

## ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΑΠΟ ΜΙΚΤΗ ΚΑΥΣΗ ΛΙΓΝΙΤΗ / ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΩΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Ε. Καραμπίνης<sup>1</sup>, Π. Γραμμέλης<sup>1</sup>, Γ. Ίτσκος<sup>1</sup>, Ε. Κακαράς<sup>1</sup>, Μ. Ζερβάκη<sup>2</sup>,  
Σ. Τσίμας<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Τεχνολογίας & Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων, 4ο χλμ Πτολεμαΐδας - Μποδοσάκειου Νοσοκομείου, 502 00, Πτολεμαΐδα

<sup>2</sup>Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 73, Ζωγράφου, Αθήνα

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η αξιοποίηση της ΙΤ που έχει προκύψει από δοκιμές μικτής καύσης λιγνίτη / βιομάζας στον ΑΗΣ Καρδιάς. Η χρησιμοποιηθείσα βιομάζα είναι αγριαγκινάρα, η οποία υποκατέστησε το λιγνίτη σε ποσοστό περίπου 10% επί της θερμικής ισχύος (3.4% κατά μάζα). Η τέφρα της αγριαγκινάρας χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια, κυρίως κάλιο τα οποία ενδέχεται να επηρεάσουν τις δυνατότητες αξιοποίησής της, ενώ η λιγνιτική τέφρα είναι ισχυρά ασβεστούχα. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης εξετάζεται η δυνατότητα χρήσης της ΙΤ από μικτή καύση ως συστατικό τσιμέντου σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου EN 197-1.

*Λέξεις κλειδιά: Ιπτάμενη Τέφρα, Μικτή καύση, Αγριαγκινάρα, EN 197-1*

## INVESTIGATION OF THE POTENTIAL USE OF FLY ASH FROM COFIRING LIGNITE / BIOMASS AS SUPPLEMENTARY CEMENTITIOUS MATERIAL

Karabinis E.<sup>1</sup>, Grammelis P.<sup>1</sup>, Itskos G.<sup>1</sup>, Kakaras E.<sup>1</sup>, Zervaki M.<sup>2</sup>,  
Tsimas S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute for Solid Fuels Technology and Applications, Centre for Research and Technology Hellas, 4<sup>th</sup> km Ptolemaida – Mprodosakio Hospital, Ptolemaida, Greece

<sup>2</sup>Laboratory of Inorganic and Analytical Chemistry, School of Chemical Engineers NTUA, 9 Iroon Polytechniou str. 157 73 Athens, Greece

### ABSTRACT

The current study examines the utilization of fly ash derived from lignite / biomass co-firing tests at Kardias Power Plant. The biomass used is Cynara Cardunculus (cardo), which made up about 10% of the fuel thermal share (3.4% by mass). The cardoon ash stands out for its high alkali concentration, mainly potassium, which may interfere with its utilization ability, while lignite ash is highly calcareous. In the frame of this current study, the potential use of fly ash from co-firing is investigated as an SCM according to the specifications of the EN 197-1 standard.

*Key words: Fly Ash, Cofiring, Cardoon, EN 197-1*

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μικτή καύση στερεών βιοκαυσίμων με ορυκτούς άνθρακες ή γαιάνθρακες σε συμβατικές μονάδες καύσης θεωρείται ως μια από τις κύριες τεχνολογικές οδούς για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Η σημασία της μικτής καύσης στην επίτευξη του Ευρωπαϊκού στόχου για την αύξηση του ποσοστού χρήσης ΑΠΕ στον κλάδο της ενέργειας αναγνωρίζεται από τις αρχές (Biomass Action Plan, 2005) και αντανακλάται στα Εθνικά Σχέδια Δράσεις για τις ΑΠΕ πολλών Ευρωπαϊκών χωρών.

Ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα είναι ως επί το πλείστον εξαρτώμενος από τις θερμοηλεκτρικές λιγνιτικές μονάδες που παράγουν άνω του 55% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Αν και η σταδιακή απόσυρση παλαιών μονάδων και η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από ΑΠΕ που προβλέπεται από το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις ΑΠΕ, ο λιγνίτης θα παραμείνει για τριάντα ακόμα χρόνια η πιο σημαντική συνιστώσα του εθνικού ενεργειακού ισοζυγίου εισφέροντας, όμως, παράλληλα σε μεγάλα επίπεδα εκπομπών CO<sub>2</sub>. Επομένως, η μικτή καύση μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα (Karampinis E, Grammelis P, Kakaras E, 2011).

Σε χώρες της Δυτικής και Βόρειας Ευρώπης, όπως το Βέλγιο, η Ολλανδία και η Δανία, η εφαρμογή μικτής καύσης σε ανθρακικές μονάδες βοηθήθηκε από την εύκολη πρόσβαση σε μια διεθνή αγορά τυποποιημένων βιοκαυσίμων. Αντίθετα στην Ελλάδα, τόσο το χαμηλότερο κόστος του λιγνίτη όσο και η απόσταση των μονάδων από τους κύριους λιμένες οδηγούν την αγορά στην αναζήτηση λύσεων με εγχώριες πηγές βιομάζας, είτε αγροτικά υπολείμματα είτε δυνητικά πώδεις ενεργειακές καλλιέργειες (Karampinis E, Grammelis P, Kakaras E, 2011). Ωστόσο, τα καύσιμα αυτά θεωρούνται ως πιο «προβληματικά» για τους χειριστές των μονάδων καθώς χαρακτηρίζονται από υψηλότερες περιεκτικότητες σε χλώριο και αλκάλια, και επιτείνουν το σχηματισμό επικαθήσεων / επισκωρώσεων στο λέβητα καθώς και την εμφάνιση διαβρωτικών συνθηκών (Salmenoja K et. al 1996).

Η εισαγωγή βιομάζας στο καύσιμο μίγμα ενός ανθρακικού σταθμού ενδέχεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις και στις δυνατότητες αξιοποίησης της τελικά παραγόμενης τέφρας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η αυξημένη περιεκτικότητα των ανόργανων μερών των περισσότερων στερεών βιοκαυσίμων σε στοιχεία όπως τα αλκάλια και ο φώσφορος ενδέχεται να επηρεάσει τις ιδιότητες της ιπτάμενης τέφρας και επομένως να αποκλείσει κάποιες από τις συμβατικές μεθόδους αξιοποίησής της. Το γεγονός αυτό μπορεί να θέσει περιορισμούς στο άνω όριο της υποκατάστασης βιομάζας στο καύσιμο μείγμα.

Κατά καιρούς έχουν εξετασθεί διάφορα αγροτικά παραπροϊόντα ως φορείς βιομάζας. Μεταξύ αυτών η αγριαγκινάρα αποτελεί ένα καύσιμο βιομάζας που θεωρείται υποσχόμενο για την καλλιέργειά του σε χώρες της Νότιας Ευρώπης (Fernández J et. al, 2005) και έχει εξεταστεί ως δυνητικό καύσιμο υποκατάστασης ανθρακικών καυσίμων σε αρκετές μελέτες (Karampinis E et. al, 2001) (Pallarés J et. al, 2009) (Aho M et. al, 2008) (Bartolome C et. al, 2010) (Karampinis E et. al, 2011) (Fuller A et. al, 2011).

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η προκαταρκτική πειραματική διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης ιπτάμενης τέφρας από μικτή καύση ελληνικού λιγνίτη / αγριαγκινάρας αντί της ασβεστούχου τέφρας ως πρόσθετο τσιμέντου με βάση το Πρότυπο EN 197-1 για τους τύπους CEM II και CEM IV. Προς το σκοπό αυτό παρουσιάζονται οι χημικές ιδιότητες καθώς και οι πιο σημαντικές μηχανικές ιδιότητες με βάση τις τέφρες που προέρχονται τόσο από δοκιμές πιλοτικής κλίμακας όσο και από δοκιμές μικτής καύσης σε λιγνιτική μονάδα της ΔΕΗ. Με βάση τα αρχικά αποτελέσματα από τις αντοχές, θα εξετασθούν στην συνέχεια τόσο περισσότερα δείγματα, όσο και το σύνολο των μηχανικών χαρακτηριστικών.

Το στερεό βιοκαύσιμο που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της μελέτης είναι η ενεργειακή καλλιέργεια αγριαγκινάρα (*Cynara Cardunculus*), ενώ ως καύσιμο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ελληνικός λιγνίτης από τα ορυχεία που τροφοδοτούν τον ατμοηλεκτρικό σταθμό (ΑΗΣ) της Καρδιάς.

## 2 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

Πλέον συγκεκριμένα, για το σκοπό της εργασίας εξετάστηκαν τα ακόλουθα τρία δείγματα ιπτάμενων τεφρών:

- IT αναφοράς (IT) ιπτάμενη τέφρα «καθαρού» λιγνίτη, η οποία συγκεντρώθηκε στα ηλεκτροστατικά φίλτρα του ΑΗΣ Καρδιάς στις 19/10/2010 (E. Karampinis et. al, 2012).
- IT μικτής καύσης 1 (IT1): ιπτάμενη τέφρα προερχόμενη από τη μικτή καύση λιγνίτη και αγριαγκινάρας, η οποία συγκεντρώθηκε στα ηλεκτροστατικά φίλτρα του ΑΗΣ Καρδιάς στις 21/10/2010 (Τέφρα μικτής καύσης 1) (E. Karampinis et. al, 2012).
- IT μικτής καύσης 2 (IT2) : ιπτάμενη τέφρα προερχόμενη από τη μικτή καύση λιγνίτη και αγριαγκινάρας, η οποία συγκεντρώθηκε από τα ηλεκτροστατικά φίλτρα της πιλοτικής μονάδα 0.5 MWth του Πανεπιστημίου της Στουτγάρδης κατά τη διάρκεια εκτέλεσης δοκιμών (13/7/2010) (Fuller A et. al, 2011).

Και στις δυο περιπτώσεις μικτής καύσης, η αγριαγκινάρα υποκατέστησε το λιγνίτη σε ποσοστό περίπου 10% επί της θερμικής ισχύος (περίπου 3,5 – 4,0 % κ.β.).

Πίνακας 1 Ανάλυση καυσίμων από δοκιμές μικτής καύσης στον ΑΗΣ Καρδιάς

	Λιγνίτης	Αγριαγκινάρα	Μίγμα καυσίμου
Υγρασία (% wt, ar)	53.73	11.23	52.29
Πτητικά (% wt, db)	44.30	74.00	45.17
Τέφρα (% wt, db)	30.66	7.15	31.77
Μόνιμος άνθρακας (% wt, db)	25.04	18.85	23.05
C (% wt, daf)	61.95	50.37	60.52
H (% wt, daf)	4.30	6.74	4.70
N (% wt, daf)	1.65	0.82	1.65
S (% wt, daf)	0.84	0.26	0.98
Cl (% wt, daf)	n.d.	0.5	n.d.

O (% wt, daf)	31.25	41.31	33.65
KΘI (MJ/kg, ar)	5.35	15.22	5.28

Τα βασικά χαρακτηριστικά καυσίμων και των προκυπτουσών τεφρών φαίνονται αντιστοίχως στους πίνακες 1 και 2. Ο πίνακας 3 περιλαμβάνει τις χημικές αναλύσεις εστιασμένες στους επιμέρους χημικούς παράγοντες που θεωρούνται κομβικοί για τον χαρακτηρισμό των ιπταμένων τεφρών ως συνείσακτων στο τσιμέντο. Τέλος στο σχήμα 1 περιέχονται οι κοκκομετρικές αναλύσεις των τριών δειγμάτων.

Από τον πίνακα 1 παρατηρούνται τα σημαντικά μικρότερα ποσοστά τέφρας και υγρασίας που προέρχονται από την αγριαγκινάρα σε σχέση με τον λιγνίτη

Πίνακας 2. Ανάλυση εργαστηριακών τεφρών καυσίμων

	Λιγνίτης	Αγριαγκινάρα	Μίγμα καυσίμου
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.00	3.33	10.93
CaO	50.80	36.39	44.93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.12	1.68	5.50
K <sub>2</sub> O	0.78	23.65	1.07
MgO	3.80	5.45	3.73
Na <sub>2</sub> O	0.32	12.42	0.52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.27	4.02	0.31
TiO <sub>2</sub>	0.43	0.10	0.48
SiO <sub>2</sub>	23.50	7.92	27.15
SO <sub>3</sub>	4.82	5.04	5.06

Στον πίνακα 2 φαίνονται τα πολύ αυξημένα ποσοστά αλκαλίων και φωσφόρου στην τέφρα αγριαγκινάρας και το σημαντικά μειωμένο ποσοστό SiO<sub>2</sub> σε σχέση με την τέφρα λιγνίτη. Τα οξείδια αργιλίου, σιδήρου και ασβεστίου εμφανίζονται σε σχετικά μικρότερες τιμές, ενώ τα θειικά τέλος είναι στην ίδια τάξη.

Πίνακας 3 Χημικές αναλύσεις των τριών δειγμάτων στα χημικά χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν την συμβατότητα τους με το τσιμέντο

Δείγμα ιπτάμενης τέφρας	fCaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	δραστικό SiO <sub>2</sub> (%)	Cl (%)	SO <sub>3</sub> (%)
IT	14.7	25.5	21.7	0.163	5.23
IT1	15.7	27.5	22.8	0.141	4.76
IT2	23.8	20.2	17.0	0.142	5.48

Θα πρέπει ευθύς εξ αρχής να σημειωθεί ότι το ποσοστό συμμετοχής της τέφρας της αγριαγκινάρας στο σύνολο της τέφρας της μικτής καύσης είναι πολύ μικρό, αν συνυπολογιστούν ι) ότι αυτή συμμετέχει περί το 4% κ.β. στο μίγμα του καυσίμου ενώ παράλληλα ιι) ότι έχει σημαντικά μικρότερο ποσοστό τέφρας. Η παρατήρηση αυτή

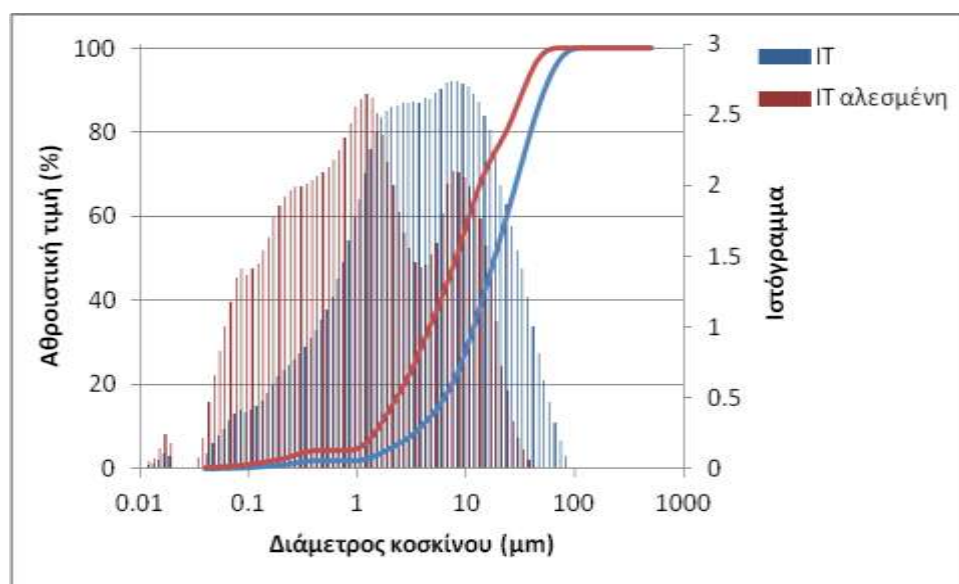
δικαιολογεί τις αρκετά σχετικές τιμές της IT1 σε σχέση με την IT, ενώ παράλληλα σημειώνονται οι μικρές «θετικές αποκλίσεις» στο δραστικό πυρίτιο, στα χλωρίοντα και στα θειικά. Η υψηλή τιμή του fCaO δεν αξιολογείται καθώς είναι προϊόν καύσης στον ΑΗΣ Καρδιάς που, ως γνωστό χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές ασβεστίου και fCaO.

Ιδιαίτερου ενδιαφέροντος είναι η διαφοροποίηση μεταξύ της IT1 και της IT2 με την δεύτερη να δείχνει χειρότερη εικόνα ως πρόσθετο στο τσιμέντο κατά EN197-1 (μεγαλύτερο fCaO, μικρότερο δραστικό πυρίτιο)

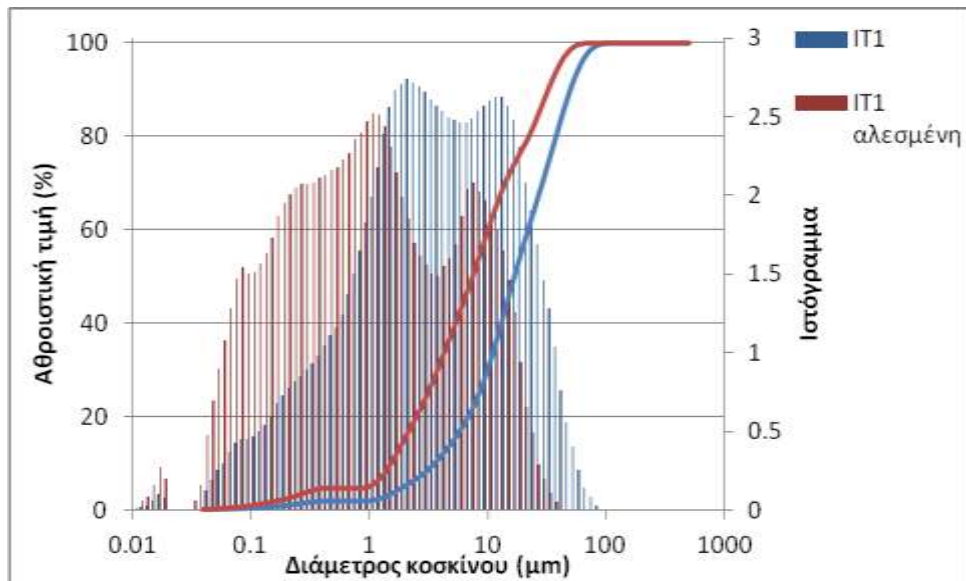
Πολύ σημαντικός παράγοντας χαρακτηρισμού των τριών τεφρών θεωρήθηκε η κοκκομετρική τους ανάλυση. Πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική ανάλυση με laser και για τις τρεις εξεταζόμενες τέφρες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως έχουν για τα περισσότερα αναμείγματα τσιμέντου που θα αναφερθούν στη συνέχεια, ενώ οι IT και IT1 χρησιμοποιήθηκαν και σε αλεσμένη μορφή. Η IT2 θεωρήθηκε αρκετά λεπτόκοκκη και δεν κρίθηκε σκόπιμο να αλεστεί περαιτέρω. Η κοκκομετρική κατανομή των τεφρών ως έχουν και αλεσμένες φαίνεται στον Πίνακα 4 και στα Διαγράμματα 1, 2 και 3.

Πίνακας 3. Κοκκομετρική ανάλυση τριών δειγμάτων τεφρών

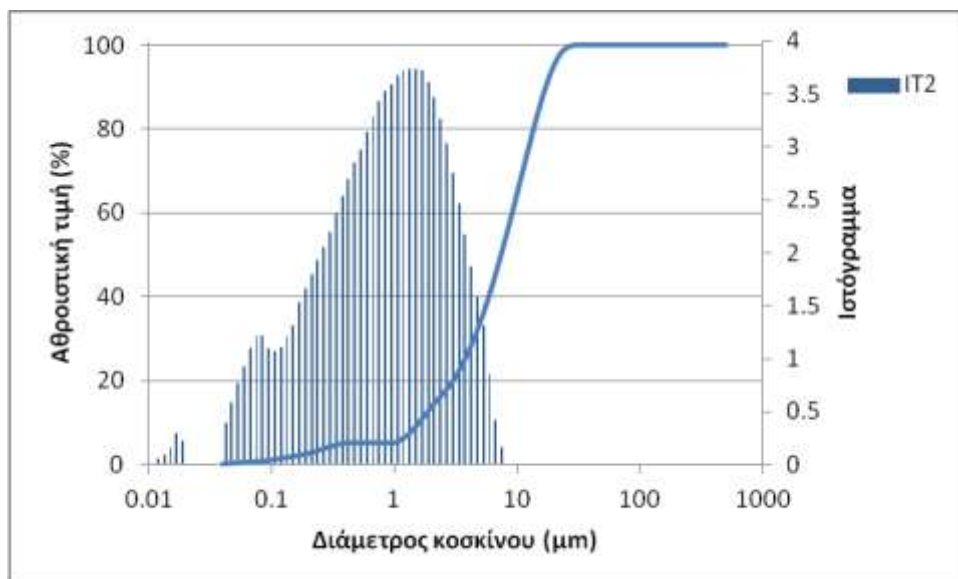
Δείγμα ιπτάμενης τέφρας	% w/w διερχόμενο				
	3μm	32μm	45μm	90μm	200μm
IT	7.59	72.26	85.22	99.45	100.00
IT αλεσμένη	22.26	88.70	96.95	100.00	100.00
IT1	8.08	73.61	86.48	99.77	100.00
IT1 αλεσμένη	23.93	89.59	97.27	100.00	100.00
IT2	19.89	100.00	100.00	100.00	100.00



Διάγραμμα 1. Κοκκομετρική κατανομή IT (ως έχει και αλεσμένη)



Διάγραμμα 2. Κοκκομετρική κατανομή IT1 (ως έχει και αλεσμένη)



Διάγραμμα 3. Κοκκομετρική κατανομή IT2 (ως έχει)

### 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τα τρία δείγματα τεφρών χρησιμοποιήθηκαν ως έχουν και αλεσμένα (στην περίπτωση των IT και IT1) σε διάφορα ποσοστά υποκατάστασης σε αναμείγματα τσιμέντου. Εν συνεχεία, τα αναμείγματα μελετήθηκαν ως προς τις θλιπτικές τους αντοχές για τις ηλικίες 1, 2, 7 και 28 ημερών σύμφωνα με το πρότυπο EN 196/1. Η κωδικοποίηση και ανάλυση των συνθέσεων καθώς και τα αποτελέσματα των αντοχών των δοκιμίων φαίνονται στους Πίνακες 4 και 5 και στα Διαγράμματα 4-6 αντίστοιχα.

Αρχικά φαίνεται ότι για την IT τα ποσοστά αντικατάστασης 20 και 30% επιφέρουν ιδιαίτερη μείωση των αντοχών των συνθέσεων ενώ για την IT1 τα ποσοστά αυτά δεν είναι απαγορευτικά. Πιθανότατα, η καλύτερη απόδοση της IT1 σε σχέση με την IT βασίζεται στο μεγαλύτερο ποσοστό δραστικού SiO<sub>2</sub> της πρώτης σε σχέση με την δεύτερη. Η καλή συμπεριφορά της IT2, παρά την μικρότερη περιεκτικότητα σε δραστικό SiO<sub>2</sub> και την μεγαλύτερη σε CaOf πιθανόν δικαιολογείται από την μεγάλη

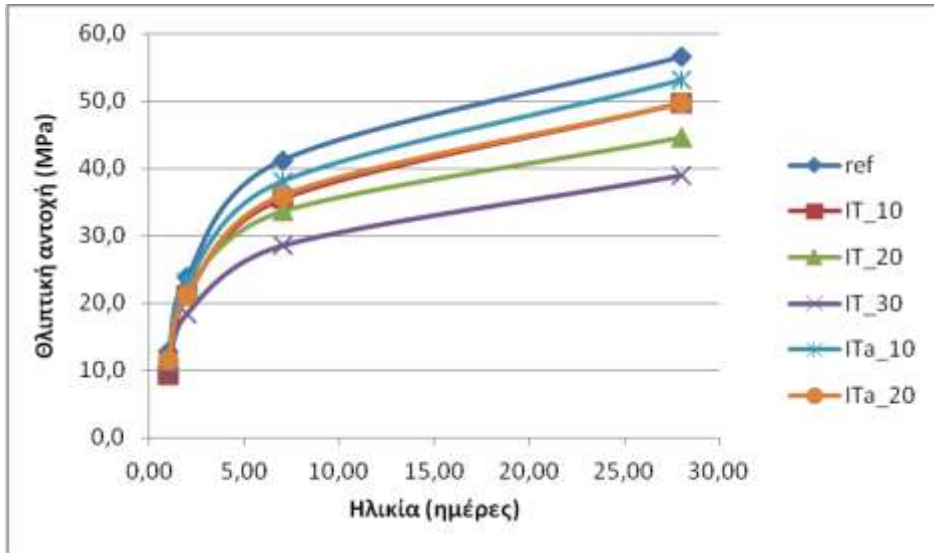
λεπτότητα της συγκεκριμένης τέφρας (<30μm) γεγονός που οφείλεται στην διαδικασία παραγωγής της συγκεκριμένης τέφρας (εργαστηριακός φούρνος) και όχι στην ποιότητα του καυσίμου. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι αλεσμένες τέφρες (ITα) επιδεικνύουν καλύτερα αποτελέσματα από τις ακατέργαστες με την IT1α να εμφανίζει πάλι υπεροχή σε σχέση με την ITα.

Πίνακας 4. Κωδικοποίηση και περιγραφή των συνθέσεων

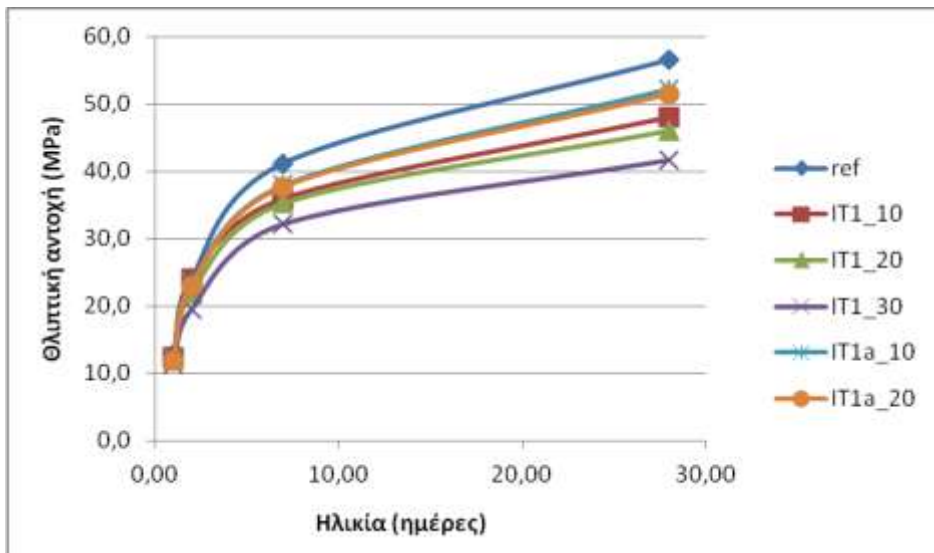
κωδικός	Περιγραφή
ref	CEM I 42,5
IT_10	90% CEM I 42,5 + 10% IT
IT_20	80% CEM I 42,5 + 20% IT
IT_30	70% CEM I 42,5 + 30% IT
IT1_10	90% CEM I 42,5 + 10% IT1
IT1_20	80% CEM I 42,5 + 20% IT1
IT1_30	70% CEM I 42,5 + 30% IT1
IT2_10	90% CEM I 42,5 + 10% IT2
IT2_20	80% CEM I 42,5 + 20% IT2
IT2_30	70% CEM I 42,5 + 30% IT2
ITα_10	90% CEM I 42,5 + 10% IT αλεσμένη
ITα_20	80% CEM I 42,5 + 20% IT αλεσμένη
IT1α_10	90% CEM I 42,5 + 10% IT1 αλεσμένη
IT1α_20	80% CEM I 42,5 + 20% IT1 αλεσμένη

Πίνακας 5. Θλιπτικές αντοχές συνθέσεων τσιμέντου

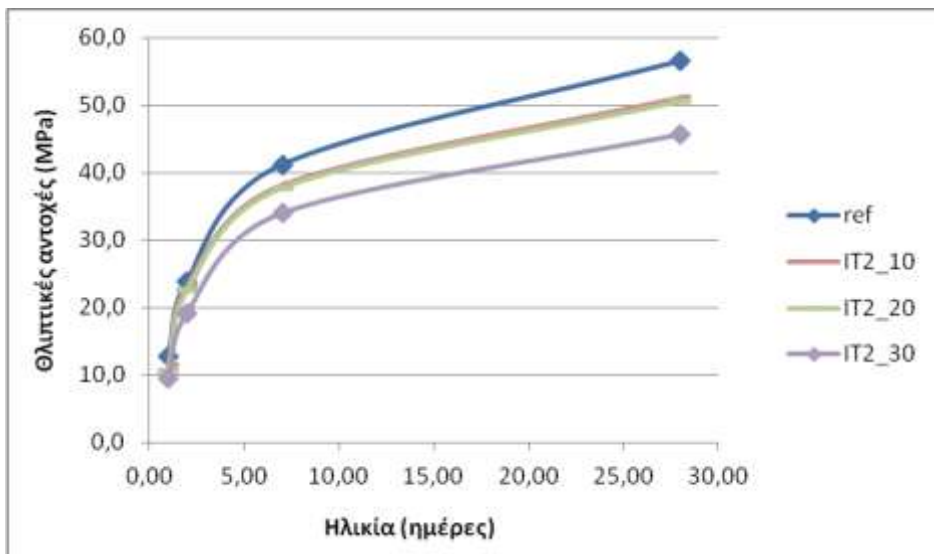
κωδικός	1 ημέρα		2 ημέρες		7 ημέρες		28 ημέρες	
	MPa	% ref	MPa	% ref	MPa	% ref	MPa	% ref
ref	12,7	100%	23,9	100%	41,2	100%	56,6	100%
IT_10	9,4	74%	21,1	88%	35,5	86%	49,7	88%
IT_20	11,4	90%	22,3	93%	33,6	82%	44,7	79%
IT_30	9,4	74%	18,4	77%	28,5	69%	39,0	69%
IT1_10	12,4	98%	24,1	101%	35,9	87%	48,0	85%
IT1_20	12,0	95%	21,9	92%	35,3	86%	46,1	81%
IT1_30	11,3	89%	19,5	81%	32,2	78%	41,7	74%
IT2_10	11,6	91%	23,3	97%	38,2	93%	51,2	90%
IT2_20	10,6	84%	22,6	94%	37,7	92%	50,5	89%
IT2_30	9,4	74%	19,2	80%	34,0	83%	45,7	81%
ITα_10	11,4	90%	23,1	96%	38,1	92%	53,1	94%
ITα_20	11,4	90%	21,2	89%	35,9	87%	49,6	88%
IT1α_10	12,4	98%	23,4	98%	38,0	92%	52,3	92%
IT1α_20	11,9	94%	22,9	96%	37,7	92%	51,4	91%



Διάγραμμα 4. Θλιπτικές αντοχές συνθέσεων που περιέχουν IT



Διάγραμμα 5. Θλιπτικές αντοχές συνθέσεων που περιέχουν IT1



Διάγραμμα 6. Θλιπτικές αντοχές συνθέσεων που περιέχουν IT2



#### 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με κριτήριο τις αντοχές και συγκρίνοντας όχι τα αποτελέσματα της αντικατάστασης του CEM I 42,5 με ποσοστά λιγνιτικής ΙΤ τα οποία για τις δεδομένες τέφρες Καρδιάς δείχνουν λογικά με αναμενόμενη μείωση, ιδίως στα μεγαλύτερα ποσοστά αντικατάστασης, αλλά τα αντίστοιχα ποσοστά της ΙΤ με τις ΙΤ1 και ΙΤ2, παρατηρείται ότι σε όλα τα ποσοστά αντικατάστασης η προσθήκη της τέφρας της αγριαγκινάρας βελτιώνει την εικόνα της αμιγούς τέφρας Καρδιάς. Η ΙΤ2 εμφανίζεται καλύτερη στα αντίστοιχα ποσοστά από την ΙΤ1 λόγω της σημαντικά μεγαλύτερης λεπτότητας της ( $100\% < 32\mu\text{m}$ ). Οι αλεσμένες τέφρες έδειξαν την αναμενόμενη βελτίωση στις αντοχές.

Επομένως, η θετική εικόνα από την χρήση τέφρας μικτής καύσης με κριτήριο τις αντοχές είναι δεδομένη. Για την εξαγωγή όμως ασφαλέστερων συμπερασμάτων θα πρέπει να πραγματοποιηθεί το σύνολο των προβλεπόμενων μηχανικών δοκιμών καθώς και των τεστ ανθεκτικότητας.

Με βάση τα αρχικά αυτά αποτελέσματα, η επέκταση των δοκιμών με: ι) προσθήκη της αγριαγκινάρας σε άλλο ΑΗΣ, εάν αυτό είναι εφικτό, καθώς και ιι) υποκατάσταση του λιγνίτη με μεγαλύτερο ποσοστό βιομάζας, εάν εξασφαλίζονται τα θερμικά φορτία, δείχνει ενδιαφέρουσα από πλευράς της προοπτικής που αντιμετωπίζεται με την παρούσα εργασία.

#### 5 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε με την οικονομική υποστήριξη του 7<sup>ου</sup> Προγράμματος Πλαισίου στα πλαίσια του έργου DEBCO (<http://www.debco.eu>, αριθμός συμβολαίου no. 218968). Επίσης, οι συγγραφείς ευχαριστούν το προσωπικό της ΔΕΗ Α.Ε. / ΑΗΣ Καρδιάς και του Πανεπιστημίου της Στουτγάρδης για την υποστήριξή τους.

#### 6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Biomass Action Plan [COM(2005) 628 final – Official Journal C 49 of 28.02.2005]

Karampinis E, Grammelis P, Kakaras E. Current Status and Future of Co-firing in Five EU Countries (BE, GR, HU, IT, PO): Effect of Support Schemes, Sustainability Criteria and Biomass Markets. Proceedings of the 19th European Biomass Conference 2011, 2517-2522.

Salmenoja K, Mäkelä M, Hupa M, Backman R. Superheater corrosion in environments containing potassium and chlorine. J Inst Energy 1996;69:155–162 .

Fernández J, Curt MD. State of the art of Cynara L. as an energy crop, Proceedings of the 14th European Biomass Conference 2005, 22–27.

Karampinis E, Nikolopoulos N, Nikolopoulos A, Grammelis P, Kakaras E. Numerical investigation of Greek lignite/cardoon co-firing in a tangentially fired furnace. Applied Energy 2011;

Pallarés J, Gil A, Cortés C, Herce C. Numerical study of co-firing coal and Cynara cardunculus in a 350 MWe utility boiler. Fuel Process Technol 2009;90: 1207-1213.

Aho M, Taipale R, Vainikka P, Vesala H. A pilot-scale fireside deposit study of co-firing Cynara with two coals in a fluidised bed. *Fuel* 2008; 87:58-69.

Bartolome C, Gill A, Ramos I. Ash deposition behavior of cynara-coal blends in a PF pilot furnace. *Fuel Process Technol* 2010; 91:1576-1584.

Karampinis E, Fuller A, Sissot F, Grammelis P, Maier J, Rossi F, Scheffknecht G, Krautz M, Kakaras E. Greek lignite / cardoon co-firing: from cultivation to combustion trials, *Proceedings of ECOS 2011*, 3719-3732.

Fuller A, Kruczek H, Karampinis E, Maier J, Scheffknecht G, The Combustion Behavior of an Agricultural Biomass in a 0.5 MW Pilot-scale Test Facility, *Proceedings of the 36th International Technical Conference on Clean Coal & Fuel Systems 2011*, 820-834.

E. Karampinis, P. Grammelis, A. Nikolopoulos, N. Nikolopoulos, E. Kakaras, A. Fuller, E. Miller, J. Maier, J. Kalivodova, M. Michel, I. Tsolakidis, Greek lignite / cardoon co-firing in pulverized fuel power plants, *International Conference on Applied Energy, ICAE 2012, Jul 5-8, 2012, Suzhou, China*

Fuller A., Kruczek H., Karampinis E., Maier J., Scheffknecht G., 2011, The Combustion Behavior of an Agricultural Biomass in a 0.5 MW Pilot-scale Test Facility, *Proceedings 36th International Technical Conference on Clean Coal & Fuel Systems, June 5-9, 2011, Clearwater, Florida, USA.*