

LUCE

H_2O O_3

Inquinanti organici

Inquinanti inorganici

(1)

(2)

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ
ΡΥΠΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

ΝΤΙΟΥΔΗ ΑΝΤΩΝΙΑ

ΥΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Β. ΓΚΕΚΑΣ

ΧΑΝΙΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2005

NO_3 CO_3 SO_4

$Ca(NO_3)_2$ $CaCO_3$ $CaSO_4$

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.	TITANIO	
1.1	ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	1
1.2	ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	4
1.2.1.	ΤΟ ΟΡΥΚΤΟ ΑΝΑΤΑΣΕ	4
1.2.2	ΤΟ ΟΡΥΚΤΟ RUTILE	6
1.2.3	ΤΟ ΟΡΥΚΤΟ BROOKITE	7
1.3	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	7
1.4	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	
2.1	ΟΡΙΣΜΟΣ	15

2.2	ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΕΚΦΡΑΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	15
2.3	ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	16
2.4	ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	19
2.4.2	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ	20
2.5	ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3. ΧΡΗΣΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΦΩΤΟΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΡΥΠΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

3.1	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΥΤΟΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΠΡΟΣΩΠΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ	30
3.1.1	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ	30
3.1.2	ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΑΥΤΟΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	31
3.2	ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	38
3.3	ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΣΕ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	41
3.3.1	ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ	42
3.3.2	ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΕΙ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	43
3.3.3	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	44
3.3.4	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ	45
3.4	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΟΙΧΩΝ ΑΠΟ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	48
3.4.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΜΕ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	51

1. ΤΙΤΑΝΙΟ

3.5	ΧΡΗΣΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΣΤΑ ΤΖΑΜΙΑ	52
3.6	ΑΥΤΟΚΑΘΑΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΚΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ‘MARUOCHI BUILDING’ ΣΤΟ ΤΟΚΙΟ	57
3.7	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΔΡΟΦΙΛΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΣΤΟΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ	59

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σήμερα η παραγωγή τιτανίου υπολογίζεται παγκόσμιος είναι 100.000 τόνοι. Παρασκευάζεται σε πολύ καθαρή μορφή κατά την επίλυση μεταλλικού τιτανίου σε τετραχλωριούχο τιτανό, το οποίο είναι σπρό και παραλαβήνεται εύκολα με απόσταξη. Με τη σειρά του, το τετραχλωριούχο τιτανό παρασκευάζεται από διοξείδιο του τιτανίου και χλώριο.

1.1 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ

- Ατομικός αριθμός: 22
- Ατομική μάζα: 47,90 g mol⁻¹
- Πυκνότητα: 4,5 g cm⁻³ στους 20 °C
- Ηλεκτραρνητικότητα σύμφωνα με το Pauling: 1,5
- Σημείο τήξης: 1660 °C
- Σημείο βρασμού: 3272 °C
- Ακτίνα Van der Waals: 147 pm
- Ιοντικές ακτίνα: 0,67 pm (+2), 0,565 pm (+4)
- Ισότοπα: 8
- Ηλεκτρονικός αριθμός: 2
- Ενέργεια 1^{ης} ιοντισμού: 6,26 kJ mol⁻¹
- Ενέργεια 3^{ης} ιοντισμού: 2700 kJ mol⁻¹
- Ενέργεια 5^{ης} ιοντισμού: 4165 kJ mol⁻¹

1. TITANIO

Το 1791, ανακαλύφθηκε το τιτάνιο για πρώτη φορά, από έναν ιερέα που ονομαζόταν W.Gregor στην κοιλάδα του Manaccan στην Αγγλία. Το 1975 στην Ουγγαρία ο Martn Heinrich Klapproth, κάνανε ανάλυση σε μερικά κοιτάσματα και βρήκανε ρινίσματα τιτανίου. Ονομάστηκε τιτάνιο από τους τιτάνες τους γιους του Ουρανού.

Για τα επόμενα χρόνια πολλοί χημικοί προσπαθούσαν να κατασκευάσουν καθαρό τιτάνιο. Το 1825 ο Berzelius κατασκεύασε ακάθαρτο τιτάνιο από διοξείδιο και με διοξειδωση του νατρίου. Ήταν λίγο πριν αρχίσει ο Α Παγκόσμιος Πόλεμος όπου ένας Αμερικάνος κατασκεύασε 99,9% καθαρό τιτάνιο καθώς προσπαθούσε να φτιάξει μια βόμβα. Πριν τα μέσα του αιώνα μας η βιομηχανική χρήση του τιτανίου ήταν αδύνατη. Το 1938 ένας κατασκευαστής ανέπτυξε πάρα πολύ την χρήση τιτανίου και έγινε απαραίτητο για την κατασκευή τουρμπίνων και αεροσκαφών λόγω του βάρους του και της αντοχής του.

Σήμερα η παραγωγή τιτανίου υπολογίζεται παγκόσμια στους 100,000 τόνους. Παρασκευάζεται σε πολύ καθαρή μορφή κατά την επίδραση μεταλλικού νατρίου σε τετραχλωριούχο τιτάνιο, το οποίο είναι υγρό και παραλαμβάνεται εύκολα με απόσταξη. Με τη σειρά του, το τετραχλωριούχο τιτάνιο παρασκευάζεται από διοξείδιο του τιτανίου και χλώριο.

1.1 ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ

Ατομικός αριθμός: 22

Ατομική μάζα: 47.90 gr m^{-1}

Πυκνότητα: 4.51 gr cm^{-3} στους 20°C

Ηλεκτραρνητικότητα σύμφωνα με το Pauling: 1.5

Σημείο τήξης: 1660°C

Σημείο βρασμού: 3287°C

Ακτίνα Van der Waals: 0.147 nm

Ιοντικές ακτίνες: 0.09 nm (+2) , 0.068 nm (+4)

Ισότοπα: 8

Ηλεκτρονικές στοιβάδες: 8

Ενέργεια 2^{ov} ιονισμού: 658 kj mol^{-1}

Ενέργεια 3^{ov} ιονισμού: 2710 kj mol^{-1}

Ενέργεια 5^{ov} ιονισμού: 4165 kj mol^{-1}

Το τιτάνιο είναι χημικό στοιχείο* με ατομικό αριθμό 22 και ατομικό βάρος 47.90. Η χημική του συμπεριφορά παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με αυτή του πυριτίου ή του ζιργκονίου.

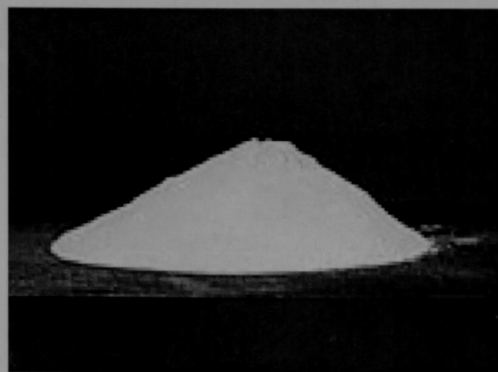
Είναι σκληρό, αστραφτερό, αργυρόλευκο μέταλλο, σταθερό ως προς το οξυγόνο και το νερό. Αφθονία στο φλοιό της γης: 5,6%.

Ανήκει στην πρώτη ομάδα μετάβασης. Η χημεία του στο διάλυμα ύδατος έχει ομοιότητες με αυτά του χρωμίου και του βαναδίου. Η κύρια οξειδωτική του κατάσταση είναι +4 αν και η κατάσταση +3 και +2 είναι επίσης γνωστές αλλά λιγότερο σταθερές.

Αυτό το στοιχείο έχει τη δυνατότητα να μειώνει τους υδρατμούς σχηματίζοντας διοξείδιο και υδρογόνο και επίσης μπορεί να αντιδράσει με θερμά συγκεντρωμένα οξέα διαμορφώνοντας τριχλωριούχο οξύ. Το μέταλλο απορροφά υδρογόνο για να δώσει TiO_2 και να σχηματίσει νιτρίδια, TiN και καρβίδια, TiC . Άλλες γνωστές ενώσεις είναι το TiS_2 καθώς επίσης και τα χαμηλότερα οξείδια Ti_2O_3 , TiO και Ti_2S_3 και TiS .

Το τιτάνιο έχει χρησιμοποιηθεί εμπορικά για πάνω από 50 έτη. Στην καθαρή μορφή του το τιτάνιο είναι ισχυρό σαν τον χάλυβα, αλλά 45% ελαφρύτερο, και συγκρινόμενο με το αργίλιο είναι 60% βαρύτερο και δύο φορές ισχυρότερο. Το τιτάνιο είναι ελαφρύ, με καλή αντοχή, και άριστη αντίσταση στη διάβρωση, όμως αναμιγνύεται με άλλα μέταλλα για να αυξήσει την αντοχή του.

Είναι απρόσβλητο στη διάβρωση από αλατόνερο, τις περισσότερες βιομηχανικές και οργανικές χημικές ουσίες. Αυτό οφείλεται στην πολλή λεπτή, σκληρή και προστατευτική επιφάνεια TiO_2 . Εάν φθαρεί ή γρατσουνιστεί, το στρώμα οξειδίων θα αποκατασταθεί αμέσως παρουσία αέρα ή ύδατος. Το διοξείδιο τιτανίου είναι ένα από τα πιο βασικά υλικά που χρησιμοποιούμε μέσα στην καθημερινή μας ζωή.



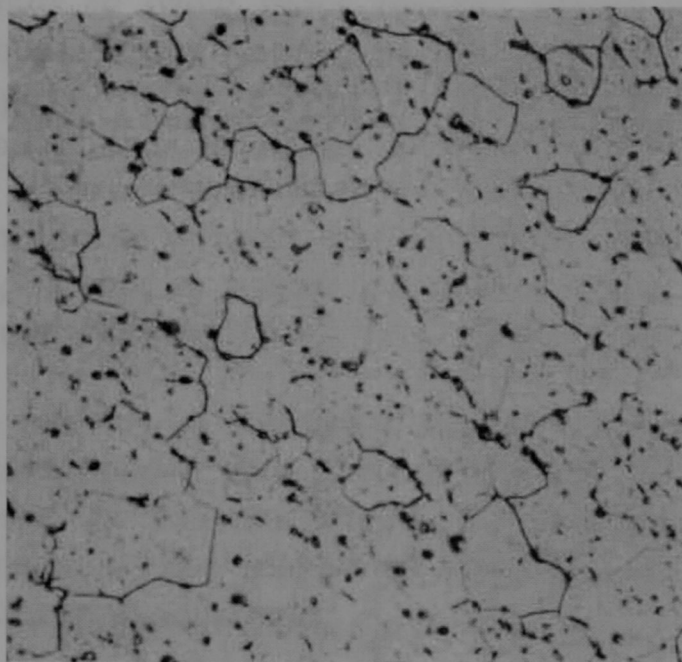
Εικόνα 1. Σκόνη TiO_2

* Στο παράρτημα παρατίθενται αναλυτικά στοιχεία σχετικά με τη φασματική ανάλυση και τα ισότοπα του τιτανίου.

Πινακοποιημένες οι χημικές ιδιότητες παρατίθενται παρακάτω:

- **Atomic Mass:** 47.88
- **Electronegativity:**
 - *Pauling:* 1.54
 - *Allred:* 1.32
 - *Absolute:* 3.45 eV
- **Electron Affinity:** 7.6 kJ mol⁻¹
- **Polarizability:** 14.6 Å³
- **Effective Nuclear Charge:**
 - *Slater:* 3.15
 - *Clementi:* 4.82
 - *Froese Fischer:* 6.37
- **Radius:**
 - *Ti²⁺:* 80 pm
 - *Ti³⁺:* 69 pm
 - *Atomic:* 144.8 pm
 - *Covalent:* 132 pm
- **Successive Ionization Energies:**
 - *Ti → Ti⁺:* 658 kJ mol⁻¹
 - *Ti⁺ → Ti²⁺:* 1310 kJ mol⁻¹
 - *Ti²⁺ → Ti³⁺:* 2652 kJ mol⁻¹
 - *Ti³⁺ → Ti⁴⁺:* 4175 kJ mol⁻¹
 - *Ti⁴⁺ → Ti⁵⁺:* 9573 kJ mol⁻¹
 - *Ti⁵⁺ → Ti⁶⁺:* 11516 kJ mol⁻¹
 - *Ti⁶⁺ → Ti⁷⁺:* 13590 kJ mol⁻¹
 - *Ti⁷⁺ → Ti⁸⁺:* 16260 kJ mol⁻¹
 - *Ti⁸⁺ → Ti⁹⁺:* 18640 kJ mol⁻¹
 - *Ti⁹⁺ → Ti¹⁰⁺:* 20830 kJ mol⁻¹
- **Common Ions :** Ti²⁺, Ti³⁺

Στην εικόνα 2 φαίνεται η καθαρή μικροδομή τιτανίου: Κόκκοι με μικροσφαιροειδή - Μόρια



Εικόνα 2. Καθαρή μικροδομή του τιτανίου

1.2 ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ

Το TiO_2 βρίσκεται σε μορφή rutile, anatase και brookite. Οι φυσικές μορφές που συναντάμε σπανιότερα στη φύση είναι τα anatase και brookite.

1.2.1 ΤΟ ΟΡΥΚΤΟ ANATASE



Χημικός τύπος: TiO_2 , Titanium Oxide

Κατηγορία: Οξειδία και υδροξείδια

Χρήσεις: Μετάλλευμα τιτανίου-ορυκτό δείγμα

Το anatase TiO_2 είναι σε πολυμορφία με άλλα δύο μεταλλεύματα, το rutile και brookite τα οποία έχουν τον ίδιο χημικό τύπο TiO_2 αλλά διαφορετικές δομές. Στις υψηλές θερμοκρασίες των 915°C , το anatase θα επανέλθει αυτόματα στην rutile δομή. Το rutile είναι το πιο συνηθισμένο και το πιο γνωστό μετάλλευμα από τα τρία, ενώ το anatase είναι το σπανιότερο. Το τελευταίο έχει όμοιες ιδιότητες με το rutile, όπως τη λαμπρότητα, τη σκληρότητα και την πυκνότητα. Ωστόσο λόγω των δομικών διαφορών τους το anatase και rutile διαφέρουν ελαφρώς στις κρυσταλλικές τους ιδιότητες.

Το anatase και rutile έχουν την ίδια συμμετρία, tetragonal $4/m^2/m^2/m$, παρά τις διαφορετικές δομές τους. Στο rutile η δομή του είναι βασισμένη στο οκτάεδρο του οξειδίου του τιτανίου, το οποίο μοιράζεται τις δυο άκρες του οκτανίου με άλλα οκτάνια και σχηματίζει αλυσίδες, οι οποίες βρίσκονται σε τετραπλή συμμετρία.

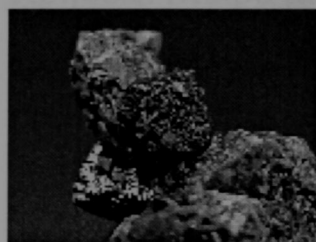
Τα κρύσταλλα του anatase είναι πολύ διακριτικά και δεν είναι εύκολο να τα προσομοιάσουμε με οποιαδήποτε άλλα μεταλλεύματα. Διαμορφώνουν οκτώ αντικρυστές τετραγωνικές διπυραμίδες που καταλήγουν σε αιχμηρά σημεία.

Τα δείγματα του anatase συνδέονται με το λίθο χαλαζία και θεωρούνται κλασσικά στον κόσμο των ορυκτών. Η ανακλαστικότητά τους, η καλή διαμορφωμένη κρυσταλλική μορφή τους καθιστούν το anatase φημισμένο μετάλλευμα.

Φυσικά χαρακτηριστικά του anatase

- ✚ Χρώμα: καφετί προς μαύρο, επίσης κίτρινο και μπλε
- ✚ Λαμπρότητα: αδαμάντινη
- ✚ Αδιαφανή κρύσταλλο
- ✚ Οι κρυσταλλικές μορφές του περιλαμβάνουν την τυπική τετραγωνική διπυράμιδη με αιχμηρά σημεία.
- ✚ Τέλειο σκίσιμο στην βασική κατεύθυνση και σε τεσσέρις κατευθύνσεις (pyramidal).
- ✚ Σκληρότητα 5,5-6,0
- ✚ Συγκεκριμένη πυκνότητα 3,8-3,9 (μέσος όρος για τέτοιου είδους ορυκτά)
- ✚ Η ράβδωση είναι άσπρη
- ✚ Παρόμοια ορυκτά είναι brookite, rutile, quartz, feldspars, apatite, hematite, chlorite, micas, calcite και sphene.

1.2.2 ΤΟ ΟΡΥΚΤΟ RUTILE



Χημικός τύπος: TiO_2 , Titanium Oxide

Κατηγορία: Οξειδία και υδροξείδια

Χρήσεις: Μετάλλευμα τιτανίου, χρωστική ουσία

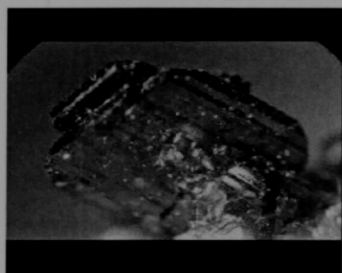
Το rutile είναι ένα ενδιαφέρον, ποικίλο και σημαντικό μετάλλευμα του τιτανίου και χρησιμοποιείται για υψηλής τεχνολογίας κράμματα μετάλλου, εξαιτίας της ελαφρότητας του και της υψηλής δύναμης και αντοχής στη διάβρωση.

Φυσικά χαρακτηριστικά rutile

- ✚ Το χρώμα του είναι μαύρο ή καφεκόκκινο στα μεγάλα παχιά κρύσταλλα ή χρυσό κίτρινο ή σκουριασμένο κίτρινο.
- ✚ Λαμπρότητα δαμάντινη
- ✚ Διαφάνεια: αδιαφανή κρύσταλλα
- ✚ Σύστημα κρυστάλλων είναι tetragonal $4/m^2/m^2/m$
- ✚ Η κρυσταλλική του μορφή περιλαμβάνει οκτώ πλαισιωμένα πρίσματα ή αποτελείται από σύνθετη πυραμίδα.
- ✚ Το σκίσιμο είναι σε δύο διευθύνσεις διαμπερώνοντας πρίσματα
- ✚ Σπάσιμο κογχοειδές

- ✦ Σκληρότητα 6-6,5
- ✦ Συγκεκριμένη πυκνότητα 4,2 (ελαφρώς βαρύ)
- ✦ Ράβδωση καφετί
- ✦ Σχετικά παρόμοια ορυκτά μεταλλεύματα: quartz, tourmaline, barite, hematite και άλλα οξείδια και πυριτικά άλατα.

1.2.3 ΤΟ ΟΡΥΚΤΟ BROOKITE



Χημικός τύπος: TiO_2 , Titanium Oxide

Κατηγορία: Οξείδια και υδροξείδια

Χρήσεις: Μικρό μετάλλευμα τιτανίου, ορυκτό δείγμα

Το Brookite βρίσκεται σε πολυμορφία με άλλα δύο μεταλλεύματα. Τα μεταλλεύματα anatase και , καθώς επίσης και το brookite έχουν τον ίδιο χημικό τύπο TiO_2 , αλλά διαφορετική δομή. Στις υψηλότερες θερμοκρασίες περίπου στους 750°C το brookite θα επανέλθει αυτόματα στην rutile δομή. Το rutile είναι το πιο συνηθισμένο και πιο φημισμένο μετάλλευμα από τα τρία. Το brookite έχει πολλές ίδιες ιδιότητες με το rutile, όπως το χρώμα, τη σκληρότητα και την πυκνότητα. Εντούτοις , λόγω των δομικών διαφορών τους διαφέρουν ως προς τις κρυσταλλικές του ιδιότητες.

Φυσικά χαρακτηριστικά Brookite

- ✦ Χρώμα: καφέ και πράσινο μαύρο
- ✦ Λαμπρότητα αδαμάντινη
- ✦ Διαφανή κρύσταλλο
- ✦ Σύστημα κρυστάλλων : ορθορομβική, $2/m^2/m^2/m$
- ✦ Η κρυσταλλική δομή περιλαμβάνει συνοπτικά 'platy crystals with a pseudo hexagonal outline'
- ✦ Το σκίσιμο είναι πρισματικό στην βασική κατεύθυνση
- ✦ Σπάσιμο : ανώμαλο
- ✦ Σκληρότητα: 5,6-6
- ✦ Συγκεκριμένη πυκνότητα: 3,9-4,1
- ✦ Η ράβδωση είναι ανοικτό καφέ προς λευκό

- ✦ Σχετικά μεταλλεύματα: anatase, rutile, feldspars, chalcopyrite, hematite και sphene.

1.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ-ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ

Επειδή έχει υψηλό σημείο τήξης και είναι ελαφρό, σε συνδυασμό με το ότι δεν διαβρώνεται από το οξυγόνο και το θαλασσινό νερό, το τιτάνιο είναι κατάλληλο για την κατασκευή μηχανών και εξαρτημάτων για αεροπλάνα και πλοία. Επίσης, χρησιμοποιείται στη χημική βιομηχανία, σε σωλήνες και δοχεία που δεν προσβάλλονται από διαβρωτικές ουσίες, καθώς και στις θαλάσσιες πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, μικρές ποσότητες αλουμινίου και βαναδίου βελτιώνουν περαιτέρω τις ιδιότητες του.

Σημαντικό πλεονέκτημα του τιτανίου είναι ότι δεν παρουσιάζει τοξικότητα. Ακόμη, έχει την ιδιότητα να προσκολλάται στα οστά, χωρίς να αλλοιώνεται ή να απορρίπτεται από τον οργανισμό. Αυτές οι αρετές το έχουν αναδείξει σε ιδανικό υλικό για την αντιμετώπιση καταγμάτων: λάμες, βίδες και άλλα εξαρτήματα από καθαρό τιτάνιο έχουν παραμείνει για περισσότερο από 30 χρόνια στο σώμα ασθενών, χωρίς καμιά παρενέργεια.

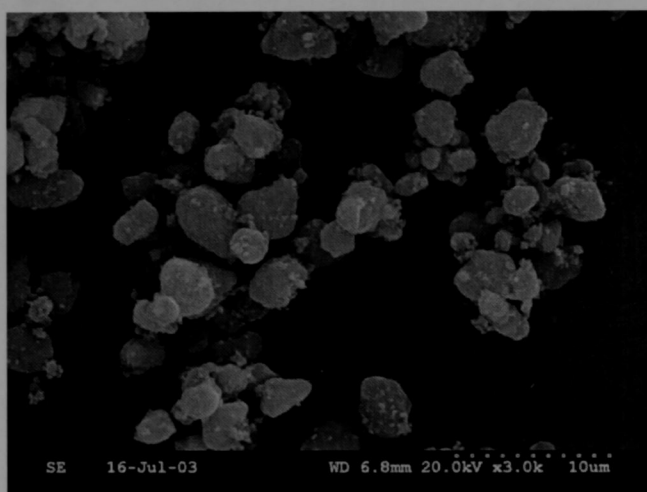
Το τιτάνιο είναι επίσης το ιδεώδες μέταλλο για τα οδοντιατρικά εμφυτεύματα, τα οποία έχουν αρχίσει να αντικαθιστούν τις τεχνητές οδοντοστοιχίες. Είναι πολύ ελαφρύτερο από όλα τα υπόλοιπα μέταλλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο τομέα της οδοντιατρικής. Δεν έχει καθόλου γεύση κι έτσι αποφεύγεται η δυσάρεστη γεύση του μετάλλου στο στόμα. Δεν είναι καλός αγωγός της θερμότητας που σημαίνει ότι η φυσική αίσθηση του ζεστού και του κρύου δεν προκαλεί ενοχλήσεις. Για πολλά χρόνια, το τιτάνιο χρησιμοποιείται με επιτυχία στη γενική ιατρική λόγω της υψηλής βιοσυμβατικότητάς του. Είναι ένα κλινικά αποδεδειγμένο αντιαλλεργικό μέταλλο.

Εδώ, η μεγάλη καθαρότητα της μεταλλικής επιφάνειας αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για άριστα αποτελέσματα και επιτυγχάνεται με τον ακόλουθο τρόπο: το εμφύτευμα υφίσταται κατεργασία στην υψηλή θερμοκρασία τόξου πλάσματος, οπότε όλο το οξειδωμένο τιτάνιο απομακρύνεται η νέα αστραφτερή επιφάνεια οξειδώνεται ακαριαία και, εφόσον χρησιμοποιηθεί αμέσως, το εμφύτευμα προσκολλάται στη γνάθο μόνιμα και ισχυρά, με τη μεσολάβηση του αόρατου μονομοριακού στρώματος διοξειδίου του τιτανίου που έχει προλάβει να σχηματισθεί.

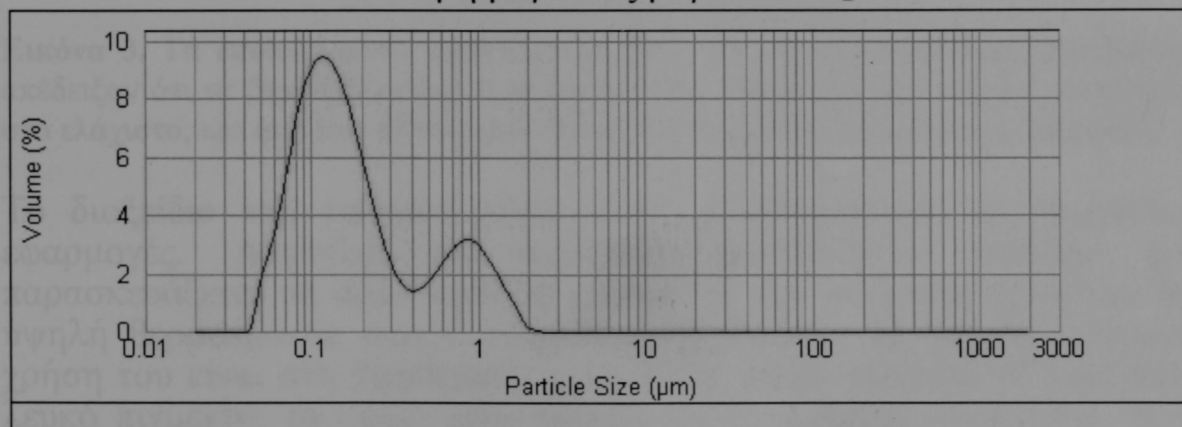
Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει ένα «έξυπνο» κράμα τιτανίου και νικελίου, το Nitinol. Οι ιδιότητες του ανακοινώθηκαν για πρώτη φορά το 1961, με έναν θεατρικό πράγματι τρόπο. Σε κάποια επιστημονική συγκέντρωση, ο ομιλητής έδωσε να κυκλοφορήσει από χέρι σε χέρι ένα κομμάτι σύρμα, το οποίο οι παρευρισκόμενοι έπρεπε να διπλώσουν

επανειλημμένα και να το μετατρέψουν σε κουβάρι. Στη συνέχεια, ο εφευρέτης του νέου κράματος, από το οποίο ήταν φτιαγμένο το σύρμα, το ζέστανε με τον αναπτήρα του και, προς γενική κατάπληξη, το σύρμα ξαναπήρε την αρχική του μορφή. Από τότε, αυτό το «κράμα με μνήμη» έχει βρει πολλές εφαρμογές σε τομείς υψηλής τεχνολογίας και ιατρικές μικροσυσκευές. Από Nitinol κατασκευάζονται επίσης ακριβοί σκελετοί γυαλιών, που είναι πολύ εύκαμπτοι και δεν παραμορφώνονται καθόλου, αφού επανέρχονται αυτόματα στην αρχική τους κατάσταση, χωρίς θέρμανση, ακόμη κι όταν τους έχουμε συστρέψει.

Στο συνδυασμό διοξειδίου του τιτανίου και φωτός οφείλονται ορισμένες εντυπωσιακές καταλυτικές αντιδράσεις, με δυνατότητες πρακτικών εφαρμογών. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι οι κόκκοι του διοξειδίου του τιτανίου να έχουν πολύ μικρές διαστάσεις, τάξης μεγέθους νάνο κρυστάλλων. Το νανοενεργό TiO_2 παράγεται για να χρησιμοποιηθούν οι ιδιοτητές του όπως η πολύ ιδιαίτερα υψηλή περιοχή επιφάνειας (πάνω από $500 \text{ m}^2/\text{g}$), το υψηλό πορώδες, το άμορφο υλικό που έχει εξαιρετική ικανότητα προσρόφησης και χημική δραστηριότητα.



Διανομή μεγέθους μορίων TiO_2



Particle size distribution in a carrier fluid:

$d_{0.1} = 0.07 \mu\text{m}$, $d_{0.5} = 0.15 \mu\text{m}$ and $d_{0.9} = 0.9 \mu\text{m}$.

The volume weighted mean = $0.3 \mu\text{m}$.

Χαρακτηριστική ιδιότητα των νανοκρυστάλλων είναι ότι μόλις η επιφάνεια των κόκκων έλθει σε επαφή με το νερό, ακόμη και στο φως της ημέρας, το διασπά, σχηματίζοντας ρίζες υδροξυλίου. Οι ρίζες αυτές είναι εξαιρετικά δραστικές και αντιδρούν με όποιο οργανικό μόριο συναντηθούν μπροστά τους. Το ενδιαφέρον των καταλυτικών αντιδράσεων δεν περιορίζεται στις διαδικασίες σύνθεσης, αλλά επεκτείνεται και σε αποσυνθέσεις. Έτσι, τα οργανικά μόρια που αντιδρούν με τις ρίζες υδροξυλίου καταστρέφονται σε τέτοιο βαθμό, ώστε ο άνθρακας που περιέχουν μετατρέπεται στο διοξείδιο του.

Όταν το φως λοιπόν, έρχεται σε επαφή με το οξείδιο τιτανίου, δημιουργούνται υπεροξείδια υδρογόνου (H_2O_2) και ιόντα υδροξυλίου (OH). Οι δύο αυτές ουσίες διαθέτουν ισχυρές οξειδωτικές ικανότητες και μέσα από κοινή αλληλεπίδραση έχουν τη δυνατότητα να αποσυνθέτουν ουσίες με οσμή σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό χωρίς οσμή. Κάτω από την επιρροή του φωτός το TiO_2 μπορεί να αποσυνθέσει την πίσσα καπνού, το ακατέργαστο πετρέλαιο και τους οργανισμούς συμπεριλαμβανομένων των βακτηριδίων, των ιών και της μούχλας-το φωτοκαταλυτικό φίλτρο απομακρύνει ή εξουδετερώνει έως και 99% τους οργανισμούς αυτούς, ούτως ώστε ο αέρας που διοχετεύεται από τη μονάδα να είναι πάντοτε καθαρός (εικόνα 3).



Εικόνα 3. Τα επικαλυμμένα πλακάκια με TiO_2 σε ένα νοσοκομειακό περιβάλλον απέδειξαν ότι τα βακτηρίδια που βρίσκονταν στις επιφάνειες των τοίχων μειώθηκαν στο ελάχιστο, και συν τοις άλλοις μειώθηκαν και τα αερομεταφερόμενα βακτηρίδια.

Το διοξείδιο του τιτανίου είναι υλικό αξιοσημείωτο, με σπουδαίες εφαρμογές. Αποτελεί το κυριότερο μέταλλευμα τιτανίου και παρασκευάζεται σε πολύ καθαρή μορφή με την επίδραση οξυγόνου σε υψηλή θερμοκρασία στο τετραχλωριούχο τιτάνιο. Η πιο διαδεδομένη χρήση του είναι στη βιομηχανία χρωμάτων, αφού αποτελεί το καλύτερο λευκό πιγμέντο, το οποίο παρασκευάζεται σε μεγάλες ποσότητες- τρία εκατομμύρια τόνους ετησίως. Ένα νέο χρώμα για τοίχους απορροφά τα οξείδια του αζώτου (NO_x), ουσίες που πυροδοτούν τη δημιουργία φωτοχημικού νέφους και ενοχοποιούνται για αναπνευστικά προβλήματα. Η νέα βαφή μπορεί να απορροφά τα NO_x για διάστημα έως και πέντε ετών προτού εξαντληθεί.

Η βαφή περιέχει σωματίδια διοξειδίου του τιτανίου και ανθρακικού ασβεστίου, διαμέτρου μόλις 30 νανομέτρων (δισεκατομμυριοστών του μέτρου), τα οποία έχουν αναμιχθεί με μια σιλικονούχο βάση που ονομάζεται πολυσιλοξάνιο. Το ίδιο το μείγμα είναι διαφανές, δέχεται όμως την προσθήκη χρωστικών. Τα οξείδια του αζώτου διαχέονται μέσα στο πορώδες πολυσιλοξάνιο και απορροφώνται από το διοξείδιο του τιτανίου. Τα νανοσωματίδια απορροφούν υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και χρησιμοποιούν την ενέργεια αυτή για να μετατρέψουν τα οξείδια σε νιτρικό οξύ, το οποίο εν συνεχεία εξουδετερώνεται από το βασικό ανθρακικό ασβέστιο. Από τις αντιδράσεις παράγονται ακίνδυνες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, νερό και νιτρικό ασβέστιο, τα οποία απομακρύνονται από τον τοίχο με τη βροχή.³

Η απουσία τοξικότητας, η σταθερότητα και η ικανότητα επικάλυψης που διαθέτει αποτελούν αρετές που δεν συναντούμε σε άλλο πιγμέντο. Στο διοξείδιο του τιτανίου οφείλεται το λαμπρό λευκό χρώμα των οικιακών συσκευών, λόγω της μεγάλης του ικανότητας να διαχέει το φως. Το ίδιο πιγμέντο χρησιμοποιείται επίσης σε αντικείμενα από πλαστικό, όπως σακούλες και σωλήνες, καθώς και σε συνθετικές ίνες, χαρτί και κεραμικά είδη. Ακόμη και τα καλλυντικά, ιδίως τα αντιηλιακά, περιέχουν διοξείδιο του τιτανίου, επειδή απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία, προστατεύοντας το δέρμα.

Μια άλλη εφαρμογή είναι σε οικοδομικά υλικά (τούβλα, τσιμέντο, μπετόν) και επικαλύψεις που περιέχουν διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2) τα οποία έχουν την δυνατότητα να δεσμεύουν και να αποδομούν οργανικούς και ανόργανους αέριους ρύπους όταν εκτεθούν στις υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου. Οι αποδομημένοι ρύποι αποπλένονται κατόπιν από την βροχή. Τα νέα υλικά θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην μείωση των συγκεντρώσεων των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και άλλων τοξικών ενώσεων, όπως το βενζόλιο, στην ατμόσφαιρα.⁵

Στην Ιαπωνία χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά πλάκες πεζοδρομίου με επικάλυψη από κεραμικό υλικό που περιέχει διοξείδιο του τιτανίου. Αν οι δοκιμές αποδειχθούν επιτυχείς, τότε ο αέρας των πόλεων θα αναβαθμιστεί σημαντικά, αφού θα καταστρέφονται οι δυσάρεστες μυρωδιές και οι περισσότεροι ρύποι, μετατρέπομενοι σε αβλαβή προϊόντα. Ανάλογες δοκιμές γίνονται και στο μετρό του Παρισιού, οι τοίχοι του οποίου πρόκειται να επενδυθούν με παρόμοια πλακάκια, ώστε να διασπώνται οι ενώσεις που προκαλούν δυσοσμία. Πειράματα διεξάγονται επίσης για την απαλλαγή του πόσιμου νερού από οργανικούς ρύπους, οι οποίοι κατά την κατεργασία τους με διοξείδιο του τιτανίου καταστρέφονται, εάν ακτινοβοληθούν με υπεριώδες φως.

Μια άλλη εντυπωσιακή εφαρμογή είναι το γυαλί που αυτοκαθαρίζεται και δεν θαμπώνει (εικόνα 4). Η επιφάνεια αυτού του νέου υλικού διαθέτει μια πολύ λεπτή (ακόμα και για τις κλίμακες που χρησιμοποιούν

οι νανό-επιστήμονες) επικάλυψη από μικρό-κρυστάλλους οξειδίων του τιτανίου, η οποία αντιδρά στο φως της ημέρας.⁴

Το διοξείδιο του τιτανίου συνήθως έχει τη μορφή λευκής σκόνης, κάτι που δε θεωρείται ιδανικό για χρήση πάνω σε γυαλί, δεδομένου ότι δεν είναι διαφανές. Επομένως, χρειάζεται σε μορφή πολύ λεπτής ταινίας-πάχους 15 δισεκατομμυριοστών του μέτρου- έτσι ώστε να φαίνεται όσο το δυνατόν πιο όμοιο με το συνηθισμένο γυαλί.

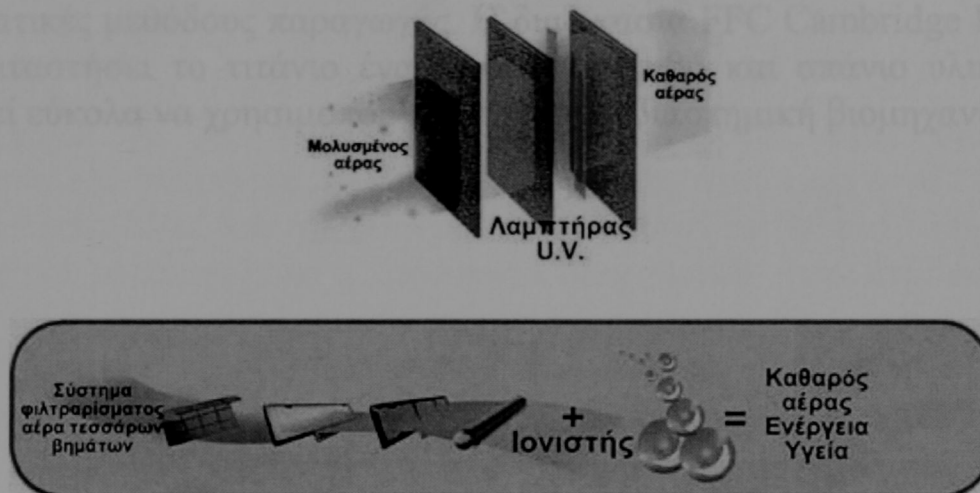
Όπως και στο κοινό γυαλί, η επιφάνεια παραμένει υδρόφοβη και δεν ευνοεί την πρόσφυση του νερού. Στο συνηθισμένο γυαλί, οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε σταγονίδια, προκαλώντας το γνωστό θόλωμα. Όταν το νέο γυαλί ακτινοβοληθεί με υπεριώδες φως, δημιουργούνται περιοχές υδρόφιλες, όσες δηλαδή έχουν υποστεί την επίδραση της ακτινοβολίας, ενώ εκείνες που παρέμειναν αναλλοίωτες εξακολουθούν να είναι υδρόφοβες. Στην περίπτωση αυτή, ο διπλός χαρακτήρας που αποκτά η επιφάνεια του γυαλιού δεν ευνοεί τον σχηματισμό σταγονιδίων νερού, ενώ παράλληλα η βροχή ξεπλένει τις περιοχές όπου μαζεύεται σκόνη.



Εικόνα 4. Γυαλί κατά της ομίχλης. Όταν ο υγρός αέρας έρχεται σε επαφή με το γυαλί, σχηματίζονται μικρά σταγονίδια, και το γυαλί θολώνει. Στο επικαλυμμένο γυαλί διοξειδίου του τιτανίου, το νερό σχηματίζει ένα συνεχές επίπεδο φύλλο και δε θολώνει.

Η χρήση του διοξειδίου του τιτανίου στα συστήματα κλιματισμού προσέφερε ευνοϊκότερες συνθήκες άνεσης καθώς και καθαρό και υγιεινό αέρα. Με το συνδυασμό της φωτοκαταλυτικής οξείδωσης και της υπεριώδους τεχνολογίας τα συστήματα αυτά επιδρούν αποτελεσματικά σε μια ευρεία γκάμα μολυσματικών στοιχείων σε αντίθεση με τα συνήθη συστήματα καθαρισμού του αέρα. Η μονάδα καθαρισμού του αέρα είναι τοποθετημένη μέσα στο κλιματιστικό και καθαρίζει όλο τον αέρα που διέρχεται από αυτό. Η τεχνολογία των συστημάτων αυτών προσφέρεται για τον κλιματισμό οικιακών και επαγγελματικών χώρων. Αρχικά, τα μηχανικά φίλτρα παγιδεύουν τη σκόνη. Στη συνέχεια οι υπεριώδεις

ακτίνες ενεργοποιούν μια αλυσιδωτή αντίδραση: το διοξείδιο τιτανίου μεταμορφώνει το νερό και το οξυγόνο που περιέχονται στον αέρα στις αρχικές μορφές τους. Αυτά στην συνέχεια απορροφούν τα ιπτάμενα οργανικά μείγματα, δυσάρεστες οσμές και βακτήρια, και τα μεταμορφώνουν σε αβλαβή στοιχεία(εικόνα 5).²



Εικόνα 5

Αναμφίβολα, η πιο ενδιαφέρουσα εφαρμογή του διοξειδίου του τιτανίου είναι το νέο φωτοβολταϊκό στοιχείο που στηρίζεται στις ιδιότητες ημιαγωγού του συγκεκριμένου υλικού. Η διάταξη που επινοήθηκε βασίζεται στη δημιουργία ενός λεπτού υμενίου από κόκκους διοξειδίου του τιτανίου, το οποίο καλύπτεται από ένα, ακόμη λεπτότερο, στρώμα μιας χρωστικής ουσίας που περιέχει ρουθίνιο. Η ουσία αυτή μιμείται τη χλωροφύλλη των φυτών: όταν το ηλιακό φως προσπέσει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου, τα φωτόνια απορροφώνται και μετατρέπονται σε ηλεκτρικό ρεύμα, με μεγάλη απόδοση. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες, που έχουν καθοριστική σημασία, δεν είναι δυνατόν να παρατεθούν εδώ. Ωστόσο, αξίζει να αναφέρουμε ότι η συσκευή λειτουργεί αποτελεσματικότερα όταν έχει συννεφιά, παρά όταν έχει λιακάδα. Ήδη κυκλοφορούν στο εμπόριο καταναλωτικά προϊόντα που διαθέτουν φωτοηλεκτροχημικά στοιχεία αυτού του τύπου.⁸

1.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ

Σημαντικές καταθέσεις μεταλλεύματος του τιτανίου βρίσκονται στην Αυστραλία, Σκανδιναβία, Βόρεια Αμερική και Μαλαισία.

Το μέταλλο του τιτανίου παράγεται εμπορικά από τη διαδικασία Kroll, μια πολύπλοκη και ακριβή διαδικασία που αναπτύχθηκε το 1946 από τον William Justin Kroll. Μια νεότερη διαδικασία αποκαλούμενη η FFC

Cambridge Process μπορεί να αντικαταστήσει την παραπάνω μέθοδο παραγωγής. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί ως απόθεμα τροφοδοσίας σκόνη διοξειδίου του τιτανίου (το οποίο είναι μια παρόμοια μορφή rutile) για να παράγει το τελικό προϊόν, το οποίο μπορεί να είναι σε μορφή σκόνης. Εάν χρησιμοποιηθούν μικτές σκόνες οξειδίου, το προϊόν θα είναι ένα κράμα με πολύ χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής. Η διαδικασία FFC Cambridge Process θα καταστήσει το τιτάνιο ένα λιγότερο ακριβό και σπάνιο υλικό που μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί στην αεροδιαστημική βιομηχανία.

επιμέλεια του ιατρού, αλλά και οικονομικές συνέπειες ή να διδά, τις πολιτιστικές αξίες και γενικότερα να επηρεάσει τη φυσική ισορροπία. Συνολικά ρύπανση είναι η παρουσία ξένων ουσιών στην ατμόσφαιρα ή η αλλαγή των συνθηκών των οικοσυστημάτων, σε ποσότητα, με χαρακτηριστικό και για διάστημα που μπορεί να είναι βλαβερό για τη ζωή και τη φύση.

Πρακτικά, άλλος δει εκπεμπόμενα, από τον άνθρωπο ουσίες στον αέρα αποτελούν φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας, παρότι συχνά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Γίνονται ρύποι από τη στιγμή που το ατμοσφαιρικό σύστημα υπερφορτώνεται χρονικά ή χωρικά σε βαθμό, που να δημιουργούνται επιβλαβείς συγκεντρώσεις.

2.2. ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΕΚΦΡΑΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση περιλαμβάνεται και στις τρεις φυσικές καταστάσεις:

- Στερεή (π.χ. σκόνη)
- Υγρή (π.χ. θειικό οξύ, σταγονίδια)
- Αέρια (π.χ. CO₂, SO₂)

Εκφράζεται αριθμητικά σαν συγκεντρώση της ρυπαντικής ουσίας στον αέρα, είτε με το βάρος των ρύπων ανά μονάδα όγκου αέρα, συνήθως σε μικρογραμμάρια (εκατομμυριοστό του γραμμαρίου) ανά κυβικό μέτρο (μg/m³), ή σε mg/m³ = 1000 μg/m³, είτε σε μέρη όγκου του αερίου ανά εκατομμύριο μέρη όγκου αέρα.

Αν οι μετρήσεις αναφέρονται σε κανονικές θερμοκρασίας και πίεσεως (0°C, 760mmHg), προτάσσεται το όγκος cu N (normal) : Nm³

Οι δύο παράμετροι (ppm και μg/m³) συνδέονται με τη σχέση:

$$ppm = \frac{1000}{M.B.} \mu g/m^3$$

2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ

Σαν ρύπανση της ατμόσφαιρας χαρακτηρίζεται- κάθε ανεπιθύμητη αλλαγή των φυσικών, χημικών, ραδιολογικών ή βιολογικών χαρακτήρων του αέρα, που προκαλείται κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και μπορεί να έχει δυσμενή επίδραση πρωτίστως στην υγεία και ευημερία του ανθρώπου, αλλά και οικονομικές συνέπειες ή να θίξει, τις πολιτιστικές αξίες και γενικότερα να επηρεάσει τη φυσική ισορροπία. Συνοπτικά ρύπανση είναι η παρουσία ξένων ουσιών στην ατμόσφαιρα ή η αλλαγή των αναλογιών των υφιστάμενων, σε ποσότητα, με χαρακτηριστικά και για διάρκεια που μπορεί να είναι βλαβερά για τη ζωή και τα φυτά.

Πρακτικά, όλες οι εκπεμπόμενες από τον άνθρωπο ουσίες στον αέρα αποτελούν φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας, παρότι συχνά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Γίνονται ρύποι από τη στιγμή, που το ατμοσφαιρικό σύστημα υπερφορτίζεται χρονικά ή χωρικά σε βαθμό, που να δημιουργούνται επιβλαβείς συγκεντρώσεις.

2.2. ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΕΚΦΡΑΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάζεται και στις τρεις φυσικές καταστάσεις:

- Στερεή (π.χ. σκόνη)
- Υγρή (π.χ. θειικό οξύ, σταγονίδια)
- Αέρια (π.χ. CO₂, SO₂)

Εκφράζεται αριθμητικά σαν συγκέντρωση της ρυπαντικής ουσίας στον αέρα, είτε με το βάρος των ρύπων ανά μονάδα όγκου ,αέρα,. συνήθως σε μικρογραμμάρια (εκατομμυριοστά του γραμμαρίου) ανά κυβικό μέτρο (μg/m³), ή σε mg/m³ = 1000 μg/m³, είτε σε μέρη όγκου του αερίου ανά εκατομμύριο μέρη όγκου αέρα.

Αν οι μετρήσεις αναφέρονται σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσεως (0°C, 760mmHg) , προτάσσεται του όγκου το N (normal) : Nm³

Οι δύο παράμετροι (ppm και μg/m³) συνδέονται με τη σχέση:

$$\text{ppm} = \frac{1000}{K} * (\text{M.B}) \mu\text{g}/\text{m}^3$$

όπου Μ.Β. μοριακό βάρος του αέριου ρύπου
 $K=22,415$ σε 0°C και πίεση 1 ατμ.⁷

2.3. ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

Α) Σωματίδια (Πρωτογενείς ρύποι)

1) Ατμοσφαιρικά σωματίδια

Ανάλογα με το μέγεθος τους τα ατμοσφαιρικά σωματίδια διακρίνονται σε ανάπιπτα (σκόνη) με μέγεθος >15 μ., σε αιωρούμενα σωματίδια (TSP, Total Suspended Particulates) με μέγεθος 0.1-10 μ. και στον καπνό, σωματίδια μαύρου χρώματος με μέγεθος <1 μ.

Όσο μικρότερη είναι η διάμετρος των αιωρούμενων σωματιδίων τόσο βαθύτερα εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα με βλαβερές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Πρόσφατα καθιερώθηκε η διάκριση των αιωρούμενων σωματιδίων σε αιωρούμενα σωματίδια μικρότερα των 10 μm (PM_{10} , particulate matter less than 10 microns) και σε αιωρούμενα σωματίδια μικρότερα των 25 μm ($\text{PM}_{2.5}$) για τα οποία δίδονται και οριακές τιμές.

2) Αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία έχουν προσροφήσει διάφορους ανόργανους και οργανικούς ρύπους. Λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας τους προσροφούν τα αιωρούμενα σωματίδια από την ατμόσφαιρα βαρέα μέταλλα (Pb, Ni, Cd, Fe, Mn, Cu, Zn, Co, V κ.α), ανόργανα ανιόντα (π.χ. SO_4^{2-} , NO_3^-), όπως επίσης και διάφορους οργανικούς ρύπους (π.χ. PAHs, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες).

Β) Αέριοι ρυπαντές

- 1) Διοξείδιο του θείου και άλλες ενώσεις θείου (SO_3 , H_2S) (πρωτογενείς ρύποι)
- 2) Διοξείδιο του αζώτου και άλλες ενώσεις αζώτου (NO) (πρωτογενής ρύπος), (NO_2) (δευτερογενής ρύπος)
- 3) Μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (πρωτογενείς ρύποι)
- 4) Όζον (δευτερογενής ρύπος)
- 5) Υδρογονάνθρακες

α) Εκτός μεθανίου, NMHC (Non Methane Hydrocarbons -πρωτογενείς ρύποι)

β) Πτητικές οργανικές ενώσεις, VOC (Volatile Organic Compounds) (πρωτογενείς ρύποι)

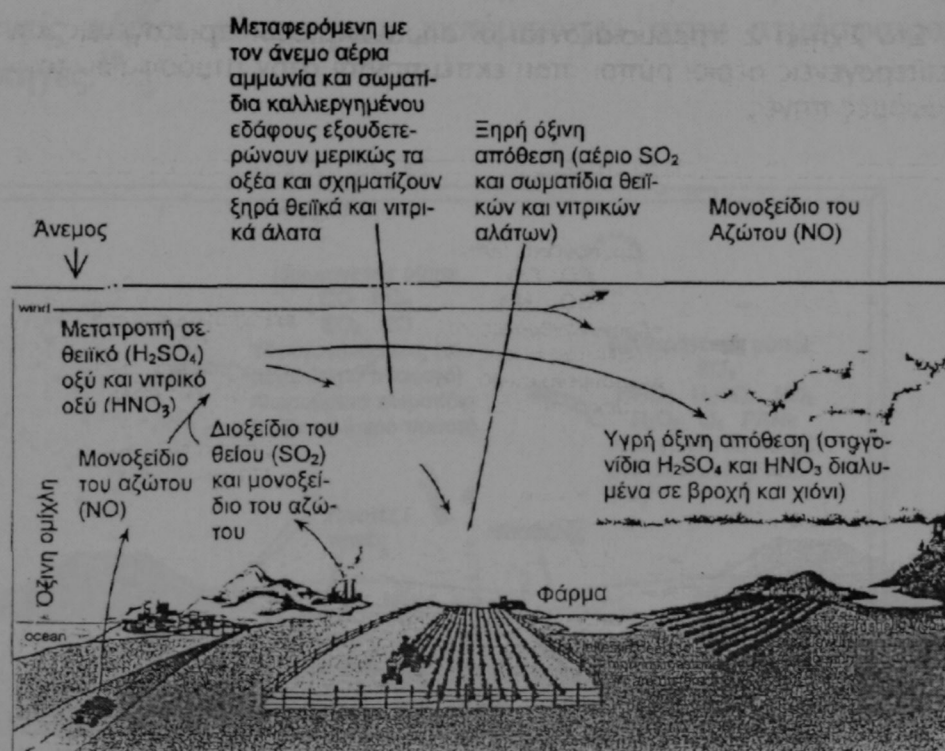
γ) Οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες, (π.χ. PAN (υπεροξυακετονιτρίλιο) και οξειδωμένοι PAHs) (Δευτερογενείς ρύποι)

6) Χλώριο και ενώσεις χλωρίου (πρωτογενείς ρύποι)

7) Φθόριο και ενώσεις φθορίου (πρωτογενείς ρύποι)

Διαμεθοριακή ρύπανση - Όξινη βροχή

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται σχηματικά το φαινόμενο της όξινης βροχής που οφείλεται κυρίως στην αλληλεπίδραση του νερού της βροχής με τους αέριους ρύπους NO_2 και SO_2 . Εξαιτίας του μεγάλου όγκου των παραγομένων αερίων αποβλήτων, ο εξοπλισμός για τον καθαρισμό τους είναι μεγάλος και το κόστος υψηλό.



Σχήμα 1. Η όξινη απόθεση που αποτελείται από βροχή, χιόνι, σκόνη ή όξινα αέρια με pH μικρότερο του 5-6 ονομάζεται όξινη βροχή. Οι λίμνες και τα εδάφη διαφέρουν ως προς την ικανότητα τους να ρυθμίζουν ή να εξουδετερώνουν την επιπλέον οξύτητα.

Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους, οι ρύποι διακρίνονται οι πρωτογενείς και δευτερογενείς.

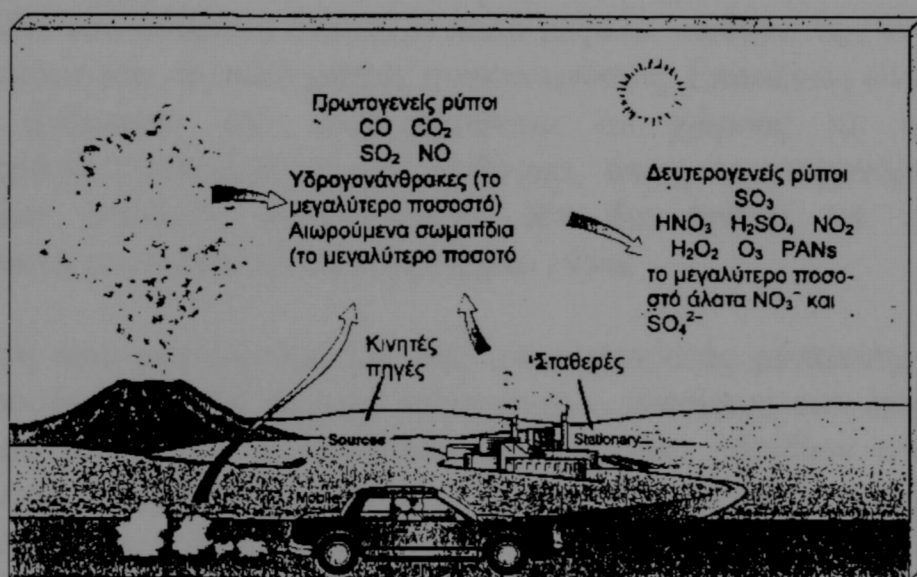
Πρωτογενείς ρύποι: εκπέμπονται απ' ευθείας από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα

- αιωρούμενα σωματίδια και αιωρούμενα σωματίδια που έχουν προσροφήσει διάφορους ρύπους
- καπνός
- SO_2
- CO
- Υδρογονάνθρακες, Cl_2 , F_2 .

Δευτερογενείς ρύποι: σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς ρύπους με χημικές αντιδράσεις που γίνονται είτε μεταξύ τους, είτε με τα φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας με συμμετοχή του ηλιακού φωτός ή της θερμοκρασίας ή της υγρασίας.

- NO_2
- O_3
- Οξειδωμένοι Υδρογονάνθρακες

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι πρωτογενείς και δευτερογενείς αέριοι ρύποι, που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από διάφορες πηγές.¹⁰



Σχήμα 2. Σημαντικότεροι πρωτογενείς και δευτερογενείς αέριοι ρύποι που εκπέμπονται από κινητές πηγές (αυτοκίνητα) και σταθερές πηγές (βιομηχανία, ηφαίστεια).

2.4. ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

2.4.1 ΚΥΡΙΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Τα συμβάντα αυξημένης ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή "επεισόδια", όπως χαρακτηριστικά ονομάζονται, ανιχνεύονται εύκολα από τις ανθρώπινες αισθήσεις χωρίς τη βοήθεια ειδικών οργάνων. Τα σωματίδια που περιέχονται στην ατμόσφαιρα πολλών πόλεων μειώνουν την ορατότητα και της προσδίδουν ένα γκρίζο χρώμα, έτσι ώστε να φαίνεται αισθητικά ρυπασμένη. Το διοξείδιο του θείου, που αποτελεί έναν από τους κυριότερους ρύπους, έχει χαρακτηριστική οσμή, ξυρίζει την επιφάνεια αντικειμένων από άργυρο και προκαλεί προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα δημιουργεί αναπνευστικά προβλήματα στον άνθρωπο.

Το όζον προκαλεί τη γρήγορη γήρανση των ελαστικών και των συνθετικών υλικών και το φωτοχημικό νέφος που περιέχει μεγάλες ποσότητες όζοντος, προκαλεί ενοχλητικά συμπτώματα στα μάτια (πόνος, κνησμό, δάκρυσμα). Τα οξείδια του αζώτου, NO και NO₂, και οι υδρογονάνθρακες, οι οποίοι αποτελούνται από αρκετές χιλιάδες διαφορετικές ουσίες, αποτελούν πρόδρομες ουσίες του φωτοχημικά σχηματιζόμενου όζοντος και του PAN (νιτρικό υπεροξυακετύλιο) στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Επίσης, είναι γνωστό και το μονοξειδίου του άνθρακα αποτελεί πολύ μεγάλο κίνδυνο της ανθρώπινης υγείας ακόμη και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Επομένως είναι φανερό ότι οι άνθρωποι που απασχολούνται σε χώρους με αυξημένες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, όπως οι τροχονόμοι και οι υπάλληλοι σταθμών αυτοκινήτων, δεν θα πρέπει να εκτίθενται απεριόριστα στον επικίνδυνο αυτό αέριο ρύπο.

Η μελέτη των αποτελεσμάτων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οδήγησε στον προσδιορισμό ως κύριων παραγόντων ρύπανσης των σωματιδίων, διοξειδίου του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου (μετρώνται συνήθως ως NO₂), υδρογονανθράκων (μετρώνται ως υδρογονάνθρακες που δεν περιέχουν μεθάνιο, διότι το μεθάνιο δεν συμμετέχει στο σχηματισμό της φωτοχημικής ρύπανσης) και όζοντος. Αυτοί οι ρύποι αποτελούν τους πιο συνηθισμένους στα αστικά κέντρα. Βέβαια, γνωρίζουμε, ότι όταν μελετάται ένα επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη πολλοί άλλοι ρύποι πέρα από τους κύριους.

Οι φυσικοχημικές διεργασίες αποτελούν μια συγκεντρωμένη τοπική πηγή όλων των ειδών των αερίων και των σωματιδίων. Για παράδειγμα η

2.4.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ

Εξ ορισμού, οι ρύποι προκαλούν ένα παρατηρήσιμο ή ανιχνεύσιμο αποτέλεσμα. Τα αποτελέσματα δεν προσδιορίζονται πάντα εύκολα, και έτσι παρατηρούμενα αποτελέσματα δεν μπορούν να συσχετισθούν άμεσα με συγκεκριμένους παράγοντες ρύπανσης. Για παράδειγμα, τα οξείδια του αζώτου και οι υδρογονάνθρακες δεν αναγνωρίστηκαν αρχικά ως κύριοι πρωτογενείς ρύποι, μέχρις ότου έγινε κατανοητό ότι αποτελούσαν τις πρόδρομες ουσίες του όζοντος και του PAN στο φωτοχημικό νέφος.

Τις τελευταίες δεκαετίες οι μέθοδοι προσδιορισμού των πηγών των αέριων ρύπων έχουν μετατραπεί από απλές τεχνικές που βασίζονταν στις αισθήσεις (όραση, οσμή, γεύση) σε αντικειμενικές τεχνικές που επιτρέπουν τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής ποιότητας. Σήμερα, εκτός λίγων εξαιρέσεων, αν οι ρύποι ανιχνεύονται με τις αισθήσεις ή αν παρατηρούνται άμεσα αποτελέσματα, τότε οι πηγές θεωρούνται ότι συνεισφέρουν σε έντονη υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Η προσβολή αυτή μπορεί να αναγνωριστεί πιο εύκολα, όταν προέρχεται από βιομηχανικές πηγές οι οποίες συνήθως σχετίζονται με την καύση ορυκτών καυσίμων. Οι βιομηχανικοί ρύποι απελευθερώνονται μέσα από καμινάδες σε μεγάλο ύψος, οπότε είναι εύκολη η αναγνώριση τους. Επειδή ο προσδιορισμός και οι τεχνικές μέτρησης έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια, έγινε σαφές ότι οι εκπομπές των βιομηχανικών πηγών ρύπανσης συχνά ξεπερνιούνται από τις εκπομπές οικιακών, εμπορικών, αγροτικών και μεταφορικών πηγών.

Στις επόμενες ενότητες προσδιορίζονται μερικές από τις γενικές πηγές ρύπων. Προκειμένου να μελετηθούν οι εκπομπές αέριων ρύπων μιας περιοχής, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες, όπως οι βιομηχανικές δραστηριότητες το μέγεθος και η κατανομή του πληθυσμού, οι δασικές εκτάσεις και οι ενεργειακές πηγές. Η προσεκτική μελέτη των συνεισφορών καθεμιάς από τις πηγές σε κάθε αέριο ρύπο οδηγεί στη συλλογή πολύτιμων πληροφοριών.

Φυσικές πηγές ρύπανσης

Οι φυσικές εκπομπές ρύπων ποικίλουν από μία περιοχή σε άλλη, ανάλογα με τις εποχιακές, γεωλογικές και μετεωρολογικές συνθήκες και ανάλογα με το είδος της υπάρχουσας βλάστησης.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις αποτελούν μια συγκεντρωμένη τοπική πηγή όλων των ειδών των αερίων και των σωματιδίων. Για παράδειγμα η

έκρηξη του ηφαιστείου της Αγίας Ελένης στις 18 Μαΐου 1980 εκτόξευσε 4 km^3 σωματιδίων S στην ατμόσφαιρα. Η ποσότητα αυτή είναι πολλές τάξεις μεγαλύτερη από το συνολικό ετήσιο ποσό των εκπεμπόμενων σωματιδίων που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες στη Βόρεια Αμερική. Το μέγεθος των σωματιδίων ποικίλει από μέγεθος μεγάλου χαλικιού έως πολύ μικρού σωματιδίου ($0.001 \mu\text{m}$). Η ενέργεια των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι συχνά αρκετή ώστε να μεταφέρει τα αέρια και τα σωματίδια διαμέσου των χαμηλών στρωμάτων της ατμόσφαιρας στη στρατόσφαιρα, όπου οι φυσικές διεργασίες απομάκρυνσης είναι πολύ βραδείες. Συνεπώς, οι ρύποι αυτοί μπορεί να διατηρούνται σε αιώρηση στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η χημική ανάλυση της ηφαιστειακής στάχτης που λήφθηκε από απόσταση 650 km μακριά από το ηφαίστειο της Αγίας Ελένης, έδειξε ότι το 60-70% της σύστασης ήταν διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και το 16-18% οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3). Η χημική σύσταση και η κατανομή μεγεθών της στάχτης μεταβαλλόταν ανάλογα με την απόσταση από την πηγή, υποδεικνύοντας ότι συγκεκριμένα χημικά συστατικά συγκεντρώνονταν σε συγκεκριμένες τάξεις μεγέθους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι ορισμένα στοιχεία όπως ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και το αρσενικό έχουν σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες εξάτμισης και συγκεντρώθηκαν σε πολύ μικρά σωματίδια που σχηματίστηκαν με εξάχνωση μετά την έκρηξη.

Η φυσική ραδιενέργεια της ατμόσφαιρας προέρχεται από τον βομβαρδισμό των αερίων μορίων των ανώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας από την ιονίζουσα κοσμική ακτινοβολία του ηλίου και τις εκπομπές του ραδίου και του θορίου από το φλοιό της γης. Η κοσμική ακτινοβολία είναι περισσότερο έντονη σε βόρειο και νότιο γεωγραφικό πλάτος 50ο, λόγω της εκτροπής των ηλιακών σωματιδίων από το γήινο μαγνητικό πεδίο. Η διαφυγή αερίων μέσα από το έδαφος είναι πιο βραδεία δια μέσου χιονιού ή πάγου. Η ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης και από εξωγήινες πηγές διασπείρεται στην ατμόσφαιρα με την κυκλοφορία των αερίων μαζών, η ατμοσφαιρική όμως ραδιενέργεια αυξάνεται σε μεγαλύτερο ύψος και κοντύτερα στις ισχυρότερες γήινες πηγές. Έτσι, η έκθεση ενός ατόμου στην ατμοσφαιρική ραδιενέργεια είναι μεγαλύτερη, όταν το άτομο βρίσκεται σε κάποιο βουνό παρά στην περίπτωση που ένα άτομο βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας.

Σωματίδια σκόνης και άμμου, που συμπαρασύρονται από τους ανέμους μεταφέρονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολύ υψηλών συγκεντρώσεων σωματιδίων σε απομακρυσμένες περιοχές για μικρά χρονικά διαστήματα. Εξαιρετικό ενδιαφέρον, παρουσιάζει επίσης το γεγονός ότι οι πυρκαγιές δασικών

εκτάσεων αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπής σωματιδίων και τεράστια πηγή CO και CO₂. Τα δάση αποτελούν εκτός των άλλων και πολύ ισχυρές πηγές υδρογονανθράκων και άλλων οργανικών ουσιών. Οι πηγές αυτές είναι τόσο ισχυρές, ώστε ανιχνεύονται με την όραση και την όσφρηση. Μάλιστα, η παραγωγή αυτή των αερίων θεωρείται από πολλούς ότι ευθύνεται για τη δημιουργία της κυανής ομίχλης πάνω από πυκνές δασικές εκτάσεις.

Οικιακές πηγές

Σε κατοικημένες περιοχές, οι οικιακές δραστηριότητες αποτελούν τις κύριες αιτίες εκπομπής ρύπων. Μερικές από τις δραστηριότητες και το είδος των ρύπων που απελευθερώνουν φαίνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Μερικές δραστηριότητες και τα είδη εκπεμπόμενων ρύπων

Δραστηριότητα	Παραγόμενοι ρύποι
Θέρμανση	CO, CO ₂ , NO _x , SO _x , καπνός
Μαγείρεμα	Λίπη, σωματίδια, οσμές
Καθάρισμα	Ατμοί διαλυτών, σκόνη, προωθητικά αερίων & καθαριστικά
Βάψιμο	Κυρίως ατμοί διαλυτών

Πριν τη βιομηχανική επανάσταση, οι οικιακές φωτιές αποτελούσαν την πιο σημαντική πηγή ρύπων στο Λονδίνο. Το πρόβλημα ενισχυόταν από το γεγονός ότι οι εκπομπές προέρχονταν από καμινάδες μικρού ύψους και ότι τα οικιακά τζάκια αποτελούσαν συστήματα καύσης και θέρμανσης χαμηλής απόδοσης. Οι νέες εστίες θέρμανσης έχουν καλύτερη απόδοση, αλλά οι ρύποι εξακολουθούν να εκπέμπονται από καμινάδες μικρού ύψους. Βελτιώσεις είναι πιθανό να επέλθουν, όταν μεταφερθούν οι εκπομπές των συστημάτων θέρμανσης σε συγκεκριμένες περιοχές, όπου θα υπάρχουν υψηλές καμινάδες και συστήματα κατακράτησης των εκπομπών.

Μία άλλη πηγή ατμοσφαιρικής ρύπανσης από οικιακές και εμπορικές δραστηριότητες σχετίζεται με τη διάθεση των απορριμμάτων. Παλαιότερα, η καύση των φύλλων και οι σκουπιδότοποι αποτελούσαν συνηθισμένες πηγές απελευθέρωσης σωματιδίων και αερίων. Σήμερα, οι δραστηριότητες αυτές έχουν απαγορευτεί στους περισσότερους δήμους και η διάθεση των απορριμμάτων λαμβάνει χώρα σε περιοχές υγειονομικής ταφής και σε εγκαταστάσεις καύσης. Η αποσύνθεση των οργανικών συστατικών στους χώρους υγειονομικής ταφής προκαλεί την έκλυση μεθανίου και υδρόθειου.

Εμπορικές πηγές

Οι εμπορικές πηγές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνουν τις επιχειρήσεις που παρέχουν δημόσιες υπηρεσίες, όπως για παράδειγμα το στεγνό καθάρισμα των ρούχων. Στην περίπτωση αυτή σχεδόν όλη η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου διαλύτη εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές από το στεγνό καθάρισμα μεταβάλλονται από 16 kg διαλύτη ανά 100 kg ρούχων σε μη ελεγχόμενες συσκευές καθαρισμού έως λιγότερο από 10 kg διαλύτη ανά 100 kg ρούχων σε μεγάλα βιομηχανικά μηχανήματα. Οι πιο συνηθισμένοι διαλύτες που χρησιμοποιούνται στις οικιακές και εμπορικές συσκευές είναι οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες. Σε μεγαλύτερες μονάδες χρησιμοποιούνται απλοί υδρογονάνθρακες λόγω χαμηλότερου κόστους.

Άλλες εμπορικές εγκαταστάσεις ή δραστηριότητες που απελευθερώνουν αέριους ρύπους είναι τα εστιατόρια, τα ξενοδοχεία, τα σχολεία και το βάψιμο. Η προετοιμασία των γευμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη παραγωγή 1/2-1 kg απορριμμάτων ανά γεύμα, παράγονται 3-5 kg στερεών αποβλήτων ανά νοσοκομειακή κλίνη και 4 kg ανά σχολικό τμήμα, ενώ παρουσιάζονται αυξητικές τάσεις τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα στα πλαστικά αντικείμενα. Πολλά από αυτά τα πλαστικά είναι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες και κατά την καύση τους απελευθερώνουν χλώριο, το οποίο υδρολύεται άμεσα στην ατμόσφαιρα παράγοντας υδροχλωρικό οξύ, ένα πολύ διαβρωτικό μέσο που προκαλεί καταστροφές στην βλάστηση, ακόμη και σε μικρές συγκεντρώσεις, και συμμετέχει στη δημιουργία της όξινης βροχής.

Αγροτικές πηγές

Οι αγροτικές πηγές, οι οποίες έχουν επηρεαστεί άμεσα από τη νομοθεσία ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνουν τα σφαγεία και τα εκτροφεία ζώων. Για παράδειγμα τα ορνιθοτροφεία συγκεντρώνουν αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες πτηνών σε μία τοποθεσία. Βάσει παρατηρήσεων που έγιναν σε ένα τέτοιο εκτροφείο προέκυψε το συμπέρασμα ότι το 40% των σωματιδίων που διέφευγα μέσω του συστήματος εξαερισμού είχε διάμετρο μικρότερη από 5 μm . Το μέγεθος αυτό βρίσκεται μέσα στην κλίμακα των σωματιδίων που μπορεί να εισέλθουν μέσω της αναπνευστικής οδού στον άνθρωπο.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό της αέριας ρύπανσης που συντελείται με την απελευθέρωση ινιδίων βάμβακος κατά τη διάρκεια της συγκομιδής και της επεξεργασίας, σε τέτοιο βαθμό ώστε να έχουν αναφερθεί αναπνευστικά προβλήματα σε κατοικημένες περιοχές

κοντά στα κέντρα επεξεργασίας. Στους χώρους καλλιέργειας η έκθεση σε σωματίδια κατά τη συγκομιδή σοδειών, σε φυτοφάρμακα και στη νιτρική αμμωνία που χρησιμοποιείται για λίπασμα προκαλεί χρόνιες παθήσεις. Πολλοί αγρότες πεθαίνουν κάθε χρόνο, λόγω της παρατεταμένης έκθεσης τους στο αέριο των σιλό, που δεν είναι άλλο από το NO_2 .

Βιομηχανικές πηγές

Οι βιομηχανικές πηγές συνήθως γίνονται πολύ εύκολα αντιληπτές, διότι οι εκπομπές εισέρχονται στην ατμόσφαιρα συνήθως μέσω μίας καμινάδας. Όταν ένας συγκεκριμένος βιομηχανικός ρύπος είναι ο κύριος ρύπος μιας κοινότητας, τότε μπορεί να ανιχνευθεί στην πηγή του γνωρίζοντας τις βιομηχανικές διεργασίες που επιτελούνται. Σε τέτοιες περιπτώσεις, εφαρμόζονται εύκολα διορθωτικά μέτρα. Τα οξείδια του αζώτου παράγονται σε οποιαδήποτε αντίδραση καύσης υψηλών θερμοκρασιών. Εκλύονται επίσης από βιομηχανικές διεργασίες στα εργοστάσια παρασκευής λιπασμάτων και εκρηκτικών.

Τα οξείδια του θείου εκπέμπονται αρχικά ως διοξείδιο του θείου κατά την καύση του πετρελαίου και του άνθρακα από σταθερές πηγές. Το θείο συνήθως αφαιρείται από το φυσικό αέριο κατά την εξόρυξή του, ώστε το αέριο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οικιακές εφαρμογές. Μία πολύ μικρή ποσότητα οξειδίων του θείου εκπέμπεται από την καύση της βενζίνης. Οι πηγές καύσης επίσης, εκπέμπουν μικρές ποσότητες SO_3 . Η επεξεργασία των θεικών μεταλλευμάτων παράγει μεγάλες ποσότητες SO_2 , καθώς επίσης και τα διυλιστήρια πετρελαίου. Μετά από το πέρασμα μερικών ωρών από την είσοδο των οξειδίων του θείου στην ατμόσφαιρα, ακολουθεί η αντίδραση του ατμοσφαιρικού νερού με τα οξείδια προς σχηματισμό θειώδους και θεικού οξέος.

Το υδρόθειο εκπέμπεται σε μεγάλες ποσότητες από τα εργοστάσια επεξεργασίας χαρτιού, φυσικού αερίου, από διυλιστήρια πετρελαίου και από εργοστάσια που παράγουν συνθετικές ίνες. Το υδρόθειο οξειδώνεται στην ατμόσφαιρα παράγοντας διοξείδιο του θείου και νερό.

Το μονοξείδιο του άνθρακα απελευθερώνεται σε μεγάλες ποσότητες κατά την παραγωγή χυτοσιδήρου και σε άλλες μεταλλουργικές διεργασίες, όπου είναι επιθυμητή η ελαχιστοποίηση της παρουσίας του οξυγόνου. Εκπέμπεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις από σταθερές μονάδες καύσης, οι ποσότητες όμως είναι σημαντικές επειδή το ποσό των χρησιμοποιούμενων καυσίμων είναι πολύ μεγάλο. Οι βιομηχανικές όμως εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα ξεπερνιούνται από τις εκπομπές των αυτοκινήτων.



Οι υδρογονάνθρακες εκπέμπονται από ένα πλήθος βιομηχανικών διεργασιών, οι οποίες σχετίζονται συνήθως με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο ή με τη χρήση των προϊόντων τους. Οι υδρογονάνθρακες μπορεί να βρίσκονται υπό τη μορφή ατμών, υγρών ή και σωματιδίων πίσσας, όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις κατασκευής ασφαλοταπήτων. Επίσης, εκπέμπονται από εργοστάσια που παράγουν πλαστικά, τα περισσότερα από τα οποία χρησιμοποιούν το πετρέλαιο και τα προϊόντα του φυσικού αερίου ως πρώτες ύλες από εργοστάσια ελαστικών ή συνθετικών υλικών.

Τα σωματίδια που μπορεί να είναι υγρά ή στερεά προκαλούν την ανησυχία της κοινής γνώμης, διότι οι εκπομπές σωματιδίων είναι ορατές με γυμνό οφθαλμό. Η φυσική και χημική φύση των σωματιδίων είναι πολύ σημαντική για την εκτίμηση των επιπτώσεων των εκπομπών. Τα οξείδια μετάλλων από τις βιομηχανίες χρωμάτων και επικαλυπτικών, οι σκόνες των καταλυτών από τα διυλιστήρια, οι ίνες αμιάντου από τις βιομηχανίες σωληνώσεων, υφασμάτων και μονωτικών και ορισμένα στοιχεία, όπως το βόριο, το βηρύλλιο και το αρσενικό από τις επεξεργασίες μετάλλων, έχουν αναγνωριστεί ως επικίνδυνα σωματίδια, διότι είναι ιδιαίτερα τοξικά ή καρκινογόνα και μπορεί να εισέλθουν στον άνθρωπο μέσω της αναπνοής. Οι μεγαλύτερες σε μέγεθος βιομηχανικές εκπομπές σωματιδίων είναι της τέφρας από την καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και των απορριμμάτων, των σωματιδίων άνθρακα από την καύση και την επεξεργασία των ορυκτών καυσίμων και τα σωματίδια που προέρχονται από λατομεία και ορυχεία.

Στη συνέχεια εξετάζονται μερικά τυπικά παραδείγματα βιομηχανιών και οι εκπομπές που προκαλούν.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής σιδήρου και χάλυβα εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Τα περισσότερα από τα σωματίδια είναι οξείδια του σιδήρου ή οξείδια μετάλλων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ειδικών κραμάτων και έχουν μέγεθος μικρότερο από 2 μm , ανήκουν δηλαδή στην εσπνεύσιμη κλίμακα μεγέθους. Η αλλαγή που συντελέστηκε τις δύο τελευταίες δεκαετίες προς τους κλιβάνους οξυγόνου είχε ως αποτέλεσμα την εκπομπή σωματιδίων μικρότερου μεγέθους και μεγαλύτερων ποσοτήτων.

Οι κλίβανοι παραγωγής χυτοσιδήρου λειτουργούν σε ατμόσφαιρα μειωμένου οξυγόνου (αναγωγικές συνθήκες) δεσμεύοντας σχεδόν όλο το οξυγόνο του αέρα που χρησιμοποιείται με το καύσιμο. Οι αέριες εκπομπές που δημιουργούνται από την ορθοκάμινο χυτοσιδήρου περιέχουν περίπου 12% CO_2 , 11% CO , λιγότερο από 1% O_2 και το υπόλοιπο N_2 , με πολύ μικρότερα ποσοστά υδρογονανθράκων και

οξειδίων αζώτου και θείου, παρατηρούμε δηλαδή ότι όλες αυτές οι εκπομπές είναι πολύ σημαντικοί ρύποι.

Η επεξεργασία του ξύλου όπως η κοπή, η λείανση και η διαμόρφωση απελευθερώνουν μεγάλα σε μέγεθος σωματίδια, τα οποία αν και είναι αισθητικά δυσάρεστα, είναι αρκετά μεγάλα για να μπορούν να εισέλθουν στον ανθρώπινο οργανισμό με την αναπνοή. Τέλος, οι μύλοι δημητριακών απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες σωματιδίων κατά τη ξήρανση, τη διαλογή, την άλεση και την επεξεργασία των δημητριακών. Περισσότερα από το 50% των σωματιδίων είναι μεγαλύτερα από 250 μm και συλλέγονται εύκολα. Τα σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα αυτών των εγκαταστάσεων συνιστούν ένα σημαντικό κίνδυνο έκρηξης. Επομένως θεωρείται απαραίτητη η όσο το δυνατό καλύτερη διαχείριση των επικίνδυνων χώρων. Ο εσωτερικός αέρας των κτιρίων ελέγχεται με τη απομάκρυνση στον ελεύθερο αέρα των σωματιδίων που δεν έχει κατορθωθεί να συλλεχθούν.

Πηγές σχετιζόμενες με μέσα μεταφοράς

Οι μηχανές των αυτοκινήτων απελευθερώνουν περισσότερο μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου από ότι όλες οι άλλες αστικές και βιομηχανικές πηγές μαζί. Το μονοξείδιο του άνθρακα και οι υδρογονάνθρακες αποτελούν προϊόντα ατελούς καύσης και θα εξαφανίζονταν, αν καίγονταν πλήρως στη μηχανή προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

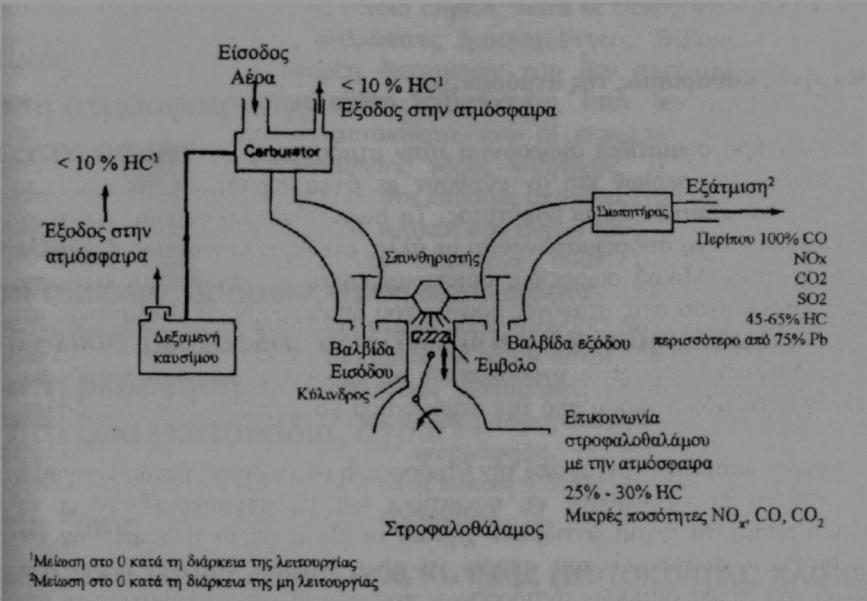
Οι περισσότερες εκπομπές των υδρογονανθράκων προέρχονται από την εξάτμιση των αυτοκινήτων και για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιούνται καταλύτες στους οποίους λαμβάνει χώρα έγχυση αέρα, έτσι ώστε να καίγονται οι εκπεμπόμενοι υδρογονάνθρακες.

Επίσης, κρίθηκε απαραίτητη η μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου, ώστε να περιορισθεί το φωτοχημικό νέφος και η όξινη βροχή. Η παραγωγή των οξειδίων του αζώτου αυξάνει πολύ σημαντικά με την θερμοκρασία καύσης. Για το λόγο αυτό οι μηχανές ξανασχεδιάστηκαν, έτσι ώστε να επικρατεί χαμηλότερη θερμοκρασία στους κυλίνδρους μειώνοντας κυρίως το λόγο συμπίεσης, τροποποιώντας το χρονισμό των σπινθηριστών (μπουζί), εισάγοντας την ανακύκλωση των καυσαερίων και χρησιμοποιώντας τη διβάθμια καύση.

Οι εκπομπές μόλυβδου προκάλεσαν επίσης ανησυχία, επειδή πλησίαζαν τα επιτρεπτά επίπεδα της ατμόσφαιρας. Εντούτοις, η αμόλυβδη βενζίνη ουσιαστικά καθιερώθηκε όχι για αυτό το λόγο, αλλά διότι ο μόλυβδος δηλητηριάζει τους καταλύτες των αυτοκινήτων μειώνοντας σημαντικά

την απόδοση τους. Το Σχήμα 3 απεικονίζει τα συστατικά ενός αρρύθμιστου βενζινοκινητήρα, τα σημεία από τα οποία εκπέμπονται οι διάφοροι ρύποι και το είδος και την ποσότητα των εκπομπών σε κάθε σημείο. Συγκριτικά στοιχεία για σωστά ρυθμισμένες βενζινομηχανές και πετρελαιομηχανές παραθέτονται στον Πίνακα 3.

Οι μικρές μηχανές που χρησιμοποιούνται στις βάρκες και στα κηπευτικά εργαλεία συνεισφέρουν σημαντικά στο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ο Πίνακας 4. δείχνει τις εκπομπές από δίχρονες και τετράχρονες μηχανές σε διάφορα φορτία. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η διαφορά που παρουσιάζεται στην εκπομπή υδρογονανθράκων ανάμεσα στα δύο είδη μικρών κινητήρων.⁹



Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση των σχετικών ποσοτήτων, περιοχών, και τύπων εκπομπών από μία μηχανή εσωτερικής καύσης παλαιάς τεχνολογία

	Πετρελαιοκινητήρες	Βενζινοκινητήρες
CO	17,8	73
HC	2,9	3,7
NO2	11,2	7,1

Πίνακας 3 Συγκριτικές εκπομπές CO, NO₂ και υδρογονανθράκων από πετρελαιοκινητήρες και βενζινοκινητήρες φορτηγών, g/km.

Συνθήκες λειτουργίας	Εκπομπές καυσαερίων g/Hp-h		
	HC	CO	NO _x
<i>Δείγμα από 27 τετράχρονους κινητήρες ιπποδύναμης 2-20.5 Hp</i>			
Πλήρες φορτίο	8	180	5
Μερικό φορτίο	12	230	5
<i>Δείγμα από 6 δίχρονους κινητήρες ιπποδύναμης 3-6 Hp</i>			
Πλήρες φορτίο	140	250	2
Μερικό φορτίο	150	300	1

Πίνακας 4. Μέσες τιμές εκπομπών από δίχρονους και τετράχρονους κινητήρες μικρής ιπποδύναμης

2.5. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

- α. Αισθητικές
 - Ελάττωση ατμοσφαιρικής καθαρότητας.
 - Δυσάρεστες οσμές
- β. Οικονομικές
 - Ρύπανση σπιτιών, δρόμων, ατομικών ειδών
 - Φθορά αγαθών (μέταλλα, νάιλον, χρώματα, μάρμαρα)
 - Ζημίες στη βλάστηση
 - Ζημίες στα ζώα (κατοικίδια, άγρια)
- γ. Ασφάλεια ζωής
 - Ατυχήματα από την έλλειψη ορατότητας (αυτοκίνητα, πλοία, αεροπλάνα)
- δ. Ενοχλήσεις στον άνθρωπο
 - Δάκρυσμα
 - Δυσφορία
 - Ελάττωση αντοχής
- ε. Αλλαγές στο κλίμα και την ατμόσφαιρα
 - Αύξηση θερμοκρασίας με το CO₂
 - Καταστροφή προστατευτικού στρώματος O₃ από το Freon 11 και το Freon 12, με άμεσο κίνδυνο από την αυξημένη υπεριώδη ακτινοβολία για το ζωικό και φυτικό κόσμο.
- στ. Υγεία
 - Είδος επιδράσεων -Βραχυχρόνιες
 - Προσωρινή αλλαγή των φυσιολογικών, λειτουργιών (π.χ. ελάττωση της οξυγονώσεως του αίματος., λόγω CO ή NO₂) ή ερεθισμός των

ματιών, της μύτης και του λαιμού, σφίξιμο του στήθους και βήχας από οξειδωτικά.

-Μακροχρόνιες ή χρόνιες

Χρόνια βρογχίτιδα, εμφύσημα, άσθμα, καρκίνος πνευμόνων, πιθανές γενετικές μεταβολές.

-Οξείες

Είναι άμεσες και εμφανείς και μπορεί να προκαλέσουν ακόμη και το θάνατο σε μικρό ή μεγάλο αριθμό ατόμων.⁷

Ο στόχος της παρούσας έρευνας που διεξάγεται στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος PICADA (Photochemical Impairment Covering Application for Deposition Assessment) καινοτόμες φωτοκαταλυτικές εφαρμογές είναι η ανάπτυξη μιας σειράς από υλικά με ενισχυμένες καταλυτικές ιδιότητες. Η βασική αρχή στηρίζεται στην εισαγωγή της υπομόρφωσής μορφής της ανατακτικής φάσης του TiO_2 στα υλικά από τσιμέντο και στα οργανικά υλικά επίστρωσης. Οι φωτοκαταλυτικές ιδιότητες της ανατακτικής μορφής του TiO_2 προκύπτουν από την ικανότητα τους να αποσυνθέτουν τους οργανικούς ρύπους που προσκομίζονται στην επιφάνεια των υλικών όταν εκτεθούν στην UV ακτινοβολία. Οι αυτοκαθαριστικές ιδιότητες των υλικών μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν μέσω χρωματιμετρικών μετρήσεων και μέσω της μείωσης πτητικών ενώσεων και οξειδίων του αζώτου.

3.1.1 Υλικά και πειράματα προσδιορισμού

Τα υλικά από τσιμέντο ανακτοχρήκαν βάση μιας στρώσης πάχους 10mm και μιας στρώσης μεταλλικής βάσης 1mm. Και τα δύο υλικά περιέχουν τις ίδιες ποσότητες νανοσωματιδίων TiO_2 (οργανικής φάσης) με μέσο όρο κρυσταλλικού μεγέθους 20nm. Οι αποδόσεις αυτών των προϊόντων αξιολογήθηκαν με σύγκριση με έναν πρότυπο προϊόν χωρίς την προσθήκη TiO_2 .

Τα υλικά στρώσης των 10mm (water/dry mix=0,133) τοποθετούνται σε 10cm-διαμέτρου σκεύη έτσι ώστε μόνο η επάνω επιφάνεια τους να εκτεθεί στην περιβάλλοντα αέρα. Το ορατό γράμμο ($\text{H}_2\text{O/DRY MIX}=0,50$) εφαρμόστηκε σε CEN(τσιμέντο) mortars που έχει προηγουμένως γράσει σε δίσκο κυλινδρικής μικροβίων. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν για μία εβδομάδα σε φούρνο 20°C και 90% σχετική

3.1 Πειραματική προσέγγιση των μεθόδων αυτοκαθαρισμού στις επιφάνειες προσόψεων κτιρίων

Εισαγωγή

Η βιομηχανική ρύπανση έχει επιδεινώσει τα προβλήματα με τις επιδράσεις της τόσο στην ποιότητα του αστικού περιβάλλοντος όσο και στο κόστος της διατήρησης του κύκλου ζωής των κτιρίων. Η επεξεργασία για παράδειγμα μιας πρόσοψης κτιρίου με αυτοκαθαριζόμενες μεθόδους, θα ήταν ένα σημαντικό περαιτέρω βήμα για την ενίσχυση και βελτίωση της αστικής ατμοσφαιρικής ποιότητας και της ομορφιάς των πόλεων.

Ο στόχος της παρούσας έρευνας που διεξάγεται στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος PICADA (Photocatalytic Innovative Covering Application for Depollution Assessment) καινοτόμες φωτοκαταλυτικές εφαρμογές είναι η ανάπτυξη μιας σειράς από υλικά με ενισχυμένες καταλυτικές ιδιότητες. Η βασική αρχή στηρίζεται στην εισαγωγή της νανομοριακής μορφής της ανατασικής φάσης του TiO_2 στα υλικά από τσιμέντο και στα οργανικά υλικά επίστρωσης. Οι φωτοκαταλυτικές ιδιότητες της ανατασικής μορφής του TiO_2 προκύπτουν από την ικανότητα τους να αποσυνθέτουν τους οργανικούς ρύπους που προσροφώνται στην επιφάνεια των υλικών όταν εκτεθούν στην UV ακτινοβολία. Οι αυτοκαθαριστικές ιδιότητες των υλικών μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν μέσω χρωματομετρικών μετρήσεων και μέσω της μείωσης πτητικών ενώσεων και οξειδίων του αζώτου.

3.1.1 Υλικά και πειράματα προσδιορισμού

Τα υλικά από τσιμέντο αναπτύχθηκαν βάση μιας στρώσης πάχους 10mm και μιας στρώσης μεταλλικής βαφής 1mm. Και τα δυο υλικά περιέχουν τις ίδιες ποσότητες νανოსωματιδίων TiO_2 (ανατασικής φάσης) με μέσο όρο κρυσταλλικού μεγέθους 20nm. Οι αποδόσεις αυτών των προϊόντων αξιολογήθηκαν με σύγκριση με έναν ισοδύναμο προϊόν χωρίς την προσθήκη TiO_2 .

Τα υλικά στρώσης των 10mm (water/dry mix=0,133) τοποθετούνται σε 10cm-διαμέτρου σκεύη έτσι ώστε μόνο η επάνω επιφάνεια τους να εκτίθεται στον περιβάλλοντα αέρα. Το ορυκτό χρώμα ($\text{H}_2\text{O}/\text{DRY MIX}=0,50$) εφαρμόστηκε σε CEN(τσιμέντο) mortar που έχει προηγουμένως χυθεί σε δίσκο καλλιέργειας μικροβίων. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν για μία εβδομάδα σε φούρνο 20°C και 90% σχετική

υγρασία και στη συνέχεια τοποθετούνται εργαστηριακές συνθήκες για τρεις βδομάδες.

3.1.2 Πειράματα αυτοκαθαρισμού

Αυτή η δοκιμή βασίζεται στην αξιολόγηση του ποσοστού φωτοκαταλυτικής αποσύνθεσης μιας οργανικής βαφής, 'ροδαμίνη Β', με χρωματομετρικές μετρήσεις των μολυσμένων δειγμάτων που εκτίθεται στην UV ακτινοβολία κατά την διάρκεια 30 ωρών. Τα δείγματα μολύνθηκαν με ψεκασμό της χρωστικής ουσίας στην επιφάνεια τους. Η ροδαμίνη Β επιλέχθηκε ειδικά λόγο του ότι περιέχει ανθρακένιο, και συσχετίζεται μ'αυτή τη μορφή σε ένα PAH (πολυκυκλικό αρωματικό υδρογονάνθρακα), ο οποίος είναι ένας από τους κύριους μολυσματικούς παράγοντες του αστικού περιβάλλοντος. Μετά την μόλυνση των δειγμάτων, τα τοποθετούμε για 16 ώρες σε περιβάλλον 70% σχετικής υγρασίας.

Τα δείγματα στη συνέχεια υποβάλλονται σε UV ακτινοβολία (300W Ultra-Vitalux lamp from Osram) η οποία περιέχει αποδοτικό μήκος κύματος δεσμό, όπως αυτόν που περιέχεται στην φυσική ηλιακή ακτινοβολία. Η απόσταση μεταξύ της λάμπας και του δείγματος είναι 1m (σχήμα 1), η οποία αντιστοιχεί σε μια ένταση 3700 Lux. Αυτή η ένταση έχει επιλεγεί για να περιορίσει την άμεση φωτόλυση της ροδαμίνης Β και ταυτοχρόνως επιτρέπει στην φωτοκαταλυτική αποσύνθεση να συνεχιστεί.



Σχήμα 1: UV lamp lighting.

A, B, C και D είναι παράμετροι που καθορίζονται από τη πειραματικές καμπύλες.

a*_{upr} αντιστοιχεί στο χρώμα των δειγμάτων πριν από τη ρύπανση με ροδαμίνη.

Η ταχύτητα υπολογίζεται μεταξύ 0 και 3 ώρες.

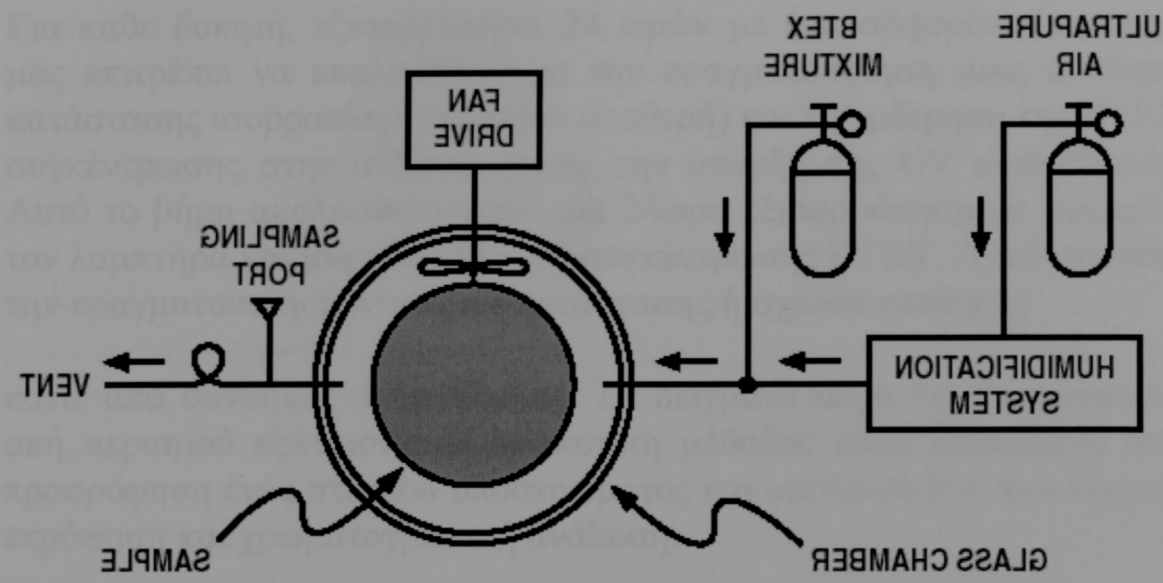
Δοκιμές VOC_s (volatile organic compounds)

Τυπικά, η αξιολόγηση των καταλυτικών ιδιοτήτων των υλικών λαμβάνεται 'in closed' ή 'in – flow through system' και ο καταλύτης επιτρέπεται να αντιδράσει με ένα υπόστρωμα. Η μέτρηση του εξαφανιζόμενου υποστρώματος επιτρέπει τον προσδιορισμό της καταλυτικής αποδοτικότητας (και άλλων παραμέτρων) του καταλύτη που μελετάμε.

Η αξιολόγηση των πιθανών εξωτερικών VOC_s ιδιοτήτων των φωτοκαταλυτικών υλικών, χρειάζεται σχεδιασμό ενός συγκεκριμένου συστήματος δοκιμής. Ειδικότερα, είναι πολύ σημαντικό να μετρηθεί η φωτοκαταλυτική δραστηριότητα σε πολύ κοντινές συνθήκες με την πραγματική εφαρμογή. Αυτό σημαίνει να ακτινοβολήσει την φωτοκαταλυτική επιφάνεια με μια ακτινοβολία στην ενεργό ζώνη (σ'αυτήν την περίπτωση UV-A) συγκρινόμενη με τη μέση ηλιακή ακτινοβολία στην συγκεκριμένη περιοχή εφαρμογής. Επιπλέον η σύνθεση των ρυπαντών και η συγκέντρωση τους θα πρέπει να ταιριάζει με εκείνων που βρίσκονται στο αναμενόμενο φυσικό περιβάλλον.

Λόγω των παραπάνω μια συγκεκριμένη φωτοκαταλυτική αίθουσα σχεδιάστηκε για την πραγματοποίηση των δοκιμών απορρύπανσης. Σ'αυτά τα συστήματα η εσωτερική ατμόσφαιρα της αίθουσας αναμειγνύεται συνεχώς και ανταλλάσσεται από ένα ρεύμα φρέσκου συνθετικού αέρα. Σαν VOC_s μολυντικά πρότυπα μια μίξη από BTEX (βενζόλιο, τολουόλιο, αιθυλοβενζόλιο και ο-ξυλένιο (o-xylene)) χρησιμοποιήθηκαν συγκεντρώσεις από 50 έως 500ngL⁻¹. Τα αποθέματα του συνθετικού αέρα λαμβάνονται με την προσθήκη BTEX standard σε ένα μεγάλης καθαρότητας υγρό μίγμα οξυγόνου/άζωτο προκειμένου να ληφθεί η τελική επιθυμητή μολυσματική συγκέντρωση (Σχήμα 3).

Σχήμα 3: Σύστημα δοκιμής VOC_s



Σχήμα 3: VOCs photocatalytic testing chamber (top view).

Το κιβώτιο ακτινοβολίας (σχήμα 4) περιλαμβάνει την καταλυτική αίθουσα και έναν λαμπτήρα 300W Ultra-Vitalux from Osram. Η προκύπτουσα ακτινοβολία UV-A που μετρήθηκε μέσα στην καταλυτική αίθουσα, ήταν περίπου $12,4\text{Wm}^{-2}$.

Δοκιμές NO_2 (συνεχισμός)

Αυτή η δοκιμή πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο φωτοχημικών δοκιμών. Το NO_2 από το δοχείο εισέρχεται στην αίθουσα και διαχέεται ομοιόμορφα. Η οξείδωση (καταλυτική) του NO_2 σε οξυγονοποιημένο νιτρικό NO_3 είναι ο στόχος του πειράματος.

Το δείγμα τοποθετείται στην αίθουσα και υποβάλλεται σε γρήγορο καθαρισμό του NO_2 που παραμένει στην αίθουσα. Οι μετρήσεις γίνονται σε περιόδους με ή χωρίς ακτινοβολία. Οι μετρήσεις είναι 2,5ppb για μια σύγκριση με την ακτινοβολία. Η χρήση 300 W-ultra-Vitalux λαμπτήρα που εκπέμπει ακτινοβολία UV-A στην επιφάνεια του δείγματος.

Σχήμα 4: Σύστημα ακτινοβολίας VOC

Ένα οπτικό παράθυρο από γυαλί διασφαλίζει την αίθουσα δοκιμών από τον λαμπτήρα εκπέμποντας μια λιγότερη ποσότητα φωτός. Η πρώτη

Για κάθε δοκιμή, εξισορρόπηση 24 ωρών με ένα σβησμένο λαμπτήρα μας επιτρέπει να επαληθεύσουμε την πραγματοποίηση μιας σταθερής κατάστασης ισορροπίας (ή σχεδόν σταθερή) και την μέτρηση της BTEX συγκέντρωσης στην αίθουσα χωρίς την ύπαρξη της UV ακτινοβολίας. Αυτό το βήμα ακολουθείται από μια 24ωρη εξισορρόπηση με αναμμένο τον λαμπτήρα και μια νέα μέτρηση συγκέντρωσης BTEX. Αυτό επιτρέπει την πραγματοποίηση σταθερής κατάστασης ή σχεδόν σταθερής

κάτω από συνθήκες ακτινοβολίας. Τα δείγματα αέρα λαμβάνονται από οπή αερισμού εξάτμισης. Η αναλυτική μέθοδος είναι βασισμένη στην προσρόφηση ενός στερεού υποστρώματος και ακολουθείται από θερμική εκρόφηση και χρωματογραφική ανάλυση.

Γενικότερα, η διαδικασία της δοκιμής περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης VOCs χωρίς ακτινοβολία (dark conditions) και τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης σε κατάσταση ακτινοβολίας. Με βάση αυτούς τους σχεδιασμούς και με τη ροή εναλλαγής του αέρα και την περιοχή δειγμάτων, ήταν δυνατόν να υπολογίσουμε το φωτοκαταλυτικό ποσοστό καταστροφής και την φωτοκαταλυτική δραστηριότητα του χρησιμοποιημένου συστήματος σε δεδομένη συγκέντρωση, θερμοκρασία και όρους ακτινοβολίας.

Δοκιμές NO_x (nitrogen oxides)

Αυτή η δοκιμή περιλαμβάνει τη μέτρηση του ποσοστού αφαίρεσης του NO₂ από τα δείγματα υπό την επήρεια UV ακτινοβολίας. Προκειμένου να διαχωρίσουμε τις δύο κύριες διεργασίες, την προσρόφηση και την οξειδωση (καταστροφή), το ποσοστό ιόντων του νιτρώδους NO₂⁻ και νιτρικού NO₃⁻ άλατος που παραμένουν στο δείγμα, μετριοούνται στο τέλος του πειράματος.

Το δείγμα τοποθετήθηκε σε έναν θάλαμο ελέγχου 1,5L ακολουθούμενο από γρήγορο καθαρισμό με 10L αέρα που περιέχει 400ppb NO₂. Το ποσό του NO₂ που παραμένει στην αίθουσα μετρήθηκε με μεθόδους χημειοφθορισμού. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε διαφορετικές περιόδους με ή χωρίς την παρουσία φωτός. Η ακρίβεια της μέτρησης είναι 2,5ppb για μια συγκέντρωση 400ppb. Η ακτινοβολία εισήχθη με τη χρήση 300 W-ultra-Vitalux lamp τοποθετημένες σε απόσταση 25cm από την επιφάνεια του δείγματος.

Ένα οπτικό παράθυρο από πυρέξ διαχωρίζει την αίθουσα δειγμάτων από τον λαμπτήρα επιτρέποντας μια λογική μετάδοση φωτός. Η πρώτη

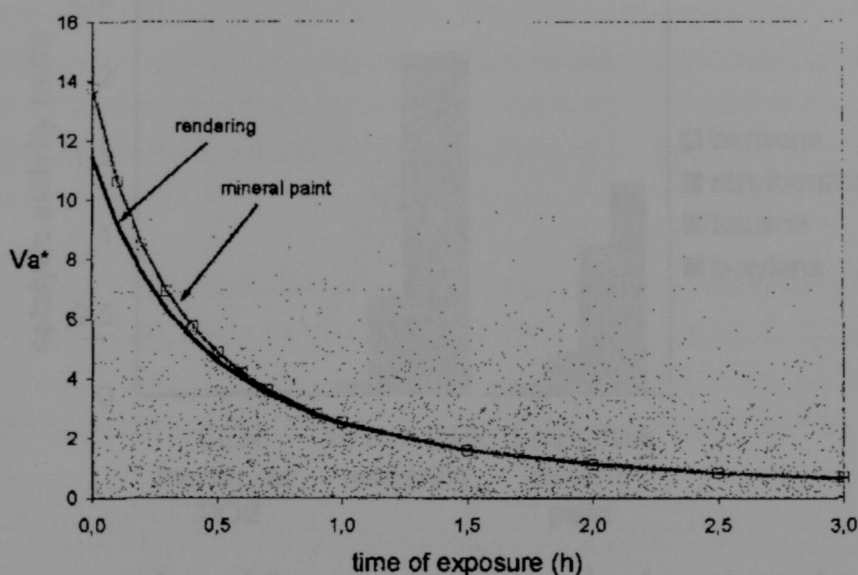
μέτρηση λήφθηκε 3 λεπτά μετά το τέλος της εισαγωγής του NO_2 στην αίθουσα. Η πιο πρόσφατη μέτρηση παρουσίασε ψευδοισορροπία που επιτεύχθηκε 20 λεπτά αφότου γίνανε τα πειράματα χωρίς φως. Στο τέλος των πειραμάτων, το δείγμα καθορίστηκε και μετρήθηκαν τα ποσά NO_2^- και NO_3^- ιόντων.

Αποδείχτηκε ότι η φωτοκατάλυση μπορεί να προκαλέσει την οξείδωση των προσροφημένων ιόντων νιτρώδους και νιτρικού άλατος. Το σημαντικό αποτέλεσμα αποτελεί η προσρόφηση του NO_2 στο σκοτάδι, το οποίο μεταφέρεται διαδοχικά στην επιφάνεια ή εντός των υλικών κατά τη διάρκεια φωτισμού, όταν το TiO_2 είναι ενεργό. Με άλλα λόγια, το NO_2 που απορροφάται κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορεί να υποβληθεί σε φωτοκαταλυτική οξείδωση κατά τη διάρκεια της επόμενης ημέρας.

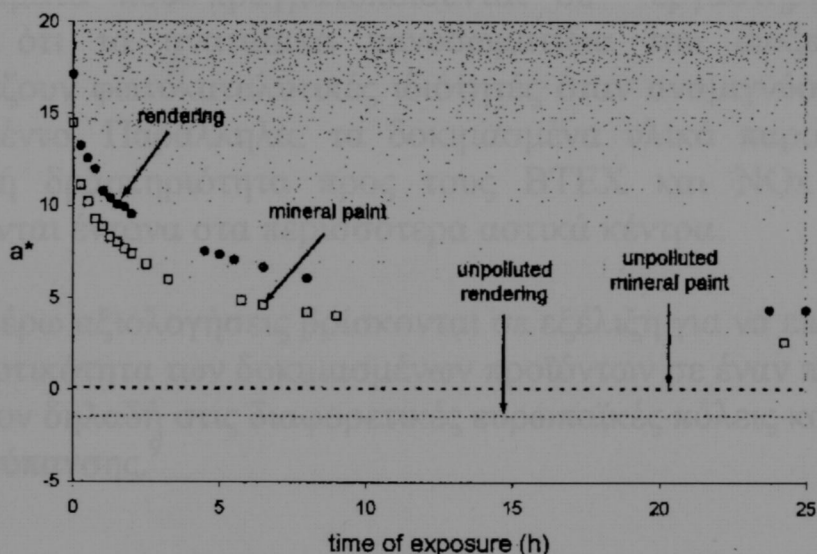
Το ποσοστό αποδοτικότητας λαμβάνεται με τον πολλαπλασιασμό του NO_2 που καταναλώνεται σε αναλογία με τα ιόντα NO_2^- over NO_3^- .

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

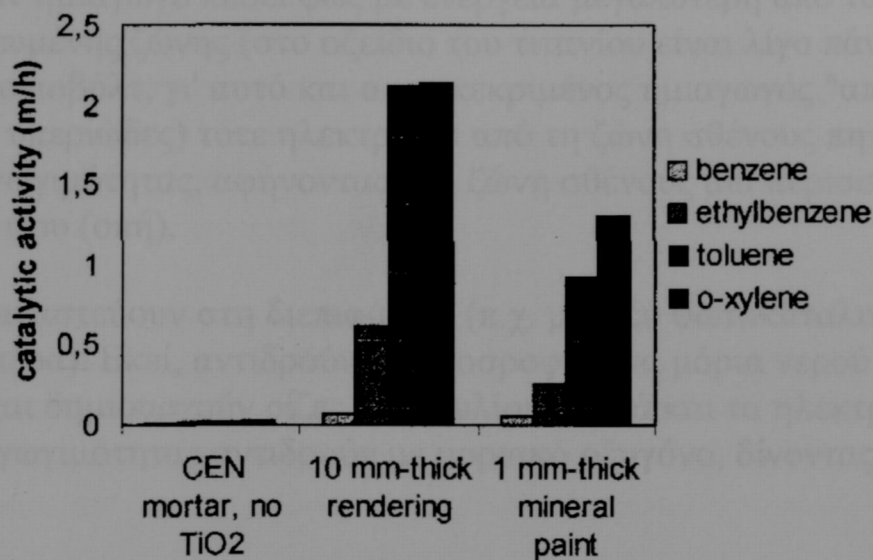
Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται το ποσοστό αλλαγής χρώματος των δειγμάτων εξαιτίας της φωτοκαταστροφής της ροδαμίνης χρωστικής ουσίας και για τα δύο δείγματα δηλαδή για τη μια στρώση πάχους 10mm και για τη μια στρώση μεταλλικής βαφής 1mm. Τα δείγματα ανακτούν περίπου το 65% του αρχικού χρωματισμού τους σε λιγότερο από 1 ημέρα, ενώ τα καθαρά δείγματα δοκιμασμένα ταυτόχρονα δεν παρουσίασαν οποιαδήποτε σημαντική δραστηριότητα. Τα επίκτητα στοιχεία αντιμετωπίζονται όπως περιγράφηκε προηγουμένως για να εκφράσουν την ταχύτητα καταστροφής χρωστικών ουσιών (σχήμα 6). Η κινητική καμπύλη της φωτοκαταλυτικής επίδρασης λόγω της ανατασικής φάσης, που προσθέσαμε παρουσιάζει εκθετική μορφή, η οποία είναι χαρακτηριστική της πρώτης αντίδρασης. Τα στοιχεία σαφώς καταδεικνύουν τις φωτοκαταλυτικές ιδιότητες αυτών των υλικών.



Σχήμα 5: Εξέλιξη της αλλαγής χρώματος (chrominant *) με το χρόνου για τα υλικά από τσιμέντο.



Σχήμα 6: Εξέλιξη της ταχύτητας καταστροφής χρωστικών ουσιών για τα υλικά που περιέχουν TiO_2 .



Σχήμα 7: Η φωτοκαταλυτική δραστηριότητα των υλικών από τσιμέντο με 300 ng/L BTEX συγκέντρωση.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα πειράματα που πραγματοποιούνται σε εργαστηριακή κλίμακα τονίζουν ότι τα ανατασικά νανοσωματίδια του διοξειδίου τιτανίου παρουσιάζουν φωτοκαταλυτικές ιδιότητες όταν αναμιγνύονται με υλικά από τσιμέντο. Παράλληλα, τα δοκιμασμένα υλικά παρουσιάζουν μια σημαντική δραστηριότητα προς τους BTEX και NOx ρύπους που εμφανίζονται έντονα στα περισσότερα αστικά κέντρα.

Οι περαιτέρω αξιολογήσεις βρίσκονται σε εξέλιξη για να επικυρώσουν την αποδοτικότητα των δοκιμασμένων προϊόντων σε έναν πραγματικό περιβάλλον δηλαδή στις διαφορετικές ευρωπαϊκές πόλεις και σε διάφορα επίπεδα ρύπανσης.⁹

3.2 Φωτοκαταλυτικές ιδιότητες του διοξειδίου του τιτανίου

Το διοξείδιο του τιτανίου ενεργεί ως φωτοκαταλύτης αποβάλλοντας επιβλαβή ουσίες από διάφορες επιφάνειες.

Η φωτοκαταλυτική δράση υλικών όπως το οξείδιο του τιτανίου, ξεκινά από το γεγονός ότι οι ουσίες αυτές είναι ημιαγωγοί. Δηλαδή υπάρχει μια σημαντική, αλλά όχι τρομερά μεγάλη ενεργειακή απόσταση (απαγορευμένη ζώνη) ανάμεσα στην ενέργεια των δεσμευμένων και των ελεύθερων ηλεκτρονίων (τη "ζώνη σθένους" και τη "ζώνη αγωγιμότητας").

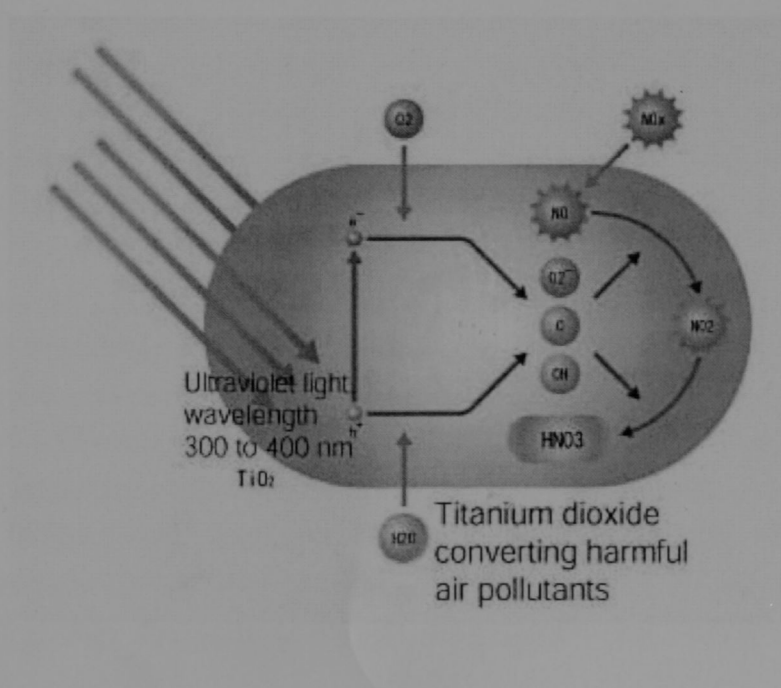
Όταν σε έναν ημιαγωγό πέσει φως με ενέργεια μεγαλύτερη από το εύρος της απαγορευμένης ζώνης (στο οξείδιο του τιτανίου είναι λίγο πάνω από τρία ηλεκτρονιοβόλτ, γι' αυτό και ο συγκεκριμένος ημιαγωγός "απαντά" στο κοντινό υπεριώδες) τότε ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους πηγαίνουν στη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μία περίσσεια θετικού φορτίου (οπή).

Οι οπές μεταναστεύουν στη διεπιφάνεια (π.χ. μεταξύ φωτοκαταλυτικού υλικού και αέρα). Εκεί, αντιδρούν με προσροφημένα μόρια νερού ή υδροξύλια και δημιουργούν ρίζες υδροξυλίου. Αλλά και τα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας αντιδρούν με μοριακό οξυγόνο, δίνοντας ρίζες οξυγόνου.

Όμως οι ρίζες υδροξυλίου (και κατά δεύτερο λόγο οι ρίζες οξυγόνου) αποτελούν ισχυρά οξειδωτικά μέσα: είναι ικανές να αντιδράσουν με οποιοδήποτε οργανικό υπόστρωμα σκοτώνοντας μικροοργανισμούς (μικρόβια και βακτήρια), και εποικοδομώντας οργανικούς ρύπους (αρωματικούς υδρογονάνθρακες, αζοχρώματα, φαινόλες, ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα) αποσυνθέτοντάς τους μέχρι να φθάσουν σε διοξείδιο του άνθρακα.

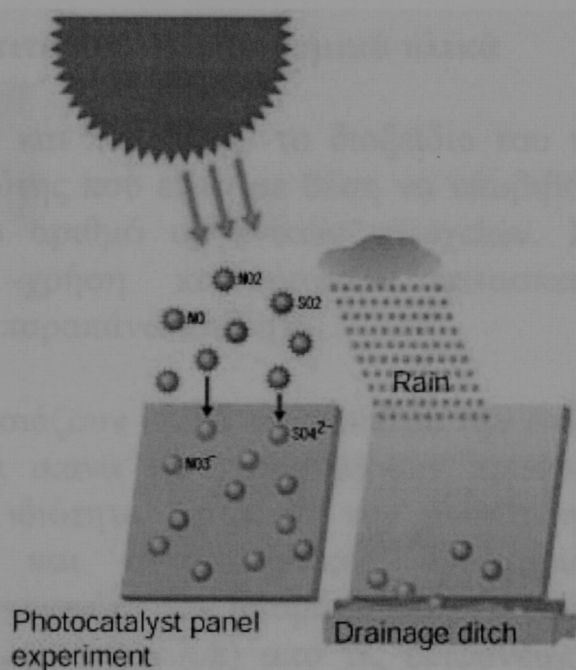
Έτσι, τα φωτοκαταλυτικά υλικά επιταχύνουν εκπληκτικά την "αποστειρωτική" δράση του φωτός. Παράλληλα, δεν είναι τοξικά και είναι ακίνδυνα για τον άνθρωπο.⁶

Όταν ακτινοβολείται από την υπεριώδη ακτινοβολία, το TiO_2 παράγει ένα ζευγάρι ηλεκτρονίων, τα οποία ενώνονται με το οξυγόνο και το νερό της ατμόσφαιρας σχηματίζοντας ενεργό οξυγόνο στην επιφάνεια των μορίων του διοξειδίου του τιτανίου.



Αυτό το ενεργό οξυγόνο οξειδώνει ατμοσφαιρικούς ρύπους (όπως διοξείδιο του αζώτου) και τους μετατρέπει σε χαμηλές συγκεντρώσεις νιτρικού οξέος και θειικού οξέος. Με το νερό της βροχής 'πλένεται' το νιτρικό και θειικό οξύ από τις επιφάνειες (π.χ κτιρίων) και αποκαθιστούν τις ατμοσφαιρικές καθαριστικές ιδιότητες.

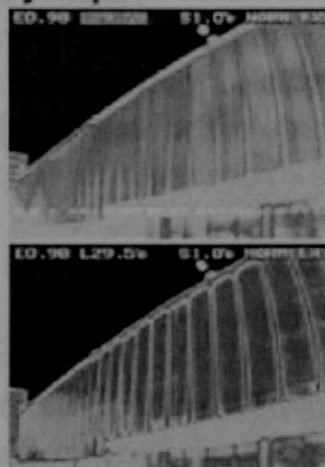
Αυτή η διαδικασία δεν απαιτεί ειδικούς μηχανισμούς, ηλεκτρική ενέργεια ή άλλες μορφές ενέργειας παρά μόνο ενεργοποιείται η φυσική δύναμη της ηλιακής ακτινοβολίας και της βροχής. Όταν η βροχή πέφτει, το νιτρικό και θειικό οξύ παρασύρονται μακριά σε υπονόμους και υποβάλλονται σε επεξεργασία στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.¹⁰



A building cooled by photocatalyst technology promoted worldwide by Japan



Verification test of its application to external surfaces



Without water

With fine mist of water

Φωτογραφία 1

3.3 Διοξείδιο του τιτανίου σε οικοδομικά υλικά

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το διοξείδιο του τιτανίου είναι ένας πολύ καλός καταλύτης που είναι σε θέση να υποβιβάσει με διαδικασίες οξειδωσης μεγάλο αριθμό οργανικών στοιχείων. Σύγχρονες μελέτες προτείνουν την χρήση καινούργιων κατασκευαστικών υλικών βασιζόμενων στην παραπάνω ιδιότητα.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν υλικά τα οποία με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ικανά να υποβαθμίσουν προσροφόντες οργανικές ενώσεις. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει την ανάπτυξη νέων υλικών με αυτοκαθαριστικές και αντιμολυντικές δραστηριότητες. Λέγοντας αυτοκαθαριστικές εννοούμε την απομάκρυνση επιφανειακών αποθέσεων (μαύρο καυσαέριο, σκόνη κ.λ.π) από τις επιφάνειες κτιρίων, ιδίως σε πυκνοκατοικημένες αστικές ζώνες με υψηλούς δείκτες ατμοσφαιρικής ρύπανσης και καυσαερίων. Οι αυτοκαθαριστικές ιδιότητες αντιπροσωπεύουν την οξειδωτική υποβάθμιση των αέριων μολυντών όπως ανόργανων (nitrogen oxide) και οργανικών (βενζίνη και άλλων αρωματικών στοιχείων) που προσροφώνται στις επιφάνειες διάφορων κατασκευών.

Το European research Project έχει δραστηριοποιηθεί για την αποτίμηση των εφαρμογών του διοξειδίου του τιτανίου στις κατασκευές. Η PICADA PROJECT (Photocatalytic Innovative Covering Application for Depollution Assessment) ερευνά με ειδικά προγράμματα τις παραπάνω εφαρμογές. Μέρος της έρευνας είναι η εργαστηριακή και η εφ'όλης μελέτη των αντιμολυντικών δραστηριοτήτων διαφόρων μορφών του TiO_2 με τελικό στόχο την δυναμική υποστήριξη αυτών των προϊόντων σε

τελικές κατασκευαστικές εφαρμογές. Η CNR (Construction Technologies Institute) συνεισφορά επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μεθόδων και στην συστηματική μέτρηση των ιδιοτήτων of pollutant photocatalytic abatement. Αυτοί οι μολυντές όπως (βενζόλιο, τολουόλιο, αιθυλοβενζόλιο και ο-ξυλένιο) παράγονται και μετριούνται σε αστικές συγκεντρώσεις (from ppm to ppb).¹¹

3.3.1 Φωτοκαταλυτικό τσιμέντο

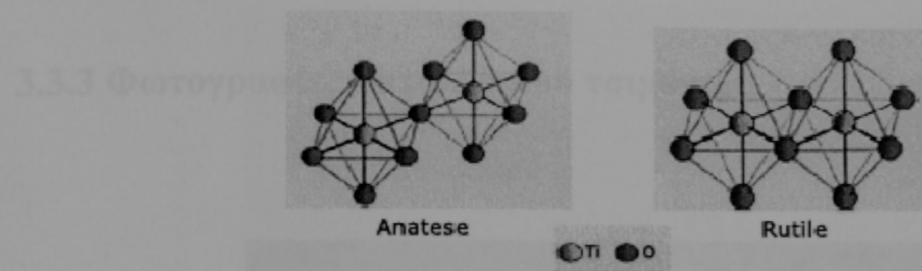
Με τη διαδικασία της φωτοκατάλυσης επιτυγχάνεται μεθοδικά η αποβολή των περιβαλλοντικών ρύπων. Τα τελευταία δέκα χρόνια το επιστημονικό και τεχνολογικό ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί στην διαδικασία της φωτοκατάλυσης και πιο συγκεκριμένα στην χρήση δομικών υλικών που περιέχουν φωτοκαταλύτες (photocatalysts), σύστημα που περιέχει σε ανατασική μορφή TiO_2 και τσιμέντο.

Με βάση έρευνες καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι τα υλικά από τσιμέντο που περιέχουν TiO_2 όταν ακτινοβολούνται από το φως, ενισχύουν την αποδοτικότητα οξείδωσης των οργανικών ουσιών με τις οποίες έρχονται σε επαφή.

Ετερογενής φωτοκατάλυση

- ✓ Η τεχνολογία της ετερογενούς φωτοκατάλυσης είναι βασισμένη στην ακτινοβολία ενός φωτοκαταλυτικού (photocatalyst) ημιαγωγού.
- ✓ Οι ημιαγωγοί χαρακτηρίζονται από ζώνη με διάκενο (band gap) μεταξύ των ζωνών σθένους και διεξαγωγής.
- ✓ Η απορρόφηση μιας ποσότητας φωτεινής ενέργειας που είναι μεγαλύτερη ή ίδια με τη ζώνη διακένου (band gap) του ημιαγωγού οδηγεί σε απότομη μεταφορά ηλεκτρονίων από το σθένος στη ζώνη διεξαγωγής και την ακόλουθη δημιουργία οπών ($+h$) στη ζώνη σθένους.
- ✓ Αυτή η μεταφορά φορτίου παράγει ασύμμετρες συνθήκες οι οποίες οδηγούν σε μείωση ή οξείδωση των προσροφόμενων πάνω στην επιφάνεια του ημιαγωγού ουσιών.

Οι κρυσταλλογραφικές (crystallographic) μορφές του TiO_2 είναι ανατασική (anatase) και rutile (σχήμα 8).

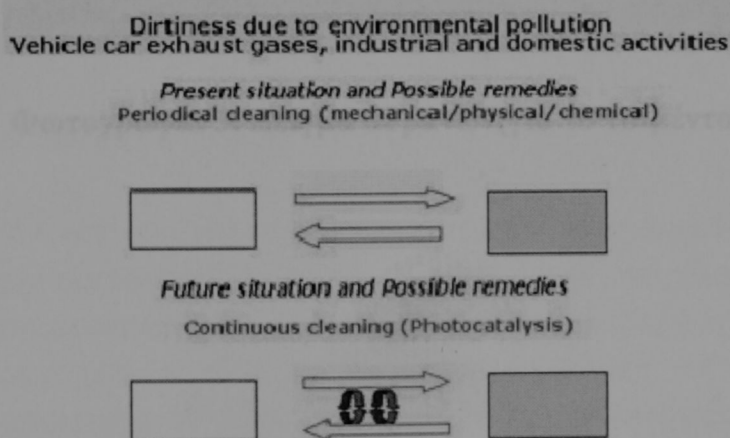


Σχήμα 8

Αυτές οι δύο μορφές σχηματίζουν κρυστάλλους σύμφωνα με την τετραγωνική(tetragonal) δομή και η διαφορά βρίσκεται στον αριθμό των ακραίων TiO_6 οκταέδρων 4 για την ανατασική μορφή (anatase) και 2 για τη rutile μορφή, τα οποία οδηγούν σε διαφορετική καταλυτική δραστηριότητα, πλεονεκτικότερη η ανατασική μορφή.¹²

3.3.2 Τσιμέντο που περιέχει διοξείδιο του τιτανίου

- Τα προϊόντα από τσιμέντο (concrete products) πρόκειται να διατηρήσουν τα αισθητικά χαρακτηριστικά τους αμετάβλητα κατά τη διάρκεια του χρόνου, ειδικότερα το χρώμα, ακόμη και σε άσχημες περιβαλλοντικές συνθήκες.
- Η διατήρηση της αισθητικής εμφάνισης των τσιμεντένιων υλικών ,βασισμένων στο λευκό τσιμέντο, επιδιώκεται έντονα.
- Η κύρια αιτία στην αλλαγή χρώματος των υλικών από τσιμέντο είναι η παρουσία χρωματισμένων οργανικών ενώσεων που κατακάθονται στην επιφάνειά τους.
- Οι ανόργανες σκόνες παραμένουν στην επιφάνεια του τσιμεντένιου υλικού παρουσία μεγαλοπορώδους (σχήμα 9).¹²

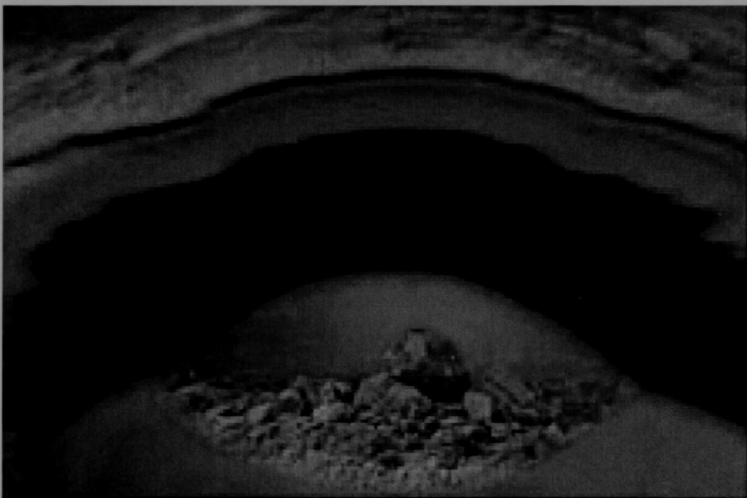


Σχήμα 9

3.3.3 Φωτογραφίες καταλυτικού τσιμέντου



Φωτογραφία 2: Τσιμέντο



Φωτογραφία 3: Δείγμα αδρανών(για το τσιμέντο)



Φωτογραφία 4: Χαρακτηριστικό δείγμα τσιμεντένιου υλικού



Φωτογραφία 5: Βιομηχανία τσιμέντου

3.3.4 Εφαρμογή του φωτοκαταλυτικού τσιμέντου στα κτίρια

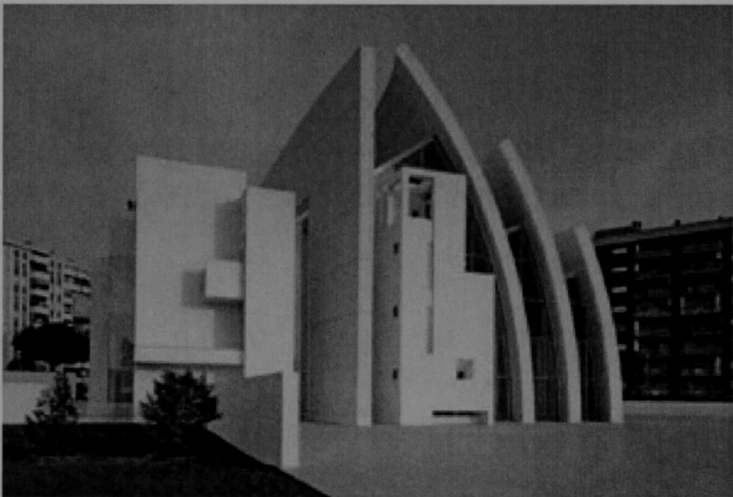
‘Dives in Misericordia Church’

Η εκκλησία ‘Dives in Misericordia Church’ έχει σχεδιαστεί από τον αμερικάνο αρχιτέκτονα ‘Richard Meier’ και κέρδισε τον διεθνή διαγωνισμό που οργανώθηκε από την επισκοπή (vicariate) στη Ρώμη. Το απλό, όμως αυστηρό σχέδιο το οποίο κατορθώνει να συνδυάσει την ιερότητα των εσωτερικών χώρων με την άνεση των μεγάλων εξωτερικών διαστημάτων, αποτελείται από τρία εντυπωσιακά ‘τσιμεντένια πανιά’ τα οποία φαίνονται σαν να έχουν ‘ανοίξει’ από έναν ανατολικό άνεμο (εικόνα 5,6,7)

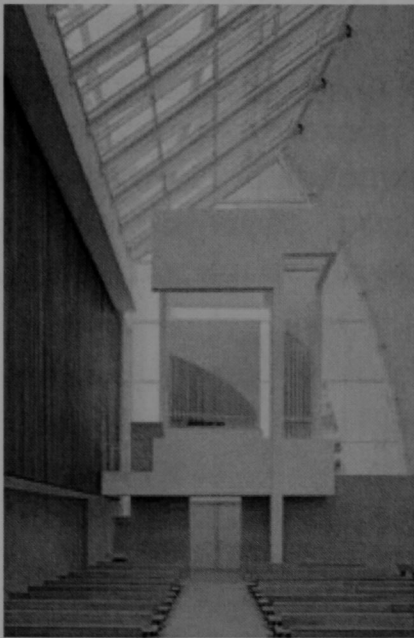
Φωτογραφία 5



Φωτογραφία 6



Φωτογραφία 7



Φωτογραφία 8

Ο κύριος τεχνικός χορηγός, 'italcementi' ακολούθησε ένα ειδικό πρόγραμμα εφαρμογών με καινοτόμα δομικά υλικά μεταξύ των οποίων είναι και το νέο άσπρο φωτοκαταλυτικό τσιμέντο. Το υλικό αυτό εξασφαλίζει απaráμιλλο και αμετάβλητο λευκό με το χρόνο.¹³

Με την παρουσία φωτός και αέρα, τα φωτοκαταλυτικά μόρια του λευκού τσιμέντου οξειδώνουν οργανικούς και ανόργανους ρύπους της ατμόσφαιρας. Η φωτοκαταλυτική δράση καταστρέφει τους ατμοσφαιρικούς οργανικούς ρύπους που έρχονται σε επαφή με τις επιφάνειες τσιμέντου όπως καπνοί εξάτμισης, κατοικημένες εκπομπές θέρμανσης, βιομηχανικές εκπομπές αρωματικών χημικών ουσιών, φυτοφάρμακα, οξειδώνοντας τους με διοξείδιο του άνθρακα. Οι ανόργανοι λοιπόν ρύποι δεν έχουν κανένα υπόστρωμα για να εμμείνουν και έτσι το κτίριο διατηρεί την αρχική εμφάνισή του κατά τη διάρκεια του χρόνου.

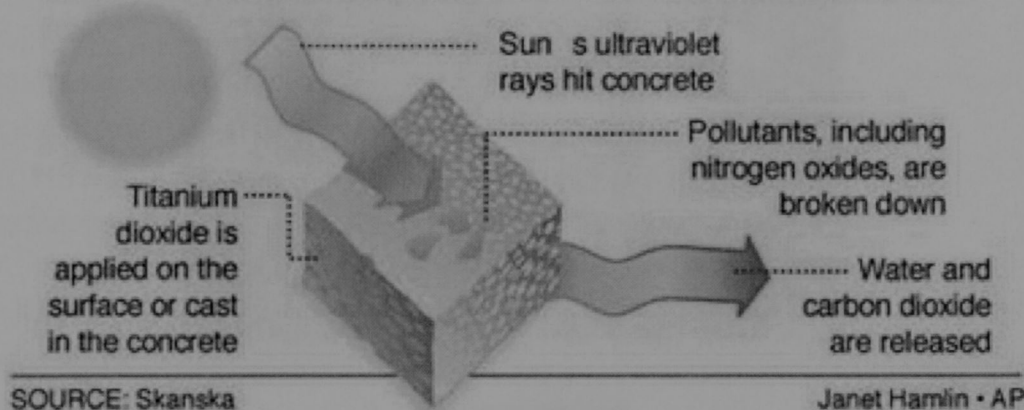
Κατά την χρησιμοποίηση του φωτοκαταλυτικού τσιμέντου δεν απαιτείται καμία ιδιαίτερη προφύλαξη, εκτός από την σωστή εφαρμογή και τους κανόνες πρακτικής.

Το ασβεστοκονίαμα ή το τσιμέντο απαιτεί: Σωστή αναλογία νερού/τσιμέντου ενισχύοντας τη δύναμη και αποτρέποντας την διακένωση, σωστή περιεκτικότητα συγκολλητικού υλικού και επαρκής μίξη για την εξασφάλιση ενός ομοιόμορφου χρώματος. Επίσης απαιτεί τη χρήση καθαρών μιγμάτων αδρανών (για το μπετόν) έτσι ώστε τα μόρια σκόνης που προσκολλούνται στα αδρανή να μπορούν να διαφύγουν εύκολα και πρέπει να δοθεί προσοχή στους χρόνους μίξης.

Γενικότερα το φωτοκαταλυτικό τσιμέντο είναι κατάλληλο για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως την αποκατάσταση κτιρίων, εργασίες που απαιτούν υψηλά επίπεδα αντοχής, οικοδομικά έργα με περίπλοκες στατικές και αισθητικές προδιαγραφές, υψηλής ποιότητας δάπεδα, αρχιτεκτονικό σκυρόδεμα, στόκους και στεγανοποιήσεις.¹⁴

Concrete that cleans itself

Swedish and Finnish companies are developing concrete coated with titanium dioxide to break down pollutants. The concrete surface would be easier to clean and help reduce air pollution.



Σχήμα 9: Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας του μηχανισμού αυτοκαθαρισμού στο φωτοκαταλυτικό τσιμέντο¹⁵

3.4 Κατασκευαστικά υλικά τοίχων από TiO_2

Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί οξείδιο του τιτανίου έχει εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς και έχουν πραγματοποιηθεί περαιτέρω νέες μελέτες. Η επιχείρηση Japan Pavilion (JPE) έχει προσχωρήσει στην 'photocatalytic Heat Material Consortium' που καθιερώθηκε ως τρίχρονο σχέδιο το 2003. Επτά κατασκευάστριες εταιρίες που ασχολούνται με οικοδομικά υλικά όπως κεραμίδια, οθόνες πλέγματος, αλουμίνια, εσωτερικά υλικά κατοικίας, συστήματα στέγασης και υλικά από χάλυβα έχουν δώσει άμεσα, προτεραιότητα στα φωτοκαταλυτικά υλικά του διοξειδίου του τιτανίου. Η JPE Steel Corporation είναι υπεύθυνη για το χάλυβα. Συγκεκριμένα έχουν αναπτύξει εξωτερικά υλικά τοίχων για εμπορικά κτίρια και κτίρια διαμερισμάτων (φωτογραφίες).¹⁶



Φωτογραφία 9



Φωτογραφία 10

Τα εξωτερικά υλικά τοίχων από χάλυβα με φωτοκαταλυτικό επίστρωμα στην επιφάνεια τους χρησιμοποιούνται ήδη στην πράξη. Έχουν χρησιμοποιηθεί για να αποτρέψουν την συσσώρευση ρύπων και μολυσματικών ουσιών. Όπως είναι φυσικό, οι εξωτερικοί τοίχοι κτιρίων ρυπαίνονται καθημερινά από τα αέρια εξάτμισης, τη σκόνη και το πετρέλαιο. Το φωτοκαταλυτικό (photocatalyst) επίστρωμα του TiO_2 έχει την ικανότητα να αποσυνθέτει το πετρέλαιο με τις υπεριώδης ακτίνες και να ενισχύει την διαπερατότητα του ύδατος μεταξύ ρύπου και του επιστρώματος, διαδικασία η οποία ονομάζεται 'photoinduced hydrophilicity'. Δηλαδή ο ρύπος που προσκολλάται στο 'photocatalyst' επίστρωμα απομακρύνεται εύκολα κατά την έκθεση στο ηλιακό φως και

καθαρίζεται με το νερό της βροχής. Άρα λοιπόν ο ρύπος στους εξωτερικούς τοίχους απομακρύνεται από μόνος του.

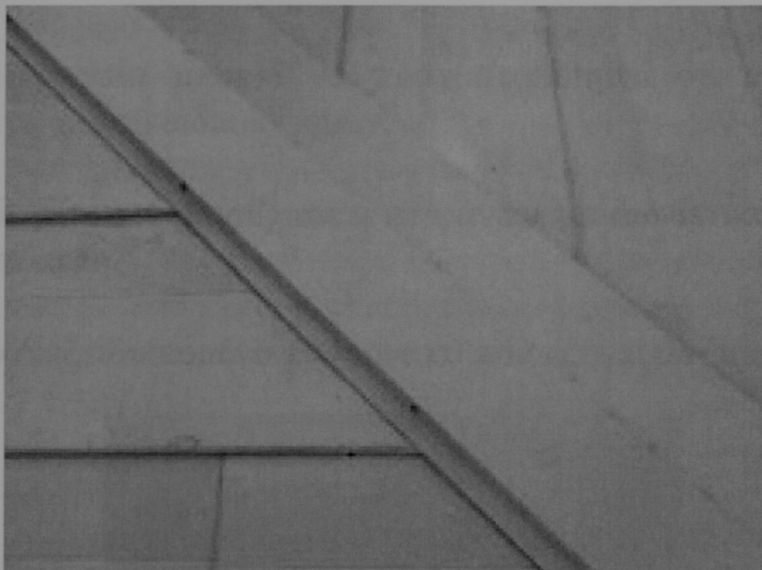
Συνήθως οι εξωτερικοί τοίχοι κτιρίων χρειάζονται καθαρίσμα. Επιπλέον με τη χρήση αυτού του 'photocatalyst' επιστρώματος, οι δαπάνες συντήρησης μπορούν να μειωθούν και δεν απαιτείται κανένα προϊόν καθαρισμού. Η αυτοκαθαριστική ιδιότητα αυτού του επιστρώματος εφαρμόζεται όχι μόνο στο χάλυβα αλλά και σε άλλα υλικά.

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες

Η μέθοδος παρασκευής οικοδομικών υλικών για εξωτερικούς τοίχους κτιρίων και η μέθοδος παραγωγής υλικών στέγης είναι εντελώς διαφορετική. Συνήθως ένα χαλύβδινο πλαίσιο για την κατασκευή εξωτερικής τοιχοποιίας διαμορφώνεται με την κάμψη τεσσάρων πλευρών φύλλου χάλυβα και την ένωσή τους. Στη συνέχεια θερμαίνεται σε ειδικούς φούρνους. Τα φωτοκαταλυτικά προϊόντα υποβάλλονται σε επεξεργασία με τον ίδιο τρόπο και στο τελευταίο στάδιο επικαλύπτονται με διοξείδιο του τιτανίου. Τα χαλύβδινα πλαίσια έχουν περίπου 1.6mm πάχος. Η κάμψη των τεσσάρων πλευρών, γίνεται για την εγκατάσταση τους.

Από την άλλη μεριά το χαλύβδινο υλικό στέγας είναι λεπτότερο σε σχέση με τα 'wall panel', περίπου 0,5 mm. Για να μετατρέψουμε χαλύβδινα υλικά της στέγης σε 'colored steel sheets', τα οποία είναι προ-χρωματισμένα, τα υποβάλλουμε σε συνεχή επεξεργασία με ειδικές μηχανές. Σε σπάνιες περιπτώσεις, τα υλικά των στεγάστρων υποβάλλονται σε επεξεργασία στον τόπο κατασκευής της εγκατάστασης.

Γενικά τα υλικά που υποβάλλονται στην διαδικασία επικάλυψης με διοξείδιο του τιτανίου είναι μικρότερα 2m x 3m το μέγιστο. Τα υλικά της στέγης όμως είναι 4 m ή και περισσότερο. Γενικά τα εμπορικά διαθέσιμα φωτοκαταλυτικά εξωτερικά υλικά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις στέγες και είναι γενικά δύσκολο να κατασκευαστούν φωτοκαταλυτικά (photocatalyst) υλικά για πολλές χρήσεις.



Φωτογραφία 11: Φωτοκαταλυτική οροφή του Japan Pavilion Nagakute

Η τεχνολογία κατασκευής φωτοκαταλυτικών υλικών δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμη 100% εντούτοις με τη χρήση τέτοιων υλικών σε κτιριακές εγκαταστάσεις μπορούμε να οδηγηθούμε σε εξοικονόμηση ενέργειας.¹⁷

3.4.1 Διαδικασία επικάλυψης τοιχοποιίας με επίστρωμα TiO_2

Επενδύσεις εξωτερικών τοίχων



Φωτογραφία 12

Όπως φαίνεται στην εικόνα εξωτερικοί τοίχοι επικαλύπτονται από ειδικευμένους τεχνικούς, με σκοπό βέβαια την αυτοκαθαριστική

ιδιότητα. Η εργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μικρό χρονικό διάστημα με τη χρήση ειδικών spray.

Είναι απαραίτητο να καθαρίζεται η επιφάνεια με συνθετικό καθαριστικό πριν την επικάλυψη.

Υπάρχει ειδικό εξειδικευμένο προσωπικό που εξηγεί με ‘training



Φωτογραφία 13

courses’ στους χρήστες κάθε τεχνική λεπτομέρεια, ώστε να τοποθετηθεί σωστά η επικάλυψη.¹⁸

3.5 Χρήση διοξειδίου του τιτανίου στα τζάμια

Εισαγωγή

Ο Steven Winter Design (SWD) έχει ερευνήσει τη χρήση επιστρώματος διοξειδίου του τιτανίου για να βελτιώσει την απόδοση των υαλοπινάκων σε διάφορα κτίρια όπως στο ταχυδρομείο Mc Cormack και στο δικαστήριο της Βοστόνης.

Για την μελέτη των παραθύρων στα κτίρια υπάρχουν δύο επιλογές:

- ✓ Συντήρηση των παραθύρων και τοποθέτηση εσωτερικών τζαμιών στα παράθυρα με επικάλυψη TiO_2 .

Δηλαδή διατήρηση των ήδη υπάρχουσών παραθύρων και τοποθέτηση καινούργιων ‘window panes’ στο εσωτερικό διάστημα με επικάλυψη TiO_2 , μειώνοντας μ’ αυτό τον τρόπο τη σκόνη, την κατάθεση ρύπων στην

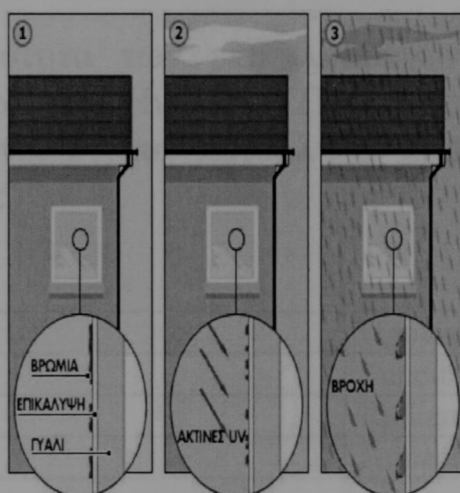
εσωτερική επιφάνεια των παραθύρων και βελτιώνοντας κατά συνέπεια την ποιότητα του εσωτερικού αέρα.

✓ Αντικατάσταση των παραθύρων με νέα.

Ενσωμάτωση υαλοπινάκων με εξωτερικό επίστρωμα TiO_2 για αυτοκαθαρισμό, μειώνοντας μ'αυτό τον τρόπο τα έξοδα συντήρησης (καθαρισμός). Και οι δύο επιλογές έχουν μελετηθεί σε σχέση πάντα με τη χρήση TiO_2 στα παράθυρα.

Περιγραφή της τεχνολογίας

Η επικάλυψη των παραθύρων με TiO_2 καλείται ως μια πρωτοποριακή μέθοδος προστασίας των κτιρίων από τις διάφορες περιβαλλοντικές μολύνσεις. Οι συνηθισμένες αποθέσεις ρύπων και σκόνης που προσκολλούνται στους υαλοπίνακες μπορεί να είναι οργανικές ή μη. Το επίστρωμα του διοξειδίου του τιτανίου στα τζάμια αντιδρά και καταστρέφει τα οργανικά μολυσμένα μόρια χάρη στη φωτοκαταλυτική δράση της UV ακτινοβολίας του ήλιου. Η αντίδραση παράγει μια υδρόφιλη μεμβράνη η οποία απομακρύνεται με τα νερά της βροχής, παρασύροντας τα μη οργανικά μόρια χωρίς να αφήνει πίσω της ίχνη νερού και ρύπων.



Φωτογραφία 14: Η επικάλυψη περιέχει μικρό-κρυστάλλους διοξειδίου τιτανίου. Όταν ο ήλιος χτυπάει το παράθυρο, οι ακτίνες UV προκαλούν χημικές αντιδράσεις στην επικάλυψη, επιταχύνοντας τη διάσπαση της σκόνης. Όταν στο τζάμι πέσει νερό, προκαλείται ένα υδροφιλικό φαινόμενο. Το νερό καλύπτει όλη την επιφάνεια του γυαλιού, όχι σε σταγόνες, όποτε κάνοντας αποτελεσματικότερη την απομάκρυνση της σκόνης.

Μελέτη μεθοδολογίας

- Αποτελεσματικότητα των επιστρωμάτων TiO_2 στα εσωτερικά διαστήματα.

Οι επικαλύψεις TiO_2 απαιτούν άμεση έκθεση στην UV ακτινοβολία για να ενεργοποιηθεί η καταλυτική τους δράση. Επομένως, λειτουργούν καλύτερα εξωτερικά (υπαίθρια). Φυσικά μπορούν να λειτουργήσουν και εσωτερικά με φθορισμό φωτισμού. Γι’ αυτό το λόγο είναι κατάλληλα για νοσοκομεία, μπάνια ή κουζίνες όπου υπάρχουν επιφάνειες με πλακάκια τα οποία μπορούν να πλυθούν εύκολα και όχι στους εσωτερικούς χώρους γραφείων.

- Εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα

Οι κίνδυνοι που μελετώνται, αφορούν ενδεχόμενες επιβλαβή ουσίες κατά την διάρκεια της φωτοκαταλυτικής δραστηριότητας που πραγματοποιείται σε μια γυάλινη επιφάνεια επικαλυμμένη με TiO_2 .

Επομένως ο Steven Winter Design συστήνει μόνο την εξωτερική εφαρμογή επιστρωμάτων TiO_2 όπως αναφέρθηκε και παραπάνω όταν λοιπόν αντικατασταθούν τα υφιστάμενα παράθυρα με νέα χρησιμοποιώντας γυαλί με επικάλυψη TiO_2 , πρέπει να λάβουμε αυστηρά υπόψιν μας τα εξής:

- I. Διαθεσιμότητα των επικαλυμμένων με διοξείδιο του τιτανίου παραθύρων στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Η έρευνα δείχνει ότι τα κατάλληλα προϊόντα από τους ακόλουθους κατασκευαστές:

Κατασκευαστής	Προϊόν
PPG	Sunclean TM Self-Cleaning Glass
AFG	Radiance Ti TM Self-Cleaning Glass
SGG	Aquaclean TM

Πίνακας 1

- II. Δυνατότητα να εξασφαλιστούν σε πολλαπλάσιες προσφορές.

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, τουλάχιστον τρεις κατασκευάστριες εταιρίες παρέχουν το προϊόν στην αγορά.

- III. Ρεκόρ επιτευγμάτων σε μη αστικά κτίρια.

Το TiO_2 μειώνει την ανάγκη για καθαρισμό, αλλά δεν την εξαλείφει εντελώς. Επειδή η λειτουργία του αυτοκαθαριζόμενου μηχανισμού εξαρτάται από την παρούσα υγρασία (εκτός από την UV έκθεση) κατά την περίοδο που μαζευτεί στρώμα σκόνης στην γυάλινη επιφάνεια εμποδίζονται οι UV ακτίνες να φθάσουν στην επικάλυψη. Σ' αυτήν την περίπτωση, ο συμβατικός καθαρισμός θα είναι απαραίτητος. Επίσης μπορεί να υπάρξουν υπολείμματα ανόργανων αποθεμάτων. Αυτοί δεν καθαρίζονται από την υδρόφιλη δράση της επικάλυψης με αποτέλεσμα την ανάγκη συμβατικών μεθόδων καθαριότητας.

IV. Εμφάνιση υαλοπινάκων με επικάλυψη TiO_2

Σε σχέση με τους κανονικούς υαλοπίνακες, οι επικαλυμμένοι με διοξείδιο του τιτανίου έχουν την ίδια εμφάνιση όταν τους βλέπουμε από εσωτερικά, αλλά παρουσιάζουν μια ελαφρώς λαμπρότερη εικόνα όταν τους παρατηρούμε από το εξωτερικό. Φαίνονται καθαρότεροι από του μη επικαλυμμένους υαλοπίνακες ειδικά μετά την βροχή.

V. Οικονομικά

Θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη η δαπάνη επίστρωσης.

A) Ενεργειακή απόδοση των επικαλυμμένων υαλοπινάκων.

Η απαίτηση για αλλαγή στην εξοικονόμηση ενέργειας λόγω του επιστρώματος ποικίλει ανάλογα με τον κατασκευαστή. Τα παραδείγματα επικάλυψης που μελετήθηκαν δείχνουν μια μείωση του συντελεστή φωτοσκίασης (χρωματική διαβάθμιση) κατά 0,02 για τους κανονικούς υαλοπίνακες σε σχέση με τους επικαλυμμένους με TiO_2 . Αυτό το στοιχείο φαίνεται από το Mc-Cormack DOE-2.1E model και παρουσιάζει την δυνατότητα αποταμίευσης στο ετήσιο ενεργειακό κόστος των 153\$ συγκρινόμενο με το τυπικό *low-e glazing*.(6)

(6) See calculations under the heading 'DOE-2.1E Analysis'

McCormack POCH/Tentative Report/09/16/2004/Goody, Clancy&Associates.

Η κύρια ενεργειακή αποταμίευση αναμένεται να φανεί κατά τις δαπάνες πλύσης.

B) Πιθανή αποταμίευση στις δαπάνες πλύσης των υαλοπινάκων.

Φυσικά, αποταμίευση στις δαπάνες πλύσης εξαρτάται από τις απαιτήσεις και τις ανάγκες της κατασκευής. Πρέπει να δώσουμε ιδιαίτερη προσοχή στον καθαρισμό των επικαλυμμένων με TiO_2 υαλοπινάκων, ώστε να μην βλαφτεί το επίστρωμα. Λειαντικοί καθαριστές και σκληρές χημικές ουσίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

C) Έξτρα κόστος συνδεδεμένο με την επικάλυψη TiO_2

Η επικάλυψη κοστίζει κατά μέσο όρο 10-20% περισσότερο σε σχέση με τους όχι επικαλυμμένους υαλοπίνακες.

DOE-2.1E Ανάλυση του επιστρώματος του διοξειδίου του τιτανίου.

Ο Steven Winter Design (SWD) αρχικά σχεδίασε μη επικαλυμμένους υαλοπίνακες με μεμονωμένο *low-e glass*. Στη συνέχεια σχεδίασε τους ίδιους υαλοπίνακες με ένα συμπληρωματικό επίστρωμα διοξειδίου του τιτανίου στην εξωτερική επιφάνεια. Τα αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

- ☐ Visible transmittance = 73%
- ☐ Shading Coefficient = 0.76
- ☐ Window unit (including frame) U-factor = U-0.44

Replacement Low-e Windows with Titanium Dioxide Coating

Το κτίριο αποτελείται από υαλοπίνακες ενιαίων γυάλινων πλακιδίων με θερμικά συνεχή πλαίσια. Έτσι λοιπόν μελετήθηκε η ιδέα αντικατάστασης τους με μεμονωμένα *low-e glass*. Η SWD υπέθεσε ότι τα νέα παράθυρα θα αποτελούνταν από διπλό *low-e glass* πλακιδίων (*low-e glass pane glass*) με ασυνεχή θερμικά πλαίσια αλουμινίου. Η άλλη απόδοση των παραμέτρων 'simulated' windows είναι η ακόλουθη:

- ☐ Visible transmittance = 69%
- ☐ Shading Coefficient = 0.74
- ☐ Window unit (including frame) U-factor = U-0.44

Αναφερόμαστε στα ίδια ακριβώς παράθυρα με τη διαφορά ότι η εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού είναι επικαλυμμένη με επίστρωμα διοξειδίου του τιτανίου. Η διαφορά μεταξύ του απλού και επικαλυμμένου παραθύρου όσον αφορά τους συντελεστές Visible transmittance και Shading Coefficient είναι ελάχιστη. Επομένως θερμικά η επίδραση του επιστρώματος είναι μικρή. Η απόδοση των παραμέτρων της επικάλυψης TiO_2 , *low-e glass* είναι η ακόλουθη:

Design Alternate	Electric Energy (kWh)	Steam Use (1000 lbs)	Natural Gas Use (Therms)	Total Energy Cost (\$)	Reduction in Energy Cost versus Design Case (\$)
Design Case	6,678,254	18,157	125	750,768	N/A
Design with Low-e Double-Pane Glass, Thermally Broken Aluminum Frames	6,645,375	14,713	125	\$705,281	\$45,487
Design with Titanium Dioxide Coated Low-e Double-Pane Glass, Thermally Broken Aluminum Frames	6,639,656	14,750	125	\$705,214	\$51,450

Πίνακας 2

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι το ενεργειακό κόστος που προκύπτει με τη χρήση της επικάλυψης TiO_2 είναι ελάχιστο, το μόνο σημαντικό όφελος είναι οι μειωμένες δαπάνες συντήρησης. Τέλος ο Steven Winter Design συστήνει την χρήση TiO_2 μόνο σε περίπτωση αντικατάστασης των υφιστάμενων υαλοπινάκων έτσι ώστε το επίστρωμα να μπορεί να τοποθετηθεί στην εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού.¹⁹

3.6 Αυτοκαθαριστικά πλακάκια που χρησιμοποιήθηκαν στο 'Marunouchi Building' στο Τόκιο.

Ο Fujishima Akira ήταν ένας διακεκριμένος σπουδαστής στο πανεπιστήμιο του Τόκιο (τώρα είναι ομότιμος καθηγητής) το 1967, όταν ανακάλυψε τις μοναδικές ιδιότητες του TiO_2 . Αυτός και ο καθηγητής του συνέγραψαν μια μελέτη του φαινομένου η οποία ονομάστηκε αργότερα 'Honda – Fujishima effect'. Ο Toto LTD, κατασκευαστής κεραμικών πλακιδίων (sanitary ceramics) σε με τους ερευνητές του πανεπιστημίου

του Τόκιο ανακάλυψαν τα φωτοκαταλυτικά πλακάκια επικαλυμμένα με διοξείδιο του τιτανίου, τα οποία απελευθερώθηκαν στην αγορά το 1994. Αυτά τα πλακίδια κατείχαν αντιβακτηριδιακές ιδιότητες που σημαίνει ότι οποιεσδήποτε ρύποι προσκολλούνταν στην επιφάνειά τους εξουδετερωνόταν από το TiO_2 , το οποίο επίσης αποτρέπει το κιτρίνισμα και ελέγχει τις οποιεσδήποτε δυσοσμίες.

Οι υδρόφιλες ιδιότητες του TiO_2 ανακαλύφθηκαν το 1995 και η εφαρμογή τους στην σφαίρα της φωτοκατάλυσης πολύ γρήγορα.

Μια από τις καινοτομίες που προσέλκυσε εντονότατα την προσοχή είναι η χρησιμοποίηση των φωτοκαταλυτικών κεραμιδιών έξω από το νέο κτίριο Marunouchi το οποίο κτίστηκε μπροστά από το σταθμό του Τόκιο. Η πρόσοψη του κτιρίου βλέπει σε μια πολυσύχναστη λεωφόρο μεγάλης κυκλοφορίας, οπότε με κανονικούς εξωτερικούς τοίχους θα υπήρχε πρόβλημα αλλοίωσης κατά τη διάρκεια του χρόνου, αφού θα μαύριζαν από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων.



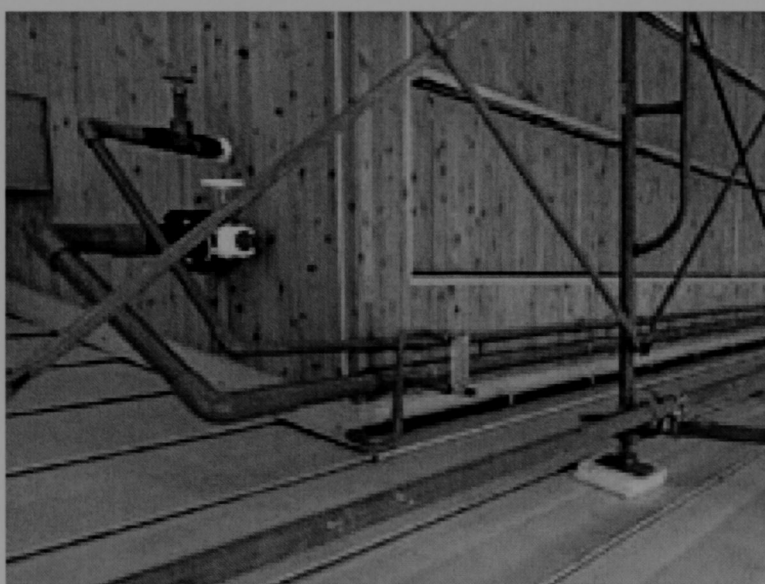
Φωτογραφία 15: Οι τοίχοι του νέου Κτιρίου Marunouchi στο Τόκιο είναι χτισμένο με αυτοκαθαριζόμενα κεραμίδια

Έτσι το κτίριο είναι επενδυμένο με φωτοκαταλυτικά κεραμίδια, τα οποία ενεργοποιούν το 'photocatalysis' φαινόμενο τις ηλιόλουστες μέρες και απομακρύνουν ρύπους και σκόνη, ενώ οι υδρόφιλες ιδιότητες τους επιτρέπουν σ' αυτές τις ουσίες να ξεπλυθούν από το νερό της βροχής.

Επιπλέον, εκτός απ'την διατήρηση του κτιρίου καθαρό στη διάρκεια του χρόνου, τα φωτοκαταλυτικά πλακίδια (κεραμίδια) βοηθούν στην απελευθέρωση της περιβάλλουσας περιοχής των οξειδίων του αζώτου, μια κατηγορία ρύπων. Τα αποτελέσματα του Marunouchi κτιρίου είναι ισοδύναμα περίπου με 200 δέντρα.²⁰

3.7 Εφαρμογή των υδρόφιλων ιδιοτήτων του TiO_2 στον κλιματισμό

Η έρευνα προχωρά σε επιπλέον εφαρμογές των υδρόφιλων ιδιοτήτων του TiO_2 . Η Nissan Shatai, μια επιχείρηση που βρίσκεται στην πόλη Hiratsuka τοποθέτησε ένα μεγάλο δίκτυο επικαλυμμένο με TiO_2 σ'έναν δυτικό τοίχο κτιρίου που χρησιμοποιούνταν ως 'employee changing room'. Το δίκτυο εξοπλίστηκε μ'ένα μηχανισμό παροχής στην επιφάνεια του μικρής ποσότητας ύδατος. Μόλις ανοιχθεί ένα παράθυρο στο δωμάτιο, μπαίνει καθαρός αέρας και αυτοί που είναι μέσα στο χώρο μπορούν να αισθανθούν ότι απολαμβάνουν την σκιά ενός ψηλού δέντρου. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι στους 31°C , η εσωτερική θερμοκρασία είναι 2-4 βαθμούς χαμηλότερη. Δεδομένου ότι το φως χτυπά το δίκτυο, το νερό που βρίσκεται, στην επιφάνεια του διαχέεται σε μια λεπτή στρώση, απορροφώντας θερμότητα από την περιβάλλουσα περιοχή καθώς εξατμίζει.



Φωτογραφία 16: Sprinkling hose

Το νερό παρέχεται από ειδική συσκευή ψεκαστήρων υψηλής τεχνολογίας 7 μέτρα ύψους. Το κόστος για ύδρευση και ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για έναν χρόνο είναι πολύ λιγότερο απ'ότι θα κόστιζε για την λειτουργία μιας κλιματιστικής συσκευής. Ένα άλλο πλεονέκτημα πέρα ν

του κλιματισμού είναι ότι αυτού του είδους η κατασκευή δεν εκπέμπει καμία θερμότητα, που σημαίνει ότι έχει χαμηλό περιβαλλοντικό φορτίο.²¹

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1. Φθοριστική εκκένωση του τιτανίου

Intensity	Type	Wavelength	Species	Intensity	Type	Wavelength	Species	Intensity	Type	Wavelength	Species
140		2272.91	I	25		4078.22	I	110		5363.49	I
160		2273.24	I	130	B	4087.77	I	65	B	5397.25	T
130		2276.7	T	140		4091.83	I	35	B	5429.25	T
190		2279.06	T	1200		4124.57	I	250		5444.34	I
150		2299.85	I	40		4125.14	B	75		5445.34	I
140		2302.73	I	190	B	4126.34	T	26	B	5461.33	T
190		2305.87	I	40		4127.42	I	190		5462.16	I
65		2360.81	T	40		4175.34	B	75		5462.91	I
35		2384.32	I	190	B	4180.37	I	35		5472.42	I
55		2414.36	I	40		4183.81	I	190		5475.44	I
75		2421.3	I	30		4184.21	I	30	B	5478.34	I
95		2424.34	I	110		4185.33	I	40		5489.47	I
40		2475.23	I	35	B	4186.31	I	75		5490.42	I
35		2433.27	I	290		4192.42	I	35		5496.23	I
19		2434.1	I	85		4197.42	I	65		5497.46	I
35		2440.21	B	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ							
65		2440.28	I								
24		2450.44	B	290		4198.23	I	40		5498.42	I
24		2504.54	I	300		4199.1	I	35		5499.42	I
75		2517.45	B	840		4175.47	I	30		5499.51	I
40		2519.04	I	40		4179.22	I	40		5499.92	I
140		2520.36	I	290		4182.46	I	30		5499.92	I
75		2524.64	B	85		4189.17	I	31		5499.94	I
360		2525.6	B	230		4112.71	I	10		5499.96	I
29		2527.98	I	85		4122.17	I	40	B	5499.97	I
210		2529.35	I	40		4123.31	I	35	B	5499.98	I
190		2531.25	B	85		4123.37	I	75	B	5499.99	I
190		2534.62	B	190		4127.54	I	30		5499.99	I
130		2535.87	B	40		4129.17	I	75	B	5499.99	I
190		2541.92	I	40		4131.21	I	65	B	5499.99	I
65		2553.99	B	140		4137.29	I	21	B	5499.99	I
110		2571.83	B	85		4143.03	I	40		5499.99	I
50		2572.89	B	190		4150.96	I	400		5499.99	I
50		2580.92	I	85		4179.44	I	65		5499.99	I
35		2594.26	I	70		4183.81	B	210		5499.99	I
190		2599.64	I	35		4184.21	I	35		5499.99	I
65		2596.38	I	40		4186.22	I	130		5499.99	I
270		2599.92	I	85		4188.34	I	150		5499.99	I
340		2605.15	I	130		4171.03	I	75		5499.99	I
310		2611.28	I	40		4172.7	B	130		5499.99	I
75		2611.49	I	35		4183.1	I	300		5499.99	I
360		2612.94	I	360		4184.12	I	200		5499.99	I
170		2621.54	I	40		4188.89	I	270		5499.99	I
170		2623.42	I	70		4190.26	I	340		5499.99	I
940		2661.1	I	85		4191.65	I	65		5499.99	I

Πίνακας 1. Φάσματική ανάλυση του τιτανίου

Intensity	Type	Wavelength	Specie	Intensity	Type	Wavelength	Specie	Intensity	Type	Wavelength	Specie
140		2272.61	I	35		4016.28	I	110		5565.49	I
180		2273.28	I	120	h	4017.77	I	65	B	5597.85	T
130		2276.7	I	140		4021.83	I	55	B	5629.28	T
190		2279.96	I	1200		4024.57	I	250		5644.14	I
150		2299.85	I	40		4025.14	II	75		5648.58	I
140		2302.73	I	190	h	4026.54	I	26	B	5661.55	T
190		2305.67	I	40		4027.48	I	190		5662.16	I
65		2380.81	I	40		4028.34	II	75		5662.91	I
35		2384.52	I	190	h	4030.51	I	21		5673.42	I
55		2418.36	I	40		4033.91	I	130		5675.44	I
75		2421.3	I	30		4034.91	I	30	h	5679.94	I
95		2424.24	I	110		4035.83	I	95		5689.47	I
40		2428.23	I	35	h	4040.32	I	75		5702.68	I
35		2433.22	I	290		4055.02	I	35		5708.23	I
19		2434.1	I	85		4057.62	I	65		5711.88	I
35		2440.21	II	85		4058.14	I	40	h	5713.92	I
65		2440.98	I	410		4060.26	I	95		5715.13	I
24		2450.44	II	200		4064.22	I	55		5716.48	I
24		2504.54	I	200		4065.1	I	35		5720.48	I
75		2517.43	II	840		4078.47	I	85		5739.51	I
40		2519.04	I	40		4079.72	I	40		5740.02	I
140		2520.54	I	290		4082.46	I	19		5741.22	I
75		2524.64	II	85		4099.17	I	21		5752.84	I
360		2525.6	II	220		4112.71	I	19		5756.86	I
29		2527.98	I	85		4122.17	I	40	h	5762.27	I
210		2529.85	I	40		4123.31	I	55	h	5766.35	I
190		2531.25	II	85		4123.57	I	75	h	5774.05	I
190		2534.62	II	130		4127.54	I	30		5780.78	I
130		2535.87	II	40		4129.17	I	75	h	5785.98	I
190		2541.92	I	40		4131.25	I	65	H	5804.26	I
65		2555.99	II	140		4137.29	I	21	B	5814.96	T
110		2571.03	II	85		4143.05	I	40		5823.71	I
50		2572.65	II	170		4150.96	I	400		5866.46	I
50		2580.82	I	85		4159.64	I	65		5880.31	I
35		2590.26	I	70		4163.65	II	230		5899.32	I
190		2593.64	I	35		4164.14	I	55		5903.33	I
65		2596.58	I	40		4166.32	I	120		5918.55	I
270		2599.92	I	85		4169.35	I	150		5922.12	I
340		2605.15	I	120		4171.03	I	75		5937.82	I
510		2611.28	I	40		4171.9	II	120		5941.76	I
75		2611.48	I	35		4183.3	I	300		5953.17	I
300		2619.94	I	360		4186.12	I	200		5965.84	I
170		2631.54	I	40		4188.69	I	270		5978.56	I
170		2632.42	I	70		4200.75	I	340		5999.04	I
640		2641.1	I	85		4203.46	I	65		5999.68	I

800	2644.26	I	35	4211.73	I	110		6064.63	I
950	2646.64	I	40	4224.79	I	120		6085.23	I
30	2649.3	I	40	4227.65	I	120		6091.17	I
15	2654.93	I	130	4237.89	I	40		6092.81	I
35	2657.19	I	85	4249.12	I	40	h	6098.67	I
85	2661.97	I	130	4256.04	I	35	h	6121.01	I
95	2669.6	I	70	4258.54	I	120		6126.22	I
130	2679.93	I	70	4261.6	I	19		6138.38	I
26	2684.8	I	330	4263.13	I	30		6146.22	I
30	2685.14	I	35	4265.71	I	21		6149.74	I
65	2688.82	I	40	4266.22	I	30	B	6162.23	T
26	2716.25	II	70	4270.14	I	35		6186.15	I
85	2725.07	I	85	4272.43	I	95	h	6215.28	I
75	2727.42	I	240	4274.58	I	75	h	6220.49	I
21	2731.13	I	120	4276.43	I	65	h	6221.41	I
40	2731.58	I	120	4278.23	I	380		6258.1	I
170	2733.26	I	30	4278.81	I	380		6258.7	I
55	2735.29	I	110	4281.38	I	300		6261.1	I
40	2735.61	I	220	4282.71	I	65		6303.75	I
85	2739.81	I	160	4284.99	I	55		6312.24	I
250	2742.32	I	890	4286.01	I	26		6318.03	I
40	2749.06	I	840	4287.4	I	30		6336.1	I
65	2757.4	I	30	4288.16	I	35		6366.35	I
95	2758.08	I	950	4289.07	I	11		6419.1	I
15	2761.29	II	120	4290.23	II	17		6497.69	I
250	2802.5	I	840	4290.94	I	19		6508.14	I
55	2805.7	I	120	4291.14	I	55		6546.28	I
30	2806.5	II	140	4294.12	II	65		6554.23	I
40	2809.17	I	840	4295.76	I	75		6556.07	I
75	2810.3	II	2000	4298.66	I	19	h	6565.62	I
30	2812.98	I	200	4299.23	I	14	h	6575.18	I
30	2817.4	I	200	4299.64	I	35		6599.11	I
65	2817.84	I	200	4300.05	II	18	B	6651.46	T
180	2817.87	II	2900	4300.56	I	18	h	6666.55	I
65	2828.07	I	4100	4301.09	I	18		6677.18	I
130	2828.15	II	85	4301.93	II	22	b	6691.21	T
190	2832.16	II	6000	4305.92	I	26		6716.68	I
110	2841.94	II	180	4307.9	II	16	B	6723.95	T
40	2851.1	II	35	4308.5	I	80		6743.12	I
95	2853.93	II	40	4311.65	I	22		6745.52	I
55	2862.32	II	85	4312.87	II	35		6861.47	I
180	2868.74	II	85	4314.35	I	9		6873.92	I
280	2877.44	II	1200	4314.8	I	12		6913.19	I
65	2884.11	II	360	4318.64	I	14	h	6933.15	I
55	2888.93	II	180	4321.66	I	14	h	6943.7	I
55	2891.07	II	190	4325.13	I	23		6996.63	I
30	2905.66	I	160	4326.36	I	15		7004.66	I
450	2909.92	II	30	4334.84	I	14		7008.35	I
	2912.08	I	160	4337.92	II	14		7010.94	I

340	2928.34	I	24	4344.29	II	14	h	7035.86	I
180	2933.55	I	70	4346.11	I	40		7038.8	I
150	2937.32	I	35	4354.06	I	14		7050.65	I
1100	2942	I	95	4360.49	I	40	B	7054.51	T
1300	2948.26	I	24	4368.94	I	23		7069.11	I
1600	2956.13	I	95	4369.68	I	45	B	7087.89	T
170	2956.8	I	60	4372.38	I	30	b	7124.9	T
26	2959.71	I	30	4388.08	I	40	B	7125.61	T
35	2959.99	I	170	4393.92	I	26		7138.91	I
170	2965.71	I	330	4395.04	II	55		7189.89	I
190	2967.22	I	60	4399.77	II	26	b	7203.64	T
26	2968.23	I	240	4404.28	I	260		7209.44	I
75	2970.38	I	60	4404.9	I	60		7216.2	I
30	2974.93	I	30	4405.68	I	130		7244.86	I
170	2983.31	I	60	4416.54	I	130		7251.72	I
35	3000.87	I	220	4417.28	I	19		7266.29	I
120	3017.19	II	60	4417.72	II	19	b	7269.05	T
140	3029.73	II	120	4421.76	I	15		7315.56	I
110	3046.68	II	120	4422.82	I	26		7318.39	I
130	3056.74	II	24	4424.39	I	120		7344.72	I
130	3057.4	II	30	4425.83	I	11		7352.16	I
170	3058.09	II	120	4426.06	I	90		7357.74	I
85	3059.74	II	890	4427.1	I	60		7364.11	I
1300	d 3066.22	II	21	4430.02	I	26		7440.6	I
1300	3066.35	II	85	4430.37	I	9		7474.94	I
70	3071.24	II	50	4431.28	I	26		7489.61	I
600	3072.11	II	30	4432.6	I	19		7496.12	I
1100	3072.97	II	24	4433.58	I	12		7580.55	I
1600	3075.22	II	170	4434	I	9	B	7589.62	T
2300	3078.64	II	70	4436.59	I	15		7614.5	I
3600	3088.02	II	30	4438.23	I	23		7654.44	I
180	3089.4	II	130	4440.35	I	11	B	7705.21	T
180	3097.19	II	50	4441.27	I	30		7949.17	I
180	3100.67	I	230	4443.8	II	26	h	7961.58	I
230	3103.8	II	24	4444.27	I	60		7978.88	I
230	3105.08	II	840	4449.15	I	9		7979.07	I
260	3106.23	II	30	4450.49	II	30		7996.53	I
70	3106.81	I	550	4450.9	I	55		8024.84	I
50	3110.67	II	840	4453.32	I	30		8068.24	I
50	3112.48	I	290	4453.71	I	14	h	8306.31	I
140	3117.67	II	950	4455.33	I	9	h	8307.41	I
720	3119.72	I	1100	4457.43	I	9	h	8311.76	I
1300	3119.8	II	21	4462.09	I	8	h	8312.85	I
190	3123.07	I	70	4463.38	I	12		8334.31	I
240	3130.8	II	95	4463.54	I	14		8353.15	I
140	3141.54	I	290	4465.81	I	75		8364.24	I
95	3141.67	I	240	4468.5	II	100		8377.85	I
220	3143.76	II	240	4471.24	I	100		8382.54	I
240	3148.04	II	95	4474.85	I	55		8382.82	I

240	3152.25	II	95	4479.7	I	75	8396.87	I
240	3154.2	II	50	4480.59	I	120	8412.36	I
240	3155.67	II	530	4481.26	I	19	8416.98	I
500	3161.2	II	95	4482.69	I	15	8424.41	I
780	3161.77	II	19	4488.32	II	170	8426.52	I
1000	3162.57	II	260	4489.09	I	490	8434.94	I
1600	3168.52	II	24	4492.55	I	240	8435.7	I
2400	3186.45	I	40	4495.01	I	40	8438.93	I
1000	3190.87	II	240	4496.15	I	40	8450.89	I
3100	3191.99	I	24	4497.73	I	9 h	8457.1	I
50	3197.52	II	200	4501.27	II	19 h	8467.15	I
3800	3199.92	I	40	4503.78	I	45	8468.5	I
780	3202.54	II	21	4506.36	I	15	8496.04	I
50	3203.44	II	50	4511.17	I	19 h	8518.05	I
240	3203.83	I	780	4512.74	I	40	8518.32	I
50	3204.87	I	19	4515.62	I	14	8539.38	I
110	3213.14	II	1000	4518.03	I	40	8548.12	I
260	3214.24	I	95	4518.7	I	9	8569.77	I
190	3214.75	II	1000	4522.8	I	9 h	8598.18	I
1100	3217.06	II	780	4527.31	I	90	8675.39	I
110	3217.94	I	6000	4533.24	I	45	8682.99	I
260	3218.27	II	240	4533.97	II	23	8692.33	I
110	3219.21	I	3600	4534.78	I	19	8734.69	I
110	3221.38	I	2400	4535.58	I	23	8766.64	I
1300	3222.84	II	1200	4535.92	I	15 h	8778.71	I
220	3223.52	I	1200	4536.05	I	6	1282.48	III
240	3224.24	II	24	4537.23	I	6	1286.23	III
140	3226.13	I	24	4539.1	I	15	1286.36	III
530	3228.6	II	720	4544.69	I	10	1289.3	III
780	3229.19	II	950	4548.77	I	10	1291.62	III
530	3229.42	II	240	4549.63	II	10	1293.23	III
110	3231.32	II	950	4552.46	I	15	1294.7	III
240	3232.28	II	24	4555.08	I	10	1295.88	III
6600	3234.52	II	720	4555.49	I	20	1298.66	III
220	3236.12	II	19	4557.86	I	20	1298.97	III
5200	3236.57	II	19	4558.11	I	12	1327.59	III
4100	3239.04	II	60	4559.92	I	10	1420.04	III
220	3239.66	II	50	4562.63	I	10	1420.44	III
2600	3241.99	II	35	4563.43	I	10	1421.63	III
1200	3248.6	II	110	4563.77	II	10	1421.77	III
950	3251.91	II	35	4510.91	I	12	1422.4	III
1200	3252.91	II	240	4571.98	II	10	1424.14	III
1200	3254.25	II	24	4589.95	II	23	1455.19	III
1200	3261.6	II	60	4599.23	I	10	1498.7	III
310	3271.65	II	21	4609.37	I	10	2199.22	III
310	3272.08	II	950	4617.27	I	12	2237.77	III
200	3278.29	II	24	4619.52	I	10	2327.02	III
260	3278.92	II	480	4623.09	I	15	2331.35	III
220	3282.33	II	190	4629.34	I	15	2331.66	III

530	3287.66	II	60	4637.88	I	15	2334.34	III
290	3292.08	I	240	4639.37	I	17	2339	III
170	3299.41	I	220	4639.67	I	18	2346.79	III
170	3306.88	I	190	4639.95	I	18	2374.99	III
220	3308.39	I	140	4645.19	I	22	2413.99	III
220	3308.81	II	120	4650.02	I	25	2516.05	III
260	3309.5	I	24	4656.04	I	24	2527.84	III
60	3309.73	I	720	4656.47	I	23	2540.06	III
110	3312.69	I	840	4667.59	I	24	2563.44	III
840	3314.42	I	70	4675.12	I	23	2565.42	III
	3314.52	I	950	4681.92	I	22	2567.56	III
290	3315.32	II	21	4686.92	I	15	2576.47	III
330	3318.02	II	24	4690.8	I	15	2580.46	III
550	3321.7	II	190	4691.34	I	10	2692.16	III
2900	3322.94	II	40	4693.68	I	12	2701.96	III
380	3326.76	II	24	4696.94	I	22	2984.75	III
2100	3329.46	II	190	4698.76	I	12	d 3354.71	III
550	3332.11	II	120	4710.19	I	12	3872.5	III
1800	3335.2	II	24	4715.3	I	12	3881.21	III
1100	3340.34	II	65	4722.62	I	12	3893.63	III
5700	3341.88	I	65	4723.17	I	10	3896.33	III
120	3342.15	I	55	4731.17	I	15	3915.47	III
260	3343.77	II	45	4733.43	I	12	3921.38	III
330	3346.73	II	18	4734.68	I	10	3921.61	III
4300	3349.04	II	22	4742.11	I	12	3922.95	III
12000	3349.41	II	170	4742.79	I	10	3924.86	III
120	3352.94	I	22	4747.68	I	10	4060.21	III
4100	3354.64	I	310	4758.12	I	10	4119.14	III
290	3358.28	I	310	4759.28	I	11	4215.52	III
290	3360.99	I	45	4766.33	I	11	4269.84	III
7200	3361.21	II	28	4769.77	I	11	4296.7	III
	3361.26	I	65	4778.26	I	10	4348.04	III
120	3361.84	I	45	4781.72	I	11	4433.91	III
1100	3370.44	I	110	4792.49	I	10	4540.22	III
4300	3371.45	I	45	4796.22	I	15	4549.84	III
140	3372.21	II	35	4797.98	I	10	d 4555.46	III
5700	3372.8	II	110	4799.8	I	15	d 4572.2	III
60	3374.35	II	28	4805.1	II	10	4649.45	III
2900	d 3377.48	I	110	4805.43	I	12	4652.86	III
	3377.58	I	45	4808.53	I	10	4874	III
290	3379.22	I	22	4811.08	I	10	4950.1	III
1400	3380.28	II	40	4812.25	I	10	4971.19	III
170	3382.31	I	200	4820.42	I	10	5083.8	III
5700	3383.76	II	22	4825.46	I	14	5147.31	III
170	3385.66	I	40	4836.13	I	12	d 5226.28	III
1400	3385.95	I	470	4840.87	I	11	5247.49	III
1400	3387.84	II	65	4848.47	I	17	5278.12	III
60	3388.76	II	290	4856.01	I	10	5278.7	III
140	3390.68	I	35	4864.18	I	12	5298.43	III

140	3392.71	I	200	4868.26	I	16	5301.2	III
1100	3394.58	II	250	4870.14	I	15	5306.88	III
60	3398.63	I	28	4880.91	I	10	5395.69	III
60	3402.42	II	45	4882.35	I	12	5533.01	III
60	3407.2	II	400	4885.08	I	10	5817.44	III
95	3409.81	II	380	4899.91	I	12	6611.38	III
60	3439.3	I	320	4913.62	I	18	6621.58	III
890	3444.31	II	55	4915.24	I	10	6629.37	III
60	3452.47	II	130	4919.87	I	14	6647.47	III
180	3456.39	II	180	4921.77	I	18	6667.99	III
600	3461.5	II	55	4925.41	I	15	6674.19	III
95	3467.26	I	30	4926.16	I	14	6707.76	III
600	3477.18	II	150	4928.34	I	12	6724.8	III
60	3478.92	I	30	4937.74	I	16	6734.1	III
240	3480.53	I	95	4938.29	I	15	6862.26	III
60	3485.69	I	30	4941.58	I	12	6874.35	III
60	3489.74	II	21	4948.19	I	10	6896.12	III
480	3491.05	II	21	4958.25	I	12	7015.38	III
60	3495.75	I	55	4964.75	I	10	7071.93	III
95	3499.1	I	21	4966.04	I	20	7072.64	III
890	3504.89	II	65	4968.58	I	18	7084.57	III
120	3506.64	I	75	4973.05	I	15	7124.13	III
600	3510.84	II	120	4975.35	I	11	7171.79	III
60	3520.25	II	65	4977.74	I	10	7175.92	III
310	3535.41	II	120	4978.2	I	10	7217.5	III
190	3547.03	I	5800	4981.73	I	9	7225.55	III
120	3573.74	II	150	4989.15	I	12	7270.67	III
60	3574.24	I	4600	4991.07	I	14	7316.3	III
60	3587.13	II	30	4995.08	I	10	7316.68	III
240	3596.05	II	140	4997.1	I	12	7379.96	III
190	3598.72	I	4000	4999.51	I	10	7408.13	III
600	3610.16	I	230	5001.01	I	10	7457.85	III
190	3624.82	II	3600	5007.21	I	15	7506.87	III
95	3635.2	I	120	5009.65	I	17	7507.68	III
4800	3635.46	I	230	5013.3	I	10	7523.85	III
120	3637.97	I	3200	d 5014.19	I	12	7544.29	III
190	3641.33	II		5014.24	I	9	7566.25	III
6600	3642.68	I	580	5016.17	I	10	h 8172.21	III
180	3646.2	I	840	5020.03	I	9	h 8173.37	III
7200	3653.5	I	840	5022.87	I	9	h 8178	III
290	3654.59	I	580	5024.84	I	10	8182.42	III
660	3658.1	I	300	5025.58	I	9	h 8192.68	III
120	3659.76	II	1200	5035.91	I	9	h 8194.75	III
380	3660.63	I	840	5036.47	I	9	h 8263.67	III
190	3662.24	II	740	5038.4	I	15	h 8267.32	III
380	3668.97	I	1200	5039.95	I	10	8338.54	III
600	3671.67	I	75	5040.62	I	12	8394.2	III
3100	3685.2	II	85	5043.59	I	20	8466.87	III
120	3685.96	I	35	5044.27	I	5	8699.85	III

95	3687.35	I	55		5045.41	I	3	9017.1	III
600	3689.91	I	26		5048.21	I	10	776.76	IV
140	3694.45	I	110		5052.87	I	18	779.07	IV
30	3698.18	I	21		5054.08	I	16	781.73	IV
60	3698.43	I	110		5062.11	I	8	1183.64	IV
60	3700.08	I	35		5064.07	I	10	1195.21	IV
120	3702.29	I	1400		5064.66	I	18	1451.74	IV
190	3704.3	I	95		5065.99	I	20	1467.34	IV
140	3706.23	II	35	h	5068.33	I	12	1469.19	IV
50	3707.53	I	65		5069.35	I	20	2067.56	IV
290	3709.96	I	130		5071.48	I	18	2103.16	IV
30	3715.4	I	40		5055.34	I	10	2359.14	IV
450	3717.4	I	130		5087.07	I	10	2359.5	IV
140	3721.64	II	21		5103.15	I	8	2541.79	IV
330	3722.57	I	55		5109.44	I	10	2546.88	IV
600	3724.57	I	190		5113.44	I	5	2862.6	IV
380	3725.16	I	270		5120.42	I	6	2929.96	IV
2900	3729.82	I	30		5129.15	II	14	2937.33	IV
50	3735.67	I	270		5145.47	I	12	2957.31	IV
60	3738.9	I	230		5147.48	I	15	3541.36	IV
3300	3741.06	I	210		5152.2	I	17	3576.44	IV
330	3741.64	II	21	B	5166.86	T	10	3581.39	IV
160	3748.1	I	1100		5173.75	I	13	4131.22	IV
5200	3752.86	I	40		5186.34	I	14	4133.78	IV
600	3753.64	I	85		5188.7	II	10	4397.33	IV
140	3757.69	II	30		5189.58	I	9	4403.45	IV
3300	3759.3	II	1300		5192.98	I	15	4618.11	IV
2900	3761.32	II	85	h	5194.04	I	20	5398.93	IV
50	3761.89	II	65		5201.1	I	8	5470.98	IV
60	3766.45	I	120		5206.08	I	18	5492.51	IV
600	3771.66	I	75		5207.87	I	10	5517.72	IV
30	3776.06	II	1400		5210.39	I	14	5877.79	IV
840	3786.04	I	65		5212.29	I	15	5885.96	IV
120	3789.3	I	150		5219.71	I	7	5891.15	IV
70	3795.9	I	95		5222.69	I	6	6231.62	IV
60	3798.31	I	85		5223.64	I	17	6246.65	IV
10	3818.22	I	250		5224.32	I	11	6247.74	IV
60	3822.03	I	95		5224.56	I	15	6292.41	IV
240	3828.19	I	190		5224.95	I	12	6913.85	IV
95	3833.68	I	65		5226.56	II	15	6978.51	IV
95	3836.78	I	120		5238.58	I	9	7491.37	IV
60	3846.45	I	21		5246.15	I	8	7494.77	IV
130	3853.05	I	55		5246.57	I	5	h 7652.12	IV
130	3853.73	I	75		5247.31	I	8	h 7706.85	IV
110	3858.14	I	21		5250.95	I	12	225.35	V
240	3866.44	I	110		5252.11	I	10	228.91	V
110	3868.4	I	75		5255.83	I	17	252.96	V
120	3873.21	I	55		5259.99	I	7	323.36	V
260	3875.26	I	55		5263.5	I	7	461.41	V

110		3882.15	I	150		5265.98	I	8		474.69	V
110		3882.33	I	40		5282.39	I	8		483.99	V
500		3882.89	I	140		5283.45	I	10	d	488.58	V
60	h	3888.02	I	35		5284.39	I	15		498.26	V
200	h	3895.25	I	65		5295.79	I	14		502.08	V
85		3898.49	I	120		5297.26	I	7		502.71	V
530		3900.54	II	65		5298.44	I	12		504.66	V
180		3900.96	I	26		5336.81	II	7		506.47	V
2600		3904.78	I	17		5341.5	I	8		513.37	V
110	h	3911.19	I	75		5351.08	I	7		523.05	V
500		3913.46	II	26		5366.65	I	12		524.58	V
500		3914.34	I	55		5369.64	I	13		526.57	V
24		3914.74	I	40		5389.18	I	8		529.32	V
35		3919.82	I	55		5389.99	I	10		535.84	V
290		3921.42	I	17		5396.6	I	10		535.89	V
1100		3924.53	I	85		5397.09	I	8	d	540.14	V
110		3926.32	I	35		5404.02	I	8		541.46	V
890		3929.88	I	110		5409.61	I	9		541.71	V
35		3932.02	II	40		5426.26	I	7		543.1	V
10		3934.24	I	75		5429.15	I	7		543.34	V
1100		3947.78	I	26		5436.73	I	7		1128.55	V
4500		3948.67	I	17		5438.32	I	8		1192.35	V
4500		3956.34	I	40		5446.64	I	9		1198.66	V
5200		3958.21	I	11	B	5448.34	T	9		1222.36	V
950		3962.85	I	30		5448.9	I	10		1230.36	V
950		3964.27	I	21		5449.16	I	11		1239.96	V
4800		3981.76	I	35		5453.65	I	10		1241.67	V
510		3982.48	I	55		5460.51	I	7		1246.13	V
60		3984.33	I	75		5471.21	I	8		1268.49	V
35		3985.25	I	35		5472.7	I	8		1306.11	V
60		3985.59	I	40	h	5473.55	I	8		1411.31	V
5100		3989.76	I	85		5474.23	I	9		1675.15	V
35		3994.7	I	30		5474.46	I	8		1687.16	V
1800		3998.64	I	120	h	5477.71	I	11		1717.4	V
70		3999.36	I	110		5481.43	I	8		1759.76	V
10		4002.49	I	75		5481.87	I	7		1771.45	V
10		4003.81	I	85	h	5488.2	I	10		1841.49	V
35		4005.97	I	150		5490.15	I	7		1864.45	V
10		4008.06	I	26		5490.84	I	7		1881.89	V
950		4008.93	I	110		5503.9	I	7		1920.16	V
190		4009.66	I	40		5511.78	I	7		1988.75	V
10		4012.39	II	340		5512.53	I				
180		4013.58	I	270		5514.35	I				
10		4015.38	I	320		5514.54	I				

Πίνακας 2. Ισότοπα του τιτανίου

Natural Abun. (%)	Atomic Mass	Half-life	Decay Mode /Energy (/MeV)	Part. En. /Intensity (MeV/%)	Cross-sect. Ther. Neut. (b)	Spin (h/2 pi)	Magnetic Dipl.Mom. (nm)	Electric Quad. Mom. (b)	Gamma En. /Intensity (MeV/%)	
⁴¹ Ti		40.98315	80ms	β ⁺ ,p/ 12.94			3/2 ⁺			rad. an.
⁴² Ti		41.973031	0.2s	β ⁺ / 7.001	6					rad. an. 0.6107/56
⁴³ Ti		42.968523	0.5s	β ⁺ / 6.867	5.8		7/2 ⁻			rad. an.
⁴⁴ Ti		43.959689	67y	E.C./ 0.265			0 ⁺			0.06785/91 0.07838/97
⁴⁵ Ti		44.958124	3.078h	β ⁺ / 2.063 E.C.	1.04		7/2 ⁻	0.095 nm	0.015 b	rad. an. 0.36 - 1.66
⁴⁶ Ti	8 %	45.952629				0.6 b	0 ⁺			
⁴⁷ Ti	7.3 %	46.951764				1.6 b	5/2 ⁻	-0.78848 nm	0.29 b	
⁴⁸ Ti	73.8 %	47.947947				7.9 b	0 ⁺			
⁴⁹ Ti	5.5 %	48.947871				1.9 b	7/2 ⁻	-1.10417 nm	0.24 b	
⁵⁰ Ti	5.4 %	49.944792				0.179 b	0 ⁺			
⁵¹ Ti		50.946616	5.76m	β ⁻ / 2.472	1.4/ 92 2.13		3/2 ⁻			0.3197/ 93 0.6094- 0.9291
⁵² Ti		51.946898	1.7m	β ⁻ / 1.97	1.8/ 100		0 ⁺			0.017/ 100 0.12445/ 100
⁵³ Ti		52.94973	33s	β ⁻ / 5.02	2.2 - 3		3/2 ⁻			0.1008/ 20 0.1276/ 45 0.2284/ 39 1.6755/ 45 1.72 - 2.8
⁵⁴ Ti		53.95112								

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. www.alunet.gr/detail.asp?news_id
2. www.carrier.gr
3. www.in.gr/news
4. news.pathfinder.gr/periscopio/eco_glass_cleans-itself.html
5. www.science.duth.gr
6. www.spin.gr/spin/story.jsp?id
7. Στοιχεία Υγιεινής Περιβάλλοντος και Υγειονομικής Μηχανικής, Γρηγόρης Π. Μαρκαντωνάτος
8. Πορτρέτα των χημικών στοιχείων, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Αναστάσιος Βάρβογλης
9. Pichat, P., In: Tarr, M.A., *Chemical Degradation Methods for Wastes and Pollutants: Environmental and Industrial Applications*. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, pp. 77-119, 2003. EP Patent Nr. 946450, Italcementi SpA, 1999. Cassar, L., Pepe, C., Tognon, G., Guerrini, G.L., and Amadelli, R. Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC), Durban, South Africa, 2003. US Patent Nr. 6,117,229, Italcementi SpA, 2000. EN 196-1 Standard: Methods of testing cement – determination of strength, 1995. Ying, M., Yao, J.-N., *Chemosphere*, 1999, 38, 2407-14. Gustafson, K.E., Dickhut, R.M., *Environ. Sci. Technol.*, 1997, 31, 140-147. Koller, L.R., *Ultra-violet radiation*, Wiley, New York, 1965. ISO 10526/CIE S005 Standard: CIE standard illuminants for colorimetry, 1999 ISO 10527/CIE S002 Standard: Colorimetric observers, 1991 CIE S 004 Standard: Colours of light signals, 2001 Shah, J.J., Singh, H.B., *Environ. Sci. Technol.* 1988, 32, 1381-1388. Jones, A.P. *Atmos. Environ.*, 1999, 63, 4535-4564. Milis, A., Peral, J., Domenech, X., Navio, J.A., *J. Mol. Catal.*, 1994, 87, 67-94.
10. [using photocatalysts to purifying the Atmosphere.htm](#)
11. www.picada-project.com
12. [italcementi group - Cemento 6.htm](#)
13. [italcementi group - Cemento 7.htm](#)
14. www.italcementi group.com
15. Kon Corporation Examples of actual coating with TiO₂ [photoca.htm](#)
16. www.njspro5070com.htm
17. Mr Satoshi Nakagawa (Construction Engineering Sec., Construction Materials & Service Center, JFE Steel Corporation.
18. Kon Corporation Sagan Coat.htm

19. McCormack Federal Office Building Feasibility Study of Renewable Energy And Energy Efficiency Options Prepared by: U.S. General Services Administration And Goody Clancy and Associates, Inc Architects 100% Submission – Report December 17, 2004
20. In the limelight sciences and Technology Trends in Japan W.htm
21. Cyber-Nippon- Kan htm

