

ΤΕΧΝΗΤΟΙ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΙ (του δρ. Αλέξανδρου Στεφανάκη)

☒ Τεχνητοί Υγροβιότοποι: οικολογική επεξεργασία υγρών αποβλήτων και λυματολάσπης με χρήση φυτών

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες μια **πολλά υποσχόμενη τεχνολογία** επεξεργασίας έχει έρθει στο προσκήνιο του επιστημονικού ενδιαφέροντος: οι **Τεχνητοί Υγροβιότοποι (ΤΥ)**. Η εξαιρετική **αποτελεσματικότητα** και το χαμηλό κόστος αυτών των συστημάτων στηρίζονται στην πρωτοποριακή χρήση φυτών (καλαμιών) για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων και λυματολάσπης. Τα πρώτα πειράματα στη **Γερμανία** έγιναν ήδη από τη δεκαετία του 1960, η διάδοση όμως των ΤΥ έγινε σταδιακά μέχρι τη δεκαετία του 1990, οπότε και γνώρισαν σημαντική διάδοση σε πολλές χώρες. Σήμερα, οι ΤΥ αναγνωρίζονται ως μία αξιόπιστη τεχνολογία επεξεργασίας.

Κατασκευή: πρόκειται για σχετικά απλές κατασκευές. Συνήθως, μια λεκάνη βάθους μέχρι 1μ, η οποία στον πυθμένα καλύπτεται με ένα γεωύφασμα (για την αποφυγή διαφυγής στραγγισμάτων προς τον υδροφόρο) και η οποία γεμίζει με 2-3 στρώσεις αδρανών υλικών (όπως πέτρες, αμμοχάλικο, άμμος, χώμα). Στον πυθμένα τοποθετείται ένα πλέγμα διάτρητων σωληνώσεων, σε σύνδεση με την ατμόσφαιρα, για τον αερισμό του συστήματος. Στην ανώτερη στρώση των υλικών φυτεύονται τα γνωστά σε όλους καλάμια, συνήθως *Phragmites* (που απαντώνται ευρέως στην ελληνική επικράτεια), φυτά πολύ ανθεκτικά. Η τροφοδοσία του αποβλήτου γίνεται από την επιφάνεια της κλίνης μέσω σωληνώσεων. Οι ΤΥ διακρίνονται σε *επιφανειακής* και *υπόγειας ροής*, κατακόρυφης ή οριζόντιας. Πιο συνήθη συστήματα είναι αυτά με υπόγεια ροή.

Επεξεργασία: τα καλάμια με την πάροδο του χρόνου μεγαλώνουν, δημιουργώντας ένα εκτεταμένο και πυκνό ριζικό σύστημα. Έτσι, σταθεροποιούν τις στρώσεις των υλικών και βοηθούν στην ανάπτυξη της απαραίτητης μικροβιακής κοινότητας (που καταστρέφει τους διάφορους ρύπους) κατά μήκος των ριζών.

Επιπλέον, οι ρίζες των καλαμιών μεταφέρουν οξυγόνο για την αναπνοή των μικροοργανισμών, ενώ και τα καλάμια απορροφούν μικρές ποσότητες θρεπτικών από το απόβλητο (άζωτο, φώσφορο), τοξικά και οργανικά συστατικά και νερό για τη δική τους ανάπτυξη. Ρύποι (π.χ. φώσφορος) απομακρύνονται και μέσω προσρόφησης – κατά κύριο λόγο – πάνω στους κόκκους των πορωδών υλικών. Γενικά, ευνοείται η απομάκρυνση οργανικού υλικού και αζώτου κυρίως, ενώ η απομάκρυνση φωσφόρου είναι πιο περιορισμένη.

Συγκριτικά οφέλη: το ερώτημα που προκύπτει, σχετίζεται με τα πλεονεκτήματα των ΤΥ, έναντι των συμβατικών μεθόδων (βιολογικοί καθαρισμοί – ΒΚ). Πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση ΤΥ συνήθως δεν είναι ανταγωνιστική, αλλά μάλλον συμπληρωματική των ΒΚ. Οι ΤΥ ενδείκνυνται ιδιαίτερα για μικρές κοινότητες και μικρομεσαίους οικισμούς (αποκεντρωμένα συστήματα επεξεργασίας), όπου είναι οικονομικά ασύμφορη η ανάπτυξη ΒΚ, οι οποίοι όμως είναι καταλληλότεροι για τους μεγάλους πληθυσμούς. Οι ΤΥ επιτυγχάνουν το ίδιο επίπεδο καθαρισμού με τους ΒΚ, ενώ χαρακτηρίζονται ως μια περιβαλλοντικά φιλική τεχνολογία. Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των συστημάτων ΤΥ είναι:

- **Μειωμένο κόστος** κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας,
- Δεν έχουν μηχανικά μέρη,
- Δεν κατασκευάζονται μεγάλες και πολύπλοκες εγκαταστάσεις που απαιτούν σκυρόδεμα και χάλυβα και
- Μηδαμινή κατανάλωση ενέργειας (οι ανάγκες των φυτών καλύπτονται από το απόβλητο, τον ήλιο και τον αέρα – *χρήση ανανεώσιμων πηγών*).
- Δεν απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία τους.
- Με σωστό σχεδιασμό και εφόσον αξιοποιηθεί και μια ελάχιστη κλίση του εδάφους, είναι δυνατή και η αποφυγή χρήσης αντλιών

για την μετάβαση από το ένα στάδιο επεξεργασίας στο άλλο.

- Απουσία έντονων οσμών και εντόμων, δεδομένου ότι στα συστήματα υπόγειας ροής (τα πιο διαδεδομένα) δεν υπάρχει ελεύθερη επιφάνεια νερού.
- Μη παραγωγή παραπροϊόντος που να απαιτεί ξεχωριστή επεξεργασία (όπως η λυματολάσπη στους ΒΚ).
- Ανθεκτικότητα σε μεγάλες διακυμάνσεις της παροχής και σε πολλά τοξικά συστατικά.
- Δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του επεξεργασμένου νερού.
- Αισθητική «πράσινη» εμφάνιση, που χαρακτηρίζεται από μια συστάδα καλαμιών, σε αντίθεση με τη μη ελκυστική εμφάνιση των ΒΚ.

Η τεχνολογία των ΤΥ ενδείκνυται ιδιαίτερα για την **επεξεργασία λυμάτων από μονοκατοικίες, μικρούς οικισμούς και κοινότητες**, απομονωμένα – ορεινά χωριά, μέχρι και πόλεις 10.000 ισοδύναμων κατοίκων (ι.κ.) αλλά και ακόμη περισσότερους. Για μεμονωμένες κατοικίες και οικισμούς δίνουν λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης των λυμάτων και τη συνεχή εκκένωση των βόθρων. Σε χωριά και ορεινούς οικισμούς, όπου η κατασκευή εγκατάστασης ΒΚ είναι ασύμφορη οικονομικά ή δεν είναι δυνατή η σύνδεση με το δίκτυο αποχέτευσης, οι ΤΥ αποτελούν μια αξιόπιστη και οικονομική εναλλακτική λύση.

Στο εξωτερικό υπάρχουν εγκαταστάσεις ακόμη και για αρκετές **δεκάδες χιλιάδες** ι.κ. Φυσικά, τα συστήματα ΤΥ δεν έρχονται να καταργήσουν τις μονάδες ΒΚ, δεδομένου ότι όσο μεγαλώνει ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός, αυξάνει και η απαιτούμενη έκταση του ΤΥ (η οποία συνήθως είναι μεγαλύτερη έναντι των βιολογικών μονάδων). Όμως, για μικρούς και μεσαίους οικισμούς αποτελούν μία βιώσιμη, οικονομική και οικολογική εναλλακτική μέθοδο επεξεργασίας. Με βάση δε την οδηγία 1991/271/ΕΕC, η Ελλάδα θα έπρεπε ήδη να έχει εφαρμόσει κατάλληλους τρόπους διαχείρισης και επεξεργασίας των αστικών

υγρών αποβλήτων για το μεγαλύτερο μέρος της χώρας, κάτι που φυσικά δεν έχει πλήρως γίνει, καθώς περισσότερο από το 80% των οικισμών 2.000-15.000 ι.κ. δεν έχουν ακόμη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (στοιχεία 2010, Ειδική Γραμματεία Υδάτων ΥΠΕΚΑ). Ακόμη και σήμερα όμως, και με δεδομένη την οικονομική κρίση της χώρας, μία πιο φθηνή και συνάμα αποτελεσματική μέθοδος επεξεργασίας λυμάτων μπορεί να δώσει προοπτική και να τονώσει την περιβαλλοντική πολιτική.

Σήμερα υπάρχουν πολλά κράτη που έχουν **υιοθετήσει την τεχνολογία των ΤΥ**, όπως η Αυστρία, η Τσεχία, η Δανία, η Γερμανία, η Αυστραλία και οι ΗΠΑ, που έχουν εκδώσει πρότυπες οδηγίες κατασκευής και λειτουργίας. Παράλληλα, πολλές είναι πλέον οι εφαρμογές των ΤΥ, πέραν της επεξεργασίας αστικών λυμάτων: βιομηχανικά απόβλητα (π.χ., χαρτοβιομηχανίες, διυλιστήρια), διασταλάγματα από χωματερές, απόβλητα γαλακτοκομείου, τυροκομείου, ελαιοτριβείου, κλωστοϋφαντουργίας, χοιροτροφείων, ορυχείων, επεξεργασία και αφυδάτωση λυματολάσπης, επεξεργασία αστικής απορροής – επιφανειακής απορροής από αυτοκινητόδρομους, αεροδρόμια, ακόμη και καθαρισμός υπόγειων νερών – εμπλουτισμός υδροφορέα και προστασία από πλημμύρες. Η έρευνα γύρω από τα συστήματα αυτά συνεχώς διευρύνεται προς την περαιτέρω βελτιστοποίησή τους και την καλύτερη κατανόηση των διεργασιών που διέπουν την απομάκρυνση των διαφόρων ρύπων.

Στην Ελλάδα η πλειονότητα εφαρμογών ΤΥ προέρχεται από **πανεπιστημιακά και ερευνητικά ιδρύματα**. Το Εργαστήριο Οικολογικής Μηχανικής και Τεχνολογίας του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος της Πολυτεχνικής Σχολής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης είναι πρωτόπορο στην έρευνα των συστημάτων ΤΥ, με πληθώρα πιλοτικών ερευνητικών μονάδων να έχουν κατασκευαστεί στα πλαίσια προπτυχιακών, μεταπτυχιακών και διδακτορικών διατριβών, ενώ υπάρχουν και μονάδες μεγαλύτερης κλίμακας, όπως π.χ. στο Γομάτι Χαλκιδικής, Νέα Μάδυτο Θεσσαλονίκης, Κόσμιο Ροδόπης, Άβδηρα Ξάνθης κ.ά.

Αξιόλογη ερευνητική δραστηριότητα σημειώνεται επίσης και στις

εγκαταστάσεις του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. στο Γαλλικό ποταμό στην Θεσσαλονίκη (πυλοτικές μονάδες μεγάλης κλίμακας) και στο Ηράκλειο Κρήτης (Πόμπια), στο Τμήμα Χημείας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και στο Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (πυλοτικές μονάδες). Μονάδες ΤΥ υπάρχουν επίσης στην Εύβοια, στην Καστοριά, τη Φλώρινα και τη Λήμνο.

-Επεξεργασία Λυματολάσσης

Η **αφυδάτωση λυματολάσσης** που προέρχεται από ΒΚ είναι ίσως ακόμη ελκυστικότερη εφαρμογή, δεδομένου ότι το μεγαλύτερο ίσως πρόβλημα αυτή τη στιγμή έχει να κάνει με τη διαχείριση της παραγόμενης λυματολάσσης. Το παραπροϊόν αυτό των ΒΚ (λέγεται και βιολογική ιλύς) παράγεται σε σημαντικές ποσότητες σε ημερήσια βάση. Η ιλύς αυτή περιέχει μεγάλο αριθμό πολύτιμων συστατικών (θρεπτικά, οργανική ύλη) με υψηλή θερμική αξία, με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλη για ένα μεγάλο εύρος χρήσεων. Συγχρόνως, όμως είναι και φορέας ανεπιθύμητων ρύπων, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα, τα συνθετικά οργανικά και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί. Έτσι, ο τρόπος τελικής διάθεσης ενδέχεται να έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, πχ. εκπομπές στον αέρα, κινδύνους για τη δημόσια υγεία, πιθανότητα ρύπανσης εδαφικών και υδάτινων πόρων. Έτσι πρέπει να υποστεί κάποια επεξεργασία πριν από την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση για την ελαχιστοποίηση των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων της ιλύος στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

Η επεξεργασία της ιλύος στοχεύει στη **μείωση του όγκου της**, την αφυδάτωση και την αδρανοποίηση των οργανικών ουσιών. Η όλη συζήτηση σήμερα έγκειται στη διαχείριση των τεραστίων ποσοτήτων ιλύος που παράγονται ετησίως στους ΒΚ. Η μέση παραγωγή ιλύος στις ευρωπαϊκές χώρες φθάνει τα **0.090 kg ξηρής μάζας/άτομο** και περιέχει νερό σε ποσοστό 90-99%. Μία συμβατική ΕΒΚ παράγει περίπου 20 tn ξηρής μάζας ιλύος το χρόνο (4000 tn ανεπεξέργαστης ιλύος) ανά 1.000 άτομα εξυπηρετούμενου ισοδύναμου πληθυσμού. Παρόλο που η παραγόμενη ιλύς αποτελεί μόλις το 1-3% της ποσότητας του επεξεργασμένου λύματος, το

40-50% του συνολικού κόστους μιας ΒΚ μπορεί να αποδοθεί στην επεξεργασία και διαχείριση της ιλύος. Αν σε αυτά συνυπολογίσουμε τα φορτία ρύπων και παθογόνων μικροοργανισμών και το πρόβλημα των οσμών, γίνεται κατανοητή η έκταση του προβλήματος. Έτσι, το ενδιαφέρον εστιάζεται πρωταρχικά στην απομάκρυνση του νερού, με σκοπό τη μείωση του όγκου της ιλύος, ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητές συγκεντρώσεις στερεών για την περαιτέρω επεξεργασία και διάθεση.

Τα βασικά οφέλη των ΤΥ αφυδάτωσης ιλύος είναι ίδια με αυτά για την επεξεργασία λυμάτων: **οικονομικά και περιβαλλοντικά**. Σε γενικές γραμμές, χαρακτηρίζονται από μικρότερο κόστος αρχικής επένδυσης – κατασκευής σε σύγκριση με έναν μηχανολογικό εξοπλισμό μιας αντίστοιχης συμβατικής εγκατάστασης. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι πρακτικά μηδαμινό, δεν απαιτείται ειδικός εξοπλισμός και η όλη κατασκευή είναι απλή. Η κατανάλωση ενέργειας είναι ελάχιστη (χρήση αντλιών για την τροφοδοσία της ιλύος). Ακόμη, πρακτικά μηδενίζεται το κόστος απομάκρυνσης της επεξεργασμένης ιλύος, καθώς η επεξεργασία γίνεται για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (10-15 χρόνια). Το τελικό προϊόν (χωνευμένη ιλύς) μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω σαν λίπασμα, βελτιωτικό εδαφών ή για κάλυψη χώρων διάθεσης αποβλήτων, καθώς πρόκειται για ένα καλά κομποστοποιημένο εδαφικό υλικό, με περιεχόμενο στερεών μέχρι και πάνω από 50%.

Στα θετικά περιλαμβάνονται η **αποφυγή χρήσης χημικών ουσιών**, όπως γίνεται σε άλλες μεθόδους. Συγκρίνοντας την επεξεργασία 1000 τόνων ξηρής μάζας ιλύος (που αντιστοιχεί σε πληθυσμό 50.000 κατοίκων) με συστήματα ΤΥ και με μια συμβατική μέθοδο (φυγοκέντριση), προέκυψε 50% μειωμένο κόστος κατασκευής και λειτουργίας και 75% μικρότερες εκπομπές CO₂.

Το **κόστος περιλαμβάνει**: σχεδιασμό (kg ξηρής μάζας/m²/έτος), κατασκευή, λειτουργία, συντήρηση και διάθεση της ιλύος σε αγροτική γη από μία μονάδα επεξεργασίας ιλύος με ΤΥ. Η συμβατική μέθοδος βασίζεται στην προσθήκη πολυμερούς για την πάχυνση και χρήση ταινιόπρεσσω για την ξήρανση στις

εγκαταστάσεις επεξεργασίας, τη μεταφορά σε ένα κέντρο ιλύος, την αφυδάτωση με φυγοκέντριση με προσθήκη πολυμερούς και τη τελική διάθεση σε αγροτική γη. Ο υπολογισμός των **εκπομπών CO₂** αφορά την παραγωγή ενέργειας για τη λειτουργία των δύο μεθόδων επεξεργασίας και τις εκπομπές από τα φορτηγά που μεταφέρουν την ιλύ.

Σε πολλές περιπτώσεις στη Δανία, τα συστήματα ΤΥ αποδείχτηκαν τόσο αποτελεσματικά, ώστε οι υπάρχουσες μονάδες επεξεργασίας με φυγοκέντριση τέθηκαν εκτός λειτουργίας και αντικαταστάθηκαν από τα νέα αυτά οικολογικά συστήματα.

Τα συστήματα ξήρανσης ιλύος με Τ.Υ. είναι σε εφαρμογή εδώ και 15-20 χρόνια σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες και στις ΗΠΑ. Περισσότερες **εφαρμογές** εντοπίζονται στη Δανία, όπου χρησιμοποιούνται από το 1988. Τα μεγαλύτερα συστήματα είναι της τάξεως των **2.200 tn ξηρής μάζας/έτος**, ισοδύναμα με 125.000 περίπου ισοδύναμο πληθυσμό. Το 2006, περίπου το 30% της παραγόμενης ιλύος στη Δανία, επεξεργάζονταν σε περισσότερους από 140 ΤΥ. Χώρες όπου υπάρχουν σε εξέλιξη έρευνες είναι η Γαλλία, οι ΗΠΑ, η Πολωνία, η Ισπανία, η Ελλάδα και η Γερμανία.

Ο **ελληνικός χώρος** έχει όλα τα εχέγγυα να γίνει πρωτοπόρος στην εφαρμογή συστημάτων ΤΥ. Οι κλιματικές συνθήκες της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές για την εφαρμογή τους, δυστυχώς όμως τη μεγαλύτερη διάδοση γνωρίζουν σε ψυχρότερα κλίματα (π.χ. Δανία). Σήμερα οι ΤΥ θεωρούνται μία κατάλληλη και αξιόπιστη τεχνολογία επεξεργασίας διαφόρων τύπων υγρών αποβλήτων. Η ασφαλής και αποτελεσματική επεξεργασία έχει εδώ και καιρό αποδειχθεί επιστημονικά. Επιπλέον, η εφαρμογή τους επιτρέπει στον διαχειριστή του ΒΚ να “ξεγνοιάσει” στην ουσία από τον καθημερινό πονοκέφαλο διαχείρισης της ιλύος. Η εμπειρία έχει δείξει ότι οι περισσότερες μηχανικές μέθοδοι, πέραν της ισάξιας ή και μειωμένης (κοστοβόρας και ενεργοβόρας) απόδοσης σε σχέση με τους ΤΥ, αντιμετωπίζουν συχνότατα προβλήματα βλαβών και τίθενται για πολλές μέρες/εβδομάδες εκτός λειτουργίας.

Οι **απαιτήσεις** σε έκταση είναι διαχειρίσιμες, όπως υποδεικνύουν οι εφαρμογές σε χώρες με **υψηλή πυκνότητα πληθυσμού**. Το συνολικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας είναι σημαντικά μειωμένο, ειδικά δε όταν υπάρχουν οι διαθέσιμες εκτάσεις, π.χ. στην περίπτωση ενός μικρού Δήμου ή κοινότητας. Ανά τον κόσμο σήμερα υπάρχουν δεκάδες χιλιάδες εφαρμογές συστημάτων ΤΥ, αυτής της οικολογικής, εναλλακτικής τεχνολογίας επεξεργασίας.

Αλέξανδρος Στεφανάκης

Πηγή/φωτό: [Econews](#)