

ΠΤΥΧΙΑΚΗ

Ποιοτικός και ποσοτικός έλεγχος νερού γεώτρησης. Επιλογή αντλίας για την μεταφορά του νερού σε υψόμετρο. Απολύμανση του νερού με χλώριο ή όζον.

ΔΗΜΟΛΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Εισηγητής : Σπυρίδων Γ. Μαρτζούκος

Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
Κεφάλαιο Α.....	4
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ	4
ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΝΕΡΟΥ	4
ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ.....	5
Σε τι αποσκοπεί μια δοκιμαστική άντληση;.....	5
Σχεδίαση μιας δοκιμαστικής άντλησης.....	6
Άντληση κατά βαθμίδες	7
ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ	9
ΑΝΤΛΗΣΗ ΣΕ ΒΑΘΜΙΔΕΣ	10
ΒΑΘΜΙΔΑ 1η	10
ΒΑΘΜΙΔΑ 2 ^η	11
ΒΑΘΜΙΔΑ 3 ^η	12
ΒΑΘΜΙΔΑ 4 ^η	13
ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΝΤΛΗΣΗ ΣΕ ΒΑΘΜΙΔΕΣ	14
ΑΝΤΛΗΣΗ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΠΑΡΟΧΗ.....	16
ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΝΤΛΗΣΗ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΠΑΡΟΧΗ	18
ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΣΕ ΒΑΘΜΙΔΕΣ.....	20
ΓΡΑΦΗΜΑ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΝΤΛΗΣΗ ΣΕ ΒΑΘΜΙΔΕΣ	21
ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΠΑΡΟΧΗ.....	22
ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ –ΠΑΡΟΧΩΝ.....	24
Κεφάλαιο Β.....	25
ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΕΡΟΥ	25
ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΝΕΡΟΥ	26
ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΝΕΡΟΥ	29
Κεφάλαιο Γ	30
ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ.....	30
Απώλειες Μανομετρικού Ύψους σε Κοινούς Σωλήνες Νερού.....	31
Απώλειες Μανομετρικού Ύψους σε Πλαστικούς Σωλήνες	32
Αντλία.....	33
Σημαντικές συμβουλές για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του κινητήρα.....	34
ΟΔΗΓΟΣ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ	36
ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΑΝΤΛΙΑ SP(N) 46	36

ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΑΝΤΛΙΑ SP(N) 60	37
Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	38
Κεφάλαιο Δ.....	39
ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	39
Προδιαγραφές για απολύμανση με βάση τις τιμές CT	42
Στοιχεία σχεδιασμού συστημάτων απολύμανσης πόσιμου νερού	44
Απολύμανση με χλώριο και υποχλωριώδη άλατα.....	45
Μοριακό χλώριο	45
Υποχλωριώδη άλατα	48
Σχηματισμός χλωραμινών από προσθήκη χλωρίου ή υποχλωριωδών αλάτων.....	51
Χλωρίωση μετατροπής.....	54
Τριαλομεθάνια	56
Άλλα παραπροϊόντα απολύμανσης	57
Απολύμανση με διοξείδιο του χλωρίου	65
Απολύμανση με όζον.....	70
Βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της πτυχιακής:.....	77

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην σημερινή εποχή οι ανάγκες σε νερό είναι αυξημένες. Το μεγαλύτερο μέρος των διαθέσιμων αποθεμάτων πηγαίνει για την άρδευση. Επίσης μεγάλη ποσότητα από το γλυκό νερό είναι μολυσμένο.

Ένας τρόπος για να καλύψουμε τις ανάγκες σε πόσιμο νερό είναι και οι γεωτρήσεις. Βέβαια πριν προβούμε στην εκμετάλλευση μιας γεώτρησης, θα πραγματοποιήσουμε δοκιμαστική άντληση. Η δοκιμαστική άντληση θα μας δώσει τη δυνατότητα με μετρήσεις που θα κάνουμε, να βρούμε πια είναι η ποσότητα του νερού που μπορεί να μας παρέχει η γεώτρηση. Παίρνοντας δείγματα αυτού του νερού και κάνοντας χημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις θα διαπιστώσουμε αν είναι κατάλληλο για πόσιμο. Εάν είναι κατάλληλο θα επιλέξουμε αντλητικό συγκρότημα για την άντληση και μεταφορά του στο υδραγωγείο.

Για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας η απολύμανση του πόσιμου νερού είναι απαραίτητη. Επίσης η απολύμανση πρέπει να γίνεται με τρόπο που να αποφεύγεται ο σχηματισμός υπόπτων για την ανθρώπινη υγεία παραπροϊόντων. Θα εξετάσουμε την απολύμανση με χλώριο καθώς και με όζον.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΝΕΡΟΥ

Στις γεωτρήσεις μαζί με το απογραφικό δελτίο γίνονται εργασίες για τον προσδιορισμό της δυναμικότητας του υδροφόρου ορίζοντα από τον οποίο θα αντλήσουμε νερό. Μετά το άνοιγμα, τη σωλήνωση και τη χαλίκωση της γεώτρησης [στρογγυλοποιημένο χαλίκι], γίνονται δοκιμαστικές αντλήσεις για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε την εκμεταλλεύσιμη παροχή.

Το σύνολο των εργασιών αυτών αποτελεί χαρακτηριστικό της ίδιας της γεώτρησης και συνοδεύει το απογραφικό της δελτίο. Συνεπώς η παρουσίαση των στοιχείων των εργασιών που έχουν σχέση με τον προσδιορισμό της αρχικής [η εκμεταλλεύσιμης] παροχής της γεώτρησης αποτελούν τμήμα της «ταυτότητας» της και λογικά πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο του μητρώου της. Η παροχή μιας γεώτρησης, σχεδόν πάντα, μεταβάλλεται με το χρόνο και μπορεί κάποτε να ξαναγίνει δοκιμαστική άντληση. Τα στοιχεία αυτά επίσης θα πρέπει να περαστούν στην ενημέρωση της «ταυτότητας» της γεώτρησης.

Για να γίνει δυνατή η επεξεργασία δεδομένων και σχεδίαση των διαγραμμάτων των δοκιμαστικών αντλήσεων απαιτείται να λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της άντλησης σε ρυθμικά χρονικά διαστήματα μετρήσεις πτώσης στάθμης [η ανόδου στάθμης] και να ελέγχεται η παροχή σε τακτά χρονικά διαστήματα.

ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ

Σε τι αποσκοπεί μια δοκιμαστική άντληση;

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις ή δοκιμές άντλησης παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην υδρογεωλογική έρευνα πεδίου. Μια καλά σχεδιασμένη αντλητική δοκιμή μπορεί να δώσει πληροφορίες για την απόδοση της γεώτρησης, τις υδραυλικές ιδιότητες του υδροφορέα και την υπόγεια ροή. Οι δοκιμαστικές αντλήσεις απαιτούν χρόνο και είναι δαπανηρές. Για τον λόγο αυτόν πρέπει να σχεδιασθούν σωστά, ώστε να πάρουμε αξιόπιστα δεδομένα. Η ερμηνεία των δεδομένων δεν είναι πάντα εύκολη, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η γεωλογική δομή και η υπόγεια ροή είναι πολύπλοκη.

Μια αντλητική δοκιμή είναι το μέσο για να διερευνήσουμε πόσο εύκολα ρέει το νερό διαμέσου του εδάφους στη γεώτρηση. Συνίσταται στην άντληση με ελεγχόμενη παροχή μιας γεώτρησης και την καταγραφή των επιπτώσεων στη στάθμη του υπόγειου νερού της γεώτρησης .

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις γίνονται για διάφορους λόγους:

1. Για τον προσδιορισμό της απόδοσης και τον καθαρισμό (ανάπτυξη) σε μια νέα υδρογεώτρηση ή τον έλεγχο της απόδοσης σε μια υφιστάμενη γεώτρηση. Η διάρκεια μπορεί να είναι από 8 ώρες έως μία εβδομάδα. Το στάδιο αυτό της άντλησης αναφέρεται ως *προάντληση*.

2. Άντληση με βαθμίδες δηλ. άντληση με διαφορετικές παροχές (3 ή 4 στάδια, διάρκειας 3 ωρών το καθένα) για τον καθορισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών της γεώτρησης, π.χ. παροχή εκμετάλλευσης. Η δοκιμή αυτή περιλαμβάνει και την καταγραφή της επανόδου (επαναφοράς) της στάθμης μετά τη διακοπή της άντλησης.

3. Για τον καθορισμό των υδραυλικών ιδιοτήτων του υδροφορέα (π.χ. συντελεστές αποθηκευτικότητας και μεταβιβαστικότητας). Στην περίπτωση αυτή γίνεται άντληση με σταθερή παροχή για 24-72 ώρες (ή για μερικές εβδομάδες) και καταγράφεται η στάθμη του υπόγειου νερού στην ίδια τη γεώτρηση και σε γειτονικές γεωτρήσεις παρατήρησης (πιεζόμετρα).

4. Δοκιμές μικρής διάρκειας (1-2 ώρες) για τον καθορισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας.

Σχεδίαση μιας δοκιμαστικής άντλησης.

Η προσχεδίαση των δοκιμών άντλησης είναι απαραίτητη για την επιτυχή εκτέλεσή τους. Αφού αποφασισθεί το είδος και η διάρκεια της άντλησης εξασφαλίζεται και ο κατάλληλος εξοπλισμός. Γενικά λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Η επιλογή της κατάλληλης αντλίας είναι κρίσιμη για την επιτυχία της δοκιμαστικής άντλησης. Η αντλία πρέπει να μπορεί να αντλήσει τη μέγιστη παροχή από το συγκεκριμένο βάθος.

- Καθορίζεται η διάρκεια της αντλητικής δοκιμής, η οποία εξαρτάται από την παροχή άντλησης και τη μεταβιβαστικότητα του υδροφορέα.

- Η μέτρηση της στάθμης του υπόγειου νερού της αντλούμενης γεώτρησης γίνεται με σταθμήμετρα ή αυτογραφικά όργανα. Οι μετρήσεις γίνονται σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα και καταγράφεται σε ειδικά έντυπα. Πριν την έναρξη της δοκιμαστικής άντλησης μετράμε την αρχική στάθμη του υπόγειου νερού στη γεώτρηση. Επίσης μετά τη διακοπή της άντλησης μετράμε την επαναφορά της στάθμης. Να σημειωθεί ότι, οι μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα κάθε δοκιμαστικής άντλησης.

Χρόνος από την έναρξη της δοκιμής	Συχνότητα μετρήσεων στάθμης υπόγειου
0-10 min	1 min
10-20 min	2 min
20-60 min	5 min
60-120	10 min
2-5 h	30 min
5-12 h	1 h
12-36 h	2 h
36-96 h	6 h
>96 h	12 h

Για τη μέτρηση της παροχής χρησιμοποιούνται *υδρόμετρα*, τα οποία είναι προσαρμοσμένα στο σωλήνα εκροής. Για παροχές μικρότερες από 10 l/s, χρησιμοποιούμε βαρέλι με συγκεκριμένο όγκο (100-200 l) και χρονόμετρο (*ογκομετρική μέθοδος*). Μετρούμε το χρόνο που απαιτείται να γεμίσει το βαρέλι και υπολογίζεται η παροχή, ως το πηλίκο του όγκου προς τον χρόνο. Για τη μέτρηση μεγάλων παροχών χρησιμοποιούνται *εκχειλιστές* τύπου δεξαμενής, παρόμοιοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της παροχής χειμάρρων.

Συχνά με την πτώση της στάθμης κατά την άντληση μειώνεται και η παροχή. Για τον λόγο αυτόν πρέπει να μετράται συχνά (κάθε μισή έως μία ώρα) και να καταγράφεται στο ειδικό έντυπο, για να διαπιστωθεί αν παραμένει σταθερή. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο χειρισμό της βαλβίδας του σωλήνα εκροής. Δεν πρέπει η μεταβολή της παροχής κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής άντλησης να υπερβεί το 10%, αν και είναι επιθυμητό μικρότερο ποσοστό μεταβολής.

- Ειδική μέριμνα πρέπει να ληφθεί για τον χώρο που θα παροχετευθεί το αντλούμενο νερό, ειδικά στις δοκιμές μεγάλης διάρκειας. Η καλύτερη λύση είναι η παροχέτευση σε ένα γειτονικό χείμαρρο για να αποφευχθούν προβλήματα καταστροφής καλλιεργειών από την ελεύθερη διοχέτευση σε γειτονικά αγροκτήματα.

Συνοψίζοντας, τα απαραίτητα όργανα για την εκτέλεση μιας δοκιμής άντλησης εκτός από το αντλητικό συγκρότημα είναι: υδρόμετρο ή ογκομετρημένο δοχείο, σταθμήμετρο, χρονόμετρο.

Άντληση κατά βαθμίδες

Για να προσδιορισθούν τα διάφορα χαρακτηριστικά μιας γεώτρησης και να ελεγχθεί αν αναπτύχθηκε καλά εκτελούνται δοκιμαστικές αντλήσεις κατά βαθμίδες. Η άντληση κατά βαθμίδες γίνεται με μεταβαλλόμενη παροχή, είτε συνεχόμενη (χωρίς να σταματήσουμε την άντληση αυξάνουμε την παροχή άντλησης), είτε διακοπτόμενη (δηλ. αντλούμε με μια συγκεκριμένη παροχή και μετά διακόπτουμε την άντληση και αφού επανέλθει η στάθμη αρχίζουμε την άντληση με νέα παροχή). Οι βαθμίδες άντλησης πρέπει να είναι τουλάχιστον 3 ή 4, διάρκειας 3 ωρών η καθεμιά. Αναλυτικά ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Τοποθέτηση του αντλητικού συγκροτήματος. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντλητικού συγκροτήματος (διάμετρος αντλίας-στροβίλου, βάθος τοποθέτησης,

υποδύναμη κ.λπ.) καθορίζονται με βάση την τεχνική έκθεση της γεώτρησης.

Η διάμετρος της αντλίας είναι ανάλογη με την αναμενόμενη παροχή, ώστε να αποδίδει τη μέγιστη παροχή που αποδίδει η γεώτρηση.

- Γίνεται προάντληση (μερικές ώρες) με διάφορες παροχές για να πάρουμε καθαρό νερό.

- Το αντλούμενο νερό απομακρύνεται με σωλήνα σε κατάλληλη απόσταση (τουλάχιστον 50 m) και εφόσον υπάρχει ενδεχόμενο επανατροφοδοσίας του υδροφορέα, η απόσταση αυτή αυξάνεται και καθορίζεται από την επίβλεψη.

- Το πρόγραμμα άντλησης (οι βαθμίδες, η τιμή σταθερής παροχής, η διάρκεια κ.λπ.) καθορίζεται επιτόπου με βάση την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προάντλησης.

- Τα στοιχεία της άντλησης καταχωρούνται σε ειδικό έντυπο και από την επεξεργασία τους καθορίζεται η κρίσιμη παροχή και η παροχή εκμετάλλευσης της γεώτρησης.

- Με την αξιολόγηση των δεδομένων της δοκιμαστικής άντλησης κατά βαθμίδες γίνεται εκτίμηση της κρίσιμης παροχής και της παροχής εκμετάλλευσης της γεώτρησης.

Για την εκτίμηση της κρίσιμης παροχής και της παροχής εκμετάλλευσης μιας γεώτρησης κατασκευάζεται το διάγραμμα πτώση στάθμης-παροχής, που αποτελεί και τη χαρακτηριστική καμπύλη της γεώτρησης. Για τη χάραξη της καμπύλης απαιτείται δοκιμαστική άντληση κατά βαθμίδες με τουλάχιστον τρεις (3) διαφορετικές παροχές.

Το διάγραμμα αυτό αποτελείται από ένα αρχικό ευθύγραμμο τμήμα, από ένα μεσαίο αρκετά κυρτό και ένα τελικό λιγότερο κυρτό (παραβολική μορφή) που τείνει να γίνει παράλληλο με τον κατακόρυφο άξονα. Το σημείο στο οποίο η καμπύλη από ευθεία γίνεται κυρτή ονομάζεται κριτικό σημείο και η προβολή του στον οριζόντιο άξονα καθορίζει την κρίσιμη παροχή της γεώτρησης. Η πτώση στάθμης που αντιστοιχεί στην κρίσιμη παροχή ονομάζεται κρίσιμη πτώση στάθμης.

Ως παροχή εκμετάλλευσης ή ωφέλιμη παροχή λαμβάνεται παροχή μικρότερη ή ίση από την κρίσιμη παροχή. Την κρίσιμη παροχή δεν πρέπει να την υπερβαίνουμε γιατί δημιουργούνται ανεπιθύμητα αποτελέσματα (π.χ. τυρβώδης ροή προς τη γεώτρηση, μεγάλες πτώσεις στάθμης, αύξηση κόστους άντλησης, φθορά της αντλίας κ.λπ.).

ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ

Η δοκιμαστική άντληση έγινε μήνα Αύγουστο.

Η γεώτρηση στην οποία θα πραγματοποιήσουμε δοκιμαστική άντληση έχει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

Βάθος γεώτρησης 105 m

Βάθος σωλήνωσης 105 m

Βάθος «τυφλής» σωλήνωσης ως τα 85 m

Βάθος σωλήνωσης με φίλτρα από 85m ως 105m

Στάθμη νερού 27 m

Διάμετρος σωλήνων 8 "

Η αντλία που θα χρησιμοποιήσουμε είναι κατακόρυφου άξονα [πομόνα] με στρόβιλο, διαμέτρου πτερυγίων 4" και σωλήνων 4".

Η τοποθέτηση της αντλίας γίνεται σε βάθος 102 m.

Η αντλία παίρνει κίνηση από πετρελαιοκινητήρα με ιμάντες.

ΑΝΤΛΗΣΗ ΣΕ ΒΑΘΜΙΔΕΣ**ΒΑΘΜΙΔΑ 1η**

(Χρόνος έναρξης: 06:00)

Διάρκεια Άντλησης (sec)	Στάθμη (m)	Πτώση Στάθμης (m)	ΠΑΡΟΧΗ 30m ³
0	27,05	0	
1	33,17	6,12	
2	34,92	7,87	
3	35,85	8,80	
4	36,76	9,71	
5	37,47	10,42	
6	37,98	10,93	
7	38,27	11,22	
8	38,59	11,54	
9	38,74	11,69	
10	39,06	12,01	
12	39,35	12,30	
14	39,66	12,61	
16	39,9	12,85	
18	40,06	13,01	
20	40,3	13,25	
25	40,76	13,71	
30	41,05	14,00	
35	41,47	14,42	
40	41,71	14,66	
45	41,83	14,78	
50	42,06	15,01	
55	42,18	15,13	
60	42,25	15,20	
70	42,4	15,35	
80	42,48	15,43	
90	42,53	15,48	
100	42,56	15,51	
110	42,58	15,53	
120	42,6	15,55	
150	42,64	15,59	
180	42,66	15,61	

ΒΑΘΜΙΔΑ 2^η

Διάρκεια Άντλησης (sec)	Στάθμη (m)	Πτώση Στάθμης (m)	ΠΑΡΟΧΗ 50m ³
180	42,66	15,61	
181	44,1	17,05	
182	45,07	18,02	
183	45,94	18,89	
184	46,5	19,45	
185	46,86	19,81	
186	47,2	20,15	
187	47,38	20,33	
188	47,5	20,45	
189	47,61	20,56	
190	47,73	20,68	
192	47,9	20,85	
194	48,06	21,01	
196	48,2	21,15	
198	48,31	21,26	
200	48,4	21,35	
205	48,56	21,51	
210	48,69	21,64	
215	49,8	22,75	
220	49,89	22,84	
225	48,96	21,91	
230	49,07	22,02	
235	49,18	22,13	
240	49,25	22,2	
250	49,4	22,35	
260	49,51	22,46	
270	49,61	22,56	
280	49,7	22,65	
290	49,79	22,74	
300	49,88	22,83	
330	50,01	22,96	
360	50,06	23,01	

ΒΑΘΜΙΔΑ 3^η

Διάρκεια Άντλησης (min)	Στάθμη (m)	Πτώση Στάθμης (m)	ΠΑΡΟΧΗ 65m ³
360	50,06	23,01	
361	52,57	25,52	
362	54,39	27,34	
363	55,93	28,88	
364	56,83	29,78	
365	57,59	30,54	
366	57,86	30,81	
367	58,08	31,03	
368	58,17	31,12	
369	58,25	31,2	
370	58,31	31,26	
372	58,41	31,36	
374	58,5	31,45	
376	58,57	31,52	
378	58,64	31,59	
380	58,7	31,65	
385	58,84	31,79	
390	58,96	31,91	
395	59,08	32,03	
400	59,17	32,12	
405	59,27	32,22	
410	59,36	32,31	
415	59,46	32,41	
420	59,54	32,49	
430	59,7	32,65	
440	59,84	32,79	
450	59,96	32,91	
460	60,08	33,03	
470	60,18	33,13	
480	60,26	33,21	
510	60,4	33,35	
540	60,47	33,42	

ΒΑΘΜΙΔΑ 4^η

Διάρκεια Άντλησης (min)	Στάθμη (m)	Πτώση Στάθμης (m)	ΠΑΡΟΧΗ 70m ³
540	60,47	33,42	
541	62,42	35,37	
542	63,46	36,41	
543	64,13	37,08	
544	64,6	37,55	
545	64,86	37,81	
546	65,07	38,02	
547	65,26	38,21	
548	65,42	38,37	
549	65,56	38,51	
550	65,66	38,61	
552	65,79	38,74	
554	65,9	38,85	
556	66	38,95	
558	66,08	39,03	
560	66,16	39,11	
565	66,29	39,24	
570	66,41	39,36	
575	66,53	39,48	
580	66,63	39,58	
585	66,71	39,66	
590	66,78	39,73	
595	66,85	39,8	
600	66,91	39,86	
610	67,06	40,01	
620	67,17	40,12	
630	67,26	40,21	
640	67,33	40,28	
650	67,39	40,34	
660	67,44	40,39	
690	67,53	40,48	
720	67,62	40,57	

ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΝΤΛΗΣΗ ΣΕ ΒΑΘΜΙΔΕΣ

Διάρκεια Επαναφοράς (min)	Στάθμη (m)	Πτώση Στάθμης (m)
0	67,62	40,57
0,5	52,57	25,52
1	48,03	20,98
2	43,94	16,89
3	40,72	13,67
4	38,29	11,24
5	36,18	9,13
6	34,72	7,67
7	33,56	6,51
8	32,67	5,62
9	31,96	4,91
10	31,36	4,31
12	30,77	3,72
14	30,38	3,33
16	30,07	3,02
18	29,78	2,73
20	29,52	2,47
25	28,94	1,89
30	28,4	1,35
35	27,98	0,93
40	27,89	0,84
45	27,82	0,77
50	27,76	0,71
55	27,7	0,65
60	27,6	0,55
70	27,54	0,49
80	27,5	0,45
90	27,46	0,41
100	27,42	0,37
110	27,39	0,34
120	27,37	0,32
150	27,34	0,29
180	27,32	0,27

Διάρκεια Επαναφοράς (min)	Στάθμη (m)	Πτώση Στάθμης (m)
180	27,32	0,27
210	27,31	0,26
240	27,3	0,25
270	27,29	0,24
300	27,28	0,23
360	27,27	0,22
420	27,26	0,21
480	27,24	0,19
540	27,23	0,18
600	27,22	0,17
660	27,21	0,16
720	27,2	0,15

Μετά από 720 min η πτώση στάθμης είναι στα 0,15m. Έχει δηλαδή σχεδόν επανέρθει στο αρχικό βάθος.

ΑΝΤΛΗΣΗ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΠΑΡΟΧΗ

Αμέσως μετά το τέλος της επαναφοράς θα ξεκινήσουμε άντληση με σταθερή παροχή 60m³ διάρκειας 72 ωρών.

Διάρκεια Άντλησης (min)	Στάθμη (m)	Πτώση Στάθμης (m)	ΠΑΡΟΧΗ 60m ³
0	27,2	0,15	
1	41,61	14,56	
2	45,66	18,61	
3	46,68	19,63	
4	47,59	20,54	
5	48,5	21,45	
6	49,23	22,18	
7	49,83	22,78	
8	50,43	23,38	
9	50,93	23,88	
10	51,33	24,28	
12	51,73	24,68	
14	52,04	24,99	
16	52,26	25,21	
18	52,41	25,36	
20	52,49	25,44	
25	52,67	25,62	
30	52,82	25,77	
35	52,96	25,91	
40	53,08	26,03	
45	53,19	26,14	
50	53,29	26,24	
55	53,38	26,33	
60	53,46	26,41	
70	53,59	26,54	
80	53,7	26,65	
90	53,8	26,75	
100	53,9	26,85	
110	53,99	26,94	
120	54,08	27,03	
150	54,21	27,16	

Άντληση με σταθερή παροχή

Διάρκεια Άντλησης (min)	Στάθμη (m)	Πτώση Στάθμης (m)	
180	54,26	27,21	
210	54,39	27,34	
240	54,41	27,36	
270	54,43	27,38	
300	54,44	27,39	
360	54,45	27,4	
420	54,46	27,41	
480	54,47	27,42	
540	54,48	27,43	
600	54,48	27,43	
660	54,49	27,44	
720	54,5	27,45	
840	54,51	27,46	
960	54,52	27,47	
1080	54,52	27,47	
1200	54,53	27,48	
1320	54,54	27,49	
1440	54,54	27,49	
1560	54,55	27,5	
1680	54,55	27,5	
1800	54,56	27,51	
1920	54,53	27,48	
2040	54,57	27,52	
2160	54,57	27,52	
2520	54,59	27,54	
2880	54,61	27,56	
3240	54,62	27,57	
3600	54,6	27,55	
3960	54,63	27,58	
4320	54,62	27,57	

ΠΑΡΟΧΗ
60m³

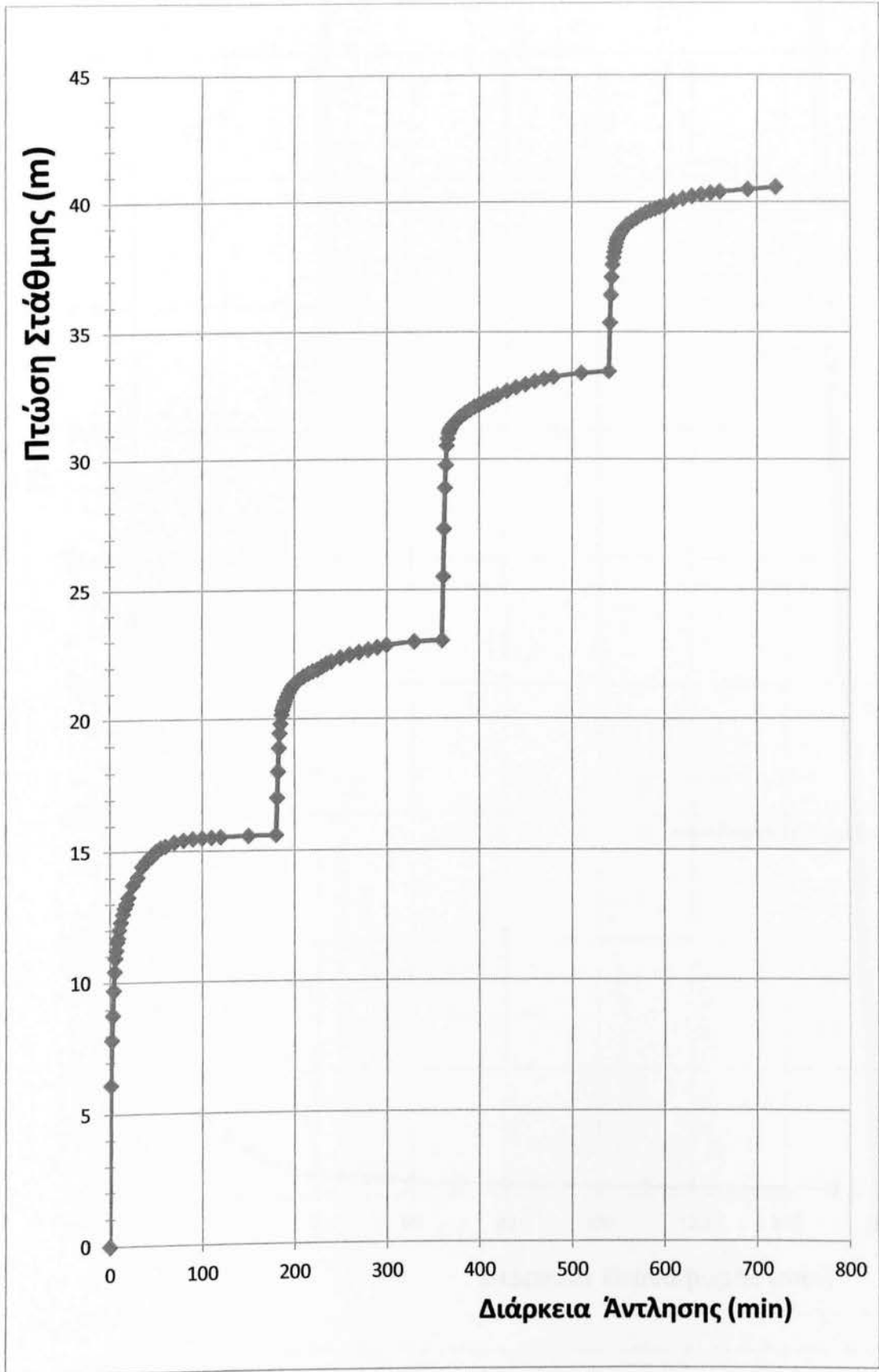
ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΝΤΛΗΣΗ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΠΑΡΟΧΗ

Διάρκεια Επαναφοράς (min)	Στάθμη (m)	Πτώση Στάθμης (m)
0	54,62	27,57
0,5	44,57	17,52
1	39,26	12,21
2	36,39	9,34
3	34,94	7,89
4	34,03	6,98
5	33,4	6,35
6	32,98	5,93
7	32,41	5,36
8	31,91	4,86
9	31,44	4,39
10	31,14	4,09
12	30,77	3,72
14	30,36	3,31
16	30,06	3,01
18	29,77	2,72
20	29,5	2,45
25	28,92	1,87
30	28,37	1,32
35	27,96	0,91
40	27,87	0,82
45	27,8	0,75
50	27,73	0,68
55	27,67	0,62
60	27,57	0,52
70	27,52	0,47
80	27,48	0,43
90	27,44	0,39
100	27,41	0,36
110	27,38	0,33
120	27,36	0,31
150	27,33	0,28
180	27,31	0,26

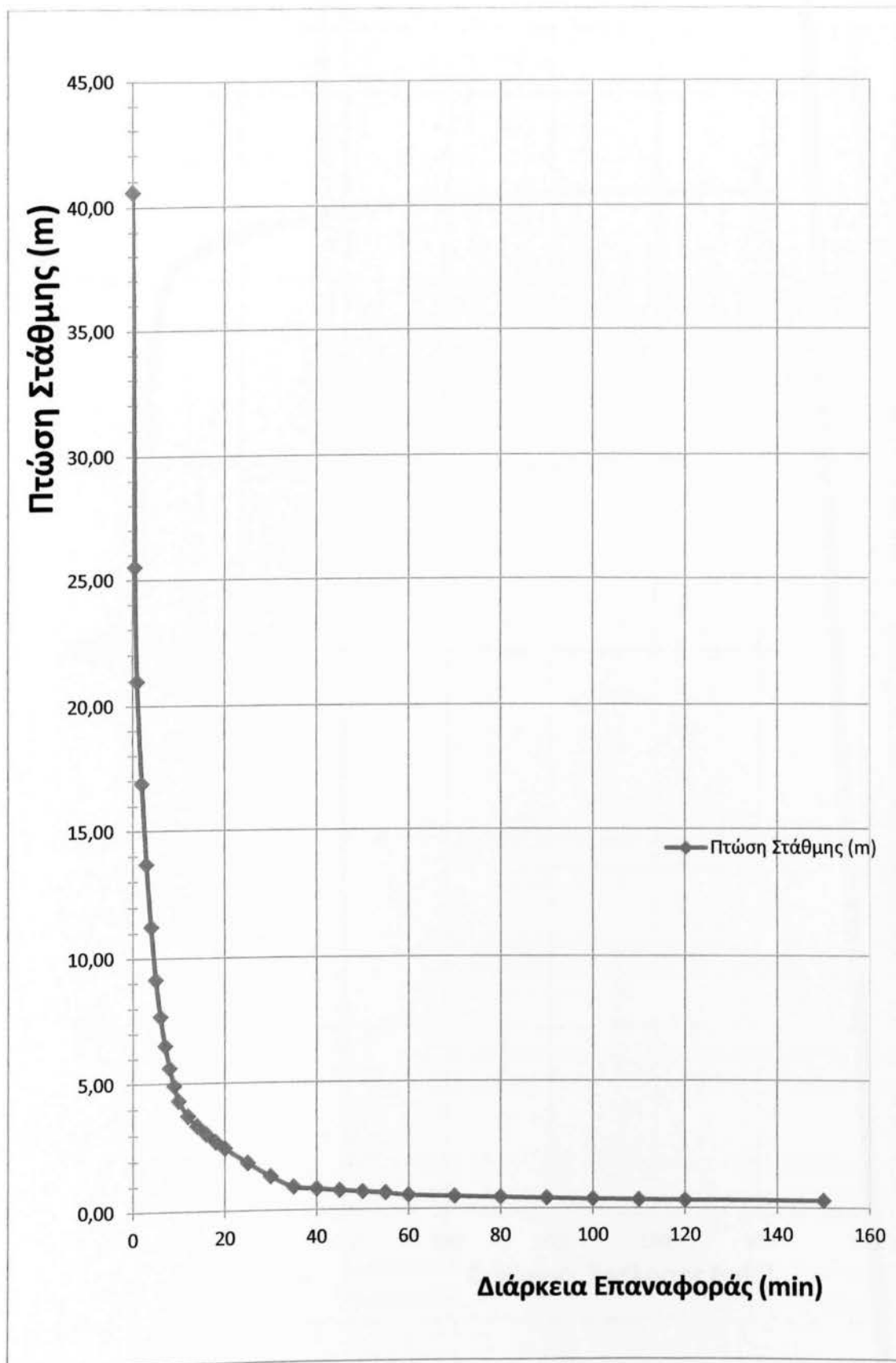
Διάρκεια Επαναφοράς (min)	Στάθμη (m)	Πτώση Στάθμης (m)
180	27,31	0,26
210	27,3	0,25
240	27,29	0,24
270	27,28	0,23
300	27,27	0,22
360	27,26	0,21
420	27,25	0,2
480	27,23	0,18
540	27,22	0,17
600	27,21	0,16
660	27,2	0,15
720	27,19	0,14
840	27,18	0,13
960	27,17	0,12
1080	27,16	0,11
1200	27,15	0,1
1320	27,14	0,09
1440	27,13	0,08
1560	27,13	0,08
1680	27,12	0,07
1800	27,12	0,07
1920	27,11	0,06
2040	27,11	0,06
2160	27,11	0,06
2520	27,1	0,05
2880	27,09	0,04
3240	27,09	0,04
3600	27,08	0,03
3960	27,08	0,03
4320	27,07	0,02

Μετά από 72 ώρες η στάθμη έχει επανέρθει πλήρως.

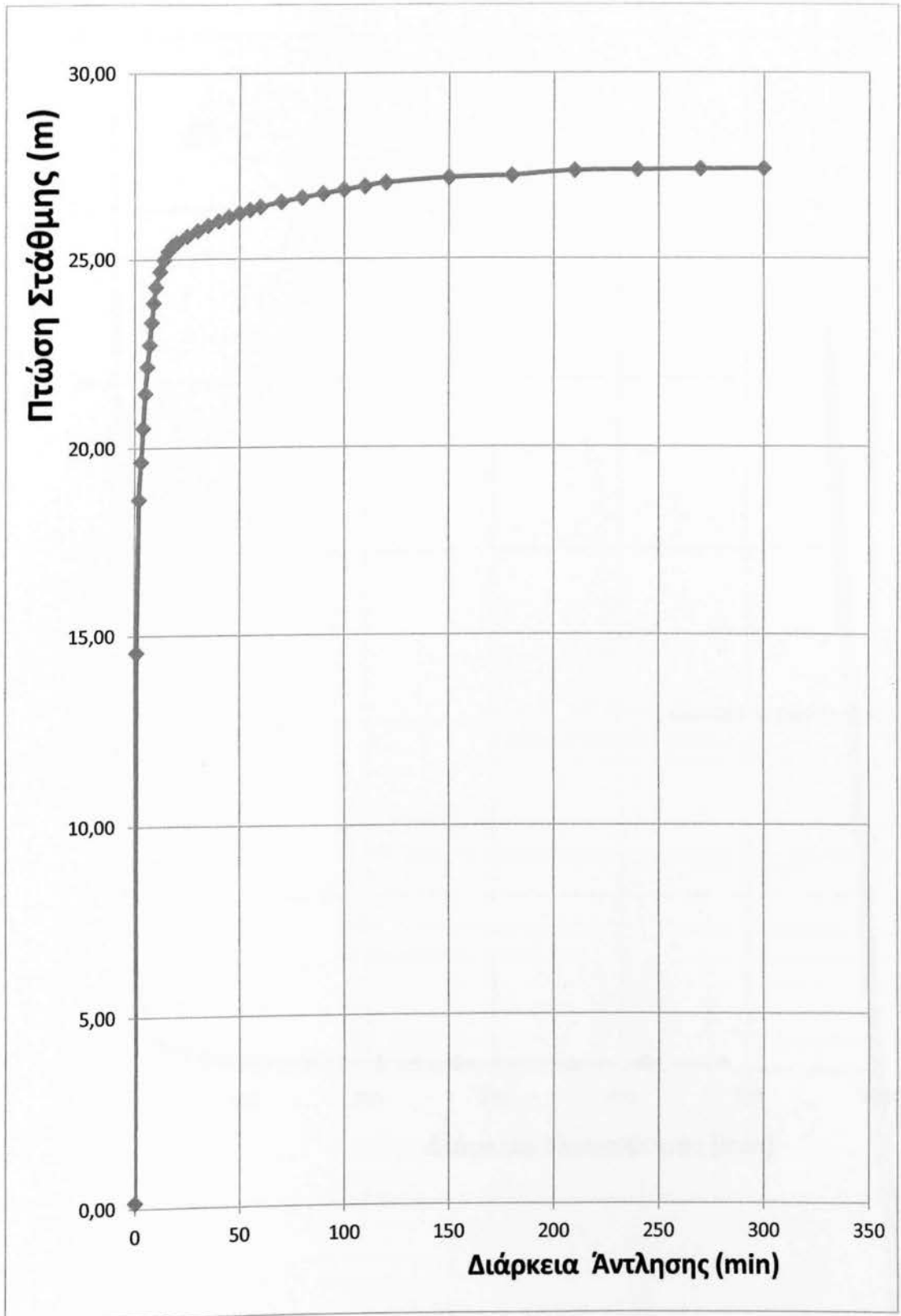
ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΣΕ ΒΑΘΜΙΔΕΣ

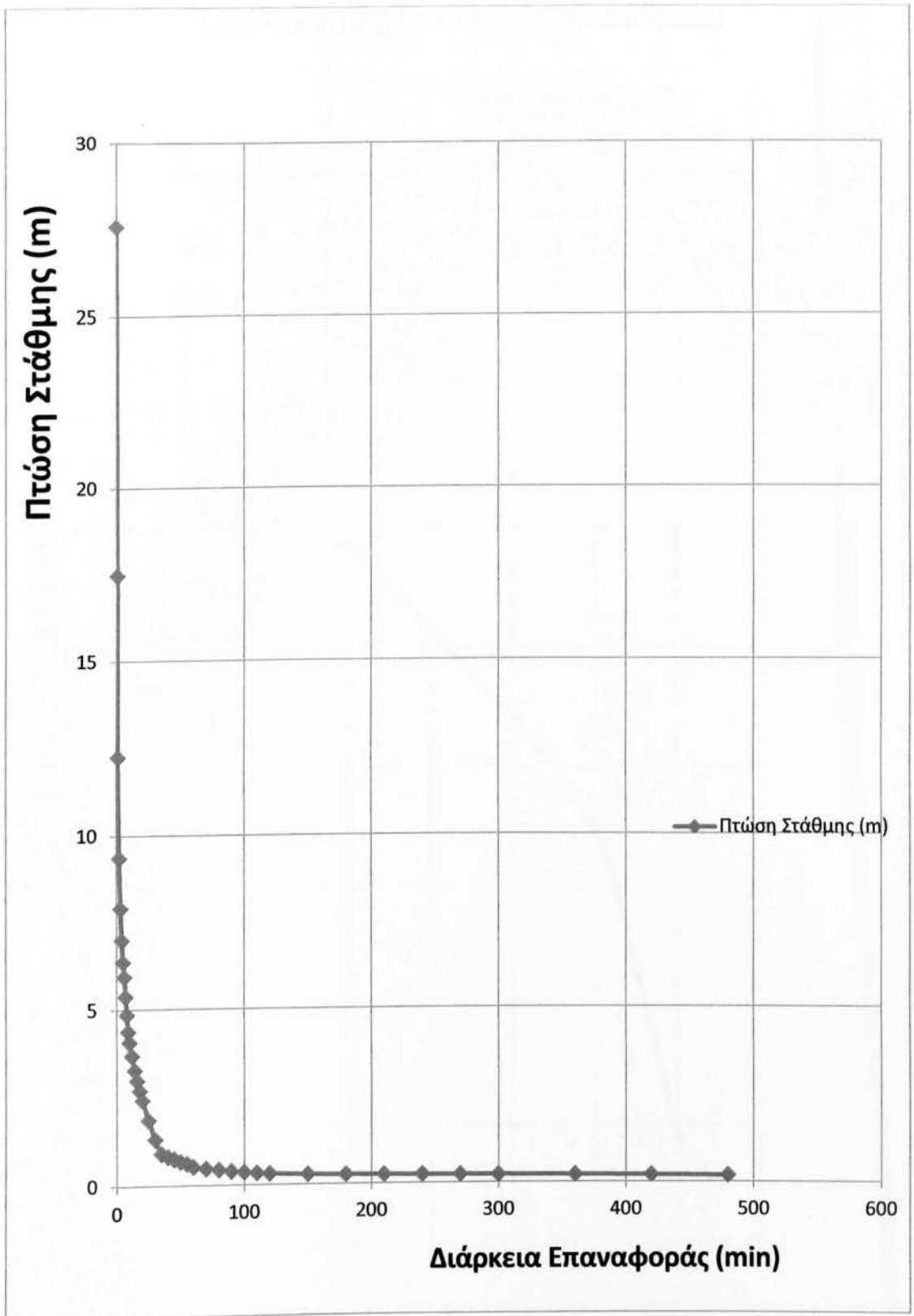


ΓΡΑΦΗΜΑ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΑΝΤΛΗΣΗ ΣΕ ΒΑΘΜΙΔΕΣ

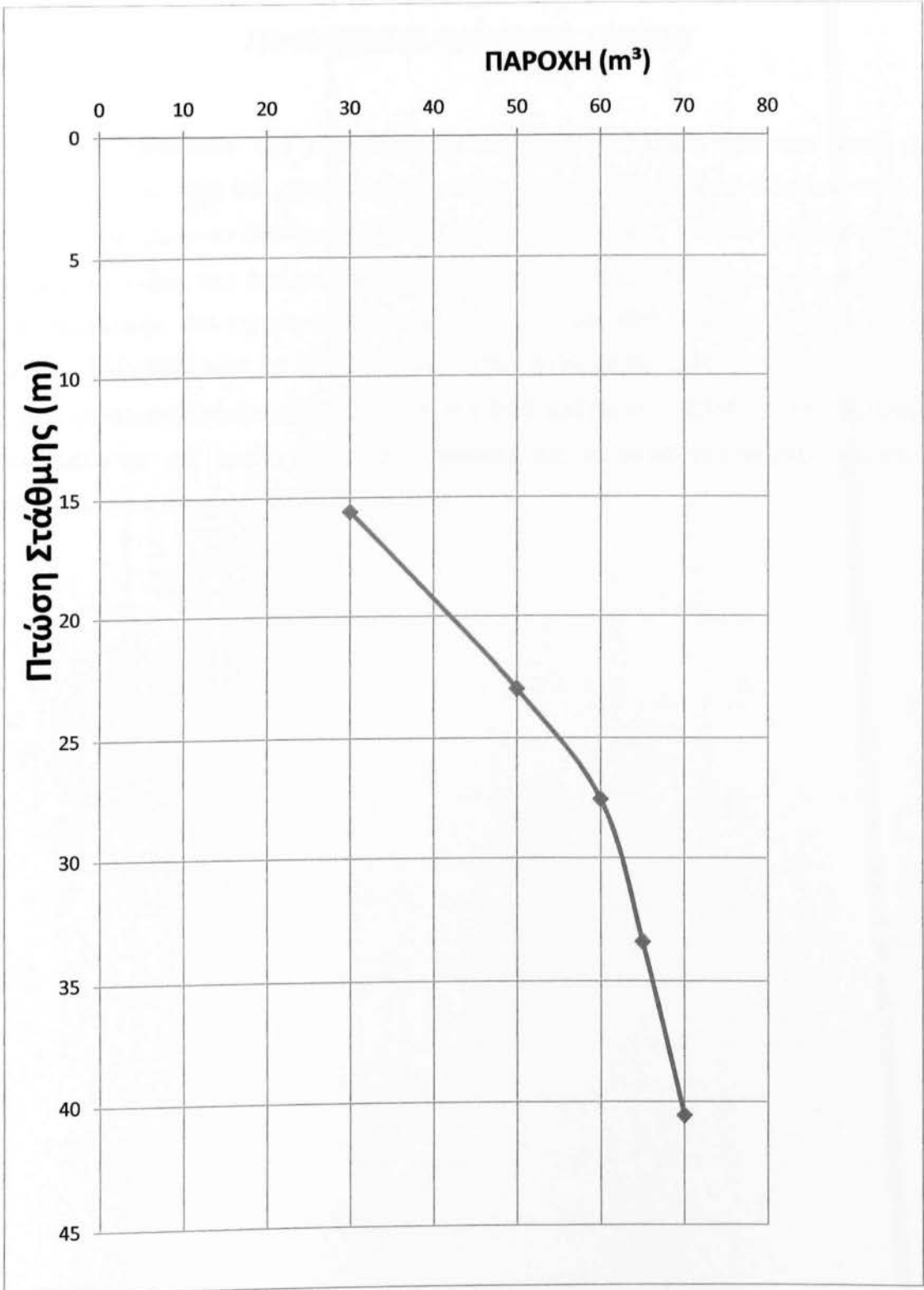


ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΠΑΡΟΧΗ





ΓΡΑΦΗΜΑ ΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ - ΠΑΡΟΧΩΝ



Στο διάγραμμα της πτώσης στάθμης-παροχών βλέπουμε από ένα σημείο και μετά η πτώση στάθμης να αυξάνεται δυσανάλογα με την παροχή. Η παροχή αυτή είναι η κρίσιμη παροχή. Όπως βλέπουμε από το διάγραμμα αυτή είναι ίση με 60m³/h.

ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΝΕΡΟΥ

Κατά τη διάρκεια της προάντλησης το νερό καθάρισε γρήγορα από την θολερότητα που είχε και έγινε διαυγές όπως πρέπει να είναι το πόσιμο νερό. Η θερμοκρασία του μετρήθηκε στους 15°C , η οποία είναι κάτω από το όριο των 25°C .

Προς το τέλος της δοκιμαστικής άντλησης παίρνουμε δύο δείγματα νερού το οποία στέλνουμε στο χημείο για χημική και μικροβιολογική εξέταση. Μετά από την ανάλυση βλέπουμε πως τα δύο δείγματα έχουν παρόμοιες τιμές.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων (ΦΕΚ 892/Β/11-7-2001) διαπιστώνουμε όπως φαίνεται και στους παρακάτω πίνακες ότι το νερό της γεώτρησης είναι κατάλληλο για πόσιμο.

ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΝΕΡΟΥ

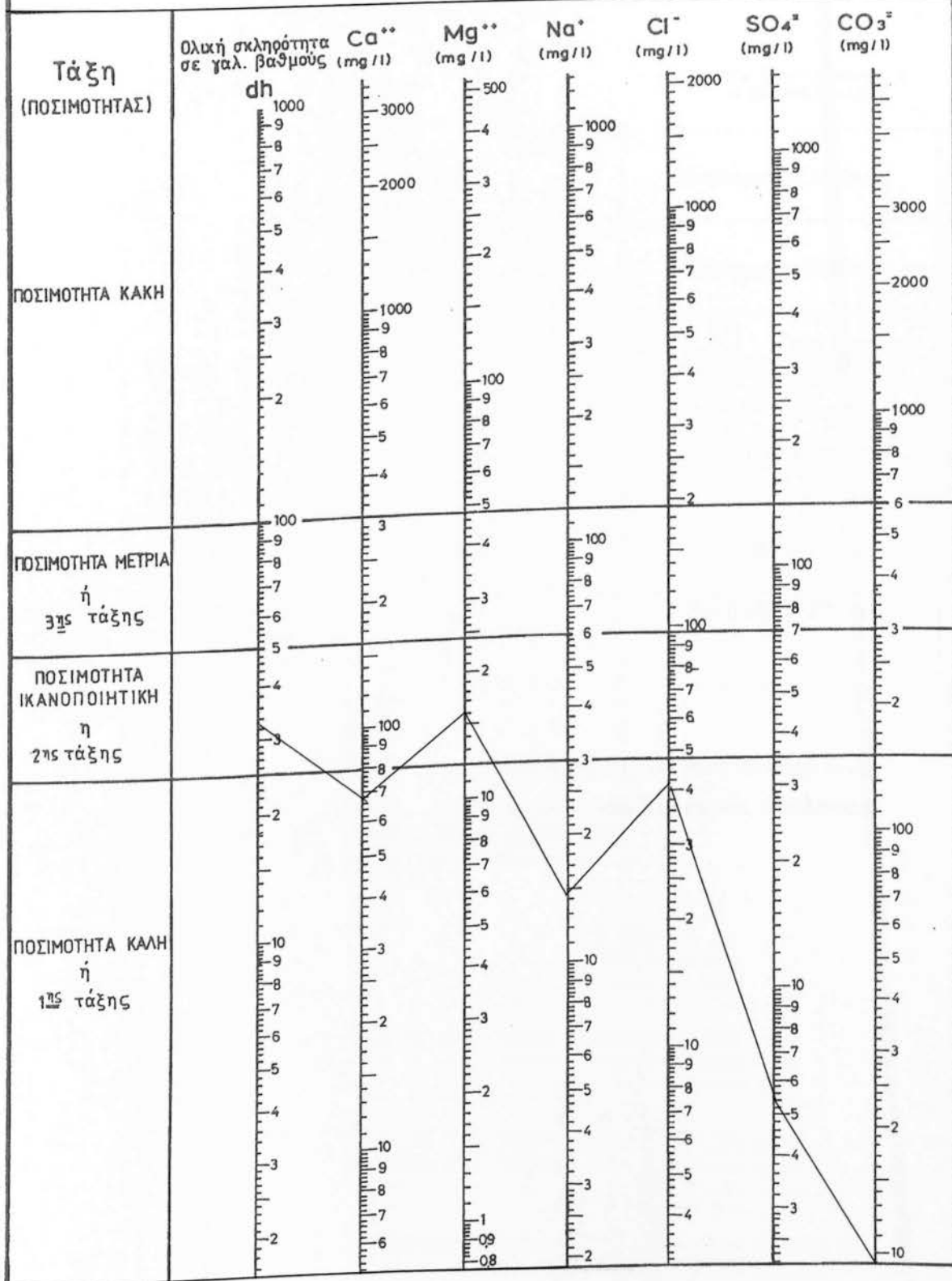
Παράμετρος	Μονάδα μέτρησης	Αποτέλεσμα Χημικής Ανάλυσης Νερού Γεώτρησης	Αποτέλεσμα Χημικής Ανάλυσης Νερού ΕΥΔΑΠ	Παραμετρική Τιμή
Θερμοκρασία	⁰ C	15	16	25
pH	μονάδες pH	7,2	7,6	≥6, και ≤9,5
Αγωγιμότητα	μS/cm στους 20 ⁰ C	664	308	2500
Ασβέστιο, Ca ⁺²	mg/l	67,3	48,9	
Μαγνήσιο, Mg ⁺²	mg/l	16,2	5,2	
Νάτριο, Na ⁺	mg/l	14,4	4,4	200
Κάλιο, K ⁺	mg/l	0,8	0,7	
Άνθρακικά, CO ₃ ⁻²	mg/l	0,0	0,0	
Όξινα ανθρακικά, HCO ₃ ⁻	mg/l	331	143	
Χλωριούχα, Cl ⁻	mg/l	41,7	5,2	250
Θειικά, SO ₄ ⁻²	mg/l	5,4	36,7	250
Νιτρικά, NO ₃ ⁻	mg/l	27,8	<5,0	50
Νιτρώδη, NO ₂ ⁻	mg/l	<0,05	<0,05	0,50
Αμμώνιο, NH ₄ ⁺	mg/l	<0,26	<0,26	0,50
Σκληρότητα Ολική	mg/l CaO ₃	332	146	
Σκληρότητα Παροδική	mg/l CaO ₃	220	79	
Σκληρότητα Μόνιμη	mg/l CaO ₃	112	67	
Αργίλιο, Al	μg/l	10	<5	200
Χρώμιο, Cr	mg/l	7	<5	50
Μαγγάνιο, Mn	mg/l	8	<5	50
Νικέλιο, Ni	mg/l	<5	<5	20
Κάδμιο, Cd	mg/l	<1	<1	5
Μόλυβδος, Pb	mg/l	<5	<5	10
Αρσενικό, As	mg/l	<5	<5	10
Υδράργυρος, Hg	mg/l	<1	<1	1

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα μετρησης	Αποτέλεσμα χημικής ανάλυσης
Ακρυλαμίδιο	0,10	μg/l	>0,01
Αντιμόνιο	5,0	μg/l	>0,5
Βενζόλιο	1,0	μg/l	>0,05
Βενζο-α-πυρένιο	0,010	μg/l	>0,001
Βόριο	1,0	mg/l	>0,1
Βρωμικά	10	μg/l	>0,5
Χαλκός	2,0	mg/l	>0,2
Κυανιούχα	50	μg/l	>5
1,2 -διχλωροαιθάνιο	3,0	μg/l	>0,3
Επιχλωρυδρίνη	0,10	μg/l	>0,01
Φθοριούχα	1,5	mg/l	>0,1
Παρασιτοκτόνα	0,10	μg/l	>0,01
Σύνολο παρασιτοκτόνων	0,50	μg/l	>0,05
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες	0,10	μg/l	>0,01
Σελήνιο	10	μg/l	>1
Σίδηρος	200	μg/l	35
Οξειδωσιμότητα	5,0	mg/l O ₂	1,0
Τετραχλωροαιθέριο και Τριχλωροαιθέριο	10	μg/l	>1
Ολικά τριαλογονομεθάνια	100	μg/l	>10
Βινυλοχλωρίδιο	0,50	μg/l	>0,05

Παράμετρος	Παραμετρική τιμή	Μονάδα	Αποτέλεσμα χημικής ανάλυσης
Χρώμα	Αποδεκτό για τους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής		Διάφανο, αποδεκτό για τους καταναλωτές
Οσμή	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής		Άοσμο, αποδεκτό για τους καταναλωτές
Γεύση	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής		Αποδεκτή για τους καταναλωτές
Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)	Άνευ ασυνήθους μεταβολής		
Θολότητα	Αποδεκτή στους καταναλωτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής		Διαυγές, αποδεκτή για τους καταναλωτές

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ

κατά C. Waterlot



ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΝΕΡΟΥ

Ανώτερη παραδεκτή συγκέντρωση
(ΦΕΚ 379/β/86-53/β/36)

Ολικά βακτηροειδή	0	0 αποικίες/100ml
E.Coli	0	0 αποικίες/100ml
Εντερόκκοκος	0	0 αποικίες/100ml
Ολικά βακτήρια 22 ⁰ C	<10	100/ml
Ολικά βακτήρια 37 ⁰ C	<10	20/ml
Clostridium perfringens (συμπεριλαμβανομένων των σπόρων)	0	Αριθμός / 100 ml

Από την μικροβιολογική ανάλυση του νερού διαπιστώνουμε πως το νερό είναι κατάλληλο για πόσιμο. Οι παραπάνω χημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις γίνονται σύμφωνα με τον ΦΕΚ 892/Β/11-7-2001.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΛΙΑΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Υπολογισμός μανομετρικού ύψους

Για την άντληση νερού $60\text{m}^3/\text{h}$ από την γεώτρηση θα χρησιμοποιήσουμε υποβρύχια αντλία. Αυτή η παροχή σταθεροποιεί τη στάθμη άντλησης σε $H_1 = 54,6\text{m}$. Η αντλία θα τοποθετηθεί σε βάθος 82m ώστε να βρίσκεται πιο ψηλά από τα φίλτρα της γεώτρησης. Οι σωλήνες της αντλίας είναι $4''$ και μήκους 80m . Οι σωλήνες του δικτύου που μεταφέρει το νερό από την γεώτρηση στο υδραγωγείο είναι $5''$. Το μήκος αυτού του δικτύου είναι 450m . Επίσης το δίκτυο έχει δύο γωνίες και μία βαλβίδα αντεπιστροφής. Το υδραγωγείο έχει διαφορά ύψους από την γεώτρηση $H_2 = 52\text{m}$. Από τον πίνακα απωλειών μανομετρικού ύψους κοινών σωλήνων νερού βρίσκουμε:

Για τους σωλήνες της αντλίας απώλειες $H_3 = 4,595 \times 80/100 = 3,676\text{m}$

Για τους σωλήνες του δικτύου απώλειες $H_4 = 1,616 \times 450/100 = 7,272\text{m}$

Για τις δύο γωνίες και τη βαλβίδα

αντεπιστροφής απώλειες που αντιστοιχούν

σε απώλειες ευθείας σωλήνας 12m $H_5 = 1,616 \times 12/100 = 0,194\text{m}$

Επομένως η αντλία πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αντλήσει παροχή $Q=60\text{m}^3/\text{h}$ για μανομετρικό ύψος $H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5$

$$H = 54,6 + 52 + 3,676 + 7,272 + 0,194 = 117,742\text{m}$$

Άρα: $H \approx 118\text{m}$

Απώλειες Μανομετρικού Ύψους σε Κοινούς Σωλήνες Νερού

Ο πρώτος αριθμός κάθε κελιού δείχνει την ταχύτητα του νερού σε m/sec.

Ο δεύτερος αριθμός κάθε κελιού δείχνει την απώλεια μανομετρικού ύψους ανά 100 m ευθείας σωλήνωσης.

Παροχή νερού			Απώλεια Μανομετρικού Ύψους σε Κοινούς Σωλήνες Νερού																								
m ³ /h	lit/min	lit/sec	Όνομαστική Διάμετρος Σωλήνα σε inches και Εσωτερική Διάμετρος σε mm																								
			1/2" 15,75	3/4" 21,25	1" 27,00	1 1/4" 35,75	1 1/2" 41,25	2" 52,50	2 1/2" 68,00	3" 80,25	3 1/2" 92,50	4" 105,0	5" 130,0	6" 155,5													
0,6	10	0,16	0,855 9,910	0,470 2,407	0,292 0,784																						
0,9	15	0,25	1,282 20,11	0,705 4,862	0,438 1,570	0,249 0,416																					
1,2	20	0,33	1,710 33,53	0,940 8,035	0,584 2,588	0,331 0,677	0,249 0,346																				
1,5	25	0,42	2,138 49,93	1,174 11,91	0,730 3,834	0,415 1,004	0,312 0,510																				
1,8	30	0,50	2,565 69,34	1,409 16,50	0,876 5,277	0,498 1,379	0,374 0,700	0,231 0,223																			
2,1	35	0,58	2,993 91,54	1,644 21,75	1,022 6,949	0,581 1,811	1,436 0,914	0,269 0,291																			
2,4	40	0,67		1,879 27,66	1,168 8,820	0,664 2,290	0,499 1,160	0,308 0,368																			
3,0	50	0,83		2,349 41,40	1,460 13,14	0,830 3,403	0,623 1,719	0,385 0,544	0,229 0,159																		
3,6	60	1,00		2,819 57,74	1,751 18,28	0,996 4,718	0,748 2,375	0,462 0,751	0,275 0,218																		
4,2	70	1,12		3,288 76,49	2,043 24,18	1,162 6,231	0,873 3,132	0,539 0,988	0,321 0,287	0,231 0,131																	
4,8	80	1,33		2,335 30,87	1,328 7,940	0,997 3,988	0,616 1,254	0,367 0,363	0,263 6,164																		
5,4	90	1,50		2,627 38,30	1,494 9,828	1,122 4,927	0,693 1,551	0,413 0,449	0,269 0,203																		
6,0	100	1,67		2,919 46,49	1,660 11,90	1,247 5,972	0,770 1,875	0,459 0,542	0,329 0,244	0,248 0,124																	
7,5	125	2,8		3,649 70,41	2,075 17,93	1,558 8,967	0,962 2,802	0,574 0,809	0,412 0,365	0,310 0,185	0,241 0,101																
9,0	150	2,50		2,490 25,11	1,870 12,53	1,154 3,903	0,668 1,124	0,494 0,506	0,372 0,256	0,289 0,140																	
10,5	175	2,92		2,904 33,32	2,182 16,66	1,347 5,179	0,803 1,488	0,576 0,670	0,434 0,338	0,337 0,184																	
12	200	3,33		3,319 42,75	2,493 21,36	1,539 6,624	0,918 1,901	0,659 0,855	0,496 0,431	0,385 0,234	0,251 0,084																
15	250	4,17		4,149 64,86	3,117 32,32	1,924 10,03	1,147 2,860	0,823 1,282	0,620 0,646	0,481 0,350	0,314 0,126																
18	300	5,00		3,740 45,52	2,309 14,04	1,377 4,009	0,988 1,792	0,744 0,903	0,577 0,488	0,377 0,175	0,263 0,074																
24	400	6,67		4,987 78,17	3,078 24,04	1,836 6,828	1,317 3,053	0,992 1,530	0,770 0,829	0,502 0,294	0,351 0,124																
30	500	8,33		3,848 36,71	2,295 10,40	1,647 4,622	1,240 2,315	1,047 1,254	0,962 0,445	0,628 0,445	0,439 0,187																
36	600	10,0		4,618 51,84	2,753 14,62	1,976 6,505	1,488 3,261	1,155 1,757	0,753 0,623	0,526 0,260																	
42	700	11,7		3,212 19,52	2,306 8,693	1,736 4,356	1,347 2,345	1,005 0,831	0,702 0,347																		
48	800	13,3		3,671 25,20	2,635 11,18	1,984 5,582	1,540 3,009	1,005 1,066	0,702 0,445																		
54	900	15,0		4,130 31,51	2,964 13,97	2,232 6,983	1,732 3,762	1,130 1,328	0,790 0,555																		
60	1000	16,7		4,589 38,43	3,294 17,06	2,480 8,521	1,925 4,595	1,256 1,616	0,877 0,674																		
75	1250	20,8		4,117 26,10	3,100 13,00	2,406 7,010	1,570 2,458	1,097 1,027																			
90	1500	25,0		4,941 36,97	3,720 18,42	2,887 9,892	1,883 3,468	1,316 1,444																			
105	1750	29,2		4,340 24,76	3,368 13,30	2,197 4,665	1,535 1,934																				
120	2000	33,3		4,960 31,94	3,850 17,16	2,511 5,995	1,754 2,496																				
150	2500	41,7			4,812 26,26	3,139 9,216	2,193 3,807																				
180	3000	50,0				3,767 13,05	2,632 5,417																				
240	4000	66,7				5,023 22,72	3,509 8,926																				
300	5000	83,3				4,386 14,42																					
90° γωνία, βάνες σάρτου			1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	2,0	2,5													
Ταφ. βαλβίδα αντεπιστροφής			4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	6,0	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0													

Ο πίνακας υπολογίζεται σύμφωνα με τον καινούριο τύπο του H. Lang a = 0,02 και για θερμοκρασία νερού 10° C.

Η απώλεια μανομετρικού ύψους σε γωνίες, βάνες, ταφ και βαλβίδες αντεπιστροφής ισοδυναμεί με την απώλεια σε ευθύγραμμη σωλήνωση με μήκος όσο προκύπτει στις δύο τελευταίες γραμμές του πίνακα. Για να βρείτε την απώλεια μανομετρικού ύψους στις ποδοβαλβίδες (ποιτήρια) πολλαπλασιάστε την απώλεια στα τμήματα Ταφ επί δύο.

Απώλειες Μανομετρικού Ύψους σε Πλαστικούς Σωλήνες

Ο πρώτος αριθμός κάθε κελιού δείχνει την ταχύτητα του νερού σε m/sec.

Ο δεύτερος αριθμός κάθε κελιού δείχνει την απώλεια μανομετρικού ύψους ανά 100 m ευθύγραμμης σωλήνωσης.

Παροχή νερού		PELM/PEH NP 10											
lit/min	lit/sec	PELM				PEH							
		25 20,4	32 26,2	40 32,6	50 40,8	63 51,4	75 61,4	90 73,6	110 90,0	125 102,2	140 114,6	160 130,8	180 147,2
10	0,16	0,49 1,8	0,30 0,66	0,19 0,27	0,12 0,085								
15	0,25	0,76 4,0	0,46 1,14	0,3 0,6	0,19 0,18	0,12 0,63							
20	0,33	1,0 6,4	0,61 2,2	0,39 0,9	0,25 0,28	0,16 0,11							
25	0,42	1,3 10,0	0,78 3,5	0,5 1,4	0,32 0,43	0,2 0,17	0,14 0,074						
30	0,25	1,53 13,0	0,93 4,6	0,6 1,9	0,38 0,57	0,24 0,22	0,17 0,092						
35	0,58	1,77 16,0	1,08 6,0	0,69 2,0	0,44 0,70	0,28 0,27	0,2 0,12						
40	0,67	2,05 22,0	1,24 7,5	0,80 3,3	0,51 0,93	0,32 0,35	0,23 0,16	0,16 0,063					
50	0,83	2,54 37,0	1,54 11,0	0,99 4,8	0,63 1,40	0,4 0,50	0,28 0,22	0,2 0,09					
60	1,00	3,06 43,0	1,85 15,0	1,2 6,5	0,76 1,90	0,48 0,70	0,34 0,32	0,24 0,13	0,16 0,050				
70	1,12	3,43 50,0	2,08 18,0	1,34 8,0	0,86 2,50	0,54 0,83	0,38 0,38	0,26 0,17	0,18 0,068				
80	1,33		2,47 25,0	1,59 10,5	1,02 3,00	0,64 1,20	0,45 0,50	0,31 0,22	0,2 0,084				
90	1,50		2,78 30,0	1,8 12,0	1,15 3,50	0,72 1,30	0,51 0,57	0,35 0,26	0,24 0,092	0,18 0,5			
100	1,67		3,1 39,0	2,0 16,0	1,28 4,6	0,8 1,80	0,56 0,73	0,39 0,30	0,26 0,12	0,2 0,07			
125	2,8		3,86 50,0	2,49 24,0	1,59 6,6	1,00 2,50	0,70 1,10	0,49 0,50	0,33 0,18	0,25 0,10	0,20 0,055		
150	2,50			3,0 33,0	1,91 8,6	1,20 3,5	0,84 1,40	0,59 0,63	0,39 0,24	0,30 0,13	0,24 0,075		
175	2,92			3,5 38,0	2,23 11,0	1,41 4,3	0,99 1,80	0,69 0,78	0,46 0,30	0,36 0,18	0,28 0,09		
200	3,33			3,99 50,0	2,55 14,0	1,60 5,5	1,12 2,40	0,78 1,0	0,52 0,40	0,41 0,22	0,32 0,12	0,25 0,065	
250	4,17				3,19 21,0	2,01 8,0	1,41 3,70	0,98 1,50	0,66 0,57	0,51 0,34	0,40 0,18	0,31 0,105	0,25 0,06
300	5,00				3,82 28,0	2,41 10,5	1,69 4,60	1,18 1,95	0,78 0,77	0,61 0,45	0,48 0,25	0,37 0,13	0,29 0,085
400	6,67					3,21 19,0	2,25 8,0	1,57 3,60	1,05 1,40	0,81 0,78	0,65 0,44	0,50 0,23	0,39 0,15
500	8,33					4,01 28,0	2,81 11,5	1,96 5,0	1,1 2,0	1,02 1,20	0,81 0,63	0,62 0,33	0,49 0,21
600	10,0					4,82 37,0	3,38 15,0	2,35 6,6	1,57 2,60	1,22 1,50	0,97 0,82	0,74 0,45	0,59 0,28
700	11,7					5,64 47,0	3,95 24,0	2,75 8,0	1,84 3,50	1,43 1,90	1,13 1,10	0,87 0,60	0,69 0,40
800	13,3						4,49 26,0	3,13 11,0	2,0 4,5	1,62 2,60	1,29 1,40	0,99 0,81	0,78 0,48
900	15,0						5,0 33,0	3,53 13,5	2,36 5,5	1,83 3,20	1,45 1,0	1,12 0,95	0,8 0,58
1000	16,7						5,64 40,0	3,93 16,0	2,63 6,7	2,04 3,90	1,62 2,2	1,24 1,2	0,96 0,75
1250	20,80							4,89 25,0	3,27 9,0	2,54 5,0	2,02 3,0	1,55 1,6	1,22 0,95
1500	25,0							5,88 33,0	3,93 13,0	3,05 8,0	2,42 4,1	1,86 2,3	1,47 1,40
1750	29,2							6,86 44,0	4,59 17,5	3,56 9,7	2,83 5,7	2,17 3,2	1,72 1,9
2000	33,3								5,23 23,0	4,06 13,0	3,23 7,0	2,48 4,0	1,96 2,4
2500	41,7								6,55 34,0	5,08 18,0	4,04 10,5	3,10 6,0	2,45 3,5
3000	50,0								7,86 45,0	6,1 27,0	4,85 14,0	3,72 7,6	2,94 3,92
4000	66,7									8,13 43,0	6,47 24,0	4,96 13,0	3,92 7,5

Ο πίνακας βασίζεται σε ένα νομογράφημα.

Συντελεστής Τραχύτητας: $K = 0,01\text{mm}$.

Θερμοκρασία νερού: $t = 10^\circ\text{C}$.

Αντλία

Από τον πίνακα των υποβρύχιων αντλιών θα επιλέξουμε την αντλία που θα ικανοποιεί τις παραμέτρους που έχουμε:

Παροχή $Q = 60\text{m}^3/\text{h}$

Μανομετρικό ύψος $H = 118\text{m}$

Αυτή είναι η SP 60-15, όπου 15 είναι τα πτερύγια που έχει.

Από τον πίνακα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υποβρύχιων αντλιών SP 60 βρίσκουμε τα παρακάτω στοιχεία:

Η διάμετρος του κινητήρα είναι: $D = 138\text{mm}$

Η διάμετρος της αντλίας είναι: $E = 149\text{mm}$

Η ταχύτητα ροής του νερού κατά μήκος της επιφάνειας του κινητήρα είναι:

$$V(\text{m/sec}) = Q(\text{m}^3/\text{h}) \times 353,68 / [D_1(\text{mm})]^2 - [D(\text{mm})]^2$$

όπου D_1 η διάμετρος των σωλήνων της γεώτρησης

$$V = 60 \times 353,68 / 149^2 - 138^2 = 0,954\text{m/sec}$$

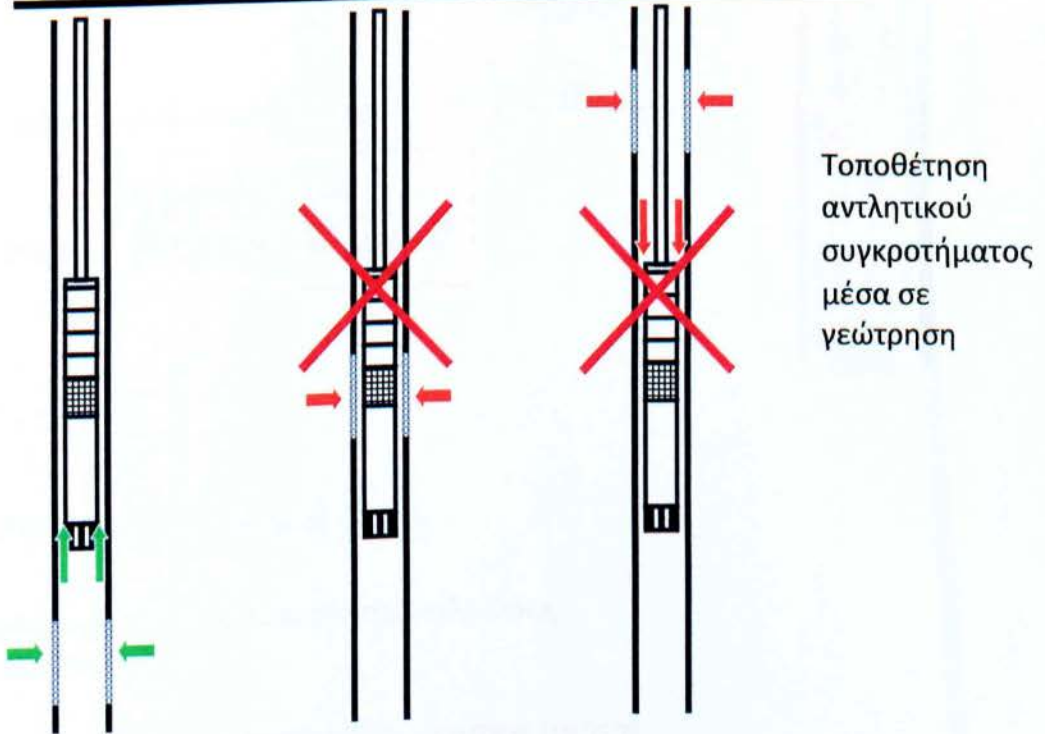
Αυτή η ταχύτητα ροής είναι ικανοποιητική για την ψύξη του κινητήρα.

Σημαντικές συμβουλές για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του κινητήρα

Για να έχει ο κινητήρας την απαιτούμενη ψύξη, πρέπει να εξασφαλίσουμε μια ελάχιστη ταχύτητα ροής κατά μήκος της εξωτερικής επιφάνειάς του (για την ελάχιστη ταχύτητα ροής στην επιφάνεια του κινητήρα, συμβουλευτείτε το φύλλο τεχνικών στοιχείων και την πινακίδα του κινητήρα).



Για βέλτιστη ψύξη του κινητήρα, η ταχύτητα ροής στην επιφάνεια του κινητήρα πρέπει να είναι : 0,5 – 2 m/sec.



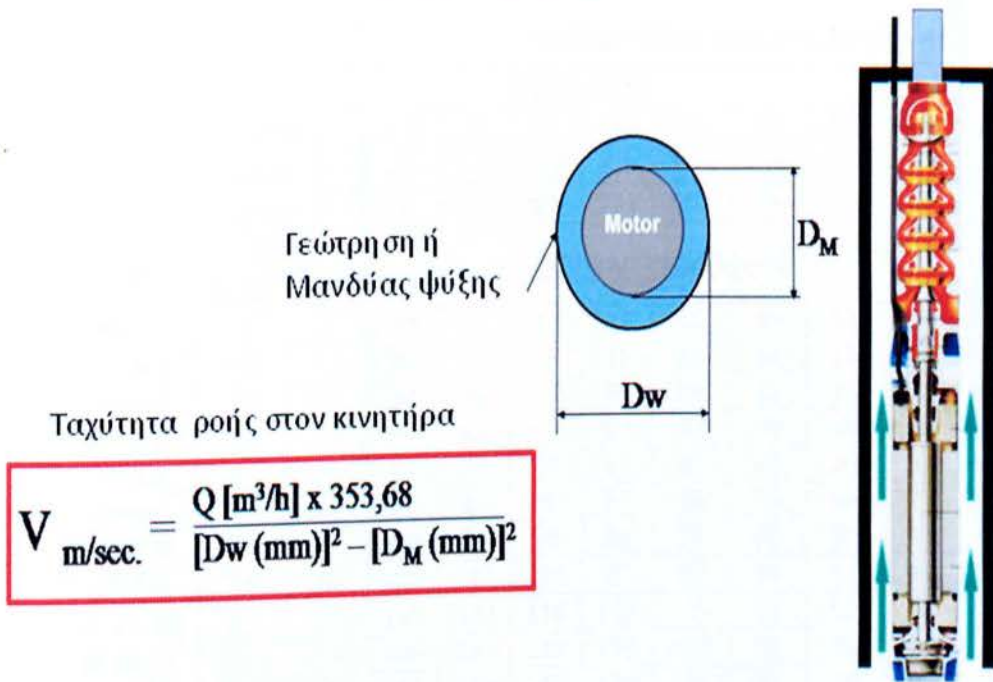
Η τοποθέτηση του αντλητικού συγκροτήματος πρέπει πάντοτε να γίνεται σε σημείο ψηλότερο από τα φίλτρα της γεώτρησης, έτσι ώστε όλη η αντλούμενη ποσότητα του νερού να ρέει εξαναγκαστικά κατά μήκος του περιβλήματος του κινητήρα, ανανεώνοντας συνεχώς το νερό που τον περιβάλλει και παρέχοντας συνεχή και επαρκή ψύξη στον κινητήρα, όπως φαίνεται στο σχέδιο.



Σε κάθε περίπτωση, η παρεχόμενη ταχύτητα ροής στην επιφάνεια του κινητήρα πρέπει να υπολογίζεται.

Κατά την λειτουργία της αντλίας, η ταχύτητα ροής στην επιφάνεια του κινητήρα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

Αντλούμενη παροχή = Q



Q [m³/h]: Αντλούμενη παροχή

D_w [mm]: εσωτερική διάμετρος της γεώτρησης (ή του μανδύα ψύξης)

D_m [mm]: εξωτερική διάμετρος του κινητήρα (στάτη)

Εάν η ταχύτητα ροής που προκύπτει από τον υπολογισμό είναι μικρότερη από την ελάχιστη απαιτούμενη, πρέπει να τοποθετηθεί μανδύας ψύξης (χιτώνιο) το οποίο θα δημιουργήσει εξαναγκασμένη ροή κατά μήκος του κινητήρα. Η εσωτερική διάμετρος του μανδύα ψύξης πρέπει να επιλεγθεί έτσι ώστε ο παραπάνω τύπος να δίνει επαρκή ταχύτητα ροής.

ΟΔΗΓΟΣ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΑΠΟ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ ΑΙΣΙ 304 ΓΙΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ 6" & 8"

ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΑΝΤΛΙΑ SP(N) 46

ΤΥΠΟΣ	Παροχή Q									
	m ³ /h →	7,5	16	24	32	40	48	56	59	
	l/sec →	0	4,4	6,7	8,9	11,1	13,3	15,6	16,4	
	l/min →	0	267	400	533	667	800	933	983	
ΙΣΧΥΣ	Μανομετρικό Η [m]									
	[kW]	[HP]								
SP46-2	3	4	27	24	23	21	18	15	11	9
SP 46-3	5,5	7,5	41	37	35	32	28	24	18	15
SP46-4	7,5	10	54	50	47	43	38	32	25	21
SP46-5	7,5	10	67	62	57	53	47	40	30	26
SP46-6	9	13	81	74	69	63	57	48	36	31
SP46-7	11	15	94	87	81	74	66	56	43	37
SP46-8	13	17,5	108	99	93	86	77	65	50	43
SP46-9	15	20	122	112	105	97	87	74	57	49
SP 46-10	15	20	135	124	116	107	95	81	62	54
SP 46-11	18,5	25	149	137	129	119	107	91	70	61
SP 46-12	18,5	25	162	149	140	129	115	98	76	66
SP 46-13	22	30	176	162	152	140	126	107	83	72
SP 46-14	22	30	189	174	163	150	134	114	88	76
SP 46-15	22	30	202	185	173	159	143	121	93	81
SP46-16	26	35	217	199	187	172	155	132	102	89
SP46-17	26	35	229	211	198	182	163	139	107	93
SP46-18	30	40	244	225	211	195	175	149	116	101
SP 46-19	30	40	257	237	222	205	183	156	121	105
SP 46-20	30	50	274	254	239	222	200	172	135	118
SP 46-21	37	50	287	266	250	232	209	180	141	124
SP 46-22	37	50	301	278	262	242	219	188	147	129
SP 46-23	37	50	314	290	273	253	228	196	153	134
SP 46-24	37	50	327	302	284	263	237	203	159	139
SP 46-26	45	60	357	331	312	289	261	225	177	155
SP 46-28	45	60	384	355	334	310	280	241	189	166

ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΑΝΤΛΙΑ SP(N) 60

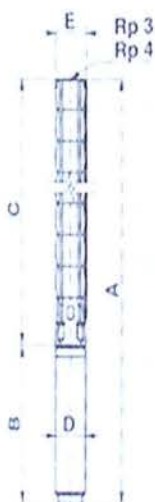
ΤΥΠΟΣ	Παροχή Q									
	ΙΣΧΥΣ		Μανομετρικό H [m]							
	[kW]	[HP]	0	20	30	40	50	60	70	77,5
	m ³ /h →	l/sec →	l/min →	0	5,6	8,3	11,1	13,9	16,7	19,4
SP60-2	4	6	29	26	23	19	16	13	9	5
SP 60-3	5,5	7,5	42	38	33	28	25	20	14	9
SP60-4	7,5	10	56	52	46	39	34	29	21	13
SP 60-5	9,2	13	71	66	59	50	44	38	28	19
SP60-6	11	15	83	78	69	60	53	45	33	22
SP 60-7	13	17,5	98	92	82	71	63	53	40	27
SP 60-8	15	20	111	104	93	80	71	60	45	30
SP 60-9	18,5	25	125	118	106	91	81	69	52	36
SP 60-10	18,5	25	138	129	116	101	89	76	57	39
SP 60-11	22	30	154	145	131	114	101	86	66	45
SP 60-12	22	30	167	157	142	123	109	93	71	49
SP 60-13	26	35	182	172	155	135	120	103	78	55
SP 60-14	26	35	195	184	166	145	129	110	84	58
SP 60-15	26	35	208	196	177	154	137	117	89	62
SP 60-16	30	40	221	208	188	164	145	124	94	65
SP 60-17	30	40	239	226	204	179	159	136	105	74
SP 60-18	37	50	252	238	215	188	168	143	110	77
SP 60-19	37	50	265	250	226	198	176	151	115	81
SP 60-20	37	50	279	264	238	208	185	159	121	85
SP 60-21	37	50	298	283	257	226	201	173	135	96
SP 60-22	45	60	312	296	269	236	210	181	141	100

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Διαστάσεις και Βάρη

Υποβρύχιες αντλίες SP 60

Τύπος Αντλίας	Κινητήρας		Διαστάσεις [mm]										Καθαρό βάρος [kg]
	Τύπος	Ισχύς [kW]	Στόμιο Rp 3				Στόμιο Rp 4				B	D	
			A	C	E*	E**	A	C	E*	E**			
SP 60-1-A	MS 4000	1.5	780	364	142		785	370	146		416	95	20
SP 60-1	MS 4000	2.2	817	364	142		823	370	146		453	95	22
SP 60-2-B	MS 4000	3.0	973	477	142		976	483	146		493	95	25
SP 60-2	MS 4000	4.0	1050	477	142		1056	483	146		573	95	29
SP 60-3	MS 4000	5.5	1263	590	142		1269	596	146		673	95	37
SP 60-4	MS 4000	7.5	1493	719	142		1482	709	146		773	95	44
SP 60-5	MS 6000	9.2	1436	832	147	150	1442	838	149	152	604	138	60
SP 60-6	MS 6000	11	1584	950	147	150	1585	951	149	152	634	138	65
SP 60-7	MS 6000	13	1722	1058	147	150	1728	1064	149	152	664	138	71
SP 60-8-B	MS 6000	13	1835	1171	147	150	1841	1177	149	152	664	138	73
SP 60-8	MS 6000	15	1870	1171	147	150	1876	1177	149	152	699	138	77
SP 60-9-B	MS 6000	15	1983	1284	147	150	1989	1290	149	152	699	138	80
SP 60-9	MS 6000	18.5	2038	1284	147	150	2044	1290	149	152	754	138	85
SP 60-10	MS 6000	18.5	2151	1397	147	150	2157	1403	149	152	754	138	88
SP 60-11	MS 6000	22	2324	1510	147	150	2330	1516	149	152	814	138	96
SP 60-12	MS 6000	22	2437	1623	147	150	2443	1629	149	152	814	138	99
SP 60-13	MS 6000	26	2610	1736	147	150	2616	1742	149	152	874	138	107
SP 60-14	MS 6000	26	2723	1849	147	150	2729	1855	149	152	874	138	109
SP 60-15	MS 6000	26	2836	1962	147	150	2842	1968	149	152	874	138	112
SP 60-16	MS 6000	30	3019	2075	147	150	3025	2081	149	152	944	138	122
SP 60-17	MS 6000	30	3132	2188	150	154	3138	2194	152	156	944	138	125
SP 60-18	MMS 6000	37	3806	2381	150	154	3812	2387	152	156	1425	144	178
SP 60-19	MMS 6000	37	3919	2494	150	154	3925	2500	152	156	1425	144	180
SP 60-20	MMS 6000	37	4032	2607	150	154	4038	2613	152	156	1425	144	183
SP 60-21	MMS 6000	37	4147	2722	150	154	4151	2726	152	156	1425	144	185
SP 60-22	MMS 8000	45	4105	2784	180	180	4058	2788	180	180	1270	192	239



* Μεγίστη διάμετρος της αντλίας με ένα καλώδιο κινητήρα.

** Μεγίστη διάμετρος της αντλίας με δύο καλώδια κινητήρα.

ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η απολύμανση γίνεται για την εξασφάλιση πόσιμου νερού που θεωρείται ασφαλές από μικροβιολογική άποψη για τη δημόσια υγεία. Η χλωρίωση του πόσιμου νερού ήταν μέχρι πρόσφατα (δεκαετία του 1970) η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος απολύμανσης. Μερικά όμως παραπροϊόντα της χλωρίωσης θεωρούνται ύποπτες καρκινογόνες ουσίες και έτσι οι προσπάθειες στράφηκαν προς τη χρησιμοποίηση και άλλων εναλλακτικών τρόπων απολύμανσης. Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 λειτουργούσαν στις ΗΠΑ περισσότερες από 80 εγκαταστάσεις καθαρισμού νερού που χρησιμοποιούσαν ως απολυμαντικό το διοξείδιο του χλωρίου και ο αντίστοιχος αριθμός για την Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα ήταν περίπου 500. Όμως και η χρησιμοποίηση του διοξειδίου του χλωρίου για την απολύμανση του νερού παρουσιάζει διάφορα μειονεκτήματα όπως π.χ. το πρόβλημα με την παρουσία χλωριωδών και χλωρικών ιόντων. Άλλες μέθοδοι απολύμανσης του νερού είναι η οζόνωση και η χρησιμοποίηση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV).

Ο όρος απολύμανση αναφέρεται στην αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών ώστε να μην είναι ικανοί για τη μετάδοση των αντίστοιχων ασθενειών. Σημειώνεται ότι αδρανοποίηση δε σημαίνει απαραίτητα θανάτωση αλλά μπορεί να σημαίνει παρεμπόδιση της ανάπτυξης ή της δυνατότητας αναπαραγωγής. Τα χημικά απολυμαντικά αδρανοποιούν τους παθογόνους μικροοργανισμούς με τους εξής μηχανισμούς: (1) καταστροφή ή βλάβη του κυτταρικού υλικού με επίδραση σε βασικά συστατικά του κυττάρου (καταστροφή της κυτταρικής μεμβράνης ή παρεμπόδιση της λειτουργίας των ημιπερατών μεμβρανών), (2) παρεμβολή στους μηχανισμούς ενεργειακού μεταβολισμού με αδρανοποίηση της λειτουργίας ένζυμων, (3) παρεμβολή στους μηχανισμούς της βιοσύνθεσης και της ανάπτυξης με παρεμπόδιση της σύνθεσης πρωτεϊνών, νουκλεϊκών οξέων, συνενζύμων και του κυτταρικού τοιχώματος.

Όταν αναφερόμαστε στην απολύμανση του πόσιμου νερού θεωρείται ότι οι βασικοί παράγοντες που ελέγχουν την αποτελεσματικότητα της διεργασίας είναι η ικανότητα των απολυμαντικών να οξειδώνουν ή διασπούν το κυτταρικό τοίχωμα καθώς και η ικανότητά τους να διαχέονται μέσα στο κυτταρικό υλικό και να

παρεμποδίζουν τους μηχανισμούς λειτουργίας του κυττάρου. Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης ελέγχεται από τις παρακάτω παραμέτρους:

1. **Είδος του απολυμαντικού.** Κάθε απολυμαντικό αδρανοποιεί ένα συγκεκριμένο μικροοργανισμό με διαφορετικό τρόπο και ρυθμό.
2. **Δόση απολυμαντικού.** Υψηλότερες δόσεις αυξάνουν συνήθως το ρυθμό απολύμανσης.
3. **Τύπος του μικροοργανισμού και φυσιολογική του κατάσταση.** Γενικά τα πρωτόζωα είναι πιο δύσκολα στην απολύμανση και ακολουθούν τα βακτήρια και οι ιοί. Μερικοί μικροοργανισμοί εμφανίζονται και με ανθεκτικές μορφές (π.χ. κύστες).
4. **Χρόνος επαφής.** Αύξηση του χρόνου επαφής βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης.
5. **pH.** Η αποτελεσματικότητα μερικών απολυμαντικών (όπως του χλωρίου) εξαρτάται ισχυρά από το pH. Η αποτελεσματικότητα όμως άλλων απολυμαντικών (όπως π.χ. της μονοχλωραμίνης και του όζοντος) δεν εξαρτάται από το pH.
6. **Θερμοκρασία.** Ο ρυθμός απολύμανσης αυξάνεται με τη θερμοκρασία.
7. **Θολότητα.** Τα σωματίδια που προκαλούν θολότητα αποτελούν κρυψώνες για τους μικροοργανισμούς. Ακόμη το υλικό από το οποίο αποτελούνται τα σωματίδια της θολότητας προκαλεί κατανάλωση απολυμαντικού με αντίστοιχη απαίτηση για αυξημένες δόσεις.
8. **Διαλυτό οργανικό υλικό.** Το διαλυτό οργανικό υλικό είναι δυνατόν να καταναλώσει απολυμαντικό και να οδηγήσει στη δημιουργία ενώσεων με μικρή ή καθόλου απολυμαντική δραστηριότητα. Ακόμη παρουσία διαλυτού οργανικού υλικού οδηγεί στη δημιουργία παραπροϊόντων απολύμανσης.

Πίνακας Δ.1: Τιμές CT για την αδρανοποίηση των ιών.

Απολυμαντικό	Μονάδες	Αδρανοποίηση		
		2-log	3-log	4-log
Χλώριο (θερμοκρασία 10 °C, pH 6,0- 9,0, ελεύθερο υπολειπόμενο χλώριο 0,2-0,5 mg/TL)	mg ^x min/L	3	4	6
Χλωραμίνες (θερμοκρασία 10 °C, pH 8,0)	mg ^x min/L	643	1067	1491
Διοξείδιο του χλωρίου (θερμοκρασία 10 °C, pH 6,0-9,0)	mg ^x min/L	4,2	12,8	25,1
Όζον	mgXmin/	0,5	0,8	1,0
Υπεριώδης ακτινοβολία (UV)	mWxs/cm	21	36	-

Το νερό που φτάνει στη βρύση του καταναλωτή θα πρέπει να είναι ασφαλές από μικροβιολογική άποψη. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να ικανοποιεί τις προδιαγραφές που αναφέρονται στις μικροβιολογικές παραμέτρους. Αναγνωρίζεται ότι υπάρχουν δυσκολίες για τον καθημερινό συστηματικό έλεγχο του δικτύου ύδρευσης όσον αφορά την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών και έτσι από την προηγούμενη δεκαετία (δεκαετία του 1990) άρχισε (από τις ΗΠΑ) να ελέγχεται η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης του πόσιμου νερού με βάση τις τιμές του γινομένου CT [(mg/L) x (min), (συγκέντρωση απολυμαντικού) x (χρόνος παραμονής)].

Επειδή η συγκέντρωση του απολυμαντικού μειώνεται καθώς το νερό διέρχεται δια μέσου της δεξαμενής απολύμανσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μέση τιμή της συγκέντρωσης στην έξοδο από το δεξαμενή απολύμανσης. Προκειμένου να λαμβάνονται υπόψη οι αποκλίσεις από το καθεστώς εμβολικής ροής στη δεξαμενή απολύμανσης, ο χρόνος επαφής λαμβάνεται ίσος με το χρόνο T_{10} που προκύπτει από πειραματική μελέτη (με χρησιμοποίηση δεικτών) των συνθηκών ροής στη δεξαμενή απολύμανσης. Ο χρόνος T_{10} είναι ο χρόνος με την πάροδο του οποίου έχει περάσει το 10% της παροχής του τροφοδοτούμενου νερού από τη δεξαμενή απολύμανσης ή ο χρόνος που παραμένει το 90% του τροφοδοτούμενου νερού στη δεξαμενή απολύμανσης. Ο χρόνος T_{10} υπολογίζεται με βάση τη μέγιστη ωριαία παροχή δια μέσου της δεξαμενής απολύμανσης.

Προδιαγραφές για απολύμανση με βάση τις τιμές CT

Οι προδιαγραφές του Environmental Protection Agency (EPA) της Αμερικής (Surface Water Treatment Regulations, SWTR, published on June 29, 1989) για την αδρανοποίηση ιών δίνονται στον Πίνακα Δ.1 και οι αντίστοιχες προδιαγραφές για την αδρανοποίηση του πρωτόζωου *Giardia lamblia* δίνονται στον Πίνακα 2. Η αδρανοποίηση αναφέρεται σε τάξεις μεγέθους (π.χ. μείωση της συγκέντρωσης κατά 2 τάξεις μεγέθους αντιστοιχεί σε μείωση του δεκαδικού λογαρίθμου της συγκέντρωσης κατά 2 μονάδες ή συμβολικά κατά 2-log).

Πίνακας Δ.2: Τιμές CT (mgxmin/L) για την αδρανοποίηση κυστών *Giardia lamblia*.

Απολυμαντικό	Αδρανοποίηση					
	0.5-log	1-log	1.5-log	2-log	2.5-log	3-log
Χλώριο (θερμοκρασία 10 °C, pH 7,0, ελεύθερο υπολειπόμενο χλώριο 0,4 mg/L)	17	35	52	69	87	104
Χλωραμίνες (θερμοκρασία 10 °C, pH 6,0-9,0)	310	615	930	1230	1540	1850
Διοξείδιο του χλωρίου (θερμοκρασία 10 °C, pH 7,0)	4	7,7	12	15	19	23
Όζον (θερμοκρασία 10 °C, pH 7,0)	0,23	0,48	0,72	0,95	1,2	1,43

Κατά την απολύμανση του νερού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη παράλληλα με την ανάγκη για αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών και η απαίτηση για περιορισμό των ανεπιθύμητων παραπροϊόντων απολύμανσης. Έτσι ένα σύστημα απολύμανσης θα πρέπει να επιτυγχάνει τα παρακάτω:

- Αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών
- Ικανοποίηση των προδιαγραφών για τα παραπροϊόντα απολύμανσης (Disinfection By-Products, DBPs)
- Ικανοποίηση των προδιαγραφών για τις επιτρεπόμενες υπολειπόμενες συγκεντρώσεις απολυμαντικών
- Διατήρηση της απαιτούμενης υπολειπόμενης συγκέντρωσης απολυμαντικού στο δίκτυο διανομής.

Πίνακας Δ.3: Τάξεις μεγέθους απαιτούμενης αφαίρεσης/αδρανοποίησης σε συστήματα επεξεργασίας που περιλαμβάνουν στάδια διύλισης και απολύμανσης.

	Κύστες <i>Giardia</i>	Ιοί
Ολική αφαίρεση (αδρανοποίηση) που απαιτείται, log	3,0	4,0
Διεργασίες/Στάδια αφαίρεσης		
Αφαίρεση στα αρχικά στάδια καθίζησης/διύλισης	2,5	2,0
Αδρανοποίηση στο επόμενο στάδιο απολύμανσης	0,5	2,0
Αφαίρεση στο αρχικό στάδιο απ' ευθείας διύλισης	2,0	1,0
Αδρανοποίηση στο επόμενο στάδιο απολύμανσης	1,0	3,0
Αρχική αφαίρεση σε βραδυδιυλιστήριο	2,0	2,0
Αδρανοποίηση στο επόμενο στάδιο απολύμανσης	1,0	2,0
Αρχική αφαίρεση σε φίλτρο γης διατόμων	2,0	1,0
Αδρανοποίηση στο επόμενο στάδιο απολύμανσης	1,0	3,0
Χωρίς αρχική επεξεργασία	0,0	0,0
Αδρανοποίηση στο επόμενο στάδιο απολύμανσης	3,0	4,0

Διακρίνουμε δύο τύπους απολύμανσης. Ο ένας τύπος αναφέρεται ως **αρχική** ή **πρωτεύουσα** απολύμανση και στοχεύει στην αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών και ο άλλος αναφέρεται ως **δευτερεύουσα** ή **βοηθητική** απολύμανση και αποσκοπεί στην προστασία του δικτύου διανομής.

Οι απαιτήσεις των αμερικάνικων προδιαγραφών για αφαίρεση κυστών ***Giardia*** και για αφαίρεση ιών μπορούν να επιτευχθούν όχι μόνο με απολύμανση αλλά και με συνδυασμό διύλισης και απολύμανσης. Ανάλογα με το σύστημα διύλισης που χρησιμοποιείται οι απαιτήσεις για αδρανοποίηση με απολύμανση κυμαίνονται από 0,5 έως 3,0-log για τις κύστες ***Giardia lamblia*** και από 2,0 έως 4,0-log για τους ιούς. Στον Πίνακα Δ.3 δίνονται οι απαιτήσεις για απολύμανση ανάλογα με το σύστημα διύλισης ή άλλης προεπεξεργασίας που προηγείται.

Οι προδιαγραφές καθορίζουν όρια τόσο για τα παραπροϊόντα απολύμανσης όσο και για τις υπολειμματικές συγκεντρώσεις απολυμαντικών. Ο καθαρισμός ορίων για τις υπολειμματικές συγκεντρώσεις ελέγχει έμμεσα τις μέγιστες δόσεις απολυμαντικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Στοιχεία σχεδιασμού συστημάτων απολύμανσης πόσιμου νερού

Τα δύο κυριότερα στοιχεία που είναι σημαντικά για ένα σύστημα απολύμανσης πόσιμου νερού είναι η δοσομέτρηση του απολυμαντικού και ο σχεδιασμός της δεξαμενής επαφής. **Η δόση του απολυμαντικού** πρέπει να προσδιορίζεται με δοκιμές πεδίου και υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{δόση απολυμαντικού} &= \\ &= (\text{υπόλοιπο απολυμαντικού}) + (\text{άμεση ζήτηση απολυμαντικού}) + \\ &+ (\text{εξασθένιση απολυμαντικού}) \end{aligned}$$

Το υπόλοιπο απολυμαντικού που απαιτείται είναι η συγκέντρωση εκείνη που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τιμής CT. Το απολυμαντικό αντιδρά με διάφορα συστατικά στο νερό και μπορούμε να διαχωρίσουμε τις αντιδράσεις σε εκείνες που χαρακτηρίζονται από μεγάλες ταχύτητες και διαρκούν για μικρό χρονικό διάστημα μετά την προσθήκη του απολυμαντικού (άμεση ζήτηση) και σε εκείνες που είναι βραδείες και αντιστοιχούν τόσο σε αντίδραση του απολυμαντικού με διάφορα συστατικά του νερού όσο και στην αυθόρμητη εξασθένιση αυτού του ίδιου του απολυμαντικού (εξασθένιση του απολυμαντικού). Το σύστημα τροφοδότησης του απολυμαντικού θα πρέπει να διασφαλίζει τα παρακάτω:

- Σωστή διαστασιολόγηση σύμφωνα με την πρόβλεψη για τη δόση
- Διατάξεις μέτρησης του υπολειπόμενου απολυμαντικού
- Μικρά μήκη γραμμών τροφοδότησης για να επιτυγχάνεται πιο αξιόπιστη απόκριση κατά τη ρύθμιση της δόσης
- Απαιτήσεις για ασφάλεια του προσωπικού λειτουργίας (μερικά απολυμαντικά είναι ουσίες επικίνδυνες για την υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων και ο χειρισμός τους θα πρέπει να γίνεται με προσοχή και σχολαστική τήρηση των αντίστοιχων οδηγιών)

Οι πιο ενδεδειγμένες δεξαμενές απολύμανσης είναι οι δεξαμενές εμβολικής ροής. Οι δεξαμενές εμβολικής ροής περιορίζουν το βραχυκύκλωμα και την πιθανότητα να διέλθουν ποσότητες νερού από τη δεξαμενή επαφής με σημαντικά μικρή διάρκεια επαφής με το απολυμαντικό. Καλές συνθήκες εμβολικής ροής επιτυγχάνονται όταν:.

- Οι δεξαμενές σχεδιάζονται μακρόστενες με λόγο μήκος/πλάτος > 40/1
- Χρησιμοποιούνται πολλαπλές δεξαμενές απολύμανσης στη σειρά

- Χρησιμοποιούνται δεξαμενές με κατάλληλα χωρίσματα
- Χρησιμοποιούνται σωληνωτοί αντιδραστήρες απολύμανσης

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η αρχική ανάμιξη της τροφοδοτούμενης δόσης με το ρεύμα του νερού. Θα πρέπει να γίνεται καλή αρχική ανάμιξη ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη διασπορά του απολυμαντικού σε όλη τη μάζα του ρεύματος του νερού. Σημειώνεται ότι εάν δε γίνεται καλή ανάμιξη είναι δυνατόν να διαμορφώνονται τοπικά υψηλές συγκεντρώσεις απολυμαντικού που να οδηγούν σε ανεπιθύμητες αντιδράσεις με το οργανικό συνήθως υλικό που περιέχεται στο προς απολύμανση νερό.

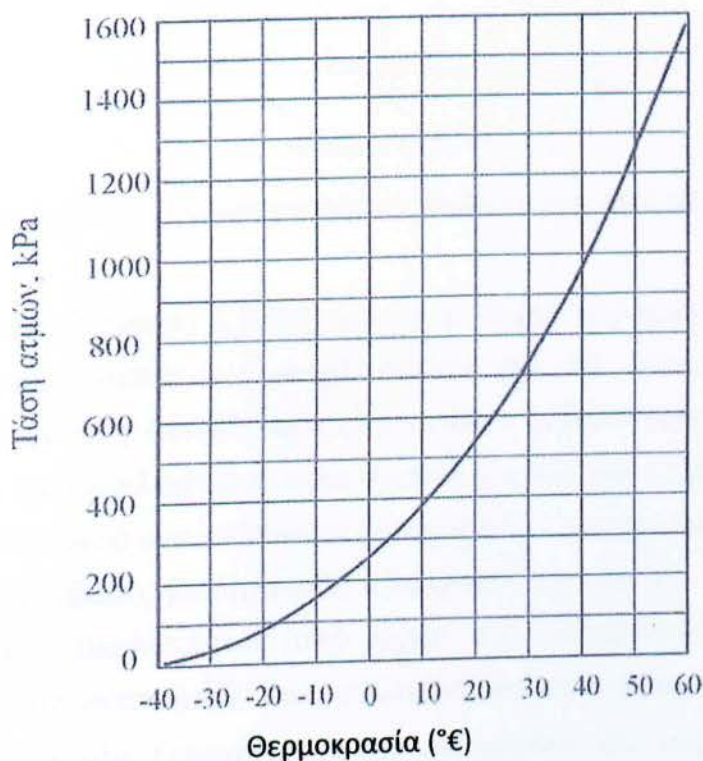
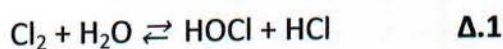
Απολύμανση με χλώριο και υποχλωριώδη άλατα

Το χλώριο που χρησιμοποιείται για απολύμανση του νερού είναι δυνατόν να τροφοδοτείται είτε ως μοριακό χλώριο από φιάλες ή δεξαμενές (υπό πίεση) που περιέχουν υγροποιημένο χλώριο είτε να βρίσκεται υπό μορφή διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl) είτε ακόμη να προκύπτει από επί τόπου διαλυτοποίηση υποχλωριώδους ασβεστίου [Ca(OCl)_2].

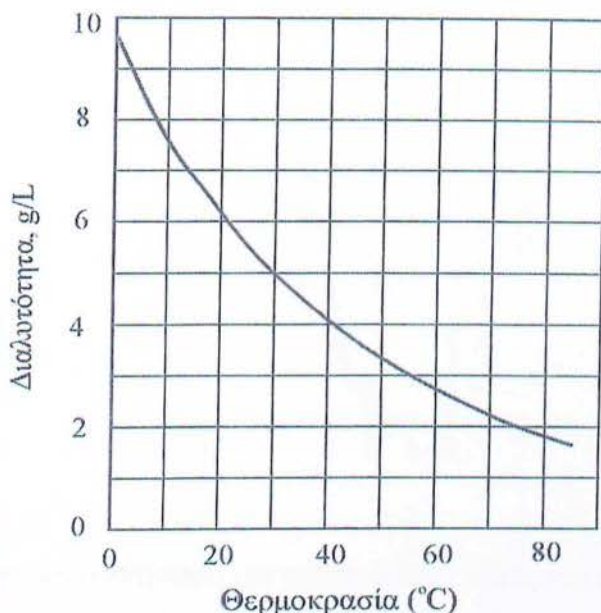
Μοριακό χλώριο

Το χλώριο είναι αέριο κάτω από κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, έχει πρασινοκίτρινο χρώμα και είναι 2,5 φορές βαρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Δεν είναι ούτε εκρηκτικό ούτε εύφλεκτο, παρόλο που αντιδρά βίαια με αρκετές ουσίες. Συμπύεση ξηρού αερίου χλωρίου οδηγεί σε υγροποιημένο χλώριο το οποίο αποθηκεύεται σε χαλύβδινες φιάλες ή χαλύβδινες δεξαμενές υπό πίεση. Το υγροποιημένο χλώριο έχει χρώμα κεχριμπαριού. Στο Σχήμα Δ.1 δίνεται το διάγραμμα θερμοκρασίας-πίεσης για το υγροποιημένο χλώριο. Σε περιβάλλον όπου υπάρχει υγρασία είναι αρκετά διαβρωτικό για όλα τα συνήθη μέταλλα όπως π.χ. ο χαλκός και ο χάλυβας. Το αέριο χλώριο δεν αντιδρά με PVC, χλωριωμένο πολυβινυλοχλωρίδιο (CPVC) και ABS (acrylonitrile butadiene styrene). Η διαλυτότητα του αερίου χλωρίου στο νερό είναι σχετικά μικρή και ως συνάρτηση της θερμοκρασίας δίνεται στο Σχήμα Δ.2. Το αέριο χλώριο θεωρείται ερεθιστικό του αναπνευστικού συστήματος και ταξινομείται ως δηλητηριώδες. Η ανθρώπινη όσφρηση εντοπίζει επίπεδα συγκεντρώσεων αερίου χλωρίου στην ατμόσφαιρα μέχρι 0,3 ppm (κατ' όγκον). Η επιτρεπόμενη συγκέντρωση χλωρίου στην ατμόσφαιρα

είναι μέχρι 0,5 ppm και συγκέντρωση χλωρίου στον αέρα στο επίπεδο των 10 ppm θεωρείται άμεσα επικίνδυνη για την υγεία και για τη ζωή. Το χλώριο συμμετέχει με τρεις διαφορετικούς τρόπους στην απολύμανση του νερού δηλαδή: (1) αντιδρά ως οξειδωτικό, (2) συμμετέχει σε αντιδράσεις υποκατάστασης και (3) δρα ως απολυμαντικό. Όταν γίνεται προσθήκη χλωρίου στο νερό λαμβάνει χώρα μια χημική αντίδραση με τα μόρια του νερού όπως φαίνεται από την Εξίσωση Δ.1.



Σχήμα Δ.1: Διάγραμμα τάσης ατμών - θερμοκρασίας υγροποιημένου χλωρίου.



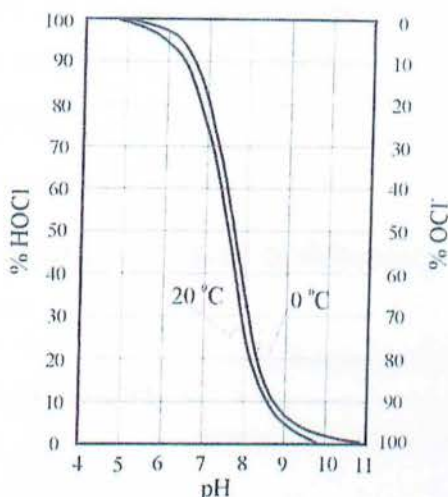
Σχήμα Δ.2: Διάγραμμα διαλυτότητας αερίου χλωρίου στο νερό (πίεση 101,3 kPa).

Σύμφωνα με την αντίδραση Δ.1 παράγεται το ισχυρό υδροχλωρικό οξύ και το ασθενές (μη πλήρως διασπώμενο) υποχλωριώδες οξύ. Οι προστιθέμενες όμως δόσεις χλωρίου σε συνήθη φυσικά νερά σπάνια είναι μεγαλύτερες από 5 έως 10 mg/L και η πτώση της αλκαλικότητας είναι σχετικά χαμηλή και το pH συνήθως δεν αλλάζει. Όμως όταν το νερό ανακυκλώνεται διαρκώς όπως π.χ. το νερό στις πισίνες ή το νερό ψύξης σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές τότε πρέπει να γίνεται και αντίστοιχη προσθήκη αλκαλικότητας (υπό μορφή π.χ. ανθρακικού νατρίου ή και καυστικού νατρίου) για να αποφεύγεται η σημαντική πτώση στην τιμή του pH.

Το υποχλωριώδες οξύ διασπάται σε υποχλωριώδες ιόν σύμφωνα με την αντίδραση Δ.2 και ο βαθμός διάσπασης είναι συνάρτηση του pH.



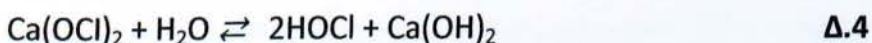
Όπως φαίνεται από το Σχήμα Δ.3 όταν η τιμή του pH είναι 7,2 και η θερμοκρασία 20 °C τότε το υποχλωριώδες οξύ είναι περίπου 70% και το υποχλωριώδες ιόν περίπου 30%. Όταν το pH είναι 9,0 και η θερμοκρασία 20 °C, το υποχλωριώδες οξύ είναι περίπου 5% και το υποχλωριώδες ιόν περίπου 95%.



Σχήμα Δ.3: Σχετική συγκέντρωση υποχλωριώδους οξέος και υποχλωριώδους ιόντος συναρτήσει του pH.

Υποχλωριώδη άλατα

Υπάρχουν δύο ακόμη χημικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προκύψει υποχλωριώδες οξύ μετά από προσθήκη τους στο νερό. Το ένα είναι το υποχλωριώδες νάτριο το οποίο διατίθεται υπό μορφή υδατικού διαλύματος και το άλλο είναι το υποχλωριώδες ασβέστιο το οποίο διατίθεται υπό μορφή κοκκώδους υλικού ή συμπιεσμένων ταμπλετών. Κατά την προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου στο νερό λαμβάνει χώρα η αντίδραση Δ.3 και κατά την προσθήκη υποχλωριώδους ασβεστίου λαμβάνει χώρα η αντίδραση Δ.4.



Σημειώνεται ότι τόσο η προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου όσο και υποχλωριώδους ασβεστίου έχει ως αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση της αλκαλικότητας αλλά για τις περιορισμένες ποσότητες που προστίθενται για χλωρίωση φυσικών νερών δεν παρατηρείται συνήθως αύξηση του pH. Όταν όμως η προσθήκη γίνεται σε νερό που ανακυκλώνεται διαρκώς όπως π.χ. το νερό στις πισίνες ή το νερό ψύξης σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές τότε πρέπει να γίνεται και αντίστοιχη προσθήκη οξέος για να αποφεύγεται η σημαντική άνοδος στην τιμή του pH.

Το υποχλωριώδες νάτριο διατίθεται υπό μορφή διαλύματος με εμπορικό τίτλο 10 έως 15%. Διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου με εμπορικό τίτλο πάνω από 15%

είναι ασταθή και εξασθενούν με την πάροδο του χρόνου. Ο εμπορικός τίτλος ενός διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου ορίζεται ως εξής:

$$\text{Εμπορικός τίτλος} = \frac{\text{g NaOCl}}{\text{L}} \cdot 10$$

Έτσι η % κατά βάρος περιεκτικότητα ενός διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου σε υποχλωριώδες νάτριο είναι:

$$\% \text{ κ.β. υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl)} = \frac{\text{Εμπορικός τίτλος (\%)}}{\text{πυκνότητα διαλύματος (g / mL)}}$$

Η σταθερότητα ενός διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

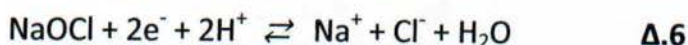
1. Η αρχική περιεκτικότητα του διαλύματος σε υποχλωριώδες νάτριο
2. Η θερμοκρασία του χώρου όπου αποθηκεύεται
3. Ο χρόνος αποθήκευσης
4. Οι ακαθαρσίες που περιέχει από τη διαδικασία παραγωγής του
5. Η έκθεση στο φως

Η μείωση της περιεκτικότητας σε διαθέσιμο χλώριο ενός διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου με την πάροδο του χρόνου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό των εφαρμοζόμενων δόσεων χλωρίωσης. Σημειώνεται ότι κάτω από συνήθεις συνθήκες ο χρόνος ημιζωής για ένα διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου εμπορικού τίτλου 18% είναι 60 d και ο χρόνος ημιζωής για ένα διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου εμπορικού τίτλου 3% είναι 1700 d. Διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου περιεκτικότητας περίπου 5% κυκλοφορούν στο εμπόριο σαν καθαριστικά και απολυμαντικά υγρά και είναι γνωστά ως χλωρίνες.

Η ισοδύναμη ποσότητα χλωρίου που αντιστοιχεί σε διαλύματα χλωρίου ή ενώσεων του χλωρίου αναφέρεται ως **διαθέσιμο χλώριο**. Η συγκέντρωση ενός υποχλωριώδους άλατος (ή άλλης ένωσης του χλωρίου) μπορεί να εκφρασθεί σε όρους διαθέσιμου χλωρίου μετά από προσδιορισμό του ηλεκτροχημικού ισοδύναμου ως προς το χλώριο. Για τον προσδιορισμό του ηλεκτροχημικού ισοδύναμου μιας ένωσης ως προς το χλώριο ακολουθείται το εξής σκεπτικό. Ένα μόριο μοριακού χλωρίου (Cl_2) προσλαμβάνει δύο ηλεκτρόνια για να αναχθεί προς χλωριόντα (Cl^-) σύμφωνα με την ηλεκτροχημική εξίσωση Δ.5.

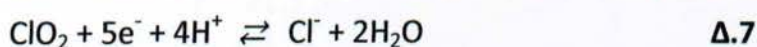


Η αντίστοιχη ηλεκτροχημική εξίσωση που οδηγεί στην αναγωγή του υποχλωριώδους νατρίου σε χλωριόντα είναι η Δ.6.



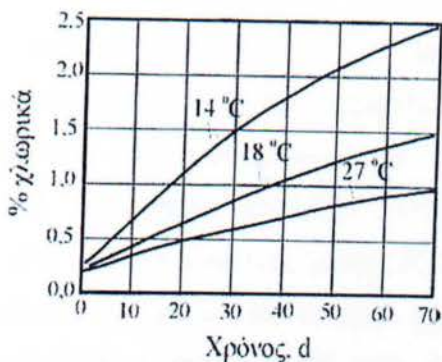
Σύγκριση των εξισώσεων Δ.5 και Δ.6 δείχνει ότι 1 mol NaOCl (ή 74,5 g NaOCl) προσλαμβάνει δύο ηλεκτρονιοϊσοδύναμα για να αναχθεί προς χλωριόντα όπως δύο ηλεκτρονιοϊσοδύναμα προσλαμβάνει και 1 mol Cl₂ (ή 71 g Cl₂) για να αναχθεί προς χλωριόντα. Έτσι σε 74,5g υποχλωριώδους νατρίου (καθαρότητας 100%) αντιστοιχούν 71 g διαθέσιμου χλωρίου ή η αντιστοιχία είναι 71/74,5=0,953 διαθέσιμου χλωρίου/g NaOCl.

Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζεται ότι το διαθέσιμο χλώριο που αντιστοιχεί σε 100% καθαρό υποχλωριώδες ασβέστιο είναι 0,992 g διαθέσιμου χλωρίου/g Ca(OCl)₂. Για την περίπτωση του διοξειδίου του χλωρίου θεωρούμε την ηλεκτροχημική εξίσωση Δ.7 και υπολογίζεται λόγος ίσος με 2,63 g διαθέσιμου χλωρίου/g ClO₂.

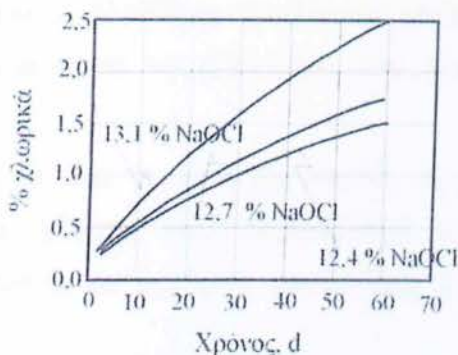


Τα διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου αναδίδουν αέριο χαρακτηριστικής οσμής το οποίο αρχικά θεωρείτο ότι είναι χλώριο αλλά σήμερα έχει πιστοποιηθεί ότι πρόκειται για μονοξείδιο του χλωρίου (ClO). Το αναδιδόμενο αέριο παρουσία υγρασίας είναι πολύ διαβρωτικό.

Μεγάλη σημασία για την επεξεργασία του νερού έχει η πρόσφατη αναγνώριση του γεγονότος ότι παρατηρείται σημαντική διάσπαση των υποχλωριωδών αλάτων προς χλωρικά και χλωριώδη. Η διάσπαση του υποχλωριώδους νατρίου προς χλωρικά και χλωριώδη αρχίζει από τη στιγμή που παράγεται και εξακολουθεί κατά το χρονικό διάστημα που διαρκεί η αποθήκευσή του και έτσι μαζί με το απολυμαντικό γίνεται προσθήκη στο νερό και συγκεντρώσεων χλωριωδών και χλωρικών ιόντων. Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι τα χλωριώδη και τα χλωρικά είναι δυνατόν να προκαλέσουν προβλήματα στην υγεία (αιμολυτική αναιμία). Αναμένονται στο μέλλον πιο αυστηρές προδιαγραφές όσον αφορά τη συγκέντρωση των χλωρικών στο πόσιμο νερό. Το ίδιο ακριβώς πρόβλημα (παρουσία χλωριωδών ή/και χλωρικών) απασχολεί και κατά τη χρησιμοποίηση διοξειδίου του χλωρίου για την απολύμανση του νερού. Ο σχηματισμός χλωρικών είναι εντονότερος όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση του διαλύματος του υποχλωριώδους άλατος και ακόμη αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα των Σχημάτων Δ.4 και Δ.5.

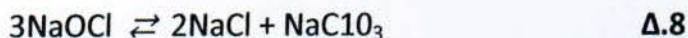


Σχήμα Δ.4: Επίδραση της θερμοκρασίας στο σχηματισμό χλωρικών (13,1% NaClO).



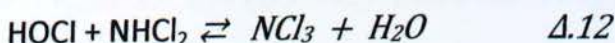
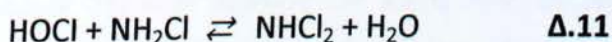
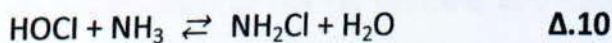
Σχήμα Δ.5: Επίδραση του χρόνου στο σχηματισμό χλωρικών.

Ο σχηματισμός χλωρικών σε διαλύματα υποχλωριώδους νατρίου μπορεί να αποδοθεί στις παρακάτω αντιδράσεις:



Σχηματισμός χλωραμινών από προσθήκη χλωρίου ή υποχλωριωδών αλάτων

Όταν υπάρχει αμμωνία στο νερό, τότε μετά από προσθήκη χλωρίου, λαμβάνουν χώρα οι παρακάτω αντιδράσεις:



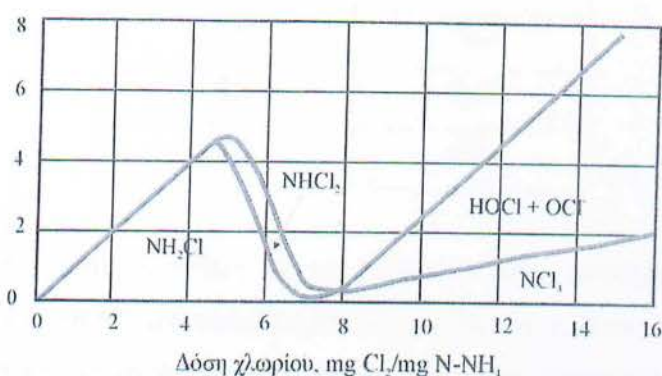
Τα προϊόντα των αντιδράσεων Δ.10, Δ.11 και Δ.12 είναι αντίστοιχα η μονοχλωραμίνη, η διχλωραμίνη και η τριχλωραμίνη. Και στις τρεις παραπάνω αντιδράσεις υποκατάστασης του υδρογόνου της αμμωνίας από χλώριο του υποχλωριώδους οξέος η οξειδωτική βαθμίδα του χλωρίου δε μεταβάλλεται (παραμένει ίση με +1) και έτσι οι ενώσεις μόνο, δι και τριχλωραμίνη περιέχουν χλώριο σε μορφή που μπορεί να δρα ως οξειδωτικό και ως απολυμαντικό. Όμως το χλώριο όταν είναι συνδεδεμένο στη μορφή των χλωραμινών δεν είναι τόσο διαθέσιμο για δράση όσο είναι στην περίπτωση του υποχλωριώδους οξέος και ονομάζεται **συνδεδεμένο χλώριο** (combined chlorine) ή **συνδεδεμένο διαθέσιμο χλώριο**. Το χλώριο που βρίσκεται στη μορφή του υποχλωριώδους οξέος και του υποχλωριώδους ιόντος είναι πιο εύκολα διαθέσιμο για οξείδωση ή απολύμανση και λέγεται **ελεύθερο χλώριο** ή **ελεύθερο διαθέσιμο χλώριο**. Το **ολικό χλώριο** ή το **ολικό διαθέσιμο χλώριο** είναι το άθροισμα του ελεύθερου χλωρίου και του συνδεδεμένου χλωρίου.

Το ελεύθερο χλώριο και η μονοχλωραμίνη συμμετέχουν πολύ λίγο σε προβλήματα οσμής και γεύσης που παρουσιάζει το χλωριωμένο νερό. Στον παρακάτω Πίνακα δίνονται οι αριθμοί κατώφλιού οσμής και γεύσης για τις χλωραμίνες.

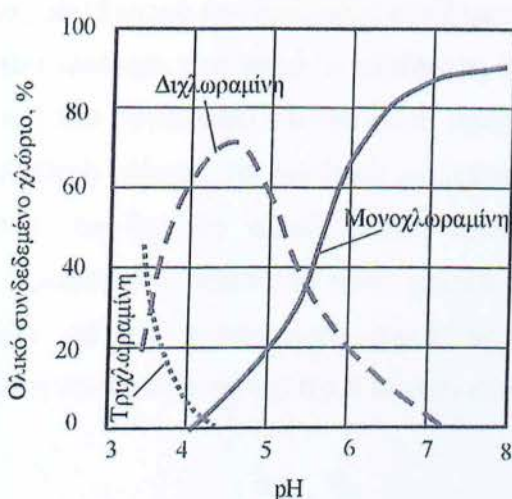
Ένωση	Κατώφλιο οσμής (mg/L)	Κατώφλιο γεύσης (mg/L)
Μονοχλωραμίνη	0,48	0,65
Διχλωραμίνη	0,13	0,15
Τριχλωραμίνη	0,02	0,02

Οι αντιδράσεις Δ.10, Δ.11 και Δ.12 είναι ανταγωνιστικές και τα σχετικά ποσοστά μόνο, δι και τριχλωραμίνης που προκύπτουν είναι συνάρτηση του pH, του λόγου Cl_2/N (τροφοδοτούμενο χλώριο/αμμωνιακό άζωτο), της θερμοκρασίας καθώς και του χρόνου επαφής. Στο Σχήμα φαίνεται ένα τυπικό διάγραμμα για την κατανομή των διαφόρων χλωραμινών συναρτήσεως του λόγου Cl_2/N και για περιοχή τιμών pH 6,5 έως 8,5. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα αυτό για τιμές λόγου Cl_2/N μικρότερες από 5/1 επικρατεί η μονοχλωραμίνη. Οι δόσεις χλωρίου που είναι απαραίτητες για το σχηματισμό διαφόρων τελικών προϊόντων κατά την αντίδραση χλωρίου με αμμωνία δίνονται στον Πίνακα Δ.4. Στο Σχήμα Δ.7 φαίνονται τα σχετικά ποσοστά των

διαφόρων χλωραμινών καθώς μεταβάλλεται η τιμή του pH. Όπως φαίνεται από το Σχήμα αυτό σε χαμηλές περιοχές pH επικρατεί η διχλωραμίνη. Ο ρυθμός παραγωγής μονοχλωραμίνης επηρεάζεται δραστικά από το pH όπως φαίνεται από τον Πίνακα Δ.5.



Σχήμα Δ.6: Κατανομή των διαφόρων χλωραμινών κατά την χλωρίωση νερού που περιέχει αμμωνία συναρτήσει της δόσης του χλωρίου.



Σχήμα Δ.7: Σχετικά ποσοστά χλωραμινών σε χλωριωμένο νερό που περιείχε αμμωνία συναρτήσει του pH στο οποίο γίνεται η χλωρίωση.

Πίνακας Δ.4: Απαιτούμενες δόσεις για αντιδράσεις χλωρίου με αμμωνία.

Προϊόν	Αντίδραση	mg Cl ₂ /mg NH ₃
Μονοχλωραμίνη	$\text{NH}_3 + 2\text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{NH}_2\text{Cl} + \text{HCl}$	4,2
Διχλωραμίνη	$\text{NH}_3 + 2\text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{NHCl}_2 + 2\text{HCl}$	8,4
Τριχλωραμίνη	$\text{NH}_3 + 3\text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{NCl}_3 + 3\text{HCl}$	12,5
Αζωτο	$2\text{NH}_3 + 3\text{Cl}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	6,3
; Νιτρικά	$\text{NH}_3 + 4\text{Cl}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NO}_3 + 4\text{Cl}^- + \text{H}^+ + 5\text{H}_2\text{O}$	16,7

Πίνακας Δ.5: Χρόνος για 99% μετατροπή τον χλωρίου σε μονοχλωραμίνη.

pH	Χρόνος, s
2	421
4	147
7	0,2
8,3	0,07
12	33,2

Στις τιμές pH που είναι συνήθεις για τα φυσικά νερά η αντίδραση σχηματισμού μονοχλωραμίνης εξελίσσεται με πολύ μεγάλους ρυθμούς ή είναι σχεδόν στιγμιαία. Έτσι επειδή η αντίδραση είναι πολύ γρήγορη θα πρέπει να διασφαλίζεται πάρα πολύ καλή αρχική ανάμιξη στο σημείο που γίνεται η τροφοδότηση του χλωρίου σε νερό που περιέχει την απαιτούμενη αμμωνία για δημιουργία συνδεδεμένου διαθέσιμου χλωρίου (υπό μορφή μονοχλωραμίνης).

Το χλώριο δρα ως οξειδωτικό και προκαλεί οξείδωση τόσο σε ανόργανο όσο και σε οργανικό υλικό που υπάρχει στο νερό. Η οξείδωση του ανόργανου υλικού είναι ταχεία ενώ η οξείδωση του οργανικού υλικού είναι βραδύτερη. Ο δισθενής σίδηρος οξειδώνεται προς τρισθενή σίδηρο, το δισθενές μαγγάνιο οξειδώνεται κυρίως προς τετρασθενές μαγγάνιο, τα θειώδη οξειδώνονται προς στοιχειακό θείο και σε μεγαλύτερες δόσεις προχωρεί η οξείδωση προς θειικά. Η αμμωνία όπως έχει ήδη αναφερθεί σχηματίζει αρχικά χλωραμίνες αλλά σε υψηλές δόσεις χλωρίου επιτυγχάνεται οξείδωση προς μοριακό άζωτο ή ακόμη και προς οξείδια του αζώτου.

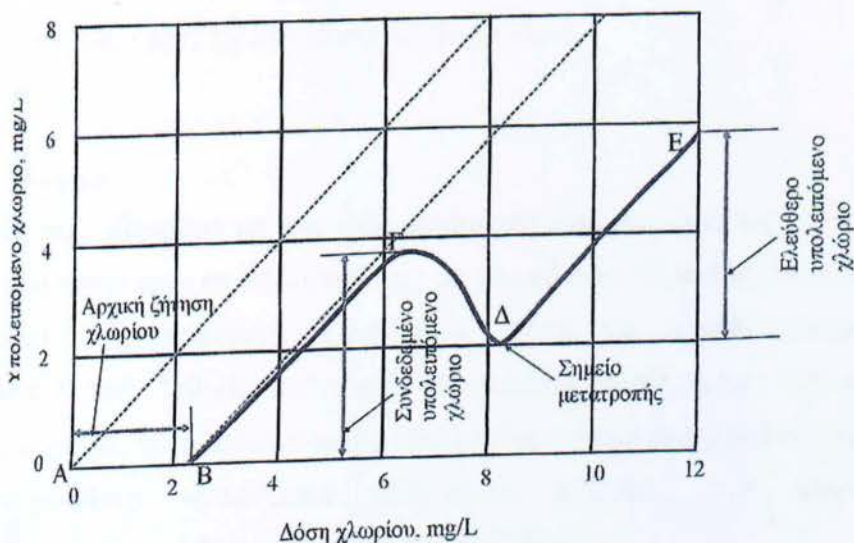
Χλωρίωση μετατροπής

Ένα φαινόμενο το οποίο λαμβάνει χώρα κατά την προσθήκη χλωρίου σε νερό που περιέχει αμμωνία αξίζει ιδιαίτερης προσοχής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται χλωρίωση μετατροπής (breakpoint chlorination). Όταν γίνεται προσθήκη χλωρίου στο νερό λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις με μια μεγάλη ποικιλία εύκολα οξειδούμενων συστατικών του νερού. Παρ' όλο που έχει προστεθεί κάποια αρχική ποσότητα χλωρίου στο νερό, προσδιορίζεται (με μετρήσεις) μηδενική συγκέντρωση χλωρίου μέχρις ότου να προστεθεί εκείνη η ποσότητα που αντιστοιχεί στην αρχική ζήτηση χλωρίου.

Οι αντιδράσεις μεταξύ χλωρίου και αμμωνίας οδηγούν σε μια σειρά από

διαφορετικά τελικά προϊόντα ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες (pH, σχετικές ποσότητες χλωρίου και αμμωνίας, θερμοκρασία κ.τ.λ.). Τα τελικά αυτά προϊόντα μπορεί να είναι χλωραμίνες (μόνο, διχλωραμίνη και τριχλωραμίνη), οξείδια του αζώτου, αέριο άζωτο και διάφορες άλλες αζωτούχες ενώσεις. Η συνεχιζόμενη προσθήκη χλωρίου σε νερό που περιέχει αμμωνία έχει ως αποτέλεσμα μετά από τον αρχικό σχηματισμό μονοχλωραμίνης την μετατροπή της στη συνέχεια σε διχλωραμίνη και σε τριχλωραμίνη. Παραπέρα προσθήκη χλωρίου οδηγεί σε οξειδωση του αζώτου της τριχλωραμίνης προς διάφορες αζωτούχες ενώσεις που δεν προσδιορίζονται μαζί με τις μονο, διχλωραμίνες και τριχλωραμίνες (ως συνδεδεμένο διαθέσιμο χλώριο) καθώς και σε αέριο άζωτο ή ακόμη και σε οξείδια του αζώτου.

Η καμπύλη της χλωρίωσης μετατροπής αντιστοιχεί στη γραφική παράσταση των δόσεων χλωρίου που προστίθενται σε ένα δείγμα νερού (άξονας των χ) ως προς το υπολειπόμενο χλώριο που μετρείται στο δείγμα (άξονας των γ). Μια τυπική καμπύλη χλωρίωσης μετατροπής φαίνεται στο Σχήμα Δ.8. Η αρχική ποσότητα χλωρίου (αρχική ζήτηση) που αντιστοιχεί στο μήκος του τμήματος AB (λίγο πιο πολύ από 2 mg/L) καταναλίσκεται από διάφορες αναγωγικές ουσίες καθώς και από ανόργανα συστατικά που εκδηλώνουν απαίτηση χλωρίου (όπως π.χ. Fe^{2+} , Mn^{2+} , κ.ά.).



Σχήμα Δ.8: Καμπύλη χλωρίωσης μετατροπής

Μετά από την ικανοποίηση της αρχικής ζήτησης και εφ' όσον υπάρχει αμμωνία στο νερό κάθε προστιθέμενη ποσότητα χλωρίου αντιδρά και σχηματίζονται χλωραμίνες και οι μετρούμενες συγκεντρώσεις υπολειπόμενου χλωρίου είναι σχεδόν ανάλογες των προστιθέμενων ποσοτήτων χλωρίου (Τμήμα ΒΓ).

Λίγο πριν από το σημείο Γ παύει η γραμμική αύξηση του υπολειπόμενου χλωρίου με την προστιθέμενη δόση και παρατηρείται μια αρχική κύρτωση της καμπύλης που συνεχίζεται με εκδήλωση ενός κατερχόμενου τμήματος μέχρι του σημείου Δ. Οι προστιθέμενες δόσεις χλωρίου που αντιστοιχούν στην περιοχή ΓΔ χρησιμοποιούνται για οξείδωση των χλωραμινών προς διάφορες αζωτούχες ενώσεις, μοριακό άζωτο και οξείδια του αζώτου και έτσι όχι μόνον δε μετρούνται ως υπολειπόμενο χλώριο αλλά καταναλίσκουν και ποσοστά του υπολειπόμενου χλωρίου που αντιστοιχεί στο σημείο Γ.

Στο σημείο Δ (σημείο μετατροπής) έχει ήδη ολοκληρωθεί η οξείδωση των χλωραμινών και κάθε ποσότητα χλωρίου που προστίθεται παραμένει στο νερό ως ελεύθερο χλώριο και μετριέται φυσικά ως υπολειπόμενο χλώριο. Έτσι από το σημείο Δ αρχίζει να ανέρχεται η καμπύλη χλωρίωσης κατά το ευθύγραμμο τμήμα ΔΕ.

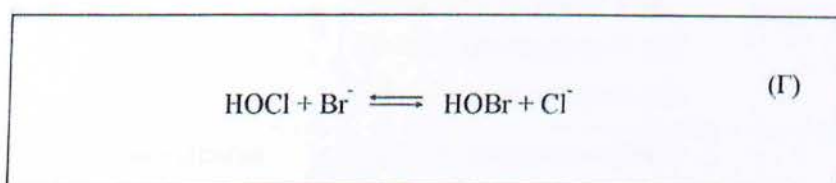
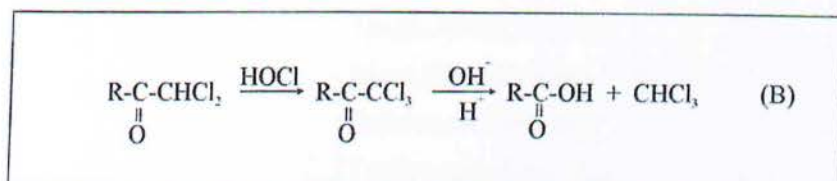
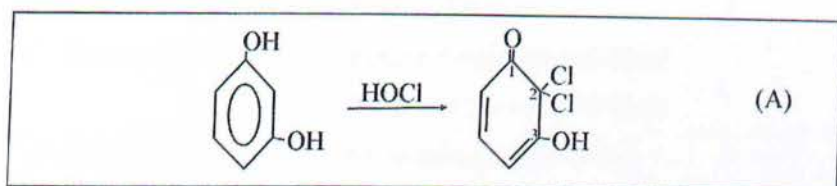
Εάν η αντίδραση μετατροπής ήταν προς τελικό προϊόν άζωτο (Πίνακας Δ.4) τότε στο σημείο μετατροπής η μοριακή αναλογία χλώριο/αμμωνία θα ήταν 1,5/1 και εάν τελικό προϊόν ήταν τα νιτρικά (Πίνακας Δ.4) τότε η μοριακή αναλογία χλώριο/αμμωνία θα ήταν 4/1. Στην πράξη έχουν παρατηρηθεί για το σημείο μετατροπής λόγοι μοριακής αναλογίας χλώριο/αμμωνία στην περιοχή 1,5/1 έως 4/1 με μια μέση τιμή του λόγου γύρω στην τιμή 2/1. Για μοριακή αναλογία 2/1 η αναλογία βαρών είναι $(2 \times 71) / 14 = 10 \text{ mg Cl}_2 / \text{mg NH}_3\text{-N}$.

Τριαλομεθάνια

Αντίδραση του χλωρίου με μερικές οργανικές ενώσεις έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ενώσεων που αναφέρονται με το γενικό όρο παραπροϊόντα χλωρίωσης. Τα πιο κοινά παραπροϊόντα χλωρίωσης είναι τα **τριαλογονομεθάνια** ή **τριαλομεθάνια (THM, Trihalomethanes)**. Οι ενώσεις αυτές έχουν ταξινομηθεί ως ύποπτα καρκινογόνα. Οι προδιαγραφές που ισχύουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση για τα ολικά τριαλομεθάνια αναφέρουν ενδεικτική ανώτατη τιμή συγκέντρωσης (παραμετρική τιμή) ίση με 100 μg/L (Οδηγία 98/83/ΕΚ).

Το τριχλωρομεθάνιο προκύπτει από αντίδραση υποχλωριώδους οξέος με διάφορες οργανικές ενώσεις που περιέχονται στο νερό όπως π.χ. με τα χουμικά οξέα που περιέχουν 1,3-διυδροξύ βενζολικούς δακτυλίους (αντίδραση Α, Σχήμα Δ.9). Το άτομο του άνθρακα που βρίσκεται στη θέση 2 χλωριώνεται και στη συνέχεια ακολουθεί διάσπαση όπως φαίνεται από τη σειρά αντιδράσεων Β (Σχήμα Δ.9). Σημειώνεται ότι από την αντίδραση υποχλωριώδους οξέος και βρωμιόντων μπορεί

να προκύψει υποβρωμιώδες οξύ (αντίδραση Γ, Σχήμα Δ.9) και στη συνέχεια να ακολουθήσει ο σχηματισμός τριβρωμομεθανίου κατ' αντιστοιχία προς το σχηματισμό τριχλωρομεθανίου.



Σχήμα Δ.9: Σχηματισμός ενώσεων τριαλογονομεθανικου τύπου.

Το πρόβλημα με τα τριαλομεθάνια έχει αρχίσει να απασχολεί κατά τα τελευταία χρόνια και σε αρκετές πόλεις έχουν εγκαταληφθεί τα συστήματα απολύμανσης με χλώριο και έχουν αντικατασταθεί από συστήματα απολύμανσης με όζον. Σημειώνεται ότι το όζον επιτυγχάνει την οξειδωση των οργανικών προδρόμων όσο και απολύμανση χωρίς να προκύπτουν επικίνδυνα παραπροϊόντα απολύμανσης.

Άλλα παραπροϊόντα απολύμανσης

Υπάρχουν όμως και άλλες ενώσεις (εκτός από τα τριαλομεθάνια) οι οποίες είναι παραπροϊόντα αντιδράσεων χλωρίου με οργανικό υλικό και θεωρούνται ύποπτα καρκινογόνα. Ο Πίνακας Δ.6 αναφέρεται σε διάφορες ενώσεις που είναι παραπροϊόντα απολύμανσης και θεωρούνται ως ύποπτα καρκινογόνα.

Πίνακας Δ.6: Ενώσεις που είναι παραπροϊόντα απολύμανσης και θεωρούνται ύποπτα καρκινογόνα.

Κατηγορία ενώσεων	Ενώσεις
Τριαλομεθάνια (Trihalomethanes)	Χλωροφόρμιο Βρωμοδιχλωρομεθάνιο Διβρωμοχλωρομεθάνιο
Αλοοξικά οξέα (Haloacetic acids)	Μονοχλωροοξικό οξύ Διχλωροοξικό οξύ Τριχλωροοξικό οξύ Μονοβρωμοοξικό οξύ Διβρωμοοξικό οξύ Τριβρωμοοξικό οξύ Βρωμοχλωροοξικό οξύ Βρωμοδιχλωροοξικό οξύ Διβρωμοχλωροοξικό οξύ
Αλοακετονιτρίλια (Haloacetonitriles)	Διχλωροακετονονιτρίλιο Τριχλωροακετονονιτρίλιο Βρωμοχλωροακετονονιτρίλιο Διβρωμοακετονονιτρίλιο
Κυανογονοαλογονίδια (Cyanogen halides)	
Αλοπικρίνες (Halopicrins)	
Αλοκετόνες (Haloketones)	

Οι αντιδράσεις του χλωρίου με οργανικές ενώσεις είναι συνήθως βραδείες και ο προσδιορισμός της **απαιτήσης χλωρίου** για οξείδωση οργανικού υλικού γίνεται με εργαστηριακές δοκιμές. Το χλώριο χρησιμοποιείτο παλαιότερα για έλεγχο προβλημάτων χρώματος, οσμών και γεύσης στο νερό. Σήμερα όμως που γνωρίζουμε ότι παράγονται τα ύποπτα παραπροϊόντα απολύμανσης αποφεύγεται η χρήση του χλωρίου για τους παραπάνω σκοπούς.

Γενικά σήμερα οι κατευθύνσεις στον καθαρισμό του νερού είναι η κατάλληλη επεξεργασία που να παρεμποδίζει το σχηματισμό παραπροϊόντων απολύμανσης (π.χ. με αφαίρεση των οργανικών προδρόμων) ή η εμπλοκή σταδίων επεξεργασίας που επιτυγχάνουν αφαίρεση των παραπροϊόντων απολύμανσης (π.χ. χρησιμοποίηση σταδίων με μεμβράνες ή με ενεργό άνθρακα).

Συστήματα χλωρίωσης με χλώριο

Ένα σύστημα χλωρίωσης θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες διαρροών αφού το χλώριο είναι επικίνδυνο για την υγεία των ανθρώπων και προκαλεί ακόμη και το θάνατο σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα. Οι επιπτώσεις του χλωρίου στον ανθρώπινο οργανισμό εξαρτώνται τόσο από το επίπεδο συγκέντρωσης του χλωρίου στον ατμοσφαιρικό αέρα όσο και από το χρόνο έκθεσης σ' αυτές τις συνθήκες. Οι επιπτώσεις του χλωρίου στους ανθρώπους παρουσιάζονται στον Πίνακα Δ.7.

Πίνακας Δ.7: Επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων από την έκθεση σε διάφορα επίπεδα συγκεντρώσεων χλωρίου στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Επίπεδο έκθεσης, ppm	Επιπτώσεις
0,2-0,3	Ανιχνεύσιμη οσμή από τους περισσότερους ανθρώπους
<0,5	Δεν είναι γνωστές οξείες ή χρόνιες επιπτώσεις
0,5	Ανώτατη επιτρεπόμενη στάθμη σε χώρους εργασίας
1,0	Ανώτατη επιτρεπόμενη τιμή για έκθεση μικρής διάρκειας (STEL, Short Term Exposure Level)
1-10	Ανιχνεύεται με την οσμή, προκαλεί ερεθισμό στα μάτια
10	Άμεσα επικίνδυνο για την υγεία και τη ζωή (EDLH, Immediately Dangerous to Life or health)
15	Άμεσος ερεθισμός της μύτης, του λαιμού και των ματιών που συνοδεύεται από βήχα
100	Θανατηφόρο επίπεδο συγκέντρωσης (εξαρτάται από τη διάρκεια της έκθεσης)
1000	Επικίνδυνο για την ζωή μόλις μετά από λίγες εισπνοές

Ένα σύστημα απολύμανσης με χλώριο περιλαμβάνει τις χαλύβδινες κυλινδρικές φιάλες ή δεξαμενές στις οποίες είναι αποθηκευμένο το [υγροποιημένο χλώριο, τις διατάξεις (σωληνώσεις, ρυθμιστές, μετρητές παροχής χλωρίου, αντλίες, εγχυτήρες, ειδικά εξαρτήματα, κ.λπ.) τροφοδότησης του χλωρίου, τις διατάξεις αρχικής ανάμιξης του χλωρίου στη θέση που τροφοδοτείται και τα συστήματα μετρήσεων

(παροχής νερού, οψέντρωσης υπολειπόμενου χλωρίου) και ελέγχου-ρύθμισης της διεργασίας της χλωρίωσης.

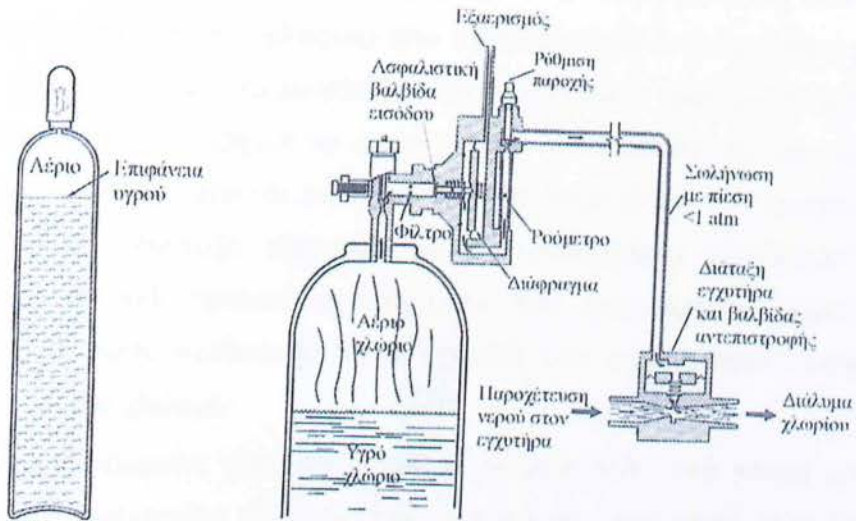
Η προμήθεια του χλωρίου γίνεται συνήθως σε χαλύβδινες κυλινδρικές φιάλες δύο διαφορετικών μεγεθών (Σχήμα Δ.10α) που περιέχουν 100 lb (45,4 kg) ή 150 lb (68 kg) υγροποιημένου χλωρίου. Επίσης όταν πρόκειται για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού είναι ενδεδειγμένη η προμήθεια χαλύβδινων δεξαμενών χωρητικότητας 907 kg χλωρίου (οι δεξαμενές αυτές ονομάζονται ενός τόνου, 1 short ton = 2000 lb = 907 kg, Σχήμα Δ.1 Ια). Η αποθήκευση και ο χειρισμός των χαλύβδινων φιαλών ή δεξαμενών χλωρίου θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τα μέτρα ασφαλείας τα οποία προδιαγράφονται για το υγροποιημένο και για το αέριο χλώριο.

Η έξοδος του χλωρίου από τις χαλύβδινες φιάλες ή δεξαμενές προς το σύστημα τροφοδότησης γίνεται με αέρια μορφή όταν πρόκειται για σχετικά μικρές παροχές χλωρίου (όταν ο ρυθμός τροφοδότησης χλωρίου είναι μικρότερος από το ρυθμό εξάτμισης του υγροποιημένου χλωρίου που υπαγορεύεται από το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας δια μέσου των τοιχωμάτων των χαλύβδινων φιαλών ή δεξαμενών) ή είναι δυνατόν να γίνεται αρχικά με υγρή μορφή όταν πρόκειται για μεγαλύτερες παροχές. Όταν η έξοδος γίνεται με υγρή μορφή παρεμβάλλεται αμέσως μετά το σημείο εξόδου μια διάταξη εξάτμισης που περιλαμβάνει κατάλληλο σύστημα θέρμανσης για αποτελεσματική αεριοποίηση του διερχόμενου υγροποιημένου χλωρίου. Έτσι σε κάθε περίπτωση στην κεφαλή του συστήματος τροφοδότησης παροχετεύεται αέριο χλώριο.

Οι γραμμές χλωρίωσης είναι δυνατόν να λειτουργούν υπό πίεση με ωθούσα δύναμη την πίεση του αερίου χλωρίου. Στην περίπτωση όμως αυτή είναι δυνατόν να προκύψουν σοβαρότατα προβλήματα από πιθανές διαρροές χλωρίου. Έτσι συνήθως οι γραμμές χλωρίωσης λειτουργούν με πίεση μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Αυτό γίνεται για λόγους ασφαλείας και η ωθούσα δύναμη στη μεταφορά του αερίου χλωρίου είναι το σχετικό κενό που δημιουργείται στη στένωση του εγχυτήρα όπου γίνεται η αναρρόφηση και η διαλυτοποίηση του χλωρίου σε ρεύμα νερού το οποίο διέρχεται με μεγάλη ταχύτητα δια μέσου της στένωσης (προκαλώντας έτσι την υποπίεση).

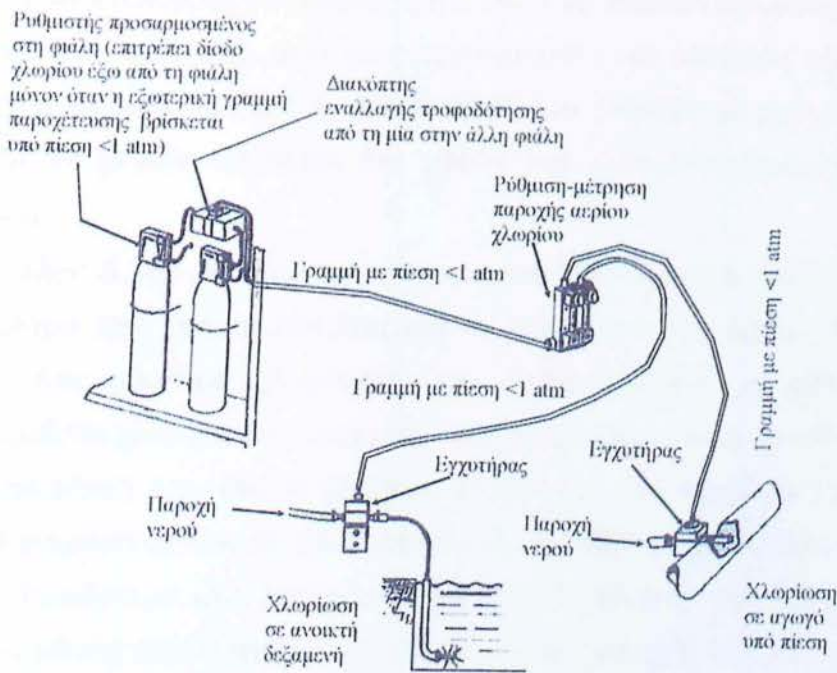
Στο Σχήμα Δ.10β φαίνεται η λειτουργία του εγχυτήρα και του ρυθμιστή κενού σε ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για τη χλωρίωση του νερού. Στο Σχήμα Δ.10γ φαίνεται ένα σύστημα χλωρίωσης που τροφοδοτείται με χαλύβδινες φιάλες υγροποιημένου χλωρίου και εφαρμόζει δόσεις χλωρίου τόσο σε κλειστούς αγωγούς

νερού υπό πίεση όσο και σε ανοικτές δεξαμενές. Στο Σχήμα Δ.11β φαίνεται ένα σύστημα χλωρίωσης που τροφοδοτείται από χαλύβδινες δεξαμενές υγροποιημένου χλωρίου. Το σύστημα χλωρίωσης του Σχήματος Δ.11β είναι εφοδιασμένο με μονάδα ελέγχου η οποία τροφοδοτείται με σήματα από μέτρηση της παροχής του νερού, από μετρήσεις του υπολειπόμενου χλωρίου και από τις ζυγαριές που μετρούν την



α. Φιάλη χλωρίου

β. Σύστημα χλωρίωσης με εγχυτήρα και ρυθμιστή χλωρίωσης προσαρμοσμένο απ' ευθείας στη φιάλη του χλωρίου



γ. Γενική διάταξη συστήματος χλωρίωσης

Σχήμα Δ.10: Χλωρίωση με χρησιμοποίηση χαλύβδινων φιαλών υγροποιημένου

κατανάλωση του χλωρίου. Η μονάδα ελέγχου επεξεργάζεται τα σήματα αυτά και ρυθμίζει τη διεργασία της χλωρίωσης στις επιθυμητές λειτουργικές συνθήκες.

Η έξοδος του χλωρίου από τις χαλύβδινες φιάλες ή δεξαμενές προς το σύστημα

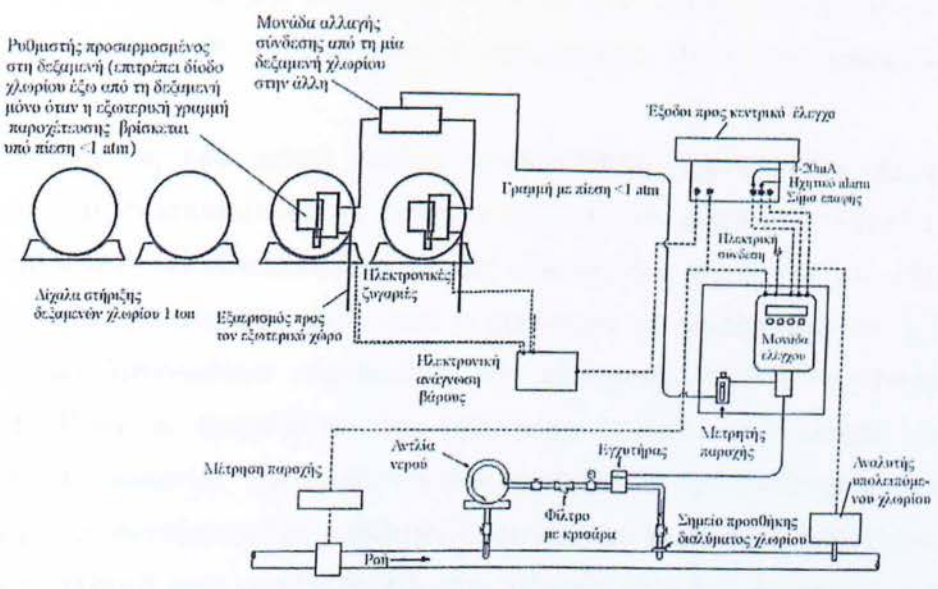
τροφοδότησης γίνεται με αέρια μορφή όταν πρόκειται για σχετικά μικρές παροχές χλωρίου (όταν ο ρυθμός τροφοδότησης χλωρίου είναι μικρότερος από το ρυθμό εξάτμισης του υγροποιημένου χλωρίου που υπαγορεύεται από το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας δια μέσου των τοιχωμάτων των χαλύβδινων φιαλών ή δεξαμενών) ή είναι δυνατόν να γίνεται αρχικά με υγρή μορφή όταν πρόκειται για μεγαλύτερες παροχές. Όταν η έξοδος γίνεται με υγρή μορφή παρεμβάλλεται αμέσως μετά το σημείο εξόδου μια διάταξη εξάτμισης που περιλαμβάνει κατάλληλο σύστημα θέρμανσης για αποτελεσματική αεριοποίηση του διερχόμενου υγροποιημένου χλωρίου. Έτσι σε κάθε περίπτωση στην κεφαλή του συστήματος τροφοδότησης παροχετεύεται αέριο χλώριο.

Οι γραμμές χλωρίωσης είναι δυνατόν να λειτουργούν υπό πίεση με ωθούσα δύναμη την πίεση του αερίου χλωρίου. Στην περίπτωση όμως αυτή είναι δυνατόν να προκύψουν σοβαρότατα προβλήματα από πιθανές διαρροές χλωρίου. Έτσι συνήθως οι γραμμές χλωρίωσης λειτουργούν με πίεση μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Αυτό γίνεται για λόγους ασφαλείας και η ωθούσα δύναμη στη μεταφορά του αερίου χλωρίου είναι το σχετικό κενό που δημιουργείται στη στένωση του εγχυτήρα όπου γίνεται η αναρρόφηση και η διαλυτοποίηση του χλωρίου σε ρεύμα νερού το οποίο διέρχεται με μεγάλη ταχύτητα δια μέσου της στένωσης (προκαλώντας έτσι την υποπίεση).

Στο Σχήμα Δ.10β φαίνεται η λειτουργία του εγχυτήρα και του ρυθμιστή κενού σε ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για τη χλωρίωση του νερού. Στο Σχήμα Δ.10γ φαίνεται ένα σύστημα χλωρίωσης που τροφοδοτείται με χαλύβδινες φιάλες υγροποιημένου χλωρίου και εφαρμόζει δόσεις χλωρίου τόσο σε κλειστούς αγωγούς νερού υπό πίεση όσο και σε ανοικτές δεξαμενές. Στο Σχήμα Δ.11β φαίνεται ένα σύστημα χλωρίωσης που τροφοδοτείται από χαλύβδινες δεξαμενές υγροποιημένου χλωρίου. Το σύστημα χλωρίωσης του Σχήματος Δ.11β είναι εφοδιασμένο με μονάδα ελέγχου η οποία τροφοδοτείται με σήματα από μέτρηση της παροχής του νερού, από μετρήσεις του υπολειπόμενου χλωρίου και από τις ζυγαριές που μετρούν την κατανάλωση του χλωρίου. Η μονάδα ελέγχου επεξεργάζεται τα σήματα αυτά και ρυθμίζει τη διεργασία της χλωρίωσης στις επιθυμητές λειτουργικές συνθήκες του χλωρίου. Η μονάδα ελέγχου επεξεργάζεται τα σήματα αυτά και ρυθμίζει τη διεργασία της χλωρίωσης στις επιθυμητές λειτουργικές συνθήκες.



α. Κυλινδρική χαλύβδινη δεξαμενή υγροποιημένου χλωρίου (χωρητικότητα 1short ton=907 kg)



β. Γενική διάταξη συστήματος χλωρίωσης

Σχήμα 4.11: Χλωρίωση με χλώριο από χαλύβδινες δεξαμενές.

Συστήματα χλωρίωσης με υποχλωριώδη άλατα

Ο δυνητικός κίνδυνος που υπάρχει κατά τη μεταφορά, αποθήκευση και χρησιμοποίηση υγροποιημένου χλωρίου έχει οδηγήσει σε αρκετές περιπτώσεις στην επιλογή υποχλωριωδών αλάτων παρόλο που το κόστος μιας τέτοιας επιλογής είναι μεγαλύτερο.

Η τροφοδότηση των δόσεων του χλωρίου γίνεται με κατάλληλη δοσομέτρηση διαλυμάτων υποχλωριωδών αλάτων. Στο σημείο όπου γίνεται η εφαρμογή του υποχλωριώδους άλατος θα πρέπει να επιτυγχάνεται ικανοποιητική ομοιογενοποίηση σε όλη τη μάζα του νερού όπου γίνεται η προσθήκη.

Δευτερεύουσα ή βοηθητική απολύμανση με χλωραμίνες

Η προσθήκη αμμωνίας σε πόσιμο νερό προκειμένου να σχηματισθεί συνδεδεμένο διαθέσιμο χλώριο που δρα ως ασθενές απολυμαντικό είναι μια πρακτική που εφαρμόζεται συχνά. Η μονοχλωραμίνη σχηματίζεται με αντίδραση χλωρίου και αμμωνίας στην περιοχή pH των φυσικών νερών (λόγος δόσης χλωρίου προς αμμωνία μικρότερος από 4/1) και παρουσιάζει τη σημαντική ικανότητα να διατηρεί την απολυμαντική δράση της για πολύ μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα απ' ό,τι το ελεύθερο χλώριο (υποχλωριώδες οξύ ή/και υποχλωριώδες ιόν). Κατά τα τελευταία χρόνια εκδηλώνεται σημαντικό ενδιαφέρον για τη δευτερογενή ή βοηθητική απολύμανση (για προστασία του δικτύου διανομής) με χλωραμίνωση κυρίως για το λόγο ότι αποφεύγεται ο σχηματισμός ενώσεων τριαλομεθανικού τύπου (THMs).

Η χλωραμίνωση του νερού γίνεται με προσθήκη χλωρίου και αμμωνίας. Η αμμωνία που χρησιμοποιείται είναι δυνατόν να είναι υπό μορφή: (1) υγροποιημένης άνυδρης αμμωνίας, (2) υδατικού διαλύματος υδροξειδίου του αμμωνίου, (3) θεικού αμμωνίου και (4) χλωριούχου αμμωνίου. Ο χειρισμός της υγροποιημένης αμμωνίας καθώς και των διαλυμάτων υδροξειδίου του αμμωνίου πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά. Όταν η προμήθεια της αμμωνίας γίνεται υπό μορφή άνυδρης υγροποιημένης αμμωνίας χρησιμοποιούνται συστήματα τροφοδότησης που είναι αντίστοιχα με τα συστήματα τροφοδότησης του αερίου χλωρίου. Όταν η προμήθεια της αμμωνίας γίνεται υπό μορφή διαλύματος υδροξειδίου του αμμωνίου ή αλάτων του αμμωνίου η δοσομέτρηση γίνεται με διατάξεις δοσομέτρησης διαλυμάτων.

Η συνήθης δόση μονοχλωραμίνης για την προστασία του συστήματος διανομής είναι στην περιοχή 1-4 mg/L. Η μονοχλωραμίνη είναι ασθενές απολυμαντικό μέσο. Η μικροβιοκτόνος αποτελεσματικότητά της είναι περίπου 200 φορές μικρότερη από τη μικροβιοκτόνο αποτελεσματικότητα του υποχλωριώδους οξέος και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται σε μερικές περιπτώσεις σχετικά υψηλές δόσεις μονοχλωραμίνης για προστασία του δικτύου διανομής.

Η μονοχλωραμίνη είναι τοξική στα ψάρια και το νερό που χρησιμοποιείται στα ενυδρεία δεν πρέπει να περιέχει μονοχλωραμίνη.

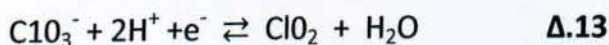
Απολύμανση με διοξείδιο του χλωρίου

Το διοξείδιο του χλωρίου είναι ένα από τα οξείδια που μπορεί να σχηματίζει το

χλώριο με το οξυγόνο. Στην περίπτωση του διοξειδίου του χλωρίου το χλώριο εμφανίζει οξειδωτική βαθμίδα +IV και καθώς ο αριθμός των ηλεκτρονίων της εξώτατης στοιβάδας είναι επτά εμφανίζεται ένα ασύζευκτο ηλεκτρόνιο και έτσι πρόκειται ουσιαστικά για μοριακή ελεύθερη ρίζα. Το διοξείδιο του χλωρίου είναι μια σχετικά ασταθής χημική ένωση η οποία όμως εμφανίζει μεγάλη δραστικότητα.

Το διοξείδιο του χλωρίου κάτω από συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης είναι υγρό για θερμοκρασίες μικρότερες από 11 °C και αέριο σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Το αέριο διοξείδιο του χλωρίου έχει λαμπερό πορτοκαλί χρώμα και είναι πολύ δραστικό και ασταθές ιδιαίτερα σε μεγάλες σχετικές συγκεντρώσεις στην αέρια φάση. Μίγματα διοξειδίου του χλωρίου με αέρα είναι εκρηκτικά όταν περιέχουν διοξείδιο του χλωρίου στην περιοχή 10 έως 39%. Το διοξείδιο του χλωρίου παρουσιάζει σχετικά καλή διαλυτότητα στο νερό και σε διαλύματα με χαμηλές συγκεντρώσεις εμφανίζεται σχετικά σταθερό. Η σταθερότητα των διαλυμάτων του διοξειδίου του χλωρίου εξαρτάται σημαντικά από το pH και εμφανίζεται αρκετά χαμηλή για τιμές pH μεγαλύτερες από 9. Σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές διοξειδίου του χλωρίου γίνεται επί τόπου σύνθεση της ένωσης σε ένα αραιό ρεύμα (είτε αέριο είτε υγρό).

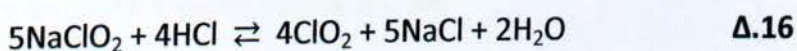
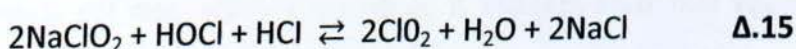
Η παραγωγή διοξειδίου του χλωρίου γίνεται με αναγωγή χλωρικού νατρίου σε όξινο περιβάλλον (αντίδραση Δ.13) ή με οξείδωση χλωριώδους νατρίου (αντίδραση Δ.14).



Η επί τόπου παραγωγή του διοξειδίου του χλωρίου για χρησιμοποίησή του για απολύμανση νερού γίνεται συνήθως με βάση το χλωριώδες νάτριο και αντίδρασή του με χλώριο (Αντίδραση Δ.15) ή με ενεργοποίησή του με υδροχλωρικό οξύ (Αντίδραση Δ.16).

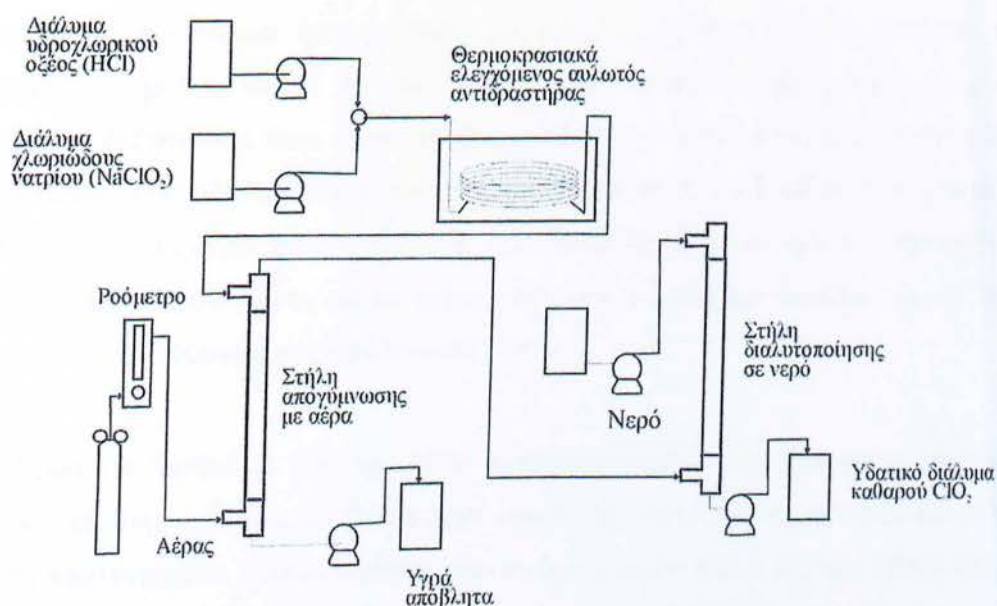


ή



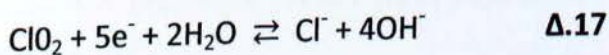
Η αντίδραση χλωριώδους νατρίου με υδροχλωρικό οξύ είναι λιγότερο ελκυστική αφού επιτυγχάνει μόνο μέχρι 80% απόδοση μετατροπής του χλωρίου των χλωριωδών σε χλώριο διοξειδίου του χλωρίου.

Το σημαντικό μειονέκτημα που παρουσιάζει η παραγωγή του διοξειδίου του χλωρίου με τον τρόπο που αντιστοιχεί στις σχέσεις Δ.15 είναι ότι το προϊόν περιέχει ακαθαρσίες χλωρίου αφού συνήθως χρησιμοποιείται περίσσεια χλωρίου για να ωθηθεί η αντίδραση προς τα δεξιά. Αντίθετα όταν η παραγωγή του διοξειδίου του χλωρίου γίνεται σύμφωνα με την αντίδραση Δ.16 δεν υπάρχουν τα προβλήματα παρουσίας χλωρίου. Στο Σχήμα Δ.12 φαίνεται το διάγραμμα ροής μιας παραγωγικής διαδικασίας που μπορεί να εξασφαλίσει καθαρό διοξείδιο του χλωρίου χρησιμοποιώντας ως πρώτες ύλες υποχλωριώδες νάτριο και υδροχλωρικό οξύ.



Σχήμα Δ.12: Σχηματικό διάγραμμα παραγωγής καθαρού διοξειδίου του χλωρίου.

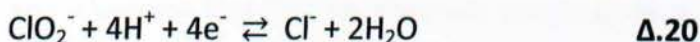
Τα υδατικά διαλύματα διοξειδίου του χλωρίου διασπώνται φωτοχημικά (παρουσία φωτός). Το διοξείδιο του χλωρίου είναι ισχυρό οξειδωτικό μέσο αλλά η οξειδωτική του ισχύς εξαρτάται σημαντικά από την περιοχή του pH. Η αναγωγή του διοξειδίου του χλωρίου σε υδατικό περιβάλλον αντιστοιχεί στις εξισώσεις Δ.17 και Δ.18. Στην περιοχή pH που γίνεται συνήθως η επεξεργασία του νερού λαμβάνει χώρα η λιγότερο αποτελεσματική εξίσωση Δ.18.



Σε υψηλές τιμές pH ή και σε υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του χλωρίου παρατηρείται σημαντική διάσπαση διοξειδίου του χλωρίου προς χλωριώδη όπως φαίνεται από τη Εξίσωση Δ.19.



Τα χλωριώδη που προκύπτουν από την αντίδραση Δ.19 είναι και αυτά οξειδωτικά και καταναλώνονται μερικά σύμφωνα με την αντίδραση Δ.20.



Το κυριότερο πρόβλημα όσον αφορά τη χρησιμοποίηση του διοξειδίου του χλωρίου για απολύμανση νερού που προορίζεται για πόσιμο είναι η παρουσία των παραπροϊόντων διάσπασης που είναι τα χλωριώδη και τα χλωρικά (Εξίσωση Δ.19). Επίσης το μεγαλύτερο πλεονέκτημα από τη χρησιμοποίηση διοξειδίου του χλωρίου (που είναι όμως ελεύθερο από χλώριο ή υποχλωριώδη) είναι ότι δε σχηματίζει ενώσεις τριαλομεθανικού τύπου με τις μικρές συγκεντρώσεις οργανικού υλικού που απαντιόνται στο νερό (οργανικές πρόδρομες ουσίες).

Παλαιότερα το διοξείδιο του χλωρίου χρησιμοποιείτο για την αντιμετώπιση προβλημάτων γεύσης και οσμής. Τελευταία όμως έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως στην επεξεργασία επιφανειακών νερών διότι είναι πολύ ισχυρό οξειδωτικό και απολυμαντικό και παράλληλα θεωρείται ότι δε συμβάλλει στη δημιουργία ενώσεων τριαλομεθανικού τύπου. Επίσης το διοξείδιο του χλωρίου δεν αντιδρά με την αμμωνία όπως συμβαίνει στην περίπτωση του χλωρίου.

Το διοξείδιο του χλωρίου θεωρείται εξίσου καλό (ή και καλλίτερο) απολυμαντικό με το χλώριο και εμφανίζει πλεονέκτημα έναντι του χλωρίου αφού δε μειώνεται η απολυμαντική του ισχύς καθώς αυξάνεται το pH. Επίσης με το διοξείδιο του χλωρίου επιτυγχάνονται πολύ καλά αποτελέσματα όσον αφορά την αφαίρεση σιδήρου και μαγγανίου.

Χρησιμοποίηση διοξειδίου του χλωρίου για την απολύμανση του νερού έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή στο νερό συγκεντρώσεων διοξειδίου του χλωρίου (ClO_2), χλωριωδών ιόντων (ClO_2^-) και χλωρικών ιόντων (ClO_3^-). Σημειώνεται σχετικά με τα χλωριώδη και χλωρικά ιόντα ότι:

1. Δεν υπάρχει μέχρι σήμερα γνωστή μέθοδος για την αφαίρεση των χλωρικών ιόντων

2. Τα χλωριώδη είναι δυνατόν να αφαιρεθούν με χρησιμοποίηση κονιοποιημένου ενεργού άνθρακα ή σε στήλες με κοκκώδη ενεργό άνθρακα.

Όταν πρωτοχρησιμοποιήθηκε το διοξείδιο του χλωρίου για την απολύμανση του νερού (ως εναλλακτική λύση αφού δεν παρατηρείται παραγωγή ενώσεων τριαλομεθανικού τύπου) δεν ήταν γνωστές οι επιπτώσεις στην υγεία από τη ύπαρξη στο πόσιμο νερό συγκεντρώσεων τόσο διοξειδίου του χλωρίου όσο και χλωριωδών και χλωρικών ιόντων. Η τοξικότητα των διαφόρων ενώσεων που προκύπτουν από την απολύμανση με διοξείδιο του χλωρίου ανάγεται σε τοξικότητα χλωριωδών αφού τόσο το διοξείδιο του χλωρίου όσο και τα χλωρικά μετατρέπονται γρήγορα στον ανθρώπινο οργανισμό σε χλωριώδη. Η τοξικότητα των χλωριωδών εκδηλώνεται με διαταραχές στο θυρεοειδή αδένα, στο συκώτι και στο αίμα. Έτσι λοιπόν θα πρέπει η συνολική συγκέντρωση $[ClO_2 + ClO_2^- + ClO_3^-]$ στο πόσιμο νερό να διατηρείται κάτω από μια τιμή (π.χ. μικρότερη από 1mg/L).

Στον Πίνακα Δ.8 δίνονται τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζει η χρησιμοποίηση του διοξειδίου του χλωρίου ως απολυμαντικού. Το διοξείδιο του χλωρίου θεωρείται ως ένα ισχυρό πρωτεύον απολυμαντικό. Το διοξείδιο του χλωρίου διατηρεί ακόμη μια υπολειπόμενη στάθμη σε νερά που παρουσιάζουν χαμηλή απαίτηση οξειδωτικών παραγόντων και έτσι μπορεί να θεωρηθεί σε μερικές περιπτώσεις και ως δευτερεύον απολυμαντικό (απολυμαντικό που χρησιμοποιείται για την προστασία του δικτύου διανομής).

Πίνακας Δ.8: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση των διοξειδίου του χλωρίου ως απολυμαντικού.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ισχυρό βακτηριοκτόνο και ιοκτόνο	Υψηλό κόστος (περίπου 5 φορές πάνω από το χλώριο)
Δεν αντιδρά με την αμμωνία	Πρέπει να παράγεται επί τόπου
Δεν σχηματίζει ενώσεις τριαλομεθανικού τύπου	Πιθανά προβλήματα υγείας από παραπροϊόντα κατά την παραγωγή του
Οξειδώνει ένα σημαντικό ποσοστό οργανικών προδρόμων ουσιών	Έντονη μεταλλική γεύση στο επεξεργασμένο νερό εάν χρησιμοποιηθεί σε υψηλές δόσεις
Η αποτελεσματικότητα απολύμανσης δεν επηρεάζεται σημαντικά από το pH για περιοχή τιμών 6 έως 10	Μη ύπαρξη αξιόπιστων τεχνικών για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του

Απολύμανση με όζον

Το όζον χρησιμοποιείται, τόσο για τον έλεγχο της οσμής και της γεύσης όσο και για την απολύμανση του νερού. Ιδιαίτερα κατά τα τελευταία χρόνια που αναγνωρίστηκαν τα προβλήματα με τις ενώσεις τριαλομεθανικού τύπου εμφανίζεται εντονότερο ενδιαφέρον για τη χρησιμοποίηση συστημάτων που περιέχουν και ένα στάδιο απολύμανσης με όζον. Η απολύμανση με όζον είναι η πρωτεύουσα απολύμανση και απαιτείται στη συνέχεια ένα στάδιο δευτερεύουσας απολύμανσης για την προστασία του δικτύου διανομής.

Το όζον χρησιμοποιείται τόσο για την απολύμανση του πόσιμου νερού όσο και για την προοξείδωση των οργανικών προδρόμων ουσιών που βρίσκονται στο νερό με στόχο τον περιορισμό του σχηματισμού ενώσεων τριαλομεθανικού τύπου (THMs) και αλοοξικών οξέων (HAA).

Η οζόνωση του νερού επιτυγχάνει εκτός από την απολύμανση και τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Οξείδωση οργανικού υλικού
- Έλεγχο των φυκών και άλλων παραγόντων που προκαλούν προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό
- Αποσταθεροποίηση μερικών τύπων κολλοειδούς υλικού
- Αφαίρεση χρώματος με οξείδωση ενώσεων που παρουσιάζουν χρώμα
- Οξείδωση σιδήρου και μαγγανίου
- Ταχύτατη αδρανοποίηση όλων των παθογόνων μικροοργανισμών συμπεριλαμβανομένου και του *Cryptosporidium*
- Οξείδωση του τεταρτοταγούς μέθυλο βουτυλ αιθέρα (methyl tertiary butyl ether, MTBE). Ο MTBE είναι αντικροτικό πρόσθετο της βενζίνης που ελέγχεται για ρύπανση των φυσικών υδατικών αποθεμάτων πόσιμου νερού.

Το όζον είναι μια τριατομική αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου, είναι πανταχού παρόν στην ατμόσφαιρα αλλά απαντάται πάντοτε σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Έχει χαρακτηριστική οσμή (σχετικά πρόσφατα θερισμένου σανού) και γίνεται αντιληπτό από την ανθρώπινη όσφρηση ακόμη και σε συγκεντρώσεις 0.01 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο μέρη με βάση τον όγκο). Το όζον έχει σημείο υγροποίησης -111,9°C και το υγροποιημένο αέριο δεν είναι δυνατόν να αποθηκευθεί αφού εκρήγνυται. Επίσης και συμπιεσμένα αέρια μίγματα όζοντος και οξυγόνου εκρήγνυνται όταν η αναλογία όζοντος φτάνει 30% (κατά βάρος). Το όζον λοιπόν δεν

είναι δυνατόν να προμηθεύεται από κάποια εξωτερική πηγή αλλά θα πρέπει να παράγεται επί τόπου προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την απολύμανση σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας νερού.

Όταν προστίθεται όζον στο νερό αρχικά γίνεται μεταφορά του στην υγρή φάση υπό μορφή διαλυμένου όζοντος και στη συνέχεια το διαλυμένο όζον επιδρά και οξειδώνει μερικά συστατικά του νερού. Επίσης ένα μέρος από το διαλυμένο όζον μετατρέπεται σε ελεύθερες ρίζες υδροξυλίου (OH^*) μετά από αντίδραση με υδροξυλιόντα (OH^-) ή άλλες ελεύθερες ρίζες (R^*).

Το διαλυμένο όζον και οι ελεύθερες ρίζες υδροξυλίου δρουν ανταγωνιστικά για την οξείδωση διαφόρων ενώσεων που βρίσκονται στο νερό. Η απ' ευθείας οξείδωση με διαλυμένο όζον είναι μια διεργασία βραδύτερη σε σύγκριση με την οξείδωση μέσω ελευθέρων ριζών υδροξυλίου. Η συγκέντρωση όμως ελευθέρων ριζών υδροξυλίου είναι σχετικά χαμηλή κάτω από τις συνθήκες που γίνεται η οζόνωση του νερού. Η συγκέντρωση των ελευθέρων ριζών υδροξυλίου μπορεί να αυξηθεί με διάφορους τρόπους όπως συμβαίνει με τις διεργασίες έντονης οξείδωσης. Η αύξηση των ελευθέρων ριζών υδροξυλίου στις διεργασίες έντονης οξείδωσης μπορεί να επιτευχθεί με του εξής τρόπους:

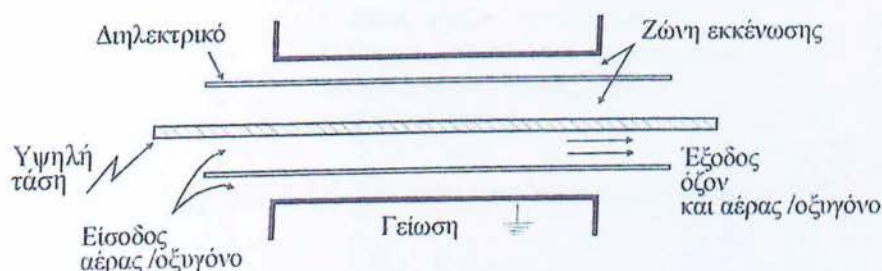
- Οζόνωση σε υψηλές τιμές pH
- Οζόνωση με παράλληλη προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2)
- Οζόνωση και παράλληλη εφαρμογή υπεριώδους ακτινοβολίας
- Χρήση υπεροξειδίου του υδρογόνου και παράλληλη εφαρμογή υπεριώδους ακτινοβολίας
- Οζόνωση παρουσία στερεού καταλύτη όπως το διοξείδιο του τιτανίου.

Τόσο το διαλυμένο όζον όσο και οι ελεύθερες ρίζες υδροξυλίου διασπώνται και η απαίτηση όζοντος από το νερό εξαρτάται από: (1) αντιδράσεις με φυσικό οργανικό υλικό που οδηγούν σε σχηματισμό αλδεϋδών, οργανικών οξέων και αλδο- και κέτο-οξέων, (2) αντιδράσεις με συνθετικά οργανικά υλικά, (3) αντιδράσεις με βρωμιόντα που οδηγούν στο σχηματισμό υποβρωμιώδους οξέος, βρωμικών ιόντων, βρωμιωμένων οργανικών ενώσεων και βρωμαμινών και (4) αντιδράσεις με ανθρακικά και όξινα ανθρακικά ιόντα (αλκαλικότητα του νερού).

Η παραγωγή του όζοντος γίνεται μετά από ηλεκτρική διέγερση ενός ρεύματος οξυγόνου καθώς αυτό διέρχεται δια μέσου ενός ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου. Το ηλεκτρικό πεδίο αυξάνει την ταχύτητα των ελευθέρων καθώς και των εκφευγόντων από τα τροχιακά τους ηλεκτρονίων και οδηγεί σε μια σειρά διαδοχικών

συγκρούσεων που έχουν ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση ατόμων οξυγόνου από τη μοριακή δομή στη δομή ελευθέρων ριζών ή ατομικού οξυγόνου. Από τις συγκρούσεις ατομικού οξυγόνου και μορίων οξυγόνου επιτυγχάνεται ένα ποσοστό τελικών δεσμών που αντιστοιχούν στην τριατομική αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου η οποία ονομάζεται όζον.

Στο Σχήμα Δ.13 δίνεται ένα σχηματικό διάγραμμα για την παραγωγή όζοντος με τροφοδότηση οξυγόνου δια μέσου μιας περιοχής όπου λαμβάνει χώρα ήπια ηλεκτρική εκκένωση τύπου κορώνας. Χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής τάση ε (6 έως 22 kV). Διηλεκτρικά υλικά με μεγάλη διηλεκτρική σταθερά και μικρό πάχος δίνουν τα καλλίτερα αποτελέσματα. Το πάχος του διακένου στο οποίο λαμβάνει χώρα η εκκένωση καθορίζει και την τιμή της εφαρμοζόμενης διαφοράς δυναμικού. Χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικοί τύπου διατάξεων παραγωγής όζοντος: (1) διατάξεις χαμηλής συχνότητας (50-60 Hz), (2) διατάξεις μέσης συχνότητας (μέχρι 1000 Hz) και (3) διατάξεις υψηλής συχνότητας (> 1000Hz). Στο Σχήμα Δ.14 φαίνεται μια διάταξη παραγωγής όζοντος που περιλαμβάνει διηλεκτρικό μέσο σε μορφή οριζόντιων σωλήνων, λειτουργεί με ελεγχόμενη διαφορά δυναμικού και ψύχεται με νερό.

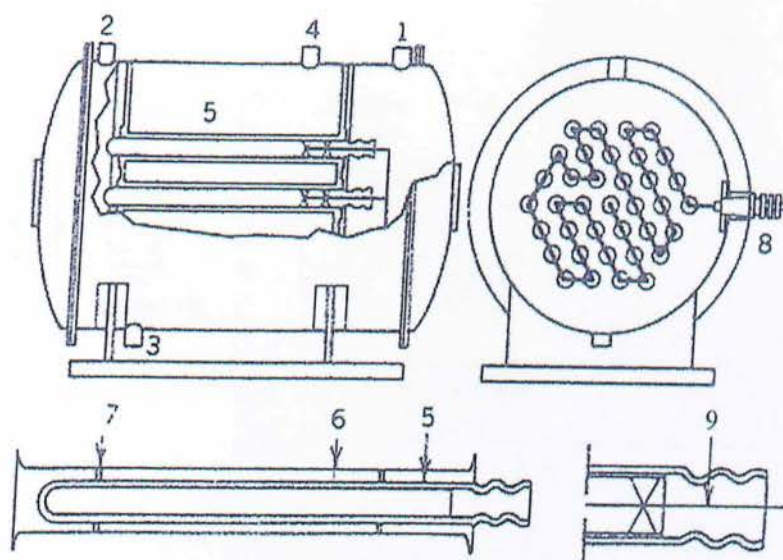


Σχήμα Δ.13: Σχηματικό διάγραμμα διάταξης παραγωγής όζοντος.

Όπως φαίνεται από το Σχήμα Δ.15, τα συστήματα απολύμανσης με όζον αποτελούνται από τέσσερα μέρη που είναι: (1) οι διατάξεις προετοιμασίας και τροφοδότησης με αέριο, (2) ο αντιδραστήρας παραγωγής όζοντος, (3) οι διατάξεις επαφής του όζοντος με το προς απολύμανση νερό και (4) οι διατάξεις καταστροφής όζοντος.

Η τροφοδότηση του αντιδραστήρα παραγωγής όζοντος γίνεται είτε με οξυγόνο ατμοσφαιρικού αέρα είτε με ρεύμα εμπλουτισμένο σε οξυγόνο είτε με καθαρό οξυγόνο. Όταν πρόκειται για οξυγόνο ατμοσφαιρικού αέρα χρησιμοποιούνται

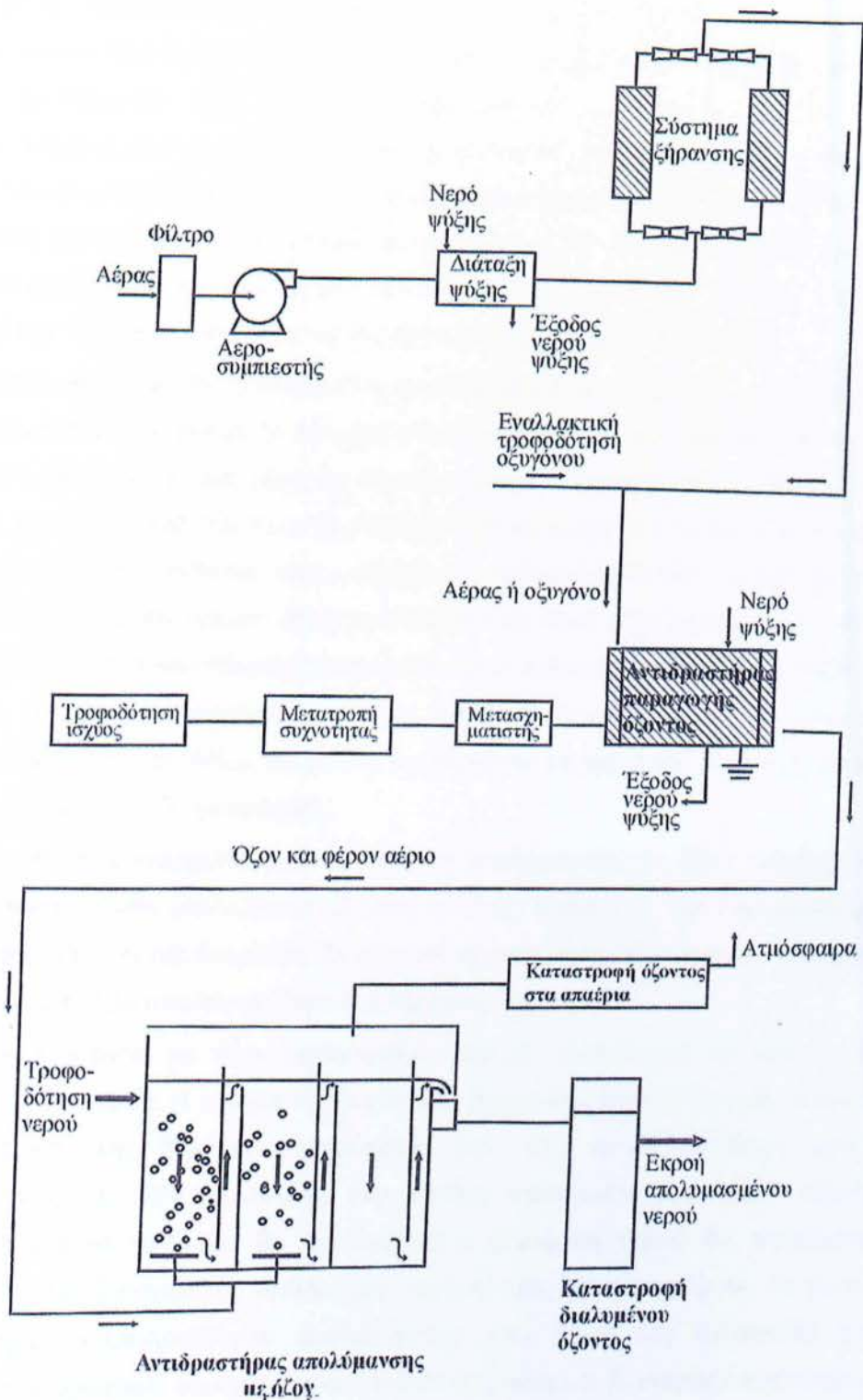
στάδια καθαρισμού του αέρα από αιωρούμενο υλικό και από υδρατμούς. Τα στάδια αυτά αντιστοιχούν σε διεργασίες φίλτρανσης, συμπίεσης, ψύξης και ξήρανσης.



1. Τροφοδότηση Αέρα
2. Εκροή όζοντος και αέρα
3. Είσοδος νερού ψύξης
4. Έξοδος νερού ψύξης
5. Σωλήνας από διηλεκτρικό υλικό
6. Ζώνη εκκένωσης κορώνας
7. Στηρίγματα σωλήνα διηλεκτρικού
8. Ακροδέκτης υψηλής τάσης
9. Ψήκτρα επαφής

Σχήμα Δ.14: Διάταξη παραγωγής όζοντος.

Η διαλυτότητα του όζοντος στο νερό είναι περιορισμένη. Σε ατμόσφαιρα καθαρού όζοντος και θερμοκρασία 20 °C η συγκέντρωση κορεσμού του διαλυμένου όζοντος στο νερό είναι 570 mg/L. Το αέριο όμως ρεύμα που εξέρχεται από τους αντιδραστήρες παραγωγής όζοντος περιέχει μόνο 0,5 έως 6% κατ' όγκον όζον και έτσι η συγκέντρωση κορεσμού σε όζον από τη διαλυτοποίηση ενός τέτοιου αερίου ρεύματος σε νερό είναι σημαντικά μικρότερη (στην περιοχή των 5 έως 40 mg/L). Η διαλυτοποίηση του όζοντος στο νερό γίνεται είτε με εμφύσηση ρεύματος αερίου που περιέχει όζον υπό μορφή φυσαλίδων, είτε με χρησιμοποίηση εγχυτήρα εφαρμογής όζοντος είτε τέλος με εμφύσηση ρεύματος αερίου που περιέχει όζον και παράλληλη εφαρμογή μηχανικής ανάδευσης.



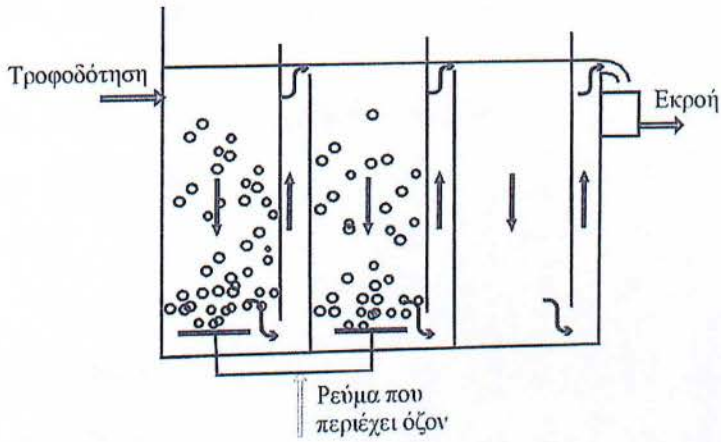
Σχήμα Δ.15: Σχηματικό διάγραμμα μιας ολοκληρωμένης διάταξης παραγωγής όζοντος και απολύμανσης με όζον.

Στις δεξαμενές απολύμανσης με όζον, όπου το αέριο ρεύμα τροφοδοτείται υπό μορφή φυσαλίδων, διακρίνουμε διάφορους εναλλακτικούς τρόπους σχεδιασμού και λειτουργίας. Στο Σχήμα Δ.16 φαίνεται μια τυπική δεξαμενή απολύμανσης με όζον που αποτελείται από τρία διαμερίσματα στη σειρά. Σημειώνεται ότι τα διαμερίσματα που χρησιμοποιούνται κυμαίνονται για τους διάφορους σχεδιασμούς από δύο έως έξι. Στα πρώτα (ένα έως δύο διαμερίσματα) γίνεται διαλυτοποίηση του όζοντος και στα επόμενα εκδηλώνεται η δράση του (κυρίως απολυμαντική). Στο Σχήμα Δ.16α η επαφή του νερού και του όζοντος γίνεται κατ' αντιρροή, στο Σχήμα Δ.16β κατ' αντιρροή και ομορροή και στο Σχήμα Δ.16γ καθ' ομορροή.

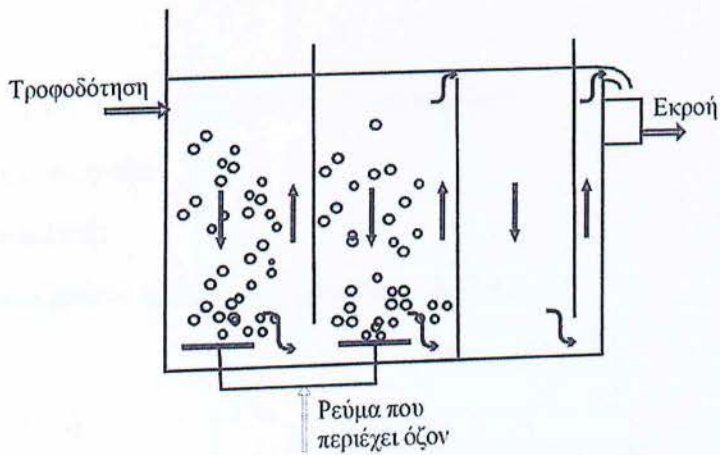
Όπως φαίνεται στο Σχήμα Δ.15 ο αντιδραστήρας απολύμανσης με όζον είναι μια δεξαμενή η οποία δεν είναι ανοιχτή στην ατμόσφαιρα. Το τροφοδοτούμενο αέριο ρεύμα περιέχει συνήθως χαμηλές συγκεντρώσεις όζοντος (<5%). Το αέριο ρεύμα το οποίο εξέρχεται από την κλειστή δεξαμενή απολύμανσης εξακολουθεί να περιέχει ένα ποσοστό του όζοντος που υπήρχε στο τροφοδοτούμενο ρεύμα. Σε αρκετές περιπτώσεις η συγκέντρωση όζοντος στα απαέρια είναι στην περιοχή των 1000 ppm. Η επιτρεπόμενη συγκέντρωση όζοντος στην ατμόσφαιρα εργασιακού περιβάλλοντος (8-ωρη έκθεση των εργαζομένων) είναι 0,1 ppm. Η καταστροφή του όζοντος των απαερίων γίνεται συνήθως με χρήση καταλυτικού μετατροπέα ο οποίος λειτουργεί σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες.

Το νερό που εξέρχεται από τη διάταξη απολύμανσης με όζον περιέχει κάποια μικρή συγκέντρωση διαλυμένου όζοντος ή οποία παραμένει για ένα μικρό χρονικό διάστημα μετά την απολύμανση. Σε μερικές περιπτώσεις ενδέχεται να απαιτείται και η καταστροφή του υπολειπόμενου διαλυμένου όζοντος.

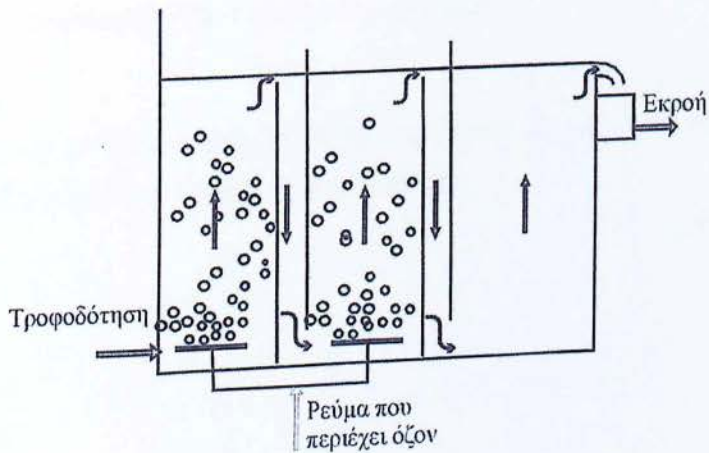
Η απολύμανση με όζον παρουσιάζει μερικές επιπτώσεις και για το δίκτυο διανομής του νερού. Η επίδραση όζοντος επί οργανικού υλικού έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της βιοαποδομησιμότητάς του. Εάν λοιπόν αμέσως μετά την απολύμανση με όζον ακολουθεί ένα στάδιο αφαίρεσης οργανικού υλικού με κοκκώδη ενεργό άνθρακα θα επιτυγχάνεται βελτίωση αφού θα αφαιρείται το οργανικό υλικό (οργανικές πρόδρομες ουσίες) και θα περιορίζεται το δυναμικό σχηματισμού παραπροϊόντων απολύμανσης. Εάν όμως δεν ακολουθεί στάδιο αφαίρεσης οργανικού υλικού τότε αυξάνεται το δυναμικό βιολογικής ανάπτυξης στο δίκτυο διανομής.



α. Επαφή νερού και όζοντος κατ' αντιστροφή



β. Επαφή νερού και όζοντος κατ' αντιστροφή και ομορροή



γ. Επαφή νερού και όζοντος κατ' ομορροή

Σχήμα Δ.16: Διάφοροι σχεδιασμοί αντιδραστήρων απολύμανσης με εμφύσηση φυσαλίδων αερίου που περιέχουν όζον.

Βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της πτυχιακής:

Αντλίες/Τύποι - Επιλογή - Λειτουργία/Εγκατάσταση

Κωνσταντίνου Β. Ακριτίδη

Καθηγητή Α.Π.Θ.

Αντλίες και σωληνώσεις

Ιωάννου Μ. Μαυρουδή

Ναυπηγού - Μηχανολόγου Ε.Μ.Π. & ΤΕΙ

Εκμετάλλευση και διαχείριση του υπόγειου νερού

Δοκιμαστικές αντλήσεις

Κώστας Βουδούρης

Επίκουρος Καθηγητής τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Καθαρισμός νερού

Στυλιανός Π. Τσώνης

Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών

Πληροφορίες και στοιχεία από το ΙΓΜΕ, το Γενικό Χημείο του Κράτους και τις εταιρείες αντλιών ΡΑΡΑΝΤΟΝΑΤΟΣ, GRUNDFOS