



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος**

Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων»

Αξιολόγηση έργων επεξεργασίας ιλύος με και χωρίς μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης



Δόδουλα Ευγενία

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων : Κ. Νουτσόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος**

Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων»

Αξιολόγηση έργων επεξεργασίας ιλύος με και χωρίς μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

Δόδουλα Ευγενία

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων : Κ. Νουτσόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15^η Οκτωβρίου 2014

.....
Κωνσταντίνος Νουτσόπουλος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ανδρέας Ανδρεαδάκης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Σπυρίδων Γιακουμάκης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

.....

Ευγενία Δόδουλα
Διπλωματούχος Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Η εικόνα του εξωφύλλου απεικονίζει τους χωνευτές του Newton Creek Plant, της μεγαλύτερης Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων της Νέας Υόρκης.

Το περιεχόμενο της αναχείρας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατά τη φοίτηση μου στο ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» και την εκπόνηση της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας είχα τη χαρά να συνεργαστώ με πολλούς ανθρώπους. Κλείνοντας τον κύκλο των μεταπτυχιακών σπουδών θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά εκείνους που με την καθοδήγηση, τη στήριξη και την ενθάρρυνση τους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της πολύμηνης προσπάθειας.

Πρώτα από όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, ο οποίος υπήρξε όχι μόνο επιβλέπων καθηγητής της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας, αλλά και ο άνθρωπος που με εμπιστεύτηκε και με ενθάρρυνε σε κάθε βήμα αυτής. Κατά την εκπόνηση της εργασίας, είχα την ελευθερία να «περιπλανηθώ» αναζητώντας τις απαραίτητες πληροφορίες και τελικά, μέσω της αλληλεπίδρασης με εκείνον, να δώσουμε στην εργασία την παρούσα δομή, σεβόμενοι τους επιστημονικούς στόχους που εξ' αρχής είχαμε θέσει αλλά και λαμβάνοντας υπόψη τα στενά χρονικά περιθώρια. Η επικοινωνία και η συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στο ΕΜΠ και της εκπόνησης της εργασίας υπήρξε πολύτιμη.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Ανδρέα Ανδρεαδάκη, συντονιστή της ροής «Ποιότητα Υδάτων και Περιβαλλοντική Τεχνολογία» του ΔΠΜΣ, για την κατανόηση και τη συνδρομή του στην επίλυση τυπικών μα και ουσιαστικών ζητημάτων που προέκυψαν το τελευταίο διάστημα, καθώς και τις ουσιώδεις παρατηρήσεις του στο Τεύχος της Μεταπτυχιακής Εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνω και στον Επίκουρο Καθηγητή Σπυρίδωνα Γιακουμάκη, μόνιμο μέλος της τριμελούς επιτροπής, για τις εύστοχες παρατηρήσεις και επισημάνσεις του κατά τη διάρκεια της παρουσίασης της παρούσας εργασίας.

Ακόμα, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Αναπληρωτή Καθηγητή Δανιήλ Μαμάη για τη μεθοδικότητα και τη διαρκή παρουσία του και καθοδήγηση που προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στο ΔΠΜΣ, καθώς επίσης και στον Δρ. Πολιτικό Μηχανικό Ιωάννη Μαντζιάρα, ο οποίος, πέραν της εκπλήρωσης των διδακτικών του καθηκόντων, επιχείρησε να επικοινωνήσει στους συμφοιτητές μου και σε εμένα ένα διαφορετικό και δημιουργικό τρόπο συλλογιστικής.

Επιπλέον, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους τους επαγγελματίες που συνέβαλαν στην εκπόνηση αυτής της εργασίας παραχωρώντας χρήσιμα στοιχεία και τεχνογνωσία. Πρώτα απ' όλους, το προσωπικό της CAMBI και πιο συγκεκριμένα τους κυρίους Davide Perduca (Head of Business Unit της Cambi) και Davy Ringoot (Director of Business Development της Cambi) για τη συνεργασία, τη βοήθειά τους, καθώς και την εξασφάλιση χρήσιμων για την εργασία δεδομένων (τεχνικών και οικονομικών). Ακόμα, τον Μηχανολόγο Μηχανικό Αθανάσιο Δούση (General Manager της Panmarine Ltd) και τον κύριο Γεώργιο Αστέρη (Sales Engineer της Alfa Laval AEBE) για τις οικονομικές προσφορές μηχανολογικού εξοπλισμού που μου παρείχαν.

Φυσικά, δε θα μπορούσα να παραλείψω τον Πολιτικό Μηχανικό Δημήτρη Αδρακτά για την ουσιαστική του συμβολή, την αμέριστη συμπαράσταση, την προθυμία και τη συνεχή του καθοδήγηση. Η ορθή εξέλιξη και ολοκλήρωση αυτής της εργασίας δε θα ήταν δυνατή χωρίς τις θεωρητικές και τεχνικές γνώσεις που μου προσέφερε. Η συνεργασία μας τα τελευταία χρόνια υπήρξε καταλυτική για τη διαμόρφωση της επαγγελματικής μου συνείδησης και η αλληλεπίδραση μαζί του επηρέασε σημαντικά τον τρόπο σκέψης και προσέγγισης των ενδιαφερόντων μου.

Ευχαριστώ εξίσου θερμά τον πατέρα μου, Αθανάσιο Δόδουλα (Ναυπηγό Μηχανικό), ο οποίος με τις γνώσεις, την όρεξη και την υπομονή του, με κατεύθυνε σωστά, ώστε να αποκτήσω το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο στη Θερμοδυναμική. Έτσι, ο πήχης ανέβηκε ψηλότερα και οι στόχοι της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας διευρύνθηκαν. Η εμπάθυνση σε ζητήματα διαχείρισης ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής) μου επέτρεψε να αποκτήσω πιο σφαιρική εικόνα του ορθού σχεδιασμού, καθώς και της βέλτιστης λειτουργίας και διαχείρισης μιας Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων.

Πέραν της βοήθειας κατά τη συγγραφή της εργασίας, οφείλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου (εντός και εκτός συνόρων), οι οποίοι βρίσκονται στο πλευρό μου πάντα. Η παρέα τους, η υποστήριξη και η κατανόησή τους αποτελούν σημείο αναφοράς. Παρ' ό,τι χαράσσουμε ξεχωριστούς δρόμους, οι κοινές εμπειρίες και οι όμορφες στιγμές που μοιραζόμαστε κάνουν το ταξίδι μας συναρπαστικό.

Τέλος, θα ήθελα να σταθώ στην οικογένεια μου για την αγάπη, την υπομονή και τη στήριξη στις διαφορετικές επιλογές μου όλα αυτά χρόνια.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βελτιστοποίηση της αναερόβιας χώνευσης αποτελεί σημαντικό πεδίο μελέτης, κυρίως λόγω των πολυάριθμων δυνατοτήτων που προσφέρει. Το βασικότερο πλεονέκτημα της είναι η παραγωγή βιοαερίου. Το βιοαέριο είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που θα μπορούσε να αντικαταστήσει πολλά από τα συμβατικά καύσιμα. Λόγω των υψηλών απαιτούμενων χρόνων παραμονής και το υψηλό κόστος των χωνευτών, η ανάπτυξη τεχνολογιών με στόχο την αύξηση της δυναμικότητας επεξεργασίας (δυνατότητα υποδοχής μεγαλύτερης ποσότητας ιλύος) και της ειδικής παραγωγής βιοαερίου, αποκτούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, ιδιαίτερα για περιπτώσεις επέκτασης υφιστάμενων μονάδων. Για την άρση των παραπάνω περιορισμών, τα τελευταία χρόνια αναζητούνται μέθοδοι, που στόχο έχουν τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης για μεγιστοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου. Μια από τις πιο υποσχόμενες μεθόδους προεπεξεργασίας είναι η θερμική υδρόλυση. Πρόκειται για μια μέθοδο που έχει εφαρμοστεί σε αρκετές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων παγκοσμίως και παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Πέρα από την αυξημένη παραγωγή βιοαερίου, προσφέρει ακόμα υψηλή αφυδατωσιμότητα της ιλύος (έως 40% DS), μικρότερο όγκο και μάζα αφυδατωμένου προϊόντος και παράλληλα δίνει τη δυνατότητα αυξημένης φόρτισης των χωνευτών.

Εξετάζεται η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης σε δύο τυπικές για την Ελλάδα εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, εξυπηρετούμενου πληθυσμού 130.000 και 1.000.000 ισοδύναμων κατοίκων. Πιο συγκεκριμένα, οι εγκαταστάσεις διαστασιολογούνται για δύο εναλλακτικά σενάρια, την εφαρμογή ή μη θερμικής υδρόλυσης. Ακολουθεί σύγκριση και οικονομική αξιολόγηση των δύο σεναρίων, ώστε να εκτιμηθεί κατά πόσον συμφέρει οικονομικά η εισαγωγή της μεθόδου.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Χώνευση, αναερόβια χώνευση, προεπεξεργασία ιλύος, θερμική υδρόλυση, παραγωγή βιοαερίου, παραγωγή ιλύος, συγκέντρωση στερεών, αφυδατωσιμότητα, χωνευτές, παραγωγή ενέργειας, οικονομική αξιολόγηση, συγκριτικά σενάρια.

ABSTRACT

The optimization of anaerobic digestion is a major field of study, mainly because of the various opportunities offered. One of its most important advantages is the biogas production. Biogas is a renewable energy source that could replace many of the conventional fuels. However, as fuel, it cannot be fully exploited, mostly due to both high sludge residence times in the digesters and limited biogas production during the winter. For these restrictions to be encountered the last few decades new methods are sought, that aim to optimize the process of anaerobic digestion for biogas maximization. One of the most promising pretreatment methods is Thermal Hydrolysis Process (THP). It is a method that has been applied in several Wastewater Treatment Plants worldwide and has many advantages. Apart from the increased biogas production and sludge bio-degradability, Thermal Hydrolysis Process results in improved sludge dewaterability (up to 40% dry solids), significant sludge cake volume reduction, while at the same time allows for doubled digester loading.

This Master Thesis entitled “Assessment of alternative sewage sludge treatment with and without Thermal Hydrolysis”, studies the alternative sewage sludge pretreatment methods, deepens in the Thermal Hydrolysis Process (THP), which is considered to be one of the most promising pretreatment methods, and examines its implementation in two typical for Greek conditions Wastewater Treatment Plants, which service 130,000 and 1,000,000 equivalent inhabitants respectively. More specifically, each plant is designed for two different configuration scenarios including the application or not of Thermal Hydrolysis Process prior to anaerobic digestion. Following that, cost-benefit analyses are performed, in order to assess under which circumstances the implementation of THP is a cost-effective pretreatment sludge method.

At this point, it is very important to note that mainly two companies, CAMBI and *BioTHELYS*®, have been commercialized industrial processes of Thermal Hydrolysis. The calculations in all the configuration scenarios of this Master Thesis are based on the considerations and the assumptions proposed by CAMBI. CAMBI is a provider of technology to convert biodegradable material to renewable energy. The company is involved in environmental issues applying Thermal Hydrolysis for treating biosolids and biowaste and converting them to energy and fertilizer.

KEY WORDS

Digestion, anaerobic digestion, sludge pretreatment, thermal hydrolysis process, biogas production, sludge production, concentration of dry solids, dewaterability, digesters, energy production, cogeneration engine, cost-benefit analysis, configuration scenarios

ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία εστιάζει στο ζήτημα της βελτιστοποίησης της αναερόβιας χώνευσης σε Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων. Η ανάγκη για βελτιστοποίηση της αναερόβιας χώνευσης προέκυψε κυρίως από την ανάγκη παραγωγής ικανοποιητικών ποσοτήτων βιοαερίου, το οποίο παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση, αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μπορεί να αξιοποιηθεί ως καύσιμο.

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλά εναλλακτικά συστήματα προεπεξεργασίας ιλύος, τα οποία επιτυγχάνουν μεταξύ άλλων αύξηση παραγωγής βιοαερίου, βελτιωμένη αφυδατωσιμότητα της ιλύος κ.ά. Από τις διαθέσιμες μεθόδους επιλέχθηκε να εξεταστεί η θερμική υδρόλυση, η οποία αποτελεί το πιο διαδεδομένο σύστημα προεπεξεργασίας και τυγχάνει παγκόσμιας αναγνώρισης και αποδοχής. Δύο είναι οι κυρίαρχες εταιρίες που έχουν αναπτύξει κατάλληλη τεχνολογία (CAMBI and BioTHELYS®), η οποία βασίζεται στη μέθοδο της θερμικής υδρόλυσης, η καθεμία ακολουθώντας τη δική της μεθοδολογία. Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία προσεγγίζει τη μέθοδο της θερμικής υδρόλυσης σύμφωνα με τη μεθοδολογία και τις προδιαγραφές που συστήνει η μια εξ αυτών (CAMBI), και η οποία παρουσιάζεται λεπτομερώς στο 2^ο Κεφάλαιο.

Έτσι, στην παρούσα εργασία, όσον αφορά τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής των βασικότερων στοιχείων και πλεονεκτημάτων των πιο δημοφιλών συστημάτων προεπεξεργασίας ιλύος. Ακολούθως, πραγματοποιείται εκτενής περιγραφή της μεθόδου της θερμικής υδρόλυσης, των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της, καθώς επίσης και των πλεονεκτημάτων της.

Από τεχνικής άποψης, η θερμική υδρόλυση αποτελεί μια αποτελεσματική και ισχυρή μέθοδο προεπεξεργασίας της ιλύος, τα οφέλη της οποίας δεν μπορούν να αμφισβητηθούν. Μάλιστα, παγκοσμίως η CAMBI έχει εφαρμόσει την τεχνολογία της σε δεκάδες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων. Από οικονομικής άποψης, το κόστος επένδυσης σε απόλυτες τιμές παραμένει ιδιαίτερο υψηλό. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τα οφέλη που προσφέρει, είναι εφικτό η εφαρμογή της εν λόγω τεχνολογίας ενδεχομένως να προσδώσει ενεργειακή αυτονομία σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων και να της δώσει τη δυνατότητα να σημειώνει κερδοφορία. Φυσικά, ο βαθμός αυτονομίας και οφέλους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το μέγεθος της εγκατάστασης, το σχήμα επεξεργασίας, τη στρατηγική που ακολουθείται όσον αφορά την κάλυψη των ενεργειακών καταναλώσεων, τις εκάστοτε τιμές μονάδος των καυσίμων κ.ά.

Μέχρι πρόσφατα, το ζήτημα δεν είχε απασχολήσει τη χώρα μας. Όμως, οι στόχοι της ενεργειακής απόδοσης που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς επίσης η δυνατότητα βελτίωσης της επεξεργασίας της ιλύος με ταυτόχρονη μείωση του κόστους, φέρνουν τη χώρα μας αντιμέτωπη με τη νέα αυτή τεχνολογία. Δεδομένου μάλιστα ότι η Ελλάδα διαθέτει ορισμένες μεγάλης και αρκετές μεσαίας δυναμικότητας Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων, κρίνεται ωφέλιμη η μελέτη σκοπιμότητας της εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης σε τέτοιου μεγέθους εγκαταστάσεις.

Έτσι, για την αξιολόγηση των έργων προεπεξεργασίας ιλύος επιλέχθηκαν δύο Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (μία μεσαίας και μία μεγάλης δυναμικότητας, για τα ελληνικά δεδομένα). Για καθεμιά εγκατάσταση εξετάστηκαν δύο εναλλακτικά σενάρια, (α) συμβατική επεξεργασία ιλύος και (β) εφαρμογή θερμικής υδρόλυσης. Για να γίνει η αξιολόγηση, για κάθε σενάριο πραγματοποιήθηκαν αναλυτικοί υγιεινολογικοί υπολογισμοί, διαστασιολογήθηκαν οι δεξαμενές και ο απαραίτητος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, υπολογίστηκε το παραγόμενο βιοαέριο και βάσει αυτού διαστασιολογήθηκαν οι μονάδες συμπαραγωγής και, τέλος, υπολογίστηκε για την επεξεργασία ιλύος το κόστος επένδυσης και το ετήσιο λειτουργικό κόστος.

Έπειτα από σύγκριση των δύο εναλλακτικών σεναρίων και σύμφωνα με τα οικονομικά αποτελέσματα προκύπτει ότι η σκοπιμότητα εφαρμογής θερμικής υδρόλυσης εξαρτάται από μια πληθώρα παραγόντων, όπως το μέγεθος της εγκατάστασης, το σχήμα επεξεργασίας της, τις τιμές μονάδος του φυσικού αερίου, την ύπαρξη ή όχι συμπαραγωγής κ.ά..

Συνοψίζοντας, οι στόχοι που τέθηκαν στην παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία είναι οι εξής:

- *μελέτη των εναλλακτικών μεθόδων προεπεξεργασίας ιλύος,*
- *εμβάθυνση στη μέθοδο της θερμικής υδρόλυσης, η οποία αποτελεί την πιο αποτελεσματική μέθοδο προεπεξεργασίας, κυρίως λόγω της πληθώρας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει. Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην τεχνολογία της Θερμικής Υδρόλυσης που εφαρμόζει η CAMBI, εταιρία που εξειδικεύεται σε περιβαλλοντικά ζητήματα που έχουν να κάνουν με τη διαχείριση βιοδιασπάσιμου υλικού και την παραγωγή ενέργειας από αυτό.*
- *επίλυση εναλλακτικών σεναρίων επεξεργασίας ιλύος για δύο διαφορετικής δυναμικότητας Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων,*
- *οικονομοτεχνική ανάλυση κάθε σεναρίου και, τέλος,*

- συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων για τις υπό εξέταση Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	1
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1 Εισαγωγικό Σημείωμα.....	5
1.2 Αντικείμενο της Παρούσας Εργασίας	6
1.3 Σημεία Ιδιαίτερου Ενδιαφέροντος.....	8
1.4 Διάρθρωση της Παρούσας Εργασίας.....	9
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΙΛΥΟΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ.....	11
2.1 Ανάλυση Μεθόδων	11
2.1.1 Προεπεξεργασία με Βιολογικές Μεθόδους.....	13
2.1.2 Προεπεξεργασία με Θερμική Υδρόλυση.....	13
2.1.3 Προεπεξεργασία με Μηχανικές Μεθόδους.....	15
2.1.4 Προεπεξεργασία με Χημικές Μεθόδους.....	15
2.1.4.1 Οξείδωση.....	15
2.1.4.2 Χρήση Αλκαλίων.....	16
2.1.5 Περισσότερες Μέθοδοι – Συνδυασμός Μεθόδων.....	17
2.1.5.1 Ηλεκτροχημική Προεπεξεργασία	17
2.2 Θερμική Υδρόλυση.....	18
2.2.1 Γενικά.....	18
2.2.2 Περιγραφή Διαδικασίας.....	19
2.2.2.1 Συνοπτική Περιγραφή	19

2.2.2.2	Λεπτομερής Περιγραφή	20
2.2.3	Πλεονεκτήματα θερμική υδρόλυσης έναντι συμβατικής επεξεργασίας ιλύος..	23
3.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ.....	25
3.1	Γενικά.....	25
3.2	Στοιχεία Σχεδιασμού Εγκαταστάσεων	25
3.3	Σενάρια υπό διερεύνηση	28
3.4	Σχήμα Επεξεργασίας Εγκαταστάσεων.....	29
4.	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	33
4.1	Γενικά Στοιχεία	33
4.2	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #1	34
4.2.1	Σενάριο Α' – Συμβατική Επεξεργασία Περίσσειας Ενεργού Ιλύος.....	34
4.2.1.1	Γενικά.....	34
4.2.1.2	Διαστασιολόγηση Μονάδων	34
4.2.1.3	Ηλεκτρικές και Θερμικές Καταναλώσεις.....	40
4.2.1.4	Οικονομικά Στοιχεία.....	44
4.2.2	Σενάριο Β' – Εφαρμογή Θερμικής Υδρόλυσης στην Περίσσεια Ενεργού Ιλύος..	48
4.2.2.1	Γενικά.....	48
4.2.2.2	Διαστασιολόγηση Μονάδων	48
4.2.2.3	Ηλεκτρικές και Θερμικές Καταναλώσεις.....	59
4.2.2.4	Οικονομικά Στοιχεία.....	62

4.3	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #2	66
4.3.1	Σενάριο Α' – Συμβατική Επεξεργασία Περίσσειας Ενεργού Ιλύος.....	66
4.3.1.1	Γενικά.....	66
4.3.1.2	Διαστασιολόγηση Μονάδων	66
4.3.1.3	Ηλεκτρικές και Θερμικές Καταναλώσεις.....	72
4.3.1.4	Οικονομικά Στοιχεία.....	77
4.3.2	Σενάριο Β' – Εφαρμογή Θερμικής Υδρόλυσης στην Περίσσεια Ενεργού Ιλύος..	83
4.3.2.1	Γενικά.....	83
4.3.2.2	Διαστασιολόγηση Μονάδων	83
4.3.2.3	Ηλεκτρικές και Θερμικές Καταναλώσεις.....	94
4.3.2.4	Οικονομικά Στοιχεία.....	98
4.4	Σύγκριση Αποτελεσμάτων.....	103
4.4.1	Γενικά Στοιχεία	103
4.4.2	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #1	103
4.4.2.1	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	103
4.4.2.2	Κατανάλωση Θερμικής Ενέργειας.....	105
4.4.2.3	Κόστος Επένδυσης.....	106
4.4.2.4	Λειτουργικό Κόστος.....	108
4.4.2.5	Τελική Αποτίμηση.....	110
4.4.3	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #2	111
4.4.3.1	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	111
4.4.3.2	Κατανάλωση Θερμικής Ενέργειας.....	114

4.4.3.3	Κόστος Επένδυσης.....	114
4.4.3.4	Λειτουργικό Κόστος.....	117
4.4.3.5	Τελική Αποτίμηση.....	119
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	121
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	125
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄ – ΥΓΙΕΙΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	129
	ΕΕΛ #1 –Σενάριο Α΄	129
	Χειμώνας	129
	Θέρος.....	131
	ΕΕΛ #1 –Σενάριο Β΄	134
	Χειμώνας	134
	Θέρος.....	137
	ΕΕΛ #2 –Σενάριο Α΄	141
	Θέρος.....	143
	ΕΕΛ #2 –Σενάριο Β΄	146
	Χειμώνας	146
	Θέρος.....	149
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	153
	ΕΕΛ#1 – Σενάριο Α΄	153
	ΕΕΛ#1 – Σενάριο Β΄	154
	Σύγκριση Σεναρίων Α΄ και Β΄ για ΕΕΛ#1	155
	ΕΕΛ#2 – Σενάριο Α΄	156

ΕΕΛ #2 – Σενάριο Β'	157
Σύγκριση Σεναρίων Α' και Β' για ΕΕΛ#2	158

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων #1 και #2	26
Πίνακας 3.2 Παροχές Σχεδιασμού Ακαθάρτων Λυμάτων.....	27
Πίνακας 3.3 Συγκεντρώσεις στην είσοδο των ΕΕΛ.....	27
Πίνακας 3.4 Ρυπαντικά φορτία στην είσοδο των ΕΕΛ	28
Πίνακας 4.1 – Συγκεντρώσεις εξόδου	35
Πίνακας 4.2 – Στοιχεία για τη διαθέσιμη και απαιτούμενη θερμική ενέργεια	44
Πίνακας 4.3 – Επιμέρους και συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης	45
Πίνακας 4.4 - Επιμέρους και συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.....	47
Πίνακας 4.5 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης - χειμώνας. 51	
Πίνακας 4.6 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης - θέρος	52
Πίνακας 4.7 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο κατά την αραίωση - θέρος.....	53
Πίνακας 4.8 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο ανάμιξης των δύο ειδών ιλύος - χειμώνας.....	54
Πίνακας 4.9 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο ανάμιξης των δύο ειδών ιλύος - θέρος	55
Πίνακας 4.10 – Επιμέρους και συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης	63
Πίνακας 4.11 - Επιμέρους και συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.....	65
Πίνακας 4.12 – Στοιχεία για τη διαθέσιμη και απαιτούμενη θερμική ενέργεια	76
Πίνακας 4.13 – Επιμέρους και συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης	79
Πίνακας 4.14 - Επιμέρους και συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.....	82
Πίνακας 4.15 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης - χειμώνας	86
Πίνακας 4.16 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης - θέρος	87

Πίνακας 4.17 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο κατά την αραίωση - θέρος.....	88
Πίνακας 4.18 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο ανάμιξης των δύο ειδών ιλύος - χειμώνας....	89
Πίνακας 4.19 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο ανάμιξης των δύο ειδών ιλύος - θέρος	90
Πίνακας 4.20 – Επιμέρους και συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης	99
Πίνακας 4.21 - Επιμέρους και συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.....	102
Πίνακας 4.22 – Γενικά Στοιχεία Ηλεκτρικής Ενέργειας ΕΕΛ #1	103
Πίνακας 4.23 - Στοιχεία Ηλεκτρικής Ενέργειας για επεξεργασία ιλύος ΕΕΛ #1.....	105
Πίνακας 4.24 - Γενικά Στοιχεία Θερμικής Ενέργειας ΕΕΛ #1.....	105
Πίνακας 4.25 – Κόστος επένδυσης κάθε βαθμίδας της επεξεργασίας ιλύος ΕΕΛ#1.....	107
Πίνακας 4.26 - – Λειτουργικό Κόστος κάθε βαθμίδας της επεξεργασίας ιλύος ΕΕΛ#1.....	110
Πίνακας 4.27 - Γενικά Στοιχεία Ηλεκτρικής Ενέργειας ΕΕΛ #2.....	111
Πίνακας 4.28 - Στοιχεία Ηλεκτρικής Ενέργειας για επεξεργασία ιλύος ΕΕΛ #2.....	113
Πίνακας 4.29 - Γενικά Στοιχεία Θερμικής Ενέργειας ΕΕΛ #2.....	114
Πίνακας 4.30 - Κόστος επένδυσης κάθε βαθμίδας της επεξεργασίας ιλύος ΕΕΛ#2.....	116
Πίνακας 4.31- – Λειτουργικό Κόστος κάθε βαθμίδας της επεξεργασίας ιλύος ΕΕΛ#2	119

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 – Διαδικασία Θερμικής Υδρόλυσης (<i>Cambi Brochure</i>).....	23
Εικόνα 3.1 - Σχήμα Επεξεργασίας για Σενάριο Α'.....	32
Εικόνα 3.2 - Σχήμα Επεξεργασίας για Σενάριο Β'.....	32
Εικόνα 4.1 - Κατανομή Ηλεκτρικών Καταναλώσεων στην ΕΕΛ #1 - Συμβατική επεξεργασία ιλύος	104
Εικόνα 4.2 - Κατανομή Ηλεκτρικών Καταναλώσεων στην ΕΕΛ #1 - Θερμική υδρόλυση σε WAS	104
Εικόνα 4.3 - Συγκριτική Κατανομή Κόστους Επένδυσης στην ΕΕΛ #1	106
Εικόνα 4.4 - Κατανομή λειτουργικού κόστους ΕΕΛ#1 - Συμβατική Επεξεργασία Ιλύος	109
Εικόνα 4.5 - - Κατανομή λειτουργικού κόστους ΕΕΛ#1 - Θερμική Υδρόλυση σε WAS	109
Εικόνα 4.6 - Κατανομή Ηλεκτρικών Καταναλώσεων στην ΕΕΛ#2 - Συμβατική Επεξεργασία ιλύος	112
Εικόνα 4.7 - Κατανομή Ηλεκτρικών Καταναλώσεων στην ΕΕΛ#2 - Θερμική Υδρόλυση σε WAS	113
Εικόνα 4.8 - Συγκριτική Κατανομή Κόστους Επένδυσης στην ΕΕΛ #2	115
Εικόνα 4.9 - Κατανομή λειτουργικού κόστους ΕΕΛ#2 - Συμβατική Επεξεργασία Ιλύος	118
Εικόνα 4.10 - Κατανομή λειτουργικού κόστους ΕΕΛ#2 - Θερμική Υδρόλυση σε WAS	118

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγικό Σημείωμα

Η διαχείριση της ιλύος που προέρχεται από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων αποτελεί ένα κρίσιμο περιβαλλοντικό ζήτημα. Είναι μια από τις σπουδαιότερες προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει ο λειτουργός κάθε εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, λόγω τόσο της αυξανόμενης ποσότητας παραγόμενης ιλύος, όσο και των αυστηρότερων κριτηρίων που επιβάλλονται για την ασφαλή διάθεση της από τη Νομοθεσία.

Δεδομένης της απαγόρευσης της διάθεσης ιλύος σε επιφανειακούς αποδέκτες και τη θάλασσα, η πιο κοινή και διαδεδομένη μέθοδος διάθεσης ιλύος στη χώρα μας είναι η υγειονομική ταφή μαζί με τα απορρίμματα σε ΧΥΤΑ. Μόνη εξαίρεση αποτελούν οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη, οι οποίες καλύπτουν μόνο το 50% της παραγωγής. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου προϋποθέτει την κατάλληλη επεξεργασία της ιλύος προς διάθεση (σταθεροποίηση και αφυδάτωση) καθώς και την απουσία βαρέων μετάλλων και άλλων επικίνδυνων ενώσεων. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η ασφαλής απομόνωση των ρυπαντικών ουσιών της ιλύος. Η παραδοσιακή αυτή αντιμετώπιση του προβλήματος διαχείρισης της ιλύος παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα. Σε πολλές περιπτώσεις, η ιλύς δε γίνεται αποδεκτή για ταφή από τους αρμόδιους για τη λειτουργία των ΧΥΤΑ, οι οποίοι θέτουν ολοένα και πιο αυστηρά κριτήρια, π.χ. εξασφάλιση υψηλού ποσοστού στερεών (> 25% DS), που δύσκολα επιτυγχάνεται με τις συμβατικές μεθόδους αφυδάτωσης, επαρκή υγειονομοποίηση, κτλ. Επιπρόσθετα, η Ευρωπαϊκή Ένωση προωθεί την υιοθέτηση εναλλακτικών στρατηγικών όσον αφορά τη διαχείριση ιλύος, οι οποίες αποσκοπούν στην αξιοποίηση της ιλύος μέσω ανάκτησης υλικών και ενέργειας. Τα παραπάνω συμβάλλουν στη σταδιακή εφαρμογή εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης της παραγόμενης ιλύος, όπως επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία (ως λίπασμα) και ευρύτερη εδαφική διάθεση (ως εδαφοβελτιωτικό), ανάκτηση ενέργειας (μέσω της θερμικής επεξεργασίας) κ.ά.

Ανεξάρτητα από την εκάστοτε εφαρμοζόμενη στρατηγική διαχείρισης και διάθεσης, παραμένουν τα ζητήματα της μείωσης της παραγόμενης μάζας της ιλύος καθώς και της απαίτησης για όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερη αξιοποίηση της εντός της

εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, με γνώμονα πάντα τη διατήρηση του λειτουργικού κόστους σε χαμηλά επίπεδα.

Το κόστος της μεταφοράς και διάθεσης της παραγόμενης ιλύος μπορεί να αποτελέσει σπουδαίο ποσοστό του συνολικού ετήσιου λειτουργικού κόστους μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Έτσι, απαραίτητη κρίνεται η αναζήτηση μεθόδων που θα συμβάλλουν στη μείωση της μάζας της παραγόμενης ιλύος. Προς αυτή την κατεύθυνση, η χώνευση, η αφυδάτωση και η ξήρανση της ιλύος αποτελούν διαδικασίες που συμβάλλουν, μεταξύ άλλων, στη μείωση της μάζας της ιλύος. Η απόδοση αυτών των διαδικασιών εξαρτάται άμεσα από τα χαρακτηριστικά και την ποιότητα της ιλύος με την οποία τροφοδοτούνται. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι για να επιτευχθούν τα ίδια χαρακτηριστικά ιλύος (π.χ. ποσοστό στερεών %DS) στην έξοδο των εν λόγω διεργασιών απαιτείται μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, και ως εκ τούτου υψηλότερο λειτουργικό κόστος, στην περίπτωση που η ιλύς στην είσοδο έχει δυσμενή χαρακτηριστικά (π.χ. χαμηλό ποσοστό στερεών DS, κακή ικανότητα αφυδατωσιμότητας κτλ.). Σε κάθε περίπτωση, η δυνατότητα μείωσης της μάζας του τελικού προϊόντος παραμένει περιορισμένη.

Προς αυτή την κατεύθυνση, τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια ανάπτυξης νέων μεθόδων προεπεξεργασίας της ιλύος, με στόχο τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της (αύξηση ποσοστού διασπάσιμων οργανικών στερεών, βελτίωση ικανότητας αφυδατωσιμότητας κ.ά.). Κατά την επεξεργασία της 'βελτιωμένης' ιλύος παρατηρείται αύξηση του ποσοστού διάσπασης οργανικών στερεών, και ως εκ τούτου μείωση των στερεών στη χωνεμένη ιλύ και αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου. Επιπρόσθετα, επιτυγχάνεται καλύτερη αφυδατωσιμότητα της ιλύος, γεγονός που συμβάλει σε αυξημένη συγκέντρωση στερεών στην αφυδατωμένη ιλύ και μείωση της μάζας της παραγόμενης ιλύος (είτε έχει υποστεί ξήρανση είτε όχι).

1.2 Αντικείμενο της Παρούσας Εργασίας

Σκοπός της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας είναι η ανασκόπηση των διαφόρων μεθόδων προεπεξεργασίας ιλύος, που έχουν σα στόχο την αύξηση της παραγόμενου βιοαερίου, τη βελτίωση της αφυδατωσιμότητας και τη μείωση της μάζας της παραγόμενης ιλύος. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στη μέθοδο της θερμικής υδρόλυσης, η οποία αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες και αποτελεσματικές μεθόδους προεπεξεργασίας και

πραγματοποιείται ανάντη της χώνευσης. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζεται η τεχνολογία της θερμικής υδρόλυσης, όπως εφαρμόζεται από την CAMBI, λαμβάνοντας υπόψη τις παραδοχές και τις σχετικές εγγυήσεις του εν λόγω προμηθευτή. Αξιολογείται τεχνικά και οικονομικά η σκοπιμότητα εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης σε Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων. Για το λόγο αυτό εξετάζονται δύο εναλλακτικά σενάρια (Συμβατική επεξεργασία ιλύος και Εφαρμογή Θερμικής Υδρόλυσης) σε δύο Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων διαφορετικής δυναμικότητας και εξυπηρετούμενου πληθυσμού.

Για την αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων σε κάθε Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων καταστρώνονται υπολογιστικά φύλλα, όπου πραγματοποιούνται λεπτομερείς Υγιεινολογικοί Υπολογισμοί (τόσο για το χειμώνα όσο και για το θέρος) των δύο εναλλακτικών σεναρίων. Μεταξύ άλλων, υπολογίζεται η παραγωγή ιλύος, το παραγόμενο βιοαέριο, καθώς και οι ηλεκτρικές και θερμικές απαιτήσεις κάθε εγκατάστασης. Επιπρόσθετα, διαστασιολογούνται οι δεξαμενές, ο απαιτούμενος μηχανολογικός εξοπλισμός καθώς και οι μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘΕ). Για το δεδομένο σχεδιασμό κάθε εγκατάστασης και έπειτα από επικοινωνία με προμηθευτές ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, αλλά και μηχανικούς με πολυετή εμπειρία σε αντίστοιχα έργα, γίνεται μια εκτίμηση του συνολικού κόστους επένδυσης καθώς και του ετήσιου λειτουργικού κόστους. Η αξιολόγηση της σκοπιμότητας εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης σε κάθε εγκατάσταση γίνεται συγκρίνοντας τα οικονομικά στοιχεία των δύο εναλλακτικών σεναρίων.

Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η εύρεση των οικονομικών στοιχείων για τη σύγκριση των εναλλακτικών σεναρίων μεταξύ τους. Αποτέλεσε μάλιστα μία από τις μεγάλες προκλήσεις της παρούσας εργασίας, κυρίως λόγω της δυσκολίας συλλογής σχετικών στοιχείων για τους σκοπούς μιας Μεταπτυχιακής Εργασίας. Έτσι, η οικονομική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας βασίζεται :

- σε οικονομικές προσφορές από πιστοποιημένους οίκους προμηθευτών, όπως CAMBI, GEA Westfalia, Alfa Laval. Πιο συγκεκριμένα η εκτίμηση του κόστους των μονάδων θερμικής υδρόλυσης βασίζεται σε προσφορά της CAMBI, ενώ το κόστος των φυγοκεντρικών προ-αφυδάτωσης, καθώς και μηχανικής πάχυνσης και μηχανικής αφυδάτωσης προσδιορίστηκε από τις οικονομικές προσφορές των GEA Westfalia και Alfa Laval, αντίστοιχα.

- στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, π.χ. Γερμανικούς κανονισμούς ATV, και σε συγκριτικά στοιχεία από υπάρχουσες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων στην Ελλάδα. Για την εκτίμηση του κόστους, π.χ. των χωνευτών, ελήφθησαν υπόψη συγκριτικά στοιχεία από ελληνικά τεχνικά έργα..
- σε πληροφορίες από κατασκευαστικές εταιρείες και μηχανικούς με πολυετή εμπειρία σε σχετικά έργα. Οι εκτιμήσεις του κόστους των μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, του κόστους διάθεσης αφυδατωμένης και ξηραμένης ιλύος κ.ά. έγιναν αξιοποιώντας στοιχεία από κατασκευαστικές εταιρείες και μηχανικούς.

1.3 Σημεία Ιδιαίτερου Ενδιαφέροντος

Πέρα από το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων και τη διαστασιολόγηση όλων των μονάδων επεξεργασίας της γραμμής τόσο των λυμάτων όσο και της ιλύος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χάραξη της στρατηγικής που ακολουθείται σε κάθε Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων όσον αφορά την αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής).

Οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων είναι αυξημένες. Για τη μείωση του λειτουργικού κόστους επιδιώκεται η βέλτιστη αξιοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Κατά την αναερόβια χώνευση παράγεται βιοαέριο

Το παραγόμενο βιοαέριο επιλέγεται να διοχετευτεί σε μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής (ΣΗΘΕ) για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και θερμικής ενέργειας. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια επιλέγεται να αξιοποιείται για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της εγκατάστασης (τόσο για την επεξεργασία των λυμάτων , όσο και την επεξεργασία της ιλύος). Τα καυσαέρια της μονάδας συμπαραγωγής διοχετεύονται σε λέβητα. Ένα μέρος της ενέργεια αποτελεί απώλειες που χάνονται στο περιβάλλον, ενώ η υπόλοιπη θερμική ενέργεια αξιοποιείται κατάλληλα για την κάλυψη των εκάστοτε αναγκών (π.χ. η θερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτών, ενώ η θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας αξιοποιείται για την έγχυση ατμού υψηλής πίεσης στην εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης και για τη μονάδα θερμικής ξήρανσης).

Σε περίπτωση περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχει η πρόβλεψη πώλησης της στο δίκτυο, ενώ σε περίπτωση ελλείματος, θεωρείται ότι οι εξεταζόμενες Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων έχουν τη δυνατότητα άμεσης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο. Σε ό,τι αφορά την απαιτούμενη θερμική ενέργεια, σε περίπτωση που η παραγόμενη θερμική ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών, προβλέπεται η αγορά και καύση φυσικού αερίου. Γι' αυτό το λόγο άλλωστε οι μηχανές που επιλέγονται να εγκατασταθούν είναι διπλού καυσίμου (βιοαέριο και φυσικό αέριο), ώστε να υπάρχει ευελιξία. Φυσικά, προβλέπεται και η εγκατάσταση εναλλακτών για τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας υψηλής ενθαλπίας σε θερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας.

1.4 Διάρθρωση της Παρούσας Εργασίας

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία αποτελείται από πέντε Κεφάλαια και δύο Παραρτήματα.

Στον παρόν κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο αντικείμενο και τους στόχους της εργασίας. Αναδεικνύονται, επίσης, τα σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος και, τέλος, δίνεται ο σκελετός της παρούσας εργασίας.

Ακολούθως, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση των εναλλακτικών μεθόδων προεπεξεργασίας. Στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου επιχειρείται μια θεωρητική επισκόπηση των βασικότερων στοιχείων των πιο διαδεδομένων και αποτελεσματικών μεθόδων προεπεξεργασίας ιλύος, ενώ στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου γίνεται ιδιαίτερη μνεία στην τεχνολογία της θερμικής υδρόλυσης, όπως εφαρμόζεται από την CAMBI.

Το τρίτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την περιγραφή των σχημάτων επεξεργασίας κάθε εγκατάστασης και την ανάλυση των υπό διερεύνηση σεναρίων. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται τα δεδομένα σχεδιασμού κάθε εγκατάστασης και παρουσιάζονται τα σχήματα επεξεργασίας των λυμάτων και της ιλύος. Τέλος, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στα εξεταζόμενα σενάρια, επισημαίνοντας τις βασικές θεωρήσεις καθενός.

Το κεφάλαιο που ακολουθεί περιλαμβάνει τους αναλυτικούς υπολογισμούς (υγιεινολογικοί υπολογισμοί και ενεργειακές καταναλώσεις) καθώς επίσης και τη διαστασιολόγηση των μονάδων επεξεργασίας και των μονάδων συμπαραγωγής για κάθε εξεταζόμενο σενάριο και

κάθε εγκατάσταση. Επιχειρείται η κοστολόγηση των έργων ΠΜ και του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, καθώς και η εκτίμηση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης κάθε εγκατάστασης. Στο τέλος του κεφαλαίου, πραγματοποιείται σύγκριση των εναλλακτικών σεναρίων των δύο Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων. Παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα με χρήσιμα στοιχεία που απεικονίζουν την ετήσια κατανομή του Κόστους Επένδυσης και του Λειτουργικού Κόστους στις εξεταζόμενες εγκαταστάσεις, καθώς επίσης και τον ποσοστιαίο καταμερισμό των ηλεκτρικών και θερμικών καταναλώσεων στις επιμέρους διεργασίες.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί σύνοψη των κύριων συμπερασμάτων που προκύπτουν από την ανάλυση, τόσο τεχνικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο, των δύο εναλλακτικών σεναρίων για κάθε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Τίθενται, επίσης, προβληματισμοί για περαιτέρω διερεύνηση της εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης σε περισσότερες και κυμαινόμενης δυναμικότητας Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων.

Στο Παράρτημα Α' δίνονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των υγιεινολογικών υπολογισμών που σχετίζονται με την επεξεργασία της ιλύος για όλα τα σενάρια εφαρμογής. Στο Παράρτημα Β' περιλαμβάνονται τα οικονομικά στοιχεία κάθε Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων για κάθε εξεταζόμενο σενάριο. Επίσης, για πλήρη εποπτεία δίνονται σε μορφή Πίνακα οι επιμέρους δαπάνες κάθε βαθμίδας επεξεργασίας, που επιτρέπει την εύκολη σύγκριση των δύο εναλλακτικών σεναρίων κάθε ΕΕΛ.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΙΛΥΟΣ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ

2.1 Ανάλυση Μεθόδων

Όπως έχει ήδη επισημανθεί, τα οφέλη της αναερόβιας χώνευσης είναι πολλά. Το κυριότερο πλεονέκτημα της είναι η παραγωγή βιοαερίου. Το βιοαέριο είναι μία καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (καύσιμο «φιλικό» για το περιβάλλον) που θα μπορούσε να αντικαταστήσει πολλές συμβατικές μορφές ενέργειας (όπως ορυκτά καύσιμα, πετρέλαιο κτλ.). Η ανάγκη για στροφή στη χρήση «φιλικών» προς το περιβάλλον καυσίμων γίνεται επιτακτική κυρίως λόγω των οικολογικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται από τη χρήση των συμβατικών καυσίμων, αλλά και της μακροπρόθεσμης εξάντλησης των αποθεμάτων από την αλόγιστη χρήση τους.

Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα, η τεχνολογία του βιοαερίου δεν μπορεί να αξιοποιηθεί πλήρως λόγω ορισμένων περιορισμών. Ο υψηλός απαιτούμενος υδραυλικός χρόνος παραμονής (20 ημέρες) και η χαμηλή παραγωγή βιοαερίου αποτελούν τους δύο βασικότερους ρόλους που συμβάλλουν στην περιορισμένη χρήση του βιοαερίου. Κατά συνέπεια, το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας και των εταιριών έχει μετατοπιστεί στην έρευνα για την ανάπτυξη κατάλληλων μεθόδων και τεχνολογιών, οι οποίες θα ενισχύσουν την παραγωγή βιοαερίου κατά τη χώνευση. Φυσικά στόχος είναι η αύξηση παραγωγής του βιοαερίου με ταυτόχρονη μείωση του απαιτούμενου κόστους [16].

Πληθώρα μεθόδων έχει προταθεί από την επιστημονική κοινότητα για την ενίσχυση της αναερόβιας χώνευσης. Μεταξύ αυτών είναι η προσθήκη άλλων πλην της ιλύος οργανικών ενώσεων (όπως λόγου χάρη λίπη, οργανικό κλάσμα αστικών απορριμάτων κτλ) τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική αύξηση της παραγωγής βιοαερίου εφόσον οι χωνευτές έχουν περιθώρια δυναμικότητας, η ανακύκλωση της χωνεμένης ιλύος, η μεταβολή των λειτουργικών παραμέτρων (θερμοκρασία, υδραυλικός χρόνος παραμονής και μέγεθος σωματιδίων υποστρώματος), η προσθήκη καλλιεργειών μικροβίων, καταλυτών και άλλων πρόσθετων, που ορισμένοι ισχυρίζονται ότι αυξάνουν την απόδοση της χώνευσης κ.ά.

Η προεπεξεργασία αυξάνει την απόδοση παραγωγής βιοαερίου. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της προεπεξεργασίας οι σύνθετες μεγαλομοριακές οργανικές ενώσεις σπάνε σε μικρότερου μοριακού βάρους, οι οποίες πλέον μπορούν πιο εύκολα να αποδομηθούν. Οι μέθοδοι προεπεξεργασίας [13] διακρίνονται σε :

- Βιολογικές Μεθόδους
- Μηχανικές Μεθόδους (όπως υπέρηχοι, υψηλή πίεση και λύση)
- Θερμική Υδρόλυση
- Χημικές Μεθόδους με οξείδωση (κυρίως οζόνωση)
- Επεξεργασία με αλκάλια

Η απόδοση των βιολογικών μεθόδων είναι σχετικά μέτρια και η αύξηση παραγωγής του βιοαερίου σχετικά περιορισμένη. Οι μηχανικές μέθοδοι προεπεξεργασίας προσφέρουν βελτιωμένη απόδοση και ηλεκτρική παραγωγή. Η θερμική υδρόλυση προσφέρει ουσιαστικά αυξημένη απόδοση. Μάλιστα σύμφωνα με τους Carrere et al, οι ήπιες μέθοδοι, όπως οι μηχανικές και οι βιολογικές μέθοδοι, βελτιώνουν το ρυθμό αποσύνθεσης του οργανικού φορτίου, ενώ οι πιο έντονες μέθοδοι, όπως η θερμική υδρόλυση και η οξείδωση, βελτιώνουν τόσο το ρυθμό αποσύνθεσης του οργανικού υλικού όσο και το βαθμό αποσύνθεσης.

Βασικοί στόχοι της επεξεργασίας της ιλύος είναι η απομάκρυνση του οργανικού, με αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου και της μάζας της, η απομάκρυνση του διασπάσιμου υλικού, με αποτέλεσμα τον περιορισμό των οσμών, και η εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών. Η αναερόβια χώνευση κυρίως λόγω του μειωμένου κόστους και του μειωμένου ενεργειακού αποτυπώματος αποτελεί προτιμάται έναντι της αερόβιας. Η αναερόβια χώνευση μπορεί να ενισχυθεί με διαδικασίες παράλληλης επεξεργασίας, οι οποίες οδηγούν σε μεταβολή των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων της ιλύος. Οι διαδικασίες αυτές είναι δυνατόν να τοποθετηθούν σε διάφορες θέσεις στην ίδια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Έτσι, ο καθορισμός του σημείου εφαρμογής της εκάστοτε μεθόδου προεπεξεργασίας επιφέρει διαφορετικά αποτελέσματα στην εγκατάσταση. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητό με ορισμένα παραδείγματα. Όταν, παραδείγματος χάριν, η προεπεξεργασία εφαρμόζεται στο ρεύμα της εσωτερικής ανακυκλοφορίας της δεξαμενής αερισμού της βιολογικής βαθμίδας ή στο ρεύμα της εξωτερικής ανακυκλοφορίας από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης στην είσοδο του βιοαντιδραστήρα, παρατηρείται περιορισμός της παραγωγής ιλύος, αλλά και αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και του

ενεργειακού κόστους. Αντίθετα, όταν η προεπεξεργασία συνδέεται με την αναερόβια χώνευση, σημειώνεται μείωση του κόστους και μείωση της παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου.

Ακολουθεί ανάλυση των βασικότερων μεθόδων προεπεξεργασίας.

2.1.1 Προεπεξεργασία με Βιολογικές Μεθόδους

Οι Βιολογικές Μέθοδοι προεπεξεργασίας περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα διαδικασιών, αερόβιων και αναερόβιων. Μεγάλο ενδιαφέρον εμφανίζουν οι διαδικασίες που σχετίζονται με την βιολογική προεπεξεργασία ανάντη της αναερόβιας χώνευσης.

Στόχος των βιολογικών μεθόδων είναι η όσο το δυνατόν πιο αυξημένη απόδοση, κάτι που επιτυγχάνεται με την ενίσχυση της υδρόλυσης πριν την είσοδο της ιλύος στους χωνευτές. Ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι η αναερόβια χώνευση σε δύο φάσεις θερμοκρασιών (Temperature phased anaerobic digestion, TPAD). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ως ένα στάδιο θερμοκρασίας είτε τις θερμοφιλικές (~55°C) είτε τις υπερ-θερμοφιλικές συνθήκες (~60-70°C), σε αερόβιες ή αναερόβιες συνθήκες.

Οι θερμοφιλικές διεργασίες καθώς και η θερμοφιλική υδρολυτική δραστηριότητα των μικροοργανισμών έχει μελετηθεί εκτενώς. Είναι γνωστό ότι οι θερμοφιλικές συνθήκες συμβάλλουν σε αύξηση του βαθμού διάσπασης των οργανικών στερεών (organic solids destruction rate), κάτι που μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη υδρολυτική δραστηριότητα. Οι Ge et al. αξιολόγησαν την αύξηση στην παραγωγή μεθανίου συγκρίνοντας τις εξής δύο περιπτώσεις : (α) θερμοφιλική προεπεξεργασία (HRT=2 ημέρες) και αναερόβια μεσοφιλική χώνευση (HRT=13-14 ημέρες) και (β) μεσοφιλική προεπεξεργασία (HRT=2 ημέρες) και αναερόβια μεσοφιλική χώνευση (HRT=13-14 ημέρες). Παρατηρήθηκε ότι στην πρώτη περίπτωση η παραγωγή μεθανίου και η διάσπαση των στερεών ήταν αυξημένη κατά 25% σε σχέση με τη δεύτερη περίπτωση.

2.1.2 Προεπεξεργασία με Θερμική Υδρόλυση

Η Θερμική Υδρόλυση εφαρμόστηκε πρώτη φορά για τη βελτίωση της αφυδατωσιμότητας της ιλύος. Επιτρέπει την αποσύνθεση της δομής της ιλύος και την απελευθέρωση του περικλειόμενου νερού. Η μέθοδος πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες 150-180°C. Έχει σαν αποτέλεσμα τη μερική διαλυτοποίηση της ιλύος, γεγονός που ενισχύει την αναερόβια χώνευση. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 160 και 180

°C και χρόνοι επεξεργασίας μεταξύ 30 και 60 λεπτών οδηγούν σε βέλτιστο αποτέλεσμα. Η πίεση μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 600 και 2.500 kPa. Βέβαια, συχνά παρατηρείται ότι ο χρόνος επεξεργασίας δεν παίζει σπουδαίο ρόλο σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες.

Στο παρελθόν η αύξηση της παραγωγής μεθανίου έχει συνδεθεί γραμμικά με τη διαλυτοποίηση του COD της ιλύος. Ωστόσο, παρατηρήθηκε από τους Dwyer et al ότι η αυξανόμενη θερμοκρασία άνω των 150 °C ενισχύει μεν τη διαλυτότητα, δεν οδηγεί όμως σε αύξηση μετατροπής οργανικών στερεών σε μεθάνιο. Προεπεξεργασία σε υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες οδηγεί σε μειωμένη αποσύνθεσης τη ιλύος, παρά το ότι επιτυγχάνεται υψηλή διαλυτοποίηση. Η αύξηση της παραγωγής μεθανίου εξαρτάται από την αρχική ικανότητα βιοδιάσπασης της ιλύος, με καλύτερα αποτελέσματα στη βιολογική ιλύ, και όχι στην πρωτοβάθμια. Η θερμική υδρόλυση συμβάλλει σε αυξημένους ρυθμούς υδρόλυσης και έτσι ο χρόνος παραμονής μπορεί να μειωθεί στις 2,9 ημέρες τροφοδοτώντας ουσιαστικά τους χωνευτές με υγρό κλάσμα προεπεξεργασμένης ιλύος. Η υγιεινοποίηση της ιλύος, η μείωση του ιξώδους της ιλύος (που προσφέρει περισσότερες δυνατότητες για εύκολη διαχείριση του τελικού προϊόντος) και το γεγονός ότι δεν απαιτείται επιπλέον ενέργεια (αφού οι ενεργειακές απαιτήσεις μπορούν να καλυφθούν από την αυξημένη παραγωγή βιοαερίου) είναι μόνο ορισμένα από τα πλεονεκτήματα της θερμικής υδρόλυσης. Φυσικά υπάρχουν και μειονεκτήματα, όπως η αύξηση του αδρανούς κλάσματος, η αυξημένη συγκέντρωση αμμωνίας καθώς και πιθανή επιδείνωση της απόδοσης της αφυδάτωσης λόγω αύξησης των πολύ μικρού μεγέθους σωματιδίων.

Μια από τις επιχειρήσεις παγκοσμίως που έχουν ασχοληθεί και επενδύσει στην τεχνολογία της θερμικής υδρόλυσης είναι η Cambi. Το σχήμα επεξεργασίας που εφαρμόζει η Cambi για να επιτύχει τη θερμική υδρόλυση περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω. Με λίγα λόγια, η προεπεξεργασία της ιλύος γίνεται σε θερμοκρασία 150-180°C και διαρκεί 30-60 λεπτά. Η έγχυση ατμού αποτελεί χαρακτηριστικό της μεθόδου της Cambi. Η πρώτη Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων στην οποία εφαρμόστηκε η θερμική υδρόλυση της Cambi ήταν η ΕΕΛ του Hamar, στη Νορβηγία το 1995. Το ισοζύγιο ενέργειας της εγκατάστασης έδειξε αύξηση στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια της τάξεων του 20%. Έπειτα από πολυετή εφαρμογή σε διάφορες εγκαταστάσεις προκύπτει ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης οδηγεί σε (α) αύξηση της παραγωγής του βιοαερίου και μείωση του οργανικού φορτίου κατά 60%, (β) μείωση του όγκου της ιλύος, με ποσοστό στερεών στην αφυδατωμένη ιλύ ίσο

με 30% ξηρά στερεά, (γ) αύξηση της ικανότητας των χωνευτών με οργανικό φορτίο 5-6 kg VS/m³-d.

Να σημειωθεί ότι παρ' ό,τι σε επίπεδο πλήρους κλίμακας εφαρμόζεται άμεση έγχυση ατμού, ερευνάται εργαστηριακά η εναλλακτική χρήση αυτόκαυστων υλικών ή φούρνου μικροκυμάτων. Οι Eskicioglu et al. παρατήρησαν ότι η χρήση μικροκυμάτων έχει σαν αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση στην παραγωγή του βιοαερίου (+16% μετά από 15 ημέρες σε μεσοφιλική χώνευση και 96 °C προεπεξεργασία) [13].

2.1.3 Προεπεξεργασία με Μηχανικές Μεθόδους

Μια από τις πιο δημοφιλείς μηχανικές μεθόδους προεπεξεργασίας είναι η χρήση υπερήχων, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα τη διάσπαση των κυττάρων. Σχετίζεται με δυο βασικούς μηχανισμούς : (α) τη σπηλαίωση, που ευνοείται σε χαμηλές συχνότητες και (β) τις χημικές αντιδράσεις λόγω δημιουργίας ριζών OH, HO₂, H σε υψηλές συχνότητες. Στην επεξεργασία ιλύος, οι χαμηλές συχνότητες (20-40 kHz) είναι οι πιο αποτελεσματικές. Επιπρόσθετα, υπάρχει ένα εύρος τιμών μέσα στο οποίο κυμαίνεται η τιμή ειδικής ενέργειας που πρέπει να εφαρμοστεί. Συνήθως, η ενέργεια κυμαίνεται μεταξύ 1.000 και 16.000 kJ/kg και εξαρτάται από την συγκέντρωση των στερεών. Έχει παρατηρηθεί ότι η βέλτιστη συγκέντρωση στερεών είναι 2,3-3,2% DS.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η μέθοδος των υπερήχων έχει τα εξής θετικά αποτελέσματα: (α) αύξηση βιοαερίου από 24% έως 140% σε πειράματα μη συνεχή (batch) και από 10% έως 40% σε συνεχή πειράματα., (β) βελτίωση της καθιζημασιότητας της ιλύος, και (γ) περιορισμό των προβλημάτων διόγκωσης (bulking). Όσον αφορά την αφυδατωσιμότητα, οι απόψεις στην επιστημονική κοινότητα δίστανται. Ορισμένοι ισχυρίζονται ότι η αφυδατωσιμότητα βελτιώνεται όσο αυξάνεται η διάρκεια επεξεργασίας με υπερήχους (Kim Y.U., Kim B.I., 2003), ενώ οι Li et al απέδειξαν ότι η αφυδατωσιμότητα βελτιώνεται μόνο για βαθμό αποσύνθεσης της ιλύος 2-5% [13].

2.1.4 Προεπεξεργασία με Χημικές Μεθόδους

2.1.4.1 Οξείδωση

Η οζόνωση είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος προεπεξεργασίας με χημικές μεθόδους. Οδηγεί σε διαλυτοποίηση και η απόδοση αυξάνεται ανάλογα με τη δόση. Πολύ υψηλή δόση όζονος θα επιφέρει τα αντίθετα αποτελέσματα, λόγω οξείδωσης των διαλυτών

συστατικών. Επίσης, ενδέχεται να μειωθεί η παραγωγή βιοαερίου, αφού το όζον, όντας οξειδωτικό, μπορεί να οξειδώσει το οργανικό υλικό πριν τη χώνευση.

Η οζόνωση συνδυάζεται με την αναερόβια χώνευση, ως μέθοδος προεπεξεργασίας ή και ως μέθοδος μετα-επεξεργασίας με ανακυκλοφορία της ιλύος πίσω στους χωνευτές. Πράγματι, σύμφωνα με τους Goel et al., η περίπτωση της μετα-επεξεργασίας και ανακυκλοφορίας παρουσιάζει καλύτερη απόδοση και απαιτεί μικρότερη κατανάλωση όζονος.

Στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται το υψηλό κόστος λειτουργίας. Όσον αφορά την αφυδατωσιμότητα, παρατηρήθηκε ότι η οζόνωση μείωσε την αντίσταση της ιλύος σε αφυδάτωση σε όρους χρόνου τριχοειδούς αναρρόφησης (Capillary Suction Time), όμως δεν είχε θετικά αποτελέσματα στην απόδοση της αφυδάτωσης της ιλύος σε τράπεζες αφυδάτωσης [13].

2.1.4.2 Χρήση Αλκαλίων

Η χρήση αλκαλίων είναι μια μέθοδος σχετικά αποτελεσματική για τη διαλυτοποίηση της ιλύος. Τα αλκάλια που χρησιμοποιούνται είναι τα NaOH, KOH, Mg(OH)₂ και Ca(OH)₂, με φθίνουσα δραστηριότητα. Όμως, οι πολύ υψηλές συγκεντρώσεις κατιόντων Na και K μπορεί να αναχαιτίσουν την αναερόβια χώνευση [13].

Συνήθως, η χρήση αλκαλίων συνδυάζεται με θερμική επεξεργασία. Σε αυτή την περίπτωση βέβαια η θερμοκρασία επεξεργασίας είναι χαμηλότερη σε σχέση με τις θερμοκρασίες της θερμικής υδρόλυσης (120-130 °C).

Ο συνδυασμός προεπεξεργασίας με αλκάλια (χρήση NaOH, pH=12) με μετέπειτα επεξεργασία στα μικροκύματα (160°C) οδηγεί σε αύξηση κατά 10% του παραγόμενου βιοαερίου, σε σχέση με την περίπτωση προεπεξεργασίας με μικροκύματα μόνο [13].

Όσον αφορά την αφυδατωσιμότητα, έχει παρατηρηθεί ότι η χωνεμένη ιλύς είναι δύσκολο να φιλτραρισθεί (το CST αυξάνεται μετά τη χώνευση), λόγω της υψηλής απελευθέρωσης κολλοειδών σωματιδίων στο διάλυμα, λόγω της υδρόλυσης. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η βιολογική υδρόλυση της ιλύος προκάλεσε υψηλή απελευθέρωση μικρού μεγέθους σωματιδίων και κολλοειδών και, κατ' επέκταση, μια αύξηση του κολλοειδούς φορτίου των σωματιδίων [6]. Άλλες έρευνες δείχνουν ότι η αφυδατωσιμότητα της ιλύος μπορεί να μειωθεί παρουσία KOH. Οι Dogan and Sanin παρατήρησαν βελτίωση στην αφυδατωσιμότητα σε όρους CST κατά 22% μετά την αναερόβια χώνευση χωνεμένης ιλύος

(pH=12, 160°C μικροκύματα) σε σχέση με την αναερόβια χώνευση περίσσειας ενεργού ιλύος [13].

2.1.5 Περισσότερες Μέθοδοι – Συνδυασμός Μεθόδων

2.1.5.1 Ηλεκτροχημική Προεπεξεργασία

Η ηλεκτροχημική Προεπεξεργασία με ένα ζεύγος πλακών ηλεκτροδίων Ti/RuO₂ εφαρμόζεται για να διαλυτοποιήσει περίσσεια ενεργού ιλύος με τη βοήθεια υποχλωριώδους. Είναι μια αποτελεσματική τεχνική, που περιλαμβάνει ηλεκτρο-πήξη (electro-coagulation), ηλεκτρο-εναπόθεση (electro-deposition), ηλεκτρο-επίπλευση (electro-flotation), ηλεκτρο-οξείδωση (electro-oxidation). Πιο συγκεκριμένα η ηλεκτρο-οξείδωση έχει εφαρμοστεί ευρέως στην επεξεργασία λυμάτων, λόγω της αποτελεσματικής αποδόμησης των πυρίμαχων ρύπων. Η ηλεκτρο-οξείδωση των ρύπων μπορεί να πραγματοποιηθεί απευθείας στις ανόδους παράγοντας φυσικά απορροφούμενο «ενεργό οξυγόνο» και ακόμα μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω έμμεσης οξείδωσης, όπου ένας ενδιάμεσος παράγεται ηλεκτροχημικά ώστε να πραγματοποιήσει εκείνος τη διαδικασία της οξείδωσης. Παράλληλα η εισαγωγή χλωρίτη, ως ενδιάμεσος για την ηλεκτρόλυση, θα παράγει κάποια ενεργά είδη χλωρίου και αυτά τα πανίσχυτα οξειδωτικά θα μπορέσουν να μετατρέψουν τις μεγάλες μοριακού βάρους ενώσεις σε χαμηλού μοριακού βάρους προϊόντα κοντά στην περιοχή της επιφάνειας ανόδου.

Από πείραμα που πραγματοποιήθηκε, προκύπτει ότι η ηλεκτροχημική προεπεξεργασία, συγκρινόμενη με τη θερμική υδρόλυση, την προεπεξεργασία με χρήση αλκαλίων καθώς και τη θερμική-αλκαλική προεπεξεργασία, αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο προεπεξεργασίας. Λόγω του μειωμένου χρόνου παραμονής στους χωνευτές, περίπου το 30% του κόστους επένδυσης μπορεί να εξοικονομηθεί [17].

Όσον αφορά την αφυδατωσιμότητα, προκύπτει ότι όταν η ιλύς υποστεί προεπεξεργασία σε 15-20 V για 15-20 λεπτά επιτυγχάνονται τα καλύτερα αποτελέσματα σε όρους χρόνου τριχοειδούς αναρρόφησης (CST) και ειδικής αντίστασης στη φίλτραση (Specific Resistance to filtration). Κατά την προ-επεξεργασία, οι εξωκυτταρικές πολυμερείς ουσίες διασπώνται και απελευθερώνουν το νερό που κατακρατούν, ευνοώντας έτσι την αφυδάτωση [1].

2.2 Θερμική Υδρόλυση

2.2.1 Γενικά

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η θερμική υδρόλυση είναι μια διεργασία κατά την οποία η ιλύς επεξεργάζεται σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Η διαδικασία διαρκεί μερικά λεπτά, ενώ χαρακτηριστικό γνώρισμά της είναι η έγχυση ατμού. Με τη θερμική υδρόλυση η δομή των κυττάρων καταστρέφεται, και τα κυτταρικά πολυμερή (εξωπολυμερείς ενώσεις – exopolymers – EPS), που είναι μια μορφή πρωτεΐνης, μετατρέπονται σε εύκολα διασπάσιμη τροφή για την αναερόβια χώνευση. Έτσι, το υδρολυμένο προϊόν, που έχει χαμηλότερο ιξώδες, καθίσταται περισσότερο βιοδιασπάσιμο.

Η τεχνολογία της θερμικής υδρόλυσης, όπως εφαρμόζεται από την Cambi, αποτελεί μία δοκιμασμένη και αξιόπιστη μέθοδο, που εφαρμόζεται με στόχο τη μείωση της ιλύος προς διάθεση και του κόστους κατασκευής και λειτουργίας των χωνευτών. Βρίσκει εφαρμογή τόσο σε αστικά και σε βιομηχανικά λύματα, όσο και σε βιοστερεά. Η εφαρμογή της συμβάλει σε :

- διπλασιασμό της φόρτισης των χωνευτών,
- αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου,
- υγειονοποιημένο και σταθεροποιημένο τελικό (cake) με αυξημένη αφυδατωσιμότητα. Τα οφέλη είναι σημαντικά, αφού το τελικό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα στη γεωργία ή να ξηραθεί και να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό ή βιοκάυσимо.

Επιπρόσθετα, πρόκειται για μια μέθοδο υψηλού ενεργειακού οφέλους με χαμηλό λειτουργικό κόστος. Συμβάλλει, δε, σε περιορισμό του προβλήματος των οσμών που συνδέονται με την επεξεργασία του οργανικού υλικού. Μπορεί να συνδυαστεί με μονάδες συμπαραγωγής, οι οποίες παράγουν «φιλική» προς το περιβάλλον ηλεκτρική ενέργεια (green electricity) και εξασφαλίζουν το ζεστό ατμό που απαιτείται για τη θερμική υδρόλυση. Επιπρόσθετα, το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να αναβαθμιστεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων ή ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου.

2.2.2 Περιγραφή Διαδικασίας

2.2.2.1 Συνοπτική Περιγραφή

Η επεξεργασία που υφίσταται η ακατέργαστη ιλύς δίνεται παρακάτω επιγραμματικά :

1. Η ακατέργαστη ιλύς, αρχικά, αφυδατώνεται σε 16-17% DS και αποθηκεύεται προσωρινά σε σιλό.
2. Η προαφυδατωμένη ιλύς τροφοδοτείται στο pulper (την πρώτη εκ των τριών βασικών δεξαμενών της θερμικής υδρόλυσης) και θερμαίνεται από τον ατμό που ανακυκλώνεται από το reactor και το flash tank (δεύτερη και τρίτη δεξαμενή της θερμικής υδρόλυσης, αντίστοιχα).
3. Τα αέρια της διεργασίας συμπιέζονται και «καταστρέφονται» βιολογικά στους χωνευτές, περιορίζοντας το πρόβλημα των οσμών.
4. Έπειτα, η ιλύς μεταφέρεται μέσω αντλιών στο reactor, όπου πραγματοποιείται η θερμική υδρόλυση στους 165°C για 20-30 λεπτά. Στο τέλος, ο ατμός σταδιακά απελευθερώνεται και οδηγείται στο pulper.
5. Η αποστειρωμένη (sterilized) ιλύς τροφοδοτείται ταχύτατα στο flash tank, όπου η απότομη πτώση πίεσης οδηγεί σε καταστροφή των κυττάρων. Η θερμοκρασία της ιλύος μειώνεται στους 102°C περίπου, λόγω της ανατροφοδότησης του ατμού του flash tank στο pulper.
6. Έπειτα, η ιλύς ψύχεται στην απαιτούμενη για τη χώνευση θερμοκρασία με δύο τρόπους : με προσθήκη νερού αραίωσης ή/και με εναλλάκτες θερμότητας.
7. Ακολουθεί η αναερόβια χώνευση, όπου το οργανικό υλικό μετατρέπεται σε βιοαέριο. Η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα είναι 65% και 35% αντίστοιχα.

Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ατμομηχανή με γεννήτρια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Εναλλακτικά, μπορεί να αναβαθμιστεί ως καύσιμο, αφαιρώντας το διοξείδιο του άνθρακα και να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του φυσικού αερίου σε δίκτυο φυσικού αερίου/αυτοκίνητα.

Ο απαιτούμενος για τη θερμική υδρόλυση ατμός παράγεται κυρίως από τον ατμολέβητα μονάδας συμπαραγωγής αξιοποιώντας τα καυσαέρια και το ψυχρό νερό της μηχανής. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί βιοαέριο ή άλλη πηγή καυσίμου για την παραγωγή ατμού.

Η χωνεμένη ιλύς αφυδατώνεται σε υψηλής ποιότητας προϊόν με συγκέντρωση στερεών 30-40% DS. Το παραγόμενο αφυδατωμένο προϊόν (cake) μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα στη γεωργία ή να ξηρανθεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο ή εδαφοβελτιωτικό.

2.2.2.2 Λεπτομερής Περιγραφή

Πιο συγκεκριμένα, κάθε γραμμή θερμικής υδρόλυσης περιλαμβάνει ένα pulper, αντλίες ανακυκλοφορίας (σε λειτουργία και εφεδρεία), αντλίες τροφοδοσίας του αντιδραστήρα (σε λειτουργία και εφεδρεία), μέχρι και 4 παράλληλους αντιδραστήρες, ένα flash tank, αντλίες τροφοδοσίας του χωνευτή (σε λειτουργία και εφεδρεία) και τις απαραίτητες σωληνώσεις, βάνες, όργανα και ένα σύστημα ελέγχου της διαδικασίας.

Η διαδικασία θερμικής υδρόλυσης της Cambi είναι μια κλιμακωτή διαδικασία θέρμανσης και ψύξης της ιλύος, η οποία επιτυγχάνεται μέσω ελέγχου της πίεσης και της θερμοκρασίας. Η διαδικασία αποτελείται από τα ακόλουθα βασικά βήματα:

- θέρμανση ιλύος στο pulper/δεξαμενή προθέρμανσης
- θερμική υδρόλυση στο reactor/αντιδραστήρα
- πτώση πίεσης στο flash tank και ανακύκλωση του ατμού

Η προ-αφυδατωμένης ιλύς τροφοδοτείται από τους φυγοκεντρητές προ-αφυδάτωσης, μέσω ενός σιλό προσωρινής αποθήκευσης ιλύος, στο pulper (δεξαμενή προθέρμανσης και ανάμιξης). Στο pulper η ιλύς προθερμαίνεται μέσω έγχυσης ατμού που ανακυκλώνεται από τους reactors και τα flash tanks. Ο pulper παρέχει την απαραίτητη ρυθμιστική ικανότητα για ανάκτηση ενέργειας από τους reactors και τα flash tanks. Η ιλύς ομογενοποιείται με την ανακυκλοφορία μέσω αντλιών. Η προθερμασμένη ιλύς, στη συνέχεια, αντλείται στο reactor, όπου λαμβάνει χώρα η υδρόλυση σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία (165 ° C για 30 λεπτά).

Κατά την υδρόλυση, τα κύτταρα ανοίγουν και διαλυτοποιούνται και ως εκ τούτου γίνονται πιο εύκολα προσβάσιμα για τη χώνευση. Αυτό οδηγεί σε υψηλότερο βαθμό μετατροπής του οργανικού υλικού σε βιοαέριο καθώς επίσης επιτυγχάνει καλύτερη σταθεροποίηση, κυρίως για την Περίσσεια Ενεργού Ιλύος (ΠΕΙ). Τα διαλυμένα οργανικά στερεά είναι ευκολότερο να χωνευθούν σε σχέση με τα αιωρούμενα στερεά (κυτταρικά τοιχώματα, κτλ.). Η διαλυτοποίηση του κυτταρικού οργανικού υλικού αυξάνεται με το βαθμό υδρόλυσης.

Μετά την υδρόλυση, η ιλύς διοχετεύεται στο flash tank, όπου η πίεση και η θερμοκρασία της υδρολυμένης ιλύος μειώνονται λόγω της ανατροφοδότησης του ατμού στο pulper. Αυτή η δεξαμενή δίνει την απαιτούμενη ρυθμιστική ικανότητα, ώστε να απελευθερωθεί η ενέργεια που περιέχεται στην ιλύ. Το flash tank δίνει τη δυνατότητα τόσο για ρύθμιση εκτόνωση της περιεχόμενης στην ιλύ ενέργειας όσο και για την ορθή λειτουργία των ανάντη αντλιών.

2.2.2.2.1 Προαφυδάτωση και σύστημα σιλό

Η προαφυδατωμένη ιλύς τροφοδοτείται από την προ-αφυδάτωση στο σύστημα σιλό. Το σύστημα σιλό αποθήκευσης χρησιμεύει ως χώρος προσωρινής αποθήκευσης της ακατέργαστης προ αφυδατωμένης ιλύος. Έχει σαν αποτέλεσμα την τροφοδότηση του pulper με μια σχετικά σταθερή συγκέντρωση ξηρών στερεών. Τα σιλό περιέχουν προαφυδατωμένη ιλύ κατά μέσο όρο 18% DS με μία διακύμανση της τροφοδοσίας όχι περισσότερο από +/- 2% DS.

Τα σιλό πρέπει να τοποθετούνται πλησίον της μονάδας θερμικής υδρόλυσης (THP) και να τροφοδοτούν τα pulpers.

Όσον αφορά το σχεδιασμό τους υπάρχουν κάποια τυπικά στοιχεία. Στη βάση του σιλό θα εγκατασταθούν δύο οριζόντιοι κοχλίες τροφοδοσίας με μεταβλητή ταχύτητα τροφοδοσίας, που θα τροφοδοτούν με τη σειρά τους δύο κατακόρυφους κοχλίες τροφοδοσίας, οι οποίοι τροφοδοτούν πάλι τις αντλίες τροφοδοσίας του pulper. Αυτή η ρύθμιση προσδίδει σταθερή λειτουργία και εύκολη ρύθμιση της τροφοδοσίας ιλύος στον pulper.

2.2.2.2.2 Θερμική Υδρόλυση

Η προαφυδατωμένη ιλύς από το σιλό αντλείται συνεχώς στον pulper, όπου εκεί προθερμαίνεται. Η αύξηση της θερμοκρασίας μειώνει το ιξώδες της ιλύος, επιτρέποντας της να διατηρείται σε αιώρηση μέσω της χρήσης των αντλιών ανακυκλοφορίας. Η δεξαμενή είναι κλειστή και υπό πίεση, ώστε να συμβάλλει στον έλεγχο έκλυσης οσμών και να ενισχύσει τις απαιτήσεις μεταφοράς ενέργειας.

Η προθερμασμένη ιλύς αντλείται από το pulper στο reactor. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται απευθείας έγχυση ατμού μέσα στο reactor μέχρις ότου επιτευχθούν η απαιτούμενη πίεση και θερμοκρασία λειτουργίας.

Κάθε κύκλος θερμικής υδρόλυσης για ένα reactor με θερμοκρασία λειτουργίας μεταξύ 150-180 ° C είναι:

- 10 λεπτά για την πλήρωση του reactor με ιλύ
- 15 λεπτά για έγχυση ατμού από τον ατμολέβητα στο reactor
- 25 λεπτά χρόνος παραμονής της ιλύος στο reactor
- 10 λεπτά για να διοχετευτεί ο ατμός από το reactor στο pulper
- 15 λεπτά για να διοχετευτεί η ιλύς από το reactor στο flash tank

Ο αντιδραστήρας (reactor) λειτουργεί ασυνεχώς. Ο συνολικός χρόνος για έναν κύκλο του reactor θα βελτιστοποιηθεί κατά την εκκίνηση σε σχέση με την ενεργειακή ισορροπία. Πολλαπλοί reactors λειτουργούν σε κλιμακωτή βάση, δημιουργώντας το εφέ μιας συνεχούς ροής μεταξύ της προ-αφυδατώσης και της αναερόβιας χώνευσης.

Όταν η υδρόλυση ολοκληρωθεί, ανοίγει σταδιακά μία βάννα απελευθέρωσης πίεσης στην κορυφή του reactor και η πίεση μειώνεται. Ο ατμός οδηγείται στον pulper. Η βάννα ατμού κλείνει, όταν η πίεση στο reactor σταθεροποιηθεί στην πίεση λειτουργίας (3 bar) .Η κύρια βάννα εξόδου στο πυθμένα του αντιδραστήρα ανοίγει και η ιλύς εκτονώνεται στο flash tank, λόγω της διαφοράς πίεσης μεταξύ reactor και flash tank. Το πλεόνασμα ατμού πηγαίνει στο pulper.

Στο flash tank και έπειτα από την εκτόνωση και ανακύκλωση του ατμού στο pulper, η ιλύς έχει μια θερμοκρασία περίπου 103 °C. Μεταξύ του flash tank και των χωνευτών, η ιλύς με συγκέντρωση στερεών 13-14% DS θα αραιωθεί λαμβάνοντας τιμή έως 8 12% DS.

Η αραιώση απαιτείται για διάφορους λόγους:

- Για τη μείωση της θερμοκρασίας της ιλύος, προκειμένου να προστατευτούν οι στάτορες των αντλιών τροφοδότησης των χωνευτών.
- Για τη μείωση του ιξώδους της ιλύος
- Για την αποφυγή υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνίας στους χωνευτές.

Το flash tank, όπως και το pulper, λειτουργούν συνεχώς. Η ιλύς αντλείται από το flash tank στο σύστημα ανακυκλοφορίας χωνευτών για αναερόβια χώνευση.

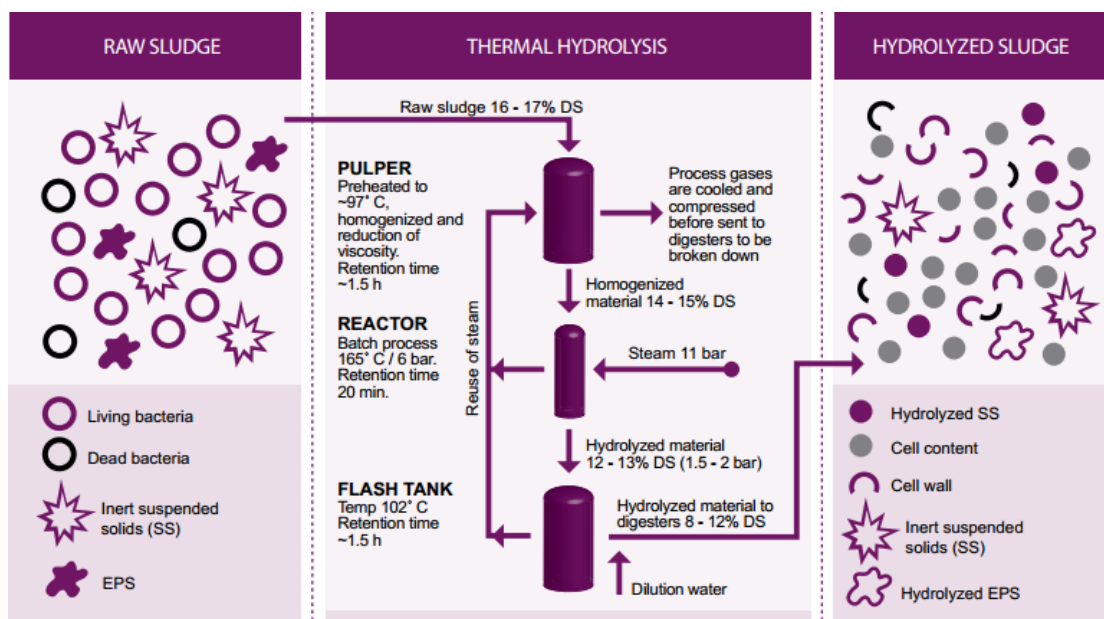
Οι οσμές που παράγονται κατά τη διαδικασία της υδρόλυσης αποτελούνται κυρίως από μερκαπτάνες, αμίνες και H₂S. Μερικοί διαλύτες από τα λύματα μπορεί να βρεθούν στο

ρυπασμένο αέριο. Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι δε θα σημειωθεί διαφυγή μη-συμπυκνωμένων αερίων, μια ελεγχόμενη ροή απελευθερώνεται από τον pulper (όλα τα αέρια που παράγονται κατά την υδρόλυση καταλήγουν επίσης στο pulper). Τα οσμηρά αέρια της υδρόλυσης διέρχονται από ένα ψύκτη νερού (water-cooled cooler). Όλα τα συμπυκνωμένα υγρά τροφοδοτούνται πάλι στο pulper και τα οσμηρά αέρια εγχύονται στο χωνευτή, όπου χωνεύονται.

Όλες οι δεξαμενές του συστήματος THP προστατεύονται με βάνες ασφαλείας πίεσης. Όλες οι βάνες προστατεύονται από κατάλληλους δίσκους (bursting discs), προκειμένου να αποφευχθούν οι ανεξέλεγκτες εκπομπές. Επιπρόσθετα, το pulper και το flash tank διαθέτουν επίσης βάνες εκκένωσης.

Στο Σχήμα 3.1 φαίνονται η διαδικασία και οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας κατά τη θερμική υδρόλυση.

Εικόνα 2.1 – Διαδικασία Θερμικής Υδρόλυσης (Cambi Brochure)



2.2.3 Πλεονεκτήματα θερμική υδρόλυσης έναντι συμβατικής επεξεργασίας ιλύος

Η θερμική υδρόλυση πλεονεκτεί έναντι της συμβατικής μεθόδου επεξεργασίας ιλύος. Πιο συγκεκριμένα, προσφέρει :

- αυξημένης βιοδιασπασιμότητας ιλύς και μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου.

- σημαντική μείωση στον όγκο του παραγόμενου αφυδατωμένου προϊόντος (cake)
- υψηλότερη απόδοση της χώνευσης και φόρτιση στερεών του χωνευτή που κυμαίνεται μεταξύ 8 και 12% DS. Έτσι, αυξάνεται τη δυναμικότητα των χωνευτών 2-3 φορές.
- σταθερή και αξιόπιστη λειτουργία χωνευτών.
- διαδικασία ενεργειακά αποτελεσματική.
- περιορισμό προβλημάτων αφρισμού (foaming problems) που προκαλούνται από νηματοειδή βακτήρια (Nocardia κτλ)
- βελτίωση της αφυδατωσιμότητας της ιλύος μέχρι και 40% DS. Αυτό οφείλεται στην απελευθέρωση του νερού που βρίσκεται εγκλωβισμένο στα εξωκυτταρικά πολυμερή (τα EPS δεσμεύουν 4-5 gr νερό/gr EPS). Αποτέλεσμα αυτού είναι η παραγωγή λιγότερων βιοστερεών μετά τη χώνευση και την αφυδάτωση
- παστεριωμένο αφυδατωμένο προϊόν (cake) που εγγυάται την απουσία παθογόνων χωρίς δυνατότητα εκ νέου ανάπτυξης και ενεργοποίησής τους.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

3.1 Γενικά

Στη χώρα μας, η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας (ΚΕΛΨ) αποτελεί την κύρια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και ταυτόχρονα τη μεγαλύτερη εγκατάσταση στη χώρα, με ημερήσια παροχή εισερχομένων λυμάτων της τάξης των 730.000 m³ και δυναμικότητα ισοδύναμου πληθυσμού 5.600.000 κατοίκων. Ακολουθεί η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της Θεσσαλονίκης, που δέχεται καθημερινά περίπου 160.000 m³ αστικά λύματα καθώς επίσης και 120 βυτία βοθρολυμάτα/ημέρα και εξυπηρετεί περίπου 1.000.000 ισοδύναμους κατοίκους. Πέρα από τις μεγάλης δυναμικότητας εγκαταστάσεις που αναφέρθηκαν, υπάρχουν ακόμα δέκα περίπου εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που εξυπηρετούν πληθυσμό που κυμαίνεται μεταξύ των 100.000 και 200.000 ι.κ. και για ελληνικά δεδομένα χαρακτηρίζονται μέτριας δυναμικότητας.

Επιπρόσθετα, η θερμική υδρόλυση είναι μια τεχνολογία προ-επεξεργασίας της ιλύος που βρίσκει εφαρμογή σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με 100.000 ισοδύναμους κατοίκους και άνω.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, για τους σκοπούς της διπλωματικής επιλέχθηκε να εξεταστεί η σκοπιμότητα εφαρμογής της Θερμικής Υδρόλυσης σε δυο διαφορετικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, μια μεγάλη και μια μεσαία. Τα στοιχεία καθεμιάς εγκατάστασης δίδονται στην ακόλουθη ενότητα.

3.2 Στοιχεία Σχεδιασμού Εγκαταστάσεων

Με δεδομένο ότι δε σημειώνονται εποχιακές διακυμάνσεις στον πληθυσμό των περιοχών που εξυπηρετούν οι ΕΕΛ, ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός διατηρείται σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Υπολογίζεται ίσος με 130.000 ισοδύναμοι κάτοικοι για τη μεν πρώτη εγκατάσταση (ΕΕΛ #1) και 1.000.000 για τη δεύτερη (ΕΕΛ #2). Η μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων ισούται με 39.500 m³ και 160.000 m³, αντίστοιχα.

Στον παρακάτω Πίνακα 3.1 συνοψίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των δύο Εγκαταστάσεων.

Πίνακας 3.1 Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων #1 και #2

		ΕΕΛ #1		ΕΕΛ #2	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
Εξυπηρετούμενος Πληθυσμός	[ι.κ]	130.000	130.000	1.000.000	1.000.000
Παροχή Σχεδιασμού	[m ³ /d]	39.500	39.500	160.000	160.000
Θερμοκρασία Λυμάτων	[°C]	18°C	25°C	18°C	25°C

Οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων που εξετάζονται σχεδιάζονται ώστε να επιτυγχάνουν απομάκρυνση οργανικού άνθρακα, αζώτου και πλήρη απομάκρυνση φωσφόρου με συνδυασμό βιολογικών διεργασιών και χημικής κατακρήμνισης. Στους Πίνακες 3.2, 3.3 και 3.4 δίνονται οι παροχές καθώς και τα φορτία σχεδιασμού για κάθε ΕΕΛ για το χειμώνα και το θέρος.

Πίνακας 3.2 Παροχές Σχεδιασμού Ακαθάρτων Λυμάτων

		ΕΕΛ #1		ΕΕΛ #2	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
Μέγιστη Ημερήσια Παροχή	[m ³ /d]	39.500	39.500	160.000	160.000

Πίνακας 3.3 Συγκεντρώσεις στην είσοδο των ΕΕΛ

		ΕΕΛ #1		ΕΕΛ #2	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
BOD ₅	[mg/l]	208	208	208	208
TSS	[mg/l]	328	328	257	257
VSS/TSS	[-]	0,75	0,75	0,75	0,75
N	[mg/l]	48	48	42,8	42,8
P	[mg/l]	11	11	8,2	8,2

Πίνακας 3.4 Ρυπαντικά φορτία στην είσοδο των ΕΕΛ

		ΕΕΛ #1		ΕΕΛ #2	
		ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
BOD₅	[kg/d]	33.280	33.280	8.216	8.216
TSS	[kg/d]	52.500	52.500	10.152	10.152
VSS	[kg/d]	39.375	39.375	7.614	7.614
N	[kg/d]	7.700	7.700	1.691	1.691
P	[kg/d]	1.750	1.750	324	324

3.3 Σενάρια υπό διερεύνηση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, εξετάζεται η σκοπιμότητα εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης, ως μέθοδος προεπεξεργασίας της ιλύος με σκοπό την ενίσχυση της αναερόβιας χώνευσης. Εξετάζονται δύο εναλλακτικά σενάρια για κάθε ΕΕΛ :

- Σενάριο Α΄ - Συμβατική περίπτωση : το μίγμα πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος, αφού υποστεί πάχυνση, τροφοδοτείται στους χωνευτές χωρίς περαιτέρω προεπεξεργασία.
- Σενάριο Β΄ – Εφαρμογή Θερμικής Υδρόλυσης : η ιλύς πριν τροφοδοτηθεί στους χωνευτές, υφίσταται θερμική υδρόλυση.

Πιο συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά το Σενάριο Β΄, έπειτα από σχετική διερεύνηση αποφασίστηκαν τα ακόλουθα :

- Εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης μόνο στη *βιολογική ιλύ*. Η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης αποκλειστικά στην περίσσεια ενεργού ιλύος υπερτερεί έναντι της εφαρμογής σε όλη την ιλύ, κυρίως γιατί επιτυγχάνει καλύτερο ενεργειακό ισοζύγιο, απαιτώντας λιγότερο ατμό. Επιπρόσθετα, έχει μειωμένο λειτουργικό κόστος, όσον αφορά την κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη και ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, το συνολικό μέγεθος της εγκατάστασης θερμικής υδρόλυσης είναι σαφώς

μικρότερο. Μειώνεται η ανάγκη για βοηθητικό εξοπλισμό, όπως σιλό προσωρινής αποθήκευσης ιλύος και πρόσθετο εξοπλισμό αφυδάτωσης.

- *Προ-αφυδάτωση* της παραγόμενης περίσσειας ενεργού ιλύος (ΠΕΙ) σε φυγοκεντρική. Έτσι επιτυγχάνεται στην έξοδο της προ-αφυδάτωσης συγκέντρωση ξηρών στερεών ίση με 16,5 % DS περίπου. Η προαφυδατωμένη ΠΕΙ οδηγείται στην εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης (ομάδα δεξαμενών :Pulper, reactor, flash tank), όπου υφίσταται θερμική υδρόλυση και έπειτα, αφού αναμιχθεί με την πρωτοβάθμια ιλύ, τροφοδοτείται στους χωνευτές.

3.4 Σχήμα Επεξεργασίας Εγκαταστάσεων

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων ΕΕΛ #1 περιλαμβάνει τα εξής στάδια επεξεργασίας :

- Προεπεξεργασία : εσχάρωση, εξάμμωση, απολίπανση
- Πρωτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων : δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης
- Βιολογική Επεξεργασία λυμάτων : βιοεπιλογέας για απομάκρυνση φωσφόρου, βιοαντιδραστήρας με ανοξική και αερόβια ζώνη για απομάκρυνση οργανικού φορτίου και αζώτου, καθώς και δεξαμενή τελικής καθίζησης
- Πάχυνση ιλύος : η μεν πρωτοβάθμια ιλύς οδηγείται σε παχυντές βαρύτητας, η δε περίσσεια ενεργού ιλύος οδηγείται σε φυγοκεντρική για μηχανική πάχυνση, υποβοηθούμενη με προσθήκη πολυηλεκτρολύτη.
- Χώνευση ιλύος : το μίγμα πρωτοβάθμιας και βιολογικής παχυμένης ιλύος οδηγείται στους χωνευτές. Εκεί έπειτα από μια σειρά διεργασιών, διασπάται μέρος του οργανικού υλικού και παράγεται βιοαέριο, ως παραπροϊόν.
- Αφυδάτωση : η χωνεμένη ιλύς οδηγείται σε φυγοκεντρικές για μηχανική αφυδάτωση. Και εδώ προστίθεται πολυηλεκτρολύτης για βελτιωμένα αποτελέσματα.

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων ΕΕΛ #2 περιλαμβάνει επιπρόσθετα θερμική ξήρανση. Εκεί, η χωνεμένη ιλύς οδηγείται στους ξηραντές, όπου επιτυγχάνεται σημαντική απομάκρυνση του νερού από τη λάσπη και συγκέντρωση στερεών στο τελικό προϊόν περίπου ίση με 92% DS.

Προβλέπεται εγκατάσταση μονάδας συμπαραγωγής και στις δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών.

Η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης εισάγει τις εξής διαφοροποιήσεις μεταξύ των Σεναρίων Α' και Β' :

1. Προ-αφυδάτωση

Στο Σενάριο Α' τόσο η πρωτοβάθμια όσο και η περίσσεια ενεργού ιλύος υφίστανται πάχυνση, με αποτέλεσμα στην έξοδο της πάχυνσης να έχουν συγκέντρωση στερεών ίση με 5% DS. Στην περίπτωση της θερμικής υδρόλυσης, μόνο η πρωτοβάθμια ιλύς υφίσταται βιολογική πάχυνση (5% DS στην έξοδο της πάχυνσης), ενώ η βιολογική ιλύς οδηγείται σε φυγοκεντρητές για *προ-αφυδάτωση*. Εκεί, η συγκέντρωση στερεών εισόδου από 0,8% DS αυξάνεται και γίνεται ίση 16,5% DS στην έξοδο.

2. Θερμική Υδρόλυση

Στο Σενάριο Β', η προαφυδατωμένη ιλύς τροφοδοτείται στην *εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης*. Η εγκατάσταση αποτελείται από τρεις δεξαμενές (pulper, reactor και flash tank), αντλίες τροφοδότησης και ανακυκλοφορίας, καθώς και σύστημα τροφοδότησης ατμού.

Η προ-αφυδατωμένη ιλύς με συγκέντρωση στερεών 16,5% DS εισέρχεται στην πρώτη δεξαμενή (pulper), όπου προθερμαίνεται με ανακυκλωμένο ατμό. Παράλληλα, επιτυγχάνεται ομογενοποίηση της ιλύος και μείωση του ιξώδους της. Η ιλύς παραμένει στη δεξαμενή περίπου για 1,5 ώρα όπου αποκτά θερμοκρασία περίπου 97°C. Εξερχόμενη από το pulper έχει συγκέντρωση στερεών 14-15% DS. Η λειτουργία του pulper είναι συνεχής.

Έπειτα, η ιλύς αντλείται στην επόμενη δεξαμενή, τον αντιδραστήρα (reactor), όπου παραμένει για περίπου 20 λεπτά. Εδώ γίνεται έγχυση κορεσμένου ατμού πίεσης 12bar και η θερμοκρασία της ιλύος φτάνει τους 165°C. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία της υδρόλυσης, ανοίγει σταδιακά η βάννα εκτόνωσης της πίεσης που βρίσκεται στο πάνω μέρος του αντιδραστήρα. Η πίεση μειώνεται σταδιακά και η βάννα κλείνει μόλις η πίεση στο εσωτερικό του αντιδραστήρα γίνει ίση με 3 bar. Έπειτα, ανοίγει η βάννα στον πυθμένα του αντιδραστήρα από όπου η ιλύς οδηγείται στην τρίτη δεξαμενή (flash tank). Το πλεόνασμα ατμού ανακυκλώνεται και τροφοδοτείται στο pulper.

Η ιλύς περνάει γρήγορα στο flash tank με αποτέλεσμα τη λύση των κυττάρων, λόγω της απότομης πίεσης. Η θερμοκρασία της ιλύος μειώνεται περίπου στους 102°C, μέσω της εκτόνωσης ατμού από το flash tank στο purper. Ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή είναι περίπου 1,5 ώρα και η συγκέντρωση στερεών 13-14% DS. Η λειτουργία του flash tank είναι συνεχής.

Στη συνέχεια, η υδρολυμένη ιλύς αραιώνεται με νερό από την εκροή της εγκατάστασης. Στόχος της αραιώσης είναι τόσο η ψύξη της ιλύος (70-90°C), όσο και η μείωση της συγκέντρωσης των στερεών σε 8-12% DS. Περαιτέρω ψύξη, αν απαιτηθεί, γίνεται μέσω εναλλακτών.

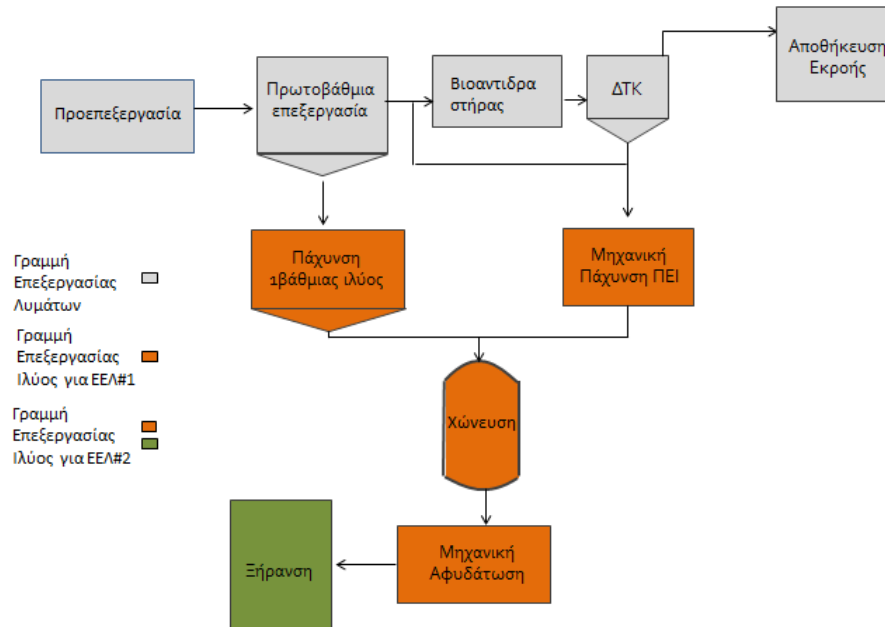
Η αραιωμένη υδρολυμένη βιολογική ιλύς αναμιγνύεται με την πρωτοβάθμια ιλύ, σε αναλογία 1:1, και το τελικό μίγμα, με συγκέντρωση περίπου 6-7% DS και θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 35 και 38°C, τροφοδοτείται στους χωνευτές για αναερόβια μεσοφιλική χώνευση.

3. Μηχανική Αφυδάτωση

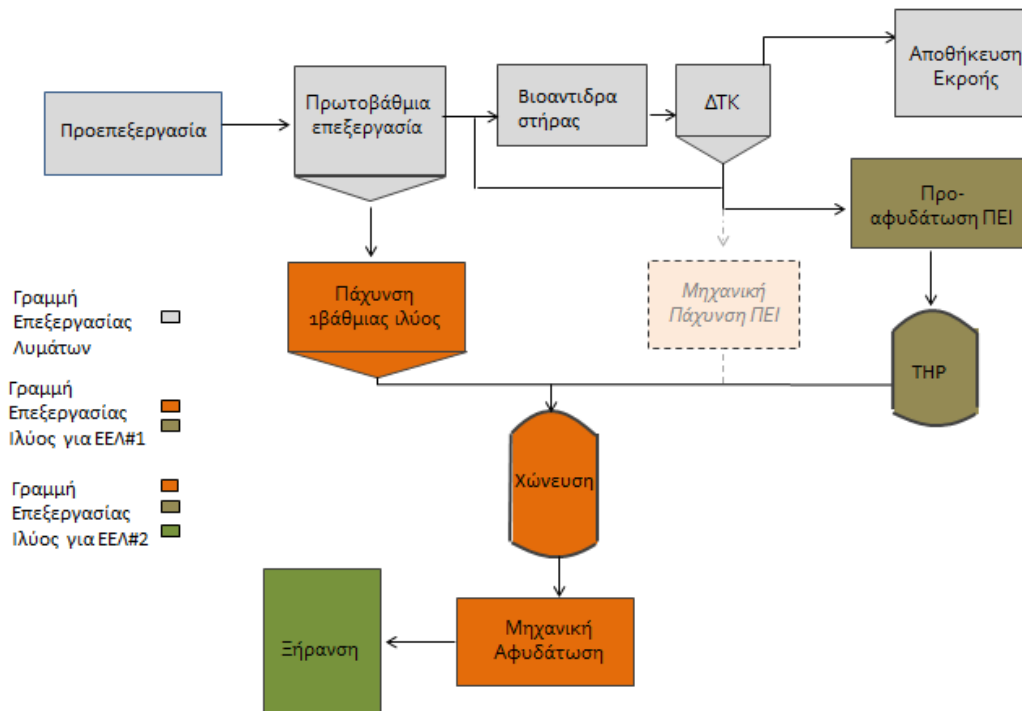
Στο Σενάριο Α' η συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης είναι περίπου 25% DS. Η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης μπορεί να βελτιώσει την αφυδατωσιμότητα της ιλύος έως και 40%DS. Έτσι, στο Σενάριο Β' η εφαρμογή της υδρόλυσης στην ΠΕΙ οδηγεί σε τελικό χωνεμένο προϊόν με 30% DS. Αυτό συμβαίνει διότι μέσω της θερμικής υδρόλυσης αφενός καταστρέφεται η δομή των κυττάρων και αφετέρου τα πολυμερή των κυττάρων (EPS – exopolymetric substances, τύπος πρωτεΐνης) μετατρέπονται σε εύκολα διασπάσιμη τροφή. Αποτέλεσμα αυτού είναι τόσο η μείωση των βιοστερεών, όσο και η απελευθέρωση του νερού που ήταν δεσμευμένο στο εσωτερικό των EPS.

Στις Εικόνες 3.1 και 3.2 απεικονίζεται το σχήμα επεξεργασίας των δύο εναλλακτικών σεναρίων.

Εικόνα 3.1 - Σχήμα Επεξεργασίας για Σενάριο Α'



Εικόνα 3.2 - Σχήμα Επεξεργασίας για Σενάριο Β'



Όπως γίνεται αντιληπτό, η επεξεργασία των λυμάτων είναι κοινή για τα δύο εναλλακτικά σενάρια, ενώ διαφορές παρατηρούνται στην επεξεργασία της ιλύος.

4. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Γενικά Στοιχεία

Οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων ΕΕΛ #1 και ΕΕΛ #2 μελετήθηκαν για τα εναλλακτικά σενάρια Α' και Β' τόσο για το χειμώνα όσο και για το θέρος. Ο σχεδιασμός τους έγινε ξεχωριστά για κάθε σενάριο, δηλ. κάθε εγκατάσταση σχεδιάστηκε για το σενάριο συμβατικής επεξεργασίας της ιλύος και, έπειτα, επανασχεδιάστηκε για το σενάριο εφαρμογής θερμικής υδρόλυσης. Σε κάθε περίπτωση, ελήφθη υπόψη η δυσμενέστερη περίπτωση (χειμώνας ή θέρος ανάλογα με τη βαθμίδα επεξεργασίας).

4.2 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #1

4.2.1 Σενάριο Α' – Συμβατική Επεξεργασία Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

4.2.1.1 Γενικά

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων εξυπηρετεί 130.000 ισοδύναμους κατοίκους και έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας 39.500 m³/d εισερχόμενων λυμάτων.

4.2.1.2 Διαστασιολόγηση Μονάδων

4.2.1.2.1 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία Λυμάτων

Κατά την πρωτοβάθμια καθίζηση θεωρείται ότι επιτυγχάνεται 30% απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και 60% απομάκρυνση στερεών από τα λύματα. Η απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου (οργανικό άζωτο και οργανικός φώσφορος) θεωρείται αμελητέα. Μέρος της ποσότητας του οργανικού αζώτου και φωσφόρου που απομακρύνεται επιστρέφει πάλι στην είσοδο της εγκατάστασης μέσω των στραγγιδίων. Ενώ θα ήταν αναμενόμενο να απομακρύνεται το άζωτο που περιέχεται στα στερεά (10% x SS), τελικά η απόδοση της απομάκρυνσης αζώτου είναι περιορισμένη λόγω των επιστροφών. Ομοίως και για τον οργανικό φώσφορο. Για αυτό το λόγο και για πιο συντηρητική προσέγγιση, λαμβάνεται υπόψη ότι η συγκέντρωση των λυμάτων σε άζωτο και φώσφορο στην έξοδο της πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι ίση με την αντίστοιχη συγκέντρωση στην είσοδο της εγκατάστασης.

Για επιφανειακή φόρτιση δεξαμενών ίση με 48 m³/m²-d, απαιτούνται δύο δεξαμενές διαμέτρου 23 m με πλάτος ζώνης υπερχειλίσης ίσο με 0,60 m.

Ημερησίως παράγονται 406 m³/d πρωτοβάθμιας ιλύος με 1,50% DS συγκέντρωση στερεών. Τα ολικά στερεά στην πρωτοβάθμια ιλύ είναι 6.091 kg SS/d και τα οργανικά 4.568 kg VSS/d.

Τα παραπάνω ισχύουν τόσο για το χειμώνα, όσο και για το θέρος.

4.2.1.2.2 Βιολογική Επεξεργασία Λυμάτων

Γίνεται η παραδοχή ότι τα επεξεργασμένα λύματα διατίθενται σε ευαίσθητο αποδέκτη, συνεπώς οι συγκεντρώσεις εξόδου, πρέπει να υπακούουν στα όρια που υπαγορεύει η Οδηγία 91/271. Στον Πίνακα 4.1 δίνονται τα όρια και οι συστάσεις που αφορούν τις

συγκεντρώσεις εξόδου σε περίπτωση ευαίσθητου αποδέκτη. Στον ίδιο Πίνακα, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις εξόδου, με βάση τις οποίες σχεδιάζεται η εγκατάσταση.

Πίνακας 4.1 – Συγκεντρώσεις εξόδου

	Οδηγία 91/271	Σχεδιασμός ΕΕΛ #1
BOD/COD (ΟΡΙΟ)	< 25 mg/l (*)	15 mg/l
TN (ΟΡΙΟ)	< 10 ή 15 mg/l	9 mg/l
TP (ΟΡΙΟ)	< 1 ή 2 mg/l	1 mg/l
TSS (ΣΥΣΤΑΣΗ)	<35 mg/l	10 mg/l

(*) στο 90% των δειγμάτων

Σχεδιάζονται δύο γραμμές. Κάθε γραμμή περιλαμβάνει :

- έναν βιοαντιδραστήρα ωφέλιμου συνολικού όγκου 6.665 m^3 (4.719 m^3 η αερόβια ζώνη και 2.074 m^3 η ανοξική ζώνη),
- μία προ-ανοξική δεξαμενή ωφέλιμου όγκου 644 m^3 ,
- έναν αναερόβιο βιοεπιλογέα ωφέλιμου όγκου 1.287 m^3 και
- δύο δεξαμενές τελικής καθίζησης ωφέλιμης διαμέτρου 30 m.

Στο βιοαντιδραστήρα είναι επιθυμητό να προσεγγιστούν οι συνθήκες εμβολοειδούς ροής. Έτσι, τόσο το αερόβιο διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα, που έχει συνολικό μήκος 66,00 m και το πλάτος 13,00 m, όσο και το ανοξικό διαμέρισμα (συνολικού μήκους 29,00 m και πλάτους 13,00 m) σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη αυτή την απαίτηση. Ο αναερόβιος βιοεπιλογέας έχει διαστάσεις κάτοψης 13,00 m x 18,00 m,. Το συνολικό βάθος των δεξαμενών είναι 6,00 m και το ωφέλιμο βάθος 5,50 m Η ανοξική δεξαμενή #2 έχει διαστάσεις κάτοψης 9,00 m x 13,00 m, συνολικό βάθος 6,00 m και ωφέλιμο βάθος 5,50 m. Κάθε δεξαμενή τελικής καθίζησης έχει διάμετρο 30 m, πλευρικό βάθος 5,00 m και κλίση πυθμένα 1/15 .

Το χειμώνα λειτουργούν και οι δύο γραμμές, ενώ κατά το θέρος υπάρχει η δυνατότητα να τεθεί ο βιοαντιδραστήρας εκτός λειτουργίας επιτρέποντας πιθανές εργασίες συντήρησης.

Διατηρώντας όλο το χρόνο συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό σταθερή και ίση περίπου με 3.700 mg/l, προκύπτει συνολικός χρόνος παραμονής για το μεν χειμώνα περίπου 10,5 ημέρες, για το δε καλοκαίρι 5 ημέρες. Σε καμιά από τις δύο περιπτώσεις δεν επιτυγχάνεται σταθεροποίηση της περίσσειας ενεργού ιλύος, εφόσον ο χρόνος παραμονής είναι μικρότερος των 15 ημερών. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η χώνευση της βιολογικής ιλύος.

Ο σχεδιασμός της δεξαμενής τελικής καθίζησης γίνεται ώστε να εξασφαλίζεται :

- το κριτήριο της υδραυλικής φόρτισης : η υδραυλική φόρτιση πρέπει να είναι μικρότερη από 12-16 m^3/m^2-d . Επιλέχθηκε άνω όριο της υδραυλικής φόρτισης 15 m^3/m^2-d .
- το κριτήριο της φόρτισης στερεών : η φόρτιση στερεών πρέπει να είναι μικρότερη από 80-120 $kg SS/m^2-d$. Επιλέχθηκε άνω όριο της φόρτισης στερεών 100 $kg SS/m^2-d$.

Η ημερήσια παραγωγή περίσσειας ενεργού ιλύος είναι για το μεν χειμώνα 4.689 $kg SS/d$, εκ των οποίων τα 3.241 $kgVSS/d$ είναι οργανικά και για το δε καλοκαίρι 5.081 $kg SS/d$, εκ των οποίων τα 3.634 $kgVSS/d$ είναι οργανικά. Για να διατηρηθεί σταθερή η συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό καθημερινά αφαιρούνται από τον κώνο της δεξαμενής τελικής καθίζησης 586 m^3/d και 645 m^3/d περίσσεια ενεργού ιλύος, για χειμώνα και θέρος αντίστοιχα, συγκέντρωσης στερεών 0,8%.

4.2.1.2.3 Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος

Η πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος πραγματοποιείται σε παχυντές βαρύτητας. Λαμβάνοντας υπόψη μέγιστη τιμή φόρτισης στερεών ίση με 100 $kg SS/m^2-d$, κατασκευάζονται δυο παχυντές βαρύτητας καθαρής διαμέτρου 6,50 m. Το πλευρικό βάθος των παχυντών είναι 4,00 m και η κλίση του πυθμένα του κώνου 1:6. Κατασκευάζεται επιπρόσθετα κανάλι υπερχειλίσης της εκροής πλάτους 0,60 m.

Στην παχυμένη πρωτοβάθμια ιλύ επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών περίπου 5% DS. Η ημερήσια παροχή παχυμένης πρωτοβάθμιας ιλύος είναι 122 m^3/d , η μάζα των στερεών στην έξοδο του παχυντή βαρύτητας είναι 6.091 $kg SS/d$ και τα οργανικά στερεά 4.568 $kg VSS/d$. Τα 284 m^3/d στραγγίδια που παράγονται ημερησίως επιστρέφουν στην αρχή της εγκατάστασης.

4.2.1.2.4 Πάχυνση Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Η πάχυνση της περίσσειας ενεργού ιλύος γίνεται με μηχανικά μέσα, σε φυγοκεντρητές, και επιτυγχάνει συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της μηχανικής πάχυνσης ίση με 5%. DS. Το χειμώνα παράγονται 94 m³/d παχυμένης βιολογικής ιλύος με 4.689 kg TS/d και 3.241 VSS/d (θεωρούμε ότι δεν έχουμε απώλειες στερεών μέσω των στραγγιδίων) και το καλοκαίρι 102 m³/d παχυμένης βιολογικής ιλύος με 5.081 kg TS/d και 3.634 VSS/d.

Ο σχεδιασμός των φυγοκεντρητών έγινε λαμβάνοντας υπόψη ότι η ωριαία παροχή τροφοδοσίας προέκυψε με την παραδοχή λειτουργίας 16 ώρες την ημέρα και 5 ημέρες την εβδομάδα. Απαιτούνται 2,1 και 2,2 kg πολυηλεκτρολύτη την ώρα, για χειμώνα και καλοκαίρι αντίστοιχα.

Τα στραγγίδια της προ-αφυδάτωσης υπολογίζονται σε 492 m³/d και 534 m³/d, για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα, και επιστρέφουν στην είσοδο της εγκατάστασης.

4.2.1.2.5 Χώνευση μίγματος Πρωτοβάθμιας και Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

4.2.1.2.5.1 Χωνευτές

Το μίγμα της πρωτοβάθμιας παχυμένης και της βιολογικής παχυμένης ιλύος αναμιγνύεται και οδηγείται στους χωνευτές για αναερόβια χώνευση. Ο απαιτούμενος όγκος των χωνευτών προκύπτει από την παροχή εισόδου της ιλύος και τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Για το σχεδιασμό λαμβάνεται χρόνος παραμονής ίσος με 21 ημέρες περίπου. Κατασκευάζονται δυο χωνευτές ύψους 17 m και διαμέτρου 13 m συνολικού όγκου 4.513 m³.

Στους χωνευτές πραγματοποιείται μεσοφιλική αναερόβια χώνευση στους 35°C. Κατά τη χώνευση μέρος του οργανικού υλικού διασπάται από τους αναερόβιους μικροοργανισμούς και έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου. Το ποσοστό διάσπασης της πρωτοβάθμιας ιλύος είναι σχετικά υψηλό, 55%, ενώ στη βιολογική ιλύ παρουσιάζεται μειωμένη διάσπαση οργανικού υλικού, της τάξεως των 30%. Η ειδική παραγωγή βιοαερίου για τη μεν πρωτοβάθμια ιλύ είναι ίση με 947,9 m³ βιοαέριο/tn διασπ.VSS, ενώ για τη βιολογική ιλύ εξαρτάται από τη συγκέντρωση μεθανίου στην ιλύ, την αναλογία οργανικών στερεών προς ολικά στερεά (VSS/SS) και το COD της ιλύος. Θεωρούμε ότι το 64% του παραγόμενου βιοαερίου είναι μεθάνιο. Η αναλογία VSS/SS στη βιολογική ιλύ είναι 69% το χειμώνα και 72% το καλοκαίρι και το COD της ιλύος είναι 1,0 kg COD/kg VSS για χειμώνα και

καλοκαίρι. Έτσι, η ειδική παραγωγή βιοαερίου για τη βιολογική ιλύ είναι 793 και 759,7 Nm³/tn διασπ.VSS, για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα.

Συνεπώς, το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται σε 3.153 m³ βιοαέριο/d για το χειμώνα και 3.209 m³ βιοαέριο/d το καλοκαίρι.

Το χειμώνα η χωνεμένη ιλύς είναι 216 m³/d με παραγωγή στερεών 7.295 kg SS/d εκ των οποίων τα 4.324 kg VSS/d είναι οργανικά. Κατά το θέρος παρατηρείται μικρή αύξηση με παροχή χωνεμένης ιλύος ίση 223 m³/d. Μετά τη χώνευση τα οργανικά στερεά μειώνονται σε 4.600 kg VSS/d και έτσι τα συνολικά στερεά υπολογίζονται σε 7.569 kg SS/d.

4.2.1.2.5.2 Μονάδα Συμπααραγωγής

Το παραγόμενο βιοαέριο καίγεται σε μονάδα συμπααραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Επιλέγεται να εγκατασταθεί μηχανή Jenbacher Type 2 – Type 208, η οποία δίνει τη δυνατότητα καύσης διπλού καυσίμου (βιοαέριο και φυσικό αέριο). Τα χαρακτηριστικά της μηχανής είναι :

- P_{el} = 249 kW, η_{el} = 39,1%
- P_{th} = 293 kW, η_{th} = 46,0%.

Η απαιτούμενη ισχύς του καυσίμου ισούται με :

$$P_{\text{καυσ}} = \frac{P_{el}}{\eta_{el}} = \frac{P_{th}}{\eta_{th}} = \frac{249 \text{ kW}}{0,391} = 637 \text{ kW}$$

και η απαιτούμενη ενέργεια για μια ημέρα ανά μηχανή είναι :

$$637 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 15.284 \frac{\text{kWh}}{\text{d} - \text{μηχανή}}$$

Η διαστασιολόγηση της μηχανής γίνεται για τη μέση ετήσια παραγωγή βιοαερίου ίση με 3.209 m³ βιοαέριο/d. Δεδομένου ότι η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου είναι 6,477 kWh/m³ βιοαερίου, προκύπτει ημερήσια διαθέσιμη ενέργεια ίση με :

$$3.209 \frac{\text{m}^3 \text{βιοαέριο}}{\text{d}} \times 6,477 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \text{βιοαερίου}} = 20.785 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

Συνεπώς, ο συνολικά απαιτούμενος αριθμός μηχανών Jenbacher Type 2 – Type 208 είναι :

$$n = \frac{20.785 \frac{kWh}{d}}{15.284 \frac{kWh}{d - \text{μηχανή}}} = 1,36 \text{ μηχανές}$$

Εγκαθίστανται 2 μηχανές Jenbacher Type 2 – Type 208, οι οποίες παράγουν :

- Ηλεκτρική ισχύ : $2 \times 249 \times 1,36 / 2 = 339 \text{ kW} \sim 8.127 \text{ kWh/d}$
- Θερμική ισχύ : $2 \times 293 \times 1,36 / 2 = 399 \text{ kW} \sim 9.563 \text{ kWh/d}$

Η ανωτέρω θερμική ενέργεια αναφέρεται στο σύνολο της ημερήσιας παραγόμενης θερμικής ενέργειας από την καύση της συνολικής ημερήσιας ποσότητας βιοαερίου στις μηχανές συμπαραγωγής.

Ανάλογα με το θερμοκρασιακό επίπεδο, η παραγόμενη ενέργεια διακρίνεται σε υψηλής ενθαλπίας ($\theta > 150^\circ\text{C}$), μεσαίας ενθαλπίας ($80^\circ\text{C} < \theta < 150^\circ\text{C}$) και χαμηλής ενθαλπίας ($25^\circ\text{C} < \theta < 80^\circ\text{C}$). Οι προμηθευτές των μονάδων συμπαραγωγής αυτού του τύπου (Jenbacher Type 2 – Type 208) εγγυώνται ότι το 60% της παραγόμενης θερμικής ενέργειας είναι υψηλής ενθαλπίας και το 40% χαμηλής, δηλ. 5.739 kWh/d και 3.826 kWh/d , αντίστοιχα.

Φυσικά, σημειώνονται θερμικές απώλειες λόγω μεταφοράς θερμότητας μέσω των σωληνώσεων, οι οποίες εκτιμάται ότι αποτελούν το 15% της θερμικής ενέργειας. Τελικά, η διαθέσιμη θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας είναι 4.878 kWh/d και η διαθέσιμη θερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας είναι 3.252 kWh/d .

4.2.1.2.6 Μηχανική αφυδάτωση μίγματος Πρωτοβάθμιας και Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Η χωνεμένη ιλύς κατά την έξοδο της από τους χωνευτές έχει μειωμένη συγκέντρωση στερεών. Στόχος της μηχανικής αφυδάτωσης είναι η απομάκρυνση της υγρασίας που είναι εγκλωβισμένη στην ιλύ, ώστε η αφυδατωμένη ιλύς (cake) να έχει συγκέντρωση στερεών 25% DS.

Το χειμώνα η παροχή εισόδου της χωνεμένης ιλύος είναι $216 \text{ m}^3/\text{d}$. Η μάζα των στερεών 7.295 kg SS/d , εκ των οποίων τα 4.324 VSS/d είναι οργανικά. Θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων. Έτσι, στην έξοδο του φυγοκεντρητή η μάζα των στερεών παραμένει σταθερή, ενώ η παροχή του cake είναι $29 \text{ m}^3/\text{d}$. Μέσω της αφυδάτωσης απομακρύνονται περίπου 186 m^3 νερό/d, τα οποία οδηγούνται πάλι στην είσοδο της εγκατάστασης για περαιτέρω επεξεργασία. Η μηχανική αφυδάτωση υποβοηθάται με την

προσθήκη κατάλληλης δόσης πολυηλεκτρολύτη. Εδώ θεωρήθηκε ότι επαρκούν 10,00 kg σκόνης πολυηλεκτρολύτη για κάθε τόνο εισερχόμενου DS, και έτσι η ημερήσια απαίτηση σε πολυηλεκτρολύτη διαμορφώνεται σε 6,38 kg/h. Ο φυγοκεντρητής λειτουργεί 16 ώρες την ημέρα και 5 ημέρες την εβδομάδα.

Αντίστοιχα για το καλοκαίρι, με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων, τα στερεά στην έξοδο του φυγοκεντρητή είναι 7.569 kg SS/d, εκ των οποίων τα 4.600 kg VSS/d είναι οργανικά. Απομακρύνονται ημερησίως περίπου 193 m³/d νερό και έτσι επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της αφυδάτωσης 25%. Η Παροχή εξόδου ιλύος από τους φυγοκεντρητές είναι 223 m³/d. Για τις ανάγκες της αφυδάτωσης απαιτούνται περίπου 6,6 kg δραστικής ουσίας πολυηλεκτρολύτη την ώρα. Ο σχεδιασμός των φυγοκεντρητών μηχανικής αφυδάτωσης έγινε λαμβάνοντας υπόψη ότι η ωριαία παροχή τροφοδοσίας προέκυψε με την παραδοχή λειτουργίας 16 ώρες την ημέρα και 5 ημέρες την εβδομάδα.

4.2.1.3 Ηλεκτρικές και Θερμικές Καταναλώσεις

Οι ηλεκτρικές και οι θερμικές καταναλώσεις σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων είναι αυξημένες και η κάλυψή τους αποτελεί σημαντικό ποσοστό των συνολικών ετήσιων δαπανών της εγκατάστασης. Παρακάτω υπολογίζονται οι ηλεκτρικές και θερμικές καταναλώσεις που σχετίζονται τόσο με την επεξεργασία των λυμάτων, όσο και την επεξεργασία της ιλύος. Φυσικά, οι καταναλώσεις για την επεξεργασία των λυμάτων παραμένουν σταθερές για τα δύο εναλλακτικά σενάρια που εξετάζονται. Ωστόσο ο υπολογισμός τους κρίνεται απαραίτητος για την οικονομική σύγκριση των δύο εναλλακτικών σεναρίων που πρόκειται να ακολουθήσει.

4.2.1.3.1 Διαθέσιμη Ηλεκτρική και Θερμική Ενέργεια

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι μηχανές συμπαραγωγής, έπειτα από καύση του παραγόμενου βιοαερίου, παράγουν :

- Ηλεκτρική Ενέργεια : 8.129 kWh/d
- Θερμική Ενέργεια : 9.566 kWh/d, 5.739 kWh/d υψηλής ενθαλπίας και 3.826 kWh/d χαμηλής ενθαλπίας. Το 15% χάνεται λόγω απωλειών των σωληνώσεων κατά τη μεταφορά, συνεπώς, η διαθέσιμη θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας είναι 4.878 kWh/d και η διαθέσιμη θερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας είναι 3.252 kWh/d

4.2.1.3.2 Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια

4.2.1.3.2.1 *Μηχανική Πάχυνση*

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη μηχανική πάχυνση λαμβάνεται ίση με 0,30 kWh/m³.

Η ηλεκτρική κατανάλωση μηχανικής πάχυνσης είναι αυξημένη το θέρος και ισούται με 0,30 kWh/m³ x 635,12 m³/d = 191 kWh/d. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι φυγοκεντρητές της μηχανικής πάχυνσης λειτουργούν 5 ημέρες την εβδομάδα και 16 ώρες το 24ωρο, προκύπτει ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ίση με 49.676 kWh/έτος.

4.2.1.3.2.2 *Χώνευση*

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη χώνευση είναι 6,00 W/ m³ χωνευτή. Ο όγκος των χωνευτών είναι 4.513 m³. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 650 kWh/d ή 237.198 kWh/έτος.

4.2.1.3.2.3 *Μηχανική Αφυδάτωση*

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη μηχανική αφυδάτωση είναι 2,00 kWh/ m³ ιλύος. Η παροχή της χωνεμένης ιλύος στην είσοδο της αφυδάτωσης είναι 223 m³/d. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 447 kWh/d. Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι φυγοκεντρητές της μηχανικής αφυδάτωσης λειτουργούν 5 ημέρες την εβδομάδα και 16 ώρες το 24ωρο, προκύπτει ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ίση με 116.507 kWh/έτος.

4.2.1.3.2.4 *Συνολικά Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια*

Η συνολικά απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 1.287 kWh/d ή 403.380kWh/έτος.

4.2.1.3.3 Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια

4.2.1.3.3.1 *Θέρμανση χωνευτών*

Η θέρμανση των χωνευτών γίνεται με τη βοήθεια εξωτερικών εναλλακτών. Οι εναλλάκτες έχουν συνήθως τη μορφή δύο ομόκεντρων σωλήνων. Στον εσωτερικό σωλήνα (διαμέτρου τουλάχιστον 100 mm) ρέει η ιλύς με τη βοήθεια αντλίας επανακυκλοφορίας. Στον εξωτερικό σωλήνα και με αντίθετη κατεύθυνση ρέει ζεστό νερό το οποίο θερμαίνει την ιλύ. Θερμότητα απαιτείται τόσο για τη θέρμανση της ιλύος (αύξηση της θερμοκρασίας της από

τη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε θερμοκρασία κατάλληλη για μεσοφιλική χώνευση, 35°C), όσο και την κάλυψη των απωλειών

Θέρμανση ιλύος :

$$Q_1 = M_{\text{παχ.ιλύος}} \times C \times (T_{\text{χωνευτή}} - T_{\text{ιλύος}})$$

$$Q_1 = \left(223 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \times ^\circ\text{C}} \times (35 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C})$$

$$Q_1 = \left(223 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \times ^\circ\text{C}} \times (35 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C})$$

$$Q_1 = 3.352 \frac{\text{kcal}}{\text{d}} \text{ ή } 3.897 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

Απώλειες θερμότητας :

Οι χωνευτές κατασκευάζονται υπόγειοι, σχεδιασμός που περιορίζει τις απώλειες θερμότητας, οι οποίες υπολογίζονται περίπου ίσες με το 10% των απωλειών της ιλύος :

$$Q_2 = 10\% \times Q_1 = 335.156 \frac{\text{kcal}}{\text{d}} \text{ ή } 390 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

Έτσι, οι συνολικές απαιτήσεις σε θέρμανση χωνευτών είναι 4.287 kWh/d. Η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύ του εναλλάκτη είναι 4.287/24=179 kW. Για βαθμό απόδοσης εναλλάκτη ίσο με 80% προκύπτει τελικά απαιτούμενη απόδοση ίση με 179/0,80=223 kW.

4.2.1.3.3.2 Συνολικά Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια

Η συνολικά απαιτούμενη θερμική Ενέργεια είναι 223 kW x 24h/d =5.359 kWh/d.

4.2.1.3.4 Επάρκεια Διαθέσιμης Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας

Εξετάζεται κατά πόσον επαρκεί η παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια (υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας) για την κάλυψη των αντίστοιχων αναγκών στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #1.

4.2.1.3.4.1 Ηλεκτρική Ενέργεια

Η ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την καύση του βιοαερίου στις μονάδες συμπαραγωγής, 2.967 MWh/έτος, επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια κατά την επεξεργασία ιλύος, 403 MWh/έτος.

Η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, 2.564 MWh/έτος, μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί για κάλυψη των λοιπών ηλεκτρικών αναγκών στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων είτε να διατεθεί στο δίκτυο. Δίνεται προτεραιότητα στη ν αξιοποίηση της εντός ΕΕΛ. Σε περίπτωση που, μετά την κάλυψη των λοιπών ηλεκτρικών αναγκών της ΕΕΛ, προκύψει έλλειμα ηλεκτρικής ενέργειας, τότε αυτό μπορεί να πουληθεί στο δίκτυο. Σε περίπτωση, που υπάρχει έλλειμα ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των συμπληρωματικών αναγκών της ΕΕΛ, η επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια θα εξασφαλιστεί από το δίκτυο (αγορά ηλ. ενέργειας).

Λαμβάνοντας ειδική κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών μιας ΕΕΛ (πλην της επεξεργασίας ιλύος) ίση με 25 kWh/κάτ.-έτος, προκύπτει ότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τις συμπληρωματικές καυταναλώσεις είναι 25 kWh/κάτ.-έτος x 130.000 κατ. = 3.250 MWh/έτος

Παρατηρείται έλλειμα ηλεκτρικής ενέργειας για την πλήρη κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων #1. Οι πρόσθετες ηλεκτρικές ανάγκες, 686 MWh/έτος, θα καλυφθούν με αγορά της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

4.2.1.3.4.2 Θερμική Ενέργεια

Η θέρμανση των χωνευτών γίνεται είτε με θερμική ενέργεια χαμηλής είτε υψηλής ενθαλπίας. Εξετάζεται, κατά πόσον επαρκεί θερμική ενέργεια για θέρμανση των χωνευτών.

Πίνακας 4.2 – Στοιχεία για τη διαθέσιμη και απαιτούμενη θερμική ενέργεια

Διαθέσιμη Θερμ. Ενέργεια υψηλής ενθαλπίας	1.781 MWh/έτος
Διαθέσιμη Θερμ. Ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας	1.187 MWh/έτος
Απαιτούμενη Θερμ. Ενέργεια υψηλής ενθαλπίας	0 MWh/έτος
Απαιτούμενη Θερμ. Ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας	1.956 MWh/έτος

Παρατηρείται ότι η διαθέσιμη θερμική ενέργεια χαμηλής δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη των αναγκών της χώνευσης. Γι' αυτό το λόγο, γίνεται αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας υψηλής ενθαλπίας για τις πρόσθετες ανάγκες της χώνευσης.

4.2.1.4 Οικονομικά Στοιχεία

4.2.1.4.1 Κόστος Επένδυσης

4.2.1.4.1.1 Μηχανική Πάχυνση

Εγκαθίστανται 2 φυγοκεντρητές (.1 σε λειτουργία και 1 εφεδρικός) με κόστος 100.000 € / φυγοκεντρητή. Το κόστος επένδυση του βοηθητικού εξοπλισμού είναι 60.000 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης για την προ-αφυδάτωση είναι 260.000 €.

4.2.1.4.1.2 Χώνευση

Η τιμή μονάδος ανά κυβικό μέτρο χωνευτή είναι 900 €/m³ χωνευτή. Ο συνολικός όγκος των χωνευτών είναι 4.513 m³. Έτσι, το κόστος των χωνευτών είναι 4.061.608 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης των χωνευτών είναι 4.061.608 €

4.2.1.4.1.3 Μηχανική Αφυδάτωση

Εγκαθίστανται 3 φυγοκεντρητές για την κάλυψη των αναγκών της αφυδάτωσης (2 σε λειτουργία και 1 σε εφεδρεία). Το κόστος κάθε φυγοκεντρητή είναι 90.000 €/φυγοκεντρητή. Λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος του βοηθητικού εξοπλισμού, 50.000 €, προκύπτει κόστος επένδυσης της μηχανικής αφυδάτωσης 320.000 €

4.2.1.4.1.4 Μονάδα Συμπαγωγής

Εγκαθίστανται δύο μηχανές συμπαγωγής General Electric Jenbacher Type 2 – 208 με κόστος 398.400 € έκαστος (συμπεριλαμβανομένων της ηλεκτρικής γεννήτριας και του

βοηθητικού εξοπλισμού). Επίσης, εγκαθίστανται δύο εναλλάκτες ισχύος 223 kW έκαστος για θέρμανση της ιλύος. Κάθε εναλλάκτης κοστίζει 130.000 €. Απαιτείται πρόσθετα εναλλάκτης για τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας από υψηλής σε χαμηλής ενθαλπίας, που κοστίζει 60.000 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης της μονάδας συμπαραγωγής είναι 1.116.800 €.

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιμέρους δαπάνες που συνιστούν το συνολικό κόστος επένδυσης.

Πίνακας 4.3 – Επιμέρους και συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης

Μηχανική Πάχυνση	260.000 €
Χώνευση	4.061.608 €
Μηχανική Αφυδάτωση	320.000 €
Μονάδα Συμπαραγωγής	1.116.800 €
Συνολικό Κόστος Επένδυσης	5.758.408 €

4.2.1.4.2 Λειτουργικό Κόστος

4.2.1.4.2.1 *Ενεργειακές Καταναλώσεις*

Η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια από τη ΣΗΘΕ είναι 2.967 MWh/έτος. Για την επεξεργασία της ιλύος απαιτούνται 403.3 MWh/έτος και για τις υπόλοιπες ηλεκτρικές ανάγκες (πλην της επεξεργασίας ιλύος) 3.250 MWh/έτος. Προκύπτει ότι δεν επαρκεί η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Για την κάλυψη των πρόσθετων αναγκών (686,3 MWh/έτος) αγοράζεται ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τις συμπληρωματικές ανάγκες με τιμή μονάδος 0,11 €/kWh. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 75.490 €..

4.2.1.4.2.2 *Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη*

Καταναλώνεται πολυηλεκτρολύτης τόσο στη μηχανική πάχυνση της περίσσειας ενεργού ιλύος όσο και στη μηχανική αφυδάτωση του μίγματος χωνεμένης πρωτοβάθμιας-βιολογικής ιλύος. Για τη μεν μηχανική πάχυνση απαιτείται δόση 6 kg πολυηλεκτρολύτη ανά

τόνο ξηρών στερεών και για τη μηχανική αφυδάτωση 10 kg πολυηλεκτρολύτη ανά τόνο ξηρών στερεών.

Η απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη για ένα έτος είναι περίπου 36.900 kg πολυηλεκτρολύτη. Το κόστος του πολυηλεκτρολύτη είναι 3,00 € / kg πολυηλεκτρολύτη (powder). Συνεπώς, ισχύει :

$$3 \frac{\text{€}}{\text{kg πολυηλεκτρολύτη}} \times 36.900 \frac{\text{kg πολυηλεκτρολύτη}}{\text{year}} = 110.700 \frac{\text{€}}{\text{year}}$$

4.2.1.4.2.3 Προσωπικό

Θεωρώ ότι το προσωπικό κοστίζει για την εγκατάσταση τιμή Χ €/έτος. Δεν εκτιμάται κόστος προσωπικού, διότι εφόσον θα γίνει σύγκριση των δύο εναλλακτικών σεναρίων, ενδιαφέρον παρουσιάζει μόνο η διαφορά στο κόστος μεταξύ των δύο και όχι οι απόλυτες τιμές. Στην περίπτωση της συμβατικής επεξεργασίας ιλύος, θεωρείται ότι η εγκατάσταση απασχολεί το πλήθος προσωπικού που απαιτείται για την εύρυθμη λειτουργία της. Όπως, θα σημειωθεί παρακάτω στο υποκεφάλαιο 4.2.2.4.2.3, εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης απαιτείται πρόσθετο εξειδικευμένο προσωπικό.

4.2.1.4.2.4 Διάθεση αφυδατωμένης ιλύος

Το κόστος διάθεσης της αφυδατωμένης ιλύος είναι 120 €/tn αφυδατωμένης ιλύος. Για ετήσια μάζα παραγόμενης αφυδατωμένης ιλύος ίση με 11.051 tn αφυδατωμένης ιλύος/έτος, προκύπτει :

$$120 \frac{\text{€}}{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}} \times 11.051 \frac{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}}{\text{year}} = 1.326.105 \frac{\text{€}}{\text{year}}$$

4.2.1.4.2.5 Κόστος συντήρησης

Το συνολικό ετήσιο κόστος συντήρησης ισούται με 166.674 €/έτος και επιμερίζεται στα παρακάτω :

- Μηχανική Πάχυνση

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της μηχανικής πάχυνσης είναι ίσο με το 4,5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 11.700 €/έτος.

- *Χώνευση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της χώνευσης είναι ίσο με το 2 % της αρχικής επένδυσης, δηλ. 81.232 €/έτος.

- *Μηχανική Αφυδάτωση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της μηχανικής αφυδάτωσης είναι ίσο με το 4,5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 14.400 €/έτος

- *Μονάδα Συμπαραγωγής*

Το κόστος συντήρησης ανά MWh είναι 20 €. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής είναι 2.967 MWh. Συνεπώς, το κόστος συντήρησης της μηχανής είναι 59.342 €/έτος.

Στον Πίνακα 4.4 συνοψίζονται οι επιμέρους δαπάνες που συνιστούν το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος.

Πίνακας 4.4 - Επιμέρους και συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης

Ηλεκτρική Ενέργεια	75.490 €/έτος
Πολυηλεκτρολύτης	110.700 €/έτος
Προσωπικό	0 €/έτος
Διάθεση Αφυδατωμένης Ιλύος	1.326.105 €/έτος
Κόστος Συντήρησης	166.674 €/έτος
Συνολικό Λειτουργικό Κόστος	1.678.969 €/έτος

4.2.2 Σενάριο Β' – Εφαρμογή Θερμικής Υδρόλυσης στην Περίσσεια Ενεργού Ιλύος

4.2.2.1 Γενικά

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων ΕΕΛ #1 επανασχεδιάζεται εισάγοντας τη θερμική υδρόλυση ανάντη της χώνευσης. Η προεπεξεργασία που υφίσταται η περίσσεια ενεργού ιλύος στοχεύει στην ενίσχυση της υδρόλυσης, η οποία αποτελεί και τον περιοριστικό παράγοντα του συνόλου των διεργασιών της χώνευσης.

4.2.2.2 Διαστασιολόγηση Μονάδων

4.2.2.2.1 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία Λυμάτων

Όπως και στην περίπτωση της συμβατικής επεξεργασίας της ιλύος, κατασκευάζονται δύο δεξαμενές διαμέτρου 23 m με πλάτος ζώνης υπερχειλίσης ίσο με 0,60 m.

Η ημερήσια παραγωγή πρωτοβάθμιας ιλύος είναι 406 m³/d με συγκέντρωση στερεών 1,5% DS. Έτσι, παράγονται ημερησίως 6.091 kg SS/d, το 75% των οποίων είναι οργανικά, 4.568 kg VSS/d.

Τα παραπάνω ισχύουν τόσο για το χειμώνα, όσο και για το θέρος.

4.2.2.2.2 Βιολογική Επεξεργασία Λυμάτων

Αναμενόμενο είναι ότι ο σχεδιασμός της βιολογικής επεξεργασίας είναι ίδιος με το σενάριο που εξετάστηκε προηγουμένως. Σχεδιάζονται δύο γραμμές, εκ των οποίων καθεμία περιλαμβάνει :

- έναν βιοαντιδραστήρα ωφέλιμου συνολικού όγκου 6.793 m³ (4.719 m³ η αερόβια ζώνη και 2.074 m³ η ανοξική ζώνη),
- μία προ-ανοξική δεξαμενή ωφέλιμου όγκου 600 m³,
- έναν αναερόβιο βιοεπιλογέα ωφέλιμου όγκου 1.287 m³ και
- δύο δεξαμενές τελικής καθίζησης ωφέλιμης διαμέτρου 30 m.

Φυσικά, οι διαστάσεις των δεξαμενών στο σενάριο Β' είναι πανομοιότυπες με τις αντίστοιχες διαστάσεις των δεξαμενών του Σεναρίου Α'.

Διατηρώντας όλο το χρόνο συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό σταθερή και ίση περίπου με 3.700 mg/l, προκύπτει συνολικός χρόνος παραμονής για το μεν

χειμώνα περίπου 10,5 ημέρες, για το δε καλοκαίρι 5 ημέρες. Σε καμιά από τις δύο περιπτώσεις δεν επιτυγχάνεται σταθεροποίηση της περίσσειας ενεργού ιλύος, εφόσον ο χρόνος παραμονής είναι μικρότερος των 15 ημερών. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η χώνευση της βιολογικής ιλύος.

Ο σχεδιασμός της δεξαμενής τελικής καθίζησης γίνεται ώστε να εξασφαλίζονται τα κριτήρια της υδραυλικής φόρτισης (υδραυλική φόρτιση σχεδιασμού $15 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$) και της φόρτισης στερεών (φόρτιση στερεών σχεδιασμού $100 \text{ kg SS}/\text{m}^2\text{-d}$).

Τη χειμερινή περίοδο η ημερήσια παραγωγή στερεών είναι $4.684 \text{ kg SS}/\text{d}$, εκ των οποίων τα $3.237 \text{ kgVSS}/\text{d}$ είναι οργανικά. Για να διατηρηθεί σταθερή η συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό καθημερινά αφαιρούνται από τον κώνο της δεξαμενής τελικής καθίζησης $585 \text{ m}^3/\text{d}$, συγκέντρωσης $0,8\% \text{ DS}$. Το καλοκαίρι η παραγόμενη βιολογική ιλύς είναι της τάξεως των $645 \text{ m}^3/\text{d}$. Περιλαμβάνει $5.081 \text{ kg SS}/\text{d}$ και $3.635 \text{ kgVSS}/\text{d}$.

4.2.2.2.3 Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος

Κατασκευάζονται δυο παχυντές βαρύτητας καθαρής διαμέτρου $6,50 \text{ m}$ με πλευρικό βάθος 4 m και κλίση πυθμένα $1 : 6$.

Οι παχυντές βαρύτητας επιτυγχάνουν συγκέντρωση στερεών στην παχυμένη πρωτοβάθμια ιλύ περίπου ίση με $5\% \text{ DS}$. Η ημερήσια παροχή πρωτοβάθμιας ιλύος είναι $122 \text{ m}^3/\text{d}$, η μάζα των στερεών στην έξοδο του παχυντή βαρύτητας είναι $6.091 \text{ kg SS}/\text{d}$ και τα οργανικά στερεά $4.568 \text{ kg VSS}/\text{d}$.

4.2.2.2.4 Προ-αφυδάτωση Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Η περίσσεια ενεργού ιλύος οδηγείται για προ-αφυδάτωση με σκοπό την αύξηση της συγκέντρωσης στερεών σε ποσοστό $16\text{-}17\% \text{ DS}$. Η προ-αφυδάτωση γίνεται με φυγοκεντρητές και χρήση κατάλληλης δόσης πολυηλεκτρολύτη ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό ποσοστό στερεών στην έξοδο.

Το χειμώνα οι φυγοκεντρητές τροφοδοτούνται με περίσσεια ενεργού ιλύος $585 \text{ m}^3/\text{d}$. Θεωρώντας ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών στα σταγίδια και για ποσοστό στερεών στην έξοδο ίσο με $16,5\% \text{ DS}$, η προ-αφυδατωμένη ιλύς είναι $28,4 \text{ m}^3/\text{d}$ και η ημερήσια παραγωγή στερεών $4.684 \text{ kg SS}/\text{d}$ και $3.237 \text{ kgVSS}/\text{d}$. Το θέρος η παροχή εξόδου της προ-αφυδατωμένης ιλύος είναι $31 \text{ m}^3/\text{d}$ και τα στερεά $5.081 \text{ kg SS}/\text{d}$ και $3.635 \text{ kgVSS}/\text{d}$.

Ο σχεδιασμός των φυγοκεντρητών προ-αφυδάτωσης έγινε λαμβάνοντας υπόψη ότι η ωριαία παροχή τροφοδοσίας προέκυψε με την παραδοχή λειτουργίας 16 ώρες την ημέρα και 5 ημέρες την εβδομάδα. Εγκαθίστανται δυο φυγοκεντρητές της *GEA Westfalia Separator Group* τύπου CF 6000 (1 σε λειτουργία + 1 εφεδρικός). Κάθε φυγοκεντρητής θα έχει τη δυνατότητα να φορτίζεται με 55,1 m³/h και 440,5 kg DS/h. Απαιτούνται 2,46 και 2,67 kg πολυηλεκτρολύτη την ώρα, για χειμώνα και καλοκαίρι αντίστοιχα.

Τα στραγγίδια της προ-αφυδάτωσης υπολογίζονται σε 557 m³/d και 604 m³/d, για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα, και επιστρέφουν στην είσοδο της εγκατάστασης.

4.2.2.2.5 Θερμική Υδρόλυση Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Η προ-αφυδατωμένη ιλύς τροφοδοτείται στην εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης (Thermal Hydrolysis Process Plant). Η εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης, όπως έχει αναλυθεί εκτενώς στο Κεφάλαιο 2, αποτελείται από τρεις εν σειρά δεξαμενές. Η περίσσεια ενεργού ιλύος με θερμοκρασία περιβάλλοντος (18°C για χειμώνα και 25°C για καλοκαίρι) και πίεση 1 bar εισέρχεται στην πρώτη δεξαμενή (pulper). Εκεί προθερμαίνεται μέσω ανακυκλωμένου ατμού, που εισάγεται επίσης στη δεξαμενή, και ομογενοποιείται. Η ιλύς παραμένει στο pulper για περίπου 1,5 ώρα και θερμαίνεται στους 97°C, με αποτέλεσμα να μειωθεί το ιξώδες της. Το ποσοστό στερεών στην έξοδο από το pulper μειώνεται στο 14-15% DS. Έπειτα, η ιλύς αντλείται στη δεύτερη δεξαμενή, τον αντιδραστήρα (reactor). Η λειτουργία του δεν είναι συνεχής. Εδώ η ιλύς, με έγχυση κατάλληλης ποσότητας κορεσμένου ατμού πίεσης 12 bar, θερμαίνεται στους 165°C και αποκτά πίεση 6 bar. Έπειτα από 20 λεπτά ανοίγει βαλβίδα απελευθέρωσης πίεσης που βρίσκεται στο άνω μέρος του αντιδραστήρα και η πίεση της ιλύος μειώνεται στα 3 bar. Στη συνέχεια, ανοίγει βαλβίδα στον πυθμένα του αντιδραστήρα, μέσω της οποίας εκκενώνεται ο αντιδραστήρας και η ιλύς μεταφέρεται στην τρίτη δεξαμενή (flash tank). Η ιλύς παραμένει στο flash tank για περίπου 1,5 ώρα. Η πίεση της μειώνεται στο 1 bar και η θερμοκρασία της στους 100°C. Η υδρολυμένη ιλύς με ποσοστό στερεών 12-13% DS εξέρχεται από την εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης. Ο ατμός που απελευθερώνεται τόσο από τον αντιδραστήρα όσο και το flash tank ανακυκλώνεται και οδηγείται στο pulper. Εάν κρίνεται απαραίτητο, η υδρολυμένη ιλύς αραιώνεται με νερό ώστε να ψυχθεί μερικώς και να αποκτήσει θερμοκρασία κατάλληλη για μεσοφιλική χώνευση. Μέσω του νερού αραιώσης επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών 8-12% DS. Έπειτα, η ιλύς αναμιγνύεται με την πρωτοβάθμια ιλύ, γεγονός που συμβάλλει σε περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας, και το μίγμα τους οδηγείται στους χωνευτές.

Η εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης διαστασιολογείται ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες τόσο του χειμώνα όσο και του θέρους.

Το χειμώνα εισέρχονται στη μονάδα 28,40 m³/d προ-αφυδατωμένης βιολογικής ιλύος σε θερμοκρασία 18°C και πίεση 1 bar. Ο απαιτούμενος ατμός προκύπτει από το ισοζύγιο, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ατμός που εγχύεται είναι κορεσμένος και έχει πίεση 12 bar, καθώς επίσης και ότι η υδρολυμένη ιλύς έχει θερμοκρασία 100°C και πίεση 1 bar. Στον Πίνακα 4.5 δίνονται τα απαραίτητα στοιχεία για το θερμικό ισοζύγιο.

Πίνακας 4.5 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης - χειμώνας

	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Μάζα [kg/h]
Προ-αφυδατωμένη Ιλύς	1	18	75,62	A
Κορεσμένος Ατμός	12	189,50	2.782,7	X x A
Υδρολυμένη Ιλύς	1	100	419,06	A (1+ X)

Για προ-αφυδατωμένη ιλύ A= 1 kg/h απαιτεί :

$$75,62 \frac{kJ}{kg} \times 1 \frac{kg}{h} + 2.782,7 \frac{kJ}{kg} \times (X \times 1) \frac{kg}{h} = 419,06 \frac{kJ}{kg} \times (1 + X) \times 1 \frac{kg}{h} \Rightarrow$$

$$X = 0,145 \frac{kg \text{ ατμός}}{h} \text{ ή } 0,881 \frac{kg \text{ ατμός}}{h}$$

Για εισερχόμενη προαφυδατωμένη ιλύ ίση με 4.684 kg SS/d προκύπτει απαίτηση σε ατμό :

$$\frac{4.684 \text{ kgSS}}{24 \text{ h}} \times 0,881 \frac{kg \text{ ατμός}}{kgSS} = 171,86 \frac{kg \text{ ατμός}}{h}$$

Η υδρολυμένη ιλύς έχει 4.684 kg SS/d και μάζα :

$$M_{υδρ.ιλυος} = \frac{4.684 \text{ kg} \frac{SS}{d}}{16,5\%} + 171,86 \frac{kg \text{ ατμός}}{h} \times 24 \frac{h}{d} = 32.512 \frac{kg}{d}$$

Η ποσοστό των στερεών στην υδρολυμένη ιλύ είναι :

$$\frac{4.684 \text{ kg} \frac{SS}{d}}{32.512 \frac{kg}{d}} = 14,4 \% DS$$

Επιλέγεται να μην προστεθεί νερό αραίωσης, και έτσι η υδρολυμένη βιολογική ιλύς έχει ποσοστό στερεών 14,4% DS και θερμοκρασία 100°C.

Το καλοκαίρι εισέρχονται στη μονάδα 30,80 m³/d προ-αφυδατωμένης βιολογικής ιλύος σε θερμοκρασία 25°C και πίεση 1 bar. Ο απαιτούμενος ατμός προκύπτει από το ισοζύγιο, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ατμός που εγχύεται είναι κορεσμένος και έχει πίεση 12 bar, καθώς επίσης και ότι η υδρολυμένη ιλύς έχει θερμοκρασία 100°C και πίεση 1 bar. Στον Πίνακα 4.6 δίνονται τα απαραίτητα στοιχεία για το θερμικό ισοζύγιο.

Πίνακας 4.6 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης - θέρους

	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Μάζα [kg/h]
Προ-αφυδατωμένη Ιλύς	1	25	104,90	A
Κορεσμένος Ατμός	12	189,50	2.782,7	X x A
Υδρολυμένη Ιλύς	1	100	419,06	A (1+ X)

Για προ-αφυδατωμένη ιλύ A= 1 kg/h απαιτεί :

$$104,90 \frac{kJ}{kg} \times 1 \frac{kg}{h} + 2.782,7 \frac{kJ}{kg} \times (X \times 1) \frac{kg}{h} = 419,06 \frac{kJ}{kg} \times (1 + X) \times 1 \frac{kg}{h} \Rightarrow$$

$$X = 0,133 \frac{kg \text{ ατμός}}{h} \text{ ή } 0,806 \frac{kg \text{ ατμός}}{h}$$

Για εισερχόμενη προαφυδατωμένη ιλύ ίση με 5.034 kg SS/d προκύπτει απαίτηση σε ατμό :

$$\frac{5.034 \text{ kgSS}}{24 \text{ h}} \times 0,806 \frac{kg \text{ ατμός}}{kgSS} = 170,56 \frac{kg \text{ ατμός}}{h}$$

Η υδρολυμένη ιλύς έχει 5.081 kg SS/d και μάζα :

$$M_{υδρολυος} = \frac{5.081 \text{ kg} \frac{SS}{d}}{16,5\%} + 170,56 \frac{kg \text{ ατμός}}{h} \times 24 \frac{h}{d} = 34.890 \frac{kg}{d}$$

Η ποσοστό των στερεών στην υδρολυμένη ιλύ είναι :

$$\frac{5.081 \text{ kg} \frac{SS}{d}}{34.890 \frac{kg}{d}} = 14,56 \% DS$$

Επιλέγεται προστεθεί νερό αραιώσης, ώστε η αραιωμένη υδρολυμένη βιολογική ιλύς να έχει ποσοστό στερεών 7,0% DS. Η μάζα της αραιωμένης υδρολυμένης βιολογικής ιλύος είναι:

$$\frac{5.081 \text{ kg} \frac{SS}{d}}{7\% DS} = 72.593 \frac{kg}{d}$$

Δεδομένου ότι η μάζα της υδρολυμένης ιλύος είναι 34.565 kg/d προκύπτει ότι απαιτείται νερό αραιώσης :

$$M_{\text{νερ.αραιώσης}} = M_{\text{αραιωμ. υδρ.ιλυος}} - M_{\text{υδρ.ιλυος}}$$

$$M_{\text{νερ.αραιώσης}} = 72.593 \frac{kg}{d} - 34.890 \frac{kg}{d} = 37.702 \frac{kg}{d}$$

Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία του Πίνακα 4.7

Πίνακας 4.7 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο κατά την αραιώση - θέρος

	Θερμοκρασία [°C]	Μάζα [kg/h]
Υδρολυμένη Ιλύς	100	34.890
Νερό Αραιώσης	25	37.702
Αραιωμένη-Υδρολυμένη Ιλύς	θ	71.593

εφαρμόζεται θερμικό ισοζύγιο για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της αραιωμένης υδρολυμένης ιλύος :

$$34.890 \frac{kg}{d} \times 100 \text{ } ^\circ C + 37.702 \frac{kg}{d} \times 25 \text{ } ^\circ C = \left(34.890 \frac{kg}{d} + 37.702 \frac{kg}{d} \right) \times \theta \Rightarrow$$

$$\theta = 61,05 \text{ } ^\circ C$$

Επιλέγεται να τοποθετηθεί μια μονάδα θερμικής υδρόλυσης της Cambi B2-1, που περιλαμβάνει έναν αντιδραστήρα 2m³.

4.2.2.2.6 Ανάμιξη Παχυμένης Πρωτοβάθμιας και Υδρολυμένης Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Έπειτα από την πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος και τη θερμική υδρολύση της περίσσειας ενεργού ιλύος, τα δύο είδη ιλύος αναμιγνύονται και ομογενοποιούνται. Σημαντικό είναι να προσδιοριστεί η τελική θερμοκρασία του μίγματος. Δεδομένου ότι στη μεσοφιλική χώνευση η βέλτιστη θερμοκρασία για παραγωγή μεθανίου είναι κοντά στους 35°C. Η απαίτηση αυτή μας οδηγεί στα ακόλουθα :

- Εάν το μίγμα πρωτοβάθμιας-βιολογικής ιλύος προς χώνευση έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη κατά πολύ των 35°C, απαιτείται περαιτέρω ψύξη του μίγματος μέσω εναλλακτών θερμότητας.
- Εάν το μίγμα πρωτοβάθμιας-βιολογικής ιλύος έχει θερμοκρασία μικρότερη κατά πολύ των 35°C , ως λύσεις προτείνονται η θέρμανση του μίγματος ιλύος, η προσθήκη λιγότερης ποσότητας νερού αραιώσης στη βιολογική υδρολυμένη ιλύ ή η ανάμιξη της πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος σε τέτοιες αναλογίες, ώστε να προκύψει θερμοκρασία τελικού μίγματος πλησίον της επιθυμητής.

Στον Πίνακα 4.8 δίνονται τα χαρακτηριστικά της πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος για το χειμώνα :

Πίνακας 4.8 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο ανάμιξης των δύο ειδών ιλύος - χειμώνας

	Θερμοκρασία [°C]	Μάζα [kg/d]
Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς	18	121.818
Αραιωμένη Υδρολυμένη ΠΕΙ	100	32.512
Ιλύς προς χώνευση	θ	154.330

Εφαρμόζοντας ισοζύγιο θερμότητας προκύπτει η θερμοκρασία του μίγματος ιλύος :

$$121.818 \frac{kg}{d} \times 18 \text{ } ^\circ C + 32.512 \frac{kg}{d} \times 100 \text{ } ^\circ C = \left(121.818 \frac{kg}{d} + 32.512 \frac{kg}{d} \right) \times \theta \Rightarrow$$

$$\theta = 35,27 \text{ } ^\circ C$$

Το ποσοστό στερεών στην ιλύ πριν τη χώνευση υπολογίζεται :

$$\frac{(6.091 + 4.684) \frac{kg\ SS}{d}}{(121.818 + 32.512) \frac{kg}{d}} = 6,98\% DS$$

Στον Πίνακα 4.9 δίνονται τα χαρακτηριστικά της πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος για το θέρους :

Πίνακας 4.9 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο ανάμιξης των δύο ειδών ιλύος - θέρους

	Θερμοκρασία [°C]	Μάζα [kg/d]
Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς	25	121.818
Αραιωμένη Υδρολυμένη ΠΕΙ	61,05	72.593
Ιλύς προς χώνευση	θ	194.411

Εφαρμόζοντας ισοζύγιο θερμότητας προκύπτει η θερμοκρασία του μίγματος ιλύος :

$$121.818 \frac{kg}{d} \times 25 \text{ } ^\circ C + 72.593 \frac{kg}{d} \times 61,05 \text{ } ^\circ C = \left(121.818 \frac{kg}{d} + 72.593 \frac{kg}{d} \right) \times \theta \Rightarrow$$

$$\theta = 38,46 \text{ } ^\circ C$$

Το ποσοστό στερεών στην ιλύ πριν τη χώνευση υπολογίζεται :

$$\frac{(6.091 + 5.081) \frac{kg\ SS}{d}}{(121.818 + 72.593) \frac{kg}{d}} = 5,75\% DS$$

4.2.2.2.7 Χώνευση μίγματος Πρωτοβάθμιας και Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

4.2.2.2.7.1 Χωνευτές

Το μίγμα της πρωτοβάθμιας παχυμένης και της βιολογικής παχυμένης οδηγείται στους χωνευτές για αναερόβια χώνευση. Στην περίπτωση εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης ο χρόνος παραμονής της ιλύος στους χωνευτές μπορεί να περιοριστεί στις 18 ημέρες. Έτσι, κατασκευάζονται δύο χωνευτές ύψους 18 m και διαμέτρου 10 m, που επαρκούν τόσο για τις ανάγκες του χειμώνα, όσο και του θέρους. Η συνολική εισερχόμενη παροχή ιλύος προς

χώνευση ισούται με περίπου 150 m³/d για το χειμώνα και περίπου 153 m³/d για το θέρος. Ο συνολικός όγκος των χωνευτών είναι 2.827 m³.

Στους χωνευτές πραγματοποιείται μεσοφιλική αναερόβια χώνευση. Το ποσοστό διάσπασης της πρωτοβάθμιας ιλύος παραμένει 55%, ενώ στη βιολογική ιλύ παρουσιάζεται αυξημένη διάσπαση οργανικού υλικού λόγω της θερμικής υδρόλυσης, της τάξεως των 55%. Η ειδική παραγωγή βιοαερίου για τη μεν πρωτοβάθμια ιλύ είναι ίση με 947,9 m³ βιοαέριο/tn διασπ.VSS, ενώ για τη βιολογική ιλύ εξαρτάται από τη συγκέντρωση μεθανίου στην ιλύ, την αναλογία οργανικών στερεών προς ολικά στερεά (VSS/SS) και το COD της ιλύος. Θεωρούμε ότι το 64% του παραγόμενου βιοαερίου είναι μεθάνιο. Η αναλογία VSS/SS στη βιολογική ιλύ είναι 69% το χειμώνα και 72% το καλοκαίρι και το COD της ιλύος είναι 1,0 kg COD/kg VSS για χειμώνα και καλοκαίρι. Έτσι, η ειδική παραγωγή βιοαερίου για τη βιολογική ιλύ είναι 793 και 759,7 Nm³/tn διασπ.VSS, για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα.

Συνεπώς, το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται σε 3.793 m³ βιοαέριο/d για το χειμώνα και 4.277 m³ βιοαέριο/d το καλοκαίρι.

Το χειμώνα η χωνεμένη ιλύς είναι 150 m³/d με παραγωγή στερεών 6.482 kg SS/d εκ των οποίων τα 3.512 kg VSS/d είναι οργανικά. Κατά το θέρος παρατηρείται μικρή αύξηση με παροχή χωνεμένης ιλύος ίση 153 m³/d. Μετά τη χώνευση τα οργανικά στερεά μειώνονται σε 3.691 kg VSS/d και έτσι τα συνολικά στερεά υπολογίζονται σε 6.661 kg SS/d.

Το ποσοστό στερεών στη χωνεμένη ιλύ είναι για το μεν χειμώνα 4,32% DS και για το θέρος 4,36% DS.

4.2.2.2.7.2 Μονάδα Συμπαραγωγής

Το παραγόμενο βιοαέριο καίγεται σε μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Επιλέγεται να εγκατασταθεί μηχανή Jenbacher Type 2 – Type 208, η οποία δίνει τη δυνατότητα καύσης διπλού καυσίμου (βιοαέριο και φυσικό αέριο). Τα χαρακτηριστικά της μηχανής είναι :

- $P_{el} = 249 \text{ kW}$, $n_{el} = 39,1\%$
- $P_{th} = 293 \text{ kW}$, $n_{th} = 46,0\%$.

Η απαιτούμενη ισχύς του καυσίμου ισούται με :

$$P_{\text{κανσ}} = \frac{P_{el}}{n_{el}} = \frac{P_{th}}{n_{th}} = \frac{249 \text{ kW}}{0,391} = 637 \text{ kW}$$

και η απαιτούμενη ενέργεια για μια ημέρα ανά μηχανή είναι :

$$637 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 15.284 \frac{\text{kWh}}{\text{d} - \text{μηχανή}}$$

Η διαστασιολόγηση της μηχανής γίνεται για τη μέση ετήσια παραγωγή βιοαερίου ίση με 4.277 m³ βιοαέριο/d.. Δεδομένου ότι η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου είναι 6,477 kWh/m³ βιοαερίου, προκύπτει ημερήσια διαθέσιμη ενέργεια ίση με :

$$4.277 \frac{\text{m}^3 \text{ βιοαέριο}}{\text{d}} \times 6,477 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \text{ βιοαερίου}} = 27.699 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

Συνεπώς, ο συνολικά απαιτούμενος αριθμός μηχανών Jenbacher Type 2 – Type 208 είναι :

$$n = \frac{27.699 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}}{15.284 \frac{\text{kWh}}{\text{d} - \text{μηχανή}}} = 1,81 \text{ μηχανές}$$

Εγκαθίστανται 2 μηχανές Jenbacher Type 2 – Type 208, οι οποίες παράγουν :

- Ηλεκτρική ισχύ : 2 x 249 x 1,81 / 2 = 451 kW ~ 10.825 kWh/d
- Θερμική ισχύ : 2 x 293 x 1,81 / 2 = 531 kW ~ 12.738 kWh/d

Η ανωτέρω θερμική ενέργεια αναφέρεται στο σύνολο της ημερήσιας παραγόμενης θερμικής ενέργειας από την καύση της συνολικής ημερήσιας ποσότητας βιοαερίου στις μηχανές συμπαραγωγής.

Ανάλογα με το θερμοκρασιακό επίπεδο, η παραγόμενη ενέργεια διακρίνεται σε υψηλής ενθαλπίας (θ > 150°C), μεσαίας ενθαλπίας (80°C < θ < 150°C) και χαμηλής ενθαλπίας (25°C < θ < 80°C). Οι προμηθευτές των μονάδων συμπαραγωγής αυτού του τύπου (Jenbacher Type 2 – Type 208) εγγυώνται ότι το 60% της παραγόμενης θερμικής ενέργειας είναι υψηλής ενθαλπίας και το 40% χαμηλής, δηλ. 7.647 kWh/d και 5.098 kWh/d, αντίστοιχα.

Φυσικά, σημειώνονται θερμικές απώλειες λόγω μεταφοράς θερμότητας μέσω των σωληνώσεων, οι οποίες εκτιμάται ότι αποτελούν το 15% της θερμικής ενέργειας. Τελικά, η

διαθέσιμη θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας είναι 6.500 kWh/d και η διαθέσιμη θερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας είναι 4.333 kWh/d.

4.2.2.2.8 Μηχανική αφυδάτωση μίγματος Πρωτοβάθμιας και Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Η χωνεμένη ιλύς κατά την έξοδο της από τους χωνευτές έχει μειωμένη συγκέντρωση στερεών (4,32% DS το χειμώνα και 4,36% DS το θέρος). Στόχος της μηχανικής αφυδάτωσης είναι η απομάκρυνση της υγρασίας που είναι εγκλωβισμένη στην ιλύ, ώστε να αυξηθεί το ποσοστό στερεών στην αφυδατωμένη ιλύ (cake). Η τεχνολογία της θερμικής υδρόλυσης (σύμφωνα με την CAMBI) μπορεί να εξασφαλίσει στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης ποσοστό στερεών μέχρι και 34% DS. Για τους σκοπούς της παρούσας Μεταπτυχιακής εργασίας, έγινε μια συντηρητική εκτίμηση του ποσοστού στερεών, το οποίο εκτιμήθηκε στα 30% DS.

Το χειμώνα η παροχή εισόδου της χωνεμένης ιλύος είναι 150,2 m³/d. Η μάζα των στερεών 6.482 kg SS/d, εκ των οποίων τα 3.512 VSS/d είναι οργανικά. Θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων. Έτσι, στην έξοδο του φυγοκεντρητή η μάζα των στερεών παραμένει σταθερή, ενώ η παροχή του cake είναι 21,6 m³/d. Μέσω της αφυδάτωσης απομακρύνονται περίπου 128,6 m³ νερό/d, τα οποία οδηγούνται πάλι στην είσοδο της εγκατάστασης για περαιτέρω επεξεργασία. Η μηχανική αφυδάτωση υποβοηθάται με την προσθήκη κατάλληλης δόσης πολυηλεκτρολύτη. Εδώ θεωρήθηκε ότι επαρκούν 10 kg σκόνης πολυηλεκτρολύτη για κάθε τόνο εισερχόμενου DS, και έτσι η ημερήσια απαίτηση σε πολυηλεκτρολύτη διαμορφώνεται σε 5,67 kg/h.

Αντίστοιχα για το καλοκαίρι, με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων, τα στερεά στην έξοδο του φυγοκεντρητή είναι 6.661 kg SS/d, εκ των οποίων τα 3.691 kg VSS/d είναι οργανικά. Απομακρύνονται ημερησίως περίπου 126 m³/d και έτσι επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της αφυδάτωσης 30%. Για τις ανάγκες της αφυδάτωσης απαιτούνται περίπου 5,8 kg δραστικής ουσίας πολυηλεκτρολύτη την ώρα.

Ο σχεδιασμός των φυγοκεντρητών μηχανικής αφυδάτωσης έγινε λαμβάνοντας υπόψη ότι η ωριαία παροχή τροφοδοσίας προέκυψε με την παραδοχή λειτουργίας 16 ώρες την ημέρα και 5 ημέρες την εβδομάδα.

4.2.2.3 Ηλεκτρικές και Θερμικές Καταναλώσεις

4.2.2.3.1 Διαθέσιμη Ηλεκτρική και Θερμική Ενέργεια

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι μηχανές συμπαραγωγής, έπειτα από καύση του παραγόμενου βιοαερίου, παράγουν :

- Ηλεκτρική Ενέργεια : 10.830 kWh/d
- Θερμική Ενέργεια : 12.744 kWh/d, 7.647 kWh/d υψηλής ενθαλπίας και 5.098 kWh/d χαμηλής ενθαλπίας. Το 15% χάνεται λόγω απωλειών των σωληνώσεων κατά τη μεταφορά, συνεπώς, η διαθέσιμη θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας είναι 6.500 kWh/d και η διαθέσιμη θερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας είναι 4.333 kWh/d

4.2.2.3.2 Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια για επεξεργασία ιλύος

- *Προ-αφυδάτωση*

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την προ-αφυδάτωση είναι 1,00 kWh/m³. Για παροχή εισόδου στην προ-αφυδάτωση 635 m³ προκύπτει η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 635 kWh/d. Η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση προκύπτει ίση με 165.602 kWh/έτος λαμβάνοντας υπόψη ότι οι φυγοκεντρητές βρίσκονται σε λειτουργία 5 ημέρες την εβδομάδα, 16 ώρες το 24ωρο.

- *Θερμική Υδρόλυση*

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη θερμική υδρόλυση είναι 35,00 kWh/τόνο DS που επεξεργάζονται. Η μάζα των στερεών που εισέρχεται στην εγκατάσταση θερμική υδρόλυσης είναι 5.081 kg SS/d. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 178 kWh/d ή 64.916 kWh/έτος.

- *Χώνευση*

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη χώνευση είναι 6,00 W/ m³ χωνευτή. Ο όγκος των χωνευτών είναι 2.827 m³. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 4075 kWh/d ή 64.916 kWh/έτος.

- *Μηχανική Αφυδάτωση*

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη μηχανική αφυδάτωση είναι 2,00 kWh/m³ ιλύος. Η παροχή της χωνεμένης ιλύος στην είσοδο της αφυδάτωσης είναι 153 m³/d. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 305 kWh/d. Η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση προκύπτει ίση με 79.578 kWh/έτος λαμβάνοντας υπόψη ότι οι φυγοκεντρητές βρίσκονται σε λειτουργία 5 ημέρες την εβδομάδα, 16 ώρες το 24ωρο.

- *Συνολικά Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια*

Η συνολικά απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι

$$635 + 178 + 407 + 305 = 1.525 \frac{kWh}{d} \text{ ή } 458.706 \frac{kWh}{\text{έτος}}$$

4.2.2.3.3 Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια για επεξεργασία ιλύος

Στο Σενάριο Β' απαιτείται η παραγωγή 171 kg ατμού/h. Ο ατμός παράγεται από εναλλάκτη θερμότητας χρησιμοποιώντας καύσιμα με υψηλή θερμοκρασία, τα οποία έρχονται σε επαφή με νερό πίεσης 1 bar και θερμοκρασίας 20°C και τον θερμαίνουν σε κορεσμένο ατμό 12 bar. Η διαφορά ενθαλπίας μεταξύ ατμού και νερού ισούται με 2.782,7 – 84 = 2.698,7 kJ/kg. Η απαιτούμενη ισχύς του εναλλάκτη είναι :

$$\frac{2.698,7 \frac{kJ}{kg} \times 171 \frac{kg}{h}}{3.600} = 128 kW$$

Λαμβάνοντας υπόψη βαθμό απόδοσης εναλλάκτη ίσο με 0,80, η μεταφερόμενη ισχύς του εναλλάκτη είναι :

$$\frac{128 kW}{0,80} = 160 kW$$

Η απαιτούμενη θερμική ενέργεια είναι 160 kW x 24 h = 3.836 kWh/d.

4.2.2.3.4 Επάρκεια Διαθέσιμης Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας

Εξετάζεται κατά πόσον επαρκεί η παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια από τη μονάδα ΣΗΘΕ για την κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης.

4.2.2.3.4.1 Ηλεκτρική Ενέργεια

Η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα ΣΗΘΕ υπολογίζεται ετησίως στις 3.953 MWh. Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τα έργα επεξεργασίας ιλύος είναι 491 MWh/έτος. Παρατηρείται ότι η ηλεκτρική ενέργεια επαρκεί για την κάλυψη των απαιτούμενων αναγκών για την επεξεργασία της ιλύος.

Φυσικά, οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων δεν περιορίζονται μόνο στα έργα επεξεργασίας ιλύος. Σημαντικό ποσοστό της ετήσιας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια δαπανάται στα έργα επεξεργασίας ιλύος.

Με το παραπάνω ως δεδομένο, η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια μπορεί είτε να αξιοποιηθεί για την κάλυψη των πρόσθετων ηλεκτρικών αναγκών στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων, δηλ. για τις υπόλοιπες ανάγκες πλην της επεξεργασίας ιλύος, είτε να πωληθεί στο δίκτυο. Στην προκειμένη περίπτωση κρίνεται σκόπιμο να δοθεί προτεραιότητα για την κάλυψη των αναγκών στην εγκατάσταση, ώστε, αν είναι δυνατόν, η εγκατάσταση να είναι ενεργειακά αυτόνομη. Έπειτα, εφόσον υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να πωλείται στο δίκτυο, κίνηση που θα αποφέρει έσοδα στην εγκατάσταση. Στην περίπτωση, που η συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις μονάδες ΣΗΘΕ δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης, ως μόνη λύση μένει η αγορά ηλεκτρική ενέργειας από το δίκτυο.

Με αυτό το σκεπτικό υπολογίζεται ότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τις συμπληρωματικές καταναλώσεις (πλην της επεξεργασίας ιλύος). Η ειδική κατανάλωση είναι 25 kWh/κάτοικο-έτος. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι

$$25 \frac{kWh}{\text{κάτοικο} \times \text{έτος}} \times 130.000 \text{ ι.κ.} = 3.250.000 \frac{kWh}{\text{έτος}}$$

Τελικώς, παρατηρείται περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, ίση με :

$$\begin{aligned} & \text{Απαιτούμενη Ηλ. Ενέργεια} - \text{Διαθέσιμη Ηλ. Ενέργεια} = \\ & = (491 + 3.250) \frac{MWh}{\text{έτος}} - 3.953 \frac{MWh}{\text{έτος}} = -213 \frac{MWh}{\text{έτος}} \end{aligned}$$

Η πλεονάζουσα παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, 213 Mwh/έτος, θα πωληθεί στο δίκτυο.

4.2.2.3.4.2 *Θερμική Ενέργεια*

Όσον αφορά την επεξεργασία ιλύος απαιτείται μόνο θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας για την παραγωγή ατμού της θερμικής υδρόλυσης.

Η παραγόμενη θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας είναι 2.372 MWh/έτος και η απαιτούμενη θερμική ενέργεια για την παραγωγή ατμού ισούται με 3,8 MWh/έτος. Συνεπώς, η παραγόμενη θερμική ενέργεια επαρκεί για τις ανάγκες της εγκατάστασης.

4.2.2.4 *Οικονομικά Στοιχεία*

4.2.2.4.1 Κόστος Επένδυσης

4.2.2.4.1.1 *Προ-αφυδάτωση*

Εγκαθίστανται δυο φυγοκεντρητές *GEA Westfalia Separator Group CF 6000* (1 σε λειτουργία και 1 εφεδρικός) με κόστος 320.000 € / φυγοκεντρητή. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης για την προ-αφυδάτωση είναι 640.000 €.

4.2.2.4.1.2 *Θερμική Υδρόλυση*

Εγκαθίσταται μια μονάδα *Cambi B2-1* που κοστίζει 1.820.000 €. Το κόστος των έργων Πολιτικού Μηχανικού ισούται με το 3% του κόστους επένδυσης της μονάδας θερμικής υδρόλυσης, δηλ. 54.600 €. Ο βοηθητικό εξοπλισμός κοστίζει 1.200 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης για τη θερμική υδρόλυση είναι 1.874.000 €

4.2.2.4.1.3 *Χώνευση*

Η τιμή μονάδος ανά κυβικό μέτρο χωνευτή είναι 1.200 €/m³ χωνευτή. Ο συνολικός όγκος των χωνευτών είναι 2.827 m³. Έτσι, το κόστος των χωνευτών είναι 3.392.920 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης των χωνευτών είναι 3.392.920 €

4.2.2.4.1.4 *Μηχανική Αφυδάτωση*

Εγκαθίστανται 2 φυγοκεντρητές για την κάλυψη των αναγκών της αφυδάτωσης (1 σε λειτουργία και 1 σε εφεδρεία). Το κόστος κάθε φυγοκεντρητή είναι 90.000 €/φυγοκεντρητή. Λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος του βοηθητικού εξοπλισμού, 50.000 €, προκύπτει κόστος επένδυσης της μηχανικής αφυδάτωσης 230.000 €

4.2.2.4.1.5 Μονάδα Συμπαραγωγής

Εγκαθίστανται δύο μηχανές συμπαραγωγής General Electric Jenbacher Type 2 – 208 με κόστος 398.400 € έκαστος (συμπεριλαμβανομένων της ηλεκτρικής γεννήτριας και του βοηθητικού εξοπλισμού). Επίσης, εγκαθίστανται δύο εναλλάκτες ισχύος 160 kW για παραγωγή κορεσμένου ατμού 12 bar. Κάθε εναλλάκτης κοστίζει 95.000 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης της μονάδας συμπαραγωγής είναι 986.800 €.

Στον Πίνακα 4.10 παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιμέρους δαπάνες που συνιστούν το συνολικό κόστος επένδυσης.

Πίνακας 4.10 – Επιμέρους και συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης

Προ-αφυδάτωση	640.000 €
Θερμική Υδρόλυση	1.874.600 €
Χώνευση	3.392.920 €
Μηχανική Αφυδάτωση	230.000 €
Μονάδα Συμπαραγωγής	986.800 €
Συνολικό Κόστος Επένδυσης	7.124.320 €

4.2.2.4.2 Λειτουργικό Κόστος

4.2.2.4.2.1 *Ενεργειακές Καταναλώσεις*

Όπως έχει ήδη υπολογιστεί, υποκεφάλαιο 4.2.2.3.4.1, η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης. Η ετήσια περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας διατίθεται στο δίκτυο. Η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με 0,09 €/kWh. Συνεπώς, τα έσοδα από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχονται σε

$$212.584 \frac{kWh}{\text{έτος}} \times 0,09 \frac{\text{€}}{kWh} = 19.133 \frac{\text{€}}{\text{έτος}}$$

4.2.2.4.2.2 *Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη*

Καταναλώνεται πολυηλεκτρολύτης τόσο στην προ-αφυδάτωση της περίσσειας ενεργού ιλύος όσο και στη μηχανική αφυδάτωση του μίγματος χωνεμένης πρωτοβάθμιας-

βιολογικής ιλύος. Για τη μεν προαφυδάτωση απαιτείται δόση 6,00 kg πολυηλεκτρολύτη ανά τόνο ξηρών στερεών και για τη μηχανική αφυδάτωση 10,00 kg πολυηλεκτρολύτη ανά τόνο ξηρών στερεών.

Απαιτούνται 35.440 kg πολυηλεκτρολύτη ετησίως. Το κόστος του που πολυηλεκτρολύτη είναι 3,00 € / kg πολυηλεκτρολύτη (powder). Συνεπώς, ισχύει :

$$3 \frac{\text{€}}{\text{kg πολυηλεκτρολύτη}} \times 35.440 \frac{\text{kg πολυηλεκτρολύτη}}{\text{year}} = 106.321 \frac{\text{€}}{\text{year}}$$

4.2.2.4.2.3 Προσωπικό

Όπως έχει ήδη σημειωθεί στο υποκεφάλαιο 4.2.1.4.2.3, το ετήσιο κόστος του προσωπικού που είναι απαραίτητο για την κάλυψη των λειτουργιών της εγκατάστασης στην περίπτωση της συμβατικής επεξεργασίας ιλύος είναι Χ €/ έτος. Η θερμική υδρόλυση είναι μια τεχνολογία αιχμής που απαιτεί εξειδικευμένο και ειδικά καταρτισμένο προσωπικό, που θα ασχολείται σε μόνιμη βάση, αποκλειστικά με την εύρυθμη λειτουργία και συντήρηση των διαδικασιών της θερμικής υδρόλυσης. Εφόσον, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των Σεναρίων Α' και Β', το πρόσθετο ετήσιο κόστος του εξειδικευμένου προσωπικού εκτιμάται στα 30.000 €/ έτος.

4.2.2.4.2.4 Διάθεση αφυδατωμένης ιλύος

Το κόστος διάθεσης της αφυδατωμένης ιλύος είναι 120 €/tn αφυδατωμένης ιλύος. Για ετήσια μάζα παραγόμενης αφυδατωμένης ιλύος ίση με 9.725 tn αφυδατωμένης ιλύος/έτος, προκύπτει :

$$120 \frac{\text{€}}{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}} \times 9.725 \frac{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}}{\text{year}} = 1.166.964 \frac{\text{€}}{\text{year}}$$

4.2.2.4.2.5 Κόστος συντήρησης

Το συνολικό ετήσιο κόστος συντήρησης ισούται με 251.682 €/έτος και επιμερίζεται στα παρακάτω :

- Προ-αφυδάτωση

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της προ-αφυδάτωσης είναι ίσο με το 4,5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 28.800 €/έτος.

- *Θερμική Υδρόλυση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της θερμικής υδρόλυσης είναι ίσο με το 3,5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 65.611 €/έτος.

- *Χώνευση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της χώνευσης είναι ίσο με το 2 % της αρχικής επένδυσης, δηλ. 67.858 €/έτος.

- *Μηχανική Αφυδάτωση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της μηχανικής αφυδάτωσης είναι ίσο με το 4,5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 10.350 €/έτος

- *Μονάδα Συμπαραγωγής*

Το κόστος συντήρησης ανά MWh είναι 20 €. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής είναι 3.953 MWh. Συνεπώς, το κόστος συντήρησης της μηχανής είναι 79.062 €/έτος.

Στον Πίνακα 4.11 συνοψίζονται οι επιμέρους δαπάνες που συνιστούν το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος.

Πίνακας 4.11 - Επιμέρους και συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης

Ηλεκτρική Ενέργεια	-19.133 €/έτος
Πολυηλεκτρολύτης	106.321 €/έτος
Προσωπικό	30.000 €/έτος
Διάθεση Αφυδατωμένης Ιλύος	1.166.964 €/έτος
Κόστος συντήρησης	251.682 €/έτος
Συνολικό Λειτουργικό Κόστος	1.535.833 €/έτος

4.3 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #2

4.3.1 Σενάριο Α' – Συμβατική Επεξεργασία Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

4.3.1.1 Γενικά

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων εξυπηρετεί 1.000.000 ισοδύναμους κατοίκους και έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας 160.000 m³/d εισερχόμενων λυμάτων.

4.3.1.2 Διαστασιολόγηση Μονάδων

4.3.1.2.1 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία Λυμάτων

Κατά την πρωτοβάθμια καθίζηση θεωρείται ότι επιτυγχάνεται 30% απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και 60% απομάκρυνση στερεών από τα λύματα. Η απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου (οργανικό άζωτο και οργανικός φώσφορος) θεωρείται αμελητέα. Μέρος της ποσότητας του οργανικού αζώτου και φωσφόρου που απομακρύνεται επιστρέφει πάλι στην είσοδο της εγκατάστασης μέσω των στραγγιδίων. Ενώ θα ήταν αναμενόμενο να απομακρυνθεί το αντίστοιχο άζωτο που περιέχεται στα στερεά (10% x SS), τελικά η απόδοση της απομάκρυνσης αζώτου είναι περιορισμένη λόγω των επιστροφών. Ομοίως και για τον οργανικό φώσφορο. Για αυτό το λόγο και για πιο συντηρητική προσέγγιση, λαμβάνεται υπόψη ότι η συγκέντρωση των λυμάτων σε άζωτο και φώσφορο στην έξοδο της πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι ίση με την αντίστοιχη συγκέντρωση στην είσοδο της εγκατάστασης.

Για επιφανειακή φόρτιση δεξαμενών ίση με 48 m³/m²-d, απαιτούνται τέσσερις δεξαμενές διαμέτρου 33 m με πλάτος ζώνης υπερχειλίσης ίσο με 0,60 m.

Ημερησίως παράγονται 2.100 m³/d πρωτοβάθμιας ιλύος με 1,50% DS συγκέντρωση στερεών. Τα ολικά στερεά στην πρωτοβάθμια ιλύ είναι 31.500 kg SS/d και τα οργανικά 23.625 kg VSS/d.

Τα παραπάνω ισχύουν τόσο για το χειμώνα, όσο και για το θέρος.

4.3.1.2.2 Βιολογική Επεξεργασία Λυμάτων

Δεδομένου ότι η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται σε ευαίσθητο αποδέκτη, στην έξοδο της εγκατάστασης πρέπει να επιτυγχάνονται τα όρια εκροής που ορίζει η Νομοθεσία (βλ. Πίνακα 4.1, Οδηγία 91/271). Για λόγους ασφαλείας, η εγκατάσταση

σχεδιάζεται πιο συντηρητικά απ' ό,τι ορίζει/συστήνει η Οδηγία, ώστε σε κάθε περίπτωση να μη σημειώνεται υπέρβαση των οριζόμενων συγκεντρώσεων εξόδου. Στον Πίνακα 4.1 στη στήλη Σχεδιασμός ΕΕΛ#1 σημειώνονται οι συγκεντρώσεις εξόδου βάσει των οποίων σχεδιάζεται η ΕΕΛ #1. Οι ίδιες συγκεντρώσεις θα εφαρμοστούν και για την ΕΕΛ των 1.000.000 ι.κ.

Σχεδιάζονται τέσσερις γραμμές. Κάθε γραμμή περιλαμβάνει :

- ένα βιοαντιδραστήρα ωφέλιμου συνολικού όγκου 15.685 m^3 (10.251 m^3 η αερόβια ζώνη και 5.434 m^3 η ανοξική ζώνη),
- μία προ-ανοξική δεξαμενή ωφέλιμου όγκου 1.359 m^3 ,
- ένα αναερόβιο βιοεπιλογέα ωφέλιμου όγκου 2.594 m^3 και
- τρεις δεξαμενές τελικής καθίζησης ωφέλιμης διαμέτρου 34 m.

Στο βιοαντιδραστήρα είναι επιθυμητό να προσεγγιστούν οι συνθήκες εμβολοειδούς ροής. Έτσι, τόσο το αερόβιο διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα, που έχει συνολικό μήκος 83,00 m και το πλάτος 13,00 m, όσο και το ανοξικό διαμέρισμα (συνολικού μήκους 44,00 m και πλάτους 13,00 m) σχεδιάζονται λαμβάνοντας υπόψη αυτή την απαίτηση. Ο αναερόβιος βιοεπιλογέας έχει διαστάσεις κάτοψης 13,00 m x 21,00 m,. Το συνολικό βάθος των δεξαμενών είναι 10,00 m και το ωφέλιμο βάθος 9,50 m Η ανοξική δεξαμενή #2 έχει διαστάσεις κάτοψης 11,00 m x 13,00 m, συνολικό βάθος 10,00 m και ωφέλιμο βάθος 9,50 m. Κάθε δεξαμενή τελικής καθίζησης έχει διάμετρο 34 m, πλευρικό βάθος 5,00 m και κλίση πυθμένα 1/15 .

Το χειμώνα λειτουργούν και οι τέσσερις γραμμές, ενώ κατά το θέρος υπάρχει η δυνατότητα να τεθεί ο βιοαντιδραστήρας των δύο γραμμών εκτός λειτουργίας επιτρέποντας πιθανές εργασίες συντήρησης.

Διατηρώντας όλο το χρόνο συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό σταθερή και ίση περίπου με 3.700 mg/l , προκύπτει συνολικός χρόνος παραμονής για το μεν χειμώνα περίπου 11,21 ημέρες, για το δε καλοκαίρι 5,23 ημέρες. Σε καμιά από τις δύο περιπτώσεις δεν επιτυγχάνεται σταθεροποίηση της περισσειας ενεργού ιλύος, εφόσον ο χρόνος παραμονής είναι μικρότερος των 15 ημερών. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η χώνευση της βιολογικής ιλύος.

Ο σχεδιασμός της δεξαμενής τελικής καθίζησης γίνεται ώστε να εξασφαλίζεται :

- το κριτήριο της υδραυλικής φόρτισης : η υδραυλική φόρτιση πρέπει να είναι μικρότερη από 12-16 m³/m²-d. Επιλέχθηκε άνω όριο της υδραυλικής φόρτισης 15 m³/m²-d.
- το κριτήριο της φόρτισης στερεών : η φόρτιση στερεών πρέπει να είναι μικρότερη από 80-120 kg SS/m²-d. Επιλέχθηκε άνω όριο της φόρτισης στερεών 100 kg SS/m²-d.

Η ημερήσια παραγωγή περίσσειας ενεργού ιλύος είναι για το μεν χειμώνα 20.606 kg SS/d, εκ των οποίων τα 13.577 kgVSS/d είναι οργανικά και για το δε καλοκαίρι 22.187 kg SS/d, εκ των οποίων τα 15.167 kgVSS/d είναι οργανικά. Για να διατηρηθεί σταθερή η συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό καθημερινά αφαιρούνται από τον κώνο της δεξαμενής τελικής καθίζησης 2.576 m³/d και 2.773 m³/d περίσσεια ενεργού ιλύος, για χειμώνα και θέρος αντίστοιχα, συγκέντρωσης στερεών 0,8%.

4.3.1.2.3 Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος

Η πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος πραγματοποιείται σε παχυντές βαρύτητας. Λαμβάνοντας υπόψη μέγιστη τιμή φόρτισης στερεών ίση με 100 kg SS/m²-d, κατασκευάζονται δυο παχυντές βαρύτητας καθαρής διαμέτρου 14,50 m.

Στην παχυμένη πρωτοβάθμια ιλύ επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών περίπου 5% DS. Η ημερήσια παροχή παχυμένης πρωτοβάθμιας ιλύος είναι 630 m³/d, η μάζα των στερεών στην έξοδο του παχυντή βαρύτητας είναι 31.500 kg SS/d και τα οργανικά στερεά 23.625 kg VSS/d. Τα 1.470 m³/d στραγγίδια που παράγονται ημερησίως επιστρέφουν στην αρχή της εγκατάστασης.

Τα παραπάνω ισχύουν τόσο για το χειμώνα όσο και το θέρος.

4.3.1.2.4 Πάχυνση Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Η πάχυνση της περίσσειας ενεργού ιλύος γίνεται με μηχανικά μέσα, σε φυγοκεντρητές, και επιτυγχάνει συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της μηχανικής πάχυνσης ίση με 5%. DS. Το χειμώνα παράγονται 412 m³/d παχυμένης βιολογικής ιλύος με 20.606 kg TS/d και 13.577 VSS/d (θεωρούμε ότι δεν έχουμε απώλειες στερεών μέσω των στραγγιδίων) και το καλοκαίρι 444 m³/d παχυμένης βιολογικής ιλύος με 22.187 kg TS/d και 15.167 VSS/d.

Ο σχεδιασμός των φυγοκεντρητών έγινε λαμβάνοντας υπόψη ότι η ωριαία παροχή τροφοδοσίας προέκυψε με την παραδοχή λειτουργίας 16 ώρες την ημέρα και 7 ημέρες την

εβδομάδα. Έτσι, εξασφαλίζεται εφεδρεία στους φυγοκεντρητές μηχανικής πάχυνσης. Απαιτούνται 4,3 και 4,6 kg πολυηλεκτρολύτη την ώρα, για χειμώνα και καλοκαίρι αντίστοιχα.

Τα στραγγίδια της προ-αφυδάτωσης υπολογίζονται σε 2.161 m³/d και 2.330 m³/d, για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα, και επιστρέφουν στην είσοδο της εγκατάστασης.

4.3.1.2.5 Χώνευση μίγματος Πρωτοβάθμιας και Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

4.3.1.2.5.1 *Χωνευτές*

Το μίγμα της πρωτοβάθμιας παχυμένης και της βιολογικής παχυμένης ιλύος αναμιγνύεται και οδηγείται στους χωνευτές για αναερόβια χώνευση. Ο απαιτούμενος όγκος των χωνευτών προκύπτει από την παροχή εισόδου της ιλύος και τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Για το σχεδιασμό λαμβάνεται χρόνος παραμονής ίσος με 20 ημέρες. Κατασκευάζονται τέσσερις χωνευτές ύψους 23,00 m και διαμέτρου 17,00 m συνολικού όγκου 22.882 m³.

Στους χωνευτές πραγματοποιείται μεσοφιλική αναερόβια χώνευση στους 35°C. Κατά τη χώνευση μέρος του οργανικού υλικού διασπάται από τους αναερόβιους μικροοργανισμούς και έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή βιοαερίου. Το ποσοστό διάσπασης της πρωτοβάθμιας ιλύος είναι σχετικά υψηλό, 55%, ενώ στη βιολογική ιλύ παρουσιάζεται μειωμένη διάσπαση οργανικού υλικού, της τάξεως των 30%. Η ειδική παραγωγή βιοαερίου για τη μεν πρωτοβάθμια ιλύ είναι ίση με 947,9 m³ βιοαέριο/tn διασπ.VSS, ενώ για τη βιολογική ιλύ εξαρτάται από τη συγκέντρωση μεθανίου στην ιλύ, την αναλογία οργανικών στερεών προς ολικά στερεά (VSS/SS) και το COD της ιλύος. Θεωρούμε ότι το 64% του παραγόμενου βιοαερίου είναι μεθάνιο. Η αναλογία VSS/SS στη βιολογική ιλύ είναι 69% το χειμώνα και 72% το καλοκαίρι και το COD της ιλύος είναι 1,51 kg COD/kg VSS και 1,45 kg COD/kg VSS για χειμώνα και καλοκαίρι αντίστοιχα. Έτσι, η ειδική παραγωγή βιοαερίου για τη βιολογική ιλύ είναι 825,1 και 793 Nm³/tn διασπ.VSS, για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα.

Συνεπώς, το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται σε 15.678 m³ βιοαέριο/d για το χειμώνα και 15.925 m³ βιοαέριο/d το καλοκαίρι.

Το χειμώνα η χωνεμένη ιλύς είναι 1.042 m³/d με παραγωγή στερεών 35.039 kg SS/d εκ των οποίων τα 20.135 kg VSS/d είναι οργανικά. Κατά το θέρους παρατηρείται μικρή αύξηση με

παροχή χωνεμένης ιλύος ίση $1.074 \text{ m}^3/\text{d}$. Μετά τη χώνευση τα οργανικά στερεά μειώνονται σε 21.248 kg VSS/d και έτσι τα συνολικά στερεά υπολογίζονται σε 36.143 kg SS/d .

4.3.1.2.5.2 Μονάδα Συμπαραγωγής

Το παραγόμενο βιοαέριο καίγεται σε μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Επιλέγεται να εγκατασταθεί μηχανή Jenbacher Type 4 – Type 416, η οποία δίνει τη δυνατότητα καύσης διπλού καυσίμου (βιοαέριο και φυσικό αέριο). Τα χαρακτηριστικά της μηχανής είναι :

- $P_{el} = 1.130 \text{ kW}$, $\eta_{el} = 42,0\%$
- $P_{th} = 1.124 \text{ kW}$, $\eta_{th} = 41,8\%$.

Η απαιτούμενη ισχύς του καυσίμου ισούται με :

$$P_{καυσ} = \frac{P_{el}}{\eta_{el}} = \frac{P_{th}}{\eta_{th}} = \frac{1.130 \text{ kW}}{0,420} = 2.690 \text{ kW}$$

και η απαιτούμενη ενέργεια για μια ημέρα ανά μηχανή είναι :

$$2.690 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 64.571 \frac{\text{kWh}}{\text{d} - \text{μηχανή}}$$

Η διαστασιολόγηση της μηχανής γίνεται για τη μέση ετήσια παραγωγή βιοαερίου ίση με 15.925 m^3 βιοαέριο/d. Δεδομένου ότι η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου είναι $6,477 \text{ kWh/m}^3$ βιοαερίου, προκύπτει ημερήσια διαθέσιμη ενέργεια ίση με :

$$15.925 \frac{\text{m}^3 \text{ βιοαέριο}}{\text{d}} \times 6,477 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \text{ βιοαερίου}} = 103.146 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

Συνεπώς, ο συνολικά απαιτούμενος αριθμός μηχανών Jenbacher Type 4 – Type 416 είναι :

$$n = \frac{103.146 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}}{64.571 \frac{\text{kWh}}{\text{d} - \text{μηχανή}}} = 1,60 \text{ μηχανές}$$

Εγκαθίστανται 2 μηχανές Jenbacher Type 4 – Type 416, οι οποίες παράγουν :

- Ηλεκτρική ισχύ : $2 \times 1.130 \times 1,60 / 2 = 1.805 \text{ kW} \sim 43.321 \text{ kWh/d}$
- Θερμική ισχύ : $2 \times 1.124 \times 1,60 / 2 = 1.795 \text{ kW} \sim 43.091 \text{ kWh/d}$

Η ανωτέρω θερμική ενέργεια αναφέρεται στο σύνολο της ημερήσιας παραγόμενης θερμικής ενέργειας από την καύση της συνολικής ημερήσιας ποσότητας βιοαερίου στις μηχανές συμπαραγωγής.

Ανάλογα με το θερμοκρασιακό επίπεδο, η παραγόμενη ενέργεια διακρίνεται σε υψηλής ενθαλπίας ($\theta > 150^{\circ}\text{C}$), μεσαίας ενθαλπίας ($80^{\circ}\text{C} < \theta < 150^{\circ}\text{C}$) και χαμηλής ενθαλπίας ($25^{\circ}\text{C} < \theta < 80^{\circ}\text{C}$). Οι προμηθευτές των μονάδων συμπαραγωγής αυτού του τύπου (Jenbacher Type 4 – Type 416) εγγυώνται ότι το 60% της παραγόμενης θερμικής ενέργειας είναι υψηλής ενθαλπίας και το 40% χαμηλής, δηλ. 25.855 kWh/d και 17.237 kWh/d, αντίστοιχα.

Φυσικά, σημειώνονται θερμικές απώλειες λόγω μεταφοράς θερμότητας μέσω των σωληνώσεων, οι οποίες εκτιμάται ότι αποτελούν το 15% της θερμικής ενέργειας. Τελικά, η διαθέσιμη θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας είναι 21.977 kWh/d και η διαθέσιμη θερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας είναι 14.651 kWh/d

4.3.1.2.6 Μηχανική αφυδάτωση μίγματος Πρωτοβάθμιας και Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Η χωνεμένη ιλύς κατά την έξοδο της από τους χωνευτές έχει μειωμένη συγκέντρωση στερεών. Στόχος της μηχανικής αφυδάτωσης είναι η απομάκρυνση της υγρασίας που είναι εγκλωβισμένη στην ιλύ, ώστε η αφυδατωμένη ιλύς (cake) να έχει συγκέντρωση στερεών 25% DS.

Το χειμώνα η παροχή εισόδου της χωνεμένης ιλύος είναι $1.042 \text{ m}^3/\text{d}$. Η μάζα των στερεών 35.039 kg SS/d , εκ των οποίων τα 20.135 VSS/d είναι οργανικά. Θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων. Έτσι, στην έξοδο του φυγοκεντρητή η μάζα των στερεών παραμένει σταθερή, ενώ η παροχή του cake είναι $140 \text{ m}^3/\text{d}$. Μέσω της αφυδάτωσης απομακρύνονται περίπου 902 m^3 νερό/d, τα οποία οδηγούνται πάλι στην είσοδο της εγκατάστασης για περαιτέρω επεξεργασία. Η μηχανική αφυδάτωση υποβοηθάται με την προσθήκη κατάλληλης δόσης πολυηλεκτρολύτη. Εδώ θεωρήθηκε ότι επαρκούν 10 kg σκόνης πολυηλεκτρολύτη για κάθε τόνο εισερχόμενου DS, και έτσι η ημερήσια απαίτηση σε πολυηλεκτρολύτη διαμορφώνεται σε $14,6 \text{ kg/h}$.

Αντίστοιχα για το καλοκαίρι, με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων, τα στερεά στην έξοδο του φυγοκεντρητή είναι 36.143 kg SS/d , εκ των οποίων τα 21.248 kg VSS/d είναι οργανικά. Απομακρύνονται ημερησίως περίπου $929 \text{ m}^3/\text{d}$ και έτσι επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της αφυδάτωσης 25%. Η παροχή της

αφυδατωμένης ιλύος είναι $145 \text{ m}^3/\text{d}$. Για τις ανάγκες της αφυδάτωσης απαιτούνται περίπου $15,1 \text{ kg}$ δραστικής ουσίας πολυηλεκτρολύτη την ώρα.

Ο σχεδιασμός των φυγοκεντρητών έγινε λαμβάνοντας υπόψη ότι η ωριαία παροχή τροφοδοσίας προέκυψε με την παραδοχή λειτουργίας 16 ώρες την ημέρα και 7 ημέρες την εβδομάδα. Έτσι, εξασφαλίζεται εφεδρεία στους φυγοκεντρητές μηχανικής αφυδάτωσης .

4.3.1.2.7 Θερμική Ξήρανση μίγματος Πρωτοβάθμιας και Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Το μίγμα πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας αφυδατωμένης ιλύος έχει ποσοστό στερεών ίσο με 25% DS. Κατά τη θερμική ξήρανση απομακρύνεται η υγρασία που βρίσκεται εγκλωβισμένη στην αφυδατωμένη ιλύ, σε τέτοιο βαθμό, ώστε στην έξοδο της να επιτυγχάνεται ποσοστό στερεών πάνω από 90% DS (περίπου 92% DS).

Το χειμώνα η παροχή εισόδου της αφυδατωμένης ιλύος είναι $140 \text{ m}^3/\text{d}$. Η μάζα των στερεών 35.039 kg SS/d , εκ των οποίων τα 20.135 VSS/d είναι οργανικά. Θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων. Έτσι, στην έξοδο της θερμικής ξήρανσης η μάζα των στερεών παραμένει σταθερή. Η μάζα της ημερήσιας παραγόμενης ξηραμένης ιλύος είναι 38.086 kg/d και η παροχή του ξηραμένου cake είναι $54,4 \text{ m}^3/\text{d}$. Μέσω της ξήρανσης απομακρύνονται περίπου 102 tn νερό/d .

Αντίστοιχα για το καλοκαίρι, με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων, τα στερεά στην έξοδο του φυγοκεντρητή είναι 36.143 kg SS/d , εκ των οποίων τα 21.248 kg VSS/d είναι οργανικά. Απομακρύνονται ημερησίως περίπου 105 tn νερό/d και έτσι επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της ξήρανσης 92% . Η μάζα του ξηραμένου cake εκτιμάται στα 39.288 kg/d και η παροχή του ισούται με $56,1 \text{ m}^3/\text{d}$.

4.3.1.3 **Ηλεκτρικές και Θερμικές Καταναλώσεις**

Οι ηλεκτρικές και οι θερμικές καταναλώσεις σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων είναι αυξημένες και η κάλυψή τους αποτελεί σημαντικό ποσοστό των συνολικών ετήσιων δαπανών της εγκατάστασης. Παρακάτω υπολογίζονται οι ηλεκτρικές και θερμικές καταναλώσεις που σχετίζονται τόσο με την επεξεργασία των λυμάτων, όσο και την επεξεργασία της ιλύος. Φυσικά, οι καταναλώσεις για την επεξεργασία των λυμάτων παραμένουν σταθερές για τα δύο εναλλακτικά σενάρια που εξετάζονται. Ωστόσο ο υπολογισμός τους κρίνεται απαραίτητος για την οικονομική σύγκριση των δύο εναλλακτικών σεναρίων που πρόκειται να ακολουθήσει.

4.3.1.3.1 Διαθέσιμη Ηλεκτρική και Θερμική Ενέργεια

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι μηχανές συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, έπειτα από καύση του παραγόμενου βιοαερίου, παράγουν :

- Ηλεκτρική Ενέργεια : 43.321 kWh/d
- Θερμική Ενέργεια : 43.091 kWh/d, 25.855 kWh/d υψηλής ενθαλπίας και 17.237 kWh/d χαμηλής ενθαλπίας. Το 15% χάνεται λόγω απωλειών των σωληνώσεων κατά τη μεταφορά, συνεπώς, η διαθέσιμη θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας είναι 21.977 kWh/d (8.021,5 MWh/έτος) και η διαθέσιμη θερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας είναι 14.651 kWh/d (5.347,6 MWh/έτος).

4.3.1.3.2 Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια

4.3.1.3.2.1 *Μηχανική Πάχυνση*

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη μηχανική πάχυνση λαμβάνεται ίση με 0,3 kWh για κάθε m³ περίσσειας ενεργού ιλύος που επεξεργάζεται.

Η παροχή της περίσσειας ενεργού ιλύος είναι ελαφρώς πιο αυξημένη το θέρος σε σχέση με το χειμώνα και ισούται με 2.773 m³/d. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια ισούται με $0,3 \text{ kWh/m}^3 \times 2.773 \text{ m}^3/\text{d} = 832 \text{ kWh/d}$ ή 303.685 kWh/έτος.

4.3.1.3.2.2 *Χώνευση*

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη χώνευση είναι 6 W/ m³ χωνευτή. Ο όγκος των χωνευτών είναι 20.882 m³. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι $6 \text{ W/ m}^3 \text{ χωνευτή} \times 20.882 \text{ m}^3 = 125,3 \text{ kWh/d}$ ή 45.732 kWh/έτος..

4.3.1.3.2.3 *Μηχανική Αφυδάτωση*

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη μηχανική αφυδάτωση είναι 2 kWh/ m³ χωνεμένης ιλύος. Η παροχή της χωνεμένης ιλύος στην είσοδο της αφυδάτωσης είναι 1.074 m³/d. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι $2 \text{ kWh/ m}^3 \text{ χωνεμένης ιλύος} \times 1.074 \text{ m}^3/\text{d} = 2.147 \text{ kWh/d}$ ή 783.830 kWh/έτος..

4.3.1.3.2.4 Θερμική Ξήρανση

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη θερμική ξήρανση είναι 70 kWh/ tn εξατμ. νερού. Η μάζα του νερού που εξατμίζεται ημερησίως (λαμβάνεται υπόψη το θέρος, ως πιο δυσμενέστερη περίπτωση) είναι 105 tn εξατμ. νερού/d. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 70 kWh/ tn εξατμ. νερού x 105 tn εξατμ. νερού/d = 7.370 kWh/d ή 2.690.072 kWh/έτος.

4.3.1.3.2.5 Συνολικά Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια

Η συνολικά απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #2 είναι

$$303.685 + 45.732 + 783.830 + 2.690.072 = 3.823.318 \frac{kWh}{\acute{\epsilon}τος}$$

4.3.1.3.3 Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια

Στην περίπτωση της συμβατικής επεξεργασίας της ιλύος θερμική ενέργεια απαιτείται τόσο για τη θέρμανση των χωνευτών καθώς και τη θερμική ξήρανση.

4.3.1.3.3.1 Θέρμανση χωνευτών

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, η θέρμανση των χωνευτών επιτυγχάνεται με τη βοήθεια εξωτερικών εναλλακτών. Ενέργεια απαιτείται τόσο για τη θέρμανση της ιλύος (αύξηση της θερμοκρασίας της από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε θερμοκρασία κατάλληλη για μεσοφιλική χώνευση, 35°C), όσο και την κάλυψη των απωλειών θερμότητας.

Θέρμανση ιλύος :

$$Q_1 = M_{\text{παχ.ιλύος}} \times C \times (T_{\text{χωνευτή}} - T_{\text{ιλύος}})$$

$$Q_1 = \left(1.074 \frac{m^3}{d} \times 1.000 \frac{kg}{m^3} \right) \times 1 \frac{kcal}{kg \times ^\circ C} \times (35 ^\circ C - 20 ^\circ C)$$

$$Q_1 = \left(1.074 \frac{m^3}{d} \times 1.000 \frac{kg}{m^3} \right) \times 1 \frac{kcal}{kg \times ^\circ C} \times (35 ^\circ C - 20 ^\circ C)$$

$$Q_1 = 16.106.100 \frac{kcal}{d} \text{ ή } 18.728 \frac{kWh}{d}$$

Απώλειες θερμότητας :

Οι χωνευτές κατασκευάζονται κάτω από τη γραμμή του εδάφους, σχεδιασμός που περιορίζει τις απώλειες θερμότητας, οι οποίες υπολογίζονται περίπου όσες με το 10% των απωλειών της ιλύος :

$$Q_2 = 10\% \times Q_1 = 1.610.610 \frac{kcal}{d} \text{ ή } 1.873 \frac{kWh}{d}$$

Έτσι, οι συνολικές απαιτήσεις σε θέρμανση χωνευτών είναι 20.601 kWh/d ή 7.519.301,5 kWh/έτος. Η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύ του εναλλάκτη είναι $20.601 \text{ kWh/d} / 24 \text{ h} = 858 \text{ kW}$. Για βαθμό απόδοσης εναλλάκτη ίσο με 80% προκύπτει τελικά απαιτούμενη απόδοση ίση με $858 \text{ kW} / 0,80 = 1.073 \text{ kW}$.

4.3.1.3.3.2 Θερμική Ξήρανση

Η ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας που απαιτείται για τη θερμική ξήρανση είναι ίση με 900 kWh ανά τόνο νερού που εξατμίζεται. Η μάζα του νερού που εξατμίζεται ημερησίως κατά την ξήρανση είναι 105 tn/d. Έτσι, η απαιτούμενη θερμική ενέργεια εκτιμάται στα 900 kWh/tn εξατμ. νερού \times 105 tn εξατμ. νερού/d = 94.758 kWh/d ή 34.586.638 kWh/έτος.

4.3.1.3.3.3 Συνολικά Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια

Η συνολικά απαιτούμενη θερμική ενέργεια είναι

$$7.519.301,5 + 34.586.638 = 42.105.940 \frac{kWh}{\text{έτος}}$$

4.3.1.3.4 Επάρκεια Διαθέσιμης Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας

Εξετάζεται κατά πόσον επαρκεί η παραγόμενη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια (υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας) για την κάλυψη των αντίστοιχων αναγκών στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #2.

4.3.1.3.4.1 Ηλεκτρική Ενέργεια

Η ημερήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την καύση του βιοαερίου στις μονάδες συμπαραγωγής, 15.813 MWh/έτος, επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια κατά την επεξεργασία ιλύος, 3.823 MWh/έτος.

Η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, 11.989 MWh/έτος, μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί για κάλυψη των λοιπών ηλεκτρικών αναγκών στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων είτε να διατεθεί στο δίκτυο. Δίνεται προτεραιότητα στη ν αξιοποίηση της εντός ΕΕΛ. Σε περίπτωση που, μετά την κάλυψη των λοιπών ηλεκτρικών αναγκών της ΕΕΛ, προκύψει έλλειμα ηλεκτρικής ενέργειας, τότε αυτό μπορεί να πουληθεί στο δίκτυο. Σε περίπτωση, που υπάρχει έλλειμα ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των συμπληρωματικών αναγκών της ΕΕΛ, η επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια θα εξασφαλιστεί από το δίκτυο (αγορά ηλ. ενέργειας).

Λαμβάνοντας ειδική κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών μιας ΕΕΛ (πλην της επεξεργασίας ιλύος) ίση με 20 kWh/κάτ.-έτος, προκύπτει ότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τις συμπληρωματικές καταναλώσεις είναι 20 kWh/κάτ.-έτος x 1.000.000 κατ. = 20.000 MWh/έτος

Παρατηρείται έλλειμα ηλεκτρικής ενέργειας για την πλήρη κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων #2. Οι πρόσθετες ηλεκτρικές ανάγκες, 8.011 MWh/έτος, θα καλυφθούν με αγορά της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

4.3.1.3.4.2 Θερμική Ενέργεια

Η θέρμανση των χωνευτών γίνεται είτε με θερμική ενέργεια χαμηλής είτε υψηλής ενθαλπίας. Από την άλλη, οι ανάγκες της θερμικής ξήρανσης μπορούν να καλυφθούν μόνο από την υψηλής ενθαλπίας θερμική ενέργεια.

Με βάση τα παραπάνω, εξετάζεται η επάρκεια :

- της υψηλής ενθαλπίας θερμικής ενέργειας για τη θερμική ξήρανση και
- της χαμηλής ενθαλπίας θερμικής ενέργειας για τη θέρμανση των χωνευτών.

Πίνακας 4.12 – Στοιχεία για τη διαθέσιμη και απαιτούμενη θερμική ενέργεια

Διαθέσιμη Θερμ. Ενέργεια υψηλής ενθαλπίας	8.021 MWh/έτος
Διαθέσιμη Θερμ. Ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας	5.348 MWh/έτος
Απαιτούμενη Θερμ. Ενέργεια υψηλής ενθαλπίας	34.587 MWh/έτος
Απαιτούμενη Θερμ. Ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας	9.399 MWh/έτος

Παρατηρείται ότι η διαθέσιμη θερμική ενέργεια χαμηλής και υψηλής δεν επαρκεί για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της χώνευσης και της ξήρανσης.

Στην περίπτωση αυτή επιλέγεται η εφαρμογή των παρακάτω :

- για την κάλυψη των αναγκών της χώνευσης : χρήση της θερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας. Για την κάλυψη των πρόσθετων αναγκών θα χρησιμοποιηθεί μέρος της ενέργειας υψηλής ενθαλπίας.
- για την κάλυψη των αναγκών της θερμικής ξήρανσης : χρήση της εναπομείνουσας ενέργειας υψηλής ενθαλπίας και καύση φυσικού αερίου για τις πρόσθετες ανάγκες.

Έπειτα από υπολογισμούς προκύπτει ετήσια απαίτηση σε θερμική ενέργεια ίση με :

$$\begin{aligned} \text{Απαιτούμενη Θερμ. Ενέργεια} - \text{Διαθέσιμη Θερμ. Ενέργεια} = \\ = 34.587 + 9.399 - 8.021 - 5.348 = 30.617 \frac{\text{MWh}}{\text{έτος}} \end{aligned}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η θερμογόνος δύναμη του φυσικού αερίου είναι 10,23 kWh/m³ φυσικού αερίου, προκύπτει ότι ετήσια ζήτηση σε φυσικό αέριο ίση με 2.992.831 m³/έτος.

4.3.1.4 Οικονομικά Στοιχεία

4.3.1.4.1 Κόστος Επένδυσης

4.3.1.4.1.1 Μηχανική Πάχυνση

Για την κάλυψη των αναγκών της μηχανικής πάχυνσης, έπειτα από επικοινωνία με προμηθευτές, εγκαθίστανται 3 φυγοκεντρητές (2 σε λειτουργία και 1 εφεδρικός) με συνολικό κόστος φυγοκεντρητών 900.000 €. Το κόστος επένδυσης του βοηθητικού εξοπλισμού είναι 100.000 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης για την μηχανική πάχυνση είναι 1.000.000 €.

4.3.1.4.1.2 Χώνευση

Η τιμή μονάδος ανά κυβικό μέτρο χωνευτή είναι 450 €/m³ χωνευτή (εκτιμώμενη τιμή από μηχανικούς με εμπειρία σε σχετικά έργα). Ο συνολικός ωφέλιμος όγκος των χωνευτών είναι 20.882 m³. Έτσι, το κόστος επένδυσης για τη χώνευση είναι 9.396.975 €.

4.3.1.4.1.3 Μηχανική Αφυδάτωση

Για το σύνολο της παραγόμενης χωνεμένης ιλύος και έπειτα από την αξιολόγηση σχετικής οικονομοτεχνικής προσφοράς πιστοποιημένου οίκου φυγοκεντρητών (Alfa Laval), εγκαθίστανται 3 φυγοκεντρητές για την κάλυψη των αναγκών της αφυδάτωσης (2 σε λειτουργία και 1 σε εφεδρεία). Το συνολικό κόστος των φυγοκεντρητών είναι 780.000 €. Λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος του βοηθητικού εξοπλισμού, 120.000 €, προκύπτει κόστος επένδυσης της μηχανικής αφυδάτωσης 900.000 €

4.3.1.4.1.4 Θερμική Ξήρανση

Για τις ανάγκες της δεδομένης Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων και έπειτα από επικοινωνία με Τεχνικούς Συμβούλους με πολυετή εμπειρία, εγκαθίσταται μονάδα θερμικής ξήρανσης κόστους 11.000.000 €. Στην τιμή περιλαμβάνεται ο βοηθητικός εξοπλισμός. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης της μονάδας ξήρανσης είναι 11.000.000 €.

4.3.1.4.1.5 Μονάδα Συμπαραγωγής

Όπως, αναφέρθηκε και παραπάνω, εγκαθίστανται δύο μηχανές συμπαραγωγής General Electric Jenbacher Type 4 – 416 με κόστος 1.356.000 € έκαστη (συμπεριλαμβανομένων της ηλεκτρικής γεννήτριας και του βοηθητικού εξοπλισμού). Επίσης, εγκαθίστανται δύο εναλλάκτες αποδιδόμενης ισχύος 1.100 kW για θέρμανση της ιλύος. Κάθε εναλλάκτης κοστίζει 360.000 €. Απαιτείται πρόσθετα εναλλάκτης για τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας από υψηλής σε χαμηλής ενθαλπίας, που κοστίζει 60.000 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης της μονάδας συμπαραγωγής είναι 3.492.000 €.

Στον Πίνακα 4.13 παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιμέρους δαπάνες που συνιστούν το συνολικό κόστος επένδυσης, το οποίο εκτιμάται στα 25.418.975 €/έτος.

Πίνακας 4.13 – Επιμέρους και συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης

Μηχανική Πάχυνση	1.000.000 €
Χώνευση	9.396.975 €
Μηχανική Αφυδάτωση	900.000 €
Θερμική Ξήρανση	11.000.000 €
Μονάδα Συμπαραγωγής	3.492.000 €
Συνολικό Κόστος Επένδυσης	25.788.975 €

4.3.1.4.2 Λειτουργικό Κόστος

4.3.1.4.2.1 *Ενεργειακές Καταναλώσεις*

Η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια από τη ΣΗΘΕ είναι 15.812 MWh/έτος. Για την επεξεργασία της ιλύος απαιτούνται ετησίως 3.823 MWh/έτος και για τις υπόλοιπες ηλεκτρικές ανάγκες πλην της ιλύος 20.000 MWh/έτος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της ΕΕΛ. Απαιτείται πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια 8.011 MWh/έτος, η οποία αγοράζεται με τιμή μονάδος 0,11 €/kWh. Συνεπώς, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 881.210 €/έτος.

4.3.1.4.2.2 *Κόστος φυσικού αερίου*

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η παραγόμενη θερμική ενέργεια (χαμηλής και υψηλής ενθαλπίας) δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών της χώνευσης και της ξήρανσης αντίστοιχα.

Απαιτείται αγορά φυσικού αερίου για την κάλυψη των συμπληρωματικών αναγκών της ξήρανσης, οι οποίες υπολογίζονται σε 30.617 MWh/έτος. Η τιμή μονάδος αγοράς του φυσικού αερίου είναι 0,045 €/kWh. Συνεπώς, το ετήσιο κόστος για αγορά φυσικού αερίου είναι 1.377.750 €/έτος.

4.3.1.4.2.3 *Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη*

Καταναλώνεται πολυηλεκτρολύτης τόσο κατά τη μηχανική πάχυνση της περίσσειας ενεργού ιλύος όσο και στη μηχανική αφυδάτωση του μίγματος χωνεμένης πρωτοβάθμιας-

βιολογικής ιλύος. Για τη μεν πάχυνση απαιτείται δόση 5 kg πολυηλεκτρολύτη ανά τόνο ξηρών στερεών και για τη μηχανική αφυδάτωση 10 kg πολυηλεκτρολύτη ανά τόνο ξηρών στερεών.

Η απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη για ένα έτος είναι περίπου 172.414 kg πολυηλεκτρολύτη. Το κόστος του πολυηλεκτρολύτη είναι 3 € / kg πολυηλεκτρολύτη (powder). Συνεπώς, ισχύει :

$$3 \frac{\text{€}}{\text{kg πολυηλεκτρολύτη}} \times 172.414 \frac{\text{kg πολυηλεκτρολύτη}}{\text{year}} = 517.241 \frac{\text{€}}{\text{year}}$$

4.3.1.4.2.4 Προσωπικό

Για την ομαλή λειτουργία της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων #2 απαιτείται προσωπικό κατάλληλα εκπαιδευμένο και καταρτισμένο. Το ετήσιο κόστος για τη μισθοδοσία του προσωπικού θα αγνοηθεί, εφόσον παραμένει ίδιο τόσο στην περίπτωση της συμβατικής επεξεργασίας ιλύος, όσο και στην περίπτωση εφαρμογής θερμικής υδρόλυσης.

Φυσικά, όπως θα δούμε παρακάτω, στο Σενάριο Β', η εφαρμογή της τεχνολογίας της θερμικής υδρόλυσης απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό, γεγονός που οδηγεί σε αυξημένο λειτουργικό κόστος, όσον αφορά τη μισθοδοσία του προσωπικού.

Προς το παρόν, το ετήσιο κόστος του προσωπικού για το Σενάριο Α' είναι 0 €/έτος.

4.3.1.4.2.5 Διάθεση ξηραμένης ιλύος

Έπειτα από επικοινωνία με εξουσιοδοτημένους φορείς, το κόστος διαχείρισης και διάθεσης της ξηραμένης ιλύος είναι 50 €/tn ξηραμένης ιλύος. Για ετήσια μάζα παραγόμενης ξηραμένης ιλύος ίση με 14.339 tn ξηραμένης ιλύος/έτος, προκύπτει :

$$50 \frac{\text{€}}{\text{tn ξηραμένης ιλύος}} \times 14.339 \frac{\text{tn ξηραμένης ιλύος}}{\text{year}} = 716.970 \frac{\text{€}}{\text{year}}$$

4.3.1.4.2.6 Κόστος συντήρησης

Το συνολικό ετήσιο κόστος συντήρησης ισούται με 1.134.686 €/έτος και επιμερίζεται στα παρακάτω :

- *Μηχανική Πάχυνση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της μηχανικής πάχυνσης είναι ίσο με το 4,5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 40.000 €/έτος.

- *Χώνευση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της χώνευσης είναι ίσο με το 2.% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 187.939 €/έτος.

- *Μηχανική Αφυδάτωση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της μηχανικής αφυδάτωσης είναι ίσο με το 4,5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 40.500 €/έτος.

- *Θερμική Ξήρανση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της μονάδας ξήρανσης είναι ίσο με το 5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 550.000 €/έτος.

- *Μονάδα Συμπαραγωγής*

Το κόστος συντήρησης της μονάδας συμπαραγωγής ανά MWh είναι 20 €. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής είναι 15.812 MWh/έτος. Συνεπώς, το κόστος συντήρησης της μηχανής είναι 316.246 €/έτος.

Στον Πίνακα 4.14 συνοψίζονται οι επιμέρους δαπάνες που συνιστούν το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το οποίο ισούται με 4.627.857 €/έτος.

Πίνακας 4.14 - Επιμέρους και συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης

Ηλεκτρική Ενέργεια	881.210 €/έτος
Φυσικό Αέριο	1.377.750 €/έτος
Πολυηλεκτρολύτης	517.241 €/έτος
Προσωπικό	0 €/έτος
Διάθεση Ξηραμένης Ιλύος	716.970 €/έτος
Κόστος Συντήρησης	1.134.686 €/έτος
Συνολικό Λειτουργικό Κόστος	4.623.857 €/έτος

4.3.2 Σενάριο Β' – Εφαρμογή Θερμικής Υδρόλυσης στην Περίσσεια Ενεργού Ιλύος

4.3.2.1 Γενικά

Η Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων ΕΕΛ #2 επανασχεδιάζεται εισάγοντας τη θερμική υδρόλυση της περίσσειας ενεργού ιλύος ανάντη της χώνευσης.

4.3.2.2 Διαστασιολόγηση Μονάδων

4.3.2.2.1 Πρωτοβάθμια Επεξεργασία Λυμάτων

Όπως και στην περίπτωση της συμβατικής επεξεργασίας της ιλύος, κατασκευάζονται τέσσερις δεξαμενές διαμέτρου 33 m με πλάτος ζώνης υπερχειλίσης ίσο με 0,60 m.

Η ημερήσια παραγωγή πρωτοβάθμιας ιλύος είναι 2.100 m³/d με συγκέντρωση στερεών 1,5% DS. Έτσι, παράγονται ημερησίως 31.500 kg SS/d, το 75% των οποίων είναι οργανικά, 23.625 kg VSS/d.

Τα παραπάνω ισχύουν τόσο για το χειμώνα, όσο και για το θέρος.

4.3.2.2.2 Βιολογική Επεξεργασία Λυμάτων

Και για αυτό το σενάριο, θεωρείται ότι η διάθεση των λυμάτων γίνεται σε ευαίσθητο αποδέκτη, συνεπώς ο σχεδιασμός θα γίνει με βάση τις συγκεντρώσεις εξόδου του Πίνακα 4.1.

Αναμενόμενο είναι ότι ο σχεδιασμός της βιολογικής επεξεργασίας είναι ίδιος με το σενάριο που εξετάστηκε προηγουμένως. Σχεδιάζονται τέσσερις γραμμές, εκ των οποίων καθεμία περιλαμβάνει :

- ένα βιοαντιδραστήρα ωφέλιμου συνολικού όγκου 15.685 m³ (10.251 m³ η αερόβια ζώνη και 5.434 m³ η ανοξική ζώνη),
- μία προ-ανοξική δεξαμενή ωφέλιμου όγκου 1.359 m³,
- έναν αναερόβιο βιοεπιλογέα ωφέλιμου όγκου 5.000 m³ και
- τρεις δεξαμενές τελικής καθίζησης ωφέλιμης διαμέτρου 34 m.

Το χειμώνα λειτουργούν και οι τέσσερις γραμμές, ενώ κατά το θέρος υπάρχει η δυνατότητα να τεθεί ο βιοαντιδραστήρας των δύο παράλληλων γραμμών εκτός λειτουργίας επιτρέποντας πιθανές εργασίες συντήρησης.

Διατηρώντας όλο το χρόνο συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό σταθερή και ίση περίπου με 3.700 mg/l, προκύπτει συνολικός χρόνος παραμονής για το μεν χειμώνα περίπου 11,20 ημέρες, για το δε καλοκαίρι 5,23 ημέρες. Σε καμιά από τις δύο περιπτώσεις δεν επιτυγχάνεται σταθεροποίηση της περίσσειας ενεργού ιλύος, εφόσον ο χρόνος παραμονής είναι μικρότερος των 15 ημερών. Συνεπώς, κρίνεται απαραίτητη η χώνευση της βιολογικής ιλύος.

Τη χειμερινή περίοδο η ημερήσια παραγωγή στερεών είναι 20.606 kg SS/d, εκ των οποίων τα 13.577 kgVSS/d είναι οργανικά. Για να διατηρηθεί σταθερή η συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στο ανάμικτο υγρό καθημερινά αφαιρούνται από τον κώνο της δεξαμενής τελικής καθίζησης 2.576 m³/d, συγκέντρωσης 0,8% DS. Το καλοκαίρι η παραγόμενη βιολογική ιλύς είναι της τάξεως των 2.773 m³/d. Περιλαμβάνει 22.187 kg SS/d και 15.167 kgVSS/d.

4.3.2.2.3 Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος

Κατασκευάζονται δυο παχυντές βαρύτητας καθαρής διαμέτρου 6,50 m με πλευρικό βάθος 4 m και κλίση πυθμένα 1 : 6.

Οι παχυντές βαρύτητας επιτυγχάνουν συγκέντρωση στερεών στην παχυμένη πρωτοβάθμια ιλύ περίπου ίση με 5% DS. Η ημερήσια παροχή πρωτοβάθμιας ιλύος είναι 630 m³/d, η μάζα των στερεών στην έξοδο του παχυντή βαρύτητας είναι 31.500 kg SS/d και τα οργανικά στερεά 23.625 kg VSS/d. Τα στραγγίδια της πρωτοβάθμιας πάχυνσης είναι 1.470 m³/d και επιστρέφουν στην είσοδο της εγκατάστασης.

4.3.2.2.4 Προ-αφυδάτωση Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Η περίσσεια ενεργού ιλύος οδηγείται για προ-αφυδάτωση με σκοπό την αύξηση της συγκέντρωσης στερεών σε ποσοστό 16-17%DS. Η προ-αφυδάτωση γίνεται με φυγοκεντρητές και χρήση κατάλληλης δόσης πολυηλεκτρολύτη ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό ποσοστό στερεών στην έξοδο.

Το χειμώνα οι φυγοκεντρητές τροφοδοτούνται με περίσσεια ενεργού ιλύος 2.576 m³/d. Θεωρώντας ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών στα στραγγίδια και για ποσοστό στερεών στην έξοδο ίσο με 16,5% DS, η προ-αφυδατωμένη ιλύς είναι 125 m³/d και η ημερήσια παραγωγή στερεών 20.606 kg SS/d και 12.577 kgVSS/d. Το θέρος η παροχή εξόδου της προ-αφυδατωμένης ιλύος είναι 135 m³/d και τα στερεά 22.187 kg SS/d και 15.167 kgVSS/d.

Ο σχεδιασμός των φυγοκεντρητών έγινε λαμβάνοντας υπόψη ότι η ωριαία παροχή τροφοδοσίας προέκυψε με την παραδοχή λειτουργίας 16 ώρες την ημέρα και 7 ημέρες την εβδομάδα. Με αυτό τον τρόπο, εξασφαλίζεται εφεδρεία. Εγκαθίστανται τέσσερις φυγοκεντρητές της *GEA Westfalia Separator Group* τύπου CF 6000 (3 σε λειτουργία + 1 εφεδρικός). Κάθε φυγοκεντρητής θα έχει τη δυνατότητα να φορτίζεται με 57,6 m³/h και 460,8 kg DS/h. Απαιτούνται 5,15 και 5,55 kg πολυηλεκτρολύτη την ώρα, για χειμώνα και καλοκαίρι αντίστοιχα.

Τα στραγγίδια της προ-αφυδάτωσης υπολογίζονται σε 2.451 m³/d και 2.639 m³/d, για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα, και επιστρέφουν στην είσοδο της εγκατάστασης.

4.3.2.2.5 Θερμική Υδρόλυση Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Η προ-αφυδατωμένη ιλύς τροφοδοτείται στην εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης (Thermal Hydrolysis Process Plant). Η εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης, όπως έχει αναλυθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 2, αποτελείται από τρεις δεξαμενές. Η περίσσεια ενεργού ιλύος με θερμοκρασία περιβάλλοντος (18°C για χειμώνα και 25°C για καλοκαίρι) και πίεση 1 bar εισέρχεται στην πρώτη δεξαμενή (pulper). Εκεί προθερμαίνεται μέσω ανακυκλωμένου ατμού, που εισάγεται επίσης στη δεξαμενή, και ομογενοποιείται. Η ιλύς παραμένει στο pulper για περίπου 1,5 ώρα και θερμαίνεται στους 97°C, με αποτέλεσμα να μειωθεί το ιζώδες της. Το ποσοστό στερεών στην έξοδο από το pulper μειώνεται στο 14-15% DS. Έπειτα, η ιλύς αντλείται στη δεύτερη δεξαμενή, τον αντιδραστήρα (reactor). Η λειτουργία του δεν είναι συνεχής. Εδώ η ιλύς, με έγχυση κατάλληλης ποσότητας κορεσμένου ατμού πίεσης 12 bar, θερμαίνεται στους 165°C και αποκτά πίεση 6 bar. Έπειτα από 20 λεπτά ανοίγει βαλβίδα απελευθέρωσης πίεσης που βρίσκεται στο άνω μέρος του αντιδραστήρα και η πίεση της ιλύος μειώνεται στα 3 bar. Στη συνέχεια, ανοίγει βαλβίδα στον πυθμένα του αντιδραστήρα, μέσω της οποίας εκκενώνεται ο αντιδραστήρας και η ιλύς μεταφέρεται στην τρίτη δεξαμενή (flash tank). Η ιλύς παραμένει στο flash tank για περίπου 1,5 ώρα. Η πίεση της μειώνεται στο 1 bar και η θερμοκρασία της στους 100°C. Η υδρολυμένη ιλύς με ποσοστό στερεών 12-13% DS εξέρχεται από την εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης. Ο ατμός που απελευθερώνεται τόσο από τον αντιδραστήρα όσο και το flash tank ανακυκλώνεται και οδηγείται στο pulper. Εάν κρίνεται απαραίτητο, η υδρολυμένη ιλύς αραιώνεται με νερό ώστε να ψυχθεί μερικώς και να αποκτήσει θερμοκρασία κατάλληλη για μεσοφιλική χώνευση. Μέσω του νερού αραιώσης επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών 8-12% DS.

Έπειτα, η ιλύς αναμιγνύεται με την πρωτοβάθμια ιλύ, γεγονός που συμβάλλει σε περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας, και το μίγμα τους οδηγείται στους χωνευτές.

Η εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης διαστασιολογείται ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες τόσο του χειμώνα όσο και του θέρους.

Το χειμώνα εισέρχονται στη μονάδα 125 m³/d προ-αφυδατωμένης βιολογικής ιλύος σε θερμοκρασία 18°C και πίεση 1 bar. Ο απαιτούμενος ατμός προκύπτει από το ισοζύγιο, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ατμός που εγχύεται είναι κορεσμένος και έχει πίεση 12 bar, καθώς επίσης και ότι η υδρολυμένη ιλύς έχει θερμοκρασία 100°C και πίεση 1 bar. Στον Πίνακα 4.15 δίνονται τα απαραίτητα στοιχεία για το θερμικό ισοζύγιο.

Πίνακας 4.15 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης - χειμώνας

	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Μάζα [kg/h]
Προ-αφυδατωμένη Ιλύς	1	18	75,62	A
Κορεσμένος Ατμός	12	189,50	2.782,7	X A
Υδρολυμένη Ιλύς	1	100	419,06	A (1+ X)

Για προ-αφυδατωμένη ιλύ A= 1 kg/h απαιτεί :

$$75,62 \frac{kJ}{kg} \times 1 \frac{kg}{h} + 2.782,7 \frac{kJ}{kg} \times (X \times 1) \frac{kg}{h} = 419,06 \frac{kJ}{kg} \times (1 + X) \times 1 \frac{kg}{h} \Rightarrow$$

$$X = 0,145 \frac{kg \text{ ατμός}}{h} \text{ ή } 0,881 \frac{kg \text{ ατμός}}{h}$$

Για εισερχόμενη προαφυδατωμένη ιλύ ίση με 4.684 kg SS/d προκύπτει απαίτηση σε ατμό :

$$\frac{20.606 \text{ kgSS}}{24 \text{ h}} \times 0,881 \frac{kg \text{ ατμός}}{kgSS} = 756 \frac{kg \text{ ατμός}}{h}$$

Η υδρολυμένη ιλύς έχει 20.606 kg SS/d και μάζα :

$$M_{υδρ.ιλυος} = \frac{20.606 \text{ kg} \frac{SS}{d}}{16,5\%} + 756 \frac{kg \text{ ατμός}}{h} \times 24 \frac{h}{d} = 143.032 \frac{kg}{d}$$

Η ποσοστό των στερεών στην υδρολυμένη ιλύ είναι :

$$\frac{20.606 \text{ kg } \frac{SS}{d}}{143.032 \frac{kg}{d}} = 14,4 \% DS$$

Επιλέγεται να μην προστεθεί νερό αραίωσης, και έτσι η υδρολυμένη βιολογική ιλύς έχει ποσοστό στερεών 14,4% DS και θερμοκρασία 100°C.

Το καλοκαίρι εισέρχονται στη μονάδα 134,5 m³/d προ-αφυδατωμένης βιολογικής ιλύος σε θερμοκρασία 25°C και πίεση 1 bar. Ο απαιτούμενος ατμός προκύπτει από το ισοζύγιο, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ατμός που εγχύεται είναι κορεσμένος και έχει πίεση 12 bar, καθώς επίσης και ότι η υδρολυμένη ιλύς έχει θερμοκρασία 100°C και πίεση 1 bar. Στον Πίνακα 4.16 δίνονται τα απαραίτητα στοιχεία για το θερμικό ισοζύγιο.

Πίνακας 4.16 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης - θέρος

	Πίεση [bar]	Θερμοκρασία [°C]	Ενθαλπία [kJ/kg]	Μάζα [kg/h]
Προ-αφυδατωμένη Ιλύς	1	25	104,90	A
Κορεσμένος Ατμός	12	189,50	2.782,7	X A
Υδρολυμένη Ιλύς	1	100	419,06	A (1+ X)

Για προ-αφυδατωμένη ιλύ A= 1 kg/h απαιτεί :

$$104,90 \frac{kJ}{kg} \times 1 \frac{kg}{h} + 2.782,7 \frac{kJ}{kg} \times (X \times 1) \frac{kg}{h} = 419,06 \frac{kJ}{kg} \times (1 + X) \times 1 \frac{kg}{h} \Rightarrow$$

$$X = 0,133 \frac{kg \text{ ατμός}}{h} \text{ ή } 0,806 \frac{kg \text{ ατμός}}{h}$$

Για εισερχόμενη προαφυδατωμένη ιλύ ίση με 5.034 kg SS/d προκύπτει απαίτηση σε ατμό :

$$\frac{22.187 \text{ kgSS}}{24 \text{ h}} \times 0,806 \frac{kg \text{ ατμός}}{kgSS} = 745 \frac{kg \text{ ατμός}}{h}$$

Η υδρολυμένη ιλύς έχει 22.187 kg SS/d και μάζα :

$$M_{υδρ.ιλυος} = \frac{22.187 \text{ kg } \frac{SS}{d}}{16,5\%} + 745 \frac{kg \text{ ατμός}}{h} \times 24 \frac{h}{d} = 152.339 \frac{kg}{d}$$

Η ποσοστό των στερεών στην υδρολυμένη ιλύ είναι :

$$\frac{22.187 \text{ kg} \frac{SS}{d}}{152.339 \frac{kg}{d}} = 14,56 \% DS$$

Επιλέγεται προστεθεί νερό αραιώσης, ώστε η αραιωμένη υδρολυμένη βιολογική ιλύς να έχει ποσοστό στερεών 9,0% DS. Η μάζα της αραιωμένης υδρολυμένης βιολογικής ιλύος είναι:

$$\frac{22.187 \text{ kg} \frac{SS}{d}}{7\% DS} = 246.522 \frac{kg}{d}$$

Δεδομένου ότι η μάζα της υδρολυμένης ιλύος είναι 152.339 kg/d προκύπτει ότι απαιτείται νερό αραιώσης :

$$M_{\text{νερ.αραιώσης}} = M_{\text{αραιωμ. υδρ.ιλυος}} - M_{\text{υδρ.ιλυος}}$$

$$M_{\text{νερ.αραιώσης}} = 246.522 \frac{kg}{d} - 152.339 \frac{kg}{d} = 94.183 \frac{kg}{d}$$

Λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία του Πίνακα 4.17 :

Πίνακας 4.17 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο κατά την αραιώση - θέρους

	Θερμοκρασία [°C]	Μάζα [kg/h]
Υδρολυμένη Ιλύς	100	152.339
Νερό Αραιώσης	25	94.183
Αραιωμένη-Υδρολυμένη Ιλύς	θ	246.522

εφαρμόζεται θερμικό ισοζύγιο για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της αραιωμένης υδρολυμένης ιλύος :

$$152.339 \frac{kg}{d} \times 100 \text{ } ^\circ C + 94.183 \frac{kg}{d} \times 25 \text{ } ^\circ C = \left(152.339 \frac{kg}{d} + 94.183 \frac{kg}{d} \right) \times \theta \Rightarrow$$

$$\theta = 71,35 \text{ } ^\circ C$$

Έπειτα από την παραπάνω ανάλυση και επικοινωνία με την CAMBI, επιλέγεται να τοποθετηθεί μια μονάδα θερμικής υδρόλυσης της Cambi B6-2, που περιλαμβάνει δύο αντιδραστήρες 6m³ έκαστος.

4.3.2.2.6 Ανάμιξη Παχυμένης Πρωτοβάθμιας και Υδρολυμένης Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Έπειτα από την πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος και τη θερμική υδρόλυση της περίσσειας ενεργού ιλύος, τα δύο είδη ιλύος αναμιγνύονται και ομογενοποιούνται. Σημαντικό είναι να προσδιοριστεί η τελική θερμοκρασία του μίγματος. Δεδομένου ότι στη μεσοφιλική χώνευση η βέλτιστη θερμοκρασία για παραγωγή μεθανίου είναι κοντά στους 35°C. Η απαίτηση αυτή μας οδηγεί στα ακόλουθα :

- Εάν το μίγμα πρωτοβάθμιας-βιολογικής ιλύος προς χώνευση έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη κατά πολύ των 35°C, απαιτείται περαιτέρω ψύξη του μίγματος μέσω εναλλακτών θερμότητας.
- Εάν το μίγμα πρωτοβάθμιας-βιολογικής ιλύος έχει θερμοκρασία μικρότερη κατά πολύ των 35°C , ως λύσεις προτείνονται η θέρμανση του μίγματος ιλύος, η προσθήκη λιγότερης ποσότητας νερού αραιώσης στη βιολογική υδρολυμένη ιλύ ή η ανάμιξη της πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος σε τέτοιες αναλογίες, ώστε να προκύψει θερμοκρασία τελικού μίγματος πλησίον της επιθυμητής.

Στον Πίνακα 4.18 δίνονται τα χαρακτηριστικά της πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος για το χειμώνα :

Πίνακας 4.18 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο ανάμιξης των δύο ειδών ιλύος - χειμώνας

	Θερμοκρασία [°C]	Μάζα [kg/d]
Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς	18	630.000
Αραιωμένη Υδρολυμένη ΠΕΙ	100	143.032
Ιλύς προς χώνευση	Θ	773.032

Εφαρμόζοντας ισοζύγιο θερμότητας προκύπτει η θερμοκρασία του μίγματος ιλύος :

$$630.000 \frac{kg}{d} \times 18 \text{ } ^\circ C + 143.032 \frac{kg}{d} \times 100 \text{ } ^\circ C = \left(630.000 \frac{kg}{d} + 143.032 \frac{kg}{d} \right) \times \theta \Rightarrow$$

$$\theta = 33,17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Το ποσοστό στερεών στην ιλύ πριν τη χώνευση υπολογίζεται :

$$\frac{(31.500 + 20.606) \frac{\text{kg SS}}{\text{d}}}{(630.000 + 143.032) \frac{\text{kg}}{\text{d}}} = 6,74\% \text{ DS}$$

Στον Πίνακα 4.19 δίνονται τα χαρακτηριστικά της πρωτοβάθμιας και βιολογικής ιλύος για το θέρος :

Πίνακας 4.19 - Στοιχεία για θερμικό ισοζύγιο ανάμιξης των δύο ειδών ιλύος - θέρος

	Θερμοκρασία [°C]	Μάζα [kg/d]
Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς	25	630.000
Αραιωμένη Υδρολυμένη ΠΕΙ	71,35	246.522
Ιλύς προς χώνευση	θ	876.522

Εφαρμόζοντας ισοζύγιο θερμότητας προκύπτει η θερμοκρασία του μίγματος ιλύος :

$$630.000 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 25 \text{ } ^\circ\text{C} + 246.522 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 71,35 \text{ } ^\circ\text{C} = \left(630.000 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 246.522 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) \times \theta \Rightarrow$$

$$\theta = 38,03 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Το ποσοστό στερεών στην ιλύ πριν τη χώνευση υπολογίζεται :

$$\frac{(31.500 + 22.187) \frac{\text{kg SS}}{\text{d}}}{(630.000 + 246.522) \frac{\text{kg}}{\text{d}}} = 6,13\% \text{ DS}$$

4.3.2.2.7 Χώνευση μίγματος Πρωτοβάθμιας και Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

4.3.2.2.7.1 Χωνευτές

Το μίγμα της πρωτοβάθμιας παχυμένης και της βιολογικής παχυμένης οδηγείται στους χωνευτές για αναερόβια χώνευση. Στην περίπτωση εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης ο χρόνος παραμονής της ιλύος στους χωνευτές μπορεί να περιοριστεί στις 18 ημέρες. Έτσι, κατασκευάζονται δύο χωνευτές ύψους 24 m και διαμέτρου 20 m, που επαρκούν τόσο για

τις ανάγκες του χειμώνα, όσο και του θέρους. Η συνολική εισερχόμενη παροχή ιλύος προς χώνευση ισούται με $773 \text{ m}^3/\text{d}$ για το χειμώνα και $765 \text{ m}^3/\text{d}$ για το θέρους. Ο συνολικός όγκος των χωνευτών είναι 15.080 m^3 .

Στους χωνευτές πραγματοποιείται μεσοφιλική αναερόβια χώνευση. Το ποσοστό διάσπασης της πρωτοβάθμιας ιλύος παραμένει 55%, ενώ στη βιολογική ιλύ παρουσιάζεται αυξημένη διάσπαση οργανικού υλικού λόγω της θερμικής υδρόλυσης, της τάξεως των 55%. Η ειδική παραγωγή βιοαερίου για τη μεν πρωτοβάθμια ιλύ είναι ίση με $947,9 \text{ m}^3$ βιοαέριο/tn διασπ.VSS, ενώ για τη βιολογική ιλύ εξαρτάται από τη συγκέντρωση μεθανίου στην ιλύ, την αναλογία οργανικών στερεών προς ολικά στερεά (VSS/SS) και το COD της ιλύος. Θεωρούμε ότι το 64% του παραγόμενου βιοαερίου είναι μεθάνιο. Η αναλογία VSS/SS στη βιολογική ιλύ είναι 66% το χειμώνα και 69% το καλοκαίρι και το COD της ιλύος είναι 1,51 και 1,45 kg COD/kg VSS για χειμώνα και καλοκαίρι αντίστοιχα. Έτσι, η ειδική παραγωγή βιοαερίου για τη βιολογική ιλύ είναι 825,1 και 793 Nm^3/tn διασπ.VSS, για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα.

Συνεπώς, το παραγόμενο βιοαέριο υπολογίζεται σε 18.478 m^3 βιοαέριο/d για το χειμώνα και 18.932 m^3 βιοαέριο/d το καλοκαίρι.

Το χειμώνα η χωνεμένη ιλύς είναι $773 \text{ m}^3/\text{d}$ με παραγωγή στερεών 31.645 kg SS/d εκ των οποίων τα 16.741 kg VSS/d είναι οργανικά. Κατά το θέρους παρατηρείται μικρή μεταβολή στην παροχή της χωνεμένης ιλύος, $764,5 \text{ m}^3/\text{d}$. Μετά τη χώνευση τα οργανικά στερεά μειώνονται σε 17.456 kg VSS/d και έτσι τα συνολικά στερεά υπολογίζονται σε 32.351 kg SS/d .

Το ποσοστό στερεών στη χωνεμένη ιλύ είναι για το μεν χειμώνα 4,09% DS και για το θέρους 4,23% DS.

4.3.2.2.7.2 Μονάδα Συμπαγωγής

Το παραγόμενο βιοαέριο καίγεται σε μονάδα συμπαγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Επιλέγεται να εγκατασταθεί μηχανή Jenbacher Type 4 – Type 416, η οποία δίνει τη δυνατότητα καύσης διπλού καυσίμου (βιοαέριο και φυσικό αέριο). Τα χαρακτηριστικά της μηχανής είναι :

- $P_{el} = 1.130 \text{ kW}$, $\eta_{el} = 42\%$
- $P_{th} = 1.124 \text{ kW}$, $\eta_{th} = 41,8\%$.

Η απαιτούμενη ισχύς του καυσίμου ισούται με :

$$P_{\text{καυσ}} = \frac{P_{el}}{n_{el}} = \frac{P_{th}}{n_{th}} = \frac{1.130 \text{ kW}}{0,42} = 2.690 \text{ kW}$$

και η απαιτούμενη ενέργεια για μια ημέρα ανά μηχανή είναι :

$$2.690 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 64.571 \frac{\text{kWh}}{\text{d} - \text{μηχανή}}$$

Η διαστασιολόγηση της μηχανής γίνεται για τη μέση ετήσια παραγωγή βιοαερίου ίση με 18.932 m³ βιοαέριο/d. Δεδομένου ότι η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου είναι 6,477 kWh/m³ βιοαερίου, προκύπτει ημερήσια διαθέσιμη ενέργεια ίση με :

$$18.932 \frac{\text{m}^3 \text{ βιοαέριο}}{\text{d}} \times 6,477 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \text{ βιοαερίου}} = 122.622 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$$

Συνεπώς, ο συνολικά απαιτούμενος αριθμός μηχανών Jenbacher Type 4 – Type 416 είναι :

$$n = \frac{122.622 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}}{64.571 \frac{\text{kWh}}{\text{d} - \text{μηχανή}}} = 1,90 \text{ μηχανές}$$

Εγκαθίστανται 2 μηχανές Jenbacher Type 4 – Type 416, οι οποίες παράγουν :

- Ηλεκτρική ισχύ : 2 x 1.130 x 1,90 / 2 = 2.146 kW ~ 51.501 kWh/d
- Θερμική ισχύ : 2 x 1.124 x 1,90 / 2 = 2.134 kW ~ 51.228 kWh/d

4.3.2.2.8 Μηχανική αφυδάτωση μίγματος Πρωτοβάθμιας και Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Η χωνεμένη ιλύς κατά την έξοδο της από τους χωνευτές έχει μειωμένη συγκέντρωση στερεών (4,09% DS το χειμώνα και 4,23% DS το θέρος). Στόχος της μηχανικής αφυδάτωσης είναι η απομάκρυνση της υγρασίας που είναι εγκλωβισμένη στην ιλύ, ώστε η αφυδατωμένη ιλύς (cake) να έχει συγκέντρωση στερεών 30% DS. Το ποσοστό στερεών στην αφυδατωμένη ιλύ που μπορεί να επιτευχθεί έπειτα από την εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης είναι πάνω από 30% DS.

Το χειμώνα η παροχή εισόδου της χωνεμένης ιλύος είναι 773 m³/d. Η μάζα των στερεών 31.645 kg SS/d, εκ των οποίων τα 16.741 VSS/d είναι οργανικά. Θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων. Έτσι, στην έξοδο του φυγοκεντρητή η

μάζα των στερεών παραμένει σταθερή, ενώ η παροχή του cake είναι $105,5 \text{ m}^3/\text{d}$. Μέσω της αφυδάτωσης απομακρύνονται περίπου 668 m^3 νερό/d, τα οποία οδηγούνται πάλι στην είσοδο της εγκατάστασης για περαιτέρω επεξεργασία. Η μηχανική αφυδάτωση υποβοηθάται με την προσθήκη κατάλληλης δόσης πολυηλεκτρολύτη. Εδώ θεωρήθηκε ότι επαρκούν 10 kg σκόνης πολυηλεκτρολύτη για κάθε τόνο εισερχόμενου DS, και έτσι η ημερήσια απαίτηση σε πολυηλεκτρολύτη διαμορφώνεται σε $13,2 \text{ kg/h}$.

Αντίστοιχα για το καλοκαίρι, με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων, τα στερεά στην έξοδο του φυγοκεντητή είναι 32.351 kg SS/d , εκ των οποίων τα 17.456 kg VSS/d είναι οργανικά. Απομακρύνονται ημερησίως περίπου $657 \text{ m}^3/\text{d}$, τα οποία οδηγούνται στην είσοδο της εγκατάστασης. Η παροχή της αφυδατωμένης ιλύος είναι $107,8 \text{ m}^3/\text{d}$ και έτσι επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της αφυδάτωσης 30%. Για τις ανάγκες της αφυδάτωσης απαιτούνται περίπου $13,5 \text{ kg}$ δραστικής ουσίας πολυηλεκτρολύτη την ώρα.

Ο σχεδιασμός των φυγοκεντητών έγινε λαμβάνοντας υπόψη ότι η ωριαία παροχή τροφοδοσίας προέκυψε με την παραδοχή λειτουργίας 16 ώρες την ημέρα και 7 ημέρες την εβδομάδα.

4.3.2.2.9 Θερμική Ξήρανση μίγματος Πρωτοβάθμιας και Περίσσειας Ενεργού Ιλύος

Το μίγμα πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας αφυδατωμένης ιλύος έχει ποσοστό στερεών ίσο με 30% DS. Κατά τη θερμική ξήρανση απομακρύνεται η υγρασία που βρίσκεται εγκλωβισμένη στην αφυδατωμένη ιλύ, σε τέτοιο βαθμό, ώστε στην έξοδο της να επιτυγχάνεται ποσοστό στερεών πάνω από 90% DS (περίπου 92% DS).

Το χειμώνα η παροχή εισόδου της αφυδατωμένης ιλύος είναι $105,5 \text{ m}^3/\text{d}$. Η μάζα των στερεών 31.645 kg SS/d , εκ των οποίων τα 16.741 VSS/d είναι οργανικά. Θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων. Έτσι, στην έξοδο της θερμικής ξήρανσης η μάζα των στερεών παραμένει σταθερή. Η μάζα της ημερήσιας παραγόμενης ξηραμένης ιλύος είναι 34.397 kg/d και η παροχή του ξηραμένου cake είναι $49,1 \text{ m}^3/\text{d}$. Μέσω της ξήρανσης απομακρύνονται περίπου $73,8 \text{ tn}$ νερό/d..

Αντίστοιχα για το καλοκαίρι, με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν διαφυγές στερεών μέσω των στραγγιδίων, τα στερεά στην έξοδο του φυγοκεντητή είναι 32.351 kg SS/d , εκ των οποίων τα 17.456 kg VSS/d είναι οργανικά. Απομακρύνονται ημερησίως περίπου $75,4 \text{ tn}$ νερό/d και

έτσι επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της ξήρανσης 92%. Η μάζα του ξηραμένου cake εκτιμάται στα 35.165 kg/d και η παροχή του ισούται με 50,2 m³/d.

4.3.2.3 Ηλεκτρικές και Θερμικές Καταναλώσεις

4.3.2.3.1 Διαθέσιμη Ηλεκτρική και Θερμική Ενέργεια

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι μηχανές συμπαραγωγής, έπειτα από καύση του παραγόμενου βιοαερίου, παράγουν :

- Ηλεκτρική Ενέργεια : 51.501 kWh/d
- Θερμική Ενέργεια : 51.228 kWh/d, 30.737 kWh/d υψηλής ενθαλπίας και 20.491 kWh/d χαμηλής ενθαλπίας. Το 15% χάνεται λόγω απωλειών των σωληνώσεων κατά τη μεταφορά, συνεπώς, η διαθέσιμη θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας είναι 26.126 kWh/d (ή 9.536 MWh/έτος) και η διαθέσιμη θερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας είναι 17.417 kWh/d (ή 6.357,4 MWh/έτος).

4.3.2.3.2 Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια

4.3.2.3.2.1 Προ-αφυδάτωση

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την προ-αφυδάτωση είναι 1kWh/m³. Για ημερήσια παροχή εισόδου στην προ-αφυδάτωση 2.773,4 m³ προκύπτει η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 2.773,4 kWh/d ή 1.012.282 kWh/έτος

4.3.2.3.2.2 Θερμική Υδρόλυση

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη θερμική υδρόλυση είναι 35 kWh/τόνο DS που επεξεργάζονται. Η μάζα των στερεών που εισέρχεται στην εγκατάσταση θερμική υδρόλυσης είναι 22.187 kg SS/d. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 776,55 kWh/d ή 283.439 kWh/έτος.

4.3.2.3.2.3 Χώνευση

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη χώνευση είναι 6 W/ m³ χωνευτή. Ο όγκος των χωνευτών είναι 15.080 m³. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 90,48 kWh/d ή 33.024 kWh/έτος.

4.3.2.3.2.4 Μηχανική Αφυδάτωση

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη μηχανική αφυδάτωση είναι 2 kWh/ m³ ιλύος. Η παροχή της χωνεμένης ιλύος στην είσοδο της αφυδάτωσης είναι 773 m³/d. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 1.546 kWh/d ή 564.313 kWh/έτος.

4.3.2.3.2.5 Θερμική Ξήρανση

Η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη θερμική ξήρανση είναι 70 kWh/ tn εξατμ. νερού. Μέσω της ξήρανσης επιτυγχάνεται απομάκρυνση 75,44 tn νερού/d. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 5.281 kWh/d ή 1.927.399 kWh/έτος.

4.3.2.3.2.6 Συνολικά Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια

Η συνολικά απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την επεξεργασία της ιλύος ετησίως είναι

$$1.012.282 + 283.419 + 33.024 + 564.313 + 1.927.399 = 3.820.457 \frac{kWh}{\acute{\epsilon}τος}$$

4.3.2.3.3 Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια

4.3.2.3.3.1 Θέρμανση ιλύος και χωνευτών

Στην περίπτωση που εφαρμόζεται θερμική υδρόλυση δεν απαιτείται θέρμανση της ιλύος ή των χωνευτών. Το μίγμα πρωτοβάθμιας παχυμένης ιλύος και βιολογικής υδρολυμένης ιλύος έχει την κατάλληλη θερμοκρασία για χώνευση (35-38°C). Συνεπώς, σε αυτή την περίπτωση η απαίτηση σε θερμική ενέργεια είναι μηδενική.

4.3.2.3.3.2 Παραγωγή ατμού για θερμική υδρόλυση

Απαιτείται παραγωγή 756,1 kg ατμού/h. Ο ατμός παράγεται από εναλλάκτη θερμότητας χρησιμοποιώντας καύσιμα με υψηλή θερμοκρασία, τα οποία έρχονται σε επαφή με νερό πίεσης 1 bar και θερμοκρασίας 20°C και τον θερμαίνουν σε κορεσμένο ατμό 12 bar. Η διαφορά ενθαλπίας μεταξύ ατμού και νερού ισούται με 2.782,7 – 84 = 2.698,7 kJ/kg. Η απαιτούμενη ισχύς του εναλλάκτη είναι :

$$\frac{2.698,7 \frac{kJ}{kg} \times 756,1 \frac{kg}{h}}{3.600} = 566,8 kW$$

Λαμβάνοντας υπόψη βαθμό απόδοσης εναλλάκτη ίσο με 0,95, η μεταφερόμενη ισχύς του εναλλάκτη είναι :

$$\frac{566,8 \text{ kW}}{0,80} = 708,49 \text{ kW} \sim 710 \text{ kW}$$

Η απαιτούμενη θερμική ενέργεια είναι $710 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 17.004 \text{ kWh/d}$ ή 408.091 kWh/έτος . Για την κάλυψη των θερμικών αναγκών για την παραγωγή ατμού απαιτείται θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας.

4.3.2.3.3 *Θερμική ξήρανση*

Η ειδική κατανάλωση θερμικής ενέργειας κατά την ξήρανση είναι 900 kWh/tn εξατμ. νερού. Εφόσον εξατμίζονται ημερησίως $75,44$ τόνοι νερού, απαιτούνται ημερησίως 84.894 kWh ή $30.987.225 \text{ kWh/έτος}$. Για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της ξήρανσης απαιτείται θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας.

4.3.2.3.4 Επάρκεια Διαθέσιμης Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας

4.3.2.3.4.1 *Ηλεκτρική Ενέργεια*

Η διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα ΣΗΘΕ υπολογίζεται ετησίως στις 18.798 MWh . Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τα έργα επεξεργασίας ιλύος είναι 3.820 MWh/έτος .

Παρατηρείται ότι η ηλεκτρική ενέργεια επαρκεί για την κάλυψη των απαιτούμενων αναγκών.

Η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια μπορεί είτε να αξιοποιηθεί για την κάλυψη των πρόσθετων ηλεκτρικών αναγκών στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων, δηλ. για τις υπόλοιπες ανάγκες πλην της επεξεργασίας ιλύος, είτε να πωληθεί στο δίκτυο. Στην προκειμένη περίπτωση κρίνεται σκόπιμο να δοθεί προτεραιότητα για την κάλυψη των αναγκών στην εγκατάσταση, ώστε, αν είναι δυνατόν, η εγκατάσταση να είναι ενεργειακά αυτόνομη. Έπειτα, εφόσον υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να πωλείται στο δίκτυο, κίνηση που θα αποφέρει έσοδα στην εγκατάσταση. Στην περίπτωση, που η συνολικά παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις μονάδες ΣΗΘΕ δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη των αναγκών της εγκατάστασης, ως μόνη λύση μένει η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

Με αυτό το σκεπτικό υπολογίζεται ότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για τις συμπληρωματικές καταναλώσεις (πλην της επεξεργασίας ιλύος). Η ειδική κατανάλωση είναι Παρατηρείται ότι επαρκεί η διαθέσιμη ηλεκτρική και θερμική ενέργεια για την κάλυψη των kWh/κάτοικο-έτος. Συνεπώς, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι

$$20 \frac{kWh}{\text{κάτοικο x έτος}} \times 1.000.000 \text{ ι.κ.} = 20.000.000 \frac{kWh}{\text{έτος}}$$

Τελικώς, παρατηρείται έλλειμα ηλεκτρικής ενέργειας, ίσο με :

$$\begin{aligned} & \text{Απαιτούμενη Ηλ. Ενέργεια} - \text{Διαθέσιμη Ηλ. Ενέργεια} = \\ & = (3.820,5 + 20.000) \frac{MWh}{\text{έτος}} - 18.798 \frac{MWh}{\text{έτος}} = 5.022,6 \frac{MWh}{\text{έτος}} \end{aligned}$$

Η εγκατάσταση θα εξασφαλίσει τη συμπληρωματική απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια των 5.022,6 MWh/έτος από το δίκτυο.

4.3.2.3.4.2 Θερμική Ενέργεια

Όσον αφορά την επεξεργασία ιλύος απαιτείται μόνο θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας (για την παραγωγή ατμού της θερμικής υδρόλυσης και για τη θερμική ξήρανση).

Παρατηρείται ότι η παραγόμενη θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας από τη μονάδα ΣΗΘΕ δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη των αναγκών. Επιλέγεται, λοιπόν σε πρώτη φάση, να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ατμού. Πράγματι, επαρκεί για την παραγωγή ατμού. Η περίσσεια της θερμικής ενέργειας θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την κάλυψη των αναγκών της ξήρανσης. Θεωρώντας ότι η αξιοποίηση της είναι οικονομικά ασύμφορη, επιλέγεται η αγορά και καύση φυσικού αερίου. Η θερμογόνο δύναμη του φυσικού αερίου είναι 10,23 kWh/m³ φυσικού αερίου. Συνεπώς απαιτείται

$$\frac{24.780.846 \frac{kWh}{\text{έτος}}}{10,23 \frac{kWh}{m^3}} = 2.422.370 \frac{m^3 \text{ φυσικό αέριο}}{\text{έτος}}$$

4.3.2.4 Οικονομικά Στοιχεία

4.3.2.4.1 Κόστος Επένδυσης

4.3.2.4.1.1 Προ-αφυδάτωση

Εγκαθίστανται τέσσερις φυγοκεντρητές *GEA Westfalia Separator Group CF 6000* (3 σε λειτουργία και 1 εφεδρικός) με κόστος 320.000 € / φυγοκεντρητή. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης για την προ-αφυδάτωση είναι 1.280.000 €.

4.3.2.4.1.2 Θερμική Υδρόλυση

Έπειτα από επικοινωνία με την CAMBI, επιλέγεται να εγκατασταθεί μια μονάδα *Cambi B6-2* που κοστίζει 2.600.000 €. Η τιμή αυτή προσαυξάνεται κατά 40%, ώστε να ληφθούν υπόψη το κόστος μεταφοράς, η εγκατάσταση σιλό, κ.ά. Το κόστος των έργων Πολιτικού Μηχανικού ισούται με το 3% του κόστους επένδυσης της μονάδας θερμικής υδρόλυσης, δηλ. 109.200 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης για τη θερμική υδρόλυση είναι 3.749.200 €.

4.3.2.4.1.3 Χώνευση

Η τιμή μονάδος ανά κυβικό μέτρο χωνευτή είναι 600 €/m³ χωνευτή (εκτίμηση που δόθηκε από μηχανικούς με σχετική εμπειρία σε αντίστοιχα έργα). Έτσι, για συνολικό όγκο χωνευτών ίσο με 15.800 m³ προκύπτει κόστος των χωνευτών ίσο με 9.047.787 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης των χωνευτών είναι 9.047.787 €

4.3.2.4.1.4 Μηχανική Αφυδάτωση

Εγκαθίστανται 3 φυγοκεντρητές για την κάλυψη των αναγκών της αφυδάτωσης (1 σε λειτουργία και 1 σε εφεδρεία). Το κόστος κάθε φυγοκεντρητή είναι 200.000 €/φυγοκεντρητή. Λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος του βοηθητικού εξοπλισμού, 100.000 €, προκύπτει κόστος επένδυσης της μηχανικής αφυδάτωσης 700.000 €. Οι τιμές αυτές δόθηκαν από την Alfa Laval, έπειτα από επικοινωνία.

4.3.2.4.1.1 Θερμική Ξήρανση

Το κόστος επένδυσης της μονάδας ξήρανσης, έπειτα από συζήτηση με μηχανικούς με πολυετή εμπειρία σε αντίστοιχα έργα, εκτιμάται στα 9.000.000 €

4.3.2.4.1.2 Μονάδα Συμπαραγωγής

Εγκαθίστανται δύο μηχανές συμπαραγωγής General Electric Jenbacher Type 4 – 416 με κόστος 1.356.000 € έκαστος (συμπεριλαμβανομένων της ηλεκτρικής γεννήτριας και του βοηθητικού εξοπλισμού). Επίσης, εγκαθίστανται δύο εναλλάκτες ισχύος 708 kW για παραγωγή κορεσμένου ατμού 12 bar. Κάθε εναλλάκτης κοστίζει 270.000 €. Συνεπώς, το κόστος επένδυσης της μονάδας συμπαραγωγής είναι 3.252.000 €.

Στον Πίνακα 4.20 παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιμέρους δαπάνες που συνιστούν το συνολικό κόστος επένδυσης.

Πίνακας 4.20 – Επιμέρους και συνολικό κόστος επένδυσης της εγκατάστασης

Προ-αφυδάτωση	1.280.000€
Θερμική Υδρόλυση	3.749.200€
Χώνευση	9.047.787€
Μηχανική Αφυδάτωση	700.000€
Θερμική Ξήρανση	9.000.000€
Μονάδα Συμπαραγωγής	3.252.000€
Συνολικό Κόστος Επένδυσης	18.028.987€

4.3.2.4.2 Λειτουργικό Κόστος

4.3.2.4.2.1 *Ενεργειακές Καταναλώσεις*

Στην παράγραφο 4.3.2.3.4.1, έχει ήδη αναφερθεί ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της εγκατάστασης. Απαιτείται ετησίως αγορά από το δίκτυο 5.022,5 MWh. Η τιμή μονάδος αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με 0,11 €/kWh. Συνεπώς, το ετήσιο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 552.481 €/έτος.

4.3.2.4.2.1 *Αγορά Φυσικού Αερίου*

Στην παράγραφο 4.3.2.3.4.2, έχει ήδη αναφερθεί ότι η παραγόμενη θερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας δεν επαρκεί για την κάλυψη του συνόλου των θερμικών αναγκών της

ξήρασης. Απαιτείται ετησίως αγορά 2.422.370 m³ φυσικού αερίου. Η τιμή αγοράς του φυσικού αερίου είναι 0,045 €/kWh. Συνεπώς, για συμπληρωματική θερμική ενέργεια 24.780,8 MWh/έτος, προκύπτει ετήσιο κόστος φυσικού αερίου ίσο με 1.115.138 €/έτος.

από το δίκτυο 5.022,5 MWh. Η τιμή μονάδας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με 0,11 €/kWh. Συνεπώς, το ετήσιο κόστος

4.3.2.4.2.2 Κατανάλωση Πολυηλεκτρολύτη

Καταναλώνεται πολυηλεκτρολύτης τόσο στην προ-αφυδάτωση της περίσσειας ενεργού ιλύος όσο και στη μηχανική αφυδάτωση του μίγματος χωνεμένης πρωτοβάθμιας-βιολογικής ιλύος. Για τη μεν προαφυδάτωση απαιτείται δόση 6 kg πολυηλεκτρολύτη ανά τόνο ξηρών στερεών και για τη μηχανική αφυδάτωση 10 kg πολυηλεκτρολύτη ανά τόνο ξηρών στερεών.

Απαιτούνται 166.672 kg πολυηλεκτρολύτη ετησίως. Το κόστος του που πολυηλεκτρολύτη είναι 3 € / kg πολυηλεκτρολύτη (powder). Συνεπώς, ισχύει :

$$3 \frac{\text{€}}{\text{kg πολυηλεκτρολύτη}} \times 166.672 \frac{\text{kg πολυηλεκτρολύτη}}{\text{year}} = 500.016 \frac{\text{€}}{\text{year}}$$

4.3.2.4.2.3 Προσωπικό

Το ετήσιο κόστος του προσωπικού της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων ανέρχεται σε 60.000 €/έτος

4.3.2.4.2.4 Διάθεση Ξηραμένης Ιλύος

Το κόστος διάθεσης της αφυδατωμένης ιλύος είναι 50 €/tn ξηραμένης ιλύος. Για ετήσια μάζα παραγόμενης ξηραμένης ιλύος ίση με 12.835 tn ξηραμένης ιλύος/έτος, προκύπτει :

$$50 \frac{\text{€}}{\text{tn ξηραμένης ιλύος}} \times 12.835 \frac{\text{tn ξηραμένης ιλύος}}{\text{year}} = 641.753 \frac{\text{€}}{\text{year}}$$

Στον Πίνακα 4.10 συνοψίζονται οι επιμέρους δαπάνες που συνιστούν το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος.

4.3.2.4.2.5 Κόστος Συντήρησης

Το συνολικό ετήσιο κόστος συντήρησης ισούται με 1.227.236 €/έτος και επιμερίζεται στα παρακάτω :

- *Προ-αφυδάτωση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της προ-αφυδάτωσης είναι ίσο με το 4,5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 57.600 €/έτος.

- *Θερμική Υδρόλυση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της θερμικής υδρόλυσης είναι ίσο με το 3,5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 131.222 €/έτος.

- *Χώνευση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της χώνευσης είναι ίσο με το 2 % της αρχικής επένδυσης, δηλ. 180.956 €/έτος.

- *Μηχανική Αφυδάτωση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της μηχανικής αφυδάτωσης είναι ίσο με το 4,5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 31.500 €/έτος

- *Θερμική Ξήρανση*

Το ετήσιο κόστος συντήρησης της μηχανικής αφυδάτωσης είναι ίσο με το 5% της αρχικής επένδυσης, δηλ. 450.000 €/έτος

- *Μονάδα Συμπαραγωγής*

Το κόστος συντήρησης ανά MWh είναι 20 €. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής είναι 18.798 MWh. Συνεπώς, το κόστος συντήρησης της μηχανής είναι 375.958 €/έτος.

Στον Πίνακα 4.21 συνοψίζονται οι επιμέρους δαπάνες που συνιστούν το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος, το οποίο ισούται με 4.096.625 €/έτος.

Πίνακας 4.21 - Επιμέρους και συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης

Ηλεκτρική Ενέργεια	552.481 €/έτος
Αγορά Φυσικού Αερίου	1.115.138 €/έτος
Πολυηλεκτρολύτης	500.016€/έτος
Προσωπικό	60.000 €/έτος
Διάθεση Αφυδατωμένης Ιλύος	641.753 €/έτος
Κόστος Συντήρησης	1.227.236 €/έτος
Συνολικό Λειτουργικό Κόστος	4.096.625 €/έτος

4.4 Σύγκριση Αποτελεσμάτων

4.4.1 Γενικά Στοιχεία

Παρατίθενται για κάθε εξεταζόμενη Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων που απεικονίζουν χρήσιμα στοιχεία για κάθε σενάριο. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο κόστος επένδυσης και το λειτουργικό κόστος, καθώς επίσης και την κατανομή των ηλεκτρικών καταναλώσεων στις επιμέρους ανάγκες.

Από την αξιολόγηση των διαγραμμάτων προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης.

4.4.2 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #1

4.4.2.1 Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στον Πίνακα 4.22 φαίνεται ετησίως η διαθέσιμη και η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καθώς και το έλλειμα/περίσσεια που παρουσιάζεται.

Πίνακας 4.22 – Γενικά Στοιχεία Ηλεκτρικής Ενέργειας ΕΕΛ #1

	Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια		Διαθέσιμη Ηλ. Ενέργεια	Έλλειμα / Περίσσεια ?
	Επεξεργασία Ιλύος	Λοιπές Ανάγκες		
Συμβατική επεξεργασία	403,4 MWh/έτος	3.250 MWh/έτος	2.967,1 MWh/έτος	ΕΛΛΕΙΜΑ 686,3 MWh/έτος
Θερμική Υδρόλυση	490,5 MWh/έτος	3.250 MWh/έτος	3.953,1 MWh/έτος	ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ 212,6 MWh/έτος

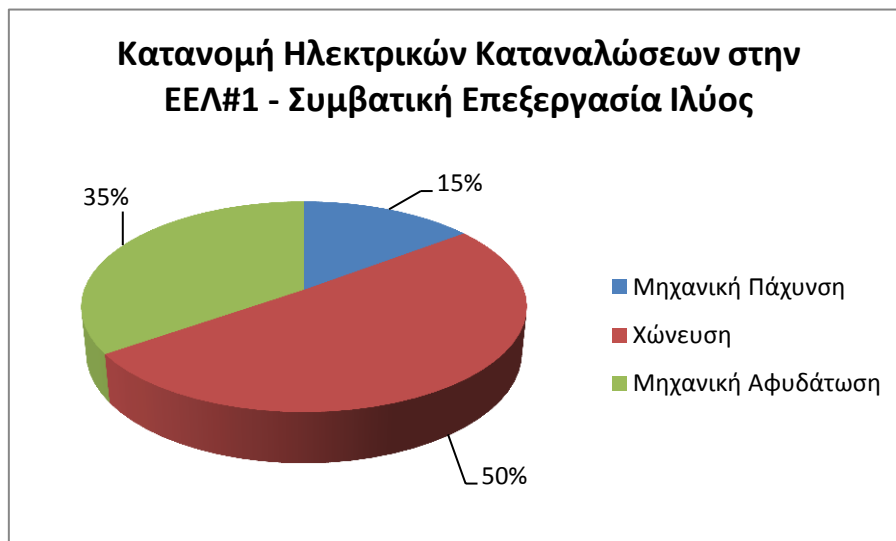
Παρατηρείται ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης οδηγεί σε :

- αύξηση της απαίτησης σε ηλεκτρική ενέργεια κατά 20%.
- αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 33%.

Συνεπώς, σε επίπεδο ηλεκτρικής ενέργειας η εφαρμογή της Θερμικής Υδρόλυσης είναι ωφέλιμη, αφού η αυξημένη διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια συμβάλλει σε ενεργειακή αυτονομία της εγκατάστασης. Ταυτόχρονα, στα πλαίσια της βελτιστοποίησης της ενεργειακής διαχείρισης, υπάρχει η δυνατότητα πώλησης της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.22 η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τις λοιπές ανάγκες της εγκατάστασης (πλην της επεξεργασίας ιλύος) δεν εξαρτάται από τη μέθοδο επεξεργασίας της ιλύος. Στις Εικόνες 4.1 και 4.2 απεικονίζεται ο καταμερισμός της ηλεκτρικής ενέργειας στις επιμέρους ανάγκες, και στον Πίνακα 4.23 δίνονται οι απόλυτες τιμές.

Εικόνα 4.1 - Κατανομή Ηλεκτρικών Καταναλώσεων στην ΕΕΛ #1 - Συμβατική επεξεργασία ιλύος



Εικόνα 4.2 - Κατανομή Ηλεκτρικών Καταναλώσεων στην ΕΕΛ #1 - Θερμική υδρόλυση σε WAS



Πίνακας 4.23 - Στοιχεία Ηλεκτρικής Ενέργειας για επεξεργασία ιλύος ΕΕΛ #1

	Μηχανική Πάχυνση	Προ-αφυδάτωση	Θερμική Υδρόλυση	Χώνευση	Μηχανική αφυδάτωση
Συμβατική επεξεργασία	49.675,6 kWh/έτος	-	-	237.198 kWh/έτος	116.507 kWh/έτος
Θερμική Υδρόλυση	-	165.602 kWh/έτος	64.916 kWh/έτος	148.610 kWh/έτος	79.578 kWh/έτος

Αξιοποιώντας τα παραπάνω παρατηρούμε ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης

- απαιτεί μεν αυξημένη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών της προ-αφυδάτωσης και της θερμικής υδρόλυσης
- από την άλλη οδηγεί σε μείωση των ηλεκτρικών καταναλώσεων της χώνευσης και της μηχανικής αφυδάτωσης κατά 37% και 32% αντίστοιχα.

Τα παραπάνω έρχονται να επιβεβαιώσουν τις εγγυήσεις της CAMBI σε ό,τι αφορά την αυξημένη αποτελεσματικότητα της χώνευσης και τη βελτιωμένη αφυδατωσιμότητα της ιλύος, έπειτα από εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης. Πράγματι, η ιλύς γίνεται πιο εύκολα βιοδιασπασίμη και αφυδατώσιμη, γεγονός που αποτυπώνεται και στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

4.4.2.2 Κατανάλωση Θερμικής Ενέργειας

Στον Πίνακα 4.24 φαίνεται ετησίως η διαθέσιμη και η απαιτούμενη θερμική ενέργεια καθώς και το έλλειμα/περίσσεια που παρουσιάζεται.

Πίνακας 4.24 - Γενικά Στοιχεία Θερμικής Ενέργειας ΕΕΛ #1

	Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια		Διαθέσιμη Θερμική Ενέργεια		Έλλειμα / Περίσσεια ?
	Υψηλής Ενθαλπίας	Χαμηλής Ενθαλπίας	Υψηλής Ενθαλπίας	Χαμηλής Ενθαλπίας	
Συμβατική επεξεργασία	0 MWh/έτος	1.955,9 MWh/έτος	1.780,6 MWh/έτος	1.187 MWh/έτος	ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ 1.007,7 MWh/έτος (Υψ) 0 MWh/έτος (Χαμ)
Θερμική Υδρόλυση	1.400 MWh/έτος	0 MWh/έτος	2.372,3 MWh/έτος	1.581,6 MWh/έτος	ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ 972,3 MWh/έτος (Υψ) 1.581,6 MWh/έτος (Χαμ)

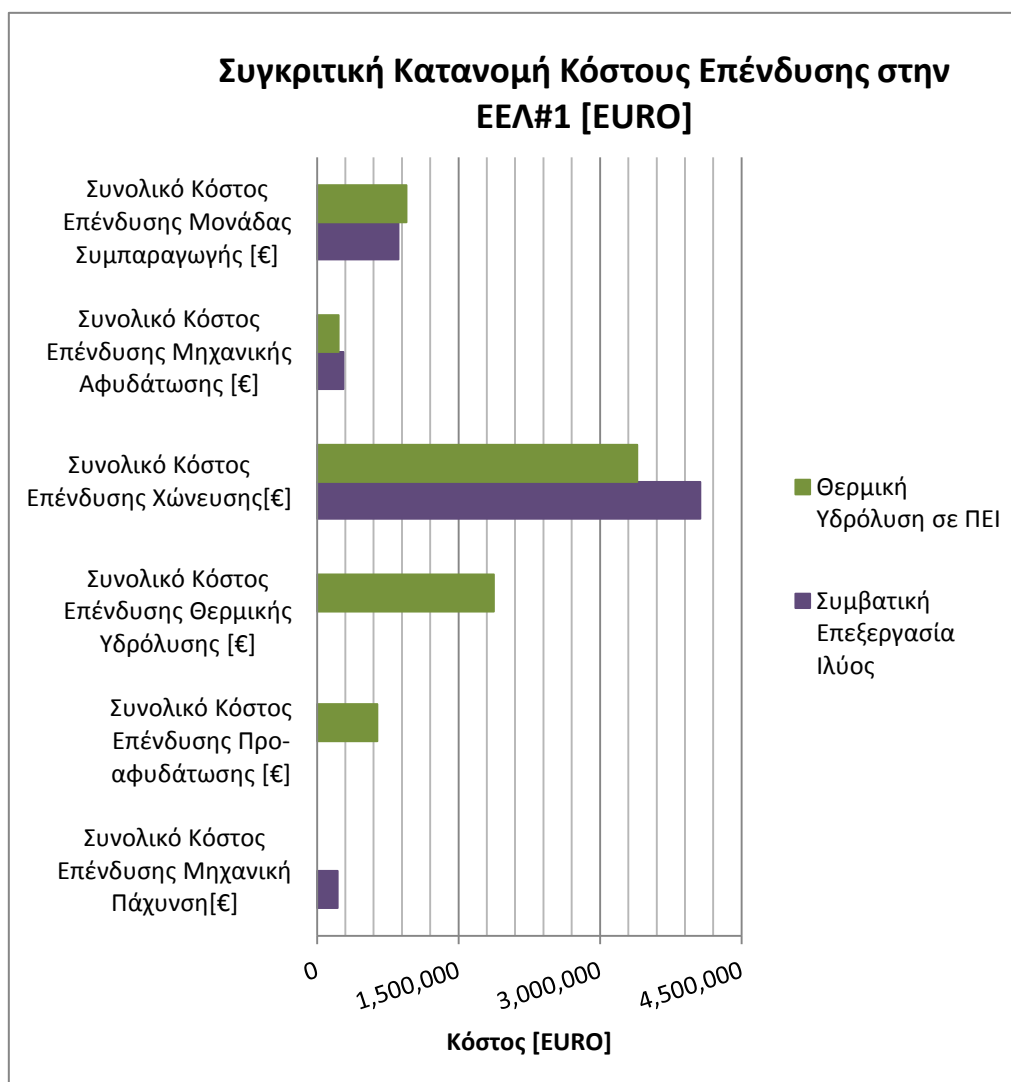
Παρατηρείται ότι η παραγόμενη θερμική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας επαρκεί για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της ΕΕΛ, σε ό,τι αφορά την επεξεργασία ιλύος. Στην περίπτωση εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης

η περίσσεια θερμικής ενέργειας είναι 2,5 φορές μεγαλύτερη από την περίσσεια της συμβατικής επεξεργασίας. Η υψηλής ενθαλπίας θερμική ενέργεια παρουσιάζει μείωση της τάξης του 3%. Έτσι, παρουσιάζονται δυνατότητες αξιοποίησης της περίσσειας θερμικής ενέργειας εντός της εγκατάστασης, π.χ. για θέρμανση της ιλύος πριν την αφυδάτωση που θα οδηγήσει σε βελτίωση της αφυδατωσιμότητας, για επεξεργασία στραγγιδίων, αλλά και εκτός της εγκατάστασης, π.χ. τηλεθέρμανση κ.ά. Τα παραπάνω μεταφράζονται σε πρόσθετα ωφέλη για την εγκατάσταση.

4.4.2.3 Κόστος Επένδυσης

Στην Εικόνα 4.3 και τον Πίνακα 4.25 δίνεται το κόστος επένδυσης σε EURO για κάθε βαθμίδα της επεξεργασίας ιλύος.

Εικόνα 4.3 - Συγκριτική Κατανομή Κόστους Επένδυσης στην ΕΕΛ #1



Πίνακας 4.25 – Κόστος επένδυσης κάθε βαθμίδα της επεξεργασίας ιλύος ΕΕΛ#1

	Μηχανική Πάχυνση	Προ-αφυδάτωση	Θερμική Υδρόλυση	Χώνευση	Μηχανική Αφυδάτωση	Μονάδα ΣΗΘΕ
Συμβατική επεξεργασία	260.000 EURO	-	-	4.061.608 EURO	320.000 EURO	1.116.800 EURO
Θερμική Υδρόλυση	-	640.000 EURO	1.874.600 EURO	3.392.920 EURO	230.000 EURO	986.800 EURO

Είναι κατανοητό ότι το κόστος επένδυσης στην περίπτωση εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης είναι αυξημένο σε σχέση με τη συμβατική επεξεργασία της ιλύος. Στην αύξηση του κόστους επένδυσης συμβάλλουν τόσο η μονάδα της προ-αφυδάτωσης, όσο και η μονάδα θερμικής υδρόλυσης. Από την άλλη, ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης οδηγεί σε τέτοιο σχεδιασμό, που συμβάλλει στη μείωση του κόστους επένδυσης της χώνευσης, της μηχανικής αφυδάτωσης και της πλήρους μονάδας συμπαραγωγής κατά 16,5%, 28% και 11,6% αντίστοιχα.

Αθροιστικά, το απαιτούμενο κόστος επένδυσης για το Σενάριο Α' είναι 5.758.408 EURO και για το Σενάριο Β' 7.124.320 EURO.

Για κάθε βαθμίδα επεξεργασίας μπορεί να υπολογιστεί η διαφορά στο κόστος επένδυσης μεταξύ των δύο εναλλακτικών σεναρίων. Χρησιμοποιώντας επιτόκιο 5% καθώς επίσης διάρκεια ζωής των έργων Πολιτικού Μηχανικού ίση με 25 έτη και του Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ίση με 15 έτη, προκύπτει τελικά ότι η παρούσα αξία της διαφοράς του κόστους επένδυσης (Σενάριο θερμικής υδρόλυσης – Σενάριο συμβατικής επεξεργασίας) ισούται με 142.631 EURO (*) ετησίως (το κόστος επένδυσης για το Σενάριο της θερμικής υδρόλυσης προκύπτει αυξημένο συγκρινόμενο με το Σενάριο συμβατικής επεξεργασίας ιλύος, όπως ήταν αναμενόμενο).

(*) Παρούσα αξία διαφοράς κόστους επένδυσης (Σενάριο θερμικής υδρόλυσης – Σενάριο συμβατικής επεξεργασίας) =

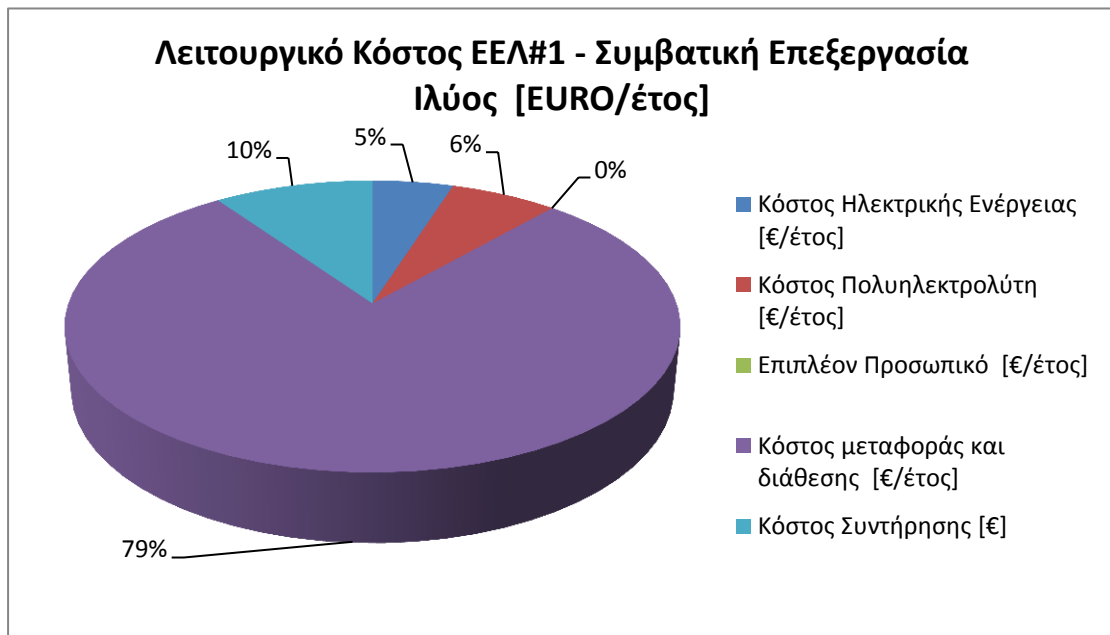
$$= \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{\text{διάρκεια ζωής } H/M}}{(1 + 5\%)^{\text{διάρκεια ζωής } H/M} - 1} \times (\text{Διαφορά Κόστους Επένδυσης έργων } H/M) \\ + \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{\text{διάρκεια ζωής } ΠΜ}}{(1 + 5\%)^{\text{διάρκεια ζωής } ΠΜ} - 1} \times (\text{Διαφορά Κόστους Επένδυσης έργων } ΠΜ) =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{15}}{(1 + 5\%)^{15} - 1} \times (\text{Μηχ. Πάχυνση} + \text{Προ-αφυδάτωση} + \text{Θερμ. Υδρόλυση} \\
 &\quad + 35\% \times \text{Χώνευση} + \text{Μηχ. Αφυδάτωση} + \text{Μονάδα ΣΗΘΕ}) \\
 &\quad + \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{25}}{(1 + 5\%)^{25} - 1} \times (65\% \times \text{Χώνευση}) = \\
 \\
 &= \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{15}}{(1 + 5\%)^{15} - 1} \times (-260.000 + 640.000 + 1.874.600 + 35\% \times (-668.688) \\
 &\quad - 90.000 - 130.000) + \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{25}}{(1 + 5\%)^{25} - 1} \times (65\% \times (-668.688)) \\
 &= 142.631 \text{ €/έτος}
 \end{aligned}$$

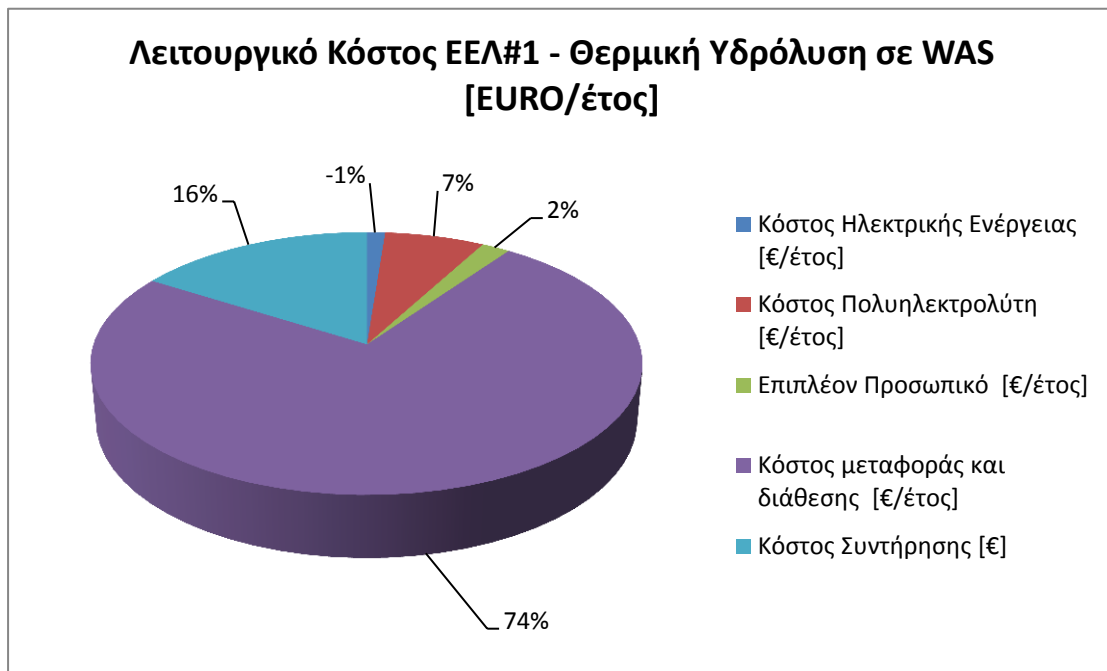
4.4.2.4 Λειτουργικό Κόστος

Στις Εικόνες 4.4 και 4.5 και στον Πίνακα 4.26 δίνονται τα στοιχεία σχετικά με το λειτουργικό κόστος των διαδικασιών της επεξεργασίας ιλύος. Παρατίθενται τόσο ο επιμερισμός του συνολικού ετήσιου λειτουργικού κόστους στις διάφορες διαδικασίες όσο και τα απόλυτα μεγέθη των τιμών.

Εικόνα 4.4 - Κατανομή λειτουργικού κόστους ΕΕΛ#1 - Συμβατική Επεξεργασία Ιλύος



Εικόνα 4.5 - Κατανομή λειτουργικού κόστους ΕΕΛ#1 - Θερμική Υδρόλυση σε WAS



Πίνακας 4.26 - – Λειτουργικό Κόστος κάθε βαθμίδας της επεξεργασίας ιλύος ΕΕΛ#1

	Ηλεκτρική Ενέργεια	Πολυ ηλεκτρολύτης	Επιπλέον Προσωπικό	Μεταφορά και Διάθεση αφυδατωμένης ιλύος	Συντήρηση
Συμβατική επεξεργασία	75.490 EURO	110.700 EURO	0 EURO	1.326.105 EURO	166.674 EURO
Θερμική Υδρόλυση	-19.133 EURO	106.321 EURO	30.000 EURO	1.166.964 EURO	251.682 EURO

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης οδηγεί σε μείωση του ετήσιου λειτουργικού κόστους όσον αφορά την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών (παρουσιάστηκε αναλυτικότερα σε προηγούμενο υποκεφάλαιο), την κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη και τη μεταφορά και διάθεση της αφυδατωμένης ιλύος, σε ποσοστά 125%, 4% και 12% αντίστοιχα. Αύξηση παρατηρείται στο κόστος του επιπλέον προσωπικού καθώς και στο κόστος συντήρησης, κατά 51%.

Αθροιστικά, ετησίως το λειτουργικό κόστος στην περίπτωση εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης είναι μειωμένο κατά 143.136 EURO συγκρινόμενο με το αντίστοιχο λειτουργικό κόστος της συμβατικής επεξεργασίας ιλύος.

4.4.2.5 Τελική Αποτίμηση

Όπως ήδη έχει υπολογιστεί η διαφορά του συνολικού κόστους επένδυσης των Σεναρίων Α' και Β' (Κόστος Επένδυσης Σεναρίου Β' – Κόστος Επένδυσης Σεναρίου Α') ανάγεται ετησίως σε 142.631 EURO, με το Σενάριο της συμβατικής επεξεργασίας να είναι το πιο οικονομικό. Όσον αφορά το ετήσιο λειτουργικό κόστος, τα οικονομικά στοιχεία είναι πιο ευνοϊκά για το Σενάριο της θερμικής υδρόλυσης (κατά 143.136 EURO χαμηλότερο το ετήσιο λειτουργικό κόστος του Σεναρίου Β' έναντι του Σεναρίου Α').

Η απόσβεση του κεφαλαίου για εγκατάσταση της μονάδας θερμικής υδρόλυσης και της προ-αφυδάτωσης είναι περίπου 17,6 έτη (*), δηλ. μεγαλύτερο από τη διάρκεια ζωής του Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός δεν προλαβαίνει να αποσβεστεί κατά τη διάρκεια ζωής του.

(*) Απόσβεση μονάδας προ-αφυδάτωσης και εγκατάστασης θερμικής υδρόλυσης =

$$= \frac{\text{Κόστος Επένδυσης Προ - αφυδάτωσης} + \text{Κόστος Επένδυσης Θερμ. Υδρόλυσης}}{\text{Διαφορά Ετήσιου Λειτουργικού Κόστους (Σενάριο Β' - Σενάριο Α')}} =$$

$$= \frac{640.000 + 1.874.600}{|-143.136|} = 17,6 \text{ \acute{e}\tau\eta}$$

Συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #1 είναι οικονομικά ασύμφορη και θα μπορούσε να εφαρμοστεί μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, π.χ. αξιοποίηση ιλύος στη γεωργία όπου αξιοποιείται και το πρόσθετο πλεονέκτημα της υγειονομοποίησης

4.4.3 Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #2

4.4.3.1 Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στον Πίνακα 4.27 φαίνεται ετησίως η διαθέσιμη και η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καθώς και το έλλειμα/περίσσεια που παρουσιάζεται.

Πίνακας 4.27 - Γενικά Στοιχεία Ηλεκτρικής Ενέργειας ΕΕΛ #2

	Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια		Διαθέσιμη Ηλ. Ενέργεια	Έλλειμα / Περίσσεια ?
	Επεξεργασία Ιλύος	Λοιπές Ανάγκες		
Συμβατική επεξεργασία	3.823,3 MWh/έτος	20.000 MWh/έτος	15.812,3 MWh/έτος	ΕΛΛΕΙΜΑ 8.011 MWh/έτος
Θερμική Υδρόλυση	3.820,5 MWh/έτος	20.000 MWh/έτος	18.798,0 MWh/έτος	ΕΛΛΕΙΜΑ 5.022,6 MWh/έτος

Παρατηρείται ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης οδηγεί σε :

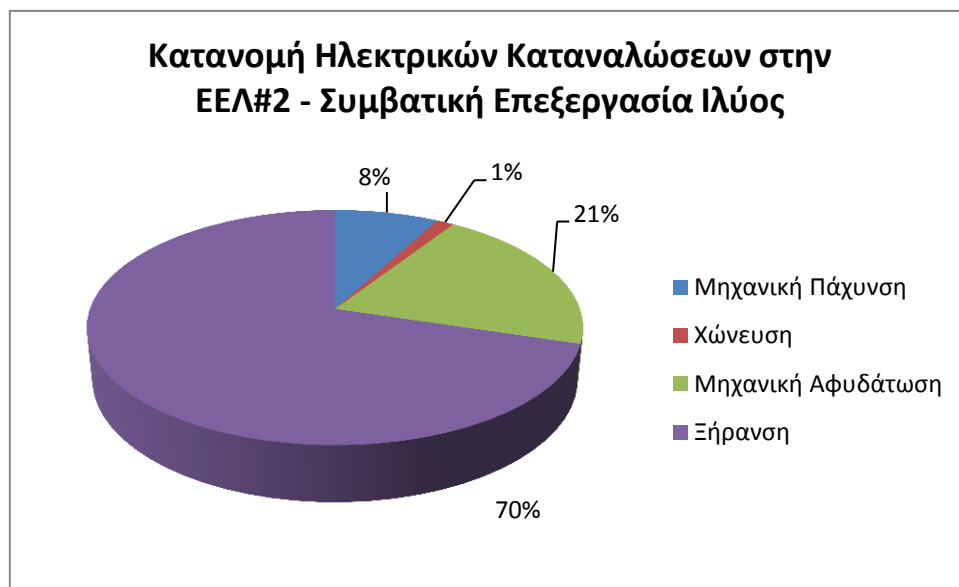
- αμελητέα αύξηση της απαίτησης σε ηλεκτρική ενέργεια
- αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 19%.

Σε καμία από τις δύο περιπτώσεις δεν επαρκεί η παραγόμενη από τη ΣΗΘΕ ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των αντίστοιχων αναγκών. Στο Σενάριο της θερμικής υδρόλυσης η πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται είναι κατά 37% λιγότερη σε σχέση με τη συμβατική περίπτωση.

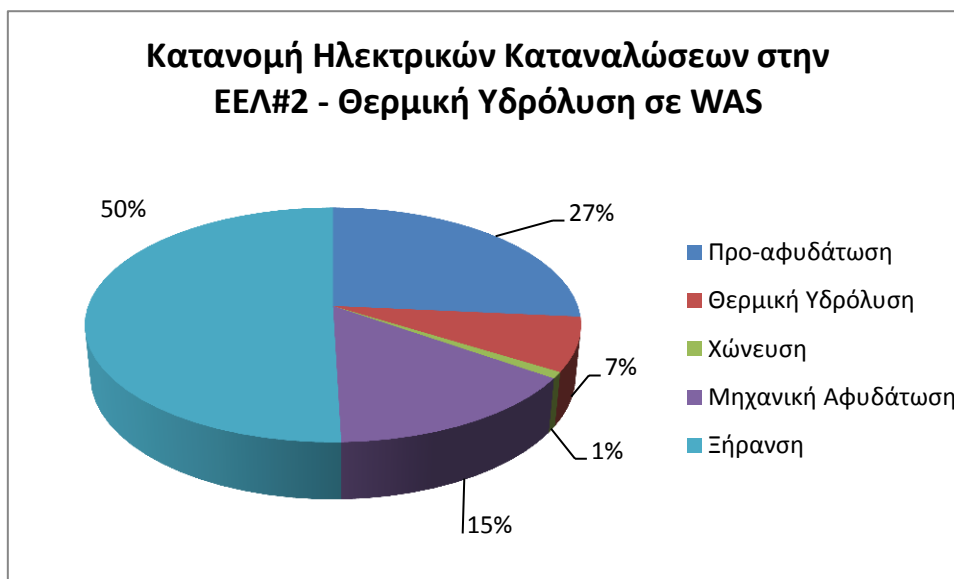
Συνεπώς, σε επίπεδο ηλεκτρικής ενέργειας η εφαρμογή της Θερμικής Υδρόλυσης είναι ωφέλιμη, αφού η αυξημένη διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια να μην δε συμβάλλει σε ενεργειακή αυτονομία της εγκατάστασης, αλλά εξασφαλίζει μεγαλύτερη αυτάρκεια της σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο. Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο είναι αναπόφευκτη και στις δύο περιπτώσεις.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.27 η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τις λοιπές ανάγκες της εγκατάστασης (πλην της επεξεργασίας ιλύος) δεν εξαρτάται από τη μέθοδο επεξεργασίας της ιλύος. Στις Εικόνες 4.6 και 4.7 απεικονίζεται ο καταμερισμός της ηλεκτρικής ενέργειας στις επιμέρους ανάγκες, και στον Πίνακα 4.28 δίνονται οι απόλυτες τιμές.

Εικόνα 4.6 - Κατανομή Ηλεκτρικών Καταναλώσεων στην ΕΕΛ#2 - Συμβατική Επεξεργασία Ιλύος



Εικόνα 4.7 - Κατανομή Ηλεκτρικών Καταναλώσεων στην ΕΕΛ#2 - Θερμική Υδρόλυση σε WAS



Πίνακας 4.28 - Στοιχεία Ηλεκτρικής Ενέργειας για επεξεργασία ιλύος ΕΕΛ #2

	Μηχανική Πάχυνση	Προ-αφυδάτωση	Θερμική Υδρόλυση	Χώνευση	Μηχανική αφυδάτωση	Θερμική Ξήρανση
Συμβατική επεξεργασία	303.84,5 kWh/έτος	-	-	45.732 kWh/έτος	783.830 kWh/έτος	2.690.071,8 kWh/έτος
Θερμική Υδρόλυση	-	1.012.282 kWh/έτος	283.439 kWh/έτος	33.024 kWh/έτος	564.313 kWh/έτος	1.927.399 kWh/έτος

Αξιοποιώντας τα παραπάνω παρατηρούμε ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης

- απαιτεί μεν αυξημένη ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των αναγκών της προ-αφυδάτωσης και της θερμικής υδρόλυσης
- από την άλλη οδηγεί σε μείωση των ηλεκτρικών καταναλώσεων της χώνευσης, της μηχανικής αφυδάτωσης και της θερμικής ξήρανσης κατά 28%.

Τα παραπάνω έρχονται να επιβεβαιώσουν τις εγγυήσεις της CAMBI σε ό,τι αφορά την αυξημένη αποτελεσματικότητα της χώνευσης και τη βελτιωμένη αφυδατωσιμότητα της ιλύος, έπειτα από εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης. Πράγματι, η ιλύς καθίσταται ευκολότερα βιοδιασπάσιμη και αφυδατώσιμη, γεγονός που αποτυπώνεται και στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.”

4.4.3.2 Κατανάλωση Θερμικής Ενέργειας

Στον Πίνακα 4.29 φαίνεται ετησίως η διαθέσιμη και η απαιτούμενη θερμική ενέργεια καθώς και το έλλειμα/περίσσεια που παρουσιάζεται.

Πίνακας 4.29 - Γενικά Στοιχεία Θερμικής Ενέργειας ΕΕΛ #2

	Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια		Διαθέσιμη Θερμική Ενέργεια		Έλλειμα / Περίσσεια ?
	Υψηλής Ενθαλπίας	Χαμηλής Ενθαλπίας	Υψηλής Ενθαλπίας	Χαμηλής Ενθαλπίας	
Συμβατική επεξεργασία	34.586,6 MWh/έτος	9.399 MWh/έτος	8.021,5 MWh/έτος	5.347,6 MWh/έτος	ΕΛΛΕΙΜΑ 30.616,7 MWh/έτος (Υψ) 0 MWh/έτος (Χαμ)
Θερμική Υδρόλυση	30.987 MWh/έτος	0 MWh/έτος	9.536 MWh/έτος	6.357,3 MWh/έτος	ΕΛΛΕΙΜΑ 24.780,8 MWh/έτος (Υψ) ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ 6.357,3 MWh/έτος (Χαμ)

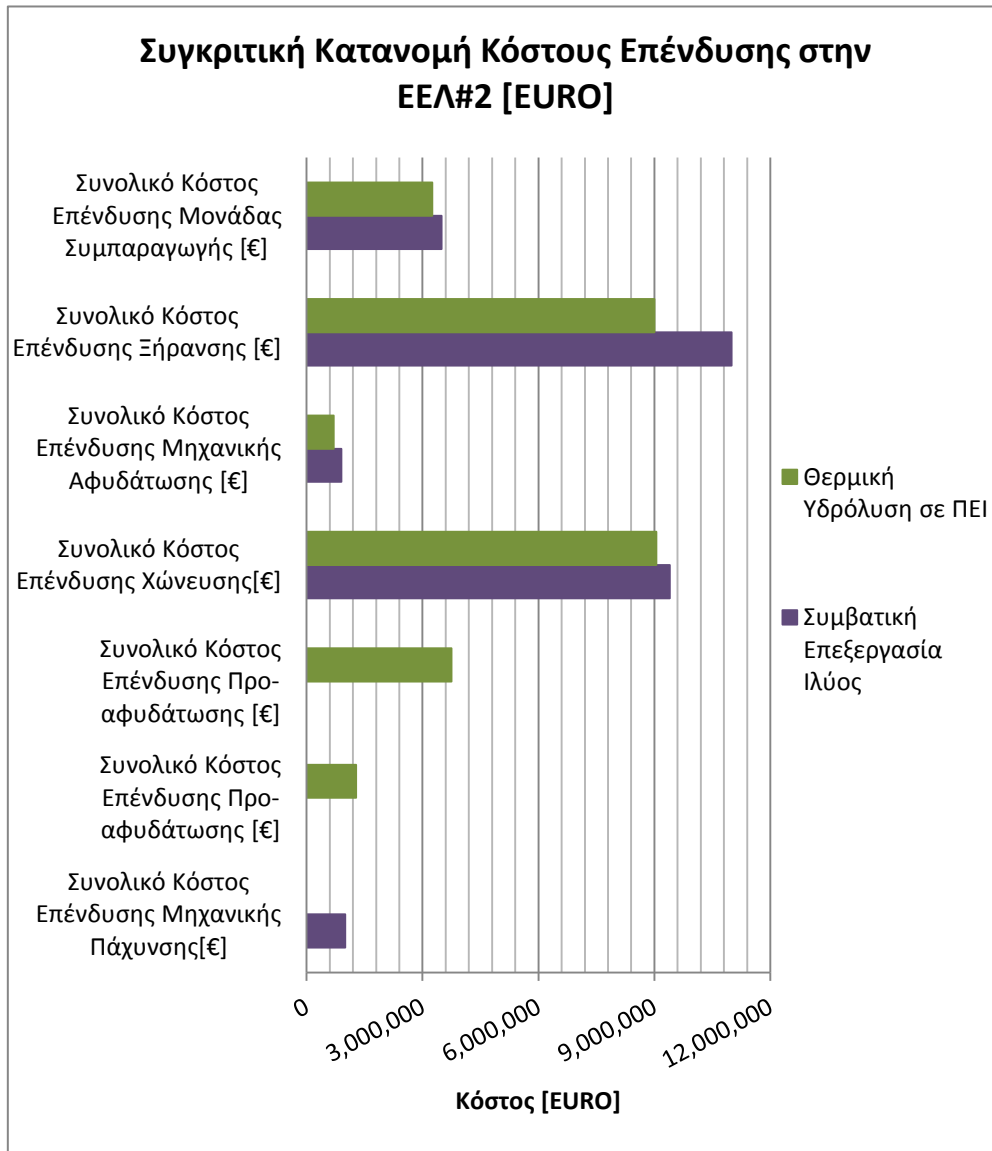
Παρατηρείται ότι η παραγόμενη θερμική ενέργεια από τη μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας δεν επαρκεί για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της ΕΕΛ, σε ό,τι αφορά την επεξεργασία ιλύος. Σε αυτή την περίπτωση για την κάλυψη των πρόσθετων θερμικών αναγκών επιλέγεται η αγορά και χρήση φυσικού αερίου. Για την μεν συμβατική επεξεργασία απαιτούνται 2.992.831 Nm³/έτος φυσικό αέριο ετησίως, για τη δε θερμική υδρόλυση 2.422.370 Nm³/έτος φυσικό αέριο. Στο Σενάριο Β', λοιπόν, απαιτείται μικρότερη ποσότητα φυσικού αερίου για την κάλυψη των συμπληρωματικών αναγκών της εγκατάστασης.

Επίσης, όπως αναφέρθηκε ήδη στο υποκεφάλαιο 4.4.2.2, η περίσσεια θερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω εντός ή εκτός της εγκατάστασης, αυξάνοντας τα ωφέλη.

4.4.3.3 Κόστος Επένδυσης

Στην Εικόνα 4.8 και τον Πίνακα 4.30 δίνεται το κόστος επένδυσης σε EURO για κάθε βαθμίδα της επεξεργασίας ιλύος.

Εικόνα 4.8 - Συγκριτική Κατανομή Κόστους Επένδυσης στην ΕΕΛ #2



Πίνακας 4.30 - Κόστος επένδυσης κάθε βαθμίδας της επεξεργασίας ιλύος ΕΕΛ#2

	Μηχανική Πάχυνση	Προ-αφυδάτωση	Θερμική Υδρόλυση	Χώνευση	Μηχανική ή Αφυδάτωση	Θερμική Ξήρανση	Μονάδα ΣΗΘΕ
Συμβατική επεξεργασία	1.000.000 EURO	-	-	9.396.975 EURO	900.000 EURO	11.000.000 EURO	3.492.000 EURO
Θερμική Υδρόλυση	-	1.280.000 EURO	3.749.200 EURO	9.047.787 EURO	700.000 EURO	9.000.000 EURO	3.252.000 EURO

Είναι κατανοητό ότι το κόστος επένδυσης στην περίπτωση εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης είναι αυξημένο σε σχέση με τη συμβατική επεξεργασία της ιλύος. Στην αύξηση του κόστους επένδυσης συμβάλλουν τόσο η μονάδα της προ-αφυδάτωσης, όσο και η μονάδα θερμικής υδρόλυσης. Από την άλλη, ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης οδηγεί σε τέτοιο σχεδιασμό, που συμβάλλει στη μείωση του κόστους επένδυσης της χώνευσης, της μηχανικής αφυδάτωσης, της θερμικής ξήρανσης και της πλήρους μονάδας συμπαράγωγής κατά 4%, 22%, 18% και 6,8% αντίστοιχα.

Αθροιστικά, το απαιτούμενο κόστος επένδυσης για το Σενάριο Α' είναι 25.788.975 EURO και για το Σενάριο Β' 27.028.987 EURO.

Για κάθε βαθμίδα επεξεργασίας μπορεί να υπολογιστεί η διαφορά στο κόστος επένδυσης μεταξύ των δύο εναλλακτικών σεναρίων και η τιμή που θα υπολογιστεί να αναχθεί σε ετήσια παρούσα αξία. Χρησιμοποιώντας επιτόκιο 5% καθώς επίσης διάρκεια ζωής των έργων Πολιτικού Μηχανικού ίση με 25 έτη και του Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ίση με 15 έτη, προκύπτει τελικά ότι η παρούσα αξία της διαφοράς του κόστους επένδυσης (Σενάριο θερμικής υδρόλυσης – Σενάριο συμβατικής επεξεργασίας) ισούται με 125.228 EURO (*) ετησίως (το κόστος επένδυσης για το Σενάριο της θερμικής υδρόλυσης προκύπτει αυξημένο συγκρινόμενο με το Σενάριο συμβατικής επεξεργασίας ιλύος, όπως ήταν αναμενόμενο).

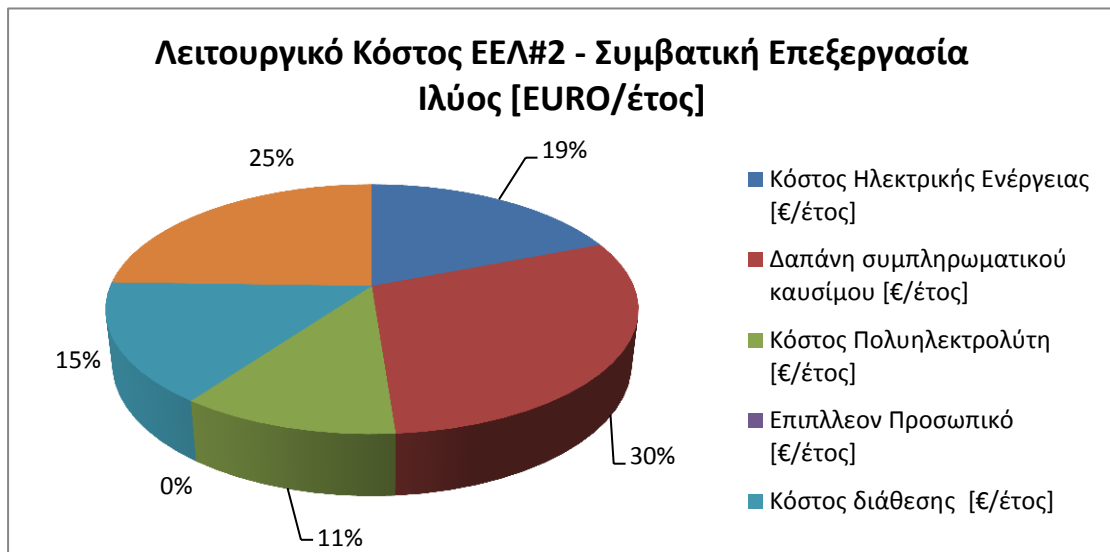
(*) Παρούσα αξία διαφοράς κόστους επένδυσης (Σενάριο θερμικής υδρόλυσης – Σενάριο συμβατικής επεξεργασίας) =

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{\text{διάρκεια ζωής H/M}}}{(1 + 5\%)^{\text{διάρκεια ζωής H/M}} - 1} \times (\text{Διαφορά Κόστους Επένδυσης έργων H/M}) \\
 &+ \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{\text{διάρκεια ζωής ΠΜ}}}{(1 + 5\%)^{\text{διάρκεια ζωής ΠΜ}} - 1} \times (\text{Διαφορά Κόστους Επένδυσης έργων ΠΜ}) = \\
 \\
 &= \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{15}}{(1 + 5\%)^{15} - 1} \times (\text{Μηχ. Πάχυνση} + \text{Προ-αφυδάτωση} + \text{Θερμ. Υδρόλυση} \\
 &\quad + 35\% \times \text{Χώνευση} + \text{Μηχ. Αφυδάτωση} + \text{Ξήρανση} + \text{Μονάδα ΣΗΘΕ}) \\
 &\quad + \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{25}}{(1 + 5\%)^{25} - 1} \times (65\% \times \text{Χώνευση}) = \\
 \\
 &= \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{15}}{(1 + 5\%)^{15} - 1} \times (-1.000.000 + 1.280.000 + 3.749.200 + 35\% \times (-349.188) \\
 &\quad - 200.000 - 2.000.000 - 240.000) \\
 &\quad + \frac{5\% \times (1 + 5\%)^{25}}{(1 + 5\%)^{25} - 1} \times (65\% \times (-349.188)) = 125.228 \text{ €/έτος}
 \end{aligned}$$

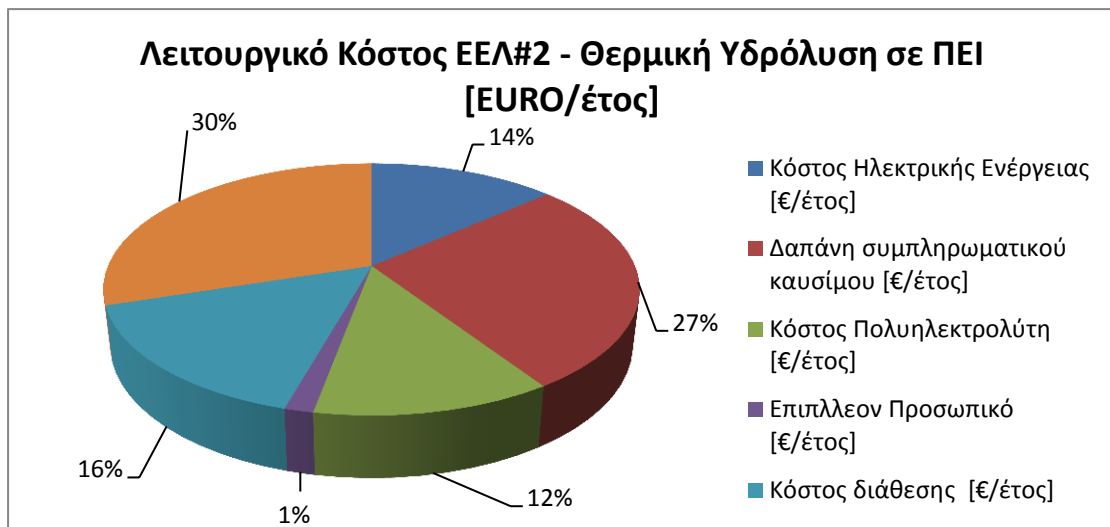
4.4.3.4 Λειτουργικό Κόστος

Στις Εικόνες 4.9 και 4.10 και στον Πίνακα 4.31 δίνονται τα στοιχεία σχετικά με το λειτουργικό κόστος των διαδικασιών της επεξεργασίας ιλύος. Παρατίθενται τόσο ο επιμερισμός του συνολικού ετήσιου λειτουργικού κόστους στις διάφορες διαδικασίες όσο και τα απόλυτα μεγέθη των τιμών.

Εικόνα 4.9 - Κατανομή λειτουργικού κόστους ΕΕΛ#2 - Συμβατική Επεξεργασία Ιλύος



Εικόνα 4.10 - Κατανομή λειτουργικού κόστους ΕΕΛ#2 - Θερμική Υδρόλυση σε WAS



Πίνακας 4.31- – Λειτουργικό Κόστος κάθε βαθμίδας της επεξεργασίας ιλύος ΕΕΛ#2

	Ηλεκτρική Ενέργεια	Φυσικό Αέριο	Πολυ ηλεκτρολύτης	Επιπλέον Προσωπικό	Μεταφορά και Διάθεση ξηραμένης ιλύος	Συντήρηση
Συμβατική επεξεργασία	881.210 EURO	1.377.750 EURO	517.241 EURO	0 EURO	716.970 EURO	1.134.686 EURO
Θερμική Υδρόλυση	552.481 EURO	1.115.138 EURO	500.016 EURO	60.000 EURO	641.753 EURO	1.227.236 EURO

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης οδηγεί σε μείωση του συνολικού ετήσιου λειτουργικού κόστους. Αύξηση παρατηρείται μόνο στο επιμέρους ετήσιο κόστος του προσωπικού και της συντήρησης.

Αθροιστικά, ετησίως το λειτουργικό κόστος στην περίπτωση εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης είναι μειωμένο κατά 531.232 EURO συγκρινόμενο με το αντίστοιχο λειτουργικό κόστος της συμβατικής επεξεργασίας ιλύος.

4.4.3.5 Τελική Αποτίμηση

Όπως ήδη έχει υπολογιστεί η διαφορά του κόστους επένδυσης μεταξύ των δύο σεναρίων (Σενάριο Β' – Σενάριο Α') ανάγεται ετησίως σε 125.228 EURO (το Σενάριο Β' έχει υψηλότερο κόστος επένδυσης σε σχέση με το Σενάριο Α'). Το ετήσιο λειτουργικό κόστος του σεναρίου της θερμικής υδρόλυσης είναι κατά 531.232 EURO μειωμένο σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος του Σεναρίου Β'. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης είναι οικονομικά συμφέρουσα

Η απόσβεση του κεφαλαίου για εγκατάσταση της μονάδας θερμικής υδρόλυσης και της προ-αφυδάτωσης είναι περίπου 9,5 έτη (*), δηλ. μικρότερο από τη διάρκεια ζωής του Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Συνεπώς, ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός της μονάδας προ-αφυδάτωσης και της εγκατάστασης θερμικής υδρόλυσης προλαβαίνει να αποσβεστεί στο 63% περίπου της διάρκειας ζωής του.

(*) Απόσβεση μονάδας προ-αφυδάτωσης και εγκατάστασης θερμικής υδρόλυσης =

$$= \frac{\text{Κόστος Επένδυσης Προ – αφυδάτωσης} + \text{Κόστος Επένδυσης Θερμ. Υδρόλυσης}}{\text{Διαφορά Ετήσιου Λειτουργικού Κόστους (Σενάριο Β' – Σενάριο Α')}} =$$

$$= \frac{1.280.000 + 3.749.200}{|-531.232|} = 9,5 \text{ \acute{e}\tau\eta}$$

Συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων #2 είναι οικονομοτεχνικά σκόπιμη.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας Μεταπτυχιακής Εργασίας είναι η αξιολόγηση της εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης, μεθόδου προεπεξεργασίας της ιλύος ανάντη της αναερόβιας χώνευσης. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέχθηκε μεταξύ πληθώρας εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας ιλύος, ως η πιο διαδεδομένη και αποτελεσματική. Εξετάζεται η σκοπιμότητα εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης σε Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων με χαρακτηριστικά παρόμοια των ΕΕΛ της χώρας μας. Να επισημανθεί ότι οι όποιες παραδοχές πραγματοποιήθηκαν βασίζονται στις εγγυήσεις της CAMBI, ένας από τους κυριότερους παρόχους της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Για τους σκοπούς της Μεταπτυχιακής Εργασίας εξετάστηκαν σε δύο διαφορετικής δυναμικότητας Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων :

- *Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων ΕΕΛ#1*, η οποία εξυπηρετεί 130.000 ι.κ. και επεξεργάζεται ημερησίως 39.500 m³/d
- *Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων ΕΕΛ#2*, η οποία εξυπηρετεί 1.000.000 ι.κ. και επεξεργάζεται ημερησίως 160.000 m³/d

τα ακόλουθα εναλλακτικά σενάρια :

- Σενάριο Α' – Συμβατική επεξεργασία ιλύος
- Σενάριο Β' – Εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης στην περίσσεια ενεργού ιλύος.

Πιο συγκεκριμένα, έγιναν :

- η διαστασιολόγηση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και για τα δύο σενάρια, η οποία βασίστηκε στους λεπτομερείς Υγιεινολογικούς Υπολογισμούς,
- η διαστασιολόγηση των μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, η οποία βασίστηκε στην παραγωγή του διαθέσιμου βιοαερίου και στους Ενεργειακούς Υπολογισμούς
- η εκτίμηση του κόστους επένδυσης και του ετήσιου λειτουργικού κόστους για κάθε σενάριο και κάθε εγκατάσταση, η οποία βασίστηκε σε προσφορές προμηθευτών, στοιχεία από τη βιβλιογραφία και από μηχανικούς με πολυετή εμπειρία σε σχετικά έργα.

Η CAMBI, ως προμηθευτής του εξοπλισμού και της τεχνογνωσίας της θερμικής υδρόλυσης, εγγυάται ορισμένες αποδόσεις. Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία, χρησιμοποιώντας τα

βασικά λειτουργικά στοιχεία και παραμέτρους της CAMBI, κατέληξε σε χρήσιμα συμπεράσματα που επιβεβαιώνουν την τεχνική αρτιότητα της θερμικής υδρόλυσης. Πιο συγκεκριμένα, οδηγεί σε :

- αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου, έως και 20%, άρα και αύξηση της διαθέσιμης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (εδώ γίνεται η υπόθεση ότι το βιοαέριο που παράγεται καίγεται σε μονάδα ΣΗΘΕ)
- μείωση της συγκέντρωσης των οργανικών στερεών στο τελικό προϊόν, και άρα επίτευξη ομογενοποίησης
- μείωση του απαιτούμενου όγκου των χωνευτών, σε ποσοστό 40%.
- μείωση του παραγόμενου τελικού προϊόντος (αφυδατωμένη ή ξηραμένη ιλύς), έως και 12%.
- μείωση του απαιτούμενου πολυηλεκτρολύτη και
- μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για αφυδάτωση/ξήρανση.

Από την οικονομοτεχνική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προέκυψαν τα εξής χρήσιμα συμπεράσματα για την εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης.

- Στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων *μεσαίας και μεγάλης δυναμικότητας* (για τα ελληνικά δεδομένα) η θερμική υδρόλυση είναι οικονομικά συμφέρουσα (απόσβεση σε περίπου 9,5 έτη), ειδικά όταν συνδυάζεται με θερμική ξήρανση. Για εγκαταστάσεις *μικρότερου εξυπηρετούμενου πληθυσμού* (για τα ελληνικά δεδομένα), ο χρόνος απόσβεσης αυξάνει σημαντικά (>15 έτη), κυρίως λόγω του δυσανάλογα υψηλού κόστους επένδυσης.
- Παρόλ' αυτά η εφαρμογή της θερμικής υδρόλυσης παρουσιάζει και πρόσθετα πλεονεκτήματα (υγιειονοποίηση, μείωση της παραγωγής ιλύος κτλ.) που αποκτούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε περιπτώσεις αξιοποίησης ιλύος ως εδαφοβελτιωτικό.
- Σε κάθε περίπτωση, προκύπτει ότι η σκοπιμότητα εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης θα πρέπει να εξετάζεται κατά περίπτωση, διότι επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων, το γενικότερο σύστημα επεξεργασίας (ξήρανση, συμπαραγωγή), καθώς επίσης και τις οικονομικές παραμέτρους, όπως η τιμή μονάδος του φυσικού αερίου, της ηλεκτρικής ενέργειας κτλ.

Σημαντικό ζήτημα αποτελεί η διαχείριση και επεξεργασία των στραγγιδίων. Στις τυπικές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων τα στραγγίδια από την επεξεργασία της ιλύος

επιστρέφουν στην είσοδο της εγκατάστασης για περαιτέρω επεξεργασία, χωρίς ιδιαίτερη επιβάρυνση της βιολογικής επεξεργασίας (τα φορτία αμμωνίας από τις επιστροφές είναι περίπου ίσα με το 15% των εισερχόμενων με τα λύματα). Στην περίπτωση εφαρμογής της θερμικής υδρόλυσης, σημειώνεται αύξηση συγκέντρωσης της αμμωνίας στα στραγγίδια που είναι ανάλογη της αύξησης του ποσοστού διάσπασης των οργανικών στερεών της περίσσειας ενεργού ιλύος, δηλ. 20-30%. Ως εκ τούτου, προκύπτει ότι επιπλέον διακριτή επεξεργασία των στραγγιδίων εξαρτάται από τα περιθώρια της εγκατάστασης.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- [1] Hai-ping Yuan, Xiao-fei Yan, Cai-feng Yang, Nan-wen Zhu, 2011. Enhancement of waste activated sludge dewaterability by electro-chemical pretreatment. *Journal of Hazardous Materials*
- [2] Javkhlan Ariunbaatar, Antonio Panico, Giovanni Esposito, Francesco Pirozzi, Piet N.L. Lens, 2014. Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. *Applied Energy*
- [3] Guangyin Zhen, Xueqin Lu, Yu-You Li, Youcai Zhao, 2014. Combined electrical-alkali pretreatment to increase the anaerobic hydrolysis rate of waste activated sludge during anaerobic digestion. *Applied Energy*.
- [4] J. Abelleiraa, S.I. Perez-Elvirab, J. Sanchez-Onetoo, J.R. Portelaa, E. Nebotc, 2011. Advanced Thermal Hydrolysis of secondary sewage sludge: A novel process combining thermal hydrolysis and hydrogen peroxide addition. *Resources, Conservation and Recycling*.
- [5] Huan Li, Chenchen Li, Wenjie Liu, Shuxin Zou, 2012. Optimized alkaline pretreatment of sludge before anaerobic digestion. *Bioresource Technology*.
- [6] Joo-Hyun Jang, Johng-Hwa Ahn, 2012. Effect of microwave pretreatment in presence of NaOH on mesophilic anaerobic digestion of thickened waste activated sludge. *Bioresource Technology*
- [7] Gaoqiang Su, Mingxin Huo, Zhiguo Yuan, Shuying Wang, Yongzhen Peng, 2013. Hydrolysis, acidification and dewaterability of waste activated sludge under alkaline conditions: Combined effects of NaOH and Ca(OH)₂. *Bioresource Technology*.
- [8] S. Kavitha, S. Adish Kumar, S. Kaliappan, Ick Tae Yeom, J. Rajesh Banu, 2014. Improving the amenability of municipal waste activated sludge for biological pretreatment by phase-separated sludge disintegration method. *Bioresource Technology*.
- [9] H. Carrere, Y. Rafrafi, A. Battimelli, M. Torrijos, J.P. Delgenes, C. Motte, 2012. Improving methane production during the codigestion of waste-activated sludge and fatty

wastewater: Impact of thermo-alkaline pretreatment on batch and semi-continuous processes. Chemical Engineering Journal.

[10] Seth Apollo, Maurice S. Onyango, Aoyi Ochieng, 2014. Integrated UV photodegradation and anaerobic digestion of textile dye for efficient biogas production using zeolite. Chemical Engineering Journal.

[11] Maria Ruiz-Hernando, Francesc-Xavier Simón, Jordi Labanda, Joan Llorens, 2014. Effect of ultrasound, thermal and alkali treatments on the rheological profile and water distribution of waste activated sludge. Chemical Engineering Journal.

[12] Jianbo Xu, Haiping Yuan, Jinxian Lin, wenxiang Yuan, 2014. Evaluation of thermal, thermal-alkaline, alkaline and electrochemical pretreatments on sludge to enhance anaerobic biogas production. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.

[13] H. Carrere, C. Dumas, A. Battimelli, D.J. Batstone, J.P. Delgenes, J.P. Steyer, I. Ferrera,c, 2010. Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: A review. Journal of Hazardous Materials.

[14] E. Neyens, J. Baeyens, 2002. A review of thermal sludge pre-treatment processes to improve dewaterability. Journal of Hazardous Materials B98 (2003) 51–67.

[15] Keith Panter, Domènec Jolis, Odd Egil Solheim, Thomas Seyffarth, Tor Fjaergard, Gjermund Sorensen, n.d. THYPAD – FROM PILOT TO FULL SCALE APPLICATION AT HAMAR WWTP.

[16] Yadvika, Santosh, T.R. Sreerishnan, Sangeeta Kohli, Vineet Rana, 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. Bioresource Technology 95 (2004) 1–10.

[17] Bao Yu, Jianbo Xu, Haiping Yuan, Ziyang Lou, Jinxian Lin, Nanwen Zhu, 2014. Enhancement of anaerobic digestion of waste activated sludge by electrochemical pretreatment. Fuel

[18]

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%AF%CE%B1>

[19] Ανδρεαδάκης Α., Σημειώσεις μαθήματος *Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων και Ιλύος*, Αθήνα ΕΜΠ, 2009

http://mycourses.ntua.gr/courses/PSTGR1041/document/%CA%E5%DF%EC%E5%ED%E1/%C4%E9%E1%F7%E5%DF%F1%E9%F3%E7_%C9%EB%FD%EF%F2/%D3%E7%EC%E5%E9%FE%F3%E5%E9%F2-%B6%F1%E8%F1%E1/%C4%C9%C1%D7%C5%C9%D1%C9%D3%C7_%C9%CB%D5%CF%D3.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' – ΥΓΙΕΙΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

ΕΕΛ #1 – Σενάριο Α'

Χειμώνας

ΠΑΧΥΝΣΗ			
1. Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος			
<u>Διαστασιολόγηση Παχυντή Πρωτοβάθμιας Ιλύος</u>			
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma}$	= 6,091	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma}$	= 4,568	kgVSS/d
Φόρτιση Στερεών		100	kg SS/m ² -d
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\Pi\Pi,tot}$	= 60.91	m ²
<i>ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ</i>		2	παχυντές
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\Pi\Pi}$	= 30.45	m ²
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος παχυντή βαρύτητας	D_{min}	= 6.23	m
Διάμετρος παχυντή βαρύτητας	D	= 6.50	m
Πλευρικό Βάθος	$H_{\pi\lambda\epsilon\upsilon\pi}$	= 4.00	m
Κλίση πυθμένα		1/6	
<u>Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς</u>			
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\Pi,SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma}$	= 6,091	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\Pi,VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma}$	= 4,568	kgVSS/d
Συγκέντρωση στερεών ΠΠ		5%	<i>ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ</i>
Παροχή ΠΠ	$Q_{\Pi,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma}$	= 121.82	m ³ /d
Μάζα ΠΠ	$M_{\Pi,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma}$	= 121,818	kg/d
Στραγγίδια			
Παροχή στραγγιδίων από παχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος	$Q_{\sigma\tau\rho\alpha\gamma,\pi\alpha\chi\upsilon\sigma\eta\varsigma}$	= 284	m ³ /d
			9
2. Πάχυνση Βιολογικής Ιλύος			
<u>Διαστασιολόγηση Μηχανικού Παχυντή</u>			
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{SS,β\iota\omicron\lambda}$	= 4,689	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{VSS,β\iota\omicron\lambda}$	= 3,241	kg VSS/d
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα		5	days
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα		16	hours
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος		32,823	kg TSS/week
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας		410	kg TSS/h
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη		5	kg/tn DS
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)		2.05	kg/h
Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη		3.00	E/kg πολυηλεκτρολύτη
<u>Παχυμένη βιολογική ιλύς</u>			
Συγκέντρωση στερεών Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος		5%	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{\Pi,SS}$	= 4,689	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{\Pi,VSS}$	= 3,241	kg TSS/d
Παροχή Εξόδου Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\Pi,β\iota\omicron\lambda}$	= 94	m ³ /d
Στραγγίδια			
Παροχή ΠΕΙ προς πάχυνση	Q_{WAS}	= 586	m ³ /d
Παροχή Εξόδου Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\Pi,β\iota\omicron\lambda}$	= 94	m ³ /d
Παροχή στραγγιδίων από παχυνση ΠΕΙ	$Q_{\sigma\tau\rho\alpha\gamma,\pi\alpha\chi\upsilon\sigma\eta\varsigma}$	= 492	m ³ /d
			12

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΧΩΝΕΥΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Χωνευτή</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Παροχή Εισόδου ΠΠ	122	m ³ /d	
<u>Παχυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Παροχή Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	94	m ³ /d	
Χρόνος παραμονής	20	days	
Ελάχιστος απαιτούμενος όγκος χωνευτή	4,312	m ³	
Πλήθος χωνευτών	2	χωνευτές	ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ
Ύψος χωνευτή	17	m	
Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια κάθε χωνευτή	126.82	m ²	
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος κάθε χωνευτή	12.71	m	
Διάμετρος κάθε χωνευτή	13.00	m	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
	4,513	m ³	
Χρόνος παραμονής, ΤΕΛΙΚΑ	20.9	days	
<u>Παραγωγή βιοαερίου</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Μάζα SS ΠΠ	6,091	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΠ	4,568	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	2,512	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	3,578	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	2,056	kgVSS/d	
<u>Παχυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Μάζα SS ΠΒΙ	4,689	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΒΙ	3,241	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	30%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	972	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	3,717	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	2,269	kgVSS/d	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από Πρωτοβάθμια Ιλύς	0.9479	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από ΠΒΙ	0.7930	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Συνολικά παραγόμενο βιοαέριο	3,153	m ³ βιοαέριο/d	
<u>Παραγωγή Χωνεμένης Ιλύος</u>			
Μάζα SS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	7,295	kgSS/d	
Μάζα VSS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	4,324	kgVSS/d	
Παροχή Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	216	m ³ /d	
Συγκέντρωση στερεών SS Χωνεμένης Ιλύος	3.38%		
	59.28%		
ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Φυγοκεντρική</u>			
Παροχή εισόδου	216	m ³ /d	
Μάζα SS εισόδου	7,295	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	4,324	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	7,295	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	4,324	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Αφυδατωμένης Ιλύος	25%		
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	29	m ³ /d	
Μάζα Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	29180	kg/d	
Μάζα Νερού Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	21885	kg/d	
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα	5	days	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα	16	hours	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος	51,065	kg TSS/week	
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας	638	kg TSS/h	
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη	10	kg/tn DS	
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)	6.38	kg/h	
Τιμή μονάδας πολυηλεκτρολύτη	3.00	€/kg πολυηλεκτρολύτη	
<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή ιλύος προς αφυδάτωση	216	m ³ /d	
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	29	m ³ /d	
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	186	m ³ /d	15
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ			
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	963	m ³ /d	

Θέρος

ΠΑΧΥΝΣΗ			
1. Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος			
<u>Διαστασιολόγηση Παχυντή Πρωτοβάθμιας Ιλύος</u>			
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	6,091	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	4,568	kgVSS/d
Φόρτιση Στερεών		100	kg SS/m ² -d
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\eta\pi\iota,tot} =$	60.91	m ²
<i>ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ</i>		2	παχυντές
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\eta\pi\iota} =$	30.45	m ²
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D_{min} =$	6.23	m
Διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D =$	6.50	m
Πλευρικό Βάθος	$H_{\pi\lambda\epsilon\upsilon\rho} =$	4.00	m
Κλίση πυθμένα		1/6	
<u>Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς</u>			
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\pi,SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	6,091	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\pi,VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	4,568	kgVSS/d
Συγκέντρωση στερεών ΠΠ		5%	
Παροχή ΠΠ	$Q_{\pi,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	122	m ³ /d
Μάζα ΠΠ	$M_{\pi,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	121,818	kg/d
Στραγγίδια			
Παροχή στραγγιδίων από παχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος	$Q_{στ\pi\alpha\gamma,παχ\upsilon\sigma\eta\varsigma} =$	284	m ³ /d
			9
2. Πάχυνση Βιολογικής Ιλύος			
<u>Διαστασιολόγηση Μηχανικού Παχυντή</u>			
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{SS,β\iota\omicron\lambda} =$	5,081	kg TSS/d
		212	kg/h
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{VSS,β\iota\omicron\lambda} =$	3,634	kg VSS/d
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα		5	days
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα		16	hours
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος		35,567	kg TSS/week
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας		445	kg TSS/h
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη		5	gr/kg TSS
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)		2.22	kg/h
Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη		3.00	Ε/kg πολυηλεκτρολύτη
<u>Παχυμένη βιολογική ιλύς</u>			
Συγκέντρωση στερεών Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος		5%	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{\pi,SS} =$	5,081	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{\pi,VSS} =$	3,634	kg TSS/d
Παροχή Εξόδου Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\pi,β\iota\omicron\lambda} =$	102	m ³ /d
Στραγγίδια			
Παροχή ΠΕΙ προς πάχυνση	$Q_{WAS} =$	635	m ³ /d
Παροχή Εξόδου Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\pi,β\iota\omicron\lambda} =$	102	m ³ /d
Παροχή στραγγιδίων από παχυνση ΠΕΙ	$Q_{στ\pi\alpha\gamma,παχ\upsilon\sigma\eta\varsigma} =$	534	m ³ /d
			12

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΧΩΝΕΥΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Χωνευτή</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Παροχή Εισόδου ΠΠΙ	122	m ³ /d	
<u>Παχυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Παροχή Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	102	m ³ /d	
Χρόνος παραμονής	20	days	
Ελάχιστος απαιτούμενος όγκος χωνευτή	4,469	m ³	
Πλήθος χωνευτών	2	χωνευτές	ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ
Ύψος χωνευτή	17.00	m	
Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια κάθε χωνευτή	131.43	m ²	
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος κάθε χωνευτή	12.94	m	
Διάμετρος κάθε χωνευτή	13.00	m	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ manually
	4,513	m ³	
	20.2	days	
Χρόνος παραμονής, ΤΕΛΙΚΑ			
<u>Παραγωγή βιοαερίου</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Μάζα SS ΠΠΙ	6,091	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΠΙ	4,568	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	2,512	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	3,578	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	2,056	kgVSS/d	
<u>Παχυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Μάζα SS ΠΒΙ	5,081	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΒΙ	3,634	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	30%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	1,090	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	3,991	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	2,544	kgVSS/d	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από Πρωτοβάθμια Ιλύ	0.9479	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από ΠΒΙ	0.7597	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Συνολικά παραγόμενο βιοαέριο	3,210	m ³ βιοαέριο/d	
<u>Παραγωγή Χωνεμένης Ιλύος</u>			
Μάζα SS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	7,569	kgSS/d	
Μάζα VSS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	4,600	kgVSS/d	
Παροχή Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	223	m ³ /d	
Συγκέντρωση στερεών SS Χωνεμένης Ιλύος	3.39%		
	60.77%		
ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Φυγοκεντρική</u>			
Παροχή εισόδου	223	m ³ /d	
Μάζα SS εισόδου	7,569	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	4,600	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	7,569	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	4,600	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Αφυδατωμένης Ιλύος	25%		
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	30	m ³ /d	
Μάζα Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	30,276	kg/d	
Μάζα Νερού Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	22,707	kg/d	
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα	5	days	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα	16	hours	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος	52,984	kg TSS/week	
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας	662	kg TSS/h	
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη	10	gr/kg TSS	
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)	6.62	kg/h	
Τιμή μονάδας πολυηλεκτρολύτη	3.00	€/kg πολυηλεκτρολύτη (
<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή ιλύος προς αφυδάτωση	223	m ³ /d	
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	30	m ³ /d	
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	193	m ³ /d	15
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ			
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	1,011	m ³ /d	

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ			
Επιλέγεται να εγκατασταθεί	Jenbacher Type 2-208		
Ηλεκτρική Ισχύς	$P_{el} =$	249	kW
Βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής ισχύος	$\eta_{el} =$	0.391	
Θερμική ισχύς	$P_{th} =$	293	kW
Βαθμός απόδοσης θερμικής ισχύος	$\eta_{th} =$	0.46	
<i>Βιοαέριο</i>			
Παραγόμενο βιοαέριο		3,210	m ³ βιοαέριο/d
Θερμογόνος δύναμη βιοαερίου		6.477	kWh/m ³ βιοαέριο
Συνολική προσφερόμενη ενέργεια		20,790	kWh/d
<i>Απαιτούμενη Ενέργεια Μηχανής</i>			
Απαιτούμενη ισχύς καυσίμου	$P_{καυσ} =$	637	kW
Απαιτούμενη ενέργεια μηχανής		15,284	kWh/d
Ελάχιστος αριθμός εγκατεστημένων μηχανών	$n =$	1.36	
	$n =$	2.00	μηχανές
<i>Οι μονάδες συμπαράγωγής προσφέρουν</i>	ΕΓΚΑΘΙΣΤΑΝΤΑΙ		
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς	$P_{el} =$	339	kW
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια		8,129	kWh/d
Παραγόμενη θερμική ισχύς	$P_{th} =$	399	kW
Παραγόμενη θερμική ενέργεια		9,566	kWh/d
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ			
<i>Μηχανική Πάχυνση</i>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας		0.30	kWh/m ³
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{SS,βιοα} =$	635.12	m ³ /d
Μηχανική Πάχυνση		190.54	kWh/d
<i>Χώνευση</i>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας		6.00	W/m ³ χωνευτή
Όγκος χωνευτών	$V_{χωνευτών} =$	4,512.90	m ³
Χώνευση		649.86	kWh/d
<i>Μηχανική Αφυδάτωση</i>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας		2.00	kWh/m ³ ιλύος
Παροχή χωνεμένης ιλύος στην είσοδο της αφυδάτωσης	$Q_{εισ,αφυδ} =$	223	m ³ ιλύος/d
Μηχανική Αφυδάτωση		447	kWh/d
Συνολικά απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια		1,287.27	kWh/d
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ			
<i>Θέρμανση χωνευτών</i>			
<i>1. Θέρμανση ιλύος, Q₁</i>			
Μάζα παχυμένης ιλύος (πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας)	$M_{παχ} =$	223,438	kg/d
Ειδική θερμότητα ιλύος, C	$C =$	1	kcal/kg·°C
Θερμοκρασία χωνευτή (μεσοφιλική χώνευση)	$T_{χωνευτή} =$	35	°C
Θερμοκρασία συνολικά παχυμένης ιλύος	$T_{παχ} =$	20	°C
Ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης, Q ₁	$Q_1 =$	3,351,563	kcal/d
		3,897	kWh/d
<i>2. Θέρμανση χωνευτή, Q₂</i>			
Θέρμανση χωνευτών = 10% * Θέρμανση ιλύος	$Q_2 =$	335,156	kcal/d
		390	kWh/d
Χωροθέτηση χωνευτή	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ	ΥΠΟΓΕΙΟΣ	
<i>3. Συνολικά απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης</i>	$Q_{tot} =$	3,686,719	kcal/d
		4,287	kWh/d
Απαιτούμενη ισχύς εναλλάκτη		179	kW
Βαθμός Απόδοσης εναλλάκτη		0.80	
Ελάχιστη ισχύς που πρέπει να μεταφέρει ο εναλλάκτης		223	kW
Συνολικά απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια		5,359	kWh/d
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ			
<i>Θερμική Ενέργεια</i>			
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια		9,566	kWh/d
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΥΨΗΛΗΣ ενθαλπίας (60%)		5,739	kWh/d
Τελικά Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΥΨΗΛΗΣ ενθαλπίας (λόγω απωλειών, *0,85)		4,878	kWh/d
		1,780,621	kWh/year
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΧΑΜΗΛΗΣ ενθαλπίας (40%)		3,826	kWh/d
Τελικά Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΧΑΜΗΛΗΣ ενθαλπίας (λόγω απωλειών, *0,85)		3,252	kWh/d
		1,187,081	kWh/year
Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια ΥΨΗΛΗΣ ενθαλπίας		0	kWh/d
		0	kWh/year
Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια ΧΑΜΗΛΗΣ ενθαλπίας		5,359	kWh/d
		1,955,890	kWh/year
ΕΠΑΡΚΕΙ η Θερμική Ενέργεια ΥΨΗΛΗΣ ενθαλπίας	NAI		θα χρησιμοποιήσω
ΕΠΑΡΚΕΙ η Θερμική Ενέργεια ΧΑΜΗΛΗΣ ενθαλπίας	OXI		ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ!!
Πρόσθετη Ενέργεια που απαιτείται		0	kWh/d manually
Θερμογόνος Φυσικού Αερίου		10.23	kWh/m ³
Φυσικό Αέριο που απαιτείται		0	m ³ /d
<i>Ηλεκτρική Ενέργεια</i>			
Διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια		8,129	kWh/d
Τελικά Διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια (όχι πρόσθετες απώλειες, *1)		8,129	kWh/d
		2,967,106	kWh/year
Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια		1,287	kWh/d
		403,380	kWh/year
ΕΠΑΡΚΕΙ η Ηλεκτρική Ενέργεια	NAI		

ΕΕΛ #1 –Σενάριο Β΄

Χειμώνας

ΠΑΧΥΝΣΗ

Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος

Διαστασιολόγηση Παχυντή Πρωτοβάθμιας Ιλύος

Μάζα στερεών SS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	6,091	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	4,568	kgVSS/d
Φόρτιση Στερεών		100	kg SS/m ² -d
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\text{ΠΠ},\text{tot}} =$	61	m ²
		2	παχυντές
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\text{ΠΠ}} =$	30.45	m ²
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D_{\text{min}} =$	6.23	m
Διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D =$	6.50	m
Πλευρικό Βάθος	$H_{\text{πλευρ}} =$	4.00	m
Κλίση πυθμένα		1/6	

Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς

Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων

Μάζα στερεών SS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας

Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας

Συγκέντρωση στερεών ΠΠ

Παροχή ΠΠ

Μάζα ΠΠ

		0%	
$M_{\text{Π, SS},1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	6,091	kgSS/d	
$M_{\text{Π, VSS},1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	4,568	kgVSS/d	
	5%		
$Q_{\text{Π},1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	121.8	m ³ /d	
$M_{\text{Π},1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	121,818	kg/d	

ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ

Στραγγίδια

Παροχή στραγγιδίων από παχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος

$Q_{\text{στραγγ,παχυνσης}} =$ 284.2 m³/d

9

ΠΡΟ-ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ

Προ-αφυδάτωση Βιολογικής Ιλύος

Διαστασιολόγηση Φυγοκεντρική Προ-αφυδάτωσης

Μάζα στερεών SS στην είσοδο της προαφυδάτωσης

Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της προ-αφυδάτωσης

Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα

Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα

Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος

Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας

$M_{SS,\text{βιολ}} =$	4,684	kg TSS/d
	195	kg/h
$M_{VSS,\text{βιολ}} =$	3,237	kg VSS/d
	5	days
	16	hours
	32,787	kg TSS/week
	410	kg TSS/h

ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ

ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ

Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη

Δόση πολυηλεκτρολύτη

Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)

Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη

	6.00	gr/kg TSS
	2.46	kg/h
	3.00	Ε/kg πολυηλεκτρολύτη

Προ-Αφυδατωμένη βιολογική ιλύς

Συγκέντρωση στερεών Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος

Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων

Μάζα στερεών SS στην έξοδο της προ-αφυδάτωσης

Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της προ-αφυδάτωσης

Παροχή Εξόδου Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος

	16.5%	
	0%	
$M_{\text{προ-αφυδ,SS}} =$	4,684	kg TSS/d
$M_{\text{προ-αφυδ,VSS}} =$	3,237	kg TSS/d
$Q_{\text{προ-αφυδ,βιολ}} =$	28	m ³ /d

Στραγγίδια

Παροχή ΠΕΙ προς προ-αφυδάτωση

Παροχή Εξόδου Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος

Παροχή στραγγιδίων από προ-αφυδάτωση ΠΕΙ

$Q_{\text{WAS}} =$	585.5	m ³ /d
$Q_{\text{προ-αφυδ,βιολ}} =$	28.4	m ³ /d
$Q_{\text{στραγγ,προ-αφυδ}} =$	557.1	m ³ /d

12

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΘΕΡΜΙΚΗ ΥΔΡΟΛΥΣΗ			
Θερμική Υδρόλυση Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος			
Μάζα στερεών SS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$M_{\text{προ-αφυδ,SS}} =$	4,684	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$M_{\text{προ-αφυδ,VSS}} =$	3,237	kg VSS/d
Παροχή Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$Q_{\text{προ-αφυδ, βιολ}} =$	28.4	m ³ /d
1. Απαιτούμενος Ατμός			
Θερμοκρασία Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$\theta_{\text{είσθ,THP}} =$	18.00	°C
Πίεση Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$P_{\text{είσθ,THP}} =$	1.00	bar
Θερμογόνος Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP στους 18°C	$Q_{\text{είσθ,THP}} =$	75.62	kJ/kg
Θερμοκρασία Ατμού	$\theta_{\text{ατμίου}} =$	189.50	°C
Πίεση Ατμού	$P_{\text{ατμίου}} =$	12.00	bar
Θερμογόνος Ατμού	$Q_{\text{ατμίου}} =$	2782.70	kJ/kg
Θερμοκρασία Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$\theta_{\text{έξθ,THP}} =$	100.00	°C
Πίεση Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$P_{\text{έξθ,THP}} =$	1.00	bar
Θερμογόνος Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$Q_{\text{έξθ,THP}} =$	419.06	kJ/kg
Εφαρμόζοντας το ισοζύγιο προκύπτει ότι			
για επεξεργασία 1 kg ιλύος απαιτείται		0.145	kg ατμός/h
για επεξεργασία 1 kg DS απαιτείται		0.881	kg ατμός/h
Μάζα απαιτούμενου Ατμού	$M_{\text{ατμίου}} =$	172	kg ατμός/h
Μάζα στερεών SS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,SS}} =$	4,684	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,VSS}} =$	3,237	kg TSS/d
Μάζα Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP, βιολ}} =$	32,512	kg/d
Παροχή Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$Q_{\text{έξθ,THP, βιολ}} =$	32.5	m ³ /d
Συγκέντρωση στερεών Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP		14.4%	(~14,3% DS από CAM)
2. Νερό Αραίωσης			
ΣΤΟΧΟΣ : αραίωση από 14,4%DS->8-12% D ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ			
Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,SS}} =$	4,684	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,VSS}} =$	3,237	kg TSS/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP, βιολ}} =$	32,512	kg/d
Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$Q_{\text{έξθ,THP, βιολ}} =$	32.5	m ³ /d
Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,SS}} =$	4,684	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,VSS}} =$	3,237	kg TSS/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ, βιολ}} =$	32,512	kg/d
Μάζα Νερού Αραίωσης	$M_{\text{νερού αραίωσης}} =$	0	kg/d
3. Θερμοκρασία Αραιωμένης Υδρολυμένης ΠΕΙ			
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP, βιολ}} =$	32,512	kg/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$\theta_{\text{έξθ,THP, βιολ}} =$	100	°C
Μάζα Νερού Αραίωσης	$M_{\text{νερού αραίωσης}} =$	0	kg/d
Μάζα Νερού Αραίωσης	$\theta_{\text{νερού αραίωσης}} =$	18	°C
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ, βιολ}} =$	32,512	kg/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$\theta_{\text{αραιωμ-υδρολ, βιολ}} =$	100	°C
ΑΝΑΜΙΞΗ ΠΑΧΥΜΕΝΗΣ ΠΡΟΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΑΙΩΜΕΝΗΣ-ΥΔΡΟΛΥΜΕΝΗΣ ΠΕΙ			
Μάζα στερεών SS στην <u>έξοδο</u> της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\text{π, SS,1βάθμιας}} =$	6,091	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην <u>έξοδο</u> της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\text{π, VSS,1βάθμιας}} =$	4,568	kgVSS/d
Παροχή ΠΠΙ	$Q_{\text{π,1βάθμιας}} =$	121.8	m ³ /d
Μάζα ΠΠΙ	$M_{\text{π,1βάθμιας}} =$	121,818	kg/d
Θερμοκρασία ΠΠΙ	$\theta_{\text{ΠΠΙ}} =$	18	°C
Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,SS}} =$	4,684	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,VSS}} =$	3,237	kg TSS/d
Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$Q_{\text{αραιωμ-υδρολ, βιολ}} =$	32.5	m ³ /d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ, βιολ}} =$	32,512	kg/d
Θερμοκρασία Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$\theta_{\text{αραιωμ-υδρολ, βιολ}} =$	100	°C
Μάζα στερεών SS <u>πριν</u> τη χώνευση	$M_{\text{είσθ,χώνευσης,SS}} =$	10,775	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS <u>πριν</u> τη χώνευση	$M_{\text{είσθ,χώνευσης,VSS}} =$	7,805	kg TSS/d
Παροχή αναμιγμένης ιλύος <u>πριν</u> τη χώνευση	$Q_{\text{είσθ,χώνευσης, βιολ}} =$	154	m ³ /d
Μάζα αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση	$M_{\text{είσθ,χώνευσης, βιολ}} =$	154,330	kg/d
Θερμοκρασία αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση	$\theta_{\text{είσθ,χώνευσης, βιολ}} =$	35.27	°C
Συγκέντρωση στερεών αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση		6.98%	

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΧΩΝΕΥΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Χωνευτή</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Παροχή Εισόδου ΠΠΙ	121.8	m ³ /d	
<u>Υδρολυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ	28.4	m ³ /d	
Χρόνος παραμονής	18	days	
Ελάχιστος απαιτούμενος όγκος χωνευτή	2,704	m ³	
Πλήθος χωνευτών	2	χωνευτές	<i>ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ</i>
Ύψος χωνευτή	18	m	
Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια κάθε χωνευτή	75.10	m ²	
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος κάθε χωνευτή	9.78	m	
Διάμετρος κάθε χωνευτή	10.00	m	<i>ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ</i>
	2,827	m ³	
	18.8	days	
Χρόνος παραμονής, ΤΕΛΙΚΑ			
<u>Παραγωγή βιοαερίου</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Μάζα SS ΠΠΙ	6,091	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΠΙ	4,568	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	2,512	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	3,578	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	2,056	kgVSS/d	
<u>Υδρολυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Μάζα SS Υδρολυμένης ΠΕΙ	4,684	kgSS/d	
Μάζα VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ	3,237	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	1,780	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	2,904	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	1,457	kgVSS/d	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από Πρωτοβάθμια Ιλύς	0.9479	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από ΠΕΙ	0.7930	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Συνολικά παραγόμενο βιοαέριο	3,793	m ³ βιοαέριο/d	
<u>Παραγωγή Χωνεμένης Ιλύος</u>			
Μάζα SS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	6,482	kgSS/d	
Μάζα VSS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	3,512	kgVSS/d	
Παροχή Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	150.2	m ³ /d	
Συγκέντρωση στερεών SS Χωνεμένης Ιλύος	4.32%		
	54.18%		
			25-27°C Προφ. βάζο, βιολογ.
ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Φυγοκεντρική</u>			
Παροχή εισόδου	150.2	m ³ /d	
Μάζα SS εισόδου	6,482	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	3,512	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	6,482	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	3,512	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Αφυδατωμένης Ιλύος	30%		
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	21.6	m ³ /d	
Μάζα Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	21,607	kg/d	
Μάζα Νερού Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	15,125	kg/d	
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα	5	days	<i>ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ</i>
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα	16	hours	<i>ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ</i>
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος	45,375	kg TSS/week	
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας	567	kg TSS/h	
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη	10.00	kg/tn DS	
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)	5.67	kg/h	
Τιμή μονάδας πολυηλεκτρολύτη	3.00	€/kg πολυηλεκτρολύτη	
<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή ιλύος προς αφυδάτωση	150.2	m ³ /d	
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	21.6	m ³ /d	
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	128.6	m ³ /d	15
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ			
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	969.9	m ³ /d	

Θέρος

ΠΑΧΥΝΣΗ

<u>Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος</u>		
<u>Διαστασιολόγηση Παχυντή Πρωτοβάθμιας Ιλύος</u>		
Μάζα στερεών SS στην <u>είσοδο</u> της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	6,091 kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην <u>είσοδο</u> της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	4,568 kgVSS/d
Φόρτιση Στερεών		100 kg SS/m ² -d
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\eta\pi\iota,tot} =$	61 m ²
<i>ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ</i>		2 παχυντές
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\eta\pi\iota} =$	30.45 m ²
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D_{min} =$	6.23 m
Διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D =$	6.50 m
Πλευρικό Βάθος	$H_{\pi\lambda\epsilon\upsilon\rho} =$	4.00 m
Κλίση πυθμένα		1/6
<u>Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς</u>		
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%
Μάζα στερεών SS στην <u>έξοδο</u> της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\pi,SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	6,091 kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην <u>έξοδο</u> της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\pi,VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	4,568 kgVSS/d
Συγκέντρωση στερεών ΠΠ		5%
Παροχή ΠΠ	$Q_{\pi,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	122 m ³ /d
Μάζα ΠΠ	$M_{\pi,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	121,818 kg/d

<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή στραγγιδίων από παχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος	$Q_{στ\pi\alpha\gamma,παχυνσης} =$	284 m ³ /d	9

ΠΡΟ-ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ

<u>Προ-αφυδάτωση Βιολογικής Ιλύος</u>		
<u>Διαστασιολόγηση Φυγοκεντροτή Προ-αφυδάτωσης</u>		
Μάζα στερεών SS στην <u>είσοδο</u> της προαφυδάτωσης	$M_{SS,β\iota\omicron\lambda} =$	5,081 kg TSS/d
		212 kg/h
Μάζα στερεών VSS στην <u>είσοδο</u> της προ-αφυδάτωσης	$M_{VSS,β\iota\omicron\lambda} =$	3,635 kg VSS/d
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα		5 days
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα		16 hours
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος		35,570 kg TSS/week
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας		445 kg TSS/h

<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>		
Δόση πολυηλεκτρολύτη		6.00 kg/tn DS
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)		2.67 kg/h
Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη		3.00 €/kg πολυηλεκτρολύτη

<u>Προ-Αφυδατωμένη βιολογική ιλύς</u>		
Συγκέντρωση στερεών Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος		16.5%
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%
Μάζα στερεών SS στην <u>έξοδο</u> της προ-αφυδάτωσης	$M_{\pi\pi\rho\text{-}\alpha\phi\upsilon\delta,SS} =$	5,081 kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS στην <u>έξοδο</u> της προ-αφυδάτωσης	$M_{\pi\pi\rho\text{-}\alpha\phi\upsilon\delta,VSS} =$	3,635 kg TSS/d
Παροχή Εξόδου Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\pi\pi\rho\text{-}\alpha\phi\upsilon\delta,β\iota\omicron\lambda} =$	31 m ³ /d

<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή ΠΕΙ προς προ-αφυδάτωση	$Q_{WAS} =$	635 m ³ /d	
Παροχή Εξόδου Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\pi\pi\rho\text{-}\alpha\phi\upsilon\delta,β\iota\omicron\lambda} =$	31 m ³ /d	
Παροχή στραγγιδίων από προ-αφυδάτωση ΠΕΙ	$Q_{στ\pi\alpha\gamma,\pi\rho\text{-}\alpha\phi\upsilon\delta} =$	604 m ³ /d	12

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΘΕΡΜΙΚΗ ΥΔΡΟΛΥΣΗ			
Θερμική Υδρόλυση Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος			
Μάζα στερεών SS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$M_{\text{προ-αφυδ,SS}}$ =	5,081	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$M_{\text{προ-αφυδ,VSS}}$ =	3,635	kg TSS/d
Παροχή Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$Q_{\text{προ-αφυδ,βιολ}}$ =	30.80	m ³ /d
1. Απαιτούμενος Ατμός			
Θερμοκρασία Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$\theta_{\text{είσθ,THP}}$ =	25.00	°C
Πίεση Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$p_{\text{είσθ,THP}}$ =	1.00	bar
Θερμογόνος Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP στους 25°C		104.90	kJ/kg
Θερμοκρασία Ατμού	$\theta_{\text{ατμίου}}$ =	189.50	°C
Πίεση Ατμού	$p_{\text{ατμίου}}$ =	12.00	bar
Θερμογόνος Ατμού		2782.70	kJ/kg
Θερμοκρασία Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$\theta_{\text{έξθ,THP}}$ =	100.00	°C
Πίεση Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$p_{\text{έξθ,THP}}$ =	1.00	bar
Θερμογόνος Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP		419.06	kJ/kg
Εφαρμόζοντας το ισοζύγιο προκύπτει ότι			
για επεξεργασία 1 kg ιλύος απαιτείται		0.133	kg ατμός/h
για επεξεργασία 1 kg DS απαιτείται		0.806	kg ατμός/h
Μάζα απαιτούμενου Ατμού	$M_{\text{ατμίου}}$ =	171	kg ατμός/h
Μάζα στερεών SS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,SS}}$ =	5,081	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,VSS}}$ =	3,635	kg TSS/d
Μάζα Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,βιολ}}$ =	34,890	kg/d
Παροχή Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$Q_{\text{έξθ,THP,βιολ}}$ =	34.89	m ³ /d
Συγκέντρωση στερεών Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP		14.56%	(~14,3% DS από CAM)
2. Νερό Αραίωσης			
ΣΤΟΧΟΣ : αραίωση από 14,4%DS->8-12% D ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ			
Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,SS}}$ =	5,081	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,VSS}}$ =	3,635	kg TSS/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,βιολ}}$ =	34,890	kg/d
Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$Q_{\text{έξθ,THP,βιολ}}$ =	34.9	m ³ /d
Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,SS}}$ =	5,081	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,VSS}}$ =	3,635	kg TSS/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}}$ =	72,593	kg/d
Μάζα Νερού Αραίωσης	$M_{\text{νερού αραίωσης}}$ =	37,702	kg/d
3. Θερμοκρασία Αραιωμένης Υδρολυμένης ΠΕΙ			
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,βιολ}}$ =	34,890	kg/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$\theta_{\text{έξθ,THP,βιολ}}$ =	100	°C
Μάζα Νερού Αραίωσης	$M_{\text{νερού αραίωσης}}$ =	37,702	kg/d
Μάζα Νερού Αραίωσης	$\theta_{\text{νερού αραίωσης}}$ =	25	°C
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}}$ =	72,593	kg/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$\theta_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}}$ =	61.05	°C
ΑΝΑΜΙΞΗ ΠΑΧΥΜΕΝΗΣ ΠΡΟΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΑΙΩΜΕΝΗΣ-ΥΔΡΟΛΥΜΕΝΗΣ ΠΕΙ			
Μάζα στερεών SS στην <u>έξοδο</u> της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\text{π,SS,1βθθμιας}}$ =	6,091	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην <u>έξοδο</u> της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\text{π,VSS,1βθθμιας}}$ =	4,568	kgVSS/d
Παροχή ΠΠΙ	$Q_{\text{π,1βθθμιας}}$ =	121.82	m ³ /d
Μάζα ΠΠΙ	$M_{\text{π,1βθθμιας}}$ =	121,818	kg/d
Θερμοκρασία ΠΠΙ	$\theta_{\text{ΠΠΙ}}$ =	25	°C
Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,SS}}$ =	5,081	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,VSS}}$ =	3,635	kg TSS/d
Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$Q_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}}$ =	73	m ³ /d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}}$ =	72,593	kg/d
Θερμοκρασία Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$\theta_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}}$ =	61,05	°C
Μάζα στερεών SS <u>πριν</u> τη χώνευση	$M_{\text{είσθ,χώνευσης,SS}}$ =	11,172	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS <u>πριν</u> τη χώνευση	$M_{\text{είσθ,χώνευσης,VSS}}$ =	8,203	kg TSS/d
Παροχή αναμιγμένης ιλύος <u>πριν</u> τη χώνευση	$Q_{\text{είσθ,χώνευσης,βιολ}}$ =	194	m ³ /d
Μάζα αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση	$M_{\text{είσθ,χώνευσης,βιολ}}$ =	194,411	kg/d
Θερμοκρασία αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση	$\theta_{\text{είσθ,χώνευσης,βιολ}}$ =	38.46	°C
Συγκέντρωση στερεών αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση		5.75%	

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΧΩΝΕΥΣΗ (μόνο πρωτοβάθμια παχυμένη ιλύς)			
<u>Διαστασιολόγηση Χωνευτή</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Παροχή Εισόδου ΠΠΙ	122	m ³ /d	
<u>Υδρολυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ	31	m ³ /d	
Χρόνος παραμονής	18	days	
Ελάχιστος απαιτούμενος όγκος χωνευτή	2,747	m ³	
Πλήθος χωνευτών	2	χωνευτές	ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ
Ύψος χωνευτή	18	m	
Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια κάθε χωνευτή	76	m ²	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος κάθε χωνευτή	9.86	m	
Διάμετρος κάθε χωνευτή	10.00	m	manually
Χρόνος παραμονής, ΤΕΛΙΚΑ	18.53	days	
<u>Παραγωγή βιοαερίου</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Μάζα SS ΠΠΙ	6,091	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΠΙ	4,568	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	2,512	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	3,578	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	2,056	kgVSS/d	
<u>Υδρολυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Μάζα SS Υδρολυμένης ΠΕΙ	5,081	kgSS/d	
Μάζα VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ	3,635	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	1,999	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	3,082	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	1,636	kgVSS/d	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από Πρωτοβάθμια Ιλύ	0.9479	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από ΠΕΙ	0.7597	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Συνολικά παραγόμενο βιοαέριο	4,277	m ³ βιοαέριο/d	
<u>Παραγωγή Χωνεμένης Ιλύος</u>			
Μάζα SS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	6,661	kgSS/d	
Μάζα VSS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	3,691	kgVSS/d	
Παροχή Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	153	m ³ /d	
Συγκέντρωση στερεών SS Χωνεμένης Ιλύος	4.36%		
	VS/TS=	55.42%	
ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Φυγοκεντρική</u>			
Παροχή εισόδου	$Q_{εισ}$ =	153	m ³ /d
Μάζα SS εισόδου	$M_{εισ, SS}$ =	6,661	kgTSS/d
Μάζα VSS εισόδου	$M_{εισ, VSS}$ =	3,691	kgVSS/d
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	$M_{A, SS}$ =	6,661	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	$M_{A, VSS}$ =	3,691	kg VSS/d
Συγκέντρωση στερεών SS Αφυδατωμένης Ιλύος		25%	
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	$Q_{εξ}$ =	26.64	m ³ /d
Μάζα Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	$M_{εξ}$ =	26,643	kg/d
Μάζα Νερού Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	$M_{εξ, νερού}$ =	19,982	kg/d
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα		5	days
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα		16	hours
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος		46,625	kg TSS/week
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας		583	kg TSS/h
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη		10.00	kg/tn DS
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)		5.83	kg/h
Τιμή μονάδας πολυηλεκτρολύτη		3.00	€/kg πολυηλεκτρολύτη
<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή ιλύος προς αφυδάτωση	$Q_{προς\ αφυδάτωση}$ =	153	m ³ /d
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	Q_A =	27	m ³ /d
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	$Q_{στραγγ, αφυδάτωση}$ =	126	m ³ /d
		15	
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ			
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	$Q_{στραγγ}$ =	1,015	m ³ /d

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Επιλέγεται να εγκατασταθεί	Jenbacher Type 2-208			
Ηλεκτρική Ισχύς		$P_{ei} =$	249	kW
Βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής ισχύος		$\eta_{ei} =$	0.391	
Θερμική ισχύς		$P_{th} =$	293	kW
Βαθμός απόδοσης θερμικής ισχύος		$\eta_{th} =$	0.46	
<u>Βιοαέριο</u>				
Παραγόμενο βιοαέριο			4,277	m ³ βιοαέριο/d
Θερμογόνος δύναμη βιοαερίου			6,477	kWh/m ³ βιοαέριο
Συνολική προσφερόμενη ενέργεια			27,699	kWh/d
<u>Απαιτούμενη Ενέργεια Μηχανής</u>				
Απαιτούμενη ισχύς καυσίμου		$P_{καυσ} =$	637	kW
Απαιτούμενη ενέργεια μηχανής			15,284	kWh/d
Ελάχιστος αριθμός εγκατεστημένων μηχανών		$n =$	1.81	
	<i>ΕΓΚΑΘΙΣΤΑΝΤΑΙ</i>	$\eta =$	2.00	μηχανές
<u>Οι μονάδες συμπαραγωγής προσφέρουν</u>				
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς		$P_{ei} =$	451	kW
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια			10,830	kWh/d
Παραγόμενη θερμική ισχύς		$P_{th} =$	531	kW
Παραγόμενη θερμική ενέργεια			12,744	kWh/d

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

<u>Προ-αφυδάτωση</u>				
Ειδική Κατανάλωση ΗΛ. Ενέργειας			1.00	kWh/m ³ ιλύος
Παροχή ΠΕΙ στην είσοδο της προ-αφυδάτωσης			635	m ³
Προ-αφυδάτωση			635	kWh/d
<u>Θερμική Υδρόλυση</u>				
Ειδική Κατανάλωση ΗΛ. Ενέργειας			35.00	kWh/tn DS επεξ.
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της θερμικής υδρόλυσης			5,081	kg SS/d
Θερμική Υδρόλυση			178	kWh/d
<u>Χώνευση</u>				
Ειδική Κατανάλωση ΗΛ. Ενέργειας			6.00	W/m ³
Όγκος χωνευτών		$V_{χωνευτών} =$	2,827	m ³
Χώνευση			407	kWh/d
<u>Μηχανική Αφυδάτωση</u>				
Ειδική Κατανάλωση ΗΛ. Ενέργειας			2.00	kWh/m ³ ιλύος
Παροχή χωνεμένης ιλύος στην είσοδο της αφυδάτωσης		$Q_{εισ,αφυδ} =$	153	m ³ ιλύος/d
Μηχανική Αφυδάτωση			305	kWh/d
Συνολικά απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια			1,525	kWh/d

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

<u>Παραγωγή ατμού</u>				
Ενthalπία νερού στους 20°C, 1 bar			84	kJ/kg
Ενthalπία ατμού στους 189,5°C, 12 bar			2782.70	kJ/kg
Διαφορά ενthalπίας			2698.70	kJ/kg
Απαιτούμενος ατμός			171	kg/h
Απαιτούμενη Ισχύς ατμολέβητα			128	kW
Βαθμός απόδοσης ατμολέβητα			0.80	
Ζητούμενη Ισχύς ατμολέβητα			160	kW
Θερμ. Ενέργεια			3,836	kWh/d
Συνολικά απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια			3,836	kWh/d

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

<u>Θερμική Ενέργεια</u>				
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια			12,744	kWh/d
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΥΨΗΛΗΣ ενthalπίας (60%)			7,647	kWh/d
Τελικά Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΥΨΗΛΗΣ ενthalπίας (λόγω απωλειών, *0,85)			6,500	kWh/d
			2,372,349	kWh/year
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΧΑΜΗΛΗΣ ενthalπίας (40%)			5,098	kWh/d
Τελικά Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΧΑΜΗΛΗΣ ενthalπίας (λόγω απωλειών, *0,85)			4,333	kWh/d
			1,581,566	kWh/year
Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια ΥΨΗΛΗΣ ενthalπίας			3,836	kWh/d
			1,400,011	kWh/year
Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια ΧΑΜΗΛΗΣ ενthalπίας			0	kWh/d
			0	kWh/year
ΕΠΑΡΚΕΙ η Θερμική Ενέργεια ΥΨΗΛΗΣ ενthalπίας			NAI	
ΕΠΑΡΚΕΙ η Θερμική Ενέργεια ΧΑΜΗΛΗΣ ενthalπίας			NAI	
Πρόσθετη Ενέργεια που απαιτείται			0	kWh/d manually
Θερμογόνος Φυσικού Αερίου			10.23	kWh/m ³
Φυσικό Αέριο που απαιτείται			0	m ³ /d
<u>Ηλεκτρική Ενέργεια</u>				
Διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια			10,830	kWh/d
Τελικά Διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια (όχι πρόσθετες απώλειες, *1)			10,830	kWh/d
			3,953,121	kWh/year
Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια			1,525	kWh/d
			490,537	kWh/year
ΕΠΑΡΚΕΙ η Ηλεκτρική Ενέργεια			NAI	

ΕΕΛ #2 –Σενάριο Α΄

ΠΑΧΥΝΣΗ			
1. Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος			
<u>Διαστασιολόγηση Παχυντή Πρωτοβάθμιας Ιλύος</u>			
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	31,500	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	23,625	kgVSS/d
Φόρτιση Στερεών		100	kg SS/m ² -d
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\eta\pi\iota,tot} =$	315	m ²
<i>ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ</i>		2	παχυντές
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\eta\pi\iota} =$	157.50	m ²
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D_{min} =$	14.16	m
Διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D =$	14.50	m
Πλευρικό Βάθος	$H_{\pi\lambda\epsilon\upsilon\pi} =$	4.00	m
Κλίση πυθμένα		1/6	
<u>Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς</u>			
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\pi,SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	31,500	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\pi,VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	23,625	kgVSS/d
Συγκέντρωση στερεών ΠΠ		5%	
Παροχή ΠΠ	$Q_{\pi,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	630	m ³ /d
Μάζα ΠΠ	$M_{\pi,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	630,000	kg/d
Στραγγίδια			
Παροχή στραγγιδίων από πάχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος	$Q_{στραγγ,παχυνσης} =$	1,470	m ³ /d
			9
2. Πάχυνση Βιολογικής Ιλύος			
<u>Διαστασιολόγηση Μηχανικού Παχυντή</u>			
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{SS,β\iota\omicron\lambda} =$	20,606	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{VSS,β\iota\omicron\lambda} =$	13,577	kg VSS/d
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα		7	days
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα		24	hours
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος		144,243	kg TSS/week
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας		859	kg TSS/h
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη		5	gr/kg TSS
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)		4.29	kg/h
Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη		3.00	E/kg πολυηλεκτρολύτη (powder)
<u>Παχυμένη βιολογική ιλύς</u>			
Συγκέντρωση στερεών Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος		5%	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{\pi,SS} =$	20,606	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{\pi,VSS} =$	13,577	kg TSS/d
Παροχή Εξόδου Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\pi,β\iota\omicron\lambda} =$	412	m ³ /d
Στραγγίδια			
Παροχή ΠΕΙ προς πάχυνση	$Q_{WAS} =$	2,576	m ³ /d
Παροχή Εξόδου Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\pi,β\iota\omicron\lambda} =$	412	m ³ /d
Παροχή στραγγιδίων από πάχυνση ΠΕΙ	$Q_{στραγγ,παχυνσης} =$	2,164	m ³ /d
			12

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΧΩΝΕΥΣΗ			
<i>Διαστασιολόγηση Χωνευτή</i>			
<i>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</i>			
Παροχή Εισόδου ΠΠΙ	630	m^3/d	
<i>Παχυμένη Βιολογική Ιλύς</i>			
Παροχή Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	412	m^3/d	
<i>Παροχή Συνολικής Παχυμένης Ιλύος</i>	1,042	m^3/d	
Χρόνος παραμονής	20	days	
Ελάχιστος απαιτούμενος όγκος χωνευτή	20,842	m^3	
Πλήθος χωνευτών	4	χωνευτές	
Ύψος χωνευτή	23,00	m	
Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια κάθε χωνευτή	228,55	m^2	
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος κάθε χωνευτή	16,98	m	
Διάμετρος κάθε χωνευτή	17,00	m	
Χρόνος παραμονής, ΤΕΛΙΚΑ	20,882	days	
Χρόνος παραμονής, ΤΕΛΙΚΑ	20	days	
<i>Παραγωγή Βιοαερίου</i>			
<i>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</i>			
Μάζα SS ΠΠΙ	31,500	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΠΙ	23,625	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάζονται κατά τη χώνευση	12,994	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	18,506	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	10,631	kgVSS/d	
<i>Παχυμένη Βιολογική Ιλύς</i>			
Μάζα SS ΠΒΙ	20,606	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΒΙ	13,577	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	30%		
Μάζα VSS που διασπάζονται κατά τη χώνευση	4,073	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	16,533	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	9,504	kgVSS/d	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από Πρωτοβάθμια Ιλύς	0,9479	m^3 βιοαέριο/kg VSS	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από ΠΒΙ	0,8251	m^3 βιοαέριο/kg VSS	
Συνολικά παραγόμενο βιοαέριο	15,678	m^3 βιοαέριο/d	
<i>Παραγωγή Χωνεμένης Ιλύος</i>			
Μάζα SS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	35,039	kgSS/d	
Μάζα VSS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	20,135	kgVSS/d	
Παροχή Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	1,042	m^3/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Χωνεμένης Ιλύος	3,36%		
	57,46%		
ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ			
<i>Διαστασιολόγηση Φυγοκεντρητή</i>			
Παροχή εισόδου	$Q_{εισ}$ = 1,042	m^3/d	
Μάζα SS εισόδου	$M_{εισ,SS}$ = 35,039	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	$M_{εισ,VSS}$ = 20,135	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	$M_{A,SS}$ = 35,039	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	$M_{A,VSS}$ = 20,135	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Αφυδατωμένης Ιλύος	25%		
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	$Q_{εξ}$ = 140	m^3/d	
Μάζα Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	$M_{εξ}$ = 140,157	kg/d	
Μάζα Νερού Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	$M_{εξ,νερού}$ = 105,118	kg/d	
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα	7	days	
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα	24	hours	
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος	245,275	kg TSS/week	
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας	1,460	kg TSS/h	
<i>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</i>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη	10	kg/tn TSS	
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)	14,60	kg/h	
Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη	3,00	€/kg πολυηλεκτρολύτη	
Στραγγίδια			
Παροχή ιλύος προς αφυδάτωση	$Q_{προς\ αφυδ\ ατωση}$ = 1,042	m^3/d	
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	Q_A = 140	m^3/d	
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	$Q_{στραγγ,αφυδ\ ατωση}$ = 902	m^3/d	15
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ			
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	$Q_{στραγγ}$ = 4,536	m^3/d	
ΞΗΡΑΝΣΗ			
Παροχή εισόδου	$Q_{εισ}$ = 140	m^3/d	
Μάζα SS εισόδου	$M_{εισ,SS}$ = 35,039	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	$M_{εισ,VSS}$ = 20,135	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της ξήρανσης	$M_{ΞΗΡ,SS}$ = 35,039	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της ξήρανσης	$M_{ΞΗΡ,VSS}$ = 20,135	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Ξηραμένης Ιλύος	92%		
Μάζα Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	$M_{εξ}$ = 38,086	kg/d	
Ειδικό βάρος ξηραμένης ιλύος	0,70	tn/m ³	
Παροχή Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	$Q_{εξ,ΞΗΡ}$ = 54,41	m^3/d	
Μάζα Νερού Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	$M_{εξ,νερού}$ = 3,047	kg/d	
Νερό που εξατμίζεται			
Νερό που εξατμίζεται κατά την ξήρανση	$M_{εξτμη,Νερού,ΞΗΡ}$ = 102	tn/d	
	$Q_{εξτμη,Νερού,ΞΗΡ}$ = 102	m^3/d	

Θέρος

ΠΑΧΥΝΣΗ			
<u>1. Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος</u>			
<u>Διαστασιολόγηση Παχυντή Πρωτοβάθμιας Ιλύος</u>			
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	31,500	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	23,625	kgVSS/d
Φόρτιση Στερεών		100	kg SS/m ² -d
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\eta\eta\iota,tot} =$	315	m ²
		2	παχυντές
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\eta\eta\iota} =$	157.50	m ²
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D_{min} =$	14.16	m
Διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D =$	14.50	m
Πλευρικό Βάθος	$H_{\pi\lambda\epsilon\upsilon\rho} =$	4.00	m
Κλίση πυθμένα		1/6	
<u>Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς</u>			
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\eta,ss,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	31,500	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\eta,vss,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	23,625	kgVSS/d
Συγκέντρωση στερεών ΠΠ		5%	
Παροχή ΠΠ	$Q_{\eta,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	630	m ³ /d
Μάζα ΠΠ	$M_{\eta,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} =$	630,000	kg/d
<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή στραγγιδίων από παχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος	$Q_{στραγγ,παχυνσης} =$	1,470	m ³ /d
			9
<u>2. Πάχυνση Βιολογικής Ιλύος</u>			
<u>Διαστασιολόγηση Μηχανικού Παχυντή</u>			
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{SS,β\iota\omicron\lambda} =$	22,187	kg TSS/d
		924	kg/h
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{VSS,β\iota\omicron\lambda} =$	15,167	kg VSS/d
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα		7	days
Ωρες Λειτουργίας ανά ημέρα		24	hours
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος		155,309	kg TSS/week
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας		924	kg TSS/h
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη		5	gr/kg TSS
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)		4.62	kg/h
Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη		3.00	E/kg πολυηλεκτρολύτη (powder)
<u>Παχυμένη βιολογική ιλύς</u>			
Συγκέντρωση στερεών Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος		5%	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{\eta,ss} =$	22,187	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής πάχυνσης	$M_{\eta,vss} =$	15,167	kg TSS/d
Παροχή Εξόδου Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\eta,β\iota\omicron\lambda} =$	444	m ³ /d
<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή ΠΕΙ προς πάχυνση	$Q_{WAS} =$	2,773	m ³ /d
Παροχή Εξόδου Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\eta,β\iota\omicron\lambda} =$	444	m ³ /d
Παροχή στραγγιδίων από παχυνση ΠΕΙ	$Q_{στραγγ,παχυνσης} =$	2,330	m ³ /d
			12

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΧΩΝΕΥΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Χωνευτή</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Παροχή Εισόδου ΠΠΙ	630	m ³ /d	
<u>Παχυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Παροχή Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	444	m ³ /d	
Παροχή Συνολικής Παχυμένης Ιλύος	1,074	m ³ /d	
Χρόνος παραμονής	21	days	
Ελάχιστος απαιτούμενος όγκος χωνευτή	22,549	m ³	
Πλήθος χωνευτών	4	χωνευτές	
Ύψος χωνευτή	22.50	m	
Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια κάθε χωνευτή	251	m ²	
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος κάθε χωνευτή	17.86	m	
Διάμετρος κάθε χωνευτή	18.00	m	manually
	22,902	m ³	
	21.33	days	
Χρόνος παραμονής, ΤΕΛΙΚΑ			
<u>Παραγωγή Βιοαερίου</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Μάζα SS ΠΠΙ	M _{SS-Π, 1βθμιας} = 31,500	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΠΙ	M _{VSS-Π, 1βθμιας} = 23,625	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	12,994	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	M _{SS-X, 1βθμιας} = 18,506	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	M _{VSS-X, 1βθμιας} = 10,631	kgVSS/d	
<u>Παχυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Μάζα SS ΠΒΙ	M _{SS-Π,βιολ} = 22,187	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΒΙ	M _{VSS-Π,βιολ} = 15,167	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	30%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	4,550	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	M _{SS-X,βιολ} = 17,637	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	M _{VSS-X,βιολ} = 10,617	kgVSS/d	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από Πρωτοβάθμια Ιλύ	0.9479	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από ΠΒΙ	0.7930	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Συνολικά παραγόμενο βιοαέριο	15,925	m ³ βιοαέριο/d	
<u>Παραγωγή Χωνεμένης Ιλύος</u>			
Μάζα SS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	M _{SS-X} = 36,143	kgSS/d	
Μάζα VSS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	M _{VSS-X} = 21,248	kgVSS/d	
Παροχή Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	Q _X = 1,074	m ³ /d	
Συγκέντρωση στερεών SS Χωνεμένης Ιλύος	VS/TS = 58.79%		
ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Φυγοκεντρήτη</u>			
Παροχή εισόδου	Q _{εισ} = 1,074	m ³ /d	
Μάζα SS εισόδου	M _{εισ, SS} = 36,143	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	M _{εισ, VSS} = 21,248	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	M _{A, SS} = 36,143	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	M _{A, VSS} = 21,248	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Αφυδατωμένης Ιλύος	25%		
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	Q _{εξ} = 145	m ³ /d	
Μάζα Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	M _{εξ} = 144,573	kg/d	
Μάζα Νερού Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	M _{εξ, νερού} = 108,429	kg/d	
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα	7	days	
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα	24	hours	
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος	253,002	kg TSS/week	
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας	1,506	kg TSS/h	
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη	10	gr/kg TSS	
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)	15.06	kg/h	
Τιμή μονάδας πολυηλεκτρολύτη	3.00	€/kg πολυηλεκτρολύτη (p)	
<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή ιλύος προς αφυδάτωση	Q _{προς αφυδάτωση} = 1,074	m ³ /d	
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	Q _A = 145	m ³ /d	
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	Q _{στραγγ,αφυδάτωση} = 929	m ³ /d	15
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ			
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	Q _{στραγγ} = 4,729	m ³ /d	
ΞΗΡΑΝΣΗ			
Παροχή εισόδου	Q _{εισ} = 145	m ³ /d	
Μάζα SS εισόδου	M _{εισ, SS} = 36,143	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	M _{εισ, VSS} = 21,248	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της ξήρανσης	M _{ΞΗΡ, SS} = 36,143	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της ξήρανσης	M _{ΞΗΡ, VSS} = 21,248	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Ξηραμένης Ιλύος	92%		
Μάζα Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	M _{εξ} = 39,286	kg/d	
Ειδικό βάρος ξηραμένης ιλύος	0.70	tn/m ³	
Παροχή Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	Q _{εξ, ΞΗΡ} = 56.12	m ³ /d	
Μάζα Νερού Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	M _{εξ, νερού} = 3,143	kg/d	
<u>Νερό που εξεπιμύζεται</u>			
Νερό που εξεπιμύζεται κατά την ξήρανση	M _{εξεπιμ. Νερού, ΞΗΡ} = 105	tn/d	
	Q _{εξεπιμ. Νερού, ΞΗΡ} = 105	m ³ /d	

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ			
Επιλέγεται να εγκατασταθεί	Jenbacher Type 4-416		
Ηλεκτρική Ισχύς		$P_{el} =$	1,130 kW
Βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής ισχύος		$\eta_{el} =$	0,42
Θερμική ισχύς		$P_{th} =$	1,124 kW
Βαθμός απόδοσης θερμικής ισχύος		$\eta_{th} =$	0,418
<u>Βιοαέριο</u>			
Παραγόμενο βιοαέριο			15,925 m ³ βιοαέριο/d
Θερμογόνος δύναμη βιοαερίου			6,477 kWh/m ³ βιοαέριο
Συνολική προσφερόμενη ενέργεια			103,146 kWh/d
<u>Απαιτούμενη Ενέργεια Μηχανής</u>			
Απαιτούμενη ισχύς καυσίμου		$P_{καυσ} =$	2,690 kW
Απαιτούμενη ενέργεια μηχανής			64,571 kWh/d
Ελάχιστος αριθμός εγκατεστημένων μηχανών		$n =$	1,60
	ΕΓΚΑΘΙΣΤΑΝΤΑΙ	$n =$	2,00 μηχανές
<u>Οι μονάδες συμπαράγωγής προσφέρουν</u>			
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς		$P_{el} =$	1,805 kW
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια			43,321 kWh/d
Παραγόμενη θερμική ισχύς		$P_{th} =$	1,795 kW
Παραγόμενη θερμική ενέργεια			43,091 kWh/d
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ			
<u>Μηχανική Πάχυνση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας			0,3 kWh/m ³
Παροχή ΠΕΙ στην είσοδο της μηχανικής πάχυνσης		$W_{(TSS=0)} =$	2,773 m ³ /d
Μηχανική Πάχυνση			832 kWh/d
<u>Χώνευση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας			6 W/m ³ χωνευτή
Όγκος χωνευτών		$V_{χωνευτών} =$	20,882,17 m ³ χωνευτή
Χώνευση			125,29 kWh/d
<u>Μηχανική Αφυδάτωση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας			2 kWh/m ³ ιλύος
Παροχή χωνεμένης ιλύος στην είσοδο της αφυδάτωσης		$Q_{εισ,σπού} =$	1,074 m ³ ιλύος/d
Μηχανική Αφυδάτωση			2,147 kWh/d
<u>Ξήρανση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας			70 kWh/tn εξησμ. νερού
Μάζα νερού που εξατμίζεται		$M_{εξησμ. νερού, ΞΗΡ} =$	105 tn εξησμ. νερού/d
Ξήρανση			7,370 kWh/d
Συνολικά απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια			10,475 kWh/d
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ			
<u>Θέρμανση χωνευτών</u>			
<u>1. Θέρμανση ιλύος, Q₁</u>			
Μάζα παχυμένης ιλύος (πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας)		$M_{παχ} =$	1,073,740 kg/d
Ειδική θερμότητα ιλύος, C		$C =$	1 kcal/kg-°C
Θερμοκρασία χωνευτή (μεσοφιλική χώνευση)		$T_{χωνευτή} =$	35 °C
Θερμοκρασία συνολικά παχυμένης ιλύος		$T_{παχ} =$	20 °C
Ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης, Q ₁		$Q_1 =$	16,106,100 kcal/d
			18,728 kWh/d
<u>2. Θέρμανση χωνευτή, Q₂</u>			
Θέρμανση χωνευτών = 10% * Θέρμανση ιλύος		$Q_2 =$	1,610,610 kcal/d
			1,873 kWh/d
<u>3. Συνολικά απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης</u>			
Χωροθέτηση χωνευτή	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ		ΥΠΟΓΕΙΟΣ
Απαιτούμενη ισχύς εναλλάκτη		$Q_{tot} =$	17,716,710 kcal/d
Βαθμός Απόδοσης εναλλάκτη			20,601 kWh/d
Ελάχιστη ισχύς που πρέπει να μεταφέρει ο εναλλάκτης			858 kW
			1,073 kW
<u>Ξήρανση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Θερμ. Ενέργειας			900 kWh/tn εξησμ. νερού
Μάζα νερού που εξατμίζεται		$M_{εξησμ. νερού, ΞΗΡ} =$	105 tn εξησμ. νερού/d
Θερμ. Ενέργεια			94,758 kWh/d
Συνολικά απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια			115,359 kWh/d
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ			
<u>Θερμική Ενέργεια</u>			
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια			43,091 kWh/d
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΥΨΗΛΗΣ ενθαλπίας (60%)			25,855 kWh/d
Τελικά Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΥΨΗΛΗΣ ενθαλπίας (λόγω απωλειών, *0,85)			21,977 kWh/d
			8,021,465 kWh/year
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΧΑΜΗΛΗΣ ενθαλπίας (40%)			17,237 kWh/d
Τελικά Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΧΑΜΗΛΗΣ ενθαλπίας (λόγω απωλειών, *0,85)			14,651 kWh/d
			5,347,643 kWh/year
Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια ΥΨΗΛΗΣ ενθαλπίας			94,758 kWh/d
			34,586,638 kWh/year
Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια ΧΑΜΗΛΗΣ ενθαλπίας			25,751 kWh/d
			9,399,127 kWh/year
ΕΠΑΡΚΕΙ η Θερμική Ενέργεια ΥΨΗΛΗΣ ενθαλπίας			OXI
ΕΠΑΡΚΕΙ η Θερμική Ενέργεια ΧΑΜΗΛΗΣ ενθαλπίας			OXI
Πρόσθετη Ενέργεια που απαιτείται			30,616,657 kWh/year manually
Θερμογόνος Φυσικού Αερίου			10,23 kWh/m ³
Φυσικό Αέριο που απαιτείται			2,992,831 m ³ /year
<u>Ηλεκτρική Ενέργεια</u>			
Διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια			43,321 kWh/d
Τελικά Διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια (όχι πρόσθετες απώλειες, *1)			43,321 kWh/d
			15,812,321 kWh/year
Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια			10,475 kWh/d
			3,823,319 kWh/year
ΕΠΑΡΚΕΙ η Ηλεκτρική Ενέργεια			NAI

ΕΕΛ #2 –Σενάριο Β΄

Χειμώνας

ΠΑΧΥΝΣΗ			
<u>Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος</u>			
<u>Διαστασιολόγηση Παχυντή Πρωτοβάθμιας Ιλύος</u>			
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{SS,1β\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	31,500	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{VSS,1β\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	23,625	kgVSS/d
Φόρπση Στερεών		100	kg SS/m ² -d
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\eta\pi\iota,tot} =$	315	m ²
ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ		2	παχυντές
Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας	$A_{\eta\pi\iota} =$	158	m ²
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D_{min} =$	14.16	m
Διάμετρος παχυντή βαρύτητας	$D =$	14.50	m
Πλευρικό Βάθος	$H_{\pi\lambda\epsilon\upsilon\pi} =$	4.00	m
Κλίση πυθμένα		1/6	
<u>Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς</u>			
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\eta, SS, 1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	31,500	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\eta, VSS, 1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	23,625	kgVSS/d
Συγκέντρωση στερεών ΠΠ		5%	
ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ			
Παροχή ΠΠ	$Q_{\eta, 1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	630.0	m ³ /d
Μάζα ΠΠ	$M_{\eta, 1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\alpha\varsigma} =$	630,000	kg/d
<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή στραγγιδίων από παχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος	$Q_{στρα\eta, \pi\alpha\chi\upsilon\eta\sigma\eta} =$	1470.0	m ³ /d
			9
ΠΡΟ-ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ			
<u>Προ-αφυδάτωση Βιολογικής Ιλύος</u>			
<u>Διαστασιολόγηση Φυγοκεντρητή Προ-αφυδάτωσης</u>			
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της προαφυδάτωσης	$M_{SS, \beta\iota\omicron\lambda} =$	20,606	kg TSS/d
		859	kg/h
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της προ-αφυδάτωσης	$M_{VSS, \beta\iota\omicron\lambda} =$	13,577	kg VSS/d
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα		7	days
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα		24	hours
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος		144,243	kg TSS/week
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας		859	kg TSS/h
ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ			
ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ			
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη		6.00	kg/tn DS
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)		5.15	kg/h
Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη		3.00	E/kg πολυηλεκτρολύτη
<u>Προ-Αφυδατωμένη βιολογική ιλύς</u>			
Συγκέντρωση στερεών Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος		16.5%	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων		0%	
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της προ-αφυδάτωσης	$M_{\pi\pi\omicron-\alpha\phi\upsilon\delta, SS} =$	20,606	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της προ-αφυδάτωσης	$M_{\pi\pi\omicron-\alpha\phi\upsilon\delta, VSS} =$	13,577	kg TSS/d
Παροχή Εξόδου Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\pi\pi\omicron-\alpha\phi\upsilon\delta, \beta\iota\omicron\lambda} =$	124.9	m ³ /d
<u>Στραγγίδια</u>			
Παροχή ΠΕΙ προς προ-αφυδάτωση	$Q_{\eta\lambda\alpha\varsigma} =$	2575.8	m ³ /d
Παροχή Εξόδου Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος	$Q_{\pi\pi\omicron-\alpha\phi\upsilon\delta, \beta\iota\omicron\lambda} =$	124.9	m ³ /d
Παροχή στραγγιδίων από προ-αφυδάτωση ΠΕΙ	$Q_{στρα\eta, \pi\pi\omicron-\alpha\phi\upsilon\delta} =$	2450.9	m ³ /d
			12

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΘΕΡΜΙΚΗ ΥΔΡΟΛΥΣΗ

Θερμική Υδρόλυση Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος

Μάζα στερεών SS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της ΤΗΡ
 Μάζα στερεών VSS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της ΤΗΡ
 Παροχή Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της ΤΗΡ

$M_{\text{προ-αφυδ,SS}} = 20,606$ kg TSS/d
 $M_{\text{προ-αφυδ,VSS}} = 13,577$ kg TSS/d
 $Q_{\text{προ-αφυδ,βιολ}} = 124.9$ m³/d

1. Απαιτούμενος Ατμός

Θερμοκρασία Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της ΤΗΡ
 Πίεση Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της ΤΗΡ

$\theta_{\text{εισ.ΤΗΡ}} = 18$ °C
 $P_{\text{εισ.ΤΗΡ}} = 1.00$ bar

Θερμογόνος Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της ΤΗΡ στους **18°C**

75.62 kJ/kg

Θερμοκρασία Ατμού

$\theta_{\text{ατμού}} = 189.5$ °C

Πίεση Ατμού

$P_{\text{ατμού}} = 12.00$ bar

Θερμογόνος Ατμού

2782.70 kJ/kg

Θερμοκρασία Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$\theta_{\text{εξ.ΤΗΡ}} = 100$ °C

Πίεση Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$P_{\text{εξ.ΤΗΡ}} = 1.00$ bar

Θερμογόνος Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

419.06 kJ/kg

Εφαρμόζοντας το ισοζύγιο προκύπτει ότι

για επεξεργασία 1 kg ιλύος απαιτείται

0.145 kg ατμός/h

για επεξεργασία 1 kg DS απαιτείται

0.881 kg ατμός/h

Μάζα απαιτούμενου Ατμού

$M_{\text{ατμού}} = 756$ kg ατμός/h

Μάζα στερεών SS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$M_{\text{εξ.ΤΗΡ,SS}} = 20,606$ kg TSS/d

Μάζα στερεών VSS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$M_{\text{εξ.ΤΗΡ,VSS}} = 13,577$ kg TSS/d

Μάζα Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$M_{\text{εξ.ΤΗΡ,βιολ}} = 143,032$ kg/d

Παροχή Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$Q_{\text{εξ.ΤΗΡ,βιολ}} = 143.0$ m³/d

Συγκέντρωση στερεών Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

14.4% (~14,3% DS από CAM)

2. Νερό Αραίωσης

ΣΤΟΧΟΣ : αραίωση από 14,4%DS->8-12% DS

ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ

14.4% manually

Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$M_{\text{εξ.ΤΗΡ,SS}} = 20,606$ kg TSS/d

Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$M_{\text{εξ.ΤΗΡ,VSS}} = 13,577$ kg TSS/d

Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$M_{\text{εξ.ΤΗΡ,βιολ}} = 143,032$ kg/d

Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$Q_{\text{εξ.ΤΗΡ,βιολ}} = 143.0$ m³/d

Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση

$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,SS}} = 20,606$ kg TSS/d

Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση

$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,VSS}} = 13,577$ kg TSS/d

Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση

$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} = 143,032$ kg/d

Μάζα Νερού Αραίωσης

$M_{\text{νερού αραίωσης}} = 0$ kg/d

3. Θερμοκρασία Αραιωμένης Υδρολυμένης ΠΕΙ

Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$M_{\text{εξ.ΤΗΡ,βιολ}} = 143,032$ kg/d

Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της ΤΗΡ

$\theta_{\text{εξ.ΤΗΡ,βιολ}} = 100$ °C

Μάζα Νερού Αραίωσης

$M_{\text{νερού αραίωσης}} = 0$ kg/d

Μάζα Νερού Αραίωσης

$\theta_{\text{νερού αραίωσης}} = 18$ °C

Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση

$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} = 143,032$ kg/d

Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση

$\theta_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} = 100$ °C

ΑΝΑΜΙΞΗ ΠΑΧΥΜΕΝΗΣ ΠΡΟΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΑΙΩΜΕΝΗΣ-ΥΔΡΟΛΥΜΕΝΗΣ ΠΕΙ

Μάζα στερεών SS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας

$M_{\text{Π,SS,1βθθμιας}} = 31,500$ kgSS/d

Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας

$M_{\text{Π,VSS,1βθθμιας}} = 23,625$ kgVSS/d

Παροχή ΠΠΙ

$Q_{\text{Π,1βθθμιας}} = 630.0$ m³/d

Μάζα ΠΠΙ

$M_{\text{Π,1βθθμιας}} = 630,000$ kg/d

Θερμοκρασία ΠΠΙ

$\theta_{\text{ΠΠΙ}} = 18$ °C

Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση

$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,SS}} = 20,606$ kg TSS/d

Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση

$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,VSS}} = 13,577$ kg TSS/d

Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση

$Q_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} = 143.0$ m³/d

Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση

$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} = 143,032$ kg/d

Θερμοκρασία Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση

$\theta_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} = 100$ °C

Μάζα στερεών SS πριν τη χώνευση

$M_{\text{εισ.χώνευσης,SS}} = 52,106$ kg TSS/d

Μάζα στερεών VSS πριν τη χώνευση

$M_{\text{εισ.χώνευσης,VSS}} = 37,202$ kg TSS/d

Παροχή αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση

$Q_{\text{εισ.χώνευσης,βιολ}} = 773.0$ m³/d

Μάζα αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση

$M_{\text{εισ.χώνευσης,βιολ}} = 773,032$ kg/d

Θερμοκρασία αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση

$\theta_{\text{εισ.χώνευσης,βιολ}} = 33.17$ °C

Συγκέντρωση στερεών αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση

6.74%

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΧΩΝΕΥΣΗ			
<i>Διαστασιολόγηση Χωνευτή</i>			
<i>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</i>			
Παροχή Εισόδου ΠΠΙ	630.0	m^3/d	
<i>Παχυμένη Βιολογική Ιλύς</i>			
Παροχή Παχυμένης Βιολογικής Ιλύος	143.0	m^3/d	
Χρόνος παραμονής	18	days	
Ελάχιστος απαιτούμενος όγκος χωνευτή	13,915	m^3	
Πλήθος χωνευτών	2	χωνευτές	ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ
Ύψος χωνευτή	24	m	
Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια κάθε χωνευτή	289.89	m^2	
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος κάθε χωνευτή	19.21	m	
Διάμετρος κάθε χωνευτή	20.00	m	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
	15,080		
	19.51	days	
Χρόνος παραμονής, ΤΕΛΙΚΑ			
<i>Παραγωγή Βιοαερίου</i>			
<i>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</i>			
Μάζα SS ΠΠΙ	31,500	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΠΙ	23,625	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	12,994	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	18,506	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	10,631	kgVSS/d	
<i>Υδρολυμένη Βιολογική Ιλύς</i>			
Μάζα SS Υδρολυμένης ΠΕΙ	20,606	kgSS/d	
Μάζα VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ	13,577	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	7,467.39	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	13,139	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	6,110	kgVSS/d	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από Πρωτοβάθμια Ιλύ	0.9479	m^3 βιοαέριο/kg VSS	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από ΠΕΙ	0.8251	m^3 βιοαέριο/kg VSS	
Συνολικά παραγόμενο βιοαέριο	18,478	m^3 βιοαέριο/d	
<i>Παραγωγή Χωνεμένης Ιλύος</i>			
Μάζα SS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	31,645	kgSS/d	
Μάζα VSS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	16,741	kgVSS/d	
Παροχή Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	773.0	m^3/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Χωνεμένης Ιλύος	4.09%		
	52.90%		
ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ			
<i>Διαστασιολόγηση Φυγοκεντρική</i>			
Παροχή εισόδου	773.0	m^3/d	
Μάζα SS εισόδου	31,645	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	16,741	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	31,645	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	16,741	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Αφυδατωμένης Ιλύος	30%		
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	105.5	m^3/d	
Μάζα Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	105,484	kg/d	
Μάζα Νερού Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	73,838	kg/d	
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα	7	days	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα	24	hours	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος	221,515	kg TSS/week	
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας	1,319	kg TSS/h	
<i>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</i>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη	10.00	kg/tn DS	
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)	13.19	kg/h	
Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη	3.00	E/kg πολυηλεκτρολύτη	
Στραγγίδια			
Παροχή ιλύος προς αφυδάτωση	773.0	m^3/d	
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	105.5	m^3/d	
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	667.5	m^3/d	15
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ			
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	4,588.4	m^3/d	
ΞΗΡΑΝΣΗ			
Παροχή εισόδου	105.5	m^3/d	
Μάζα SS εισόδου	31,645	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	16,741	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της ξήρανσης	31,645	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της ξήρανσης	16,741	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Ξηραμένης Ιλύος	92%		
Μάζα Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	34,397	kg/d	
Ειδικό βάρος ξηραμένης ιλύος	0.70	tn/m ³	
Παροχή Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	49.1	m^3/d	
Μάζα Νερού Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	2,752	kg/d	
Νερό που εξαιμίζεται			
Νερό που εξαιμίζεται κατά την ξήρανση	73.8	tn/d	
	73.8	m^3/d	

Θέρος

ΠΑΧΥΝΣΗ

Πάχυνση Πρωτοβάθμιας Ιλύος

Διαστασιολόγηση Παχυντή Πρωτοβάθμιας Ιλύος

Μάζα στερεών SS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας
Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της πάχυνσης βαρύτητας

$M_{SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} = 31,500$ kgSS/d
 $M_{VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} = 23,625$ kgVSS/d

Φόρτιση Στερεών

100.00 kg SS/m²-d

Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας

$A_{\eta\pi\iota,tot} = 315$ m²

ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ

2 παχυντές

Ελάχιστη απαιτούμενη συνολική επιφάνεια παχυντών βαρύτητας

$A_{\eta\pi\iota} = 158$ m²

Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος παχυντή βαρύτητας

$D_{min} = 14.16$ m

Διάμετρος παχυντή βαρύτητας

$D = 14.50$ m

Πλευρικό Βάθος

$H_{\pi\lambda\epsilon\upsilon\pi} = 2$ m

Κλίση πυθμένα

1/6

Παχυμένη Πρωτοβάθμια Ιλύς

Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων

0%

Μάζα στερεών SS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας

$M_{\pi,SS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} = 31,500$ kgSS/d

Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της πάχυνσης βαρύτητας

$M_{\pi,VSS,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} = 23,625$ kgVSS/d

Συγκέντρωση στερεών ΠΠ

5%

ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ

Παροχή ΠΠ

$Q_{\pi,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} = 630$ m³/d

Μάζα ΠΠ

$M_{\pi,1\beta\acute{\alpha}\theta\mu\iota\alpha\varsigma} = 630,000$ kg/d

Στραγγίδια

Παροχή στραγγιδίων από παχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος

$Q_{στ\alpha\gamma\iota,παχ\upsilon\sigma\eta\varsigma} = 1,470$ m³/d **9**

ΠΡΟ-ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ

Προ-αφυδάτωση Βιολογικής Ιλύος

Διαστασιολόγηση Φυγοκεντροτή Προ-αφυδάτωσης

Μάζα στερεών SS στην είσοδο της προαφυδάτωσης

$M_{SS,β\iota\omicron\lambda} = 22,187$ kg TSS/d

Μάζα στερεών VSS στην είσοδο της προ-αφυδάτωσης

$M_{VSS,β\iota\omicron\lambda} = 15,167$ kg VSS/d

Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα

7 days

Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα

24 hours

ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ

ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ

Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος

155,309 kg TSS/week

Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας

924 kg TSS/h

Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη

Δόση πολυηλεκτρολύτη

6.00 kg/tn DS

Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)

5.55 kg/h

Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη

3.00 €/kg πολυηλεκτρολύτη

Προ-Αφυδατωμένη βιολογική ιλύς

Συγκέντρωση στερεών Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος

16.5%

Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων

0%

Μάζα στερεών SS στην έξοδο της προ-αφυδάτωσης

$M_{\pi\pi\text{ρο-}\alpha\phi\upsilon\delta,SS} = 22,187$ kg TSS/d

Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της προ-αφυδάτωσης

$M_{\pi\pi\text{ρο-}\alpha\phi\upsilon\delta,VSS} = 15,167$ kg TSS/d

Παροχή Εξόδου Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος

$Q_{\pi\pi\text{ρο-}\alpha\phi\upsilon\delta,β\iota\omicron\lambda} = 134$ m³/d

Στραγγίδια

Παροχή ΠΕΙ προς προ-αφυδάτωση

$Q_{WAS} = 2,773$ m³/d

Παροχή Εξόδου Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος

$Q_{\pi\pi\text{ρο-}\alpha\phi\upsilon\delta,β\iota\omicron\lambda} = 134$ m³/d

Παροχή στραγγιδίων από προ-αφυδάτωση ΠΕΙ

$Q_{στ\alpha\gamma\iota,\pi\pi\text{ρο-}\alpha\phi\upsilon\delta} = 2,639$ m³/d **12**

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΘΕΡΜΙΚΗ ΥΔΡΟΛΥΣΗ			
Θερμική Υδρόλυση Προ-Αφυδατωμένης Βιολογικής Ιλύος			
Μάζα στερεών SS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$M_{\text{προ-αφυδ,SS}} =$	22,187	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$M_{\text{προ-αφυδ,VSS}} =$	15,167	kg TSS/d
Παροχή Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$Q_{\text{προ-αφυδ,βιολ}} =$	134.5	m ³ /d
1. Απαιτούμενος Ατμός			
Θερμοκρασία Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$\theta_{\text{είσθ,THP}} =$	25.00	°C
Πίεση Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP	$P_{\text{είσθ,THP}} =$	1.00	bar
Θερμογόνος Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην είσοδο της THP στους 25°C		104.90	kJ/kg
Θερμοκρασία Ατμού	$\theta_{\text{ατμίου}} =$	189.50	°C
Πίεση Ατμού	$P_{\text{ατμίου}} =$	12.00	bar
Θερμογόνος Ατμού		2782.70	kJ/kg
Θερμοκρασία Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$\theta_{\text{έξθ,THP}} =$	100.00	°C
Πίεση Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$P_{\text{έξθ,THP}} =$	1.00	bar
Θερμογόνος Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP		419.06	kJ/kg
Εφαρμόζοντας το ισοζύγιο προκύπτει ότι			
για επεξεργασία 1 kg ιλύος απαιτείται		0.133	kg ατμός/h
για επεξεργασία 1 kg DS απαιτείται		0.806	kg ατμός/h

Μάζα απαιτούμενου Ατμού	$M_{\text{ατμίου}} =$	745	kg ατμός/h
Μάζα στερεών SS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,SS}} =$	22,187	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,VSS}} =$	15,167	kg TSS/d
Μάζα Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,βιολ}} =$	152,339	kg/d
Παροχή Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$Q_{\text{έξθ,THP,βιολ}} =$	152.3	m ³ /d
Συγκέντρωση στερεών Προ-Αφυδατωμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP		14.56%	(~14,3% DS από CAM)
2. Νερό Αραίωσης			
ΣΤΟΧΟΣ : αραίωση από 14,4%DS->8-12% D ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ			
Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,SS}} =$	22,187	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,VSS}} =$	15,167	kg TSS/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,βιολ}} =$	152,339	kg/d
Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$Q_{\text{έξθ,THP,βιολ}} =$	152.3	m ³ /d

Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,SS}} =$	22,187	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,VSS}} =$	15,167	kg TSS/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} =$	246,522	kg/d
Μάζα Νερού Αραίωσης	$M_{\text{νερού αραίωσης}} =$	94,183	kg/d
3. Θερμοκρασία Αραιωμένης Υδρολυμένης ΠΕΙ			
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$M_{\text{έξθ,THP,βιολ}} =$	152,339	kg/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ στην έξοδο της THP	$\theta_{\text{έξθ,THP,βιολ}} =$	100	°C
Μάζα Νερού Αραίωσης	$M_{\text{νερού αραίωσης}} =$	94,183	kg/d
Μάζα Νερού Αραίωσης	$\theta_{\text{νερού αραίωσης}} =$	25	°C
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} =$	246,522	kg/d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$\theta_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} =$	71.35	°C
ΑΝΑΜΙΞΗ ΠΑΧΥΜΕΝΗΣ ΠΡΟΤΟΒΑΘΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΑΙΩΜΕΝΗΣ-ΥΔΡΟΛΥΜΕΝΗΣ ΠΕΙ			
Μάζα στερεών SS στην <u>έξοδο</u> της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\text{π,SS,1βθθμιας}} =$	31,500	kgSS/d
Μάζα στερεών VSS στην <u>έξοδο</u> της πάχυνσης βαρύτητας	$M_{\text{π,VSS,1βθθμιας}} =$	23,625	kgVSS/d
Παροχή ΠΠΙ	$Q_{\text{π,1βθθμιας}} =$	630	m ³ /d
Μάζα ΠΠΙ	$M_{\text{π,1βθθμιας}} =$	630,000	kg/d
Θερμοκρασία ΠΠΙ	$\theta_{\text{ΠΠΙ}} =$	25	°C

Μάζα στερεών SS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,SS}} =$	22,187	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,VSS}} =$	15,167	kg TSS/d
Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$Q_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} =$	247	m ³ /d
Μάζα Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$M_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} =$	246,522	kg/d
Θερμοκρασία Υδρολυμένης ΠΕΙ μετά την αραίωση	$\theta_{\text{αραιωμ-υδρολ,βιολ}} =$	71.35	°C

Μάζα στερεών SS <u>πριν</u> τη χώνευση	$M_{\text{είσθ,χώνευσης,SS}} =$	53,687	kg TSS/d
Μάζα στερεών VSS <u>πριν</u> τη χώνευση	$M_{\text{είσθ,χώνευσης,VSS}} =$	38,792	kg TSS/d
Παροχή αναμιγμένης ιλύος <u>πριν</u> τη χώνευση	$Q_{\text{είσθ,χώνευσης,βιολ}} =$	877	m ³ /d
Μάζα αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση	$M_{\text{είσθ,χώνευσης,βιολ}} =$	876,522	kg/d
Θερμοκρασία αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση	$\theta_{\text{είσθ,χώνευσης,βιολ}} =$	38.03	°C
Συγκέντρωση στερεών αναμιγμένης ιλύος πριν τη χώνευση		6.13%	

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΧΩΝΕΥΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Χωνευτή</u>			
Παροχή Εισόδου ΠΠΙ	630	m ³ /d	
<u>Υδρολυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Παροχή Υδρολυμένης ΠΕΙ	134	m ³ /d	
Χρόνος παραμονής	18	days	
Ελάχιστος απαιτούμενος όγκος χωνευτή	13,760	m ³	
Πλήθος χωνευτών	2	χωνευτές	ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΙ
Ύψος χωνευτή	24	m	
Ελάχιστη απαιτούμενη επιφάνεια κάθε χωνευτή	287	m ²	
Ελάχιστη απαιτούμενη διάμετρος κάθε χωνευτή	19.11	m	
Διάμετρος κάθε χωνευτή	20.00	m	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
	15,080	m ³	manually
	19.73	days	
Χρόνος παραμονής, ΤΕΛΙΚΑ			
<u>Παραγωγή Βιοαερίου</u>			
<u>Πρωτοβάθμια Παχυμένη Ιλύς</u>			
Μάζα SS ΠΠΙ	31,500	kgSS/d	
Μάζα VSS ΠΠΙ	23,625	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	12,994	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	18,506	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Πρωτοβάθμιας Ιλύος	10,631	kgVSS/d	
<u>Υδρολυμένη Βιολογική Ιλύς</u>			
Μάζα SS Υδρολυμένης ΠΕΙ	22,187	kgSS/d	
Μάζα VSS Υδρολυμένης ΠΕΙ	15,167	kgVSS/d	
Ποσοστό διάσπασης VSS κατά τη χώνευση	55%		
Μάζα VSS που διασπάστηκαν κατά τη χώνευση	8,342	kgVSS/d	
Μάζα SS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	13,845	kgSS/d	
Μάζα VSS Χωνεμένης Βιολογικής Ιλύος	6,825	kgVSS/d	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από Πρωτοβάθμια Ιλύς	0.9479	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Ειδική Παραγωγή Βιοαερίου από ΠΕΙ	0.7930	m ³ βιοαέριο/kg VSS	
Συνολικά παραγόμενο βιοαέριο	18,932	m ³ βιοαέριο/d	
<u>Παραγωγή Χωνεμένης Ιλύος</u>			
Μάζα SS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	32,351	kgSS/d	
Μάζα VSS Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	17,456	kgVSS/d	
Παροχή Εξόδου Χωνεμένης Ιλύος	764	m ³ /d	
Συγκέντρωση στερεών SS Χωνεμένης Ιλύος	4.23%		
	53.96%		
ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ			
<u>Διαστασιολόγηση Φυγοκεντρική</u>			
Παροχή εισόδου	Q _{εισ} = 764	m ³ /d	
Μάζα SS εισόδου	M _{εισ,SS} = 32,351	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	M _{εισ,VSS} = 17,456	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	M _{Α,SS} = 32,351	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της μηχανικής αφυδάτωσης	M _{Α,VSS} = 17,456	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Αφυδατωμένης Ιλύος	30%		
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	Q _{εξ} = 107.8	m ³ /d	
Μάζα Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	M _{εξ} = 107,838	kg/d	
Μάζα Νερού Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	M _{εξ,νερού} = 75,487	kg/d	
Ημέρες Λειτουργίας ανά εβδομάδα	7	days	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
Ώρες Λειτουργίας ανά ημέρα	24	hours	ΕΠΙΛΕΓΕΤΑΙ
Εβδομαδιαία παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος	226,460	kg TSS/week	
Παραγωγή TSS βιολογικής ιλύος ανά ώρα λειτουργίας της μονάδας	1,348	kg TSS/h	
<u>Κατανάλωση πολυηλεκτρολύτη</u>			
Δόση πολυηλεκτρολύτη	10.00	kg/tn DS	
Συνολικά απαιτούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη (powder)	13.48	kg/h	
Τιμή μονάδος πολυηλεκτρολύτη	3.00	E/kg πολυηλεκτρολύτη	
Στραγγίδια			
Παροχή ιλύος προς αφυδάτωση	Q _{προς αφυδάτωση} = 764.5	m ³ /d	
Παροχή Εξόδου Αφυδατωμένης Ιλύος	Q _Α = 107.8	m ³ /d	
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	Q _{στραγγ,αφυδάτωση} = 656.6	m ³ /d	15
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ ΣΤΡΑΓΓΙΔΙΩΝ			
Παροχή στραγγιδίων από αφυδάτωση	Q _{στραγγ} = 4,765.5	m ³ /d	
ΞΗΡΑΝΣΗ			
Παροχή εισόδου	Q _{εισ} = 107.8	m ³ /d	
Μάζα SS εισόδου	M _{εισ,SS} = 32,351	kgTSS/d	
Μάζα VSS εισόδου	M _{εισ,VSS} = 17,456	kgVSS/d	
Ποσοστό απωλειών στερεών μέσω των στραγγιδίων	0%		
Μάζα στερεών SS στην έξοδο της ξήρανσης	M _{ΞΗΡ,SS} = 32,351	kg TSS/d	
Μάζα στερεών VSS στην έξοδο της ξήρανσης	M _{ΞΗΡ,VSS} = 17,456	kg VSS/d	
Συγκέντρωση στερεών SS Ξηραμένης Ιλύος	92%		
Μάζα Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	M _{εξ} = 35,165	kg/d	
Ειδικό βάρος ξηραμένης ιλύος	0.70	tn/m ³	
Παροχή Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	Q _{εξ,ΞΗΡ} = 50.2	m ³ /d	
Μάζα Νερού Εξόδου Ξηραμένης Ιλύος	M _{εξ,νερού} = 2,813	kg/d	
Νερό που εξατμίζεται			
Νερό που εξατμίζεται κατά την ξήρανση	M _{εξ,ατμ. Νερού, ΞΗΡ} = 75.4	tn/d	
	Q _{εξ,ατμ. Νερού, ΞΗΡ} = 75.4	m ³ /d	

Αξιολόγηση Έργων Επεξεργασίας Ιλύος με και χωρίς Μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Επιλέγεται να εγκατασταθεί	Jenbacher Type 4-416		
Ηλεκτρική Ισχύς		P_{el} =	1,130 kW
Βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής ισχύος		η_{el} =	0.42
Θερμική ισχύς		P_{th} =	1,124 kW
Βαθμός απόδοσης θερμικής ισχύος		η_{th} =	0.418
<u>Βιοαέριο</u>			
Παραγόμενο βιοαέριο			18,932 m ³ βιοαέριο/d
Θερμογόνος δύναμη βιοαερίου			6,477 kWh/m ³ βιοαέριο
Συνολική προσφερόμενη ενέργεια			122,622 kWh/d
<u>Απαιτούμενη Ενέργεια Μηχανής</u>			
Απαιτούμενη ισχύς καυσίμου		P_{καυσ} =	2,690 kW
Απαιτούμενη ενέργεια μηχανής			64,571 kWh/d
Ελάχιστος αριθμός εγκατεστημένων μηχανών		η =	1.90
		η =	2 μηχανές
ΕΓΚΑΘΙΣΤΑΝΤΑΙ			
<u>Οι μονάδες συμπαράγωγής προσφέρουν</u>			
Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς		P_{el} =	2,146 kW
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια			51,501 kWh/d
Παραγόμενη θερμική ισχύς		P_{th} =	2,134 kW
Παραγόμενη θερμική ενέργεια			51,228 kWh/d

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

<u>Προ-αφυδάτωση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας			1.00 kWh/m ³
Παροχή ΠΕΙ στην είσοδο της προ-αφυδάτωσης			2,773 m ³ ιλύος/d
Προ-αφυδάτωση			2,773 kWh/d
<u>Θερμική Υδρόλυση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας			35.00 kWh/tn DS επεξ.
Μάζα στερεών SS στην είσοδο της θερμικής υδρόλυσης			22,187 kg SS/d
Θερμική Υδρόλυση			777 kWh/d
<u>Χώνευση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας			6.00 W/m ³ χωνευτών
Όγκος χωνευτών		V_{χωνευτών} =	15,080 m ³ χωνευτών
Χώνευση			90 kWh/d
<u>Μηχανική Αφυδάτωση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας			2.00 kWh/m ³ ιλύος
Παροχή χωνεμένης ιλύος στην είσοδο της αφυδάτωσης		Q_{εισ,αφυδ} =	773 m ³ ιλύος/d
Μηχανική Αφυδάτωση			1,546 kWh/d
<u>Ξήρανση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας			70 kWh/tn εξεσμ. νερού
Μάζα νερού που εξατμίζεται		M_{εξεσμ. Νερού, ΞΗΡ.} =	75 tn εξεσμ. νερού/d
Ξήρανση			5,281 kWh/d
Συνολικά απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια			10,467 kWh/d

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

<u>Παραγωγή ατμού</u>			
Ενthalπία νερού στους 20°C, 1 bar			84 kJ/kg
Ενthalπία στέμνου ατμού στους 189,5°C, 12 bar			2782.70 kJ/kg
Διαφορά ενthalπίας			2698.70 kJ/kg
Απαιτούμενος ατμός			756 kg/h
Απαιτούμενη Ισχύς ατμολέβητα			567 kW
Βαθμός απόδοσης ατμολέβητα			0.80
Ζητούμενη Ισχύς ατμολέβητα			708 kW
Θερμ. Ενέργεια			17,004 kWh/d
<u>Ξήρανση</u>			
Ειδική Κατανάλωση Ηλ. Ενέργειας			900 kWh/tn εξεσμ. νερού
Μάζα νερού που εξατμίζεται		M_{εξεσμ. Νερού, ΞΗΡ.} =	75.4 tn εξεσμ. νερού/d
Θερμ. Ενέργεια			67,893 kWh/d
Συνολικά απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια			84,897 kWh/d

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ

Διαθέσιμη θερμική ενέργεια		51,228 kWh/d	
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΥΨΗΛΗΣ ενthalπίας (80%)		30,737 kWh/d	
Τελικά Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΥΨΗΛΗΣ ενthalπίας (λόγω απωλειών, *0,85)		26,126 kWh/d	
		9,536,027 kWh/year	
Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΧΑΜΗΛΗΣ ενthalπίας (40%)		20,491 kWh/d	
Τελικά Διαθέσιμη θερμική ενέργεια - ΧΑΜΗΛΗΣ ενthalπίας (λόγω απωλειών, *0,85)		17,417 kWh/d	
		6,357,351 kWh/year	
Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια ΥΨΗΛΗΣ ενthalπίας		84,897 kWh/d	
		30,987,225 kWh/year	
Απαιτούμενη Θερμική Ενέργεια ΧΑΜΗΛΗΣ ενthalπίας		0 kWh/d	
		0 kWh/year	
ΕΠΑΡΚΕΙ η Θερμική Ενέργεια ΥΨΗΛΗΣ ενthalπίας		OXI	
ΕΠΑΡΚΕΙ η Θερμική Ενέργεια ΧΑΜΗΛΗΣ ενthalπίας		NAI	
Πρόσθετη Ενέργεια που απαιτείται για ΥΨΗΛΗΣ ενthalπίας		24,780,846 kWh/year	
Θερμογόνος Φυσικού Αερίου		10.23 kWh/m ³	
Φυσικό Αέριο που απαιτείται		2,422,370 m ³ /year	
Ηλεκτρική Ενέργεια			
Διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια		51,501 kWh/d	
Τελικά Διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια (όχι πρόσθετες απώλειες, *1)		51,501 kWh/d	
		18,797,903 kWh/year	
Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια		10,467 kWh/d	
		3,820,458 kWh/year	
ΕΠΑΡΚΕΙ η Ηλεκτρική Ενέργεια		NAI	

γίνεται η παραδοχή ότι η περίσσεια θερμότητα υψηλής ενthalπίας είναι οικονομικά ασύμφορο να χρησιμοποιηθεί. Συνεπώς οι ανάγκες της ξήρανσης θα καλυφθούν εξ ολοκλήρου με καύση φυσικού αερίου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β' – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΕΕΛ#1 – Σενάριο Α'

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Μηχανική πάχυνση	
Φυγοκεντρητής (περιλαμβάνεται βοηθητικός εξοπλισμός) [€] 1 + 1 stand-by	200,000
Βοηθητικός Εξοπλισμός [€]	60,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μηχανικής Πάχυνσης [€]	260,000
Χώνευση	
Τιμή μονάδος ανά κυβικό μέτρο χωνευτή [€/m ³]	900
Όγκος χωνευτών [m ³]	4,513
Κόστος χωνευτών [€]	4,061,608
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Χώνευσης [€]	4,061,608
Μηχανική Αφυδάτωση	
Φυγοκεντρητής (περιλαμβάνεται βοηθητικός εξοπλισμός) [€] 2 + 1 stand-by	270,000
Βοηθητικός Εξοπλισμός [€]	50,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μηχανικής Αφυδάτωσης [€]	320,000
Μονάδα συμπαραγωγής	
Μηχανή συμπαραγωγής (συμπεριλαμβανομένης ηλεκτρικής γεννήτριας) [€] 2 Jenbacher Type 2 - 208	796,800
Εναλλάκτες (αποδιδόμενη ισχύς 223 kW) - για ιλύ και χωνευτές [€] 2 εναλλάκτες	260,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μονάδας Συμπαραγωγής [€] (+60,000 για μετατροπή υψηλής σε χαμηλή)	1,116,800
Συνολικό Κόστος Επένδυσης [€]	5,758,408

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

Ηλεκτρική ενέργεια	
Διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια από ΣΗΘΕ [kWh/έτος]	2,967,106
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια για ιλύ [kWh/έτος]	403,380
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια για συμπληρωματικές καταναλώσεις πλην ιλύος [kWh/έτος]	3,250,000
Επαρκεί η διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια?	ΟΧΙ
Απαιτούμενη Συμπληρωματική Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	686,274
Τιμή μονάδος αγοράς Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.11
Τιμή μονάδος πώλησης Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.09
Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας [€/έτος]	75,490
Πολυηλεκτρολύτης	
Απαιτούμενη Ποσότητα Πολυηλεκτρολύτη [kg/έτος]	36,900
Τιμή μονάδος Πολυηλεκτρολύτη [(€/kg πολυηλεκτρολύτη)]	3.00
Κόστος Πολυηλεκτρολύτη [€/έτος]	110,700
Επιπλέον Προσωπικό [€/έτος]	0
Μεταφορά και Διάθεση αφυδατωμένης ιλύος	
Τιμή μονάδος για μεταφορά και διάθεση αφυδατωμένης ιλύος [€/tn αφυδ.ιλύος]	120.00
Μάζα παραγόμενης αφυδατωμένης ιλύος [tn/έτος]	11,051
Κόστος μεταφοράς και διάθεσης [€/έτος]	1,326,105
Κόστος συντήρησης	
1. Μηχανική Πάχυνση	
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	11,700
2. Χώνευση	
Κόστος συντήρησης = 2% x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	81,232
3. Μηχανική Αφυδάτωση	
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	14,400
4. Μονάδα συμπαραγωγής	
Κόστος συντήρησης μηχανής ανά MWh[€/MWh]	20.00
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μονάδα συμπαραγωγής [MWh/έτος]	2,967
Κόστος συντήρησης μηχανής [€/έτος]	59,342
Κόστος Συντήρησης [€]	166,674
Συνολικό Λειτουργικό Κόστος [€]	1,678,969

ΕΕΛ#1 – Σενάριο Β'

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	
Προ-αφυδάτωση	
Φυγοκεντρήτης (περιλαμβάνεται βοηθητικός εξοπλισμός) [€] <i>1 + 1 stand-by Decaners CF 6000</i>	640,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Προ-αφυδάτωσης [€]	640,000
Θερμική Υδρόλυση	
Εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης [€] (*1,4 για μεταφορικά, εγκατάσταση, σιλό) <i>B2 unit (so 1 reactor of 2 m³)</i>	1,820,000
Έργα ΠΜ [€]	54,600
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Προ-αφυδάτωσης [€]	1,874,600
Χώνευση	
Τιμή μονάδος ανά κυβικό μέτρο χωνευτή [€/m³]	1,200
Όγκος χωνευτών [m³]	2,827
Κόστος χωνευτών [€]	3,392,920
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Χώνευσης [€]	3,392,920
Μηχανική Αφυδάτωση	
Φυγοκεντρήτης (περιλαμβάνεται βοηθητικός εξοπλισμός) [€] <i>1 + 1 stand-by</i>	180,000
Βοηθητικός Εξοπλισμός [€]	50,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μηχανικής Αφυδάτωσης [€]	230,000
Μονάδα συμπαραγωγής	
Μηχανή συμπαραγωγής (συμπεριλαμβανομένης ηλεκτρικής γεννήτριας) [€] <i>2 Jenbacher Type 2 - 208</i>	796,800
Σύστημα παραγωγής ατμού (αποδομένης ισχύος <i>160kW</i>) - για παραγωγή κορεσμένου ατμού 12 bar [€] <i>2 εναλλάκτες</i>	190,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μονάδας Συμπαραγωγής [€]	986,800
Συνολικό Κόστος Επένδυσης [€]	7,124,320
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	
Ηλεκτρική ενέργεια	
Διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	3,953,121
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	490,537
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια για συμπληρωματικές καταναλώσεις πλιν ιλύος [kWh/έτος]	3,250,000
Επάρκει η διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια?	ΝΑΙ
Απαιτούμενη Συμπληρωματική Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	-212,584.33
Τιμή μονάδος αγοράς Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.11
Τιμή μονάδος πώλησης Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.09
Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας [€/έτος]	-19,133
Πολυηλεκτρολύτης	
Απαιτούμενη Ποσότητα Πολυηλεκτρολύτη [kg/έτος]	35,440
Τιμή μονάδος Πολυηλεκτρολύτη [(€/kg πολυηλεκτρολύτη)]	3.00
Κόστος Πολυηλεκτρολύτη [€/έτος]	106,321
Προσωπικό [€/έτος]	
Προσωπικό [€/έτος]	30,000
Διάθεση αφυδατωμένης ιλύος	
Τιμή μονάδος για διάθεση αφυδατωμένης ιλύος [€/tn αφυδ.ιλύος]	120.00
Μάζα παραγόμενης αφυδατωμένης ιλύος [tn/έτος]	9,724.70
Κόστος διάθεσης [€/έτος]	1,166,964
Κόστος συντήρησης	
<i>1. Προ-αφυδάτωση</i>	
Κόστος συντήρησης = 4.5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	28,800
<i>2. Θερμική Υδρόλυση</i>	
Κόστος συντήρησης = 3.5 % x Κόστος επένδυσης (περιλαμβάνεται προσωπικό και ανταλλακτικά)	65,611
<i>3. Χώνευση</i>	
Κόστος συντήρησης = 2 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	67,858
<i>4. Μηχανική Αφυδάτωση</i>	
Κόστος συντήρησης = 4.5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	10,350
<i>5. Μονάδα συμπαραγωγής</i>	
Κόστος συντήρησης μηχανής ανά MWh[€/MWh]	20.00
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μονάδα συμπαραγωγής [MWh/έτος]	3,953
Κόστος συντήρησης μηχανής [€/έτος]	79,062
Κόστος Συντήρησης [€]	251,682
Συνολικό Λειτουργικό Κόστος [€]	1,535,833

Σύγκριση Σεναρίων Α' και Β' για ΕΕΛ#1

	Συμβατική Μέθοδος	THP Μέθοδος	Διαφορά
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ			
Μηχανική Πάχυνση			
Φυγοκεντρήτης (περιλαμβάνεται βοηθητικός εξοπλισμός) [€] <i>1 + 1 stand-by</i>	200,000		
Βοηθητικός Εξοπλισμός [€]	60,000		
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μηχανική Πάχυνση[€]	260,000		-260,000
Προ-αφυδάτωση			
Φυγοκεντρήτης (περιλαμβάνεται βοηθητικός εξοπλισμός) [€] <i>1 + 1 stand-by Decanters CF 6000</i>		640,000	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Προ-αφυδάτωσης [€]		640,000	640,000
Θερμική Υδρόλυση			
Εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης [€] (*1,4 για μεταφορικά, εγκατάσταση, σιλό) <i>B2 unit (so 1 reactor of 2 m³)</i>		1,820,000	
Έργα ΠΜ [€]		54,600	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Θερμικής Υδρόλυσης [€]		1,874,600	1,874,600
Χώνευση			
Τιμή μονάδος ανά κυβικό μέτρο χωνευτή [€/m³]	900	1,200	
Όγκος χωνευτών [m³]	4,513	2,827	
Κόστος χωνευτών [€]	4,061,608	3,392,920	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Χώνευσης[€]	4,061,608	3,392,920	-668,688
Μηχανική Αφυδάτωση			
Φυγοκεντρήτης (περιλαμβάνεται βοηθητικός εξοπλισμός) [€] <i>2 + 1 stand-by</i>	270,000	180,000	
Βοηθητικός Εξοπλισμός [€]	50,000	50,000	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μηχανικής Αφυδάτωσης [€]	320,000	230,000	-90,000
Μονάδα συμπαραγωγής			
Μηχανή συμπαραγωγής (συμπεριλαμβανομένης ηλεκτρικής γεννήτριας) [€] <i>2 Jenbacher Type 2 - 208</i>	796,800	796,800	
Εναλλακτής (αποδοδόμενη ισχύος <i>223 kW/135kW</i>) - για ιλύ και χωνευτές [€]	260,000	190,000	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μονάδας Συμπαραγωγής [€]	1,116,800	986,800	-130,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης [€]	5,758,408	7,124,320	1,365,912
Κόστος Επένδυσης ανηγμένο στο έτος [€]			142,631
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ			
Ηλεκτρική ενέργεια			
Διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια από ΣΗΘΕ [kWh/έτος]	2,967,106	3,953,121	
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια για ιλύ [kWh/έτος]	403,380	490,537	
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια για συμπληρωματικές καπναλώσεις πλην ιλύος [kWh/έτος]	3,250,000	3,250,000	
Επάρκει η διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια?	ΟΧΙ	ΝΑΙ	
Απαιτούμενη Συμπληρωματική Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	686,274	-212,584	
Τιμή μονάδος αγοράς Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.11	0.11	
Τιμή μονάδος πώλησης Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.09	0.09	
Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας [€/έτος]	75,490	-19,133	-94,623
Πολυηλεκτρολύτης			
Απαιτούμενη Ποσότητα Πολυηλεκτρολύτη [kg/έτος]	36,900	35,440	
Τιμή μονάδος Πολυηλεκτρολύτη [(€/kg πολυηλεκτρολύτη)]	3	3	
Κόστος Πολυηλεκτρολύτη [€/έτος]	110,700	106,321	-4,379
Επιπλέον Προσωπικό [€/έτος]	0	30,000	30,000
Μεταφορά και Διάθεση αφυδατωμένης ιλύος			
Τιμή μονάδος για μεταφορά και διάθεση αφυδατωμένης ιλύος [€/tn αφυδ.ιλύος]	120	120	
Μάζα παραγόμενη αφυδατωμένης ιλύος [tn/έτος]	11,051	9,725	
Κόστος μεταφοράς και διάθεσης [€/έτος]	1,326,105	1,166,964	-159,141
Κόστος συντήρησης			
1. Μηχανική Πάχυνση			
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	11,700		
2. Προ-αφυδάτωση			
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]		28,800.00	
3. Θερμική Υδρόλυση			
Κόστος συντήρησης = 3,5 % x Κόστος επένδυσης (περιλαμβάνεται προσωπικό και ανταλλακτικά)		65,611.00	
4. Χώνευση			
Κόστος συντήρησης = 2% x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	81,232	67,858.40	
5. Μηχανική Αφυδάτωση			
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	14,400	10,350.00	
6. Μονάδα συμπαραγωγής			
Κόστος συντήρησης μηχανής ανά MWh[€/MWh]	20	20	
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μονάδα συμπαραγωγής [MWh/έτος]	2,967	3,953	
Κόστος συντήρησης μηχανής [€/έτος]	59,342	79,062	
Κόστος Συντήρησης [€]	166,674	251,682	85,008
Συνολικό Λειτουργικό Κόστος [€]	1,678,969	1,535,833	-143,136
Κόστος Επένδυσης ανηγμένο στο έτος [€/έτος]			142,631
Ετήσιο Συνολικό Λειτουργικό Κόστος [€/έτος]			-143,136
Ετήσιο Συνολικό Κόστος [€/έτος]			-505
Απόσβεση Κεφαλαίου για Εγκατάσταση THP και προ-αφυδάτωση			17.57

ΕΕΛ#2 – Σενάριο Α'

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	
Μηχανική πάχυνση	
Φυγοκεντρητής (περιλαμβάνεται βοηθητικός εξοπλισμός) [€] <i>2 + 1 stand-by</i>	900,000
Βοηθητικός Εξοπλισμός [€]	100,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μηχανικής Πάχυνσης[€]	1,000,000
Χώνευση	
Τιμή μονάδος ανά κυβικό μέτρο χωνευτή [€/m ³]	450
Όγκος χωνευτών [m ³]	20,882
Κόστος χωνευτών [€]	9,396,975
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Χώνευσης[€]	9,396,975
Μηχανική Αφυδάτωση	
Φυγοκεντρητής [€] <i>2 + 1 stand-by</i>	780,000
Βοηθητικός Εξοπλισμός [€]	120,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μηχανικής Αφυδάτωσης [€]	900,000
Ξήρανση	
Μονάδα ξήρανσης [€]	11,000,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Ξήρανσης [€]	11,000,000
Μονάδα συμπαραγωγής	
Μηχανή συμπαραγωγής (συμπεριλαμβανομένης ηλεκτρικής γεννήτριας) [€] <i>2 Jenbacher Type 4 - 416</i>	2,712,000
Εναλλάκτης (αποδιδόμενη ισχύος <i>1.100kW</i>) - για ιλύς και χωνευτές [€] <i>2 εναλλάκτες</i>	720,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μονάδας Συμπαραγωγής [€] (+60000 για μετατροπή υψηλής σε χαμηλή)	3,492,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης [€]	25,788,975
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	
Ηλεκτρική ενέργεια	
Διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	15,812,321
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	3,823,319
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια για συμπληρωματικές καταναλώσεις πλυν ιλύος [kWh/έτος]	20,000,000
Επάρκει η διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια?	OXI
Απαιτούμενη Συμπληρωματική Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	8,010,997
Τιμή μονάδος αγοράς Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.11
Τιμή μονάδος πώλησης Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.09
Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας [€/έτος]	881,210
Φυσικό Αέριο - για κάλυψη συμπληρωματικών αναγκών θερμότητας για ξήρανση	
Συμπληρωματικές ανάγκες θερμότητας για ξήρανση [kWh/έτος]	30,616,657
Τιμή αγοράς φυσικού αερίου [€/kWh]	0.045
Δαπάνη συμπληρωματικού καυσίμου ξήρανσης [€/έτος]	1,377,750
Πολυηλεκτρολύτης	
Απαιτούμενη Ποσότητα Πολυηλεκτρολύτη [kg/έτος]	172,414
Τιμή μονάδος Πολυηλεκτρολύτη [(€/kg πολυηλεκτρολύτη)]	3.00
Κόστος Πολυηλεκτρολύτη [€/έτος]	517,241
Επιπλέον Προσωπικό [€/έτος]	0
Διάθεση ξηραμένης ιλύος	
Τιμή μονάδος για διάθεση ξηραμένης ιλύος [€/tn ξηραμ.ιλύος]	50.00
Μάζα παραγόμενης ξηραμένης ιλύος [tn/έτος]	14,339
Κόστος διάθεσης [€/έτος]	716,970
Κόστος συντήρησης	
<i>1. Μηχανική Πάχυνση</i>	
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	40,000.00
<i>2. Χώνευση</i>	
Κόστος συντήρησης = 2 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	187,939
<i>3. Μηχανική Αφυδάτωση</i>	
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	40,500
<i>4. Μονάδα συμπαραγωγής</i>	
Κόστος συντήρησης μηχανής ανά MWh[€/MWh]	20.00
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μονάδα συμπαραγωγής [MWh/έτος]	15,812
Κόστος συντήρησης μηχανής [€/έτος]	316,246
<i>5. Ξήρανση</i>	
Κόστος συντήρησης = 5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	550,000
Κόστος Συντήρησης [€]	1,134,686
Συνολικό Λειτουργικό Κόστος [€]	4,627,857

ΕΕΛ #2 – Σενάριο Β'

ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	
Προ-αφυδάτωση	
Φυγοκεντρητής [€] 3 + 1 stand-by Decanters CF 6000	1,280,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Προ-αφυδάτωσης [€]	1,280,000
Θερμική Υδρόλυση	
Εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης [€] (*1,4 για μεταφορικά, εγκατάσταση, σιλό) B6-2 unit (2 reactors, each 6 m³)	3,640,000
Έργα ΠΜ	109,200
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Προ-αφυδάτωσης [€]	3,749,200
Χώνευση	
Τιμή μονάδος ανά κυβικό μέτρο χωνευτή [€/m ³]	600
Όγκος χωνευτών [m ³]	15,080
Κόστος χωνευτών [€]	9,047,787
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Χώνευσης [€]	9,047,787
Μηχανική Αφυδάτωση	
Φυγοκεντρητής [€] 2 + 1 stand-by	600,000
Βοηθητικός Εξοπλισμός [€]	100,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μηχανικής Αφυδάτωσης [€]	700,000
Ξήρανση	
Μονάδα ξήρανσης [€]	9,000,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Ξήρανσης [€]	9,000,000
Μονάδα συμπαραγωγής	
Μηχανή συμπαραγωγής (συμπεριλαμβανομένης ηλεκτρικής γεννήτριας) [€] 2 Jenbacher Type 4 - 416	2,712,000
Σύστημα παραγωγής ατμού (αποδιδόμενη ισχύος 708 kW) - για παραγωγή κορεσμένου ατμού 12 bar [€] 2 εναλλάκτες	540,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μονάδας Συμπαραγωγής [€]	3,252,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης [€]	18,028,987
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	
Ηλεκτρική ενέργεια	
Διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	18,797,903
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	3,820,458
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια για συμπληρωματικές καταναλώσεις πλην ιλύος [kWh/έτος]	20,000,000
Επαρκεί η διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια?	ΟΧΙ
Απαιτούμενη Συμπληρωματική Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	5,022,555
Τιμή μονάδος αγοράς Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.11
Τιμή μονάδος πώλησης Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.09
Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας [€/έτος]	552,481
Φυσικό Αέριο - για κάλυψη συμπληρωματικών αναγκών θερμότητας για ξήρανση	
Συμπληρωματικές ανάγκες θερμότητας για ξήρανση [kWh/έτος]	24,780,846
Τιμή αγοράς φυσικού αερίου [€/kWh]	0.045
Δαπάνη συμπληρωματικού καυσίμου ξήρανσης [€/έτος]	1,115,138
Πολυηλεκτρολύτης	
Απαιτούμενη Ποσότητα Πολυηλεκτρολύτη [kg/έτος]	166,672
Τιμή μονάδος Πολυηλεκτρολύτη [(€/kg πολυηλεκτρολύτη)]	3.00
Κόστος Πολυηλεκτρολύτη [€/έτος]	500,016
Επιπλέον Προσωπικό [€/έτος]	
	60,000
Διάθεση ξηραμένης ιλύος	
Τιμή μονάδος για διάθεση ξηραμένης ιλύος [€/tn ξηραμ.ιλύος]	50.00
Μάζα παραγόμενης ξηραμένης ιλύος [tn/έτος]	12,835
Κόστος διάθεσης [€/έτος]	641,753
Κόστος Συντήρησης	
1. Προ-αφυδάτωση	
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	57,600
2. Θερμική Υδρόλυση	
Κόστος συντήρησης = 3,5 % x Κόστος επένδυσης (περιλαμβάνεται προσωπικό και ανταλλακτικά)	131,222
3. Χώνευση	
Κόστος συντήρησης = 2 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	180,956
4. Μηχανική Αφυδάτωση	
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	31,500
5. Μονάδα συμπαραγωγής	
Κόστος συντήρησης μηχανής ανά MWh[€/MWh]	20.00
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μονάδα συμπαραγωγής [MWh/έτος]	18,798
Κόστος συντήρησης μηχανής [€/έτος]	375,958
6. Ξήρανση	
Κόστος συντήρησης = 5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	450,000
Κόστος Συντήρησης [€]	1,227,236
Συνολικό Λειτουργικό Κόστος [€]	4,096,625

Σύγκριση Σεναρίων Α' και Β' για ΕΕΛ#2

	Συμβατική Μέθοδος	THP Μέθοδος	Διαφορά
ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ			
Μηχανική πάχυνση			
Φυγοκεντρήτης (περιλαμβανεται βοηθητικός εξοπλισμός) [€] 2 + 1 stand-by	900,000		
Βοηθητικός Εξοπλισμός [€]	100,000		
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μηχανικής Πάχυνσης [€]	1,000,000		-1,000,000
Προ-αφυδάτωση			
Φυγοκεντρήτης [€] 3 + 1 stand-by Decanters CF 6000		1,280,000	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Προ-αφυδάτωσης [€]		1,280,000	1,280,000
Θερμική Υδρόλυση			
Εγκατάσταση θερμικής υδρόλυσης [€] (*1,4 για μεταφορικά, εγκατάσταση, σιλό) B6-2 unit (2 reactors, each 6 m ³)		3,640,000	
Έργα ΠΜ		109,200	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Προ-αφυδάτωσης [€]		3,749,200	3,749,200
Χώνευση			
Τιμή μονάδος ανά κυβικό μέτρο χωνευτή [€/m ³]	450	600	
Όγκος χωνευτών [m ³]	20,882	15,080	
Κόστος χωνευτών [€]	9,396,975	9,047,787	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Χώνευσης [€]	9,396,975	9,047,787	-349,188
Μηχανική Αφυδάτωση			
Φυγοκεντρήτης [€] 2 + 1 stand-by	780,000	600,000	
Βοηθητικός Εξοπλισμός [€]	120,000	100,000	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μηχανικής Αφυδάτωσης [€]	900,000	700,000	-200,000
Ξήρανση			
Μονάδα ξήρανσης [€]	11,000,000	9,000,000	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Ξήρανσης [€]	11,000,000	9,000,000	-2,000,000
Μονάδα συμπαραγωγής			
Μηχανή συμπαραγωγής (συμπεριλαμβανομένης ηλεκτρικής γεννήτριας) [€] 2 Jenbacher Type 4 - 416	2,712,000	2,712,000	
Εναλλάκτης (αποδοίμενης ισχύος 1.100kW) - για ιλύς και χωνευτές [€]	720,000	540,000	
Συνολικό Κόστος Επένδυσης Μονάδας Συμπαραγωγής [€]	3,492,000	3,252,000	-240,000
Συνολικό Κόστος Επένδυσης [€]	25,788,975	18,028,987	-7,759,988
Κόστος Επένδυσης ανηγμένο στο έτος [€]			125,228
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ			
Ηλεκτρική ενέργεια			
Διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	15,812,321	18,797,903	
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	3,823,319	3,820,458	
Απαιτούμενη Ηλεκτρική Ενέργεια για συμπληρωματικές καταναλώσεις πλην ιλύος [kWh/έτος]	20,000,000	20,000,000	
Επαρκεί η διαθέσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια?	ΟΧΙ	ΟΧΙ	
Απαιτούμενη Συμπληρωματική Ηλεκτρική Ενέργεια [kWh/έτος]	8,010,997	5,022,555	
Τιμή μονάδος αγοράς Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.11	0.11	
Τιμή μονάδος πώλησης Ηλ. Ενέργειας [€/kWh]	0.09	0.09	
Κόστος Ηλεκτρικής Ενέργειας [€/έτος]	881,210	552,481	-328,729
Φυσικό Αέριο - για κάλυψη συμπληρωματικών αναγκών θερμότητας			
Συμπληρωματικές ανάγκες θερμότητας [kWh/έτος]	30,616,657	24,780,846	
Τιμή αγοράς φυσικού αερίου [€/kWh]	0	0	
Δαπάνη συμπληρωματικού καυσίμου [€/έτος]	1,377,750	1,115,138	-262,611
Πολυηλεκτρολύτης			
Απαιτούμενη Ποσότητα Πολυηλεκτρολύτη [kg/έτος]	172,414	166,672	
Τιμή μονάδος Πολυηλεκτρολύτη [(€/kg πολυηλεκτρολύτη)]	3	3	
Κόστος Πολυηλεκτρολύτη [€/έτος]	517,241	500,016	-17,225
Επιπλέον Προσωπικό [€/έτος]	0	60,000	60,000
Διάθεση ξηραμένης ιλύος			
Τιμή μονάδος για διάθεση ξηραμένης ιλύος [€/tn ξηραμ.ιλύος]	50	50	
Μάζα παραγόμενης ξηραμένης ιλύος [tn/έτος]	14,339	12,835	
Κόστος διάθεσης [€/έτος]	716,970	641,753	-75,217
Κόστος συντήρησης			
1. Μηχανική Πάχυνση			
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	40,000		
2. Προ-αφυδάτωση			
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]		57,600	
3. Θερμική Υδρόλυση			
Κόστος συντήρησης = 3,5 % x Κόστος επένδυσης (περιλαμβάνεται προσωπικό και ανταλλακτικά)		131,222	
4. Χώνευση			
Κόστος συντήρησης = 2 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	187,939	180,956	
5. Μηχανική Αφυδάτωση			
Κόστος συντήρησης = 4,5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	40,500	31,500	
6. Μονάδα συμπαραγωγής			
Κόστος συντήρησης μηχανής ανά MWh[€/MWh]	20	20	
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μονάδα συμπαραγωγής [MWh/έτος]	15,812	18,798	
Κόστος συντήρησης μηχανής [€/έτος]	316,246	375,958	
7. Ξήρανση			
Κόστος συντήρησης = 5 % x Κόστος επένδυσης [€/έτος]	550,000	450,000	
Κόστος Συντήρησης [€/έτος]	1,134,686	1,227,236	92,550
Ετήσιο Συνολικό Λειτουργικό Κόστος [€/έτος]	4,627,857	4,096,625	-531,232
Κόστος Επένδυσης ανηγμένο στο έτος [€/έτος]			125,228
Ετήσιο Συνολικό Λειτουργικό Κόστος [€/έτος]			-531,232
Ετήσιο Συνολικό Κόστος [€/έτος]			-406,004
Απόσβεση Κεφαλαίου για Εγκατάσταση THP και προ-αφυδάτωση			9.47