

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Χ. Τέας, Β. Καλημέρης, Φ. Ριζιώτη, Ε. Χανιωτάκης
ΑΕ Τσιμέντων ΤΙΤΑΝ, Εργοστάσιο Καμαρίου, 19200 Ελευσίνα, τηλ. 210 -5537963

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η υποκατάσταση της χρήσης ορυκτών καυσίμων και pet-coke στην παραγωγική διαδικασία τσιμέντου από εναλλακτικά καύσιμα προερχόμενα από μείγματα βιομάζας και διυλιστηριακών υπολειμμάτων και ελαστικών αποτελεί αυξανόμενη πρακτική στην βιομηχανία. Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων βελτιώνει το ενεργειακό ισοζύγιο και συμβάλλει στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου, αφού μειώνεται η χρήση ορυκτών πόρων. Η επίδραση των εναλλακτικών καυσίμων στη παραγωγική διαδικασία σχετίζεται με θέματα ποιότητας τσιμέντου λόγω των συστατικών του καυσίμου αλλά και με θέματα παραγωγικής διαδικασίας λόγω του διαφορετικής συμπεριφοράς στην καύση. Επιπλέον οι περιβαλλοντικοί όροι λειτουργίας των βιομηχανιών εγκαταστάσεων πρέπει να μην επηρεάζονται από την προσθήκη αυτών των υλικών. Τα αποτελέσματα σε εργαστηριακό και βιομηχανικό επίπεδο δείχνουν ότι υποκατάσταση σε επίπεδα κάτω από 10% δεν επηρεάζει τις συνθήκες λειτουργίας και την ποιότητα του προϊόντος ενώ είναι σκόπιμη η περαιτέρω διερεύνηση για αυξημένες ποσότητες.

Λέξεις κλειδιά: τσιμέντο, εναλλακτικά καύσιμα, λάστιχα

ALTERNATIVE FUELS IN CEMENT PRODUCTION PROCESS

C. Teas, V. Kalimeris, F. Rizioti, E. Haniotakis

TITAN Cement SA, Kamari Plant, 19200 Elefsina, tel. +30-210-5537739

ABSTRACT: The substitution of fossil fuels and pet-coke in cement production process by alternative fuels derived from biomass and oil sludge mixtures and tyres is an increasing practice in industry. The use of secondary fuels improves energy balance and has a positive effect on greenhouse effect as it reduces the use of fossil fuels. The effect of secondary fuels in the manufacturing process is related not only to cement quality due to fuel constituents but also to process parameters due to differences in combustion characteristics. Furthermore, the environmental performance of industrial plants must comply with certain limits when using these materials. Laboratory and industrial scale results show that substitution at levels <10% does not affect operating conditions and product quality. Therefore, the need for further investigation regarding greater substitution levels is apparent.

Keywords: cement, alternative fuels, tyres

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ετησίως το ενεργειακό ισοδύναμο περίπου $25 \cdot 10^6$ τόνων κάρβουνου απαιτείται από τα μέλη του CEMBUREAU για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ενέργειας στην Ευρώπη. Αυτή αποτελεί μία σημαντική χρήση μη ανανεώσιμων πρωτογενών ορυκτών καυσίμων και γι' αυτό το λόγο η βιομηχανία αναζητεί πιο οικονομικούς ενεργειακά τρόπους παραγωγής τσιμέντου καθώς και εναλλακτικές ενεργειακές μορφές (CEMBUREAU 1997).

Η χρήση εναλλακτικών καυσίμων είναι μία καλά τεκμηριωμένη και οργανωμένη τεχνολογία στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρωπαϊκής τσιμεντοβιομηχανίας για πάνω από 15 έτη. Από το 1995 τουλάχιστον 10% της ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρωπαϊκή τσιμεντοβιομηχανία προσερχόταν από την χρήση εναλλακτικών καυσίμων. Το ποσοστό αυξάνεται σταδιακά και ποσοστά ανώτερα του 50% είναι εφικτά υπό προϋποθέσεις. Τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί σαν εναλλακτικά καύσιμα στην τσιμεντοβιομηχανία περιλαμβάνουν λάστιχα αυτοκινήτων, πλαστικά, απορρίμματα χαρτιού, χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια, πριονίδι και διαλύτες.

Τα στοιχεία που υπάρχουν για την υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων στην Ευρώπη δείχνουν μία αυξανόμενη τάση της χρήσης των εναλλακτικών καυσίμων. Η τάση στην Γερμανική τσιμεντοβιομηχανία παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 1. Ποσοστά υποκατάστασης συμβατικών καυσίμων (FLS, 2005)

Έτος	1997	1998	1999	2001
%	15.7	18.8	23.0	30.0
Τύποι εναλλακτικών καυσίμων, 2001				
Υλικό		10^3 t/y	CV, MJ/Kg	
Λάστιχα		234	26	
Ελαιώδη υλικά		128	34	
Υλικά συσκευασίας		418	22	
Πριονίδι		72	14	
Διαλύτες		33	22	
RDF		102	15	
Λευκαντική γαία		29	14	
Ζωικά απορρίμματα		245	17	
Διάφορα		84	12	

ΚΑΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Η χρήση απορριμμάτων ως εναλλακτικά καύσιμα στην τσιμεντοβιομηχανία έχει πλείστα περιβαλλοντικά οφέλη όπως (Γαλανούλης, 2000):

- Μείωση της χρήσης ορυκτών μη ανανεώσιμων καυσίμων όπως το κάρβουνο καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εξόρυξη και διακίνηση τους.
- Συνεισφορά στη μείωση εκπομπών όπως τα αέρια θερμοκηπίου από την αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων από υλικά που σε αντίθετη περίπτωση θα αποτεφρώνονταν με ανάλογες εκπομπές και υπολείμματα.

- Μειστοποίηση της ανάκτησης ενέργειας από τα απορρίμματα. Το σύνολο της ενέργειας χρησιμοποιείται απευθείας για την παραγωγή κλίνκερ.
- Μειστοποίηση της ανάκτησης των μη καυσίμων των απορριμμάτων και ελάττωση της ανάγκης απόθεσης τυχόν υπολειμμάτων αφού το ανόργανο μέρος παραμένει στο προϊόν.

Η χρήση των απορριμμάτων ως εναλλακτικά καύσιμα είναι τεχνικά εφικτή αφού το οργανικό μέρος καταστρέφεται ενώ το ανόργανο δεσμεύεται και ενώνεται στο παραγόμενο προϊόν. Οι κλίβανοι της τσιμεντοβιομηχανίας έχουν χαρακτηριστικά που τους κάνουν ιδανικές και ασφαλείς εγκαταστάσεις για εναλλακτικά καύσιμα, όπως:

- Υψηλές θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία έψησης είναι 1450° C και η θερμοκρασία της φλόγας σχεδόν 2000° C.
- Μεγάλος χρόνος παραμονής
- Οξειδωτική ατμόσφαιρα για πλήρη καύση των οργανικών.
- Αλκαλικό περιβάλλον για τη δέσμευση χλωρίου και θείου.
- Συγκράτηση της τέφρας στο προϊόν.
- Συνεχής και σταθερή λειτουργία και έλεγχος εκπομπών.

Βασικές προϋποθέσεις για την χρήση ενός εναλλακτικού καυσίμου αποτελούν πέραν της ικανοποιητικής θερμογόνου δύναμης και τα ακόλουθα σημεία:

- Να μην υπάρχει αρνητική επίδραση στο περιβάλλον και την υγεία των εργαζομένων.
- Να μην επηρεάζεται αρνητικά η ποιότητα του προϊόντος και η παραγωγική διεργασία.
- Ύπαρξη οικονομικού οφέλους για τον χρήστη.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Προ της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων (ελαστικά αυτοκινήτων και εναλλακτικό στέρεο καύσιμο) η ΑΕ Τσιμεντών ΤΙΤΑΝ είχε προχωρήσει σε βιομηχανικού επιπέδου δοκιμές για την μελέτη της χρήσης τους στην παραγωγική διαδικασία. Έτσι υπάρχουν στοιχεία για την επίδραση των εναλλακτικών καυσίμων στην ποιότητα του παραγόμενου κλίνκερ τόσο με χρήση ελαστικών όσο και με χρήση υγρού εναλλακτικού καυσίμου (Pirilikaki 2005, Συμεωνίδης 2000). Κατά την διάρκεια των ελεγχόμενων δοκιμών πλέον των χαρακτηριστικών του κλίνκερ, έγινε δειγματοληψία αερίων εκπομπών και δειγμάτων από το κύκλωμα. Η υποκατάσταση του καυσίμου έγινε σε ποσοστό ~6% στην περίπτωση των ελαστικών και σε ποσοστά ~10, 20, 30% στην περίπτωση του υγρού εναλλακτικού καυσίμου. Η χρήση των ελαστικών αυτοκινήτων αποτελεί μάλλον την πλέον ελκυστική μορφή εναλλακτικών καυσίμων αφού ακόμα και παλαιότερα δεδομένα δείχνουν ότι στην Ελλάδα υπάρχει ποσότητα περίπου 60.000 τόνων μεταχειρισμένων ελαστικών, ετησίως (Γκίζας, 2000).

Κατά τις δοκιμές με χρήση ελαστικών στο παραγόμενο κλίνκερ προέκυψε ότι η ποιότητα του παραγόμενου κλίνκερ δεν επηρεάστηκε όσον αφορά τις αντοχές (Πίνακας 1). Μόνη επίπτωση υπήρχε στον χρόνο πήξης του τσιμέντου εξ' αιτίας της αύξησης του ποσοστού ολικού Ζn στο κλίνκερ, που είναι μια αναμενόμενη επίδραση (Hewlett, 1988). Εντούτοις το ποσοστό υδατοδιαλυτού Ζn παρέμεινε σταθερό δείχνοντας ότι ενσωματώνεται στο παραγόμενο προϊόν.

Πίνακας 2. Ιδιότητες τσιμέντου

	Blaine	IST, min	FST, min	H ₂ O	1	2	7	28
Χωρίς ελαστικά	3860	115	180	25,6	20	29,5	43	62
Με ελαστικά	3680	170	220	27,4	17,5	30,4	46,7	62,3

Επιπλέον οι μετρήσεις εκπομπών που έγιναν δείχνουν ότι ακόμα και με 30% υποκατάσταση καυσίμου από υγρά εναλλακτικά καύσιμα τηρούνται οι περιβαλλοντικοί όροι του εργοστασίου.

Πίνακας 3. Τεχνικά χαρακτηριστικά γραμμής ελαστικών (Συμεωνίδης, 2000)

Ποσοστό θερμιδικής υποκατάστασης, %	10	20	30	KMP*
Παροχή εναλλακτικού καυσίμου (tn/h)	1.272	2,544	3,817	
Όρια εκπομπής ρύπου(mg/Nm ³) ΚΥΑ 2487/455 ΦΕΚ 196/8-3-99				
Σκόνη	95	89	85	56
CO	5720	5382	5047	1930
HF	1	1	1	0,030
HCl	10	10	10	0,630
SO ₂	380	360	340	219
Cd + Tl	0,1	0,1	0,1	0,078
Hg	0,1	0,1	0,1	0,015
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V + Sn	1	1	1	0,460

* ενδεικτικές μετρηθείσες τιμές

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Στην συνέχεια όλων των δοκιμών που έγιναν για την αξιολόγηση της χρήσης εναλλακτικών καυσίμων έγινε η εγκατάσταση των γραμμών τροφοδοσίας ελαστικών και εναλλακτικών καυσίμων. Τα χαρακτηριστικά των δύο γραμμών τροφοδοσίας φαίνονται στους ακόλουθους πίνακες.

Πίνακας 4. Τεχνικά χαρακτηριστικά γραμμής ελαστικών

Υλικό προς καταστροφή	ελαστικά αυτοκινήτων	
Μέγιστη ωριαία ανάλωση (t/h)	2,5	
Ωριαία ανάλωση στον ΠΚ2 Καμαρίου (t/h)	1,0-1,5	
Μέγιστη ποσότητα αναλίσκόμενων ελαστικών (τεμ/h)	313	
Διαστάσεις ελαστικών	min	max
Διάμετρος (mm)	300	1400
πάχος (mm)	100	400
βάρος (kg)	6	60

Πίνακας 5. Τεχνικά χαρακτηριστικά γραμμής εναλλακτικών καυσίμων

Υλικό προς καταστροφή	κατάλοιπα δεξαμενών με πριονίδι	
Μέγιστη ωριαία ανάλωση (t/h)	12	
Ελάχιστη ωριαία ανάλωση (t/h)	1,2	
Ωριαία ανάλωση στον ΠΚ1 Καμαρίου (t/h)	1,5-2,5	
Φυσικά χαρακτηριστικά υλικού τροφοδοσίας	min	max
Πυκνότητα (tn/m ³)	0,1	0,5
μέγεθος (mm)	10	50
θερμοκρασία (°C)		40

Επιπλέον καθορίστηκαν οι απαιτήσεις για την προμήθεια του εναλλακτικού καυσίμου που παραλαμβάνει ο Τιτάνας από τον προμηθευτή και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά εναλλακτικού καυσίμου

Προδιαγραφή	Μονάδα
ΑΘΔ	Cal/g
ΚΘΔ	Cal/g
Υγρασία	%
Πτητικά	%
Τέφρα	%
Αναλογία ιζημάτος / πριονίδι	%
Χλώριο	%
Θείο	%
Αλκάλια	%
Ιχνοστοιχεία	ppm

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τα εναλλακτικά καύσιμα παρουσιάζουν τις ακόλουθες ιδιότητες που οδηγούν σε αυξημένη θερμидική κατανάλωση και μείωση παραγωγής:

- 1) Αυξημένο ποσοστό υγρασίας
Το αυξημένο ποσοστό υγρασίας αυξάνει την ποσότητα των εκπομπών και την θερμοκρασία τους. Το αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας που απαιτούν μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου.
- 2) Μεγάλο ποσοστό τέφρας
Μεγάλο ποσοστό τέφρας μειώνει την ποσότητα τροφοδοσίας που περνά από την ζώνη προθέρμανσης και ελαττώνει την ανάκτηση θερμότητας. Πάλι δε παρατηρείται αυξημένη θερμοκρασία εκπομπών

3) Μειωμένες ιδιότητες καύσης.

Ορισμένα εναλλακτικά καύσιμα έχουν μέτρια συμπεριφορά κατά την καύση κυρίως λόγω κοκκομετρίας (πχ ολόκληρα ελαστικά στη είσοδο του κλιβάνου). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες εκπομπές CO ή αυξημένα ποσοστά O₂ για την αντιμετώπιση.

4) Μεταβαλλόμενη παροχή εναλλακτικών καυσίμων

Οι μεταβολές στην παροχή μπορεί να προέρχονται από:

- Ανομοιογένεια ιδιοτήτων καύσης (ΘΔ)
- Μεταβολές στην τροφοδοσία λόγω δύσκολων ιδιοτήτων χειρισμού

Τα παραπάνω έχουν το ίδιο αποτέλεσμα με το 3). Πάλι έχουμε αυξημένες εκπομπές CO ή αυξημένα ποσοστά O₂ για την αντιμετώπιση.

5) Είσοδος κρύου αέρα

Τα στερεά εναλλακτικά καύσιμα συνήθως θέλουν μεγαλύτερο ποσοστό αέρα για την πνευματική μεταφορά. Αυτό έχει παρόμοιο αποτέλεσμα όπως η αύξηση του αέρα στο κυρίως μπεκ και απαιτεί επιπλέον ποσοστό καυσίμου.

6) Αύξηση φαινομένων ανακυκλοφορίας

Τα φαινόμενα ανακυκλοφορίας δεν συμβαίνουν μόνο επειδή πτητικά στοιχεία με τάση ανακυκλοφορίας εισάγονται μέσω των εναλλακτικών καυσίμων αλλά και γιατί έχουμε πτωχή καύση (τοπική παραγωγή CO). Η ανακυκλοφορία επιβαρύνει την σταθερή λειτουργία του κλιβάνου, που οδηγεί σε μειωμένη παραγωγή και αυξημένη κατανάλωση.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την βιομηχανική εμπειρία είναι τα ακόλουθα:

Η βιομηχανική διαδικασία της έψησης κλίνκερ σε περιστροφική καμίνο έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει ελαστικά αυτοκινήτου και άλλα εναλλακτικά καύσιμα με υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων. Αυτό μάλιστα έχει και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα καθώς λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών και των μεγάλων χρόνων παραμονής γίνεται πλήρης καταστροφή με πυρόλυση και οξείδωση των οργανικών ενώσεων που παράγονται κατά την καύση αυτών των υλικών.

Η χρήση ελαστικών αυτοκινήτων και εναλλακτικών καυσίμων ως καύσιμο παράλληλα με το περιβαλλοντικό αποφέρει και οικονομικό όφελος, γιατί τα αυτά τα υλικά μπορούν να αποκτηθούν από τον φορέα συλλογής τους στην Ελλάδα, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα που εισάγονται.

Η μέχρι τώρα εμπειρία δείχνει ότι η θερμιδική υποκατάσταση από εναλλακτικά καύσιμα σε επίπεδα <10% είναι εφικτή χωρίς επιπτώσεις στο τελικό προϊόν και στην παραγωγική διαδικασία όπως και στο περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Συμεωνίδης, Κ. 2000. “Καθαρή καύση” οργανικών αποβλήτων στην βιομηχανία, Τσιμεντοβιομηχανία και διαχείριση ειδικών και επικίνδυνων αποβλήτων, σ. 82-85, Τεχνικά Χρονικά, Μάιος – Ιούνιος 2000.
2. Γαλανούλης, Ε. 2000. Εναλλακτικά καύσιμα στην τσιμεντοβιομηχανία, σ. 51-53, Τεχνικά Χρονικά, Μάιος – Ιούνιος 2000.

3. Γκίζας, Κ. 2000. Ο ρόλος της τσιμεντοβιομηχανίας στην διάθεση των χρησιμοποιημένων ελαστικών αυτοκινήτων, σ. 77-81, Τεχνικά Χρονικά, Μάιος – Ιούνιος 2000.
4. Pipilikaki, P. Katsioti, M. Papageorgiou, D. Fragoulis, D. Chaniotakis, E. 2005. Use of tire derived fuel in clinker burning, *Cement & concrete composites*, 27, pp. 843-847.
5. CEMBUREAU, 1997. Alternative fuels in cement manufacture.
6. FLS, 2005. International Cement Production Seminar.