

ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (BLAINE) ΣΤΗΝ ΑΛΕΣΗ ΚΛΙΝΚΕΡ ΣΕ ΣΦΑΙΡΟΜΥΛΟΥΣ

Τσακαλάκης Κώστας, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σχολή Μηχ. Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Ε.Μ. Πολυτεχνείο

Παρουσιάστηκε στο 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Χημικής Μηχανικής

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καταναλισκόμενη ενέργεια κατά τη λειοτρίβηση και την άλεση έχει σχέση:


- με το μέγεθος της τροφοδοσίας (διαστάσεις των τεμαχίων προς λειοτρίβηση (π.χ. κλίνκερ),
- με το μέγεθος του προϊόντος,
- με τα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού (σκληρότητα, δείκτης έργου, πυκνότητα),
- τα χαρακτηριστικά του μύλου (διαστάσεις, σχέση μήκους προς διάμετρο) και με
- τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του μύλου (συντελεστής πλήρωσης, σύνθεση του φορτίου).
Είναι γνωστό ότι η ειδική επιφάνεια του τσιμέντου (λεπτότητα, Blaine) έχει σχέση με το μέγεθος των τεμαχίων του προϊόντος.



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

- Οι ιδιότητες του τσιμέντου, όσο και η συμπεριφορά του κατά τη χρήση του στην παραγωγή σκυροδέματος (ενυδάτωση), εξαρτώνται, εκτός των άλλων σημαντικά, και από τη **λεπτότητα** του δηλαδή από την **κοκκομετρική του ανάλυση**. Η λεπτότητα του τσιμέντου εκφράζεται συνήθως από την τιμή του **δείκτη Blaine**, που δίνεται σε μονάδες **cm²/g** ή **m²/kg** και κυμαίνεται από **2800-6000 cm²/g**, ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται

ΣΤΟΧΟΣ



Η παρούσα εργασία έχει στόχο τη διερεύνηση της **μαθηματικής σχέσης** και τη διαμόρφωση μιας **εμπειρικής εξίσωσης** που θα συνδέει την καταναλισκόμενη Η.Ε., το δείκτη έργου του κλίνκερ και την ειδική επιφάνεια (λεπτότητα Blaine) του παραγόμενου τσιμέντου κατά την άλεση του κλίνκερ τσιμέντου σε συμβατικούς σφαιρόμυλους

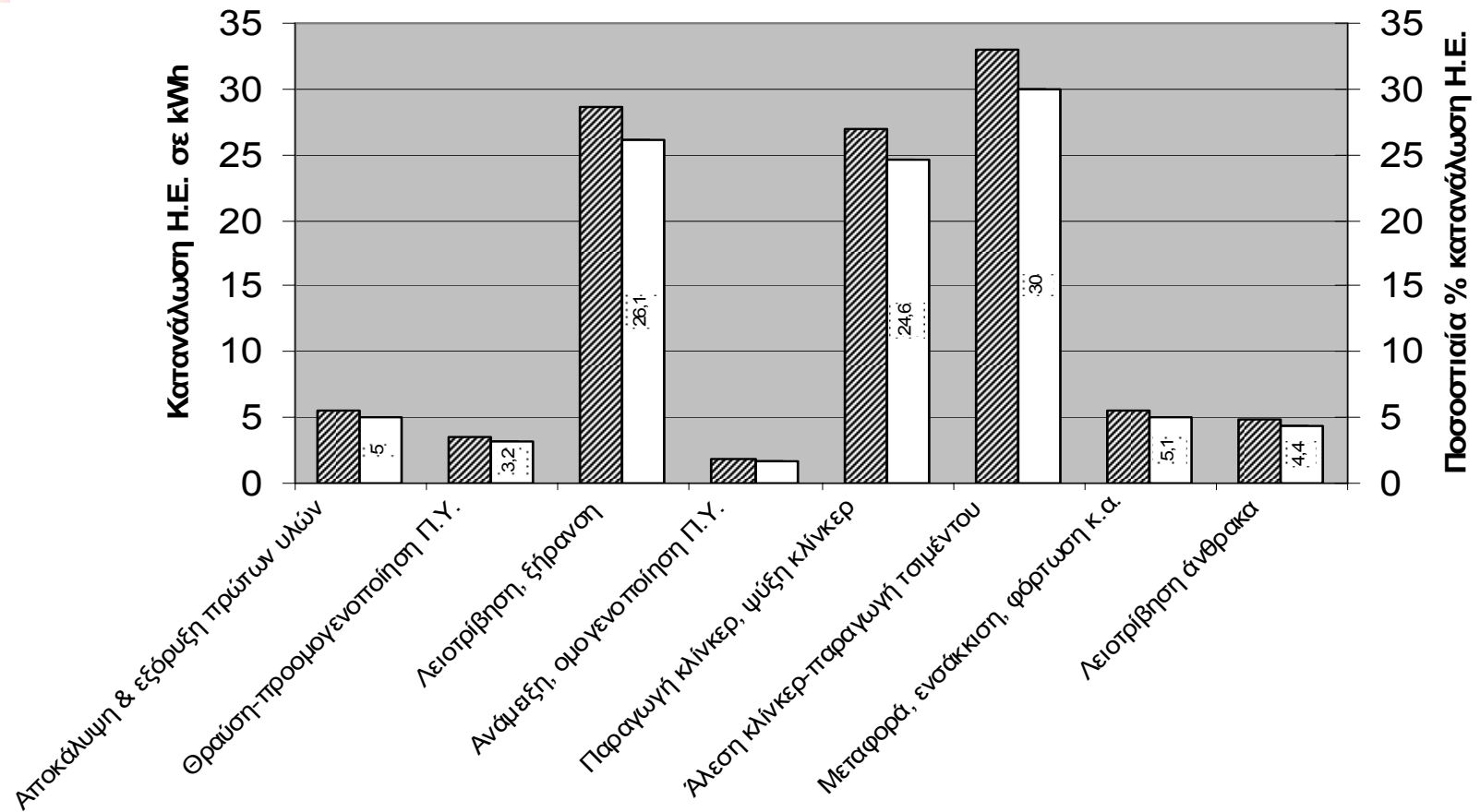
ΓΕΝΙΚΑ

Η παραγωγή του τσιμέντου είναι μια εξαιρετικά **ενεργοβόρος διεργασία**. Το κόστος παραγωγής τσιμέντου διαμορφώνεται **κατά 30-35%** από το κόστος ενέργειας.

Για την **παραγωγή** του τσιμέντου χρειάζονται: ορυκτά καύσιμα (κυρίως **άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο**) για τις διεργασίες μετατροπής των πρώτων υλών σε κλίνκερ και **ηλεκτρική ενέργεια** για τις διεργασίες που φαίνονται στο Σχήμα 1.

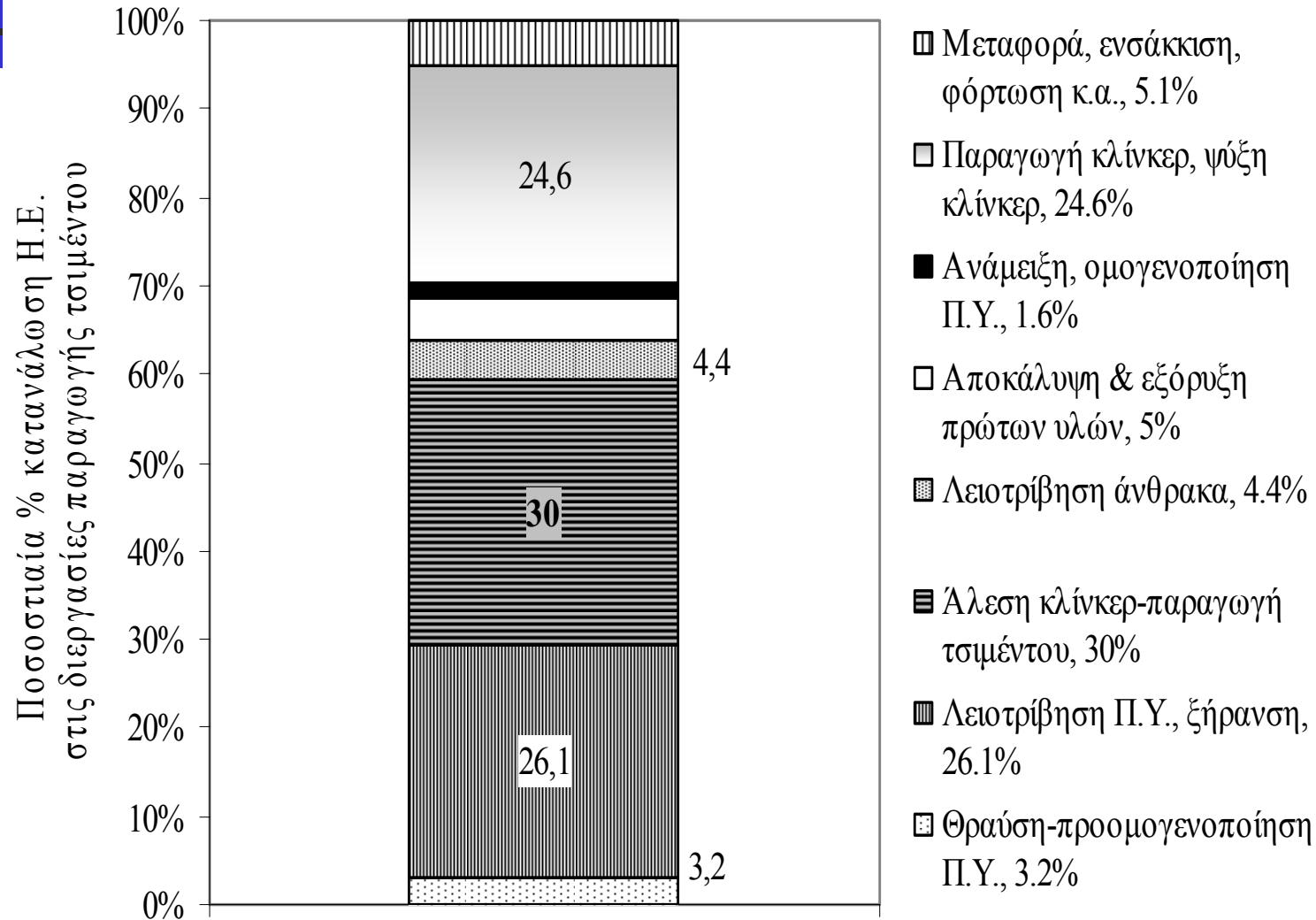
Παραγωγή τσιμέντου- Κατανομή κατανάλωσης Η.Ε.

Κατανομή κατανάλωσης Η.Ε. στην παραγωγή τσιμέντου



▨ κατανάλωση Η.Ε. σε kWh □ Ποσοστιαία κατανάλωση Η.Ε. στην παραγωγή τσιμέντου

Ποσοστιαία % κατανομή της καταναλισκόμενης Η.Ε. στις διάφορες διεργασίες παραγωγής τσιμέντου



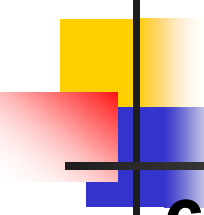


ΚΑΤΑΝΟΜΗ Η.Ε. ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Το **63.7%** της Η.Ε. που καταναλώνεται στην παραγωγή τσιμέντου αφορά στις **διεργασίες θραύσης, λειοτρίβησης και ξήρανσης** των πρώτων υλών και στην **άλεση** του κλίνκερ και της γύψου (Σχήμα 2).

Γίνεται φανερή η **μεγάλη σπουδαιότητα** που έχει από πλευράς κόστους ηλεκτρικής ενέργειας η **διεργασία της άλεσης του κλίνκερ (30% του κόστους Η.Ε.)** στην παραγωγή του τσιμέντου.

ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ



Μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από **6000 MJ/tonne κλίνκερ** στα όρια από **3000-3800 MJ/tonne κλίνκερ** λόγω τεχνολογικής εξέλιξης την τελευταία τριακονταπενταετία (1965-2000), με μετατροπή της μεθόδου παραγωγής τσιμέντου από **υγρή (wet) σε ξηρή (dry) ή ημιυγρή (semi-dry)**,
Οι **δυνατότητες** παραπέρα μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας στην τσιμεντοβιομηχανία είναι μόνο **2.2%** περίπου κατά την Ε.Ε. (1993).

Καταναλώσεις καυσίμων και Η.Ε.-Τιμές μονάδων

Η κατανάλωση άνθρακα στην παραγωγή τσιμέντου Portland είναι περίπου **110-140 kg άνθρακα /tonne τσιμέντου** (θερμογόνο δύναμη ανθρακίτη 27000 MJ/tonne) περίπου με κόστος του εισαγόμενου (θερμικού) άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση από **50-55 €/ tonne**.

- Η Η.Ε. επίσης στην παραγωγή τσιμέντου κυμαίνεται από **100-110 kWh/tonne** τσιμέντου με τιμή της kWh στην Ελλάδα περίπου **0.055 €/ kWh** για την υψηλή τάση στις τσιμεντοβιομηχανίες.



ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

$$(110 \text{ kWh/tonne τσιμέντου} \times 0.055 \text{ €/kWh}) \\ + (0.14 \text{ tonnes άνθρακα /tonne τσιμέντου} \times 55 \text{ €/} \\ \text{tonne άνθρακα}) =$$

13.75 €/ tonne τσιμέντου

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

$$13.75 \text{ €/ tonne τσιμέντου} / 0.3 = \\ \approx \mathbf{46 \text{ €/tonne τσιμέντου}}$$

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ



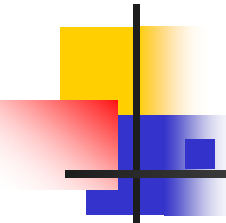
- Για τους υπολογισμούς κατανάλωσης ενέργειας και κόστους παραγωγής είναι απαραίτητη η με σχετική ακρίβεια γνώση της ειδικής κατανάλωσης kWh/tonne κλίνκερ ως συνάρτηση της λεπτότητας του τσιμέντου (Blaine fineness) και του δείκτη έργου (work index) του κλίνκερ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΜΠΕΙΡΙΚΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται **μια εμπειρική** εξίσωση υπολογισμού της καταναλισκόμενης Η.Ε. στην άλεση του κλίνκερ τσιμέντου.

- Με εφαρμογή **πολλαπλής παλινδρόμησης** ελαχίστων τετραγώνων σε δεδομένα εταιρειών κατασκευής μύλων και διατάξεων άλεσης κλίνκερ προκύπτει η παρακάτω εμπειρική εξίσωση:

ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ



E η ενέργεια άλεσης του κλίνκερ
σε kWh/tonne,

- F_{Bl} η λεπτότητα του τσιμέντου (Blaine)
σε cm^2/g και
- w_i ο δείκτης έργου (work index)
σε kwh/short ton

$$E = 10 \left(1.74 \times 10^{-4} \times F_{Bl} + 0.035 \times w_i + 0.4714 \right)$$

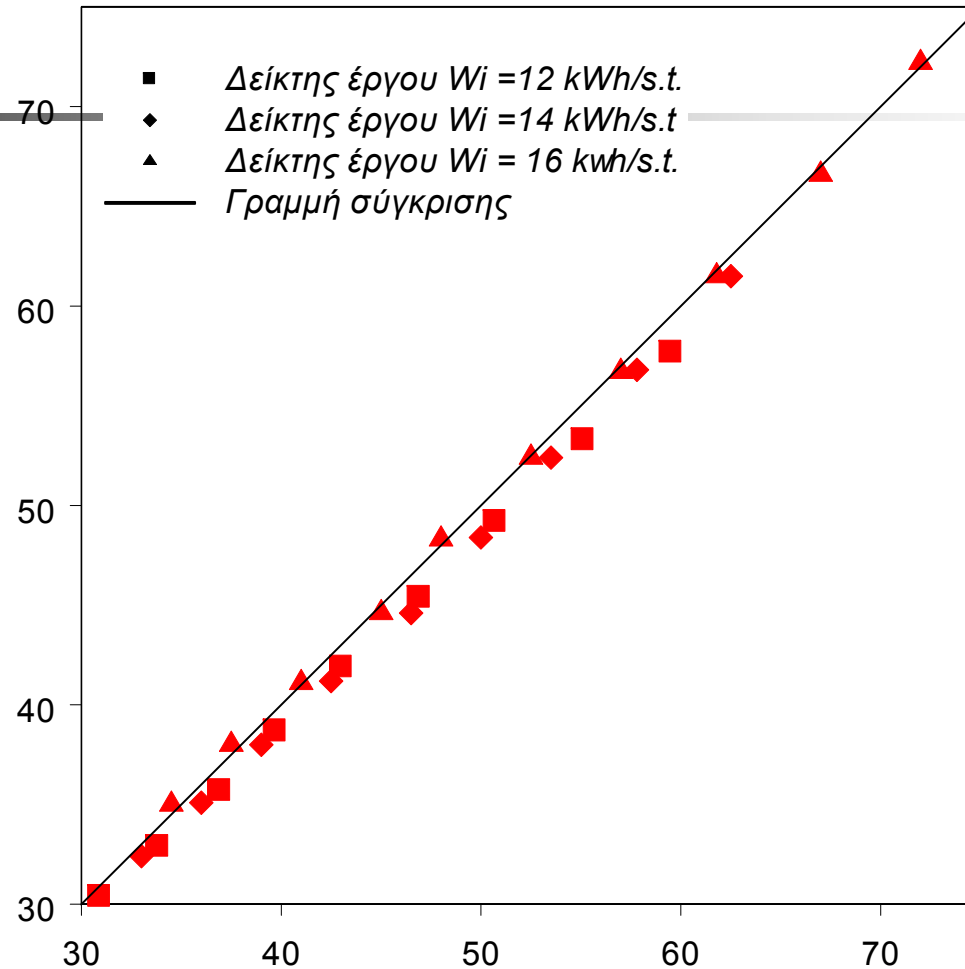


ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΤΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Εφαρμόζοντας την εξίσωση για διάφορες τιμές του δείκτη λεπτότητας Blaine του τσιμέντου (από 3200-5000, με βήμα μεταβολής 200 cm²/g) και για 3 διαφορετικές τιμές (12, 14 και 16 kWh/s.t.) δείκτη έργου του κλίνκερ, υπολογίζονται οι τιμές της ενέργειας άλεσης κλίνκερ. Οι τιμές αυτές σε αντιπαραβολή με τις αντίστοιχες πειραματικές διαμορφώνουν το παρακάτω Σχήμα.

Σύγκριση πειραματικών και υπολογιζόμενων τιμών ενέργειας άλεσης

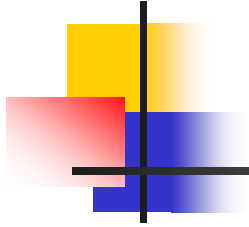
Υπολογιζόμενες τιμές ενέργειας άλεσης σε kWh/tonne



Πειραματικές τιμές ενέργειας άλεσης σε kWh/tonne

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Από την παραπάνω επεξεργασία διαπιστώνεται ότι η προτεινόμενη εμπειρική εξίσωση υπολογίζει με ικανοποιητική ακρίβεια την ενέργεια άλεσης συναρτήσει του δείκτη έργου του κλίνκερ και της λεπτότητας του τσιμέντου που παράγεται



ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΠΟΛΥ !!!