

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Ε. Τσικαρδάνη, Ν. Κούκουζας, Ε. Κακαράς

*Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης – Ινστιτούτο Τεχνολογίας και Εφαρμογών
Στερεών Καυσίμων, 4^ο χλμ. Ε.Ο. Πτολεμαΐδας – Κοζάνης, Συγκρότημα ΑΕΒΑΛ, 50200 Πτολεμαΐδα*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η παρούσα εργασία υπολογίζει το κόστος των πρώτων υλών των μονάδων παραγωγής τσιμεντοπροϊόντων, και το συγκρίνει με το κόστος που προκύπτει σε περίπτωση αντικατάστασης μέρους του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου με ιπτάμενη τέφρα που μπορεί να παραχθεί από το εργοστάσιο επεξεργασίας, ενώ εκτιμώνται και τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την αντικατάσταση αυτή. Σε ότι αφορά το οικονομικό σκέλος, παρουσιάζεται μείωση του κόστους των πρώτων υλών με την αντικατάσταση - που λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος μεταφορά - η μείωση αυτή ανέρχεται στο 18 έως και 48% ανάλογα με το ποσοστό αντικατάστασης (30 – 70% αντικατάσταση τσιμέντου από ιπτάμενη τέφρα αντίστοιχα). Επίσης, προκύπτει μείωση των εκπομπών CO₂, NO_x, VOCs και CO η οποία κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική λαμβάνοντας υπόψη τις δεσμεύσεις της χώρας μας που απορρέουν από το πρωτόκολλο του Κυότο και την οδηγία 2001/81.

Λέξεις κλειδιά: ιπτάμενη τέφρα, τσιμεντοπροϊόντα

FINANCIAL AND ENVIRONMENTAL EVALUATION OF FLY ASH USE FOR THE PRODUCTION OF CEMENT PRODUCTS

E. Tsikardani, N. Koukouzas, E. Kakaras

EKETA – ITESK, 4th km Ptolemaida-Kozani, AEVAL site, 50200 Ptolemaida

SUMMARY: This study evaluates the raw materials cost for the cement-products manufacturing plants and compares this cost to the cost in the case of partial substitution of fly ash for cement. The fly ash could be produced by the fly ash processing unit. The study evaluates also the environmental benefits of this substitution. The results of the study show that the substitution alternative lowers the cost of the raw materials and – considering also the transportation costs – the decrease varies between 18% and 48% of the initial cost. This range depends on the percentage of substitution of fly ash for cement (30 – 70 %). The environmental evaluation shows that there is a reduction on CO₂, NO_x, VOCs and CO emissions which is essential according to the Kyoto Protocol and the European Directive 2001/81.

Keywords: fly ash, cement products

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επεξεργασμένη ιπτάμενη τέφρα που παράγεται από την Μονάδα Επεξεργασίας¹, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την κατασκευή τσιμεντοπροϊόντων (κυβόλιθοι, κράσπεδα κήπου και πεζοδρομίου, τσιμεντόλιθοι και τσιμεντοσωλήνες), μια και οι ιδιότητες της προσομοιάζουν σημαντικά τις ιδιότητες του τσιμέντου. Έτσι, μπορεί να αντικαταστήσει αντίστοιχες ποσότητες τσιμέντου, παράγοντας τελικά προϊόντα με πολύ καλές αντοχές και ιδιότητες. Μέχρι σήμερα έχει δοκιμαστεί η αντικατάσταση έως και 70% τσιμέντου με επεξεργασμένη ιπτάμενη τέφρα, χωρίς να υπάρξει σημαντική διαφοροποίηση των ιδιοτήτων.

Η λειτουργία της μονάδας και η ύπαρξη προδιαγραφών για την χρήση της επεξεργασμένης τέφρας στα υλικά αυτά, θα είχε ως αποτέλεσμα να τροφοδοτούνται οι επιχειρήσεις της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας κατ' αρχήν και των γύρω νομών στην συνέχεια, με επεξεργασμένη ιπτάμενη τέφρα. Σήμερα λειτουργούν στην Περιφέρεια 34 επιχειρήσεις παραγωγής τσιμεντοπροϊόντων, ενώ η κατανομή τους στους διάφορους νομούς παρουσιάζεται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Αριθμός επιχειρήσεων κατασκευής τσιμεντοπροϊόντων στους νομούς της Δυτικής Μακεδονίας

<i>Νομός</i>	<i>Αριθμός επιχειρήσεων κατασκευής τσιμεντοπροϊόντων</i>
<i>Γρεβενών</i>	<i>10</i>
<i>Καστοριάς</i>	<i>10</i>
<i>Κοζάνης</i>	<i>11</i>
<i>Φλώρινας</i>	<i>3</i>
<i>ΣΥΝΟΛΟ</i>	<i>34</i>

Η αντικατάσταση του τσιμέντου ως πρώτη ύλη με επεξεργασμένη ιπτάμενη τέφρα θα επιφέρει σημαντικά οικονομικά οφέλη για τους επιχειρηματίες της περιοχής, ενώ παράλληλα θα προκύψουν και περιβαλλοντικά οφέλη.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΣΤΙΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Για την οικονομική αξιολόγηση του εγχειρήματος χρήσης της Ι.Τ. στα τσιμεντοπροϊόντα, γίνεται μια ενδεικτική κοστολόγηση της παραγωγικής διαδικασίας με σημερινές τιμές, και στη συνέχεια εξετάζονται σενάρια χρήσης διαφορετικών ποσοστών επεξεργασμένης Ι.Τ. ως υποκατάστατο του τσιμέντου. Στα σενάρια αυτά λαμβάνεται υπόψη η μεταβολή του κόστους των πρώτων υλών για την περίπτωση χρήσης ιπτάμενης τέφρας, ενώ τα βιομηχανικά έξοδα και οι δαπάνες του προσωπικού θεωρούνται ίδιες και στις δύο περιπτώσεις (με ή χωρίς τη χρήση Ι.Τ.). Επίσης δεν λαμβάνεται υπόψη το κόστος της εγκατάστασης, μια και πρόκειται για ένταξη της ιπτάμενης τέφρας στην παραγωγική διαδικασία υφιστάμενων επιχειρήσεων που θα επιβαρυνθούν με ελάχιστο κόστος μετασκευών.

Για την κοστολόγηση των τσιμεντοπροϊόντων λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω τιμές κόστους των πρώτων υλών:

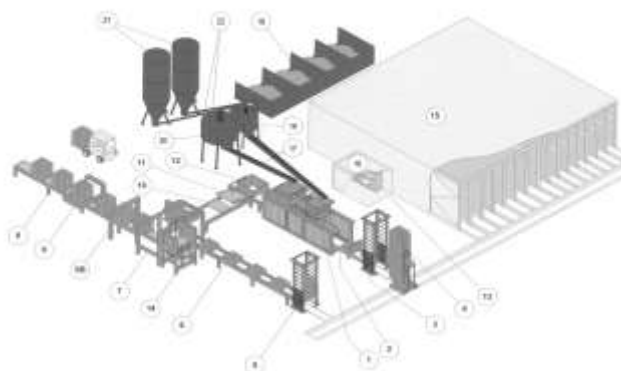
¹ Η μονάδα επεξεργασίας της ιπτάμενης τέφρας βρίσκεται στον περίβολο του ΑΗΣ Πτολεμαΐδας και είναι εκτός λειτουργίας από το 1997

Πίνακας 2. Κόστος πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμεντοπροϊόντων

<i>Πρώτη Ύλη</i>	<i>Κόστος / μονάδα</i>
Τσιμέντο Λευκό (52,5N)	116,49 €/tn
Τσιμέντο Μαύρο (42,5N)	88,95 €/tn
Ακατέργαστη ιπτάμενη τέφρα²	2,95 €/tn
Κατεργασμένη ιπτάμενη τέφρα³	16,50 €/tn
Άμμος 0 – 1,5	3,05 €/tn
Άμμος 1,5 – 2,5	2,88 €/tn
Άμμος 2,5 – 4,0	2,88 €/tn
Άμμος 0 – 4	3,40 €/tn
Χρώμα κίτρινο	1.560,00 €/tn
Χρώμα μαύρο	1.560,00 €/tn
Χρώμα κόκκινο	1.620,00 €/tn
Νερό	1,68 €/tn

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- 1 Πρέσα
- 2 Ταινιομεταφορέας προϊόντων
- 3 Ανυψωτικό μηχάνημα πολλαπλών θέσεων
- 4 Αυτόματο όχημα μεταφοράς
- 5 Μηχάνημα καθέλκυσης
- 6 Ταινιομεταφορέας
- 7 Αυτόματο μηχανήματα στοίβαξης
- 8 Ταινιομεταφορέας
- 9B Οριζόντιος δεματοποιητής
- 10 Κατακόρυφος δεματοποιητής
- 11 Ταινία επιστροφής των άδειων καλουπιών
- 12 Συσκευή αλλαγής καλουπιών
- 13 Συσκευή τροφοδοσίας καλουπιών
- 14 Πίνακας ελέγχου
- 15 Αυτόματος πελλετοποιητής
- 16 Χώρος ωρίμανσης
- 17 Καμπίνα ελέγχου
- 19 Ταινιομεταφορείς τροφοδοσίας αδρανών
- 20 Σιλό αδρανών
- 21 Αναμίκτης στρώματος επικάλυψης
- 22 Αναμίκτης 1^{ου} στρώματος
- Σιλό τσιμέντου
- Κοχλιόδρομος

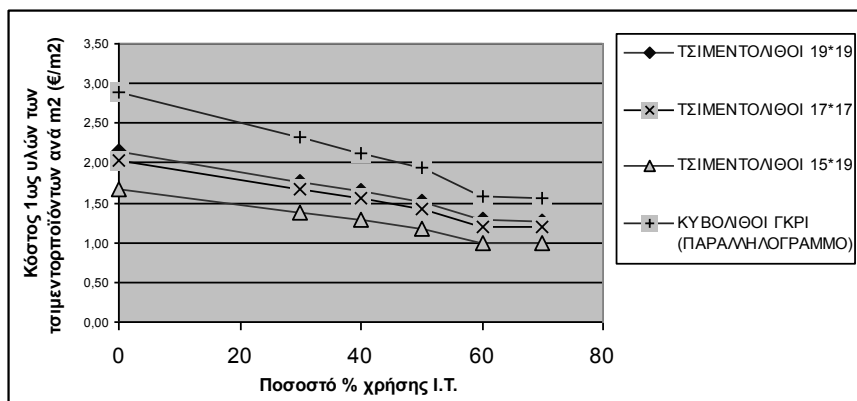


Σχήμα 1. Τυπική παραγωγική διαδικασία τσιμεντοπροϊόντων

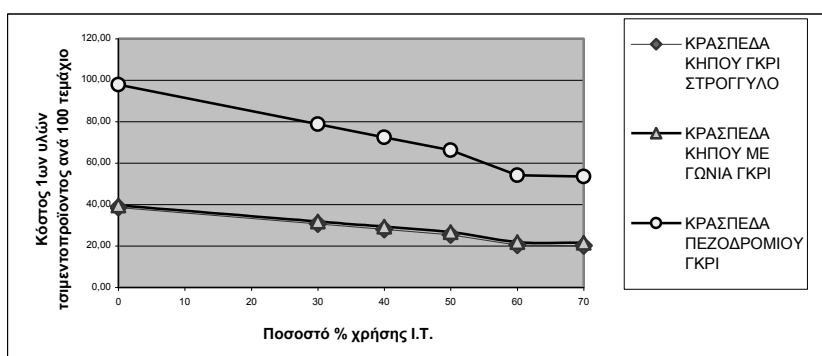
² Στοιχεία από ΑΗΣ Καρδιάς

³ Η τιμή αυτή προκύπτει από την επικαιροποίηση της Μελέτης Βιωσιμότητας – Σκοπιμότητας του Εργοστασίου Επεξεργασίας Ιπτάμενης Τέφρας που εκπόνησε το Κέντρο Τεχνολογίας & Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (Σεπτέμβριος 1998).

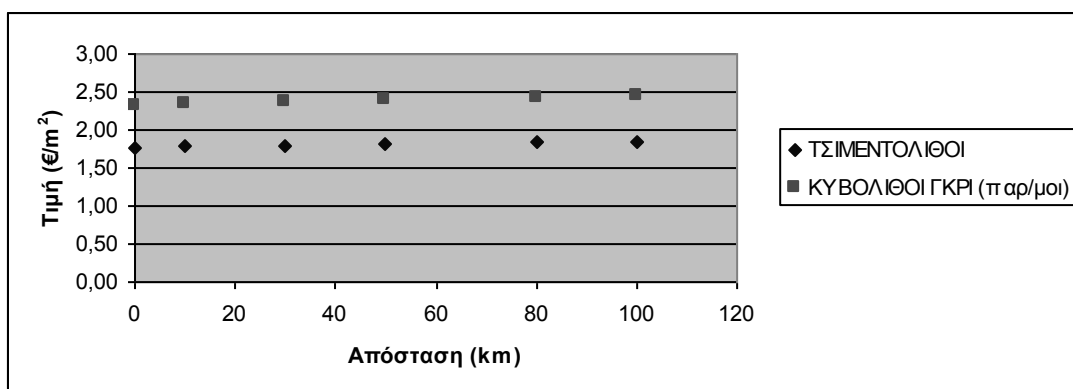
Με βάση τα ανωτέρω, έγινε σύγκριση του κόστους των 1^{ων} υλών μιας μονάδας παραγωγής τσιμεντοπροϊόντων στην περίπτωση που χρησιμοποιεί στην παραγωγική διαδικασία επεξεργασμένη ιπτάμενη τέφρα σε διάφορα ποσοστά, σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση (μηδενική χρήση ιπτάμενης τέφρας). Η μείωση του κόστους των πρώτων υλών παρουσιάζεται στα διαγράμματα 1 και 2.



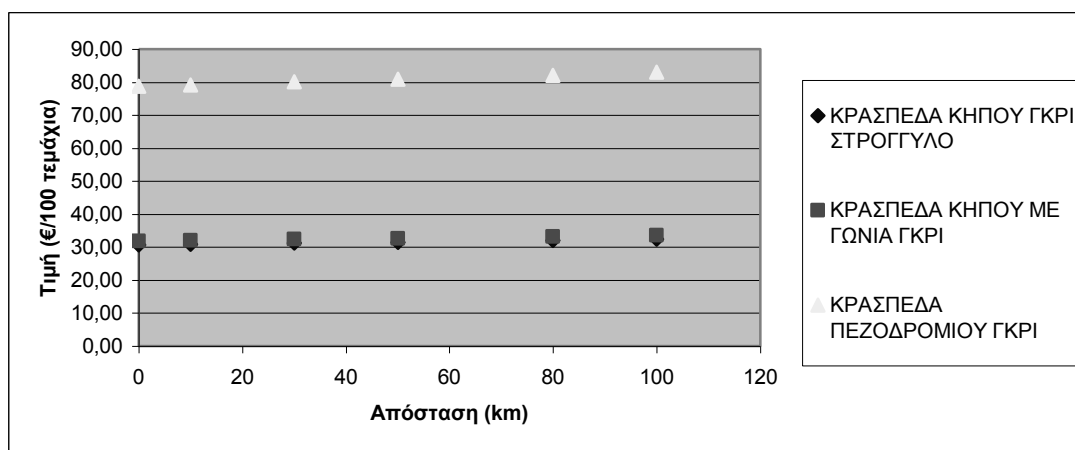
Διάγραμμα 1. Μείωση του κόστους των πρώτων υλών των τσιμεντοπροϊόντων σε περίπτωση χρήσης επεξεργασμένης ιπτάμενης τέφρας σε διαφορετικά ποσοστά



Διάγραμμα 2. Μείωση του κόστους των πρώτων υλών των τσιμεντοπροϊόντων σε περίπτωση χρήσης επεξεργασμένης ιπτάμενης τέφρας σε διαφορετικά ποσοστά



Διάγραμμα 3. Επίδραση της απόστασης της μονάδας παραγωγής ιπτάμενης τέφρας με την εγκατάσταση παραγωγής τσιμεντοπροϊόντων στο κόστος των 1^{ων} υλών



Διάγραμμα 4. Επίδραση της απόστασης της μονάδας παραγωγής ιπτάμενης τέφρας με την εγκατάσταση παραγωγής τσιμεντοπροϊόντων στο κόστος των 1^{ων} υλών.

Εάν ληφθεί υπόψη το κόστος μεταφοράς της ιπτάμενης τέφρας από την μονάδα επεξεργασίας στη μονάδα παραγωγής τσιμεντοπροϊόντων, τότε θεωρώντας μια τιμή για την μεταφορά της τέφρας ίση με 0,1€/tn/km, υπολογίζεται ότι το κόστος αυτό επιβαρύνει το κόστος των 1^{ων} υλών των τσιμεντοπροϊόντων σε ποσοστό περίπου 2,5% για μεταφορά της τέφρας σε απόσταση 100km. Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζεται η μεταβολή του κόστους των τσιμεντοπροϊόντων για διάφορες αποστάσεις από το εργοστάσιο επεξεργασίας της ιπτάμενης τέφρας.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΠΡΟΪΟΝΤΩΝ.

Η χρήση της ιπτάμενης τέφρας στα εργοστάσια παραγωγής τσιμεντοπροϊόντων της Δυτικής Μακεδονίας, επιφέρει περιβαλλοντικά οφέλη σε επίπεδο χώρας, για δύο λόγους:

1. Γιατί αντικαθιστά τσιμέντο, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές CO₂, NO₂, SO₂, VOCs που παράγονται κατά την παραγωγή τσιμέντου από την τσιμεντοβιομηχανία
2. Γιατί μειώνονται οι ποσότητες ρύπων που προκύπτουν από την μεταφορά των πρώτων υλών (μεταφορά ιπτάμενης τέφρας αντί για τσιμέντο, θεωρώντας ότι η Δυτική Μακεδονία προμηθεύεται τσιμέντο από την κοντινότερη πηγή (Θεσσαλονίκη)

Η λειτουργία των εργοστασίων παραγωγής τσιμέντου, έχει ως αποτέλεσμα να παράγονται κυρίως οι παρακάτω ρύποι για κάθε tn παραγόμενου τσιμέντου [E.E., 2001]

Από την άλλη, η μετακίνηση φορτηγών οχημάτων για την μεταφορά τσιμέντου και ιπτάμενης τέφρας, έχει ως συνέπεια την εκπομπή ρύπων, και συγκεκριμένα κυρίως των CO, NO_x και VOC. Οι συντελεστές εκπομπής για φορτηγά αυτοκίνητα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 3. Μέσοι συντελεστές ρύπων στην Ευρώπη για τις τσιμεντοβιομηχανίες [E.E, 2001]

	Kg/ tn παραγόμενου τσιμέντου
CO ₂	600 - 780
NO _x (NO ₂)	0,3 – 4,5
SO ₂	0,02 – 5,25
Σκόνη	0,01 – 0,30
CO	0,75 – 3,00

Πίνακας 4. Συντελεστές εκπομπής ρύπων για φορτηγά οχήματα

Είδος οχήματος	Συντελεστές εκπομπής (g/km) για ταχύτητα 50km/h		
	CO	NO _x	VOC
Φορτηγά >16tn	0.6800	0.6600	0.2120

Εκτιμώντας ότι η χρήση της επεξεργασμένης ιπτάμενης τέφρας θα γίνεται από τις μονάδες παραγωγής τσιμεντοπροϊόντων της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας, εκτιμήθηκε η μείωση των ρύπων που θα προκύψει από την μεταφορά της ιπτάμενης τέφρας από την μονάδα παραγωγής της στις πόλεις της Περιφέρειας και από την μεταφορά του τσιμέντου από την Θεσσαλονίκη. Ο πίνακας 5 παρουσιάζει τις εκπομπές των ρύπων σε κάθε περίπτωση, και την μείωση που προκύπτει από την χρήση της τέφρας. Να σημειωθεί ότι για την μεταφορά 165.000 tn τέφρας απαιτούνται 6.600 δρομολόγια ετησίως (25tn/δρομολόγιο).

Πίνακας 5. Εκπομπές ρύπων κατά την μεταφορά ιπτάμενης τέφρας και τσιμέντου - σύγκριση

Εκπομπές αερίων ρύπων από την μεταφορά τσιμέντου (g / δρομολόγιο)				
Διαδρομή	Απόσταση	CO	Nox	VOC
	km			
Κοζάνη - Θεσσαλονίκη	141	191,76	186,12	59,78
Καστοριά - Θεσσαλονίκη	226	307,36	298,32	95,82
Γρεβενά - Θεσσαλονίκη	192	261,12	253,44	81,41
Φλώρινα - Θεσσαλονίκη	166	225,76	219,12	70,38
Εκπομπές αερίων ρύπων από την μεταφορά ιπτάμενης τέφρας (g / δρομολόγιο)				
Διαδρομή	km	CO	Nox	VOC
Μονάδα I.T. - Κοζάνη	17	23,12	22,44	7,21
Μονάδα I.T. - Καστοριά	107	145,52	141,24	45,37
Μονάδα I.T. - Γρεβενά	71	96,56	93,72	30,10
Μονάδα I.T. - Φλώρινα	66	89,76	87,12	27,98
Μείωση εκπομπών αερίων ρύπων (g / δρομολόγιο)				
		CO	Nox	VOC
Μεταφορά I.T. αντί τσιμέντου στην Κοζάνη		168,64	163,68	52,58
Μεταφορά I.T. αντί τσιμέντου στην Καστοριά		161,84	157,08	50,46
Μεταφορά I.T. αντί τσιμέντου στα Γρεβενά		164,56	159,72	51,30
Μεταφορά I.T. αντί τσιμέντου στην Φλώρινα		136,00	132,00	42,40

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση επεξεργασμένης ιπτάμενης τέφρας στην παραγωγική διαδικασία των τσιμεντοπροϊόντων έχει ως αποτέλεσμα :

- Την μείωση του κόστους των πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμεντοπροϊόντων, από 20% για αντικατάσταση του 30% του τσιμέντου μέχρι και 50% για αντικατάσταση του 70% του τσιμέντου.
- Η επιβάρυνση των λειτουργικών εξόδων με το κόστος μεταφοράς της τέφρας ανέρχεται σε ποσοστό 2,5% του κόστους των πρώτων υλών, για μεταφορά αυτής σε απόσταση 100km. Επομένως, η χρήση της ιπτάμενης τέφρας αποφέρει οικονομικά οφέλη και σε επιχειρήσεις παραγωγής τσιμεντοπροϊόντων εκτός της περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας, μια και το κόστος μεταφοράς δεν κρίνεται σημαντικό και είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με το κόστος που προκύπτει από την χρήση φθηνότερου υλικού.
- Η χρήση 165.000 tn ιπτάμενης τέφρας ετησίως, έχει ως αποτέλεσμα:
 - Την μείωση εκπομπών CO₂ κατά 99.700tn από την μείωση της παραγωγής τσιμέντου
 - Την μείωση (κατά μέσο όρο):
 - 1040 kg CO/yr
 - 1010 kg NOx/yr
 - 325 kg VOC/yr
- Η μείωση των εκπομπών CO₂ κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική, με δεδομένη την δέσμευση της χώρας μας που απορρέει από το πρωτόκολλο του Κιότο για συγκράτηση της αύξησης των εκπομπών του αερίου αυτού του θερμοκηπίου στο 25% μέχρι το 2012 σε σχέση με τις εκπομπές του 1990, στόχος που φαίνεται ότι δεν θα επιτευχθεί μια και η αυθόρμητη τάση των εκπομπών οδηγεί περίπου σε διπλάσιο ποσοστό αύξησης.
- Η μείωση των εκπομπών NOx είναι επίσης σημαντική, μια και καταγράφεται σημαντική απόκλιση από τους στόχους που θέτει η οδηγία 2001/81.
- Ιδιαίτερα σημαντική όμως είναι η μείωση των εκπομπών των VOCs καθώς καταγράφεται στην Ελλάδα σημαντική απόκλιση από τον στόχο που έχει θέσει η οδηγία 2001/81, και συγκεκριμένα καταγράφεται αύξηση 17% αντί για μείωση κατά 22% που είναι ο στόχος της εν' λόγω οδηγίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΕΑΠ, (2001), «Σχεδιασμός Έργων Υποδομής και Προστασία του Περιβάλλοντος» Τόμος Α, Α. Κόρας «Συγκοινωνιακά, Υδραυλικά, Ενεργειακά Έργα», Πάτρα.
2. Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος & Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΚΠΑΑ), (2003) «Περιβαλλοντικά Σήματα», Σχέδιο Έκθεσης Δεικτών Αειφορίας, Αθήνα.
3. Κέντρο Τεχνολογίας και Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων - ΚΤΕΣΚ, «Μελέτη Σκοπιμότητας – Βιωσιμότητας του εργοστασίου επεξεργασίας Ιπτάμενης Τέφρας», Σεπτέμβριος 1998, Πτολεμαΐδα.
4. Παπαγιάννη Ι. «Η χρήση της Ιπτάμενης τέφρας Πτολεμαΐδας στο σκυρόδεμα και στα προϊόντα σκυροδέματος», Πρακτικά Δημερίδας: «Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές», Κοζάνη 3 – 4 /10/1987.

5. Τσίμας Σ., Μουτσάτσου-Τσίμα Α., «Εμπειρία από τη μονάδα άλεσης – κατεργασίας τέφρας στην Πτολεμαΐδα», Πρακτικά Δημερίδας: «Χρήση της Ιπτάμενης Τέφρας στις Κατασκευές», Κοζάνη 3 – 4 /10/1987.
6. Τσικαρδάνη Ε., Κούκουζας Ν., Κακαράς Εμ. «Οφέλη από την λειτουργία του εργοστασίου επεξεργασίας της ιπταμένης τέφρας», 1^ο Συνέδριο ΕΒΙΠΑΡ, 24-26 Νοεμβρίου 2005, Θεσ/νίκη.
7. Νόμος Υπ' αριθ. 3017, 30/5/2002, "Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση – πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος.
8. Οδηγία 2001/81/ΕΚ Του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου του 2001 σχετικά με τα ανώτερα όρια εκπομπών για ορισμένους ατμοσφαιρικούς ρύπους.