

Χαρακτηρισμός και Διαχείριση Τεφρών Μονάδων Αποτέφρωσης Νοσοκομειακών Αποβλήτων

Κατερίνα Τσακάλου
Μηχανολόγος Μηχανικός ΤΕ,
MSc ΔΙΑ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ
tsakalou@edsna.gr, std104415@ac.eap.gr

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

Περίληψη – Η εργασία αυτή στοχεύει στον χαρακτηρισμό των παραγόμενων τεφρών από την αποτέφρωση Επικίνδυνων Αποβλήτων Υγειονομικών Μονάδων (ΕΑΥΜ) και την αξιολόγηση της εκπλυσιμότητας των περιεχόμενων σ' αυτές βαρέων μετάλλων. Επιπλέον στην ανάδειξη αποτελεσματικών μεθόδων σταθεροποίησής τους είτε για να επαναχρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη ή ως πρόσθετο σε προϊόντα κατασκευαστικού τομέα, είτε για να μπορούν να διατεθούν σε χώρους υγειονομικής ταφής.

Λέξεις-Κλειδιά: Απόβλητα Υγειονομικών Μονάδων, Ιπτάμενη τέφρα, Καθιζάνουσα τέφρα, Χαρακτηρισμός, Εκπλυσιμότητα, Σταθεροποίηση-Στερεοποίηση

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προαγωγή της υγείας και η νοσηλεία ως δραστηριότητα αναπόφευκτα παράγουν απόβλητα που απαιτούν προσεκτική διαχείριση. Όπως έχει προσδιοριστεί από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας το 85% των αποβλήτων αυτών προσομοιάζουν με τα Αστικά Στερεά Απόβλητα, ενώ το υπόλοιπο 15% περίπου χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα (hazardous) με ιδιότητες όπως μολυσματικά, καρκινογόνα, τοξικά κ.ά. (W.H.O., 2014). Από το σύνολο των Επικίνδυνων Αποβλήτων Υγειονομικών Μονάδων (ΕΑΥΜ) το κλάσμα που δεν διακρίνεται για τον αμιγώς μολυσματικό του χαρακτήρα (εκτός από τα ειδικά ρεύματα των ραδιενεργών, μπαταριών κλπ) οδηγείται προς αποτέφρωση. Η διεργασία αυτή ανήκει στις διαθέσιμες σήμερα τεχνολογίες επεξεργασίας αποβλήτων με πλεονεκτήματα όπως ότι καταστρέφει ένα σημαντικό φάσμα επιβλαβών παραγόντων για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία και επιτυγχάνει σημαντική μείωση του όγκου και της μάζας των αποβλήτων, σύμφωνα με τους (Lam, et al., 2010) κατά 90 % και 70% αντίστοιχα. Βασικά μειονεκτήματά της είναι ότι στην περίπτωση μη προβλεπόμενης λειτουργίας της μονάδας, εκπέμπονται αέριοι ρύποι όπως CO, HCl, PCDD και Fs και ότι κατά την καύση δημιουργούνται τέφρες εμπλουτισμένες με βαρέα μέταλλα, οι οποίες σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (EKA) κατατάσσονται στα επικίνδυνα απόβλητα και συνεπώς χρήζουν περαιτέρω επεξεργασίας πριν τη τελική διάθεσή τους (Jang, et al., 2006), (Ruoyan, et al., 2010).

Ο Αποτεφρωτήρας ΕΑΥΜ, από τον οποίο ελήφθησαν τα δείγματα των τεφρών, βρίσκεται στην περιοχή των Άνω Λιοσίων που ανήκει στον ΕΔΣΝΑ (Ειδικός

Διαβαθμιδικός Σύνδεσμος Νομού Αττικής), Οργανισμό Τοπικής Αυτοδιοίκησης που ασχολείται με τη διαχείριση απορριμμάτων Αττικής. Δέχεται απόβλητα από Υγειονομικές Μονάδες τόσο της Αττικής όσο και της υπόλοιπης χώρας και διαθέτει δύο όμοιες γραμμές με ονομαστική δυναμικότητα $2 \times 15 \text{ tn/ημ} = 30 \text{ tn/ημ}$, ενώ η καύση διενεργείται σε περιστρεφόμενο κλίβανο ομόροπης ροής, ικανότητας 2.000 Mcal/h, σε θερμοκρασίες 1.100-1.200 °C.

II. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΕΦΡΩΝ

A. Μεθοδολογία

Ο χαρακτηρισμός των τεφρών διενεργήθηκε με αναλυτικές μεθόδους στο εργαστήριο μεταλλογνωσίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του ΕΜΠ. Η ιπτάμενη τέφρα προήλθε κυρίως από τα σακκόφιλτρα του συστήματος αποκονίωσης των καυσαερίων και η καθιζάνουσα από τον πυθμένα του κλίβανου. Διενεργήθηκε προσδιορισμός του μεγέθους των κόκκων της καθιζάνουσας τέφρας με τη μέθοδο διαδοχικού διαχωρισμού με κόσκινα και της ιπτάμενης με χρήση της μεθόδου σκέδασης ακτίνων laser μικρής γωνίας, χημική ανάλυση με τη μέθοδο φθορισμού ακτίνων X (XRF), ανάλυση των περιεχόμενων βαρέων μετάλλων σε φασματοφωτόμετρο επαγωγικής σύζευξης πλάσματος (ICP), ορυκτολογική ανάλυση μέσω περίθλασης ακτίνων X (XRD) και επίσης μελέτη των μορφολογικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



Καθιζάνουσα τέφρα



Ιπτάμενη τέφρα

Σχήμα 1. Δείγματα τεφρών παραγόμενων από Αποτεφρωτήρα ΕΑΥΜ

Στη συνέχεια τα δείγματα τεφρών υποβλήθηκαν στις δοκιμές TCLP & EN 12457-2 προκειμένου να προσδιοριστεί εκπλυσιμότητα των περιεχόμενων βαρέων μετάλλων.

Κατά τη δοκιμή TCLP τα δείγματα τεφρών τοποθετήθηκαν μαζί με διάλυμα οξικού οξέος σε δοχεία ζέσεως με αναλογία υγρού προς στερεό 20:1 και

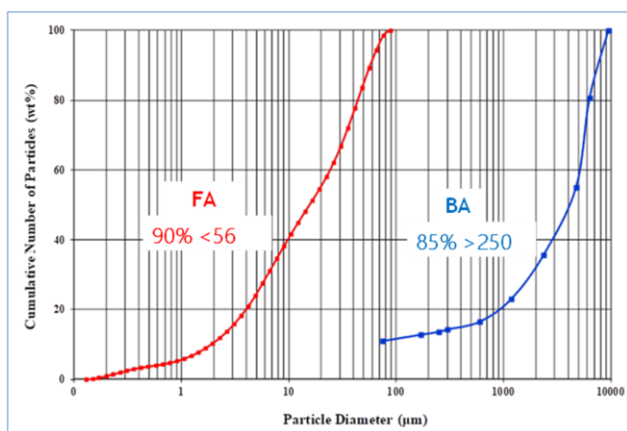
εκχυλίστηκαν επί 18 ώρες, προσομοιώνοντας έτσι το σενάριο της διάθεσής τους σε χώρο υγειονομικής ταφής υπό εργαστηριακές συνθήκες (Ε.Ρ.Α., 1992).

Κατά τη δοκιμή EN 12457-2 τα δείγματα τεφρών με κοκκομετρία κάτω των 4 mm, τοποθετήθηκαν 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).

B. Αποτελέσματα-συζήτηση

1) *Χαρακτηρισμός δειγμάτων με αναλυτικές μεθόδους:*
Στο δείγμα της καθιζάνουσας τέφρας παρατηρήθηκε κλάσμα μεγέθους έως 9,5 mm, με το 85% κβ με κλάσμα μεγέθους μεγαλύτερο από 250 μm. Στη θερμοκρασία των 1100-1200 °C εξαιτίας των πυριτικών και αργιλοπυριτικών συστατικών η καθιζάνουσα τέφρα τήκεται και στη συνέχεια λόγω της απότομης ψύξης της μετατρέπεται σε σκωρία. Αν και το αποτέλεσμα της διεργασίας αυτής οδηγεί στην καταστροφή των επικίνδυνων οργανικών ουσιών, τα βαρέα μέταλλα παραμένουν στη στερεοποιημένη τέφρα με τη μορφή στερεού διαλύματος.

Όσον αφορά την ιπτάμενη τέφρα, 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 των δειγμάτων απεικονίζονται στο ακόλουθο Σχήμα 2:



Σχήμα 2. Κοκκομετρική κατανομή δειγμάτων τεφρών (FA ιπτάμενης & BA καθιζάνουσας)

Η χημική αλλά και η ορυκτολογική σύνθεση των παραγόμενων τεφρών 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 καθιζάνουσα τέφρα αποτελείται κυρίως από πυρίτιο (SiO_2 :57,52 %κβ). Η σχετικά χαμηλή ποσότητα οξειδίου του ασβεστίου (CaO :19,34%κβ) και τριοξειδίου του θείου ($\text{SO}_3 \approx 0,03$ %κβ), είναι χαρακτηριστικό της κατάταξης του υλικού στα ποζολανικά «κλάσης F» του πρότυπου ASTM C618 – 15, (προδιαγραφής ιπτάμενης τέφρας για χρήση σε σκυρόδεμα), αφού στη σύνθεσή είναι αναμενόμενο περισσότερο γυαλί και οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3 : 7,32%κβ) μετά την ψύξη των καυσαερίων. Αλλά συστατικά όπως Fe_2O_3 και MgO ανιχνεύθηκαν επίσης σε χαμηλές ποσότητες, ενώ η παρουσία αλκαλίων (Na_2O και K_2O) ανήλθε σε 7,42 %κβ.

Η ιπτάμενη 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 (Na_2O και K_2O) ανιχνεύθηκε 5,29 %κβ, δηλαδή σχετικά μικρή και αντίστοιχη με εκείνη της καθιζάνουσας τέφρας.

Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των τεφρών με τη μέθοδο XRF απεικονίζονται στον ακόλουθο Πίνακα 1:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΕΦΡΩΝ

Οξείδια	Καθιζάνουσα τέφρα (BA)	Ιπτάμενη τέφρα (FA)
	κβ%	κβ%
SiO_2	57,52	1,30
CaO	19,34	62,02
Al_2O_3	7,32	0,91
Na_2O	6,50	4,47
MgO	1,83	1,80
Fe_2O_3	1,18	0,23
K_2O	0,92	0,82
ZrO_2	0,92	1,04
TiO_2	0,61	0,00
Cr_2O_3	0,42	0,02
Cl^-	0,38	4,87
MnO	0,04	0,01
SO_3	0,03	0,00

Η ανάλυση των τεφρών με φασματοφωτόμετρο επαγωγικής σύζευξης πλάσματος (ICP-MS), έδωσε για

κάθε δείγμα καθιζάνουσας και ιπτάμενης τέφρας ξεχωριστά τα ακόλουθα αποτελέσματα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ
ΣΤΗΝ ΚΑΘΙΖΑΝΟΥΣΑ ΤΕΦΡΑ

BA	Ιχνοστοιχεία (mg/Kg)								
	As	Cd	Hg	Ag	Mo	Ni	Zn	Sb	Ba
	11	3.2	1.3	0.8	12.3	124	52.7	4.7	3840
FA	Ga	Ge	Co	La	Ce	Cu	Pb	Y	Nb
	2.7	0.8	34	44	81	1287	18	7.3	0.2

ΠΙΝΑΚΑΣ 3
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ
ΣΤΗΝ ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ

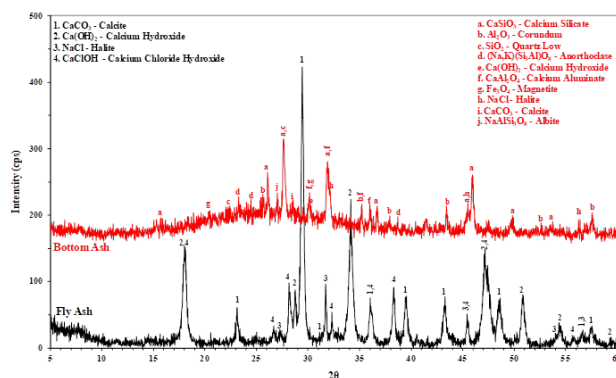
FA	Ιχνοστοιχεία (mg/Kg)								
	As	Cd	Hg	Ag	Mo	Ni	Zn	Sb	Ba
	12.7	3.3	1.8	4.2	27	22.4	1103	13.6	102
FA	Ga	Ge	Co	La	Ce	Cu	Pb	Y	Nb
	0.8	-	28	43	53	138.2	135.5	9.8	-

Η ανάλυση των δειγμάτων έδειξε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων. Οι συγκεντρώσεις αυτές στην καθιζάνουσα και στην ιπτάμενη τέφρα είναι αντίστοιχα οι ακόλουθες με φθίνουσα σειρά: Ba>Cu>Ni>Ce>Zn>La>Co>Pb>Mo>As>Y>Cd>Hg>Ag και Zn>Cu>Pb>Ba>Ce>La>Co>Mo>As>Y>Ag>Cd>Hg.

Τα αναφερόμενα βαρέα μέταλλα προέρχονται κατά κανόνα από φάρμακα, φωτογραφικά υλικά και ιατρικά εργαλεία που περιέχονται στα ιατρικά απόβλητα. Η παρουσία του Ba μπορεί να αποδοθεί στη χρήση ιατρικών υλικών όπως σκιαγραφικών στην ακτινολογία και στη χρήση του ως πρόσθετο σε πλαστικά (Zhao, et al., 2008), (Kougemitrou, et al., 2011). Η παρουσία συγκεκριμένων ιχνοστοιχείων στην ιπτάμενη τέφρα μπορεί να αποδοθούν στην πτητικότητα κάποιων μεταλλικών συστατικών τα οποία συγκεντρώνονται στα καυσαέρια. Η παρουσία As και Ag μπορεί να αποδοθεί σε ορισμένα συστατικά φαρμάκων και ακτινογραφικών πλακών. Η ύπαρξη Ni, Cr, Co και Mo εκτιμάται ότι οφείλεται κυρίως σε ιατρικά εργαλεία από ανοξείδωτο χάλυβα (Zhao, et al., 2008), (Kuo, et al., 1999). Από την άλλη η υψηλή συγκέντρωση Zn προέρχεται από διάφορες πηγές όπως πλαστικά, καουτσούκ, αυτοκόλλητοι επίδεσμοι, φάρμακα και ιατρικά εργαλεία (μαζί με Cu και Pb). Σημειώνεται επίσης η ύπαρξη των σπάνιων γαιών (REE) Ce, La και Y τόσο στην καθιζάνουσα όσο και στην ιπτάμενη τέφρα, που προέρχονται συνήθως από ανθεκτικό στα αλκαλικά γυαλί, κεραμικά, ημιαγωγούς, ηλεκτρόδια, φωτογραφικούς φακούς (Zhao, et al., 2008).

Η ορυκτολογική ανάλυση μέσω XRD έδειξε ότι η καθιζάνουσα τέφρα περιείχε πυριτικό ασβέστιο (CaSiO_3), κορούνδιο (Al_2O_3), χαλαζία (SiO_2), ανορθόκλαστο $[(\text{Na},\text{K})(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8]$, υδράσβεστο $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, αργιλικό ασβέστιο (CaAl_2O_4), μαγνητίτη (FeO_4) και πυρίτιο (Si). Αντίστοιχα η ιπτάμενη τέφρα αποτελείται από τα ακόλουθα: ασβεστίτη (CaCO_3), υδράσβεστο $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, αλίτη (NaCl) και υδροξυχλωρίδιο του ασβεστίου (CaClOH).

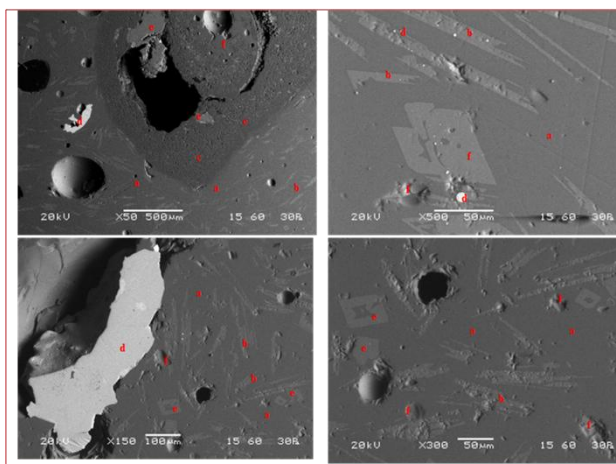
Τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης μέσω XRD απεικονίζονται στο ακόλουθο Σχήμα 3:



Σχήμα 3. Ορυκτολογική ανάλυση τεφρών μέσω XRD

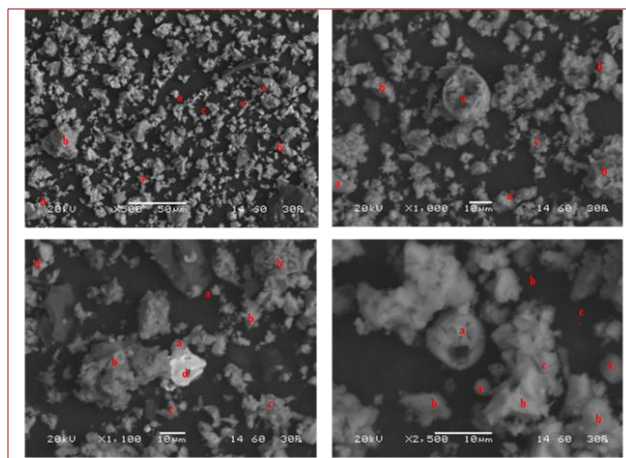
Η σύνθεση φάσεων της καθιζάνουσας τέφρας μπορεί να αποδοθεί σε διάφορες διεργασίες υψηλής θερμοκρασίας όπως η τήξη, η κρυσταλλοποίηση και η υαλοποίηση και επίσης στην απότομη ψύξη. Οι κύριες κρυσταλλικές φάσεις που ανιχνεύθηκαν είναι το πυριτικό ασβέστιο (CaSiO_3) και το κορούνδιο (Al_2O_3). Το πυριτικό ασβέστιο έχει σχηματιστεί μέσω αντίδρασης διάχυσης του CaO με το SiO_2 , στην περιοχή των 1200°C , η οποία είναι ενδεικτική της τελικής θερμοκρασίας σύντηξης. Άλλες φάσεις όπως χαλαζίας, μαγνητίτης, αλίτης, αργιλικό ασβέστιο και άστριοι ανιχνεύθηκαν σε χαμηλότερα ποσοστά. Η παρουσία του κορούνδιου προέρχεται από την αντίδραση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου με μεταλλικά ή άλλα συστατικά του αργιλίου σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ η ανίχνευση του αργιλικού ασβεστίου (CaAl_2O_4) είναι μία ένδειξη θερμοκρασιών της τάξης των 1200°C . Η παρουσία του αλίτη μπορεί να αποδοθεί είτε στη χρήση απολυμαντικών που περιέχονται στα εισερχόμενα ιατρικά απόβλητα ή στην αποσύνθεση πλαστικών. Όσο για την ιπτάμενη τέφρα η επικράτηση υδροξειδίου του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$ οφείλεται στην έγχυση της υδράσβεστου για την εξουδετέρωση των καυσαερίων, ενώ το ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3 σχηματίζεται κατά τη μερική ανθρακοποίηση του ασβεστίου.

Αντίστοιχα με τις άλλες αναλύσεις, η μελέτη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) τομής υαλώδους, άχρωμου δείγματος καθιζάνουσας τέφρας (Σχήμα 4) με χημική ετερογένεια έδειξε ότι οι κυρίαρχες φάσεις ήταν κυρίως πυρίτιο, ασβέστιο, νάτριο, αργίλιο και μαγνήσιο, κυρίως λόγω της ταχείας ψύξης της με νερό.



Σχήμα 4. Μικρογραφίες καθιζάνουσας τέφρας μέσω SEM

Από την άλλη, η ιπτάμενη τέφρα (Σχήμα 5) που συλλέχθηκε από τα σακκόφιλτρα, ήταν εμπλουτισμένη με υδροξείδιο του ασβεστίου αφού είχε χρησιμοποιηθεί υδράσβεστος για την εξουδετέρωση των οξέων στα καυσαέρια.



Σχήμα 5. Μικρογραφίες ιπτάμενης τέφρας μέσω SEM

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. Στην καθιζάνουσα τέφρα ο μόλυβδος παρουσίασε εκπλυσιμότητα πέραν του ορίου, όμως μπορεί να παρατηρηθεί ότι και το χρώμιο, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός παρουσίασαν αυξημένες τιμές (Πίνακας 4).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΚΠΛΥΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΤΑ TCLP

Μέταλλα	BA (mg/L)	FA (mg/L)	Όρια EPA για TCLP (mg/L)
Cd	0.04	0.17	1.0
Pb	7.25	532.5	5.0
Ba	25.2	125.7	100
Cr	4.25	8.07	5.0
As	2.2	3.4	5.0
Zn	27.3	125.34	-
Ni	18.54	1.25	-
Mo	14.73	24.3	-
Cu	53.70	41.75	-

Αντίθετα, κατά τη δοκιμή σύμφωνα με το πρότυπο EN12457-2 η καθιζάνουσα τέφρα εξαιτίας της υαλοποιημένης μορφής της παρουσίασε πιο σταθεροποιημένη συμπεριφορά και με εξαίρεση το μόλυβδο, τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα είχαν τιμές μικρότερες των ορίων που δίνει το πρότυπο αυτό. 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 (Πίνακας 5).

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΚΠΛΥΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΒΑΡΕΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΤΑ EN-12457-2

Μέταλλα	BA	FA	Όρια οδηγίας 2003/33/CE	
	(mg/kg)	(mg/kg)	XYTA αδρανών (mg/kg)	XYTEA (mg/kg)
Cd	0.01	0.02	0.04	5
Pb	0.83	123.5	0.5	50
Ba	4.32	38.53	20	300
Cr	0.15	4.05	0.5	70
As	0.02	0.01	0.5	25
Zn	0.12	42.53	4	200
Ni	0.10	0.05	0.4	40
Mo	0.13	7.28	0.5	30
Cu	0.12	23.05	2	100
Cl ⁻	1180	185.270	800	25.000

III. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΦΡΩΝ

Η μέθοδος που θα επιλεγεί για την αποτελεσματική διαχείριση των τεφρών για να είναι τεχνικά αποδεκτή και οικονομικά βιώσιμη απαιτείται να ληφθούν υπόψη συνδυαστικά πολλές παράμετροι. Το κόστος επεξεργασίας, η ύπαρξη αποδεκτών, είτε δηλαδή αγοράς διάθεσης του προϊόντος είτε χώροι τελικής διάθεσης-υγειονομικής ταφής και σε κάθε περίπτωση η επιλεχθείσα λύση να είναι στο πνεύμα της κυκλικής οικονομίας και των αρχών διαχείρισης αποβλήτων και κυρίως περιβαλλοντικά αποδεκτή. Η μέθοδος σταθεροποίησης /στερεοποίησης (Σ/Σ) αποτελεί μία διαδεδομένη τεχνική μείωσης της κινητικότητας των ρύπων με φυσικό ή χημικό τρόπο χαμηλού κόστους, και ενδείκνυται για την αποτελεσματική διαχείριση των τεφρών. Έχουν δημοσιευθεί αρκετές ερευνητικές εργασίες για την επεξεργασία και τη χρήση τεφρών από νοσοκομειακά απόβλητα οι οποίες καταδεικνύουν ότι οι τέφρες, καθιζάνουσα και ιπτάμενη, μπορούν με διάφορες μεθόδους να σταθεροποιηθούν αποτελεσματικά (Anastasiadou, et al., 2012), (Sobiecka, et al., 2014), (Jin, et al., 2010), (Sukandar, et al., 2006) ώστε να διατεθούν ασφαλώς σε χώρους υγειονομικής ταφής. Παράλληλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν: Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή γεωπολυμερών (Tzanakos, et al., 2014) σε κατασκευαστικά υλικά από τσιμέντο Portland (OPC) (Anastasiadou, et al., 2012), (Genazzini, et al., 2003) ως επιβραδυντικό υλικό για σκυροδέτηση σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (Elinwa, 2016), σε πορώδη κεραμικά υλικά (Kritikaki, et al., 2016), μετά από τήξη ως ασφαλικό πρόσθετο (Azni, et al., 2005), (Azni & Saed, 2002) στην παραγωγή κονιαμάτων και υλικών τοιχοποιίας (Genazzini, et al., 2005), (Valavanidis, et al., 2008) και γενικά στον τομέα των κατασκευών. Επίσης οι ποζολανικές τους ιδιότητες, θα μπορούσαν να ενισχυθούν με χημικούς ενεργοποιητές (Rajor, et al., 2012).

Ενδεικτικά στοιχεία από τις μελέτες αυτές δίνονται στον Πίνακα 6 που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ 6
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ & ΧΡΗΣΗ ΤΕΦΡΩΝ ΑΠΟΤΕΦΡΩΤΗΡΩΝ
ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΤΥΠΟΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΗ	ΣΥΝΘΕΣΗ
BA/FA	(Elinwa, 2016)-Νιγηρία	Αντικατάσταση πρώτης ύλης στο OPC 0-40% κβ
	Παραγωγή OPC & επιβραδυντικό σκυροδέτησης σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος	
BA/FA	(Kritikaki, et al., 2016)-Ελλάδα	16 διαφορετικές συνθέσεις τερρών και θαλάσσιων ιζημάτων
BA/FA	Πρώτη ύλη σε πορώδη κεραμικά υλικά	100:100 BA & 75:25, 50:50 FA:BA σε δοκίμια με μετακαολίνη 20:100, 30:100, 50:100
	(Tzanakos, et al., 2014)-Ελλάδα	
BA/FA	Πρώτη ύλη στην παραγωγή γεωπολυμερών	
BA/FA	(Sobiecka, et al., 2014)-Πολωνία	10% κβ, 20% κβ, 40 % κβ, 50 % κβ & 60 % κβ περιεχόμενη τάρρα στο OPC, με 2 διαφορετικές διαγγρασίες
	Σταθεροποίηση τερρών με χρήση OPC ως συνδετικό	
BA/FA	(Anastasiadou, et al., 2012)-Ελλάδα	60:40, 50:50, 40:60 30:70 OPC:FA & OPC:BA αντίστοιχα
BA/FA	Σ/Σ με OPC	
BA/FA	(Genazzini, et al., 2005)-Αργεντινή	3 σαρές με διαφορετικά κονιάματα τερρας, πυρική άμμου, τσιμέντου & νερού
	Υλικά τοιχοποιίας & προϊόντα ταμέντου	
BA	(Azni, et al., 2005)-Μαλαισία	Τρία μίγματα με τάρρα μετά από τήξη και διάφορα ποσοστά ασφάλτου, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο σχεδιασμού Marshall
BA/FA	Ασφαλτικό πρόσθετο μετά από θερμική επεξεργασία	2 σαρές με διαφορετικά κονιάματα τσιμέντου, νερού & περιεχόμενης τερρας 0, 25, 50, 85 & 100%
	(Genazzini, et al., 2003)-Αργεντινή	
BA/FA	Πρόσθετο σε κονιάματα ταμέντου	

IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάγκη για τη διαχείριση των παραγόμενων τερρών με τρόπους φιλικούς προς το περιβάλλον είναι αδιάρτητη. Σήμερα η παραγόμενη ιττάμενη τέφρα εξάγεται με διασυννοριακή μεταφορά εντός Ευρωπαϊκής Ένωσης για περαιτέρω επεξεργασία και για την τελική της διάθεση, ενώ η καθιζάνουσα διατίθεται για εργασίες ανάκτησης - ανακύκλωσης (R12) σε εγκαταστάσεις εντός των ορίων της χώρας. Η βιβλιογραφία καταδεικνύει αναδυόμενες τεχνικές και μεθόδους οι οποίες μπορούν να σταθεροποιήσουν τους περιεχόμενους στις τέφρες ρύπους και να ελαχιστοποιήσουν τη διαλυτότητά τους και καλές εναλλακτικές για τη χρήση τους και επομένως αποτελεί πρόκληση η περαιτέρω έρευνα για την αναζήτηση, βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών, δηλαδή λύσεων τεχνικά, οικονομικά και βιώσιμων προς αυτή την κατεύθυνση. Ιδιαίτερα η χρήση της ως πρώτη ύλη ή ως πρόσθετο σε διάφορες εφαρμογές αποτελεί ενδεδειγμένη εφαρμογή των επιταγών της Εθνικής και Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για «επανόρθωση των καταστροφών του περιβάλλοντος», για εφαρμογή «της αρχής της εγγύτητας» και της κυκλικής οικονομίας που είναι μία από τις προτεραιότητες που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση στο 7^ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες στον συνεπιβλέποντα Δρ. Απόστολο Μαλαμάκη μέλος ΣΕΠ/ΔΙΑ, ΕΑΠ για την συμμετοχή του ως δεύτερος αναγνώστης της εργασίας αυτής και τα εποικοδομητικά σχόλιά του κατά την παρουσίασή της.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

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* (207-208), 165-170.

Azni, I., & Saed, K. (2002). Characteristics of slag produced from incinerated hospital waste. *Journal of Hazardous Materials*, B (93), 201-208.

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* (7), 33-37.

E.P.A.,(1992). *METHOD 1311 Toxicity Characteristic Leaching Procedure*. Washington DC: EPA.

Elinwa, A. (2016). Hospital Ash Waste-Ordinary Portland Cement Concrete. *Science Research*, 4 (3), 72-78.

EN-12457-2. (2003). *Characterization of waste, Leaching-compliance test for leaching of granular waste materials and sludges, Part 2: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 4 mm (without or with size reduction)*.

Genazzini, C., Giaccio, G., Ronco, A., & Zerbino, R. (2005). Cement-based materials as containment systems for ash from hospital waste incineration. *Waste management* (25), 649-654.

Genazzini, C., Zerbino, R., Ronco, A., Batic, O., & Giaccio, G. (2003). Hospital waste ashes in Portland cement mortars. *Cement and concrete research* (33), 1643-1650.

Gielar, A., & Helios-Rybicka, E. (2013). Environmental impact of a hospital waste incineration plant in Krakow (Poland). *Waste management & research*, 7 (31), 722-728.

Jang, Y., Lee, C., Yoon, C., & Kim, H. (2006). Medical waste management in Korea. *Journal of Environmental Management* (80), 107-115.

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), 1133-1142.

Kougemitrou, I., Godelitsas, A., Tsabaris, C., Stathopoulos, V., Papandreou, A., Gamaletsos, P., et al. (2011). Characterization 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: Crete 2016, 5th International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management.

Kuo, H., Shu, S., Wu, C., & Lai, J. (1999). Characteristics of medical waste in Taiwan. *Water, air and soil pollution*, pp. 413-421.

Lam, C., Ip, A., Barford, J., & McKay, G. (2010). Use of incineration MSW ash: A review. *Sustainability* (2), 1943-1968.

Rajor, A., Xaxa, M., Mehta, R., & Kunal. (2012). An overview on characterization, utilization and leachate analysis of biomedical. *Journal of Environmental Management* (108), 36-41.

Ruoyan, G., Lingzhong, X., Huijuan, L., Chengchao, Z., Jiangjiang, H., Yoshihisa, S., et al. (2010). Investigation of healthcare waste management in Binzhou District, China. *Waste management* (30), 246-250.

Sobiecka, E., Obraniak, A., & Antizar-Ladislao, B. (2014). Influence of mixture ratio and pH to solidification/stabilization process of hospital solid waste incineration ash in Portland cement. *Chemosphere* (111), 18-23.

Sukandar, S., Yasuda, K., Tanaka, M., & Aoyama, I. (2006). Metals leachability from medical waste incinerator fly ash: A case study on particle size comparison. *Environmental pollution* (144), 726-735.

Tzanakos, K., Mimilidou, A., Anastasiadou, K., Stratakis, A., & Gidarakos, E. (2014). Solidification/stabilization of ash from medical waste incineration into geopolymers. *Waste management*, 34, 1823-1828.

Valavanidis, A., Iliopoulos, N., & Fiotakis, K. (2008). Metal leachability, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in fly and bottom ashes of a medical waste incineration facility. *Waste Management & Research* (26), 247-255.

W.H.O. (2014). *Safe management of wastes from health-care activities 2nd edition*. Geneva: World Health Organization.

Zhao, L., Zhang, F., & Zhang, J. (2008). Chemical properties of rare earth elements in typical medical waste incinerator ashes in China. *Journal of hazardous materials* (158), pp. 465-470.

Zhao, L., Zhang, F., Kaisheng, W., & Jianxin, Z. (2008). Chemical properties of heavy metals in typical hospital waste incinerator ashes in China. *Waste Management* (29), 1114-1121.

Zhao, L., Zhang, F., Zhengping, H., & Hailing, W. (2008). Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in different types of hospital waste incinerator ashes. *Science of the total environment*, pp. 24-30.