



## 2. Απολύμανση του Νερού.

### 2.1 Γενικά – Τεχνικές Απολύμανσης του Νερού.

- Το νερό είτε ήδη πόσιμο είτε μετά από κατεργασία θα πρέπει να έχει εξασφαλισμένη την ποιότητά του ώστε να μην αναπτύσσονται **παθογόνοι μικροοργανισμοί**.
- Η διεργασία που ακολουθείται είναι η απολύμανση του νερού (disinfection).
- Η απολύμανση γίνεται είτε σε χώρους αποθήκευσης (δεξαμενές) είτε και στα δίκτυα διανομής του νερού.
- Το νερό από κατεργασμένα λύματα θα πρέπει να διατίθεται στους φυσικούς αποδέκτες του δηλ. λίμνες, ποτάμια υπέδαφος μετά από απολύμανση.



## 2.1.1 Τεχνικές Απολύμανσης του Νερού.

- Οι τεχνικές απολύμανσης του νερού διαθέτουν πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Οι βασικές τεχνικές είναι:
  - 1. Χρήση Υπεριώδους ακτινοβολίας UV.
  - 2. Απολύμανση με Όζον.
  - 3. Απολύμανση με χλώριο ( $\text{Cl}_2$ ).
  - 4. Απολύμανση με  $\text{ClO}_2$ .
  - 5. Απολύμανση με υποχλωριώδη άλατα  $\text{NaOCl}$ ,  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ .



## 2.1.2 Χαρακτηριστικά των Τεχνικών Απολύμανσης του Νερού. (1)

1. Ικανότητα του απολυμαντικού να καταστρέφει τους μικροοργανισμούς που ενυπάρχουν στο νερό κατά τη χρονική διάρκεια που το νερό θα βρίσκεται σε επαφή με το απολυμαντικό ή με άλλα λόγια κατά τη διάρκεια που οι μικροοργανισμοί (που βρίσκονται μέσα στο νερό) θα βρίσκονται σε επαφή με το απολυμαντικό.
2. Διαθεσιμότητα του απολυμαντικού σε λογικές τιμές και σε κατάλληλη ασφαλή μορφή κατά το χειρισμό αλλά και με δυνατότητα ακριβούς δοσομετρίας.
3. Το απολυμαντικό θα πρέπει να μπορεί να απομακρυνθεί από το νερό εύκολα χωρίς να προκαλεί αλλοιώσεις του νερού.
4. Γρήγορες και ακριβείς τεχνικές προσδιορισμού της συγκέντρωσης του απολυμαντικού.



## Πίνακας 2.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Απολυμαντικών.

Μέθοδος	Φίλικό στο περιβάλλον	Παραπροϊόντα	Δραστηκότητα	Κόστος επένδυσης	Κόστος λειτουργίας	Εφαρμογή
Όζον	+/-	+	++	-	+	-
UV	++	++	+/-	-	++	++
Διοξείδιο του χλωρίου	+/-	+/-	++	+/-	+	-
Αέριο χλώριο	--	--	+	+/-	++	-
Υποχλωριώδες Νάτριο	-	-	+	+++	+++	+++



## 2.1.2 Χαρακτηριστικά των Τεχνικών Απολύμανσης του Νερού. (2)

- Η χλωρίωση του νερού με υποχλωριώδες νάτριο ( $\text{NaOCl}$ ) σε υγρή μορφή είναι η πιο ενδεδειγμένη τεχνική απολύμανσης του νερού σε εγκαταστάσεις ύδρευσης.

### Πλεονεκτήματα

- 1. Ευκολία διαχείρισης.
- 2. Μικρό κόστος επένδυσης και λειτουργίας.
- 3. Ικανότητα παραμονής του ελεύθερου χλωρίου για απολύμανση τυχόν εισερχόμενων μικροοργανισμών.
- 4. Μεγάλη ικανότητα απολύμανσης.

### Μειονέκτημα

- Τα παραπροϊόντα που δημιουργούνται από τη χλωρίωση όπως χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες σε περίπτωση που υπάρχει οργανική ύλη στο νερό π.χ κατά την αποσύνθεση των φυτών (3-χλωρο μεθάνιο).
- Συνολικά τα πλεονεκτήματα χρήσης του  $\text{NaOCl}$  (υποχλωριώδους νατρίου) υπερτερούν του μειονεκτήματος και η χλωρίωση προτιμάται.



## 2.1.2 Χαρακτηριστικά των Τεχνικών Απολύμανσης του Νερού. (3)

- Σύμφωνα με τη νομοθεσία «...η απολύμανση του νερού ύδρευσης είναι υποχρεωτική για οικισμούς άνω των 3000 κατοίκων με δαπάνες του παροχέα. Θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την απολύμανση:
1. Η απολύμανση θα επιτελείται με χλώριο με συγκέντρωση στα ακρότατα σημεία του δικτύου 0,2 ppm (mg/l).
  2. Ο χρόνος δράσης του χλωρίου θα είναι τουλάχιστον 20min.
  3. Ο χώρος τοποθέτησης του δοχείου χλωρίωσης θα πρέπει να αερίζεται και να έχει παροχή νερού και σύστημα αποχέτευσης.
  4. Η ποσότητα του χλωρίου θα ελέγχεται καθημερινά σε 3 τουλάχιστον διαφορετικά σημεία του δικτύου και τα αποτελέσματα θα καταχωρούνται σε βάση δεδομένων (ασφάλεια για τους καταναλωτές).

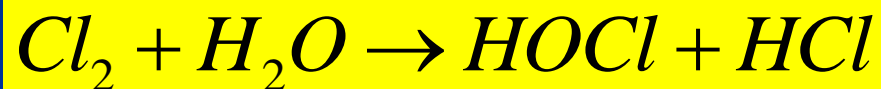




## 2.2 Χημεία χλωρίου και δράσης αυτού.

(1)

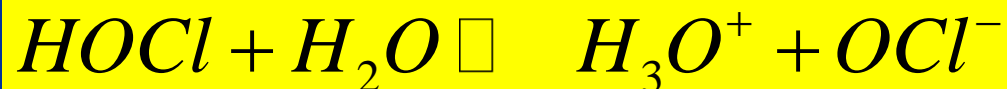
- Όταν αέριο χλώριο διαλύεται στο νερό σχηματίζεται HCl και HOCl (υποχλωριώδες οξύ) που αποτελεί και το απολυμαντικό μέσο του νερού.



- Το διάλυμα NaOCl (υποχλωριώδες νάτριο) δίνει επίσης HOCl (υποχλωριώδες οξύ)



- Το HOCl (υποχλωριώδες οξύ) ανάλογα με την τιμή του pH διασπάται



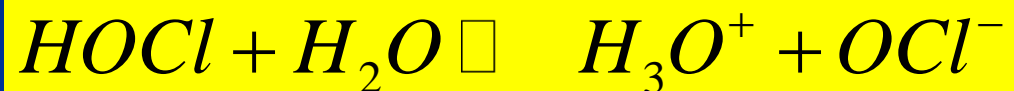
- Τιμές Ph (0- 7) κυριαρχία του H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>
- Τιμές Ph (7-14) κυριαρχία του OCl<sup>-</sup>



## 2.2 Χημεία χλωρίου και δράσης αυτού.

(2)

- Το HOCl (υποχλωριώδες οξύ) ανάλογα με την τιμή του pH διασπάται



- Τιμές pH (0- 7) κυριαρχία του H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>
- Τιμές pH (7-14) κυριαρχία του OCl<sup>-</sup>
- Σε χαμηλό pH (όξινο 0-7) η μορφή που κυριαρχεί είναι το HOCl
- Σε υψηλό pH (βασικό 7-14) η μορφή που κυριαρχεί είναι το OCl<sup>-</sup>
- Η δραστική ουσία για την απολύμανση του νερού είναι το HOCl. Αν το νερό έχει υψηλό pH η δόσολογία χλωρίωσης θα πρέπει να είναι υψηλότερη.





## 2.3 Απολύμανση του Νερού με Χλωρίωση. (1)

- Η χλωρίωση του νερού επιλέγεται για την απολύμανσή του γιατί το χλώριο καταστρέφει όλους τους παθογόνους μικροοργανισμούς που υπάρχουν στο νερό και οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο.
- Κατηγορίες Παθογόνων Μικροοργανισμών (Βακτήρια / Ιοί / Πρωτόζωα).
- Βακτήρια – Μικροσκοπικοί οργανισμοί πολύ επικίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία (τυφοειδής πυρετός, δυσεντερία, χολέρα).
- Ιοί – Υπεύθυνοι για τη μετάδοση σοβαρών ασθενειών όπως ηπατίτιδα, πολιομυελίτιδα.
- Πρωτόζωα – Μεγαλύτεροι οργανισμοί από τα βακτήρια μεταδίδουν ασθένειες όπως αμοιβαδική δυσεντερία.

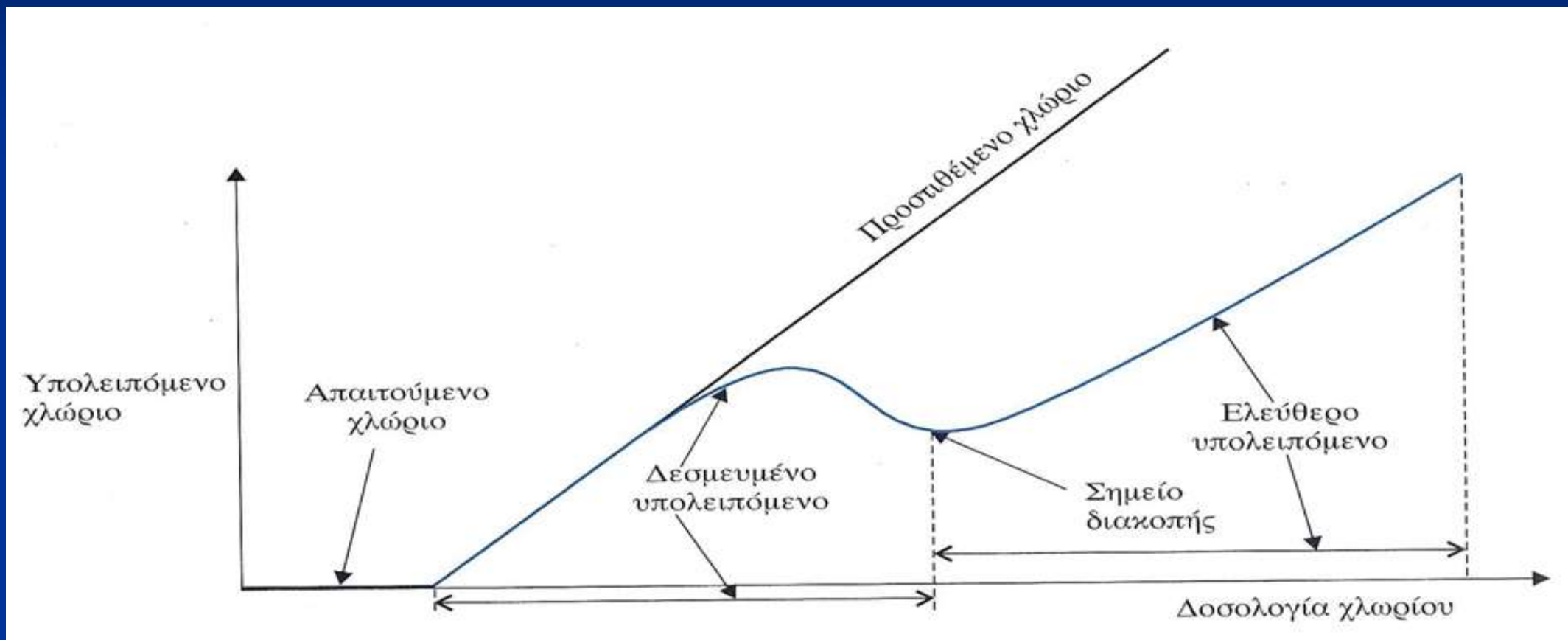


## 2.3 Απολύμανση του Νερού με Χλωρίωση. (2)

- Στόχος της χλωρίωσης είναι η εξάλειψη όλως των παραπάνω παθογόνων μικροοργανισμών και η καταστροφή τους.
- **Απαιτούμενο Χλώριο** – Το χλώριο είναι πολύ δραστική ουσία. Η απολυμαντική δράση του χλωρίου αρχίζει αφού ποσότητα αυτού αρχικά έχει αντιδράσει με ανόργανες ενώσεις (γρήγορες αντιδράσεις) και αφού το χλώριο αντιδρά με  $\text{NH}_3$  και οργανική ύλη. Η επιπλέον ποσότητα χλωρίου μετά τις παραπάνω αντιδράσεις θα δρα ως απολυμαντικό. Το όριο στην ποσότητα χλωρίου λέγεται **σημείο διακοπής** (breakpoint).
- **Υπολειπόμενο Χλώριο** – Το επιπλέον χλώριο υπό μορφή  $\text{HClO}$  που υπάρχει στο δίκτυο και θα δράσει κατά των παθογόνων μικροοργανισμών όποτε παραστεί ανάγκη αναφέρεται τότε ως **ελεύθερο χλώριο**. Στο υπολειπόμενο χλώριο περιλαμβάνεται και το **δεσμευμένο χλώριο** υπό μορφή χλωραμινών.
- Το υπολειπόμενο χλώριο είναι το άθροισμα ελεύθερου και δεσμευμένου χλωρίου. Σε κάθε περίπτωση η συγκέντρωση του ελεύθερου χλωρίου δεν πρέπει να ξεπερνά τα  $0,2 \text{ ppm}$ .
- **Κανόνας καλής πρακτικής Χλωρίωσης:** Διάθεση ικανοποιητικής ποσότητας χλωρίου για την εξουδετέρωση παθογόνων οργανισμών αλλά και επαρκής ποσότητα ελεύθερου χλωρίου.



## 2.3 Απολύμανση του Νερού με Χλωρίωση. (3)



➤ Σχήμα 2.2 Δοσολογία χλωρίου και υπολειπόμενο χλώριο.



## 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απολύμανση του Νερού. (1)

- **Χρόνος επαφής** - απαιτείται χρόνος για να διαχυθεί το χλώριο στο νερό και να δράσει. Ο χρόνος επαφής μπορεί να αναφέρεται είτε σε δεξαμενή είτε στο δίκτυο ύδρευσης. Η απολύμανση απαιτεί 10min για το ελεύθερο χλώριο και μερικές ώρες για το δεσμευμένο. Ο έλεγχος οσμής και γεύσης του νερού απαιτεί μέχρι και 4 ώρες.
- **Δοσολογία** – Σχετίζεται με την ποσότητα νερού προς απολύμανση. Μετράται σε  $\text{mg/l} = \text{ppm} = \text{gr/m}^3$ . Αν είναι γνωστή η παροχή ή η κατανάλωση του νερού τότε μπορεί να υπολογισθεί η ποσότητα του  $\text{NaOCl}$  (υποχλωριώδους νατρίου) που θα απαιτηθεί.

Δοσολογία Χλωρίου = Απαιτούμενο Χλώριο + Υπολειπόμενο Χλώριο ( $\text{mg/l}$ )

- Με παροχή  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ο ρυθμός μάζας του χλωρίου που απαιτείται ώστε η δοσολογία να είναι  $A$  ( $\text{gr/m}^3$ ) θα δίνεται από τη σχέση:  $\dot{m}_{\text{Cl}} = Q \cdot A$  ( $\text{gr/h}$ )



## 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απολύμανση του Νερού. (2)

- Με παροχή  $Q$  ( $m^3/h$ ) ο ρυθμός μάζας του χλωρίου που απαιτείται ώστε η δοσολογία να είναι  $A$  ( $gr/m^3$ ) θα δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{m}_{Cl} = Q \cdot A \quad (gr/h)$$

- Για τον υπολογισμό της ποσότητας της παρεχόμενης μάζας χλωρίου σε ημερήσια βάση:

$$\dot{m}_{Cl} = Q \cdot A \cdot \frac{24}{1000} \quad (Kg/day)$$

- Για την περίπτωση που χρησιμοποιείται διάλυμα  $NaOCl$  (υποχλωριώδες νάτριο – χλωρίνη) περιεκτικότητας  $X\%$  και με δεδομένο ότι το διάλυμα δεν είναι καθαρό, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\dot{m}_{Cl} = \frac{Q \cdot A}{X} \cdot \frac{24}{1000} \quad (Kg/day)$$



## 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απολύμανση του Νερού. (3)

- **Παράδειγμα 2.1** Ζητείται η χλωρίωση δικτύου ύδρευσης παροχής  $20\text{m}^3/\text{h}$  με διάλυμα  $\text{NaOCl}$  περιεκτικότητας 15% ( $=0.15$ ). Το απαιτούμενο χλώριο είναι  $2\text{ppm}$  ενώ το υπολειπόμενο χλώριο ζητείται να είναι  $3\text{ppm}$  ώστε στα ακρότατα σημεία του δικτύου να είναι τουλάχιστον  $2\text{ppm}$ . Να υπολογιστεί η απαιτούμενη ποσότητα χλωρίνης σε μηνιαία βάση.
- Η δοσολογία του χλωρίου θα είναι  $A = 5\text{ppm} = 5\text{gr}/\text{m}^3$ .

$$\dot{m}_{Cl} = \frac{Q \cdot A}{X} \cdot \frac{24}{1000} \text{ kg/day} = \frac{20 \cdot 5}{0.15} \cdot \frac{24}{1000} = 16 \text{ kg/day}$$

- Επομένως στη διάρκεια ενός μήνα θα απαιτηθεί

$$m_{Cl} = (16 \text{ kg/day})(30 \text{ days}) = 480 \text{ kg}$$





## 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απολύμανση του Νερού. (3)

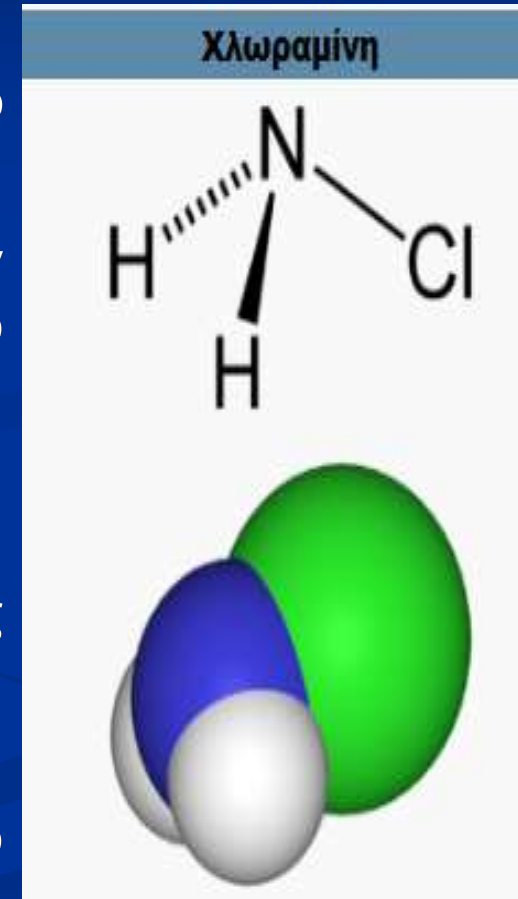
- **Απαιτούμενο Χλώριο**
- Η απολυμαντική δράση του χλωρίου αρχίζει αφού ποσότητα αυτού αρχικά έχει αντιδράσει με ανόργανες ενώσεις όπως υδρόθειο και ιόντα σιδήρου που είναι γρήγορες αντιδράσεις. Μέχρι του σημείου αυτού δεν επιτυγχάνεται καμία απολύμανση.
- Με την προσθήκη περισσότερου χλωρίου αυτό αντιδρά με  $\text{NH}_3$  (αμμωνία) και οργανική ύλη δίνοντας **χλωραμίνες** οι οποίες έχουν απολυμαντική δράση και είναι αντιδράσεις μικρότερης ταχύτητας.
- Οι αρχικές αυτές αντιδράσεις καταναλώνουν μέρος του χλωρίου και αποτελούν μέρος του απαιτούμενου χλωρίου.
- Η επιπλέον ποσότητα χλωρίου μετά τις παραπάνω αντιδράσεις θα δρα ως απολυμαντικό. Το σημείο στο οποίο η παραπάνω ποσότητα χλωρίου έχει χρησιμοποιηθεί λέγεται σημείο διακοπής (breakpoint).
- Το επιπλέον χλώριο χρησιμοποιείται από τους ρύπους του νερού.





## 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απολύμανση του Νερού. (4)

- **Χλωραμίνες**
- Η χλωραμίνη ή (μονο)χλωραμίδιο είναι μια ανόργανη χημική ένωση, που περιέχει άζωτο, υδρογόνο και χλώριο με μοριακό τύπο  $\text{NH}_2\text{Cl}$ .
- Μπορεί να θεωρηθεί ότι παράγεται από την αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), αν αντικατασταθεί ένα από τα άτομα υδρογόνου της από ένα άτομο χλωρίου.
- Συνήθως χρησιμοποιείται σε μορφή αραιού υδατικού διαλύματος, οπότε και χρησιμεύει ως απολυμαντικό. Ο όρος «χλωραμίνη» επεκτείνεται επίσης και σε μια σειρά χλωριωμένες ανόργανες και οργανικές αμίνες.
- Πιο συγκεκριμένα, στις χλωραμίνες ανήκουν, εκτός από τη («μητρική») χλωραμίνη, η διχλωραμίνη ( $\text{NHCl}_2$ ), το τριχλωριούχο άζωτο ( $\text{NCl}_3$ ).





## 2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απολύμανση του Νερού. (5)

- **Θολότητα του νερού** – Αναφέρεται στα αιωρούμενα στερεά. Το χλώριο καταστρέφει τους παθογόνους μικροοργανισμούς μέσω της εξωτερικής μεμβράνης τους. Έτσι τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να καλύψουν τους μικροοργανισμούς και να τους προστατέψουν από το χλώριο.
- **Θερμοκρασία νερού** – Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού συνήθως οδηγεί σε επιτάχυνση των χημικών αντιδράσεων. Η κρίσιμη θερμοκρασία για τη διεργασία της απολύμανσης είναι 12°C. Κάτω από αυτή τη θερμοκρασία η δράση του χλωρίου είναι αργή.
- **Ηλιακό φως** – Καταστρέφει το χλώριο και δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με αυτό.
- **pH** – Το χλώριο δρα καλύτερα κάτω από τιμή 8. Σε διαλύματα νερού με pH (8-9) απαιτείται 50% της ποσότητας χλωρίου ή του χρόνου δράσης για να προκύψουν τα ίδια αποτελέσματα σε διαλύματα με χαμηλότερες τιμές pH.



## 2.5 Προβλήματα γεύσης και οσμής λόγω χλωρίωσης.

- Αυτά μπορεί να είναι αποτέλεσμα της δράσης του χλωρίου σε ουσίες που υπάρχουν στο νερό. Τα επίπεδα χλωρίωσης (συγκέντρωσης χλωρίου) προσδιορίζονται και γίνονται δυσάρεστα για κάθε καταναλωτή διαφορετικά.
- Τα επίπεδα συγκέντρωσης που αναγνωρίζεται το χλώριο στη γεύση από τον καταναλωτή είναι 0,075 mg/l για pH = 5 και 0,45 mg/l για pH = 9.
- Τα επίπεδα συγκέντρωσης που αναγνωρίζεται το χλώριο στην οσμή είναι μεγαλύτερα.
- Προβλήματα γεύσης και οσμής στο νερό υπάρχουν όταν το νερό περιέχει χρώμα ή υψηλή θολότητα (αιωρούμενα σωματίδια).
- Τα φύκια προσδίδουν άσχημη γεύση κατά την αποσύνθεση χωρίς να προκαλούν βλάβη στον ανθρώπινο οργανισμό. Ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης οσμής – γεύσης είναι η προσθήκη επιπλέον ποσότητας χλωρίου ώστε να καταστρέφονται όλες οι ουσίες που προκαλούν τη δυσάρεστη γεύση ή οσμή.



## 2.6 Διάσπαση χλωρίου σε συστήματα διανομής νερού.

- Στα δίκτυα ύδρευσης το Υπολειπόμενο χλώριο θα πρέπει να παραμένει σε ορισμένη συγκέντρωση ώστε το νερό να παραμένει ασφαλές στην περίπτωση που υπάρξουν επικίνδυνες εισροές στο δίκτυο ύδρευσης ή μακρά παραμονή του νερού στο δίκτυο.
- Η συγκέντρωση του χλωρίου είναι πρόβλημα στο δίκτυο ύδρευσης γιατί αυτό διασπάται με την πάροδο του χρόνου. Οι κυριότεροι λόγοι διάσπασης του χλωρίου:
  - ✓ Αντίδραση του χλωρίου με την κύρια μάζα του νερού
  - ✓ Αντίδραση του χλωρίου με τα τοιχώματα των σωληνώσεων και άλλων διατάξεων από τις οποίες περνά το νερό.
  - ✓ Φυσική εξάτμιση του χλωρίου.
- Αν το νερό δεν περιείχε καθόλου ξένες ουσίες και τα τοιχώματα των δεξαμενών ήταν αδρανή τότε ο μόνος τρόπος εξάτμισης θα ήταν η φυσική εξάτμιση ειδικά για ανοικτές δεξαμενές αποθήκευσης νερού.



## 2.6.01 Διάσπαση στην κύρια μάζα του νερού.

- Η διάσπαση του χλωρίου είναι 1<sup>ης</sup> τάξης έτσι ώστε η εξίσωση που περιγράφει τη συγκέντρωση να είναι:

$$c = c_0 e^{-k_b t}$$

- $c$  – η συγκέντρωση του χλωρίου σε κάθε χρονική στιγμή (mg/l)
- $c_0$  - η συγκέντρωση του χλωρίου αρχικά (mg/l)
- $k_b$  – η σταθερά ταχύτητας της διάσπασης του χλωρίου στην κύρια μάζα του νερού.
- Από πειραματικά δεδομένα είναι  **$k_b = 0.3432$  l/day.**

$$c = c_0 e^{-k_b t} \Rightarrow \ln c = \ln(c_0 e^{-k_b t}) = \ln c_0 + \ln(e^{-k_b t}) = \ln c_0 - k_b t \Rightarrow \boxed{\ln c = \ln c_0 - k_b t}$$

- Από την τελευταία σχέση μπορεί να προκύψει πειραματικά η σταθερά  $k_b$  με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων όταν είναι γνωστή η συγκέντρωση του χλωρίου ως συνάρτηση του χρόνου.



## 2.6.02 Διάσπαση στα τοιχώματα.

- Η διάσπαση του χλωρίου στα τοιχώματα σχετίζεται με τη μεταφορά μάζας του χλωρίου στα τοιχώματα των αγωγών του νερού (δίκτυα ύδρευσης) και στη διάσπαση του χλωρίου πάνω σε αυτά.
- Η διάσπαση στα τοιχώματα περιγράφεται με μια αντίστοιχη σταθερά  $k_f$  που κυμαίνεται στο εύρος  $(0.06 - 0.3) \text{ m}^3/\text{d}$ .

$$c = c_0 e^{-k_f t}$$





## 2.6.1 Χλωρίωση Δικτύων Ύδρευσης.

(1)

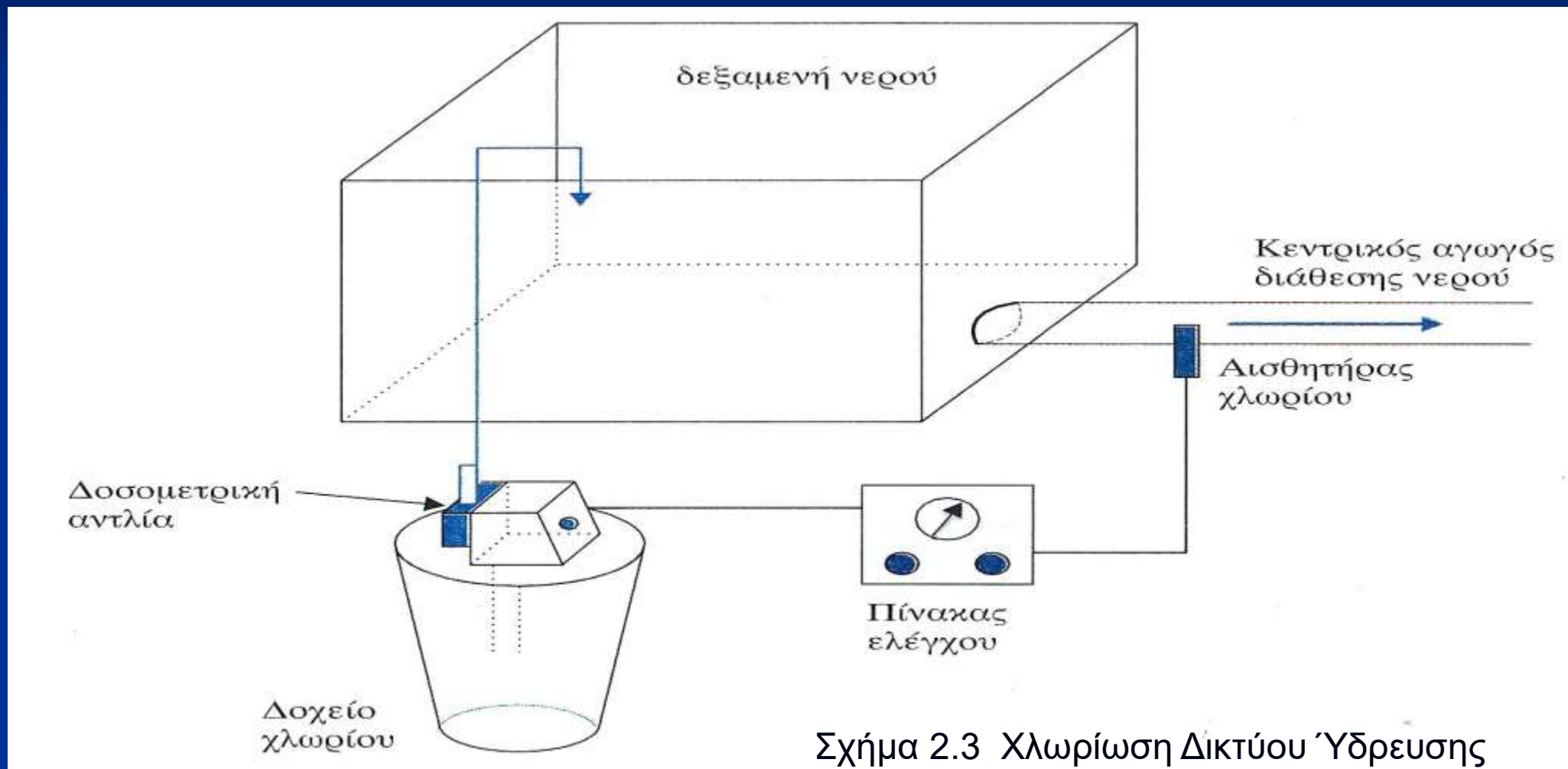
- Η χλωρίωση των δικτύων ύδρευσης Δήμων γίνεται συνήθως σε κεντρικές δεξαμενές που αποτελούν την πηγή τροφοδοσίας των δικτύων. Το pH των περισσότερων δήμων κυμαίνεται γύρω στο 7,5 τιμή στην οποία το χλώριο είναι ικανοποιητικά δραστικό.
- Η χλωρίωση γίνεται με δοσομετρικές αντλίες στην κύρια δεξαμενή κάθε δικτύου.
- Στον κεντρικό αγωγό τροφοδοσίας του δικτύου που εξέρχεται από την κάθε δεξαμενή υπάρχει αισθητήρας που ελέγχει τη συγκέντρωση του χλωρίου και ρυθμίζει αυτόματα την τροφοδοσία της αντλίας σε χλώριο.
- Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η επιθυμητή τιμή συγκέντρωσης χλωρίου στην έξοδο της δεξαμενής.
- Θεωρώντας ότι το χλώριο δρα με το νερό στη δεξαμενή για ικανοποιητικό διάστημα, δεν αναμένεται διάσπαση του υπολειπόμενου χλωρίου στο δίκτυο λόγω αντιδράσεων με την κύρια μάζα του διαλύματος. Η διάσπαση του χλωρίου στο δίκτυο ύδρευσης θα σχετίζεται με τα τοιχώματα των σωληνώσεων του δικτύου.
- Αν η δεξαμενή είναι μεγάλου όγκου θα πρέπει να γίνεται ανάδευση του νερού για ομοιόμορφη χλωρίωση.





## 2.6.1 Χλωρίωση Δικτύων Ύδρευσης.

(2)



Σχήμα 2.3 Χλωρίωση Δικτύου Ύδρευσης



## 2.7.1 Υποθέσεις και απλοποιήσεις της θεωρητικής μελέτης.

1. Η χλωρίωση του νερού στις δεξαμενές αποθήκευσης απαιτεί πολύ μικρότερο χρόνο για την εξουδετέρωση της οργανικής ύλης σε σχέση με το χρόνο παραμονής του νερού στις ανοικτές δεξαμενές. Έτσι οι αντιδράσεις στην κυρίως μάζα του νερού μπορούν να αγνοηθούν αφού το νερό θα εγκαταλείπει τη δεξαμενή με μια ορισμένη προκαθορισμένη συγκέντρωση.
2. Τα δίκτυα ύδρευσης απλοποιούνται όπου είναι σύνθετα, διατηρώντας πάντα τη βασική διάταξη και χωρίς να επηρεάζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.
3. Η τροφοδοσία των δικτύων γίνεται από κεντρική δεξαμενή με στόχο να ικανοποιούνται οι παροχές χειμερινής και καλοκαιρινής περιόδου.
4. Οι απολήψεις των δικτύων είναι αυτές που φθάνουν στους καταναλωτές που σχεδιαστικά καταγράφονται ως δεξαμενές που γεμίζουν με νερό (πληρούνται).
5. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων αφορά διάρκεια 20 ωρών.

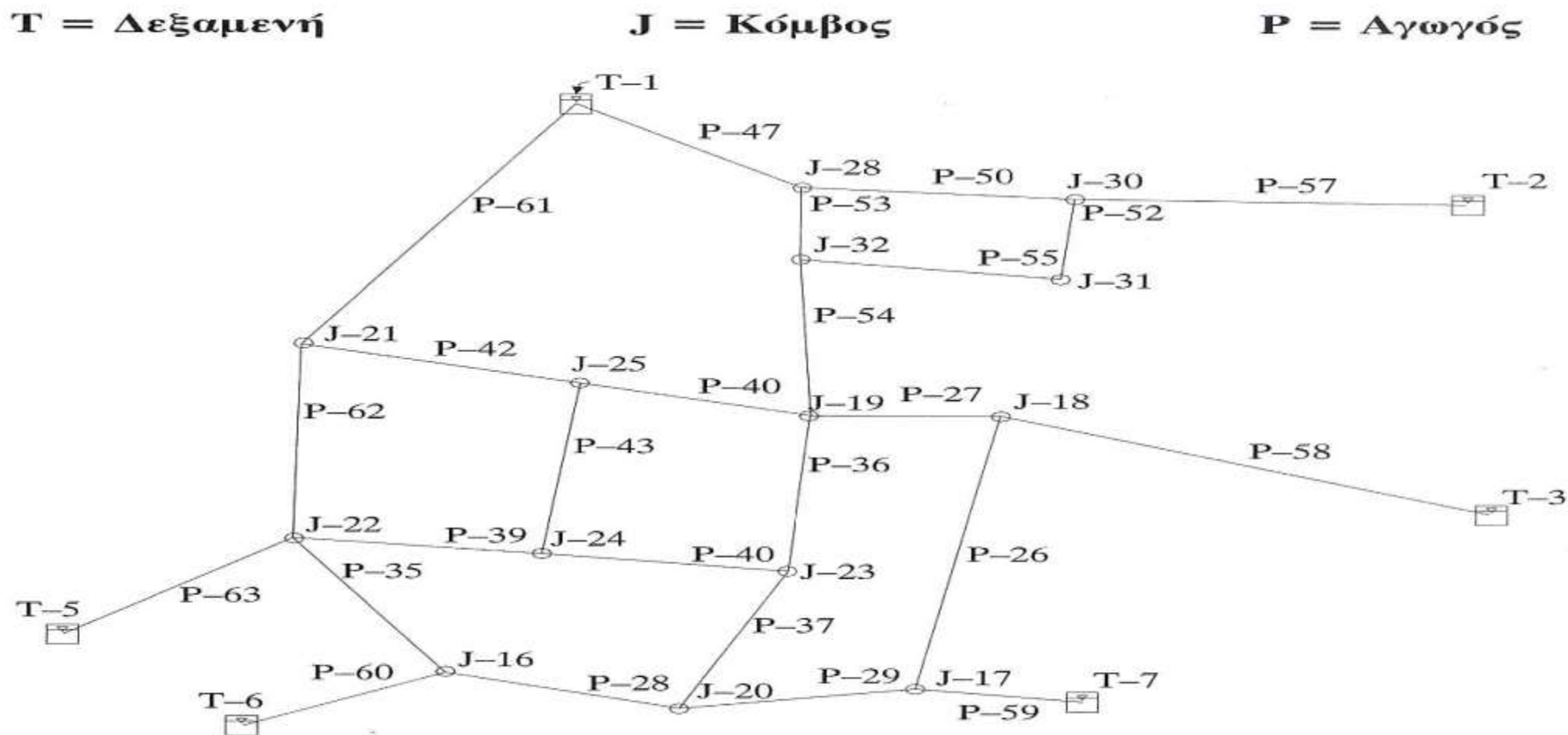


## 2.7.2 Προσομοίωση χλωρίωσης δικτύου ύδρευσης Φυρών.

1. Η δεξαμενή T-1 είναι η κύρια δεξαμενή παροχής του νερού ενώ οι υπόλοιπες προσομοιώνουν τις καταναλώσεις του νερού από νοικοκυριά.
2. Το δίκτυο επιλύεται για καλοκαιρινή και χειμερινή περίοδο.
3. Για καλοκαίρι η κατανάλωση θεωρείται  $800 \text{ m}^3/\text{day}$  και για χειμώνα  $300 \text{ m}^3/\text{day}$ .
4. Στόχος είναι ο προσδιορισμός του απαιτούμενου χρόνου και της τελικής συγκέντρωσης χλωρίου στο νερό ώστε να γίνεται χλωρίωση του δικτύου σε όλα τα σημεία αυτού.
5. Η δεξαμενή T-1 αδειάζει ενώ οι υπόλοιπες θα γεμίζουν.



## 2.7.2 Προσομοίωση χλωρίωσης δικτύου ύδρευσης Φυρών.





## 2.7.2 Προσομοίωση χλωρίωσης δικτύου ύδρευσης Φυρών.

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προκύπτει ότι

- κατά την καλοκαιρινή περίοδο στις πρώτες 3h χλωρίωσης της κεντρικής δεξαμενής με συγκέντρωση υπολειπόμενου χλωρίου 0.2 mg/l το χλώριο έχει φθάσει και στα ακρότατα σημεία του δικτύου, που είναι οι υπόλοιπες δεξαμενές με συγκέντρωση 0.1 mg/l.
- Στις 12h από την αρχή της διαδικασίας χλωρίωσης της δεξαμενής το χλώριο είναι 0.2 mg/l σε όλα τα σημεία του δικτύου.
- Κατά τη χειμερινή περίοδο, κατά την προσομοίωση απαιτείται διπλάσιος χρόνος για τη χλωρίωση του δικτύου σε σχέση με την καλοκαιρινή περίοδο.





## 2.8 Πειραματικά δεδομένα χλωρίωσης (μελέτη περίπτωσης). (1)

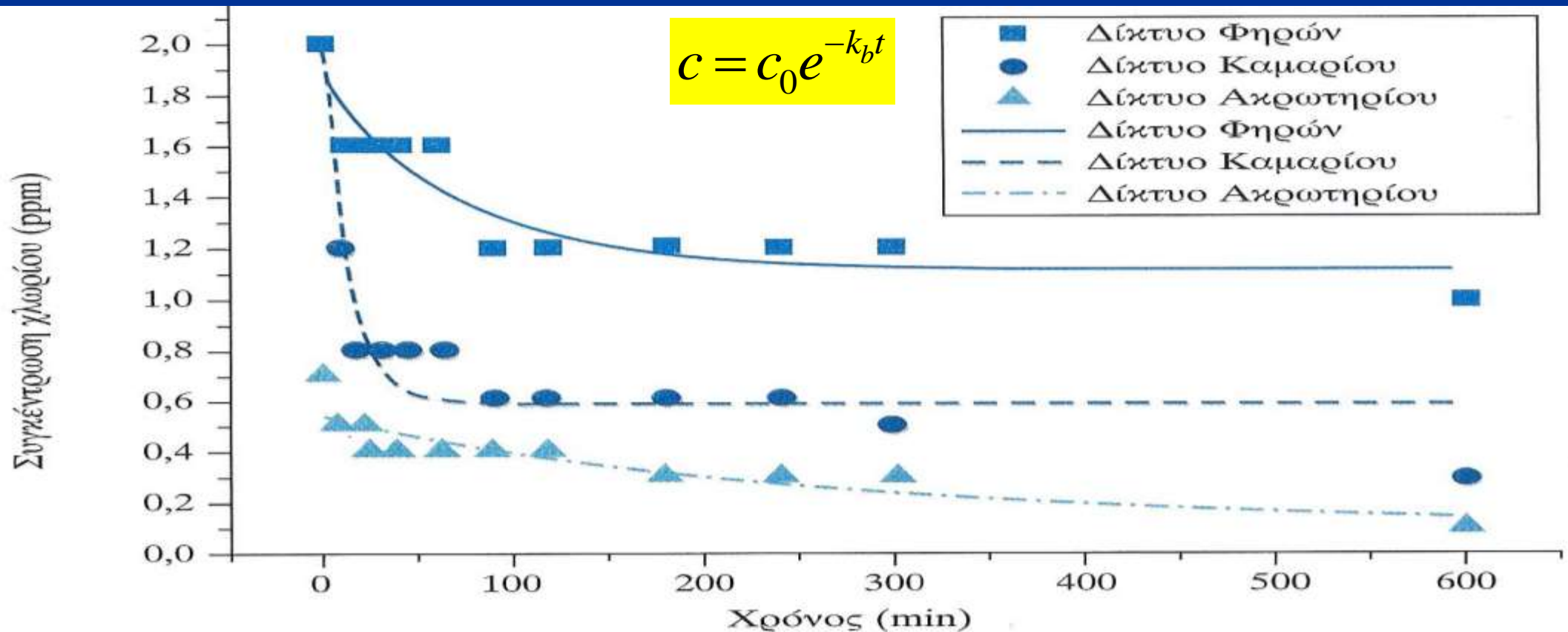
Για την επιβεβαίωση της επάρκειας του χρόνου δράσης του χλωρίου στις δεξαμενές με την οργανική ύλη ή άλλες οξειδούμενες ουσίες θα πρέπει να γίνονται μετρήσεις ώστε να προσδιοριστεί η σταθερά  $k_b$ .

Συγκέντρωση χλωρίου (mg/l)			
Χρόνος (min)	Δίκτυο Θήρας	Δίκτυο Καμαριού	Δίκτυο Ακρωτηρίου
0	2	2	0,7
10	1,6	1,2	0,5
20	1,6	0,8	0,5
30	1,6	0,8	0,4
40	1,6	0,8	0,4
60	1,6	0,8	0,4
90	1,2	0,6	0,4
120	1,2	0,6	0,4
180	1,2	0,6	0,3
240	1,2	0,6	0,3
300	1,2	0,5	0,3
600	1	0,3	0,1



## 2.8 Πειραματικά δεδομένα χλωρίωσης (μελέτη περίπτωσης). (2)

Τα αποτελέσματα αποδίδονται σε γραφήματα με τη μορφή να είναι εκθετική μείωση 1<sup>ης</sup> τάξης όπως υποδεικνύει και θεωρητική σχέση που δόθηκε νωρίτερα και δείχνει τη διάσπαση του χλωρίου στην κύρια μάζα του διαλύματος ως συνάρτηση του χρόνου.

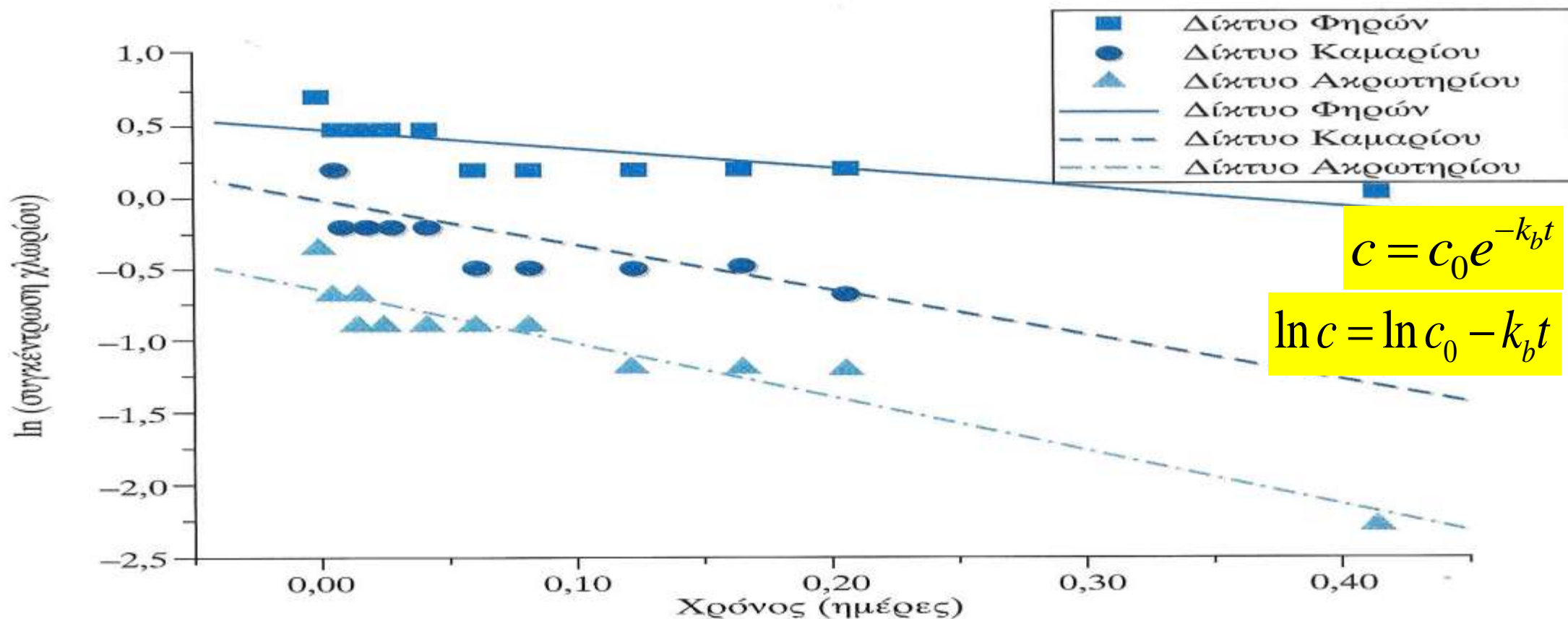






## 2.8 Πειραματικά δεδομένα χλωρίωσης (μελέτη περίπτωσης). (3)

Τα αποτελέσματα αποδίδονται σε γραφήματα με τη μορφή να είναι εκθετική μείωση 1<sup>ης</sup> τάξης όπως υποδεικνύει και θεωρητική σχέση που δόθηκε νωρίτερα και δείχνει τη διάσπαση του χλωρίου στην κύρια μάζα του διαλύματος ως συνάρτηση του χρόνου.





## 2.8.1 Τεχνική Περιγραφή μονάδων χλωρίωσης. (1)

- Απαιτείται μια αυτόνομη μονάδα χλωρίωσης για κάθε ανεξάρτητο δίκτυο ύδρευσης. Κάθε μονάδα θα πρέπει να είναι αυτοματοποιημένη με μόνη απαίτηση την τροφοδοσία διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου σε προακαθορισμένα χρονικά διαστήματα.
- Η μονάδα χλωρίωσης θα πρέπει να τοποθετείται σε προστατευμένο χώρο που θα πρέπει να αερίζεται ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση αερίου χλωρίου σε κλειστό χώρο.
- Η μονάδα χλωρίωσης θα πρέπει να έχει δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης της παροχής ώστε να επιτυγχάνεται η κατάλληλη προκαθορισμένη συγκέντρωση ελεύθερου χλωρίου στο εξερχόμενο νερό από την κεντρική δεξαμενή.
- Η δοσομέτρηση χλωρίου θα πρέπει να γίνεται στην κεντρική δεξαμενή ύδρευσης κάθε ανεξάρτητου δικτύου.
- Ο αισθητήρας ανίχνευσης του χλωρίου θα συνδέεται στον κεντρικό αγωγό εξόδου του νερού και ο πίνακας ελέγχου τοποθετείται σε στεγανό χώρο μέσα σε ειδικό πίνακα.



## 2.8.1 Τεχνική Περιγραφή μονάδων χλωρίωσης. (2)

- Ειδικότερα κάθε μονάδα χλωρίωσης πρέπει να περιλαμβάνει επί μέρους διατάξεις σύμφωνα με προδιαγραφές που έχουν αποφασιστεί.
- **A. Δοχείο Αποθήκευσης Χλωρίου.**  
Το δοχείο θα είναι κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο ημιδιαφανούς λευκού χρώματος ώστε να είναι δυνατή η ανάγνωση της στάθμης του περιεχόμενου διαλύματος χλωρίου. Το δοχείο θα είναι κατάλληλου όγκου σύμφωνα με τις απαιτήσεις της δεξαμενής και θα είναι ανοιγόμενο ώστε να επιτρέπεται η συμπλήρωση διαλύματος χλωρίου.
- **B. Δοσομετρική Αντλία.**  
Προβλέπεται αναλογική ηλεκτρομαγνητική αντλία κατάλληλης παροχής και πίεσης για κάθε ανεξάρτητο δίκτυο. Η αντλία θα είναι κατασκευασμένη από αλουμίνιο και πλαστικό, ανθεκτική στη διάβρωση και επίδραση του χλωρίου. Η πίεση λειτουργίας θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 5bar.
- **Γ. Αισθητήρας Ανίχνευσης Χλωρίου.**  
Προβλέπεται αναλογικός αμπερομετρικός αισθητήρας για τη μέτρηση του ελεύθερου χλωρίου στο εύρος (0 – 10) mg/l και θερμοκρασία (5 – 60)°C και ρυθμιζόμενη παροχή.



## 2.8.1 Τεχνική Περιγραφή μονάδων χλωρίωσης. (3)

- Ειδικότερα κάθε μονάδα χλωρίωσης πρέπει να περιλαμβάνει επί μέρους διατάξεις σύμφωνα με προδιαγραφές που έχουν αποφασιστεί.
- **Δ. Αυτοματισμός ρύθμισης συγκέντρωσης χλωρίου.**  
Αυτή η διάταξη θα πρέπει να δέχεται σήμα του αισθητήρα ανίχνευσης του χλωρίου να το συγκρίνει με την προκαθορισμένη τιμή και να δίνει την κατάλληλη εντολή στη δοσομετρική αντλία μέχρι να επιτευχθεί η προκαθορισμένη τιμή. Μπορεί να περιλαμβάνεται ως τμήμα της δοσομετρικής αντλίας. Περιλαμβάνεται και μετρητής στάθμης.

\*\*\* Στο όλο σύστημα είναι σκόπιμο να εγκατασταθεί και φίλτρο.

Χαρακτηριστικά της δοσολογίας χλωρίωσης δίνονται στον ακόλουθο πίνακα.



## 2.8.1 Τεχνική Περιγραφή μονάδων χλωρίωσης. (2)

- Ειδικότερα κάθε μονάδα χλωρίωσης πρέπει να περιλαμβάνει επί μέρους διατάξεις σύμφωνα με προδιαγραφές που έχουν αποφασιστεί.

A/A	Δημοτικό Διαμέρισμα	Μέγεθος δεξαμενής υδροδότησης (m <sup>3</sup> )	Ελάχιστος χρόνος παραμονής (h)	Μέγιστος χρόνος παραμονής (h)
1.	Φηρά	600	13,1	48
2.	Μεγαλοχώρι	1800	123,4	1234,3
3.	Ακρωτήρι	80	19,2	96
4.	Έμπορειό	50	2,4	10,9
5.	Μεσσαριά	600	28,8	102,9
6.	Έξω Γωνιά	100	30	63,2
7.	Καμάρι	600	13,1	80
8.	Καρτεράδος	300	10,7	42,4
9.	Βουρβούλος	60	13,1	28,8





## 2.9 Κανόνες υγιεινής και ασφάλειας κατά τη χρήση χλωρίου. (1)

### 2.9.1 Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες.

- Φυσική Κατάσταση Υγρό
- Χρώμα Άχρωμο προς απαλό κίτρινο
- Οσμή Χαρακτηριστική
- Σημείο Ζέσεως (48 – 76)C
- Ειδικό βάρος (1.07 – 1.26)gr/cm<sup>3</sup>
- Διαλυτότητα στο νερό 100%
- pH 12
- Τάση Ατμών 16 – 17.5 mm Hg



## 2.9 Κανόνες υγιεινής και ασφάλειας κατά τη χρήση χλωρίου. (2)

### 2.9.2 Προσδιορισμός Επικινδυνότητας.

- Το NaOCl (υποχλωριώδες νάτριο) σε διάλυμα επιδρά στον άνθρωπο μέσω της πόσης ή αναπνοής ή σε επαφή με τα μάτια και το δέρμα.
- Κατά την πόση προκαλούνται εγκαύματα στο στόμα στον οισοφάγο, στομαχικοί πόνοι.
- Κατά την αναπνοή προκαλούνται εγκαύματα βήχας, πνευμονικό οίδημα.
- Κατά την επαφή με το δέρμα προκαλούνται εγκαύματα και δερματίτιδα.
- Κατά την επαφή με τα μάτια προκαλούνται εγκαύματα προβλήματα όρασης.





## 2.9 Κανόνες υγιεινής και ασφάλειας κατά τη χρήση χλωρίου. (3)

### 2.9.2 Προσδιορισμός Επικινδυνότητας.

- **Μέτρα Καταπολέμησης φωτιάς** – Το διάλυμα NaOCl δεν είναι εύφλεκτο. Λόγω όμως της απελευθέρωσης ατμών του χλωρίου η κατάσβεση θα πρέπει να γίνεται με μάσκα.
- **Μέτρα κατά τη διαρροή** – Εξαερισμός και εκκένωση χώρου από το προσωπικό. Ρίχνουμε άμμο ή στάχτη στην περιοχή που διαβρέχτηκε από χλώριο. Χρησιμοποιούμε άφθονο νερό για έκπλυση.
- **Χειρισμός και αποθήκευση** – Το διάλυμα NaOCl αποθηκεύεται σε αεριζόμενο χώρο μέσα σε δοχεία μη διαβρούμενα. Τα δοχεία αποθήκευσης δεν πρέπει να είναι εκτεθειμένα στον ήλιο ούτε να έρχονται σε επαφή με άλλα χημικά που μπορούν να αντιδράσουν με το διάλυμα NaOCl.
- Κατά το χειρισμό να αποφεύγεται η αναπνοή ατμών του διαλύματος. Κατά τη μετάγγιση πρέπει να αποφεύγεται η επαφή με το δέρμα (ξέπλυμα με άφθονο νερό αν συμβεί). Ο χώρος μετάγγισης θα πρέπει να αερίζεται.



## 2.10 Άλλες μέθοδοι απολύμανσης.

### 2.10.1 Απολύμανση με UV

- Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) κατεργάζεται το νερό μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Βρίσκεται σε μήκη κύματος 200 – 390nm. Το πιο αποδοτικό  $\lambda$  για την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών είναι τα 254nm.
- 
- Οι σύγχρονες μονάδες απολύμανσης με UV αποτελούνται από λαμπτήρα UV ακτινοβολίας που περιβάλλεται από διάφανο Plexiglass ή κρύσταλλο χαλαζία.
- Γύρω από το περίβλημα κινείται το νερό προς απολύμανση. Η UV ακτινοβολία καταστρέφει το γενετικό υλικό των βακτηριδίων, αποτρέποντας την αναπαραγωγή τους.
- Η μέθοδος είναι ελκυστική γιατί δεν προστίθενται χημικά στο νερό ούτε παράγει παραπροϊόντα η απόδοσή της όμως είναι περιορισμένη γιατί δεν καταστρέφει ιούς και βακτήρια.
- Για να είναι αποτελεσματική η μέθοδος θα πρέπει το νερό να είναι διαυγές και να μην υπάρχουν αιωρούμενα σωματίδια - στερεά.



## 2.10 Άλλες μέθοδοι απολύμανσης.

### 2.10.2 Απολύμανση με Όζον ( $O_3$ ).

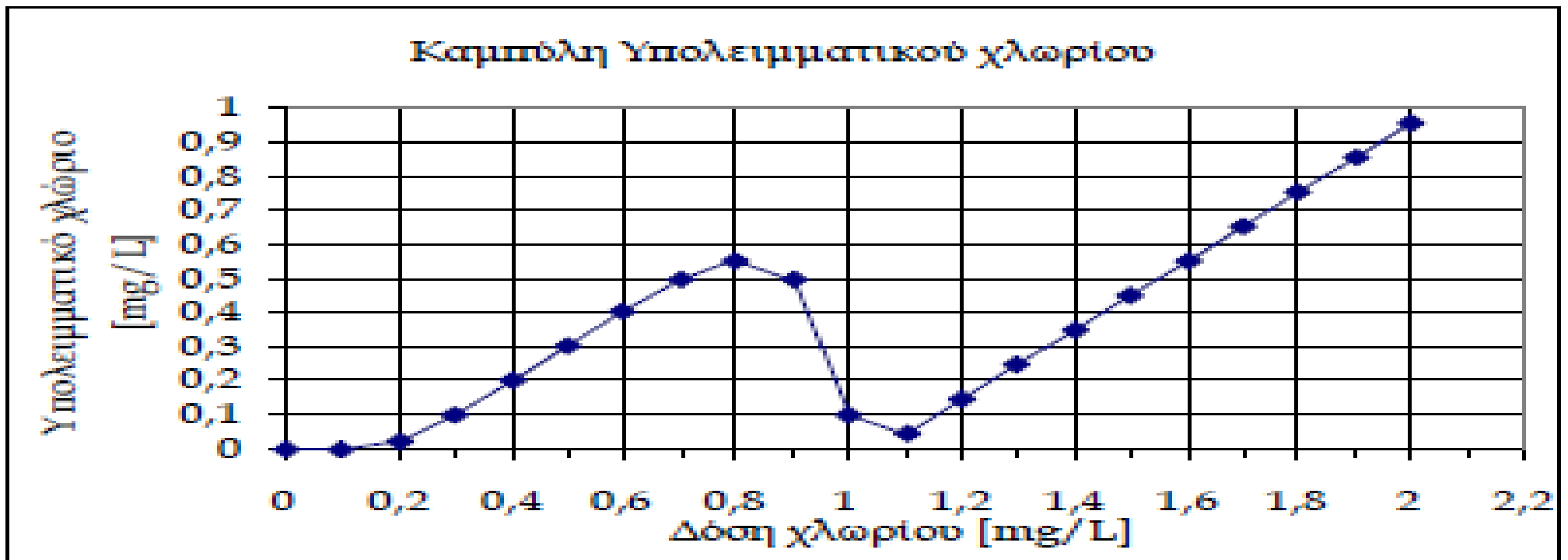
- Το όζον είναι ένα ισχυρό οξειδωτικό. Η οξείδωση προκαλείται από άτομα Οξυγόνου και όχι από άτομα χλωρίου έτσι τα προϊόντα της οξείδωσης είναι φιλικά στο περιβάλλον.
- Το Όζον είναι πιο δραστικό από το χλώριο κατά την επίδραση πάνω σε παθογόνους οργανισμούς.
- Όπως και με το χλώριο παράγοντες όπως η συγκέντρωση και ο χρόνος δράσης του όζοντος είναι καθοριστικοί για μια αποδοτική απολύμανση.
- Συνήθεις συγκεντρώσεις όζοντος 1 – 5.3 ppm.
- Μετά την απολύμανση με όζον στα δίκτυα ύδρευσης θα πρέπει να προστίθεται και μικρή ποσότητα χλωρίου.
- Το κόστος της απολύμανσης νερού με όζον είναι 2-3 φορές υψηλότερο από το χλώριο.
-



## 2.11 Άσκηση.

(1)

- Η καμπύλη υπολειμματικού χλωρίου το γραφήματος καταγράφηκε για πόσιμο νερό μετά από μια ώρα επαφή. Να εξηγήσετε το διάγραμμα.
- Να υπολογισθεί η ημερήσια ποσότητα  $\text{NaOCl}$  που θα χρησιμοποιηθεί σε αυτό το νερό για την παραγωγή συνδυασμένου υπολειμματικού χλωρίου  $0,4\text{mg/L}$  και ενός ελεύθερου υπολειμματικού  $0,5\text{mg/L}$  μετά από μια ώρα επαφή σε ροή  $15000\text{m}^3/\text{d}$ .

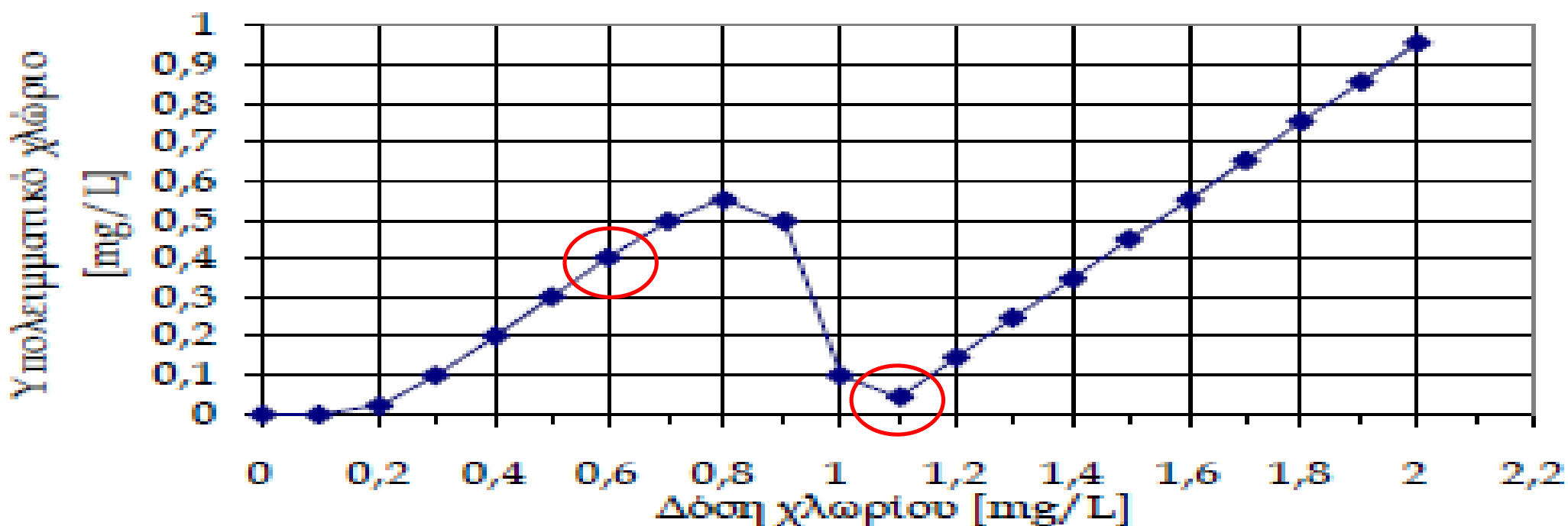




## 2.11 Άσκηση.

- Από το γράφημα προκύπτει η απαιτούμενη δόση χλωρίου ( $0,60\text{mg/L}$ ) για να επιτευχθεί συνδυασμένο υπολειμματικό χλώριο  $0,4\text{mg/L}$  (από εκφώνηση).
- Το συνδυασμένο υπολειμματικό χλώριο μετά το σημείο διακοπής είναι περίπου  $0,08\text{mg/L}$ .
- Η δόση του χλωρίου για να φθάσουμε στο σημείο διακοπής είναι  $1,1\text{ mg/L}$ .

Καμπύλη Υπολειμματικού χλωρίου

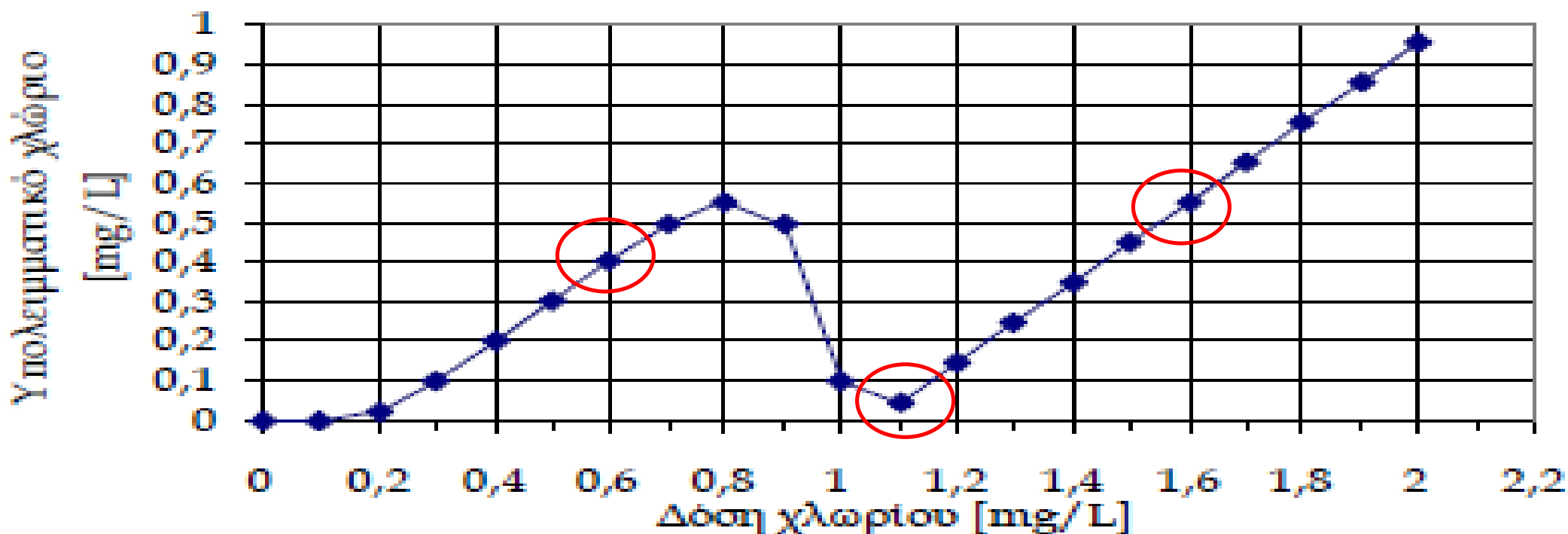




## 2.11 Άσκηση.

- Μετά το σημείο διακοπής η καμπύλη παρουσιάζει μια παράλληλη αύξηση του υπολειμματικού χλωρίου με τη δόση του χλωρίου (ανάλογη αύξηση).
- Η δόση που απαιτείται για να φθάσουμε το ελεύθερο υπολειμματικό των  $0,5\text{mg/L}$  είναι το άθροισμα  $(1,1+0,5)\text{mg/L} = 1,60\text{mg/L}$ .

Καμπύλη Υπολειμματικού χλωρίου







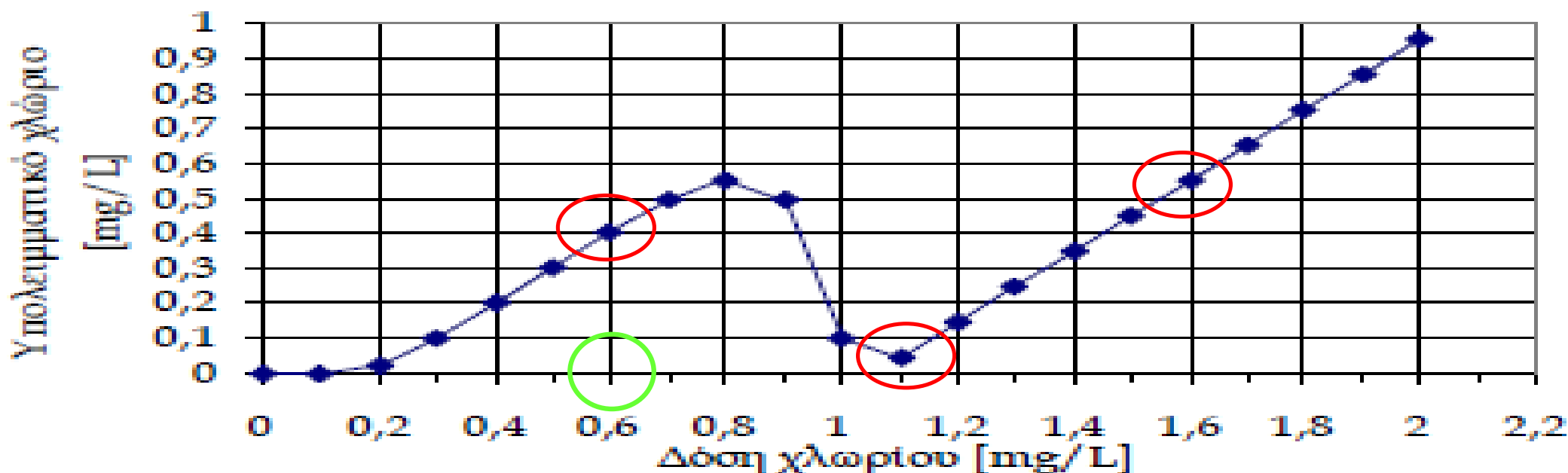
## 2.11 Άσκηση.

- Η ολική υπολειμματική συγκέντρωση με αυτή τη δόση είναι 0,58mg/L **NaOCl (Mr = 74,5g)** είναι ένα αλάτι το οποίο δίσταται σε :



- Η ποσότητα NaOCl που θα πρέπει να προστίθεται σε καθημερινή βάση για να επιτευχθεί συνδυασμένο υπολειμματικό χλώριο 0,4mg/L μετά από μια ώρα επαφής θα είναι:

Καμπύλη Υπολειμματικού χλωρίου



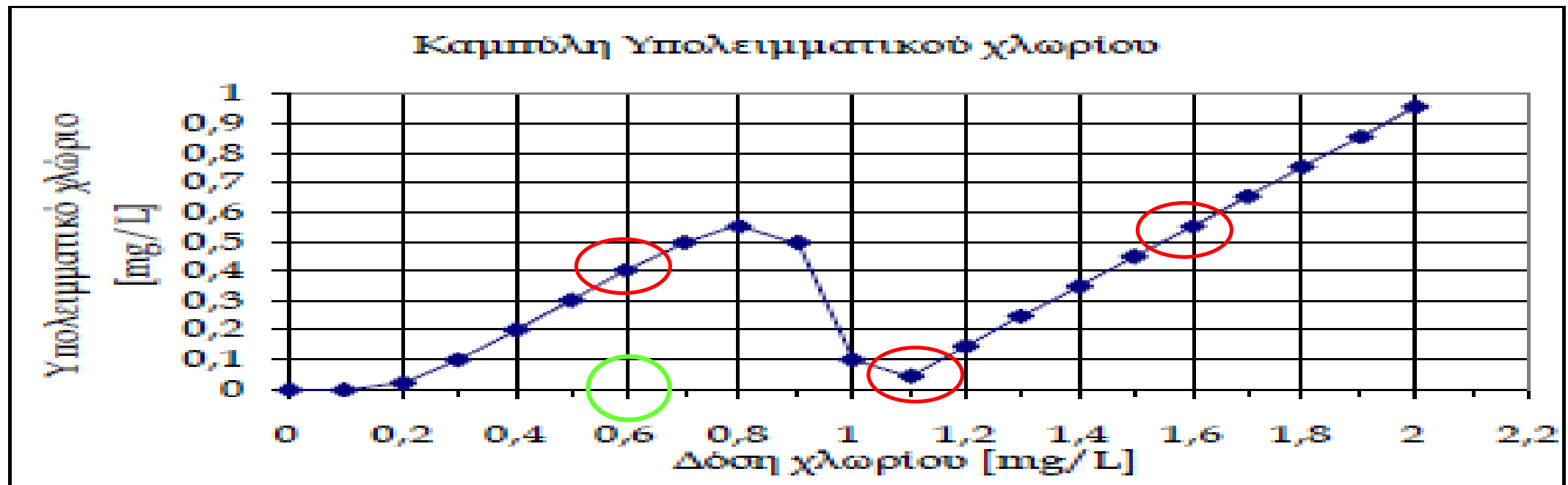


## 2.11 Άσκηση.

- Η ποσότητα NaOCl που θα πρέπει να προστίθεται σε καθημερινή βάση για να επιτευχθεί συνδυασμένο υπολειμματικό χλώριο 0,4mg/L μετά από μια ώρα επαφής θα είναι:

$$Q_c = \left( 15000 \frac{m^3}{d} \right) \left( 0,6 \frac{mgCl_2}{L} \right) \left( \frac{74,5 mgNaOCl}{71 mgCl_2} \right) \left( 1000 \frac{L}{m^3} \right) \left( \frac{1kg}{10^6 mg} \right)$$

$$Q_c = 9,44kg / d$$





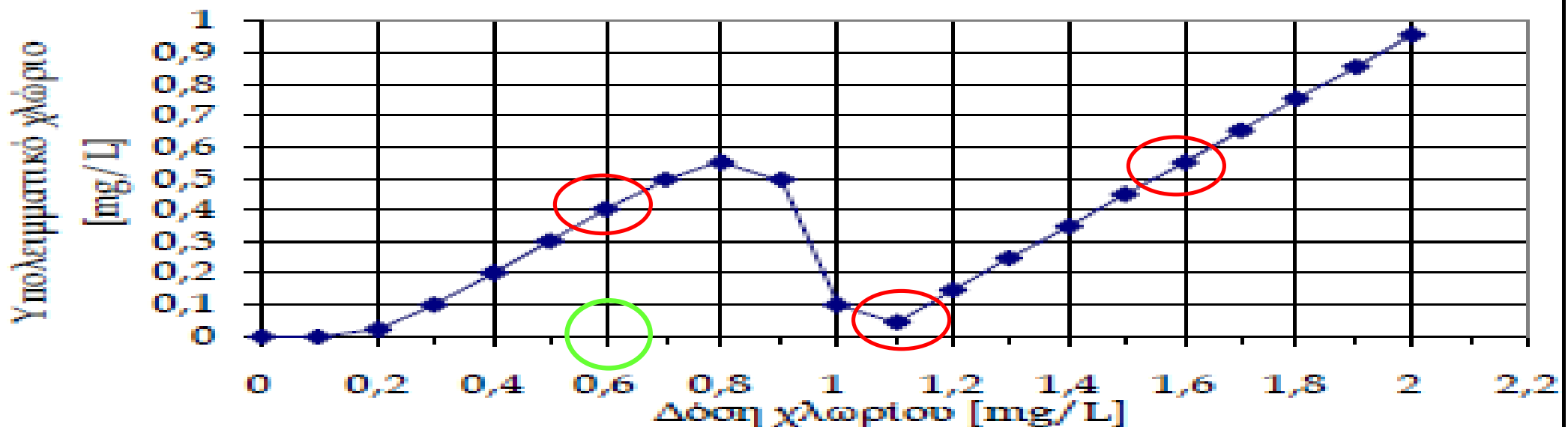
## 2.11 Άσκηση.

➤ Για την ημερήσια ποσότητα ελεύθερου υπολειμματικού χλωρίου 0,5mg/L αυτό θα υπολογίζεται

$$Q_c = \left( 15000 \frac{m^3}{d} \right) \left( 1,6 \frac{mgCl_2}{L} \right) \left( \frac{74,5}{71} \frac{mgNaOCl}{mgCl_2} \right) \left( 1000 \frac{L}{m^3} \right) \left( \frac{1kg}{10^6 mg} \right)$$

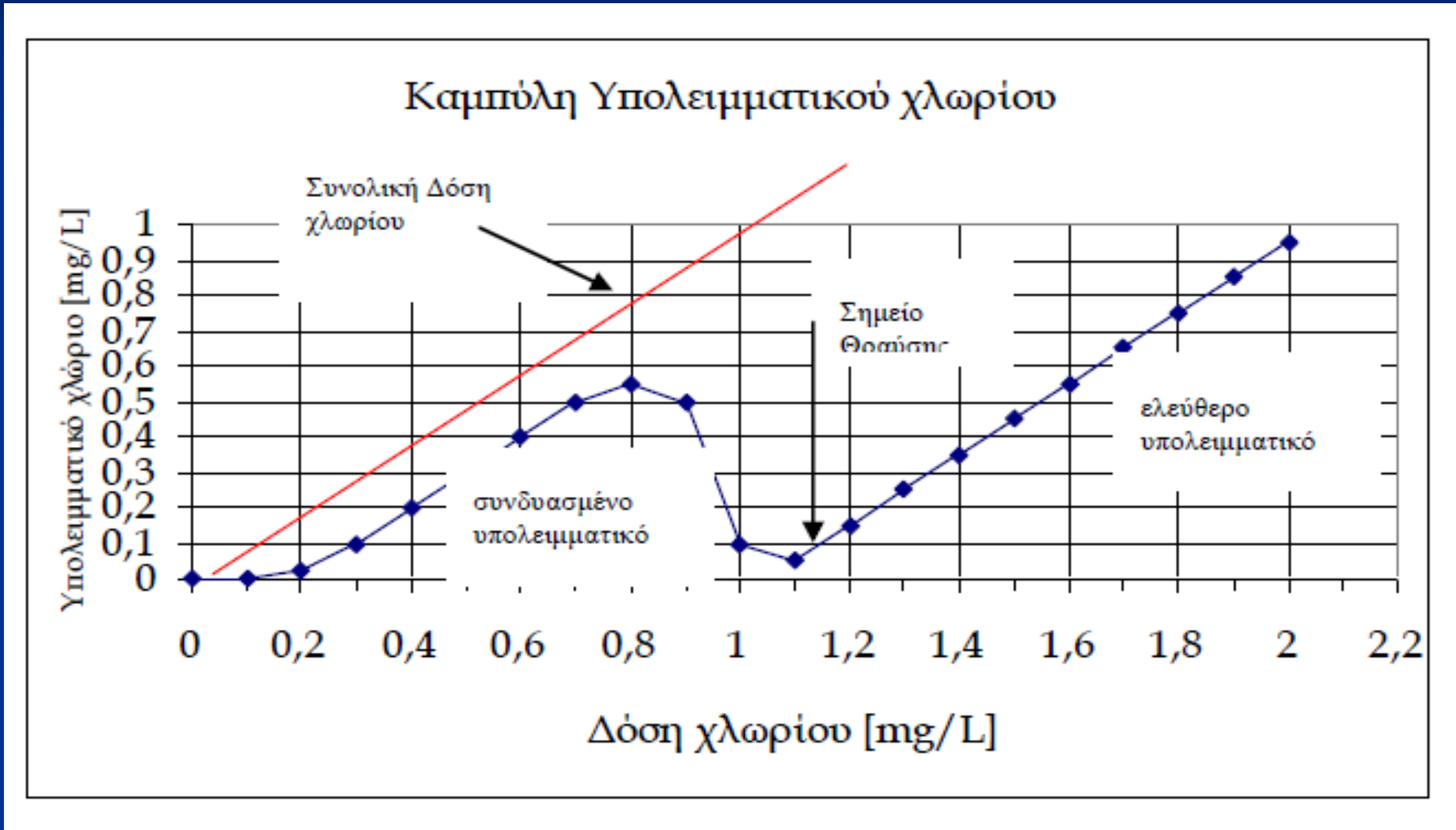
$$Q_c = 25,2kg / d$$

Καμπύλη Υπολειμματικού χλωρίου





## 2.11 Άσκηση.





## 2.12 Άσκηση\_2.

- 1. Να υπολογισθεί η απαιτούμενη ικανότητα συσκευής χλωρίωσης για απολύμανση ύδρευσης πόλης, με μέση ημερήσια παροχή  $Q=8500 \text{ m}^3/\text{d}$  (που αντιστοιχεί σε ~50000 κατοίκους).
- Μέγιστη απαιτούμενη ποσότητα χλωρίου  $1,2 \text{ mg/L}$ .
- Στο εμπόριο διατίθενται συσκευές χλωρίωσης 5,10,15 και 20 kg/d.
- Μέγιστη ημερήσια παροχή  $Q_{\max,\eta\mu} = 8500 \text{ m}^3 / \text{d}$
- Μέγιστη ωριαία παροχή  $Q_{\max,h} = 8500 / 24 = 354,2 \text{ m}^3 / \text{h}$
- Μέγιστη ικανότητα της συσκευής χλωρίωσης  $Max\_Cl_2 = (355 \text{ m}^3 / \text{h})(1,2 \text{ g} / \text{m}^3) = 426 \text{ g} / \text{h} = 0,426 \text{ kg} / \text{h} \sim 10,3 \text{ kg} / \text{d}$
- Επιλέγεται μια συσκευή ικανότητας των 15kg  $Cl_2/\text{d}$ .



## 2.12 Άσκηση\_2.

- 2. Να εκτιμηθεί η μέση κατανάλωση χλωρίου με βάση τη μέση παροχή και με παραδοχή συνηθισμένης δόσης χλωρίου για υπόγεια νερά **0,5mg/L**. Στο εμπόριο διατίθενται συσκευές χλωρίωσης 5,10,15 και 20 kg/d.
- Εκτίμηση της μέσης κατανάλωσης χλωρίου με βάση τη μέση παροχή και με παραδοχή συνηθισμένης δόσης χλωρίου 0,5 mg/L.

$$Mean\_Cl_2 = (8500m^3 / d)(0,5g / m^3) = 4250g / d = 4,25kg / d$$





## 2.12 Άσκηση\_2.

- 2. Να υπολογισθεί η απαιτούμενη ποσότητα διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου πυκνότητας 12,5% (περιεκτικότητας κ.ο).

$$\begin{aligned} \text{Max}(\text{NaOCl}) &= (4,25 \text{kgCl}_2 / \text{d}) = 0,177 \text{kgCl}_2 / \text{h} \\ \frac{0,177 \text{kgCl}_2 / \text{h}}{0,125 \text{kgCl}_2 / \text{L}} &= 1,42 \text{L} / \text{h} \sim 34 \text{L NaOCl} / \text{d} \end{aligned}$$