



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

**Εξέταση των δυνατοτήτων διαχείρισης υλός αφυδάτωσης η οποία
παράγεται σε Μονάδες Επεξεργασίας Νερού**

Διπλωματική Εργασία

του

Αθανάσιου Κωνσταντίνου Τσαρή

Επιβλέπων

Συμεών-Αλέξανδρος Μαλαμής

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Ιούλιος 2022

...στον πατέρα μου Κωνσταντίνο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της εν λόγω εργασίας αποτελεί η προσέγγιση του προβλήματος διαχείρισης της παραγόμενης ιλύος ως παραπροϊόν από τις μονάδες επεξεργασίας νερού (ΜΕΝ) τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Αρχικά γίνεται ανάλυση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών της αφυδατωμένης ιλύος η οποία παράγεται σε ΜΕΝ παρουσιάζονται οι παραγόμενες ποσότητες της και γίνεται μια σύγκριση τόσο σε εθνικό όσο και σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα στάδια επεξεργασίας μιας τυπικής ΜΕΝ και εξηγούνται τα τυπικά έργα από τα οποία παράγεται η ιλύς καθώς και οι τρόποι επεξεργασίας, ενώ αναφέρονται οι υφιστάμενες πρακτικές διαχείρισης της.

Ο κύριος άξονας της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξέταση διαφορετικών δυνατοτήτων αξιοποίησης της αφυδατωμένης ιλύος των ΜΕΝ με ή χωρίς επεξεργασία. Εξετάζεται δηλαδή η απευθείας αξιοποίηση δίχως επεξεργασία όπως επαναχρησιμοποίηση σε ΜΕΝ ως κροκιδωτικό, αλλά και ως εναλλακτικό υλικό στο χώρο της βιομηχανίας και των εργοστασίων παραγωγής δομικών υλικών. Επιπρόσθετα μελετάται και η αξιοποίηση της ιλύος χωρίς αλλά και μετά από κατάλληλη επεξεργασία σε διαφορετικούς τομείς.

Τέλος, παρουσιάζεται το πρόσφατο έργο κατασκευής της μονάδας αφυδάτωσης ιλύος της μεγαλύτερης Μονάδας Επεξεργασίας Νερού της Ελλάδας, της ΜΕΝ Αχαρνών της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. όπου βρίσκεται υπό δοκιμαστική λειτουργία.

Συμπερασματικά οι βασικές ωφέλιμες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης με και χωρίς επεξεργασία είναι, η εφαρμογή για βελτίωση καθίζησης σε ΕΕΛ, η εφαρμογή για χημική απομάκρυνση φωσφόρου σε ΕΕΛ, η εφαρμογή ως πληρωτικό υλικό σε υγροβιότοπους, η εφαρμογή ως βελτιωτικό στη γεωργία, η ανάκτηση αργιλίου και σιδήρου ως κροκιδωτικό,

η εφαρμογή ως πληρωτικό υλικό στην οδοποιία και η εφαρμογή σε κατασκευαστικά υλικά. Τα πλεονεκτήματα επαναχρησιμοποίησης αφυδάτωσης ιλύος MEN μπορεί να είναι περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά. Από την άλλη μεριά υπάρχουν αρκετές δυσκολίες και εμπόδια για την επαναχρησιμοποίηση αφυδάτωσης ιλύος MEN τόσο σε τεχνικό επίπεδο αλλά και με οικονομικά και νομικά ζητήματα.

ABSTRACT

The object of this undergraduate thesis is to approach the problem of managing the dewatered sludge produced as a by - product from the Water Treatment Plants both nationally and globally.

Initially, the physicochemical characteristics of the dewatered sludge produced by water treatment facilities are being analyzed, the produced quantities are presented, and a comparison is made both at National, European and global level.

Additionally, the different stages of a conventional water treatment plant and the processes from which the sludge is produced are described as well as the ways of treating it within the plant. Also, the practices of managing and disposing the sludge are mentioned.

The main target of this thesis is the examination of different possibilities of utilization of the dewatered sludge of the Water Treatment Units (WTP) with or without treatment. In other words, the direct utilization without treatment such as reuse in Water Treatment Plant (WTP) & Wastewater Treatment Plant (WWTP) as a coagulant, but also as an alternative material in the field of industry and construction material production factories is considered. In addition, the utilization of sludge after appropriate treatment in different sectors is also being studied.

Finally, the recent construction project of the sludge dewatering unit of the Water Treatment Plant Acharnon of EYDAP SA will be presented, where it is under test operation.

In conclusion, the main beneficial categories of reuse with and without treatment are, application for sedimentation improvement in WWTP, application for chemical removal of phosphorus in WWTP, application as filling material in wetlands, application as an

improver in agriculture, the recovery of aluminum and iron as a flocculant, the application as a filler in road construction and the application in construction materials. The advantages of reusing WTP sludge dewatering can be environmental, economic and social. On the other hand, there are several difficulties and obstacles for the reuse of WTP sludge dewatering both on a technical level but also with financial and legal issues.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Επιθυμώ καταρχάς να ευχαριστήσω τον κ. Συμεών Αλέξανδρο Μαλαμή, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, και επιβλέποντα της παρούσας εργασίας, για τη διαρκή καθοδήγηση και πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Ε.Μ.Π. και τον κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. για τη συμμετοχή τους στην Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας, όσο και για τις γνώσεις που μου μετέφεραν κατά τη διάρκεια φοίτησης μου. Θερμές ευχαριστίες επίσης, στην Αργυρώ Πλεύρη, για τις πολύτιμες υποδείξεις της καθώς και για τον εποικοδομητικό σχολιασμό της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επιθυμώ επίσης, να ευχαριστήσω τον προϊστάμενο, στη Μονάδα Επεξεργασίας Νερού Αχαρνών της ΕΥΔΑΠ, συνεργάτη και φίλο κ. Βλάχο Γεώργιο, Μηχανολόγο Μηχανικό για την πολύτιμη βοήθειά του και συνεργασία του όλα αυτά τα χρόνια, όπως και το Διευθυντή των ΜΕΝ Κωνσταντίνο Χαραλαμπόπουλο και το Γενικό Διευθυντή Ύδρευσης κ. Γεώργιο Καραγιάννη.

Επίσης ευχαριστώ τον συνεργάτη μου και καλό μου φίλο Παπαβασίλη Βασίλη, Πολιτικό Μηχανικό για τη βοήθεια και στήριξη του.

Ευχαριστώ και τη Σταματίνα Λεφαντζή Πολιτικό Μηχανικό για τη βοήθεια και στήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια.

Ευχαριστώ πολύ τους κουμπάρους μου Παναγιώτη Παπασταμάτη και Ιωάννη Τσίγκρη για την ψυχολογική στήριξη που μου παρείχαν.

Ευχαριστώ πολύ τους γονείς μου Κωνσταντίνο & Βασιλική Τσαρή που με στήριξαν, με κατανόησαν και επένδυσαν σε μένα σε όλες τις στιγμές της ζωής μου.

Τέλος, την πιο ιδιαίτερη θέση κατέχουν η σύζυγος μου Μαλαματένια Γκοσδή και ο γιος μου Κωνσταντίνος όπου τους ευχαριστώ για την στήριξη και κατανόηση που μου πρόσφεραν καθ' όλη τη πορεία μου στο Πολυτεχνείο.

Αθανάσιος Κωνσταντίνος Τσαρής

Αθήνα, Ιούλιος 2022

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο	Σελίδα
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	10
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΦΥΔΑΤΩΜΕΝΗΣ ΙΛΥΟΣ.....	20
2.1 Χαρακτηριστικά Αφυδατωμένης Ιλύος	20
2.1 Παραγόμενες Ποσότητες Ιλύος	24
2.2.1 Παραγόμενες Ποσότητες Ιλύος στην Ελλάδα	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΙΛΥΟΣ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ ΜΕΝ.....	30
3.1 Επεξεργασία Νερού	30
3.2 Επεξεργασία Ιλύος.....	37
3.3 Υφιστάμενες Πρακτικές Διαχείρισης Ιλύος.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΦΥΔΑΤΩΜΕΝΗΣ ΙΛΥΟΣ ΜΕΝ	44
4.1 Απευθείας αξιοποίηση της ιλύος χωρίς επεξεργασία	45
4.1.1 Εφαρμογή ιλύος για χημική απομάκρυνση φωσφόρου σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.....	45

4.1.2 Εφαρμογή ιλύς σε δεξαμενές τελικής καθίζησης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) για βελτίωση της καθίζησης	47
4.1.3 Εφαρμογή ως πληρωτικό υλικό σε τεχνητούς υγροβιότοπους	48
4.1.4 Χρησιμοποίηση στη γεωργία.....	49
4.2 Αξιοποίηση της ιλύος μετά από κατάλληλη επεξεργασία	51
4.2.1 Ανάκτηση αργιλίου και σιδήρου ως κροκιδωτικό σε ΜΕΝ & ΕΕΛ	51
4.2.2 Εφαρμογή ως πληρωτικό υλικό σε Οδοποιία	54
4.2.3 Επαναχρησιμοποίηση της αφυδατωμένης ιλύος σε υλικά κατασκευής	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ ΙΛΥΟΣ ΜΕΝ ΑΧΑΡΝΩΝ.....	60
5.1 Υφιστάμενη εγκατάσταση δεξαμενών καθίζησης	60
5.2 Παραγωγή ιλύος.....	61
5.3 Παροχές σχεδιασμού έργων επεξεργασίας ιλύος	62
5.4 Παροχές σχεδιασμού έργων επεξεργασίας νερών έκπλυσης φίλτρων	62
5.6 Τεχνική περιγραφή νέων έργων επεξεργασίας ιλύος και εκπλυμάτων	65
5.7 Αντλιοστάσιο ανύψωσης ιλύος.....	65
5.8 Κροκίδωση ιλύος	66
5.9 Δεξαμενή καθίζησης ιλύος	70
5.10 Δεξαμενή καθίζησης εκπλυμάτων	73
5.11 Παροχή ιλύος προς αφυδάτωση.....	77
5.12 Δεξαμενή ιλύος	77
5.13 Αφυδάτωση ιλύος	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ / ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	86

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας	Σελίδα
Πίνακας 1: Τυπική σύνθεση ιλύος (Babatunde A & Zhao Y. Q. 2007)	20
Πίνακας 2: Φυσικά Χαρακτηριστικά Ιλύος (Ahmad et al. 2016).....	23
Πίνακας 3: Φυσικά Χαρακτηριστικά Ιλύος (Minh Duc Nguyen et al. 2022)	23
Πίνακας 4: Χημικά Χαρακτηριστικά Ιλύος (Minh Duc Nguyen et al. 2022)	23
Πίνακας 5: Μέγιστη ικανότητα προσρόφησης φωσφόρου από ιλύ MEN (Babatunde & Zhao, 2007).....	46
Πίνακας 6: Υδραυλικά φορτία σχεδιασμού μονάδας επεξεργασίας ιλύος (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)	62
Πίνακας 7: Παροχές εκπλυμάτων 16 φίλτρων Παλαιάς Μονάδας (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.).....	63
Πίνακας 8: Παροχές εκπλυμάτων 16 φίλτρων Νέας Μονάδας (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.).....	64
Πίνακας 9: Υδραυλικά φορτία σχεδιασμού μονάδας επεξεργασίας εκπλυμάτων (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.).....	65

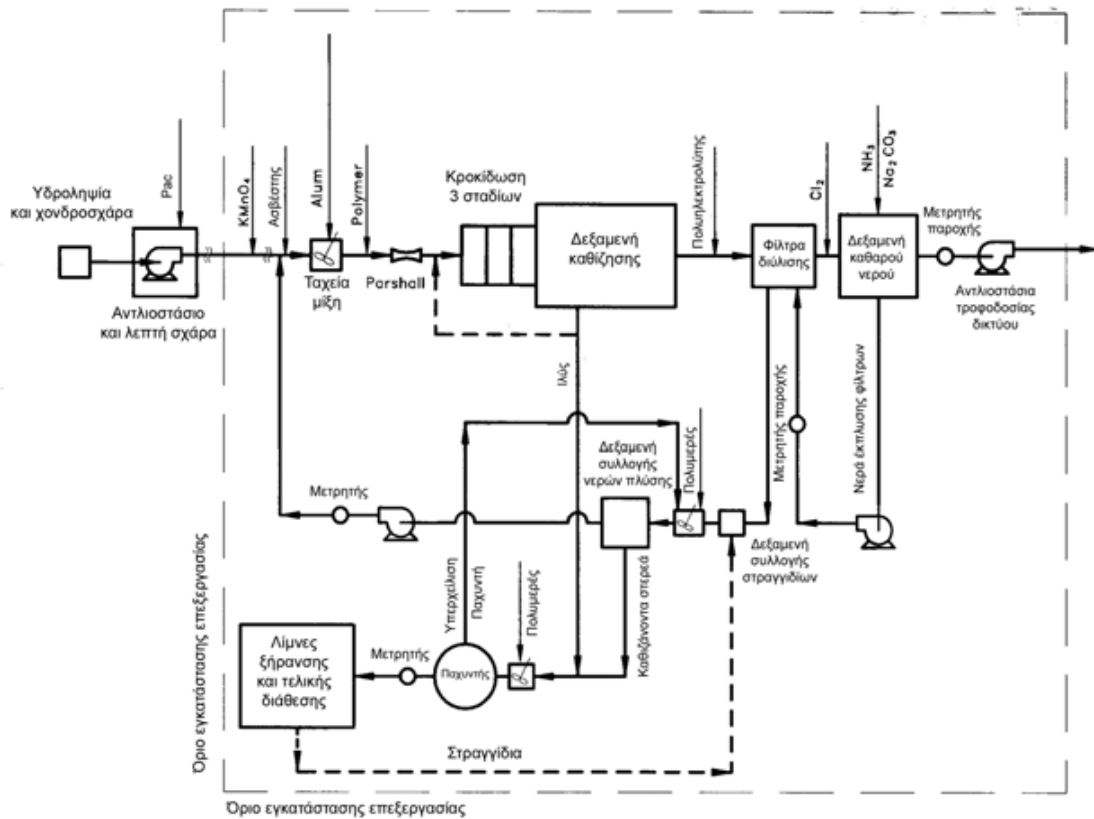
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα	Σελίδα
Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής τυπικής μονάδας επεξεργασίας νερού (Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, ΕΜΠ).....	17
Σχήμα 2: Τόνοι αφυδατωμένης ιλύος ανά κεφαλή (Babatunde and Zhao, 2007 και Ahmad et al. 2016)	26
Σχήμα 3: Παραγόμενες ποσότητες αφυδατωμένης ιλύος ΜΕΝ Αχαρνών (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)	28
Σχήμα 4: Στάδια επεξεργασίας νερών κατηγορίας Α1 (Ανδρεαδάκης, 2008)	31
Σχήμα 5: Στάδια επεξεργασίας νερών κατηγορίας Α2 (Ανδρεαδάκης, 2008)	31
Σχήμα 6: Στάδια επεξεργασίας νερών κατηγορίας Α3 (Ανδρεαδάκης, 2008)	32
Σχήμα 7: Παχυντής (Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας ΕΜΠ)	40
Σχήμα 8: Διάγραμμα λειτουργίας ταινιοφιλτρώπρεσσας. (Ανδρέας Ανδρεαδάκης, 2008)	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί ένα από τα απαραίτητα συστατικά για τον άνθρωπο και τους υπόλοιπους ζωντανούς οργανισμούς. Η ανάγκη για την επεξεργασία του με σκοπό την ασφαλή κατανάλωση του ξεκίνησε στα μέσα του 19^{ου} αιώνα όπου έγινε συσχέτιση των επιδημιών με το νερό από τον John Snow. Στα τέλη του ίδιου αιώνα διαπιστώθηκαν παθογόνοι μικροοργανισμοί στο νερό από τους Rober Koch και Luis Paster (θεωρία περί μικροβίων). Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα έχουμε τη διαπίστωση της απολυμαντικής δράσης του χλωρίου και τις πρώτες εγκαταστάσεις χλωρίωσης. Τα επιφανειακά νερά μπορεί να έχουν τόσο μικροβιολογικά (παθογόνους μικροοργανισμούς) όσο και χημικά συστατικά (αιωρούμενα στερεά) τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν. Το νερό ανάλογα με την ποιότητά του διακρίνεται σε κατηγορίες (A1, A2, A3) και απαιτείται διαφορετική επεξεργασία για κάθε κατηγορία νερού. Η επιλογή των διεργασιών γίνεται με βάση την ποιότητα του ακατέργαστου νερού. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας του νερού ονομάζονται Μονάδες Επεξεργασίας Νερού ή Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Νερού (MEN ή EEN). Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής των βασικών διεργασιών που χαρακτηρίζουν μία MEN. Κατά την επεξεργασία του νερού η συνολική απομάκρυνση των στερεών στα στάδια της καθίζησης και της έκπλυσης των φίλτρων δημιουργεί και ένα παραπροϊόν, το οποίο ονομάζεται ιλύς. Τα χαρακτηριστικά της ποικίλλουν ανάλογα με τις ιδιότητες του νερού που προέρχεται και τις μεθόδους επεξεργασίας (Ahmad et al. 2016). Ειδικότερα, η σύνθεση της εξαρτάται από παράγοντες όπως η γεωλογία και η υδρολογία της λεκάνης απορροής του ποταμού, χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία καθαρισμού, καθώς και στις ανθρώπινες και βιομηχανικές δραστηριότητες της λεκάνης απορροής. Η ιλύς είναι ένα αναπόφευκτο παραπροϊόν της διαδικασίας επεξεργασίας νερού

και η ασφαλής απόρριψή της με περιβαλλοντικά βιώσιμο τρόπο αποτελεί σοβαρή ανησυχία.



Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής τυπικής μονάδας επεξεργασίας νερού (Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, ΕΜΠ)

Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές διαχείρισης της ιλύος που παράγεται σε μια μονάδα επεξεργασίας νερού. Η λειτουργία των διεργασιών επεξεργασίας αυτού και η επιλογή χημικών ουσιών έχουν αντίκτυπο στον όγκο της παραγόμενης ιλύος. Τα συστατικά της παραγόμενης ιλύος προκύπτουν από:

1. την ποιότητα του ακατέργαστου νερού που υποβάλλεται σε επεξεργασία,
2. τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία, και
3. την αποτελεσματικότητα με την οποία χρησιμοποιούνται αυτές οι χημικές ουσίες.

Παγκοσμίως, εκατομμύρια τόνοι ιλύος παράγονται κάθε χρόνο από μονάδες επεξεργασίας νερού και ο όγκος της ιλύος αυξάνεται με την αύξηση της ζήτησης νερού. Με εκτιμώμενο όγκο 10.000 τόνων ιλύος (ξηρής μάζας) που παράγεται καθημερινά παγκοσμίως, η διαχείριση της παραμένει ένα μείζον περιβαλλοντικό και οικονομικό πρόβλημα (Babatunde and Zhao, 2007). Η αποθήκευση και στη συνέχεια η απόρριψη ιλύος σε χώρους υγειονομικής ταφής παραμένει κοινή πρακτική (Ippolito et al. 2011), που δυνητικά οδηγεί σε περιβαλλοντικά προβλήματα. Επιπλέον, λόγω της έλλειψης χώρων υγειονομικής ταφής σε συνδυασμό με ολοένα και πιο αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς, η διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ γίνεται πιο δαπανηρή και λιγότερο επιθυμητή (Dassanayake et al. 2015, Jung et al. 2016). Ως εκ τούτου, υπάρχει επιτακτική ανάγκη να αναπτυχθούν πιο βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης ιλύος, συμπεριλαμβανομένης της ανάκτησης, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσής της (Ippolito et al. 2011) με σημαντικά οφέλη. Η Κυκλική Οικονομία έχει γίνει πιο δημοφιλής στην περιβαλλοντική διαχείριση (Ferronato et al. 2019), ιδιαίτερα στους τομείς του νερού και των λυμάτων (Mauchauffee et al. 2012). Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να εξετασθούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και οι παραγόμενες ποσότητες της ιλύος που παράγονται από διαφορετικές ΜΕΝ σε Ελλάδα, Ευρώπη και ανά τον κόσμο, ενώ παράλληλα να περιγραφούν οι υφιστάμενες πρακτικές διαχείρισής της. Επιπλέον, η εργασία στοχεύει στην ανάδειξη των διαφορετικών δυνατοτήτων αξιοποίησης της αφυδατωμένης ιλύος των ΜΕΝ με ή χωρίς επεξεργασία.

Το Κεφάλαιο 1, αποτελεί την εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας με έμφαση στην σκοπιμότητα αυτής, στον προβληματισμό που οδήγησε στην συγγραφή της και στους στόχους της. Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζονται και αναλύονται τα φυσικοχημικά

χαρακτηριστικά και οι παραγόμενες ποσότητες της αφυδατωμένης ιλύος από διαφορετικές ΜΕΝ σε Ελλάδα, Ευρώπη και ανά τον κόσμο. Στο Κεφάλαιο 3, αναλύονται τα στάδια επεξεργασίας του νερού και τα τυπικά έργα από τα οποία παράγεται η ιλύς καθώς και οι τρόποι αφυδάτωσης της, ενώ περιγράφονται και οι υφιστάμενες πρακτικές διαχείρισής της. Στο Κεφάλαιο 4, εξετάζονται οι διαφορετικές δυνατότητες αξιοποίησης της αφυδατωμένης ιλύος των ΜΕΝ με και χωρίς επεξεργασία. Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζεται το έργο κατασκευής της μονάδας αφυδάτωσης ιλύος της ΜΕΝ Αχαρνών της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. όπου βρίσκεται υπό δοκιμαστική λειτουργία. Τέλος, στο Κεφάλαιο 6, παρατίθενται τα συμπεράσματα στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΦΥΔΑΤΩΜΕΝΗΣ ΙΛΥΟΣ

2.1 Χαρακτηριστικά Αφυδατωμένης Ιλύος

Η αργιλώδης ιλύς είναι το παραπροϊόν που παράγεται από τα στάδια επεξεργασίας του νερού όταν χρησιμοποιούνται άλατα αλουμινίου (Al) κατά τη διαδικασία κροκίδωσης (Dassanayake et al. 2015), ενώ η σιδητούχος είναι αυτή που χρησιμοποιείται αντίστοιχα σίδηρος ως κροκιδωτικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ιλύς η οποία παράγεται σε μονάδες επεξεργασίας νερού (MEN) να διακρίνεται σε αργιλώδη και σε σιδηρούχα ιλύ ανάλογα με το είδος του κροκιδωτικού που χρησιμοποιείται κατά τη διεργασία της κροκίδωσης (αργίλιο ή σίδηρος), όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η ιλύς η οποία παράγεται από MEN έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από την ιλύ που παράγεται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ). Η βασικότερη διαφοροποίηση είναι ότι η ιλύς από MEN είναι ανόργανη σε αντίθεση με την ιλύ από ΕΕΛ η οποία αποτελείται κυρίως από οργανικές ουσίες. Επίσης, η ιλύς από MEN δεν περιέχει σημαντικές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου.. Η τυπική σύνθεση ιλύος από μονάδες επεξεργασίας νερού παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Τυπική σύνθεση ιλύος (Babatunde A & Zhao Y. Q. 2007)

Παράμετρος	Μονάδα	Αργιλώδη Ιλύς Μεση τιμή ± τυπική απόκλιση	Σιδηρούχος Ιλύ Μεση τιμή ± τυπική απόκλιση
Αλουμίνιο	% w/w	29.7 ± 13.3	10 ± 4.8
Σίδηρο	% w/w	10.2 ± 12	26 ± 15.5
Κάλιο	% w/w	2.9 ± 1.7	8.32 ± 9.5
Μαγνήσιο	% w/w	0.89 ± 0.8	1.6
Διοξειδίο του Πυριτίου	% w/w	33.4 ± 26.2	-
pH	-	7 ± 1.4	8 ± 1.6
Φώσφορος	% ξηρού βάρους	0.35	0.36
Ψευδάργυρος	mg/kg	33.9 ± 28	18.7 ± 16
Μόλυβδος	mg/kg	44.1 ± 38.2	19.3 ± 25.3

Κάδμιο	mg/kg	0.5	0.48 ± 0.26
Νικέλιο	mg/kg	44.3 ± 38.4	42.9 ± 39.2
Χαλκός	mg/kg	33.72 ± 32.5	18.7 ± 25.8
Χρώμιο	mg/kg	25 ± 20.1	25.7 ± 21.6
Κοβάλτιο	mg/kg	1.06	1.61 ± 1.1
Συνολικά στερεά	mg/L	2500 - 52345	2132 - 5074

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 1 η αργιλώδης ιλύς σε σχέση με την σιδηρούχα ιλύ παρουσιάζει μικρότερο pH. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ποσότητες Καλίου και Μαγνησίου είναι σχεδόν διπλάσιες στη σιδηρούχα ιλύ σε σχέση με την αργιλώδη. Τέλος τόσο ο Ψευδάργυρος όσο και ο Χαλκός έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις στην αργιλώδη ιλύ ενώ το Κάδμιο, το Χρώμιο, το Κοβάλτιο και ο Φώσφορος παρουσιάζουν σχεδόν παρόμοιες συγκεντρώσεις. Τα βαρέα μέταλλα προυπάρχουν στο νερό επομένως δεν εξαρτώνται από το κροκιδωτικό που μπαίνει αλλά από τα χαρακτηριστικά του ακατέργαστου νερού.

Η ποσότητα και οι ιδιότητες της αφυδατωμένης ιλύος είναι συγκεκριμένες για κάθε τοποθεσία και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως (Ahmad et al. 2017):

1. τα χαρακτηριστικά της πηγής του ακατέργαστου νερού,
2. τις διεργασίες επεξεργασίας του και κυρίως τη διεργασία της κροκίδωσης
3. και τη χρήση χημικών.

Ιδιαίτερα, τα υψηλά επίπεδα χρώματος και θολότητας μπορεί να απαιτούν προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων κροκιδωτικών κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, αυξάνοντας την παραγωγή ιλύος. Αυτό επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της ιλύος, καθιστώντας την εξαιρετικά μεταβλητή.

Η ύλη στο νερό ταξινομείται ευρέως ως ανόργανο ορυκτό και οργανικό ανθρακούχο. Το πρώτο είναι υπεύθυνο για τη θολότητα, ενώ το δεύτερο είναι υπεύθυνο για το χρώμα, τη γεύση και την οσμή του νερού. Τα φυολβικά οξέα είναι το κύριο συστατικό αυτών των

φυσικών οργανικών υλικών, τα οποία περιέχουν επίσης χουμικά. Αυτές οι ενώσεις σχηματίζονται από τη διάσπαση της φυτικής ύλης και την επανασύνθεση στο έδαφος και η παρουσία τους μπορεί να κάνει το νερό να έχει ανεπιθύμητο χρώμα, κυρίως καφέ ή κίτρινο.

Η αφυδατωμένη ύλη του προέρχεται από δύο πηγές:

1. την καθίζηση στο ακατέργαστο νερό (π.χ. χρώμα, θολότητα και σκληρότητα) και
2. τα στερεά που εναποτίθενται από το κροκιδωτικό.

Το διοξείδιο του πυριτίου SiO_2 , το οποίο είναι κυρίως από το ακατέργαστο νερό, αποτελεί σημαντικό μέρος της σύνθεσης της ιλύος, ακολουθούμενο από το οξείδιο του αργιλίου (αλουμίνα) Al_2O_3 και οξείδιο του σιδήρου Fe_2O_3 (Ahmad et al. 2016). Οι αναλογίες του Al_2O_3 και του Fe_2O_3 σχετίζονται άμεσα με τον όγκο και τον τύπο των κροκιδωτικών που χρησιμοποιούνται στη επεξεργασία του νερού. Τα μέταλλα (με βάση το αργίλιο και το σίδηρο) είναι τα πιο δημοφιλή χημικά που χρησιμοποιούνται για τις διεργασίες κροκίδωσης (Bahadori et al. 2013). Η δημοτικότητα των μεταλλικών κροκιδωτικών οφείλεται στο συγκριτικά χαμηλό κόστος τους, την υψηλή διαθεσιμότητα και την αποτελεσματικότητα στην αφαίρεση της θολότητας (Bratby 2016). Το θειικό αργίλιο [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$] και το χλωριούχο αργίλιο (AlCl_3) είναι τα πιο κοινά μεταλλικά κροκιδωτικά που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία νερού και λυμάτων (Crittenden et al. 2012). Η περιεκτικότητα σε αργίλιο ποικίλλει σημαντικά μεταξύ ιλύος από διαφορετικές ΜΕΝ, αλλά κατά μέσο όρο αντιστοιχεί περίπου στο 16% της χημικής σύνθεσης της ιλύος (Muisa et al. 2020). Άλλα κύρια οργανικά και ανόργανα συστατικά της ιλύος περιέχουν στοιχεία όπως Ca (ασβέστιο), SiO_2 (διοξείδιο του πυριτίου), Fe (σίδηρος), Cl^- (χλώριο), SO_4^{2-} (θειικά) και χουμικά οξέα, τα οποία αφαιρούνται από το ακατέργαστο νερό κατά τη

διάρκεια της επεξεργασίας του. Ωστόσο, άλλα οξείδια, συμπεριλαμβανομένων των CaO (οξείδιο του ασβεστίου), MgO (οξείδιο του μαγνησίου), Na₂O (οξείδιο του Νατρίου), K₂O (οξείδιο του καλίου) και P₂O₅ (πεντοξείδιο του φωσφόρου), καθώς και ορισμένα ιχνοστοιχεία, μπορούν επίσης να περιέχονται στην ιλύ. Στους παρακάτω Πίνακες συνοψίζονται τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά της ιλύος από τη βιβλιογραφία.

Πίνακας 2: Φυσικά Χαρακτηριστικά Ιλύος (Ahmad et al. 2016)

pH	6.82
Υγρασία (%)	2.35
Πτητικότητα (%)	2.66
Περιεκτικότητα σε τέφρα (%)	89.78
Απώλεια κατά την ανάφλεξη (%)	8.96

Πίνακας 3: Φυσικά Χαρακτηριστικά Ιλύος (Minh Duc Nguyen et al. 2022)

Παράμετρος	Μονάδα	Μέτρησης	Αναφορά
pH	-	5.12–8.0	Dassanayake et al. (2015)
TOC (Ολικός Οργανικός Άνθρακας)	g/kg	17–149	Dayton and Basta (2001) and Yang et al. (2008)
Επιφάνεια	m ² /g	28.0–227	Zhao et al. (2015), Maqbool et al. (2016) and Boyer et al. (2011)
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	dSm ⁻¹	0.22–1.66	Brady et al. (2008) and Dayton and Basta (2001)
Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων	cmol kg ⁻¹	13.6–56.5	Dayton and Basta (2001)

Πίνακας 4: Χημικά Χαρακτηριστικά Ιλύος (Minh Duc Nguyen et al. 2022)

Χημικά Χαρακτηριστικά (% W/W)								Πηγή
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	
52.75	20.15	6.75	0.3	-	0.87	3.69	-	Huang et al. (2005)
53.6	20.9	6.6	0.3	1.9	-	-	-	Lin et al. (2006)
24.68	30.39	11.59	0.16	0.17	-	0.35	-	Monteiro et al. (2008)
43.12	15.97	5.26	5.56	0.85	0.52	0.25	-	Ramadan et al. (2008)
53.36	15.28	21.01	1.2	-	-	5.41	0.83	Chiang et al. (2009)

40.61	27.36	6.99	2.62	1.89	1.05	1.28	-	Zou et al. (2009)
29.63	17.57	5.18	11.85	2.15	6.09	2.85	0.94	Rodríguez et al. (2010)
49.2	26.3	6.6	0.8	1	0.6	3.2	-	Yen et al. (2011)
64.3	21.2	10.4	2.05	1.06	0.17	0.79	-	Huang and Wang (2013)
10.9	1.34	68.65	8.23	0.61	-	-	9.39	Kiziniėvič et al. (2013)
54.1	28.84	9.92	3.1	0.64	0.3	0.75	-	El-Didamony et al. (2014)
9.41	51.01	0.7	1.31	0.22	0.07	0.2	0.36	Balkaya (2015)
43.29	32.19	5.52	0.17	0.33	0.13	2.08	-	Breesem et al. (2016)
33.4	29.3	10.5	2.7	0.89	-	-	-	Zhao et al. (2016)
52.8	14.38	5.2	4.39	3.08	0.97	3.62	0.17	Ahmad et al. (2016)

Το SiO₂, το οποίο προέρχεται κυρίως από το ακατέργαστο νερό, αποτελεί σημαντικό μέρος της σύνθεσης της αφυδατωμένης ιλύος, ακολουθούμενο από τα Al₂O₃ και Fe₂O₃ (Ahmad et al., 2016a,b). Οι αναλογίες του Al₂O₃ και του Fe₂O₃ σχετίζονται άμεσα με τον όγκο και τον τύπο των κροκιδωτικών που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία επεξεργασίας.

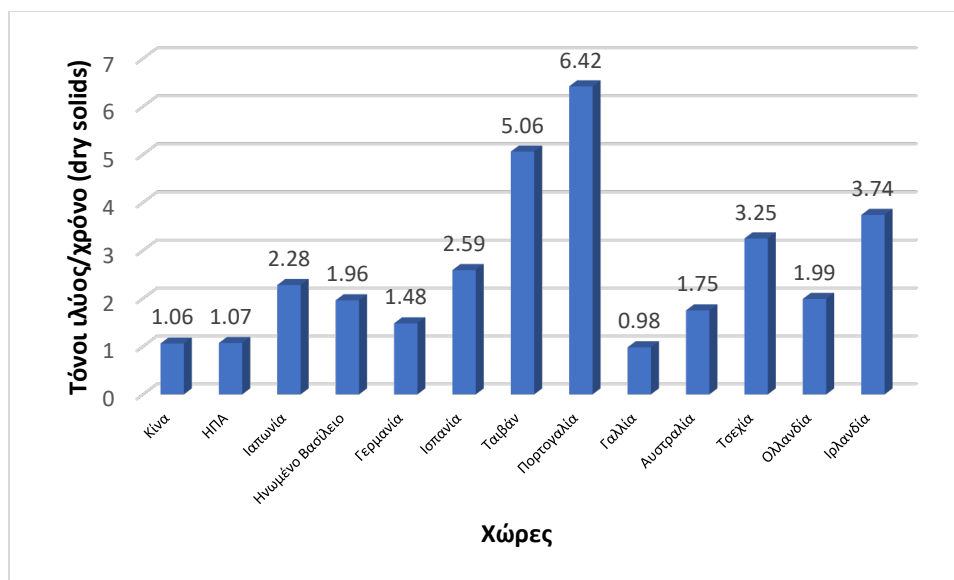
Τα μεταλλικά (με βάση το αλουμίνιο και το σίδηρο) κροκιδωτικά είναι τα πιο δημοφιλή χημικά που χρησιμοποιούνται (Bahadori et al., 2013). Η δημοτικότητα των μεταλλικών κροκιδωτικών οφείλεται στο συγκριτικά χαμηλό κόστος τους, στην υψηλή διαθεσιμότητα και στην αποτελεσματικότητα στην αφαίρεση θολότητας και χρώματος (Bratby, 2016). Όταν χρησιμοποιούνται κροκιδωτικά με βάση το αλουμίνιο στη διαδικασία επεξεργασίας του πόσιμου νερού, η αφυδατωμένη ιλύς που παράγεται είναι γενικά γνωστή ως «αργιλώδης ιλύς».

2.1 Παραγόμενες Ποσότητες Ιλύος

Για την προστασία της δημόσιας υγείας, το νερό προς ύδρευση υποβάλλεται σε επεξεργασία σε μονάδες επεξεργασίας νερού (MEN) πριν από τη διανομή πόσιμου νερού, μέσω της διαδικασίας ταχείας μίξης, κροκίδωσης, καθίζησης, διύλισης και απολύμανσης

(Ahmad et al. 2016 και Ahmad et al. 2017). Μεγάλες ποσότητες αφυδατωμένης ιλύος παράγονται καθημερινά από τις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού και η διαχείριση της κρίνεται ως παγκόσμιο πρόβλημα μείζονος ανησυχίας (Dassanayake et al. 2015, Ahmad et al. 2016, Hidalgo et al. 2017, Lee et al. 2018). Μια πρόσφατη έρευνα των Maiden et al. (2015) έδειξε ότι η ποσότητα της ιλύος που παράγεται από την Αυστραλιανή ΜΕΝ θα μπορούσε να φτάσει τους 43.500 τόνους ετησίως. Το 2011, η Ιαπωνία παρήγαγε πάνω από 290.000 ξηρούς τόνους ιλύος σε όλη τη χώρα (Fujiwara, 2011), ενώ το Ηνωμένο Βασίλειο παρήγαγε περίπου 131.000 τόνους το 2014 (Finlay, 2015).

Το Σχήμα 2 δείχνει μια εκτιμώμενη ποσότητα ιλύος κατά κεφαλήν που παράγεται σε επιλεγμένες χώρες ανά τον κόσμο.



Σχήμα 2: Τόνοι αφυδατωμένης ιλύος ανά κεφαλή (Babatunde and Zhao, 2007 και Ahmad et al. 2016)

Περιέργως, στην επιστημονική βιβλιογραφία, υπάρχουν περιορισμένα στατιστικά δεδομένα σχετικά με την παραγωγή της ιλύος από ΜΕΝ σε παγκόσμια ή εθνική κλίμακα (Babatunde and Zhao 2007, Keeley et al. 2014a,b και Ahmad et al. 2016).

2.2.1 Παραγόμενες Ποσότητες Ιλύος στην Ελλάδα

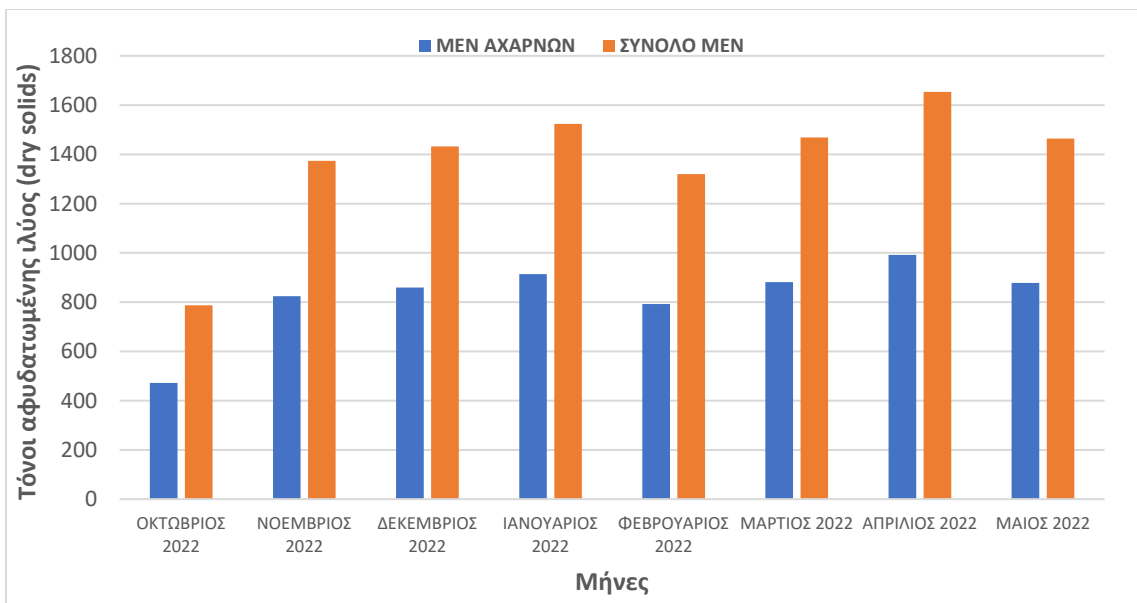
Στην Ελλάδα, μιας και ο μεγαλύτερος πληθυσμός είναι συγκεντρωμένος στο Νομό Αττικής, τα δεδομένα συλλέχθηκαν από τη Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (Ε.ΥΔ.Α.Π.) η οποία αποτελείται από τέσσερις μονάδες επεξεργασίας νερού και βρίσκονται στο Γαλάτσι, στις Αχαρνές, στο Πολυδένδρι και τη Μάνδρα Ασπροπύργου. Η ΜΕΝ Γαλατσίου άρχισε να λειτουργεί το Δεκέμβριο του 1931 με δύο βασικούς για την εποχή νεωτερισμούς: την απολύμανση του νερού με χλώριο και τη χρησιμοποίηση θεικού αργιλίου για την επιτάχυνση της διαύγασης του νερού. Η μονάδα επεκτάθηκε διαδοχικά το 1952 και το 1964 και βρίσκεται σε υψόμετρο 159 μ. Η διυλιστική της ικανότητα είναι περίπου 540.000 m³ νερού ημερησίως και τροφοδοτεί το κέντρο της Αθήνας και το Δήμο του Πειραιά.

Η ΜΕΝ Πολυδενρίου άρχισε να λειτουργεί το 1986 και η διυλιστική της ικανότητα είναι 200.000 m³ (σε περιπτώσεις αιχμής 300.000 m³) νερού ημερησίως. Βρίσκεται σε υψόμετρο 237 μ. και τροφοδοτεί τα ανατολικά και βόρεια προάστια της Αθήνας.

Η ΜΕΝ Ασπροπύργου είναι γειτονική με το κανάλι του Μόρνου και άρχισε να λειτουργεί το 1997. Έχει διυλιστική ικανότητα περίπου 200.000 m³ νερού ημερησίως και το υψόμετρό της είναι 232 μ. Τροφοδοτεί το Θριάσιο Πεδίο, τη Σαλαμίνα και τα δυτικά προάστια της Αθήνας.

Τέλος η μονάδα επεξεργασίας νερού Αχαρνών (ΜΕΝ Αχαρνών) τροφοδοτεί το 60% των περιοχών του Λεκανοπεδίου και ειδικά τις περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο. Η κατασκευή της ΜΕΝ Αχαρνών βοήθησε σημαντικά στην αντιμετώπιση της αυξανόμενης κατανάλωσης νερού μετά το 1970. Άρχισε να λειτουργεί το 1978 και επεκτάθηκε το 1989 και το 1992. Βρίσκεται σε υψόμετρο 232 μ. και η διυλιστική της ικανότητα είναι περίπου 850.000 m³ νερού ημερησίως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ιλύς που παράγεται από τη ΜΕΝ Αχαρνών να αντιπροσωπεύει μια μεγάλη ποσότητα της Αττικής και της Ελλάδας αντίστοιχα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ποσότητες που παρήχθησαν την περίοδο Οκτώβριος 2021 έως και Μάιος 2022 τόσο για τη ΜΕΝ Αχαρνών όσο και συνολικά για όλες τις ΜΕΝ της ΕΥΔΑΠ.

Ο μηνιαίος μέσος όρος παραγωγής αφυδατωμένης ιλύος για τη ΜΕΝ Αχαρνών ανέρχεται σε περίπου 825 τόνους ενώ συνολικά για την Αττική η ποσότητα μπορεί να ξεπεράσει και τους 1600 τόνους. Παρατηρείται λοιπόν ότι η ανάγκη για διαχείριση αυτών των μεγάλων ποσοτήτων αφυδατωμένης ιλύος αποτελεί ένα κομβικό ζήτημα και για τη χώρα μας.



Σχήμα 3: Παραγόμενες ποσότητες αφυδατωμένης ιλύος ΜΕΝ Αχαρνών (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)

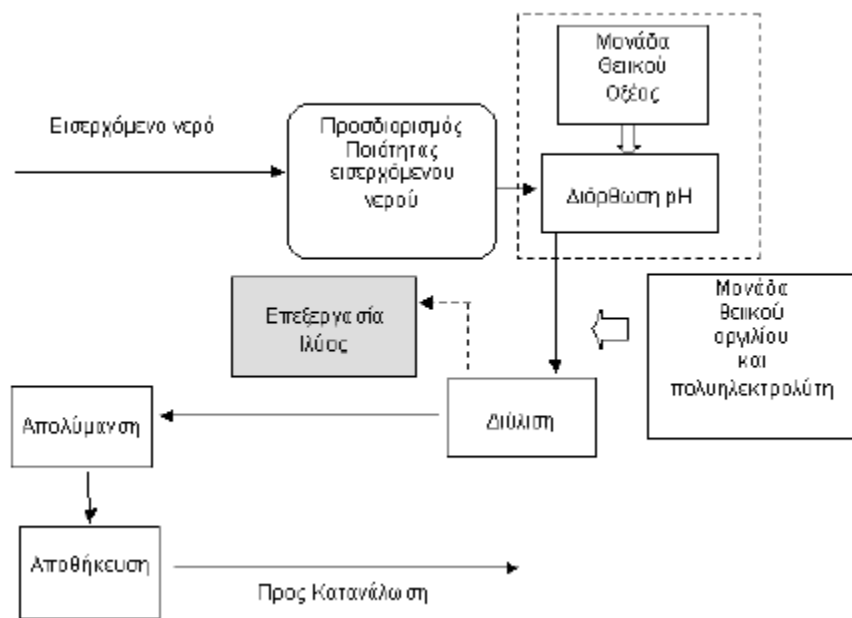
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

ΙΑΥΟΣ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ ΜΕΝ

3.1 Επεξεργασία Νερού

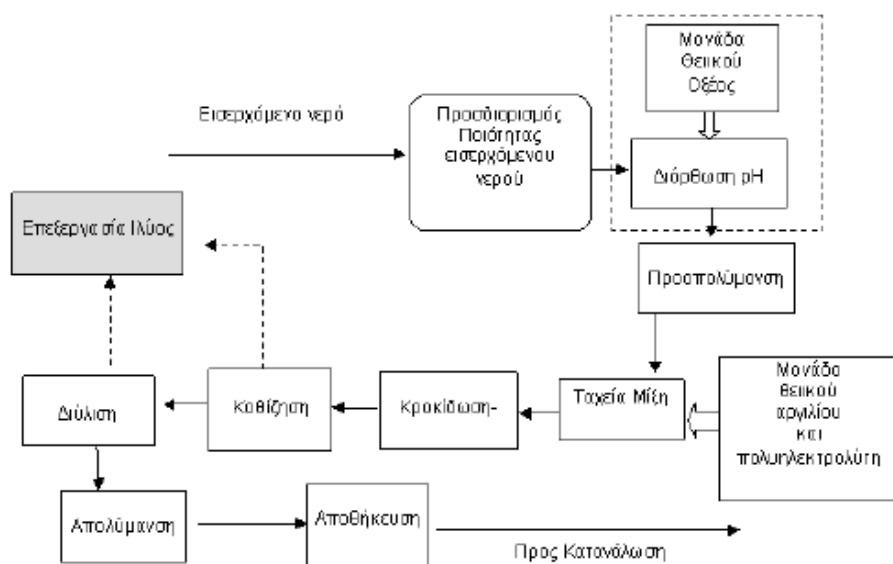
Το πόσιμο νερό προέρχεται από τα υπόγεια ύδατα, από τα γλυκά επιφανειακά νερά ποταμών, λιμνών και ταμιευτήρων και πιο σπάνια από θαλασσινό νερό το οποίο υφίσταται αφαλάτωση. Οι υδροληψίες από επιφανειακά νερά είναι συχνές και σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται κατάλληλη επεξεργασία προκειμένου να απομακρυνθούν αποτελεσματικά η θολότητα (ολικά αιωρούμενα στερεά) και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, των οποίων η παρουσία στα επιφανειακά νερά δεν μπορεί να αποκλεισθεί. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται και απομάκρυνση οργανικών ουσιών καθώς και απομάκρυνση της γεύσης και οσμής.

Το πόσιμο νερό πρέπει να πληροί μετά από κατάλληλη επεξεργασία τα όρια της Οδηγίας για το πόσιμο νερό 98/83 της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης όπως και τα όρια της Οδηγίας 2020/2184 η οποία αναθεωρεί σε ορισμένα σημεία την προγενέστερη Οδηγία. Η παραπάνω οδηγία θέτει όρια ποιότητας για τρεις κατηγορίες A1, A2 και A3 επιφανειακών νερών όπου αντιστοιχεί μια ελάχιστη επεξεργασία. Τα επιφανειακά νερά της Κατηγορίας A1 χαρακτηρίζονται από συγκριτικά χαμηλή ρύπανση εκφρασμένη σε όρους αιωρούμενων στερεών και θολότητας, αζώτου και άλλων ρύπων. Τις απαιτήσεις αυτές μπορούν συνήθως να ικανοποιήσουν ορεινά υδατορεύματα που δεν είναι αποδέκτες ανθρωπογενούς ρύπανσης. Απαιτείται Απλή φυσική επεξεργασία και απολύμανση, δηλαδή ταχεία διήθηση και απολύμανση όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα.



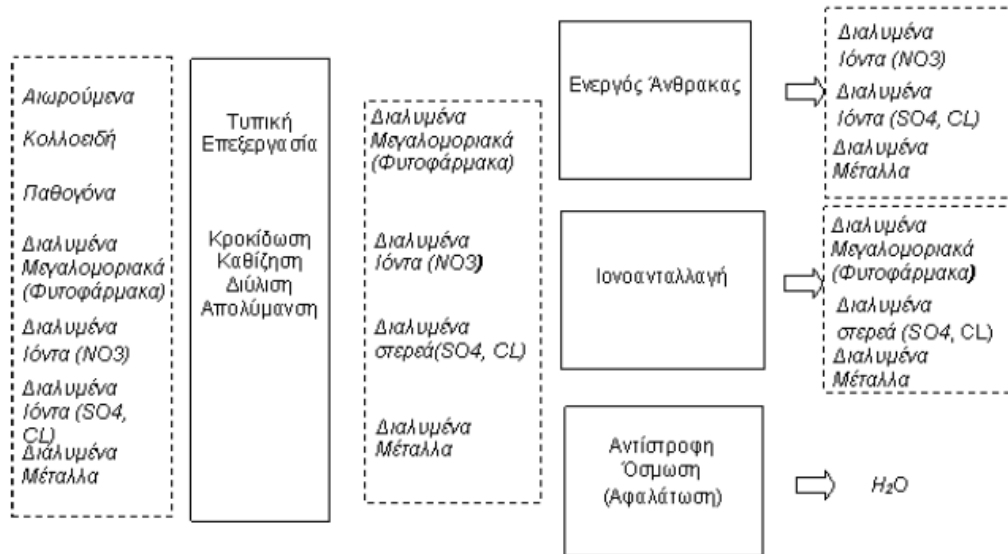
Σχήμα 4: Στάδια επεξεργασίας νερόν κατηγορίας A1 (Ανδρεαδάκης, 2008)

Για την Κατηγορία A2 έχουμε ομαλή φυσική επεξεργασία, χημική επεξεργασία και απολύμανση, δηλαδή προχλωρίωση, συσσωμάτωση, κροκίδωση, καθίζηση, διήθηση, απολύμανση (τελική χλωρίωση).



Σχήμα 5: Στάδια επεξεργασίας νερόν κατηγορίας A2 (Ανδρεαδάκης, 2008)

Η Κατηγορία Α3 απαιτεί εντατική φυσική και χημική επεξεργασία, τελική επεξεργασία και προχωρημένη απολύμανση, δηλαδή χλωρίωση μέχρι σημείου θραύσης, συσσωμάτωση, κροκίδωση, καθίζηση, διήθηση, προσρόφηση (ενεργός άνθρακας) και απολύμανση (όζον, τελική χλωρίωση).



Σχήμα 6: Στάδια επεξεργασίας νερών κατηγορίας Α3 (Ανδρεαδάκης, 2008)

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας του νερού είναι η προ απολύμανση η οποία ποικίλει. Συνήθως γίνεται με χλώριο, ωστόσο ανάλογα την ποιότητα του ακατέργαστου νερού και τις ανάγκες της εγκατάστασης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όζον ή υπεριώδης ακτινοβολία UV. Η εφαρμογή της προ απολύμανσης σε μία εγκατάσταση είναι αναγκαία για τις κατηγορίες Α2 και Α3 καθώς περιορίζει την είσοδο παθογόνων μικροοργανισμών στην εγκατάσταση επεξεργασίας και επιπρόσθετα με την οξειδωτική δράση του απολυμαντικού μέσου έχει ευεργετικά αποτελέσματα όπως η πρόληψη ανάπτυξης αλγών, οδών αποθέσεων και αναερόβιων μικροοργανισμών στις κατάντη μονάδες επεξεργασίας. Επόμενο στάδιο είναι οι δεξαμενές ταχείας μίξης όπου διοχετεύονται τα κροκιδωτικά (συνήθως

πολυηλεκτρολύτης και θειικό αργίλιο) με σκοπό την ανάμιξη τους με το νερό. Η αποτελεσματική ανάμιξη του διαλείμματος του κροκιδωτικού με το προς επεξεργασία νερό αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα του μηχανισμού κροκίδωσης. Η δεξαμενή ταχείας ανάμιξης έχει ως στόχο τη διασπορά των διαλειμμάτων των χημικών στο νερό με τη δημιουργία έντονης τύρβης η οποία συνήθως προκαλείται με κατάλληλους αναδευτήρες. Αφού έχει υπολογιστεί ο απαιτούμενος χρόνος το νερό περνάει στην επόμενη φάση της κροκίδωσης-συσσωμάτωσης. Κατά την της μονάδας ταχείας μίξης προβλέπεται η κατασκευή της μονάδας κροκιδοκαθίξεσης. Οι κροκίδες που έχουν δημιουργηθεί θα συσσωματωθούν και στη συνέχεια θα καθιζάνουν. Η κροκίδωση και έπειτα η καθίξεση αποτελούν διεργασίες οι οποίες μπορεί να λάβουν χώρα ξεχωριστά με δεξαμενές κροκίδωσης και έπειτα σε δεξαμενές καθίξεσης ή ως ένα ενιαίο στάδιο επεξεργασίας γνωστό ως κροκιδοκαθίξεση, με την καθίξεση να λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό μέρος της μονάδας και την κροκίδωση στο εξωτερικό μέρος (περιμετρικά της καθίξεσης). Ιδιαίτερη σημασία για τη σωστή λειτουργία της μονάδας κροκιδοκαθίξεσης έχει το βάθος της το οποίο θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο περίπου 4,5 με 5 μέτρα για να επιτρέπει την συσσωμάτωση, και τη συμπύκνωση της ιλύος κατά την καθίξεση, την αποφυγή επαναιώρησής της και την δημιουργία επαρκούς χώρου προσωρινής αποθήκευσης ο οποίος είναι απαραίτητος λόγω των μεταβαλλόμενων φορτίων εισόδου. Η έξοδος του επεξεργασμένου νερού , γίνεται μέσω υπερχειλιστών. Σε κάθε δεξαμενή προβλέπεται σύστημα απομάκρυνσης της ιλύος από τον πυθμένα. Συγκεκριμένα η ιλύς από κάθε δεξαμενή οδηγείται σε υγρό θάλαμο στο άκρο της δεξαμενής, απ' όπου απομακρύνεται μέσω του αντλιοστασίου ιλύος. Εγκαθίσταται μια μηχανική διάταξη σάρωσης του πυθμένα σε κάθε δεξαμενή για τη συλλογή των στερεών που καθιζάνουν. Η

διάταξη αυτή έχει τη δυνατότητα να σαρώνει όλη την επιφάνεια του πυθμένα χωρίς να αφήνει «νεκρά» τμήματα. Επόμενο στάδιο επεξεργασίας του νερού είναι η μονάδα διύλισης. Η διύλιση του νερού πραγματοποιείται συνήθως υπό σταθερή ροή διύλισης και υδραυλικού φορτίου με την εφαρμογή μονοστρωματικών φίλτρων. Σε περίπτωση έλλειψης μπορεί να χρησιμοποιηθεί κοκκώδες υλικό από ειδικό σκληρό ανθρακίτη, μάρμαρο ή δολομίτη. Μία εναλλακτική λύση που κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια είναι η εφαρμογή διστρωματικών φίλτρων με χρησιμοποίηση πληρωτικών υλικών με διαφορετικά ειδικά βάρη, όπως άμμου και ανθρακίτη χαλαζιακής άμμου. Η διύλιση είναι φυσική διεργασία κατά την οποία απομακρύνονται από το νερό αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά κατά τη διέλευσή του από πορώδες μέσο που μπορεί να είναι ένα στρώμα άμμου ή άλλου κοκκώδους υλικού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα λειτουργίας του διυλιστηρίου, τα συγκρατημένα από το διυλιστικό μέσο σωματίδια του νερού, έχουν ως αποτέλεσμα την έμφραξη του, με συνέπεια την αύξηση της πτώσης πίεσης ή και την μείωση της απόδοσης της διύλισης λόγω της διαφυγής αιωρούμενων στερεών στην εκροή με αποτέλεσμα την αύξηση της θολότητας. Επομένως, απαιτείται περιοδικός (κάθε 15-70 ώρες) καθαρισμός του φίλτρου ο οποίος αποσκοπεί στην απομάκρυνση των σωματιδίων. Ο καθαρισμός του φίλτρου οποίος γίνεται συνήθως με αντίστροφη της ροής του νερού μέσα από το στρώμα και ρευστοποίησή του επαναφέρει το διυλιστήριο στην αρχική του κατάσταση και η διαδικασία της διύλισης επαναλαμβάνεται. Τα νερά της έκπλυσης των φίλτρων οδηγούνται και αυτά προς την επεξεργασμένη ιλύ έπειτα από ξεχωριστή καθίζηση. Έπειτα γίνεται η μετά απολύμανση με τις μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα χαρακτηριστικά του ιδανικού απολυμαντή είναι:

- Υψηλός ρυθμός εξουδετέρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών

- Χαμηλή δραστικότητα με ουσίες που περιέχονται στο νερό και μικρή παραγωγή παραπροϊόντων
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης
- Εύκολη ανιχνευσιμότητα στο νερό
- Μηδενικός κίνδυνος κατά τη χρήση
- Χαμηλή τοξικότητα στους υδρόβιους οργανισμούς

Οι παραπάνω ιδιότητες δεν είναι συγκεντρωμένες σε ένα απολυμαντικό θα πρέπει όμως να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απολύμανση είναι:

Ο ρυθμός εξουδετέρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχονται στο νερό (ιοί, βακτήρια, παράσιτα) εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- Το είδος των μικροοργανισμών
- Το είδος, τις ιδιότητες και τη δόση του απολυμαντικού μέσου
- Το χρόνο έκθεσης των μικροοργανισμών στο απολυμαντικό μέσο
- Τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής απολύμανσης
- Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού (οργανικά, αμμωνιακό άζωτο, συγκέντρωση στερεών, θολότητα, pH και θερμοκρασία)

Στο στάδιο της προ απολύμανσης γίνεται περιορισμός της εισόδου παθογόνων μικροοργανισμών στην εγκατάσταση, πρόληψη ανάπτυξης αλγών, γλοιωδών αποθέσεων και αναερόβιων μικροοργανισμών στις κατάντη μονάδες επεξεργασίας. Ενώ στην μετά απολύμανση γίνεται εξασφάλιση της απαιτούμενης μικροβιολογικής ποιότητας του επεξεργασμένου νερού παρουσία υπολειμματικού απολυμαντικού στα κατάντη έργα

αποθήκευσης, μεταφοράς και διανομής του νερού. Λόγω της υπολειμματικής του δράσης το χλώριο θεωρείται ως την πιο συνηθισμένη μέθοδο απολύμανσης.

Το χλώριο μπορεί να προστεθεί στο νερό ως:

- Αέριο χλώριο (Cl_2)
 - Συνηθέστερο απολυμαντικό κατά τον 20^ο αιώνα
 - Μεταφέρεται στις εγκαταστάσεις υπό πίεση σε μεταλλικούς κυλίνδρους
 - Ιδιαίτερα δραστικό και επικίνδυνο αέριο. Έκθεση για 30-60 min σε ατμοσφαιρικό αέρα που περιέχει 40-60 ppm χλωρίου είναι επικίνδυνη και σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, περίπου 1000 ppm, είναι θανατηφόρο
 - Η μικροβιοκτόνος δράση του ελεύθερου χλωρίου συνίσταται κυρίως στην αναχαίτιση και καταστροφή σημαντικών ενζύμων.
 - Μειωμένη μικροβιοκτόνος δράση για την αντιμετώπιση των παθογόνων πρωτοζώων “κρυπτοσπορίδιο” και “ζιάρδια”.
- Διοξείδιο του χλωρίου (ClO_2)
 - Παρασκευάζεται επιτόπου Είναι ασταθές αέριο και σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 30% είναι εκρηκτικό
 - Είναι ισχυρό μικροβιοκτόνο, δεν αντιδρά με το αμμωνιακό άζωτο και η δραστηρότητά του δεν επηρεάζεται από τις συνήθεις διακυμάνσεις του pH
 - Μπορεί να συντηρήσει υπολειμματικές συγκεντρώσεις στο δίκτυο είναι όμως πολύ ευαίσθητο στην ηλιακή ακτινοβολία πράγμα που καθιστά δύσκολο τον έλεγχο της υπολειμματικής συγκέντρωσης στις δεξαμενές καθίζησης και ασκεπή διωλιστήρια.

- Στο νερό ανάγεται σε χλωριώδη (ClO_2^-), χλωριόντα (Cl^-) και χλωρικά (ClO_3^-). Το τρίτο και ιδιαίτερα το πρώτο ιόν ενοχοποιούνται για τον σχηματισμό της τοξικής μεθαιμοσφαιρίνης στο αίμα.
- Διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl)
 - Προσκομίζεται στις εγκαταστάσεις σε διάλυμα που περιέχει συνήθως 12 - 15% ελεύθερο χλώριο και αποθηκεύεται
 - Διάλυμα υποχλωριώδους ασβεστίου (Ca(OCl)_2)

Τέλος η απόδοση της χλωρίωσης είναι μια κρίσιμη παράμετρος η οποία εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- Η μικροβιοκτόνος δράση του υπολειμματικού χλωρίου
- Οι μορφές του υπολειμματικού χλωρίου
- Η αρχική ανάμιξη του χλωρίου με το νερό
- Ο χρόνος επαφής
- Τα χαρακτηριστικά του νερού (συγκέντρωση στερεών, η παρουσία οξειδώσιμων ουσιών, κλπ)
- Η γεωμετρία της δεξαμενής απολύμανσης

3.2 Επεξεργασία Ιλύος

Η παραγόμενη ιλύς σε μια δεξαμενή καθίζησης MEN αποτελείται από τα σωματίδια του νερού που μετά την κροκίδωση καθιζάνουν καθώς και από τη χημική ιλύ των κροκιδωτικών. Η εκτίμηση της ποσότητας εξαρτάται από την συγκέντρωση των στερεών του νερού, η οποία αν και δεν είναι γνωστή, είναι δυνατό να εκτιμηθεί κατά προσέγγιση από τη θολότητα του νερού. Αναμφισβήτητα υπάρχει σχέση μεταξύ θολότητας (Θ) και συγκέντρωσης στερεών σε φυσικό νερό, η ακριβής όμως συσχέτιση ποικίλλει ανάλογα με

τα χαρακτηριστικά των σωματιδίων του νερού (π.χ. μέγεθος, σχήμα κλπ.). Ελλείψει συγκεκριμένων στοιχείων, μπορεί να γίνει δεκτό ότι υπάρχει συσχέτιση 1:1 μεταξύ της θολότητας εκφρασμένης σε NTU και της συγκέντρωσης στερεών σε mg/l. Ως προς τη συμβολή του θεικού αργιλίου στη παραγόμενη ιλύς από τη χημική αντίδραση



προκύπτει ότι για κάθε 600 gr $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ παράγονται 156 gr ιζήματος, δηλαδή παραγωγή ιλύος ίση με $156/600 = 0,26$ της δόσης κροκιδωτικού.

Η συνολική ποσότητα επομένως μπορεί να εκτιμηθεί από την:

$$S = (\lambda\Theta + 0.26\Delta) 10^{-3} Q$$

Όπου:

- λ ο λόγος αιωρούμενων στερεών σε mg/l προς θολότητα σε NTU (συνήθως από 0,7-1,5 και τυπική τιμή 1)
- S η παραγόμενη ιλύς (Kg/ημέρα)
- Θ η θολότητα του νερού σε NTU
- Δ η δόση κροκιδωτικού (mg/l)
- Q η παροχή του νερού (m³/ημέρα)

Επισημαίνεται ότι οι ως άνω ποσότητες θεωρούν επί το συντηρητικότερο πλήρη απομάκρυνση των στερεών στη δεξαμενή κροκιδώσης-καθίζησης. Κατά συνέπεια μπορεί να θεωρηθεί ότι περιλαμβάνουν και τα στερεά που προκύπτουν από την έκπλυση των φίλτρων και ότι αποτελούν τη συνολική παραγόμενη ιλύ της ΜΕΝ. Εκτός από την ποσοτική διαφοροποίηση, ανάλογα με τη θολότητα θα υπάρχει και ποιοτική διαφοροποίηση της ιλύος καθώς θα μεταβάλλονται τόσο τα χαρακτηριστικά των σωματιδίων του νερού (π.χ. ποσοστό οργανικών προς ανόργανα) όσο κυρίως και το

ποσοστό της χημικής ιλύος (π.χ. υδροξείδια αργιλίου) σε σχέση με τη συνολική ποσότητα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για θολότητες 5, 15 και 50 NTU τα αντίστοιχα ποσοστά αναμένεται να είναι περίπου 40%, 25% και 15%.

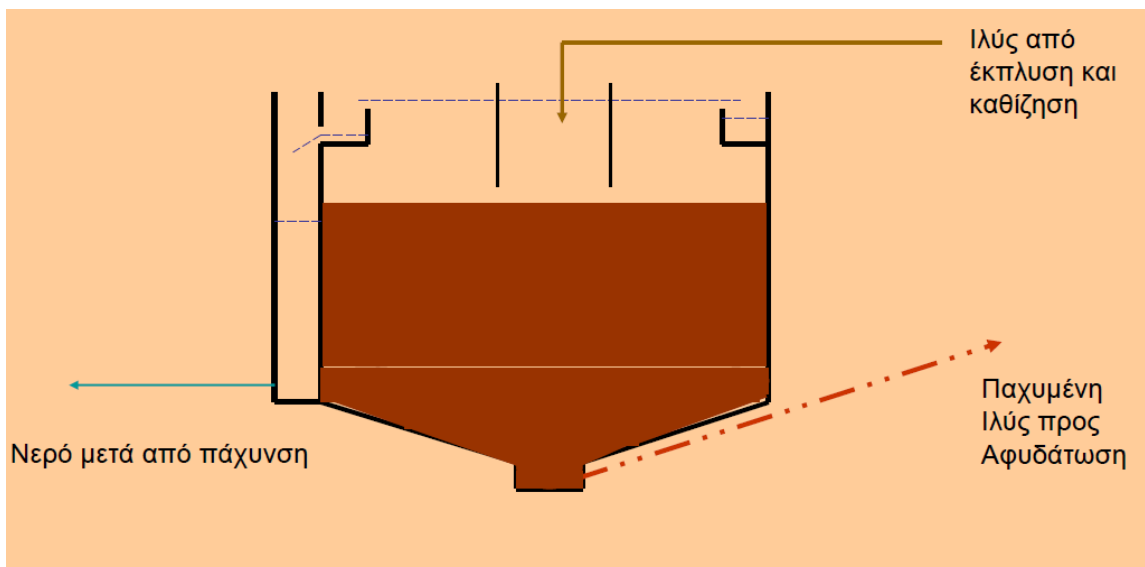
Οι διαφοροποιήσεις αυτές αναμένεται να έχουν επίδραση τόσο στο βαθμό συμπύκνωσης της ιλύος και στον παχυντή όσο και στα χαρακτηριστικά αφυδάτωσης της ιλύος. Σε ότι αφορά τη συγκέντρωση στις δεξαμενές καθίζησης, η εμπειρία έχει δείξει ότι, για τυπικές θολότητες, οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0.5-3%.

Η διάθεση της παραγόμενης σε MEN ιλύος δεν παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα με αυτά που χαρακτηρίζουν την ιλύ που παράγεται κατά την επεξεργασία των λυμάτων. Η ιλύς είναι στο μέγιστο ποσοστό ανόργανη και δεν απαιτεί σταθεροποίηση. Αρχικά οδηγείται για πάχυνση και έπειτα για αφυδάτωση, προτού απομακρυνθεί προς διάθεση.

Παρακάτω θα αναλυθούν οι βασικοί μέθοδοι επεξεργασίας της ιλύος και των επιμέρους τεχνικών για τις μονάδες επεξεργασίας νερού.

Μονάδα Πάχυνσης

Αρχικά, το πρώτο στάδιο επεξεργασίας της ιλύος είναι η μονάδα πάχυνσης η οποία μπορεί να είναι είτε μηχανική είτε βαρυτική. Η πάχυνση γίνεται συνήθως σε παχυντές βαρύτητας κυκλικής διατομής, με στόχο την επίτευξη συμπύκνωσης της ιλύος σε ποσοστά στερεών της τάξης του 3% (όταν αυτό δεν επιτυγχάνεται στη δεξαμενή καθίζησης). Εκτός από τη συμπύκνωση η δεξαμενή πάχυνσης επιτρέπει την αποθήκευση της ιλύος πριν από την αφυδάτωση, η οποία δεν γίνεται συνεχώς (κατά κανόνα λειτουργεί επί 8 ώρες κάθε εργάσιμη ημέρα). Επομένως το κρίσιμο διάστημα αφορά στις 2 μη εργάσιμες ημέρες της εβδομάδας, κατά τη διάρκεια των οποίων η παραγόμενη ιλύς θα πρέπει να μπορεί να αποθηκεύεται στη δεξαμενή πάχυνσης.



Σχήμα 7: Παχυντής (Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας ΕΜΠ)

Στον παχυντή οδηγούνται άμεσα τα στερεά από τις δεξαμενές καθίζησης ή κροκιδώσης-καθίζησης. Τα στερεά από την έκπλυση των φίλτρων, λόγω της μεγάλης ποσότητας νερού που τα συνοδεύει, οδηγούνται στον παχυντή έμμεσα αφού προηγηθεί επεξεργασία των νερών έκπλυσης τουλάχιστον με καθίζηση, συχνά δε και με διύλιση (π.χ. σε μονάδα μικροδιύλισης). Οι εκροές συνήθως ανακτώνται και επιστρέφουν στην είσοδο της ΜΕΝ, ενώ τα στερεά οδηγούνται στον παχυντή.

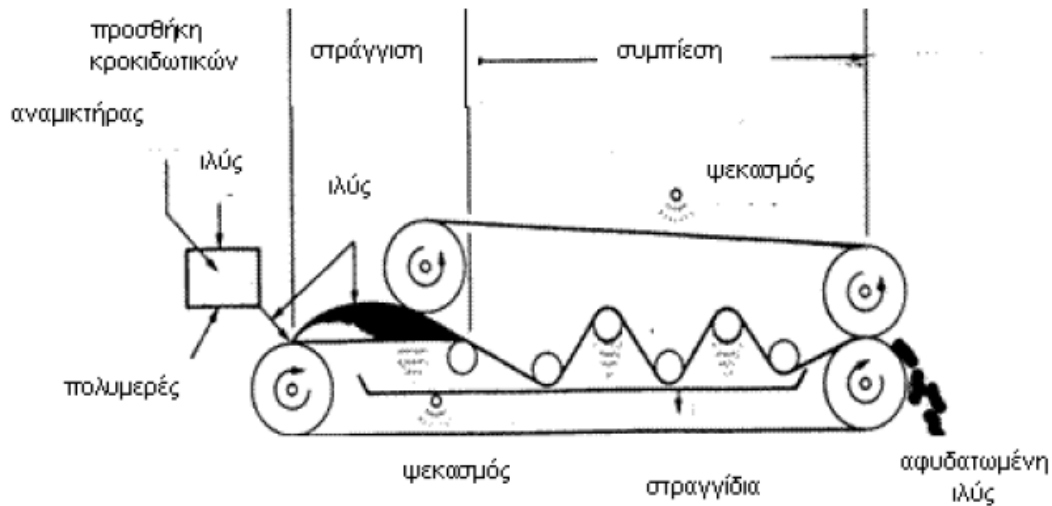
Από την άλλη μεριά, η μηχανική πάχυνση γίνεται είτε με φυγοκεντρητές, με κοχλιόπρεσσες ή με διατάξεις φίλτρανσης της ιλύος (περιστρεφόμενα τύμπανα και τράπεζες πάχυνσης). Έχει πολύ καλή απόδοση ωστόσο λειτουργεί μόνο συγκεκριμένες ώρες ανάλογα με τις βάρδιες και επομένως δεν επιτρέπει την αποθήκευση της παχυμένης ιλύος (όπως μπορεί η βαρυτική πάχυνση).

Μονάδα Αφυδάτωσης

Για την αφυδάτωση της παχυμένης ιλύος μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανικά συστήματα αφυδάτωσης, όπως είναι οι φυγοκεντρητές, οι φιλτρόπρεσσες και οι ταινιοφιλτρόπρεσσες, με τις τελευταίες να έχουν τη συχνότερη εφαρμογή.

Οι ταινιοφιλτρόπρεσσες αποτελούνται από δύο μεταφορικές ταινίες από συνθετικές ίνες που βρίσκονται η μία πάνω από την άλλη. Η ιλύς μετά την προσθήκη του κροκιδωτικού, που κατά κανόνα είναι πολυηλεκτρολύτης, τροφοδοτείται συνεχώς ανάμεσα στις δύο ταινίες. Οι ταινίες διέρχονται από ένα σύστημα περιστρεφόμενων κυλίνδρων και επιτελούν ταυτόχρονα τις λειτουργίες της μεταφοράς, του στραγγίσματος και της συμπίεσης της ιλύος.

Η απομάκρυνση του νερού γίνεται σε τρεις ζώνες. Στην πρώτη ζώνη το νερό διηθείται λόγω βαρύτητας, στη δεύτερη λόγω συμπίεσης και στην τρίτη λόγω των διατμητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται καθώς τα κεντά μεταξύ των κυλίνδρων δια μέσου των οποίων διέρχονται οι ταινίες μικραίνουν. Η αφυδατωμένη ιλύς αποκολλάται με κατάλληλο μηχανισμό απόξεσης. Η ομαλή λειτουργία των ταινιοφιλτροπρεσσών απαιτούν συνεχή καθαρισμό των ταινιών με νερό. Συχνά χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό επεξεργασμένα λύματα τα οποία όμως έχουν υποστεί και διύλιση (βιομηχανικό νερό εγκατάστασης).



Σχήμα 8: Διάγραμμα λειτουργίας ταινιοφιλτρόπρεσσας. (Ανδρέας Ανδρεαδάκης, 2008)

Λόγω σχετικά χαμηλού κόστους, οι ταινιοφιλτρόπρεσσες αποτελούν μία από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους μηχανικής αφυδάτωσης και επιτυγχάνουν ικανοποιητικές συγκεντρώσεις στερεών, συνήθως μεγαλύτερες από 20%.

3.3 Υφιστάμενες Πρακτικές Διαχείρισης Ιλύος

Μια σημαντική περιβαλλοντική πρόκληση για την επεξεργασία του νερού είναι η διάθεση της υπερβολικής ιλύος που παράγεται, η οποία είτε απορρίπτεται σε υδάτινες οδούς είτε απορρίπτεται σε χώρους υγειονομικής ταφής, ΧΥΤΑ (Οοί et al. 2018). Αυτές οι πρακτικές διάθεσης έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον και εγκυμονούν επίσης κίνδυνο συσσώρευσης αλουμινίου σε υδρόβιους οργανισμούς και κατά συνέπεια σε ανθρώπινα σώματα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αλουμινίου που καταγράφηκαν στα υδάτινα σώματα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των ψαριών (Ahmad et al. 2016). Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις ότι η μόλυνση από αλουμίνιο παίζει ρόλο στην εξέλιξη της νόσου του Αλτσχάιμερ και ότι αναστέλλει τη φυσιολογική γνωστική ανάπτυξη στα παιδιά. Αυτό είναι σύμφωνο με τις επιπτώσεις της συσσώρευσης άλλων βαρέων μετάλλων

(Ramadan et al. 2008). Επίσης παρατηρείται έντονα το φαινόμενο απόρριψης της ιλύος στο δίκτυο της αποχέτευσης που μεταφέρει τη λάσπη σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που πρόκειται να επεξεργαστούν μαζί με τα λύματα λάσπη από νερό. Αυτή είναι κοινή πρακτική σε πολλές χώρες, ιδιαίτερα στο Ηνωμένο Βασίλειο και τις ΗΠΑ, όπου το 9% και το 25% αντίστοιχα από το σύνολο των ομβρίων απορρίπτονται στο αποχετευτικό δίκτυο (Keeley et al. 2014a,b). Η διάθεση στην αποχέτευση έχει θετικές επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης της οργανικής ύλης και του φωσφόρου στη διαδικασία επεξεργασίας λυμάτων (Marguti et al. 2018). Ωστόσο, η εισαγωγή ιλύος από νερό στη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στη ροή και να αυξήσει την ποσότητα της ιλύος στο αποχετευτικό σύστημα και επίσης επηρεάζει την ποσότητα και τη σύνθεση της ιλύος από λύματα, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε πολλές δυσμενείς επιπτώσεις στις διαδικασίες επεξεργασίας, όπως αερόβια και αναερόβια χώνευση καθώς και αποτέφρωση ιλύος (Dillon, 1997). Η υγειονομική ταφή θεωρείται η πιο βολική και κοινή μέθοδος διάθεσης για εγκαταστάσεις επεξεργασίας, παρόλα αυτά προκαλεί δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Ahmad et al. 2016). Επιπλέον, με αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που έχουν ως στόχο την επιβολή προστίμων και την δυσκολία της διάθεσης σε χώρους υγειονομικής ταφής, αυτή η επιλογή γίνεται λιγότερο βιώσιμη. Ως εκ τούτου, υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη για ανάπτυξη πιο βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης ιλύος (Ippolito et al. 2011) να χαρακτηριστεί ως ευκαιρία θεωρώντας την ως πόρο με σκοπό να επαναχρησιμοποιηθεί και να ανακυκλωθεί σύμφωνα με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΦΥΔΑΤΩΜΕΝΗΣ ΙΛΥΟΣ ΜΕΝ

Η αφυδατωμένη ιλύς από μονάδες επεξεργασίας νερού μπορεί να αξιοποιηθεί με ποικίλους τρόπους. Κάποιοι από αυτούς δεν απαιτούν καμία επεξεργασία της ιλύος με αποτέλεσμα να την εκμεταλλεύονται απευθείας μετά την αφυδάτωσή της. Παράλληλα άλλες εφαρμογές απαιτούν αρχικά να υποστεί κατάλληλη επεξεργασία και στη συνέχεια να αξιοποιηθεί. Οι πιο ευρέως διαδεδομένοι είναι:

1. Εφαρμογές χωρίς προηγούμενη επεξεργασία
 - a. Επαναχρησιμοποίηση ως κροκιδωτικό στις μονάδες επεξεργασίας νερού (ΜΕΝ)
 - b. Εφαρμογή για χημική απομάκρυνση φωσφόρου σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ)
 - c. Εφαρμογή σε δεξαμενές τελικής καθίζησης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) για βελτίωση της καθίζησης
 - d. Εφαρμογή ως πληρωτικό υλικό σε υγροβιότοπους
 - e. Χρησιμοποίηση ως βελτιωτικό υλικό στη γεωργία
2. Εφαρμογές μετά από κατάλληλη επεξεργασία
 - a. Χρήση ανακτημένου αργιλίου και σιδήρου ως κροκιδωτικό σε μονάδες επεξεργασίας νερού (ΜΕΝ) και σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ), έπειτα από χημικές, θερμικές ή άλλες μεθόδους επεξεργασίας
 - b. Εφαρμογή της επεξεργασμένης ιλύος ως πληρωτικό υλικό στην οδοποιία
 - c. Εφαρμογή της επεξεργασμένης ιλύος σε υλικά κατασκευής

4.1 Απευθείας αξιοποίηση της ιλύος χωρίς επεξεργασία

4.1.1 Εφαρμογή ιλύος για χημική απομάκρυνση φωσφόρου σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων

Η ανάπτυξη σύνθετων οικονομικά αποδοτικών χημικών από υποπροϊόντα κατέχει ιδιαίτερη θέση, ως πιθανή εναλλακτική για τα κοινά χρησιμοποιημένα χημικά με στόχο τη χημική απομάκρυνση φωσφόρου στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ). Όσον αφορά τους κύριους ρύπους στα λύματα, έχουν γίνει εκτενείς μελέτες για τη σκοπιμότητα χρήσης της ιλύος από ΜΕΝ ως προσροφητικό για την απομάκρυνση του φωσφόρου στα λύματα (Huang and Chiswell 2000, Zumppe et al. 2002, Georgantas and Grigoropoulou 2005, Kim et al. 2003, Babatunde et al. 2005, Yang et al. 2006a, 2006b). Η αφυδατωμένη ιλύος από ΜΕΝ περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις αργιλίου ή σιδήρου λόγω του κροκιδωτικού (άλατα σιδήρου ή αργιλίου) το οποίο προστίθεται κατά τη διεργασία της κροκίδωσης και κατακρημνίζεται και/ή προσροφάται στην ιλύ μετα σποτέλεσμα ο φώσφορος να μεταφέρεται από την υγρή στη στερεή φάση (de-Bashan and Bashan 2004). Η ικανότητα προσρόφησης του φωσφόρου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το pH του διαλύματος που περιέχει φώσφορο, και ενισχύεται στην όξινη περιοχή (Kim et al. 2003, Babatunde et al. 2005, Yang et al 2006a, 2006b). Οι Yang et al. το 2006, σε μια μελέτη για τους θεμελιώδεις μηχανισμούς της προσρόφησης φωσφόρου στην αργιλώδη ιλύ, ανέδειξαν την αμελητέα ανταγωνιστική επίδραση των Θεικών SO_4^- και του Χλωρίου Cl^- (τα οποία είναι τυπικά ανιόντα που βρίσκονται στα λύματα) με την προσρόφηση φωσφόρου στην επιφάνεια της αργιλώδους ιλύος. Προτάθηκε λοιπόν, ότι ο φώσφορος προσροφάται στην αργιλώδη ιλύ μέσω ενός είδους αντίδρασης συμπλέγματος εσωτερικής στοιβάδας, η οποία συμβαίνει όταν το φωσφορικό ιόν αντικαθιστά τις λειτουργικές ομάδες

στην επιφάνεια της ιλύος και δεσμεύεται στην επιφάνεια. Η ικανότητα προσρόφησης του φωσφόρου και άλλων ουσιών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία από ιλύ MEN συνοψίζεται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Μέγιστη ικανότητα προσρόφησης φωσφόρου από ιλύ MEN (Babatunde & Zhao, 2007)

Μέγιστη ικανότητα προσρόφησης φωσφόρου αργιλώδης ιλύος (mg/L)	Αρχική συγκέντρωση Φωσφόρου (mg/L)	pH	Αναφορές
25	30	4	Gon Kim et al. (2002)
12.5	300	-	Ippolito et al. (2003)
1.2-1.9	510	6.7-7.4	Zhao et al. (2007)
10.2	14.7	4	Razali et al. (2007)
4.52	5.4	4	Babatunde et al. (2008)
21.4-23.9	113.5	6.8-7.3	Yang et al. (2009)
31.9	360	4	Babatunde et al. (2009)
1.13	10	4	Chittoo and Sutherland (2014)
15.57	150	4	Lee et al. (2015)
29	1-1.8	6.8	Maher et al. (2015)
32.27-42.67	50	6	Bal Krishna et al. (2016)
4.86	55	4	Maqbool et al. (2016)

Ωστόσο, θα πρέπει να επισημανθεί ότι χρειάζεται να γίνει συστηματική έρευνα σχετικά με την προσρόφηση φωσφόρου από ιλύ MEN, όπως η επίδραση του pH του διαλύματος, το επιφανειακό φορτίο και τα χαρακτηριστικά της, η δοσολογία της και άλλα. Επίσης, είναι βέβαιο ότι η ανάγκη για απομάκρυνση φωσφόρου κατά τη διαδικασία επεξεργασίας λυμάτων θα διευκολύνει τη διαχείριση και λειτουργία των εγκαταστάσεων. Παρόλο που οι προσπάθειες για παράλληλη χρήση ιλύος MEN και ιλύος EEN δεν είναι εντελώς καινούριες, η χρήση ιλύος λυμάτων για την ρύθμιση και τη βελτίωση της επεξεργασίας της ιλύος λυμάτων παραμένει ενδιαφέρουσα για περαιτέρω έρευνα. Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η ικανότητα προσρόφησης φωσφόρου μπορεί να φτάσει έως και 85% ενώ αυτή αυξάνεται κυρίως για ιλύς με χαμηλότερα pH. Μελέτες έχουν δείξει την ευεργετική επίδραση της ιλύος MEN στη διεργασία της καθίζησης της ιλύος σε μια ΕΕΛ.

Η παρουσία υδροξειδίου του αργιλίου στη λάσπη βελτιώνει τα χαρακτηριστικά καθίζησης της ιλύος (μείωση του σδείκτη καθιζησιμότητας SVI, αύξηση της ταχύτητας καθίζησης) και την απόδοση της αφυδάτωση της βιολογικής ιλύος.

4.1.2 Εφαρμογή ιλύς σε δεξαμενές τελικής καθίζησης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) για βελτίωση της καθίζησης

Καθώς οι οικονομικοί παράγοντες έχουν περιορίσει τη δυνατότητα εφαρμογής της επιλογής ανάκτησης κροκιδωτικού, έχουν γίνει και αναφερθεί αρκετές προσπάθειες σχετικά με την άμεση χρήση της αφυδατωμένης ιλύος από ΜΕΝ ως κροκιδωτικό στην επεξεργασία λυμάτων. Οι Horth et al. (1994) ανέφεραν μια μελέτη όπου προσθέτοντας αφυδατωμένη ιλύ από μονάδες επεξεργασίας νερού (ΜΕΝ) με βάση το αργίλιο σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ), αποδείχθηκε ότι υπό ορισμένες συνθήκες βέλτιστης προσθήκης ιλύος, η επεξεργασία και τα τελικά χαρακτηριστικά της ιλύος στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων βελτιώθηκαν σημαντικά. Στη Γαλλία, αναφέρθηκε ότι η αργιλώδη ιλύς που τροφοδοτείται σε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων αποδείχθηκε πλήρως επιτυχής με απομάκρυνση φωσφορικών έως 94%. Επίσης σχετικά με τη χρήση ιλύς ΜΕΝ με βάση το σίδηρο ως κροκιδωτικό στην επεξεργασία λυμάτων φυτικών ελαίων, Basibuyuk και Kalat (2004) ανέφεραν εξαιρετική απόδοση αφαίρεσης για λάδι, γράσο, COD και ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS) σε βέλτιστο pH 6 και δόση ιλύος 1100 mg αιωρούμενα στερεά (SS)/L. Σημειώθηκε ότι η λάσπη σιδήρου ήταν εξίσου αποτελεσματική όπως η αργιλώδης ιλύς, και η απομάκρυνση ενισχύθηκε περαιτέρω όταν συνδυάστηκε με χλωριούχο σίδηρο σε διάφορες δόσεις. Σε σύγκριση με τη χρήση των αρχικών κροκιδωτικών ήταν επίσης ικανοποιητικές αποδόσεις αφαίρεσης για το χρώμα όπως αναφέρεται στη χρήση ιλύος ΜΕΝ για την επεξεργασία λυμάτων

κλωστοϋφαντουργίας και διάφορες χρωστικές ύλες (Chu, 2001). Προτάθηκε ότι ο μηχανισμός sweep-floc είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός στο διαδικασία επαναχρησιμοποίησης αργιλώδους ιλύς. Προκειμένου να βελτιωθεί η αφαίρεση SS και COD στην πρωτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων, διερευνήθηκε η σκοπιμότητα της επαναχρησιμοποίησης της ιλύος από MEN με βάση το αλουμίνιο για την ενίσχυση των σωματιδίων (Guan et al. 2005).

4.1.3 Εφαρμογή ως πληρωτικό υλικό σε τεχνητούς υγροβιότοπους

Τα τελευταία χρόνια, οι τεχνητοί υγροβιότοποι χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο παγκοσμίως ως μια εναλλακτική τεχνολογία για την επεξεργασία αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων (IWA, 2000). Λόγω της χαμηλής τους ενεργειακής απαίτησης και της αισθητικής τους εμφάνισης, θεωρούνται ως μια «πράσινη» τεχνική επεξεργασίας λυμάτων. Ένας από τους κύριους στόχους της έρευνας στην τεχνολογία υγροβιότοπων σήμερα είναι η ανακάλυψη νέων πληρωτικών υλικών που θα αυξήσει την αποτελεσματικότητα και θα μειώσει το κόστος κεφαλαίου. Παραδοσιακά, διαφορετικοί συνδυασμοί άμμου και χαλικιού έχουν χρησιμοποιηθεί ως μέσα στους υγροτόπους. Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι οι υγροβιότοποι που βασίζονται σε αυτά τα συμβατικά μέσα είναι ικανοί να απομακρύνουν τα αιωρούμενα στερεά και το οργανικό φορτίο. Ωστόσο, είναι συχνά δύσκολο να επιτευχθεί ουσιαστική απομάκρυνση ορισμένων ανόργανων θρεπτικών συστατικών, όπως το ορθοφωσφορικό και το αμμωνιακό άζωτο, σε υγροβιότοπους με τα συμβατικά μέσα. Δεδομένου ότι η αφυδατωμένη ιλύς MEN είναι πλούσια σε υπολείμματα αλουμινίου, σιδήρου και ασβεστίου, τα οποία είναι ισχυρά προσροφητικά για ρύπους στα λύματα, μπορεί να αποτελέσει μια λύση η χρήση της σε υγροβιότοπους για τη μείωση του φωσφόρου. Οι Leader et al. (2005) ανέφεραν μια μελέτη

σχετικά με τη χρήση ασβέστη και ιλύος σιδήρου αντίστοιχα ως πιθανά υποστρώματα υδροβιότοπων τόσο για την επεξεργασία των γαλακτοκομικών όσο και των αστικών λυμάτων. Οι Zhao και Babatunde (2006) μελέτησαν παρομοίως την επαναχρησιμοποίηση αφυδατωμένης ιλύος με άργιλο ως το κύριο υπόστρωμα σε ένα κατασκευασμένο σύστημα υδροβιότοπων για την επεξεργασία λυμάτων. Τα πειράματα ενός έτους ανέδειξαν μεγάλες δυνατότητες για την επιτυχή ενσωμάτωση της ιλύος από ΜΕΝ σε υδροβιότοπους.

4.1.4 Χρησιμοποίηση στη γεωργία

Η ιλύς μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στη γεωργία ως βελτιωτικό του εδάφους ή για τη βελτίωση της δομής και των χαρακτηριστικών του εδάφους για την αύξηση της παραγωγής των καλλιεργειών. Η πρώτη εφαρμογή τροποποίησης του εδάφους με χρήση ιλύος από ΜΕΝ διερευνήθηκε τη δεκαετία του 1970 και έκτοτε έχουν διεξαχθεί αρκετές μελέτες για τη δοκιμή της αποτελεσματικότητας της ιλύος από ΜΕΝ στο έδαφος και στο περιβάλλον (Russell, 1975; Ippolito et al. 1999; Dayton and Basta, 2001; Moodley et al. 2004; Lombi et al. 2010). Τα αποτελέσματα της επαναχρησιμοποίησης της αφυδατωμένης ιλύος στη γεωργία είναι βελτιώσεις στη δομή του εδάφους, την υδραυλική αγωγιμότητα, την ικανότητα κατακράτησης νερού, και τα επίπεδα θρεπτικών ουσιών (Moodley et al. 2004; Moodley and Hughes, 2006; Dassanayake et al. 2015). Ωστόσο, η τρέχουσα χρήση της στη γεωργία είναι περιορισμένη λόγω ορισμένων ανησυχιών όπως η υψηλή συγκέντρωση ιόντων άλατος, η τοξικότητα του αργιλίου και άλλων βαρέων μετάλλων που απαιτούν περαιτέρω μελέτες (Babatunde and Zhao, 2007). Οι Lombi et al. (2010) διεξήγαγαν μια μελέτη χρησιμοποιώντας *Lactuca sativa* (μαρούλι) για να κατανοήσει το δυναμικό τοξικότητας των βαρέων μετάλλων (Al και Cu) και την ανεπάρκεια φωσφόρου που προκαλείται από τη χρήση της ιλύος στο έδαφος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι

παρατηρήθηκε μείωση της ανάπτυξης λόγω της ανεπάρκειας φωσφόρου παρά της απελευθέρωσης βαρέων μετάλλων. Ομοίως, οι Dayton και Basta (2001) χρησιμοποίησαν μια καλλιέργεια βιολογικής τομάτας για να εξετάσουν την καταλληλότητα της ιλύος. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι αν και η λάσπη θα μπορούσε να οδηγήσει σε ελλείψεις φωσφόρου, μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο ως υποκατάστατο του εδάφους και η προσθήκη λιπάσματος μπορεί να ξεπεράσει τυχόν ελλείψεις P. Όσον αφορά την τοξικότητα του αργιλίου, οι Mahdy et al. (2008) διεξήγαγαν μια σειρά πειραμάτων θερμοκηπίου για να εξετάσουν την αποτελεσματικότητα της ιλύος στη βιοσυσσώρευση βαρέων μετάλλων στον φυτικό ιστό και την τοξικότητα του αργιλίου σε φυτά καλαμποκιού σε αλκαλικά εδάφη. Ειδικότερα, με την αύξηση της δόσης της ιλύος (από 10 σε 40 g/kg), δεν υπήρχαν συμπτώματα τοξικότητας αργιλίου για φυτά καλαμποκιού που καλλιεργούνται σε αλκαλικό έδαφος. Οι Tay et al. (2017) ομοίως επιβεβαίωσαν ότι η ιλύς χρησιμοποιήθηκε αποτελεσματικά ως μέσο χαμηλού κόστους ακινητοποίησης ιχνοστοιχείων σε αστικά εδάφη λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Σημείωσαν, ωστόσο, ότι η ιλύς οδήγησε σε αύξηση της πρόσληψης φωσφόρου, με αποτέλεσμα ελλείψεις φωσφόρου στο έδαφος. Ωστόσο, αυτό θα μπορούσε να διορθωθεί με την προσθήκη λιπάσματος φωσφόρου. Η αφυδατωμένη ιλύς μπορεί επίσης να εφαρμοστεί μαζί με μια άλλη τροποποίηση του εδάφους, όπως η εφαρμογή λιπάσματος, για να εξισορροπηθούν τα μειονεκτήματα κάθε υλικού: οι ελλείψεις P και η υπερφόρτωση P, αντίστοιχα, αποτελούν βασικές ανησυχίες όταν εφαρμόζονται χωριστά. Τα βιοστερεά που παράγονται από το συνδυασμό ιλύος από MEN και ιλύος από λύματα παρέχουν επίσης ένα μέσο για την επαναχρησιμοποίηση του παραπροϊόντος από τις διαδικασίες επεξεργασίας νερού (Dassanayake et al. 2015). Οι Ippolito et al. (2009) ερεύνησαν τις μακροχρόνιες επιπτώσεις

της αφυδατωμένης ιλύος από MEN και ΕΕΛ ως συνεφαρμογή σε ημίξηρα λιβάδια και βλάστηση. Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν ένδειξη ούτε ανεπάρκεια φωσφόρου ούτε υπερφόρτωση με το ποσοστό συνεφαρμογής 5, 10 ή 21 τόνων ιλύος MEN με 5 τόνους ιλύος ΕΕΛ ανά εκτάριο.

4.2 Αξιοποίηση της ιλύος μετά από κατάλληλη επεξεργασία

4.2.1 Ανάκτηση αργιλίου και σιδήρου ως κροκιδωτικό σε MEN & ΕΕΛ

Ως αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού, η ζήτηση νερού αυξάνεται παγκοσμίως με αποτέλεσμα η ζήτηση για κροκιδωτικά να μη δείχνει σημάδια μείωσης. Επομένως, οι οικονομικά αποδοτικές τεχνικές ανάκτησης κροκιδωτικών θα πρέπει να θεωρούνται μια σημαντική λύση για την ελαχιστοποίηση χρήσης νέων κροκιδωτικών και τη μείωση του όγκου των στερεών αποβλήτων που πρέπει να αποστέλλονται σε ΧΥΤΑ (Keeley et al. 2014a,b).

Προσπάθειες για ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των κροκιδωτικών που είναι ενσωματωμένα στην αφυδατωμένη ιλύ για χρήση σε διεργασίες επεξεργασίας λυμάτων, χρονολογείται από τον 19^ο αιώνα, με την πρώτη κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας διαδικασία από τον Jewel το 1903 (Moran and Charles, 1960) και σε κάποια μεταγενέστερα στάδια, επεξεργασία με οξύ που ακολουθείται από διαχωρισμό μεμβράνης (Arup and Bo 1992, Stendahl et al. 2005). Άλλες μέθοδοι ανάκτησης περιλαμβάνουν την οξίνιση με θειικό οξύ (Abdo et al. 1993, Vaezi and Batebi 2001), αλκαλική επεξεργασία (Masschelein και Devleminck, 1985), εκχύλιση υγρού χρησιμοποιώντας την ανταλλαγή υγρών ιόντων (LIE) τεχνική των (Dhage et al. 1985, Petruzelli et al. 1998), τη διαδικασία μεμβράνης Donnan (DMP) (Prakash et al. 2003, 2004) και τη μέθοδο σύνθετης μεμβράνης (Li και Sengupta, 1995). Η αποτελεσματικότητα των ανακτηθέντων κροκιδωτικών γενικά

ποικίλλει, αλλά παρόλα αυτά κρίνεται ικανοποιητική στις περισσότερες περιπτώσεις. Η οξίνιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή του στερεού υδροξειδίου του αργιλίου στην ιλύ σε διαλυτή μορφή για επαναχρησιμοποίηση. Η ποιότητα του ανακτημένου κροκιδωτικού είναι παρόμοια με ένα νέο κροκιδωτικό όσον αφορά την απομάκρυνση της θολότητας, με πρόσθετα οφέλη από την ενισχυμένη ικανότητα αφυδάτωσης (Xu et al. 2009). Η αποτελεσματικότητα της ανάκτησης του Αργιλίου ΑΙ με αυτή τη μέθοδο μπορεί να φτάσει το 70% (Xu et al. 2009, Huang et al. 2010). Η διαδικασία μπορεί να βελτιστοποιηθεί σε pH μεταξύ 1 και 3, και περίπου το 80% του αργιλίου στην αφυδατωμένη ιλύ διαλύεται σε pH 2,5 μετά από 30 λεπτά. (Xu et al. 2009). Εναλλακτικά, το οξείδιο του αργιλίου μπορεί να ανακτηθεί υπό αλκαλικές συνθήκες. Χρησιμοποιώντας NaOH και Ca(OH)₂ εντός του εύρους pH από 11,4–11,8, ο ρυθμός ανάκτησης των αργιλικών φθάνει το μέγιστο 80% με NaOH και 30% με λιγότερο δαπανηρό Ca(OH)₂ (Evenuti and Lawal, 2011). Ωστόσο, το κύριο μειονέκτημα της οξίνισης και της αύξησης του pH είναι το αυξημένο κόστος των χημικών που απαιτούνται.

Ωστόσο, η καθαρότητα τέτοιων ανακτημένων κροκιδωτικών παραμένει ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα, όπως ακριβώς η οικονομία της διαδικασίας ανάκτησης εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο συζήτησης. Οι Bustamante και Waite (1995) ανέφεραν ότι το αργίλιο που ανακτήθηκε από την αφυδατωμένη ιλύ μέσω αλκαλικής έκπλυσης χρησιμοποιήθηκε για την αποτελεσματική μείωση του φωσφόρου συγκέντρωσης στα λύματα από 9 mg/L έως κάτω από 1 mg/L. Οι Stendahl et al. (2005) ανέφεραν επίσης μια μέθοδο πολλαπλών βημάτων, η οποία χρησιμοποιείται για την ανάκτηση του αργιλίου από ιλύ λυμάτων και έτσι να επαναχρησιμοποιηθεί ως κροκιδωτικό στη διαδικασία καθαρισμού του νερού.

Έχουν γίνει αρκετές άλλες προσπάθειες για την ανάκτηση του ανθρακικού ασβεστίου και υδροξείδιο του μαγνησίου από λάσπες ασβέστη που μαλακώνουν το νερό μέσω ασβεστοποίησης. Οι Petruzelli et al. (1998) σημείωσαν ότι είναι δυνατή η ανάκτηση μετάλλου υδροξειδίων από εναιωρήματα ιλύος ρυθμίζοντας το pH του συστήματος. Στην περίπτωση της ιλύος σιδήρου, το pH της ιλύος μειώνεται με προσθήκη οξέος σε μια περιοχή όπου η διαλυτότητα του τρισθενούς σιδήρου είναι σημαντικά αυξημένη και ο σίδηρος που απελευθερώνεται είναι ξανά σε διάλυμα. Ωστόσο, η οξίνιση μπορεί γενικά να συνεπάγεται τη χρήση υψηλών και δαπανηρών δόσεων οξέος, η οποία μπορεί να μην δικαιολογείται οικονομικά. Αν και αναμένεται ότι η ανάκτηση και η επαναχρησιμοποίηση κροκιδωτικών που είναι ενσωματωμένα στη αφυδατωμένη ιλύ θα:

1. μείωνε σημαντικά το κόστος των κροκιδωτικών ουσιών που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και λυμάτων,
2. βοηθούσε στην τήρηση των προτύπων απαλλαγής σε ορισμένες περιπτώσεις και με μειωμένο κόστος,
3. μείωνε τον όγκο της ιλύος και συνεπώς το κόστος διάθεσης,
4. έκανε την ιλύ που προέρχεται από τα έργα ύδρευσης καταλληλότερη για υγειονομική ταφή χωρίς ανησυχίες για πιθανή φαινόμενα συσσώρευσης και έκλυσης μετάλλων,
5. βελτίωνε τα χαρακτηριστικά αφυδάτωσης της υπολειμματικής ιλύος και

μια τέτοια διαδικασία ανάκτησης κροκιδωτικού είναι εξαιρετικά περίπλοκη. Επιπλέον, οι συνθήκες που θα ευνοήσουν τη βελτιστοποίηση ανάκτησης του κροκιδωτικού από την αφυδατωμένη ιλύ μπορεί να διαφέρουν από μέρα σε μέρα. Οι Petruzelli et al. (1998, 2000) σημείωσαν ότι η καθαρότητα των κροκιδωτικών που ανακτούνται από τη ιλύ μπορεί να

μην επαρκεί για να την δικαιολογήσει επαναχρησιμοποίηση, ειδικά στη διαδικασία επεξεργασίας του πόσιμου νερού, και οικονομικά η διαδικασία ανάκτησης είναι δαπανηρή και επίπονη.

Η διεργασία της μεμβράνης Donnan (DMP) καθοδηγείται από μια ηλεκτροχημική κλίση δυναμικού κατά μήκος της μεμβράνης ανταλλαγής ιόντων. Η διαδικασία μπορεί να επιτύχει σημαντικά υψηλότερο ρυθμό ανάκτησης ιλύος από άργιλο από τη διαδικασία οξίνισης (Sarkar et al. 2010). Επιπλέον, με τη μείωση των στερεών, της οργανικής ύλης και άλλων βαρέων μετάλλων, βελτιώνεται η ποιότητα του ανακτημένου κροκιδωτικού. Παρόλο που η παραπάνω διεργασία αποδίδει καλά όσον αφορά την ανάκτηση του κροκιδωτικού, έχει σημαντικά μειονεκτήματα όπως ο μεγάλος χρόνος διάχυσης που απαιτείται (24 ώρες) και η απαιτούμενη επιφάνεια της μεμβράνης (120 cm²/L τροφής) (Prakash and SenGupta, 2003). Ο μεγάλος χρόνος διάχυσης μπορεί να ξεπεραστεί αυξάνοντας την επιφάνεια της μεμβράνης, αλλά αυτό αυξάνει επίσης το αρχικό κόστος της επένδυσης.

4.2.2 Εφαρμογή ως πληρωτικό υλικό σε Οδοποιία

Αν και βρίσκεται ακόμη σε προκαταρκτικό στάδιο, οι δυνατότητες χρήσης της ιλύος MEN ως υλικό γεωτεχνικών εργασιών στην οδοποιία έχουν αναφερθεί από τους Ronald and Donald, 1977· Raghu et al. 1987, Carvalho και Antas, 2005. Αυτό βασίζεται ιδιαίτερα στα προκαταρκτικά αποτελέσματα των δοκιμών χαρακτηρισμού των γεωτεχνικών και γεωπεριβαλλοντικών χαρακτηριστικών της ιλύος, τα οποία δείχνουν κάποια στοιχεία ως κατάλληλο γεωτεχνικό και κατασκευαστικό υλικό. Οι Carvalho και Antas (2005) εξέτασαν τη σκοπιμότητα της ενσωμάτωσης της ιλύος ως πληρωτικό υλικό σε ασφαλτούχα μείγματα για χρήση σε εργασίες οδοστρώματος. Προτάθηκε η θερμική επεξεργασία της ιλύος σε

θερμοκρασία τουλάχιστον 450°C για να εξατμιστούν όλα τα οργανικά συστατικά. Αυτή η θερμικά ξηραμένη λάσπη υπέστη συσσωμάτωση και χρειάστηκε να αλεσθεί πριν από τη χρήση. Ωστόσο, η ξηραμένη και αλεσμένη ιλύς είχε ετερογενή κοκκομετρία, η οποία ήταν ασύμβατη με το εύρος της κοκκομετρίας των πληρωτικών υλικών. Επομένως, η ανάγκη εξάλειψης των οργανικών στην ιλύ μπορεί να οδηγήσει σε ασυμβατότητα μεταξύ της ιλύος και του παραδοσιακού υλικού πλήρωσης. Κατά συνέπεια, μια βέλτιστη θερμοκρασία που θα μεγιστοποιούσε την οργανική απομάκρυνση της ιλύος και θα ελαχιστοποιούσε την ασυμβατότητα με τα παραδοσιακά πληρωτικά υλικά είναι επιθυμητή. Ωστόσο, μια τέτοια θερμική επεξεργασία μπορεί να παρουσιάσει ορισμένα περιβαλλοντικά προβλήματα, καθώς υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τις εκπομπές κατά τη θερμική ξήρανση. Οι Ronald and Donald (1977) ερεύνησαν επίσης τη σκοπιμότητα της ενσωμάτωσης της ιλύος σε ένα σταθεροποιημένο υλικό υποβάσεως που χρησιμοποιείται στην οδοποιία. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι από 0,5 έως 3% ενσωμάτωση ιλύος παρήγαγε μια αντίστοιχη αύξηση έως 113% στο βέλτιστο αποτέλεσμα απεριόριστης θλιπτικής αντοχής 7 ημερών, αντίστοιχα, σε σύγκριση με το μείγμα ελέγχου. Ωστόσο, παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση της αντοχής σε υψηλότερα επίπεδα ενσωμάτωσης, και αυτό προέκυψε από την πιθανότητα σημαντικής αύξησης της αναλογίας λεπτών υλικών στο μείγμα λόγω της αυξημένης προσθήκης ιλύος. Αυτό μπορεί να έχει μειώσει τη διασωματιδιακή τριβή μεγαλύτερων αδρανών, προκαλώντας απώλεια αντοχής.

4.2.3 Επαναχρησιμοποίηση της αφυδατωμένης ιλύος σε υλικά κατασκευής

Η αφυδατωμένη ιλύς από μονάδες επεξεργασίας νερού έχει επίσης μελετηθεί προκαταρκτικά και έχει χρησιμοποιηθεί ως οικοδομικό και κατασκευαστικό υλικό. Ωστόσο, παρά τα προφανή πλεονεκτήματα και τις αυξανόμενες έρευνες για την

ενσωμάτωσή της σε οικοδομικά και κατασκευαστικά υλικά, δεν έχουν γίνει ακόμα πλήρως αποδεκτές στη βιομηχανία. Ιδιαίτερη ανησυχία προκαλεί η διακύμανση του τελικού προϊόντος που παράγεται, λόγω της μεταβλητότητας στη χημική της σύνθεση και την περιεκτικότητά της σε νερό και οργανικά, ακόμη και όταν το προϊόν αυτό συμμορφώνεται πλήρως με τα βιομηχανικά πρότυπα. Με άλλα λόγια, για να ενσωματωθούν καθολικά τα προϊόντα ιλύος στη βιομηχανία, θα πρέπει να θεωρηθούν αξιόπιστα, με υψηλό βαθμό σταθερότητας της σύνθεσης τους, ώστε να είναι οικονομικά αποδοτικά και να δικαιολογείται η χρήση τους. Μερικές από τις προσπάθειες που έχουν γίνει μέχρι στιγμής για την ενσωμάτωσή τους στη βιομηχανία επισημαίνονται στη συνέχεια.

4.2.3.1 Κατασκευή οπτόπλινθων

Γενικά, η ιλύς χαρακτηρίζεται για τον προσδιορισμό των συστατικών που μπορεί να επηρεάσουν τη διαδικασία κατασκευής τούβλων, όπως η περιεκτικότητα σε οργανικά και σε νερό. Οι ανησυχίες σχετικά με τη θλιπτική αντοχή και τα χαρακτηριστικά συρρίκνωσης των οπτόπλινθων που κατασκευάζονται από αφυδατωμένη ιλύ MEN βρίσκονται ακόμα στο προσκήνιο και τίθενται υπό διερεύνηση. Η ιλύς αντικαθίσταται στο τούβλο σε ποσοστά για να καθοριστεί το βέλτιστο ποσοστό ενσωμάτωσης. Αναφέρθηκε 100% επιτυχία για δοκιμές σε τούβλα κατασκευασμένα από αφυδατωμένη ιλύ MEN σε αναλογία 80:20 (Goldbold et al. 2003). Σημειώθηκε, ωστόσο, ότι τέτοια τούβλα ιλύος είναι πιο εφικτά με ιλύ σιδήρου παρά με αργιλώδη ιλύ, λόγω της περιεκτικότητάς τους σε σίδηρο και οργανικά, αλλά αυτό δεν έχει τονιστεί ιδιαίτερα σε άλλες μελέτες που αναφέρθηκαν. Στην πραγματικότητα, οι Horth et al. (1994) ανέφεραν ότι αν και η προσθήκη από 5%-10% ιλύος σιδήρου σε πηλό στην κατασκευή τούβλων παρήγαγε καλά αποτελέσματα. Η ποιότητα των τούβλων μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά με μείωση της μηχανικής αντοχής

και της αντοχής στον παγετό εάν χρησιμοποιηθεί υψηλότερη αναλογία ιλύος. Ακόμη και σε χαμηλότερα ποσοστά (1, 1,04 και 5%) ενσωμάτωσης ιλύος κατά βάρος, παρατηρήθηκε μείωση στις μηχανικές ιδιότητες των τούβλων με υψηλότερη απορρόφηση νερού, πιθανώς λόγω της περιεκτικότητας σε ασβέστιο της χρησιμοποιούμενης ιλύος (Carvalho και Antas , 2005). Οι Huang et al. (2001) ανέφεραν ότι μείγματα που περιέχουν 0-20% πυροσυσσωματωμένη ιλύ MEN με ιζήματα φραγμάτων πληρούν τα κριτήρια πρώτου ή δεύτερου επιπέδου τούβλων του κινεζικού εθνικού προτύπου σε θερμοκρασίες ψησίματος από 1050 έως 1100°C, ενώ σημείωσαν ότι η ιλύς συρρικνώθηκε κατά 40-50%, αλλά δεν παρατηρήθηκαν ρωγμές ή παραμορφώσεις στην πυροσυσσωματωμένη επιφάνεια.

Σε μια ανασκόπηση των τούβλων ιλύος, οι Goldbold et al. (2003) ανέφεραν ότι η ιλύς MEN υδάτων, ειδικά η σιδηρούχος ιλύς, παρείχε κάποια εξοικονόμηση ενέργειας στην κατασκευή τούβλων δρώντας ως παράγοντας ροής, μειώνοντας έτσι τη θερμοκρασία ψησίματος που χρησιμοποιείται στον κλίβανο και επιπλέον παρείχε κάποια εξοικονόμηση πρώτων υλών στη χρήση νερού και αργίλου, με αποτέλεσμα τη μειωμένη συρρίκνωση και το βελτιωμένο χρώμα του τελικού προϊόντος. Σημειώθηκε ωστόσο, ότι η χρήση υψηλού ποσοστού αφυδατωμένης ιλύος MEN με βάση το αργίλιο θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση της αντοχής σε εφελκυσμό. Οι Anderson et al. (2003) ενσωμάτωσαν επιτυχώς ένα μείγμα ιλύος με βάση το σίδηρο και τέφρας ιλύος λυμάτων σε ένα σχέδιο μίγματος τούβλων με βάση το αφυδατωμένο βάρος 5%. Μικρή διαφορά παρατηρήθηκε στην απόδοση του πειραματικού τούβλου και του ελέγχου, δείχνοντας ότι η εισαγωγή της ιλύος MEN στο συνολικό μείγμα τούβλων είχε μικρή επίδραση στις ιδιότητες του προϊόντος. Επιπλέον, δεν παρήχθησαν επίπεδα απόρριψης πέραν των συγκεκριμένων ορίων και το

δοκιμαστικό προϊόν παρουσίασε χαμηλότερα επίπεδα απαγορευμένων επιπέδων εκπομπών από το τυπικό προϊόν.

4.2.3.2 Βιομηχανία τσιμέντου

Ένας αριθμός μελετών ανέφερε ότι η δυνατότητα υπολειμμάτων αργιλώδης ιλύος από τη διαδικασία επεξεργασίας νερού θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους στη βιομηχανία τσιμέντου (Pan et al. 2004, Rodríguez et al. 2010, Husillos Rodríguez et al. 2011, Yen et al. 2011). Η πιθανότητα επαναχρησιμοποίησης της στη διαδικασία παραγωγής τσιμέντου Portland διερευνήθηκε από τους Pan et al. (2004). Στόχος της μελέτης ήταν να προσδιοριστούν οι βέλτιστες συνθήκες για την αντικατάσταση του πηλού με ιλύ από MEN ως πρώτη ύλη για το τσιμέντο. Τα κλίνκερ που προέκυψαν έδειξαν ότι η προσθήκη ιλύος αύξησε την αντοχή σε θλίψη της τοιχοποιίας. Οι Rodríguez et al. (2010) την χρησιμοποίησαν με ψεκασμό για να διερευνήσουν την εφαρμογή της στη διαδικασία παραγωγής τσιμέντου. Η διαδικασία ξήρανσης με ψεκασμό δημιουργεί ένα κονιάδες υλικό με παρόμοιο μέγεθος σωματιδίων με το τσιμέντο Portland. Το υλικό βρέθηκε να περιέχει 12%-14% οργανική ύλη και 35% μεταλλικά συστατικά.. Όταν χρησιμοποιήθηκε κλίνκερ που περιελάμβανε το 12% της ιλύος που ξηράνθηκε με ψεκασμό, οι Husillos Rodríguez et al. (2011) δεν βρήκαν διαφορές στο μέγεθος ή στη σύνθεση του πυριτικού κρυστάλλου σε σύγκριση με ένα μείγμα ελέγχου. Από αυτό, είναι δυνατό να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η αφυδατωμένη ιλύς με ψεκασμό θα μπορούσε να υποκαταστήσει την άργιλο και μια μερική αντικατάσταση του ασβεστόλιθου στη βιομηχανία τσιμέντου.

4.2.3.3 Δοκιμές σε άλλα δομικά υλικά

Τα τελευταία χρόνια, πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές χρησιμοποιώντας αφυδατωμένη ιλύ ως πρώτη ύλη σε άλλα δομικά υλικά όπως οδοστρώματα, κεραμικά προϊόντα, ελαφριά αδρανή και σκυρόδεμα (De Carvalho Gomes et al. 2019).

Μια εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης της ιλύος είναι οι πρώτες ύλες για κεραμικά προϊόντα (Cremades et al. 2018). Η αφυδατωμένη με ψεκασμό ιλύς αναμείχθηκε με άργιλο με διαφορετικές αναλογίες (0%-70% του συνολικού βάρους) για να σχηματιστεί ένας πολτός που θα εξωθηθεί στο εργαστήριο. Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν περιβαλλοντικούς κινδύνους αλλά πολλές υποσχόμενες δυνατότητες για την εφαρμογής στη διαδικασία κατασκευής κεραμικών.

Επιπλέον, οι Sales et al. (2011) δήλωσαν τη χρήσιμη εφαρμογή της στην κατασκευή ενός ελαφρού μείγματος για σκυρόδεμα. Η ιλύς και η ξυλεία και τα προϊόντα ξύλου συνδυάστηκαν στο μείγμα σκυροδέματος με την αναλογία τσιμέντου/άμμου/σύνθετου υλικού/ιλύος 1:2,5:0,67:0,6, έδειξαν τις κατάλληλες ιδιότητες αντοχή σε θλίψη, απορρόφηση νερού και ειδική μάζα για μη δομικά στοιχεία. Επιπλέον, αναφέρθηκε από τους Huang και Wang (2013) ότι θα μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί σε ελαφρύ αδρανή. Η λάσπη από δέκα ΜΕΝ στην Ταϊβάν συλλέχτηκε και δοκιμάστηκε σε εργαστηριακή κλίμακα για την κατασκευή ελαφρών αδρανών. Τα προϊόντα είχαν πυκνότητα σωματιδίων και απορρόφηση νερού, πυκνότητα σωματιδίων που πληρούσε τα κινεζικά πρότυπα για ελαφρύ αδρανή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΟΝΑΔΑ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ ΙΛΥΟΣ ΜΕΝ ΑΧΑΡΝΩΝ

5.1 Υφιστάμενη εγκατάσταση δεξαμενών καθίζησης

Η λειτουργία του διωλιστηρίου Μενιδίου περιλαμβάνει δύο μονάδες επεξεργασίας νερού, την παλαιά και την νέα μονάδα μέγιστης δυναμικότητας 600.000 m³/d και 200.000 m³/d αντίστοιχα.

Η γραμμή της παλαιάς μονάδας επεξεργασίας διαθέτει δεκαέξι ορθογωνικές δεξαμενές καθίζησης οι οποίες διαθέτουν ξέστρα σάρωσης επί γεφυρών. Το μήκος κάθε δεξαμενής είναι 75,0 m και το πλάτος 15,0 m. Ο πυθμένας έχει κλίση 4% από τις πλευρές προς το κέντρο και σε δύο θέσεις επί του κεντρικού άξονα υπάρχουν δύο χοάνες για τη συλλογή της ιλύος. Από τις χοάνες η ιλύς μέσω αγωγών βαρύτητας με κατάλληλο χειροκίνητο έλεγχο δικλείδων οδηγείται στην μονάδα ανάκτησης. Η έξοδος του διαυγασμένου νερού κάθε ζεύγους δεξαμενής γίνεται μέσω υπερχειλιστών προς την μονάδα φίλτρανσης της παλαιάς γραμμής.

Η γραμμή της νέας μονάδας επεξεργασίας διαθέτει δύο κυκλικές δεξαμενές καθίζησης οι οποίες διαθέτουν ξέστρα σάρωσης επί γεφυρών. Η δεξαμενή καθίζησης έχει διάμετρο 52 m και πλευρικό βάθος 3,70 m. Το νερό εισέρχεται στο κέντρο της δεξαμενής καθίζησης και υπερχειλίζει περιμετρικά σε κανάλι από όπου οδηγείται στη μονάδα φίλτρανσης της νέας γραμμής. Η ιλύς που καθιζάνει απομακρύνεται μέσω σαρωτή ιλύος προς τον κώνο συλλογής που έχει διαμορφωθεί στον πυθμένα και μέσω αγωγού οδηγείται προς το υφιστάμενο αντλιοστάσιο ιλύος από όπου μεταφέρεται μέσω δύο αντλιών προς την μονάδα ανάκτησης.

5.2 Παραγωγή ιλύος

Η παραγωγή ιλύος σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού είναι άμεσα συσχετισμένη με τη θολότητα του νερού και τη δόση του κροκιδωτικού και δίνεται από τη σχέση:

$$\Pi = \frac{NTU + 0,26 \times K}{1000} \times Q \text{ (m}^3\text{/d)}$$

$$S = (\lambda\Theta + 0.26\Delta) 10^{-3} Q$$

Ο τύπος είναι $NTU \cdot \lambda$ όπου λ ο λόγος στερεά/θολότητα (ΔΕΣ Σημειώσεις)

όπου, NTU = η θολότητα του νερού

K = η δόση θεικού αργιλίου (mg/l)

Q = παροχή νερού (m³/d)

Για μέση θολότητα νερού 5 NTU και μέση δόση θεικού αργιλίου 10 mg/l η μέση παραγωγή ιλύος ανέρχεται σε

$$\Pi = \frac{5 + 0,26 \times 10}{1000} \times 800.000 = 6080$$

Για θολότητα νερού 6 NTU και δόση θεικού αργιλίου 15 mg/l η παραγωγή ιλύος ανέρχεται σε:

$$\Pi = \frac{6 + 0,26 \times 15}{1000} \times 800.000 = 7920$$

5.3 Παροχές σχεδιασμού έργων επεξεργασίας ιλύος

Από τις δεξαμενές καθίζησης της παλαιάς μονάδας αναμένεται να απομακρύνεται ημερησίως κατά μέγιστο 6.000 m³ ιλύος για παροχή εισόδου 600.000 m³/d νερού ενώ από τις δεξαμενές καθίζησης της νέας μονάδας 2.000 m³ ιλύος για παροχή εισόδου 200.000 m³/d νερού. Η περιεκτικότητα της ιλύος σε στερεά λαμβάνεται 1% (10 kg/m³), ενώ η πυκνότητα της ιλύος θεωρείται 1.030 kg/m³. Η αποκομιδή της ιλύος γίνεται εντός 16h.

Οι παροχές που ελήφθησαν υπ' όψη για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 6: Υδραυλικά φορτία σχεδιασμού μονάδας επεξεργασίας ιλύος (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)

	Μέση παροχή (m ³ /d)	Μέγιστη παροχή (m ³ /d)	Μέγιστη παροχή (m ³ /h)
Παλαιά μονάδα	4.500	6.000	375
Νέα μονάδα	1.500	2.000	125
Σύνολο ιλύος	6.000	8.000	500

5.4 Παροχές σχεδιασμού έργων επεξεργασίας νερών έκπλυσης φίλτρων

Τα νερά έκπλυσης από κάθε φίλτρο οδηγούνται βαρύτερα με υφιστάμενο αγωγό σε υφιστάμενη μαιανδρική δεξαμενή. Η παροχή εκπλυμάτων από τα φίλτρα της παλαιάς και νέας γραμμής υπολογίζεται με βάση στοιχεία της Υπηρεσίας της ΜΕΝ Αχαρνών της ΕΥΔΑΠ τα οποία παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα. Θεωρείται ότι η έκπλυση του συνόλου των φίλτρων της παλαιάς και νέας μονάδας γίνεται εντός 16h και ότι κάθε ώρα λαμβάνει χώρα η έκπλυση ενός φίλτρου της παλαιάς μονάδας και ενός φίλτρου της νέας μονάδας

Πίνακας 7: Παροχές εκπλυμάτων 16 φίλτρων Παλαιάς Μονάδας (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)

ΧΡΟΝΟΙ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ			
ΜΕ ΑΕΡΑ	$t_0=$	3	min
ΜΕ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΕΡΑ	$t_1=$	7	min
ΜΕ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΕΡΑ	$t_2=$	5	min
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ	$t=$	15	min
ΠΑΡΟΧΗ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ (t_1)	$Q t_1=$	1650	m ³ /h
ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΠΛΥΣΗΣ (t_1)	$V t_1=$	192.5	m ³
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ (t_1)	$U t_1=$	10.44	m/h
ΠΑΡΟΧΗ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ (t_2)	$Q t_2=$	3162	m ³ /h
ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΠΛΥΣΗΣ (t_2)	$V t_2=$	263.5	m ³
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ (t_2)	$U t_2=$	20	m/h
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΠΛΥΣΗΣ	$V_p=$	456	m ³
ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ ΛΕΙΤ.-ΕΠΛΥΣΗΣ	$h=$	1	m
ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΤΑΠΕΙΝΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ	$V_l=$	158.1	m ³
ΠΑΡΟΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΙΛΤΡΟΥ	$Q_\lambda=$	1350	m ³ /h
ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΑΡΟΧΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΙΑ ΣΑΡΩΣΗ	$Q_\sigma=$	20	%
ΠΑΡΟΧΗ ΣΑΡΩΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ	$Q_p=$	270	m ³ /h
ΧΡΟΝΟΣ ΣΑΡΩΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ	$t_\sigma=$	15	min
ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΣΑΡΩΣΗΣ ΕΠΙΠΛΕΟΝΤΩΝ	$V_s=$	67.5	m ³
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΕΚΠΛΥΜΑΤΩΝ	$V_t=$	681.6	m ³
ΓΙΑ ΧΡΟΝΟ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	$t_a=$	20	min
ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	$Q_a=$	34	m ³ /min
ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΕΚΠΛΥΜΑΤΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΠΑΛΑΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	$Q_{do}=$	10906	m ³ /d

Πίνακας 8: Παροχές εκπλυμάτων 16 φίλτρων Νέας Μονάδας (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)

ΧΡΟΝΟΙ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ			
ΜΕ ΑΕΡΑ	t0=	3	min
ΜΕ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΕΡΑ	t1=	7	min
ΜΕ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΕΡΑ	t2=	5	min
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΠΛΥΣΗΣ	t=	15	min
ΠΑΡΟΧΗ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ (t1)	Q t1=	900	m³/h
ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΠΛΥΣΗΣ (t1)	V t1=	105	m³
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ (t1)	U t1=	12	m/h
ΠΑΡΟΧΗ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ (t2)	Q t2=	1500	m³/h
ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΠΛΥΣΗΣ (t2)	V t2=	125	m³
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΚΠΛΥΣΗΣ ΦΙΛΤΡΟΥ (t2)	U t2=	20	m/h
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΠΛΥΣΗΣ	Vp=	230	m³
ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΜΗΣ ΛΕΙΤ.-ΕΠΛΥΣΗΣ	h=	1	m
ΟΓΚΟΣ ΝΕΡΟΥ ΤΑΠΕΙΝΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ	Vl=	75	m³
ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΕΚΠΛΥΜΑΤΩΝ	Vt=	305	m³
ΓΙΑ ΧΡΟΝΟ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	tα=	20	min
ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	Qα=	15	m³/min
ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΕΚΠΛΥΜΑΤΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΝΕΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	Qdn=	4880	m³/d

➤ Συνολικό ημερήσιος όγκος εκπλυμάτων 15786 m³/d

Οι παροχές σχεδιασμού της γραμμής επεξεργασίας των εκπλυμάτων από τα φίλτρα της παλαιάς και νέας γραμμής συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 9: Υδραυλικά φορτία σχεδιασμού μονάδας επεξεργασίας εκπλυμάτων (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.)

	Όγκος εκπλυμάτων ανά φίλτρο (m ³)	Ημερήσια παροχή (m ³ /d)	Μέγιστη παροχή (m ³ /h)
Παλαιά μονάδα	681	10.896	681
Νέα μονάδα	305	4.880	305
Σύνολο	986	15.776	986

Η ιλύς που συλλέγεται μετά την επεξεργασία των νερών έκπλυσης των φίλτρων παλαιάς και νέας γραμμής θα επεξεργαστεί από κοινού με την ιλύ που συλλέγεται μετά από την επεξεργασία της ιλύος από τις υφιστάμενες δεξαμενές καθίζησης.

5.6 Τεχνική περιγραφή νέων έργων επεξεργασίας ιλύος και εκπλυμάτων

Η ιλύς που απομακρύνεται από την παλιά και νέα μονάδα καθίζησης οδηγείται μέσω αγωγού Φ400 στην μονάδα επεξεργασίας ιλύος που κατασκευάστηκε στο νοτιοδυτικό τμήμα της εγκατάστασης της ΜΕΝ Αχαρνών.

Για την επεξεργασία της ιλύος προβλέθηκε αντλιοστάσιο ανύψωσης ιλύος, δεξαμενή κροκίδωσης και δεξαμενή καθίζησης ιλύος, δεξαμενή αποθήκευσης και αντλιοστάσιο ιλύος (τροφοδοσίας μονάδας αφυδάτωσης) και τέλος μονάδα αφυδάτωσης ιλύος.

5.7 Αντλιοστάσιο ανύψωσης ιλύος

Το αντλιοστάσιο ανύψωσης ιλύος είναι υπόγειο, έχει εσωτερικές διαστάσεις 6,60 m x 4,50 m x 5,50 m (βάθος) και τροφοδοτείται με ιλύ από το σύνολο των δεξαμενών καθίζησης παλαιάς και νέας γραμμής επεξεργασίας. Αποτελείται από τον υγρό θάλαμο ύψους 3,30 m ενώ υπεράνω αυτού κατασκευάζεται ξηρός θάλαμος δικλίδων ύψους 2,00 m.

Για την είσοδο της ιλύος στο αντλιοστάσιο υπάρχει φρεάτιο διαστάσεων 1,20 m x 1,20 m x 5,70 m (βάθος) σε επαφή με την νότια πλευρά του αντλιοστασίου. Η ιλύς προσέρχεται

στο φρεάτιο εισόδου με βαρύτητα μέσω αγωγού και εισέρχεται στον υγρό θάλαμο του αντλιοστασίου μέσω υποβρύχιας οπής 0,40 m x 0,40 m.

Εντός του υγρού θαλάμου εγκαθίστανται τρεις υποβρύχιες αντλίες εκ των οποίων η μία πλήρως εφεδρική για την κάλυψη των αναγκών κάθε γραμμής επεξεργασίας ιλύος, δηλαδή συνολικά εγκαθίστανται έξι υποβρύχιες αντλίες (4 σε λειτουργία + 2 σε εφεδρεία). Για την παρακολούθηση της στάθμης υγρού αφενός και για τον έλεγχο της λειτουργίας των αντλιών αφετέρου εγκαθίσταται μετρητής στάθμης τύπου υπερήχων εντός του υγρού θαλάμου. Επίσης, υπάρχουν δύο ακόμη διακόπτες ασφαλείας εντός του υγρού θαλάμου, ως εφεδρεία του οργάνου μέτρησης στάθμης. Ένας διακόπτης ανίχνευσης χαμηλής στάθμης για την προστασία των αντλιών από εν ξηρώ λειτουργία και ένας ακόμη διακόπτης για την ανίχνευση πολύ υψηλής στάθμης εντός του υγρού θαλάμου.

Ο πυθμένας του φρεατίου εισόδου καθώς και του υγρού θαλάμου του αντλιοστασίου φέρει περιμετρικά διαμόρφωση με σκυρόδεμα για την αποφυγή συσσώρευσης επικαθήσεων στα πλευρικά τοιχεία.

Οι καταθλιπτικοί αγωγοί των αντλιών οδηγούν την ιλύ στην αντίστοιχη δεξαμενή κροκίδωσης. Ανάντη του στατικού αναμίκτη κάθε γραμμής επεξεργασίας ιλύος προστίθεται πολυηλεκτρολύτης για την υποβοήθηση της διαδικασίας της κροκίδωσης. Η δοσομέτρηση του πολυηλεκτρολύτη γίνεται βάσει της μέτρησης παροχής των αντλιών ανύψωσης ιλύος.

5.8 Κροκίδωση ιλύος

Η διαδικασία της κροκίδωσης, δηλαδή η συσσωμάτωση των αποσταθεροποιημένων κολλοειδών επιτυγχάνεται με τη σύγκρουση σωματιδίων μεταξύ τους, η οποία προέρχεται από την κίνηση του νερού και η οποία επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλης ανάδευσης του

νερού. Η ανάδευση χαρακτηρίζεται από τον βαθμό ανάδευσης G. Ιδιαίτερα μεγάλες τιμές του G προξενούν καταστροφή των ήδη σχηματισθέντων κροκίδων ενώ πολύ μικρές τιμές δεν επιτυγχάνουν την επιθυμητή συσσωμάτωση. Από έρευνες καθιερώθηκαν τιμές του G στην περιοχή 20-100 sec⁻¹.

Η ανάδευση σε δεξαμενές κροκίδωσης επιτυγχάνεται μέσω αναδευτήρων με σκοπό να βελτιστοποιηθεί η τιμή του G ανάλογα με την εισερχόμενη παροχή και ποιότητα νερού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση διαφορετικής ταχύτητας περιστροφής των αναδευτήρων στα διαμερίσματα της δεξαμενής κροκίδωσης. Στο τελικό διαμέρισμα κροκίδωσης επιλέγεται κατάλληλα μικρή τιμή του G για να μην καταστραφούν τα προηγούμενως σχηματισθέντα συσσωματώματα κολλοειδών.

Για τις ανάγκες κροκίδωσης κατασκευάστηκαν δύο όμοιες δεξαμενές κροκίδωσης δύο σταδίων με χρήση οριζόντιων αναδευτήρων τύπου paddle που παρέχουν τη βέλτιστη επιλογή στη διεργασία της κροκίδωσης.

Κάθε δεξαμενή κροκίδωσης αποτελείται από δύο όμοιους θαλάμους έκαστος διαστάσεων 2,10 m x 7,00 m x 2,60 m (βάθος) με βάθος υγρού 2,10m. Η είσοδος του νερού στον πρώτο θάλαμο κάθε γραμμής επεξεργασίας γίνεται πλησίον του πυθμένα της δεξαμενής μέσω του καταθλιπτικού αγωγού DN250 από το αντλιοστάσιο ανύψωσης ιλύος. Κατάντη του πρώτου θαλάμου τοποθετείται ο δεύτερος θάλαμος ιδίων διαστάσεων. Μεταξύ των θαλάμων παρεμβάλλεται τοιχείο από σκυρόδεμα που φέρει οκτώ, ομοιόμορφα διανεμημένες υποβρύχιες οπές διαστάσεων 0,20 m x 0,20 m στον πυθμένα, ώστε να επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της διαδρομής του νερού, και να εξασφαλίζονται ιδιαίτερα μικρές ταχύτητες νερού για να μην καταστρέφονται οι κροκίδες. Μετά την

δεύτερη βαθμίδα κροκίδωσης το νερό εξέρχεται μέσω ισάριθμων οπών ίδιων διαστάσεων και παρόμοιας χωροθέτησης προς την κατάντη μονάδα της καθίζησης.

Σε κάθε βαθμίδα εγκαθίστανται ένας οριζόντιος αναδευτήρας (ένας σε κάθε γραμμή επεξεργασίας). Για την στήριξη του άξονα κάθε αναδευτήρα κατασκευάστηκαν δύο πλευρικά τοιχεία, έκαστο διατομής 30 cm x 30 cm. Η εγκατάσταση του μηχανισμού κίνησης κάθε βαθμίδας γίνεται στα πλευρικά τοιχεία επί της στέψης των δεξαμενών, ώστε να είναι εύκολα επισκέψιμος.

Για την υποβοήθηση της διαδικασίας κροκίδωσης και το σχηματισμό μεγαλύτερου μεγέθους και αντοχής κροκίδων, ώστε να αυξάνεται η απόδοση της απομάκρυνσης στερεών στην μονάδα καθίζησης προστίθεται πολυηλεκτρολύτης ανάντη κάθε γραμμής κροκίδωσης και συγκεκριμένα ανάντη του στατικού αναμίκτη σε κάθε κοινό καταθλιπτικό αγωγό του αντλιοστασίου ανύψωσης της ιλύος όπως προαναφέρθηκε. Οι συνθήκες αργής ανάδευσης που επικρατούν κατάντη εξασφαλίζουν την πλήρη συσσωμάτωση των κροκίδων.

Εγκαθίστανται συνολικά τέσσερις (4) οριζόντιοι αναδευτήρες, δύο ανά δεξαμενή και ένας σε κάθε βαθμίδα κροκίδωσης. Οι αναδευτήρες παρέχουν βαθμίδα ταχύτητας περίπου 100 s^{-1} και 40 s^{-1} για την πρώτη και την δεύτερη βαθμίδα κροκίδωσης αντίστοιχα. Κάθε αναδευτήρας κινείται από ένα ηλεκτρομειωτήρα. Επιπλέον εγκαθίστανται τέσσερις (4) ρυθμιστές συχνότητας, ένας ανά ηλεκτρομειωτήρα, ώστε να επιτυγχάνονται οι απαιτούμενοι βαθμοί ανάδευσης ανάλογα με την παροχή και την ποιότητα του νερού καθώς και με τη θερμοκρασία.

Η λειτουργία των οριζόντιων αναδευτήρων κροκίδωσης ελέγχεται μέσω του συστήματος αυτοματισμού της εγκατάστασης ενώ παρέχεται και δυνατότητα χειροκίνητης λειτουργίας.

Σε κανονικές συνθήκες η ταχύτητα περιστροφής τους ρυθμίζεται αυτόματα από τους ρυθμιστές συχνότητας, προκειμένου ο βαθμός ανάδευσης σε κάθε βαθμίδα να διατηρείται σταθερός σε όλο το εύρος θερμοκρασιών του νερού.

Για την πρόσβαση στους αναδευτήρες κατασκευάστηκαν διάδρομοι πλάτους 1,1m και κλίμακες πρόσβασης. Περιμετρικά των διαδρόμων επίσκεψης των δεξαμενών κροκίδωσης – καθίζησης υπάρχουν κιγκλιδώματα προστασίας για την τήρηση των κανόνων ασφαλείας. Ο πολυηλεκτρολύτης που προστίθεται για τις ανάγκες κροκίδωσης παρασκευάζεται σε ξεχωριστό θάλαμο του κτιρίου αφυδάτωσης και η έγχυσή του πραγματοποιείται με πλαστικούς αγωγούς.

Για την προετοιμασία του υγρού διαλύματος πολυηλεκτρολύτη συγκέντρωσης 0,1% από στερεό πολυηλεκτρολύτη μορφής κόνεως προσφέρονται δύο όμοιες διατάξεις εκ των οποίων η μία εφεδρική. Η απαιτούμενη δυναμικότητα της διάταξης υπό μέγιστη δοσομέτρηση είναι 2.000l/h. Κάθε διάταξη προετοιμασίας διαλύματος πολυηλεκτρολύτη περιλαμβάνει τον κάτωθι εξοπλισμό που λειτουργεί υπό μορφή ενιαίου συνόλου.

1. Χοάνη αποθήκευσης στερεού πολυηλεκτρολύτη

Η χοάνη τοποθετείται στην άνω επιφάνεια της διάταξης και διαθέτει ωφέλιμη χωρητικότητα 27 l.

2. Δοσομετρικό κοχλία

Ο στερεός πολυηλεκτρολύτης παραλαμβάνεται από τη χοάνη με κατάλληλο δοσομετρικό κοχλία μέγιστης δυναμικότητας 27 kg/h που υπερκαλύπτει την απαίτηση προετοιμασίας διαλύματος 2000 l/h, συγκέντρωση 0,1%.

3. Δεξαμενή διάλυσης στερεού πολυηλεκτρολύτη

Εκάστη διάταξη προετοιμασίας διαλύματος περιλαμβάνει ορθογωνική δεξαμενή χωρητικότητας 2000 l.

Η δεξαμενή χωρίζεται σε τρία (3) διαμερίσματα, τα δύο εκ των οποίων έχουν στόχο την πλήρη διαλυτοποίηση του στερεού πολυηλεκτρολύτη και την ωρίμανση του τελικού διαλύματος. Τα διαμερίσματα διαθέτουν αναδευτήρα.

Από το τρίτο διαμέρισμα αναρροφούν οι δοσομετρικές αντλίες.

4. Αντλίες δοσομέτρησης

Οι αντλίες δοσομέτρησης του διαλύματος πολυηλεκτρολύτη διαστασιολογούνται για τη χορήγηση της μέγιστης δόσης. Για κάθε συγκρότημα παρασκευής πολυηλεκτρολύτη προσφέρονται συνολικά τρεις (3) δοσομετρικές αντλίες μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής δυναμικότητας 1000 l/h εκάστη, στα 4 bar. Μία αντλία καλύπτει τις ανάγκες κάθε γραμμής επεξεργασίας, ενώ προβλέπεται και μία ακόμη εφεδρική.

Οι δύο καταθλιπτικοί αγωγοί αποστέλλουν το διάλυμα πολυηλεκτρολύτη ανάντη στατικού αναμίκτη εντός του αντλιοστασίου ανύψωσης ιλύος. Εναλλακτικά η δοσομέτρηση του πολυηλεκτρολύτη μπορεί να γίνει απευθείας στα ανάντη του θαλάμου κροκίδωσης πρώτου σταδίου, μέσω διάτρητου αγωγού τοποθετημένου καθ' όλο το πλάτος της δεξαμενής.

5.9 Δεξαμενή καθίζησης ιλύος

Το νερό μετά την προσθήκη πολυηλεκτρολύτη και τη συσσωμάτωση στις δεξαμενές κροκίδωσης οδηγείται στις δεξαμενές καθίζησης, όπου, σε συνθήκες ηρεμίας, οι νιφάδες των συσσωματωμένων στερεών καθιζάνουν προς τον πυθμένα της δεξαμενής υπό μορφή ιλύος ενώ το διαυγασμένο νερό εξέρχεται από την επιφάνεια της δεξαμενής.

Σε κάθε γραμμή επεξεργασίας, το κροκιδωμένο νερό από τη 2^η βαθμίδα κροκιδώσης διέρχεται μέσω οκτώ υποβρυχίων οπών 0,20 m x 0,20 m ομοιόμορφα διατεταγμένων στον πυθμένα, στη δεξαμενή καθίζησης διαστάσεων 21,00 m x 7,00 m x 4,10 m (βάθος) και ύψους νερού 3,50 m. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη μονάδα είναι περίπου 3h στην μέγιστη ημερήσια παροχή (8.000m³/d) και περίπου 4h στην μέση ημερήσια παροχή (6.000m³/d). Στην μέγιστη ωριαία παροχή (500m³/h) ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη μονάδα είναι περίπου 2h.

Η επιφανειακή φόρτιση σε δεξαμενές καθίζησης εγκαταστάσεων επεξεργασίας νερού κυμαίνεται βιβλιογραφικά μεταξύ 20 – 70m³/m²/d. Στην συγκεκριμένη περίπτωση η μέγιστη επιφανειακή φόρτιση στις δεξαμενές καθίζησης είναι ίση με 27 m³/m²/d στην μέγιστη ημερήσια παροχή (8.000m³/d) και περίπου 20 m³/m²/d στην μέση ημερήσια παροχή (6.000m³/d) ώστε να επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση της λειτουργίας των δεξαμενών καθίζησης.

Για την απομάκρυνση της ιλύος και των επιπλεόντων εγκαθίσταται σε κάθε δεξαμενή ξέστρο τύπου πολλαπλών λεπίδων συνεχούς λειτουργίας, που οδηγεί την καθιζάνουσα λάσπη προς το ανάντη τμήμα σε δύο χοάνες (hopper) συλλογής ιλύος και τα επιπλέοντα προς το κατάντη άκρο της δεξαμενής σε κοιλία απαγωγής επιπλεόντων (scum pipe).

Τα ξέστρα είναι αλυσιδωτά μη μεταλλικού τύπου, συνεχούς σάρωσης του πυθμένα και της επιφάνειας της δεξαμενής και το καθένα αποτελείται από παράλληλες λεπίδες αναρτημένες πάνω σε δυο πλευρικές παράλληλες αλυσίδες που τις μετακινούν. Η κίνηση στις αλυσίδες δίνεται από κατάλληλους τροχούς που περιστρέφονται πάνω σε άξονα. Η κίνηση στον άξονα δίνεται από ηλεκτρομειωτήρα μέσω γριναζοτροχών και αλυσίδας κίνησης. Η λειτουργία των ξέστρων είναι συνεχής αλλά είναι δυνατή η επιλογή

χειροκίνητης λειτουργίας και διακοπής. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχει τοπικός διακόπτης ασφαλείας.

Η ιλύς σαρώνεται από τον πυθμένα της δεξαμενής και με την βοήθεια των ξέστρων σάρωσης οδηγείται στο ανάντη άκρο της δεξαμενής, όπου κατασκευάζονται δύο κώνοι συλλογής ιλύος. Από τον πυθμένα κάθε κώνου αναρροφάται η ιλύς ενώ οι δυο αγωγοί ιλύος κάθε δεξαμενής συμβάλλουν σε κοινό αγωγό μέσω του οποίου η ιλύς οδηγείται με βαρύτητα προς τη δεξαμενή ιλύος. Σε κάθε κώνο συλλογής ιλύος εγκαθίσταται ηλεκτροκίνητο θυρόφραγμα από ανοξείδωτο χάλυβα για τον έλεγχο της εκροής της ιλύος. Στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης και των κώνων συλλογής ιλύος γίνεται διαμόρφωση με σκυρόδεμα ώστε να διευκολύνεται η συλλογή της ιλύος και να αποφεύγεται η δημιουργία επικαθήσεων.

Στο κατάντη άκρο κάθε δεξαμενής συλλέγεται το διαυγασμένο νερό με τρεις διάτρητους βυθισμένους αγωγούς και οδηγείται σε παράπλευρο φρεάτιο εκροής διαυγασμένων. Από το φρεάτιο εκροής διαυγασμένων κάθε δεξαμενής, το διαυγασμένο νερό σε κοινό αγωγό εξόδου εκροών μέσω του οποίου το διαυγασμένο νερό οδηγείται με βαρύτητα προς την υφιστάμενη δεξαμενή – αντλιοστάσιο ανάκτησης. Σε κάθε φρεάτιο εκροής διαυγασμένων εγκαθίσταται χειροκίνητο θυρόφραγμα για την απομόνωση κάθε γραμμής επεξεργασίας.

Για την εκκένωση των δεξαμενών καθίζησης προβλέπεται στο κατάντη άκρο κάθε δεξαμενής αγωγός ο οποίος απομονώνεται με χειροκίνητο. Οι δύο αγωγοί εκκένωσης συμβάλλουν σε κοινό αγωγό εκκένωσης ο οποίος καταλήγει στο δίκτυο αποχέτευσης της εγκατάστασης.

Τα επιπλέοντα σαρώνονται από την επιφάνεια της δεξαμενής και συλλέγονται στο κατάντη άκρο αυτής σε κοχλία απαγωγής επιπλεόντων (scum screw). Η επιπλεύουσα ιλύς που

συλλέγεται με την βοήθεια του κοχλίου από όλο το πλάτος κάθε δεξαμενής διοχετεύεται μέσω αντλίας απομάκρυνσης επιπλεόντων σε φρεάτιο διαχωρισμού επιπλεόντων, κοινό και για τις δύο δεξαμενές. Η λειτουργία των συστημάτων απομάκρυνσης των επιπλεόντων γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα (μία φορά το δίωρο) και ελέγχονται με χρονοπρόγραμμα, ενώ παρέχεται και η δυνατότητα χειροκίνητης λειτουργίας.

Από το φρεάτιο διαχωρισμού επιπλεόντων, τα υγρά οδηγούνται μέσω του κατακόρυφου αγωγού διαχωρισμού επιπλεόντων σε αγωγό, ο οποίος οδηγεί τα υγρά στον αγωγό εξόδου.

Τα επιπλέοντα απομακρύνονται με βυτιοφόρο όχημα όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο.

Τα χειριστήρια των θυροφραγμάτων και οι μηχανισμοί κίνησης του εξοπλισμού είναι προσβάσιμοι από τους διαδρόμους επίσκεψης πλάτους 1,1m που διαμορφώνονται επί της στέψης των δεξαμενών. Περιμετρικά των διαδρόμων υπάρχουν κιγκλιδώματα προστασίας για την τήρηση των κανόνων ασφαλείας. Η πρόσβαση εξασφαλίζεται μέσω κλιμάκων από σκυρόδεμα στα ανάντη των δεξαμενών κροκίδωσης.

5.10 Δεξαμενή καθίζησης εκπλυμάτων

Τα νερά έκπλυσης από την έκπλυση των φίλτρων, της παλαιάς και της νέας γραμμής, καταλήγουν με βαρύτητα στην μαιανδρική δεξαμενή συλλογής εκπλυμάτων φίλτρων μέσω υφιστάμενου αγωγού.

Μέχρι πρότινος, τα νερά έκπλυσης από την μαιανδρική δεξαμενή οδηγούνταν με βαρύτητα μέσω αγωγού διαμέτρου στην παρακείμενη δεξαμενή ανάκτησης και από εκεί, μέσω του αντλιοστασίου ανάκτησης, στην είσοδο της εγκατάστασης για επαναεπεξεργασία.

Πλέον προβλέπεται η επεξεργασία των νερών έκπλυσης των φίλτρων σε νέα δίδυμη δεξαμενή καθίζησης εκπλυμάτων και η τροποποίηση της λειτουργίας της μαιανδρικής δεξαμενής. Η τελευταία χρησιμοποιείται πλέον για την εξισορρόπηση της παροχής αιχμής

των νερών έκπλυσης και για την τροφοδοσία της νέας δίδυμης δεξαμενής καθίζησης εκπλυμάτων η οποία χωροθετείται βορείως της μαιανδρικής δεξαμενής.

Για την υλοποίηση των ανωτέρω προβλέθηκε καταρχάς η απομόνωση του αγωγού εξόδου της μαιανδρικής δεξαμενής προς την δεξαμενή ανάκτησης με την προσθήκη δικλείδας απομόνωσης μαχαιρωτού τύπου ονομαστικής διαμέτρου. Επίσης, εντός της υφιστάμενης μαιανδρικής δεξαμενής, προβλέθηκε η εγκατάσταση τριών υποβρύχιων αντλιών, έκαστη παροχής $500\text{m}^3/\text{h}$, εκ των οποίων η μία εφεδρική για την τροφοδοσία της νέας δεξαμενής καθίζησης.

Οι καταθλιπτικοί αγωγοί των αντλιών συνδέονται σε κοινό καταθλιπτικό αγωγό από, μέσω του οποίου τα εκπλύματα οδηγούνται στο φρεάτιο άφιξης εισροής της δεξαμενής καθίζησης εκπλυμάτων.

Από το φρεάτιο άφιξης εισροής διαστάσεων $0,90\text{ m} \times 0,90\text{ m} \times 4,10\text{ m}$ (βάθος) η παροχή των εκπλυμάτων ισοκατανέμεται σε κάθε μία από τις δύο γραμμές επεξεργασίας μέσω υποβρύχιας οπής $0,60\text{ m} \times 0,60\text{ m}$. Οι δύο υποβρύχια οπές και κατ' επέκταση οι δύο γραμμές επεξεργασίας απομονώνονται με ισάριθμα ανοξείδωτα υποβρύχια χειροκίνητα θυροφράγματα έκαστο διαστάσεων $0,60\text{ m} \times 0,60\text{ m}$.

Από το φρεάτιο άφιξης εισροής η παροχή των εκπλυμάτων οδηγείται ανάντη κάθε δεξαμενής καθίζησης σε κανάλι διανομής παροχής διαστάσεων $1,00\text{ m} \times 5,65\text{ m} \times 2,60\text{ m}$ (βάθος). Στην συνέχεια, τα εκπλύματα διανέμονται μέσω εννέα υποβρυχίων οπών $0,20\text{ m} \times 0,20\text{ m}$, ομοιόμορφα διατεταγμένων στον πυθμένα του καναλιού, στη δεξαμενή καθίζησης εκπλυμάτων διαστάσεων $22,00\text{ m} \times 6,00\text{ m} \times 4,10\text{ m}$ (βάθος) και ύψους νερού $3,50\text{ m}$. Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη μονάδα είναι περίπου 1h (για λειτουργία της γραμμής επεξεργασίας εκπλυμάτων 16h ανά 24h). Η επιφανειακή φόρτιση στις δεξαμενές

καθίζησης εκπλυμάτων επιλέχθηκε ίση με $60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ καθώς τα νερά έκπλυσης έχουν μικρή περιεκτικότητα σε στερεά και η μείωση της επιφανειακής φόρτισης δεν αναμενόταν να προσφέρει σημαντικά οφέλη στην επεξεργασία τους.

Για την απομάκρυνση της ιλύος και των επιπλεόντων εγκαθίσταται σε κάθε δεξαμενή ξέστρο τύπου πολλαπλών λεπίδων συνεχούς λειτουργίας, που οδηγεί την καθιζάνουσα λάσπη προς το ανάντη τμήμα σε δύο χοάνες (hopper) συλλογής ιλύος και τα επιπλέοντα προς το κατάντη άκρο της δεξαμενής σε κοχλία απαγωγής επιπλεόντων (scum pipe).

Τα ξέστρα είναι αλυσιδωτά μη μεταλλικού τύπου, συνεχούς σάρωσης του πυθμένα και της επιφάνειας της δεξαμενής και το καθένα αποτελείται από παράλληλες λεπίδες αναρτημένες πάνω σε δυο πλευρικές παράλληλες αλυσίδες που τις μετακινούν. Η κίνηση στις αλυσίδες δίνεται από κατάλληλους τροχούς που περιστρέφονται πάνω σε άξονα. Η κίνηση στον άξονα δίνεται από ηλεκτρομειωτήρα μέσω γραναζοτροχών και αλυσίδας κίνησης. Η λειτουργία των ξέστρων είναι συνεχής αλλά είναι δυνατή η επιλογή χειροκίνητης λειτουργίας και διακοπής. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχει τοπικός διακόπτης ασφαλείας.

Η ιλύς σαρώνεται από τον πυθμένα της δεξαμενής και με την βοήθεια των ξέστρων σάρωσης οδηγείται στο ανάντη άκρο της δεξαμενής, όπου κατασκευάστηκαν δύο κώνοι συλλογής ιλύος. Από τον πυθμένα κάθε κώνου αναρροφάται η ιλύς μέσω αγωγού ενώ οι δυο αγωγοί ιλύος κάθε δεξαμενής συμβάλλουν σε κοινό αγωγό μέσω του οποίου η ιλύς οδηγείται με βαρύτητα προς τη δεξαμενή ιλύος. Σε κάθε κώνο συλλογής ιλύος εγκαθίσταται ηλεκτροκίνητο θυρόφραγμα για τον έλεγχο της εκροής της ιλύος. Στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης και των κώνων συλλογής ιλύος γίνεται διαμόρφωση με

σκυρόδεμα ώστε να διευκολύνεται η συλλογή της ιλύος και να αποφεύγεται η δημιουργία επικαθίσεων.

Στο κατάντη άκρο κάθε δεξαμενής συλλέγεται το διαυγασμένο νερό με τρεις διάτρητους βυθισμένους αγωγούς και οδηγείται σε παράπλευρο φρεάτιο. Από το κάθε δεξαμενής, το διαυγασμένο νερό οδηγείται μέσω αγωγού σε κοινό αγωγό εξόδου μέσω του οποίου το διαυγασμένο νερό οδηγείται με βαρύτητα προς την υφιστάμενη δεξαμενή – αντλιοστάσιο ανάκτησης. Σε κάθε φρεάτιο εκροής διαυγασμένων εγκαθίσταται χειροκίνητο θυρόφραγμα για την απομόνωση κάθε γραμμής επεξεργασίας.

Για την εκκένωση των δεξαμενών καθίζησης προβλέπεται στο κατάντη άκρο κάθε δεξαμενής αγωγός ο οποίος απομονώνεται με χειροκίνητο θυρόφραγμα. Οι δύο αγωγοί εκκένωσης συμβάλλουν σε κοινό αγωγό εκκένωσης ο οποίος καταλήγει στο δίκτυο αποχέτευσης της εγκατάστασης.

Τα επιπλέοντα σαρώνονται από την επιφάνεια της δεξαμενής και συλλέγονται στο κατάντη άκρο αυτής σε κοχλία απαγωγής επιπλεόντων (scum screw). Η επιπλέονσα ιλύς που συλλέγεται με την βοήθεια του κοχλία από όλο το πλάτος κάθε δεξαμενής διοχετεύεται μέσω αντλίας απομάκρυνσης επιπλεόντων σε φρεάτιο διαχωρισμού επιπλεόντων, κοινό και για τις δύο δεξαμενές. Η λειτουργία των συστημάτων απομάκρυνσης των επιπλεόντων γίνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα (μία φορά το δίωρο) και ελέγχονται με χρονοπρόγραμμα, ενώ παρέχεται και η δυνατότητα χειροκίνητης λειτουργίας.

Από το φρεάτιο διαχωρισμού επιπλεόντων, τα υγρά οδηγούνται μέσω του κατακόρυφου αγωγού διαχωρισμού επιπλεόντων σε αγωγό, ο οποίος οδηγεί τα υγρά στον αγωγό εξόδου εκροών. Τα επιπλέοντα απομακρύνονται με βυτιοφόρο όχημα όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο.

Τα χειριστήρια των θυροφραγμάτων και οι μηχανισμοί κίνησης του εξοπλισμού είναι προσβάσιμοι από τους διαδρόμους επίσκεψης πλάτους 1,1m που διαμορφώνονται επί της στέψης των δεξαμενών. Περιμετρικά των διαδρόμων υπάρχουν κιγκλιδώματα προστασίας για την τήρηση των κανόνων ασφαλείας. Η πρόσβαση εξασφαλίζεται μέσω κλιμάκων από σκυρόδεμα διπλά σε κάθε κανάλι διανομής εισροής στα ανάντη των δεξαμενών καθίζησης.

5.11 Παροχή ιλύος προς αφυδάτωση

Η ιλύς που λαμβάνεται από τους κώνους συλλογής στις δεξαμενές καθίζησης ιλύος και στις δεξαμενές καθίζησης εκπλυμάτων οδηγείται για περαιτέρω επεξεργασία σε μονάδα αφυδάτωσης ιλύος. Με σκοπό να αποφεύγεται η λήψη μείγματος ιλύος – νερού και να εξασφαλίζεται η αποκομιδή ιλύος με υψηλή κατά το δυνατόν συγκέντρωση στερεών (5% περίπου), η ιλύς που οδηγείται προς αφυδάτωση από τις δεξαμενές καθίζησης ιλύος αφενός και από τις δεξαμενές καθίζησης εκπλυμάτων αφετέρου, εκτιμάται ως το 20% και 1% της παροχής που οδηγείται στις αντίστοιχες μονάδες επεξεργασίας. Με τον τρόπο αυτόν έγινε βελτιστοποίηση της διαστασιολόγησης του εξοπλισμού αφυδάτωσης ιλύος και παράλληλα διατήρηση των λειτουργικών εξόδων της εγκατάστασης σε χαμηλά επίπεδα.

5.12 Δεξαμενή ιλύος

Η ιλύς από τις δεξαμενές καθίζησης ιλύος και καθίζησης εκπλυμάτων οδηγείται βαρυτικά μέσω τεσσάρων αγωγών προσαγωγής ιλύος (δύο αγωγοί από την δεξαμενή καθίζησης ιλύος και δύο ακόμη αγωγοί από την δεξαμενή καθίζησης εκπλυμάτων, ένας για κάθε γραμμή επεξεργασίας) σε δεξαμενή ιλύος διαστάσεων 8,60 m x 7,90 m x 3,75 m (βάθος) και ύψους υγρού 3,30 m (ενεργός όγκος 210m³ περίπου). Η δεξαμενή ιλύος αποτελεί ενιαίο δομικό συγκρότημα με το κτίριο αφυδάτωσης.

Ο πυθμένας της δεξαμενής φέρει κατάλληλη διαμόρφωση με σκυρόδεμα ώστε να διευκολύνεται η συλλογή της ιλύος και να αποφεύγεται η δημιουργία επικαθήσεων. Εξάλλου για την διατήρηση του υγρού σε αιώρηση και την αποφυγή δημιουργίας επικαθήσεων τοποθετείται υποβρύχιος αναδευτήρας σε κατάλληλο σημείο της δεξαμενής. Με την διαμόρφωση του πυθμένα της δεξαμενής η ιλύς καταλήγει σε τοπική εκβάθυνση 0,80 m x 2,20 m x 0,10 m (βάθος) από όπου αναρροφούν οι αντλίες ιλύος. Το αντλιοστάσιο ιλύος χωροθετείται παραπλεύρως της δεξαμενής σε υπόγειο χώρο του κτιρίου αφυδάτωσης και εξοπλίζεται με τρεις αντλίες (η μία εφεδρική) παροχής 37 m³/h έκαστη. Οι αντλίες ιλύος είναι ξηρού τύπου, θετικής εκτόπισης και ελέγχονται με ρυθμιστή στροφών (inverter).

Η δεξαμενή ιλύος φέρει διάταξη υπερχειλίσης μέσω αγωγού που οδηγούν την ιλύ στο δίκτυο αποχέτευσης της εγκατάστασης.

Στην οροφή της δεξαμενής προβλέθηκαν δύο ανοίγματα της διαστάσεων 0,80m x 0,80m που καλύπτονται με κάλυμμα από μπακλαβαδωτή λαμαρίνα, ένα για την εξυπηρέτηση του υποβρύχιου αναδευτήρα και μία ανθρωποθυρίδα πρόσβασης στο εσωτερικό της δεξαμενής.

5.13 Αφυδάτωση ιλύος

Το κτίριο ιλύος χωροθετείται νοτιοδυτικά της εγκατάστασης της ΜΕΝ Αχαρνών και ανατολικά της νέας δεξαμενής κροκίδωσης – καθίζησης ιλύος. Το κτίριο ιλύος αποτελεί ενιαίο δομικό συγκρότημα με την δεξαμενή ιλύος (η οποία καταλαμβάνει μέρος του υπογείου του κτιρίου) και αποτελείται από τους εξής χώρους:

- χώρο φυγοκεντρικών αφυδάτωσης ιλύος εσωτερικών διαστάσεων 8,30m x 7,90m,

- αντλιοστάσιο ιλύος και κλιμακοστάσιο πρόσβασης σε αυτό εσωτερικών διαστάσεων 3,00m x 4,60 m.
- χώρο φόρτωσης της ιλύος εσωτερικών διαστάσεων 4,60 m x 7,90 m
- χώρο πινάκων εσωτερικών διαστάσεων 3,00 m x 3,20 m
- χώρο παρασκευής και δοσομέτρησης πολυηλεκτρολύτη αφυδάτωσης εσωτερικών διαστάσεων 4,35 m x 7,90 m

Όπως προαναφέρθηκε, στον χώρο παρασκευής και δοσομέτρησης πολυηλεκτρολύτη κροκίδωσης εγκαθίστανται τα δύο συγκροτήματα παρασκευής υγρού διαλύματος πολυηλεκτρολύτη συγκέντρωσης 0,1% από στερεό πολυηλεκτρολύτη μορφής κόνεως, έκαστο δυναμικότητας 2.000l/h με τις δοσομετρικές αντλίες αυτών όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5.8 (Κροκίδωση Ιλύος). Εγκαταστάθηκαν δύο δοχεία υγρού διαλύματος κροκιδωτικού χωρητικότητας 6m³ έκαστο, και τριών δοσομετρικών αντλιών (η μία εφεδρική) για την τροφοδοσία των δεξαμενών κροκίδωσης.

Στον χώρο φυγοκεντριτών εγκαθίστανται τρεις φυγοκεντριτές έκαστος δυναμικότητας 37 m³/h, καθώς επίσης και δύο μεταφορικοί κοχλίες, ένας οριζόντιος και ένας κεκλιμένος, έκαστος μήκους περίπου 6m, για την μεταφορά της αφυδατωμένης ιλύος σε παρακείμενο στεγασμένο χώρο στον οποίο γίνεται η απόθεσή της απευθείας σε φορτηγό όχημα.

Το αντλιοστάσιο ιλύος χωροθετείται σε υπόγειο χώρο του κτιρίου αφυδάτωσης παράπλευρα της δεξαμενής ιλύος. Υπολογιστήκαν τρεις αντλίες (η μία εφεδρική) έκαστη παροχής 37 m³/h. Οι αντλίες ιλύος είναι ξηρού τύπου, θετικής εκτόπισης και ελέγχονται με ρυθμιστή στροφών (inverter). Οι αντλίες φέρουν δικλείδες απομόνωσης μαχαιρωτού τύπου επί των αγωγών αναρρόφησης και κατάθλιψης και δικλείδες αντεπιστροφής επί των αγωγών κατάθλιψης. Κάθε αντλία τροφοδοτεί υπό κανονικές συνθήκες έναν συγκεκριμένο

φυγοκεντρική, ωστόσο υπολογίστηκαν πέντε ακόμη δικλείδες απομόνωσης στους καταθλιπτικούς αγωγούς προς τους φυγοκεντρητές ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη ευελιξία στην τροφοδότηση των φυγοκεντρητών σε περίπτωση βλάβης του σχετικού εξοπλισμού.

Η λειτουργία των φυγοκεντρητών και των αντλιών τροφοδοσίας αυτών προβλέπεται 24h.

Για την ομοιόμορφη φθορά του εν λόγω εξοπλισμού προβλέπεται σύστημα κυκλικής εναλλαγής στην λειτουργία των αντλιών και φυγοκεντρητών, το οποίο υλοποιείται από το PLC.

Για την βελτίωση της απόδοσης της αφυδάτωσης προβλέπεται η προσθήκη διαλύματος πολυηλεκτρολύτη. Ο πολυηλεκτρολύτης που προστίθεται για τις ανάγκες της αφυδάτωσης παρασκευάζεται σε ξεχωριστό θάλαμο του κτιρίου αφυδάτωσης και η έγχυσή του πραγματοποιείται με πλαστικούς αγωγούς.

Για την προετοιμασία του υγρού διαλύματος πολυηλεκτρολύτη συγκέντρωσης 0,5% από στερεό πολυηλεκτρολύτη μορφής κόνεως προσφέρονται δύο όμοιες διατάξεις εκ των οποίων η μία εφεδρική. Η απαιτούμενη δυναμικότητα της διάταξης υπό μέγιστη δοσομέτρηση είναι 4.000l/h. Κάθε διάταξη προετοιμασίας διαλύματος πολυηλεκτρολύτη περιλαμβάνει τον κάτωθι εξοπλισμό που λειτουργεί υπό μορφή ενιαίου συνόλου.

1. Χοάνη αποθήκευσης στερεού πολυηλεκτρολύτη

Η χοάνη τοποθετείται στην άνω επιφάνεια της διάταξης και διαθέτει ωφέλιμη χωρητικότητα 27 l.

2. Δοσομετρικό κοχλία

Ο στερεός πολυηλεκτρολύτης παραλαμβάνεται από τη χοάνη με κατάλληλο δοσομετρικό κοχλία μέγιστης δυναμικότητας 27 kg/h που υπερκαλύπτει την απαίτηση προετοιμασίας διαλύματος 4000 l/h, συγκέντρωση 0,5%.

3. Δεξαμενή διάλυσης στερεού πολυηλεκτρολύτη

Εκάστη διάταξη προετοιμασίας διαλύματος περιλαμβάνει ορθογωνική δεξαμενή χωρητικότητας 4000 l.

Η δεξαμενή χωρίζεται σε τρία (3) διαμερίσματα, τα δύο εκ των οποίων έχουν στόχο την πλήρη διαλυτοποίηση του στερεού πολυηλεκτρολύτη και την ωρίμανση του τελικού διαλύματος. Τα διαμερίσματα διαθέτουν αναδευτήρα.

Από το τρίτο διαμέρισμα αναρροφούν οι δοσομετρικές αντλίες.

4. Αντλίες δοσομέτρησης

Οι αντλίες δοσομέτρησης του διαλύματος πολυηλεκτρολύτη διαστασιολογούνται για τη χορήγηση της μέγιστης δόσης. Για κάθε συγκρότημα παρασκευής πολυηλεκτρολύτη προσφέρονται συνολικά τρεις (3) δοσομετρικές αντλίες μεταβλητής ταχύτητας περιστροφήςδυναμικότητας 2000 l/h εκάστη, στα 4 bar. Μία αντλία καλύπτει τις ανάγκες κάθε φυγοκεντρική, ενώ υπολογίστηκε και μία ακόμη εφεδρική. Όλες οι αντλίες φέρουν σύστημα ρύθμισης στροφών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραγωγή αφυδατωμένης ιλύος από Μονάδες Επεξεργασίας Νερού παραμένει προς το παρόν αναπόφευκτη και η διάθεσή της αναδεικνύεται ως σημαντικό στοιχείο στον σχεδιασμό και τη διαχείριση. Οι νομοθετικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί έχουν συνεχώς περιορίσει τη δυνατότητα εφαρμογής των μεθόδων διάθεσης που χρησιμοποιούνται σήμερα (ΧΥΤΑ), δημιουργώντας έντονη ανάγκη για άλλες βιώσιμες τελικές χρήσεις ιλύος. Ενώ οι τρέχουσες μέθοδοι διάθεσης ιλύος μπορεί να εξακολουθούν να επαρκούν προς το παρόν, η ανάγκη για περιβαλλοντική βιωσιμότητα σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού θα παρέχει συνεχώς την ώθηση προς ωφέλιμη επαναχρησιμοποίηση.

Η αφυδατωμένη ιλύς, η οποία είναι ένα παραπροϊόν των διεργασιών επεξεργασίας πόσιμου νερού, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές από την επεξεργασία υδάτων και λυμάτων αλλά και σε εφαρμογές στο έδαφος. Επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί στην κατασκευή δομικών υλικών και την ανάκτηση κροκιδωτικών με σκοπό την μείωση των χημικών που απαιτούνται για την κροκιδοκαθίζηση.

Ωστόσο η διάθεση της αφυδατωμένης ιλύος που παράγεται σήμερα, συνήθως απορρίπτεται σε χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ). Η επαναχρησιμοποίηση της αφυδατωμένης ιλύος ΜΕΝ να απαιτεί μια πολυδιάστατη προσέγγιση, προσφέροντας πολλαπλά οφέλη τόσο στον άνθρωπο όσο στο περιβάλλον.

Σύμφωνα με την παρούσα διπλωματική εργασία, η οποία επικεντρώθηκε στην εξέταση των δυνατοτήτων διαχείρισης ιλύος αφυδάτωσης που παράγεται σε Μονάδες Επεξεργασίας Νερού, προσδιορίστηκαν 8 βασικές ωφέλιμες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης με και χωρίς επεξεργασία:

1. Εφαρμογή για βελτίωση καθίζησης σε ΕΕΛ
2. Εφαρμογή για χημική απομάκρυνση φωσφόρου σε ΕΕΛ
3. Εφαρμογή ως πληρωτικό υλικό σε υγροβιότοπους
4. Εφαρμογή ως βελτιωτικό στη γεωργία
5. Ανάκτηση αργιλίου και σιδήρου ως κροκιδωτικό
6. Εφαρμογή ως πληρωτικό υλικό στην οδοποιία
7. Εφαρμογή σε κατασκευαστικά υλικά

Επιπλέον, αναμένεται ότι με παγκόσμιες προσπάθειες και έρευνα για την αειφόρο ανάπτυξη, θα προκύψουν πολύ περισσότερες νέες και ανεξερεύνητες διαδρομές επαναχρησιμοποίησης, καθώς η κυκλική οικονομία, η οποία στοχεύει στην εξάλειψη των αποβλήτων και στη διατήρηση των πόρων στο σύστημα για όσο το δυνατόν περισσότερο, έχει γίνει ολοένα και πιο δημοφιλής στον τομέα του νερού. Ωστόσο, η εφαρμογή της ιδέας της κυκλικής οικονομίας με την αφυδατωμένη ιλύ είναι αρκετά πολύπλοκη, κυρίως λόγω της μεταβλητότητας στις χημικές και φυσικές ιδιότητες της από διαφορετικές μονάδες επεξεργασίας νερού, ακόμη και με τη χρήση της σε μία μόνο ΜΕΝ.

Τέλος, συνοψίζονται τα πλεονεκτήματα επαναχρησιμοποίησης ιλύος αφυδάτωσης ΜΕΝ, ενώ αναφέρονται επίσης οι δυσκολίες και τα εμπόδια για την επίτευξη της.

Πλεονεκτήματα επαναχρησιμοποίησης αφυδάτωσης ιλύος MEN:

1. Περιβαλλοντικά
 - a. Μείωση των ρύπων που απορρίπτονται στο περιβάλλον
 - b. Προσρόφηση φωσφόρου και άλλων χημικών
 - c. Αντικατάσταση φυσικών υλικών στην κατασκευή δομικών υλικών
2. Οικονομικά
 - a. Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση κροκιδωτικών
 - b. Μη διάθεση σε ΧΥΤΑ
3. Κοινωνικά
 - a. Συμβολή στην ανάπτυξη βιώσιμης επιχειρηματικότητας

Δυσκολίες-εμπόδια επαναχρησιμοποίησης αφυδάτωσης ιλύος MEN

1. Τεχνικά
 - a. Σημαντική διαφοροποίηση στις φυσικοχημικές ιδιότητες της αφυδατωμένης ιλύος ανά MEN
2. Επεξεργασία
 - a. Απαίτηση για επεξεργασία πριν την αξιοποίησή της
3. Οικονομικά
 - a. Κατασκευή εγκαταστάσεων μεγάλης κλίμακας για επαναχρησιμοποίηση
4. Νομικά
 - a. Διαφορετικοί κανονισμοί για τη διαχείριση της
 - b. Έλλειψη προτύπων και οδηγιών σχετικά με την επαναχρησιμοποίηση της

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ / ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Ahmad, T., Ahmad, K., Alam, M., 2016a. Characterization of water treatment plant's sludge and its safe disposal options. *Procedia Environ. Sci.* 35, 950–955.
- Ahmad, T., Ahmad, K., Alam, M., 2016b. Sustainable management of water treatment sludge through 3'R' concept. *J. Cleaner Prod.* 124, 1–13.
- Ahmad, T., Ahmad, K., Alam, M., 2017. Sludge quantification at water treatment plant and its management scenario. *Environ. Monit. Assess.* 189 (9), 453.
- Babatunde, A., Zhao, Y., 2007. Constructive approaches toward water treatment works sludge management: an international review of beneficial reuses. *Critical Rev. Environ. Sci. Technol.* 37 (2), 129–164.
- Babatunde, A., Zhao, Y., Burke, A., Morris, M., Hanrahan, J., 2009. Characterization of aluminium-based water treatment residual for potential phosphorus removal in engineered wetlands. *Environ. Pollut.* 157 (10), 2830–2836.
- Babatunde, A., Zhao, Y., Yang, Y., Kearney, P., 2008. Reuse of dewatered aluminium-coagulated water treatment residual to immobilize phosphorus: Batch and column trials using a condensed phosphate. *Chem. Eng. J.* 136 (2–3), 108–115.
- Bratby, J., 2016. *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment.* IWA publishing.
- Chen, T., Xu, Y., Wang, D., Shi, W., Cui, F., 2016. The impact of recycling sludge on water quality in coagulation for treating low-turbidity source water. *Desalin. Water Treat.* 57 (31), 14433–14442.

- Codling, E.E., Mulchi, C.L., Chaney, R.L., 2007. Grain yield and mineral element composition of maize grown on high phosphorus soils amended with water treatment residual. *30*: 225-240.
- Cremades, L.V., Cusidó, J.A., Arteaga, F., 2018. Recycling of sludge from drinking water treatment as ceramic material for the manufacture of tiles. *J.Cleaner Prod.* 201, 1071–1080.
- Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J., Tchobanoglous, G., 2012. *MWH's Water Treatment: Principles and Design*. John Wiley & Sons.
- Dassanayake, K.B., Jayasinghe, G.Y., Surapaneni, A., Hetherington, C., 2015. A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges. *Waste Manage.* 38, 321–335.
- Dayton, E., Basta, N., 2001. Characterization of drinking water treatment residuals for use as a soil substitute. *Water Environ. Res.* 73 (1), 52–57.
- Foroughi, M., Chavoshi, S., Bagheri, M., Yetilmezsoy, K., Samadi, M.T., 2018. Alum-based sludge (AbS) recycling for turbidity removal in drinking water treatment: an insight into statistical, technical, and health-related standpoints. *J. Mater. Cycles*
- Huang, S., Chen, J.-L., Chiang, K.-Y., Wu, C.-C., 2010. Effects of acidification on dewaterability and aluminum concentration of alum sludge. *Sep. Sci. Technol.* 45 (8), 1165–1169.
- Huang, C.-H., Wang, S.-Y., 2013. Application of water treatment sludge in the manufacturing of lightweight aggregate. *Constr. Build. Mater.* 43, 174–183.

- Husillos Rodríguez, N., Martínez-Ramírez, S., Blanco-Varela, M.T., Guillem, M., Puig, J., Larrotcha, E., Flores, J., 2011. Evaluation of spray-dried sludge from drinking water treatment plants as a prime material for clinker manufacture. *Cem. Concr. Compos.* 33 (2), 267–275.
- Ippolito, J.A., Barbarick, K.A., Elliott, H.A., 2011. Drinking water treatment residuals: A review of recent uses. *J. Environ. Qual.* 40 (1), 1–12.
- Ippolito, J., Barbarick, K., Redente, E., 1999. Co-application effects of water treatment residuals and biosolids on two range grasses. *J. Environ. Qual.* 28 (5), 1644–1650.
- Ippolito, J., Barbarick, K., Stromberger, M., Paschke, M., Brobst, R., 2009. Water treatment residuals and biosolids long-term co-applications effects to semi-arid grassland soils and vegetation. *Soil Sci. Am. J.* 73 (6), 1880–1889.
- Jung, K.-W., Hwang, M.-J., Park, D.-S., Ahn, K.-H., 2016. Comprehensive reuse of drinking water treatment residuals in coagulation and adsorption processes. *J. Environ. Manag.* 181, 425–434.
- Keeley, J., Jarvis, P., Judd, S.J., 2014a. Coagulant recovery from water treatment residuals: a review of applicable technologies. *Critical Rev. Environ. Sci. Technol.* 44 (24), 2675–2719.
- Keeley, J., Smith, A.D., Judd, S.J., Jarvis, P., 2014b. Reuse of recovered coagulants in water treatment: An investigation on the effect coagulant purity has on treatment performance. *Separ. Purif. Technol.* 131, 69–78.
- Lee, S., Cho, J., Elimelech, M., 2005. Combined influence of natural organic matter (NOM) and colloidal particles on nanofiltration membrane fouling.

- J. Membr. Sci. 262 (1), 27–41.
- Lee, P., Sims, E., Bertham, O., Symington, H., Bell, N., Pfaltzgraff, L., Sjögren, P., Wilts, C.H., O'Brien, M., 2017. Towards a circular economy: waste management in the EU; study.
- Lee, L.Y., Wang, B., Guo, H., Hu, J.Y., Ong, S.L., 2015. Aluminum-based water treatment residue reuse for phosphorus removal. *Water* 7 (4), 1480–1496.
- Lichtfouse, E., Berthier, G., Houot, S., Barriuso, E., Bergheud, V., Vallaey, T., 1995. Stable carbon isotope evidence for the microbial origin of C₁₄-C₁₈ n-alkanoic acids in soils. *Org. Geochem.* 23 (9), 849–852.
- Lombi, E., Stevens, D.P., McLaughlin, M.J., 2010. Effect of water treatment residuals on soil phosphorus, copper and aluminium availability and toxicity. *Environ. Pollut.* 158 (6), 2110–2116.
- Mahdy, A., Elkhatib, E., Fathi, N., 2008. Drinking water treatment residuals as an amendment to alkaline soils: Effects on bioaccumulation of heavy metals and aluminum in corn plants. *Plant Soil Environ.* 54 (6), 234.
- Mahdy, A.M., Elkhatib, E.A., Fathi, N.O., Lin, Z.-Q., 2009. Effects of co-application of biosolids and water treatment residuals on corn growth and bioavailable phosphorus and aluminum in alkaline soils in Egypt. *J. Environ. Qual.* 38 (4), 1501–1510.
- Marguti, A.L., Ferreira Filho, S.S., Piveli, R.P., 2018. Full-scale effects of addition of sludge from water treatment stations into processes of sewage treatment by conventional activated sludge. *J. Environ. Manag.* 215, 283–293.

- Mauchauffee, S., Denieul, M.-P., Coste, M., 2012. Industrial wastewater re-use: closure of water cycle in the main water consuming industries—the example of paper mills. *Environ. Technol.* 33 (19), 2257–2262.
- Moodley, M., Hughes, J., 2006. The effects of a polyacrylamide-derived water treatment residue on the hydraulic conductivity, water retention and evaporation of four contrasting South African soils and implications for land disposal. *Water Sci. Technol.* 54 (5), 227–234.
- Moodley, M., Johnston, M., Hughes, J., Titshall, L., 2004. Effects of a water treatment residue, lime, gypsum, and polyacrylamide on the water retention and hydraulic conductivity of two contrasting soils under field conditions in KwaZulu-Natal, South Africa. *Soil Res.* 42 (3), 273–282.
- Muisa, N., Nhapi, I., Ruziwa, W., Manyuchi, M.M., 2020. Utilization of alum sludge as adsorbent for phosphorus removal in municipal wastewater: A review. *J. Water Process Eng.* 35, 101187.
- Pan, J.R., Huang, C., Lin, S., 2004. Reuse of fresh water sludge in cement making. *Water Sci. Technol.* 50 (9), 183–188.
- Abdo, M.S.E., Ewida, K.T., and Youssef, Y.M. Recovery of alum from waste sludge produced from water treatment plants, *J. Environ. Sci. Health A28(6)*, 1205–1216, 1993.
- Anderson, M., Biggs, A., and Winters, C. Use of two blended water industry byproduct wastes as a composite substitute for traditional raw materials used in clay brick manufacture, In: *Proceedings of the International Symposium on Recycling and Reuse of Waste Materials*, Dundee, Scotland, UK, 2003.

- Arup, K.S., and Bo, S. Selective alum recovery from clarifier sludge, *J. Am. Water Works Assoc.* 84(1), 96–103, 1992.
- Babatunde, A., Yang, Y., and Zhao, Y. Towards the development of a novel wastewater treatment system incorporating drinking water residual: Preliminary results, In: *Proceedings of the 10th European Conference on Biowastes and Biosolids Management*, Yorkshire, UK, 2005.
- Carvalho, M., and Antas, A. Drinking water sludge as a resource, In: *Proceedings of IWA Specialised Conference on Management of Residues Emanating From Water and Wastewater Treatment*, Johannesburg, South Africa, 2005.
- de-Bashan, L.E., and Bashan, Y. Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer (1997–2003), *Water Res.* 38(19), 4222–4246, 2004.
- Dhage, S.S, Paramasivam, R., Ravindar, R., and Andey, S.P. Recovery of alum from water treatment sludge by liquid ion exchange (LIE) technique, *J. Indian Water Works Assoc.* 17(2), 193–199, 1985.
- Goldbold, P., Lewin, K., Graham, A., and Barker, P. The potential reuse of water utility products as secondary commercial materials. WRC technical report series. No UC 6081, project contract no.12420-0, Foundation for Water Research, UK, 2003.
- Guan, X.-H., Chen, G.-H., and Shang, C. Re-use of water treatment works sludge to enhance particulate pollutant removal from sewage, *Water Res.* 39(15), 3433–3440, 2005.

- Horth, H., Gendebien, A., Agg, R., and Cartwright, N. Treatment and disposal of waterworks sludge in selected European countries, In: Foundation for Water Research technical reports no.0428, 1994.
- Huang, S.H., and Chiswell, B. Phosphate removal from wastewater using spent Alum sludge, *Water Sci. Technol.* 2(3–4), 295–300, 2000.
- Huang, C., Pan, J.R., Sun, K.D., and Liaw, C.T. Reuse of water treatment plant sludge and dam sediment in brick making, *Water Sci. Technol.* 44(10), 273–277, 2001.
- IWA. *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*. London: IWA Publishing, 2000.
- Kim, J.G., Kim, J.H., Moon, H., Chon, C., and Ahn, J.S. Removal capacity of water plant alum sludge for phosphorus in aqueous solution, *Chem. Speciation Bioavail.* 14, 67–73, 2003.
- Leader, J.W., Reddy, K.R., and Wilkie, A.C. Optimization of low-cost phosphorus removal from wastewater using co-treatments with constructed wetlands, *Water Sci. Technol.* 51(9), 283–290, 2005.
- Li, P., and Sengupta, A.K. Selective recovery of alum from clarifier sludge using composite ion exchange membranes, In: *Proc. 27th Mid Atlantic Ind. Waste Conf.*, Bethlehem, PA (Technomic), 1995.
- Masschelein, W.J., Devleminck, R., and Genot, J. The feasibility of coagulant recycling by alkaline reaction of aluminium hydroxide sludge, *Water Res.* 19(11), 1363–1368, 1985.

- Moran, R.J., and Charles, P.R. Recovery and reuse of alum sludge at Tampa, J. Am. Water Works Assoc. 52(7), 857–866, 1960.
- Petruzelli, D., Limoni, N., Tiravanti, G., and Passino, R. Aluminium recovery from water clarifier sludges by ion exchange. Comparison of weak and strong electrolyte cation resin performances, J. React. Functional Polym. 38(2), 227–236, 1998.
- Petruzelli, D., Volpe, A., Limoni, N., and Passino, R. Coagulants removal and recovery from water clarifier sludge, Water Res. 34(7), 2177–2182, 2000.
- Prakash, P., Hoskins, D., and Sengupta, A.K. Application of homogeneous and heterogeneous cation-exchange membranes in coagulant recovery from water treatment plant residuals using Donnan membrane process, J. Membrane Sci. 237(1–2), 131–144, 2004.
- Raghu, D., Hsieh, H., Neilan, T., and Yih, C. Water treatment plant sludge as landfill liner, In: Proceedings of Speciality Conference on Geotechnical Practice for Waste Disposal, Ann Arbor, MI, USA, 1987.
- Ronald, D.W., and Donald, I.A. Incorporation of a water softening sludge into pozzolanic paving material, J. Am. Water Works Assoc. 69(3), 175–185, 1977. Russell, 1975
- Simpson, A., Burgess, P., and Coleman, S.J. The management of potable water treatment sludge: Present situation in the UK, J. Water Environ. Manage. 16(4), 260–263, 2002.
- Sujana, M.G., Thakur, R.S., and Rao, S.B. Removal of fluoride from aqueous solution using alum sludge, J. Colloid Interface Sci. 206(1), 94–101, 1998.

- Wei, C. Lead metal removal by recycled alum sludge, *Water Res.* 33(13), 3019–3025, 1999.
- Wu, C.-H., Lin, C.-F., and Horng, P.-Y. Adsorption of copper and lead ions onto regenerated sludge from a water treatment plant, *J. Environ. Sci Health A39(1)*, 237–252, 2004a.
- Wu, C., Lin, C., and Chen, R. Regeneration and reuse of water treatment plant sludge: Adsorbent for cations, *J. Environ. Sci. Health A39(3)*, 717–728, 2004b.
- Yang, Y., Tomlinson, D., Kennedy, S., and Zhao, Y.Q. Dewatered alum sludge: A potential adsorbent for phosphorus removal, *Water Sci. Technol.* 2006a, in press.
- Yang, Y., Zhao, Y.Q., Babatunde, A.O., Wang, L., Ren, Y.X., and Han, Y. Characteristics and mechanisms of phosphate adsorption on dewatered alum sludge, *Separation Purification Technol.* 51(2), 193–200, 2006b.
- Zhao, Y.Q., Razali, M., Babatunde, A.O., Yang, Y., and Bruen, M. A multi-pronged approach to using dewatered alum sludge to immobilize a wide range of phosphorus contamination. Oral presentation at the 5th IWA World Water Congress, 10–14 September, Beijing, China, 2006.
- Zhao, Y.Q., and Babatunde, A.O. Integrating “wastes” into treatment processes: Can dewatered alum sludge be used as substrate in constructed reed bed? Accepted for oral presentation at the 10th IWA Wetland Conference, September, Portugal, 2006.
- Zumpe, H., and Baskaran, K. Reuse of water treatment plant sludge for phosphorus removal, In: *Proceedings of 3rd World Water Congress, Melbourne, Australia, Paper Ref. e20260a*, 2002.

- Dillon, G., 1997. Application Guide to Waterworks Sludge Treatment and Disposal. Water Research Centre.
- Finlay, N., 2015. Using Water Treatment Residual to Immobilise Lead for In-Situ Remediation of Contaminated Soil. Doctoral dissertation. Durham University.
- Fujiwara, M., 2011. Outline of sludge treatment & disposal at water purification plant in Japan. 1st Japan and Singapore Workshop and Symposium, September 2011.
- Hidalgo, A.M., Murcia, M.D., Gomez, M., Gomez, E., Garcia-Izquierdo, C., Solano, C., 2017. Possible uses for sludge from drinking water treatment plants. J. Environ. Eng. 143, 04016088.
- Lee, Y.E., Kim, I.T., Yoo, Y.S., 2018. Stabilization
- Minh Duc Nguyen, Michael Thomas, Aravind Surapaneni, Ellen M. Moon, Nicholas A. Milne, Beneficial reuse of water treatment sludge in the context of circular economy, Environmental Technology & Innovation, Volume 28, 2022, 102651, ISSN 2352-1864
- Ooi, T.Y., Yong, E.L., Din, M.F.M., Rezania, S., Arninudin, E., Chelliapan, S., Rahman, A.A., Park, J., 2018. Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using response surface methodology. J. Environ. Manage. 228, 13–19.
- Prakash, P., SenGupta, A.K., 2003. Selective coagulant recovery from water treatment plant residuals using donnan membrane process. Environ. Sci. Technol. 37 (19), 4468–4474.

- Prakash, P., Hoskins, D., and Sengupta, A.K. Application of homogeneous and heterogeneous cation-exchange membranes in coagulant recovery from water treatment plant residuals using Donnan membrane process, *J. Membrane Sci.* 237(1–2), 131–144, 2004.
- Sales, A., de Souza, F.R., dos Santos, W.N., Zimer, A.M., do Couto Rosa Almeida, F., 2010. Lightweight composite concrete produced with water treatment sludge and sawdust: thermal properties and potential application. *Constr. Build. Mater.* 24 (12), 2446–2453.
- Sales, A., de Souza, F.R., Almeida, Fd.C.R., 2011. Mechanical properties of concrete produced with a composite of water treatment sludge and sawdust. *Constr. Build. Mater.* 25 (6), 2793–2798.
- Stendahl, K., Farm, C., Fritzdorf, I., and Ulmert, H. The REAL process—A process for recycling of sludge from water works, In: *Proceedings of IWA Specialised Conference on Management of Residues Emanating From Water and Wastewater Treatment*, Johannesburg, South Africa, 2005.
- Tay, D.Y.Y., Fujinuma, R., Wendling, L.A., 2017. Drinking water treatment residual use in urban soils: Balancing metal immobilization and phosphorus availability. *Geoderma* 305, 113–121.
- Xu, G.R., Yan, Z.C., Wang, Y.C., Wang, N., 2009. Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. *J. Hard Mater.* 161 (2), 663–669.
- Yen, C.-L., Tseng, D.-H., Lin, T.-T., 2011. Characterization of eco-cement paste produced from waste sludges. *Chemosphere* 84 (2), 220–226.

- Yoshida, H., Christensen, T.H., Scheutz, C., 2013. Life cycle assessment of sewage sludge management: a review. *Waste Manage. Res.* 31 (11), 1083–1101.
- Georgantas, D.A., and Grigoropoulou, H.P. Phosphate removal from synthetic and municipal wastewater using spent alum sludge, *Water Sci. Technol.* 52(10–11), 525–532, 2005.
- Ανδρεαδάκης Ανδρέας, Επεξεργασία νερού: Βασικές Αρχές & Διεργασίες, Εκδόσεις Συμμετρία 2008
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας
- Εταιρεία Ύδρευσης & Αποχέυσεως Πρωτεύουσας Α.Ε., Μονάδα Επεξεργασίας Νερού Αχαρνών