

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΜΙΚΡΟΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ
ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ**



ΖΑΓΚΙΟΡΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ

4758

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ/ΟΥΣΑ: ΔΡ ΜΑΤΙΝΑ ΚΑΤΣΙΑΠΗ, ΥΔΡΟΒΙΟΛΟΓΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	I
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	II
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	IV
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	V
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Πόσιμο Νερό	1
1.2 Μικροοργανισμοί και υδατογενείς ασθένειες	2
1.3 Μικροβιολογικοί δείκτες	6
1.4 Μέθοδοι ανάλυσης μικροοργανισμών στο νερό	10
1.5 Απομάκρυνση μικροοργανισμών από το νερό	11
2. ΣΚΟΠΟΣ.....	14
3. ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ.....	15
3.1 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Θεσσαλονίκης (ΕΕΝΘ) ΕΥΑΘ ΑΕ.....	15
3.2 Στάδια Επεξεργασίας Νερού στην ΕΕΝΘ	15
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	19
4.1 Απομάκρυνση μικροοργανισμών στα πλαίσια λειτουργίας της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού	19
4.2 Απομάκρυνση μικροοργανισμών σε πειραματική διάταξη	19
4.3 Προσδιορισμός αφθονίας μικροοργανισμών.....	20
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	22
5.1 Απομάκρυνση μικροοργανισμών στα πλαίσια λειτουργίας της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού	22
5.2 Απομάκρυνση μικροοργανισμών σε πειραματική διάταξη	26
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	32
6.1 Απομάκρυνση μικροοργανισμών στα πλαίσια λειτουργίας της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού Θεσσαλονίκης.....	32

6.1.1 Νερό Αλιάκμονα (Είσοδος Εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού)	32
6.1.2 Στάδια επεξεργασίας και απομάκρυνση μικροοργανισμών από το νερό ...	35
6.2. Αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης των μικροοργανισμών με τη χρήση χαλαζιακής άμμου, ζεόλιθου και ενεργού άνθρακα	36
6.2.1 Χαλαζιακή άμμος	36
6.2.2 Ζεόλιθος	37
6.2.3 Ενεργός άνθρακας	38
6.3 Επεξεργασία νερού σε μεγάλες πόλεις της Ελλάδος	39
6.3.1 Αθήνα	39
6.3.2 Πάτρα	40
6.3.3 Κομοτηνή	41
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46
7.1. Διεθνής	46
7.2 Ελληνική	49
7.3 Ηλεκτρονικές διευθύνσεις	49

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ολικά κολοβακτηρίδια	7
Εικόνα 2: Κάτοψη εγκατάστασης της ΕΕΝΘ	15
Εικόνα 3: (α) Δεξαμενή Δ2 (β) Δεξαμενή κροκιδοκαθίξεσης (γ) κλίση άμμου (δ) κλίση Άνθρακα	18
Εικόνα 4: Πειραματική διάταξη των τριών διαφορετικών βακτηριακών καλλιεργειών (ολικά κολοβακτηρίδια, Escherichia, Enterococcus) μέσα σε άνθρακα, ζεόλιθο και άμμο (3 x άνθρακας, 3 x ζεόλιθος, 3 x άμμος)	20
Εικόνα 5: Διάταξη διήθησης δειγμάτων νερού (συσκευή διήθησης, αντλία κενού) και τριβλία με θρεπτικό υλικό (α) για ολικά κολοβακτηρίδια κόκκινο υπόστρωμα- M-Endo Agar (β) για Escherichia μπλε υπόστρωμα-MFC Agar (γ) για εντερόκοκκους	21
Εικόνα 6: Αφθονίες ολικών κολοβακτηριδίων, E. coli και εντεροκόκκων (cfu/100 mL) (άξονας γ) στα διάφορα στάδια επεξεργασίας (άξονας χ) κατά τη χειμερινή περίοδο (* εκτός λειτουργίας)	24

Εικόνα 7: Αφθονίες ολικών κολοβακτηριδίων, E. coli και εντεροκόκκων (cfu/100 mL) (άξονας γ) στα διάφορα στάδια επεξεργασίας (άξονας χ) κατά τη θερινή περίοδο (* εκτός λειτουργίας)	25
Εικόνα 8: Αφθονίες ολικών κολοβακτηριδίων, E. coli και εντεροκόκκων (cfu/100 mL) στην καλλιέργεια-μάρτυρα και στις αντίστοιχες καλλιέργειες μετά από επεξεργασία με ενεργό άνθρακα, ζεόλιθο και χαλαζιακή άμμο για χρόνο 2h.	27
Εικόνα 9: Αφθονίες ολικών κολοβακτηριδίων, E. coli και εντεροκόκκων (cfu/100 mL) στην καλλιέργεια-μάρτυρα και στις αντίστοιχες καλλιέργειες μετά από επεξεργασία με ενεργό άνθρακα, ζεόλιθο και χαλαζιακή άμμο για χρόνο 24h.	28
Εικόνα 10: Τριβλία με τις καλλιέργειες E. coli (+μάρτυρας) μετά από επεξεργασία με ενεργό άνθρακα, ζεόλιθο και χαλαζιακή άμμο για χρόνο 2 h (A) και 24h (B) αντίστοιχα έπειτα από προσδιορισμό με τη μέθοδο διήθησης σε μεμβράνη.....	29
Εικόνα 11: Τριβλία με τις καλλιέργειες ολικών κολοβακτηριδίων (+μάρτυρας) μετά από επεξεργασία με ενεργό άνθρακα, ζεόλιθο και χαλαζιακή άμμο για χρόνο 2 h (A) και 24h (B) αντίστοιχα έπειτα από προσδιορισμό με τη μέθοδο διήθησης σε μεμβράνη....	30
Εικόνα 12: Τριβλία με τις καλλιέργειες εντερόκοκκων (+μάρτυρας) μετά από επεξεργασία με ενεργό άνθρακα, ζεόλιθο και χαλαζιακή άμμο για χρόνο 2 h (A) και 24h (B) αντίστοιχα έπειτα από προσδιορισμό με τη μέθοδο διήθησης σε μεμβράνη.....	31
Εικόνα 13: Αφθονίες (cfu/100 mL) ολικών κολοβακτηριδίων κατά την είσοδο του νερού στις εγκαταστάσεις της ΕΕΝΘ από τον ποταμό Αλιάκμονα. 1-4 χειμερινή περίοδος (μπλε), 5-10 θερινή περίοδος (μωβ).....	33
Εικόνα 14: Αφθονίες (cfu/100 mL) E.Coli κατά την είσοδο του νερού στις εγκαταστάσεις της ΕΕΝΘ από τον ποταμό Αλιάκμονα. 1-4 χειμερινή περίοδος (μπλε), 5-10 θερινή περίοδος (μωβ)	34
Εικόνα 15: Αφθονίες (cfu/100 mL) εντερόκοκκων κατά την είσοδο του νερού στις εγκαταστάσεις της ΕΕΝΘ από τον ποταμό Αλιάκμονα. 1-4 χειμερινή περίοδος (μπλε), 5-10 θερινή περίοδος (μωβ).....	34

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Κύριες Μικροβιολογικές παράμετροι για τον έλεγχο του πόσιμου νερού σε δίκτυα ύδρευσης και ανώτατες αποδεκτές τιμές συγκέντρωσής τους στο νερό	2
Πίνακας 2: Παθογόνα σε συστήματα πόσιμου νερού, σχετιζόμενες ασθένειες και ανθεκτικότητα.....	4
Πίνακας 3: Ποσοστά απομάκρυνσης μικροοργανισμών από καλλιέργειες με πρότυπα στελέχη με τη χρήση ενεργού άνθρακα και ζεόλιθου και άμμου.....	28
Πίνακας 4: μικροβιολογικοί δείκτες για το πόσιμο νερό.....	44
Πίνακας 5: cfu/100ml δεικτών μικροοργανισμών στο πόσιμο νερό ύστερα από επεξεργασία στις μονάδες υδροδότησης Αθήνας, Θεσσαλονίκης, Πάτρας και Κομοτηνής	45

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να την ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Ματίνα Κατσιάπη για την τεράστια υποστήριξη και βοήθεια της, τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχε τόσο στο πειραματικό μέρος όσο και στο κομμάτι της συγγραφής αλλά και γενικότερα για την καθοδήγηση της και το χρόνο που αφιέρωσε κάθε φορά που την χρειάστηκα σε όλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας.

Την καθηγήτρια κ. Ελισάβετ Βαρδάκα για την εμπιστοσύνη της και την ανάθεση της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η δυνατότητα απομάκρυνσης των μικροοργανισμών (ολικά κολοβακτηρίδια, *Escherichia coli*, εντερόκοκκοι) από το νερό του Αλιάκμονα σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας στην ΕΕΝΘ κατά τη χειμερινή (Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2021) και θερινή περίοδο (Ιούλιος-Αύγουστος 2022) αλλά και εργαστηριακά σε καλλιέργειες πρότυπων στελεχών με τη χρήση χαλαζιακής άμμου, ζεόλιθου και ενεργού άνθρακα. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 10 δειγματοληψίες. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των βακτηρίων (cfus/100ml) έγινε με βάση τη μέθοδο καλλιέργειας και διήθησης μέσω μεμβράνης όπως αυτή περιγράφεται στα ISO 9308-1 και 7899.02. Υψηλότερες αφθονίες και των τριών κατηγοριών μικροοργανισμών καταγράφηκαν κατά θερινή περίοδο, λόγω και υψηλότερων θερμοκρασιών, ενώ διαφορετικά ποσοστά απομάκρυνσής τους καταγράφηκαν κατά τα διάφορα στάδια επεξεργασίας του νερού. Όσον αφορά τα διάφορα «φίλτρα» μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση των συγκεκριμένων μικροοργανισμών παρουσίασε ο ενεργός άνθρακας, στη συνέχεια ο ζεόλιθος και τέλος η άμμος. Επιπλέον, ο χρόνος παραμονής του νερού μέσα σε κάθε φίλτρο (υλικό) φάνηκε πως ενισχύει περαιτέρω την απομάκρυνση τους. Η ουσιαστική όμως απομάκρυνση των μικροοργανισμών από το νερό πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της οζόνωσης και χλωρίωσης, που είναι και οι κύριες μέθοδοι απολύμανσης του νερού από μικροοργανισμούς.

Λέξεις κλειδιά: Επεξεργασία Νερού, Ενεργός Άνθρακας, Ζεόλιθος, Χαλαζιακή άμμος, βακτήρια

ABSTRACT

In this study was examined the possibility of removing micro-organisms (total coliforms, *Escherichia coli*, enterococci), from Aliakmonas river water, at all stages of processing, at the EENTH, during the winter (November-December 2021) and summer season (July-August 2022), but also laboratory, in cultivation of standard strains, using quartz sand, zeolite and activated carbon. A total of 10 samplings were performed. Quantification of bacteria (cfus/100ml) was done based on the culture and membrane filtration method as described in ISO 9308-1 and 7899.02. Higher abundances of all three categories of microorganisms were recorded during the summer period, due to higher temperatures, while different percentages of their removal were recorded during the different stages of water treatment. As far as the various “filters” is concerned, active carbon showed greater efficiency in removing specific microorganisms, followed by zeolite and lastly sand. Additionally, the residence time of the water inside each filter (material) appeared to further enhance their removal. However, the essential removal of microorganisms from water took place during ozonation and chlorination, which are also the main methods of disinfecting water from microorganisms.

Keywords: Water Treatment, Activated Carbon, Zeolite, Quartz sand, bacteria

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Πόσιμο Νερό

Αν και συχνά θεωρείται δεδομένο, το νερό αποτελεί ύψιστης σημασίας αγαθό για τον άνθρωπο. Αποτελεί βασικό στοιχείο για τη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας. Η ύπαρξη όλων των ζωντανών οργανισμών εξαρτώνται από το νερό καθώς αποτελεί τον διαλύτη μέσω του οποίου πραγματοποιούνται όλες οι βιοχημικές διεργασίες στον άνθρωπο, τα ζώα και τα φυτά. Τόσο το υπόγειο όσο και το επιφανειακό νερό (λίμνες, ποτάμια) χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση. Εκτός από την υδροδότηση των αστικών περιοχών από πόσιμο νερό για κατανάλωση ή/και οικιακή χρήση, το νερό χρησιμοποιείται επίσης στη βιομηχανία τροφίμων και στη γεωργία. Συνεπώς η επαρκής διαθεσιμότητα του σε σχέση με την ποσότητα και την ποιότητα του, είναι ζωτικής σημασίας (Charlin, 2001).

Η προστασία του πόσιμου νερού αποτελεί στόχο τόσο της εθνικής όσο και της κοινοτικής πολιτικής, ώστε να διασφαλίζεται η προστασία της Δημόσιας Υγείας. Το πόσιμο νερό, δηλαδή το νερό που μπορεί να καταναλωθεί χωρίς να αποτελεί κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, πρέπει να ελέγχεται για την ποιότητά του ώστε να είναι ασφαλές προς κατανάλωση. Οι έλεγχοι που γίνονται συμπεριλαμβάνουν φυσικοχημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ ορισμένων αποδεκτών ορίων και θεσπίζονται νομοθετικά (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγωνά, 2014).

Το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει να είναι από κάθε άποψη αβλαβές για την υγεία των ανθρώπων, οργανοληπτικά άψογο και απολύτως καθαρό, απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς και οποιεσδήποτε ουσίες σε συγκεντρώσεις που αποτελούν πιθανό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγωνά, 2014).

Το φυσικό νερό περιέχει έναν αρκετά μεγάλο αριθμό μικροοργανισμών, που αποτελούν μέρος της φυσιολογικής μικροβιακής χλωρίδας του, αλλά και αλλόχθονες μικροοργανισμούς οι οποίοι εισέρχονται σε αυτό μέσω των φυσικών φαινόμενων (πχ βροχή) ή με την ανθρώπινη δραστηριότητα (πχ λύματα). Οι μικροοργανισμοί αυτοί μπορεί είτε να αποικίσουν τον άνθρωπο και να αποτελέσουν μέρος της φυσιολογικής μικροβιακής χλωρίδας του είτε να προκαλέσουν νόσο σε όλο τον πληθυσμό που εκτέθηκε (παθογόνα μικρόβια), ή μόνο σε ορισμένες ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού (δυσνητικά, ευκαιριακά παθογόνα μικρόβια). Ο μεγαλύτερος και επικρατέστερος τρόπος μόλυνσης του ανθρώπου από το πόσιμο νερό προέρχεται από την άμεση ή έμμεση κοπρανώδη επιμόλυνση του. Η μικροβιολογική εξέταση του νερού είναι πρωταρχικής σημασίας και για το λόγο αυτό επιβάλλεται συστηματικός έλεγχος των μικροβιολογικών χαρακτηριστικών του. (Charlin, 2001)

Σύμφωνα με την ΚΥΑ του 2017 (Γ1(δ)/ΓΠ οικ. 67322 (ΦΕΚ Β'/3282/19.09.2017) ως

« νερό ανθρώπινης κατανάλωσης» χαρακτηρίζεται:

- το νερό, είτε στη φυσική του κατάσταση είτε μετά από επεξεργασία, που προορίζεται για πόση, μαγείρεμα, προπαρασκευή τροφής ή άλλες οικιακές χρήσεις, ανεξάρτητα από την προέλευσή του και από το εάν παρέχεται από δίκτυο διανομής, από βυτίο, ή σε φιάλες ή δοχεία.
- το νερό που χρησιμοποιείται στις επιχειρήσεις παραγωγής τροφίμων για την παρασκευή, επεξεργασία, συντήρηση ή εμπορία προϊόντων ή ουσιών, που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

Με βάση την ίδια ΚΥΑ το νερό ανθρώπινης κατανάλωσης είναι υγιεινό και καθαρό εφόσον:

- είναι απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς και παράσιτα και οποιαδήποτε ουσία, σε αριθμό και συγκέντρωση, που αποτελεί ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.
- πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις του Παραρτήματος Ι μέρη Α και Β που αφορούν μικροβιολογικές και χημικές παραμέτρους.

Όσον αφορά στο πόσιμο νερό που διανέμεται από τα δίκτυα ύδρευσης, οι κύριοι μικροβιολογικοί παράγοντες που πρέπει να ελέγχονται με βάση την ΚΥΑ 2017 είναι τα βακτήρια της ομάδας των εντεροκόκκων και το βακτήριο *Escherichia coli* (Πίν. 1).

Πίνακας 1: Κύριες Μικροβιολογικές παράμετροι για τον έλεγχο του πόσιμου νερού σε δίκτυα ύδρευσης και ανώτατες αποδεκτές τιμές συγκέντρωσής τους στο νερό

Μικροβιολογική Παράμετρος	Συγκέντρωση στο νερό (cfu/100 mL)
<i>Escherichia coli</i>	0
εντερόκοκκοι	0

1.2 Μικροοργανισμοί και υδατογενείς ασθένειες

Η κατανάλωση πόσιμου νερού ελλιπούς ποιότητας έχει συσχετιστεί με την εμφάνιση υδατογενών λοιμώξεων και επιδημιών (H. Leclerc, 2002). Οι υδατογενείς αυτές λοιμώξεις οφείλονται στην παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, οι οποίοι εισερχόμενοι στο νερό μέσω των λυμάτων, επιβιώνουν για μεγάλο ή μικρό χρονικό διάστημα και μεταδίδουν τα διάφορα υδατογενή νοσήματα με ποικίλους τρόπους (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγωνά, 2014).

Ως αποτέλεσμα της αυξημένης συχνότητας δυσμενών καιρικών φαινομένων (βροχή, ξηρασία, καύσωνας), οι κλιματικές αλλαγές επηρεάζουν τα συστατικά του νερού με πολλούς τρόπους, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει αιτία για τη δημιουργία πολλών υδατογενών εστιών και ασθενειών. Τέτοιες συνθήκες ευνοούν την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού και ενέχουν κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων (Soraia El Baz, 2022).

Οι περισσότερες ασθένειες που μεταδίδονται με το νερό χαρακτηρίζονται από πάρα πολλές κενώσεις που σταδιακά οδηγούν σε αφυδάτωση και πιθανώς ακόμα και σε θάνατο. Έτσι μια μόλυνση μπορεί να έχει ήπιες επιπτώσεις στην υγεία του ατόμου

(γαστρεντερίτιδα) αλλά και σοβαρές οδηγώντας τον ακόμα και σε θάνατο (ηπατίτιδα, τυφοειδής πυρετός) (Nwabor Ozioma Forstinus, 2016).

Η κύρια οδός από την οποία εισέρχονται τα περισσότερα από τα παθογόνα που είναι υπεύθυνα για υδατογενείς μολύνσεις είναι τα ανθρώπινα ή ζωικά κόπρανα. Σε αυτήν την κατάσταση δεν πολλαπλασιάζονται μέσα στο νερό και η μόλυνση του ατόμου ξεκινάει μέσα στο γαστρεντερικό σωλήνα αμέσως μετά την κατανάλωση του. Βέβαια υπάρχουν και μικροοργανισμοί όπως η *Λεγιονέλλα*, τα άτυπα μυκοβακτηρίδια, η *Burkholderia pseudomallei*, η *Acanthamoeba spp*, η *Naegleria fowleri* αλλά και άλλα είδη, τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν ακόμα και μέσα στο νερό (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγωνά, 2014).

Οι υδατογενείς ασθένειες προκαλούνται από παρασιτικούς παθογόνους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούν υδρόβιους οργανισμούς (σαλιγκάρια, ψάρια ή άλλα υδρόβια ζώα) ως ξενιστές. Οι άνθρωποι μολύνονται τόσο από την άμεση όσο και από έμμεση έκθεση στο νερό (Nwabor Ozioma Forstinus, 2016). Η μετάδοση μπορεί να γίνει μέσω της άμεσης κατανάλωσης του μολυσμένου νερού αλλά και έμμεσα μέσω των τροφίμων που έχουν παρασκευαστεί από το μολυσμένο νερό. Ακόμη μετάδοση μπορεί να υπάρξει μέσω της εισπνοής οδηγώντας σε λοιμώξεις του αναπνευστικού (*Legionella*, άτυπα μυκοβακτηρίδια) και τέλος είτε με την επαφή οδηγώντας σε λοιμώξεις του δέρματος και του εγκεφάλου (*Naegleria fowleri*, *Burkholderia pseudomallei*). (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγωνά, 2014). Σύμφωνα με (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγωνά, 2014) ο έλμινθας *Drancunculus medinensis* είναι το μοναδικό παθογόνο που μεταδίδεται αποκλειστικά μέσω του πόσιμου νερού.

Μερικά παραδείγματα ασθενειών που σχετίζονται με το νερό περιλαμβάνουν: τη Σχιστοσωμίαση (κερκάρια που απελευθερώνονται από το σαλιγκάρι και διεισδύουν στο δέρμα), τη Δρακουνκουλίαση (προνύμφες που καταπίνονται στα καρκινοειδή), την Παραγονιμίαση (μετακερκάρια που καταπίνονται σε καβούρι ή караβίδες) και κλονορχίαση (μετακερκάρια που καταπίνονται στα ψάρια) (Nwabor Ozioma Forstinus, 2016).

Οι υδατογενείς μικροοργανισμοί που δυνητικά μπορούν να προκαλέσουν ασθένειες περιλαμβάνουν (Ramirez-Castillo et al. 2015) (Πιν.2):

- Βακτήρια, ιούς, πρωτόζωα και έλμινθες με εξαίρεση το σχιστόσωμα.
- Δυνητικά αναδυόμενους παθογόνους μικροοργανισμούς όπως το *Helicobacter pylori*, η *Tsukamurella*, τα *Isopora belli* και τα μικροσπορίδια.
- Το γένος *Bacillus cereus* στο οποίο περιλαμβάνονται και τα τροφικά παθογόνα είδη του *Bacillus cereus*.
- Τα τοξικά κυανοβακτήρια.

Πίνακας 2: Παθογόνα σε συστήματα πόσιμου νερού, σχετιζόμενες ασθένειες και ανθεκτικότητα (Ramírez-Castillo, et al., 2015)

ΠΑΘΟΓΟΝΑ	ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΑΣΘΕΝΕΙΣ	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΒΑΚΤΗΡΙΑ		
<i>Campylobacter</i> spp., <i>C. jejuni</i>	Διάρροια, γαστρεντερίτιδα	ΜΕΤΡΙΑ
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Διάρροια, αντιδραστική αρθρίτιδα	ΜΕΓΑΛΗ
<i>Escherichia coli</i> , particularly enterohemorrhagic <i>E. coli</i> (EHEC), and other such as enteropathogenic (EPEC), enterotoxigenic (ETEC), and enteroinvasive (EIEC)	Οξεία διάρροια, αιματηρή διάρροια και γαστρεντερίτιδα	ΜΕΤΡΙΑ
<i>Burkholderia pseudomallei</i>	melioidosis	ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΕΙ
<i>Legionella pneumophila</i> and related bacteria	Οξεία αναπνευστική νόσος, πνευμονία (λεγιονέλλωση)	ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΕΙ
<i>Non-tuberculous mycobacteria</i>	Πνευμονική νόσο, μόλυνση δέρματος	ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΕΙ
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Λοιμώξεις στους πνεύμονες, το ουροποιητικό σύστημα και τα νεφρά Μπορεί να προκαλέσει φλεγμονή και σήψη	ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΕΙ
<i>Salmonella enterica</i> serotype Typhi	Τυφοειδής πυρετός, παρατυφοειδής πυρετός και σαλμονέλλωση	ΜΕΤΡΙΑ
<i>Other salmonellae</i>	Γαστρεντερίτιδα, αντιδραστική αρθρίτιδα	ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΕΙ
<i>Shigella</i> spp.	Βακτηριακή δυσεντερία ή σιγκέλλωση	ΜΙΚΡΗ
<i>Vibrio cholerae</i>	Γαστρεντερίτιδα, χολέρα	ΜΙΚΡΗ ΠΡΟΣ ΜΕΓΑΛΗ
<i>Helicobacter pylori</i>	Χρόνια γαστρίτιδα, έλκος και καρκίνος του στομάχου	ΜΕΤΡΙΑ
ΙΟΙ		
Adenovirus	γαστρεντερίτιδα	ΜΕΓΑΛΗ
Enteroviruses	γαστρεντερίτιδα	ΜΕΓΑΛΗ
Hepatitis A virus	ηπατίτιδα	ΜΕΓΑΛΗ
Hepatitis E virus	Ηπατίτιδα, αποβολές εμβρύων	ΜΕΓΑΛΗ
Rotavirus	γαστρεντερίτιδα	ΜΕΓΑΛΗ
Sapoviruses	Οξεία ιογενής γαστρεντερίτιδα	ΜΕΓΑΛΗ

Astroviruses	διάρροια	ΜΕΓΑΛΗ
Norovirus	γαστρεντερίτιδα	ΜΕΓΑΛΗ
ΠΡΩΤΟΖΩΑ		
<i>Acanthamoeba</i> spp.	Amoebic meningoencephalitis, κερατίτιδα, εγκεφαλίτιδα	ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΕΙ
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Κρυπτοσποριδίωση, διάρροια	ΜΕΓΑΛΗ
<i>Cryptosporidium cayetanensis</i>	διάρροια	ΜΕΓΑΛΗ
<i>Entamoeba histolytica</i>	Δυσεντερία αμοιβάδας	ΜΕΤΡΙΑ
<i>Giardia intestinalis</i>	διάρροια	ΜΕΤΡΙΑ
<i>Naegleria fowleri</i>	Infection of the brain called primary amebic meningoencephalitis (PAM)	ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΕΙ ΣΕ ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ
<i>Toxoplasma gondii</i>	Τοξοπλάσμωση, αποβολή, γενετικές ανωμαλίες	ΜΕΓΑΛΗ
ΕΛΜΙΝΘΕΣ		
<i>Dracunculus medinensis</i>	Dracunculiasis (Guinea worm disease, ulcerating skin infection).	ΜΕΤΡΙΑ
<i>Schistosoma</i> spp.	Σχιστοσωμίαση, ηπατική και νεφρική βλάβη, φαγούρα στο δέρμα, πυρετός, ρίγη, βήχας και μυϊκοί πόνοι.	ΜΙΚΡΗ

1.3 Μικροβιολογικοί δείκτες

Σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες (UE) 2020/2184 και 2009/54/EC, που καθορίζουν τα υγειονομικά κριτήρια για το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει να είναι απαλλαγμένο από τα βακτήρια-δείκτες *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* και *Enterococcus* spp. Το πόσιμο νερό θα πρέπει να παρακολουθείται επίσης για ετερότροφα βακτήρια, τα οποία δεν αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, αλλά μπορούν να χρησιμεύσουν ως δείκτης βακτηριολογικής ποιότητας του νερού (Pinar-Mendez, et al., 2021).

Ως μικροβιολογικοί δείκτες χρησιμοποιούνται συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί ή ομάδες μικροοργανισμών οι οποίοι περνούν στο νερό ταυτόχρονα με τα κόπρανα, (ανθρώπου / θερμόαιμων ζώων) και αυτοί οι δείκτες είναι πιο εύκολο να ανιχνευθούν και μετρηθούν από το πλήρες φάσμα των μικροοργανισμών που μπορεί να αποτελέσουν κίνδυνο για την υγεία. Ο ιδανικός δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης του νερού πρέπει να πληρεί ορισμένες προϋποθέσεις (Pinar-Mendez, et al., 2021):

- Να βρίσκεται συνεχώς παρόν στα κόπρανα.
- Να μην πολλαπλασιάζεται εκτός του εντερικού σωλήνα, όταν δηλαδή διοχετευτεί στην υδάτινη συλλογή.
- Να είναι τόσο ανθεκτικός στις συνθήκες περιβάλλοντος όσο και τα εντεροπαθογόνα, να μην καταστρέφεται δηλαδή γρηγορότερα από αυτά.
- Να συσχετίζεται ισχυρά με την παρουσία παθογόνων, ώστε η ανίχνευσή του να ειδοποιεί έγκυρα για την παρουσία των παθογόνων.
- Να ελέγχεται με φθηνές και απλές τεχνικές.

Ως μικροβιολογικοί δείκτες για το πόσιμο νερό δικτύων ύδρευσης χρησιμοποιούνται τα ολικά κολοβακτηρίδια (Total coliforms: Γένη *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Klebsiella*), το βακτήριο *Escherichia coli*, η ολική μικροβιακή χλωρίδα (ΟΜΧ) στους 37°C και 22°C, οι εντερόκοκκοι, το *Clostridium perfringens* (όταν το νερό προέρχεται από επιφανειακές πηγές), η παρουσία εντερικών ιών και φάγων. Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη Οδηγία που εφαρμόζεται στην Ευρωπαϊκή ένωση, για τον έλεγχο της μικροβιολογικής ποιότητας του νερού οι μικροβιακές παράμετροι διακρίνονται στις υποχρεωτικές, που περιλαμβάνουν μικρόβια που επισημαίνουν την παρουσία παθογόνων, και στις ενδεικτικές παραμέτρους, που περιλαμβάνουν μικρόβια που παρέχουν ενδείξεις ότι έχει μεταβληθεί η μικροβιολογική ποιότητα του νερού (Pinar-Mendez, et al., 2021), (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγwonά, 2014). Έτσι,

Υποχρεωτικές παράμετροι για το πόσιμο νερό δικτύου ύδρευσης είναι:

- το *E. coli*
- οι εντερόκοκκοι

Ενδεικτικές παράμετροι είναι:

- οι κοινί αερόβιοι μικροοργανισμοί στους 37° C και στους 22° C,
- τα ολικά κολοβακτηρίδια

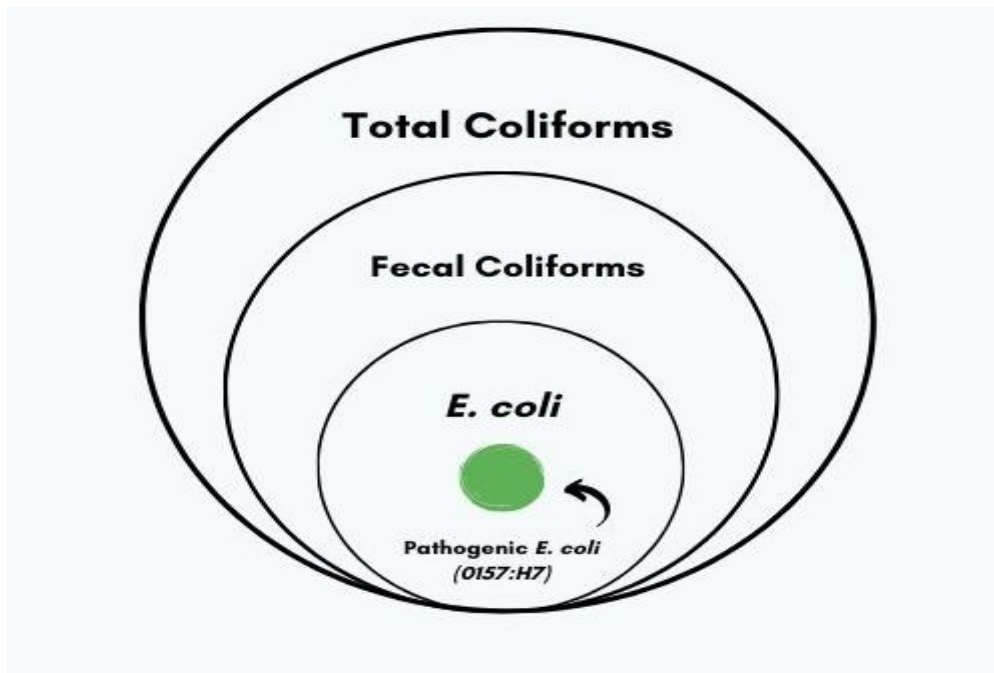
- το κλωστρίδιο (*Clostridium perfringens*)

Ειδικότερα,

Ολικά κολοβακτηρίδια (*total coliforms*)

Η οικογένεια των κολοβακτηριδίων (Εικ.1) περιλαμβάνει όλα τα αερόβια και προαιρετικά αναερόβια, αρνητικά κατά Gram, μη σποροειδή, βακτήρια σε σχήμα ράβδου που ζυμώνουν τη λακτόζη στους 35°C σε 48 ώρες με παραγωγή αερίου (*E. coli*, *Citrobacter*, *Klebsiella* και *Enterobacter*) (Johnson Lin, 2013). Τα θερμοανθεκτικά κοπρανώδη κολοβακτηρίδια και το βακτήριο *E.coli* αποτελούν μέρος της ομάδας των ολικών κολοβακτηριδίων (WHO, 2011)

Τα ολικά κολοβακτηρίδια λόγω του ότι πολλά από αυτά μπορούν να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν στο νερό δε χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ως δείκτες κοπρανώδους μόλυνσης των υδάτων , αλλά επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες καθαριότητας και ακεραιότητας για αξιολόγηση της κατάστασης των δικτύων διανομής νερού καθώς επίσης και της παρουσία βιοφίλμ στους αγωγούς (WHO, 2011) Γενικά η παρουσία τους στο νερό υποδηλώνει μη επαρκή επεξεργασία/απολύμανσή του. (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγwonά, 2014), (Cabral, 2010). Ωστόσο, παρόλο που η ολική ομάδα κολοβακτηριδίων αποτέλεσε τον κύριο δείκτη ρύπανσης των υδάτων για πολλά χρόνια, αρκετοί από τους οργανισμούς αυτής της ομάδας δεν περιορίζονται στα κόπρανα (Nwabor Ozioma Forstinus, 2016).



Εικόνα 1: Ολικά κολοβακτηρίδια (<https://www.aces.edu/blog/topics/fish-water/coliform-bacteria-in-well-water/>)

Θερμοανθεκτικά κοπρανώδη κολοβακτηρίδια και *E. coli* (Fecal coliforms and *E. coli*)

Το *E. coli* είναι ο πλέον αποδεκτός δείκτης κοπράνων που χρησιμοποιείται στις Κατευθυντήριες οδηγίες του ΠΟΥ για την ποιότητα του πόσιμου νερού και αρκετές χώρες περιλαμβάνουν αυτόν τον οργανισμό στους κανονισμούς τους ως τον κύριο δείκτη κοπράνων (Ευρώπη, ΗΠΑ). Η ανίχνευση του θα πρέπει να οδηγήσει σε περαιτέρω έλεγχο όπως νέα δειγματοληψία και διερεύνηση των πιθανών πηγών μόλυνσης, όπως η μη επαρκής επεξεργασία, τα φτωχά μέτρα υγιεινής, η μη σωστή αποθήκευση του νερού ή διάφορες άλλες «παραβιάσεις» στην ακεραιότητα του δικτύου διανομής του νερού. (Cabral, 2010).

Επειδή έχουν προέλευση αποκλειστικά εντερική (βρίσκονται αποκλειστικά στα κόπρανα και όχι κάπου αλλού στο περιβάλλον) είναι γνωστά ως κολοβακτηρίδια κοπράνων ή κοπρανώδη κολοβακτηρίδια και περιλαμβάνουν τα γένη *Escherichia* και *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Enterobacter*. Ωστόσο, δεν γίνεται διάκριση μεταξύ μόλυνσης ανθρώπων και ζώων. Το *E. Coli* μπορεί να διαφοροποιηθεί από τα υπόλοιπα θερμοανθεκτικά κολοβακτηρίδια από την ικανότητα παραγωγής ινδόλης από τρυπτοφάνη ή από την παραγωγή του ενζύμου β-γλουκουρονιδάση. Λόγω του ότι η *E. Coli* βρίσκεται σε μεγάλους αριθμούς στα κόπρανα ανθρώπων και ζώων και σπάνια με απουσία κοπράνων, έχει προταθεί ως ο καταλληλότερος δείκτης για ένδειξη πρόσφατης κοπρανώδους μόλυνσης (WHO, 2011).

Η πιθανότητα για αναγέννηση ή/και πολλαπλασιασμό είναι μικρότερη συγκριτικά με αυτήν των ολικών κολοβακτηριδίων (Gaugan Saxena, 2015). Γενικά, τα περισσότερα στελέχη *E. coli* από κόπρανα υγιών ανθρώπων και ζώων δεν είναι παθογόνα, αλλά το στέλεχος 0:157:H7 προκαλεί αιμολυτικό ουρεμικό σύνδρομο με υψηλό ποσοστό θνησιμότητας (10%) (Cabral, 2010).

Ολική μικροβιακή χλωρίδα (ΟΜΧ)

Η καταμέτρηση της ΟΜΧ, ανιχνεύει ένα μεγάλο μέρος των ετερότροφων μικροοργανισμών που μπορεί να εντοπιστούν στο νερό (βακτήρια, μύκητες) και βασίζεται στην ικανότητα ανάπτυξης που έχουν αυτοί οι μικροοργανισμοί σε διάφορα θρεπτικά μέσα μετά από επώαση τους σε καθορισμένες θερμοκρασίες. Έχοντας τη θερμοκρασία ως τον μόνο ανασταλτικό παράγοντα, ο δείκτης αυτός αναφέρεται και ως «ολική μεσόφιλη ή ψυχρόφιλη χλωρίδα». Στη καταμέτρηση της χρησιμοποιείται μια μεγάλη ποικιλία πλούσιων θρεπτικών μέσων ενώ οι θερμοκρασίες επώασης κυμαίνονται από 20-37°C για διάστημα λίγων ωρών μέχρι 7 ή και περισσότερων ημερών. Γενικότερα όμως η ανίχνευση παθογόνων μικροοργανισμών του νερού με τη μέθοδο αυτή είναι μικρή. (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγωνά, 2014).

Η ΟΜΧ δεν έχει ευρεία χρήση ως δείκτης παθογόνων μικροοργανισμών, μπορεί να χρησιμεύσει όμως στην παρακολούθηση της επεξεργασίας και της απολύμανσης του νερού για την εκτίμηση της καθαρότητας και ακεραιότητας των δικτύων διανομής και την πιθανή παρουσία βιοφίλμ (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγωνά, 2014).

Εντερόκοκκοι

Οι εντερόκοκκοι είναι υποομάδα μιας μεγαλύτερης ομάδας μικροοργανισμών, των κοπρανώδων στρεπτόκοκκων, και αποτελούν είδη του γένους *Enterococcus* και *Streptococcus* (Sadowsky and Whitman, 2011). Οι εντερόκοκκοι απεκκρίνονται τυπικά από τα κόπρανα των ανθρώπων και των ζώων και δεν πολλαπλασιάζονται στο νερό. Οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι, συμπεριλαμβανομένων και των εντερόκοκκων έχουν απομονωθεί από κόπρανα θερμόαιμων ζώων. Οι αναλογίες των ειδών αυτής της ομάδας δεν είναι ίδιες στα κόπρανα ζώων και ανθρώπων (Gerba, 2015). Τα είδη *Enterococcus faecalis* και *E. faecium* είναι κυρίαρχα στα ανθρώπινα κόπρανα και τα λύματα (Gerba, 2015). Οι εντερόκοκκοι θεωρείται ότι έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι των κολοβακτηριδίων και των κολοβακτηριδίων των κοπράνων ως δείκτες (Gleeson and Gray, 1997):

- Επιβιώνουν περισσότερο στο νερό από *E.coli*
- Είναι πιο ανθεκτικά στην ξήρανση και στη χλωρίωση

Καθώς τα περισσότερα είδη δεν πολλαπλασιάζονται σε υδάτινο περιβάλλον, η ομάδα των εντερόκοκκων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης πρόσφατης κοπρανώδους μόλυνσης. Ο αριθμός των εντερόκοκκων που ανιχνεύεται στα ανθρώπινα κόπρανα αναφέρεται να είναι μία τάξη μικρότερος από αυτό των *E.coli* (WHO, 2011). Η ομάδα αυτή χρησιμοποιείται ευρέως ως δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης που επιβιώνει περισσότερο από το *E.coli* και ως δείκτης ποιότητας του νερού μετά από επισκευές των συστημάτων διανομής. Επιπρόσθετη δειγματοληψία και διερεύνηση των πιθανών πηγών μόλυνσης ακολουθεί την ανίχνευση τους. (Μαυρίδου, Βανταράκης, Ευστρατίου, & Αρβανιτίδου-Βαγώνά, 2014).

Clostridium perfringens

Τα κλωστρίδια είναι Gram θετικοί, αναερόβιοι βάκιλοι. Λόγω του ότι παράγουν σπόρια, καθίστανται ιδιαίτερα ανθεκτικά σε UV ακτινοβολία, υψηλές θερμοκρασίες/pH και σε διάφορες μεθόδους απολύμανσης όπως είναι η χλωρίωση (Gerba, 2015). Η χρήση των μελών του γένους *Clostridium* (*C. perfringens*) ως δείκτες κοπρανώδους ρύπανσης βασίζεται: (α) στην παρουσία αυτών των μικροοργανισμών στα κόπρανα όλων των θερμόαιμων ζώων καθώς και στα λύματα, (β) στη μεγαλύτερη σταθερότητα στα περιβαλλοντικά ύδατα (καθώς δεν πολλαπλασιάζονται στο νερό) και στη μεγαλύτερη αντοχή στις διαδικασίες απολύμανσης από τα περισσότερα παθογόνα, και (γ) στην επιτυχημένη χρήση τους όσον αφορά την παρακολούθηση μολυσμένων από λύματα νερών. Αν ανιχνευθούν χωρίς την ταυτόχρονη ανίχνευση άλλων μικροοργανισμών-δεικτών, δείχνουν μόλυνση παρελθόντος ή διαλείπουσα μόλυνση (Cabral, 2010).

Παρουσία εντερικών ιών ή φάγων

Οι εντερικοί ιοί-φάγοι που είναι ικανοί να μολύνουν εντερικά βακτήρια ταξινομούνται γενικά σε τρεις διαφορετικές ομάδες: σωματικοί κολιφάγοι, F-ειδικοί κολιφάγοι και βακτηριοφάγοι ικανοί να μολύνουν τα *Bacteroides spp.* (Toribio-Avedillo, Blanch, & Rodríguez-Rubio, 2021). Ουσιαστικά είναι ιοί που χρησιμοποιούν κύτταρα βακτηρίων ως

ξενιστές. Πολλοί από αυτούς έχουν συσχετιστεί με υδατογενείς εστίες μολυσμένου νερού από κόπρανα. Η μόλυνση αυτή πιθανώς να προέρχονται από αστικά/βιομηχανικά λύματα, βλάβες στην παροχή του πόσιμου νερού ή ακόμα και διαρροές στα συστήματα διανομής (Lars Jurzik, 2010)

Καθώς η ανίχνευση τους είτε με τη μέθοδο PCR είτε με την καλλιέργεια κυττάρων αποτελεί μια δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία, μικροοργανισμοί-δείκτες όπως *E.coli*, κολοβακτηρίδια και εντερόκοκκοι έχουν προταθεί ως δείκτες των εντερικών ιών στα επιφανειακά νερά. Τα σωματικά κολιφάγα χρησιμοποιούν το *E.coli* και συγγενικά του είδη ως ξενιστή με αποτέλεσμα να μπορούν να απελευθερωθούν από αυτό στα κόπρανα ανθρώπων και θερμόαιμων ζώων. Όσον αφορά την αξιολόγηση της ποιότητας του νερού οι κολιφάγοι χωρίζονται σε 2 κατηγορίες: (α) σωματικοί κολιφάγοι και (β) κολιφάγοι ειδικοί για F-RNA. Λόγω της ανθεκτικότητας των σωματικών κολιφάγων στο περιβάλλον αλλά και στη χλωρίωση, καθίστανται αποτελεσματικοί δείκτες μόλυνσης των υδάτων και παρουσίας εντερικών ιών (Lars Jurzik, 2010).

1.4 Μέθοδοι ανάλυσης μικροοργανισμών στο νερό

Μέθοδος διήθησης από μεμβράνες

Η μέθοδος βασίζεται στη διήθηση με μεμβράνη κατασκευασμένη από διάφορα υλικά (πχ. εστέρες κυτταρίνης, νάιλον κλπ.) με διάμετρο πόρων τέτοια που να κατακρατεί τους προς έλεγχο μικροοργανισμούς (0.2-0.45μm). Η μεμβράνη (ή αλλιώς φίλτρο) τοποθετείται στη συνέχεια σε εκλεκτικό στερεό θρεπτικό υπόστρωμα, όπου μετά από επώαση σε κατάλληλη θερμοκρασία, καταμετρώνται χαρακτηριστικού χρώματος και μορφολογίας αποικίες του ζητούμενου μικροοργανισμού. Περιοριστικός παράγοντας στην εφαρμογή της μεθόδου αποτελεί η υψηλή περιεκτικότητα του δείγματος σε ανόργανα στερεά ή άλλους παράγοντες, διότι κατά την διήθηση τα οργανικά ή ανόργανα στερεά επικάθονται στη μεμβράνη, παρεμποδίζοντας την ικανοποιητική ανάπτυξη των βακτηρίων (Nwabor Ozioma Forstinus, 2016).

Καλλιέργεια σε θρεπτικό μέσο μετά από επώαση

Η ολική μικροβιακή χλωρίδα στους 22 και 37 °C προσδιορίζεται με τη μέθοδο ενσωμάτωσης (εμβολιασμός) σε ρευστοποιημένο θρεπτικό υλικό (Yeast Extract Agar, Merck) με βάση το ISO 6222:1999. Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί στην καταμέτρηση των αποικιών που σχηματίζονται σε θρεπτικό μέσο καλλιέργειας άγαρ μετά από αερόβια επώαση στους 37 °C και 22 °C. Μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους νερού και μπορεί να ελέγξει την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας στο πόσιμο νερό, ιδιαίτερα στο νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση (ISO, 1999). Με τις παραπάνω μεθόδους προσδιορίζεται η αφθονία (MPN=Most Probable Number) των παραπάνω μικροοργανισμών σε colony forming units (cfus) ανά 100 mL (ολικά κολοβακτηρίδια, *E.coli*, εντερόκοκκοι) ή ανά mL (ολική μικροβιακή χλωρίδα).

Μοριακές μέθοδοι

Οι μοριακές μέθοδοι είναι χρήσιμες τόσο για την παρακολούθηση φυσικών κοινοτήτων βακτηρίων όσο και για την παρακολούθηση συγκεκριμένων βακτηριακών δεικτών σε πολύπλοκα περιβάλλοντα (Kathrine G. Field, 2003) Η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης ετερογένειας μήκους (LHPCR) και ο πολυμορφισμός μήκους τελικού περιοριστικού θραύσματος (T RFLP) των 16S rDNA αναερόβιων βακτηρίων έχουν χρησιμοποιηθεί από τους Field et al. (2003) ως ένας εναλλακτικός δείκτης που να μπορεί διακρίνει την πηγή της περιττωματικής ρύπανσης στα νερά. Η PCR είναι μια απλή μέθοδος αλυσιδωτής αντίδρασης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ή/και την ποσοτικοποίηση βακτηρίων, ιών και πρωτόζωων σε μικρά δείγματα νερού (1-2 ml). (Gemeda, Soboksa, Tefera, Desta, & Gari, 2022)

1.5 Απομάκρυνση μικροοργανισμών από το νερό

Χλωρίωση

Η χλωρίωση αποτέλεσε την πρώτη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την απολύμανση του πόσιμου νερού (Δελήμπασης, 2001). Πραγματοποιείται συνήθως στο τελευταίο στάδιο της επεξεργασίας στοχεύοντας στην καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, πριν την τελική διάθεση του στον αποδέκτη. Το χλώριο έχει καταστεί ως ένα από τα φθηνότερα και αποτελεσματικότερα απολυμαντικά χειριστή για την αδρανοποίηση μικροοργανισμών και επιπλέον εγγυάται την μη επανεμφάνιση τους στη συνέχεια (Mazhar, et al., 2020).

Υπεριώδης ακτινοβολία

Ιδιαίτερα αποτελεσματική στην καταστροφή μικροοργανισμών, όπως είναι τα παθογόνα μικρόβια, βακτήρια και ιοί είναι και η μέθοδος απολύμανσης του νερού με υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Η μέγιστη καταστροφική ικανότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας επιτυγχάνεται σε μήκος κύματος περίπου 265 nm (250 -270 nm) όπου παρατηρείται η μέγιστη απορρόφηση της από τα νουκλεϊνικά οξέα (Gehr & Nicell, 1996). Με την υπεριώδη ακτινοβολία η απολύμανση του νερού επιτυγχάνεται κατά τη διέλευση μέσα από ειδικές συσκευές ακτινοβολήσής του με υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Για να εξασφαλιστεί η απολύμανση, το νερό πρέπει να είναι κατά το δυνατόν απαλλαγμένο από αιωρούμενα υλικά και ουσίες που απορροφούν το φως (Gehr & Nicell, 1996).

Οζόνωση

Το όζον είναι ένα άχρωμο ισχυρό οξειδωτικό μέσο, με έντονη οσμή και ασφαλέστερο στην χρήση σε σύγκριση με άλλα οξειδωτικά μέσα, όπως του διοξειδίου του χλωρίου (ClO₂). Το όζον παράγεται από ατμοσφαιρικό αέρα που έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία, ή από καθαρό οξυγόνο. Όπως το χλώριο, έτσι και το όζον αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα απολυμαντικά μέσα. Δρα ταχύτερα και ισχυρότερα από το χλώριο (300- 3000 φορές), επιτυγχάνοντας παράλληλα αποτελεσματικότερη καταστροφή των ιών (Δελήμπασης, 2001).

Το κύριο μειονέκτημα της επεξεργασίας με όζον είναι το γεγονός ότι η διαδικασία δεν αποικοδομεί πλήρως τις περισσότερες ουσίες. Έτσι, πολλοί από αυτούς μπορεί τοξικοί σε μεγάλο ή μικρό βαθμό και να απαιτούν επομένως ένα επιπλέον στάδιο θεραπείας μετά τον οζονισμό (Christian Baresel, 2019).

Διήθηση με άμμο

Η διήθηση με άμμο, η πρώτη από τις σύγχρονες διαδικασίες επεξεργασίας νερού, αναπτύχθηκε αρχικά από τον John Gibb στο Paisley της Σκωτίας το 1804. Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται εδώ και εκατοντάδες χρόνια για την παραγωγή νερού καλύτερης ποιότητας. Είναι πολύ αποτελεσματική στην απομάκρυνση βακτηρίων αλλά και στερεών και οργανικών ουσιών από το ακατέργαστο νερό (Muhammad, Ellis, Parr, & Smith, 1996). Η διήθηση γίνεται με την διέλευση του νερού μέσα από φίλτρα άμμου. Τα φίλτρα άμμου είναι διαδοχικά στρώματα λεπτού χαλικιού και χονδρής ή λεπτής άμμου όπου απομακρύνονται τα αιωρούμενα σωματίδια και γίνεται μερική βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών.

Προσρόφηση με ενεργό άνθρακα

Στις μέρες μας, όπου η ρύπανση των υδάτων θεωρείται παγκόσμια ανησυχία για το περιβάλλον και απαιτεί αποτελεσματικές επεξεργασίες του νερού με υψηλή απόδοση, η μέθοδος της προσρόφησης με ενεργό άνθρακα έχει μεγάλες δυνατότητες εξάλειψης των επίμονων ανόργανων και οργανικών ενώσεων (Anfar, et al., 2019). Ο ενεργός άνθρακας (AC) έχει αναγνωριστεί ως ένα από τα πιο δημοφιλή και ευρέως χρησιμοποιούμενα προσροφητικά στην επεξεργασία νερού σε όλο τον κόσμο. Οι ειδικές προσροφητικές ιδιότητες του άνθρακα ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά από τον Scheele το 1773 (Bhatnagara, WilliamHoglanda, & Sillanpac, 2012).

Η επεξεργασία του νερού με ενεργό άνθρακα γίνεται με τέτοιο τρόπο που του επιτρέπει να έχει μια εξαιρετικά πορώδη επιφάνεια. Για την τροποποίηση της δομής του, σημαντικό ρόλο παίζει ο τρόπος ενεργοποίησης του ενεργού άνθρακα καθώς και οι διάφορες λειτουργικές ομάδες που βρίσκονται στην επιφάνεια του. Οι πόροι αυτοί αυξάνουν σε μεγάλο βαθμό το εμβαδόν της επιφάνειάς του. Ως αποτέλεσμα μπορεί να δεσμεύει διάφορες ουσίες που έρχονται σε επαφή με αυτόν και σε ποσότητες πολλαπλάσιες από το βάρος του (Amit Bhatnagar, 2013).

Η δομή του είναι πολύ πορώδης και χαρακτηρίζεται από σπασίματα και ρωγμές μικρού ή μεγάλου μεγέθους. Τα μεγαλύτερα ανοίγματα (μακρόποροι) που αποτελούν το 10-20% του όγκου του κάθε κόκκου λειτουργούν σαν «πέρασμα» μέσω των οποίων οι ρυπαντές διαχέονται στους μεσόπορους ή μικρόπορους προσρόφησης (80-90% του όγκου του κόκκου). Οι πόροι του ενεργού άνθρακα είναι αυτοί που αυξάνουν την ολική του επιφάνεια, δηλαδή την επιφάνεια προσρόφησης (Μήτρακας, 2001)

Μετά από έρευνα, οι Baresel et.al (2019) διαπίστωσαν πως όλοι οι μικρόρυποι (MPs), (βακτήρια, φαινολικές ενώσεις, φαρμακευτικά υπολλείματα, μικροπλαστικά σωματίδια) που υπάρχουν στα λύματα, απομακρύνονταν από το σύστημα επεξεργασίας μέσω της προσρόφησης σε κοκκώδη ενεργό άνθρακα (GAC) σε φίλτρα σταθερής κλίνης, κάτω από

τα όρια ανίχνευσης ή σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Κύριο πλεονέκτημα της χρήσης του ενεργού άνθρακα είναι η αποτελεσματική απομάκρυνση των ΜΡ και η μη παραγωγή υποπροϊόντων, καθώς ακόμα και κατά την αναγέννηση ή την καταστροφή του, οι προσροφημένοι ρύποι καταστρέφονται (Christian Baresel, 2019).

Διήθηση με ζεόλιθο

Οι ζεόλιθοι είναι μικροπορώδη αργιλοπυριτικά ορυκτά με κρυσταλλική τετραεδρική δομή που εμφανίζει κοιλότητες, οι οποίες καταλαμβάνονται από ιόντα και μόρια νερού. Αναπτύσσονται τρισδιάστατα στο χώρο, στα οποία ο λόγος (Si +Al)/O ισούται με 1/2. Οι ζεόλιθοι ανακαλύφθηκαν το 1756, όταν ο Cronstedt ανακάλυψε πως κάποια ορυκτά χάνουν νερό όταν θερμαίνονται, χωρίς να αλλάζει η δομή τους. Μπορούν λοιπόν να χάνουν και να επανακτούν πλήρως το νερό το οποίο εμπεριέχεται στους πόρους τους με θέρμανση και απλή έκθεση στην υγρασία του αέρα αντίστοιχα(ικανότητα προσρόφησης), καθώς και να ανταλλάσσουν ορισμένα ιόντα(ικανότητα ανταλλαγής ιόντων), χωρίς να μεταβάλλεται η δομή τους. Στην επεξεργασία του νερού χρησιμοποιούνται ως προσροφητικά για την απομάκρυνση οργανικών διαλυτών ή για αφαίρεση ιόντων. Μπορούν επίσης να δράσουν σαν ρυθμιστές της ποσότητας νερού, καθώς μπορούν να απορροφήσουν μέχρι το 55% του βάρους τους σε νερό και μετά να το απελευθερώσουν.

2. ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα των μεθόδων απομάκρυνσης των μικροοργανισμών στο πλαίσιο της επεξεργασίας του νερού του ποταμού Αλιάκμονα στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Θεσσαλονίκης. Ειδικότερα, εξετάστηκε η δυνατότητα απομάκρυνσης βακτηρίων (ολικά κολοβακτηρίδια, *Escherichia coli*, εντερόκοκκοι) ι. από το νερό του Αλιάκμονα, από την είσοδό του στην εγκατάσταση, σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας και κατά την έξοδό του προς το δίκτυο διανομής νερού στην πόλη της Θεσσαλονίκης και ιι. σε καλλιέργειες πρότυπων στελεχών σε εργαστηριακό επίπεδο με τη χρήση χαλαζιακής άμμου, ζεόλιθου και ενεργού άνθρακα.

3. ΜΟΝΑΔΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

3.1 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Θεσσαλονίκης (ΕΕΝΘ) ΕΥΑΘ ΑΕ

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού Θεσσαλονίκης (ΕΕΝΘ) (Εικόνα 2) βρίσκεται βόρεια της βιομηχανικής περιοχής Σίνδου. Η κατασκευή της ολοκληρώθηκε στο τέλος του 2002 και έχει δυναμικότητα παραγωγής επεξεργασμένου νερού 150.000 m³ ημερησίως, το οποίο καλύπτει περίπου το 60% των αναγκών σε ύδρευση του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης. Το νερό που φτάνει στην ΕΕΝΘ από τον ποταμό Αλιάκμονα εκτρέπεται από φράγμα στη θέση Αγία Βαρβάρα (Βέροια), με ελεύθερη ροή μέσω ανοικτής διώρυγας συνολικού μήκους 50 km οδηγείται μέσω σίφωνα κάτω από τον ποταμό Αξιό και στη συνέχεια με κλειστό αγωγό μήκους 8 km ελεύθερης ροής οδηγείται στο αντλιοστάσιο της Σίνδου.

3.2 Στάδια Επεξεργασίας Νερού στην ΕΕΝΘ

Η διαδικασία επεξεργασίας του πόσιμου νερού θεωρείται μια διαδικασία με πολλά στάδια και με σημαντικές, σε ορισμένες περιπτώσεις, τεχνικές δυσκολίες προκειμένου να επιτευχθεί η αποτελεσματική απολύμανση.

Η τροφοδοσία της εγκατάστασης γίνεται από τη δεξαμενή εισόδου (Δ2) (Εικ 3α). Στο στάδιο αυτό έχουμε και τις πρώτες μετρήσεις του εισερχόμενου νερού από όργανα συνεχούς μέτρησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού. Οι παράμετροι που ελέγχονται είναι η θερμοκρασία, το pH, η θολότητα και η αγωγιμότητα.



Εικόνα 2: Κάτοψη εγκατάστασης της ΕΕΝΘ (Σερετούδη Γεωργία, 2012)

Προοξόνωση -Ρύθμιση ΡΗ- Προσθήκη κροκιδωτικού

Η προοξόνωση γίνεται για την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου. Το προς επεξεργασία νερό εισέρχεται στις δεξαμενές προοξόνωσης όπου έρχεται σε επαφή με το όζον (O₃), το οποίο παράγεται στη μονάδα οξόνωσης που διαθέτει η εγκατάσταση. Η δεξαμενή προοξόνωσης είναι αεροστεγώς καλυμμένη, και η περίσσεια αέρα-όζοντος οδηγείται σε καταστροφέα. Στη συνέχεια γίνεται ρύθμιση του pH για τη διευκόλυνση της περαιτέρω διαδικασίας με έγχυση διαλύματος H₂SO₄ 98%. Η επεξεργασία βελτιστοποιείται σε PH κοντά στο 7 ενώ το εισερχόμενο νερό από τον ποταμό είναι της τάξεως του 8-8,5. Το νερό στη συνέχεια οδηγείται σε τρεις δεξαμενές όπου γίνεται προσθήκη και ανάδευση θειικού αργιλίου (Al₂(SO₄)₃). Το θειικό αργίλιο χρησιμοποιείται σαν κροκιδωτικό, δηλαδή δρα έτσι ώστε τα αιωρούμενα στερεά να δημιουργήσουν συσσωματώματα και να καθιζάνουν ευκολότερα στις δεξαμενές καθίζησης στη συνέχεια της επεξεργασίας.

Κροκίδωση-Καθίζηση

Στις δεξαμενές κροκίδωσης-καθίζησης (τρεις, κυκλικές, διαμέτρου 30 m) (Εικ. 3β), το νερό εισέρχεται από τον πυθμένα του θαλάμου κροκίδωσης και έρχεται σε επαφή με διάλυμα πολυηλεκτρολύτη, με σκοπό τη δημιουργία μεγαλύτερων συσσωματωμάτων που καθιζάνουν ευκολότερα και τη διαύγαση του νερού (90% απομάκρυνση στερεών). Η δεξαμενή έχει περιστρεφόμενο σύστημα σάρωσης για την συγκέντρωση της ιλύος στο κέντρο της δεξαμενής απ' όπου αντλείται και απομακρύνεται τελικά στα απορρίμματα, ως και το μόνο παραπροϊόν της εγκατάστασης. Μέσω της κροκιδοκαθίζησης επιτυγχάνεται η μείωση των αιωρούμενων στερεών, μικροφυκών, οργανικού φορτίου και η απομάκρυνση επιπλεόντων συσσωματωμάτων.

Διήθηση μεσώ κλινών άμμου και άμμου-ανθρακίτη

Έτσι, μετά την κροκιδοκαθίζηση, ακολουθεί η διήθηση του νερού η οποία πραγματοποιείται σε κλίνες διύλισης βαρύτητας, υψηλής ταχύτητας φόρτισης. Υπάρχουν εννέα δίδυμες κλίνες μονοστρωματικού διηθητικού μέσου (άμμος) (Εικ. 3γ), οι οποίες αποτελούν φυσικό τρόπο μηχανικής απομάκρυνσης της θολότητας. Το νερό διαπερνά τα φίλτρα άμμου όπου διαστρωματικά συγκρατείται θολότητα και αιωρούμενα στερεά.

Οξόνωση

Στη συνέχεια το νερό διέρχεται από τη δεξαμενή του διυλισμένου νερού σε κλειστή δεξαμενή όπου έρχεται σε επαφή με το όζον. Σε αυτό το στάδιο επεξεργασίας γίνεται η κυρίως απολύμανση του νερού, κι ότι μικροβιολογικό φορτίο κι αν υπήρχε στο νερό, σε αυτό το στάδιο αφανίζεται. Στη δεξαμενή αυτή προστίθενται όζον και υπεροξείδιο του υδρογόνου, τα οποία με την οξειδωτική τους δράση, διασπούν σε απλούστερες χημικές ενώσεις, τα τυχόν φυτοφάρμακα που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται καλύτερα η απομάκρυνση τους στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας (κλίνες ενεργού άνθρακα).

Κλίνες ενεργού άνθρακα-Μονάδα Αναγέννησης Άνθρακα

Στη συνέχεια, το νερό εισέρχεται σε κλίνες που περιέχουν ενεργό άνθρακα (οκτώ δίδυμες κλίνες) (Εικ. 3δ). Στο στάδιο αυτό επιτυγχάνεται κυρίως η προσρόφηση και βιοαποικοδόμηση οργανικών ουσιών (πχ προϊόντα διάσπασης φυτοφαρμάκων) και η απομάκρυνση οσμής και γεύσης. Η διύλιση που πραγματοποιείται στις *κλίνες ενεργού άνθρακα* είναι παρόμοια με αυτή που συμβαίνει στις κλίνες άμμου. Το νερό διαπερνά τα στρώματα του ενεργού άνθρακα και εκεί κατακρατείται κάθε μορφής οργανικό φορτίο.

Χλωρίωση

Από τις κλίνες άνθρακα το νερό στη συνέχεια χλωριώνεται για να προωθηθεί προς κατανάλωση. Μέσω της χλωρίωσης επιτυγχάνεται η καταστροφή παθογόνων οργανισμών και η παρεμπόδιση ανάπτυξης μικροβιολογικής ρύπανσης στη δεξαμενή εξόδου αλλά και κατά τη μεταφορά του νερού στο δίκτυο. Το νερό είναι πλέον ελεύθερο από οργανικό φορτίο, στερεά, θολότητα και φυτοφάρμακα. Το νερό απολυμαίνεται με χλώριο, λίγο πριν την διάθεσή του στην κατανάλωση, διότι το χλώριο έχει υπολειμματική ικανότητα (κατακρατείται δηλαδή διαλυμένο χλώριο μέσα στο νερό) και έτσι το νερό ταξιδεύει στο δίκτυο με ασφάλεια. Το όζον που χρησιμοποιείται απολυμαίνει τοπικά, αλλά δεν έχει την υπολειμματική δράση που χρειαζόμαστε για την μεταφορά του νερού στο δίκτυο.

Διόρθωση pH με προσθήκη υδρασβέστου

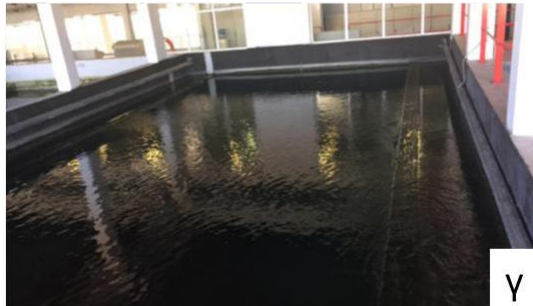
Σε περίπτωση που χρειάζεται διόρθωση του τελικού pH του πόσιμου νερού σε καθορισμένες τιμές για την αποφυγή ανεπιθύμητων επικαθήσεων στο δίκτυο διανομής, χρησιμοποιείται υδράσβεστος, έτσι ώστε το νερό που θα μεταφέρουμε στο δίκτυο να μην είναι διαβρωτικό αλλά ελαφρώς επικαθιζόμενο. Στο τελικό στάδιο, το επεξεργασμένο νερό εισέρχεται δεξαμενή εξόδου Δ3 (χωρητικότητα περίπου 80.000 m³). Από εκεί και μέσω βαρύτητας οδηγείται μέσω δύο αγωγών προς το αντλιοστάσιο Διαβατών και στη βιομηχανική περιοχή της Σίνδου αντίστοιχα.



α



β



γ



δ

Εικόνα 3: (α) Δεξαμενή Δ2 (β) Δεξαμενή κροκιδοκαθίξεσης (γ) κλίνη άμμου (δ) κλίνη Άνθρακα

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

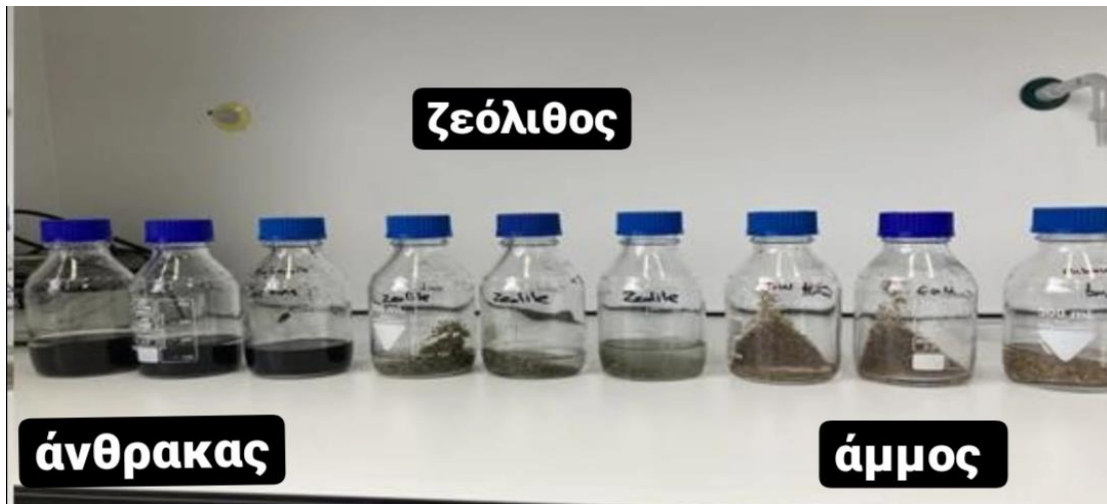
4.1 Απομάκρυνση μικροοργανισμών στα πλαίσια λειτουργίας της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού

Για τον προσδιορισμό και τη δυνατότητα απομάκρυνσης βακτηρίων κατά τα διάφορα στάδια επεξεργασίας του νερού του Αλιάκμονα, πραγματοποιήθηκαν συνολικά 10 δειγματοληψίες κατά τη διάρκεια 2021-2022. Οι δειγματοληψίες νερού πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα στην είσοδο της εγκατάστασης (Δ2), στα διαφορετικά στάδια επεξεργασίας νερού της ΕΕΝΘ (1=ρύθμιση pH, 2=προοζόνωση, 3.1-3.3=έξοδος κροκιδοκαθιζήσεων, 7=έξοδος κλινών άμμου, 8=οζόνωση, 9.1-9.8=έξοδος κλινών άνθρακα, 13=χλωρίωση) και στην έξοδο του νερού (14κ). Οι τέσσερις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2021) και οι έξι κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου (Ιούλιος-Αύγουστος 2022).

4.2 Απομάκρυνση μικροοργανισμών σε πειραματική διάταξη

Σε πειραματική διάταξη που στήθηκε στο εργαστήριο (Εικ. 4), διερευνήθηκε η απομάκρυνση βακτηρίων (ολικά κολοβακτηρίδια, *E.coli*, εντερόκοκκοι) σε καλλιέργειες πρότυπων στελεχών με τη χρήση άνθρακα, ζεόλιθου και άμμου. Πριν τη χρήση του ενεργού άνθρακα, του ζεόλιθου και της άμμου πραγματοποιήθηκαν 10 περίπου πλύσεις του κάθε υλικού με απιονισμένο νερό προκειμένου να απομακρυνθεί η επιφανειακή σκόνη των υλικών. Στη συνέχεια σε 3 αποστειρωμένες φιάλες προστέθηκε από 1 L/ φιάλη υπερκάρθο νερό, το οποίο αποστειρώθηκε για 20 λεπτά στους 121°C. Σε κάθε μία από αυτές τις φιάλες προστέθηκαν από 1 ml από ενυδατωμένα πρότυπα στελέχη ολικών κολοβακτηριδίων (*Klebsiella* & *Escherichia*), *Escherichia* και *Enterococcus* αντίστοιχα και δημιουργήθηκαν τρεις αρχικές καλλιέργειες από τις τρεις κατηγορίες βακτηρίων. 100 mL από την κάθε κάθε καλλιέργεια διηθήθηκαν, επώαστηκαν στις κατάλληλες συνθήκες και θρεπτικό μέσο και χαρακτηρίστηκαν ως αρχική καλλιέργεια-μάρτυρας για κάθε κατηγορία βακτηρίων. Στη συνέχεια, 250 mL από κάθε καλλιέργεια προστέθηκαν αντίστοιχα σε καθένα από τα τρία σετ δοχείων που περιείχαν χαλαζιακή άμμο, ζεόλιθο και ενεργό άνθρακα.

Με την πάροδο 20 λεπτών όσο δηλαδή παραμένει το νερό στις αντίστοιχες κλίνες (άμμο, ζεόλιθου και ενεργού άνθρακα) της εγκατάστασης επεξεργασίας νερού και αφού αναδεύτηκαν καλά για να έρχεται όλο το νερό σε επαφή με τον ζεόλιθο, την άμμο και τον ενεργό άνθρακα, 100 mL από κάθε καλλιέργεια/υλικό διηθήθηκαν μέσω μεμβράνης (διαμ. πόρου 0.22 μm). Οι καλλιέργειες/υλικά τοποθετήθηκαν στη συνέχεια στο ψυγείο για να αποφευχθεί η ανάπτυξη των μικροοργανισμών σε σχέση με τις αρχικές καλλιέργειες-μάρτυρες και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία μετά την πάροδο 24 ωρών σε επαφή με τα 3 υλικά.



Εικόνα 4: Πειραματική διάταξη των τριών διαφορετικών βακτηριακών καλλιεργειών (ολικά κολοβακτηρίδια, *Escherichia*, *Enterococcus*) μέσα σε άνθρακα, ζεόλιθο και άμμο (3 x άνθρακας, 3 x ζεόλιθος, 3 x άμμος)

4.3 Προσδιορισμός αφθονίας μικροοργανισμών

Η αφθονία των ολικών κολοβακτηριδίων, του *Escherichia* και των εντερόκοκκων υπολογίζεται με βάση τη μέθοδο διήθησης μέσω μεμβράνης όπως αυτή περιγράφεται στα ISO 9308-1 και 7899.02. Συγκεκριμένα, κάθε δείγμα διηθείται μέσω μεμβράνης-φίλτρου (άνοιγμα πόρου 0,45 μm και διάμετρο 47 mm). Η διήθηση των δειγμάτων νερού πραγματοποιείται στην περίπτωση μας με τη συσκευή διήθησης και την αντλία κενού της Millipore που απεικονίζονται στην Εικόνα 5. Μετά τη διήθηση, η μεμβράνη μεταφέρεται στο αντίστοιχο τριβλίο με το κατάλληλο θρεπτικό μέσο για την ανάπτυξη της εκάστοτε κατηγορίας βακτηρίων. Ειδικότερα, τα θρεπτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν: M-Endo Agar για τα ολικά κολοβακτηρίδια, MFC Agar για τα *Escherichia* και Slanetz Bartley Agar για τους εντερόκοκκους (*Enterococcus*). Στη συνέχεια τα τριβλία αυτά επώαστηκαν στις κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα: 24h στους 37°C για τα ολικά κολοβακτηρίδια, 48h στους 37°C για τους εντερόκοκκους, 24h στους 44°C για τα *Escherichia*. Με την πάροδο του αντίστοιχου χρονικού διαστήματος, πραγματοποιήθηκε η καταμέτρηση των αποικιών που αναπτύχθηκαν κατά περίπτωση. Με την παραπάνω μέθοδο προσδιορίζεται η αφθονία των παραπάνω μικροοργανισμών σε colony forming units (cfu) ανά 100 mL (ολικά κολοβακτηρίδια, *Escherichia*, *Enterococcus*). Όλα τα υλικά και σκεύη αποστειρώνονται σε αυτόκαυστο στους 121°C για 15 min πριν τη χρήση τους.



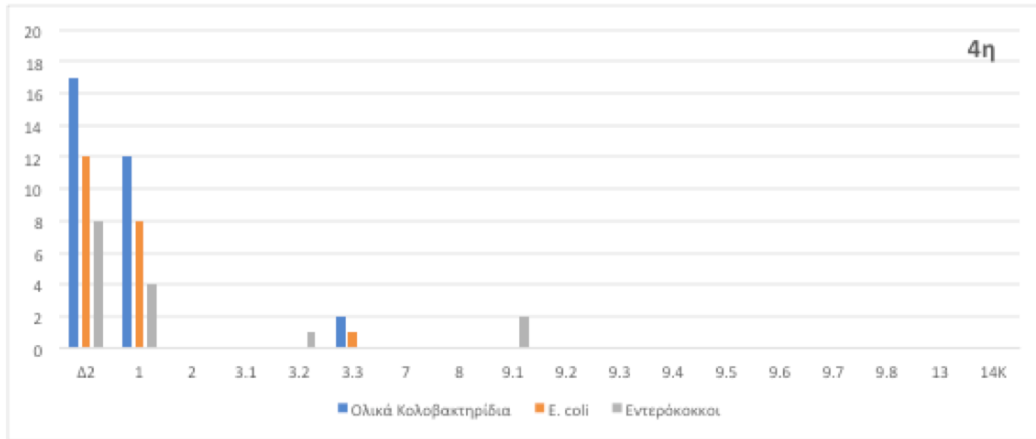
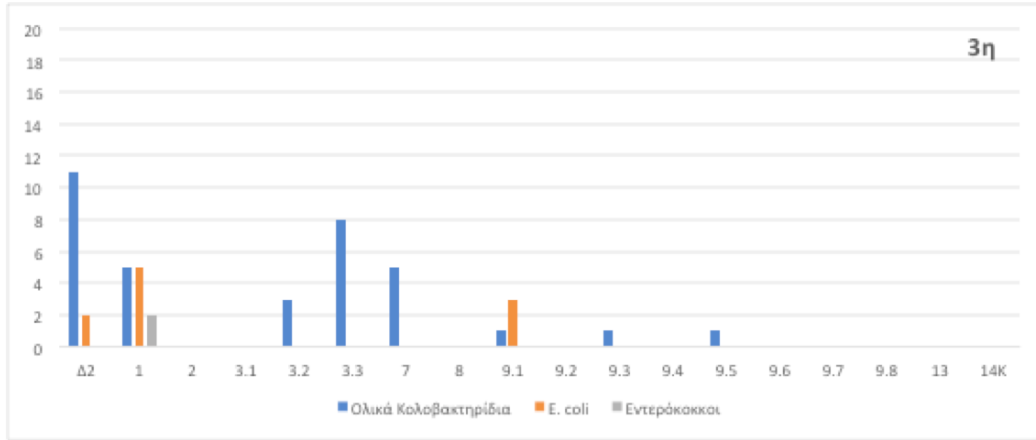
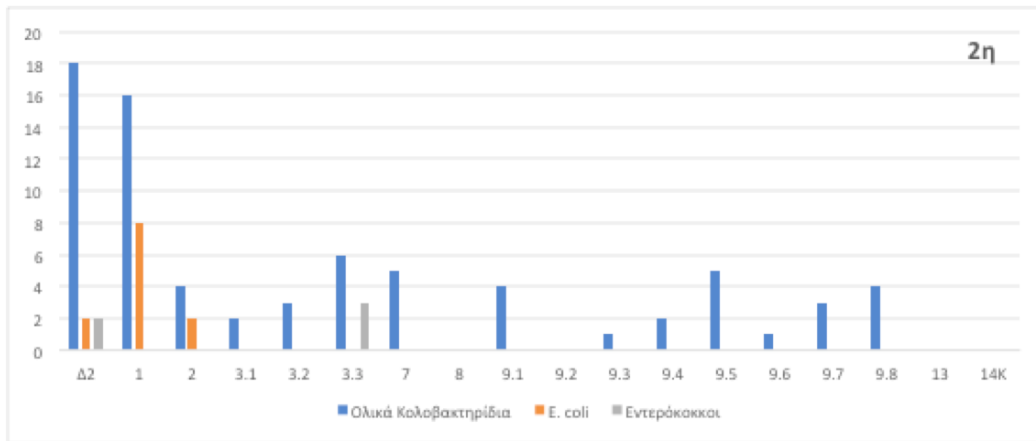
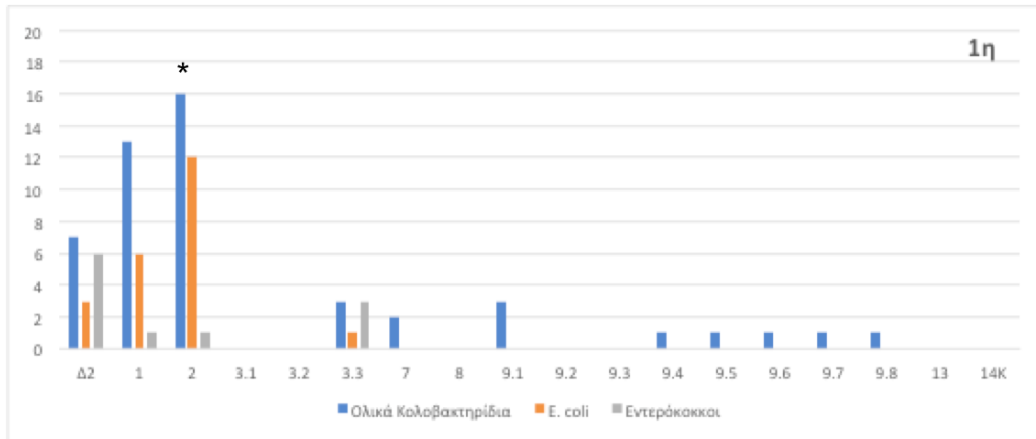
Εικόνα 5: Διάταξη διήθησης δειγμάτων νερού (συσσκευή διήθησης, αντλία κενού) και τριβλία με θρεπτικό υλικό (α) για ολικά κολοβακτηρίδια κόκκινο υπόστρωμα- M-Endo Agar (β) για Escherichia μπλε υπόστρωμα-MFC Agar (γ) για εντερόκοκκους

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Απομάκρυνση μικροοργανισμών στα πλαίσια λειτουργίας της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού

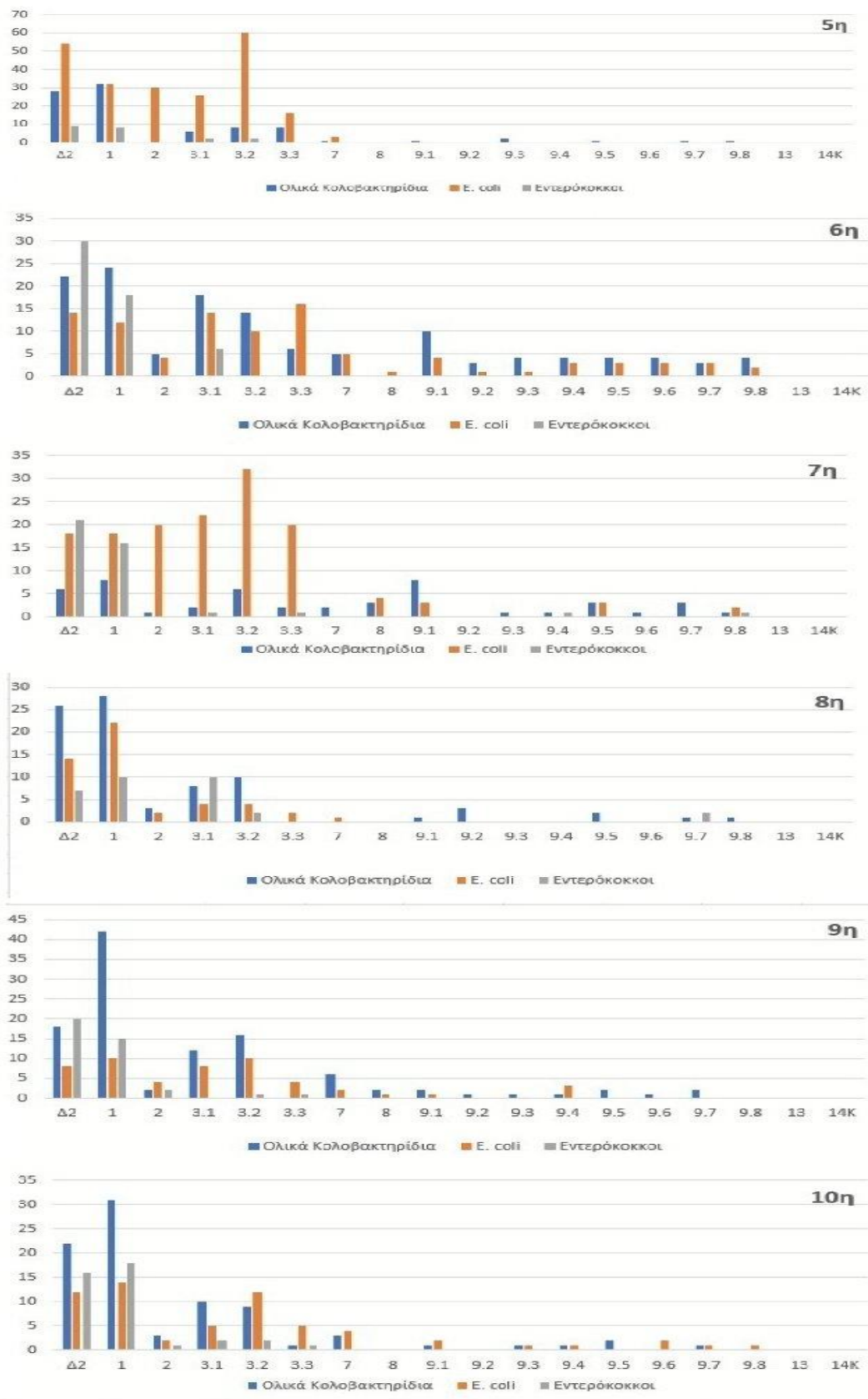
Στις Εικόνες 6 και 7 παρουσιάζονται οι αφθονίες (cfu/100 mL) των ολικών κολοβακτηριδίων, του *E. coli* και των εντεροκόκκων στο νερό του Αλιάκμονα που εισέρχεται στην εγκατάσταση (Είσοδος Δ2) και κατά τα διάφορα βασικά στάδια επεξεργασίας (1,2, 3.1-3.3.3, 7, 8, 9.1-9.8, 13, 14κ), όπως αυτές προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο διήθησης σε μεμβράνη. Όπως αναφέρεται και στο κεφ. Μεθοδολογία, πραγματοποιήθηκαν συνολικά 10 δειγματοληψίες στην είσοδο και στα διαφορετικά στάδια επεξεργασίας νερού της ΕΕΝΘ, οι τέσσερις κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2021) (Εικόνα 6) και οι έξι κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου (Ιούλιος-Αύγουστος 2022) (Εικόνα 7).

Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου, οι αφθονίες των ολικών κολοβακτηριδίων, του *E.coli* και των εντεροκόκκων στο νερό του Αλιάκμονα που εισέρχεται στην εγκατάσταση (Δ2), κυμάνθηκαν από 6-18 cfu/100 mL, 2-12 cfu/100 mL και 0-8 cfu/100 mL αντίστοιχα (Εικόνα 6). Στο στάδιο ρύθμισης του pH (1) προσδιορίστηκαν 5-16 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια, 5-8 cfu/100 mL *E.coli* και 0-4 cfu/100 mL εντερόκοκκοι. Κατά την προζόνωση (2) οι αφθονίες των ιδίων μικροοργανισμών ήταν 0-16 cfu/100 mL, 0-12 cfu/100 mL και 0-1 cfu/100 mL αντίστοιχα. Κατά την έξοδο του νερού από τις δεξαμενές κροκιδοκαθίτισης (3.1-3.3) προσδιορίστηκαν 0-8 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια, 0-1 cfu/100 mL *E.coli* και 0-3 cfu/100 mL εντερόκοκκοι. Κατά την έξοδο του νερού από τις κλίνες άμμου (7) οι τιμές αυτές κυμάνθηκαν σε 0-7 cfu/100 mL για τα ολικά κολοβακτηρίδια και 0 cfu/100 mL για *E.coli* και εντερόκοκκους. Μετά το πέρας της οζόνωσης (8) προσδιορίστηκαν 0 cfu/100 mL και για τους 3 εξεταζόμενους μικροοργανισμούς. Κατά την έξοδο του νερού από τις κλίνες άμμου (9.1-9.8) οι αφθονίες των ολικών κολοβακτηριδίων, του *E.coli* και των εντεροκόκκων στο νερό, κυμάνθηκαν από 0-5 cfu/100 mL, 0-3 cfu/100 mL και 0-2 cfu/100 mL αντίστοιχα. Μετά την χλωρίωση του νερού (13) και στο στάδιο όπου το νερό του Αλιάκμονα εξέρχεται από την ΕΝΝΘ και προορίζεται για κατανάλωση (14Κ) δεν ανιχνεύθηκαν αφθονίες ολικών κολοβακτηριδίων, του *E.coli* και των εντεροκόκκων (0 cfu/100 mL).



Εικόνα 6: Αφθονίες ολικών κολοβακτηριδίων, *E. coli* και εντεροκόκκων (cfu/100 mL) (άξονας γ) στα διάφορα στάδια επεξεργασίας (άξονας χ) κατά τη χειμερινή περίοδο (* εκτός λειτουργίας)

Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου, οι αφθονίες των ολικών κολοβακτηριδίων, του *E. coli* και των εντεροκόκκων στο νερό του Αλιάκμονα που εισέρχεται στην εγκατάσταση (Δ2), κυμάνθηκαν από 6-28 cfu/100 mL, 8-54 cfu/100 mL και 7-30 cfu/100 mL αντίστοιχα (Εικόνα 7). Στο στάδιο ρύθμισης του pH (1) προσδιορίστηκαν 8-42 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια, 10-32 cfu/100 mL *E. coli* και 8-18 cfu/100 mL εντεροκόκκοι. Κατά την προζώνωση (2) οι αφθονίες των ιδίων μικροοργανισμών ήταν 0-5 cfu/100 mL, 2-30 cfu/100 mL και 0-2 cfu/100 mL αντίστοιχα. Κατά την έξοδο του νερού από τις δεξαμενές κροκιδοκαθίζησης (3.1-3.3) προσδιορίστηκαν 0-18 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια, 2-60 cfu/100 mL *E. coli* και 0-10 cfu/100 mL εντεροκόκκοι. Κατά την έξοδο του νερού από τις κλίνες άμμου (7) οι τιμές αυτές κυμάνθηκαν σε 0-6 cfu/100 mL για τα ολικά κολοβακτηρίδια και 0-5 cfu/100 mL για *E. coli* και 0 cfu/100 mL για τους εντεροκόκκους. Μετά το πέρας της οζόνωσης (8) προσδιορίστηκαν 0-3 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια, 0-4 cfu/100 mL *E. coli* και 0 cfu/100 mL εντεροκόκκοι. Κατά την έξοδο του νερού από τις κλίνες άμμου (9.1-9.8) οι αφθονίες των ολικών κολοβακτηριδίων, του *E. coli* και των εντεροκόκκων στο νερό, κυμάνθηκαν από 0-10 cfu/100 mL, 0-4 cfu/100 mL και 0-2 cfu/100 mL αντίστοιχα. Μετά την χλωρίωση του νερού (13) και στο στάδιο όπου το νερό του Αλιάκμονα εξέρχεται από την ΕΝΝΘ και προορίζεται για κατανάλωση (14Κ) δεν ανιχνεύθηκαν αφθονίες ολικών κολοβακτηριδίων, του *E. coli* και των εντεροκόκκων (0 cfu/100 mL) όπως ήταν αναμενόμενο.



Εικόνα 7: Αφθονίες ολικών κολοβακτηριδίων, E. coli και εντεροκόκκων (cfu/100 mL) (άξονας γ) στα διάφορα στάδια επεξεργασίας (άξονας χ) κατά τη θερινή περίοδο (* εκτός λειτουργίας)

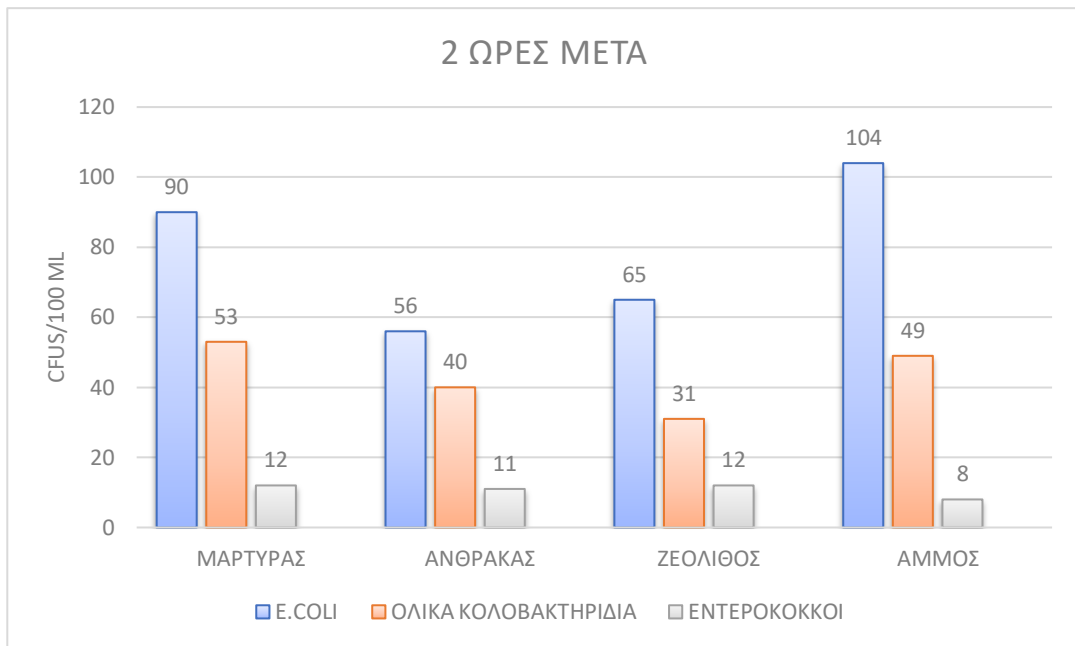
5.2 Απομάκρυνση μικροοργανισμών σε πειραματική διάταξη

Στις Εικόνες 10, 11 και 12 παρουσιάζονται οι αφθονίες (cfu/100 mL) των ολικών κολοβακτηριδίων, των *E. coli* και των εντεροκόκκων όπως αυτές προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο διήθησης σε μεμβράνη στην αρχική καλλιέργεια-μάρτυρα και μετά από «επεξεργασία» του με ζεόλιθο, ενεργό άνθρακα και χαλαζιακή άμμο με χρόνους παραμονής 2 και 24 ωρών στα τρία αυτά υλικά. Τα ποσοστά απομάκρυνσης των παραπάνω μικροοργανισμών από την αρχική καλλιέργεια-μάρτυρα με τη χρήση των τριών υλικών παρουσιάζονται αντίστοιχα στον Πίνακα 3 .

Στην αρχική καλλιέργεια-μάρτυρα, προσδιορίστηκαν 90 cfu/100 mL *E. coli* ,53 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια, και 12 cfu/100 mL εντερόκοκκοι.

Δύο ώρες μετά την επεξεργασία-παραμονή της αρχικής καλλιέργειας με τη χρήση ενεργού άνθρακα, ζεόλιθου και χαλαζιακής άμμου προέκυψαν τα εξής:

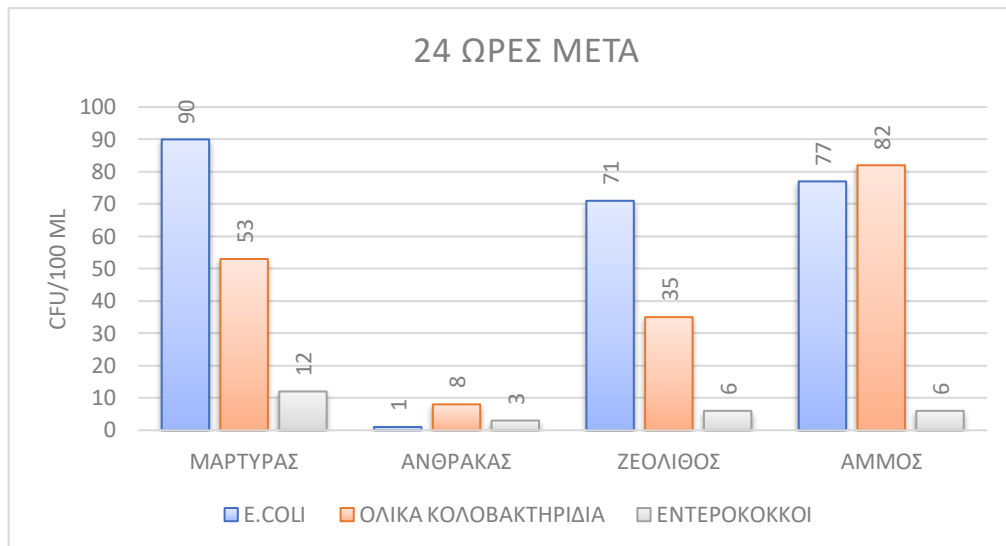
Στην περίπτωση της επεξεργασίας με ενεργό άνθρακα, προσδιορίστηκαν 56 cfu/100 mL *E.coli*, 40 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια και 11 cfu/100 mL εντερόκοκκοι. Η απομάκρυνση των βακτηρίων *E.coli* ήταν 38%, ενώ η απομάκρυνση σε ολικά κολοβακτηρίδια και εντερόκοκκους 25% και 8% αντίστοιχα (Πίν. 3). Στην περίπτωση επεξεργασίας με ζεόλιθο, προσδιορίστηκαν 65 cfu/100 mL *E.coli*, 31 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια και 12 cfu/100 mL εντερόκοκκοι. Η απομάκρυνση των ολικών κολοβακτηριδίων ήταν λίγο μεγαλύτερη (42%), ενώ τα βακτήρια *E.coli* και οι εντερόκοκκοι φαίνεται να επηρεάστηκαν λιγότερο σε ποσοστό 28% και 0% αντίστοιχα. Στην περίπτωση επεξεργασίας με χαλαζιακή άμμο προσδιορίστηκαν 104 cfu/100 mL *E.coli*, 49 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια και 8 cfu/100 mL εντερόκοκκοι. Υπήρξε κάποια απομάκρυνση όσον αφορά τους εντερόκοκκους (34%), ενώ δεν επηρεάστηκαν σχεδόν καθόλου *E.coli* και ολικά κολοβακτηρίδια (0% και 8%).



Εικόνα 8: Αφθονίες ολικών κολοβακτηριδίων, E. coli και εντεροκόκκων (cfu/100 mL) στην καλλιέργεια-μάρτυρα και στις αντίστοιχες καλλιέργειες μετά από επεξεργασία με ενεργό άνθρακα, ζεόλιθο και χαλαζιακή άμμο για χρόνο 2h.

Είκοσι τέσσερις ώρες μετά την επεξεργασία-παραμονή της αρχικής καλλιέργειας με τη χρήση ενεργού άνθρακα, ζεόλιθου και χαλαζιακής άμμου προέκυψαν τα εξής:

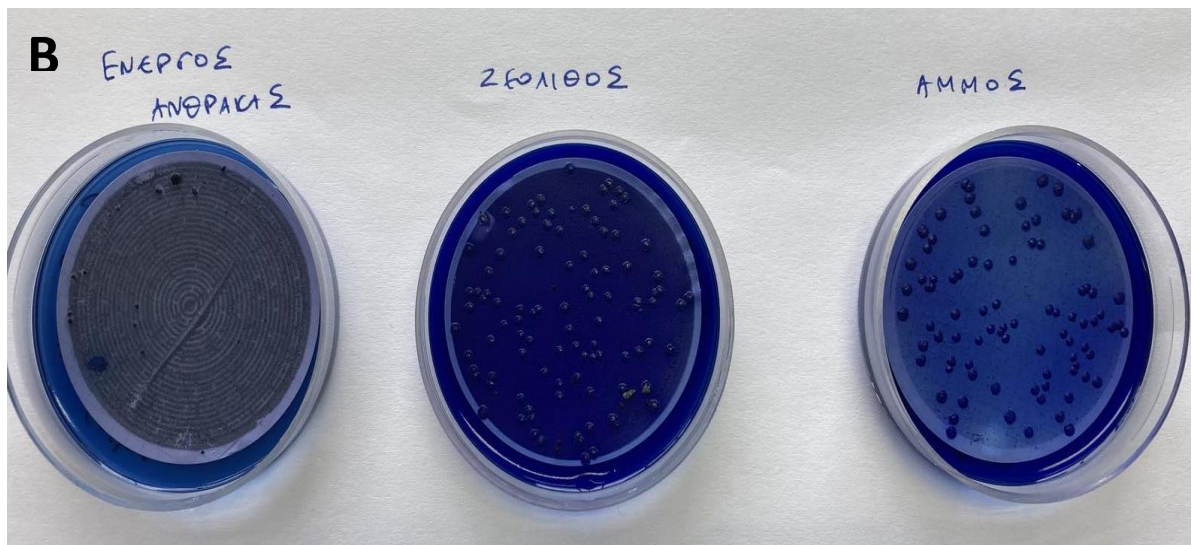
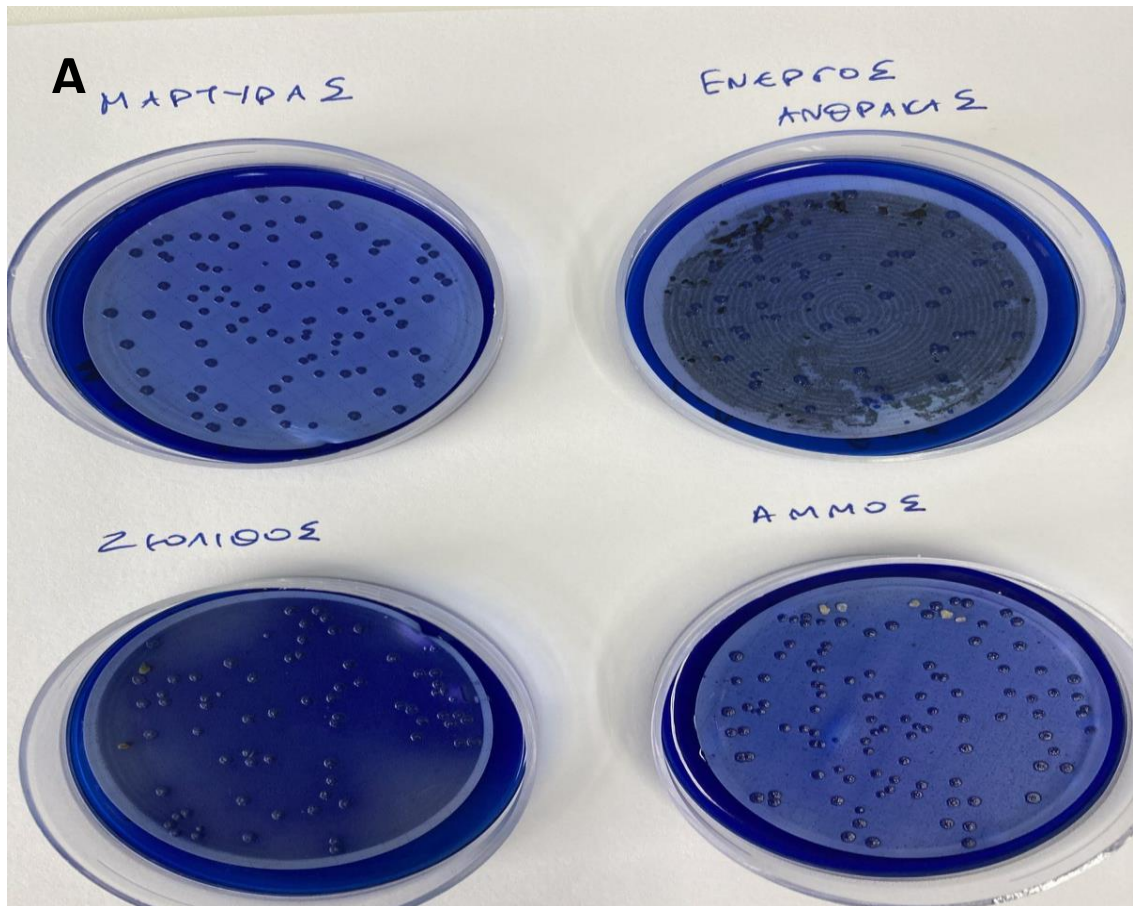
Στην περίπτωση της επεξεργασίας με ενεργό άνθρακα, προσδιορίστηκαν 1 cfu/100 mL E.coli, 8 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια και 3 cfu/100 mL εντερόκοκκοι. Τόσο η απομάκρυνση των *E.coli* όσο και των ολικών κολοβακτηριδίων αλλά και των εντεροκόκκων ήταν σημαντική (99%, 85% και 75% αντίστοιχα). Στην περίπτωση επεξεργασίας με ζεόλιθο, προσδιορίστηκαν 71 cfu/100 mL E.coli, 35 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια και 6 cfu/100 mL εντερόκοκκοι. Η απομάκρυνση των ίδιων μικροοργανισμών εδώ ήταν μικρότερη, καθώς ήταν μόλις 22% για τα βακτήρια E.coli, 34% για τα ολικά κολοβακτηρίδια, ενώ οι εντερόκοκκοι απομακρύνθηκαν σε ποσοστό 50%. Στην περίπτωση επεξεργασίας με χαλαζιακή άμμο προσδιορίστηκαν 77 cfu/100 mL E.coli, 82 cfu/100 mL ολικά κολοβακτηρίδια και 6 cfu/100 mL εντερόκοκκοι. Η απομάκρυνση ήταν ακόμη μικρότερη συγκριτικά με το ζεόλιθο και τον ενεργό άνθρακα για E.coli και ολικά κολοβακτηρίδια (15% και 0%) ενώ στους εντερόκοκκους η απομάκρυνση ήταν ίδια όπως και κατά την επεξεργασία με ζεόλιθο (50%).



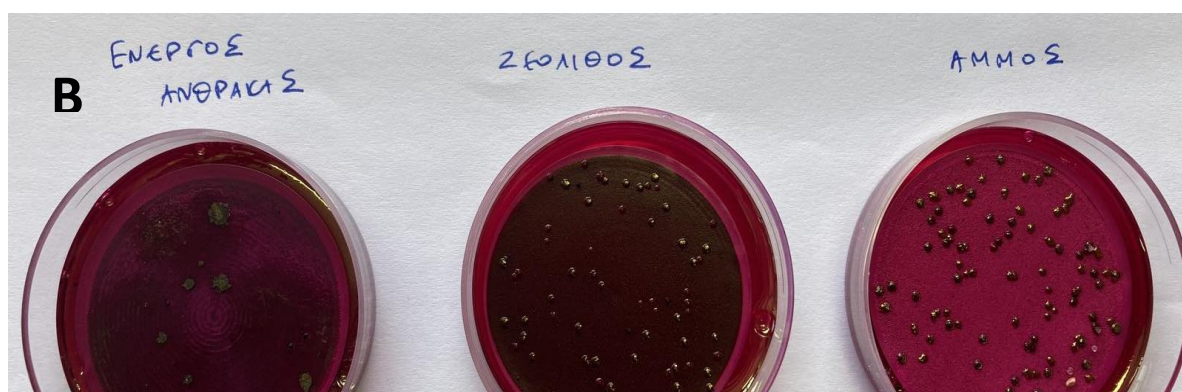
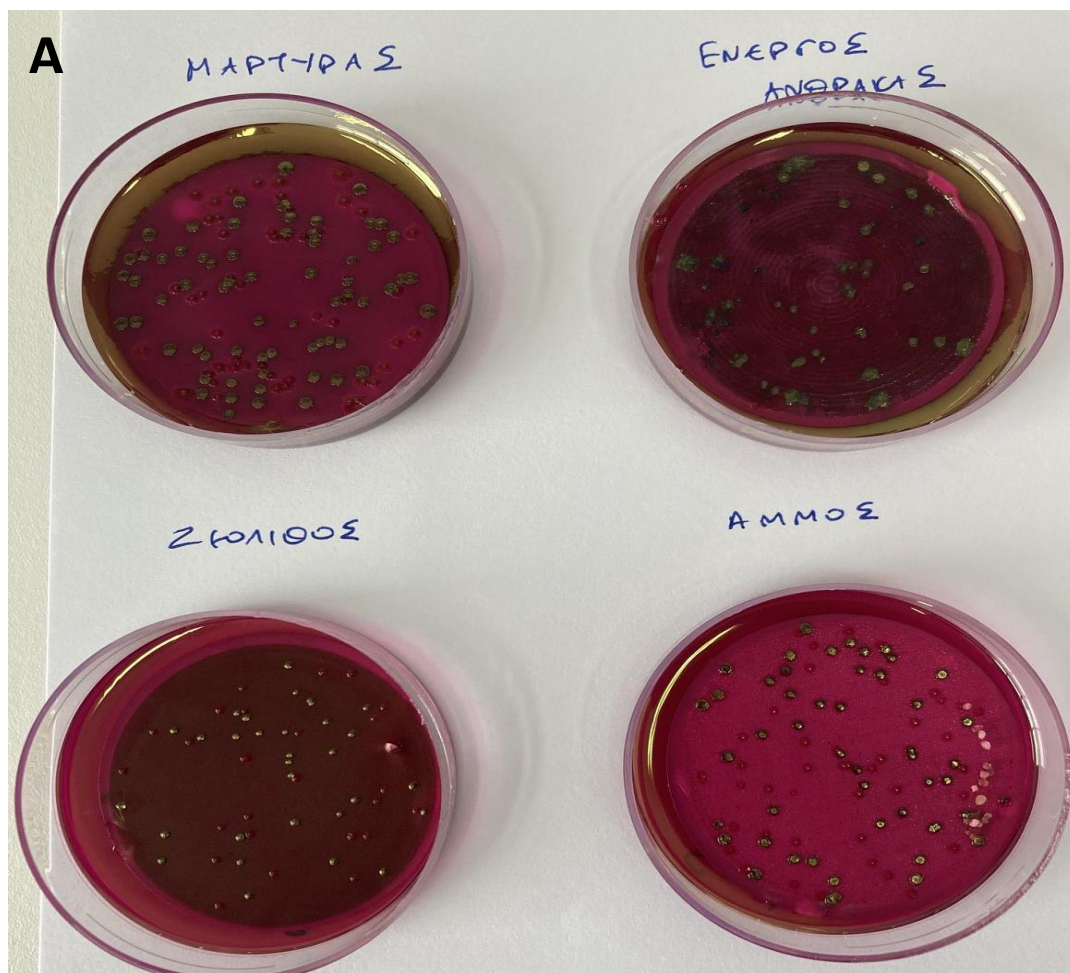
Εικόνα 9: Αφθονίες ολικών κολοβακτηριδίων, E. coli και εντεροκόκκων (cfu/100 mL) στην καλλιέργεια-μάρτυρα και στις αντίστοιχες καλλιέργειες μετά από επεξεργασία με ενεργό άνθρακα, ζεόλιθο και χαλαζιακή άμμο για χρόνο 24h

Πίνακας 3: Ποσοστά απομάκρυνσης μικροοργανισμών από καλλιέργειες με πρότυπα στελέχη με τη χρήση ενεργού άνθρακα και ζεόλιθου και άμμου

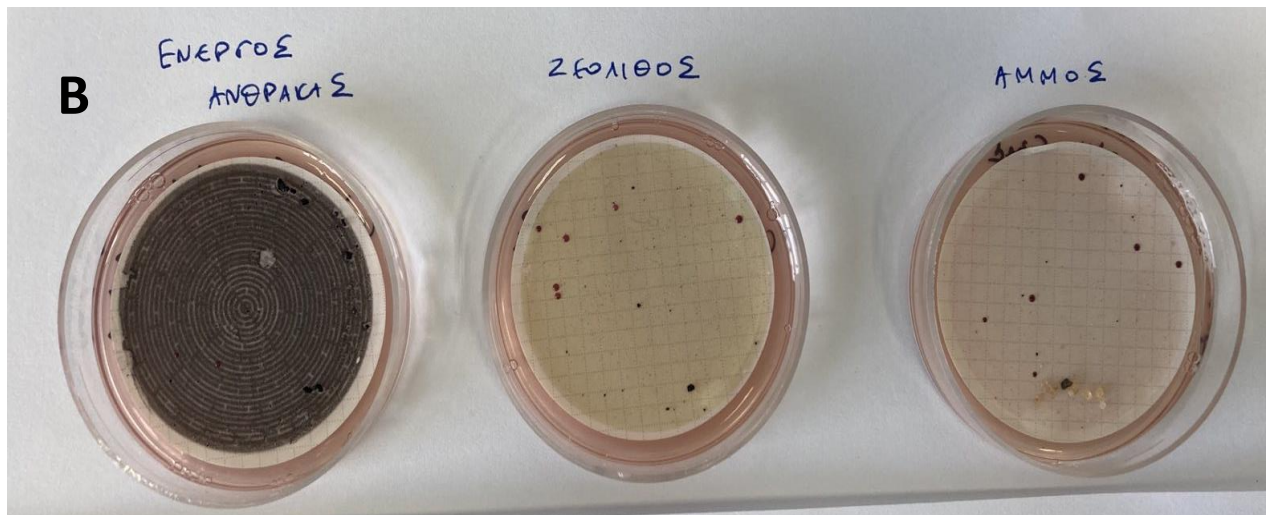
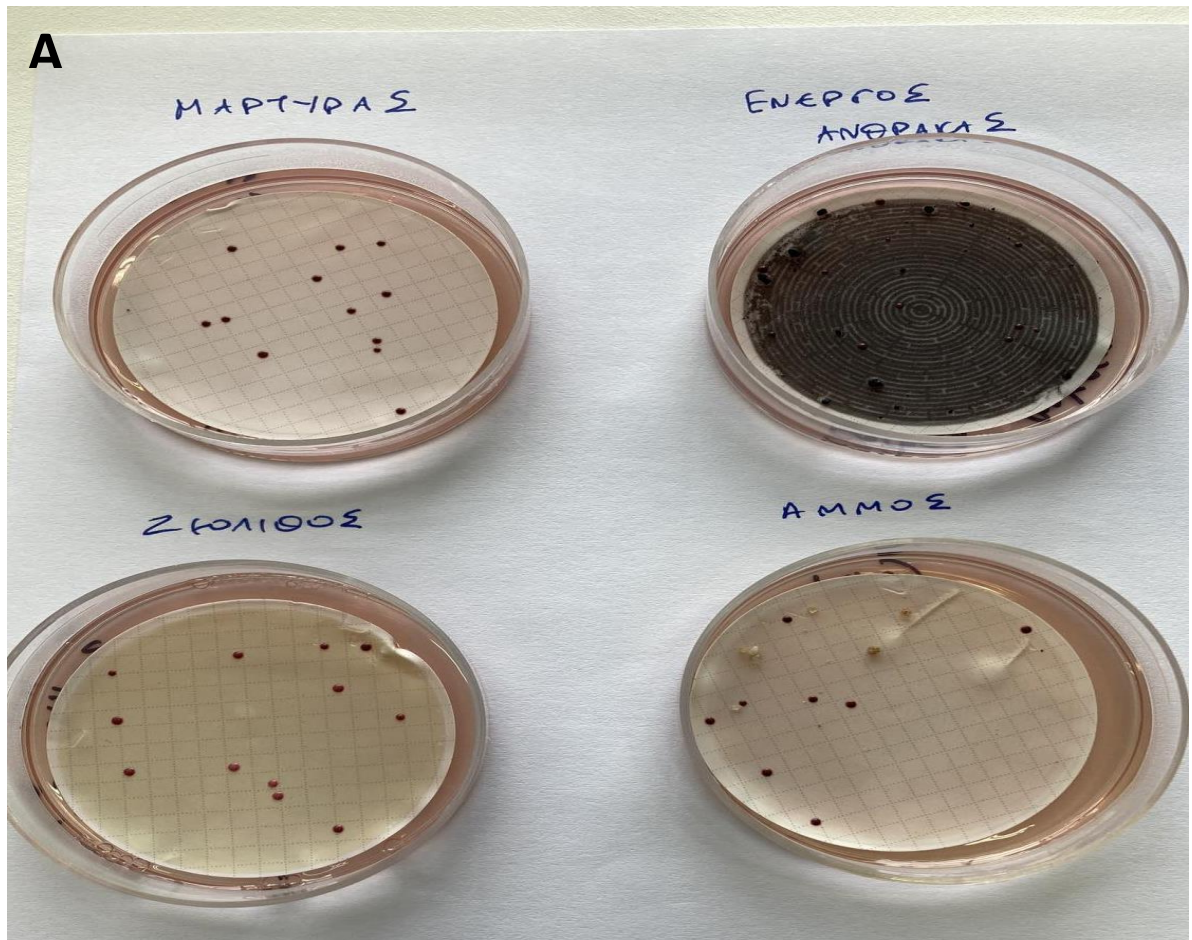
	% ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΣΤΟΝ ΕΝΕΡΓΟ ΑΝΘΡΑΚΑ	% ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΣΤΟ ΖΕΟΛΙΘΟ	% ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΣΤΗΝ ΧΑΛΑΖΙΑΚΗ ΑΜΜΟ
2 h ΜΕΤΑ			
<i>E. COLI</i>	38	28	0
ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ	25	42	8
ΕΝΤΕΡΟΚΟΚΚΟΙ	8	0	34
24 h ΜΕΤΑ			
<i>E. COLI</i>	99	22	15
ΟΛΙΚΑ ΚΟΛΟΒΑΚΤΗΡΙΔΙΑ	85	34	0
ΕΝΤΕΡΟΚΟΚΚΟΙ	75	50	50



Εικόνα 10: Τριβλία με τις καλλιέργειες *E. coli* (+μάρτυρας) μετά από επεξεργασία με ενεργό άνθρακα, ζεόλιθο και χαλαζιακή άμμο για χρόνο 2 h (A) και 24h (B) αντίστοιχα έπειτα από προσδιορισμό με τη μέθοδο διήθησης σε μεμβράνη



Εικόνα 11: Τριβλία με τις καλλιέργειες ολικών κολοβακτηριδίων (+μάρτυρας) μετά από επεξεργασία με ενεργό άνθρακα, ζεόλιθο και χαλαζιακή άμμο για χρόνο 2 h (A) και 24h (B) αντίστοιχα έπειτα από προσδιορισμό με τη μέθοδο διήθησης σε μεμβράνη



Εικόνα 12: Τριβλία με τις καλλιέργειες εντερόκοκκων (+μάρτυρας) μετά από επεξεργασία με ενεργό άνθρακα, ζεόλιθο και χαλαζιακή άμμο για χρόνο 2 h (A) και 24h (B) αντίστοιχα έπειτα από προσδιορισμό με τη μέθοδο διήθησης σε μεμβράνη

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Απομάκρυνση μικροοργανισμών στα πλαίσια λειτουργίας της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού Θεσσαλονίκης

6.1.1 Νερό Αλιάκμονα (Είσοδος Εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού)

Η αφθονία των μικροοργανισμών στο ανεπεξέργαστο νερό και ειδικότερα σε ποτάμια μπορεί να παρουσιάζει τεράστιες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου. Για παράδειγμα, το βακτήριο *Escherichia coli* μπορεί να ανιχνευθεί σε συγκεντρώσεις από >100 cfu/100 mL έως και 10000 cfu/100 mL. Οι συγκεντρώσεις των ολικών κολοβακτηριδίων και των βακτηρίων που είναι ενδεικτικά κοπρανώδους μόλυνσης (*E. coli* και εντερόκοκκοι) στο νερό του Αλιάκμονα που φτάνει στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού (Είσοδος Δ2) κυμάνθηκαν κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου σε χαμηλά επίπεδα (<100 cfu/100 mL), υποδεικνύοντας καλή ποιότητα νερού. Τα επίπεδα αυτά ήταν χαμηλότερα από αυτά που αναφέρονται από τους (Panagiotis Karanis, 2005) για τον Αλιάκμονα και για άλλα ποτάμια της περιοχής όπως ο Λουδίας, ο Αξιός και ο Πηνειός.

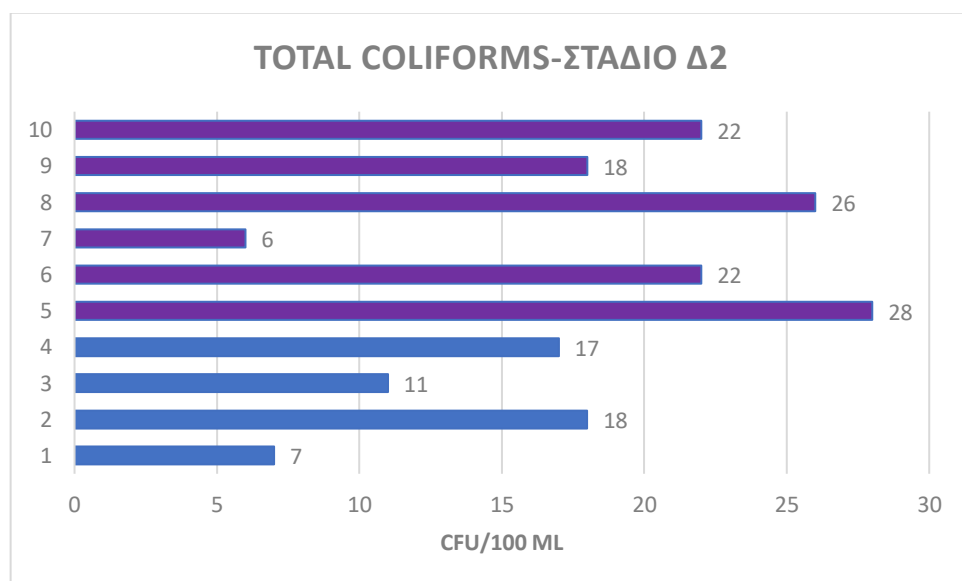
Η συνεχής παρακολούθηση της ποιότητας του νερού είναι σημαντική για την κατανόηση των εποχιακών διακυμάνσεων στην ποιότητα του νερού, της μετάδοσης ασθενειών που μεταδίδονται μέσω του νερού και των μελλοντικών επιπτώσεων για την κλιματική αλλαγή και τη δημόσια υγεία. Με βάση τα αποτελέσματα και όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, κατά τη θερινή περίοδο (Ιούλιος-Αύγουστος 2022) η καταμέτρηση και των 3 εξεταζόμενων μικροοργανισμών (ολικά κολοβακτηρίδια, *Escherichia coli*, εντερόκοκκοι) στο νερό κατά την είσοδο του από το ποταμό Αλιάκμονα (Δ2), ήταν αισθητά αυξημένα σε σύγκριση με τους χειμερινούς μήνες διεξαγωγής της μελέτης (Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2021). Συγκεκριμένα, οι αφθονίες των ολικών κολοβακτηριδίων στο στάδιο (Δ2) ήταν 7-18 cfu/100 mL τη χειμερινή περίοδο και 6-28 cfu/100 mL τη θερινή περίοδο, για το βακτήριο *E. Coli* ήταν 2-12 cfu/100 mL κατά τη χειμερινή περίοδο και 8-54 cfu/100 mL κατά τη θερινή περίοδο και για τους εντερόκοκκους 0-8 cfu/100 mL κατά τη χειμερινή περίοδο ενώ 7-30 cfu/100 mL κατά τη θερινή περίοδο. Αυτό θα μπορούσε να δικαιολογηθεί, γιατί σύμφωνα με (Rossati, 2017) η ανάπτυξη τους ευνοείται από τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στη χώρα μας εκείνους τους μήνες.

Γενικά, η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζει τη θερμοκρασία του νερού, αυξάνοντας τη μετάδοση παθογόνων μικροοργανισμών που μεταδίδονται στο νερό. Τα παθογόνα που μεταδίδονται από φορείς είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην κλιματική αλλαγή. Δεδομένου ότι βρίσκονται για ένα μεγάλο διάστημα της ζωής τους σε ένα ψυχρό ασπόνδυλο ξενιστή, ένα κλίμα με υψηλότερες θερμοκρασίες φαίνεται ευνοϊκότερο όσον αφορά την επιβίωση τους και την αναπαραγωγή τους (Rossati, 2017).

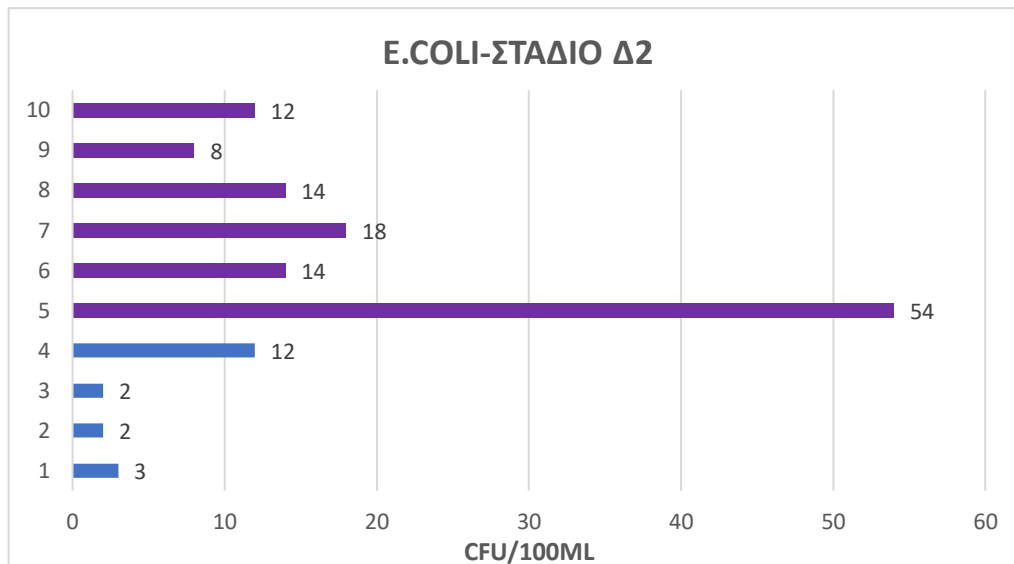
Οι υψηλές θερμοκρασίες βέβαια ενέχουν και σοβαρούς κινδύνους για την υγεία των υδρόβιων ζώων και επακόλουθα του ανθρώπου, όταν η αύξηση της θερμοκρασίας

ακολουθείται από αύξηση της συχνότητας εμφάνισης παρασιτικών ασθενειών(αφού πολλοί μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν υδρόβια ζώα ως ξενιστές τους). Ακόμη οι υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν επιμήκυνση των περιόδων μετάδοσης των υδατογενών ασθενειών, με αποτέλεσμα υψηλότερο επιπολασμό μολύνσεων και εκτεταμένες επιδημίες. Σύμφωνα με τους Karvonen et.al (2010) η αυξημένη θερμοκρασία , ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούλιο-Αύγουστος) , μπορεί να ευνοήσει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη και αναπαραγωγή των παθογόνων, με κίνδυνο σοβαρές εποχικές μολύνσεις και επιδημίες (Anssi Karvonen, 2010)

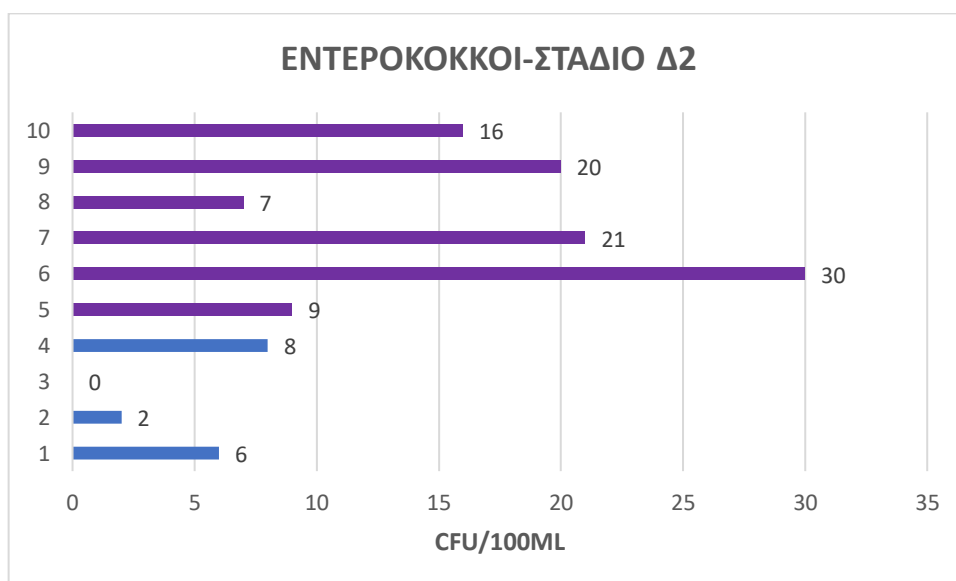
Σε μελέτη του ποταμού Lijiang στην επαρχία Yunnan της Κίνας από τους Zhang et.al (2022), διαπιστώθηκε επίσης η μεγάλη ευαισθησία των παθογόνων βακτηρίων στις εποχικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, καθώς όπως αναφέρεται η άνοδος της θερμοκρασίας του νερού οδήγησε σε απότομη αύξηση της συγκέντρωσης των βακτηριακών παθογόνων στον ποταμό Lijiang ενώ όταν το χειμώνα η θερμοκρασία του νερού ήταν χαμηλή, η συγκέντρωση των παθογόνων βακτηρίων καταμετρήθηκε σχετικά σταθερή και συγκριτικά χαμηλότερη από ότι τους καλοκαιρινούς μήνες (Jenny Zhang, 2022). Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Gershom et.al (2020) σε μελέτη ποταμίων της επαρχίας Sigor, στην Κένυα.



Εικόνα 13: Αφθονίες (cfu/100 mL) ολικών κολοβακτηριδίων κατά την είσοδο του νερού στις εγκαταστάσεις της ΕΕΝΘ από τον ποταμό Αλιάκμονα. 1-4 χειμερινή περίοδος (μπλε), 5-10 θερινή περίοδος (μωβ)



Εικόνα 14: Αφθονίες (cfu/100 mL) E.Coli κατά την είσοδο του νερού στις εγκαταστάσεις της ΕΕΝΘ από τον ποταμό Αλιάκμονα. 1-4 χειμερινή περίοδος (μπλε), 5-10 θερινή περίοδος (μωβ)



Εικόνα 15: Αφθονίες (cfu/100 mL) εντερόκοκκων κατά την είσοδο του νερού στις εγκαταστάσεις της ΕΕΝΘ από τον ποταμό Αλιάκμονα. 1-4 χειμερινή περίοδος (μπλε), 5-10 θερινή περίοδος (μωβ)

Ακόμη οι συχνές και έντονες βροχοπτώσεις που συμβαίνουν τον τελευταίο καιρό στην χώρα μας, φαίνεται να συμβάλλουν κι αυτές στην αυξημένη παρουσία των παθογόνων. Οι Sadik et.al (2017) διαπίστωσαν σημαντικές διαφορές όσον αφορά την αφθονία των βακτηρίων στην υγρή (χαρακτηρίζεται από έντονες και συχνές βροχοπτώσεις) και ξηρή περίοδο αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα κατά την υγρή περίοδο οι αφθονίες των βακτηρίων βρέθηκαν ιδιαίτερα αυξημένες κυρίως στα κανάλια αποστράγγισης (ποτάμια). Εκείνη την περίοδο, λόγω των συχνών βροχοπτώσεων η πλειονότητα των γεωργικών υπολειμμάτων και η απόρριψη των ζωικών κοπράνων στη φύση, καταλήγουν

στα ποτάμια. Τα υποβαθμισμένα συστήματα αποχέτευσης επίσης σε πολλές μικρές πόλεις οδηγούν σε μεγαλύτερη απόρριψη λυμάτων στα ποτάμια. Ως αποτέλεσμα τα παθογόνα βακτήρια να αναπληρώνονται κατά την υγρή περίοδο ενώ κατά την ξηρή περίοδο ευδοκιμούν και πολλαπλασιάζονται (Nyasimi Ayora Gershom, 2020).

Από την άλλη πλευρά, στα επιφανειακά ύδατα και στις πηγές πόσιμου νερού δεν βρέθηκε μεγάλη διακύμανση στην ποσότητα των βακτηρίων που προσδιορίστηκαν, γεγονός που δείχνει ότι (α) συγκεκριμένοι τύποι πηγών νερού παρουσιάζουν εποχική διακύμανση (β) η επαφή των ανθρώπων με μολυσμένα κανάλια αποστράγγισης μπορεί να συμβάλλει περισσότερο στη μετάδοση υδατογενών ασθενειών συγκριτικά με την άμεση κατανάλωση μολυσμένου πόσιμου νερού (Nora J. Sadik, 2017) και (γ) σύμφωνα με (Rossati, 2017) η αύξηση των βροχοπτώσεων θα μπορούσε να αυξήσει τον κίνδυνο ρύπανσης των υδάτων, έχοντας ως αποτέλεσμα αυξημένη παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών.

6.1.2 Στάδια επεξεργασίας και απομάκρυνση μικροοργανισμών από το νερό

Ολικά κολοβακτηρίδια

Τα ολικά κολοβακτηρίδια (TC) που αποτελούν δείκτες ή μη κοπρανώδους μόλυνσης στα πλαίσια της επεξεργασίας του νερού εμφάνισαν την μεγαλύτερη απομάκρυνση στο στάδιο της οζόνωσης (8) με ανίχνευση αποικιών από 0-3 CFU/100ML και της χλωρίωσης με 0 CFU/ML (13). Μερική απομάκρυνση τους του υπήρξε και στα υπόλοιπα στάδια απομάκρυνσης (προοζόνωση, κλίνες χαλαζιακής άμμου, κλίνες ενεργού άνθρακα) όπως και ήταν αναμενόμενο.

E. coli

Το βακτήριο *E.coli* που προτάθηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας ως αποκλειστικός δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης του νερού εμφάνισε επίσης την μεγαλύτερη απομάκρυνση στο στάδιο της οζόνωσης (8) με ανίχνευση αποικιών από 0-4 CFU/100ML και της χλωρίωσης με 0 CFU/ML (13). Μερική απομάκρυνση του του υπήρξε και στα υπόλοιπα στάδια απομάκρυνσης (προοζόνωση, κλίνες χαλαζιακής άμμου, κλίνες ενεργού άνθρακα) όπως ήταν αναμενόμενο.

Βέβαια σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, στο στάδιο της οζόνωσης αλλά και της χλωρίωσης οποιοδήποτε μικροβιολογικό φορτίο υπήρχε έπρεπε να εξαφανιστεί, καθώς πρόκειται για μέθοδο απολύμανσης και όχι μέθοδο απομάκρυνσης όπως είναι η διήθηση σε κλίνες χαλαζιακής άμμου και ενεργού άνθρακα στις οποίες δικαιολογημένα φάνηκε μερική απομάκρυνση μικροβιακού φορτίου. Ωστόσο η εμφάνιση των ολικών κολοβακτηριδίων και των *E.Coli* στο στάδιο της οζόνωσης , κατά την 7^η και 9^η δειγματοληψία, μπορεί να οφείλεται στη θερμοανθεκτικότητα και στην ικανότητα που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί να επιβιώνουν και να αναπτύσσονται μέσα στο νερό (για TC) αλλά και στο ενδεχόμενο να μη λειτούργησε καλά η διαδικασία της οζόνωσης, καθώς και οι 2 μικροοργανισμοί έχουν ανιχνευθεί σε 2 συγκεκριμένες μέρες (7^η + 9^η δειγματοληψία).

Ακόμη παρατηρείται, και για τους 2 αυτούς μικροοργανισμούς, μια αύξηση στην καταμέτρηση των αποικιών τους στο στάδιο της διήθησης με ενεργό άνθρακα (9.1-9.9), συγκριτικά με ένα στάδιο πριν, αυτό της οζόνωσης (8). Αυτό συμβαίνει γιατί σύμφωνα με τους Saxena et.al (2015) και οι 2 μικροοργανισμοί παρουσιάζουν τάση για αναγέννηση ή/και πολλαπλασιασμό, με μεγαλύτερη για τα ολικά κολοβακτηρίδια συγκριτικά με το βακτήριο *E.coli*.

Εντερόκοκκοι

Η ομάδα των εντερόκοκκων χρησιμοποιείται ευρέως ως δείκτης κοπρανώδους μόλυνσης που επιβιώνει περισσότερο από το *E.coli*. Οι εντερόκοκκοι εμφάνισαν ολική απομάκρυνση στο στάδιο της οζόνωσης (8) με ανίχνευση αποικιών από 0 CFU/100ML και της χλωρίωσης με 0 CFU/ML (13), παρόλο που πλεονεκτούν των ολικών κολοβακτηριδίων και παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στη χλωρίωση (Gleeson and Gray, 1997).

Μερική απομάκρυνση τους του υπήρξε και στα υπόλοιπα στάδια απομάκρυνσης (προοζόνωση, κλίνες χαλαζιακής άμμου, κλίνες ενεργού άνθρακα) όπως και ήταν αναμενόμενο, χωρίς να παρουσιάζεται τάση για αναγέννηση μετά την απομάκρυνση τους, μέσω της οζόνωσης(στάδιο 8), καθώς τα περισσότερα είδη της ομάδας αυτής δεν πολλαπλασιάζονται σε υδάτινα περιβάλλοντα.

6.2. Αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης των μικροοργανισμών με τη χρήση χαλαζιακής άμμου, ζεόλιθου και ενεργού άνθρακα

6.2.1 Χαλαζιακή άμμος

Στις εγκαταστάσεις όπου γίνεται καθαρισμός μεγάλων ποσοτήτων νερού, χρησιμοποιούνται φίλτρα ταχείας διήθησης με πίεση. Η αποτελεσματικότητα καθαρισμού του νερού μέσω των φίλτρων άμμου είναι υψηλή αφού ο ρυθμός απομάκρυνσης της θολότητας μπορεί να φτάσει το 100%, η απομάκρυνση βακτηρίων μεταξύ 89% - 99% ενώ η αφαίρεση χρώματος 20-30% και 60% ενώσεων σιδήρου. (Abushandi & Eyad, 2021)

Η ποιότητα του επεξεργασμένου νερού εξαρτάται επίσης από τις κάποιες μεταβλητές όπως το μέγεθος της άμμου, οι ρυθμοί ροής και το βάθος της κλίνης άμμου. Οι συστάσεις για το μέγεθος της άμμου ποικίλλουν μεταξύ 0,15 mm και 0,40 mm. Τα φίλτρα με λεπτότερη άμμο παράγουν καλύτερης ποιότητας νερό αλλά μειώνουν το χρόνο λειτουργίας του φίλτρου. Φίλτρα με μεγέθη άμμου μεγαλύτερα από 0,2 mm (έως 0,45 mm) παράγουν ικανοποιητικής ποιότητας νερό και με μεγαλύτερη διάρκεια φίλτρου. Οι ρυθμοί διήθησης θα πρέπει να είναι συμβατικοί καθώς υψηλότεροι ρυθμοί μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του νερού και την απόδοση όσον αφορά την αφαίρεση χρώματος- θολότητας. Βάθος κλίνης άμμου 400mm οδηγεί σε ικανοποιητική ποιότητα νερού, καθώς εκεί συμβαίνει η μεγαλύτερη βακτηριακή απομάκρυνση. Βελτιωμένη απόδοση θολότητας και αφαίρεσης χρώματος παρατηρείται σε βαθύτερες κλίνες άμμου >400mm. Το στράγγισμα, η προσρόφηση και η καθίζηση φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθαρισμό του νερού με άμμο (Muhammad, Ellis, Parr, & Smith, 1996).

Σύμφωνα με μια μελέτη που αξιολόγησε τους βακτηριολογικούς μετρητές κατά τη διάρκεια επεξεργασίας του νερού σε φίλτρα άμμου σε μονάδα επεξεργασίας πόσιμου νερού έδειξε βακτηριακή απομάκρυνση σε ποσοστό 95,2-99,3% (Fujioka, Ueyama, & Leddy, 2019).

Πλεονεκτήματα μεθόδου:

- αποδεκτά επίπεδα ποιότητας επεξεργασμένου νερού
- χαμηλό κόστος και εύκολη κατασκευή

Μειονεκτήματα μεθόδου:

- μικρή αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση των ιών
- μη προστασία από χημικές ενώσεις (χλώριο)
- τακτικός καθαρισμός που μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη στο βιολογικό στρώμα και μείωση της απόδοσης
- μη εύκολη μετακίνηση της μονάδας λόγω βάρους και αρχικού κόστους εγκατάστασης (Abushandi & Eyad, 2021).

6.2.2 Ζεόλιθος

Λόγω της τετραεδρικής δομής τους δημιουργούνται κενοί χώροι (κοιλότητες ή κανάλια), τα οποία έχουν μέγεθος από 0,3 έως 0,8nm και στους οποίους οφείλεται το μικροπορώδες και μικρό ειδικό βάρος των ζεόλιθων. Οι μεγάλοι κενοί χώροι στη δομή των ζεόλιθων επιτρέπουν την είσοδο (αλλά και την εύκολη έξοδο) κατιόντων μεγάλων διαστάσεων όπως νατρίου, καλίου, βαρίου, ασβεστίου καθώς και μορίων όπως νερού. Αυτές οι μοναδικές τους ιδιότητες καθιστούν ορισμένους ζεόλιθους εξαιρετικά μηχανικά μέσα διήθησης (Margeta, Logar, Šiljeg, & Farkas, 2013).

Λόγω της μεγάλης πορώδους επιφάνειας του, ο ζεόλιθος έχει μια εξαιρετικά προσροφητική επιφάνεια, και έτσι μπορεί να προσροφήσει μεγάλες συγκεντρώσεις φυσικών ρύπων. Ειδικότερα όταν χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του νερού συμβάλλει στην απομάκρυνση των κατιόντων βαρέων μετάλλων (Zn, Cr, Pb, Cd, Cu, Mn, Fe κλπ.), αμμωνίας, χημικών και πετρελαϊκών προϊόντων αλλά ταυτόχρονα και στη μείωση της θολότητας του νερού μέσω της απομάκρυνσης των αιρούμενων στερεών σωματιδίων που την προκαλούν. Όσο περισσότεροι είναι οι πόροι στο μέσο επεξεργασίας (ζεόλιθος), τόσο πιο αποτελεσματική είναι η απόδοση του φιλτραρίσματος (Thazhamon, 2021).

Μέχρι σήμερα έχουν ταυτοποιηθεί πάνω από 45 είδη φυσικών ζεόλιθων και επίσης αρκετοί παρασκευάζονται συνθετικά. Οι φυσικοί ζεόλιθοι είναι φθηνότεροι. Μερικοί από τους παράγοντες που συμβάλλουν στην αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας νερού με χρήση φυσικών και τροποποιημένων ζεόλιθων είναι ο τύπος και η ποσότητα του ζεόλιθου που θα χρησιμοποιηθεί, το μέγεθος του ζεόλιθου, η αρχική συγκέντρωση ρύπων στο νερό, το pH του διαλύματος, η θερμοκρασία, η πίεση, ο χρόνος επαφής συστήματος ζεόλιθου/διαλύματος και παρουσία άλλων οργανικών ενώσεων (Margeta, Logar, Šiljeg, & Farkas, 2013).

6.2.3 Ενεργός άνθρακας

Ο ενεργός άνθρακας είναι ένα κυρίως άμορφο στερεό που έχει εξαιρετικά μεγάλη εσωτερική προσβάσιμη για προσρόφηση επιφάνεια και μεγάλους σε όγκο πόρους, το οποίο αποτελεί και το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του. Ο ενεργός άνθρακας παράγεται από μια ποικιλία υλικών πλούσιων σε άνθρακα όπως είναι το ξύλο, ο άνθρακας, ο λιγνίτης και το κέλυφος καρύδας. Το υψηλό πορώδες, η μεγάλη επιφάνεια με τα διαφορετικά μεγέθη πόρων (μικρο-, μεσο- και μακρόποροι) καθώς και ένα ευρύ φάσμα λειτουργικών ομάδων που υπάρχουν στην επιφάνεια του, επηρεάζουν άμεσα την προσροφητική ικανότητα του ενεργού άνθρακα, καθορίζοντας τόσο τη διαθέσιμη για προσρόφηση επιφάνεια, όσο και το μέγεθος των μορίων που μπορούν να προσροφηθούν. Η προσρόφηση λαμβάνει κυρίως χώρα στους μικρόπορους που διαθέτουν υψηλό δυναμικό προσρόφησης στα τοιχώματά τους. Οι κύριες λειτουργικές ομάδες που θεωρούνται υπεύθυνες για την πρόσληψη των ρύπων είναι: τα καρβοξύλια, καρβονύλια, φαινόλες, λακτόνες και κινόνες, από τις οποίες μπορούν να επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό οι ικανότητες προσρόφησης του ενεργού άνθρακα. (Bhatnagara, WilliamHoglanda, & Sillanpac, 2012).

Ο ενεργός άνθρακας παράγονται και ταξινομούνται ως προϊόντα σε κόκκους, σε σκόνη ή σε σχήματα. Υπάρχουν και άλλες μορφές, που προσελκύουν όλο και μεγαλύτερη προσοχή. Μεταξύ αυτών, ίνες που λαμβάνονται κυρίως από ισοτροπικό άνθρακα και πίσσα πετρελαίου, υφάσματα και τσόχα (Lameiras, Quintelas, & Tavares, 2007). Οι κοκκώδεις και μορφοποιημένοι άνθρακες χρησιμοποιούνται γενικά σε συνεχή συστήματα όπου το προς επεξεργασία υγρό διέρχεται μέσω μιας σταθερής κλίνης. Σε σκόνη ή σε κόκκους χρησιμοποιείται για την βελτίωση της γεύσης ή την απομάκρυνση των οσμών και του χρώματος των μολυσμένων υδάτων (Baker, Miller, & Tolles, 2000).

Η αναγέννηση του ενεργού άνθρακα είναι πολύ σημαντική ώστε να μπορέσουν να θεωρηθούν αυτές οι διαδικασίες οικονομικά ελκυστικές. Η αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί την αναγέννηση του, απελευθερώνοντας θέσεις προσρόφησης (Bhatnagara, WilliamHoglanda, & Sillanpac, 2012).

Οι ενεργοί άνθρακες για χρήση σε εφαρμογές υγρής φάσης όπως είναι η επεξεργασία του πόσιμου νερού, διαφέρουν από τους άνθρακες αέριας φάσης κυρίως ως προς την κατανομή του μεγέθους των πόρων. Οι άνθρακες υγρής φάσης έχουν σημαντικά μεγαλύτερο όγκο πόρων στην περιοχή των μακρόπορων, γεγονός που επιτρέπει στα υγρά να διαχέονται πιο γρήγορα στους μεσοπόρους και στους μικρόπορους βοηθώντας έτσι στην απομάκρυνση των μικροοργανισμών. (Baker, Miller, & Tolles, 2000).

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, μεγαλύτερη ικανότητα απομάκρυνσης μικροοργανισμών από το νερό του Αλιάκμονα που εισέρχεται στην εγκατάσταση παρουσιάζει ο ενεργός άνθρακας σε σχέση με το ζεόλιθο και την άμμο. Ικανότητα απομάκρυνσης μικροοργανισμών (βακτήρια, μικροφύκη) αναφέρεται στη βιβλιογραφία και για τα τρία αυτά υλικά (Snyder et al. 1995, Milan et al. 2001, Fillipidis et al. 2010). Η ικανότητά τους αυτή, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το μέγεθος και την κατανομή των πόρων τους (και ο ενεργός άνθρακας και ο ζεόλιθος) έχουν μικρόπορους, μεσοπόρους και

μακροπόρους), ενώ μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την περαιτέρω φυσική, χημική ή βιολογική τροποποίηση τους (Bhatnagar et al. 2013). Οι διάφοροι μικροοργανισμοί ανάλογα με το μέγεθός τους (τα συγκεκριμένα βακτήρια είναι συνήθως μικρότερα σε μέγεθος από 5 μm)-«κατακρατούνται» είτε στους μικροπόρους ή στους μεσοπόρους ή και στους μακροπόρους (αν πρόκειται για μεγάλες αποικίες >100-200 μm) των δύο υλικών. Επιπλέον, η λειτουργία των τριών υλικών ως φίλτρα απομάκρυνσης μεταξύ άλλων και μικροοργανισμών ενδεχομένως να επηρεάζεται και από την κοκκομετρία (μέγεθος κόκκων) τους (Κατσιάπη αδημοσίευτα δεδομένα), η οποία ωστόσο ήταν παρόμοια για τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (λίγο μικρότερο το εύρος για τον ενεργό άνθρακα).

Τέλος, σημαντικός φαίνεται ότι είναι και ο χρόνος στον οποίο έρχεται σε επαφή το νερό με το κάθε υλικό, καθώς στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν μεγαλύτερος χρόνος παραμονής, τουλάχιστον στην μικρή κλίμακα που εξετάστηκε εδώ, φαίνεται πως ενισχύει την απομάκρυνση των συγκεκριμένων μικροοργανισμών. Στην ΕΕΝΘ, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων νερού που υφίσταται επεξεργασία σε καθημερινή βάση, ο χρόνος παραμονής του νερού στις αντίστοιχες κλίνες ζεόλιθου και άνθρακα και άμμου είναι μόλις 20 min, ωστόσο ο συνδυασμός με επιπλέον μεθόδους επεξεργασίας (π.χ. χρήση απολυμαντικών) δεν επιτρέπει την παρουσία και ανάπτυξη των μικροοργανισμών αυτών στο νερό που τελικά εξέρχεται από την ΕΕΝΘ και προορίζεται για το δίκτυο της πόλης της Θεσσαλονίκης.

6.3 Επεξεργασία νερού σε μεγάλες πόλεις της Ελλάδος

6.3.1 Αθήνα

Η ΕΥΔΑΠ προμηθεύεται ακατέργαστο νερό, κυρίως από επιφανειακούς υδατικούς πόρους (Μαραθώνα, Υλίκη, Μόρνος, Εύηνος). Από αυτούς, μόνο αυτός της Υλίκης είναι φυσικός, ενώ οι υπόλοιποι έχουν δημιουργηθεί με την κατασκευή φραγμάτων σε κατάλληλα σημεία στην κοίτη των αντίστοιχων ποταμών Ευήνου, Μόρνου και Χαράδρου (φράγμα Μαραθώνα). Στις πηγές υδροληψίας που χρησιμοποιεί η ΕΥΔΑΠ περιλαμβάνονται και υπόγειοι υδατικοί πόροι που αξιοποιούνται με τη λειτουργία 100 γεωτρήσεων συνολικής ετήσιας αντλητικής ικανότητας 70-125 εκατ. κ.μ. νερού περίπου ανά έτος.

Με βάση τις σημερινές συνθήκες λειτουργίας, οι πηγές υδροληψίας της ΕΥΔΑΠ μπορούν να διαχωριστούν σε κύριες (Μόρνος, Εύηνος), βοηθητικές ((Υλίκη, Μαραθώνας) και εφεδρικές (υπόγειοι υδάτινοι πόροι).

Οι μονάδες επεξεργασίας έχουν καθοριστική σημασία για το νερό, καθώς σε αυτές το νερό υποβάλλεται σε επεξεργασία και καθίστανται πόσιμο. Στο λεκανοπέδιο της Αττικής, οι μονάδες επεξεργασίας βρίσκονται στο Γαλάτσι, στις Αχαρνές, στο Πολυδένδρι και τη Μάνδρα Ασπρόπυργο.

Τα στάδια που ακολουθούνται στις μονάδες επεξεργασίας νερού της ΕΥΔΑΠ είναι τα εξής:

1. Εσχάρωση

Το ακατέργαστο νερό που εισέρχεται για επεξεργασία περιέχει διάφορα στερεά (πέτρες, φύλλα, χώμα) που έχουν παρασυρθεί κατά τη διαδρομή του. Οι σχάρες απομακρύνουν όλα αυτά τα ανεπιθύμητα υλικά.

2. Προχλωρίωση

Το χλώριο έχει οξειδωτική και απολυμαντική ιδιότητα. Η προσθήκη χλωρίου διευκολύνει την μετέπειτα επεξεργασία του αφού εμποδίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών.

3. Κροκίδωση

Στο στάδιο αυτό προστίθεται κροκιδωτικές ουσίες στο νερό οι οποίες βοηθούν τα αιωρούμενα και κολλοειδή σωματίδια να κολλήσουν μεταξύ τους. Συνήθως επιλέγεται ως κροκιδωτικό το θειικό αργίλιο, το οποίο βοηθά τα αιωρούμενα στερεά σωματίδια που υπάρχουν μέσα στο νερό να συσσωματωθούν μεταξύ τους. Τα συσσωματώματα που σχηματίζονται αποκτούν μεγαλύτερο βάρος με αποτέλεσμα να είναι πιο εύκολο να απομακρυνθούν με την καθίζηση και τη διήθηση που θα ακολουθήσουν. Κατά την κροκίδωση υπάρχει συνεχής ανάδευση του νερού που βοηθά στο να αυξάνονται οι συγκρούσεις των σωματιδίων και η επακόλουθη συσσωμάτωση τους.

4. Καθίζηση

Αντιθέτως στο στάδιο αυτό το νερό είναι σε ήρεμη θέση, δεν αναδεύεται και τα συσσωματωμένα στερεά κατακάθονται στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης. Ως αποτέλεσμα το νερό καθαρίζεται σε ποσοστό 80%.

5. Διήθηση με φίλτρα άμμου

Όσα πολύ μικρά και ελαφριά σωματίδια δεν έχουν κατακαθίσει στο στάδιο της κροκίδωσης (20%), κατακρατούνται σε ειδικά φίλτρα άμμου, από τα οποία το νερό βγαίνει πλέον καθαρό και έτοιμο να δοθεί για κατανάλωση.

6. Μεταχλωρίωση

Σε περίπτωση που η προχλωρίωση δεν καταστεί ικανοποιητική, στο στάδιο αυτό προστίθενται συμπληρωματικά χλώριο κατά την είσοδο του νερού στις κλειστές δεξαμενές αποθήκευσης και πριν την είσοδο του στο δίκτυο ύδρευσης.

Οι 4 μονάδες επεξεργασίας νερού της Αττικής έχουν αθροιστική διυλιστική ικανότητα 1.9000.000 κ.μ νερού ημερησίως. <https://www.eydap.gr/>

6.3.2 Πάτρα

Οι μονάδες επεξεργασίας νερού για την ΔΕΥΑΠ είναι δύο, το διυλιστήριο Ρηγανόκαμπου και Ταραμπούρα (Μακρυγιάννη). Το διυλιστήριο του Ρηγανόκαμπου επεξεργάζεται το επιφανειακά νερά του Γλαύκου και το διυλιστήριο Ταραμπούρα επεξεργάζεται τα νερά

των γεωτρήσεων της περιοχής Ταραμπούρας. Το τελευταίο, λειτουργεί κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν οι εγκαταστάσεις Ρηγανόκαμπου λειτουργούν με μειωμένη παροχή λόγω του ότι το μεγάλο μέρος του επιφανειακού νερού διατίθεται για άρδευση.

Τα στάδια που ακολουθούνται στις μονάδες επεξεργασίας νερού της ΔΕΥΑΠ είναι τα εξής:

1. Εσχάρωση

Το νερό που φτάνει στις υδατοδεξαμενές είναι ακατέργαστο και ως εκ τούτου περιέχει πολλά αιωρούμενα σωματίδια (χώμα, κλαδιά) αλλά και μικροοργανισμούς. Στο στάδιο αυτό γίνεται απομάκρυνση των μεγαλύτερων ξένων αιωρούμενων σωματιδίων.

2. Κροκίδωση-Καθίζηση

Στη συνέχεια το νερό περνά στη μονάδα ταχείας ανάμειξης όπου αναμειγνύεται με διάλυμα θειικού αργιλίου και πραγματοποιείται η διαδικασία της κροκίδωσης (συσσωμάτωση στερεών σωματιδίων). Αφού επιτευχθεί αυτό, προστίθεται διάλυμα πολυηλεκτρολύτη με σκοπό τη δημιουργία μεγαλύτερων συσσωματωμάτων όπου και τελικά απομακρύνονται σε μορφή υδαρούς ιλύος.

3. Διήθηση σε κλίνες άμμου

Το νερό διηθείται σε αμμόφιλτρα όπου απομακρύνονται και τα πολύ μικρά και ελαφριά αιωρούμενα σωματίδια, που δεν μπόρεσαν να απομακρυνθούν κατά την κροκίδωση-καθίζηση.

4. Απολύμανση

Η απολύμανση του νερού, πραγματοποιείται με διοξείδιο του χλωρίου, το οποίο παρασκευάζεται εκείνη τη στιγμή σε κατάλληλο κτίριο με τη χρήση ειδικών αντιδραστήρων. Το διάλυμα ClO₂ που παράγεται, δοσομετρείται στην είσοδο των δεξαμενών αποθήκευσης αναλογικά με την παροχή του διερχόμενου νερού. Στην έξοδο των δεξαμενών προς κατανάλωση, μια συμπληρωματική δόση προστίθεται προς επίτευξη της επιθυμητής συγκέντρωσης (συνήθως 0,2 mg/l).

Το νερό τοποθετείται σε 2 δεξαμενές καθαρού νερού χωρητικότητας 8.000 m³ η κάθε μία.
<https://www.deyap.gr/>

6.3.3 Κομοτηνή

Η κύρια πηγή πόσιμου νερού της ΔΕΥΑΚ κυρίως για τους μήνες Νοέμβριο έως Ιούνιο, είναι το φράγμα υδρομάστευσης του δυτικού παραπόταμου του Βοζβόζη, που βρίσκεται 1500 m βόρεια του οικισμού Συμβόλων. Πρόκειται για έναν τεχνητό αναβαθμό ύψους τριών μέτρων, πίσω από τον οποίο δημιουργείται τεχνητή λίμνη μήκους 100 m και μέγιστου πλάτους 20 m.

Τους μήνες Ιούλιο έως Οκτώβριο επειδή η ποσότητα του νερού που συλλέγεται από το ποτάμι δεν αρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της πόλης ή ακόμη δεν υπάρχει και καθόλου, αξιοποιούνται 21 γεωτρήσεις νερού που είτε αποτελούν την κύρια πηγή νερού αυτούς τους μήνες είτε λειτουργούν συμπληρωματικά με το φράγμα. Οι γεωτρήσεις

βρίσκονται δυτικά της πόλης, κοντά στο δυτικό παραπόταμο του Βοζβόζη και το νερό που αντλούν συγκεντρώνεται στο Κεντρικό Αντλιοστάσιο.

Για την μεταφορά του νερού από το Κεντρικό Αντλιοστάσιο έως την Μονάδα Επεξεργασίας χρησιμοποιούνται 3 αγωγοί διαμέτρου Φ400.

Τα στάδια που ακολουθούνται στις μονάδες επεξεργασίας νερού της ΔΕΥΑΚ είναι τα εξής:

1. Φρεάτιο αρχικής ανάμειξης – Προχλωρίωση

Τα νερά που προέρχονται από το ποτάμι και τις γεωτρήσεις υπόκεινται σε ανάμειξη στο φρεάτιο αρχικής ανάμειξης. Εδώ γίνεται και η προχλωρίωση του νερού με την προσθήκη διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου, γνωστό για την απολυμαντική του δράση και την απομάκρυνση των μικροοργανισμών.

2. Καθίζηση

Το νερό εισέρχεται στις 2 παράλληλες δεξαμενές της 1^{ης} καθίζησης με αποτέλεσμα την καθίζηση των αιωρούμενων στερεών από τη βαρύτητα. Το νερό από τη δεξαμενή κροκίδωσης-συσσωμάτωσης (εγκατάσταση που διαφορετικά χρησιμοποιείται όταν γίνεται χρήση κροκιδωτικών στην επεξεργασία) καταλήγει στις δεξαμενές της 2^{ης} καθίζησης. Ο συνολικός χρόνος παραμονής του νερού στις δεξαμενές 1ης και 2ης καθίζησης (συνολικού όγκου 3500 m³) είναι 3 ώρες. Οι δεξαμενές καθίζησης καθαρίζονται ανα τακτά χρονικά διαστήματα και γιαυτό το λόγο στη μονάδα λειτουργούν συνολικά τέσσερις (δύο για την 1^η και δύο για την 2^η καθίζηση), ώστε να μη διακόπτεται η παροχή του νερού κατά τον καθαρισμό.

Στη μονάδα επεξεργασίας της ΔΕΥΑΚ δεν πραγματοποιείται κροκίδωση και συσσωμάτωση καθώς το νερό που επεξεργάζεται έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά.

3. Ταχυδιύλιστήριο (φίλτρα άμμου)

Στη συνέχεια το νερό εισέρχεται στο ταχυδιύλιστήριο, όπου βρίσκονται 6 κλίνες άμμου διαστάσεων 4 m X 6 m η καθεμία. Τα φίλτρα της άμμου έχουν πάχος 70cm και από κάτω είναι τοποθετημένα στρώματα χαλκιού με διάμετρο αναλογικά με το βάθος της κλίνης. Το νερό εισέρχεται στο επάνω μέρος του φίλτρου και διηθείται μέσα από το στρώμα άμμου-χαλκιού. Στο τέλος της διήθησης αιωρούμενα στερεά και το μεγαλύτερο μέρος του μικροβιολογικού φορτίου έχει απομακρυνθεί. Το διηθημένο νερό απομακρύνεται από το κάτω μέρος του φίλτρου και οδηγείται στο αντλιοστάσιο της μονάδας. Καθώς τα φίλτρα των κλινών υπόκεινται σε καθαρισμό (με αντίστροφη πλύση του φίλτρου) περίπου κάθε 12 ώρες, οι 6 κλίνες που υπάρχουν λειτουργούν παράλληλα έτσι ώστε να μη διακόπτεται η παραγωγή.

4. Αντλιοστάσιο μονάδας

Το αντλιοστάσιο του νερού βρίσκεται κάτω από το ταχυδιύλιστήριο, όπου λειτουργούν τέσσερις αντλίες ισχύος 75 HP. Η μία από αυτές χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του νερού στον πύργο νερού και οι άλλες τρεις για τη μεταφορά τους στις δεξαμενές

διανομής. Το νερό που πρόκειται να μεταφερθεί στον πύργο νερού, χλωριώνεται στο αντλιοστάσιο της μονάδας.

5. Πύργος νερού

Ο πύργος νερού είναι μια ανυψωμένη δεξαμενή μέσω της οποίας τροφοδοτείται με το επεξεργασμένο νερό ολόκληρη η μονάδα. Το νερό αυτό έπειτα θα χρησιμοποιηθεί κυρίως για την καθαριότητα των φίλτρων άμμου, για τις πλύσεις των δεξαμενών αλλά και για τις ανάγκες του προσωπικού σε πόσιμο νερό.

6. Χλωρίωση

Στο τελικό αυτό στάδιο, το νερό απολυμαίνεται με χλώριο σε μορφή αερίου με σκοπό την πλήρη απομάκρυνση του μικροβιολογικού φορτίου. Το αέριο χλώριο είναι αποθηκευμένο μέσα σε φιάλες από τις οποίες διοχετεύεται με ελεγχόμενο τρόπο μέσω βαλβίδων η απαιτούμενη ποσότητα χλωρίου στο νερό. Συνολικά υπάρχουν έξι φιάλες χλωρίου, από τις οποίες λειτουργούν οι τρεις, ενώ υπάρχει η δυνατότητα χρήσης και των υπόλοιπων κατά την αλλαγή των κενών φιαλών έτσι ώστε να μην υπάρξει διακοπή της διαδικασίας της χλωρίωσης.

Μετά το τέλος της επεξεργασίας, το νερό αποθηκεύεται σε έξι δεξαμενές διανομής προς κατανάλωση. Οι τέσσερις δεξαμενές είναι κυλινδρικές και έχουν χωρητικότητα 900 m³ η κάθε μία, ενώ οι άλλες δύο είναι ορθογώνιες και έχουν χωρητικότητα 1000 m³ και 2000 m³ αντίστοιχα.

Από τις δεξαμενές διανομής τροφοδοτείται η πόλη της Κομοτηνής και οι οικισμοί Υφαντών, Παραδημής, Κοσμίου, Μεσοχωρίου, Μεγάλου Κρανοβουνίου, Μικρού Κρανοβουνίου, Ιτέας, Κικηδίου, Ροδίτη, Θρυλορίου, Φύλακα και Ανθοχωρίου.
<https://www.deyakom.gr/>

Μελετήθηκαν τα στάδια επεξεργασίας που ακολουθούνται στα δίκτυα υδροδότησης της Θεσσαλονίκης, της Αθήνας, της Πάτρας και της Κομοτηνής με σκοπό την παροχή πόσιμου νερού στους καταναλωτές.

Τα στάδια επεξεργασίας που πραγματοποιούνται στα διυλιστήρια νερού της ΕΥΔΑΠ (Αθήνα) και της ΔΕΥΑΠ (Πάτρα) είναι παρόμοια, παρουσιάζοντας μόνο μικρές διαφορές. Συγκεκριμένα και στις 2 μονάδες το ακατέργαστο νερό εισάγεται προς εσχάρωση για απομάκρυνση μεγάλων σωματιδίων, ακολουθεί η κροκίδωση και η καθίζηση με συνήθης χρήση θειικού αργιλίου ή/και πολυηλεκτρολύτη για την δημιουργία συσσωματωμάτων που θα διευκολύνει την απομάκρυνση τους, ακολουθεί η διήθηση μέσω φίλτρων άμμου για την κατακράτηση πολύ μικρών σωματιδίων που διέφυγαν των προηγούμενων σταδίων και τέλος το νερό χλωριώνεται με σκοπό τη απομάκρυνση οποιουδήποτε μικροβιακού φορτίου έχει απομείνει.

Στη ΔΕΥΑΠ το στάδιο αυτό κρίνεται απαραίτητο, και η χλωρίωση πραγματοποιείται με διοξείδιο του χλωρίου. Από την άλλη πλευρά στην ΕΥΔΑΠ λόγω του ότι το νερό πριν την

κροκίθο-καθίζηση υπόκεινται σε προ-χλωρίωση, δεν είναι απαραίτητο, αλλά γίνεται χρησιμοποιείται το χλώριο για την τελική απολύμανση του νερού.

Στο διυλιστήριο της ΔΕΥΑΚ ακολουθούνται επίσης όλα τα βασικά στάδια επεξεργασίας του νερού (προχλωρίωση, καθίζηση, διήθηση σε κλίνες άμμου, χλωρίωση) εκτός από διαδικασία της κροκίδωση, καθώς το νερό που επεξεργάζεται στην μονάδα αυτή έχει πολύ χαμηλή πυκνότητα σε αιωρούμενα στερεά. Για την απολύμανση του νερού εδώ, το χλώριο χρησιμοποιείται σε μορφή αερίου, ενώ στη ΕΥΔΑΠ χλώριο και στην ΔΕΥΑΠ διοξειδίο του χλωρίου.

Η μονάδα επεξεργασίας της ΕΥΑΘ χρησιμοποιεί τα στάδια που ακολουθούν και οι υπόλοιπες μονάδες, όμως το νερό του Αλιάκμονα που υδροδοτεί την πόλη της Θεσσαλονίκης, υπόκεινται σε 2 παραπάνω επεξεργασίες, την οζόνωση και τη διήθηση από τις κλίνες ενεργού άνθρακα. Στόχος τους είναι η προσρόφηση κάθε οργανικού και μικροβιολογικού φορτίου αλλά και η βελτίωση της οσμής και της γεύσης. Το νερό της Θεσσαλονίκης είναι το μόνο που υπόκεινται εκτός των βασικών σταδίων, επεξεργασία σε κλίνες ενεργού άνθρακα. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτή των κλινών άμμο, το νερό διηθείται στις κλίνες ενεργού άνθρακα με τελικό αποτέλεσμα την απομάκρυνση κάθε μορφής οργανικού φορτίου.

Το νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση προέρχεται από τα επιφανειακά νερά των λιμνών, των ποταμών καθώς και από τα υπόγεια νερά των πηγών ή των γεωτρήσεων. Το νερό πριν διοχετευτεί στους καταναλωτές περνάει από διάφορες διεργασίες προκειμένου να θεωρηθεί πόσιμο και κατάλληλο σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχουν οριστεί από τη νομοθεσία.

Όσον αφορά τη μικροβιολογική ποιότητα του νερού, σύμφωνα με τον (WHO, 2011), το νερό μπορεί να θεωρηθεί πόσιμο και να δοθεί προς κατανάλωση όταν στο τελικό στάδιο της επεξεργασίας του (14K για την ΕΝΝΘ) και κατά την έξοδο του από την εκάστοτε μονάδα πληρούνται οι παρακάτω παράμετροι:

Πίνακας 4: μικροβιολογικοί δείκτες για το πόσιμο νερό (WHO, 2011)

TOTAL COLIFORMS (CFU/100ML)	0
E. COLI (CFU/100ML)	0
ENTEROCOCCUS (CFU/100ML)	0

Σύμφωνα με τις μικροβιολογικές αναλύσεις του πόσιμου νερού που εξέρχεται για κατανάλωση και από τις τέσσερις μονάδες επεξεργασίας νερού και οι οποίες υπάρχουν αναρτημένες στο site της εκάστοτε μονάδας, παρουσιάζονται οι μικροβιολογικοί δείκτες που καθιστούν το νερό πόσιμο και την επεξεργασία του αποτελεσματική.

Πίνακας 5: cfu/100ml δεικτών μικροοργανισμών στο πόσιμο νερό ύστερα από επεξεργασία στις μονάδες υδροδότησης Αθήνας, Θεσσαλονίκης, Πάτρας και Κομοτηνής

	TOTAL COLIFORMS (CFU/100ML)	E. COLI (CFU/100ML)	ENTEROCOCCUS (CFU/100ML)
ΑΘΗΝΑ	0	0	0
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	0	0	0
ΠΑΤΡΑ	0	0	0
ΚΟΜΜΟΤΗΝΗ	0	0	0

Η κατάσταση των δικτύων ύδρευσης είναι ένας παράγοντας που συμβάλλει στην ποιότητα του νερού. Οι μετρήσεις των μικροβιολογικών αλλά και χημικών παραμέτρων του νερού αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του ελέγχου της ποιότητας του νερού. Υψηλές τιμές αυτών των παραμέτρων μπορούν να αποβούν επιβλαβείς τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το δίκτυο ύδρευσης.

Μετά την επεξεργασία του νερού στα διάφορα στάδια , και οι τέσσερις μονάδες κρίθηκαν αποτελεσματικές ως προς την επεξεργασία του νερού και την απομάκρυνση του μικροβιακού φορτίου ώστε να καταστεί πόσιμο, ακολουθώντας τα διεθνή πρότυπα που έχουν οριστεί για αυτό το σκοπό.

Η χλωρίωση προτείνεται ως τον αποτελεσματικότερο και οικονομικότερο τρόπο για να ξεπεραστεί το πρόβλημα.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7.1. Διεθνής

- Abushandi, & Eyad. (2021, March 17). Evidence of Improved Seawater Quality using a Slow Sand Filtration. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, σσ. 359-367.
- Amit Bhatnagar, W. H. (2013, March 1). An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. *Chemical Engineering Journal*, σσ. 499-511.
- Anfar, Z., Ahsaine, H. A., Zbair, M., Amedlous, A., Fakir, A. A., & Alem, A. J. (2019, July 25). Recent trends on numerical investigations of response surface methodology for pollutants adsorption onto activated carbon materials: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*.
- Anssi Karvonen, P. R. (2010, April). Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: Climate change increases the risk of some, but not all, diseases. *International Journal for Parasitology*, σσ. 1483-1488.
- Anu Matilainen, M. V. (2010, June 28). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, σσ. 189-197.
- Baker, F. S., Miller, C. E., & Tolles, A. J. (2000, December 4). Activated Carbon. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*.
- Bhatnagara, A., WilliamHoglanda, & Sillanpac, M. a. (2012, December 20). An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. *Chemical Engineering Journal* 219, σσ. 499-511.
- Cabral, J. P. (2010, October 15). Water Microbiology. Bacterial Pathogens and Water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, σσ. 3657-3703.
- Chaohai Wei, F. Z. (2016, May 18). Ozonation in water treatment: the generation, basic properties of ozone and its practical application.
- Chaplin, M. F. (2001). Water: its importance to life. *Biochemistry and Molecular Biology Education* 29, σσ. 54-59.
- Christian Baresel, M. H. (2019). Ultrafiltration/Granulated Active Carbon-Biofilter: Efficient Removal of a Broad Range of Micropollutants. *Applied Sciences*.
- Emo ke Pall, M. N. (2013). Human impact on the microbiological water quality of the rivers. *Journal Of Medical Microbiology*, σσ. 1635–1640.
- Esteban Avigliano, N. F. (2015, May 5). Human Health Risk Assessment and Environmental Distribution of Trace Elements, Glyphosate, Fecal Coliform and Total Coliform in Atlantic Rainforest Mountain Rivers (South America). *Microchemical Journal*.

- Fujioka, T., Ueyama, T., & Leddy, F. M. (2019, August). Online assessment of sand filter performance for bacterial removal in a full-scale drinking water treatment plant. *Chemosphere*, σσ. 509-514.
- Gaurav Saxena, R. N. (2015). Microbial indicators, pathogens and methods for their monitoring in water environment. *Journal Of Water and Health*, σσ. 319-339.
- Gehr, R., & Nicell, J. (1996, May 1). Pilot studies and assessment of downstream effects of UV and Ozone disinfection of a physiochemical wastewater. *Water Quality Research Journal*, σσ. 263-281.
- Gemeda, S. T., Soboksa, N. E., Tefera, Y. M., Desta, A. F., & Gari, S. R. (2022, May 19). PCR-based detection of pathogens in improved water sources: a scoping review protocol of the evidence in low-income and middle-income countries. *BMJ open*.
- Gerba, C. P. (2015). Indicator Microorganisms. Στο C. P. Ian L. Pepper, *Environmental Microbiology* (σσ. 551-563). Elsevier.
- H. Leclerc, L. S.-C. (2002). Microbial Agents Associated with Waterborne Diseases. *Critical Reviews in Microbiology*, σσ. 371–409.
- ISO. (1999). *Water quality - Enumeration of culturable micro-organisms - Colony count by inoculation in a nutrient agar culture medium (ISO 6222:1999)*.
- Jenny Zhang, D. Y. (2022, July 20). Estimation and Impact Factor of Pathogens in the Lijiang River Using Water Quality Modeling. *Journal of Environmental Protection*, σσ. 527-538.
- Johnson Lin, A. G. (2013, February 26). Water quality indicators: bacteria, coliphages, enteric viruses. *International Journal of Environmental Health Research*.
- Kai Yang, J. Y. (2016, December 25). Comparison of micropollutants' removal performance between pre-ozonation and post-ozonation using a pilot study. *Water Research*.
- Kathrine G. Field, A. E. (2003). Molecular approaches to microbiological monitoring: fecal source detection. *Environmental Monitoring and Assessment*, σσ. 313-326.
- Lameiras, S., Quintelas, C., & Tavares, T. (2007, March 26). Biosorption of Cr (VI) using a bacterial biofilm supported on granular activated carbon and on zeolite. *Bioresource Technology* 99, σσ. 801-806.
- Lars Jurzik, I. A. (2010, May 7). Chemical and microbiological parameters as possible indicators for human enteric viruses in surface water. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, σσ. 210-216.
- Lu, J. K., Ren, Y., Chen, Z., & Chen, M. (2021, June 2). The virus removal in UV irradiation, ozonation and chlorination. *Water Cycle*, σσ. 23-31.
- Margeta, K., Logar, N. Z., Šiljeg, M., & Farkas, A. (2013). Natural Zeolites in Water Treatment- How Effective is Their Use. Στο W. E. Chowdhury, *Water Treatment* (σσ. 81-112). Intech Open.

- Mazhar, M. A., Khan, N. A., Ahmed, S., Khan, A. H., Hussain, A., Rahisuddin, . . . Vambol, V. (2020, July 17). Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water-A review . *Journal of Cleaner Production* 273.
- Muhammad, N., Ellis, K., Parr, J., & Smith, M. D. (1996). Optimization of slow sand filtration. *Water quality and supply*, σσ. 283-285.
- Nora J. Sadik, S. U. (2017, August 31). Quantification of multiple waterborne pathogens in drinking water, drainage channels, and surface water in Kampala,Uganda, during seasonal variation. *GeoHealth*, σσ. 258-269.
- Nwabor Ozioma Forstinus, N. E. (2016). Water and Waterborne Diseases: A Review. *International Journal of Tropical Disease and Health*, σσ. 1-14.
- Nyasimi Ayora Gershom, K. S. (2020, December 19). Variation of Total Coliforms and Bacteria during Dry and Wet Seasons in Rivers of Sigor Division, West Pokot County, Kenya. *Journal of Advances in Microbiology*, σσ. 41-51.
- Panagiotis Karanis, I. C. (2005). A Preliminary Survey of the Level of Microbiological Pollution of Major Rivers in Northern Greece. *Acta hydrochim. hydrobiol.*, σ. 346-354.
- Phull, S., Sternagel, M., Lorimer, J., Polet, B., & Mason, T. (1999). The use of ultrasound for remediation of biological contamination in water. *TU Hamburg Harburg Reports on Sanitary Engineering* 25, σσ. 181-188.
- Pinar-Mendez, A., Fernandez, S., Baquero, D., Vilaro, C., Galofre, B., Gonzalez, S., . . . Garcia-Aljaro, C. (2021, August 12). Rapid and improved identification of drinking water bacteria using the Drinking Water Library, a dedicated MALDI-TOF MS database. *Water Research* 203.
- Ramírez-Castillo, F. Y., Loera-Muro, A., Jacques, M., Garneau, P., Avelar-González, F. J., Harel, J., & Guerrero-Barrera, A. L. (2015, May 21). Waterborne Pathogens: Detection Methods and Challenges. *Pathogens*, σσ. 307-334.
- Rossati, A. (2017, January). Global Warming and Its Health Impact. *Int J Occup Environ Med*, σσ. 7-20.
- Soraia El Baz, K. K. (2022). Waterborne Diseases Arising From Climate Change: An Overview on the Possible Link. *Research Anthology on Environmental and Societal Impacts of Climate Change*, σσ. 64-87.
- Srishti Verma, A. D. (2017, January 24). Slow sand filtration for water and wastewater treatment-a review. *Environmental Technology Reviews*, σσ. 47-58.
- Thazhamon, D. A. (2021). Zeolite – A Superior Water Purification Material. *Water conditioning and purification*.
- Toribio-Avedillo, D., Blanch, A. R., & Rodríguez-Rubio, M. M. (2021, June 7). Bacteriophages as Fecal Pollution Indicators. *Viruses*, σ. 1089.
- WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality - 4th ed.*

7.2 Ελληνική

Δελήμπασης, Κ. Ι. (2001). Απολύμανση υγρών αποβλήτων. *e-telescope.gr*.

Δελήμπασης, Κ. Ι. (2001). Το όζον στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. *e-telescope.gr*.

Μαυρίδου, Α., Βανταράκης, Α., Ευστρατίου, Μ. Α., & Αρβανιτίδου-Βαγωνά, Μ. (2014). *Μικροβιολογία και επιδημιολογία νερού*. Λευκωσία, Κύπρος: Πασχαλίδης.

Μήτρακας, Μ. (2001). *Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Και Επεξεργασία Νερού*. Τζιόλας.

7.3 Ηλεκτρονικές διευθύνσεις

<https://www.eyath.gr/>

<https://www.eydap.gr/>

<https://www.deyap.gr/>

<https://www.deyakom.gr/>

