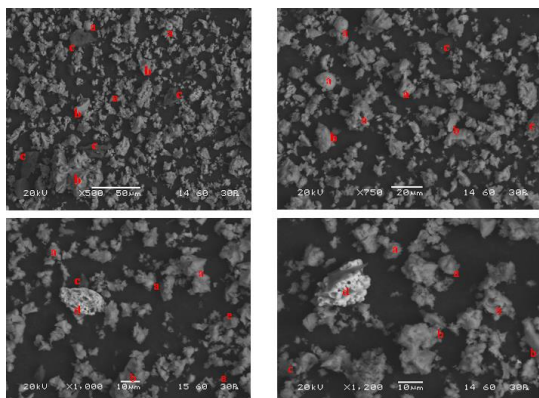
Σχήμα 3. Ορυκτολογική ανάλυση ιπτάμενης τέφρας μέσω περίθλασης ακτίνων χ (XRD)

Η χρησιμότητα των ορυκτολογικών αναλύσεων είναι ο χαρακτηρισμός και αξιολόγηση στερεών αποβλήτων, τα οποία παράγονται στο στάδιο της αποτεφρώσεως. Το τελικό αποτέλεσμα τους προκύπτει μετά από πολλές διεργασίες (εξάτμιση, τήξη, υαλοποίηση), οι οποίες

υλοποιούνται κατά την αποτέφρωση και τον καθαρισμό των καυσαερίων. (Gielar, Helios-Rybicka, 2013).

Η επικράτηση του υδροξειδίου του ασβεστίου $[Ca(OH)_2]$ στην ιπτάμενη τέφρα, μπορεί να αποδοθεί στην έγχυση της υδρασβέστου για την εξουδετέρωση των καυσαερίων, ενώ το ανθρακικό ασβέστιο $CaCO_3$ προκύπτει από την ανθρακοποίηση του ασβεστίου. Η ιπτάμενη τέφρα αποτελείται από ασβεστίτη ($CaCO_3$), υδράσβεστο $[Ca(OH)_2]$, αλίτη ($NaCl$) και υδροξυχλωρίδιο του ασβεστίου ($CaClOH$). Ακολουθούν διαγράμματα με τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης με την βοήθεια της μεθόδου XRD.

Από την άλλη, η τέφρα (Σχήμα 4) που συλλέχθηκε από τα σακκόφιλτρα, ήταν εμπλουτισμένη με υδροξείδιο του ασβεστίου αφού είχε χρησιμοποιηθεί υδράσβεστος για την εξουδετέρωση των οξέων στα καυσάερια.



Σχήμα 4. Μικρογραφίες Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου (SEM) Ιπτάμενης Τέφρας: a: $CaCO_3$ Ασβεστίτης -b: $Ca(OH)_2$ - Υδράσβεστος, c: $CaClOH$, d: Μεταλλικές Προσμίξεις.

2) Έλεγχος εκπλυσιμότητας βαρέων μετάλλων με μεθόδους TCLP και EN:

Σύμφωνα με τη δοκιμή εκπλυσιμότητας TCLP η ιπτάμενη τέφρα εμφάνισε τη μεγαλύτερη τάση προς τα ιόντα του οξικού οξέως, με τον μόλυβδο, τον ψευδάργυρο, το βάριο και το χρώμιο να παρουσιάζουν υψηλές τιμές έκπλυσης μετάλλων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2
ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΚΠΛΥΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ
ΚΑΤΑ TCLP

Μέταλλα	FA (mg/L)	EPA TCLP (mg/L)	EPA LAND (mg/L)
Cd	0.14	1.0	0.11
Pb	498.3	5.0	0.75
Ba	134.3	100	NRL
Cr	7.98	5.0	0.6
As	3.12	5.0	0.5
Zn	118.82	NRL	4.3
Ni	1.63	NRL	11
Mo	22.8	NRL	NRL
Cu	48.32	NRL	NRL

NRL: δεν βρέθηκαν ρυθμιστικά όρια

Αντίθετα, κατά τη δοκιμή σύμφωνα με το πρότυπο EN12457-2 η ιπτάμενη τέφρα παρουσίασε αυξημένες τιμές εκπλυσιμότητας βαρέων μετάλλων όπως ο μόλυβδος, το βάριο, το χρώμιο, ο ψευδάργυρος, το μολυβδαίνιο, ο χαλκός και τα ανιόντα χλωρίου, πάνω από τα όρια της οδηγίας 2003/33 της ΕΕ για χώρους υγειονομικής ταφής αδρανών, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3
ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΚΠΛΥΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ
ΚΑΤΑ EN-12457-2

Μέταλλα	FA/(mg/L)	Inert(mg/kg)	Hazardous (mg/kg)
Cl-	179980	800	25000
Cd	0.03	0.04	5
Pb	118.2	0.5	50
Ba	41.12	20	300
Cr	3.92	0.5	70
As	0.01	0.5	25
Zn	39.84	4	200
Ni	0.08	0.4	40
Mo	8.33	0.5	30
Cu	27.12	2	100

II. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΦΡΩΝ

Η αξιοποίηση της ιπτάμενης τέφρας είναι διαδομένη και με πολλές δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης. Το μεγαλύτερο ποσοστό εκμετάλλευσης, γίνεται στον κλάδο της βιομηχανίας και με μεγαλύτερη εφαρμογή στον κατασκευαστικό τομέα. Ειδικότερα, η ιπτάμενη τέφρα έχει πολλαπλές δυνατότητες χρήσεις.

Η τέφρα η οποία παράγεται από νοσοκομειακά απόβλητα, μπορεί να σταθεροποιηθεί με την παραγωγή γεωπολυμερών. Τα γεωπολυμερή βρίσκουν πολλές και ενδιαφέρουσες εφαρμογές σε διάφορους τομείς, δυστυχώς όμως η ευρεία χρήση τους είναι περιορισμένη εξαιτίας ελλείψεων σε ερευνητικό επίπεδο. (Tzanakos, et al, 2014).

Επίσης η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρόσθετο στα πορώδη κεραμικά υλικά, επειδή έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών από καταλύτες, φίλτρα, μεμβράνες, θερμομονωτικά υλικά και διάφορα κατασκευαστικά υλικά. Τα χαρακτηριστικά των υλικών αυτών επηρεάζονται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες όπως τα χαρακτηριστικά της κεραμικής σκόνης, την τεχνική διεργασίας, την μικροδομή. (Kritikaki, et al, 2016).

Η πιο διαδεδομένη χρήση της ιπτάμενης τέφρας των εναλλακτικών πρόσθετων υλικών, βρίσκει εφαρμογή στα κατώτερα στρώματα των οδοστρωμάτων. Για την δημιουργία οδοστρωμάτων, απαιτούνται τεράστιες ποσότητες υλικών τόσο για την κατασκευή τους όσο και για την αντοχή τους σε κάμψη. (Azni, et al, 2005).

Η χρήση τεφρών από αποτεφρωτήρες νοσοκομειακών αποβλήτων μαζί με την προσθήκη σκωρίας ως γεωργικό εδαφοβελτιωτικό μπορεί να εξελιχθεί σε πολλά υποσχόμενη τεχνική. (Rajor, et al, 2012).

III. ΒΟΛΛΑΣΤΟΝΙΤΗΣ

Η ιπτάμενη τέφρα περιλαμβάνει μεγάλο ποσοστό CaO , SiO_2 και Al_2O_3 που αποτελούν τα ακατέργαστα υλικά για τα κεραμικά παράγωγα. Η κρυσταλλική φάση καθώς και οι ιδιότητες των κεραμικών μπορούν να ελεγχτούν από τα ακατέργαστα υλικά μέσω της διαδικασίας υψηλής θέρμανσης. Τα κεραμικά υλικά έχουν υψηλή ανθεκτικότητα και υψηλές μηχανικές ιδιότητες. Τα ανακυκλώσιμα κεραμικά περιέχουν κρυσταλλικό βολλαστονίτη με καλές μηχανικές ιδιότητες και μεγάλη απόδοση. Η παγκόσμια προτροπή των τελευταίων ετών είναι η επέκταση καθώς και η αντικατάσταση του αμιάντου από βολλαστονίτη.

Το χρώμα του βολλαστονίτη είναι λευκό αλλά σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να είναι και άχρωμος ή ακόμα και γκρι. Το σημείο τήξης του είναι υψηλό στους 1540°C , το αλκαλικό pH κυμαίνεται στο 10 με 11 και το ειδικό βάρος 2.86 – 3.09. Ένας πιθανός τρόπος να ενισχυθούν τα χαρακτηριστικά των πόρων των κεραμικών υλικών, επιτυγχάνεται με πρόσθετα, ενισχύοντας έτσι το αποτέλεσμα κατά την διάρκεια μη ισομετρικής συνήθειας των σωματιδίων της κρυσταλλικής φάσης, το οποίο σχηματίζει αθροιστικά μέσα στο κεραμικό πλέγμα. Οι βολλαστονικοί κόκκοι αποτελούν τέλειο παράδειγμα συνδεδεμένων δυνάμεων διανομής. Η χρησιμότητα του φυσικού συνθετικού βολλαστονίτη βρίσκεται σε υψηλά προσδοκώμενα επίπεδα ως προς την βελτιστοποίηση στα κεραμικά υλικά, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν και ως θερμομονωτικά υλικά.

Οι κύριες θετικές ιδιότητες του βολλαστονίτη είναι, οι υψηλές χημικές αντιστάσεις, η μικρή βαρυτική ιδιότητα, οι σπάνιες διηλεκτρικές ιδιότητες, η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και τελευταίο αλλά σημαντικότερο χαρακτηριστικό είναι ότι αποτελεί ένα περιβαλλοντικά φιλικό και ασφαλές υλικό. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα καθιστούν τον βολλαστονίτη ευρέως γνωστό. (Majid Muhi Shukur. et.al, 2015).

Βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας, όπως στα πλαστικά, στα δομικά υλικά, στα χρώματα, στις επικαλύψεις, στην μεταλλουργία και στα κεραμικά. (Sofia B Yarusova, et.al 2017).

IV. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΑΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η σύσταση του γυαλιού αποτελείται από μονοξειδίο του πυριτίου, των αλκαλίων, μερικών αλκαλικών γαίων και τέλος του αργιλίου. Το παραγόμενο γυαλί τείνει να έχει μικρή αντοχή στην διάβρωση. Με την προσθήκη οξειδίων αργιλίου Al_2O_3 , αυξήθηκαν σημαντικά οι βελτιωτικές ικανότητες του και με κύριο στοιχείο την αυξημένη ανθεκτικότητα. Οι υψηλές αντοχές σύνθετων υλικών, που ενισχύθηκαν με ίνες ενίσχυσαν την παρασκευή γυαλιών. Όλα τα παραπάνω συντέλεσαν στην αναβάθμιση τόσο των αντοχών όσο και της ανθεκτικότητας.

Η ιπτάμενη τέφρα από μολυσμένα στερεά απόβλητα, περιέχει μεγάλες ποσότητες από τοξικά υλικά και απαιτεί συγκεκριμένες μεθόδους υαλοποίησης. Η υαλοποίηση της ιπτάμενης τέφρας μπορεί να επιτευχθεί στους 1500°C για 30 λεπτά, με προθήκη 5% SiO_2 και με σκληρότητα

γύρω στα 4000-5000MPa, και με αντοχή κάμψης στα 60-90MPa. Το γυαλί επίσης έχει δείξει ότι έχει εξαιρετικές ιδιότητες ως προς την απόπλυση βαρέων μετάλλων όπως είναι το κάδμιο (Cd), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), και ο μόλυβδος (Pb). Λόγω των παραπάνω ιδιοτήτων του γυαλιού, προκύπτει ότι η μέθοδος της υαλοποίησης είναι αποτελεσματική ως προς την σταθεροποίηση και ως προς την ανακύκλωση της τοξικής ιπτάμενης τέφρας κλιβάνου. (Young Jun Park, et.al 2002).

Η ιπτάμενη τέφρα υαλοποιήθηκε με τη χρήση μίγματος πράσινου, καφέ και πορτοκαλί ανακυκλωμένου γυαλιού που συλλέχθηκε από εργοστάσιο ανακύκλωσης στην Αθήνα που διαχειρίζεται δημοτικά απόβλητα. Δημιουργήθηκαν τρεις διαφορετικές υαλώδεις εκτάσεις, αντικαθιστώντας την αρχική ιπτάμενη τέφρα με 40, 50 και 60% κατά βάρος με ανακυκλωμένο γυαλί. Τα ακατέργαστα μίγματα στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε συν-άλωση σε μύλο με μπάλα, προκειμένου να επιτευχθεί ένα ομοιογενές υλικό με τελικό μέγεθος κέρδους μικρότερο από 90 μm .

Τα τελικά δείγματα υαλοποιήθηκαν στους 1300°C , για περίπου 1 ώρα σε χωνευτήρια υψηλής περιεκτικότητας σε αλουμίνα και στη συνέχεια χύθηκαν σε μεταλλικά καλούπια κατά την ψύξη. Όλα τα υαλοποιημένα προϊόντα χαρακτηρίστηκαν λεπτομερώς μέσω χημικής ανάλυσης (αναλυτικές τεχνικές XRD και SEM).

V. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός επεξεργασίας όλων των αποβλήτων ακόμα και των πιο επικίνδυνων είναι η επαναχρησιμοποίηση και αξιοποίηση τους κατά τον βέλτιστο δυνατό τρόπο. Έτσι και τα νοσοκομειακά απόβλητα, ακόμα και εκείνα που δεν μπορούν να εναποθετηθούν σε χώρο υγειονομικής ταφής, πρέπει με κάποιο τρόπο να επεξεργαστούν. Η μέθοδος της αποτέφρωσης αποτελεί μια καίρια λύση στο υπαρκτό πρόβλημα των επικίνδυνων νοσοκομειακών αποβλήτων.

Η διαχείριση της παραγόμενης τέφρας αποτελεί επιτακτική ανάγκη, χρήζει ενδελεχής έρευνας προκειμένου να βρεθούν τρόποι φιλικούς ως προς περιβάλλον και την κοινωνία. Υπάρχουν λύσεις που θα μπορούσαν να σταθεροποιήσουν τους ρύπους καθώς και να ελαχιστοποιήσουν την διαλυτότητα τους. Ωστόσο υπάρχουν οι βάσεις και οι προδιαγραφές προκειμένου να προωθηθεί σαν πρόταση η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων, αλλά και η εξοικονόμηση ενέργειας. Με την λύση της επαναχρησιμοποίησης, το κυριότερο πλεονέκτημα που προκύπτει είναι η ανάκτηση της πρώτης ύλης από την οποία μπορούμε να παράγουμε, τσιμέντο, κεραμικά υλικά, υλικά για τοιχοποιίες. Δυστυχώς η χώρα μας δεν έχει δημιουργήσει ακόμα χώρο υγειονομικής ταφής επικίνδυνων αποβλήτων (XYTEA), εξαιτίας ελλείψεων χώρου, εγκαταστάσεων και γενικότερα υποδομών. Εξαιτίας της έλλειψης της υποδομής για την διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων όπως είναι οι τέφρες, τα Ευρωπαϊκά Δικαστήρια τον Σεπτέμβριο του 2016 επέβαλαν για άλλη μια φορά στην χώρα μας μεγάλο πρόστιμο. Η ιπτάμενη τέφρα η οποία παράγεται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, προκειμένου να επεξεργαστεί και να διατεθεί για τελική χρήση.

Συμπεραίνοντας, από διαθέσιμες μελέτες ανά τα χρόνια, υπάρχουν τόσο οι τεχνικές όσο και οι μέθοδοι, για την σταθεροποίηση της τέφρας και της επαναχρησιμοποίησης της σε κάποια άλλη εναλλακτική χρήση. Διαθέσιμες είναι βέλτιστες τεχνικές και λύσεις τεχνικά εφικτών προτάσεων, αλλά κυρίως οικονομικά βιώσιμων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Al-Tabbaa & Stegemann, 1995. "Stabilisation/Solidification Treatment and Remediation". London.
- Ali Jamshidi, Kiyofumi Kurumisawa, Toyoharu Nawa & Toshifumi Igarashi, 2016. "Performance of pavements incorporating waste glass: The current state of the art". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6, p.211–236.
- Aloisi M., Karamanov A., Taglieri G., Ferrante F. & Pelino M., 2006. "Sintered glass ceramic composites from vitrified municipal solid waste bottom ashes". *J. Hazardous Materials*, B137, p.138–143.
- Anastasiadou K., Christopoulos K., Mousios E. & Gidarakos E., 2012. "Solidification/ stabilization of fly and bottom ash from medical waste incineration facility". *Journal of hazardous materials*. Issue 207-208, pp. 165-170.
- Azni I., Saed K., Ratnasamy M., & Johari M., 2005. "Stabilization and utilization of hospital waste as road and asphalt aggregate". *Journal of Material Cycles and Waste Management*. Issue 7, pp 33-37
- Bakoglu M., Karademir A., Ayberk S., 2003. "Partitioning characteristics of targeted heavy metals in IZAYDAS hazardous waste incineration". *Journal of Hazardous Materials* B99, 89-105.
- Binhussain, M.A., Marangoni, M., Bernardo, E., & Colombo, P., 2014. "Sintered and glazed glass-ceramics from natural and waste raw materials". *Ceramics International*, 40, 3543-3551.
- Cheng T.W, Chu J.P, Tzeng C.C, Chen Y.S., 2002. "Treatment and recycling of incinerated ash using thermal plasma technology". *Waste Management*, 22, p. 485-490.
- Dong, Y., Zhou, J.E., Lin, B., Wang, Y., Wang, S., Miao, L., Lang, Y., Liu, X., & Meng, G., 2009. "Reaction-sintered porous mineral based mullite ceramic membrane supports made from recycled materials". *Journal of Hazardous Materials*, 172, 180-186.
- Elinwa A., 2016. "Hospital Ash Waste- Ordinary Portland Cement Concrete". *Science Research*, 4(3), p.p 72-78.
- Erol M., Kucukbayrak S. & Ersoy-Merichboyu A., 2007. "Production of glass-ceramics obtained from industrial wastes by means of controlled nucleation and crystallization". *Chemical Engineering Journal*, 132 (1–3), p. 335–343.
- EHSO, 2015. "The EPA: Toxicity Characteristic Leaching of Procedure and Characteristic Waste", <http://www.ehso.com/cssepa/TCLP.htm>.
- E.P.A-Environmental Protection Agency, 2016. "Hazardous Waste Test Methods" SW-846. Available at: <http://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-compendium>.
- E.P.A - Environmental Protection Agency, 1992. "METHOD 1311 Toxicity Characteristic Leaching Procedure". Washington DC: EPA.
- Genazzini C., Giaccio G., Ronco A. & Zerbino R., 2005. "Cement – based materials as containment systems for ash from hospital waste incineration. *Waste management*, issue 25, pp. 649-654.
- Jin J., Li X., Chi Y. & Yan J., 2010. "Heavy metals stabilization in medical waste incinerator fly ash using alkaline assisted supercritical water technology". *Waste management and research*. 12(28), pp 1133-1142.
- Kougemitrou I., Godelitsas A., Tsabaris C., Stathopoulos V., Papandreou A., Gamaletsos P., Eonomou G. & Papadopoulos D., 2011. "Characterisation and management of ash produced in the hospital waste incinerator of Athens, Greece". *Journal of Hazardous Materials* 187: 421–432.
- Kritikaki A., Emmanouelides E. & Komnitsas K., 2016. "Characterization of porous ceramics produced using ash from incineration of hospital wastes, marine sediments and coal fly ash". Chania, 5th international Conference on Industrial and hazardous waste management.
- Leroy C., Ferro M.C, Monteiro R.C.C & Fernandes M.H.V, 2001. "Production of glass-ceramics from coal ashes". *Journal of the European Ceramic Society*, 21, p. 195-202.
- Levendis YA, Atal A, Carlson, JB, 2001. "PAH and soot emissions from burning components of medical waste: examination/ surgical gloves and cotton pads". *Chemosphere*, 42:775–783.
- Lijuan Zhao, Fu-Shen Zhang, Jingxin Zhang, 2008. "Chemical properties of rare earth elements in typical medical waste incinerator ashes in China". *Journal of Hazardous Materials* 158, 465–470.
- Majid Muhi Shukur, Elham Abd Al-Majeed & Mohammed Maitham Obied, 2015. "Characteristic of Wollastonite Synthesized from Local Raw Materials". College of Materials Engineering, University of Babylon 51002, Babylon, Iraq
- Mastorakis, N.E., Bulucea, C.A., Oprea, T.A., Bulucea, C.A., Dondon, P., 2010. "Environmental and health risks associated with biomedical waste management". *International Conference on Development, Energy, Environment, Economics, Proceedings*, pp. 287-294
- Pruss A., Giroult E., Rushbrook P. 1999. "Safe management of wastes from health-care activities". Geneva
- Rahim, F., Hassim M. & Mokhtar M., 2015. "Environmental assessment of ashes generated from medical waste incineration". *Chemical engineering transactions*, Volume 45, pp. 1699-1704.
- Rajor F., Xaxa M., Mehta R., & Kunal, 2012. "An overview on characterization, utilization and leachate analysis of biomedical". *Journal of Environmental Management*, issue 108, pp. 36-41.
- Tsakalou C., Papamarkou S., Tsakiridis P.E, Bartzas G., Tsakarakis K., 2018. "Characterization and leachability evaluation of medical wastes incineration fly and bottom ashes and their vitrification outgrowths". *Journal of environmental chemical engineering*, Issue 6, p.p 367-376.

Young Jun Park, Jong Heo, 2002. “Nucleation and crystallization kinetics of glass derived from incinerator fly ash waste” . *Ceramics International*, 28 (6), p. 669–673.

Zhao, L. et al., 2010. Typical pollutants in bottom ashes from typical medical waste incinerator. *Journal of hazardous materials*, Issue 173, pp. 181-185.