

ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

Η διεργασία αυτή έχει στόχο την **καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών** σε τέτοιο βαθμό, ώστε η διάθεση των εκροών να μην δημιουργεί κινδύνους στην δημόσια υγεία και στο περιβάλλον. Μεγάλο μέρος των παθογόνων μικροοργανισμών καταστρέφεται κατά την βιολογική επεξεργασία των αποβλήτων, παρόλα αυτά, εάν απαιτούνται εκροές με χαμηλότερο μικροβιακό φορτίο πρέπει να επεξεργαστούν με χρήση φυσικών ή χημικών μεθόδων όπως:

- Χλωρίωση
- Οζονισμός
- Υπεριώδης ακτινοβολία

Η επιλογή της μεθόδου και της απαιτούμενης δόσολογίας είναι συνάρτηση της αρχικής και της επιθυμητής ποιότητας εκροής, του μεγέθους της εγκατάστασης και του διαθέσιμου κεφαλαίου.

ΧΛΩΡΙΩΣΗ

Η χλωρίωση των εκροών εγκαταστάσεων υγρών αποβλήτων επιτελείται με εφαρμογή είτε αέριου χλωρίου (Cl_2), είτε διοξειδίου του χλωρίου (ClO_2), είτε διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl), είτε υποχλωριώδους ασβεστίου (Ca(OCl)_2), τα οποία μπορούν να καταστρέψουν ένζυμα, πρωτεΐνες και την κυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών.

- Το αέριο χλώριο κυκλοφορεί σε μεταλλικές φιάλες του ενός τόνου και σε βυτία χωρητικότητας έως 50 τόνων.
- Το υποχλωριώδες νάτριο κυκλοφορεί σε υδατικό διάλυμα περιεκτικότητας 12-15% σε ελεύθερο χλώριο.
- Το διοξείδιο του χλωρίου πρέπει να παρασκευαστεί επί τόπου με αντίδραση χλωρίου και υποχλωρικού νατρίου (NaClO_2).
- Το υποχλωριώδες ασβέστιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως υδατικό διάλυμα είτε σε στερεά μορφή

ΧΛΩΡΙΩΣΗ

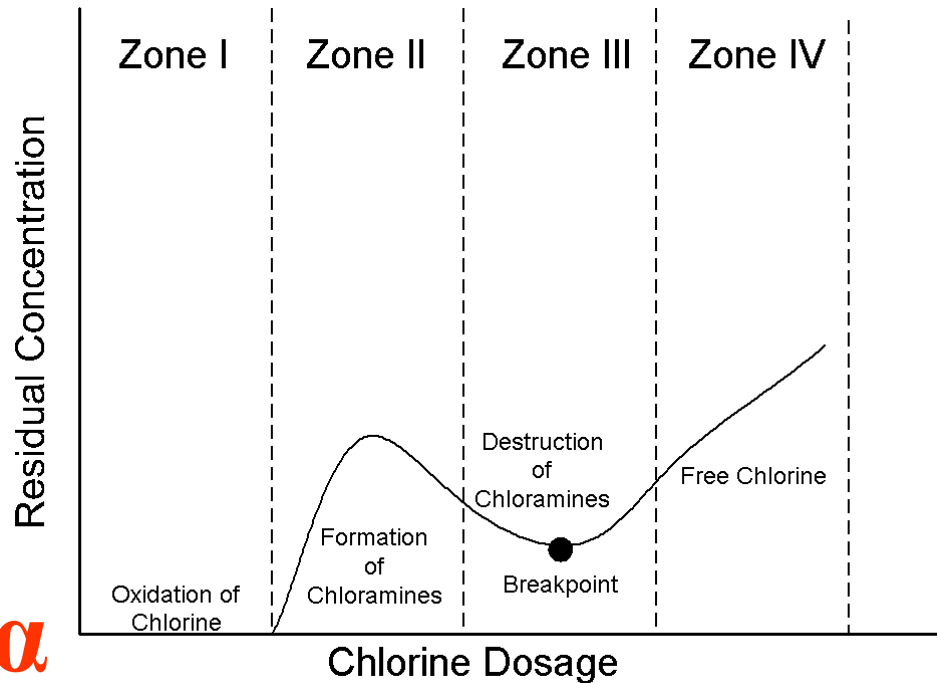
Η χλωρίωση συνήθως λαμβάνει χώρα σε δεξαμενές επαφής μαιανδρικής ροής (με χρόνο παραμονής 30-120 min).

Εάν απαιτείται, η καταστροφή του υπολειμματικού χλωρίου (**αποχλωρίωση**) προς χλωριούχα ιόντα (Cl^-), γίνεται με προσθήκη διοξειδίου του θείου (SO_2), ή θειώδους νατρίου (Na_2SO_3), ή υποθειώδους νατρίου (NaHSO_3), ή θειοθειικού νατρίου ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Η αποχλωρίωση είναι ακαριαία αντίδραση και ο χρόνος παραμονής στην δεξαμενή αποχλωρίωσης είναι περίπου 3 λεπτά.

ΧΛΩΡΙΩΣΗ

α. Μεταβολή υπολειματικού χλωρίου κατά την απολύμανση αποβλήτων που περιέχουν αμμωνιακό άζωτο

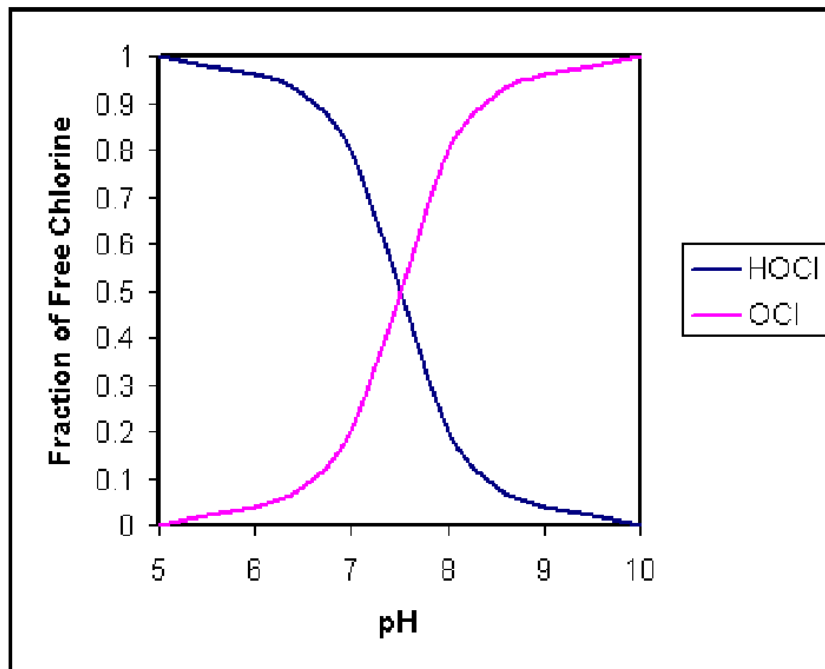
α



β. Επίδραση του pH στην χημική ισορροπία υποχλωριώδους οξέος (HOCl)-υποχλωριώδους ρίζας (OCl):

Το HOCl έχει 60-100 φορές ισχυρότερη μικροβιοκτόνο δράση από το OCl

β



ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΧΛΩΡΙΩΣΗΣ

Η δοσολογία εξαρτάται από το είδος του αποβλήτου και την προοριζόμενη χρήση

- Γινόμενο $C_R t$ (τουλάχιστον 200 mg min/L για δευτεροβάθμια εκροή, 450 mg min/L για επαναχρησιμοποίηση)
- Χρόνος επαφής: 30-120 min για παροχή αιχμής (60 min είναι συνήθως ικανοποιητικός χρόνος)
- Ελάχιστη ταχύτητα ροής στο κανάλι 2m/s
- Λόγος μήκος/πλάτος τουλάχιστον 40 (για να διασφαλίζεται εμβολική ροή)
- Το εμπορικό διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου έχει συνήθως περιεκτικότητα σε χλώριο 12-15%
- Τυπική αρχική συγκέντρωση χλωρίου 5-20 mg/L
- Για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση νερού η δόση (μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία και αμμόφιλτρο) είναι 8-30 mg/L, ενώ απαιτείται υπολειμματικό χλώριο τουλάχιστον 2mg/L και ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min

ΧΛΩΡΙΩΣΗ

α. Δεξαμενή χλωρίωσης

β. Δοχεία διαλύματος θειοθεικού νατρίου του συστήματος αποχλωρίωσης, Lexington, Η.Π.Α.

γ. Δεξαμενή αποχλωρίωσης, DuPage, Η.Π.Α.



Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΧΛΩΡΙΩΣΗ: ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΠΑΦΗΣ



Rosville, Η.Π.Α.

Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΧΛΩΡΙΩΣΗ: ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΕΠΑΦΗΣ



Σητεία, Ελλάς

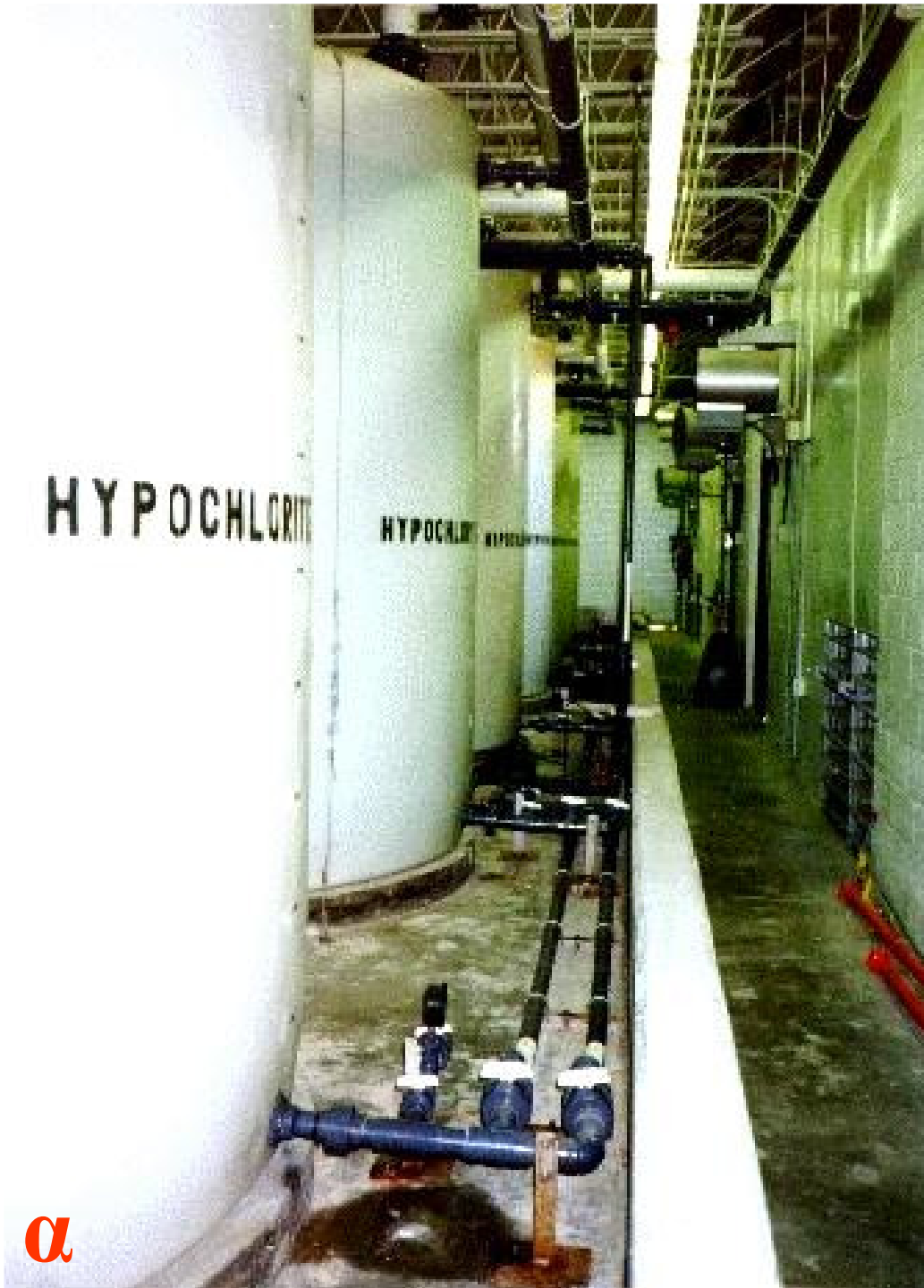
ΧΛΩΡΙΩΣΗ: ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΧΛΩΡΙΟΥ

DuPage, Illinois, Η.Π.Α.

Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΧΛΩΡΙΩΣΗ

- α. Δοχεία διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου
- β. Αντλίες τροφοδοσίας διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου



α



β

Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΧΛΩΡΙΩΣΗ

- α. Σύστημα δοσομέτρησης στερεού υποχλωριώδους ασβεστίου
- β. Ταμπλέτες υποχλωριώδους ασβεστίου



Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΟΖΟΝΙΣΜΟΣ

Το όζον (O_3) είναι **ασταθές αέριο** αποτελούμενο από τρία άτομα οξυγόνου το οποίο αντιδρά με το νερό παράγοντας ασταθείς και ιδιαίτερα οξειδωτικές ρίζες όπως: HO_2 , HO . Η οξειδωτική του ικανότητα είναι μεγαλύτερη από αυτή του χλωρίου, καταστρέφοντας απευθείας τις κυτταρικές μεμβράνες των μικροοργανισμών.

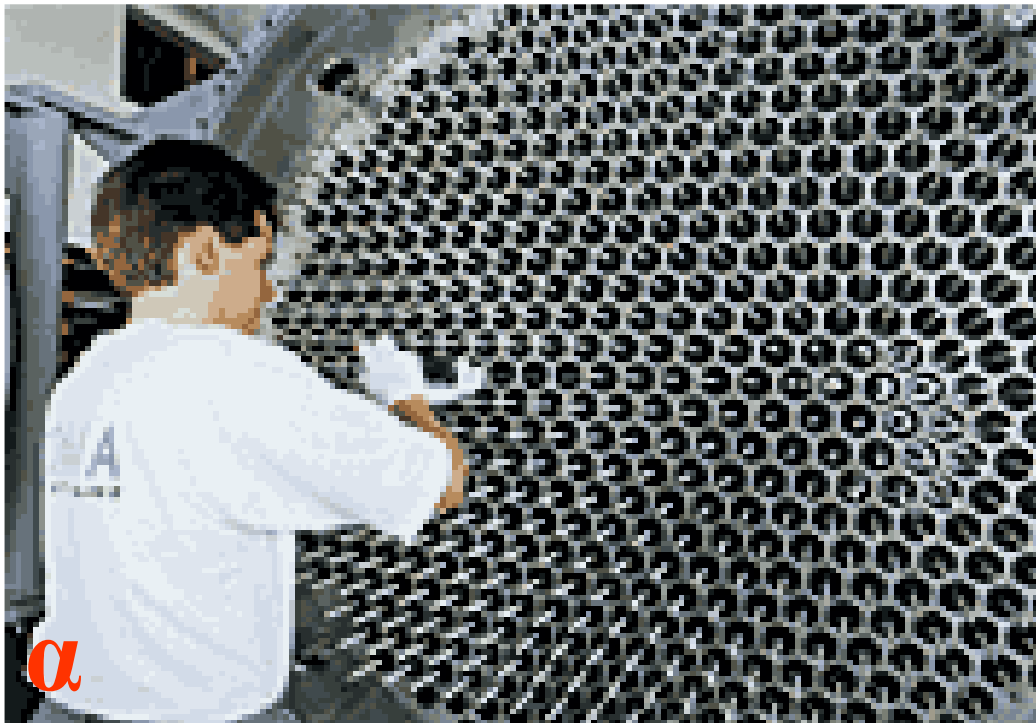
- Το όζον παράγεται επί τόπου, είτε από αέρα είτε από καθαρό οξυγόνο, με εφαρμογή ηλεκτρικών εκκενώσεων 5-20kV .
- Ιδιαίτερη σημασία έχει η σωστή προεπεξεργασία του αέρα, ώστε να είναι απαλλαγμένος σκόνης και υγρασίας.

Ο οζονισμός συνήθως λαμβάνει χώρα σε κλειστές δεξαμενές επαφής βάθους περίπου 5 m (με χρόνο παραμονής 5-15 min).

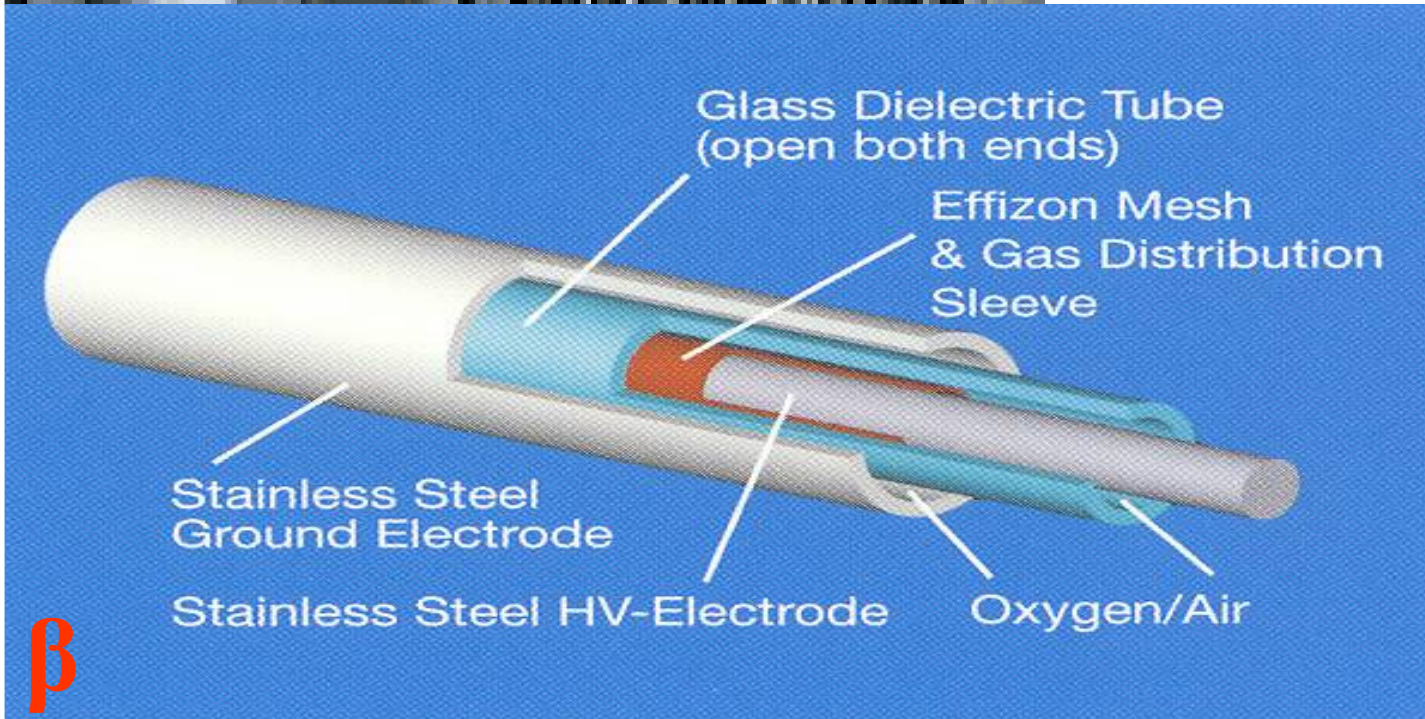
Απαραίτητη είναι η **καταστροφή του υπολειμματικού όζοντος** με θερμική κατεργασία στους 300-350 °C.

Η συγκέντρωση του όζοντος στην ελεύθερη επιφάνεια της δεξαμενής επαφής φτάνει το 1 g/m³, ενώ η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση για δωρη έκθεση είναι 0,0002 g/m³.

ΟΖΟΝΙΣΜΟΣ



- α. Συσκευή παραγωγής όζοντος:
σημείο τοποθέτησης
ηλεκτροδίων
- β. Ηλεκτρόδιο
- γ. Αυτόνομη μονάδα
παραγωγής όζοντος

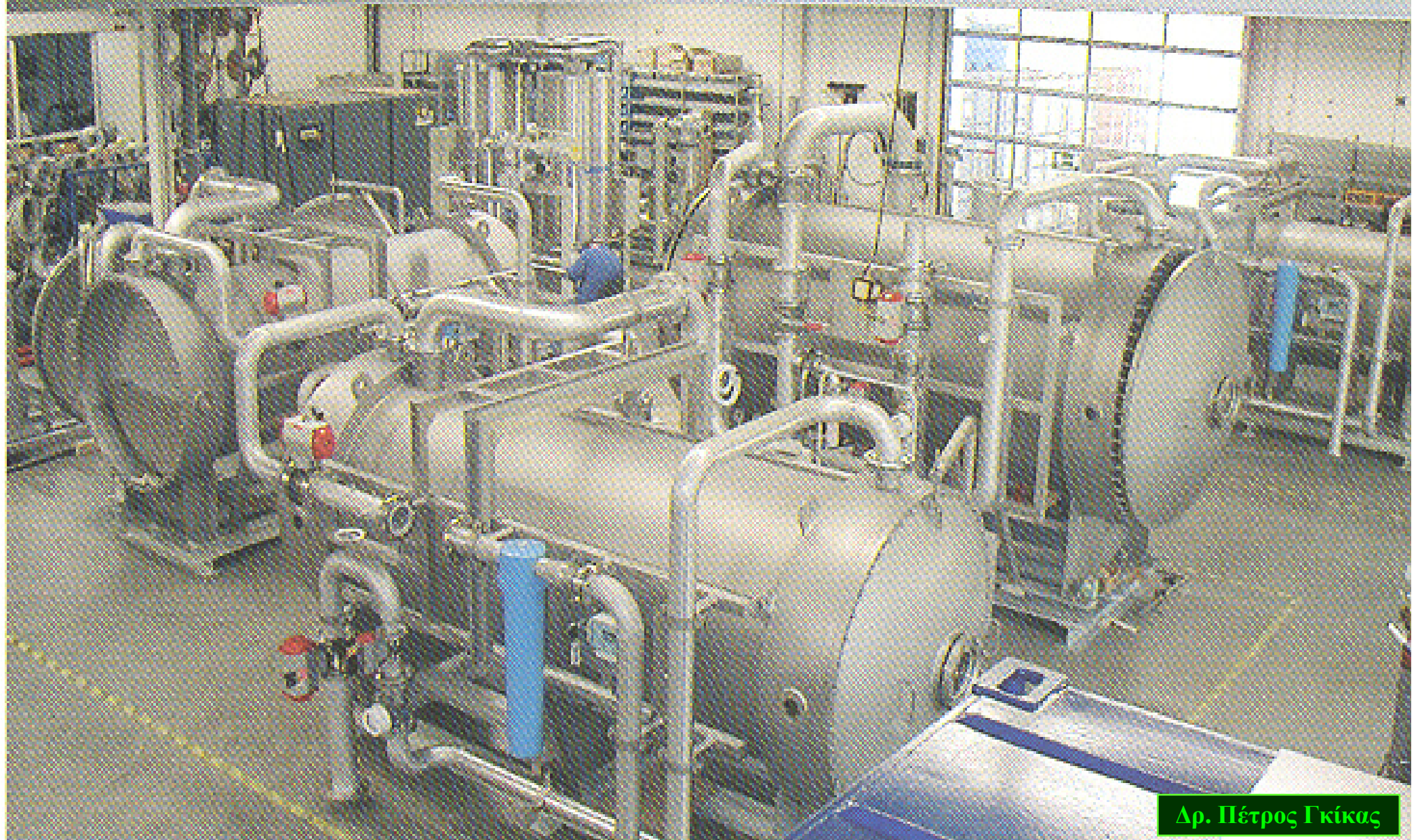




ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ

Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ



Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΟΖΟΝΙΣΜΟΣ

- α. Συσκευή καταστροφής υπολειμματικού όζοντος
- β. Σύστημα παραγωγής όζοντος



α



β

Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΖΟΝΙΣΜΟΥ

Η δοσολογία εξαρτάται από το είδος του αποβλήτου και την προοριζόμενη χρήση

- Συνήθης χρόνος επαφής: 15 min
- Τυπική δόση σε δευτεροβάθμια εκροή: 4-8 mg O₃/L
- Τυπική δόση για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση σε έξοδο αμμόφιλτρου (μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία): 30-40 mg O₃ /L
- Ενεργειακές απαιτήσεις:
 - αρχική συμπίεση και ξήρανση του αέρα 5-7 kWh/kg O₃
 - παραγωγή όζοντος: 13-20 kWh/kg O₃
 - εφαρμογή όζοντος: 2-7 kWh/kg O₃

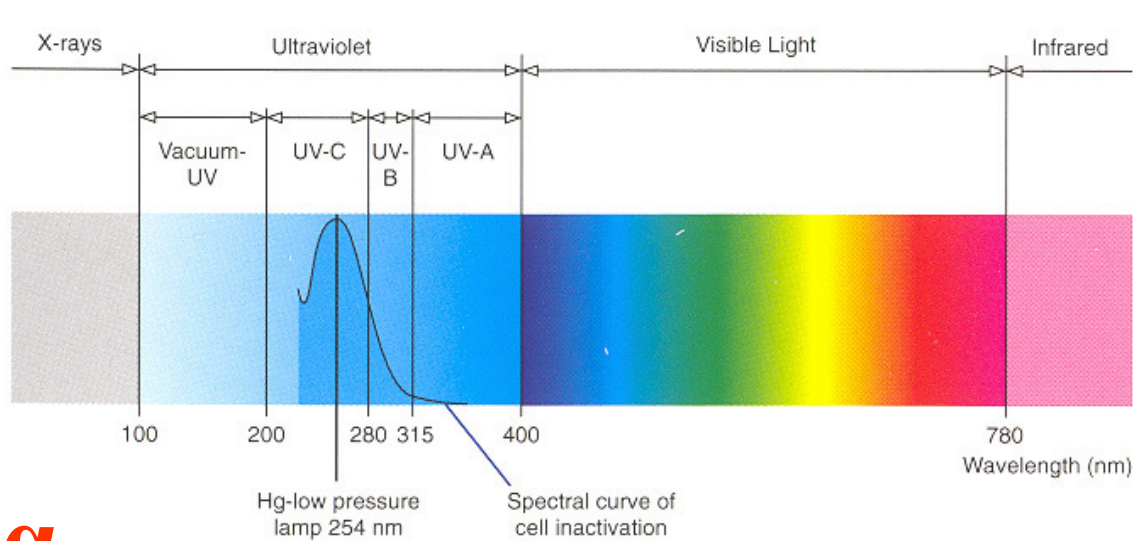
ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (UV)

Πρόκειται για ακτινοβολία με μήκη κύματος μεταξύ 100-400nm, εκ των οποίων, η **περιοχή μεταξύ 220-320nm έχει μικροβιοκτόνο δράση**. Η ακτινοβολία UV καταστρέφει τα μακρομόρια δεσοξυριβονουκλεϊκού οξέος (DNA) και ριβονουκλεϊκού οξέος (RNA), με αποτέλεσμα να καθίσταται αδύνατη η μεταφορά πληροφοριών εντός του κυττάρου, γεγονός που οδηγεί στον θάνατο.

➤ Η ακτινοβολία UV παράγεται είτε από λαμπτήρες χαμηλής πίεσης (0,01-1,0 bar, μονοχρωματική ακτινοβολία στα 254nm), είτε από λαμπτήρες μέσης πίεσης (10-20 bar, πολυχρωματική ακτινοβολία 200-400nm).

Η ακτινοβολία μπορεί να λάβει χώρα είτε σε ανοικτά κανάλια με τους λαμπτήρες τοποθετημένους παράλληλα ή κάθετα στην ροή των αποβλήτων, είτε εντός κλειστών αγωγών. Απαραίτητος είναι ο περιοδικός καθαρισμός των λαμπτήρων, χειρονακτικά ή μηχανικά.

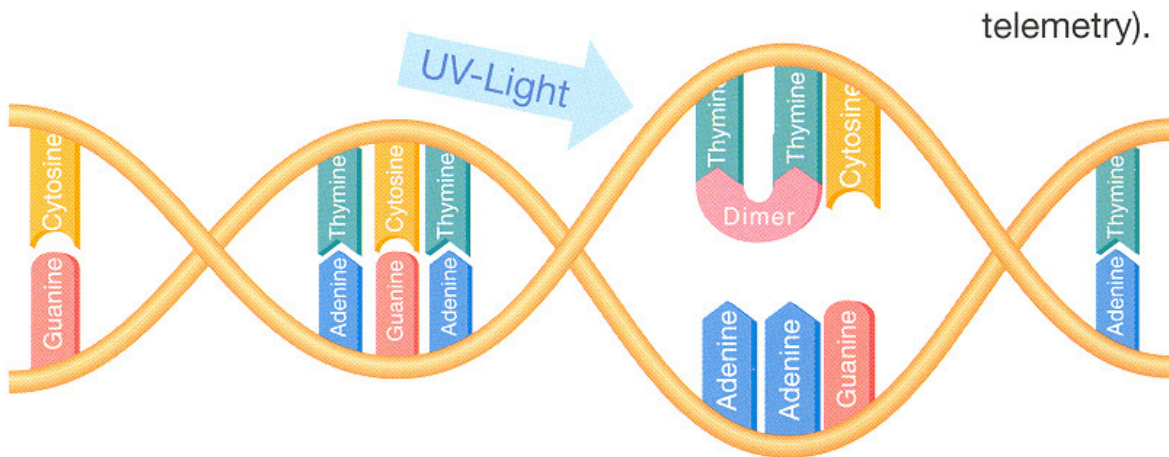
Σημαντική **μείωση της απολυμαντικής ικανότητας** της UV ακτινοβολίας επέρχεται σε περιπτώσεις αποβλήτων με σχετικά υψηλή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών.



ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ UV

α. Μήκη κύματος της ακτινοβολίας UV και καμπύλη απολυμαντικής δράσης

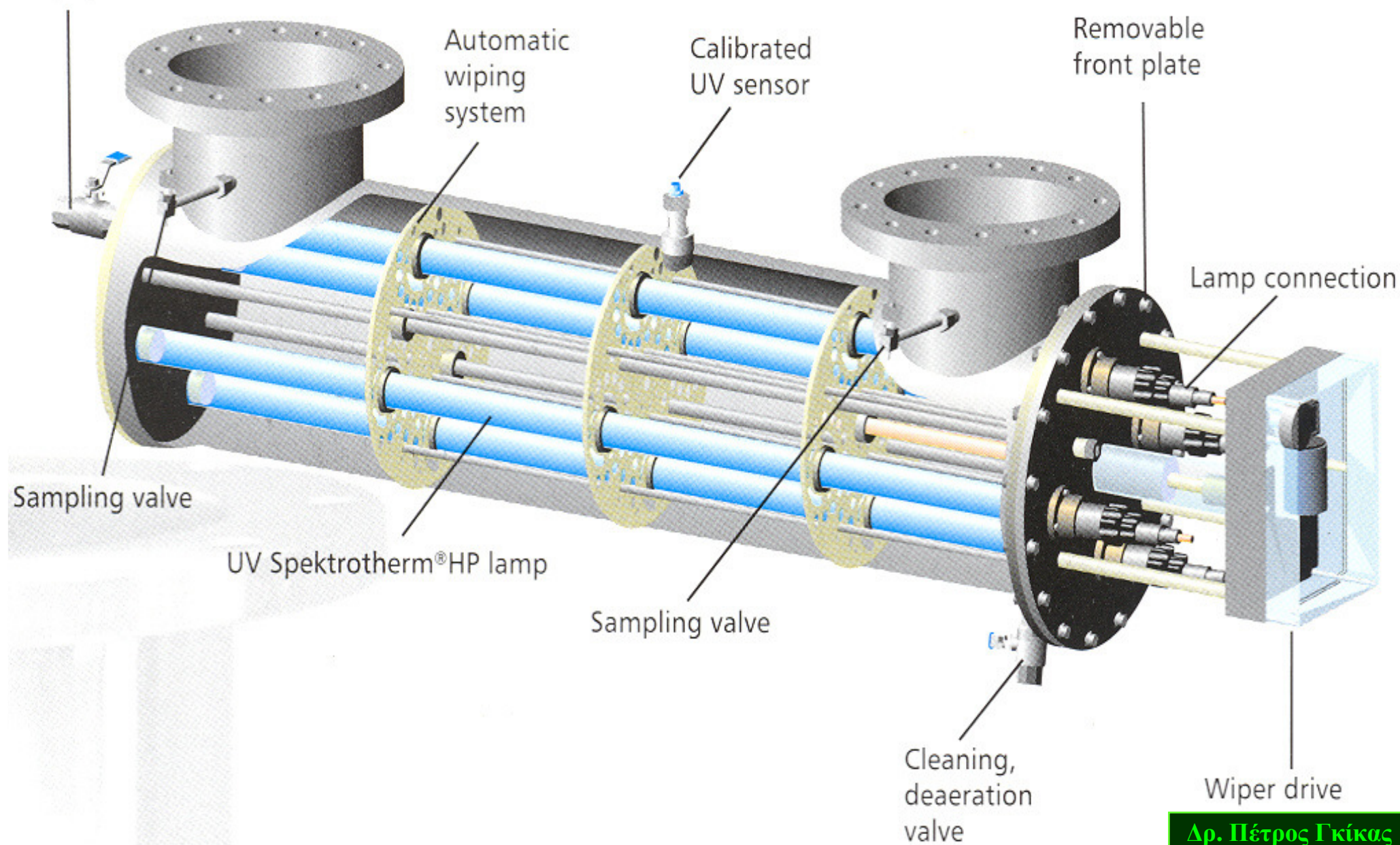
α



β. Επίδραση της ακτινοβολίας UV σε μόριο DNA

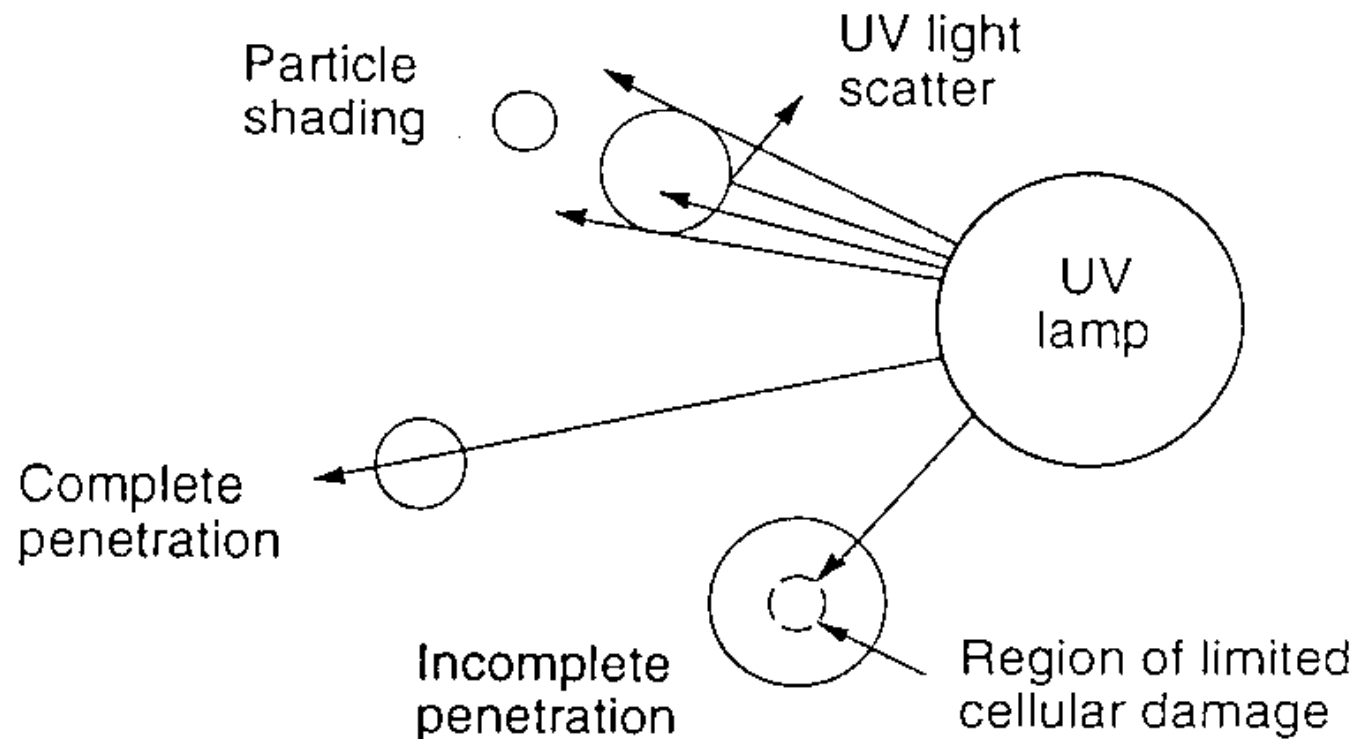
β

ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΑΜΠΤΗΡΩΝ UV



Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΑΡΕΜΠΟΔΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ UV ΛΟΓΩ ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ



UV ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

- α. Σύστημα κλειστού αγωγού
- β. Πλαίσιο με λαμπτήρες για σύστημα ανοικτού καναλιού
- γ. Σύστημα ανοικτού καναλιού, Princeton, New Jersey, Η.Π.Α.



α



β



γ

Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΜΕ UV ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΑΝΑΛΙ



Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΜΕ UV ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΑΓΩΓΟ



Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΜΕ UV ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΑΓΩΓΟ



Ψυττάλεια, Αθήνα

Δρ. Πέτρος Γκίκας

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΚΤΙΒΟΛΙΣΗΣ ΜΕ UV

Η δοσολογία εξαρτάται από το είδος του αποβλήτου και την προοριζόμενη χρήση

- Χρόνος επαφής: 30-120 min για παροχή αιχμής (60 min είναι συνήθως ικανοποιητικός χρόνος)
- Ελάχιστη ταχύτητα ροής στο κανάλι 2m/s
- Λόγος μήκος/πλάτος τουλάχιστον 40 (για να διασφαλίζεται εμβολική ροή)
- Το εμπορικό διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου έχει συνήθως περιεκτικότητα σε χλώριο 12-15%
- Τυπική αρχική συγκέντρωση χλωρίου 5-20 mg/L
- Για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση νερού η δόση (μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία και αμμόφιλτρο) είναι 8-30 mg/L, ενώ απαιτείται υπολειμματικό χλώριο τουλάχιστον 2mg/L και ελάχιστος χρόνος επαφής 60 min

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗΣ ΜΕ UV

Η δοσολογία εξαρτάται από το είδος του αποβλήτου και την προοριζόμενη χρήση

- Συνήθης χρόνος επαφής (λαμπτήρες χαμηλής πίεσης): 20-30 sec
- Τυπική δόση σε δευτεροβάθμια εκροή: 40-50 mJ/cm²
- Τυπική δόση για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση στην έξοδο αμμόφιλτρου (μετά από δευτεροβάθμια επεξεργασία): 80-100 mJ/cm² (ελάχιστη κατά την νομοθεσία: 60 mJ/cm²)
- Διαπερατότητα:
 - δευτεροβάθμια εκροή: 45-70%
 - δευτεροβάθμια εκροή ακολουθούμενη από αμμόφιλτρο: 56-79%
 - μέγιστη κατά το τέλος ζωής των λαμπτήρων για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση (σύμφωνα με την νομοθεσία: 70%)
- 5. Ενεργειακές απαιτήσεις (λαμπτήρες χαμηλής πίεσης και έντασης):
 - ισχύς: καταναλισκόμενη: 70-100W, αποδιδόμενη_(254nm): 25-27W
 - μήκος: 750-1500 mm, διάμετρος: 15-20 mm
 - χρόνος ζωής: 8000-12000 h

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Να υπολογιστεί ο αριθμός των συστημάτων απολύμανσης UV, με τα πιο κάτω χαρακτηριστικά, και ο τρόπος διάταξής τους (εν σειρά ή εν παραλλήλω), για την επαναχρησιμοποίηση νερού με τα πιο κάτω χαρακτηριστικά

Σχεδιαστικές παράμετροι:

Τύπος αποβλήτου: εκροή αμμόφιλτρου μετά από δευτεροβάθμια καθίζηση

Μέση παροχή αποβλήτου: $400 \text{ m}^3/\text{d}$

Παροχή αιχμής: $1000 \text{ m}^3/\text{d}$

Τύπος συστήματος ακτινοβολήσης: κλειστού τύπου

Διάταξη συστήματος ακτινοβολήσης: Κυλινδρικό κέλυφος με λαμπτήρα τοποθετημένο ομοαξονικά

Διαστάσεις κελύφους: μήκος (l_k): 1000mm , διάμετρος (D_k): 200mm

Τύπος λαμπτήρα: χαμηλής πίεσης, χαμηλής έντασης

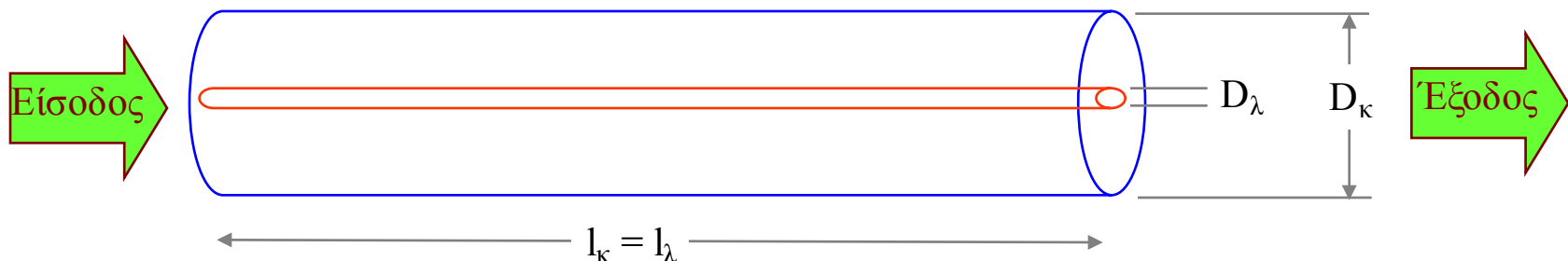
Διαστάσεις λαμπτήρα: μήκος (l_λ): 1000mm , διάμετρος (D_λ): 20mm

Αποδιδόμενη ισχύς λαμπτήρα: 25W

Μείωση αποδιδόμενης ισχύς κατά το τέλος της ζωής του λαμπτήρα: 60%

Διαπερατότητα αποβλήτου: 70%

Ελάχιστη δόση ακτινοβολίας: $60\text{mJ}/\text{cm}^2 = 60\text{mW}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$



Επίλυση:

Ο υπολογισμός της έντασης ακτινοβολίας γίνεται για τα σημεία που λαμβάνουν την μικρότερη δόση ακτινοβολίας (τα πλέον απομακρυσμένα από τον λαμπτήρα), δηλαδή το κέλυφος του συστήματος.

•Επιφάνεια του εσωτερικού του κελύφους:

$$[\text{Επιφάνεια κελύφους}] = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l_{\kappa} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1\text{m} \cdot 1\text{m} = 0,628\text{m}^2 = 6280\text{cm}^2$$

2. Προσπίπτουσα ακτινοβολία στο τέλος ζωής του λαμπτήρα:

$$[\text{Αποδιδόμενη ισχύς λαμπτήρα}] \cdot [\text{Μείωση ισχύος λόγω παλαιότητας}] \cdot [\text{Διαπερατότητα}] = 25\text{W} \cdot 0,6 \cdot 0,7 = 10,5\text{W} = 10500\text{mW}$$

3. Ένταση ακτινοβολίας:

$$[\text{Προσπίπτουσα ακτινοβολία}] / [\text{Επιφάνεια κελύφους}] = 10500\text{mW} / 6280\text{cm}^2 = 1,67\text{mW/cm}^2$$

4. Χρόνος επαφής (ακτινοβολήσης):

$$[\text{Ελάχιστη δόση}] / [\text{Ένταση ακτινοβολίας}] = 60\text{mW} \cdot \text{s/cm}^2 / 1,67\text{mW/cm}^2 = 36\text{s}$$

5. Όγκος διάταξης:

$$[\text{Όγκος κελύφους}] - [\text{Όγκος λυχνίας}] = \pi \cdot r_{\kappa}^2 \cdot l_{\kappa} - \pi \cdot r_{\lambda}^2 \cdot l_{\lambda} = 3,14 \cdot (0,1\text{m})^2 \cdot 1\text{m} - 3,14 \cdot (0,01\text{m})^2 \cdot 1\text{m} = 0,030635\text{m}^3$$

6. Μέγιστη επιτρεπόμενη παροχή ανά διάταξη:

$$[\text{Όγκος διάταξης}] / [\text{Χρόνος επαφής}] = 0,030635\text{m}^3 / 36\text{s} = 0,00085\text{m}^3/\text{s}$$

7. Παροχή αιχμής: $1000\text{m}^3/\text{d} = 0,0116\text{m}^3/\text{s}$

8. Αριθμός διατάξεων: $[\text{Παροχή αιχμής}] / [\text{Παροχή ανά διάταξη}] = 0,0116\text{m}^3/\text{s} / 0,00085\text{m}^3/\text{s} = 13,65$

Απάντηση: Απαιτούνται 14 διατάξεις απολύμανσης τοποθετημένες εν παραλλήλω

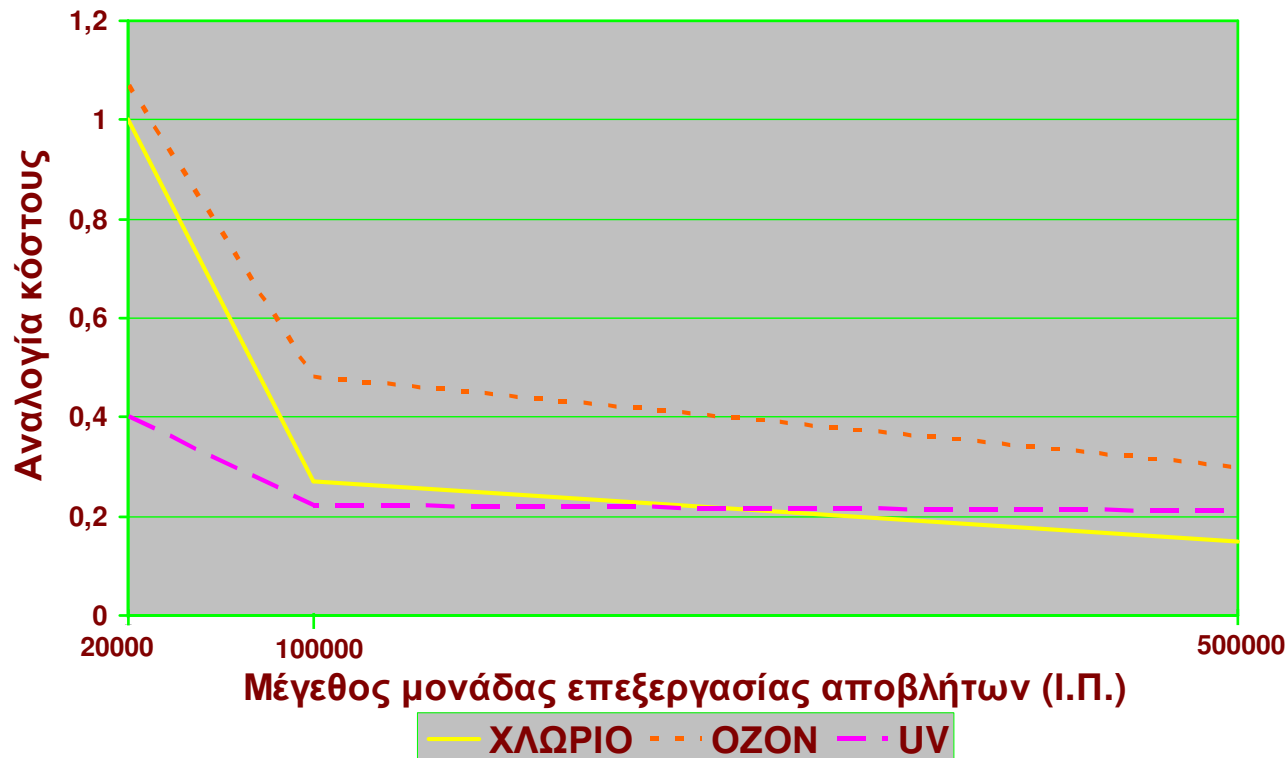
ΚΥΡΙΑ ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΧΛΩΡΙΩΣΗ	ΟΖΟΝΙΣΜΟΣ	UV
Βακτηριοκτόνος δράση	++	++	++
Ιοκτόνος δράση	+	+++	++
Επανεμφάνιση βακτηρίων	+	+	+
Απομένουσα τοξικότητα	+++	+	-
Παραπροϊόντα	+++	+	-
Προβλήματα ασφαλείας	+++	++	+
Λειτουργικό κόστος	+	++	+
Κόστος επένδυσης	+	++	+
Ευκολία εγκατάστασης	+	+	++
Συντήρηση	++	+	+++
Σύστημα ελέγχου	+	++	+++

«-»: κανένα, «+»: χαμηλό, «++»: μέτριο, «+++»: υψηλό

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗΣ

(ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΧΛΩΡΙΩΣΗΣ 20.000 Ι.Π.)



Σε πολλές περιπτώσεις ο πλέον ενδεδειγμένος τρόπος απολύμανσης περιλαμβάνει συνδυασμό δύο μεθόδων: π.χ.: UV ακτινοβολία ακολουθούμενη από μικρή δόση υποχλωριώδους νατρίου

Δρ. Πέτρος Γκίκας