

ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ  
ΣΕ ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ ΣΤΗ ΚΡΗΤΗ  
ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΦΥΤΕΙΩΝ

ΓΙΑΝΝΗΣ ΒΟΥΡΔΟΥΜΠΑΣ\*

\* ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ, ΕΚΤΑΚΤΟΣ ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Τ.Ε.Ι. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα επεξεργασμένα αστικά λύματα από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας διατίθενται σήμερα στους αποδέκτες είτε χερσαίους είτε υδάτινους με περιβαλλοντικά αποδεκτό τρόπο. Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση γεωργικών ή δασικών εκτάσεων αναμένεται να έχει αυξανόμενο ενδιαφέρον στο μέλλον ειδικά σε μέρη με ξηροθερμικό κλίμα όπως η Κρήτη.

Η άρδευση δασικών φυτειών με επεξεργασμένα αστικά λύματα μπορεί να συνδυαστεί με παραγωγή βιομάζας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας.

Σε μικρές παραθαλάσσιες τουριστικές κοινότητες της Κρήτης τα επεξεργασμένα αστικά λύματα μπορούν να αρδεύσουν μία αναδασωμένη κοινοτική έκταση, η βιομάζα της οποίας θα χρησιμοποιείται το χειμώνα για θέρμανση των κτιρίων της κοινότητας.

Στην εργασία που ακολουθεί αναφερόμεθα σε μία κοινότητα της Κρήτης, και υπολογίζουμε την αρδευόμενη έκταση, τη παραγόμενη βιομάζα, και την ενεργειακή της αξία στη περίπτωση που τα επεξεργασμένα λύματα της κοινότητας αρδεύσουν μια δασική φυτεία.

Όπως προκύπτει σημαντικό μέρος των αναγκών θέρμανσης των κτιρίων της εν λόγω κοινότητας καλύπτεται από τη παραγόμενη βιομάζα ενώ το κόστος δημιουργίας της αρδευόμενης δασικής φυτείας επιδοτείται από την Ε.Ε. Ταυτόχρονα για λίπανση της δασικής φυτείας μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επεξεργασμένη ιλύς της εγκατάστασης επεξεργασίας των αστικών λυμάτων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Αστικά λύματα, Μονάδες επεξεργασίας, Ενεργειακές φυτείες, Επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, Άρδευση με λύματα, Επαναχρησιμοποίηση ιλύος, Βιομάζα, Θέρμανση κτιρίων.

ABSTRACT

Processed urban liquid wastes can be used for irrigation of agricultural or forest areas. In the case that the processed wastes are used for irrigation of energy plantations the produced biomass can be used for energy production. In this work a small village in Crete is considered and the estimations show that the produced biomass from an area that is irrigated with the processed liquid wastes covers the needs for heating of the buildings of this village.

KEY WORDS: Urban liquid wastes, treatment plants, Energy plantations, Waste reuse, Waste irrigation, Biomass, Sludge reuse, Heating buildings.

## ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων στο περιβάλλον μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους.

α) Διάθεση σε κάποιο υδάτινο αποδέκτη ποταμό ή θάλασσα.

β) Διάθεση στο έδαφος για άρδευση γεωργικών ή δασικών εκτάσεων ή για εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα.

Ανάλογα με το τρόπο διάθεσης των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων πρέπει να πληρούνται ορισμένες προδιαγραφές ποιότητας των λυμάτων αυτών που σχετίζονται με το βαθμό επεξεργασίας τους.

Κάθε μέθοδος διάθεσης παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με το τόπο που βρίσκεται η εγκατάσταση επεξεργασίας και πριν ληφθεί οιαδήποτε απόφαση πρέπει να συνεκτιμηθούν Περιβαλλοντικά, τεχνικά, οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια. Η συνήθης μέθοδος διάθεσης των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στη Κρήτη σήμερα είναι η διάθεση τους στη θάλασσα με υποθαλάσσιο αγωγό ενώ οι συνήθεις εγκαταστάσεις επεξεργασίας περιλαμβάνουν πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία και απολύμανση. Η διάθεση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση δασικών φυτειών με στόχο τη παραγωγή βιομάζας δεν έχει βρει εφαρμογή στην Ελλάδα μέχρι σήμερα.

## ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΔΑΣΙΚΩΝ ΦΥΤΕΙΩΝ

Τα επεξεργασμένα αστικά λύματα μπορούν να διατεθούν για άρδευση δασικών φυτειών. Στη περίπτωση αυτή οι απαιτήσεις καθαρισμού των λυμάτων δεν είναι τόσο αυστηρές όσο στη περίπτωση που τα επεξεργασμένα λύματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για άρδευση γεωργικών καλλιιεργειών. Αν και σύμφωνα με πολλούς ερευνητές τα επεξεργασμένα αστικά λύματα από μια πρωτοβάθμια εγκατάσταση επεξεργασίας είναι επαρκώς καθαρισμένα για την άρδευση μιας δασικής φυτείας φαίνεται ότι η δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων είναι αρκετή για την άρδευση δασικών φυτειών και οπωσδήποτε δεν απαιτείται τριτογενής καθαρισμός των λυμάτων όπως στη περίπτωση άρδευσης γεωργικών καλλιιεργειών με βρώσιμα προϊόντα.

Ταυτόχρονα τα θρεπτικά στοιχεία που εμπεριέχονται στα λύματα (N, P, K) θα χρησιμοποιηθούν, σαν λιπασματικά στοιχεία στην ανάπτυξη των δένδρων. Η επεξεργασμένη ιλύς από την εγκατάσταση επεξεργασίας των λυμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν λίπασμα στη δασική φυτεία σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΚΥΑ 80568/4225. Εφόσον μάλιστα αναφερόμεθα σε μικρές κοινότητες που δεν υπάρχουν βιομηχανικές ή βιοτεχνικές δραστηριότητες όπου τα απόβλητα τους θα αναμειγνύονται με τα αστικά λύματα, τότε οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην ιλύ είναι χαμηλές. Στη περίπτωση άρδευσης δασικών φυτειών ενδιαφέρον παρουσιάζει η παραγόμενη βιομάζα που έχει ενεργειακή αξία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση κτιρίων. Ετσι η διάθεση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων μιας κοινότητας μπορεί να συνδυαστεί με την άρδευση μιας δασικής φυτείας σε παρακείμενη έκταση και τη παραγωγή βιομάζας και συνεπώς με τη θέρμανση κάποιων κτιρίων της κοινότητας.

Στη περίπτωση που η διαθέσιμη έκταση βρίσκεται σε μακρινή απόσταση από την εγκατάσταση επεξεργασίας τότε τα επεξεργασμένα λύματα πρέπει να αντληθούν μέχρι την τοποθεσία άρδευσης. Στη δασική φυτεία για μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας καλό είναι να επιλεγούν ταχυσυζή είδη.

Το κόστος δημιουργίας της βασικής φυτείας επιδοτείται με το Κανονισμό του Υπουργείου Γεωργίας 2080/92 "Περί εφαρμογής δασικών μέτρων στη Γεωργία". Το ποσό της επιδότησης ανέρχεται σήμερα σε περίπου 100.000 δρχ ανά στρέμμα που αναδασώνεται.

### Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Θα θεωρήσουμε μία μικρή κοινότητα της Κρήτης με μόνιμο πληθυσμό 400 ατόμων και επισκέπτες το καλοκαίρι 1000 άτομα οπότε ο πληθυσμός της το καλοκαίρι είναι συνολικά 1400 άτομα.

Θεωρώντας τη παροχή λυμάτων σε 200 λτ/κάτοικο.ημέρα προκύπτει ότι η συνολική παροχή λυμάτων είναι 280 μ3/ημέρα το καλοκαίρι και 80 μ3/ημέρα το χειμώνα.

Δεχόμενοι ότι ο όγκος των επεξεργασμένων λυμάτων αποτελεί το 95% του όγκου των ανεπεξέργαστων προκύπτει ότι η παροχή επεξεργασμένων λυμάτων είναι 266 μ3/ημέρα το καλοκαίρι και 76 μ3/ημέρα το χειμώνα.

Αν δεχθούμε ότι τα επεξεργασμένα λύματα το καλοκαίρι διατίθενται για την άρδευση μιας φυτείας βιομάζας και η παροχή των αρδευόμενων λυμάτων είναι 1μ3/στρέμμα.ημέρα, προκύπτει ότι μπορούν να αρδευθούν συνολικά 266 στρέμματα βιομάζας. Αν θεωρήσουμε τη παραγωγικότητα της φυτείας σε 1,5 τν βιομάζας/στρέμμα.έτος προκύπτει ότι η συνολική παραγωγή βιομάζας από την αρδευόμενη φυτεία ανέρχεται σε 399 τν/έτος.

Σύμφωνα με το κανονισμό 2080/92 του Υπουργείου Γεωργίας η επιδότηση για την αναδάσωση των 266 στρεμμάτων ανέρχεται σε περίπου 266 στρέμματα X 100.000 δρχ/στρέμμα = 26.600.000 δρχ.

### ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΚΑΛΥΨΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΤΗΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ.

Η παραγόμενη ετησίως βιομάζα που προαναφέραμε από την αρδευόμενη φυτεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση το χειμώνα διαφόρων κτιρίων της εν λόγω κοινότητας. Δεχόμενοι ότι η θερμική αξία της παραγόμενης βιομάζας είναι 3500 Kcal/Kg ξηρού βάρους, προκύπτει ότι η ενεργειακή αξία της συνολικά παραγόμενης βιομάζας είναι  $1,4 \cdot 10^9$  Kcal/έτος που ισοδυναμεί με 140 τν πετρελαίου περίπου (θερμική αξία πετρελαίου = 10.000 Kcal/Kg).

Αν δεχθούμε ότι ένα σπίτι της κοινότητας χρειάζεται για τις ανάγκες ετήσιας θέρμανσης του περίπου 14.000.000 Kcal (1,4 τν πετρελαίου) προκύπτει ότι η παραγόμενη βιομάζα μπορεί να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης.

$$1,4 \cdot 10^9 \text{ Kcal/έτος}$$

$$\text{-----} = 100 \text{ οικιών της εν λόγω κοινότητας}$$

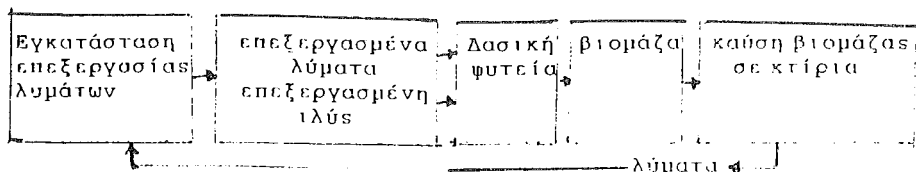
$$1,4 \cdot 10^7 \text{ Kcal/έτος}$$

Στη πράξη αυτό μπορεί να γίνει εφόσον οι κατοικίες χρησιμοποιούν ατομικά :

α) Τζόκια υψηλής απόδοσης είτε

β) Λέβητα θερμού νερού με καυστήρα ξύλων.

Είτε γ) Κεντρική εγκατάσταση με καυστήρα ξύλων και σύστημα τηλεθέρμανσης για όλη τη κοινότητα.



Σχηματικό διάγραμμα συστήματος αξιοποίησης επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση δασικής ψυτείας και χρησιμοποίησης της προκύπτουσας βιομάζας για παραγωγή θερμότητας.

### ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ ΜΙΑΣ ΤΕΤΟΙΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ

Η χρήση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για παραγωγή βιομάζας και στη συνέχεια παραγωγή θερμότητας όπως φαίνεται και στο παρατιθέμενο διάγραμμα αποτελεί μία λύση με πολλά ενεργειακά και περιβαλλοντικά ωφέλη. Η καταναλισκόμενη ενέργεια στο σύστημα αυτό προέρχεται από την ενέργεια που δαπανάται για την άρδευση της ψυτείας καθώς και για τη συλλογή και μεταφορά της βιομάζας. Η καταναλισκόμενη ενέργεια είναι λιγότερη από την ενέργεια που λαμβάνεται κατά τη καύση της βιομάζας. Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται η δημιουργία μιας δασικής ψυτείας που έχει αισθητική αξία ενώ υδάτινοι πόροι και θρεπτικά συστατικά ανακυκλώνονται στο χερσαίο οικοσύστημα αντί να σπαταλώνται στη θάλασσα όπως όταν διατίθενται τα επεξεργασμένα αστικά λύματα σε θαλάσσιο αποδέκτη. Όπως είναι γνωστό η χρήση της βιομάζας έχει ουδέτερες επιπτώσεις στο "Φαινόμενο του θερμοκηπίου" ενώ μπορεί να συνδυαστεί όταν δημιουργείται σε μεγαλύτερες ποσότητες με τη παραγωγή βιοαιθανόλης και τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η διάθεση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση αστικών ψυτειών αποτελεί εναλλακτικό τρόπο διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων με πολλά οφέλη ενώ ταυτόχρονα μπορεί να διατεθεί και η ιλύς της εγκατάστασης επεξεργασίας για λίπανση της δασικής ψυτείας σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία.
2. Η προκύπτουσα βιομάζα από τη δασική ψυτεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή θερμικής ενέργειας σε κτίρια με καύση.
3. Υπάρχει δυνατότητα επιδότησης για τη δημιουργία της δασικής ψυτείας σύμφωνα με το Κανονισμό 2080/92 του Υπουργείου Γεωργίας που καλύπτει το κόστος δημιουργίας της.
4. Στη περίπτωση διάθεσης των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση μιας δασικής ψυτείας οι απαιτήσεις καθαρισμού των αστικών λυμάτων δεν είναι τόσο αυστηρές όσο στη περίπτωση χρησιμοποίησης τους για άρδευση γεωργικών εκτάσεων.
5. Η διάθεση των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση δασικών ψυτειών έχει πολλά πλεονεκτήματα - οικονομικά και περιβαλλοντικά - έναντι της συνηθισμένης σήμερα στη Κρήτη μεθόδου διάθεσης των

επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στη θάλασσα ιδιαίτερα όταν υπάρχει κοντά στην εγκατάσταση επεξεργασίας διαθέσιμη έκταση για αναδάσωση.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. J. Papadopoulos "Present and perspective use of wastewater for Irrigation in the Mediterranean Basin".  
Πρακτικά 2ου διεθνούς Συνεδρίου για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων, Ηράκλειο 17-20 Οκτωβρίου 1995. Σελίς 735-744.
2. P. Drakatos, I. Fanariotou, I. Kalovrouziotis, D Skuras, "The potential Use of Wastewater and Sludge in Afforestation projects. Experimental Results and Comparison in Greece." Πρακτικά 2ου διεθνούς Συνεδρίου για την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση αποβλήτων, Ηράκλειο 17-20 Οκτωβρίου 1995. Σελίς 1003-1008.
3. Δ. Χριστούλας "Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση νερού και ιλύος από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα". Πρακτικά συνεδρίου HELECO'95, Αθήνα 9-12 Νοεμβρίου 1995, Σελίς 331-344.
4. Γ. Βουρδουμπάς. "Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για δημιουργία δασικών φυτειών στη Κρήτη. Προβλήματα και προοπτικές".  
Πρακτικά συνεδρίου HELECO'95, Αθήνα 9-12 Νοεμβρίου 1995, Σελίς 521-527.
5. Σ. Παπαρηγορίου, Α. Κουζέλη - Κατσίρη, Ι. Κωστοβασιλής, Χ. Τσαντήλας "Διαχείριση και διάθεση της ιλύος της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων της Λάρισας". Πρακτικά συνεδρίου HELECO'95, Αθήνα 9-12 Νοεμβρίου 1995, Σελίς 385-393.
6. Α. Αγγελάκης, "Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στο πλαίσιο ορθολογικής διαχείρισης υδατικών πόρων και προστασίας του περιβάλλοντος" στο "Επιστήμες και περιβάλλον στο τέλος του Αιώνα" σελ. 345-358, Εναλλακτικές εκδόσεις, Αθήνα 1994.
7. Π. Δρακάτος, Δ. Εκούρας, Ι. Φαναριώτου, Γ. Καλλίστρατος. "Επαναχρησιμοποίηση υγρών λυμάτων στη δασοπονία. Προβλήματα και προοπτικές" 2ο συνέδριο περιβαλλ. επιστήμης και τεχνολογίας, Μόλυβος, Μυτιλήνη, 1991, σελ. 795-800.
8. Α. Αγγελάκη "Η αναγκαιότητα ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης αστικών υγρών αποβλήτων στις Μεσογειακές χώρες". Τεχνικά, Ιούλ-Αυγ. 1993, σελ. 41-48.
9. H. Stewart, E. Allender, P. Sandell, P. Kube "Irrigation of tree plantations with recycled water". Australian Forestry, 1986, 49, (2), 81-88.
10. Κ. Κοντονάσιος, Β. Σωτηρόπουλος, Κ. Πανέτσος "Αξιοποίηση υγρών οικιακών λυμάτων με φυτεία ταχυαυζέων Δασοπονικών ειδών". Πρακτικά 4ου Εθνικού συνεδρίου Η.Μ.Ε. Εάνθη, Οκτώβριος 1992, Συμπληρωματικός τόμος, σελ. 88-95.
11. ΚΥΑ 80568/4225 "Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία αστικών και οικιακών λυμάτων".
- 12) Παυλογεωργάτος Γ., Καρνάς Γ., Λέκκας Θ.. "Προσδιορισμός δέκα βαρέων μετάλλων σε Μονάδα Επεξεργασίας υγρών αστικών Αποβλήτων και υπολογισμός της ικανότητας απομάκρυνσής τους".  
Πρακτικά 4ου συνεδρίου περιβαλλ. επιστήμης και τεχνολογίας. Μόλυβος Λέσβου, 4-7 Σεπτεμβρ. 1995, σελ. 175-184, Τόμος Α.
- 13) Τσιμαράκης Γ., Κογκάλου Ι., Κοτσιάφη Β., Γιωτάκης Κ. "Λειτουργία μονάδας βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων της πόλης των Ιωαννίνων. Ποιότητα νερών του αποδέκτη της εκροής".

Πρακτικά 4ου συνεδρίου περιβαλλ. επιστήμης και τεχνολογίας. Μόλυβος Λέσβου, 4-7 Σεπτεβρ. 1995, σελ. 148-155. Τόμος Α.

14) Κανονισμός ΕΟΚ 2080/92 που θεσπίζει καθεστώς ενισχύσεων για τα βασικά μέτρα στη γεωργία.

15) Πρακτικά συνεδρίου, Αθήνα, 9-12 Νοεμβρίου 1995, σελ. 404-411.

16) Γ. Βουρδουμπά. "Χρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων για άρδευση ενεργειακών φυτειών".

Η περίπτωση των Χανίων". Πρακτικά 4ου εθνικού συνεδρίου για τις ΗΜΕ. Ξάνθη 6-8 Οκτωβρίου 1992. σελ. Β10 42-47.

17) Γ. Βουρδουμπά. "Δημιουργία ενεργειακών φυτειών στη Κρήτη. Η αξιοποίηση του χαρουπιού για παραγωγή Αιθανόλης".

Πρακτικά 4ου Εθνικού συνεδρίου για τις ΗΜΕ Ξάνθη 6-8 Οκτωβρίου 1992. σελίς Β10 48-53.