

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΤΗΣ ΥΓΙΕΙΝΗΣ

1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Λεοτσινίδης Μιχάλης
Καθηγητής Υγιεινής

1. ΡΥΠΑΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ρύπανση

χαρακτηρίζεται η ανεπιθύμητη αλλαγή των φυσικών, χημικών, ραδιολογικών ή βιολογικών-μικροβιολογικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος – νερού, αέρα, εδάφους – από τις δραστηριότητες του ανθρώπου, που μπορεί να βλάψει πρώτιστα την υγεία και ευημερία και παράλληλα να προκαλέσει οικονομικές και αισθητικές ζημιές, να θίξει τις πολιτιστικές αξίες και να διαταράξει την ισορροπία του φυσικού οικοσυστήματος.

ή σύμφωνα με την ΠΟΥ

Ρύπανση είναι η εισαγωγή στο περιβάλλον (αέρα, νερό, έδαφος) ουσιών που η ποσότητα, τα χαρακτηριστικά και η διάρκεια είναι πιθανό να προκαλέσουν βλάβη στον άνθρωπο, τα ζώα ή τη ζωή του πλανήτη.

Μόλυνση χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον η δεικτών, που υποδηλώνουν έμμεσα τη δυνατότητα παρουσίας τέτοιων οργανισμών.

Αίτια

1. Ο άνθρωπος με τον πληθυσμιακό του όγκο
2. Η συγκέντρωση δραστηριοτήτων στα διάφορα κέντρα
3. Οι συνεχώς αυξανόμενες ανθρώπινες απαιτήσεις και καταναλώσεις αγαθών, σε συνδυασμό με την απρογραμμάτιστη ανάπτυξη, την κακή χρήση των επιτευγμάτων της τεχνολογίας και την αλόγιστη κατανάλωση των γήινων πόρων.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Δραστηριότητες με σκοπό τη πρόληψη ή μείωση των αλλοιώσεων του περιβάλλοντος (φυσικού, χημικού, βιολογικού και όχι κοινωνικού).

Επίπεδα προστασίας:

1. Προστασία για υγειονομικούς λόγους

Πρόληψη συγκεκριμένων κλινικών οντοτήτων.

2. Προστασία για πολιτιστικούς λόγους, όπου τα κριτήρια της ποιότητας του περιβάλλοντος ποικίλουν ανάλογα με τη κλίμακα αξιών μιας κοινωνίας.

3. Προστασία για οικολογικούς λόγους

Διατήρηση της ισορροπίας των οικοσυστημάτων και των φυσικών πόρων.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες προκαλούν:

1. α) Ρύπανση με βιολογικούς παράγοντες: μικροοργανισμούς, έντομα, είδη χλωρίδας.
β) Ρύπανση με χημικούς παράγοντες: βαρέα μέταλλα, οργανικές ουσίες.
γ) Ρύπανση με φυσικούς παράγοντες: θόρυβος.
2. Εξάντληση φυσικών πόρων και στοιχείων: ενέργεια, νερό, αέρας.

A. Βιολογικοί παράγοντες αλλοίωσης:

α) **Μόλυνση** αέρα, νερού, τροφών με παθογόνους μικροοργανισμούς

β) **Βιολογικές αλλοιώσεις:** π.χ. πολλαπλασιασμός σαλιγκαριών, ξενιστών της σχιστοσωμίας, στις πεδιάδες που αρδεύονται από το Νείλο ή αύξηση ανωφελών κωνώπων, ξενιστών της ελονοσίας σε τεχνητές λίμνες.

B. Χημικοί παράγοντες αλλοίωσης.

Οι χημικές ουσίες μπορεί να ευρίσκονται στη γενική ατμόσφαιρα, τροφές, πόσιμο νερό, εργασιακό περιβάλλον.

Έκθεση στο εργασιακό περιβάλλον:

- υψηλές συγκεντρώσεις χημικών ουσιών
- περιορισμένος αριθμός

Έκθεση γενικού πληθυσμού:

- χαμηλότερες συγκεντρώσεις των χημικών ρύπων,
- μεγάλη ποικιλία ενώσεων ή στοιχείων

Οργανικές διαταραχές από τους χημικούς ρυπαντές

Οξεία δηλητηρίαση

Χρόνια δηλητηρίαση

Τερατογένεση

Μετάλλαξη γενετικών χρωμοσωμάτων

Καρκινογένεση

Δηλητηριάσεις

Κυτταρικά σημεία ή λειτουργίες που επιδρούν οι χημικές ουσίες:

1.Μεμβράνη:

Διαταραχή διαπερατότητας συστημάτων
μεταφοράς, παραγωγής ATP.

2.Ένζυμα:

Μόνιμη ή αντιστρεπτή αναστολή των ενζύμων.

3.Μεταβολισμός λιπιδίων:

Συχνή κατάληξη η λιποειδής διήθηση του ήπατος.

Διαταράσσεται η παραγωγή χοληστερίνης

4.Βιοσύνθεση πρωτεϊνών:

Μείωση ή αύξηση της παραγωγής των

5.Ενζυματικά συστήματα μικροσωματίων:

Κυρίως του ήπατος.

6.Ρυθμιστικές διεργασίες και ανάπτυξη:

Διαταραχές κυρίως στη σύνθεση ή απελευθέρωση ορμονών.

7. Μεταβολισμός υδατανθράκων και αναπνοή

Διατάραξη νεογλυκογένεσης και καταβολισμού. Διατάραξη της μεταφοράς ηλεκτρονίων στα μιτοχόνδρια. Αναστολή οξειδωτικής φωσφορυλίωσης

ΟΞΕΙΕΣ ΔΗΛΗΤΗΡΙΑΣΕΙΣ

Οφείλονται σε έκθεση μικρής διάρκειας σε υψηλή συγκέντρωση χημικών ουσιών.

Οξεία τοξικότητα είναι το σύνολο των διαταραχών που προκαλείται από την ουσία όταν η έκθεση γίνεται σε χρονική διάρκεια 24 ωρών ή μικρότερη.

Συνίσταται σε διαταραχή βαριάς μορφής στο επίπεδο είτε της

νευρομυϊκής σύναψης: (αναστολή της χοληνεστεράσης)

είτε στο

κυτταρικό επίπεδο: (αναστολή οξειδωτικής φωσφορυλίωσης).

Η οξεία δηλητηρίαση προσομοιάζει με εργατικό ατύχημα, δηλαδή συμβάν απροσδόκητο χωρίς δόλο που μπορεί να προκαλέσει βλάβη.

ΧΡΟΝΙΑ ΔΗΛΗΤΗΡΙΑΣΗ

Είναι το σύνολο των διαταραχών που προκαλούνται από μία τοξική ουσία που χορηγείται επί μακρόν χρόνο σε μικρές συγκεντρώσεις.

Αυξανόμενη της δόσης μειώνεται ο χρόνος εμφάνισης της διαταραχής.

Οριακά ==> οξεία δηλητηρίαση.

"Δόση" είναι η χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή της ουσίας στο περιβάλλον πολλαπλασιαζόμενη επί τον συντελεστή απορρόφησης.

Συσσώρευση και συγκράτηση σε ζωτικά όργανα.

Συσσώρευση μιας τοξικής ουσίας σε κάποιο όργανο σημαίνει ότι η πρόσληψη υπερβαίνει την αποβολή.

Όταν η πρόσληψη είναι ίση με την αποβολή τότε υφίσταται κατάσταση δυναμικής ισορροπίας

Ένας συνηθισμένος τρόπος έκφρασης του ρυθμού αποβολής είναι διά του όρου βιολογικός χρόνος ημιζωής, ο οποίος έχει έννοια όταν η κινητική της απέκκρισης, μπορεί να θεωρηθεί με ανεκτή ακρίβεια ότι είναι πρώτης τάξης. Σε αυτή την περίπτωση εάν c είναι η συγκέντρωση του μετάλλου σε κάποια χρονική στιγμή t και dc/dt η στιγμιαία μεταβολή, θα ισχύει:

$$-dc/dt = k_c \quad (1)$$

όπου: k η σταθερά αναλογίας (σταθερά αποβολής)

Η ολοκλήρωση της (1) δίνει:

$$C_t = C_0 * e^{-kt} \quad (2)$$

όπου: C_0 είναι, η συγκέντρωση του μετάλλου τη χρονική στιγμή

$t = 0$

Με τη βοήθεια της (2) μπορεί να υπολογισθεί η συγκέντρωση οποιαδήποτε χρονική στιγμή εάν είναι γνωστές η C_0 και η k . Λογαριθμίζοντας τη (2) λαμβάνεται:

$$\ln C_t = \ln C_0 - k t \quad (3)$$

χρησιμοποιώντας δεκαδικούς λογάριθμους:

$$\log C_t = \log C_0 - 0,434 k t \quad (4)$$

Η γραφική παράσταση τη (4) είναι ευθεία με κλίση $-0,434 k$ και τεταγμένη $\log C_0$.

Εάν t_1 και t_2 δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές και η τιμή της c τη χρονική στιγμή t_2 , $c_{(2)}$ είναι η μισή της τιμής της c τη στιγμή t_1 , $C_{(1)}$ τότε από τη (2) λαμβάνεται:

$$\frac{C_{t2}}{C_{t1}} = \frac{1}{2} = e^{-k(t_2 - t_1)} \quad (5)$$

και λογαριθμίζοντας

$$t_2 - t_1 = (\ln 2)/k = 0,693/k = t_{1/2} \quad (6)$$

Η (6) δίνει τη σχέση μεταξύ του βιολογικού χρόνου ημιζωής και της σταθεράς αποβολής.

Όταν σε ένα όργανο γίνεται, εισαγωγή μιας σταθεράς ποσότητας κάποιου μετάλλου και ο ρυθμός αποβολής είναι μικρότερος του ρυθμού απορρόφησης τότε ο ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης του μετάλλου δίνεται, από τη σχέση

$$(dc / dt) = -k_c + D \quad (7)$$

όπου: k , C , C_0 είναι όπως καθορίστηκαν πιο πάνω και

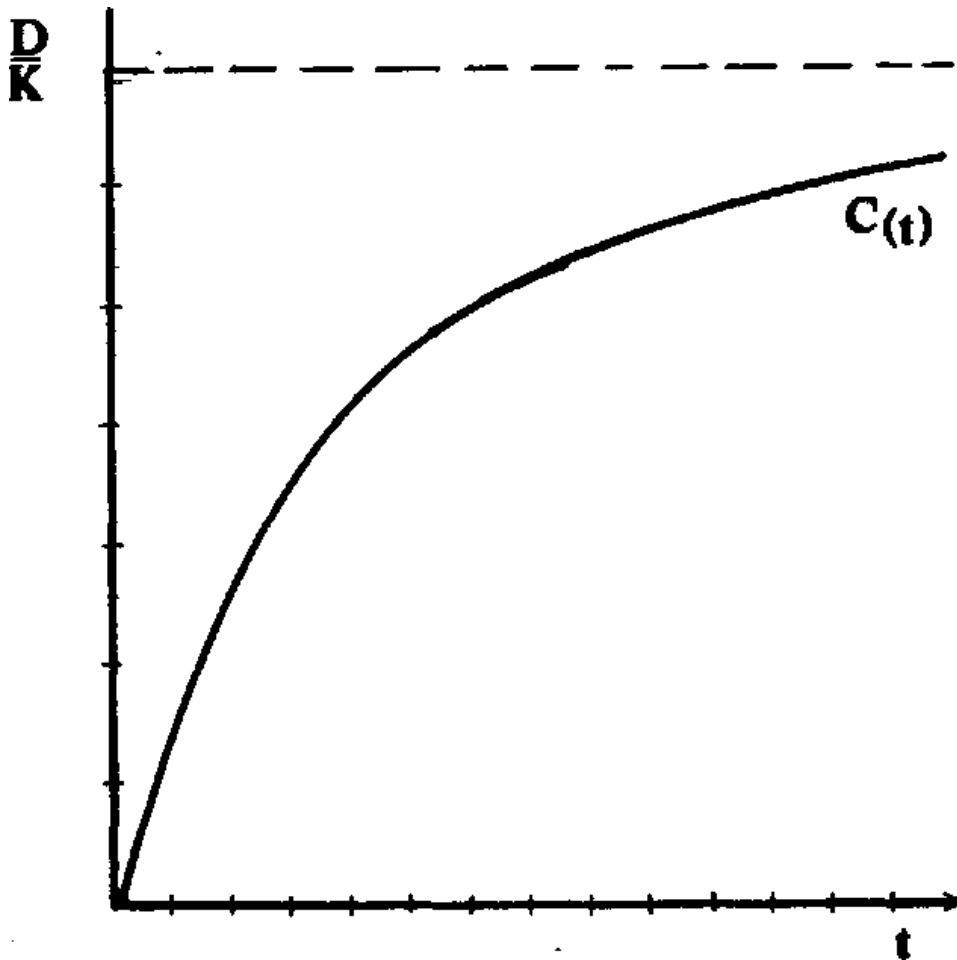
D είναι, η ποσότητα που απορροφάται από το υπό μελέτη όργανο ανά μονάδα χρόνου.

Αν $C_0 = 0$ τότε η {7} με ολοκλήρωση δίνει.:

$$C_{(t)} = - (D/K) * (1 - e^{-Kt}) \quad (8)$$

όπου: $C(t)$ είναι η συσσωρευθείσα ποσότητα.

Η (8) περιγράφει, τη συσσώρευση στο όργανο συναρτήσει, του χρόνου και η γραφική της παράσταση δίνεται στο Σχήμα 1



Σχήμα 1: Γραφική παράσταση της εξίσωσης (8)

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ

Η βαρύτητα των βιολογικών διαταραχών εξαρτάται από τη ποσότητα της ουσίας στα όργανα.

Υπάρχει συνάρτηση

δόση - αποτέλεσμα (dose effect)

Εκτιμάται συνήθως η συνάρτηση

έκθεση - επιδημιολογικό αποτέλεσμα

(dose - response)

π.χ. μόλυβδος στην ατμόσφαιρα → αύξηση αμινολεβουλικού οξέος στα ούρα.

Εκτίμηση έκθεσης

α) Προσδιορισμός της συγκέντρωσης της ουσίας στο περιβάλλον

β) Προσδιορισμός της ουσίας στον οργανισμό,

Παραδείγματα χρόνιας δηλητηρίασης που προσεγγίζουν την οξεία

δηλητηρίαση.

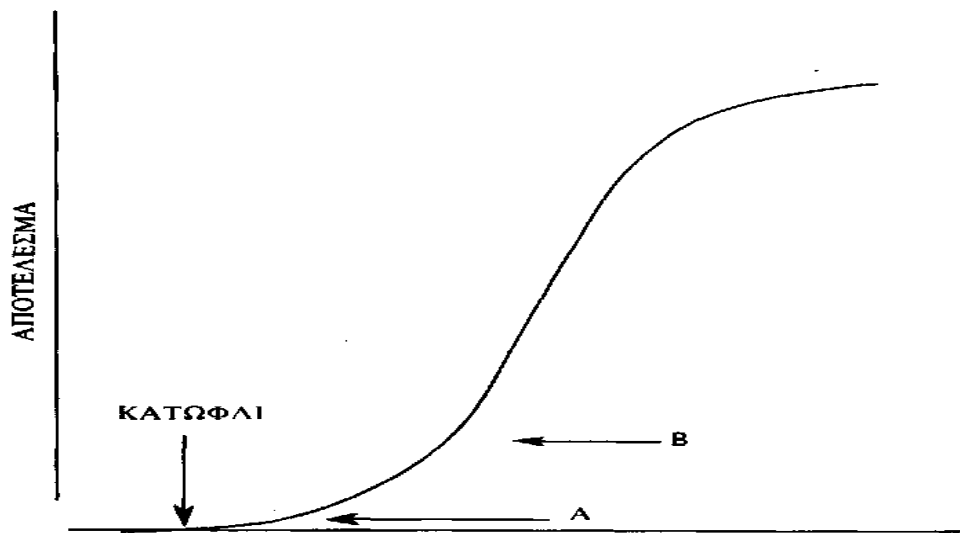
α) Νόσος itai - itai

Η νόσος itai-itai που οφείλεται στο κάδμιο. Η διάγνωση ετέθη για πρώτη φορά το 1955 στην Ιαπωνία, όπου καλλιέργειες ρυζιού και σόγιας υπέστησαν μεγάλη ρύπανση με κάδμιο, προερχόμενο από ένα μεταλλείο. Το

μέταλλο συσσωρεύεται στο ρύζι και τη σόγια λόγω της μεγάλης του ικανότητας να συνδέεται με τις πρωτεΐνες. Στον ανθρώπινο οργανισμό συνδέεται με τις κυτταρικές πρωτεΐνες, καθώς και με πρωτεΐνες μικρού μοριακού βάρους (μεταλλοθειονίνη). Συσσωρεύεται δε στα νεφρά, ήπαρ και στους αδένες του γεννητικού συστήματος. Η νόσος εκφράζεται με ισχυρά άλγη στα οστά που γίνονται εξαιρετικά εύθραυστα, κυρίως δε στις γυναίκες μέσης ηλικίας. Πιστεύεται ότι το κάδμιο αυξάνει την απέκκριση ασβεστίου με παράλληλη διαταραχή της εντερικής απορρόφησης του και της απορρόφησης της βιταμίνης D. Η νόσος εμφανίζεται σαν μείγμα οστεομαλάκυνσης και οστεοπόρωσης. Η βασική διαταραχή φαίνεται πάντως να είναι οι εκφυλιστικές βλάβες των νεφρικών σωληναρίων που δεν επαναπορροφούν το ασβέστιο του διηθήματος.

β) Νόσος minamata

Η νόσος minamata που είναι δηλητηρίαση από οργανικές ενώσεις του υδραργύρου (μεθυλδράργυρος). Οι ενώσεις αυτές πυκνώνονται στα ψάρια περιοχών με μεγάλη θαλάσσια ρύπανση από απόβλητα πλούσια σε υδράργυρο, όπως τα απόβλητα των βιομηχανιών πλαστικών (παρασκευής βινιλοχλωριδίου) όπου χρησιμοποιείται ο χλωριούχος υδράργυρος σαν καταλύτης. Η ανόργανος μεταλλική μορφή του υδραργύρου μετατρέπεται σε οργανική (μεθυλ- ή διμεθυλ-υδράργυρος) από τους μικροοργανισμούς του βυθού της θάλασσας ή λιμνών. Η νόσος εμφανίζεται με εγκεφαλικά συμπτώματα που προσομοιάζουν με την εγκεφαλική ατροφία (σπαστικά φαινόμενα). Τα πιο ευπαθή άτομα είναι τα νήπια και τα βρέφη. Η πρόσληψη μεγάλων ποσοτήτων μεθυλδραργύρου γίνεται δια της κατανάλωσης ψαριών.



ΔΟΣΗ

Σχ. 2. Τυπική καμπύλη δόσης - αποτελέσματος. Ενώ το σημείο ουδού είναι συγκεκριμένο (κατώφλι), λόγω της μικρής ευαισθησίας των μεθόδων εκτίμησης του αποτελέσματος ο ουδός τοποθετείται στο σημείο A. Παρόμοια μετατόπιση γίνεται συνήθως και για κοινωνικοοικονομικούς λόγους (θεσμοθέτηση προτύπων). Το σημείο B βρίσκεται στο σχετικά γραμμικό τμήμα της καμπύλης.

ΕΝΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: ΤΑ ΕΝΤΟΜΟΚΤΟΝΑ

Οργανοφωσφορικά, Καρβοξυλικά

Η οξεία τοξικότητα των εντομοκτόνων ποικίλλει σημαντικά μέσα σε κάθε κατηγορία. Υπάρχουν π.χ. οργανοφωσφορικά εντομοκτόνα, των οποίων η LD₅₀ δια του στόματος είναι 800 mg/Kg βάρους (π.χ. του chlorothion), ενώ άλλων είναι 1.1 mg/kg βάρους (π.χ. του TEPP) στους άρρενες μύες.

Τα εντομοκτόνα προκαλούν οξείες δηλητηριάσεις στους εργαζόμενους των εργοστασίων παρασκευής ή στα άτομα που τα χρησιμοποιούν. Οι οξείες δηλητηριάσεις που προκαλούνται από τα οργανοφωσφορικά και τα καρβοξυλικά εντομοκτόνα οφείλονται στην αναστολή της χοληνεστεράσης και τη συσσώρευση της ακετυλοχολίνης με συμπτώματα όπως ο συσπάσεις των λείων μυών των βρόγχων και του εντερικού σωλήνα, βραδυκαρδία και μείωση των οφθαλμικών κορών. Η συσσώρευση της ακετυλοχολίνης επιδρά επίσης επί των περιφερειακών μυών (μυϊκή ατονία που μπορεί να επεκταθεί στους αναπνευστικούς μύες; με εμφάνιση δύσπνοιας και κυάνωσης, μυϊκοί σπασμοί) και του κεντρικού νευρικού συστήματος με εμφάνιση άγχους, αϋπνίας και κεφαλαλγίας.

Η θεική ατροπίνη (2 έως 4 mg ενδοφλεβίως ανά 110', μόλις κατανηθεί η κυάνωση με τεχνητή αναπνοή και μέχρι εμφάνισης σημείων ατροπινισμού) είναι η θεραπεία αμέσου δράσεως.

Τα χλωριούχα εντομοκτόνα δρουν τελείως διαφορετικά. Φαίνεται ότι επιδρούν επί της ανταλλαγής ιόντων νατρίου και καλίου στις νευρικές ίνες δια της αλλοίωσης της διαβατότητας των μεμβρανών. Τα συμπτώματα είναι νευρολογικά: παραισθήσεις των χειλέων, γλώσσας και προσώπου, ίλιγγοι, εκνευρισμός.

Η οξεία τοξικότητα των χλωριούχων εντομοκτόνων είναι συνήθως (όχι όμως πάντα) μικρότερη της οξείας τοξικότητας των οργανοφωσφορικών.

Εκείνο όμως που έχει πολύ μεγαλύτερη σημασία είναι ότι τα χλωριούχα εντομοκτόνα τείνουν να συσσωρευθούν στη φύση και τον οργανισμό των ζώων (λόγω της μεγάλης διαλυτότητας τους στο λίπος) και του ανθρώπου προκαλώντας χρόνιες δηλητηριάσεις όπου το κυρίως προσβαλλόμενο όργανο είναι το ήπαρ.

Η συσσώρευση των εντομοκτόνων στο φυσικό περιβάλλον εξαρτάται από τη βιοσπασιμότητά τους, την ευαισθησία τους στις φωτοχημικές αντιδράσεις και στην ικανότητα τους να συνδέονται με οργανικές ή μεταλλικές ενώσεις.

Τα χλωριούχα εντομοκτόνα παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα και επί πλέον είναι λιποδιαλυτά εξ ου και η σημαντική συσσώρευση τους στους ζώντες οργανισμούς.

Αποδεικνύεται ότι σήμερα όλοι οι ζωικοί οργανισμοί παρουσιάζουν μικρές ποσότητες κυρίως DDT και DDE (που συνοδεύει το DDT στα βιομηχανικά παρασκευάσματα. αλλά και είναι και προϊόν του καταβολισμού του DDT στους οργανισμούς) στους λιπώδεις ιστούς τους. Κύρια πηγή για τον άνθρωπο είναι οι τροφές (ιδίως οι φυτικής προέλευσης τροφές όταν έχουν ραντισθεί πρόσφατα), ο αέρας, η σκόνη και πόσιμο νερό. Υπολογίζεται ότι στην Αμερική ένας άνδρας 70 kg βάρους σώματος προσλαμβάνει 35 χιλιοστόγραμμα DDT ετησίως, ενώ η παραδεκτή ετήσια ποσότητα είναι 130 χιλιοστόγραμμα περίπου. Στην Ευρώπη, η ποσότητα BHC στους λιπώδεις ιστούς του ανθρώπου ποικίλλει από 0.08 ppm στην Ιταλία σε 1.19ppm στη Γαλλία. Το DDT (και άλλα χλωριούχα εντομοκτόνα) παρουσιάζει μεγάλους συντελεστές βιοπύκνωσης, η δε ημιζωή του ανέρχεται σε 10 έως 20 χρόνια. Για το DDE όμως η ημιζωή ξεπερνά τα 50 χρόνια.

Στις λίγες επιδημιολογικές έρευνες που έχουν γίνει δεν έχει αποδειχθεί αύξηση της νοσηρότητας σε περιοχές όπου χρησιμοποιούνται ευρύτατα τα χλωριούχα εντομοκτόνα.

Εν τούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι το DDT είναι πειραματικά μεταλλαξιογόνο και καρκινογόνο. Επομένως η ίδια δράση πρέπει να υφίσταται και στον άνθρωπο. Εκτός αυτού όμως πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι το DDT προκαλεί και άλλες βλάβες. Τα νεογνά των μυών εμφανίζουν μεγάλη θνησιμότητα όταν αυξάνεται η ποσότητα του DDT που προσλαμβάνεται από τη μητέρα τους κατά τη διάρκεια της περιόδου του θηλασμού

(το DDT απεκκρίνεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στο γάλα, όπως άλλωστε και στο γάλα των αγελάδων που βόσκουν σε ραντισμένα λιβάδια). Στα επιζώντα νεογνά παρατηρείται μείωση της ενεργητικότητας και καθυστέρηση της σωματικής ανάπτυξης τους. Το φαινόμενο αυτό γίνεται μάλιστα ακόμη πιο έντονο, όταν η διατροφή είναι πτωχή σε πρωτεΐνες. Στα πουλιά επίσης παρατηρείται αρνητική συσχέτιση μεταξύ της ποσότητας DDT που βρίσκεται συσσωρευμένο στα σώματα τους και του πάχους του κελύφους των αυγών τους.

Τα ανωτέρω δεν αποδεικνύουν ότι το DDT και τα άλλα χλωριούχα εντομοκτόνα προξενούν άμεσους κινδύνους για την υγεία του ανθρώπου, ούτε όμως οι μέχρι σήμερα επιδημιολογικές έρευνες που έδωσαν αρνητικά αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι είναι ακίνδυνα. Άλλωστε, οι μακρόπνοες επιδημιολογικές μελέτες που είναι αναγκαίες δεν έχουν γίνει ακόμη.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Η χρόνια τοξικότης ή και οι άλλες επιδράσεις των περιβαλλοντικών χημικών ουσιών είναι συνάρτηση της δόσης και της χρονικής διάρκειας έκθεσης στην ουσία αυτή. Για αυτό και η «έκθεση» είναι μια χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή της δόσης. Ακόμα και στις περιπτώσεις όπου το τοξικό αποτέλεσμα δεν έχει ουδό και που μπορεί να εκδηλωθεί έστω και μετά από στιγμιαίες εκθέσεις (όπως π.χ. στην περίπτωση των πρωταρχικών καρκινογόνων παραγόντων) η ολική έκθεση είναι συνάρτηση του αριθμού στιγμιαίων εκθέσεων κατά τη διάρκεια της ζωής.

Επομένως, η περιβαλλοντική τοξικότητα εξαρτάται από τις «ευκαιρίες» που έχει ο άνθρωπος να έλθει σε επαφή με την τοξική ουσία. Έτσι, μια ουσία μεγάλης φαρμακολογικής τοξικότητας έχει μικρή περιβαλλοντική τοξικότητα εάν οι ευκαιρίες επαφής της με τον άνθρωπο είναι σπάνιες ή/και πολύ μικρής διάρκειας σε σημείο που γίνονται και πρακτικά αμελητέες.

Η διάρκεια της έκθεσης και η δόση της ουσίας εξαρτώνται από την τύχη της ουσίας αυτής από τη στιγμή που θα απελευθερωθεί στο περιβάλλον από μια ανθρώπινη δραστηριότητα, δηλαδή από τη διακίνηση της μεταξύ των στοιχείων του περιβάλλοντος (χώμα, νερό, αέρας, φυτικοί ή ζωικοί οργανισμοί) και τον ενδεχόμενο εγκλωβισμό της σε ένα από τα ανώτερο) στοιχεία.

Εάν η διακίνηση αυτή ή ο εγκλωβισμός επιτρέπουν την αύξηση των ευκαιριών επαφής με τον άνθρωπο, η ουσία γίνεται περισσότερο τοξική από περιβαλλοντικής πλευράς.

Τα πιο πάνω μας οδηγούν στη μελέτη των παραγόντων εκείνων που επηρεάζουν την τύχη της ουσίας στο περιβάλλον. Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται από τη χημική δομή και τις φυσικοχημικές ιδιότητες της ουσίας, καθώς και από τους χαρακτήρες του περιβάλλοντος αυτού καθ' εαυτού.

Η τύχη των χημικών ρύπων στο περιβάλλον

Οι χημικοί ρύποι κατανέμονται στα τρία διαμερίσματα του χώρου, δηλαδή το έδαφος, τον αέρα και το νερό. Από την κατανομή αυτή εξαρτάται η πιθανότητα έκθεσης του ανθρώπου καθώς και το μέγεθος της, δηλαδή συνολικά οι περιβαλλοντικοί υγειονομικοί κίνδυνοι που δημιουργούνται από την ουσία αυτή. Η κατανομή εξαρτάται και από τις φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων, αλλά και από τις ιδιότητες του χώρου, θα μελετήσουμε πιο κάτω τους κυριότερους παράγοντες..

1.Το έδαφος.

Το μεγαλύτερο τμήμα των ρύπων του εδάφους προέρχεται από τον αέρα ή από την καθίζηση των σωματιδίων της σκόνης και καπνού ή από τη βροχή που παρασύρει προς το έδαφος σωματίδια και αέρια της ατμόσφαιρας. Σ' αυτή την τελευταία κατηγορία τρόπου ρύπανσης υπάγεται και η ρύπανση από τη χρήση των εντομοκτόνων. Ένας άλλος τρόπος ρύπανσης του εδάφους γίνεται από την κατευθείαν εναπόθεση στο έδαφος των λιπασμάτων, των στερεών απορριμμάτων (σκουπιδιών) καθώς και των βιομηχανικών κατάλοιπων. Ο τρόπος αυτός γίνεται προοδευτικά και σημαντικότερος λόγω της επέκτασης των συστημάτων καθαρισμού των βιομηχανικών αποβλήτων και της δημιουργίας ιλύος που τελικά εναποτίθεται συχνά στο έδαφος. Το υπέδαφος μπορεί επίσης να ρυπανθεί από τα ημιυπόγεια ή υπόγεια νερά που μπορούν να φέρουν

ρύπους προερχόμενους από πολύ μεγάλη απόσταση ή που μπορούν να έχουν εμπλουτισθεί με μέταλλα κατά τη διέλευσή τους από πλούσια πετρώματα. Η τελευταία αυτή «ρύπανση» δεν αποτελεί βέβαια ρύπανση με την πραγματική έννοια του όρου γιατί δεν είναι ανθρωπογενής.

Το έδαφος περιέχει εκτός από ανόργανες και οργανικές ουσίες που αποτελούνται από τους μικροοργανισμούς και από τα οργανικά κατάλοιπα. Το οργανικό τμήμα του εδάφους εκτιμάται ποσοτικά σε ποσοστό οργανικού άνθρακος στη μονάδα ξηρού βάρους εδάφους και έχει κολλοειδείς διαστάσεις (κάτω από 2 μm.). Είναι πλούσιο σε καρβοξυλικές και φαινολικές ομάδες που ιονίζονται με αρνητικό φορτίο. Το ανόργανο τμήμα έχει πολύπλοκη σύνθεση, αλλά το πιο σημαντικό τμήμα του από περιβαλλοντικής πλευράς, είναι ένα πολύπλοκο σύμπλεγμα πυριτίου, αργιλίου και οξυγόνου μαζί με μικρότερες ποσότητες σιδήρου, μαγνησίου και άλλων. Το τμήμα αυτό έχει αρνητικά φορτία και τα διερχόμενα κατιόντα τείνουν να αντικαταστήσουν άλλα ιόντα στα σημεία προσρόφησης των στερεών. Για παράδειγμα τα δυσθενή μέταλλα (μόλυβδος, χαλκός, υδράργυρος, ψευδάργυρος και σελήνιο.) ανταλλάσσονται συνήθως με το δυσθενές ασβέστιο του τμήματος αυτού του εδάφους.

Η ικανότητα κατακράτησης των χημικών ρύπων από το έδαφος εξαρτάται κυρίως από την ικανότητα του ανταλλαγής ιόντων καθώς και από την περιεκτικότητα του σε οργανικό άνθρακα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων και όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό άνθρακα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η κατακράτηση των ρύπων από το έδαφος αυτό. Σημειώνουμε ότι η ανταλλαγή ιόντων είναι ανάλογη του μοριακού βάρους του ρύπου και αντιστρόφως ανάλογη του σθένους του. Τα βαρέα μέταλλα συγκρατούνται επομένως σε μεγαλύτερο βαθμό. Σε όλες βέβαια τις περιπτώσεις, η εκτίμηση της ικανότητας κατακράτησης του ρύπου από το έδαφος πρέπει να γίνει εργαστηριακά με τη μέτρηση της ικανότητας ανταλλαγής ιόντων και με τον προσδιορισμό της ποσότητας του οργανικού άνθρακα.

Οι ρύποι απομακρύνονται από το έδαφος δια υδρολύσεως και απομακρύνσεως δια του διερχόμενου ύδατος, δια ανόργανου οξειδώσεως (ή αναγωγής) σε άλλα λιγότερο ή περισσότερο τοξικά προϊόντα ή δια εξατμίσεως (ή εξαχνώσεως). Η οργανική οξειδωσή τους είναι βέβαια ο βασικότερος τρόπος καταστροφής των ρύπων, αλλά η έκταση της εξαρτάται από τη βιοσπασιμότητα του ρύπου και από τις τοπικές συνθήκες που επιτρέπουν (ή εμποδίζουν) τη διαθεσιμότητα του ρύπου στους μικροοργανισμούς. Αυτός ο τελευταίος παράγοντας (βιοδιαθεσιμότητα) αποτέλεσε αντικείμενο πολλών μελετών. Ένας ρύπος που εμφανίζει στο εργαστήριο υψηλή βιοσπασιμότητα μπορεί να εμφανίζει πολύ λιγότερη βιοσπασιμότητα στη φύση. Αυτό οφείλεται στο ότι ένα μεγάλο τμήμα του έχει σχηματίσει με τα περιβάλλοντα υλικά, συμπλέγματα από τα οποία αποσπάται με πολύ βραδύτερο ρυθμό. Δύο ουσίες, α και β, μπορούν να παρουσιάζουν την ίδια βιοσπασιμότητα στο εργαστήριο, αλλά στη φύση η ουσία β μπορεί να είναι πολύ λιγότερο βιοσπασίμη. Λέγεται τότε ότι η ουσία β είναι λιγότερο βιοδιαθέσιμη από την ουσία α.

Η βιοδιαθεσιμότητα μιας ουσίας στους πιο πολύπλοκους ζώντες οργανισμούς είναι απευθείας ανάλογη της βιοδιαθεσιμότητας της ουσίας για τους μικροοργανισμούς (που εκτελούν την οργανική οξειδωσή της). Επομένως, μια τοξική ουσία που δεν απελευθερώνεται εύκολα από τις ενώσεις της με τα περιβάλλοντα στοιχεία και που δεν διατίθεται εύκολα στην οξειδωση των μικροοργανισμών, έχει χάσει ένα μεγάλο τμήμα του τοξικού δυναμικού της για τον άνθρωπο.

Στην πραγματικότητα, όμως, τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα. Η έλλειψη βιοδιαθεσιμότητας μιας ουσίας μπορεί να είναι παροδική και να οφείλεται στη συνύπαρξη διαφόρων παραγόντων όπως το pH ή η υγρασία του εδάφους. Η για οποιοδήποτε λόγο μεταβολή των παραγόντων αυτών μπορεί να προκαλέσει την απελευθέρωση της ουσίας από τα συμπλέγματα της και να τη μετατρέψει σε απόλυτα βιοδιαθέσιμη.

Ο άνθρωπος επιβιώνει διότι οι μικροοργανισμοί είναι πολύ πιο αποτελεσματικοί ανταγωνιστές του. Έχουν εξαιρετικές ικανότητες να προσλαμβάνουν βιοδιαθέσιμες ουσίες του περιβάλλοντος και να τις χρησιμοποιούν σαν τροφές. Ο άνθρωπος δεν έχει την ίδια ικανότητα, αλλά αυτό είναι συχνά προς όφελος του, διότι πολλές ουσίες έχουν μεγάλη τοξικότητα. Η αποτελεσματικότητα των μικροοργανισμών είναι τόσο μεγάλη, ώστε ο άνθρωπος έχει κάθε συμφέρον όλες οι χημικές ουσίες να είναι άμεσα βιοδιαθέσιμες για να καταστραφούν από τους μικροοργανισμούς (βιοσπασιμότητα). Προβλήματα δημιουργούνται όταν μια

ουσία έχει δομή και διακίνηση στο περιβάλλον που την καθιστούν πιο βιοδιαθέσιμη για τον άνθρωπο παρά για τους μικροοργανισμούς. Πολλά χλωριούχα εντομοκτόνα εμπίπτουν στην περίπτωση αυτή.

2. Ατμόσφαιρα

Οι ρύποι εκλύονται στην ατμόσφαιρα από σημεία (π.χ. μια βιομηχανική εγκατάσταση), από περιοχές (π.χ. μια πόλη με πολυάριθμες μικρές σχετικά πηγές όπως τα αυτοκίνητα, οι θερμάνσεις των οικιών κλπ) ή από γραμμικές επιφάνειες (όπως π.χ. το αυτοκίνητο σ' έναν αυτοκινητόδρομο). Οι ρύποι διαχέονται στην τροπόσφαιρα (πρώτα 10 χλμ. από την επιφάνεια της γης) και καταλαμβάνουν και το νότιο και το βόρειο ημισφαίριο της μέσα σε ένα έτος περίπου, αλλά για μακρό χρονικό διάστημα οι συγκεντρώσεις στο βόρειο ημισφαίριο παραμένουν πιο υψηλές από εκείνες του νότιου ημισφαιρίου. Η διάχυση των ρύπων στη στρατόσφαιρα γίνεται πάντως με πολύ αργό ρυθμό.

Η απομάκρυνση των ατμοσφαιρικών ρύπων γίνεται με διάφορους μηχανισμούς:

α) Πτώση επί του εδάφους δια καθίζησης ή δια της κίνησης των ανέμων. Ρύποι σξ αέρια κατάσταση μπορούν να προσροφηθούν στα σωματίδια της σκόνης ή καπνού και να ξαναπέσουν στην επιφάνεια της γης.

β) Αποσύνθεση λόγω φωτόλυσης με το ηλιακό φως.

γ) Αποσύνθεση λόγω μεταφοράς ενέργειας (με ή χωρίς την παρουσία ευαισθητοποιητών).

δ) Μετατροπή σε άλλες ουσίες λόγω χημικών αντιδράσεων με άλλα αντιδρώντα είδη ρύπων με τη βοήθεια του ηλιακού φωτός (παράδειγμα είναι οι φωτοχημικές αντιδράσεις των οξειδίων του αζώτου).

ε) Διάχυση στα επιφανειακά νερά όπου στην κατάσταση ισορροπίας ισχύει η σχέση:

$$\underline{\text{Συγκέντρωση στον αέρα}} = \underline{16.04 \cdot P \cdot M}$$

$$\underline{\text{Συγκέντρωση στο νερό}} \quad \underline{T \cdot D}$$

όπου P η πίεση των ατμών της ουσίας σε καθαρή κατάσταση, M το μοριακό βάρος της, T η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin και D η διαλυτότης της ουσίας σε νερό σε mg/l.

Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι τείνουν να παραμείνουν στην τροπόσφαιρα. Ο μέσος χρόνος παραμονής τους μπορεί να εκτιμηθεί με τη σχέση:

Μάζα του ρύπου στην ατμόσφαιρα

Εκλύομενη μάζα του ρύπου στη μονάδα του χρόνου

η δε μάζα του ρύπου στην ατμόσφαιρα εκτιμάται με τη μέση συγκέντρωση του στην τροπόσφαιρα. Κατά τον τρόπο αυτό έχει εκτιμηθεί ότι το εκλύομενο βενζόλιο έχει μέσο χρόνο παραμονής 4 έτη, το χλωροβενζόλιο 230 έτη, το χλωροφόρμιο 9 έτη και ο τετραχλωράνθρακας 24 μέρες.

Πολλές από τις ουσίες αυτές που εκλύονται κυρίως στο βόρειο ημισφαίριο παρουσιάζουν υψηλές τιμές παραμονής, γιατί η διάχυση τους προς το σύνολο της τροπόσφαιρας είναι σχετικώς μικρή.

Η μέση παραμονή του ρύπου σε πολύ περιορισμένους χώρους (περιοχές, πόλεις κ.λπ.) εξαρτάται βέβαια, εκτός από την ταχύτητα αποσύνθεσής της και από τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες (βροχές, κίνηση ανέμων, θερμοκρασιακή αναστροφή, φαινόμενο της νησίδας) και θα μελετήσουμε ορισμένους από αυτούς τους παράγοντες στο κεφάλαιο ατμοσφαιρική ρύπανση.

3. Υδάτινοι πόροι.

Στην έννοια του υδάτινου χώρου περιλαμβάνονται: α) το νερό αυτό καθ' εαυτό, β) τα στερεά του βυθού ή εν αιωρήσει ή εν διαλύσει και γ) οι οργανισμοί (υδρόβιοι ή προσωρινά υδρόβιοι).

Η τύχη ενός ρύπου που εκλύεται ή εισέρχεται σε ένα υδάτινο χώρο καθώς και η κατανομή του στα πιο πάνω στοιχεία του χώρου αυτού εξαρτώνται από: α) τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ρύπου, β) τους χαρακτήρες της πηγής ρύπανσης και γ) τις ιδιότητες του υδάτινου αποδέκτη.

A. Φυσικοχημικές ιδιότητες του ρύπου:

Οι κυριότερες που μας ενδιαφέρουν είναι η διαλυτότητα στο νερό, η διαλυτότητα στα λιπίδια, η πίεση ατμών και η φωτοευαισθησία του ρύπου. Σημαντικός επίσης παράγων είναι η ικανότης του ρύπου για προσρόφηση στα στερεά. Η διαλυτότητα του ρύπου στο νερό επιδρά στη μετακίνηση του ρύπου μέσα στον υδάτινο χώρο. Η μετακίνηση αυτή γίνεται ιδιαίτερα μεγάλη, όταν το ειδικό βάρος του ρύπου είναι μικρότερο εκείνου του νερού, γιατί στις περιπτώσεις αυτές ο ρύπος παραμένει στην επιφάνεια και μπορεί να μετακινηθεί σε μεγάλες αποστάσεις με την κίνηση του ανέμου. Κλασικά παραδείγματα είναι οι κηλίδες πετρελαίου και τα αστικά απόβλητα που εκχύνονται στην επιφάνεια του υδάτινου χώρου.

Η διαλυτότητα του ρύπου στα λίπη επιδρά στη βιοπύκνωση. Όσο πιο υψηλή είναι τόσο μεγαλύτερη είναι και η βιοπύκνωση. Η διαλυτότητα αυτή χαρακτηρίζει τη λιποφιλία του ρύπου, γιατί επιτρέπει την κατανομή του ρύπου μετά την είσοδο του στους οργανισμούς, στο λιπώδη ιστό και λιγότερο στους άλλους ιστούς. Επί πλέον η απομάκρυνση του ρύπου από το λιπώδη ιστό είναι δύσκολη, γιατί προϋποθέτει τη μετατροπή του σε υδατοδιαλυτά προϊόντα και αυτό βέβαια εξαρτάται από την ευαισθησία του ρύπου σε ενζυματικές οξειδώσεις ή άλλες μετατροπές. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ότι η συγκέντρωση του ρύπου στα λίπη είναι πολύ πιο μεγάλη από εκείνης στους άλλους ιστούς.

Αποδεικνύεται ότι ο συντελεστής κατανομής μεταξύ των φύσεων οκτανόλη/νερό δίνει μια πολύ καλή εκτίμηση της λιποφιλίας ενός ρύπου. Όσο πιο ψηλός είναι ο συντελεστής αυτός τόσο πιο έντονη είναι και η λιποφιλία και τελικά η βιοπύκνωση. Βιοπύκνωση είναι η σχέση συγκεντρώσεων του ρύπου μεταξύ δύο διαδοχικών κρίκων της τροφικής αλυσίδας. Εάν πάρουμε όμως δύο ακραίες τιμές π.χ. ψάρι/νερό, η σχέση αυτή είναι 100000 για το DDT, 8000 για το εξαχλωροβενζόλιο και 20 για τον τετραχλωράνθρακα. Οι ίδιες περίπου αναλογίες εμφανίζονται και στην κατανομή μεταξύ των φάσεων οκτανόλη/νερό.

Η πτητικότητα μιας ουσίας εκτιμάται, όπως είναι γνωστό, από την πίεση των αερίων ή ατμών στην κατάσταση ισορροπίας και σε μια δεδομένη θερμοκρασία. Όσον αφορά τους υδάτινους χώρους σημαντική έννοια είναι επίσης η κατανομή αερίων ή ατμών μεταξύ φάσεων αέρα/νερό δηλαδή ο συντελεστής του νόμου Henry, αλλά όσο πιο υψηλή είναι η πίεση ατμών στην ισορροπία, τόσο πιο μεγάλη είναι και η ποσότητα της ουσίας που διαχέεται στην υδάτινη φάση για ένα δεδομένο συντελεστή Henry. Αποδεικνύεται έτσι ότι ουσία με πίεση ατμών μικρότερη των 10^{-9} Pascal ελάχιστα εισέρχεται στην υδάτινη φάση ανεξάρτητα του συντελεστή Henry. Τουναντίον ουσίες με πίεση 10^{-6} Pascal και με συντελεστή 10^{-5} μπορούν να προκαλέσουν συγκεντρώσεις στο νερό της τάξης των 200 mg/l (μια τέτοια ουσία είναι π.χ. το βενζο-α-πυρένιο).

Τα πιο πάνω εξηγούν πώς γίνεται η ρύπανση στα επιφανειακά νερά από την ατμόσφαιρα ή και το αντίθετο (δηλαδή η απομάκρυνση του ρύπου από τα ύδατα) εφόσον η κίνηση είναι αμφίδρομη. Τα πιο πάνω εξηγούν επίσης γιατί ορισμένοι ατμοσφαιρικοί ρύποι με χαμηλό συντελεστή Henry αλλά υψηλή πτητικότητα (όπως το DDT και τα πολυχλωροδιφαινύλια) παρασύρονται από τη βροχή πιο εύκολα από άλλους ρύπους και ρυπαίνουν ακόμη περισσότερο τους υδάτινους χώρους.

Η προσρόφηση στα στερεά είναι δυναμικό, αμφίδρομο φαινόμενο και επομένως οι ρύποι μπορούν να δεσμευθούν ή να απελευθερωθούν από τα στερεά ανάλογα με τις υπάρχουσες συνθήκες.

Η δέσμευση του ρύπου από τα στερεά διακρίνεται συνήθως σε «χαλαρή» ή «ισχυρή» με κριτήριο τη δυνατότητα απόπλυσής τους με οξικό οξύ. Θεωρείται ότι η χαλαρή μορφή είναι περισσότερο βιοδιαθέσιμη από την ισχυρή, χωρίς όμως αυτό να έχει αποδειχθεί τελείως. Πάντως και οι ισχυρές ακόμα δεσμεύσεις μπορούν τελικά να γίνουν και αυτές βιοδιαθέσιμες εάν μεταβληθούν οι τοπικές συνθήκες (pH, θερμοκρασία κ.λπ.) και επομένως όλοι οι ρύποι που βρίσκονται συνδεδεμένοι με τα στερεά στον πυθμένα συνήθως των υδάτινων χώρων πρέπει να θεωρηθούν επικίνδυνοι από πλευράς περιβαλλοντικής τοξικολογίας.

β. Χαρακτήρες των πηγών ρύπανσης

Για ένα δεδομένο ρύπο η τύχη τους στους υδάτινους χώρους εξαρτάται, εκτός από την ποσότητα τους στη μονάδα χρόνου, και από τον τρόπο με τον οποίο καταλήγει στους χώρους αυτούς. Τις περισσότερες φορές, η έκχυση του ρύπου γίνεται κατευθείαν στον υδάτινο χώρο ή δια των ποταμών ή δια αγωγών. Είδαμε πιο πάνω ότι η έκχυση

Πίνακας 1. Ιδιότητες που επηρεάζουν τη τύχη των ρύπων στο περιβάλλον

Διαλυτότητα στο νερό

1. Μερική πίεση ατμών
2. Σχέση διαλυτότητας σε οκτανόλη/νερό
3. Συντελεστής βιοπύκνωσης
4. Σταθερά προσρόφησης από το χώμα
5. Σχέση συγκέντρωσης αέρα/νερό (Νόμος του Henry.)
6. Σταθερά διασπάσεως στο νερό, αέρα, χώμα και οργανισμούς

Πίνακας 2.. Ανώτατες αποδεχτές ποσότητες διάθεσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος (οριακή τιμή για όλη τη διάρκεια της εναπόθεσης) kg/στρέμμα

Μέταλλο	Ικανότης ανταλλαγής ιόντων		
	<5 meq	5 – 15 meq	>15 meq
Μόλυβδος	56	112	224
Ψευδάργυρος	28	56	112
Χαλκός	14	28	56
Νικέλιο	14	28	56
Κάδμιο	0,5	1,0	2,0

στην επιφάνεια μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες κυρίως όσον αφορά τη μετακίνηση του ρύπου στο χώρο και την κατανομή του στα διαμερίσματα νερό/οργανισμοί/στερεά. Η ταχύτητα αραίωσης του ρύπου από το νερό και ο βαθμός «τελικής αραίωσης» είναι βασικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η περιβαλλοντική τοξικότητα του ρύπου. Γι' αυτό στόχος κάθε διάθεσης υγρών αποβλήτων σε ένα υδάτινο χώρο είναι η γρήγορη και όσο δυνατόν πιο μεγάλη αραίωση μέσα στο χώρο αυτό. Διάφορα μοντέλα έχουν μελετηθεί αλλά το πιο χρήσιμο και πρακτικό από όλα είναι εκείνο της «προκαταρκτικής αραίωσης», δηλαδή της αραίωσης που επιτυγχάνεται αμέσως μετά την έκλυση των αποβλήτων στον υδάτινο χώρο, πριν γίνει η διάχυση στο σύνολο του. Αποδεικνύεται ότι η ελάχιστη προκαταρκτική αραίωση εξαρτάται από τη διαφορά του ειδικού βάρους του αποβλήτου από το ειδικό βάρος του νερού του αποδέκτη (συνήθως 1026 χιλιογράμμο/κυβ. μέτρο για τη θάλασσα) και μειώνεται όταν η διαφορά αυτή αυξάνει.

Η αραίωση είναι επίσης ανάλογος του βάθους της αποβολής ίων λυμάτων και αντίστροφα ανάλογος του όγκου των αποβλήτων ανά μέτρο οπών του αγωγού. Αποδεικνύεται έτσι ότι σε ομοιογενή θερμικά ύδατα (χωρίς θερμική στρωματοποίηση) κάποια αραίωση επιτυγχάνεται από βάθος 2.5 μέτρα και άνω.

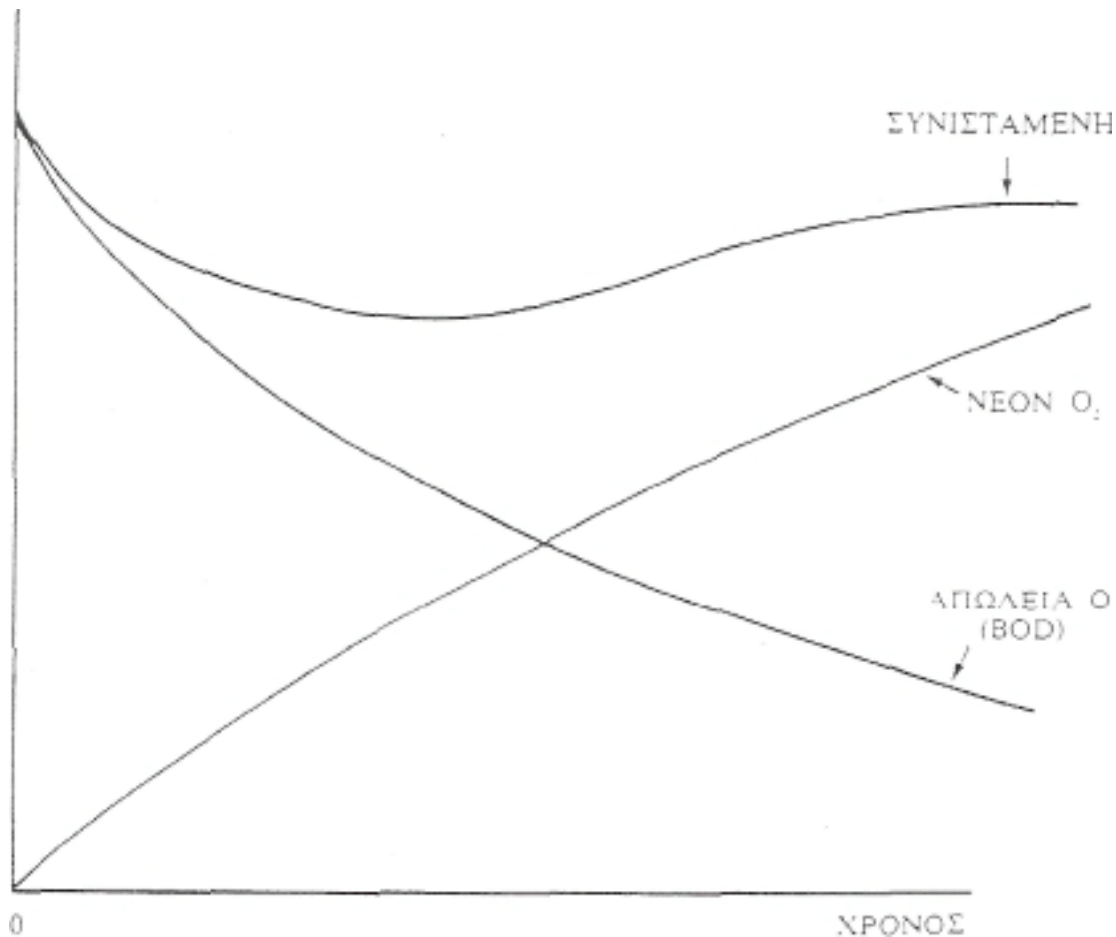
Η συνήθως επιδιωκόμενη αραίωση των 1:10 επιτυγχάνεται με εκβολές σε βάθος 25 μέτρων και άνω. Εάν βέβαια τα απόβλητα εκχύνονται στην επιφάνεια, καμιά αραίωση δεν επιτυγχάνεται.

Γ· Χαρακτήρες τον αποδέκτη

Οι Φυσικοχημικοί χαρακτήρες του αποδέκτη (pH, θερμοκρασία, περιεκτικότητα σε άλατα και σε οξυγόνο κ.λπ.) επιδρούν σημαντικά στην κατανομή των ρύπων στα διαμερίσματα νερό/οργανισμού/στερεά, γιατί μεταβάλλουν τον ιονισμό, την προσρόφιση στα στερεά και την πρόσληψη των ρύπων από τους μικροοργανισμούς. Η παρουσία ή όχι ικανών ποσοτήτων φυτοπλαγκτού επηρεάζει τον εμπλουτισμό του υδάτινου χώρου σε οξυγόνο που προέρχεται από τη φωτοσύνθεση δια της χλωροφύλλης. Στον εμπλουτισμό του χώρου με οξυγόνο παίζει βέβαια ρόλο και η κινητικότητα του νερού που επιτρέπει τον αερισμό του και τη διάλυση μεγαλύτερων ποσοτήτων οξυγόνου.

Η θερμοκρασία του υδάτινου χώρου επηρεάζει σημαντικά τη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Στο σημείο κορεσμού η συγκέντρωση αυτή έχει αρνητική συσχέτιση με τη θερμοκρασία .

Το Σχ. 3 δείχνει την τύχη μιας βιοδιαθέσιμης οργανικής ουσίας που εκλύεται σε ένα σημείο στο χρόνο μέσα στον υδάτινο χώρο καθώς και την επίδραση της στο διαλυμένο οξυγόνο.



Σχ. 3. Κατανάλωση διαλυμένου οξυγόνου από την προσθήκη μιας και μόνο ποσότητας οργανικών ουσιών σ' έναν υδάτινο χώρο. Παρατηρείται ότι η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώθηκε για την οξείδωση των οργανικών ουσιών ανακτάται από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο (διάχυση) και το οξυγόνο που παράγεται από τους φυτικούς οργανισμούς που φέρουν χλωροφύλλη.

Δύο παραδείγματα περιβαλλοντικής τοξικολογίας.

Υδράργυρος

Οι κύριες πηγές υδραργύρου είναι τα εργοστάσια παρασκευής χλωρίνης και αλκαλίων, οι καύσεις άνθρακα και η παραγωγή τσιμέντου. Οι φαρμακευτικές και ιατρικές δραστηριότητες καθώς και η βιομηχανία ηλεκτρονικών συσκευών εκλύουν επίσης μικρές ποσότητες υδραργύρου.

Ο φλοιός της γης περιέχει 50 έως 80 μέρη στο δισεκατομμύριο και αυτός ο υδράργυρος μπορεί να παρασυρθεί από τα νερά της βροχής προς τα επιφανειακά ή υπόγεια νερά. Σημειώνουμε ότι ο υδράργυρος εξαχνούται (η πίεση ατμών είναι 1 mm στους 126° C περίπου) και αν και η εξαχνωση αυτή είναι πολύ μικρή στις συνήθεις θερμοκρασίες, η μετακίνηση του μετάλλου από το έδαφος προς την ατμόσφαιρα και από εκεί προς τα επιφανειακά νερά δεν είναι αμελητέα.

Από τοξικολογικής πλευράς ο υδράργυρος έχει δύο όργανα-στόχους: α) τον εγκέφαλο και β) τα νεφρά. Ο τοξικός μηχανισμός είναι πολύπλοκος, συνίσταται δε κυρίως στην έλξη του μετάλλου προς τις θειϊδρυλικές θέσεις πολλών ενζύμων. Η επίδραση επί των νεφρών οφείλεται πολύ πιθανόν σε αγγειακές διαταραχές λόγω της αναστολής της μονοαμινοξειδωσης και της απελευθέρωσης της οροτονίνης. Εκτός από πολύ σπάνιες περιπτώσεις (νόσος minamata) κλινικά συμπτώματα δεν παρατηρούνται στο γενικό πληθυσμό. Στους εργαζόμενους όμως που εκτίθενται σε ατμούς υδραργύρου παρατηρούνται νευρολογικά φαινόμενα (ερεθισμός, υπερδιέγερση, έντονα αντανακλαστικά, τρόμος) ή νεφρίτης.

Οι ανόργανες και οργανικές μορφές του μετάλλου έχουν την ίδια περίπου τοξική επίδραση γιατί πιθανόν οι οργανικές ενώσεις απορρογούνται στους ιστούς με απελευθέρωση του μετάλλου.

Από περιβαλλοντικής πλευράς οι ανόργανες μορφές δεν αποτελούν ιδιαίτερο πρόβλημα. Οι οργανικές ενώσεις είναι όμως βασικό πρόβλημα περιβαλλοντικής τοξικολογίας. Πράγματι, ο ανόργανος υδράργυρος μεθυλιώνεται από τους μικροοργανισμούς σε μεθυλ- και κυρίως διμεθυλ-υδράργυρο δια ενζυματικών μηχανισμών. Η μετατροπή αυτή είναι πιο έντονη σε αναερόβιες συνθήκες όπως στον πυθμένα των θαλασσών ή λιμνών (όπως έγινε προφανώς στον κόλπο Minamata). Οι μεθυλιωμένες μορφές του μετάλλου διέρχονται δια των κυτταρικών μεμβρανών πολύ πιο εύκολα από τις ανόργανες μορφές. Αυτό αποτελεί το πρώτο βασικό στοιχείο της περιβαλλοντικής τοξικότητας του υδραργύρου. Το δεύτερο στοιχείο είναι η υψηλή ικανότητα συσσώρευσης του μετάλλου στον οργανισμό. Η ημιζωή του μετάλλου στον εγκέφαλο ανέρχεται σε έτη όταν πρόκειται για εισπνοή ατμών υδραργύρου και ποικίλλει από 35 σε 189 μέρες όταν πρόκειται για πρόσληψη μεθυλδραργύρου. Λαμβάνοντας μία μέση ημιζωή 70 ημερών υπολογίζεται ότι, στο επίπεδο ισορροπίας, η συγκεντρωση του μετάλλου στον εγκέφαλο θα είναι 1.7 μg/g ξηρού βάρους σε περίπτωση πρόσληψης 4 μg μετάλλου ανά 10 χιλιόγραμμα βάρους σώματος (ή 380 μg για ένα άτομο 70 χιλιόγραμμων). Η ποσότητα αυτή εύκολα προσλαμβάνεται όταν καταναλίσκονται ψάρια που μπορούν να περιέχουν 0.5-3 μg/g ξηρού βάρους και νερό που μπορεί να περιέχει 2 μg στο λίτρο. Τα ψάρια αναφέρονται ιδιαίτερα γιατί παρουσιάζουν συχνά τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μεθυλδραργύρου και οι συγκεντρώσεις αυτές παρουσιάζουν θετική συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις του μετάλλου στον πυθμένα των θαλασσών και λιμνών.

Κάδμιο

Η φυσική παρουσία του καδμίου στο περιβάλλον είναι σπάνια και σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Επομένως, κάθε ανίχνευση του στο περιβάλλον, σε μικρές αλλά αισθητές συγκεντρώσεις, είναι απόδειξη κάποιας (ανθρωπογενούς) ρύπανσης. Η κυριότερη προέλευση του είναι η βιομηχανία όπως οι περισσότερες μεταλλουργικές εργασίες και η κατασκευή/χρήση χρωστικών ουσιών.

Το κάδμιο εισέρχεται στον οργανισμό δια της πεπτικής οδού (νερό, τροφές) ή δια εισπνοής κόνεων ή ατμών καδμίου. Η τοξική επίδραση οφείλεται κυρίως στα δισθενή ιόντα που επιδρούν στη λειτουργία πολλών ενζύμων (διυδρογονάσεις, ένζυμα σύνθεσης του δ-αμινολεβουλινικού οξέος).

Η χρόνια δηλητηρίαση του ανθρώπου εκδηλώνεται με ανοσμία, νεφρικές διαταραχές και πνευμονικό εμφύσημα. Προκαλεί επίσης, κατά πάσα πιθανότητα, καρκίνο των πνευμόνων. Παρά το γεγονός ότι το κάδμιο βρίσκεται σε ικανές ποσότητες στον καπνό του τσιγάρου, δεν έχει αποδειχθεί ακόμη ότι και το εμφύσημα και η νεοπλασία των πνευμόνων (που συνδέονται επιδημιολογικά με το κάπνισμα) οφείλονται στο κάδμιο του καπνού.

Η πιο χαρακτηριστική εκδήλωση της χρόνιας δηλητηρίασης είναι η πρωτεϊνουρία από βλάβες των νεφρικών σωληναρίων. Η πρωτεϊνουρία χρησιμοποιείται σαν δείκτης δηλητηρίασης στους εργαζομένους που εκτίθενται στο μέταλλο κατά τη διάρκεια της εργασίας τους. Πειραματικές ενδείξεις υπάρχουν ότι οι βλάβες των σωληναρίων αρχίζουν όταν η συγκέντρωση του καδμίου ~τα νεφρά ξεπερνά τα 200 μg/g υγρού βάρους.

Η ημιζωή του καδμίου στα νεφρά είναι άγνωστη, αλλά για το σύνολο του οργανισμού η ημιζωή ανέρχεται σε 38 έτη. Το μέταλλο επομένως έχει μεγάλες συσσωρευτικές ιδιότητες αλλά συσσωρεύεται και στο ήπαρ και στους πνεύμονες εκτός από τα νεφρά. Γι' αυτό, κατ' εκτίμηση, η ανεκτή ημερησία πρόσληψη τοποθετείται σε 200 μg για έναν ενήλικα που εκτίθεται στο κάδμιο κατά την εργασία του. Στον γενικό πληθυσμό όμως που υπάρχουν και παιδιά και όπου μπορεί να υπάρχουν διατροφικές ελλείψεις σε ψευδάργυρο (που ανταγωνίζεται το κάδμιο) η ποσότητα αυτή δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 100 μg ημερησίως. Η ποσότητα αυτή εύκολα προσεγγίζεται με το πόσιμο νερό (5 μg/l), τις τροφές (λαχανικά: 50 μg/Kg, κρέας: 10-100 μg/Kg, εντόσθια 2000 μg/Kg) και τον αέρα που μπορεί να περιέχει 20 vg/m³. Σημειώνουμε ότι η απορρόφηση του καδμίου από το έντερο ανέρχεται σε περίπου 6% της πρόσληψης, αλλά η απορρόφηση του από τους πνεύμονες ανέρχεται σε 15% της εισπνεόμενης ποσότητας.

2. ΥΓΙΕΙΝΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

Η μελέτη των υγειονομικών θεμάτων των υδάτων και της αποχέτευσης είναι τόσο συνδεδεμένα όσο οι δύο όψεις του ίδιου νομίσματος. Η χημική και μικροβιακή ρύπανση των επιφανειακών ή υπογείων υδάτων προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τον άνθρωπο και επομένως η προστασία της ποιότητας των υδάτων περνάει μέσα από τη διευθέτηση των προβλημάτων της αποχέτευσης των λυμάτων (οικιακής, βιομηχανικής ή γεωργικής προέλευσης).

A. Νερό

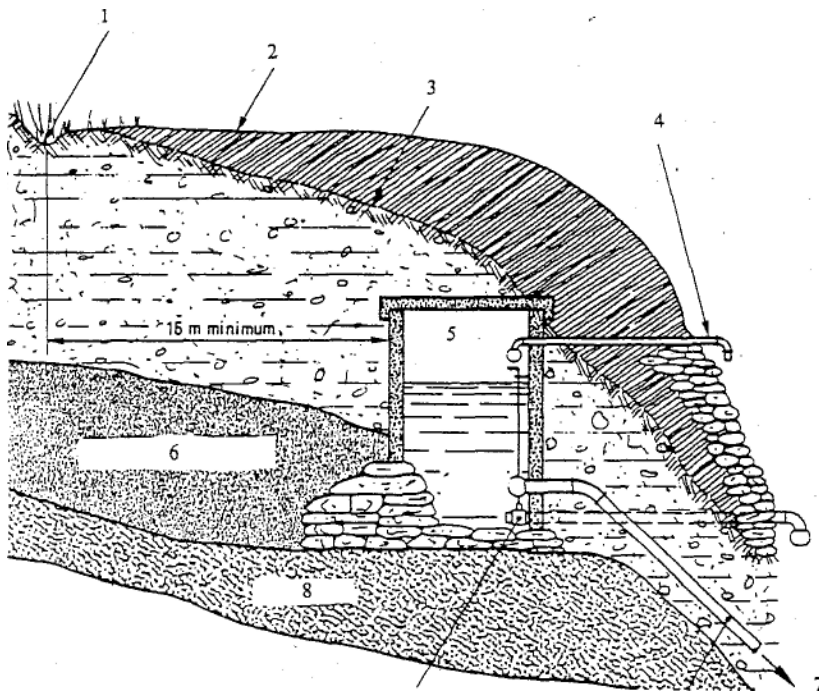
Η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται για πόση εξαρτάται άμεσα από τις κλιματολογικές, διατροφικές και εργασιακές συνθήκες και κυμαίνεται, για ένα νεαρό ενήλικα, από 500 έως 3000 ml ημερησίως. Οι τιμές αυτές είναι βέβαια τελείως ενδεικτικές. Μεγάλες ποσότητες νερού απαιτούνται για τις άλλες χρήσεις εκτός από την πόση. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από το κοινωνικοοικονομικό επίπεδο και ανέρχεται σε 600 l κατ' άτομο ημερησίως στις βιομηχανικές περιοχές της Δύσης. Στην Ελλάδα, η αναγκαία ποσότητα ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή αλλά 200l κατ' άτομο ημερησίως θεωρούνται επαρκή στις περισσότερες περιπτώσεις. Σε όλες τις περιπτώσεις συστημάτων ύδρευσης (κεντρικό υδραγωγείο και δίκτυο ύδρευσης ή ατομικό σύστημα ύδρευσης όπως π. χ. το πηγάδι) το νερό πρέπει να διατίθεται για όλες τις χρήσεις, ανεξάρτητα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για πόση ή για άλλες χρήσεις, και επομένως το σύνολο του όγκου πρέπει να είναι ποσίμου ποιότητας. Η διάκριση σε «πόσιμο» ή σε «μη πόσιμο» νερό δεν εξασφαλίζει την προστασία της υγείας των καταναλωτών.

Οι πηγές ύδρευσης-ποικίλλουν και διακρίνονται σε υπόγειες και επιφανειακές. Στον Πίν. 2.1 αναγράφονται τα συνήθη ποιοτικά χαρακτηριστικά ανάλογα με την προέλευση αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν πολλές εξαιρέσεις.

α. Το νερό της βροχής χρησιμοποιείται ακόμη σε πολλά νησιά και παρουσιάζει προβλήματα όσον αφορά τη συλλογή και εναποθήκευση του. Για να είναι καθαρό, πρέπει οι επιφάνειες (στέγες) που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή του να είναι απόλυτα καθαρές και για το λόγο αυτό τα νερά των πρώτων εποχιακών βροχών πρέπει να μη συλλέγονται για να επιτραπεί το πλύσιμο των επιφανειών. Εν τούτοις, οι επιφάνειες μπορούν να ρυπανθούν με χημικές ουσίες όταν υφίσταται ατμοσφαιρική ρύπανση που, στις περιοχές όπου συλλέγονται τα βροχόνερα, οφείλεται συνήθως στην καύση των σκουπιδιών, εάν η καύση αυτή γίνεται πλησίον των οικισμών. Η μικροβιακή ρύπανση μπορεί να προκληθεί από τα περιττώματα τρωκτικών και σαυρών που μπορεί να είναι φορείς σαλμονελών. Ούτε η αποθήκευση του νερού της βροχής είναι εύκολη. Προβλήματα δημιουργούνται από τη μικροβιακή ρύπανση των δεξαμενών, που χρειάζονται συχνό καθαρισμό με διάλυμα χλωρίου ή από την ανάπτυξη πλαγκτού και φυκιών όταν το νερό εκτίθεται επί μακρό στο ηλιακό φως. Οι οργανισμοί αυτοί αλλοιώνουν τις οργανοληπτικές ιδιότητες και τη διαύγεια του νερού και το καθιστούν.

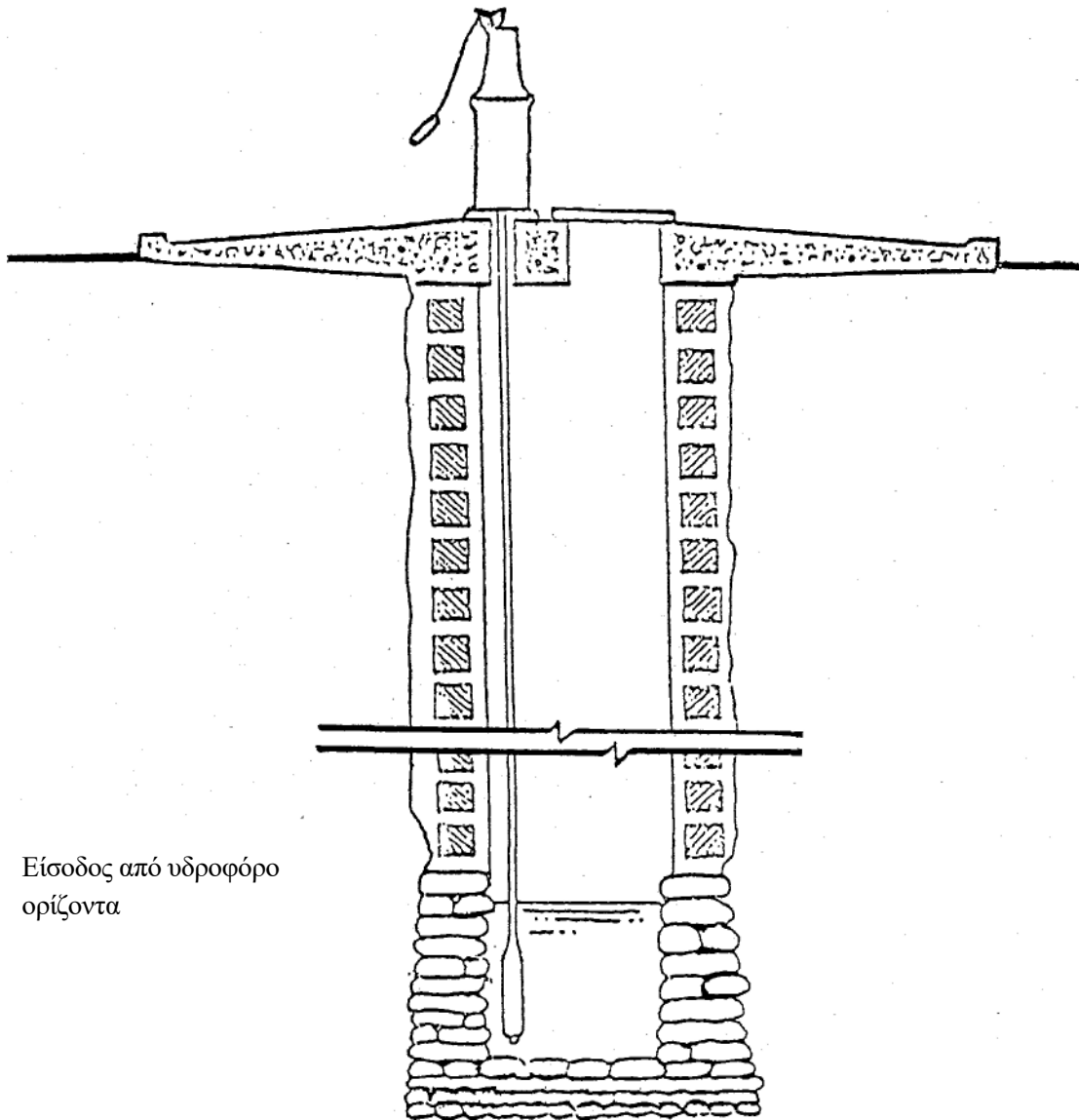
Πίν. 2.1. Ποιότητα των υδάτων ανάλογα με τη προέλευση (προ του καθαρισμού).

Προέλευση:	Ποιότητα	Σκληρότητα
Νερό βροχής	Εξαιρετική	Εξαιρετική
Υπόγειο νερό	Μέτρια	Κακή
Επιφανειακό νερό	Μέτρια	Καλή



Σχ. 2.1. Προστασία πηγής βουνού: Παρατηρούνται ο αύλακας συλλογής των επιφανειακών, βρόχινων υδάτων και η κάλυψη της δεξαμενής συλλογής με χώμα, πάχους 2 τουλάχιστον μέτρων. Η κάλυψη αυτή είναι ιδιαίτερα αναγκαία προς το εσωτερικό τμήμα της δεξαμενής.

1. Χάνδακας συλλογής όμβριων υδάτων.
2. Στοιβάδα χώματος επικάλυψης και προστασίας της πηγής
3. Αρχική επιφάνεια εδάφους
4. Υπερχείλιση
5. Δεξαμενή συλλογής υπογείων υδάτων
6. Κεκορεσμένη με νερό στοιβάδα χώματος
7. Έξοδος (προς ύδρευση)
8. Αδιαπέραστη στοιβάδα (συνήθως άργιλος)



Είσοδος από υδροφόρο
ορίζοντα

Σχ. 2.2. Χειροποίητο πηγάδι.

ακατάλληλο για πόση. Η εγκατάσταση απλών συστημάτων συνεχούς χλωρίωσης των αποθηκευμένων νερών είναι αναγκαία.

β. Οι πηγές του βουνού (πηγές ρωγμής) αποτελούν παραδοσιακές πηγές νερού και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην ελληνική ύπαιθρο. Συχνά πρόκειται για εκροές υπογείων υδάτων, μικρού όμως βάθους που μπορούν επομένως να ρυπανθούν από επιφανειακά νερά. Η γνώμη ότι τα νερά αυτά είναι, κατά κανόνα, «καθαρά» είναι συχνά ανακριβής; Η προστασία της πηγής στο σημείο συλλογής των νερών δεν είναι εύκολη και σπάνια γίνεται σωστά. Το Σχ. 2.1 δείχνει τα βασικά στοιχεία της προστασίας αυτής, ο κύριος στόχος της οποίας είναι η πρόληψη της εισροής επιφανειακών νερών στη δεξαμενή συλλογής. Για το λόγο αυτό η κάλυψη της δεξαμενής (ή τουλάχιστον του προς τη ρωγή μέρους της) με στρώματα εδάφους ικανού πάχους (π.χ. 2 μ. πλαστικής αργίλου) είναι απαραίτητη. Επίσης απαραίτητα είναι η τάφρος συλλογής των επιφανειακών απορροών και ο αγωγός αερισμού της δεξαμενής.

γ. Το πηγάδι είναι και αυτό παραδοσιακή πηγή νερού για πολλούς οικισμούς της Ελλάδας. Το πηγάδι είναι εξ ορισμού χειροποίητο και έχει συνήθως διάμετρο 1-1.2 μέτρα και βάθος από 8 έως 25 μέτρα (Σχ. 2.2). Το

πηγάδι είναι ο πιο επικίνδυνος για η δημόσια υγεία τρόπος ύδρευσης. Το βάθος του είναι συνήθως ανεπαρκές για να επιτρέψει την αποτελεσματική διήθηση των επιφανειακών υδάτων, οιαδήποτε ρύπανση των υπογείων υδάτινων στρωμάτων εισέρχεται χωρίς αισθητή διήθηση στο περιεχόμενο του πηγαδιού εφ' όσον κινείται μέσα σε κεκορεσμένο με νερό στρώμα εδάφους και συχνά η κατασκευή του παρουσιάζει πολλά λάθη που επιτρέπουν τη διείσδυση επιφανειακών νερών. Τα βασικά στοιχεία της προστασίας είναι: α. η κάλυψη των τοιχωμάτων με σκυρόδεμα μέχρι τουλάχιστον 10 μ. (εάν βέβαια το πηγάδι έχει μεγαλύτερο βάθος), β. η κατασκευή ποδιάς από σκυρόδεμα περίξ του στομίου, εύρους δύο μέτρων και με περιφερική τάφρο για την απομάκρυνση των απορροών και κυρίως γ. η πλήρης κάλυψη του στομίου και άντληση του νερού με αντλία χειροκίνητη ή ηλεκτρική.

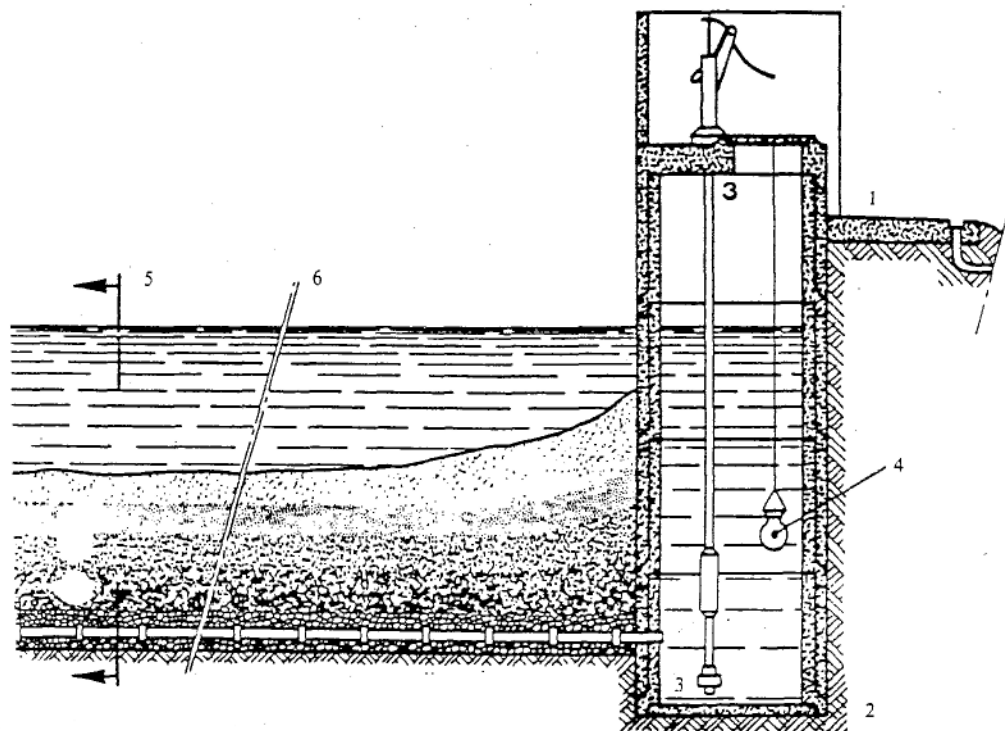
δ. Γεώτρηση δηλαδή η μηχανική διάτρηση του εδάφους μέχρι τον υπόγειο ορίζοντα ,αι η εγκατάσταση σωλήνα και συστήματος άντλησης. Η γεώτρηση έχει το πλεονέκτη-,α (παρά το μεγάλο κόστος της) να εισέρχεται σε μεγάλα βάθη και γεωτρήσεις 150 -00 μέτρων δεν είναι σπάνιες. Η ποιότητα του νερού είναι συνήθως καλή και γι' αυτό χρησιμοποιείται συχνά χωρίς άλλη επεξεργασία εκτός της χλωρίωσης. Δυστυχώς όμως η κατάσταση αυτή επιδεινώνεται προοδευτικά και περισσότερο. Η χρήση των υπογείων υδάτων κατέληξε σε κατάχρηση από τις μεγάλες ανάγκες της βιομηχανίας και γεωργίας εκτός των αναγκών της οικιακής χρήσης που αυξάνουν, όχι μόνο από την αύξηση του ημιαστικού και αστικού πληθυσμού, αλλά και από την αύξηση της κατανάλωσης κατ' άτομο που συνδέεται με την εξέλιξη των κοινωνικών φαινομένων αποδοχή νέων προτύπων διαβίωσης). Έτσι, σε πολλές περιοχές της χώρας, η εξάντληση των υπογείων οριζόντων είναι πια γεγονός. Παράλληλα η ποιότητα αλλοιώνεται και καθιστά αναγκαία την ειδική επεξεργασία του νερού της ύδρευσης.

ε. Επιφανειακά νερά (ποταμοί, λίμνες, φράγματα και σε ορισμένα νησιά της Ελλάδας, θαλασσινό νερό). Η υδροληψία γίνεται ή κατ' ευθείαν από τον επιφανειακό όγκο σε κάποια απόσταση από τον πυθμένα ή από το διητούμενο όγκο ύδατος πλησίον της όχθης (Σχ. 2.3) εάν βέβαια δεν υπάρχουν υπόγεια στρώματα νερού γήινης προέλευσης. Κατά κανόνα τα επιφανειακά νερά χρειάζονται ειδική επεξεργασία διότι αποδέχονται, χωρίς εμπόδια, επιφανειακές απορροές που παρουσιάζουν υψηλή ρύπανση.

Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Διακρίνονται τρεις κατηγορίες χαρακτηριστικών:

- α. οργανοληπτικά (θερμοκρασία, διαύγεια, χρώμα, γεύση και οσμή)
- β. φυσικοχημικά και χημικά
- γ. βιολογικά και μικροβιολογικά

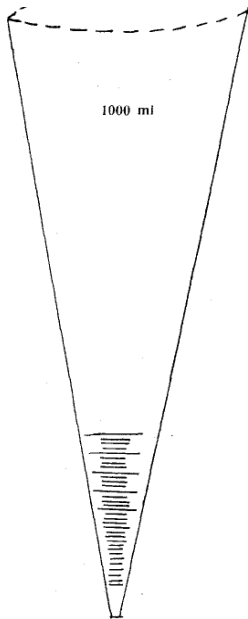


1. Ποδιά προστασίας, 2. Δεξαμενή συλλογής ύδατος, 3. Σύστημα άντλησης τον ύδατος, 4. Χλωριοτήρας
5. Υδάτινη μάζα (ποταμός, λίμνη κ.λπ.), 6. Αγωγός συλλογής των νερών διήθησης

Σχ..2.3. Συλλογή ύδατος από λεκάνη διήθησης επιφανειακών νερών. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής εξαρτάται από τα εδαφολογικά στοιχεία.

4. Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Από οργανοληπτικής πλευράς η κλασική περιγραφή του πόσιμου νερού είναι ότι το νερό πρέπει να είναι απόλυτα διαυγές, δροσερό, άχρωμο, εύγευστο και άοσμο. Τα στοιχεία αυτά είναι βέβαια υποκειμενικά και η παρουσία τους ή όχι εξαρτάται από το πολιτιστικό πλαίσιο. Πάντως, οι οργανοληπτικές ιδιότητες είναι οι πιο συχνές αιτίες της ακαταλληλότητας του νερού για πόση. Η διαύγεια του νερού εξαρτάται από την περιεκτικότητα του σε στερεά τα οποία διακρίνονται σε καθιζάνοντα και σε μη καθιζάνοντα. Καθιζάνοντα στερεά είναι εκείνα που καθιζάνουν στον κώνο του Imhoff (Σχ. 2.4) σε μία ώρα και η ποσότητα τους εκφράζεται σε ml/l ύδατος. Τα μη καθιζάνοντα στερεά διακρίνονται σε διαλυμένα και αιωρούμενα. Τα πρώτα είναι εκείνα που δεν συγκρατούνται από φίλτρο μεμβράνης με πόρους 1.2 μm ενώ, αντίθετα, τα δεύτερα συγκρατούνται από το φίλτρο αυτό. Το άθροισμα των διαλυμένων και των αιωρούμενων στερεών αποτελεί τα ολικά στερεά του νερού. Σημειώνεται επίσης εδώ ότι τα αιωρούμενα στερεά διακρίνονται σε πτητικά και σε μη πτητικά, πτητικά δε ονομάζονται εκείνα που εξαερώνονται σε θερμοκρασία 550 °C. Η περιεκτικότητα σε



Σχ. 2.4. Κώνος καθίζησης Imhoff.

πητικά στερεά χρησιμοποιείται σαν εκτίμηση της ποσότητας οργανικών ουσιών στο νερό.

Η διαύγεια εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα των αιωρούμενων στερεών, η αύξηση των οποίων προκαλεί τη θολότητα του νερού. Εκτίμηση της διαύγειας γίνεται επομένως με το θολόμετρο με χρήση προτύπου αιωρήματος 1 mg διοξειδίου του πυριτίου στο λίτρο. Πόσιμο νερό καλής ποιότητας περιέχει συνήθως λιγότερο από 0.5 mg αιωρούμενων στερεών στο λίτρο.

Το χρώμα του νερού οφείλεται σε διαλυμένες οργανικές κυρίως ουσίες φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης.

Η εκτίμηση της γεύσης και της οσμής είναι δύσκολη και, παρά τις συνεχείς προσπάθειες, δεν έχει τυποποιηθεί ακόμη μέθοδος που να μειώνει ικανοποιητικά την υποκειμενικότητα της εκτίμησης αυτής. Οι οσμές οφείλονται, τις περισσότερες φορές, στην αναερόβια αποσύνθεση οργανικών ουσιών (φυτά, φύκη, ζωικοί οργανισμοί κ. ά.) ή στη μικροβιακή αναγωγή των θεικών σε υδρόθειο. Συναντάται επίσης και η παραγωγή οσμών από το μεταβολισμό ορισμένων ειδών πλαγκτού ή φυκιών.

Η υγειονομική σημασία των οργανοληπτικών ιδιοτήτων δεν έγκειται μόνο στο ότι καθιστούν το νερό ακατάλληλο για πόση, αλλά και στο ότι αποτελούν ενδείξεις οργανικής ρύπανσης του νερού με όλες τις συνέπειες της ρύπανσης αυτής.

B. Φυσικοχημικά και γημικά χαρακτηριστικά.

Εκτός από το pH ιδιαίτερη σημασία έχει η περιεκτικότητα του νερού σε ανόργανες ή οργανικές ουσίες.

α. Ανόργανες ουσίες.

1. Το νερό περιέχει μεγάλες ποσότητες αλάτων κυρίως του ασβεστίου και μαγνησίου. Από την ποσότητα των αλάτων αυτών εξαρτάται και ο χαρακτήρας της «σκληρότητας» του νερού που εκδηλώνεται με το σχηματισμό συμπλεγμάτων με το σάπωνα (μείωση του αφρού) και εναποθέσεων στα οικιακά σκεύη και αγωγούς. Κανονικά η σκληρότητα του νερού θα έπρεπε να εκφράζεται σε χιλιοστοϊσοδύναμα ανά λίτρο (meq/l) εφ' όσον ισούται με το άθροισμα της συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου που εκφράζεται επίσης σε ισοδύναμα. Εκφράζεται όμως σήμερα σε mg/l ανθρακικού ασβεστίου και η συνήθης κατάταξη των αποτελεσμάτων είναι

<50 μαλακό (ή πτητικό) νερό

50-150	μέτρια σκληρότητα
150-300	σκληρό νερό
>300	πολύ σκληρό

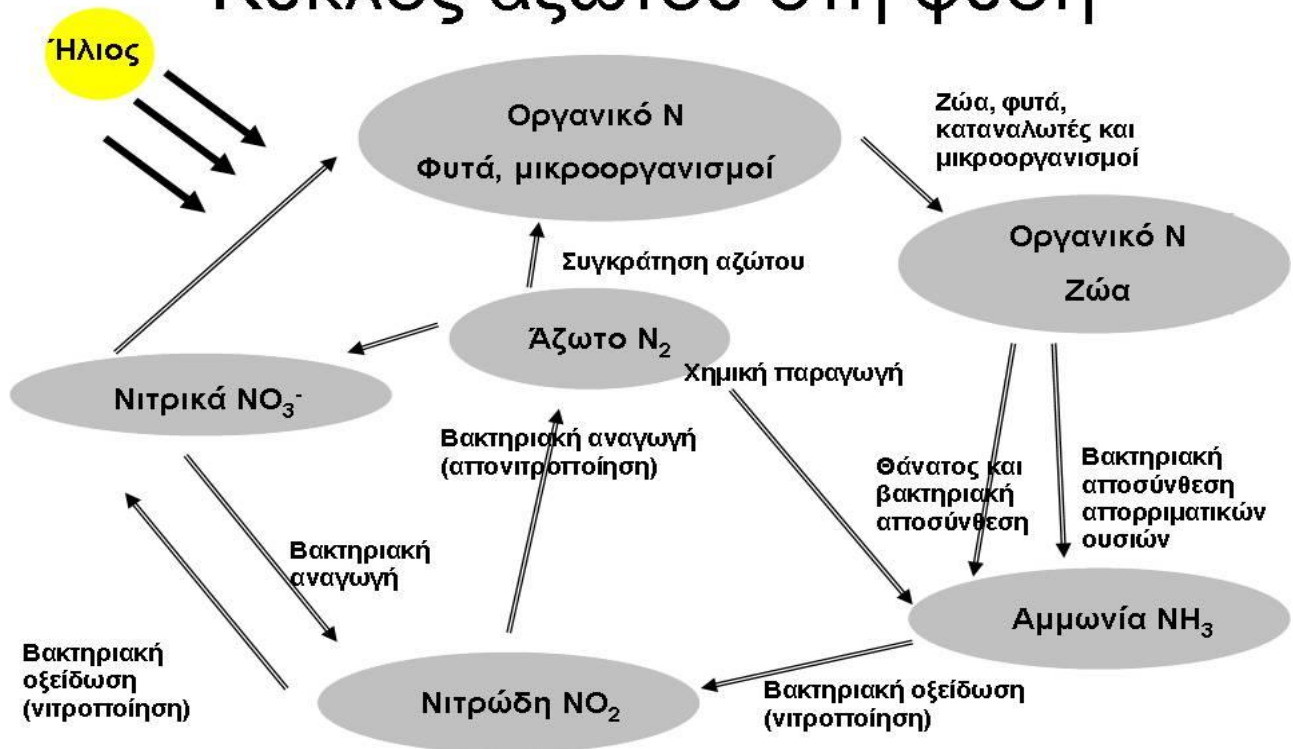
Η σκληρότητα δεν έχει ιδιαίτερη υγειονομική σημασία. Ορισμένες επιδημιολογικές έρευνες έδειξαν ότι η σκληρότητα έχει αρνητική συσχέτιση με την επίπτωση της καρδιακής ισχαιμίας, αλλά στις μελέτες που έγιναν δεν φαίνεται να έχουν ληφθεί υπόψη όλοι οι πολυάριθμοι συγχυτικοί παράγοντες που συνδέονται με την αθηρωμάτωση. Πάντως, οι αναδρομικές πληθυσμιακές μελέτες που συνέκριναν πόλεις με διαφορετική σκληρότητα του νερού κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η θνησιμότητα από καρδιοαγγειακές παθήσεις (ισχαιμία ή εγκεφαλικά επεισόδια) αυξάνεται κατά 3.6% για κάθε μείωση της σκληρότητας κατά 100 mg/l ανθρακικού ασβεστίου. Πρέπει όμως να τονισθεί ότι η αφαίρεση των ιόντων ασβεστίου και μαγνησίου (με κάποια μέθοδο αποσκλήρυνσης του νερού) δεν συνοδεύεται με μείωση της θνησιμότητας αυτής. Πιθανόν, επομένως, η επίδραση της σκληρότητας να οφείλεται σε άλλα στοιχεία που συνυπάρχουν με το ασβέστιο και μαγνήσιο. Η ποσότητα αλάτων στο νερό εκτιμάται επίσης με την αγωγιμότητα, η μέτρηση της οποίας γίνεται με τη βοήθεια δύο ηλεκτροδίων πλατίνης που εμβυθίζονται στο δείγμα νερού. Η αγωγιμότητα A ισούται με:

$$A = \sum b_i \cdot c_i$$

όπου b_i ο συντελεστής αγωγιμότητας του ιόντος c_i που εκφράζεται σε mg/l. Ο συντελεστής αγωγιμότητας π.χ. του θειικού ανιόντος είναι 1.54 ενώ του χλωριούχου είναι 2.14. Η αγωγιμότητα εκφράζεται σε micro Siemens / cm.

Η σκληρότητα και η αγωγιμότητα αποτελούν αδρές μετρήσεις της περιεκτικότητας του νερού σε ιόντα. Υπάρχουν όμως ιόντα που έχουν ιδιαίτερη υγειονομική σημασία και αυτά είναι τα ιόντα αμμωνίου, νιτρωδών και νιτρικών. Από τον κύκλο του αζώτου στη φύση (Σχ. 2.5) γίνεται σαφές ότι τα ιόντα αυτά προέρχονται από την αποσύνθεση των οργανικών ουσιών και την παρουσία μικροβίων που τις αποδομούν σε αμμωνία και οξειδώνουν μετά τις αζωτούχες ενώσεις με το σχηματισμό νιτρωδών και τελικά νιτρικών ενώσεων. Επομένως τα ιόντα αμμωνίου, νιτρωδών και νιτρικών αποτελούν ενδείξεις οργανικής ρύπανσης του νερού και, πολύ πιθανό, η οργανική αυτή ρύπανση να συνοδεύεται με ρύπανση από παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα νιτρικά έχουν και μία επί πλέον σημασία: επειδή η συγκέντρωσή τους στο νερό είναι συνήθως πολύ πιο μεγάλη από εκείνη των νιτρωδών (που είναι σχετικά ασταθή) και επειδή μπορεί να υποστούν μικροβιακή αναγωγή σε νιτρώδη στο εσωτερικό του πεπτικού συστήματος του ανθρώπου υπάρχει κίνδυνος σχηματισμού μεθαιμοσφαιρίνης με όλες τις συνέπειες της που εκδηλώνονται κυρίως στα νεογνά. Η σημαντικότερη αιτία ρύπανσης των επιφανειακών ή υπογείων υδάτων με νιτρικά είναι η ευρεία χρήση αζωτούχων λιπασμάτων στη γεωργία. Το θέμα αυτό έχει τεράστια σημασία διότι είναι πολύ συχνό και συντελεί στην ακαταλληλότητα για πόση πολλών υδάτινων πόρων δεδομένου ότι η αφαίρεση των νιτρικών από το νερό ενέχει μεγάλες τεχνικές δυσκολίες.

Κύκλος αζώτου στη φύση



2. Συχνά ανευρίσκονται στο επιφανειακό ή υπόγειο νερό βαρέα μέταλλα όπως σίδηρος, μαγγάνιο και χαλκός. Η προέλευση των μετάλλων αυτών είναι συνήθως φυσική, από τη διέλευση του νερού μέσα από πετρώματα πλούσια στα μέταλλα αυτά. Άλλα μέταλλα όπως το κάδμιο και ο υδράργυρος έχουν ανθρωπογενή συνήθως προέλευση. Ο σίδηρος και το μαγγάνιο βρίσκονται στα υπόγεια νερά υπό τη διαλυτή μορφή που είναι ευδιάλυτη. Τα μέταλλα αυτά οξειδώνονται στην τριθενή μορφή εν παρουσία οξυγόνου και σε αλκαλικό περιβάλλον, δηλαδή στις συνθήκες που επικρατούν κατά το πλύσιμο των ρούχων. Η τριθενής μορφή είναι δυσδιάλυτη και κατακρημνίζεται προκαλώντας έγχρωμες κηλίδες στα ρούχα ή δίνουν φαιά χρώση στο πόσιμο νερό. Εκτός όμως των αισθητικών αυτών αλλοιώσεων πρόσφατα αποδείχθηκε ότι το μαγγάνιο είναι και τοξικό για το νευρικό σύστημα (παραπαρκινσονικό σύνδρομο) σε συγκεντρώσεις της τάξης των 2000 μγ/1. (Πίν. 2.2).

Πίν. 2.2. Σχέσεις συγκέντρωσης μαγγανίου στο νερό και νευρολογικών ερημμάτων(παραπαρκινσονικών). Το «σκορ» αντιστοιχεί σε σύνθετη εκτίμηση του συνόλου των παραπαρκινσονικών σημείων.

Συγκέντρωση μαγγανίου (μγ/1)	Φύλο	Αριθμός εξετασθέντων	Σκορ (μέση τιμή)	Όρια
10	άρρενες	34	2.40	0-21
	θήλειες	28	2	0-18

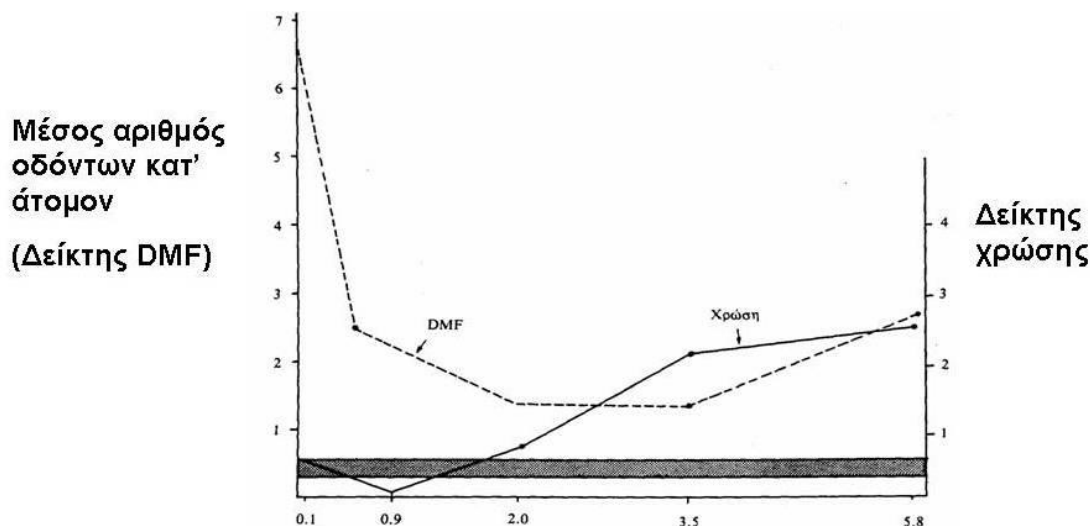
	σύνολο	62	2.70	0-21
2000	άρρενες	40	4.90	0-29
	θήλειες	27	5.50	0-21
	σύνολο	77	5.20	0-29

Ο χαλκός μπορεί να είναι ταυτόχρονα και φυσικής και ανθρωπογενούς προέλευσης από τις χάλκινες υδραυλικές εγκαταστάσεις των σπιτιών. Η τοξικότητα του σε μεγάλες συγκεντρώσεις δεν έχει αποδειχθεί ακόμη αλλά μπορεί το παράδειγμα του μαγγάνιου να ισχύει και για το χαλκό, δηλαδή να είναι τοξικός για τον άνθρωπο σε μεγάλες συγκεντρώσεις παρά το γεγονός ότι είναι απαραίτητος για τη θρέψη, όπως άλλωστε και το μαγγάνιο.

Το κάδμιο είναι καθαρά τοξικό μέταλλο και η πιο συχνή ανθρωπογενής προέλευση του συμβαίνει όταν το νερό ρυπανθεί με εκροές που προέρχονται από τους χώρους εναπόθεσης των στερεών απορριμμάτων. Το ίδιο συμβαίνει και με το χρώμιο του οποίου η διέλευση μέσα από τα εδαφικά στρώματα είναι εξίσου εύκολη με εκείνη του καδμίου. Για τους λόγους αυτούς τα δύο αυτά μέταλλα χρησιμοποιούνται σαν δείκτες ρύπανσης των επιφανειακών ή, κυρίως, υπογείων νερών από εκροές απορριμμάτων.

3. Απαραίτητη για την υγεία του ανθρώπου είναι η παρουσία φθορίου στο πόσιμο νερό. Αυτό αποτελεί εξαίρεση διότι ο άνθρωπος δεν βασίζεται στο πόσιμο νερό για να προσλάβει τα απαραίτητα στη θρέψη στοιχεία (εκτός βέβαια του νερού αυτού καθαυτού), εφ' όσον η κάλυψη των ημερησίων αναγκών γίνεται δια των τροφών. Στην περίπτωση του φθορίου τα πράγματα είναι διαφορετικά, διότι το φθόριο που περιέχεται στις τροφές είναι ανεπαρκές και η εντερική απορρόφηση του είναι μικρή. Η κύρια πηγή φθορίου είναι επομένως το πόσιμο νερό. Το φθόριο που απορροφάται σχηματίζει, στην αδαμαντίνη στοιβάδα των οδόντων, κρυσταλλικούς φθοριοαπατίτες με τα άλατα του ασβεστίου με αποτέλεσμα την αύξηση της ανθεκτικότητας της αδαμαντίνης κατά των μικροβιακών απεκρίσεων και την προστασία κατά της τερηδόνας. Η ευνοϊκή όμως επίδραση του φθορίου έχει τα όρια της: σε μεγάλες συγκεντρώσεις το φθόριο καταστρέφει την αδαμαντίνη ουσία που γίνεται εύθραυστη και παρουσιάζει αντιαισθητική χρώση. (Σχ. 2.6.).

Στη χώρα μας η απουσία φθορίου από το πόσιμο νερό είναι σημαντικό πρόβλημα. Υπάρχουν πράγματι περιοχές όπου το νερό στερείται τελείως φθορίου (όπως π. χ. στην Τρίπολη) με όλες τις υγειονομικές συνέπειες της κατάστασης αυτής. Η τεχνητή προσθήκη φθορίου (φθορίωση) θα ήταν ίσως μία λύση, αλλά λόγω των κινδύνων αστοχίας του συστήματος και της πιθανότητας ατυχηματικής αύξησης της συγκέντρωσης φθορίου, είναι προτιμότερο να βασισθεί κανείς στη χρήση δισκίων φθορίου κυρίως κατά τη σχολική ηλικία.



DMF: Τερηδόνα + Ελλείποντες οδόντες + Σφραγισμένα

Σχ. 2.6. Σχέση δείκτη DMF (Decayed - Missing - Filled), και περιεκτικότητας του πόσιμου νερού σε φθόριο. Η σκιασμένη περιοχή αντιστοιχεί σε ανεκτή χρώση οδόντων. Η εκτίμηση του δείκτη DMF γίνεται με την καταμέτρηση των τερηδονισμένων, ελλειπόντων και σφραγισμένων δοντιών.

4. Η ποσότητα νατρίου στο πόσιμο νερό έχει επίσης σημαντική υγειονομική σημασία. Η τυχόν γειτνίαση των υπογείων υδάτων με τη θάλασσα συντείνει στον εμπλουτισμό του υπόγειου ορίζοντα με χλωριούχο νάτριο, με αύξηση επομένως της συγκέντρωσης νατρίου πάνω από 200 mg/l. Αν και οι ποσότητες αυτές είναι μικρές σε σχέση με εκείνες που προσλαμβάνονται δια των τροφών (γύρω στα 10 g ημερησίως), η επίδραση του νατρίου στην εκδήλωση της αρτηριακής υπέρτασης (βλέπε Κεφάλαιο «Επιδημιολογία της υπέρτασης») θεωρήθηκε αρκετά μεγάλη, ώστε και η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας και η ΕΟΚ αποφάσισαν τον περιορισμό των ανωτάτων επιτρεπτών ορίων νατρίου στο πόσιμο νερό (βλέπε Παράρτημα Α). Ο περιορισμός αυτός βασίζεται σε δύο κατηγορίες μελετών: α. μελέτες που έδειξαν ότι η υψηλή περιεκτικότητα του νερού σε νάτριο περιορίζει την αποτελεσματικότητα της «χωρίς αλάτι» διατροφής των υπερτασικών στην οποία η ημερήσια πρόσληψη νατρίου δεν υπερβαίνει 1 g. Νερό περιεκτικότητας 100 ή 150 mg νατρίου διαταράσσει ασφαλώς τη διαίτα αυτή, β. μελέτες που έγιναν σε νεαρά άτομα (16 ετών) και που έδειξαν ότι πόσιμο νερό με 108 mg/l νατρίου συνοδεύεται με αύξηση της αρτηριακής πίεσης κατά 3 έως 5 mm Hg σε σχέση με άτομα της ίδιας ηλικίας που καταναλίσκουν νερό με 8 mg/l. Επομένως, η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση του νατρίου στο πόσιμο νερό φαίνεται απαραίτητη εφ' όσον βέβαια εξασφαλίζεται από τις τροφές η αναγκαία για τη θρέψη ημερήσια ποσότητα (0.5-2g).

β. Οργανικές ουσίες.

Η προέλευση τους μπορεί να είναι φυσική (π.χ. φυτικοί οργανισμοί ή προϊόντα περιττωμάτων των ζώων σε επιφανειακά νερά) ή ανθρωπογενής (ρύπανση με χημικές ενώσεις όπως τα εντομοκτόνα ή με περιττώματα ανθρώπου). Και στις δύο περιπτώσεις η υγειονομική σημασία είναι μεγάλη, διότι η παρουσία οργανικών ουσιών μπορεί να συνοδεύεται από παθογόνους οργανισμούς εκτός βέβαια ότι ορισμένες χημικές ενώσεις είναι τοξικές για τον άνθρωπο. Η εκτίμηση της συγκέντρωσης οργανικών ουσιών στο νερό βασίζεται σε δύο αρχές: α. όλες οι οργανικές ουσίες περιέχουν άνθρακα και β. οι οργανικές ουσίες οξειδώνονται με το σχηματισμό απλούστερων ενώσεων όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό.

Ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) προσδιορίζεται συνήθως δια της καταλυτικής οξείδωσης των οργανικών ενώσεων και τον προσδιορισμό του διοξειδίου του άνθρακα με φυσική ή χημική μέθοδο. Ο

προσδιορισμός έχει μεγάλο κόστος, αλλά είναι μεγάλης ευαισθησίας (μέχρι του επιπέδου του νανογραμμαρίου). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις πολύ μικρών συγκεντρώσεων οργανικών ουσιών όπως στο πόσιμο νερό όπου η μέθοδος έχει μεγάλη χρησιμότητα.

Οι άλλες μέθοδοι εκτίμησης της συγκέντρωσης οργανικών ουσιών βασίζονται στην οξείδωση τους. Πρόκειται για πολύ αδρές μεθόδους με σχετικά μεγάλο σφάλμα, αλλά χρησιμοποιούνται ευρύτατα λόγω της απλότητάς τους. Η μέθοδος του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) γίνεται με την προσθήκη περίσσειας διχρωμικού άλατος που οξειδώνει, σε υψηλή θερμοκρασία, τις οργανικές ουσίες (και δυστυχώς όχι μόνο). Προσδιορίζεται κατόπιν το εναπομένον διχρωμικό άλας και το αποτέλεσμα εκφράζεται σε αντίστοιχη ποσότητα οξυγόνου σε mg/l.

Η δεύτερη μέθοδος είναι εκείνη του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD).

Η μέθοδος του BOD βασίζεται, και αυτή, στην οξείδωση των οργανικών ουσιών κατά τρόπο όμως τελείως διαφορετικό από το COD. Η οξείδωση γίνεται από τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι χρησιμοποιώντας το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο οξειδώνουν τις οργανικές ουσίες για να προσλάβουν την αναγκαία για τη ζωή ενέργεια (αναπνοή, πολλαπλασιασμός) (Σχ. 12.7). Το βιολογικό αυτό φαινόμενο είναι βέβαια γνωστό και κοινό σε όλα τα κύτταρα, είτε είναι μικροοργανισμοί, είτε είναι κύτταρα σύνθετων οργανισμών.

Η μέθοδος επιβάλλει την παρουσία τριών βασικών προϋποθέσεων: α. οι υπό μέτρηση οργανικές ουσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν τροφές από τους μικροοργανισμούς (είναι δηλαδή βιοσπάσιμες) , β. υπάρχει στο υπό εξέταση δείγμα νερού ικανός αριθμός μικροοργανισμών και

γ. υπάρχει στο δείγμα επαρκής ποσότητα διαλυμένου οξυγόνου. Η τελευταία αυτή προϋπόθεση δεν δημιουργεί συνήθως εμπόδια στην εκτέλεση της μέτρησης, αλλά οι δύο πρώτες αποτελούν σοβαρά προβλήματα. Έτσι είναι συχνά αναγκαίο να προστεθεί ποσότητα μικροοργανισμών και να αφαιρεθεί από το τελικό αποτέλεσμα η ποσότητα οξυγόνου που καταναλώθηκε για την οξείδωση των θρεπτικών υλικών της καλλιέργειας που προστέθηκε.

Η βιολογική διεργασία του BOD μπορεί να εξομοιωθεί με αντίδραση πρώτου βαθμού όπου

όπου x η εναπομένουσα ποσότητα οργανικών ουσιών, k ο συντελεστής βιοσπασιμότητας και t ο χρόνος. Το ολοκλήρωμα καταλήγει στην κατιούσα εκθετική καμπύλη:

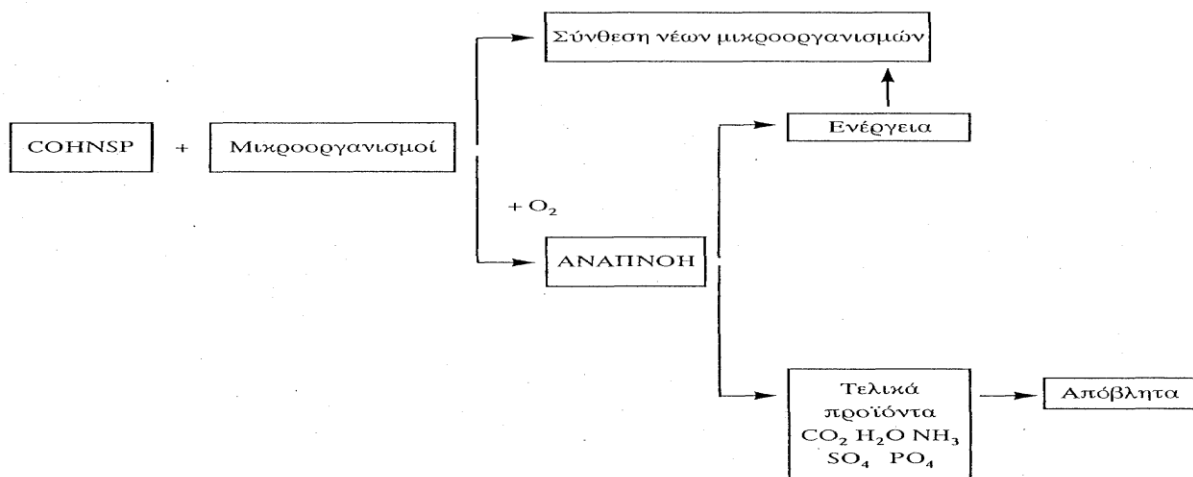
$$x_t = x_0 \cdot e^{-kt}$$

όπου x_t η εναπομένουσα ποσότητα οργανικών ουσιών και x_0 η αρχική ποσότητα των ουσιών αυτών. Η διεργασία είναι βραδεία και επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό η μέθοδος έχει τυποποιηθεί να εκτελείται επί 5 ημέρες στους 20° C. (BOD₅). Σημειώνεται ότι για πολλά μίγματα οργανικών ουσιών (όπως π.χ. τα οικιακά λύματα), ο συντελεστής βιοσπασιμότητας ισούται με 0.23, αλλά άλλες οργανικές ουσίες μπορεί να έχουν διαφορετικούς συντελεστές.

Η πρακτική της μεθόδου συνίσταται στη συνεχή μέτρηση (με εμβυθισμένα ειδικά ηλεκτρόδια) του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό του δείγματος (500 ml) που εγκλείεται σε αεροστεγείς φιάλες με συνεχή ανάδευση δια μαγνητικών αναδευτήρων. Το σύστημα τοποθετείται σε χώρο θερμοκρασίας 20° C επί 5 μέρες,

Η μέθοδος εκτιμά την ένταση ενός βιολογικού φαινομένου και επομένως η χημική ακρίβεια δεν έχει σημασία. Η επαναληψιμότητά της, που έχει σημασία, τοποθετείται στο 10-15%.

Σημειώνεται τελικά ότι ούτε το COD ούτε το BOD έχουν επαρκή ακρίβεια για την εκτίμηση των οργανικών ουσιών που βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες στα νερά που προορίζονται για πόση. Στην περίπτωση αυτή η οξείδωση των οργανικών ουσιών γίνεται με υπερμαγγανικό κάλιο και τιτλοποίηση και το αποτέλεσμα εκφράζεται ως οξειδωσιμότητα.



Σχ. 2.7. Αποδόμηση οργανικών ουσιών από τους μικροοργανισμούς. Η σχηματική αυτή αναπαράσταση ισχύει βέβαια για όλους τους οργανισμούς εν γένει.

Γ. Βιολογικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά

1. Τα βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού αφορούν την περιεκτικότητα του σε φύκη, πρωτόζωα και μορφοποιημένα στοιχεία όπως οι σκώληκες και τα μαλάκια. Η υγειονομική τους σημασία είναι μεγάλη διότι καθιστούν αυτόματα το νερό ακατάλληλο για πόση έστω και αν δεν συνοδεύονται από μικροοργανισμούς που μπορεί να απουσιάζουν λόγω ανταγωνισμού με τους πιο πάνω οργανισμούς. Τα κυριότερα είδη σκωλήκων είναι τα είδη planaria (5-15mm) και tubifex (γύρω στα 25 mm). Υπάρχουν επίσης πολυάριθμα είδη φυκών, αλλά τα πιο κοινά είδη είναι τα χλωροφύκη και κυανοφύκη, οι απεκκρίσεις των οποίων δημιουργούν έντονη κακοσμία. Επίσης τα φύκη μπορούν να προσλάβουν το απαιτούμενο διοξείδιο του άνθρακα από τα διττανθρακικά άλατα και να μειώσουν έτσι τη συγκέντρωση των διττανθρακικών ιόντων με αποτέλεσμα την αύξηση του pH. Από τα πρωτόζωα σημειώνονται τα είδη amoeba (αμβάδες εκ των οποίων η ιστολυτική έχει πολύ μεγάλη υγειονομική σημασία εφ' όσον προκαλεί την αντίστοιχη δυσεντερία), giardia και paramycium.

Ο πίνακας 2.3 δείχνει ορισμένα παθογόνα μικρόβια που μπορεί να υπάρχουν στο νερό.

Πιν. 2.3. Μικροβιακή μόλυνση τον ύδατος

Ιοί:	Λοιμώδης ηπατίτις τύπου Α Πολιομυελίτις (;)
Βακτήρια:	Salmonella Typhi - Paratyph Z.λπ. Shigella Dysenteriae, Flexner κ.λπ. Vibrio Cholerae, Eitor
Πρωτόζωα:	Entamoeba Histolytica

Δειγματοληψία

Η αξιοπιστία των αναλύσεων εκτίμησης των χαρακτηριστικών του νερού εξαρτάται από τη δειγματοληψία. Το δείγμα νερού πρέπει να είναι απόλυτα αντιπροσωπευτικό της γενικότερης κατάστασης. Για την προστασία της δημόσιας υγείας ο δειγματολήπτης πρέπει να τοποθετηθεί στον ίδιο χώρο και χρόνο με το μέσο καταναλωτή του πόσιμου νερού και να λάβει το δείγμα κατά τον ίδιο τρόπο όπως και ο καταναλωτής. Στις περιπτώσεις επομένως όπου υπάρχει σύστημα ύδρευσης, η δειγματοληψία γίνεται στη βρύση της κουζίνας ή αλλού εντός της

οικίας σε αποστειρωμένη φιάλη των 500 ml για τις βιολογικές και μικροβιολογικές αναλύσεις και σε καθαρή φιάλη ενός λίτρου για τις χημικές αναλύσεις. Εάν το νερό χλωριώνεται η αποστειρωμένη φιάλη πρέπει να περιέχει ένα ή δύο κρυστάλλους υποθειώδους νατρίου για τη σύνδεση του υπολειμματικού χλωρίου. Και οι δύο φιάλες πρέπει να μεταφερθούν υπό ψύξη 4-10° C στο εργαστήριο εντός 2-3 ωρών. Η μείωση του pH στο 3 ή 4 (π.χ. με καθαρόθειικό ή νιτρικό οξύ) είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί η διαλυτότητα των μετάλλων εάν πρόκειται να γίνουν οι σχετικοί προσδιορισμοί.

Η συχνότητα της δειγματοληψίας καθορίζεται από τη νομοθεσία ανάλογα με τη κατανάλωση ή το μέγεθος του πληθυσμού που εξυπηρετείται από το δίκτυο ύδρευσης. Πρέπει να τονισθεί ότι οι συχνότητες αυτές είναι το ελάχιστο υποχρεωτικό όριο και αφορούν άλλωστε μη χλωριωμένο νερό. Η συχνότητα πρέπει να είναι πιο μεγάλη όταν οι συνθήκες ύδρευσης δεν είναι απόλυτα ικανοποιητικές. Η ανεύρεση κολοβακτηριοειδών σ' ένα δείγμα υπαγορεύει την επανάληψη της δειγματοληψίας το γρηγορότερο δυνατόν. Εάν και το δεύτερο δείγμα είναι θετικό, απαιτείται η υγειονομική αναγνώριση της αιτίας. Εάν το δεύτερο δείγμα είναι αρνητικό, απαιτείται η επανάληψη σε λίγες μέρες για να εξακριβωθεί η σταθερότητα της αρνητικότητας. Σημεία του δικτύου που παρουσιάζουν συχνά θετικά μικροβιολογικά αποτελέσματα απαιτούν πολύ πιο συχνές δειγματοληψίες και υγειονομική επέμβαση π.χ. με εγκατάσταση ή αύξηση της χλωρίωσης. Συμπερασματικά, ο καθορισμός της συχνότητας και των σημείων δειγματοληψίας εξαρτάται και καθορίζεται επί τη βάση των τεχνικών και επιδημιολογικών δεδομένων κάθε περίπτωσης. Ο Πίν. 2.4 δείχνει τις κυριότερες συνθήκες δειγματοληψίας και συντήρησης των-πιο συχνών χημικών παραμέτρων.

Πίν. 2.4. Συνιστώμενες συνθήκες δειγματοληψίας πόσιμου νερού που προορίζεται για ανάλυση ορισμένων κοινών παραμέτρων.

Παράμετρος	Δοχείο	Όγκος (ελάχιστος)	Συντήρηση	Μέγιστος χρόνος αναμονής
Αμμωνία	Π ή Γ	500	Προσθήκη θειικού οξ. μέχρι pH <2 - Ψύξη	7-28 ημ.
Νιτρικά	Π ή Γ	100	Εξέταση το ταχύτερο ή σε ψύξη	48 ώρες 28 ημ. για χλωριωμέ να δείγματα
Νιτρώδη	Π ή Γ	100	Εξέταση το ταχύτερο ή σε ψύξη	Κανένας ή 48 ώρες εάν είναι σε ψύξη
Φαινόλες	Π ή Γ	500	Προσθήκη θειικού οξ. μέχρι pH <2 - Ψύξη.	Μέχρι 25 ημ.
Διαλ. οξυγ.	Γ, φιάλη BOD	300	άμεση εξέταση	0.5 ώρες
Σκληρότητα	Π ή Γ	100		
Θειικά	Π ή Γ		Ψύξη	28 ημ
Υδρόθειο		άμεση εξέταση επί τόπου		
pH	Π ή Γ	άμεση εξέταση		0.5 ώρες

Μέταλλα	Π ή Γ (α)		Για διαλυμένα μέταλλα άμεση διήθηση, προσθήκη νιτρικού οξέος σε ρΗ <2	6 μήνες
---------	-----------	--	---	---------

(α) = πλύσιμο με 1+1 νιτρικού οξέος

Π = Πολυαιθυλένιο

Γ = Γυαλί

Επεξεργασία και καθαρισμός του νερού που προορίζεται για πόση

Δεν πρόκειται να γίνει εδώ η λεπτομερής ανάλυση των μεθόδων επεξεργασίας. Ο Πίν. 2.5 δείχνει τα αναμενόμενα αποτελέσματα από τη χρήση κάθε κατηγορίας μεθόδων. Οι κυριότερες κατηγορίες είναι η πήξη (και κροκκίδωση), η καθίζηση, η οξειδωση και η διύλιση.

Πίν. 2.5. Αποτελεσματικότητα των σταδίων επεξεργασίας υδάτων.

	Οξυγόνωση	Πήξη και καθίζηση	Άσβεστος και καθίζηση
Πήξις και καθίξεις	0	++	++
Χρώμα	0	+++	0
Διαύγεια	0	+++	Π++
Οσμή και γεύση	++	Π	Π++
Σκληρότητα	+	-	+++
Σίδηρος και Μαγγάνιο	+++	+	++
0 = Καμία αποτελεσματικότητα			
+ = Μικρή αποτελεσματικότητα			
++ = Μεσαία αποτελεσματικότητα			
+++ = Μεγάλη αποτελεσματικότητα			
Π = Ποικίλλει			
- = Δυσμενής επίδραση			

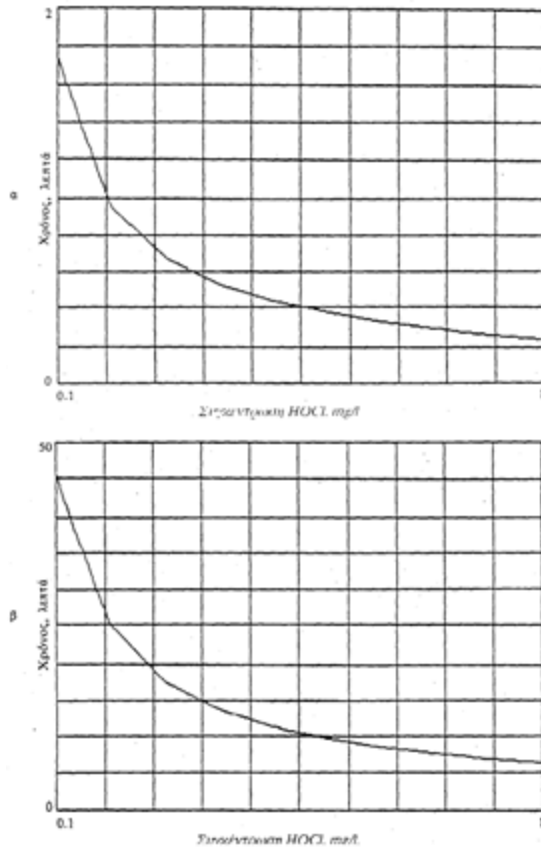
Νερά υψηλής θολότητας που περιέχουν μεγάλες ποσότητες αιωρούμενων στερεών χρειάζονται συνήθως (εκτός από την καθίζηση που μπορεί να βελτιώσει την κατάσταση) πήξη των κολλοειδών με την προσθήκη θεϊκού αργιλίου ή πολυηλεκτρολυτών. Οι πολυηλεκτρολύτες είναι συνθετικά πολυμερή με ισχυρό ιονικό φορτίο (κατιόντα ή ανιόντα) που συνδέονται με τα ιόντα του νερού για να σχηματισθούν μάζες μεγαλύτερου όγκου που κατακρημνίζονται στην καθίζηση ή συγκρατούνται κατά τη διύλιση.

Νερά που περιέχουν υψηλές ποσότητες σιδήρου και μαγγανίου ή που παρουσιάζουν χρώση και οσμές χρειάζονται οξειδωση βιολογική, με χλώριο, όζον ή με υπερμαγγανικό κάλιο, (που χρησιμοποιείται λιγότερο τώρα).

Η διύλιση είναι απαραίτητη για όλα τα επιφανειακά νερά και για πολλά υπόγεια νερά. Η μέθοδος βασίζεται στη διέλευση του νερού μέσα από στρώμα άμμου και χαλίκων. Κατά τη διέλευση αυτή ο καθορισμός του νερού γίνεται με προσρόφηση των κολλοειδών στην επιφάνεια των κόκκων άμμου, καθώς και με διεργασίες κατακρήμνισης, καθίζησης και ανταλλαγής ιόντων. Η μηχανική διήθηση (δηλαδή, η συγκράτηση των στερεών στους πόρους του υλικού διύλισης) συμβάλλει επίσης, αλλά δεν αποτελεί το μοναδικό και κύριο μηχανισμό καθαρισμού. Η διάκριση των διυλιστηρίων σε βραδυδιυλιστήρια και ταχυδιυλιστήρια είναι κλασική. Στα βραδυδιυλιστήρια το νερό διέρχεται μέσα από στρώμα άμμου πάχους περίπου 1 μ. και μικρών κόκκων (π.χ. 0.3 mm). Η ταχύτητα διέλευσης είναι μικρή και ανέρχεται συνήθως σε 0.2 μ. ανά ώρα. Λόγω της μικρής αυτής ταχύτητας αναπτύσσεται, εκτός των πιο πάνω μηχανισμών καθαρισμού και άλλος μηχανισμός που συνίσταται στην ανάπτυξη αερόβιων μικροοργανισμών, στα πρώτα εκατοστά του στρώματος, που αποδομούν τις βιοσπάσιμες οργανικές ουσίες (βιολογική μεμβράνη - ζωόγλοια). Η περιοδική όμως απόξεση της επιφάνειας του στρώματος είναι απαραίτητη για τη συνέχιση λειτουργίας του διυλιστηρίου. Στα ταχυδιυλιστήρια η ταχύτητα διέλευσης είναι πολύ μεγαλύτερη και κυμαίνεται από 2 σε 12 μ. ανά ώρα και οι ταχύτητες αυτές επιτυγχάνονται κυρίως με η χρήση άμμου μεγαλύτερης διαμέτρου (π.χ. 0.6 mm) σε στρώμα μικρότερου κατά τι πάχους (80 cm). Τις περισσότερες φορές, τα ταχυδιυλιστήρια είναι ακάλυπτα, αλλά υπάρχουν και κλειστοί τύποι. Η συνέχιση της λειτουργίας απαιτεί τον περιοδικό καθαρισμό του στρώματος άμμου και αυτός γίνεται σε διαστήματα 20 έως 40 ωρών ανάλογα με την ποιότητα του διυλιζόμενου νερού) με αντίστροφη έκπλυση συνήθως με μίγμα αέρα και νερού. Το νερό της έκπλυσης (που δεν υπερβαίνει το 2% του διυλισθέντος όγκου) απομακρύνεται του διυλιστηρίου.

Απολύμανση του νερού

Η απολύμανση έχει σαν στόχο τη μείωση του μικροβιακού φορτίου στην είσοδο του δικτύου ύδρευσης. Γίνεται με διάφορα οξειδωτικά (χλώριο, βρώμιο, όζον). Για την προστασία της δημόσιας υγείας απαιτείται όμως και η προστασία του νερού από πιθανές ρυπάνσεις κατά τη διαδρομή του εντός του δικτύου. Το οξειδωτικό που πληρεί, κατά τον καλύτερο τρόπο και το δεύτερο αυτό στόχο είναι το χλώριο, εξ ου και η ευρεία χρήση του. Η χλωρίωση του ύδατος γίνεται με αέριο χλώριο ή με διοξείδιο του χλωρίου ή με διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου. Η τελευταία μορφή (που περιέχει 4 έως 14% χλώριο) είναι η πιο διαδεδομένη. Το χλώριο οξειδώνει και καταστρέφει τους μικροοργανισμούς, έχει δε μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα κατά των βακτηρίων παρά κατά των ιών ή των πρωτόζωων (*entameba histolytica*) (Σχ. 2.8).



Σχήμα 2.8 Συγκέντρωση HOCl και χρόνου επαφής για το θάνατο του 99,9% των E. Coli και ιών coxsackie

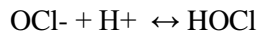
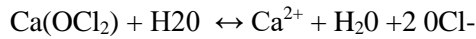
Ταυτόχρονα όμως το χλώριο οξειδώνει (και επομένως καταναλίσκεται) τις οργανικές) ουσίες που τυχόν βρίσκονται στο νερό. Ο Πίν. 2.6 δείχνει τις αντιδράσεις που γίνονται παρουσία αμμωνίας η οξείδωση της οποίας σχηματίζει μονοχλωραμίνες στην αρχή, διχλωραμίνες μετά και τριχλωριούχο άζωτο τελικά εφ' όσον συνεχίζεται η προσθήκη χλωρίου. Το τριχλωριούχο άζωτο είναι βέβαια ανεπιθύμητο προϊόν διότι είναι ισχυρό ερεθιστικό των βλεννογόνων, αλλά ο σχηματισμός του είναι περιορισμένος, διότι οι διχλωραμίνες είναι ασταθείς ουσίες και, σε ουδέτερο ή αλκαλικό pH, αποδομείται σε ελεύθερο αέριο άζωτο, χλωριούχα ιόντα και ιόντα υδρογόνου.

Παράλληλα με τους μικροοργανισμούς οξειδώνονται επίσης άλλες οργανικές ουσίες με το σχηματισμό οργανοχλωριούχων ενώσεων οι σημαντικότερες των οποίων είναι τα τριαλομεθάνια (χλωροφόρμιο, τριχλωρομεθάνιο κ.ά.). Ο αριθμός των ενώσεων αυτών είναι πολύ μεγάλος και πολλές είναι ακόμη άγνωστες. Τα τριαλομεθάνια έχουν όμως ιδιαίτερη υγειονομική σημασία και για το λόγο αυτό έχει καθορισθεί, ανώτατο επιτρεπτό όριο που είναι 100 µg/l.

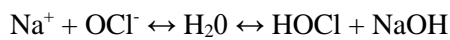
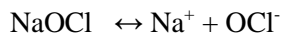
Ο υποχλωρίτης (HOCl) έχει τη μεγαλύτερη απολυμαντική δράση. Οι χλωραμίνες (συνδεδεμένο διαθέσιμο χλώριο) έχουν και αυτές κάποια απολυμαντική ικανότητα, αλλά πολύ πιο περιορισμένη. Το Σχ. 2.9 δείχνει την κλασική καμπύλη «θραύσης» (break-point) της χλωρίωσης, όπου η συνεχής προσθήκη χλωρίου καταλήγει στην καταστροφή των χλωραμινών και του μεγαλύτερου μέρους των οργανοχλωριούχων ενώσεων με τελική παραμονή του ελεύθερου υποχλωρίτη, ελεύθερο υπολειπόμενο χλώριο από το σημείο «θραύσης» και πάνω. Οι μη καταστραφείσες οργανοχλωριούχες ενώσεις αποτελούν το συνδεδεμένο υπολειπόμενο χλώριο. Για την προστασία του καταναλωτή μέχρι τη βρύση της οικίας του το ελεύθερο υπολειπόμενο χλώριο πρέπει να βρίσκεται στο νερό της βρύσης, στο επίπεδο του 0.3 - 0.5 mg/l τουλάχιστον.

Πιν 2.6. Χημικές αντιδράσεις μετά την προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου ή υποχλωριώδους ασβεστίου

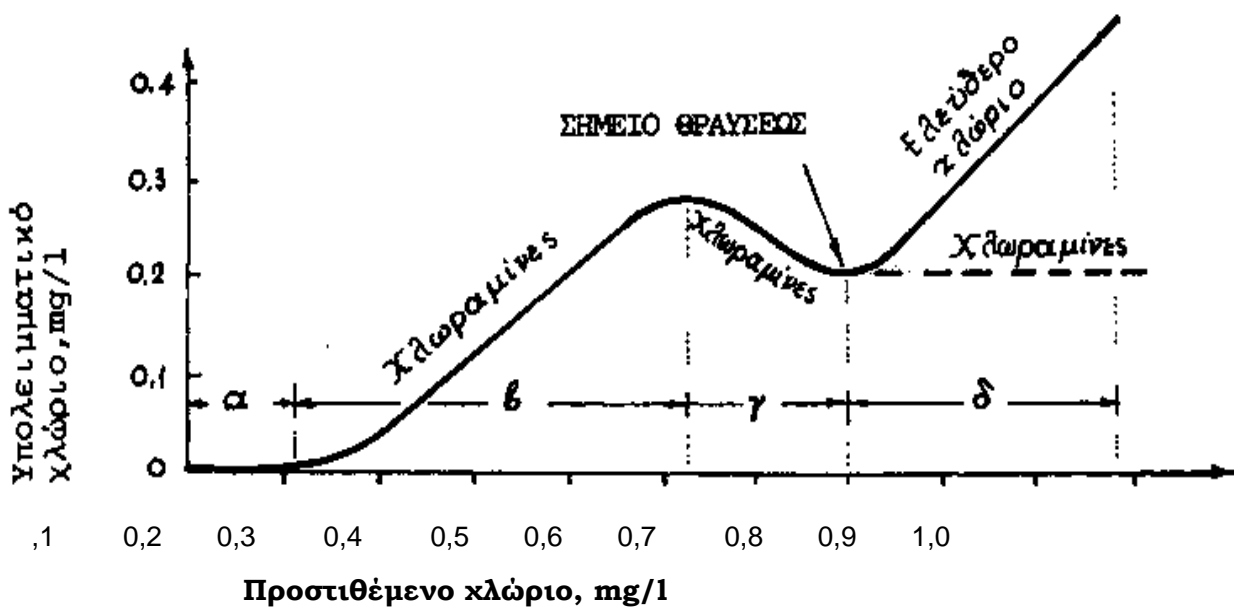
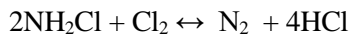
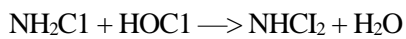
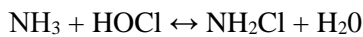
Υποχλωριώδες ασβέστιο (σκόνη, διαθέσιμο χλώριο 70%):



Υποχλωριώδες νάτριο (υγρό, διαθέσιμο χλώριο 4-14%):



Αντίδραση με αμμωνία:



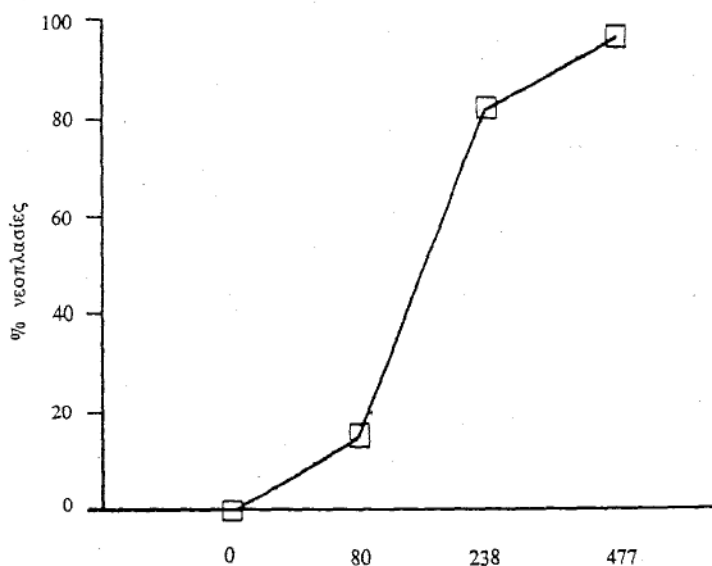
Σχ 2.9. Χλωρίωση σημείου θραύσεως

Τέσσερις παράγοντες επηρεάζουν την απολυμαντική ικανότητα του χλωρίου: η θερμοκρασία, το pH, η διάρκεια επαφής με το νερό και η αρχική σχέση χλωρίου / αμμωνίας. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία και

χαμηλότερο το pH τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ιονισμού και η απολυμαντική ικανότητα. Στους 2-4° C συγκέντρωση υποχλωριώδους 1 mg/l καταστρέφει το 99% των E. Coli σε 20'. Μεγαλύτερες συγκεντρώσεις χρειάζονται μικρότερη διάρκεια επαφής.

Η χλωρίωση του νερού έχει υποστεί πρόσφατα πολλές κριτικές, κυρίως λόγω του σχηματισμού των τριχλωρομεθανίων το κυριότερο των οποίων, το χλωροφόρμιο, είναι γνωστά μεταλλαξιογόνο και καρκινογόνο των ζώων ιδιαίτερα στον αρουραίο και ποντίκι στα οποία μελετήθηκε η ανάπτυξη ηπατοκυτταρικού καρκινώματος σε προοδευτικές δόσεις χλωροφορμίου. Το Σχ. 2.10 δείχνει σαφή σχέση δόσης - αποτελέσματος μεταξύ χλωροφορμίου και καρκινώματος.

Η επιδημιολογική επιβεβαίωση της καρκινογόνου αυτής δράσης αποδείχθηκε πολύ δύσκολη. Υπάρχουν πράγματι πολλά εμπόδια: α. η μακρά επώαση των νεοπλασιών του ανθρώπου απαιτεί τη διερεύνηση της ποιότητας του ποσίου ύδατος πολλά χρόνια πριν την εκδήλωση της νεοπλασίας και αυτό ενέχει ευνόητες δυσχέρειες εκτός βέβαια της δυσχέρειας να εκτιμηθεί η περιεκτικότητα του νερού σε χλωροφόρμιο προ 20 ή 30 έτη, β. η εκδήλωση μιας νεοπλασίας είναι, από στατιστικής πλευράς, σπάνιο φαινόμενο και απαιτούνται επομένως μεγάλες προσπάθειες για να συγκεντρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός καρκινοπαθών στις αναδρομικές μελέτες ή μεγάλος αριθμός ατόμων και μακρά διάρκεια παρακολούθησης στις διαχρονικές μελέτες και, κυρίως, γ. η χλωρίωση γίνεται συνήθως σε νερά επιφανειακά ή σε υπόγεια τα οποία όμως είναι υπόπτου ποιότητας, δηλαδή που θεωρούνται ότι μπορεί να ρυπαίνονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες.



Σχ 2.10 Πειραματική πρόκληση νεοπλασίας με αυξανόμενη δόση χλωροφορμίου

Όλες οι μελέτες συνάντησαν τις δυσχέρειες αυτές. Οι περισσότερες διαπίστωσαν ότι ο σχετικός κίνδυνος νεοπλασίας του ορθού ή νεοπλασίας της ουροδόχου κύστης στα άτομα που καταναλίσκουν χλωριωμένο νερό ανέρχεται σε 1.1. - 1.4. Για τη νεοπλασία του κόλου τα αποτελέσματα ήταν πολύ ασταθή. Εν τούτοις οι εργασίες αυτές δεν απέδειξαν ότι ο παράγοντας κινδύνου είναι η χλωρίωση. Απέδειξαν μόνο ότι τα ρυπαίνόμενα νερά (συνήθως επιφανειακά) έχουν κάποια επίδραση, αλλά δεν έγινε δυνατή η διάκριση μεταξύ χλωρίωσης και παρουσίας καρκινογόνων ουσιών όπως οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες και μερικά εντομοκτόνα που ανευρίσκονται συχνά στα νερά (επιφανειακά ή υπόγεια). Αυτά τα ρυπαίνόμενα νερά είναι όμως εκείνα που υφίστανται συνήθως και τη χλωρίωση.

Δεν υπάρχουν επομένως σαφείς επιδημιολογικές μελέτες που να αποδεικνύουν ότι τα προϊόντα της χλωρίωσης έχουν κάποια επίδραση στον άνθρωπο. Θα μπορούσε να αποφύγει κανείς τη χλωρίωση εάν είχε

εξασφαλισθεί η άριστη ποιότητα του νερού στην πηγή του και, κυρίως η πρόληψη της ρύπανσης του δικτύου με την κατασκευή δικτύου άριστης ποιότητας και εξαιρετικής συντήρησης. Αυτή η συνθήκη έχει επιτευχθεί σε ορισμένες πόλεις της Ευρώπης, αλλά, δυστυχώς, όχι στη χώρα μας. Η έλλειψη χλωρίωσης ενέχει μεγάλους κινδύνους ιδιαίτερα σε περιοχές όπου δεν υπάρχει ικανοποιητικό σύστημα αποχέτευσης. Στην Ελλάδα συναντώνται ακόμη οι επιδημίες τυφοειδούς πυρετού ή ηπατίτιδας Α υδρικής προέλευσης, γεγονός που αποδεικνύει ότι συχνά το σύστημα ύδρευση/αποχέτευση δεν λειτουργεί ικανοποιητικά. Η σύγκριση της ανάγκης πρόληψης των επιδημιών και της ανάγκης πρόληψης των υποτιθεμένων επιπτώσεων των τριαλομεθανίων κλίνει προς όφελος της πρώτης και η χλωρίωση συνεχίζει να είναι αναγκαία.

B. ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗ

Η αποχέτευση αποτελεί την άλλη πλευρά της ύδρευσης. Τα δύο θέματα είναι απόλυτα συνδεδεμένα.

Αποχέτευση είναι το το σύστημα που απομακρύνει τα ακάθαρτα νερά από το περιβάλλον που ζει και εργάζεται ο άνθρωπος και τα διαθέτει τελικά, με τρόπο υγιεινό και αισθητικά αποδεκτό.

Ορισμοί

Υγρά απόβλητα

ονομάζονται γενικά τα υγρά και οι λάσπες, που ρέουν εύκολα και αποβάλλονται ύστερα από χρησιμοποίηση, από κατοικίες, ιδρύματα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, μεταφορικά μέσα ή μονάδες επεξεργασίας και γενικά από οποιοσδήποτε εγκαταστάσεις μιας περιοχής.

Λύματα

ονομάζονται ειδικά τα υγρά απόβλητα, που προέρχονται από χώρους υγιεινής, μαγειρεία, πλυντήρια και γενικά από την καθαριότητα κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων, μέσων μεταφοράς κλπ.

Βιομηχανικά ή γεωργικά απόβλητα

ονομάζονται τα υγρά απόβλητα των βιομηχανικών ή βιοτεχνικών εγκαταστάσεων, που περιέχουν υπολείμματα των υλών που χρησιμοποιούνται, εκτός από τα λύματα του προσωπικού.

Επεξεργασία καθαρισμού

των υγρών αποβλήτων ονομάζεται κάθε τεχνική χειρισμού των αποβλήτων που απομακρύνει ή τροποποιεί κατάλληλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους, ώστε εξαλείφονται ή ελαττώνονται οι δυσμενείς συνέπειες από τη διάθεσή τους στο περιβάλλον.

Αποδέκτες

υγρών αποβλήτων ονομάζονται οι φυσικοί υποδοχείς που καταλήγουν τα απόβλητα, μετά από επεξεργασία ή όχι, για τελική διάθεση. Αποδέκτες μπορούν να είναι τα επιφανειακά ή υπόγεια νερά, το έδαφος ή το υπέδαφος.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ.

A. Μέθοδοι διάθεσης υγρών αποβλήτων όταν δεν υπάρχει σύστημα υπονόμων.

1. Ξηρό αποχωρητήριο
2. Απορροφητικός βόθρος
3. Σηπτικός βόθρος σε συνδυασμό είτε με φίλτρα οριζόντιας ή κάθετης ροής είτε με τελική υπεδάφια διάθεση σε μικρό βάθος.

B. Συστήματα αποχέτευσης σε αστικές ή περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές.

Το ολοκληρωμένο σύστημα αποχέτευσης περιλαμβάνει:

1. Δίκτυο υπονόμων. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι δικτύου υπονόμων

α. Μικτό (παραδοσιακό) σύστημα, όπου αποχετεύονται μαζί τα βρόχινα νερά και τα λύματα ή τα βιομηχανικά απόβλητα.

β. Χωριστικό σύστημα, στο οποίο υπάρχουν δύο ανεξάρτητα δίκτυα, ένα για τα βρόχινα νερά και ένα για τα ακάθαρτα νερά.

Πλεονεκτήματα χωριστικού συστήματος:

- Μικρό διαμέτρημα των αγωγών λυμάτων, άρα μπορούν να τοποθετηθούν βαθιά.
- Η εγκατάσταση καθαρισμού έχει μικρότερο υδραυλικό φορτίο.
- Εξασφαλίζονται συνθήκες αυτοκαθαρισμού με τη μικρή διάμετρο (ταχύτητα αυτοκαθαρισμού αγωγών:

ελάχιστη $u = 0,6 \text{ m/sec}$, μέγιστη $u = 0,75 - 0,9 \text{ m/sec}$).

2. Εγκατάσταση επεξεργασίας για τον απαραίτητο βαθμό καθαρισμού

των αποβλήτων, μαζί με τυχόν απολύμανση.

3. Σύστημα διάθεσης, για την κατάλληλη διασπορά της απορροής στον τελικό αποδέκτη (θάλασσα, ποτάμι, λίμνη, έδαφος).

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

- Σχάρισμα ή άλωση
- Αμμοσυλλογή
- Λιποσυλλογή ή ζάφρισμα
- Χημική κατακρήμνιση
- Βιολογική αποδόμηση
- Χημική επεξεργασία
- Διύλιση
- Απολύμανση

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Για τα αστικά λύματα έχουν διαμορφωθεί τρία βασικά στάδια καθαρισμού;

α. Πρωτοβάθμιος μηχανικός καθαρισμός

Περιλαμβάνει σχάρισμα, αφαίρεση άμμου και κατα περίπτωση λιποσυλλογή.

Βασική επεξεργασία είναι η **καθίζηση**.

β. Δευτεροβάθμιος καθαρισμός (βιολογικός ή χημικός).

Η επεξεργασία γίνεται είτε με **βιολογική** αποδόμηση των οργανικών ουσιών (αερόβια ή αναερόβια) και στη συνέχεια απομάκρυνση των σχηματιζομένων αιωρημάτων με δεύτερη καθίζηση είτε με **χημική** κατακρήμνιση των κολοειδών ουσιών.

Μέθοδοι δευτεροβάθμιου βιολογικού καθαρισμού:

- 1. Χαλικοδιυλιστήριο (:βιολογικό φίλτρο)**
- 2. Ενεργός ιλύς.**

3. Δεξαμενές σταθεροποιήσεως

γ. Τριτοβάθμιος καθαρισμός.

Εφαρμόζεται για την απομάκρυνση κυρίως του **αζώτου** ($\text{NH}_3 - \text{NO}_3$) και **φωσφόρου** (PO_4) για την αντιμετώπιση των κινδύνων **ευτροφισμού** του τελικού αποδέκτη ή στην επαναχρησιμοποίηση της τελικής απορροής για δευτερεύουσες χρήσεις (βιομηχανία, άρδευση).

3. ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Εισαγωγή

Ρύπανση της ατμόσφαιρας καλείται η ύπαρξη στον ατμοσφαιρικό αέρα ύλης ή ενέργειας/τεχνητής (ανθρώπινης) προέλευσης που μπορεί να προκαλέσει οικολογικές διαταραχές και βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό.

Η ρύπανση τεχνητής προέλευσης διακρίνεται σε: α. Ρύπανση της γενικής ατμόσφαιρας, β. Ρύπανση των χώρων εργασίας.

Η ύλη που ρυπαίνει την ατμόσφαιρα μπορεί να βρίσκεται σε: α. Αέρια κατάσταση (ατμοί, αέρια), β. Υγρά κατάσταση (σταγονίδια, αεροδιαλύματα).

γ. Στερεά κατάσταση (καπνοί = σωματίδια διαμέτρου μέχρι 2.5 μm ή κόνις = συνήθως σωματίδια διαμέτρου άνω του 1μm).

Ο καπνός όταν προέρχεται από την καύση οργανικών ουσιών (που περιέχουν άνθρακα) περιέχει ποσότητες αιθάλης, δηλαδή συμπλέγματα σωματιδίων άνθρακα. Η κόνις μπορεί να αποτελείται από:

α. Ζώσα ύλη όπως π.χ. η γύρις (10 μέχρι 800 μm), οι ιοί (μέχρι 0.3 μm), τα βακτήρια (συνήθως 1 μέχρι 10 μm).

β. Η ανόργανη ή οργανική ύλη όπως π.χ. η κόνις τσιμέντου (5 μέχρι 300 μm), κόνις κάρβουνου (0.5 έως 900 μm).

Η ατμοσφαιρική «κόνις» φυσικής προέλευσης (από το σύμπαν ή από την τριβή των στερεών σωμάτων πάνω στη γη) αποτελείται από σωματίδια πολύ μικρής διαμέτρου (μέχρι 1 μm).

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ατμοσφαιρικών ρύπων εκφράζεται συνήθως σε βάρος προς όγκο αέρα (π.χ. μg/λη³) όταν πρόκειται περί στερεών. Μια εξαίρεση είναι η κόνις αμιάντου που πρέπει να ανιχνευτεί με το μικροσκόπιο (ανάμεσα στα άλλα σωματίδια άλλων τύπων κόνεως) και τότε εκφράζεται σε αριθμό σωματιδίων ανά μονάδα όγκου αέρος (ίνες/ml). Οι αέριοι ρύποι εκφράζονται συχνά σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) (όγκος κατ' όγκο). Για τους ρύπους σε αέρια κατάσταση χρησιμοποιείται επίσης καμιά φορά η μερική πίεση.

Εισπνοή των ατμοσφαιρικών ρύπων

Οι άνω αναπνευστικές οδοί και το βρογχικό σύστημα επιτυγχάνουν τη θέρμανση του εισπνεόμενου αέρα, τον κορεσμό του σε ατμούς ύδατος και τη συγκράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων ή αερίων.

Όσον αφορά τα αέρια η ποσότητα που θα συγκρατηθεί **εξαρτάται κυρίως από τη διαλυτότητα του αερίου στο νερό** και τη διαφορά μερικής πίεσης του αερίου ανάμεσα στον εισπνεόμενο αέρα και στο βλεννογόνο των αναπνευστικών οδών (νόμος του Henry). Για τις ποσότητες αερίων που δεν έχουν συγκρατηθεί από τις αναπνευστικές οδούς και το βρογχικό σύστημα και που φθάνουν επομένως μέχρι τις κυψελίδες η απορρόφηση τους από το αίμα **εξαρτάται επίσης από τη διαλυτότητα και τη διαφορά μερικής πίεσης του αερίου στον κυψελιδικό αέρα και στο αίμα.**

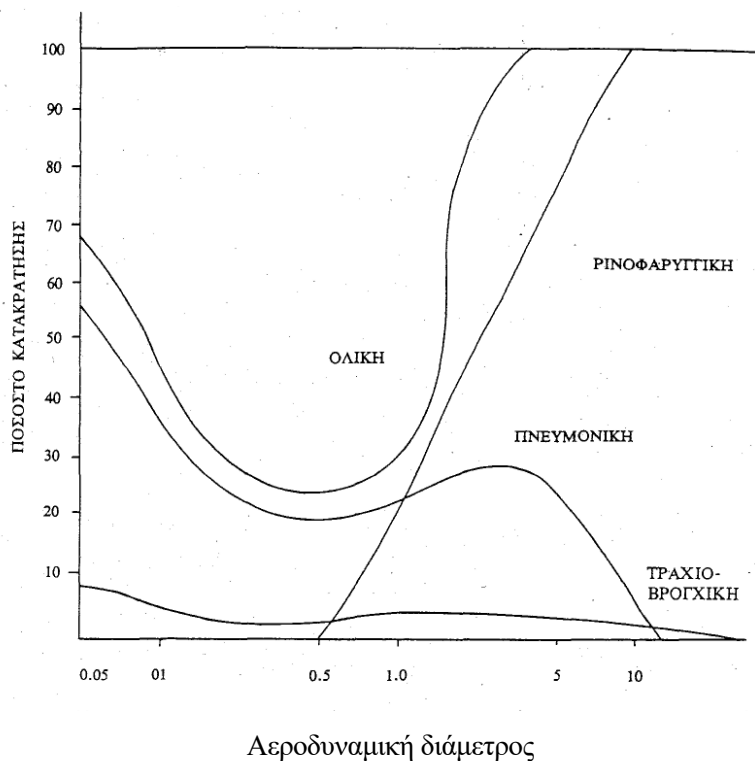
Πειραματικά δεδομένα αποδεικνύουν ότι περίπου 95% του διοξειδίου του θείου κατακρατούνται από το βλεννογόνο της άνω αναπνευστικής οδού. Αέρια όπως ο τετραχλωράνθραξ ή το βενζόλιο έχουν πολύ μικρή διαλυτότητα στο νερό και επομένως δεν απορροφούνται με ευκολία. Στην περίπτωση αυτή, η συγκέντρωσή τους στον πνευμονικό αέρα φτάνει σύντομα σε ένα σταθερό επίπεδο από το οποίο μικρή ποσότητα διαχέεται στο αίμα δια μέσου της κυψελιδικής μεμβράνης. Στις περιπτώσεις που το αέριο έχει μεγάλη διαλυτότητα ή που αντιδρά χημικά κατά τη διάλυση του από τα υγρά των ιστών ή του αίματος (όπως π.χ. το διοξείδιο του αζώτου ή το χλώριο) το σταθερό επίπεδο συγκέντρωσης στον πνευμονικό αέρα δεν επιτυγχάνεται ποτέ ή επιτυγχάνεται πολύ αργότερα. Οι ποσότητες πάντως που απορροφούνται είναι σημαντικές.

Όσον αφορά τα σωματίδια των κόνεων η συγκράτηση τους από τις αναπνευστικές οδούς (πριν φτάσουν στους πολύ μικρούς βρόγχους και τις κυψελίδες) γίνεται δια:

- καθίζησης των σωματιδίων λόγω βαρύτητας
- διάχυσης των σωματιδίων και προσκόλλησης επί των κροσσών του αναπνευστικού βλεννογόνου
- σύγκρουσης επί του βλεννογόνου στις παράπλευρες αποσχίσεις και διχοτομήσεις του βρογχικού δένδρου.

Και οι τρεις μηχανισμοί εξαρτώνται από την αεροδυναμική διάμετρο των σωματιδίων, δηλαδή τη διάμετρο τέλειας σφαίρας ειδικού βάρους ίσου με 1, που καθιζάνει με την ίδια ταχύτητα με το σωματίδιο (που συνήθως δεν είναι τέλεια σφαίρα). Στη μελέτη επομένως των πιο πάνω μηχανισμών εξομοιώνεται το σωματίδιο των διαφόρων κόνεων προς μια τέλεια σφαίρα ορισμένης διαμέτρου. Τα πολύ μικρά σωματίδια (μικρότερα από 0.5 μm) προσκολλούνται επί του βλεννογόνου λόγω της κατά Brown κινήσεως τους.

Οι πιο πάνω μηχανισμοί έχουν σαν αποτέλεσμα να γίνεται κατακράτηση των μεγάλων σωματιδίων στις άνω αναπνευστικές οδούς και τους μεγάλους βρόγχους και των μικρότερων σωματιδίων στους μικρότερους βρόγχους (Σχ. 3.1). Βεβαίως, όταν κανείς αναπνέει από τη μύτη και όχι από το στόμα η κατακράτηση των σωματιδίων είναι μεγαλύτερη και φτάνει το 100% για σωματίδια 10 μm ή μεγαλύτερα. Η ταχύτητα του εισπνεόμενου αέρα αυξάνει επίσης την κατακράτηση π.χ. σε περίπτωση εισπνεόμενου όγκου 11 l/min περίπου (εργασία ελαφριάς έντασης) 100% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 5 μm κατακρατούνται από το αναπνευστικό σύστημα. Τα σωματίδια 0.5 μm κατακρατούνται κατά 25% περίπου, ενώ στις πνευμονικές κυψελίδες κατακρατούνται 30% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 3-4 μm.



Σχ. 3.1 Αναπνευστική κατακράτηση κόνεων

Αποτελέσματα της εισπνοής ατμοσφαιρικών ρύπων

Τα αποτελέσματα διαφέρουν ανάλογα με την εισπνεόμενη ποσότητα (δηλαδή με το μέγεθος της ρύπανσης του περιβάλλοντος αέρα). Οι εντονότερες βλάβες συναντώνται σε εργαζόμενους σε χώρους εργασίας με μεγάλη

ρύπανση που είναι συνήθως ενός μόνου τύπου (ένα ορισμένο αέριο ή μια ορισμένη κόνις). Οι ρύποι της γενικής ατμόσφαιρας είναι πολυάριθμοι, αλλά βρίσκονται σε πολύ μικρότερη συγκέντρωση.

Η εισπνοή ατμοσφαιρικών ρύπων προκαλεί:

Βλάβες του αναπνευστικού συστήματος

Βλάβες άλλων οργάνων (μετά την απορρόφηση του ρύπου).

A. Βλάβες του αναπνευστικού συστήματος

Οι ρύποι σε αέρια κατάσταση (διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του αζώτου, μονοξείδιο του αζώτου, χλώριο, αμμωνία, χλωριούχος ψευδάργυρος, ατμοί υδραργύρου για να αναφερθούμε στα κυριότερα) προκαλούν οξείες καταστάσεις ερεθισμού του βλεννογόνου. Η επανειλημμένη ή μακροχρόνια επαφή με αέρια, όπως η αμμωνία, το μονοξείδιο του αζώτου ή το διοξείδιο του θείου μπορεί να καταλήξει σε χρόνια βλάβη εκδηλουμένη συνήθως υπό μορφή χρόνιας βρογχίτιδας. Σε μεγάλες δόσεις τα αέρια αυτά μπορούν να προκαλέσουν χημική πνευμονίτιδα και πνευμονικό οίδημα με σαφή μείωση της οξυγόνωσης του αίματος στο επίπεδο των κυψελίδων.

Κάνεις οργανικής προέλευσης μπορούν να προκαλέσουν τριών τύπων βλάβες:

α. Αποφρακτικές πνευμονικές παθήσεις αλλεργικής φύσεως (άσθμα), όπως οι κόνεις ξύλου κυρίως κόκκινου ξύλου όπως η παλισάνδρη, πρωτεολυτικών ενζύμων όπως εκείνων του bacillus subtilis που χρησιμοποιούνται στα λεγόμενα βιολογικά απορρυπαντικά.

β. Αποφρακτικές πνευμονικές παθήσεις δι' εκκρίσεως ισταμίνης χωρίς όμως ειδικό αλλεργιογόνο (κυριότερο παράδειγμα είναι η βυσσίνωση των εργαζομένων στο βάμβακα).

γ. Εξωγενή κυψελίτιδα αλλεργικής φύσης που χαρακτηρίζεται από μείωση της διάχυσης του αέρα από τις κυψελίδες προς το αίμα. Διάφορες κλινικές οντότητες εξωγενούς κυψελίτιδας έχουν περιγραφεί, εκ των οποίων οι κυριότερες είναι η πνευμονοπάθεια του αγρότη όπου το αλλεργιογόνο είναι μύκητες του σταχίου, πνευμονοπάθεια του χειριστού πουλιών όπου το αλλεργιογόνο είναι πρωτεΐνες των περιττωμάτων των πουλιών, η πνευμονοπάθεια του τυροκόμου όπου το αλλεργιογόνο είναι το penicillium casei.

Οι παθήσεις που προκαλούνται από τις κόνεις οργανικής προέλευσης είναι συνήθως και των τριών πιο πάνω τύπων. Επομένως, οι λειτουργικές διαταραχές είναι κυρίως η μείωση ενεργούς εκπνεομένου όγκου ανά 1" καθώς και η μείωση της κυψελιδικής διάχυσης των αερίων.

Οι κόνεις ανόργανου προέλευσης προκαλούν τις πνευμονοκονιάσεις εκ των οποίων οι κυριότερες είναι η πυριτίαση, η αμιάντωση και πνευμονοκονίαση από κόνεις κάρβουνου.

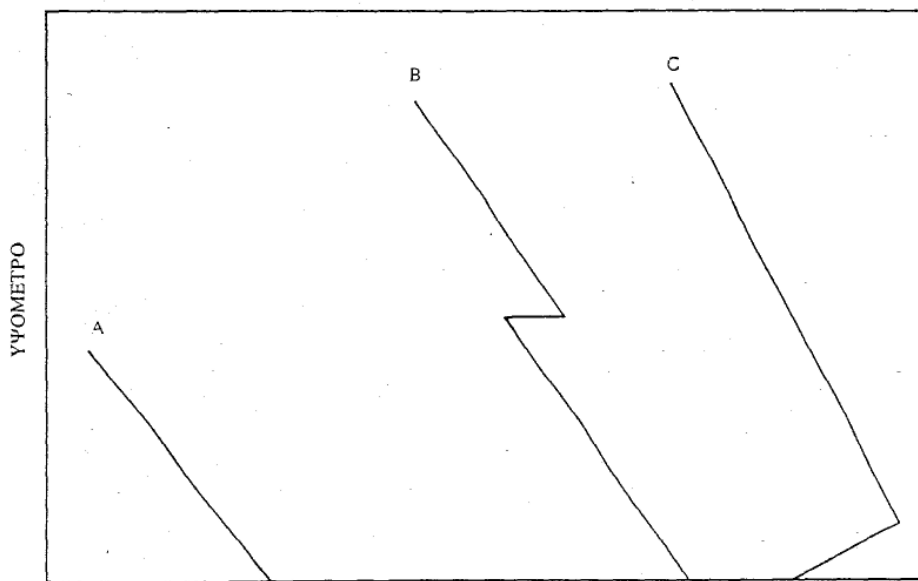
Όλες οι παθήσεις από κόνεις είναι επαγγελματικής προέλευσης και δεν συναντώνται στο γενικό πληθυσμό εκτός από το μεσοθηλώμα του αμιάντου που συναντάται καμιά φορά σε μέλη της οικογένειας εργατών αμιάντου ή στους περιοίκους των εργοστασίων αμιάντου.

Αντίθετα με τις κόνεις, οι παθολογικές διαταραχές από εισπνοή αερίων ρύπων συναντώνται και στο γενικό πληθυσμό λόγω της ρύπανσης της γενικής ατμόσφαιρας. Οι πηγές ρύπανσης είναι πολυάριθμες και κάθε τύπος πηγής εκπέμπει ειδικούς ρύπους. Οι διαταραχές αυτές είναι βέβαια πολύ πιο ελαφρές. Για πολύ καιρό δεν ήσαν καν γνωστές, αλλά η αύξηση της ρύπανσης που ακολουθεί τη βιομηχανική ανάπτυξη, η αύξηση της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων και η ανάπτυξη των πόλεων εν γένει δημιούργησαν τις συνθήκες μεγαλύτερης επέκτασης των διαταραχών αυτών οι οποίες έγιναν και πιο έντονες. Εκ παραλλήλου, οι πρόοδοι της επιδημιολογικής μεθοδολογίας επέτρεψαν την εντόπιση τους.

Από επιδημιολογικής πλευράς οι διαταραχές αυτές μπορούν να εμφανισθούν υπό μορφή επιδημικής έξαρσης ή υπό μορφή προοδευτικής αύξησης της επίπτωσης τους, στον πληθυσμό. Επιδημικές εξάρσεις είναι γνωστές από το 1930 όταν στην κοιλάδα του Meuse στο Βέλγιο διαπιστώθηκε η αύξηση του αριθμού θανάτων από οξεία βρογχίτιδα. Άλλες επιδημικές εξάρσεις έγιναν στη Donora κοντά στο Pittsburg το 1948. Η πιο γνωστή επιδημική

έξαρση έγινε στο Λονδίνο το Δεκέμβριο του 1952, όταν κλιματολογικές συνθήκες επέτρεψαν μια σημαντική αναστροφή της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα του Λονδίνου και την έλλειψη ανέμων (Σχ. 3.2). Η ομίχλη που κάλυψε την αγγλική πρωτεύουσα είχε ρυπανθεί με μεγάλες ποσότητες αιθάλης και συνέτεινε στη διατήρηση στο επίπεδο του εδάφους μεγάλης πυκνότητας διοξειδίου του θείου (πάνω από 3.800 mg/m^3). Στην ίδια περίοδο των τεσσάρων ημερών παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός των θανάτων ήταν περίπου 3.500 έως 4.000 θάνατοι περισσότεροι από τον συνηθισμένο αριθμό θανάτων μηνός Δεκεμβρίου. Οι θάνατοι αφορούσαν άτομα τα οποία έπασχαν ήδη από σοβαρή πνευμονική ή καρδιακή πάθηση και ήταν προχωρημένης ηλικίας, ενώ ο αριθμός των νεαρών ατόμων ήταν μικρός. Πιο μακρόχρονες επιδημιολογικές έρευνες απέδειξαν ότι υπάρχει μια στενή συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης αιθάλης στην ατμόσφαιρα ως και συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου και του αριθμού θανάτων σε άτομα προχωρημένης ηλικίας και πάσχοντα από πνευμονική ή καρδιακή πάθηση. Απέδειξαν μάλιστα ότι το επιδημιολογικό αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης γίνεται αισθητό όταν τα αιωρούμενα σωματίδια ξεπερνούν τη συγκέντρωση των 200 mg/m^3 αέρος για μια ελάχιστη περίοδο 24 ωρών.

Στις αρχικές επιδημιολογικές έρευνες, η μέθοδος που εφαρμόστηκε ήταν η καταμέτρηση της θνησιμότητας και η συσχέτιση της με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Μετρήσεις της νοσηρότητας δεν έγιναν παρά αργότερα λόγω των μεγάλων δυσχερειών των μετρήσεων αυτών. Πάντως αποδείχθηκε ότι ο επιπολασμός της χρόνιας βρογχίτιδας σε κατοίκους των περιοχών μεγάλης ρύπανσης είναι διπλάσιος του επιπολασμού της πάθησης αυτής σε περιοχές μικρής ρύπανσης. Οι απουσίες από τα σχολεία ή την εργασία αποδεικνύονται καλός δείκτης επίπτωσης παθήσεων που προκαλούνται από την ατμοσφαιρική ρύπανση (Πίν. 3.1). Επίσης έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει διαφορά στην επίπτωση του καρκίνου του πνεύμονα μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών σε άτομα με την ίδια κατανάλωση τσιγάρων.



- A. Κανονική πτώση θερμοκρασίας
- B. Θερμική αναστροφή
- Γ. Αναστροφή στο επίπεδο του εδάφους

Σχ. 3.2. Σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου της θερμοκρασιακής αναστροφής

B. Βλάβες άλλων οργάνων

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, ορισμένοι ατμοσφαιρικοί ρύποι δεν προκαλούν βλάβες του αναπνευστικού συστήματος, αλλά βλάβες άλλων οργάνων μετά από την απορρόφηση τους από το αίμα. Ένας βασικός ατμοσφαιρικός ρύπος είναι ο μόλυβδος ο οποίος συναντάται και στους χώρους εργασίας, αλλά και στη γενική

ατμόσφαιρα. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας με μόλυβδο οφείλετο στην προσθήκη του τετρααιθυλιούχου μολύβδου στη βενζίνη των αυτοκινήτων για να βελτιωθεί η απόδοση τους. Στη βιομηχανία βέβαια οι πηγές ατμών ή σκόνη μολύβδου είναι συχνότερες (κατασκευή μπαταριών αυτοκινήτων, τυπογραφεία κ.λπ.).

Ο μόλυβδος εισέρχεται στον οργανισμό δια κατάποσης κόνεων, από τις οποίες το 1/10 περίπου θα απορροφηθεί από το πεπτικό σύστημα ή δι' εισπνοής ατμών ή κόνεως μολύβδου των οποίων 20 έως 50% θα απορροφηθεί από το αίμα και αυτό εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων από τη διαλυτότητα του μολύβδου και από άλλα φυσικά χαρακτηριστικά του. Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας καθόρισε ότι το μέγιστο ολικό ποσό μολύβδου που επιτρέπεται να προσληφθεί από ενήλικες είναι 450 $\mu\text{g}/24\text{ωρο}$. Η μεγαλύτερη πηγή μολύβδου είναι οι τροφές και υπολογίζεται ότι ή μέση ποσότητα που προσλαμβάνεται από έναν ενήλικα άρρενα δια των τροφών είναι περίπου 200-250 μικρογραμμάρια ημερησίως. Τα υπόλοιπα 200 μικρογραμμάρια μπορούν να προσληφθούν χωρίς επιβλαβείς διαταραχές από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Εάν επομένως ο εισπνεόμενος όγκος αέρα ανά 24ωρο είναι περίπου 20 m^3 τότε η επιτρεπόμενη συγκέντρωση μολύβδου στον αέρα είναι $200/20=10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, από τα οποία θα απορροφηθούν 40-50%. Τέτοια συγκέντρωση μολύβδου δεν συναντάται συχνά στις μεγάλες πόλεις. Η συνήθης συγκέντρωση μολύβδου στον αέρα των πόλεων κυμαίνεται μεταξύ 0.1 και 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ στις αγροτικές περιοχές είναι 0.002 έως 0.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Πίν. 3.1. Επιδημιολογικές παράμετροι των επιπτώσεων της ρύπανσης της ατμόσφαιρας

Μεταβλητές:

- Απουσίες από την εργασία
- Απουσίες από το σχολείο
- Εισαγωγές στα νοσοκομεία
- Προσέλευση στα εξωτερικά ιατρεία
- Θνησιμότητας

Άτομα:

- Ευπαθή (Χρόνια βρογχίτις, άσθμα, καρδιακές παθήσεις κ.α..)
- Νεαρής ηλικίας ή γέροι

Συnergείς παράγοντες:

- Σωματίδια + SO_2
- Κάπνισμα + ρύπανση
- Κλιματολογικά στοιχεία - θερμοκρασία

Χρόνος:

- Διάρκεια έκθεσης σε συνδυασμό με τη συγκέντρωση

Εάν τα πιο πάνω ισχύουν για τον γενικό πληθυσμό των ενηλίκων, δεν ισχύουν για τα παιδιά. Πράγματι αποδεικνύεται ότι όταν η πυκνότητα στον αέρα ανέρχεται άνω των 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αέρος η περιεκτικότητα του μολύβδου στο αίμα ανέρχεται σε 36 έως 40 $\mu\text{g}/100 \text{ml}$ αίματος που μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το μέγιστο επιτρεπτό ποσό για άτομα νεαρής ηλικίας, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στη δηλητηρίαση από μόλυβδο. Αποδεικνύεται μάλιστα ότι συγκέντρωση μολύβδου στο αίμα άνω των 10 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ συνοδεύεται με σαφείς αιματολογικές και εγκεφαλικές διαταραχές.

Ένας άλλος ρύπος της ατμόσφαιρας που έχει συστηματική επίδραση σε άλλα όργανα εκτός του αναπνευστικού συστήματος είναι το μονοξειδίο του άνθρακα (Πίν. 3.2). Η τοξικότητα του μονοξειδίου του άνθρακα του οποίου η κύρια πηγή είναι οι μηχανές των αυτοκινήτων είναι γνωστή. Σε πόλεις με σημαντική κυκλοφορία το μονοξειδίο του άνθρακα ανευρίσκεται συνήθως στην πυκνότητα των 15 ppm και σπάνια ανεβαίνει πάνω από 50 ppm, γιατί η διάχυση του και η αραίωση του στην ατμόσφαιρα είναι πολύ μεγάλη. Σε στιγμές μεγάλης κυκλοφοριακής συμφόρησης μπορεί κανείς να συναντήσει τιμές άνω των 100 ppm και έχει παρατηρηθεί ότι αυτό συμβαίνει σε ορισμένες πρωτεύουσες της Ευρώπης. Οι μετρήσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα δεν έχουν τόσο μεγάλη σημασία για να αποδείξει κανείς την επίδραση του στον οργανισμό. Η πιο σημαντική μέτρηση είναι η μέτρηση της καρβοξυ-αιμοσφαιρίνης στο αίμα των ατόμων που εκτίθενται σε ορισμένες πυκνότητες μονοξειδίου του άνθρακα. Συνήθως στα φυσιολογικά άτομα που δεν καπνίζουν, 1 % της αιμοσφαιρίνης είναι συνδεδεμένη με μονοξειδίο του άνθρακα, το οποίο προέρχεται από τις μεταβολικές διαδικασίες. Σε μη καπνιστές που έχουν εκτεθεί σε ατμόσφαιρα πλούσια σε μονοξειδίο του άνθρακα (κυκλοφορία σε μια μεγάλη πόλη) το ποσοστό αιμοσφαιρίνης το συνδεδεμένο με το μονοξειδίο του άνθρακα σπάνια υπερβαίνει το 3%. Οι καπνιστές έχουν περίπου 3-7% καρβοξυαιμοσφαιρίνη στο αίμα. Στις πιο πάνω περιεκτικότητες δεν υπάρχουν ιδιαίτερες διαταραχές του οργανισμού εκτός εάν το άτομο παρουσιάζει σοβαρά καρδιακή ή αναπνευστική ανεπάρκεια. Ορισμένοι ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι και τα μικρά αυτά ποσοστά καρβοξυαιμοσφαιρίνης μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς τις πνευματικές ικανότητες του ατόμου, αλλά άλλες εργασίες που έγιναν με πολύ καλή μεθοδολογία (διπλά «τυφλές») δεν απέδειξαν μια τέτοια δυσμενή επίδραση. Ο πίνακας 3.3 δείχνει τη πυκνότητα ρύπων στα αέρια εξάτμισης των αυτοκινήτων και φαίνεται σαφώς ότι τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα παράγουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα από τα πετρελαιοκίνητα.

Πίν. 3.2. Υγειονομικές επιπτώσεις μονοξειδίου του άνθρακα

9 ppm — επί 8 ώρες:	Πρότυπο
50 ppm — επί 6 ώρες:	Παθολογοανατομίες βλάβες καρδιάς και εγκεφάλου
50 ppm — επί 50':	Διαταραχές οπτικής οξύτητας
50 ppm — 8-12 ώρες:	Ψυχολογικές διαταραχές (τρόμος, αδεξιότητα)

Σημείωση: Η μετατροπή από μέρη στο εκατομμύριο (ppm) σε $\mu\text{g}/\text{m}^3$ γίνεται, για 25 βαθμούς Κελσίου και ατμοσφαιρική πίεση 760 mm Hg, με τον τύπο

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{ppm} \cdot MB \cdot 40.9$$

όπου MB το μοριακό βάρος.

Η μετατροπή από $\mu\text{g}/\text{m}^3$ σε ppm είναι:

$$\text{ppm} = \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot 2.445 / [100 \cdot MB]$$

Εν τέλει ας σημειώσουμε ότι στην ατμόσφαιρα των πόλεων υπάρχουν μικρές ποσότητες υδρογονανθράκων όπως το βενζο-α-πυρένιο του οποίου η καρκινογόνος δράση είναι γνωστή. Η κύρια όμως σημασία των υδρογονανθράκων της ατμόσφαιρας ευρίσκεται στο ρόλο τον οποίο παίζουν στις φωτοχημικές αντιδράσεις και στη δημιουργία της καπνομίχλης. Η αύξηση της πυκνότητας του καδμίου, βερυλίου και βαναδίου στον ατμοσφαιρικό αέρα έχει απασχολήσει επίσης τους ερευνητές, αλλά άμεσα αποτελέσματα επί του αθροπίνου οργανισμού των στοιχείων αυτών δεν έχουν ακόμη αποδειχθεί. Είναι όμως σημαντικό να σημειωθεί ότι χρόνιες επιδράσεις των στοιχείων αυτών είναι πιθανές και η αύξηση της πυκνότητας τους στον ατμοσφαιρικό αέρα, στις τροφές και στο πόσιμο νερό μπορεί να δημιουργήσει μεγάλα προβλήματα δημόσιας υγείας.

Πίν. 3.4. Συγκέντρωση ρύπων στα αέρια των εξατμίσεων αυτοκινήτων.

Μηχανές ντήζελ:		Ρελαντί	Επιτάχυνση	Σταθερή ταχύτητα	Επιβράδυνση
Μονοξειδίο του άνθρακα	%	Ίχνος	0.1	Ίχνος	Ίχνος
Υδρογονάνθρακες	%	0.04	0.02	0.01	0.03
Οξείδια του αζώτου	ppm	60	850	250	30
Βενζινοκίνητα					
Μονοξειδίο του άνθρακα	%	7.0	2.5	1.8	2.0
Υδρογονάνθρακες	%	0.5	0.2	0.1	1.0
Οξείδια του αζώτου	ppm	30	1050	650	20

Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις γίνονται κατά την επιτάχυνση και αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στις πόλεις όπου οι στάσεις και επιταχύνσεις είναι συχνές.

Επιπτώσεις στην υγεία των κυριότερων ατμοσφαιρικών ρύπων

Διοξείδιο του θείου (SO₂) και όξινη εναπόθεση.

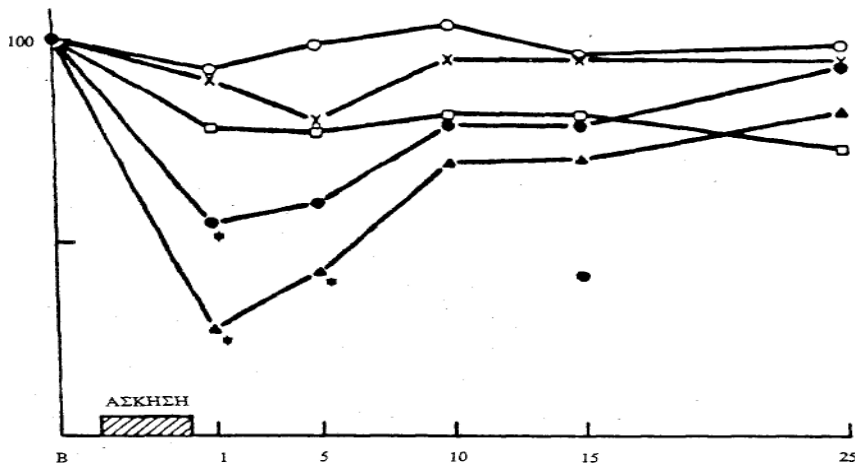
Το SO₂ της ατμόσφαιρας προέρχεται από την καύση παραγώγων του πετρελαίου, που περιέχουν θείο. Επομένως και η βιομηχανία και οι οικιακές θερμάνσεις και οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι πηγές SO₂. Μέρος του SO₂ (5 - 10% ανά ώρα) οξειδώνεται στον αέρα σε τριοξείδιο που αντιδρά με τους υδρατμούς σε θειικό οξύ που αποτελεί το υπόβαθρο της όξινης κατακρήμνισης ή βροχής. Ο σχηματισμός θειικών αλάτων (όπως π. χ. του διθειικού-αμμωνίου) έχει επίσης σημασία διότι συμβάλλουν, αν και λιγότερο όξινα, στην πτώση του pH της ατμόσφαιρας.

Η φυσική, μη ανθρωπογενής, συγκέντρωση SO₂ δεν υπερβαίνει 5 μg/m³ και σε πολλές αγροτικές περιοχές οι συγκεντρώσεις βρίσκονται στο επίπεδο των 10 - 15 μg/m³. Στις αστικές περιοχές, η ετήσια μέση τιμή 24ώρων δειγμάτων κυμαίνεται από 100 - 250 μg/m³ αν και πρόσφατα παρατηρείται μείωση κάτω από 100 μg/m³. Δειγματοληψίες μικρότερης διάρκειας δείχνουν όμως υψηλές τιμές που μπορεί να φθάσουν στα 1000 μg/m³ στα δείγματα μίας ώρας.

Το SO₂ είναι εξαιρετικά υδροδιαλυτό και για το λόγο αυτό συγκρατείται από τα άνω τμήματα του αναπνευστικού συστήματος. Η είσοδος του μέχρι τα βρογχίδια γίνεται όταν η ροή του εισπνεόμενου αέρα αυξάνεται σημαντικά όπως π. χ. κατά τη σωματική άσκηση. Η επίδραση του συνίσταται σε βρογχοσυστολή (Σχ. 3.

3) και ερεθισμό του βλεννογόνου με βήχα και ελαφρά απόχρεμψη, φαινόμενα που έχουν αποδειχθεί και πειραματικά. Η ευαισθησία των ατόμων ποικίλλει σημαντικά και ορισμένα άτομα μπορεί να παρουσιάσουν βρογχόσπασμο σε συγκεντρώσεις της τάξης των $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ενώ άλλα άτομα αντιδρούν μόνο σε συγκεντρώσεις $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Τα πιο ευαίσθητα άτομα είναι οι ασθματικοί λόγω, ίσως, της μεγάλης ευαισθησίας του βρογχικού δένδρου σε εξωγενή ερεθίσματα. Στοιχεία που έχουν συλλέγει σε εργαζόμενους, εκτιθέμενους στο SO_2 δείχνουν ότι επαναλαμβανόμενες αλλά μικρής διάρκειας εκθέσεις σε υψηλές συγκεντρώσεις καταλήγουν σε χρόνια βρογχίτιδα ιδιαίτερα στους καπνιστές.

Τα επιδημιολογικά δεδομένα είναι δυστυχώς συγκεκριμένα και ο κύριος λόγος είναι ότι η ρύπανση του αέρα με SO_2 δεν είναι ποτέ μονήρης συνδυαζόμενος με την παρουσία και άλλων ρύπων όπως τα αιωρούμενα σωματίδια, ο καπνός και η όξινη εναπόθεση. Συνδυασμοί των ρύπων αυτών σε επίπεδα άνω των $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ για τα αιωρούμενα σωματίδια ή καπνό και το SO_2 προκαλούν μείωση της αναπνευστικής λειτουργίας σε ευαίσθητα άτομα (ασθματικοί ή βρογχιτικοί). Πειραματικές παρατηρήσεις επί ανθρώπων εθελοντών έχουν δείξει όμως ότι υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ρύπων αυτών και της αναπνευστικής λειτουργίας. Είναι επομένως πολύ δύσκολο να καθορισθεί κάποιο σημείο ουδού. Τα προτεινόμενα πρότυπα αποτελούν απλώς ενδεικτικές τιμές, που αντιμετωπίζουν πιθανόν τις ανάγκες των περισσότερων ευαίσθητων ατόμων.



ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ (1')

Σχ. 3.3. Επίδραση του SO_2 σε αυξανόμενες συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα επί της εκπνευστικής ικανότητας.

Όσον αφορά την όξινη εναπόθεση η σημερινή τάση είναι η εγκατάλειψη του προσδιορισμού του διθειικού και θειικού αμμωνίου (καλούμενα γενικά «θειικά») και ευρύτερη χρήση της οξύτητας στα αιωρούμενα σωματίδια μικρής αεροδυναμική διαμέτρου (κάτω από $2,5 \mu\text{m}$). Όξινο περιβάλλον ορίζεται όταν το pH των αιωρούμενων σωματιδίων μειώνεται κάτω του 5.6. Στην Πάτρα τα ολικά αιωρούμενα σωματίδια έχουν $\text{pH} = 6.2$.

Αιωρούμενα σωματίδια

Αποτελούνται από συμπλέγματα οργανικών και ανόργανων ουσιών. Τα μικρότερα των $2.5 \mu\text{m}$ (αεροδυναμικής διαμέτρου) σωματίδια συνίστανται σε ανθρακούχα προϊόντα καύσης οργανικών ουσιών και επαναστερεοποιημένους καπνούς οργανικών ή μεταλλικών ουσιών. Τα άνω των $2.5 \mu\text{m}$ σωματίδια είναι σωματίδια που προέρχονται από τριβές σωμάτων ή αέρα/χόματος ή από βιομηχανικές ή άλλες διεργασίες (σκόνη) Στην Ευρώπη (και Ελλάδα) η συνήθεια είναι να προσδιορίζεται ο καπνός, δηλαδή κυρίως τα κάτω των $2.5 \mu\text{m}$ σωματίδια (με επέκταση μέχρι τα $4.5 \mu\text{m}$) αλλά δια μέσου της έντασης του

μαύρου χρώματος της κηλίδας που σχηματίζεται στο φίλτρο δειγματοληψίας (μαύρος καπνός). Στις ΗΠΑ η συνήθεια είναι να γίνεται προσδιορισμός, με ζύγιση, των ολικών αιωρούμενων σωματιδίων που συγκεντρώνεται σε φίλτρο. Η αντιστοιχία μεταξύ των δύο αυτών μεθόδων είναι αδύνατον να προσδιορισθεί ακριβώς. Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης καθόρισε το όριο των 10 μm σαν το όριο εισπνεομένων σωματιδίων που πρέπει να προσδιορίζονται στην εκτίμηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Σε πολλές πόλεις της Ευρώπης, η ετήσια μέση τιμή συγκέντρωσης καπνού ανέρχεται σε 10 έως 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ενώ τα αιωρούμενα σωματίδια κυμαίνονται από 50 - 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Στην Πάτρα π. χ. η συγκέντρωση ολικών αιωρούμενων σωματιδίων ανέρχεται σε 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο κέντρο της πόλης (ετήσια μέση τιμή δειγμάτων 24 ωρών). Γενικά, όμως, σε πολλές πόλεις, οι ημερήσιες τιμές μπορεί να υπερβαίνουν τα 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μερικές φορές το χρόνο. Οι επιπτώσεις στην υγεία των αιωρούμενων σωματιδίων αυτών καθεαυτό είναι δύσκολο να προσδιορισθούν, λόγω του συχνού συνδυασμού τους με άλλοι ρύποι. Εκείνο που διαφαίνεται, από τις πιο πρόσφατες επιδημιολογικές μελέτες είναι ότι συγκεντρώσεις άνω των 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ επί μακρό χρονικό διάστημα προκαλούν βρογχόσπασμο, μείωση της αναπνευστικής λειτουργίας και, πιθανόν, χρόνια βρογχίτιδα. Η θνησιμότητα ηλικιωμένων και ευαίσθητων ατόμων επηρεάζεται από τα αιωρούμενα σωματίδια με τη συγκέντρωση των οποίων έχει θετική συσχέτιση. Αποδεικνύεται επίσης ότι οι διακυμάνσεις της συγκέντρωσης σωματιδίων μικρής διαμέτρου εξηγούν το 5% της ολικής θνησιμότητας. Η νοσηρότητα επηρεάζεται επίσης..

Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

Η κύρια πηγή είναι η καύση των παραγώγων πετρελαίου στη βιομηχανία ή οικίες κε στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Οι καύσεις παράγουν κυρίως μονοξείδιο το αζώτου που γρήγορα οξειδώνεται σε διοξείδιο στον ατμοσφαιρικό αέρα. Πάντως και τα δύο οξείδια μπορεί να συνυπάρχουν και το σύνολο συνιστά τα προσδιοριζόμενα οξείδια του αζώτου.

Στις αστικές περιοχές του κόσμου η ετήσια μέση συγκέντρωση του NO₂ ποικίλλει από 20 - 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Μέγιστες ημίωρες τιμές ανέρχονται σε 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 24ωρες τιμές σε 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Η συγκέντρωση κυμαίνεται ανάλογα με την ώρα της ημέρας και ανέρχεται σε υψηλά επίπεδα (π. χ. 950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) κατά τις ώρες μεγάλης κυκλοφορίας αυτοκινήτων. Οι συγκεντρώσεις αυτές δεν είναι όμως οι μόνες στις οποίες εκτίθεται ο πληθυσμός. Μέσα στα σπίτια, η καύση φωταερίου ή βουτανίου για θέρμανση ή μαγείρεμα δημιουργεί μεγάλες ποσότητες NO₂ η συγκέντρωση του οποίου μπορεί να φθάσει 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Επίσης ο καπνός του τσιγάρου περιέχει πάνω από 100000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ μονοξείδιο του αζώτου.

Μετά την εισπνοή του 40% περίπου του NO₂ συγκρατείται από το βλεννογόνο τη μύτης και φάρυγγα. Σε περίπτωση όμως σωματικής κόπωσης με υπέρπνοια το 80-90% του NO₂ φθάνει μέχρι τα τελικά βρογχίδια. Πειραματικά αποδείχθηκε ότι το NO₂ ή παράγωγα παραμένουν επί μακρό στον αναπνευστικό βλεννογόνο.

Εκείνο που ξεχωρίζει την τοξική επίδραση του NO₂ από εκείνη του SO₂ ή των αιωρούμενων σωματιδίων είναι ότι προκαλεί αισθητές μορφολογικές παθολογοανατομικές βλάβες με οίδημα του βλεννογόνου, υπερτροφία, βλάβες ή θάνατο κυττάρων. Στη αρχή της έκθεσης τα φυσιολογικά κύτταρα αντικαθίστανται με πιο ανθεκτικά (clara cells) τα οποία όμως, και αυτά, καταστρέφονται εάν συνεχισθεί η έκθεση σε υψηλά επίπεδα. Προοδευτικά παρατηρείται πάχυνση της κυψελιδικής μεμβράνης και βλάβες που μοιάζουν με το τυπικό εμφύσημα. Τέτοιες βλάβες μπορεί να παρατηρηθούν και σε μικρές σχετικά συγκεντρώσεις (190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) εάν είναι επαρκώς μακρόχρονες. Σημαντική επίσης διαταραχή είναι η μείωση της αντίστασης του πνευμονικού ιστού κατά των μικροβιακών λοιμώξεων και κατά των ιών.

Πειραματικές ενδείξεις υπάρχουν ότι επαναλαμβανόμενες υψηλές συγκεντρώσεις μικρής διάρκειας είναι εξίσου επικίνδυνες από χαμηλότερες αλλά μακρόχρονες συγκεντρώσεις.

Οι ασθματικοί αποτελούν ιδιαίτερη ομάδα υψηλού κινδύνου. Η χρήση καπνού ή η χρόνια βρογχίτιδα δεν αυξάνουν την ευαισθησία σε NO₂

Όζον και φωτοχημικά παράγωγα

Το όζον δεν παράγεται πρωτογενώς από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές. Σχηματίζεται κατά τις φωτοχημικές αντιδράσεις που αναπτύσσονται από την παρουσία οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων υπό την επίδραση του ηλιακού φωτός. Εκτός από το όζον παράγονται και άλλες ενώσεις, όπως το νιτρικό περοξυακετύλιο (PAN), νιτρικό οξύ, υπεροξείδιο του υδρογόνου καθώς και αλδεΐδες, φορμικό οξύ και άλλα.

Η ποσότητα παραγομένου όζοντος εξαρτάται και από τις απόλυτες συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων και μονοξειδίου του αζώτου, αλλά και από τη σχέση τους. Δεδομένης μιας ορισμένης ποσότητας και σχέσης ο παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται η παραγωγή όζοντος είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες.

Η μέση τιμή 24ώρων δειγμάτων μπορεί να φθάσει τα $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Σε ευνοϊκές συνθήκες συγκεντρώσεις μίας ώρας μπορεί να ξεπεράσουν τα $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ωριαίες συγκεντρώσεις της τάξης των $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ δεν είναι σπάνιες σε πολλές πόλεις της Ευρώπης. Πρέπει να σημειωθεί πάντως ότι το όζον καταναλίσκεται για την οξείδωση των άλλων ρύπων και επομένως η συγκέντρωσή του είναι απόρροια της παραγωγής σε σχέση με την κατανάλωση που μπορεί να διατηρεί τη συγκέντρωσή σε χαμηλά επίπεδα χωρίς αυτό να αποδεικνύει ότι η παραγωγή είναι μικρή. Για το λόγο αυτό, η συγκέντρωση όζοντος στο κέντρο των πόλεων είναι συχνά μικρότερη εκείνης στα περίχωρα.

Υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις της συγκέντρωσης όζοντος κατά τη διάρκεια του 24ώρου. Συνήθως οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται 2-3 ώρες μετά την αυγή, ενώ οι χαμηλότερες παρατηρούνται κατά τη νύχτα. Υψηλές τιμές του PAN παρατηρούνται μερικές ώρες μετά τις αιχμές συγκέντρωσης του όζοντος και φθάνουν καμιά φορά $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Έκθεση του ανθρώπου σε $235 \mu\text{g}/\text{m}^3$ επί 2 - 3 ώρες προκαλεί μείωση του ενεργά εκπνεόμενου όγκου αέρα σε Γ καθώς και της ενεργού ζωτικής χωρητικότητας. Παράλληλα, παρατηρούνται βήχας, αίσθημα ξηρότητας του λάρυγγα, δύσπνοια και ελαφρά αύξηση της απόχρεμψης. Ερεθισμός των βλεννογόνων των οφθαλμών και της μύτης, κεφαλαλγία και γενική δυσφορία παρατηρούνται επίσης συχνά. Εκείνο που χαρακτηρίζει την επίδραση του όζοντος είναι η προοδευτική προσαρμογή του ατόμου που, σε περίπτωση επαναλαμβανόμενων εκθέσεων μικρής διάρκειας, παρουσιάζει μείωση των συμπτωμάτων και σημείων μετά από μερικές περιόδους έκθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις. Αυτό εξηγεί ίσως το λόγο για τον οποίο ένας επισκέπτης περιοχής υψηλής ρύπανσης παρουσιάζει εντονότερα συμπτώματα από τους αυτόχθονες. Οι πάσχοντες από χρόνια βρογχίτιδα και οι καπνιστές δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στο όζον, παρουσιάζουν όμως ακόμη μεγαλύτερη μείωση της αναπνευστικής λειτουργίας που μπορεί, βέβαια, να έχει σοβαρές συνέπειες. Κρίσεις άσθματος παρατηρούνται στους ασθματικούς σε συγκεντρώσεις της τάξης των $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Στις ίδιες συγκεντρώσεις παρατηρείται μείωση της αθλητικής απόδοσης νεαρών ενηλίκων.

Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΠΑΥ)

Πρόκειται για οργανικές ενώσεις με δύο ή περισσότερους δακτυλίους βενζολίου. Είναι δυσδιάλυτοι στο νερό και ευδιάλυτοι στους οργανικούς διαλύτες με υψηλή σχέση οκτανόλης/νερού. Η λιποφιλία τους είναι υψηλή, εν τούτοις όμως δεν παρατηρείται υψηλή βιοπύκνωση. Το μεγαλύτερο μέρος των ΠΑΥ της ατμόσφαιρας, ιδίως μάλιστα εκείνων με χαμηλή πτητικότητα, βρίσκεται απορροφημένο στα αιωρούμενα σωματίδια. Η αποδόμησή τους γίνεται από τις υπεριώδεις ακτίνες του ηλίου και από τους μικροοργανισμούς του εδάφους.

Η κύρια πηγή ΠΑΥ είναι η πυρόλυση οργανικών ουσιών (π.χ. κάρβουνου) ή η ατελής καύση τους. Υπάρχουν εκατοντάδες ΠΑΥ, αλλά η πιο γνωστή ένωση είναι το βενζο(α)πυρένιο (BaP), ποσότητες του οποίου εκλύονται στην ατμόσφαιρα από την καύση του κωκ, αλλά και από τις μηχανές εσωτερικής καύσης. Σημαντική πηγή BaP είναι η καύση στερεών απορριμμάτων.

Σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις, η συγκέντρωση ΒαΠ υπερβαίνει 100 vg/m³ αλλά πρόσφατα παρατηρείται μείωση λόγω της εγκατάλειψης του κάρβουνου σαν καύσιμο για θέρμανση. Η βιομηχανία συνεχίζει όμως να παράγει μεγάλες ποσότητες ΒαΠ.

Ο καπνός του τσιγάρου περιέχει ικανές ποσότητες ΒαΠ της τάξης των 30 vg/m³. Ο καπνός τσιγάρων χαμηλής πίσσας περιέχει 10 vg/m³. Χώρος ρυπασμένος με καπνό τσιγάρου περιέχει 20 - 25 vg/m³. Το πόσιμο νερό μπορεί να περιέχει επίσης ποσότητες ΒαΠ και οι συγκεντρώσεις που έχουν παρατηρηθεί για την ένωση αυτή μαζί με άλλες ενώσεις ανέρχονται σε 100 vg/l. Ποσότητες ΒαΠ παρατηρούνται και στις τροφές, ιδίως εκείνες που έχουν ψηθεί στα κάρβουνα. Συγκεντρώσεις ΒαΠ της τάξης του 50 vg/g τροφής δεν είναι σπάνιες. Τα πιο πάνω δείχνουν ότι οι πηγές πρόσληψης του ΒαΠ από τον άνθρωπο είναι πολυάριθμες και οι συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα προστίθενται στις άλλες. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι μπορεί να είναι ανεκτές σε σχέση με τις ποσότητες που προσλαμβάνονται από τις άλλες πηγές. Οι ΠΑΥ και ιδιαίτερα το ΒαΠ, είναι καρκινογόνες ουσίες και επομένως υπάρχει γραμμική συνάρτηση μεταξύ δόσης και αποτελέσματος, χωρίς ουδό. Η προσθήκη νέων ποσότητα ΒαΠ αυξάνει αντίστοιχα και το κίνδυνο καρκινογένεσης.

Η μεταλλαξιογόνος και καρκινογόνος δράση των ΠΑΥ έχει αποδειχθεί και σε δοκιμασίες μικρής διάρκειας και in vivo εξ επαφής με το δέρμα. Τερατογόνος δράση έχει αποδειχθεί για υψηλές δόσεις δια μέσου του πλακούντος. Οι επιδημιολογικές παρατηρήσεις βασίζονται σε στοιχεία από τον εργασιακό χώρο. Οι εργαζόμενοι σε λέβητες θερμαινόμενους με καύση κωκ ή κάρβουνου εκτίθενται σε μεγάλες συγκεντρώσεις ΒαΠ στον αέρα και παρουσιάζουν μεγαλύτερη επίπτωση νεοπλασίας των πνευμόνων. Κατ' επέκταση με τα στοιχεία επαγγελματικής έκθεσης υπολογίζεται ότι η μακρόχρονη επίπτωση της νεοπλασίας ανέρχεται σε 8.7 ανά 100.000 εκτιθέμενους ανά vg ΒαΠ / m³. Υπολογίζεται ότι αυτή είναι και η ετήσια επίπτωση της νεοπλασίας που οφείλεται σε συγκέντρωση 50 vg/m³ στον ατμοσφαιρικό αέρα.

ΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ο άνθρωπος είναι ομοιόθερμο όν. Ομοιοστατικοί μηχανισμοί ρυθμίζουν την κεντρική θερμοκρασία του σώματος ώστε να κυμαίνεται μεταξύ 36 και 37 °C, όταν το σώμα χάνει ή δέχεται ποσότητες θερμικής ενέργειας. Η λήψη ή απώλεια της ενέργειας αυτής καθορίζεται από βασικούς φυσικούς παράγοντες και ισούται με

$$\Delta\theta = M - E \pm A_p \pm A_g + A_k$$

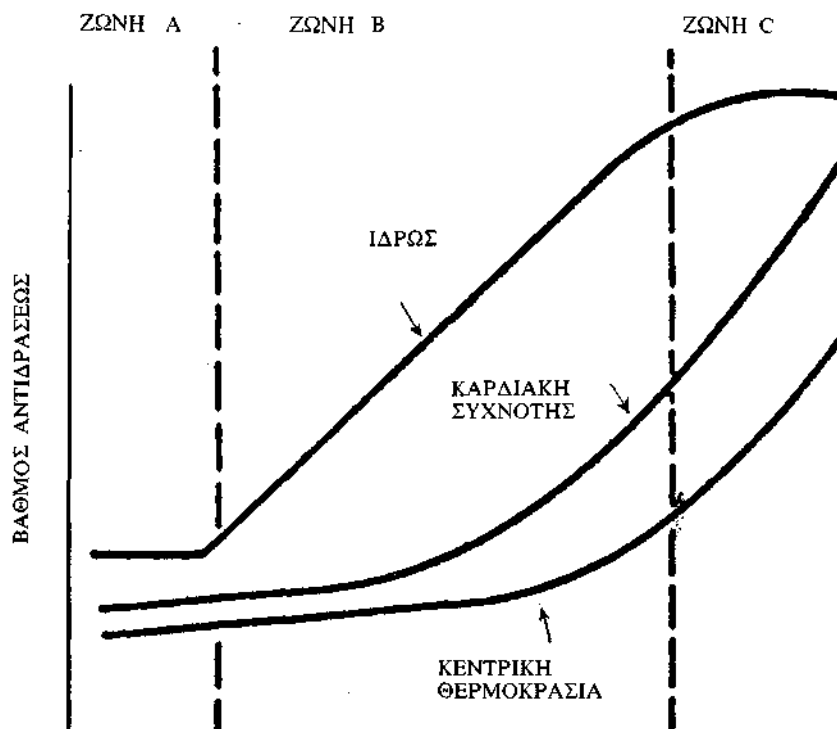
όπου Δθ η λήψη ή απώλεια θερμότητας, E η εφίδρωση (απώλεια θερμότητας από την εξάτμιση του ιδρώτα), A_p η λήψη ή απώλεια θερμότητας δι' απαγωγής, δηλαδή αντικατάστασης των στρωμάτων αέρα που βρίσκονται σε επαφή με την επιφάνεια του σώματος από άλλες μάζες αέρα διαφορετικής θερμοκρασίας, A_g η λήψη ή απώλεια θερμότητας δι' αγωγιμότητας, δηλαδή δι' επαφής με θερμές ή ψυχρές, σε σχέση με τη θερμοκρασία της επιφανείας του σώματος, μάζες και A_k η λήψη ή απώλεια θερμότητας δι' ακτινοβολίας δηλαδή δι' ανταλλαγής πρωτονίων με άλλα περιβάλλοντα σώματα.

Οι φυσιολογικοί μηχανισμοί αντιμετώπισης των θερμικών ανταλλαγών με το περιβάλλον είναι πολύπλοκοι και έχουν βέβαια σαν τελικό στόχο τη διατήρηση της κεντρικής θερμοκρασίας σε ανεκτά επίπεδα ή με την εφίδρωση ή με την προσπάθεια μόνωσης των εσωτερικών οργάνων του σώματος (κυρίως εγκεφάλου) από τις περιβαλλοντικές επιδράσεις. Και η εφίδρωση και η μόνωση απαιτούν καρδιαγγειακές προσαρμογές ώστε η αιμάτωση των ιδρωτοποιών αδένων να είναι επαρκής και η κατανομή του θερμικού φορτίου να είναι προς όφελος του κεντρικού νευρικού συστήματος. Το σχήμα. 1 δείχνει ότι στα πρώτα στάδια λήψης θερμικής ενέργειας ο οργανισμός επιτυγχάνει, με την εφίδρωση και ταχυκαρδία, να διατηρεί τη θερμοκρασία του ΚΝΣ σε φυσιολογικά επίπεδα. Εκείνο που παρατηρείται στην αρχή της αύξησης του θερμικού φορτίου είναι η αγγειοδιαστολή στο δέρμα και τους υποδόριους ιστούς. Παράλληλα παρατηρείται αύξηση του όγκου

αίματος ανά καρδιακό παλμό και η συνολική αύξηση του όγκου αίματος από τη συστολή του σπληνός και την είσοδο ύδατος από τους ιστούς προς την κυκλοφορία. Τα φαινόμενα αυτά απαιτούν βέβαια μεγαλύτερο καρδιακό έργο.

Όταν οι δυνατότητες της εφίδρωσης και της καρδιαγγειακής προσαρμογής εξαντληθούν η κεντρική θερμοκρασία αυξάνει σε επικίνδυνα για τη ζωή επίπεδα. Το επίπεδο πάνω από το οποίο επέρχεται σημαντική αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας εξαρτάται από τις ικανότητες του καρδιαγγειακού συστήματος (και, επομένως, ιδιαίτερα, από την ηλικία) και τη γενικότερη προσαρμογή του ατόμου στην αύξηση του θερμικού φορτίου του οργανισμού. Η προσαρμογή αυτή που ονομάζεται εγκλιματισμός και διαπιστώνεται τουλάχιστον μετά από 10 μέρες έκθεσης στο θερμικό περιβάλλον, έχει δύο σκέλη: α. μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για το ίδιο εξωτερικό έργο (δηλαδή μείωση του M στην πιο πάνω ισότητα) και β. καρδιαγγειακή, ψυχολογική, νευρική και ίσως και ορμονική προσαρμογή.

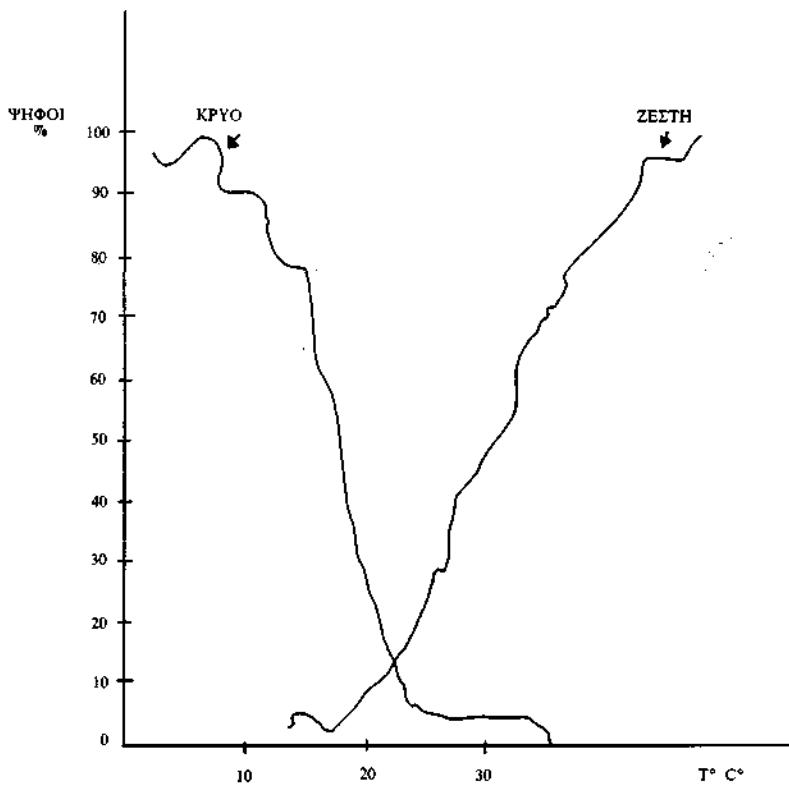
Στην αντίθετη περίπτωση της απώλειας θερμότητας από το σώμα (ψύξη), οι μηχανισμοί μόνωσης των κεντρικών οργάνων είναι λιγότερο αποτελεσματικοί και η πτώση της κεντρικής θερμοκρασίας καταλήγει γρήγορα σε επικίνδυνα για τη ζωή επίπεδα.



Σχ. 1. Παραγωγή ιδρώτας, συχνότης καρδιακών παλμών και κεντρική θερμοκρασία σώματος αναλόγως της εντάσεως του θερμικού περιβάλλοντος.

Το περιφερικό νευρικό σύστημα έχει την ιδιότητα να αποδέχεται ερεθίσματα που προκαλούνται από τη λήψη ή απώλεια θερμότητας (αίσθημα θερμού ή ψυχρού). Η ζώνη ουδέτερου αισθήματος (δηλαδή ούτε θερμού ούτε ψυχρού) καλείται ζώνη θερμικής ευεξίας. Η εκτίμηση της ζώνης αυτής βασίζεται στο γεγονός ότι το αίσθημα είναι υποκειμενικό φαινόμενο (εφ' όσον τα περιφερικά ερεθίσματα υφίστανται επεξεργασία από το ΚΝΣ) που επηρεάζεται σημαντικά από την προσαρμογή του ατόμου στις κλιματικές συνθήκες του χώρου και της εποχής. Το Σχ. 2 δείχνει τον τρόπο εκτίμησης της ζώνης ευεξίας. Μεγάλος αριθμός ατόμων τίθεται, εν ηρεμία, σε περιβάλλον αυξανόμενης θερμοκρασίας, ενώ η υγρασία και η κίνηση του αέρα διατηρούνται σταθερές, και καλείται να απαντήσει εάν αισθάνεται ψύχος, εάν δεν

αισθάνεται ούτε ψύχος ούτε θερμότητα και εάν αισθάνεται θερμότητα. Στις χαμηλές θερμοκρασίες το σύνολο σχεδόν των ατόμων δηλώνει ότι αισθάνεται ψύχος. Με την άνοδο της θερμοκρασίας, το ποσοστό των ατόμων αυτών μειώνεται προοδευτικά, ενώ το ποσοστό ατόμων που αισθάνεται θερμότητα αυξάνει. Το σχήμα 2 δείχνει την εξέλιξη των ποσοστών αυτών με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το μέσο της ζώνης ευεξίας τοποθετείται στο σημείο τομής των δύο καμπυλών διότι σ' εκείνο το σημείο βρίσκεται το μέγιστο ποσοστό ατόμων με ουδέτερο αίσθημα. Το εύρος της ζώνης τοποθετείται $\pm 1^\circ.5\text{ C}$ από το σημείο αυτό. Πρέπει να σημειωθεί τελικά ότι η ζώνη ευεξίας εξαρτάται επίσης και από τη φύση του εσωτερικού χώρου (χώρος εργασίας, υπνοδωμάτιο ή καθιστικό κ.λπ). Η ζώνη ευεξίας των υπνοδωματίων είναι συνήθως κατά τι μικρότερη εκείνης των άλλων χώρων.

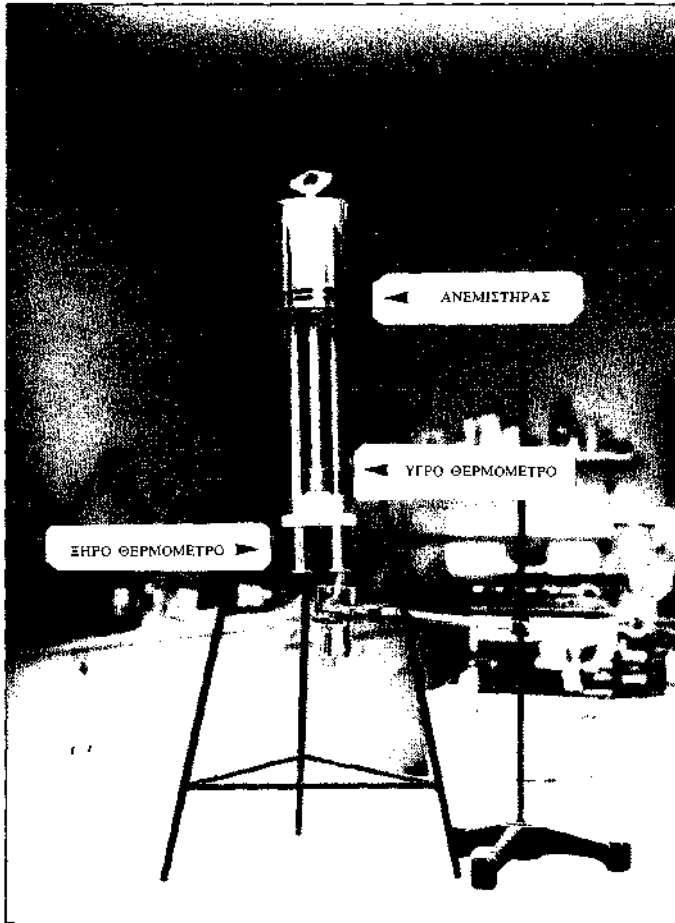


Σχ. 2. Εκτίμηση της ζώνης ευεξίας (βλέπε κείμενο).

Όπως τονίστηκε πιο πάνω, η ζώνη ευεξίας εξαρτάται από την εποχή και τις γενικότερες κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Στη Βόρεια Ευρώπη η ζώνη ευεξίας τοποθετείται στους 18 - 20 °C ενώ στις νότιες περιοχές είναι 22 - 24° C. Οι ζώνες αυτές μεταβάλλονται με την εποχή και είναι συνήθως μικρότερες κατά το χειμώνα και μεγαλύτερες κατά το θέρος.

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν, εκτός από την ένταση της μυϊκής εργασίας, τα φαινόμενα του δεξιού σκέλους της πιο πάνω ισότητας απαιτεί μετρήσεις που αφορούν τη θερμοκρασία, υγρασία, κίνηση του αέρα και ακτινοβολούμενη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του αέρα μετράται με το κοινό θερμόμετρο που ονομάζεται ξηρό σε αντίθεση με το υγρό θερμόμετρο ο βολβός του οποίου καλύπτεται με υδρόφιλες ύφασμα που διατηρείται συνεχώς βρεμένο με τη βοήθεια φυτιλιού βυθισμένου σε δοχείο με νερό. Τα δύο θερμόμετρα χρησιμοποιούνται σε ζεύγη ώστε να βρίσκονται στις ίδιες θερμικές συνθήκες (Εικ. 1). Είναι ευνόητο ότι εάν το νερό, που περιβάλλει το βολβό του υγρού θερμομέτρου, εξατμισθεί τότε η απαιτούμενη για την εξάτμιση θερμική ενέργεια θα ληφθεί από το θερμόμετρο η ένδειξη του οποίου θα μειωθεί ανάλογα. Η εξάτμιση αυτή δεν μπορεί να γίνει βέβαια σε

περιβάλλον κορεσμένο με υδρατμούς που, εξ ορισμού, δεν μπορεί να δεχθεί άλλες ποσότητες υδρατμών. Η ποσότητα υδρατμών του αέρα (g/m^3) στο σημείο κορεσμού ονομάζεται μέγιστη υγρασία (εκφρασμένη σε g νερού ανά m^3 αέρα ή σε μερική πίεση υδρατμών σε mm Hg) και εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα (Πίν. 1.), αυξάνει δε με τη θερμοκρασία. Επομένως στην περίπτωση μέγιστης υγρασίας η ένδειξη του υγρού θερμομέτρου είναι η ίδια με εκείνη του ξηρού θερμομέτρου. Όταν η ποσότητα υδρατμών στη μονάδα όγκου αέρα είναι μικρότερη της μέγιστης η ένδειξη του υγρού θερμομέτρου είναι μικρότερη εκείνης του ξηρού και η διαφορά είναι τόσο πιο μεγάλη όσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη χωρητικότητα του αέρα να δεχθεί νέες ποσότητες υδρατμών.



Εικ. 1. Ζεύγος ξηρού και υγρού θερμομέτρου τύπου Auguste. Το κλασικό αυτό όργανο διαθέτει μικρό ανεμιστήρα που δημιουργεί κίνηση αέρα γύρω από τους βολβούς και των δύο θερμομέτρων.

Επομένως η διαφορά μετρά τη δυνατότητα εξάτμισης και αυτό έχει βέβαια μεγάλη φυσιολογική σημασία εφ' όσον η εξάτμιση του ιδρώτα είναι ο κύριος μηχανισμός διατήρησης της θερμοκρασίας του σώματος σε θερμό περιβάλλον. Με τη βοήθεια του ψυχομετρικού νομογράμματος (Σχ. 3) υπολογίζεται η σχέση:

ποσότητα υδρατμών ανά m^3 αέρα στο χώρο X

μέγιστη υγρασία στην ίδια θερμοκρασία

που εκφράζεται επί % και ονομάζεται σχετική υγρασία.

Η κίνηση του αέρα μετράται με το ανεμόμετρο ή, για μικρές ταχύτητες αέρα, με ειδικό όργανο (καταθερόμετρο).

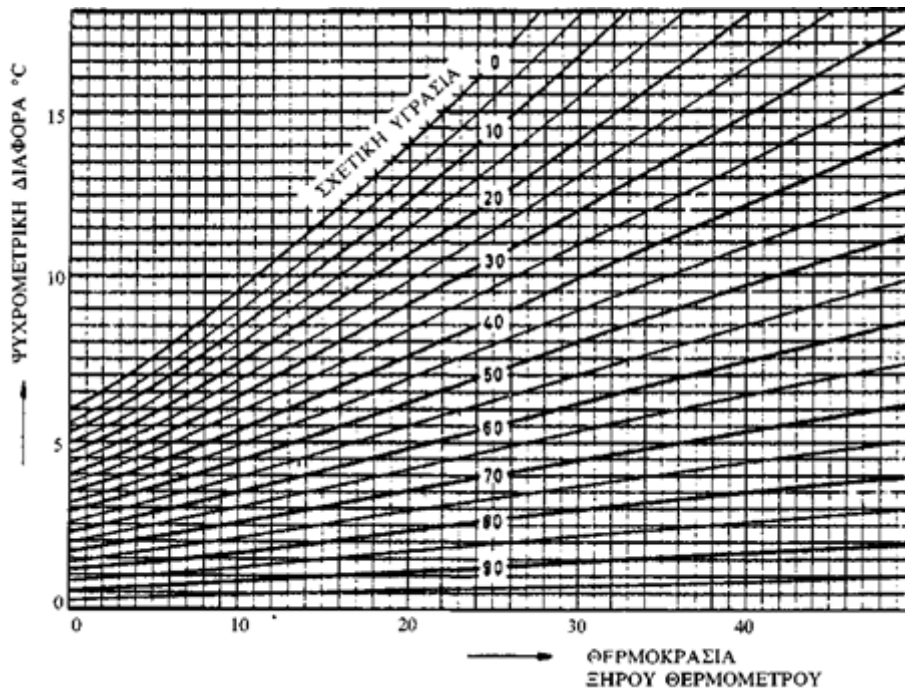
Τελικά η εξ ακτινοβολίας θερμοκρασία μετράται με το θερμόμετρο σφαίρας (Εικ. 2) που αποκλείει την δι' απαγωγής ή αγωγιμότητας μεταβολή της θερμοκρασίας ενός ξηρού θερμομέτρου ο βολβός του οποίου βρίσκεται στο κέντρο της σφαίρας. Επομένως ο μόνος τρόπος μεταβολής της ένδειξης είναι η ακτινοβολία.

Τα κύρια προβλήματα υγείας που σχετίζονται με το θερμικό περιβάλλον προέρχονται από την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας, δηλαδή από τη θετικότητα του Δθ της πιο πάνω ισότητας. Η αρνητικότητα του Δθ καταλήγει σε βλάβες της υγείας μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις όπως εκείνες των εξερευνητών του Βόρειου Πόλου ή των ναυαγών σε παγωμένη θάλασσα. Αυτό γίνεται διότι, στην καθημερινή ζωή, ο άνθρωπος βρίσκει τρόπους (ενδυμασία, καταφύγιο κ.λπ.) για να αποφύγει την επί μακρόν απώλεια θερμότητας από τον οργανισμό του. Πάντως πρέπει να τονισθεί ότι ουδέποτε απεδείχθη ότι η παροδική και μικρής διάρκειας ψύξη είναι αιτία νόσων όπως πνευμονίας ή κρυολογήματος. Είναι βέβαια πολύ πιθανό ότι η παθογόνος δράση ορισμένων μικροοργανισμών (κυρίως ιών) αυξάνεται με την πτώση της θερμοκρασίας όπως άλλωστε και η επιβίωση τους στο περιβάλλον. Οι επιδημίες όμως με τους μικροοργανισμούς αυτούς που εκδηλώνονται συνήθως κατά τη διάρκεια του χειμώνα οφείλονται κυρίως στις ευνοϊκές συνθήκες αερογενούς μετάδοσης τους (κλειστοί χώροι με ανεπαρκή αερισμό, συνωστισμός ατόμων). Τα νοσήματα αυτά δεν επηρεάζονται από την απώλεια θερμότητας από το σώμα. Για τους λόγους αυτούς θα επιμείνουμε πιο κάτω στην περίπτωση του θετικού Δθ.

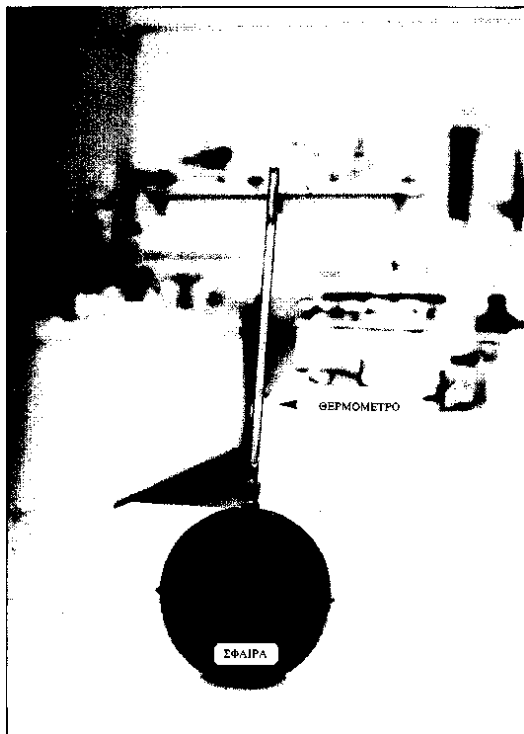
Πίν. 1. Μερική πίεση υδρατμών, (ατμοσφαιρική πίεση 760mmHg).

°C	<i>Μερική πίεση mm Hg σε σχετική υγρασία.</i>										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
5	0	0.7	1.3	2.0	2.6	3.3	3.9	4.6	5.2	5.9	6.5
10	0	0.9	1.8	2.8	3.7	4.6	5.5	6.4	7.4	8.3	9.2
15	0	1.3	2.5	3.8	5.1	6.4	7.6	8.9	10.2	11.4	12.7
20	0	1.7	3.5	5.2	7.0	8.7	10.4	12.2	13.9	15.7	17.4
25	0	2.4	4.7	7.1	9.4	11.	14.1	16.5	18.9	21.2	23.6
30	0	3.2	6.3	9.5	12.6	15.	18.9	22.1	25.2	28.4	31.5
35	0	4.2	8.4	12.5	16.7	20.	25.1	29.3	33.4	37.6	41.8

Η αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας του σώματος και οι ηλεκτρολυτικές διαταραχές μπορεί να έχουν σοβαρές συνέπειες και να καταλήξουν σε θερμική εξάντληση και θερμοπληξία. Τα αρχικά στάδια της διαταραχής εκδηλώνονται με δυσφορία, κόπωση, μείωση της απόδοσης στην εργασία και, καμιά φορά, μυϊκούς σπασμούς (κράμπες). Αυτά τα αρχικά στάδια είναι ιδιαίτερα συχνά στους χώρους εργασίας και για το λόγο αυτό πολλές προσπάθειες έγιναν για να εξευρεθεί μέθοδος εκτίμησης του κινδύνου. Το κυριότερο πρόβλημα ήταν ότι και η εξάτμιση του ιδρώτα και η απαγωγή και αγωγιμότητα εξαρτώνται από τρεις περιβαλλοντικούς παράγοντες που είναι η θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου, η υγρασία και η κίνηση του αέρα. Η εκτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος απαιτεί τον προσδιορισμό και των τριών αυτών παραγόντων, αλλά τότε η σύγκριση μεταξύ δύο θερμικών καταστάσεων είναι αδύνατη εφ' όσον κάθε παράγοντας μπορεί να κινείται σε διαφορετική κατεύθυνση, προς τις ευνοϊκότερες ή δυσμενέστερες συνθήκες. Η εξεύρεση ενός σύνθετου δείκτη, που να λαμβάνει υπόψη του και τους τρεις παράγοντες μαζί, έγινε αντικείμενο πολλών ερευνών.



Σχ. 3. Νομόγραμμα υπολογισμού της σχετικής υγρασίας επί τη βάσει της διαφοράς των ενδείξεων ξηρού-υγρού θερμομέτρου.



Εικ. .2. Θερμόμετρο σφαίρας. Η ένδειξη πρέπει να διορθωθεί ανάλογα με την ταχύτητα κίνησης του αέρα για να προσδιορισθεί η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία.

Ο πιο παλιός δείκτης (στη δεκαετία του '20 από τον Yagloglou) είναι εκείνος της δραστηκής θερμοκρασίας (Σχ. 4) που χρησιμοποιείται ακόμη ευρύτατα σαν δείκτης αναφοράς. Νεώτερες έρευνες κατέληξαν σε δύο άλλους δείκτες:

α. η θερμοκρασία υγρού και σφαιρικού θερμομέτρου (wet bulb globe temperature -WBGT) που είναι:

για εσωτερικούς χώρους: $WBGT = 0.7 T_v + 0.3 T_\sigma$

για εξωτερικούς χώρους: $WBGT = 0.7 T_v + 0.2 T_\sigma + 0.1 T_\xi$

όπου T_v η ένδειξη του υγρού, μη ενεργώς αεριζόμενου, υγρού θερμομέτρου, T_σ η ένδειξη του σφαιρικού θερμομέτρου και T_ξ η ένδειξη του ξηρού θερμομέτρου. Από τις πιο πάνω εξισώσεις γίνεται σαφές ότι ο δείκτης αυτός είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος των ενδείξεων των τριών θερμομέτρων. Η κίνηση του αέρα λαμβάνεται υπόψη διότι η φυσική κίνηση του επηρεάζει την ένδειξη του υγρού θερμομέτρου.

β. δείκτης θερμικού stress (heat stress index - HSI). Ο δείκτης ισούται με τη σχέση

E_0 / E_μ

όπου $E_0 = M + A\gamma + A\kappa$ kcal/min

δηλαδή $M =$ κατανάλωση ενέργειας σε kcal ανά 1'

$A\gamma = 0.114 \alpha^{0.6} (\Theta - 35)$ kcal/min

$A\kappa = 0.116 \alpha^{0.6} (\Theta_\sigma - 35)$ kcal/min και $E_\mu = 0.12 \alpha^{0.6} (56 - \Upsilon\pi)$ kcal/min

Στους πιο πάνω τύπους που ισχύουν για άτομα ελαφρά ντυμένα:

$\alpha =$ η ταχύτητα του ανέμου σε μέτρα/1"

$\Theta =$ θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου °C

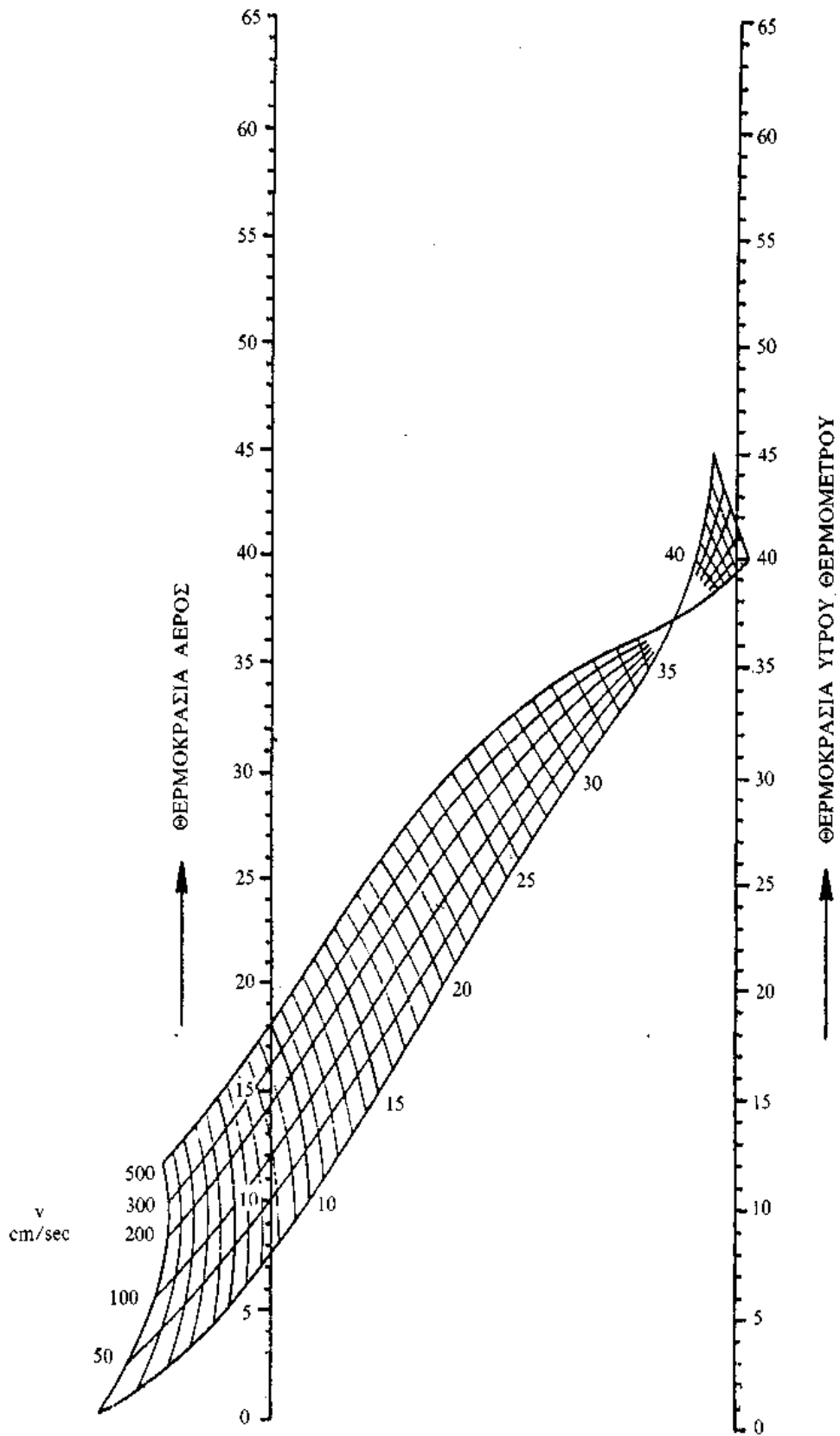
$\Theta_\sigma =$ μέση θερμοκρασία σφαιρικού θερμομέτρου °C

$\Upsilon\pi =$ μερική πίεση υδρατμών σε mBar και δεδομένου ότι 1 ατμόσφαιρα = 1033 mBar, η μερική πίεση υδρατμών υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τις τιμές του Πίν. 1 με 1.32

(η σχετική υγρασία πρέπει βέβαια να είναι γνωστή).

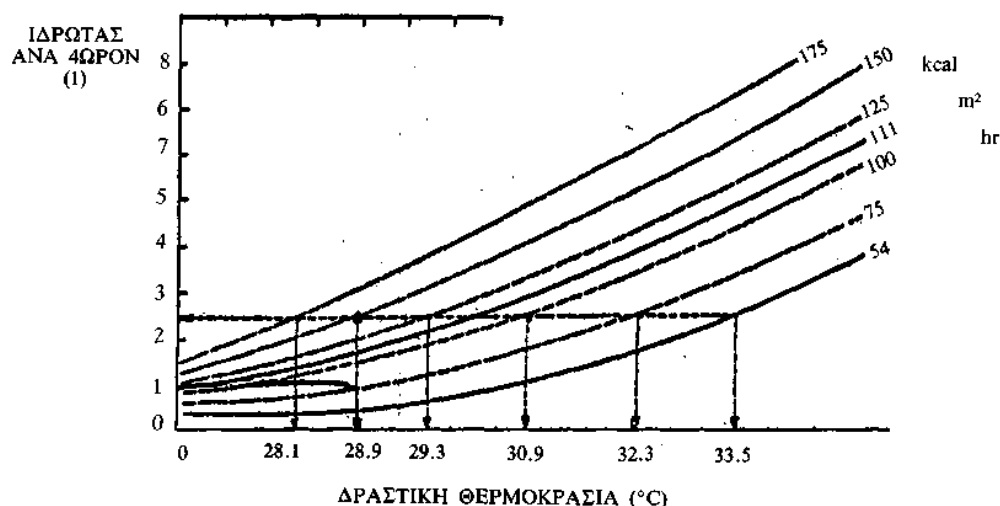
Ο δείκτης εκφράζει την ένταση του θερμικού stress σε ποσοστό ενός ανωτάτου επιτρεπτού ορίου E

Ο δείκτης HSI λαμβάνει υπόψη του την κατανάλωση ενεργείας του χειρωνακτικά εργαζόμενου, σε αντίθεση με τον WBGT ή τη δραστηκή θερμοκρασία. Και οι δύο αυτοί δείκτες έχουν όμως προεκταθεί για να ληφθεί υπόψη ο σημαντικός αυτός παράγοντας. Η δραστηκή θερμοκρασία αποτελεί τη βάση του δείκτη του McArdle (Σχ. 5) που καθορίζει ανώτατα επιτρεπτά όρια κατανάλωσης εργασίας επί τη βάσει μιας μεγίστης παραγωγής ιδρώτα (2,5 L /4ωρο εργασίας). Όσον αφορά το WBGT έχουν καθορισθεί ανώτατα επιτρεπτά όρια του δείκτη που είναι 30.0, 26.7 και 25.0 για συνεχή ελαφρά, μέτρια και βαριά χειρωνακτική εργασία αντίστοιχα. Για μεγαλύτερες τιμές απαιτείται η παρεμβολή, κάθε ώρα, περιόδων ανάπαυσης η διάρκεια των οποίων μπορεί να εκτιμηθεί από το Σχ. 6 σε ποσοστό του χρόνου εργασίας.



(v: ταχύτης ανέμου)

Νομόγραμμα υπολογισμού της δραστικής θερμοκρασίας (v: ταχύτης ανέμου).



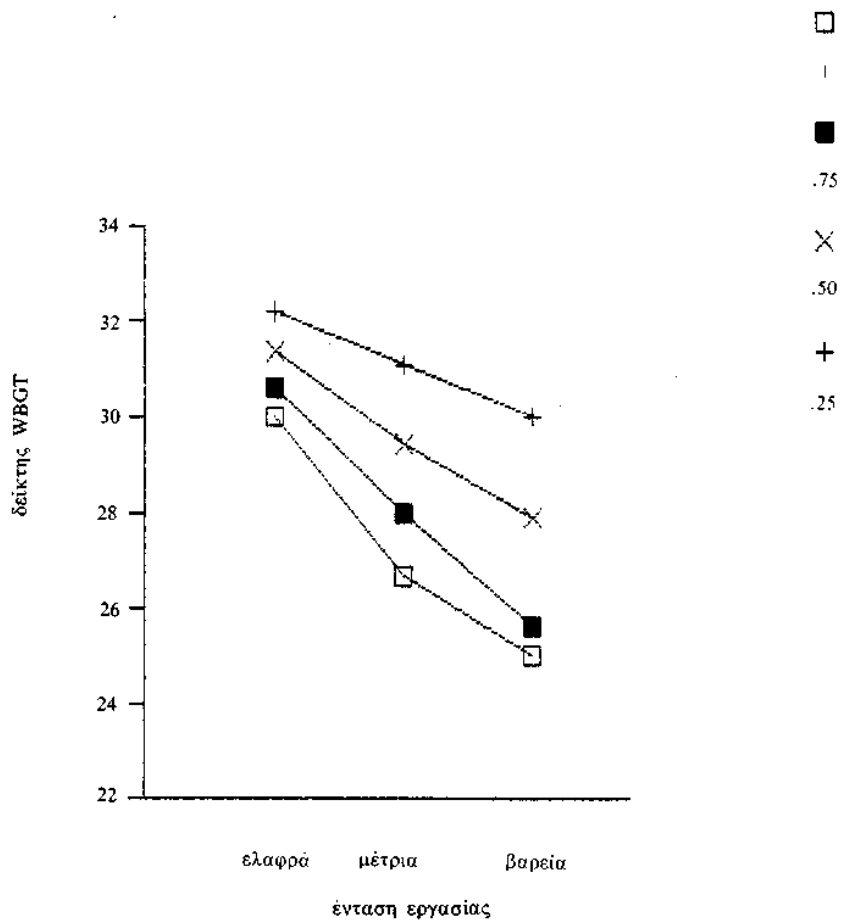
Σχ. 5. Νομόγραμμα θερμικού stress τον McArdle. Ο παλαιός αυτός δείκτης, της δεκαετίας του '50, έχει πια εγκαταλειφθεί αλλά αναφορά γίνεται για να φανεί ότι οι δείκτες θερμικού περιβάλλοντος βασίζονται σε καθαρά φυσιολογικά κριτήρια. Στο δείκτη αυτό το ανώτατο όριο έκθεσης σε θερμό περιβάλλον βασίζεται στην εφίδρωση η ποσότητα της οποίας δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 2.5 l/4ωρο για να αποφευχθούν αισθητές καρδιοαγγειακές και ηλεκτρολυτικές διαταραχές.

Βελτίωση των συνθηκών θερμικού περιβάλλοντος

Θα γίνει αναφορά εδώ σε ορισμένες βασικές αρχές.

Εσωτερικός χώρος θερμοκρασίας κατώτερης της ζώνης ευεξίας χρειάζεται, φυσικά, θέρμανση. Οι παραδοσιακοί τύποι θέρμανσης βασίζονται στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα δι' απαγωγής (καλοριφέρ) ή δι' ακτινοβολίας (γυμνό ηλεκτρικό πυρακτωμένο στοιχείο ή τζάκι). Σε όλες τις περιπτώσεις και σε περίπτωση κακής θερμικής μόνωσης του χώρου, η θερμοκρασία των επιφανειών των τοίχων και των αντικειμένων μπορεί να παραμείνει σε χαμηλά επίπεδα με αποτέλεσμα την απώλεια θερμότητας από το σώμα εξ ακτινοβολίας. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα αυξάνει τη μέγιστη υγρασία και, όταν δεν υπάρχει είσοδος νέων ποσοτήτων υδρατμών, μειώνει τη σχετική υγρασία.

Εσωτερικός χώρος θερμοκρασίας ανώτερης της ζώνης ευεξίας χρειάζεται βελτίωση που μπορεί να γίνει ή με την αύξηση της ταχύτητας κίνησης του αέρα (προαγωγή της εξάτμισης του ιδρώτα ή, δευτερευόντως, με αύξηση της κίνησης μαζών αέρα μικρότερης θερμοκρασίας) ή με μείωση της θερμοκρασίας του αέρα (κλιματιστικά μηχανήματα). Είναι αναγκαίο να τονισθεί ότι στην πρώτη περίπτωση η παραγωγή ιδρώτα μπορεί να είναι ιδιαίτερα μεγάλη, χωρίς μάλιστα να γίνεται αισθητή. Η μέθοδος μπορεί επομένως να είναι επικίνδυνη για ηλικιωμένα άτομα που έχουν μικρές δυνατότητες προσαρμογής του καρδιοαγγειακού συστήματος.



Σχ.6. Ποσοστό χρόνου εργασίας ανάλογα με τον υφιστάμενο δείκτη WBGT και έντασης της εργασίας.