

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ'

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ
ΑΣΦΑΛΤΟΣΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΔΡΟΜΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Β. ΓΚΕΚΑΣ

ΑΓΟΡΑΣΤΑΚΗ ΕΙΡΗΝΗ

ΧΑΝΙΑ ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΤΙΤΑΝΙΟ.....	1
1.1	ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΙΤΑΝΙΟΥ.....	1
1.2	ΜΟΡΦΕΣ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	4
1.2.1	ΤΟ ΟΡΥΚΤΟ ΑΝΑΤΑΣΕ.....	4
1.2.2	ΤΟ ΟΡΥΚΤΟ RUTILE	5
1.2.3	ΤΟ ΟΡΥΚΤΟ BROOKITE	6
1.3	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ- ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	7
1.4	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ	12
2.	ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	14
2.1	ΟΡΙΣΜΟΣ.	14
2.2	ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΕΚΦΡΑΣΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	14
2.3	ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ	15

2.4	ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	17
2.4.1	ΚΥΡΙΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	17
2.4.2	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΙΩΝ	18
2.5	ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	27
3.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ ΑΣΦΑΛΤΟΣΤΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΟΔΩΝ	28
3.1	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΜΕ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΕΣ	28
3.1.1	ΟΞΕΙΔΩΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΙΩΝ ΜΕ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗ	32
3.1.2	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΣΗ: ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ NO _x	32
3.2	ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΤΙΤΑΝΙΟΥ ΣΤΟΥΣ ΔΡΟΜΟΥΣ ΚΑΙ ΣΤΑ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΑ	34
3.2.1	ΤΟ ΜΠΛΟΚ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ NO _x ER.....	35
3.2.1.1	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΗΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΜΕ ΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ	38
3.2.1.2	ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΠΛΟΚ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΞΕΤΑΣΤΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΩΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	40
3.2.1.3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΤΟΥ NO _x	42
3.2.1.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΜΕ ΔΕΝΤΡΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΚΑΤΑΛΥΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	43
3.3	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	45
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	48
	ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	58

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 διοξείδωση 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.



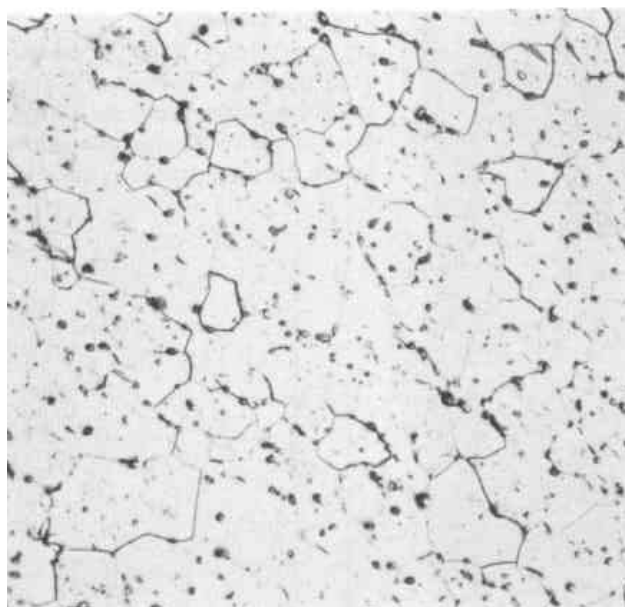
Εικόνα 1. Σκόνη TiO_2

* 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:**
 - ο *Pauling*: 1.54
 - ο *Allred*: 1.32
 - ο *Absolute*: 3.45 eV
- **Electron Affinity:** 7.6 kJ mol⁻¹
- **Polarizability:** 14.6 Å³
- **Effective Nuclear Charge:**
 - ο *Slater*: 3.15
 - ο *Clementi*: 4.82
 - ο *Froese Fischer*: 6.37
- **Radius:**
 - ο Ti^{2+} : 80 pm
 - ο Ti^{3+} : 69 pm
 - ο *Atomic*: 144.8 pm
 - ο *Covalent*: 132 pm
- **Successive Ionization Energies:**
 - ο $Ti \rightarrow Ti^{+}$: 658 kJ mol⁻¹
 - ο $Ti^{+1} \rightarrow Ti^{+2}$: 1310 kJ mol⁻¹
 - ο $Ti^{+2} \rightarrow Ti^{+3}$: 2652 kJ mol⁻¹
 - ο $Ti^{+3} \rightarrow Ti^{+4}$: 4175 kJ mol⁻¹
 - ο $Ti^{+4} \rightarrow Ti^{+5}$: 9573 kJ mol⁻¹
 - ο $Ti^{+5} \rightarrow Ti^{+6}$: 11516 kJ mol⁻¹
 - ο $Ti^{+6} \rightarrow Ti^{+7}$: 13590 kJ mol⁻¹
 - ο $Ti^{+7} \rightarrow Ti^{+8}$: 16260 kJ mol⁻¹
 - ο $Ti^{+8} \rightarrow Ti^{+9}$: 18640 kJ mol⁻¹
 - ο $Ti^{+9} \rightarrow Ti^{+10}$: 20830 kJ mol⁻¹
- **Common Ions** : Ti^{2+} , Ti^{3+}

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: Οξείδια 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 και περισσότερο ευδιάκριτα στην καθαρότητα (cleanage).

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.

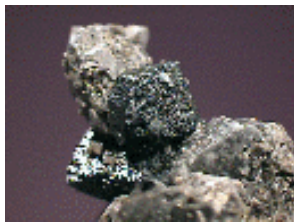
Τα κρύσταλλα του anatase είναι πολύ διακριτικά και δεν είναι εύκολο να τα προσομοιάσουμε με οποιαδήποτε άλλα μεταλλεύματα. Διαμορφώνουν οκτώ αντικρυστές τετραγωνικές διπυραμίδες που καταλήγουν σε αιχμηρά σημεία.

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 τέσσερις 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 και στην καθαρότητα (cleanage).

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 ανοιχτό 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.

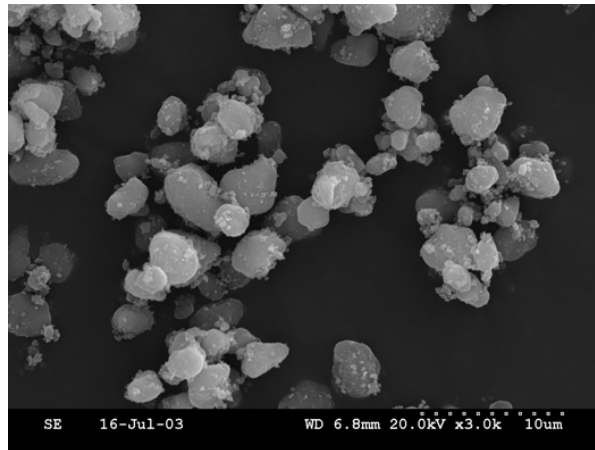
Το τιτάνιο είναι επίσης το ιδεώδες μέταλλο για τα οδοντιατρικά εμφυτεύματα, τα οποία έχουν αρχίσει να αντικαθιστούν τις τεχνητές οδοντοστοιχίες. Είναι πολύ ελαφρύτερο από όλα τα υπόλοιπα μέταλλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο τομέα της οδοντιατρικής. Δεν έχει καθόλου γεύση κι έτσι αποφεύγεται η δυσάρεστη 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.

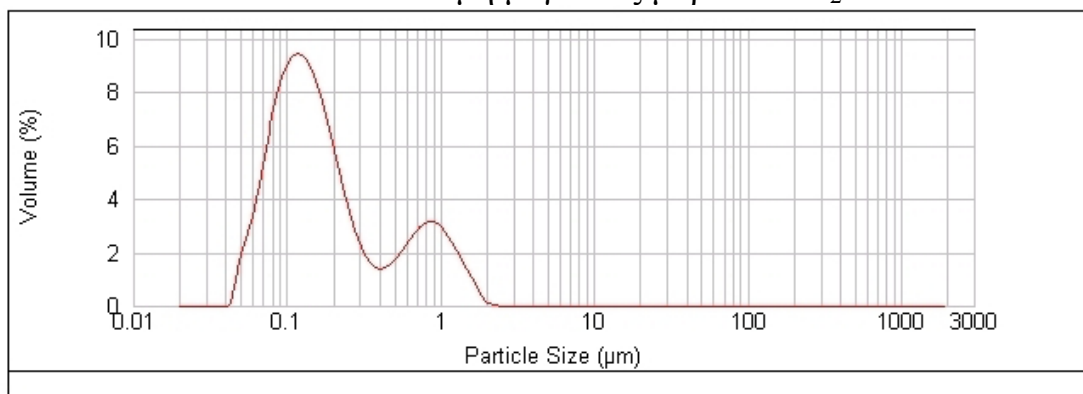
Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει ένα «έξυπνο» κράμα τιτανίου και νικελίου, το Nitinol. Οι ιδιότητες του ανακοινώθηκαν για πρώτη φορά το 1961, με έναν θεατρικό πράγματι τρόπο. Σε κάποια επιστημονική συγκέντρωση, ο ομιλητής έδωσε να κυκλοφορήσει από χέρι σε χέρι ένα κομμάτι σύρμα, το οποίο οι παρευρισκόμενοι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



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 μετάλλευμα 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 αναμειχθεί 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, μετατρέπόμενοι 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

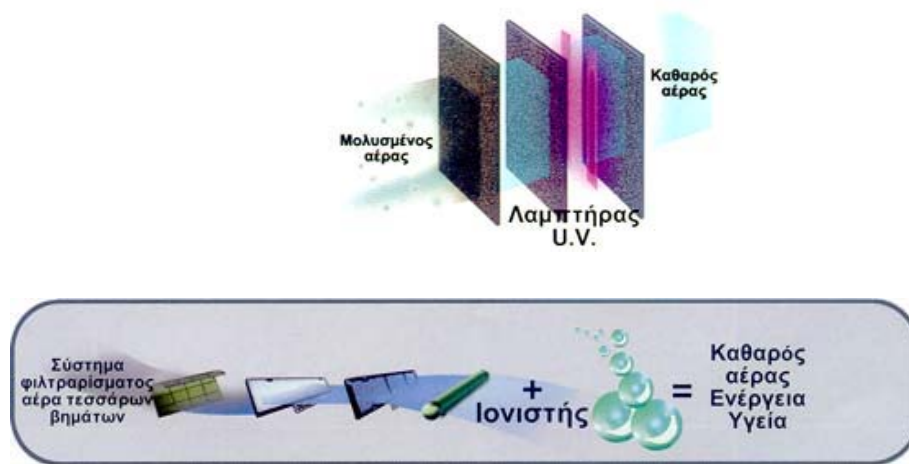
δισεκατομμυριοστών του μέτρου- έτσι ώστε να φαίνεται όσο το δυνατόν πιο όμοιο με το συνηθισμένο γυαλί.

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 υπεριώδεις 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 οξειδωσης 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 ρουθένιο. 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.¹⁰

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.

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.⁹

2.3. ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

A) Σωματίδια (Πρωτογενείς ρύποι)

1) Ατμοσφαιρικά σωματίδια

Ανάλογα με το μέγεθος τους τα ατμοσφαιρικά σωματίδια διακρίνονται σε ανάππτα (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 <1μ.

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 10μm (PM₁₀, particulate matter less than 10 microns) και σε αιωρούμενα σωματίδια μικρότερα των 25 μm (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. SO₄²⁻, NO₃⁻), όπως επίσης και διάφορους οργανικούς ρύπους (π.χ. PAHs, πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες).

B) Αέριοι ρυπαντές

- 1) Διοξείδιο του θείου και άλλες ενώσεις θείου (SO₃, H₂S) (πρωτογενείς ρύποι)
- 2) Διοξείδιο του αζώτου και άλλες ενώσεις αζώτου (NO) (πρωτογενής ρύπος), (NO₂) (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)

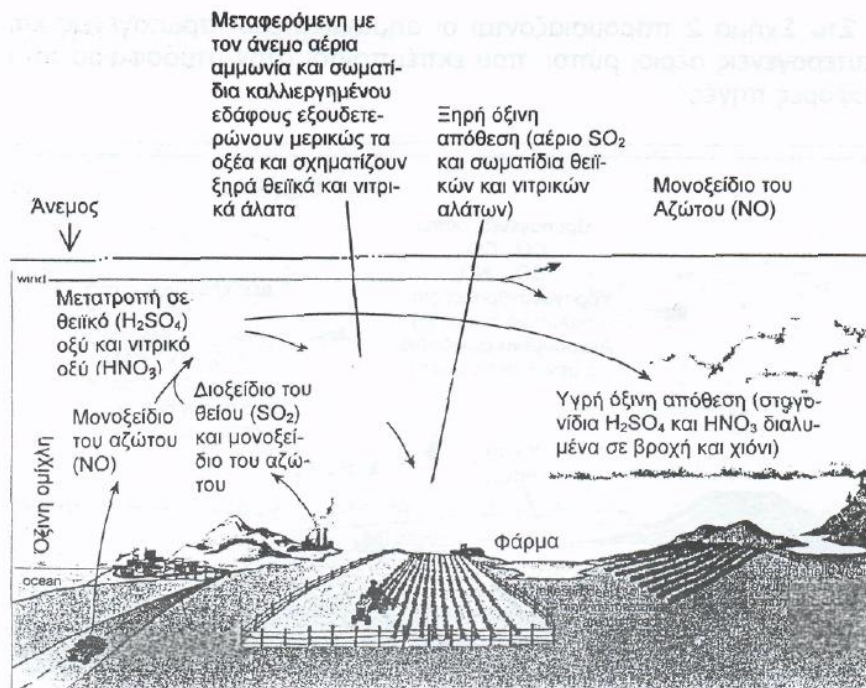
γ) Οξειδωμένοι υδρογονάνθρακες, (π.χ. PAN (υπεροξυακετονιτρίλιο) και οξειδωμένοι PAHs) (Δευτερογενείς ρύποι)

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

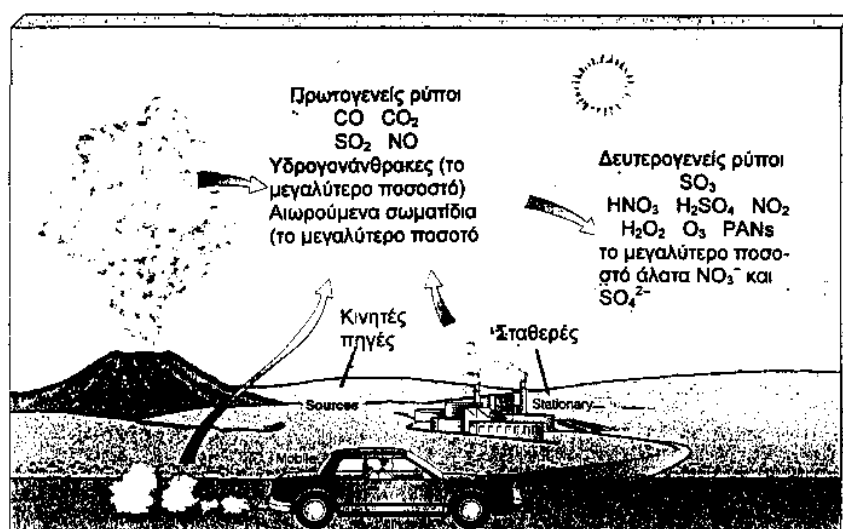
- αιωρούμενα σωματίδια και αιωρούμενα σωματίδια που έχουν προσροφήσει διάφορους ρύπους
- καπνός
- SO_2

- CO
- Υδρογονάνθρακες, Cl₂, F₂-

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.

- NO₂
- O₃
- Οξειδωμένοι Υδρογονάνθρακες

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι πρωτογενείς και δευτερογενείς αέριοι ρύποι, που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από διάφορες πηγές.¹²



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 μονοξειδίο 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 απερίοριστα 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.

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 km³ 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 μm). 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 (SiO₂) και το 16-18% οξείδιο του αργιλίου Al₂O₃). 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

Θέρμανση
Μαγείρεμα
Καθάρισμα
Βάψιμο

Παραγόμενοι ρύποι

CO, CO₂, NO_x, SO_x, καπνός
Λίπη, σωματίδια, οσμές
Ατμοί διαλυτών, σκόνη, προωθητικά αερίων & καθαριστικά
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 πέρας μαερικών 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 ασφαλτοταπήτων. 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.

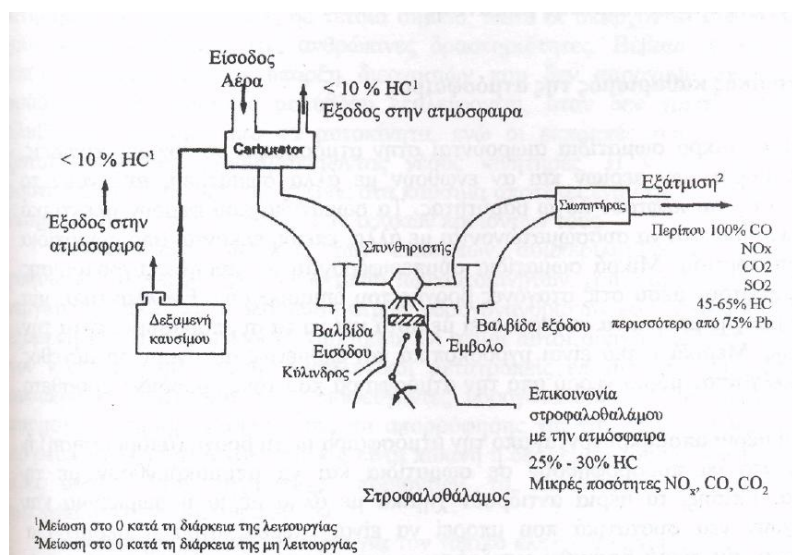
Οι περισσότερες εκπομπές των υδρογονανθράκων προέρχονται από την εξάτμιση των αυτοκινήτων και για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιούνται καταλύτες στους οποίους λαμβάνει χώρα έγχυση αέρα, έτσι ώστε να καίγονται οι εκπεμπόμενοι υδρογονάνθρακες.

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 μολυβδου προκάλεσαν επίσης ανησυχία, επειδή πλησίαζαν τα επιτρεπτά επίπεδα της ατμόσφαιρας. Εντούτοις, η αμόλυβδη βενζίνη ουσιαστικά καθιερώθηκε όχι για αυτό το λόγο, αλλά διότι ο μολυβδος δηλητηριάζει τους καταλύτες των αυτοκινήτων μειώνοντας σημαντικά την απόδοσή 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.¹¹



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

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
	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.

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

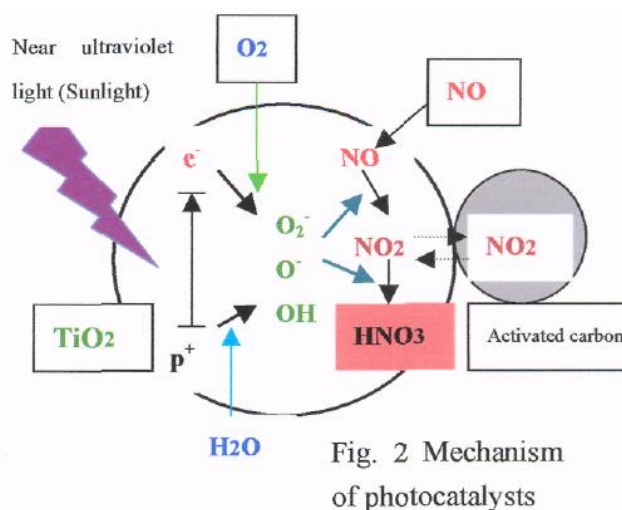
Είναι άμεσες και εμφανείς και μπορεί να προκαλέσουν ακόμη και το θάνατο σε μικρό ή μεγάλο αριθμό ατόμων.⁹

3. Περιβαλλοντικές εφαρμογές διοξειδίου του τιτανίου στα υλικά ασφαλτόστρωσης των δρόμων

3.1. Μηχανισμός οξείδωσης με φωτοκαταλύτες

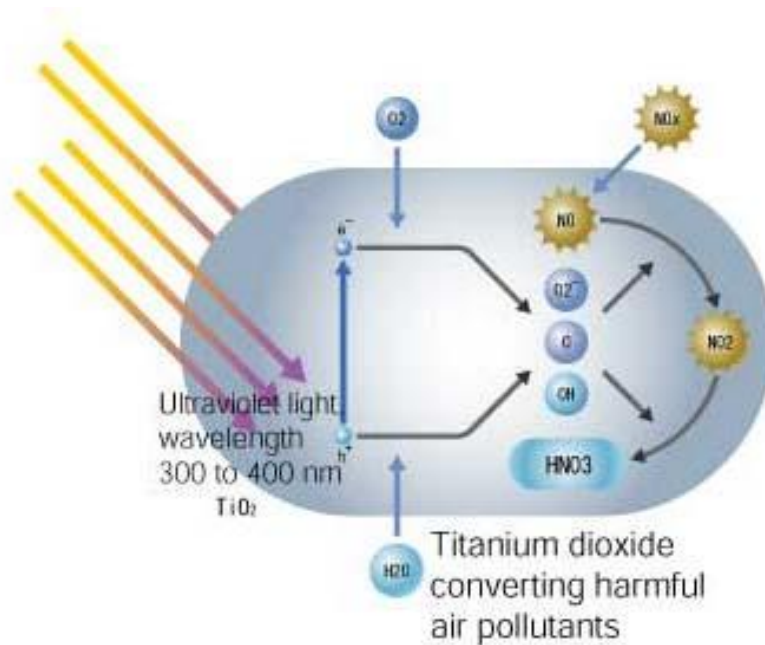
Όπως είναι γνωστό ότι, όταν το φως της ίδιας ή μεγαλύτερης ενέργειας όπως τα απαγορευμένα εύρη φασματικής ζώνης έρχονται σε επαφή με έναν φωτοκαταλυτικό ημιαγωγό όπως το TiO₂, γίνεται διαχωρισμός φορτίων ηλεκτρονίων και εμφανίζονται οπές ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια διασκορπίζονται στην επιφάνεια του φωτοκαταλύτη και αντιδρούν με εξωτερικές ουσίες, προκαλώντας αναγωγές και οξειδώσεις.

Όπως φαίνεται στο *σχήμα 4*, το οξυγόνο και το νερό υπάρχουν σε όλη την ατμόσφαιρα και οι τύποι ενεργών οξυγόνων όπως η μορφή των ριζών του OH, οπότε εμφανίζονται κανονικά αντιδράσεις οξείδωσης. Η οξειδωτική ικανότητα της ρίζας του OH είναι μεγαλύτερη από αυτή του χλωρίου και του όζοντος, και μια μεγάλη μερίδα των περιβαλλοντικών ικανοτήτων καθαρισμού των φωτοκαταλυτών προέρχεται από αυτόν τον τύπο ενεργού οξυγόνου.



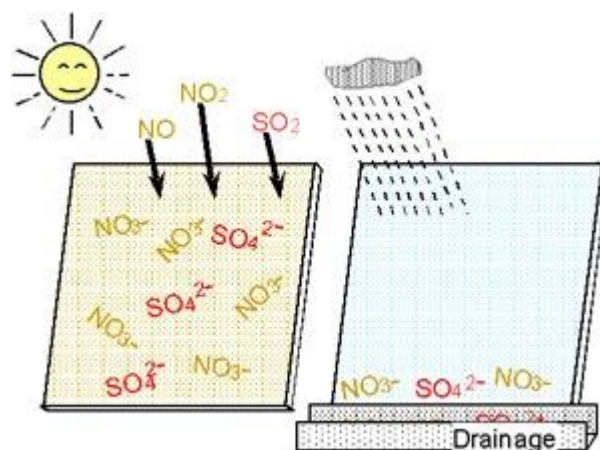
Σχήμα 4. Μηχανισμός της φωτοκατάλυσης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το διοξείδιο του τιτανίου ενεργεί ως φωτοκαταλύτης για να μετατρέψει τις επιβλαβείς ουσίες σε μη επιβλαβείς. Όταν ακτινοβολείται με υπεριώδες φως, το διοξείδιο του τιτανίου παράγει ένα ζευγάρι οπών- ηλεκτρονίων, το οποίο ενώνεται με το οξυγόνο και το νερό στην ατμόσφαιρα για να σχηματίσει ενεργά οξειδία πάνω στην επιφάνεια του μορίου του διοξειδίου του τιτανίου (σχήμα 5).



Σχήμα 5

Αυτό το ενεργό οξυγόνο οξειδώνει τους ατμοσφαιρικούς ρύπους (όπως τα διοξείδια του αζώτου) και τους μετατρέπει σε χαμηλές συγκεντρώσεις νιτρικού οξέος και θειικού οξέος. Όταν βρέχει, τα νερά της βροχής ξεπλένουν το νιτρικό και το θειικό οξύ από την επιφάνεια του panel (σχήμα 6) και αποκαθιστούν τις ιδιότητές του, όσον αφορά τον καθαρισμό της ατμόσφαιρας. Το νιτρικό και το θειικό οξύ ξεπλένονται στο σύστημα υπονόμων μέσω της βροχής και υποβάλλονται σε επεξεργασία στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

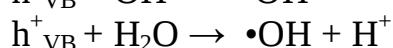


Σχήμα 6

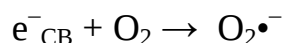
Αναλυτική διαδικασία φωτοκατάλυσης:

Η ικανότητά του TiO₂ στην οξείδωση των ρύπων προκύπτει από την παραγωγή ισχυρών οξειδωτικών ριζών υδροξυλίου (•OH). Κάτω από την UV ακτινοβολία (μήκος κύματος < 387,5 nm) που υπερβαίνει το επίπεδο του ενεργειακού χάσματος μεταξύ των ζωνών TiO₂ των 3,2 eV, ένα ηλεκτρόνιο (e⁻_{CB}) στη ζώνη σθένους διεγείρεται στη ζώνη αγωγιμότητας και φεύγει πίσω από τη θετική οπή (positive hole) (h⁺_{VB}) στη ζώνη σθένους. Ο μηχανισμός παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.

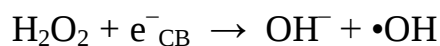
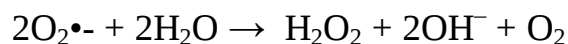
Η θετική οπή (positive hole) αντιδρά με το ιόν του νερού ή υδροξειδίου για να παραχθεί •OH.



Εάν υπάρχει οξυγόνο, το ηλεκτρόνιο θα αντιδράσει μαζί του και σχηματίζονται ιόντα υπεροξειδίων (O₂•⁻)

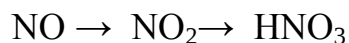


Κατόπιν το μόριο νερού αντιδρά με το O₂•⁻ και παράγει πρόσθετο •OH



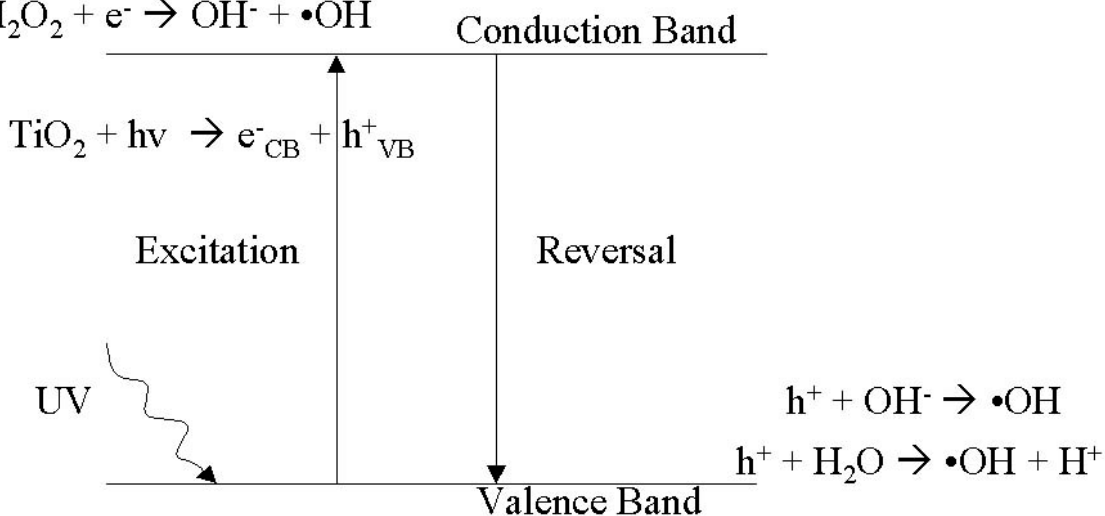
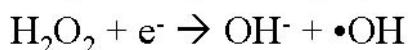
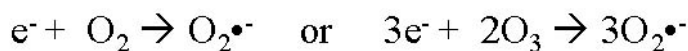
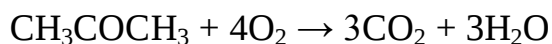
Τα παραγόμενα •OH μπορούν έπειτα να οξειδώσουν ρύπους στην επιφάνεια των καταλυτών.

Η οξείδωση του NO_x οδηγεί στο σχηματισμό του NO₃ στην επιφάνεια¹⁵ των καταλυτών. Όταν ο καταλύτης χρησιμοποιείται υπαίθρια, τα νιτρικά ιόντα ξεπλένονται με τις επόμενες βροχοπτώσεις. Η ακολουθία είναι η εξής:



Στην περίπτωση του μονοξειδίου άνθρακα (CO), ο μηχανισμός της φωτοκαταλυτικής οξείδωσης είναι ο απλούστερος μεταξύ όλων των ενώσεων που περιέχουν άνθρακα. Αναμένεται να είναι οξειδωμένο για να παραγάγει το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Η οξείδωση της ακετόνης, εντούτοις, οδηγεί στο σχηματισμό H₂O και CO₂ σαν υποπροϊόντα. Η φωτοκαταλυτική οξείδωση της ακετόνης πραγματοποιείται μέσω της ακόλουθης αντίδρασης:



Εικόνα 6. Μηχανισμός παραγωγής των ριζών υδροξυλίου στην επιφάνεια του TiO₂.

Η ρίζα του OH παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική χημεία. Η ατμοσφαιρική συγκέντρωσή του είναι εμφανώς χαμηλή σε $10^6 - 10^5 \text{ mol cm}^{-3}$, αλλά επειδή έχει κάτι να κάνει με τη διαδικασία αντίδρασης όλων των αεροκίνητων συστατικών, η ταχύτητα αντίδρασής του με τον ρύπο μελετάται αναλυτικά (πίνακας 5). Αυτές οι τιμές χρησιμεύουν ως ένας δείκτης για τον καθορισμό για το εάν ένας φωτοκαταλύτης μπορεί να μεταχειριστεί τους ρύπους ή όχι καθώς επίσης και για να ξέρει σχετικά πόσο γρήγορα μπορεί να δράσει.

Table 1 Reaction speed constants of air pollutants and OH (25°C) ($k: 10^{-13} \text{ cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$)

Pollutant	k	Pollutant	k	Pollutant	k	Pollutant	k
CO	1.3	H ₂ S	48	CH ₃ COOH	8.0	C ₃ H ₆	300
NO ₂	670	HCHO	92	CH ₄	0.06	CH ₃ CCl ₃	0.1
NH ₃	1.6	CH ₃ CHO	200	C ₂ H ₆	2.5	CHCl=CCl ₂	21
SO ₂	20	CH ₃ OH	7.9	C ₃ H ₈	11	C ₆ H ₆	10
CH ₃ SH	330	C ₂ H ₅ OH	1.6	C ₂ H ₄	90	Toluene	61

Πίνακας 5. Σταθερές ταχύτητας αντίδρασης των ατμοσφαιρικών ρύπων και OH (25°C) ($k: 10^{-13} \text{ cm}^3 \text{ molecule}^{-1} \text{ s}^{-1}$)

3.1.1. Οξείδωση των ατμοσφαιρικών ρύπων με φωτοκατάλυση

Πτητικές οργανικές ενώσεις και επικίνδυνοι ατμοσφαιρικοί ρύποι

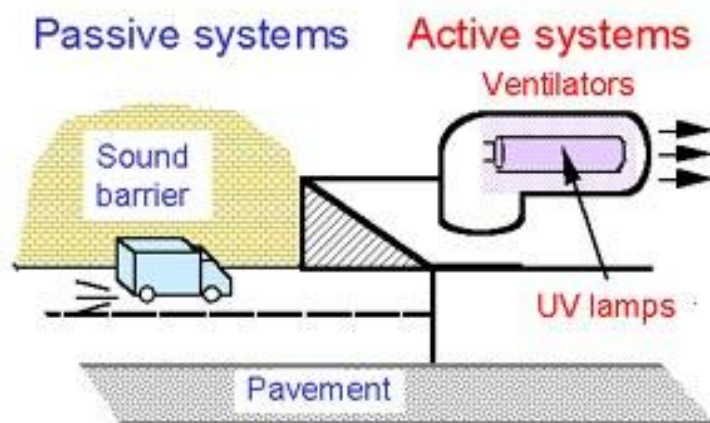
Όπως μπορεί να υποτεθεί από τον πίνακα 5, οι ολεφίνες αποσυντίθενται γρηγορότερα πάνω σε TiO_2 από τους κορεσμένους υδρογονάνθρακες. Σχηματίζουν τις αντίστοιχες αλδεϋδες και είναι έπειτα εντελώς οξειδωμένοι σε CO_2 . Πολλή έρευνα γίνεται για την αποσύνθεση των αλδεϋδών από την άποψη της δυσάρεστης μυρωδιάς και της εσωτερικής ρύπανσης.

Η έρευνα είναι επίσης δύσκολη για την αποσύνθεση των πτητικών οργανικών ενώσεων TCE, PCE και 1.1.1-τριχλωροαιθάνιο. Το TCE οξειδώνεται γρήγορα σε CO_2 μετά την επαφή του με ένα φωτοκαταλύτη TiO_2 , σχηματίζοντας μικρές ποσότητες προϊόντων όπως το CO , COCl_2 και CHCl_3 . Οι αντιδράσεις υπό ξηρές συνθήκες προχωρούν πολύ γρήγορα. Η ταχύτητα αντίδρασης επιβραδύνεται καθώς η υγρασία αυξάνεται, αλλά οι αντιδράσεις μπορούν να υποστηριχθούν με την αύξηση της έντασης του ακτινοβολούντος φωτός.

3.1.2. Περιβαλλοντικός καθαρισμός με φωτοκατάλυση: Απομάκρυνση των ατμοσφαιρικών NO_x

Η διαφορά μεταξύ της επεξεργασίας των οργανικών ενώσεων όπως το βενζόλιο και της επεξεργασίας των νιτρώδων οξειδίων (NO_x) και του διοξειδίου του θείου είναι ότι τα μη-εύκολα-πτητικά προϊόντα όπως τα ιόντα νιτρικού οξέος και τα ιόντα θειικού οξέος παραμένουν πίσω στη φωτοκαταλυτική επιφάνεια όπου μειώνεται η φωτοκαταλυτική απόδοση (σχήμα 4). Ομοίως, οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν άζωτο ή θείο αφήνουν ιόντα στο φωτοκαταλύτη. Για αυτόν τον λόγο, είναι απαραίτητο να αναπαραχθεί ο φωτοκαταλύτης με το ξέπλυμα με νερό.

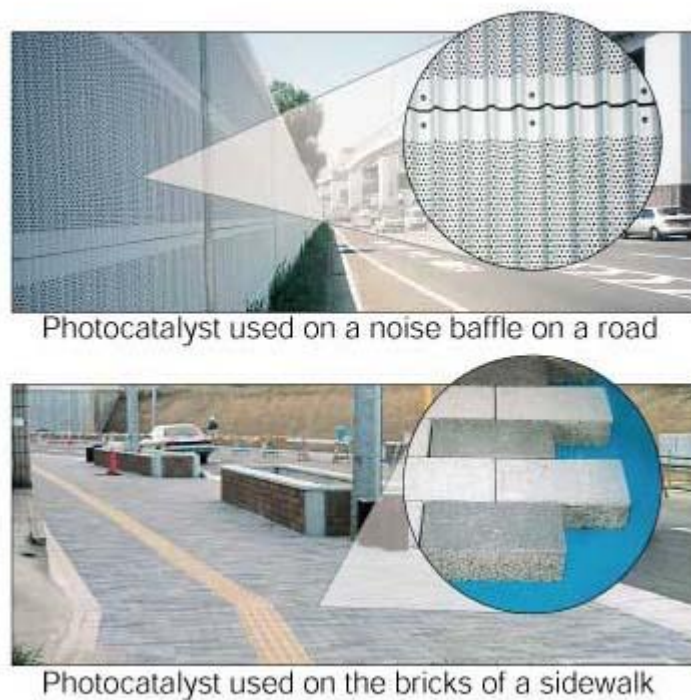
Ένα άλλο θέμα στην αφαίρεση NO_x είναι ο σχηματισμός NO_2 κάτω από τη χαμηλή ένταση ή την υψηλή υγρασία, όταν τα ιόντα νιτρικού οξέος είναι κορεσμένα. Στα αρχικά στάδια της έρευνας, το πρόβλημα εξετάστηκε με τη μίξη απορροφητικών όπως ο ενεργός άνθρακας. Χρησιμοποιώντας μια δομή που ταιριάζει για την απορρόφηση του NO_2 όπως τα λεπτά φωτοκαταλυτικά σωματίδια, τσιμέντο που είναι απαλλαγμένο από μεγάλα ελαττώματα (Macrodefect-free) ή το χρώμα που προκύπτει με τη μέθοδο «sol-gel», είναι δυνατό να μειωθεί η εκπομπή του αερίου NO_2 . Θεωρείται ότι η διάμετρος και ο όγκος των πόρων, η υδροφιλικότητα/υδροφοβία και η φύση των οξέων-βάσεων του φωτοκαταλυτικού υλικού έχουν να κάνουν με αυτό.



Εικόνα 7. Περιβαλλοντικός καθαρισμός από φωτοκαταλύτη (χρήση φωτός του ήλιου: ενεργητικός καθαρισμός, χρήση του τεχνητού φωτός: ενεργός καθαρισμός)

3.2 Χρήση του διοξειδίου του τιτανίου στους δρόμους και στα πεζοδρόμια

Το διοξείδιο τιτανίου είναι σε μορφή σκόνης. Για να χρησιμοποιηθεί στον καθαρισμό του αέρα, κατεργάζεται στα οικοδομικά υλικά όπως τα panel και εγκαθίσταται απ' έξω. Αυτά τα panel μπορούν να εγκατασταθούν εύκολα στις πλευρές των κτηρίων, στις άκρες των δρόμων, στα προστατευτικά κιγκλιδώματα, και στα διαφραγμάτων θορύβου (εικόνα 8) στους αυτοκινητόδρομους. Τα καυσαέρια των αυτοκινήτων έρχονται σε επαφή με αυτά τα panel και αφαιρούνται από την ατμόσφαιρα.



Εικόνα 8

Αυτήν την περίοδο, οι έρευνες είναι υπό εξέλιξη σε (1) μια αποδοτική μέθοδο καθαρισμού αέρα που περιλαμβάνει τη χρήση της καθαρής ηλιακής ενέργειας με την εγκατάσταση του οξειδίου τιτανίου στις **οδικές επιφάνειες** με τις οποίες οι ατμοσφαιρικοί ρύποι έρχονται σε επαφή πριν από τη διάχυσή τους, κοντά στην πηγή εκπομπής του NO_x και σε (2) μια νέα δομή **πεζοδρομίων** που ενσωματώνει **ανθρακωμένα συσσωματώματα που ντύνονται με οξείδιο τιτανίου**.

Στην περίπτωση μιας αποδοτικής μεθόδου καθαρισμού αέρα (1), οι δοκιμές πεδίου έδειξαν ότι η καθημερινή ποσότητα του NO_x που απομακρύνθηκε ήταν 20 έως 30mg/m^2 , ποσότητα που θεωρήθηκαν ισοδύναμη με αυτήν που εκπέμφθηκε από την καθημερινή κυκλοφορία 1.000 έως 1.500 μικρών μηχανοκίνητων οχημάτων.

Η αύξηση της αντοχής των πεζοδρομίων και της ικανότητας καθαρισμού ανά περιοχή, η διάρκεια της απόδοσης του καθαρισμού, και η μείωση του κόστους των πεζοδρομίων (αυτήν την περίοδο είναι 3 έως 4 φορές υψηλότερο από το κόστος του πυκνά βαθμολογημένου ασφαλτοπεζοδρομίου) είναι τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα συγκεκριμένα πεζοδρόμια. Εντούτοις, αυτά τα πεζοδρόμια έχουν τα εξής πλεονεκτήματα: χαμηλότερο κόστος εγκαταστάσεων, καμία ανάγκη για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος μετά από την εγκατάσταση όπως και κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης.¹³

Στην περίπτωση των πεζοδρομίων με τα ανθρακωμένα συσσωματώματα, τα οποία είναι ντυμένα με οξείδιο του τιτανίου, οι εργαστηριακές δοκιμές έδειξαν ότι η ικανότητα καθαρισμού των πεζοδρομίων αυτών θα μπορούσε να αναμένεται ότι είναι σχεδόν 10 φορές μεγαλύτερη από τα πεζοδρόμια ατμοσφαιρικής ρύπανσης (1). Οι δοκιμές σε αυτά κατέδειξαν ότι τα ανθρακωμένα συσσωματώματα είχαν τη χαμηλότερη πυκνότητα και τη μεγαλύτερη απορρόφηση ύδατος από τα συνηθισμένα σύνολα, τα ανθρακωμένα συσσωματώματα συμμορφώνονται με τις τιμές στόχων των συντριμμένων πετρών που χρησιμοποιούνται στα πεζοδρόμια από την άποψη της απώλειας γδαρσίματος, της σταθερότητας, και της αντίστασης 'γδαρσίματος'.

3.2.1. Το μπλοκ επίστρωσης NOXER

Το NOXER (το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αριθ. 988376) είναι ένα block επίστρωσης, το οποίο δημιούργησε η εταιρία υλικών της Mitsubishi της Ιαπωνίας, και "τρώει" τα NO_x που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα.

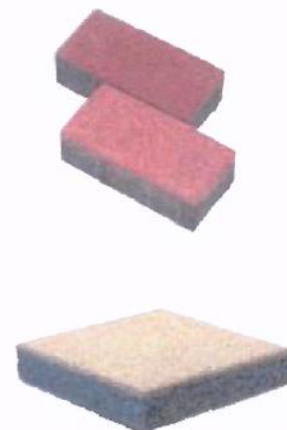
Χαρακτηριστικά του NOXER:

1. Χρήση φυσικής ενέργειας

Είναι ένας τύπος οικολογικού προϊόντος δεδομένου ότι χρησιμοποιεί μόνο την ηλιακή ενέργεια.

2. Πρόληψη της όξινης βροχής

Το NO_x είναι μια από τις αιτίες της όξινης βροχής. Το NO_x που αφαιρείται από τον αέρα, είναι οξειδωμένο σε ιόντα νιτρικού οξέος, τα οποία ξεπλένονται από το νερό της βροχής και αυτό συμβάλλει στη μείωση της όξινης βροχής.



3. Πολυσύνθετο προϊόν

Το "NOXER" είναι ένα πολυσύνθετο προϊόν, το οποίο είναι υδατοπερατό.

4. Δομική απόδοση

Οι φυσικές ιδιότητες του "NOXER", όπως η δύναμη αντίστασης και ολίσθησης είναι ίσες με τα τυποποιημένα μπλοκ ενδασφάλειας. Κατασκευάζεται σε μια ευρεία ποικιλία μορφών και χρωμάτων.

5. Εύκολη τοποθέτηση των μπλοκ

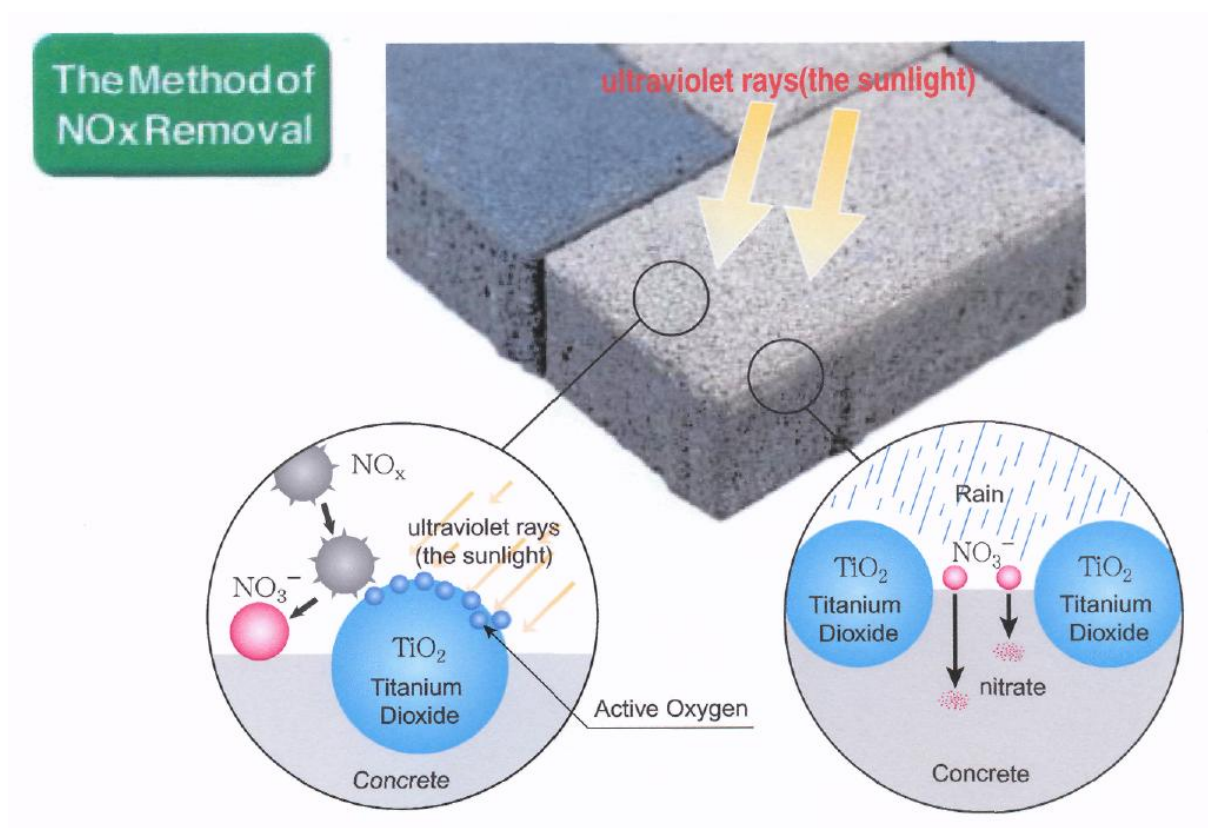
Το "NOXER" είναι αποτελεσματικότερο όταν χρησιμοποιούνται σε αστικές περιοχές, όπου υπάρχει μεγάλο κυκλοφοριακό. Μπορούν να τοποθετηθούν με τον ίδιο τρόπο όπως τα μπλοκ τυποποιημένης ενδασφάλισης και δε χρειάζεται ειδικός εξοπλισμός ή πρόσθετο χώρος.

Το NOXER λειτουργεί ως εξής:

1. Η επιφάνεια του block περιέχει οξείδιο του τιτανίου και παράγει ενεργό οξυγόνο κάτω από τις ηλιακές ακτίνες UV.
2. Το ενεργό οξυγόνο, που είναι ιδιαίτερα αντιδραστικό, οξειδώνει τα οξείδια αζώτου στην ατμόσφαιρα και τα μετατρέπει σε ιόντα νιτρικού οξέος (NO₃⁻).
3. Τα ιόντα νιτρικού οξέος αντιδρούν έπειτα με τα αλκαλικά συστατικά στα block και σταθεροποιούνται ως νιτρικά άλατα.⁷

Μέθοδος της αφαίρεσης του NO_x

Όταν η επιφάνεια του block ακτινοβολείται από το φως του ήλιου, δημιουργείται στην επιφάνεια του block ενεργό οξυγόνο λόγω της αντίδρασης των υπεριωδών ακτίνων του ήλιου και του διοξειδίου τιτανίου που περιέχεται μέσα στο block. Το ενεργό οξυγόνο έχει υψηλή αποτελεσματικότητα οξείδωσης και οξειδώνει τα NO_x στον αέρα σε ιόντα νιτρικού οξέος. Το νιτρικό οξύ που παράγεται, ξεπλένεται έπειτα από τη βροχή. Οποιαδήποτε ιόντα νιτρικού οξέος που παραμένουν στην επιφάνεια ή που διαπερνούν το block εξουδετερώνονται από την αλκαλική φύση του σκυροδέματος. (εικόνα 9)



Εικόνα 9. Μέθοδος της αφαίρεσης του NO_x

3.2.1.1 Προσομοίωση της φωτοκαταλυτικής απομάκρυνσης των οξειδίων του αζώτου με ένα μοντέλο τεσσάρων οδικών λωρίδων

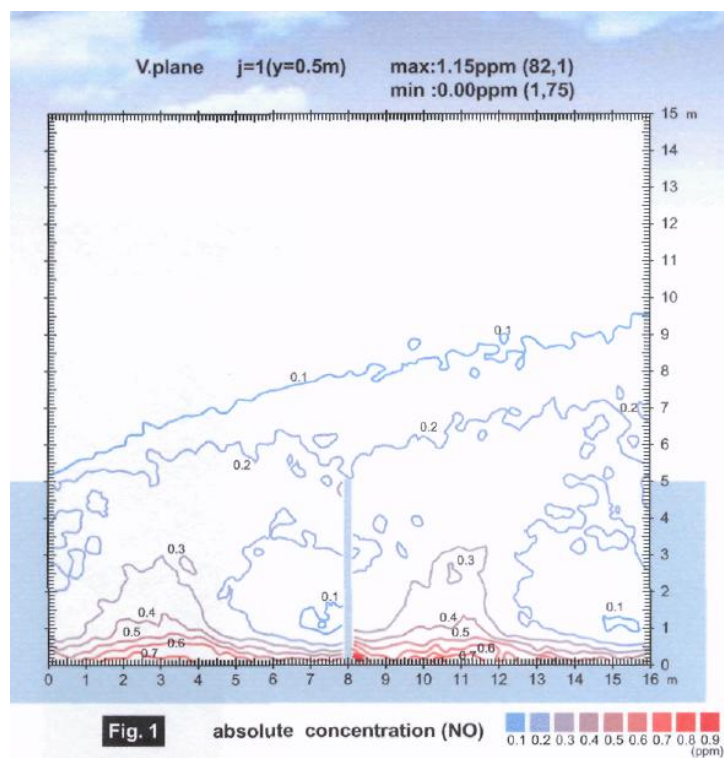
Σχεδιάγραμμα 1

Διανομή των συγκεντρώσεων του NO χωρίς φωτοκαταλυτικά υλικά:

Ο δρόμος του μοντέλου είναι 16μέτρων πλάτους ανασκαμμένος σε ένα βάθος 5μέτρων με ένα διάφραγμα στο κέντρο. Αυτό το σχεδιάγραμμα παρουσιάζει την κατακόρυφη διανομή της συγκέντρωσης NO σε μονάδα ppm. Η οδική επιφάνεια εκθέτει πολύ υψηλή συγκέντρωση NO.

Συνθήκες υπολογισμού:

- Μοντέλο ρευμάτων αέρα: Μοντέλο LES (Large Eddy Simulation).
- Μοντέλο διάχυση-καθίζησης ανάλογο με το μηχανισμό τυχαίας μοριακής κίνησης.
- Κατεύθυνση αέρα: Κάθετος στο δρόμο (ταχύτητα 3,0 m/s).
- Δρόμος: Τέσσερις-λωρίδες, πλάτος 16m, διάφραγμα ύψους 5m στη διάμεση λωρίδα.
- Κυκλοφοριακός φόρτος: 8000 αυτοκίνητα ανά ώρα.
- Εκπομπή NOx: 313mm ανά ώρα ανά 1m δρόμου.



Σχεδιάγραμμα 1

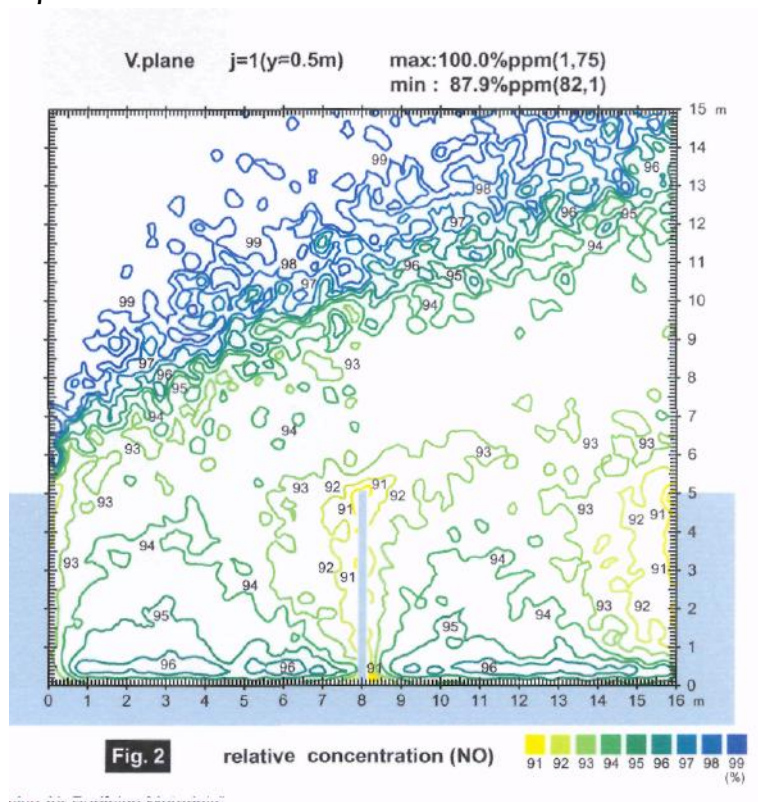
Σχεδιάγραμμα 2

Φωτοκαταλυτική απομάκρυνση οξειδίων του αζώτου με τα φωτοκαταλυτικά υλικά:

Η προσομοίωση στους υπολογιστές επεξηγεί τη μείωση της συγκέντρωσης του NO εξ αιτίας των φωτοκαταλυτικών υλικών που εγκαθίστανται στους τοίχους και την επίστρωση του πρότυπου δρόμου. Οι αριθμητικές τιμές στο σχεδιάγραμμα 2, ποσοστό της συγκέντρωσης πριν και μετά από την εγκατάσταση, επιδεικνύουν πώς η συγκέντρωση του NO μειώνεται στην άκρη του δρόμου. Αποδεικνύεται ότι η αφαίρεση του NO είναι αποτελεσματικότερη κοντά στα φωτοκαταλυτικά υλικά.*

Συνθήκες υπολογισμού:

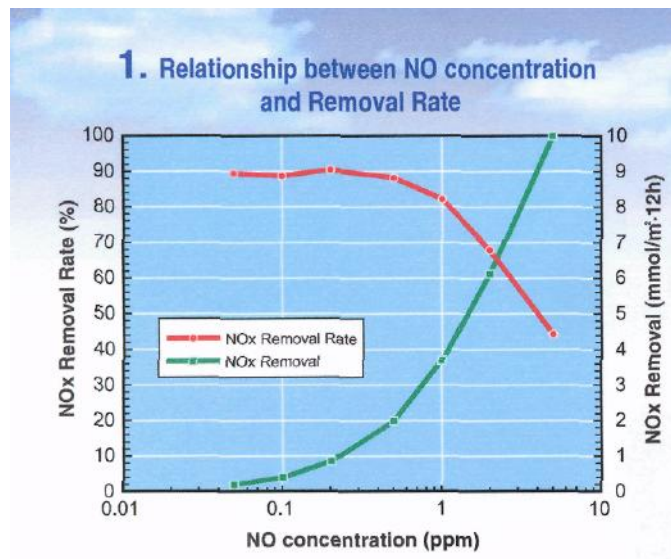
- Εγκατάσταση των φωτοκαταλυτικών υλικών: οδική επιφάνεια, διάφραγμα και πλευρικοί τοίχοι.
- Έκταση της εγκατάστασης: 36m² ανά 1m δρόμου.
- Ποσοστό απόθεσης: 0,7 cm/s, ένα αποτέλεσμα που προέκυψε από τη δοκιμή του τούνελ αέρα.



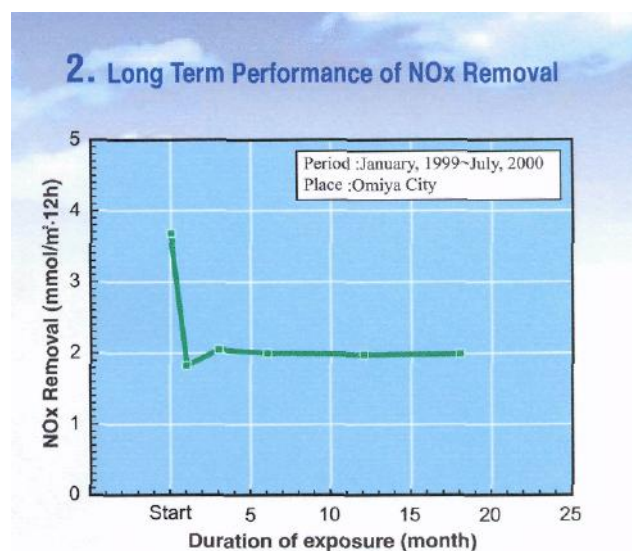
Σχεδιάγραμμα 2

* “Numeral simulation on Pollutant Reduction Effect with Passive Air Purifying Materials”
Proceedings of the 41st Annual of the Japan Society for Atmospheric Environment

3.2.1.2. Απόδοση των φωτοκαταλυτικών block τα οποία εξετάστηκαν από την ένωση προϊόντων φωτοκαταλυτικού σκυροδέματος

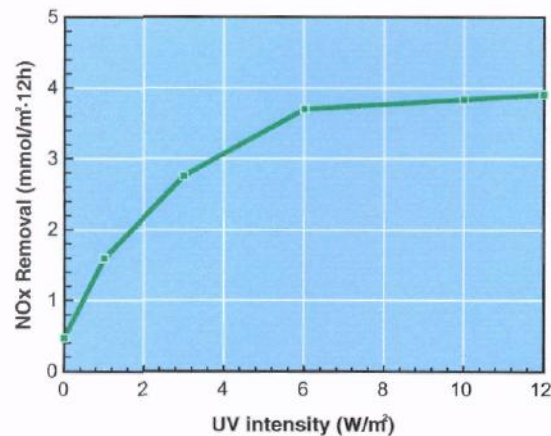


Το ποσοστό αφαίρεσης είναι περισσότερο από 80% σε ένα πρακτικό φάσμα συγκέντρωσης NO_x από 0,05 1,0ppm και το ποσό αφαίρεσης αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης.



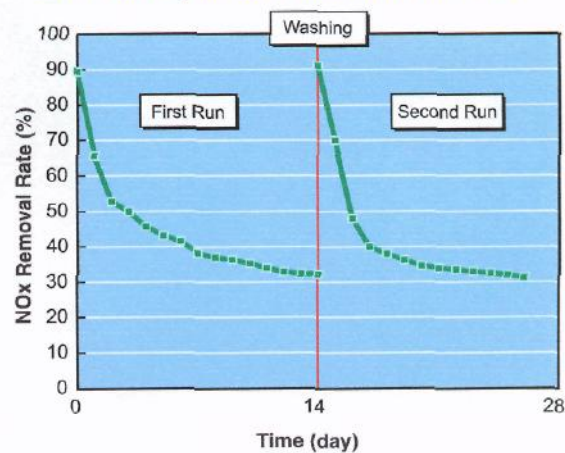
Η απόδοση αφαίρεσης του NO_x μειώθηκε αμέσως μετά την έκθεση αλλά στη συνέχεια διατήρησε $2\text{mmol/m}^2 \cdot 42\text{h}$.

3. Relationship between UV intensity and NO_x Removal



Η αφαίρεση του NO_x των 1,5mmol/m²*42h μπορεί να επιτευχθεί υπό τον όρο ότι η UV ένταση είναι περισσότερη από αυτή σε μια νεφελώδη ημέρα του χειμώνα.

4. Recovery of NO_x Removal Performance



Η απόδοση αφαίρεσης του NO_x μπορεί να μειωθεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας από την παρέμβαση των προϊόντων αντίδρασης αλλά μπορεί να ανακτηθεί από τις βροχές. Η επιταχυνόμενη δοκιμή πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας μια προσομοίωση εκπομπής αερίου της ιδιαίτερα υψηλής συγκεντρώσεως 5ppm και επιβεβαιώθηκε μια γρήγορη αποκατάσταση από την πλύση του νερού.

$$\text{NOx Removal Rate (\%)} = \frac{\text{Reduced NOx concentration (ppm)}}{\text{NOx concentration supplied to the reactor (ppm)}} \times 100$$

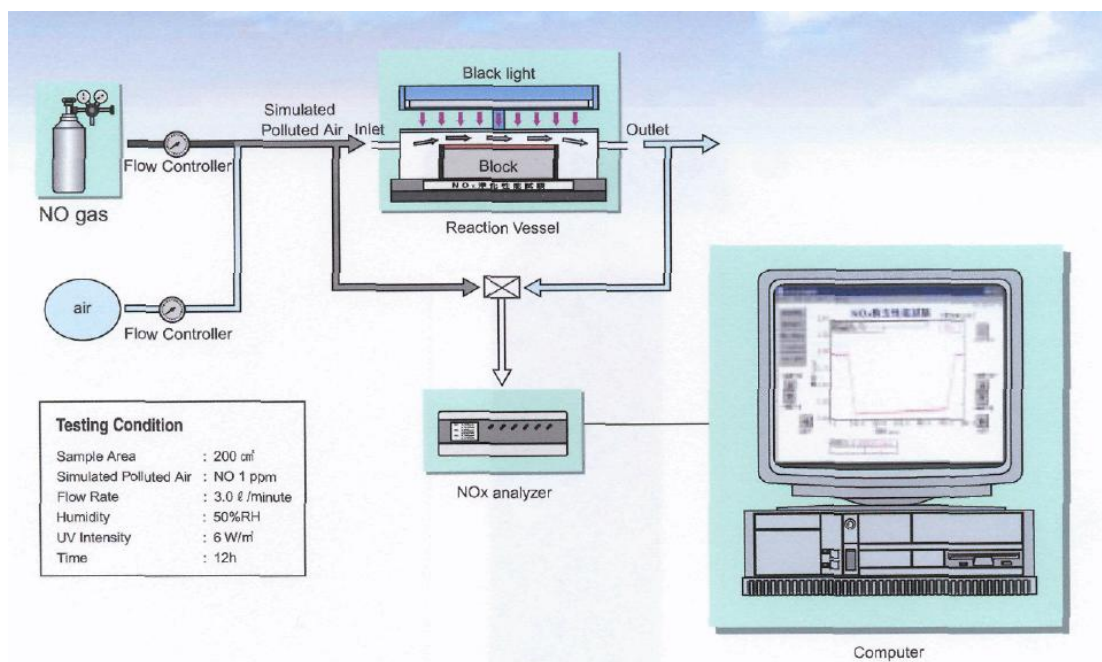
(average of 12-hour operation)

$$\text{Amount of NOx removal (mmol/m}^2\cdot\text{12h)} = \text{The amount of NOx removed during 12-hour operation.}$$

(calculated from NOx removal rate)



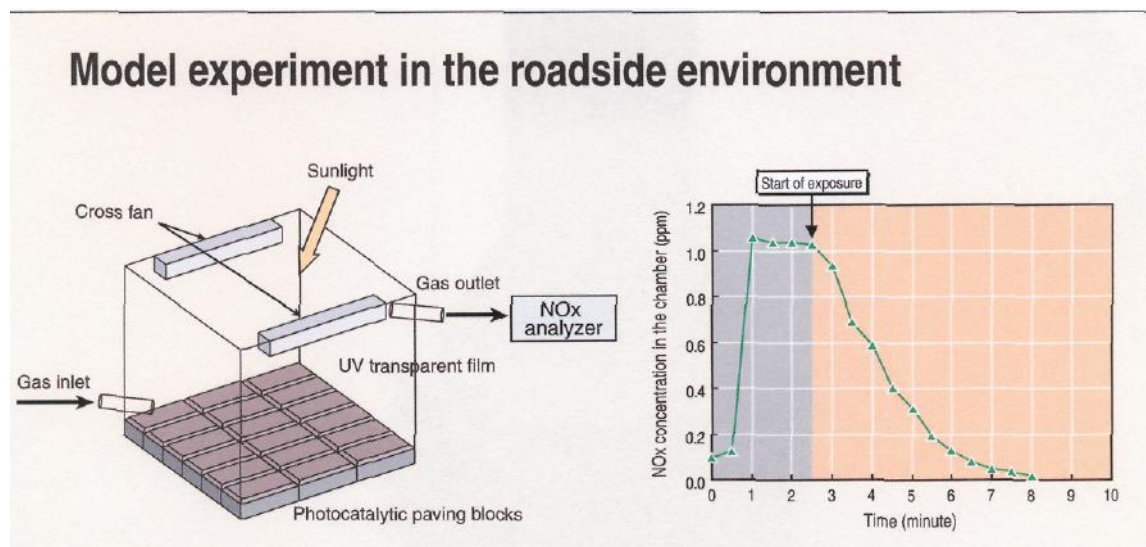
3.2.1.3. Περιγραφή ενός συστήματος απομάκρυνσης του NO_x



Σχήμα 7

18 block NOXER εγκαταστάθηκαν σε ένα θάλαμο φτιαγμένο από UV διαφανείς ταινίες με τη διάσταση 60 x 60 x 56cm και όγκο 0,18m³ (σχήμα 7, σχήμα 8). Μια προσομοίωση εκπομπής του αέρα, αέρας και τυποποιημένο αέριο NO αναμίχθηκαν για να προκύψει η συγκέντρωση των 1ppm, εισάγεται στο θάλαμο, ο οποίος μετά εκτείνεται σε UV ακτινοβολία. Η μείωση της συγκέντρωσης του NO_x καθορίστηκε με το χρόνο και αξιολογήθηκε η απόδοση της απομάκρυνσης του NO_x .

Όπως το παράδειγμα του αποτελέσματος μιας δοκιμής, αυτό το διάγραμμα παρουσιάζει αλλαγή στη συγκέντρωση του NO_x με το χρόνο. 1ppm NO_x σε ένα θάλαμο 0,18m³ αφαιρέθηκε μέσα σε 6 λεπτά μετά από την UV ακτινοβολία.



Σχήμα 8

3.2.1.4 Σύγκριση της ικανότητας καθαρισμού της ατμόσφαιρας των δέντρων και των φωτοκαταλυτικών υλικών

Τα δέντρα έχουν την ικανότητα να απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα και να απελευθερώνουν οξυγόνο, γνωστό ως φωτοσύνθεση, καθώς επίσης και να απορροφούν τους ρύπους με συνέπεια να καθαρίζουν τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η ικανότητα καθαρισμού των δέντρων μπορεί να ισχύσει πέρα από τα ατμοσφαιρικά οξείδια αζώτου όπως φαίνεται στις πρόσφατες ποσοτικές μελέτες. Εδώ είναι μια σύγκριση της ικανότητας αφαίρεσης NO_x του NOXER με αυτήν των δέντρων.



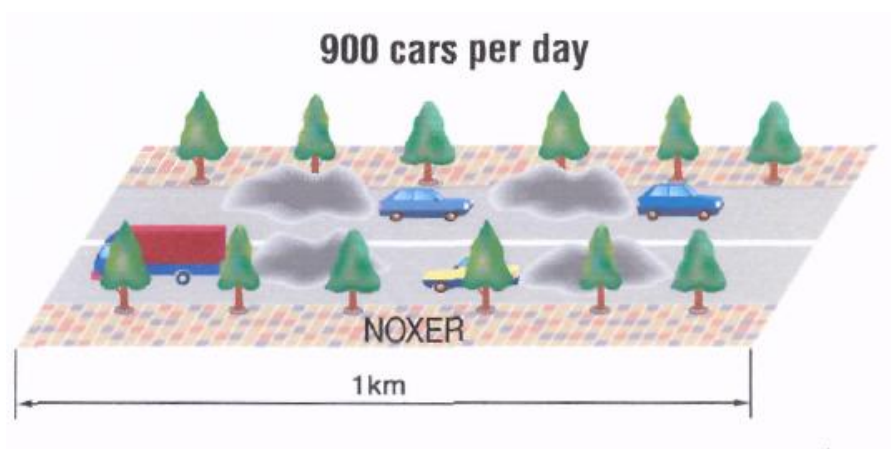
Η ετήσια ποσότητα αφαίρεσης NO_2 στη δενδρώδη οδό M street στην πόλη της Osaka, που εκτείνεται 3χλμ και έχει στις άκρες του 800 Ginkgo δέντρα, υπολογίζεται σε 670kg, στο εγχειρίδιο της φύτευσης των δέντρων για τον ατμοσφαιρικό καθαρισμό που εκδίδεται από την ένωση αποζημίωσης του κινδύνου της υγείας από τη ρύπανση. Το NOXER μπορεί να αφαιρέσει 1,5mmol NO_x ανά m^2 και ανά 12 ώρες.

Όταν το NOXER εγκαθίσταται στον ίδιο δρόμο σε πλάτος 5m, η συνολική έκταση επιφάνειας είναι 30.000 m^2 . Υποθέτοντας ότι όλο το NO_x για να είναι NO_2 και χρησιμοποιώντας 1,5mmol $\text{NO}_2 = 0.069\text{g NO}_2$, η ετήσια ποσότητα αφαίρεσης NO_2 με την επίστρωση είναι 755kg ($0,069 \times 365 \times 30000 = 755550\text{g}$) που είναι 10% μεγαλύτερο από αυτό των δέντρων Ginkgo στις άκρες του δρόμου. Η συγκέντρωση του NO_x αυξάνεται το χειμώνα όταν χάνουν όλα τα δέντρα Ginkgo τα φύλλα τους και σταματούν τον καθαρισμό, αλλά τα φωτοκαταλυτικά μπλοκ επίστρωσης συνεχίζουν να λειτουργούν.

Η ποσότητα του NO_x που εκπέμπεται από μια τυποποιημένη μηχανή αυτοκινήτου βενζίνης στον τρόπο λειτουργίας 10 είναι λιγότερο από 0,25g/km, αν και η μετρημένες τιμές διασκορπίζονται μέσα σε ένα εύρος από 0,0 έως 1,01g/km, και λαμβάνουν μέρος και οι μεγάλες diesel μηχανές αυτοκινήτων. Σε αυτόν τον υπολογισμό, υποτίθεται ότι ένα αυτοκίνητο εκπέμπει ομοιόμορφα 0.25g NO_x ανά κίνηση 1km το οποίο ισοδυναμεί με 8,3mmol NO ανά κίνηση 1km. Υποθέτοντας ότι το NOXER εγκαθίσταται σε ένα πλάτος 5m, με επίστρωση πλάτους 2,5m και στις δύο πλευρές, και με ένα μήκος 1000m, η συνολική έκταση είναι 5000 m^2 .

Επειδή το NOXER αφαιρεί $1,5\text{mmol NO}_x$ ανά m^2 και ανά 12 ώρες, το συνολικό αφαιρούμενο ποσό του NO_x θα είναι 7500mmol σε 12 ώρες, παρόλο που εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η ηλιακή ακτινοβολία, την ταχύτητα του αέρα και την κατεύθυνση του αέρα.

Αυτό το ποσό αντιστοιχεί στο NO_x που μπορεί να εκπεμφθεί από 900 (7500/8.3) αυτοκίνητα ανά ημέρα (εικόνα 9). Όταν ο φόρτος κυκλοφορίας είναι 6000 αυτοκίνητα ανά ημέρα, 15% της εκπομπής του NO_x θα αφαιρεθούν με τη φωτοκαταλυτική επίστρωση.



Εικόνα 9

3.3. Εφαρμογές

Σε μια δοκιμή το 2003, η επιχείρηση Italcementi, έντυσε 6750m^2 οδικής επιφάνειας με φωτοκαταλυτικό τσιμέντο στα περίχωρα του Μιλάνου. Βρήκε ότι τα επίπεδα οξειδίων του αζώτου μειώθηκαν μέχρι 60%, ανάλογα με τον καιρό.

Ένα παρόμοιο πείραμα στη Γαλλία βρέθηκε ότι τα επίπεδα οξειδίων του αζώτου ήταν 20 με 80% χαμηλότερα σε έναν τοίχο που επικονιάστηκε με το φωτοκαταλυτικό τσιμέντο από έναν με το κανονικό τσιμέντο.¹⁴

Πολλές τοπικές κοινότητες της Ιαπωνίας και άλλες οργανώσεις κάνουν δοκιμές αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται στα παθητικά συστήματα καθαρισμού για NO_x στους δρόμους. Το νομαρχιακό διαμέρισμα της Osaka έκανε τις βασικές μελέτες για την απόδοση καθαρισμού του NO_x με φωτοκαταλύτες το 1996 και, το 1997, ένα πρωτότυπο δομικό υλικό έγινε με τη συνεργασία 6 επιχειρήσεων μεταξύ των οποίων ήταν και κατασκευαστές φωτοκαταλυτών. Το πρωτότυπο δομικό υλικό εγκαταστάθηκε στην εθνική οδό National Rt. 43 (Dekijima δημοτικό σχολείο, Nishiyodogawa, Osaka) και την απόδοση του καθαρισμού του προϊόντος μελετήθηκε μαζί με το ποσοστό αφαίρεσης ατμοσφαιρικών ρύπων, την ικανότητα υποστήριξης της απόδοσης καθαρισμού του υλικού, τη διάρκεια του κατασκευασμένου πρωτοτύπου και τις απομακρυνόμενες από τη βροχή ουσίες.

Επιβεβαιώθηκε ότι, ακόμα και μετά από 12 μήνες έκθεσης, μερικά από τα διπλά πρωτότυπα θα μπορούσαν να διατηρήσουν σχεδόν την αρχική τους απόδοση καθαρισμού του NO_x (καθαρισμός 20.000m^3 του αέρα ανά ώρα ανά 1.000m^2) εάν θα παρασχεθεί ηλιακό φως εντάσεως πάνω από μια συγκεκριμένη τιμή, θα έχουμε περαιτέρω βελτίωση και ένας πρακτικός φωτοκαταλύτης για κατασκευαστικά υλικά θα μπορούσε να κατασκευαστεί.

Με αυτά τα συμπεράσματα, το νομαρχιακό διαμέρισμα της Osaka ανέπτυξε έναν νέο τύπο ηχομονωτικού φραγμού χρησιμοποιώντας ένα φωτοκαταλύτη και τον εγκατέστησε κατά μήκος των παράκτιων δρόμων (περιοχή επιφάνειας που ντύνεται με το φωτοκαταλύτη: $\text{TL}500\text{m} \times \text{H}2\text{m} \times$ και τις δύο οδικές πλευρές = περίπου 2.000m^2). Αν και οι δοκιμές που διεξάγονται από τις διάφορες οργανώσεις διαφέρουν, το καθημερινό ποσοστό αφαίρεσης ήταν 0,5 - 1,5 mmol ανά m^2 . Επιπλέον, πέρα από τη δύο ετών δοκιμαστική περίοδο, η πτώση της απόδοσης που έχει ανιχνευθεί είναι πολύ μικρή και η επιφάνεια έχει παραμείνει καθαρή παρά την πορώδη φύση της. Το Μάρτιο πέρυσι οι, Fujita, Fujita Road, Taiheiyo Cement και Ishihara Sangyo/Ishihara Techno ανήγγειλαν τις δοκιμές εγκαταστάσεων μιας φωτο-μεθόδου οδικής κατασκευής ως εφαρμογή για τους δρόμους.

Η φωτοκαταλυτική χρήση του διοξειδίου τιτανίου (TiO_2) στις σύγχρονες τεχνολογίες ελέγχου της μόλυνσης της ατμόσφαιρας έχει αναφερθεί σε πολλές μελέτες. Παραδείγματος χάριν, η εφαρμογή των ντυμένων block επίστρωσης TiO_2 για τη μείωση του NO_x από τα καυσαέρια στην άκρη των δρόμων έχει αναφερθεί σε μερικές ιαπωνικές πόλεις όπως η πόλη Omia, η πόλη Chigasaki και η πόλη Narashino (εικόνα 10).

Στο Λονδίνο, επίσης προγραμματίζεται να επιστρώσουν τα νέα ιαπωνικά μπλοκ επίστρωσης για τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων. Το Συμβούλιο της πόλης του Γουέστμινστερ αποφάσισε να χρησιμοποιήσει αυτό το είδος επίστρωσης για ένα πεζοδρομίου 400μιλίων που θα 'περνάει' από το Big Ben και τα σπίτια του Κοινοβουλίου.

Στην Ιαπωνία, τα μεγάλης κλίμακας ενεργά φωτοκαταλυτικά συστήματα επεξεργασίας, όπως εκείνοι για τον καθαρισμό αέρα στις σήραγγες, δεν έχουν εγκατασταθεί. Εντούτοις, υπάρχουν περισσότερο από 50.000m^2 των φωτοκαταλυτικών υλικών για τον παθητικό καθαρισμό αέρα (π.χ. υγιείς επιτροπές μόνωσης εθνικών οδών).

Λόγω της μειωμένης οικονομίας, οι κυβερνητικές αρχές και οδικής διαχείρισης έχουν το λιγότερο κινητοποίηση για να υιοθετήσουν αυτήν την τεχνολογία.



Εικόνα 10. Εφαρμογή φωτοκαταλυτικών block επίστρωσης στην πόλη Omia, Ιαπωνία



Chigasaki City



Saitama - Shintoshin



Saitama - Shintoshin



Narashino City

Εικόνες 11-14. Εφαρμογές φωτοκαταλυτικών block επίστρωσης σε άλλες πόλεις

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

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
	2817.87	II	2900	4300.56	I	18	h	6666.55	I
65	2828.07	I	4100	4301.09	I	18		6677.18	I
	2828.15	II	85	4301.93	II	22	b	6691.21	T
130	2832.16	II	6000	4305.92	I	26		6716.68	I
190	2841.94	II	180	4307.9	II	16	B	6723.95	T
110	2851.1	II	35	4308.5	I	80		6743.12	I
40	2853.93	II	40	4311.65	I	22		6745.52	I
95	2862.32	II	85	4312.87	II	35		6861.47	I
55	2868.74	II	85	4314.35	I	9		6873.92	I
180	2877.44	II	1200	4314.8	I	12		6913.19	I
280	2884.11	II	360	4318.64	I	14	h	6933.15	I
65	2888.93	II	180	4321.66	I	14	h	6943.7	I

55	2891.07	II	190	4325.13	I	23		6996.63	I
55	2905.66	I	160	4326.36	I	15		7004.66	I
30	2909.92	II	30	4334.84	I	14		7008.35	I
450	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
	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
	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								

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. www.alunet.gr/detail.asp?news_id
2. www.carrier.gr
Air4Life, **Carrier**- *World leader in air conditioning, heating and refrigeration systems*
3. www.in.gr/news
4. news.pathfinder.gr/periscopio/eco_glass_cleans-itself.html
PATHFINDER, Τρίτη, 23/8/2005
5. www.science.duth.gr
6. www.spin.gr/spin/story.jsp?id
7. www.mmc.co.jp/english/environment/kankyo20.html
2004 Environmental Report Mitsubishi Materials Corporation
8. ehp.niehs.nih.gov/docs/2001/109-4/innovations.html
“Titanium Dioxide: Environmental White Knight?”, *Lance Frazer* , Environmental Health Perspectives Volume 109, Number 4, April 2001

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

9. **Στοιχεία Υγιεινής Περιβάλλοντος και Υγειονομικής Μηχανικής**, Γρηγόρης Π. Μαρκαντωνάτος
10. **Πορτρέτα των χημικών στοιχείων**, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Αναστάσιος Βάρβογλης
11. **Επιστήμη και Τεχνολογία Περιβάλλοντος**, Τμήμα Χημικών Περιβάλλοντος, Φώτης Ρήγας, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ
12. **Περιβάλλον-Ατμοσφαιρική ρύπανση**, Δρ. Μαρία Όξενκιουν- Πετροπούλου, Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΜΠ
13. **PRC ST1 NATIONAL REPORT**

Environment-conscious Products, Services, and Development by **Mitsubishi Materials Group**

14. **“Self-Cleaning Building Materials a Possible Weapon in Fight Against Smog”**, Karl Ritter, Associated Press Writer, July 27, 2005
15. **“Ambient Air Treatment by Titanium Dioxide (TiO₂) Based Photocatalyst in Hong Kong”**, Technical Report Prepared for the Environmental Protection Department, HKSAR February 2002, The Chinese University of Hong Kong