

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 19^{ΗΣ} ΜΑΡΤΙΟΥ 1987

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΜΠΟΝΗ

Η ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΗ ΤΟΥ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ:
ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΟΞΥΓΟΝΟ
ΚΑΙ Ο ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

ΟΜΙΛΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΕΠΙΣΤΕΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕΛΟΥΣ Κ. ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ Λ. ΜΠΟΥΡΟΔΗΜΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τὸ πρόβλημα τοῦ ὑγειονομικοῦ καὶ περιβαλλοντικοῦ σχεδιασμοῦ εἶναι θέμα πολὺ-πλοκο, ἄμεσο καὶ ἐπεῖγον σὲ παγκόσμια κλίμακα. Εἶναι μιὰ μεγάλη πρόκληση ἐπιβιώσεως, ἀπὸ τὶς πιὸ σημαντικὲς τοῦ καιροῦ μας. Γιὰ τὴ χώρα μας προσλαμβάνει διαστάσεις ἔθνικοῦ αἰτήματος καὶ κοινωνικοῦ μελήματος πρώτου καὶ πρωταρχικοῦ: τὰ οἰκοσυστήματα τοῦ Ἑλληνικοῦ χώρου ἀπειλοῦνται, ἐνῶ εὐάριθμα τοῦ θαλάσσιου καὶ νησιωτικοῦ ιδιαίτερα χώρου περνοῦν βαθιὰ βιολογικὴ καὶ φυσικοχημικὴ διαταραχὴ πὸν ἐγγίζει τὰ ὅρια οἰκολογικῆς θραύσεως μὴ ἀντιστρεπτῆς (irreversible).

Ὑστερα ἀπὸ τὸ πρόσφατο «ἀτύχημα» δηλητηριάσεως ψαριῶν ἀπὸ βιομηχανικὰ ἀπόβλητα χημικῆς βιομηχανίας στὴ Βασιλεία τῆς Ἑλβετίας καὶ τὴ συνακόλουθη σοβαρὴ μόλυνση τοῦ Ρήνου (Νοέμβριος 1986) καὶ τὸ προηγούμενο τῆς ραδιενεργοῦ μόλυνσεως ἀπὸ τὴν «ἐκρηξή» τοῦ θερμοπυρηνικοῦ σταθμοῦ τῆς Οὐκρανίας, τοῦ Chernobyl (1) ὁ ἔλεγχος τῆς ρυπάνσεως, ἡ οἰκολογικὴ ἰσορροπία καὶ ἡ προστασία τῆς δημόσιας ὑγείας ἀπέκτησαν καίρια προτεραιότητα — ὡς γενικὸ αἶτημα κοινωνικῆς πολιτικῆς καὶ στρατηγικοῦ σχεδιασμοῦ — τῆς Εὐρωπαϊκῆς Οἰκονομικῆς Κοινότητος (ΕΟΚ). Στὸ πλαίσιο αὐτῶν τῶν βασικῶν θεωρήσεων προγραμματισμοῦ προστασίας τοῦ περιβάλλοντος ἡ Εὐρω-

παϊκή Οικονομική Κοινότητα (ΕΟΚ) ανέκηρυξε τὸ ἔτος 1987 ὡς τὸ Εὐρωπαϊκὸ Ἔτος Περιβάλλοντος. Ἄς ὑπομνησθεῖ πὺς τὸ 1986 εἶχε ἀνακηρυχθεῖ τὸ Διεθνὲς Ἔτος Περιβάλλοντος ἀπὸ τὸν Ὄργανισμό τῶν Ἠνωμένων Ἐθνῶν (ΟΗΕ). «Γιὰ τὴ χώρα μας — ἔγραφε ἡ «Ἐλευθεροτυπία» (2) — πὺ ἴσως πῖὸ πολὺ ἀπὸ κάθε ἄλλη χώρα στὴν Εὐρώπη ἔχει σοβαρότατους λόγους ν' ἀνησυχεῖ γιὰ τὰ θέματα περιβάλλοντος, ἔχουν ἤδη διατεθεῖ ἀπὸ τὴν ΕΟΚ, γιὰ τὸ 1987, 56 ἑκατομμύρια δραχμὲς κι ἀναμένονται βεβαίως, κι ἄλλα κονδύλια». Ἐλπίζουμε ὅτι τὸ Εὐρωπαϊκὸ «Ἔτος Περιβάλλοντος» δὲν θὰ εἶναι ἕνα ἀκόμη ἔτος ἀφιερωμένο σὲ κάποια εὐγενῆ ἰδέα και ὅτι ὁ Πρόεδρος τῆς Ἑλληνικῆς Ἐπιτροπῆς, ἀρχιτέκτων-καθηγητῆς Γ. Σκιαδαρέσης θὰ προωθήσει και στὴ χώρα μας γοργὰ και ἀποτελεσματικὰ (και αὐστηρὰ ὅταν χρειάζεται) τὰ περιβαλλοντικὰ προγράμματα τῆς ΕΟΚ.

Η ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Ἡ σημερινὴ ἀνακοίνωση στὴν Ἀκαδημία Ἀθηνῶν — ἄς θεωρηθεῖ ὡς μικρὴ συμβολὴ στὸ Ἔτος Περιβάλλοντος τῆς ΕΟΚ και ἔν ταυτῶ στὸ θέμα προστασίας τοῦ ἑλληνικοῦ χώρου, τῆς οἰκολογικῆς ἰσορροπίας τῶν οἰκοσυστημάτων του, τῆς ἀνόδου τῆς ποιότητος ζωῆς, ὑγείας και βιολογικῆς ποικιλίας τοῦ φυσικοῦ και ἱστορικοῦ περιβάλλοντος τῆς χώρας μας, τῆς Εὐρώπης, τοῦ πλανήτου Γῆ.

Εἰδικότερον ἐπὶ τοῦ θέματος τοῦ καθαρισμοῦ λυμάτων: ὁ βιολογικὸς καθαρισμὸς τῶν οἰκιακῶν λυμάτων και τῶν βιομηχανικῶν ἀποβλήτων, πὺ εἶναι ἄρρηκτα συνδεδεμένα — βιολογικά, βιοφυσικά και βιοχημικά — μὲ τὸ ὅ,τι «ἐκπροσωπεῖ» τὸ βιοχημικῶς ἀπαιτούμενο ὀξυγόνο (BOD) εἶναι πολὺπλοκὴ διαδικασία μὲ τὴ μελέτη τῆς ὁποίας ἀσχολοῦνται ὄλοι σχεδὸν οἱ κλάδοι τῶν φυσικῶν ἐπιστημῶν και τοῦ μαθηματικοῦ λογισμοῦ: ἡ χημεία, ἡ βιολογία και βιοφυσικὴ, ἡ βιοχημεία, ἡ ὑδροδυναμικὴ, ἡ ὑγειονομικὴ μηχανικὴ και τὰ ἐφηρμοσμένα μαθηματικά. Σ' αὐτοὺς τοὺς κλάδους πρέπει νὰ προστεθοῦν ἡ οἰκολογία και ἡ στατιστικὴ, γιὰ ν' ἀναφερθοῦμε στοὺς πρωτεύοντες ἐπιστημονικοὺς κλάδους. Τέλος οἱ ἐργαστηριακὲς ἀναλύσεις και οἱ μετρήσεις πεδίου (Field Measurements) εἶναι θεμελιακὲς προϋποθέσεις ἐλέγχου τῆς θεωρίας. Ἡ ἐργαστηριακὴ-πειραματικὴ ἔρευνα κατέχει καιρία θέση στὴν ὄλη πορεία τῶν ἀναλυτικῶν-θεωρητικῶν μεθόδων, ἐνῶ ἡ «ἐργασία πεδίου» — οἱ ἐπὶ τόπου μετρήσεις τῶν ὑποδοχέων τῶν ρυπαντικῶν φορτίων (ἤτοι λίμνες, ποτάμια, λιμνοθάλασσοι και ἀκτὲς θαλασσῶν) συνιστᾷ σημαίνουσα πρόβαση ἐλέγχου τῶν φυσικῶν και βιοχημικῶν διαδικασιῶν, πὺ λαμβάνουν χώρα στὴν φυσικὴ, στὴν «πρωτότυπη» μορφή τοῦ φορέως (Prototype) ἢ σὲ «τεχνητὸ» μοντέλο (Model) πὺ ἀπεικονίζει τὴν ὁμοιότητα (Similitude) τῆς διαδικασίας δυναμικῆς ροῆς τοῦ πρωτοτύπου. — (Similarity of the Proto-

type of Flow Field Structure). Το φαινόμενο της ρυπάνσεως και της οικολογικής διαταραχής των οικοσυστημάτων των φυσικῶν και ἀνθρωπογενῶν τοῦ πλανήτου Γῆ — λόγω ἀπορρίψεως μεγάλων μεγεθῶν μάζης-ύλης καὶ ἐνεργείας — ὅπως ἐκτίθεται κατωτέρω — εἶναι σήμερα παγκόσμιο.

Ρυπαίνεται ἀσφαλῶς ἡ Μεσόγειος (3) ἢ οἱ μεγάλες λίμνες καὶ οἱ ποταμοὶ τῆς Εὐρώπης καὶ τῆς Β. Ἀμερικῆς-Καναδά, ἀλλὰ ρυπαίνεται ἐξ ἴσου καὶ ὁ Δνεῖπερος, ὁ Βόλγας, ἡ μεγάλη λίμνη τῆς Βαϊκάλης. Ἡ ρύπανση τοῦ περιβάλλοντος, εἶναι ἀποτέλεσμα «ὑπερφωτισέως» τῶν οικοσυστημάτων με ὕλη καὶ ἐνέργεια — πὺ τὰ συστήματα δὲν μποροῦν νὰ «ἀναδεχθοῦν», νὰ «ὀξειδώσουν» καὶ νὰ ἀφομοιώσουν. Καὶ τοῦτο εἶναι ἡ ἄμεση συνέπεια τοῦ πληθυσμιακοῦ γιγαντισμοῦ τῶν τελευταίων ἑκατὸν πενήντα περίπου ἐτῶν. Ἡ Γῆ, ὡς οἰκόςυστημα δὲν ἀντιμετώπιζε ποτὲ πρόβλημα «ἀνθρωπογενῶν» ρυπάνσεων-μολύνσεων μερικῶν αἰῶνες πρὶν — καὶ καθόλου στὴν προϊστορικὴ καὶ κλασσικὴ ἐποχὴ: ὁ πληθυσμὸς ἦταν πολὺ μικρὸς καὶ μικρὲς οἱ ἀπορρίψεις ρυπαντῶν, σὲ σχέση με τὴ χωρητικότητα τοῦ οἰκόςυστηματος (4). Ἡ ρύπανση — καὶ πέραν τούτου ἡ οἰκολογικὴ διαταραχὴ — πὺ εἶναι ἡ σοβαρότερη μορφή «ρυπάνσεως» ὡς ἀπειλὴ τῆς ζωῆς καὶ τῆς πορείας τῶν οἰκόςυστημάτων σήμερα — εἶναι ὑπόθεση συνεχῶν «παραβιάσεων» τῶν φυσικοχημικῶν κύκλων (ἀνθρακος, ἀζώτου, φωσφόρου, θείου, ὕδρογόνου-ὀξυγόνου, μεταλλικῶν καὶ ὀργανικῶν συμπλόκων (Compounds)). Τὸ φαινόμενο εἶναι καθαρὰ φαινόμενο φυσικῆς, χημείας, βιολογίας-βιοχημείας, βιοφυσικῆς καὶ οἰκολογίας ὡς «συσσώρευση ὀριακῆ» ὀργανικῶν καὶ ἀνοργάνων οὐσιῶν καὶ ὡς ἀδυναμία τῶν «φορέων» τῶν «ὑποδοχέων» νὰ ἀκολουθήσουν μιὰ κανονικὴ φυσικὴ πορεία ἄθραυστη ὅσον ἀφορᾷ τὶς θεμελιακὲς διαδικασίες τῆς ζωῆς (Process): τῆς φωτοσυνθέσεως, τῆς κανονικῆς λειτουργίας ἀνακυκλώσεως καὶ τροφικῆς ἀλυσίδας. Αὐτὴ ἡ ἀπλή, ἡ πεντακάθαρη ἐπιστημονικὴ βάση θεωρήσεως καὶ ἡ ἀντικειμενικὴ σημασιολόγησις τοῦ θέματος τίθεται ὡς τὸ θεμέλιο κατανόησεως τοῦ πολυπλόκου προβλήματος — κυρίως ὡς ἀφετηρία ἐνὸς λυσιτελοῦς οἰκολογικοῦ-ὑγειονομικοῦ προγραμματισμοῦ (5, 6, 7).

ΟΙ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ

Τὰ ἐρωτήματα λοιπὸν τίθενται ὡς ἐξῆς:

Τί λέμε καὶ τί ἐννοοῦμε ὡς ὑγειονομικὸ σχεδιασμὸ; (8, 9).

Τί εἶναι τὸ βιοχημικῶς ἀπαιτούμενο ὀξυγόνο (BOD-Biochemical Oxygen Demand) καὶ ποιὸς ὁ ρόλος του στὸν ὀρθὸ σχεδιασμὸ τοῦ ποσοτικοῦ καὶ ποιοτικοῦ προσδιορισμοῦ τῶν δεικτῶν τῆς ρυπάνσεως τῆς μορφῆς καὶ «συνθέσεων» τῶν ρυπαντῶν τῶν οἰκιακῶν λυμάτων καὶ βιομηχανικῶν-χημικῶν ἀποβλήτων; (10, 11).

Τί είναι τὸ «Ἐλεύθερο», τὸ διαλελυμένο Ὄξυγόνο (DO-Dissolved Oxygen) καὶ ποιὸς ὁ ρόλος του στὴ διαδικασία τοῦ βιολογικοῦ καθαρισμοῦ; (12, 13).

Τέλος ποιὲς οἱ βιολογικὲς δομὲς (Structure) καὶ οἱ οἰκολογικὲς συνιστώσες ἑνὸς φυσικοῦ ἢ ἀνθρωπογενοῦς οἰκοσυστήματος; Καὶ κυρίως ὡς ποῖο βαθμὸ οἱ συνιστώσες αὐτὲς ἐπηρεάζονται σὲ τόπο καὶ χρόνο ἀπὸ τὴν ἀπόρριψη ρυπαντῶν, ἰδιαίτερα συνθέτων ὀργανικῶν συμπλόκων, χημικῶν ἀλάτων ἢ τοξικῶν καὶ ραδιενεργῶν ρυπαντῶν, παραγῶγων κυρίως τῆς βιομηχανικῆς παραγωγῆς καὶ τῆς τεχνολογικῆς ἀναπτύξεως;

Πρῶτον: Καθορίζουμε ὡς ὑγειονομικὸ σχεδιασμὸ ἓνα εἶδος «καταστατικοῦ συνταγματικοῦ χάρτου» μὲ τοὺς «κανόνες» τοῦ ὁποῖου καθορίζεται, προσδιορίζεται καὶ «ἐποπτεύεται» ἡ θεμελιακὴ πορεία ἀδιατάρακτης λειτουργίας (καὶ κανονικῶν «ἐξαρτήσεων») ὑγείας τῶν ἐπιμέρους τοπικῶν οἰκοσυστημάτων καὶ τοῦ μεγάλου οἰκοσυστήματος τοῦ πλανήτου Γῆ. Οἱ «κανόνες» τοῦ «φυσικοῦ»-οἰκολογικοῦ δικαίου τῆς «ἀτομικῆς» καὶ συλλογικῆς συμπεριφορᾶς ὑπάρχουν ἔτσι πού ἡ λειτουργία τῶν βιοχημικῶν κύκλων, ἡ διαδικασία τῆς φωτοσυνθέσεως καὶ ἡ «διάιτα-δομῆ» τῆς ὁμοιοστάσεως, νὰ εἶναι συνεχῆς καὶ κανονικὴ (14). Ὁ ὑγειονομικὸς σχεδιασμὸς εἶναι κατὰ κανόνα μοναδικὸς (Unique) καὶ εἰδικὸς (Specific) στὸ χρόνο γιὰ κάθε χῶρο καὶ χώρα (15, 16).

Δηλαδή, ἄλλος θὰ ἦταν ὑγειονομικὸς-οἰκολογικὸς σχεδιασμὸς στὶς ἀρχὲς τῆς Βιομηχανικῆς Ἐπαναστάσεως, διακόσια περίπου χρόνια πρὶν, ἄλλος ἦταν στὸ μεταξὺ τῶν δυὸ μεγάλων πολέμων μεσοδιάστημα κι ἄλλος εἶναι σήμερα, μὲ τὴ μεσουράνηση τῆς τεχνολογίας καὶ τὰ ποικίλα, τὰ πολλὰ προϊόντα τῆς βιομηχανίας (15). Τέλος ἄλλο νόημα θὰ εἶχε ὁ ὑγειονομικὸς-οἰκολογικὸς σχεδιασμὸς 10.000 χρόνια πρὶν — ὅταν δὲν χρειάζοταν καθόλου — γιὰ τὴ λειτουργία καὶ ἀλληλεξάρτηση-ἀνταλλαγὴ ὕλης καὶ μάζης τῶν οἰκοσυστημάτων ἦταν αἰτιοκρατικὰ ἄρτια καὶ ἰσορροπη. Ἡ φύση «ἐν τῇ σοφίᾳ» τῆς, χωρὶς καμιά «ρύθμιση» ἢ ἔξωθεν «ἐπέμβαση» εἶχε βρεῖ τὴν οἰκολογικὴ τῆς ἰσορροπία (καὶ «ἀρμονία»), μιὰ καὶ δὲν ὑπῆρχε διαταραχὴ καὶ παρουσία ρυπαντῶν ἀπὸ ἀνθρώπινες δραστηριότητες. Οἱ νόμοι ἄλλωστε καὶ οἱ προδιαγραφὲς τοῦ ὑγειονομικοῦ σχεδιασμοῦ — οἱ προληπτικὲς ἢ κυρωτικὲς διατάξεις τοῦ ὑγειονομικοῦ καταστατικοῦ χάρτου — ἔχουν σχέση μὲ τὴ φυσικὴ διαμόρφωση καὶ γεωγραφικὴ θέση, τὸ κλίμα τῆς χώρας, τὴν οἰκονομία, τὴ νομοθεσία, καὶ τὴ γενικότερη παιδεία καὶ τοὺς στόχους πού ἐπιδιώκει στὴν ὅλη διαπλοκὴ τῶν πολιτιστικῶν-κοινωνικῶν κανόνων καὶ οἰκονομικῶν σχέσεων, γιὰ τὴ ζωὴ τῆς παρουσίας καὶ τῶν μελλουσῶν γενεῶν (16).

Ἔτσι οἱ ὑγειονομικοὶ νόμοι καὶ κανονισμοὶ καὶ κυρίως ἡ δυνατότης τοῦ κράτους νὰ τοὺς στηρίξει μὲ τὴν ἐφαρμογὴ τους, ἢ διάθεση κεφαλαίων γιὰ τίς δαπάνες διατηρήσεως οἰκολογικῆς ἰσορροπίας καὶ ὑγειονομικῆς προστασίας, ἢ στάθμη τῆς τεχνικῆς σκέψεως

και επιστημονικής συγκροτήσεως των νομοθετών, αλλά κυρίως ή παιδεία και ή ευθύνη των πολιτών, είναι προϋπόθεση ενός όρθου και λελογισμένου υγειονομικού σχεδιασμού. Σήμερα με τη σοβαρή, την εμπράγματον απειλή της βιοσφαίρας, από τις ποικίλες ρυπανσεις μάζης-ύλης και ενέργειας, αλλά και τη ραδιενεργό μόλυνση, είτε από «άτυχήματα» σε θερμοπυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (Chernobyl) ή από διαφυγές πυρηνικών εργαστηρίων και πυρηνικών δοκιμών-ό υγειονομικός στρατηγικός σχεδιασμός είναι «ούσια» σχεδιασμός «οικολογικής παιδείας για επιβίωση».

Τί είναι τώρα το βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο; (BOD: Biochemical Oxygen Demand). Θεωρητικώς είναι το απαιτούμενο ελεύθερο διαλελυμένο οξυγόνο, αυτό που μπορεί να «διαχέεται» (Diffusion) στον υδάτινο φορέα από την ατμόσφαιρα, από τους πνέοντες ανέμους ή από τη φωτοσύνθεση και από «άλλη» (Algae). Το διαλελυμένο αυτό οξυγόνο (DO — Dissolved Oxygen) — που δεν είναι το μοριακό οξυγόνο, το θεμελιακό συστατικό του νερού H_2O — χρησιμοποιείται για την οξείδωση των συνθετικών ουσιών, «συμπλόκων» και αλάτων που υπάρχουν πάντα στις αποχετεύσεις (παροχές ρυπαντών) κυρίως των λυμάτων των υπονόμων. Όση μεγαλύτερη είναι ή ποσοτική (και ή ποιοτική) συσσώρευση ρυπαντών, τόσο περισσότερο οξυγόνο απαιτείται για την κανονική, τη δέουσα αερόβιο (Aerobic) οξείδωση (13, 17, 18). Η οξείδωση συντελείται σε μιὰ λεπτή αλυσίδα επενεργειών (βιοχημικών και βιολογικών) της όλης διαδικασίας «αποδομήσεως» (και «καταλάσεως») των οργανικών ουσιών από τα βακτηρίδια (Bacteria) που είναι οί κύριοι «αποσυνθέτες των οργανικών ουσιών» (Decomposers of the organic matter). Έτσι ή οξείδωση των περιεχομένων στα απόβλητα οργανικών κυρίως ουσιών επιτυγχάνεται με τη «δράση» και τη βοήθεια βακτηριδίων τα όποια αποικοδομούν τις «αποικοδομήσιμες» (Biodegradable) οργανικές ουσίες που τις μετατρέπουν σε διοξείδιο του άνθρακος, άζωτο και νερό. Πρακτικώς λοιπόν το BOD και τα αίωρούμενα στερεά (Suspended Solids-SS) είναι ό συλλογικός δείκτης που δείχνει την ποιοτική (αριθμητική) στάθμη της ρυπαντικής ισχύος των λυμάτων, δηλ. των ρυπαντών των υπονόμων (των άστικών και βιομηχανικών έκροών). Το BOD των άστικών λυμάτων (Domestic Wastewater) μπορεί να κυμαίνεται από 200 έως 500 χιλιοστά του γραμμαρίου οξυγόνου ανά λίτρο λύματος (ήτοι γραμμάρια οξυγόνου κατά κυβικό μέτρο λύματος), ενώ στα βιομηχανικά-χημικά απόβλητα και στα βοθρολύματα δεν είναι σπάνιες οί τιμές των 20.000 χιλιοστών του γραμμαρίου οξυγόνου ανά λίτρο αποβλήτων (19, 20, 21, 22). Έτσι συντελείται ή βιοχημική αποδόμηση των οργανικών ουσιών σε άπλούστερες οργανικές ενώσεις ή σε άπλά στοιχεία άζώτου, άνθρακος, φωσφόρου, θείου, ύδρογόνου, οξυγόνου και μεταλλικών ουσιών που μπορούν να επανακυκλώνονται και να επανασυντίθενται μέσω της τροφικής αλυσίδας, με λυσιτελή και κανονική

φωτοσύνθεση και με άδιατάρακτους και ισορροπημένους βιοχημικούς (και γεωχημικούς) κύκλους — τὰ θεμέλια ὅλης τῆς ζωῆς

Μιά κλίμακα μεγέθους ρυπαντικῆς ἰσχύος με βάση τὸ δείκτη *BOD* μπορεί νὰ δοθεῖ ὡς ἑξῆς: Γιὰ τὰ συνήθη οἰκιακὰ λύματα τῶν ὑπονόμων ἡ τιμὴ τοῦ *BOD* [5 ἡμερῶν *BOD*₅ - 20° C εἶναι τῆς τάξεως τῶν 120 ἕως 400) mg/l (χιλιοστὰ γραμμαρίου ἀνὰ λίτρον)], ἐνῶ γιὰ βοθρολύματα (*Septages*) ποὺ εἶναι πυκνότερης σύνθεσης — τὸ ποσοστὸν εἶναι 8000 mg/l (*BOD*₅) ἕως 25.000 mg/l.

Στὸ χῶρο αὐτὸ κινουῦνται τὰ μεγέθη *BOD* τῶν βοθρολυμάτων τοῦ ἐργοστασίου Καθαρισμοῦ τῆς Μεταμορφώσεως, ποὺ λειτουργεῖ ἤδη ἀπὸ τετραετίας καὶ «ἐπεξεργάζεται» («καθαρίζει») καθημερινῶς εἴκοσι περίπου χιλιάδες τόννους βοθρολυμάτων καὶ εἴκοσι περίπου χιλιάδες τόννους κανονικῶν λυμάτων σὲ κανονικὴ ἀνάμιξη, με δευτερογενῆ βιολογικὸ καθαρισμό.

Ἡ λειτουργία τῆς ἀναπνοῆς καὶ ἡ ἐν γένει δίαιτα καὶ «ὕγεια» τῶν μικροοργανισμῶν-βακτηριδίων ἀποτελεῖ σοβαρὴ ὑπόθεση καὶ φροντίδα τοῦ ὑγειονολογικοῦ μηχανικοῦ, γιὰ τὴ χωρὶς τὰ βακτηρίδια βιολογικὸς καθαρισμὸς τῶν λυμάτων δὲν γίνεται (23, 24). Ἡ καίρια πρόνοια καὶ ὁ Προγραμματισμὸς τοῦ ἔργου καθαρισμοῦ τῶν λυμάτων καὶ ὑποβιβασμοῦ τοῦ δείκτου, τῆς ρυπαντικῆς ἰσχύος, *BOD* (*BOD Reduction*) εἶναι ἡ ἐπάρκεια, ἡ σαφίλεια διαλελυμένου ὀξυγόνου. Οἱ «τροφές» γιὰ τὰ βακτηρίδια (οἱ πιὸ πλούσιες σὲ κάθε εἶδος ὀργανικῆς καὶ ἀνοργάνου ὕλης) ὑπάρχουν στὰ λύματα σὲ ποσότητες μεγάλες. Χρειαζέται λοιπὸν ὑπερέπάρκεια διαλελυμένου ὀξυγόνου (*DO*) γιὰ νὰ γίνῃ ταχεῖα ἡ ὀξειδωσις ποὺ ὑποβοηθεῖται με τὴ μεγάλη, τὴν ἐκθετικὴ ἀναπαραγωγή τῶν βακτηριδίων — δισεκατομμύρια νέων γενεῶν βακτηριδίων ἀνὰ εἰκοσιτετράωρο — ποὺ εἶναι οἱ ἀφανεῖς ἐργάτες τοῦ βιολογικοῦ καθαρισμοῦ.

Γιὰ τὸ λόγο τοῦτο στὴ μορφή τοῦ ταχέως βιολογικοῦ καθαρισμοῦ διὰ τῆς μεθόδου «τῆς ἐνεργοῦ ἰλύος» (*Activated Sludge*) ποὺ ἀντικατέστησε σήμερα — τὴ βραδεία μέθοδο βιολογικοῦ καθαρισμοῦ λυμάτων με «βιολογικὰ φίλτρα» (*Trickling Filters*) τροφοδοτοῦμε τὶς δεξαμενὲς καθαρισμοῦ τῶν λυμάτων με τόννους καθαροῦ ὀξυγόνου τὴν ἐβδομάδα γιὰ μεγάλες ποσότητες λυμάτων — ποὺ διαχέεται (*Diffusion*) ἀπὸ τὸν πυθμένα τῆς δεξαμενῆς καὶ ἀναμιγνύεται πλήρως με ὅλο τὸν ὄγκο τῶν λυμάτων γιὰ τὴν ὀλοκλήρωση τῆς ὀξειδώσεως (*Oxidation Process*).

Ἄς τονισθεῖ ἐδῶ πὼς οἰαδήποτε τοξικὴ ἢ δηλητηριώδης οὐσία — ποὺ μπορεί νὰ ἐμπεριέχεται στὰ βιομηχανικὰ λύματα, ποὺ ἀναμιγνύονται σὲ πλεῖστες περιπτώσεις (κατὰ ποσοστὸ 30-35% τοῦ συνολικοῦ ὄγκου) με τὰ οἰκιακὰ λύματα, ἀποτελεῖ σοβαρὸ αἷτιο θανάτου τῶν βακτηριδίων ἀπὸ τοξικὴ δηλητηρίαση! Δέον ὅπως προστεθεῖ ἐδῶ πὼς ἔχουμε

σήμερα έπιστημονικά και ύγειονομικά καθιερώσει τρία είδη βαθμίδων καθαρισμού λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων ήτοι: πρωτογενής, δευτερογενής, τριτογενής καθαρισμός. 'Ανάλογη μορφή και μεθοδολογία — τηρουμένων τών αναλογιών — ίσχύει και για τὰ βιομηχανικά και χημικά απόβλητα όπου ο αυτοτελής καθαρισμός τους στηρίζεται στο χημικῶς απαιτούμενο δξυγόνο (COD-Chemical Oxygen Demand). Μία ἄλλη σημαντική παράμετρος ρυπαντικού φορτίου είναι τὰ αἰωρούμενα στερεὰ (SS — Suspended Solids).

I. ΣΤΑΔΙΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

‘Ο Πρωτογενής ή φυσικός καθαρισμός τών αστικών λυμάτων, πού ή θεμελιακή του σημασία είναι ο ύποβιβασμός τοῦ ρυπαντικού φορτίου BOD, κατά 25-30%. ('Ανάλογος είναι γενικά ο ύποβιβασμός και τών ἄλλων παραμέτρων-δεικτῶν τοῦ ρυπαντικού φορτίου). ‘Ο πρωτογενής ή φυσικός καθαρισμός τών λυμάτων (Primary Physical Wastewater Treatment) δέν περιλαμβάνει βιοχημικές και βιολογικές διαδικασίες, ἐνῶ τὰ βασικά στάδια τοῦ φυσικοῦ καθαρισμοῦ τών λυμάτων είναι:

α. ‘Η ἐσχάρωση (Screening) τών λυμάτων με δύο συνήθως είδη ἐσχάρων: Τίς ἐσχάρες με ἄνοιγμα 5 ἑκατοστῶν και μετά τίς αυτοκαθαριζόμενες ἐσχάρες με ἐλεύθερο ἄνοιγμα τῆς τάξεως τών 2-3 ἑκατοστῶν. Με τὴν ἐσχάρωση ἀπομακρύνονται τὰ πλέον ὀγκώδη στερεὰ, πού ὑπάρχουν στα λύματα.

β. ‘Η ἐξάμωση τών λυμάτων (Grit Removal), δηλαδή ή ἀπομάκρυνση ἀπὸ τὰ λύματα τῆς ἄμμου, τών μικρῶν λίθων και μεταλλικῶν ἀντικειμένων κ.λπ., πού ὑπάρχουν στα λύματα και θὰ μπορούσαν νὰ προκαλέσουν ζημιές στα μηχανήματα τών δεξαμενῶν κατακαθίσεως και ἀερισμοῦ.

γ. ‘Ενδεχομένως στὸν πρωτεγενή ή πρωτοβάθμιο (φυσικό) καθαρισμό μπορεί νὰ περιλαμβάνεται και ή ἐξισορρόπηση τῆς ροῆς τών λυμάτων (Flow Equalization).

δ. ‘Η πρωτοβάθμια καθίζηση (Settlement) ή κατακάθιση (Sedimentation) τών λυμάτων.

ε. Settlement. Μερικὲς φορές ο πρωτοβάθμιος καθαρισμός μπορεί νὰ περιλαμβάνει και μία χημική ἐπεξεργασία τών λυμάτων, πού σκοπὸν ἔχει π.χ. τὴν καταβύθιση τών ἐνώσεων τοῦ Φωσφόρου ή τὴν κροκύνωση (Flocculation) τών αἰωρούμενων στερεῶν κ.λπ. Στὴν περίπτωση αὐτὴ ο ύποβιβασμός τοῦ BOD μπορεί νὰ φτάσει τὰ 30-35%, ἐνῶ ο ύποβιβασμός τών αἰωρούμενων οὐσιῶν (SS) μπορεί νὰ πλησιάσει τὸ 50-60% (13, 25).

II. ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ

‘Ο Δευτερογενής Βιολογικός Καθαρισμός (Secondary Biological Treatment) είναι σήμερα ή καθιερωμένη ή ἐνδεδειγμένη μορφή καθαρισμοῦ λυμάτων, καθόσον ὑποβιβάζει τὸ γενικό δείκτη τῆς ρυπαντικῆς ἰσχύος BOD₅ κατά 75%-85% — και σὲ εἰδικές — περιπτώ-

σεις και σὲ μεγέθη μεγαλύτερα — και ἀνάλογα βεβαίως ὅλους τοὺς ἄλλους δείκτες τῆς ρυπάνσεως, αἰωρούμενα στερεὰ κ.λπ. (22, 25). Δέον νὰ ὑπογραμμισθεῖ στὸ σημεῖο τοῦτο πὼς στὶς Ἠνωμένες Πολιτεῖες ἔχει θεσπισθεῖ διὰ αὐστηροῦ ὁμοσπονδιακοῦ νόμου (Federal Law) ὁ ὑποχρεωτικὸς δευτερογενῆς βιολογικὸς καθαρισμὸς τῶν λυμάτων γιὰ οἰαδήποτε μεγάλη πόλη ἢ μικρὸ χωριὸ ἀνεξαιρέτως. Ἀποχέτευση λυμάτων σὲ οἰοδήποτε ὑδάτινο φορέα — και ἐδῶ ἔχουν θεσπισθεῖ αὐστηρὰ μέτρα και σταθμὰ (Standards) ὑγειονομικῆς-οἰκολογικῆς προστασίας, γιὰ συγκεκριμένες κατηγορίες εἰδικῶν ὑποδοχέων — ἐὰν δὲν ἔχει προηγηθεῖ δευτερογενῆς βιολογικὸς καθαρισμὸς και ὑποβιβασμὸς τοῦ BOD_5 κατὰ 75%-80% (26, 27, 28). Στὴ γενικὴ σχηματικὴ του μορφή ὁ δευτερογενῆς βιολογικὸς καθαρισμὸς περιλαμβάνει στὴν περίπτωση τῆς μεθοδολογίας ταχέως καθαρισμοῦ, ἤτοι τῆς ἐνεργοῦ ἰλύος (Activated Sludge), τὰ ἐξῆς στάδια:

III. ΕΝΕΡΓΟΣ ΙΛΥΣ

Τὰ λύματα μετὰ τὸν πρωτογενῆ καθαρισμὸ — ὅπως παρουσιάζεται στὶς εἰκόνες στὸ τέλος τῆς ἐν λόγω ἀνακοινώσεως — ἀκολουθοῦν τὰ ἐξῆς στάδια ἐπεξεργασίας γενικῶς: (α) Εἴσοδος στὴ δεξαμενὴ ἐντόνου ἀερισμοῦ (Aeration Tanks) — ὅπου κατὰ κανόνα γίνεται τροφοδότηση μὲ ἀέρα ἢ καθαρὸ ὀξυγόνο ποὺ διαχέεται πρὸς τὰ ἀνώτερα στρώματα τοῦ ὄγκου τῶν λυμάτων ἀπὸ τὸν πυθμένα τῆς δεξαμενῆς — (β) Ἀκολουθεῖ νέα καθίζηση σὲ δεξαμενὴ καθιζήσεως. Ὁ χρόνος παραμονῆς και συμπληρώσεως τῆς καθιζήσεως (Detention Time) καθορίζεται μὲ κριτήρια ὅπως: (i) τοὺς ὑπάρχοντες κανονισμοὺς γιὰ τὴν ἀπόρριψη τῶν καθαρισμένων λυμάτων στὸ φυσικὸ ὑποδοχέα, (ii) τὴν ὀριακὴ συνθήκη τοῦ χρόνου ποὺ ἀπαιτεῖ τὴν ταχεῖα σταδιακὴ ἐκκένωση τῶν δεξαμενῶν ἀερισμοῦ γιὰ τὸν καθορισμὸ τοῦ ἐπόμενου ὄγκου τῶν λυμάτων ποὺ φτάνουν στὸ ἐργοστάσιο καθαρισμοῦ, (iii) τὴν ποιότητα τοῦ ρυπαντικοῦ φορτίου ἀπὸ πλευρᾶς ἰζημάτων και αἰωρουμένων ὑλικῶν και στερεῶν. Στὶς ἀνωτέρω «περιπτώσεις» (α) ἡ καθιζάνουσα λάσπη τῶν λυμάτων (Waste Sludge) ἀπὸ τὸν πυθμένα τῶν δεξαμενῶν ἀερισμοῦ και καθιζήσεως, ὀδηγεῖται ξανὰ και ἀναμειγνύεται μὲ τὸν ὄγκο τῶν νέων λυμάτων ποὺ φτάνουν γιὰ βιολογικὸ καθαρισμὸ. Ὁ λόγος εἶναι ἐμπράγματος και ἡ τεχνικὴ ἐνδεδειγμένη: ἡ ἐν λόγω ἰλὺς περιέχει δισεκατομμύρια μικροοργανισμῶν και μικροβίων ποὺ θὰ τελέσουν τὸ ἔργο ὀξειδώσεως-καθαρισμοῦ τῶν λυμάτων, (β) στὴν περίπτωση τῶν βιολογικῶν φίλτρων ὁ ἀπαιτούμενος χρόνος καθαρισμοῦ εἶναι πολλὸ μεγαλύτερος ἐκείνου τοῦ ἀπαιτούμενου στὴν περίπτωση ἐφαρμογῆς μεθοδολογίας ἐνεργοῦ ἰλύος και τὸ πλέον σημαῖνον εἶναι ὅτι ὁ ἀπαιτούμενος χῶρος ἐγκαταστάσεων τῶν βιολογικῶν φίλτρων εἶναι συντριπτικὰ μεγαλύτερος. Σήμερα μὲ τὴ μοντέρνα τεχνολογία κατασκευῆς δεξαμενῶν ἐνεργοῦ ἰλύος μεγάλου βάθους ὁ ἀπαιτούμε-

νος χώρος βιολογικού καθαρισμού μεγάλων ὄγκων παροχῶν λυμάτων περιορίζεται εἰς τὸ ελάχιστον.

IV. ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ (TRICKLING FILTERS)

Παρόμοια εἶναι ἡ διαδικασία τῶν βιολογικῶν φίλτρων, ἡ παλαιότερη καὶ βραδύτερη αὐτὴ διαδικασία καθαρισμοῦ. Καὶ ἐδῶ μετὰ τὸν πρωτογενῆ (φυσικὸ) καθαρισμὸ τὰ λύματα παροχετεύονται στὰ βιολογικὰ φίλτρα, ποὺ εἶναι οἱ περιστρεφόμενοι βραχίονες σωλήνων ποὺ «ραντίζου» ἀκριβῶς ἓνα κυκλικὸ χῶρο πληρωμένο μὲ στρώματα χαλικιῶν ἢ πλαστικῶν χαλικιῶν διαφόρων διαμέτρων 0,8-1,5 Ἴντσων, μέσῳ τῶν ὁποίων τὰ λύματα ἐμπλουτισμένα μὲ τὸ ὀξυγόνο τῆς ἀτμόσφαιρας (Oxygen Entrainment), διηθοῦνται καὶ συγκεντρώνονται στὸν πυθμένα τοῦ κυκλικοῦ φίλτρου βιολογικῶς καθαρισμένα. Ἄς τονισθεῖ ἐδῶ πὼς τὰ λύματα, καλύπτοντας τὴν τεράστια ἐπιφάνεια τῶν χαλικιῶν, «ἐκτίθενται» στὴν ἐπίδραση τοῦ ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος, ὅποτε ἡ ὀξυγόνωση εἶναι πλήρης καθὼς καὶ ἡ τροφοδότηση τῶν βακτηριδίων μὲ ὀργανικὲς οὐσίες. Ἐδῶ ἀκριβῶς λαμβάνει χώρα ἡ ἀποικοδόμηση τῶν ὀργανικῶν οὐσιῶν τῶν λυμάτων. Ἐκτὸς τῶν πυθμένων τῶν βιολογικῶν φίλτρων τὰ λύματα ὀδηγοῦνται στὶς δεξαμενὲς τελικῆς καθιζήσεως, ὅπου ἡ μὲν ἰλύς καθιζάνει, ἐνῶ τὰ διαυγῆ λύματα ἀπομακρύνονται γιὰ νὰ ἀπορριφθοῦν στὸν ἀποδέκτη (ὑποδοχέα) (Receiving Water Body) μετὰ τὴ χλωρίωσή τους. Ἐνα μέρος τῆς ἰλύος ἀπὸ τὶς δεξαμενὲς κατακαθίσεως ἐπιστρέφει στὰ βιολογικὰ φίλτρα.

V. ΑΕΡΙΖΟΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΛΥΜΑΤΩΝ

(AERATED LAGOONS-STABILIZATION PONDS)

Στὴν τρίτη αὐτὴ μεθοδολογία καὶ πρακτικὴ καθαρισμοῦ λυμάτων, ὁ ἴδιος περίπου δευτερογενῆς βιολογικὸς καθαρισμὸς ἐπιτυγχάνεται κατὰ τὸν πλέον «φυσικὸ» (καὶ «ἀπλό») τρόπο στοὺς τεχνητοὺς (ἢ καὶ «φυσικοὺς») ὑδάτινους ὑποδοχεῖς, ὅπου ὁ συνεχῆς ἀερισμὸς καὶ ἡ ἐπανοξυγόνωση τοῦ νεροῦ τοῦ φορέως συντελεῖ στὸ βιολογικὸ καθαρισμὸ τῶν λυμάτων, σ' ἓνα πρακτικῶς μεγαλύτερο χρονικὸ διάστημα. Βεβαίως προϋπόθεση τῆς τεχνικῆς αὐτῆς τοῦ καθαρισμοῦ εἶναι ἡ ἐπάρκεια χώρου καὶ χρόνου γιὰ τὴν ὅλη διαδικασία τοῦ καθαρισμοῦ.

Δέον ὅπως ὡς παράδειγμα προστεθεῖ πὼς στὴν πατρίδα μας ὑφίσταται μιὰ καὶ μόνη ἐγκατάσταση πρωτογενοῦς καθαρισμοῦ (ἐσχαρισμὸς) στὸ Κερατσίνι ὅπου καταλήγει ὁ Κεντρικὸς Ἐποχετευτικὸς Ἀγωγὸς (ΚΑΑ) ποὺ παροχετεύει ἓνα τμήμα, περίπου τὸ 30%-35% τοῦ συνολικοῦ ὄγκου τῶν λυμάτων τῶν Ἀθηνῶν. Ἡ παροχὴ αὐτὴ εἶναι τὸ ἓνα τρίτο τοῦ συνόλου τῆς παροχῆς τοῦ Λεκανοπεδίου, ὅ,τι δηλ. παροχετεύει τὸ ὑφιστάμενο δίκτυο ὑπονόμων τῶν Ἀθηνῶν, τὸ μῆκος τοῦ ὁποίου εἶναι περίπου τὸ ἓνα τρίτο τοῦ ἀναγκαίου

σήμερα για πλήρη αποχέτευση δικτύου τῶν ὑπονόμων. (Ἡμερησία παροχὴ λυμάτων: 500,000 m³). Συνολικὸ μῆκος ὑφιστάμενου δικτύου ὑπονόμων 1.500 χιλ. μείζονος περιοχῆς Ἀθηνῶν. Ἀναγκαῖον μῆκος γιὰ ὀλοκλήρωση δικτύου ὑπονόμων 4.500-5.000 χιλ. ἐπὶ πλέον.

VI. ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ

Ἡ τελειότερη (ὑψηλῆς ἀποδόσεως στὸν ὑποβιβασμὸ ρυπαντῶν) μορφή καθαρισμοῦ λυμάτων ποὺ δὲν ἐφαρμόζεται σήμερα — ἐκτὸς σὲ εἰδικὲς περιπτώσεις αὐστηρὰ καθορισμένων ἀναγκῶν — ὅπως ἡ λίμνη τοῦ θερέτρου Tahoe τῆς Ἀριζόνας τῶν ΗΠΑ ποὺ εἶναι ὁ ὑποδοχέας ἀποχετεύσεως λυμάτων καὶ ἡ πηγὴ παροχῆς πόσιμου νεροῦ, — εἶναι ἡ προχωρημένη, ἡ ἀνωτέρα μορφή καθαρισμοῦ λυμάτων (Advanced Wastewater Treatment). Ἡ μέθοδος εἶναι: (i) ὑψηλῆς ἀποδόσεως, μειώσεως τῆς ρυπαντικῆς ἰσχύος, ἤτοι ὑποβιβασμὸς τοῦ BOD₅ (καὶ τῶν ἄλλων δεικτῶν ρυπαντῶν) κατὰ 95-98%, (ii) ἡ μέθοδος — ποὺ ἀκόμη βρίσκεται στὸ ἐργαστηριακὸ-πειραματικὸ στάδιο — εἶναι ἐξόχως δαπανηρὴ! Ὁ ὑποβιβασμὸς τοῦ BOD₅ κατὰ δέκα βαθμίδες ἀπὸ 85% στὸ 95% μπορεῖ νὰ κοστίζει — καὶ νὰ ὑπερβαίνει! — σὲ δαπάνη ποσὰ ἴσα μὲ ὅσα ἀπαιτεῖ στὸ σύνολό του, ἡ ὅλη διαδικασία τοῦ δευτερογενοῦς βιολογικοῦ καθαρισμοῦ, (iii) ἡ μέθοδος, σχεδὸν φυσικοχημικὴ, στηρίζεται στὴ διαδικασία διόδου τοῦ λύματος — ποὺ ἔχει ἤδη ὑποστεί δευτερογενῆ βιολογικὸ καθαρισμὸ — μέσῳ ὑποδοχέως ἐνεργοῦ ἄνθρακος (Activated Carbon).

Σ' ὅλες τὶς ἀνωτέρω διαδικασίες βιολογικοῦ καθαρισμοῦ, ἡ «ὀξειδωση» καὶ διάσπαση τῶν ὀργανικῶν καὶ λοιπῶν ἄλλων οὐσιῶν τῶν ρυπαντῶν γίνονται μὲ «ἀερόβιες» βιολογικὲς διαδικασίες, δηλ. μὲ τὴν περισσὴ παρουσία ὀξυγόνου καὶ τὴ «διάσπαση» τῶν ρυπαντῶν (βιολογική, βιοχημική, καὶ χημική) ἀπὸ τὰ μικρόβια καὶ μικροοργανισμούς. Στὴν περίπτωσι ποὺ τὸ ὀξυγόνον δὲν εἶναι ἐπαρκές, π.χ. στὶς διαδικασίες τῶν ὑδατίνων φορέων ποὺ δέχονται ὑπέρογκα φορτία λυμάτων, ἡ διαδικασία «ὀξειδώσεως» καὶ «ἀφομοιώσεως» (Oxidation and Assimilation) εἶναι ἀναερόβιος (Anaerobic) μὲ παραπροϊόντα, ὁσμὲς καὶ ὑποβιβασμὸ τῆς αἰσθητικῆς καὶ τῆς ὑγείας «τοῦ περιβάλλοντος». Ἡ παραγωγή, παρὰ ταῦτα, μεθανίου ἀπὸ ἀναερόβιες διαδικασίες «χωνεύσεως» τῆς ἰλῦος τῶν λυμάτων ποὺ καθιζάνει στὸν πυθμένα τῶν δεξαμενῶν ἀερισμοῦ καὶ καθιζήσεως — εἶναι μιὰ σοβαρὴ πηγὴ ἐνεργείας ποὺ μπορεῖ — σὲ ὀρισμένες περιπτώσεις — νὰ καλύπτει μέρος τῶν ἐνεργειακῶν ἀναγκῶν τοῦ ἐργοστασίου καθαρισμοῦ τῶν λυμάτων. (Ἡ διαδικασία ἀναερόβιου ὀξειδώσεως λαμβάνει χώρα μὲ «νιτρικὰ βακτηρίδια» (Nitrifying Bacteria) ἤτοι τὰ Nitrosomonas καὶ Nitrobacter) (17,22).

VII. ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΟΞΥΓΟΝΩΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΔΙΑΛΕΛΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

(THE DISSOLVED OXYGEN MODEL)

Ἡ ἐπάρκεια τοῦ διαλελυμένου ὀξυγόνου (DO) εἶναι ἡ θεμελιακὴ προϋπόθεση ἀεροβίων χημικῶν διεργασιῶν στὴν ὅλη διαδικασία καθαρισμοῦ τῶν ἀστικῶν λυμάτων καὶ βιοχημικῶν-χημικῶν ἀποβλήτων. Στὴ σύγχρονη τεχνικὴ καὶ μεθοδολογία βιολογικοῦ (καὶ χημικοῦ) καθαρισμοῦ τῶν λυμάτων καὶ ὑποβιβασμοῦ τῶν δεικτῶν ρυπάνσεως BOD₅ ἡ προσθήκη καθαροῦ ὀξυγόνου σὲ μεγάλες ποσότητες στὶς δεξαμενὲς καθαρισμοῦ συνιστᾶ *sine qua non* προϋπόθεση ταχείας ἀεροβίου ὀξειδώσεως καὶ καθαρισμοῦ.

Ὁ ἀερισμὸς (Aeration), ὅμως καὶ ὁ ἐπαναερισμὸς (Reaeration) καὶ ἡ ἐπανοξυγόνωση (Reoxygenation) τῶν φυσικῶν ὑδατίνων ὑποδοχέων εἶναι πολὺπλοκὴ φυσικὴ καὶ φυσικοχημικὴ διαδικασία διότι: (α) λαμβάνει χώρα κατὰ κανόνα στοὺς φυσικοὺς ὑδάτινους φορεῖς στὸν ἴδιο (ἢ γειτονικὸ μᾶλλον) χώρῳ καὶ χρόνῳ πού λαμβάνει χώρα ἡ ἀπόρριψη τῶν λυμάτων καὶ ἀποβλήτων, (β) ἡ μείωση τοῦ ὀξυγόνου τοῦ ὑδατίνου ὑποδοχέως μὲ τὴν ἀπόρριψη τῶν ρυπαντῶν ἀντικαθίσταται κατὰ τρόπο φυσικὸ ἀπὸ τὴ διάλυση, διάχυση (καὶ διασπορά) τοῦ ὀξυγόνου τοῦ ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρος, ὅταν ὑπάρχει ἐπάρκεια διαίτης πνεύτων ἀνέμων ἢ κυμάτων (στὶς παράκτιες περιοχὲς λίμνες καὶ ποτάμια), ἔτσι πού ἡ ἔνταση τοῦ πεδίου τῆς τυρβώδους ροῆς στὴν ἐπιφάνεια διαχωρισμοῦ ἀέρος-ὑδατος (*Intensity of Turbulence at Air-Water Interface*) νὰ ἐνισχύει τὴν ταχύτητα καὶ τὸ μέτρο τῆς διαχύσεως (*Rate of Diffusion-Dispersion*), (γ) μιὰ ἄλλη, σημαίνουσα παράμετρος ὑποβοηθοῦσα τὴν ὅλη πορεία τῆς ὀξειδώσεως τῶν ρυπαντῶν εἶναι ὁ βαθμὸς διαλύσεως καὶ ταχείας ἀναμίξεως τῶν ρυπαντῶν στὸ ὑδάτινο ὑποδοχέα (*Rate of Dilution and Mixing*). Γιὰ μεγάλους ὄγκους ὑδατίνων ὑποδοχέων καὶ μικρὰ σχετικῶς μεγέθη ρυπαντικῶν φορτίων (ἤτοι μίξη καὶ διάλυση >1: 500) ἡ πιθανότης κανονικῆς ἀεροβίου ὀξειδώσεως καὶ ἀφομοιώσεως εἶναι μεγαλύτερα ἐκείνης στὴν ὁποία τὸ ἀντίστροφο συμβαίνει, ἤτοι μεγάλες ποσότητες ρυπαντικοῦ φορτίου σὲ μικροὺς σχετικὰ ὑδάτινους ὄγκους, ὅπου ἡ μίξη καὶ ἡ διάλυση εἶναι βραδεία ἢ δὲν ὑπάρχει σχεδὸν καθόλου γιὰ πρακτικοὺς σκοποὺς καὶ στόχους ὑγειονομικῶν ὑπολογισμῶν καὶ σχεδιασμοῦ. (Ἡ περίπτωση τοῦ Σαρωνικοῦ Κόλπου καὶ τῶν Κόλπων Ἐλευσίνος καὶ Θεσσαλονίκης εἶναι δραματικὰ ἐνδεικτικὴ: Μεγάλες ποσότητες λυμάτων καὶ ἀποβλήτων κάθε μορφῆς σὲ ἀβαθεῖς καὶ μικροὺς σχετικὰ ὑδάτινους ὑποδοχεῖς μὲ μικρὴ ὑδροδυναμικὴ κυκλοφορία (*Hydrodynamic Circulation*) καὶ ἀνάμιξη (*Mixing*), (δ) οἱ ὑδάτινοι φυσικοὶ φορεῖς ἔχουν ὡς πρόσθετη — ποσοτικὰ μικρὴ — πηγὴ παραγωγῆς ὀξυγόνου τὴ φωτοσύνθεση τῶν ἀλγῶν (*Algae Photosynthesis*). Γενικῶς πρέπει νὰ ὑπογραμμισθεῖ τὸ γεγονός πὺς οἱ φυσικοὶ ὑδάτινοι φορεῖς εἶναι ἐξαιρετικὰ εὐτρωτοὶ (καὶ εὐάλωτοι) στὴν

ἀπόπλυση τοῦ ὀξυγόνου (*Oxygen Depletion*). Ὁ λόγος εἶναι ἡ περιεκτικότης τοῦ διαλελυμένου Ὄξυγόνου (*DO*) σὲ ὑδάτινο φορέα γιὰ θερμοκρασία 50° F τὸ διαλελυμένο ὀξυγόνο εἶναι τῆς τάξεως 0.8% σὲ μονάδες ὄγκου, ἐνῶ τὸ ὀξυγόνο στὴν ἀτμόσφαιρα (στὸν «ὠκεανὸ τοῦ ἀέρος») καταλαμβάνει ποσοστὸ 21% τοῦ ὄλου ὄγκου (29), (ε) ἀκόμη καὶ στὴν περίπτωσι πλήρους κορεσμοῦ (διαβροχῆς) (*Saturation*) τὸ διαλελυμένο ὀξυγόνο εἶναι τῆς τάξεως μεγέθους σὲ ὄγκο 1%. Τοῦτο σημαίνει πὼς ὁ ὑδάτινος φορέας εἶναι θεωρητικῶς καὶ ἀριθμητικῶς εἴκοσι περίπου φορές περισσότερο εὐάλωτος ἀπὸ τὸν ἀέρινο φορέα! Βεβαίως τὸ διαλελυμένο ὀξυγόνο στὴν τάξι τῶν ὡς ἄνω μεγεθῶν εἶναι στὰ ἀνώτερα ἐπιφανειακὰ στρώματα (*Layers*) τοῦ ὑδάτινου φορέως (30). Ἡ ταχύτης καὶ ἡ δίαίτα διαχύσεως τοῦ ὀξυγόνου (*Oxygen Diffusion*) πρὸς τὰ κατώτερα στρώματα εἶναι πολὺ μικρῆ, ἰδιαίτερα γιὰ μεγάλα βάθη (ποταμῶν, λιμνῶν καὶ κυρίως θαλασσῶν — ὅπου ἐλλείψει οὐσιαστικῶς ὀξυγόνου οἱ διαδικασίαι εἶναι ἀναερόβιαι (30, 31). [Περίπτωση Φιόρντς Νορβηγίας ἢ τῆς Μεσογείου (Ἴόνιο, Τυρρηνικὸ Πέλαγος, χῶρος νοτίως τῆς Κρήτης, τέλος οἱ Ἀτλαντικὸς, Ἰνδικὸς καὶ Εἰρηνικὸς Ὦκεανός) (31)].

Γενικῶς ὁ κορεσμὸς σὲ ὀξυγόνο (*Oxygen Saturation*) ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴ μέση θερμοκρασία τοῦ ὄγκου τοῦ ὑδάτινου ὑποδοχέως. Σὲ θερμοκρασία μηδέν (°C) βαθμῶν ἑκατοντάβαθμο (Κελσίου) τὸ μέγεθος τοῦ διαλελυμένου ὀξυγόνου εἶναι 15 mg/l (ἤτοι 15 γραμμάρια διαλελυμένου ὀξυγόνου κατὰ κυβικὸ μέτρο ὑδάτινου ὄγκου) καὶ μειώνεται στὰ 11.3 mg/l σὲ θερμοκρασία 10°C καὶ 7.6 mg/l σὲ θερμοκρασία 30°C. Βεβαίως στὴν περίπτωσι νεροῦ ποῦ βράζει, ἤτοι 100°C, τὸ διαλελυμένο ὀξυγόνο στὴ μορφῆ φυσαλίδων ἔχει ἐξαερωθεῖ καὶ ἄρα τὸ *DO* εἶναι μηδέν. Μιὰ τέτοια ποιότης νεροῦ δὲν μπορεῖ νὰ ἀποτελέσει προϋπόθεσι ζωῆς γιὰ μικροοργανισμοὺς ποῦ πεθαίνουν ἀπὸ ἀσφυξία!. Ἔτσι λοιπὸν ἡ ἐπάρκειαι ὀξυγόνου εἶναι ὁ καλύτερος δείκτης υγείας καὶ κανονικῶν ἀεροβίων διαδικασιῶν (*Aerobic processes*) σ' ὄλους τοὺς ὑδάτινους φορεῖς: τὰ τρεχούμενα νερά, οἱ μικροῦ βάθους χεῖμαρροι καὶ ποταμοὶ μὲ τὴν ἰσχυρὴ ἀνάμιξι ἀέρος (*Air entrainment*) καὶ τὴν ὑψηλὴ ἔντασι τυρβώδους ροῆς (*Turbulence*) εἶναι τὰ περισσότερο ἐμπλουτισμένα μὲ *DO* καὶ ἄρα τὰ «υγιέστερα». Εἶναι ἐκεῖνα ποῦ μποροῦν νὰ «ἀναδεχθοῦν» φορτία ρυπαντῶν καὶ νὰ τὰ ὀξειδώσουν πλήρως σὲ χρόνον καὶ χῶρον, ἐὰν τὸ ρυπαντικὸ φορτίον δὲν ὑπερβαίνει τὴν ἰκανότητα ἀφομοιώσεως-ὀξειδώσεως τοῦ φορέως (*Assimilatin Capacity*) (32).

Ἄλλοι σοβαροὶ δείκτες καὶ παράμετροι ρυπάνσεως ποῦ ἐπηρεάζουν τὸ σύνολο τῶν ρυπαντῶν τυπικοῦ οἰκιακοῦ λύματος εἶναι οἱ ἐξῆς — μὲ τὸ εὐρὺ φάσμα μεταβολῶν ρυπαντικῆς ἰσχύος ἀπὸ τὴ μιὰ ἀκραία «ἀσθενῆ» (*weak*) θέσι μέχρι τὴν ἄλλη διαμετρικῶς ἀκραία «ἰσχυρῆ», (*strong*) θέσι ρυπαντικῆς ἰσχύος (σὲ mg/l ἤτοι γραμμάρια ἀνὰ m³).

	«Άσθηνής»	«Ίσχυρή»
1. Στερεά Διαλυμένα (Dissolved total)	250	850
2. Αιωρούμενα Στερεά (SS-Suspended solids)	100	350
3. Καθιζάνοντα Στερεά (Settleable Solids)	5	20
4. Βιοχημικώς Άπαιτούμενο Όξυγόνο πέντε ημερών σε 20°C (Biochemical Oxygen Demand) 5-Day, 20°C (BOD ₅ at 20°C)	110	400
5. Συνολικός Όργανικός Άνθραξ (Total Organic Carbon) (TOC)	80	290
6. Χημικώς άπαιτούμενο Όξυγόνο (Chemical Oxygen Demand (COD)	250	1000
7. Όλικό Άζωτο (Total as N)	20	85
8. Όλικός Φωσφόρος ήτοι: Όργανικός, Άνόργανος, (Organic, Inorganic)	4	15
9. Άλκαλικότης, (Alkalinity)	50	200
10. Λιπαρές ουσίες (Grease)	50	200

Στά άνωτέρω πρέπει να προστεθοϋν: τo pH ως δείκτης χαμηλής ή ύψηλής όξύτητας (pH ~ 5-5,5). Είται ένας δείκτης μεσαίας τιμής μη όξινος και μη άλκαλικός, (ii) τo χρώμα και ή θολότης (Turbidity) που έχει σχέση γενικά με την κίνηση Brown (Brownian motion), τo αιωρούμενα στερεά (SS), τέλος ή όσμή.

VIII. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΔΙΑΛΕΛΥΜΕΝΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (DISSOLVED OXYGEN MODEL)

Στά περισσότερα φυσικά ρεύματα και τoυς ύδάτινους ύποδοχείς οί μικροοργανισμοί καταναλίσκουν και «όξειδώνουν» τίς όργανικές ουσίες, όπως τoϋτο γίνεται, τηρουμένων άναλογιών, στις περιπτώσεις βιολογικού καθαρισμού τών λυμάτων. Ό ρυπαντικός δείκτης τoϋ βιοχημικώς άπαιτούμενου όξυγόνο BOD₅ αντιπροσωπεύει τo όξυγόνο που καταναλώθηκε σε πέντε μέρες στη διαδικασία καθαρισμού όξειδώσεως τών λυμάτων.

Το σύνολο τoϋ βιοχημικώς άπαιτούμενου όξυγόνο (TOTAL BOD) ή τo βιοχημικώς άπαιτούμενο όξυγόνο για οιάδήποτε άλλη χρονική περίοδο, μπορεί να καθορισθεί με τη διαφορική εξίσωση αντίδράσεως πρώτου βαθμοϋ (First Order Reaction Kinetics) που μαθηματικώς προσδιορίζει την άναλογία τών όξειδουμένων όργανικών ουσιών (Rate at which Organics Utilized) πρòς τo μέγεθος τών όργανικών ουσιών που είναι διαθέσιμες, όπως τoϋτο παρουσιάζεται σχηματικά στην είκ. 1 Μαθηματικώς ή διατύπωση έχει ως εξής:

$$\frac{dL_t}{dt} = -kL_t \quad (1)$$

όπου L_t είναι το όξυγόνο το ισοδύναμο των οργανικών ουσιών σε χρόνο t .

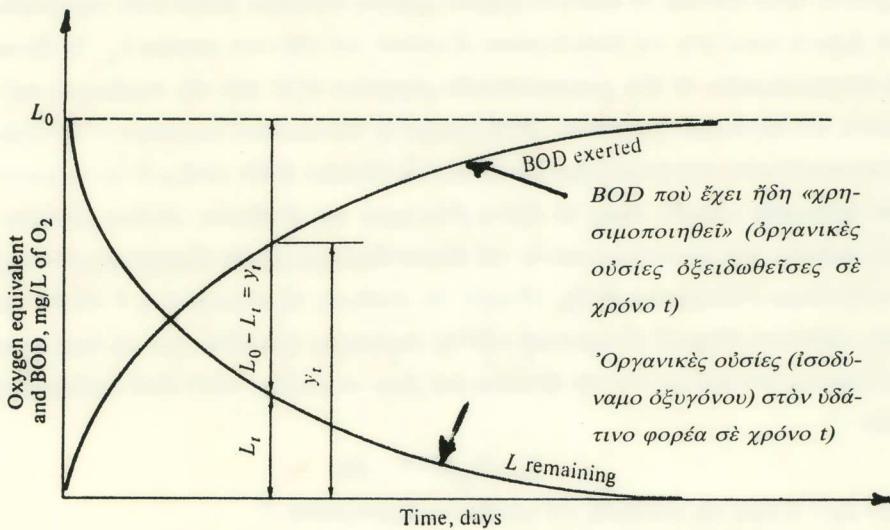
k , ή σταθερά της βιοχημικής αντίδρασης.

Οί διαστάσεις της μεταβλητής L_t είναι mg/l χιλιοστόγραμμα κατά λίτρο (ή γραμμάριο κατά κυβικό μέτρο) και ή K σταθερά της αντίδρασης είναι $\left(\frac{1}{D} = D^{-1} = \frac{1}{\text{ημέρα}}\right)$. Η ως άνω εξίσωση μπορεί να ολοκληρωθεί με σχετική αναδιάταξη ως εξής:

$$\frac{dL_t}{L_t} = -k dt \quad (2) \quad \text{ή} \quad \int_{L_0}^L \frac{dL_t}{L_t} = -k \int_0^t dt \quad (3)$$

$$\text{και} \quad \ln \left(\frac{L_t}{L_0} \right) = -kt \quad (4) \quad \text{που} \quad \text{όδηγεί} \quad \text{τελικῶς} \quad \text{στή} \quad L_t = L_0 e^{-kt} \quad (5)$$

Ο όρος L_0 στην τελική εξίσωση (5) αντιπροσωπεύει το συνολικό όξυγόνο που ισοδυναμεί προς το οργανικό φορτίο των ρυπαντών σε χρόνο μηδέν (ήτοι στην αρχή πρό της έναρξης της διαδικασίας όξειδώσεως (βιοχημικής αφομοιώσεως), ενώ το L_t αντιπροσωπεύει το μέγεθος των οργανικών ουσιών που παραμένουν άνοξειδωτοι στο φορέα σε χρόνο t και αφομοιώνεται (όξειδώνονται) σε μεταβολή που ακολουθεί καμπύλη έκθετική όπως παρουσιάζεται σχηματικά ως κάτωθι:



Εικών 1. Σχηματική παράσταση μεταβολής Διαλελυμένου Όξυγόνου (Ίσοδυνάμου Όργανικών Ουσιών) με το χρόνο.

$$\begin{aligned}
 & Y_t = L_o - L_t \quad (6): \text{BOD}_t \text{ του λύματος σέ χρόνο } t \\
 \text{ή} & Y_t = L_o - L_o e^{-k_t} \quad (7) \text{ με αντικατάσταση της } (5) \\
 & Y_t = L_o (1 - e^{-k_t}) \quad (8)
 \end{aligned}$$

Ἡ ποσότης τοῦ ὀξυγόνου πού χρησιμοποιήθηκε γιὰ τὴν κατανάλωση-ὀξειδωση τῶν ὀργανικῶν οὐσιῶν σέ χρόνο t (δηλ. τὸ ἐξαχθὲν BOD) μπορεῖ νὰ βρεθῆ ἀπὸ τὴν τιμὴ τοῦ L_t τῆς ἐξίσωσως (5). Ἐὰν L_o εἶναι τὸ ὀξυγόνο τὸ ἰσοδύναμο μὲ τὴν ὀλικὴ μάζα τῶν ὀργανικῶν οὐσιῶν — πρὶν ἀρχίσει ἡ διαδικασία τῆς ὀξειδώσεως —, τότε ἡ διαφορὰ μεταξὺ τῶν τιμῶν L_o καὶ L_t εἶναι τὸ ἰσοδύναμο τοῦ καταναλωθέντος ὀξυγόνου — ἥτοι τὸ BOD πού ἔχει ἤδη χρησιμοποιηθεῖ (ἥτοι «ἐξαχθεῖ») ἀπὸ τὸν ὄγκο τοῦ λύματος (BOD Exerted). Μαθηματικῶς ἡ διατύπωση ἔχει ὡς ἐξῆς:

$$\begin{aligned}
 & Y_t = L_o - L_t \quad (6): \text{BOD}_t \text{ του λύματος σέ χρόνο } t \\
 \text{ή} & Y_t = L_o - L_o e^{-k_t} \quad (7) \text{ με αντικατάσταση της } (5) \\
 & Y_t = L_o (1 - e^{-k_t}) \quad (8)
 \end{aligned}$$

Ἡ τιμὴ βεβαίως τῆς παραμέτρου Y_t πλησιάζει ἀσυμπτωτικὰ τὴν τιμὴ τοῦ L_o πού σημαίνει πρακτικὰ πὼς τὸ ἀνώτατο ἐξαχθὲν μέγεθος (Ultimate BOD) εἶναι ἰσοδύναμο μὲ τὴν ἀρχικὴ ποσότητα τοῦ διαλελυμένου ὀξυγόνου τοῦ ὑδάτινου φορέως L_o . Ἡ ἐξίσωση (8) ἀντιπροσωπεύει τὸ ὄλο χρησιμοποιηθὲν (ἐξαχθὲν) BOD ἀπὸ τὴν παράμετρο τοῦ ἀνθρακος τοῦ ὀργανικοῦ συμπλόκου (BOD Exerted by the Carbon Component of the Organic Compounds) αὐτὸ πού ὀνομάζουμε Carbonaceous Ultimate BOD. Οἱ δύο ἄλλες συνιστᾶσες τῶν ὀργανικῶν οὐσιῶν, ὅπως τὸ ἄζωτο (Nitrogen) καὶ τὸ θειάφι, (Sulfur) μποροῦν νὰ «ὀξειδωθοῦν» ἀπὸ μικροοργανισμοὺς καὶ δίνουν ἀνάλογα μεγέθη βιοχημικῶς ἀπαιτούμενου ὀξυγόνου (Nitrogenous BOD). Οἱ τιμὲς τῆς σταθερᾶς τῆς ἀντιδράσεως k γιὰ ἓνα ὀργανικὸ σύμπλοκο (Organic Compound) εἰδικῆς συστάσεως ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴ θερμοκρασία τοῦ λύματος πού δίδεται ἀπὸ τὴν ἐξίσωση πού εἶναι τὸ μοντέλο Van't Hoff-Arrhenius: (17) ἥτοι:

$$k_T = k_{20} \Theta^{T-20} \quad (9)$$

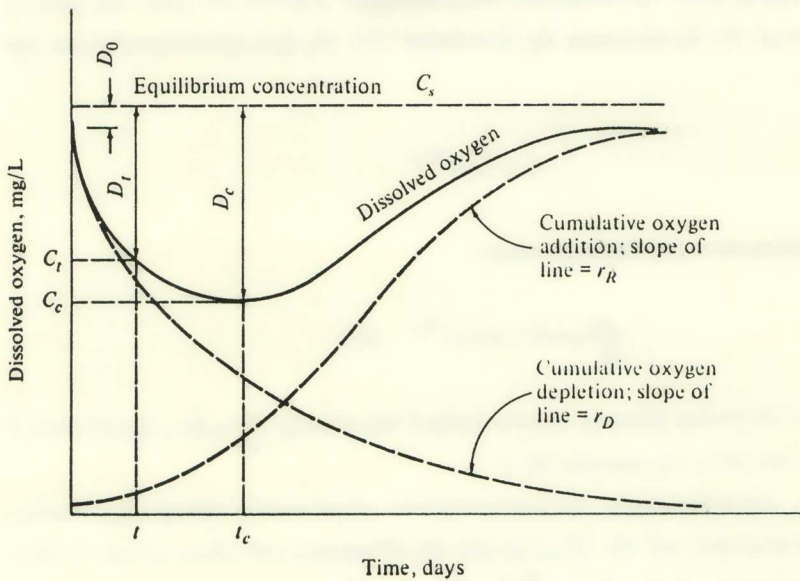
ὅπου k_T = ἡ τιμὴ τῆς σταθερᾶς γιὰ οἰαδήποτε θερμοκρασία T

k_{20} = ἡ τιμὴ τῆς σταθερᾶς σέ θερμοκρασία 20°C

Θ = ἡ ἀριθμητικὴ τιμὴ τῆς μεταβλητῆς εἶναι 1.047 (ἡ ὁποία γενικὰ μεταβάλλεται μὲ τὴ θερμοκρασία).

Εἰδικοί πίνακες δίνουν τὶς τιμὲς k ($d^{-1} = \frac{1}{\text{Day}}$)

Στην πρακτική περίπτωση του έντοπισμού και άποτιμήσεως του έρωτήματος ποιό είναι το έλλειμμα του διαλελυμένου οξυγόνου σε ένα φυσικό ύποδοχέα (ποταμό ή λίμνη) — για να μπορέσουμε βάσει τούτου να καθορίσουμε το πλαίσιο του υγειονομικού προγράμματος —, το πρόβλημα είναι πιό δύσκολο. Δεν έχουμε — όπως άνωτέρω — μόνο την περίπτωση του χρησιμοποιούμενου οξυγόνου (Oxygen Utilization) αλλά και την ταυτόχρονη έπανοξυγόνωση-έπαναερισμού (Reaeration). Οί δύο διαδικασίες Oxygen Utilization και Reaeration λαμβάνουν χώρα συγχρόνως και έχουν έντελώς αντίθετες επιπτώσεις στο έλλειμμα του οξυγόνου του φορέως «Oxygen Deficit», όπως παρουσιάζεται σχηματικά στην καμπτομένη («βυθιζόμενη») καμπύλη της μεταβολής του οξυγόνου. (Oxygen Sag Curve).



- Εικών 2. Χαρακτηριστικά της μεταβολής της καμπύλης Όξυγόνου όπως δείκνυται είναι:
- (i) ή μεταβολή του Διαλελυμένου Όξυγόνου (Dissolved Oxygen).
 - (ii) ή άθροιστική παροχή οξυγόνου από τον έπαναερισμό του φορέως (Cumulative Oxygen Addition) με έφαπτομενική κλίση της καμπύλης έπαναερισμού (Slope of line r_D).
 - (iii) ή άθροιστική εξάντληση του οξυγόνου (Cumulative Oxygen Depletion) με έφαπτομενική κλίση της καμπύλης r_D εξάντλησης (Slope of line r_D).

Η άνωτέρω σύνθετη διπλή διαδικασία μπορεί να έκφρασθεί μαθηματικώς ως άλλαγή του έλλειμματος οξυγόνου D , ως το άθροισμα δύο έλλειμμάτων ήδη των δύο άντιδράσεων

«εξάντλησης» (*Depletion as r_D*) και επανοξυγόνωσης (επαναερισμοῦ) *Reaeration as r_R*).

Ἡ μαθηματικὴ διατύπωση εἶναι τότε τῆς μορφῆς:

$$\frac{dD}{dt} = r_D + r_R = k_1 L_t - k_2 D \quad (10)$$

Ἡ πραγματικὴ τιμὴ τῆς συγκέντρωσης τοῦ ὀξυγόνου (*Actual Oxygen Concentration*) ($C_s - D$) ἔχει τὴ χαρακτηριστικὴ κάμψη (βάθεμα) πρὸς τὰ κάτω ὅπως παρουσιάζεται στὴ σχηματικὴ εἰκόνα (2), ποὺ μᾶς δίνει τὸν καθιερωμένο ὄρο *Oxygen Sag Curve*, ποὺ συνήθως περιγράφει τὴν ὅλη πλοκὴ τῆς διαδικασίας (22).

Τὸ ἔλλειμμα ὀξυγόνου, ἥτοι ἡ συγκέντρωση τοῦ ὀξυγόνου σὲ οἰοδήποτε σημεῖο τοῦ ὑδάτινου ὑποδοχέως μετὰ τὴν ἀπόρριψη τοῦ ρυπαντικοῦ φορτίου (σὲ χῶρο καὶ χρόνο), προσδιορίζεται μὲ τὴν ὀλοκλήρωση τῆς ἐξίσωσης (10). Ὡς ἔχει προσδιορισθεῖ ἀπὸ τὴν ἐξίσωση (5)

$$L_t = L_0 e^{-k_1 t}$$

καὶ μὲ ἀντικατάσταση στὴν (10) λαμβάνουμε:

$$\frac{dD}{dt} + k_2 D = k_1 L_0 e^{-k_1 t} \quad (11)$$

Ἡ ἐξίσωση (11) εἶναι ἐξίσωση πρώτου βαθμοῦ τῆς μορφῆς $\frac{dy}{dx} + Py = Q$ (12) ὅπου P καὶ Q εἶναι συναρτήσεις τῆς μεταβλητῆς x .

Ἡ χρῆση «ὀλοκληρωτικοῦ πολλαπλασιαστοῦ» (παράγοντος) (*Integrating Factor*) $\exp(\int P dx)$ εἶναι ἀναγκαία γιὰ τὴν ὀλοκλήρωση τῆς ἐξίσωσης τοῦ εἶδους αὐτοῦ. Ὁ ὀλοκληρωτικὸς πολλαπλασιαστὴς εἶναι: $e^{\int k_2 dt} = e^{k_2 t}$ (12)

Πολλαπλασιάζοντες καὶ τὰ δύο μέλη τῆς ἐξίσωσης (11) μὲ τὸ συντελεστὴ $e^{k_2 t}$ ἔχουμε:

$$e^{k_2 t} \frac{dD}{dt} + k_2 D e^{k_2 t} = k_1 L_0 e^{(k_2 - k_1)t} \quad (13)$$

Τὸ ἀριστερὸ μέρος τῆς ἐξίσωσης μπορεῖ νὰ πάρει τὴ μορφή:

$$e^{k_2 t} \frac{dD}{dt} + k_2 D e^{k_2 t} = \frac{d}{dt} (D e^{k_2 t}) \quad (14)$$

Με διαχωρισμό τῶν μεταβλητῶν καὶ ολοκλήρωση λαμβάνουμε.

$$\int dDe^{k_2 t} = k_1 L_0 \int e^{(k_2 - k_1)t} dt \quad (15)$$

ἢ ολοκλήρωση τῆς ὁποίας δίνει ὡς ἀποτέλεσμα:

$$De^{k_2 t} = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} (e^{(k_2 - k_1)t}) + C \quad (16)$$

Ὁ καθορισμὸς τῆς σταθερᾶς τῆς ολοκληρώσεως C θὰ προσδιορισθεῖ ἀπὸ γνωστὲς ὀριακὲς συνθῆκες (Boundary Conditions) ποὺ εἶναι οἱ ἑξῆς: (17, a,b)

σὲ χρόνον μηδὲν $t = 0$ τὸ ἔλλειμμα ὀξυγόνο D

ἔχει τιμὴ $D = D_0$

$$\text{οὕτω:} \quad D_0 = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} 1 + C \quad (18) \quad (e^{(k_2 - k_1)t} = 1 \text{ for } t = 0)$$

$$\text{καὶ} \quad C = D_0 - \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} \quad (19)$$

Ἡ τελικὴ λύση λαμβάνει τὴ μορφή:

$$De^{k_2 t} = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} (e^{(k_2 - k_1)t} + D_0 - \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1}) \quad (20)$$

$$\text{ἢ} \quad D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} \left(\frac{e^{(k_2 - k_1)t}}{e^{k_2 t}} \right) - \frac{k_1 L_0}{(k_2 - k_1)} e^{k_2 t} + \frac{D_0}{e^{k_2 t}} \quad (21)$$

$$\text{ἢ} \quad D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + D_0 e^{-k_2 t} \quad (22)$$

Στὴν ἐξίσωση (22), t , ἀντιπροσωπεύει τὸ χρόνο διαδρομῆς σ' ἕνα υδάτινο φορέα ἀπὸ τὸ σημεῖο ἀπόρριψης καὶ εἶναι ἡ μόνη ἀνεξάρτητη μεταβλητὴ τῆς ἐξίσωσεως. Ὁ χρόνος διαδρομῆς ἀπὸ τὸ σημεῖο τῆς ἀπόρριψης πρὸς οἰοδήποτε σημεῖο πρὸς τὰ κατάντη δίδεται ἀπὸ

$$t = \frac{X}{U} \quad (23)$$

ὅπου X εἶναι ἡ ἀπόσταση καὶ U ἡ ταχύτης ροῆς τοῦ ρεύματος (οἱ μονάδες τοῦ χρόνου πρέπει νὰ εἶναι σὲ ἡμέρες γιὰ νὰ ἔχουμε ὁμοιότητα διαστάσεως μετὰ τὸ συντελεστὴ τῆς βιοχημικῆς ἀντιδράσεως k). Ἡ ἀντικατάσταση τῆς τιμῆς τοῦ χρόνου t στὴν ἐξίσωση (22)

θά δώσει την τιμή τῆς παραμέτρου τοῦ ἔλλειμματος τοῦ ὀξυγόνου D γιὰ τὸ σημεῖο αὐτὸ τοῦ χρόνου κατὰ μῆκος τοῦ ὑποδοχέως.

Τὸ πιὸ σημαῖνον ἀσφαλῶς σημεῖο στὴν «καμπτομένη» πρὸς τὰ κάτω καμπύλη τοῦ ὀξυγόνου (*Oxygen Sag Curve*) εἶναι τὸ χαμηλότερο σημεῖο τῆς καμπύλης ποὺ δείχνει τὴ μικρότερη συγκέντρωση τοῦ ὀξυγόνου (*Lowest Oxygen Concentration*) μὲ τὴ μέγιστη ἐπίπτωση στὸ διαλυμένο ὀξυγόνο λόγῳ τῆς ἀπορρίψεως τοῦ ρυπαντικοῦ φορτίου (*Maximum impact on the Dissolved Oxygen due to Wastewater Load*). Αὐτὸ τὸ σημεῖο ὀνομάζεται κρίσιμο ἔλλειμμα ὀξυγόνου D_c (*Critical Deficit, D_c*) καὶ ὁ χρόνος τῆς διαδρομῆς στὸ σημεῖο αὐτὸ κρίσιμος χρόνος t (*Critical Time t_c*)

Μὲ τὴ θεώρηση (καὶ σκέψη) τῆς ὀριακῆς συνθήκης πὼς ἡ μεταβολὴ τοῦ ἔλλειμματος τοῦ ὀξυγόνου εἶναι μηδέν στὸ μέγιστο ἔλλειμμα ὀξυγόνου (*at the Maximum Deficit*), ἡ ἔκφραση for D_c μπορεῖ νὰ προσδιορισθεῖ ἀπὸ τὴν ἐξίσωση (11) ὡς ἐξῆς:

$$O + k_2 D_c = k_1 L_0 e^{-k_1 t_c} \quad (24) \quad (\text{καθόσον } \frac{dD}{dt} \text{ at } t_c)$$

$$\eta \quad k_2 D_c = k_1 L_0 e^{-k_1 t_c} \quad (25)$$

$$\eta \quad D_c = \frac{k_1}{k_2} L_0 e^{-k_1 t_c} \quad (26)$$

Ἡ ἀκριβὴς λύση τῆς ἐξίσωσης ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ἀριθμητικὴ τιμὴ τῆς μεταβλητῆς t_c ποὺ εἶναι δύσκολο νὰ ἀποτιμηθεῖ. Πρὸς τοῦτο ἡ ἐξίσωση (22) διαφοριζόμενη τίθεται ἴση πρὸς τὸ μηδέν, καθόσον D_c ἔχει μέγιστη τιμὴ σὲ κριτικὸ χρόνο t_c :

$$O = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} \left(-k_1 e^{-k_1 t_c} + k_2 e^{-k_2 t_c} \right) - k_2 D_c e^{-k_2 t_c} \quad (27)$$

Διαιροῦμε ὅλους τοὺς ὄρους μὲ $e^{-k_2 t_c}$ ἔχουμε

$$O = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} \left(-k_1 e^{(k_2 - k_1)t_c} + k_2 \right) - k_2 D_c \quad (28)$$

$$\eta \quad k_2 D_c \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} = k_2 - k_1 e^{(k_2 - k_1)t_c} \quad (29)$$

$$\eta \quad k_1 e^{(k_2 - k_1)t_c} = k_2 - D_c \left(\frac{k_2}{k_1} \right) \left(\frac{k_2 - k_1}{L_0} \right) \quad (30)$$

Διαιροῦμε ὅλους τοὺς ὄρους τῆς ἐξίσωσως μὲ k_1 καὶ λαμβάνουμε τὸ λογάριθμο καὶ

τῶν δύο πλευρῶν

$$(k_2 - k_1)^{t_c} = \ln \left[\frac{k_2}{k_1} - D_0 \left(\frac{k_2}{k_1} \right) \left(\frac{k_2 - k_1}{L_0} \right) \right] \quad (31)$$

ἢ στὸ καθιερωμένο τύπο

$$t_c = \frac{1}{k_1 - k_1} e^{\left[\frac{k_2}{k_1} - D_0 \left(\frac{k_2}{k_1} \right) \left(\frac{k_2 - k_1}{L_0} \right) \right]} \quad (32)$$

ἢ ἐν λόγῳ ἐξίσωσης, ὅταν οἱ συντελεστὲς k_1 , k_2 «ἐξαντλήσεως» (Depletion) καὶ «ἐπαναερισμοῦ» (Reaeration) μποροῦν νὰ προσδιορισθοῦν μὲ ἐπαρκῆ προσέγγιση, καθορίζει με ἀκρίβεια τὴν κρίσιμη στάθμη τοῦ ὀξυγόνου (Critical Oxygen Level) τοῦ ρεύματος καὶ τὴ θέση στὸ ρεῦμα ποῦ ἡ κρίσιμη στάθμη λαμβάνει χώρα.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Ἡ κατανάλωση καὶ ἡ ἀπορρίψη στὸ φυσικό, οἰκοσύστημα μεγάλων ποσοτήτων «ὑλης-μάζας» καὶ «ἐνέργειας» μεγέθους μεγαλύτερου τῆς χωρητικότητας τοῦ οἰκοσυστήματος (Mass and Energy Consumption and Discharge Beyond the Capacity of the System) συνιστᾷ στὴν πρακτικὴ πλευρὰ τῆς ρύπανσης. Συνέπεια τούτου εἶναι ἡ ἀδυναμία λειτουργίας τοῦ οἰκοσυστήματος ἢ ἡ «θραύση» του (Ecosystem Breakdown).

2. Οἱ ἀπορρίψεις «μάζας-ἐνέργειας» (Ρύπανση) ἔχουν τὴ μορφή ὑγρῶν: οἰκιακῶν ἢ βιομηχανικῶν λυμάτων ἢ ἀερίων-καυσαερίων πάσης μορφῆς ἢ ὑγρῶν ἀποβλήτων ὑψηλῆς θερμοκρασίας (θερμαὶ ἐκροαὶ θερμοηλεκτρικῶν ἢ θερμοπυρηνικῶν σταθμῶν). Καὶ στίς δύο αὐτὲς περιπτώσεις «ὕλικῶν ρυπαντῶν» ἢ «θερμικῶν ἐκροῶν», ἡ ὅλη βιοχημικὴ καὶ βιολογικὴ λειτουργία καὶ ἐπέκεινα ἢ οἰκολογικὴ ἰσορροπία τοῦ οἰκοσυστήματος ἀπειλεῖται ἢ ἀνατρέπεται, ἐὰν δὲν ληφθοῦν τὰ «δέοντα» σὲ τόπο καὶ χρόνο μέτρα ἀποτροπῆς τῆς ἀπειλῆς, δηλ. ἀπομακρύνσεως τῶν ρυπαντῶν ἀπὸ τὸ φυσικὸ ἢ ἀνθρωπογενὲς οἰκοσύστημα (Ἀνατροπὴ τῶν βιοχημικῶν κύκλων → Ἀνακοπὴ φωτοσυνθέσεως → διακοπὴ ἀνακυκλώσεως βασικῶν στοιχείων καὶ ὀργανικῶν συμπλόκων καὶ τροφικῆς ἀλυσίδας ⇒ Ρύπανση, μόλυνση, καὶ θραύση τῆς οἰκολογικῆς ἰσορροπίας-βιολογικῆς ποικιλίας (Breakdown of Ecological Balance and Diversity).

3. Οἱ τεράστιες αὐτὲς ἀπορρίψεις μάζας καὶ ἐνέργειας εἶναι καρπὸς (καὶ ἀποτέλεσμα) τοῦ τεχνολογικοῦ πολιτισμοῦ τῆς ἐποχῆς μας, τῆς ἐκβιομηχανίσεως, τῆς ἐκθετικῆς αὐξήσεως συγκοινωνιακῶν μέσων καὶ ὀχημάτων (ἐσωτερικῆς καύσεως) καὶ γενικῶς τοῦ ὑψηλοῦ βαθμοῦ βιοτικοῦ ἐπιπέδου καὶ ποιότητος ζωῆς, ἰδιαίτερα τῶν ἀνεπτυγμένων βιομηχανικῶν «χωρῶν τοῦ Βορᾶ».

Ὁ πρωτόγονος ἄνθρωπος — παράδειγμα χαρακτηριστικό — ζοῦσε μὲ ἡμερησίᾳ «κατανάλωση» (2000) δύο χιλιάδων χολιοθερμίδων (κάλυψη «ἀναγκῶν»: περιλαμβάνεται ἐδῶ ἡ τροφή, θέρμανση, μετακίνηση, κ.λπ.). Ὁ σημερινὸς κάτοικος χώρας μέσης βαθμίδος ἀναπτύξεως χρειάζεται (100.000) ἑκατὸ χιλιάδες περίπου χολιοθερμίδες τὴν ἡμέρα, ἐνῶ ὁ κάτοικος χώρας ὑψηλῆς τεχνολογικῆς ἀναπτύξεως χρειάζεται (200.000) διακόσιες χολιοθερμίδες τὴν ἡμέρα περίπου. Ρύπανση-φαινόμενο καθαρῶς «τεχνητῆς» φύσεως — εἶναι ἀκριβῶς αὐτὴ ἡ ὑπερκατανάλωση ὕλης-μάζας-ἐνέργειας ἀπὸ δισεκατομμύρια καταναλωτῶν.

4. Μόλυνση — μικροβιολογικῆς ἢ πυρηνικῆς μορφῆς (ραδιενέργεια) εἶναι μιὰ ἄλλη μορφή ρυπάνσεως-ἀπειλῆς ἄμεσης τῆς δημόσιας υἱείας (ἐπιδημίες ἢ ραδιενέργεια (Chernobyl-April 1986).

5. Οἱ «ρίζες» τῆς ρυπάνσεως: (α) Ὑψηλές καταναλώσεις «φυσικῶν» καὶ «βιομηχανοποιημένων» ἀγαθῶν (natural and manufactured resources), (β) Πληθυσμιακὸς γιγαντισμὸς: Τὸ 1 δισεκατομμύριο πληθυσμοῦ τῆς Γῆς στὶς ἀρχές τοῦ 17ου αἰῶνα περίπου ἐγγίζει τὰ 5 περίπου δισεκατομμύρια σήμερα, τὰ 6,5. δισ. πιθανὸν τὸ 2020.

6. Ἡ λύση τοῦ προβλήματος τῆς ρυπάνσεως-μολύνσεως-οἰκολογικῆς διαταραχῆς: Εἶναι ὁ λυσιτελὴς βιολογικὸς καθαρισμὸς τῶν ὑγρῶν οἰκιακῶν λυμάτων καὶ ἡ παρακράτηση τῶν ρυπαντῶν, ἀπορρίψεων-ἀποβλήτων πάσης μορφῆς (ὕγρων, ἀερίων καὶ στερεῶν), ἥτοι συγκράτηση τοῦ μεγαλύτερου μεγέθους τῆς ἀπορριπτομένης μάζης-ὕλης ἐνεργείας στὸ φυσικὸ ὑποδοχέα (οἰκοσύστημα). Αὐτὴ ἡ σημαντικὴ μείωση τῆς ρυπαντικῆς ἰσχύος τῶν ἀποβλήτων, ἀνάλογης πρὸς τὴ «χωρητικότητα» καὶ τὴ δύναμη ὀξειδώσεως-ἀφομοιώσεως τοῦ ὑποδοχέως (assimilation-oxidation) τῶν ρυπαντῶν ἀπὸ τὸ οἰκοσύστημα, εἶναι ὁ στόχος μας.

7. Θερμικὴ Ρύπανση: Στὴν περίπτωση θερμικῆς ρυπάνσεως ἐνδείκνυται ὑψηλὸς βαθμὸς διαλύσεως (High Dilution Rate) τῶν θερμικῶν ἀποβλήτων, ἥτοι ὁ ὑποβιβασμὸς τῆς θερμοκρασίας τῶν «ἐκροῶν» τῶν «συμπυκνωτῶν» (Condensers) τῶν θερμικῶν ἐργοστασίων (κλασικῶν καυσίμων ἢ θερμοπυρηνικῶν σταθμῶν). Πρὸς τοῦτο ἀπαιτοῦνται ὑψηλές παροχές ψυχροῦ ὕδατος. Ὁ ὑποβιβασμὸς θερμοκρασίας συντελεῖ στὴν προστασία ὀργανισμῶν τῆς θαλάσσιας ζώνης (Biota). Παροχὴ τῆς τάξεως 2-2.5 κυβικῶν ποδιῶν νεροῦ κατὰ δευτερόλεπτο (ft³/sec) γιὰ ἐγκαταστημένη ἰσχύ ἐνὸς μεγαβάτ MW= 1000 KW), εἶναι παροχὴ τεραστία, καὶ ἀποτελεῖ τὸ τεχνικὸ κριτήριον ἐγκαταστάσεως θερμοηλεκτρικῶν σταθμῶν.

8. Πρὸ τῆς ἀπορρίψεως ἐνδείκνυται ὁ Βιολογικὸς καθαρισμὸς τῶν λυμάτων καὶ ὁ ὑποβιβασμὸς τοῦ BOD κατὰ 80-90%.

a. Καίριος εἶναι ὁ ρόλος τοῦ διαλελυμένου ὀξυγόνου DO (Dissolved oxygen) στὸν

υδάτινο φορέα ως καίριας παραμέτρου ζώης τῶν ὀργανισμῶν τοῦ φορέως (ἀναπνοή-respiration) καὶ τῶν μικροβίων-μικροοργανισμῶν τοῦ φορέως ὡς κύριων «ἐργατῶν» (Operators) διασπάσεως-ὀξειδώσεως τῶν ὀργανικῶν συμπλόκων τῶν ρυπαντῶν ποῦ εἶναι ἡ τροφή τῶν ὀργανισμῶν αὐτῶν τοῦ υδάτινου φορέως.

b. Ὁ ρόλος τοῦ Βιοχημικῶς Ἀπαιτουμένου Ὁξυγόνου BOD (Biochemical Oxygen Demand) ὡς παραμέτρου ρυπαντικῆς ἰσχύος (συλλογικοῦ δείκτου ρυπαντῶν) εἶναι θεμελιώδης. Ἰσχυρὴ σύνθεση ὀργανικῶν οὐσιῶν BOD ἀπαιτεῖ εἰδικὴ ἐπεξεργασία ὡς ἐξετέθη ἀνωτέρω καὶ ἐπάρκεια ὀξυγόνου γιὰ τὴ διάσταση καὶ ἀποδόμησή τους (Biodegradation).

ΕΙΚΟΝΕΣ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ: ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ - ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ

Ἡ εἰκὼν 3 παρουσιάζει τὴν ἐκθετικὴ αὐξήση τοῦ πληθυσμοῦ τῆς Γῆς στὶς τελευταῖες ἑκατονταετίες.

Ἡ εἰκὼν 4 δίνει τὴ σχηματικὴ παράσταση-διάγραμμα τῶν διαδικασιῶν μετατροπῆς ὕλης (μάζης) καὶ ἐνεργείας.

Ἡ εἰκὼν 5 παρουσιάζει τὴ «μακροχρόνιο» μεταβολὴ καὶ δίαιτα τοῦ βιοχημικῶς ἀπαιτούμενου ὀξυγόνου στὶς δύο φάσεις του: ἀπαιτούμενος ἄνθραξ (Carbon Demand) καὶ ἀπαιτούμενο ἄζωτο (Nitrogen Demand).

Ἡ εἰκὼν 6 δείχνει τὶς τυπικὲς μορφὲς μεταβολῆς-ἐξαντλήσεως τοῦ διαλελυμένου ὀξυγόνου σὲ πείραμα BOD.

Ἡ εἰκὼν 7 εἶναι πίναξ τῆς διαλυτότητος τοῦ ἐλεύθερου ὀξυγόνου σὲ ὑδάτινο φορέα.

Ἡ εἰκὼν 8 παρουσιάζει τοὺς Βιοχημικοὺς κύκλους τοῦ ἄνθρακος, ἄζωτου καὶ θείου σὲ ἀερόβιο καὶ ἀναερόβιο διαδικασίᾳ.

Ἡ εἰκὼν 9 δείχνει σχηματικὰ τὶς διαδικασίαις πρωτογενοῦς, δευτερογενοῦς καὶ προχωρημένου βιολογικοῦ καθαρισμοῦ τῶν λυμάτων.

Ἡ εἰκὼν 10 παρουσιάζει τὴ χρῆση (κατανάλωση) τῶν τροφῶν τῶν ρυπαντῶν ἀπὸ τοὺς μικροοργανισμοὺς σὲ ὑδάτινο φορέα.

Ἡ εἰκὼν 11 δείχνει μιὰ γενικευμένη μορφή μεταβολικῆς διαδικασίας.

Ἡ εἰκὼν 12 δείχνει τὸ διάγραμμα χωνευτοῦ ἰλύος λυμάτων ὑψηλῆς ρυπαντικῆς ἰσχύος δι' ἀναεροβίου χωνεύσεως.

Ἡ εἰκὼν 13 δίδει τὸ διάγραμμα ἀναεροβίου χωνευτοῦ ἰλύος λυμάτων συνήθους μορφῆς.

Ἡ εἰκὼν 14 δίδει τὶς εἰδικὲς καὶ σημαίνουσες παραμέτρους ρυπαντῶν, τὶς πηγές τους καὶ τὶς ἐπιπτώσεις τους στὸ περιβάλλον.

Ἡ εἰκὼν 15 εἶναι ἕνας πίναξ τυπικῆς ἀναλύσεως ρυπαντῶν, οἰκιακῶν λυμάτων.

Ἡ εἰκὼν 16 δίδει τὶς ἀντιδράσεις ἀφομοιώσεως λυμάτων σὲ οἰκοσύστημα μικρῆς λίμνης.

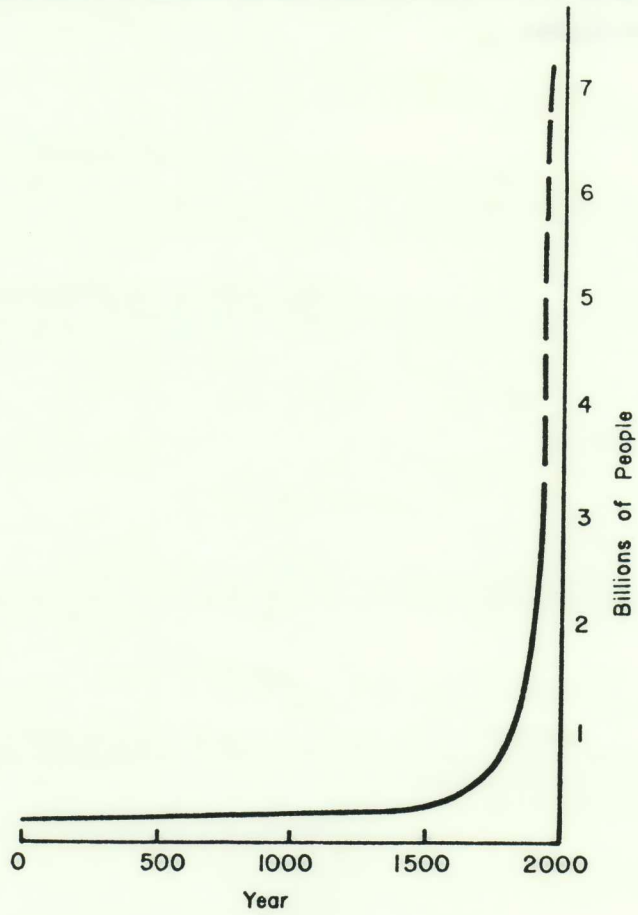
Ἡ εἰκὼν 17 παρουσιάζει ἀναερόβιο χωνευτὴ πρωτογενοῦς καὶ δευτερογενοῦς χωνεύσεως λυμάτων.

Ἡ εἰκὼν 18 δίδει τὴν ἐξίσωση-ἐξισορρόπηση μάζης ὀργανικῶν συμπλόκων (Compounds) λυμάτων ἀναεροβίου χωνεύσεως.

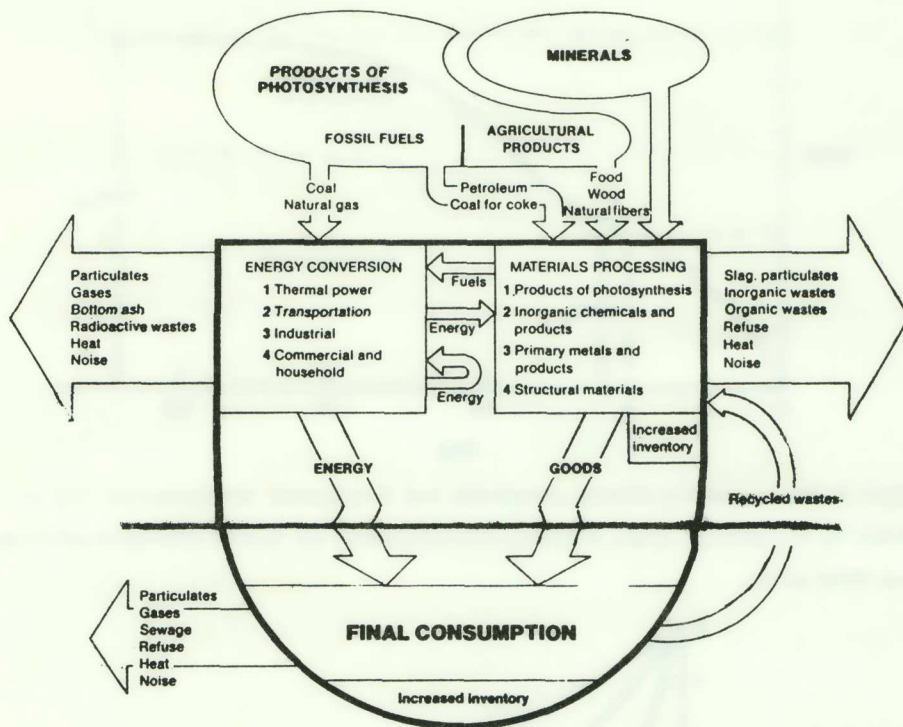
Ἡ εἰκὼν 19 παρουσιάζει τὴν πορεία τῶν διαδικασιῶν καὶ τῶν προϊόντων τῆς ἀναεροβίου χωνεύσεως ἰλύος λυμάτων.

Ἡ εἰκὼν 20 παρουσιάζει τὴ γενικευμένη πορεία τῆς μεταβολικῆς διαδικασίας (Ἀναβολισμός-Καταβολισμός-Ἐνδογενῆς Καταβολισμός). Δημιουργία ρυπαντῶν μάζης καὶ θερμότητος μετὰ βᾶσιν τῆ δραστηριότητος τῶν μικροοργανισμῶν ποὺ «ἄξειδώνουν» τίς ὀργανικὰς οὐσίες τῶν λυμάτων.



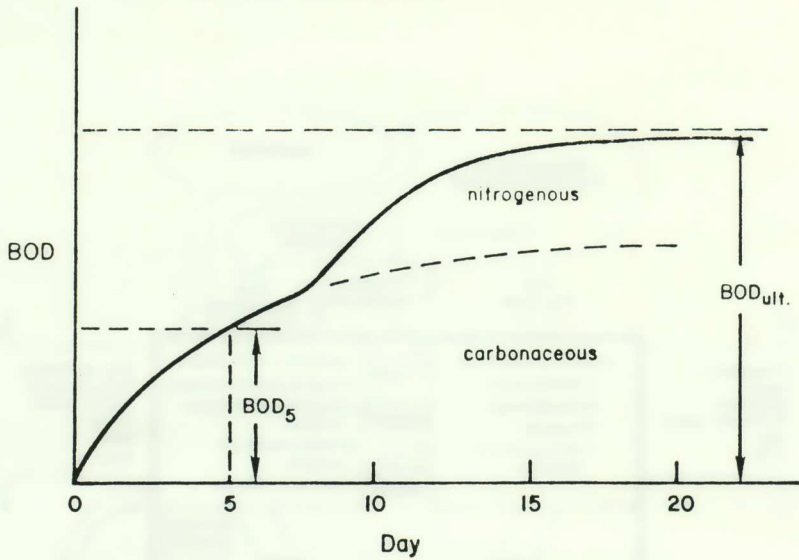


Εικών 3. 'Ο πληθυσμός τῆς Γῆς.

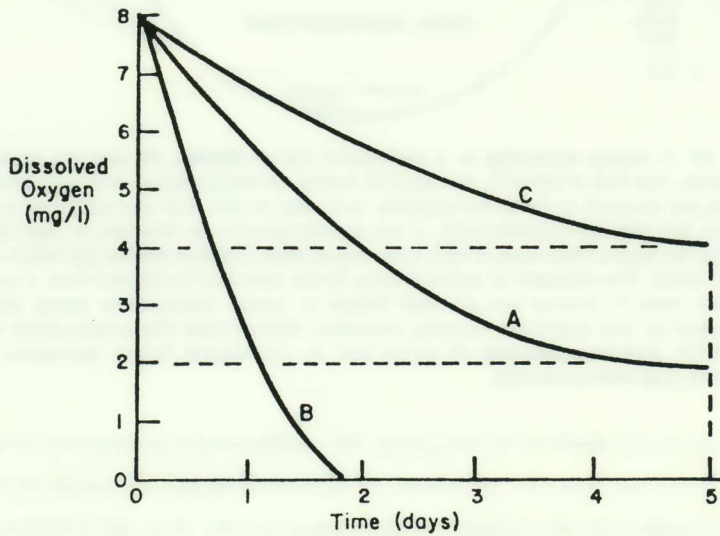


You can't get rid of matter, according to a well-known law of physics. All you can do is transform it. Modern economies, like that of the U.S., are good at taking the concentrated and transforming it into the diffuse; they are not so good at doing the opposite. It is easy to turn coal into pollutants such as fly ash, gases, and soot, but difficult—economically, if not technologically—to turn the fly ash back into, say, cinderblocks. But we have to find ways to slim down those thick pollution arrows and fatten up that skinny recycled-wastes arrow. This diagram of material flows in the economy is adapted from a concept worked out by economist Allen V. Kneese and physicist Robert U. Ayres. Intermediate goods that are neither discarded nor used go into material-processing inventory, distinct from final-consumption inventory. The "final consumption" category embraces all goods that do not require further processing or assembly, regardless of who does the consuming.

Εικόνα 4. Σχηματική παράσταση-διάγραμμα των «διαδικασιών» μετατροπής ενέργειας και ύλης-μάζας, ήτοι των αρχικών «χρήσεων» (γεωργικών-βιομηχανικών-καταναλώσεων) της παραγωγής αγαθών και των τελικών απορρίψεων ρυπαντών ύλης και ενέργειας (θερμική ρύπανση).



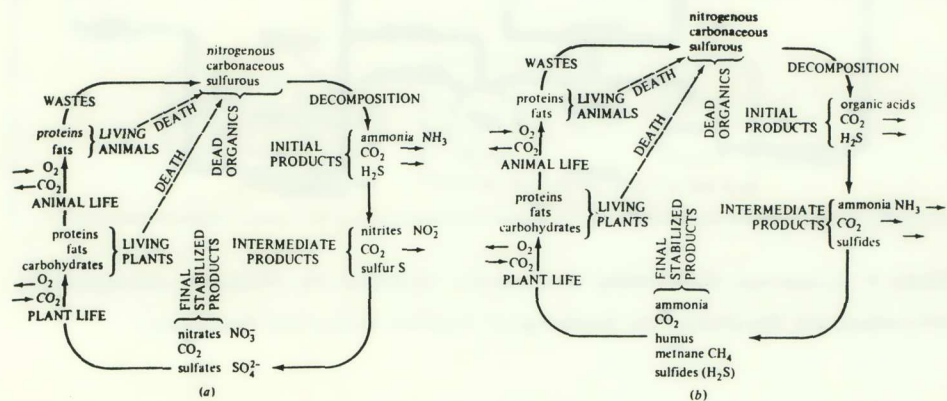
Εικών 5. Μακροχρόνιος δείκτης μεταβολής του Βιοχημικῶς Ἀπαιτούμενου Ὁξυγόνου (BOD) εἰς δύο φάσεις-μορφές ἄνθρακος (Carbonaceous) καὶ ἄζωτου (Nitrogenous) (Long-term BOD curve).



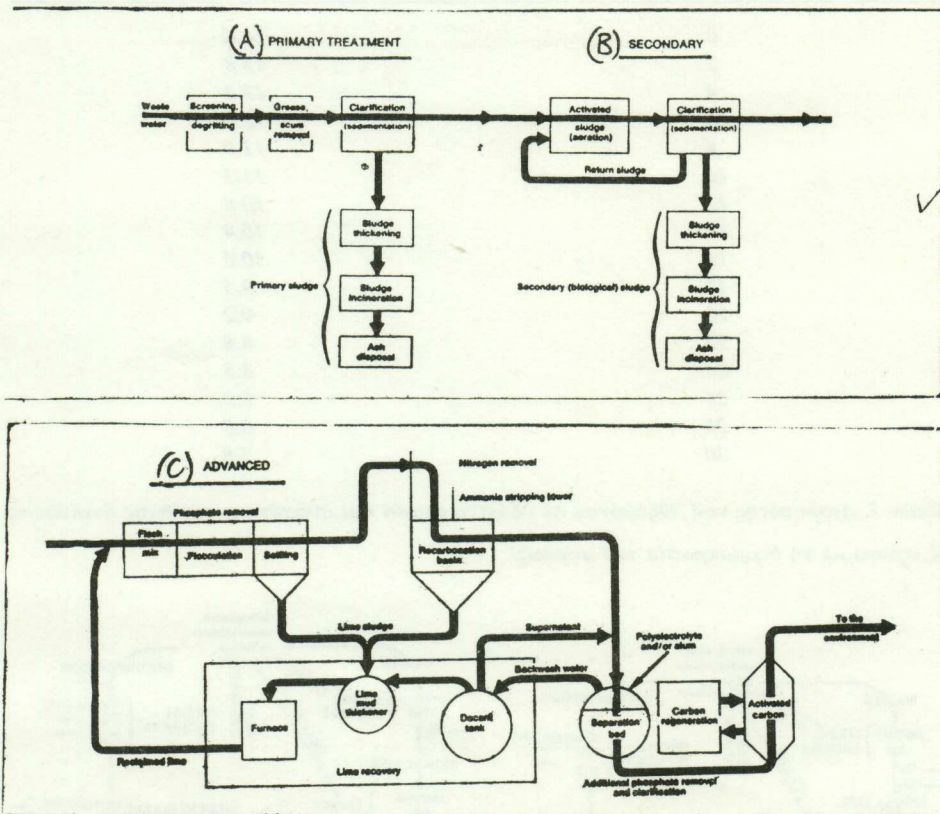
Εικών 6. Τυπικὲς Μορφὲς μεταβολῆς-ἐξαντλήσεως τοῦ διαλελυμένου ὀξυγόνου σὲ πείραμα BOD (Typical Oxygen Uptake curves-BOD Test). Ὁ ρόλος τῶν ἄλλων δεικτῶν ρυπάνσεως ὕδατος (1) αἰωρούμενα στερεὰ (Suspended Solids) (2) χημικῶς ἀπαιτούμενο ὀξυγόνο (COD) (3) Συνολικὸς ὀργανικὸς ἄνθραξ (Total Organic Carbon) (4) pH, (5) Χρῶμα, θολότης (turbidity), ὄσμη.

Temperature of Water °C	Saturation Concentration of Oxygen in Water, mg/t
0	14.6
2	13.8
4	13.1
6	12.5
8	11.9
10	11.3
12	10.8
14	10.4
16	10.0
18	9.5
20	9.2
22	8.8
24	8.5
26	8.2
28	8.0
30	7.6

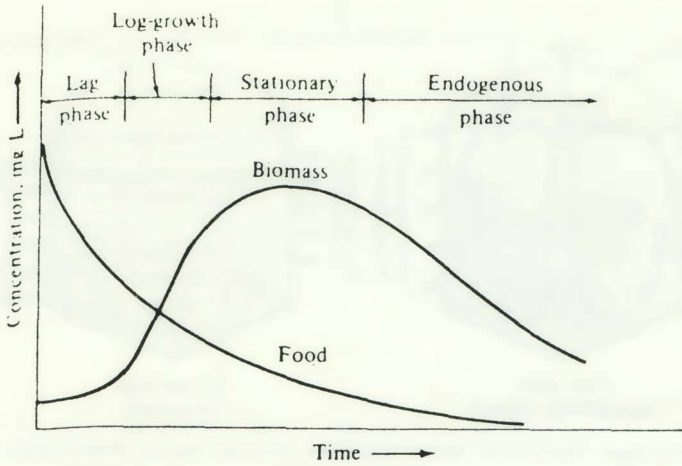
Εικών 7. Διαλυτότης του Όξυγόνου σε υδάτινο φορέα και συσχέτιση μεγίστης διαλύσεως σε σχέση με τη θερμοκρασία του φορέως.



Εικών 8. Οί βιοχημικοί κύκλοι του Άζώτου, του Άνθρακος και του Θείου σε αερόβιο διαδικασία (α) και άναερόβιο διαδικασία (β) (Nitrogen, Carbon and Sulfur Cycles: (a) Aerobic (b) Anaerobic Process).



Εικών 9. Σχηματική Παράσταση Διαδικασιών Πρωτογενούς (Primary), Δευτερογενούς (Secondary) και Προχωρημένου Καθαρισμού Λυμάτων (Advanced Treatment).

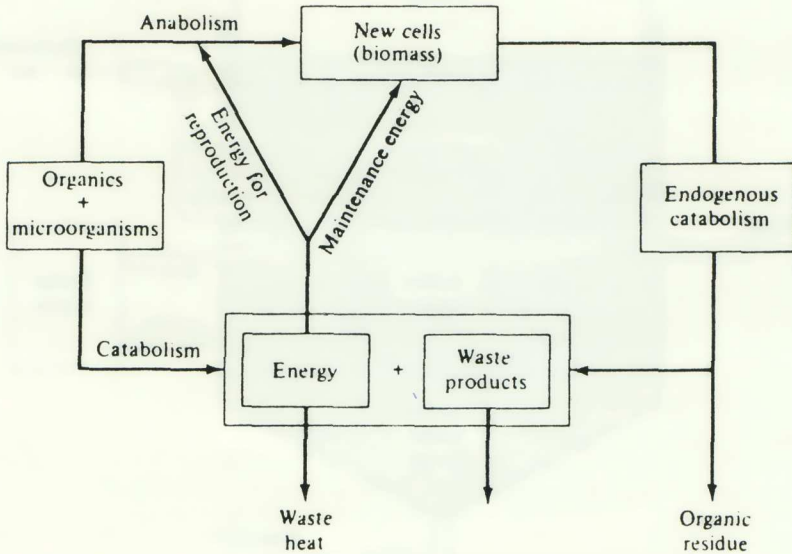


Εἰκὼν 10. Χρήση «τροφῶν» ρυπαντῶν ἀπὸ τοὺς μικροοργανισμοὺς καὶ αὐξηση τῆς βιομάζης στὸν ὑδάτινο φορέα. (Biomass Growth and Food Utilization) Ἡ λογαριθμικὴ φάση αὐξήσεως τῆς βιομάζης ἀκολουθεῖ τὸ νόμο:

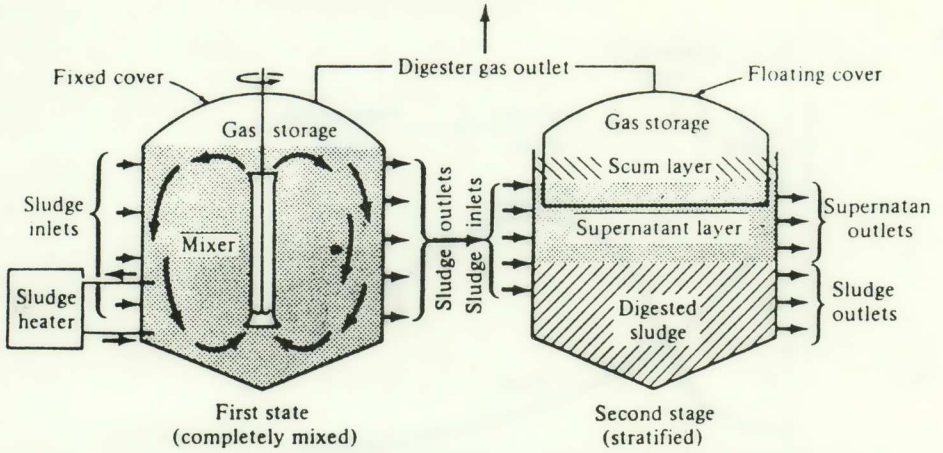
$$\frac{dX}{dt} = kx \text{ ὅπου } \frac{dX}{dt} = \text{αὐξηση βιομάζης (mg/L.t) (growth rate of the biomass)}$$

X = ἡ συγκέντρωση (concentration) τῆς βιομάζης (mg/L)

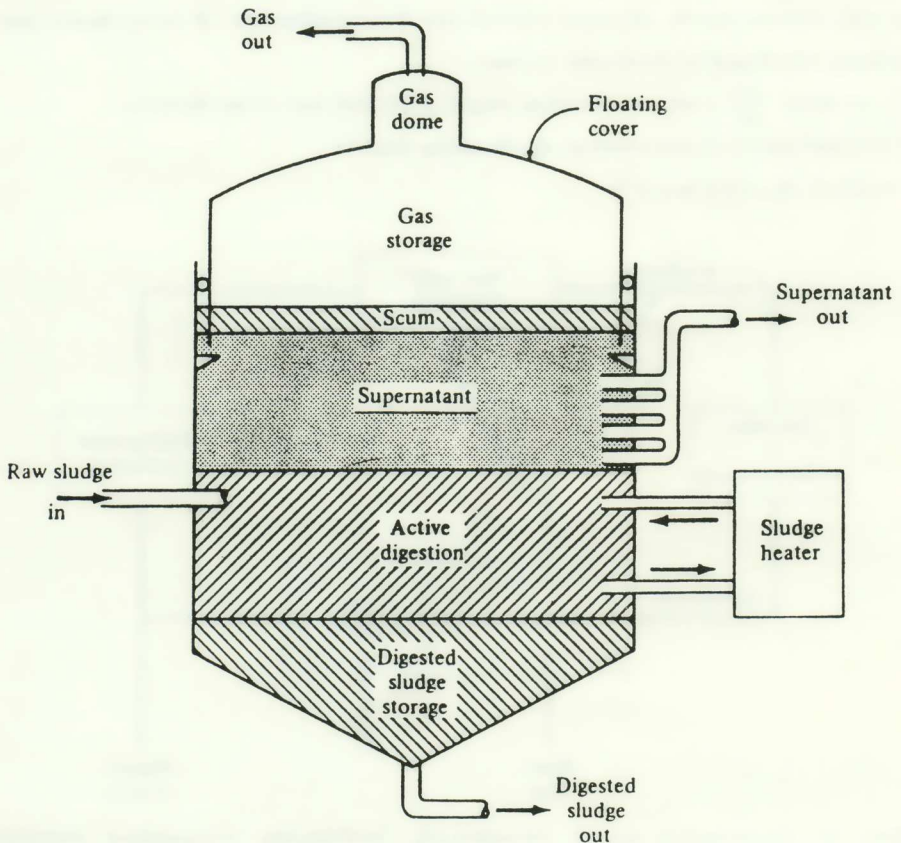
k = σταθερὰ τῆς αὐξήσεως (t^{-1}).



Εἰκὼν 11. Γενικευμένη μορφή Μεταβολικῆς Διαδικασίας (Generalized Metabolic Pathway).



Εικών 12. Διάγραμμα Χωνευτού Ίλτος Λυμάτων υψηλής ισχύος άναεροβίου χωνεύσεως δύο σταδίων. (Diagram of High Rate, two-stage Sludge Digester (From Linsley & Franzini)).



Εικών 13. Διάγραμμα Άναεροβίου Χωνευτού Ίλτος Λυμάτων καθιερωμένου τύπου (Παραγωγή Μεθανίου Άερίου από την άναερόβιο χώνευση τών Ρυπαντών λυμάτων (Diagram of a Standard Rate Anaerobic Digester)).

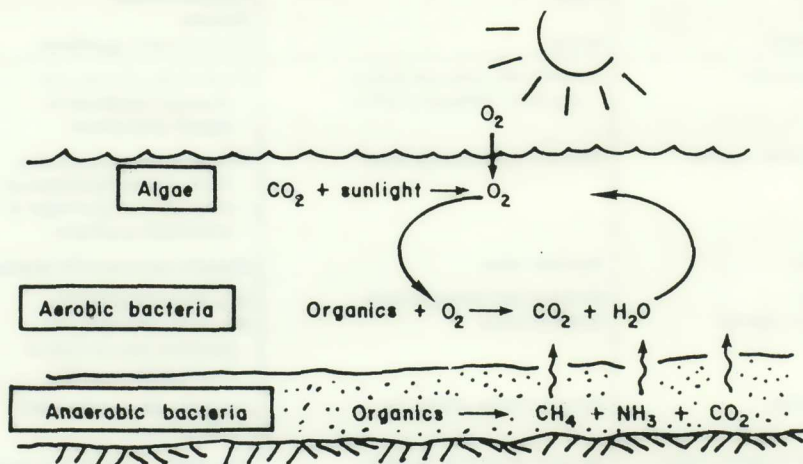
Ρυπαντής <i>Contaminant</i>	Πηγή <i>Source</i>	Περιβαλλοντική Σημασία <i>Environmental significance</i>
<i>Suspended solids</i>	<i>Domestic use, industrial wastes, erosion by infiltration/inflow</i>	<i>Cause sludge deposits and anaerobic conditions in aquatic environment</i>
<i>Biodegradable organics</i>	<i>Domestic and industrial waste</i>	<i>Cause biological degradation, which may use up oxygen in receiving water and result in undesirable conditions</i>
<i>Pathogens</i>	<i>Domestic waste</i>	<i>Transmit communicable diseases</i>
<i>Nutrients</i>	<i>Domestic and industrial waste</i>	<i>May cause eutrophication</i>
<i>Refractory organics</i>	<i>Industrial waste</i>	<i>May cause taste and odor problems, may be toxic or carcinogenic</i>
<i>Heavy metals</i>	<i>Industrial waste, mining, etc.</i>	<i>Are toxic, may interfere with effluent reuse</i>
<i>Dissolved inorganic solids</i>	<i>Increases above level in water supply by domestic and/or industrial use</i>	<i>May interfere with effluent reuse</i>

Εικών 14. Σημαινόμενα Παράμετροι Ρυπαντών Λυμάτων. (*Important Wastewater Contaminants*).

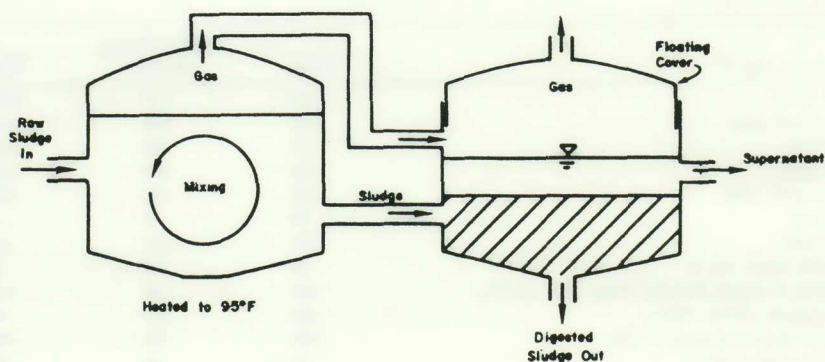
Constituent, mg/L*	Concentration		
	Strong	Medium	Weak
<i>Solids, total:</i>	1200	720	350
<i>Dissolved, total</i>	850	500	250
<i>Fixed</i>	525	300	145
<i>Volatile</i>	325	200	105
<i>Suspended, total</i>	350	220	100
<i>Fixed</i>	75	55	20
<i>Volatile</i>	275	165	80
<i>Settleable solids, mL/L</i>	20	10	5
<i>Biochemical oxygen demand, 5-day, 20°C (BOD₅)</i>	400	220	110
<i>Total organic carbon (TOC)</i>	290	160	80
<i>Chemical oxygen demand (COD)</i>	1000	500	250
<i>Nitrogen (total as N):</i>	85	40	20
<i>Organic</i>	35	15	8
<i>Free ammonia</i>	50	25	12
<i>Nitrites</i>	0	0	0
<i>Nitrates</i>	0	0	0
<i>Phosphorus (total as P):</i>	15	8	4
<i>Organic</i>	5	3	1
<i>Inorganic</i>	10	5	3
<i>Chlorides</i>	100	50	30
<i>Alkalinity (as CaCO₃)</i>	200	100	50
<i>Crease</i>	150	100	50

* Unless otherwise noted

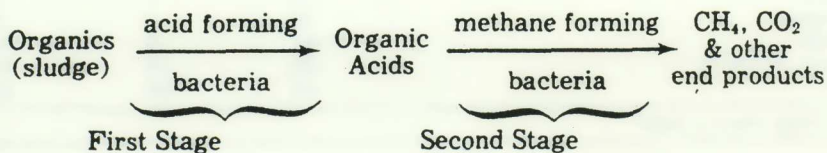
Εικών 15. Τυπική Άνάλυση Ρυπαντών Οικιακών Λυμάτων (*Typical Analysis of Municipal Wastewater*).



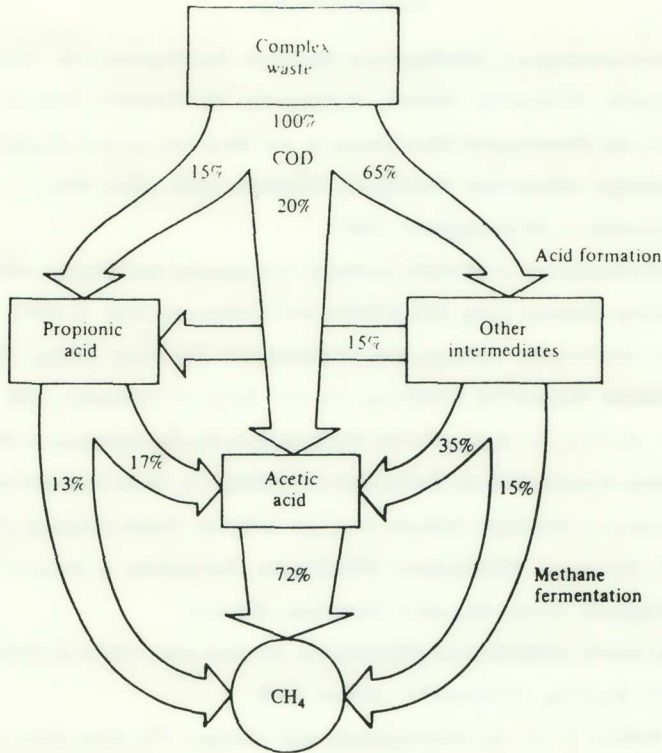
Εικών 16. 'Αντιδράσεις αφομοιώσεως λυμάτων σε μικρή Λίμνη 'Οργανικών 'Αντιδράσεων (Reactions in an Oxidation Pond).



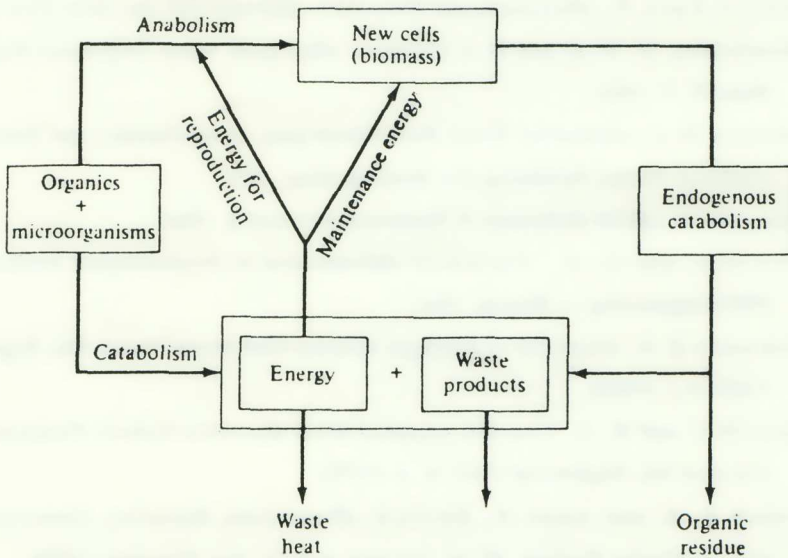
Εικών 17. 'Αναερόβιος Χωνευτής Πρωτογενούς και Δευτερογενούς Χωνεύσεως Λυμάτων. (Primary and Secondary Anaerobic Digester).



Εικών 18. 'Εξίσωση-'Εξισορρόπηση Μάζης 'Οργανικών Συμπλόκων Λυμάτων 'Αναερόβιου Χωνεύσεως.



Εικόνα 19. Πορεία Διαδικασιών και Προϊόντων Άναεροβίου Χωνεύσεως Ίλως Λυμάτων (Pathways and Products of Anaerobic Digestion of Wastewater Sludge).



Εικόνα 20. Γενικευμένη Πορεία Μεταβολικής Διαδικασίας (Generalized Metabolic Pathway).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ε. Α. Μπουροδήμου «Μαθηματικά Μοντέλα Προβλέψεως και Έλέγχου Άτμοσφαιρικής Ρυπάνσεως. Ειδικές Έφαρμογές: Η Ρύπανση Άθηνων και η Επίπτωση της Ραδιενεργού Μολύνσεως εκ του Θερμοπυρηνικού Σταθμού Chernobyl Ούκρανίας. «Πρακτικά Άκαδημίας Άθηνων» 1986, τόμος 61ος.
2. «Έλευθεροτυπία» — 23 Δεκεμβρίου 1986 —
3. P. Mourdoukoutas, J. Petrakis (editors), «Continuity and Change within the Mediterranean Region» Long Island University Conference Nov. 9, 1985.
4. G. Tyler Miller, Jr. «Energy and Environment» The Four Energy Crises, Second Edition by Wadsworth Publishing Co. Inc. Belmont California 1980.
5. G. Tyler Miller, Jr. «Living in the Environment-An Introduction to Environmental Science» Fourth Edition-Wadsworth Publishing Co, Belmont California 1985.
6. Pierre Samuel, «Ecologie: Détente ou Cycle Infernal» Union Générale d'Édition Nov. 1973 Έλληνική Μετάφραση «Οικολογία: Χαλάρωση ή Δαιμονικός Κύκλος» Μετάφραση Άννας Μαράτου Έκδόσεις «Βέργος»
7. Πιέρ Σάμουελ, «Οικολογικό Μανιφέστο». Τι είναι και τι θέλει η Οικολογία-Μετάφραση Βεργίδη, Άνδρομέδα, Άθήνα 1979.
8. Ewald, William R. Jr. (a) «Environment and Change» The Next Fifty Years-Indiana Univ. Press (1971)
(b) «Environment and Policy «The Next Fifty Years» Indiana Univ. Press (1971).
9. Chanlett Emil, T., «Environmental Protection» McGraw Hill Inc. New York 1979.
10. Eckenfelder, W. W. Jr. and D. J. O'Connor «Biological Waste Treatment» Pergamon Press N. Y. 1961.
11. Nemerow N. L., «Industrial Water Pollution-Origins, Characteristics and Treatment» Addison-Wesley Publishing Co, Reading Mass. 1978.
12. Klein, Louis «River Pollution» 3: Control-Butterworths, 1966.
13. Davis M. L. and D. A., Cornwell «Introduction to Environmental Engineering», PWS Engineering — Boston, 1985.
14. Kormondy E. J., «Concepts of Ecology» Prentice Hall International, Inc. Englewood Cliffs N.J. (1969).
15. Mayor D. C. and R. L. Lenton, «Applied Water Resources Systems Planning» Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs N. J. (1979).
16. Ehrlich P. R. and Anne H. Ehrlich, «Population», Resources, Environment-Issues en Human Ecology, W. H. Freeman and Co. San Francisco (1970).

17. «*Environment and Society in Transition*» *Annals of the New York Academy of Sciences*—
Editors: Peter Albertson and Margery Barnett» Vol. 184 *International Joint Conference of the American Geographical Society and the American Division of the World Academy of Art and Science April 27- May 2, 1970.*
18. Peavy H. S., D. R. Rowe and G. Tchobanoglous, «*Environmental Engineering*» McGraw Hill Co. New York 1985.
19. Viessman, W. Jr., M. J. Hammer, «*Water Supply and Pollution Control*» Fourth Edition, Harper and Row, Retl. NiY. 1985.
20. Warren C. E., with collaboration P. Doudoroff «*Biology and Water Pollution Control*» W. B. Saunders Co. Philadelphia 1971.
21. Smith R. L., «*Ecology and Field Biology*» Harper and Row Publishers, New York 1974.
22. Seeley H. W., Jr., Paul J. Van Demark «*Microbes in Action-A Laboratory Manual of Microbiology*» Second Edition, C. H. Freeman and Co. San Francisco (1972).
23. Metcalf and Eddy, Inc. «*Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*» McGraw Hill Book Co. Second Edition N. Y. 1979.
24. Schroeder E. D., «*Water and Wastewater Treatment*» McGraw Hill Co. New York (1977).
25. Ehlers V. M., E. W. Steel «*Municipal and Rural Sanitation*» McGraw Hill Co. New York Sixth Edition 1965.
26. Sundstrom D. W., H. E. Klei, «*Wastewater Treatment*» Prestice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J. 1979.
27. Parker H. W., «*Wastewater Systeme Engineering*» Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, N. J 1975.
28. Reynolds T. D., «*Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*» Brooks / Cole Engineering Division (Wadsworth, Inc.) Belmont California 1982.
29. Mc. Kinney R. E., «*Microbiology for Sanitary Engineers*» Mc Graw Hill Series in Sanitary Engineering New York 1962.
30. Fair G. M., J. C. Geyer, «*Elements of Water Supply and Waste-Water Disposal*» John Wiley & Sons Inc. N. Y. 1965.
31. Velz, C. J., «*Applied Stream Sanitation*» (*Environmental Science and Technology*)» Wiley Interscience N. Y. 1970.
32. Knauss J. A., «*Introduction to Physical Oceanography*» Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, N. Y. 1978.
33. Nemerow, N. L., «*Scientific Stream Pollution Analysis*» McGraw Hill Book Co. «*Series in Water Resources and Environmental Engineering*» N. Y. 1974.