

ΔΙΗΘΗΣΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΙΗΘΗΣΗ ΒΑΘΕΟΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Φ.Κ. Κατριβέσης^{1,2,*}, Χ.Α. Παρασκευά^{1,3}, Ε.Γ. Παπαδάκης²

¹Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Ελλάδα

²Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Πανεπιστήμιο Πατρών, Αργίτιο, Ελλάδα

³Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας/Ινστιτούτο Επιστημών Χημικής Μηχανικής (ΙΤΕ/ΙΕΧΜΗ),
Σταδίου, Πλατάκι Αχαΐας, Πάτρα, Ελλάδα
(*fkatrivesis@gmail.com)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πλέον γνωστή φυσική διεργασία που χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα στις μονάδες επεξεργασίας νερού, για την εξασφάλιση ασφαλούς πόσιμου νερού, είναι η διήθηση. Η διήθηση είναι μια μέθοδος που επιτρέπει την απομάκρυνση από το νερό αιωρούμενων ή κολλοειδών σωματιδίων, μετά από τη διέλευση τους από ένα πορώδες μέσο (διηθητικό υλικό), το οποίο τα συγκρατεί με τη βοήθεια ενός αριθμού μηχανισμών. Η διαδικασία φιλτραρίσματος μέσω διηθητικού υλικού είναι το τελικό στάδιο διαχωρισμού στερεών-υγρών σε μια μονάδα επεξεργασίας νερού και η απόδοσή της αξιολογείται κυρίως από τις ιδιότητες του διηθημένου νερού (θολότητα και διαλυμένα στερεά), την πτώση πίεσης στο φίλτρο (ρυθμός και χρόνος έκπλυσης) και από την ποσότητα της παραγωγής καθαρού νερού (παροχή λειτουργίας). Οι παράμετροι που καθορίζουν την απόδοση διήθησης περιλαμβάνουν το μέγεθος, τη συγκέντρωση και τις χημικές ιδιότητες των σωματιδίων, καθώς και το μέγεθος των πόρων-κόκκων και τις χημικές ιδιότητες του διηθητικού υλικού. Η παρούσα πειραματική μελέτη επικεντρώνεται σε δύο μεθόδους, εξετάζοντας τη διήθηση βαθέος στρώματος και τη διήθηση με χρήση μεμβρανών και πιο συγκεκριμένα η επίδραση παραμέτρων είναι η αρχική θολότητα του νερού και η ταχύτητα ροής, στη λειτουργία και την αποτελεσματικότητα της κάθε μεθόδου. Η εργασία έχει ως στόχο την κατανόηση των μηχανισμών απομάκρυνσης των ρύπων από το υγρό ρεύμα και την εξέταση παραμέτρων που θα μπορούσαν να βελτιστοποιήσουν την διήθηση. Έτσι διεξήχθησαν πειράματα σε εργαστηριακές συσκευές στήλης άμμου και πιλοτικής μονάδας μεμβράνης υπερδιήθησης, με προσομοίωση των συνθηκών ρύπανσης του νερού με καολίνη. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θολότητας, πτώσης πίεσης και παροχής διηθήματος, αλλά και του δυναμικού ζήτα, της αγωγιμότητας και του μεγέθους των σωματιδίων του νερού.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό, το οποίο αποτελεί την αφετηρία της ζωής στη γη, είναι τόσο καθοριστικό για τη διαβίωση και την ανάπτυξη του ανθρώπου, όσο ο αέρας και η τροφή. Τα προβλήματα που συνδέονται με το νερό αναφέρονται τόσο στην ποσότητα όσο και στην ποιότητά του, η οποία διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρήση για την οποία αυτό προορίζεται (αστική, βιομηχανική, αγροτική, κ.α). Το νερό που προορίζεται για αστική κατανάλωση και ειδικότερα για ύδρευση (πόσιμο νερό), έχει υψηλές προδιαγραφές ποιότητας, οι οποίες καθορίζονται από νομοθετικές ρυθμίσεις, και συνήθως απαιτείται επεξεργασία για την εξασφάλιση των προδιαγραφών αυτών. Η επεξεργασία που θα εφαρμοσθεί, ποικίλει ανάλογα με την προέλευση και την ποιότητα των πηγών υδροληψίας. Οι προσμίξεις που υπάρχουν στο ανεπεξέργαστο νερό μπορεί να είναι στη μορφή διαλυμένης και κολλοειδούς φυσικής οργανικής ύλης (NOM), όπως τα διαλυμένα άλατα και αιωρούμενα υλικά όπως άργιλοι, πυρίτια, μικροβιακά κύτταρα ή φύκια. Καθώς τα αιωρούμενα σωματίδια διαφέρουν σημαντικά στην σύνθεση, στο φορτίο, στο μέγεθος, στο σχήμα και στην πυκνότητά τους, η μέθοδος που θα τελικά θα επιλεγεί εξαρτάται από το χαρακτήρα του ακατέργαστου νερού, με ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στην επεξεργασία των επιφανειακών νερών την μεγάλη εποχιακή διακύμανση της θολότητας. Γενικά,

οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για τον καθαρισμό του νερού είναι φυσικοχημικές και ακολουθούν τρία βασικά στάδια: Πρωτοβάθμια επεξεργασία-(συλλογή από ποτάμια, εσχάρωση και αρχική αποθήκευση), Δευτεροβάθμια επεξεργασία-(απομάκρυνση των λεπτών στερεών και της πλειοψηφίας των ρύπων χρησιμοποιώντας θρόμβωση, κροκίδωση και διήθηση), Τριτοβάθμια επεξεργασία-(αφαίρεση γεύσης και οσμής, απολύμανση και προσωρινή αποθήκευση). Στην δευτεροβάθμια επεξεργασία, η διήθηση (φίλτραση) είναι μια διαδικασία κατά την οποία ένα ετερογενές μίγμα υγρού και στερεών ή διαλυμένων ουσιών διαχωρίζονται από ένα φίλτρο (διηθητικό μέσο), το οποίο επιτρέπει τη ροή του υγρού (διήθημα) αλλά συγκρατεί τις ουσίες (προσμίξεις) ^[1]. Στην επεξεργασία πόσιμου νερού η μέθοδος που χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά είναι η διήθηση βαθέως στρώματος, όπου με την διέλευση του νερού μέσα από φίλτρα άμμου (με κοκκομετρία 0,6-1,6 mm) απομακρύνονται τα αιωρούμενα σωματίδια καθώς και γίνεται μερική βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών. Τα περιεχόμενα στο νερό στερεά έχουν διάμετρο μικρότερη από αυτή των ανοιγμάτων των πόρων του διηθητικού υλικού και διεισδύουν σε αυτό με επιθυμητό αποτέλεσμα τη συγκράτησή τους σε όλο το βάθος του στρώματος. Στην περίπτωση αυτή η απομάκρυνση των αιωρούμενων από το προς διήθηση ρευστό πραγματοποιείται μέσα στο διηθητικό υλικό, εξαιτίας της δράσης πολλών μηχανισμών, που δρουν τόσο ανεξάρτητα όσο και ταυτόχρονα. Οι πιο βασικές δυνάμεις μεταφοράς των σωματιδίων είναι η δύναμη της βαρύτητας, η οπισθέλκουσα και η κίνηση Brown, ενώ οι δυνάμεις που προκαλούν την προσκόλληση των σωματιδίων είναι η London-Van der Waals και η δύναμη διπλής ιονοστοιβάδας. Οι μηχανισμοί αυτοί επηρεάζονται από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του αιωρήματος και του διηθητικού υλικού, την ταχύτητα διήθησης και τα χημικά χαρακτηριστικά του νερού. Λόγω της ροής του ρευστού μέσα στο διηθητικό υλικό, τα αιωρούμενα, ακολουθώντας τις γραμμές ροής, προσεγγίζουν τις επιφάνειες των κόκκων ή των πόρων, επάνω στις οποίες συγκρατούνται. Όταν οι δυνάμεις που δρουν δεν επαρκούν για την συγκράτηση στις επιφάνειες αυτές, τα αιωρούμενα στερεά μπορεί να αποκολληθούν και να επανα-εισέλθουν στο ρευστό, κινούμενα προς μεγαλύτερα βάθη, όπου μπορεί στη συνέχεια να συγκρατηθούν εκ νέου. Πρόκειται για ασυνεχή διεργασία, που γίνεται σε κύκλους διήθησης – έκπλυσης του φίλτρου. Όμως, η αυξανόμενη τα τελευταία χρόνια σπανιότητα των πηγών γλυκού νερού τροφοδότησε μια ώθηση προς εναλλακτικούς πόρους από πηγές εδάφους, επιφάνειας και θαλασσινού νερού. Ταυτόχρονα, άρχισε να εφαρμόζεται και στην περίπτωση του πόσιμου νερού η θεωρία των πολλαπλών φραγμάτων προστασίας, που αποσκοπεί στη μείωση των κινδύνων που μπορεί να προκληθούν στη δημόσια υγεία από την κατανάλωση νερού ^[2, 3]. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, το πρώτο φράγμα προστασίας είναι η προστασία των πηγών υδροληψίας. Το δεύτερο φράγμα προστασίας βρίσκεται στη μονάδα επεξεργασίας του νερού. Πολλοί ερευνητές ^[3] συμφωνούν ότι σε αυτό το επίπεδο, το πρώτο φράγμα προστασίας έναντι μικροοργανισμών είναι η καθίζηση και το δεύτερο η διήθηση, έχοντας ως τελικό φράγμα την απολύμανση, που στοχεύει στην εξόντωση ή αδρανοποίηση των μικροοργανισμών που πιθανόν παρέμειναν από τα προηγούμενα στάδια. Τα παραπάνω έδωσαν την έναυση για χρησιμοποίηση στις μονάδες επεξεργασίας του νερού διαδικασίας **διαχωρισμού με μεμβράνες**. Οι μεμβράνες είναι λεπτά και πορώδη υλικά ικανά να διαχωρίζουν τους ρύπους από το νερό όταν εφαρμόζεται μια ωθούσα-κινητήρια δύναμη και μοιάζουν με το συμβατικό φίλτρο ινών όσον αφορά τον τρόπο διαχωρισμού. Ο διαχωρισμός των διαφόρων συστατικών επιτυγχάνεται αυστηρά με ένα μηχανισμό κοσκίνισης με τις διαμέτρους των πόρων και τα μεγέθη σωματιδίων να είναι οι καθοριστικές παράμετροι ^[4]. Ειδικότερα, στις μεμβράνες υπερδιήθησης η διάμετρος των πόρων στην επιφάνεια τροφοδοσίας της μεμβράνης είναι μεταξύ 1 και 10 nm και τα συστατικά που συγκρατούνται έχουν μοριακό βάρος μεταξύ 5000 και αρκετών εκατομμυρίων Dalton ^[5]. Πλεονέκτημα των μεμβρανών UF είναι ότι η διαφορά της ωσμωτικής πίεσης στις πλευρές της μεμβράνης είναι αμελητέα και άρα με χαμηλή πίεση είναι εφικτές υψηλές ροές λειτουργίας. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι η κατακράτηση ουσιών από τις μεμβράνες δεν εξαρτάται

αποκλειστικά από το μέγεθος των πόρων, αλλά και από άλλους παράγοντες όπως το σχήμα των ουσιών και το βαθμό της έμφραξης της μεμβράνης ^[5]. Οι μεμβρανικές διεργασίες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στην επεξεργασία πόσιμου νερού για την απομάκρυνση βακτηρίων και άλλων μικροοργανισμών, σωματιδιακού υλικού, μικρών ρύπων και φυσικού οργανικού υλικού ^[6, 7], που προσδίδουν χρώμα, γεύσεις και οσμές νερό και αντιδρούν με απολυμαντικά για να σχηματίσουν παραπροϊόντα απολύμανσης (DBP). Στα πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγεται η απλή λειτουργία, η απαίτηση λιγότερου χώρου από τα συμβατικά σχήματα επεξεργασίας, η χρησιμοποίησή τους για τον διαχωρισμό πολλών ειδών ρύπων και τέλος ότι η απολύμανση μπορεί να γίνει χωρίς χημικά. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των μεμβρανών, ειδικά στις διεργασίες επεξεργασίας νερού, είναι ότι μέχρι σήμερα η μακροπρόθεσμη αξιοπιστία τους δεν έχει αποδειχθεί πλήρως.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Τα πειράματα που έγιναν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, είχαν βασικό σκοπό να μας βοηθήσουν στην μελέτη της βαθιάς διήθησης και της διήθησης μεμβράνης από μακροσκοπική άποψη. Στόχος λοιπόν της πειραματικής διαδικασίας, ήταν να μεταβάλλεται κάποια παράμετρος του συστήματος, ενώ όλες οι άλλες να παραμένουν σταθερές, έτσι ώστε να δοθεί μια πλήρης εικόνα εξάρτησης του συστήματος από την κάθε παράμετρο. Ειδικότερα, στα πειράματα διήθησης βαθέος στρώματος κατ' αρχήν μελετήθηκε η επίδραση της εικονικής ταχύτητας στο φαινόμενο, ενώ οι άλλες παράμετροι όπως, διάμετρος και ολικό βάθος κλίνης, υγρό μέσο, είδος συγκέντρωση και μέγεθος σωματιδίων παρέμειναν σταθερές για όλα τα πειράματα. Κατόπιν μελετήθηκε ξεχωριστά επίδραση του μεγέθους κόκκων του πορώδους μέσου, και τέλος η αρχική θολότητα του προς κατεργασία νερού, και επαναλαμβάνοντας την παραπάνω διαδικασία. Αντίστοιχα, στα πειράματα υπερδιήθησης σταθερές τιμές είχαν το πορώδες, η επιφάνεια και η διαμεμβρανική πίεση της μεμβράνης, με παράμετρο την αρχική θολότητα του νερού μελετώντας την απομένουσα θολότητα στις ροές διηθήματος και συμπυκνώματος. Τέλος, το αιώρημα παρασκευαζόταν, έτσι ώστε να προσομοιωθεί η αρχική θολότητα του ακατέργαστου νερού που πρέπει να επεξεργαστεί και διαχειριστεί ένα διυλιστήριο νερού. Αποτελείται από καολίνη σε νερό δικτύου πόλης, συγκέντρωσης 0.017~0.127 gr/l και αρχικής θολότητας 15~150 NTU.

Πειραματική Συσκευή Βαθιάς Διήθησης

Η πειραματική συσκευή, που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο ^[8], αποτελείται από ένα φίλτρο άμμου, έναν πίνακα μέτρησης πίεσης, ένα δοχείο που περιέχει το αιώρημα κι ένα δίκτυο



Εικόνα 2. Συσκευή Βαθιάς Διήθησης



Εικόνα 2. Συσκευή Υπερδιήθησης

σωληνώσεων (Εικόνα 1). Το υγρό που επιθυμείται να διηθηθεί, περιέχεται μέσα στο βαρέλι και μέσω μιας φυγοκεντρικής αντλίας τροφοδοτείται στο φίλτρο. Το φίλτρο είναι κυλινδρική στήλη από plexiglass. Έχει εσωτερική διάμετρο 90mm και αποτελείται από τρία τμήματα: την είσοδο

(οροφή) ύψους 180mm, το κυρίως φίλτρο 1715mm και την έξοδο (πυθμένας) 135mm. Ο πίνακας των μανομέτρων βρίσκεται δεξιά της στήλης και περιέχει 9 μανόμετρα, τα οποία είναι γυάλινοι σωλήνες με εσωτερική διάμετρο 3mm που περιέχουν Hg και μετρούν διαφορά πίεσης μεταξύ του σημείου 0 της στήλης (βάθος 0cm) και ενός από τα υπόλοιπα σημεία. Ο καολίνης προστίθεται στο δοχείο και ταυτόχρονα πραγματοποιείται ανάδευση για να ομογενοποιηθεί το αιώρημα. Η αντλία τίθεται σε λειτουργία και το αιώρημα οδηγείται στο φίλτρο με ροή από πάνω προς τα κάτω και με παροχή που ρυθμίζεται μέσω του ροομέτρου στα επιθυμητά επίπεδα. Μετράται η αρχική θολότητα με δείγμα που λαμβάνεται κατευθείαν από το δοχείο κι επίσης μετράται η πτώση πίεσης στα σημεία δειγματοληψίας. Τα δείγματα συλλέγονται σε πλαστικά μπουκάλια των 50ml και μετράται η θολότητά τους όπως επίσης δυναμικό-ζ, αγωγιμότητα και κατανομής μεγέθους σωματιδίων.

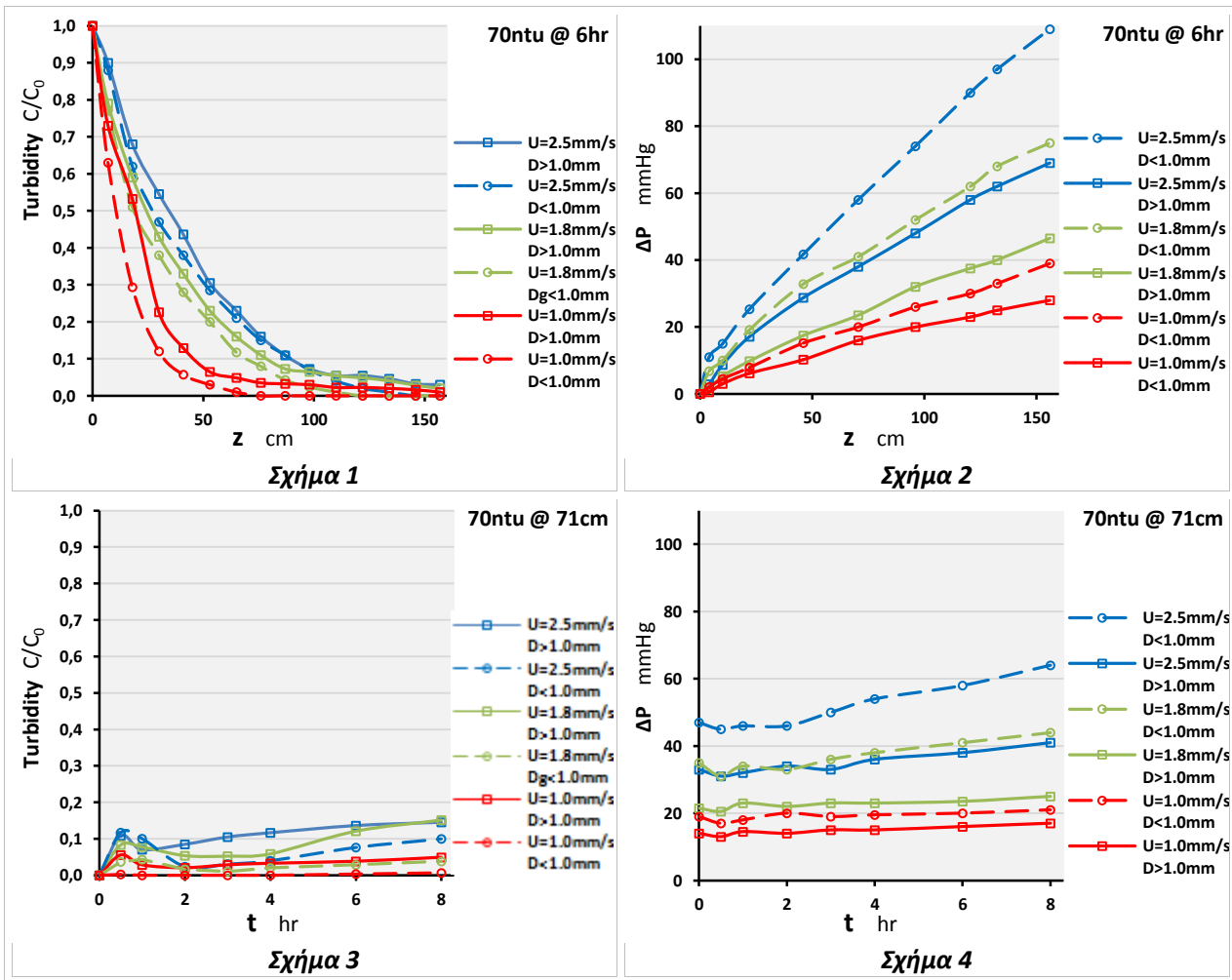
Πειραματική Συσκευή ΥπερΔιήθησης

Η συσκευή υπερδιήθησης (HAR P-1960) εφαπτομενικής ροής (cross-flow) που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας Hydro Air Research και αποτελείται από μεταλλικούς ανοξείδωτους σωλήνες, το αφαιρούμενο κεραμικό φίλτρο, ένα όργανο ελέγχου θερμοκρασίας, δύο όργανα ελέγχου της πίεσης στην είσοδο του και στην έξοδο της μονάδας μεμβράνης, μαζί με τις αντίστοιχες βαλβίδες αυξομείωσης ροής (Εικόνα 2). Η μεμβράνη υπερδιήθησης είναι κεραμική και κατασκευασμένη από ζirkονία, έχει πόρους στο μέγεθος των 100 nm, εσωτερικά της υπάρχουν 19 κανάλια τροφοδοσίας μήκους 1020 cm και διαμέτρου 4mm και η συνολική επιφάνειά της ανέρχεται στα 0,24 m². Η διαπερατότητα καθαρού νερού διαμέσου αυτής υπολογίζεται στα 1800 L/h*m², οι ογκομετρικές παροχές στα 3,44 και 4,30 m³/h για ταχύτητες εφαπτομενικής ροής 4 και 5 m/s αντίστοιχα και η διαμεμβρανική πίεση (TMP) στα 1.75 bar. Σε βαρέλι χωρητικότητας 200 L και μέσω πλαστικών σωληνώσεων και αντλίας τροφοδοτείτο η μονάδα υπερδιήθησης. Η μονάδα μεμβράνης είχε δύο εξόδους: η μία του " φιλτραρισμένου" (διήθημα), η οποία κατέληγε σε ένα δοχείο μέτρησης όγκου και η άλλη της επανακυκλοφορίας, η οποία κατέληγε στο αρχικό βαρέλι. Κατά την διάρκεια του πειράματος τα δείγματα από το διήθημα και το συμπύκνωμα συλλέγονται σε πλαστικά μπουκάλια των 50ml και μετράται η θολότητά τους όπως επίσης δυναμικό-ζ, αγωγιμότητα και κατανομής μεγέθους σωματιδίων.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ

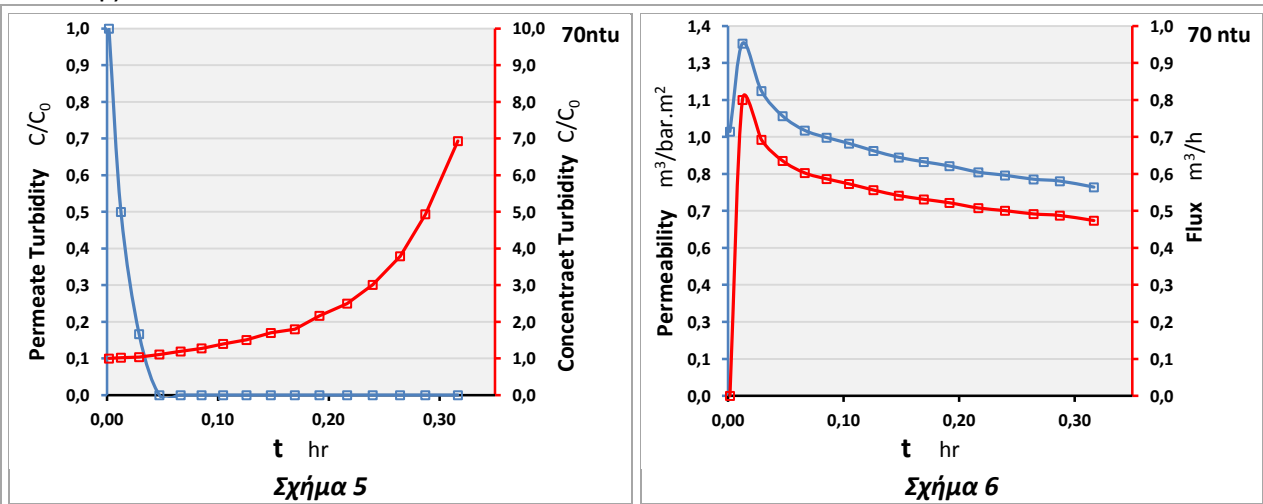
1. Επίδραση Θολότητας, Παροχής και Κοκκομετρίας στην Βαθιά Διήθηση

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν 18 πειράματα τα οποία προέκυψαν από συνδυασμό αρχικών θολοτήτων νερού (TH) 150, 70 και 15 NTU, με ταχύτητες ροής (U) 0.969, 1.886 και 2.56 mm/sec (ρυθμό ροής(Q) 0,02, 0,04 και 0,06 m³/h, αντίστοιχα) σε δυο διαφορετικές κοκκομετρίες άμμου μεγέθους (D) >1mm (1.0-1.4) και <1mm (0.6-1.0). Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα απομένουσας θολότητας και διαφορικής πίεσης έναντι χρόνου και βάθους, εξήχθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα. Στα Σχήματα 1, 2, 3 και 4 παρατηρείται ότι κατά την λειτουργία του φίλτρου (6^η ώρα και σημείο δειγματοληψίας βάθους 71 cm), η κλίση των καμπυλών μεγαλώνει όσο αυξάνεται η ταχύτητα και η κοκκομετρία. Αυτό σημαίνει ότι για να έχουμε λόγο συγκέντρωσης σωματιδίων <0,01 (δηλαδή, θολότητα διηθήματος<1NTU για αρχική θολότητα 70NTU), απαιτείται είτε φίλτρο μεγάλου βάθους, είτε μικρός ρυθμός ροής (ενδεικτικά σε κοκκομετρία<1mm, για Q=0.02m³/h απαιτείται φίλτρο βάθους 65cm, ενώ για Q=0.06m³/h βάθους 134cm), ή τέλος έκπλυση του φίλτρου σε διάστημα μικρότερο των 6 ωρών. Όμως οι απαιτήσεις αυτές αυξάνουν το κόστος λειτουργίας σε μια μονάδα επεξεργασίας νερού.



2. Επίδραση Θολότητας και Παροχής στην ΥπερΔιήθηση

Στη σειρά αυτή πειραμάτων πραγματοποιήθηκαν 5 πειράματα εξετάζοντας την πειραματική συμπεριφορά μεμβράνης υπερδιήθησης σε κατεργασία ακατέργαστου νερού με τιμές θολότητας 15, 30, 45, 60, και 70 NTU. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα απομένουσας θολότητας και ροής διήθησης έναντι χρόνου, εξήχθηκαν και εδώ χρήσιμα συμπεράσματα. Στα Σχήματα 5 και 6 παρατηρείται πολλαπλασιασμός (7 φορές η αρχική συγκέντρωση) της συγκέντρωσης σωματιδίων στο δοχείο επανακυκλοφορίας, ενώ παραμένει σταθερή και μηδενική η θολότητα στο παραγόμενο νερό. Στον αντίποδα, η διαπερατότητα του φίλτρου και η παροχή του παραγόμενου νερού μειώνεται σταδιακά με πολύ ομαλή κλίση καμπύλης που σημαίνει μειωμένη απαίτηση έκπλυσης.



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η απομάκρυνση της θολότητας και στις δύο σειρές πειραμάτων πλησίαζε το 99%-100% της αρχικής τιμής, δηλαδή κατά κανόνα στο τέλος του κάθε πειράματος παρήχθη καθαρό νερό. Ως γενικό πόρισμα μπορούμε να πούμε ότι με την πάροδο του χρόνου και την αύξηση της ταχύτητας ροής ή της αρχικής θολότητας, είδαμε ότι μειώνεται αισθητά η διαπερατότητα, ή/και η παροχή καθαρού νερού. Στα πειράματα διήθησης με βαθύ στρώμα άμμου παρατηρήθηκε ότι η επιφανειακή φόρτιση του φίλτρου επιδρά σε μεγάλο βαθμό στη διεργασία και έτσι η ικανότητα διήθησης είναι φθίνουσα συνάρτηση της παροχής, ενώ από τα πειραματικά αποτελέσματα για την πτώση πίεσης προκύπτει ότι αυτή αυξάνει με την αύξηση της παροχής, γεγονός που οδηγεί στην επιλογή μικρότερων ταχυτήτων διήθησης. Όμως, μεγάλη παροχή σημαίνει μεγαλύτερη ταχύτητα διήθησης, περισσότερο όγκο καθαρού νερού ανά μονάδα χρόνου, αλλά και μεγάλη εναπόθεση σωματιδίων σε μεγάλο βάθος της στήλης, που αυτόματα οδηγεί σε μικρότερες ταχύτητες, και που τελικά κάνει αναγκαία τη χρήση περισσότερων ή βαθύτερων φίλτρων για την επίτευξη διήθησης ίδιας ποσότητας αιωρήματος (αύξηση κόστους εγκατάστασης). Τα πειραματικά αποτελέσματα στις μεμβράνες έδειξαν ότι αυτές έχουν εξαιρετικές δυνατότητες διαχωρισμού σε υδατικά διαλύματα με μικρές και μεσαίες συγκεντρώσεις και αποδίδουν νερό με πολύ καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά (σχεδόν μηδενική συγκέντρωση σωματιδίων), ενώ στις μεγάλες θολότητες με την πάροδο του χρόνου απαιτεί συχνότερη έκπλυση. Στην διήθηση με μεμβράνες υπερδιήθησης υπήρχε καλύτερος έλεγχος των συνθηκών διήθησης και γενικότερα χαρακτηρίζεται ως ευκολότερη και απλούστερη διαδικασία, με αντίτιμο το φαινομενικά μεγάλο ηλεκτρομηχανολογικό κόστος εγκατάστασης και ενεργειακής κατανάλωσης. Οι μεμβράνες μπορούν επίσης να διαχωρίσουν νερό με μικρές και μεσαίες θολότητες χωρίς την χρήση της διεργασίας κροκίδωσης-καθίζησης. Σε πίστωση των παραπάνω η διήθηση βαθέος στρώματος "είναι η πεπατημένη οδός", εφαρμόζεται ευρέως και από αρχαιοτάτων χρόνων, είναι οικονομική από άποψη ενέργειας όμως είναι μια διαδικασία όχι φιλική προς το περιβάλλον (αφού παράγει ως απόβλητο την ιλύ έκπλυσης) και απαιτεί καταρτισμένο προσωπικό για την λειτουργία και την αντικατάσταση του πληρωτικού υλικού των φίλτρων. Στον αντίποδα, οι διαδικασίες μεμβράνης έχουν καταστεί ελκυστικότερες για την παραγωγή πόσιμου νερού, λόγω της αυξημένης λειψυδρίας και αυστηρότητας των κανονισμών στην παραγωγή πόσιμου νερού, της απλούστερης λειτουργίας και της μείωσης του κόστους εγκατάστασης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] S. Ripperger, W. Gosele and C. Alt, "Filtration, Fundamentals," Weinheim, Wiley-VCH, 2012.
- [2] G. F. Craun, "Waterborne Disease Outbreaks," *Journal of Food Protection*, vol. 54, no. 1, pp. 71-78, 1991.
- [3] W. H. Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, 3rd ed., Geneva, 2004, 2011.
- [4] H. Strathmann, "Membranes and Membrane Separation Processes, Principles," Weinheim, Wiley-VCH, 2012.
- [5] R. W. Baker, "Membrane Technology," *Wiley Online*, 2000.
- [6] R. D. Noble and S. A. Stern, Membrane Separations Technology: Principles and Applications, Amsterdam: Elsevier Science BV, 1995.
- [7] K. Sutherland, Filters and Filtration Handbook, 5th ed., Butterworth-Heinemann, 2008.
- [8] E. G. Papadakis and C. A. Paraskeva, "Theoretical and experimental study of macroscopic behavior of deep filtration", Diploma thesis, Chemical Engineering Dep., University of Patras, Patras, 1986.