

## ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΑΡΜΑΡΩΝ

Γ.Σ. Νικολαΐδης, Α.Α. Μουζά, Σ.Σ. Κακαλιάς<sup>1</sup> και Σ.Β. Παράς

Εργαστήριο Τεχνολογίας Χημικών Εγκαταστάσεων

Τμήμα Χημικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

Παν. Θυρίδα 455, 541 24 Θεσσαλονίκη

e-mail: paras@cheng.auth.gr

<sup>1</sup>Βιομηχανία Φωσφορικών Λιπασμάτων-Εργοστάσιο Θεσ/νίκης

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή μελετάται ο βέλτιστος τρόπος διαχείρισης των υγρών αποβλήτων μονάδων κοπής και επεξεργασίας μαρμάρων και η επαναδιάθεση του ανακτώμενου ανθρακικού ασβεστίου ( $CaCO_3$ ) σε παραγωγικές μονάδες οι οποίες το χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη (π.χ. εργοστάσια κεραμικών, ζωοτροφών, χαρτοβιομηχανία, χυτήρια). Τα αποτελέσματα της εργασίας αναμένεται να συμβάλλουν στην ορθολογική αντιμετώπιση του προβλήματος της διαχείρισης των αποβλήτων και στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από μονάδες επεξεργασίας μαρμάρων.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα εργοστάσια επεξεργασίας μαρμάρων, κατά τη διαδικασία κοπής και κατεργασίας της πρώτης ύλης παράγονται μεγάλες ποσότητες λάσπης (*μουργκάνια*), που μετά από μία αρχική απομάκρυνση νερού με φιλτρόπρεσα απορρίπτονται στο περιβάλλον. Η συνήθης πρακτική είναι το παραπροϊόν αυτό να θάβεται σε μη καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Η διαδικασία αυτή όμως συνεπάγεται αφενός σημαντική χρηματική επιβάρυνση (αγορά γης, μεταφορικά) και αφετέρου περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω υποβάθμισης/αλλαγής της σύστασης του εδάφους. Σκοπός της μελέτης είναι ο προσδιορισμός του βέλτιστου τρόπου διαχείρισης των υγρών αποβλήτων τέτοιων μονάδων. Δεδομένου ότι η “μουργκάνια” αποτελείται κυρίως από λεπτόκοκκο  $CaCO_3$ , που είναι πρώτη ύλη για ένα μεγάλο φάσμα προϊόντων (πλακίδια, ζωοτροφές, χρώματα κλπ), διερευνάται η οικονομικότητα μιας μονάδας παραγωγής  $CaCO_3$  από “μουργκάνια” στην ευρύτερη περιοχή της Θεσ/νίκης<sup>[1]</sup>.

Προκειμένου να διαπιστωθεί η καταλληλότητα του τελικού προϊόντος για τις διάφορες χρήσεις, συλλέχθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα “μουργκάνιας” από διάφορες μονάδες, στα οποία έγινε χημική ανάλυση, περιθλασιμετρία ακτινών X και μέτρηση της κοκκομετρίας τους. Παράλληλα για να υπολογισθούν οι παράμετροι σχεδιασμού ενός ξηραντήρα βιομηχανικής κλίμακας που είναι η κύρια συσκευή της υπό μελέτη εγκατάστασης, έγιναν πειράματα σε πιλοτική μονάδα του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Χημικών Εγκαταστάσεων του ΑΠΘ.

Ως προς τη δυναμικότητα της υπό μελέτη μονάδας εξετάστηκαν δυο Σενάρια: είτε δηλαδή η δημιουργία μίας κεντρικής μονάδας συλλογής και επεξεργασίας όλης της διαθέσιμης ποσότητας της “μουργκάνιας” στην περιοχή, είτε πολλές μικρές μονάδες για επιτόπια κατεργασία. Η επίδραση διαφόρων μεταβλητών (π.χ. δυναμικότητα, κόστος πρώτης ύλης, μεταφορικά) στην οικονομικότητα της μονάδας μελετήθηκε με τη βοήθεια λογισμικού που ενσωματώθηκε σε εμπορικό προσομοιωτή διεργασιών (*ASPEN*<sup>®</sup>).

## ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ

Από έρευνα στο νομό Θεσσαλονίκης<sup>[1]</sup> προέκυψε ότι λειτουργούν περίπου 7 μονάδες κατεργασίας μαρμάρων, οι οποίες παράγουν υγρά απόβλητα (συμπυκνωμένη “μουργκάνα”) περιεκτικότητας περίπου 20% σε νερό. Η συνολική ποσότητα των αποβλήτων που προέρχονται από μονάδες οι οποίες βρίσκονται σε μια περιοχή ακτίνας 30km εκτιμάται σε 100tn ημερησίως. Παράλληλα η έρευνα αγοράς έδειξε ότι η ζήτηση της εγχώριας αγοράς σε  $CaCO_3$  είναι τόσο μεγάλη ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα διάθεσης του προϊόντος, με την προϋπόθεση βέβαια ότι καλύπτει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και έχει ανταγωνιστική τιμή.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

Σε αντιπροσωπευτικά δείγματα, που συλλέχθηκαν από διάφορες μονάδες της περιοχής του Ν. Θεσσαλονίκης μετά τη διαδικασία αφαίρεσης του νερού στη φιλτρόπρεσα, έγινε χημική ανάλυση, περιθλασιμετρία ακτινών X και μέτρηση της κοκκομετρίας τους.

Τα αποτελέσματα μια τυπικής χημικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον **Πίνακα 1**, όπου φαίνεται ότι το κύριο συστατικό της “μουργκάνας” είναι το ανθρακικό ασβέστιο. Τα πειράματα με το περιθλασίμετρο επιβεβαίωσαν την ύπαρξη  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $CO_3$ . Στον **Πίνακα 2** παρουσιάζεται η κοκκομετρία ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος μετά την ξήρανση στην πιλοτική μονάδα (που περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο) στην έξοδο του ξηραντήρα και του κυκλώνα.

Πίνακας 1: Τυπική χημική ανάλυση “μουργκάνας” (επί ξηρού)<sup>[1]</sup>

ουσία	$CaCO_3$	$MgCO_3$	$SiO_2$	άλλα
% κ.β.	95.4	4.1	0.2	0.3

Πίνακας 2: Κοκκομετρία τυπικών δειγμάτων<sup>[1]</sup>

Διάμετρος κόκκων, $\mu m$	Κατανομή κόκκων %	
	ξηραντήρας	κυκλώνας
0-40	95.0	98.1
40-60	3.0	1.6
60-160	1.7	0.2
>160	0.3	0.1

Με βάση τον **Πίνακα 3**, όπου παρουσιάζονται οι κυριότερες χρήσεις του προϊόντος ανθρακικού ασβεστίου ανάλογα με την κοκκομετρία του, φαίνεται ότι το προϊόν είναι κατάλληλο για την υαλοργία και για προσθήκη σε ζωοτροφές, χρήση ιδιαίτερα διαδεδομένη στην Ελλάδα. Σημειώνεται ότι μια μέσης δυναμικότητας μονάδα εκτροφής πουλερικών χρειάζεται 10tn σκόνης για να καλύψει της ημερήσιες ανάγκες της. Για να χρησιμοποιηθεί το προϊόν ως πληρωτικό, στιλβωτικό ή σε εντομοκτόνα απαιτείται περαιτέρω διαχωρισμός της λεπτόκοκκης σκόνης που είναι ιδιαίτερα δύσκολος και έχει μεγάλο κόστος.

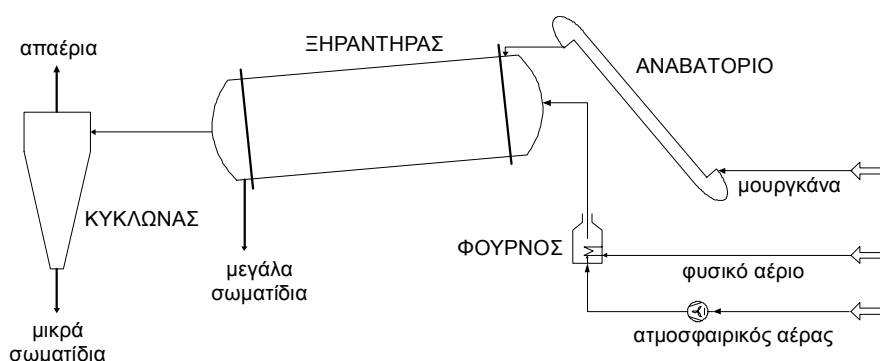
Πίνακας 3: Απαιτήσεις μεγέθους για διάφορες χρήσεις<sup>[1]</sup>

Μέγεθος κόκκων, $\mu m$	Χρήσεις
100 – 2000	Αδρανή για σκυρόδεμα, επιχρίσματα
20 - 500	Υαλοργία, ζωοτροφές
< 300	Ευτηκτικά σε χυτήρια
< 15	Χαρτοβιομηχανία
< 2	Πληρωτικά, στιλβωτικά, εντομοκτόνα

Με βάση τις χημικές του ιδιότητες το προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διεργασίες εξουδετέρωσης όξινων διαλυμάτων, όπως για παράδειγμα στη βιομηχανία λιπασμάτων, όπου χρησιμοποιείται επίσης και ως συμπληρωματικό όγκου (*filler*)<sup>[1]</sup>.

## Η ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

Τα στάδια της διεργασίας παραλαβής του στερεού  $CaCO_3$  παρουσιάζονται στο **Σχήμα 1**. Η ξήρανση του υλικού, που περιέχει λιγότερο από 20% υγρασία, γίνεται σε περιστροφικό ξηραντήρα η τροφοδοσία του οποίου γίνεται με αναβatóριο. Ο αέρας για την ξήρανση θερμαίνεται σε φούρνο που λειτουργεί με φυσικό αέριο και αφού διέλθει από τον ξηραντήρα οδηγείται σε κυκλώνα όπου παραλαμβάνεται το συμπαρασυρθέν λεπτόκοκκο υλικό.



**Σχήμα 1:** Διάγραμμα ροής της υπό μελέτη μονάδας

Για το σχεδιασμό του ξηραντήρα είναι απαραίτητη η γνώση της τιμής ορισμένων συντελεστών που εξαρτώνται από το είδος του προς ξήρανση υλικού<sup>[2]</sup>. Για το σκοπό αυτό έγιναν πειράματα σε πιλοτική μονάδα (της *Bench Scale Equipment*) που αποτελείται από:

- Περιστροφικό ξηραντήρα από ανοξείδωτο χάλυβα SS-316, μήκους 45cm και διαμέτρου 18cm, καλυμμένου με μονωτικό υλικό. Οι συνθήκες λειτουργίας είναι ίδιες με αυτές ενός βιομηχανικού ξηραντήρα (θερμοκρασία εισόδου του αέρα 180°C, ταχύτητα περιστροφής 3rpm, κλίση 2°)<sup>[2]</sup>.
- Κυκλώνα από ανοξείδωτο χάλυβα SS-316 τοποθετημένο στην έξοδο του αέρα από τον ξηραντήρα για τη συλλογή του λεπτόκοκκου υλικού.

Τα πειράματα έγιναν για ομορροή αέρα-υλικού και σταθερές συνθήκες λειτουργίας. Μετρήθηκαν ο χρόνος παραμονής, το ποσοστό της υγρασίας του τελικού προϊόντος και με βάση τις σχεδιαστικές εξισώσεις του ξηραντήρα<sup>[2]</sup> προσδιορίστηκαν οι παράμετροι σχεδιασμού ενός ξηραντήρα βιομηχανικής κλίμακας<sup>[1]</sup>. Οι σχεδιαστικές εξισώσεις για τον ξηραντήρα συμπεριελήφθησαν σε υποροϋτίνα η οποία ενσωματώθηκε σε εμπορικό προσομοιωτή διεργασιών (*ASPEN<sup>®</sup>*) με σκοπό να αξιοποιηθούν οι δυνατότητες του λογισμικού στο βέλτιστο σχεδιασμό της διεργασίας.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ως κριτήριο για την οικονομικότητα της εγκατάστασης επελέγη η *αξία εγχειρήματος*<sup>[3]</sup>, ενώ για τους οικονομικούς υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του **Πίνακα 4**.

Στα στοιχεία κόστους μιας τέτοιας μονάδας περιλαμβάνονται<sup>[3, 4]</sup>:

- *Η πάγια επένδυση.* Επισημαίνεται ότι για τεχνικούς λόγους το μήκος του ξηραντήρα δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 15m<sup>[2]</sup>, δηλαδή για μεγάλες δυναμικότητες απαιτείται συστοιχία ξηραντήρων.
- *Τα έξοδα λειτουργίας.* Τα σημαντικότερα από αυτά είναι: το κόστος της πρώτης ύλης, οι δαπάνες για την ενέργεια και το κόστος των εργατικών.

Πίνακας 4: Δεδομένα για τους οικονομικούς υπολογισμούς<sup>[4]</sup>

διάρκεια ζωής της εγκατάστασης	10 χρόνια
συντελεστής γραμμικής απόσβεσης	10%
συντελεστής απόσβεσης για φορολογικούς σκοπούς	10%
ενιαίος φορολογικός συντελεστής	40%
αποδεκτή απόδοση κεφαλαίου	10%

Ως προς τη δυναμικότητα της υπό μελέτη μονάδας εξετάζονται δυο Σενάρια:

- **Σενάριο 1:** Δημιουργία μιας μεγάλης *κεντρικής* μονάδας στην περιοχή που βρίσκονται οι μονάδες επεξεργασίας μαρμάρου, η οποία θα συλλέγει και θα επεξεργάζεται τη “μουργκάνα” που προέρχεται από *όλες* τις μονάδες της περιοχής.
- **Σενάριο 2:** Δημιουργία *πολλών μικρών* μονάδων επιτόπιας κατεργασίας εγκατεστημένων στους χώρους των μονάδων επεξεργασίας μαρμάρου.

Η τιμή αγοράς της πρώτης ύλης μπορεί να θεωρηθεί μηδενική, δεδομένου ότι η μονάδα που την παράγει θέλει να απαλλαγεί από αυτή. Στο *Σενάριο 1* όμως συνυπολογίζεται ως κόστος η επιβάρυνση από τη μεταφορά της πρώτης ύλης. Παράλληλα εξετάζεται το ενδεχόμενο αγοράς της πρώτης ύλης έναντι μικρού τιμήματος. Αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει κίνητρο για τις Επιχειρήσεις κατεργασίας μαρμάρων ώστε να μεταφέρουν και να παραδίδουν τα απόβλητά τους στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας αντί να τα απορρίπτουν στο περιβάλλον όπως είναι η συνήθης πρακτική, η οποία εκτός από περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχει σημαντικό κόστος (μεταφορικά, αγορά γης). Το ύψος αυτού του τιμήματος καθορίζεται με οικονομικά κριτήρια και εξαρτάται από τη δυναμικότητα της υπό μελέτη μονάδας.

Στο *Σενάριο 1* η μονάδα θεωρείται ότι λειτουργεί σε 24ωρη βάση, σε αντίθεση με το *Σενάριο 2*, όπου λόγω των συνθηκών λειτουργίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας μαρμάρων η υπό μελέτη μονάδα θα λειτουργεί επί 8ωρο. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια μεγαλύτερη επιβάρυνση του προϊόντος από το κόστος της πάγιας επένδυσης.

## ΣΧΟΛΙΑ

Τα αποτελέσματα της εργασίας θα συμβάλλουν στην ορθολογική διαχείριση των υγρών αποβλήτων που προέρχονται από τις μονάδες επεξεργασίας μαρμάρων και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Πρέπει να τονισθεί ότι στο όφελος από τη δημιουργία μονάδων αξιοποίησης αποβλήτων οφείλει πάντα κανείς πέρα από το στενό οικονομικό κέρδος να συνυπολογίζει και το “κοινωνικό κέρδος” από τη διατήρηση ενός καθαρού περιβάλλοντος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Νικολαΐδης, Σ.Γ. 2003 *Διπλωματική Εργασία*, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ.
- [2] Kemp, I.G. & Milborne, R.J. 2000 *Design of Rotary Dryers and their Application in the Fertilizer Industry, Proc. IFS No 451*.
- [3] Happel, J. & Jordan, D.G. 1975 *Chemical Process Economics* 2<sup>nd</sup> Ed., Marcell Dekker Inc., N. York.
- [4] Καράμπελας, Α.Ι. 2001 *Σχεδιασμός Χημικών Εγκαταστάσεων*, Σημειώσεις, ΑΠΘ.