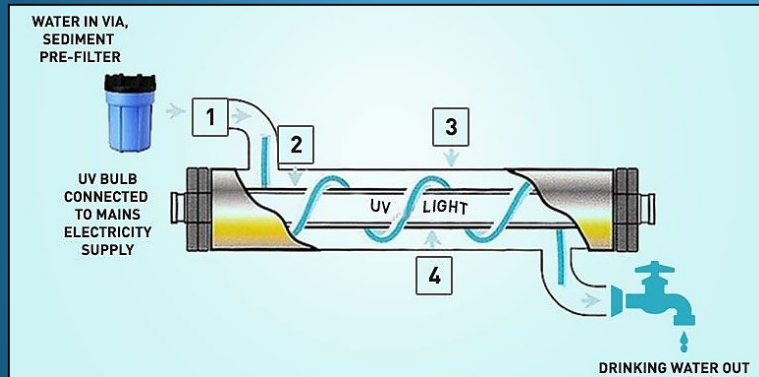


Περιβαλλοντική Μηχανική

Διάλεξη: Απολύμανση



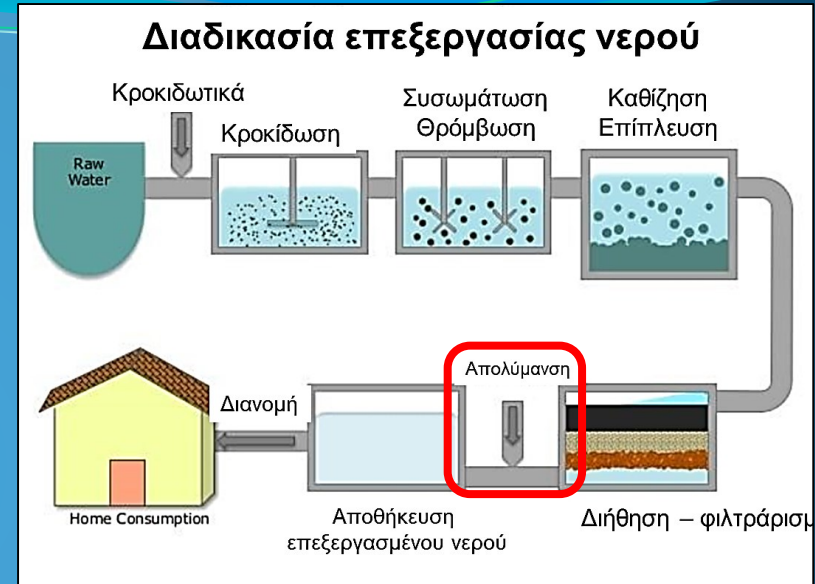
*Απολύμανση νερού μέσω λυχνιών
εκπομπής υπεριώδους ακτινοβολίας*

Επίκουρος Καθηγητής: Ανέστης Βλυσίδης
E-mail: anestisvlysidis@chemeng.ntua.gr

Απολύμανση

Τελευταίο στάδιο στην επεξεργασία των ΥΑ (όπως και στην επεξεργασία του νερού) → **καταστροφή των παθογόνων μ/ων** πριν την τελική διάθεση στον αποδέκτη.

Εξαιτίας του **πολύ μικρού μεγέθους** τους οι μ/οι είναι **δύσκολο να απομακρυνθούν πλήρως** από τα ΥΑ μόνο με φυσικοχημικές διεργασίες, όπως είναι η **καθίζηση** και η **διήθηση**, οπότε για να **διασφαλισθεί** η απουσία τους από το νερό (και τα επεξεργασμένα απόβλητα) **απαιτείται ένα στάδιο απολύμανσης**.



Είναι η επεξεργασία εκείνη του νερού (ή των επεξεργασμένων ΥΑ) η οποία έχει ως σκοπό την **καταστροφή** ή την **αδρανοποίηση** των **παθογόνων μ/ων** που τυχόν περιέχει, ώστε να προστατευθεί η δημόσια υγεία.

(!) Να μην μπερδεύουμε τους παρακάτω όρους!

Αποστείρωση: Πλήρης καταστροφή όλων των μικροοργανισμών

Απολύμανση: Εκλεκτική ελάττωση σε ανεκτά (συνήθως πολύ μικρά) επίπεδα των μ/ων

Μηχανισμοί Απολύμανσης

- ✓ Τα επεξεργασμένα απόβλητα είναι δυνατόν να περιέχουν: Βακτήρια, Ιούς, Άλγη, Μύκητες & αμοιβαδοειδείς κύστες
- ✓ Αδύνατη η απομάκρυνση μόνο με φυσικά μέσα – γίνεται καταστροφή με **απολυμαντικά μέσα**

Η μικροβιοκτόνος δράση των απολυμαντικών μέσων επιτυγχάνεται με 3 διαφορετικούς τρόπους:

- Καταστροφή ή εξασθένηση της **οργάνωσης** της κυτταρικής δομής
- Παρέμβαση στον **μεταβολισμό** που είναι υπεύθυνος για την παραγωγή ενέργειας
- Παρέμβαση στη **βιοσύνθεση** και την ανάπτυξη

Μηχανισμοί Απολυμάνσεως Παραδείγματα

- Αλλαγή της εκλεκτικής διαπερατότητας της κυτταρο-πλασματικής μεμβράνης (**φαινολικές ουσίες, απορρυπαντικά**)
- Αλλαγή της κολλοειδούς φύσεως του πρωτοπλάσματος (**θέρμανση**)
- Μεταβολή της χημικής σύνθεσης των ενζύμων και αδρανοποίησή τους με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται ο κανονικός ρυθμός μεταβολισμού (**οξειδωτικά μέσα - χλώριο**)

Απολύμανση

Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης είναι μια **σύνθετη** συνάρτηση πολλών μεταβλητών:

1. Χαρακτηριστικά μέσου απολύμανσης
2. Χρόνος επαφής
3. Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου ΥΑ
4. Άλλοι παράγοντες (πάγιο και λειτουργικό κόστος, τοξικά παραπροϊόντα)

Σήμερα οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι απολύμανσης είναι:

- Η χλωρίωση (αέριο χλώριο, υποχλωριώδες νάτριο, διοξείδιο του χλωρίου)
- Έκθεση σε Υπεριώδη Ακτινοβολία (UV)
- Οζόνωση (παραγωγή O_3 από αέρα ή οξυγόνο)

1. Χαρακτηριστικά μέσου απολύμανσης

Δυναμικό οξειδοαναγωγής

Ένα μέτρο της ικανότητας του απολυμαντικού να οξειδώνει οργανική ύλη είναι το **δυναμικό οξειδοαναγωγής**. Όσο μεγαλύτερο είναι το **δυναμικό οξείδωσης**, τόσο πιο εύκολα η ένωση οξειδώνει την οργανική ύλη. Αν η οξείδωση ήταν ο μόνος μηχανισμός απολύμανσης, τότε η σειρά της ικανότητας απολύμανσης θα ήταν:

Όζον > διοξείδιο του χλωρίου > χλώριο > βρώμιο > ιώδιο

Συνήθως η επιλογή του μέσου απολύμανσης όμως είναι **πιο σύνθετη** εξαιτίας και άλλων παραγόντων, όπως είναι:

- Η **διάχυση** μέσα στο κύτταρο,
- Η **διαπερατότητα** του κυττάρου και
- Οι **μικροβιοκτόνες ικανότητες** (MB, το φορτίο κ.α. χαρακτηριστικά της ένωσης)

Έτσι στις περισσότερες περιπτώσεις η διαδικασία επιλογής **καθοδηγείται** από τη μελέτη σε **πειραματικές μονάδες**. Αυτό συμβαίνει ειδικά στον **καθορισμό της απαιτούμενης δόσης του απολυμαντικού μέσου**, η οποία είναι **συνάρτηση της ποιότητας** του επεξεργασμένου αποβλήτου.

2. Χρόνος επαφής

Η απολύμανση ακολουθεί **κινητική αντίδρασης πρώτης τάξης**. Συνεπώς η αποτελεσματικότητα της εξαρτάται άμεσα από το χρόνο επαφής.

Η καταστροφή ενός **ποσοστού μικροοργανισμού** μπορεί να επιτευχθεί με τη **ρύθμιση του χρόνου επαφής** και της **συγκέντρωσης του απολυμαντικού**.

3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου αποβλήτου που επηρεάζουν την απολύμανση (1)

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης επηρεάζεται από τη **θολότητα**, τις **οργανικές ενώσεις**, τη **θερμοκρασία** και το **pH**.

Η **θολότητα** έχει αποδειχθεί ότι εμποδίζει την απολύμανση, επειδή τα σωματίδια που την αποτελούν μπορούν **να περιβάλουν και να προστατέψουν τους μικροοργανισμούς** από τη δράση του απολυμαντικού μέσου.

Οι οργανικές ενώσεις μπορούν να μειώσουν την αποτελεσματικότητα που απολυμαντικού μέσου, επειδή με την προσκόλλησή τους στην επιφάνεια των κυττάρων εμποδίζουν τη δράση του.

Επίσης, ενώσεις όπως είναι ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το υδρόθειο, τα κυανιούχα και τα νιτρώδη, μπορούν **να μειώσουν την αποτελεσματικότητα** της απολύμανσης καθώς **οξειδώνονται από το απολυμαντικό μέσο**.

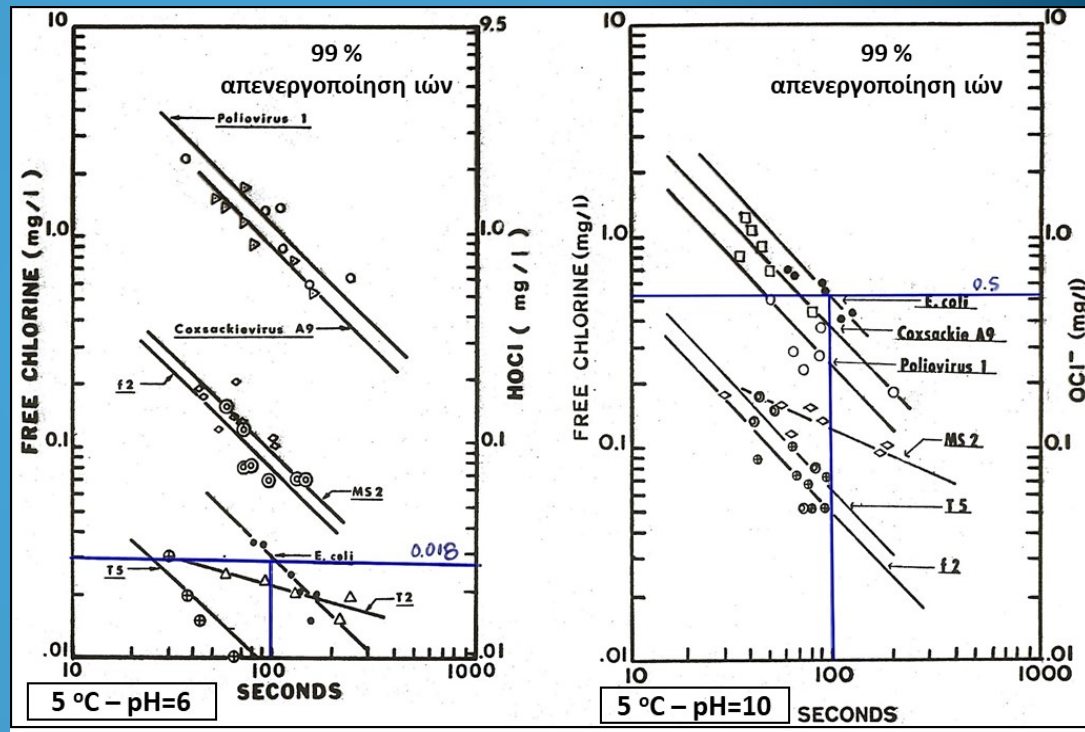
Αυτές οι αντιδράσεις με το απολυμαντικό μέσο δημιουργούν μια **επιπρόσθετη απαίτηση απολυμαντικού**.

3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά του επεξεργασμένου αποβλήτου που επηρεάζουν την απολύμανση (2)

Το pH του νερού μπορεί να επηρεάσει την καταστροφή των μικροοργανισμών αφού επηρεάζει τη **χημική μορφή του απολυμαντικού μέσου** στο υδατικό διάλυμα.

Πχ: η πιο δραστική μορφή του χλωρίου για απολύμανση είναι το **υποχλωριώδες οξύ** (HOCl), το οποίο υπερισχύει στο νερό όταν η τιμή του pH είναι < 7 . Το αντίθετο συμβαίνει με το **υποχλωριώδες ιόν**.

Η **θερμοκρασία** επηρεάζει το **ρυθμό αντίδρασης** σε ορισμένα στάδια της διαδικασίας απολύμανσης, όπως τη **διάχυση** του απολυμαντικού διαμέσου των κυτταρικών τοιχωμάτων ή το **ρυθμό αντίδρασης** με ένζυμα-κλειδιά, επηρεάζοντας έτσι το ρυθμό της απολύμανσης.



Αποτελεσματικότητα της απολύμανσης σε σχέση με διαφορετικές τιμές pH για σταθερή θερμοκρασία. Μήτρακας

Ανθεκτικότητα μικροοργανισμών

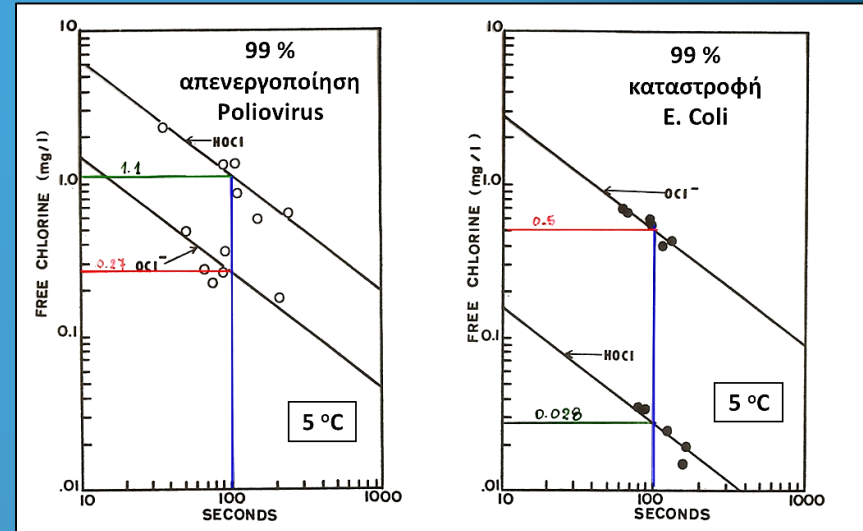
Η **ανθεκτικότητα** στην απολύμανση διαφέρει μεταξύ των διάφορων ειδών μικροοργανισμών τα οποία παρουσιάζουν ανθεκτικότητα με την εξής φθίνουσα σειρά:

Σπόρια βακτηρίων > σπόρια πρωτόζων > ιοί > φυτικά βακτήρια
Οι διαφορές οφείλονται σε διαφορές στην κυτταρική τους δομή.

Απαίτηση ποσότητας ίδιου απολυμαντικού για 99% καταστροφή διαφορετικών μικροοργανισμών.

Οι **μ/οι** στα **απόβλητα** διαφέρουν:

- στις αρχικές τους συγκεντρώσεις,
- στους ρυθμούς θανάτου και
- στην ευαισθησία τους στα διάφορα μέσα απολύμανσης.



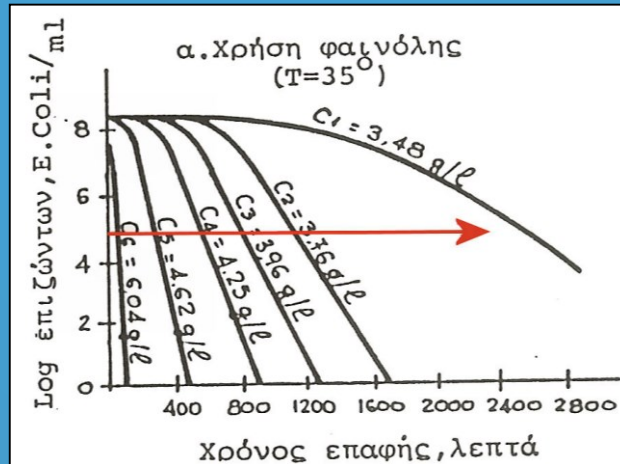
Κινητική Της Απολυμαντικής Δράσεως

Για το σχεδιασμό μιας διεργασίας απολύμανσης απαιτείται η γνώση του ρυθμού καταστροφής των μικροοργανισμών δεικτών από το απολυμαντικό.

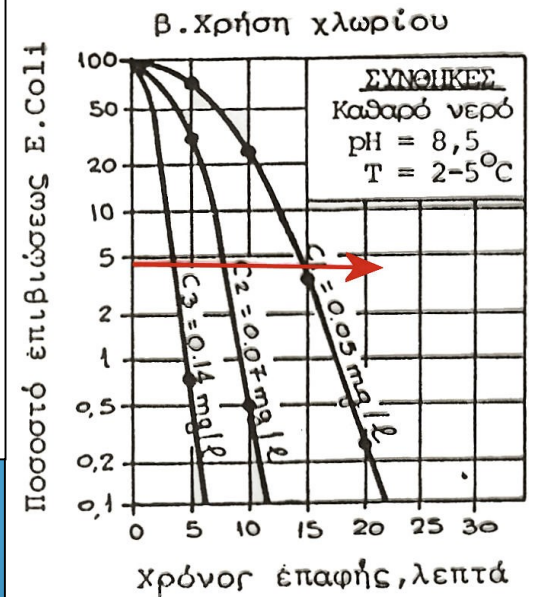
Η απολύμανση είναι μια σύνθετη διεργασία και περιλαμβάνει μια σειρά από φυσικοχημικά και βιολογικά βήματα.

Ο ρυθμός της απολυμαντικής δράσεως εξαρτάται από:

- Το **χρόνο επαφής**
- Τη συγκέντρωση ή την ένταση και το είδος του **απολυμαντικού**
- Τη συγκέντρωση και το είδος των **μικροβίων**
- Τη **θερμοκρασία**
- Τη **φύση του υγρού**



Η απολυμαντική δράση κατά ενός μικροοργανισμού (E. Coli) εξαρτάται από διάφορους παράγοντες



Κινητική Της Απολύμανσης: Νόμος Chick-Watson (1)

Για την περιγραφή της απολύμανσης επινοήθηκαν διάφορα κινητικά μοντέλα στηριζόμενα σε **θεωρητικά & πειραματικά δεδομένα**. Ο νόμος **Chick-Watson** εκφράζει την ταχύτητα καταστροφής των μικροοργανισμών με τη σχέση χημικής αντίδρασης **πρώτης τάξης**:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kt$$

N: αριθμός μικροοργανισμών σε χρόνο t

N₀: αριθμός μικροοργανισμών σε χρόνο t=0

t: χρόνος

k: σταθερά του ρυθμού καταστροφής, η οποία εξαρτάται από το **είδος του απολυμαντικού** και των **μικροοργανισμών**, καθώς επίσης από τα ποιοτικά **χαρακτηριστικά** των επεξεργασμένων αποβλήτων και τη **T** (min⁻¹ ή h⁻¹)

Πειραματική εμπειρική σχέση Watson

Ο Watson (1908) πρότεινε, με βάση πειραματικά δεδομένα, μία εμπειρική σχέση, η οποία περιλαμβάνει και τις μεταβολές στη συγκέντρωση του απολυμαντικού ($k = k' C^n$):

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k' \cdot C^n \cdot t$$

C: συγκέντρωση απολυμαντικού

k': συντελεστής θνησιμότητας – σταθερά θανάτου

n: συντελεστής διάχυσης – ενεργότητας. Η τιμή του εξαρτάται από το είδος του απολυμαντικού και από την τιμή του pH. Συνήθως παίρνει την τιμή 1.

Κινητική Της Απολύμανσης: Νόμος Chick-Watson (2)

Ο Πίνακας δείχνει τις τιμές που παίρνει ο ειδικός συντελεστής θνησιμότητας k' για διάφορα απολυμαντικά σε σχέση με ορισμένα είδη μικροοργανισμών, όπως είναι τα βακτήρια, οι ιοί και οι κύστες (αμοιβάδες-πρώτιστα), για **99% καταστροφή με $pH=7$ και σε $20^{\circ}C$.**

Κατά σειρά το πιο αποτελεσματικό απολυμαντικό είναι το **όζον** (O_3), ακολουθεί το **HOCl** (υποχλωριώδες οξύ), το **ClO₂** (διοξείδιο του χλωρίου), το **OCI⁻** (υποχλωριώδες) και οι **χλωραμίνες**.

Αυτή η γενίκευση παρατηρείται σχεδόν σε όλους τους τύπους μικροοργανισμών.

Επίσης, τα εντερικά βακτήρια θανατώνονται πιο εύκολα, από ότι οι ιοί, ενώ οι κύστες είναι πολύ ανθεκτικές.

Τιμές του ειδικού **συντελεστή θνησιμότητας** για διάφορα απολυμαντικά σε σχέση με ορισμένα είδη μικροοργανισμών

Απολυμαντικό	Βακτήρια <i>E. coli</i>	Ιός <i>Poliovirus I</i>	Κύστες <i>Entamoeba</i> <i>Histolytica</i>
O_3	2300	920	3.1
HOCl	120	4.6	0.23
Cl ₂	16	2.4	-
OCI ⁻	5	0.44	-
NHCl ₂	0.84	0.00092	-
NH ₂ Cl	0.12	0.014	-

Παρεκκλίσεις από το νόμο Chick – Watson

Το μοντέλο όμως **Chick - Watson** παρουσιάζει σοβαρά μειονεκτήματα, το βασικότερο των οποίων είναι ότι **ο ρυθμός καταστροφής των μικροοργανισμών δεν παραμένει σταθερός**.

Αυξάνεται ή μειώνεται εξαρτώμενος από:

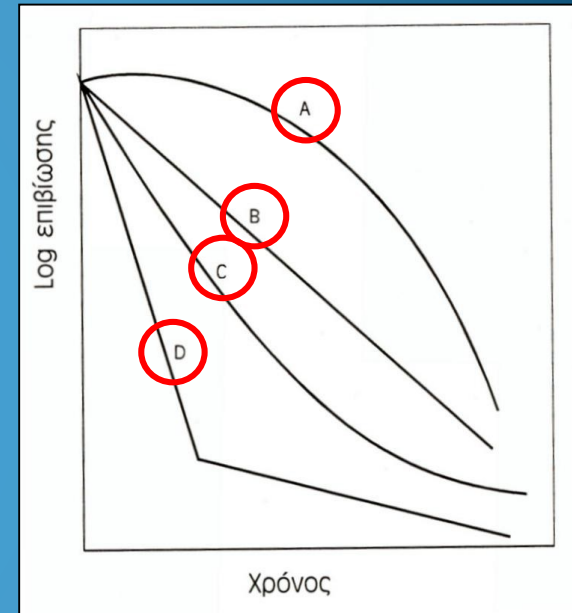
- Τον **τύπο** των **μικροοργανισμών**
- Τις **αλλαγές** στη **συγκέντρωση** του **απολυμαντικού**
- Τις **συνθήκες λειτουργίας** της απολύμανσης

- Η **καμπύλη A** του σχήματος δείχνει μια αύξηση του Log επιβίωσης των μικροοργανισμών σε σχέση με το χρόνο.
Πχ: Καταστροφή Κολοβακτηρίδια από ClO_2 + χλωραμίνες

- Η ευθεία **B** **ανταποκρίνεται** στο μοντέλο Chick-Watson και αναφέρεται σε σταθερούς ρυθμούς καταστροφής μικροοργανισμών.

- Η καμπύλη **C** δείχνει μία **μείωση του ρυθμού καταστροφής** σε σχέση με το χρόνο.

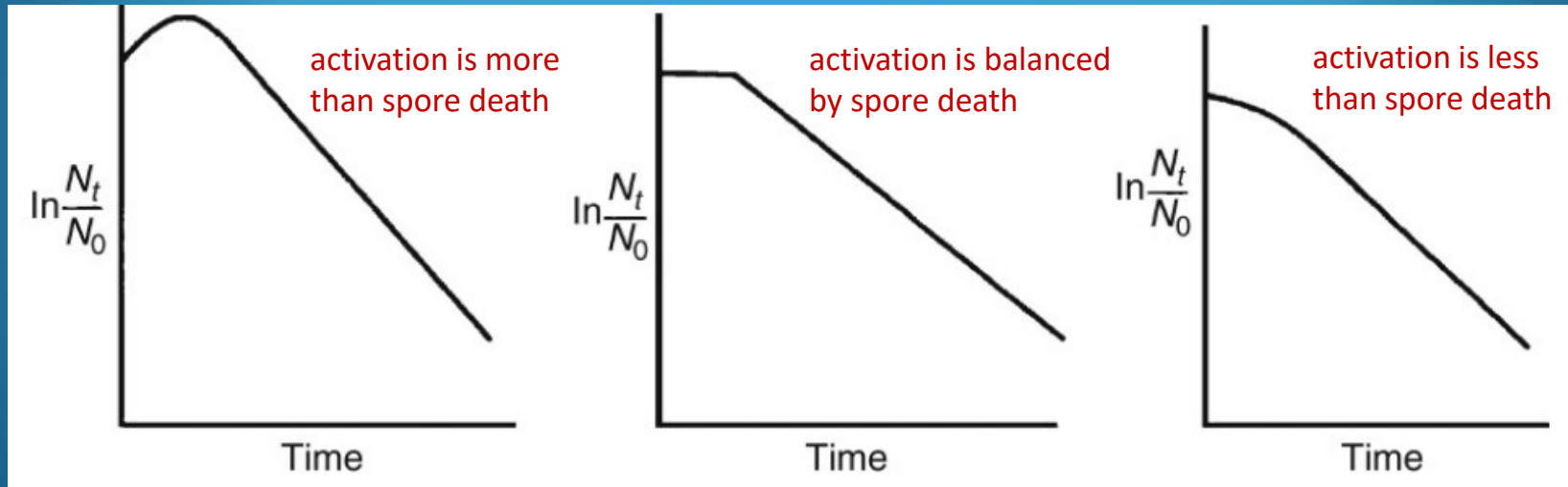
- Η καμπύλη **D** έχει δύο μέρη που το καθένα εκφράζει και **διαφορετικό ρυθμό καταστροφής**. Τέτοιες καμπύλες λαμβάνουμε με τη χρήση όζοντος. Διακρίνονται δύο διαφορετικοί ρυθμοί οζονισμού.



Τύποι καμπυλών επιβίωσης των μικροοργανισμών. Μήτρακας

Μη ιδανικές καμπύλες θανάτου

- Πολλοί οργανισμοί δεν εξουδετερώνονται άμεσα, αλλά μετατρέπονται πρώτα σε **σπόρια**, τα οποία εξουδετερώνονται στη συνέχεια με άλλη κινητική.
- Η απόκλιση από μια άμεση εκθετική μείωση του βιώσιμου αριθμού σπορίων οφείλεται στην **ενεργοποίηση των σπορίων**.



Η αρχική αύξηση του πληθυσμού προκύπτει από την ενεργοποίηση των σπορίων στα αρχικά στάδια μιας διαδικασίας απολύμανσης.

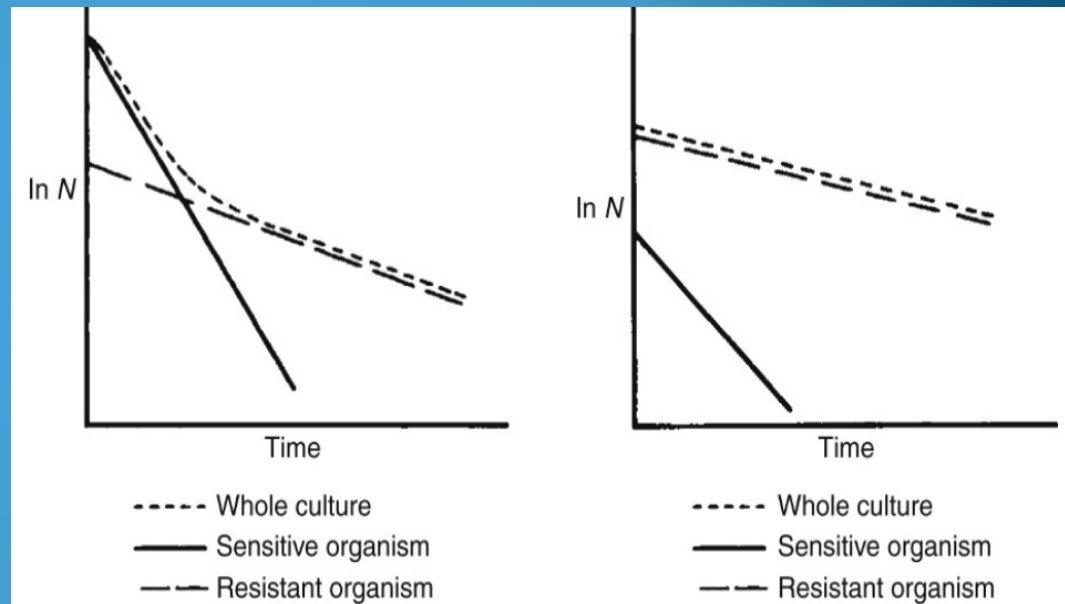
Στην αρχή της διαδικασίας ο θάνατος των σπορίων αντισταθμίζεται από την ενεργοποίηση των σπορίων.

Μικρότερο ρυθμό θανάτου από το μέγιστο στην αρχή της διαδικασίας λόγω της αντιστάθμισης του θανάτου των σπορίων από την ενεργοποίηση των σπορίων.

Ιδανικές και μη ιδανικές καμπύλες θανάτου

Απολύμανση Μικτών Καλλιεργειών

- **Σχήμα 1:** Ο πληθυσμός αποτελείται κυρίως από τον λιγότερο ανθεκτικό τύπο όπου η αρχική μείωση οφείλεται κυρίως στο θάνατο του λιγότερο ανθεκτικού κυτταρικού πληθυσμού και η μεταγενέστερη, λιγότερο γρήγορη μείωση, οφείλεται κυρίως στο θάνατο του πιο ανθεκτικού κυτταρικού πληθυσμού.
- **Σχήμα 2:** Αντιπροσωπεύει την αντίστροφη κατάσταση όπου κυριαρχεί ο πιο ανθεκτικός τύπος και η παρουσία του συγκαλύπτει τη μείωση του αριθμού του λιγότερο ανθεκτικού τύπου.



Ταξινόμηση απολυμαντικών μέσων

Τα μέσα απολύμανσης με βάση τη φύση τους μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

➤ Μη χημικά μέσα απολύμανσης:

1. Υπεριώδης ακτινοβολία
2. Αποστειρωτική διήθηση (χρήση μεμβρανών)
3. Θερμότητα
4. Ραδιενεργός ακτινοβολία

➤ Χημικά μέσα απολύμανσης

- **Μη οξειδωτικά:** Οργανικές κυρίως ενώσεις, όπως είναι το μεθυλενοδιθειοκυάνιο, το διβρωμονιτριλοπροπιοναμίδιο, οι ισοθειαζολόνες κ.α.
- **Οξειδωτικά μέσα απολύμανσης:** Ενώσεις με οξειδωτικό δυναμικό, όπως είναι το **αέριο χλώριο**, το **υποχλωριώδες νάτριο**, το **διοξείδιο του χλωρίου**, το βρώμιο, το ιώδιο, το υπεροξείδιο του υδρογόνου και το **όζον**.

Υπεριώδης ακτινοβολία (1)

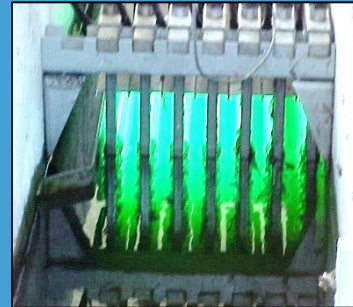
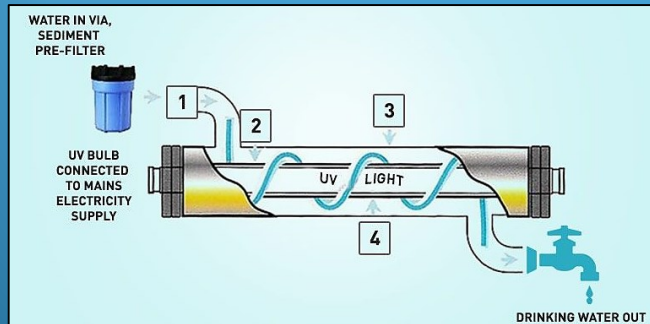
Με την υπεριώδη ακτινοβολία η απολύμανση των ΥΑ επιτυγχάνεται κατά τη διέλευση μέσα από ειδικές συσκευές ακτινοβόλησής του με **υπεριώδη ακτινοβολία (UV)**.

Η UV εκπέμπεται από λαμπτήρες πολύ χαμηλής πίεσης ατμών υδραργύρου.

Τα εκπεμπόμενα μήκη κύματος κυμαίνονται από **200-300 nm**. Το υγρό ρέει γύρω από τη λυχνία σε επίπεδο τόσο ρηχό, όσο χρειάζονται οι υπεριώδεις ακτίνες για να απορροφηθούν γρήγορα από το υγρό.

Για πάχος υγρού 15-20 cm μια λάμπα ισχύος 36 W αποστειρώνει 3 m³/h.

Πρακτικά, για αποτελεσματική απολύμανση απαιτείται ειδική κατανάλωση ενέργειας ίση με 40 Wh/m³).



Λυχνίες πολύ χαμηλής πίεσης ατμών Hg. Μανασής



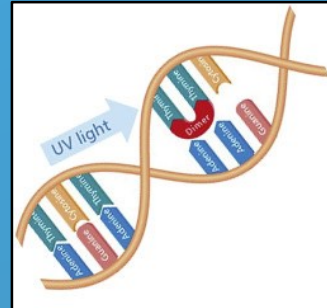
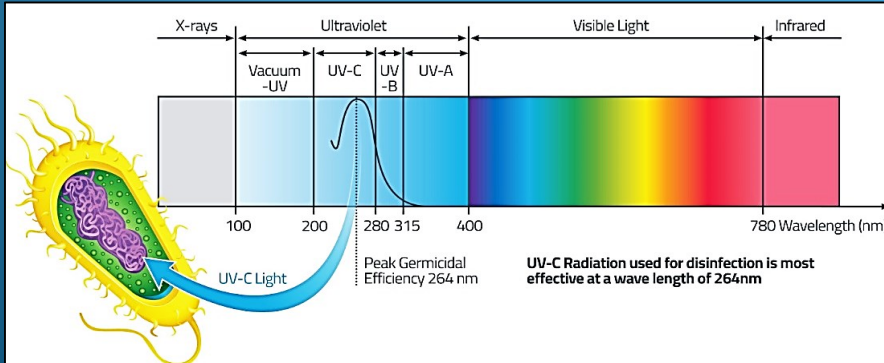
Υπεριώδης ακτινοβολία (2)

Η μέθοδος απολύμανσης του νερού με υπεριώδη ακτινοβολία είναι **ιδιαίτερα αποτελεσματική** στην καταστροφή μικροοργανισμών, όπως είναι τα παθογόνα μικρόβια, βακτήρια και ιοί.

Η ευαισθησία τους **ποικίλει** και εξαρτάται από τη **χημική σύνθεση** και το **πάχος του κυτταρικού τοιχώματος**.

Η καταστροφή των μικροοργανισμών οφείλεται στην **απορρόφηση της ακτινοβολίας από το γενετικό υλικό των κυττάρων => αλλοιώνοντας τη γενετική πληροφορία (DNA)**.

Η μέγιστη καταστροφική ικανότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας επιτυγχάνεται σε μήκος κύματος περίπου 265 nm (250 -270 nm) όπου παρατηρείται η μέγιστη απορρόφηση της από τα νουκλεϊνικά οξέα.

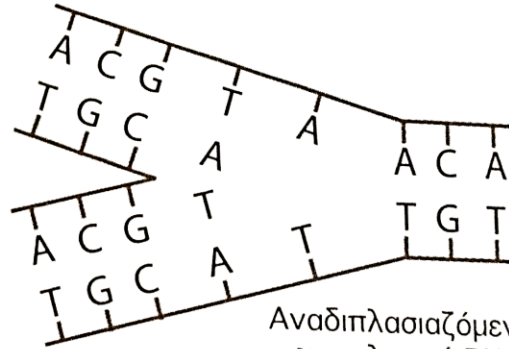


Στην ίδια αλυσίδα DNA σχηματίζονται διπλοί δεσμοί μορίων θυμίνης.

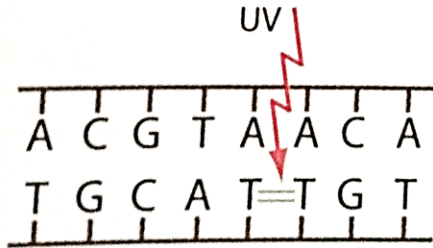
Υπεριώδης ακτινοβολία (3)



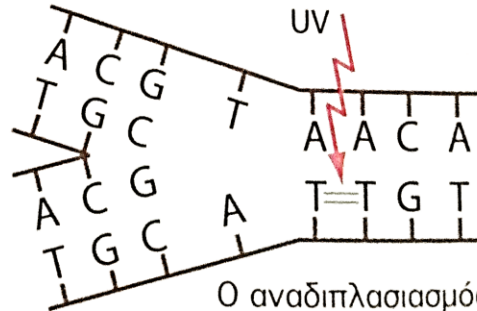
Φυσιολογικό DNA



Αναδιπλασιαζόμενο
φυσιολογικό DNA



DNA με διπλό δεσμό
στα μόρια θυμίνης

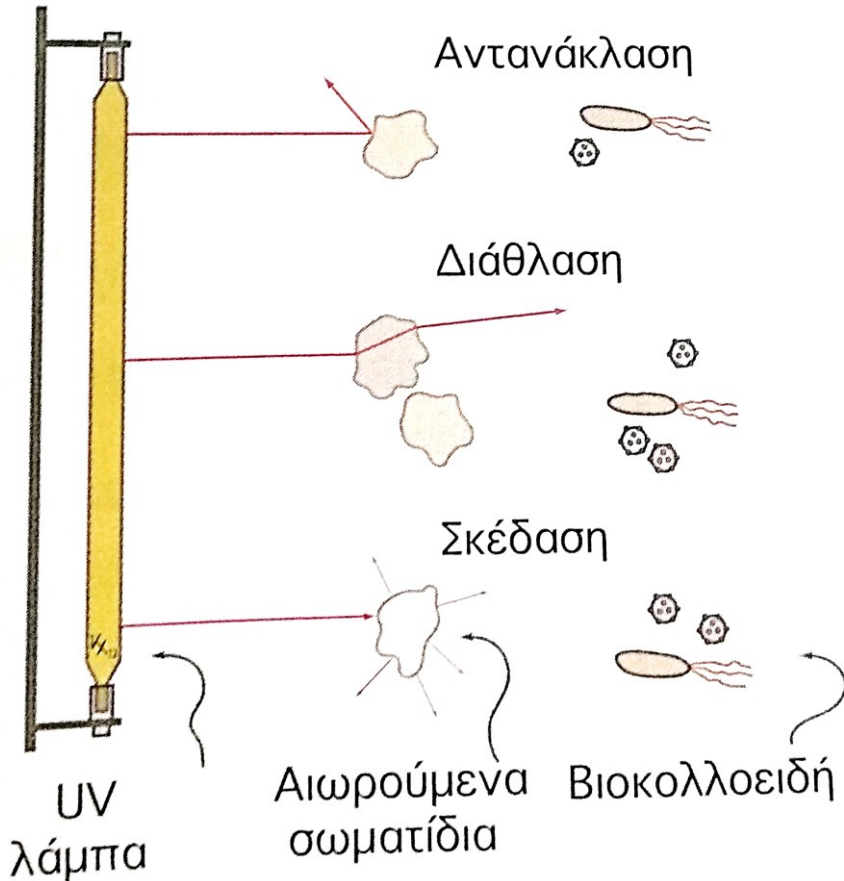


Ο αναδιπλασιασμός
σταματά στο διπλό δεσμό
των μορίων θυμίνης

Σχηματισμός διπλών
δεσμών στα μόρια της
θυμίνης εξαιτίας της
ακτινοβολίας UV σε μήκος
κύματος $\lambda=253,7 \text{ nm}$ με
αποτέλεσμα την
παρεμπόδιση του
διπλασιασμού των
μικροοργανισμών.

Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες
Καθαρισμού νερού και λυμάτων,
Χρυσικόπουλος Κ.Β.

Υπεριώδης ακτινοβολία (4)



- Αρνητική επίπτωση των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων στην απόδοση της απολύμανσης.
- Αντανάκλαση, Διάθλαση και Σκέδαση
- Επίσης, μικροοργανισμοί σε συσσωματώματα λαμβάνουν μειωμένη ακτινοβολία

Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες
Καθαρισμού νερού και λυμάτων,
Χρυσικόπουλος Κ.Β.

Υπεριώδης ακτινοβολία (5)

- Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης με UV βασίζεται στη **δόση UV** στην οποία εκτίθενται οι μ/οι.
- Δόση UV (D) ~ **ανάλογη** με τη δόση χλωρίωσης ($C_R t$)
- Για επιτυχή απολύμανση: προσοχή στην ένταση του UV και στο χρόνο έκθεσης t .

$$D = I \cdot t$$

D : δόση UV (mJ/cm^2)

I : ένταση UV (mW/cm^2)

t : χρόνος έκθεσης, s

- Για $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ απαιτούνται περίπου 400 λαμπτήρες των 1000 W.
- Αυτοί μπορούν να εγκατασταθούν σε κανάλι: $M=20\text{m}$, $Y=1,20\text{m}$, $\Pi=1,30\text{m}$
- Προϋποθέσεις καλής λειτουργίας
 - Περιοδικός καθαρισμός των λαμπτήρων (~ ανά 10 μέρες)
 - Τα χαμηλά αιωρούμενα στερεά (<20 mg/L)

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k \cdot I \cdot t$$

k : συντελεστής ρυθμού απενεργοποίησης, $\text{cm}^2/\text{mW}\cdot\text{s}$

Παράδειγμα 1

- Να βρεθεί η ένταση της ακτινοβολίας UV που απαιτείται για 99,99% απενεργοποίηση των μ/ων αν:
- Ο συντελεστής ρυθμού απενεργοποίησης $k=0,15 \text{ cm}^2/\text{mW}\cdot\text{s}$ και
- Ο χρόνος παραμονής στη ζώνη UV είναι $t=2,5 \text{ min}$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k \cdot I \cdot t$$

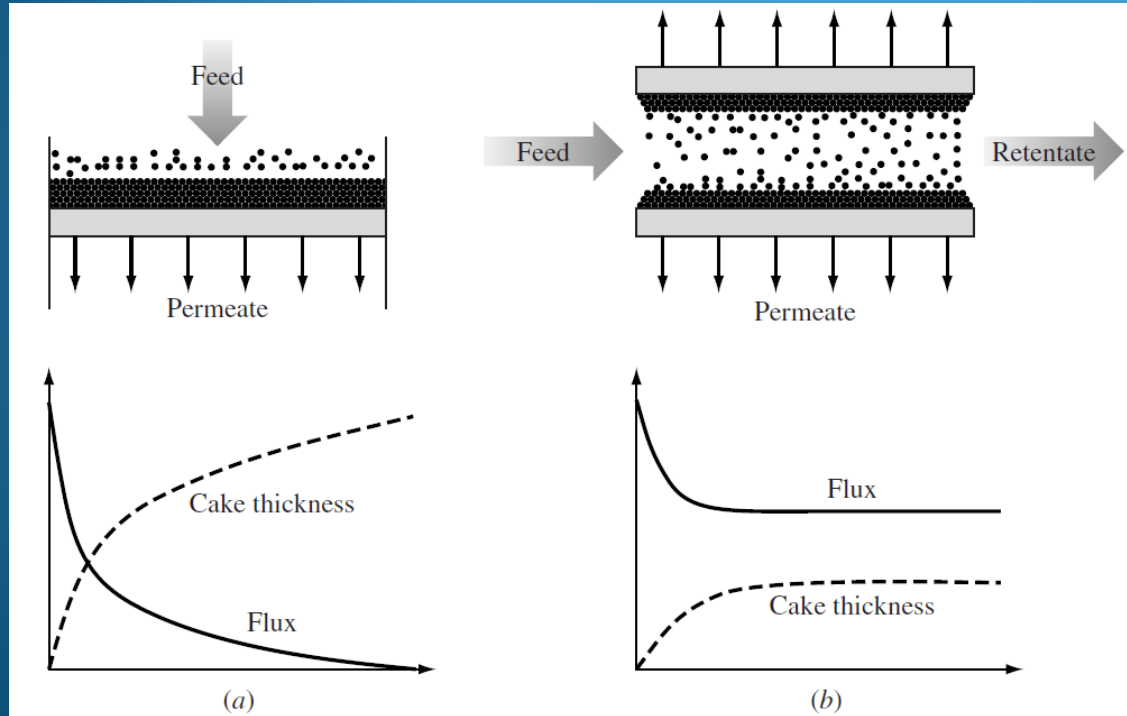
- Λύνω ως προς I με $(N/N_0)=0,0001$
- $I = 0,41 \text{ mW/cm}^2$

Αποστειρωτική διήθηση

Διήθηση των επεξεργασμένων αποβλήτων υπό πίεση διαμέσου ειδικών μεμβρανών οι οποίες κατακρατούν τους μικροοργανισμούς.

- Πόροι μεμβρανών: Διάκενα οπών $< 0,5\mu\text{m}$ έως $0,1\mu\text{m}$
- Συγκράτηση μικροοργανισμών μεγαλύτερου από τις οπές μεγέθους

Διήθηση με μεμβράνες



- Σχηματικά διαγράμματα για (α) συμβατική διήθηση (dead end filtration) και (β) διήθηση εγκάρσιας (εφαπτομενικής) ροής.
- Για τη συμβατική διήθηση το πάχος της συσσώρευσης στερεών αυξάνεται και η ροή του διηθήματος μειώνεται με το χρόνο.
- Στη διήθηση εγκάρσιας ροής, τα στερεά συμπυκνώνονται στην επιφάνεια της μεμβράνης.
- Η ροή του διηθήματος φτάνει σε μια σταθερή τιμή σε μόνιμη κατάσταση.

Διατάξεις μεμβρανών

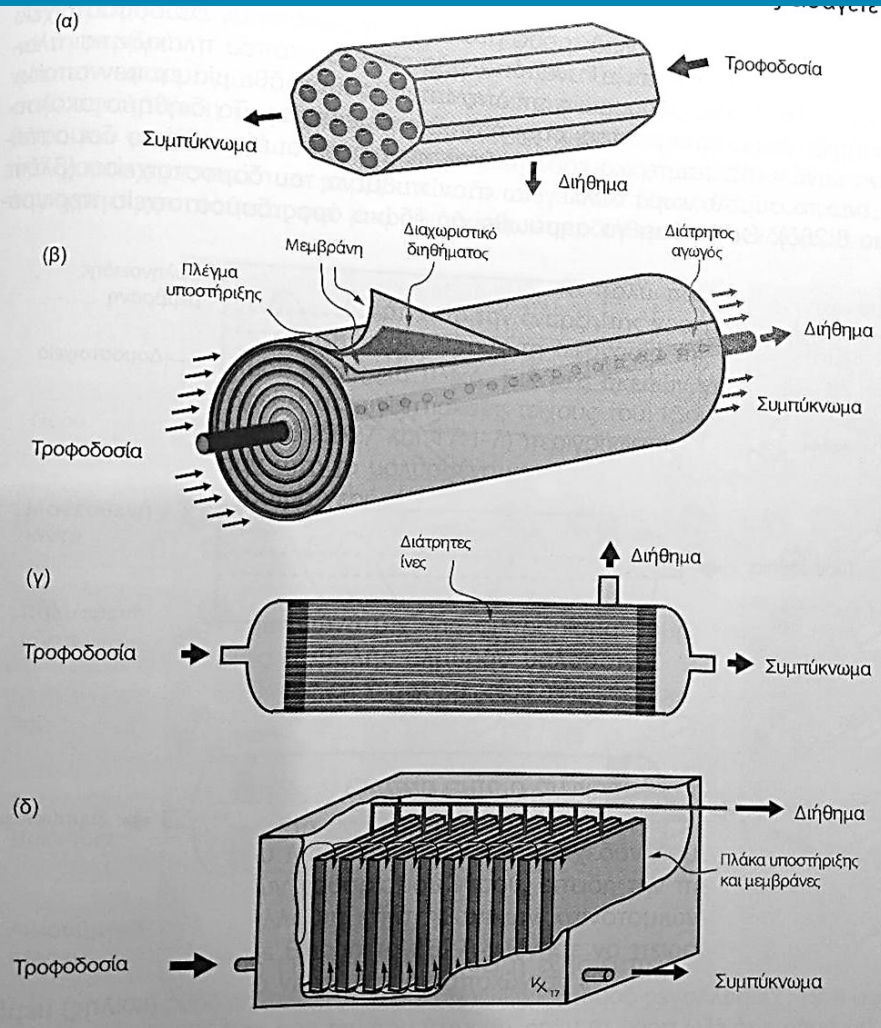
Σωληνοειδής (tubular) με
κεραμική υποστήριξη

Ελικοειδούς περιέλιξης
(spiral wound)

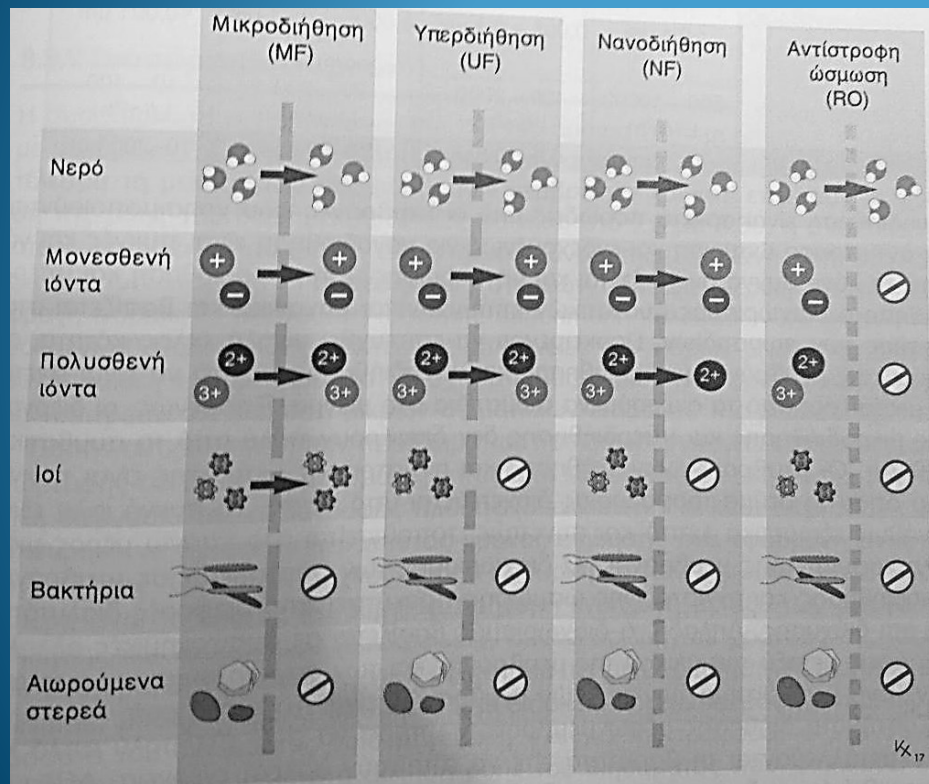
Κοίλων ινών (hollow
fiber)

Πλακών και πλαισίου
(plate and frame)

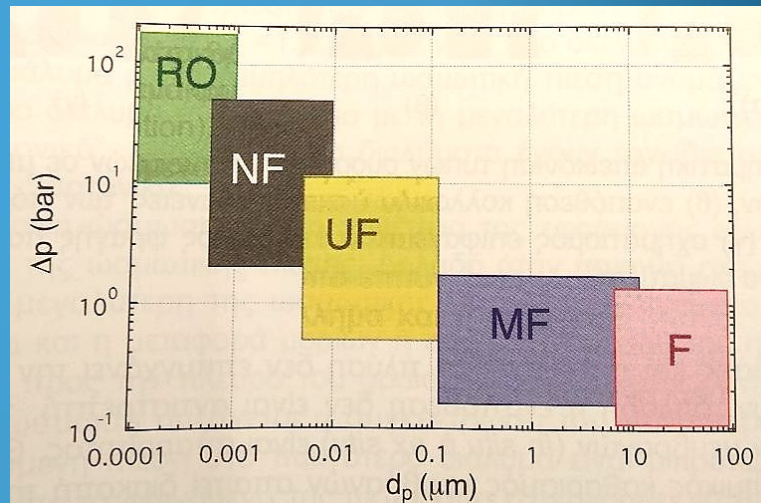
Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και
Λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.



Διαχωρισμός διαφορετικών μεμβρανών ανάλογα με το μέγεθος των πόρων.



Συσχέτιση ασκούμενης πίεσης και
μεγέθους αιωρούμενων/διαλυμένων
συστατικών για διαφορετικές
ημιπερατές μεμβράνες.



Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και
Λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.

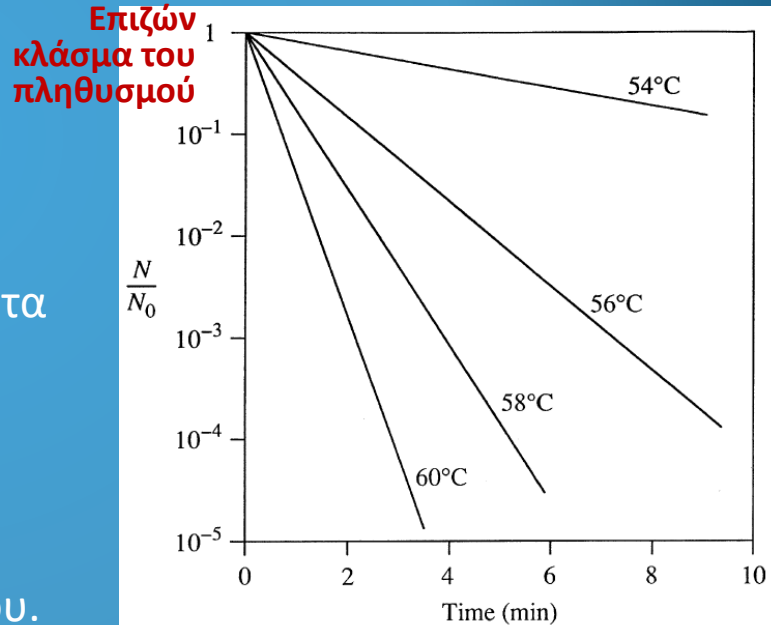
Θερμότητα

Η θέρμανση των επεξεργασμένων ΥΑ ως το σημείο βρασμού επιφέρει την καταστροφή των περισσοτέρων σπορογόνων ΜΟ και σε $T > 100^{\circ}\text{C}$ για σύντομο χρόνο επέρχεται αποστείρωση του υγρού.

Μειονεκτήματα: Δεν προσφέρεται για μεγάλες ποσότητες ΥΑ λόγω υψηλού κόστους.

Κινητικές Θανάτου σε σχέση με τη Θερμοκρασία

- Αποτελέσματα για το θερμικό θάνατο του *Escherichia coli* σε διάφορες θερμοκρασίες.
- Η κινητική θανάτου πρώτης τάξης δεν ισχύει πάντα (όπως σε αυτό το παράδειγμα), ειδικά για **βακτηριακά σπόρια** αμέσως μετά την έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας επηρεάζουν σημαντικά το k_d και το ρυθμό κυτταρικού θανάτου.



Οξειδωτικά χημικά μέσα απολύμανσης

Τα χημικά οξειδωτικά παίζουν αρκετά σημαντικό ρόλο στην απολύμανση των ΥΑ.

Μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούνταν σχεδόν αποκλειστικά το **αέριο χλώριο** και τα **υποχλωριώδη άλατα (υποχλωριώδες νάτριο)**, σταδιακά όμως άρχισαν πλέον να χρησιμοποιούνται και άλλες ενώσεις, όπως το **διοξείδιο του χλωρίου**, οι **χλωραμίνες**, το **τριχλωρο-ισοκυανουρικό οξύ** (στέρεο χλώριο) και το **όζον**.

Αέριο Cl₂

- Είναι **πολύ αποτελεσματικό** μικροβιοκτόνο και έχει πρασινοκίτρινο χρώμα.
- Είναι αέριο **μικρής διαλυτότητας στο νερό** (1,5 – 3 g/L Cl₂).
- Είναι 2,5 φορές βαρύτερο από τον αέρα και παρουσία υγρασίας οξειδώνει τα μέταλλα.
- Είναι ιδιαίτερα **τοξικό για τον άνθρωπο** και προκαλεί περιβαλλοντικά προβλήματα.

Η απολυμαντική του δράση εξαρτάται από το **pH**, τη **θερμοκρασία**, το περιεχόμενο του αποβλήτου σε **οργανικές ενώσεις**, καθώς επίσης και από άλλα **ποιοτικά** του χαρακτηριστικά.

Το αέριο **χλώριο**, όταν διαλύεται στο νερό, υδρολύεται πολύ γρήγορα σύμφωνα με:



Το **υποχλωριώδες οξύ (HOCl)** είναι το **δραστικό συστατικό** που σχηματίζεται, το οποίο στη συνέχεια παίρνει μέρος σε μια σειρά αντιδράσεων που **περιλαμβάνουν τις αντιδράσεις απολύμανσης**, αντιδράσεις με διάφορες οργανικές και ανόργανες ενώσεις, καθώς επίσης και μερική διάσπασή του σε ιόντα υδρογόνου και **υποχλωριώδη** σύμφωνα με την αντίδραση:



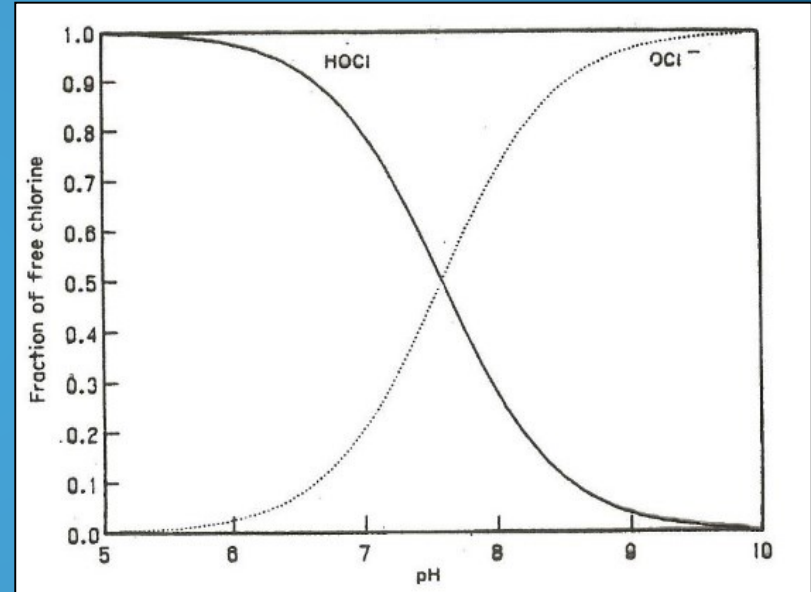
HOCl 40-80 φορές δραστικότερο του OCl⁻

Αέριο Cl_2

Το HOCl (υποχλωριώδες οξύ) είναι ασθενές οξύ περισσότερο τοξικό από τα υποχλωριώδη ιόντα (OCl^-) και η παρουσία του στο νερό εξαρτάται κυρίως από το pH :

- Σε $\text{pH} < 2$ το χλώριο υπάρχει ως αέριο.
- Σε $\text{pH} 2 - 6$ υπερिशύει το HOCl
- Σε $\text{pH} > 6$ αρχίζει η διάσπαση του HOCl με τα υποχλωριώδη ιόντα να υπερिशύουν σε $\text{pH} > 7,5$.

Επομένως, όπως προκύπτει από το σχήμα, η απολυμαντική δράση του χλωρίου είναι καλύτερη σε χαμηλές τιμές pH .

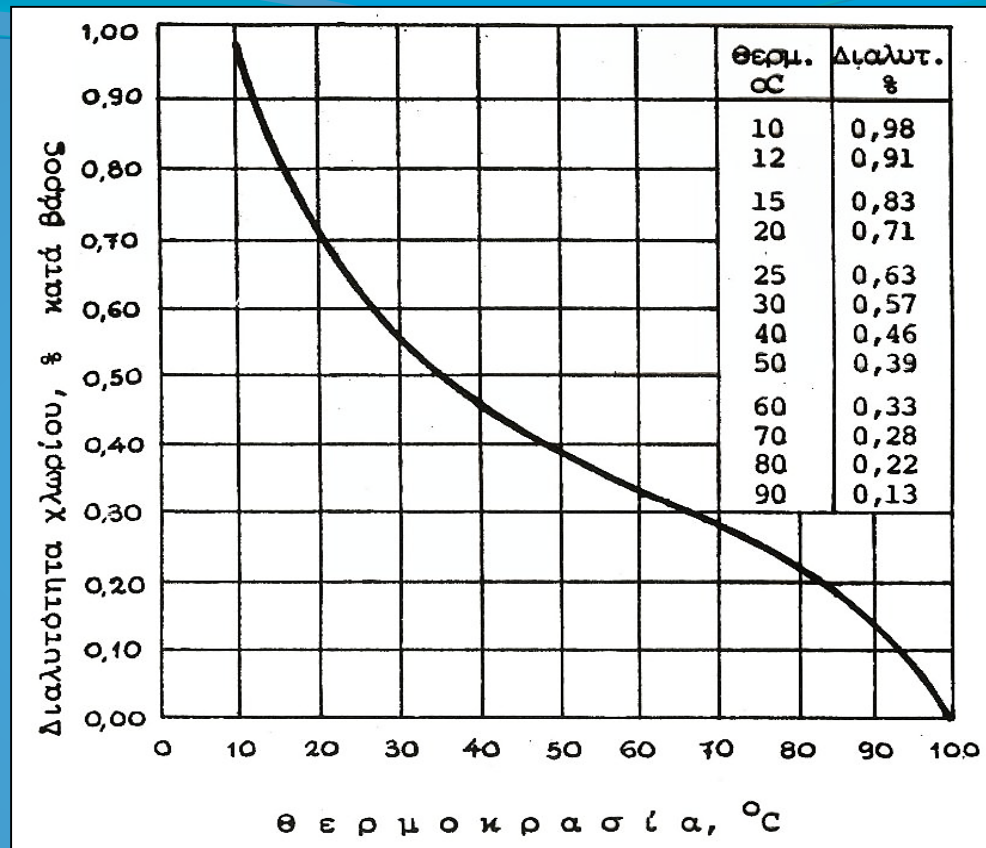


Ισορροπία $\text{HOCl} / \text{OCl}^-$ σε σχέση με την τιμή του pH . Μήτρακας

Ελεύθερο χλώριο: Το άθροισμα $[\text{HOCl}] + [\text{OCl}^-]$

Αέριο Cl₂

Η απολυμαντική ικανότητα του HOCl εξαρτάται επίσης από τη θερμοκρασία, επειδή για συγκεκριμένη τιμή pH η θερμοκρασία επηρεάζει τη διάσπασή του HOCl, η οποία ελαττώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Γενικά για ορισμένη συγκέντρωση χλωρίου η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει το χρόνο καταστροφής των μικροοργανισμών.

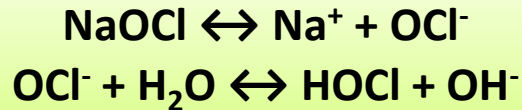


Διαλυτότητα του αερίου χλωρίου στο νερό σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Μήτρακας

Υποχλωριώδη άλατα

Αντί για αέριο χλώριο μπορεί να χρησιμοποιηθούν υποχλωριώδη άλατα όπως το υποχλωριώδες Νάτριο (NaOCl).

Αυτά διίστανται στο νερό και δίνουν HOCl και OCl^- ανάλογα με την τιμή του pH.



Αντιδράσεις του χλωρίου

1) Το χλώριο το οποίο προστίθεται στο νερό δεν παραμένει όλο ελεύθερο (υπό τη μορφή HOCl και OCl^-) αλλά αντιδρά με ενώσεις όπως NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , S^{2-} , CN^- και άλλες οργανικές ενώσεις.

2) Οι αντιδράσεις με την υπάρχουσα αμμωνία οδηγούν σε σχηματισμό χλωραμινών:

Μονοχλωραμίνη: $\text{NH}_3 + \text{HOCl} \rightarrow \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$

Διχλωραμίνη: $\text{NH}_2\text{Cl} + \text{HOCl} \rightarrow \text{NHCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Τριχλωραμίνη: $\text{NHCl}_2 + \text{HOCl} \rightarrow \text{NCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Οι ενώσεις αυτές περιέχουν χλώριο σε μορφή που μπορεί να έχει απολυμαντική ικανότητα.

$\text{HOCl} > \text{OCl}^- > \text{χλωραμίνες}$

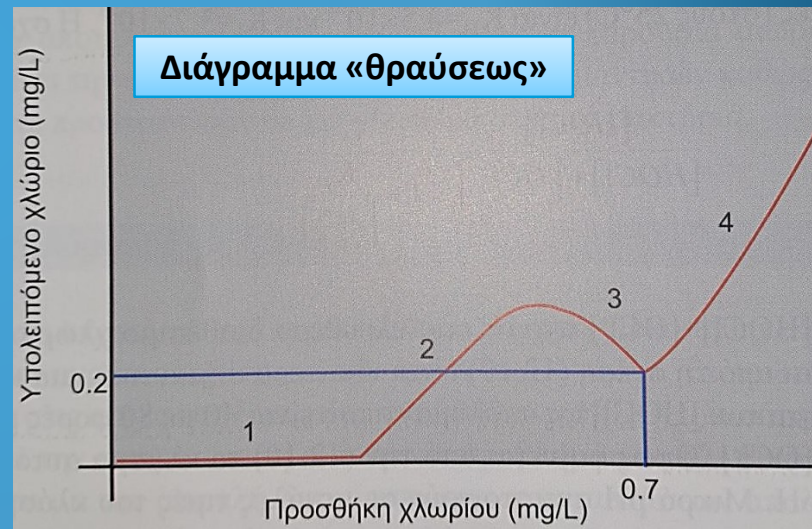
Ελεύθερο χλώριο (ή υπολειμματικό): $\text{HOCl} + \text{OCl}^-$

Συνδεδεμένο χλώριο 1: Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S και οργανική ύλη

Συνδεδεμένο χλώριο 2: $\text{NH}_2\text{Cl} + \text{NHCl}_2 + \text{NCl}_3$

Ολικό χλώριο = Συνδεδεμένο χλώριο (1+2) + Ελεύθερο χλώριο

- (1) Δέσμευση χλωρίου λόγω οξείδωσης Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S και οργανικής ύλης
- (2) Αντίδραση χλωρίου για τον σχηματισμό χλωραμινών (συνδεδεμένο **ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ** χλώριο)
- (3) Οι χλωραμίνες οξειδώνονται μειώνοντας το χρήσιμο χλώριο για απολύμανση
- (4) «Σημείο θραύσεως» πέρα από το οποίο το χλώριο δεν δεσμεύεται.



Απαιτούμενη συγκέντρωση χλωρίου για διεργασίες ενεργού ιλύος είναι 2-8 mg/L

Όζον (O₃)

Η σπουδαιότερη ιδιότητα του όζοντος είναι η ισχυρή οξειδωτική του δράση, γεγονός που το καθιστά **πρώτη επιλογή** όταν απαιτείται η εκτέλεση **ισχυρά οξειδωτικών αντιδράσεων**. Το όζον δρα πάνω στα αιωρούμενα ή στα διαλυμένα σωματίδια στο νερό με άμεση ή έμμεση οξείδωση, με οζονόλυση και με κατάλυση.

Το όζον παράγει αντιδράσεις άμεσης και έμμεσης οξείδωσης:

Οι αντιδράσεις **άμεσης οξείδωσης** του όζοντος, οι οποίες προκύπτουν από τη δράση ενός ατόμου ενεργού οξυγόνου, είναι συνήθως ακαριαίες.

Στις αντιδράσεις **έμμεσης οξείδωσης** ένα μέρος του όζοντος που διαλύεται στο νερό διασπάται και σχηματίζει **ελεύθερες ρίζες (HO·)**, οι οποίες αντιδρούν **πολύ γρήγορα** κι οξειδώνουν οργανικές και ανόργανες ενώσεις διαλυμένες στο νερό.

Η διάσπαση αυτή του όζοντος επιταχύνεται σε υψηλές τιμές pH, οι οποίες ευνοούν το σχηματισμό των ελεύθερων ριζών (HO·).

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά του είναι ότι διασπάται δίνοντας οξυγόνο στο νερό, γεγονός κατά κανόνα ευπρόσδεκτο.

Σε αλκαλικό περιβάλλον (pH>8,5) το όζον διασπάται σε ρίζες υδροξυλίου:



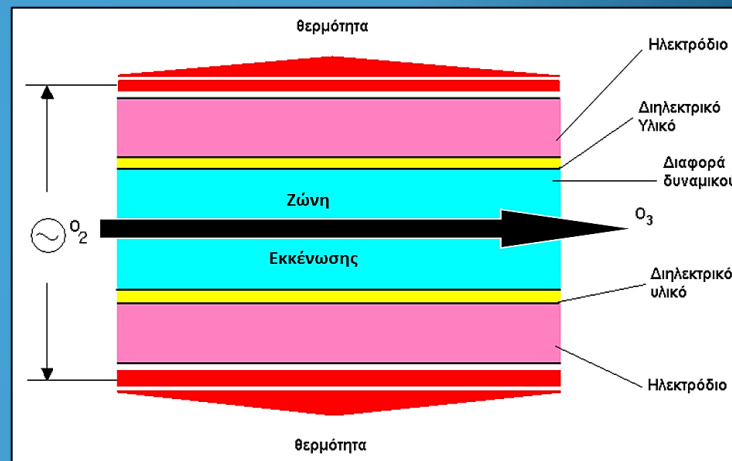
Παραγωγή Όζοντος

Βιομηχανικά το όζον παράγεται από καθαρό O_2 ή με την ενεργοποίηση του οξυγόνου από ατμοσφαιρικό αέρα σε ηλεκτρικό πεδίο. Για συνεχή παραγωγή όζοντος ο αέρας **κυκλοφορεί ανάμεσα σε δύο αγώγιμες επιφάνειες ή ηλεκτρόδια** που χωρίζονται από μία ζώνη εκκένωσης. Σε αυτή τη ζώνη ο αέρας εκτίθεται σε **υψηλής τάσης εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο**.

Στοιχεία οζονιστών

Τύποι πλακών (οριζόντιοι) και σωλήνων (κάθετοι)

- Ισχύς: 10000-20000 V AC
- Συγκέντρωση: 10-20 g O_3 /m³ αέρα
- Απόδοση: 50-100 g/m³h – 50Hz
- Πίεση λειτουργίας: 0,5-0,7 bar
- Θερμοκρασία εισερχόμενου αέρα: <20°C
- Νερό ψύξης: 3-5 L/g O_3
- Απαίτηση ενέργειας: 20-30 Wh/g O_3



Παραγωγή όζοντος με οζονιστή. Μήτρακας

Για να αποφευχθεί βραχυκύκλωμα (ηλεκτρικό τόξο) στη ζώνη εκκένωσης:

Κάλυψη ηλεκτροδίων με διηλεκτρικό υλικό, καθαρός χωρίς σκόνες αέρας και σημείο δρόσου αέρα από -40 έως -60°C (πολύ καλή ξήρανση).

Σύγκριση των αποτελεσμάτων επεξεργασίας υγρού με χρήση όζοντος και χλωρίου. Μήτρακας

Ιδιότητα	Χλώριο	Όζον
Οσμή	Δυσάρεστη	Καμία
Γεύση	Δυσάρεστη	Καμία
Χρώμα	Κιτρινωπό	Άχρωμο
Οξειδωτική ισχύς	Καλή	Υψηλή
Αντιβιοτική δράση	Σχεδόν καμία	Υψηλή
Αντιβακτηριακή δράση	Διαφέρει	Ευρεία
Δράση σε παράσιτα	Ελαφρά	Υψηλή
Δράση σε άλγη-πρωτόζωα	Ελαφρά	Υψηλή
Δράση σε μύκητες	Ελαφρά	Υψηλή
Δράση σε κύστες-σπόρια	Ελαφρά	Υψηλή
Δομική δράση σε υδρογονάν- θρακες, απορρυπαντικά, φαινόλες, φυτοφάρμακα	Καμία έως ελαφρά	Υψηλή
Δράση σε οσμή και γεύση	Καμία	Μεγάλη
Μηχανισμός αντίδρασης και ενδιάμεση παραγωγή	Έμμεση οξείδωση με παραγωγή χλωραμινών, χλωροφαινολών, τριομοεθανίων κ.λπ.	Άμεση οξείδωση με οξυγόνωση νερού

Σύγκριση συστημάτων απολύμανσης

Μέθοδος	Υπέρ	Κατά
Χλωρίωση	• Αξιόπιστη • Φθηνή μέθοδος • Απλή τεχνολογία	• Χαμηλή αποτελεσματικότητα για τους ιούς • Προβλήματα οσμής και γεύσης • Παραπροϊόντα
Διοξειδίο του χλωρίου	• Αποτελεσματική τεχνολογία για τα βακτήρια και τους ιούς • Δεν συμβάλλει στη δημιουργία τριαλομεθανίων (THM)	• Ακριβή μέθοδος • Τοξικά παραπροϊόντα
Οζόνωση	• Ισχυρό οξειδωτικό • Δεν δημιουργεί THMs • Αποτελεσματική τεχνολογία για τους ιούς	• Ακριβή μέθοδος • Χαμηλή αποτελεσματικότητα για τα βακτήρια (<i>E. coli</i>)
UV	• Αποτελεσματική τεχνολογία για τα βακτήρια και τους ιούς	• Ακριβή μέθοδος • Μη-αποτελεσματική μέθοδος για μεγάλους μικροοργανισμούς (π.χ. πρωτόζωα)

Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.

Παράδειγμα 2

Για την απολύμανση $20000 \text{ m}^3/\text{d}$ επεξεργασμένων ΥΑ χρησιμοποιείται $9 \text{ kg}/\text{d}$ χλώριο. Εάν το **ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο** που παραμένει στα επεξεργασμένα ΥΑ μετά από 15 λεπτά ανάμιξης είναι $0,25 \text{ mg}/\text{L}$, να βρεθεί η **προστιθέμενη δόση χλωρίου** και η **ολική ζήτηση του χλωρίου** σε mg/L .

Λύση

Η προστιθέμενη δόση είναι:

$$\Delta\text{όση} = \left(\frac{9 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{20000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} \right) \left(\frac{1000000 \text{mg}}{\text{kg}} \right) \left(\frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}} \right) = 0,45 \text{ mg} - \text{Cl}_2/\text{L-επεξεργασμένων ΥΑ}$$

Η **ολική ζήτηση του χλωρίου** είναι η διαφορά μεταξύ της **προστιθέμενης δόσης** και του **ελεύθερου διαθέσιμου χλωρίου**:

$$\text{Ολική ζήτηση χλωρίου} = 0,45 \text{ mg}/\text{L} - 0,25 \text{ mg}/\text{L} = 0,20 \text{ mg}/\text{L}$$

Πραγματικό και διαθέσιμο χλώριο

Το **ποσοστό του πραγματικού χλωρίου** υπολογίζεται ως εξής:

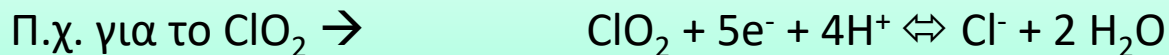
$$(Cl_2)_{\text{πραγματικό}} = \frac{\text{Βάρος χλωρίου στην ουσία}}{\text{MB ουσίας}} \times 100 \%$$

Και το **ποσοστό του διαθέσιμου χλωρίου** δίνεται από τη σχέση:

$$(Cl_2)_{\text{διαθέσιμο}} = \text{ισοδύναμο χλώριο} * \text{πραγματικό χλώριο}$$

Το διαθέσιμο χλώριο βασίζεται στην **οξειδωτική ισχύ του χλωρίου** ή αντίστοιχα στον **αριθμό ηλεκτρονίων που ανταλλάσσονται** για να ληφθεί από την αρχική ένωση το ιόν του χλωρίου (Cl^-).

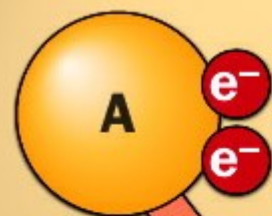
Ο αριθμός ηλεκτρονίων που ανταλλάσσονται βρίσκεται από την αντίστοιχη ημιαντίδραση αναγωγής.



Το **ισοδύναμο χλώριο είναι 5** γιατί τα ηλεκτρόνια που ανταλλάχτηκαν ήταν 5

Επίσης το **πραγματικό ποσοστό χλωρίου είναι** $[(35,5/67,5) * 100\%] = 52,6\%$

Και άρα το **διαθέσιμο χλώριο είναι** $(5 * 52,6\%) = 263\%$



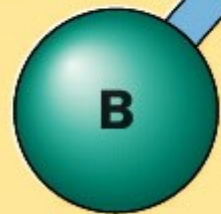
Reducing
agent

Oxidation

Compound A
loses electrons



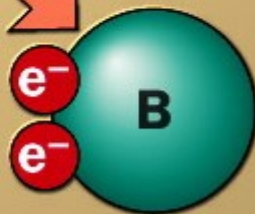
Oxidized



Oxidizing
agent

Reduction

Compound B
gains electrons



Reduced

Πραγματικό και διαθέσιμο χλώριο σε διάφορες ουσίες οι οποίες περιέχουν χλώριο

$$(Cl_2)_{\text{πραγματικό}} = \frac{\text{Βάρος χλωρίου στην ουσία}}{\text{MB ουσίας}} \times 100 \%$$

Ουσία	MW	Ισοδύναμο χλώριο*	Πραγματικό χλώριο (%)	Διαθέσιμο χλώριο (%)
Cl ₂	71	1	100	100
Cl ₂ O	87	2	81,7	163,4
ClO ₂	67,5	5	52,6	263,2
CaClOCl	127	1	56	56
Ca(OCl) ₂	143	2	49,6	99,2
HOCl	52,5	2	67,7	135,4
NaClO ₂	90,5	4	39,2	156,8
NaOCl	74,5	2	47,7	95,4
NHCl ₂	86	2	82,5	165
NH ₂ Cl	51,5	2	69	138

*σθένος για αναγωγή σε Cl⁻

$$(Cl_2)_{\text{διαθέσιμο}} = [(Cl_2)_{\text{ισοδύναμο}}] \times [(Cl_2)_{\text{πραγματικό}}]$$

Παράδειγμα 3

Για την απολύμανση ενός επεξεργασμένου ΥΑ με ογκομετρική παροχή $Q = 50000 \text{ L/d}$ απαιτείται 45 mg/L χλώριο. Εάν χρησιμοποιηθεί **υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl)** να βρεθεί:

- α) η μάζα του NaOCl σε kg που πρέπει να διαλυθεί ανά 100 L νερό ώστε να παρασκευαστεί διάλυμα με συγκέντρωση 25000 mg/L Cl_2 και
β) ο όγκος του διαλύματος σε L που απαιτείται κάθε μέρα.

Λύση

NaOCl : Περιέχει 95,4% διαθέσιμο χλώριο

$$\alpha: \left(25000 \frac{\text{mg Cl}_2}{L_{(s)}} \right) \left(\frac{\text{kg}}{10^6 \text{ mg}} \right) \left(\frac{\text{NaOCl}}{0,954 \text{ Cl}_2} \right) = 0,0263 \text{ kg NaOCl} / L_{(s)}$$

$$\rightarrow 2,63 \text{ kg NaOCl} / 100 L_{(s)}$$

β. ο όγκος του NaOCl διαλύματος που απαιτείται ημερησίως είναι:

$$\left(50000 \frac{L_{(ww)}}{d} \right) \left(\frac{45 \text{ mg Cl}_2}{L_{(ww)}} \right) \left(\frac{L_{(s)}}{25000 \text{ mg Cl}_2} \right) = 90 L_{(s)}$$

Για ευκολία χρησιμοποιούμε τον συμβολισμό:

$L_{(s)} = L$ διάλυμα και

$L_{(ww)} = L$ αποβλήτου.

Παράδειγμα 4

Πειράματα απολύμανσης ενός επεξεργασμένου αποβλήτου έδειξαν ότι 99% των βακτηρίων θανατώνονται σε 10 λεπτά με την προσθήκη χλωρίου όταν το ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο είναι σε συγκέντρωση $0,15 \text{ g/m}^3$.

Να βρεθεί ο **απαιτούμενος χρόνος επαφής** για να επιτευχθεί 99.9% θανάτωση των βακτηρίων με $C=0,08 \text{ g/m}^3$ ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο.

Θεωρείστε ότι $n = 1,1$ από τον νόμο του *Chick and Watson*.

Λύση Παραδείγματος 4

N_t : ο αριθμός των ζωντανών μικροοργανισμών
 t : ο χρόνος επαφής
 k : είναι η σταθερά του ειδικού ρυθμού θανάτου (min^{-1})

Η εξίσωση του ρυθμού θανάτου είναι:

$$-\frac{dN}{dt} = kN \Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -kt \Rightarrow \frac{N_t}{N_0} = e^{-kt} \Rightarrow N_t = N_0 e^{-kt}$$

Για N ίσο με 1% του N_0 (δλδ 99% των βακτηρίων θανατώνονται): $N/N_0 = 0,01$

Λύνω ως προς k για $t = 10 \text{ min} \rightarrow k = 0,461 \text{ (1/min)}$

Από την εξίσωση Watson: $k = k' C^n$

Για $C = 0,15 \text{ g/m}^3$ και για $n=1,1$ υπολογίζουμε το k'
 $k' = 3,72$ (τι μονάδες έχει το k' ;)

Για $C=0,08 \text{ g/m}^3$ από την εξίσωση $k = k' C^n$ έχουμε:
 $k = 3,72 * 0,08^{1,1} = 0,298 \text{ (1/min)}$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -k' \cdot C^n \cdot t$$

C: συγκέντρωση απολυμαντικού
k': συντελεστής θνησιμότητας
n: συντελεστής διάχυσης – ενεργότητας.

Λύση Παραδείγματος 4

N_t : ο αριθμός των ζωντανών μικροοργανισμών

t : ο χρόνος επαφής

k : είναι η σταθερά του ειδικού ρυθμού θανάτου (min^{-1})

Η νέα εξίσωση του ρυθμού θανάτου είναι:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kt \quad \Rightarrow \quad \frac{N_t}{N_0} = e^{-kt} \quad \Rightarrow \quad \ln(0,001) = -0.298(1/\text{min})t$$

Λύνω ως προς t και βρίσκω 23,2 min

Ερωτήσεις – Απολύμανση

1. Απολύμανση είναι η επεξεργασία εκείνη του νερού :
 - α) Που έχει ως σκοπό την πλήρη καταστροφή όλων των μικροοργανισμών ενός ανοικτού ή κλειστού δικτύου νερού.
 - β) Που έχει ως σκοπό την εκλεκτική ελάττωση σε ανεκτά επίπεδα των μικροοργανισμών.
 - γ) Που έχει ως σκοπό την καταστροφή ή την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών που τυχόν περιέχει, ώστε να προστατευθεί η δημόσια υγεία.
2. Ενώσεις, όπως ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το υδρόθειο και τα νιτρώδη, μειώνουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης, επειδή :
 - α) Οξειδώνονται από το απολυμαντικό μέσο, καταστρέφοντάς το.
 - β) Ανάγονται από το απολυμαντικό μέσο, καταστρέφοντάς το.
 - γ) Επηρεάζουν τη χημική μορφή του απολυμαντικού στο νερό.
 - δ) Επηρεάζουν το ρυθμό της απολύμανσης.
3. Το πρώτο κριτήριο για την επιλογή ενός μέσου απολύμανσης είναι :
 - α) Η ικανότητά του να καταστρέφει τους μικροοργανισμούς.
 - β) Η ικανότητά του να διατηρεί μια υπολειμματική συγκέντρωση στο σύστημα διανομής και να εξασφαλίζει ένα τελικό αποτέλεσμα το οποίο να προστατεύει τη δημόσια υγεία.
 - γ) Η ικανοποιητική απόδοση της μονάδας και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της

Ερωτήσεις – Απολύμανση

4. Ο νόμος Chick - Watson είναι η βασική θεωρία σήμερα για τη μαθηματική περιγραφή της κινητικής της απολύμανσης και εκφράζει :

- α) Τη συσχέτιση της συγκέντρωσης του απολυμαντικού και του χρόνου που απαιτείται για την καταστροφή ενός ποσοστού 99% των μικροοργανισμών.
- ☒ β) Την ταχύτητα καταστροφής των μικροοργανισμών με χημική αντίδραση 1ης τάξης.
- γ) Την ταχύτητα καταστροφής των μικροοργανισμών με χημική αντίδραση 1ης τάξης και τις μεταβολές στη συγκέντρωση του απολυμαντικού.
- δ) Την ελάττωση με το χρόνο του ρυθμού απενεργοποίησης των μικροοργανισμών

5. Η καμπύλη επιβίωσης των μικροοργανισμών που λαμβάνεται κατά τη χλωρίωση του νερού δείχνει :

- α) Μία αύξηση στο ρυθμό καταστροφής των μικροοργανισμών σε σχέση με το χρόνο.
- β) Σταθερούς ρυθμούς καταστροφής μικροοργανισμών.
- ☒ γ) Μία μείωση του ρυθμού καταστροφής σε σχέση με το χρόνο.
- δ) Δύο διαφορετικούς ρυθμούς καταστροφής

6. Σε ποια υποκατηγορία ταξινόμησης απολυμαντικών μέσων ανήκει το όζον :

- α) Μη χημικά.
- β) Μη οξειδωτικά.
- γ) Χημικά.
- ☒ δ) Χημικά οξειδωτικά.

Ερωτήσεις – Απολύμανση

8. Η απολυμαντική δράση του χλωρίου είναι καλύτερη σε χαμηλές τιμές pH, διότι :
- α) Αρχίζει η διάσταση του HOCl .
 - β) Υπερισχύουν τα υποχλωριώδη ιόντα.
 - γ) Το χλώριο υπάρχει ως αέριο.
 - δ) Υπερισχύει το HOCl .
9. Το όζον παράγεται βιομηχανικά :
- α) Με θερμική ενεργοποίηση αέριου οξυγόνου.
 - β) Με την ενεργοποίηση του οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα σε ηλεκτρικό πεδίο.
 - γ) Με χημική ενεργοποίηση του οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα.
 - δ) Με την ενεργοποίηση του οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα με υπεριώδη ακτινοβολία.