

ΥΠΕΡΛΕΠΤΗ ΚΟΝΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΕΙΔΙΚΩΝ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΑ ΜΑΡΜΑΡΟΥ

Γεώργιος Ζαννής

Υποψ. Διδ. Σχολής Μηχ. Μηχ. Ε.Μ.Π.

Ιωάννης Αντωνιάδης

Αναπλ. Καθηγής Σχολής Μηχ. Μηχ. Ε.Μ.Π.

Μαρία Φούντη

Καθηγήτρια Σχολής Μηχ. Μηχ. Ε.Μ.Π.

Λέξεις κλειδιά: δομικά υλικά, υπέρλεπτη λειοτριβήση

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Εξετάζεται η δυνατότητα υπέρλεπτης κονιοποίησης CaCO_3 από απορρίμματα λατομείων και μονάδων επεξεργασίας μαρμάρου για χρήση σε ειδικά επιχρίσματα. Τα πειράματα διεξάγονται με οριζόντιο δακτυλιόμυλο που αναπτύχθηκε στο ΕΜΠ με άλεση (batch) για διάφορα φορτία πρώτης ύλης και παραμέτρους λειτουργίας. Εξετάζεται η επίδραση του βοηθητικού άλεσης που έχει σαν αποτέλεσμα λεπτότερο προϊόν με μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Αποδεικνύεται ότι η υπέρλεπτη πούδρα με μέση διάμετρο 3.5-4.5μm παράγεται αποδοτικά στο συγκεκριμένο μύλο. Το μικρότερο επιτεύξιμο μέγεθος είναι ανεξάρτητο από τις συνθήκες άλεσης ή το φορτίο του υλικού.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία επικεντρώνεται στη δυνατότητα λειοτριβήσης-πουδροποίησης ανθρακικού ασβεστίου από τα παραπροϊόντα της εξόρυξης και επεξεργασίας μαρμάρου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη παραγωγή ειδικών επιχρισμάτων, δομικών υλικών και πληρωτικών υλικών. Το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) μπορεί να εκληφθεί από μια πληθώρα πηγών όπως είναι ο ασβεστόλιθος, η κιμωλία, το μάρμαρο και σε μικρότερη έκταση από ανθρακικά άλατα, ορυκτό ασβεστίτη, τραβερίνη, ιζήματα κελυφών, άμμο αραγονίτη ή δολομίτη. Ο ασβεστόλιθος και ο δολομίτης που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές κατέχουν την έβδομη θέση στη λίστα με τα 50 σημαντικότερα βιομηχανικά ορυκτά του κόσμου σε σχέση με την αξία και την πέμπτη ($5^{\text{η}}$) αναφορικά με την παραγωγή (Housain C.-E 1999).

Τα διογκωτικά και πληρωτικά υλικά είναι ορυκτά χαμηλού κόστους τα οποία χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα σε δομικά υλικά και μονωτικά με σκοπό τη βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων τους. Σήμερα στην Ευρώπη τα πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα διογκωτικά και πληρωτικά υλικά είναι το αλεσμένο ανθρακικό ασβέστιο (Ground Calcium Carbonate - GCC), ο καολίνης, ο τάλκης και το καταβυθιζόμενο ανθρακικό ασβέστιο (Precipitated Calcium Carbonate - PCC). Η μεγάλη αύξηση στην κατανάλωση του CaCO_3 οφείλεται στα πλεονεκτήματα του υλικού, όπως το χαμηλό κόστος παραγωγής, η δυνατότητα μερικής/ολικής αντικατάστασης ακριβότερων πληρωτικών (καολίνη, τάλκη κτλ), η κατανομή μεγέθους και η λαμπρότητα (brightness) (Laskaridis, K. 1995). Η σημερινή Ευρωπαϊκή αγορά απαιτεί πληρωτικά υλικά με συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες. Επιβάλλονται έτσι διαρκώς αυστηρότερες απαιτήσεις κυρίως όσον αφορά την τελική κοκκομετρία του προϊόντος.

Στην Ελλάδα, οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ανθρακασβεστικών πληρωτικών είναι αμιγές λευκό εύθρυπτο μικροκρυσταλλικό ασθρακασβέστιο και δολομιτικά και ασβεστιτικά μάρμαρα. Η Ελληνική αγορά ανθρακασβεστικών πληρωτικών αποτελείται κυρίως από 6 εταιρίες που παράγουν λεπτοαλεσμένα ανθρακασβεστικά πληρωτικά (Laskaridis, K. 1987, 1995).

Το υπέρλεπτο ανθρακικό ασβέστιο που προκύπτει από την κονιοποίηση των στείων μαρμάρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πληρωτικό, λευκαντικό, ή διογκωτικό σε δομικά υλικά (π.χ επιχρίσματα, κονιάματα, χρώματα, γυψοσανίδες, πλαστικά, τεχνητοί λίθοι) στοχεύοντας στη βελτίωση χαρακτηριστικών των τελικών προϊόντων (π.χ. πυκνότητα, μέτρο του Young, δυσκαμψία, σκληρότητα επιφάνειας, μείωση συρρίκνωσης, βραδυφλεγύτητα, ισχυροποίηση και σταθεροποίηση πορώδους επιφάνειας, μείωση απορροφητικότητας υποστρώματος, επίτευξη λείων επιφανειών) και τη μείωση του κόστους παραγωγής (Omya AG), (O'Driscoll, M. 1993), (Goldman, A. Ya. Copsey, C. J. 2000). Επιπλέον είναι το πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό σε αρχιτεκτονικά μνημεία (Moropoulou A. at al 2000, Hughes J. and Valek, J. 2003).

Ο σημαντικότερος λόγος για την εκτεταμένη χρήση του CaCO_3 σαν χρωστική ουσία (με μέγεθος 30-98% < 2 μm) είναι η απεριόριστη πρακτικά διαθεσιμότητα ανθρακασβεστικών αποθεμάτων. Αυτό σε συνάρτηση με το μεγάλο αριθμό σημείων παραγωγής μειώνει τις αποστάσεις μεταφοράς προς τις βιομηχανίες και τα συνεπακόλουθα κόστη μεταφοράς. Προς το παρόν, το CaCO_3 είναι η χρωστική που μπορεί να αποκτηθεί με σχετικά μικρό κόστος [Gysau, D. 2000].

Λόγω της ευρείας γκάμας εφαρμογών, το υπέρλεπτο CaCO_3 χωρίς 'ακαθαρσίες' και με προκαθορισμένη κατανομή μεγέθους θεωρείται προϊόν υψηλής προστιθέμενης αξίας και κατά συνέπεια το κόστος παραγωγής του επηρεάζεται από την επιλογή του συστήματος παραγωγής του. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το σύστημα παραγωγής υπέρλεπτου υλικού

περιλαμβάνει μύλο σε συνεργασία με αεροδιαχωριστή που εξασφαλίζουν το επιθυμητό μέγιστο μέγεθος και παραγωγή GCC μειωμένου κόστους στην περιοχή του υπέρλεπτου μεγέθους για βιομηχανικές εφαρμογές.

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση της δυνατότητας ενός οριζοντίου δακτυλιόμυλου, με χαμηλό κόστος κατασκευής να κονιοποιεί απορρίμματα μαρμάρου στην υπέρλεπτη περιοχή με προδιαγεγραμμένο μέγεθος.

Η παραγόμενη πούδρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κονιάματα δόμησης (όπως κονιάματα ενίσχυσης τοιχοποιίας, μη συρρικνούμενα κονιάματα αγκυρώσεων), σε κονιάματα επιχρισμάτων (π.χ. για σοβάτισμα μιας στρώσης σε εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες κτιρίων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται λεία επιφάνεια που απαιτεί λιγότερο τρίψιμο και σπατουλάρισμα), σε στόκους εσωτερικής και εξωτερικής χρήσης, σε επισκευαστικούς σοβάδες μιάς στρώσης, σε αρμόστοκους καθώς και σε ρητίνες και κόλλες. Εφαρμογή μπορεί να έχει επίσης στη παραγωγή τεχνητών πετρωμάτων (όπως τεχνομάρμαρα) και ειδικών τσιμέντων.

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

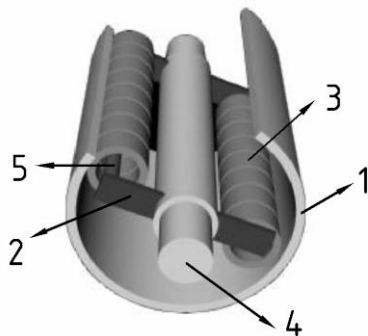
Τα πειράματα διεξήχθησαν με τη μέθοδο αυτοτελούς άλεσης φόρτου (batch mode) με διάφορα φορτία πρώτης ύλης και λειτουργικές παραμέτρους. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα είναι πούδρα CaCO_3 η οποία διατίθεται στο εμπόριο σαν πληρωτικό για την παρασκευή κονιαμάτων και προέρχεται από απορρίμματα μαρμάρου τα οποία είναι παραπροϊόν της εξόρυξης του μαρμάρου. Τα απορρίμματα είναι τεμάχια ακανόνιστου σχήματος διαφόρων μεγεθών που δεν μπορούν να διαμορφωθούν σε πλάκες και συσσωρευμένα μπορούν να προκαλέσουν περιβαλλοντικά και αισθητικά προβλήματα ιδιαίτερα όταν το λατομείο βρίσκεται κοντά σε οικιστικές ή τουριστικές περιοχές.

Η εργασία καταδεικνύει τη δυνατότητα εκμετάλλευσης των στείων μετατρέποντας τα σε υπέρλεπτη σκόνη στοχεύοντας α) στη μείωση του όγκου των σωρών στο λατομείο και β) στην παραγωγή προϊόντος υψηλής προστιθέμενης αξίας.

2.1 Περιγραφή του δακτυλιόμυλου

Στην Εικόνα 1 φαίνονται τα κυριότερα στοιχεία του δακτυλιόμυλου (Makris P. Founti, M. 1994), (Makris, P. 1995), (Makris P. Founti, M. 1996), (Spitas, V. et. al. 1999). Το κύριο μέρος του μύλου αποτελείται από το κυλινδρικό κέλυφος (1). Ένα ορθογωνικό μεταλλικό πλαίσιο είναι τοποθετημένο κατά μήκος του άξονα του κυλίνδρου και είναι προσαρτημένο στον κύριο άξονα (4). Ο κύριος άξονας περιστρέφεται με τη βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα μέσω ιμαντοκίνησης. Το πλαίσιο αποτελείται από δύο βραχίονες (2) στους οποίους στερεώνονται 2 ράβδοι

(5) κυκλικής διατομής. Σε κάθε ράβδο είναι περασμένος ένας αριθμός δακτυλίων οι οποίοι καλύπτουν όλο το μήκος της ράβδου. Οι δακτύλιοι μπορούν να κινηθούν ελεύθερα κατά τον άξονα και την ακτίνα.

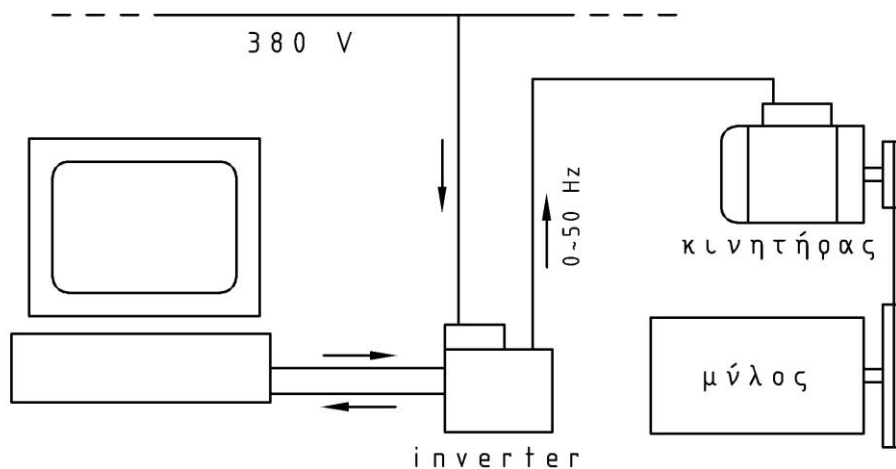


Εικόνα 1. Στοιχεία του μύλου

Όταν το πλαίσιο περιστρέφεται, οι δακτύλιοι λόγω της φυγοκέντρου πιέζουν την εσωτερική επιφάνεια του κελύφους του μύλου ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής ανάμεσα στους δακτυλίους και τον κύλινδρο. Υπό αυτές τις συνθήκες οι δακτύλιοι κυλίσουν και ολισθαίνουν στην εσωτερική επιφάνεια του μύλου. Το υλικό κονιοποιείται στο διάκενο ανάμεσα στην εσωτερική επιφάνεια του μύλου και τους δακτυλίους. Επομένως, το υλικό βρίσκεται υπό την επίδραση ορθών και διατμητικών δυνάμεων συνδυάζοντας θραύση με εκτριβή. Ο μύλος παρουσιάζει αξιόλογα πλεονεκτήματα συγκρινόμενος με τις συνήθεις μηχανές άλεσης ιδιαίτερα στην λεπτή και υπέρλεπτη άλεση βιομηχανικών ορυκτών. Η πρωτοτυπία του μύλου έγκειται κυρίως στη δυνατότητα μεταβολής του λόγου των δυνάμεων συμπίεσης προς τις διατμητικές δυνάμεις που ασκούνται κατά την κονιοποίηση. Ο λόγος ρυθμίζεται σύμφωνα με τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Η χρήση δακτυλίων έναντι ράβδου, επιτρέπει την καλύτερη άλεση των λεπτότερων κλασμάτων του αρχικού υλικού.

2.2 Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη φαίνεται στην Εικόνα 2. Ο άξονας του μύλου περιστρέφεται από έναν ηλεκτροκινητήρα ο οποίος οδηγείται από έναν μετατροπέα συχνότητας (frequency inverter). Ο μετατροπέας συχνότητας παρέχει σήμα ανάλογο της ισχύος που απορροφά ο κινητήρας. Κατά τη διάρκεια των πειραματικών δοκιμών το σήμα καταγράφεται από Η/Υ και ολοκληρώνεται στο χρόνο υπολογίζοντας έτσι την καταναλισκόμενη ενέργεια. Η καταγραφή γίνεται με χρήση της πλατφόρμας του LabVIEW.



Εικόνα 2. Σχηματικό διάγραμμα της πειραματικής διάταξης

Σε κάθε δοκιμή ο μύλος τροφοδοτείται με συγκεκριμένη ποσότητα πρώτης ύλης μεσαίας τιμής $d(0.5)=13 \mu\text{m}$ και $D(0.97)=40 \mu\text{m}$. Σε όλες τις δοκιμές προστίθεται στην πρώτη ύλη με ψεκασμό βοηθητικό άλεσης σε αναλογία περίπου 1% κ.β. Το βοηθητικό άλεσης είναι υδατικό διάλυμα αμινών και πολυαλκοολών και χρησιμοποιείται στη σχετική βιομηχανία κατεργασίας CaCO_3 . Η επίδραση του βοηθητικού άλεσης παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Η λειτουργία του μύλου διακόπτεται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα και αφαιρείται μια ελάχιστη ποσότητα αντιπροσωπευτικού δείγματος υλικού για κοκκομετρική ανάλυση. Ακολούθως ο μύλος επανεκκινείται. Η διαδοχική επανάληψη κράτησης-έναρξης του μύλου απεδείχθη ότι δεν επηρεάζει την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

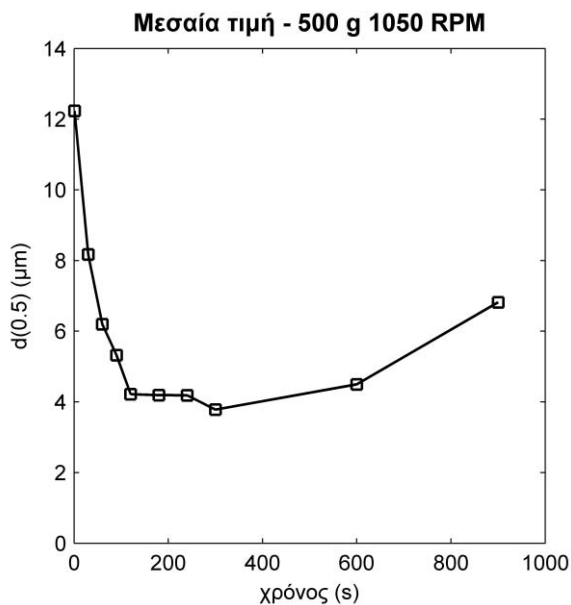
Ο μύλος δύναται να περιστρέφεται είτε με 650 είτε με 1050 RPM. Οι ποσότητες της πρώτης ύλης που εξετάστηκαν στα πειράματα είναι 250, 500 και 750g.

Η κατανομή μεγέθους του κάθε δείγματος μετρήθηκε με τη συσκευή MasterSizer 2000 (Malvern instruments) με τη μέθοδο LALLS. Τα δείγματα υφίστανται διασπορά σε νερό με χρήση υπερήχων. Ο δείκτης διάθλασης επιλέχθηκε ίσος με 1.690. Το ολικό σφάλμα μέτρησης ανέρχεται σε 5% σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η Εικόνα 3 παρουσιάζει τη μεταβολή της μεσαίας τιμής του μεγέθους του προϊόντος σε συνάρτηση με το χρόνο για 500 g υλικού και ταχύτητα περιστροφής του μύλου 1050 RPM. Η μορφή της καμπύλης που φαίνεται

στην Εικόνα 3 είναι αντιπροσωπευτική για όλες τις εξεταζόμενες περιπτώσεις.



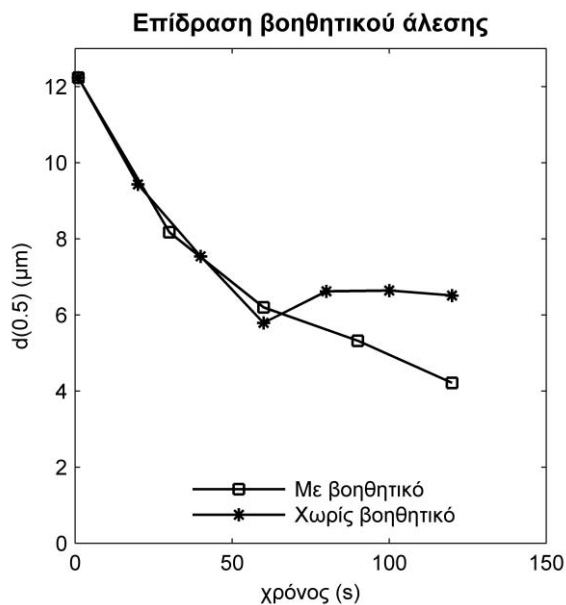
Εικόνα 3. Μεταβολή της μεσαίας τιμής συναρτήσει του χρόνου (πρώτη ύλη 500 g, 1050 RPM)

Είναι εμφανές ότι στα πρώτα 120 s (2 min) το μέγεθος μειώνεται ταχέως, στη συνέχεια παραμένει περίπου σταθερό για τα επόμενα 180 s (3 min) και κατόπιν αρχίζει να μεγαλώνει μέχρι το τέλος του πειράματος στα 900 s (15 min). Το τελευταίο υποδηλώνει την ύπαρξη ισχυρών συσσωματωμάτων που δημιουργούνται κατά την άλεση και δεν μπορούν να εξαλειφθούν κατά την κοκκομετρική ανάλυση με τη χρήση υπερήχων. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στις περιπτώσεις των 250 και 750 g στις 1050 RPM. Η τάση της αύξησης του μεγέθους δεν παρατηρήθηκε στις περιπτώσεις των 500 και 750g σε ταχύτητα περιστροφής 650RPM. Η εξήγηση θα μπορούσε να είναι η ανάπτυξη ηλεκτροστατικών φορτίων λόγω της ολίσθησης των δακτυλίων στο υλικό κατά τις έντονες συνθήκες άλεσης.

Το βοηθητικό άλεσης το οποίο προστίθεται στο υλικό με ψεκάσμο προσροφάται στην επιφάνεια των κόκκων μειώνοντας τα ηλεκτροστατικά φορτία και συνεπακόλουθα το σχηματισμό συσσωματωμάτων. Από την Εικόνα 4 συγκρίνοντας τις μεσαίες διαμέτρους με και χωρίς βοηθητικό, συμπεραίνεται ότι με βοηθητικό άλεσης επιτυγχάνεται μικρότερη κοκκομετρία τελικού προϊόντος. Στη συγκεκριμένη Εικόνα παρουσιάζονται οι τιμές για τη δοκιμή με τα 500 g στις 1050 RPM.

Στην Εικόνα 5 είναι εμφανές ότι η δυνατότητα μείωσης του μεγέθους έχει ένα ελάχιστο οριακό κατώφλι. Η ελάχιστη δυνατή μεσαία διάμετρος είναι

μικρότερη όταν προστίθεται βοηθητικό άλεσης. Η ελάχιστη μεσαία διάμετρος για 500 g – 1050 RPM με βοηθητικό άλεσης (Εικόνα 5) είναι 3.78μm ενώ η αντίστοιχη χωρίς βοηθητικό (Εικόνα 4) είναι 5.79μm.



Εικόνα 4. Σύγκριση της μεσαίας τιμής με και χωρίς βοηθητικό άλεσης (500 g, 1050 RPM)

Κατά την άλεση χωρίς βοηθητικό άλεσης παρατηρήθηκε ο σχηματισμός επικαθίσεων στις ενεργές επιφάνειες του μύλου (εξωτερικές επιφάνειες δακτυλίων και εσωτερική επιφάνεια κελύφους μύλου) έχοντας την υφή φλούδας πορτοκαλιού. Οι επικαθίσεις αυτές οδηγούν σε σημαντική αύξηση των διατμητικών δυνάμεων μεταξύ δακτυλίων και κελύφους με αποτέλεσμα την αύξηση ισχύος του μύλου. Οι ακραίες τιμές (ελάχιστη τιμή) της μεσαίας διαμέτρου ($d(0.5)$) και του ποσοστού $P(d < 7\mu\text{m})$ όπου αντιστοιχεί στο ποσοστό υλικού με διάσταση μικρότερη από $7\mu\text{m}$ καθώς και του σχετικού εύρους που ορίζεται ως $[d(0.9)-d(0.1)]/d(0.5)$ παρουσιάζονται για όλες τις δοκιμές στον Πίνακα 1. Οι παρατηρούμενες διαφορές στο μέγεθος δεν είναι σημαντικές είτε για διαφορετικές ποσότητες υλικού είτε για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Σημαντικές διαφορές παρατηρούνται στο χρόνο που απαιτείται για την επίτευξη των τελικών τιμών και στην καταναλισκόμενη ενέργεια.

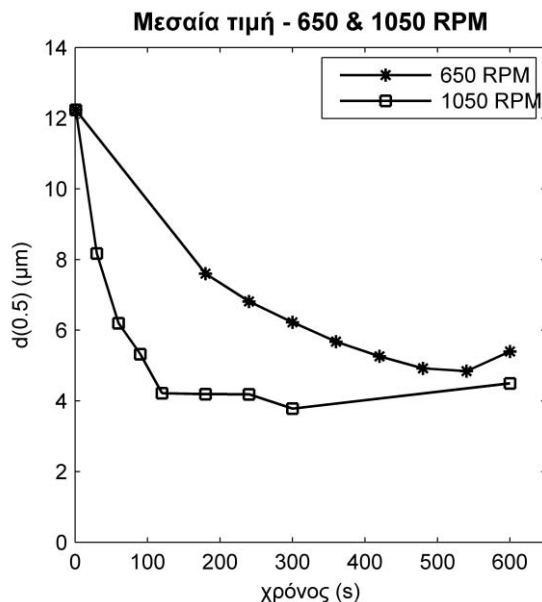
Θέτοντας ως κριτήριο το χρόνο που απαιτείται για την επίτευξη $P(d < 7\mu\text{m}) = 60\%$, υπολογίστηκε η παραγωγή (σε kg/h υλικού μικρότερο από $7\mu\text{m}$) για όλες τις περιπτώσεις. Ο χρόνος t_{60} υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την ημιεμπειρική σχέση Rosin-Rammler (1) (Terence 1984, Beke 1964) όπου R είναι το ποσοστό κατακρατούμενου υλικού σε κόσκινο συγκεκριμένης διάστασης, t ο χρόνος άλεσης και τα c και n σταθερές.

$$\frac{R}{R_0} = e^{-ct^n} \quad (1)$$

Η παραγωγή υλικού σε kg/h υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (2) όπου 0.6 και 0.32 είναι το επιθυμητό και το αρχικό ποσοστό του προϊόντος μικρότερο από 7 μ m, t_{60} είναι ο χρόνος επίτευξης του υλικού, m είναι η μάζα πρώτης ύλης.

$$\dot{m} = \frac{0.6 - 0.32}{t_{60}} * 3600 * m \quad (2)$$

Από την παραγωγή μάζας και από την καταναλισκόμενη ενέργεια υπολογίστηκε η ειδική κατανάλωση ενέργειας E (kWh/kg) η οποία αναφέρεται σε παραγωγή υλικού μικρότερο από 7 μ m. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.



Εικόνα 5. Μεταβολή της μεσαίας τιμής για διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής του μύλου.

Είναι φανερό ότι η πιο ευνοϊκή περίπτωση είναι αυτή των 250g η οποία συνδυάζει την υψηλότερη παραγωγή υλικού με τη μικρότερη κατανάλωση. Το αποτέλεσμα αυτό σχετίζεται άμεσα με τη λειτουργία του μύλου: η άλεση πραγματοποιείται στην εσωτερική επιφάνεια του μύλου και όχι σε ολόκληρο τον όγκο του. Το λεπτότερο στρώμα που σχηματίζεται με τα 250g έναντι των 500 και 750g διευκολύνει την ταχύτερη άλεση ενώ αντίθετα ένα παχύτερο στρώμα υλικού στην εσωτερική επιφάνεια του μύλου λειτουργεί ανακουφιστικά αποσβένοντας τις τάσεις που

αναπτύσσονται από τους δακτυλίους στο υλικό. Τα αποτελέσματα αυτά είναι ένας χρήσιμος οδηγός για την επιλογή των βέλτιστων συνθηκών άλεσης.

Πίνακας 1. Χρόνοι επίτευξης οριακών τιμών κοκκομετρίας

650 RPM					
Μάζα (g)	χρόνος (s)	d(0.5) (μm)	P<7μm (%)	mean (μm)	span
250	300	5.397	56.03	8.725	3.216
500	840	4.587	62.47	8.212	3.997
750	1200	4.221	63.72	8.231	4.515
1050 RPM					
250	100	4.478	62.02	8.287	4.402
500	300	3.781	67.59	7.315	4.708
750	600	3.415	69.53	7.635	4.991

Πίνακας 2. Υπολογιζόμενες τιμές για παροχή μάζας και ειδική κατανάλωση

Calculated values	Μάζα πρώτης ύλης (g)		
	250	500	750
t_{60} (s)	48	131	223
\dot{m} (kg/h)	5.3234	3.9459	3.4709
\dot{E} (kWh/kg)	0.1733	0.2104	0.4624

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πούδρα CaCO_3 η οποία είναι διαθέσιμη στο εμπόριο σαν πληρωτικό για την παρασκευή κονιαμάτων προερχόμενη από απορρίμματα μαρμάρου, αλέσθηκε περαιτέρω στην υπέρλεπτη περιοχή σε batch οριζόντιο δακτυλιόμυλο με διαφορετικό φορτίο και συνθήκες λειτουργίας. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην παραγωγή υλικού μικρότερο από 7μm. Πειραματικά καταδείχθηκε η ύπαρξη ορίου στην άλεση του συγκεκριμένου υλικού στον

συγκεκριμένο μύλο και συνθήκες λειτουργίας. Η μέγιστη τιμή του $P(d < 7\mu\text{m})$ είναι περίπου 65%. Πέρα από αυτό το σημείο σχηματίζονται συσσωματώματα με πιθανή αιτία τα ηλεκτροστατικά φορτία. Ανάμεσα σε τρία διαφορετικά φορτία του μύλου στις 1050RPM, η περίπτωση των 250g είναι η βέλτιστη δίνοντας τη μέγιστη παροχή με την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.

Η παραγόμενη πούδρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κονιάματα δόμησης και επιχρισμάτων, σε στόκους, σοβάδες ρητίνες και κόλλες. Εφαρμογή μπορεί να έχει επίσης στη παραγωγή τεχνητών πετρωμάτων και ειδικών τσιμέντων.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Beke, B. "Principles of comminution", Publ. House of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest (1964).

Bolger, R., "Industrial minerals in pharmaceuticals", *Industrial Minerals* N. 335 (1995) 52-63.

Goldman, A. Ya., Copsey, C. J., "Polypropylene toughened with calcium carbonate", *Mat. Res. Innovations*, Vol. 3 (2000) 302-307.

Gysau, D., "Anti-corrosion properties of paint extender minerals", *Industrial Minerals* N. 393 (2000) 41-49.

Housain C.-E., "Filling the gap – A review of European GCC", *Industrial Minerals*, N. 384 (1999) 73-81.

Hughes J. and Valek, J., "Mortars in historic buildings, A Review of the Conservation, Technical and Scientific Literature", *Historic Scotland*, Edinburgh (2003).

Laskaridis, K., „Beurteilung Griechischer Weisser kalke und Dolomite für den Industriellen Einsatz (z.B. in der Papier Industrie)“, *Dissertation*, Univ. Erlangen-Nürnberg (1987).

Laskaridis, K. "Post-quarrying exploitation of wastes from Greek white marble quarries for use as fine filler", *1st International Congress on Natural Stones*, Lisbon. 15-18 June (1995)

Makris, P. Founti, M., "Contribution to constructional and energy saving aspects in dry grinding of fine materials", *Proceedings of the Conference of the Panhellenic Union of Chemical Engineers: Rational Use of Energy in the Process Industry*, Athens, (1994) 1-9.

Makris, P., "Optimale Konstruktion von Feinstzerkleinerungsmaschinen", *Proceedings of ICED 95*, ed. V. Hubka, Praha, (1995) 104-109.

Makris P., Founti M., "Constructional aspects of dry pulverizers for energy efficient production of powders", *Proceedings of the 5th World*

Congress of Chemical Engineering, 2nd Particle Technology Forum, AIChE., San Diego, California, vol. 5, 1996.

Moropoulou, A., Bakolas A. and Bisbikou, K., “Investigation of the technology of historic mortars”, *J. Cult. Herit.* 1 (2000), 45–58.

Omya AG, “Mineral fillers in the plastics industry – a review”, technical note No 184.

O’Driscoll, M., “Minerals in European plastics; polypropylene in the driving seat”, *Industrial Minerals* N. 307 (1993) 19-35.

Spitas V., Makris P., Founti M., “A novel dry pulverizer for low cost production of powders”, *Particulate Science and Technology: An International journal*, vol. 17: (3) (1999) 217-228

Terence, A., “Particle Size Measurement – Volume 1- Powder Sampling and Particle Size Measurement”, Editor: Chapman & Hall. ISBN 0-412-72950-4 (1997).