

ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΑΘΑΡΙΖΟΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Τα φωτοκαταλυτικά δομικά υλικά ανοίγουν νέους δρόμους στις κατασκευές με πολλαπλά οφέλη, όπως η υψηλή ποιότητα, το καθαρό περιβάλλον και η υγιεινή διαβίωση.

Άρθρο του ΜΑΡΙΟΥ Σ. ΚΑΤΣΙΩΤΗ, δρ. χημικού μηχανικού, Ε.Μ.Π.

Η βιομηχανία των δομικών υλικών είναι από τους λίγους παραγωγικούς τομείς που υιοθετούν τις νέες ανακαλύψεις και τάσεις της επιστήμης και της τεχνολογίας σε σύντομο χρονικό διάστημα. Παρά την οικονομική κρίση, η οποία επηρεάζει ιδιαίτερα αρνητικά το συγκεκριμένο χώρο, η βιομηχανία δομικών υλικών δεν σταματά να εξελίσσεται και να αναζητά νέα υλικά και μεθόδους, που θα βελτιώσουν τις ήδη υπάρχουσες κατασκευές, αλλά και θα δημιουργήσουν νέες δομικές εφαρμογές υψηλής επιτελεσματικότητας.

Τα τελευταία χρόνια ο χώρος των κατασκευών έχει κατακλυστεί με νέα προϊόντα, όπως το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, το διαπερατό σκυρόδεμα, το "πράσινο" τσιμέντο, τα σταμπωτά δάπεδα και τα στένσιλ, τα ψυχρά υλικά και άλλα υλικά και πρώτες ύλες, που σκοπό έχουν την επίτευξη της υψηλής ποιότητας, αισθητικής και διάρκειας ζωής των κτιρίων και των εγκαταστάσεων.

Σ' αυτό το πλαίσιο η βιομηχανία δομικών υλικών (και κατ' επέκταση οι καταναλωτές) έχει επωφεληθεί ιδιαίτερα από τις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της νανοτεχνολογίας. Από την πλειάδα των εφαρμογών και επιτευγμάτων, ξεχωρίζουν η πρόσφατη ανακάλυψη της κρυσταλλικής νανοδομής υψηλής διατακτικότητας του άμορφου CSH που οδηγεί στον πληρέστερο χαρακτηρισμό ενός από τα βασικά συστατικά του τσιμέντου [1], η ανάπτυξη χρωμάτων και

επικαλύψεων με ιδιότητες αυτοκαθαρισμού, η υψηλή αντίσταση στον αποχρωματισμό και στη φθορά και η προστασία από την τοιχογραφία, καθώς και η δημιουργία επικαλύψεων πάχους μερικών νανόμετρων, ικανών να προστατέψουν

τις χαλύβδινες κατασκευές από τη διάβρωση. Τέλος, νανοϋλικά, όπως η πυριτική παιπάλη, χρησιμοποιούνται με επιτυχία για την παραγωγή σκυροδέματος υψηλής απόδοσης και αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος.



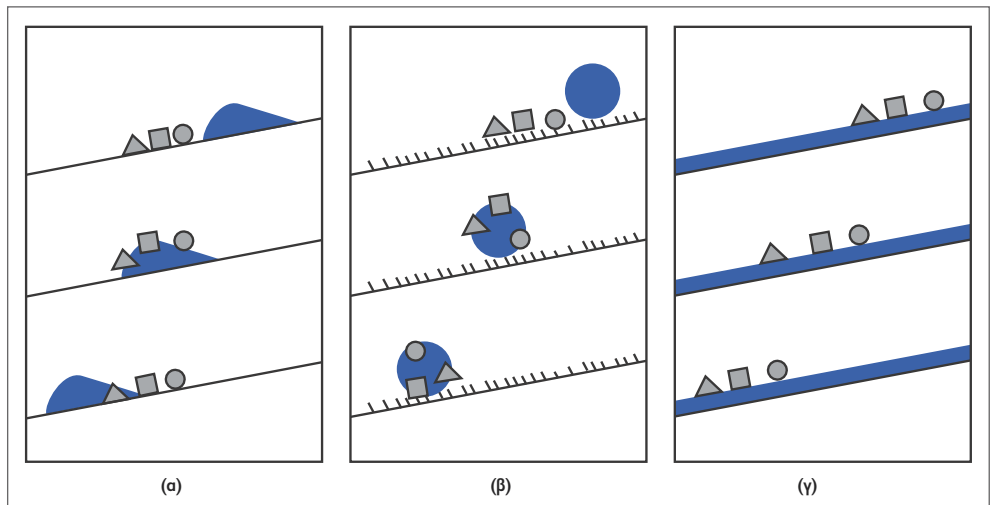
1
 Η δράση του νερού (γαλάζιο) ενάντια σε επιφανειακούς ρύπους (γκρίζα σχήματα) σε τρεις διακριτές περιπτώσεις:

- α) επάνω σε μία απλή επιφάνεια,
- β) επάνω σε μία υπερυδρόφοβη επιφάνεια &
- γ) επάνω σε μία υπερυδρόφιλη επιφάνεια.

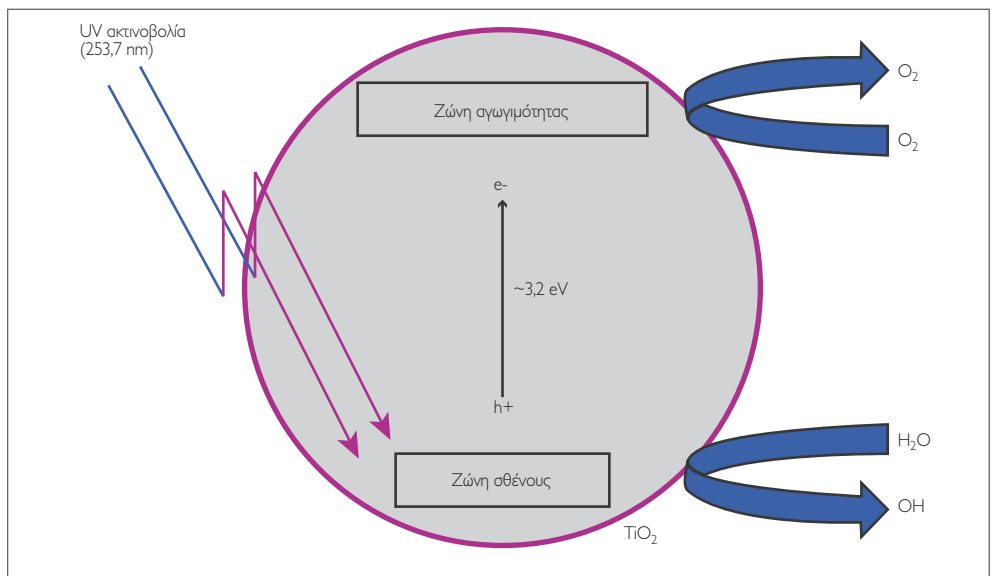
2
 Φωτοκατάλυση επάνω σε ένα μόριο οξειδίου του τιτανίου.

3
 Φωτοκαταλυτική διάσπαση οργανικών ρύπων επάνω σε επιφάνεια διοξειδίου του τιτανίου. Τα προϊόντα της φωτοκατάλυσης είναι νερό και διοξείδιο του άνθρακα.

4
 Νερό επάνω α) σε γυάλινη επιφάνεια και β) σε γυάλινη επιφάνεια, επικαλυμμένη με διοξείδιο του τιτανίου και ακτινοβολημένη με υπεριώδη ακτινοβολία.

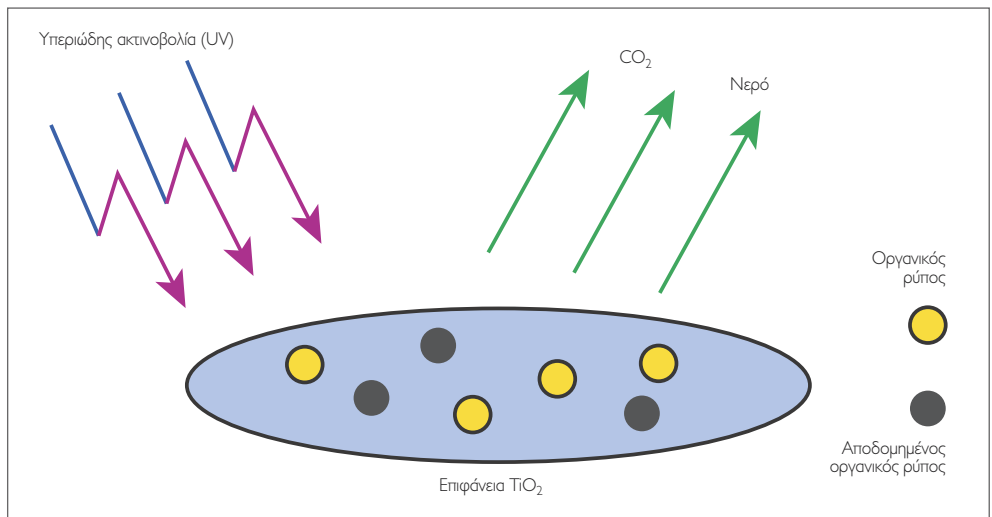


1



2

3



Ίσως η πιο σημαντική εφαρμογή της νανοτεχνολογίας στη βιομηχανία δομικών υλικών είναι αυτή των φωτοκαταλυτικών με παραδοσιακά δομικά υλικά, όπως το τσιμέντο, η υδράσβεστος, ο χάλυβας, το γυαλί και τα χρώματα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των λεγόμενων φωτοκαταλυτικών αυτοκαθαριζόμενων δομικών υλικών. Τα οφέλη από αυτόν το συνδυασμό είναι πολλαπλά, καθώς πρόκειται για υλικά που μπορούν να συνεισφέρουν όχι μόνο στη βελτίωση της κατασκευής αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος και της ιστορικής κληρονομιάς.

Αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες

Είναι γνωστό ότι ο καθαρισμός των εξωτερικών επιφανειών των κτιρίων αποτελεί διεργασία απαραίτητη για την προστασία των εγκαταστάσεων και του προσωπικού, ωστόσο είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και δαπαναρή τόσο από άποψη κατανάλωσης ενέργειας, όσο και από άποψη υλι-

κών καθαρισμού. Σ' αυτόν τον τομέα τα αυτοκαθαριζόμενα δομικά υλικά έρχονται να προσφέρουν σημαντικά στη μείωση του κόστους και των εργατοωρών, καθώς αποτελούν υλικά τα οποία έχουν μηδενικές απαιτήσεις για τον καθαρισμό τους. Για την ανάπτυξη αυτοκαθαριζόμενων επιφανειών υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι:

- α) η ανάπτυξη υπερυδρόφοβων και
- β) η ανάπτυξη υπερυδρόφιλων επιφανειών ή επικαλύψεων.

Και στις δύο περιπτώσεις ο καθαρισμός των επιφανειών επιτυγχάνεται μέσω της δράσης του νερού. Συγκεκριμένα, τα υπερυδρόφοβα υλικά αυτοκαθαρίζονται διά μέσου της δημιουργίας



4

σταγονιδίων που "ξεπλένουν" την επιφάνειά τους, ενώ τα υπερυδρόφιλα διά μέσου της δημιουργίας λεπτών φύλλων νερού που δεν επιτρέπουν τη συσσώρευση των ρύπων.

Επιπροσθέτως, τα υπερυδρόφιλα αυτοκαθαριζόμενα υλικά έχουν τη δυνατότητα να φωτοδιασπούν τους απορροφούμενους ρύπους (οργανικούς και ανόργανους) και τους ρύπους που συσσωρεύονται στην επιφάνειά τους μέσω της διεργασίας της φωτοκατάλυσης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα υπερυδρόφιλα υλικά ή αλλιώς τα φωτοκαταλυτικά αυτοκαθαριζόμενα υλικά συνεισφέρουν στην απολύμανση και στον καθαρισμό του περιβάλλοντος χώρου τους, είτε εσωτερικού είτε εξωτερικού.

Αν και αντικείμενο του παρόντος δεν είναι τα υπερυδρόφιλα αυτοκαθαριζόμενα υλικά, αξίζει να αναφερθεί ότι αυτά τα υλικά αποκτούν τις αυτοκαθαριστικές ιδιότητές τους από την ικανότητά τους να προσροφούν τα μόρια του νερού στην επιφάνειά τους, σχηματίζοντας μεγάλες γωνίες επαφής ($\theta_s > 160^\circ$) [2]. Η ικανοποίηση αυτής της συνθήκης έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό σταγονιδίων που κυλούν επάνω στην επιφάνεια, απομακρύνοντας έτσι τους ρύπους. Αυτή η διεργασία είναι γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία ως "The Lotus Effect".

Φωτοκατάλυση και αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες

Οι ικανότητες αυτοκαθαρισμού των υπερυδρόφιλων υλικών οφείλονται στη διεργασία της φωτοκατάλυσης και κατ' επέκταση στις φωτοκαταλυτικές ιδιότητές τους.

Σε γενικές γραμμές, ένα ετερογενές φωτοκαταλυτικό σύστημα αποτελείται από νανοσωματίδια ενός ημιαγωγού (φωτοκαταλύτη) σε κοντινή επαφή με κάποιο υγρό ή αέριο αντιδραστήριο (συμπεριλαμβάνονται ρύποι, μικροβιοοργανισμοί κ.ά.). Η έκθεση του φωτοκαταλύτη στο φως οδηγεί στη δημιουργία διεγερμένων ενεργειακών σταθμών, οι οποίες θέτουν σε εφαρμογή αντιδράσεις οξειδοαναγωγής.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση του πιο ευρέως χρησιμοποιημένου φωτοκαταλύτη, του διοξειδίου του τιτανίου (TiO_2) ή αλλιώς τιτανία, ένα φυτόνιο συγκεκριμένης ενέργειας –μεγαλύτερης από το εύρος της απαγορευμένης ζώνης του ημιαγωγού– απορροφάται από τη ζώνη σθένους του μορίου του TiO_2 . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία θετικών οπών στη συγκεκριμένη ζώνη και την απορρόφηση ενός ηλεκτρονίου από τη ζώνη αναγωγής. Το υψηλό δυναμικό οξείδωσης της θετικής οπής μπορεί να οξειδώσει μόρια νερού (ή και ιόντα υδροξυλίου), ώστε να

δημιουργηθούν δραστικές ρίζες υδροξυλίου. Αντίστοιχα, τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αναγωγής μπορούν να αντιδράσουν με μόρια οξυγόνου, ώστε να δημιουργηθούν δραστικές ανιονικές ρίζες οξυγόνου [3].

Η διεργασία της φωτοκατάλυσης αποφέρει διπλό όφελος για την επιφάνεια που περιέχει το φωτοκαταλύτη. Λόγω της φωτοχημικής διάσπα-

Τα φωτοκαταλυτικά αυτοκαθαριζόμενα υλικά έχουν τη δυνατότητα να απομακρύνουν τους ρύπους από την επιφάνειά τους, χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη προσπάθεια από το χρήστη, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν θετικά για την προστασία του περιβάλλοντος και την απολύμανση των χώρων χάρη στις φωτοδιασπαστικές τους ιδιότητες.

1
 Η νανοτεχνολογία προβλέπεται να συμβάλει σημαντικά στη διατήρηση μνημείων και ιστορικών κτιρίων, καθώς τα προϊόντα της θα εξασφαλίζουν προστασία από διάβρωση και απομάκρυνση των ρύπων, ιδιαίτερα στα αστικά κέντρα.

2
 Εφαρμογή φωτοκαταλυτικού τσιμέντου στις όψεις του δημαρχείου της πόλης Μπέργκαμο στην Ιταλία (πηγή: TX active).

3
 Η εκκλησία της Misericordia στη Ρώμη αποτελεί το πρώτο κτίριο που κατασκευάστηκε με φωτοκαταλυτικό τσιμέντο (αρχιτέκτων Richard Meier).

4
 Ποδηλατόδρομος στην περιοχή των Βριλησίων, κατασκευασμένος με φωτοκαταλυτικούς κυβόλιθους.



1

σης δημιουργούνται κενές θέσεις οξυγόνου (oxygen vacancies) από την απόσπαση ενός υδρογονοκατιόντος από την επιφάνεια του φωτοκαταλύτη. Το κενό συμπληρώνεται από ένα μόριο νερού, με τελικό αποτέλεσμα την εμφάνιση πολλαπλάσιου αριθμού υδροξυλοομάδων σε σχέση με την αρχική επιφανειακή αναλογία. Με αυτόν τον τρόπο τα μόρια του νερού βρίσκονται σε στενή "χημική συγγένεια" με την επιφάνεια, αναπτύσσοντας ισχυρούς διαμοριακούς δεσμούς υδρογόνου και κατά συνέπεια (φωτοεπαγόμενη) υπερυδρόφιλη συμπεριφορά. Η υπερυδρόφιλη συμπεριφορά έχει ως αποτέλεσμα την προσρόφηση του νερού με μηδενική γωνία επαφής ($\theta_s \sim 0^\circ$) και τη δημιουργία λεπτών υμενίων νερού επάνω στην επιφάνεια του φωτοκαταλύτη, τα οποία εμποδίζουν το σχηματισμό ή και τη συσσώρευση ρύπων. Παράλληλα, οι όποιοι ρύποι υπάρχουν στην επιφάνεια μπορούν εύκολα να απομακρυνθούν με ένα απλό ξέπλυμα με νερό, ακόμη και μέσω της βροχής.

Επιπρόσθετα, οι παραγόμενες ρίζες υδροξυλίου και υδρογονοκατιόντων είναι έντονα δραστικές και δύνανται να διασπασούν ολοκληρωτικά ή να απενεργοποιήσουν πλειάδα ανόργανων ή και οργανικών ρύπων (συμπεριλαμβανομένων των NO_x και των πτητικών οργανικών ουσιών (VOC)), βακτηριδίων, ιών, μυκήτων και άλλων βλαβερών μικροοργανισμών. Αυτό έχει άμεσο θετικό αποτέλεσμα στη μείωση της συγκέντρωσης των ρυπογόνων ουσιών στο εξωτερικό περιβάλλον (μείωση νέφους και αέριων / υγρών ρύπων), αλλά και την εξυγίανση / απολύμανση εσω-



2

τερικών χώρων όπως ιατρείων, νοσοκομείων, εστιατορίων και άλλων. Όσον αφορά στους φωτοκαταλύτες, πρόκειται για ημιαγωγούς (συνήθως οξειδία μετάλλων ή σουλφίδια), όπως οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO), θειούχο κάδμιο (CdS), διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2), τριοξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3), και θειούχο ψευδάργυρο (ZnS). Από τους προαναφερθέντες φωτοκαταλύτες, το διοξείδιο του τιτανίου είναι το μοναδικό υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές φωτοκαταλυτικά αυτοκαθαριζόμενων υλικών παγκοσμίως. Σ' αυτό συμβάλλουν κυρίως η υψηλή δυνατότητα διάσπασης ανόργανων και οργανικών ουσιών, το χαμηλό κόστος, η ευκολία χρήσης και η υψηλή αντίσταση στη φωτοδιά-

σπαση. Επίσης το διοξείδιο του τιτανίου είναι ένα μη τοξικό υλικό, αδρανές στην απουσία του φωτός, που χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια ως pigmento για χρώματα και καλλυντικά και ως πρόσθετο στα τρόφιμα. Οι κύριες κρυσταλλικές μορφές του διοξειδίου του τιτανίου είναι ο ανατάσης και το ρουτίλιο, με το πρώτο να είναι το πιο ενεργό φωτοκαταλυτικό. Οι φωτοκαταλυτικές ιδιότητες του διοξειδίου του τιτανίου έχουν διερευνηθεί διεξοδικά τις τελευταίες δεκαετίες από ερευνητές παγκοσμίως, με σημαντικότερη τη συνεισφορά των Ιαπώνων επιστημόνων Α. Φουτζισίμα και Κ. Χόντα, οι οποίοι και ανακάλυψαν αρχικά τις φωτοκαταλυτικές ικανότητες του υλικού [4].



3

4

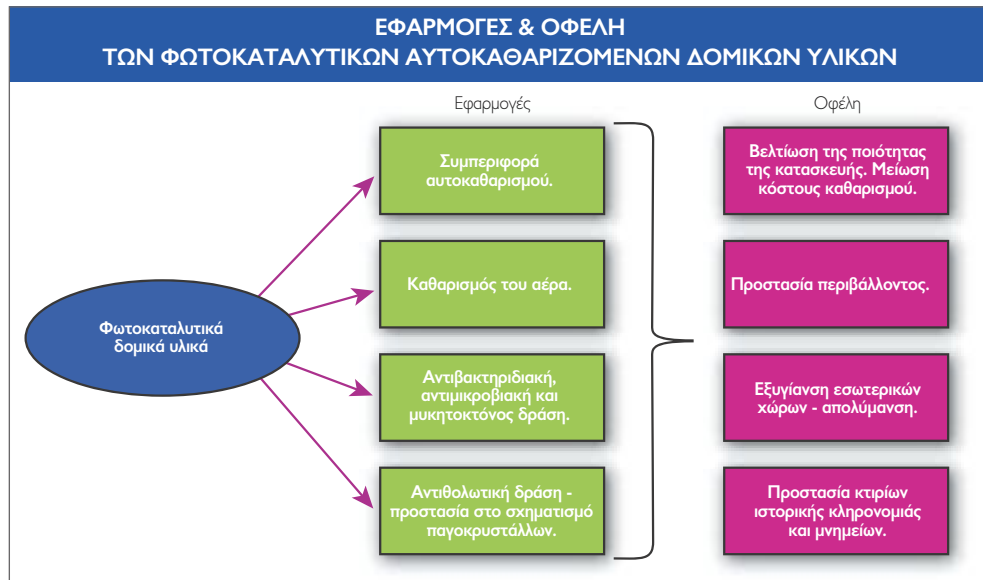


Φωτοκαταλυτικά αυτοκαθαριζόμενα δομικά υλικά και εφαρμογές

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ενσωμάτωση φωτοκαταλυτών όπως του διοξειδίου του τιτανίου σε δομικά υλικά έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δομικών υλικών με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες αυτοκαθαρισμού. Αυτά τα υλικά έχουν τη δυνατότητα να απομακρύνουν τους ρύπους από την επιφάνειά τους, χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη προσπάθεια από το χρήστη, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν θετικά για την προστασία του περιβάλλοντος και την απολύμανση των χώρων χώρα στις φωτοδιασπαστικές τους ιδιότητες. Ειδικά για τους οργανικούς ρύπους, όπως είναι οι πηλτικοί ή και οι αέριοι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τα προϊόντα της φωτοκατάλυσης είναι νερό και διοξείδιο του άνθρακα.

Όσον αφορά στους ανόργανους ρύπους, η μέχρι τώρα μελέτη έχει δείξει ότι αποδομούνται με τη φωτοκατάλυση και παράγονται ακίνδυνα, μη τοξικά προϊόντα, ενώ μπορεί να προκύψουν και άλλα οφέλη.

Αν ως κριτήριο ταξινόμησης χρησιμοποιηθεί ο τρόπος ενσωμάτωσης του φωτοκαταλύτη, τότε τα φωτοκαταλυτικά δομικά υλικά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:



- Σε υλικά, των οποίων η επιφάνεια έχει επικαλυφθεί με φωτοκαταλύτη.
 - Σε υλικά, στα οποία ο φωτοκαταλύτης έχει εντοπιστεί μέρος του δομικού υλικού.
- Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα δομικά υλικά, στα οποία το διοξείδιο του τιτανίου (ή κάποιο άλλο φωτοκαταλυτικό υλικό) εναποτίθεται επάνω στην επιφάνειά τους, δημιουργώντας έτσι μια φωτοκαταλυτική επικάλυψη. Αυτό γίνεται δυνατό με τεχνικές εμβάπτισης (Dip Coating), περιστροφής (Spin Coating) και τεχνικές ημίτηξης (Sintering).
- Η τεχνική της **τεχνικής εμβάπτισης** περιλαμβάνει την εμβάπτιση της επιφάνειας με υγρό που περιέχει το υλικό της επικάλυψης με επακόλουθη ξήρανση.
 - Η τεχνική της **περιστροφής** έχει περισσότερο εργαστηριακή εφαρμογή και αφορά στην περιστροφή της επιφάνειας με μεγάλη ταχύτητα, ώστε η επικάλυψη να πραγματοποιηθεί ομοιόμορφα λόγω εφαρμογής της φυγόκεντρης δύναμης της περιστροφής.
 - Τέλος, η τεχνική της **ημίτηξης** πραγματοποιείται με την όπτηση της επιφάνειας σε θερμοκρασίες γύρω στους 800°C, έτσι ώστε τα σωματίδια του διοξειδίου του τιτανίου να επικολληθούν επάνω στην επιφάνεια λόγω ελεγχόμενης τήξης αυτών.

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν αυτοκαθαριζόμενα γυαλιά, πλακίδια, λαμπτήρες φωτισμού, πετάσματα και άλλα αντίστοιχα υλικά και προϊόντα. Ειδικά στην περίπτωση του γυαλιού και γενικότερα των διάφανων επιφανειών, η επικάλυψη με φωτοκαταλύτη επιφέρει και πρόσθετα οφέλη. Λόγω της υπερυδροφιλικής συμπεριφοράς το νερό δεν θολώνει την επιφάνεια του γυαλιού, ενώ, λόγω των ισχυρών διαμοριακών δεσμών υδρογόνου, το νερό παρουσιάζει αντίσταση σε αλλαγές φάσεις, περιορίζοντας έτσι σημαντικά την πιθανότητα σχηματισμού πάγου επάνω στην επιφάνεια.

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα δομικά υλι-

κά, στα οποία ο φωτοκαταλύτης αποτελεί αντικατάσταση της πρώτης ύλης και συνήθως αντικαθιστά έως ένα ποσοστό τα υπόλοιπα συστατικά. Το διοξείδιο του τιτανίου μπορεί να ενσωματωθεί σε μια σειρά από δομικές πρώτες ύλες, όπως τσιμέντο, ασβέστη, σκυρόδεμα, άσφαλτο και άλλα, συμπεριλαμβανομένων και των χρωμάτων. Προϊόντα όπως το φωτοκαταλυτικό τσιμέντο, το αυτοκαθαριζόμενο επίχρισμα, οι φωτοκαταλυτικές πλάκες πεζοδρομίου έχουν εμφανιστεί στην παγκόσμια αγορά και ήδη απορροφώνται από τις αγορές του εξωτερικού.

Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι περισσότερες από 1000 ευρεσιτεχνίες (οι περισσότερες στην Ιαπωνία) έχουν κατοχυρωθεί για φωτοκαταλυτικά δομικά υλικά τέτοιου τύπου παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια.

Περιβαλλοντικά οφέλη

Μια σειρά από εργασίες σε διεθνή περιοδικά και συνέδρια έχουν αποδείξει τις φωτοκαταλυτικές δυνατότητες αυτών των υλικών (με ιδιαίτερο βάρος στη χρήση διοξειδίου του τιτανίου) στη διάσπαση των αέριων ρύπων που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Χαρακτηριστικά, η αντικατάσταση του δομικού υλικού με φωτοκαταλύτη σε ποσοστό 5% κ.β. μπορεί να οδηγήσει σε διάσπαση ρύπων έως και 60% για 24 ώρες έκθεσης σε υπεριώδη ακτινοβολία [3]. Για μεγαλύτερους χρόνους έκθεσης παρατηρείται ολική αποδόμηση. Αν και οι περισσότερες μελέτες αφορούν σε ερ-

Στην παρούσα φάση τα φωτοκαταλυτικά δομικά υλικά είναι δυνατόν να προσφέρουν βελτιωμένες επιλογές για την κατασκευή και να αποτελέσουν σημείο στροφής για τη βιομηχανία παραγωγής δομικών υλικών

Η πυραμίδα του Λούβρου αποτελεί μία από τις πιο γνωστές εφαρμογές εξωτερικής επικάλυψης με διοξειδίου του τιτανίου.



γαστηριακά δείγματα και συνθήκες, από αντίστοιχες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε πραγματικές συνθήκες [5], [6], έχει εξακριβωθεί η υψηλή δυνατότητα των φωτοκαταλυτικών δομικών υλικών στη διάσπαση των ρύπων.

Είναι ενθαρρυντικό ότι πρόσφατα ξεκίνησε η χρήση αυτών των υλικών και σε έργα στον ελληνικό χώρο σε ευρύτερη κλίμακα [7]. Αν σε μια πόλη όπως η Αθήνα, χρησιμοποιηθούν φωτοκαταλυτικά δομικά υλικά σε λιγότερο από το 1/4 των κεντρικών κτιριακών εγκαταστάσεων ή και υποδομών γενικότερα, τότε εκτιμάται ότι η ατμόσφαιρα της πόλης θα απαλλαγεί από το νέφος και τους ρύπους, ενώ τα κτίρια θα διατηρήσουν την αισθητική τους, χωρίς να συσσωρεύονται στην επιφάνειά τους ρύποι (όπως μούχλα, στερεά υπολείμματα καυσαερίων, αιθάλη και άλλα).

Προστασία της ιστορικής κληρονομιάς

Όπως γίνεται κατανοητό, η μείωση της συγκέντρωσης των αερίων ρύπων αλλά και οι ιδιότητες αυτοκαθαρισμού των εν λόγω υλικών μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στην προστασία της ιστορικής κληρονομιάς και των μνημείων. Απομακρύνοντας τις βλαβερές ουσίες και τους ρύπους από το περιβάλλον των μνημείων, συμβάλλουν στην καλύτερη διατήρησή τους στις επιβαρυνμένες αστικές συνθήκες. Επιπροσθέτως, το διοξείδιο του τιτανίου μπορεί να συνδυαστεί με υλικά αποκατάστασης, όπως με την υδράσβεστο,

τον ασβέστη και το λευκό τσιμέντο, ώστε να βρει εφαρμογή σε διεργασίες αποκατάστασης και επισκευής μνημείων και ιστορικών κτιρίων. Μάλιστα σε πρόσφατη εργασία αναφέρθηκε η περίπτωση συνδυασμού διοξειδίου του τιτανίου και υδράσβεστο, που κατέληξε στη δημιουργία δομικού υλικού με φωτοκαταλυτικές ιδιότητες αλλά και βελτιωμένες δυνατότητες αποκατάστασης και επισκευής [8].

Επίλογος

Τα φωτοκαταλυτικά δομικά υλικά ανοίγουν νέους δρόμους στις κατασκευές, δίνοντας πλειάδα δυνατοτήτων στους χρήστες και ωφελώντας άμεσα τους ίδιους αλλά και το περιβάλλον τους. Στην παρούσα φάση νέα δομικά υλικά, όπως τα φωτοκαταλυτικά, μπορούν να προσφέρουν βελτιωμένες επιλογές για την κατασκευή και να αποτελέσουν σημείο στροφής για τη βιομηχανία παραγωγής δομικών υλικών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

1. G. Konstantinides, F. J. Ulm, The effect of two types of C-S-H on the elasticity of cement-based materials: Results from nanoindentation and micromechanical modeling, *Cement and Concrete Research* 34 (2004), 67-80.
2. Marmur, A., The Lotus Effect: Super-hydrophobicity and metastability, *Langmuir* 20 (2004), 3517-3519.
3. Fujishima, K. Hashimoto, T. Watanabe, "TiO₂ photocatalysis, fundamentals and applications", BKC Inc., Τόκιο, 1999.
4. Fujishima A., Honda K., Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode, *Nature*, 238 (1972), 37.

5. L. Cassar, C. Pepe, G. Tognon, G.L. Guemini, R. Amadelli, White cement for architectural concrete, possessing Photocatalytic Properties, 11^ο Διεθνές Συνέδριο στη Χημεία του Τσιμέντου, Ντουρμπάν 2003.
6. T. Maggos, A. Plassais, J.G. Bartzis, Ch. Vasilakos, N. Mousiopoulos, L. Bonafous, Photocatalytic degradation of NO_x in a pilot street canyon configuration using TiO₂-mortar panels, *Environmental Monitoring and Assessment*, 136 (2008), 35 - 44.
7. <http://www.abolincoolpaints.com>
8. I. Karatasios, M.S. Katsiotis, V. Likodimos, A.I. Kontos, G. Papavassiliou, P. Falaras, V. Kilikoglou, Photo-induced carbonation of lime-TiO₂ mortars, *Applied catalysis B: Environmental* 95 (2010), 78 - 86.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΤΕΙ ΣΤΑ ΤΕΥΧΗ "ΚΤΙΡΙΟ"

- Τσιμέντο για αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες. Τεύχος 4/2009, σελ. 124.
- Η ναυοτεχνολογία στην κατασκευή. Τεύχος 1/2009, σελ. 83.
- Αυτοκαθαριζόμενοι υαλοπίνακες όψεων. Τεύχος 187, σελ. 138.
- Καινοτόμα υλικά στα κτίρια. Τεύχος 182, σελ. 101.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

ΜΠΟΡΕΙΤΕ ΝΑ ΒΡΕΙΤΕ ΣΤΗΝ ΕΙΔΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ Υ - ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ 2011
Επιλογές δομικών υλικών

ή επισκεφθείτε το www.ktirio.gr