

Ανάπτυξη Δομικών Υλικών με Χαμηλή Εκπομπή Σκόνης Development of low-dust building materials

Σωτηρία-Κυριακή ΓΕΩΡΓΟΥΛΕΑ¹, Ευστράτιος ΜΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ²,
Στυλιανός ΑΝΤΙΟΧΟΣ³

*Λέξεις κλειδιά: Τεχνολογία χαμηλής εκπομπής σκόνης, τσιμεντοειδής κόλλα
πλακιδίων, ίνες κυτταρίνης, μηχανικές ιδιότητες*
*Key words: Low-dust technology, cementitious tile adhesive, cellulosic fibers,
mechanical properties*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ : Χαρακτηριστικό των κονιών και των παραγώγων τους είναι η υψηλή τους τάση να σχηματίζουν σκόνη κατά την παραγωγή, τη μεταφορά, την ανάμιξη και τη διαχείρισή τους. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη δομικών υλικών με βάση το τσιμέντο χαμηλής εκπεμπόμενης σκόνης και συνεπώς υλικών υψηλής προστιθέμενης αξίας, με σταθερή χημική σύσταση και περισσότερο φιλικών προς τον χρήστη και το περιβάλλον. Ως υλικό αναφοράς επιλέχθηκε μία εμπορικά διαθέσιμη κόλλα πλακιδίων υψηλών επιδόσεων, με βάση το τσιμέντο. Για την παραγωγή της κόλλας πλακιδίων με χαμηλή τάση σχηματισμού σκόνης, χρησιμοποιήθηκαν έξι διαφορετικοί τύποι ινών κυτταρίνης και δύο τύποι υγρών ουσιών, σε διάφορες περιεκτικότητες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι με την προσθήκη ινών κυτταρίνης σε περιεκτικότητα 1.50% κ.β. κόλλας, επιτυγχάνεται σημαντική μείωση της σκόνης, η οποία κυμαίνεται από 68 έως 84%, ανάλογα με τον τύπο της ίνας. Ακόμη καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με την προσθήκη των υγρών νεοπεντυλο-γλυκόλης, τα οποία σε περιεκτικότητα 1.50% κ.β. κόλλας πλακιδίων οδηγούν σε μία μείωση της σκόνης της τάξης του 95%. Ωστόσο λαμβάνοντας υπόψη την επιβάρυνση του κόστους παραγωγής, η προσθήκη ινών κυτταρίνης σε ποσοστό 0.30%, αναδεικνύεται ως η βέλτιστη, τεχνοοικονομικά, λύση. Σε κάθε περίπτωση, διαπιστώθηκε ότι η παρουσία των ινών κυτταρίνης και των υγρών νεοπεντυλο-γλυκόλης δεν υποβαθμίζει τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες της κόλλας πλακιδίων.

¹ Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: sgeorgoulea@gmail.com

² Επικ. Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, email: badstrat@central.ntua.gr

³ Υπεύθυνος Διασφάλισης Ποιότητας, Εργοστάσιο Καμαρίου, Α.Ε. ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΤΙΤΑΝ, email: santiohos@titan.gr

ABSTRACT : Cement-based materials are generally in the form of powdered products and they are known to have a significant dust emission rate during their production, transportation, mixing and handling. The overall objective of the present study is the development of low-dust cement-based materials and therefore materials of high added value, which they have stable chemical composition and they are friendly to the users and to the environment. A commercially available cementitious tile adhesive was chosen as reference material. To achieve the dustiness reduction of the reference materials, six different types of cellulosic fibers and two different liquids were used as dust-reducing agents, at different percentages. The results suggested that the addition of cellulosic fibers, at a concentration of 1.50% by weight, led to a reduction of the dustiness in the range from 68 to 84%, depending on the type of the fiber used. Even better results were achieved by applying the neopentyl glycols, which at the amount of 1.50% by weight of dry adhesive, led to a dust reduction of 95%. However, considering the production cost, the addition of cellulosic fibers, at 0.30%, seems to be optimum. In any case, it was proven that the addition of cellulosic fibers and liquid agents did not degrade the mechanical performance of the tile adhesive.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Χαρακτηριστικό των δομικών υλικών με βάση το τσιμέντο είναι η υψηλή τους τάση να σχηματίζουν σκόνη κατά την παραγωγή, τη μεταφορά, την ανάμιξη και τη μεταχείρισή τους. Η αιωρούμενη σκόνη των υλικών αυτών επιβαρύνει τις συνθήκες εργασίας και δύναται να προκαλέσει προβλήματα υγείας στους εργαζόμενους (Fatima, S.K. et al, 2001, Mwaiselage, J. et al, 2006, Meo, S.A., 2004). Επιπλέον, στα πιο λεπτά σωματίδια που απομακρύνονται υπό τη μορφή σκόνης, περιέχονται κατά βάση υψηλής αξίας πρόσθετα, που ενώ συμμετέχουν σε χαμηλό ποσοστό στη σύνθεση του κονιάματος, καθορίζουν σημαντικά τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Ως εκ τούτου, η απομάκρυνσή τους μπορεί να τροποποιήσει τη σύσταση της σύνθεσης, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την απόδοση του τελικού προϊόντος.

Επί του παρόντος, σημαντικός αριθμός ερευνητικών προσπαθειών έχει διεξαχθεί με στόχο τη μείωση ή την εξάλειψη του σχηματισμού σκόνης των δομικών κονιών (Roe, D.C., 1993, Mizuno, Y. et al, 2011, Huber, M. et al, 2011, Guyot, C. et al, 2013, Guyot, C. et al, 2015, Stohr, W., et al, 2012, Laudet, A. et al, 2014). Οι ερευνητικές αυτές προσπάθειες επιλέγουν είτε τη συσσωμάτωση των λεπτών σωματιδίων των ξηρών συνθέσεων είτε την προσθήκη υγρών στις ξηρές συνθέσεις σε ποσοστά από 0.50 έως 6.00% κ.β. Σε όλες τις περιπτώσεις, επιτυγχάνεται μία σημαντική μείωση σχηματισμού σκόνης, ακόμη και σε χαμηλά ποσοστά προσθήκης υγρών, χωρίς να υποβαθμίζονται οι ιδιότητες του αρχικού προϊόντος. Σημειώνεται ότι από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, δε βρέθηκε κάποια ερευνητική προσπάθεια που να χρησιμοποιεί ίνες κυτταρίνης ως πρόσθετο μείωσης της σκόνης. Ως εκ τούτου, η επιλογή της παρούσας εργασίας να διερευνήσει την επίδραση και των ινών κυτταρίνης στην τάση σχηματισμού

σκόνης των δομικών υλικών αποτελεί μία ενδιαφέρουσα συμβολή στις μέχρι τώρα ερευνητικές προσπάθειες.

Διάφορα υλικά χρησιμοποιούνται σαν πρόσθετα με στόχο τον περιορισμό της εκπεμπόμενης σκόνης («anti-dust» additives). Παράλληλα με την υψηλή αποτελεσματικότητά τους ως προς την αναστολή του σχηματισμού σκόνης, τα πρόσθετα οφείλουν να είναι εύκολα στην εφαρμογή τους. Ως εύκολα στην εφαρμογή χαρακτηρίζονται τα πρόσθετα τα οποία δεν απαιτούν ιδιαίτερη επεξεργασία πριν την προσθήκη τους στη σύνθεση (αραίωση ή διαλυτοποίηση με νερό, θέρμανση κ.α.). Επιπλέον, κρίνεται απαραίτητο η διαδικασία εφαρμογής των προσθέτων να μην προϋποθέτει εξειδικευμένο εργοστασιακό εξοπλισμό. Κρίσιμης σημασίας για την αξιολόγηση των προσθέτων είναι η επίδρασή τους στις απαιτούμενες ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Συγκεκριμένα, είναι εξαιρετικά σημαντικό τα πρόσθετα να μην προκαλούν μείωση της απόδοσης του προϊόντος αναφοράς ή ακόμη καλύτερα να τη βελτιώνουν. Τέλος, το κόστος των προσθέτων πρέπει να κινείται σε λογικό πλαίσιο έτσι ώστε η χρήση τους να αποτελεί μία οικονομικά αποδεκτή λύση για τις βιομηχανίες δομικών προϊόντων.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη δομικών υλικών με βάση το τσιμέντο με χαμηλή εναέρια εκπομπή σκόνης (low airborne dust emission). Επιπλέον, στις συνθέσεις με τη χαμηλότερη εκπομπή σκόνης, πραγματοποιείται διερεύνηση της επίδρασης της προσθήκης του προσθέτου στις ιδιότητες και στο κόστος του τελικού προϊόντος.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Υλικά και συνθέσεις

Ως υλικά για τη μείωση της αιωρούμενης σκόνης επιλέχθηκαν ίνες και υγρά πρόσθετα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν επτά διαφορετικοί τύποι εμπορικά διαθέσιμων ινών υψηλής περιεκτικότητας σε κυτταρίνη (cellulose fibres), οι οποίες κωδικοποιούνται ως CFs- A έως G. Τα γενικά χαρακτηριστικά των ινών κυτταρίνης που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Τα υγρά πρόσθετα που εξετάστηκαν είναι εστέρες νεοπεντυλο-γλυκόλης. Τυπικές ιδιότητες τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Οι συνθέσεις της κόλλας πλακιδίων (CTA) με ίνες κυτταρίνης παρασκευάστηκαν με την προσθήκη των ινών κυτταρίνης σε ποσοστά 0.30, 0.60, 1.00 και 1.50% κ.β. κόλλας πλακιδίων. Οι ίνες προστίθενται στις συνθέσεις ως έχουν, χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Στη συνέχεια, κατά την υγρή ανάμιξη, η αναλογία νερού προς κόλλα πλακιδίων διατηρήθηκε ίση με 0.28 ($W/CTA=0.28$), όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.

Η προσθήκη των υγρών πρόσθετων πραγματοποιήθηκε σε ποσοστά 0.30, 0.50, 1.00 και 1.50% κ.β. κόλλας πλακιδίων. Η αναλογία νερού προς κόλλα πλακιδίων διατηρήθηκε σταθερή και ίση με 0.28 ($W/CTA=0.28$). Οι αναλογίες ανάμιξης της κόλλας πλακιδίων με τα υγρά πρόσθετα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Η

παρασκευή της νωπής κόλλας πλακιδίων με ίνες κυτταρίνης πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο EN 1015-2.

Πίνακας 1. Γενικά χαρακτηριστικά ιών κυτταρίνης.

Τύπος CFs	Χρώμα	Ποσοστό κυτταρίνης (%)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/l)	Μέσο μήκος (μm)	Επικάλυψη με έλαιο
A	γκρι	~60	<90	1100	OXI
B	υπόλευκο	~70	<120	500	OXI
C	λευκό	~95	>120	60	NAI
D	μπεζ	δ.δ.	<370	250	NAI
E	κίτρινο	δ.δ.	<220	100-400	NAI
F	λευκό	~70	150-190	200	OXI
G	υπόλευκο	~60	80-140	500	OXI

Πίνακας 2. Τυπικές ιδιότητες των υγρών νεοπεντολο-γλυκόλης.

Τύπος NPG	Χρώμα (Hazen)	Οξύτητα (mg, KOH/gr)
A	30	0.02
B	21	0.01
C	δ.δ.	≤0.50

Πίνακας 3. Αναλογίες (%) ανάμιξης της κόλλας πλακιδίων με τις ίνες κυτταρίνης.

Αριθμός σύνθεσης	1	2	3	4	5
CTA (%)	100	99.70	99.60	99	98.50
CFs (%)	0.0	0.30	0.60	1.00	1.50
Νερό (%)	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

Πίνακας 4. Αναλογίες (%) ανάμιξης της κόλλας πλακιδίων με τα υγρά πρόσθετα.

Αριθμός σύνθεσης	1	2	3	4	5
CTA (%)	100	100	100	100	100
NPG (%)	0	0.30	0.50	1.00	1.50
Νερό (%)	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

Πειραματικές δοκιμές

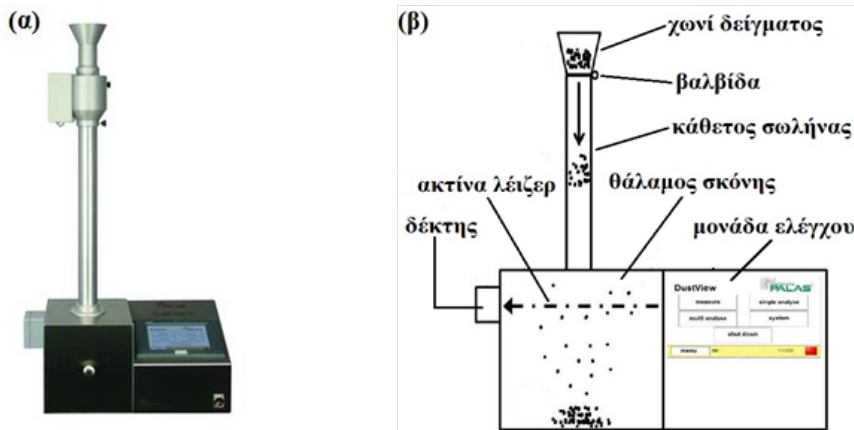
Μετά την ανάμιξη των υλικών πραγματοποιήθηκε η δοκιμή προσδιορισμού της τάσης σχηματισμού σκόνης. Ως «τάση σχηματισμού σκόνης» (dustiness) ορίζεται η τάση μιας κονιάς να παράγει αιωρούμενη σκόνη κατά τη διαδικασία του χειρισμού της (Plinke, M.A.E. et al, 1992). Ο προσδιορισμός της τάσης σχηματισμού σκόνης πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της μονής ρίψης (Single Drop, SD) σύμφωνα με το EN 15051 και με χρήση του πιστοποιημένου όργανου μέτρησης Dustview II (Σχήμα 1).

Σύμφωνα με τη μέθοδο της μονής ρίψης, δείγμα 30 g διοχετεύεται στο χωνί δείγματος όπου αυτόματα πέφτει στον θάλαμο σκόνης. Η μέτρηση πραγματοποιείται βάσει της εξασθένησης της δέσμης ακτίνων λέιζερ, καθώς ο σχηματισμός σκόνης προκαλεί μείωση της έντασης της δέσμης λέιζερ. Η τιμή 0 σημαίνει μηδενική εξασθένηση της δέσμης λέιζερ λόγω ανάπτυξης σκόνης, ενώ, αντίθετα, η τιμή 100 σημαίνει την πλήρη εξασθένηση της δέσμης λέιζερ λόγω ανάπτυξης σκόνης. Από την αρχική τιμή των πρώτων 0.5 s έως την τιμή της εξασθένησης της δέσμης λέιζερ στα 30 s, υπολογίζεται ο αριθμός της σκόνης που αιωρείται στο θάλαμο.

Ο αριθμός της σκόνης (Dust Value) που παράγεται από κάθε υλικό προσδιορίζεται σύμφωνα με την “Εξίσωση 1”.

$$\text{Dust value} = \text{max value} + 30 \text{ sec value} \quad (1)$$

όπου max value είναι η μέγιστη τιμή της σκόνης που καταγράφεται από το όργανο στα 0.5 sec και 30 sec value είναι η τιμή της παραμένουσας αιωρούμενης σκόνης στα 30 sec.



Σχήμα 1. Μέθοδος της μονής ρίψης (α) διάταξη Dustview II της εταιρίας Palas και (β) σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του Dustview II.

Στη συνέχεια, σε όλες τις συνθέσεις πραγματοποιήθηκαν πειραματικές δοκιμές για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων της, καθώς και για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των σκληρυμένων δοκιμίων, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Σημειώνεται ότι οι δοκιμές αυτές δεν αποτελούν τις πρότυπες δοκιμές για τον προσδιορισμό των ποιοτικών απαιτήσεων του ΕΛΟΤ EN 12004 για τις τσιμεντοειδείς κόλλες πλακιδίων που αφορούν κυρίως τις ιδιότητες εφελκυστική δύναμη αποκόλλησης, ολίσθηση και ανοιχτός χρόνος. Ωστόσο, λόγω περιορισμένης διαθεσιμότητας εργαστηριακού εξοπλισμού, πραγματοποιήθηκαν κλασσικές δοκιμές κονιαμάτων προκειμένου να εξαχθούν κάποια αρχικά συμπεράσματα ως προς την επίδραση των προσθέτων στις βασικές ιδιότητες της κόλλας.

Πίνακας 5. Πειραματικές δοκιμές κόλλας πλακιδίων.

Δοκιμή	Ηλικία κόλλας (ημέρες)	Πρότυπο
εξάπλωση	0 (νωπή)	EN 1015-3
πυκνότητα	0 (νωπή)	EN 1015-6
περιεχόμενος αέρας	0 (νωπή)	EN 1015-7
συγκρατούμενο νερό	0 (νωπή)	EN 1015-8
αντοχή σε κάμψη	3, 7 & 28	EN 1015-11
αντοχή σε θλίψη	3, 7 & 28	EN 1015-11
ελεύθερη συρρίκνωση	1 έως 65	ASTM C490

Τέλος, για την οικονομοτεχνική αξιολόγηση των προσθέτων λήφθηκε υπόψη η επιβάρυνση του κόστους παραγωγής της κόλλας. Έτσι σαν κριτήριο αξιολόγησης των προσθέτων, χρησιμοποιείται ο συντελεστής α , που ορίζεται σύμφωνα με την “Εξίσωση 2”, ως ο λόγος της μείωσης της σκόνης λόγω της προσθήκης ινών ή υγρών πρόσθετων προς την αντίστοιχη επιβάρυνση του κόστους παραγωγής της κόλλας..

$$\alpha = (\text{Dust value} - \text{max value}) / \text{επιπλέον κόστος παραγωγής} \quad (2)$$

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

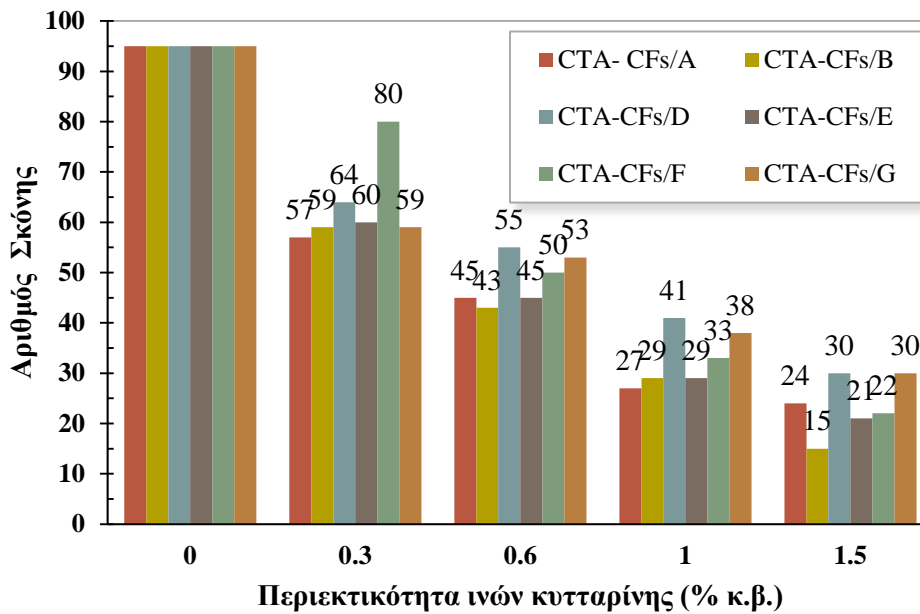
Αριθμός σκόνης της κόλλας πλακιδίων

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του αριθμού σκόνης της κόλλας πλακιδίων με ίνες κυτταρίνης σε περιεκτικότητα 0.30, 0.60, 1.00 και 1.50% κ.β. κόλλας παρουσιάζονται στο Σχήμα 2. Παρατηρείται ότι η προσθήκη των ινών κυτταρίνης περιορίζει σημαντικά την εκπομπή σκόνης, ιδιαίτερα για περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 0.60%. Ωστόσο, ακόμη και για χαμηλή περιεκτικότητα ινών κυτταρίνης (0.30% κ.β. κόλλας), επιτυγχάνεται μείωση της σκόνης της κόλλας πλακιδίων έως και 40%. Η μέγιστη μείωση της εκπεμπόμενης σκόνης

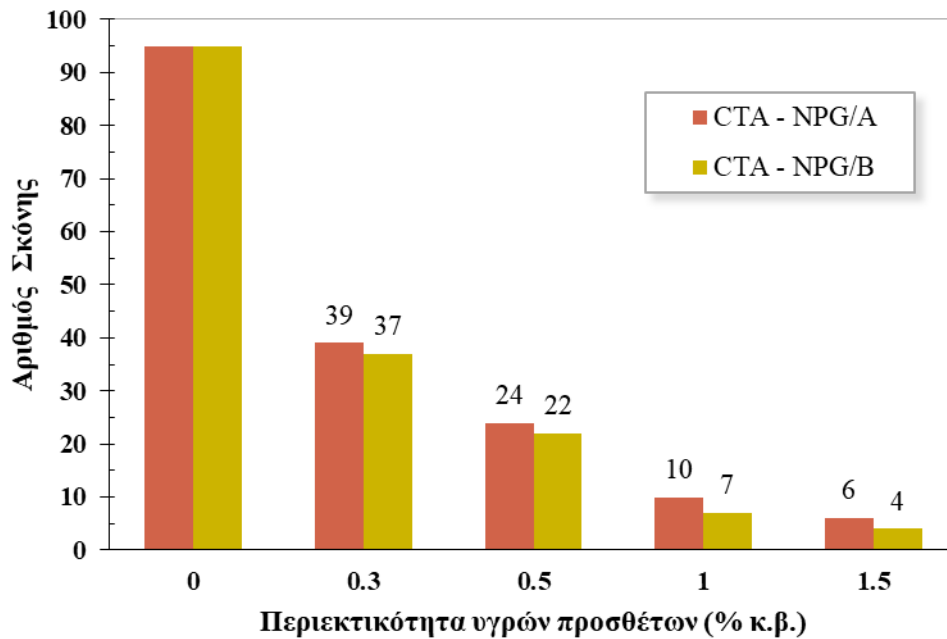
επιτυγχάνεται στο δείγμα με 1.50% κ.β. κόλλας ίνες τύπου Β και είναι ίση με 84%.

Όσο αφορά στις ίνες κυτταρίνης με επικάλυψη λαδιού, είναι προφανές ότι κατά την ανάμιξη της κόλλας πλακιδίων με τις ίνες κυτταρίνης, τα λεπτά σωματίδια της κόλλας προσκολλώνται στην επιφάνεια των ινών λόγω της παρουσίας του λαδιού. Όσον αφορά στις υπόλοιπες ίνες, ο μηχανισμός κατά τον οποίο δεσμεύονται τα λεπτά σωματίδια σκόνης, χρήζει περαιτέρω διερεύνησης με τη χρήση τεχνικών μέσων, όπως π.χ. η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy). Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι ερμηνεία του μηχανισμού που αναπτύσσουν οι ίνες κυτταρίνης, σε σχέση με τον περιορισμό της σκόνης δεν συναντάται στην τρέχουσα βιβλιογραφία.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του αριθμού σκόνης της κόλλας πλακιδίων με υγρά νεοπεντυλο-γλυκόλης παρουσιάζονται στο Σχήμα 3. Παρατηρείται ότι η προσθήκη των υγρών νεοπεντυλο-γλυκόλης, ακόμη και σε χαμηλή περιεκτικότητα, περιορίζει σημαντικά την τάση σχηματισμού σκόνης στην κόλλα. Διαπιστώνεται ότι ο αριθμός σκόνης της κόλλας πλακιδίων που περιέχει μόλις 0.30%, υγρά νεοπεντυλο-γλυκόλης προσεγγίζει τον αριθμό σκόνης της κόλλας που περιέχει 1.00% ίνες κυτταρίνης. Επομένως, η μείωση της σκόνης της κόλλας πλακιδίων επιτυγχάνεται με αρκετά χαμηλότερες ποσότητες υγρών πρόσθετων συγκριτικά με τις ίνες κυτταρίνης. Για περιεκτικότητα ίση με 1.00 και 1.50% κ.β. κόλλας υγρά νεοπεντυλο-γλυκόλης, η σκόνη σχεδόν εξαλείφεται. Η μέγιστη μείωση σκόνης επιτυγχάνεται στην κόλλα πλακιδίων με 1.50% κ.β. κόλλας υγρό τύπου Β και είναι ίση με 96%. Η δράση των υγρών νεοπεντυλο-γλυκόλης εντοπίζεται στην προσρόφηση του υγρού εστέρα στους κόκκους της κόλλας πλακιδίων. Από την άλλη μεριά, η υψηλή αποτελεσματικότητα των υγρών νεοπεντυλο-γλυκόλης ως προς τη μείωση της εκπεμπόμενης σκόνης σχετίζεται και με την ιδιότητά τους να μην σχηματίζουν συσσωματώματα. Έτσι, κατά την εφαρμογή του υγρού στους κόκκους της κόλλας, δεν παρατηρήθηκε συσσώρευση του υγρού σε συγκεκριμένες περιοχές της ξηρής σύνθεσης με αποτέλεσμα την πλήρη και ομοιογενή διαβροχή των κόκκων της κόλλας. Εκτός από την ιδιότητα των υγρών πρόσθετων να μη συσσωματώνονται, σημαντικό ρόλο ως προς τη μείωση του σχηματισμού σκόνης, έπαιξε η διαβρεκτικότητα (wettability) των χρησιμοποιούμενων υγρών. Ως «διαβρεκτικότητα» ορίζεται η ικανότητα ενός υγρού να διατηρεί επαφή με μία στερεή επιφάνεια λόγω των μοριακών αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονται όταν οι δύο επιφάνειες έρχονται σε επαφή. Σύμφωνα με την εξίσωση Young-Dupré (1805), όταν η επιφανειακή τάση του υγρού είναι μικρότερη της επιφανειακής τάσης των στερεών, βελτιώνεται ο βαθμός διαβροχής των στερεών. Επομένως, στον βαθμό που τα υγρά νεοπεντυλο-γλυκόλης έχουν μικρότερη επιφανειακή τάση από τους κόκκους της κόλλας πλακιδίων, επιτυγχάνεται ικανοποιητική διαβροχή της ξηρής σύνθεσης.



Σχήμα 2. Αριθμός σκόνης της τσιμεντοειδούς κόλλας πλακιδίων συναρτήσεως της περιεκτικότητάς της σε ίνες κυτταρίνης (% κ.β. κόλλας).



Σχήμα 3. Αριθμός σκόνης της τσιμεντοειδούς κόλλας πλακιδίων συναρτήσεως της περιεκτικότητάς της σε υγρά πρόσθετα (% κ.β. κόλλας).

Στους Πίνακες 6 και 7 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή οικονομοτεχνικής αξιολόγησης (α), για την προσθήκη ινών και υγρών πρόσθετων αντίστοιχα. Έτσι από τις συνθέσεις με ίνες κυτταρίνης, βέλτιστη αποδεικνύεται η κόλλα με 0.30% ίνες A, με συντελεστή $\alpha=7.68$. Από τις συνθέσεις με υγρα νεοπεντυλο-γλυκόλης, βέλτιστη αποδεικνύεται η κόλλα με 0.30% κ.β. υγρό B, με συντελεστή $\alpha=6.67$. Επομένως, αν η επιλογή του καταλληλότερου πρόσθετου ως προς την μείωση της σκόνης βασιστεί στην αύξηση του κόστους παραγωγής της κόλλας, ως καταλληλότερη αποδεικνύεται η κόλλα με 0.30% κ.β. κόλλας ίνες A.

Πίνακας 6. Οικονομοτεχνικός συντελεστής α , κόλλας πλακιδίων με ίνες.

Σύνθεση	Ποσοστό ινών (%)			
	0.30	0.60	1.00	1.50
CTA/CFs A	7.68	5.05	4.12	2.87
CTA/CFs B	6.15	4.44	3.38	2.74
CTA/CFs C	5.30	3.42	2.77	2.22
CTA/CFs D	5.83	4.17	3.30	2.47
CTA/CFs E	1.66	2.48	2.05	1.61
CTA/CFs F	4.62	2.69	2.19	1.67

Πίνακας 7. Οικονομοτεχνικός συντελεστής α , κόλλας πλακιδίων με υγρά.

Σύνθεση	Ποσοστό υγρού (%)			
	0.30	0.50	1.00	1.50
CTA/NPG A	2.17	1.65	0.99	0.69
CTA/NPG B	6.67	5.03	3.03	2.09

Ιδιότητες νωπής κόλλας πλακιδίων

Παρόλο που πραγματοποιηθήκαν δοκιμές για όλες τις συνθέσεις, στην παρούσα εργασία, περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα των καλύτερων συνθέσεων με ίνες ή υγρά, με βάση τον περιορισμό της σκόνης (ίνες B και υγρό B), καθώς και με βάση των πιο αποτελεσματικών προσθέτων, από τεχνοοικονομική άποψη (ίνες A). Έτσι, τα αποτελέσματα των δοκιμών της νωπής κόλλας πλακιδίων με 0.30% κ.β. κόλλας ίνες A, με 1.50% κ.β. κόλλας ίνες B και με 1.50% κ.β. κόλλας υγρό B παρουσιάζονται στον Πίνακα 8. Όσον αφορά στη σύνθεση με ίνες A σε ποσοστό 0.30%, δεν παρατηρείται διαφοροποίηση στις ιδιότητες της κόλλας. Στη σύνθεση με ίνες B και υγρό B σε ποσοστό 1.50%, παρατηρείται μία μεταβολή σε όλες τις ιδιότητες στα όρια του πειραματικού σφάλματος. Η παρουσία των επιλεχθέντων ινών κυτταρίνης δε μειώνει σημαντικά την εξάπλωση της νωπής κόλλας πλακιδίων. Άλλωστε, η εξάπλωση δεν αποτελεί αντιπροσωπευτική ιδιότητα της κόλλας, αλλά δίνει μία γρήγορη εκτίμηση της επιρροής των προσθέτων στην εργασιμότητα της κόλλας. Σημειώνεται ότι η παρατηρούμενη αύξηση στον περιεχόμενο αέρα της κόλλας ήταν αναμενόμενη και αποδίδεται στην πορώδη φύση των ινών και στον εγκλωβισμό αέρα στη διεπιφάνεια κόλλας-ινών. Επίσης,

για όλες τις συνθέσεις, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε κάθε περίπτωση το ποσοστό του συγκρατούμενου νερού της νωπής κόλλας πλακιδίων διατηρείται υψηλότερο του 99%. Σε γενικές γραμμές, μπορεί να θεωρηθεί ότι η προσθήκη τόσο των ινών Α και Β όσο και του υγρού Β, δεν επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες της νωπής κόλλας.

Πίνακας 8. Αποτελέσματα δοκιμών της κόλλας με ίνες και υγρά πρόσθετα.

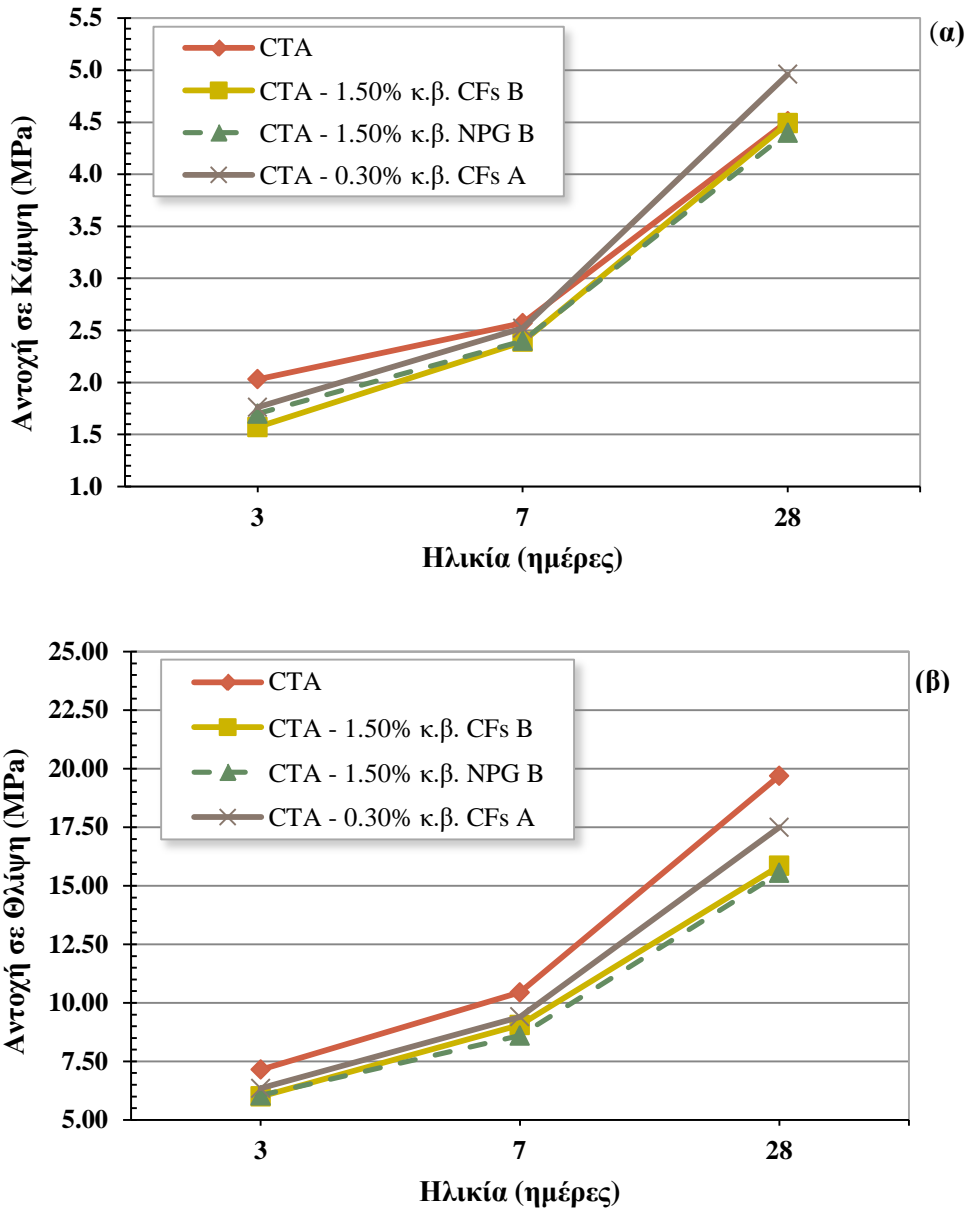
Ιδιότητα	CTA	CTA+0.30% CFs/A	CTA+1.50% CFs/B	CTA+1.50% NPG/B
εξάπλωση (mm)	130	130	123	123
πυκνότητα (gr/ml)	1.76	1.74	1.67	1.70
περιεχόμενος αέρας (%)	13.5	14.0	15.5	15.0
συγκρατούμενο νερό (%)	99.28	99.28	99.31	99.35

Μηχανικές ιδιότητες σκληρυμένης κόλλας πλακιδίων

Τα αποτελέσματα του ρυθμού ανάπτυξης της αντοχής σε κάμψη και θλίψη της τσιμεντοειδούς κόλλας πλακιδίων με ίνες Β και υγρό Β σε ποσοστό 1.50% κ.β. κόλλας πλακιδίων και ίνες Α σε ποσοστό 0.30% κ.β. παρουσιάζονται στο Σχήμα 4 (α) και (β), αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι στην ηλικία των 28 ημερών, το δείγμα με 1.50% κ.β. ίνες Β και υγρό Β έχει παρόμοια καμπτική αντοχή με το δείγμα αναφοράς, ενώ η κόλλα με 0.30% κ.β. ίνες Α έχει βελτιωμένη καμπτική αντοχή. Η βελτίωση της αντοχής σε κάμψη της τσιμεντοειδούς κόλλας με ίνες κυτταρίνης τύπου Α, συγκριτικά με τη συμβατική κόλλα, αποδίδεται στην υψηλή αναλογία διαστάσεων της ίνας τύπου Α (λόγος μορφής), η οποία οδηγεί σε αποτελεσματική γεφύρωση των επιφανειών των ρωγμών της τσιμεντοειδούς μήτρας. Αρκετοί συγγραφείς αναφέρουν ότι, κατά τη διαδικασία θραύσης των τσιμεντοειδών υλικών ενισχυμένων με ίνες κυτταρίνης, η γεφύρωση των ρωγμών από τις ίνες περιορίζει τη διάδοσή τους στη μήτρα του υλικού και αυξάνει την αντίσταση της μήτρας στο άνοιγμα των ρωγμών (Youjiang, W. et al, 2000, Grzybowski, M. et al, 1990). Αντίθετα, οι ίνες Β δεν αυξάνουν την καμπτική αντοχή της κόλλας παρόλο που η βελτίωση της καμπτικής αντοχής των υλικών με βάση το τσιμέντο λόγω της προσθήκης ινών κυτταρίνης αναφέρεται σε πλήθος μελετών (Savastano, H. et al, 2000, Savastano, H. et al, 2003a, Savastano, H. et al, 2003b, Khorami, M. et al, 2011, Khorami, M. et al 2013, Claramunt, J. et al, 2013).

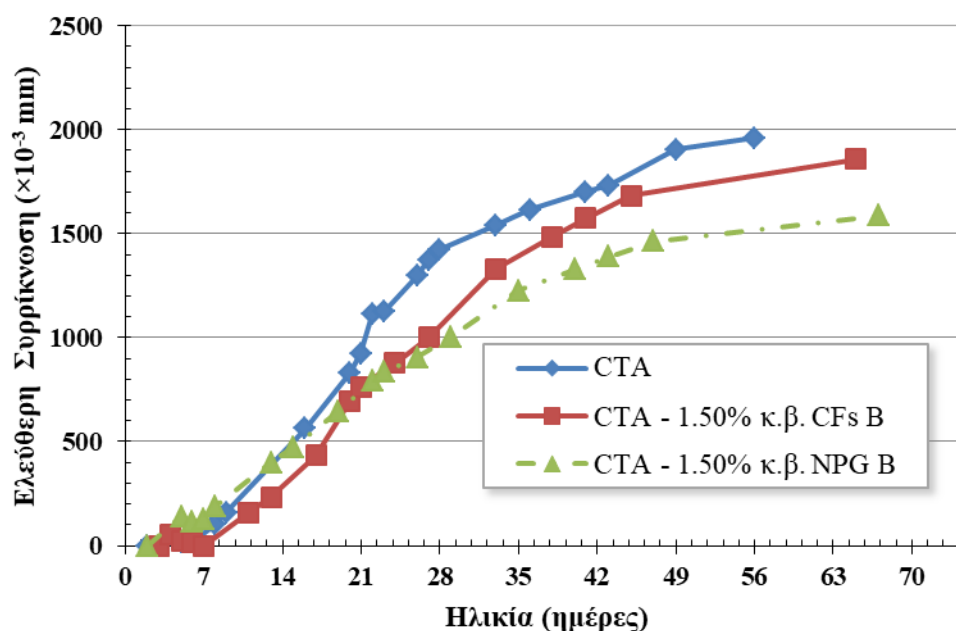
Αντίθετα με τα αποτελέσματα της αντοχής σε κάμψη, τα αποτελέσματα των δοκιμών σε θλίψη υποδεικνύουν ότι η προσθήκη των ινών κυτταρίνης Α και Β και του υγρού Β μειώνει τη θλιπτική αντοχή της κόλλας πλακιδίων. Η μείωση της θλιπτικής αντοχής της κόλλας πλακιδίων με την αύξηση της περιεκτικότητάς της σε ίνες κυτταρίνης, αποδίδεται κυρίως στην αύξηση των κενών αέρα λόγω της προσθήκης περισσότερων ινών. Η αύξηση των κενών αέρα οδηγεί στην παραγωγή ενός ελαφρότερου και πιο αδύναμου υλικού. Η μείωση της αντοχής σε θλίψη των υλικών με βάση το τσιμέντο λόγω της προσθήκης ινών κυτταρίνης

αναφέρεται και σε άλλες μελέτες (Mello, E. et al 2014, Bentchikou, M. et al, 2012). Συνεπώς, οι ίνες A και B και το υγρό B δεν υποβαθμίζουν τις σημαντικές μηχανικές ιδιότητες της κόλλας πλακιδίων, όπως είναι η εφελκυστική αντοχή.



Σχήμα 4. Ανάπτυξη αντοχής σε κάμψη (α) και θλίψη (β) κόλλας πλακιδίων με ίνες A, B και υγρό B σε περιεκτικότητα 0.30%, 1.50% και 1.50 % κ.β., αντίστοιχα.

Όσον αφορά στην ελεύθερη συρρίκνωση, το δείγμα με ίνες κυτταρίνης B παρουσιάζει ελαφρώς μειωμένη συρρίκνωση συγκριτικά με το δείγμα αναφοράς, ενώ το δείγμα με υγρό νεοπεντυλο-γλυκόλης B παρουσιάζει σημαντικά χαμηλότερη συρρίκνωση (Σχήμα 5). Ανάλογα αποτελέσματα καταγράφονται και στη μελέτη των Kawashima & Shah (2011), οι οποίοι αναφέρουν ότι οι ίνες κυτταρίνης δεν επηρεάζουν τη συρρίκνωση λόγω ξήρανσης των τσιμεντοειδών υλικών και αποδεικνύονται αποτελεσματικές ως προς τον περιορισμό της εξάπλωσης των ρωγμών λόγω συστολής ξήρανσης, όταν επιτευχθεί επαρκής διασπορά των ινών στη μήτρα.



Σχήμα 5. Ρυθμός ανάπτυξης συρρίκνωσης τσιμεντοειδούς κόλλας πλακιδίων με ίνες B και υγρό νεοπεντυλο-γλυκόλης B σε περιεκτικότητα 1.50% κ.β. κόλλας πλακιδίων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η ανάπτυξη δομικών υλικών με βάση το τσιμέντο που να χαρακτηρίζονται από χαμηλή τάση σχηματισμού σκόνης. Η έρευνα επικεντρώθηκε στην ανάδειξη του βέλτιστου προσθέτου σε μία εμπορικά διαθέσιμη κόλλα πλακιδίων, προκειμένου να μειωθεί η τάση σχηματισμού σκόνης, με ταυτόχρονη διατήρηση των ιδιοτήτων της.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της σκόνης της κόλλας πλακιδίων με τα επιλεγθέντα πρόσθετα υπέδειξαν ότι οι ίνες κυτταρίνης και τα υγρά νεοπεντυλο-

γλυκόλης μειώνουν σημαντικά την τάση σχηματισμού σκόνης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων του αριθμού σκόνης της κόλλας πλακιδίων με ίνες κυτταρίνης, πιο αποτελεσματικές αποδείχθηκαν οι ίνες Β, οι οποίες σε ποσοστό προσθήκης 1.50% κ.β., επιτυγχάνουν μείωση της σκόνης κατά 84%. Ωστόσο, τη βέλτιστη απόδοση ως προς τον περιορισμό της σκόνης παρουσίασε το υγρό νεοπεντυλο-γλυκόλης Β, το οποίο, σε ποσοστό 1.50% κ.β. κόλλας, επιτυγχάνει μείωση του αριθμού σκόνης κατά 96%, χωρίς να υποβαθμίζει τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες της κόλλας πλακιδίων. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τη βέλτιστη σχέση απόδοσης/κόστους η κόλλα πλακιδίων με 0.30% κ.β. ίνες Α αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή.

Επομένως, βάσει της αποτελεσματικότητας των υποψήφιων προσθέτων ως προς τη μείωση της τάσης σχηματισμού σκόνης της κόλλας πλακιδίων, ως βέλτιστη λύση αναδεικνύεται η προσθήκη υγρού νεοπεντυλο-γλυκόλης Β σε ποσοστό 1.50%, ενώ με βάση τη σχέση απόδοσης/κόστους, ως βέλτιστη λύση αναδεικνύεται η προσθήκη ινών Α, σε ποσοστό 0.30%.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ASTM C490/C490M, Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete, American Society for Testing and Materials, (2011)

Bentchikou, M., Guidoum, A., Scrivener, K., Silhadi, K. & Hanini, S., "Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix". Construction and Building Materials, Vol. 34, (2012) 451-456

Claramunt, J., Ardanuy, M., Parés, F. & Ventura, H. "Mechanical performance of cement mortar composites reinforced with cellulose fibres", in 9th International Conference on Composite Science and Technology, Destech, Sorrento, (2013) 477-484

EN 15051: Workplace atmospheres - measurement of the dustiness of bulk materials - requirements and reference test methods, European Committee for Standardization (2006)

EN 1015-Parts 3, 6, 7, 8, 11: Methods of test for mortar for masonry European Committee for Standardization, (1999)

EN 12004: Συγκολλητικά για πλακίδια και πλάκες - Ορισμοί και προδιαγραφές. European Committee for Standardization, (2007)

Fatima, S.K., Prabhavathi, P.A., Padmavathi, P. & Reddy, P.P. "Analysis of chromosomal aberrations in men occupationally exposed to cement dust". Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, Vol. 490, No 2 (2001) 179-186

Gouldstone, A., Shen, Y-L., Suresh, S. & Thompson, C.V., "Evolution of stress in passivated and unpassivated metal interconnects". J. Materials Research, Vol. 13, No 7 (1998) 1956-1966

Grzybowski, M., & Shah, S.P., "Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete". ACI Materials Journal, Vol. 87, No 2 (1990) 138-148

Guyot, C. & Guillot, L., "Dry composition comprising a binder and a silicone oil", U.S. Patent 8 506 700 (2013)

- Guyot, C. & Guillot, L., "Dry composition comprising a binder and a modified vegetable oil", U.S. Patent 8 974 595 (2015)
- Huber, M. & Hoetzl, K.D., "Method of Dedusting a Pulverulent Building Material Composition", U.S. Patent 20 110 179 976 (2011)
- Kawashima, S. & Shah, S.P. "Early-age autogenous and drying shrinkage behavior of cellulose fiber-reinforced cementitious materials". *Cement and Concrete Composites*, Vol. 33, No 2 (2011) 201-208
- Khorami, M. & Ganjian, E., "Comparing flexural behaviour of fibre-cement composites reinforced bagasse: wheat and eucalyptus". *Construction and Building Materials*, Vol. 25, No 9 (2011) 3661-3667
- Khorami, M. & Ganjian, E. "The effect of limestone powder, silica fume and fibre content on flexural behaviour of cement composite reinforced by waste Kraft pulp". *Construction and Building Materials*, Vol. 46, (2013), 142-149
- Laudet, A. & Daviller, D., "Mortar composition, method of preparation thereof and use thereof". U.S. Patent No. 8 668 773 (2014)
- Mello, E., Ribellato, C. & Mohamedelhassan, E., "Improving Concrete Properties with Fibers Addition". *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, Vol. 8, No 3 (2014) 249-254
- Meo, S.A., "Health hazards of cement dust". *Saudi Medical Journal*, Vol. 25, No 9 (2004) 1153-1159
- Mizuno, Y., Urano, T., Konabe, K. & Kawazoe, M., "Method for dust-preventive treatment of material having dusting property", U.S. Patent 7 871 534 (2011)
- Mwaiselage, J., Moen, B. & Bråtveit, M., "Acute respiratory health effects among cement factory workers in Tanzania: an evaluation of a simple health surveillance tool". *International Archives of Occupational and Environmental Health*, Vol. 79, No 1 (2006) 49-56
- Plinke, M.A.E., Maus, R. & Leith, D., "Experimental examination of factors that affect dust generation by using Heubach and MRI testers". *American Industrial Hygiene Association*, Vol. 53, No 5 (1992) 325-330
- Roe, D.C., "Methods for suppressing dust emissions from bulk solids", U.S. Patent 5 256 444 (1993)
- Savastano, H., Warden, P.G. & Coutts, R.S.P., "Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites". *Cement and Concrete Composites*, Vol. 22, No 5 (2000) 379-384
- Savastano, H., Warden, P.G., & Coutts, R.S.P., "Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices". *Cement and Concrete Composites*, Vol. 25, No 3 (2003) 311-319
- Savastano, H., Warden, P.G. & Coutts, R.S., "Potential of alternative fibre cements as building materials for developing areas". *Cement and Concrete Composites*, Vol. 25, No 6 (2003) 585-592
- Stohr, W., Hötzl, K.D., Seidl, W., Zuern, S. & Wache, S., "Dust free powdery building material composition", U.S. Patent 8 262 793 (2012)
- Youjiang, W., Wu, H.C. & Victor, C., "Concrete reinforcement with recycled fibres". *Journal of Materials in Civil Engineering* November, Vol. 314, (2000)
- Young, T., "An essay on the cohesion of fluids". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (1805) 65-87