



Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Τεχνολογία Πόσιμου Νερού

Ένατη Διάλεξη: Απολύμανση

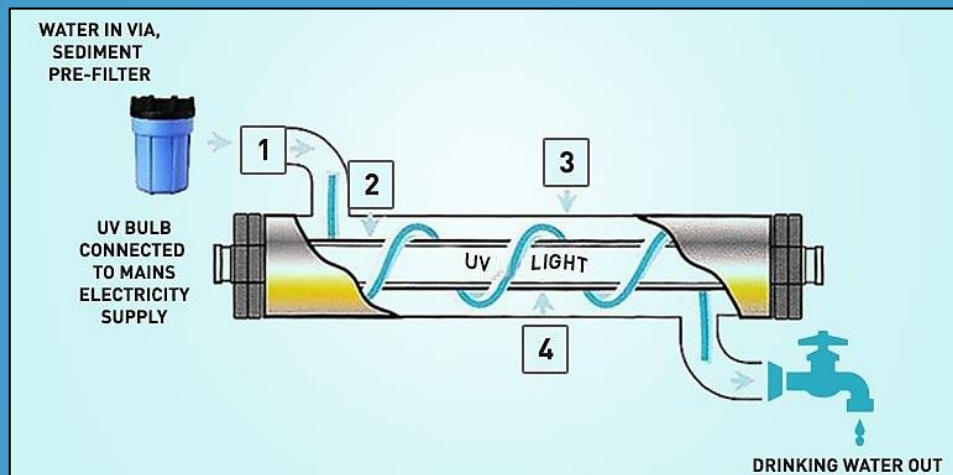
Διδάσκων: Ανέστης Βλυσίδης

E-mail: anestisvlysidis@gmail.com





9 Απολύμανση



*Απολύμανση νερού μέσω λυχνιών
εκπομπής υπεριώδους ακτινοβολίας*

Διδάσκων: Δρ. Ανέστης Βλυσίδης
E-mail: anestisvlysidis@gmail.com



Απολύμανση

Σύνοψη

Απολύμανση

Μηχανισμοί απολύμανσης

Παράγοντες αποτελεσματικότητας της απολύμανσης

Χαρακτηριστικά μέσου απολύμανσης

Χρόνος επαφής

Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού

Άλλοι παράγοντες

Κινητική της απολυμαντικής δράσεως

Νόμος Chick - Watson

Ταξινόμηση απολυμαντικών μέσων

Οξειδωτικά και μη οξειδωτικά μέσα απολύμανσης

Επιλογή απολυμαντικού

Ερωτήσεις

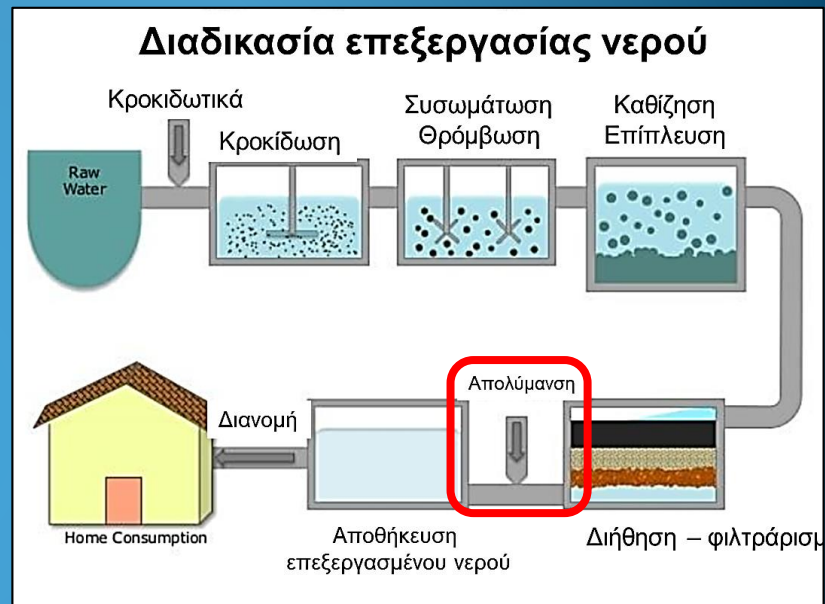


Απολύμανση

Η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο νερό ευνοείται από ορισμένους παράγοντες, όπως είναι:

- το ουδέτερο pH,
- η παρουσία οργανικής ύλης που είναι η τροφή τους,
- η ύπαρξη θρεπτικών συστατικών (N, P), τα οποία είναι απαραίτητα στη βιοσύνθεσή τους.

Εξαιτίας του **πολύ μικρού μεγέθους** τους οι μικροοργανισμοί είναι **δύσκολο να απομακρυνθούν πλήρως** από το νερό μόνο με φυσικοχημικές διεργασίες, όπως είναι η **καθίζηση** και η **διήθηση**, οπότε για να διασφαλισθεί η απουσία τους από το νερό **απαιτείται η απολύμανσή του**.



Είναι η επεξεργασία εκείνη του νερού η οποία έχει ως σκοπό την καταστροφή ή την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών 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 μικροοργανισμών



Μηχανισμοί Απολύμανσης

Καταπολέμηση Των Μικροοργανισμών Του Νερού

- ✓ Οι μικροοργανισμοί υπάρχουν παντού στη φύση
- ✓ Διατηρούν τη φυσική ισορροπία του κύκλου ζωής
- ✓ Το νερό είναι δυνατόν να περιέχει: Βακτήρια, Ιούς, Άλγη και Μύκητες
- ✓ Αδύνατη η απομάκρυνση με φυσικά μέσα – γίνεται καταστροφή με απολυμαντικά μέσα

Η μικροβιοκτόνος δράση των απολυμαντικών μέσων επιτυγχάνεται με τρεις 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

- Φθορά ή καταστροφή του κυτταρικού τοιχώματος (πενικιλίνη)
- Αλλαγή της εκλεκτικής διαπερατότητας της κυτταρο-πλασματικής μεμβράνης (φαινολικές ουσίες, απορρυπαντικά)
- Αλλαγή της κολλοειδούς φύσεως του πρωτοπλάσματος (θέρμανση)



Απολύμανση

Τα οξειδωτικά μέσα, όπως είναι το χλώριο, μεταβάλλουν τη χημική σύνθεση των **ενζύμων** και τα αδρανοποιούν, με αποτέλεσμα να **παρεμποδίζεται** ο κανονικός ρυθμός μεταβολισμού.

Τα απαραίτητα για το μεταβολισμό ένζυμα βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες, γεγονός που εξηγεί τη **σημαντική μικροβιοκτόνο δράση του χλωρίου** ακόμα και σε πολύ μικρή συγκέντρωση (0,5-1 mg/L).

Επίσης, είναι δυνατόν το χλώριο να αντικαταστήσει ένα από τα υδρογόνα των **αμινοομάδων** των πρωτεϊνών των κυττάρων, οπότε η **χλωραμίνη** που σχηματίζεται είναι **τοξική** και επιφέρει το θάνατο.

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 χαρακτηριστικά νερού
4. Άλλοι παράγοντες



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 νερού.



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 νερού που επηρεάζουν την απολύμανση

Χαρακτηριστικά της ποιότητας του νερού, που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης είναι η **θολότητα**, οι **οργανικές ενώσεις**, η **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.

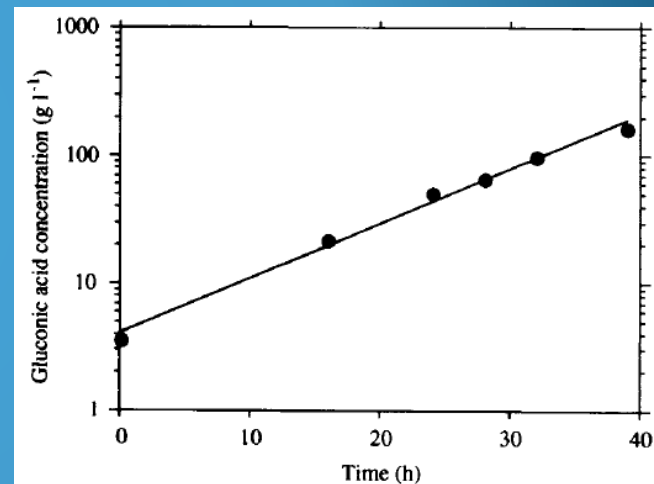
Οι **οργανικές ενώσεις** μπορούν να μειώσουν την αποτελεσματικότητα που απολυμαντικού μέσου, επειδή με την προσκόλλησή τους στην επιφάνεια των κυττάρων εμποδίζουν τη δράση του.

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.



Επανάληψη στην Κινητική αντιδράσεων (1st order kinetics)

- Εάν μια αντίδραση υπακούει στην κινητική πρώτης τάξης, η σχέση μεταξύ του ρυθμού αντίδρασης και της συγκέντρωσης αντιδρώντος έχει ως εξής:
- $r_A = k_1 C_A$
- k_1 είναι η πρώτου βαθμού σταθερά της αντίδρασης (μονάδες π.χ. 1/s)
- C_A είναι η συγκέντρωση του A
- $\ln C_A = \ln C_{A0} - k_1 t$
- Επομένως, για αντίδραση πρώτης τάξης, **το διάγραμμα του $\ln C_A$ συναρτήσει του χρόνου** δίνει μια ευθεία γραμμή με κλίση $-k_1$.



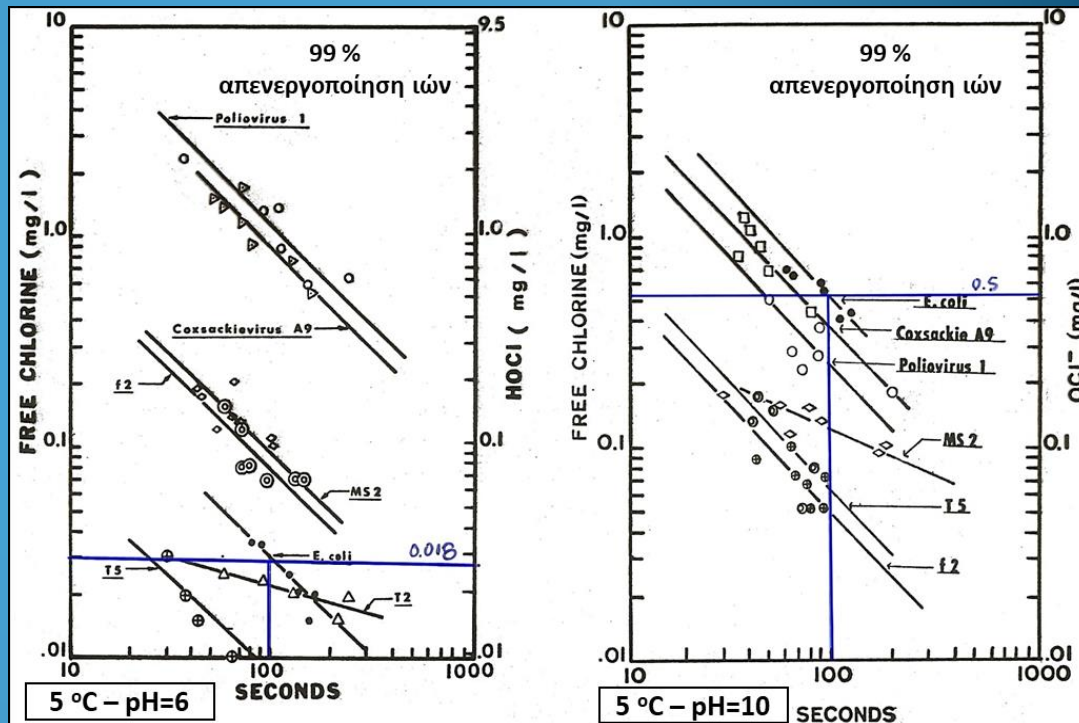


3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού που επηρεάζουν την απολύμανση

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 υπερσχύει στο νερό όταν η τιμή του pH είναι < 7.

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



4. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απολύμανση

α. Ποιότητα του επεξεργασμένου νερού. Το απολυμαντικό που εξουδετερώνει τους μικροοργανισμούς επηρεάζει αρνητικά και κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά του:

Παραδείγματα:

Το **χλώριο** αντιδρά με χουμικές ενώσεις και με ορισμένες φυσικές οργανικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους, παράγοντας **χλωριωμένες οργανικές ενώσεις** μερικές από τις οποίες θεωρούνται **καρκινογόνες**. Το **όζον** σχηματίζει αλδεΐδες, ενώ το **διοξείδιο του χλωρίου** σχηματίζει χλωριώδη (ClO_2^-) και χλωρικά (ClO_3^-) ιόντα.

Σε κάθε περίπτωση τα παραπροϊόντα κάθε μέσου πρέπει να αξιολογούνται, ώστε **να μην υπάρχουν δυσάρεστες συνέπειες για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.**

β. Επίδραση του μέσου απολύμανσης στα διάφορα τμήματα μιας μονάδας επεξεργασίας νερού.

γ. Ικανότητα του απολυμαντικού να διατηρεί μία υπολειμματική συγκέντρωση στο σύστημα διανομής και να εξασφαλίζει ένα τελικό αποτέλεσμα, το οποίο να προστατεύει τη δημόσια υγεία.

δ. Πάγιο και λειτουργικό κόστος

ε. Ευκολία λειτουργίας – συντήρησης

στ. Επίδραση στη υπόλοιπη εγκατάσταση επεξεργασίας νερού



Ανθεκτικότητα μικροοργανισμών

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

Σπόρια βακτηρίων > σπόρια πρωτόζωων > ιοί > φυτικά βακτήρια

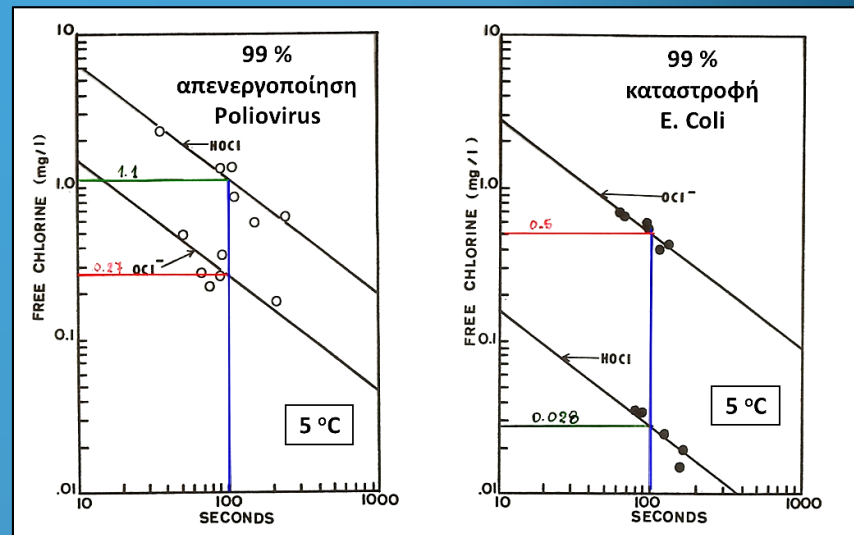
Οι διαφορές οφείλονται σε διαφορές στην κυτταρική τους δομή.

Παραδείγματα:

- Οι εντερικοί ιοί είναι ανθεκτικοί γιατί δεν έχουν ένζυμα.
- Τα φυτικά βακτήρια είναι ευαίσθητα γιατί η αναπνοή γίνεται στην επιφάνεια του κυττάρου όπου πολλά ενεργά συστήματα τους βρίσκονται κοντά στο κυτταρικό τοίχωμα.

Οι μικροοργανισμοί στα απόβλητα διαφέρουν στις αρχικές τους συγκεντρώσεις, στους ρυθμούς θανάτου και στην ευαισθησία τους στα διάφορα μέσα απολύμανσης.

Απαιτήση ποσότητας ίδιου απολυμαντικού για 99% καταστροφή διαφορετικών μικροοργανισμών.



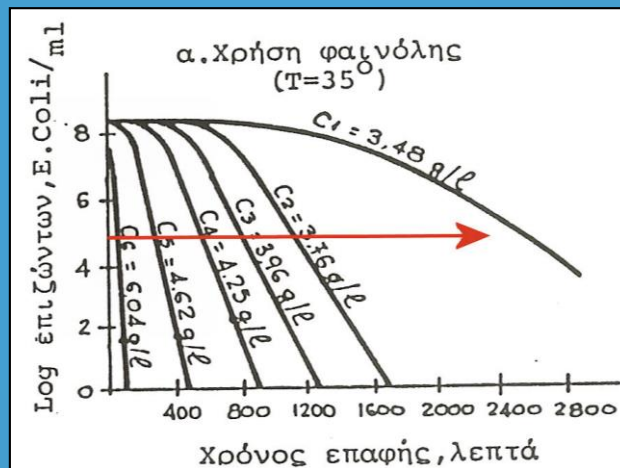


Κινητική Της Απολυμαντικής Δράσεως

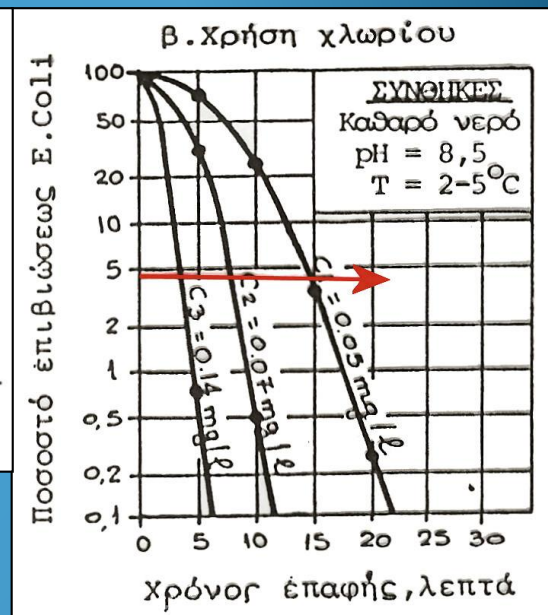
Για το σχεδιασμό μιας διεργασίας απολύμανσης απαιτείται η γνώση του ρυθμού καταστροφής των μικροοργανισμών δεικτών από το απολυμαντικό. Η απολύμανση είναι μια σύνθετη διεργασία και περιλαμβάνει μια σειρά από φυσικοχημικά και βιολογικά βήματα.

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

Για την περιγραφή της απολύμανσης επινοήθηκαν διάφορα κινητικά μοντέλα στηριζόμενα σε θεωρητικά και 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** του νερού και τη **θερμοκρασία** (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:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\Lambda \cdot C^n \cdot t$$

C: συγκέντρωση απολυμαντικού

Λ: συντελεστής θνησιμότητας

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

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

Κατά σειρά το πιο αποτελεσματικό απολυμαντικό είναι το όζον (O_3), ακολουθεί το HOCl (υποχλωρικό οξύ), το ClO_2 (διοξείδιο του χλωρίου), το OCl^- (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 Histolytica</i>
O_3	2300	920	3.1
HOCl	120	4.6	0.23
Cl_2	16	2.4	-
OCl^-	5	0.44	-
NHCl_2	0.84	0.00092	-
NH_2Cl	0.12	0.014	-

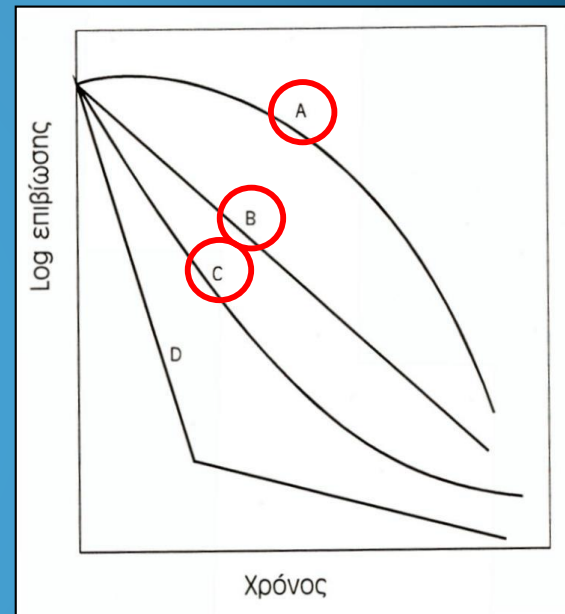


Παρεκκλίσεις από το νόμο Chick – Watson

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 του μικροοργανισμού
 - 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 Coliforms 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.

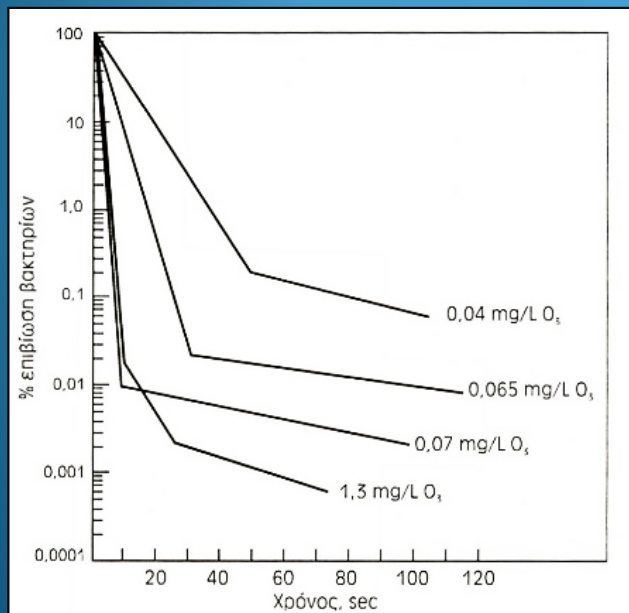


Τύποι καμπυλών επιβίωσης των μικροοργανισμών. Μήτρακας

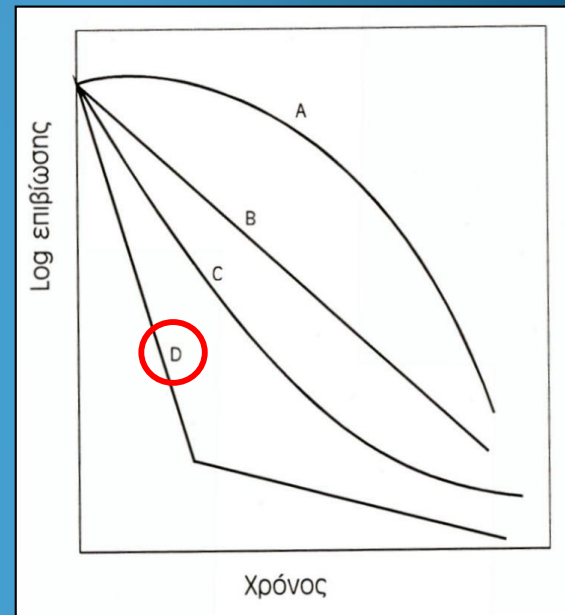


Παρεκκλίσεις από το νόμο Chick – Watson

- Η καμπύλη D έχει δύο μέρη που το καθένα εκφράζει και διαφορετικό ρυθμό καταστροφής. Τέτοιες καμπύλες λαμβάνουμε με τη χρήση όζοντος. Στο σχήμα κάτω διακρίνονται δύο διαφορετικοί σταθεροί ρυθμοί οζονισμού:



Κινητική καταστροφής E. Coli σε διάφορες συγκεντρώσεις όζοντος (T = 1°C). Μήτρακας 2001

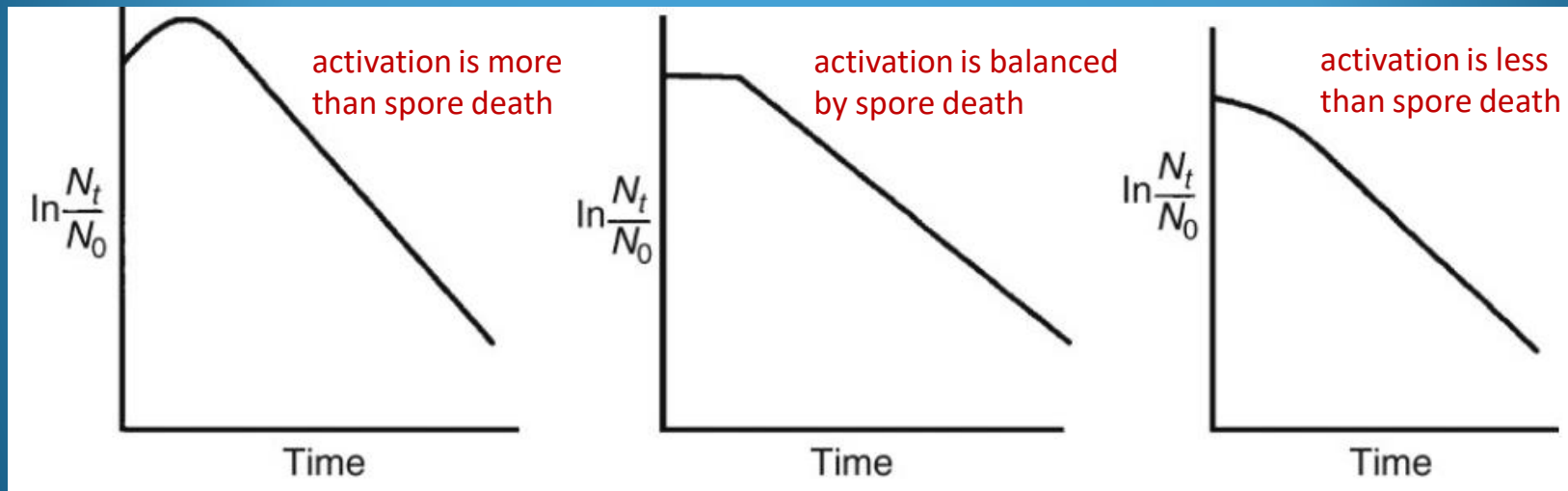


Τύποι καμπυλών επιβίωσης των μικροοργανισμών. Μήτρακας



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.



Άλλα μοντέλα κινητικής της απολύμανσης

Μοντέλο Gard (1957)

Ο Gard διαπίστωσε την ελάττωση του ρυθμού καταστροφής με το χρόνο.

$$\frac{N}{N_0} = (1 + \alpha \cdot C \cdot t)^{-k/a}$$

N: Συγκέντρωση ζωντανών μικροοργανισμών σε χρόνο t

C: Συγκέντρωση Απολυμαντικού

k: ρυθμός για καταστροφή Α' τάξης, t=0

α: συντελεστής ταχύτητας

τ: το μέγεθος C * t που πρέπει να υπερβούμε για να αρχίσει η απενεργοποίηση του μικροοργανισμού.

Μοντέλο Collins – Selleck (1972)

Πρότειναν το ακόλουθο κινητικό μοντέλο για την καταστροφή των μικροοργανισμών με τη βοήθεια κάποιου απολυμαντικού.

Το μοντέλο στηρίζεται σε **πειραματικά δεδομένα**, έτσι περιγράφει ικανοποιητικά τη συμπεριφορά διαφόρων συστημάτων στην πράξη.

$$\frac{dN}{dt} = -kN$$

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{C \cdot t}{\tau}\right)^{-n}$$



Για C*t > τ

$$\frac{N}{N_0} = 1$$



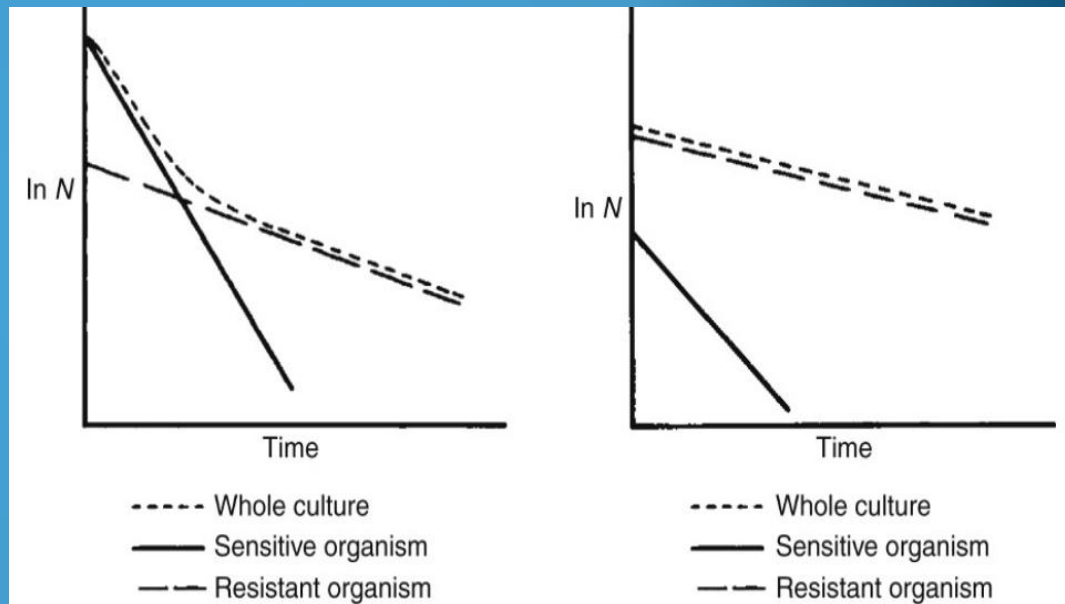
Για C*t < τ

Απαιτείται η υπέρβαση μιας συγκεκριμένης τιμής τ για να αρχίσει η απενεργοποίηση των μικροοργανισμών.



Ιδανικές και μη ιδανικές καμπύλες θανάτου Απολύμανση Μικτών Καλλιεργειών

- Τυπικά αποτελέσματα της απολύμανσης μικτών καλλιεργειών που περιέχουν δύο είδη με διαφορετικές ευαισθησίες σε συγκεντρώσεις απολυμαντικού .
- 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
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.



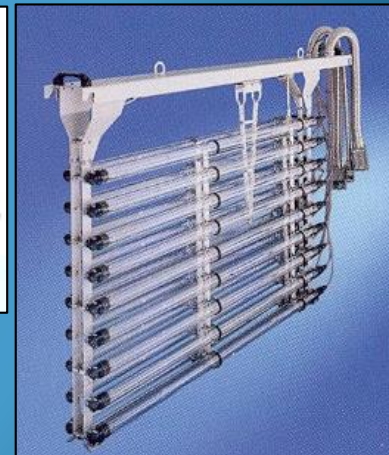
1. Υπεριώδης ακτινοβολία

Με την υπεριώδη ακτινοβολία η απολύμανση του νερού επιτυγχάνεται κατά τη διέλευση μέσα από ειδικές συσκευές ακτινοβόλησής του με **υπεριώδη ακτινοβολία (UV)**. Η UV εκπέμπεται από λαμπτήρες πολύ χαμηλής πίεσης ατμών υδραργύρου.

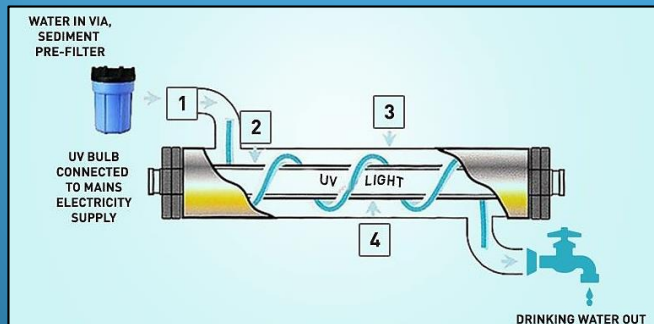
Τα εκπεμπόμενα μήκη κύματος κυμαίνονται από **200-300 nm**. Το νερό ρέει γύρω από τη λυχνία σε επίπεδο τόσο ρηχό, όσο χρειάζονται οι υπεριώδεις ακτίνες για να απορροφηθούν γρήγορα από το νερό.

Για πάχος νερού 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. Μαμάσης





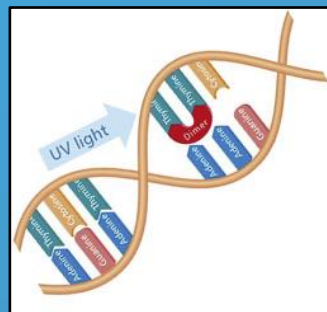
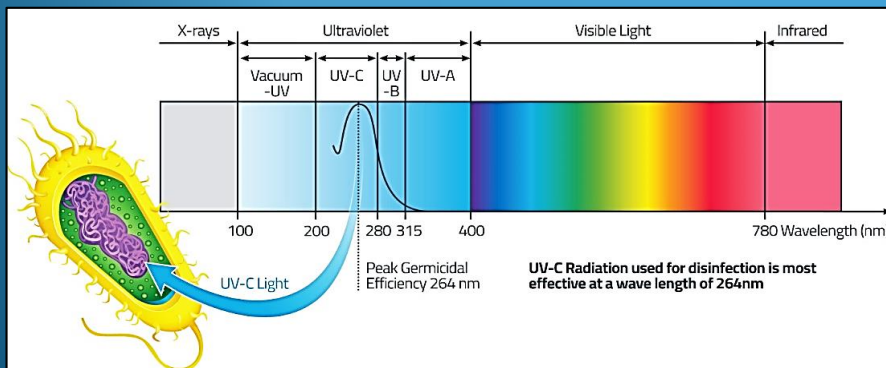
1. Υπεριώδης ακτινοβολία

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)**.

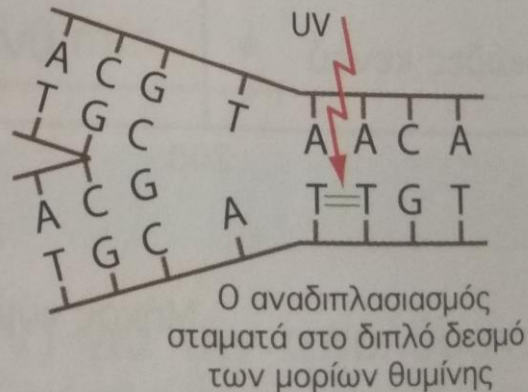
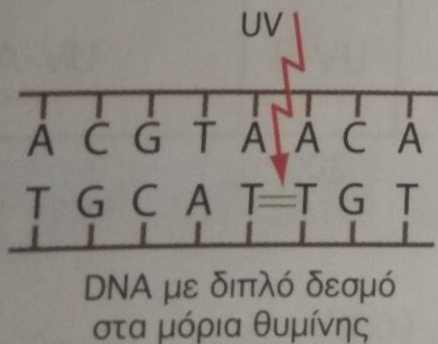
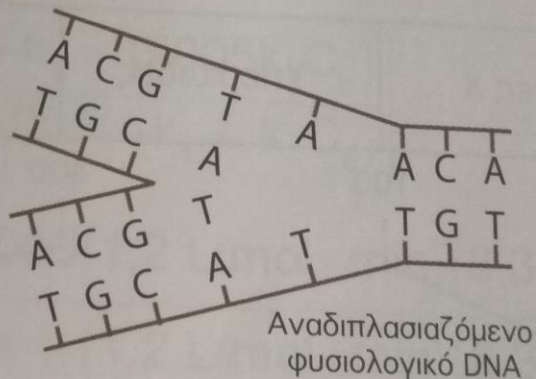
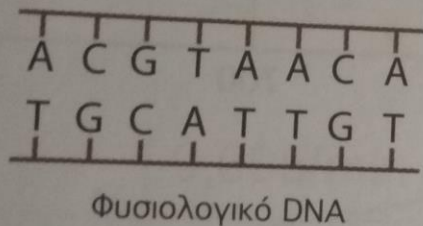
Η μέγιστη καταστροφική ικανότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας επιτυγχάνεται σε μήκος κύματος περίπου 265 nm (250 -270 nm) όπου παρατηρείται η μέγιστη απορρόφηση της από τα νουκλεϊνικά οξέα.



Στην ίδια αλυσίδα DNA σχηματίζονται διμερή πυριμιδίνης μεταξύ γενετικών βάσεων πυριμιδίνης: αλλοίωση γενετική.

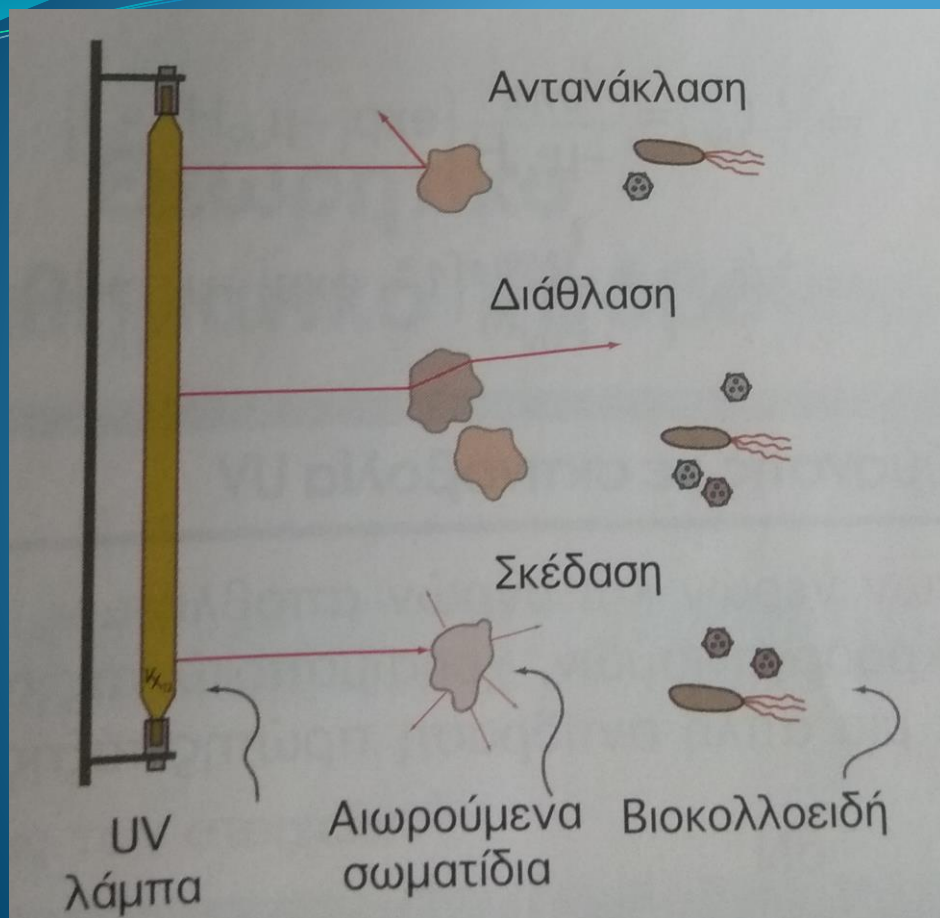


Τεχν/γία Πόσιμου Νερού: 9. Απολύμανση



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

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



- 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.



2. Αποστειρωτική διήθηση

Διήθηση του νερού 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

Μειονεκτήματα: Δε συγκρατεί πολύ μικρούς μικροοργανισμούς (ιούς), υψηλή ενεργειακή κατανάλωση και μικρή απόδοση

3. Θερμότητα

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

Μειονεκτήματα: Δεν προσφέρεται για μεγάλες ποσότητες νερού λόγω υψηλού κόστους

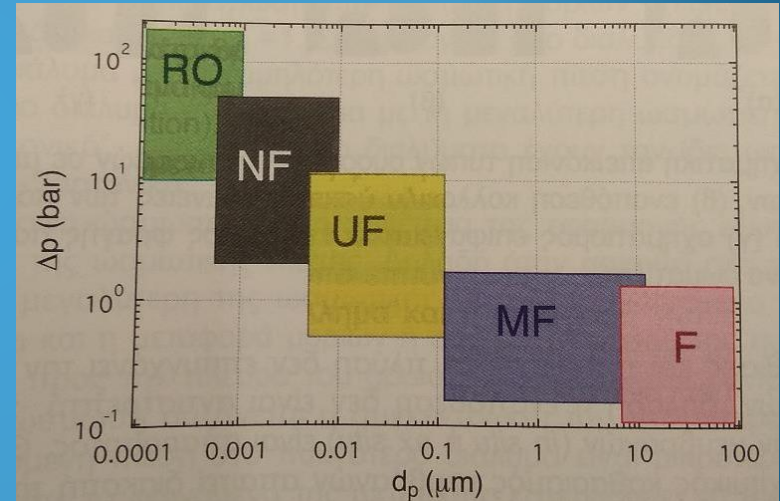
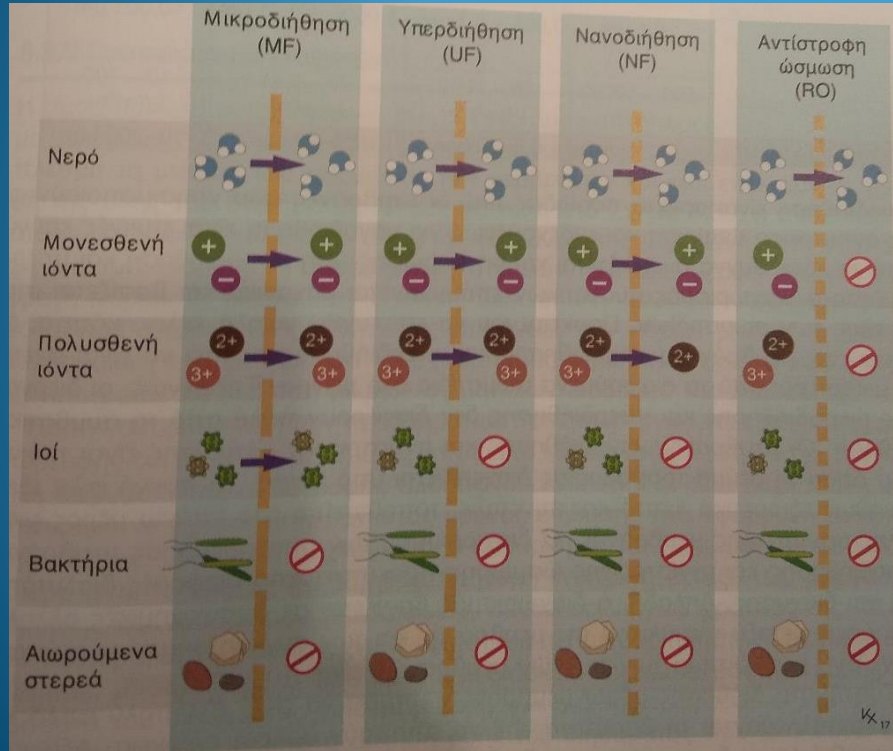
4. Ραδιενεργός ακτινοβολία

Ανάλογα με την ένταση και το χρόνο έκθεσης έχει μικροβιοκτόνες ιδιότητες

Τα νερό διέρχεται διαμέσου ειδικών αγωγών από το χώρο ακτινοβολήσης με τρόπο που να αποφεύγεται η ρύπανση του με ραδιενεργό υλικό.



Διαχωρισμός διαφορετικών μεμβρανών

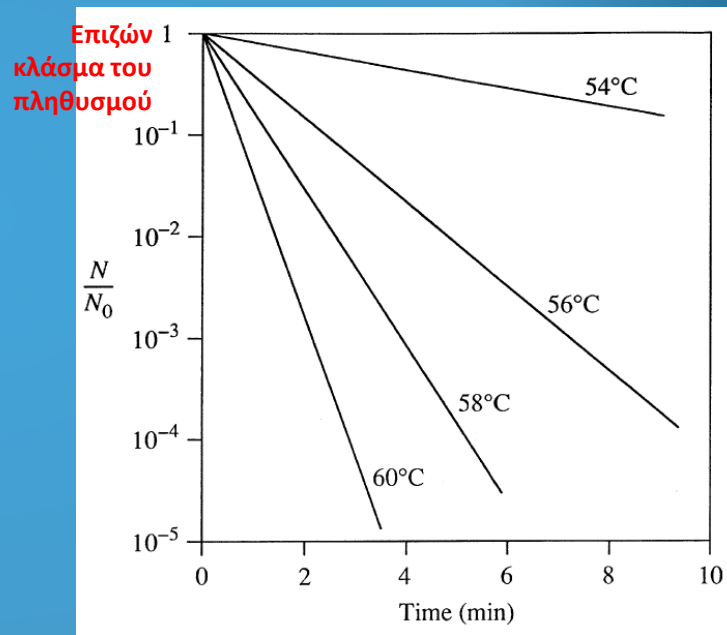


Πηγή: Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού νερού και Λυμάτων, Χρυσικόπουλος Κ.Β.



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.





Μη οξειδωτικά χημικά μέσα απολύμανσης

Αποτελούν έναν τρόπο ελέγχου της μικροβιακής δραστηριότητας σε συστήματα που δεν είναι δυνατή η χρήση παράγωγων χλωρίου, όπως σε υδατικά συστήματα με υψηλό περιεχόμενο οργανικών ενώσεων και αμμωνίας. Σχεδόν όλα είναι οργανικές χημικές ενώσεις.

Κύρια πλεονεκτήματα:

- Δράση ανεξάρτητη της τιμής του pH
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Έλεγχος Μ/Ο, όπως μύκητες, βακτήρια, άλγη
- Δράση ανεξάρτητη από οργανικές ενώσεις και NH_3

1. Μεθυλενοδιθειοκυάνιο (MBT), $(\text{SCN})\text{-CH}_2\text{-(SCN)}$

- Εφαρμογές σε χαρτοβιομηχανία και σε συστήματα ψύξης για τον έλεγχο βακτηρίων που δημιουργούν λάσπη
- Η ημιζωή του εξαρτάται από το pH και το χρόνο παραμονής
- Υδρολύεται στο νερό σε λιγότερο τοξικές ενώσεις



Μη οξειδωτικά χημικά μέσα απολύμανσης

2. Διβρωμονιτριλοπροπιοαμίδιο (DBNPA)

- Καταστρέφει γρήγορα τον μικροοργανισμό
- Αποσυντίθεται σε μη τοξικές ενώσεις
- Πολύ καλή περιβαλλοντική συμπεριφορά

3. Χλωροφαινόλες

- Άριστα μικροβιοκτόνα, κυρίως κατά των μυκήτων και των αλγών
- Τείνουν να καταργηθούν για περιβαλλοντικούς λόγους λόγω της τοξικότητάς τους

4. Ισοθειαζόλες - οργανοτριαζίνες

- Μικροβιοκτόνα ευρέως φάσματος, σε μεγάλη περιοχή pH
- Συμβατές με μη διασπαρτικά και τις περισσότερες οργανικές ενώσεις
- Συμβατές για χρήση με οξειδωτικά μέσα

5. Δι-τριβούτυλο οξείδιο του κασσιτέρου (TBTO), $(C_4H_9)_3\equiv Sn-O-Sn\equiv(C_4H_9)_3$

- Τυπικό οργανομεταλλικό μικροβιοκτόνο
- Χρήση κυρίως για έλεγχο αλγών, μυκήτων και αναερόβιων βακτηρίων



Οξειδωτικά χημικά μέσα απολύμανσης

Τα χημικά οξειδωτικά παίζουν αρκετά σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία του νερού και προστίθενται σε αρκετά σημεία των εγκαταστάσεων ανάλογα με τις απαιτήσεις σχεδιασμού της διεργασίας.

Μπορεί να γίνει προσθήκη στην **αρχή των εγκαταστάσεων** επεξεργασίας νερού για την επίτευξη μίας σειράς στόχων, όπως είναι:

- ο έλεγχος της ανάπτυξης μικροοργανισμών στις δεξαμενές της εγκατάστασης επεξεργασίας
- η απομάκρυνση χρώματος
- η βελτίωση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (οσμή-γεύση)
- η καταστροφή ορισμένων οργανικών ρυπαντών
- η ιζηματοποίηση μετάλλων.

Η χρήση χημικών οξειδωτικών στο **τέλος της εγκατάστασης** επεξεργασίας έχει ως μοναδικό σκοπό την **απολύμανση** του νερού πριν την ασφαλή του διάθεση.

Μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούνταν σχεδόν αποκλειστικά το **αέριο χλώριο** και τα **υποχλωριώδη άλατα**, 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.

Το χλώριο καταστρέφει διάφορους παθογόνους μικροοργανισμούς, όπως είναι τα βακτήρια *E. coli*, τα οποία χρησιμοποιούνται ως δείκτης μικροβιακής μόλυνσης. Η απολυμαντική του δράση εξαρτάται από τη τιμή pH, τη θερμοκρασία, το περιεχόμενο του νερού σε οργανικές ενώσεις, καθώς επίσης και από άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού.

Το αέριο χλώριο, όταν διαλύεται στο νερό, υδρολύεται γρήγορα σύμφωνα με την εξίσωση:



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:



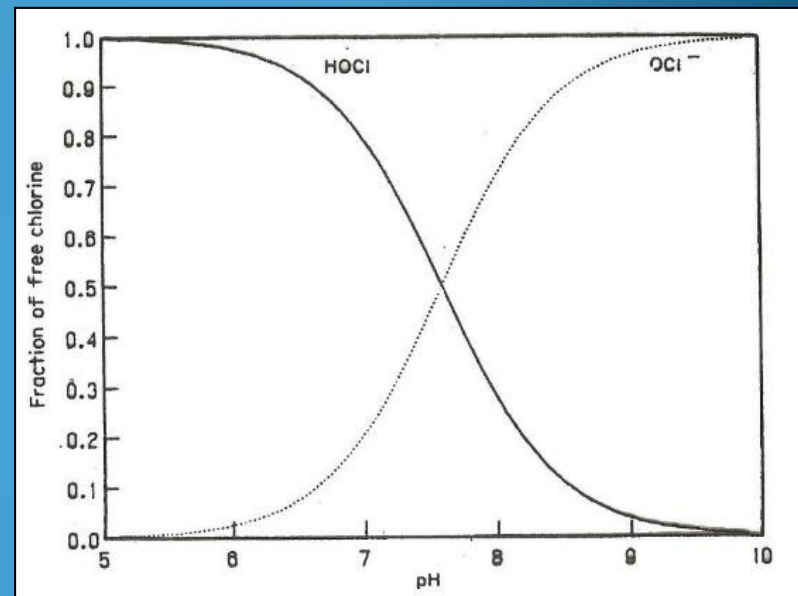


Αέριο Cl_2

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

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

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



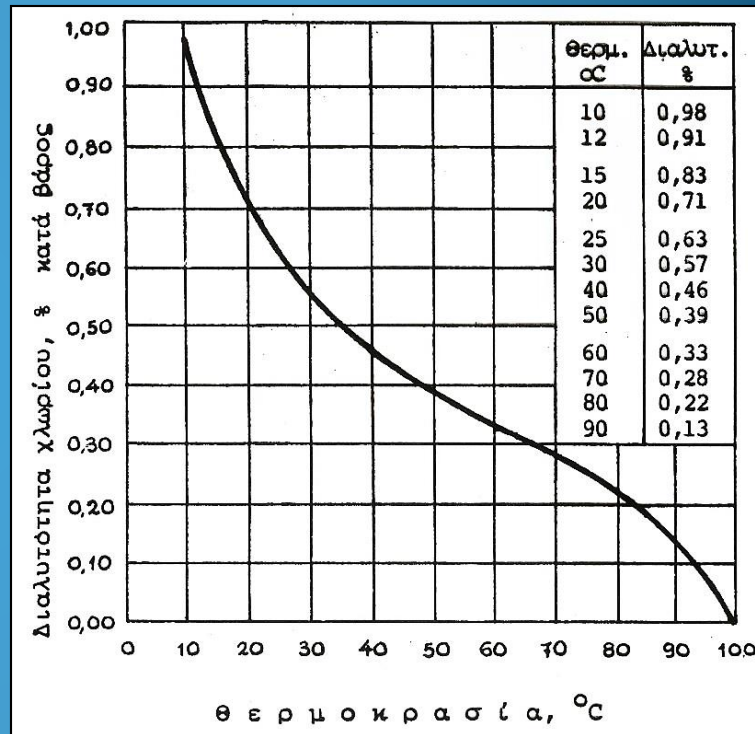
Ισορροπία $\text{HOCl} - \text{OCl}^-$ σε σχέση με την τιμή του pH. Μήτρακας



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.

Το χλώριο είναι αρκετά οξειδωτικό και αντιδρά με ενώσεις όπως NH₄⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, S²⁻, CN⁻ και άλλες οργανικές ενώσεις.



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



Αέριο Cl₂

Απαιτούμενο χλώριο: Το ποσό του χλωρίου που αντιδρά με τις ενώσεις αυτές πριν αρχίσει η απολυμαντική του δράση.

Ενεργό χλώριο: το άθροισμα όλων των ενώσεων χλωρίου που απαντούν σε κάποια χρονική στιγμή στο νερό και έχουν απολυμαντική δράση.

Ελεύθερο χλώριο ή υπολειμματικό χλώριο: Το τμήμα του συνολικά υπάρχοντος ενεργού χλωρίου, το οποίο βρίσκεται σε μορφή υποχλωριώδους οξέος και υποχλωριωδών ιόντων.

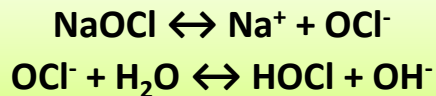
Γενικά το αέριο χλώριο:

- Διατίθεται στο εμπόριο σε χαλύβδινες φιάλες
- Δεσμεύεται από την NH₃ προς χλωραμίνες
- Τροφοδοτείται σε προδιάλυση στο νερό (1,5 - 3 g/L)
- Έχει μεγάλο πάγιο κόστος (λόγω προδιαγραφών υψηλής ασφαλείας)
- Μικρό λειτουργικό κόστος σε σχέση με άλλα οξειδωτικά
- Οικονομικά συνιστάται για μεγάλες εγκαταστάσεις (καταναλώσεις > 50 g/h)



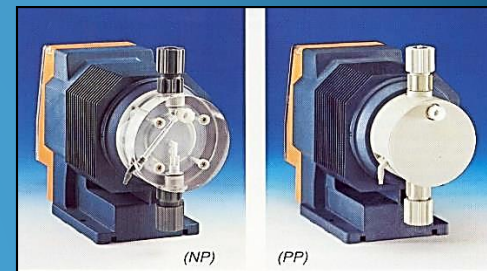
Υποχλωριώδη άλατα

Τα υποχλωριώδη άλατα όπως το υποχλωριώδες Νάτριο (NaOCl) δίστανται στο νερό και δίνουν HOCl και OCl⁻ ανάλογα με την τιμή του pH ως εξής:



Διαθέσιμο χλώριο NaOCl για χλωρίωση νερού: 12-15%

Διαθέσιμο χλώριο NaOCl σε χλωρίνη για οικιακή χρήση: 3-5%

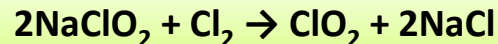


Δοσομετρικά συστήματα χλωρίωσης. Μήτρακας

ClO₂

Παράγεται κατά την αντίδραση του χλωρίου με χλωριώδες νάτριο όπου σε μεγάλες ποσότητες παράγεται ως εξής:

Σε μικρές ποσότητες παράγεται κατά την αντίδραση:



Επικίνδυνο εκρηκτικό γι' αυτό παράγεται επί τόπου λίγο πριν τη χρήση του (δλδ αποφεύγεται η μεταφορά του). Χρησιμοποιείται: λεύκανση χάρτου, συστήματα NH₃, βιομηχανία τροφίμων, επεξεργασία νερού επειδή δεν δημιουργεί χλωροενώσεις, οξειδώνει οργανικά Fe²⁺, Mn²⁺, S²⁻



Όζον (O_3)

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^\cdot), 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^\cdot).

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματά του είναι ότι διασπάται δίνοντας οξυγόνο στο νερό, γεγονός κατά κανόνα ευπρόσδεκτο. Έτσι, αποτελεί ένα μέσο απολύμανσης που δεν έχει ανεπιθύμητες επιδράσεις στη γεύση, την οσμή και την εμφάνιση του νερού.



Όζον (O₃)

Ιδιότητες - Χημική συμπεριφορά

- Χρώμα: Αέριο → μπλε / Υγρό → μπλε σκούρο–μαύρο / Στερεό → μαύρο
- Σημείο τήξης: -192,5°C
- Σημείο ζέσης: -111,5°C
- Ειδικό βάρος: 1,6 φορές του αέρα (2,143 kg/m³ , στους 0°C και 1atm)
- Θερμότητα σχηματισμού: 34,2 kcal/mol (143 kJ/mol)
- Διασπάται εξώθερμα σε μικρό χρόνο προς σχηματισμό O₂ → αδύνατη η αποθήκευση του
- Η διάσπαση του O₃ επιταχύνεται: από το pH, την υπεριώδη ακτινοβολία, θερμότητα και την παρουσία καταλύτων.



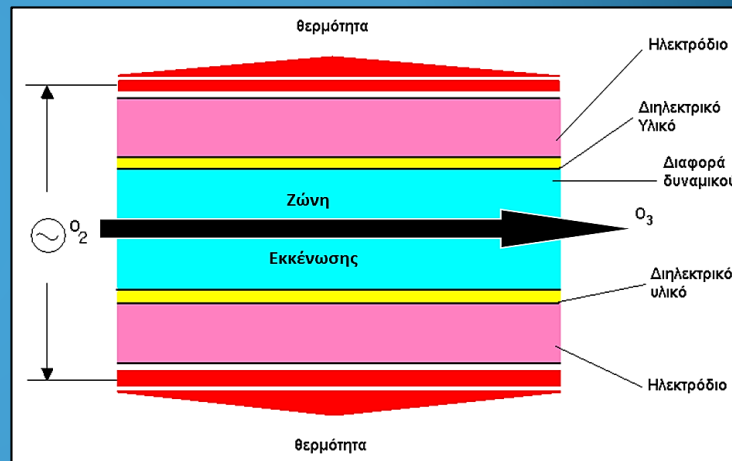
Παραγωγή Όζοντος

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

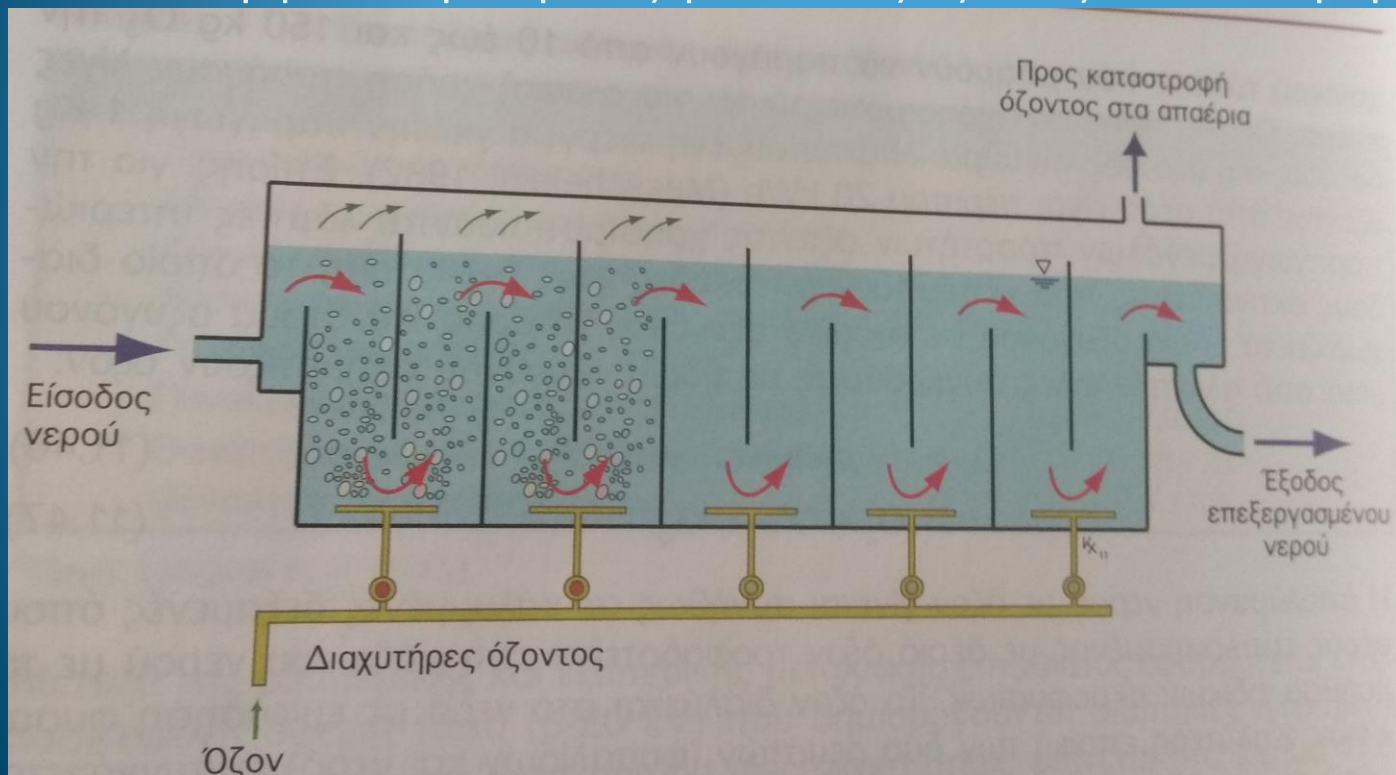
Για να αποφευχθεί βραχυκύκλωμα (ηλεκτρικό τόξο) στη ζώνη εκκένωσης:

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



Τεχν/γία Πόσιμου Νερού: 9. Απολύμανση

Σχηματικό διάγραμμα δεξαμενής διάλυσης επαφής όζοντος με 5 θαλάμους εκ των οποίων μόνο οι 2 πρώτοι επιτρέπουν εμφύσηση φυσαλίσων όζοντος. Η επαφή του νερού με τις φυσαλίδες όζοντος είναι σε ομορρόη.



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



Σύγκριση των αποτελεσμάτων επεξεργασίας του πόσιμου νερού 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 υδρογονάνθρακες, 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, τριαλομεθανίων κ.λπ.	Άμεση οξείδωση με οξυγόνωση νερού



Σύγκριση συστημάτων απολύμανσης

Μέθοδος	Υπέρ	Κατά
Χλωρίωση	<ul style="list-style-type: none">• Αξιόπιστη• Φθηνή μέθοδος• Απλή τεχνολογία	<ul style="list-style-type: none">• Χαμηλή αποτελεσματικότητα για τους ιούς• Προβλήματα οσμής και γεύσης• Παραπροϊόντα
Διοξειδίο του χλωρίου	<ul style="list-style-type: none">• Αποτελεσματική τεχνολογία για τα βακτήρια και τους ιούς• Δεν συμβάλλει στη δημιουργία τριαλομεθανίων (THM)	<ul style="list-style-type: none">• Ακριβή μέθοδος• Τοξικά παραπροϊόντα
Οζόνωση	<ul style="list-style-type: none">• Ισχυρό οξειδωτικό• Δεν δημιουργεί THMs• Αποτελεσματική τεχνολογία για τους ιούς	<ul style="list-style-type: none">• Ακριβή μέθοδος• Χαμηλή αποτελεσματικότητα για τα βακτήρια (<i>E. coli</i>)
UV	<ul style="list-style-type: none">• Αποτελεσματική τεχνολογία για τα βακτήρια και τους ιούς	<ul style="list-style-type: none">• Ακριβή μέθοδος• Μη-αποτελεσματική μέθοδος για μεγάλους μικροοργανισμούς (π.χ. πρωτόζωα)

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



Απολύμανση στη βιομηχανία

Η χλωρίωση του νερού βελτιώνει τους όρους υγιεινής στη βιομηχανία:

- Μειώνει τις πιθανότητες μόλυνσης με μικρόβια προϊόντων και μηχανημάτων
- Εμποδίζει τη συγκέντρωση οργανικών ουσιών στα μηχανήματα
- Προλαμβάνει την κακοσμία στο χώρο παραγωγής
- Βελτιώνει την πρώτη ύλη
- Κρατά τα μικρόβια στη λανθάνουσα φάση
- Μειώνει την τάση διάβρωσης των μηχανημάτων
- Προφυλάσσει τις συσκευασίες από επιμόλυνση

Η επιλογή του απολυμαντικού εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, με κυριότερους να είναι:

- Να είναι δραστικό σε όλες τις κατηγορίες μικροοργανισμών που παρουσιάζονται ή αναμένεται να παρουσιασθούν στο σύστημα
- Να συμφέρει οικονομικά η εφαρμογή του
- Να μην δημιουργεί παρενέργειες στο σύστημα και να μην διευκολύνει την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη ανεπιθύμητων ειδών
- Να μην δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους για το προσωπικό και το περιβάλλον.



Άσκηση 1

Για την απολύμανση 20000 m³/d νερού χρησιμοποιείται 9 kg/d χλώριο. Εάν το ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο που παραμένει στο νερό μετά από 15 λεπτά ανάμιξης είναι 0,25 mg/L , να βρεθεί η προστιθέμενη δόση χλωρίου και η ολική ζήτηση του χλωρίου σε mg/L.

Λύση

Η προστιθέμενη δόση είναι:

$$\text{Δόση} = \left(\frac{9 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{20000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}\right) \left(\frac{1000000 \text{mg}}{\text{kg}}\right) \left(\frac{\text{m}^3}{1000 \text{L}}\right) = 0,45 \text{ mg/L}$$

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

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



Πραγματικό και διαθέσιμο χλώριο

Το ποσοστό του πραγματικού και του διαθέσιμου χλωρίου χρησιμοποιούνται για τη σωστή επιλογή χλωριούχων ουσιών για αποτελεσματική χλωρίωση.

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:

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

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 $[(35,5/67,5) \times 100] = 52,6$

Και το διαθέσιμο χλώριο είναι $(5 * 52,6\%) = 260\%$



Πραγματικό και διαθέσιμο χλώριο

Ουσία	Μοριακό βάρος	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

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



Άσκηση 2

Για την απολύμανση ενός δικτύου ύδρευσης 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.

Για ευκολία χρησιμοποιούμε τον συμβολισμό: $L_{(s)} = \text{L διάλυμα}$ και $L_{(w)} = \text{L νερό}$.

Λύση

NaOCl : Περιέχει $95,4\%$ διαθέσιμο χλώριο

$$\alpha: \left(25000 \frac{\text{mg Cl}_2}{L_{(s)}} \right) \left(\frac{\text{kg}}{10^6 \text{ mg}} \right) \left(\frac{\text{NaOCl}}{0,954 \text{ Cl}_2} \right) = 0,0263 \text{ kg NaOCl} / L_{(s)} = 2,63 \text{ kg NaOCl} / 100 L_{(s)}$$

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

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



Άσκηση 3

Πειράματα απολύμανσης ενός επιφανειακού νερού 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 άσκησης 3

Η εξίσωση του ρυθμού θανάτου είναι:

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

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

Για N ίσο με 1% of 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: $k = \Lambda C^n$

Για $C = 0,15 \text{ g/m}^3$ και για $n=1,1$ υπολογίζουμε το Λ

$\Lambda = 3,72$ (τι units έχει το Λ ;))

Για $C=0,08 \text{ g/m}^3$ από την εξίσωση $k = \Lambda C^n$ έχουμε:

$k = 3,72 * 0,08^{1,1} = 0,298 \text{ (1/min)}$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\Lambda \cdot C^n \cdot t$$

C: συγκέντρωση απολυμαντικού
Λ: συντελεστής θνησιμότητας
n: συντελεστής διάχυσης – ενεργότητας.



Λύση άσκησης 3

Η νέα εξίσωση του ρυθμού θανάτου είναι:

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

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

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.

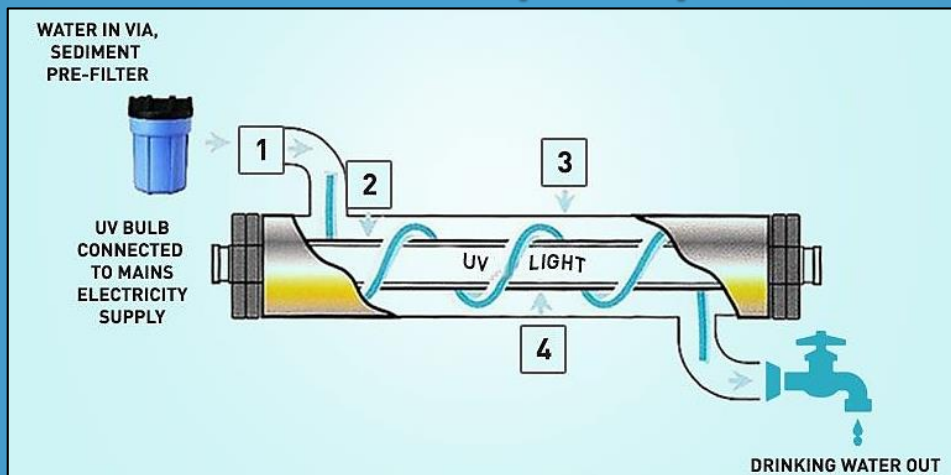


Ερωτήσεις – Απολύμανση

7. Οι ιοί και οι διαφορές τοξίνες είναι αδύνατο, σήμερα, να απομακρυνθούν κατά την απολύμανση του νερού με :
- α) Υπεριώδη ακτινοβολία.
 - β) Ραδιενεργό ακτινοβολία.
 - γ) Θερμότητα.
 - δ) Αποστειρωτική διήθηση.
8. Τα μη οξειδωτικά μέσα απολύμανσης χρησιμοποιούνται :
- α) Διότι καταστρέφουν γρήγορα τους μικροοργανισμούς και στη συνέχεια αποσυντίθενται σε τοξικές ενώσεις.
 - β) Όπου δεν είναι δυνατή η χρήση παραγώγων χλωρίου.
 - γ) Διότι βελτιώνουν οργανοληπτικά χαρακτηριστικά
 - δ) Διότι η δράση τους εξαρτάται άμεσα από την τιμή του pH.
9. 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.
10. Το όζον παράγεται βιομηχανικά :
- α) Με θερμική ενεργοποίηση αερίου 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.



9. Απολύμανση



ΤΕΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
Ευχαριστώ πολύ
για την προσοχή σας