



## Όλες οι σκόνες δεν είναι ίδιες:

# η σκόνη κρυσταλλικού διοξειδίου του πυριτίου, απειλή για την υγεία των εργαζομένων

**Ιωάννης Ασπирτάκης**

Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ-MSc, ErgoProlipsis, [www.ergoprolipsis.gr](http://www.ergoprolipsis.gr), [aspirtakis@ergoprolipsis.gr](mailto:aspirtakis@ergoprolipsis.gr)

**Κωνσταντίνος Βροντάκης**

Ειδικός Ιατρός Εργασίας & Περιβάλλοντος, ErgoProlipsis, [www.ergoprolipsis.gr](http://www.ergoprolipsis.gr), [vrodakis@ergoprolipsis.gr](mailto:vrodakis@ergoprolipsis.gr)

**Μιχαήλ Γαλετάκης**

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης,

<http://www.mred.tuc.gr/pO13216.htm>, [galetaki@mred.tuc.gr](mailto:galetaki@mred.tuc.gr)



**Τ**ο εργασιακό περιβάλλον στα τεχνικά έργα και τα λατομεία είναι από τη φύση του επιβαρυνμένο με αιωρούμενη σκόνη, η οποία προέρχεται είτε απευθείας από τη διαχείριση των υλικών είτε έμμεσα από το έδαφος κατά την κίνηση των μηχανημάτων. Η σκόνη αυτή είναι μία απειλή για την υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων, αφού η χρόνια έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος. Ειδικά όμως όταν στη σκόνη περιέχεται ελεύθερο κρυσταλλικό διοξείδιο του πυριτίου, απαιτούνται ιδιαίτερα μέτρα και προφυλάξεις αφού η σκόνη παύει να είναι αδρανής και μπορεί να προκαλέσει ανίατες βλάβες όπως η πυριτίωση, η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, το εμφύσημα και ο καρκίνος των πνευμόνων.

### Αερομεταφερόμενες σκόνες

Η επίδραση της αερομεταφερόμενης σκόνης στην υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, εξαρτάται κυρίως από 4 παράγοντες:

1. τη **σύσταση** της αερομεταφερόμενης σκόνης
2. τη **συγκέντρωση** της σκόνης στο εργασιακό περιβάλλον
3. το **μέγεθος** των σωματιδίων της σκόνης
4. την **έκθεση** των εργαζομένων στα αερομεταφερόμενα σωματίδια

### Σύσταση σκόνης

Είναι πλέον γνωστό ότι όλες οι σκόνες δεν είναι ίδιες. Εφόσον η σκόνη περιέχει ελεύθερο κρυσταλλικό διοξείδιο του πυριτίου παύει να θεωρείται αδρανής και κατατάσσεται στις ιογόνες, οι οποίες είναι τοξικές και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες στην υγεία των εργαζομένων. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα συστατικά του φλοιού της γης και εντοπίζεται σχεδόν σε όλα τα είδη πετρωμάτων (Πίνακας 1) κυρίως σε τρεις μορφές: χαλαζία, χριστοβαλίτη και τριδυμίτη (τεκτοπυριτικά ορυκτά). Έτσι, για να υπολογισθεί η επικινδυνότητα της έκθεσης, απαιτείται ο ακριβής προσδιορισμός της σύστασης της αερομεταφερόμενης σκόνης. Οπότε είναι απαραίτητο να λαμβάνονται δείγματα και να διενεργούνται εργαστηριακές αναλύσεις υπολογισμού του ποσοστού ελεύθερου κρυσταλλικού διοξειδίου του πυριτίου στα σωματίδια της σκόνης.

Ορυκτό	Ποσοστό κρυσταλλικού πυριτίου
Καολινιτική πλαστική άργιλος	5-50 %
Βασάλτης	> 5%
Πυρόλιθος	> 90%
Γρανίτης	< 30%
Σιδηρομεταλλεύματα	7-15%
Ασβεστόλιθος	< 1%
Χαλαζίτης	> 95%
Χαλαζιακή άμμος	> 90%
Ψαμμίτης	> 90%
Αργιλικός σχιστόλιθος	40-60%
Σχιστόλιθος	< 40%

**Πίνακας 1.** Ενδεικτική περιεκτικότητα ελεύθερου κρυσταλλικού πυριτίου σε ορυκτά (πηγή: HSE)



## Συγκέντρωση σκόνης στο χώρο εργασίας

Η συγκέντρωση της σκόνης (σε  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) προσδιορίζεται με επί τόπου δειγματοληψία αέρα από το εργασιακό περιβάλλον.



Φορητή αντλία για δειγματοληψία αερομεταφερόμενης σκόνης

Για μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις, πρέπει να χρησιμοποιούνται φορητές συσκευές που τοποθετούνται πάνω στους εργαζομένους και προσομοιάζουν την ανθρώπινη αναπνοή. Παράλληλα πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως οι συνθήκες εργασίας την ημέρα της δειγματοληψίας, η ένταση του ανέμου, η εργασία του ατόμου κ.α.

Για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας, η υπολογιζόμενη συγκέντρωση συγκρίνεται με διεθνή και νομοθετικά ανώτατα όρια. Για το αναπνεύσιμο και εισπνεύσιμο κλάσμα της αερομεταφερόμενης σκόνης τα όρια παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Κλάσμα σκόνης	Οριακή τιμή έκθεσης TLV-TWA ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
Εισπνεύσιμη αδρανής σκόνη	10
Αναπνεύσιμη αδρανής σκόνη	5
Εισπνεύσιμη σκόνη, που περιέχει ελεύθερο κρυσταλλικό $\text{SiO}_2$	$30 / (X+3)$
Αναπνεύσιμη σκόνη, που περιέχει ελεύθερο κρυσταλλικό $\text{SiO}_2$	$10 / (X+2)$
Χαλαζία	0.1
Χριστοβαλίτης	0.05
Τριδυμίτης	0.05

X: περιεκτικότητα (%) ελεύθερου κρυσταλλικού  $\text{SiO}_2$  στο αντίστοιχο κλάσμα σκόνης

Πίνακας 2. Οριακές τιμές έκθεσης

## Μέγεθος σωματιδίων σκόνης

Οι σκόνες θεωρούνται στερεά σωματίδια με μέγεθος από  $1\mu\text{m}$  έως  $100\mu\text{m}$  και σε ότι αφορά την επίδρασή τους στην Υγεία και Ασφάλεια των εργαζομένων, μπορούν να ταξινομηθούν σε 2 κατηγορίες:

- ♦ Στο **εισπνεύσιμο κλάσμα**, το οποίο αποτελείται από όλα τα αιωρούμενα σωματίδια που μπορούν να εισπνευσθούν από τη μύτη και το στόμα,
- ♦ Στο **αναπνεύσιμο κλάσμα**, το οποίο απαρτίζεται από σωματίδια μικρής διαμέτρου, που μπορούν να εναποτεθούν στην περιοχή των πνευμονικών κυψελίδων. Η κλάση αυτή περιλαμβάνει τις σκόνες που κυρίως ευθύνονται για πνευμονοκονίαση. Η αναπνεύσιμη σκόνη κρυσταλλικού πυριτίου δύναται να είναι αόρατη στο γυμνό μάτι και τόσο ελαφριά ώστε να παραμένει στον αέρα για πολλές ώρες, ταξιδεύοντας μακρινές αποστάσεις και επηρεάζοντας ακόμη και τις γειτονικές περιοχές. Για τον ακριβή προσδιορισμό της επικινδυνότητας, πρέπει να πραγματοποιούνται αναλύσεις και μετρήσεις τόσο για το εισπνεύσιμο όσο και για το αναπνεύσιμο κλάσμα της αιωρούμενης σκόνης.



Συσκευή για τον on-line υπολογισμό της συγκέντρωσης σκόνης στους χώρους εργασίας



## Έκθεση των εργαζομένων

Ανεξάρτητα από τη σύσταση, τη συγκέντρωση ή το μέγεθος, η έκθεση των εργαζομένων στα αιωρούμενα σωματίδια, είναι ο καθοριστικός παράγοντας που διαμορφώνει το τελικό βαθμό επικινδυνότητας της εργασίας. Η έκθεση των εργαζομένων εξαρτάται κυρίως:

- ♦ Από τη **χρονική διάρκεια παραμονής** σε περιβάλλον αερομεταφερόμενης σκόνης
- ♦ Από τη **χρήση μέσων προστασίας της αναπνοής**

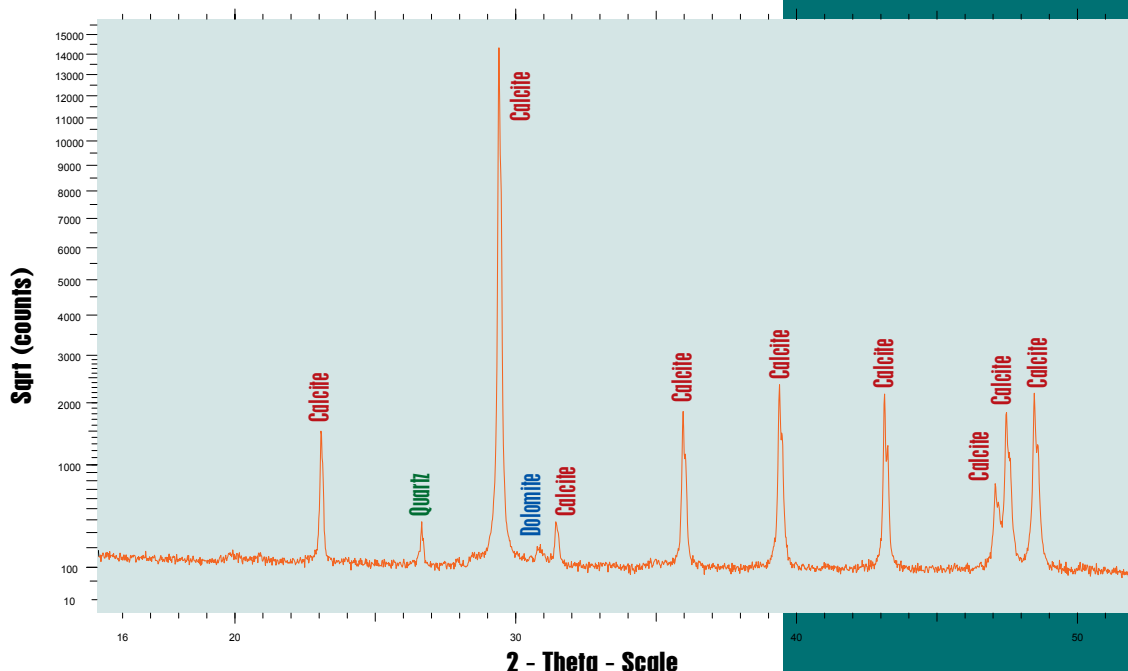
Για το περιορισμό της διάρκειας έκθεσης, σκόπιμο είναι να υπάρχουν χώροι προστατευμένοι από τη σκόνη, όπως στεγανά control rooms και γραφεία με φιλτραριζόμενο αέρα. Επιπλέον, εργαζόμενοι που εργάζονται σε χώρους με μεγάλη συγκέντρωση σκόνης, πρέπει να χρησιμοποιούν μάσκες αναπνοής με φίλτρα κατάλληλα για ινογόνες σκόνες.

## Πυριτίωση

Η νόσος της πυριτίωσης έχει αναγνωρισθεί ως επαγγελματική ασθένεια και συμπεριλαμβάνεται από το 1979 στον κατάλογο επαγγελματικών ασθενειών του Ι.Κ.Α. Σύμφωνα μάλιστα με τη νομοθεσία, ο ασθενής-εργαζόμενος δύναται να αποζημιωθεί, εφόσον αποδειχθεί ότι προηγήθηκε μεγάλη επαγγελματική έκθεση σε σκόνη κρυσταλλικού πυριτίου.

## Ιατρικά στατιστικά στοιχεία

- Στα Καρπάθια Όρη, στα ορυχεία του 16ου αιώνα, καταγράφηκαν πολλές γυναίκες, χήρες συζύγων που πέθαναν από πυριτίωση
- Από το 1991 έως το 1995, στην Κίνα, καταγράφηκαν πάνω από 500.000 περιπτώσεις πυριτίωσης, με 6.000 νέα περιστατικά ανά έτος και 24.000 θανάτους εργαζομένων (μεγαλύτερης ηλικίας)
- Στο Βιετνάμ το 90% των επαγγελματικών ασθενειών (περίπου 9.000) που αποζημιώνονται είναι περιπτώσεις πυριτίωσης.
- Στο 18% περίπου των εργαζομένων σε ανθρακωρυχεία, λατομεία, υαλουργεία και τεχνικά έργα διαπιστώθηκε πυριτίωση.
- Στην Ινδία, στο 55% μιας μεγάλης ομάδας εργαζομένων στα λατομεία σχιστόλιθου, παρατηρήθηκε εκδήλωση πυριτίωσης. Οι περισσότεροι πέθαναν σε ηλικία 35 ετών μετά από 12 χρόνια υψηλής έκθεσης στο κρυσταλλικό πυρίτιο.
- Σε μια μόνο πολιτεία της Βραζιλίας έχουν καταγραφεί πάνω από 4.500 περιπτώσεις εργαζομένων με πυριτίωση, ενώ διαπιστώθηκε πως στο 26% των εργαζομένων που σκάβουν πηγάδια σε πέτρωμα χαλαζία εμφανίζεται πυριτίωση
- Στις Η.Π.Α. πάνω από 1.000.000 εργαζόμενοι είναι εκτεθειμένοι σε κρυσταλλικό πυρίτιο (το 10% αυτών είναι αμβολιστές), και οι 59.000 περίπου θα εκδηλώσουν τη νόσο της πυριτίωσης.
- Στο Κεμπέκ του Καναδά, μεταξύ 1988-1994 διαπιστώθηκαν 40 νέες περιπτώσεις εργαζομένων με πυριτίωση (12 εκ των οποίων ήταν κάτω από 40 ετών)
- Η κυβέρνηση της Κολομβίας θεωρεί ότι πάνω από 1.800.000 εργαζόμενοι είναι εκτεθειμένοι σε κρυσταλλικό πυρίτιο και κινδυνεύουν να αναπτύξουν πυριτίωση
- Στην Ελλάδα, στην πρώτη φτωχή προσπάθεια του Ι.Κ.Α. να καταγράψει τις επαγγελματικές ασθένειες, από το 2003 έως σήμερα έχουν αναγνωρισθεί 5 περιπτώσεις πνευμονοκονίασης από κρυσταλλικό πυρίτιο.



Διάγραμμα: Υπολογισμός της περιεκτικότητας  $SiO_2$  με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD)

# **ΔΙΑΦΗΜΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ**



Όταν εκδηλωθεί η πυριτίωση, είναι ασθένεια μη-αναστρέψιμη, ενώ συνεχίζει να εξελίσσεται έως και 5 χρόνια, μετά τη διακοπή της έκθεσης στη σκόνη του πυριτίου. Προκειμένου να εκδηλωθεί η νόσος, απαιτείται σημαντικό χρονικό διάστημα επαγγελματικής έκθεσης στο πυρίτιο, ενώ παράλληλα ο ρυθμός ανάπτυξης της ασθένειας είναι ανάλογος του βαθμού έκθεσης στη σκόνη του κρυσταλλικού πυριτίου. Από ιατρικής απόψεως, υπάρχουν τρεις μορφές ανάπτυξης της πυριτίωσης:

- ♦ **Απλή πυριτίωση:** εμφανίζεται μετά από 20 έτη μέτριας έκθεσης σε κρυσταλλικό SiO<sub>2</sub>
- ♦ **Επιταχυνόμενη πυριτίωση:** εμφανίζεται μετά από 5-15 έτη υψηλής έκθεσης στο κρυσταλλικό πυρίτιο
- ♦ **Οξεία πυριτίωση:** εμφανίζεται μετά από σύντομο χρονικό διάστημα έκθεσης (8-12 μήνες) σε πολύ υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης της σκόνης του πυριτίου.

Η χρόνια συσσώρευση του κρυσταλλικού πυριτίου στις κυψελίδες των πνευμόνων προκαλεί χρόνια φλεγμονή, με αποτέλεσμα να εκδηλωθεί αναπνευστική βλάβη όμοια της χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας. Εάν υπάρχουν παθολογικά συμπτώματα (μπορεί και να μην υπάρχουν) αυτά είναι ο βήχας και η δύσπνοια (κυρίως στην προσπάθεια). Ο βήχας παρουσιάζει διακυμάνσεις σε βαρύτητα και είναι συνήθως ξηρός.

Τα πρώτα παθολογικά ευρήματα συχνά εμφανίζονται στην ακτινογραφία θώρακος, όπου εντοπίζονται κυκλικές σκιάσεις (οζίδια) εντός του ιστού των πνευμόνων. Όσο η νόσος προχωρεί οι σκιάσεις αυξάνουν σε μέγεθος και αριθμό και τελικά συναθροίζονται καταλαμβάνοντας μεγάλη επιφάνεια των πνευμόνων.

Στο τελευταία στάδια της θανατηφόρου πυριτίωσης, αναπτύσσονται εμφύσημα, πνευμονική ίνωση, αναπνευστική και καρδιακή ανεπάρκεια ενώ τα κυριότερα συμπτώματα είναι η έντονη δύσπνοια, ο βήχας με πτύελα, τα ακροαστικά, η εύκολη κόπωση και η σοβαρή απώλεια βάρους.

Μια ακόμη συχνή αιτία θανάτου σε ασθενείς με πυριτίωση είναι η εκδήλωση φυματίωσης των πνευμόνων (πυριτίο-φυματίωση). Είναι επιστημονικά αποδεκτό, πως το SiO<sub>2</sub> μπορεί να επηρεάσει την άμυνα του αναπνευστικού συστήματος, κάνοντάς το ευάλωτο στα μικρόβια και πιο συγκεκριμένα στο βακτήριο της φυματίωσης.

Τέλος, η σκόνη του κρυσταλλικού πυριτίου στην επαγγελματική ατμόσφαιρα (κυρίως στη μορφή χαλαζία ή χριστοβαλίτη), έχει ταξινομηθεί από το Διεθνή Οργανισμό Καρκινικής Έρευνας IARC (International Agency for Research on Cancer) ως επιβεβαιωμένη καρκινογόνος ουσία (κατηγορία 1) για τον ανθρώπινο πνεύμονα.

### Ιατρική παρακολούθηση

Το πρώτο από τα σημαντικότερα βήματα του Ιατρού Εργασίας που εποπτεύει τους εργαζόμενους που εκτίθενται στο ελεύθερο κρυσταλλικό πυρίτιο είναι η λήψη σχολαστικού ιστορικού υγείας και η περιοδική εξέταση. Το επαγγελματικό ιστορικό θεωρείται απαραίτητο εργαλείο για τον Ιατρό, ο οποίος συλλέγει πληροφορίες που σχετίζονται με τον τύπο και τη διάρκεια της έκθεσης (σημερινή και παλαιότερη εργασία, χόμπι κτλ). Στη συνέχεια η επιβεβαίωση της διάγνωσης γίνεται με την ακτινογραφία θώρακος και τις λειτουργικές δοκιμασίες πνευμόνων (σπιρομέτρηση).

Η αντιμετώπιση της πυριτίωσης ξεκινά με την άμεση διακοπή της έκθεσης του ασθενούς στο πυρίτιο (παύση ή αλλαγή καθηκόντων εργασίας). Η θεραπεία των συμπτωμάτων γίνεται με τη χορήγηση βρογχοδιασταλτικών και αντιβηχικών φαρμάκων καθώς και οξυγόνου (O<sub>2</sub>). Επίσης, λόγω συχνών λοιμώξεων χορηγούνται αντιβιοτικά ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Επιπρόσθετα της θεραπείας, στην ιατρική αντιμετώπιση της πυριτίωσης συμπεριλαμβάνεται η άμεση διακοπή του καπνίσματος, η αποφυγή εισπνοής ερεθιστικών αερίων και ο συχνός έλεγχος φυματίωσης στο δέρμα (Mantoux).


### Πρόληψη

Παρόλο που ο συχνός ιατρικός και ακτινογραφικός έλεγχος θέτει έγκαιρα τη διάγνωση της πυριτίωσης στο αρχικό στάδιο, δεν μπορεί να αποτρέψει την εξέλιξη της ασθένειας. **Ο πιο ασφαλής τρόπος πρόληψης είναι η αποφυγή εισπνοής της σκόνης κρυσταλλικού πυριτίου.** Κατά συνέπεια, τα σημαντικότερα μέτρα προστασίας είναι ο **διαρκής έλεγχος της συγκέντρωσης της σκόνης** που απελευθερώνεται στην επαγγελματική ατμόσφαιρα και η **προστασία της αναπνοής** των εργαζομένων (χρήση μέσων ατομικής προστασίας με κατάλληλα φίλτρα). Είναι σαφές ότι οι κυριότερες διορθωτικές παρεμβάσεις πρέπει να γίνονται στην πηγή εκπομπής της σκόνης και να στοχεύουν στη μείωση της έκθεσης των εργαζομένων στο κρυσταλλικό πυρίτιο.



## Επίλογος

Στη σύγχρονη εποχή, σε πολλές αναπτυσσόμενες αλλά και αναπτυσσόμενες χώρες του πλανήτη, η υψηλή έκθεση στη σκόνη κρυσταλλικού πυριτίου αποτελεί σημαντικό επαγγελματικό κίνδυνο που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ασθένειες ή ακόμη και το θάνατο. Από το 1995, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) σε συνεργασία με το Διεθνές Γραφείο Εργασίας (ILO) έχουν θέσει σε εφαρμογή Παγκόσμιο Πρόγραμμα Εξάλειψης της Πυριτίωσης. Βασικοί στόχοι του προγράμματος είναι η ανάπτυξη υπηρεσιών προστασίας και πρόληψης για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων καθώς και ο έλεγχος των επιπέδων της επαγγελματικής έκθεσης στο κρυσταλλικό πυρίτιο σε παγκόσμια κλίμακα.

Σε εθνικό επίπεδο, η Ελλάδα ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οφείλει να υιοθετήσει παρόμοια στρατηγική προκειμένου να εκτιμήσει σχολαστικά και να περιορίσει την επαγγελματική έκθεση στο επικίνδυνο κρυσταλλικό πυρίτιο, ιδιαίτερα στους κλάδους των λατομείων, των τεχνικών έργων και κατασκευών, των ορυχείων της ναυλοργείας, της κεραμοποιείας καθώς και των αμμοβολιστών. 



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- HSE, "Occupational Health Management in the Quarry Industry", HSE, 2004  
 Fred N. Kissell, "IC 9465: Handbook of dust control in mining", NIOSH, 2003  
 European Network for Silica, "Workers Health Protection Through the Good Handling and Use of Crystalline Silica", www.nepsi.eu  
 ΤΕΕ-ΤΔΜ, "Διαχείριση Κινδύνου και Ασφάλειας στον τομέα των διακοσμητικών Λίθων», Αθήνα, 2003  
 Ε.Ζημάλης, «Ιατρική της Εργασίας & του Περιβάλλοντος», εκδόσεις ΤΙΤΑΝ Α.Ε., Αθήνα 2002  
 Joseph LaDou, Occupational & Environmental Medicine, 3rd edition, University of California, San Francisco, 2004  
 Wagner G.R. Screening and surveillance of workers exposed to mineral dusts, Geneva, WHO, 1996, ISBN 92-4-154498-8  
 WHO Prevention and Control Exchange (PACE): Hazard Prevention and control in the work environment -- airborne dust, Geneva, WHO, WHO/SDE/OEH/99.14, 1999; available from Occupational and Environmental Health, WHO, Geneva.  
 Pipavath S. Imaging of Interstitial Lung Disease. Radiol Clin North Am. 2005 May; 43(3); 589-599.  
 Noble J. Textbook of Primary Care Medicine. 3rd ed. St. Louis, Mo: Mosby; 2001:694-696

# ΔΙΑΦΗΜΙΣΤΙΚΗ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ