



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΙΛΥΟΣ ΩΣ ΠΡΟΣ
ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**



Κωτσάκης Απόστολος

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

Αθήνα, Ιούλιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΙΑΥΣΟΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Κωτσάκης Απόστολος

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

Αθήνα, Ιούλιος 2015

Η εικόνα του εξωφύλλου απεικονίζει την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων, του DeerIsland, στη Βοστώνη, που εξυπηρετεί καθημερινά πάνω από 2,5 εκατομμύρια κατοίκων.

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής 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.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη διπλωματική μου εργασία, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα κ. Κωνσταντίνο Νουτσόπουλο, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, τις γνώσεις, την πολύτιμη καθοδήγηση και συμπαράσταση που προσέφερε καθ' όλη την πορεία της εργασίας αυτής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω επίσης, στον κ. Σίμο Μαλαμή Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για τη μεγάλη του όρεξη και την καίρια και πολύτιμη συμβολή και βοήθεια του σε κρίσιμα σημεία της εργασίας αυτής, καθώς και στη συνεργάτη του κ. Lucia Lijo, για τη διάθεση της να βοηθήσει και να δώσει μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην εργασία αυτή.

Φτάνοντας στο τέλος, δε θα μπορούσα να μην αποδώσω εύφημο μνημία σε όλους εκείνους που τάχθηκαν στο πλευρό μου καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της διαδρομής και φυσικά στην οικογένεια μου αλλά και τους φίλους, για την αέναη υποστήριξη και συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια.

A.K., Αθήνα 2015

Περίληψη

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα που καλείται να αντιμετωπίσει ένας μηχανικός σε όλους τους τομείς είναι αυτός της ελαχιστοποίησης των ενεργειακών δαπανών και των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτό είναι και το βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας: η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) με τη χρήση εναλλακτικών τεχνολογιών επεξεργασίας, ικανοποιώντας ταυτόχρονα τους περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς περιορισμούς.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, περιγράφονται, σχεδιάζονται και συγκρίνονται ως προς τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου τρία διαφορετικά συστήματα ενεργού ιλύος:

- Το συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος, με δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και αναερόβια χώνευση της ιλύος με μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας
- Ένα εναλλακτικό σύστημα επεξεργασίας, με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό (σύστημα δεξαμενών κροκίδωσης και μικροκόσκινο) για την πρωτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων και αναερόβια χώνευση με συμπαραγωγή ενέργειας
- Ένα δεύτερο εναλλακτικό σύστημα επεξεργασίας, με δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, θερμική υδρόλυση της βιολογικής ιλύος και αναερόβια χώνευση με συμπαραγωγή ενέργειας

Για το σχεδιασμό και την σύγκριση των παραπάνω συστημάτων, αναπτύσσεται ένα θεωρητικό μοντέλο σχεδιασμού και υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης κάθε βαθμίδας επεξεργασίας, καθώς και εφαρμόζεται ένα μοντέλο εκτίμησης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Τα μοντέλα εφαρμόζονται για τα τρία συστήματα σε ΕΕΛ δυναμικότητας 100.000 και 500.000 ισοδύναμων κατοίκων.

Τα τελικά συμπεράσματα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον είναι τα εξής:

1. Η παραγόμενη από το βιοαέριο ηλεκτρική ενέργεια στο τυπικό (συμβατικό) σύστημα επεξεργασίας μπορεί να καλύψει ένα σημαντικό ποσοστό των συνολικών απαιτήσεων ενέργειας της εγκατάστασης (ποσοστό ανάκτησης ενέργειας πάνω από 50%).
2. Το σύστημα επεξεργασίας με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό, παρουσιάζει λιγότερες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία του κατά 25% περίπου, ενώ η παραγόμενη ενέργεια από το βιοαέριο αυξάνεται κατά 16%, χωρίς να αυξάνονται ιδιαίτερα οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.
3. Το σύστημα με μονάδα θερμικής υδρόλυσης παρουσιάζει καλύτερο ποσοστό ανάκτησης ενέργειας σε σχέση με το συμβατικό (περίπου 60% έναντι 50% του συμβατικού), ενώ ταυτόχρονα έχει ελαφρώς μειωμένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (κατά περίπου 1,5% σε σχέση με το συμβατικό).

Abstract

One of the greatest issues that an engineer has to face in all fields of their science is that of minimizing energy costs and environmental impact. Besides, this is the main subject of this thesis: the reduction of energy consumption and greenhouse gas emissions in a waste water treatment plant (WWTP) using alternative treatment technologies, satisfying both environmental and social restrictions.

In the context of this thesis are described, designed and compared, in terms of energy demands and greenhouse gas emissions, three different activated sludge systems:

- The conventional activated sludge system, with primary sedimentation and anaerobic digestion of sludge with co-production unit (CHP)
- An alternative processing system with enhanced primary separation (coagulation-flocculation and micro sieve drum filter) for primary wastewater treatment and anaerobic digestion with co-production unit (CHP)
- A second alternative processing system, with primary sedimentation tank, thermal hydrolysis of sludge and anaerobic digestion with co-production unit (CHP)

For the design and comparison of these systems, a theoretical model of design and calculation of energy consumption of each processing step is developed, while at the same time a model for the estimation-assessment of greenhouse gas emissions is applied. These models are applied to all three systems in WWTP capacity 100,000 and 500,000 equivalent inhabitants.

The final conclusions of the greatest interest are:

1. The produced from biogas electricity to the typical (conventional) processing system can cover a significant proportion of total plant energy requirements (energy recovery rate of over 50%).
2. The processing system with enhanced primary separation, presents fewer demands on electricity to operate at about 25%, while the energy produced from biogas increased by 16%, without causing any noticeable increase in greenhouse gas emissions.
3. The system with thermal hydrolysis unit has better energy recovery rate in contrast to the conventional one (approximately 60% in comparison with 50% of the conventional one), while at the same time it shows a slight decrease in greenhouse gas emissions (approximately 1.5% in contrast to the conventional one).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	II
ABSTRACT.....	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	IV
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	3
2.1 Εισαγωγή στο σύστημα ενεργού ιλύος.....	3
2.2 Τυπικά χαρακτηριστικά λυμάτων και ρυπαντικά φορτία εισόδου	5
2.3 Θεσμικό πλαίσιο λειτουργίας ΕΕΛ και χαρακτηριστικά εκροής	6
2.4 Τυπικό σύστημα ΕΕΛ.....	7
2.4.1 Έργα προεπεξεργασίας	7
2.4.2 Πρωτοβάθμια καθίζηση	8
2.4.3 Βιολογική επεξεργασία	8
2.4.4 Δεξαμενή τελικής καθίζησης.....	8
2.4.5 Απολύμανση (χλωρίωση).....	9
2.4.6 Πάχυνση ιλύος.....	9
2.4.7 Αναερόβια χώνευση.....	9
2.4.8 Μηχανική αφυδάτωση ιλύος	10
2.4.9 Ροϊκό διάγραμμα.....	11
2.5 Εναλλακτικά συστήματα για ενεργειακή βελτιστοποίηση	11
2.5.1 Εναλλακτικό σύστημα επεξεργασίας με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	12
2.5.2 Εναλλακτικό σύστημα με θερμική υδρόλυση της βιολογικής ιλύος	16
2.6 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε μια ΕΕΛ	20
2.6.1 Γενικά	20
2.6.2 Θεσμικό πλαίσιο.....	21
2.6.3 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε μία ΕΕΛ	22
2.6.4 Επίδραση των παραγόμενων σε ΕΕΛ αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου	23
3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	25
3.1 Θεωρητικό μοντέλο σχεδιασμού	25
3.1.1 Παραδοχές.....	25
3.1.2 Σχεδιασμός πρωτοβάθμιας επεξεργασίας.....	25
3.1.3 Βιολογική επεξεργασία	26
3.1.4 Δεξαμενή τελικής καθίζησης.....	35

3.1.5 Έργα επεξεργασίας ιλύος.....	36
3.1.6 Διαστασιολόγηση αντλιών.....	43
3.2 Μοντέλο υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης.....	44
3.2.1 Αντλιοστάσιο εισόδου.....	44
3.2.2 Μονάδα προεπεξεργασίας.....	44
3.2.3 Πρωτοβάθμια επεξεργασία.....	45
3.2.4 Βιολογική επεξεργασία.....	46
3.2.5 Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας.....	46
3.2.6 Δεξαμενή Τελικής καθίζησης.....	47
3.2.7 Έργα επεξεργασίας ιλύος.....	47
3.2.8 Παραγωγή ενέργειας από το βιοαέριο.....	50
3.3 Θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε μια ΕΕΛ.....	51
3.3.1 Άμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε μια ΕΕΛ.....	51
3.3.2 Έμμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.....	55
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ.....	59
4.1 Γενικά.....	59
4.2 Αποτελέσματα του μοντέλου σχεδιασμού.....	61
4.3 Αποτελέσματα μοντέλου ενεργειακής κατανάλωσης.....	68
4.3.1 Αποτελέσματα για την ΕΕΛ 100.000 ισοδύναμων κατοίκων.....	70
4.3.2 Αποτελέσματα για την ΕΕΛ 500.000 ισοδύναμων κατοίκων.....	78
4.4 Αποτελέσματα μοντέλου εκτίμησης εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου.....	86
4.4.1 Αποτελέσματα μοντέλου για ΕΕΛ 100.000 ισοδύναμων κατοίκων.....	88
4.4.2 Αποτελέσματα μοντέλου για ΕΕΛ 500.000 ισοδύναμων κατοίκων.....	94
4.4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων μοντέλου εκτίμησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.....	100
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	105

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων και του οικονομικού κόστους αποτελούν βασικό στοιχείο μελετών και έρευνας σε όλους τους τομείς της σύγχρονης παραγωγής και της διαχείρισης φυσικών πόρων. Εξάιρεση σε αυτό δεν θα μπορούσε να είναι ο τομέας της διαχείρισης των αστικών αποβλήτων. Ακριβώς αυτό το πρόβλημα της ενεργειακής βελτιστοποίησης μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) έχει αποτελέσει σημαντικό αντικείμενο έρευνας τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα σε μια περίοδο που οι οικονομικοί πόροι είναι περιορισμένοι.

Για την ενεργειακή βελτιστοποίηση (και τη δυνατότητα ενεργειακής αυτονομίας) μιας ΕΕΛ έχουν δημοσιευτεί πλήθος μελετών που στηρίζονται σε δύο βασικές σκέψεις: αφενός α) τη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για τη λειτουργία μιας ΕΕΛ και αφετέρου β) τη μεγιστοποίηση της παραγωγής βιοαερίου μέσω της αναερόβιας χώνευσης. Το βιοαέριο είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που θα μπορούσε να αντικαταστήσει πολλά από τα συμβατικά καύσιμα. Πάνω σε αυτές τις δύο θεωρήσεις (ή σε συνδυασμό αυτών) χρησιμοποιούνται μια σειρά τεχνολογιών που έχουν ως στόχο να επιλύσουν αυτό το πρόβλημα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετώνται, παρουσιάζονται και συγκρίνονται μια συμβατική ΕΕΛ συστήματος ενεργού ιλύος, ισοδύναμου πληθυσμού 100 000 κατοίκων (με αναερόβια χώνευση με συμπαραγωγή ενέργειας) και δύο εναλλακτικά συστήματα των οποίων το ισοζύγιο παραγόμενης ενέργειας στην ΕΕΛ-ενεργειακών απαιτήσεων να είναι θετικό (σε σχέση με τη συμβατική), Συγκρίνονται ταυτόχρονα τόσο η συμβολή των τριών αυτών συστημάτων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το συμβατικό (τυπικό) σύστημα που μελετάται, αποτελείται από ένα αντλιοστάσιο εισόδου των λυμάτων, έργα προεπεξεργασίας (εξάμωση, απολίπανση), δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ), βιολογική επεξεργασία για την απομάκρυνση οργανικού φορτίου, αζώτου και φωσφόρου ώστε να ικανοποιούνται οι περιβαλλοντικοί όροι που ορίζει το ισχύον νομικό πλαίσιο για διάθεση λυμάτων σε ευαίσθητο αποδέκτη και δεξαμενές τελικής καθίζησης (ΔΤΚ), καθώς και αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας ιλύος. Ταυτόχρονα η παραγόμενη λάσπη υφίσταται την εξής επεξεργασία: πάχυνση (σε παχυντή βαρύτητας η πρωτοβάθμια και τράπεζα πάχυνσης η βιολογική ιλύς), αναερόβια χώνευση με συμπαραγωγή ενέργειας και μηχανική αφυδάτωση με ταινιοφιλτρόπρεσες.

Το πρώτο εναλλακτικό σύστημα που μελετάται βασίζεται στο σκεπτικό της μεγιστοποίησης της παραγωγής πρωτοβάθμιας ιλύος, έτσι ώστε να μειωθεί αφενός το μέγεθος των βιολογικών αντιδραστήρων, άρα και της ενεργειακής κατανάλωσης από τον αερισμό, που αποτελεί και την κυρίαρχη πηγή ενεργειακής κατανάλωσης, αφετέρου να αυξηθεί το παραγόμενο βιοαέριο. Έτσι αντικαθίστανται οι ΔΠΚ από ένα σύστημα κροκίδωσης-συσσωμάτωσης-μικροκόσκινου 100μm (coagulation-flocculation- microsieve) όπου με κατάλληλη προσθήκη χημικών επιτυγχάνεται το ζητούμενο αποτέλεσμα, ενώ όλη η υπόλοιπη μονάδα επεξεργασίας (λυμάτων και λάσπης) παραμένει ίδια με τη συμβατική.

Το δεύτερο εναλλακτικό σύστημα βασίζεται στο σκεπτικό της αύξησης του παραγόμενου βιοαερίου μέσα από τη βελτιστοποίηση της αναερόβιας χώνευσης. Για το λόγο, σε σχέση με το συμβατικό σύστημα αντικαθίσταται η τράπεζα πάχυνσης της βιολογικής ιλύος με ένα φυγοκεντρικό διαχωριστή, ώστε να επιτευχθούν μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης στερεών, ενώ ταυτόχρονα τοποθετείται μια μονάδα θερμικής υδρόλυσης της βιολογικής ιλύος ώστε να

αυξηθεί το ποσοστό πτητικών στερεών της βιολογικής ιλύος που απομακρύνονται κατά τη χώνευση. Οι υπόλοιπες μονάδες της εγκατάστασης παραμένουν ίδιες με τη συμβατική.

Η συγκεκριμένη εργασία περιλαμβάνει εκτός από την **Εισαγωγή**, άλλα πέντε (4) κεφάλαια και δύο (2) παραρτήματα:

Στο **Κεφάλαιο 2**, παρουσιάζονται θεωρητικά τα στοιχεία λειτουργίας κάθε επιμέρους βαθμίδας των συστημάτων που εξετάζονται και αναφέρονται τα πλεονεκτήματα καθενός.

Στο **Κεφάλαιο 3**, παρουσιάζεται αναλυτικά το μοντέλο σχεδιασμού, υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης και εκτίμησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για τα τρία συστήματα που εξετάζονται.

Στο **Κεφάλαιο 4**, γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων εφαρμογής του μοντέλου που αναπτύχθηκε και η σύγκριση των τριών συστημάτων

στο **Κεφάλαιο 5**, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που μπορούμε να εξάγουμε καθώς και στοιχεία που μπορούν να αποτελέσουν τροφή για περαιτέρω μελέτη και έρευνα.

Στο **Παράρτημα I**, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υπολογισμοί της εφαρμογής των μοντέλων σχεδιασμού και ενεργειακής κατανάλωσης των τριών εναλλακτικών συστημάτων και στο **Παράρτημα II** αντίστοιχα οι υπολογισμοί εφαρμογής του μοντέλου που αφορά την παραγωγή αερίων θερμοκηπίου.

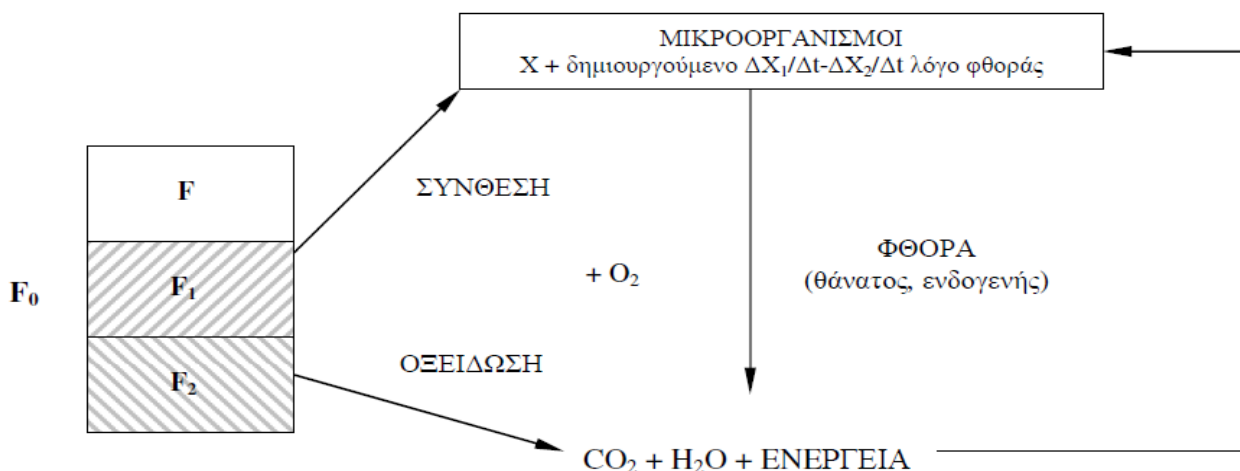
2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή στο σύστημα ενεργού ιλύος

Το σύστημα της ενεργού ιλύος είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων. Αναπτύχθηκε αρχικά από τους Arden και Lockett στο Μάντσεστερ της Αγγλίας το 1913, αλλά η ευρεία εφαρμογή του άρχισε μετά το 1940. Από τότε η συνεχής εξέλιξη του συστήματος οδήγησε σε αρκετές παραλλαγές του τυπικού συστήματος που αύξησαν τις δυνατότητες εφαρμογής του.

Η πιο απλή μορφή συστήματος επεξεργασίας ενεργού ιλύος περιλαμβάνει τρία μέρη: μία δεξαμενή αερισμού, μία δεξαμενή καθίζησης για το διαχωρισμό υγρών-στερεών και ένα σύστημα ανακυκλοφορίας της ιλύος, το οποίο επαναφέρει την ενεργό ιλύ στην αρχή της διαδικασίας. Ο πρωταρχικός στόχος ενός συστήματος ενεργού ιλύος είναι η διάσπαση και απομάκρυνση του οργανικού φορτίου των λυμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από την επαφή με ένα μίγμα μικροοργανισμών (βιομάζα), που βρίσκεται υπό τη μορφή αιωρούμενων συσσωματωμάτων (βιοκροκίδων), σε μια αεριζόμενη δεξαμενή και σε καθεστώς πλήρους μίξης. Τα αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά απομακρύνονται ταχύτατα από την υγρή φάση καθώς προσροφώνται και συσσωματώνονται με τους αιωρούμενους μικροοργανισμούς. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια εξωκυτταρικών ενζύμων, τα βιοδιασπάσιμα οργανικά στερεά διασπώνται σε απλές διαλυμένες οργανικές ενώσεις, οι οποίες μαζί με τις αρχικές διαλυμένες οργανικές ουσίες των λυμάτων διαπερνούν την περικυτταρική μεμβράνη των μικροοργανισμών και, αφού βρεθούν στο εσωτερικό των κυττάρων, είναι διαθέσιμες για τις διαδικασίες του μεταβολισμού.

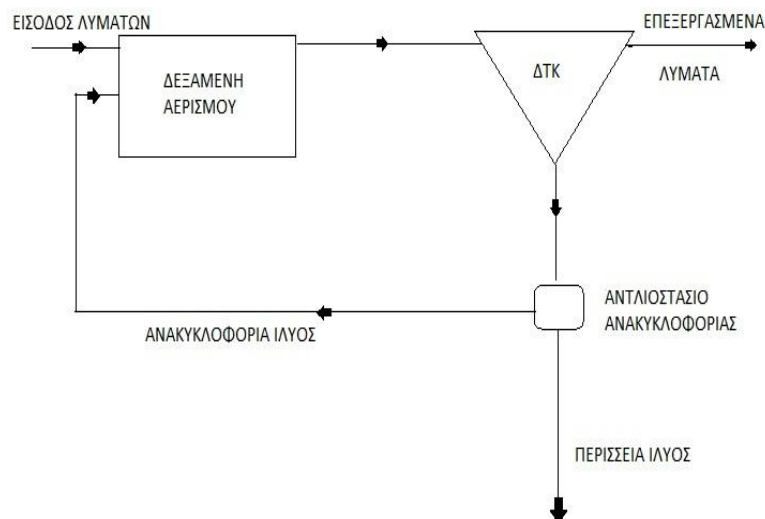
Κατά τον αερόβιο μεταβολισμό ένα ποσοστό των οργανικών αυτών ουσιών διασπάται βιοχημικά σε ανόργανες ενώσεις και η ενέργεια που εκλύεται κατά τις αντιδράσεις αυτές χρησιμοποιείται από τους οργανισμούς για τις ανάγκες τους και κυρίως για τη σύνθεση νέου πρωτοπλάσματος. Στην ουσία κατά τη σύνθεση οι μικροοργανισμοί μετατρέπουν τις «νεκρές» οργανικές ουσίες σε ζωντανή οργανική ύλη. (Ανδρεαδάκης, Πανταζίδου, Σταθόπουλος 2008)



Σχήμα 2.1 Σχηματική παράσταση αερόβιου μεταβολισμού (Ανδρεαδάκης 1999)

Μετά τη δεξαμενή αερισμού το μίγμα λυμάτων, μικροοργανισμών και προσροφημένων στερεών, που ονομάζεται ανάμικτο υγρό και συμβολίζεται συνήθως ως MLSS, εισέρχεται στη δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ), που αποτελεί τη δεύτερη βασική μονάδα του συστήματος ενεργού ιλύος. Στη δεξαμενή αυτή γίνεται με βαρύτητα διαχωρισμός των μικροοργανισμών και των προσροφημένων στερεών (βιοκροκίδων), από τη μη χρησιμοποιηθείσα διαλυμένη τροφή. Η τελευταία, με υπερχείλιση των επεξεργασμένων λυμάτων, οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία ή διάθεση στον επιλεγμένο αποδέκτη.

Από τα στερεά που συγκεντρώνονται στον πυθμένα της δεξαμενής, ένα μέρος ανακυκλοφορείται στη δεξαμενή αερισμού μέσω ενός αντλιοστασίου, ενώ ένα δεύτερο μέρος απομακρύνεται για περαιτέρω επεξεργασία προς τα έργα επεξεργασίας ιλύος. Αυτό το δεύτερο μέρος το ονομάζουμε περίσσεια ιλύος. Με τις παροχές της περίσσειας ιλύος και της επανακυκλοφορίας ρυθμίζεται η συγκέντρωση των μικροοργανισμών στον αντιδραστήρα. Η συγκέντρωση αυτή παραμένει σταθερή, καθώς η ποσότητα ιλύος που απομακρύνεται από το σύστημα ως περίσσεια ιλύος αναπληρώνεται από ίση ποσότητα μικροοργανισμών που παράγεται από τη σύνθεση νέας βιομάζας.



Σχήμα 2.1 Λειτουργικό διάγραμμα συστήματος ενεργού ιλύος

Παράλληλα όμως με την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου των λυμάτων απαιτείται βάση του νομοθετικού και θεσμικού πλαισίου η απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών (φώσφορος και άζωτο) των λυμάτων, ώστε να αποφεύγονται ανεπιθύμητες καταστάσεις στον αποδέκτη. Οι ανεπιθύμητες αυτές καταστάσεις μπορεί να αφορούν στη συγκεκριμένη μορφή με την οποία εμφανίζεται το άζωτο (π.χ. τοξικότητα αμμωνίας στα ψάρια, αποξυγόνωση αποδεκτών λόγω νιτροποίησης, συσσώρευση νιτρικών στα υπόγεια νερά) ή στην παρουσία φωσφόρου και αζώτου ανεξαρτήτως μορφής (π.χ. ευτροφισμός).

Η απομάκρυνση του αζώτου πραγματοποιείται μέσα από τη διαδικασία της νιτροποίησης και απονιτροποίησης οι οποίες συνδυάζονται με τις τυπικές διαδικασίες που σχετίζονται με την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου. Η νιτροποίηση οξειδώνει το αμμωνιακό άζωτο σε νιτρικό και στη συνέχεια με την απονιτροποίηση το νιτρικό άζωτο ανάγεται σε μοριακό

άζωτο (N_2) το οποίο διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Η διαδικασία της νιτροποίησης πραγματοποιείται από αυτοτροφικούς μικροοργανισμούς στη δεξαμενή αερισμού, ενώ η διαδικασία της απονιτροποίησης πραγματοποιείται σε μια ανοξική δεξαμενή, υπό ανοξικές συνθήκες (συγκέντρωση οξυγόνου μικρότερη από 0,5 mg/L), ανάντη της δεξαμενής αερισμού που δέχεται τα νιτροποιημένα λύματα μέσω της εσωτερικής ανακυκλοφορίας.

Η απομάκρυνση του φωσφόρου, πραγματοποιείται είτε με φυσικοχημικές μεθόδους (χημική κατακρήμνιση με την προσθήκη κατάλληλων κροκιδωτικών) είτε με βιολογική επεξεργασία είτε με συνδυασμό τους.

2.2 Τυπικά χαρακτηριστικά λυμάτων και ρυπαντικά φορτία εισόδου

Η έννοια των αστικών λυμάτων (ή αποβλήτων) καλύπτει αφενός τα οικιακά απόβλητα που προέρχονται κατά βάση από τον ανθρώπινο μεταβολισμό, αφετέρου δε τα απόβλητα που προκύπτουν από τις εγγενείς εμπορικές, διοικητικές και βιοτεχνικές δραστηριότητες μιας πόλης αλλά και τα όμβρια ύδατα. Δεν περιλαμβάνουν ωστόσο απόβλητα που προέρχονται από σημαντικές βιομηχανικές δραστηριότητες και μεγάλες τουριστικές μονάδες (ξενοδοχεία, εστιατόρια), οι οποίες αντιστοιχούν σε μεγάλους μη μόνιμους πληθυσμούς.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας λαμβάνεται υδατική κατανάλωση ίση με 250lt/κάτοικο-d, ενώ η ειδική παροχή των αστικών λυμάτων λαμβάνεται ίση με το 80% της ειδικής κατανάλωσης νερού. Ως παροχή σχεδιασμού της πρότυπης θεωρητικής εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) λαμβάνεται η μέση ημερήσια παροχή λυμάτων (ισοδύναμος πληθυσμός επί την ειδική παροχή λυμάτων) αφού η κατανάλωση ισχύος και γενικότερα οι δαπάνες λειτουργίας μιας ΕΕΛ υπολογίζονται με βάση την μέση ημερήσια παροχή.

Σημαντική είναι η διάκριση των ολικών στερεών εισόδου σε πτητικά (VSS) και αδρανή (FSS). Πτητικά είναι τα στερεά που εξαερώνονται σε θερμοκρασία 500°C. Το υπόλοιπο της καύσης αποτελούν τα αδρανή. Κατά προσέγγιση τα πτητικά στερεά αντιστοιχούν στα οργανικά στερεά και τα αδρανή στα ανόργανα. Για τα ανεπεξέργαστα αστικά λύματα λαμβάνεται ότι τα αιωρούμενα πτητικά στερεά (VSS) αποτελούν το 70% των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSS).

Το εισερχόμενο ρυπαντικό φορτίο των αστικών λυμάτων υπολογίστηκε σύμφωνα με τον ισοδύναμο πληθυσμό σχεδιασμού της πρότυπης θεωρητικής εγκατάστασης. Για τον υπολογισμό των συνολικά εισερχόμενων ρυπαντικών φορτίων στην εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες ανά κάτοικο και ημέρα φορτίσεις (ειδικά ρυπαντικά φορτία), για τη θερινή περίοδο, (ενώ για το χειμώνα τα αντίστοιχα φορτία λαμβάνονται κατά 35% μειωμένα):

- Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD_5): 60 gr/κάτοικο / ημέρα
- Ολικά αιωρούμενα στερεά (TSS): 70gr/κάτοικο / ημέρα
- Ολικό άζωτο (TN): 12 gr/κάτοικο / ημέρα
- Ολικός φώσφορος (TP): 2,5gr/ κάτοικο / ημέρα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται η παροχή και τα ρυπαντικά φορτία σχεδιασμού της πρότυπης θεωρητικής εγκατάστασης σύμφωνα με τις παραδοχές και τα ειδικά ρυπαντικά φορτία που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Πίνακας 2-1: Παροχή και ρυπαντικά φορτία εισόδου

ΠΑΡΟΧΕΣ & ΡΥΠΑΝΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Μ.Μ.	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Παροχές εισερχόμενων λυμάτων			
Υδατική κατανάλωση: q_w	l/κατ-d	250.0	250.0
Ειδική Παροχή Αστικών Λυμάτων: $q_s(q_E=80\%q_w)$	l/κατ-d	200.0	200.0
Ειδικά ρυπαντικά φορτία εισερχόμενων λυμάτων			
Βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο, $BOD_{5,in}$	gr/κατ-d	39.0	60.0
Ολικά αιωρούμενα στερεά: TSS_{in}	gr/κατ-d	45,50	70.0
Ολικό άζωτο: TN_{in}	gr/κατ-d	7,80	12.0
Ολικός φώσφορος: TP_{IN}	gr/κατ-d	1,625	2,5
Συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων εισερχόμενων λυμάτων			
Βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο: $BOD_{5,in}$	mg/l	195.0	300.0
Ολικά αιωρούμενα στερεά: TSS_{in}	mg/l	227.5	350.0
Ολικό άζωτο: TN_{in}	mg/l	60.0	60.0
Ολικός φώσφορος: TP_{IN}	mg/l	8.125	12.5

2.3 Θεσμικό πλαίσιο λειτουργίας ΕΕΛ και χαρακτηριστικά εκροής

Τα επεξεργασμένα λύματα της πρότυπης θεωρητικής εγκατάστασης πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές της σχετικής νομοθεσίας και συγκεκριμένα της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, οι ελάχιστες απαιτήσεις της οποίας παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2-2: Απαιτήσεις εκροής επεξεργασμένων λυμάτων από ΕΕΛ (Οδηγία 91/271/ΕΟΚ)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΤΟ ΟΡΙΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ % ΜΕΙΩΣΗ
ΜΗΕΥΑΙΣΘΗΤΟΙΑΠΟΔΕΚΤΕΣ		
BOD ₅	25mg/l	70-90%
COD	125mg/l	75%
TSS	35mg/l (για οικισμούς με ι.π. άνω των 10.000)	90%
	60mg/l (για οικισμούς μεταξύ 2.000 και 10.000 ι.π.)	70%
ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΙΑΠΟΔΕΚΤΕΣ (ισχύουν τα ανωτέρω όρια και επιπλέον τα ακόλουθα)		
TN	15mg/l (για οικισμού μεταξύ 10.000 και 100.000 ι.π.)	70-80%
	10mg/l (για οικισμούς με ι.π. άνω των 100.000)	
TP	2mg/l (για οικισμούς μεταξύ 10.000 και 100.000 ι.π.)	80%
	1mg/l (για οικισμούς με ι.π. άνω των 100.000)	

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας για τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων έγινε η παραδοχή ότι η τελική διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων γίνεται σε ευαίσθητο αποδέκτη για αυτό και σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ απαιτείται εκτός από την απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των αιωρούμενων στερεών, η πλήρης νιτροποίηση-απονιτροποίηση των εισερχομένων λυμάτων, αλλά και η απομάκρυνση του φωσφόρου ώστε να ικανοποιούνται οι κανονισμοί .

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι επιθυμητές συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων στην έξοδο της εγκατάστασης, σύμφωνα με τις οποίες έχει γίνει ο σχεδιασμός της εγκατάστασης.

Πίνακας2-3:Συγκεντρώσειςρυπαντικώνφορτίωνεξόδου

ΡΥΠΑΝΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΞΟΔΟΥ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Μ.Μ.	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο εξόδου, $BOD_{5,out}$	mg/l	15.0	15.0
Ολικά αιωρούμενα στερεά εξόδου, TSS_{out}	mg/l	15.0	15.0
Ολικό άζωτο εξόδου, TN_{out}	mg/l	10.0	10.0
Ολικός φώσφορος TP_{out}	mg/l	1.0	1.0

Με βάση αυτές τις συγκεντρώσεις σχεδιάζονται τρία διαφορετικά συστήματα εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων και παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

2.4 Τυπικό σύστημα ΕΕΛ

Το τυπικό (συμβατικό) σύστημα επεξεργασίας σε μια ΕΕΛ, το οποίο ικανοποιεί τις απαιτήσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω περιλαμβάνει τα εξής στάδια επεξεργασίας:

Α)Για την επεξεργασία των λυμάτων:

- Προεπεξεργασία (εσχάρωση, εξάμμωση, απολίπανση)
- Πρωτοβάθμια καθίζηση
- Βιολογική επεξεργασία για απομάκρυνση άνθρακα, αζώτου και φωσφόρου
- Τελική καθίζηση με ανακυκλοφορία ιλύος
- Απολύμανση (χλωρίωση)

Β)Για την επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος

- Πάχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος (με βαρύτητα)
- Μηχανική πάχυνση βιολογικής ιλύος
- Χώνευση ιλύος
- Μηχανική αφυδάτωση ιλύος

2.4.1 Έργα προεπεξεργασίας

Στόχος των έργων αυτών είναι η απομάκρυνση των υλικών που επιπλέουν ή βρίσκονται σε αιώρηση στα λύματα και εγκυμονούν κινδύνους έμφραξης αγωγών, καταστροφής μηχανολογικού εξοπλισμού και δυσλειτουργίας των υπόλοιπων μονάδων επεξεργασίας. Ένα

τυπικό σύστημα προεπεξεργασίας περιλαμβάνει εσχάρες (ανοίγματα συνήθως κοντά στα 20mm), για την απομάκρυνση ογκωδών αντικειμένων από τα λύματα, εξαμμωτές, για την απομάκρυνση της άμμου και άλλων βαριών ανόργανων συστατικών και απολιπαντές.

2.4.2 Πρωτοβάθμια καθίζηση

Σκοπός της είναι η απομάκρυνση μεγάλου μέρους των αιωρούμενων στερεών των λυμάτων, άρα και ανάλογου μέρους του οργανικού υλικού που βρίσκεται σε σωματιδιακή μορφή. Η καθίζηση πραγματοποιείται σε (συνήθως κυκλικές) δεξαμενές με μέσο βάθος περίπου 3-4 μέτρα και χρόνο παραμονής περίπου δύο ώρες. Τα αιωρούμενα στερεά, υπό την επίδραση της βαρύτητας καθιζάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής, όπου με ένα ξέστρο σαρώνονται προς μια κεντρική χοάνη, από όπου οδηγούνται προς τα έργα επεξεργασίας ιλύος. Ο αναμενόμενος βαθμός απομάκρυνσης είναι 55-65% για τα αιωρούμενα στερεά και 25-40% για το BOD.

2.4.3 Βιολογική επεξεργασία

Ο βιολογικός αντιδραστήρας αποτελείται από τρεις δεξαμενές:

Δεξαμενή αερισμού: είναι η δεξαμενή στην οποία μέσω της παρουσίας ετεροτροφικών αερόβιων μικροοργανισμών πραγματοποιείται η διάσπαση των οργανικών ουσιών των λυμάτων σε απλές ανόργανες ενώσεις. Η διαδικασία αυτή έχει παρουσιαστεί σε προηγούμενη παράγραφο. Ταυτόχρονα με την παρουσία κατάλληλων αυτοτροφικών μικροοργανισμών (νιτροποιητών) πραγματοποιείται η διαδικασία της νιτροποίησης (οξειδωση του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό). Είναι μια κατά κανόνα ανοιχτή δεξαμενή, στην οποία παρέχεται μέσω μηχανικού εξοπλισμού το απαιτούμενο για τις βιολογικές διεργασίες οξυγόνο. Βασικό κριτήριο σχεδιασμού της δεξαμενής αερισμού, είναι ο χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών, ο οποίος καθορίζει το βαθμό καθαρισμού των λυμάτων, καθώς και την ποσότητα αλλά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της περίσσειας ιλύος.

Ανοξική δεξαμενή: Βρίσκεται ανάντη της δεξαμενής αερισμού. Μέσω της εσωτερικής ανακυκλοφορίας ανάμικτου υγρού, μεταφέρονται ετεροτροφικοί μικροοργανισμοί και νιτρικά σε μια δεξαμενή στην οποία υπάρχουν συνθήκες απουσίας οξυγόνου (ή πολύ μικρής συγκέντρωσης). Έτσι πραγματοποιείται η διαδικασία της απονιτροποίησης, δηλαδή της αναγωγής των νιτρικών σε αέριο άζωτο (ή υπεροξειδία του αζώτου).

Αναερόβια δεξαμενή: Γίνεται έκλυση φωσφόρου με ταυτόχρονη εσωκυτταρική αποθήκευση πτητικών λιπαρών οξέων από τους πολυφωσφορικούς μικροοργανισμούς. Βρίσκεται ανάντη της ανοξικής δεξαμενής εγκατάστασης και σχεδιάζεται για μικρό χρόνο παραμονής (περίπου 1-2 ώρες). Αν το επίπεδο απομάκρυνσης του φωσφόρου δεν καλύπτει τις απαιτήσεις του θεσμικού πλαισίου πραγματοποιείται περαιτέρω επεξεργασία για χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου με την προσθήκη κατάλληλου κροκιδωτικού (τριχλωριούχου σιδήρου) είτε στη δεξαμενή αερισμού, είτε στη δεξαμενή τελικής καθίζησης.

2.4.4 Δεξαμενή τελικής καθίζησης

Είναι δεξαμενές (συνήθως) κυκλικής διατομής, βάθους 3,5-4,5 μέτρων, στις οποίες εισέρχεται το ανάμικτο υγρό μετά τη δεξαμενή αερισμού. Ο ρόλος της δεξαμενής τελικής καθίζησης είναι να επιτρέπει την καθίζηση της βιομάζας και το διαχωρισμό της από τα επεξεργασμένα

λύματα, τα οποία διαυγασμένα και κατά το δυνατόν απαλλαγμένα από αιωρούμενα στερεά υπερχειλίζουν από τη δεξαμενή. Ταυτόχρονα πρέπει να δίνει τη δυνατότητα για επαρκή συμπύκνωση, της βιομάζας ώστε να είναι εύκολη και αποτελεσματική η επαναφορά της στο βιολογικό αντιδραστήρα μέσω της ανακυκλοφορίας. Και στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι η ενδεχόμενη επιδείνωση των χαρακτηριστικών συμπύκνωσης της ιλύος μπορεί πολύ γρήγορα ίσως και σε μερικές ώρες και παρά τις οποιεσδήποτε περιορισμένης αποτελεσματικότητας ρυθμίσεις της παροχής ανακυκλοφορίας, να οδηγήσει σε αδυναμία επιστροφής της ιλύος με συνέπεια την ανύψωση της στάθμης ιλύος μέχρι την υπερχείλιση της δεξαμενής καθίζησης και διαφυγή της με την τελική εκροή. Όπως και στη ΔΠΚ, υπό την επίδραση της βαρύτητας η ιλύς καθιζάνει και με τη βοήθεια περιστρεφόμενου ξέστρου οδηγείται σε κεντρική χοάνη. Από τη χοάνη και μέσω αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας, ένα μέρος της ιλύος ανακυκλοφορείται ανάντη του βιολογικού αντιδραστήρα, ενώ ένα δεύτερο κομμάτι οδηγείται στα έργα επεξεργασίας ιλύος (περίσσεια).

2.4.5 Απολύμανση (χλωρίωση)

Μετά τη δεξαμενή τελικής καθίζησης, τα λύματα που υπερχειλίζουν οδηγούνται σε μια δεξαμενή, όπου με την προσθήκη χλωρίου πραγματοποιείται απολύμανση πριν διατεθούν στον τελικό αποδέκτη.

2.4.6 Πάχυνση ιλύος

Η παραγόμενη λάσπη τόσο στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, όσο και στη δεξαμενή τελικής καθίζησης οδηγούνται προς περαιτέρω επεξεργασία. Πρώτο στάδιο αυτής αποτελεί η πάχυνση. Κύριος σκοπός της πάχυνσης της ιλύος είναι η μείωση του όγκου της έτσι ώστε να διευκολυνθούν οι λειτουργίες της χώνευσης και αφυδάτωσης. Η πάχυνση της πρωτοβάθμιας λάσπης γίνεται σε παχυντή βαρύτητας, ενώ της βιολογικής σε τράπεζα πάχυνσης.

Παχυντής βαρύτητας: είναι κυκλικές δεξαμενές με διαμέτρους μέχρι 24m, βάθος από 3-4m και είναι παρόμοιοι με τις κυκλικές δεξαμενές καθίζησης. Έχουν μηχανισμό σάρωσης, κεκλιμένο δάπεδο, μηχανισμό απομάκρυνσης επιπλεουσών ιλύων, κεντρικό φρεάτιο συλλογής ιλύος, περιμετρικό υπερχειλιστή.

Τράπεζες πάχυνσης: η συμπύκνωση της ιλύος επιτυγχάνεται με απομάκρυνση του νερού διαμέσου υδατοπερατής μεμβράνης με βαρύτητα. Η τράπεζα πάχυνσης αποτελείται από μια ταινία υδατοπερατή που περιστρέφεται ανάμεσα σε κυλίνδρους. Η απομάκρυνση του νερού γίνεται με διήθηση διαμέσου της ταινίας λόγω βαρύτητας. Η αποτελεσματική λειτουργία των τραπεζών πάχυνσης προϋποθέτει την κροκίδωση της ιλύος συνήθως με την προσθήκη πολυμερών (πολυηλεκτρολύτη).

2.4.7 Αναερόβια χώνευση

Οι παραγόμενες σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας ιλύες (πρωτοβάθμια και βιολογική περίσσεια ιλύος) περιέχουν σημαντικό ποσοστό οργανικών στερεών. Το ποσοστό αυτό στην πρωτοβάθμια λάσπη εξαρτάται από το ποσοστό των οργανικών στερεών των εισερχομένων λυμάτων (συνήθως 70%), ενώ στη βιολογική από τις βιολογικές λάσπες από τις λειτουργικές συνθήκες. Το υψηλό αυτό ποσοστό οργανικών (και το συνεπαγόμενο υψηλό BOD) καθιστά

προβληματική την άμεση διάθεσή τους, αφού παρατηρείται αποσύνθεση των οργανικών στερεών που συνήθως έχει δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις (αποξυγόνωση, οσμές κ.λ.π.). Ένα άλλο πρόβλημα που δημιουργείται με τη διάθεση μη σταθεροποιημένων ιλύων σχετίζεται με τον κίνδυνο μικροβιακής μόλυνσης. Σταθεροποίηση της λάσπης (μείωση οργανικών και παθογόνων) γίνεται με αναερόβια χώνευση, μια βιοχημική διαδικασία πολλαπλών διαδοχικών ζυμώσεων που επιτελούνται από ετεροτροφικούς αναερόβιους χημικοσυνθετικούς μικροοργανισμούς. Η αποσύνθεση των οργανικών ουσιών συντελείται σε δύο βασικές φάσεις. Στην πρώτη φάση αναερόβιοι μικροοργανισμοί μετατρέπουν τις πολύπλοκες οργανικές ενώσεις σε απλά οργανικά οξέα. Στη δεύτερη φάση μια άλλη ομάδα μικροοργανισμών μετατρέπει τα οξέα αυτά σε μεθάνιο CH_4 , διοξείδιο του άνθρακα CO_2 και νερό H_2O . Η ταχύτητα της αναερόβιας χώνευσης είναι συνήθως χαμηλή, αυξάνεται όμως με άνοδο της θερμοκρασίας. Υπάρχουν δύο περιοχές θερμοκρασιών όπου οι αντίστοιχοι μικροοργανισμοί (άρα και η χώνευση) λειτουργούν υπό βέλτιστες συνθήκες: 30-35°C (μεσοφιλική χώνευση) και 50-60 °C (θερμοφιλική χώνευση).

Σημαντικό πλεονέκτημα της αναερόβιας χώνευσης είναι η δυνατότητα παραγωγής βιοαερίου, το οποίο αποτελεί μια χρήσιμη και φιλική προς το περιβάλλον ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Το παραγόμενο κατά τη χώνευση μίγμα αερίων αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (65-70%) και CO_2 (30-35%) και έχει αξιόλογη θερμαντική αξία (περίπου 5500Kcal/m³). Το αέριο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση των χωνευτών καθώς και για τη θέρμανση του κτιρίου της εγκατάστασης, η δε περίσσεια συνήθως χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι αναερόβιοι χωνευτές έχουν κατά κανόνα τη μορφή κυλινδρικών κλειστών δεξαμενών από οπλισμένο σκυρόδεμα και καλύπτονται αεροστεγώς. Είναι εξοπλισμένοι με σύστημα τροφοδοσίας, θέρμανσης, μίξης καθώς και απαγωγής τόσο της χωνευμένης ιλύος όσο και του παραγόμενου βιοαερίου. Σε έναν αναερόβιο χωνευτή μπορούν να επιτευχθούν ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά διάσπασης και μείωσης της οργανικής ύλης της ιλύος, της τάξης του 55% για την πρωτοβάθμια και 35% για τη βιολογική.

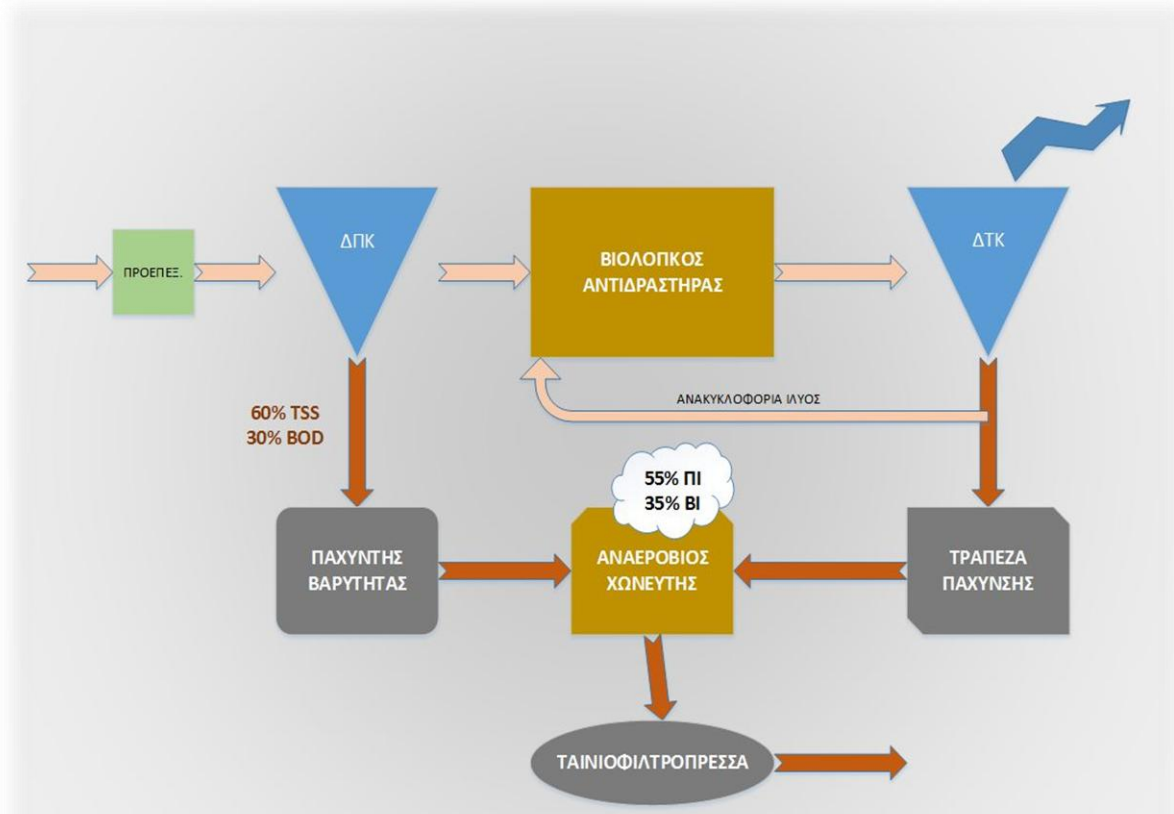
2.4.8 Μηχανική αφυδάτωση ιλύος

Πολλές φορές πριν από την τελική διάθεση ή επαναχρησιμοποίηση της λάσπης επιβάλλεται για οικονομικούς ή περιβαλλοντικούς λόγους ο κατά το δυνατόν μεγαλύτερος διαχωρισμός του νερού από τα στερεά της λάσπης. Με τον τρόπο αυτό η λάσπη μεταπίπτει σε ημιστερεή κατάσταση με ταυτόχρονα σοβαρή μείωση του όγκου της. Η διαδικασία αυτή συνήθως πραγματοποιείται συνήθως με μηχανικά μέσα, με πιο διαδεδομένο από αυτά να είναι η ταινιοφιλτρόπρεσσα.

Οι ταινιοφιλτρόπρεσες αποτελούνται από δύο μεταφορικές ταινίες από συνθετικές ίνες που βρίσκονται η μία πάνω από την άλλη. Η λάσπη μετά την προσθήκη του κροκιδωτικού, που κατά κανόνα είναι πολυηλεκτρολύτης, τροφοδοτείται συνεχώς ανάμεσα στις δύο ταινίες. Οι ταινίες διέρχονται από ένα σύστημα περιστρεφόμενων κυλίνδρων και επιτελούν ταυτόχρονα τις λειτουργίες της μεταφοράς, του στραγγίσματος και της συμπίεσης της λάσπης. Η απομάκρυνση του νερού γίνεται σε τρεις ζώνες. Στην πρώτη ζώνη το νερό διηθείται λόγω βαρύτητας, στη δεύτερη λόγω συμπίεσης και στην τρίτη λόγω των διατμητικών δυνάμεων που αναπτύσσονται καθώς τα κεντά μεταξύ των κυλίνδρων δια μέσου των οποίων διέρχονται οι ταινίες μικραίνουν. Η αφυδατωμένη λάσπη 27 αποκολλάται με κατάλληλο μηχανισμό

απόξεσης. Η ομαλή λειτουργία των ταινιοφιλτροπρεσών απαιτούν συνεχή καθαρισμό των ταινιών με νερό. Συχνά χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό επεξεργασμένα λύματα τα οποία όμως έχουν υποστεί και διύλιση. Οι ταινιοφιλτρόπρεσες αποτελούν μία από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους μηχανικής αφυδάτωσης. Για χωνευμένο μίγμα πρωτοβάθμιας και βιολογικής λάσπης επιτυγχάνουν ποσοστό στερεών στην αφυδατωμένη λάσπη 20-30%, ενώ η απαιτούμενη δόση πολυηλεκτρολύτη κυμαίνεται από 5-10 Kg/τόνο ξηρών στερεών της ιλύος. Η αφυδατωμένη πλέον ιλύς, μεταφέρεται και διατίθεται προς υγειονομική ταφή σε ΧΥΤΑ.

2.4.9 Ροϊκό διάγραμμα



Σχήμα 2.2 Διάγραμμα ροής τυπικής ΕΕΛ

2.5 Εναλλακτικά συστήματα για ενεργειακή βελτιστοποίηση

Σε μια τυπική ΕΕΛ όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, μόνο ένα μικρό ποσοστό, της τάξης του 10% από τη συνολική θεωρητική χημική ενέργεια που περιλαμβάνεται στα αστικά απόβλητα αξιοποιείται μέσα από την παραγωγή βιοαερίου και τελικά ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμα και αυτό το μικρό ποσοστό που αξιοποιείται όμως μπορεί να καλύψει σε μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια μιας ΕΕΛ (ποσοστό ανάκτησης ενέργειας 40-55%). Έτσι γεννάται ένα ερώτημα: υπάρχει τρόπος να βελτιστοποιήσουμε την εκμετάλλευση της χημικής ενέργειας των λυμάτων, ώστε μια εγκατάσταση να είναι ενεργειακά αυτόνομη; Σε μια προσπάθεια να απαντηθεί αυτό το ερώτημα έχουν δημοσιευτεί πολλές μελέτες και έρευνες που βασίζονται σε εντελώς διαφορετικά σκεπτικά έχοντας ως κοινό παρονομαστή τη μέγιστη παραγωγή βιοαερίου, χωρίς το κόστος να ξεφεύγει από λογικά πλαίσια και οι συνεπικουρούμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις να μην είναι ιδιαίτερα δυσμενείς. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θα

ασχοληθούμε με δύο βασικές εναλλακτικές προτάσεις για τη λειτουργία μιας ΕΕΛ: μία που βασίζεται στη μεγιστοποίηση της πρωτοβάθμιας ιλύος και μία που βασίζεται στη βελτίωση της αναερόβιας χώνευσης.

2.5.1 Εναλλακτικό σύστημα επεξεργασίας με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό

2.5.1.1 Περιγραφή της διαδικασίας

Στο σύστημα που μελετάμε στην παρούσα παράγραφο, τα λύματα μετά την μονάδα προεπεξεργασίας, η οποία είναι ακριβώς ίδια με αυτή του τυπικού, εισέρχονται σε ένα σύστημα δεξαμενών κροκίδωσης, με αναδευτήρα πλήρους μίξης και μικρό χρόνο παραμονής (περίπου μισή ώρα σε κάθε μία). Το σύστημα αποτελείται από δύο δεξαμενές όπου προστίθενται τα κροκιδωτικά: στην πρώτη το χλωριούχο πολυαργίλιο (PACL) και στη δεύτερη ο πολυηλεκτρολύτης. Έτσι δημιουργούνται συσσωματώματα τόσο των αιωρούμενων όσο και των κολλοειδών σε κροκίδες. Στη συνέχεια ακολουθεί ένα μικροκόσκινο ανοίγματος 100μm, που συγκρατεί τα στερεά και μέσω αντλιοστασίου τα τροφοδοτεί σε έναν παχυντή βαρύτητας για περαιτέρω επεξεργασία.

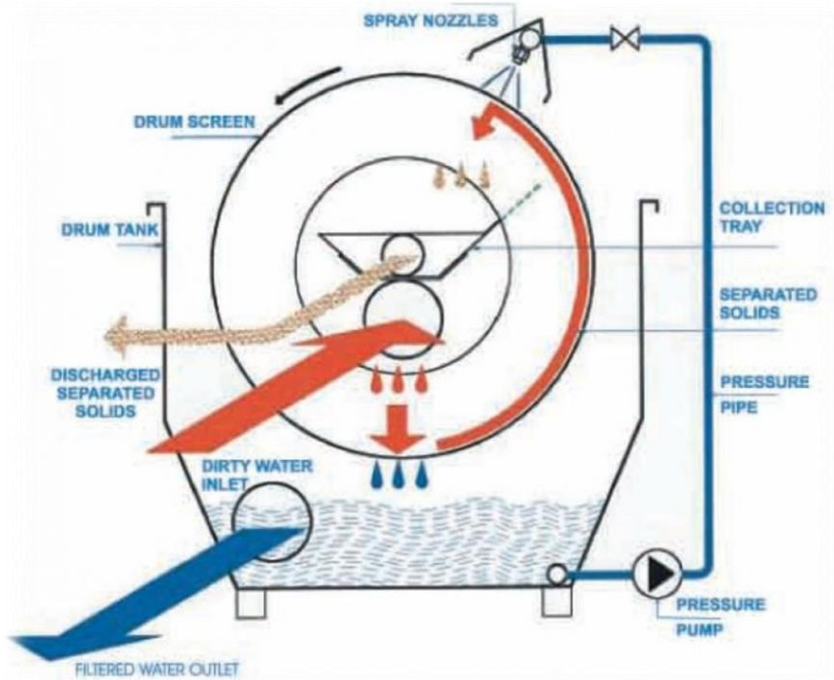
Τα μικροκόσκινα είναι συστήματα επιφανειών φίλτραρίσματος εξοπλισμένα με υφασμάτινο φίλτρο από χάλυβα ή συνθετικό. Τα πιο συνηθισμένα είδη μικροκόσκινου είναι με τύμπανα ή με δίσκους.

Σε μικροκόσκινο με τύμπανο (drum filter micro-sieve), τα λύματα εισέρχονται σε ένα κεντρικό περιστρεφόμενο τύμπανο, τυλιγμένο με το ύφασμα του φίλτρου. Με βαρύτητα το υγρό διαπερνά το φίλτρο του τυμπάνου και «πέφτει» στον κεντρικό αγωγό για να οδηγηθεί στο βιολογικό αντιδραστήρα ενώ η λάσπη συγκρατείται στο εσωτερικό του τυμπάνου και τροφοδοτείται στον παχυντή. Λόγω της κατακράτησης των στερεών, μειώνεται η διαπερατότητα του φίλτρου και η στάθμη στο εσωτερικό του τυμπάνου ανεβαίνει και ενεργοποιείται η διαδικασία αντίστροφης πλύσης (backwash), όπου ψεκάζεται νερό με πίεση 7-8bars, από την εξωτερική πλευρά του τυμπάνου για να απομακρυνθούν τα στερεά από τα τοιχώματα καθώς το τύμπανο περιστρέφεται.

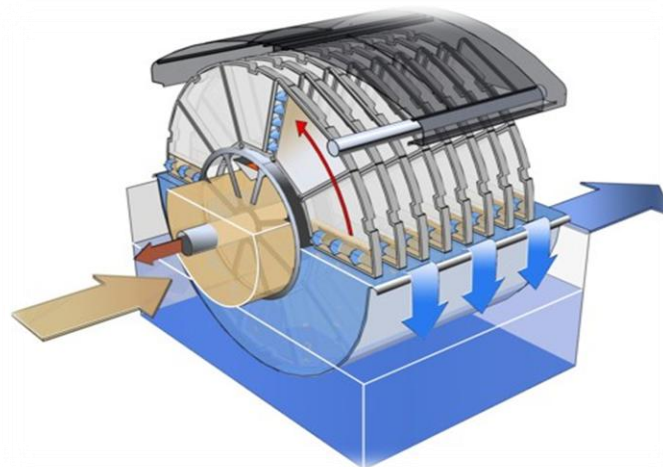
Στο μικροκόσκινο με δίσκους, το υγρό εισέρχεται σε έναν ανοιχτό κεντρικό αγωγό, ενώ οι περιστρεφόμενοι δίσκοι οι οποίοι είναι καλυμμένοι με φίλτρο και από τις δύο πλευρές τους είναι τοποθετημένοι κάθετα στη ροή. Οι δίσκοι κατακρατούν τα αιωρούμενα στερεά και τις κροκίδες και με την περιστροφή τους τα οδηγούν σε πλαϊνό αγωγό ενώ το υγρό τα διαπερνά. Έτσι πραγματοποιείται ο διαχωρισμός. Καθώς μειώνεται η διαπερατότητα η στάθμη ανάντη των δίσκων αυξάνει σε σχέση με κατάντη. Όταν αυτή η διαφορά φτάσει σε ένα συγκεκριμένο μέγεθος ένας αισθητήρας ενεργοποιεί το σύστημα έκπλυσης (backwash), το οποίο ψεκάζει με νερό τους δίσκους για να απομακρύνει τα στερεά. Και για τις δύο κατηγορίες, μια συνηθισμένη περίοδος πλύσης είναι κάθε 4-7 εβδομάδες, ανάλογα με το μέγεθος των εισροών και τα χαρακτηριστικά των λυμάτων (Langer et al. 2013).

Ένα τέτοιο σύστημα κροκίδωσης - φίλτρανσης (coagulation-flocculation-microsieve disc filter) για την ενίσχυση του πρωτοβάθμιου διαχωρισμού των στερεών των εισερχόμενων λυμάτων όπως έχουν δείξει μελέτες αλλά και πιλοτικές εφαρμογές του σε αστικά λύματα, μπορεί να έχει πολύ καλή απόδοση και να κατακρατεί πολύ μεγάλο μέρος των συνολικών

στερεών των λυμάτων (90-95% του TSS) σε σχέση με τη συμβατική ΕΕΛ και τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (απομακρύνεται το 55-65% των TSS).



Σχήμα 2.3 Μικροκόσκινο με τύμπανο (drumfilter)



Σχήμα 2.4 Μικροκόσκινο με δίσκους (discfilter)

Ταυτόχρονα, πολύ μεγαλύτερη είναι και η απομάκρυνση των οργανικών ουσιών στην πρωτοβάθμια επεξεργασία, καθώς σε ένα τέτοιο σύστημα απομακρύνεται το 90-95% του σωματιδιακού BOD, καθώς και το 15-20% του διαλυτού BOD, δηλαδή περίπου το 60-65% του συνολικού BOD. Η απομάκρυνση αυτή είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη απομάκρυνση της τυπικού συστήματος με πρωτοβάθμια καθίζηση, η οποία είναι της τάξης του 20-40%.

Εκτός όμως από την απομάκρυνση στερεών και οργανικών ουσιών, κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία με κροκίδωση και μικροκόσκινο απομακρύνεται μεγάλο μέρος και των θρεπτικών συστατικών των λυμάτων. Απομακρύνεται το 70-90% του συνολικού φωσφόρου (TP) των λυμάτων καθώς και το 20% του ολικού αζώτου (TN). Η αντίστοιχη απομάκρυνση σε ένα συμβατικό σύστημα είναι αμελητέα και θεωρείται μηδενική. Ιδιαίτερα για το φώσφορο έχει μεγάλη σημασία το γεγονός ότι παρατηρείται μεγάλη απομάκρυνση σε αυτό το στάδιο επεξεργασίας, καθώς δίνεται η δυνατότητα να μη χρησιμοποιήσουμε δεξαμενή βιολογικής απομάκρυνσης φωσφόρου (αναερόβια) στο βιολογικό αντιδραστήρα, αλλά για την υπόλοιπη ποσότητα που πρέπει να απομακρυνθεί να εφαρμόσουμε χημικές μεθόδους (χημική κατακρήμνιση με προσθήκη τριχλωριούχου σιδήρου $FeCl_3$ στη δεξαμενή αερισμού).

2.5.1.2 Ενδεικτική δοσολογία κροκιδωτικών

Από μελέτες και πειράματα (jartests) που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες χώρες και πανεπιστήμια, καταλήγουμε ότι απαιτούνται δοσολογίες περίπου 15-20 mg/L χλωριούχου πολυαργιλίου (PACl) και 5-7mg/L πολυηλεκτρολύτη (polymer) για να επιτύχουμε αυτά τα αποτελέσματα. Η χρησιμοποίηση χλωριούχου πολυαργιλίου (PACl) είναι πιο αποτελεσματική τόσο για τη δημιουργία κροκίδων και την απομάκρυνση των στερεών όσο και του φωσφόρου, αλλά και πιο φιλική προς το περιβάλλον σε σχέση με τον τριχλωριούχο σίδηρο ($FeCl_3$), αφού κατά την παραγωγή του εκπέμπονται λιγότερα αέρια θερμοκηπίου (50% λιγότερες εκπομπές CO_2 για κάθε kgPACl σε σχέση με κάθε kg $FeCl_3$) (Remy et al. 2014).

2.5.1.3 Παραγόμενη ενέργεια και καταναλώσεις

Η διαδικασία αυτή ενισχυμένου πρωτοβάθμιου διαχωρισμού (enhanced primary separation) μπορεί να αυξήσει κατά πολύ την παραγωγή βιοαερίου στην αναερόβια χώνευση, αύξηση που μπορεί στα επίπεδα του 30% (ή ακόμα και 50% ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων λυμάτων). Ταυτόχρονα όμως με την αύξηση της παραγωγής βιοαερίου και τη συνεπαγόμενη αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, μειώνονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης, λόγω της μείωσης των απαιτήσεων σε οξυγόνο στη δεξαμενή αερισμού, που αποτελεί και την κύρια ενεργειακή δαπάνη σε μια ΕΕΛ. Λόγω της έντονης απομάκρυνσης στερεών αλλά και (σωματιδιακού κυρίως αλλά και διαλυτού) οργανικού φορτίου κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, ο απαιτούμενος όγκος αερισμού κατά τη βιολογική επεξεργασία είναι αισθητά μικρότερος, ενώ παράλληλα η παραγωγή βιολογικής ιλύος είναι μειωμένη σε σχέση με ένα τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος. Έτσι η συνολική παραγόμενη ιλύς που θα χρειαστεί να προχωρήσει σε περαιτέρω επεξεργασία (πάχυνση, χώνευση, αφυδάτωση) δεν είναι πολύ περισσότερη από την αντίστοιχη παραγωγή σε μια συμβατική ΕΕΛ (διαφοροποίηση της τάξης του 2-5%). Αυτή η παράμετρος είναι πολύ σημαντική αν αναλογιστούμε το ιδιαίτερα υψηλό κόστος κατασκευής των χωνευτών.

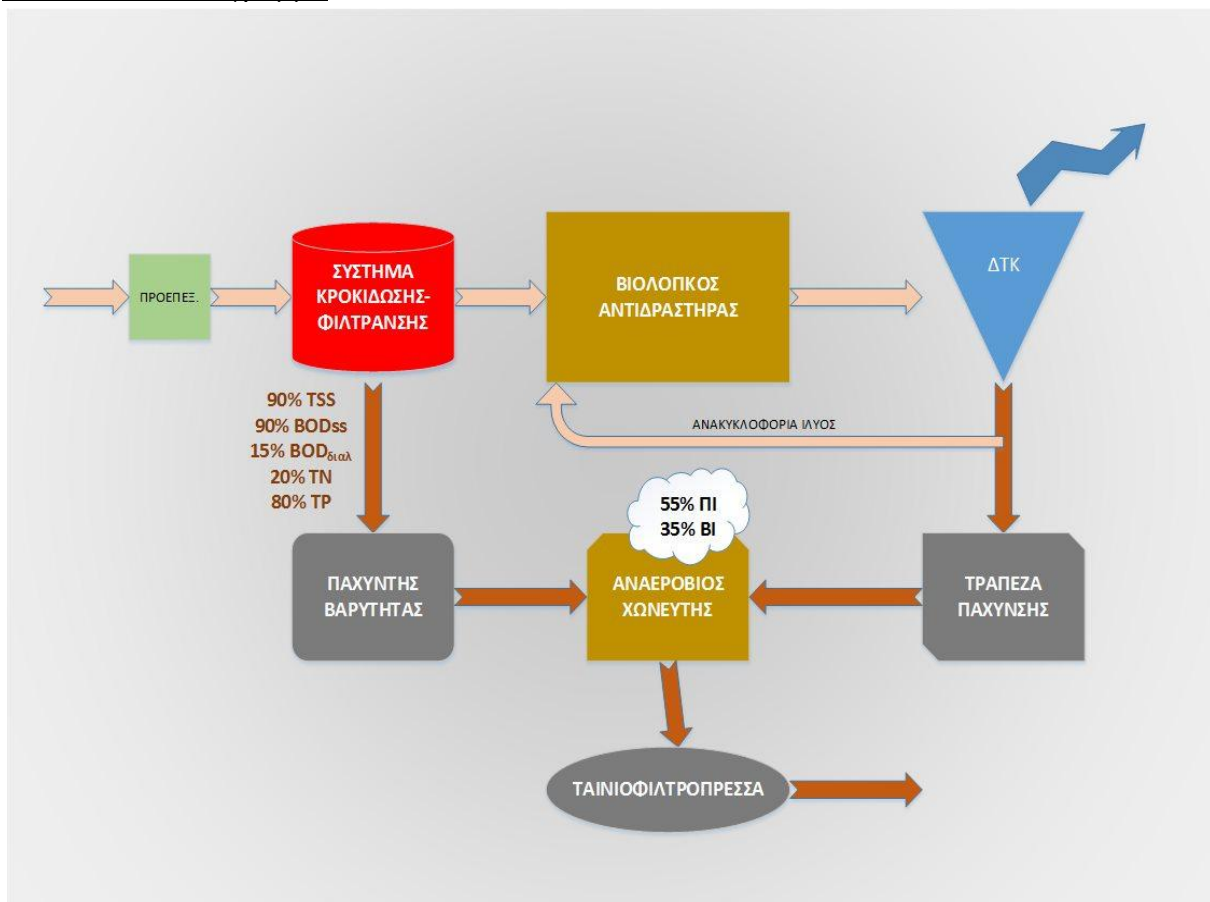
Οι υπόλοιπες καταναλώσεις ενέργειας όσον αφορά το βασικό μηχανολογικό εξοπλισμό και τα βασικά στάδια επεξεργασίας (ανοξική δεξαμενή, δεξαμενή τελικής καθίζησης, χλωρίωση, παχυντές βαρύτητας και τράπεζες πάχυνσης, χωνευτές και ταινιοφιλτράρες, αλλά και αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας) οι ενεργειακές δαπάνες ενός τέτοιου συστήματος είναι πανομοιότυπες με της αντίστοιχες μιας τυπικής ΕΕΛ συστήματος ενεργού ιλύος. Μόνη διαφοροποίηση το γεγονός ότι δεν απαιτείται αναερόβια δεξαμενή για βιολογική

απομάκρυνση φωσφόρου, κάτι που συνεπάγεται μια ελάχιστη μείωση στις ενεργειακές δαπάνες, ενώ απαιτούνται δύο δεξαμενές κροκιδώσης άρα αντίστοιχα μια επιπλέον μικρή απαίτηση σε ενέργεια.

Σε ένα τέτοιο σύστημα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την καύση του βιοαερίου που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση μπορεί να καλύψει πάρα πολύ μεγάλο ποσοστό των συνολικών απαιτήσεων μιας εγκατάστασης. Ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 70 και 90%, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων λυμάτων, και παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές το καλοκαίρι.

Εκτός όμως από τις βελτιώσεις που μπορεί να προσφέρει σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων ένα τέτοιο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό και μεγάλη παραγωγή πρωτοβάθμιας ιλύος, έχει και κάποιες αδυναμίες. Κυριότερη αδυναμία είναι η μεγάλη χρήση κροκιδωτικών ώστε να επιτευχθούν αυτά τα μεγέθη πρωτοβάθμιου διαχωρισμού. Ταυτόχρονα για τις ανάγκες της απονιτροποίησης, απαιτείται προσθήκη επιπλέον άνθρακα από εξωτερική πηγή αφού ο λόγος του συνολικού χημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (COD-Chemical Oxygen Demand) προς το συνολικό φώσφορο (TN) στην ανοξική δεξαμενή πρέπει να είναι της τάξης του 5,5 με 7 και έχουμε μεγάλο βαθμό απομάκρυνση στην πρωτοβάθμια επεξεργασία όπως περιγράφηκε παραπάνω.

2.5.1.4 Ροϊκό διάγραμμα



Σχήμα 2.5 Διάγραμμα ροής σε ΕΕΛ, με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό

2.5.2 Εναλλακτικό σύστημα με θερμική υδρόλυση της βιολογικής ιλύος

2.5.2.1 Γενικά

Η λύση που προτάθηκε και αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο αποτελεί μεν μία πολύ καινοτόμα και ενδιαφέρουσα πρόταση για την ενεργειακή βελτιστοποίηση των ΕΕΛ, αποτελεί όμως ένα εντελώς νέο πεδίο (ειδικά για την Ελλάδα) καθώς δεν έχει προς το παρόν τουλάχιστον ευρεία εφαρμογή. Έτσι ένα δεύτερο εναλλακτικό σύστημα εξετάζεται στο παρόν υποκεφάλαιο, αφορά την αύξηση της παραγωγής βιοαερίου χωρίς αλλαγή σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο όσον αφορά την επεξεργασία των λυμάτων (προεπεξεργασία-πρωτοβάθμια καθίζηση-βιολογική επεξεργασία-τελική καθίζηση). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ενίσχυση της αναερόβιας χώνευσης μέσω της προεπεξεργασίας της ιλύος.

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 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.

2.5.2.2 Περιγραφή της διαδικασίας

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα μελετήσουμε μόνο την χρησιμοποίηση της θερμικής υδρόλυσης της βιολογικής ιλύος και τα αποτελέσματα αυτής στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και την παραγωγή του βιοαερίου. Για να εφαρμοστεί όμως πιο αποτελεσματικά η θερμική υδρόλυση, πρέπει η συγκέντρωση στερεών στη λάσπη να είναι αρκετά μεγάλη, περίπου 16-17%. Για την επίτευξη τέτοιων συγκεντρώσεων, η πάχυνση (ή πιο σωστά η προ-αφυδάτωση) της βιολογικής ιλύος πρέπει να γίνει με τη χρήση φυγόκεντρων πάχυνσης (φυγόκεντρητών), αντί για τράπεζα πάχυνσης που χρησιμοποιείται σε μια τυπική ΕΕΛ.

Στους **φυγόκεντρικούς διαχωριστές**, ο διαχωρισμός των στερεών από το νερό γίνεται με την επιβολή φυγόκεντρης δύναμης. Ο συνηθέστερος τύπος φυγόκεντρητή αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο οριζόντιο κάδο μέσα στον οποίο περιστρέφεται με διαφορετική ταχύτητα ένας κοχλιωτός μεταφορέας. Η λάσπη εισέρχεται από το ένα άκρο του φυγόκεντρητή μέσω

σταθερού σωλήνα στο κέντρο του κάδου. Κάτω από την επίδραση της φυγόκεντρης δύναμης που μπορεί κυμανθεί από 500 μέχρι 3000 την δύναμη της βαρύτητας, τα στερεά προσκολλώνται στα τοιχώματα του κάδου και με τη βοήθεια του κοχλία μεταφέρονται προς το ένα άκρο του φυγοκεντρητή από όπου και απομακρύνονται. Το υγρό ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση και απομακρύνεται μέσα από κατάλληλες οπές στο άλλο άκρο του φυγοκεντρητή.

Το τελικό ποσοστό στερεών μετά τη φυγοκέντρωση εξαρτάται εκτός από τα χαρακτηριστικά της αρχικής λάσπης και τα κροκιδωτικά και από τον τύπο του φυγοκεντρητή. Συνήθως για μη χωνευμένη λάσπη κυμαίνεται μεταξύ 12-18%, ενώ για χωνευμένο μίγμα πρωτοβάθμιας και βιολογικής λάσπης το ποσοστό στερεών κυμαίνεται από 25-33%. Η απαιτούμενη δόση πολυηλεκτρολύτη βρίσκεται στο διάστημα 3-6 g ανά kg στερεών της ιλύος.

Στη συνέχεια η ιλύς τροφοδοτείται σε ένα σύστημα σιλό αποθήκευσης, το οποίο χρησιμεύει ως χώρος προσωρινής αποθήκευσης της ακατέργαστης παχυμένης ιλύος και τοποθετείται πλησίον της μονάδας θερμικής υδρόλυσης.

Η μονάδα θερμικής υδρόλυσης (thermal hydrolysis plant ή THP) αποτελείται από έναν ατμολέβητα, μία δεξαμενή προθέρμανσης της ιλύος (pulper), έναν αντιδραστήρα (reactor) και μία δεξαμενή πτώσης πίεσης και ανακυκλοφορίας του ατμού. Η προ-αφυδατωμένη ιλύς από το σιλό αντλείται συνεχώς στη δεξαμενή προθέρμανσης (pulper), όπου εκεί προθερμαίνεται στους 97°C. 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.

Έπειτα, η ιλύς μεταφέρεται μέσω αντλιών στον αντιδραστήρα (reactor), όπου πραγματοποιείται απευθείας έγχυση ατμού ώστε να επιτευχθούν η απαιτούμενη θερμοκρασία και πίεση για την πραγματοποίηση της θερμικής υδρόλυσης (165°C και 6bar για 20-30 λεπτά). Στο τέλος, ο ατμός σταδιακά απελευθερώνεται και οδηγείται στη δεξαμενή προθέρμανσης (pulper). Κάθε κύκλος θερμικής υδρόλυσης για έναν αντιδραστήρα 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

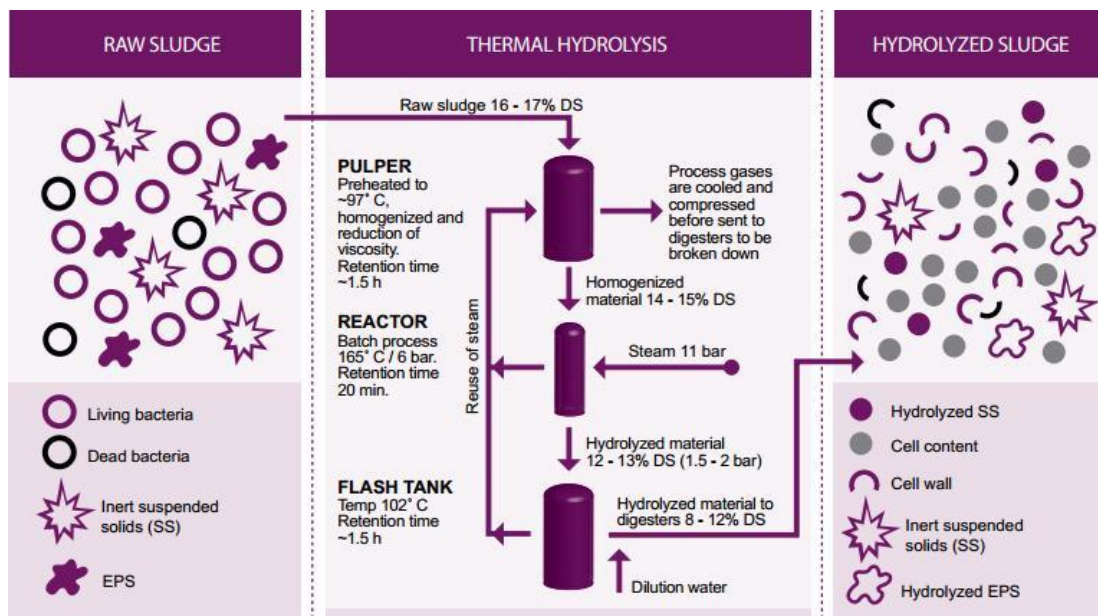
Όταν η υδρόλυση ολοκληρωθεί, ανοίγει σταδιακά μία βάνα απελευθέρωσης πίεσης στην κορυφή του αντιδραστήρα και η πίεση μειώνεται. Ο ατμός οδηγείται στη δεξαμενή προθέρμανσης (pulper). Η βάνα ατμού κλείνει, όταν η πίεση στον αντιδραστήρα σταθεροποιηθεί στην πίεση λειτουργίας (3 bar). Η κύρια βάνα εξόδου στο πυθμένα του αντιδραστήρα ανοίγει και η ιλύς εκτονώνεται στο flash tank (δεξαμενή πτώσης πίεσης). 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 (Δόδουλα 2014).

Η δεξαμενή αποσυμπίεσης (flash tank), όπως και η δεξαμενή προθέρμανσης (pulper),

λειτουργούν συνεχώς. Η ιλύς αντλείται από τη δεξαμενή αποσυμπίεσης στο σύστημα χωνευτών για αναερόβια χώνευση. Οι οσμές που παράγονται κατά τη διαδικασία της υδρόλυσης αποτελούνται κυρίως από мерκαπτάνες, 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 2.6 φαίνονται η διαδικασία και οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας κατά τη θερμική υδρόλυση.



Σχήμα 2.6 Διαδικασία θερμικής υδρόλυσης Πηγή: Cambi Brochure

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.

Πέρα όμως από την ενίσχυση της χώνευσης και την αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου ένα ακόμα πολύ βασικό πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης της τεχνολογίας θερμικής υδρόλυσης, είναι η βελτίωση της αφυδατωσιμότητας της ιλύος (μέχρι και 40% συγκέντρωση στερεών), που οφείλεται στην απελευθέρωση του νερού που βρίσκεται εγκλωβισμένο στα εξωκυτταρικά πολυμερή (τα EPS δεσμεύουν 4-5 gr νερό/gr EPS), με αποτέλεσμα την παραγωγή λιγότερων βιοστερεών μετά τη χώνευση και την αφυδάτωση. Επίσης το προϊόν της αφυδάτωσης είναι

παστεριωμένο, κάτι που εγγυάται την απουσία παθογόνων χωρίς δυνατότητα εκ νέου ανάπτυξης και ενεργοποίησής τους.

2.5.2.3 Παραγόμενη ενέργεια και καταναλώσεις

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας σε μια ΕΕΛ με μονάδα θερμικής υδρόλυσης της βιολογικής ιλύος, είναι λίγο μεγαλύτερη σε σχέση με μια τυπική ΕΕΛ (αυξημένη κατά 5-7%). Αυτό κατά βάση οφείλεται στην μεγάλη κατανάλωση ενέργειας στους φυγοκεντρητές ώστε να επιτευχθούν οι μεγάλες συγκεντρώσεις στερεών που είναι αναγκαίες για την υδρόλυση. Η κατανάλωση ενέργειας σε έναν φυγοκεντρητή είναι της τάξης 1 kWh/m³ ιλύος, ενώ στην τράπεζα πάχυνσης της τάξης του 0,05-0,06 kWh/m³ ιλύος.

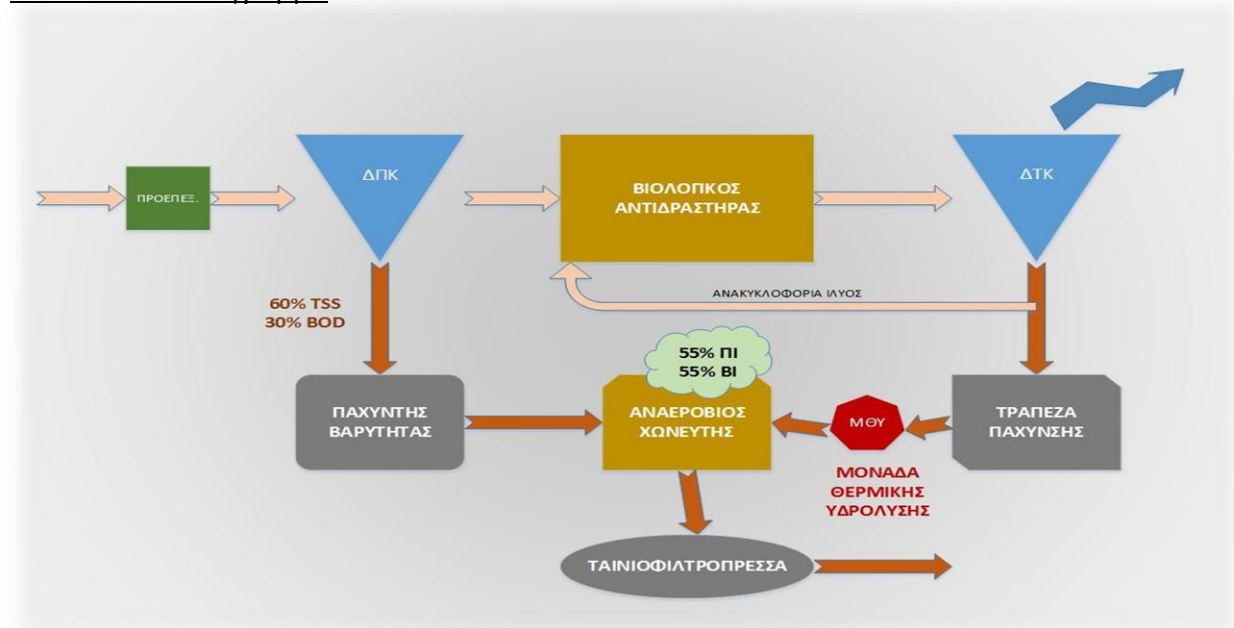
Από την άλλη όπως έχει αναφερθεί, κατά την αναερόβια χώνευση διασπάται περίπου το 55% των οργανικών της πρωτοβάθμιας ιλύος και το αντίστοιχο 35% της βιολογικής (αν δεν εφαρμόσουμε θερμική υδρόλυση). Με τη χρήση της θερμικής υδρόλυσης το ποσοστό των οργανικών της βιολογικής ιλύος που διασπώνται στο χωνευτή ανεβαίνει στο 55%, κάτι που ισοδυναμεί με αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου κατά 15-30% ανάλογα τα χαρακτηριστικά των λυμάτων και το μέγεθος της εγκατάστασης.

2.5.2.4 Μειονεκτήματα της μεθόδου

Η χρήση της θερμικής υδρόλυσης είναι επωφελής ενεργειακά σε σχέση με το συμβατικό σύστημα σε μια ΕΕΛ, γιατί αυξάνει σημαντικά την παραγωγή βιοαερίου, χωρίς αντίστοιχη αύξηση των ενεργειακών καταναλώσεων μειώνοντας ταυτόχρονα τη συνολική παραγόμενη λάσπη που διατίθεται προς υγειονομική ταφή.

Επίσης παρουσιάζει πλεονεκτήματα και σε σχέση με τη λύση ενισχυμένου πρωτοβάθμιου διαχωρισμού, αφού δεν απαιτεί μεγάλη χρήση χημικών (κροκιδωτικών) και εξωτερική πηγή άνθρακα, ενώ δεν επηρεάζει και τη λειτουργία της βιολογικής επεξεργασίας. Ωστόσο, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερες ενεργειακές καταναλώσεις (έως και 55%), ενώ η αντίστοιχη παραγωγή βιοαερίου κινείται στα ίδια επίπεδα (2-6 % μεγαλύτερη ή μικρότερη).

2.5.2.5 Ροϊκό διάγραμμα



Σχήμα 2.7 Διάγραμμα ροής σε ΕΕΛ, με θερμική υδρόλυση

2.6 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε μια ΕΕΛ

2.6.1 Γενικά

Ένα από τα βασικότερα ζητήματα που απασχολούν τη διεθνή κοινότητα σε παγκόσμιο επίπεδο είναι το ζήτημα της κλιματικής μεταβολής και ειδικότερα της παγκόσμιας θέρμανσης (global warming). Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος του ΟΗΕ (IPCC), η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά $0.6 (\pm 0.2) ^\circ\text{C}$ από τα τέλη του 19ου αιώνα και πως η αύξηση αυτή οφείλεται σημαντικά στην ανθρώπινη δραστηριότητα των τελευταίων 50 ετών (3η έκθεση της IPCC), ενώ σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες της IPCC, η θερμοκρασία της γης ενδέχεται να αυξηθεί κατά $1.4 - 5.8 ^\circ\text{C}$ εντός της χρονικής περιόδου 1990 και 2100. Οι συνέπειες μίας τέτοιας ενδεχόμενης αύξησης, επεκτείνονται και σε άλλου είδους μεταβολές, όπως αύξηση της στάθμης των θαλασσών ή δημιουργία ακραίων καιρικών φαινομένων όπως πλημμύρες, τυφώνες ή εξαφάνιση βιολογικών ειδών.

Αν και πολλοί επιστήμονες έχουν εκφράσει αμφιβολίες (ή και απορρίπτουν) σε σχέση με την καταλυτική επίδραση που ενδέχεται να έχει η ανθρώπινη δραστηριότητα σε σχέση με την παγκόσμια θέρμανση, η άποψη που κυριαρχεί είναι πως βασικότερος παράγοντας για την παγκόσμια θέρμανση είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η ενίσχυση αυτού του μηχανισμού από το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (greenhouse effect) ένα φυσικό φαινόμενο, που μπορεί να παρατηρηθεί και σε άλλους πλανήτες. Η ηλιακή ακτινοβολία ταξιδεύει στην ατμόσφαιρα μέχρι τελικά να φτάσει στη γη. Ορισμένες από τις υπέρυθρες ακτίνες αντανακλώνται στην επιφάνεια της γης και επιστρέφουν στο διάστημα, οι υπόλοιπες όμως παρεμποδίζονται από τα ατμοσφαιρικά αέρια. Τα αέρια αυτά δρουν κατά τον ίδιο τρόπο με το γυάλινο πλαίσιο ενός θερμοκηπίου, όπου δεσμεύεται ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, προκαλώντας έτσι αύξηση της θερμοκρασίας. Πρόκειται για ένα φυσικό φαινόμενο που διατηρεί τη θερμοκρασία σταθερή με μέσο όρο 15° Κελσίου επί γης (στην πραγματικότητα, χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της γης θα ήταν -18° Κελσίου).

Από τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H_2O), των οποίων ο ρόλος είναι διπλός, καθώς αφενός ενδυναμώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφετέρου σχηματίζουν νέφη τα οποία αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία προς το διάστημα και έτσι ψύχουν την ατμόσφαιρα. Η ανθρώπινη δραστηριότητα δεν ασκεί μεγάλη επίδραση στην παραγωγή τους και δεν θεωρούνται ανθρωπογενή αέρια θερμοκηπίου.

Αέρια τα οποία συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το οξείδιο του αζώτου (N_2O), Υδροφθοράνθρακες (HFCs), Υπερφθοράνθρακες (PFCs) και Εξαφθοριούχο θείο (SF_6). Τα αέρια αυτά παράγονται φυσικά σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις. Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν τροποποιήσει σημαντικά τις συγκεντρώσεις τους, με αποτέλεσμα την αλλαγή στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας που παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα και συνακόλουθη διατάραξη της θερμικής ισορροπίας.

Τα αέρια θερμοκηπίου που παράγονται σε μια ΕΕΛ, είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το οξείδιο του αζώτου (N_2O).

2.6.2 Θεσμικό πλαίσιο

Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Αλλαγή του Κλίματος (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC) και το Πρωτόκολλο του Κυότο (Kyoto Protocol) παρέχουν το παγκόσμιο θεσμικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η Σύμβαση - Πλαίσιο των Η.Ε. για τις κλιματικές αλλαγές υπεγράφη από 154 χώρες και την Ευρωπαϊκή Ένωση τον Ιούνιο του 1992 στο Ρίο, κατά τη διάρκεια της Συνόδου Κορυφής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη. Η Ελλάδα επικύρωσε την Σύμβαση με τον Νόμο 2205/1994 (ΦΕΚ 60/A/15-4-1994). Η σύμβαση δεν έθεσε νομικά δεσμευτικές υποχρεώσεις αλλά τις βάσεις για περαιτέρω δράση στο μέλλον. Την εποχή που επικρατούσαν πολλές αμφισβητήσεις για την επιστημονική στήριξη της ανάγκης υιοθέτησης μέτρων, η σύμβαση έθεσε τις γενικές αρχές και τη διαδικασία για τη μετέπειτα υιοθέτηση δεσμεύσεων, κυρίως μέσω των τακτικών συνόδων των Κρατών Μερών της.

Η Σύμβαση προβλέπει για όλα τα Κράτη, αναγνωρίζοντας κοινές αλλά διαφοροποιημένες υποχρεώσεις και την ύπαρξη εθνικών αναπτυξιακών προτεραιοτήτων, τα εξής:

- την ανάπτυξη, τακτική ενημέρωση και δημοσιοποίηση εθνικών απογραφών των ανθρωπογενών εκπομπών βάσει συγκρίσιμων μεθοδολογιών,
- τη δημοσίευση, αναθεώρηση και εφαρμογή εθνικών προγραμμάτων για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών.
- την υιοθέτηση πολιτικών και μέτρων με στόχο την επαναφορά των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στα επίπεδα του έτους 1990 μέχρι το 2000 για τα Κράτη που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα I της Σύμβασης (ανεπτυγμένα κράτη). Η σύμβαση δίνει τη δυνατότητα ο στόχος αυτός να επιτευχθεί από κάθε κράτος ξεχωριστά ή από κοινού με άλλα.

Με βάση τις διαδικασίες που προβλέπονται από τη Σύμβαση, στην Τρίτη Σύνοδο των Συμβαλλομένων Μερών (Κυότο, Δεκέμβριος 1997) υιοθετήθηκε Πρωτόκολλο στη Σύμβαση, γνωστό ως Πρωτόκολλο του Κυότο. Η Ελλάδα υπέγραψε το Πρωτόκολλο τον Απρίλιο του 1998, παράλληλα με τα υπόλοιπα Κράτη Μέλη της Ε.Ε. και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Όλα τα Κράτη Μέλη της ΕΕ επικύρωσαν το Πρωτόκολλο το Μάιο 2002. Η Ελλάδα το επικύρωσε με το Νόμο 3017/2002 (ΦΕΚ Α'117). Το Πρωτόκολλο στοχεύει σε συνολική μείωση των εκπομπών τουλάχιστον κατά 5% την πενταετία 2008-2012 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Για την επίτευξή του, τα ανεπτυγμένα Κράτη - Μέρη του Πρωτοκόλλου καλούνται να εξασφαλίσουν ότι οι εκπομπές τους, για 6 συνολικά αέρια, δεν θα υπερβούν τα όρια που τους τίθενται με το Πρωτόκολλο αυτό.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Μαρτίου 2007, επεσήμανε ότι, για να επιτευχθεί ο στόχος της Σύμβασης, η σταθεροποίηση δηλαδή των συγκεντρώσεων των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα τα οποία αποτρέπουν την επικίνδυνη ανθρωπογενή παρεμβολή στο κλιματικό σύστημα, απαιτείται να μειωθούν οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2050 σε ποσοστό τουλάχιστον 50 % έναντι των επιπέδων του 1990. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Μαρτίου 2007 αποφάσισε ότι, έως ότου συναφθεί παγκόσμια και συνολική συμφωνία για τη μετά το 2012 περίοδο, η Κοινότητα αναλαμβάνει μονομερή δέσμευση να επιτύχει μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 20 % έως το 2020, σε σχέση με το 1990. Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την κλιματική και ενεργειακή πολιτική με στόχο την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος και

την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της ΕΕ, ενισχύοντας παράλληλα την ανταγωνιστικότητα της και την μετατροπή της σε μια ιδιαίτερα αποδοτική από ενεργειακή άποψη οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Οι απαιτήσεις που υιοθετήθηκαν από τους αρχηγούς κρατών και κυβερνήσεων αφορούσαν:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα επίπεδα του 1990
- 20% της κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές
- Μείωση κατά 20% στη χρήση πρωτογενούς ενέργειας σε σύγκριση με τα προβλεπόμενα επίπεδα μέσω τη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης.

Κατά την διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC, COP-15 το 2009 στην Κοπεγχάγη), οι χώρες που αντιπροσωπεύουν πάνω από το 80% των παγκόσμιων εκπομπών υπέγραψαν τη «Συμφωνία της Κοπεγχάγης» (γνωστή και ως Copenhagen Accord) η οποία προβλέπει ότι οι αναπτυγμένες χώρες θα πρέπει να μειώσουν τις εκπομπές τους κατά 80-95% έως το 2050.

2.6.3 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε μία ΕΕΛ

Τα αέρια θερμοκηπίου (greenhouse gas) που προέρχονται από την λειτουργία των ΕΕΛ είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄) και το οξείδιο του αζώτου (N₂O). Οι εκπομπές ΑΘ που προέρχονται από τις ΕΕΛ διακρίνονται: 1)στις άμεσες εκπομπές (on-site greenhouse gas emissions) και 2) στις έμμεσες εκπομπές (off-site greenhouse gas emissions). (Snip 2010).

2.6.3.1 Άμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Οι άμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε μία ΕΕΛ, αφορούν τις εκπομπές που προέρχονται από μονάδες που ανήκουν στην εγκατάσταση. Περιλαμβάνουν τις εκπομπές από τις βιολογικές διεργασίες (νιτροποίηση, απονιτροποίηση, κατανάλωση οργανικών) και την διαφυγή και την καύση του παραγόμενου βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα οι άμεσες εκπομπές σε μία ΕΕΛ, αφορούν τα εξής αέρια θερμοκηπίου:

- **CO₂**:από τις διεργασίες στη δεξαμενή αερισμού, από την καύση του βιοαερίου είτε σε πυρσό καύσης ή για παραγωγή ενέργειας (CO₂ βιογενούς προέλευσης)
- **N₂O**: από τη διεργασία της απονιτροποίησης στην ανοξική δεξαμενή
- **CH₄**:από διαφυγή του βιοαερίου στην ατμόσφαιρα λόγω ατελούς καύσης

2.6.3.2 Έμμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Οι έμμεσες εκπομπές, αφορούν τις εκπομπές που προέρχονται από πηγές που δεν ανήκουν στην εγκατάσταση. Περιλαμβάνουν τις εκπομπές από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται εκτός ΕΕΛ, την παραγωγή, μεταφορά και καύση άλλων καυσίμων για παραγωγή ενέργειας, την παραγωγή, μεταφορά και χρήση χημικών ουσιών στις διάφορες διεργασίες, την αποικοδόμηση των συστατικών της εκροής καθώς και τη μεταφορά και διάθεση της παραγόμενης ιλύος. Πιο συγκεκριμένα αφορούν τα εξής:

- **CO₂**:από την καύση καυσίμων υλών για παραγωγή ενέργειας, από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται εκτός ΕΕΛ
- **CO₂**:από την αερόβια και αναερόβια αποσύνθεση της παραγόμενης ιλύος στον τόπο διάθεσης (CO₂ βιογενούς προέλευσης)

- **CH₄**: από την αναερόβια αποσύνθεση της παραγόμενης ύλης στον τόπο διάθεσης (βιογενούς προέλευσης)
- **CO₂**: από την παραγωγή των χημικών που χρησιμοποιούνται στην εγκατάσταση

2.6.4 Επίδραση των παραγόμενων σε ΕΕΛ αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

Τα αέρια θερμοκηπίου δεν έχουν όλα την ίδια συμβολή και επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η επίδρασή τους έχει να κάνει με μια σειρά παραμέτρων όπως το βαθμό απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας, τη διάρκεια ζωής του κάθε αερίου στην ατμόσφαιρα και τη φασματική θέση των μηκών κύματος που απορροφά. Έτσι ορίζεται σαν μονάδα μέτρησης το δυναμικό συμβολής στο φαινόμενο (global warming potential –GWP), μια σχετική μονάδα μέτρησης που εκφράζει το λόγο της θερμότητας που παγιδεύεται στη μονάδα μάζας ενός αερίου θερμοκηπίου, συγκρινόμενη με την θερμότητα που παγιδεύεται στη μονάδα μάζας του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, συνήθως 100 χρόνια. Οι ουσίες που υπόκεινται σε περιορισμούς σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο, είτε έχουν ραγδαία αυξανόμενες συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα της Γης ή έχουν μεγάλη συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου(μεγάλο GWP). Έτσι όλα τα αέρια θερμοκηπίου εκφράζονται σε ισοδύναμα CO₂ (CO_{2,equivalents}).

Πίνακας 2-4: Δυναμικό συμβολής στο φαινόμενο θερμοκηπίου ορισμένων ΑΘ

Αέριο Θερμοκηπίου	Χημική ονομασία	2001 IPCC GWP
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	1
Μεθάνιο	CH ₄	23
Οξείδιο του αζώτου	N ₂ O	296

3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά το μοντέλο που χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση των τριών διαφορετικών συστημάτων που εξετάζονται και συγκρίνονται. Παρουσιάζεται αναλυτικά το απαραίτητο τυπολόγιο για τον υπολογισμό των χρόνων παραμονής στη δεξαμενή αερισμού, ο υπολογισμός των όγκων όλων των δεξαμενών, των χωνευτών και διαστασιολογείται ο κύριος μηχανολογικός εξοπλισμός της εγκατάστασης. Παράλληλα παρουσιάζεται το μοντέλο υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης με τις βασικές παραδοχές που γίνονται, καθώς και το απαραίτητο τυπολόγιο για την εκτίμηση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου στις εγκαταστάσεις.

3.1 Θεωρητικό μοντέλο σχεδιασμού

3.1.1 Παραδοχές

Τα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων λυμάτων είναι τα εξής:

Πίνακας 3-1 Ρυπαντικό φορτίο εισερχόμενων λυμάτων

Ρυπαντικό φορτίο	M.M.	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Βιοχημικός απαιτούμενο οξυγόνο: BOD	gr/κατ/day	39	60
Ολικά αιωρούμενα στερεά: TSS	gr/κατ/day	45.5	70
Ολικό άζωτο: TN	gr/κατ/day	7.8	12
Ολικός φώσφορος: TP	gr/κατ/day	1.625	2.5
Λόγος σωματιδιακού/ολικού BOD	gBOD/gTSS	0.6	0.6
Λόγος πτητικών/ολικών στερεών VSS/TSS	-	0.7	0.7

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι εξής μέσες θερμοκρασίες:

- Θερμοκρασία χειμώνα: 15°C
- Θερμοκρασία καλοκαιριού: 25°C

3.1.2 Σχεδιασμός πρωτοβάθμιας επεξεργασίας

3.1.2.1 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης

Η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, στα συστήματα που χρησιμοποιείται σχεδιάζεται με μέσο πλευρικό βάθος $h=3.5\text{m}$ και με κριτήριο την απαιτούμενη υδραυλική φόρτιση στερεών. Επιλέγεται φόρτιση στερεών ίση με $q=48\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$.

Τότε η απαιτούμενη επιφάνεια της δεξαμενής είναι

$$A = \frac{Q}{q \cdot n} \quad (3.1)$$

Όπου A: η απαιτούμενη επιφάνεια της δεξαμενής σε m²

Q: η ημερήσια παροχή σε m³/d

n: το πλήθος των δεξαμενών

Αντίστοιχα ο απαιτούμενος όγκος της δεξαμενής είναι (σε m³)

$$V = A \cdot h \quad (3.2)$$

Όπου h: το πλευρικό βάθος σε m

A: η επιφάνεια της δεξαμενής σε m²

3.1.2.2 Δεξαμενές κροκίδωσης και μικροκόσκινο

Οι δεξαμενές κροκίδωσης σχεδιάζονται με βάση το χρόνο παραμονής των λυμάτων σε αυτές. Η πρώτη δεξαμενή όπου γίνεται η προσθήκη του χλωριούχου πολυαργιλίου διαστασιολογείται για χρόνο παραμονής 15 λεπτών (15 min ή 0,25h), ενώ η δεύτερη για χρόνο παραμονής 30 λεπτών (30 min ή 0.5 h).

Έτσι ο απαιτούμενος όγκος κάθε δεξαμενής σε m³ είναι:

$$V = Q \cdot t \quad (3.3)$$

Όπου Q: η εισερχόμενη παροχή σε m³/d

t: ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή σε d

3.1.3 Βιολογική επεξεργασία

3.1.3.1 Χρόνος παραμονής ετεροτροφικών οργανισμών στη δεξαμενή αερισμού

Για τον υπολογισμό του χρόνου παραμονής των ετεροτροφικών οργανισμών στη δεξαμενή αερισμού $\theta_{c,H}$ χρησιμοποιείται η βασική λειτουργική συνάρτηση του συστήματος ενεργού ιλύος πλήρους μίξης (σε d):

$$\frac{1}{\theta_{c,H}} = \mu_H - b_H \quad (3.4)$$

Όπου μ_H : η ειδική ταχύτητα ανάπτυξης των μικροοργανισμών (d⁻¹)

b_H : η ειδική ταχύτητα φθοράς των μικροοργανισμών (d⁻¹)

Η ειδική ταχύτητα ανάπτυξης των ετεροτροφικών οργανισμών εκφράζεται από την κινητική Monod και δίνεται από την ακόλουθη σχέση (σε d⁻¹):

$$\mu_H = \mu_{H,max,T} \cdot \frac{F}{F + K_{SH}} \quad (3.5)$$

Όπου $\mu_{H,max,T}$: η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών σε θερμοκρασία $T, ^\circ C(d^{-1})$

F: το διαλυτό BOD₅ εξόδου (mg/l)

K_{SH} : η σταθερά κορεσμού Monod (mg/l)

Η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης των ετεροτροφικών οργανισμών σε θερμοκρασία $T, ^\circ C$, εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση (σε d^{-1}):

$$\mu_{H,max,T} = \mu_{H,max,20} \cdot e^{K_H(T-20)} \quad (3.6)$$

Όπου $\mu_{H,max,20}$: η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης ετεροτροφικών μικροοργανισμών για $T=20^\circ C$

K_H : σταθερά κορεσμού Monod

3.1.3.2 Χρόνος παραμονής αυτοτροφικών (νιτροποιητών) μικροοργανισμών

Προκειμένου να επιτευχθεί η νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου, ο αναγκαίος χρόνος παραμονής των αυτοτροφικών μικροοργανισμών $\theta_{C,N}$ υπολογίζεται (σε d) από τη βασική λειτουργική συνάρτηση του συστήματος ενεργού ιλύος πλήρους μίξης:

$$\frac{1}{\theta_{C,N}} = \mu_N - b_N \quad (3.7)$$

Όπου μ_N : η ειδική ταχύτητα ανάπτυξης των αυτοτροφικών μικροοργανισμών (d^{-1})

b_N : η ειδική ταχύτητα φθοράς των αυτοτροφικών μικροοργανισμών (d^{-1})

Η ειδική ταχύτητα ανάπτυξης των αυτοτροφικών οργανισμών εκφράζεται από την κινητική Monod και δίνεται από την ακόλουθη σχέση (σε d^{-1}):

$$\mu_N = \mu_{N,max,T} \cdot \frac{N - NH_{4,out}}{N - NH_{4,out} + K_{SN}} \cdot \frac{DO}{DO + K_{DO}} \quad (3.8)$$

Όπου $\mu_{N,max,T}$: η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης των αυτοτροφικών μικροοργανισμών σε θερμοκρασία T (d)

$N-NH_{4,OUT}$: η συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου εξόδου (mg/l)

DO: η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού (mg/l)

K_{SN} : η σταθερά κορεσμού Monod (mg/l)

K_{DO} : η σταθερά κορεσμού Monod για το οξυγόνο (mg/l)

Η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης των ετεροτροφικών οργανισμών σε θερμοκρασία $T, ^\circ C$, εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\mu_{N,max,T} = \mu_{N,max,20} \cdot e^{K_N(T-20)} \quad (3.9)$$

Όπου $\mu_{N,max,20}$: μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης αυτοτροφικών μικροοργανισμών για $T=20^{\circ}C$ (d)

k_N : σταθερά

3.1.3.3 Προσδιορισμός χρόνου παραμονής μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού

Ο τελικός χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού του συστήματος υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση (σε d):

$$\Theta_{C,A} = \max \left\{ \Theta_{C,H}, S_F \cdot \Theta_{C,N} \right\} \quad (3.10)$$

Όπου S_F : συντελεστής ασφαλείας, συνήθως ίσος με 1.5.

3.1.3.4 Υπολογισμός απαιτούμενου αερόβιου όγκου V_{AIR}

Ο απαραίτητος αερόβιος όγκος υπολογίζεται με συγκέντρωση στερεών στο ανάμικτο υγρό (MLSS) ίση με 4000 mg/L, και υπολογίζεται (σε m^3), από τον τύπο:

$$V_{AIR} = \frac{Q \cdot \theta_{c,A}}{MLSS} \left[\frac{1 + \beta \cdot b_H \cdot \theta_{c,A}}{1 + b_H \cdot \theta_{c,A}} \cdot Y_H \cdot E_H \cdot F_0 + \alpha \cdot SS_{V0} + SS_{F0} + \frac{Y_N \cdot E_N \cdot S_{NH0}}{1 + b_N \cdot \theta_{c,A}} + X_P \right] \quad (3.11)$$

Όπου Q : παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)

MLSS: συγκέντρωση ανάμικτου υγρού (mg/l)

E_H : βαθμός απομάκρυνσης οργανικού φορτίου

E_N : βαθμός απομάκρυνσης αμμωνιακού αζώτου

SS_{V0} : πτητικά στερεά εισόδου (mg/l)

SS_{F0} : αδρανή στερεά εισόδου (mg/l)

F_0 : συγκέντρωση BOD_5 στην είσοδο του συστήματος (mg/l)

F : συγκέντρωση διαλυτού BOD_5 στην έξοδο του συστήματος (mg/l)

$S_{NH,0}$: συγκέντρωση ολικού αζώτου στην είσοδο του συστήματος (mg/l)

S_{NH} : συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο του συστήματος (mg/l)

α : ποσοστό αδρανών διαλυτών στερεών εισόδου, kgSS/kgBOD₅

β : ποσοστό αδρανών διαλυτών κατά τη φθορά της βιομάζας, kgSS/kg BOD₅

Y_H : συντελεστής μετατροπής βιομάζας για τους ετεροτροφικούς μ/ο, kgVSS/kg BOD₅

Y_N : συντελεστής μετατροπής βιομάζας για τους αυτοτροφικούς μ/ο, kgVSS/kgBOD₅

b_H : η ειδική ταχύτητα φθοράς των ετεροτροφικών μικροοργανισμών (d^{-1})

b_N : η ειδική ταχύτητα φθοράς των αυτοτροφικών μικροοργανισμών (d^{-1})

$\theta_{c,A}$: ο χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού (d)

X_p : Συγκέντρωση ανόργανων από φυσικοχημική απομάκρυνση

3.1.3.5 Υπολογισμός απαιτούμενου όγκου απονιτροποίησης V_{ANOX}

Η ποσότητα του αζώτου που πρέπει να απομακρυνθεί στην ανοξική δεξαμενή, με αναγωγή των νιτρικών σε αέριο άζωτο, προκύπτει από την σχέση ισορροπίας μάζας για το άζωτο στην βαθμίδα βιολογικής επεξεργασίας ως ακολούθως :

$$N_{den} = N_{nitro} - (N-NO_3)_{out} \quad (3.12)$$

Όπου N_{den} : άζωτο προς απονιτροποίηση (kg/d)

N_{nitro} : άζωτο που νιτροποιείται στη δεξαμενή αερισμού (kg/d)

$(N-NO_3)_{out}$: ποσότητα εξερχόμενου νιτρικού αζώτου (kg/d)

Η ποσότητα του αζώτου που νιτροποιείται στη δεξαμενή αερισμού της βιολογικής βαθμίδας υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$N_{nitro} = N_{total} - N_{bio} - (N-NH_4)_{out} - N_{org\ out} - N_{sl} \quad (3.13)$$

Όπου N_{nitro} : το άζωτο που νιτροποιείται στη δεξαμενή αερισμού (kg/d)

N_{total} : το ολικό άζωτο εισόδου (kg/d)

N_{bio} : ποσότητα αζώτου που προσλαμβάνεται κατά τη σύνθεση της βιομάζας (kg/d)

$(N-NH_4)_{out}$: ποσότητα εξερχόμενου αμμωνιακού αζώτου (kg/d)

$N_{org\ out}$: ποσότητα εξερχόμενου οργανικού αζώτου (kg/d)

N_{sl} : ποσότητα αζώτου που απομακρύνεται με την περίσσεια ιλύος (kg/d)

Από την αρχική εισερχόμενη ποσότητα του αζώτου ένα ποσοστό χρησιμοποιείται ως τροφικό υπόβαθρο για τη σύνθεση της βιομάζας (δημιουργία νέων κυττάρων). Η ποσότητα αυτή λαμβάνεται ίση με το 15% του συνολικού εισερχόμενου αζώτου. Επίσης γίνεται η παραδοχή ότι η ποσότητα του αζώτου που απομακρύνεται με την περίσσεια ιλύος λαμβάνεται ίση με το 8% του συνολικού εισερχόμενου αζώτου. Το ολικό άζωτο εισόδου λαμβάνεται ότι είναι εξ ολοκλήρου στη μορφή αμμωνιακού αζώτου, δηλαδή $TN_{IN} = S_{NH_4}$.

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου όγκου της απονιτροποίησης, είναι αναγκαία η γνώση του πτητικού μέρους της ενεργού ιλύος (MLVSS). Η συγκέντρωση των MLVSS προκύπτει από την ακόλουθη σχέση σε mg/L :

$$\frac{MLVSS}{MLSS} = \frac{\left[\frac{1 + \beta \cdot b_H \cdot \theta_{c,A}}{1 + b_H \cdot \theta_{c,A}} \cdot Y_H \cdot E_H \cdot F_0 + \alpha \cdot SS_{V_0} + \frac{Y_N \cdot E_N \cdot S_{NHO}}{1 + b_N \cdot \theta_{c,A}} \right]}{\left[\frac{1 + \beta \cdot b_H \cdot \theta_{c,A}}{1 + b_H \cdot \theta_{c,A}} \cdot Y_H \cdot E_H \cdot F_0 + \alpha \cdot SS_{V_0} + SS_{F_0} + \frac{Y_N \cdot E_N \cdot S_{NHO}}{1 + b_N \cdot \theta_{c,A}} + X_p \right]} \quad (3.14)$$

όπου $MLSS$: συγκέντρωση ανάμικτου υγρού (mg/l)

- MLVSS: συγκέντρωση των πτητικών στερεών του ανάμικτου υγρού (mg/l)
- E_H : βαθμός απομάκρυνσης οργανικού φορτίου
- E_N : βαθμός απομάκρυνσης αμμωνιακού αζώτου
- SS_{V0} : πτητικά στερεά εισόδου (mg/l)
- SS_{f0} : αδρανή στερεά εισόδου (mg/l)
- F_0 : συγκέντρωση BOD₅ στην είσοδο του συστήματος (mg/l)
- F : συγκέντρωση διαλυτού BOD₅ στην έξοδο του συστήματος (mg/l)
- $S_{NH,0}$: συγκέντρωση ολικού αζώτου στην είσοδο του συστήματος (mg/l)
- S_{NH} : συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου στην έξοδο του συστήματος (mg/l)
- α : ποσοστό μη βιοδιασπάσιμων οργανικών αιωρούμενων στερεών εισόδου
- β : συντελεστής δημιουργίας αδρανούς ύλης κατά τη φθορά της βιομάζας
- Y_H : συντελεστής μετατροπής βιομάζας για τους ετεροτροφικούς μ/ο
- Y_N : συντελεστής μετατροπής βιομάζας για τους αυτοτροφικούς μ/ο
- b_H : η ειδική ταχύτητα φθοράς των ετεροτροφικών μικροοργανισμών (d^{-1})
- b_N : η ειδική ταχύτητα φθοράς των αυτοτροφικών μικροοργανισμών (d^{-1})
- $\theta_{C,A}$: ο χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού (d)
- X_P : Συγκέντρωση ανόργανων από φυσικοχημική απομάκρυνση

Ο συνολικός ρυθμός απονιτροποίησης δίνεται από την ακόλουθη σχέση (σε kgN-NO₃/kgMLVSS/d):

$$q_{DN} = 6.40 \cdot 10^{10} \cdot e^{-\frac{15880}{1.987 \cdot (273+T)}} \quad (3.15)$$

Όπου T η θερμοκρασία σε °C.

Τελικά ο απαιτούμενος ανοξικός όγκος υπολογίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$M_{VSS,ANO\Xi} = \frac{N_{den}}{q_{DN}} \quad (3.16)$$

και

$$V_{ANO\Xi} = \frac{M_{VSS,ANO\Xi}}{\frac{VSS}{TSS} \cdot MLSS} \quad (3.17)$$

όπου: $V_{ANO\Xi}$: ο απαιτούμενος ανοξικός όγκος (m^3)

$M_{VSS,ANOX}$: η απαιτούμενη μάζα πτητικών στερεών για την απονιτροποίηση (kgSS)

VSS/TSS: ο λόγος πτητικών στερεών προς τα ολικά στερεά της βιομάζας

MLSS: συγκέντρωση ανάμικτου υγρού (mg/l)

N_{den} : άζωτο προς απονιτροποίηση (kg/d)

q_{DN} : ρυθμός απονιτροποίησης (kgN-NO₃/kgMLVSS/d)

3.1.3.6 Υπολογισμός αναερόβιου όγκου, για τη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου

Η διαστασιολόγηση του αναερόβιου όγκου γίνεται με βάση το χρόνο παραμονής των λυμάτων στην αναερόβια δεξαμενή. Συνήθως χρησιμοποιούνται χρόνοι μίας με δύο ώρες (1-2h). Εδώ θα χρησιμοποιήσουμε χρόνο παραμονής ίσο με 1,75 h. Σε μια αναερόβια δεξαμενή με τέτοιο χρόνο παραμονής απομακρύνεται περίπου το 80% του εισερχόμενου φωσφόρου.

$$V_{ANAEP} = Q \cdot t \quad (3.18)$$

Όπου Q: παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m³/d)

t: επιλεγόμενος χρόνος παραμονής στη δεξαμενή (d)

3.1.3.7 Χημική κατακρήμνιση φωσφόρου

Αν μετά τη βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου, απαιτείται περαιτέρω απομάκρυνση ώστε να καλύπτονται τα όρια που θέτουν οι κανονισμοί, πραγματοποιούμε με την προσθήκη χημικών (συνήθως τριχλωριούχο σίδηρο – FeCl₃) χημική κατακρήμνιση.

- 1 gr P απαιτεί 2,7 gr Fe³⁺
- 1 gr Fe³⁺ παράγει 2,6 gr SS

Η απαιτούμενη ποσότητα FeCl₃ δίνεται από τη σχέση (σε kg/d)

$$M_{FeCl_3} = 2.6 \cdot P \quad (3.19)$$

Όπου P, η ποσότητα φωσφόρου που απομακρύνεται.

Η παραγόμενη συγκέντρωση ανόργανων από τη διαδικασία αυτή δίνεται από τη σχέση (σε mg/L)

$$X_p = \frac{2.6 \cdot M_{FeCl_3}}{Q} \quad (3.20)$$

Όπου Q η ημερήσια παροχή λυμάτων (σε L/d).

3.1.3.8 Προσδιορισμός παροχής και ποσότητας περίσσειας ιλύος

Η ημερήσια παραγωγή περίσσειας ιλύος υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$W = \frac{\lambda \cdot MLSS - TSS_{out}}{m \cdot MLSS - TSS_{out}} \cdot Q \quad (3.21)$$

όπου

$$\lambda = \frac{\theta}{\theta_c} \quad (3.22)$$

και

$$\theta = \frac{V_{AIR}}{Q} \quad (3.23)$$

$$m = \frac{Su}{MLSS} \quad (3.23)$$

Όπου λ : ολόγος του υδραυλικού χρόνου παραμονής προς τον χρόνο παραμονής των στερεών στη δεξαμενή αερισμού

W : παροχή περίσσειας ιλύος (m^3/d)

Q : παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)

$MLSS$: συγκέντρωση ανάμικτου υγρού (mg/l)

TSS_{out} : συγκέντρωση ολικών στερεών εξόδου (mg/l)

m : βαθμός συμπύκνωσης της ιλύος

Η συγκέντρωση στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής τελικής καθίζησης λαμβάνεται ίση με 8000 mg/L (ή 0.8%). Με την εφαρμογή των (3.22), (3.23), (3.24) η σχέση (3.21) παίρνει την παρακάτω μορφή που υπολογίζει την παροχή της παραγόμενης περίσσειας ιλύος

$$W = \frac{\frac{V_{AIR}}{Q \cdot \theta_c} \cdot MLSS - TSS_{out}}{S_u - TSS_{out}} \cdot Q \quad (3.25)$$

Όπου V_{AIR} : ο όγκος της δεξαμενής αερισμού (m^3)

Q : η παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)

θ_c : ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού (d)

$MLSS$: η συγκέντρωση του ανάμικτου υγρού (mg/L)

TSS_{out} : η συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών εξόδου (mg/L)

S_u : η συγκέντρωση στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής τελικής καθίζησης (mg/L)

Η ποσότητα ιλύος που παράγεται δίνεται από τη σχέση (σε kg/d)

$$P_w = W \cdot S_u \quad (3.26)$$

Όπου S_u : συγκέντρωση στερεών σε mg/l

W : η παροχή περίσσειας ιλύος σε m^3/d

3.1.3.9 Προσδιορισμός του ολικού χρόνου παραμονής στο σύστημα

Ο συνολικός χρόνος παραμονής των στερεών στο βιολογικό αντιδραστήρα (αναερόβια, ανοξική και αερόβια ζώνη) υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση

$$\theta_{C,TOTAL} = \frac{V_{TOTAL} \cdot MLSS}{W \cdot S_u + (Q - W) \cdot TSS_{OUT}} \quad (3.27)$$

Όπου $\theta_{C,TOTAL}$: ολικός χρόνος παραμονής στερεών στο σύστημα (d)

V_{TOTAL} : συνολικός όγκος βιολογικού αντιδραστήρα (m^3)

$MLSS$: συγκέντρωση ανάμικτου υγρού (mg/l)

Q : παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)

W : παροχή περίσσειας ιλύος (m^3/d)

S_u : συγκέντρωση στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής καθίζησης (mg/l)

TSS_{out} : συγκέντρωση ολικών στερεών εξόδου (mg/l)

3.1.3.10 Σχεδιασμός συστήματος αερισμού

Η ολική ζήτηση οξυγόνου υπολογίζεται με βάση το εισερχόμενο οργανικό φορτίο, το προς νιτροποίηση αμμωνιακό άζωτο, τον βαθμό απονιτροποίησης και τέλος της ζήτηση για ενδογενή αναπνοή και δίνεται από τη σχέση:

$$OTR = 0,59 \cdot Q \cdot F_0 \cdot E_H + 4,3 \cdot Q \cdot S_{NHO} \cdot E_N - 2,86 \cdot N_{den} + 0,024 \cdot V \cdot MLSS \cdot R_e \quad (3.28)$$

$$R_e^T = R_e^{20} \cdot e^{0,07 \cdot (T-20)} \quad (3.29)$$

Όπου OTR : Ζήτηση οξυγόνου (kgO_2/d)

Q : Παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)

F_0 : Συγκέντρωση BOD_5 εισόδου στο σύστημα (mg/l)

E_H : Βαθμός απομάκρυνσης οργανικού φορτίου (-)

S_{NHO} : Συγκέντρωση ολικού αζώτου εισόδου στο σύστημα (mg/l)

E_N : Βαθμός απομάκρυνσης αμμωνιακού αζώτου (-)

N_{den} : Άζωτο προς απονιτροποίηση (kg/d)
 V : Επιλεγόμενος αερόβιος όγκος (m^3)
 $MLSS$: Συγκέντρωση ανάμικτου υγρού (mg/l)
 Re : Ταχύτητα ενδογενούς αναπνοής ($gO_2/kgMLSS$)
 Re_{20} : Σταθερά ($gO_2/kgMLSS$)
 T : Θερμοκρασία λυμάτων ($^{\circ}C$)

Η σχέση (3.28) υπολογίζει τη συνολική ζήτηση οξυγόνου σε συνθήκες πεδίου. Η συνολική ζήτηση οξυγόνου σε κανονικές συνθήκες δίνεται από τις σχέσεις

$$SOTR = \frac{OTR}{n} \quad (3.30)$$

$$n = a \cdot f \cdot \frac{\beta \cdot E \cdot C_w - C_L}{C_s} \cdot 1,024^{T-20} \quad (3.31)$$

Όπου SOTR: ολική ζήτηση οξυγόνου σε συνθήκες πεδίου (kgO_2/d)

n : διορθωτικός συντελεστής (-)

a : διορθωτικός συντελεστής για το ανάμικτο υγρό (-)

f : συντελεστής παλαιότητας διαχυτήρων (-)

β : συντελεστής αναγωγής της συγκέντρωσης κορεσμού από το καθαρό νερό στο ανάμικτο υγρό (-)

E : συντελεστής υψομέτρου (-)

C_w : τιμή κορεσμού για το διαλυμένο οξυγόνο σε καθαρό νερό και σε θερμοκρασία T (mg/l)

C_L : συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στο ανάμικτο υγρό (mg/l)

C_s : τιμή κορεσμού για το διαλυμένο οξυγόνο σε καθαρό νερό και σε θερμοκρασία $T=20^{\circ}C$ (mg/l)

T : Θερμοκρασία λυμάτων ($^{\circ}C$)

Η απαιτούμενη παροχή αέρα από το σύστημα υποβρύχιας διάθεσης αέρα μέσω των φυσητήρων και των διαχυτήρων, δίνεται από τη σχέση

$$Q_{AIR} = \frac{SOTR}{[O_2\%] \cdot d_{AIR} \cdot SOTE \cdot H_u} \quad (3.32)$$

Όπου Q_{AIR} : η απαιτούμενη παροχή αέρα (m^3/d)

SOTR: ολική ζήτηση οξυγόνου σε συνθήκες πεδίου (kgO_2/d)

$[O_2\%]$: ποσοστό οξυγόνου στον αέρα (ίσο με 23.2%)

d_{AIR} : η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3)

SOTE: η απόδοση της μεταφοράς οξυγόνου στα λύματα (%/m)

H_u : η βύθιση του συστήματος αερισμού (m)

3.1.4 Δεξαμενή τελικής καθίζησης

Η δεξαμενή τελικής καθίζησης αποτελεί καθοριστικό στοιχείο για τη λειτουργία μιας ΕΕΛ, αφού αφενός καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα της τελικής εκροής, αφετέρου με την απόδοσή της καθορίζει τη λειτουργία της ανακυκλοφορίας. Τα δύο συνηθέστερα εφαρμοζόμενα εμπειρικά κριτήρια είναι το υδραυλικό φορτίο και το φορτίο στερεών.

Το υδραυλικό φορτίο, εκφρασμένο σε m^3 λυμάτων ανά m^2 επιφάνεια δεξαμενής και ημέρα επηρεάζει κατά κύριο λόγο τη διαδικασία της διαύγασης, καθώς σχετίζεται με την ταχύτητα καθίζησης των βιοκροκίδων.

Το φορτίο στερεών εκφρασμένο σε kg ανάμικτου υγρού ανά m^2 επιφάνειας δεξαμενής και ημέρα επηρεάζει κατά κύριο λόγο τη διαδικασία συμπίκνωσης.

Έτσι για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των ΔTK είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται και τα δύο κριτήρια, δηλαδή:

$$q = \frac{Q}{A} \quad (3.33)$$

$$G = \frac{(1+r) \cdot Q \cdot MLSS}{A} \quad (3.34)$$

Όπου: το μέγιστο επιτρεπόμενο υδραυλικό υδραυλικό φορτίο ($m^3/m^2/d$)

Q : η παροχή των εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)

r : ο συντελεστής ανακυκλοφορίας

$MLSS$: η συγκέντρωση του ανάμικτου υγρού (mg/l)

A : η απαιτούμενη επιφάνεια της δεξαμενής τελικής καθίζησης (m^2)

Ο συντελεστής ανακυκλοφορίας υπολογίζεται από τη σχέση

$$r = \frac{1 - \lambda}{m - 1} \quad (3.35)$$

Με

$$\lambda = \frac{\theta}{\theta_C} \quad (3.36)$$

Και

$$m = \frac{Su}{MLSS} \quad (3.37)$$

Όπου θ : ο υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού (d)

θ_C : ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού (d)

S_u : η συγκέντρωση στερεών στον πυθμένα της ΔTK (mg/l)

MLSS: η συγκέντρωση ανάμικτου υγρού (mg/l)

m : ο βαθμός συμπύκνωσης της ιλύος

Με εφαρμογή των σχέσεων (3.33) και (3.34) προκύπτουν δύο τιμές για την απαιτούμενη επιφάνεια της δεξαμενής τελικής καθίζησης. Από αυτές τις δύο τιμές λαμβάνεται η μεγαλύτερη και τελικά η δεξαμενή διαστασιολογείται με πλευρικό βάθος 3,5m. Η απαιτούμενη επιφάνεια υπολογίζεται για υδραυλικό φορτίο ίσο με $14 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ και για φόρτιση στερεών ίση με $120 \text{ kgMLSS}/\text{m}^2/\text{d}$.

Τελικά ο όγκος της δεξαμενής τελικής καθίζησης δίνεται από τη σχέση

$$V_{\Delta TK} = A \cdot h_{\pi\lambda} \quad (3.38)$$

Όπου $h_{\pi\lambda}$: το πλευρικό βάθος της δεξαμενής σε m.

$V_{\Delta TK}$: ο όγκος της ΔTK (m^3)

3.1.5 Έργα επεξεργασίας ιλύος

Οι ιλύες που συγκεντρώνονται στους πυθμένες των δεξαμενών πρωτοβάθμιας και τελικής καθίζησης υφίστανται επεξεργασία, που συνίσταται σε μείωση του όγκου τους με απομάκρυνση σοβαρού ποσοστού του νερού των ιλύων με φυσικοχημικές μεθόδους (πάχυνση, αφυδάτωση) και στη σταθεροποίησή τους, μέσω της διαδικασίας της χώνευσης. Το πρώτο στάδιο των έργων επεξεργασίας ιλύος είναι η πάχυνση.

3.1.5.1 Πάχυνση ιλύος

Η πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος πραγματοποιείται σε παχυντή βαρύτητας, ενώ η πάχυνση της βιολογικής ιλύος σε μηχανικό παχυντή, είτε αυτός αφορά τράπεζα πάχυνσης (συμβατικό σύστημα) είτε φυγόκεντρο πάχυνσης (σύστημα με εφαρμογή θερμικής υδρόλυσης).

A. Παχυντής βαρύτητας

Από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, ή το σύστημα δεξαμενών κροκίδωσης-μικροκόσκινου υπολογίζεται η ποσότητα των στερεών που απομακρύνονται κατά τη χώνευση. Η συγκέντρωση των στερεών είναι της τάξης του 1,5%. Η παροχή ιλύος που εισέρχεται στον παχυντή βαρύτητας δίνεται από τη σχέση

$$Q = \frac{M}{c} \quad (3.39)$$

Όπου Q: η παροχή ιλύος προς τον παχυντή (m^3/d)

M: η συνολική ποσότητα στερεών που απομακρύνεται κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία ($kgTSS/d$)

C: η συγκέντρωση στερεών στην πρωτοβάθμια ιλύ (%)

Ο σχεδιασμός του παχυντή βαρύτητας γίνεται όπως και ο σχεδιασμός της ΔTK, με κριτήριο την επιφανειακή φόρτιση στερεών και το υδραυλικό φορτίο, δηλαδή από τις σχέσεις

$$G = \frac{M}{A} \quad (3.40) \quad \text{και} \quad q = \frac{Q}{A} \quad (3.41)$$

Όπου M: συνολική ποσότητα στερεών στην πρωτοβάθμια ιλύ ($kgTSS/d$)

Q: η παροχή πρωτοβάθμιας ιλύος (m^3/d)

G: η φόρτιση στερεών ($kg/m^2/d$)

q: το υδραυλικό φορτίο ($m^3/m^2/d$)

A: η απαιτούμενη επιφάνεια του παχυντή βαρύτητας (m^2)

Από τις τιμές του A που προκύπτουν από τις σχέσεις (3.40) και (3.41) λαμβάνεται η μεγαλύτερη. Ο παχυντής βαρύτητας σχεδιάζεται με πλευρικό βάθος ίσο με 4m.

Το υδραυλικό φορτίο λαμβάνεται ίσο με $25 m^3/m^2/d$, ενώ η φόρτιση στερεών ίση με $100kg/m^2/d$.

Στον παχυντή βαρύτητας θεωρείται ποσοστό κατακράτησης στερεών ίσο με 95%, θεωρείται δηλαδή ότι το 5% των συνολικών στερεών (5% TSS) μεταφέρεται πίσω στη βιολογική βαθμίδα μαζί με τα στραγγίδια.

Επίσης θεωρείται ότι στην έξοδο του παχυντή βαρύτητας επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών στο 5%.

Τελικά ο όγκος του παχυντή βαρύτητας δίνεται από τον τύπο (σε m^3)

$$V = A \cdot h_{\pi\lambda} \quad (3.42)$$

Όπου A η απαιτούμενη επιφάνεια του παχυντή (σε m^2) και $h_{\pi\lambda}$ το πλευρικό βάθος της δεξαμενής (σε m).

B. Τράπεζα πάχυνσης

Η τράπεζα πάχυνσης χρησιμοποιείται για την πάχυνση της βιολογικής ιλύος. Η συγκέντρωση στερεών στον πυθμένα της δεξαμενής τελικής καθίζησης είναι 0,8% (ή 8000 mg/l). Με τη χρήση της τράπεζας πάχυνσης επιτυγχάνουμε συγκέντρωση στερεών ίση με 5% στην έξοδο. Και εδώ θεωρούμε ποσοστό κατακράτησης στερεών ίσο με 95%, άρα 5% απομάκρυνση στερεών με τα στραγγίδια.

Η παροχή και η ποσότητα βιολογικής ιλύος προς πάχυνση έχουν υπολογιστεί από τις σχέσεις (3.25) και (3.26) αντίστοιχα.

Η μονάδα τραπεζών πάχυνσης διαστασιολογείται με κριτήριο τη ωριαία φόρτιση στερεών ανά μέτρο πλάτους. Επιλέγονται τράπεζες πλάτους 2m, με δυναμικότητα 150 kg/h/mη κάθε μία. Ανάλογα με την ωριαία ποσότητα ιλύος (TSS) που εισέρχεται προς πάχυνση επιλέγεται (χρησιμοποιείται) το απαιτούμενο πλήθος τραπεζών.

Για τη λειτουργία των τραπεζών πάχυνσης απαιτείται η προσθήκη κροκιδωτικών. Μία κατάλληλη δοσολογία για την επίτευξη της συγκέντρωσης 5% στην έξοδο είναι 5g πολυηλεκτρολύτη ανά kg στερεών στην ιλύ (5gpol/kgTSS).

Γ. Φυγοκεντρικός διαχωριστής

Οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές χρησιμοποιούνται όπως και οι τράπεζες πάχυνσης για την αύξηση της συγκέντρωσης στερεών της βιολογικής ιλύος. Η συγκέντρωση στην είσοδο του διαχωριστή είναι 0,8% (ή 8000mg/l ή 8kgTSS/m³), ενώ στην έξοδο του επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών ίση με 16,5 %.

Η διαστασιολόγηση γίνεται με βάση την απαιτούμενη ωριαία παροχή ιλύος προς πάχυνση. Επιλέγονται φυγοκεντρητές της *GEA Westfalia Separator Group* τύπου *CF 6000* με δυναμικότητα 57,6 m³/h και 460,8 kgTSS/ho κάθε διαχωριστής. Το πλήθος των χρησιμοποιούμενων φυγοκεντρικών διαχωριστών προκύπτει με βάση την εισερχόμενη ποσότητα και παροχή ιλύος.

Όπως και στις τράπεζες πάχυνσης έτσι και στους φυγοκεντρητές απαιτείται η προσθήκη κροκιδωτικών. Χρησιμοποιείται πολυηλεκτρολύτης με δοσολογία 6 γραμμάρια πολυηλεκτρολύτη ανά kg στερεών (6gpol/kgTSS).

Η ποσότητα στερεών στην έξοδο της πάχυνσης δίνεται από τη σχέση

$$M_{out} = \rho \cdot M_{in} \quad (3.43)$$

Όπου M_{out} : η ποσότητα στερεών στην έξοδο της πάχυνσης (kg/d)

M_{in} : η ποσότητα στερεών στην είσοδο της πάχυνσης (kg/d)

ρ : το ποσοστό κατακράτησης (λαμβάνεται 95%)

Η παροχή στην έξοδο της πάχυνσης είναι

$$Q = \frac{M_{out}}{c} \quad (3.44)$$

Όπου c : η συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της πάχυνσης (5% για παχυντή βαρύτητας και τράπεζα πάχυνσης και 16.5 % για φυγοκεντρητές) (% ή mg/l).

3.1.5.2 Σχεδιασμός αναερόβιας χώνευσης

Ο σχεδιασμός της αναερόβιας χώνευσης γίνεται με βάση τη συνολική παροχή και ποσότητα ιλύος προς χώνευση αλλά και του χρόνου παραμονής της ιλύος στους χωνευτές. Επιλέγεται χρόνος παραμονής ίσος με 20 ημέρες (20d).

Η συνολική παροχή ιλύος προς χώνευση (σε m^3/d) είναι

$$Q_{\chi\omega\nu} = Q_{\Gamma\Pi} + Q_{\text{BI}} \quad (3.45)$$

Όπου $Q_{\Gamma\Pi}$: η παροχή της παχυμένης πρωτοβάθμιας ιλύος (m^3/d)

Q_{BI} : η παροχή της παχυμένης βιολογικής ιλύος (m^3/d)

Ο συνολικός απαιτούμενος όγκος για τις ανάγκες της χώνευσης (σε m^3) είναι

$$V_{\chi\omega\nu} = Q_{\chi\omega\nu} \cdot \Theta_c \quad (3.46)$$

Όπου Θ_c : ο χρόνος παραμονής της ιλύος στους χωνευτές (d)

Ο κάθε χωνευτής σχεδιάζεται με λόγο διαμέτρου προς μέσο πλευρικό βάθος ίσο με ένα, δηλαδή

$$\frac{D}{h} = 1 \quad (3.47)$$

Τότε ο ωφέλιμος όγκος κάθε χωνευτή είναι (σε m^3)

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h \quad (3.48)$$

Το πλήθος των χρησιμοποιούμενων χωνευτών δίνεται από τη σχέση (με στρογγυλοποίηση πάντα στη μεγαλύτερη μονάδα)

$$n = \frac{V_{\chi\omega\nu}}{V} \quad (3.49)$$

Χρησιμοποιούνται μεσοφιλικόι χωνευτές που λειτουργούν με θερμοκρασία ιλύος στους 35°C . Το ύψος της οροφής του χωνευτή είναι 1,5m ενώ το ύψος της σφήνας είναι ίσο με 2m. Από το μέσο πλευρικό ύψος του χωνευτή, τα 2m βρίσκονται μέσα στο έδαφος, ενώ το υπόλοιπο έρχεται σε επαφή με τον αέρα.

Η απαιτούμενη θερμότητα για τη θέρμανση της ιλύος δίνεται από τη σχέση (kJ/d)

$$Q_s = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.50)$$

Όπου m : η συνολική ποσότητα ιλύος προς πάχυνση (kg/d)

c: η ειδική θερμότητα της ιλύος (J/kg°C)

T2: η θερμοκρασία ιλύος στη χώνευση (35 °C)

T1: η θερμοκρασία τροφοδοσίας της ιλύος (15 °C το χειμώνα και 25 °C το καλοκαίρι)

Οι θερμικές απώλειες του χωνευτή δίνονται από τη σχέση (kcal/d)

$$Q_i = \sum \{U \cdot A \cdot (T_2 - T_1)\} \quad (3.51)$$

Όπου U: συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (Kcal/h/m²/°C)

A: επιφάνεια υπολογισμού απωλειών (m²)

T2: θερμοκρασία στο εσωτερικό του χωνευτή (35 °C)

T1: ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Θεωρούμε τέσσερις διαφορετικές ζώνες του χωνευτή που υπολογίζουμε τις θερμικές απώλειες των χωνευτών:

- Οροφή: με U= 0,8 Kcal/h/m²/oC, T1=0 °C το χειμώνα και 18 °C το καλοκαίρι
- Επιφάνεια πάνω από το έδαφος: U= 0,6 Kcal/h/m²/°C, T1=0 °C το χειμώνα και 18 °C το καλοκαίρι
- Επιφάνεια κάτω από το έδαφος: U= 0,55 Kcal/h/m²/°C, T1=5°C το χειμώνα και 15 °C το καλοκαίρι
- Πυθμένας: με U= 0,65 Kcal/h/m²/°C, T1=5°C το χειμώνα και 15 °C

Οι συνολικές απαιτήσεις σε θερμότητα δίνονται από τη σχέση (σε kWh/d)

$$Q_{ολ} = \frac{Q_s}{3600} + \frac{4.184 \cdot Q}{3600} \quad (3.52)$$

Στην έξοδο της χώνευσης η παροχή είναι ίδια με την είσοδο.

Η ποσότητα πτητικών στερεών της ιλύος δίνεται από τη σχέση (kg/d)

$$VSS_{εξ} = (1 - \rho_1) \cdot VSS_{III} + (1 - \rho_2) \cdot VSS_{BI} \quad (3.53)$$

Η ποσότητα ανόργανων στερεών στην έξοδο της χώνευσης είναι (kg/d)

$$P_{ανорг,εξ} = (TSS_{III} - VSS_{III}) + (TSS_{BI} - VSS_{BI}) \quad (3.54)$$

Έτσι η συνολική ποσότητα στερεών είναι (kg/d)

$$TSS_{εξ} = VSS_{εξ} + P_{ανорг,εξ} \quad (3.55)$$

Όπου ρ₁: το ποσοστό πτητικών στερεών της πρωτοβάθμιας ιλύος που απομακρύνεται κατά τη χώνευση (0,55)

ρ₂: το ποσοστό πτητικών στερεών της βιολογικής ιλύος που απομακρύνεται κατά τη χώνευση (0,35 ή 0,55)

VSS_{III}: η ποσότητα πτητικών στερεών πρωτοβάθμιας ιλύος (kg/d)

VSS_{BI}: η ποσότητα πτητικών στερεών βιολογικής ιλύος (kg/d)

TSS_{III}: η συνολική ποσότητα στερεών πρωτοβάθμιας ιλύος (kg/d)

TSS_{BI}: η συνολική ποσότητα στερεών βιολογικής ιλύος (kg/d)

3.1.5.3 Μηχανική αφυδάτωση ιλύος (ταινιοφιλτρόπρεσσα)

Οι ταινιοφιλτρόπρεσσες χρησιμοποιούνται για την αφυδάτωση της σταθεροποιημένης ιλύος, που θα διατεθεί για υγειονομική ταφή (XYTA). Σε μια συμβατική ΕΕΛ, με παχυντή βαρύτητας και τράπεζα πάχυνσης για την πάχυνση της πρωτοβάθμιας και της βιολογικής ιλύος αντίστοιχα, η συγκέντρωση στερεών μετά τη χώνευση είναι περίπου 3-5%. Με τη χρήση ταινιοφιλτροπρεσών η συγκέντρωση αυτή αυξάνεται στο 25% περίπου.

Αντίστοιχα σε μια ΕΕΛ, όπου χρησιμοποιείται παχυντής βαρύτητας για την πρωτοβάθμια λάσπη και φυγοκεντρική αλλά και μονάδα θερμικής υδρόλυσης για τη βιολογική, η συγκέντρωση στερεών μετά τη χώνευση είναι της τάξης του 4-6%, ενώ με τη χρήση ταινιοφιλτρόπρεσας και την αφαίρεση νερού η συγκέντρωση αυτή αυξάνεται στο 30% περίπου.

Όπως και με τους παχυντές βαρύτητας αλλά και τις τράπεζες πάχυνσης, έτσι και στις ταινιοφιλτρόπρεσες θεωρείται ποσοστό κατακράτησης στερεών ίσο με 95%. Θεωρείται δηλαδή ότι το 5% των στερεών επιστρέφει στη βιολογική βαθμίδα μέσω των στραγγιδίων.

Ο σχεδιασμός της μονάδας ταινιοφιλτροπρεσών γίνεται με βάση την εισερχόμενη παροχή και ποσότητα ιλύος. Επιλέγονται ταινιοφιλτρόπρεσες πλάτους 2 μέτρων δυναμικότητας 150kg/m/h η κάθε μία. Ανάλογα με την εισερχόμενη ωριαία ποσότητα ιλύος επιλέγεται ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων ταινιοφιλτροπρεσών.

Για τη λειτουργία και την καλή απόδοση των ταινιοφιλτροπρεσών απαιτείται η προσθήκη πολυηλεκτρολύτη ως κροκιδωτικό. Μία ενδεικτική δοσολογία είναι 5-8 γραμμάρια πολυηλεκτρολύτη ανά kgστερεών (5-8gpol/kgTSS).

Στην είσοδο της μονάδας ταινιοφιλτροπρεσών η παροχή είναι ίση με την παροχή στη είσοδο και έξοδο του χωνευτή (προσαρμοσμένη ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας την εβδομάδα), ενώ η ποσότητα στερεών ίση με την ποσότητα στην έξοδο του χωνευτή.

Στην έξοδο της μονάδας ταινιοφιλτροπρεσών η ποσότητα στερεών είναι (σε kg/d)

$$M_{\text{τελ}} = \rho \cdot M_{\text{εισ}} \quad (3.56)$$

Όπου ρ : το ποσοστό κατακράτησης στερεών (0.95)

$M_{\text{εισ}}$: η συνολική ποσότητα στερεών στην είσοδο της μονάδας (kg/d)

Η παροχή στην έξοδο της μονάδας δίνεται από τη σχέση (σε m³/d)

$$Q = \frac{M_{\text{τελ}}}{c} \quad (3.57)$$

Όπου c η συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της μονάδας (25-30%)

3.1.5.4 Δεξαμενές αποθήκευσης ιλύος

Επειδή τράπεζες πάχυνσης, αλλά και οι ταινιοφίλτροπρεσσοι δεν βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία αλλά λειτουργούν συγκεκριμένες ώρες την εβδομάδα απαιτείται η χρησιμοποίηση δεξαμενών αποθήκευσης τόσο της περίσσειας ενεργού ιλύος όσο και της συνολικής χωνευμένης ιλύος. Ο απαιτούμενος όγκος των δεξαμενών αυτών προκύπτει βάσει της παροχής ιλύος προς πάχυνση ή αφυδάτωση και του μέγιστου χρόνου παραμονής στη δεξαμενή και δίνεται από τη σχέση

$$V = Q \cdot \theta \quad (3.58)$$

Όπου V : ο απαιτούμενος όγκος (m^3)

Q : η παροχή της προς αποθήκευση ιλύος (m^3/d)

θ : ο μέγιστος χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αποθήκευσης (d)

3.1.5.5 Μονάδα θερμικής υδρόλυσης

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 ($15^\circ C$ για χειμώνα και $25^\circ C$ 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 για περίπου 1,5 ώρα και θερμαίνεται στους $97^\circ C$, 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 $165^\circ C$ 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 εκεί για περίπου 1,5 ώρα. Η πίεση της μειώνεται στο 1 bar και η θερμοκρασία της στους $100^\circ C$. 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.

Οι απαιτήσεις σε ατμό δίνονται από τη σχέση (σε kg/d)

$$M_{\text{ατμού}} = 6.075 \cdot \frac{c_{\text{υδρ}} - c_{\text{εισ}}}{c_{\text{ατμ}} - c_{\text{υδρ}}} \cdot M_{\text{εισ}} \quad (3.59)$$

Όπου $c_{\text{εισ}}$: η ειδική θερμότητα (ενθαλπία) της εισερχόμενης βιολογικής ιλύος (kJ/kg)

$c_{\text{ατμ}}$: η ειδική θερμότητα (ενθαλπία) του ατμού (kJ/kg)

$c_{\text{υδρ}}$: η ειδική θερμότητα (ενθαλπία) της υδρολυμένης βιολογικής ιλύος (kJ/kg)

$M_{\text{εισ}}$: η ποσότητα της εισερχόμενης βιολογικής ιλύος (kgTSS/d)

Στον παρακάτω πίνακα 3-2 παρουσιάζεται το θερμικό ισοζύγιο στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης. Κατά τη χώνευση η συνολική αναμεμιγμένη ιλύς δεν πρέπει να έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από 35οC. Αν η θερμοκρασία της ιλύος προκύπτει μεγαλύτερη, τότε προτείνεται ψύξη της ιλύος είτε με περαιτέρω αραίωση της με προσθήκη νερού, είτε με εναλλάκτες θερμότητας.

Πίνακας 3-2 Στοιχεία θερμικού ισοζυγίου στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης

	Πίεση (bar)	Θερμοκρασία (°C)		Ενθαλπία (kJ/kg)		Μάζα (kg/d)
		Χειμώνας	Καλοκαίρι	Χειμώνας	Καλοκαίρι	
Εισερχόμενη ιλύς	1	15	25	62,94	104,90	Μεις
Κορεσμένος ατμός	12	189,5	189,5	2782,7		Ματμού
Υδρολυμένη ιλύς	1	100	100	419,6		Μεις + Ματμού

3.1.6 Διαστασιολόγηση αντλιών

Η σχέση που δίνει την απαιτούμενη ισχύ κάθε αντλίας είναι (σε kW)

$$P = 9.81 \cdot \frac{Q \cdot h_{\text{μιν}}}{1000 \cdot n} \quad (3.60)$$

Όπου Q : η προς άντληση παροχή (m³/s)

$h_{\text{μιν}}$: το μανομετρικό ύψος (m)

n : ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας

Για τις αντλίες των λυμάτων (στο αντλιοστάσιο εισόδου) και της ιλύος ο συντελεστής απόδοσης είναι 0,70 ενώ για τις αντλίες των στραγγιδίων 0,65.

Για τις αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας χρησιμοποιείται μανομετρικό ύψος 1m, ενώ για τις αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος 5m. Για τις υπόλοιπες αντλίες της ιλύος χρησιμοποιείται

επίσης μανομετρικό ύψος 5m. Για τα στραγγίδια χρησιμοποιείται μανομετρικό ύψος 4m.

3.2 Μοντέλο υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης

Η ενεργειακή κατανάλωση σε μια ΕΕΛ, αποτελεί σημαντικό κομμάτι των συνολικών λειτουργικών δαπανών. Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζεται το μοντέλο υπολογισμού των ενεργειακών καταναλώσεων σε κάθε στάδιο επεξεργασίας, καθώς και η παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από το βιοαέριο.

Η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση δίνεται από τη σχέση (σε kWh/d)

$$E_{\eta\mu} = P_{\varepsilon\gamma\kappa\alpha\tau} \cdot t_{\alpha\nu} \quad (3.61)$$

Όπου: $P_{\varepsilon\gamma\kappa\alpha\tau}$: η συνολική εγκατεστημένη ισχύς (kW) και

$$t_{\alpha\nu} = t_{\lambda\epsilon\iota\tau} \cdot \frac{P_{\varepsilon\gamma\kappa\alpha\tau}}{P_{\alpha\pi\alpha\iota\tau}} \quad (3.62)$$

Όπου: $t_{\alpha\nu}$: οι ανηγμένες ώρες λειτουργίας (h)

$P_{\alpha\pi\alpha\iota\tau}$: η συνολική απαιτούμενη ισχύς (kW)

$t_{\lambda\epsilon\iota\tau}$: οι ώρες λειτουργίας ανά ημέρα (h)

Ετήσια κατανάλωση ενέργειας δίνεται από τη σχέση (Wh/year)

$$E_{\varepsilon\tau\eta\sigma\iota\alpha} = E_{\eta\mu} \cdot T \quad (3.63)$$

Όπου T οι ημέρες λειτουργίας το χρόνο (d)

3.2.1 Αντλιοστάσιο εισόδου

Στο αντλιοστάσιο εισόδου η κατανάλωση προέρχεται από τη λειτουργία των αντλιών. Η συνολική απαιτούμενη ισχύς υπολογίζεται από τη σχέση (3.60) με μανομετρικό ύψος $h_{\mu\alpha\nu}=5\text{m}$ και συντελεστή απόδοσης $\eta=0,65$.

Το αντλιοστάσιο λειτουργεί συνεχώς, δηλαδή 24h/d και 365d το χρόνο. Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται από τις σχέσεις (3.61), (3.62), (3.63), αφού υπολογιστεί η απαιτούμενη συνολική ισχύς των αντλιών και επιλεγεί η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για

- $t_{\lambda\epsilon\iota\tau}=24\text{h}$
- $T=365\text{d}$

3.2.2 Μονάδα προεπεξεργασίας

Η μονάδα προεπεξεργασίας δεν έχει σχεδιασθεί-διαστασιολογηθεί στο θεωρητικό μοντέλο που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Η ενεργειακή κατανάλωση προκύπτει από τα στατιστικά στοιχεία από 10 λειτουργούσες ΕΕΛ στην Ελλάδα, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.

Η ενεργειακή κατανάλωση προκύπτει πολλαπλασιάζοντας την (ημερήσια ή ετήσια)

κατανάλωση ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο με τον ισοδύναμο πληθυσμό που καλείται κάθε ΕΕΛ να εξυπηρετήσει. Το αποτέλεσμα που προκύπτει μετράται σε kWh/dή σε kWh/year αντίστοιχα.

Πίνακας 3-3 Κατανάλωση ενέργειας σε λειτουργούσες ΕΕΛ, στη μονάδα προεπεξεργασίας (Δημοπούλου 2011)

Εύρος παροχής (m ³ /d)	Πραγματική παροχή (m ³ /d)	Κατανάλωση ενέργειας (Kwh/d)	Κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ³)	M.O. (kWh/m ³)
0-10000	1006,7	380,1	0,37757028	0,22532
	2349	171,65	0,073073648	
10000-20000	10674	839,75	0,07867248	0,06127
	14857	928,45	0,06249243	
	19208	819,1	0,04264369	
20000-35000	24609	69,078	0,00280702	0,02311
	26833	436,81	0,01627884	
	28605	751,09	0,0262573	
	31508	519,69	0,01649391	
	33851	1817,6	0,05369413	

3.2.3 Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Στη μονάδα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας έχουμε δύο εναλλακτικά συστήματα.

i. Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης

Στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς είναι 2W/m³, και αφορά τη λειτουργία του πυθμενικού ξέστρου. Η απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύς είναι (σε kW)

$$P_{εγκατ} = \frac{2 \cdot V}{1000} \quad (3.64)$$

Όπου V: ο όγκος της δεξαμενής (m³)

Η κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται από τις σχέσεις (3.61), (3.62) και (3.63) για λειτουργία 24h και 365d.

ii. Σύστημα κροκίδωσης-μικροκόσκινου

Στις δεξαμενές κροκίδωσης απαιτείται ισχύς 5W/m³, και η εγκατεστημένη ισχύς σε κάθε δεξαμενή είναι όπως και στη ΔΠΚ

Στο μικροκόσκινο χρησιμοποιείται ισχύς το οποίο έχει κατανάλωση 3Wh/m³ (2.5kW). Η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση είναι (σε kWh/d)

$$E = \frac{3 \cdot Q}{1000} \quad (3.65)$$

Όπου Q η ημερήσια παροχή λυμάτων (m³/d) ενώ η ετήσια κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται για 365d.

3.2.4 Βιολογική επεξεργασία

Στο βιολογικό αντιδραστήρα η κύρια κατανάλωση ενέργειας αφορά τη δεξαμενή αερισμού και το σύστημα αερισμού. Χρησιμοποιούνται διαχυτήρες, με απόδοση 4kgO₂/kWh. Η ημερήσια (και αντίστοιχα η ετήσια) κατανάλωση ενέργειας από το σύστημα αερισμού δίνεται από τη σχέση (kWh/d)

$$E = \frac{SOTR}{4} \quad (3.66)$$

Στην ανοξική και την αναερόβια (όπου χρησιμοποιείται) δεξαμενή η μοναδική ενεργειακή δαπάνη έχει να κάνει με τη λειτουργία του αναδευτήρα, ισχύος 8W/m³. Η εγκατεστημένη ισχύς είναι (kW)

$$P_{εγκατ} = \frac{8 \cdot V}{1000} \quad (3.67)$$

Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται από τις σχέσεις (3.61), (3.62) και (3.63), για λειτουργία 24h τη μέρα και 365dτο χρόνο.

3.2.5 Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας

Στις αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας η απαιτούμενη ισχύς υπολογίζεται για h_{μav}=1m και παροχή σχεδιασμού τριπλάσια της παροχής των λυμάτων (Q_{σχ}=3*Q) και συντελεστή απόδοσης από τη σχέση (3.60)

$$P = 9.81 \cdot \frac{Q \cdot h_{\mu av}}{1000 \cdot n}$$

Επιλέγεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς και η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται ο ανηγμένος χρόνος λειτουργίας λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή ανακυκλοφορίας r, δηλαδή

$$t_{av} = \frac{r \cdot Q}{Q_{σχ}} \cdot 24 \quad (3.68)$$

Στις αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος, η απαιτούμενη ισχύς υπολογίζεται και πάλι με τη σχέση (3.60), αυτή τη φορά για μανομετρικό ύψος 5m, συντελεστή απόδοσης 70% και παροχή σχεδιασμού κατά 50% αυξημένη σε σχέση με την παροχή των λυμάτων (Q_{σχ}=1,5*Q).

Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται από τις σχέσεις (3.61), (3.63) και (3.68).

3.2.6 Δεξαμενή Τελικής καθίζησης

Στη δεξαμενή τελικής καθίζησης η ενεργειακή κατανάλωση προκύπτει από τη λειτουργία πυθμενικού ξέστρου ισχύος 2W/m³. Η εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται (όπως και στη

ΔΠΚ) από τη σχέση
$$P_{εγκατ} = \frac{2 \cdot V}{1000}$$
 , όπου V ο όγκος της δεξαμενής (m³).

Η ενεργειακή κατανάλωση προκύπτει από τις (3.61) και (3.63) για λειτουργία 24h και 365d.

3.2.7 Έργα επεξεργασίας ιλύος

3.2.7.1 Πάχυνση ιλύος

Η πάχυνση της ιλύος περιλαμβάνει τρεις διαφορετικές μονάδες:

Παχυντής βαρύτητας: η ενεργειακή κατανάλωση αφορά τη λειτουργία πυθμενικού ξέστρου ισχύος 2W/m³. Η εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται από τη σχέση

$$P_{εγκατ} = \frac{2 \cdot V}{1000}$$

όπου V ο όγκος της δεξαμενής σε m³.

Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται από τις σχέσεις (3.61), (6.63) για λειτουργία 24h τη μέρα και 365d το χρόνο. Επίσης, για τις ανάγκες της πάχυνσης της πρωτοβάθμιας ιλύος απαιτείται η λειτουργία αντλίας τροφοδοσίας της ιλύος από την πρωτοβάθμια επεξεργασία στον παχυντή βαρύτητας, η οποία διαστασιολογείται σύμφωνα με τη σχέση,

$$P = 9.81 \cdot \frac{Q \cdot h_{μαν}}{1000 \cdot n}$$

με μανομετρικό ύψος 5m, συντελεστή απόδοσης 70% και παροχή ίση με την παροχή πρωτοβάθμιας ιλύος και επιλέγεται η εγκατεστημένη ισχύς.

Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (3.61), (3.62) και (3.63) για λειτουργία 8h και 365d.

Τράπεζα πάχυνσης: έχουν επιλεγεί τράπεζες πάχυνσης πάχους 2m, δυναμικότητας 150kg/m/h. Οι τράπεζες αυτές έχουν ισχύ 2kW η κάθε μία, και λειτουργούν για 7 ώρες τη μέρα και 6 μέρες την εβδομάδα (ή 313 μέρες το χρόνο).

Ο ανηγμένος χρόνος λειτουργίας είναι

$$t_{av} = \frac{n_{εγκατ}}{n_{απαιτ}} \cdot 7 \quad (3.69)$$

Όπου $n_{εγκατ}$: ο εγκατεστημένος αριθμός τραπεζών (ακέραιος)

$n_{απαιτ}$: ο απαιτούμενος αριθμός τραπεζών (δεκαδικός)

Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται από τις σχέσεις (3.61) και 3.63) και (3.69) με 313dλειτουργία.

Φυγόκεντρος πάχυνσης (φυγοκεντρητής): η μέση κατανάλωση ενέργειας στον φυγοκεντρητή είναι 1kWh/m^3 . Έτσι για να υπολογίσουμε την κατανάλωση ενέργειας πολλαπλασιάζεται η εισερχόμενη παροχή με τη μέση κατανάλωση ενέργειας ανά m^3 .

Για τη λειτουργία των τραπεζών πάχυνσης ή των φυγοκεντρητών είναι απαραίτητη η λειτουργία αντλιών τροφοδοσίας της βιολογικής ιλύος από τη δεξαμενή αποθήκευσης.

Χρησιμοποιούνται αντλίες ισχύος $P=4\text{kW}$. Ο αριθμός των αντλιών είναι ίδιος με τον αριθμό των μηχανημάτων (τραπεζών ή φυγοκεντρητών) και λειτουργούν ίδιες ώρες. Η ενεργειακή κατανάλωση των αντλιών είναι

$$E = P \cdot t_{αν} \cdot n_{εγκατ} \quad (3.70)$$

Όπου P: η ισχύς κάθε αντλίας (kW)

$t_{αν}$: ο ανηγμένος χρόνος λειτουργίας των τραπεζών ή των φυγοκεντρητών (h)

$n_{εγκατ}$: ο αριθμός των εγκατεστημένων τραπεζών ή φυγοκεντρητών

3.2.7.2 Αναερόβια χώνευση

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο χωνευτή αφορά τη λειτουργία αναδευτήρα πλήρους μίξης με ισχύ $9,2\text{W/m}^3$, ενώ βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία. Η εγκατεστημένη ισχύς είναι

$$P_{εγκατ} = \frac{9,2 \cdot V}{1000} \quad (3.71)$$

Η κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται από τις σχέσεις (3.61) και (3.63) για 24h και 365d.

Οι απαιτήσεις για θέρμανση της ιλύος και του χωνευτή έχουν υπολογιστεί από τις σχέσεις (3.50) και (3.51)

$$Q_s = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \quad \text{Και} \quad Q_i = \sum \{U \cdot A \cdot (T_2 - T_1)\}$$

Για την τροφοδότηση του χωνευτή με παχυμένη πρωτοβάθμια ιλύ, υπολογίζεται με τη σχέση (3.60) η απαιτούμενη ισχύς, επιλέγεται η εγκατεστημένη ισχύς, υπολογίζεται με τη σχέση (3.62) ο ανηγμένος χρόνος λειτουργίας και η ενεργειακή κατανάλωση με τις σχέσεις (3.61), (3.63). Δηλαδή,

$$P = 9,81 \cdot \frac{Q \cdot h_{μαν}}{1000 \cdot n} \quad t_{αν} = t_{λειτουργ} \cdot \frac{P_{εγκατ}}{P_{απαιτ}}$$

$$E_{ημ} = P_{εγκατ} \cdot t_{αν} \quad E_{ετησια} = E_{ημ} \cdot T$$

Με $h_{μαν}=5\text{m}$, $n=0,70$, $t_{λειτουργ}=24\text{h}$, $T=365\text{d}$

Για την τροφοδοσία της παχυμένης βιολογικής ιλύος στο χωνευτή επιλέγεται αριθμός αντλιών ίσος με τους χωνευτές, δυναμικότητα αντλιών $P=4,5\text{kW}$, λειτουργούν όσο και τα μηχανήματα της πάχυνσης της βιολογικής ιλύος. Έτσι η κατανάλωση ενέργειας δίνεται από τη σχέση

$$E = P \cdot t_{av} \cdot n_{εγκατ}$$

Όπου $P=4,5kW$ και $n_{εγκατ}$ ο αριθμός των χωνευτών, ενώ t_{av} ο χρόνος λειτουργίας των τραπεζών ή φυγοκεντρητών.

3.2.7.3 Μηχανική αφυδάτωση (ταινιοφιλτρόπρεσσα)

Οι ταινιοφιλτρόπρεσρες που έχουν επιλεγεί είναι πλάτους 2m, δυναμικότητας 150kg/m/h και ισχύος 4kW. Λειτουργούν 7 ώρες τη μέρα και 6 μέρες τη βδομάδα (ή 313 μέρες το χρόνο).

Ο ανοιγμένος χρόνος λειτουργίας τους υπολογίζεται από τη σχέση (3.69). όπως ακριβώς και για τις τράπεζες πάχυνσης

$$t_{av} = \frac{n_{εγκατ}}{n_{απαιτ}} \cdot 7$$

Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται από τις (3.69), (3.61) και (3.63) για 313d.

Για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούνται αντλίες δυναμικότητας $P=5kW$. Ο αριθμός των αντλιών είναι ίδιος με τον αριθμό των ταινιοφιλτροπρεσών και λειτουργούν ακριβώς τις ίδιες ώρες. Άρα η ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση των αντλιών αυτών είναι όπως και με τις τράπεζες πάχυνσης (ή τους φυγοκεντρητές)

$$E = P \cdot t_{av} \cdot n_{εγκατ}$$

Όπου $P=5kW$, n ο αριθμός των πρεσών και t_{av} ο ανοιγμένος χρόνος λειτουργίας των πρεσών (h).

3.2.7.4 Δεξαμενές αποθήκευσης

Στα έργα επεξεργασίας ιλύος χρησιμοποιούνται δύο δεξαμενές αποθήκευσης: για την αποθήκευση της περίσσειας ιλύος πριν τη μηχανική πάχυνση και για την αποθήκευση της χωνευμένης ιλύος πριν την αφυδάτωση. Η κατανάλωση ενέργειας στις δεξαμενές αυτές αφορά τη λειτουργία αναδευτήρα ισχύος 8W/m³ σε συνεχή λειτουργία.

Η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας σε κάθε μια από τις δεξαμενές αυτές είναι (kWh/d)

$$E_{ημ} = \frac{24 \cdot 8 \cdot V}{1000} \quad (3.72)$$

όπου V ο όγκος κάθε δεξαμενής (m³)

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας είναι (kWh/year)

$$E_{ετησια} = E_{ημ} \cdot 365$$

Η τροφοδοσία της περίσσειας ιλύος στη δεξαμενή αποθήκευσης γίνεται με τη χρήση αντλιών των οποίων η ισχύς και η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζονται από τις σχέσεις ($T=365d$ και $t_{λειτ}=24h$)

$$P = 9.81 \cdot \frac{Q \cdot h_{\mu\alpha\nu}}{1000 \cdot n} \quad t_{\alpha\nu} = t_{\lambda\epsilon\iota\tau} \cdot \frac{P_{\epsilon\gamma\kappa\alpha\tau}}{P_{\alpha\pi\alpha\iota\tau}}$$

$$E_{\eta\mu} = P_{\epsilon\gamma\kappa\alpha\tau} \cdot t_{\alpha\nu} \quad E_{\epsilon\tau\eta\sigma\iota\alpha} = E_{\eta\mu} \cdot T$$

Η τροφοδοσία της χωνευμένης ιλύος από το χωνευτή στη δεξαμενή αποθήκευσης πραγματοποιείται με βαρύτητα.

3.2.7.5 Μονάδα θερμικής υδρόλυσης

Στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0,035kWh/kgTSS, ενώ η μονάδα λειτουργεί για 7h/dκαι 313d/year. Έτσι η κατανάλωση ενέργειας είναι (σε kWh/d και kWh/yearαντίστοιχα)

$$E_{\eta\mu} = 0,035 \cdot TSS \quad (3.73)$$

$$E_{\epsilon\tau\eta\sigma\iota\alpha} = E_{\eta\mu} \cdot 313 \quad (3.74)$$

Για τη λειτουργία της επίσης απαιτείται η χρήση αντλιών ακριβώς ίδιων με τις αντλίες τροφοδοσίας των φυγοκεντρικών.

Οι απαιτήσεις της μονάδας θερμικής υδρόλυσης σε θερμότητα δίνεται από τη σχέση

$$Q_{\upsilon\delta\rho} = \frac{c_{\alpha\tau\mu\acute{o}\upsilon} - c_{\nu\epsilon\rho\acute{o}\upsilon}}{3600 \cdot n} \cdot M_{\alpha\tau\mu\acute{o}\upsilon} \quad (3.75)$$

Όπου $c_{\alpha\tau\mu\acute{o}\upsilon}$: η ενθαλπία του ατμού σε πίεση 12barkαι θερμοκρασία 189,5°C(kj/kg)

$c_{\nu\epsilon\rho\acute{o}\upsilon}$: η ενθαλπία του νερού σε πίεση 1barkαι θερμοκρασία περιβάλλοντος (kj/kg)

$M_{\alpha\tau\mu\acute{o}\upsilon}$: η απαιτούμενη ποσότητα ατμού (kg/d)

n:ο συντελεστής απόδοσης του εναλλάκτη θερμότητας της μονάδας (0,7)

3.2.8 Παραγωγή ενέργειας από το βιοαέριο

Η παραγωγή βιοαερίου προκύπτει από τη διάσπαση των οργανικών στερεών κατά την αναερόβια χώνευση. Το 1kgπτητικών στερεών παράγει 1m3 βιοαέριο. Ο παραγόμενος όγκος βιοαερίου που παράγεται κάθε μέρα είναι (σεm3/d)

$$V_{\text{biogass}} = (1 - \rho_1) \cdot VSS_{\text{III}} + (1 - \rho_2) \cdot VSS_{\text{BI}} \quad (3.76)$$

Όπου ρ_1 : το ποσοστό πτητικών στερεών της πρωτοβάθμιας ιλύος που απομακρύνεται κατά τη χώνευση (0,55)

ρ_2 : το ποσοστό πτητικών στερεών της βιολογικής ιλύος που απομακρύνεται κατά τη χώνευση (0,35 ή 0,55)

VSS_{III} : η ποσότητα πτητικών στερεών πρωτοβάθμιας ιλύος (kg/d)

VSS_{BI} : η ποσότητα πτητικών στερεών βιολογικής ιλύος (kg/d)

Η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου είναι 5500kcal/m^3 , άρα η ημερήσια παραγωγή θερμότητας από την καύση του βιοαερίου είναι σε kWh/d

$$Q_{\text{biogass}} = \frac{4,184 \cdot V_{\text{biogass}} \cdot 5500}{3600} \quad (3.77)$$

Η θερμότητα αυτή μέσω μιας μηχανής συμπαραγωγής ενέργειας (Combined Heat and Power-CHP), χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τελικά το 50% αυτής παραμένει ως θερμική ενέργεια και χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της ιλύος και των χωνευτών, ενώ η περίσσεια της χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των κτιρίων της εγκατάστασης. Το 15% της ενέργειας αυτής χάνεται σαν απώλεια στην CHP, ενώ το 35% της ενέργειας αυτής μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της εγκατάστασης.

3.3 Θεωρητικό μοντέλο εκτίμησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε μια ΕΕΛ

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζεται το μοντέλο και η μεθοδολογία που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που οφείλονται στη λειτουργία μιας ΕΕΛ. Επιχειρείται να γίνει εκτίμηση τόσο των άμεσων (που οφείλονται στις βιολογικές διεργασίες και την καύση του παραγόμενου βιοαερίου) όσο και των έμμεσων εκπομπών (που οφείλονται στην κατανάλωση ενέργειας που παράγεται εκτός ΕΕΛ, στην παραγωγή των χημικών που χρησιμοποιούνται και στη διάθεση της παραγόμενης ιλύος) στα εναλλακτικά συστήματα που αναλύθηκαν θεωρητικά και παρουσιάστηκε το μοντέλο σχεδιασμού τους σε προηγούμενα κεφάλαια. Για την εκτίμηση και τους υπολογισμούς έχει χρησιμοποιηθεί το μοντέλο Bridle.

3.3.1 Άμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε μια ΕΕΛ

3.3.1.1 Παραγωγή CO_2 από αποσύνθεση της βιομάζας

Η βιομάζα που αποσυντίθεται με την ενδογενή αναπνοή δίνεται από τη σχέση

$$x_{\text{decay}} = Q \cdot \text{HRT} \cdot \text{MLVSS} \cdot b_H \quad (3.78)$$

Όπου X_{decay} : η βιομάζα που αποσυντίθεται ανά ημέρα (kgVSS/d)

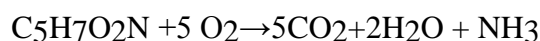
Q: η μέση ημερήσια παροχή (m^3/d)

HRT :ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (d)

MLVSS: η συγκέντρωση ανάμικτου υγρού, (kg/m^3)

b_H : ειδική ταχύτητα φθοράς των ετεροτροφικών μικροοργανισμών, (d^{-1})

Η σύνθεση της βιομάζας είναι $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ και η μετατροπή της σε CO_2 είναι



Προκύπτει ότι $1\text{kg C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ παράγει $1,947\text{kgCO}_2$ και επομένως η παραγόμενη ποσότητα CO_2 από την ενδογενή αποσύνθεση της βιομάζας είναι (σε kg/d)

$$CO_{2,biomass_decay} = x_{decay} \cdot 1,947 \quad (3.79)$$

3.3.1.2 Παραγωγή CO2 από την παραγωγή βιομάζας

Ο παρατηρούμενος συντελεστής παραγωγής βιομάζας υπολογίζεται από τη σχέση

$$y_{obs} = \frac{y_H}{1 + b_H \cdot \theta_{c,TOTAL}} \quad (3.80)$$

Όπου Y_H : ο συντελεστής ετεροτροφικής παραγωγής βιομάζας, (kgVSS/kgBOD)

$\theta_{c,TOTAL}$: ο ολικός χρόνος παραμονής στερεών στη βιολογική βαθμίδα, (d)

b_H : ειδική ταχύτητα φθοράς των ετεροτροφικών μικροοργανισμών, (d⁻¹)

Η καθαρή παραγωγή βιομάζας, που προκύπτει από την ποσότητα του οργανικού φορτίου που καταναλώνεται στο βιολογικό αντιδραστήρα δίνεται από τη σχέση

$$X_{net,produced} = y_{obs} \cdot Q \cdot (BOD_{5,IN} - BOD_{5,removed} - BOD_{5,OUT}) \quad (3.81)$$

Όπου $X_{net,produced}$: η βιομάζα που παράγεται ανά ημέρα, (kgVSS/d)

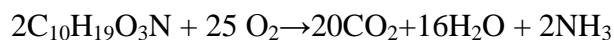
$BOD_{5,removed}$: το BOD_5 που απομακρύνεται κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία (mg/l)

$BOD_{5,IN}$: συγκέντρωση BOD_5 στην είσοδο της εγκατάστασης (mg/l)

$BOD_{5,OUT}$: η συγκέντρωση BOD_5 στην έξοδο της εγκατάστασης (mg/l)

Q : η ημερήσια παροχή, (m³/d)

Έστω ότι η κατανάλωση οξυγόνου κατά την παραγωγή της βιομάζας $X_{net,produced}$ είναι R_{O_2} . Η στοιχειακή σύνθεση του BOD_5 είναι $C_{10}H_{19}O_3N$ και κατά την οξείδωση του η αναλογία κατανάλωσης O_2 προς παραγωγή CO_2 είναι $25 \cdot 32 : 20 \cdot 44$ ή 1:1,1. Δηλαδή για 1kg O_2 παράγεται 1,1kg CO_2 .



Επομένως η παραγόμενη ποσότητα CO_2 από την οξείδωση του οργανικού φορτίου είναι

$$CO_{2,BOD_oxydation} = 1.1 \cdot R_{O_2} \quad (3.82)$$

Με

$$R_{O_2} = 0,59 \cdot E_H \cdot Q \cdot F_0 + 0,024 \cdot V \cdot MLSS \cdot R_e \quad (3.83)$$

Όπου R_{O_2} : απαίτηση οξυγόνου O_2 σε συνθήκες πεδίου (kg O_2 /d)

E_H : βαθμός απομάκρυνσης οργανικού φορτίου

F_0 : συγκέντρωση BOD_5 εισόδου στο σύστημα (mg/l)

Q : παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m³/d)

V: ο χρησιμοποιούμενος όγκος αερισμού (m³)

MLSS: η συγκέντρωση του ανάμικτου υγρού (mg/l)

Re: η ταχύτητα ενδογενούς αναπνοής (gO₂/kgMLSS)

3.3.1.3 Κατανάλωση CO₂ κατά την νιτροποίηση

Η βιομάζα C₅H₇O₂N έχει μοριακό βάρος 113 και το άζωτο N έχει μοριακό βάρος 14. Άρα η ποσότητα αζώτου που περιέχεται στην παραγόμενη βιομάζα μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση:

$$N_{biomass} = \frac{14}{113} x_{net, produced} \quad (3.84)$$

Στο μοντέλο ενεργού ιλύος που έχει αναπτυχθεί έχει γίνει η παραδοχή ότι το 15% του εισερχόμενου ολικού αζώτου TN_{IN} καταναλώνεται για την παραγωγή βιομάζας και το 8% διαφεύγει με την περίσσεια ιλύος. Επίσης έχει ληφθεί ότι όλο το εισερχόμενο άζωτο είναι στην μορφή αμμωνιακού αζώτου και ότι δεν υπάρχει μείωση του φορτίου του ολικού αζώτου στην πρωτοβάθμια επεξεργασία.

Άρα η ποσότητα NH₄⁺ που οξειδώνεται σε NO₃⁻ κατά την νιτροποίηση υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$N_{nitro} = N_{total} - N_{bio} - (N-NH_4)_{out} - N_{org out} - N_{sl}$$

Όπου N_{nitro}: άζωτο που νιτροποιείται στη δεξαμενή αερισμού (kg/d)

N_{total}: ολικό άζωτο εισόδου (kg/d)

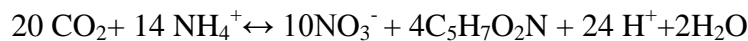
N_{bio}: ποσότητα αζώτου που προσλαμβάνεται κατά τη σύνθεση της βιομάζας (kg/d)

(N-NH₄)_{out}: ποσότητα εξερχόμενου αμμωνιακού αζώτου (kg/d)

N_{org out}: ποσότητα εξερχόμενου οργανικού αζώτου (kg/d)

N_{sl}: ποσότητα αζώτου που απομακρύνεται με την περίσσεια ιλύος (kg/d)

Κατά την οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικό άζωτο ένα μέρος του CO₂ καταναλώνεται από τα νιτροβακτήρια ως πηγή άνθρακα



Από την στοιχειομετρία της αντίδρασης ο λόγος μαζών CO₂:N είναι 20*44:14*14 ή 4,49:1 δηλαδή 4,49kgCO₂ καταναλώνονται για κάθε 1kg N που νιτροποιείται.

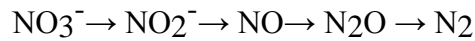
Άρα η ποσότητα CO₂ που καταναλώνεται κατά την νιτροποίηση είναι:

$$CO_{2,consumed} = 4,49 \cdot N_{nitro} \quad (3.85)$$

3.3.1.4 Παραγωγή N₂O κατά την απονιτροποίηση και ισοδύναμη εκπομπή CO₂

Η απονιτροποίηση λαμβάνει χώρα σε ανοξικές συνθήκες από ετεροτροφικά βακτήρια τα οποία αντί οξυγόνου χρησιμοποιούν ως δέκτη ηλεκτρονίων το άζωτο. Είναι διεργασία που εξελίσσεται σε τέσσερα στάδια κατά τα οποία τα ετεροτροφικά βακτήρια χρησιμοποιούν ως δέκτη

ηλεκτρονίων διαδοχικά τις παρακάτω ενώσεις αζώτου:



Το N_2O είναι ενδιάμεσο προϊόν και εκλύεται στην ατμόσφαιρα σε περίπτωση μη πλήρους απονιτροποίησης.

Λαμβάνεται ενιαία τιμή 0,5% kg παραγόμενου N_2O ανά kg εισερχόμενου ολικού αζώτου TN ήτοι $0,5\% \text{kgN}_2\text{O} / \text{kgTN}_{IN}$.

Άρα η παραγόμενη ποσότητα N_2O είναι (σε kg/d)

$$N_2O_{emission} = Q \cdot TN_{IN} \cdot 0,005 \quad (3.86)$$

Με βάση το δυναμικό συμβολής στο φαινόμενο θερμοκηπίου GWP του N_2O (IPCC,2001), η ισοδύναμη ποσότητα CO_2 για τις εκπομπές του N_2O προκύπτει

$$CO_{2,equivalent} = N_2O_{emission} \cdot GWP_{N_2O} = 0,005 \cdot 296 \cdot Q \cdot TN_{IN} \quad (3.87)$$

3.3.1.5 Παραγωγή CO_2 από την καύση του βιοαερίου

Το παραγόμενο βιοαέριο αποτελείται σε μεγάλο ποσοστό από μεθάνιο CH_4 και λιγότερο από διοξείδιο του άνθρακα CO_2 . Αρχικά καίγεται σε καυστήρα για την θέρμανση των χωνευτών και εφόσον υπάρχει απομένουσα ποσότητα οδηγείται σε μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την μείωση των ενεργειακών αναγκών της ΕΕΛ. Κατά την καύση ένα ποσοστό 1% θεωρείται ότι διαφεύγει στην ατμόσφαιρα.

Η περιεκτικότητα μεθανίου (CH_4) στο βιοαέριο είναι 60-65%. Λαμβάνεται μέση περιεκτικότητα CH_4 στο βιοαέριο 62,5%κ.ο. και του (διοξειδίου του άνθρακα) CO_2 37,5%κ.ο. Συνεπώς για κάθε 1m^3 βιοαερίου που παράγεται παράγονται $0,625\text{m}^3\text{CH}_4$ και $0,375\text{m}^3\text{CO}_2$.

Άρα σε όρους μάζας προκύπτει:

$$\text{Παραγόμενο } \text{CO}_2: 0,375/22,4 \cdot 44 = 0,737 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3 \text{ βιοαερίου.}$$

$$\text{Παραγόμενο } \text{CH}_4: 0,625/22,4 \cdot 16 = 0,446 \text{ kgCH}_4/\text{m}^3 \text{ βιοαερίου.}$$

Η ισοδύναμη ποσότητα εκπομπής CO_2 δίνεται από τη σχέση (kg/d)

$$CO_{2,biogass} = 0,99 \cdot V_{biogass} \cdot (0,737 + 0,446 \cdot \frac{44}{16}) \quad (3.88)$$

Όπου $V_{biogass}$ το παραγόμενο βιοαέριο (m^3/d)

3.3.1.6 Παραγωγή CO_2 από διαφυγή βιοαερίου στην ατμόσφαιρα

Το δυναμικό συμβολής του μεθανίου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ίσο με 23, ενώ ταυτόχρονα έχει γίνει παραδοχή διαφυγής του 1% του παραγόμενου βιοαερίου στην ατμόσφαιρα. Άρα η σχέση που δίνει την ισοδύναμη ποσότητα εκπομπής CO_2 λόγω διαφυγής του παραγόμενου βιοαερίου είναι (kg/d)

$$CO_{2,biogass} = 0,01 \cdot V_{biogass} \cdot (0,737 + 0,446 \cdot 23) \quad (3.89)$$

3.3.2 Έμμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

3.3.2.1 Παραγωγή CO₂ από κατανάλωση ενέργειας που παράγεται εκτός ΕΕΛ

Η ενέργεια που παράγεται από την καύση του βιοαερίου και τη μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας μπορεί να καλύψει ένα μέρος των ενεργειακών απαιτήσεων μιας ΕΕΛ. Η υπόλοιπη ενέργεια που απαιτείται αγοράζεται από τη ΔΕΗ. Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, πρέπει να γνωρίζουμε το μίγμα καυσίμου από την ΔΕΗ. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το μίγμα καυσίμου που χρησιμοποιείται από τη ΔΕΗ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη τη χώρα για το έτος 2013 και 2014, καθώς και οι συντελεστές εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κάθε πηγής ενέργειας.

Πίνακας3-4:Μείγμα καυσίμου για όλη τη χώρα (Πηγή: ΔΕΗ)

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΣΕΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΘ (grCO ₂ /kWh)
ΛΙΓΝΙΤΙΚΗ	45.8	0.877
ΠΕΤΡΕΛΑΪΚΗ	4.15	0.604
ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	18.46	0.353
ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ	11.12	
ΑΠΕ	14.17	
ΣΥΝΟΛΟ	100,00	

Η σχέση που δίνει τις ισοδύναμες εκπομπές CO₂ από την κατανάλωση ενέργειας που αγοράζεται από τη ΔΕΗ, είναι

$$CO_{2,electricity} = E_{req} \cdot F \cdot EF \quad (3.90)$$

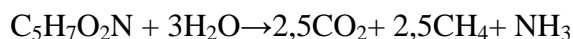
Όπου E_{req}: η κατανάλωση ενέργειας στην ΕΕΛ, που προέρχεται από τη ΔΕΗ (kWh/d)

F: ποσοστό συμμετοχής κάθε καυσίμου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

EF: ο συντελεστής εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κάθε καυσίμου (kgCO₂/kWh)

3.3.2.2 Παραγωγή CO₂ από τη διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ

Η χωνευμένη ιλύς μετά την αφυδάτωση της στη μονάδα ταινιοφιλτροπρεσσών διατίθεται για υγειονομική ταφή σε ΧΥΤΑ. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της ιλύος είναι CH₄ και CO₂ και προέρχονται από αναερόβια αποικοδόμηση των πτητικών στερεών πουδιέφυγαν από τον χωνευτή. Παράγεται δηλαδή βιοαέριο το οποίο καίγεται στον πυρσό καύσης του ΧΥΤΑ. Ο χημικός τύπος της ιλύος που διατίθεται από τις ΕΕΛ προς υγειονομική ταφή είναι C₅H₇O₂N τότε οι αέριοι ρύποι που παράγονται για την πλήρη οξειδωση της οργανικής ιλύος στο σώμα του ΧΥΤΑ αποδίδονται στοιχειομετρικά ως ακολούθως:



Επομένως σύμφωνα με την ανωτέρω σχέση για 1kgVSS/d ιλύος που διατίθεται σε ΧΥΤΑ παράγονται 110/113kgCO₂/d και 40/113kgCH₄/d τα οποία αποτελούν το βιοαέριο που οδηγείται στον πυρσό καύσης του ΧΥΤΑ.

Επομένως η ποσότητα του CO₂ που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα από την καύση του βιοαερίου στον πυρσό καύσης του ΧΥΤΑ είναι (σε kg/d)

$$CO_{2, \text{sanitary}} = 110/113 \cdot W_{SS, \text{sanitary}} + (40/113) \cdot (44/16) \cdot W_{SS, \text{sanitary}} \quad (3.91)$$

Όπου $W_{SS, \text{sanitary}}$ η ποσότητα των πτητικών στερεών που διατίθενται σε ΧΥΤΑ (kgVSS/d).

3.3.2.3 Παραγωγή CO₂ από τη χρήση χημικών

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που υπολογίζονται σε αυτή την παράγραφο αφορούν τις ισοδύναμες εκπομπές CO₂ που απαιτούνται για την παραγωγή των χημικών. Στο συμβατικό σύστημα καθώς και στο σύστημα με χρήση θερμικής υδρόλυσης χρησιμοποιούνται ως κροκιδωτικά ο τριχλωριούχος σίδηρος (FeCl₃) για τη χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου και πολυηλεκτρολύτης στις μονάδες μηχανικής πάχυνσης και αφυδάτωσης.

Στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό (μικροκόσκινο) χρησιμοποιούνται επιπλέον δόσεις πολυηλεκτρολύτη αλλά και χλωριούχο πολυαργίλιο (PAC) για τη λειτουργία της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας. Χρησιμοποιείται επίσης μεθανόλη (CH₄O) ως εξωτερική πηγή άνθρακα στην ανοξική δεξαμενή.

Τέλος και στα τρία συστήματα χρησιμοποιείται υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl) για την απολύμανση των επεξεργασμένων λυμάτων πριν διατεθούν στον αποδέκτη.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι ισοδύναμες εκπομπές CO₂ για την παραγωγή κάθε kg των χημικών που χρησιμοποιούνται

Πίνακας 3-5 Ισοδύναμη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα για την παραγωγή των χημικών

Χημική ένωση (Chem)	Ισοδύναμη εκπομπή CO ₂ (kgCO ₂ /kgChem) (FC)
Πολυηλεκτρολύτης	1.70
FeCl ₃	1.08
NaOCl	1.011
PAC	0.72
CH ₄ O	0.5985

Η σχέση που υπολογίζει τις εκπομπές CO₂ από την παραγωγή των χημικών είναι

$$CO_{2, \text{chemicals}} = \sum C_i \cdot FC_i \quad (3.92)$$

Όπου C_i : η ποσότητα κάθε χημικής ένωσης που χρησιμοποιείται (kg/d)

FC_i : ο συντελεστής ισοδύναμων εκπομπών CO₂ για την παρασκευή της χημικής ένωσης (kgCO₂/kgχημικής ένωσης)

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ

4.1 Γενικά

Το θεωρητικό μοντέλο σχεδιασμού, υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης και εκτίμησης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3, εφαρμόζεται για δύο διαφορετικές ΕΕΛ: 100.000 ισοδύναμων κατοίκων και 500.000 ισοδύναμων κατοίκων.

Οι ΕΕΛ μελετήθηκαν για τα τρία εναλλακτικά συστήματα που παρουσιάστηκαν τόσο για τη χειμερινή όσο και για την καλοκαιρινή περίοδο και στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που έδωσε το θεωρητικό μοντέλο.

Όσον αφορά το σχεδιασμό (διαστασιολόγηση) των επιμέρους μονάδων-βαθμίδων επεξεργασίας κάθε ΕΕΛ, λαμβάνεται υπόψη, η δυσμενέστερη περίπτωση από τις δύο περιόδους (Χειμώνας-Καλοκαίρι). Στο υποκεφάλαιο 4.2 παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες και συγκρίνονται οι απαιτούμενοι όγκοι κάθε εναλλακτικού συστήματος σε κάθε στάδιο επεξεργασίας καθώς και η απαιτούμενη δυναμικότητα του κύριου μηχανολογικού εξοπλισμού.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών της ενεργειακής κατανάλωσης για κάθε σύστημα σε ΕΕΛ 100.000 και 500.000 ισοδύναμων κατοίκων παρουσιάζονται αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 4.3, ξεχωριστά για τη λειτουργία για τη χειμερινή ό και για τη θερινή περίοδο. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται μεταξύ τους σε μια προσπάθεια εξαγωγής χρήσιμων συμπερασμάτων γύρω από την υπόθεση της επεξεργασίας των αστικών αποβλήτων.

Στο υποκεφάλαιο 4.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου εκτίμησης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3. Πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων για τα εναλλακτικά συστήματα ξεχωριστά για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο.

Στους παρακάτω πίνακες 4-1 και 4-2 παρουσιάζονται οι παροχές και τα ρυπαντικά φορτία εισόδου για ΕΕΛ 100.000 και 500.000 ισοδύναμων κατοίκων.

Πίνακας 4-1 Παροχές και ρυπαντικά φορτία εισόδου σε ΕΕΛ 100.000 Ι.Κ.

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΕΙ Η ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ			
	M.M.	Χειμώνας	Καλοκαίρι
<i>Ισοδύναμος Πληθυσμός</i>	<i>κάτοικοι</i>	<i>100000</i>	<i>100000</i>
ΠΑΡΟΧΕΣ & ΡΥΠΑΝΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	M.M.	Χειμώνας	Καλοκαίρι
<i>Παροχές εισερχόμενων λυμάτων</i>			
<i>Υδατική κατανάλωση: q_w</i>	<i>l/κατ-d</i>	<i>250.0</i>	<i>250.0</i>
<i>Ειδική Παροχή Αστικών Λυμάτων: q_s ($q_E=80\%q_w$)</i>	<i>l/κατ-d</i>	<i>200.0</i>	<i>200.0</i>
<i>Μέση ημερήσια παροχή λυμάτων: Q</i>	<i>m³/d</i>	<i>20000.00</i>	<i>20000.00</i>
<i>Ειδικά ρυπαντικά φορτία εισερχόμενων λυμάτων</i>			
<i>Βιοχημικό απαιτούμενο οξυγόνο, $BOD_5 in$</i>	<i>gr/κατ-d</i>	<i>39.0</i>	<i>60.0</i>

Ολικά αιωρούμενα στερεά: TSS_{in}	gr/κατ-d	45,50	70.0
Ολικό άζωτο: TN_{in}	gr/κατ-d	7,80	12.0
Ολικός φώσφορος: TP_{IN}	gr/κατ-d	1,625	2,5
Ποσότητες ρυπαντικών φορτίων εισερχόμενων λυμάτων			
Βιοχημικός απαιτούμενο οξυγόνο: $BOD5_{in}$	kg/d	3900.0	6000.0
Ολικά αιωρούμενα στερεά: TSS_{in}	kg/d	4550.0	7000.0
Ολικό άζωτο: TN_{in}	kg/d	780.0	1200.0
Ολικός φώσφορος: TP_{IN}	kg/d	162.5	250
Συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων εισερχόμενων λυμάτων			
Βιοχημικός απαιτούμενο οξυγόνο: $BOD5_{in}$	mg/l	195.0	300.0
Ολικά αιωρούμενα στερεά: TSS_{in}	mg/l	227.5	350.0
Ολικό άζωτο: TN_{in}	mg/l	60.0	60.0
Ολικός φώσφορος: TP_{IN}	mg/l	8.125	12.5

Πίνακας 4-2 Παροχές και ρυπαντικά φορτία εισόδου σε ΕΕΛ 500.000 Ι.Κ.

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΕΙ Η ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ			
	Μ.Μ.	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Ισοδύναμος Πληθυσμός	κάτοικοι	500000	500000
ΠΑΡΟΧΕΣ & ΡΥΠΑΝΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ			
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Μ.Μ.	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Παροχές εισερχόμενων λυμάτων			
Υδατική κατανάλωση: q_w	l/κατ-d	250.0	250.0
Ειδική Παροχή Αστικών Λυμάτων: $q_s(q_F=80\%q_w)$	l/κατ-d	200.0	200.0
Μέση ημερήσια παρογή λυμάτων: Q	m^3/d	100000.00	100000.00
Ειδικά ρυπαντικά φορτία εισερχόμενων λυμάτων			
Βιοχημικός απαιτούμενο οξυγόνο $BOD5_{in}$	gr/κατ-d	39.0	60.0
Ολικά αιωρούμενα στερεά: TSS_{in}	gr/κατ-d	45,50	70.0
Ολικό άζωτο: TN_{in}	gr/κατ-d	7,80	12.0
Ολικός φώσφορος: TP_{IN}	gr/κατ-d	1,625	2,5
Ποσότητες ρυπαντικών φορτίων εισερχόμενων λυμάτων			
Βιοχημικός απαιτούμενο οξυγόνο: $BOD5_{in}$	kg/d	19500.0	30000.0
Ολικά αιωρούμενα στερεά: TSS_{in}	kg/d	22750.0	35000.0
Ολικό άζωτο: TN_{in}	kg/d	3900.0	6000.0
Ολικός φώσφορος: TP_{IN}	kg/d	812.5	1250
Συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων εισερχόμενων λυμάτων			
Βιοχημικός απαιτούμενο οξυγόνο: $BOD5_{in}$	mg/l	195.0	300.0
Ολικά αιωρούμενα στερεά: TSS_{in}	mg/l	227.5	350.0
Ολικό άζωτο: TN_{in}	mg/l	60.0	60.0
Ολικός φώσφορος: TP_{IN}	mg/l	8.125	12.5

Τα ρυπαντικά φορτία και οι παροχές εισόδου είναι κοινά και για τα τρία συστήματα που μελετώνται.

4.2 Αποτελέσματα του μοντέλου σχεδιασμού

Στον πίνακα 4-3 και 4-4 παρουσιάζονται οι απαιτούμενοι και επιλεγόμενοι χρόνοι παραμονής για τις ΕΕΛ 100.000 και 500.000 ισοδύναμων κατοίκων για τα τρία διαφορετικά συστήματα που μελετώνται, για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο αντίστοιχα. Οι χρόνοι παραμονής είναι κοινοί για τις δύο διαφορετικής δυναμικότητας ΕΕΛ και τα εναλλακτικά συστήματα.

Πίνακας 4-3 Χρόνοι παραμονής στερεών σε ΕΕΛ 100.000 και 500.000 ι.κ. - ΧΕΙΜΩΝΑΣ

Χειμώνας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Απαιτούμενος χρόνος παραμονής ετεροτροφικών μ/ο	d	5,72	5,72	5,72
Απαιτούμενος χρόνος παραμονής αυτοτροφικών μ/ο	d	6,1	6,1	6,1
Απαιτούμενος χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού	d	9,1	9,1	9,1
Επιλεγόμενος χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού	d	10	10	10

Πίνακας 4-4 Χρόνοι παραμονής στερεών σε ΕΕΛ 100.000 και 500.000 ι.κ. - ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

Καλοκαίρι	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Απαιτούμενος χρόνος παραμονής ετεροτροφικών μ/ο	d	2,42	2,42	2,42
Απαιτούμενος χρόνος παραμονής αυτοτροφικών μ/ο	d	1,57	1,57	1,57
Απαιτούμενος χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού	d	2,42	2,42	2,42
Επιλεγόμενος χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού	d	5	5	5

Στους πίνακες 4-5 και 4-6 παρουσιάζονται οι απαιτούμενοι όγκοι σε κάθε βαθμίδα επεξεργασίας μιας ΕΕΛ 100.000 και 500.000 ισοδύναμων κατοίκων αντίστοιχα.

Σε κάθε βαθμίδα-στάδιο επεξεργασίας ελήφθη υπόψη η δυσμενέστερη περίπτωση μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου. Κατά την χειμερινή περίοδο υπάρχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε σχέση με τη θερινή όσον αφορά τους όγκους του βιολογικού αντιδραστήρα (ανοξική δεξαμενή και δεξαμενή αερισμού). Αυτό συμβαίνει διότι έχουμε μικρότερη μέση θερμοκρασία, πιο αργή ανάπτυξη των μικροοργανισμών και κατανάλωση των ρυπαντικών φορτίων, άρα μεγαλύτερους χρόνους παραμονής και μεγαλύτερους όγκους δεξαμενών, παρόλο που το ρυπαντικό φορτίο σχεδιασμού είναι κατά 40% μειωμένο. Το αντίστροφο συμβαίνει σε ότι αφορά τους όγκους των παχυντών βαρύτητας και των χωνευτών, καθώς το καλοκαίρι έχουμε μεγαλύτερη παραγωγή, τόσο πρωτοβάθμιας όσο και βιολογικής λύσης.

Πίνακας 4-5 Απαιτούμενοι όγκοι δεξαμενών σε ΕΕΛ 100.000 ι.κ.

Βαθμίδα επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Απαιτούμενος όγκος ΔΠΚ	m ³	1458,33	-	1458,33
Επιλεγόμενος όγκος ΔΠΚ	m ³	1500	-	1500
Όγκος δεξαμενής κροκίδωσης 1	m ³	-	210	-
Όγκος δεξαμενής κροκίδωσης 2	m ³	-	420	-
Απαιτούμενος αερόβιος όγκος	m ³	5393,76	2824,13	5393,76
Επιλεγόμενος αερόβιος όγκος	m ³	5400	3000	5400
Απαιτούμενος ανοξικός όγκος	m ³	2937,86	1539,42	2937,86
Επιλεγόμενος ανοξικός όγκος	m ³	3000	1600	3000
Απαιτούμενος αναερόβιος όγκος	m ³	1458,33	-	1458,33
Επιλεγόμενος αναερόβιος όγκος	m ³	1500	-	1500
Απαιτούμενος όγκος ΔΤΚ	m ³	5000	5000	5000
Επιλεγόμενος όγκος ΔΤΚ	m ³	5000	5000	5000
Συνολικός όγκος παχυντών βαρύτητας	m ³	168	252	168
Απαιτούμενος όγκος χωνευτών	m ³	3126,47	3193,5	2141,26
Παρεχόμενος όγκος χωνευτών	m ³	3581,66	3581,66	2712,96
Απαιτούμενος όγκος αποθήκευσης 1	m ³	1006,89	525	1006,89
Επιλεγόμενος όγκος αποθήκευσης 1	m ³	1050	550	1050
Απαιτούμενος όγκος αποθήκευσης 2	m ³	364,75	319,35	247,5
Επιλεγόμενος όγκος αποθήκευσης 2	m ³	400	350	300

Πίνακας 4-6 Απαιτούμενη όγκοι δεξαμενών σε ΕΕΛ 500.000 ι.κ.

Βαθμίδα επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Απαιτούμενος όγκος ΔΠΚ	m ³	7291,67	-	7291,67
Επιλεγόμενος όγκος ΔΠΚ	m ³	7500	-	7500
Όγκος δεξαμενής	m ³	-	1050	-

κροκίδωσης1				
Όγκος δεξαμενής κροκίδωσης 2	m ³	-	2100	-
Απαιτούμενος αερόβιος όγκος	m ³	26968,81	14120,66	26968,81
Επιλεγόμενος αερόβιος όγκος	m ³	27000	15000	27000
Απαιτούμενος ανοξικός όγκος	m ³	14689,32	7697,12	14689,32
Επιλεγόμενος ανοξικός όγκος	m ³	15000	8000	15000
Απαιτούμενος αναερόβιος όγκος	m ³	7291,67	-	7291,67
Επιλεγόμενος αναερόβιος όγκος	m ³	7500	-	7500
Απαιτούμενος όγκος ΔTK	m ³	25000	25000	25000
Επιλεγόμενος όγκος ΔTK	m ³	25000	25000	25000
Συνολικός όγκος παχυντών βαρύτητας	m ³	840	1260	840
Απαιτούμενος όγκος χωνευτών	m ³	15632,35	15967,5	10607,28
Παρεχόμενος όγκος χωνευτών	m ³	18398,44	18398,44	10851,84
Απαιτούμενος όγκος αποθήκευσης 1	m ³	5034,44	2629,93	5034,44
Επιλεγόμενος όγκος αποθήκευσης 1	m ³	5200	2700	5200
Απαιτούμενος όγκος αποθήκευσης 2	m ³	1823,77	1596,75	1237,51
Επιλεγόμενος όγκος αποθήκευσης 2	m ³	2000	1750	1500

Όπως φαίνεται και στους παραπάνω πίνακες στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό έχουμε μικρότερους όγκους στη βιολογική βαθμίδα (κατά 47,6%) σε σχέση με τις άλλα δύο συστήματα λόγω της μεγαλύτερης απομάκρυνσης στερεών, οργανικού φορτίου και αζώτου, φωσφόρου κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία. Επίσης απαιτεί μεγαλύτερο όγκο παχυντών βαρύτητας (κατά 50%) και (ελάχιστα μεγαλύτερο) όγκο χωνευτών (κατά 2-3%) σε σχέση με το τυπικό (συμβατικό) σύστημα λόγω της συνολικά μεγαλύτερης παραγωγής ιλύος, που οφείλεται στην αύξηση της πρωτοβάθμιας ιλύος.

Το σύστημα με χρήση θερμικής υδρόλυσης για την προεπεξεργασία της παραγόμενης βιολογικής ιλύος δεν έχει καμία διαφοροποίηση σε σχέση με το συμβατικό στις βαθμίδες επεξεργασίας λυμάτων. Έχει όμως μειωμένους όγκους χωνευτών, κατά 31,45% σε σχέση με το συμβατικό και 33% σε σχέση με το σύστημα ενισχυμένου πρωτοβάθμιου διαχωρισμού.

Στους πίνακες 4-7 και 4-8 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις σε δυναμικότητα ανά στάδιο επεξεργασίας του κύριου μηχανολογικού εξοπλισμού των τριών εναλλακτικών συστημάτων ΕΕΛ ισοδύναμου πληθυσμού 100.000 και 500.000 κατοίκων.

Πίνακας 4-7 Απορροφούμενη ισχύς ανά στάδιο επεξεργασίας σε ΕΕΛ 100.000 ι.κ.

Στάδιο επεξεργασίας	M.M.	Τοπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Αντλιοστάσιο εισόδου	kW	35	35	35
Ξέστρο ΔΠΚ	kW	3	-	3
Αναδευτήρας δεξαμενής κροκίδωσης 1	kW	-	1,7	-
Αναδευτήρας δεξαμενής κροκίδωσης 2	kW	-	3,4	-
Μικροκόσκινο	kW	-	2,5	-
Σύστημα αερισμού	kW	110	75	110
Αναδευτήρας δεξαμενής αερισμού	kW	43	24	43
Αναδευτήρας ανοξικής δεξαμενής	kW	24	12	24
Αναδευτήρας αναερόβιας δεξαμενής	kW	12	-	12
Ξέστρο ΔΤΚ	kW	10	10	10
Ξέστρο παχυντών βαρύτητας	kW	0,25	0,4	0,25
Αναδευτήρας δεξαμενής αποθήκευσης 1	kW	8,4	4,4	8,4
Τράπεζες παχυνσης	kW	6	6	-
Φυγοκεντρητές	kW	-	-	84
Μονάδα θερμικής υδρόλυσης	kW	-	-	2,6
Μηχανήματα χωνευτών	kW	20,6	20,6	15,6
Αναδευτήρας δεξαμενής αποθήκευσης 2	kW	3,2	2,8	2,4
Ταινιοφιλτρόπρεσες	kW	6	10	6
Αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας	kW	10	10	10
Αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος	kW	24,4	24,4	24,4
Αντλίες περίσειας ιλύος	kW	3	2	3
Αντλίες τροφοδοσίας παχυντή βαρύτητας	kW	1,2	2	1,2
Αντλίες τροφοδοσίας τραπέζων πάχυνσης/φυγοκεντρητών	kW	12	12	8
Αντλίες ΙΙΙ τροφοδοσίας χωνευτών	kW	6	12	4
Αντλίες ΒΙ τροφοδοσίας χωνευτών	kW	13,5	13,5	9
Αντλίες μονάδας θερμικής υδρόλυσης	kW	-	-	8
Αντλίες τροφοδοσίας ταινιοφιλτροπρεσών	kW	15	25	15
Αντλία στραγγιδίων	kW	2,5	2	2,5
Συνολικά δοσομετρικές αντλίες	kW	0,65	1,85	0,65

Πίνακας 4-8 Απορροφούμενη ισχύς σε κάθε στάδιο επεξεργασίας σε ΕΕΛ 500.000 ι.κ.

Στάδιο επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Αντλιοστάσιο εισόδου	kW	175	175	175
Ξέστρο ΔΠΚ	kW	15	-	15
Αναδευτήρας δεξαμενής κροκίδωσης 1	kW	-	5,25	-
Αναδευτήρας δεξαμενής κροκίδωσης 2	kW	-	10,5	-
Μικροκόσκινο	kW	-	10	-
Σύστημα αερισμού	kW	914	603	914
Αναδευτήρας δεξαμενής αερισμού	kW	216	120	216
Αναδευτήρας ανοξικής δεξαμενής	kW	120	64	120
Αναδευτήρας αναερόβιας δεξαμενής	kW	60	-	60
Ξέστρο ΔΤΚ	kW	50	50	50
Ξέστρο παχυντών βαρύτητας	kW	1,25	1,9	1,25
Αναδευτήρας δεξαμενής αποθήκευσης 1	kW	41,6	21,6	41,6
Τράπεζες παχυνσης	kW	24	24	-
Φυγοκεντρητές	kW	-	-	420
Μονάδα θερμικής υδρόλυσης	kW	-	-	28
Μηχανήματα χωνευτών	kW	106	106	62
Αναδευτήρας δεξαμενής αποθήκευσης 2	kW	16	14	10,4
Ταινιοφιλτρόπρεςσες	kW	30	44	28
Αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας	kW	48,8	48,8	48,8
Αντλίες ανακυκλοφορίας ιλύος	kW	121,5	121,5	121,5
Αντλίες περίσειας ιλύος	kW	7,5	4	7,5
Αντλίες τροφοδοσίας παχυντή βαρύτητας	kW	3,6	6	6
Αντλίες τροφοδοσίας τραπεζών πάχυνσης/φυγοκεντρητών	kW	48	24	24
Αντλίες ΠΙ τροφοδοσίας χωνευτών	kW	8	12	8
Αντλίες ΒΙ τροφοδοσίας χωνευτών	kW	54	27	31,5
Αντλίες μονάδας θερμικής υδρόλυσης	kW	-	-	24
Αντλίες τροφοδοσίας ταινιοφιλτροπρεςσών	kW	75	110	70
Αντλία στραγγιδίων	kW	9	9	9
Συνολικά δοσομετρικές αντλίες	kW	1,5	3,25	1,5

Όπως φαίνεται και στους πίνακες 4-7 και 4-8, το σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό απαιτεί όπως είναι λογικό μικρότερη δυναμικότητα σε μηχανολογικό εξοπλισμό στο βιολογικό αντιδραστήρα (34% μικρότερη ισχύς του συστήματος αερισμού και 53% μικρότερη δυναμικότητα αναδευτήρων), ενώ συνολικά το σύστημα κροκιδωσης-μικροκόσκινου έχει πολύ μεγαλύτερη απαιτούμενη ισχύ σε σχέση με τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (υπερδιπλάσια). Ταυτόχρονα απαιτείται μεγαλύτερη δυναμικότητα του συστήματος ταινιοφιλτροπρεσσών (περίπου 50%).

Στο σύστημα με θερμική υδρόλυση παρατηρείται μια σημαντική διαφορά απαιτούμενης ισχύος μεταξύ των φυγοκεντρητών και των τραπεζών πάχυνσης. Πιο συγκεκριμένα η απαιτούμενη ισχύς των φυγοκεντρητών είναι περίπου 14 φορές μεγαλύτερη από αυτή των τραπεζών πάχυνσης στα άλλα δύο συστήματα. Λόγω όμως της καλής πάχυνσης που πραγματοποιείται στους φυγοκεντρητές, έχουμε μικρότερες απαιτήσεις στον όγκο, άρα και στην συνολική εγκατεστημένη ισχύ των μηχανημάτων των χωνευτών, αλλά και στη μονάδα ταινιοφιλτροπρεσσών.

Στους πίνακες 4-9 και 4-10 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις σε χημικά (κροκιδωτικά, εξωτερική πηγή άνθρακα κτλ) που απαιτούνται σε κάθε σύστημα τόσο για το χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι για τις ΕΕΛ 100.000 και 500.000 ισοδύναμων κατοίκων αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται και στους δύο αυτούς πίνακες, στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό απαιτείται επιπλέον προσθήκη χλωριούχου πολυαργιλίου (PAC) και πολυηλεκτρολύτη ως κροκιδωτικά κατά την προεπεξεργασία, όμως ταυτόχρονα απαιτείται μειωμένη (κατά 56,5%) τριχλωριούχου σιδήρου ($FeCl_3$) για τη χημική κατακρήμνιση του φωσφόρου. Επίσης απαιτείται μειωμένη (κατά 51% στην ΕΕΛ 100.000ι.κ., και 60% στην ΕΕΛ των 500.000ι.κ.) ποσότητα πολυηλεκτρολύτη για την πάχυνση και αυξημένη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη για τις ανάγκες της αφυδάτωσης. Το σύστημα με χρήση θερμικής υδρόλυσης έχει αυξημένες απαιτήσεις σε πολυηλεκτρολύτη κατά τη διαδικασία της πάχυνσης (κατά περίπου 20%), λόγω της μεγαλύτερης δΟΣολογίας που απαιτείται για τη λειτουργία των φυγοκεντρητών σε σχέση με τις τράπεζες πάχυνσης. Ταυτόχρονα όμως απαιτείται μικρότερη ποσότητα για την αφυδάτωση της ιλύος στις ταινιοφιλτρόπρεσσες (κατά 8-10%). Συνολικά όμως η χρησιμοποιούμενη ποσότητα πολυηλεκτρολύτη είναι σχεδόν ίδια με το τυπικό (μεγαλύτερη ή μικρότερη ανάλογα το μέγεθος της εγκατάστασης και την περίοδο κατά 1%)

Πίνακας 4-9 Απαιτήσεις χημικών σε ΕΕΛ 100.000 ι.κ.

Χειμώνας				
	Μ.Μ.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Ποσότητα τριχλωριούχου σιδήρου	kgFe ³⁺ /d	77,625	33,75	77,625
Ποσότητα χλωρίου	kgcl ₂ /d	100	100	100
Ποσότητα τριχλωριούχου πολυαργιλίου	kg PACl/d	-	340	-
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη στο μικροκόσκινο	kgπολ/d	-	100	-
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη από πάχυνση	kgπολ/d	10,87	5,26	13,04
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη από αφυδάτωση	kgπολ/d	27,36	44,26	25,05
Ποσότητα μεθανόλης	kg/d	-	416	-

Καλοκαίρι				
	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Ποσότητα τριχλωριούχου σιδήρου	kg Fe ³⁺ /d	148,5	81	148,5
Ποσότητα χλωρίου	kgCl ₂ /d	100	100	100
Ποσότητα τριχλωριούχου πολυαργιλίου	kg PACl/d	-	340	-
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη στο μικροκόσκινο	kgπολ/d	-	100	-
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη από πάχυνση	kgπολ/d	23,5	12,67	28,19
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη από αφυδάτωση	kgπολ/d	49,86	70,8	44,86
Ποσότητα μεθανόλης	kg/d	-	640	-

Πίνακας 4-10 Απαιτήσεις χημικών σε ΕΕΛ 500.000 ι.κ.

Χειμώνας				
	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Ποσότητα τριχλωριούχου σιδήρου	kg Fe ³⁺ /d	388,25	168,75	388,25
Ποσότητα χλωρίου	kgCl ₂ /d	500	500	500
Ποσότητα τριχλωριούχου πολυαργιλίου	kg PACl/d	-	1700	-
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη στο μικροκόσκινο	kgπολ/d	-	500	-
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη από πάχυνση	kgπολ/d	54,35	21,3	65,13
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη από αφυδάτωση	kgπολ/d	136,81	208,29	125,17
Ποσότητα μεθανόλης	kg/d	-	2080	-
Καλοκαίρι				
	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Ποσότητα τριχλωριούχου σιδήρου	kg Fe ³⁺ /d	742,5	405	742,5
Ποσότητα χλωρίου	kgCl ₂ /d	500	500	500
Ποσότητα τριχλωριούχου πολυαργιλίου	kg PACl/d	-	1700	-
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη στο μικροκόσκινο	kgπολ/d	-	500	-
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη από πάχυνση	kgπολ/d	117,47	65,37	140,96
Ποσότητα πολυηλεκτρολύτη από αφυδάτωση	kgπολ/d	249,32	353,96	224,32
Ποσότητα μεθανόλης	kg/d	-	3200	-

Η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων χημικών κατά την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος κατά το σχεδιασμό της εγκατάστασης, αφού αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι του λειτουργικού κόστους. Ιδιαίτερα για τη χρήση της μεθανόλης ως εξωτερικής πηγής άνθρακα, επειδή χρησιμοποιείται σε μεγάλες ποσότητες στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό, οφείλουν να μελετηθούν εναλλακτικές λύσεις, όπως η χρήση μονάδας ζύμωσης κυρίως των στραγγιδίων της πρωτοβάθμιας ιλύος για τη μείωση των απαιτήσεων σε μεθανόλη.

4.3 Αποτελέσματα μοντέλου ενεργειακής κατανάλωσης

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης για τα τρία διαφορετικά συστήματα που εξετάζονται τόσο για την ΕΕΛ των 100.000 όσο και των 500.000 ισοδύναμων κατοίκων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά στάδιο επεξεργασίας και συνολικά τόσο για τη χειμερινή όσο και για την καλοκαιρινή περίοδο.

Παρουσιάζονται οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού των εγκαταστάσεων αλλά και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την καύση του βιοαερίου που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση. Ακόμα παρουσιάζονται οι απαιτήσεις σε θερμότητα για τη θέρμανση της ιλύος, τη θέρμανση του χωνευτή αλλά και του ατμού στη μονάδα θερμικής υδρόλυσης υδρόλυσης όπου αυτή χρησιμοποιείται.

Στον πίνακα 4-11 και 4-12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου υπολογισμού ενεργειακής κατανάλωσης για ΕΕΛ 100.000 ι.κ. και 500.000 ι.κ. αντίστοιχα, για την περίοδο τόσο του χειμώνα όσο και του θέρους.

Πίνακας 4-11 Ενεργειακή κατανάλωση σε ΕΕΛ 100.000 ι.κ.

Χειμώνας				
Στάδιο επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Αντλιοστάσιο εισόδου	kWh/d	838,5	838,5	838,5
Προεπεξεργασία	kWh/d	115,5	115,5	115,5
Πρωτοβάθμια επεξεργασία	kWh/d	70	141,4	70
Βιολογική επεξεργασία	kWh/d	3526,6	2105,9	3526,6
Δεξαμενή τελικής καθίζησης	kWh/d	240	240	240
Πάχυνση ιλύος	kWh/d	185,4	61,6	469,7
Χώνευση ιλύος (και θερμική υδρόλυση)	kWh/d	424,5	433,4	311,8
Αφυδάτωση ιλύος	kWh/d	119,1	158,2	102
Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας	kWh/d	460,3	465,3	460,3
Αντλιοστάσιο στραγγιδίων	kWh/d	6,9	6,1	7
Συνολική κατανάλωση ενέργειας	kWh/d	5987	4569,5	6141,6
Ημερήσια παραγωγή ενέργειας	kWh/d	2746,5	3274,6	3221,8
Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΔΕΗ	kWh/d	3240,5	1294,8	2919,8

Καλοκαίρι				
Στάδιο επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Αντλιοστάσιο εισόδου	kWh/d	838,5	838,5	838,5
Προεπεξεργασία	kWh/d	115,5	115,5	115,5
Πρωτοβάθμια επεξεργασία	kWh/d	70	144,6	70
Βιολογική επεξεργασία	kWh/d	5250,3	3200,8	5250,3
Δεξαμενή τελικής καθίζησης	kWh/d	240	240	240
Πάχυνση ιλύος	kWh/d	276	167,6	912,7
Χώνευση ιλύος	kWh/d	708	675	667,3
Αφυδάτωση ιλύος	kWh/d	215,8	268,2	178,7
Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας	kWh/d	434	462,7	434
Αντλιοστάσιο στραγγιδίων	kWh/d	13,2	10,9	13,2
Συνολική κατανάλωση ενέργειας	kWh/d	8193,4	6123,9	8720
Ημερήσια παραγωγή ενέργειας	kWh/d	4743,4	5357,8	5770,6
Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΔΕΗ	kWh/d	3449,9	766,1	2949,6

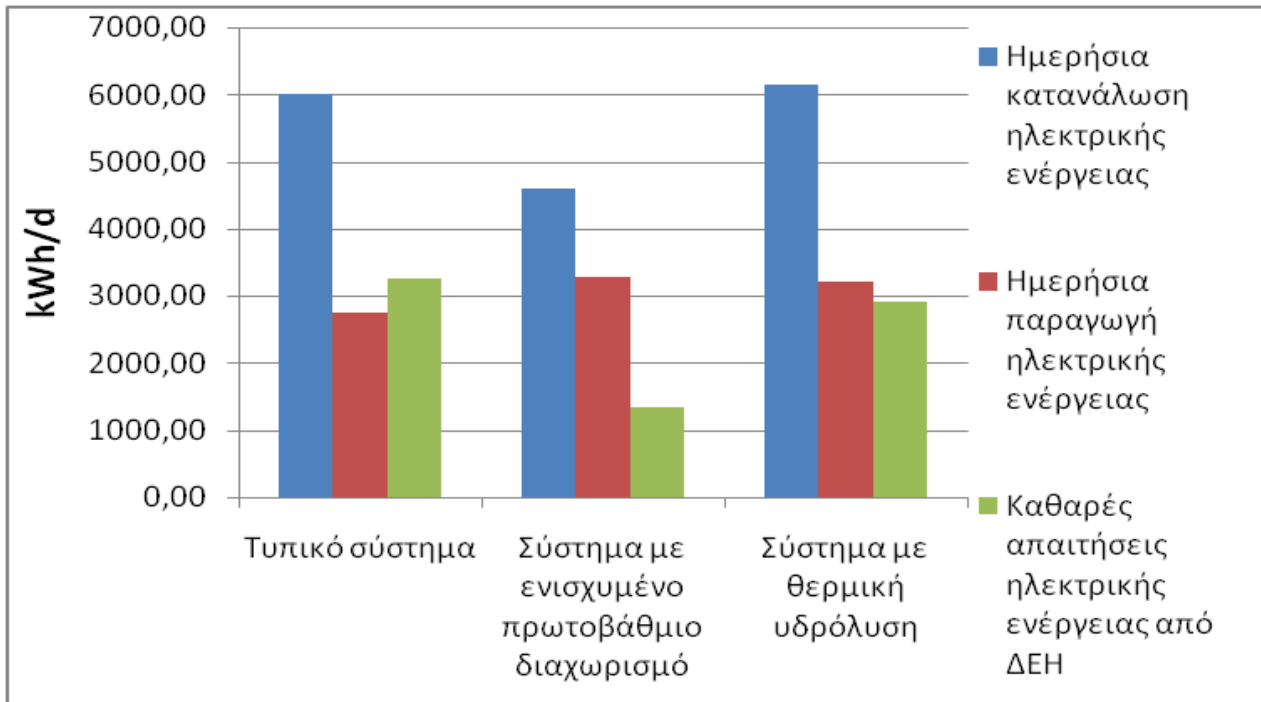
Πίνακας 4-12 Ενεργειακή κατανάλωση σε ΕΕΛ 500.000 ι.κ.

Χειμώνας				
Στάδιο επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Αντλιοστάσιο εισόδου	kWh/d	4192,3	4192,3	4192,3
Προεπεξεργασία	kWh/d	577,7	577,7	577,7
Πρωτοβάθμια επεξεργασία	kWh/d	350	447,8	350
Βιολογική επεξεργασία	kWh/d	17633	10529,9	17633
Δεξαμενή τελικής καθίζησης	kWh/d	1200	1200	1200
Πάχυνση ιλύος	kWh/d	754,4	307,9	2229,9
Χώνευση ιλύος (και θερμική υδρόλυση)	kWh/d	1494,9	1550,3	1556
Αφυδάτωση ιλύος	kWh/d	595,2	790,6	509,6
Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας	kWh/d	2287,2	2311,8	2287,2
Αντλιοστάσιο στραγγιδίων	kWh/d	34,9	30,7	35

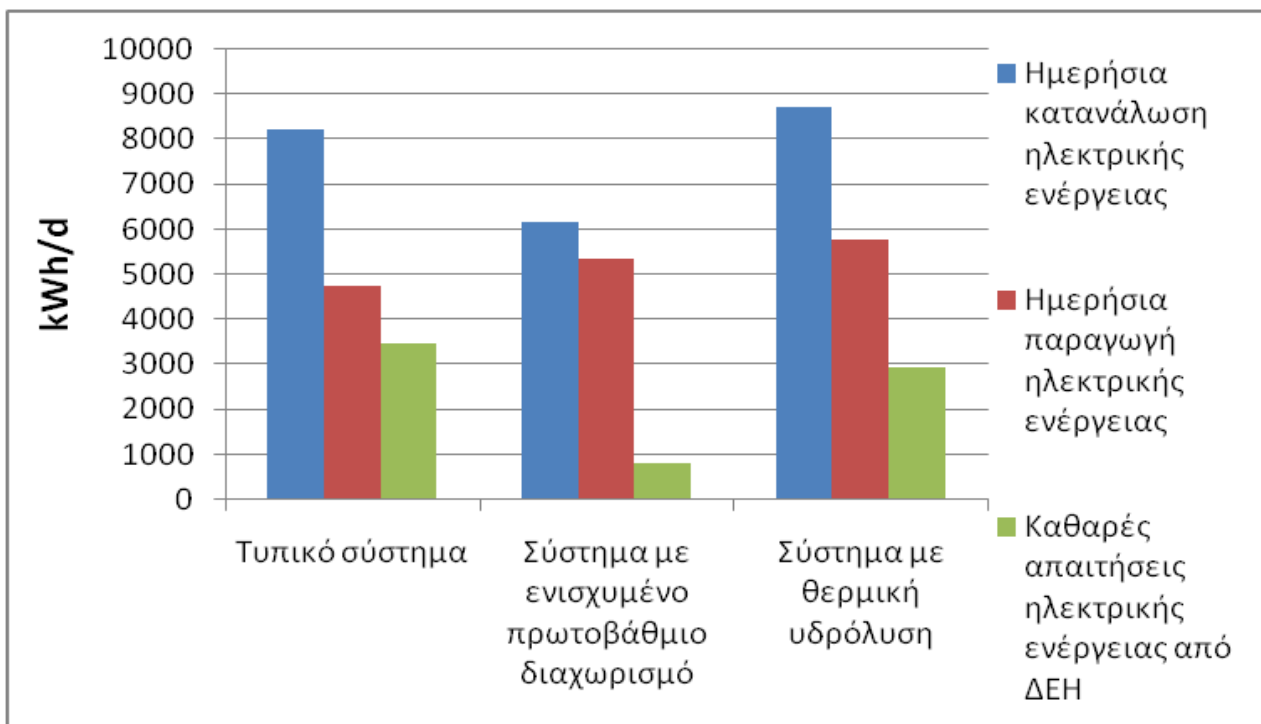
Συνολική κατανάλωση ενέργειας	kWh/d	29119,7	22141,3	30486,7
Ημερήσια παραγωγή ενέργειας	kWh/d	13732,7	16373,2	16100,3
Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΔΕΗ	kWh/d	15387	5768,1	14386,4
Καλοκαίρι				
Στάδιο επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Αντλιοστάσιο εισόδου	kWh/d	4192,3	4192,3	4192,3
Προεπεξεργασία	kWh/d	577,7	577,7	577,7
Πρωτοβάθμια επεξεργασία	kWh/d	350	447,8	350
Βιολογική επεξεργασία	kWh/d	26251,5	16004,3	26251,5
Δεξαμενή τελικής καθίζησης	kWh/d	1200	1200	1200
Πάχυνση ιλύος	kWh/d	1526,4	837,3	4665,3
Χώνευση ιλύος	kWh/d	3035,4	3184,1	2467,2
Αφυδάτωση ιλύος	kWh/d	1078,2	1340	892,7
Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας	kWh/d	2156,9	2298,9	2157
Αντλιοστάσιο στραγγιδίων	kWh/d	65,9	54,4	65,9
Συνολική κατανάλωση ενέργειας	kWh/d	40434,4	29999,8	42987,6
Ημερήσια παραγωγή ενέργειας	kWh/d	23717,3	26789	28853,5
Απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια από ΔΕΗ	kWh/d	16717	3210,761946	14134,1

4.3.1 Αποτελέσματα για την ΕΕΛ 100.000 ισοδύναμων κατοίκων

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται οι συνολικές ημερήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για τη λειτουργία των ΕΕΛ, η ημερήσια παραγόμενη ενέργεια από το βιοαέριο και οι τελικές απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται καθημερινά από τη ΔΕΗ.



Σχήμα 4.1 Ενεργειακές απαιτήσεις και παραγωγή ενέργειας σε ΕΕΛ 100.000ι.κ., για τη χειμερινή περίοδο



Σχήμα 4.2 Ενεργειακές απαιτήσεις και παραγωγή ενέργειας σε ΕΕΛ 100.000ι.κ., για τη θερινή περίοδο

Στα παραπάνω διαγράμματα στη θέση 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Τυπικής ΕΕΛ, στη θέση 2 της ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό και στη θέση 3 της ΕΕΛ με χρήση θερμικής υδρόλυσης. Όπως φαίνεται και στα παραπάνω σχήματα, το σύστημα με

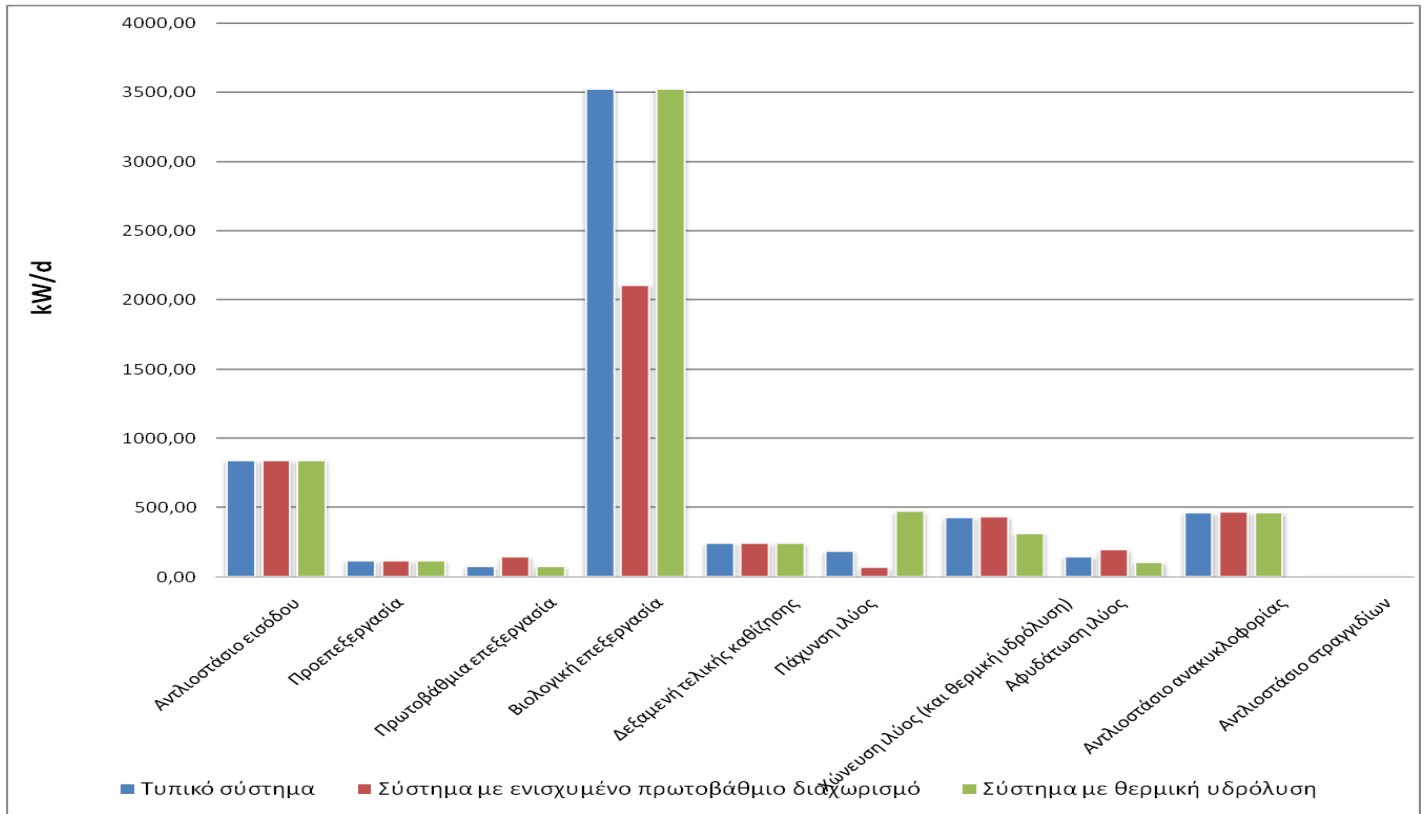
ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό, έχει μειωμένες κατά πολύ ενεργειακές απαιτήσεις σε σχέση με την τυπική ΕΕΛ. Συγκεκριμένα η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό είναι μειωμένη κατά 23,7% το χειμώνα και κατά 25% το καλοκαίρι σε σχέση με την τυπική ΕΕΛ, ενώ παράλληλα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο είναι αυξημένη κατά 19,23 κατά την περίοδο του χειμώνα και κατά 16,75% κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό να παρουσιάζει πολύ μικρότερες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια που αγοράζεται από τη ΔΕΗ, αφού ένα πολύ μεγάλο μέρος των συνολικών απαιτήσεων καλύπτεται από την παραγόμενη ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, η απαιτούμενη ενέργεια από τη ΔΕΗ είναι 2,5 φορές μικρότερη κατά τη χειμερινή περίοδο και 4,5 φορές μικρότερη κατά τη θερινή.

Το σύστημα στο οποίο χρησιμοποιείται μονάδα θερμικής υδρόλυσης για την προεπεξεργασία της βιολογικής ιλύος, παρουσιάζει ελαφρώς αυξημένες απαιτήσεις στη συνολική ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της εγκατάστασης, που είναι της τάξης του 2,7% το χειμώνα και 6,8% το καλοκαίρι. Την ίδια στιγμή όμως αυξάνεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο κατά 17,3% κατά τη χειμερινή περίοδο και κατά 21,66% κατά την καλοκαιρινή, με αποτέλεσμα και πάλι τη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται (κατά 9,7% το χειμώνα και 13,7% το καλοκαίρι). Σε καμία περίπτωση όμως το σύστημα αυτό δεν πλησιάζει τα αποτελέσματα του συστήματος με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό, αφού η απαιτούμενη ενέργεια που αγοράζεται καθημερινά είναι κατά πολύ περισσότερη (πάνω από 2,2 φορές μεγαλύτερη το χειμώνα και 3,85 φορές μεγαλύτερη το καλοκαίρι).

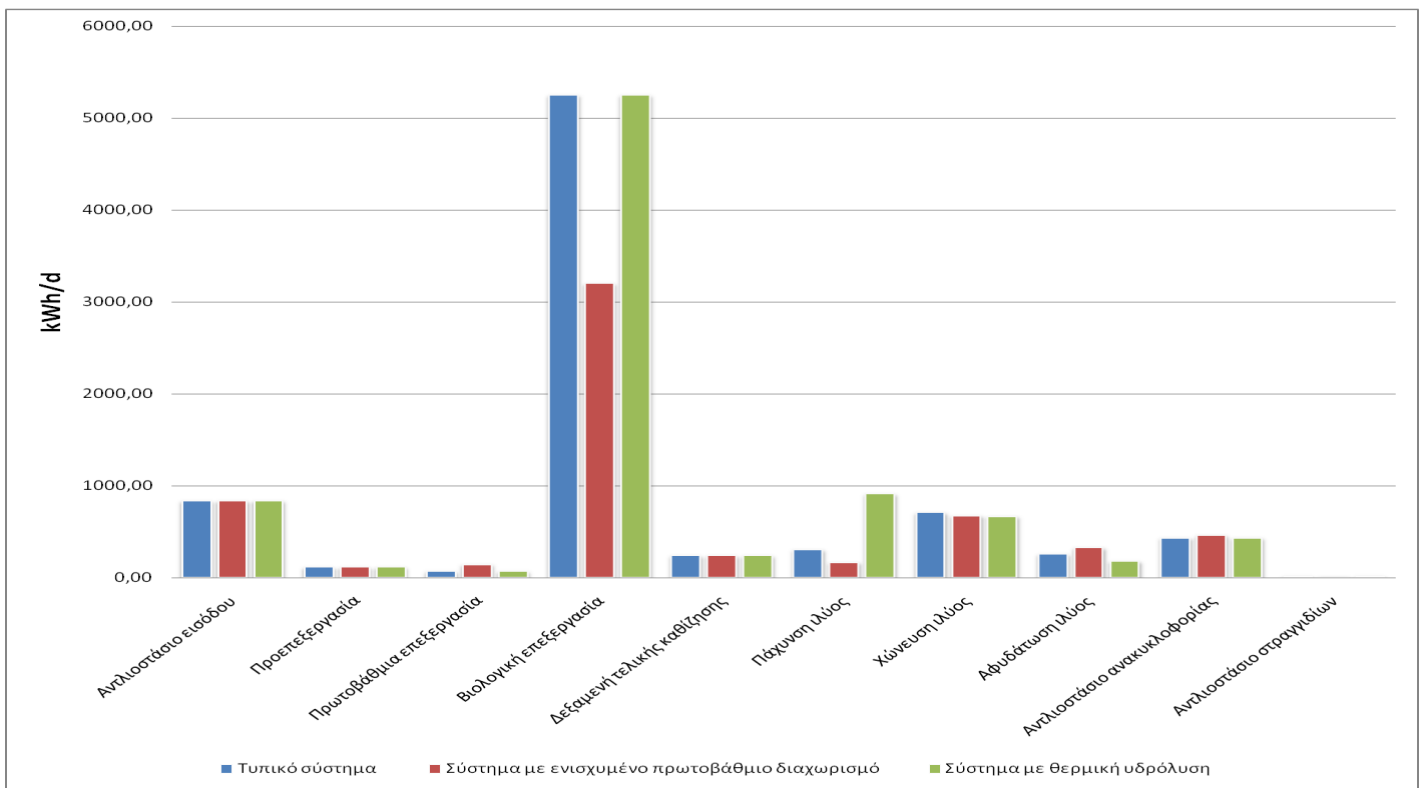
Η μείωση της συνολικής απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό οφείλεται στις μειωμένες απαιτήσεις στο σύστημα αερισμού (και πιο συνολικά στην ενεργειακή βαθμίδα, αφού και η ανοξική δεξαμενή είναι μικρότερη και δεν χρησιμοποιείται καθόλου αναερόβια δεξαμενή), αφού κατά βιολογική επεξεργασία καταναλώνεται 40,3% το χειμώνα και 39% το καλοκαίρι λιγότερη ενέργεια σε σχέση με το τυπικό και το σύστημα με θερμική υδρόλυση. Άλλες σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με το τυπικό σύστημα δεν παρατηρούνται, πέρα από μια αμελητέα αυξομείωση της κατανάλωσης στη χώνευση, την αύξηση της κατανάλωσης στην αφυδάτωση (κατά 32% το χειμώνα και 24% το καλοκαίρι), και το διπλασιασμό της κατανάλωσης κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται (κατά 66% το χειμώνα και 39% το καλοκαίρι) η κατανάλωση στην πάχυνση. Τα στάδια αυτά όμως δεν αποτελούν σημαντικό ποσοστό της συνολικής κατανάλωσης που απαιτείται στην εγκατάσταση και δεν έχουν μεγάλη επίδραση στο συνολικό αποτέλεσμα.

Από την άλλη η αύξηση στη συνολική κατανάλωση που παρουσιάζει το σύστημα στην οποία χρησιμοποιείται θερμική υδρόλυση, οφείλεται κατά βάση στην πολύ μεγαλύτερη κατανάλωση που πραγματοποιείται κατά την πάχυνση της βιολογικής ιλύος, όπου χρησιμοποιείται φυγοκεντρική αντί για τράπεζα πάχυνσης. Η κατανάλωση κατά την πάχυνση είναι 2,5 φορές μεγαλύτερη το χειμώνα και 3,3 φορές μεγαλύτερη το καλοκαίρι σε σχέση με την τυπική ΕΕΛ. Η μονάδα θερμικής υδρόλυσης δεν αυξάνει σημαντικά τη συνολική κατανάλωση ενέργειας (περίπου 1%). Παράλληλα μειώνεται η ενέργεια που καταναλώνεται στη χώνευση, κατά 40% κατά τη χειμερινή και 24,6% κατά την καλοκαιρινή περίοδο, αλλά και στη μονάδα αφυδάτωσης (κατά 14,3% και 17,2% αντίστοιχα).

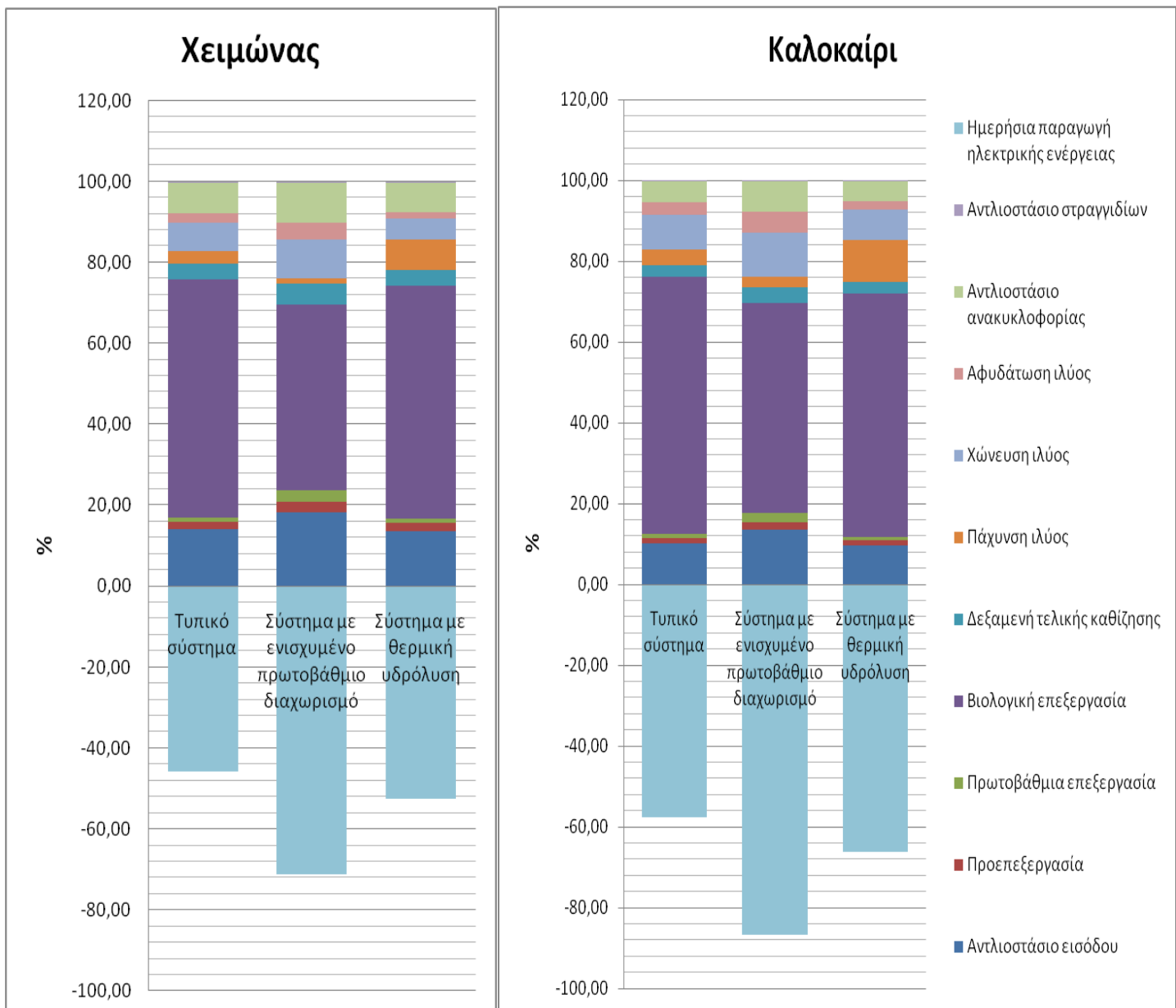
Η διακύμανση της ενεργειακής κατανάλωσης ανά στάδιο επεξεργασίας φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα 4.3 και 4.4.



Σχήμα 4.3 Ενεργειακή κατανάλωση ανά στάδιο επεξεργασίας σε ΕΕΛ 100.000 ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο



Σχήμα 4.4 Ενεργειακή κατανάλωση ανά στάδιο επεξεργασίας σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο



Σχήμα 4.5 Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας σε κάθε στάδιο επεξεργασίας και ποσοστό κάλυψης από την παραγόμενη ενέργεια α) Χειμώνας και β) Καλοκαίρι

Στο παραπάνω διάγραμμα 4.5 φαίνονται το ποσοστό της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται σε κάθε στάδιο επεξεργασίας στα τρία συστήματα που εξετάζονται καθώς και το ποσοστό των συνολικών απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να καλύψει η παραγόμενη ενέργεια από το βιοαέριο.

Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται η μεγάλη συμβολή της ενεργειακής κατανάλωσης στη βιολογική βαθμίδα, αφού αποτελεί σε κάθε περίπτωση την κύρια ενεργειακή δαπάνη. Πιο συγκεκριμένα στην τυπική ΕΕΛ αποτελεί το 59% και 64% για το χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα, στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό το 46% το χειμώνα και το 52% το καλοκαίρι ενώ στο σύστημα με θερμική υδρόλυση το 57% και 60% αντίστοιχα.

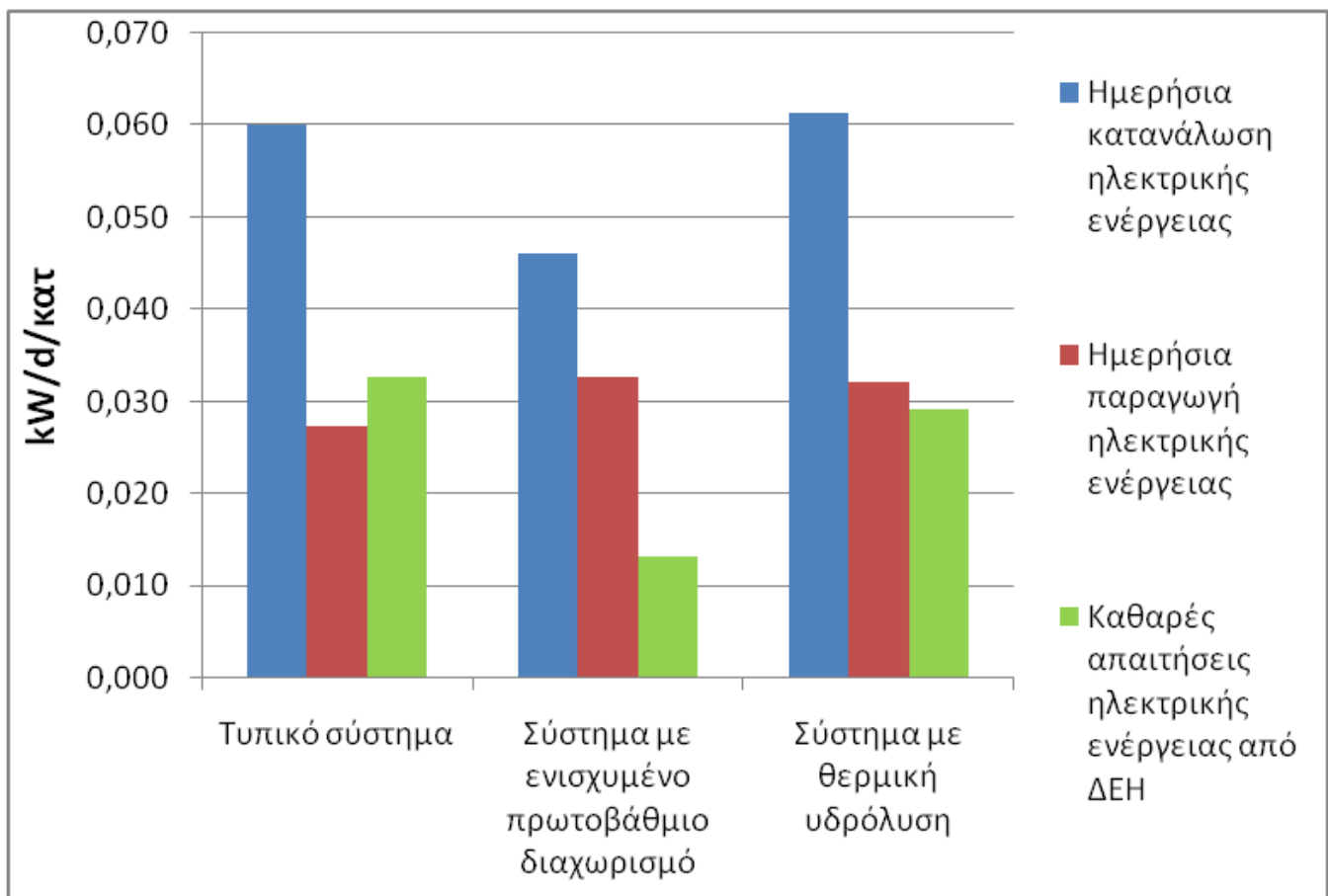
Σε μια τυπική ΕΕΛ, η παραγόμενη από το βιοαέριο ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να καλύψει

ένα σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών απαιτήσεων της εγκατάστασης. Ένα ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 45,9% το χειμώνα και 58,2% το καλοκαίρι. Στο σύστημα με χρήση θερμικής υδρόλυσης τα ποσοστά αυτά είναι αυξημένα, αφού η ενέργεια που δίνει το βιοαέριο καλύπτει το χειμώνα το 52,4% των συνολικών απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια της εγκατάστασης, ενώ το καλοκαίρι το ποσοστό αυτό ανεβαίνει στο 66,2%.

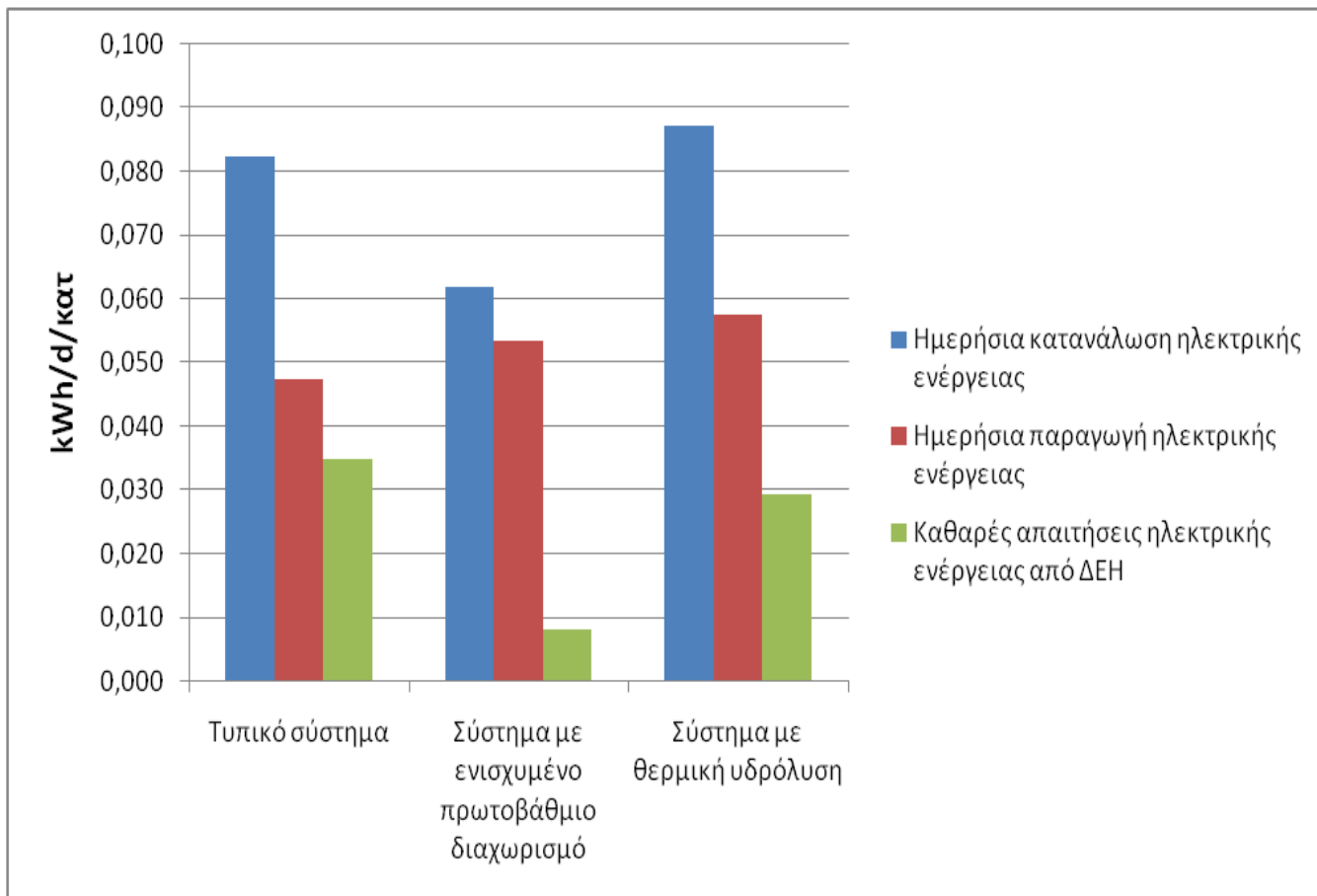
Η αύξηση αυτή είναι σημαντική, αλλά εκεί που παρατηρούνται εντυπωσιακά αποτελέσματα είναι στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό, όπου το χειμώνα καλύπτεται από την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια το 71,7% ενώ το καλοκαίρι το 87,5%. Ποσοστά που (ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο) πλησιάζουν κατά πολύ το στόχο της ενεργειακής αυτονομίας.

Στα διαγράμματα 4.6 και 4.7 παρουσιάζεται η συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας, η ημερήσια παραγωγή ενέργειας και οι απαιτήσεις σε ενέργεια που αγοράζεται από τη ΔΕΗ ανά ισοδύναμο κάτοικο τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι.

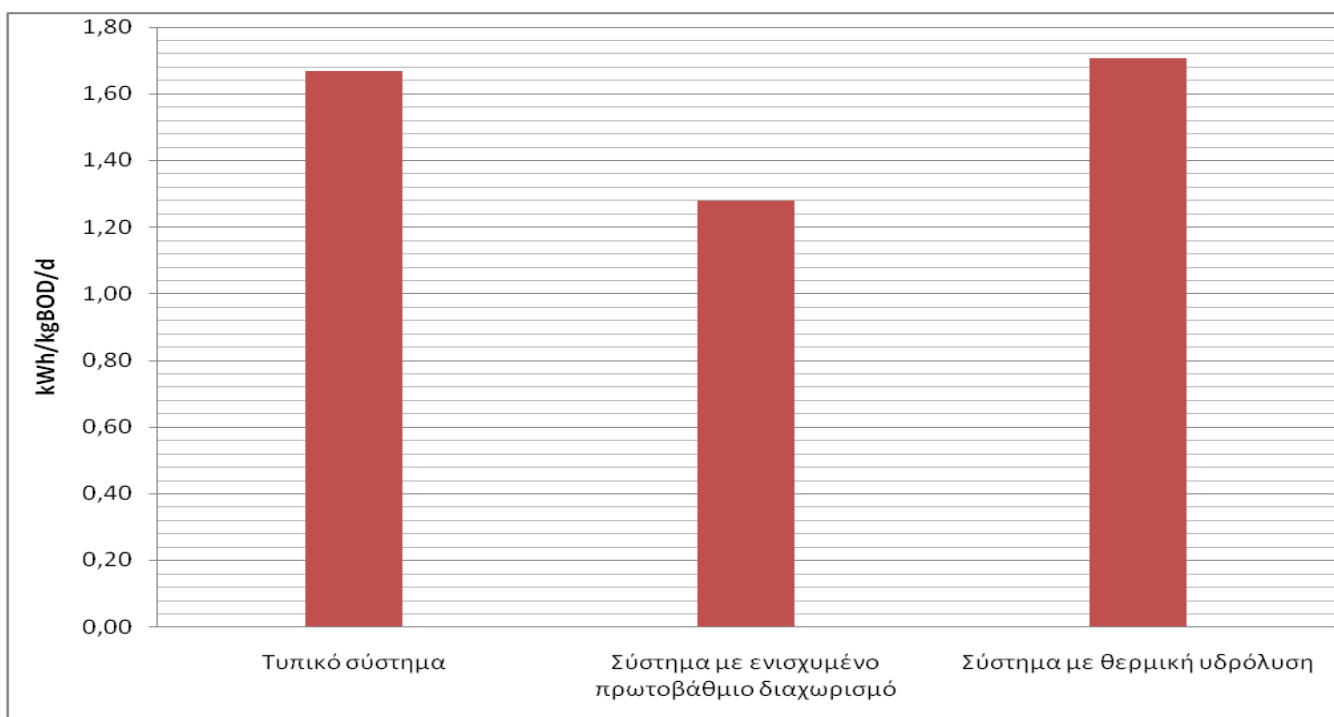
Στα διαγράμματα 4.8 και 4.9 η ημερήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά kgBOD, που απομακρύνεται σε κάθε σύστημα για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο αντίστοιχα. Κατά τη χειμερινή περίοδο απομακρύνονται καθημερινά 3600 kgBOD, ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο 5700kgBOD/d.



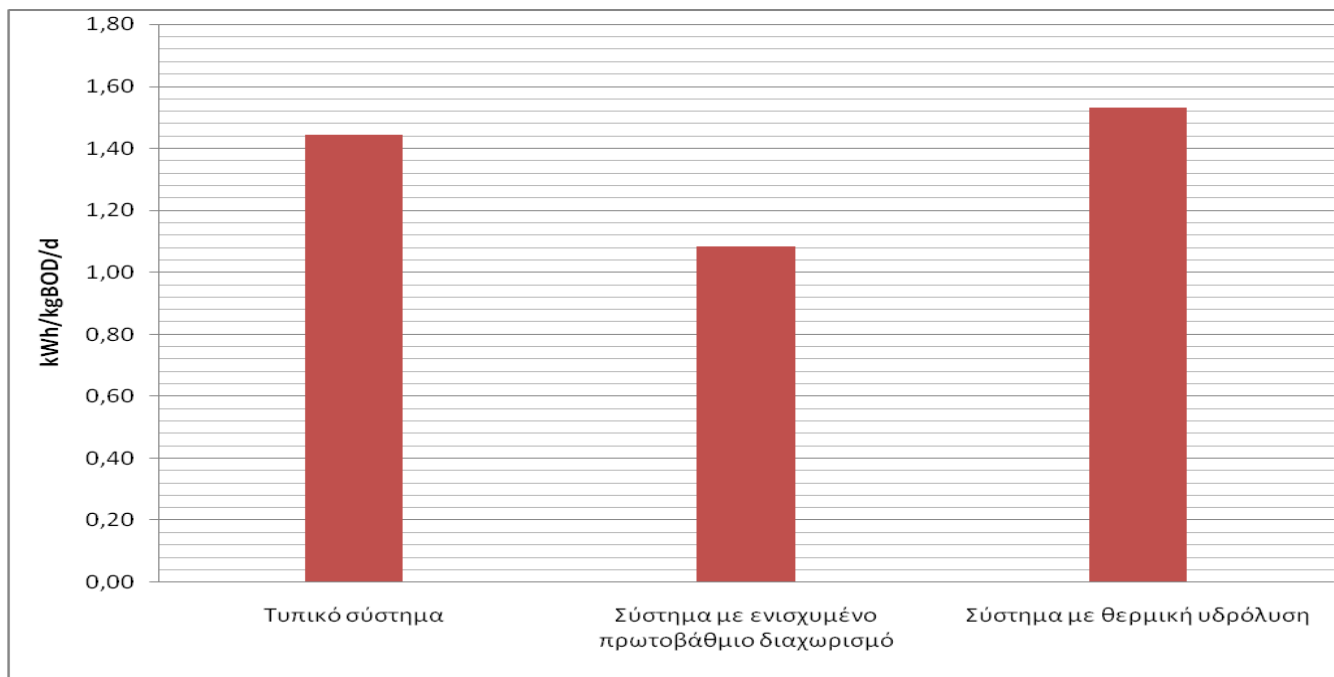
Σχήμα 4.6 Ενεργειακές απαιτήσεις ανά ισοδύναμο κάτοικο σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο



Σχήμα 4.7 Ενεργειακές απαιτήσεις ανά ισοδύναμο κάτοικο σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο

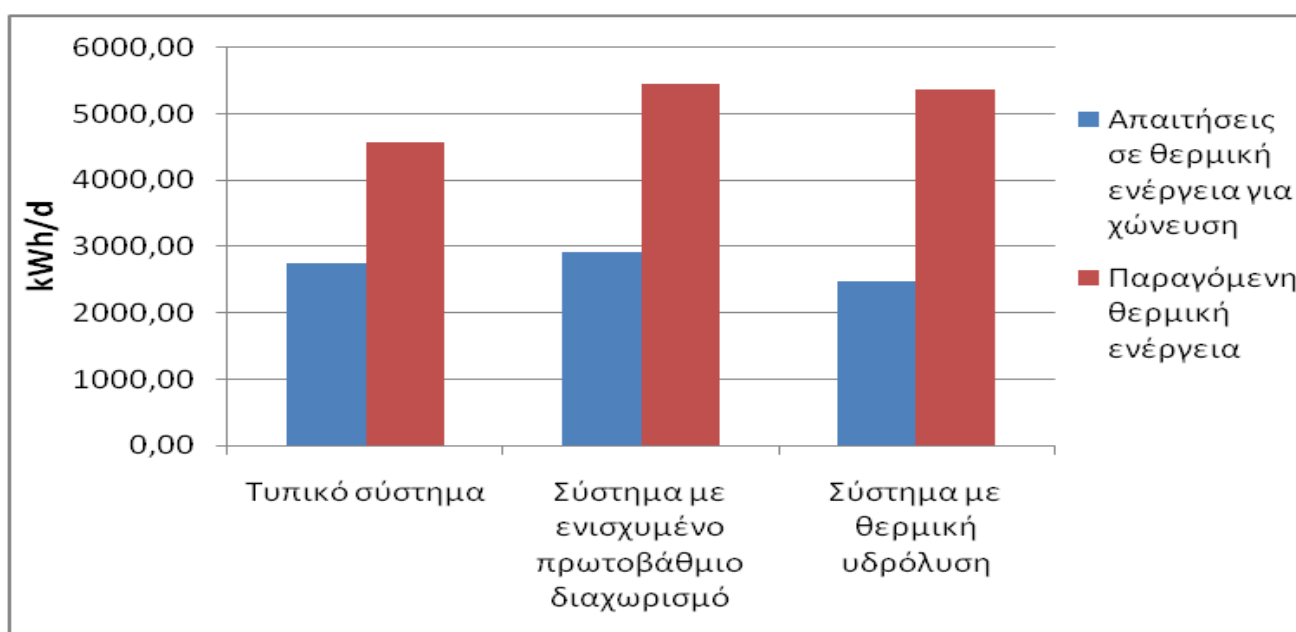


Σχήμα 4.8 Ενεργειακή κατανάλωση ανά kg απομακρυνόμενου BOD, σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο

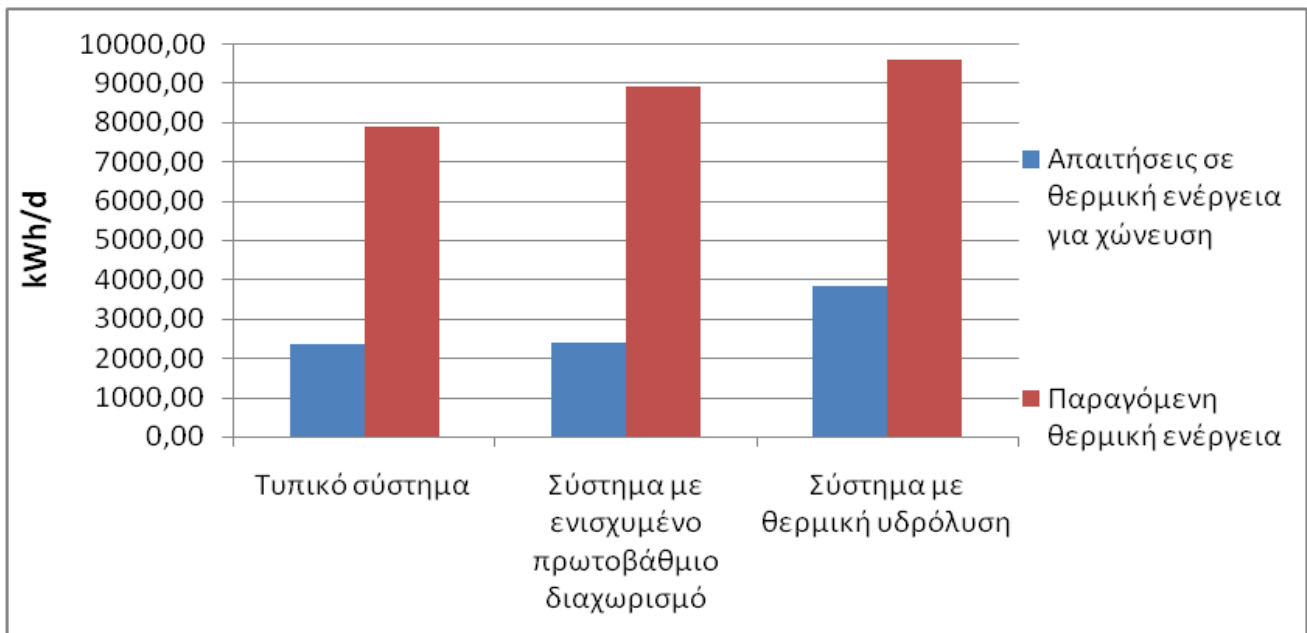


Σχήμα 4.9 Κατανάλωση ενέργειας ανά kg απομακρυνόμενου BOD, σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο

Για τη θέρμανση της ύλης που απαιτείται για την πραγματοποίηση της αναερόβιας χώνευσης, αλλά και για τη θέρμανση του ατμού που απαιτείται κατά τη θερμική υδρόλυση της ύλης όπως επίσης και για τη θέρμανση των ίδιων των χωνευτών, χρησιμοποιείται η θερμότητα που παράγεται από την καύση του βιοαερίου. Και για τα τρία εναλλακτικά συστήματα τόσο για το χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι, οι απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια υπερκαλύπτονται από την παραγόμενη στην ΕΕΛ θερμότητα. Η περίσσεια θερμότητας δεν μπορεί να μετατραπεί σε άλλη μορφή ενέργειας και κατά βάση χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των κτιρίων της εγκατάστασης. Η απαιτούμενη και παραγόμενη θερμική ενέργεια παρουσιάζονται στα σχήματα 4.9 και 4.10.



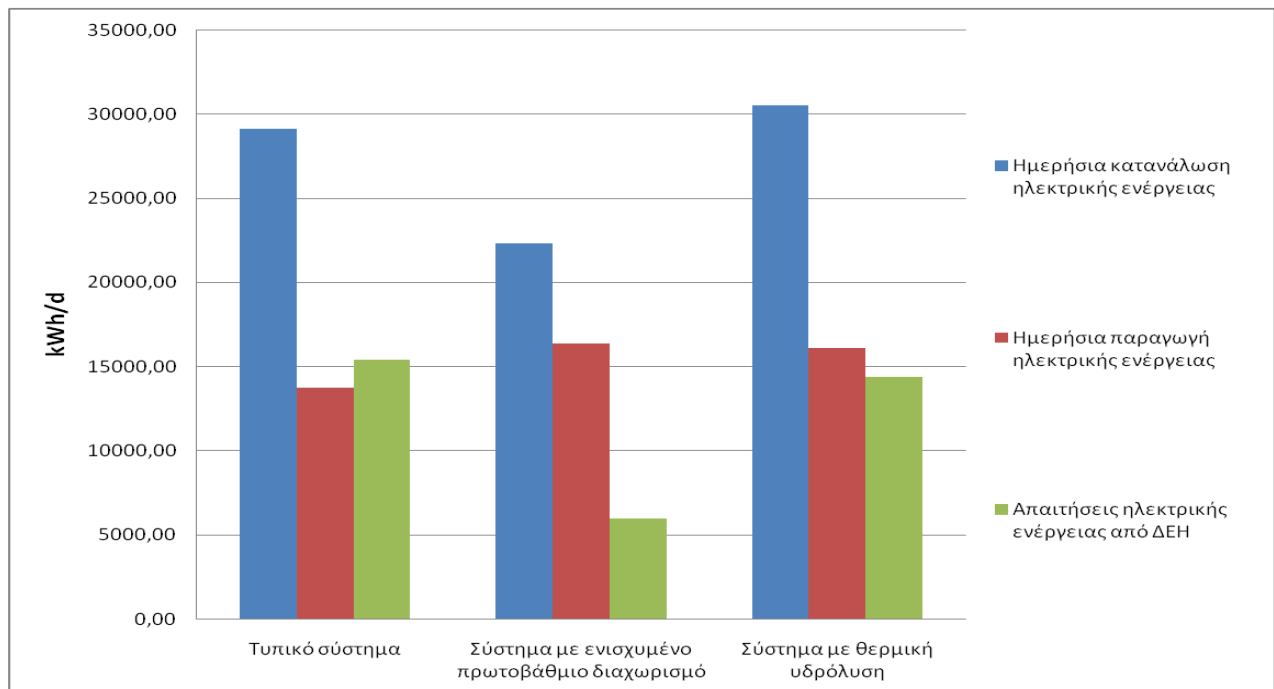
Σχήμα 4.10 Απαιτήσεις σε θερμότητα σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο



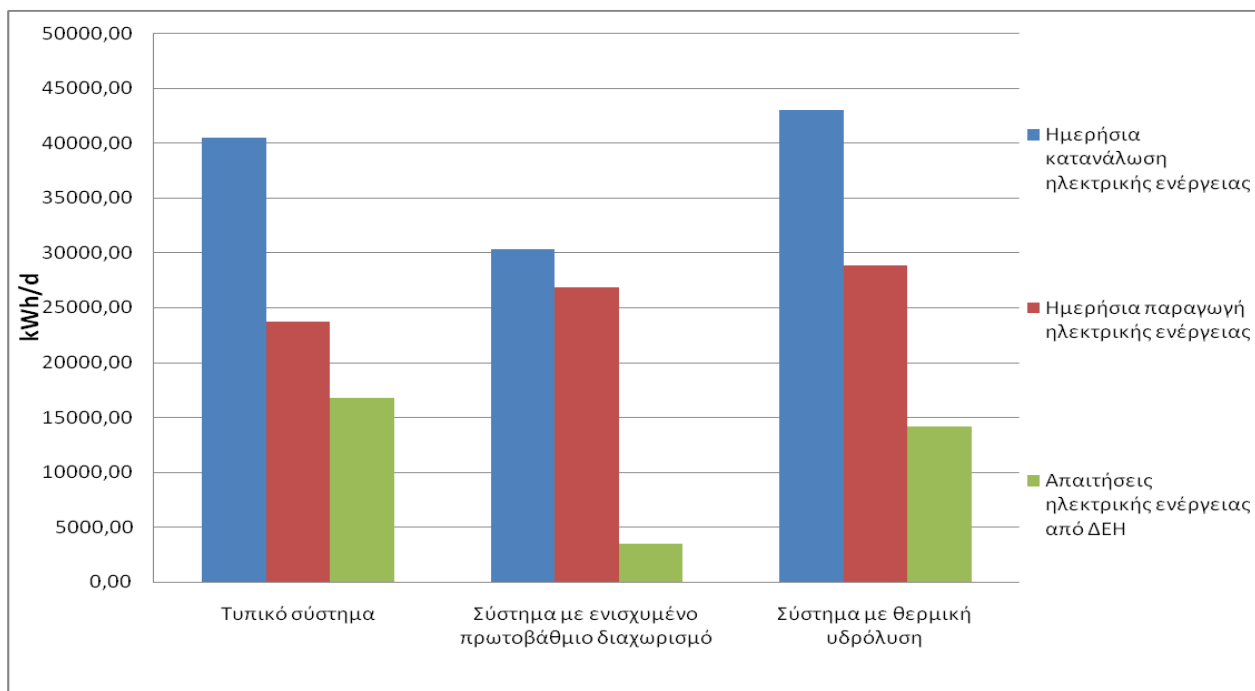
Σχήμα 4.11 Απαιτήσεις σε θερμότητα σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο

4.3.2 Αποτελέσματα για την ΕΕΛ 500.000 ισοδύναμων κατοίκων

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης για ΕΕΛ ισοδύναμου πληθυσμού 500.000 κατοίκων και συγκρίνονται μεταξύ τους τα εξεταζόμενα συστήματα.



Σχήμα 4.12 Ενεργειακές απαιτήσεις και παραγωγή ενέργειας σε ΕΕΛ 500.000ι.κ., για τη χειμερινή περίοδο



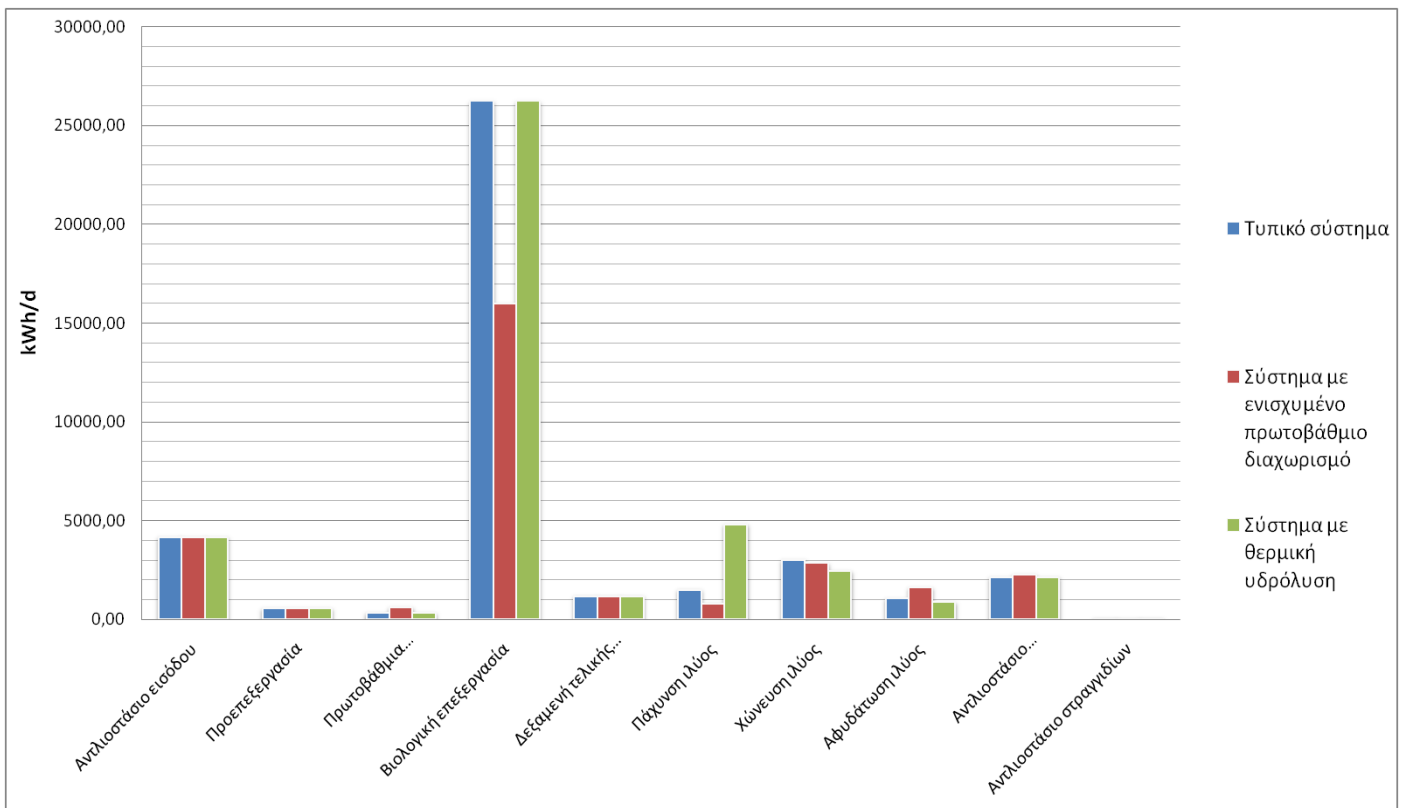
Σχήμα 4.13 Ενεργειακές απαιτήσεις και παραγωγή ενέργειας σε ΕΕΛ 500.000ι.κ., για τη θερινή περίοδο

Στα διαγράμματα 4.12 και 4.13 παρατηρούμε ότι για την εγκατάσταση που χρησιμοποιείται ενισχυμένος πρωτοβάθμιος διαχωρισμός οι ενεργειακές καταναλώσεις είναι μειωμένες κατά 24% το χειμώνα και κατά 25,8 % το καλοκαίρι, ενώ η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται κατά 19,2% το χειμώνα και 13% το καλοκαίρι. Αυτό οδηγεί σε μια μεγάλη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας που αγοράζεται από τη ΔΕΗ, που φτάνει να είναι 2,6 φορές μικρότερη το χειμώνα ενώ το καλοκαίρι 5,2 φορές.

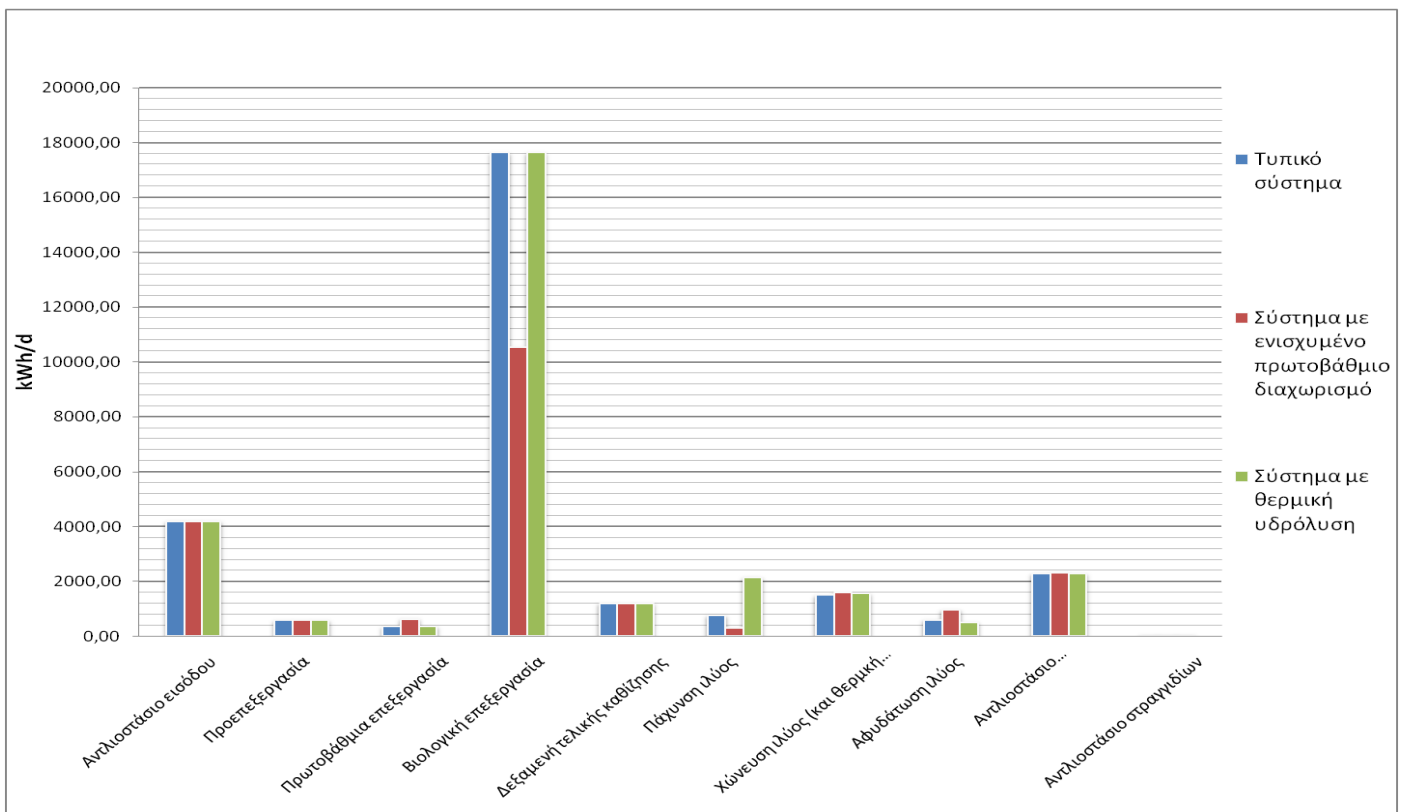
Η μείωση αυτή της ενεργειακής κατανάλωσης όπως και στην ΕΕΛ των 100.000 ισοδύναμων κατοίκων οφείλεται στη μεγάλη μείωση των απαιτήσεων κατά το στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας (Σχήμα 4.14 και 4.5), όπου λόγω της απομάκρυνσης μεγάλου ποσοστού σωματιδιακού BOD κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία έχουμε μειωμένες απαιτήσεις σε ζήτηση οξυγόνου, ενώ ταυτόχρονα δεν πραγματοποιείται βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου. Στα υπόλοιπα στάδια επεξεργασίας οι διαφορές είναι ελάχιστες και επί τοις ουσίαις δεν καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τη συνολική κατανάλωση.

Από την άλλη το σύστημα με τη μονάδα θερμικής υδρόλυσης έχει μια ελάχιστη αύξηση στην συνολική κατανάλωση (3,9% το χειμώνα και 4,2% το καλοκαίρι) αλλά η παραγόμενη ενέργεια αυξάνεται κατά 17,24% το χειμώνα και 21,7% το καλοκαίρι με αποτέλεσμα τη μείωση των καθημερινών αγορών ενέργειας από τη ΔΕΗ κατά 2368kWh το χειμώνα και 3420kWh το καλοκαίρι.

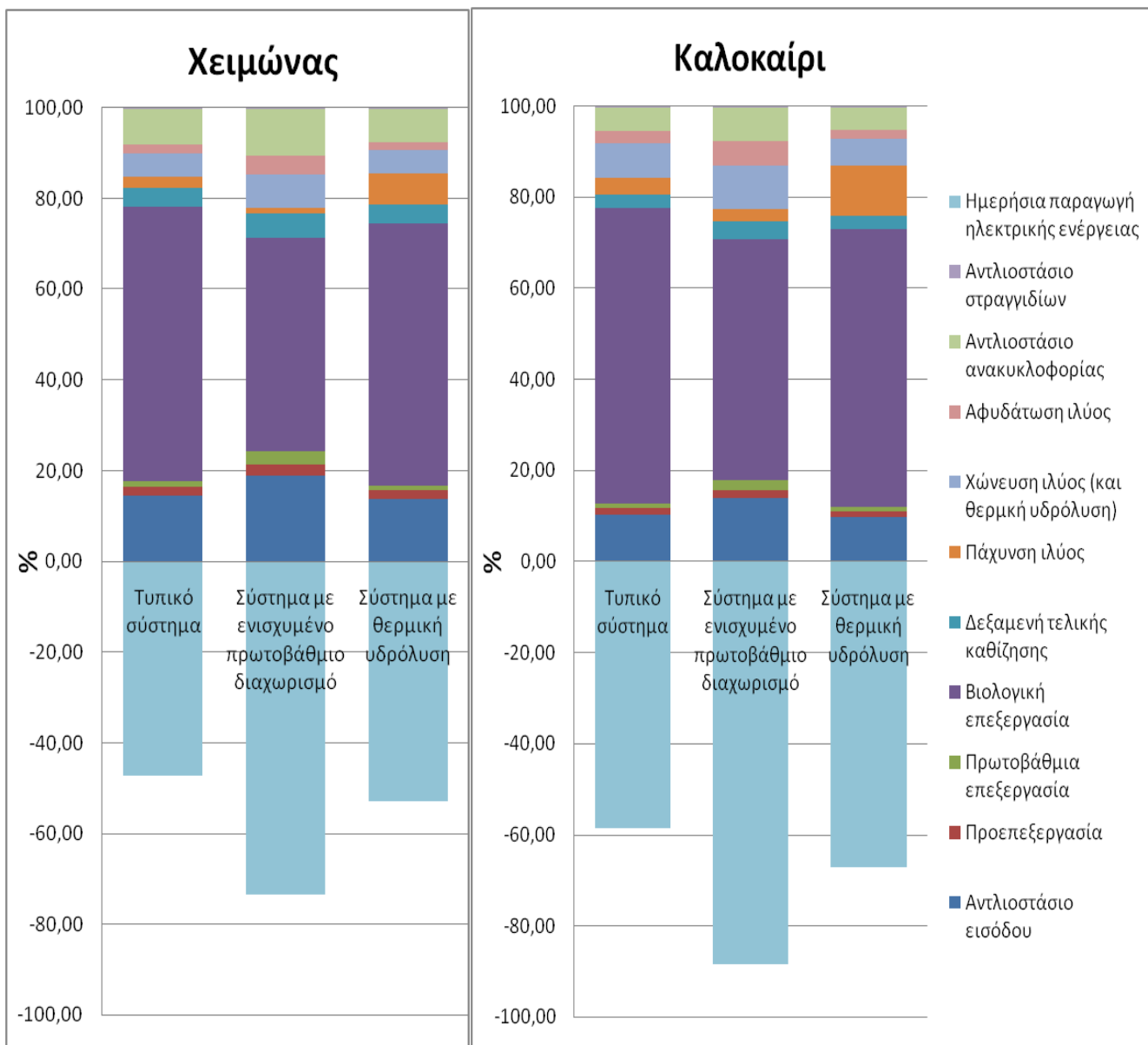
Η αύξηση αυτή οφείλεται στη μεγάλη αύξηση της κατανάλωσης κατά την πάχυνση της βιολογικής ιλύος (Σχήμα 4.14 και 4.15) όπου χρησιμοποιούνται φυγοκεντρητές αντί για τράπεζες πάχυνσης, ενώ μειώνονται (σε μικρό βαθμό οι απαιτήσεις ενέργειας στη μονάδα αφυδάτωσης).



Σχήμα 4.14 Κατανάλωση ενέργειας ανά στάδιο επεξεργασίας σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο



Σχήμα 4.15 Κατανάλωση ενέργειας ανά στάδιο επεξεργασίας σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο



Σχήμα 4.16 Ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας σε κάθε στάδιο επεξεργασίας και ποσοστό κάλυψης από την παραγόμενη ενέργεια α) Χειμώνας και β) Καλοκαίρι

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.16 και στα τρία εναλλακτικά συστήματα η μεγαλύτερη κατανάλωση προέρχεται από τη βιολογική βαθμίδα και το σύστημα αερισμού. Και στις τρία συστήματα η κατανάλωση αποτελεί πάνω από το 50% της συνολικής κατανάλωσης: 60-64% στην τυπική, 57-53% στο σύστημα που χρησιμοποιείται σύστημα κροκίδωσης-μικροκόσκινου και 57-61% στο σύστημα με θερμική υδρόλυση. Μεγάλο σχετικά ποσοστό επί της συνολικής κατανάλωσης αποτελούν οι ενεργειακές δαπάνες στο στάδιο της προεπεξεργασίας (10-19% ανάλογα το σύστημα και την περίοδο) που όμως είναι ίδια όλα τα συστήματα.

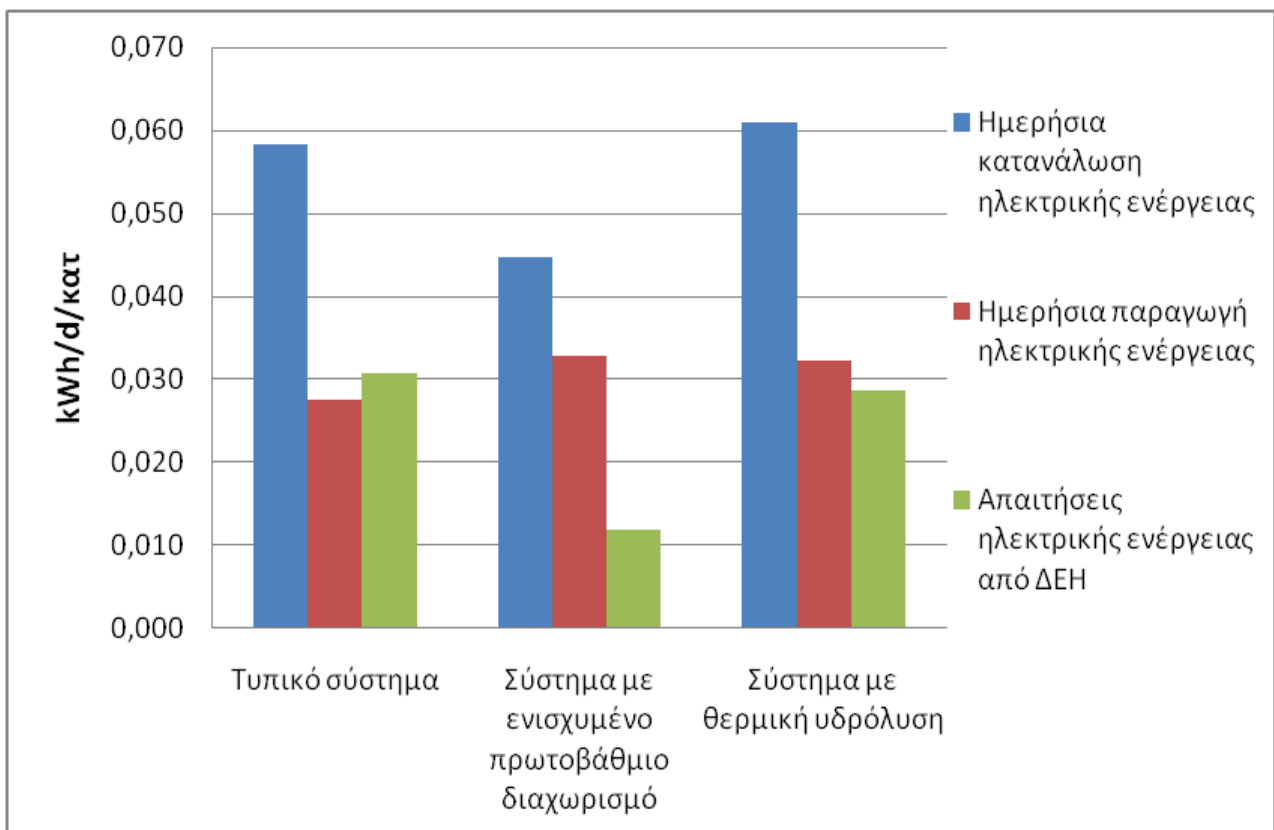
Στην τυπική ΕΕΛ η παραγόμενη ενέργεια από το βιοαέριο καλύπτει το χειμώνα το 47% των συνολικών απαιτήσεων σε ενέργεια ενώ το καλοκαίρι το ποσοστό αυτό ανεβαίνει στο 58%, κατά μέσο όρο δηλαδή το 52,5% της ετήσιας κατανάλωσης. Στο σύστημα που χρησιμοποιείται θερμική υδρόλυση για τη βιολογική λάσπη, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να καλύψει το 53% των συνολικών δαπανών το χειμώνα και το 67% το

καλοκαίρι, δηλαδή κατά προσέγγιση το 60% της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης.

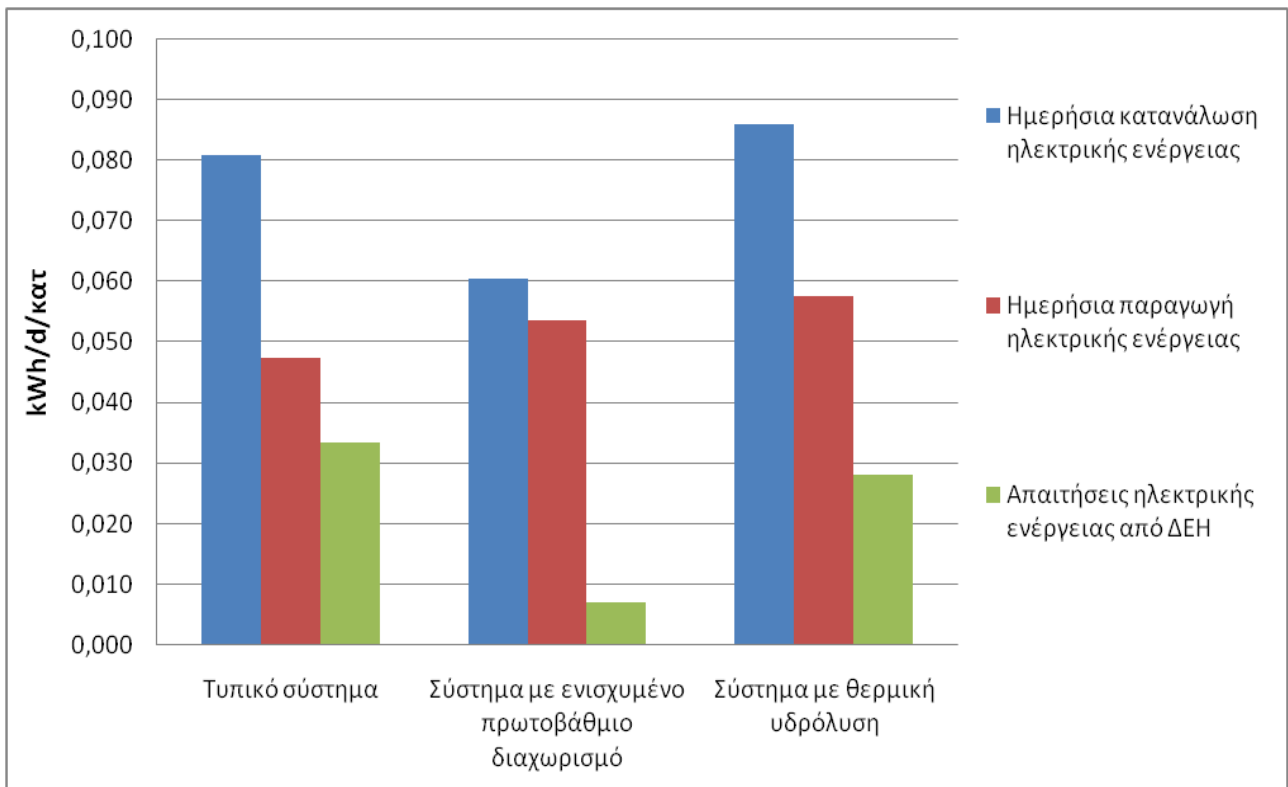
Όπως και στην ΕΕΛ των 100.000 ισοδύναμων κατοίκων όμως, τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά για το σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό. Στο σύστημα αυτό εξαιτίας της μεγάλης παραγωγής πρωτοβάθμιας ύλης έχουμε μεγάλη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης κατά τη βιολογική επεξεργασία των λυμάτων με ταυτόχρονη αύξηση του παραγόμενου βιοαερίου και της αντίστοιχης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό οδηγεί στο να καλύπτεται από την παραγόμενη ενέργεια το 74% των συνολικών απαιτήσεων το χειμώνα και το 89% αντίστοιχα το καλοκαίρι, περίπου δηλαδή το 80-81% των συνολικών ετήσιων δαπανών ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 4.16).

Στα διαγράμματα 4.17 και 4.18 παρουσιάζεται η συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας, η ημερήσια παραγωγή ενέργειας και οι απαιτήσεις σε ενέργεια που αγοράζεται από τη ΔΕΗ ανά ισοδύναμο κάτοικο τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι.

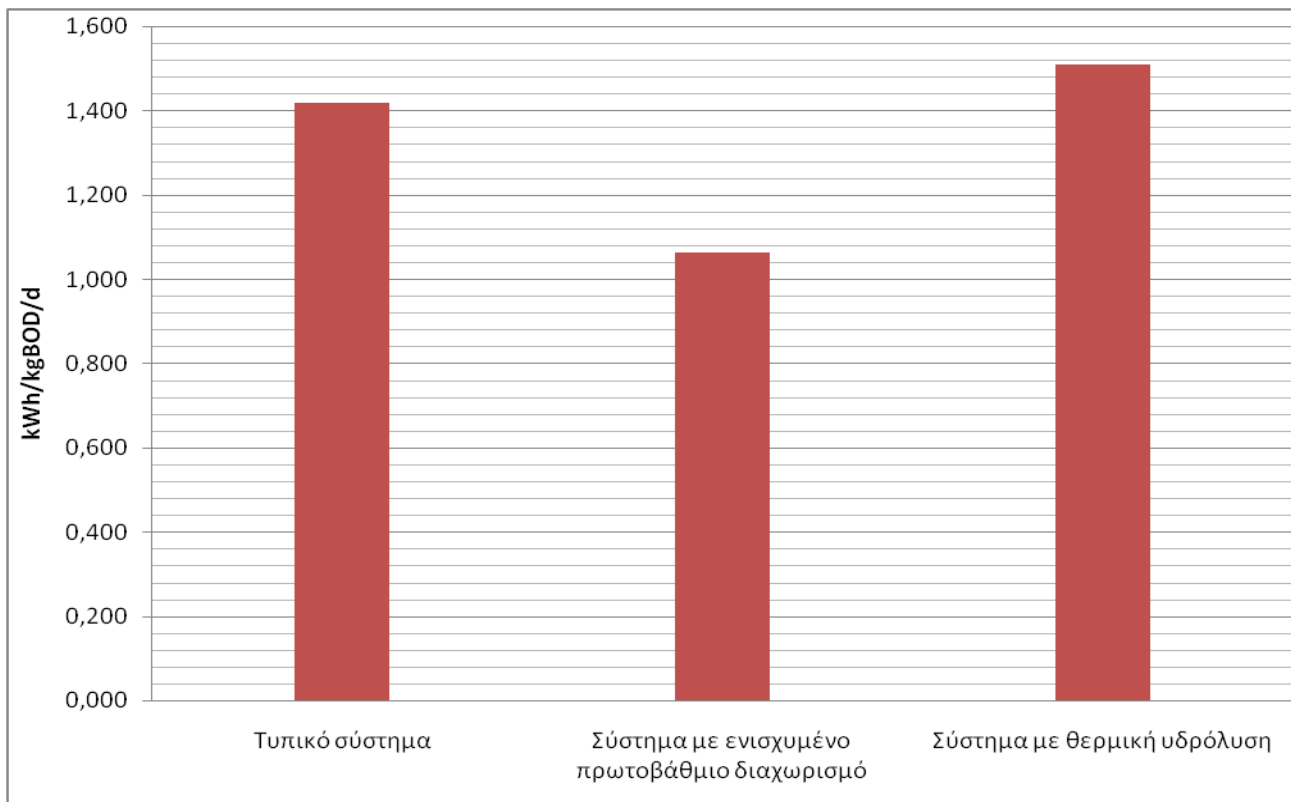
Στα διαγράμματα 4.19 και 4.20 η ημερήσια συνολική κατανάλωση ενέργειας ανά kgBOD, που απομακρύνεται σε κάθε σύστημα για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο αντίστοιχα. Κατά τη χειμερινή περίοδο απομακρύνονται καθημερινά 18000 kgBOD, ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο 285000kgBOD/d.



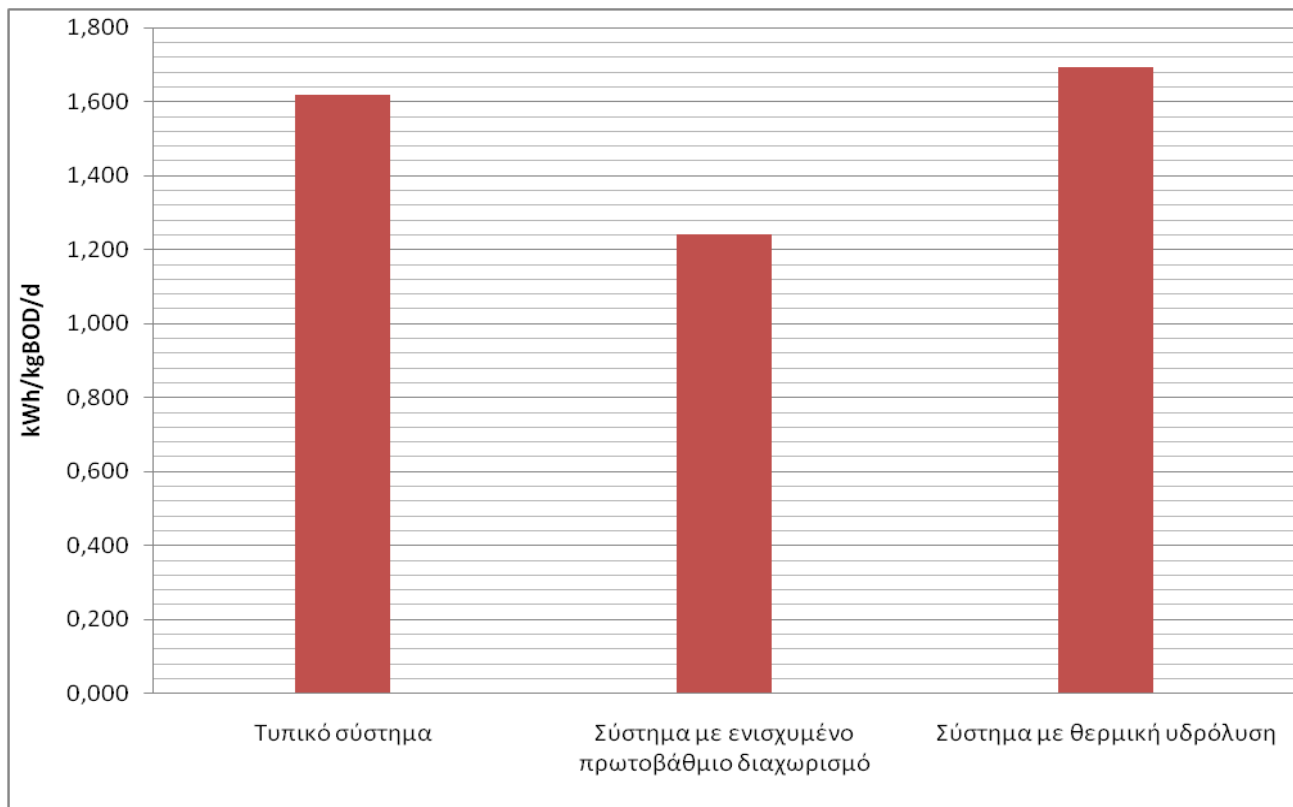
Σχήμα 4.17 Ενεργειακές απαιτήσεις ανά ισοδύναμο κάτοικο σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο



Σχήμα 4.18 Ενεργειακές απαιτήσεις ανά ισοδύναμο κάτοικο σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο

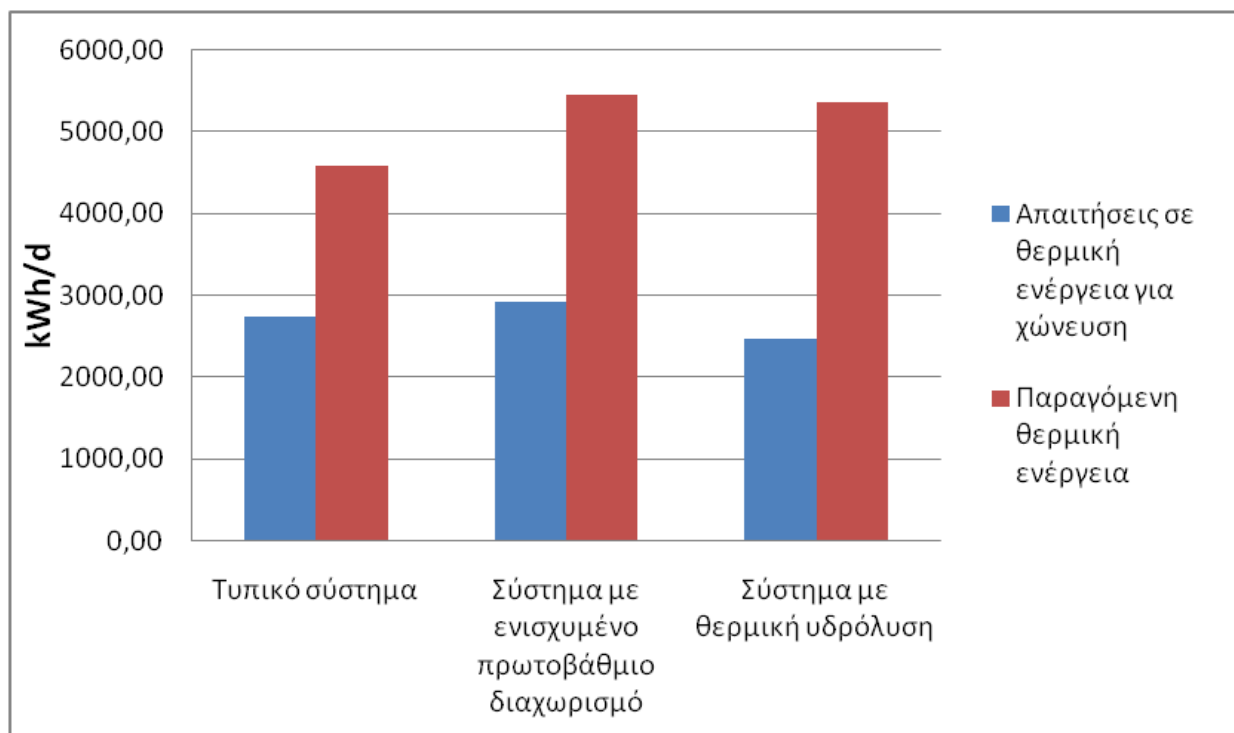


Σχήμα 4.19 Ενεργειακή κατανάλωση ανά kg απομακρυνόμενου BOD, σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο

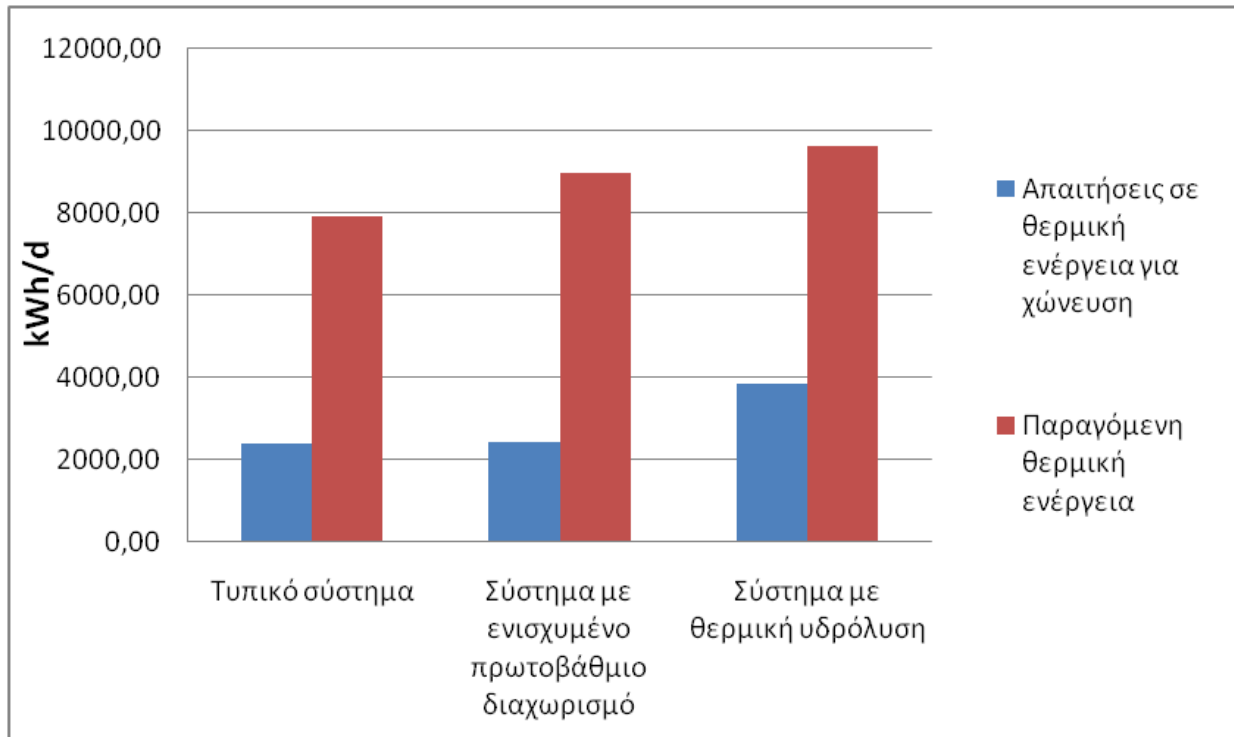


Σχήμα 4.20 Ενεργειακή κατανάλωση ανά kg απομακρυνόμενου BOD, σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο

Στα παρακάτω διαγράμματα 4.21 και 4.22 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια καθώς και η παραγόμενη θερμότητα από το βιοαέριο.



Σχήμα 4.21 Απαιτήσεις σε θερμότητα σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο



Σχήμα 4.22 Απαιτήσεις σε θερμότητα σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο

4.3.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων για τις ΕΕΛ δυναμικότητας 100.000 και 500.000 ισοδύναμων κατοίκων με πραγματικές ΕΕΛ.

Στο τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος η κατανάλωση ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο 0,060kWh/d/κατ το χειμώνα και 0,082 το καλοκαίρι για ΕΕΛ δυναμικότητας 100.000 ι.κ. και 0,058kWh/d/κατ το χειμώνα και 0,081kWh/d/κατ το καλοκαίρι για ΕΕΛ δυναμικότητας 500.000 ι.κ.. Οι τιμές αυτές δίνουν μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο 26kWh/PE για την ΕΕΛ 100.000 ι.κ. και 25,4kWh/PEγια την ΕΕΛ 500.000 ι.κ.. Από έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε 10 πραγματικές (λειτουργούσες) ΕΕΛ στην Ελλάδα (Mamaisetal. 2015) προκύπτει ότι η κατανάλωση ενέργειας σε ΕΕΛ που χρησιμοποιείται συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος με πρωτοβάθμια επεξεργασία και αναερόβια χώνευση, η ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο κυμαίνεται μεταξύ 15-50kWh/PE, με μέση τιμή 32kWh/PE, με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται σε ΕΕΛ που χρησιμοποιείται σύστημα επιφανειακού αερισμού. Μεταξύ των ΕΕΛ όμως που χρησιμοποιείται σύστημα διαχυτήρων η μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο είναι 26,5 kWh/PE.Επίσης, η κατανάλωση ενέργειας κατά το στάδιο της βιολογικής επεξεργασίας, αποτελεί το 59% της συνολικής κατανάλωσης στην ΕΕΛ 100.000ι.κ. και το 60% στην ΕΕΛ των 500.000ι.κ..

Τα αποτελέσματα που δίνει το μοντέλο που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε κατά την παρούσα διπλωματική εργασία όσον αφορά την ενεργειακή κατανάλωση, δίνουν μια καλή εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης σε σχέση με το μέσο όρο της πραγματικής κατανάλωσης σε ΕΕΛ που χρησιμοποιείται πρωτοβάθμια επεξεργασία, διαχυτός αερισμός και αναερόβια χώνευση (διαφοροποίηση μικρότερη του 2%). Παράλληλα η εκτίμηση για τη συμβολή της βιολογικής βαθμίδας στη συνολική κατανάλωση είναι ορθή, αφού η κατανάλωση σε αυτό το στάδιο αφορά πάνω από το 55% της συνολικής κατανάλωσης σε όλες τις πραγματικές ΕΕΛ.

4.4 Αποτελέσματα μοντέλου εκτίμησης εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του θεωρητικού μοντέλου εκτίμησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3, για τα τρία εναλλακτικά συστήματα που συγκρίνονται και για πληθυσμούς 100.000 και 500.000 ισοδύναμων κατοίκων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ξεχωριστά για την περίοδο του χειμώνα και του καλοκαιριού.

Προκειμένου να καταφέρουμε χρήσιμα συμπεράσματα συγκρίνονται τόσο οι συνολικές εκπομπές όσο και οι εκπομπές ανά στάδιο επεξεργασίας καθώς και οι άμεσες και έμμεσες εκπομπές.

Στους παρακάτω πίνακες 4.13 και 4.14 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα του μοντέλου για την ΕΕΛ των 100.000 και των 500.000 ισοδύναμων κατοίκων αντίστοιχα.

Πίνακας 4.13 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για την ΕΕΛ 100.000ι.κ.

Χειμώνας				
Στάδιο επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Παραγωγή CO ₂ από την αποσύνθεση βιομάζας	kgCO ₂ /d	2964,46	884,84	2964,46
Παραγωγή CO ₂ από την παραγωγή βιομάζας	kgCO ₂ /d	2925,08	1832,45	2925,08
Κατανάλωση CO ₂ κατά τη νιτροποίηση	kgCO ₂ /d	-2460,38	-1798,16	-2460,38
Παραγωγή N ₂ O κατά την απονιτροποίηση και ισοδύναμο CO ₂	kgCO ₂ /d	1154,4	923,52	1154,4
Παραγωγή CO ₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου	kgCO ₂ /d	2784,05	3319,37	3265,83
Παραγωγή CO ₂ από διαφυγή βιοαερίου στην ατμόσφαιρα	kgCO ₂ /d	157,47	187,75	184,72
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ	kgCO ₂ /d	1656,91	662,08	1461,23
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ	kgCO ₂ /d	3158,75	5917,11	2676,22
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από την παραγωγή χημικών	kgCO ₂ /d	249,93	881,09	249,69
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO₂/d	12590,67	12810,06	12421,26
Καλοκαίρι				
Στάδιο επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Παραγωγή CO ₂ από την αποσύνθεση βιομάζας	kgCO ₂ /d	3116,52	879,92	3116,52
Παραγωγή CO ₂ από την παραγωγή βιομάζας	kgCO ₂ /d	5111,56	3175,94	5111,56
Κατανάλωση CO ₂ κατά τη νιτροποίηση	kgCO ₂ /d	-3950,68	-2959,81	-3950,68
Παραγωγή N ₂ O κατά την απονιτροποίηση και ισοδύναμο CO ₂	kgCO ₂ /d	1776	1420,8	1776
Παραγωγή CO ₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου	kgCO ₂ /d	4808,27	5431	5849,53

Παραγωγή CO ₂ από διαφυγή βιοαερίου στην ατμόσφαιρα	kgCO ₂ /d	271,97	307,19	330,86
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ	kgCO ₂ /d	1764,00	391,73	1439,68
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ	kgCO ₂ /d	5836,35	10104,09	4793,46
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από την παραγωγή χημικών	kgCO ₂ /d	386,19	1127,63	385,58
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO₂/d	19120,18	19878,49	18852,51

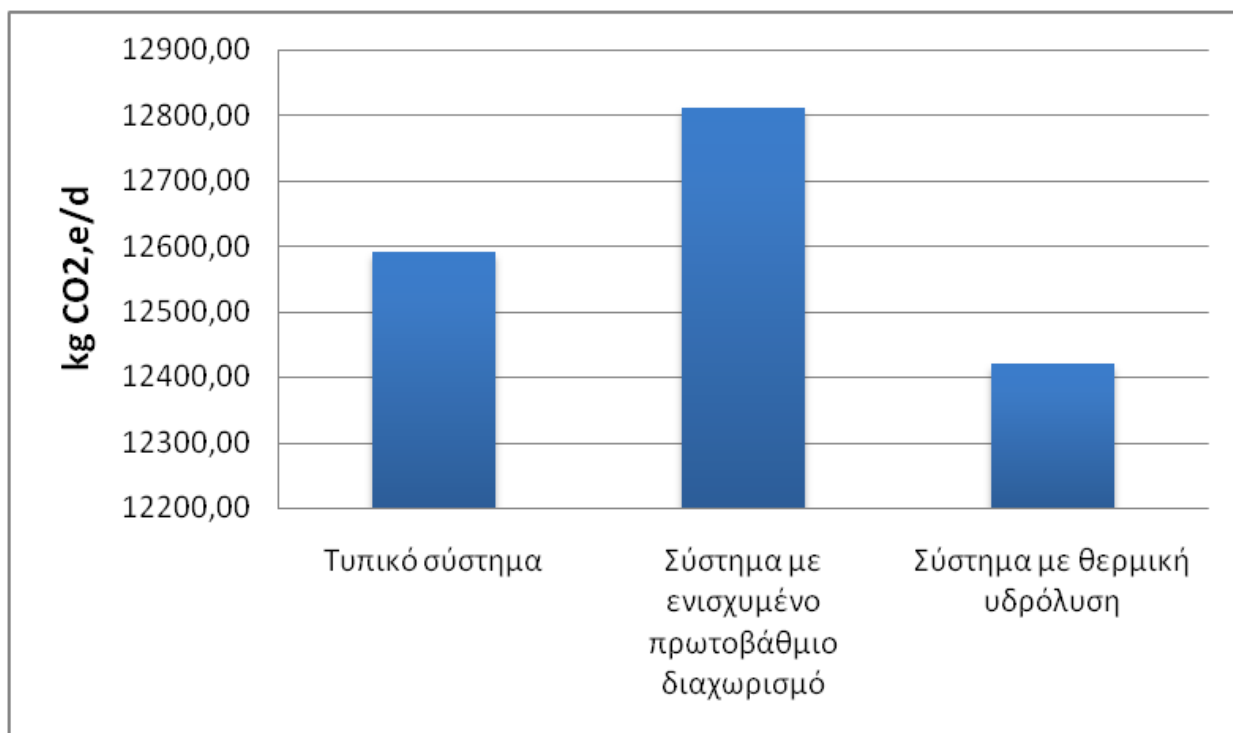
Πίνακας 4.14 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για την ΕΕΛ 500.000ι.κ

Χειμώνας				
Στάδιο επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Παραγωγή CO ₂ από την αποσύνθεση βιομάζας	kgCO ₂ /d	14822,3	4424,21	14822,3
Παραγωγή CO ₂ από την παραγωγή βιομάζας	kgCO ₂ /d	14625,39	9162,24	14625,39
Κατανάλωση CO ₂ κατά τη νιτροποίηση	kgCO ₂ /d	-12301,9	-8990,78	-12301,9
Παραγωγή N ₂ O κατά την απονιτροποίηση και ισοδύναμο CO ₂	kgCO ₂ /d	5772	4617,6	5772
Παραγωγή CO ₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου	kgCO ₂ /d	13920,27	16596,86	16320,26
Παραγωγή CO ₂ από διαφυγή βιοαερίου στην ατμόσφαιρα	kgCO ₂ /d	787,37	938,76	923,12
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ	kgCO ₂ /d	7867,53	1915,08	7240,66
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ	kgCO ₂ /d	15793,74	29585,54	13373,81
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από την παραγωγή χημικών	kgCO ₂ /d	1249,65	4405,43	1248,20
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO₂/d	62536,35	62654,94	62023,85
Καλοκαίρι				
Στάδιο επεξεργασίας	M.M.	Τυπική ΕΕΛ	ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό	ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση
Παραγωγή CO ₂ από την αποσύνθεση βιομάζας	kgCO ₂ /d	15582,59	4399,60	15582,59
Παραγωγή CO ₂ από την παραγωγή βιομάζας	kgCO ₂ /d	25557,81	15879,69	25557,81
Κατανάλωση CO ₂ κατά τη νιτροποίηση	kgCO ₂ /d	-19753,4	-14799	-19753,4

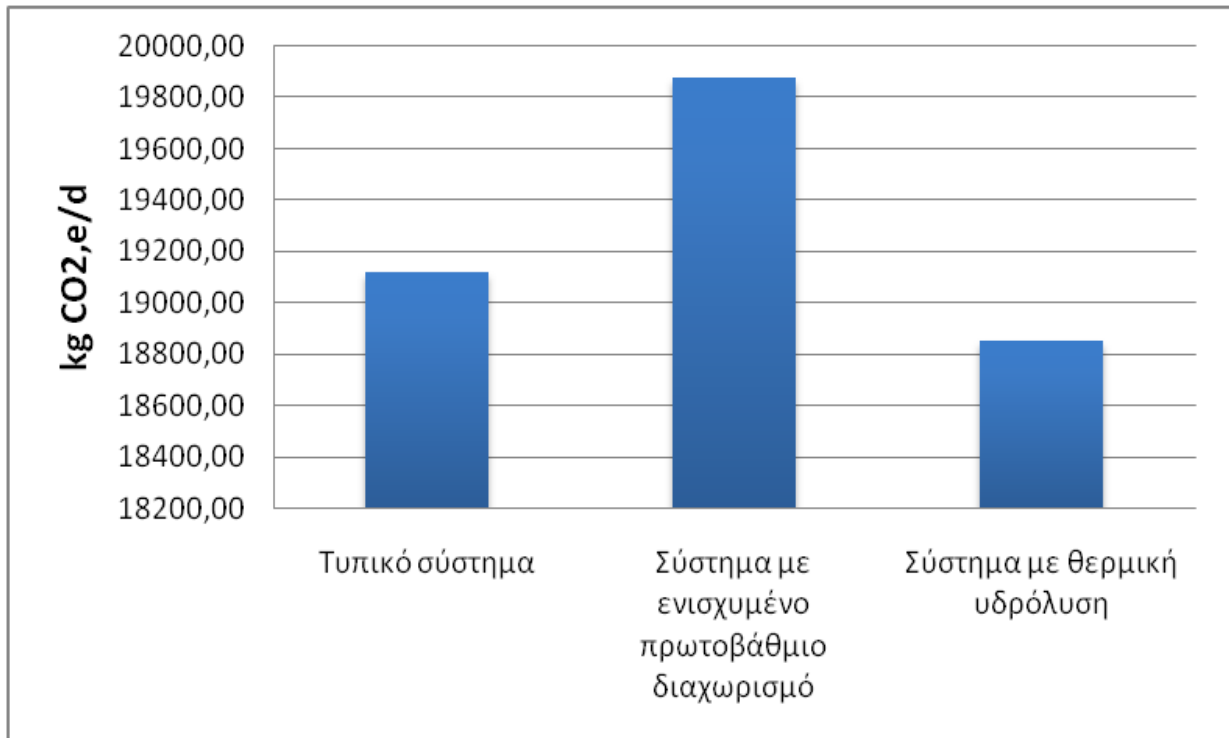
Παραγωγή N ₂ O κατά την απονιτροποίηση και ισοδύναμο CO ₂	kgCO ₂ /d	8880	7104	8880
Παραγωγή CO ₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου	kgCO ₂ /d	24041,36	27155	29247,66
Παραγωγή CO ₂ από διαφυγή βιοαερίου στην ατμόσφαιρα	kgCO ₂ /d	1359,84	1535,96	1654,32
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ	kgCO ₂ /d	8547,58	792,13	6798,65
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από διάθεση λύσος σε ΧΥΤΑ	kgCO ₂ /d	29181,73	50520,46	23967,29
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από την παραγωγή χημικών	kgCO ₂ /d	1930,95	5638,16	1928,39
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO₂/d	95328,48	98225,95	93863,33

4.4.1 Αποτελέσματα μοντέλου για ΕΕΛ 100.000 ισοδύναμων κατοίκων

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου τόσο για την περίοδο του χειμώνα όσο και για τη θερινή περίοδο. Στη θέση 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του συμβατικού συστήματος, στη θέση 2 του συστήματος με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό και στη θέση 3 της ΕΕΛ στην οποία χρησιμοποιείται μονάδα θερμικής υδρόλυσης.



Σχήμα 4.23 Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο



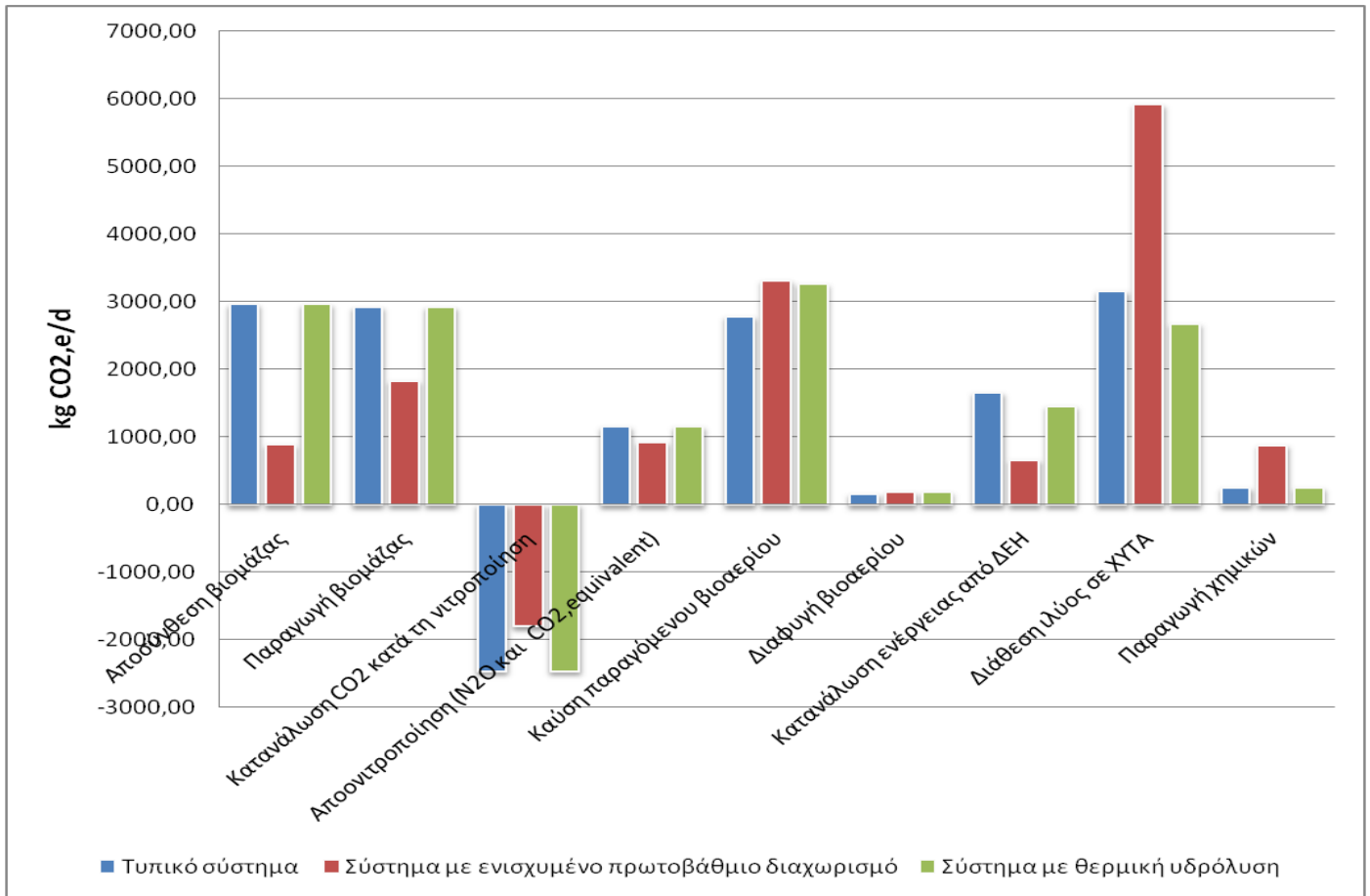
Σχήμα 4.24 Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο

Συνολικά οι εκπομπές και για τα τρία συστήματα κινούνται περίπου στα ίδια επίπεδα, με τις διαφοροποιήσεις να είναι πολύ μικρές. Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω διαγράμματα 4.21 και 4.22, οι ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό είναι αυξημένες κατά 1,75% το χειμώνα και 4% το καλοκαίρι σε σχέση με την τυπική.

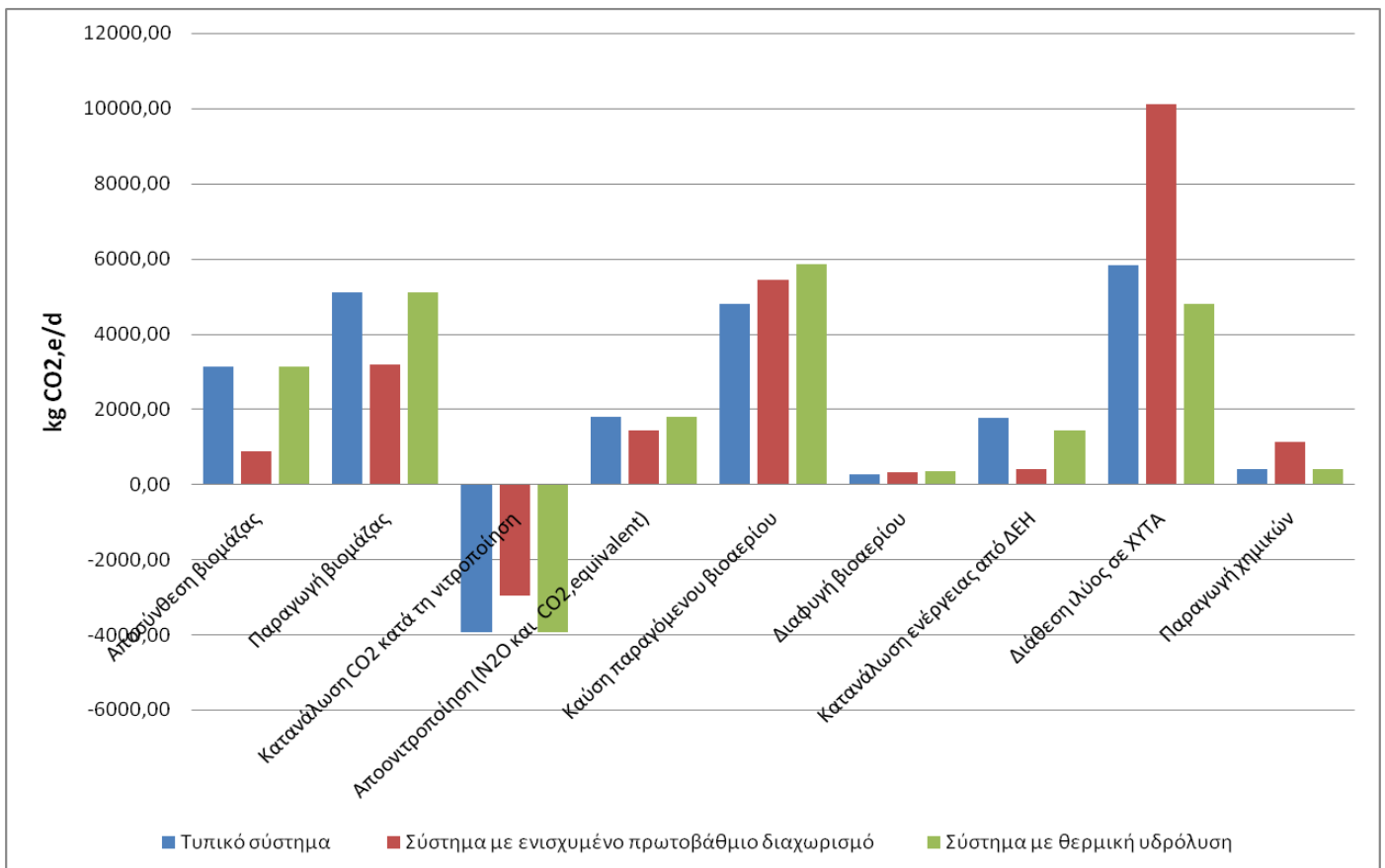
Η αύξηση αυτή όπως φαίνεται και από τα σχήματα 4.23 και 4.24 οφείλεται στη μεγάλη αύξηση των έμμεσων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, κυρίως εξαιτίας της μεγάλης αύξησης της ποσότητας ιλύος που διατίθεται προς υγειονομική ταφή (ΧΥΤΑ), αλλά και λόγω της αύξησης των κροκιδωτικών που χρησιμοποιούνται για την καλή απόδοση του συστήματος κροκίδωσης-μικροκόσκινου. Όσον αφορά τα υπόλοιπα στάδια οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου είναι λιγότερες: τόσο κατά τη βιολογική επεξεργασία, όσο και συνολικά για την εξασφάλιση της ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία της ΕΕΛ.

Αντίστοιχα στο σύστημα στο οποίο χρησιμοποιείται θερμική υδρόλυση για την επεξεργασία της ιλύος οι συνολικές εκπομπές είναι μειωμένες κατά 1,35% το χειμώνα και κατά 1,37% το καλοκαίρι.

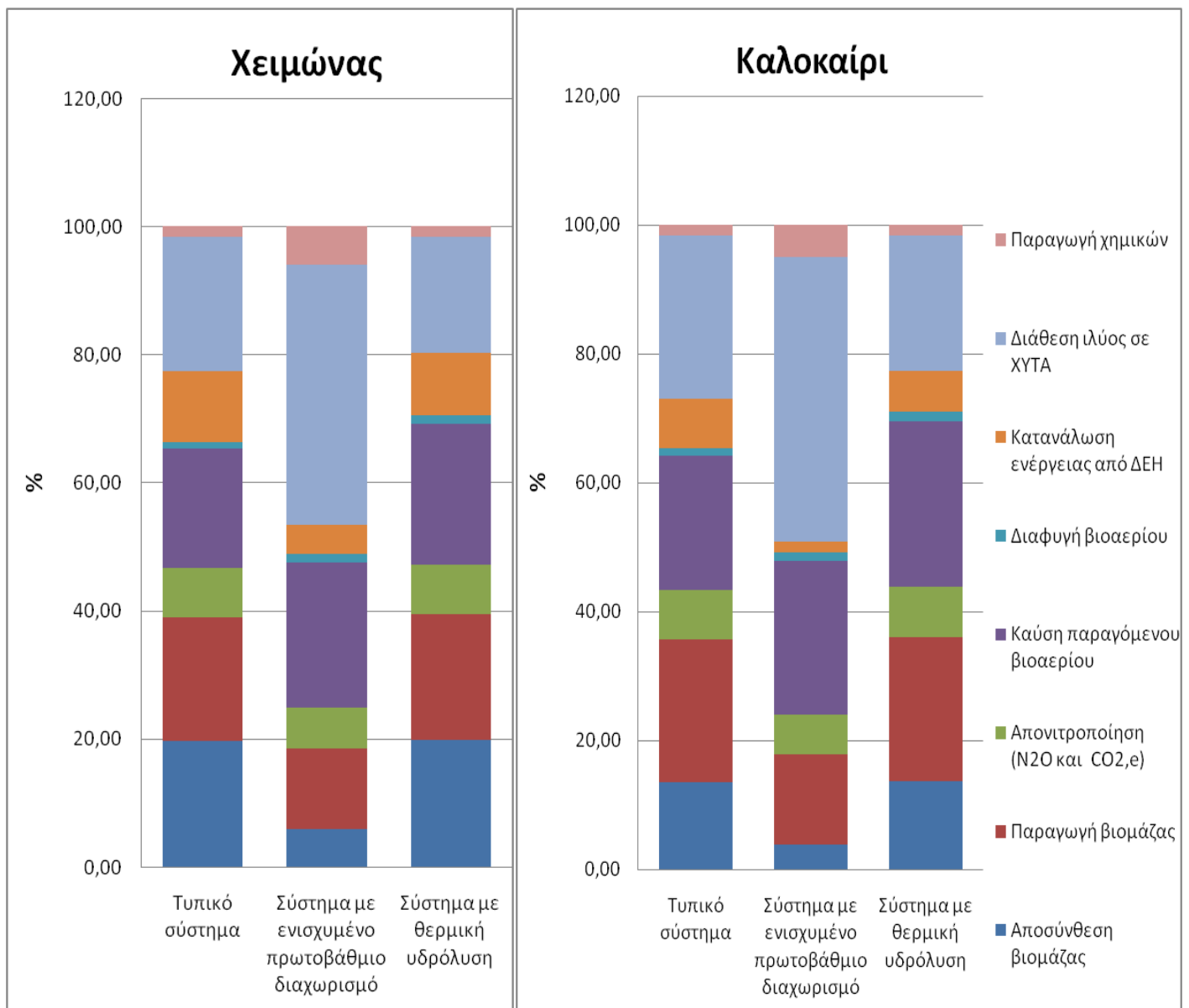
Η μείωση αυτή οφείλεται κατά βάση στη μεγάλη μείωση των οργανικών στερεών της βιολογικής ιλύος κατά τη χώνευση, όταν πραγματοποιείται θερμική υδρόλυση ως προεπεξεργασία. Διασπάται δηλαδή κατά τη χώνευση το 55% των στερεών της βιολογικής ιλύος (σε σχέση με το 35% στη συμβατικό σύστημα) και έτσι η ιλύς που συνεχίζει προς αφυδάτωση και ταφή έχει λιγότερα οργανικά στερεά και έτσι μειώνονται οι έμμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τη διάθεση σε ΧΥΤΑ κατά 15,3% το χειμώνα και κατά 18% το καλοκαίρι (Σχήμα 4.23 και 4.24).



Σχήμα 4.25 Εκπομπές ΑΘ σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. ανά στάδιο επεξεργασίας κατά τη χειμερινή περίοδο



Σχήμα 4.26 Εκπομπές ΑΘ σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. ανά στάδιο επεξεργασίας κατά τη χειμερινή περίοδο

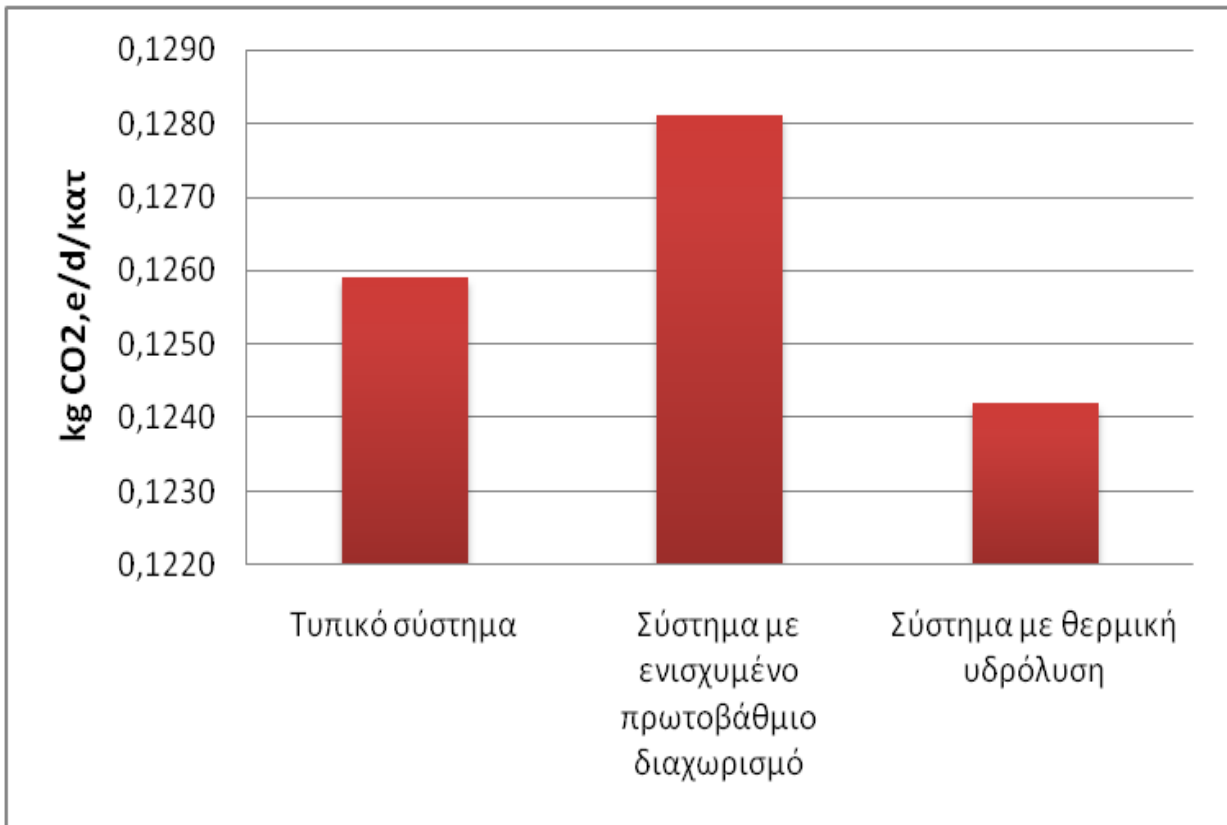


Σχήμα 4.27 Ποσοστό συμβολής κάθε σταδίου στις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

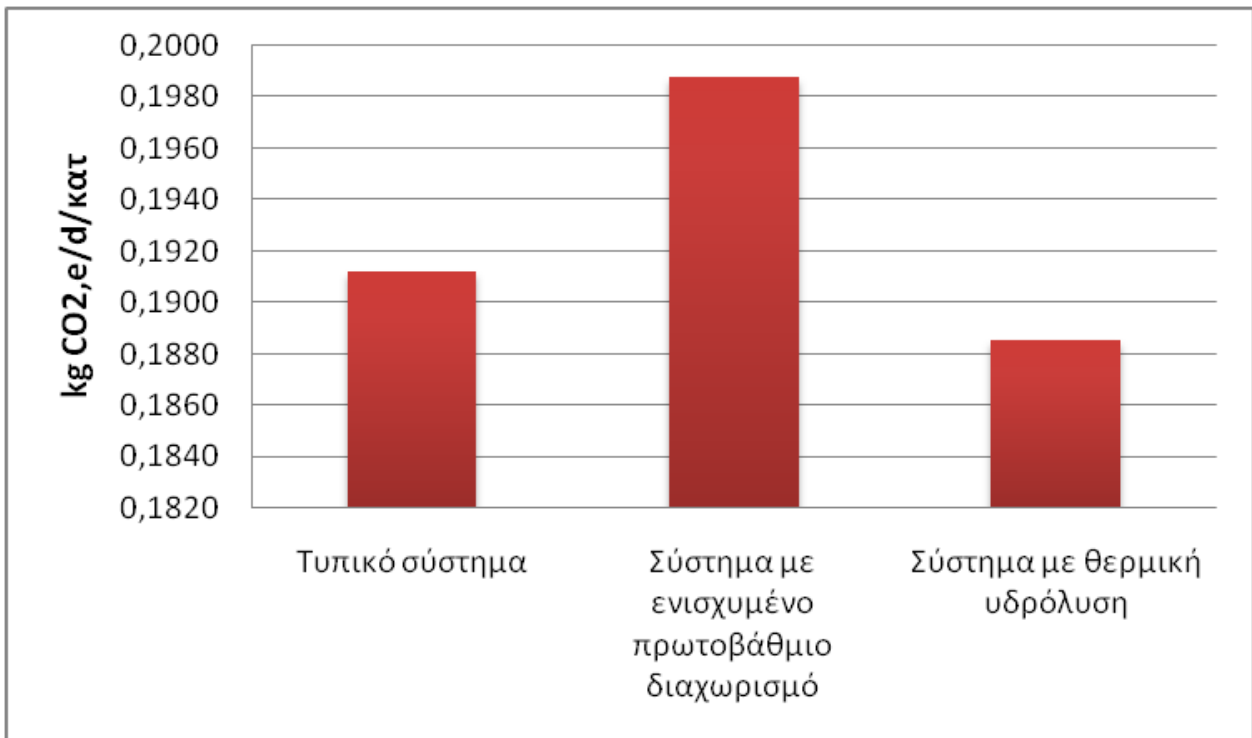
Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.24 για την τυπική ΕΕΛ καθώς και για την ΕΕΛ με θερμική υδρόλυση το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών αφορά τις βιολογικές διεργασίες (παραγωγή βιομάζας, αποσύνθεση βιομάζας και απονιτροποίηση) που αποτελούν πάνω από το 40% των συνολικών εκπομπών. Για την ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό η κύρια πηγή εκπομπών αφορά την καύση του βιοαερίου που παράγεται από τη διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ, που αποτελεί το 40-44% των συνολικών εκπομπών ανάλογα την περίοδο.

Σημαντικό ποσοστό εκπομπών προέρχεται επίσης από την καύση του παραγόμενου αερίου από την αναερόβια χώνευση που κινείται όμως περίπου στα ίδια επίπεδα και για τα τρία συστήματα: 18,5-21% για την τυπική ΕΕΛ, 23-24% για το σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό και 22-26% για το σύστημα με τη μονάδα θερμικής υδρόλυσης ανάλογα με την περίοδο.

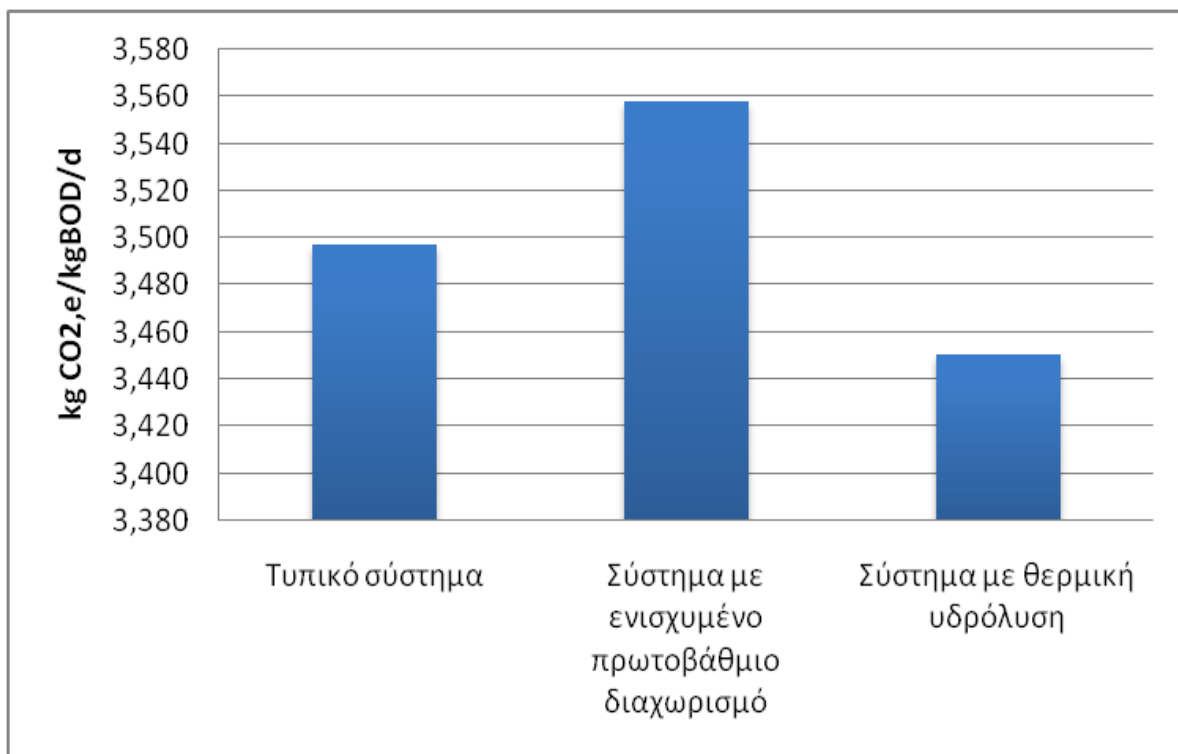
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ανά kg απομακρυνόμενου ΒΟD, κατά τη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο.



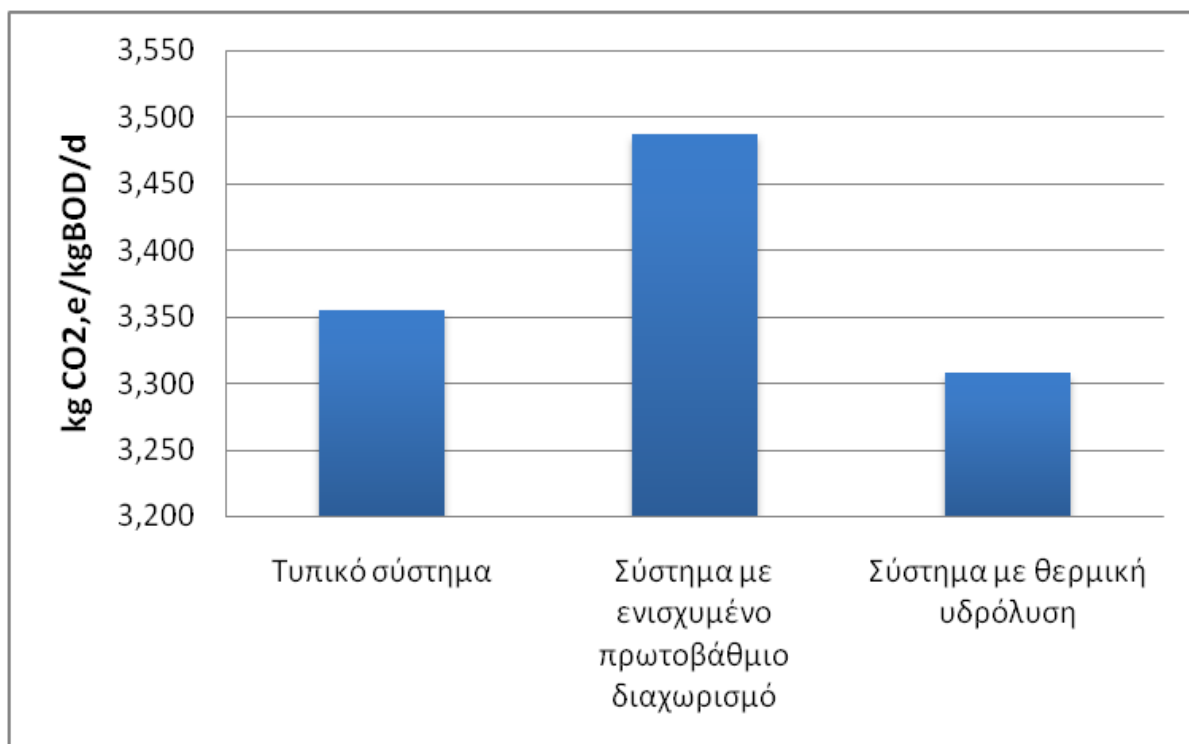
Σχήμα 4.28 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά ισοδύναμο κάτοικο σε ΕΕΛ 100.000 κατά τη χειμερινή περίοδο



Σχήμα 4.29 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά ισοδύναμο κάτοικο σε ΕΕΛ 100.000 κατά τη θερινή περίοδο



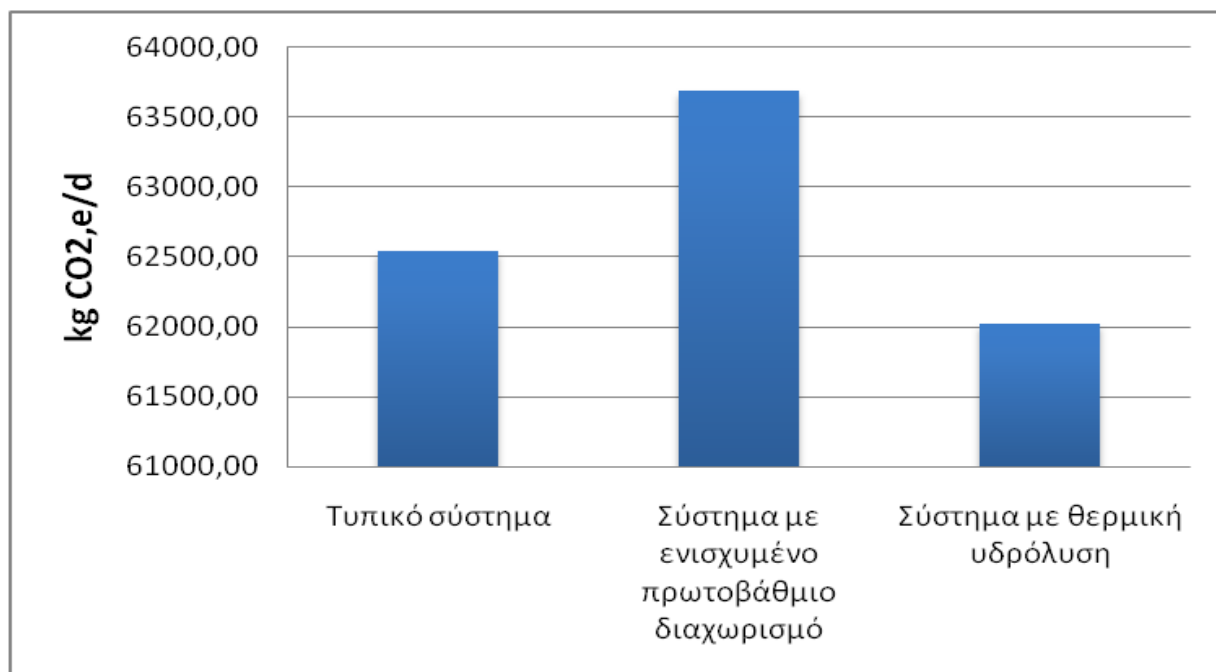
Σχήμα 4.30 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο



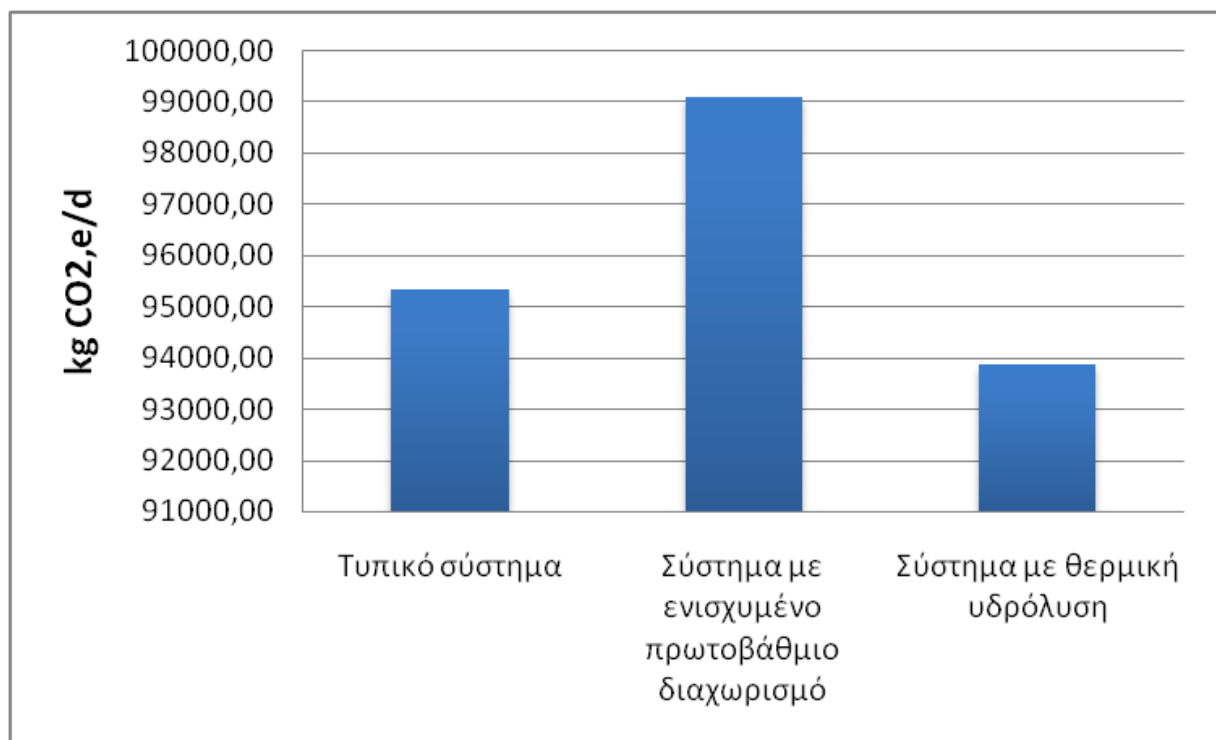
Σχήμα 4.31 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD σε ΕΕΛ 100.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο

4.4.2 Αποτελέσματα μοντέλου για ΕΕΛ 500.000 ισοδύναμων κατοίκων

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για όλα τα συστήματα σε ΕΕΛ δυναμικότητας 500.000 ισοδύναμων κατοίκων.



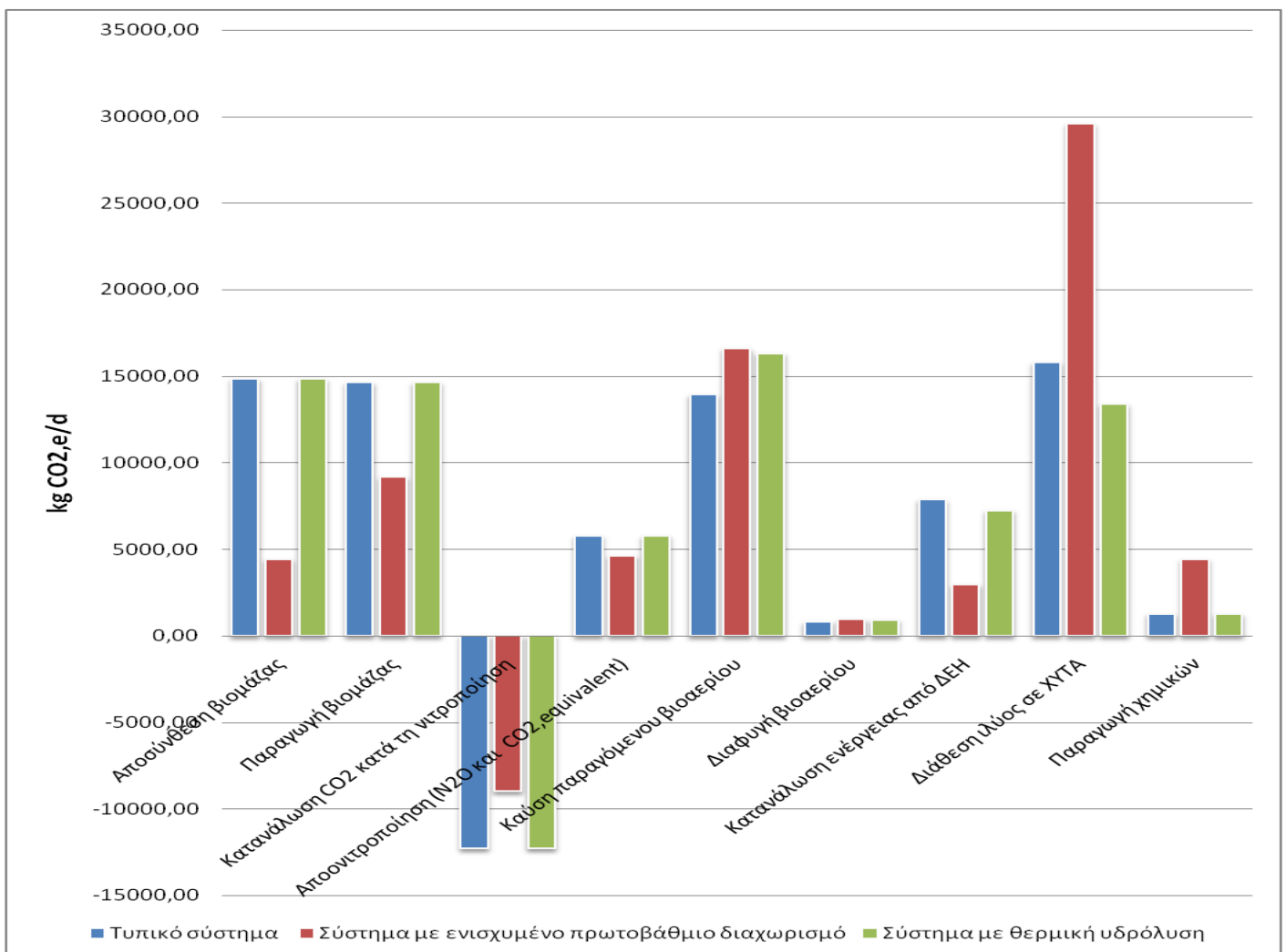
Σχήμα 4.32 Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο



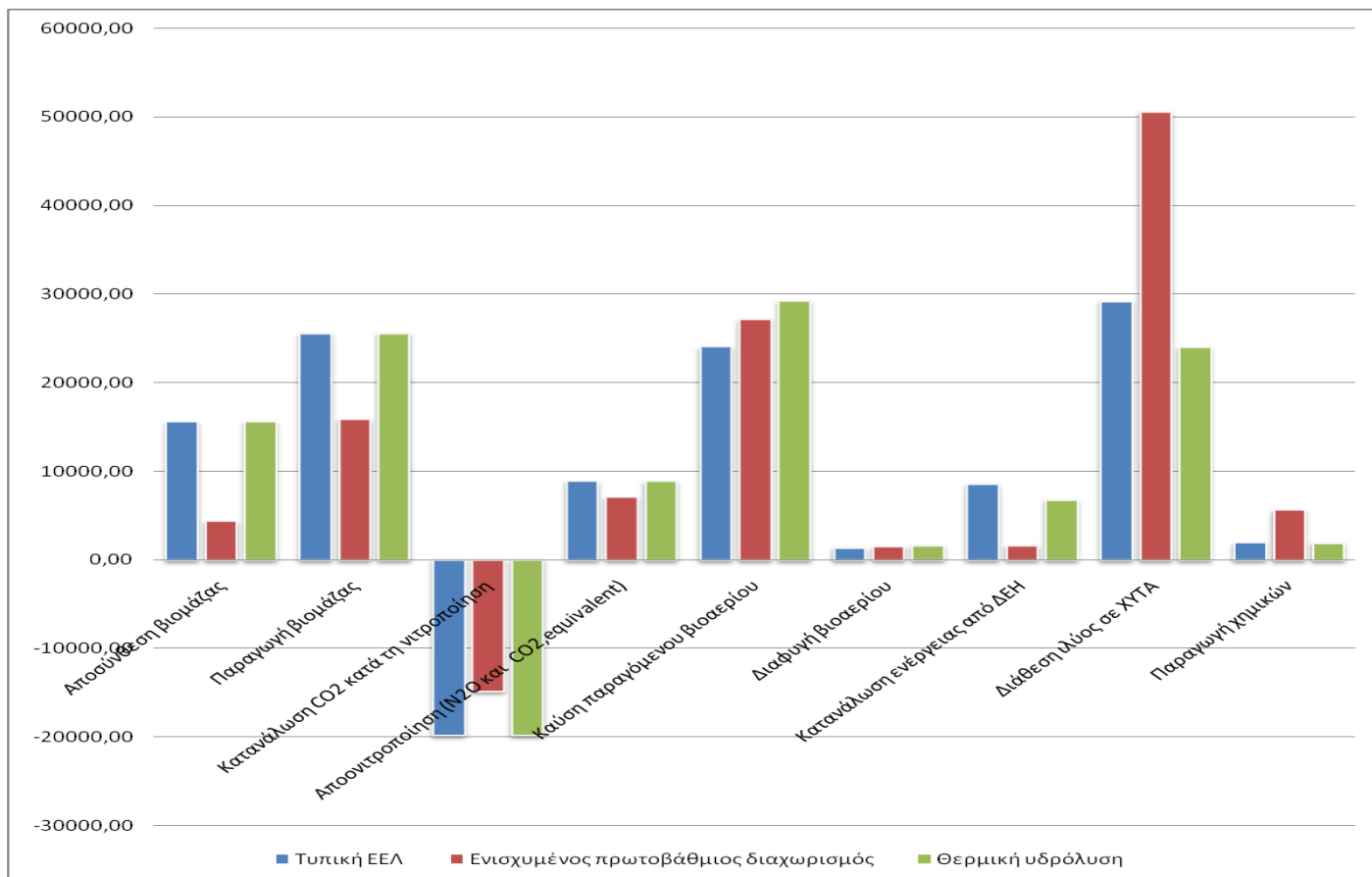
Σχήμα 4.33 Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο

Όπως φαίνεται και στα παραπάνω διαγράμματα οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου είναι αυξημένες κατά 1,8% το χειμώνα και κατά 3% το καλοκαίρι στην ΕΕΛ με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό σε σχέση με μια τυπική ΕΕΛ. Η αύξηση αυτή όπως και στην ΕΕΛ 100.000 ισοδύναμων κατοίκων οφείλεται στη μεγάλη αύξηση των έμμεσων εκπομπών από τη διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ, αύξηση της τάξης του 87,3% και 73% το καλοκαίρι σε σχέση με τις αντίστοιχες εκπομπές στην τυπική ΕΕΛ. Αντίστοιχα οι υπόλοιπες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που αφορούν τις βιολογικές διεργασίες είναι κατά πολύ μειωμένες (59% όσον αφορά τις βιολογικές διεργασίες και 10% από την κατανάλωση ενέργειας και την καύση του βιοαερίου που παράγεται), όπως φαίνεται και στα επόμενα διαγράμματα.

Αντίστοιχα στο σύστημα που χρησιμοποιείται μονάδα θερμικής υδρόλυσης οι συνολικές εκπομπές είναι μειωμένες κατά 0,85% το χειμώνα και κατά 1,85% το καλοκαίρι σε σχέση με το συμβατικό. Μείωση που οφείλεται στην καλύτερη διάσπαση των οργανικών στερεών της βιολογικής ιλύος κατά την αναερόβια χώνευση και άρα τη μείωση των εκπομπών κατά τη διάθεση της ιλύος προς ταφή. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στις υπόλοιπες βαθμίδες κινούνται σχεδόν στα ίδια επίπεδα, όπως φαίνεται και στα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 4.34 Εκπομπές ΑΘ σε ΕΕΛ 500.000 ι.κ. ανά στάδιο επεξεργασίας κατά τη χειμερινή περίοδο

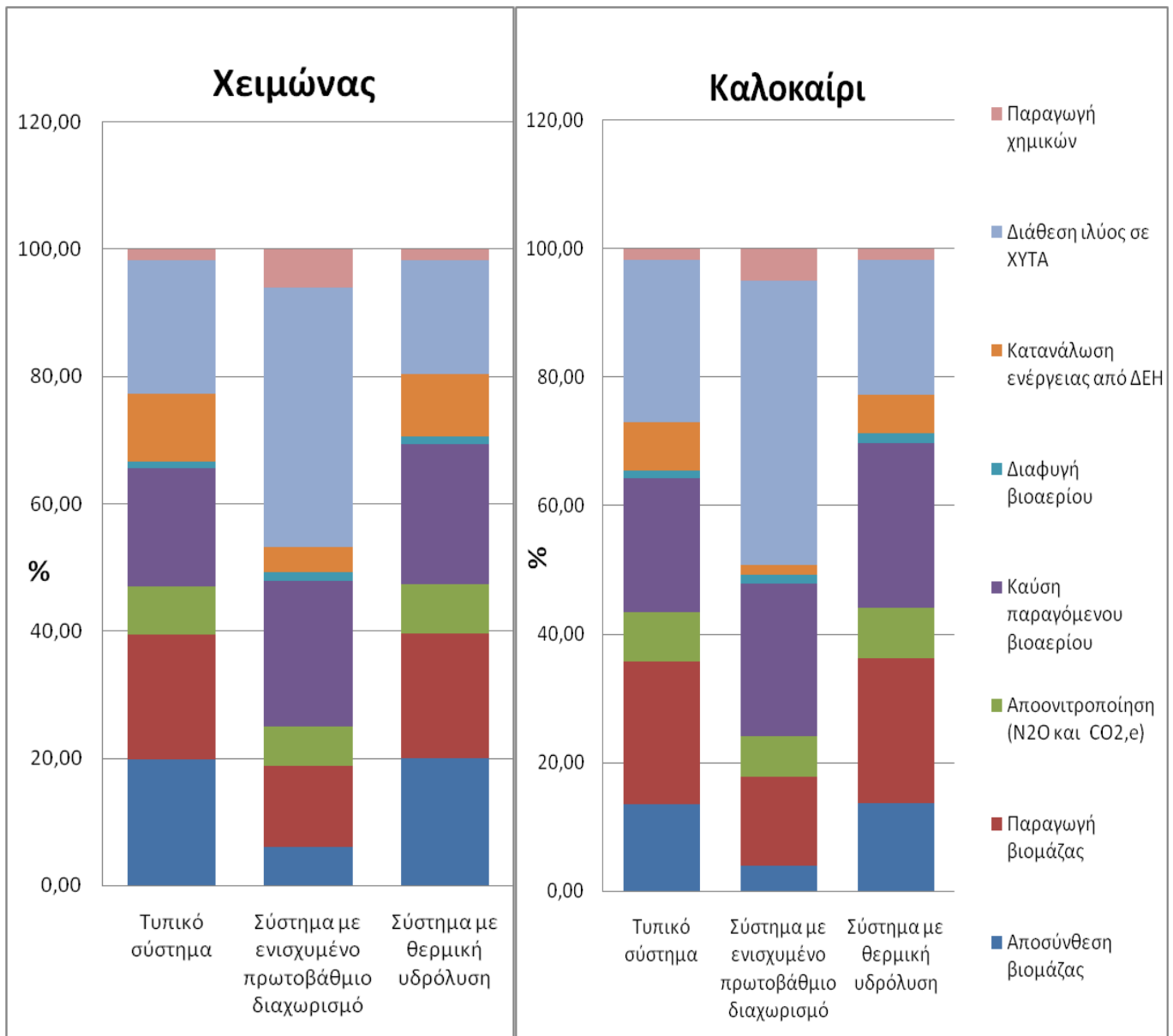


Σχήμα 4.35 Εκπομπές ΑΘ σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. ανά στάδιο επεξεργασίας κατά τη θερινή περίοδο

Στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό οι περισσότερες εκπομπές (41% το χειμώνα και 46% το καλοκαίρι) προέρχεται από τη διατιθέμενη προς υγειονομική ταφή λάσπη. Αντίστοιχα στα άλλα δύο συστήματα το αντίστοιχο ποσοστό είναι κατά πολύ μικρότερο: 21-25% στην τυπική και 18-21% στο σύστημα με θερμική υδρόλυση ανάλογα την περίοδο.

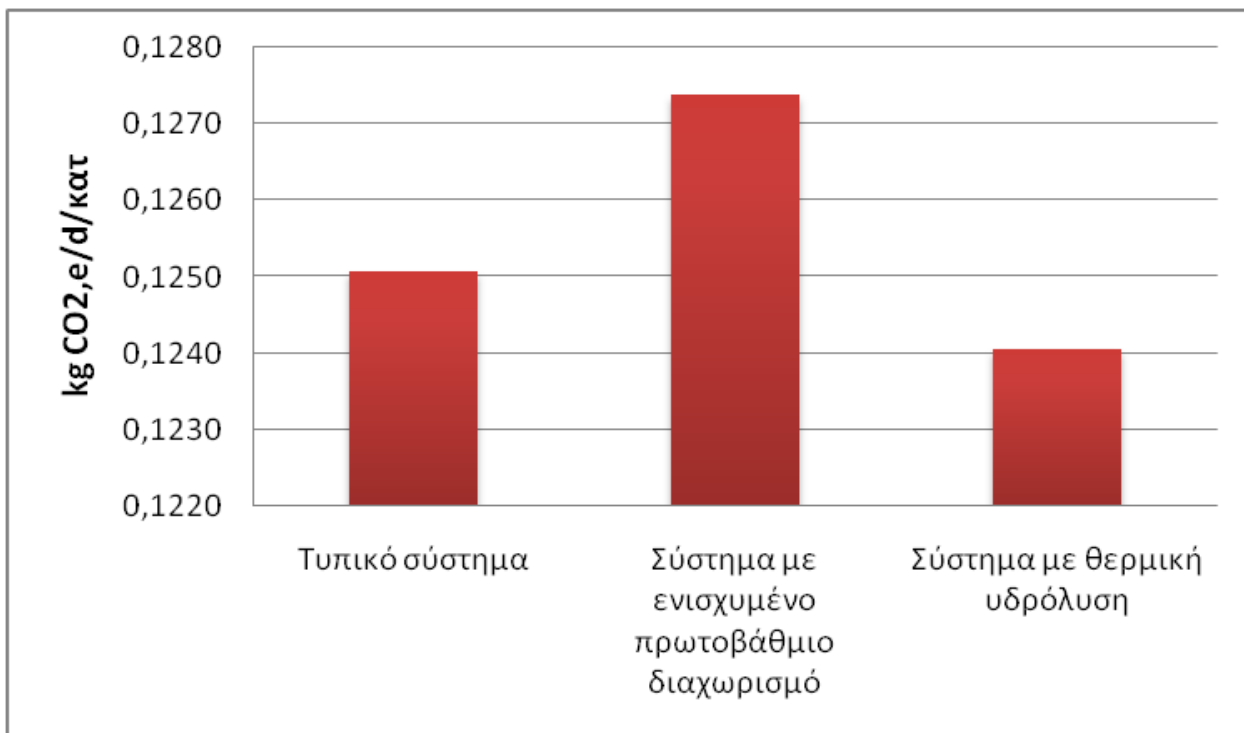
Αντίθετα στην τυπική ΕΕΛ και στο σύστημα με θερμική υδρόλυση, η κύρια πηγή εκπομπών αφορά τις βιολογικές διεργασίες, οι οποίες αποτελούν πάνω από το 45% των συνολικών εκπομπών τόσο για τη χειμερινή όσο και για τη θερινή περίοδο, όταν ταυτόχρονα στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό το ποσοστό αυτό είναι περίπου 25%.

Σημαντικό κομμάτι των συνολικών εκπομπών αποτελούν και εκείνες που προέρχονται από την καύση και διαφυγή του παραγόμενου βιοαερίου, που όμως δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από σύστημα σε σύστημα (20-22% στη τυπική, 24-25% στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό και 24-27% στο σύστημα με θερμική υδρόλυση, ανάλογα την εποχή). Τα ποσοστά συμβολής κάθε σταδίου και βαθμίδας στις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για τα τρία εξεταζόμενα συστήματα φαίνονται αναλυτικά στο παρακάτω σχήμα 4.33.

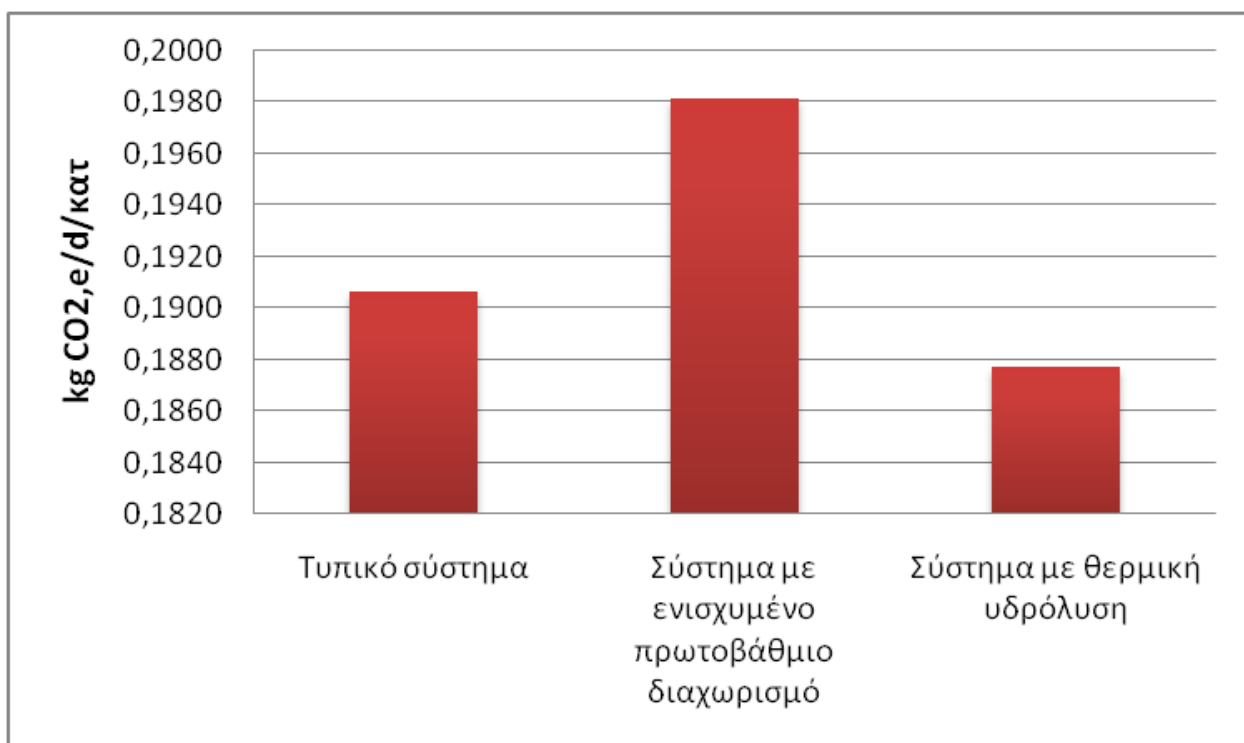


Σχήμα 4.36 Ποσοστό συμβολής κάθε σταδίου στις συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

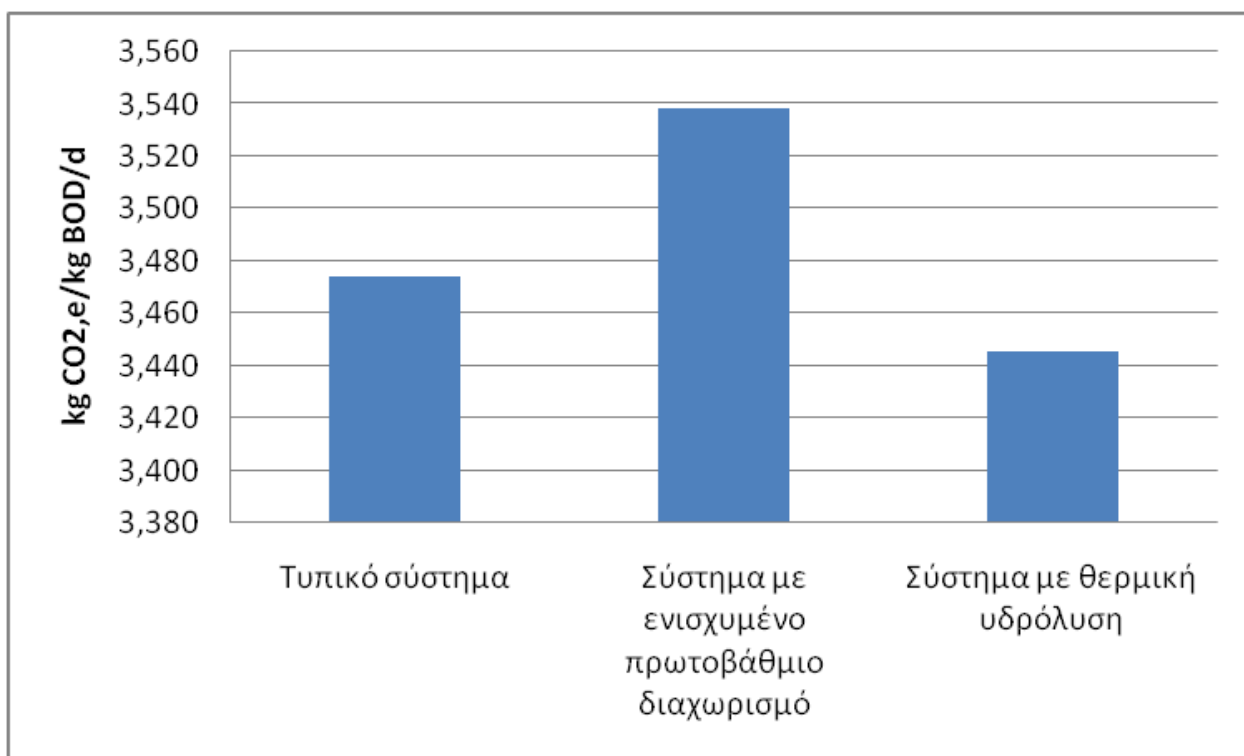
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά ισοδύναμο κάτοικο και ανά kg απομακρυνόμενου BOD. Το χειμώνα απομακρύνονται καθημερινά από τα λύματα 18000kgBOD, ενώ αντίστοιχα το καλοκαίρι 28500kg.



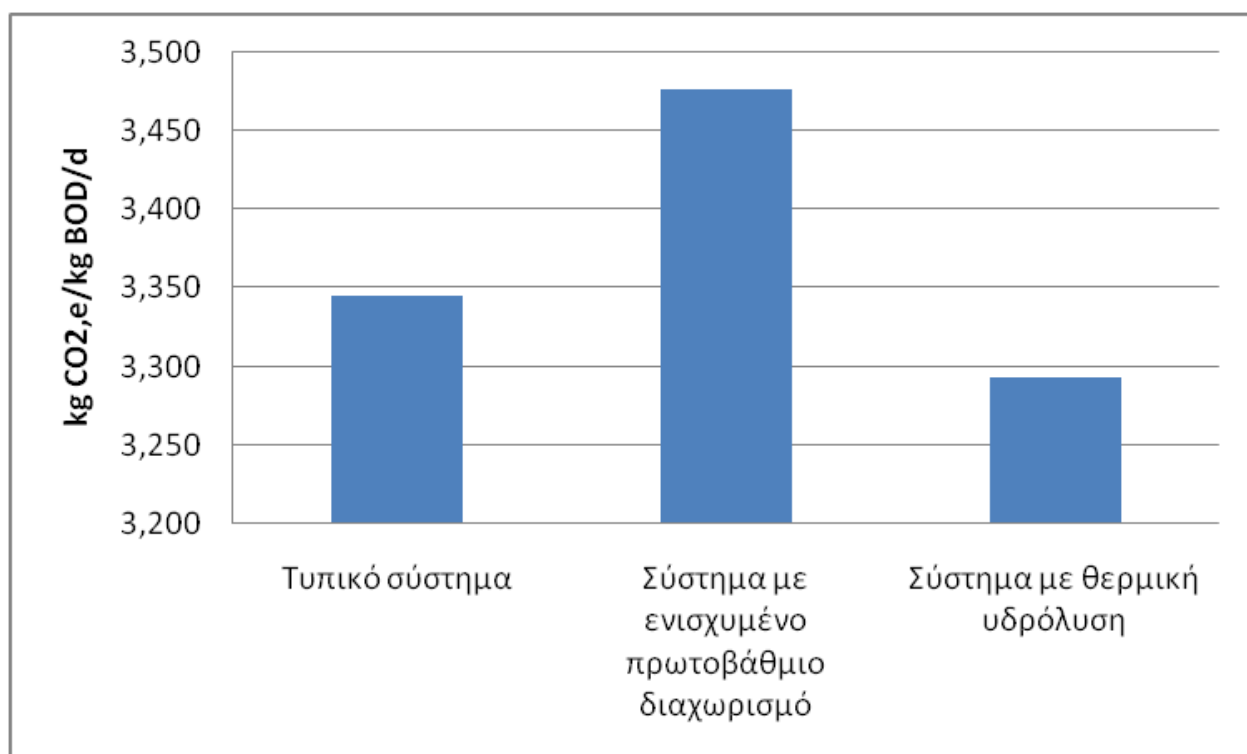
Σχήμα 4.37 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά ισοδύναμο κάτοικο σε ΕΕΛ 500.000 κατά τη χειμερινή περίοδο



Σχήμα 4.38 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά ισοδύναμο κάτοικο σε ΕΕΛ 500.000 κατά τη θερινή περίοδο



Σχήμα 4.39 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη χειμερινή περίοδο



Σχήμα 4.40 Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD σε ΕΕΛ 500.000ι.κ. κατά τη θερινή περίοδο

4.4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων μοντέλου εκτίμησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που εφαρμόστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οι ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για ΕΕΛ δυναμικότητας 100.000 ισοδύναμων κατοίκων στις οποίες χρησιμοποιείται συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος είναι για τη χειμερινή περίοδο 0,126kgCO_{2,e}/d/κατ και για τη θερινή 0,1941kgCO_{2,e}/d/κατ, ενώ για αντίστοιχη ΕΕΛ δυναμικότητας 500.000 ι.κ. είναι 0,1252kgCO_{2,e}/d/κατ το χειμώνα και 0,191kgCO_{2,e}/d/κατ το καλοκαίρι. Οι τιμές αυτές δίνουν μέση ετήσια εκπομπή αερίων θερμοκηπίου ανά κάτοικο 58,4kgCO_{2,e}/PEγια την ΕΕΛ 100.000 ι.κ. και 57,7kgCO_{2,e}/PEγια την ΕΕΛ 500.000 ι.κ..

Σύμφωνα με έρευνα που δημοσιεύτηκε (Mamaisetal. 2015) ο μέσος όρος εκτίμησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε 5 ελληνικές ΕΕΛ, συμβατικού συστήματος ενεργού ιλύος με πρωτοβάθμια επεξεργασία και αναερόβια χώνευση είναι 80kgCO_{2,e}/PE. Παρουσιάζουν δηλαδή μια σημαντική διαφοροποίηση, της τάξης του 37% σε σχέση με τα αποτελέσματα του μοντέλου που εφαρμόστηκε. Αυτό συμβαίνει κατά κύριο λόγο, επειδή στις 4 από τις 5 αυτές ΕΕΛ, δεν χρησιμοποιείται μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας και δεν παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο.

Συμπαραγωγή ενέργειας πραγματοποιείται μόνο στην ΕΕΛ της Ψυτάλλειας, όπου οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου εκτιμώνται περίπου 61kgCO_{2,e}/PE. Ως προς αυτό το αποτέλεσμα το μοντέλο που εφαρμόστηκε δίνει μια πολύ καλή εκτίμηση όσον αφορά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, τόσο για ΕΕΛ δυναμικότητας 100.000 ι.κ όσο και 500.000 ι.κ. (διαφοροποίηση 4,5% και 5,7% αντίστοιχα).

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιχειρήθηκε η σύγκριση δύο εναλλακτικών συστημάτων (ενισχυμένου πρωτοβάθμιου διαχωρισμού και θερμικής υδρόλυσης) σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων σε σχέση με ένα τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος, ως προς την ενεργειακή τους κατανάλωση και τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Για τη σύγκριση των εναλλακτικών συστημάτων αναπτύχθηκε ένα θεωρητικό μοντέλο για τη διαστασιολόγηση των επιμέρους μονάδων, τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης και την εκτίμηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στα τρία συστήματα επεξεργασίας που εξετάστηκαν.

Το τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος περιλαμβάνει τα εξής έργα: αντλιοστάσιο εισόδου, έργα προεπεξεργασίας (εξάμμωση, απολίπανση), δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, βιολογικούς αντιδραστήρες (αποτελούμενους από αναερόβια, ανοξικά και αερόβια διαμερίσματα), δεξαμενές τελικής καθίζησης, αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας ιλύος, παχυντές βαρύτητας της πρωτοβάθμιας ιλύος, τράπεζες πάχυνσης της βιολογικής ιλύος, αναερόβιους χωνευτές, μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας και μονάδα αφυδάτωσης της ιλύος με ταινιοφιλτρόπρεςσες.

Το σύστημα επεξεργασίας με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό παρουσιάζει δύο βασικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με το συμβατικό σύστημα: η πρωτοβάθμια επεξεργασία των εισερχόμενων λυμάτων γίνεται σε ένα σύστημα δεξαμενών κροκίδωσης και μικροκόσκινου (coagulation-flocculation-microsieve drum filter) αντί για δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης ενώ παράλληλα δεν απαιτείται αναερόβια δεξαμενή στη βιολογική βαθμίδα για την απομάκρυνση του φωσφόρου.

Το σύστημα επεξεργασίας με μονάδα θερμικής υδρόλυσης παρουσιάζει και αυτό δύο σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με το συμβατικό: η πάχυνση της βιολογικής ιλύος γίνεται σε φυγοκεντρικούς διαχωριστές αντί για τράπεζες πάχυνσης και περιλαμβάνει μια μονάδα θερμικής υδρόλυσης της βιολογικής ιλύος πριν την αναερόβια χώνευση.

Τα βασικότερα συμπεράσματα που μπορούμε να εξάγουμε από την παρούσα εργασία συνοψίζονται στα εξής:

- Για το τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος, υπολογίστηκε μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ΕΕΛ δυναμικότητας 100.000 ισοδύναμων κατοίκων 26kWh/PE και για ΕΕΛ δυναμικότητας 500.000 I.K. 25,4kWh/PE, τιμές που βρίσκονται σε πολύ καλή συμφωνία με τις αντίστοιχες της βιβλιογραφίας
- Αντίστοιχα οι μέσες ετήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά ισοδύναμο κάτοικο ισούνται με 58,4kgCO_{2,e}/PE και 57,7kgCO_{2,e}/PE στις ΕΕΛ δυναμικότητας 100.000 I.K. και 500.000 I.K. αντίστοιχα, τιμές που είναι σύμφωνες με τις αντίστοιχες που έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία
- Η κύρια πηγή ενεργειακής κατανάλωσης είναι η βιολογική βαθμίδα και ειδικότερα το σύστημα αερισμού, αφού αποτελεί κατά μέσο όρο το 62% των συνολικών ενεργειακών δαπανών της εγκατάστασης. Ταυτόχρονα, το 34% των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου προέρχονται από τις βιολογικές διεργασίες (παραγωγή και αποσύνθεση βιομάζας, νιτροποίηση και απονιτροποίηση).

- Η χρήση μονάδας συμπαραγωγής ενέργειας για την αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου που παράγεται στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης, ακόμα και σε ένα τυπικό σύστημα επεξεργασίας ιλύος, μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο ποσοστό των ενεργειακών απαιτήσεων της εγκατάστασης (περίπου 50% κατά μέσο όρο για το χειμώνα και το καλοκαίρι).
- Η χρήση συστήματος κροκίδωσης-μικροκόσκινου, στο σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό, οδηγεί σε μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης κατά 25%. Η μείωση αυτή οφείλεται κατά βάση στη μείωση των ενεργειακών δαπανών στη βιολογική βαθμίδα. Ταυτόχρονα αυξάνεται κατά 16% η παραγόμενη από το βιοαέριο ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της αύξησης της παραγόμενης πρωτοβάθμιας ιλύος.
- Στο σύστημα ενεργού ιλύος με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στην εγκατάσταση, μπορεί να καλύψει κατά μέσο όρο για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο, το 79% των ενεργειακών απαιτήσεων της εγκατάστασης.
- Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στο σύστημα επεξεργασίας με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό είναι αυξημένες κατά 3% σε σχέση με το τυπικό σύστημα επεξεργασίας. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην αύξηση της παραγόμενης (συνολικά) ιλύος που διατίθεται σε ΧΥΤΑ προς υγειονομική ταφή, αφού αυτή είναι η κυριότερη πηγή εκπομπών και αποτελεί περίπου το 50% των συνολικών εκπομπών. Οι εκπομπές που προέρχονται από τις βιολογικές διεργασίες (παραγωγή και αποσύνθεση βιομάζας, νιτροποίηση και απονιτροποίηση) είναι μειωμένες. Στο σύστημα αυτό δηλαδή, οι άμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (on-site emissions) μειώνονται και αυξάνονται οι έμμεσες (off-site emissions) λόγω διάθεσης της ιλύος σε ΧΥΤΑ.
- Σημαντικό πλεονέκτημα του συστήματος με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό, αποτελεί το γεγονός ότι για τη δευτεροβάθμια επεξεργασία των λυμάτων απαιτούνται βιολογικοί αντιδραστήρες μικρότερου όγκου κατά 55%, γεγονός που μειώνει σημαντικά το κόστος κεφαλαίου υλοποίησης μιας τέτοιας λύσης.
- Το σύστημα με ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό έχει όμως δύο σοβαρά μειονεκτήματα: απαιτεί μεγάλες ποσότητες χημικών (PACl και πολυηλεκτρολύτη για τη λειτουργία του συστήματος κροκίδωσης-μικροκόσκινου και μεθανόλης ως πηγή άνθρακα στη βιολογική βαθμίδα) που αυξάνουν το κόστος λειτουργίας και συμβάλει σε αυξημένες ποσότητες ιλύος γεγονός που αυξάνει το κόστος διάθεσης της.
- Το σύστημα ενεργού ιλύος με μονάδα θερμικής υδρόλυσης για την προεπεξεργασία της βιολογικής ιλύος, παρουσιάζει αυξημένες ενεργειακές δαπάνες κατά 4,5-5,5% σε σχέση με το τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος. Η αύξηση αυτή οφείλεται στη χρήση φυγόκεντρων πάχυνσης της βιολογικής ιλύος αντί για τράπεζες πάχυνσης.
- Η παραγωγή βιοαερίου και η παραγόμενη από αυτό ηλεκτρική ενέργεια εκτιμάται ότι μπορεί να αυξηθεί κατά 20%, λόγω της χρήσης τεχνολογίας θερμικής υδρόλυσης που οδηγεί σε καλύτερη διάσπαση των οργανικών στερεών της βιολογικής ιλύος κατά τη χώνευση.

- Στο σύστημα ενεργού ιλύος με θερμική υδρόλυση της βιολογικής ιλύος, η ενέργεια που παράγεται από το βιοαέριο καλύπτει (κατά μέσο όρο για χειμώνα και καλοκαίρι) περίπου το 60% των συνολικών απαιτήσεων ενέργειας της εγκατάστασης.
- Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στο σύστημα επεξεργασίας με μονάδα θερμικής υδρόλυσης είναι μειωμένες κατά μέσο όρο κατά 1-1,5% σε σχέση με το τυπικό. Η μείωση αυτή οφείλεται στη μείωση της ποσότητας ιλύος που διατίθεται σε ΧΥΤΑ προς υγειονομική ταφή.
- Η μείωση της ιλύος που διατίθεται σε ΧΥΤΑ, καθώς και η καλύτερη αφυδάτωση και σταθεροποίηση της αποτελούν σημαντικό πλεονέκτημα καθώς μειώνουν αφενός το κόστος μεταφοράς προς το ΧΥΤΑ, αλλά και τους κινδύνους υγειονομικών προβλημάτων.

Συμπερασματικά, διαπιστώνεται ότι η υιοθέτηση οποιασδήποτε εκ των ανωτέρω δύο εναλλακτικών, προς το συμβατικό σύστημα, λύσεων παρουσιάζει ενδιαφέρον δεδομένου ότι μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του ποσοστού ανάκτησης ενέργειας στην εγκατάσταση. Το σύστημα που ενσωματώνει την θερμική υδρόλυση εκτιμάται ότι εξασφαλίζει μία μικρή μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ενώ ταυτόχρονα απαιτεί την κατασκευή πρόσθετων προς το συμβατικό σύστημα μονάδων αυξάνοντας έτσι το κόστος κατασκευής. Από την άλλη το σύστημα που προβλέπει ενισχυμένο πρωτοβάθμιο διαχωρισμό προϋποθέτει σαφώς χαμηλότερο κόστος κατασκευής (κυρίως λόγω μικρότερων απαιτήσεων στην βιολογική βαθμίδα), εμφανίζει όμως υψηλότερο κόστος χημικών και οδηγεί σε μεγαλύτερες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ανδρεαδάκης Ανδρέας (1986), Εγκαταστάσεις επεξεργασίας και διάθεσης υγρών αστικών αποβλήτων, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
2. Ανδρεαδάκης Ανδρέας (2008), Σημειώσεις μαθήματος Υγειονομική Τεχνολογία, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα
3. Ανδραδάκης Α., Πανταζίδου Μ., Σταθόπουλος Α. (2008), Περιβαλλοντική Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
4. Δημοπούλου Αργυρή (2011), Συγκριτική αξιολόγηση ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (Ε.Ε.Λ.), ΕΜΠ, Αθήνα
5. Δόδουλα Ευγενία (2014), Αξιολόγηση έργων επεξεργασίας ιλύος με και χωρίς μονάδα Θερμικής Υδρόλυσης, ΕΜΠ, Αθήνα
6. Δόδουλα Ε. (2014), Αξιολόγηση έργων επεξεργασίας ιλύος με και χωρίς μονάδα θερμικής υδρόλυσης, ΕΜΠ, Αθήνα
7. Χατζιμπήρος Κίμων (2007), Οικοσυστήματα και προστασία του περιβάλλοντος, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
8. Ευρωπαϊκή Ένωση (1991), Οδηγία 91/271/ΕΟΚ, ...για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων
9. Ευρωπαϊκή Ένωση (2009), Οδηγία 2009/29/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου, ...με στόχο τη βελτίωση και την επέκταση του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου της Κοινότητας
10. Ευρωπαϊκή Ένωση (2009), Απόφαση αριθ. 406/2009/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου, περί προσπάθειας των κρατών μελών να μειώσουν τις οικίες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ώστε να τηρηθούν οι δεσμεύσεις της Κοινότητας για μείωση των εκπομπών αυτών μέχρι το 2009
11. Christian Remy, Morgane Boulestreau, Boris Lesjean (2014), Proof of concept for an innovative energy positive wastewater treatment scheme, Berlin
12. Langer M., Schermann A., Feasibility of the microsieve technology for advanced phosphorus removal Project acronym: OXERAM 2
13. Mamais D., Noutsopoulos C., Dimopoulou A., Stasinakis A., Lekkas T.D. (2015), Wastewater treatment process impact on energy savings and greenhouse gas emissions
14. Hofman J., Hofman-Caris R., Nederlof M., Frijns J., M. van Loosdreche (2010), Water and energy as inseparable twins for sustainable solutions
15. Krampe J. (2013), Energy benchmarking of South Australian WWTPs
16. Antakyali D., Rolle R. (2010), Energetic aspects regarding the sewage and sludge treatment process of WWTPs
17. Mizuta K., Shimada M. (2010), Benchmarking energy consumption in municipal wastewater treatment plants in Japan
18. Keller J., Hartley K. (2003), Greenhouse gas production in wastewater treatment: process selection is the main factor
19. Gupta D., Singh S.K. (2012), Greenhouse gas emissions from wastewater treatment: A case study of Noida
20. De Haas D.W., Pepperell C., Foley J. (2013), Perspectives on greenhouse gas emissions estimates based on Australian wastewater treatment plant operating data

21. Yerashalmi L., Ashrafi O., Haghghat F (2013), Reductions in greenhouse gas (GHG) generation and energy consumption in wastewater treatment plants
22. Snip L.S.P. (2010) Quantifying the greenhouse gas emissions of wastewater treatment plants
23. Janset T., Wiers P. (2007) The Climate Footprint: a practical tool to address climate change
24. Guo L., Porro J., Sharma K.R., Amerlink Y., Beneddeti L., Nopens I., Shaw A., van Hulle S.W.H., Yuan Z., Vanrollegem P.A. (2012) Towards a benchmarking tool for minimizing wastewater utility greenhouse gas footprints
25. Gustavsson D.J.I., Tumlin S (2013) Carbon footprints of Scandinavian wastewater treatment plants
26. Intergovernment Panel on Climate Change (IPCC) 2001, Climate Change 2001: The scientific basis, Chapter 4, Atmospheric chemistry and greenhouse gases, Cambridge University Press, Cambridge UK
27. UNFCCC (1998), Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change