



Πανεπιστήμιο  
Αιγαίου

Ανοικτά  
Ακαδημαϊκά  
Μαθήματα



# ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ Ι

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

*Διδάσκων: Επίκουρος Καθηγητής Αθ. Στασινάκης*



# Άδειες Χρήσης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, διαγράμματα, κείμενα, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



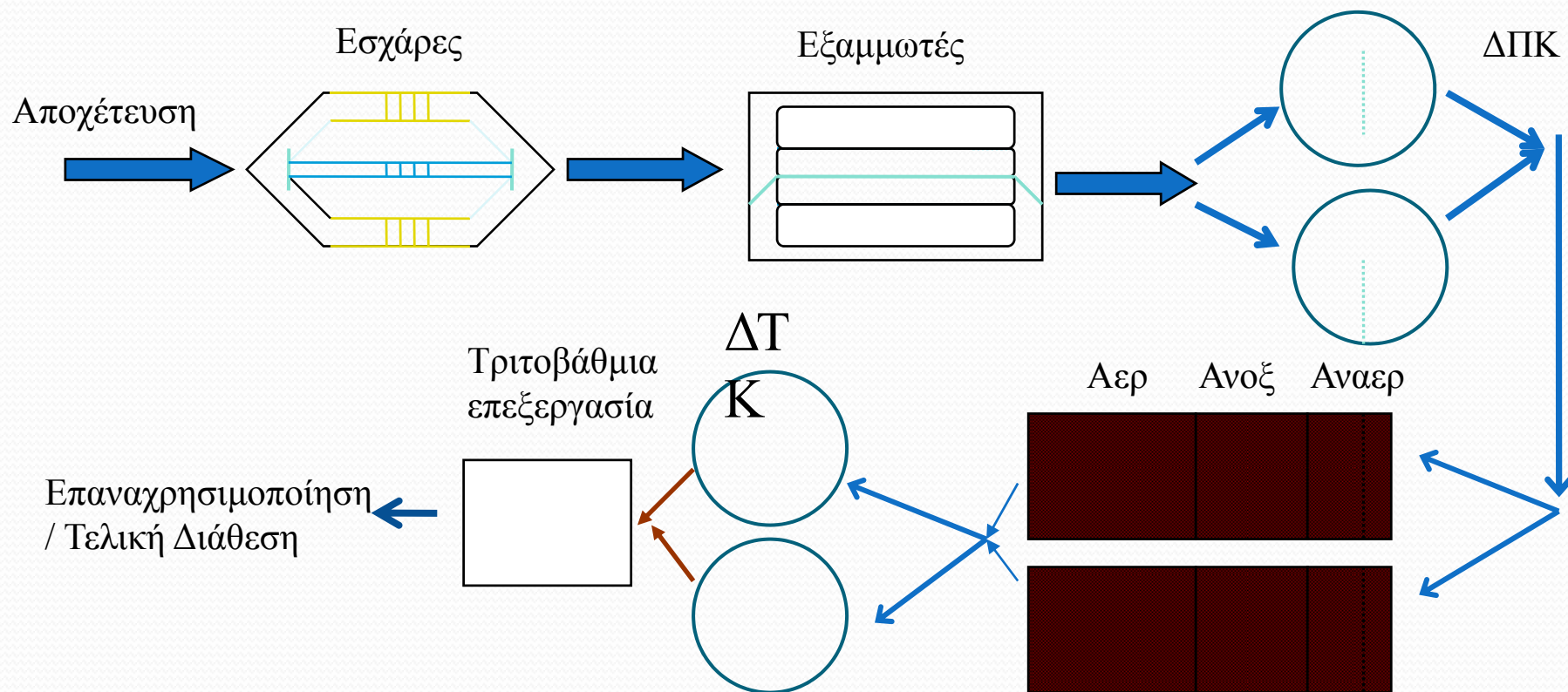
Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



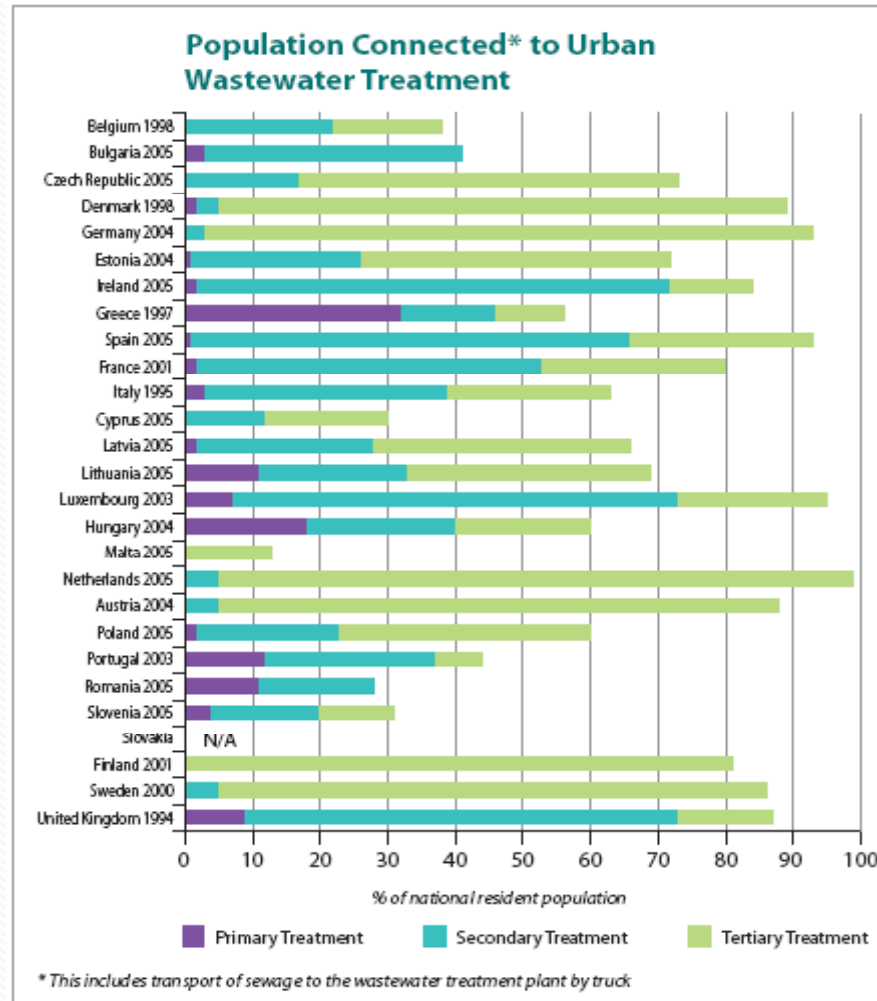
## Στόχοι Μαθήματος

- Κατανόηση ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών υγρών αστικών αποβλήτων
- Γνώση νομοθεσίας που διέπει τη διάθεση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αστικών αποβλήτων
- Κατανόηση βασικών μεθόδων επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων
- Κατανόηση δυνατοτήτων επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων

# Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων



# Επεξεργασία Υγρών Αστικών Αποβλήτων στην ΕΕ



Πρωτοβάθμια επεξεργασία  
(primary treatment)

Δευτεροβάθμια επεξεργασία  
(secondary treatment)

Τριτοβάθμια επεξεργασία  
(tertiary treatment)

(Eurostat,

## Πηγές Υγρών Αστικών Αποβλήτων

- ✓ Οικιστική δραστηριότητα (οικίες, ιδρύματα, καταστήματα....)
- ✓ Βιομηχανική δραστηριότητα (βιοτεχνίες, βιομηχανίες)
- ✓ Εισροές όμβριων, υπόγειου υδροφόρου (συνδέσεις και τοιχώματα αγωγών)
- ✓ Όμβρια ύδατα (μικτό αποχετευτικό δίκτυο)

## Παροχή Υγρών Αστικών Αποβλήτων

✓ Σημερινές ή παλιότερες μετρήσεις πεδίου (ολοκληρωμένο αποχετευτικό δίκτυο)

- Μερική ή πλήρης απουσία αποχετευτικού δικτύου
- Σχεδιασμός μικρών μονάδων (ξενοδοχεία, ιδρύματα....)



✓ Δεδομένα κατανάλωσης νερού (συνυπολογισμός νερού άρδευσης, μεταποίησης, ύπαρξη γεωτρήσεων.....)

✓ Πληθυσμιακά δεδομένα + Βιβλιογραφικά δεδομένα παραγόμενων λυμάτων (κατ' άτομο)



## Παροχή Υγρών Αστικών Αποβλήτων

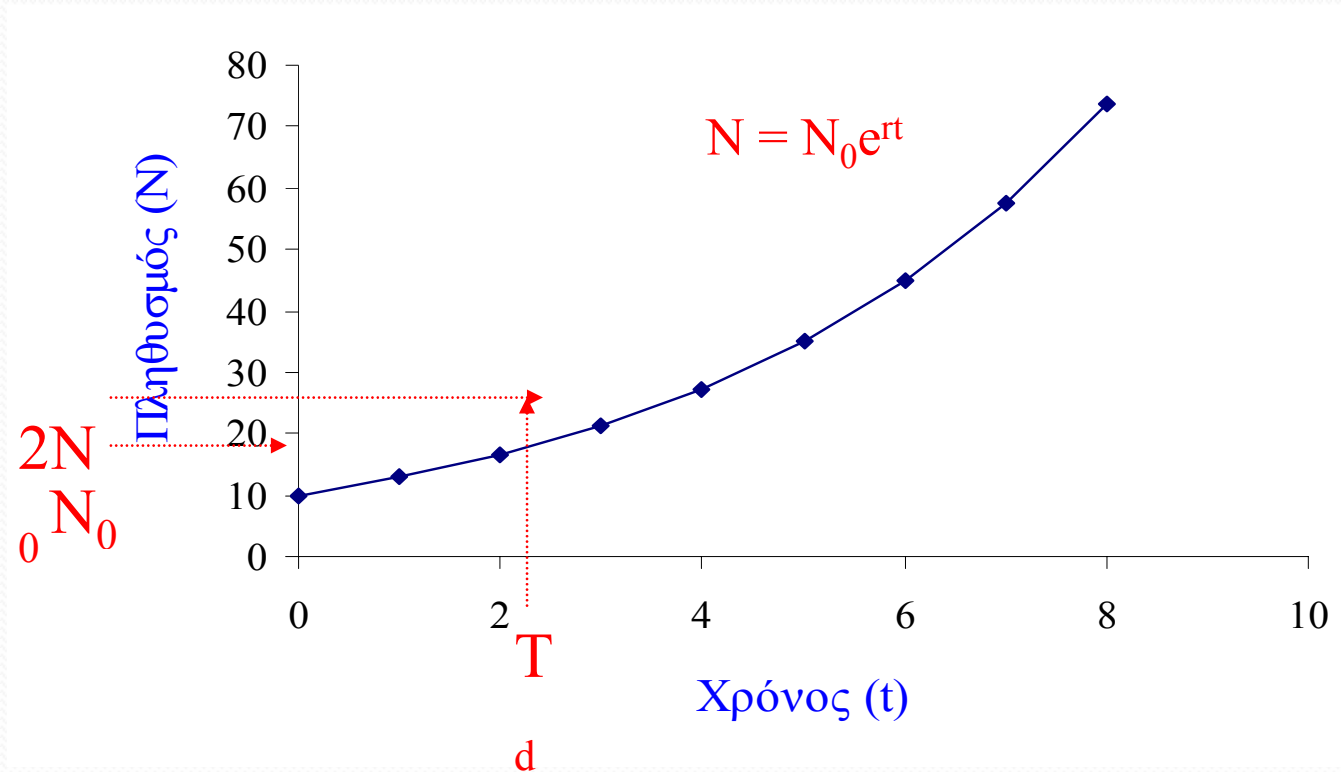
**Παροχή Αποβλήτων = Πληθυσμός × Παραγόμενα λύματα ανά άτομο**

$$(m^3/\eta\mu\epsilon\rho\alpha) = \frac{\text{Άτομα} \times (\text{lt λυμάτων} / \text{άτομο και ημέρα})}{1000 \text{ lt}/m^3}$$

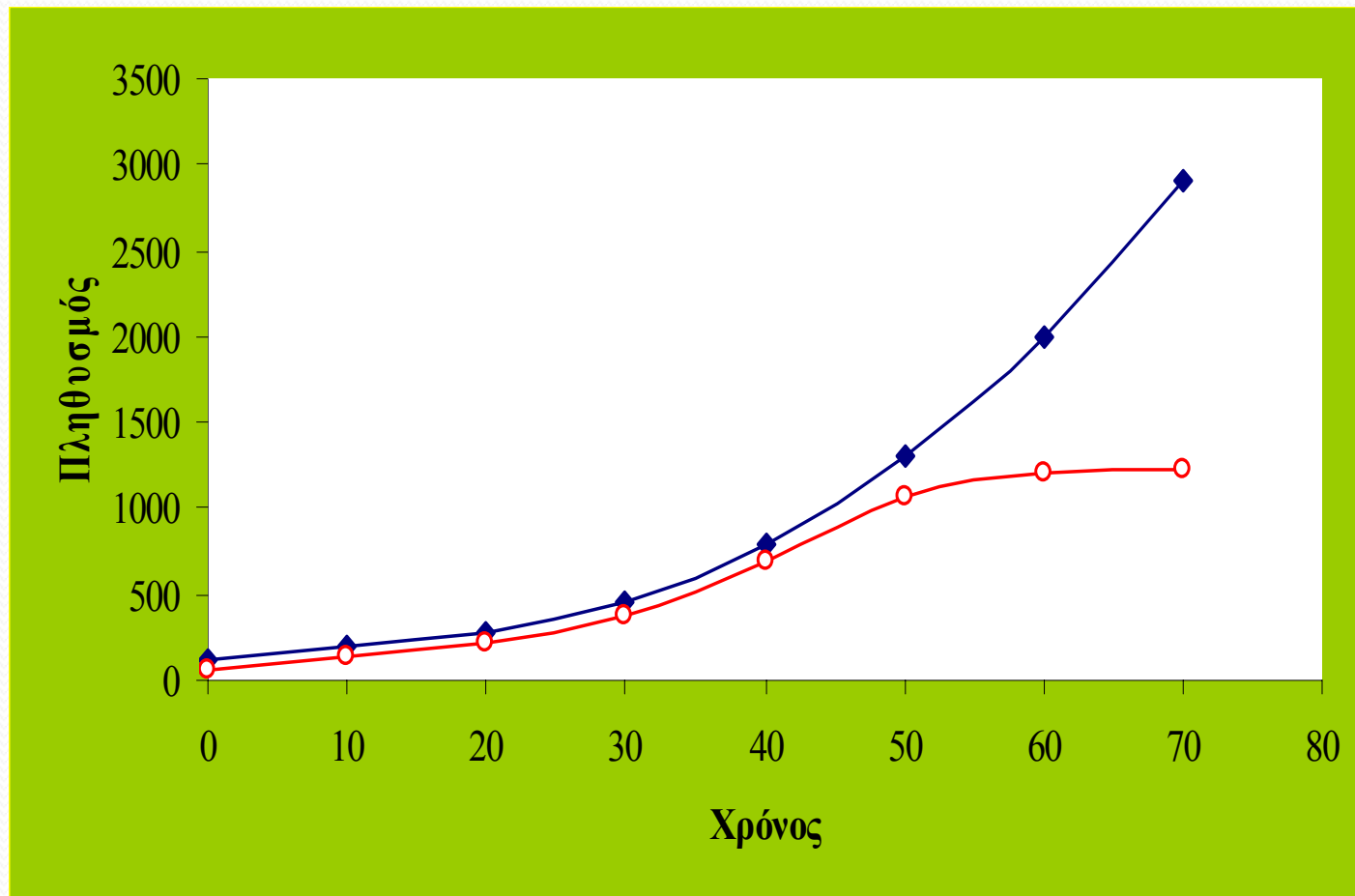
# Παροχή Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Μεταβολή πληθυσμού

✓ Εκθετική Αύξηση



## Αδυναμία Περιγραφής Αύξησης Πληθυσμού με Εκθετική Αύξηση



# Παροχή Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Παραγωγή λυμάτων ανά άτομο

- ✓ Βιοτικό επίπεδο (υψηλότερο βιοτικό επίπεδο – μεγαλύτερη παραγωγή)
- ✓ Κλίμα (υψηλότερη θερμοκρασία – μεγαλύτερη παραγωγή)
- ✓ Εποχή (υψηλότερη θερμοκρασία – μεγαλύτερη παραγωγή)
- ✓ Αριθμός ατόμων ανά κατοικία (λιγότερα άτομα – μεγαλύτερη παραγωγή)
- ✓ Φυσιογνωμία περιοχής (εμπορικές δραστηριότητες, τουριστική ζώνη...)

# Παροχή Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Παραγωγή λυμάτων ανά άτομο

- ✓ Εκτίμηση μέσης παραγόμενης ποσότητας λυμάτων ανά περιοχή

Περιοχή ημέρα)	Παραγόμενος όγκος λυμάτων (λίτρα/άτομο και
Αφρική	15 - 35
Νότια Ασία	30 - 70
Λατινική Αμερική	70 - 190
Ελλάδα	150 - 350
Γαλλία	150 - 500

# Παροχή Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Παραγωγή λυμάτων ανά άτομο

✓ Φυσιογνωμία περιοχής (οικιστική χρήση, εμπόριο, βιομηχανία)

<b>Δραστηριότητα (λίτρα/μονάδα και ημέρα)</b>	<b>Παροχή Λυμάτων</b>
Αεροδρόμιο (επιβάτης)	11-19
Ξενοδοχείο (υπάλληλος)	30-57
Ξενοδοχείο (πελάτης)	150-230
Καθαριστήριο (μηχανή)	1500-2000

# Παροχή Υγρών Αστικών Αποβλήτων

✓ Εισροές νερού από το υπέδαφος

Είδος εδάφους (μεγάλη διαπερατότητα = μεγάλες εισροές, 25-30% αμμώδες έδαφος)

Βάθος υδροφόρου

Μήκος αποχετευτικού δικτύου

Πληθυσμιακή πυκνότητα (μεγάλη πυκνότητα = μεγάλος αριθμός συνδέσεων)

Κατάσταση αποχετευτικού δικτύου

Υλικό αγωγών και συνδέσεων

# Παροχή Υγρών Αστικών Αποβλήτων

✓ Είδος δικτύου

1. Χωριστικό σύστημα

Δίκτυο ακαθάρτων (αστικά απόβλητα, βιομηχανικά απόβλητα, λοιπές εισροές)

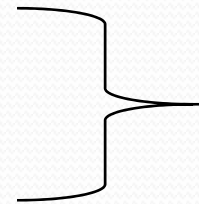
Δίκτυο όμβριων (νερά βροχής)

2. Μικτό σύστημα

Εκτίμηση ύψους βροχόπτωσης

Εκτίμηση εξάτμισης

Εκτίμηση κατείσδυσης



Νερό που καταλήγει στο σύστημα



# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## ✓ Φυσικά χαρακτηριστικά

Στερεά, Θερμοκρασία, Θολότητα, Χρώμα, Αγωγιμότητα, Αλκαλικότητα

## ✓ Ανόργανα συστατικά

pH, Άζωτο, Φώσφορος, Θείο, Βαρέα μέταλλα

## ✓ Οργανικά συστατικά

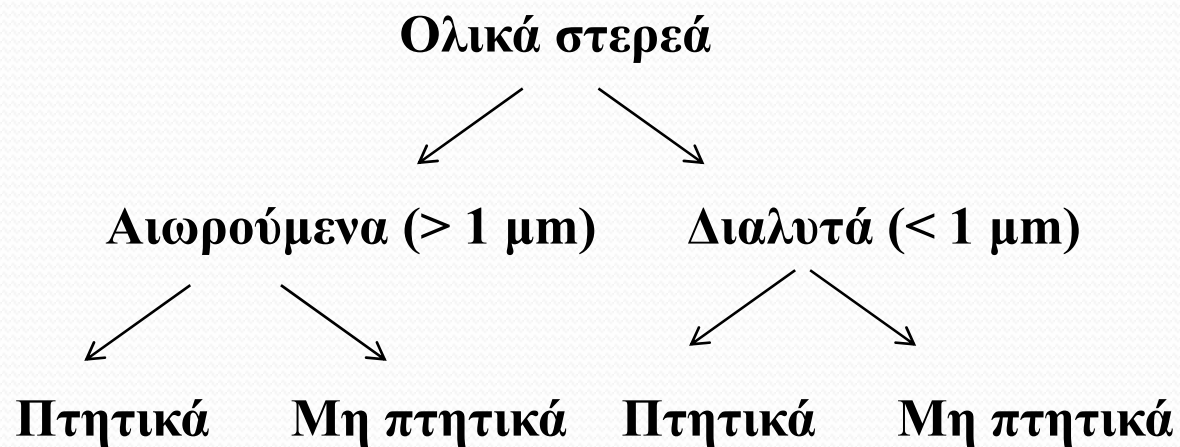
BOD, COD, TOC, Συνθετικοί οργανικοί μικρορυπαντές

## ✓ Μικροβιολογικά

Βακτήρια, Ιοί, Πρωτόζωα, Κολοβακτηρίδια

# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

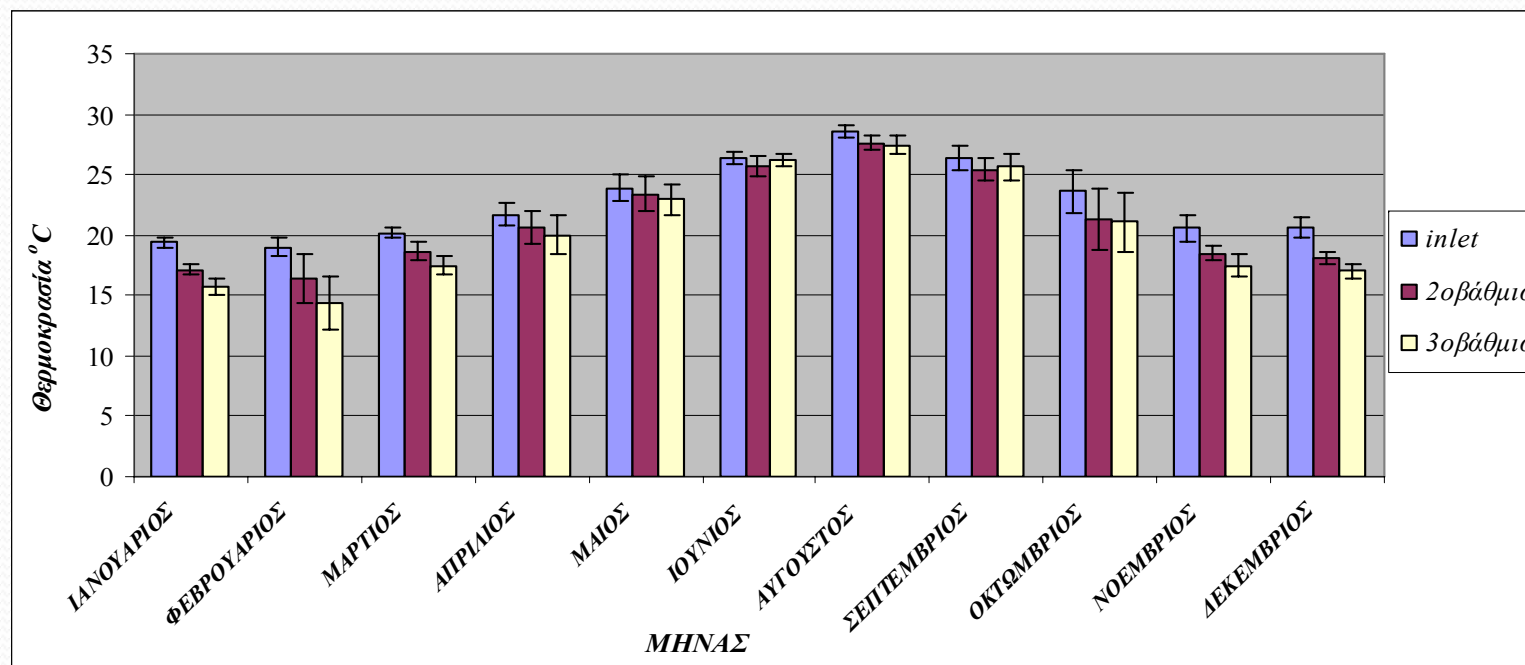
## Φυσικά Χαρακτηριστικά



# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Φυσικά Χαρακτηριστικά

### Θερμοκρασία



# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Φυσικά Χαρακτηριστικά

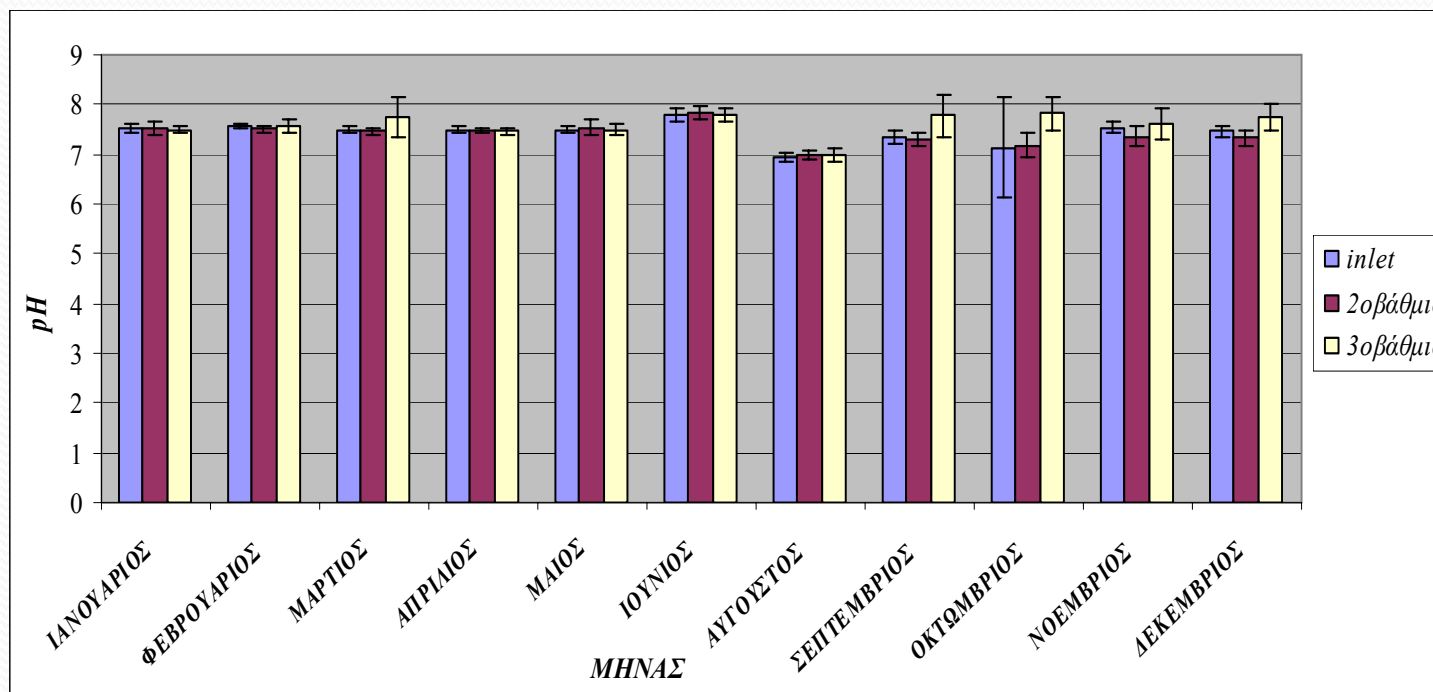
### Χρώμα

- ✓ Χουμικές ουσίες
- ✓ Βαφές (βιομηχανικά απόβλητα)
- ✓ ΥΑΑ: ανοικτό καφέ (< 6 h)
- ✓ ΥΑΑ: ανοικτό έως μέτριο γκρι
- ✓ ΥΑΑ: σκούρο γκρι ή μαύρο (βακτηριακή αποσύνθεση απουσία οξυγόνου, σχηματισμός FeS)

# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Ανόργανα Χαρακτηριστικά

pH

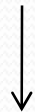


# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Ανόργανα Χαρακτηριστικά

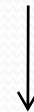
### Άζωτο

Οργανικό N



NH<sub>4</sub>-N

Ουρία



NH<sub>4</sub>-N



NO<sub>2</sub>-N (ασταθής μορφή N)

NO<sub>3</sub>-N (επεξεργασμένα απόβλητα)

# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

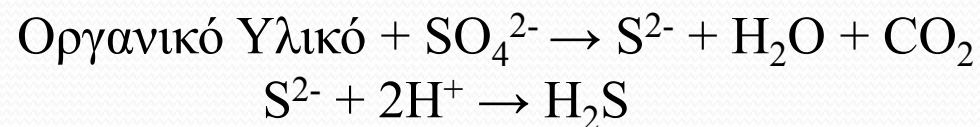
## Ανόργανα Χαρακτηριστικά

### Φώσφορος

- ✓ ορθοφωσφορικά (π.χ.  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ )
- ✓ πολυφωσφορικά (π.χ.  $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ ,  $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$ ,  $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$ ,  $\text{HP}_3\text{O}_{10}^{4-}$ ,  $\text{H}_2\text{P}_3\text{O}_{10}^{3-}$ )

### Θείο

- ✓ Αναερόβιες Συνθήκες



# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Ανόργανα Χαρακτηριστικά

### Βαρέα Μέταλλα (συνήθεις συγκεντρώσεις: $\mu\text{g/L}$ )

✓ στοιχεία με ειδικό βάρος ίσο ή μεγαλύτερο των  $5 \text{ g cm}^{-3}$

Θέση	Cd	Cr (ολικό)	Cu	Ni	Zn
Edmonton (Καναδάς)	26	254	90	42	190
Cincinnati (ΗΠΑ)	21	630	800	450	1240
Madison (ΗΠΑ)	1.14	7.9	70	12	115
Καβάλα	13	6.0	14	26	138
Βόλος	0.25	9.0	18	2.5	-
Ψυτάλλεια (Αθήνα)	0.71	268	75	30	1284



# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Οργανικά Χαρακτηριστικά

### Βιοαποδομήσιμες οργανικές ενώσεις

πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λίπη, έλαια.....

#### ✓ Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο ( $BOD_5$ )

ποσό  $O_2$  που απαιτείται από μικροοργανισμούς για αερόβια αποδόμηση οργανικών ενώσεων ( $mg O_2/l$ )

#### ✓ Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο (COD)

ποσό  $O_2$  που απαιτείται για τη χημική οξείδωση οργανικών ενώσεων ( $mg O_2/l$ )

#### ✓ Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

## Προσδιορισμός BOD<sub>5</sub>

**BOD<sub>5</sub>**: ποσό O<sub>2</sub> που καταναλώνεται από μικροοργανισμούς τις πρώτες 5 ημέρες της βιοαποδόμησης (25-95% BOD<sub>u</sub>)

### Τρόπος Μέτρησης

Σε **πωματισμένη σκουρόχρωμη** φιάλη μέτρηση του DO στην αρχή (t=0ημέρες) και τέλος του πειράματος (t=5 ημέρες) (θ = 20 °C)

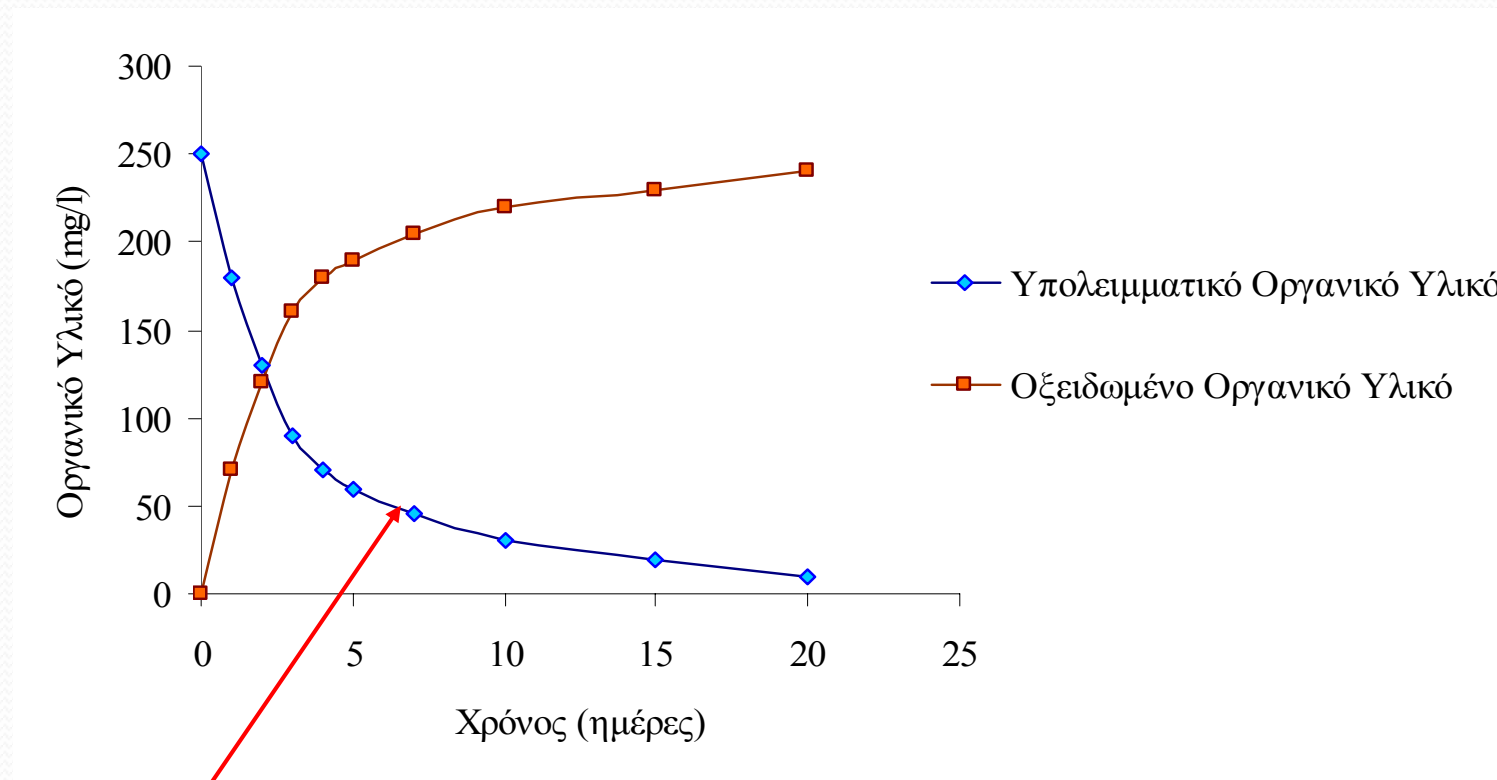
$$\text{BOD}_5 = \text{DO}_{(t=0)} - \text{DO}_{(t=5)}$$

$$\text{DO}_{(t=5)} > 2 \text{ mg/l}$$

$$\text{DO}_{(t=0)} - \text{DO}_{(t=5)} \geq 2 \text{ mg/l}$$

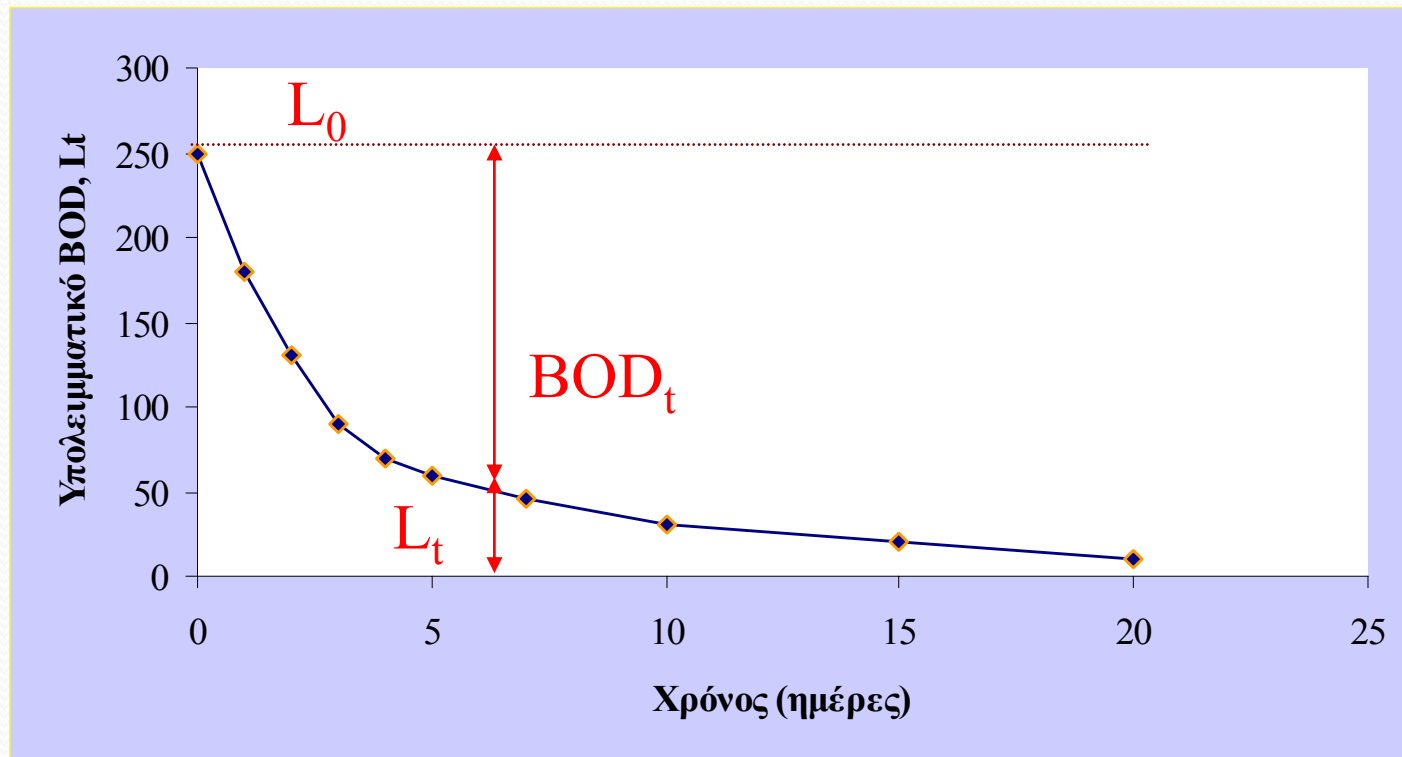
Απαίτηση Αραίωσης Δείγματος

## Προσδιορισμός BOD<sub>5</sub>



**Υπολειμματικό BOD**

## Προσδιορισμός BOD<sub>5</sub>



$$\frac{dL_t}{dt} = -kL_t \Rightarrow L_t = L_0 e^{-kt}$$

## Προσδιορισμός BOD<sub>5</sub>

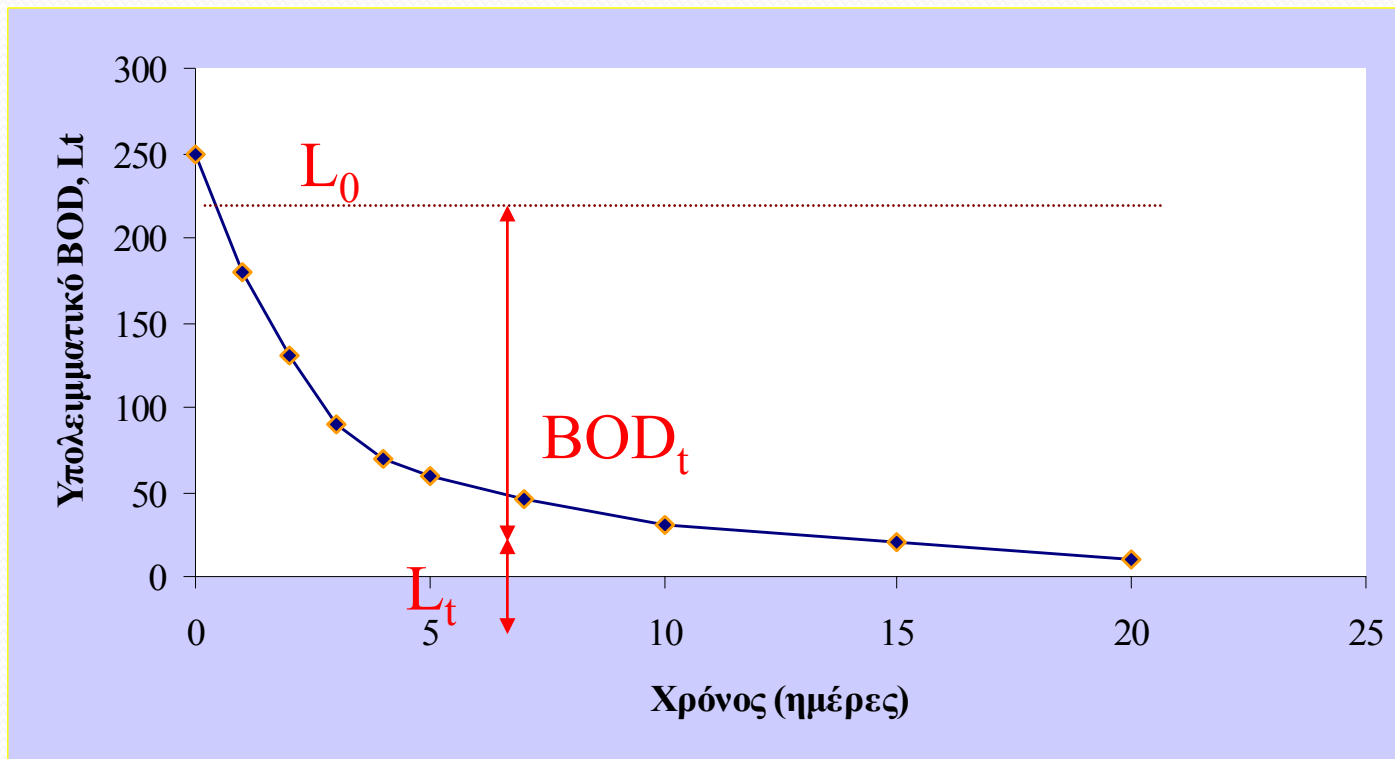
$$L_t = L_0 e^{-kt}$$

$k$  = σταθερά αντίδρασης BOD, υποδεικνύει την ταχύτητα βιοαποδόμησης των αποβλήτων ( $t^{-1}$ )

$L_0$  = ολική απαίτηση  $O_2$  για οξείδωση του συνόλου του οργανικού υλικού (mg/l) (BOD<sub>u</sub>)

$L_t$  = απαίτηση  $O_2$  για οξείδωση οργανικού υλικού που παραμένει στη φιάλη μετά από χρόνο  $t$  (BOD που παραμένει στη φιάλη)

## Προσδιορισμός BOD<sub>5</sub>



$$\left. \begin{aligned} L_0 &= BOD_t + L_t \\ L_t &= L_0 e^{-kt} \end{aligned} \right\} BOD_t = L_0(1 - e^{-kt})$$

## Σταθερά αντίδρασης BOD<sub>5</sub>, k

Εξάρτηση k από:

- Φύση αποβλήτων (εύκολα βιοδιασπάσιμα => υψηλό k)
- Ικανότητα μικροοργανισμών να αποδομούν απόβλητα
- Θερμοκρασία

$$k_T = k_{20} \theta^{(T-20)}$$

Όπου :  $\theta = 1,047$

# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Οργανικά Χαρακτηριστικά

Συνθετικές οργανικές ενώσεις (συνήθεις συγκεντρώσεις, ng/L ή µg/L)

- Κατάλοιπα βιομηχανικών διεργασιών (PCBs, PBDEs, χλωροφαινόλες, φθαλικοί εστέρες.....)
- Φυτοφάρμακα (οργανοχλωριωμένα, οργανοφωσφορικά, καρβαμιδικά....)
- Προϊόντα καθημερινής χρήσεως (άλκυλ-φαινόλες, triclosan, parabens.....)
- Φαρμακευτικές ουσίες (carbamazepine, diclofenac, codeine, erythromycine.....)



# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

## Οργανικά Χαρακτηριστικά

Συνθετικές οργανικές ενώσεις (συνήθεις συγκεντρώσεις, ng/L ή µg/L)

Table 2. Occurrence of the target EDCs in the influents and the effluents (in µg l<sup>-1</sup>) of Greek sewage treatment plants included in this study (six plants, n = 30)

Substance	Influent						Effluent				
	LOD	[N]>LOD <sup>a</sup>	Mean	Median	Min	Max	[N]>LOD	Mean	Median	Min	Max
4- <i>n</i> -NP	0.03	25	0.23	0.17	<0.03	1.04	24	0.18	0.11	<0.03	0.90
NP1EO	0.34	30	5.76	3.30	0.35	20.8	15	0.89	0.17	<0.34	6.89
TCS	0.13	30	4.90	1.37	0.17	23.9	25	1.10	0.43	<0.13	6.88
BPA	0.14	23	0.73	0.68	<0.14	2.14	12	0.15	0.07	<0.14	1.10
NP2EO	0.41	30	3.99	2.38	0.71	13.4	15	1.84	0.20	<0.41	17.4

<sup>a</sup> [N]>LOD: Number of samples with concentrations higher than the limit of detection (LOD) of the method

# Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Υγρών Αστικών Αποβλήτων

- ✓ Θεωρητική εκτίμηση συγκεντρώσεων

$$\text{Συγκέντρωση ρύπου} = \frac{\text{Παραγόμενη ποσότητα ρύπου ανά άτομο}}{\text{Παραγόμενο όγκο λυμάτων ανά άτομο και ημέρα}}$$

$$(\text{mg/l}) = (\text{mg} / \text{άτομο και ημέρα}) / (\text{lt λυμάτων} / \text{άτομο και ημέρα})$$

## Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

- ✓ Metcalf and Eddy (2003) *Wastewater Engineering - Treatment and Reuse*, 4<sup>th</sup> edition, Mc Graw Hill, USA, p. 154-204
- ✓ Masters G.M. (1996) *Introduction to Environmental Engineering and Science*, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, USA, p. 77-85 και 92-95
- ✓ Στάμου Α. (2004) Βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου (σελ. 7-22)
- ✓ Τσώνης Στ. (2004) Επεξεργασία Λυμάτων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου (σελ. 1-55)
- ✓ Λέκκας Θ. (2001) Περιβαλλοντική Μηχανική ΙΙ – Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων. Εκδόσεις ΚΟΣΜΟΣ ΠΕΜΕΡ ΕΠΕ, (σελ. 1-62)
- ✓ Λυμπεράτος Γ., Βαγενάς Δ. (2012) Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων, Εκδόσεις Τζιόλα (σελ. 32-73)