



# **Απολύμανση – Μετα-εξαέρωση**

**Αν. Καθ. Δ.Α. Σαρηγιάννης**

**Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Μηχανικής**

**Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΑΠΘ**



- Είναι η επεξεργασία του ρεύματος απορροής με στόχο την καταστροφή ή αδρανοποίηση παθογόνων μικροοργανισμών για την προστασία της δημόσιας υγείας
- Το ρεύμα απορροής μπορεί να περιέχει βακτήρια, ιούς, άλγη, μύκητες
- Η καταστροφή των παραπάνω γίνεται με απολυμαντικά μέσα



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



# Μηχανισμοί απολύμανσης - Παραδείγματα



- Φθορά η καταστροφή του κυτταρικού τοιχώματος
- Αλλαγή της εκλεκτικής διαπερατότητας της κυτταρο-πλασματικής μεμβράνης (φαινολικές ουσίες, απορρυπαντικά)
- Αλλαγή της κολλοειδούς φύσεως του πρωτοπλάσματος (θέρμανση)
- Παρεμπόδιση της ενζυματικής δραστηριότητας (οξειδωτικά, χλώριο)
- Αντικατάσταση **H** πρωτεϊνών από **Cl**. Η χλωραμίνη είναι τοξική και προκαλεί θάνατο



# Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης



- Χαρακτηριστικά μέσου απολύμανσης
- Ανθεκτικότητα μικροοργανισμών
- Χρόνος επαφής
- Ποιοτικά χαρακτηριστικά νερού
- Άλλοι παράγοντες



Μικροβιοκτόνος ικανότητα:

- Δυναμικό οξειδοαναγωγής  
**( $O_3 > ClO_2 > Cl_2 > Br_2 > I_2$ )**
- Μοριακό βάρος
- Φορτίο
- Διάχυση μέσα στο κύτταρο
- Πειραματικά δεδομένα



## Φθίνουσα ανθεκτικότητα κατά σειρά:

*Σπόρια βακτηρίων > σπόρια πρωτόζωων > ιοί > φυτικά βακτήρια*

Οφείλεται σε διαφορές στην κυτταρική δομή

Π.χ. οι εντερικοί ιοί είναι ανθεκτικοί γιατί δεν έχουν ένζυμα, τα φυτικά βακτήρια είναι ευαίσθητα γιατί η αναπνοή γίνεται στην επιφάνεια του κυττάρου



# Ποιοτικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απολύμανση



- Θολότητα
- Αναγωγικά στοιχεία - Οργανικά
- pH – επηρεάζει τη δραστηρότητα του απολυμαντικού
- Θερμοκρασία





# Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απολύμανση



- Πάγιο και λειτουργικό κόστος
- Ευκολία λειτουργίας - συντήρησης
- Δημιουργία ανεπιθύμητων παραπροϊόντων (χλωροφαινόλες, THMs, χλωραμίνες)
- Επίδραση στην υπόλοιπη εγκατάσταση επεξεργασίας νερού (οξείδωση  $Fe^{2+}$ , συγκράτηση σε φίλτρο)
- Υπολειμματική δράση μέχρι την κατανάλωση



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



## Chemical Disinfectant Kinetics

Although more complex models are available, it is often assumed that decay of chlorine, combined chlorine, and chlorine dioxide can be modeled as a first order or pseudo-first order reaction, that is:

$$\frac{dC}{dt} = -k_d C$$

where  $C$  = disinfectant concentration, mg/L

$k_d$  = first order decay rate constant, time<sup>-1</sup>

$t$  = time, complementary units to  $k_d$



## Pseudo-first order decay rate constants

Compound	$k_d$	Condition	Source
Ozone <sup>a</sup>	$1.5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$	Ground water low DOC <sup>b</sup> ; high alkalinity	Acero & von Gunten, 2001
Ozone <sup>a</sup>	$2.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	Surface water high DOC; low alkalinity	Acero & von Gunten, 2001
Ozone <sup>a</sup>	0.108 to 0.128 min <sup>-1</sup>	Ozone contact chamber	Rakness, 2005
AOP <sup>c</sup>	$1.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	Ground water low DOC; high alkalinity	Acero & von Gunten, 2001
AOP	$5.8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	Surface water high DOC; low alkalinity	Acero & von Gunten, 2001
Chloramine	0.01 to 0.02 d <sup>-1</sup>	Surface water TOC <sup>d</sup> 1 to 2 mg/L	Wilczak et al., 2003
Chlorine	0.0011 to 0.0101 min <sup>-1</sup>	Surface water TOC 2.3 to 3.8 mg/L	Sung et al., 2001
Chlorine	0.71 to 11.09 d <sup>-1</sup>	Distrib. sys. pipe	Clark et al., 1993
Chlorine	0.36 to 1.0 d <sup>-1</sup>	Distrib. sys. storage tank	Rossmann et al., 1995

<sup>a</sup>Note that these authors presented these as first order approximations.

<sup>b</sup>DOC = dissolved organic carbon.

<sup>c</sup>AOP = advanced oxidation processes. These are combinations of disinfectants to produce hydroxyl radicals. Most noteworthy of the AOP processes is ozone plus hydrogen peroxide.

<sup>d</sup>TOC = total organic carbon.



Hypochlorite and ozone decay are modeled as a second order reaction (Gordon et al., 1995; Gurol and Singer, 1982):

$$\frac{dC}{dt} = -k_{2d}C^2$$

where  $k_{2d}$  = second order decay rate constant, L/mg · s  
 $t$  = time, s

$$C_t = \frac{C_0}{1 + (k_{2d})(t)(C_0)}$$



# Τιμές του Λ για διάφορα απολυμαντικά



Απολυμαντικό	Βακτήρια E.coli	Ιός Poliovirus I	Κύστες Entamoeba Histolytica
$O_3$	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	-



# Νόμος του Chick



$$\frac{dN}{dt} = -k_c N$$

where  $N$  = number of organisms per unit volume

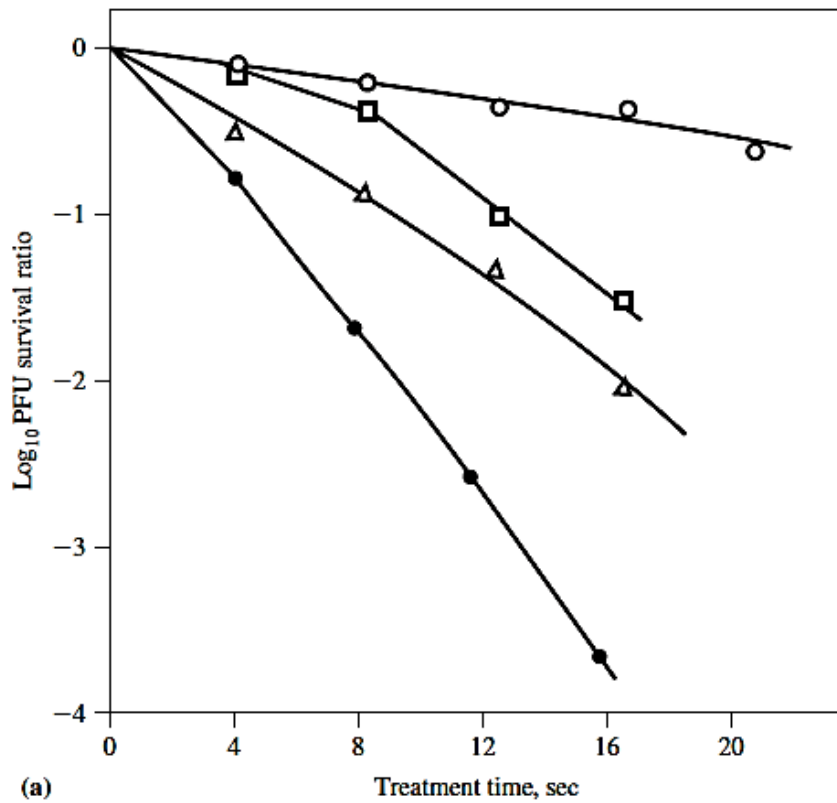
$k_c$  = rate constant of inactivation,  $s^{-1}$ , or  $\text{min}^{-1}$

$t$  = time, s, or min

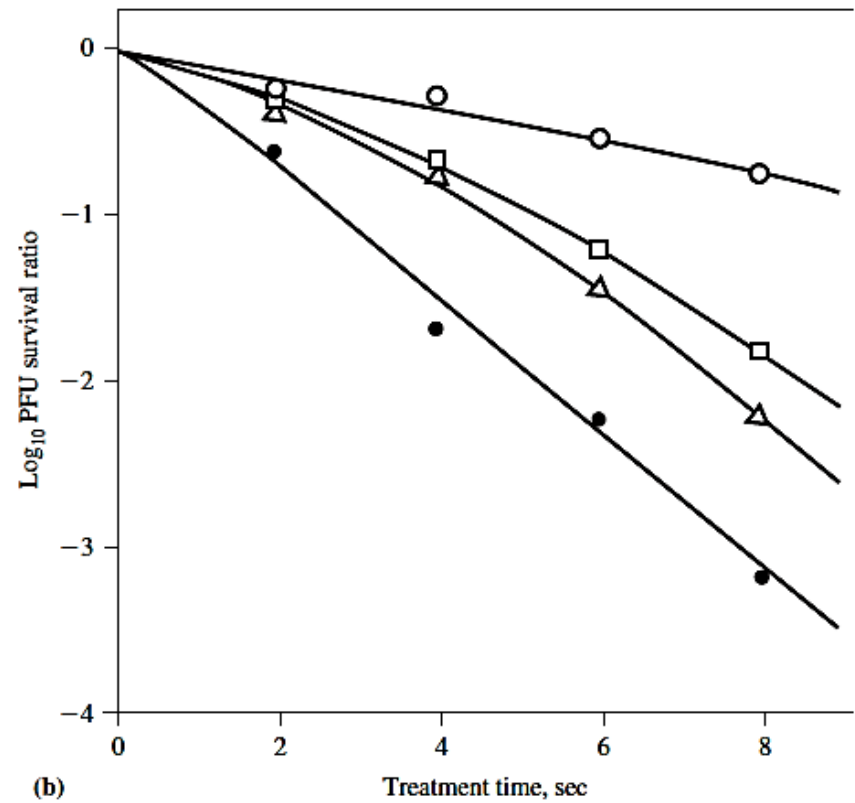
In integrated form the equation is

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -k_c t$$

where  $N_0$  = number of organisms per unit volume at time zero



pH = 6 και T = 10 C



pH = 6 και T = 20 C





# Νόμος Chick - Watson



$$k_c = k_{cw}C^n$$

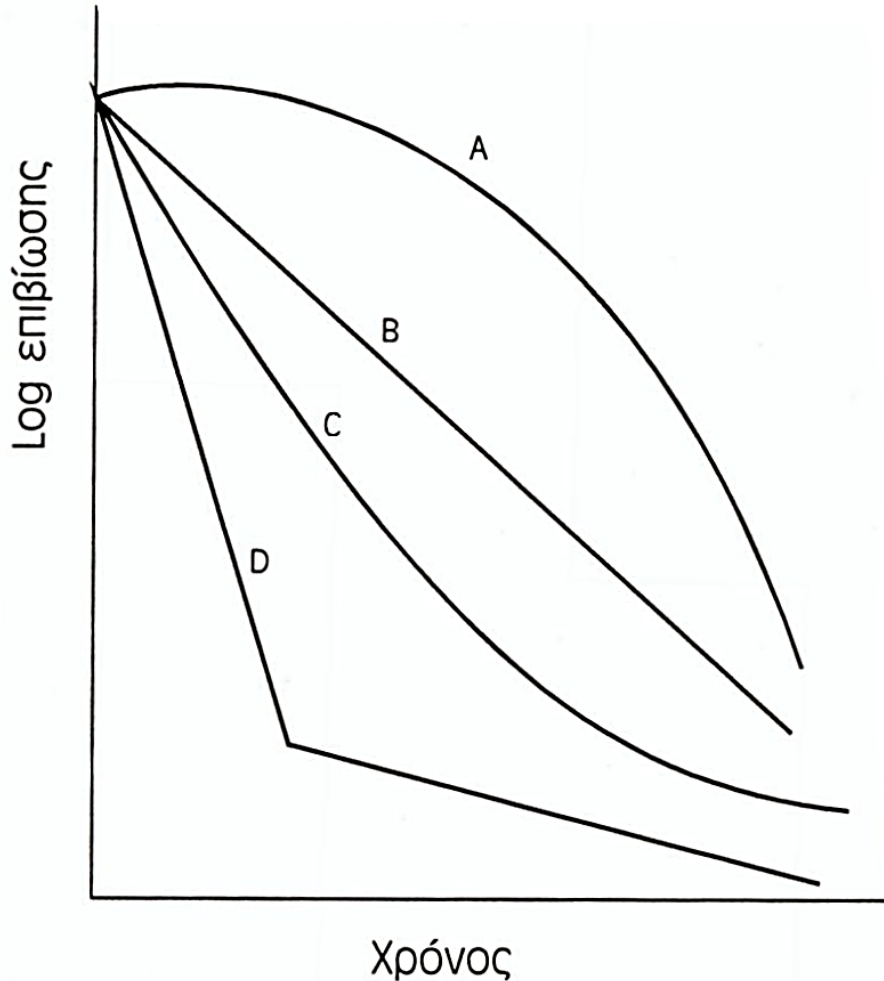
where  $k_{cw}$  = rate constant of inactivation independent of concentration,  $\text{time}^{-1}$

The Chick-Watson law in integrated form is then

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -k_{cw}C^n t$$



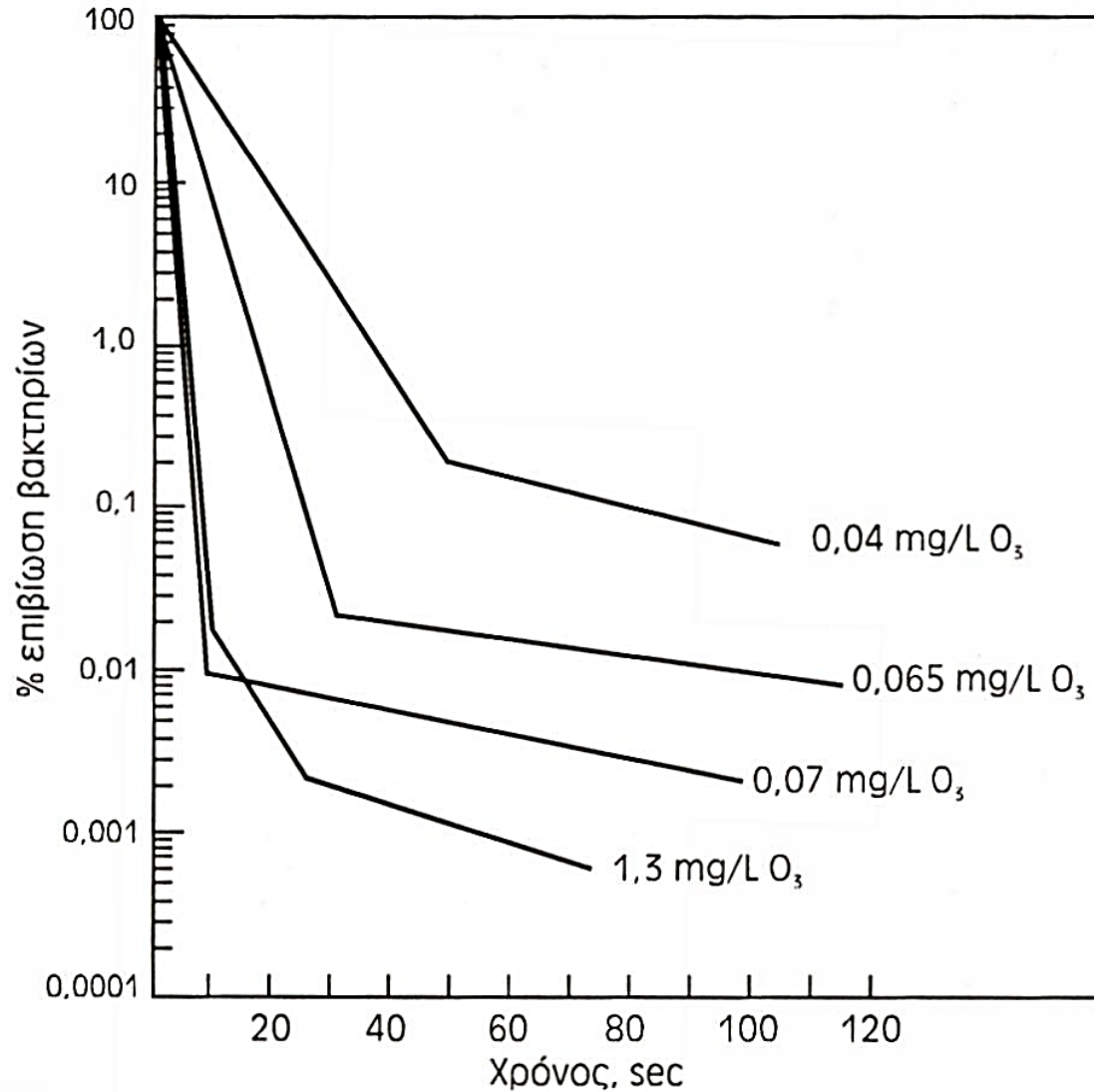
## Τύποι καμπυλών επιβίωσης των μικροοργανισμών

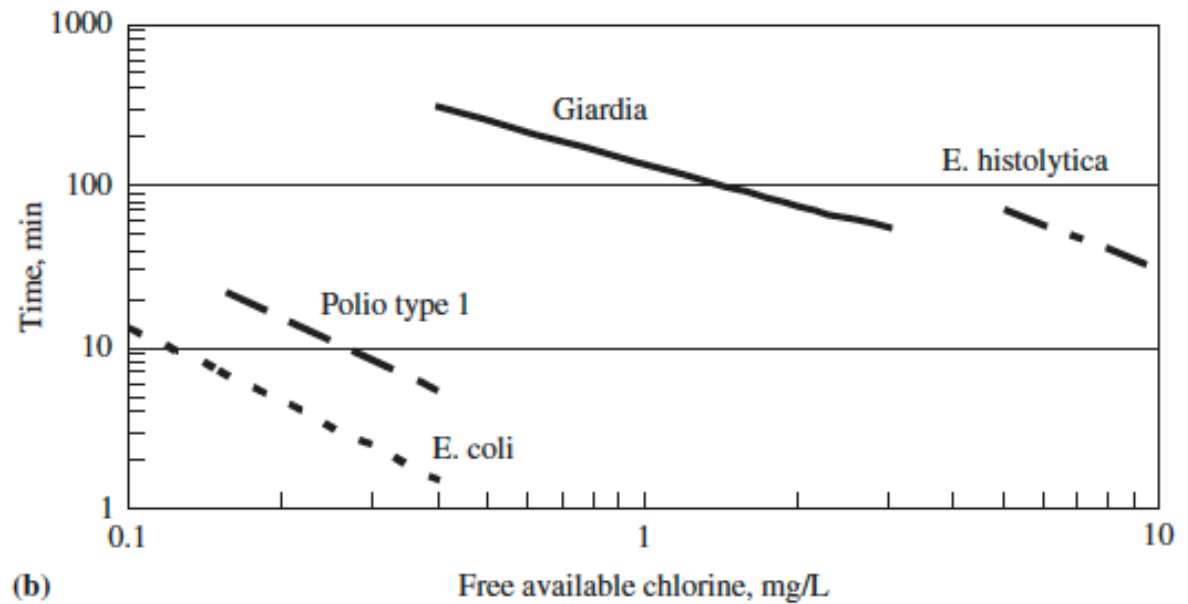
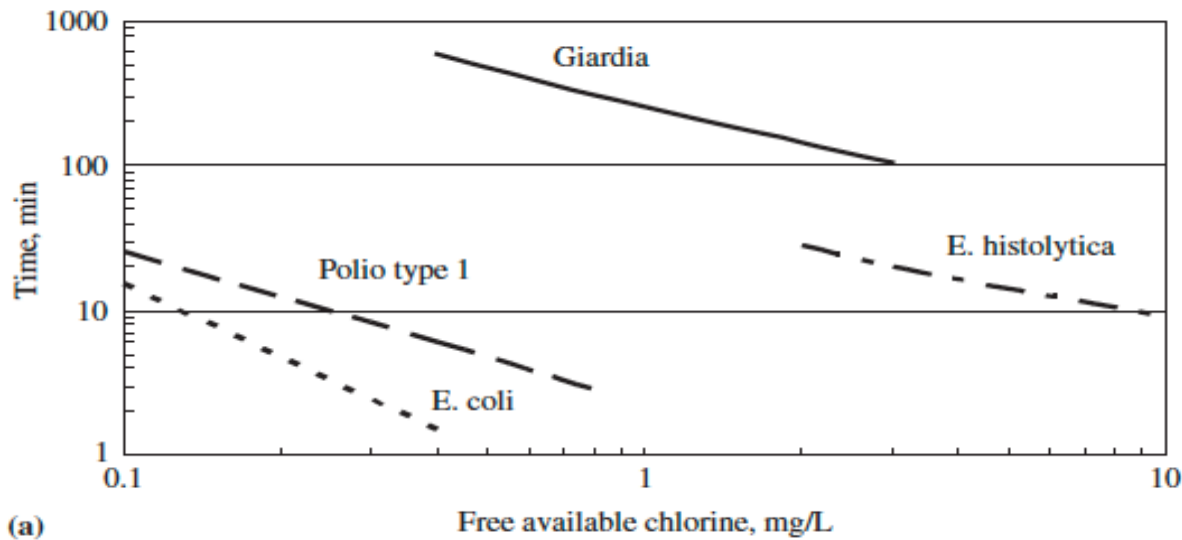


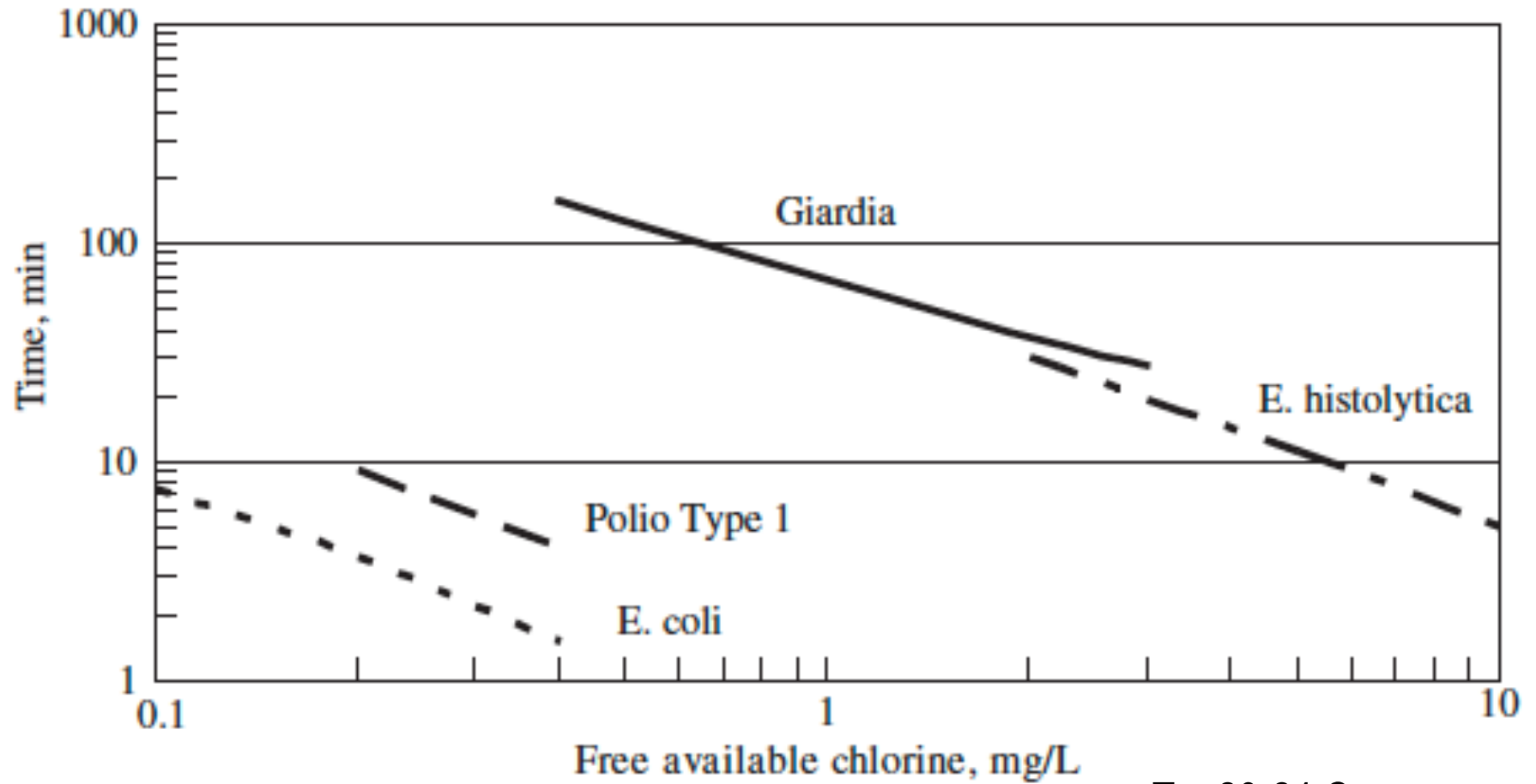
- A. Αύξηση ρυθμού καταστροφής με το χρόνο. *Καταστροφή Coliforms από  $ClO_2$  + χλωραμίνες*
- B. Σταθερός ρυθμός
- C. Μείωση ρυθμού καταστροφής με το χρόνο. *Χλωρίωση νερού*
- D. Δύο διαφορετικοί σταθεροί ρυθμοί. *Οζονισμός*



# Κινητική καταστροφής E. Coli (1<sup>0</sup>C) από όζον







T = 20-24 C



## Μοντέλο Gard

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

Περιγράφει ρυθμό καταστροφής που μειώνεται με το χρόνο

$N$ : Συγκέντρωση ζωντανών μικροοργανισμών σε χρόνο  $t$

$C$ : Συγκέντρωση απολυμαντικού

$k$ : Ρυθμός για καταστροφή Α' τάξης,  $t=0$

$\alpha$ : συντελεστής

$r$ : το μέγεθος  $Ct$  που πρέπει να υπερβούμε για να αρχίσει η απενεργοποίηση του μικροοργανισμού



## Μοντέλο Collins-Selleck

$$\frac{dN}{dt} = -k \cdot n$$

$$\frac{N}{N_0} = 1 \quad \text{για } C \cdot t < \tau \quad \text{αρχική χρονική υστέρηση}$$

$$\frac{N}{N_0} = \left( \frac{C \cdot t}{\tau} \right)^{-1} \quad \text{για } C \cdot t > \tau \quad \text{ρυθμός καταστροφής}$$

Περιγράφει

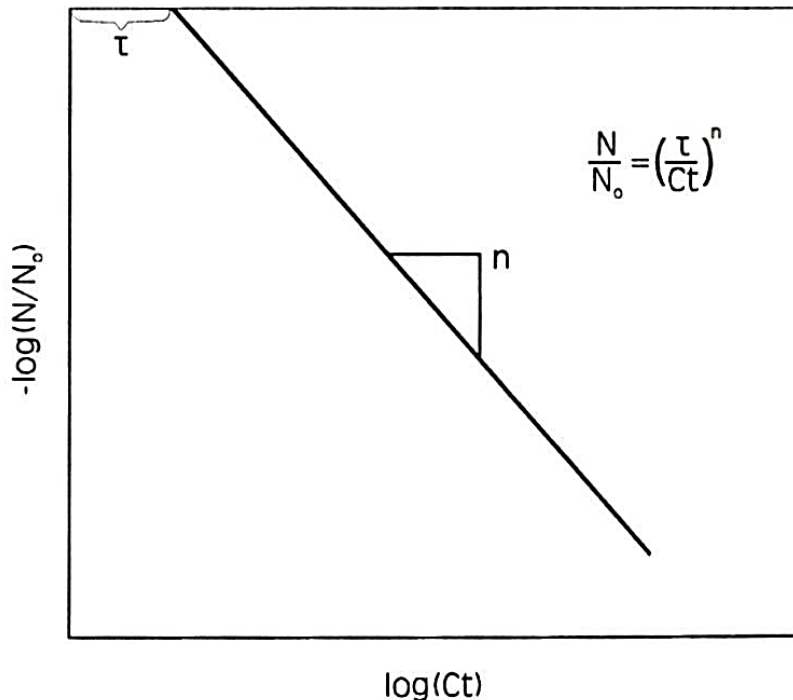


## Μοντέλο Collins-Selleck

$$\frac{dN}{dt} = -k \cdot n$$

$$\frac{N}{N_0} = 1 \quad \text{για } C \cdot t < \tau \quad \text{αρχική χρονική υστέρηση}$$

$$\frac{N}{N_0} = \left( \frac{C \cdot t}{\tau} \right)^{-1} \quad \text{για } C \cdot t > \tau \quad \text{ρυθμός καταστροφής}$$



*Περιγράφει ικανοποιητικά τα περισσότερα συστήματα*





**Hom-Haas Model.** This model of disinfection accounts for both changes in chemical disinfectant concentration and microorganism survival. The integrated form of the model is (Hom, 1972; Haas and Joffe, 1994):

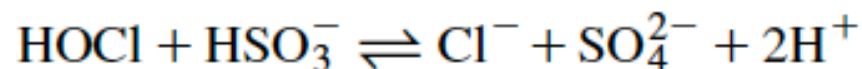
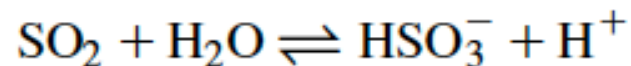
$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -k_{HH}C^n t^m$$

where  $k_{HH}$  = die-off coefficient, consistent units, for example: L/mg · s  
 $n, m$  = empirical constants, dimensionless

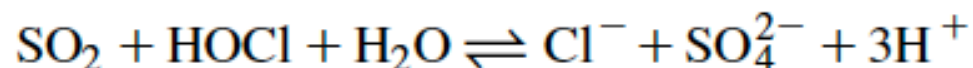
Multiple linear regression using survival as the dependent variable and disinfectant concentration and time as the independent variables produces an intercept equal to  $k_{HH}$  and slopes equal to  $n$  and  $m$ . This computation can be solved with the aid of a spreadsheet program.



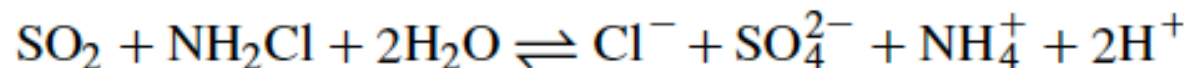
*For sulfur dioxide and chlorine*



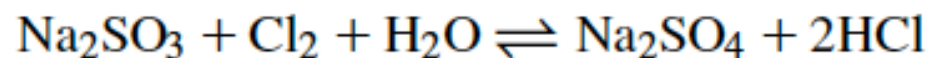
or



*For sulfur dioxide and monochloramine*

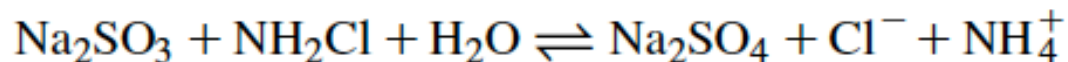


*For sodium sulfite and chlorine*

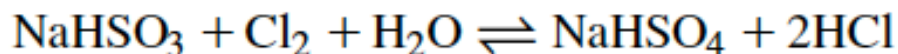




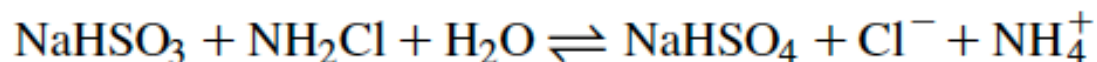
*For sodium sulfite and monochloramine*



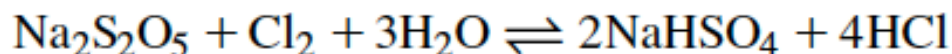
*For sodium bisulfite and chlorine*



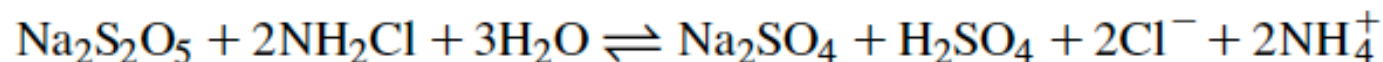
*For sodium bisulfite and monochloramine*



*For sodium metabisulfite and chlorine*



*For sodium metabisulfite and monochloramine*





## Typical chlorine dosages for wastewater

Type of wastewater	Initial coliform count, MPN/100 mL	Chlorine dose, mg/L	
		Effluent standard, MPN/100 mL	
		1,000	200
Trickling filter effluent	$10^5-10^6$	3-10	5-20
Activated sludge effluent	$10^5-10^6$	2-10	5-15
Filtered activated sludge effluent	$10^4-10^6$	4-8	5-15
Nitrified effluent	$10^4-10^6$	4-12	6-16
Microfiltration effluent	$10^1-10^3$	1-3	2-4

*Note:* based on combined chlorine and 30-minute contact time.

*Source:* Metcalf & Eddy, 2003.



## Typical wastewater dechlorination dosages

Compound	Range, mg per mg/L of chlorine residual
Sulfur dioxide	1.0–1.2
Sodium sulfite	1.8–2.0
Sodium bisulfite	1.5–1.7
Sodium metabisulfite	1.4–1.6

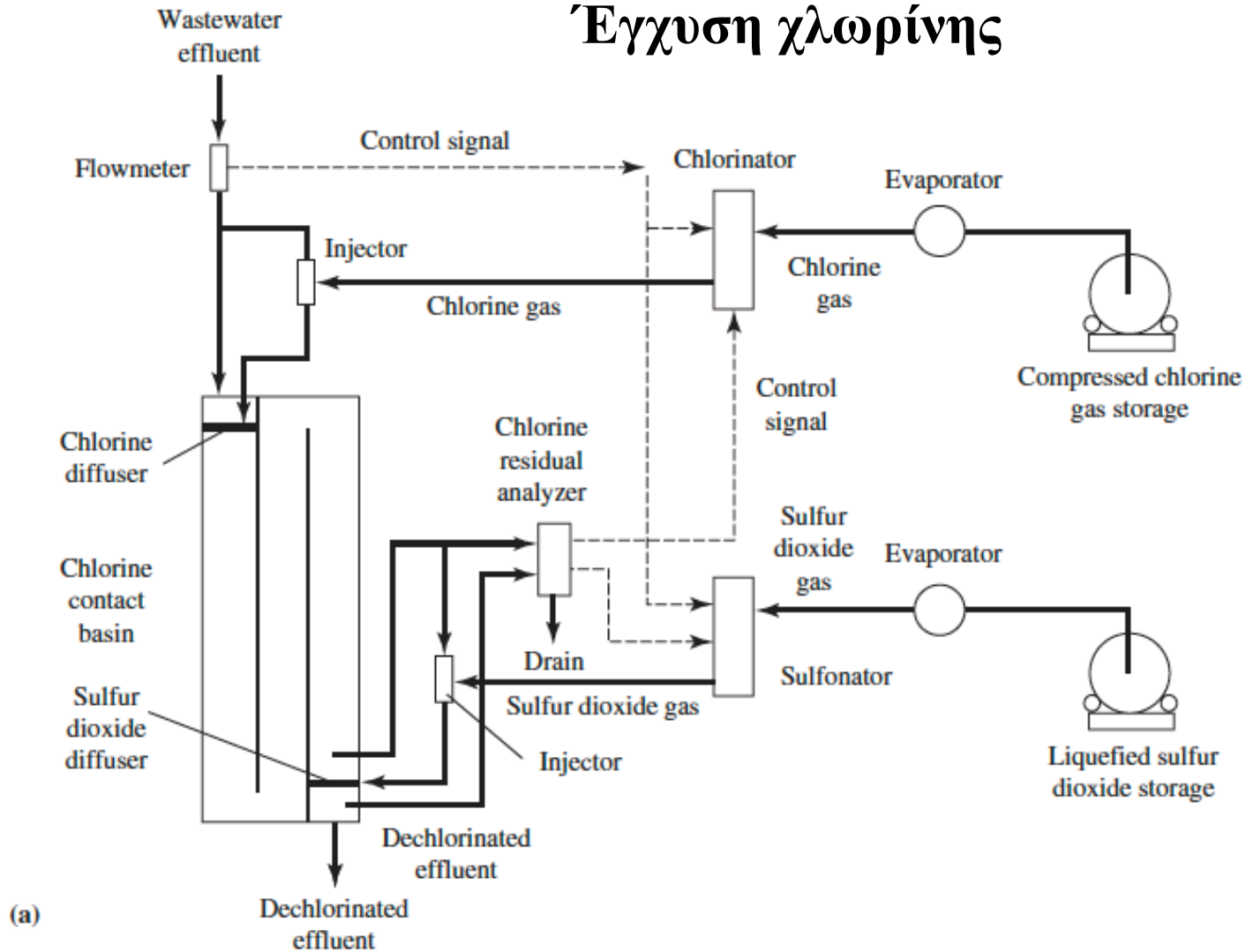
*Source:* Metcalf & Eddy, 2003.



# Τυπικά διαγράμματα ροής

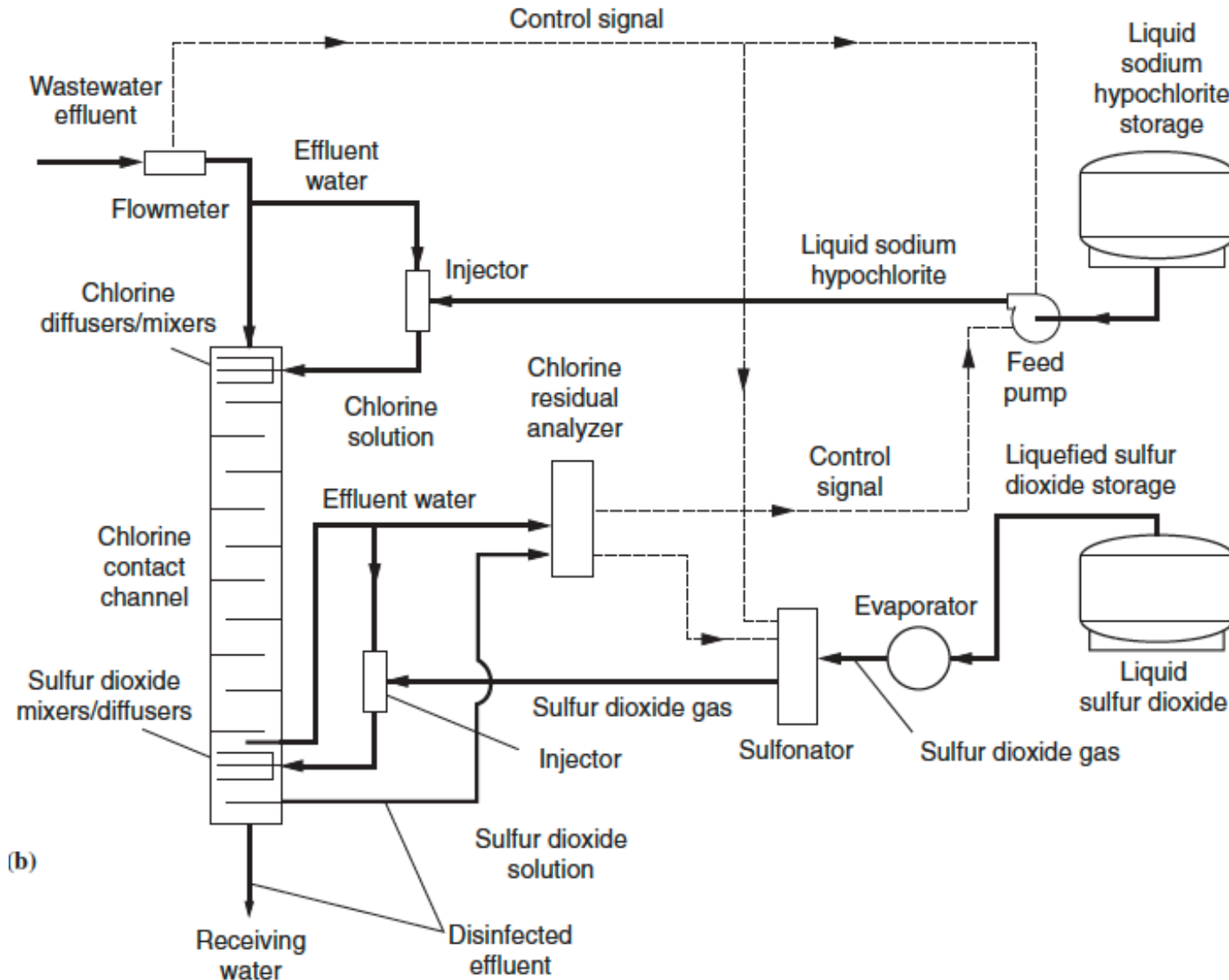


## Έγχυση χλωρίνης





# Έγχυση υποχλωριώδους νατρίου





## Impact of wastewater constituents on the use of UV radiation for wastewater disinfection

Constituent <sup>a</sup>	Effect
BOD, COD, TOC, etc.	No or minor effect, unless humic materials comprise a large portion of the BOD
Humic materials	Strong adsorbers of UV radiation
Oil and grease	Can accumulate on quartz sleeves of UV lamps, can absorb UV radiation
TSS	Absorption of UV radiation, can shield embedded bacteria
Alkalinity	Can impact scaling potential. Also affects solubility of metals that may absorb UV light
Hardness	Calcium, magnesium, and other salts can form mineral deposits on quartz tubes, especially at elevated temperatures
Ammonia	No or minor effect
Nitrite	No or minor effect
Nitrate	No or minor effect
Iron	Strong adsorber of UV radiation, can precipitate on quartz tubes, can adsorb on suspended solids and shield bacteria by adsorption
Manganese	Strong adsorber of UV radiation
pH	Can affect solubility of metals and carbonates
TDS	Can impact scaling potential and the formation of mineral deposits
Industrial discharges	Depending on the constituents (e.g., dyes), may lead to diurnal and seasonal variations in the transmittance
Stormwater inflow	Depending on the constituents, may lead to short-term as well as seasonal variations in the transmittance





## Typical UV system design parameters

Design parameter	Range of values
Contact time	6–40 s
Lamp life	
Low pressure	8,000–12,000 h
Medium pressure	4,000–6,000 h
UV dosage	
Secondary treatment	50–140 mJ/cm <sup>2</sup>
After granular filtration	100 mJ/cm <sup>2</sup>
After membrane filtration	80 mJ/cm <sup>2</sup>
After reverse osmosis	50 mJ/cm <sup>2</sup>
Wastewater velocity	0.05–0.4 m/s

*Sources:* Hanzon and Vigilia, 1999; Metcalf & Eddy, 2003; WEF, 1998.



# Μετα-εξαέρωση



- Η απαίτηση για αυξημένο Δ.Ο. στο ρεύμα απορροής έχει γίνει προαπαιτούμενο σε πρακτικές εφαρμογές.
- Χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον μια σειρά αεριστήρων. Το απαιτούμενο ύψος της σειράς των αεριστήρων υπολογίζεται από τη σχέση

$$H = \frac{R_{\text{deficit}} - 1}{0.289(b)(1 + 0.046T)}$$



$H$  = height through which wastewater must fall, m

$R_{\text{deficit}}$  = deficit ratio

$$= \frac{C_s - C_o}{C_s - C}$$

$C_s$  = DO saturation concentration of the wastewater at temperature  $T$ , mg/L

$C_o$  = DO concentration of the influent to the cascade, mg/L

$C$  = DO required, mg/L

$b$  = weir geometry parameter: for a broad-crested weir,  $b = 1.0$ ; for steps,  $b = 1.1$ ; for step weir,  $b = 1.3$

$T$  = wastewater temperature, °C



## Typical cascade design ranges

Parameter	Range	Typical
Hydraulic loading rate at average design flow, $\text{m}^3/\text{m}$ of width $\cdot$ d	1,240–6,200	3,000
Step dimensions		
Height, mm	150–300	200
Length, mm	300–600	450
Cascade height, m	2–5	

*Source:* Metcalf & Eddy, 2003.