

Task 01/A4

ΚΟΙΝΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΑ ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΝΑΝΟΪΛΙΚΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ



Αυτό το έργο αδειοδοτείται βάσει [διεθνούς άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Παρόμοια Διανομή 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

«Η υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την παραγωγή αυτής της έκδοσης δεν συνιστά έγκριση του περιεχομένου, το οποίο αντικατοπτρίζει μόνο τις απόψεις των δημιουργών και η Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτήν».



Centro Tecnológico
del mármol, piedra y materiales



National
Technical
University of
Athens



ΚΟΙΝΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΑ ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΝΑΝΟΥΛΙΚΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Η έκθεση αυτή περιλαμβάνεται στην εργασία "O1-A4. Κοινή κατευθυντήρια γραμμή των μέτρων πρόληψης για την ασφαλή παραγωγή και χρήση νανοϋλικών στον τομέα της πέτρας", που αντιστοιχεί στο Intellectual Output 1 "Κατευθυντήρια γραμμή των μέτρων πρόληψης κινδύνων, υγείας και περιβάλλοντος για την ασφαλή παραγωγή και χρήση νανοϋλικών στον τομέα της πέτρας" του έργου NanoSafe.

Η χρήση νανοϋλικών αποτελεί επανάσταση στη βελτίωση των επιδόσεων των προϊόντων από φυσική πέτρα. Τα πέτρινα υλικά έχουν βελτιώσει τις ιδιότητές τους χάρη στη χρήση επικαλύψεων και επιφανειακών επεξεργασιών που βασίζονται στην εφαρμογή νανοσωματιδίων και νανοσύνθετων υλικών. Όμως, με τον ίδιο ρυθμό που έχει βελτιωθεί η ποιότητα του υλικού με την εφαρμογή αυτών των νανοσύνθετων υλικών, η ασφάλεια των εργαζομένων τίθεται σε μεγάλο κίνδυνο. Τα νανοϋλικά αποτελούν μια αόρατη απειλή για την υγεία των εργαζομένων.

Παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν, πολλοί εργαζόμενοι δεν γνωρίζουν ότι τα χρησιμοποιούν και οι βλαβερές επιπτώσεις τους δεν είναι ακόμη σαφείς. Πολυάριθμες μελέτες καταλήγουν ότι υπάρχουν αποδεδειγμένοι κίνδυνοι για την υγεία που συνδέονται με διάφορα νανοϋλικά, τα οποία, λόγω του μεγέθους τους, μπορούν να αλληλεπιδράσουν σε κυτταρικό επίπεδο.

Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη για επικαιροποιημένες γνώσεις εκ μέρους των χρηστών σχετικά με τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των εργαζομένων και για τη λήψη μέτρων για τον έλεγχο του κινδύνου.

Χάρη στην έρευνα που διεξήχθη στις προηγούμενες μελέτες, ένα μεθοδολογικό πλαίσιο προληπτικών μέτρων κατά το χειρισμό και την εφαρμογή νανοϋλικών σε προϊόντα για τον τομέα της πέτρας εφαρμόστηκε σε ένα τρισδιάστατο (3D) εκπαιδευτικό εργαλείο.

Η ανάπτυξη της κατευθυντήριας γραμμής για τους κινδύνους, τα μέτρα πρόληψης για την υγεία και το περιβάλλον κατά την ασφαλή παραγωγή και χρήση νανοϋλικών στον τομέα της πέτρας, η οποία είναι διαθέσιμη σε όλους τους εργαζομένους στη βιομηχανία πέτρας, αποτέλεσε το κεντρικό στόχο του πρώτου intellectual output.

Η κατευθυντήρια γραμμή και όλες οι πληροφορίες σχετικά με το έργο είναι διαθέσιμες στην ακόλουθη διεύθυνση:

- Διαδικτυακός τόπος του έργου NanoSafe: <https://www.nanosafeproject.eu/>



Περιεχόμενα

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	6
2.1.	Νανοτεχνολογία	6
2.2.	Νανοϋλικά	6
2.3.	Νανοπροϊόντα	7
3.	Η ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ	9
3.1.	Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα νανοϋλικά στις κατασκευές	10
4.	ΝΑΝΟΎΛΙΚΑ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ	17
4.1.	Ενοποιητικά	17
4.2.	Απωθητικά νερού	19
4.3.	Απωθητικά πετρελαίου	21
5.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΑΝΟΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	23
5.1.	Εργαστηριακή εφαρμογή	23
5.2.	Εφαρμογή στο περιβάλλον	23
6.	ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ.	25
6.1.	τοξικολογικές ιδιότητες.	25
6.2.	Τοξικολογικές επιδράσεις.	26
7.	ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ	29
7.1.	Οργανωτικά μέτρα	29
7.2.	Συλλογικός προστατευτικός εξοπλισμός:	30
7.3.	Ατομικός προστατευτικός εξοπλισμός:	32
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	38





1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η νανοτεχνολογία, τα τελευταία χρόνια, φέρνει δραματική επανάσταση στη βιομηχανική ανάπτυξη νέων υλικών. Οι συνεχείς πρόοδοι στον τομέα της νανοτεχνολογίας, η ταχεία εφαρμογή της σε όλο τον βιομηχανικό ιστό και ο μεγάλος αριθμός νανοϋλικών που χρησιμοποιούνται σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς, έρχονται αντιμέτωπες με ένα περιορισμένο επίπεδο γνώσεων σχετικά με τους κινδύνους για την υγεία και την ασφάλεια που δημιουργούν τα νανοϋλικά για τους εργαζόμενους και το περιβάλλον.

Τώρα, η μεγάλη επανάσταση της νανοτεχνολογίας, μετά τη μεγάλη πρόοδο σε άλλους τομείς, φτάνει στον κατασκευαστικό τομέα, δημιουργώντας μεγάλες αλλαγές στην παραδοσιακή μεθοδολογία κατασκευής δομικών υλικών. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να επανεξεταστεί η εκτίμηση των κινδύνων και η αποτελεσματικότητα των προληπτικών μέτρων που συνήθως εφαρμόζονται σε χώρους εργασίας με έκθεση σε νανοπαράγοντες.



2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Πριν ασχοληθούμε με τα μέτρα για την πρόληψη της έκθεσης σε νανοϋλικά, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε μερικούς όρους:

2.1. Νανοτεχνολογία

Τα τελευταία χρόνια, η πιο διάσημη έννοια που σχετίζεται με τη μεγάλη ανάπτυξη στον κόσμο της επιστήμης και της τεχνολογίας είναι η νανοτεχνολογία. Ο όρος "νανοτεχνολογία" χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1974 από τον καθηγητή Norio Taniguchi του Πανεπιστημίου Επιστημών του Τόκιο για να περιγράψει τις βασικές έννοιες του χειρισμού της ύλης σε επίπεδο νανομέτρων (Quintili, 2012). Τον Ιούλιο του 1990 πραγματοποιήθηκε στη Βαλτιμόρη (ΗΠΑ) ένα από τα πρώτα διεθνή συμπόσια για τη νανοεπιστήμη και τη νανοτεχνολογία, όπου η μελέτη των νανοϋλικών και της νανοτεχνολογίας ορίστηκε επίσημα ως υποπεριοχή των βασικών επιστημών.

Η νανοτεχνολογία καθιστά δυνατή την παραγωγή νέων υλικών, δομών και συσκευών με εξαιρετικές ιδιότητες, αξιοποιώντας τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των υλικών στη νανοκλίμακα (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2012β).

2.2. Νανοϋλικά

Στην Ευρώπη, ο πιο κοινός ορισμός των νανοϋλικών είναι αυτός που συνιστά η Ευρωπαϊκή Επιτροπή και οι ορισμοί στα πρότυπα ISO για ένα ευρύ φάσμα νανοορολογίας.

Σύμφωνα με τη σύσταση 2011/696/EE1 της Επιτροπής, ένα νανοϋλικό είναι: "Ένα φυσικό, τυχαίο ή κατασκευασμένο υλικό που περιέχει σωματίδια, σε αδέσμευτη κατάσταση ή ως συσσωμάτωμα ή ως συσσωμάτωμα και όπου, για το 50% ή περισσότερο των σωματιδίων στο αριθμητικό μέγεθος των σωματιδίων, μία ή περισσότερες εξωτερικές διαστάσεις είναι στην περιοχή μεγέθους 1 nm-100 nm.

Τα νανοϋλικά άρχισαν να γίνονται δημοφιλή τη δεκαετία του 1980, περιλαμβάνοντας σωματίδια σε ένα εύρος 1-100 nm, τουλάχιστον σε μία διάσταση. Σε αυτές τις κλίμακες, λόγω της αύξησης της ειδικής επιφάνειας ανά μονάδα όγκου, οι συνήθεις νόμοι της φυσικής παύουν να ισχύουν, και η κβαντική φυσική θέτει τους κανόνες της, εκδηλώνοντας διαφορετικές οπτικές, μηχανικές, μαγνητικές, ηλεκτρικές, θερμικές και βιολογικές ιδιότητες από τις συνήθεις.

Από το 1990 παρατηρείται ραγδαία ανάπτυξη της νανοτεχνολογίας (Bystrzejewska et al., 2009) λόγω της ανάπτυξης τεχνικών σύνθεσης και εξοπλισμού που επιτρέπουν τον χειρισμό των νανοσωματιδίων (Nowack & Bucheli, 2007).

2.3. Νανοπροϊόντα

Η έλευση της νανοτεχνολογίας οδήγησε στην ανάπτυξη αμέτρητων νέων εφαρμογών και προϊόντων, ενθαρρύνοντας την ενσωμάτωση νανοδομημένων υλικών σε εμπορικά προϊόντα, γνωστά ως νανοπροϊόντα. Η τάση διαφοροποίησης και κατασκευής των νανοπροϊόντων θα



αυξηθεί εκθετικά τα επόμενα χρόνια, καθώς θα προσφέρονται στους καταναλωτές ως προσιτά θαυματουργά προϊόντα (Chih-cheng et al. 2012).

Η ποικιλία των νανοπροϊόντων έχει αυξηθεί αλματωδώς και θα συνεχίσει να αυξάνεται, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, καλλυντικών, χρωμάτων, συμπληρωμάτων διατροφής, ηλεκτρονικών συσκευών, προϊόντων καθαρισμού και δομικών υλικών (Wilson Center, 2015).

3. NANOTEΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΤΟΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

Ο κατασκευαστικός τομέας έχει επίσης λάβει πολλές καινοτομίες μέχρι σήμερα σε σχέση με τη χρήση της νανοτεχνολογίας. Οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας στα δομικά υλικά προσφέρουν σήμερα νέες ευκαιρίες στον τομέα, δημιουργώντας υλικά με ειδικές και προηγμένες ιδιότητες, όπως υψηλότερη μηχανική αντοχή, μεγαλύτερη ανθεκτικότητα, αντοχή στη διάβρωση, αντοχή στη φωτιά, υπερυδρόφοβα υλικά, αυτοκαθαριζόμενα, αντιβακτηριδιακά κ.λπ.

Παρόλα αυτά, η νανοτεχνολογία στον κατασκευαστικό κλάδο, σε σύγκριση με άλλους τομείς, βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης και επέκτασης. Η κατάσταση αυτή δικαιολογείται από την παραδοσιακή αδράνεια του τομέα να επενδύει ελάχιστα στην καινοτομία και να αξιοποιεί ιδέες που έχουν συνεισφέρει άλλες επιστήμες και βιομηχανίες, ενώ το υψηλό επίπεδο αρχικού κεφαλαίου που απαιτείται για την παροχή νανοεξοπλισμού για την έρευνα και την τεχνική ανάπτυξη δεν αποτελεί επίσης κίνητρο.

Από την άλλη πλευρά, τα νανοπροϊόντα μπορεί να μην είναι ανταγωνιστικά, σε σύγκριση με τις αποδεκτές επιδόσεις και την τιμή των υφιστάμενων προϊόντων, αν και ο σημαντικότερος παράγοντας για τον αργό ρυθμό χρήσης των νανοϋλικών στον τομέα αυτό είναι η έλλειψη γνώσεων σχετικά με τη νανοτεχνολογία στον βιομηχανικό τομέα και η έλλειψη σύνδεσης μεταξύ έρευνας και βιομηχανικής ανάπτυξης.

Ωστόσο, οι δυνατότητες των εφαρμογών της νανοτεχνολογίας δεν μπορούν να αγνοηθούν και η χρήση νανοπροϊόντων στις κατασκευές αναμένεται να αυξηθεί ως αποτέλεσμα της μικρής ποσότητας που απαιτείται για την επίτευξη των ιδιοτήτων στα προϊόντα και της αναμενόμενης μείωσης του κόστους των νανοϋλικών όταν παράγονται σε μεγάλες ποσότητες.

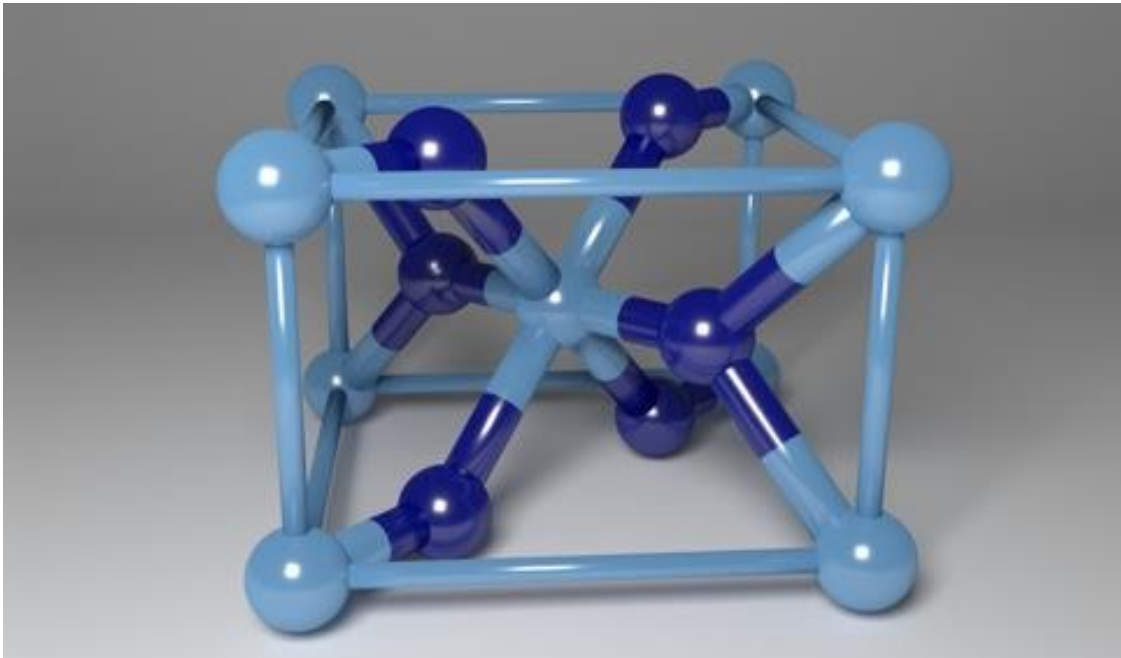
Η νανοτεχνολογία είναι ικανή να βελτιώσει τις ιδιότητες των παραδοσιακών υλικών ή να αναπτύξει νέα υλικά (Hanus & Harris, 2013), ενώ ορισμένα παραδείγματα που απεικονίζουν πιθανές εφαρμογές παρατίθενται παρακάτω.

- Πρώτον, σε σχέση με τα παράγωγα του τσιμέντου, με την προσθήκη νανοσωλήνων άνθρακα και νανοϊνών, η αντοχή του τσιμέντου μπορεί να διπλασιαστεί (Nasibulina et al., 2010). Το νανοπυρίτιο καθιστά επίσης δυνατή την απόκτηση σκυροδέματος υψηλής αντοχής που μπορεί να φτάσει τα 500MPa (Schmidt et al., 2013).
- Όσον αφορά τις επικαλύψεις, είναι δυνατόν να παρασχεθούν αντιμικροβιακές ιδιότητες με την προσθήκη νανοαργύρου, για χρήση σε νοσοκομειακά περιβάλλοντα, για παράδειγμα (Kumar, Vemula, Ajayan, & John, 2008).
- Μια άλλη λύση για την αποτροπή πιθανών αστοχιών του δρόμου λόγω διείσδυσης του νερού είναι η παροχή στο έδαφος υδρόφοβων ιδιοτήτων με παράλληλη βελτίωση των γεωτεχνικών ιδιοτήτων του (Ugwu, Arop, Nwoji, & Osadebe, 2013).

Στον κατασκευαστικό τομέα, τα νανοϋλικά χρησιμοποιούνται συχνά με τη μορφή πρόσθετων, επιστρώσεων και επεξεργασιών. Μελέτες στην Ελβετία και την Ιαπωνία δείχνουν ότι νανοϋλικά όπως Ag, CeO₂, Fe₂O₃, SiO₂, TiO₂, ZnO και Al₂O₃ υπάρχουν ήδη στον κατασκευαστικό τομέα. Παρά την παρουσία τους σε διάφορα οικοδομικά υλικά, τα προϊόντα που περιέχουν νανοσωματίδια στη σύνθεσή τους και χρησιμοποιούνται στον τομέα αυτό εξακολουθούν να αποτελούν εξειδικευμένα προϊόντα στην Ευρώπη και πολύ λίγες πληροφορίες είναι προς το παρόν διαθέσιμες σχετικά με αυτά, τόσο στον τομέα της υγείας όσο και στον περιβαλλοντικό τομέα.

3.1. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα νανοϋλικά στις κατασκευές

ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ (TiO₂)



Σχήμα 1. Διοξείδιο του τιτανίου. Πηγή: www.nanomateriales.lineaprevencion.com

Οι κύριες εφαρμογές του στο χώρο είναι οι εξής:

- **Δομές:**

Σκυρόδεμα καιτσιμέντο: σε εξωτερικές επιστρώσεις για αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες.

- **Τελειώματα και επιστρώσεις:**

- ο Τα χρώματα παρέχουν φωτοκαταλυτικές και αυτοκαθαριζόμενες λειτουργίες.

- ο Οι επιφανειακές επιστρώσεις στο ξύλο παρέχουν προστασία του ξύλου από την υπεριώδη ακτινοβολία.

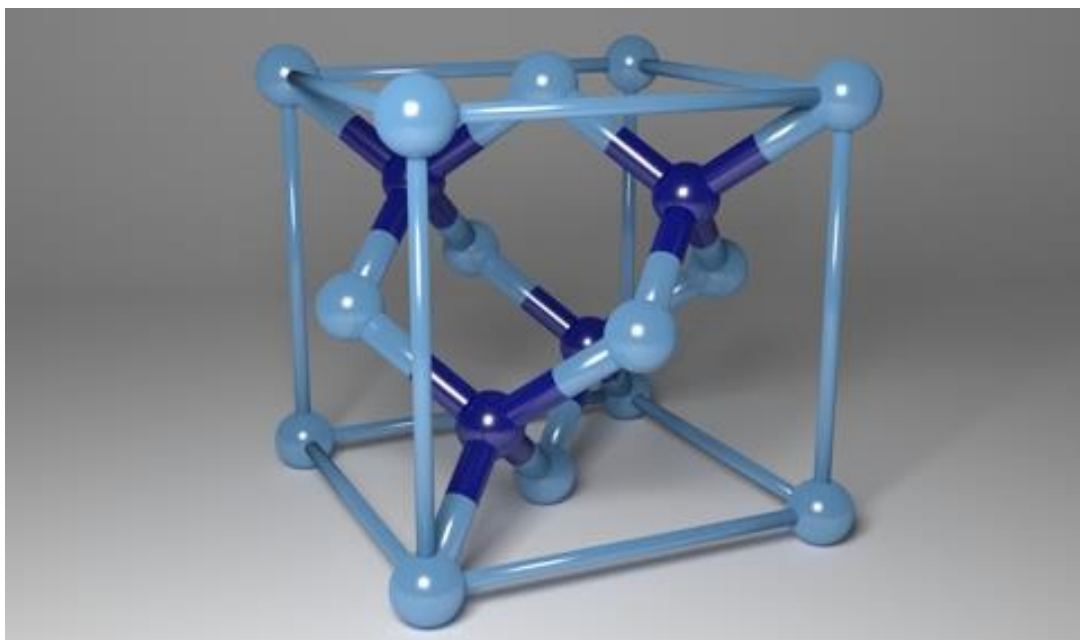
ο Μόνωση/περιβλήματα: σε υαλοπίνακες παραθύρων, έχει αντιθαμβωτικές, ανθεκτικές στη βρωμιά, αυτοκαθαριζόμενες και φωτοκαταλυτικές ιδιότητες.

- **Μόνωση/περιβλήματα:** έχει αντιθαμβωτικές, βρωμιάρικες, αυτοκαθαριζόμενες και φωτοκαταλυτικές ιδιότητες.

- **Εγκαταστάσεις:** σε ηλιακές κυψέλες για παραγωγή ενέργειας.

- **Υποδομές:** στην άσφαλτο, στα οδοστρώματα, στις ακουστικές οθόνες και στις σήραγγες: για αντοχή, μείωση του θορύβου, μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Φωτοκαταλυτική δραστηριότητα σε τοιχώματα σηράγγων.

ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ (ZnO)



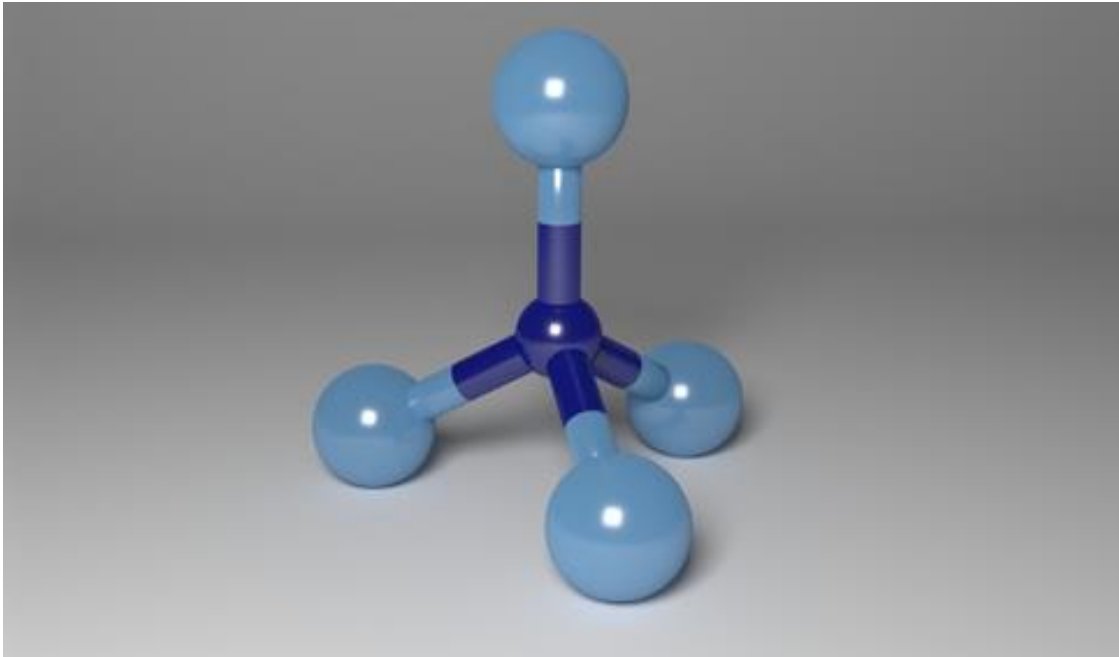
Σχήμα 2. Οξείδιο του ψευδαργύρου. Πηγή: www.nanomateriales.lineaprevention.com

Οι κύριες εφαρμογές του στο χώρο είναι οι εξής:

- Τελειώματα και επιστρώσεις:
 - ο Χρώματα: παρέχει αντοχή, φωτοκαταλυτική δράση, βιοκτόνο δράση, αυτοκαθαρισμό, διατήρηση της διαφάνειας, υδρόφοβο.

- ο Επιφανειακές επιστρώσεις στο ξύλο: παρέχει προστασία του ξύλου από την υπεριώδη ακτινοβολία (UV).

ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (SiO₂)



Σχήμα 3. Διοξείδιο του πυριτίου. Πηγή: www.nanomateriales.lineaprevencion.com

Οι κύριες εφαρμογές του στο χώρο είναι οι εξής:

- **Σκυρόδεμα και τσιμέντο:** Σκυρόδεμα και τσιμέντο: παράγει εξαιρετικά ισχυρά σκυροδέματα και τσιμέντα, βελτιώνοντας τη μηχανική αντοχή, προστατεύοντάς τα από τη διάβρωση, αυξάνοντας την ανθεκτικότητά τους και καθιστώντας τα πιο διαπερατά στο νερό.
- **Τελειώματα και επιστρώσεις:**
 - ο Κεραμικά υλικά: εφαρμόζονται σε επιστρώσεις, έχουν ιδιότητες ψύξης, αντιανακλαστικές και πυρίμαχες ιδιότητες.
 - ο Χρώματα: βελτιώνει την πρόσφυση και την ανθεκτικότητα.
 - ο Επιφανειακές επιστρώσεις στο ξύλο: εφαρμόζεται στην επιφάνεια και προστατεύει το ξύλο καθιστώντας το υδρόφοβο.
- **Μόνωση/περιβλήματα:**

Το νανοϋλικό αυτό προστατεύει το γυαλί από τη φωτιά ή τις πηγές θερμότητας και έχει ακόμη και αντιανακλαστικές ιδιότητες.

ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ (CNT)

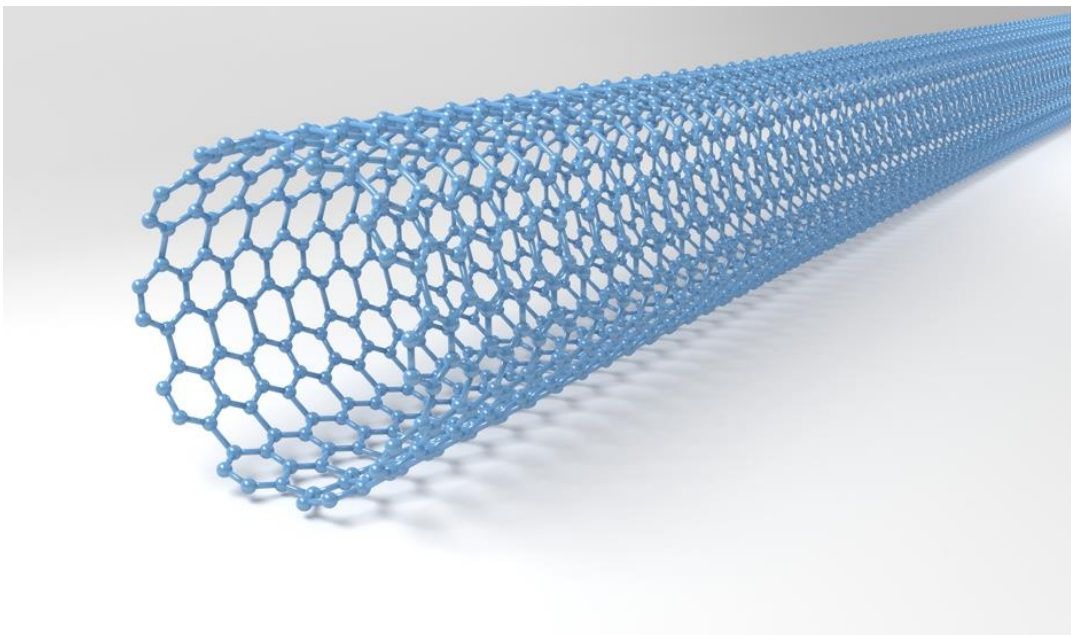
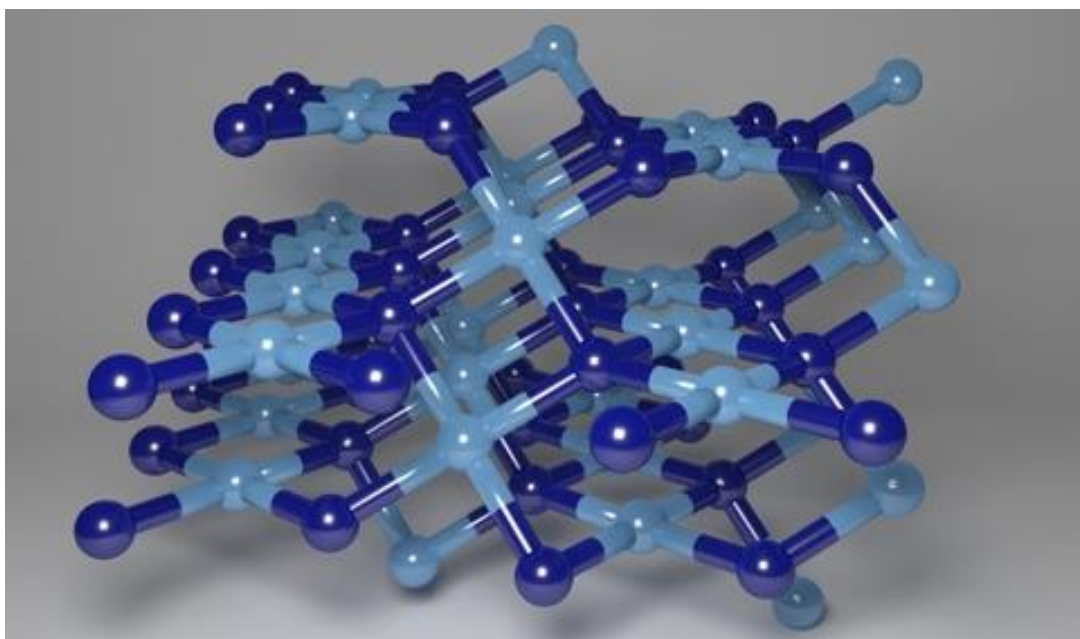


Figure 1. Carbon nanotubes. Source: www.nanomateriales.lineaprevencion.com

Οι κύριες εφαρμογές του στο χώρο είναι οι εξής:

- **Δομικές:**
 - ο Σκυρόδεμα και τσιμέντο: στο σκυρόδεμα βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες.
 - ο Χάλυβας: έχει προσδιοριστεί ως πιθανή αντικατάσταση των χαλύβδινων συρμάτων από αυτό το νανοϋλικό για μελλοντική χρήση.

ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ (CuO)

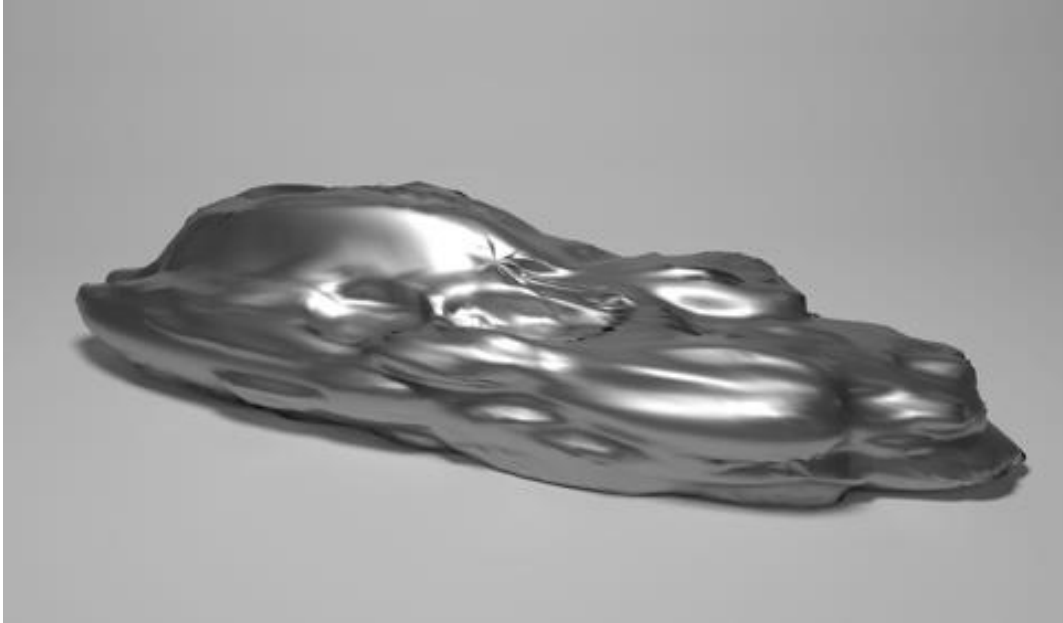


Εικόνα 5. Οξειδίο του χαλκού. Πηγή: www.nanomateriales.lineaprevencion.com

Οι κύριες εφαρμογές του στο χώρο είναι οι εξής:

- **Δομικές**
 - ο Χάλυβας: παράγει ανθεκτικούς στη διάβρωση χάλυβες και διευκολύνει τη συγκολλησιμότητα.

ΑΡΓΥΡΟΣ (Ag)



Εικόνα 6. Ασήμι. Πηγή: www.nanomateriales.lineaprevencion.com

Οι κύριες εφαρμογές του στο χώρο είναι οι εξής:

- **Τελειώματα και επιστρώσεις:**
 - ο Χρώματα: τα νανοϋλικά σε αυτό το υλικό, που εφαρμόζεται ως βαφή, έχουν αντιβακτηριακές ιδιότητες.
- **Μόνωση/περιφράξεις:**
 - ο Παράθυρα/γυαλί: έχει αυτοκαθαριζόμενες ιδιότητες στο γυαλί.

4. ΝΑΝΟΥΛΙΚΑ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Στον τομέα της φυσικής πέτρας, υπάρχουν πολλές περιπτώσεις έκθεσης σε νανοσωματίδια. Οι καταστάσεις αυτές κυμαίνονται από την κοπή του πέτρινου υλικού, την εφαρμογή χρωμάτων ή βερνικιών έως την εφαρμογή νανο-επεξεργασιών.

Η κοπή πέτρινων υλικών με πριόνι, η στίλβωση, το σκούπισμα της σκόνης κ.λπ. δημιουργούν αιωρήματα νανοσωματιδίων ικανά να διεισδύσουν στον οργανισμό μέσω της αναπνευστικής οδού ή ακόμη και του πεπτικού συστήματος, όπως στην περίπτωση της εφαρμογής βερνικιών ή χρωμάτων.

Λόγω της μεγαλύτερης πολυπλοκότητας και του καινοτόμου ενδιαφέροντος τους, θα επικεντρωθούμε στις νανοθεραπείες. Στην αγορά διατίθενται σήμερα πολυάριθμες θεραπείες για την αντιμετώπιση της φθοράς των λίθων. Οι πιο δημοφιλείς επεξεργασίες σήμερα είναι τα στερεωτικά και τα υδατοαπωθητικά, ενώ εκτός από τις συμβατικές επεξεργασίες, πρόσφατα εμφανίστηκαν στην αγορά και επεξεργασίες με νανοσωματίδια.

Εκτός από τα σταθεροποιητικά και τα υδατοαπωθητικά, μπορούμε επίσης να βρούμε, αν και σε μικρότερο βαθμό, τα ελαιοαπωθητικά.

4.1. Στερεωτικά

Η ενοποίηση-στερεοποίηση (consolidation) είναι η επεξεργασία που αποσκοπεί στη μείωση του πορώδους και την αύξηση της συνοχής της πέτρας, αυξάνοντας έτσι τη μηχανική αντοχή της. Για να λειτουργήσει η εξυγίανση όπως προβλέπεται, το εξυγιαντικό πρέπει να εφαρμόζεται ομοιογενώς και να διεισδύει βαθιά, η τελευταία απαίτηση εξαρτάται από παράγοντες όπως η πορώδης δομή της πέτρας, οι χημικές ιδιότητες του εξυγιαντικού και το σύστημα εφαρμογής.

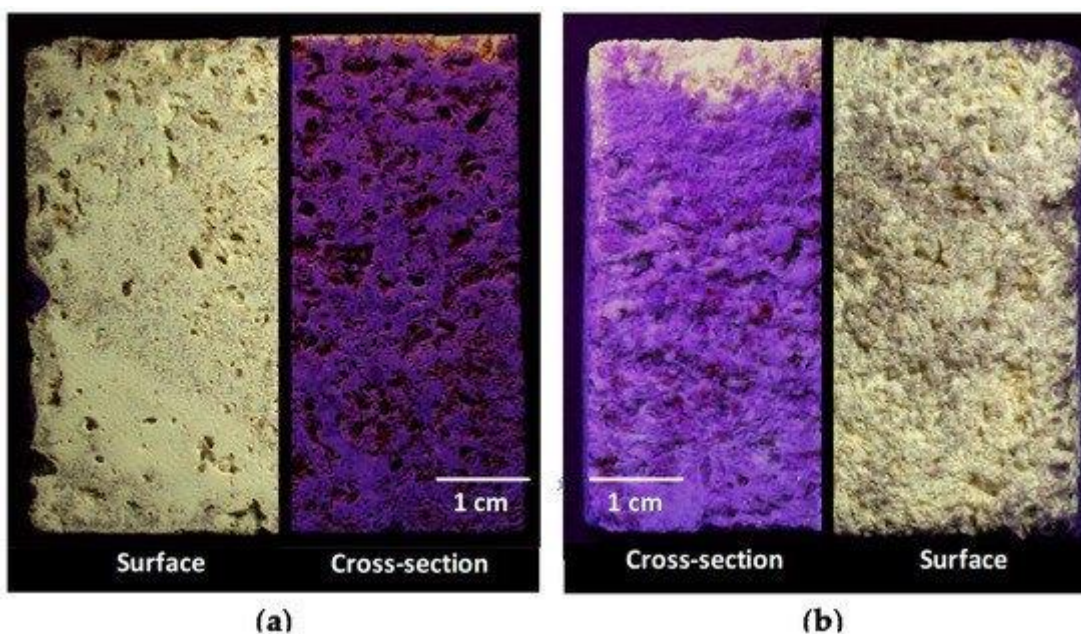
Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να πληροί ένας ενοποιητής είναι τα εξής (Wheeler G., 2005):

- Πρέπει να αυξάνει τη μηχανική αντοχή του υλικού.
- Πρέπει να διεισδύει στο εσωτερικό του βραχώδους υλικού.
- Η μεταβλητότητα του ενοποιημένου πετρώματος πρέπει να είναι χαμηλότερη από εκείνη του μη επεξεργασμένου πετρώματος.
- Πρέπει να επιτρέπει τη διέλευση των υδρατμών μέσα από το πέτρωμα, ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση νερού και αλάτων.
- Πρέπει να είναι συμβατό με το πέτρωμα, αποφεύγοντας το σχηματισμό επιβλαβών ενώσεων ή ενώσεων που μπορεί να αντιδράσουν με τα συστατικά του πετρώματος.
- Από φυσική άποψη, οι ιδιότητες του επεξεργασμένου υλικού πρέπει να είναι παρόμοιες με εκείνες του μη επεξεργασμένου υλικού, ώστε να αποφεύγεται η εμφάνιση τάσεων μεταξύ του επεξεργασμένου στρώματος και του εσωτερικού υποστρώματος
- Ένα καλό στερεωτικό δεν πρέπει να αλλάζει την εμφάνιση της πέτρας. Η πέτρα δεν θα πρέπει να υφίσταται μεταβολές στο χρώμα ή τη στιλπνότητα ως αποτέλεσμα της επεξεργασίας.

Επιπλέον, με την πάροδο του χρόνου, πρέπει να παραμένει ανθεκτική στους περιβαλλοντικούς παράγοντες, ιδίως στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Η άνοδος των νανοϋλικών οδήγησε στην προσαρμογή τους σε όλους τους τομείς, συμπεριλαμβανομένου του τομέα των φυσικών λίθων. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί νανοϋλικά με στερεωτική δράση σε μια προσπάθεια να ξεπεραστούν πολλά από τα μειονεκτήματα των συμβατικών στερεωτικών.

Οι βελτιώσεις έγιναν δυνατές χάρη στο νανομετρικό μέγεθος των νανοσωματιδίων (1-100 nm), το οποίο τους προσδίδει μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια και, ως εκ τούτου, μεγαλύτερη αντιδραστικότητα (Miranda, 2006- Berlanga, 2013).



Εικόνα 7. Φυσική πέτρα επεξεργασμένη με $\text{Ca(OH)}_2/\text{ZnO}$ NPs υπό υπεριώδες φως. Πηγή: Πολιτιστική Κληρονομιά-Επιστήμη, Υλικά και Τεχνολογίες

Μεταξύ των χαρακτηριστικών των στερεωτικών που βελτιώνονται από το γεγονός ότι τα σωματίδια είναι νανομετρικά είναι η αύξηση της ικανότητας διείσδυσης των προϊόντων (D'Armada and Hist, 2012), η μεγαλύτερη ικανότητα αντίδρασης με το υπόστρωμα, η μεγαλύτερη ικανότητα επικάλυψης, χωρίς να μεταβάλλεται αρνητικά η αναπνευσσιμότητά του και η αποφυγή της ρηγμάτωσης του στερεωτικού. Μεταξύ των πιο ευρέως χρησιμοποιούμενων στερεωτικών που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

ΝΑΝΟΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΑΣΒΕΣΤΗ

Η προσθήκη κολλοειδών νανοσωματιδίων υδροξειδίου του ασβεστίου, των οποίων ο διαλύτης είναι μια αλκοόλη, ευνοεί υψηλότερη ταχύτητα ενανθράκωσης, πλήρη μετατροπή και υψηλότερη συγκέντρωση και βάθος διείσδυσης του υδροξειδίου του ασβεστίου στο επεξεργασμένο υλικό (De Rosario, I., 2017).

ΝΑΝΟΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Ένας άλλος τύπος επεξεργασίας με νανοσωματίδια είναι τα νανοστερεοποιητικά πυριτίου. Αυτά τα συνδεδεμένα διαμορφώνονται με βάση μια κολλοειδή διασπορά νανοπυριτίας σε υδατική διασπορά. Μετά την εξάτμιση του νερού, τα νανοσωματίδια πυριτίας συσσωρεύονται για να σχηματίσουν μια μήτρα πυριτίας (Ripoll, A., 2020). Ουσιαστικά, πρόκειται για κολλοειδείς διασπορές νανοδιοξειδίου του πυριτίου, οι οποίες κατά την ξήρανση σχηματίζουν πηκτές πυριτίας παρόμοιες με αυτές που παράγονται όταν το πυριτικό αιθυλεστέρα αντιδρά με το πέτρινο υλικό, δίνοντας συγκολλητικές ιδιότητες.

4.2. Απωθητικά νερού - Υδροφοβικά

Τα υδατοαπωθητικά μειώνουν την απορρόφηση του νερού μέσω της επιφάνειας της πέτρας τροποποιώντας την επιφανειακή τάση της πέτρας, εμποδίζοντας τη διείσδυση του νερού σε βάθος, αλλά επιτρέποντας στο νερό να διαφεύγει από το εσωτερικό προς το εξωτερικό.

Ένα καλό υδατοαπωθητικό πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Villegas et al., 2003; Amoroso and Fassina, 1983):

- Μηδενική ή ελάχιστη επίδραση στις οπτικές ιδιότητες του πέτρινου υλικού.
- Σταθερότητα στους παράγοντες καιρικών συνθηκών και στην υπεριώδη ακτινοβολία, ώστε να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας με την πάροδο του χρόνου.
- Καλή πρόσφυση στο υπόστρωμα και αντοχή στο πλύσιμο.
- Εύκολη εφαρμογή.
- Αδιαπερατότητα στο νερό σε υγρή κατάσταση.
- Διαπερατότητα στους υδρατμούς. Έτσι ώστε, εάν το νερό σε υγρή κατάσταση καταφέρει να διεισδύσει στο εσωτερικό της πέτρας, να μπορεί να εξατμιστεί.
- Αναστρεψιμότητα ή δυνατότητα επανεπεξεργασίας.
- Δεν υπάρχουν επιβλαβή υποπροϊόντα κατά την εφαρμογή.



Εικόνα 8. Φυσική πέτρα επεξεργασμένη με υδατοαπωθητικό. Πηγή: CSIRO.

Όπως τα νανοπροϊόντα ενοποίησης, έτσι και τα νανοπροϊόντα απώθησης του νερού έχουν εμφανιστεί τις τελευταίες δεκαετίες και, και πάλι, επειδή είναι νανομετρικά σωματίδια, η ικανότητα διείσδυσής τους βελτιώνεται, δίνοντάς τους καλύτερες επιδόσεις από τις συμβατικές επεξεργασίες.

Με την προσθήκη νανοσωματιδίων, η υδατοαπωθητικότητα μερικές φορές βελτιώνεται και μπορεί να επιτευχθεί ακόμη και υπερυδροφοβικότητα.

Η προσθήκη ανόργανων νανοσωματιδίων, όπως οξείδια του πυριτίου, του αλουμινίου, του κασσιτέρου και του τιτανίου, σε πολυσιλοξάνες του εμπορίου προκαλεί, μετά την εφαρμογή τους στην πέτρα, την εμφάνιση μιας ορισμένης επιφανειακής τραχύτητας και τη μείωση της επιφανειακής ενέργειας, η οποία προσδίδει στην πέτρα υδρόφοβες ιδιότητες (Μανούδης, 2009).

Εκτός από τα ανόργανα σωματίδια, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα νανοσωματίδια διοξειδίου του πυριτίου. Έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά ως στερεωτικά και υδατοαπωθητικά που εφαρμόζονται σε πυριτικά πετρώματα, γρανίτες και ψαμμίτες (Pérez, N., 2017). Αυτά τα νανοσωματίδια, προστιθέμενα σε ένα μείγμα οργανικών και ανόργανων ολιγομερών πυριτίας παρουσία επιφανειοδραστικού παράγοντα, επιτρέπουν την επίτευξη υπερυδρόφοβων επιφανειών (Facio and Mosquera, 2003).

Άλλα νανοσωματίδια που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη του υδατοαπωθητικού αποτελέσματος είναι οι νανο-υδροξυαπατίτες, οι οποίοι, όταν προστίθενται στο TEOS,



βελτιώνουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες και την αντοχή σε δοκιμές επιταχυνόμενης γήρανσης (De Rosario, 2017).

4.3. Απωθητικά πετρελαίου

Τα τελευταία χρόνια ενθαρρύνεται έντονα η εφαρμογή υλικών που παρέχουν προστασία κατά του γκράφιτι σε συνδυασμό με υδροφοβικές ιδιότητες, προκειμένου να μειωθεί το κόστος συντήρησης και να ελαχιστοποιηθούν οι επεμβάσεις αποκατάστασης. Για τις εφαρμογές αυτές, πρέπει να κατασκευάζονται επιστρώσεις που να παρουσιάζουν ταυτόχρονα υδρόφοβες και ελαιοφοβικές ιδιότητες για να αποτρέπουν ή να περιορίζουν τη διείσδυση των λεκέδων στους πόρους της πέτρας. Τέτοια υλικά έχουν κατασκευαστεί με επιτυχία με μακρές πλευρικές αλυσίδες υδρογονανθράκων ή φθοριούχες ενώσεις, οι οποίες παρέχουν τις ελαιοφοβικές ιδιότητες. Άλλες αποτελεσματικές στρατηγικές περιλαμβάνουν την προσθήκη νανοσωματιδίων σε φθοριούχα πολυμερή. Αν και αναγνωρίζεται η σημασία των επιστρώσεων πέτρας που μπορούν να απωθούν όχι μόνο το νερό αλλά και άλλες ουσίες, η τρέχουσα βιβλιογραφία δίνει έμφαση στην προστατευτική συμπεριφορά έναντι του νερού, ενώ η ελαιοφοβία της επιφάνειας έχει διερευνηθεί πολύ λιγότερο.





5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΑΝΟΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής μιας κατεργασίας εξαρτάται από το βάθος της κατεργασίας, το πρότυπο κατανομής που δημιουργείται στην πορώδη δομή και άλλους παράγοντες όπως η επάρκεια της εφαρμοζόμενης κατεργασίας, ο τύπος του υλικού, η συγκέντρωση της κατεργασίας, ο χρόνος επαφής, οι συνθήκες εργασίας κ.λπ.

Μπορούν να διακριθούν δύο τύποι μεθόδων εφαρμογής:

5.1. Εργαστηριακή εφαρμογή

Εάν το πέτρινο υλικό μπορεί να μετακινηθεί και να μεταφερθεί σε εργαστήριο, οι μέθοδοι εφαρμογής είναι συχνά πιο αποτελεσματικές από τις μεθόδους εφαρμογής επί τόπου. Οι εργαστηριακές μέθοδοι εφαρμογής περιλαμβάνουν:

5.1.1. Βύθιση

Μέθοδος εφαρμογής θεραπειών με εμβάπτιση. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την πλήρη εμβάπτιση του πέτρινου υλικού στην επεξεργασία. Πραγματοποιείται συνήθως σε πίεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος, αν και μπορούν να γίνουν διαφοροποιήσεις στις παραμέτρους αυτές. Διαφορετικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Συνιστάται η σταδιακή προσθήκη του διαλύματος επεξεργασίας, ώστε να επιτρέπεται η διαφυγή του αέρα από το πορώδες σύστημα.

Μια παραλλαγή αυτής της μεθόδου είναι η εκτέλεση υπό κενό, η οποία συνήθως οδηγεί σε μεγαλύτερη διείσδυση. Σε αυτή τη μέθοδο, είναι απαραίτητη η χρήση ενός δοχείου κενού, μιας δεξαμενής διαλύματος και μιας αντλίας. Όταν επιτυγχάνεται αρκετά χαμηλή πίεση, διευκολύνεται η διείσδυση του διαλύματος. Όταν το αντικείμενο καλυφθεί πλήρως, η βαλβίδα κλείνει, διατηρώντας την πίεση για λίγο, και στη συνέχεια η αντλία κλείνει, επιστρέφοντας στην ατμοσφαιρική πίεση.

5.1.2. Τριχοειδής ιδιότητα

Μια άλλη μέθοδος εφαρμογής της θεραπείας είναι η τριχοειδής δράση. Σε αυτή την περίπτωση, το πέτρινο υλικό τοποθετείται μέσα σε ένα δοχείο που μπορεί να καλυφθεί για να αποτραπεί η εξάτμιση του διαλύτη. Το διάλυμα διεισδύει στο υλικό μέσω της πορώδους δομής. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, το διάλυμα προστίθεται αργά, ώστε να επιτρέπεται η διαφυγή του αέρα από το πορώδες σύστημα.

5.2. Εφαρμογή στο περιβάλλον

Όταν η εφαρμογή πρέπει να γίνει επί τόπου, είναι γενικά πιο δύσκολο να επιτευχθεί υψηλή διείσδυτικότητα. Μεταξύ των πιο συχνά χρησιμοποιούμενων τύπων εφαρμογής επί τόπου είναι:

5.2.1. Ψεκαστικά ή αερολυτικά διαλύματα



Η μέθοδος αυτή επιτυγχάνει καλό βάθος διείσδυσης. Ο καθαρός διαλύτης ή ένα πολύ αραιό διάλυμα πρέπει να εξατμιστεί έτσι ώστε να ευνοηθεί η διάχυση και επομένως να αυξηθεί η διείσδυση. Η διείσδυση αυξάνεται με τη χρήση θερμών διαλυμάτων και τη σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσής τους .

5.2.2. Εφαρμογή με πινέλο ή ρολό.

Η εφαρμογή με πινέλο ή ρολό δεν επιτρέπει γενικά καλή διείσδυση.

5.2.3. Απευθείας εφαρμογή

Η άμεση εφαρμογή στοχεύει σε υψηλό χρόνο επαφής. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται ταμπόν καλυμμένα με πλαστικό υλικό για την αποφυγή της εξάτμισης. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την εφαρμογή σε μεγάλες επιφάνειες, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει μηχανισμός που επιτρέπει την ανάκτηση της περίσσειας του διαλύματος.

Το σύστημα αυτό μπορεί να βελτιωθεί με τη δημιουργία συνθηκών πίεσης κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση, έτσι ώστε, αφού εφαρμοστεί η περίσσεια του διαλύματος, να εξαχθεί ο αέρας ώστε το διάλυμα να προσκολληθεί στην επιφάνεια του πέτρινου υλικού.



6. ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ.

Τα επιστημονικά δεδομένα σχετικά με τις επιπτώσεις των νανοϋλικών στην υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων είναι ελάχιστα. Ως εκ τούτου, πρέπει να εξετάζεται κατά πόσον το σωματίδιο νανομεγέθους ενέχει διαφορετικό κίνδυνο από τα μη νανομεγέθη σωματίδια της ίδιας σύνθεσης.

Καθώς το μέγεθος των σωματιδίων μειώνεται, η ειδική επιφάνεια αυξάνεται και συνεπώς η αντιδραστικότητα των σωματιδίων αυξάνεται. αντιδραστικότητα αυξάνεται. Λόγω αυτής της αύξησης, τα σωματίδια νανομεγέθους μπορούν να προκαλέσουν δυσμενείς επιδράσεις στον προκαλούν διαφορετικές δυσμενείς επιδράσεις στην υγεία του οργανισμού από εκείνες που προκαλούνται από μη νανομεγέθη σωματίδια με την ίδια χημική σύνθεση. σωματίδια με την ίδια χημική σύνθεση, καθώς μπορεί να αλληλεπιδρούν στον οργανισμό με διαφορετικούς τρόπους. οργανισμό με διαφορετικούς τρόπους. Εάν τα νανοσωματίδια παρουσιάζουν νέες φυσικοχημικές ιδιότητες σε σύγκριση με τα ίδια σωματίδια, υπάρχει πιθανότητα αυτό να συνοδεύεται από νέες τοξικολογικές ιδιότητες. τοξικολογικές ιδιότητες. Επομένως, οι κίνδυνοι που συνδέονται με τα νανοϋλικά θα σχετίζονται κυρίως με το μέγεθος των σωματιδίων. σχετίζονται κυρίως με το μέγεθος των σωματιδίων.

6.1. Τοξικολογικές ιδιότητες.

Ορισμένες από τις τοξικολογικές ιδιότητες των νανοϋλικών είναι:

-Τοποθεσία: Τα νανοϋλικά μπορούν να φτάσουν σε μέρη των βιολογικών συστημάτων που δεν είναι συνήθως προσβάσιμα σε μεγαλύτερα σωματίδια. Αυτό περιλαμβάνει αυξημένη ικανότητα να διασχίζουν τα όρια των κυττάρων ή να περνούν από τους πνεύμονες στην κυκλοφορία του αίματος και από εκεί σε όλα τα όργανα του σώματος ή ακόμη και μέσω εναπόθεσης στη μύτη να περνούν απευθείας στον εγκέφαλο. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως μετατόπιση και γενικά τα νανοαντικείμενα μπορούν να μετατοπιστούν πολύ πιο εύκολα από άλλες μεγαλύτερες δομές.

-Τοξικότητα: Νανοσωματίδια έχουν πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια από την ίδια μάζα μεγάλων σωματιδίων. Στο βαθμό που η επιφάνεια αποτελεί παράγοντα τοξικότητας, αυτό συνεπάγεται σαφώς μια πιθανή αύξηση των τοξικών επιδράσεων των σωματιδίων νανοκλίμακας.

-Βιοδιάρκεια: ορισμένα νανοσωματίδια (π.χ. νανοκαλώδια), παρουσιάζουν υψηλή αναλογία βιοδιάρκειας, με παρόμοια μορφολογία και αντοχή με τις ίνες αμιάντου, και επομένως είναι πιθανό να παραμείνουν στους πνεύμονες εάν εισπνευστούν, προκαλώντας φλεγμονή και τελικά ασθένεια.

-Διαλυτότητα: Έχει αποδειχθεί ότι η μείωση του μεγέθους ορισμένων νανο-αντικειμένων συνδέεται με αυξημένη διαλυτότητα. Το φαινόμενο αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε αυξημένη βιοδιαθεσιμότητα υλικών που θεωρούνται αδιάλυτα ή ελάχιστα διαλυτά στο μεγάλο μέγεθος σωματιδίων.



6.2. Τοξικολογικές επιδράσεις.

Οι τοξικολογικές επιδράσεις των νανοϋλικών στον οργανισμό εξαρτώνται κυρίως από:

Παράγοντες που σχετίζονται με την έκθεση: οδοί εισόδου στον οργανισμό, διάρκεια και συχνότητα έκθεσης και περιβαλλοντικές συγκεντρώσεις. Η εναπόθεση και η απορρόφηση των νανοσωματιδίων στον οργανισμό πραγματοποιείται κυρίως μέσω τριών κύριων οδών: της εισπνοής, της δερματικής και της πεπτικής οδού.

Μέσω της αναπνευστικής οδού, ανάλογα με τη μορφή και τη χημική σύνθεση του νανοϋλικού, μπορεί να διεισδύσει και να εναποτεθεί σε διάφορα μέρη του αναπνευστικού δέντρου. Αυτή είναι η κύρια οδός έκθεσης για τους εργαζόμενους στις κατασκευές, ιδίως κατά τη διάρκεια εργασιών κατεργασίας νανοϋλικών κατά τις οποίες παράγεται σκόνη [κοπή, λείανση, διάτρηση, τρύπημα, διάτρηση κ.λπ.] ή ομίχλη [ψεκασμός χρωμάτων].

Η δερματική οδός πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, καθώς τα μικρότερα σωματίδια είναι πιθανότερο να περάσουν από το δέρμα, οπότε η οδός αυτή αποκτά μεγαλύτερη σημασία σε εργασίες όπου μεγάλο μέρος του σώματος του εργαζομένου έρχεται σε επαφή με νανοϋλικά.

Τα νανοϋλικά μπορούν επίσης να εισέλθουν στον οργανισμό μέσω της πεπτικής οδού ως αποτέλεσμα κακών πρακτικών υγιεινής κατά το χειρισμό των νανοϋλικών ή με την κατάποση αυτών που κατακρατούνται στην ανώτερη αναπνευστική οδό.

Παράγοντες που σχετίζονται με τον εκτεθειμένο εργαζόμενο: ατομική ευαισθησία, σωματική δραστηριότητα στον χώρο εργασίας, τόπος εναπόθεσης και η οδός δραστηριότητας στον χώρο εργασίας, τόπος εναπόθεσης και η οδός που ακολουθούν τα νανοϋλικά μόλις εισέλθουν στον οργανισμό. διεισδύσουν στον οργανισμό.

Παράγοντες που σχετίζονται με τα νανοϋλικά: εγγενής τοξικότητα του νανοϋλικού.

Αν και υπάρχουν πολύ λίγες πληροφορίες σχετικά με τους κινδύνους για την ασφάλεια που μπορεί να προκαλέσουν τα νανοϋλικά, οι κίνδυνοι πυρκαγιάς και έκρηξης είναι γνωστό ότι προκαλούν τη μεγαλύτερη ανησυχία.

Το μέγεθος των σωματιδίων ή η ειδική επιφάνεια είναι ένας από τους παράγοντες που σχετίζονται με την ευκολία ανάφλεξης και την εκρηκτική ισχύ ενός νέφους σκόνης. Λόγω του μεγέθους τους, μπορούν να παραμείνουν στον αέρα για μεγάλο χρονικό διάστημα, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα δημιουργίας δυνητικά εκρηκτικών νεφών σκόνης, και λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειάς τους, τα νανοσωματίδια μπορούν εύκολα να φορτιστούν ηλεκτροστατικά, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο ανάφλεξης.

Ωστόσο, τα σωματιδιακά νανοϋλικά με τη μορφή σκόνης μπορεί να ενέχουν κινδύνους έκρηξης, ενώ τα αντίστοιχα υλικά τους μπορεί να ενέχουν κινδύνους έκρηξης. κινδύνους έκρηξης, ενώ τα αντίστοιχα υλικά τους μπορεί να μην ενέχουν κινδύνους έκρηξης. Κατά γενικό κανόνα, οι ποσότητες που διακινούνται είναι γενικά μικρές, οπότε ο κίνδυνος έκρηξης μειώνεται σημαντικά. σε μεγάλο βαθμό.

Ορισμένα νανοϋλικά πρέπει να θεωρούνται ότι μπορούν να προκαλέσουν έκρηξη και, ως εκ τούτου, απαιτούν ειδικές συνθήκες εργασίας, επομένως απαιτούν ειδικές συνθήκες εργασίας (αδρανείς ατμόσφαιρες).

Μελέτες σχετικά με τις τοξικές επιπτώσεις των νανοϋλικών δείχνουν, για παράδειγμα, ότι τα νανοσωματίδια διοξειδίου του τιτανίου και οξειδίου του ψευδαργύρου που χρησιμοποιούνται σε αντηλιακά θα μπορούσαν να προκαλέσουν βλάβες στο DNA σε ποντίκια.

Μία από τις πρώτες περιπτώσεις θανάτου από έκθεση σε νανοσωματίδια αναφέρθηκε το 2009, όταν δύο εργαζόμενες σε εργοστάσιο στην Κίνα πέθαναν από πνευμονική ίνωση που προκλήθηκε από την παρουσία νανοσωματιδίων ακρυλικών ρητινών.

Ορισμένοι από τους κινδύνους για την υγεία που εγκυμονούν τα νανοϋλικά που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές που αναφέρονται παραπάνω περιγράφονται παρακάτω

- **ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ (TiO₂).** Η εισπνοή μπορεί να προκαλέσει φλεγμονώδεις και γονοτοξικές επιδράσεις. Η φλεγμονή, η οποία μπορεί μερικές φορές να είναι αναστρέψιμη, εξαρτάται από το λόγο επιφάνειας ανά μονάδα μάζας και από τη διάρκεια και τη συγκέντρωση της έκθεσης. Μελέτες δείχνουν ότι η τοξικότητα της μορφής ανατάση του TiO₂ είναι μεγαλύτερη από εκείνη της μορφής ρουτίλιο. Σε μελέτες in vitro, το ανατάση TiO₂ προκαλεί οξειδωτικό στρες σε ανθρώπινο πνευμονικό ιστό με βλάβη του DNA. Σε μακροχρόνιες εκθέσεις του TiO₂ ανατάση έχουν παρατηρηθεί καρκινογόνες επιδράσεις. Το TiO₂ δεν απορροφάται μέσω του άθικτου δέρματος.
- **ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ (ZnO).** Μελέτες δείχνουν ότι προκαλεί αντιδράσεις οξειδωτικού στρες στον πνευμονικό ιστό και βλάβες στο DNA. Με την εισπνοή έχουν παρατηρηθεί φλεγμονώδεις επιδράσεις στους πνεύμονες και συστηματικές επιδράσεις- η κατανομή στον οργανισμό επηρεάζεται από τη διαλυτότητα των σωματιδίων. Σε μελέτες in vitro έχουν παρατηρηθεί γονοτοξικές επιδράσεις, ενώ οι μελέτες in vivo ήταν αρνητικές. Η δερματική απορρόφηση είναι περιορισμένη και δεν έχουν παρατηρηθεί τοπικές επιδράσεις.
- **ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (SiO₂).** Η τοξικότητα εξαρτάται από την υπάρχουσα κρυσταλλική δομή. Το άμορφο διοξείδιο του πυριτίου, σε αντίθεση με το κρυσταλλικό διοξείδιο του πυριτίου, έχει χαμηλή τοξικότητα και δεν προκαλεί προοδευτική ίνωση. Ο καπνός πυριτίου αποτελείται κυρίως από άμορφο πυρίτιο, αν και μπορεί να περιέχει μεγαλύτερο ή μικρότερο ποσοστό κρυσταλλικού πυριτίου, ανάλογα με τη διαδικασία παραγωγής.
- **ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΆΝΘΡΑΚΑ (CNT).** Μπορεί να είναι μονότοιχοι (SWCNT) ή πολύτοιχοι (MWCNT). Ασκούν πνευμονική τοξικότητα: φλεγμονή, ίνωση και



επιθηλιοειδή κοκκιώματα. Η τοξικότητα των CNT σχετίζεται με τον τύπο του νανοσωλήνα (SWCNT ή MWCNT), την ακαμψία και τον λόγο μήκους/διαμέτρου του. Η τοξικότητα επηρεάζεται επίσης από τη διαδικασία σύνθεσης και την παρουσία ενεργών ομάδων, π.χ. καρβοξυλικά οξέα. Κατά τη σύνθεση χρησιμοποιούνται καταλύτες όπως ο σίδηρος και το νικέλιο, οι οποίοι μπορεί να παραμείνουν ως μικρές προσμίξεις και να αυξήσουν την τοξικότητα. Παρόμοιες αντιδράσεις με τον αμιάντο μπορεί να υποτεθεί για νανοσωλήνες οποιασδήποτε σύνθεσης που βρίσκονται υπό μορφή χαλαρών ινών και όχι ως κοντές ή μπλεγμένες ίνες. Έχει βρεθεί ότι οι CNT με μήκος μεγαλύτερο από 20 μm σχετίζονται με μεσοθελίωμα.

- **ΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ (CuO).** Τα νανομετρικά σωματίδια CuO είναι πιο τοξικά από τον σταθεροποιημένο μεταλλικό χαλκό. Η διαλυτότητα αυτού του νανοϋλικού και η απελευθέρωση του χαλκού είναι υπεύθυνες για την τοξική επίδραση, προκαλώντας φλεγμονώδη αντίδραση.
- **ΑΡΓΥΡΟΣ (Ag).** Οι τοξικές επιδράσεις που προκαλούνται από σωματίδια αργύρου σε νανομέγεθος είναι ελάχιστα κατανοητές. Κατά την εισπνοή, διανέμονται μέσω του αίματος και μπορούν να συσσωρευτούν σε διάφορους ιστούς και να προκαλέσουν επιδράσεις στο ήπαρ και στο ανοσοποιητικό σύστημα. Μέσω του οσφρητικού νεύρου μπορούν να φτάσουν στον εγκέφαλο. Ο νανομεγέθους άργυρος είναι γνωστό ότι έχει θανατηφόρο αποτέλεσμα στα βακτήρια και στους ινοβλάστες.

7. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ

Η συλλογή πληροφοριών για τον εντοπισμό των κινδύνων κάθε νανοπροϊόντος θα πρέπει να επικεντρώνεται στην αναζήτηση δεδομένων σχετικά με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και τις ιδιότητές του. Οι πληροφορίες μπορούν να αντληθούν από τις ετικέτες (εικονογράμματα), τα δελτία δεδομένων ασφαλείας, τις συστάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και άλλες πηγές, όπως οι βάσεις δεδομένων ή η επιστημονική βιβλιογραφία. Βάσεις δεδομένων ή η επιστημονική βιβλιογραφία.

Τα προληπτικά μέτρα που πρέπει να εφαρμοστούν θα προσαρμόζονται σε κάθε εργασιακή κατάσταση ανάλογα με τα νανοϋλικά που χρησιμοποιούνται και τις διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με την έκθεση. Για την κατάλληλη επιλογή των μέτρων αυτών θα απαιτηθεί η γνώση του τύπου της διαδικασίας, των χαρακτηριστικών των νανοϋλικών που υπάρχουν, και των χαρακτηριστικών των νανοϋλικών που υπάρχουν, των πιθανών εκθέσεων (συχνότητα και διάρκεια των εργασιών), των διαδικασιών διάρκειας των εργασιών, των διαδικασιών, των χαρακτηριστικών του χώρου εργασίας κ.λπ.

Η έκθεση σε επικίνδυνες ουσίες πρέπει να αποφεύγεται όποτε είναι δυνατόν, κατά προτίμηση με την εξάλειψη της ουσίας, την αποφυγή της έκθεσης ή την αντικατάσταση του υλικού με λιγότερο επικίνδυνο υλικό. Εάν η χρήση και η παραγωγή νανοϋλικών δεν μπορεί να εξαιρεθεί ή να αντικατασταθεί από λιγότερο επικίνδυνα υλικά και διαδικασίες, η έκθεση των εργαζομένων ελαχιστοποιείται με τεχνικά μέτρα ελέγχου της πηγής, οργανωτικά μέτρα και εξοπλισμό ατομικής προστασίας ως έσχατη λύση.

Κατά την εφαρμογή των προληπτικών μέτρων, είναι σκόπιμο να ακολουθείται μια καλά εδραιωμένη ιεραρχία ελέγχου ιεραρχία ελέγχου:

- Τροποποίηση της διαδικασίας: για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης, μπορούν να γίνουν αλλαγές στις διαδικασίες εργασίας, όπως η μείωση της ποσότητας νανοϋλικών σε ορισμένες δραστηριότητες ή η αντικατάσταση των νανοϋλικών σε μορφή σκόνης με άλλη μορφή παρουσίασης στην οποία το νανοϋλικό βρίσκεται σε υγρό μέσο ή είναι ενσωματωμένο σε στερεή μήτρα.
- Απομόνωση/περιορισμός: Οι εργασίες που συνεπάγονται πιθανή απελευθέρωση νανοϋλικών στο χώρο εργασίας πρέπει να διεξάγονται σε χωριστές εγκαταστάσεις ή σε εγκαταστάσεις όπου ο χειρισμός πραγματοποιείται από προστατευμένη περιοχή.
- Τεχνικά μέτρα ελέγχου: αποσκοπούν στη μείωση της εκπομπής του ρύπου στην πηγή εκπομπής με τη δημιουργία φυσικού φραγμού. Πηγή με τη δημιουργία φυσικού φραγμού μεταξύ του εργαζομένου και του νανοϋλικού. Μεταξύ των μέτρων τεχνικού ελέγχου συγκαταλέγονται τα τοπικά συστήματα εξαγωγής.



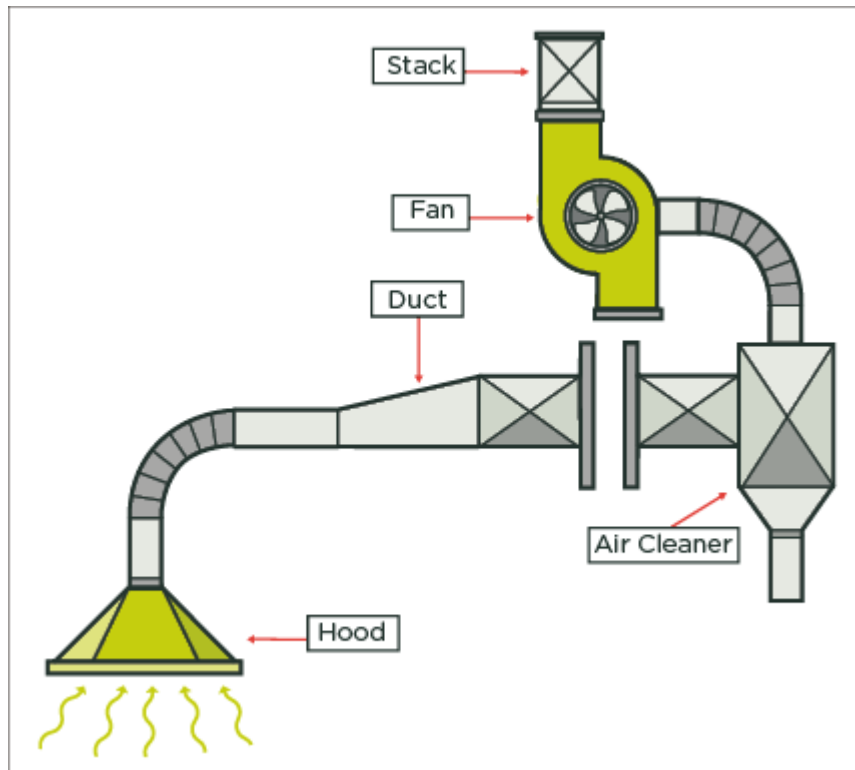
7.1. Οργανωτικά μέτρα

- Ελαχιστοποίηση του αριθμού των εκτεθειμένων εργαζομένων
- Μείωση του χρόνου έκθεσης.
- Οριοθετήστε και επισημάνετε τους χώρους εργασίας με εικονογράμματα που υποδεικνύουν την πιθανή παρουσία νανοϋλικών και τα μέτρα προστασίας που πρέπει να ληφθούν.
- Ελαχιστοποίηση της ποσότητας σωματιδιακού νανοϋλικού που χρησιμοποιείται ανά πάσα στιγμή.
- Να εκπαιδεύετε και να ενημερώνετε τακτικά τους εκτεθειμένους εργαζόμενους για τους πιθανούς κινδύνους, καθώς και για τα προληπτικά μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται.
- Διατήρηση των χώρων εργασίας σε κατάλληλες συνθήκες τάξης και καθαριότητας. Καθαρίζετε τακτικά τα δάπεδα, τον εξοπλισμό, τα εργαλεία και τις επιφάνειες εργασίας χρησιμοποιώντας υγρά πανιά ή ηλεκτρική σκούπα εξοπλισμένη με φίλτρο. ή ηλεκτρική σκούπα εξοπλισμένη με φίλτρο αέρα πολύ υψηλής απόδοσης "απόλυτης" ομάδας H (HEPA) κλάσης H14 ή υψηλότερης (ULPA). Δεν πρέπει να χρησιμοποιείτε αέρα υπό πίεση, σκούπες, βούρτσες ή ισχυρούς πίδακες νερού. ή ισχυρούς πίδακες νερού.

7.2. Μέσα συλλογικής προστασίας:

Ο σχεδιασμός της απαγωγής καπνού και ο ρυθμός ροής θα είναι κρίσιμοι για τη σωστή λειτουργία. Σε σχέση με αυτά τα συστήματα ελέγχου, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες πτυχές:

- Χρησιμοποιήστε ερμάρια καπνών που περικλείουν την πηγή όσο το δυνατόν περισσότερο και βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πηγή.
 - Χρησιμοποιήστε συστήματα συλλογής φίλτρων με υψηλής απόδοσης φίλτρα HEPA κλάσης H14 ή ULPA ή ULPA.
- Ο αγωγός του συστήματος εξαγωγής πρέπει να είναι ανθεκτικός στα νανοϋλικά που χειρίζεται, καθώς αυτά μπορούν να χειρίζονται, καθώς αυτά μπορεί να είναι πιο αντιδραστικά από τα αντίστοιχα μη νανοκλίμακας, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στους αρμούς για την αποφυγή πιθανών διαρροών. Τα τοπικά συστήματα αναρρόφησης είναι ίσως τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μέτρα στη βιομηχανία. Στόχος ενός συστήματος εντοπισμένης αναρρόφησης είναι η δέσμευση του ρύπου όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο όπου παράγεται (πηγή), αποτρέποντας την εξάπλωσή του στη ζώνη έκθεσης του εργαζομένου. Η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος εξαερισμού εξαρτάται από τη διεργασία, την επικινδυνότητα του ρύπου, την πηγή που πρέπει να ελεγχθεί και τα όρια έκθεσης του αντίστοιχου νανοϋλικού.



Εικόνα 9. Σύστημα εντοπισμένης εξαγωγής. Πηγή: ECL

- Χρησιμοποιήστε αυτοκόλλητα πατάκια έξω από τους χώρους χρήσης για να αποφύγετε τη διασπορά νανοϋλικών.

7.3. Μέσα ατομικής προστασίας:

Για τις συνήθεις βραχυπρόθεσμες εργασίες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξοπλισμός προστασίας της αναπνοής πλήρεις μάσκες, μισές μάσκες και τέταρτες μάσκες, που ενσωματώνουν φίλτρα σωματιδίων P3, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν σε εναλλάξιμα φίλτρα. Για παρατεταμένη έκθεση, χρησιμοποιούνται ηλεκτροκίνητες συσκευές φιλτραρίσματος με φίλτρα σωματιδίων P3.



Εικόνα 10. Πλήρης μάσκα.



Εικόνα 11: Μάσκα μισού προσώπου

Για την προστασία των χεριών συνιστάται η χρήση προστατευτικών γαντιών κατά των χημικών ουσιών και των μικροοργανισμών, τα οποία πρέπει να συμμορφώνονται με το πρότυπο EN 374-1:2016, ενώ στην περίπτωση χρήσης γαντιών μίας χρήσης συνιστάται η χρήση δύο ζευγαριών γαντιών που επικαλύπτονται, ώστε να προσδίδεται μεγαλύτερη αντοχή έναντι της μηχανικής φθοράς των γαντιών.



Εικόνα 12: Γάντια προστασίας

Εάν το νανοϋλικό είναι σε μορφή σκόνης, θα πρέπει να φοράτε προστατευτικό ρουχισμό.



Εικόνα 13: Στολή εργασίας

Η προστασία των βλεννογόνων μεμβρανών των ματιών πρέπει να

εξασφαλίζεται με τη χρήση διαφορετικών τύπων προστασίας των ματιών ανάλογα με τη μορφή στην οποία υπάρχει ο ρύπος.

- Γυαλιά ασφαλείας: εργαστηριακά γυαλιά με καθολικό σκελετό.



Εικόνα 14. Γυαλιά ασφαλείας.

- Γυαλιά ασφαλείας: Προστατευτικά γυαλιά τύπου "κατάδυσης", που εφαρμόζουν καλά σταμάτια και συγκρατούνται με λαστιχάκι γύρω από το κεφάλι.



- Ασπίδες προσώπου: που εκτείνονται από τα φρύδια μέχρι κάτω από το πηγούνι και σε όλο τοπλάτος του κεφαλιού του εργαζομένου.



Εικόνα 16. Ασπίδα προσώπου

Οι αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με τις επιπτώσεις στην υγεία και την ασφάλεια από τη χρήση νανοσκόνης και άλλων νανοϋλικών επικεντρώνονται σχεδόν αποκλειστικά στις πιθανές τοξικές επιπτώσεις, αλλά πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ο κίνδυνος πυρκαγιάς και έκρηξης της νανοσκόνης.

Από την άλλη πλευρά, η παραγωγή και η χρήση νανοϋλικών αναπόφευκτα εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες νανοσωματιδίων στο περιβάλλον, τα οποία, μέσω μιας μεγάλης ποικιλίας οδών, μπορούν να φτάσουν στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς.

Επιπλέον, οδηγεί αναπόφευκτα στην εμφάνιση νανοαποβλήτων, για τα οποία οι γνώσεις σχετικά με τη διαχείρισή τους είναι πολύ περιορισμένες και το νομοθετικό τοπίο ανεπαρκές.



8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adlakha-Hutcheon, G., Khaydarov, R., Korenstein, R., Varma, R., Vaseashta, A., Stamm, H., and Abdel-Mottaleb. (2009). M. NANOMATERIALS, NANOTECHNOLOGY applications, consumer products, and benefits. *Nanomaterials: Risks and Benefits*.
- Amoroso, G. y Fassina, V. 1983. Stone decay and conservation: Atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection, *Materials Science Monographs*, vol. 11, Elsevier, Amsterdam, 453 pp
- Bartos, P. J. M. (2009). In Bittnar, Z Bartos, PJM Nemecek, J Smilauer, V Zeman, J. (Ed.), *Nanotechnology in construction: A roadmap for development*
- Becerra, J., Zaderenko, A. P. and Ortiz, P. (2019). Basic Protocol for On-Site Testing Consolidant Nanoparticles on Stone Cultural Heritage.
- Berlanga Mora, I. 2013. Síntesis y caracterización de nanomateriales 0D, 1D y 2D. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencias. Departamento de Química Inorgánica.
- Broekhuizen, F. V., Broekhuizen, P. V. (2009). Nano-products in the European Construction Industry. European Federation of Building and Wood Workers and European Construction Industry Federation.
- Bystrzejewska-Piotrowska, G., Golimowski, J., & L. Urban, P. (2009). Nanoparticules: their potencial toxicity, waste and environmental management.
- Chih-cheng L., Chun-hsien W., Pei-Yu C., Chien-Wei H. (2012). An empirical study of commercialization performance on nanoproducts.
- European Commission. (2012a). Policies. Retrieved from http://ec.europa.eu/nanotechnology/policies_en.htm
- Facio, D.S. y Mosquera, M.J. 2013. Simple strategy for producing superhydrophobic nanocomposite coatings “in situ” on a building substrate. *ACS Appl Mater Interfaces*.
- Golanski L, Guillot A, Tardif, F. (2010). "Experimental evaluation of individual protection devices against different types of nanoaerosols: graphite, TiO₂ and Pt", Special focus: Safety of Nanoparticles, *Journal of Nanoparticle Research*.
- Hanus, M. J., & Harris, A. T. (2013). Nanotechnology innovations for the construction industry. *Progress in Materials Science*.
- INSST. Exposición potencial a nanomateriales en el sector de la construcción. [en línea]. Instituto Nacional de Seguridad y Salud Trabajo (INSST), 2018.
- Kumar A, Vemula PK, Ajayan PM, John G. (2008). Silver-Nanoparticle-embeded antimicrobial paints based on vegetable oil.



Manoudis, P.N.; Tsakalof, A.; I. Karapanagiotis, I.; Zuburtikudis, I.; Panayiotou, C. 2009b. Fabrication of super-hydrophobic surfaces for enhanced stone protection. *Surface & Coatings Technology* 203. 1322–1328

Miranda, R. 2006. Efectos de tamaño cuántico y su importancia para la reactividad y estabilidad de nanoestructuras. *Revista Sistema madri+d, Especial Nanociencia y Nanotecnología. Monografía 15: 19-25*

Nasibulina, L. I., Anoshkin, I. V., Shandakov, S. D., Nasibulin, A. G., Cwirzen, A., Mudimela, P. R., . . . Kauppinen, E. I. (2010). Direct synthesis of carbon nanofibers on cement particles.

Ripoll Casas, Alba (2020). Piedra de Novelda: evaluación de consolidantes nanoparticulados.

Schmidt M, Amrhein K, Braun T, Glotzbach C, Kamaruddin S, Taenzer R.(2013). Nanotechnological improvement of structural materials - Impact on material performance and structural design

Quintil, M. (2012). Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño

Ugwu OO, Arop JB, Nwoji CU, Osadebe NN. (2013). Nanotechnology as a Preventive Engineering Solution to Highway Infrastructure Failures. J

Villegas, R.; Baglioni, R.; Sameño Puerto, M. 2003. Tipología de materiales para tratamiento. En: Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamiento para la conservación de los edificios históricos. Villegas, R. y Sebastián Pardo, E. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Sevilla 2003. Cuadernos técnicos; 8. ISBN: 84-8266-370-4

Wheeler G. Alkoxysilanes and the consolidation of stone. (2005). The Getty Conservation Institute.

WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials. ISBN 978-92-4-155004-8