



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ
ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ**



Γόγολος Δημήτριος

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

Αθήνα, Ιούλιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΤΟ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ
ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ**

Γόγολος Δημήτριος

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

Αθήνα, Ιούλιος 2015

Η εικόνα του εξωφύλλου απεικονίζει την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων, της Gabal el Asfar, στο Κάιρο της Αιγύπτου που εξυπηρετεί καθημερινά πάνω από 6 εκατομμύρια κατοίκους

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.

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.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την διερεύνηση της επίδρασης συγκεκριμένων παραμέτρων σχεδιασμού και λειτουργίας στο αποτύπωμα άνθρακα και ενέργειας σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ). Για τον σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένα πρότυπο μοντέλο σχεδιασμού και διαστασιολόγησης ΕΕΛ με παράλληλη εκτίμηση της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου εκφρασμένα σε ισοδύναμο CO₂. Ελέγχθησαν δύο διαφορετικοί τύποι ΕΕΛ που διακρίνονται σε εγκαταστάσεις με σύστημα παρατεταμένου αερισμού, δίχως την ύπαρξη πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, με εξυπηρετούμενο πληθυσμό από 20.000 ι.κ. έως 70.000, ι.κ. και σε εγκαταστάσεις με συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος με ταυτόχρονη ύπαρξη πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, συστήματος χωνευτών και μονάδας συμπαραγωγής ενέργειας, με εξυπηρετούμενο πληθυσμό από 100.000 ι.κ. έως 500.000 ι.κ.. Πάνω στις δύο προαναφερθείσες διατάξεις αναπτύχθηκαν διάφορα σενάρια υπολογισμού τα οποία αλλάζοντας μία παράμετρο λειτουργίας και κρατώντας τις υπόλοιπες αναλλοίωτες οδήγησαν στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων όσων αφορά την επίδραση των μεταβαλλόμενων παραμέτρων στο ολικό και επί μέρους ενεργειακό αποτύπωμα ενέργειας και άνθρακα μιας ΕΕΛ. Τα σενάρια αυτά διαφοροποιούνται σε σχέση με: α) τον χρόνο παραμονής των στερεών στο σύστημα εκφρασμένο είτε σαν ολικός χρόνος παραμονής στερεών στο σύστημα για τις ΕΕΛ με μικρό εξυπηρετούμενο πληθυσμό, είτε σαν αερόβιος χρόνος παραμονής για τις ΕΕΛ με μεγάλο εξυπηρετούμενο πληθυσμό, β) το επιλεγμένο σύστημα αερισμού εξετάζοντας το υποβρύχιο σύστημα διάχυσης αέρα και το επιφανειακό, ενώ επιπλέον για το υποβρύχιο σύστημα εξετάστηκε η μεταβολή της απόδοσης του συστήματος φυσητήρων-διαχυτήρων, γ) το ποσοστό μετατροπής του ολικού εισερχόμενου σε μονοξείδιο του αζώτου (N₂O) και σε ισοδύναμο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), δ) το ποσοστό απομάκρυνσης των ολικών εισερχομένων στερεών (TSS) κατά την πρωτοβάθμια επεξεργασία, που λαμβάνει χώρα στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ), και του αντίστοιχου οργανικού φορτίου (BOD₅) για τις εγκαταστάσεις των μεγάλων εξυπηρετούμενων πληθυσμών, ε) το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών (VSS) κατά της διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης για τις εγκαταστάσεις που αναφέρονται στους μεγάλους εξυπηρετούμενους πληθυσμούς και στ) την τελική διάθεση της σταθεροποιημένης ιλύος είτε σε ΧΥΤΑ είτε σε εγκαταστάσεις όπου γίνεται καύση αυτής. Τέλος γίνεται συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα διάφορα σενάρια και αναλυτικός σχολιασμός επί αυτών καθώς και σύγκριση με αποτελέσματα που εξήχθησαν από έρευνα πάνω σε πραγματικές ΕΕΛ.

Abstract

This thesis is intended to investigate the effect of specific design and operating parameters on the carbon footprint and energy in wastewater treatment plants (WWTP). For that purpose, a standard model for the dimensioning of each processing step of WWTPs and the consideration of the daily energy consumption and greenhouse gas emissions expressed in equivalent CO_2 was developed. Two different types of wastewater treatment were tested, which are distinguished in plants with extended aeration system, without the existence of primary treatment with population served by 20,000 P.E to 70,000, P.E such as in plants of conventional active sludge, with simultaneous existence of primary processing systems, digesters and co-production unit with population served from 100,000 to 500,000 P.E. Over the two abovementioned provisions, various calculation scenarios were developed, that by changing an operating parameter and keeping the rest intact, led to foolproof conclusions, as far as the impact of changing parameters in the total and partial energy and carbon footprint of a WWTP is concerned. These scenarios differ in relation to: a) the residence time of solids in the system expressed either as total residence time of solids in the system for the WWTP with a small population served, or as aerobic residence time for WWTP with a large population served, b) selected ventilation system, examining underwater air diffuser system and the surface, while additionally, as regards the submarine system, the change in performance of the bellows-diffusers system was tested, c) the rate of conversion of the total incoming nitrogen monoxide (N_2O) and equivalent dioxide carbon (CO_2), d) the removal rate of total incoming solids (TSS) in primary processing, which takes place in primary settling tanks (BOI), and the corresponding organic load (BOD5) for the plants of densely populated areas, e) the removal percentage of organic solids (VSS) during the process of anaerobic digestion plants, which refer to huge served populations and f) final disposal of stabilized sludge, either in landfills or in plants, where it is burned. Finally, a comparative presentation of the results, which came out from these different scenarios, such as a detailed commentary on these and comparison with the results obtained from research on real WWTP took place.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	ii
Abstract.....	iii
Περιεχόμενα.....	iv
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο και στόχοι της εργασίας.....	1
1.1 Διάρθρωση της εργασίας.....	2
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων	3
2.1 Λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας λυμάτων ενεργού ιλύος	3
2.1.1 Γενικά.....	3
2.1.2 Εισαγωγή στο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων ενεργού ιλύος	3
2.1.3 Απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου	5
2.1.4 Διαχωρισμός του συστήματος ενεργού ιλύος συναρτήσει της ηλικίας ιλύος θ_c και επίδραση της θ_c στο σύστημα.....	6
2.1.5 Συνοπτική παρουσίαση των βαθμίδων επεξεργασίας ιλύος	8
2.2 Αέρια θερμοκηπίου	9
2.2.1 Κατανοώντας τα αέρια θερμοκηπίου	9
2.2.2 Ανθρωπογενής επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου	10
2.2.3 Διεθνείς κανονισμοί, οδηγίες και νομικό πλαίσιο που αφορούν την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου.....	12
2.2.4 Εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.....	13
Κεφάλαιο 3: Μοντέλο σχεδιασμού εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, υπολογισμός ενεργειακού κόστους και εκτίμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου Error! Bookmark not defined.	
3.1 Γενικά.....	15
3.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού και τυπολογία υπολογισμού εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων	18
3.2.1 Παροχή σχεδιασμού και ρυπαντικά φορτία εισόδου	18
3.2.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής.....	19
3.2.3 Αντλιοστάσιο εισόδου	20
3.2.4 Έργα προεπεξεργασίας	21

3.2.5 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ)	21
3.2.6 Βιολογική βαθμίδα.....	22
3.2.7 Προσδιορισμός ολικού χρόνου παραμονής στο σύστημα $\Theta_{C,TOTAL}$	29
3.2.8 Χλωρίωση	29
3.2.9 Υπολογισμός ζήτησης οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού	30
3.2.10 Μονάδες επεξεργασίας ιλύος.....	31
3.3 Ανάπτυξη θεωρητικού μοντέλου ενεργειακής κατανάλωσης μιας ΕΕΛ.....	38
3.3.1 Γενικά.....	38
3.3.2 Αντλιοστάσιο εισόδου	39
3.3.3 Έργα προεπεξεργασίας	40
3.3.4 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ)	40
3.3.5 Βιολογική βαθμίδα.....	41
3.3.6 Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας	41
3.3.7 Πάχυνση ιλύος (πρωτοβάθμια και βιολογική)	43
3.3.8 Αναερόβια χώνευση ιλύος (πρωτοβάθμια και βιολογική).....	45
3.3.9 Αφυδάτωση ιλύος (με ταινιοφιλτρόπρεςσες).....	46
3.3.10 Αντλιοστάσιο στραγγιδίων	46
3.4 Ανάπτυξη θεωρητικού μοντέλου εκπομπής αερίων θερμοκηπίου από μία ΕΕΛ	47
3.4.1 Γενικά.....	47
3.4.2 Υπολογισμός αερίων θερμοκηπίου από τις βιολογικές διεργασίες.....	48
3.4.3 Υπολογισμός αερίων θερμοκηπίου από την αναερόβια χώνευση της ιλύος	51
3.4.4 Παραγωγή ισοδύναμου CO ₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου από τη διάθεση της περίσσεια ιλύος σε ΧΥΤΑ (έμμεσες εκπομπές).....	53
3.4.5 Παραγωγή ισοδύναμου CO ₂ από την αερόβια καύση της ιλύος μετά την αφυδάτωση (έμμεσες εκπομπές).....	53
3.4.6 Υπολογισμός εκπομπών CO ₂ από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (έμμεσες εκπομπές).....	54
3.4.7 Υπολογισμός εκπομπών CO ₂ από την παραγωγή των χημικών που χρησιμοποιούνται σε μία ΕΕΛ (έμμεσες εκπομπές).....	54
4.1 Σενάρια υπολογισμού	55
4.2 Διαστασιολόγηση των βαθμίδων επεξεργασίας λυμάτων και ιλύος για όλους τους ισοδύναμους πληθυσμούς και σενάρια	59
4.3 Αποτελέσματα πρότυπου μοντέλου για την ενεργειακή κατανάλωση για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια.....	62

4.3.1 Αντλιοστάσιο εισόδου	62
4.3.2 Έργα προεπεξεργασίας	62
4.3.3 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ)	63
4.3.4 Δεξαμενές αερόβιου, ανοξικού, αναερόβιου όγκου	63
4.3.5 Δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ)	63
4.3.6 Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας	64
4.3.7 Πάχυνση ιλύος (παχυντής βαρύτητας, δεξαμενές αποθήκευσης, τράπεζες πάχυνσης)....	64
4.3.8 Αναερόβια χώνευση ιλύος	64
4.3.9 Αφυδάτωση ιλύος (δεξαμενές αποθήκευσης, ταινιοφιλτρόπρεςσες).....	65
4.3.10 Αντλιοστάσιο στραγγιδίων	65
4.3.11 Αθροιστικά ενεργειακά κόστη για το σενάριο Α για τα δεδομένα του καλοκαιριού	65
4.3.12 Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων σεναρίου Α.....	68
4.3.13 παρουσίαση αποτελεσμάτων ενεργειακού κόστους για τα υπόλοιπα σενάρια.....	75
4.4 Αποτελέσματα εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	84
4.4.1 Παραγωγή CO ₂ από την αποσύνθεση βιομάζας	85
4.4.2 Παραγωγή CO ₂ από την παραγωγή βιομάζας.....	85
4.4.3 Κατανάλωση CO ₂ κατά τη νιτροποίηση	85
4.4.4 Παραγωγή N ₂ O κατά την απονιτροποίηση και ισοδύναμο CO ₂	86
4.4.5 Παραγωγή CO ₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου	86
4.4.6 Παραγωγή CO ₂ από διαφυγή βιοαερίου στην ατμόσφαιρα.....	87
4.4.7 Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ	87
4.4.8 Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ	87
4.4.9 Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από την παραγωγή χημικών.....	88
4.4.10 Αθροιστικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για το σενάριο Α	88
4.4.11 Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων εκπομπών CO ₂ σεναρίου Α.....	90
4.4.12 Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων ημερήσιων εκπομπών CO ₂ για τα υπόλοιπα σενάρια.....	98
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	110
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	113

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και στόχοι της εργασίας

Σε μία εποχή που οι ενεργειακοί και οι οικονομικοί πόροι είναι περιορισμένοι, ο μηχανικός οφείλει στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης να επιλέγει τεχνικές λύσεις που να ικανοποιούν τους περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς κανόνες σε συνδυασμό με τις μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις και το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Στα πλαίσια της προσπάθειας επίτευξης των κοινωνικών και περιβαλλοντικών επιδιώξεων ο μελετητής μηχανικός πρέπει, μέσα από ένα ευρύ φάσμα τεχνολογικών λύσεων, να βρει τον ιδανικό εκείνο συνδυασμό για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων και τη διαχείριση των υπολοίπων αυτών. Το τεχνολογικό αυτό φάσμα αν και ευρύ θεωρητικά παρουσιάζει σοβαρούς περιορισμούς εξαιτίας κάποιων περιοριστικών παραγόντων. Οι κυριότεροι απ' αυτούς, τεchnικοοικονομικοί και περιβαλλοντικοί κατά βάση, είναι το κόστος της ενεργειακής κατανάλωσης που απαιτείται για τη λειτουργία μίας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) και οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που παράγονται είτε άμεσα από τη λειτουργία της ΕΕΛ είτε έμμεσα από τον τρόπο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος (καύση λιγνίτη κτλ) και χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται σε μία ΕΕΛ. Οι δύο αυτές συνιστώσες (ενεργειακή κατανάλωση, αέρια θερμοκηπίου) που καθορίζουν τη λειτουργία μιας ΕΕΛ έχουν ως συνέπεια και κοινωνικές προεκτάσεις και είναι καθήκον του μηχανικού να βρει ένα κοινά αποδεκτό πλαίσιο που να καλύπτει όλους αυτούς τους περιορισμούς.

Ένας σημαντικότατος παράγοντας που ολοένα και περισσότερο λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό και λειτουργία των ΕΕΛ είναι οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Τα αέρια αυτά (το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ κυριότερα) εκπέμπονται τόσο άμεσα κατά τη λειτουργία μιας ΕΕΛ, όσο και έμμεσα από τον τρόπο παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος και κάποιων υλικών που χρησιμοποιούνται στις ΕΕΛ. Τα αέρια θερμοκηπίου επιβαρύνουν αρκετά την ατμόσφαιρα, εμποδίζοντας την ανακλώμενη από τη γη και τους ωκεανούς θερμότητα να διαφύγει στο διάστημα, αυξάνοντας έτσι την θερμοκρασία της γης. Οι ΕΕΛ παράγουν σημαντικές ποσότητες αερίων θερμοκηπίου και σκοπός των μελετητών-μηχανικών είναι να βρουν κατάλληλες και οικονομικά συμφέρουσες διατάξεις που να περιορίζουν τις εκπομπές τους, όσον αφορά τις ΕΕΛ.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείται μια συγκριτική αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (ΑΘ) εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Η σύγκριση αυτή πραγματοποιείται για δύο ξεχωριστές κατηγορίες ΕΕΛ και ειδικότερα: α) για σύστημα παρατεταμένου αερισμού με εξυπηρετούμενο πληθυσμό μεταξύ 20.000 και 70.000 ισοδύναμων κατοίκων, β) για συμβατικό σύστημα επεξεργασίας λυμάτων, με αναερόβια χώνευση ιλύος και μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας με εξυπηρετούμενο πληθυσμό μεταξύ 100.000 και 500.000 ισοδύναμων κατοίκων.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός των ενεργειακών καταναλώσεων και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε διαφορετικής δυναμικότητας και τύπο ΕΕΛ, καθώς και η διερεύνηση της επίδρασης διαφόρων παραμέτρων σχεδιασμού και λειτουργίας στο αποτύπωμα άνθρακα και ενέργειας των ΕΕΛ.

Στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας αναπτύχθηκε ένα πρότυπο μοντέλο λειτουργίας μίας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων σε συνδυασμό με την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας της εγκατάστασης αυτής αλλά και την ημερήσια παραγωγή αερίων θερμοκηπίου λόγω της λειτουργίας της ΕΕΛ. Για όλους τους εξυπηρετούμενους πληθυσμούς, που ελέχθησαν, έχει καταστρωθεί, διαστασιολογηθεί και επιλυθεί το πρότυπο αυτό μοντέλο χρησιμοποιώντας τη μέγιστη ημερήσια παροχή λυμάτων. Επίσης το μοντέλο έχει επιλυθεί, για κάθε πληθυσμό, με διαφορετικά ρυπαντικά φορτία καλοκαιριού και χειμώνα τα οποία παρουσιάζονται αντιπαροβολικά στα αποτελέσματα. Στη συνέχεια το μοντέλο αυτό επιλύθηκε, για όλους τους πληθυσμούς, με την μέση ημερήσια παροχή, η οποία αποτελεί το 80% της μέγιστης ημερήσιας παροχής και με βάση τα αποτελέσματα αυτών των επιλύσεων έγινε ο υπολογισμός του αποτυπώματος ενέργειας και άνθρακα.

Σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων διαχειρίζονται, κατά κύριο λόγο αστικά, λύματα που κατά τη διαδικασία καθαρισμού τους μπορούν να παράξουν μια αρκετά ικανοποιητική ποσότητα ενέργειας. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από την διαχείριση και αξιοποίηση της ιλύος (λάσπης) η οποία αποτελείται από μεγάλες ποσότητες οργανικών (πηκτικών) στερεών. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχουν επιλεγεί διαφορετικές διατάξεις και παραδοχές, όσον αφορά την διαχείριση της ιλύος και την παραγωγή από αυτήν ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψιν και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα (αέρια θερμοκηπίου) που θα έχουν αυτές οι διατάξεις. .

1.1 Διάρθρωση της εργασίας

Η εργασία περιλαμβάνει εκτός του κεφαλαίου της εισαγωγής (κεφάλαιο 1) τέσσερα (4) ακόμη κεφάλαια. Αυτά είναι:

Κεφάλαιο 2: Γίνεται μία βιβλιογραφική παρουσίαση της λειτουργίας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ). Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται οι επιμέρους βαθμίδες μιας ΕΕΛ και ο τρόπος λειτουργίας τους, συνεπικουρούμενες με την κατανάλωση ενέργειας τους. Ακόμα παρουσιάζονται τα αέρια θερμοκηπίου και η επίδρασή τους στο περιβάλλον. Τέλος παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα σενάρια υπολογισμού, και οι διαφοροποιήσεις μεταξύ αυτών, που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 3: Παρουσιάζεται το θεωρητικό μοντέλο λειτουργίας μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, το μοντέλο κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μία ΕΕΛ, και τέλος το μοντέλο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που οφείλονται στην λειτουργία της ΕΕΛ. Συγκεκριμένα αναλύονται οι παραδοχές υπολογισμού και οι μαθηματικές και στοιχειομετρικές σχέσεις για όλα τα σενάρια υπολογισμού.

Κεφάλαιο 4: Παρουσιάζονται τα σενάρια υπολογισμού που αναπτύχθηκαν καθώς και οι παραδοχές που έγιναν και αφορούν κάποιες τιμές συγκεκριμένων παραμέτρων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε μορφή πινάκων αναλυτικά τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης των ΕΕΛ που ελέχθησαν καθώς και τα αποτελέσματα ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για όλους τους εξυπηρετούμενους πληθυσμούς για το σενάριο Α. Τέλος γίνεται αναλυτική συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το μοντέλο που αναπτύχθηκε για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια, σχολιασμός επί αυτών καθώς και σύγκριση με πραγματικά δεδομένα.

Κεφάλαιο 5: Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την έρευνα που έγινε.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση ενεργειακής κατανάλωσης και εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων

2.1 Λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας λυμάτων ενεργού ιλύος

2.1.1 Γενικά

Ως αποτέλεσμα της χρήσης του νερού για οικιακούς και άλλους σκοπούς (εμπορικές, βιομηχανικές και γενικότερα αστικές δραστηριότητες) αλλοιώνονται τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά και αυξάνονται οι συγκεντρώσεις ρυπαντικών ουσιών (οργανικό φορτίο, άζωτο, φώσφορος, παθογόνα κτλ). Η απόρριψη του χρησιμοποιημένου αυτού νερού στο περιβάλλον οδηγεί συχνά στην περιβαλλοντική του επιβάρυνση με δυσμενείς γι' αυτό συνέπειες. Για την αποφυγή των επιπτώσεων αυτών τα λύματα υφίστανται κατάλληλη επεξεργασία, στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ), με στόχο την ελαχιστοποίηση των ενδεχόμενων επιπτώσεων στον αποδέκτη.

Ο καθαρισμός των λυμάτων στις ΕΕΛ βασίζεται στη συνδυασμένη εφαρμογή φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο ολοκληρωμένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων που προκύπτουν από κατάλληλους συνδυασμούς επί μέρους μονάδων διεργασιών. Οι επιμέρους μονάδες επεξεργασίας που συνθέτουν τις ΕΕΛ απομακρύνουν από την υγρή φάση (λύμα) τις ανεπιθύμητες ουσίες (ρυπαντές) μέσω φυσικοχημικών ή βιοχημικών διεργασιών. Μεγάλο μέρος των ουσιών αυτών μετατρέπεται σε ένα παχύρευστο υγρό μικρής παροχής και σχετικά μεγάλης συγκέντρωσης στερεών, την ιλύς.

Ο σχεδιασμός των ΕΕΛ πρέπει να γίνεται με κριτήριο τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας έτσι ώστε να αποτρέπεται η ρύπανση των τελικών αποδεκτών. Το πιο διαδεδομένο και χρησιμοποιούμενο σύστημα για επεξεργασία λυμάτων είναι το σύστημα ενεργού ιλύος το οποίο και θα χρησιμοποιηθεί και στην παρούσα διπλωματική εργασία.

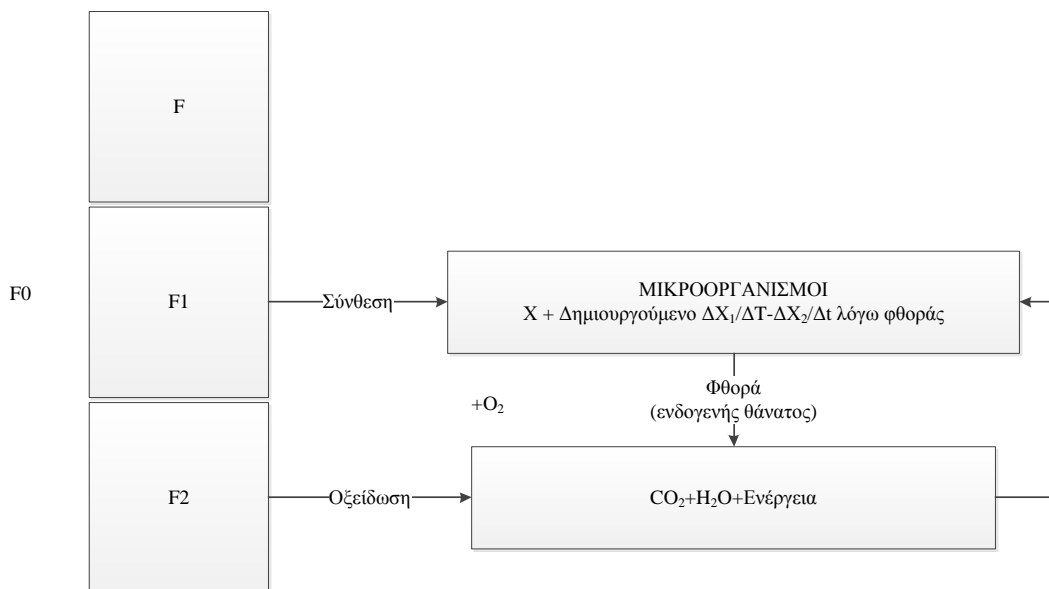
2.1.2 Εισαγωγή στο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων ενεργού ιλύος

Το σύστημα της ενεργού ιλύος είναι το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων. Αναπτύχθηκε αρχικά από τους Arden και Lockett στο Μάντσεστερ της Αγγλίας στις αρχές του αιώνα, 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.

Ο πρωταρχικός στόχος ενός συστήματος βιολογικής επεξεργασίας είναι η απομάκρυνση από τα λύματα των οργανικών ουσιών. Τα οργανικά συστατικά των λυμάτων που απομακρύνονται ανέρχονται συνήθως σε ένα ποσοστό 80-90%. Στα ίδια περίπου επίπεδα κυμαίνονται και τα ποσοστά απομάκρυνσης των αιρούμενων συστατικών και των μικροοργανισμών των λυμάτων. Ο ρυθμός απομάκρυνσης αζώτου και φωσφόρου είναι αρκετά μικρότερος και είναι της τάξης 15-20%. Σε ένα σύστημα ενεργού ιλύος η προαναφερθείσα απομάκρυνση επιτυγχάνεται με τον ακόλουθο τρόπο: Τα λύματα έρχονται σε 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 βιοδιασπώμενα 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. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να παραστεί σχηματικά ως εξής:



Σχήμα 2.1: Σχηματική παράσταση αερόβιου μεταβολισμού (Ανδρεαδάκης 1986)

Ο βαθμός οξείδωσης ή σταθεροποίησης των οργανικών ουσιών των λυμάτων προσεγγίζεται από το $F2/F0$ (στην πραγματικότητα ο βαθμός είναι μεγαλύτερος, γιατί θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η επίδραση της «έμμεσης» σταθεροποίησης τμήματος της τροφής $F1$ λόγω της ενδογενούς αναπνοής). Ο βαθμός οξείδωσης ή σταθεροποίησης είναι διαφορετικός από τον βαθμό καθαρισμού των λυμάτων, που συνήθως ορίζεται σαν το ποσοστό των οργανικών που απομακρύνονται από την υγρή φάση. Για διαλυμένη τροφή ο βαθμός καθαρισμού δίνεται από το λόγο $(F1+F2)/F0$ και είναι πάντα σημαντικά μεγαλύτερος από τον βαθμό οξείδωσης.

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, που αποτελεί τη δεύτερη βασική μονάδα του συστήματος ενεργού ιλύος. Στη δεξαμενή αυτή γίνεται ο με βαρύτητα διαχωρισμός των μικροοργανισμών και των προσροφημένων στερεών (βιοκροκίδων), από τη μη χρησιμοποιηθείσα διαλυμένη τροφή. Η τελευταία, με υπερχειλίση των επεξεργασμένων λυμάτων, οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία ή διάθεση στον

επιλεγμένο αποδέκτη. Μέρος των στερεών από τον πυθμένα της δεξαμενής τελικής καθίζησης επανακυκλοφορούν στη δεξαμενή αερισμού με άντληση, έτσι ώστε να έρθουν σε επαφή με καινούργια λύματα. Η υπόλοιπη περίσσεια ιλύος απομακρύνεται από το σύστημα προς τα έργα επεξεργασίας 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 μικροβιακής μάζας. Η απομακρυσμένη ιλύς αποτελεί την περίσσεια ιλύος του συστήματος, η οποία πριν την τελική διάθεση της υφίσταται κατάλληλη επεξεργασία (πάχυνση, χώνευση, αφυδάτωση).

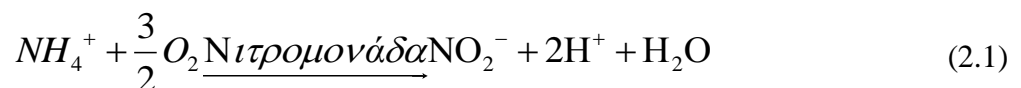
Βασικό κριτήριο για το σχεδιασμό ενός συστήματος ενεργού ιλύος είναι η οργανική φόρτιση σε όρους KgBOD_5/Kg στερεών ανάμικτου υγρού και ημέρα ή εναλλακτικά ο χρόνος παραμονής στερεών θ_c . Οι δύο αυτές παράμετροι συνδέονται μεταξύ τους (μικρή φόρτιση αντιστοιχεί σε μεγάλο θ_c) και ανάλογα για με τις τιμές που λαμβάνουν καθορίζουν τον τύπο του συστήματος (π. χ. σύστημα υψηλής φόρτισης, τυπικό σύστημα, σύστημα παρατεταμένου αερισμού) και την απόδοσή του.

2.1.3 Απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου

Τα αστικά λύματα περιλαμβάνουν σημαντικές συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα ρύπανσης στους υδάτινους αποδέκτες, όπως ευτροφισμού, αποξυγόνωση των αποδεκτών λόγω αμμωνίας, κινδύνους για την υγεία λόγω νιτρικών, τοξικότητα για τα ψάρια κ.α. Επομένως είναι αναγκαία η απομάκρυνση τους, μέχρι να φτάσουν σε αποδεκτά επίπεδα συγκέντρωσης για τον αποδέκτη, μέσα από μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων. Κατά την επεξεργασία αυτή τόσο το άζωτο όσο και ο φώσφορος χρησιμοποιούνται από τους μικροοργανισμούς για τη σύνθεση νέου πρωτοπλάσματος.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος απομάκρυνσης αζώτου είναι αυτή της νιτροποίησης-απονιτροποίησης. Το άζωτο στα λύματα βρίσκεται με τη μορφή ιόντων αμμωνίου και αμμωνίας. Η βιολογική διαδικασία απομάκρυνσης του N από τα λύματα συνίσταται στη βιολογική οξείδωση τους σε NO_2 και NO_3 (νιτροποίηση), ακολουθούμενη από μια άλλη βιολογική διαδικασία την απονιτροποίηση, κατά την οποία οι οξειδωμένες μορφές του αζώτου ανάγονται σε ελεύθερο άζωτο που διαχέεται στον αέρα.

Νιτροποίηση: Γίνεται με τη βοήθεια δύο κατηγοριών χημικοσυνθετικών αυτοτροφικών βακτηριδίων, την νιτρομονάδα και το νιτροβακτήριο και επιτελείται σε δύο στάδια. Κατά το πρώτο από αυτά το αμμωνιακό άζωτο οξειδώνεται με την βοήθεια της νιτρομονάδας σε νιτρώδες άζωτο:



Κατά το δεύτερο στάδιο το νιτρώδες άζωτο οξειδώνεται σε νιτρικό άζωτο με τη βοήθεια του νιτροβακτηρίου:

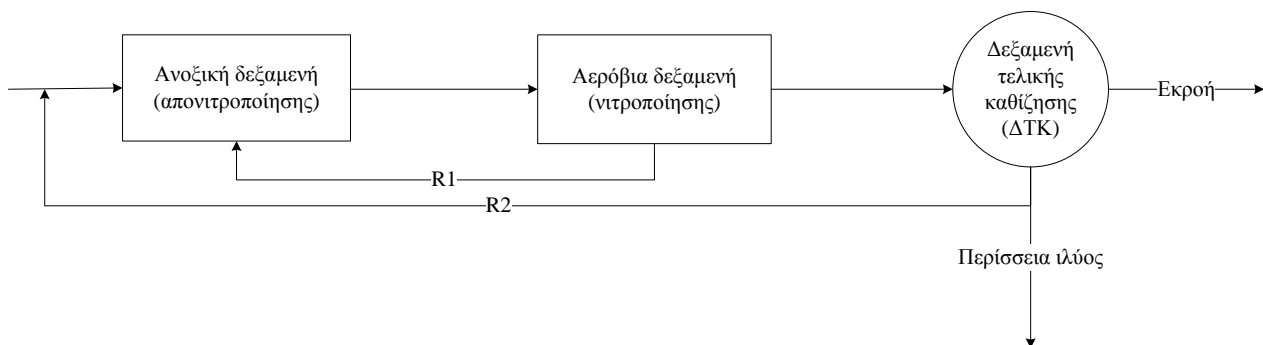


Σαν αυτοτροφικοί οργανισμοί, η νιτρομονάδα και το νιτροβακτήριο έχουν ανάγκη ανόργανου άνθρακα, τον οποίο λαμβάνουν με τη μορφή CO_2 από τα λύματα, ενώ την απαραίτητη ενέργεια την προσλαμβάνουν από την οξείδωση της αμμωνίας. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των αντιδράσεων

νιτροποίησης είναι η μεγάλη ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για κάθε kg αμμωνιακού αζώτου, για τον λόγο αυτό η νιτροποίηση πραγματοποιείται σε μία δεξαμενή όπου παρέχεται αέρας στα εισερχόμενα λύματα (δεξαμενή αερισμού)

Απονιτροποίηση: Είναι η διαδικασία με την οποία τα νιτρώδη και τα νιτρικά ανάγονται σε αέριο άζωτο με την βοήθεια κατάλληλων αναερόβιων ετεροτροφικών χημικοσυνθετικών βακτηριδίων. Σαν ετεροτροφικά τα απονιτροποιητικά βακτηρίδια χρειάζονται οργανικό άνθρακα. Η αντίδραση επηρεάζεται από την στάθμη του διαλυμένου οξυγόνου, την θερμοκρασία και το pH. Η στάθμη του διαλυμένου οξυγόνου πρέπει να είναι μικρότερη από 0,5 mg/l έτσι ώστε να δημιουργούνται οι αναερόβιες συνθήκες στις κροκίδες της βιομάζας και να μπορούν να αναπτύσσονται τα απονιτροποιητικά βακτηρίδια. Οι βέλτιστες τιμές του pH είναι από έως 8,2 (αν και η διαδικασία πραγματοποιείται και για τιμές από 4 έως 9,5). Οι θερμοκρασίες που πραγματοποιείται η απονιτροποίηση είναι από 0°C έως 50°C, με βέλτιστη τιμή γύρω στους 40°C.

Οι διαδικασίες νιτροποίησης-απονιτροποίησης μπορούν να παρασταθούν γραφικά από το σχήμα 2.2



Σχήμα 2.2: Σχηματική παράσταση διαδικασίας νιτροποίησης-απονιτροποίησης (Ανδρεαδάκης 1986)

2.1.4 Διαχωρισμός του συστήματος ενεργού ιλύος συναρτήσει της ηλικίας ιλύος θ_c και επίδραση της θ_c στο σύστημα

Η πλέον προφανής επίδραση αφορά την ποσότητα βιομάζας και το βαθμό απόδοσης του συστήματος. Ο χρόνος παραμονής στερεών είναι και ο χρόνος παραμονής βιομάζας και κατά συνέπεια αύξηση του χρόνου παραμονής στερεών συνεπάγεται αύξηση της διαθέσιμης στο σύστημα βιομάζας και επομένως μείωση του οργανικού φορτίου. Το αντίθετο συμβαίνει με τη μείωση του χρόνου παραμονής της ιλύος. Καθώς μια δεδομένη ποσότητα λυμάτων υφίσταται επεξεργασία από μεγαλύτερη ή μικρότερη ποσότητα βιομάζας είναι εύκολα κατανοητή η αντίστοιχη αύξηση ή μείωση του βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης. Πέραν όμως της προφανούς αυτής επίδρασης η μεταβολή του χρόνου παραμονής των στερεών (ή της βιομάζας) επιφέρει και άλλες πολύ σημαντικές αλλαγές στη λειτουργία ενός συστήματος ενεργού ιλύος.

Ο χρόνος παραμονής στερεών είναι αντιστρόφως ανάλογος προς την καθαρή ή φαινομενική ταχύτητα ανάπτυξης των μικροοργανισμών, η οποία ορίζεται ως ταχύτητα ανάπτυξης που παρατηρείται αφού ληφθεί υπόψη η μείωση της βιομάζας λόγω φθοράς της (θάνατος, ενδογενής αναπνοή, κατανάλωση από ανώτερους οργανισμούς). Έτσι, ο χρόνος παραμονής στερεών

καθορίζει τη φάση ανάπτυξης των μικροοργανισμών, δηλαδή τη φυσιολογία τους, γεγονός που έχει σημαντική επίδραση στον τρόπο που τα βακτηρίδια συσσωματώνονται σε βιοκροκίδες. Για παράδειγμα έχει παρατηρηθεί ότι μικροί χρόνοι παραμονής (1-2 ημέρες) που αντιστοιχούν σε μεγάλες ταχύτητες ανάπτυξης εμποδίζουν τη βιοκροκίδωση και ευνοούν τη διάσπαρτη κροκίδωση των μικροοργανισμών. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μικροοργανισμοί υπό συνθήκες αφθονίας τροφής δεν υφίστανται την περιβαλλοντική πίεση για συσσωμάτωση, που στόχος της είναι η υπό συνθήκες περιορισμένης τροφής ευκολότερη εξασφάλιση της τροφής μέσω διαδικασιών προσρόφησης της στις βιοκροκίδες. Αντίθετα έχει παρατηρηθεί ότι πολύ μεγάλοι χρόνοι παραμονής (μεγαλύτεροι από 20 με 30 ημέρες) έχουν ως συνέπεια τη διάσπαση των βιοκροκίδων λόγω της σχεδόν πλήρους έλλειψης τροφής, γεγονός που αναγκάζει τους μικροοργανισμούς να καταναλώνουν τα εξωκυτταρικά πολυμερή, τα οποία αποτελούν το συνδετικό ιστό των κροκίδων.

Ο χρόνος παραμονής της ιλύος καθορίζει τη διαθέσιμη στο σύστημα ποσότητα τροφής και με τον τρόπο αυτό επιδρά στον ανταγωνισμό των διαφόρων μικροοργανισμών. Η δυνατότητα για πρόσληψη τροφής από ένα μικροοργανισμό είναι ως γνωστό συνάρτηση και της διαθέσιμης τροφής. Η συνάρτηση αυτή εκφράζεται μέσω των διαφόρων κινητικών με πιο συνηθισμένη την κινητική Monod. Στο βαθμό που η συνάρτηση διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος του μικροοργανισμού, η αυξομείωση της διαθέσιμης τροφής δεν έχει ως συνέπεια απλώς την αυξομείωση της ταχύτητας ανάπτυξης της βιομάζας στο σύνολό της, αλλά και τη διαφοροποίηση της σχετικής ταχύτητας ανάπτυξης κάποιων κατηγοριών ως προς άλλες κατηγορίες. Με την αλλαγή δηλαδή του χρόνου παραμονής στερεών και της διαθέσιμης ποσότητας τροφής επηρεάζεται η διαφορική ανάπτυξη των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια η σύσταση της βιομάζας.

Ο χρόνος παραμονής της ιλύος (στο σύστημα) καθορίζει την ελάχιστη ταχύτητα ανάπτυξης ενός μικροοργανισμού που απαιτείται για την επιβίωση του στο σύστημα. Ένας μικροοργανισμός που αναπτύσσεται με ταχύτητα μικρότερη του αντιστρόφου του χρόνου παραμονής στερεών δεν μπορεί να επιβιώσει στο σύστημα. Στην περίπτωση ενός ετεροτροφικού μικροοργανισμού, η δυνατότητα ανάπτυξης με ταχύτητα μεγαλύτερη του αντιστρόφου του χρόνου παραμονής δεν συνεπάγεται αναγκαστικά της επιβίωσής του στο σύστημα, καθώς αυτό εξαρτάται και από τις σχετικές ταχύτητες ανάπτυξης όλων των κατηγοριών ετεροτροφικών μικροοργανισμών που ανταγωνίζονται για την ίδια περιοριστική τροφή, τον οργανικό άνθρακα. Ωστόσο, στην περίπτωση των αυτοτροφικών οργανισμών που προκαλούν τη νιτροποίηση, καθώς αυτοί δεν βρίσκονται σε ανταγωνισμό με τα ετεροτροφικά βακτηρίδια, η παραμονή τους στο σύστημα είναι συνάρτηση μόνο του χρόνου παραμονής των στερεών και η επιβίωσή τους στο σύστημα ακόμα και σε πολύ μικρές ποσότητες είναι δυνατή στο βαθμό που η ταχύτητα ανάπτυξής τους υπερβαίνει το αντίστροφο του χρόνου παραμονής και ανεξάρτητα από τις ταχύτητες ανάπτυξης των ετεροτροφικών οργανισμών. Χαρακτηριστικό των νιτροποιητικών βακτηριδίων είναι η μικρή ταχύτητα ανάπτυξης, σε σύγκριση με την αντίστοιχη ταχύτητα των ετεροτροφικών μικροοργανισμών, καθώς και η έντονη εξάρτησή τους από τη θερμοκρασία. Κατά συνέπεια η διατήρηση νιτροποιητών στο σύστημα ενεργού ιλύος προϋποθέτει την εφαρμογή επαρκώς μεγάλου χρόνου παραμονής (μορφολογία των βιοκροκίδων και την καθιζησιμότητά τους).

Εξ ορισμού ο χρόνος παραμονής στερεών καθορίζει το χρόνο παραμονής των μικροοργανισμών στο σύστημα και επομένως παρέχει τη δυνατότητα για μεγαλύτερη (μεγάλα θ_c) ή μικρότερη (μικρά θ_c) φθορά των μικροοργανισμών. Με τον τρόπο αυτό επηρεάζονται τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά της περίσσειας ιλύος η οποία είναι λιγότερη και πιο σταθεροποιημένη όταν η βιομάζα έχει μεγαλύτερη φθορά και περισσότερη με μικρό βαθμό σταθεροποίησης στην αντίθετη

περίπτωση.

2.1.5 Συνοπτική παρουσίαση των βαθμίδων επεξεργασίας ιλύος

Όπως έχει προαναφερθεί η περίσσεια ιλύος, που δεν χρησιμοποιείται για ανακυκλοφορία στο σύστημα ενεργού ιλύος, και η ιλύς που προέρχεται από την πρωτοβάθμια καθίζηση που θα αναφερθεί στο επόμενο κεφάλαιο, υφίσταται επεξεργασία η οποία περιλαμβάνει την διαδικασία της πάχυνσης, της χώνευσης και της αφυδάτωσης με σκοπό με σκοπό την σταθεροποίησή της πριν από την τελική διάθεση της στον ΧΥΤΑ ή την καύση της.

Πάχυνση: Η πάχυνση της ιλύος γίνεται με δύο τρόπους, την βαρυτική πάχυνση (πρωτοβάθμια ιλύς) και τη μηχανική πάχυνση (βιολογική-δευτεροβάθμια ιλύς) με σκοπό τη μεγαλύτερη συγκέντρωση στερεών με την απομάκρυνση νερού. Η πάχυνση γίνεται ώστε η ιλύς να μπορεί να επεξεργαστεί καλύτερα στα επόμενα στάδια.

Χώνευση: Οι παραγόμενες σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας λάσπες (πρωτοβάθμια και βιολογική ιλύς) περιέχουν σημαντικό ποσοστό οργανικών ενώσεων, Το ποσοστό αυτό συνήθως ανέρχεται στο 70 %. Το υψηλό αυτό ποσοστό οργανικών στις λάσπες (και το συνεπαγόμενο υψηλό BOD) καθιστά προβληματική την άμεση διάθεση τους. Μετά τη διάθεση τέτοιων ιλύων (χωματερές ή σαν λιπάσματα) παρατηρείται αποσύνθεση των οργανικών στερεών που συνήθως έχει δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις (αποξυγώνωση, οσμές κτλ). Κατά συνέπεια είναι σκόπιμο πριν από την τελική διάθεση ,μείωση του ποσοστού οργανικών της λάσπης (σταθεροποίηση). Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαδικασία της χώνευσης.

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης περιγράφεται ως εξής: Σε πρώτο στάδιο οι απλές διαλυμένες ενώσεις μετατρέπονται σε διάφορα πτητικά οξέα (τα οποία τελικά με τη βοήθεια της ειδικής κατηγορίας των βακτηριδίων παραγωγής H_2 μετατρέπονται σε φορμολικό οξύ, CO_2 και H_2). Η μετατροπή αυτή σε πτητικά οξέα γίνεται με τη βοήθεια μιας κατηγορίας βακτηριδίων ,των βακτηριδίων παραγωγής οξέων (acid formers) που είναι επαμφοτερίζοντες μικροοργανισμοί (δρουν σε αναερόβιες και αερόβιες συνθήκες). Στο δεύτερο στάδιο γίνεται η μετατροπή των προϊόντων του πρώτου σταδίου δηλαδή των πτητικών οξέων σε μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) Η διεργασία αυτή γίνεται με τη βοήθεια άλλης κατηγορίας μικροοργανισμών, των παραγωγών μεθανίου (methane formers) που είναι αυστηρά αναερόβιοι. Η παραγωγή του μεθανίου είναι ένας από τους βασικότερους λόγους που χρησιμοποιείται η αναερόβια χώνευση. Ο συνδυασμός του μεθανίου (CH_4) και του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) παράγει μίγμα βιοαερίου (με συγκέντρωση μεθανίου 65-70% και διοξειδίου του άνθρακα 30-35%) που έχει αξιόλογη θερμαντική αξία (περίπου 500 kcal/m^3) που μπορεί να παράγει ενέργεια αρκετή ώστε να λειτουργεί αυτόνομα η διαδικασία της χώνευσης ενώ μπορεί και να περισσεύει θερμική ενέργεια και για άλλες χρήσεις (θέρμανση κτηρίων εγκατάστασης). Η περίσσεια βιοαέριο (που συνήθως το καλοκαίρι είναι περισσότερη) καίγεται σε ειδικούς πυρσούς καύσης. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις το βιοαέριο έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων, με τη βοήθεια γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το βιοαέριο. (Ανδρεαδάκης 1986)

Αφυδάτωση: 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. (Ανδρεαδάκης 1986)

Η λάσπη μετά τη χώνευση και τη δευτεροβάθμια πάχυνση βρίσκεται σε υδαρή ακόμα κατάσταση αν και το ποσοστό των στερεών είναι αρκετά υψηλό. Με τη διαδικασία της αφυδάτωσης το ποσοστό των στερεών αυξάνεται σε 20-30% με συνηθέστερη τιμή κοντά στο 25%. Στην ημιστερεά αυτή κατάσταση ο όγκος της λάσπης περιορίζεται στο 1/5 του αρχικού όγκου.

Αμέσως μετά την αφυδάτωση η σταθεροποιημένη ιλύς μεταφέρεται σε χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ) ή δέχεται επεξεργασία μέσω καύσης και η παραγόμενη από την καύση τέφρα μεταφέρεται και αυτή στον ΧΥΤΑ.

2.2 Αέρια θερμοκηπίου

2.2.1 Κατανοώντας τα αέρια θερμοκηπίου

Αέρια θερμοκηπίου είναι τα αέρια που λόγω των χαρακτηριστικών των μορίων τους απορροφούν και εκπέμπουν ηλιακή ακτινοβολία, διατηρώντας την στην ατμόσφαιρα της γης. Η ακτινοβολία η οποία απορροφάται από το γήινο σύστημα, επανεκπέμπεται σε ακτινοβολία με μεγαλύτερα μήκη κύματος. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, δεν εκπέμπεται προς το διάστημα αλλά παραμένει στην ατμόσφαιρα (71%). Μέρος αυτής της ακτινοβολίας απορροφάται από την ίδια την ατμόσφαιρα και επανεκπέμπεται, ενώ ένα άλλο μέρος αυτής της ακτινοβολίας απορροφάται από την επιφάνεια της γης και τους ωκεανούς.

Ως αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της γης. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου η, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν σε παγκόσμια βάση περίπου -18°C , εν αντιθέσει με τους περίπου 14°C που είναι τώρα. Ο μηχανισμός αυτού του φαινομένου συχνά ταυτίζεται με τη λειτουργία ενός θερμοκηπίου, γι' αυτό και το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H_2O), οι οποίοι οφείλονται για περίπου τα δύο τρίτα του φυσικού φαινομένου θερμοκηπίου. Στην ατμόσφαιρα τα μόρια νερού δεσμεύουν τη θερμότητα που εκπέμπει ο ήλιος και έπειτα την εκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις, θερμαίνοντας έτσι την επιφάνεια της γης, πριν επιστρέψει τελικά στο διάστημα. Οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας αποτελούν τμήμα του υδρολογικού κύκλου, ενός κλειστού συστήματος κυκλοφορίας του νερού (το οποίο είναι διαθέσιμο σε πεπερασμένες ποσότητες στη γη) από του ωκεανούς και το έδαφος στη ατμόσφαιρα και από εκεί πίσω στο έδαφος μέσω της εξάτμισης και της διαπνοής της συμπύκνωσης και της κατακρήμνισης. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν αυξάνουν τους υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο ο θερμότερος αέρας μπορεί να κατακρατήσει πολύ περισσότερη υγρασία και συνεπώς οι αυξημένες θερμοκρασίες εντείνουν περεταίρω τις κλιματικές αλλαγές.

Είναι εύκολα, λοιπόν αντιληπτό ότι χωρίς τη συμβολή του φυσικού φαινομένου θερμοκηπίου δεν θα μπορούσε να διατηρηθεί η ύπαρξη ζωής στη γη. Ωστόσο η ανθρωπογενής παραγωγή και εκπομπή αερίων θερμοκηπίου, τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει σε ένα φαινόμενο το οποίο είναι είναι γνωστό ως κλιματική αλλαγή (climate change) και υπερθέρμανση του πλανήτη (global warming). Η άνοδος της θερμοκρασίας είναι μία από τις επιπτώσεις που θα έχει η ενδεχόμενη θέρμανση του πλανήτη. Οι κλιματικές παράμετροι και κυρίως αυτές του υδρολογικού κύκλου θα έχουν ανομοιόμορφη κατανομή σε παγκόσμιο επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα θα υπάρχουν πιο έντονα και πιο συχνά βίαια μετεωρολογικά φαινόμενα. Η συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας στην ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα) θα εκτονώνεται με τυφώνες, θύελλες, καταιγίδες, κτλ. Μια ακόμα

επίπτωση που αναμένεται με βεβαιότητα είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η οποία θα οφείλεται περισσότερο στην θερμική διαστολή του νερού και δευτερευόντως στην τήξη των αλπικών παγετώνων (κυρίως λόγω της αύξησης των κατακρημνίσεων που θα δέχονται). Τα φαινόμενα αυτά αποτελούν ένα πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα μίας και επηρεάζουν τόσο το φυσικό περιβάλλον όσο και γενικότερα την παγκόσμια παραγωγή ενέργειας και την οικονομία.

2.2.2 Ανθρωπογενής επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

Είναι γεγονός ότι η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παγκόσμιες περιβαλλοντικές προκλήσεις. Ο ανθρώπινος παράγοντας υπήρξε αρκετά σημαντικός στη διόγκωση του φαινομένου της υπερθέρμανσης του πλανήτη και αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι η μέση παγκόσμια θερμοκρασία έχει ανεβεί κατά σχεδόν $0,8^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με την προ-βιομηχανική περίοδο (τα τελευταία 200 χρόνια). Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αερίων θερμοκηπίου έχουν αυξηθεί κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής λόγω της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, όπως η παραγωγή και η χρήση των ορυκτών καυσίμων αλλά και από τις διάφορες βιομηχανικές και γεωργικές δραστηριότητες αλλά και την αποδάσωση. Οι εκπεμπόμενες ποσότητες CO_2 ανθρωπογενούς προέλευσης είναι στην πραγματικότητα τριπλάσιες από αυτές που υπολογίζονται με βάση την παρατηρούμενη αύξηση της συγκέντρωσης του στην ατμόσφαιρα, απορροφώνται όμως κατά τα $2/3$ από τους ωκεανούς και από την χερσαία βλάστηση. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παντοειδείς καύσεις συμβάλουν στη θέρμανση της ατμόσφαιρας μόνο έμμεσα, με την εκπομπή CO_2 , ενώ η άμεση θέρμανση λόγω εκπομπής θερμότητας είναι αμελητέα.

Τα κυριότερα αέρια θερμοκηπίου, η εκπομπή των οποίων οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες (βιομηχανική παραγωγή, παραγωγή ενέργειας, τεχνολογία τροφίμων κτλ) είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το μονοξείδιο του αζώτου (N_2O) και τα φθοριούχα αέρια.

Το **διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)** αποτελεί τον κυριότερο συντελεστή του ενισχυμένου (ανθρωπογενούς) φαινομένου του θερμοκηπίου. Ευθύνεται παγκοσμίως τουλάχιστον για το 60% του ενισχυμένου φαινομένου των αερίων θερμοκηπίων. Στις βιομηχανικές δε χώρες το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το 80% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Στη γη υπάρχουν πεπερασμένες ποσότητες άνθρακα, οι οποίες όπως και το νερό, ανακυκλώνονται με τον «κύκλο του άνθρακα». Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο σύστημα με το οποίο ο άνθρακας κινείται μεταξύ της ατμόσφαιρας, της επίγειας βιόσφαιρας και των ωκεανών. Τα φυτά απορροφούν CO_2 από την ατμόσφαιρα κατά τη φωτοσύνθεση. Χρησιμοποιούν τον άνθρακα για να συνθέσουν τους ιστούς τους και τον απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα όταν ξεραίνονται και αποσυντίθενται. Ο οργανισμός των ζώων και των ανθρώπων περιέχει και αυτός άνθρακα, τον οποίο λαμβάνει από τα βρώσιμα φυτά ή από τα ζώα που καταναλώνουν αυτά τα φυτά. Ο άνθρακας απελευθερώνεται ως CO_2 κατά την αναπνοή, καθώς και με την αποσύνθεση.

Τα ορυκτά καύσιμα είναι τα απολιθωμένα υπολείμματα νεκρών ζώων και φυτών, τα οποία αποσυντίθενται υπό συγκεκριμένες συνθήκες σε διάστημα εκατομμυρίων ετών και συνεπώς έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα. Με την ευρεία έννοια, το κάρβουνο δεν είναι παρά υπολείμματα καμένων δασών ενώ το πετρέλαιο προέρχεται από την χλωρίδα των ωκεανών (Οι ωκεανοί απορροφούν CO_2 , που χρησιμοποιείται σε διαλυμένη μορφή για τη φωτοσύνθεση της θαλάσσιας χλωρίδας)

Πολλοί δισεκατομμύρια τόνοι άνθρακα ανταλλάσσονται κάθε χρόνο με φυσικό τρόπο μεταξύ της ατμόσφαιρας, των ωκεανών και της επίγειας χλωρίδας. Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στην

ατμόσφαιρα παρουσιάζουν αποκλίσεις μικρότερες από 10% κατά τη διάρκεια των 10.000 χρόνων που είχαν προηγηθεί της βιομηχανικής επανάστασης το 1800. Ωστόσο από το 1800 και μετά η συγκέντρωση του έχει αυξηθεί κατά περίπου 30%, καθώς τεράστιες ποσότητες ορυκτών καυσίμων καίγονται για να παραχθεί ενέργεια κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες. Σήμερα εκπέμπουμε στην ατμόσφαιρα τουλάχιστον 25 δισεκατομμύρια τόνους CO₂ το χρόνο. Πρόσφατα Ευρωπαίοι ερευνητές ανακάλυψαν ότι οι συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι τώρα οι υψηλότερες των τελευταίων 650.000 χρόνων. Το CO₂ μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα για 50 έως 200 χρόνια, ανάλογα με τον τρόπο ανακύκλωσης του και επιστροφής στο έδαφος και στους ωκεανούς.

Το **μεθάνιο (CH₄)** είναι το δεύτερο σημαντικότερο αέριο που ευθύνεται για ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Από τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του μεθανίου έχουν διπλασιαστεί και συμβάλουν περίπου 20% στη ενίσχυση του φαινομένου των αερίων θερμοκηπίου. Στις βιομηχανικές χώρες το μεθάνιο αποτελεί συνήθως το 15% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Το μεθάνιο συντίθεται κατά κύριο λόγο από βακτήρια που ενισχύονται με οργανικές ύλες έλλειψη οξυγόνου. Συνεπώς εκπέμπονται από διάφορες πηγές, τόσο φυσικές, όσο και επηρεαζόμενες από την ανθρώπινη δραστηριότητα., με κυριότερες να είναι οι ανθρωπογενείς εκπομπές. Οι φυσικές πηγές περιλαμβάνουν υγροτόπους, τερμίτες και ωκεανούς. Οι πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα περιλαμβάνουν την εξόρυξη και την καύση ορυκτών καυσίμων, την κτηνοτροφία (τα βοοειδή καταναλώνουν φυτά, τα οποία ζυμώνονται στο πεπτικό τους σύστημα, και εκπέμπουν μεθάνιο μέσω της αναπνοής και των περιττωμάτων τους), τις ορυζοκαλλιέργειες (οι ορυζώνες παράγουν μεθάνιο καθώς οι οργανικές ύλες του εδάφους αποσυντίθενται χωρίς αρκετό οξυγόνο) και του χώρου ταφής (κι εδώ τα οργανικά απόβλητα αποσυντίθενται χωρίς αρκετό οξυγόνο).

Το μεθάνιο στην ατμόσφαιρα δεσμεύει θερμότητα 23 φορές πιο αποτελεσματικά από το διοξείδιο του άνθρακα. ωστόσο η διάρκεια ζωής του είναι πολύ μικρότερη και κυμαίνεται από 10 έως 15 χρόνια.

Το **μονοξείδιο του αζώτου (N₂O)** απελευθερώνεται με φυσικό τρόπο από τους ωκεανούς και από τα παρθένα δάση, καθώς και από τα βακτήρια του εδάφους. Οι πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα περιλαμβάνουν τα αζωτούχα λιπάσματα, την καύση ορυκτών καυσίμων και τη βιομηχανική χημική παραγωγή με χρήση αζώτου όπως είναι η επεξεργασία λυμάτων. Στις βιομηχανικές χώρες το N₂O αποτελεί το 6% των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου. Όπως το διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο έτσι και το μονοξείδιο του αζώτου είναι ένα αέριο θερμοκηπίου, του οποίου τα μόρια απορροφούν θερμότητα που προσπαθεί να διαφύγει στο διάστημα. Το N₂O είναι 310 φορές πιο αποτελεσματικό από το CO₂ στην απορρόφηση της θερμότητας. Από τις απαρχές της βιομηχανικής επανάστασης, οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του αζώτου (N₂O) στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί κατά περίπου 16% και συμβάλλουν κατά 4% με 6% στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Τα **φθοριούχα αέρια** είναι τα μόνα από τα αέρια θερμοκηπίου που δε έχουν συντεθεί με φυσικό τρόπο, άλλα έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο για βιομηχανικούς σκοπούς. Το μερίδιό τους στις εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου είναι μικρό, της τάξεως του 1,5% στις βιομηχανικές χώρες. Όμως είναι εξαιρετικά ισχυρά, μπορούν να δεσμεύσουν θερμότητα 22.000 φορές πιο αποτελεσματικά από το CO₂ και παραμένουν στην ατμόσφαιρα για χιλιάδες χρόνια.

Τα φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου περιλαμβάνουν υδροφθοράνθρακες που χρησιμοποιούνται για την ψύξη και την κατάψυξη, συμπεριλαμβανομένων και των συστημάτων κλιματισμού, το εξαφθοριούχο θείο (SF₆) που χρησιμοποιείται για παράδειγμα στην ηλεκτρονική βιομηχανία και τους υπερφθοράνθρακες (PFC) που εκπέμπονται κατά την παραγωγή αλουμινίου και χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρονική βιομηχανία. Αδιαμφισβήτητα τα γνωστότερα από τα αέρια αυτά είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFCS) που δεν είναι μόνο φθοριούχα αέρια θερμοκηπίου αλλά καταστρέφουν και το στρώμα του όζοντος (δημιουργία της τρύπας του όζοντος)

2.2.3 Διεθνείς κανονισμοί, οδηγίες και νομικό πλαίσιο που αφορούν την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου

Για την αντιμετώπιση του ανθρωπογενούς φαινομένου του θερμοκηπίου και τη δυσμενή αύξηση της θερμοκρασίας της γης σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν συσταθεί τα τελευταία χρόνια διάφοροι κανονισμοί και επικεντρώνονται στην προσπάθεια περιορισμού εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και θέτουν στόχους, για κάθε χώρα, μείωσης των εκπομπών αυτών σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η πιο γνωστή απ'αυτές είναι η σύμβαση-πλαίσιο του οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές αλλαγές (United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC), γνωστότερη ευρύτερα και ως πρωτόκολλο του Κιότο. Σε αυτή την συνθήκη στηρίχθηκε η Απόφαση αριθ. 406/2009/ΕΚ του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και συμβουλίου.

Σύμφωνα με την τελευταία είναι αναγκαία η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα των αερίων σε επίπεδα τα οποία αποτρέπουν την επικίνδυνη ανθρώπινη παρεμβολή στο κλιματικό σύστημα. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, η συνολική μέση αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του πλανήτη δεν πρέπει να ξεπεράσει τους 2°C σε σύγκριση με τα προ της βιομηχανικής εποχής επίπεδα, το οποίο συνεπάγεται ότι οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου θα πρέπει να μειωθούν μέχρι το 2050 σε ποσοστό τουλάχιστον 50% έναντι των εκπομπών του 2020. Οι χώρες εντός ΕΕ θα πρέπει να μειώσουν συλλογικά έως το 2020 τις οικίες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά 30% εν συγκρίσει με το 1990. Δεσμεύονται επίσης να το πράξουν, επίσης με σκοπό να μειώσουν συλλογικά τις εκπομπές μέχρι το 2050 κατά 60% έως 80% σε σχέση με το 1990. Για να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί, η Ελλάδα έχει δεσμευτεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου μέχρι το 2020 κατά 4 % σε σύγκριση με τα επίπεδα των εκπομπών της το 2005.

Προκειμένου να εξομαλυνθούν οι διαφορές στο κόστος μείωσης των εκπομπών που αντιμετωπίζουν διάφορα κράτη μέλη με την εξασφάλιση αυξημένης γεωγραφικής ευελιξίας και ταυτόχρονα, ως μέσο βελτίωσης της γενικής αποδοτικότητας από πλευράς κόστους της συνολικής δέσμευσης της κοινότητας, επιτρέπεται στα κράτη μέλη να μεταφέρουν μέρος των οικείων δικαιωμάτων τους για τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου σε άλλα κράτη μέλη. Έχει δημιουργηθεί δηλαδή ένα σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών CO₂

Όσον αφορά τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, πιο συγκεκριμένα, στο άρθρο 2, σημείο 1 της παραπάνω απόφασης αναφέρεται ότι ως εκπομπές αερίων θερμοκηπίου νοούνται του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του μεθανίου (CH₄), του μονοξειδίου του αζώτου (N₂O), των υδροφθοράνθρακων (HFC), των υπερφθοράνθρακων (PFC) και εξαφθοριούχου του θείου (SF₆) εκφραζόμενες σε ισοδύναμο διοξείδιο του άνθρακα.

2.2.4 Εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων

Κατά τα τελευταία χρόνια οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων εγείρουν ολοένα και περισσότερα ερωτήματα ως προς τη βιωσιμότητα των υπάρχουσών εγκαταστάσεων. Σύμφωνα με την Υπηρεσία περιβαλλοντικής προστασίας των ΗΠΑ (US EPA) (1997) οι ΕΕΛ αποτελούν μία από τις μεγαλύτερες ήσσονος σημασίας πηγές αερίων θερμοκηπίου. Οι ΕΕΛ παράγουν τρία διαφορετικά αέρια θερμοκηπίου, τα CO₂, N₂O, CH₄ κατά τη διαδικασία καθαρισμού του νερού. (Shaw et al. 2008)

Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες. Ως άμεσες (on site greenhouse gas emissions) ορίζονται οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου οι οποίες λαμβάνουν χώρα μέσα στη ΕΕΛ και προέρχονται από την παραγωγή και αποσύνθεση βιομάζας, από την απονιτροποίηση και κατά την αναερόβια χώνευση είτε από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου είτε από τη διαφυγή του στην ατμόσφαιρα. Ως έμμεσες (off site greenhouse gas emissions) εκπομπές ορίζονται αυτές οι οποίες δεν προέρχονται μέσα από την εγκατάσταση αλλά εκτός αυτής και είναι εκπομπές από τον τρόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται για τη λειτουργία της εγκατάστασης (οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν σύστημα ενεργού ιλύος με αερόβιες διαδικασίες εκπέμπουν έμμεσα σημαντικές ποσότητες αερίων θερμοκηπίου λόγω της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας που παρουσιάζουν), οι εκπομπές που προέρχονται κατά την παραγωγή των χημικών (τριγλωριούχος σίδηρος και πολυηλεκτρολύτης) που χρησιμοποιούνται ως κροκιδωτικά στην επεξεργασία των λυμάτων και της ιλύος και τέλος εκπομπές αερίων θερμοκηπίου οι οποίες προέρχονται από τον πυρσό καύσης του ΧΥΤΑ, όπου μεταφέρεται και θάβονται τα υπολείμματα της ιλύος μετά τη μηχανική αφυδάτωσή της, ή την καύση της ίδια της σταθεροποιημένης ιλύος σε ειδικές εγκαταστάσεις καύσης. Οι έμμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου πρέπει να λαμβάνονται ιδιαίτερα υπόψιν καθώς μπορούν να αυξήσουν τις ολικές εκπομπές έως και περισσότερο από 50%.

Τα αέρια θερμοκηπίου που εκπέμπονται κατά τη λειτουργία μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων είναι τα εξής:

Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) η παραγωγή του οποίου οφείλεται σε δύο βασικούς παράγοντες, στη διαδικασία επεξεργασίας των λυμάτων και στην κατανάλωση ενέργειας. Κατά τη διαδικασία της αναερόβιας εξεργασίας το BOD₅ των υγρών αποβλήτων (λυμάτων) ενσωματώνεται είτε στη βιομάζα είτε μετατρέπεται σε CO₂ και CH₄. Ένα ποσοστό της βιομάζας μετατρέπεται περεταίρω σε CO₂ και CH₄ μέσω της ενδογενούς αναπνοής. Άλλες πηγές CO₂ είναι από τη χώνευση της ιλύος και από την καύση του βιοαερίου, που παράγεται κατά τη χώνευση. Κατά την αερόβια διαδικασία επίσης παράγεται CO₂ μέσα από τη διάσπαση των οργανικών ουσιών της ενεργού ιλύος.

Μεθάνιο (CH₄) το οποίο μπορεί να παραχθεί αν η ιλύς (λάσπη) επεξεργαστεί κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Η ποσότητα παραγωγής CH₄ εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του οικοδομήσιμου οργανικού υλικού στα λύματα, τη θερμοκρασία και το είδος του συστήματος επεξεργασίας της λάσπης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας ο ρυθμός παραγωγής CH₄ αυξάνεται. Στο μοντέλο που ανατήχθηκε περιλαμβάνεται αναερόβιος χωνευτής για τη επεξεργασία της ιλύος, επομένως υπάρχει και παραγωγή μεθανίου (με τη μορφή βιοαερίου). Επίσης μεθάνιο παράγεται κατά τη διάθεση της σταθεροποιημένης ιλύος σε ΧΥΤΑ, όπου επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Τα υπολειπόμενα οργανικά στερεά αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου που περιέχει σε μεγάλα ποσοστά μεθάνιο. Το μεθάνιο μπορεί να αποτελέσει κρίσιμο παράγοντα για το ολικό αποτύπωμα

άνθρακα μιας ΕΕΛ αφού κατά την καύση του παρουσιάζει ένα δυναμικό της τάξεως των 23 φορών μεγαλύτερο του CO₂.

Μονοξείδιο του αζώτου (N₂O) που σχετίζεται με την υποβάθμιση του αζώτου σε συστατικά όπως σε ουρία, νιτρικό άλας, πρωτεΐνες κτλ. Τα οικιακά λύματα περιλαμβάνουν τα ανθρώπινα λύματα αναμιγνύομενα με λύματα που προέρχονται από τις αποχετεύσεις, τα ντους, τα πλυντήρια, από όμβρια κτλ. Η επεξεργασία των λυμάτων περιλαμβάνει διάφορες διεργασίες για την απομάκρυνση του αζώτου όπως είναι οι βιολογικές και χημικές. Μια από τις βιολογικές είναι η νιτροποίηση, μία αερόβια διαδικασία μετατροπής της αμμωνίας και άλλων ενώσεων του αζώτου σε νιτρικά (NO₃). Μία άλλη βιολογική διαδικασία είναι η απονιτροποίηση, που λαμβάνει χώρα υπό ανοξικές συνθήκες (χωρίς ελεύθερο οξυγόνο) και περιλαμβάνει τη μετατροπή των νιτρικών σε αέριο άζωτο (N₂). Το N₂O μπορεί να είναι ενδιάμεσο προϊόν και των δύο αυτών διαδικασιών, πιο συχνά όμως συνδέεται με την απονιτροποίηση. Ιδιαίτερα κρίσιμες μπορεί να αποδεχθούν οι εκπομπές N₂O για το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα, καθώς υπάρχει ισοδύναμο δυναμικό με το CO₂ της τάξεως των 296 φορών μεγαλύτερο, αλλά και για τη κατανάλωση ενέργειας μιας ΕΕΛ. (Guo et al 2012)

Στη συνέχεια παρατίθεται μία παρουσίαση των άμεσων και έμμεσων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Mamaiw et al. 2015):

Άμεσες εκπομπές:

- Παραγωγή CO₂ από την αποσύνθεση βιομάζας
- Παραγωγή CO₂ από την παραγωγή βιομάζας
- Παραγωγή N₂O από την απονιτροποίηση και ισοδύναμο CO₂
- Παραγωγή CO₂ από την καύση και διαφυγή στην ατμόσφαιρα του παραγόμενου βιοαερίου (στις εγκαταστάσεις όπου υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα χωνευτών-μονάδας συμπαραγωγής ενέργειας)

Αξίζει να αναφερθεί ότι κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης καταναλώνονται ποσότητες CO₂ από τους μικροοργανισμούς επομένως υπάρχει μείωση του παραγόμενου CO₂. Συχνά στις άμεσες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αναφέρεται και η κατανάλωση CO₂ από τη νιτροποίηση αλλά με αρνητικό πρόσημο.

Έμμεσες εκπομπές:

Προέρχονται συνήθως από την κατανάλωση ενέργειας σε μία ΕΕΛ και από τη διάθεση της ύλης μετά τη σταθεροποίηση της, Αναλυτικότερα οι έμμεσες εκπομπές είναι οι εξής:

- Παραγωγή ισοδύναμου CO₂ από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ
- Παραγωγή ισοδύναμου CO₂ από την καύση και διαφυγή του παραγόμενου βιοαερίου στον πυρσό καύση του ΧΥΤΑ (όπου επικρατούν αναερόβιες συνθήκες και υπάρχει παραγωγή επιπρόσθετου βιοαερίου από τα υπολειπόμενα οργανικά στερεά της σταθεροποιημένης ύλης)
- Παραγωγή ισοδύναμου CO₂ από την καύση της ίδιας της σταθεροποιημένης ύλης σε ειδικές εγκαταστάσεις
- Παραγωγή ισοδύναμου CO₂ από την παραγωγή των χημικών ενώσεων που χρησιμοποιούνται στις ΕΕΛ (τριχλωριούχος σίδηρος, πολυηλεκτρολίτης)

Κεφάλαιο 3: Μοντέλο σχεδιασμού εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, υπολογισμός ενεργειακού κόστους και εκτίμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

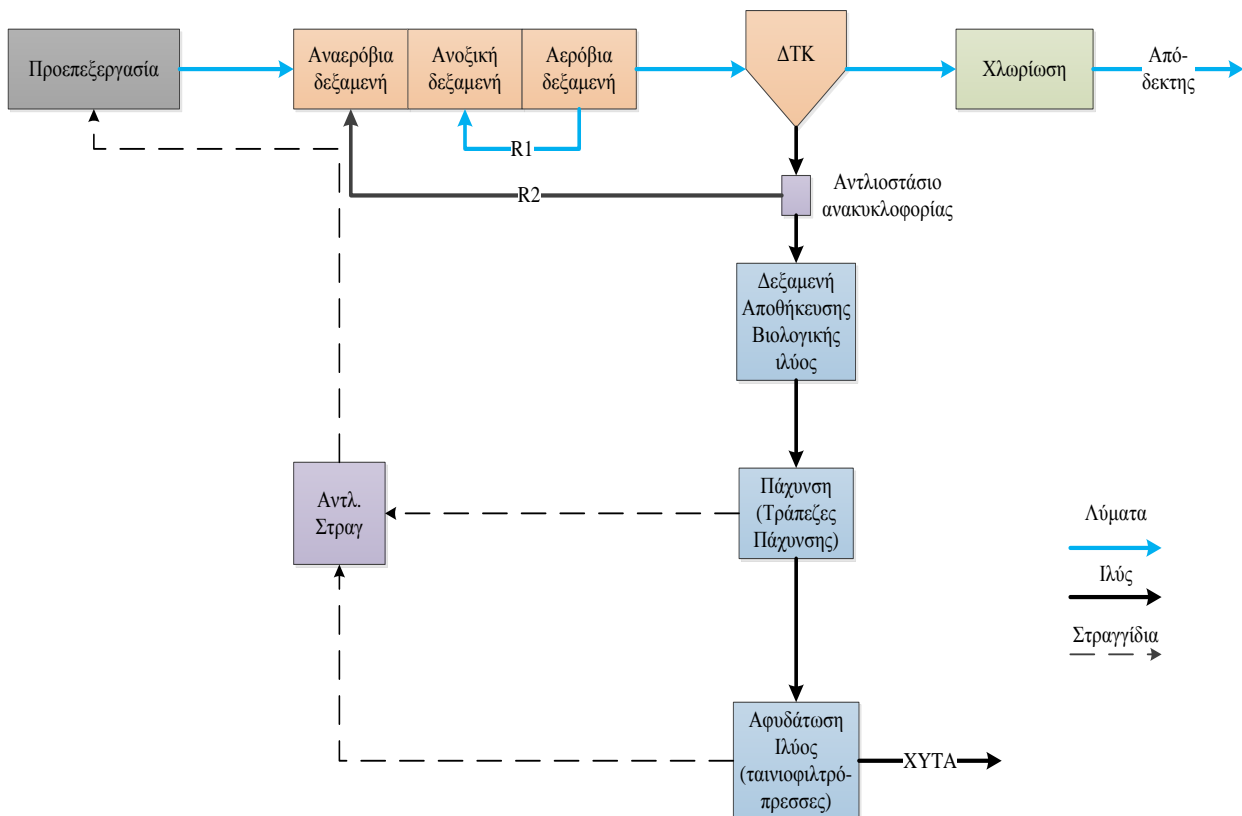
3.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη δόμηση του θεωρητικού μοντέλου της λειτουργίας μίας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ), με σύστημα ενεργού ιλύος, καθώς και το μοντέλο ενεργειακής κατανάλωσης και το μοντέλο εκπομπής αερίων θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα αναλύονται οι σχέσεις υπολογισμού, οι παράμετροι και οι παραδοχές σχεδιασμού μιας πρότυπης εγκατάστασης για τα διαφορετικά σενάρια υπολογισμού. Αυτά έχουν ως σκοπό να οδηγήσουν, σε επόμενα κεφάλαια, σε τελικά και συγκεντρωτικά αποτελέσματα του θεωρητικού μοντέλου όσον αφορά την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας μιας ΕΕΛ και την ημερήσια παραγωγή αερίων θερμοκηπίου ανηγμένη σε ισοδύναμο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα εξεταστούν η ενεργειακή κατανάλωση και η παραγωγή αερίων θερμοκηπίου μιας πρότυπης ΕΕΛ για διάφορους πληθυσμούς, εκφρασμένους σε ισοδύναμους κατοίκους (I.K.), και κατ' επέκταση για διάφορες παροχές. Οι ισοδύναμοι κάτοικοι (I.K.) που επιλέχθηκαν είναι: 20.000, 50.000, 70.000, 100.000, 150.000, 200.000, 350.000 και 500.000. Από αυτούς οι πληθυσμοί μεταξύ 20.000 και 70.000 αντιστοιχούν σε σύστημα παρατεταμένου αερισμού, ενώ οι πληθυσμοί μεταξύ 100.000 και 500.000 αντιστοιχούν συμβατικό σύστημα επεξεργασίας ιλύος που περιλαμβάνει αναερόβια χώνευση και μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας. Οι δύο αυτές διατάξεις παρουσιάζονται εκτενώς στη συνέχεια:

- Διάταξη 1 (ισοδύναμοι κάτοικοι 50.000 έως 70.000)
 1. Αντλιοστάσιο εισόδου
 2. Έργα προεπεξεργασίας (εσχάρωση, εξάμμωση, απολίπανση,)
 3. Σύστημα ενεργού ιλύος που περιλαμβάνει
 - i. Δεξαμενή αερισμού, αναερόβια, ανοξική
 - ii. Δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ)
 - iii. Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας ιλύος
 4. Μονάδα απολύμανσης (χλωρίωση)
 5. Σύστημα επεξεργασίας ιλύος που περιλαμβάνει
 - i. Δεξαμενή αποθήκευσης βιολογικής ιλύος
 - ii. Πάχυνση βιολογικής ιλύος (τράπεζα πάχυνσης)
 - iii. Μηχανική αφυδάτωση ιλύος (ταινιοφιλτρόπρεσσα)

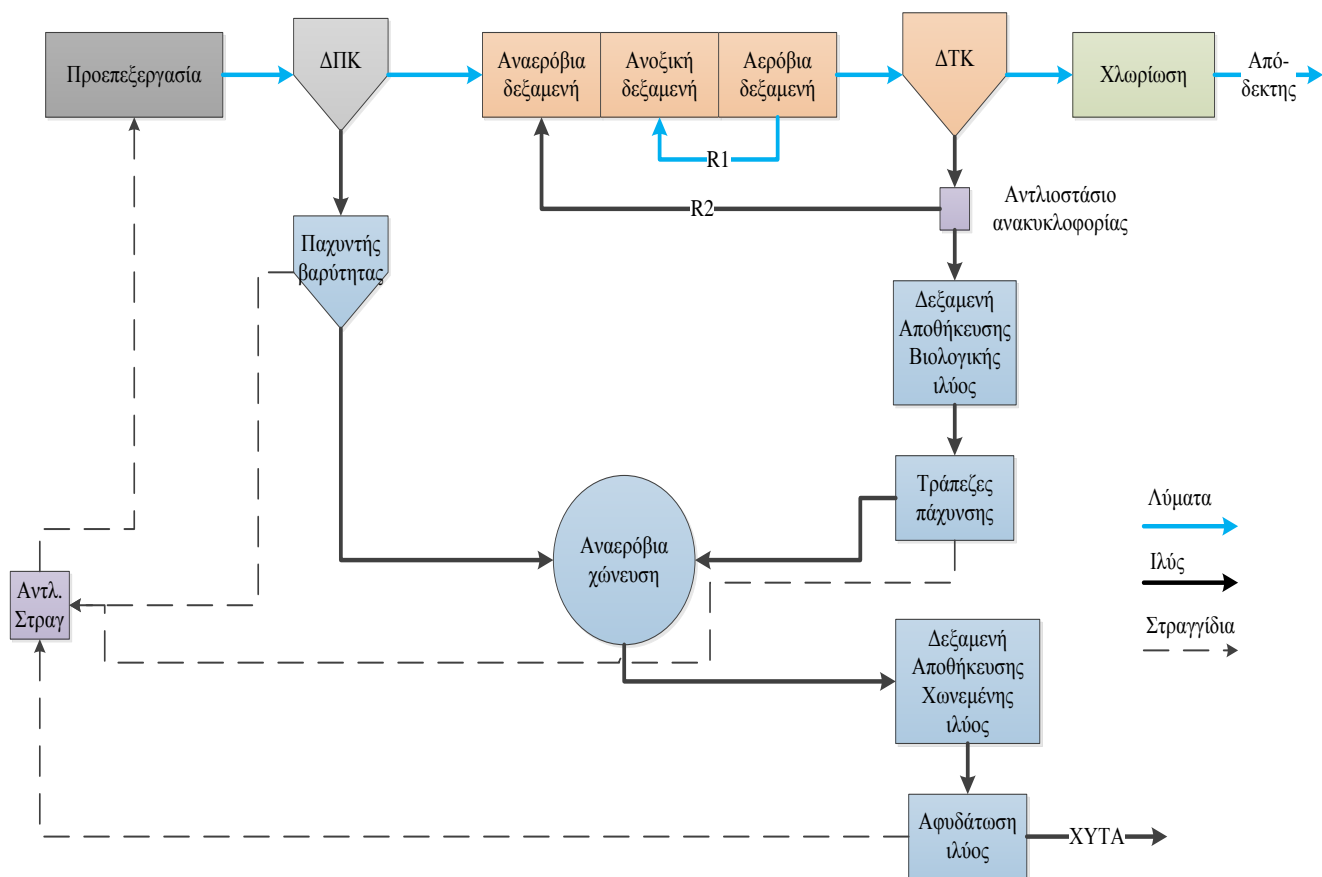
Η διάταξη 1 απεικονίζεται σχηματικά στο ακόλουθο σχήμα 2.3



Σχήμα 3.1: Ροϊκό διάγραμμα διάταξης 1

- Διάταξη 2 (ισοδύναμοι κάτοικοι 100.000 έως 500.000)
 1. Αντλιοστάσιο εισόδου
 2. Έργα προεπεξεργασίας (εσχάρωση, εξάμμωση, απολίπανση)
 3. Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ)
 4. Σύστημα ενεργού ιλύος που περιλαμβάνει:
 - i. Δεξαμενή αερισμού, αναερόβια, ανοξική
 - ii. Δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ)
 - iii. Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας ιλύος
 5. Μονάδα απολύμανσης (χλωρίωση)
 6. Σύστημα επεξεργασίας ιλύος που περιλαμβάνει:
 - i. Πάχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος (παχυντής βαρύτητας)
 - ii. Δεξαμενή αποθήκευσης βιολογικής ιλύος
 - iii. Πάχυνση βιολογικής ιλύος (τράπεζα πάχυνσης)
 - iv. Αναερόβιος χωνευτής ιλύος (με συμπαραγωγή ενέργειας)
 - v. Δεξαμενή αποθήκευσης ιλύος
 - vi. Μηχανική αφυδάτωση ιλύος

Η διάταξη 2 απεικονίζεται σχηματικά στο ακόλουθο σχήμα 2.4



Σχήμα 3.2: Ροϊκό διάγραμμα διάταξης 2

Η λειτουργία των δύο αυτών διατάξεων εξετάστηκε κάτω από διαφορετικά σενάρια από τα οποία κάθε ένα χωρίζεται σε επιπλέον υποσενάρια ανάλογα με τον χρόνο παραμονής των στερεών στη δεξαμενή αερισμού, το σύστημα αερισμού (υποβρύχια διάχυση, επιφανειακός αερισμός) το ποσοστό παραγωγής μονοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο στην εγκατάσταση άζωτο, την απομάκρυνση BOD₅ και TSS από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης, το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών στην αναερόβια χώνευση και την τελική διάθεση της σταθεροποιημένης ιλύος. Όλα τα σενάρια επιλύθηκαν για τους ίδιους πληθυσμούς και για διαφορετικά ρυπαντικά φορτία για χειμώνα και καλοκαίρι. Τα σενάρια αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Κατά την επίλυση του μοντέλου που αναπτύχθηκε προέκυψαν κάποια αποτελέσματα στα οποία βασίστηκε η διαστασιολόγηση κάθε δεξαμενής που χρησιμοποιήθηκε και η επιλογή του απαιτούμενου υλικοτεχνικού εξοπλισμού για κάθε ΕΕΛ με βάση τη μέγιστη ημερήσια παροχή λυμάτων. Οι υπολογισμοί του ενεργειακού αποτυπώματος και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου έγιναν με βάση τη μέση ημερήσια παροχή λυμάτων. Σκοπός του πρότυπου μοντέλου που αναπτύχθηκε είναι η σύγκριση των διαφορετικών διατάξεων και η συμβολή τους στην κατανάλωση ενέργειας και παραγωγής αερίων θερμοκηπίου σε μια ΕΕΛ.

3.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού και τυπολογία υπολογισμού εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων

Στο παρόν υποκεφάλαιο αναπτύσσεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον σχεδιασμό μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων, με σύστημα ενεργού ιλύος, καθώς και όλες οι παραδοχές που έγιναν.

3.2.1 Παροχή σχεδιασμού και ρυπαντικά φορτία εισόδου

Η έννοια των αστικών αποβλήτων καλύπτει τα οικιακά απόβλητα ή το μίγμα οικιακών με βιομηχανικά απόβλητα. Ως οικιακά απόβλητα ορίζονται τα λύματα από περιοχές κατοικίας και υπηρεσιών που προέρχονται από τον ανθρώπινο μεταβολισμό και τις εμπορικές δραστηριότητες, ενώ βιομηχανικά είναι τα λύματα που προέρχονται από κτήρια και χώρους που χρησιμοποιούνται για οποιαδήποτε εμπορική ή βιομηχανική χρήση και τα οποία δεν είναι όμβρια ή οικιακά λύματα.

Η εκτίμηση της παροχής των αστικών λυμάτων βασίζεται στην αντίστοιχη παροχή υδατικής κατανάλωσης αφού πρώτα αφαιρεθούν οι ποσότητες εκείνες που δεν καταλήγουν στο αποχετευτικό δίκτυο. Η υπόλοιπη ποσότητα η οποία καταλήγει στο αποχετευτικό δίκτυο και κατ' επέκταση στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων εκτιμάται σαν σταθερό ποσοστό των καταναλώσεων ύδρευσης.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας εκτιμήθηκε ότι η ημερήσια υδατική παροχή είναι 250 lt/d/κάτοικο, ενώ η ειδική παροχή αστικών λυμάτων είναι 200 lt/d/κάτοικο η οποία είναι και η μέγιστη ημερήσια παροχή που χρησιμοποιήθηκε για την διαστασιολόγηση του συγκεκριμένου μοντέλου. Η μέση παροχή εκτιμήθηκε στο 80% της μέγιστης ημερήσιας παροχής, δηλαδή 160 lt/d/κάτοικο, στην οποία αναφέρονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας. Διευκρινίζεται ότι τόσο για τον χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι χρησιμοποιήθηκε η ίδια παροχή (η αιχμή για τη διαστασιολόγηση και η μέση για την επίλυση) αλλά με διαφορετικά ρυπαντικά φορτία. Για όλους τους πληθυσμούς η παροχή (μέγιστη, μέση) προέκυψε από τον πολλαπλασιασμό του ισοδύναμου πληθυσμού με την αντίστοιχη παροχή λυμάτων.

Τα εισερχόμενα ρυπαντικά φορτία των αστικών λυμάτων υπολογίσθηκαν σύμφωνα με τον αντίστοιχο ισοδύναμο πληθυσμό κάθε εγκατάστασης. Για τον υπολογισμό των συνολικών εισερχόμενων ρυπαντικών φορτίων στην εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω ανά κάτοικο και ημέρα φορτίσεις (ειδικά ρυπαντικά φορτία), τα φορτία του χειμώνα αποτελούν το 65% των αντίστοιχων του καλοκαιριού, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1 Ειδικά ρυπαντικά φορτία εισερχόμενων λυμάτων

Ειδικά ρυπαντικά φορτία εισερχόμενων λυμάτων			
Παράμετρος		Χειμώνας	Καλοκαίρι
Βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνο: BOD _{5,IN}	gr/κατ/day	39	60
Ολικά αιωρούμενα στερεά: TSS _{IN}	gr/κατ/day	45,5	70
Ολικό άζωτο: TN _{IN}	gr/κατ/day	7,8	12
Ολικός φώσφορος: TP _{IN}	gr/κατ/day	1,625	2,5

Σημαντική είναι η διάκριση των ολικών στερεών εισόδου (TSS) σε πτητικά (VSS) και αδρανή (FSS). Πτητικά είναι τα στερεά που εξαερώνονται σε θερμοκρασία 500⁰C. 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 στερεών (TSS).

3.2.2 Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής

Η οδηγία 91/271/ΕΟΚ ορίζει την ελάχιστη αναγκαία τεχνική υποδομή σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων που πρέπει να διαθέτουν οι οικισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ανάλογα με τον πληθυσμό και τον αποδέκτη των επεξεργασμένων λυμάτων. Οι υδάτινοι αποδέκτες στους οποίους καταλήγουν τα αστικά λύματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: κανονικούς, ευαίσθητους και λιγότερο ευαίσθητους. Επίσης καθορίζει τα ανώτερα επιτρεπτά όρια των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επεξεργασμένων λυμάτων που πρέπει να επιτυγχάνονται στις εκροές των αντίστοιχων εγκαταστάσεων επεξεργασίας

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις των ρυπαντικών φορτίων σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ

Πίνακας 3.2 Οδηγία 91/271/ΕΟΚ: μέγιστα επιτρεπόμενα όρια συγκεντρώσεων ρυπαντικών φορτίων στον αποδέκτη

Κανονικοί αποδέκτες	
Παράμετρος ρύπανσης	Μέγιστο επιτρεπόμενο όριο
BOD₅ στους 20 ⁰ C	25 mg/l
COD	125 mg/l
SS	
(για οικισμούς με ι.κ. άνω των 10.000)	35 mg/l
(για οικισμούς με ι.κ. μεταξύ 2.000 και 10.000)	60 mg/l
Ευαίσθητοι αποδέκτες (ισχύουν τα ανώτερο όρια και τα ακόλουθα)	
P_{total}	
(για οικισμούς με ι.π. από 10.000 έως 100.000)	2 mg/l
(για οικισμούς μ ι.π. άνω των 100.000)	1 mg/l
N_{total}	
(για οικισμούς με ι.π. από 10.000 έως 100.000)	15mg/l
(για οικισμούς μ ι.π. άνω των 100.000)	10 mg/l

Τα όρια εξόδου που επιλέχθηκαν σε αυτήν τη διπλωματική εργασία είναι εντός των ορίων της οδηγίας 91/271/ΕΟΚ. Επισημαίνεται ότι στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε η υπόθεση της διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων σε ευαίσθητους αποδέκτες και επομένως επιλέχθηκαν οι αντίστοιχες οριακές τιμές, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 Συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων εξόδου

Παράμετρος	M.M.	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Ρυπαντικά φορτία εξόδου (ι.κ 20.000 έως 70.000)			
BOD _{5out}	mg/l	15	15
TSS _{out}	mg/l	15	15
TN _{out}	mg/l	15	15
(NH ₄ -N) _{out}	mg/l	2	2
TP _{out}	mg/l	2	2
Ρυπαντικά φορτία εξόδου (ι.κ 100.000 έως 500.000)			
BOD _{5out}	mg/l	15	15
TSS _{out}	mg/l	15	15
TN _{out}	mg/l	10	10
(NH ₄ -N) _{out}	mg/l	2	2
TP _{out}	mg/l	1	1

Προκειμένου να υπολογιστεί η κατανάλωση ενέργειας και η εκπομπή αερίων θερμοκηπίου σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, απαιτείται η επίλυση και η διαστασιολόγηση των επιμέρους στοιχείων της, δηλαδή ο καθορισμός των επιμέρους δεξαμενών που συνθέτουν μια ΕΕΛ αλλά και του τεχνολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι σχέσεις υπολογισμού για κάθε μονάδα ξεχωριστά αλλά και οι παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

3.2.3 Αντλιοστάσιο εισόδου

Και στις δύο διατάξεις που ελέγχονται στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε αντλιοστάσιο εισόδου λυμάτων το οποίο λειτουργεί 24 ώρες τη μέρα. Η σχέση που αποδίδει την ισχύ του συγκεκριμένου αντλιοστασίου δίνεται στη συνέχεια:

$$P(kW) = \frac{1000 \cdot g \cdot Q \cdot H_{\mu\alpha\nu}}{\varepsilon} \quad (3.1)$$

- P:Ισχύς σε Kw
- g:η επιτάχυνση της βαρύτητας (=9,81)
- Q:η παροχή αιχμής κάθε εγκατάστασης επί 2
- H_{μav}: μανομετρικό ύψος αντλίας (=5 m)
- ε:βαθμός απόδοσης (=0,65)

Η σχέση αυτή πρώτα επιλύθηκε για την παροχή αιχμής κάθε πληθυσμού, και η τιμή της αποτέλεσε την τιμή διαστασιολόγησης, και στη συνέχεια επιλύθηκε και για τη μέση παροχή. Ο λόγος των δύο αυτών τιμών με πολλαπλασιασμό επί 24 ώρες έδωσε τις ανηγμένες ώρες λειτουργίας του αντλιοστασίου εισόδου.

3.2.4 Έργα προεπεξεργασίας

Στόχος των έργων προεπεξεργασίας είναι η απομάκρυνση από τα λύματα υλικών τα οποία επιπλέουν ή βρίσκονται σε αιώρηση και τα οποία με το μέγεθος ή τα χαρακτηριστικά τους εγκυμονούν κίνδυνους έμφραξης αγωγών, καταστροφή μηχανολογικού εξοπλισμού και γενικά δυσλειτουργία των υπόλοιπων μονάδων. Η απομάκρυνση οργανικού φορτίου, θρεπτικών συστατικών και παθογόνων μικροοργανισμών κατά την προεπεξεργασία είναι αμελητέα και δεν ληφθηκε υπ' όψιν στον σχεδιασμό, ωστόσο υπολογίσθηκε η ημερήσια κατανάλωση ενέργειάς τους. Ύστερα από έρευνα που έγινε σε 9 υπάρχουσες ΕΕΛ προέκυψε ο πίνακας 3.6.

Πίνακας 3.4 Κατανάλωση ενέργειας από έργα προεπεξεργασίας από μελέτη 9 πραγματικών ΕΕΛ (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	2349	171,65	0,073073648	0,073073648
10000-20000	10674	839,75	0,078672475	0,061269531
	14857	928,45	0,062492428	
	19208	819,1	0,04264369	
20000-35000	24609	69,078	0,002807022	0,023106238
	26833	436,81	0,016278836	
	28605	751,09	0,026257298	
	31508	519,69	0,016493906	
	33851	1817,6	0,05369413	

Για κάθε ισοδύναμο πληθυσμό επιλέχθηκε το διάστημα το οποίο ανήκει, σύμφωνα με την παροχή αιχμής. Στη συνέχεια η μέση παροχή πολλαπλασιάστηκε με την τελευταία στήλη του πίνακα 3.4 στο διάστημα που αυτή ανήκει και προέκυψε η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας κάθε ισοδύναμου πληθυσμού.

3.2.5 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ)

Στους ισοδύναμους πληθυσμούς των οποίων το μέγεθος είναι πάνω από 100.000 ι.κ. (δηλαδή των 100.000,150.000,200.000,350.000,500.000) πριν από τη βιολογική επεξεργασία επιλέχθηκε η τοποθέτηση δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ) με απώτερο σκοπό την μείωση του όγκου των δεξαμενών του βιολογικού αντιδραστήρα. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια των παρακάτω παραδοχών:

- Ποσοστό απομάκρυνσης βιοχημικώς απαιτούμενο οξυγόνου (BOD₅): 25%, 30%, 35% (ανάλογα με το σενάριο)
- Ποσοστό απομάκρυνσης εισερχόμενων ολικών στερεών (TSS): 50%, 60%, 70% (ανάλογα με το σενάριο)
- Το ποσοστό απομάκρυνσης αζώτου και φωσφόρου θεωρείται μηδενικό.

Η διαστασιολόγηση της δεξαμενής έγινε με την παραδοχή ότι η υδραυλική επιφανειακή φόρτιση είναι $q=48\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ ενώ το απαιτούμενο εμβαδόν δίνεται από τον τύπο:

$$A = \frac{Q}{q} \quad (3.2)$$

Όπου Q είναι η μέση παροχή των εισερχόμενων λυμάτων. Το πλευρικό βάθος επιλέχτηκε στα 3,5 m και ο όγκος υπολογίστηκε ως το γινόμενο του εμβαδού με το πλευρικό βάθος. Η απαιτούμενη ισχύς λειτουργίας του πυθμενικού ξέστρου που υπάρχει στη δεξαμενή επιλέχτηκε στα $2 \text{ W}/\text{m}^3$ με 24 ώρες λειτουργίας τη μέρα.

Οι ισοδύναμοι πληθυσμοί κάτω από 100.000 ι.κ. (αυτοί των 20.000,50.000,70.000) δεν διαστασιολογήθηκαν με ΔΠΚ οπότε τα φορτία των BOD₅ και TSS δεν έχουν υποστεί κάποια μείωση πριν από τη βιολογική βαθμίδα.

3.2.6 Βιολογική βαθμίδα

Η βιολογική βαθμίδα αποτελεί την ουσία μίας εγκατάστασης επεξεργασίας με σύστημα ενεργού ιλύος. Σε αυτήν διενεργούνται οι διεργασίες της απονιτροποίησης (ανοξική δεξαμενή), οι διεργασίες της βιολογικής απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου, της νιτροποίησης και της απομάκρυνσης φωσφόρου (αναερόβια δεξαμενή). Η βιολογική βαθμίδα περιλαμβάνει, με την ακόλουθη σειρά για όλους τους πληθυσμούς, τις εξής δεξαμενές:

- Αναερόβια δεξαμενή
- Ανοξική δεξαμενή (απονιτροποίησης)
- Αερόβια δεξαμενή (νιτροποίησης)
- Δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔTK)

Δεδομένα και παραδοχές σχεδιασμού βιολογικής βαθμίδας

Εκτός από των δεδομένων των εισερχόμενων λυμάτων και των χρόνων παραμονής στερεών στη δεξαμενή αερισμού που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο και διαφέρουν ανάλογα με τον πληθυσμό και το σενάριο το μοντέλο σχεδιάστηκε με τις εξής κοινές παραδοχές:

- Συγκέντρωση ανάμικτου υγρού MLSS: 4000 mg/l
- Συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην δεξαμενή αερισμού DO: 2 mg/l
- Θερμοκρασία λυμάτων χειμώνα $T_{\text{χειμ}}: 15^{\circ}\text{C}$
- Θερμοκρασία λυμάτων καλοκαιριού $T_{\text{καλ}}: 25^{\circ}\text{C}$
- Το ολικό άζωτο εισόδου λαμβάνεται ότι είναι εξολοκλήρου στη μορφή αμμωνιακού αζώτου δηλαδή $\text{TN}_{\text{in}}=\text{S}_{\text{NH}_4\text{O}}$

Προσδιορισμός πραγματικού (διαλυτού) BOD₅ εξόδου:F

Η διαστασιολόγηση της εγκατάστασης γίνεται με βάση το διαλυτό BOD₅ των επεξεργασμένων λυμάτων, το οποίο προκύπτει αν από το ολικό BOD₅ εξόδου αφαιρεθεί το σωματιδιακό BOD₅ εξόδου, αυτό που οφείλεται δηλαδή στα αιωρούμενα στερεά. Για τον υπολογισμό του σωματιδιακού BOD₅ γίνονται οι εξής παραδοχές:

- BOD_5 ων πτητικών στερεών = 1,42 $BOD_5/gVSS$
- Λόγος πτητικών προς ολικά στερεά στην εκροή (VSS_{OUT}/TSS_{OUT})= 0,7
- Λόγος BOD_5/BOD_{∞} = 0,68
- Αιωρούμενα στερεά εκροής βιολογικής επεξεργασίας= 15mg/l

Με βάση τα παραπάνω το σωματιδιακό BOD_5 στην έξοδο της βιολογικής επεξεργασίας θα είναι:

$$BOD_{SS} = (1,42gBOD / gVSS) \cdot (0,7gVSS / gSS) \cdot (0,68gBOD_5 / gBOD_{\infty}) \cdot (TSS_{out}mgSS / l)$$

Επομένως με συγκέντρωση εξόδου ολικού BOD_5 ίση με 15mg/l, η συγκέντρωση του διαλυτού BOD_5 θα είναι ίση με:

$$F = 15mg / l - BOD_{SS}mg / l \quad (3.3)$$

Υπολογισμός χρόνου παραμονής ετεροτροφικών μικροοργανισμών $\theta_{C,H}$

Για τον υπολογισμό του αναγκαίου χρόνου παραμονής των ετεροτροφικών μικροοργανισμών $\theta_{C,H}$ για την απομάκρυνση του οργανικού ρυπαντικού φορτίου (BOD_5), χρησιμοποιείται η βασική λειτουργική συνάρτηση που παρατίθεται στη συνέχεια:

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

Όπου:

- μ_H η ειδική ταχύτητα ανάπτυξης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών ($days^{-1}$)
- b_H η ειδική ταχύτητα φθοράς των ετεροτροφικών μικροοργανισμών ($days^{-1}$) (λαμβάνεται ίση με 0,06)

Η ειδική ταχύτητα ανάπτυξης των ετεροτροφικών οργανισμών εκφράζεται από την κινητική Monod και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

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

Όπου:

- $\mu_{H,max,T}$ η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών σε θερμοκρασία $T, ^\circ C$ ($days^{-1}$)
- F : διαλυτό BOD_5 εξόδου (mg/l)
- K_{SH} η σταθερά κορεσμού Monod (είναι ίση με 120)

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

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

Όπου:

- $\mu_{H,max,20}$: η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης των ετεροτροφικών μικροοργανισμών για $T=20^{\circ}\text{C}$ (days^{-1}) (λαμβάνεται ίση με 7)
- k_H : σταθερά (λαμβάνεται ίση με 0,07)

Υπολογισμός χρόνου παραμονής αυτοτροφικών μικροοργανισμών $\theta_{C,N}$

Προκειμένου να επιτευχθεί η νιτροποίηση του αμμωνιακού αζώτου, ο αναγκαίος χρόνος παραμονής των αυτοτροφικών μικροοργανισμών $\theta_{C,N}$ υπολογίζεται από τη βασική λειτουργική συνάρτηση που παρατίθεται στη συνέχεια:

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

Όπου:

- μ_N : η ειδική ταχύτητα ανάπτυξης των αυτοτροφικών μικροοργανισμών (days^{-1})
- b_N : η ειδική ταχύτητα φθοράς των αυτοτροφικών μικροοργανισμών (days^{-1}) (λαμβάνεται ίση με 0,05)

Η ειδική ταχύτητα ανάπτυξης των αυτοτροφικών μικροοργανισμών εκφράζεται από την κινητική Monod και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

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

Όπου

- $\mu_{N,max,T}$: η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης των αυτοτροφικών μικροοργανισμών σε θερμοκρασία $T^{\circ}\text{C}$ (days^{-1})
- $N - NH_{4,out}$: συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εξόδου (mg/l)
- DO : η συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου στην δεξαμενή αερισμού (mg/l)
- K_{SN} : η σταθερά κορεσμού Monod (mg/l) (λαμβάνεται ίση με 0,5)
- K_{DO} : η σταθερά κορεσμού Monod για το οξυγόνο (mg/l) (λαμβάνεται ίση με 0,5)

Η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης των αυτοτροφικών μικροοργανισμών σε θερμοκρασία $T^{\circ}\text{C}$ (days^{-1}), εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:

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

Όπου:

- $\mu_{N,max,20}$: η μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης των αυτοτροφικών μικροοργανισμών για 20°C (days^{-1}) (λαμβάνεται ίση με 0,6)
- k_N : σταθερά (λαμβάνεται ίση με 0,116)

Υπολογισμός χρόνου παραμονής μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού $\theta_{C,A}$

Ο τελικός χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών στη δεξαμενή αερισμού του συστήματος υπολογίστηκε από την ακόλουθη σχέση:

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

Όπου S_F συντελεστής ασφαλείας που ελήφθει ίσος με 1,5 για όλους τους ισοδύναμους πληθυσμούς και για όλα τα σενάρια.

Υπολογισμός απαραίτητου αερόβιου όγκου του συστήματος V_{AIR}

Για τον υπολογισμό του απαραίτητου αερόβιου όγκου της δεξαμενής αερισμού του συστήματος χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη σχέση, η οποία προκύπτει από την εξίσωση ισορροπίας της μάζας στερεών στη δεξαμενή.

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

Όπου:

- Q : παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)
- $MLSS$: η 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 BOD5 εισόδου στο σύστημα (mg/l)
- F : Συγκέντρωση διαλυτού BOD5 στην έξοδο του συστήματος (mg/l)
- S_{NHO} : Συγκέντρωση ολικού αζώτου εισόδου στο σύστημα (mg/l)
- S_{NH} : Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εξόδου στο σύστημα (mg/l)
- α : ποσοστό αδρανών διαλυτών στερεών εισόδου ($kgSS/kgBOD_5$)
- β : ποσοστό αδρανών διαλυτών στερεών ετεροτροφικών μικροοργανισμών ($kgSS/kgBOD_5$)
- Y_H : συντελεστής παραγωγής ετεροτροφικής βιομάζας ($kgVSS/kgBOD_5$)
- Y_N : συντελεστής παραγωγής αυτοτροφικής βιομάζας ($kgVSS/kgBOD_5$)
- b_H : ειδική ταχύτητα φθοράς ετεροτροφικών μικροοργανισμών ($days^{-1}$)
- b_N : ειδική ταχύτητα φθοράς αυτοτροφικών μικροοργανισμών ($days^{-1}$)
- $\theta_{c,A}$: χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού των μ/o (days)

Οι βαθμοί απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου και του αμμωνιακού αζώτου από το σύστημα προσδιορίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$E_H = \frac{F - F_0}{F} \quad (3.12)$$

$$E_N = \frac{S_{NHO} - S_{NH}}{S_{NHO}} \quad (3.13)$$

Υπολογισμός απαιτούμενου ανοξικού όγκου (απονιτροποίησης) $V_{ANOΞ}$

Ισοζύγιο αζώτου:

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

$$N_{den} = N_{nitro} - (N - NO_3)_{out} \quad (3.14)$$

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 άζώτου (kg/d)

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

$$N_{nitro} = N_{total} - N_{bio} - (N - NH_4)_{out} - N_{org,out} - N_{sl} \quad (3.15)$$

Όπου:

- N_{nitro} : άζωτο που νιτροποιείται στη δεξαμενή αερισμού (kg/d)
- N_{total} : ολικό άζωτο εισόδου (kg/d)
- N_{bio} : ποσότητα άζώτου που προσλαμβάνεται κατά τη σύνθεση βιομάζας (kg/d)
- $(N-NH_4)_{out}$: ποσότητα εξερχόμενου αμμωνιακού άζώτου (kg/d)
- $N_{org,out}$: ποσότητα εξερχόμενου οργανικού άζώτου (kg/d)
- N_{sl} : ποσότητα άζώτου που απομακρύνεται με την περίσσεια ιλύ (kg/d)

Από την αρχική εισερχόμενη ποσότητα άζώτου ένα ποσοστό χρησιμοποιείται ως τροφικό υπόβαθρο για τη σύνθεση της βιομάζας (δημιουργία νέων κυττάρων). Η ποσότητα αυτή λαμβάνεται ίση με το 15% του ολικού εισερχόμενου άζώτου. Ακόμη γίνεται η παραδοχή ότι η ποσότητα άζώτου που απομακρύνεται με την περίσσεια ιλύος είναι ίση με το 8% του ολικού εισερχόμενου άζώτου. Το ολικό άζωτο εισόδου λαμβάνεται εξολοκλήρου στη μορφή αμμωνιακού άζώτου, δηλαδή $TN_{IN} = S_{NH,0}$.

Υπολογισμός ρυθμού απονιτροποίησης

Ο ρυθμός απονιτροποίησης περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$q_{DN} = 6,40 \cdot 10^{10} \cdot e^{\frac{-15880}{1,987 \cdot (273+T)}} \quad (3.16)$$

Όπου:

- q_{DN} : ρυθμός απονιτροποίησης (kgN-NO₃/kgMLVSS-d)
- T: θερμοκρασία λυμάτων (°C)

Υπολογισμός συγκέντρωσης πτητικών στερεών βιομάζας (MLVSS)

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

$$\frac{MLVSS}{MLSS} = \frac{\left[\frac{1 + \beta \cdot b_H \cdot \theta_{c,A}}{1 + b_H \cdot \theta_{c,A}} \cdot Y_H \cdot E_H \cdot F_0 + \alpha \cdot SS_{V0} + \frac{Y_N \cdot E_N \cdot S_{NHO}}{1 + b_N \cdot \theta_{c,A}} \right]}{\left[\frac{1 + \beta \cdot b_H \cdot \theta_{c,A}}{1 + b_H \cdot \theta_{c,A}} \cdot Y_H \cdot E_H \cdot F_0 + \alpha \cdot SS_{V0} + SS_{F0} + \frac{Y_N \cdot E_N \cdot S_{NHO}}{1 + b_N \cdot \theta_{c,A}} \right]} \quad (3.17)$$

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_{VO} : Πτητικά στερεά εισόδου (mg/l)
- SS_{FO} : Αδρανή στερεά εισόδου (mg/l)
- F_0 : Συγκέντρωση BOD5 εισόδου στο σύστημα (mg/l)
- F : Συγκέντρωση διαλυτού BOD5 στην έξοδο του συστήματος (mg/l)
- S_{NHO} : Συγκέντρωση ολικού αζώτου εισόδου στο σύστημα (mg/l)
- S_{NH} : Συγκέντρωση αμμωνιακού αζώτου εξόδου στο σύστημα (mg/l)
- α : ποσοστό αδρανών διαλυτών στερεών εισόδου (kgSS/kgBOD₅)
- β : ποσοστό αδρανών διαλυτών στερεών ετεροτροφικών μικροοργανισμών (kgSS/kgBOD₅)
- Y_H : συντελεστής παραγωγής ετεροτροφικής βιομάζας (kgVSS/kgBOD₅)
- Y_N : συντελεστής παραγωγής αυτοτροφικής βιομάζας (kgVSS/kgBOD₅)
- b_H : ειδική ταχύτητα φθοράς ετεροτροφικών μικροοργανισμών (days⁻¹)
- b_N : ειδική ταχύτητα φθοράς αυτοτροφικών μικροοργανισμών (days⁻¹)
- $\theta_{c,A}$: χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού των μ/ο (days)

Υπολογισμός απαιτούμενου αναζιτικού όγκου

Ο τελικός απαιτούμενος ανοξικός όγκος υπολογίζεται από τις εξής σχέσεις:

$$V_{ANOΞ} = \frac{MLVSS_{ANOΞ}}{\frac{VSS}{TSS} \cdot MLSS} \quad (3.18)$$

$$MLVSS_{ANOΞ} = \frac{N_{den}}{q_{DN}} \quad (3.19)$$

Όπου:

- $V_{ANOΞ}$: απαιτούμενος ανοξικός όγκος (m³)
- $MLVSS_{ANOΞ}$: μάζα πτητικών στερεών για απονιτροποίηση (kgSS)
- VSS/TSS : ο λόγος των πτητικών 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)

Υπολογισμός απαιτούμενου αναερόβιου όγκου (για απομάκρυνση φωσφόρου) V_{ANAEP}

Γίνεται η παραδοχή ότι απομακρύνεται βιολογικά το 70% του εισερχόμενου φωσφόρου ενώ το υπόλοιπο 30% απομακρύνεται χημικά με τη χρήση κροκιδωτικού. Το κροκιδωτικό που χρησιμοποιείται είναι ο τριχλωριούχος σίδηρος με συγκέντρωση 12% w/v Fe δηλαδή 120 kg/m³. Η δοσολογία που χρησιμοποιείται είναι η εξής:

1 gr P απαιτεί 2,7 gr Fe³⁺

1 gr Fe³⁺ παράγει 2,6 gr SS

Για τον υπολογισμό του αναερόβιου όγκου, όπου γίνεται η βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου επιλέχθηκε χρόνος παραμονής εντός των ορίων, που είναι 1 με 2 ώρες, και αυτός είναι $t=1,75$ hours (ώρες). Ο αναερόβιος όγκος υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση:

$$V_{\text{ANAEP}} = Q \cdot t \quad (3.20)$$

Όπου:

- V_{ANAEP} : ο απαιτούμενος αναερόβιος όγκος (m^3)
- Q : παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/h)
- t : επιλεγόμενος χρόνος παραμονής (hours)

Υπολογισμός όγκου δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔTK) και παροχή περίσσειας ιλύος

Υπολογισμός παροχής και ποσότητας περίσσειας ιλύος

Για όλους του ισοδύναμους πληθυσμούς και για όλα τα σενάρια έγινε η παραδοχή ότι η συγκέντρωση των στερεών στον πυθμένα της ΔTK (της βιολογικής ιλύος) είναι $S_u=8.000 \text{ mg/LH}$ ημερήσια παραγωγή περίσσειας ιλύος υπολογίζεται από την σχέση:

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

Όπου:

- λ : ο λόγος του υδραυλικού χρόνου παραμονής προς το 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 (m^3/d)
- m : βαθμός συμπύκνωσης ιλύος

Ο λόγος λ δίνεται από τη σχέση: $\lambda = \frac{\theta}{\theta_c}$ (3.22)

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, θ , των λυμάτων υπολογίζεται από τη σχέση: $\theta = \frac{V_{AIR}}{Q}$ (3.23)

Ο βαθμός συμπύκνωσης της ιλύος, m , υπολογίζεται από τη σχέση: $m = \frac{S_u}{MLSS}$ (3.24)

Με αντικατάσταση των λ , θ , m στην αρχική σχέση προκύπτει η παρακάτω σχέση υπολογισμού της ημερήσιας παροχής της περίσσειας ιλύος:

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

Όγκος δεξαμενής τελικής καθίζησης

Η υπολογισμός της επιφάνεια επιφάνειας της δεξαμενής τελικής καθίζησης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$A_{\Delta TK} = \max \left\{ \frac{Q}{q}, \frac{(1+r) \cdot Q \cdot MLSS}{G} \right\} \quad (3.26)$$

Όπου:

- $A_{\Delta TK}$: επιφάνεια δεξαμενής τελικής καθίζησης
- Q : παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)
- q : υδραυλική επιφανειακή φόρτιση (λαμβάνεται ίση με $14 m^3/m^2d$)
- r : ποσοστό ανακυκλοφορίας ιλύος
- $MLSS$: συγκέντρωση ανάμικτου υγρού (mg/l)
- G : φόρτιση στερεών (λαμβάνεται ίση με $120 kgMLSS/m^2d$)

Το ποσοστό ανακυκλοφορίας δίνεται από τον τύπο: $r = \frac{1-\lambda}{m-1}$ (3.27)

Για τον υπολογισμό του όγκου των δεξαμενών τελικής καθίζησης χρησιμοποιήθηκε ένα μέσο πλευρικό βάθος ύψους 3,5m για όλους τους ισοδύναμους πληθυσμούς και σενάρια. Επομένως ο όγκος της ΔTK είναι το γινόμενο του μέσου πλευρικού βάθους επί της αντίστοιχης επιφάνειας της ΔTK.

3.2.7 Προσδιορισμός ολικού χρόνου παραμονής στο σύστημα $\theta_{C,TOTAL}$

Ο συνολικός χρόνος παραμονής των στερεών στον βιολογικό αντιδραστήρα (ανοξική, αναερόβια, αερόβια δεξαμενή) υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\theta_{C,TOTAL} = \frac{V_{TOTAL} \cdot MLSS}{W \cdot Su + (Q - W) \cdot TSS_{OUT}} \quad (3.28)$$

Όπου:

- $\theta_{C,TOTAL}$: ολικός χρόνος παραμονής στο σύστημα (days)
- V_{TOTAL} : αναερόβιος, ανοξικός και αερόβιος όγκος (m^3)
- Q : παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)
- W : παροχή περίσσειας ιλύος (m^3/d)
- Su : συγκέντρωση στερεών στον πυθμένα της ΔTK (mg/l)
- TSS_{out} : συγκέντρωση ολικών στερεών εξόδου (m^3/d)

3.2.8 Χλωρίωση

Κατά τη διαδικασία της χλωρίωσης τα λύματα τα οποία εξέρχονται από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης λαμβάνουν μια τελευταία επεξεργασία, αυτή της χλωρίωσης, πριν διατεθούν στον τελικό αποδέκτη. Η συγκέντρωση του χλωρίου θεωρήθηκε σταθερή, για όλους τους πληθυσμούς και τα σενάρια, και ίση με $5 mg/l$. Ο όγκος της δεξαμενής χλωρίωσης διαστασιολογήθηκε με βάση τον υδραυλικό χρόνο παραμονής ($\theta_{\chi\lambda}$) που είναι 30 λεπτά (min). Ο απαιτούμενος όγκος δίνεται από τον τύπο: $V_{\chi\lambda} = Q_{\chi\lambda} \cdot \theta_{\chi\lambda}$

3.2.9 Υπολογισμός ζήτησης οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού

Υπολογισμός ζήτησης οξυγόνου σε συνθήκες πεδίου (OTR)

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

$$OTR = R_f = 0,59 \cdot Q \cdot F_0 \cdot E_H + 4,3 \cdot Q \cdot S_{NHO} \cdot E_N - 2,86 \cdot N_{den} + 0,024 \cdot V \cdot MLSS \cdot R_e \quad (3.29)$$

$$\text{όπου } R_e^T = R_e^{20} \cdot e^{0,07 \cdot (T-20)}, V = V_{AIR} + V_{ANOΞ} \quad (3.30)$$

Όπου:

- R_f : ολική απαίτηση O_2 σε συνθήκες πεδίου (kgO_2/d)
- Q : παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)
- F_0 : συγκέντρωση BOD5 εισόδου στο σύστημα (mg/l)
- S_{NHO} : συγκέντρωση ολικού αζώτου εισόδου στο σύστημα (mg/l)
- E_H : Βαθμός απομάκρυνσης οργανικού φορτίου
- E_N : Βαθμός απομάκρυνσης αμμωνιακού αζώτου
- N_{den} : άζωτο προς απονιτροποίηση (kg/d)
- $MLSS$: συγκέντρωση ανάμικτου υγρού (mg/l)
- V_{AIR} : επιλεγόμενος αερόβιος όγκος (m^3)
- $V_{ANOΞ}$: επιλεγόμενος ανοξικός όγκος (m^3)
- T : θερμοκρασία λυμάτων ($^{\circ}C$)
- R_{e20} : σταθερά (λαμβάνεται ίση με $3 \text{ } gO_2/(kgMLSS)$)

Υπολογισμός ζήτησης οξυγόνου σε κανονικές συνθήκες (SOTR)

Ο προσδιορισμός ζήτησης οξυγόνου σε κανονικές (τυπικές) συνθήκες γίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$SOTR = R_{st} = \frac{OTR}{n} \quad (3.31)$$

$$n = af \cdot \frac{\beta \cdot E \cdot C_w - C_L}{C_s} \cdot 1,024^{T-20} \quad (3.32)$$

Όπου:

- R_{st} : ολική απαίτηση οξυγόνου σε κανονικές συνθήκες (kgO_2/d)
- n : διορθωτικός συντελεστής
- af : διορθωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψιν το σύστημα αερισμού, την παλαιότητα των διαχυτήρων, κτλ.
- β : συντελεστής αναγωγής της συγκέντρωσης κορεσμού από το καθαρό νερό στο ανάμικτο υγρό
- E : συντελεστής υψομέτρου (λαμβάνεται ίσος με 1)
- C_L : συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου DO στο ανάμικτο υγρό (mg/l)

- C_w : τιμή κορεσμού για το διαλυμένο οξυγόνο DO σε καθαρό νερό και σε θερμοκρασία T (mg/l)
- C_s : τιμή κορεσμού για το διαλυμένο οξυγόνο DO σε καθαρό νερό και σε θερμοκρασία $T=20$ °C (mg/l)
- T: θερμοκρασία λυμάτων (°C)

Υπολογισμός απαιτούμενης παροχής αέρα

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής αέρα τόσο για διαχυτό όσο και για επιφανειακό αερισμό γίνεται με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου:

$$Q_{AIR} = \frac{SOTR}{[O_2 \%] \cdot d_{AIR} \cdot SOTE \cdot H_u} \quad (3.33)$$

Όπου:

- Q_{AIR} : απαιτούμενη παροχή αέρα (m³/d)
- d_{AIR} : πυκνότητα αέρα (kg/m³)
- H_u : βύθιση συστήματος αερισμού (m)
- SOTE: απόδοση μεταφοράς οξυγόνου στα λύματα (%)
- SOTR: ολική απαίτηση οξυγόνου σε κανονικές συνθήκες (kgO₂/d)

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης παροχής αέρα, έχει γίνει η παραδοχή ότι το βάθος βύθισης του συστήματος είναι ίσο με 5 m, η απόδοση μεταφοράς οξυγόνου στα λύματα, SOTE, είναι 5 % ανά μέτρο βύθισης και ότι το ποσοστό οξυγόνου στον αέρα αποτελεί το 23,2 %.

3.2.10 Μονάδες επεξεργασίας ιλύος

Οι ιλύες που συγκεντρώνονται στους πυθμένες των δεξαμενών πρωτοβάθμιας και τελικής καθίζησης υφίστανται επεξεργασία που συνίσταται σε μείωση του όγκου τους, με την απομάκρυνση σοβαρού ποσοστού νερού (πάχυνση, αφυδάτωση). Το νερό το οποίο απομακρύνεται (το οποίο αναφέρεται ως στραγγίδια) επανακυκλοφορεί στην ΕΕΛ (προστίθεται στην παροχή εισόδου) για περαιτέρω επεξεργασία. Στη διάταξη 2 του πρότυπου μοντέλου, που αναφέρεται στους πληθυσμούς πάνω από 100.000 ι.κ., χρησιμοποιείται επίσης αναερόβια σταθεροποίηση ιλύος (αναερόβια χώνευση) με ταυτόχρονη συμπαραγωγή ενέργειας. Οι ιλύες αφότου έχουν υποστεί επεξεργασία (πάχυνση-αφυδάτωση στη διάταξη 1, πάχυνση-χώνευση-αφυδάτωση στη διάταξη 2) συγκεντρώνονται σε ειδικούς κάδους οι οποίοι μεταφέρονται σε χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ) όπου και θάβονται.

Στην παρούσα παράγραφο περιγράφονται αναλυτικά τα επιμέρους στάδια, που επιλέχθηκαν για την επεξεργασία τόσο της πρωτοβάθμιας ιλύος (στους πληθυσμούς τους οποίους υπάρχει) όσο και της περίσσειας ιλύος (η οποία αναφέρεται και ως βιολογική ή δευτεροβάθμια ιλύς), καθώς και οι σχέσεις υπολογισμού που διέπουν αυτά τα στάδια.

Πάχυνση βαρύτητας πρωτοβάθμιας ιλύος

Η συγκριμένη διάταξη αναφέρεται στους πληθυσμούς με πάνω από 100.000 ι.κ., δηλαδή σε αυτούς που πριν τη βιολογική βαθμίδα παρεμβάλλεται δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ). Όπως έχει αναφερθεί και στην παράγραφο που περιγράφεται η ΔΠΚ στην πρωτοβάθμια καθίζηση

απομακρύνεται το n % των ολικών εισερχόμενων στερεών (TSS). Επομένως η ποσότητα της πρωτοβάθμιας ιλύος δίνεται από τη σχέση:

$$TSS_{\text{ΠΡΩΤ,ΙΛΥΟΣ}} = n \cdot Q \cdot TSS_{\text{IN}} \quad (3.34)$$

Όπου:

- $TSS_{\text{ΠΡΩΤ,ΙΛΥΟΣ}}$: η ποσότητα της πρωτοβάθμιας ιλύος (kg/d)
- Q : παροχή εισερχόμενων λυμάτων (m^3/d)
- TSS_{IN} : η συγκέντρωση των ολικών στερεών εισόδου (kg/m^3)
- n : το ποσοστό απομάκρυνσης των TSS από τη ΔΠΚ, είναι ίσο με 50%, 60%, 70% ανάλογα με το σενάριο

Για τον προσδιορισμό της παροχής της πρωτοβάθμιας ιλύος έγινε η παραδοχή ότι η συγκέντρωση των στερεών στον πυθμένα της ΔΠΚ είναι 1,5 % ή $15 \text{ kgSS}/\text{m}^3$. Επομένως η ημερήσια παροχή της πρωτοβάθμιας ιλύος είναι:

$$Q_{\text{ΠΡΩΤ,ΙΛΥΟΣ}} = \frac{TSS_{\text{ΠΡΩΤ,ΙΛΥΟΣ}}}{15 \text{ kgSS} / \text{m}^3} \quad (3.35)$$

Για την πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος χρησιμοποιήθηκε παχυντής βαρύτητας. Η παροχή της ιλύος προς πάχυνση είναι η παροχή πρωτοβάθμιας ιλύος (η $Q_{\text{ΠΡΩΤ,ΙΛΥΟΣ}}$). Για την εύρεση της επιφάνειας του παχυντή βαρύτητας χρησιμοποιήθηκε ως τιμή της επιφανειακής φόρτισης στερεών $100 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{d}$, ενώ η υδραυλική φόρτιση είναι $25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$. Σε όλους τους πληθυσμούς χρησιμοποιήθηκε ένα μέσω πλευρικό βάθος της τάξεως των 4 m, ο πολλαπλασιασμός του οποίου με την αντίστοιχη επιφάνεια έδωσε ως αποτέλεσμα των απαιτούμενο όγκο των παχυντών. Κατά τη πάχυνση επιλέχθηκε ένα ποσοστό συμπίκνωσης ιλύος 95%, έτσι η ποσότητα των ολικών στερεών μετά την πάχυνση δίνεται από τον τύπο:

$$TSS_{\text{ΠΡΩΤ,ΠΑΧΥΝΣΗ}} = 0,95 \cdot TSS_{\text{ΠΡΩΤ,ΙΛΥΟΣ}} \quad (3.36)$$

Όπου:

- $TSS_{\text{ΠΡΩΤ,ΙΛΥΟΣ}}$: η ποσότητα της πρωτοβάθμιας ιλύος (kg/d)

Έγινε η υπόθεση ότι κατά την πάχυνση της πρωτοβάθμιας ιλύος επιτυγχάνεται συγκέντρωση στερεών 5%, δηλαδή $50 \text{ kgSS}/\text{m}^3$. Επομένως η παροχή της ιλύος μετά την πάχυνση θα είναι:

$$Q_{\text{ΠΡΩΤ,ΠΑΧ}} = \frac{TSS_{\text{ΠΡΩΤ,ΠΑΧΥΝΣΗ}}}{50 \text{ kgSS} / \text{m}^3} \quad (3.37)$$

Η παροχή των στραγγιδίων, που επανακυκλοφορούν για περεταίρω επεξεργασία ($Q_{\text{ΠΡΩΤ,ΣΤΡ}}$), μετά την πάχυνση θα είναι η διαφορά της παροχής της πρωτοβάθμιας ιλύος με την παροχή της πρωτοβάθμιας ιλύος μετά την πάχυνση, δηλαδή:

$$Q_{\text{ΠΡΩΤ,ΣΤΡ}} = Q_{\text{ΠΡΩΤ,ΙΛΥΟΣ}} - Q_{\text{ΠΡΩΤ,ΠΑΧ}} \quad (3.38)$$

Αποθήκευση περίσσειας ιλύος

Η διάταξη αναφέρεται σε όλους τους ισοδύναμους πληθυσμούς και σε όλα τα σενάρια, μιας και η περίσσεια ιλύος αποτελεί βασικό και αναπόσπαστο κομμάτι του συστήματος ενεργού ιλύος. Ο υπολογισμός της ποσότητας W της περίσσειας ιλύος δίνεται από την σχέση (2.25) όπως παρουσιάστηκε παραπάνω. Για τον υπολογισμό της παροχής της περίσσειας ιλύος (Q_w) έγινε η παροχή ότι η συγκέντρωση των στερεών στον πυθμένα της ΔTK (Su) είναι 0,8% ή 8 kgSS/m³. Επομένως η παροχή της περίσσειας ιλύος δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q_w = \frac{W}{8 \text{ kgSS} / \text{m}^3} \quad (3.39)$$

Αμέσως μετά από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης υπάρχει δεξαμενή αποθήκευσης της βιολογικής (περίσσειας) ιλύος, που αποτελεί μεταβατικό στάδιο για τη μηχανική πάχυνσή της. Για τον υπολογισμό του απαραίτητου όγκου της δεξαμενής αυτής ($V_{\Delta\epsilon\epsilon}$), κυριότερη παράμετρος αποτελεί ο χρόνος παραμονής, ο οποίος σε όλους τους πληθυσμούς και σενάρια θεωρήθηκε σταθερός και ίσος με δύο (2) ημέρες (days). Ο προσδιορισμός του όγκου αυτού περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$V_{\Delta\epsilon\epsilon} = Q_w \cdot \theta_{\Delta\epsilon\epsilon} \quad (3.40)$$

Μηχανική πάχυνση βιολογικής ιλύος (τράπεζα πάχυνσης)

Μετά τη δεξαμενή αποθήκευσης βιολογικής ιλύος υπάρχει, για όλους τους εξεταζόμενους ισοδύναμους πληθυσμούς και σενάρια, μηχανική αφυδάτωση της βιολογικής ιλύος με τη βοήθεια τραπεζών πάχυνσης. Οι τράπεζες πάχυνσης διαστασιολογήθηκαν να λειτουργούν για έξι (6) ημέρες την εβδομάδα και για επτά (7) ώρες ημερησίως, για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η ύπαρξη δεξαμενής αποθήκευσης βιολογικής ιλύος πριν από τη μηχανική πάχυνση μιας και η παραγωγή περίσσειας ιλύος γίνεται σε εικοσιτετράωρη βάση, με την παροχή αιχμής κάθε πληθυσμού. Το πλήθος των τραπεζών πάχυνσης υπολογίστηκε για δυναμικότητα κάθε τράπεζας στα 150 kg/m/h και πλάτος κάθε τράπεζας στα 2m, αφότου η παροχή περίσσειας ιλύος προσαρμόστηκε ώστε να υπακούει στις 6 μέρες την εβδομάδα και τις 7 ώρες τη μέρα. Για την πραγματοποίηση της πάχυνσης χρησιμοποιήθηκε ως κροκιδωτικό πολυηλεκτρολύτης, συγκέντρωσης 5 g/kgTSS. Το τυπολόγιο που περιγράφει τον υπολογισμό του πλήθους των τραπεζών παρατίθεται παρακάτω:

$$n_{\chi\omega\eta} = \frac{P_{w,6,7}}{2 \cdot 150} \quad (3.41)$$

Όπου: $P_{w,6,7}$: ποσότητα περίσσειας ιλύος για 6 ημέρες λειτουργίας την εβδομάδα και 7 ώρες λειτουργίας τη μέρα.

Η εξίσωση (3.41) (πλήθος χωνευτών) στρογγυλοποιήθηκε στον αμέσως ανώτερο ακέραιο αριθμό. Ο αριθμός αυτός είναι και το πλήθος των αγωγών και αντλιών που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της περίσσειας ιλύος από τη δεξαμενή αποθήκευσης στις τράπεζες πάχυνσης.

Κατά τη πάχυνση επιλέχθηκε ένα ποσοστό συμπίκνωσης ιλύος 95%, έτσι η ποσότητα των ολικών στερεών μετά την πάχυνση δίνεται από τον τύπο:

$$TSS_{\text{ΒΙΟΛ,ΠΑΧ}} = 0,95 \cdot TSS_{\text{ΒΙΟΛ}} \quad (3.42)$$

Όπου:

- $TSS_{\text{ΒΙΟΛ,ΠΑΧ}}$: η ποσότητα της βιολογικής παχυμένης ιλύος (kg/d)
- $TSS_{\text{ΒΙΟΛ}}$: η ποσότητα της βιολογικής ιλύος (kg/d)

Μετά την πάχυνση της βιολογικής ιλύος επιλέχθηκε η συγκέντρωσή της να αυξηθεί από το 0,8 % στο 5 %, δηλαδή 50 kgSS/m³. Επομένως η παροχή της παχυμένης βιολογικής ιλύος περιγράφεται από την εξής σχέση:

$$Q_{\text{ΒΙΟΛ,ΠΑΧ}} = \frac{TSS_{\text{ΒΙΟΛ,ΠΑΧ}}}{50 \text{ kgSS} / d} \quad (3.43)$$

Η παροχή των στραγγιδίων, που επανακυκλοφορούν για περαιτέρω επεξεργασία ($Q_{\text{ΒΙΟΛ,ΣΤΡ}}$), μετά την πάχυνση θα είναι η διαφορά της παροχής της βιολογικής (περίσσειας) ιλύος (Q_W) με την παροχή της βιολογικής ιλύος μετά την πάχυνση ($Q_{\text{ΒΙΟΛ,ΠΑΧ}}$), δηλαδή:

$$Q_{\text{ΒΙΟΛ,ΣΤΡ}} = Q_W - Q_{\text{ΒΙΟΛ,ΠΑΧ}} \quad (3.44)$$

Αναερόβιος χωνευτής (με συμπαραγωγή ενέργειας)

Η διάταξη αυτή αναφέρεται στους πληθυσμούς με πάνω από 100.000 ι.κ. για όλα τα σενάρια. Στους υπόλοιπους πληθυσμούς (δηλαδή σε αυτούς των 20.000, 50.000, 70.000) δεν υπάρχει χώνευση και μετά την πάχυνση της βιολογικής ιλύος ακολουθεί η μηχανική αφυδάτωσή της με ταινιοφιλτρόπρεςσες.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το παραγόμενο βιοαέριο αξιοποιείται για θέρμανση των χωνευτών και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση γεννητριών.

Η συνολική ημερήσια ποσότητα των στερεών ($TSS_{\text{Π,ΧΩΝ}}$) που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της χώνευσης είναι το άθροισμα των στερεών που προέρχονται από την πρωτοβάθμια και βιολογική πάχυνση. Επομένως ισχύει το εξής:

$$TSS_{\text{Π,ΧΩΝ}} = TSS_{\text{ΠΡΩΤ,ΠΑΧ}} + TSS_{\text{ΒΙΟΛ,ΠΑΧ}} \quad (3.45)$$

Όμοια η ημερήσια παροχή ($Q_{\text{Π,ΧΩΝ}}$) για χώνευση είναι:

$$Q_{\text{Π,ΧΩΝ}} = Q_{\text{ΠΡΩΤ,ΠΑΧ}} + Q_{\text{ΒΙΟΛ,ΠΑΧ}} \quad (3.46)$$

Το ποσοστό των πτητικών στερεών (VSS) ,τόσο στην πρωτοβάθμια όσο και στη βιολογική ιλύς, αποτελεί το 70% των ολικών στερεών (TSS). Επομένως και για το άθροισμά τους αποτελεί το 70%, δηλαδή: $VSS_{\text{Π,ΧΩΝ}} = 0,7 TSS_{\text{Π,ΧΩΝ}}$. Κατά τη διαδικασία της χώνευσης έγινε η παραδοχή ότι απομακρύνεται το n % (με το n να είναι ίσο με 40%, 45%, 50% ανάλογα με το σενάριο) των ολικών οργανικών στερεών. Επίσης λόγω της απομάκρυνσης του ποσοστού αυτού των οργανικών στερεών η ολική συγκέντρωση της ιλύος μεταβλήθηκε από 5% σε 3,25%, δίχως όμως να αλλάξει η παροχή εξόδου από τον χωνευτή.

Για τον προσδιορισμό του όγκου των χωνευτών έγινε η παραδοχή ότι εξασφαλίζεται χρόνος παραμονής ίσος με 20 ημέρες. Ο λόγος $D_{ΧΩΝ}/H_{ΧΩΝ}$ λαμβάνεται ίσος με 1. Ακόμα έγινε ότι η παραδοχή ότι 1 kg οργανικών στερεών (VSS) παράγει 1 m³ βιοαέριο.

Από το παραγόμενο βιοαέριο, ένα ποσοστό μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, ένα άλλο σε θερμική ενέργεια και ένα τελευταίο χάνεται σε απώλειες. Τα ποσοστά αυτά φαίνονται στον πίνακα 3.5

Πίνακας 3.5 Ποσοστά μετατροπής βιοαερίου σε διάφορες μορφές ενέργειας

Μετατροπή βιοαερίου σε διάφορες μορφές ενέργειας		Χειμώνας	Καλοκαίρι
Ποσοστό μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια	%	30	30
Ποσοστό μετατροπής σε θερμική ενέργεια	%	50	50
Ποσοστό απωλειών στην καύση του βιοαερίου	%	20	20

Υπολογισμός απαιτούμενης θερμότητας για τη θέρμανση της προς χώνευση ιλύος

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης θερμότητας για τη θέρμανση της προς χώνευση ιλύος χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

$$Q_s = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.47)$$

Όπου:

- Q_s : απαιτούμενη θερμότητα (kJ/d)
- m : ημερήσια ποσότητα ιλύος προς χώνευση (kg/d)
- c : ειδική θερμότητα ιλύος (J/kg °C)
- T_2 : θερμοκρασία εντός του χωνευτή (°C)
- T_1 : θερμοκρασία τροφοδοσίας ιλύος (°C)

Η θερμοκρασία εντός του χωνευτή (T_2) λήφθηκε ως 35°C, ενώ εκτός του χωνευτή (T_1) ως 25 °C για τα δεδομένα του καλοκαιριού και ως 15 °C για τα δεδομένα του χειμώνα για όλους τους πληθυσμούς και τα σενάρια.

Υπολογισμός των θερμικών απωλειών των χωνευτών

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών των χωνευτών γίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$Q_i = U \cdot A \cdot (T_2 - T_1) \quad (3.48)$$

Όπου:

- Q_i : απώλειες θερμότητας (W)
- U : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/m²*°C)
- A : επιφάνεια υπολογισμού απωλειών (m²)
- T_2 : θερμοκρασία εντός του χωνευτή (°C)
- T_1 : ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος (αέρα ή εδάφους) (°C)

Για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών των χωνευτών έγινε η παραδοχή ότι η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα, για τα δεδομένα του χειμώνα είναι 0 °C και 18 °C για τα δεδομένα του

καλοκαιριού. Η ελάχιστη θερμοκρασία του εδάφους θεωρήθηκε ότι είναι ίση με 5 °C για τα δεδομένα του χειμώνα και 15 °C για τα δεδομένα του καλοκαιριού. Η θερμοκρασία εντός του χωνευτή θεωρήθηκε ίση με 35 °C τόσο για τα δεδομένα του χειμώνα όσο και για τα δεδομένα του καλοκαιριού. Οι παραπάνω παραδοχές χρησιμοποιήθηκαν για όλους τους εξεταζόμενους ισοδύναμους πληθυσμούς και σενάρια.

Το U είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας για τη δεξαμενή χώνευσης και λαμβάνει τιμές όπως φαίνονται στον πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6 Τιμές του U για διάφορες περιοχές του χωνευτή (Kcal/h/m²/°C)

Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U	M.M	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Συντελεστής απωλειών στην οροφή	Kcal/h/m ² /°C	0,8	0,8
Συντελεστής απωλειών πάνω από το έδαφος	Kcal/h/m ² /°C	0,6	0,6
Συντελεστής απωλειών κάτω από το έδαφος	Kcal/h/m ² /°C	0,55	0,55
Συντελεστής απωλειών στον πυθμένα	Kcal/h/m ² /°C	0,65	0,65

Δεξαμενή αποθήκευσης χωνεμένης ιλύος

Η συγκεκριμένη δεξαμενή υπάρχει στις διατάξεις όπου για την επεξεργασία της ιλύος χρησιμοποιείται χώνευση (δηλαδή για τους πληθυσμούς με πάνω από 100.000 ι.κ.). Η ύπαρξη της έγκειται στο γεγονός ότι η δεξαμενή χώνευσης λειτουργούν 24 ώρες τη μέρα και για 7 ημέρες την εβδομάδα. Αντίθετα η μηχανική αφυδάτωση της ιλύος που έπεται λειτουργεί 6 ημέρες την εβδομάδα και για 7 ώρες ημερησίως. Επομένως ανάμεσα στις δύο αυτές διατάξεις πρέπει να παρεμβάλλεται μια δεξαμενή αποθήκευσης που να μπορεί να προσαρμόζει την ημερήσια παροχή ιλύος ανάλογα με τις ανάγκες της μηχανικής αφυδάτωσης. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου όγκου (V_{ΔΕΞ,ΑΠΟΘ}) της δεξαμενής αυτής δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$V_{\Delta\text{ΕΞ,ΑΠΟΘ}} = \Theta_{\text{ΑΠΟΘ}} \cdot Q_{\text{Μ,ΧΩΝ}} \quad (3.49)$$

Όπου:

- $\Theta_{\text{ΑΠΟΘ}}$: υδραυλικός χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αποθήκευσης (λαμβάνεται ίσος με δύο (2) ημέρες)
- $Q_{\text{Μ,ΧΩΝ}}$: η ημερήσια παροχή της ιλύος μετά την χώνευση. Να τονιστεί ότι η παροχή αυτή είναι ίση με τη παροχή της ιλύος πριν τη χώνευση $Q_{\text{Π,ΧΩΝ}}$.

Μηχανική αφυδάτωση ιλύος (με ταινιοφιλτρόπρεσες)

Για την παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε για την αφυδάτωση της ιλύος η χρήση ταινιοφιλτροπρεσών. Η μηχανική αφυδάτωση της ιλύος με ταινιοφιλτρόπρεσες υπάρχει και στις δύο εξεταζόμενες διατάξεις. Υπάρχει όμως μια βασική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο διατάξεων όσον αφορά τη διστασιολόγηση της μηχανικής αφυδάτωσης. Στην πρώτη διάταξη (που αναφέρεται στους πληθυσμούς με 20.000,50.000,70.000 ι.κ.) η ημερήσια παροχή ιλύος προς αφυδάτωση είναι αυτή που προέρχεται από την μηχανική πάχυνση της βιολογικής ιλύος, δηλαδή η $Q_{\text{ΒΙΟΛ,ΠΑΧ}}$, με συγκέντρωση 5%. Στην δεύτερη διάταξη (που αναφέρεται στους πληθυσμούς με πάνω από 100.000

ι.κ.) η ημερήσια παροχή προς αφυδάτωση, είναι αυτή που προέρχεται από την δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία είναι ίση με την $Q_{M,XON}$, και έχει συγκέντρωση 3,25%.

Οι ταινιοφιλτροπρεσσες διαστασιολογήθηκαν να λειτουργούν για έξι (6) ημέρες την εβδομάδα και για επτά (7) ώρες ημερησίως. Το πλήθος των τραπεζών πάχυνσης υπολογίστηκε για δυναμικότητα κάθε τράπεζας στα 150 kg/m/h και πλάτος κάθε τράπεζας στα 2m, αφότου η παροχή της ιλύος προσαρμόστηκε ώστε να υπακούει στις 6 μέρες την εβδομάδα και τις 7 ώρες τη μέρα. Για την πραγματοποίηση της πάχυνσης χρησιμοποιήθηκε ως κροκιδωτικό πολυηλεκτρολύτης, συγκέντρωσης 8 g/kgTSS. Το τυπολόγιο που περιγράφει τον υπολογισμό του πλήθους των τραπεζών παρατίθεται παρακάτω:

$$n_{\text{TAIN}} = \frac{P_{6,7}}{150 \cdot 2} \quad (3.50)$$

Όπου:

n_{TAIN} : το πλήθος των ταινιοφιλτροπρεσσών

$P_{6,7}$: η ποσότητα της ιλύος που προέρχεται από την τράπεζα πάχυνσης για 6 ημέρες την εβδομάδα και 7 ώρες την ημέρα (για ι.κ. πάνω από 100.000), ή η ποσότητα της ιλύος που προέρχεται από την τράπεζα πάχυνσης (για τους πληθυσμούς κάτω από 100.000 ι.κ.)

Το η (σχέση 3.50) στρογγυλοποιήθηκε στον αμέσως επόμενο ακέραιο αριθμό. Ο αριθμός αυτός είναι και το πλήθος των αγωγών και αντλιών που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ιλύος από τη δεξαμενή αποθήκευσης στις ταινιοφιλτροπρεσσες. Επίσης το πλήθος των ταινιοφιλτροπρεσσών και των τραπεζών πάχυνσης, για τους πληθυσμούς με κάτω από 100.000 ι.κ. είναι το ίδιο και έχει ληφθεί ως το μεγαλύτερο των δύο.

Κατά τη αφυδάτωση επιλέχθηκε ένα ποσοστό συμπύκνωσης ιλύος 95%, έτσι η ποσότητα των ολικών στερεών μετά την πάχυνση δίνεται από τον τύπο:

$$TSS_{\text{ΑΦΥΔ}} = 0,95 \cdot TSS_{\text{ΠΡΙΝ}} \quad (3.51)$$

Όπου:

- $TSS_{\text{ΑΦΥΔ}}$: η ποσότητα των στερεών μετά την αφυδάτωση (kg/d)
- $TSS_{\text{ΠΡΙΝ}}$: η ποσότητα των στερεών πριν την αφυδάτωση

Μετά την αφυδάτωση της ιλύος επιλέχθηκε η συγκέντρωσή της να αυξηθεί από το 5 % , για τους πληθυσμούς κάτω από 100.000 ι.κ, και από το 3,25%, στους πληθυσμούς πάνω από τις 100.000 στο 25 %, δηλαδή 250 kgSS/m³. Επομένως η παροχή ($Q_{\text{ΑΦΥΔ}}$) της αφυδατωμένης ιλύος περιγράφεται από την εξής σχέση:

$$Q_{\text{ΑΦΥΔ}} = \frac{TSS_{\text{ΑΦΥΔ}}}{250 \text{ kgSS} / d} \quad (3.52)$$

Η παροχή των στραγγιδίων, που επανακυκλοφορούν για περεταιίρω επεξεργασία ($Q_{\text{ΑΦΥΔ,ΣΤΡ}}$), μετά την αφυδάτωση θα είναι η διαφορά της παροχής της εισερχόμενης ιλύος ($Q_{\text{ΠΡΙΝ}}$) (από τη δεξαμενή αποθήκευσης για πληθυσμούς πάνω από 100.000 ι.κ. και από την πάχυνση της

βιολογικής ιλύος με πληθυσμό κάτω από 100.000 ι.κ) με την παροχή της ιλύος μετά την χώνευση ($Q_{\text{ΑΦΥΔ}}$), δηλαδή:

$$Q_{\text{ΑΦΥΔ,ΣΤΡ}} = Q_{\text{ΠΙΡΙΝ}} - Q_{\text{ΑΦΥΔ}} \quad (3.53)$$

Μετά την αφυδάτωση η συμπυκνωμένη αυτή λάσπη μεταφέρεται σε χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ) ή αποτεφρώνεται.

3.3 Ανάπτυξη θεωρητικού μοντέλου ενεργειακής κατανάλωσης μιας ΕΕΛ

3.3.1 Γενικά

Στην παρούσα παράγραφο παρουσιάζονται όλες οι παραδοχές και οι τύποι υπολογισμού, που οδήγησαν στο υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης της πρότυπης εγκατάστασης επεξεργασίας ιλύος (ΕΕΛ). Πιο συγκεκριμένα γίνεται διαστασιολόγηση του υλικοτεχνικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται και υπολογίζονται αναλυτικά οι ενεργειακές καταναλώσεις όλων των δεξαμενών (βαθμίδων) επεξεργασίας των λυμάτων και της ιλύος (λάσπης). Ακόμα υπολογίζονται και διαστασιολογούνται όλες οι εκείνες αντλίες, και οι ημερήσιες ώρες λειτουργίας τους, που χρειάζονται για να μεταφέρονται τα λύματα και η ιλύς από τη μία δεξαμενή στην άλλη ενώ διστασιολογείται και το αντλιοστάσιο εσωτερικής ανακυκλοφορίας και ανακυκλοφορίας ιλύος όπως και τα αντλιοστάσια εισόδου και ανακυκλοφορίας στραγγιδίων. Η διαστασιολόγηση του υλικοτεχνικού εξοπλισμού έγινε τόσο για το χειμώνα όσο και για το καλοκαίρι και ως τα τελικά αποτελέσματα της διαστασιολόγησης χρησιμοποιήθηκαν οι μέγιστες τιμές μεταξύ των δύο. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε (και του οποίου η διαστασιολόγηση ήταν δυσμενέστερη το καλοκαίρι στις περισσότερες των περιπτώσεων) ήταν ο ίδιος σε κάθε διακριτή εγκατάσταση, δηλαδή ίδιος χειμώνα και καλοκαίρι. Ανάλογα με τις ανάγκες χειμώνα και καλοκαιριού μερικά τμήματα του υφιστάμενου εξοπλισμού είτε δεν χρησιμοποιήθηκαν, είτε δεν χρησιμοποιήθηκε όλη η εγκατεστημένη ισχύς τους. Το τελευταίο αυτό εκφράστηκε με τις ανηγμένες ώρες λειτουργίας, οι οποίες προσομοιάζουν τις ώρες που θα λειτουργούσε το κάθε μηχάνημα αν χρησιμοποιούνταν μόνο η απαραίτητη ισχύς.

Η ενεργειακή κατανάλωση υπολογίζεται για όλους τους ισοδύναμους πληθυσμούς και για όλα τα σενάρια υπολογισμού και επισημαίνονται οι διαφοροποιήσεις τους. Η ενεργειακή κατανάλωση αφορά τόσο την αξιολόγηση και σύγκριση του ενεργειακού κόστους κάποιας συγκεκριμένης διάταξης μιας ΕΕΛ, όσο και τον προσδιορισμό των έμμεσων παραγωγών αερίων θερμοκηπίου που προέρχονται από την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος (από τη ΔΕΗ) που καταναλώνεται σε μία ΕΕΛ.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο το πρότυπο θεωρητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε περιλαμβάνει δύο τύπους εγκαταστάσεων. Η πρώτη εξ'αυτών αναφέρεται σε πληθυσμούς με ισοδύναμους κατοίκους κάτω από 100.000, ενώ η δεύτερη σε πληθυσμούς με πάνω από 100.000 ι.κ.. Η πρώτη διάταξη περιλαμβάνει αντλιοστασιο εισόδου, έργα προεπεξεργασίας, βιολογική βαθμίδα (δεξαμενές αερισμού, αναερόβιες, ανοξικές, δεξαμενή τελικής καθίζησης), πάχυνση και αφυδάτωση βιολογικής ιλύος. Η δεύτερη διάταξη περιλαμβάνει ότι και η πρώτη και επιπλέον δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, πάχυνση πρωτοβάθμιας ιλύος και αναερόβια χώνευση βιολογικής και πρωτοβάθμιας ιλύος με ταυτόχρονη συμπαραγωγή ενέργειας.

Όλες οι διατάξεις των ισοδύναμων πληθυσμών που χρησιμοποιήθηκαν και ελέχθησαν για την ενεργειακή κατανάλωση, διαστασιολογήθηκαν με την ημερήσια παροχή αιχμής. Στη συνέχεια το πρότυπο μοντέλο επαναλειτούργησε για τη μέση ημερήσια παροχή των λυμάτων χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό που είχε υπολογιστεί από την παροχή αιχμής αλλά με λιγότερες ώρες λειτουργίας ημερησίως. Τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί, από το μοντέλο ενεργειακής κατανάλωσης, και παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική αναφέρονται στη μέση ημερήσια παροχή των λυμάτων.

3.3.2 Αντλιοστάσιο εισόδου

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο η σχέση που αποδίδει την ισχύ του συγκεκριμένου αντλιοστασίου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$P(kW) = \frac{1000 \cdot g \cdot Q \cdot H_{\mu\alpha\nu}}{\varepsilon} \quad (3.54)$$

Όπου:

- P: ισχύς αντλιοστασίου εισόδου (kW)
- g: η επιτάχυνση της βαρύτητας (λαμβάνεται ίση με 9,81)
- Q: η ημερήσια παροχή των εισερχομένων λυμάτων πολλαπλασιασμένη επί δύο (2) (m³/s)
- H_{μ α ν} : μανομετρικό ύψος αντλίας (m) (λαμβάνεται ίσο με 5m)
- ε: βαθμός ενεργειακής απόδοσης (λαμβάνεται ίσος με 0,65)

Το αντλιοστάσιο εισόδου λειτουργεί 365 ημέρες το χρόνο, εικοσιτέσσερις (24) ώρες την ημέρα και έχει διαστασιολογηθεί όπως έχει προαναφερθεί για την ημερήσια παροχή αιχμής. Όταν λειτουργεί με την μέση ημερήσια παροχή πάλι λειτουργεί εικοσιτέσσερις ώρες τη μέρα όμως δεν αποδίδεται όλη η εγκατεστημένη ισχύς του. Για τον λόγο αυτό για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσής του χρησιμοποιούμε τις ανηγμένες ώρες λειτουργίας του τη μέρα που δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$H_{\text{ΑΝΗΓ}} = \frac{Q_{\text{ΜΕΣΗ}}}{Q_{\text{ΑΙΧΜΗΣ}}} \cdot 24h \quad (3.55)$$

Όπου:

- H_{ΑΝΗ}
- Γ: οι ανηγμένες ώρες λειτουργίας τη μέρα (hours)
- Q_{ΜΕΣΗ}: η μέση ημερήσια παροχή (m³/d)
- Q_{ΑΙΧΜΗΣ}: η ημερήσια παροχή αιχμής (m³/d)

Η μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας του αντλιοστασίου εισόδου δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S_{\text{ΑΝΤΛ,ΕΙΣ}} = H_{\text{ΑΝΗΓ}} \cdot P \quad (3.56)$$

Όπου:

- S_{ΑΝΤΛ,ΕΙΣ}: η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας του αντλιοστασίου εισόδου (kWh/d)
- H_{ΑΝΗΓ}: οι ανηγμένες ώρες λειτουργίας τη μέρα (hours)
- P: ισχύς αντλιοστασίου εισόδου (kW)

3.3.3 Έργα προεπεξεργασίας

Στην παρούσα διπλωματική δεν έγινε αναλυτική διαστασιολόγηση και αναλυτικός υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης των έργων προεπεξεργασίας. Αντί αυτού αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα από εννέα (9) υπάρχουσες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για τον υπολογισμό της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης των έργων προεπεργασίας. Τα δεδομένα αυτά κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με την παροχή τους σε τρεις (3) βασικές κλάσεις. Η κατηγοριοποίηση αυτή όπως και η επεξεργασία των δεδομένων παρουσιάζονται στον πίνακα 3.7 που ακολουθεί:

Πίνακας 3.7 Κατανάλωση ενέργειας από έργα προεπεξεργασίας από μελέτη 9 πραγματικών ΕΕΑ (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	2349	171,65	0,073073648	0,073073648
10000-20000	10674	839,75	0,078672475	0,061269531
	14857	928,45	0,062492428	
	19208	819,1	0,04264369	
20000-35000	24609	69,078	0,002807022	0,023106238
	26833	436,81	0,016278836	
	28605	751,09	0,026257298	
	31508	519,69	0,016493906	
	33851	1817,6	0,05369413	

Για τον υπολογισμό της ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης από τα έργα προεπεξεργασίας, όλων των ισοδύναμων πληθυσμών, αρχικά χρησιμοποιήθηκε η ημερήσια παροχή αιχμής για να κατηγοριοποιηθεί σε μία από τις τρεις κλάσεις ο αντιστοίχως ισοδύναμος πληθυσμός. Αφού επιλέχθηκε η σωστή κλάση, πολλαπλασιάστηκε η μέση ημερήσια παροχή με την τελευταία στήλη του πίνακα 3.9. Το αποτέλεσμα αυτού του πολλαπλασιασμού έδωσε (σε kWh/d) την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας από τα έργα προεπεξεργασίας.

3.3.4 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ)

Η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι εξοπλισμένη με ένα πυθμενικό ξέστρο, το οποίο βρίσκεται σε λειτουργία για εικοσιτέσσερις (24) ώρες τη μέρα και 365 ημέρες το χρόνο. Για τον υπολογισμό της ισχύος του πυθμενικού ξέστρου χρησιμοποιήθηκε η παραδοχή ότι απαιτούνται 2W ανά 1m³ (2W/m³), για όλους τους ισοδύναμους πληθυσμούς και για όλα τα σενάρια. Ο υπολογισμός της ημερήσιας μέσης ενεργειακής κατανάλωσης προέκυψε από τον πολλαπλασιασμό του όγκου της ΔΠΚ επί 0,002 kW επί 24 ώρες όπως φαίνεται στον παρακάτω τύπο υπολογισμού:

$$S_{\Delta\text{TK}} \text{ (kW)} = V_{\Delta\text{TK}} \text{ (m}^3\text{)} \cdot 24 \cdot 0,002 \quad (3.57)$$

3.3.5 Βιολογική βαθμίδα

Δεξαμενή αερισμού

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης της δεξαμενής αερισμού χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικές διατάξεις. Αυτές είναι υποβρύχιος αερισμός με σύστημα διαχυτήρων-φουσητήρων και επιφανειακός αερισμός. Για τον προσδιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση:

$$S_{AEP} = \frac{SOTR}{\varepsilon} \quad (3.58)$$

Όπου:

- S_{AEP} : η μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (Kw)
- SOTR: η μέση ζήτηση οξυγόνου σε κανονικές συνθήκες (kgO_2/d)
- ε : απόδοση αερισμού (kgO_2/kWh)

Η απόδοση αερισμού λήφθηκε ίση με $4 kgO_2/kWh$ για τον αερισμό με φουσητήρες-διαχυτήρες και $2,2 kgO_2/kWh$ για τον επιφανειακό αερισμό.

Αναερόβια και ανοξική δεξαμενή

Για τις δεξαμενές απονιτροποίησης (ανοξική) και απομάκρυνσης φωσφόρου (αναερόβια) για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύς του εγκατεστημένου εκεί εξοπλισμού χρησιμοποιήθηκε η παραδοχή ότι απαιτούνται $8W$ ανά $1m^3$ ($8W/m^3$). Οι δεξαμενές αυτές λειτουργούν για 24 ώρες ημερησίως και 365 ημέρες το χρόνο. Ο υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S_{ANAEP,ANOΞ} (kWh / d) = 0,008(kW / m^3) \cdot V_{ANAEP+ANOΞ} (m^3) \cdot 24(h / d) \quad (3.59)$$

Όπου $V_{ANAEP+ANOΞ}$: το άθροισμα του αναερόβιου και ανοξικού όγκου (m^3)

Δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔTK)

Στη δεξαμενή τελικής καθίζησης υπάρχει εγκατεστημένο ένα πυθμενικό ξέστρο το οποίο λειτουργεί 24 ώρες τη μέρα και 365 ημέρες το χρόνο. Για τον υπολογισμό της ισχύς του έγινε η παραδοχή ότι απαιτούνται $2 W$ ανά $1m^3$. Επομένως η μέση ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση του διέπεται από τη σχέση:

$$S_{\Delta TK} (kWh / d) = 0,002(kW / m^3) \cdot V_{\Delta TK} (m^3) \cdot 24(h / d) \quad (3.60)$$

Όπου $V_{\Delta TK}$: ο όγκος της ΔTK για τη μέση ημερήσια παροχή (m^3)

Χλωρίωση

Οι δοσομετρικές αντλίες για την παροχή του χλωρίου στα λύματα καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια ημερησίως, οπότε δεν λήφθηκαν υπ' όψιν στην συνολική ενεργειακή κατανάλωση, ενώ η μεταφορά των λυμάτων από τη ΔTK στη χλωρίωση γίνεται με βαρύτητα.

3.3.6 Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας

Αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας

Ο υπολογισμός των δυναμικοτήτων των αντλιών εσωτερικής ανακυκλοφορίας βασίστηκε στο γεγονός ότι επιλέχθηκε να τοποθετηθούν τέσσερις (4) αντλίες στις εγκαταστάσεις με πληθυσμό από 20.000 μέχρι και 2100.000 ι.κ., έξι (6) αντλίες στις εγκαταστάσεις με πληθυσμό 150.000 και οκτώ (8) αντλίες στις εγκαταστάσεις με πληθυσμό από 200.000 μέχρι και 500.000 ι.κ. Για την εύρεση της απαιτούμενης δυναμικότητας χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος:

$$Q_{\text{ANTΛ}} = \frac{3 \cdot Q_{\text{ΑΙΧΜΗΣ}}}{n} \quad (3.61)$$

Όπου $Q_{\text{ΑΙΧΜΗΣ}}$: η ημερήσια παροχή αιχμής των λυμάτων (m^3/h) και n το πλήθος των αντλιών

Η απαιτούμενη ισχύς υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$P(\text{kW}) = \frac{1000 \cdot g \cdot Q_{\text{ANTΛ}} \cdot H_{\text{μιν}}}{\varepsilon} \quad (3.62)$$

Όπου:

- $Q_{\text{ANTΛ}}$: η δυναμικότητα μιας αντλίας (m^3/s)
- g : η επιτάχυνση της βαρύτητας (λαμβάνεται ίση με 9,81)
- $M_{\text{μιν}}$: μανομετρικό ύψος αντλίας (λαμβάνεται ίσο με 1m)
- ε : βαθμός απόδοσης αντλίας (λαμβάνεται ίσος με 0,7)

Οι ώρες λειτουργίας τη μέρα προέκυψαν από τη σχέση: $H(h) = \frac{Q \cdot r}{Q_{\text{ANTΛ}} \cdot n} \quad (3.63)$

Όπου:

- Q : η μέση ημερήσια παροχή των λυμάτων (m^3/h)
- r : ποσοστό ανακυκλοφορίας (όπως υπολογίστηκε από τη σχέση 2.27)
- $Q_{\text{ANTΛ}}$: η δυναμικότητα της αντλίας (m^3/h)
- n : το πλήθος των αντλιών

Επομένως η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας είναι:

$$S(\text{kWh} / d) = P(\text{kW}) \cdot n \cdot H(h / d) \quad (3.64)$$

Αντλίες ανακυκλοφορίας ύψους

Το πλήθος (n) των αντλιών ανακυκλοφορίας ύψους επιλέχθηκε να είναι δύο (2) για τους πληθυσμούς με 20.000 ι.κ., τρεις (3) για τους πληθυσμούς με 50.000, 70.000 και 150.000 ι.κ., τέσσερις (4) για τους πληθυσμούς με 100.000, 200.000 και 350.000 ι.κ και πέντε (5) για τους πληθυσμούς με 500.000 ι.κ.. Για την εύρεση της απαιτούμενης δυναμικότητας χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος:

$$Q_{\text{ANTΛ}} = \frac{1,5 \cdot Q_{\text{ΑΙΧΜΗΣ}}}{n} \quad (3.65)$$

Όπου $Q_{\text{ΑΙΧΜΗΣ}}$: η ημερήσια παροχή αιχμής των λυμάτων (m^3/h) και n το πλήθος των αντλιών

Η απαιτούμενη ισχύς υπολογίστηκε από τον τύπο:
$$P(kW) = \frac{1000 \cdot g \cdot Q_{\text{ΑΝΤΛΑ}} \cdot H_{\mu\alpha\nu}}{\varepsilon} \quad (3.66)$$

Όπου:

- $Q_{\text{ΑΝΤΛΑ}}$: η δυναμικότητα μιας αντλίας (m^3/s)
- g : η επιτάχυνση της βαρύτητας (λαμβάνεται ίση με 9,81)
- $M_{\mu\alpha\nu}$: μανομετρικό ύψος αντλίας (λαμβάνεται ίσο με 5m)
- ε : βαθμός απόδοσης αντλίας (λαμβάνεται ίσος με 0,7)

Οι ώρες λειτουργίας τη μέρα και η κατανάλωση ενέργειας προέκυψαν όπως και στις αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας βασιζόμενες στις σχέσεις (3.3.10) και (3.3.11).

Αντλίες περίσσειας ύλους

Οι αντλίες περίσσειας ύλους, οι οποίες τροφοδοτούν τη δεξαμενή αποθήκευσης βιολογικής ύλους από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης, επιλέχθηκαν να λειτουργούν οκτώ (8) ώρες τη μέρα. Ακόμα επιλέχθηκε να υπάρχουν 2 σε κάθε εγκατάσταση. Η σχέση που αποδίδει την απαιτούμενη ισχύς τους είναι η παρακάτω:

$$P(kW) = \frac{1000 \cdot g \cdot Q_W \cdot H_{\mu\alpha\nu}}{\varepsilon} \quad (3.67)$$

Όπου:

- Q_W : η παροχή περίσσειας ύλους (m^3/s)
- g : η επιτάχυνση της βαρύτητας (λαμβάνεται ίση με 9,81)
- $M_{\mu\alpha\nu}$: μανομετρικό ύψος αντλίας (λαμβάνεται ίσο με 5m)
- ε : βαθμός απόδοσης αντλίας (λαμβάνεται ίσος με 0,7)

Η σχέση (3.3.14) εφαρμόστηκε τόσο για την παροχή αιχμής όσο και για τη μέση παροχή της περίσσειας ύλους. Ο λόγος των τελευταίων με πολλαπλασιασμό επί 8 ώρες μας δίνει τις μέσες ανηγμένες ώρες ανά ημέρα. Οι ανηγμένες ώρες με πολλαπλασιασμό επί το πλήθος των αντλιών και επί της μέγιστης εγκατεστημένης ισχύος (το αποτέλεσμα της 3.3.14 για την παροχή αιχμής) δίνει τη μέση ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση των αντλιών περίσσειας ύλους.

3.3.7 Πάχυνση ύλους (πρωτοβάθμια και βιολογική)

Πάχυνση βαρύτητας πρωτοβάθμιας ύλους

Ο παχυντής βαρύτητας λειτουργεί 24 ώρες τη μέρα και 365 ημέρες το χρόνο. Περιλαμβάνει ένα πυθμενικό ξέστρο για το οποίο έγινε η παραδοχή ότι απαιτούνται 1,5W ανά 1m^3 . Ο υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S_{\text{ΠΠΥ}} (kWh / d) = 0,0015(kW / m^3) \cdot V_{\text{ΠΠ}} (m^3) \cdot 24(h / d) \quad (3.68)$$

Όπου $V_{\text{ΠΠ}}$: ό όγκος του παχυντή βαρύτητας (m^3) που αντιστοιχεί στη μέση ημερήσια παροχή

Για την διαστασιολόγηση της τροφοδοσίας της πρωτοβάθμιας ύλους στον παχυντή βαρύτητας επιλέχθηκαν 2 αντλίες για όλους τους ισοδύναμους πληθυσμούς. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν αντλίες των οποίων η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς προέκυψε από την σχέση (3.3.1) με Q την παροχή της πρωτοβάθμιας ύλους (m^3/h) (που αντιστοιχεί στην παροχή αιχμής), μανομετρικό ύψος αντλίας

$H_{\mu\alpha\nu}=5$ m και βαθμό απόδοσης αντλίας $\varepsilon=0,7$. Οι ώρες σχεδιασμού, που αντιστοιχούν στην παροχή αιχμής, είναι 8. Οι ανηγμένες ώρες (που αντιστοιχούν στη μέση παροχή) προέκυψαν από τον πολλαπλασιασμό των 8 ωρών με τον λόγο της σχέσης (3.54), με το αντίστοιχο Q της μέσης παροχής, προς τη σχέση (3.54), με το αντίστοιχο Q της παροχής αιχμής. Η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας είναι το γινόμενο των ανηγμένων ωρών με τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ επί το πλήθος των αντλιών (οι οποίες είναι 2 σε όλους τους πληθυσμούς).

Δεξαμενή αποθήκευσης βιολογικής ιλύος

Η δεξαμενή αποθήκευσης βιολογικής ιλύος περιέχει μια επιφανειακή γέφυρα ανάδευσης η οποία λειτουργεί 24 ώρες ημερησίως και 365 ημέρες το χρόνο. Έγινε η παραδοχή ότι απαιτούνται 8W ανά $1m^3$. Ο υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S_{\text{ΠΠΥ}} (kWh / d) = 0,008(kW / m^3) \cdot V_{\Delta\text{ABI}} (m^3) \cdot 24(h / d) \quad (3.69)$$

Όπου $V_{\Delta\text{ABI}}$: όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης (m^3) που αντιστοιχεί στη μέση ημερήσια παροχή

Μηχανική πάχυνση βιολογικής ιλύος

Οι τράπεζες πάχυνσης είναι διαστασιολογημένες να λειτουργούν επτά (7) ώρες τη μέρα και έξι (6) ημέρες την εβδομάδα για την ημερήσια παροχή αιχμής. Η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς ($P_{\text{BΠ}}$) των τραπεζών πάχυνσης είναι 2 Kw. Όταν οι τράπεζες λειτουργούν με τη μέση ημερήσια παροχή πάλι λειτουργούν για 7 ώρες και 6 ημέρες ωστόσο δεν χρησιμοποιούν όλη την εγκατεστημένη ισχύς. Το πλήθος των παχυντών δίνεται από τη σχέση (3.41). Ο υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης ($S_{\text{BΠ}}$) γίνεται με βάση τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς επί τις ανηγμένες ώρες λειτουργίας ($H_{\text{ΑΝΟΙΓ}}$) επί το πλήθος των παχυντών (n) (που λειτουργούν) όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$S_{\text{BΠ}} (kWh / d) = n \cdot H_{\text{ΑΝΟΙΓ}} (h / d) \cdot 2(kW) \quad (3.70)$$

$$\text{Όπου: } H_{\text{ΑΝΟΙΓ}} (h) = \frac{7(h) \cdot W_{\text{BΠ}} (kg / h)}{2(m) \cdot 150(kg / m / h) \cdot n} \quad (3.71)$$

Με $W_{\text{BΠ}}$: η ωριαία ποσότητα ιλύος για πάχυνση (kg/h) ενώ χρησιμοποιούνται τράπεζες πάχυνσης πλάτους 2 μέτρων και δυναμικότητας 150 kg/m/h.

Για την τροφοδοσία της βιολογικής ιλύος στην τράπεζα πάχυνση χρησιμοποιήθηκαν αντλίες με μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς 4 kW που λειτουργούν τις ανηγμένες ώρες λειτουργίας (όσες και οι ώρες λειτουργίας των τραπεζών). Το γινόμενο των ωρών αυτών με την εγκατεστημένη τους ισχύ δίνει την ενεργειακή κατανάλωση των αντλιών.

Για τον υπολογισμό των δοσομετρικών αντλιών του συστήματος πολυηλεκτρολύτη, που χρησιμοποιούν ως κροκιδωτικό οι τράπεζες πάχυνσης, χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας 3.8 με μία (1) ώρα λειτουργίας τη μέρα.

Πίνακας 3.8 Ισχύς δοσομετρικών αντλιών για το σύστημα πολυηλεκτρολύτη

Παροχή (l/h)	Δυναμικότητα (kW)
500	0,6
1000	0,65
1500	0,75
2000	0,85
2500	0,93
3000	1

3.3.8 Αναερόβια χώνευση ιλύος (πρωτοβάθμια και βιολογική)

Αναερόβιοι χωνευτές

Οι αναερόβιοι χωνευτές λειτουργούν για 24 ώρες τη μέρα και για όλη τη διάρκεια του έτους. Περιέχουν ως υλικοτεχνικό εξοπλισμό επιφανειακούς αναδευτήρες για τους οποίους έγινε η παραδοχή ότι η απαιτούμενη ισχύς τους είναι 5W ανά 1 m³. Για την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας έγινε η παραδοχή ότι υπάρχει ένας συντελεστής προσαύξησης του ολικού όγκου χωνευτών κατά 1,15. Επομένως η κατανάλωση αυτή είναι:

$$S_{X\Omega N} (kWh / d) = 1,15 \cdot V_{O\Lambda, X\Omega N} (m^3) \cdot 5(kW / m^3) \cdot 24(h / d) \quad (3.72)$$

Με $V_{O\Lambda, X\Omega N}$: ο συνολικός όγκος των χωνευτών (m³)

Η απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση της ιλύος και οι περιμικές απώλειες των χωνευτών περιγράφονται από τις σχέσεις (3.47) και (3.48) αντιστοίχως. Για την παραγωγή βιοαερίου από τα λύματα έγινε η παραδοχή ότι 1 kgSS παράγει 1m³ βιοαερίου, ενώ τα ποσοστά μετατροπής του βιοαερίου σε διάφορες μορφές ενέργειας εκφράζονται στον πίνακα 3.7

Για την τροφοδοσία της παχυμένης πρωτοβάθμιας ιλύος στους χωνευτές επιλέχθηκαν 2 αντλίες για όλους τους πληθυσμούς των οποίων η εγκατεστημένη ισχύς είναι 2 kw για τους πληθυσμούς με 100.000 ι.κ, 3 kW για τους πληθυσμούς με 150.000 και 200.000 ι.κ. και 4 kW για τους πληθυσμούς με 350.000 και 500.000. Οι ώρες λειτουργίας αυτών είναι 24 τη μέρα και η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας προέκυψε ως το γινόμενο των ωρών λειτουργίας με την εγκατεστημένη ισχύ.

Για την τροφοδοσία της παχυμένης βιολογικής ιλύος χρησιμοποιήθηκαν αντλίες οι οποίες είναι όσες και οι τράπεζες πάχυνσης οι οποίες λειτουργούν όσες ώρες και οι τράπεζες πάχυνσης (ανηγμένες ώρες). Η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς τους είναι 4,5 kW. Η μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας είναι το γινόμενο της εγκατεστημένης ισχύος επί το πλήθος των αντλιών επί τις ανηγμένες ώρες λειτουργίας τους.

Δεξαμενή αποθήκευσης χωνεμένης ιλύος

Η δεξαμενή αποθήκευσης χωνεμένης ιλύος λειτουργεί όλο το 24ώρο για όλο το χρόνο. Έγινε η παραδοχή ότι απαιτούνται 8W ανά 1 m³ για τη λειτουργία του εκεί υπάρχοντος αναδευτή. Η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$S_{\Delta\Lambda XY} (KwH / d) = 0,008(kW) \cdot V_{\Delta\Lambda XY} (m^3) \cdot 24(h / d) \quad (3.73)$$

Με $V_{\Delta XY}$: ο όγκος της δεξαμενής αποθήκευσης χωνεμένης ιλύος (m^3)

Η τροφοδοσία της χωνεμένης ιλύος στη δεξαμενή αποθήκευσης γίνεται με βαρύτητα, επομένως δεν καταναλώνεται ενέργεια.

3.3.9 Αφυδάτωση ιλύος (με ταινιοφιλτρόπρεσσες)

Ταινιοφιλτρόπρεσσες

Οι ταινιοφιλτρόπρεσσες είναι διαστασιολογημένες να λειτουργούν επτά (7) ώρες τη μέρα και έξι (6) ημέρες την εβδομάδα για την ημερήσια παροχή αιχμής. Η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς ($P_{\text{BΠ}}$) των ταινιοφιλτροπρεσσών είναι 2 Kw. Όταν οι ταινιοφιλτρόπρεσσες λειτουργούν με τη μέση ημερήσια παροχή πάλι λειτουργούν για 7 ώρες και 6 ημέρες ωστόσο δεν χρησιμοποιούν όλη την εγκατεστημένη ισχύς. Το πλήθος τους δίνεται από τη σχέση (3.50). Ο υπολογισμός της ενεργειακής κατανάλωσης ($S_{\text{ΑΦΥΔ}}$) γίνεται με βάση τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς επί τις ανηγμένες ώρες λειτουργίας ($H_{\text{ΑΝΗ}}$)

Γ) επί το πλήθος των ταινιοφιλτροπρεσσών (n) (που λειτουργούν) όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$S_{\text{ΑΦΥΔ}} (kWh / d) = n \cdot H_{\text{ΑΝΟΙΓ}} (h / d) \cdot 2(kW) \quad (3.74)$$

$$\text{Όπου: } H_{\text{ΑΝΟΙΓ}} (h) = \frac{7(h) \cdot W_{\text{ΑΦΥΔ}} (kg / h)}{2(m) \cdot 150(kg / m / h) \cdot n} \quad (3.75)$$

Με $W_{\text{ΑΦΥΔ}}$: η ωριαία ποσότητα ιλύος για αφυδάτωση (kg/h) ενώ χρησιμοποιούνται ταινιοφιλτρόπρεσσες πλάτους 2 μέτρων και δυναμικότητας 150 kg/m/h.

Η τροφοδοσία της χωνεμένης ιλύος από τη δεξαμενή αποθήκευσης γίνεται με αντλίες των οποίων το πλήθος και οι ώρες λειτουργίας τους (ανηγμένες) είναι όσες και οι ταινιοφιλτρόπρεσσες. Η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς τους είναι 5 kW. Επομένως η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας τους προκύπτει ως το γινόμενο του πλήθους τους επί την μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς επί τις ανηγμένες ώρες λειτουργίας τους.

Για τον υπολογισμό των δοσομετρικών αντλιών του συστήματος πολυηλεκτρολύτη, που χρησιμοποιούν ως κροκιδωτικό οι ταινιοφιλτρόπρεσσες χρησιμοποιήθηκε επίσης ο πίνακας 3.1 για μία (1) ώρα λειτουργίας τη μέρα.

3.3.10 Αντλιοστάσιο στραγγιδίων

Το νερό το οποίο είναι παραπροϊόν της πρωτοβάθμιας και βιολογικής πάχυνσης αλλά και της αφυδάτωσης της ιλύος καλείται στραγγίδια και υπάρχει ανάγκη επανακυκλοφορίας του στην ΕΕΛ για περαιτέρω επεξεργασία. Για το λόγο αυτό υπάρχει εγκατεστημένο ένα αντλιοστάσιο συλλογής, από τις τρεις αυτές διατάξεις, και επανακυκλοφορίας των στραγγιδίων. Για τη διαστασιολόγηση του οποίου προστίθενται οι παροχές των σχέσεων (3.38), (3.44), (3.53) και μετατρέπονται σε ισοδύναμες παροχές για επτά (7) ημέρες λειτουργίας (όσες ήταν για 6 ημέρες λειτουργίας). Η εγκατεστημένη ισχύς του αντλιοστασίου αυτού περιγράφεται από τη σχέση (3.54) για την παροχή αιχμής (Q) που προαναφέρθηκε. Μανομετρικό ύψος αντλίας 4,5 m και βαθμό απόδοσης ε ίσο με 0,65. Οι ώρες λειτουργίας σχεδιασμού είναι 8, για την παροχή αιχμής. Για τον υπολογισμό της μέσης

ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν οι ανηγμένες ώρες λειτουργίας επί τη μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ.

3.4 Ανάπτυξη θεωρητικού μοντέλου εκπομπής αερίων θερμοκηπίου από μία ΕΕΛ

3.4.1 Γενικά

Στην παρούσα παράγραφο αναπτύσσονται λεπτομερώς οι μαθηματικές και στοιχειομετρικές σχέσεις καθώς και οι παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο υπολογισμού εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, που προέρχονται από υή λειτουργία μίας ΕΕΛ. Το μοντέλο βασίζεται στις εξισώσεις του Bridle et al. 2008 (Mamais et al. 2015)

Όλα τα αέρια θερμοκηπίου εκφράζονται σε ισοδύναμο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Το δυναμικό συμβολής στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Global Warming Potensial, GWP), όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι ο λόγος της θερμότητας που παγιδεύεται στη μονάδα μάζας του εν λόγω αερίου θερμοκηπίου συγκρινόμενη με τη θερμότητα που παγιδεύεται στη μονάδα μάζας του CO₂ για χρονική περίοδο συνήθως 100 έτη. Στον πίνακα 3.9 δίνεται δυναμικό συμβολής των παραπάνω αερίων θερμοκηπίου.

Πίνακας 3.9 Δυναμικό συμβολής στο φαινόμενο θερμοκηπίου ορισμένων αερίων

Αέρια θερμοκηπίου	Χημική ονομασία	Δυναμικό συμβολής
Διοξείδιο του άνθρακα	CO ₂	1
Μεθάνιο	CH ₄	23
Οξείδιο του αζώτου	N ₂ O	296

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά η κατηγοριοποίηση των αερίων θερμοκηπίου σε άμεσες και έμμεσες εκπομπές.

Άμεσες εκπομπές:

- CO₂: από τις διεργασίες στη δεξαμενή αερισμού, από την καύση του βιοαερίου σε πυρσό καύσης
- N₂O: από υή διαδικασία της απονιτροποίησης, στην ανοξική δεξαμενή
- CH₄: από τη διαφυγή του βιοαερίου στην ατμόσφαιρα λόγω ατελούς καύσης

Έμμεσες εκπομπές:

- CO₂: από την καύση ιλών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται εκτός ΕΕΛ, από την διαδικασία παραγωγή των χημικών, από την καύση του παραγόμενου αερίου που προέρχεται από την αναερόβια αποσύνθεση της ύλης που έχει διατεθεί στον ΧΥΤΑ
- CH₄: από την διαφυγή του παραγόμενου αερίου που προέρχεται από την αναερόβια αποσύνθεση της ύλης που έχει διατεθεί στον ΧΥΤΑ

Για όλους του εξεταζόμενους ισοδύναμους πληθυσμούς και σενάρια αναπτύχθηκε μοντέλο υπολογισμού των αερίων θερμοκηπίου ανάλογο εκείνου της λειτουργίας της ΕΕΛ και της ενεργειακής κατανάλωσης. Για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, χρησιμοποιήθηκαν το οργανικό φορτίο εισόδου και εξόδου, η περίσσεια ύλης, το παραγόμενο

βιοαέριο και η ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕΛ. Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι συντελεστές μετατροπής που προκύπτουν από τη στοιχειομετρία των αντιδράσεων και την απόδοση των διεργασιών απομάκρυνσης του οργανικού φορτίου. Οι εκπομπές υπολογίστηκαν και για το χειμώνα και για το καλοκαίρι για τη μέση ημερήσια παροχή λυμάτων. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν ομαδοποιήθηκαν ανάλογα με το σενάριο στο επόμενο κεφάλαιο.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι σχέσεις και οι παραδοχές που έγιναν στο μοντέλο παραγωγής αερίων θερμοκηπίου.

3.4.2 Υπολογισμός αερίων θερμοκηπίου από τις βιολογικές διεργασίες

Παραγωγή CO₂ από την αποσύνθεση βιομάζας

Η βιομάζα που αποσυντίθεται με την ενδογενή αναπνοή, δίνεται από την ακόλουθη σχέση

$$x_{decay} = Q \cdot HRT \cdot MLVSS \cdot b_H \quad (3.76)$$

Όπου:

- X_{decay} : η βιομάζα που αποσυντίθεται ανά ημέρα (kgVSS/d)
- Q : η μέση ημερήσια παροχή των λυμάτων (m³/d)
- HRT : ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (d)
- $MLVSS$: η συγκέντρωση ανάμικτου υγρού (mg/l)
- b_H : η ειδική ταχύτητα φθοράς των ετεροτροφικών μικροοργανισμών (d⁻¹)

Η στοιχειακή σύνθεση της βιομάζας είναι C₅H₇O₂N και η μετατροπή της σε CO₂ δίνεται από τη σχέση:



Προκύπτει ότι 1 kg C₅H₇O₂N παράγει 1,947 kg CO₂ και επομένως η παραγόμενη ποσότητα CO₂ από την ενδογενή αποσύνθεση της βιομάζας είναι:

$$CO_{2,biomass_decay} = x_{decay} \cdot 1,947 \quad (3.78)$$

Παραγωγή CO₂ από την παραγωγή βιομάζας

Ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$Y_{obs} = \frac{Y_H}{1 + b_H \cdot \theta_{C,TOTAL}} \quad (3.79)$$

Όπου:

- Y_{obs} : ο παρατηρούμενος συντελεστής παραγωγής βιομάζας (kgVSS/kgBOD_{5,removed})
- Y_H : ο συντελεστής ετεροτροφικής παραγωγής βιομάζας (kgVSS/kgBOD_{5,removed})
- $\theta_{C,TOTAL}$: ο ολικός χρόνος παραμονής των στερεών στη βιολογική βαθμίδα (days)
- b_H : η ειδική ταχύτητα φθοράς των ετεροτροφικών μικροοργανισμών (days⁻¹)

Η καθαρή ποσότητα βιομάζας προκύπτει από την ποσότητα του οργανικού φορτίου που οξειδώνεται στη βιολογική βαθμίδα:

$$x_{net,produced} = Y_{obs} \cdot Q \cdot \left(\frac{100-a}{100} \cdot BOD_{5,IN} - BOD_{5,OUT} \right) \quad (3.80)$$

Όπου:

- $x_{net,produced}$: η βιομάζα που παράγεται ανά ημέρα (kgVSS/d)
- a : η απόδοση της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας στην απομάκρυνση BOD₅
- BOD_{5,IN}: η συγκέντρωση BOD₅ στην είσοδο της εγκατάστασης
- BOD_{5,OUT}: η συγκέντρωση BOD₅ στην έξοδο της εγκατάστασης
- Q: η μέση ημερήσια παροχή λυμάτων (m³/d)

Έστω ότι η κατανάλωση οξυγόνου κατά την παραγωγή της βιομάζας $x_{net,produced}$ είναι R_{O₂}. Η στοιχειακή σύνθεση του BOD₅ είναι C₁₀H₁₉O₃N και κατά την οξείδωση του η αναλογία κατανάλωση O₂ προς την παραγωγή CO₂ είναι (25·32)/(20·44) ή 1/1,1. Δηλαδή για 1 kgO₂ παράγεται 1,1 kgCO₂



Επομένως η παραγόμενη ποσότητα CO₂ από την οξείδωση του οργανικού φορτίου είναι:

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

Η κατανάλωση οξυγόνου κατά την παραγωγή της βιομάζας υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$R_{O_2} = \left[f - \frac{K_e \cdot Y_H}{1 + b_H \cdot \theta_{C,TOTAL}} \right] \cdot E_H \cdot Q \cdot F_0 \quad (3.83)$$

Όπου:

- R_{O₂}: η ολική απαίτηση οξυγόνου σε συνθήκες πεδίου (kgO₂/d)
- Q: η μέση ημερήσια παροχή λυμάτων (m³/d)
- $\theta_{C,TOTAL}$: ο ολικός χρόνος παραμονής των στερεών στη βιολογική βαθμίδα (days)
- K_e: ισοδύναμο BOD_u της μάζας των μικροοργανισμών (λαμβάνεται ίσο με 1,4)
- F₀: η συγκέντρωση BOD₅ εισόδου στο σύστημα (mg/l)
- f: ο λόγος BOD_u/ BOD₅ (λαμβάνεται ίσος με 1,6)
- Y_H: ο συντελεστής παραγωγής ετεροτροφικής βιομάζας (kgVSS/kgBOD₅)
- b_H: η ειδική ταχύτητα φθοράς των ετεροτροφικών μικροοργανισμών (days⁻¹)

Κατανάλωση CO₂ κατά τη νιτροποίηση

Η βιομάζα C₅H₇O₂N έχει μοριακό βάρος 113 και το άζωτο (N) έχει μοριακό βάρος 14. Επομένως η ποσότητα αζώτου που περιέχεται στη βιομάζα είναι:

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

Σε προηγούμενο κεφάλαιο έχει γίνει η παραδοχή ότι το 15% του εισερχόμενου ολικού αζώτου, TN_{IN}, καταναλώνεται για την παραγωγή της βιομάζας και το 8% διαφεύγει με την περίσσεια ιλύος.

Θεωρείται ακόμη ότι το ολικό εισερχόμενο άζωτο είναι στη μορφή του αμμωνιακού αζώτου και ότι δεν υπάρχει απομάκρυνση του στην προεπεξεργασία και στην πρωτοβάθμια καθίζηση. Επομένως η ποσότητα NH_4^+ που οξειδώνεται σε NO_3^- κατά τη νιτροποίηση δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$N_{nitro} = N_{total} - N_{bio} - (N - NH_4)_{out} - N_{org,out} - N_{sl} \quad (3.85)$$

Όπου:

- N_{nitro} : άζωτο προς νιτροποίηση (kg/d)
- N_{total} : ολικό άζωτο εισόδου (kg/d)
- N_{bio} : οργανικό άζωτο στη βιομάζα (kg/d)
- $(NH_4-N)_{OUT}$: αμμωνιακό άζωτο εξόδου (kg/d)
- $N_{ORG, OUT}$: οργανικό άζωτο εξόδου (kg/d)
- N_{sl} : οργανικό άζωτο στην περίσσεια ιλύς (kg/d)

Κατά την οξείδωση από αμμωνιακό άζωτο σε νιτρικό άζωτο ένα μέρος του CO_2 καταναλώνεται από τα νιτροβακτηρίδια ως πηγή άνθρακα:

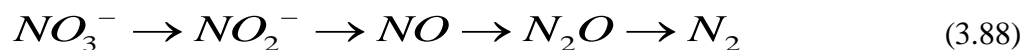


Από τη στοιχειομετρία της αντίδρασης προκύπτει ότι ο λόγος μαζών CO_2/N είναι: $(20 \cdot 44)/(14 \cdot 14)$ ή 4,49. Δηλαδή 4.49 kg CO_2 καταναλώνεται για κάθε 1kgN που νιτροποιείται. Επομένως η ποσότητα CO_2 που καταναλώνεται κατά τη νιτροποίηση είναι:

$$CO_{2,consumed} = 4,49 \cdot N_{nitro} \quad (3.87)$$

Παραγωγή N_2O κατά την απονιτροποίηση και ισοδύναμο CO_2

Η απονιτροποίηση πραγματοποιείται κάτω από ανοξικές συνθήκες από ετεροτροφικά βακτήρια χρησιμοποιούν το άζωτο αντί του οξυγόνου ως δέκτη ηλεκτρονίων. Είναι μια διαδικασία η οποία πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια κατά τα οποία τα ετεροτροφικά αυτά βακτήρια χρησιμοποιούν ως δέκτη ηλεκτρονίων τις παρακάτω ενώσεις:



Το αέριο θερμοκηπίου μονοξειδίου του αζώτου N_2O είναι ενδιάμεσο προϊόν και εκλύεται στην ατμόσφαιρα σε περίπτωση μη πλήρους απονιτροποίησης. Στο σενάριο Γ ερευνάται αυτή η μη πλήρης απονιτροποίηση να γίνεται σε ποσοστά 0,01%, 0,035%, 0,1%, 0,3%, 0,5%, 1% και 2% της συνολικής ποσότητας του αζώτου. Τα ποσοστά μη απονιτροποίησης εκφράζονται παρακάτω ως n% kg παραγόμενου N_2O ανά kg εισερχομένου ολικού αζώτου, δηλαδή n%kg N_2O /kg TN_{in} . Η παραγόμενη ποσότητα, επομένως, N_2O είναι:

$$N_2O_{emission} = Q \cdot TN_{IN} \cdot n\% \quad (3.89)$$

Το δυναμικό συμβολής του N_2O στο ενισχυμένο (ανθρωπογενές) φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει εκτιμηθεί ότι είναι 296. Επομένως οι ισοδύναμες εκπομπές CO_2 από το N_2O είναι:

$$CO_{2, equivalent} = N_2O_{emission} \cdot GWPN_2O = n\% \cdot 296 \cdot Q \cdot TN_{IN} \quad (3.90)$$

Ολική ποσότητα εκπομπών CO₂ στη βιολογική βαθμίδα

$$CO_{2, biotreatment} = CO_{2, biomass, decay} + CO_{2, BOD, oxydation} - CO_{2, consumed} + CO_{2, equivalent} \quad (3.91)$$

3.4.3 Υπολογισμός αερίων θερμοκηπίου από την αναερόβια χώνευση της ιλύος

Κατά τη χώνευση της ιλύος παράγονται CO₂ και CH₄. Αρχικά υπολογίζεται η ποσότητα ιλύς που προέρχεται από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης και έπειτα υπολογίζεται το παραγόμενο βιοαέριο το οποίο αποτελείται από CO₂ (με συγκέντρωση 30%-35%) και CH₄ (με συγκέντρωση 65%-70%).

Η ποσότητα και η παροχή της πρωτοβάθμιας ιλύος αφορά μόνο τους πληθυσμούς με ισοδύναμο κατοίκους πάνω από 100.000, των οποίων η διάταξη περιλαμβάνει δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ). Το ποσοστό απομάκρυνσης των εισερχόμενων ολικών στερεών (TSS) στη ΔΠΚ έχει ληφθεί ίσο με *n* (όπου *n*=50%, 60%, 70% ανάλογα με το σενάριο). Επομένως η ποσότητα της πρωτοβάθμιας ιλύος είναι:

$$W_{SS, PRIM} = n \cdot TSS_{IN} \cdot Q \quad (3.92)$$

Όπου:

- *W_{VSS, PRIM}*: η ποσότητα της πρωτοβάθμιας ιλύος (kg/d)
- *n*: το ποσοστό απομάκρυνσης των στερεών από τη ΔΠΚ
- *TSS_{IN}*: η συγκέντρωση ολικών στερεών εισόδου (kg/m³)
- *Q*: η μέση ημερήσια παροχή των εισερχομένων λυμάτων (m³/d)

Για τις διατάξεις των πληθυσμών οι οποίες δεν περιλαμβάνουν ΔΠΚ (οι οποίοι είναι πληθυσμοί με ισοδύναμους κατοίκους κάτω από 100.000) η *W_{SS, PRIM}* θεωρείται ίσο με μηδέν.

Η ποσότητα και η παροχή της περίσσειας (βιολογικής) ιλύος υπολογίστηκε για όλους τους πληθυσμούς. Ο υπολογισμός της περίσσειας ιλύος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$W_{SS, SEC} = \frac{\frac{V_{AIR}}{Q \cdot \Theta_C} \cdot MLSS - TSS_{OUT}}{SSU} \cdot Q \rightarrow \frac{V_{AIR}}{Q \cdot \Theta_C} \cdot MLSS - TSS_{OUT}}{SSu - TSS_{OUT}} \cdot Q \quad (3.93)$$

Για τον υπολογισμό του παραγόμενου βιοαερίου στη μονάδα ανερόβιας χώνευσης λαμβάνεται ότι ως *y*(%) το ποσοστό του αθροίσματος των πτητικών της πρωτοβάθμιας και της βιολογικής ιλύος απομακρύνονται κατά τη χώνευση (όπου *y*=40%, 45%, 50% ανάλογα με το σενάριο). Ακόμα έχει

γίνει η παραδοχή ότι 1kg πτητικών στερεών παράγει 1m³ βιοαερίου. Το παραγόμενο βιοαέριο δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q_{gas} = y \cdot 1 \cdot (W_{SS,PRIM} + W_{SS,SEC}) \quad (3.94)$$

Όπου:

- Q_{gas}: η παροχή του παραγόμενου βιοαερίου
- W_{VSS,PRIM}: η ποσότητα της πρωτοβάθμιας ιλύος (kg/d)
- W_{VSS,SEC}: η ποσότητα της βιολογικής ιλύος

Το παραγόμενο βιοαέριο, όπως έχει προαναφερθεί αποτελείται κατά 65% με 70% από CH₄ και κατά 35% με 30% από CO₂. Ένα μέρος του καίγεται σε καυστήρα για να ικανοποιήσει τις ανάγκες θέρμανσης των χωνευτών, με αποτέλεσμα τη μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Το υπολειπόμενο βιοαέριο οδηγείται σε μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας, από καίγεται ως καύσιμο στην γεννήτρια που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια, και μειώνονται επίσης οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ενώ ένα ποσοστό της τάξεως του 1% διαφεύγει στην ατμόσφαιρα.

Παραγωγή CO₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου

Η μέση περιεκτικότητα του βιοαερίου σε CH₄ λαμβάνεται ίση με 62,5% κατ'όγκο και σε CO₂ 37,5% κατ'όγκο. Επομένως για κάθε 1 m³ βιοαερίου παράγονται 0,625 m³ CH₄ και 0,375 m³ CO₂. Σε όρους μάζας αυτό μεταφράζεται σε:

- Παραγόμενο CO₂: 0,375/(22,4·44)=0,737 kgCO₂/m³ βιοαερίου
- Παραγόμενο CH₄: 0,625/(22,4·16)=0,446 kgCH₄/m³ βιοαερίου

Ολόκληρη η ποσότητα CH₄ καίγεται προς CO₂ και H₂O: $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Η ποσότητα CO₂ που παράγεται από την καύση του βιοαερίου είναι, λαμβάνοντας υπ'όψιν ότι το 1% διαφεύγει στη ατμόσφαιρα:

$$CO_{2,biogass} = 0,99 \cdot \left[0,737 \cdot 50\% \cdot (W_{VSS,PRIM} + W_{VSS,SEC}) + 0,446 \cdot \frac{44}{16} \cdot 50\% \cdot (W_{VSS,PRIM} + W_{VSS,SEC}) \right] \quad (3.95)$$

Το βιοαέριο αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και επομένως όταν χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αερίων θερμοκηπίου σε σχέση με συμβατικές καύσιμες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας όπως ο λιγνίτης ή το πετρέλαιο.

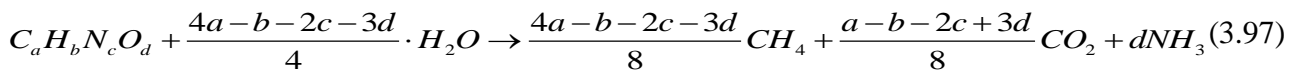
Παραγωγή CO₂ από διαφυγή βιοαερίου στην ατμόσφαιρα

Όπως προαναφέρθηκε το 1% του παραγόμενου βιοαερίου διαφεύγει στην ατμόσφαιρα δίχως να έχει επεξεργαστεί νωρίτερα, με τη διαδικασία της καύσης. Επομένως οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από το διαφεύγων βιοαέριο είναι σε ισοδύναμο CO₂:

$$CO_{2,biogass,leakage} = 0,01 \cdot \left[0,737 \cdot 50\% \cdot (W_{VSS,PRIM} + W_{VSS,SEC}) + 0,446 \cdot 23 \cdot 50\% \cdot (W_{VSS,PRIM} + W_{VSS,SEC}) \right] \quad (3.96)$$

3.4.4 Παραγωγή ισοδύναμου CO₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου από τη διάθεση της περίσσεια ιλύος σε ΧΥΤΑ (έμμεσες εκπομπές)

Η ιλύς μετά την αφυδάτωση της διατίθεται σε χώρους υγειονομικής ταφής αποβλήτων (ΧΥΤΑ).Ο συνθήκες που επικρατούν στον ΧΥΤΑ περιγράφονται ως αναερόβιες και παράγονται αέρια CO₂ και CH₄ από τα πτητικά στερεά που διέφυγαν της χώνευσης και έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή επιπλέον βιοαερίου το οποίο και καίγεται στον πυρσό καύσης του ΧΥΤΑ. Οι αέριοι ρύποι που παράγονται στον ΧΥΤΑ, για την πλήρη οξείδωση της οργανικής ύλης δίνονται από την ακόλουθη στοιχειομετρική σχέση των απορριμμάτων C_aH_bO_cN_d:



Ο χημικός τύπος της ιλύος που διατίθεται προς υγειονομική ταφή ταφή είναι C₅H₇O₂N επομένως οι αέριοι τύποι που παράγονται από την πλήρη οξείδωση της οργανικής ιλύος στον ΧΥΤΑ αποδίδονται από τη στοιχειομετρική σχέση:



Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση 1kgSS/d ιλύος που διατίθεται στον ΧΥΤΑ παράγει 110/113 kgCO₂/d και 40/113 kgCH₄/d το οποία αποτελούν το βιοαέριο το οποίο καίγεται εξολοκλήρου στον πυρσό καύσης του ΧΥΤΑ. Το βιοαέριο καίγεται προς CO₂ και H₂O.



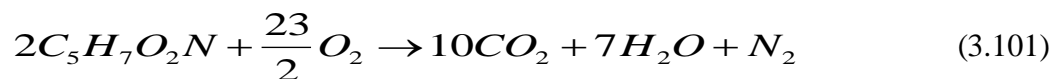
Επομένως η ποσότητα CO₂ που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα από τον πυρσό καύσης του ΧΥΤΑ είναι η ακόλουθη:

$$CO_{2, sanitary} = \frac{110}{113} \cdot W_{SS, sanitary} + \left(\frac{40}{113}\right) \cdot \left(\frac{44}{16}\right) \cdot W_{SS, sanitary} \quad (3.100)$$

Όπου W_{ss, sanitary}: η ποσότητα ιλύος που διατίθεται στον ΧΥΤΑ

3.4.5 Παραγωγή ισοδύναμου CO₂ από την αερόβια καύση της ιλύος μετά την αφυδάτωση (έμμεσες εκπομπές)

Στα σενάρια που επιλέχθηκε η ιλύς μετά την αφυδάτωση αντί να μεταφέρεται στον ΧΥΤΑ να καίγεται αερόβια περιγράφεται στοιχειομετρικά από την παρακάτω σχέση:



Δηλαδή για 1 kgss/d ιλύος που καίγονται παράγονται 440/226 kgCO₂/d.Επομένως η ποσότητα CO₂ που παράγεται από την καύση της ιλύος είναι:

$$CO_{2, combustion} = \frac{440}{226} W_{SS, combustion} \quad (3.102)$$

Όπου W_{SS, combustion} η ποσότητα ιλύος που διατίθεται προς καύση.

3.4.6 Υπολογισμός εκπομπών CO₂ από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (έμμεσες εκπομπές)

Προκειμένου να εκτιμηθούν οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από την κατανάλωση ηλεκτρικής της ενέργειας σε μια ΕΕΛ χρησιμοποιείται το μίγμα καυσίμου από το οποίο παράχθηκε η ηλεκτρική ενέργεια. Λαμβάνοντας υπό όψιν τα δεδομένα της ΔΕΗ, που είναι ο πάροχος της ηλεκτρικής ενέργειας, για το μίγμα καυσίμου στο συνδεδεμένο δίκτυο τον τελευταίο χρόνο, προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας 3.10. Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει το ποσοστό συμμετοχής κάθε πηγής στην ολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τον συντελεστή παραγωγής CO₂ των πηγών εκείνων οι οποίες είναι καύσιμες και εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου.

Πίνακας 3.10 Μίγμα καυσίμου που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ

Ανάλυση παραγωγή και διασυνδέσεων	Ποσοστό (%)	Συντελεστής εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (grCO ₂ e/kWh)
Λιγνιτική	53,1	877
Πετρελαϊκή	9,85	604
Φυσικό αερίου	18,45	353
Υδροηλεκτρική	11,5	
ΑΠΕ	7,1	

Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που οφείλονται στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε μία ΕΕΛ υπολογίζονται από την παρακάτω εξίσωση:

$$CO_{2,electricity} = E_{req} \cdot F \cdot EF \quad (2.103)$$

Όπου:

- CO_{2,electricity}: η παραγωγή CO₂ από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (kgCO₂/d)
- E_{req}: η μέση ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕΛ (kWh/d)
- F: το ποσοστό συμμετοχής κάθε καυσίμου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (%)
- EF: ο συντελεστής εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κάθε καυσίμου (grCO₂e/kWh)

3.4.7 Υπολογισμός εκπομπών CO₂ από την παραγωγή των χημικών που χρησιμοποιούνται σε μία ΕΕΛ (έμμεσες εκπομπές)

Τα χημικά που χρησιμοποιούνται σε μία ΕΕΛ είναι ο τριχλωριούχος σίδηρος (FeCl₃) κατά την χημική απομάκρυνση φωσφόρου και ο πολυηλεκτρολύτης κατά την πάχυνση και αφυδάτωση της ιλύος στις τράπεζες πάχυνσης και ταινοφιλτρόπρεςσες αντίστοιχα. Για τον υπολογισμό των εκπομπών του ισοδύναμου CO₂ κατά τη διαδικασία παραγωγής των παραπάνω χημικών χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του ακόλουθου πίνακα 3.11.

Πίνακας 3.11: Ποσότητα εκπομπών CO₂ ανά kg χρησιμοποιούμενων χημικών

Χημικό	Παραγωγή CO ₂ (kgCO ₂ /kg _{XHM})
Τριχλωριούχος σίδηρος	1,08
Πολυηλεκτρολύτης	1,7
Χλώριο	1,011

Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση αποτελεσμάτων του εφαρμοζόμενου μοντέλου

4.1 Σενάρια υπολογισμού

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε ένα πρότυπο μοντέλο εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων το οποίο μπορεί να υπολογίζει παραμετροποιημένα τόσο το ημερήσιο ενεργειακό κόστος της εγκατάστασης όσο και τις ημερήσιες εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου. Για να γίνει μια πιο εκτενείς μελέτη όσον αφορά τις δύο αυτές παραμέτρους και τον συσχετισμό αυτών αναπτύχθηκαν τα επόμενα έξι (6) σενάρια υπολογισμού. Σε κάθε ένα από τα σενάρια αυτά υπάρχει μια βασική διαφοροποίηση που επηρεάζει είτε την ενεργειακή κατανάλωση είτε τις εκπομπές CO₂ είτε και τα δύο και σκοπό έχουν μέσα από τη σύγκρισή τους να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά την επιλογή της πιο αποδεκτής οικονομικά και περιβαλλοντικά διάταξης. Τα σενάρια αυτά παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Σενάριο A: Το σενάριο A αποτελείται από τα σενάρια AI και AII. Το σενάριο AI αναφέρεται στους πληθυσμούς από 20.000 ι.κ. μέχρι και 50.000 ι.κ., της διάταξης 1, ενώ το σενάριο AII αναφέρεται στους πληθυσμούς από 100.000 ι.κ. μέχρι και 500.000 ι.κ., της διάταξης 2. Στα σενάρια αυτά εξετάζονται οι δύο προαναφερθείσες διατάξεις για όλους τους πληθυσμούς χρησιμοποιώντας υποβρύχια διάθεση αέρα στη δεξαμενή αερισμού με σύστημα φυσητήρων-διαχυτήρων, με απόδοση 4 kgO₂/kWh. Το ποσοστό παραγωγής μονοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο ανέρχεται σε 0,5%. Τα ποσοστά απομάκρυνσης των ολικών στερεών (TSS) και βιοχημικός απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅) από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ), σε όποιους πληθυσμούς υπάρχει, είναι 60% και 30% αντίστοιχα, ενώ το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών (VSS) κατά την αναερόβια χώνευση της ιλύος, όπου υπάρχει, είναι 45%. Μετά τη διαδικασία της αφυδάτωσης η σταθεροποιημένη ιλύς μεταφέρεται σε ΧΥΤΑ. Τα διάφορα υποσενάρια που αναπτύχθηκαν αφορούν την μεταβολή του χρόνου παραμονής των στερεών στην βιολογική βαθμίδα και την επίδραση αυτής στην ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας της ΕΕΛ και την εκπομπή αερίων θερμοκηπίου. Σε όλους τους πληθυσμούς χρησιμοποιήθηκαν ως κοινά δεδομένα η θερμοκρασία λυμάτων το καλοκαίρι 25⁰C και τον χειμώνα 15⁰C. Στο σενάριο AI ο ολικός χρόνος παραμονής στο σύστημα (βιολογική βαθμίδα) επιλέχθηκε να είναι $\theta_C=10, 15, 20$ ημέρες. Στο σενάριο AII ολικός χρόνος παραμονής στο σύστημα προέκυψε συναρτήσει του χρόνου παραμονής στη δεξαμενή αερισμού, η απαίτηση του οποίου είναι $\theta_{C,A}=2,42$ ημέρες (days) το καλοκαίρι και $\theta_{C,A}=9,09$ ημέρες (days) το χειμώνα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν και παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο αφορούν μόνο τα δεδομένα του καλοκαιριού μίας και γι'αυτά του χειμώνα χρησιμοποιήθηκε κοινός χρόνος παραμονής στερεών στη δεξαμενή αερισμού ίσος με $\theta_{C,A}=10$ ημέρες (days). Στα υποσενάρια που αναπτύχθηκαν εξετάζονται διάφορες ημέρες παραμονής στερεών στο σύστημα ώστε να ικανοποιείται η απαίτηση που προέκυψε, αυτά είναι παρακάτω:

Σενάριο AI:

- Σενάριο AII: Επιλεγόμενος χρόνος παραμονής στο σύστημα $\theta_C=10$ ημέρες (days) το καλοκαίρι.

- Σενάριο AI2: Επιλεγόμενος χρόνος παραμονής στο σύστημα $\theta_C=15$ ημέρες (days) το καλοκαίρι.
- Σενάριο AI3: Επιλεγόμενος χρόνος παραμονής στο σύστημα $\theta_C=20$ ημέρες (days) το καλοκαίρι.

Σενάριο AII:

- Σενάριο AII1: Επιλεγόμενος χρόνος παραμονής στερεών στη δεξαμενή αερισμού $\theta_{C,A}=5$ ημέρες (days) το καλοκαίρι και $\theta_{C,A}=10$ ημέρες (days) το χειμώνα.
- Σενάριο AII2: Επιλεγόμενος χρόνος παραμονής στερεών στη δεξαμενή αερισμού $\theta_{C,A}=4$ ημέρες (days) το καλοκαίρι και $\theta_{C,A}=10$ ημέρες (days) το χειμώνα.
- Σενάριο AII3: Επιλεγόμενος χρόνος παραμονής στερεών στη δεξαμενή αερισμού $\theta_{C,A}=3$ ημέρες (days) το καλοκαίρι και $\theta_{C,A}=10$ ημέρες (days) το χειμώνα.
- AII4: Επιλεγόμενος χρόνος παραμονής στερεών στη δεξαμενή αερισμού $\theta_{C,A}=7$ ημέρες (days) το καλοκαίρι και $\theta_{C,A}=10$ ημέρες (days) το χειμώνα.

Σενάριο B: Το σενάριο B αποτελείται από τα σενάρια BI και BII. Στα σενάρια αυτά εξετάζονται μόνο οι πληθυσμοί των 70,000 I.K (διάταξη 1), με ολικό $\theta_C=10$ ημέρες και των 350.000 I.K. (διάταξη 2) με αερόβιο $\theta_{C,A}=4$ ημέρες (days) για χειμώνα και καλοκαίρι. Το ποσοστό παραγωγής μονοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο ανέρχεται σε 0,5%. Τα ποσοστά απομάκρυνσης των ολικών στερεών (TSS) και βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD_5) από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ), είναι 60% και 30% αντίστοιχα, ενώ το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών (VSS) κατά την αναερόβια χώνευση της ιλύος, είναι 45% για τον πληθυσμό των 350.000 I.K. Μετά τη διαδικασία της αφυδάτωσης η σταθεροποιημένη ιλύς μεταφέρεται σε ΧΥΤΑ. Τα υποσενάρια που αναπτύχθηκαν αφορούν το σύστημα αερισμού της δεξαμενής αερισμού και την επίδραση του στην ολική κατανάλωση ενέργειας και στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα στο σενάριο BI ελέγχεται η διάθεση του αέρα στην αερόβια δεξαμενή τόσο με διαχυτό (σύστημα φυσητήρων-αεριστήρων) όσο και με επιφανειακό αερισμό, ενώ στο σενάριο BII ελέγχονται διάφορες ενεργειακές αποδόσεις του διαχυτού αερισμού. Οι διατάξεις αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά:

Σενάριο BI:

- Σενάριο BI1: Επιλεγόμενο σύστημα αερισμού: υποβρύχια διάχυση αέρα με σύστημα φυσητήρων-διαχυτήρων. Μειωτικός συντελεστής $af=0,6$. Απόδοση διαχυτήρων αερισμού: 4 kgO_2/kWh
- Σενάριο BI2: Επιλεγόμενο σύστημα αερισμού: επιφανειακός αερισμός. Μειωτικός συντελεστής $af=0,8$. Απόδοση επιφανειακού αερισμού: 2,2 kgO_2/kWh

Σενάριο BII:

- Σενάριο BII1: Υποβρύχια διάθεση αέρα με σύστημα φυσητήρων-διαχυτήρων με ενεργειακή απόδοση 3 kgO_2/kWh (μειωτικός συντελεστής παλαιότητας διαχυτήρων $af=0,6$)
- Σενάριο BII2: Υποβρύχια διάθεση αέρα με σύστημα φυσητήρων-διαχυτήρων με ενεργειακή απόδοση 3,5 kgO_2/kWh (μειωτικός συντελεστής παλαιότητας διαχυτήρων $af=0,6$)
- Σενάριο BII3: Υποβρύχια διάθεση αέρα με σύστημα φυσητήρων-διαχυτήρων με ενεργειακή απόδοση 4 kgO_2/kWh (μειωτικός συντελεστής παλαιότητας διαχυτήρων $af=0,6$)

- Σενάριο ΒΙΙ4: Υποβρύχια διάθεση αέρα με σύστημα φυσητήρων-διαχυτήρων με ενεργειακή απόδοση 4,5 kgO₂/kWh (μειωτικός συντελεστής παλαιότητας διαχυτήρων af=0,6)
- Σενάριο ΒΙΙ5: Υποβρύχια διάθεση αέρα με σύστημα φυσητήρων-διαχυτήρων με ενεργειακή απόδοση 5 kgO₂/kWh (μειωτικός συντελεστής παλαιότητας διαχυτήρων af=0,6)

Σενάριο Γ: Στο σενάριο αυτό εξετάζονται μόνο οι πληθυσμοί των 70,000 Ι.Κ με ολικό $\theta_C=10$ ημέρες (διάταξη 1), και των 350.000 Ι.Κ. (διάταξη 2) με αερόβιο $\theta_{C,A}=4$ ημέρες (days) χρησιμοποιώντας υποβρύχια διάθεση αέρα στη δεξαμενή αερισμού με σύστημα φυσητήρων-διαχυτήρων απόδοσης 4 kgO₂/kWh. Τα ποσοστά απομάκρυνσης των ολικών στερεών (TSS) και βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅) από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ), είναι 60% και 30% αντίστοιχα, ενώ το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών (VSS) κατά την αναερόβια χώνευση της ιλύος, είναι 45% για τον πληθυσμό των 350.000 Ι.Κ. Μετά τη διαδικασία της αφυδάτωσης η σταθεροποιημένη ιλύς μεταφέρεται σε ΧΥΤΑ. Τα υποσενάρια που αναπτύχθηκαν αφορούν το ποσοστό παραγωγής μονοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο με σκοπό την παρακολούθηση της μεταβολής του συνόλου των αερίων θερμοκηπίου καθώς μεταβάλλεται το ποσοστό παραγωγής.

- Σενάριο Γ1: ποσοστό παραγωγής πρωτοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο:0,01%
- Σενάριο Γ2: ποσοστό παραγωγής πρωτοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο:0,035%
- Σενάριο Γ3: ποσοστό παραγωγής πρωτοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο:0,1%
- Σενάριο Γ4: ποσοστό παραγωγής πρωτοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο:0,3%
- Σενάριο Γ5: ποσοστό παραγωγής πρωτοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο:0,5%
- Σενάριο Γ6: ποσοστό παραγωγής πρωτοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο:1%
- Σενάριο Γ7: ποσοστό παραγωγής πρωτοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο:2%

Σενάριο Δ: Στο σενάριο αυτό εξετάζεται μόνο ο ισοδύναμος πληθυσμός των 350.000 Ι.Κ. (διάταξη 2) για τα δεδομένα του χειμώνα και του καλοκαιριού με αερόβιο $\theta_{C,A}=4$ ημέρες (days). Χρησιμοποιήθηκε σύστημα υποβρύχιου αερισμού με φυσητήρες-διαχυτήρες, ενεργειακής απόδοσης 4 kgO₂/kWh, ενώ το ποσοστό παραγωγής μονοξειδίου του αζώτου από το ολικό εισερχόμενο άζωτο ανέρχεται σε 0,5% και το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών (VSS) κατά την αναερόβια χώνευση της ιλύος, είναι 45%. Μετά την αφυδάτωση η σταθεροποιημένη ιλύς μεταφέρεται σε ΧΥΤΑ. Τα υποσενάρια που αναπτύχθηκαν αφορούν τα διαφορετικά ποσοστά απομάκρυνσης των ολικών στερεών (TSS) και βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅) από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ) και την επίδραση τους στη ολική ενεργειακή κατανάλωση και στην εκπομπή αερίων θερμοκηπίου. Τα υποσενάρια αυτά είναι τα παρακάτω τρία (3):

- Σενάριο Δ1: Ποσοστό απομάκρυνσης ολικών στερεών (TSS): 50% και ποσοστό απομάκρυνσης βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅): 25% στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ).
- Σενάριο Δ2: Ποσοστό απομάκρυνσης ολικών στερεών (TSS): 60% και ποσοστό απομάκρυνσης βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅): 30% στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ).
- Σενάριο Δ3: Ποσοστό απομάκρυνσης ολικών στερεών (TSS): 70% και ποσοστό απομάκρυνσης βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅): 35% στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ).

Σενάριο Ε: Στο συγκεκριμένο σενάριο εξετάζεται μόνο ο ισοδύναμος πληθυσμός των 350.000 κατοίκων (διάταξη 2) για τα δεδομένα τόσο του χειμώνα όσο και του καλοκαιριού. Ο χρόνος παραμονής των στερεών στη δεξαμενή αερισμού επιλέχθηκε να είναι 4 ημέρες (days). Χρησιμοποιήθηκε σύστημα αερισμού με διαχυτήρες, απόδοσης 4 kgO₂/kWh και το ποσοστό παραγωγής ολικού εισερχόμενου αζώτου σε μονοξειδίου του αζώτου είναι 0,5%. Τα ποσοστά απομάκρυνσης των ολικών στερεών (TSS) και βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅) από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ), είναι 60% και 30% αντίστοιχα για τον πληθυσμό των 350.000 ι.κ. Μετά τη διαδικασία της αφυδάτωσης η σταθεροποιημένη ιλύς μεταφέρεται σε ΧΥΤΑ. Η διαφοροποίηση των υποσεναρίων που εξετάστηκαν έγκειται στην μεταβολή του μέσου (και για τα στερεά που προέρχονται από την πρωτοβάθμια καθίζηση-πάχυνση και γι'αυτά της δευτεροβάθμιας-βιολογικής πάχυνσης) ποσοστού απομάκρυνσης των οργανικών στερεών (VSS) κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Τα υποσενάρια αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

- Σενάριο Ε1: Το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών (VSS) κατά την αναερόβια χώνευση είναι 40%
- Σενάριο Ε2: Το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών (VSS) κατά την αναερόβια χώνευση είναι 45% (αυτό το ποσοστό χρησιμοποιήθηκε για τα σενάρια Α, Β, Γ, Δ)
- Σενάριο Ε3: Το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών (VSS) κατά την αναερόβια χώνευση είναι 45%

Σενάριο ΣΤ: Στο σενάριο αυτό εξετάζονται όλοι οι πληθυσμοί της διάταξης 1, 20.000 ι.κ – 70.000 ι.κ., με ολικό θ_C=10 ημέρες και όλοι οι πληθυσμοί της διάταξης 2, από 100.000 ι.κ. – 500.000 ι.κ., με αερόβιο θ_{C,A}=4 ημέρες (days) για τα δεδομένα του καλοκαιριού και του χειμώνα. Χρησιμοποιήθηκε υποβρύχια διάθεση αέρα στη δεξαμενή αερισμού με σύστημα φυσητήρων-διαχυτήρων απόδοσης 4 kgO₂/kWh και το ποσοστό παραγωγής ολικού εισερχόμενου αζώτου σε μονοξειδίου του αζώτου είναι 0,5%. Τα ποσοστά απομάκρυνσης των ολικών στερεών (TSS) και βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου (BOD₅) από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ), είναι 60% και 30% αντίστοιχα, ενώ το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών (VSS) κατά την αναερόβια χώνευση της ιλύος, είναι 45% για τους πληθυσμούς της διάταξης 2. Η διαφοροποίηση των υποσεναρίων έγκειται στην διαχείριση της σταθεροποιημένης ιλύος μετά την αφυδάτωσή της και την επιρροή τους στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Τα υποσενάρια που αναπτύχθηκαν είναι τα παρακάτω δύο (2):

- **Σενάριο ΣΤ1:** Η σταθεροποιημένη ιλύς μετά την αφυδάτωση μεταφέρεται στον ΧΥΤΑ. Εκεί παράγεται βιοαέριο από τα υπολειπόμενα οργανικά στερεά, το οποίο καίγεται στον πυρσό καύσης του ΧΥΤΑ.
- **Σενάριο ΣΤ2:** Η σταθεροποιημένη ιλύς μετά την αφυδάτωση υφίσταται επί τόπου καύση και η παραγόμενη από την καύση τέφρα μεταφέρεται στον ΧΥΤΑ.

4.2 Διαστασιολόγηση των βαθμίδων επεξεργασίας λυμάτων και ιλύος για όλους τους ισοδύναμους πληθυσμούς και σενάρια

Κατά την εφαρμογή των σεναρίων στο πρότυπο μοντέλο που αναπτύχθηκε προέκυψαν δεδομένα όσον αφορά τις ανάγκες διαστασιολόγησης των επιμέρους δεξαμενών και του αντίστοιχου τεχνολογικού εξοπλισμού σε κάθε βαθμίδα επεξεργασίας. Η τελική διαστασιολόγηση αυτών επιλέχθηκε ως η μέγιστη ανάμεσα στα αποτελέσματα των δεδομένων του χειμώνα και του καλοκαιριού και παρουσιάζετε στους ακόλουθους πίνακες 4.1 και 4.2.

Πίνακας 4.1: Διαστασιολόγηση δεξαμενών και εξοπλισμού από 100.000 ι.κ έως 500.000 ι.κ.

		ΕΕΛ 4 100.000 ι.κ.	ΕΕΛ 5 150.000 ι.κ.	ΕΕΛ 6 200.000 ι.κ.	ΕΕΛ 7 350.000 ι.κ.	ΕΕΛ 8 500.000 ι.κ.
1. Αντλιοστάσιο εισόδου						
A. Ισχύς αντλίας	kW	35	53	70	123	175
2. Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ)						
A. Πλευρικό βάθος	m	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
B. Πλήθος δεξαμενών	-	2	2	2	2	2
Γ. Όγκος κάθε δεξαμενής	m ³	729	1094	1458	2552	3646
Δ. Απαιτούμενη ισχύς πυθμενικού ξέστρου	W/m ³	2	2	2	2	2
3. Αερόβια δεξαμενή						
A. Όγκος δεξαμενής	m ³	5400	8100	10800	18900	27000
4. Ανοξική δεξαμενή						
A. Όγκος δεξαμενής	m ³	2300	3400	4600	7900	11300
5. Αναερόβια δεξαμενή						
A. Όγκος δεξαμενής	m ³	1500	2200	3000	5200	7300
6. Δεξαμενή τελικής καθίζησης						
A. Πλευρικό βάθος	m	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
B. Πλήθος δεξαμενών	-	2	2	2	2	3
Γ. Όγκος κάθε δεξαμενής	m ³	2500	3750	5000	8750	12500
Δ. Απαιτούμενη ισχύς πυθμενικού ξέστρου	W/m ³	2	2	2	2	2
7. Δεξαμενή χλωρίωσης						
A. Όγκος δεξαμενής	m ³	417	625	833	1458	2083
8. Παχυντής πρωτοβάθμιας ιλύος						
A. Πλήθος παχυντών	-	2	2	2	2	2
B. Πλευρικό βάθος δεξαμενής	m	4	4	4	4	4
Γ. Διαμέτρος δεξαμενής	m	7,31	8,96	10,34	13,68	16,36
Δ. Όγκος δεξαμενής	m ³	168	252	336	588	840
E. Απαιτούμενη ισχύς πυθμενικού ξέστρου	W/m ³	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
ΣΤ. Τροφοδοσία παχυντή από ΔΠΚ						
i. Επιλεγόμενη ισχύς κάθε αντλίας	kW	0,4	0,6	0,7	1,2	1,8
ii. Πλήθος αντλιών	-	2	2	2	2	2
9. Δεξαμενή αποθήκευσης βιολογικής ιλύος						
A. Πλήθος δεξαμενών	-	2	2	2	2	2
B. Όγκος κάθε δεξαμενής	m ³	451	683	902	1584	2254
Γ. Ισχύς πυθμενικού ξέστρου	W/m ³	8	8	8	8	8
Δ. Τροφοδοσία δεξαμενής από ΔΤΚ						
i. Επιλεγόμενη ισχύς κάθε αντλίας	kW	0,6	0,6	0,8	1,3	1,5
ii. Πλήθος αντλιών	-	2	3	3	3	4

10. Πάχυνση βιολογικής υλός								
A. Δυναμικότητα κάθε τράπεζας πάχυνσης	kgTSS/m/h	150	150	150	150	150	150	150
B. Πλάτος κάθε τράπεζας πάχυνσης	m	2	2	2	2	2	2	2
Γ. Πλήθος τραπεζών πάχυνσης (ενεργών) και αντλιών	-	3	4	5	8	11		
Δ. Ισχύς κάθε τράπεζας πάχυνσης	kw	2	2	2	2	2	2	2
E. Ισχύς αντλιών τροφοδοσίας τραπεζών πάχυνσης	kw	4	4	4	4	4	4	4
11. Χωνευτές								
A. Πλήθος χωνευτών	-	3	5	5	8	10		
B. Μέσο πλευρικό βάθος χωνευτή	m	11	10,5	11,5	12	12,5		
Γ. Διάμετρος χωνευτή	m	11	10,5	11,5	12	12,5		
Δ. Ύψος οροφής	m	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		
E. Ύψος χωνευτή πάνω από το έδαφος	m	9	8,5	9,5	10	10,5		
ΣΤ. Ύψος χωνευτή κάτω από το έδαφος	m	2	2	2	2	2		
Z. Όγκος κάθε χωνευτή	m ³	1045	909	1194	1356	1533		
H. Ισχύς ανάδευσης	W/m ³	5	5	5	5	5		
Θ. Τροφοδοσία από πρωτοβάθμιας πάχυνση								
i. Επιλεγόμενη ισχύς κάθε αντλίας	kw	2	3	3	4	4		
ii. Πλήθος αντλιών	-	2	2	2	2	2		
I. Τροφοδοσία από βιολογική πάχυνση								
i. Επιλεγόμενη ισχύς κάθε αντλίας	kw	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5		
ii. Πλήθος αντλιών	-	3	4	5	8	11		
12. Δεξαμενή αποθήκευσης χωνεμένης υλός								
A. Πλήθος δεξαμενών	-	2	2	2	2	2		
B. Όγκος δεξαμενής	m ³	173	223	297	520	742		
Γ. Ισχύς πυθμενικού ξέστρου	W/m ³	8	8	8	8	8		
13. Αφυδάτωση (ταινιοφιλτρόπρεσσες)								
A. Δυναμικότητα κάθε ταινιοφιλτρόπρεσσας	kgTSS/m/h	150	150	150	150	150		
B. Πλάτος κάθε ταινιοφιλτρόπρεσσας	m	2	2	2	2	2		
Γ. Πλήθος ταινιοφιλτροπρεσσών και αντλιών	-	3	4	6	9	13		
Δ. Ισχύς κάθε ταινιοφιλτρόπρεσσας	kw	2	2	2	2	2		
E. Ισχύς αντλιών τροφοδοσίας ταινιοφιλτροπρεσσών	kw	5	5	5	5	5		
13. Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας								
A. Αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας								
i. Παρεχόμενη δυναμικότητα κάθε αντλίας	m ³ /h	625	625	625	1100	1563		
ii. Πλήθος αντλιών	-	4	6	8	8	8		
iii. Απαιτούμενη ισχύς κάθε αντλίας	kw	2,4	2,4	2,4	4,5	6,1		
B. Αντλίες ανακυκλοφορίας υλός								
i. Παρεχόμενη δυναμικότητα κάθε αντλίας	m ³ /h	313	625	625	1100	1250		
ii. Πλήθος αντλιών	-	4	3	4	4	5		
iii. Απαιτούμενη ισχύς κάθε αντλίας	kw	6,1	12,1	12,1	18	24,3		
14. Αντλιοστάσιο στραγγιδίων								
A. Πλήθος αντλιών	-	1	1	1	1	1		
B. Ισχύς κάθε αντλίας	kw	2	4	4	7	9		

Πίνακας 4.2: Διαστασιολόγηση δεξαμενών και εξοπλισμού από 20.000 ι.κ έως 70.000 ι.κ. με ολικό $\theta_C=10, 15, 20$ days

				EEA 1	EEA 2	EEA 3
				20.000 ι.κ.	50.000 ι.κ.	70.000 ι.κ.
1. Αντλιοστάσιο εισόδου για $\theta_C=10, 15, 20$ days						
A. Ισχύς αντλίας			kW	7	18	25
2. Αερόβια δεξαμενή						
A. Όγκος δεξαμενής						
i. Για $\theta_C=10$ days			m ³	2250	5620	7870
ii. Για $\theta_C=15$ days			m ³	3500	8750	12250
iii. Για $\theta_C=20$ days			m ³	4650	11570	16200

3. Ανοξική δεξαμενή για $\theta_C=10, 15, 20$ days						
A. Όγκος δεξαμενής			m^3	500	1250	1750
4. Αναερόβια δεξαμενή $\theta_C=10, 15, 20$ days						
A. Όγκος δεξαμενής			m^3	300	750	1050
5. Δεξαμενή τελικής καθίζησης $\theta_C=10, 15, 20$ days						
A. Πλευρικό βάθος			m	3,5	3,5	3,5
B. Πλήθος δεξαμενών			-	2	2	2
Γ. Όγκος κάθε δεξαμενής			m^3	500	1250	1750
Δ. Απαιτούμενη ισχύς πυθμενικού ξέστρου			W/m^3	2	2	2
6. Δεξαμενή χλωρίωσης $\theta_C=10, 15, 20$ days						
A. Όγκος δεξαμενής			m^3	83	208	292
7. Δεξαμενή αποθήκευσης βιολογικής ύλης $\theta_C=10, 15, 20$ days						
A. Πλήθος δεξαμενών			-	2	2	2
B. Όγκος κάθε δεξαμενής						
i. Για $\theta_C=10$ days			m^3	143	357	499
ii. Για $\theta_C=15$ days			m^3	134	335	469
iii. Για $\theta_C=20$ days			m^3	128	318	446
Γ. Ισχύς πυθμενικού ξέστρου			W/m^3	8	8	8
Δ. Τροφοδοσία δεξαμενής από ΔTK						
i. Επιλεγόμενη ισχύς κάθε αντλίας			kW	0,2	0,5	0,6
ii. Πλήθος αντλιών			-	2	2	2
8. Πάχυνση βιολογικής ύλης $\theta_C=10, 15, 20$ days						
A. Δυναμικότητα κάθε τράπεζας πάχυνσης			kgTSS/m/h	150	150	150
B. Πλάτος κάθε τράπεζας πάχυνσης			m	2	2	2
Γ. Πλήθος τραπεζών πάχυνσης (ενεργών) και αντλιών			-	1	2	3
Δ. Ισχύς κάθε τράπεζας πάχυνσης			kw	2	2	2
E. Ισχύς αντλιών τροφοδοσίας τραπεζών πάχυνσης			kw	4	4	4
9. Αφυδάτωση (ταινιοφιλτρόπρεσσες) $\theta_C=10, 15, 20$ days						
A. Δυναμικότητα κάθε ταινιοφιλτρόπρεσσας			kgTSS/m/h	150	150	150
B. Πλάτος κάθε ταινιοφιλτρόπρεσσας			m	2	2	2
Γ. Πλήθος ταινιοφιλτροπρεσσών και αντλιών			-	1	2	3
Δ. Ισχύς κάθε ταινιοφιλτρόπρεσσας			kw	2	2	2
E. Ισχύς αντλιών τροφοδοσίας ταινιοφιλτροπρεσσών			kw	4,5	4,5	4,5
10. Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας $\theta_C=10, 15, 20$ days						
A. Αντλίες εσωτερικής ανακυκλοφορίας						
i. Παρεχόμενη δυναμικότητα κάθε αντλίας			m^3/h	125	312,5	437,5
ii. Πλήθος αντλιών			-	4	4	4
iii. Απαιτούμενη ισχύς κάθε αντλίας			kw	0,5	1,2	1,7
B. Αντλίες ανακυκλοφορίας ύλης						
i. Παρεχόμενη δυναμικότητα κάθε αντλίας			m^3/h	125	208	292
ii. Πλήθος αντλιών			-	4	3	3
iii. Απαιτούμενη ισχύς κάθε αντλίας			kw	2,4	3,8	5,7
11. Αντλιοστάσιο στραγγιδίων $\theta_C=10, 15, 20$ days						
A. Πλήθος αντλιών			-	1	1	1
B. Ισχύς κάθε αντλίας						
i. Για $\theta_C=10$ days			kw	0,4	0,9	1,2
ii. Για $\theta_C=15$ days			kw	0,4	0,8	1,1
iii. Για $\theta_C=20$ days			kw	0,3	0,8	1,1

4.3 Αποτελέσματα πρότυπου μοντέλου για την ενεργειακή κατανάλωση για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια

Στην παρούσα παράγραφο γίνεται μία συγκριτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ενεργειακής απαίτησης και του ενεργειακού κόστους για όλους τους ισοδύναμους πληθυσμούς και για όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα γίνεται σύγκριση των ενεργειακών απαιτήσεων ανά μονάδα επεξεργασίας, των ολικών ενεργειακών απαιτήσεων ανά ΕΕΛ καθώς και των ολικών ενεργειακών απαιτήσεων ανά m^3 , ανά ισοδύναμο κάτοικο και ανά kg απομακρυνόμενου BOD₅. Επίσης παρουσιάζεται η παραγωγή ενέργειας από την αναερόβια χώνευση για κάθε ΕΕΛ και το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας (παραγόμενη ενέργεια/ολική απαιτούμενη ενέργεια).

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες τα αποτελέσματα του ενεργειακού κόστους ανά μονάδα επεξεργασίας, που προέκυψαν από το πρότυπο μοντέλο, όλων των πληθυσμών του σεναρίου Α για τα δεδομένα του καλοκαιριού. Έπειτα παρουσιάζονται σε μορφή διαγραμμάτων τα αποτελέσματα του ενεργειακού κόστους για όλους τους πληθυσμούς και για όλα τα σενάρια για τα δεδομένα του χειμώνα και του καλοκαιριού και γίνεται μία άμεση σύγκριση και σχολιασμός επί αυτών.

4.3.1 Αντλιοστάσιο εισόδου

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 1	ΕΕΛ 2	ΕΕΛ 3	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
$\theta_C=10$ days	134	335	470	
$\theta_C=15$ days	134	335	470	
$\theta_C=20$ days	134	335	470	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 4	ΕΕΛ 5	ΕΕΛ 6	ΕΕΛ 7	ΕΕΛ 8	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
$\theta_{C,A}=3$ days	671	1006	1342	2348	3354	
$\theta_{C,A}=4$ days	671	1006	1342	2348	3354	
$\theta_{C,A}=5$ days	671	1006	1342	2348	3354	
$\theta_{C,A}=7$ days	671	1006	1342	2348	3354	

4.3.2 Έργα προεπεξεργασίας

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 1	ΕΕΛ 2	ΕΕΛ 3	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
$\theta_C=10$ days	234	490	686	
$\theta_C=15$ days	234	490	686	
$\theta_C=20$ days	234	490	686	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 4	ΕΕΛ 5	ΕΕΛ 6	ΕΕΛ 7	ΕΕΛ 8	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
$\theta_{C,A}=3$ days	370	555	739	1294	1848	
$\theta_{C,A}=4$ days	370	555	739	1294	1848	
$\theta_{C,A}=5$ days	370	555	739	1294	1848	
$\theta_{C,A}=7$ days	370	555	739	1294	1848	

4.3.3 Δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης (ΔΠΚ)

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 4	ΕΕΛ 5	ΕΕΛ 6	ΕΕΛ 7	ΕΕΛ 8	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
$\theta_{C,A}=3$ days	56	84	112	196	280	
$\theta_{C,A}=4$ days	56	84	112	196	280	
$\theta_{C,A}=5$ days	56	84	112	196	280	
$\theta_{C,A}=7$ days	56	84	112	196	280	

4.3.4 Δεξαμενές αερόβιου, ανοξικού, αναερόβιου όγκου

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 1	ΕΕΛ 2	ΕΕΛ 3	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
$\theta_C=10$ days	1224	3033	4268	
$\theta_C=15$ days	1464	3656	5111	
$\theta_C=20$ days	1681	4195	5881	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 4	ΕΕΛ 5	ΕΕΛ 6	ΕΕΛ 7	ΕΕΛ 8	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
$\theta_{C,A}=3$ days	3943	5905	7876	13748	19620	
$\theta_{C,A}=4$ days	4127	6175	8233	14408	20807	
$\theta_{C,A}=5$ days	4351	6462	8635	15021	21512	
$\theta_{C,A}=7$ days	4640	7048	9259	16187	23127	

4.3.5 Δεξαμενή τελικής καθίζησης (ΔΤΚ)

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 1	ΕΕΛ 2	ΕΕΛ 3	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
$\theta_C=10$ days	38	96	134	
$\theta_C=15$ days	38	96	134	
$\theta_C=20$ days	38	96	134	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 4	ΕΕΛ 5	ΕΕΛ 6	ΕΕΛ 7	ΕΕΛ 8	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
$\theta_{C,A}=3$ days	192	288	384	672	960	
$\theta_{C,A}=4$ days	192	288	384	672	960	
$\theta_{C,A}=5$ days	192	288	384	672	960	
$\theta_{C,A}=7$ days	192	288	384	672	960	

4.3.6 Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περίσσειας

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 1	ΕΕΛ 2	ΕΕΛ 3	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
$\theta_C=10$ days	59	141	208	
$\theta_C=15$ days	50	118	175	
$\theta_C=20$ days	41	97	144	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 4	ΕΕΛ 5	ΕΕΛ 6	ΕΕΛ 7	ΕΕΛ 8	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
$\theta_{C,A}=3$ days	358	537	716	1100	1788	
$\theta_{C,A}=4$ days	350	526	701	1078	1755	
$\theta_{C,A}=5$ days	344	516	688	1056	1718	
$\theta_{C,A}=7$ days	330	496	661	1016	1651	

4.3.7 Πάχυνση ιλύος (παχυντής βαρύτητας, δεξαμενές αποθήκευσης, τράπεζες πάχυνσης)

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 1	ΕΕΛ 2	ΕΕΛ 3	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
$\theta_C=10$ days	65	161	228	
$\theta_C=15$ days	61	153	214	
$\theta_C=20$ days	58	145	203	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 4	ΕΕΛ 5	ΕΕΛ 6	ΕΕΛ 7	ΕΕΛ 8	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
$\theta_{C,A}=3$ days	226	339	450	785	1119	
$\theta_{C,A}=4$ days	222	332	439	772	1171	
$\theta_{C,A}=5$ days	220	328	433	756	1083	
$\theta_{C,A}=7$ days	209	314	415	729	1043	

4.3.8 Αναερόβια χώνευση ιλύος

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 4	ΕΕΛ 5	ΕΕΛ 6	ΕΕΛ 7	ΕΕΛ 8	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
$\theta_{C,A}=3$ days	634	793	1164	1844	2372	
$\theta_{C,A}=4$ days	633	790	995	1839	2390	
$\theta_{C,A}=5$ days	632	789	993	1834	2359	
$\theta_{C,A}=7$ days	628	784	987	1637	2345	

4.3.9 Αφυδάτωση ιλύος (δεξαμενές αποθήκευσης, ταινιοφιλτράρες)

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 1	ΕΕΛ 2	ΕΕΛ 3	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
$\theta_C=10$ days	19	47	66	
$\theta_C=15$ days	18	75	62	
$\theta_C=20$ days	17	71	59	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 4	ΕΕΛ 5	ΕΕΛ 6	ΕΕΛ 7	ΕΕΛ 8	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
$\theta_{C,A}=3$ days	112	169	225	392	559	
$\theta_{C,A}=4$ days	112	167	222	388	572	
$\theta_{C,A}=5$ days	111	166	221	384	550	
$\theta_{C,A}=7$ days	108	163	216	378	540	

4.3.10 Αντλιοστάσιο στραγγιδίων

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 1	ΕΕΛ 2	ΕΕΛ 3	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
$\theta_C=10$ days	2,1	2,1	2,1	
$\theta_C=15$ days	2,0	2,0	2,0	
$\theta_C=20$ days	1,9	1,9	1,9	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ 4	ΕΕΛ 5	ΕΕΛ 6	ΕΕΛ 7	ΕΕΛ 8	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
$\theta_{C,A}=3$ days	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	
$\theta_{C,A}=4$ days	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	
$\theta_{C,A}=5$ days	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	
$\theta_{C,A}=7$ days	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	

4.3.11 Αθροιστικά ενεργειακά κόστη για το σενάριο Α για τα δεδομένα του καλοκαιριού

Πίνακας 4.3: Ολική κατανάλωση ενέργειας ΕΕΛ του σεναρίου Α1

		ΕΕΛ1	ΕΕΛ2	ΕΕΛ3
		20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.
$\theta_C=10$ days				
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/d	1776	4309	6069
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο	kWh/m ³	0,5550	0,5386	0,5418
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά ισodύναμο κάτοικο	kWh/d/I.K.	0,0888	0,0862	0,0867
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kWh/BOD _{5,ΑΠΟΜ}	1,9473	1,8897	1,9012

$\theta_C=15$ days				
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/d	2001	4929	6859
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο	kWh/m ³	0,6254	0,6161	0,6124
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο	kWh/d/I.K.	0,1001	0,0986	0,0980
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kWh/BOD _{5,ΑΠΟΜ}	2,1945	2,1618	2,1487
$\theta_C=20$ days				
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/d	2205	5435	7583
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο	kWh/m ³	0,6891	0,6794	0,6771
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο	kWh/d/I.K.	0,1103	0,1087	0,1083
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kWh/BOD _{5,ΑΠΟΜ}	2,4178	2,3839	2,3758

Πίνακας 4.4: Ολική κατανάλωση ενέργειας ΕΕΛ του σεναρίου ΑΠ

		ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8
		100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.
$\theta_{C,A}=3$ days						
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/d	6573	9692	13033	22418	31956
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο	kWh/m ³	0,4108	0,4038	0,4073	0,4003	0,3994
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο	kWh/d/I.K.	0,0657	0,0646	0,0652	0,0641	0,0639
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kWh/BOD _{5,ΑΠΟΜ}	1,4414	1,4169	1,4290	1,4046	1,4016
$\theta_{C,A}=4$ days						
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/d	6744	9939	13192	23034	33195
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο	kWh/m ³	0,4215	0,4141	0,4123	0,4113	0,4149
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο	kWh/d/I.K.	0,0674	0,0663	0,0660	0,0658	0,0664
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kWh/BOD _{5,ΑΠΟΜ}	1,4789	1,4531	1,4465	1,4433	1,4559
$\theta_{C,A}=5$ days						
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/d	6958	10209	13570	23599	33719
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο	kWh/m ³	0,4348	0,4254	0,4241	0,4214	0,4215
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο	kWh/d/I.K.	0,0696	0,0681	0,0679	0,0674	0,0674
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kWh/BOD _{5,ΑΠΟΜ}	1,5258	1,4926	1,4880	1,4787	1,4789

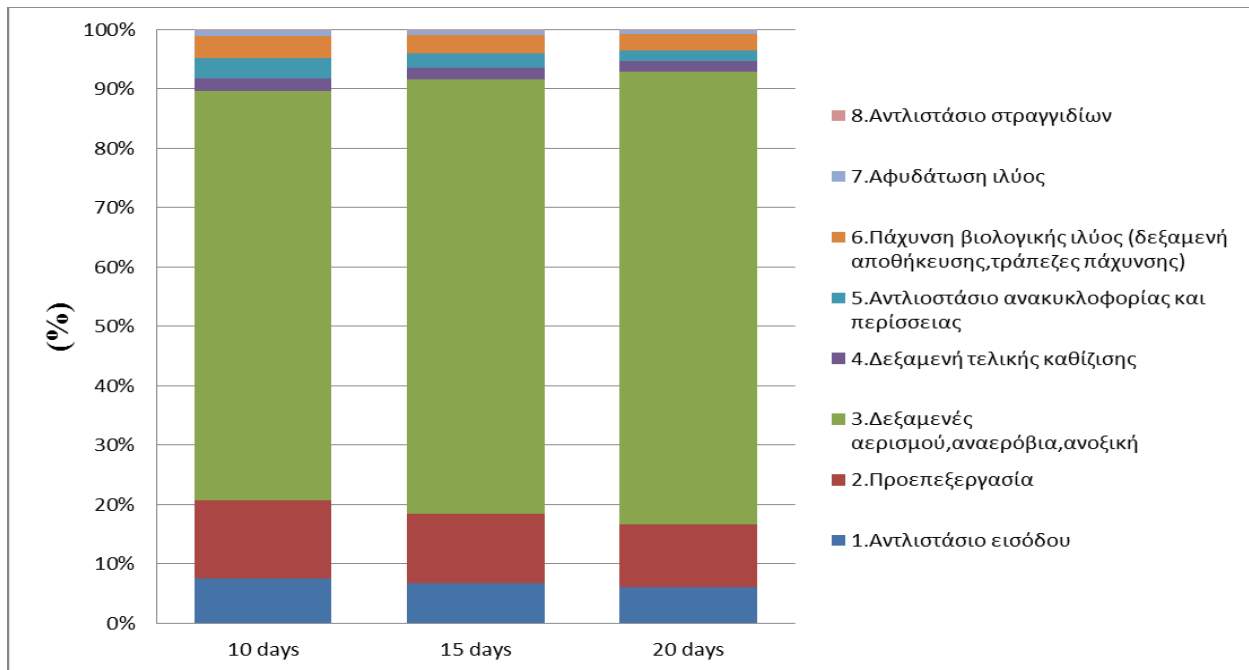
$\theta_{C,A}=7$ days						
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας	kWh/d	7216	10753	14139	24493	35202
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο	kWh/m ³	0,4510	0,4481	0,4418	0,4374	0,4400
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά ισοδύναμο κάτοικο	kWh/d/I.K.	0,0722	0,0717	0,0707	0,0700	0,0704
Συνολική ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kWh/BOD _{5,ΑΠΟΜ}	1,5824	1,5721	1,5503	1,5347	1,5439

Πίνακας 4.5: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το βιοαέριο και ποσοστό ανάκτησης ενέργειας για το σενάριο ΑΠ

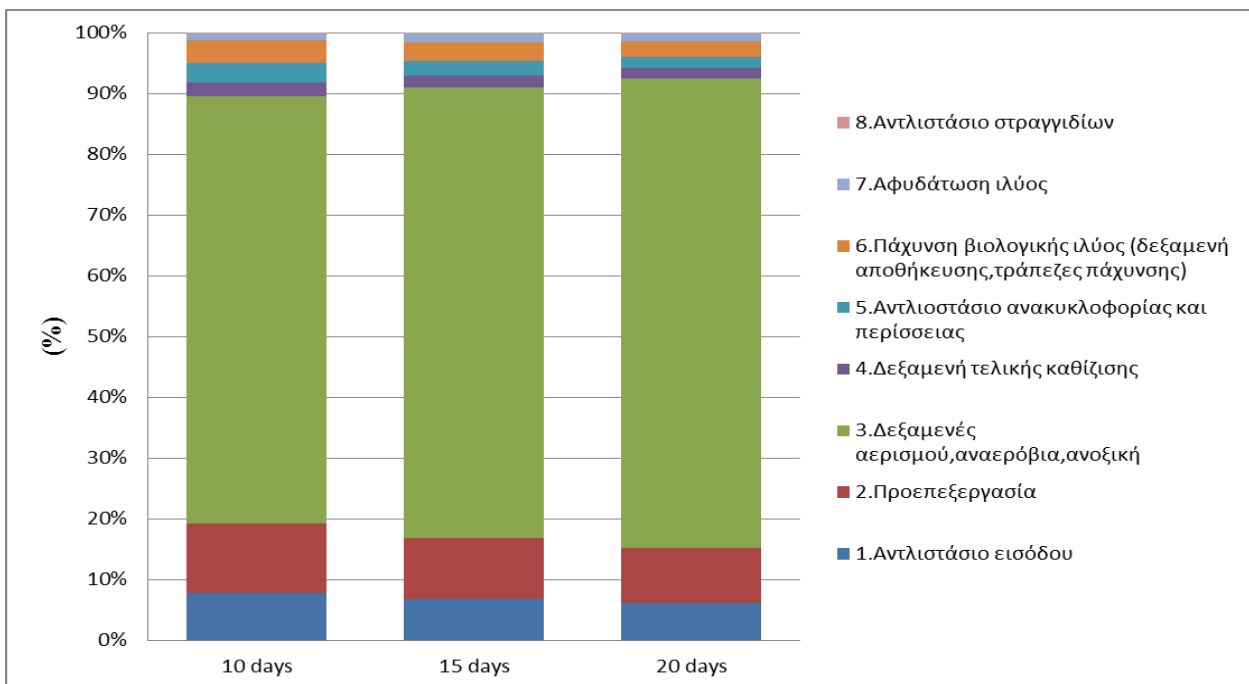
		ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8
		100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.
$\theta_{C,A}=3$ days						
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο	kWh/d	3630	5445	7260	12667	18073
Ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από την ΔΕΗ (ολική απαιτούμενη-παραγόμενη)	kWh/d	2943	4247	5773	9751	13882
Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας (παραγόμενη/απαιτούμενη ενέργεια)	-	0,5523	0,5618	0,5571	0,5650	0,5656
$\theta_{C,A}=4$ days						
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο	kWh/d	3601	5388	7174	12561	18495
Ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από την ΔΕΗ (ολική απαιτούμενη-παραγόμενη)	kWh/d	3143	4552	6019	10473	14700
Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας (παραγόμενη/απαιτούμενη ενέργεια)	-	0,5340	0,5420	0,5438	0,5453	0,5572
$\theta_{C,A}=5$ days						
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο	kWh/d	3584	5353	7122	12429	17782
Ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από την ΔΕΗ (ολική απαιτούμενη-παραγόμενη)	kWh/d	3374	4856	6448	11170	15937
Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας (παραγόμενη/απαιτούμενη ενέργεια)	-	0,5151	0,5243	0,5248	0,5267	0,5274
$\theta_{C,A}=7$ days						
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο	kWh/d	3499	5248	6981	12212	17460
Ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από την ΔΕΗ (ολική απαιτούμενη-παραγόμενη)	kWh/d	3717	5505	7158	12281	17742
Ποσοστό ανάκτησης ηλεκτρικής ενέργειας (παραγόμενη/απαιτούμενη ενέργεια)	-	0,4849	0,4880	0,4937	0,4986	0,4960

4.3.12 Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων σεναρίου A

Σενάριο AI

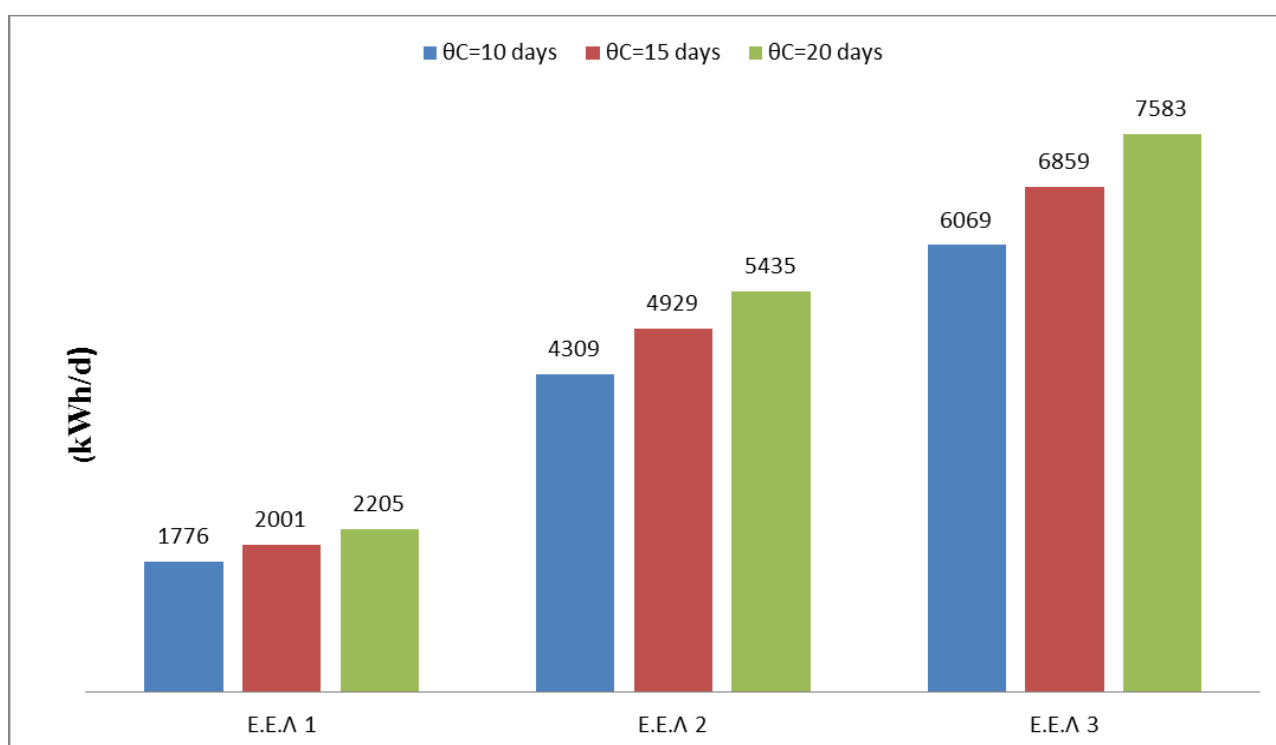


Σχήμα 4.1: Αθροιστικό ραβδόγραμμα κατανάλωσης ενέργειας για 20.000 ι.κ. ανά γραμμή επεξεργασίας



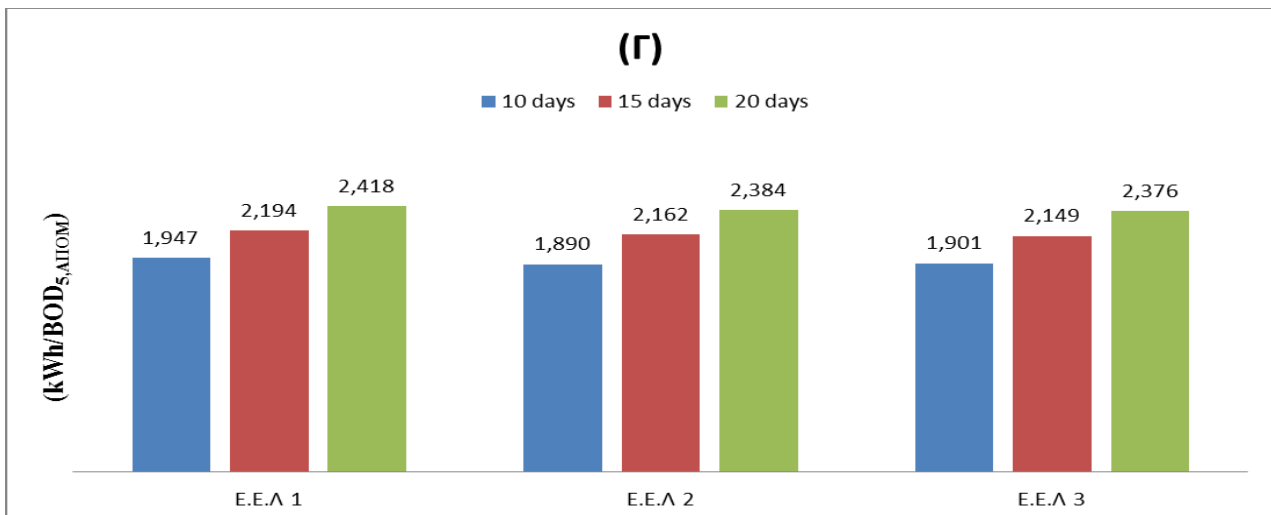
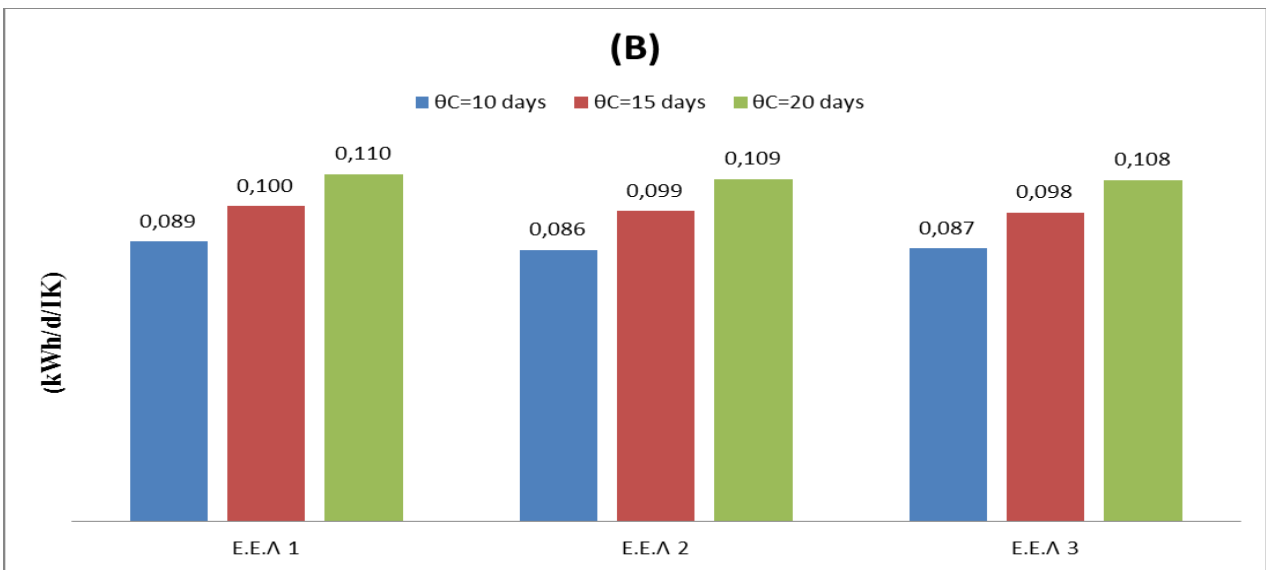
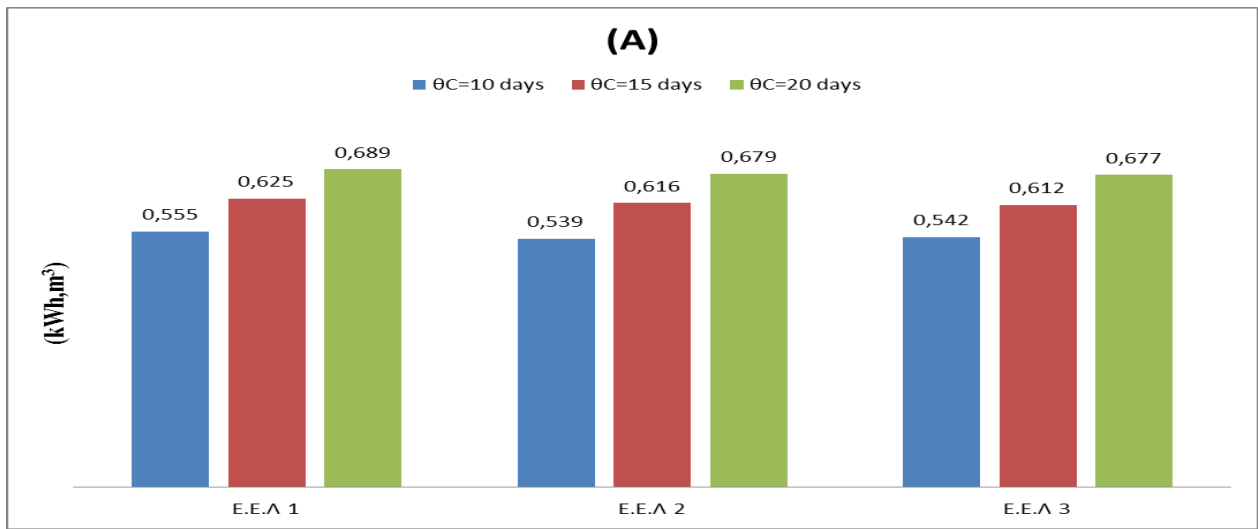
Σχήμα 4.1: Αθροιστικό ραβδόγραμμα κατανάλωσης ενέργειας για 50.000 ι.κ. ανά γραμμή επεξεργασίας

Στα διαγράμματα των σχημάτων 4.1 και 4.2 παρατηρούμε την διακύμανση των ποσοστών της κατανάλωσης ενέργειας ανά γραμμή επεξεργασίας, στη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα αυτά οι δεξαμενές αερισμού αποτελούν τον κρισιμότερο παράγοντα κατανάλωσης ενέργειας. Η αύξηση του ολικού χρόνου παραμονής στο σύστημα είναι συνυφασμένη με την αύξηση του χρόνου παραμονής στη δεξαμενή αερισμού. Έτσι καθώς αυξάνεται ο ολικός χρόνος παραμονής από τις 10 ημέρες σε 15 και 20 ημέρες αυξάνεται και η κατανάλωση ενέργειας στη δεξαμενή αερισμού. Τα ποσοστά της κατανάλωσης ενέργειας από τη δεξαμενή αερισμού επί του συνόλου κυμαίνονται από 68%-73%-76% για 10, 15, 20 ημέρες αντίστοιχα για τους 20.000 ι.κ.. Τα αντίστοιχα ποσοστά για τους 50.000 ι.κ είναι 70%-75%-77%. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι η κατανάλωση ενέργειας στην προεπεξεργασία στους 20.000 ι.κ. είναι ποσοστιαία μεγαλύτερη από αυτή στους 50.000 ι.κ. Οι υπόλοιπες μεταβλητές και στους δύο πληθυσμούς ακολουθούν περίπου την ίδια διακύμανση. Το αθροιστικό ραβδόγραμμα κατανάλωσης ενέργειας του ισοδύναμου πληθυσμού των 70.000 ι.κ δεν παρουσιάζεται γιατί είναι όμοιο με αυτό των 50.000 ι.κ.



Σχήμα 4.3: Διάγραμμα ολικής ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας (kWh/d)

Όσον αφορά τη επίδραση του ολικού χρόνου παραμονής στερεών στο σύστημα, η αύξηση του συνεπάγεται την αύξηση του ολικού ενεργειακού κόστους της εγκατάστασης. Αυτό συμβαίνει γιατί τα στερεά παραμένουν περισσότερο χρόνο στη δεξαμενή αερισμού, η οποία είναι και ο κρισιμότερος παράγοντας στην ολική ενεργειακή κατανάλωση. Όσον αφορά την αύξηση του ενεργειακού κόστους για τη μεταβολή του ολικού χρόνου παραμονής από τις 10 στις 15 ημέρες, κυμαίνεται από 12,7%-14,4%-14,15% για τους πληθυσμούς των 20.000-50.000-70.000 αντίστοιχα. Για την μεταβολή από τις 15 στις 20 ημέρες το ποσοστό αυτό σταθεροποιείται στο 10,35% για όλους τους πληθυσμούς.



Σχήμα 4.4: Ημερησία κατανάλωση ενέργειας ανηγμένη Α: ανά κυβικό μέτρο (kWh/m³), Β: ανά ισοδύναμο κάτοικο (kWh/d/I.K.), Γ: ανά kg αποκρινόμενου BOD₅ (kWh/kgBOD_{5,ΑΠΟΜ})

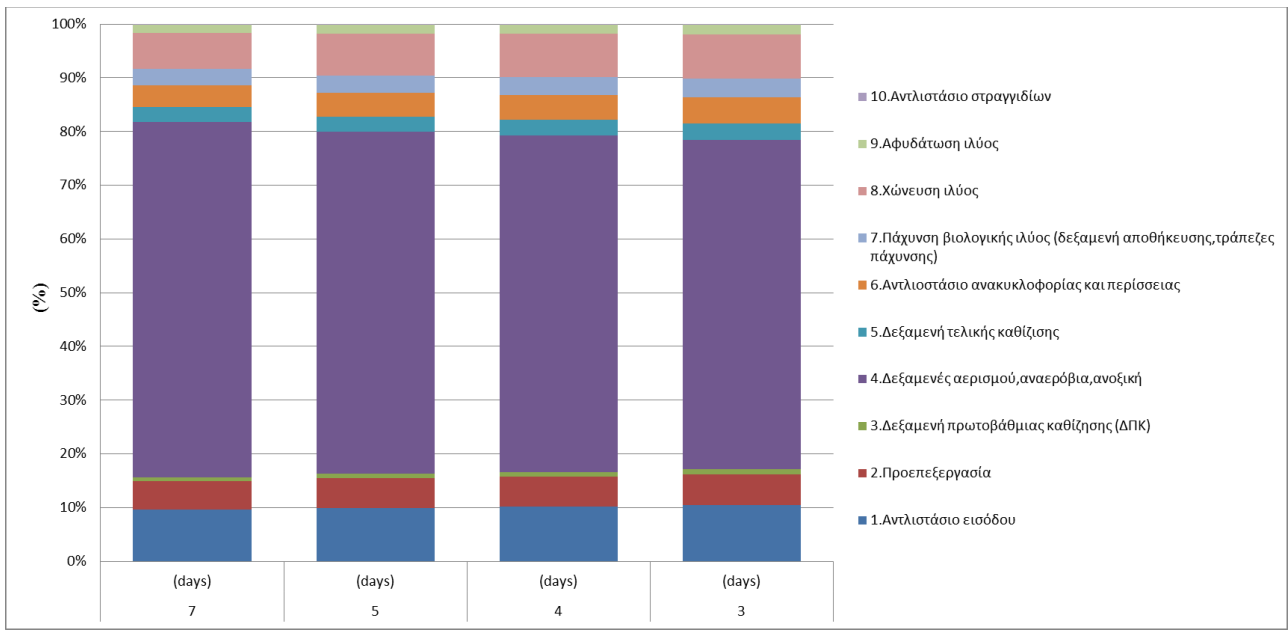
Τα αποτελέσματα του πρότυπου μοντέλου όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας ανά m^3 , I.K, $\text{BOD}_{5,\text{ΑΠΟΜ}}$ παρουσιάζουν μία γραμμικότητα για όλους τους πληθυσμούς σε κάποιο συγκεκριμένο χρόνο παραμονής. Πιο συγκεκριμένα η κατανάλωση ενέργειας ανά m^3 είναι περίπου 0,54 kWh/ m^3 για χρόνο παραμονής 10 ημερών, 0,62 kWh/ m^3 για χρόνο παραμονής 15 ημερών και 0,68 kWh/ m^3 για χρόνο παραμονής 20 ημερών. Ανά ι.κ. η κατανάλωση ενέργειας κοστίζει 0,865-0,98-0,109 kWh/d/I.K. για 10-15-20 ημέρες χρόνου παραμονής. Για κάθε kg απομακρυνόμενου BOD_5 απαιτείται περίπου 1,91-2,167-2,387 kWh/ BOD_5 για 10-15-20 ημέρες χρόνου παραμονής.

Σε σύγκριση με πραγματικά δεδομένα, από έρευνα που έχει γίνει (Mamais et al. 2015), για σχετικά μικρές ΕΕΛ (με ισοδύναμο πληθυσμό κάτω από 100.000 ι.κ.), με σύστημα παρατεταμένου αερισμού και χωρίς πρωτοβάθμια επεξεργασία έχουν προκύψει τα εξής αποτελέσματα για τα δεδομένα του καλοκαιριού:

- Μέση ανηγμένη κατανάλωση ανά ισοδύναμο κάτοικο: 0,12 kWh/d/IK
- Μέγιστη ανηγμένη κατανάλωση ανά ισοδύναμο κάτοικο: 0,235 kWh/d/IK
- Ελάχιστη ανηγμένη κατανάλωση ανά ισοδύναμο κάτοικο: 0,087 kWh/d/IK
- Ποσοστιαία συμβολή του αερισμού στην ολική κατανάλωση ενέργειας: 44% έως 76% με μέση τιμή 58%

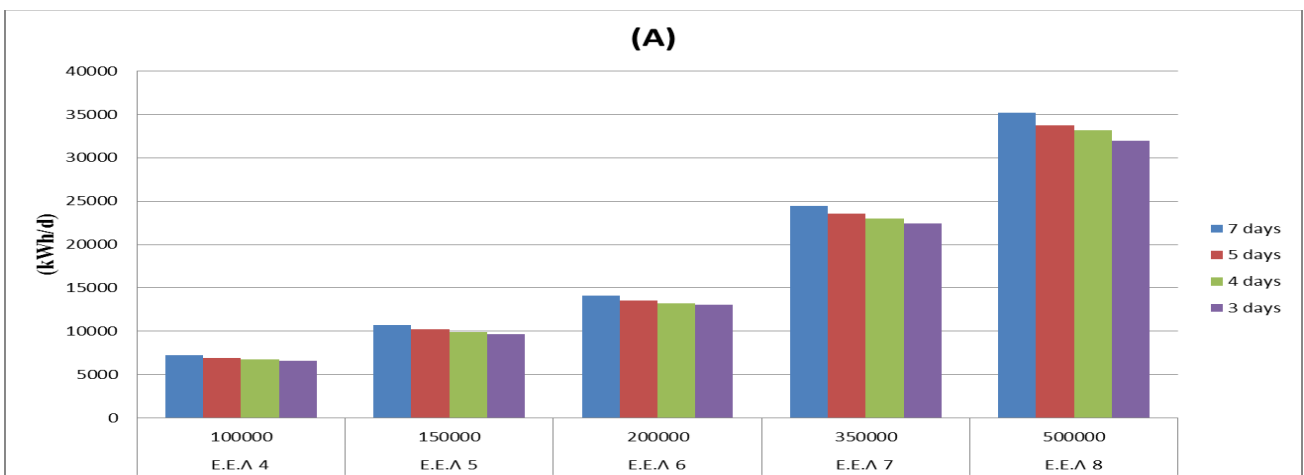
Η έρευνα που έγινε στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζει αποτελέσματα τα οποία βρίσκονται εντός των ορίων του ολικού ενεργειακού κόστους για πραγματικές ΕΕΛ. Πιο συγκεκριμένα για ολικό χρόνο παραμονής 10 ημέρες η ανηγμένη ενεργειακή κατανάλωση ανά ι.κ. είναι 0,087 kWh/d/IK, όσο είναι και το κατώτατο όριο που προέκυψε από τα πραγματικά δεδομένα ενώ και η ποσοστιαία συμβολή στην ολική κατανάλωση ενέργειας, που είναι 69%, είναι εντός των ορίων αν και φαίνεται ότι έχει υπερεκτιμηθεί μιας και πλησιάζει το άνω όριο. Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα για ολικό χρόνο παραμονής 15 και 20 ημέρες των οποίων η ανηγμένη ενεργειακή κατανάλωση ανά ι.κ. είναι 0,099 kWh/d/IK και 0,11 kWh/d/IK ενώ η ποσοστιαία συμβολή στην ολική κατανάλωση ενέργειας είναι 74% και 76% αντίστοιχα. Αξίζει πάντως να σημειωθεί ότι αν εξαιρεθεί από τα πραγματικά δεδομένα η ανώτατη τιμή τότε η μέση ανηγμένη κατανάλωση ανά ισοδύναμο κάτοικο μεταβάλετε στο 0,111 kWh/d/IK όσο είναι δηλαδή και αυτή που αντιστοιχεί στις 20 ημέρες του μοντέλου.

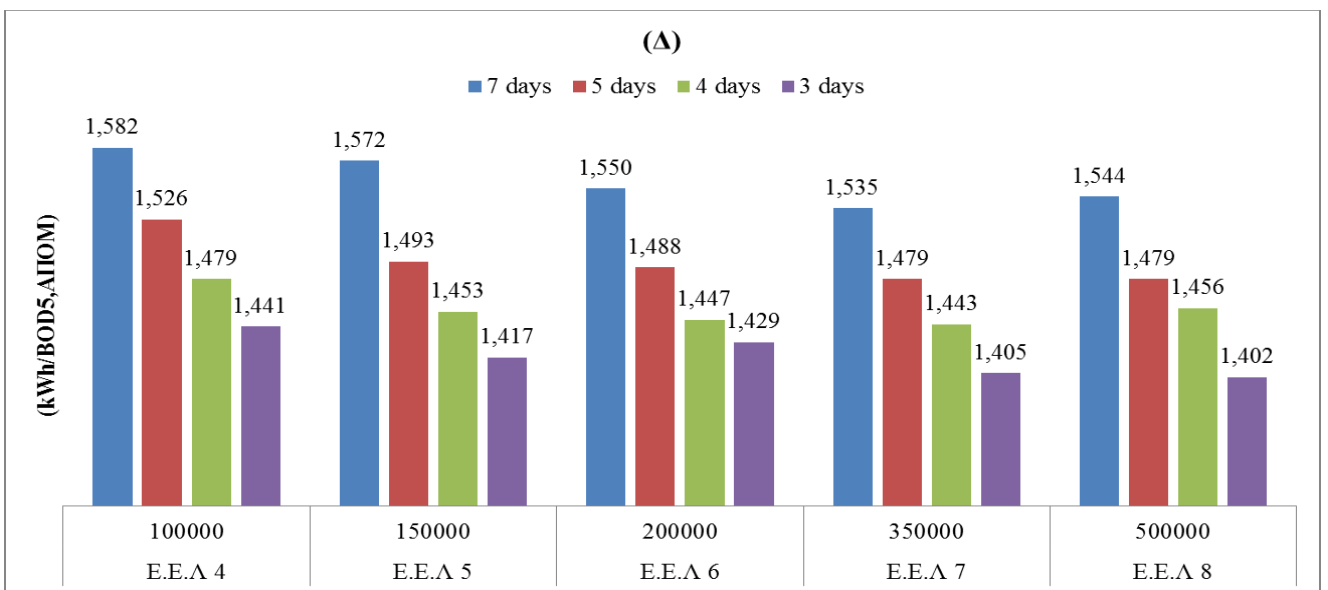
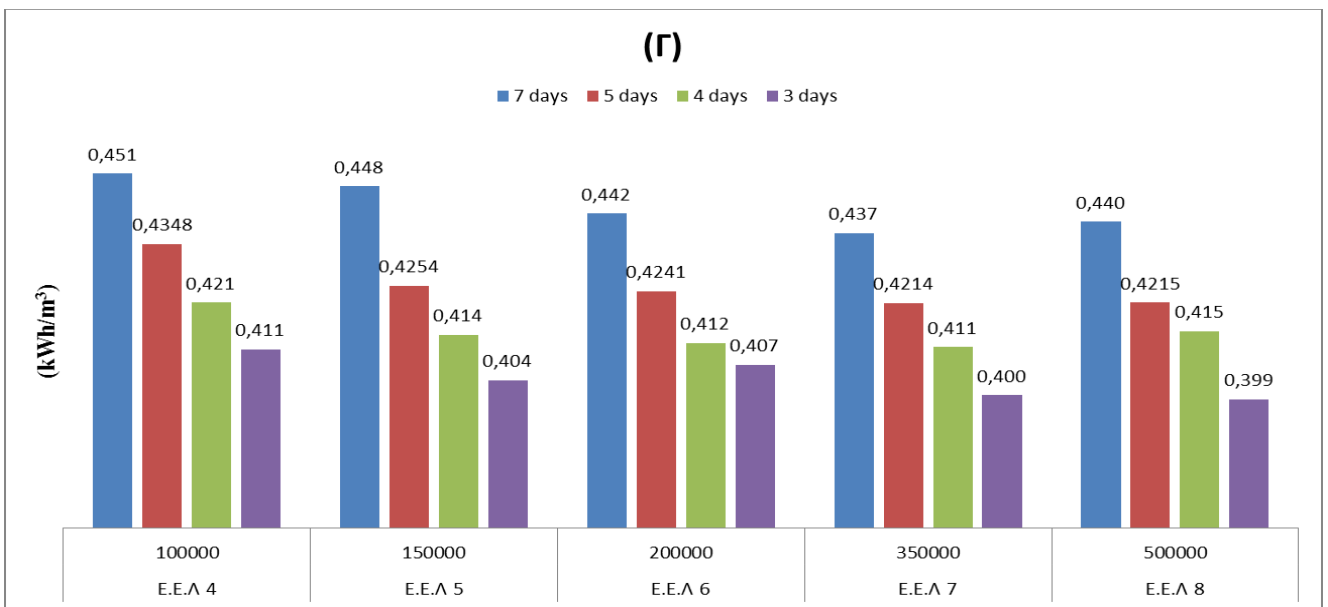
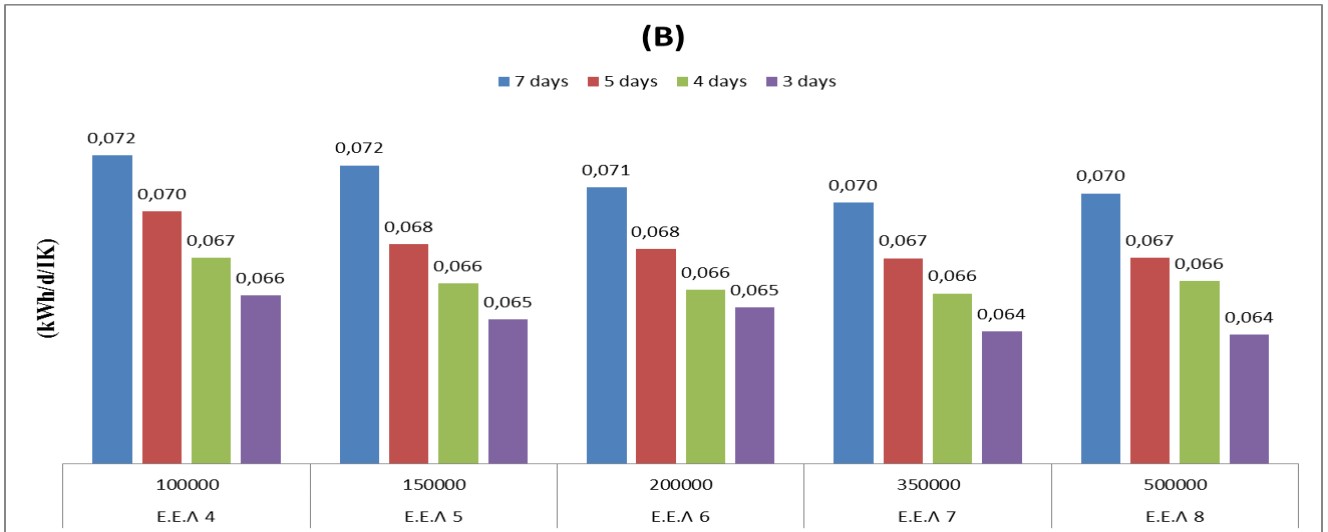
Σενάριο ΑΠ

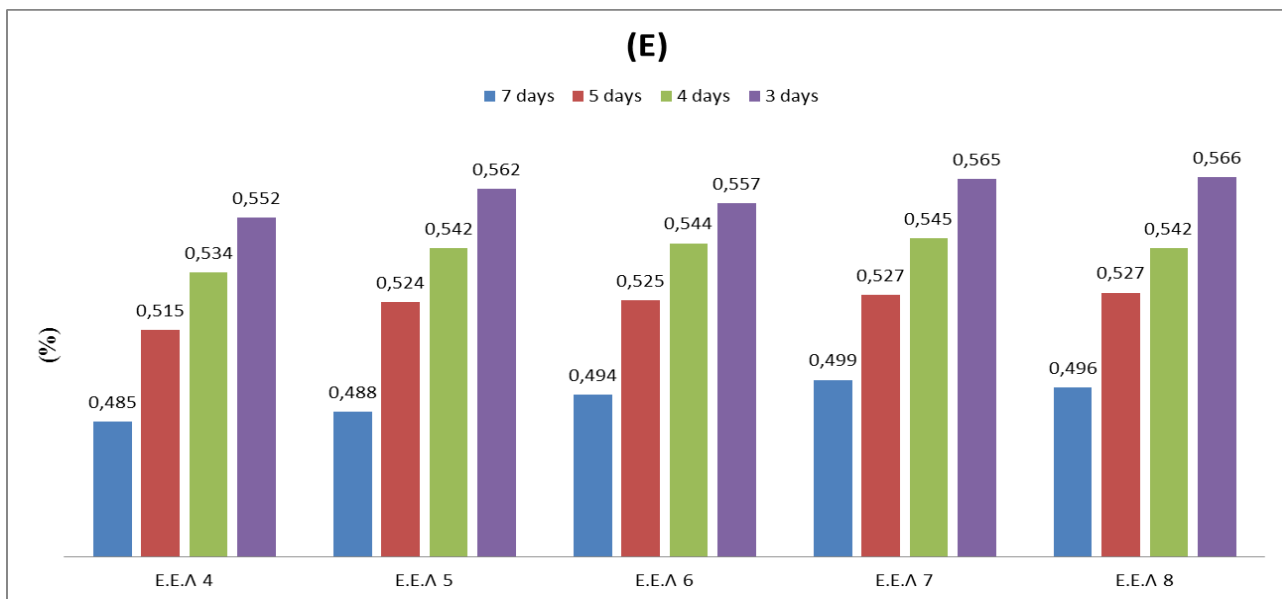


Σχήμα 4.5: Αθροιστικό ραβδόγραμμα κατανάλωσης ενέργειας ανά γραμμή επεξεργασίας ανηγμένο ανά ι.κ.

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται το αθροιστικό ραβδόγραμμα κατανάλωσης ενέργειας ανά γραμμή επεξεργασίας ανηγμένο ανά ισοδύναμο κάτοικο για το σενάριο ΑΠ για χρόνο παραμονής στερεών στη δεξαμενή αερισμού 3,4,5,7 ημέρες. Καθώς αυξάνεται ο αερόβιος χρόνος παραμονής αυξάνεται και το ποσοστό επίδρασης του στην ολική κατανάλωση ενώ μειώνεται το ποσοστό ενέργειας για χώνευση τις ιλύος (οι υπόλοιπες μεταβλητές είναι πρακτικά αμετάβλητες). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η αύξηση του χρόνου παραμονής στη δεξαμενή αερισμού μεταφράζεται σε όλο και περισσότερη κατανάλωση των οργανικών τροφών των λυμάτων από τους μικροοργανισμούς οπότε η ιλύς που επεξεργάζεται στη χώνευση είναι λιγότερη, συγκριτικά με μικρότερους αερόβιους χρόνους παραμονής, οπότε χρειάζεται και λιγότερη ενέργεια για τη λειτουργία της. Η ποσοστιαία συμβολή του αερισμού στην ολική κατανάλωση ενέργειας είναι και η πιο κρίσιμη παράμετρος και κυμαίνεται περίπου στο 65%-63%-61%-59% για αερόβιο χρόνο παραμονής 7-5-4-3 ημέρες αντίστοιχα.







Σχήμα 4.6: Διαγράμματα Α: ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας (kWh/d), Β: ημερήσια κατανάλωση ενέργειας ανηγμένη ανά ι.κ. (kWh/d/IK) , Γ ημερήσια κατανάλωση ενέργειας ανηγμένη ανά m³ (kWh/m³), Δ: ημερήσια κατανάλωση ενέργειας ανηγμένη ανά kg απομακρυνόμενου BOD₅ (kWh/BOD_{5,ΑΠΟΜ}), Ε: ποσοστό ανάκτησης ενέργειας (%)

Στα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας διαφόρων πληθυσμών του σεναρίου ΑΠ. Από το διάγραμμα Α συμπεραίνουμε ότι καθώς αυξάνεται ο αερόβιος χρόνος παραμονής αυξάνεται και η συνολική κατανάλωση ενέργειας, κάτι που το οποίο είναι αναμενόμενο αφού η ενεργειακή κατανάλωση της αερόβιας δεξαμενής είναι η κρισιμότερη στην ολική ενεργειακή κατανάλωση. Η αύξηση αυτή είναι 2,6% για τη μεταβολή του αερόβιου χρόνου παραμονής από 3 σε 4 ημέρες και 2,55%, 4,3% για τη μεταβολή του αερόβιου χρόνου παραμονής από 4 σε 5 ημέρες και από 5 σε 7 ημέρες αντίστοιχα. Στα διαγράμματα Β, Γ, Δ παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας ανά ι.κ., ανά m³ και ανά kg αποκρινόμενου BOD₅. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν μια γραμμικότητα για κάθε πληθυσμό. Στο διάγραμμα Δ παρουσιάζεται το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας (παραγόμενη ενέργεια/ολική απαιτούμενη ενέργεια). Τα μέσα ποσοστά αυτά είναι περίπου 56%-54,1%-52,4%-49,2% για θ_{C,A}=3,4,5,7 ημέρες αντίστοιχα, που σημαίνει ότι υπάρχει καλύτερη ανάκτηση ενέργειας καθώς μειώνεται ο χρόνος παραμονής στη δεξαμενή αερισμού.

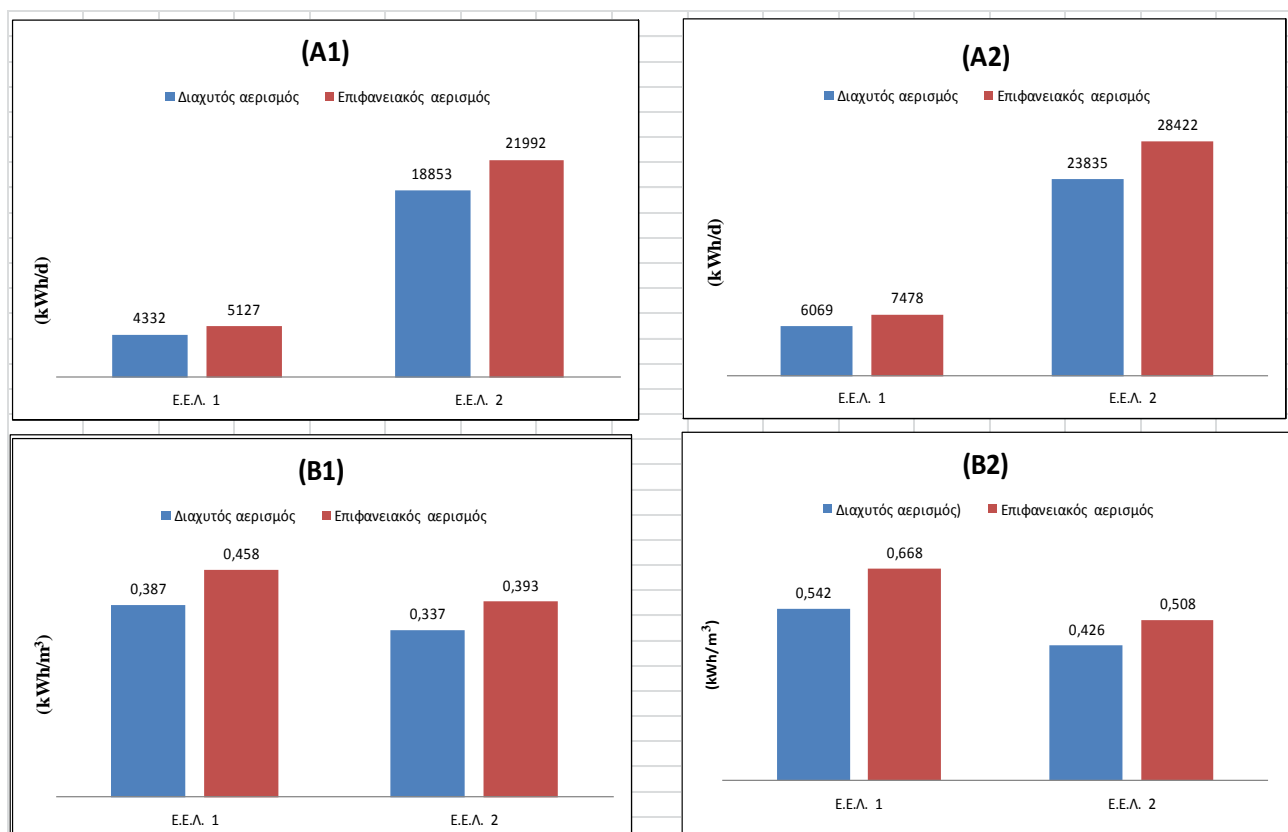
Σύμφωνα με έρευνα που έγινε πάνω σε πραγματικά δεδομένα (Mamais et al. 2015) για ΕΕΛ με μεγάλο εξυπηρετούμενο πληθυσμό (από 100.000 ι.κ έως 4.000.000 ι.κ) οι οποίες περιλαμβάνουν συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος, πρωτοβάθμια επεξεργασία και σύστημα αναερόβιας χώνευσης με συμπαραγωγή ενέργειας προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα, για τα δεδομένα του καλοκαιριού:

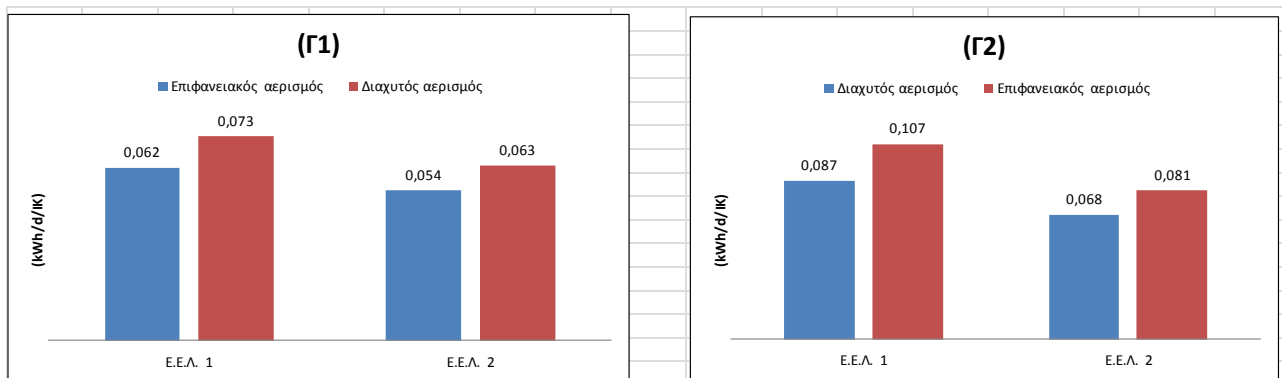
- Μέση ανηγμένη κατανάλωση ανά ισοδύναμο κάτοικο: 0,0876 kWh/d/IK
- Μέγιστη ανηγμένη κατανάλωση ανά ισοδύναμο κάτοικο: 0,136 kWh/d/IK
- Ελάχιστη ανηγμένη κατανάλωση ανά ισοδύναμο κάτοικο: 0,041 kWh/d/IK
- Ποσοστιαία συμβολή του αερισμού στην ολική κατανάλωση ενέργειας: 23% έως 53% με μέση τιμή 39,5%

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα της παρούσας διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται στο σχήμα 4.6 βρίσκονται εντός των ορίων του ολικού πραγματικού ενεργειακού κόστους. Πιο συγκεκριμένα για $\theta_{C,A}=7$ ημέρες η μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας ανηγμένη ανά ι.κ. είναι 0,071 kWh/d/IK η οποία είναι εντός των ορίων, ωστόσο παρουσιάζει μια διαφοροποίηση με τη μέση ανηγμένη κατανάλωση ανά ισοδύναμο κάτοικο των πραγματικών ΕΕΛ, που είναι 0,087 kWh/d/IK, της τάξεως του 20%. Ωστόσο στα πραγματικά δεδομένα αν εξαιρεθούν οι ΕΕΛ οι οποίες χρησιμοποιούν επιφανειακό σύστημα αερισμού, η μέση ενεργειακή κατανάλωση ανηγμένη ανά ι.κ. μεταβάλλεται στα 0,071 kWh/d/IK, όση είναι και η τιμή που έχει ως αποτέλεσμα το μοντέλο για $\theta_{C,A}=7$ ημέρες. Η επίδραση των αναερόβιων, των ανοξικών και των δεξαμενών αερισμού στην ολική ενεργειακή κατανάλωση είναι της τάξεως του 65%. Η αντίστοιχη επίδραση των δεξαμενών αυτών στα πραγματικά δεδομένα είναι πάνω από 55%. Επιπλέον η συμβολή της ενεργειακή κατανάλωση του αερισμού του μοντέλου στην ολική κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται περίπου στο 42% όση είναι σχεδόν και η μέση τιμή των πραγματικών ΕΕΛ. Αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα για $\theta_{C,A}=5, 4, 3$ ημέρες όπου η ανηγμένη κατανάλωση ενέργειας είναι 0,069, 0,066, 0,065 kWh/d/IK αντίστοιχα ενώ η συμβολή των αναερόβιων, των ανοξικών και των δεξαμενών αερισμού στην ολική ενεργειακή κατανάλωση είναι 63%, 61%, 59%. Επομένως το μοντέλο που αναπτύχθηκε παρουσιάζει μια πολύ καλή σύγκλιση στην εκτίμηση του ενεργειακού αποτυπώματος με τα πραγματικά αποτελέσματα της ενεργειακής κατανάλωσης των ΕΕΛ.

4.3.13 παρουσίαση αποτελεσμάτων ενεργειακού κόστους για τα υπόλοιπα σενάρια

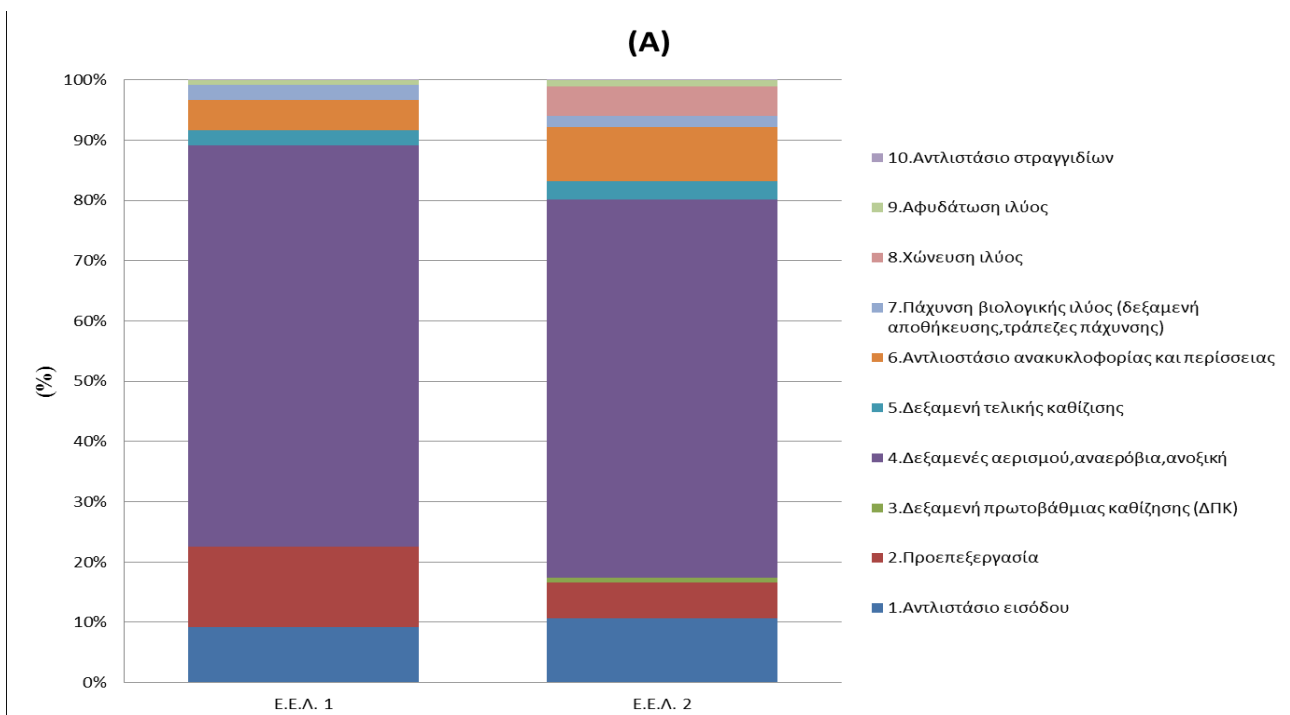
Σενάριο BI:

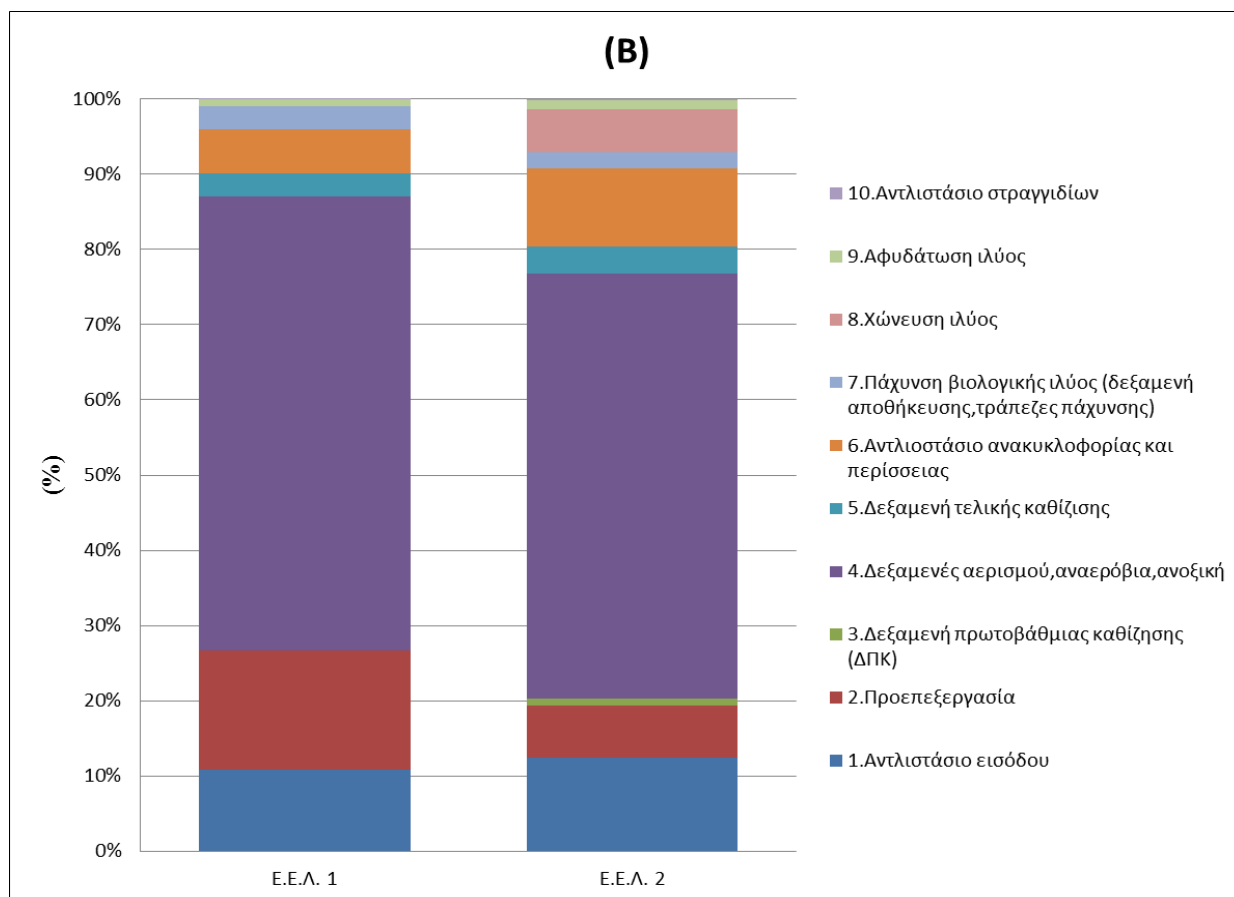




Σχήμα 4.7: Διαγράμματα ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης A1: χειμώνα (kWh/d), A2: καλοκαίρι (kWh/d), ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης ανηγμένης ανά m³ για B1: χειμώνα (kWh/m³), B2: καλοκαίρι (kWh/m³), ημερήσιας ενεργειακής κατανάλωσης ανηγμένης ανά ι.κ. για Γ1: χειμώνα (kWh/d/I.K.), Γ2: καλοκαίρι (kWh/d/I.K.)

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω διαγράμματα η χρήση επιφανειακού αερισμού είναι 18,3% πιο κοστοβόρα έναντι του διαχυτού για τους 70.000 ι.κ. (E.E.L1) τον χειμώνα και 23,22% το καλοκαίρι. Όσον αφορά την διάταξη των 350.000 ι.κ (E.E.L2) τα αντίστοιχα ποσοστά ανέρχονται σε 16,67% τον χειμώνα και 19,3% το καλοκαίρι

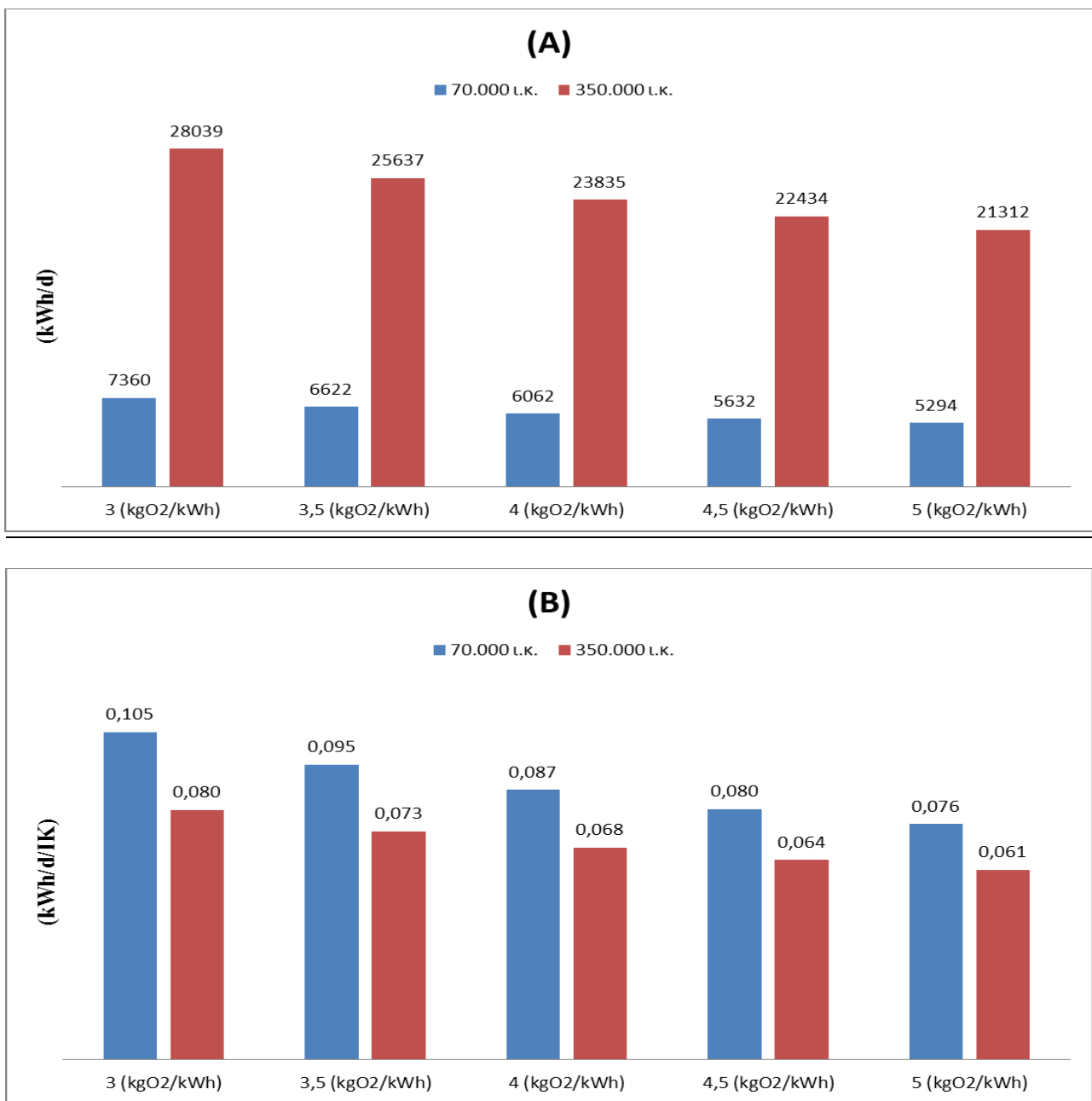




Σχήμα 4.8: Αθροιστικό ραβδόγραμμα κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για A: επιφανειακό αερισμό χειμώνα, B: διαχυτό αερισμό χειμώνα

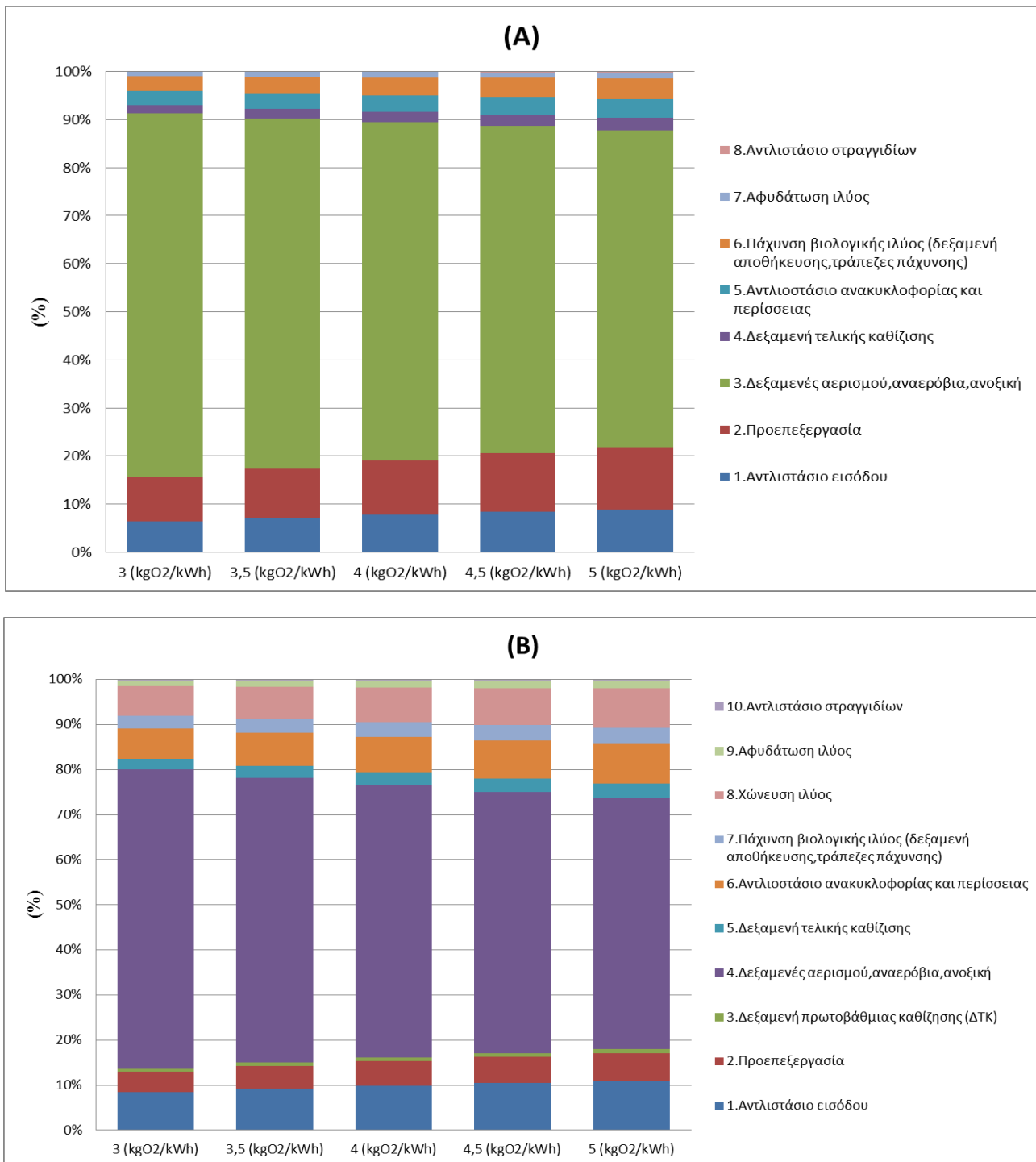
Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα, τα οποία αναφέρονται στα δεδομένα του χειμώνα, ο επιφανειακός αερισμός αποτελεί περίπου το 65% της ολικής ενεργειακής κατανάλωσης για τους 70.000 ι.κ. ενώ ο διαχυτός περίπου το 58,5%. Αντίστοιχα για τους 350.000 ο επιφανειακός αερισμός αποτελεί περίπου το 61% της ολικής ενεργειακής κατανάλωσης και ο διαχυτός περίπου το 55,5%. Για τα δεδομένα του καλοκαιριού τα ποσοστά αυτά είναι 74%-69% (επιφανειακός-διαχυτός) για τους 70.000 ι.κ. και 67%-59% (επιφανειακός-διαχυτός) για τους 350.000 ι.κ.

Σενάριο ΒΙΙ:



Σχήμα 4.9: Διαγράμματα κατανάλωσης ενέργειας Α:για διάφορες αποδόσεις επιφανειακού αερισμού (kWh/d), Β: για διάφορες αποδόσεις επιφανειακού αερισμού ανηγμένα ανά ι.κ. (kWh/d/IK)

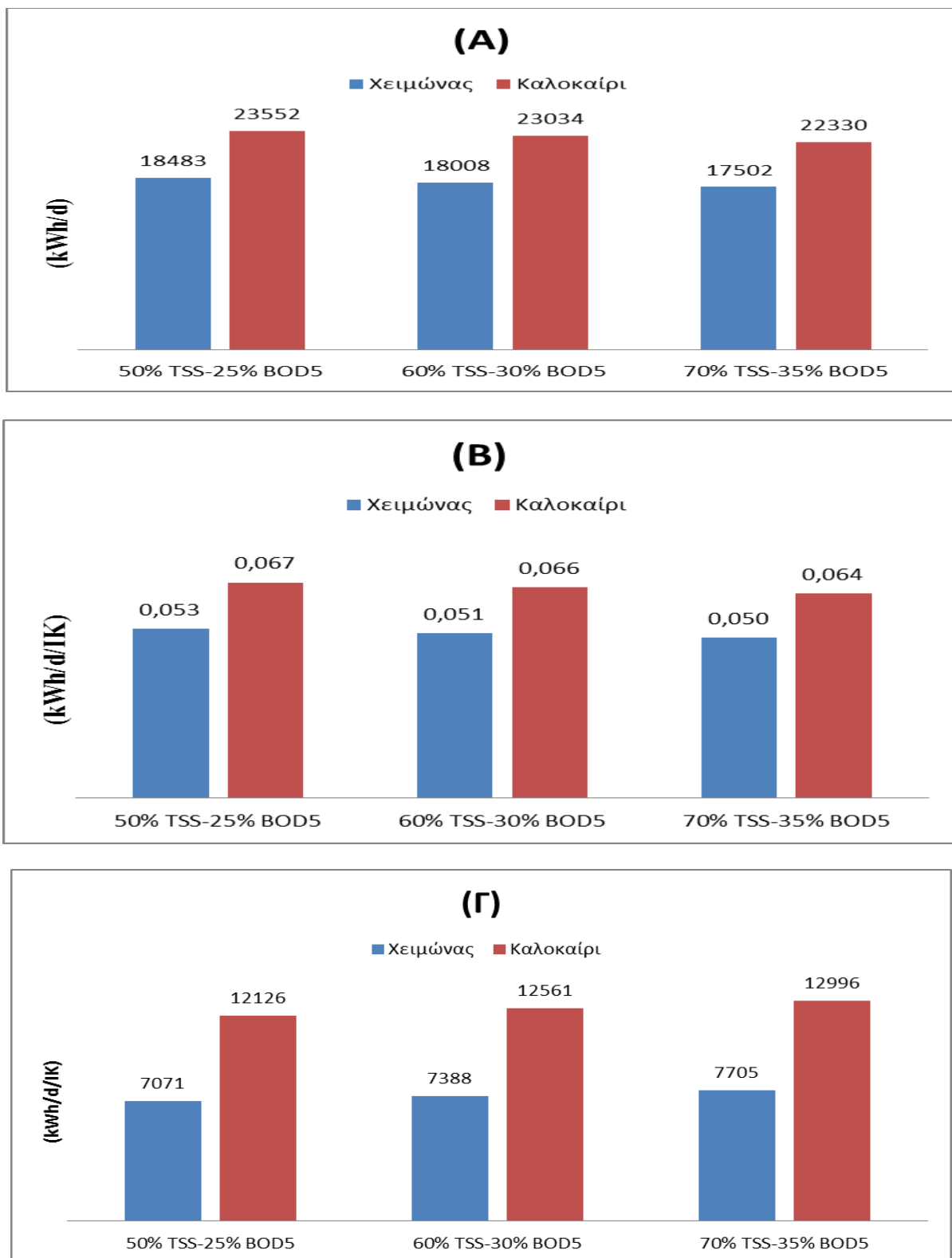
Στα παραπάνω διαγράμματα αναδεικνύεται η επίδραση της απόδοσης του επιφανειακού αερισμού στην ολική κατανάλωση ενέργειας (δίχως να λαμβάνεται υπόψιν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τη χώνευση) για 70.000 ι.κ. και 350.000 ι.κ. Από μια εξαιρετική απόδοση αερισμού της τάξεως των 5 kgO₂/kWh έως μιας απλά αποδεκτής απόδοσης της τάξεως των 3 kgO₂/kWh υπάρχει αύξηση περίπου 31,5% του ενεργειακού κόστους για 350.000 ι.κ. και 39% για 70.000 ι.κ.. Στις υπολειπόμενες τιμές, των 4,5, 4, 3,5 kgO₂/kWh αυτή η αύξηση ισομοιράζεται για τις δύο περιπτώσεις.



Σχήμα 4.10: Αθροιστικά ραβδογράμματα για διάφορες αποδόσεις επιφανειακού αερισμού για A: 70.000 ι.κ., B: 350.000 ι.κ.

Η ενεργειακή κατανάλωση λόγω αερισμού καταλαμβάνει από 74%, στην συνολική ενεργειακή κατανάλωση, για απόδοση 3 kgO₂/kWh έως 65% για απόδοση 5 kgO₂/kWh για 70.000 ι.κ.. Για 350.000 ι.κ. τα ποσοστά αυτά ανέρχονται σε 66%-55% για αποδόσεις αερισμού 3 kgO₂/kWh-5 kgO₂/kWh αντίστοιχα. Για τις ενδιάμεσες τιμές απόδοσης επιφανειακού αερισμού (3,5, 4, 4,5 kgO₂/kWh) η ποσοστιαία διαφορά ισομοιράζεται και για τους δύο πληθυσμούς.

Σενάριο Δ:



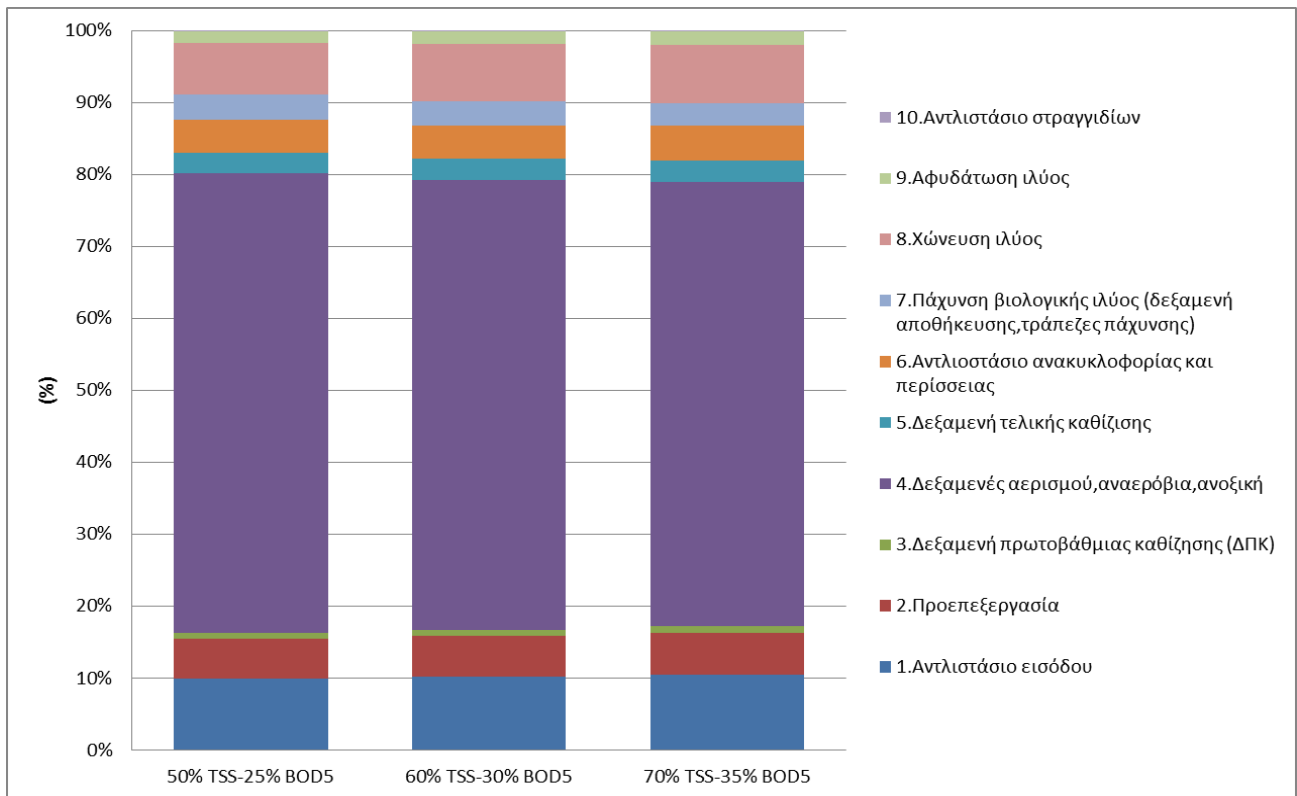
Σχήμα 4.11: Διαγράμματα Α: ημερήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/m^3), Β: ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανηγμένη ανά ι.κ. ($\text{kWh}/\text{d}/\text{IK}$), Γ: παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο (kWh/d)

Τα διαγράμματα του σχήματος 4.11 παρουσιάζουν την διακύμανση της κατανάλωσης ενέργειας για διάφορα ποσοστά απομάκρυνσης των ολικών στερεών και του βιοχημικώς απαιτούμενου οξυγόνου για τον πληθυσμό των 350.000 ι.κ και αφορούν την ολική καταναλισκόμενη ενέργεια της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα για την αύξηση της απομάκρυνσης των TSS και BOD₅ από 50%-25% σε 60%-30% αντίστοιχα παρουσιάζεται μείωση της ολικής ενεργειακής κατανάλωσης της τάξεως του 2,4% για χειμώνα και καλοκαίρι. Για τη μεταβολή από 60%-30% σε 70%-35% απομακρυνόμενων TSS και BOD₅ αντίστοιχα παρουσιάζεται μείωση της ολικής ενεργειακής κατανάλωσης της τάξεως του 3% περίπου για χειμώνα και καλοκαίρι. Επίσης παρουσιάζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το βιοαέριο η οποία αυξάνεται καθώς αυξάνεται η απομάκρυνση των TSS από την ΔΠΚ. Η αύξηση αυτή είναι αναμενόμενη γιατί περισσότερη ποσότητα οργανικών στερεών μεταφέρονται για αναερόβια χώνευση και έτσι παράγεται περισσότερο βιοαέριο. Η αύξηση αυτή είναι της τάξεως του 3,5% για μεταβολή των απομακρυνόμενων TSS από 50% σε 60% και από 60% σε 70% για χειμώνα και καλοκαίρι.



Σχήμα 4.12: Διάγραμμα ανάκτησης ενέργειας για το σενάριο Δ

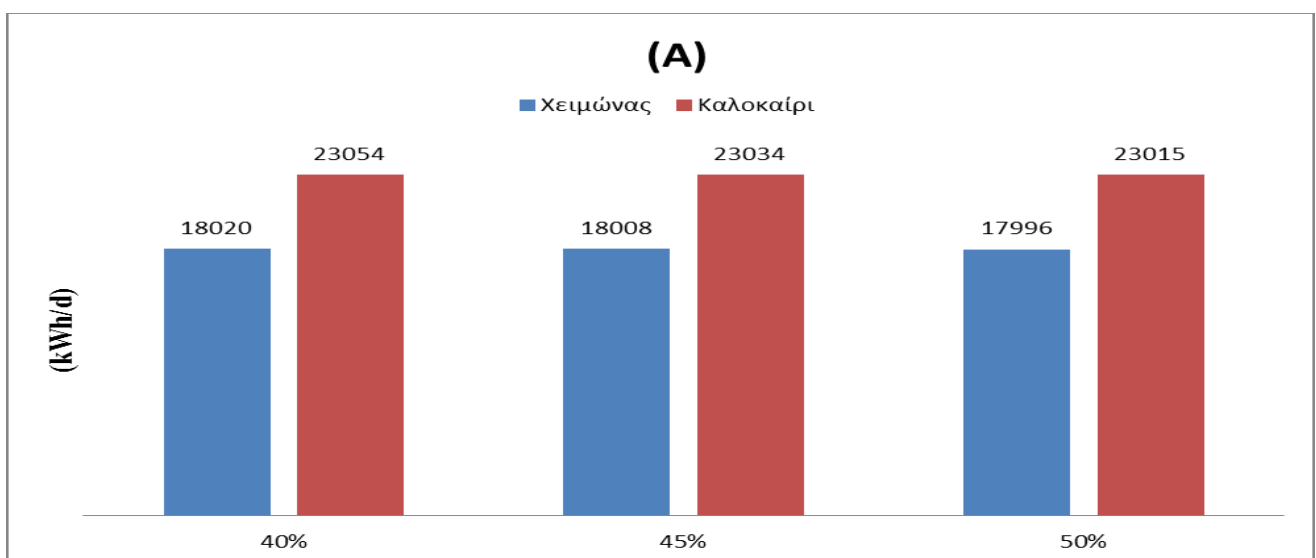
Το ποσοστό ανάκτησης της ενέργειας από την παραγωγή βιοαερίου αυξάνεται κατά 5,9% το καλοκαίρι και 7,1% το χειμώνα για αύξηση του ποσοστού απομάκρυνσης των TSS από 50% σε 60% και αντίστοιχα 6,7% το καλοκαίρι και 7,3% το χειμώνα για αύξηση του ποσοστού απομάκρυνσης των TSS από 60% σε 70%.

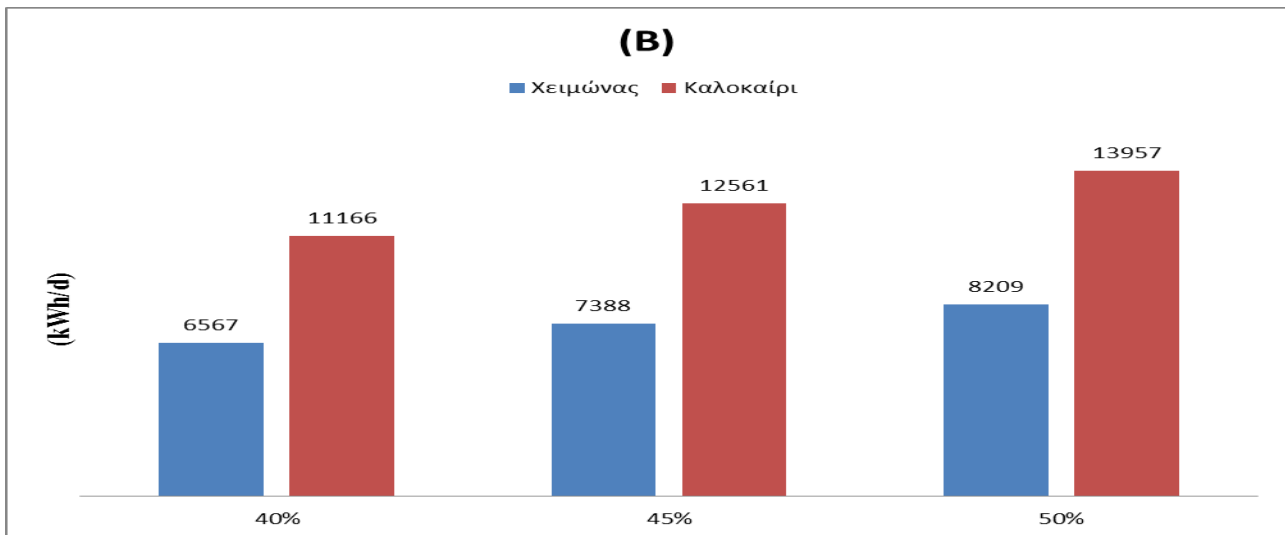


Σχήμα 4.13: Αθροιστικό ραβδόγραμμα ενεργειακής κατανάλωσης (καλοκαίρι)

Καθώς αυξάνεται το ποσοστό απομάκρυνσης των TSS από 50% σε 60% και τελικά σε 70% το ποσοστό που της καταναλισκόμενη ενέργειας που αντιστοιχεί στον αερισμό μειώνεται, επί της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, και ταυτόχρονα αυξάνονται τα ενεργειακά ποσοστά που αντιστοιχούν στην πάχυνση και την χώνευση της ιλύος όπως και αυτά του αντλιοστασίου ανακυκλοφορίας. Αυτό συμβαίνει επειδή η εγκατάσταση έχει να διαχειριστεί μεγαλύτερο όγκο ιλύος.

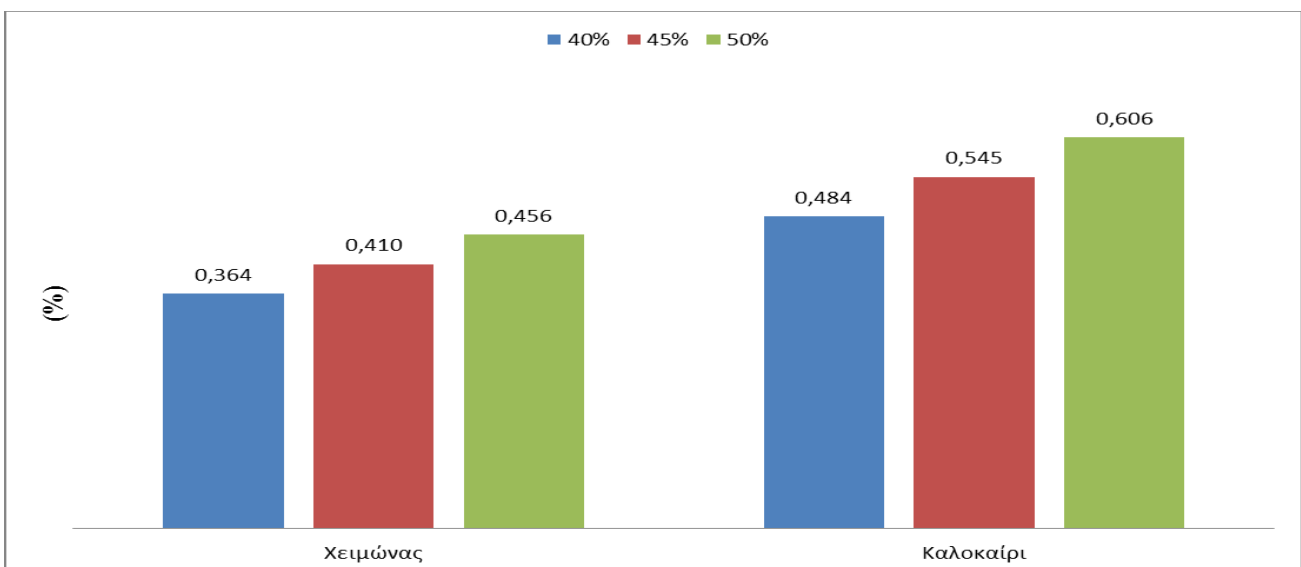
Σενάριο Ε:





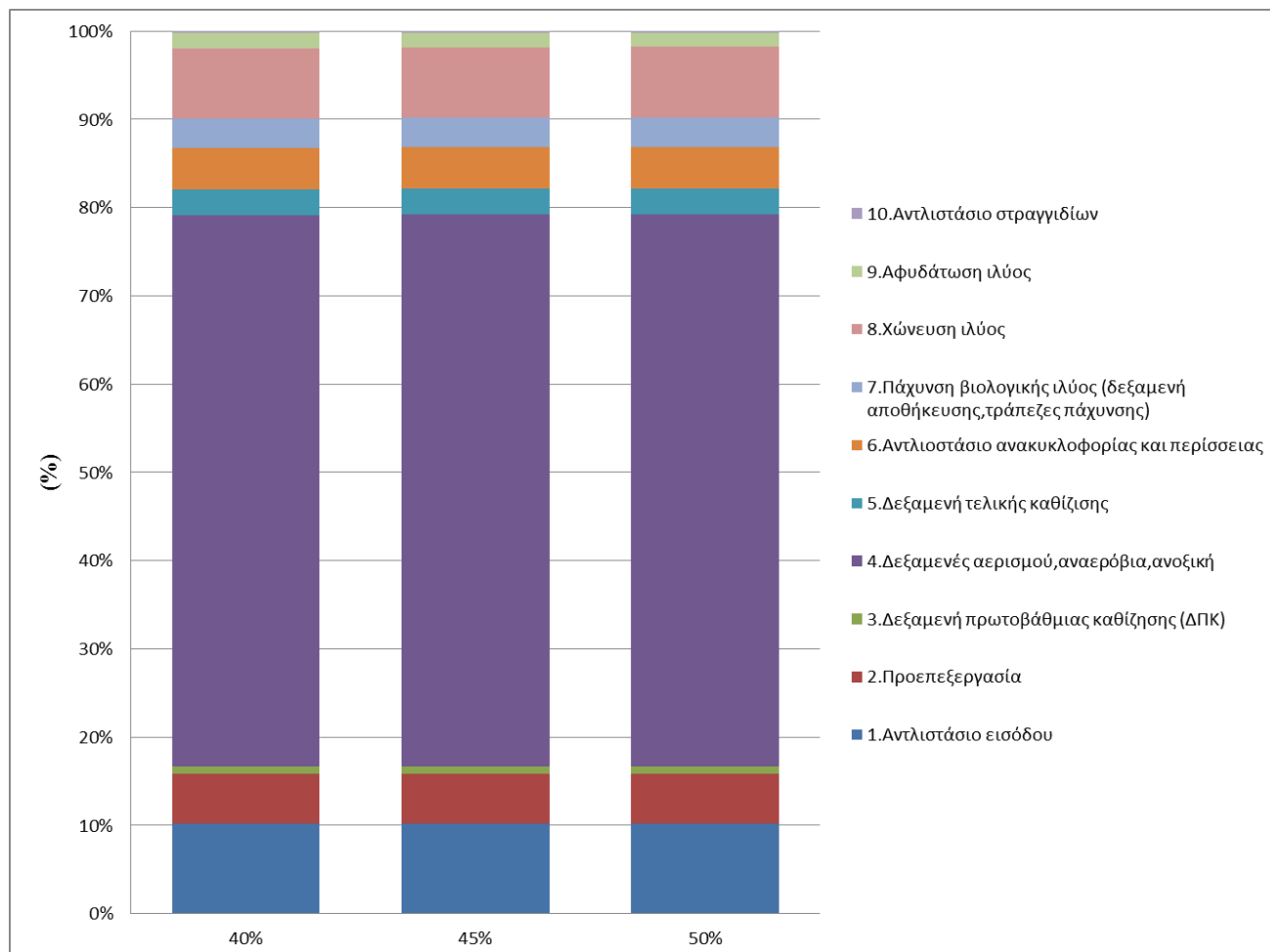
Σχήμα 4.13: Διαγράμματα Α: ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας (kWh/d), Β: παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/d) για απομάκρυνση στη χώνευση του 40%,45%,50% των οργανικών στερεών.

Όσο αυξάνεται το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών κατά την αναερόβια χώνευση αναμένεται η αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται με τη χρησιμοποίηση του βιοαερίου. Αυτό συμβαίνει μίας και τα οργανικά στερεά μέσω της αναερόβιας χώνευσης εκλύουν μεθάνιο που είναι το βασικό συστατικό του βιοαερίου. Αυτό το αποτέλεσμα παρατηρείτε μέσω της εφαρμογής του σεναρίου Ε. Από την απομάκρυνση του 40% των οργανικών στερεών στην απομάκρυνση του 45% αυτών υπάρχει μία αύξηση στην παραγωγή ενέργειας της τάξεως του 12,5% ενώ για τη μεταβολή από 45% στο 50% υπάρχει μια αύξηση της τάξεως του 11% για χειμώνα και καλοκαίρι. Η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της εγκατάστασης είναι πρακτικά αμετάβλητη και για τις τρεις αυτές διατάξεις, με ελάχιστες ελάχιστη μείωση καθώς αυξάνεται το ποσοστό απομάκρυνσης .



Σχήμα 4.14: Διάγραμμα ποσοστού ανάκτησης ενέργειας για 40%,45%,50% απομάκρυνση οργανικών στερεών για 350.000 ι.κ.

Το ποσοστό ανάκτησης ενέργειας αυξάνεται καθώς απομακρύνονται μεγαλύτερες ποσότητες οργανικών στερεών κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Ο ρυθμός αύξησης του ποσοστού της ανάκτησης ενέργειας ακολουθεί τον ρυθμό αύξησης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και είναι περίπου 13% για τη μεταβολή από 40% σε 45%, (ποσοστά απομάκρυνσης στερεών) και περίπου 12% για τη μεταβολή από 45% σε 50%.



Σχήμα 4.15: Αθροιστικό ραβδόγραμμα ενεργειακής κατανάλωσης για απομάκρυνση στερεών στη χώνευση 40%, 45%, 50% (καλοκαίρι)

Καθώς αυξάνεται το ποσοστό απομάκρυνσης των οργανικών στερεών, κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, παρατηρείται μία μικρή μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στην αφυδάτωση της ιλύος και μία μικρή αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης του αντλιοστασίου στραγγιδίων, με την κατανάλωση των υπόλοιπων βαθμίδων να είναι η ίδια. Αυτές οι μεταβολές είναι απειροελάχιστες, συνεπώς τα αθροιστικά ραβδογράμματα κατανάλωσης ενέργειας είναι πρακτικά ίδια. Αντίστοιχο είναι και το ραβδόγραμμα για τα δεδομένα του χειμώνα.

4.4 Αποτελέσματα εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Στην παρούσα παράγραφο γίνεται μία συγκριτική παρουσίαση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, όπως εκτιμήθηκαν από το πρότυπο μοντέλο που αναπτύχθηκε. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται τόσο οι άμεσες όσο και οι έμμεσες εκπομπές ισοδύναμου CO₂ κατά τη λειτουργία μίας ΕΕΛ.

Στις επόμενες υποπαραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακες οι εκπομπές ισοδύναμου CO₂ ανά βαθμίδα εκπομπής για όλο το σενάριο Α. Ακόμα παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα που εξήχθησαν από την εφαρμογή του πρότυπου μοντέλου, σε μορφή διαγραμμάτων, για όλα τα σενάρια.

4.4.1 Παραγωγή CO₂ από την αποσύνθεση βιομάζας

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ1	ΕΕΛ2	ΕΕΛ3	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
θ _C =10 days	569	1398	1978	
θ _C =15 days	775	1933	2699	
θ _C =20 days	948	2365	3315	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
θ _{C,A} =3 days	1372	2044	2730	4748	6765	
θ _{C,A} =4 days	1561	2321	3095	5416	7990	
θ _{C,A} =5 days	1772	2606	3492	6031	8677	
θ _{C,A} =7 days	2068	3212	4110	7179	10262	

4.4.2 Παραγωγή CO₂ από την παραγωγή βιομάζας

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ1	ΕΕΛ2	ΕΕΛ3	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
θ _C =10 days	1041	2599	3638	
θ _C =15 days	1136	2837	3970	
θ _C =20 days	1178	3009	4214	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
θ _{C,A} =3 days	3284	4920	6562	11483	16403	
θ _{C,A} =4 days	3397	5093	6794	11887	16894	
θ _{C,A} =5 days	3506	5247	7009	12248	17511	
θ _{C,A} =7 days	3678	5557	7354	12867	18377	

4.4.3 Κατανάλωση CO₂ κατά τη νιτροποίηση

Κατά τη διαδικασία της νιτροποίησης το νιτροβακτηρίο και η νιτρομονάδα καταναλώνουν CO₂. Τα αποτελέσματα αυτής της κατανάλωσης παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες με αρνητικό πρόσημο.

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ1	ΕΕΛ2	ΕΕΛ3	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
θ _C =10 days	-633	-1583	-2216	
θ _C =15 days	-634	-1584	-2218	
θ _C =20 days	-634	-1585	-2219	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
θ _{C,A} =3 days	-3146	-4719	-6293	-11012	-15731	
θ _{C,A} =4 days	-3156	-4734	-6312	-11046	-15780	
θ _{C,A} =5 days	-3161	-4741	-6321	-11062	-15803	
θ _{C,A} =7 days	-3165	-4747	-6330	-11077	-15825	

4.4.4 Παραγωγή N₂O κατά την απονιτροποίηση και ισοδύναμο CO₂

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ1	ΕΕΛ2	ΕΕΛ3	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
θ _C =10 days	284	710	995	
θ _C =15 days	284	710	995	
θ _C =20 days	284	710	995	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
θ _{C,A} =3 days	1421	2131	2842	4973	7104	
θ _{C,A} =4 days	1421	2131	2842	4973	7104	
θ _{C,A} =5 days	1421	2131	2842	4973	7104	
θ _{C,A} =7 days	1421	2131	2842	4973	7104	

4.4.5 Παραγωγή CO₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
θ _{C,A} =3 days	3680	5519	7359	12840	18320	
θ _{C,A} =4 days	3650	5461	7272	12733	18748	
θ _{C,A} =5 days	3633	5426	7219	12599	18025	
θ _{C,A} =7 days	3546	5320	7076	12379	17699	

4.4.6 Παραγωγή CO₂ από διαφυγή βιοαερίου στην ατμόσφαιρα

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
θ _{C,A} =3 days	208	312	416	726	1036	
θ _{C,A} =4 days	206	309	411	720	1060	
θ _{C,A} =5 days	205	307	408	713	1020	
θ _{C,A} =7 days	201	301	400	700	1001	

4.4.7 Έμμεσες εκπομπές CO₂ από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ1	ΕΕΛ2	ΕΕΛ3	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
θ _C =10 days	1048	2543	3582	
θ _C =15 days	1181	2910	4049	
θ _C =20 days	1302	3209	4477	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
θ _{C,A} =3 days	1737	2507	2442	5756	8195	
θ _{C,A} =4 days	1855	2687	3553	6182	8677	
θ _{C,A} =5 days	1991	2867	3807	6594	9407	
θ _{C,A} =7 days	2194	3250	4225	7250	10473	

4.4.8 Έμμεσες εκπομπές CO₂ από διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ1	ΕΕΛ2	ΕΕΛ3	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
θ _C =10 days	1124	2777	3933	
θ _C =15 days	1054	2635	3689	
θ _C =20 days	1001	2503	3504	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
θ _{C,A} =3 days	4992	7488	8169	17420	24856	
θ _{C,A} =4 days	4953	7409	9866	17275	25436	
θ _{C,A} =5 days	4929	7362	9795	17093	24455	
θ _{C,A} =7 days	4812	7217	9600	16795	24012	

4.4.9 Έμμεσες εκπομπές CO₂ από την παραγωγή χημικών

Ολικός χρόνος παραμονής	ΕΕΛ1	ΕΕΛ2	ΕΕΛ3	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.	
θ _C =10 days	53	133	187	
θ _C =15 days	52	130	182	
θ _C =20 days	51	128	179	

Αερόβιος χρόνος παραμονής	ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8	Εκπομπές CO _{2e} (kgCO _{2e} /d)
	100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.	
θ _{C,A} =3 days	304	456	594	1062	1517	
θ _{C,A} =4 days	303	454	605	1059	1532	
θ _{C,A} =5 days	302	453	603	1054	1507	
θ _{C,A} =7 days	299	449	598	1046	1495	

4.4.10 Αθροιστικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου για το σενάριο Α

Πίνακας 4.6 Συνολικές εκπομπές CO₂ για το σενάριο ΑΙ

		ΕΕΛ1	ΕΕΛ2	ΕΕΛ3
		20.000 I.K.	50.000 I.K.	70.000 I.K.
θ_C=10 days				
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO ₂ /d	3486	8577	12097
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κάτοικο	kgCO ₂ /d/κατ.	0,174	0,172	0,173
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κυβικό μέτρο	kgCO ₂ /m ³	1,089	1,072	1,080
Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kgCO ₂ /BOD ₅ , ΛΠΟΜ	3,822	3,822	3,822
θ_C=15 days				
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO ₂ /d	3849	9570	13364
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κάτοικο	kgCO ₂ /d/κατ.	0,192	0,191	0,191
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κυβικό μέτρο	kgCO ₂ /m ³	1,203	1,196	1,193
Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kgCO ₂ /BOD ₅ , ΛΠΟΜ	4,220	4,220	4,220

$\theta_C=20$ days				
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO ₂ /d	4131	10338	14464
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κάτοικο	kgCO ₂ /d/κατ.	0,207	0,207	0,207
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κυβικό μέτρο	kgCO ₂ /m ³	1,291	1,292	1,291
Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kgCO ₂ /BOD ₅ , ΑΠΟΜ	4,529	4,529	4,529

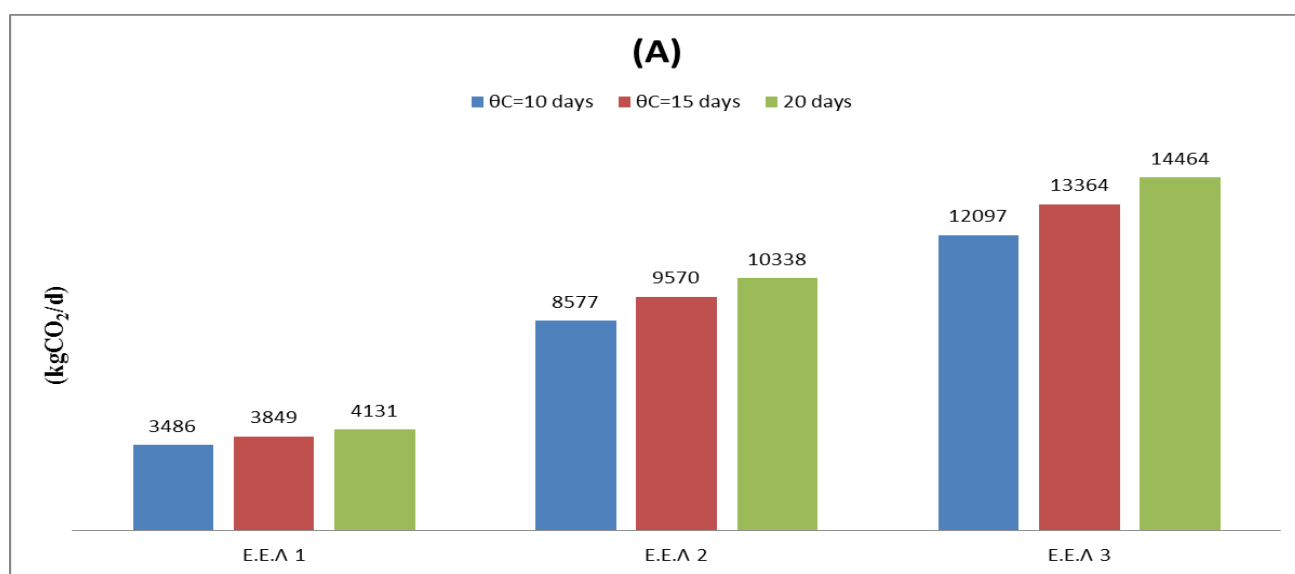
Πίνακας 4.7 Συνολικές εκπομπές CO₂ για το σενάριο ΑΠ

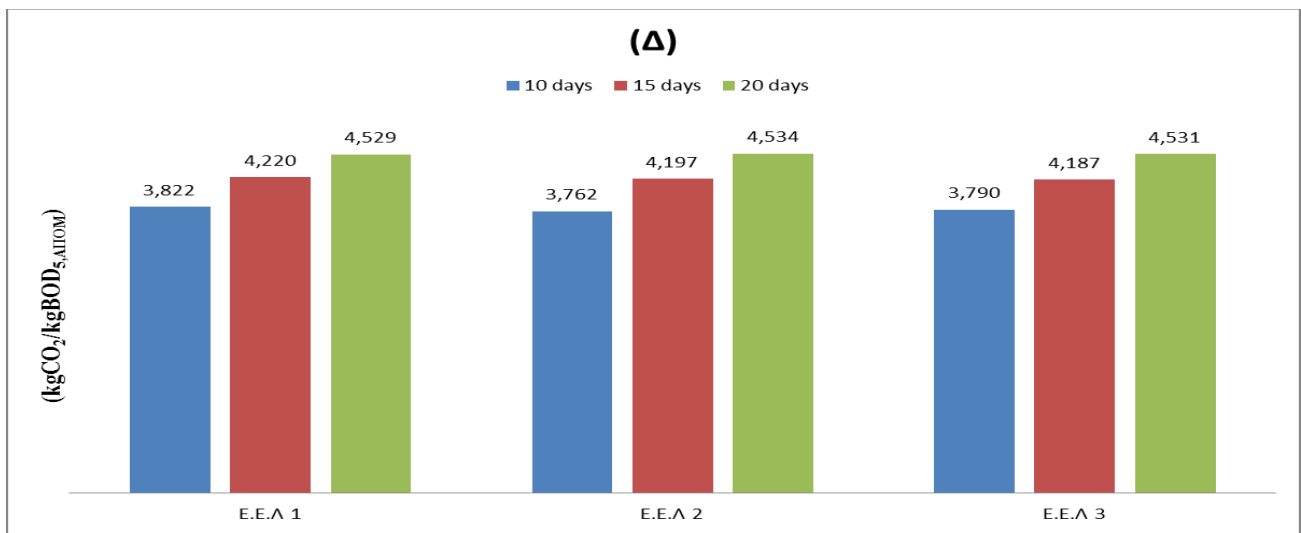
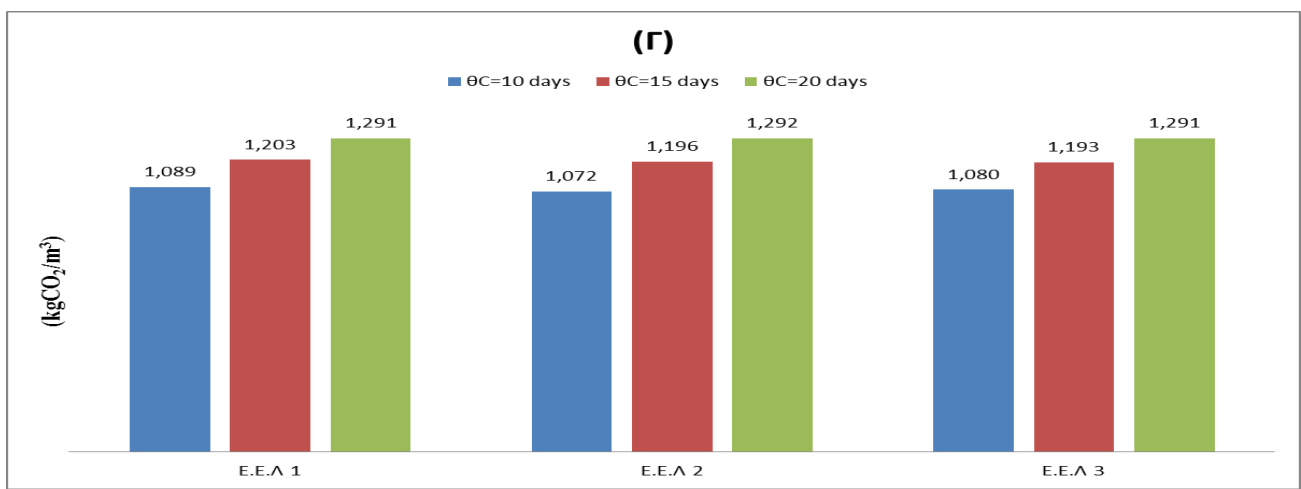
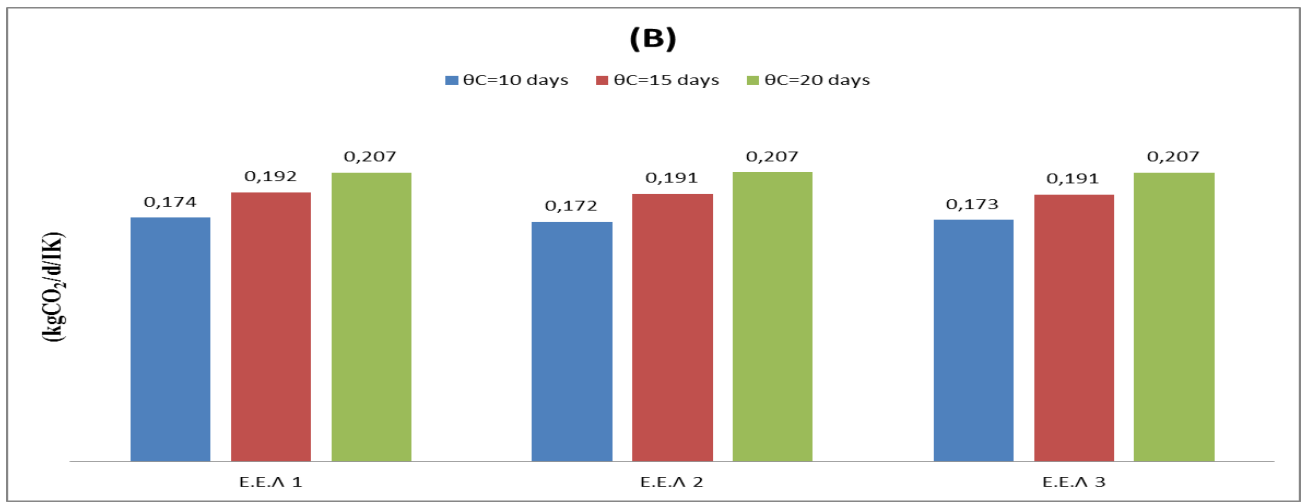
		ΕΕΛ4	ΕΕΛ5	ΕΕΛ6	ΕΕΛ7	ΕΕΛ8
		100.000 I.K.	150.000 I.K.	200.000 I.K.	350.000 I.K.	500.000 I.K.
$\theta_{C,A}=3$ days						
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO ₂ /d	13851	20659	27617	47996	68465
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κάτοικο	kgCO ₂ /d/κατ.	0,139	0,138	0,138	0,137	0,137
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κυβικό μέτρο	kgCO ₂ /m ³	0,866	0,861	0,863	0,857	0,856
Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kgCO ₂ /BOD ₅ , ΑΠΟΜ	3,038	3,020	3,028	3,007	3,003
$\theta_{C,A}=4$ days						
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO ₂ /d	14191	21131	28125	49199	70177
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κάτοικο	kgCO ₂ /d/κατ.	0,142	0,141	0,141	0,141	0,140
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κυβικό μέτρο	kgCO ₂ /m ³	0,887	0,880	0,879	0,879	0,877
Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kgCO ₂ /BOD ₅ , ΑΠΟΜ	3,112	3,089	3,084	3,083	3,078

$\theta_{C,A}=5 \text{ days}$						
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO ₂ /d	14600	21657	28853	50243	71903
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κάτοικο	kgCO ₂ /d/κατ.	0,146	0,144	0,144	0,144	0,144
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κυβικό μέτρο	kgCO ₂ /m ³	0,912	0,902	0,902	0,897	0,899
Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kgCO ₂ /BOD ₅ , ΑΠΟΜ	3,202	3,166	3,164	3,148	3,154
$\theta_{C,A}=7 \text{ days}$						
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	kgCO ₂ /d	15054	22690	29876	52112	74599
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κάτοικο	kgCO ₂ /d/κατ.	0,151	0,151	0,149	0,149	0,149
Συνολικές ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά κυβικό μέτρο	kgCO ₂ /m ³	0,941	0,945	0,934	0,931	0,932
Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD5	kgCO ₂ /BOD ₅ , ΑΠΟΜ	3,301	3,317	3,276	3,265	3,272

4.4.11 Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων εκπομπών CO₂ σεναρίου Α

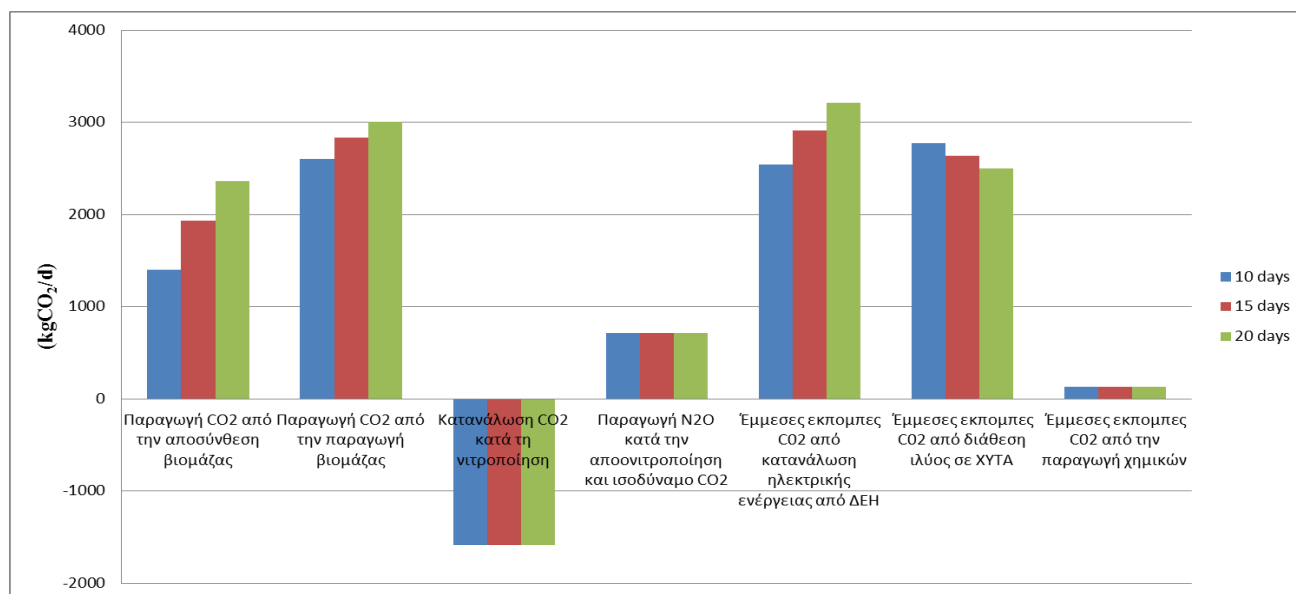
Σενάριο ΑΙ:





Σχήμα 4.16: Διαγράμματα Α: ημερήσιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (kgCO_2/d), Β: ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανηγμένη ανά ι.κ. ($\text{kgCO}_2/\text{d/IK}$), Γ: ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανηγμένη ανά m^3 , Δ: ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD_5 ($\text{kgCO}_2/\text{kgBOD}_{5,\text{ΑΠΟΜ}}$)

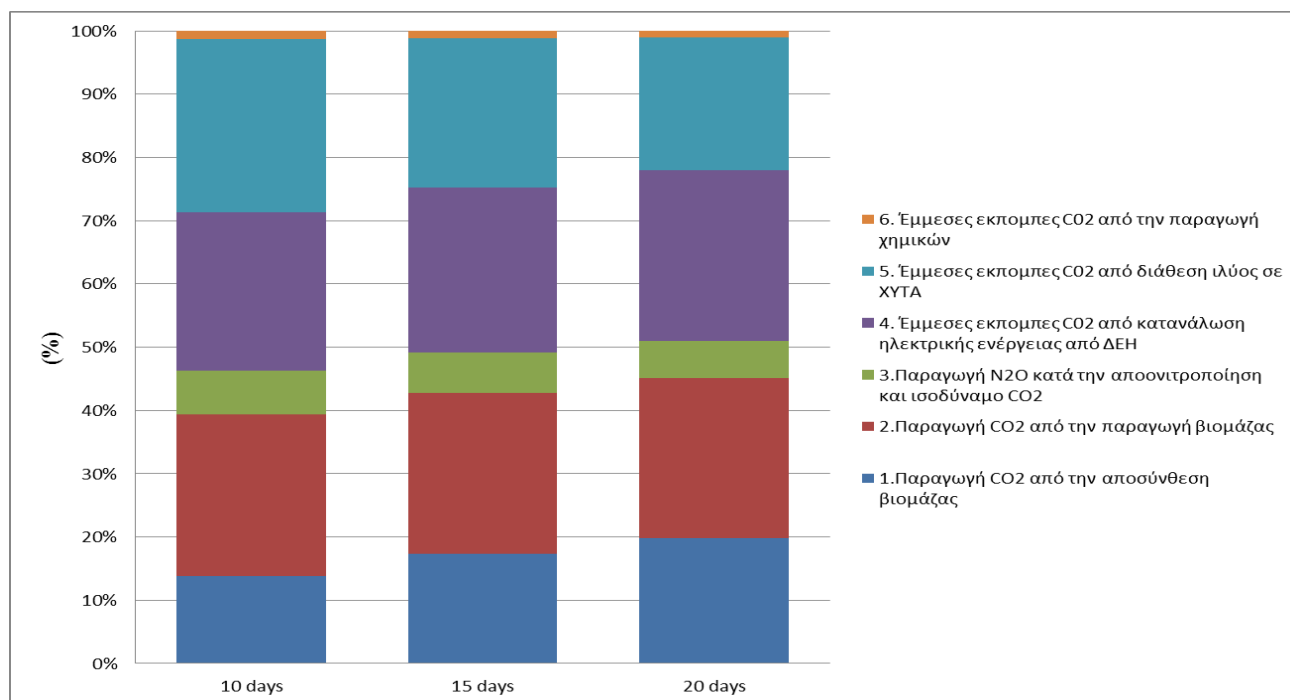
Η ΕΕΛ1 αναφέρεται στον πληθυσμό των 20.000 ι.κ., η ΕΕΛ2 στους 50.000 ι.κ. και η ΕΕΛ3 στους 70.000 ι.κ.. Οι ημερήσιες εκπομπές CO₂ παρουσιάζουν μία μέση αύξηση της τάξεως του 10,6% για την αύξηση του ολικού χρόνου παραμονής από τις 10 στις 15 μέρες, αντίστοιχα η μέση αύξηση είναι 7,8% για την αύξηση του ολικού χρόνου παραμονής από τις 15 στις 20 μέρες. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα Β, οι μέσες εκπομπές CO₂ ανά ι.κ. κυμαίνονται γύρω από την τιμή των 0,172 kgCO₂/IK για ολικό χρόνο παραμονής 10 ημερών. Αντίστοιχα 0,191 kgCO₂/IK και 0,206 kgCO₂/IK για ολικούς χρόνους παραμονής 10 και 15 ημερών. Οι μέσες εκπομπές CO₂ ανά κυβικό μέτρο εισερχόμενων λυμάτων είναι 1,08 kgCO₂/m³ για ολικό χρόνο παραμονής 10 ημερών και 1,19 kgCO₂/m³, 1,29 kgCO₂/m³ για χρόνους παραμονής 15 και 20 ημερών αντίστοιχα (διάγραμμα Γ). Οι μέσες εκπομπές CO₂ ανά kg απομακρυνόμενου BOD₅ είναι 3,79 kgCO₂/kgBOD_{5,ΑΠΟΜ} για ολικό χρόνο παραμονής 10 ημερών και 4,19 kgCO₂/kgBOD_{5,ΑΠΟΜ}, 4,53 kgCO₂/kgBOD_{5,ΑΠΟΜ} για ολικούς χρόνους παραμονής 15 και 20 ημερών αντίστοιχα (διάγραμμα Δ).



Σχήμα 4.17: Διάγραμμα ημερήσιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου εκφρασμένα σε ισοδύναμο CO₂ για 50.000 ι.κ. για κάθε στάδιο εκπομπής (kgCO₂/d)

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα οι εκπομπές CO₂ από την αποσύνθεση της βιομάζας παρουσιάζουν αύξηση 38% και 22% για τη μεταβολή του ολικού χρόνου παραμονής από 10 σε 15 ημέρες και από 15 σε 20 ημέρες αντίστοιχα. Οι εκπομπές CO₂ από την παραγωγή βιομάζας παρουσιάζουν αύξηση 9% και 6% για τη μεταβολή του ολικού χρόνου παραμονής από 10 σε 15 ημέρες και από 15 σε 20 ημέρες αντίστοιχα. Η κατανάλωση CO₂ κατά τη νιτροποίηση παρουσιάζει μία ανεπαίσθητη αύξηση καθώς αυξάνεται ο ολικός χρόνος παραμονής. Η παραγωγή N₂O δεν εξαρτάται από το χρόνο παραμονής, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα. Οι έμμεσες εκπομπές CO₂ που προέρχονται από τον τρόπο παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος (ΔΕΗ) παρουσιάζουν αύξηση 14% και 10% για τη μεταβολή του ολικού χρόνου παραμονής από 10 σε 15 ημέρες και από 15 σε 20 ημέρες αντίστοιχα. Οι έμμεσες εκπομπές CO₂ από τη διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ παρουσιάζουν μία μείωση της τάξεως του 5% τόσο για τη μεταβολή του ολικού χρόνου παραμονής από 10 σε 15 ημέρες όσο και από 15 σε 20 ημέρες αντίστοιχα. Οι έμμεσες εκπομπές CO₂ από την παραγωγή χημικών παρουσιάζουν μία μείωση της τάξεως του 2% τόσο για τη μεταβολή του ολικού

χρόνου παραμονής από 10 σε 15 ημέρες όσο και από 15 σε 20 ημέρες αντίστοιχα. Παρόμοια είναι και τα διαγράμματα των 20.000 ι.κ. και 70.000 ι.κ. και για το λόγο αυτό δεν παρατίθενται.



Σχήμα 4.18: Αθροιστικό ραβδόγραμμα εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για κάθε στάδιο εκπομπής

Το παραπάνω διάγραμμα ραβδόγραμμα παρουσιάζει τη μεταβολή των εκπομπών CO₂ ανά στάδιο παραγωγής επί των συνολικών εκπομπών. Τη μεγαλύτερη διακύμανση την παρουσιάζει η παραγωγή CO₂ από την αποσύνθεση βιομάζας, η οποία και αυξάνεται με την αύξηση του ολικού χρόνου παραμονής, μαζί με τις έμμεσες εκπομπές CO₂ από τη διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ, οι οποίες και μειώνονται με την αύξηση του ολικού χρόνου παραμονής. Οι υπόλοιπες παράμετροι εκπομπής CO₂ δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική μεταβολή.

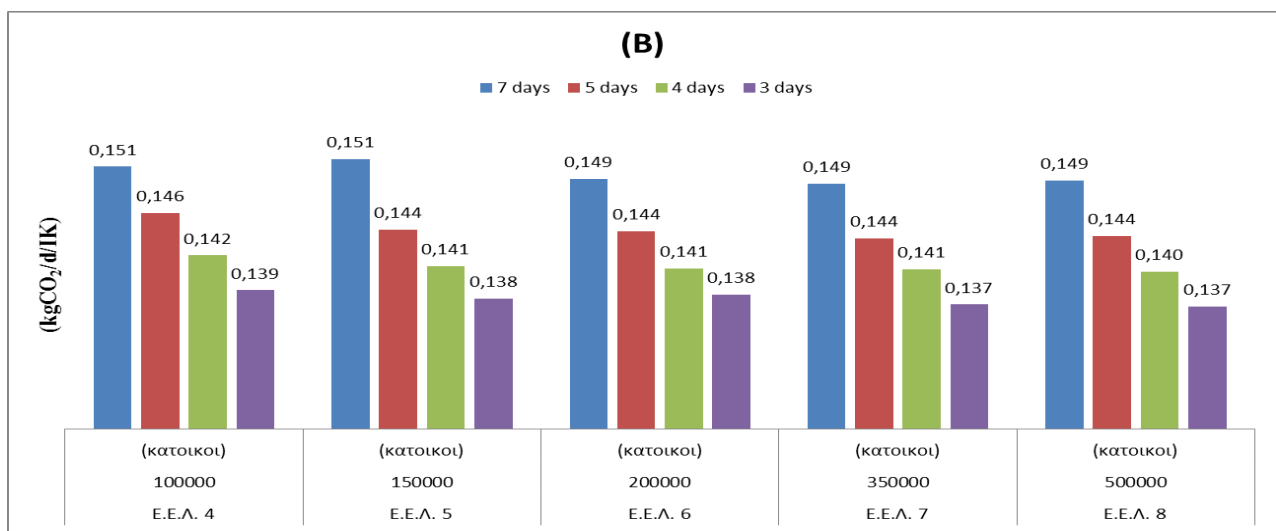
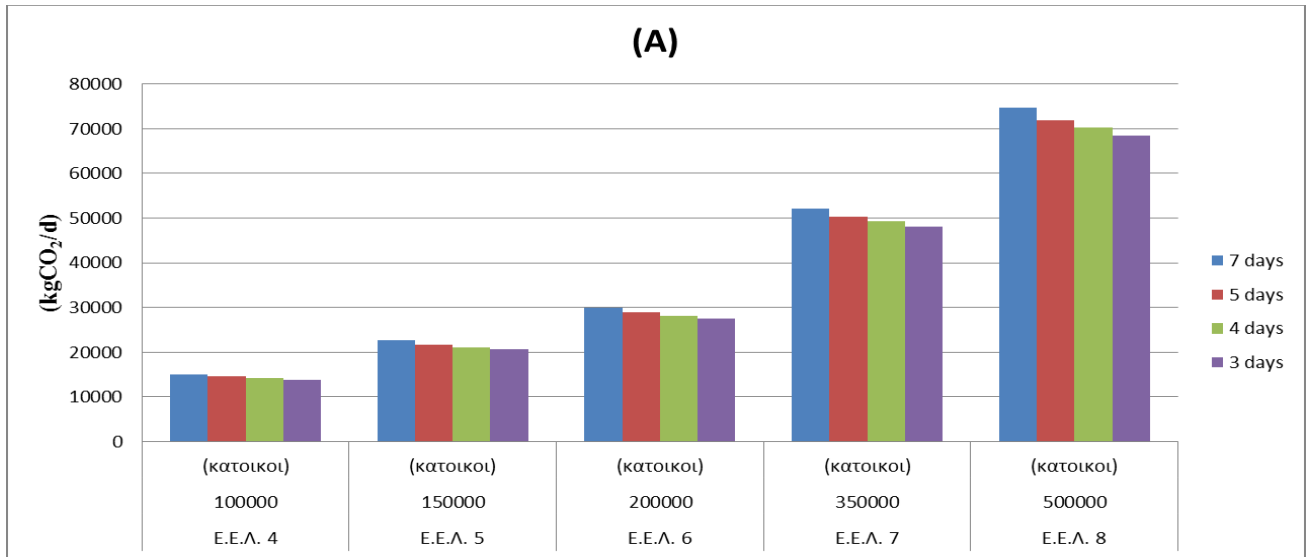
Σύμφωνα με έρευνα που έγινε σε υπάρχουσες ΕΕΛ (Mamaïs et al 2015) εκτιμήθηκαν οι ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, για ΕΕΛ με μικρό σχετικά πληθυσμό και για σύστημα παρατεταμένου αερισμού χωρίς πρωτοβάθμια καθίζηση:

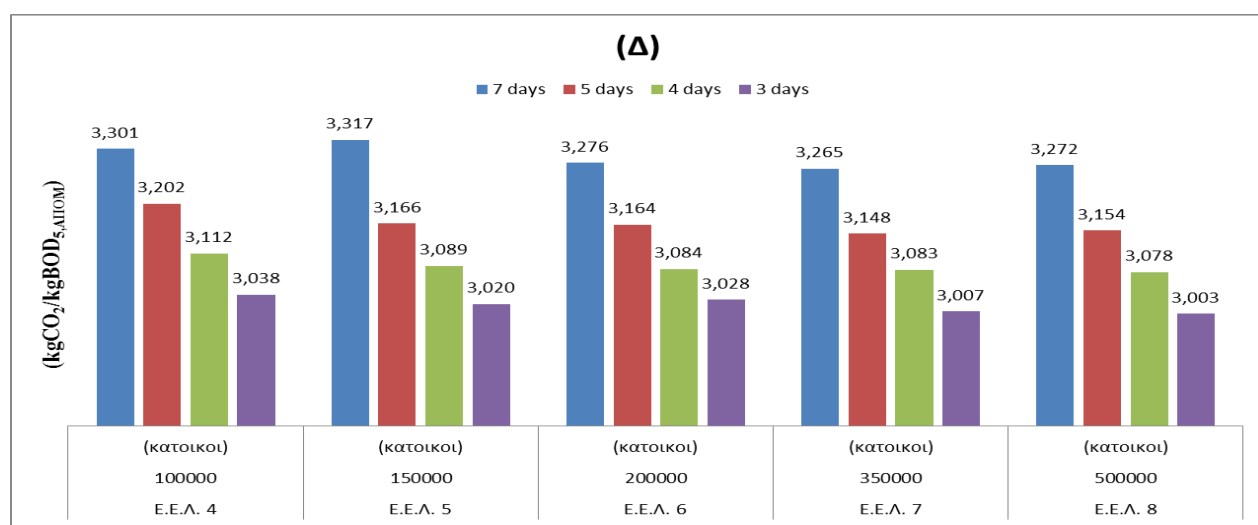
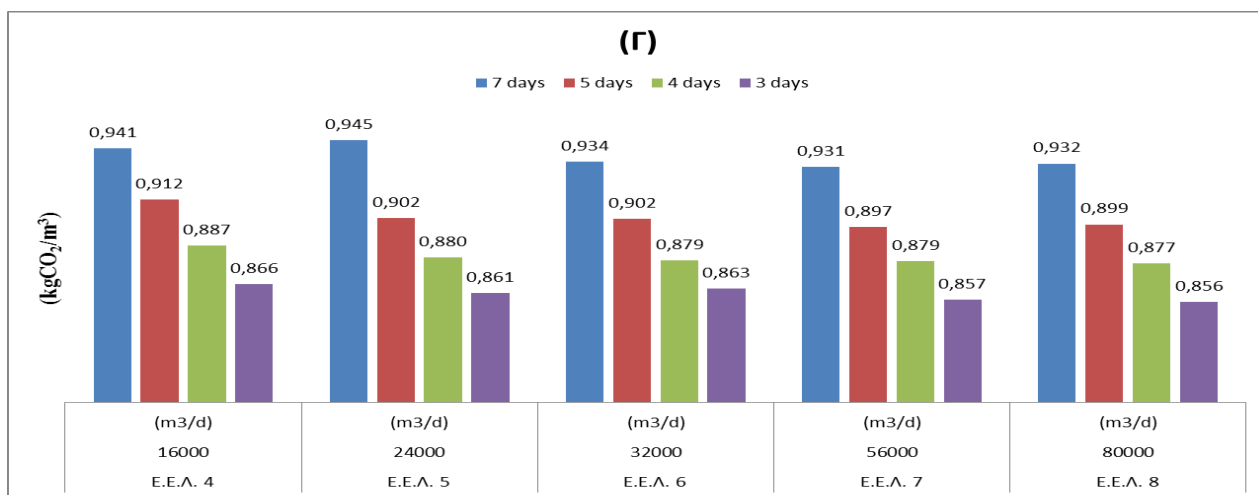
- Μέσες ημερήσιες εκπομπές ισοδύναμου CO₂ ανηγμένες ανά ι.κ.: 0,328 kgCO₂/d/IK
- Μέγιστες ημερήσιες εκπομπές ισοδύναμου CO₂ ανηγμένες ανά ι.κ.: 0,43 kgCO₂/d/IK
- Ελάχιστες ημερήσιες εκπομπές ισοδύναμου CO₂ ανηγμένες ανά ι.κ.: 0,205 kgCO₂/d/IK

Σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μοντέλο φαίνεται να υπάρχει μια σημαντική διαφοροποίηση με τα δεδομένα των πραγματικών ΕΕΛ. Ωστόσο από τις 5 υπάρχουσες ΕΕΛ οι 4 από αυτές λειτουργούν με πολύ μεγαλύτερο χρόνο παραμονής (29, 31, 37, 52 ημέρες) ενώ χρησιμοποιούν επιφανειακό σύστημα αερισμού, εκτός από την ΕΕΛ με 29 ημέρες χρόνο παραμονής που χρησιμοποιεί υποβρύχιο. Επομένως δεν μπορεί να υπάρξει μια άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με τις πραγματικές ΕΕΛ, μίας και ο χρόνος παραμονής και η ενεργειακή κατανάλωση είναι ιδιαίτερα κρίσιμες στις ολικές εκπομπές CO₂. Παρόλα αυτά η εκτίμηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, τόσο στο μοντέλο που αναπτύχθηκε όσο και στις

πραγματικές, ΕΕΛ έγινε με το ίδιο τυπολόγιο υπολογισμού (Bridle et al. 2008) επομένως το μοντέλο θεωρείται επαρκές.

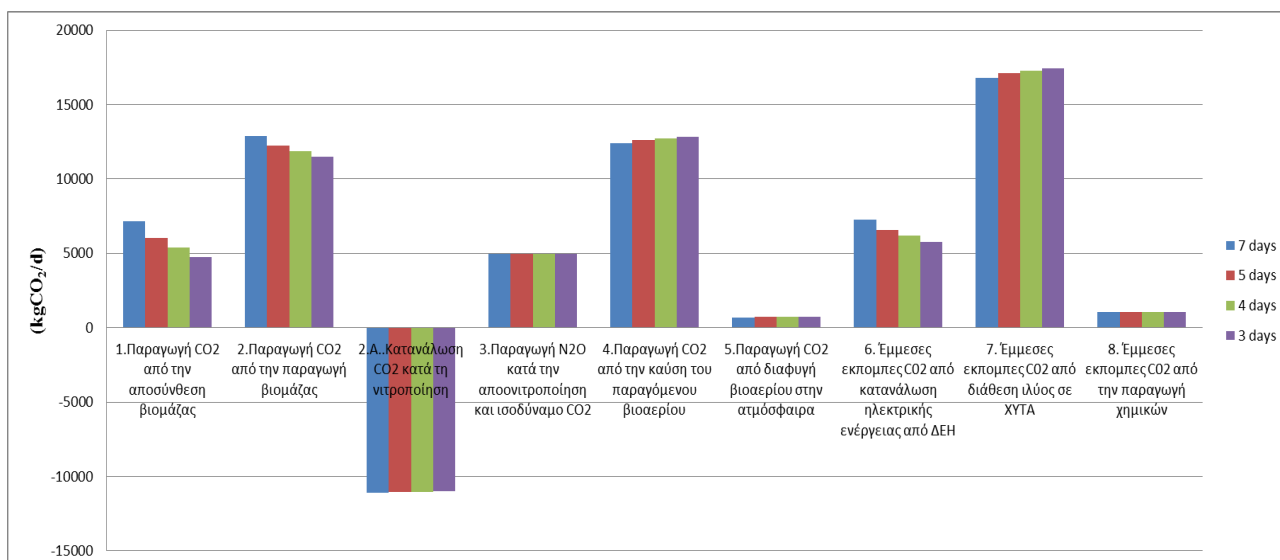
Σενάριο ΑII





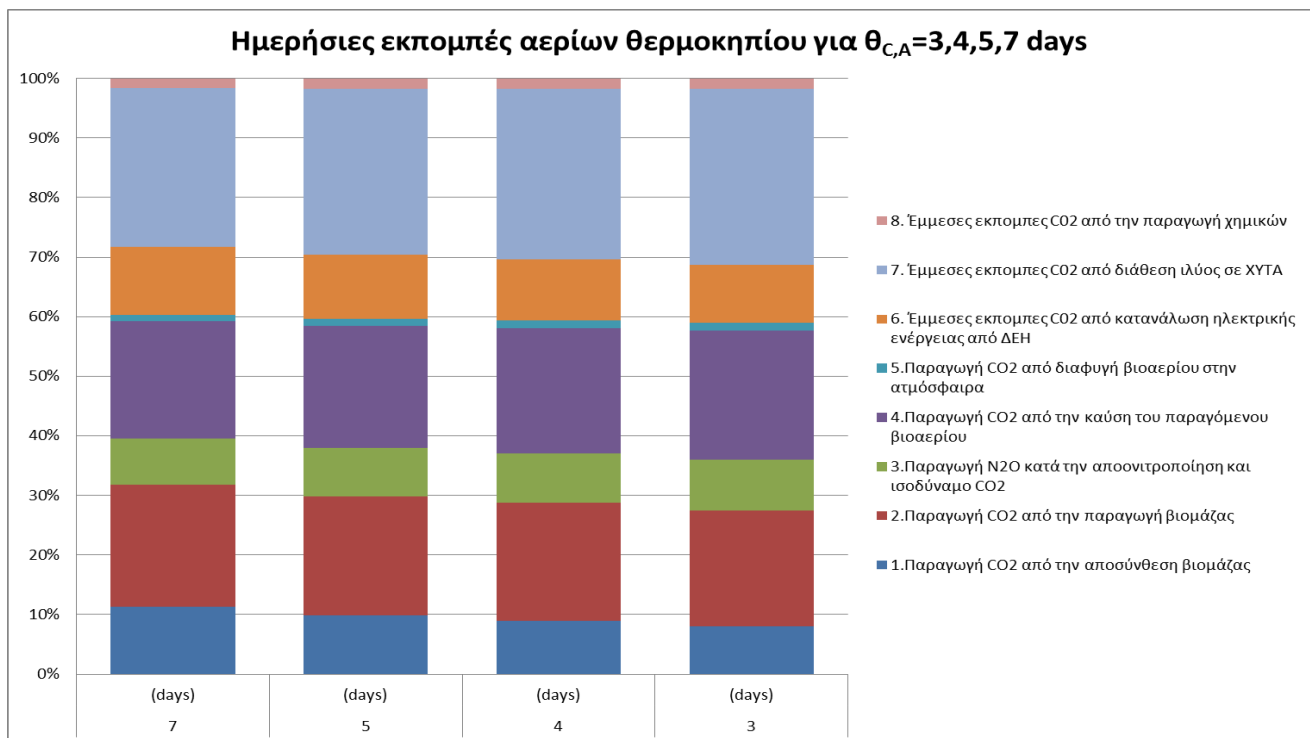
Σχήμα 4.19: Διαγράμματα Α: ημερήσιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, Β: ημερήσιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ανηγμένες ανά ι.κ., Γ: ημερήσιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ανηγμένες ανά m³, Δ: ημερήσιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου ανά kg απομακρυνόμενου BOD₅

Οι ολικές ημερήσιες εκπομπές CO₂ αυξάνονται κατά μέσο όρο κατά 2,5% , 2,5% , 3,5% για την αύξηση του αερόβιου χρόνου παραγωγής από 3 σε 4 , 4 σε 5 και 5 σε 7 ημέρες αντίστοιχα (διάγραμμα Α). Οι μέσες ημερήσιες εκπομπές CO₂ ανά ι.κ. είναι της τάξεως των 0,138 kgCO₂/d/ι.κ. , 0,141 kgCO₂/d/ι.κ. , 0,145 kgCO₂/d/ι.κ. , 0,15 kgCO₂/d/ι.κ. για αερόβιο χρόνο παραμονής 3, 4, 5, 7 ημερών αντίστοιχα (διάγραμμα Β). Οι μέσες ημερήσιες εκπομπές CO₂ ανά κυβικό μέτρο εισερχομένων λυμάτων είναι περίπου 0,86 kgCO₂/m³ , 0,88 kgCO₂/m³ , 0,90 kgCO₂/m³ και 0,937 kgCO₂/m³ για αερόβιο χρόνο παραμονής 3, 4, 5, 7 ημερών αντίστοιχα (διάγραμμα Γ). Οι μέσες ημερήσιες εκπομπές CO₂ ανά kg απομακρυνόμενου BOD₅ είναι περίπου 3,02 kgCO₂/kgBOD_{5,ΑΠΟΜ} , 3,09 kgCO₂/kgBOD_{5,ΑΠΟΜ} , 3,17 kgCO₂/kgBOD_{5,ΑΠΟΜ} και 3,29 kgCO₂/kgBOD_{5,ΑΠΟΜ} για αερόβιο χρόνο παραμονής 3, 4, 5, 7 ημερών αντίστοιχα (διάγραμμα Δ).



Σχήμα 4.20: Διάγραμμα εκπομπών CO₂ ανά βαθμίδα παραγωγής για 350.000 ι.κ.

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα οι εκπομπές CO₂ από την αποσύνθεση της βιομάζας παρουσιάζουν αύξηση 14,5% , 11,7% και 18,9% για τη μεταβολή του αερόβιου χρόνου παραμονής από 3 σε 4 , 4 σε 5 και 5 σε 7 ημέρες αντίστοιχα. Οι εκπομπές CO₂ από την παραγωγή βιομάζας παρουσιάζουν αύξηση 3,4% , 3,2% και 5,2% για τη μεταβολή του αερόβιου χρόνου παραμονής από 3 σε 4 , 4 σε 5 και 5 σε 7 ημέρες αντίστοιχα. Η κατανάλωση CO₂ κατά τη νιτροποίηση παρουσιάζει μία ανεπαισθητή αύξηση καθώς αυξάνεται ο αερόβιος χρόνος παραμονής. Η παραγωγή N₂O και ισοδύναμο CO₂ δεν εξαρτάται από το χρόνο παραμονής, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα. Οι εκπομπές CO₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου όπως και από τη διαφυγή του στην ατμόσφαιρα παρουσιάζουν μείωση της τάξεως του 0,3% , 1,35% και 2% για τη μεταβολή του αερόβιου χρόνου παραμονής από 3 σε 4 , 4 σε 5 και 5 σε 7 ημέρες αντίστοιχα. Οι έμμεσες εκπομπές CO₂ που προέρχονται από τον τρόπο παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος (ΔΕΗ) παρουσιάζουν αύξηση 6,3% , 7,2% και 11,1% για τη μεταβολή του αερόβιου χρόνου παραμονής από 3 σε 4 , 4 σε 5 και 5 σε 7 ημέρες αντίστοιχα. Οι έμμεσες εκπομπές CO₂ από τη διάθεση υλός σε ΧΥΤΑ ακολουθούν την ποσοστιαία μείωση της καύσης και διαφυγής του βιοαερίου, δηλαδή παρουσιάζουν μείωση της τάξεως του 0,3% , 1,35% και 2% για τη μεταβολή του αερόβιου χρόνου παραμονής από 3 σε 4 , 4 σε 5 και 5 σε 7 ημέρες αντίστοιχα. Οι έμμεσες εκπομπές CO₂ από την παραγωγή χημικών παρουσιάζουν μία ανεπαισθητή μείωση της τάξεως του 0,1% , 0,6% και 0,82% για τη μεταβολή του αερόβιου χρόνου παραμονής από 3 σε 4 , 4 σε 5 και 5 σε 7 ημέρες αντίστοιχα.. Παρόμοια είναι και τα διαγράμματα των 100.000 ι.κ. , 150.000 ι.κ. , 200.000 ι.κ και 500.000 ι.κ. και για το λόγο αυτό δεν παρατίθενται.



Σχήμα 4.21: Αθροιστικό ραβδόγραμμα εκπομπής CO₂/ι.κ. για $\theta_{C,A}= 3,4,5,7$ days

Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα του σχήματος 4.21 με την αύξηση του αερόβιου χρόνου παραγωγής υπάρχει μία τάση αύξησης του ποσοστού παραγωγής CO₂ από την αποσύνθεση βιομάζας με ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού καύσης του βιοαερίου και της διάθεσης ιλύος σε ΧΥΤΑ. Οι υπόλοιπες παράμετροι δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές.

Σύμφωνα με έρευνα που έγινε σε υπάρχουσες ΕΕΛ (Mamaïs et al 2015) εκτιμήθηκαν οι ημερήσιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, για ΕΕΛ με μεγάλο πληθυσμό και για συμβατικό σύστημα ενεργού ιλύος με ύπαρξη πρωτοβάθμιας καθίζησης και σύστημα χωνευτών:

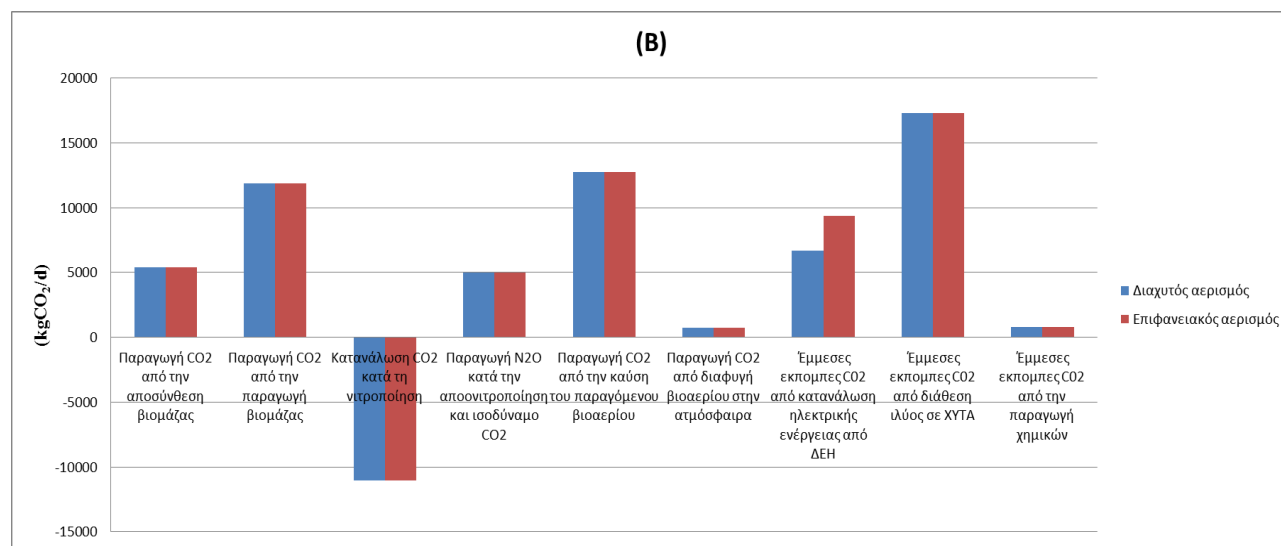
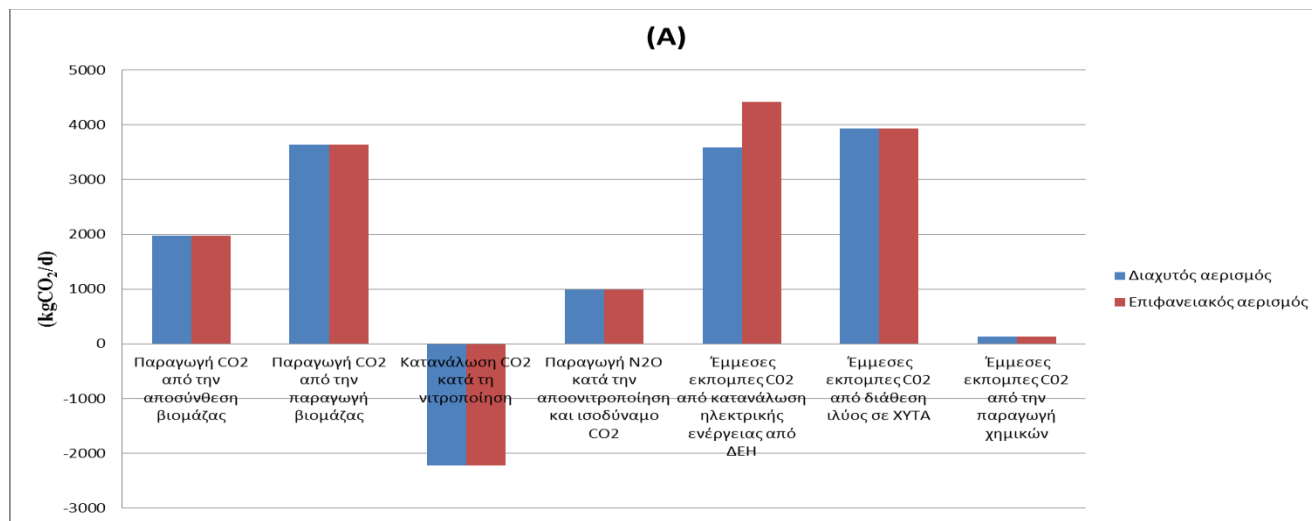
- Μέσες ημερήσιες εκπομπές ισοδύναμου CO₂ ανηγμένες ανά ι.κ.: 0,219 kgCO₂/d/IK
- Μέγιστες ημερήσιες εκπομπές ισοδύναμου CO₂ ανηγμένες ανά ι.κ.: 0,0,25 kgCO₂/d/IK
- Ελάχιστες ημερήσιες εκπομπές ισοδύναμου CO₂ ανηγμένες ανά ι.κ.: 0,164 kgCO₂/d/IK

Σε σχέση με το μοντέλο που αναπτύχθηκε φαινομενικά υπάρχει μια διαφοροποίηση στην εκτίμηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε σχέση με τις πραγματικές ΕΕΛ. Ωστόσο από τις 5 υπάρχουσες ΕΕΛ οι 4 δεν χρησιμοποιούν μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας και έχουν αρκετά μεγαλύτερους χρόνους παραμονής. Μόνο η ΕΕΛ Ψυτάλλειας χρησιμοποιεί μονάδα συμπαραγωγή ενέργειας και έχει χρόνο παραμονής 8 ημέρες, επομένως μπορεί να γίνει μια σχετική σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με τη συγκεκριμένη ΕΕΛ. Οι μέσες ημερήσιες εκπομπές ισοδύναμου CO₂ ανηγμένες ανά ι.κ για την ΕΕΛ Ψυτάλλειας είναι 0,164 kgCO₂/d/IK οι οποίες είναι ελαφρά αυξημένες σε σχέση με τις εκτιμήσεις του μοντέλου (περίπου 8% σε σχέση με τον αντίστοιχο χρόνο παραμονής του μοντέλου). Η απόκλιση αυτή δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική αν αναλογιστούμε την διαφορά του εξυπηρετούμενου πληθυσμού του μοντέλου και της Ψυτάλλειας όπως και τις διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν. Επιπλέον η εκτίμηση των εκπομπών CO₂ τόσο των υπάρχουσών ΕΕΛ όσο και του μοντέλου βασίστηκε στις εξισώσεις Bridle et al (2008) επομένως για αντίστοιχες παραδοχές υπάρχει μεγάλη σύγκλιση. Με αυτά τα δεδομένα το μοντέλο

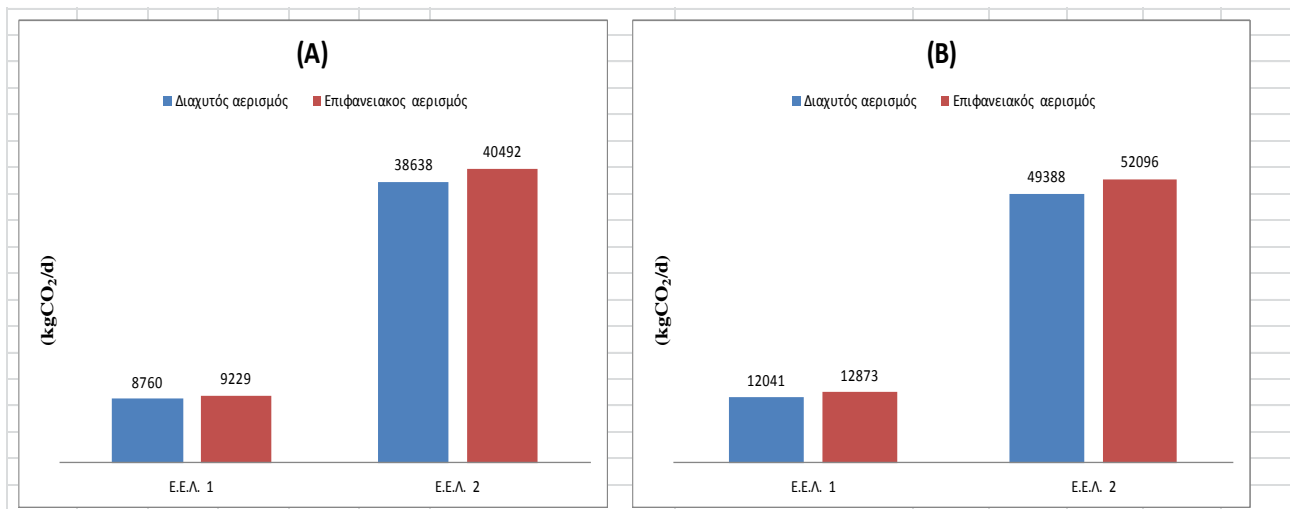
υπολογισμού των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για ΕΕΛ που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία κρίνεται ως ιδιαίτερα επαρκές.

4.4.12 Συγκριτική παρουσίαση αποτελεσμάτων ημερήσιων εκπομπών CO₂ για τα υπόλοιπα σενάρια

Σενάριο ΒΙ:

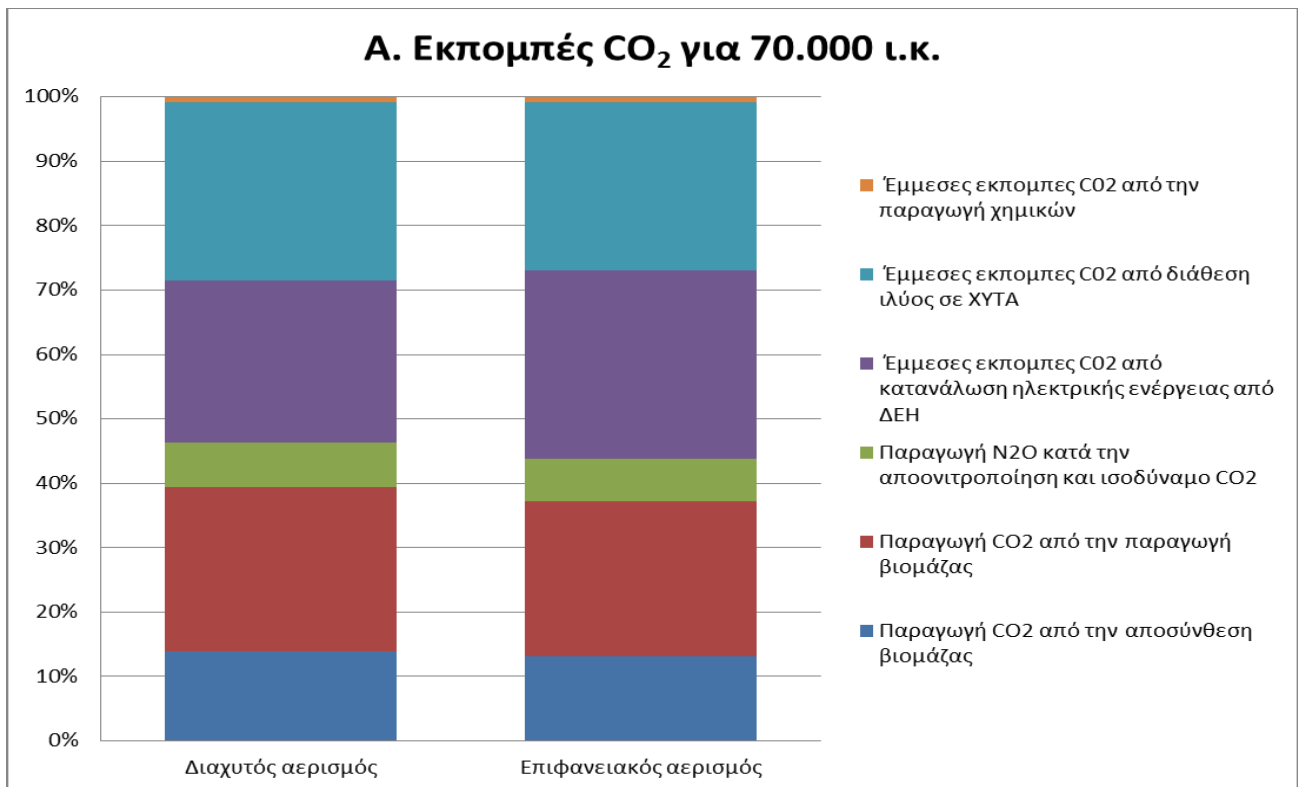


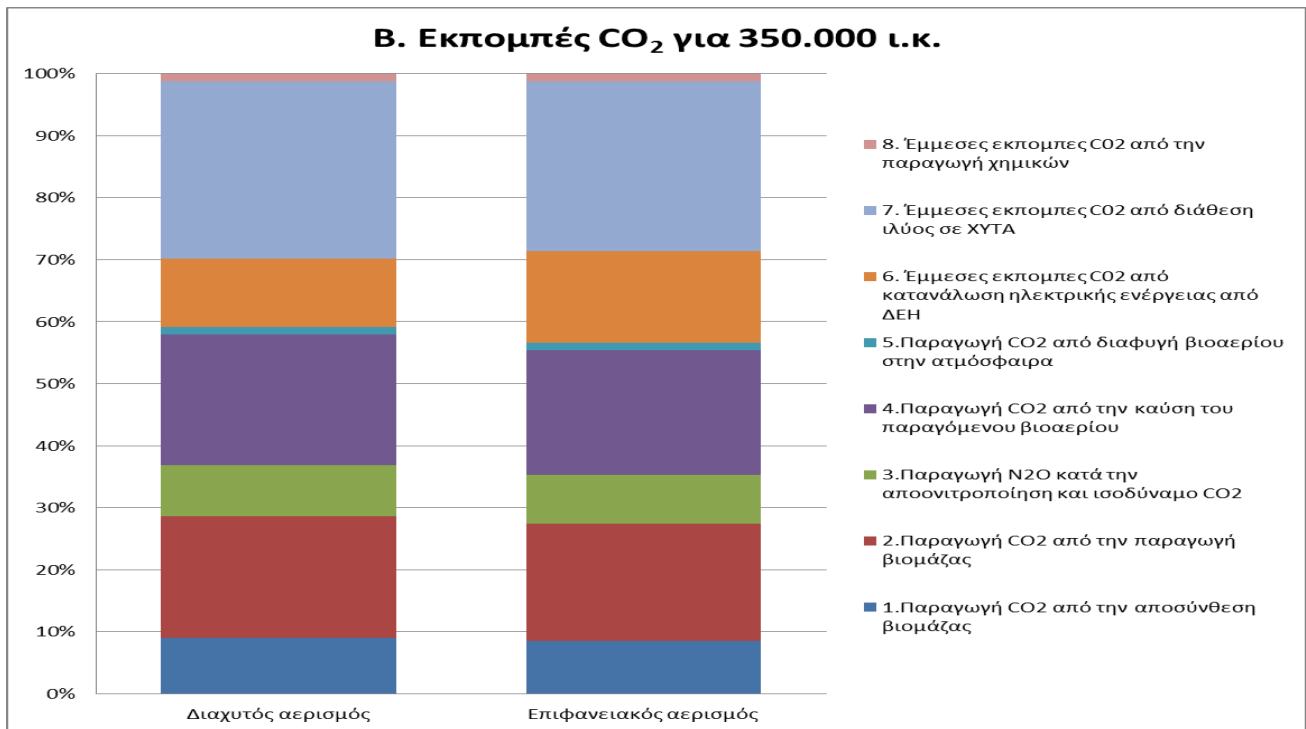
Σχήμα 4.22: Διαγράμματα ημερησίων εκπομπών CO₂ ανά βαθμίδα παραγωγής για A: 70.000 I.K το καλοκαίρι, B: 350.000 I.K το καλοκαίρι



Σχήμα 4.23: Διαγράμματα ολικών ημερήσιων εκπομπών CO₂ για ΕΕΛ1 70.000 ι.κ. και ΕΕΛ2 350.000 ι.κ. για διαχυτό και επιφανειακό αερισμό για Α: χειμώνας, Β: καλοκαίρι

Οι ημερήσιες εκπομπές CO₂ μιας ΕΕΛ, για διαφορετικό τρόπο αερισμού, επηρεάζονται μόνο από τις έμμεσες εκπομπές CO₂ που προέρχονται από τον τρόπο παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στα διαγράμματα του σχήματος 4.22 υπάρχει μία αύξηση 23%, για τη μεταβολή από διαχυτό σε επιφανειακό αερισμό στις έμμεσες εκπομπές CO₂ από τη ΔΕΗ για του 70.000 ι.κ., και 27% για τους 350.000 ι.κ αντίστοιχα. Η αύξηση αυτή μεταφέρεται στις ολικές ημερήσιες εκπομπές CO₂ ως 7% για τη μεταβολή από διαχυτό σε επιφανειακό αερισμό στους 70.000 ι.κ. και ως 5,4% για τους 350.000 ι.κ. αντίστοιχα. Τα ποσοστά αυτά αντιστοιχούν και για τα δεδομένα του χειμώνα και για τα δεδομένα του καλοκαιριού.

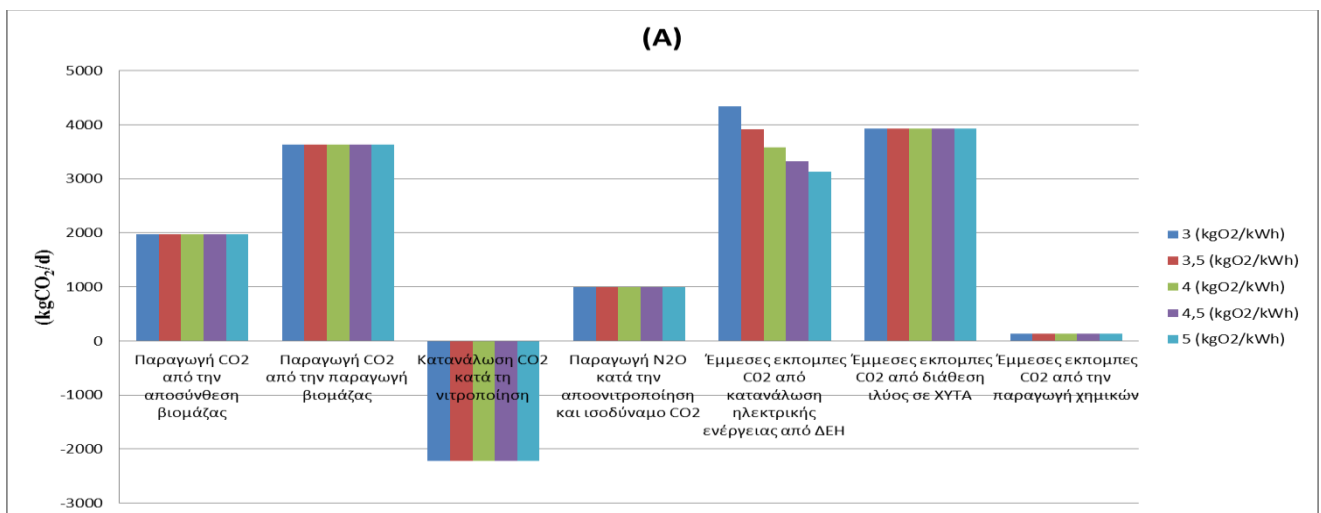


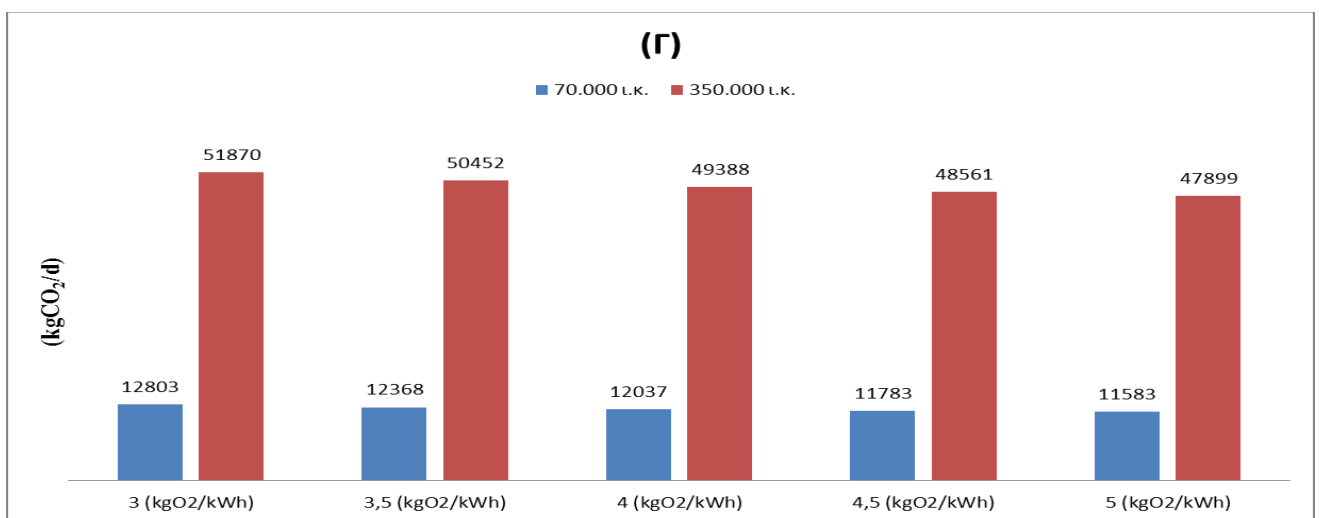
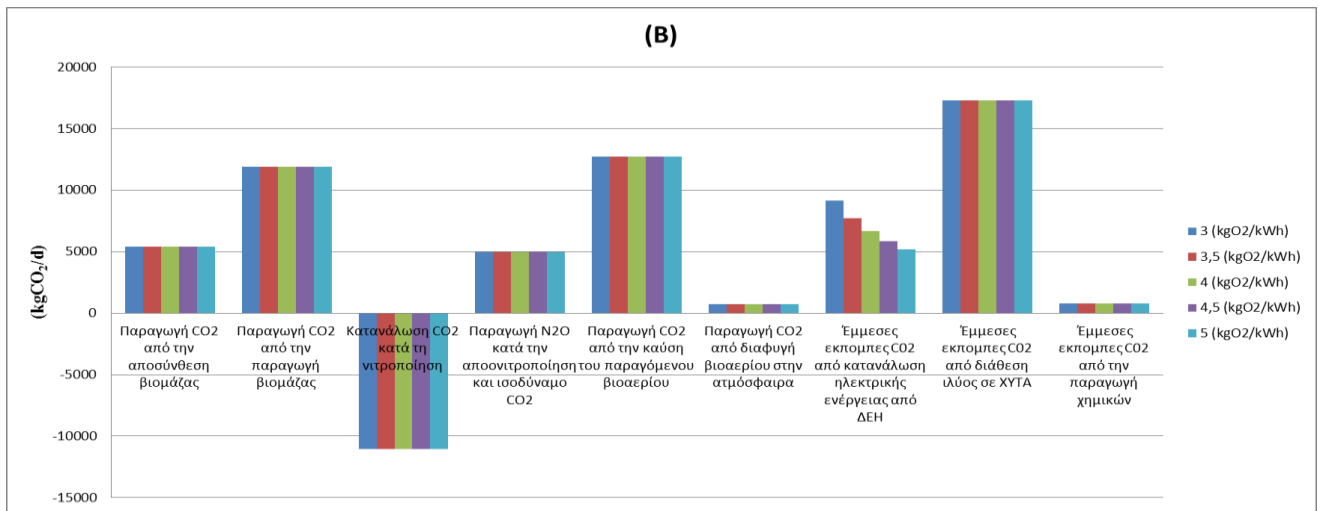


Σχήμα 4.24: Αθροιστικά ραβδογράμματα εκπομπής CO₂ για A: 70.000 ι.κ. και B: 350.000 ι.κ. (καλοκαίρι)

Τα παραπάνω διαγράμματα εκφράζουν την μεταβολή των εκπομπών CO₂ ανά βαθμίδα παραγωγής τους, επί του συνόλου τους, λόγω της αύξησης των έμμεσων εκπομπών από τη ΔΕΗ για επιφανειακό και διαχυτό αερισμό.

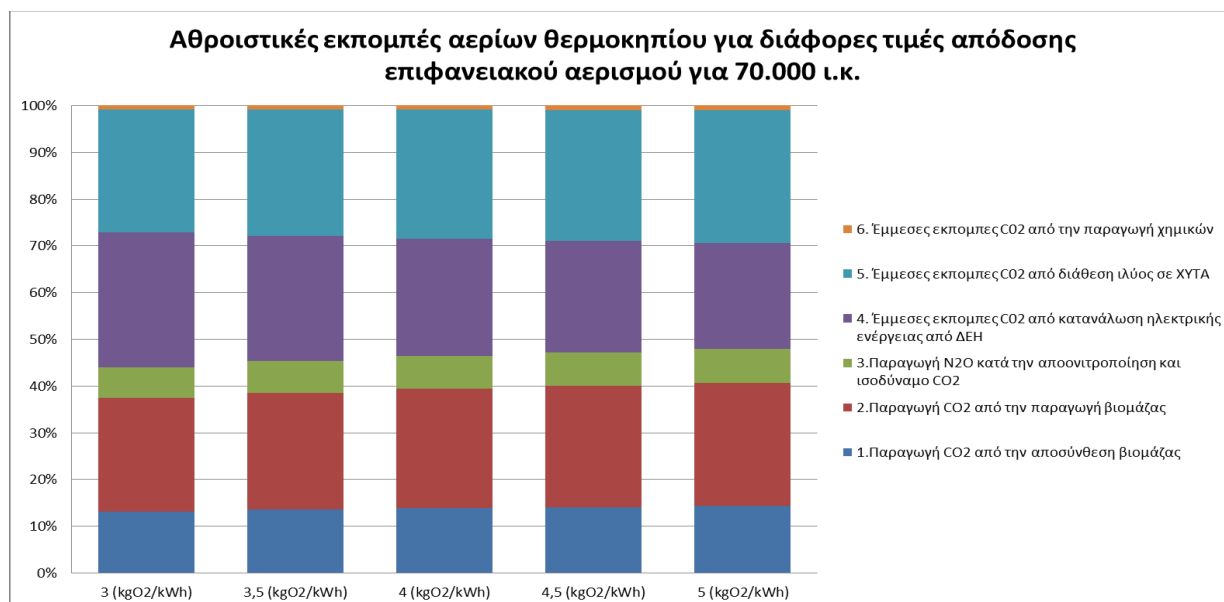
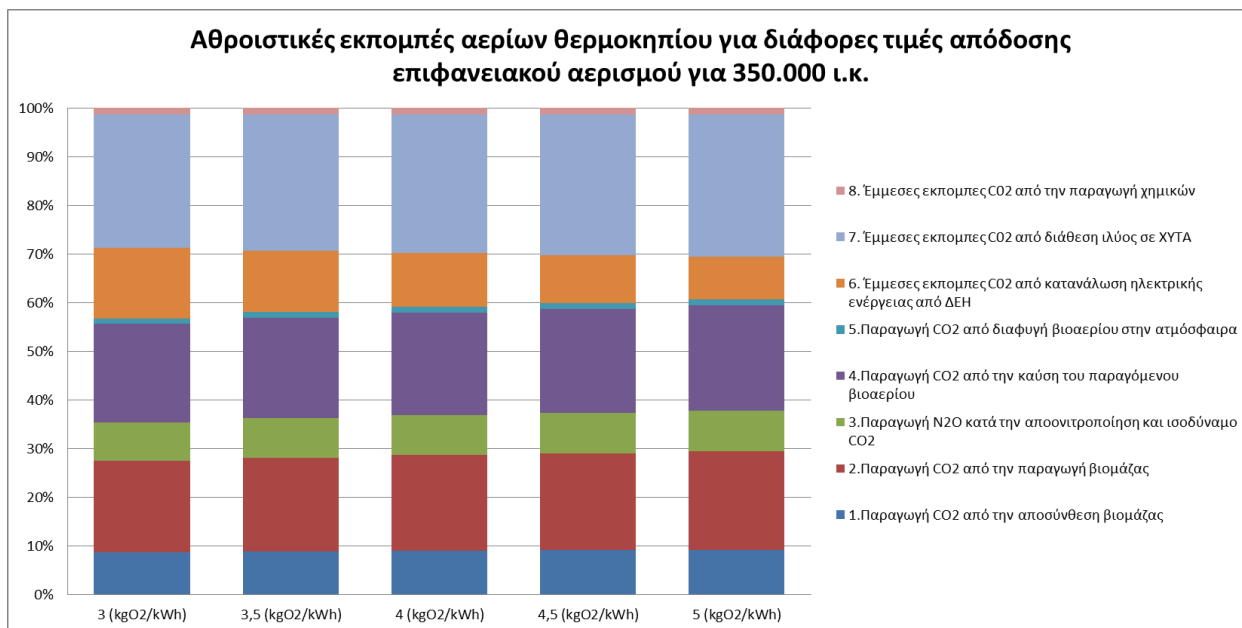
Σενάριο ΒII





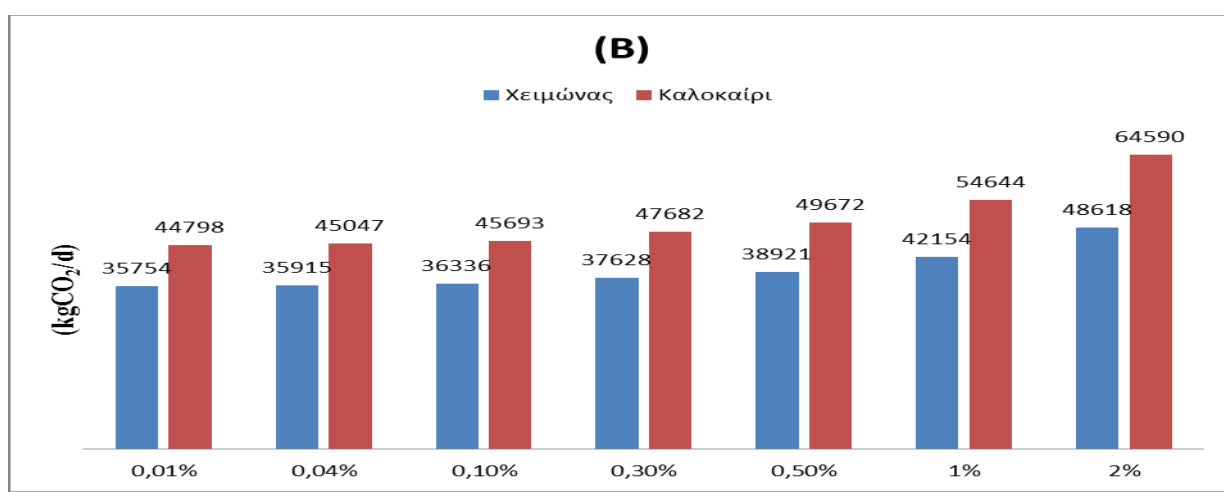
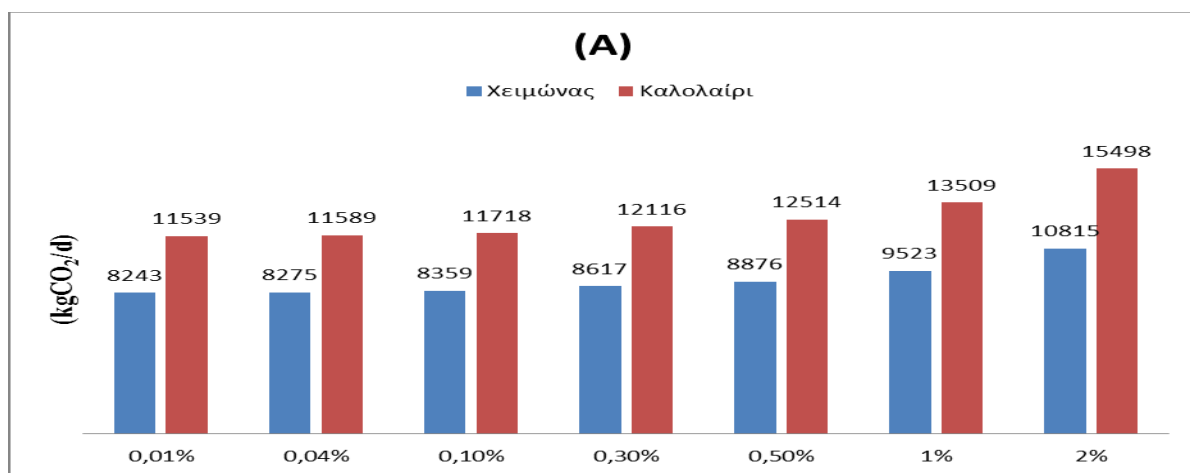
Σχήμα 4.25: Διαγράμματα Α: ημερησίων εκπομπών CO₂ για 70.000 ι.κ. ανά στάδιο εκπομπής, Β: ημερησίων εκπομπών CO₂ για 350.000 ανά στάδιο εκπομπής, Γ: ολικές εκπομπές αερίων για διάφορες τιμές της επιφανειακής απόδοσης αερισμού

Οι ημερήσιες εκπομπές CO₂ αυξάνονται καθώς μειώνεται η ενεργειακή απόδοση του αερισμού (σταδιακά από 5 kgO₂/kWh σε 3 kgO₂/kWh). Η αύξηση αυτή αφορά μόνο τις έμμεσες εκπομπές από τη ΔΕΗ καθώς όλες οι υπόλοιπες βαθμίδες εκπομπής CO₂ παραμένουν αμετάβλητες (διαγράμματα Α και Β). Οι αύξηση των έμμεσων εκπομπών CO₂ από τη ΔΕΗ προκαλεί αύξηση της τάξεως του 1,4%, 1,7%, 2% και 2,8% για την μείωση της ενεργειακής απόδοσης αερισμού από τα 5 kgO₂/kWh σε 4,5 kgO₂/kWh, από τα 4,5 kgO₂/kWh σε 4 kgO₂/kWh, από 4 kgO₂/kWh σε 3,5 kgO₂/kWh και από τα 3,5 kgO₂/kWh σε 3 kgO₂/kWh για τον πληθυσμό των 350.000 ι.κ.. Τα αντίστοιχα ποσοστά αύξησης για τους 70.000 ι.κ. είναι 1,7%, 2,2%, 2,7% και 3,5%.



Σχήμα 4.26: Αθροιστικά ραβδογράμματα εκπομπής CO₂ για 70.000 ι.κ. και 350.000 ι.κ.

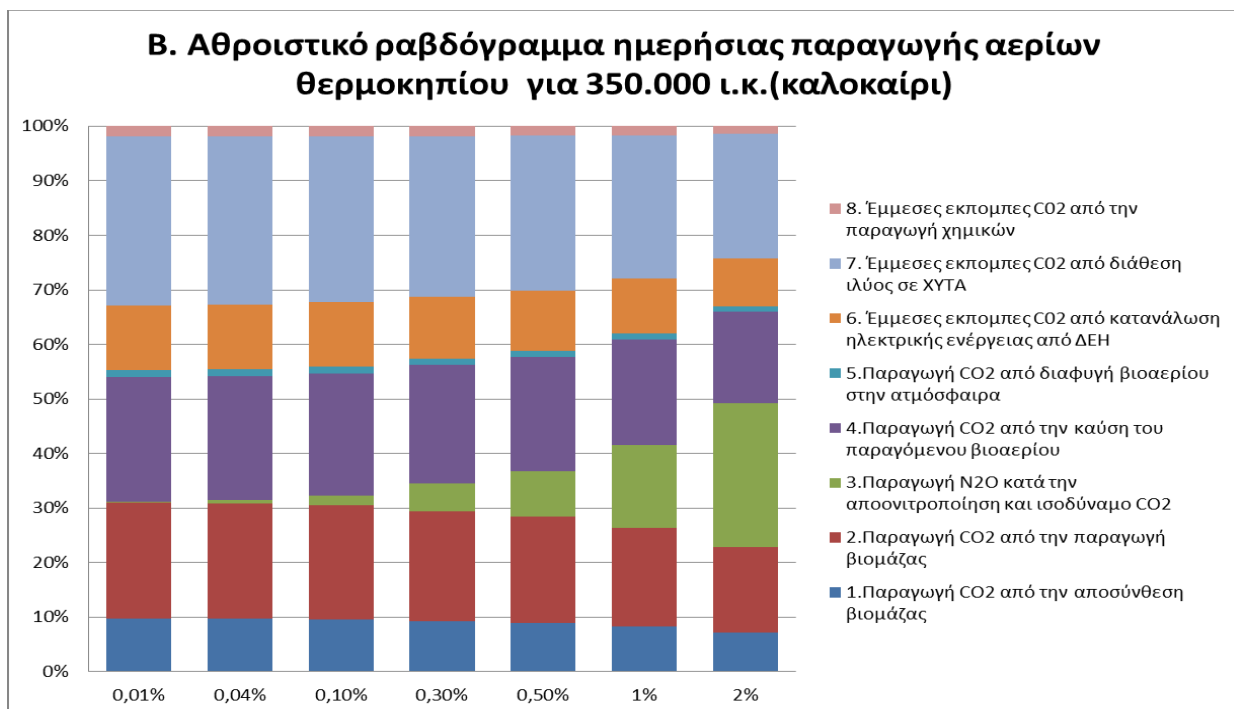
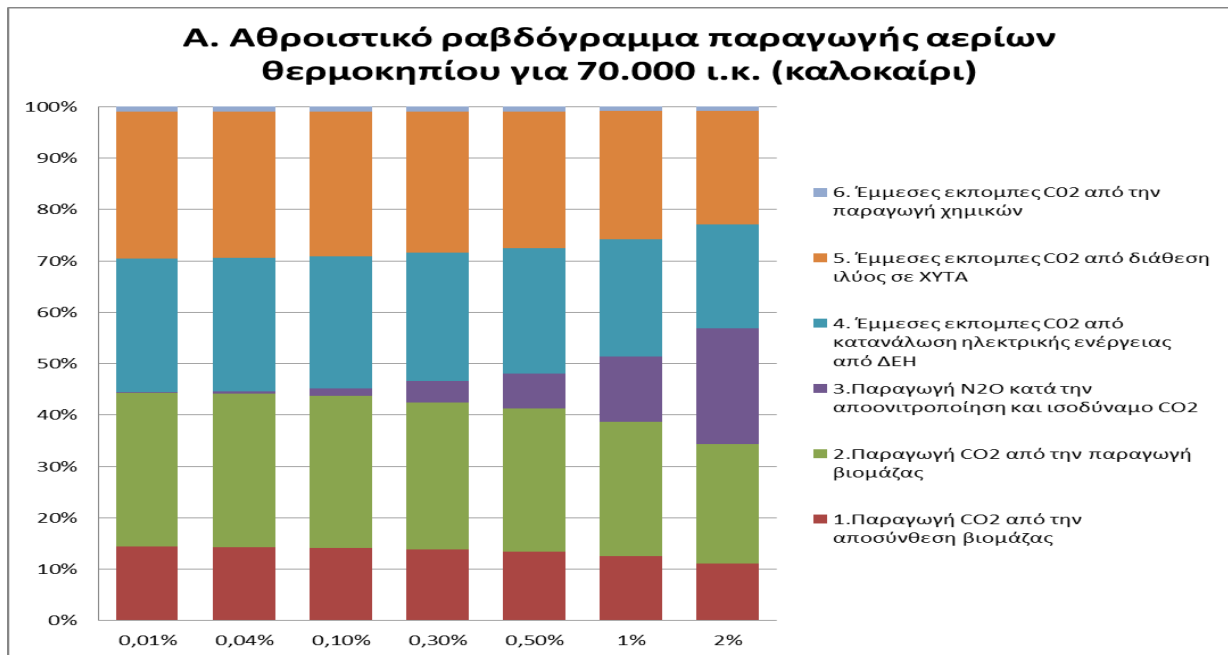
Σενάριο Γ:



Σχήμα 4.27: Διαγράμματα A: ολικών ημερήσιων εκπομπών CO₂ για 70.000 ι.κ, B: ολικών ημερήσιων εκπομπών CO₂ για 350.000 ι.κ.

Πίνακας 4.8: Ποσοστιαία αύξηση εκπομπών ολικών CO₂ για αύξηση του ποσοστού μετατροπής του TN_{in} σε ισοδύναμο CO₂

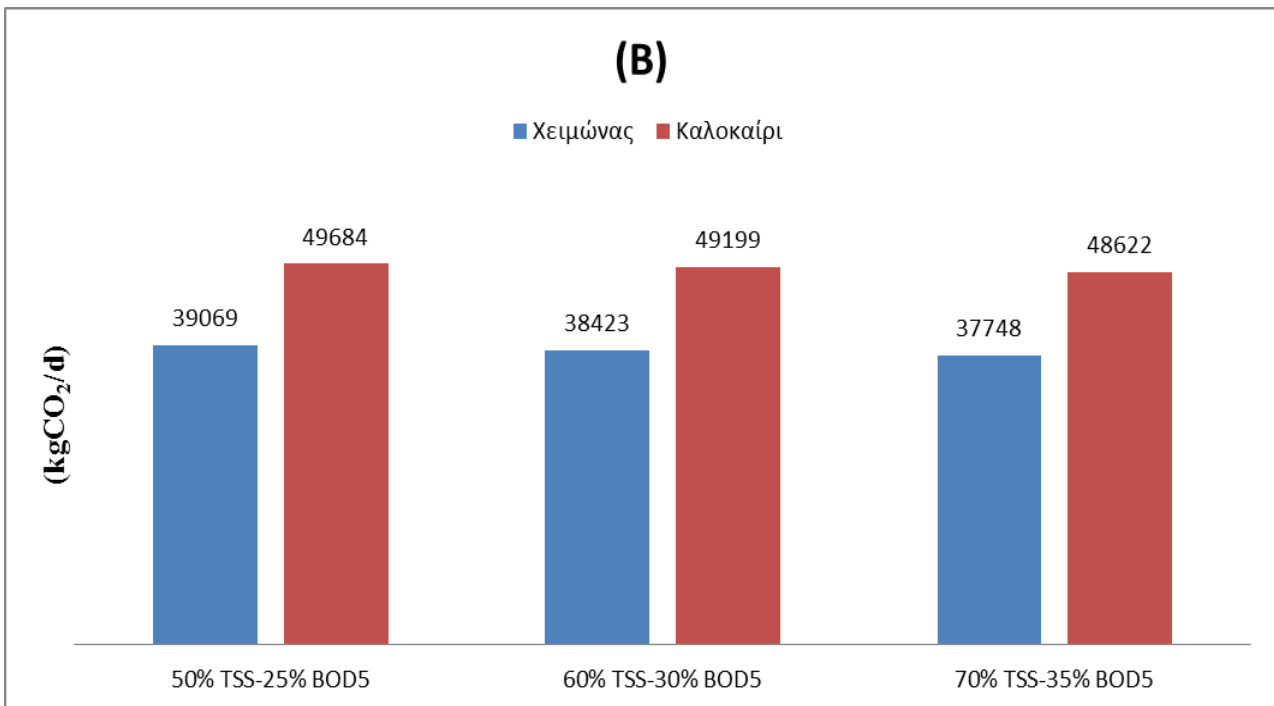
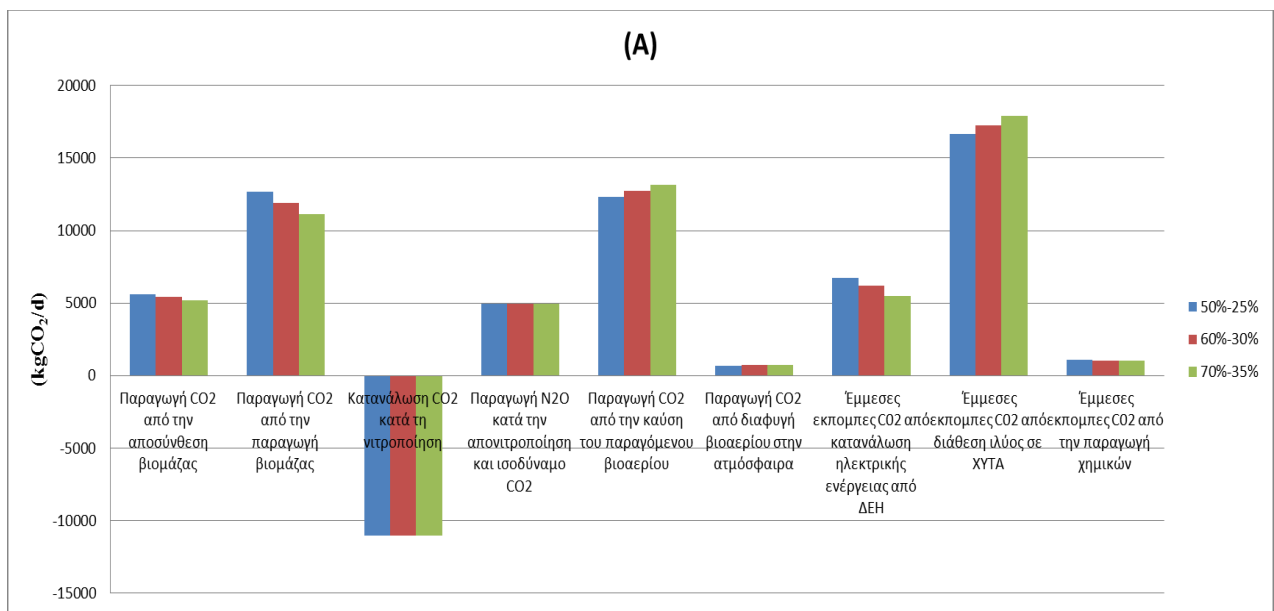
Ποσοστά μετατροπής TN _{in} σε ισοδύναμο CO ₂	Ποσοστιαία αύξησηση συνολικών εκπομπών CO ₂ για 350.000 ι.κ. (χειμώνας)	Ποσοστιαία αύξησηση συνολικών εκπομπών CO ₂ για 350.000 ι.κ. (καλοκαίρι)	Ποσοστιαία αύξησηση συνολικών εκπομπών CO ₂ για 70.000 ι.κ. (χειμώνας)	Ποσοστιαία αύξησηση συνολικών εκπομπών CO ₂ για 70.000 ι.κ. (χειμώνας)
Από 0.01% σε 0,04%	0,45	0,56	0,39	0,43
Από 0.04% σε 0,1%	1,17	1,44	1,02	1,12
Από 0.1% σε 0,3%	3,56	4,35	3,09	3,39
Από 0.3% σε 0,5%	3,44	4,17	3,00	3,28
Από 0.5% σε 1%	8,30	10,01	7,28	7,95
Από 1% σε 2%	15,34	18,20	13,58	14,72



Σχήμα 4.28: Αθροιστικά ραβδογράμματα εκπομπής CO₂ για 70.000 ι.κ. και 350.000 ι.κ.

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε την επίδραση, στις ημερήσιες εκπομπές CO₂, του ποσοστού μετατροπής του εισερχόμενου αζώτου σε ισοδύναμο CO₂ κατά την απονιτροποίηση. Η επίδραση αυτή είναι σχεδόν μηδαμινή για ποσοστό μετατροπής 0,01% ενώ για ποσοστό μετατροπής 2% καταλαμβάνει περίπου το 20% και 26% για 70.000 ι.κ. και 350.000 ι.κ αντίστοιχα. Στις ενδιάμεσες τιμές τα ποσοστά αυτά παρουσιάζουν γραμμικότητα. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και για τα δεδομένα του χειμώνα. Για τον λόγο αυτόν δεν παρουσιάζονται.

Σενάριο Δ:

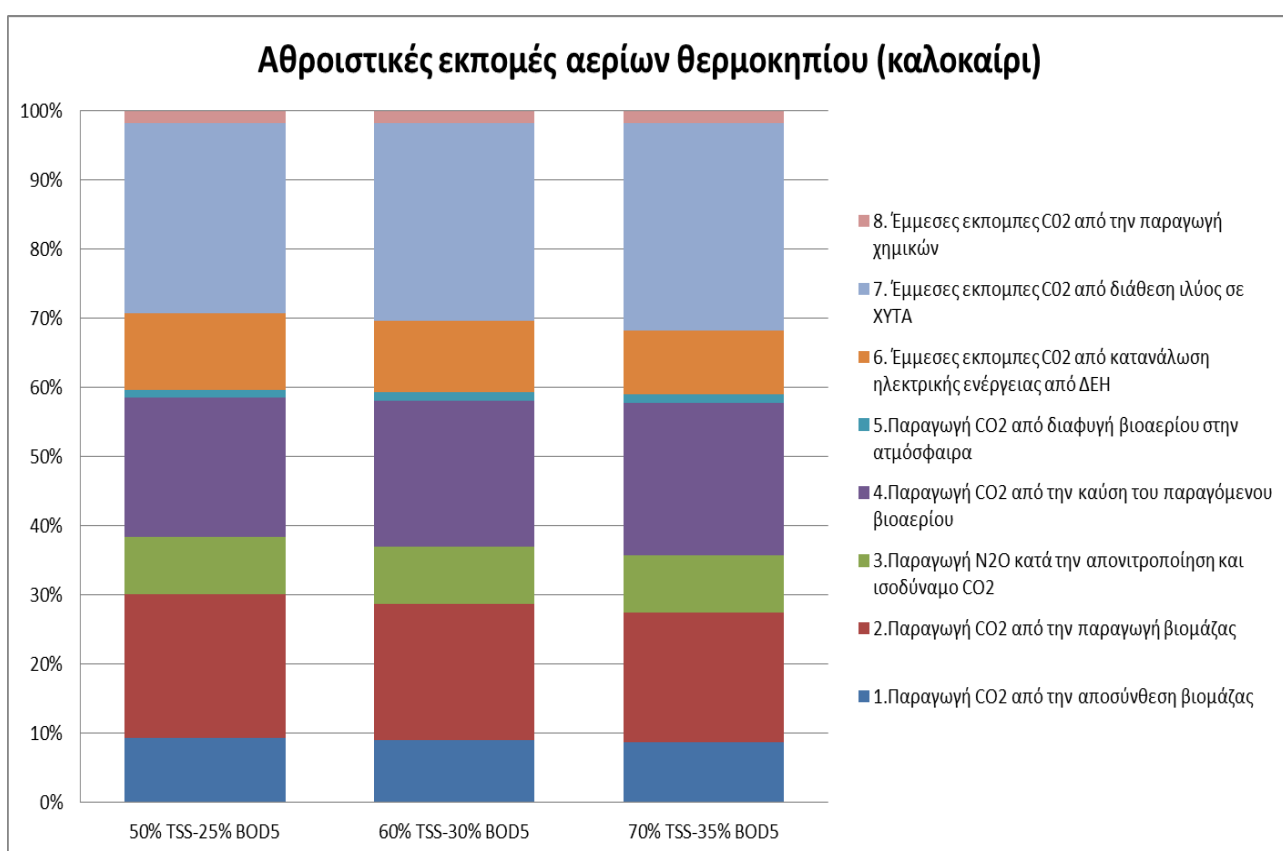


Σχήμα 4.30: Διαγράμματα εκπομπών CO₂ για απομάκρυνση του 50%, 60%, 70% των ολικών στερεών (TSS) στην πρωτοβάθμια καθίζηση για 350.000 ι.κ. για A: ανά στάδιο εκπομπών, B: ολικές ημερήσιες εκπομπές

Η μεταβολή του ποσοστού απομάκρυνσης των ολικών στερεών, στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, από 50% σε 60% προκαλεί αύξηση της τάξεως 1,35% στην ολική εκπομπή CO₂, ενώ η μεταβολή από 60% σε 70% προκαλεί αντίστοιχη αύξηση περίπου 1,50%. Η μεταβολή των επιμέρους σταδίων παραγωγής CO₂ φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα 4.9 που ακολουθεί και αναφέρεται τόσο στο χειμώνα όσο και στο καλοκαίρι.

Πίνακας 4.9: Μεταβολή των επιμέρους σταδίων παραγωγής CO₂

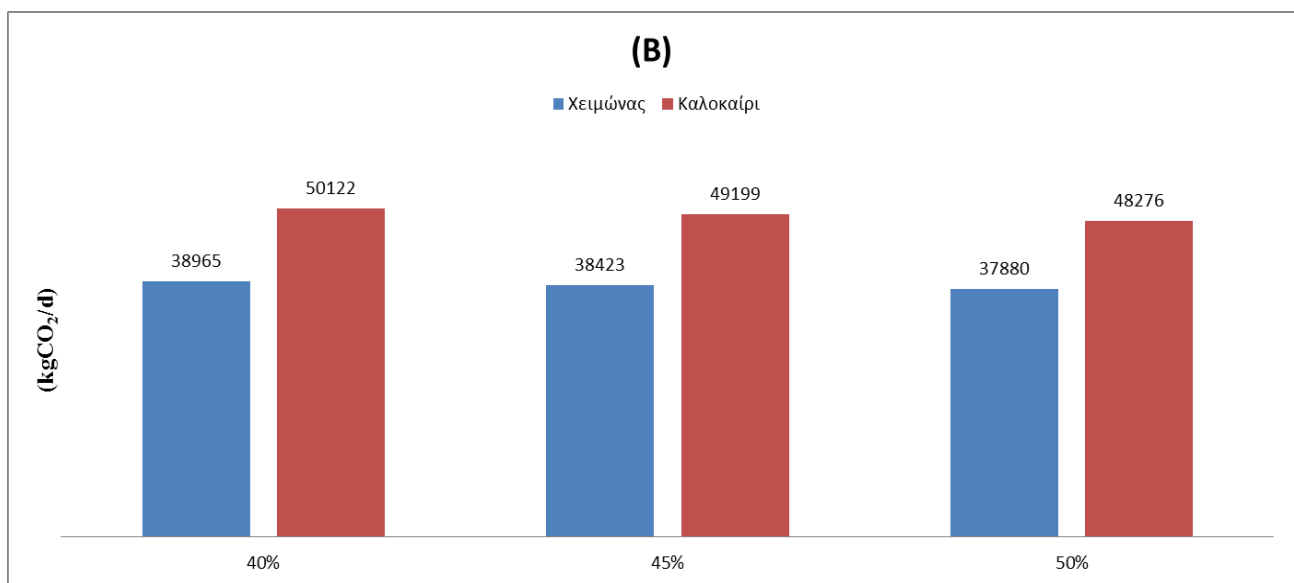
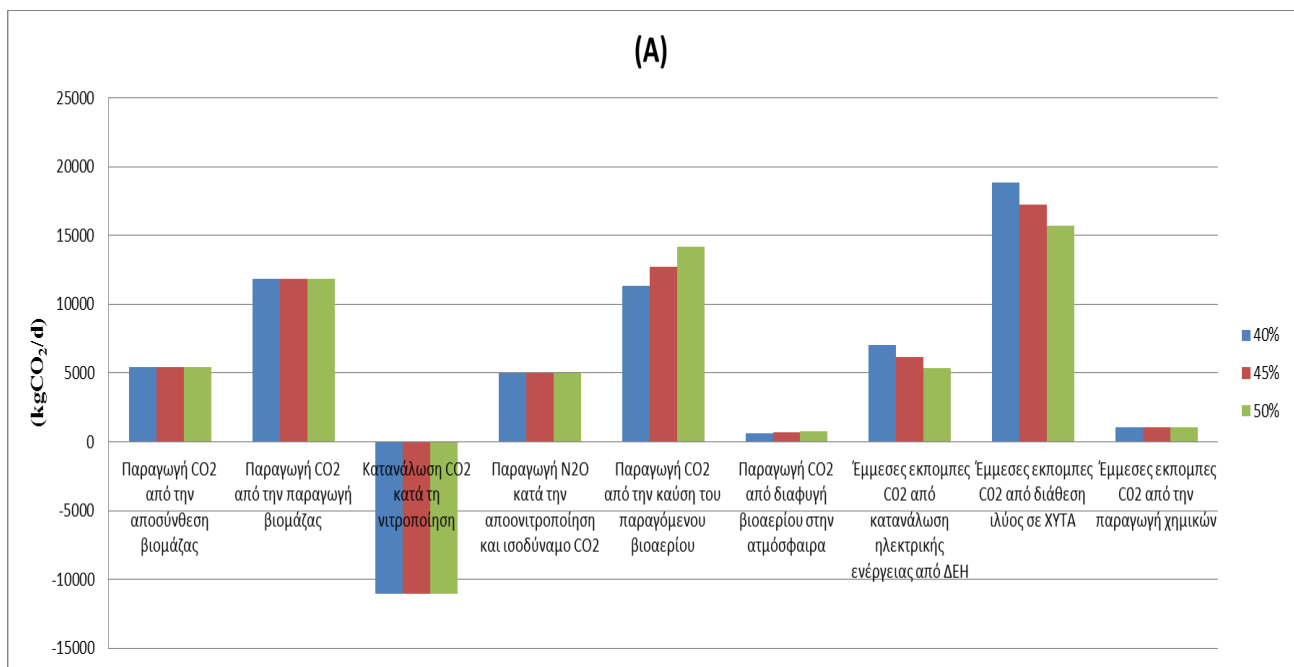
Πηγές εκπομπών CO ₂	Ποσοστιαία μετατροπή για μεταβολή από 50% έως 60% (%)	Ποσοστιαία μετατροπή για μεταβολή από 50% έως 60% (%)
Παραγωγή CO ₂ από την αποσύνθεση βιομάζας	4,19	4,64
Παραγωγή CO ₂ από την παραγωγή βιομάζας	6,50	6,80
Κατανάλωση CO ₂ κατά τη νιτροποίηση	0,00	0,00
Παραγωγή N ₂ O κατά την απονιτροποίηση και ισοδύναμο CO ₂	0,00	0,00
Παραγωγή CO ₂ από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου	-3,88	-4,20
Παραγωγή CO ₂ από διαφυγή βιοαερίου στην ατμόσφαιρα	-3,88	-4,20
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από ΔΕΗ	8,28	8,07
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ	-3,88	-4,20
Έμμεσες εκπομπές CO ₂ από την παραγωγή χημικών	0,30	0,21



Σχήμα 4.31: Αθροιστικό ραβδόγραμμα σταδίων εκπομπής CO₂

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή των εκπομπών CO₂ για κάθε βαθμίδα επί του συνόλου παραγωγής για απομάκρυνση των ολικών στερεών στη ΔΠΚ του 50%, 60%, 70% για 350.000 ι.κ. για τα δεδομένα του καλοκαιριού. Αντίστοιχα είναι και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα δεδομένα του χειμώνα και για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται.

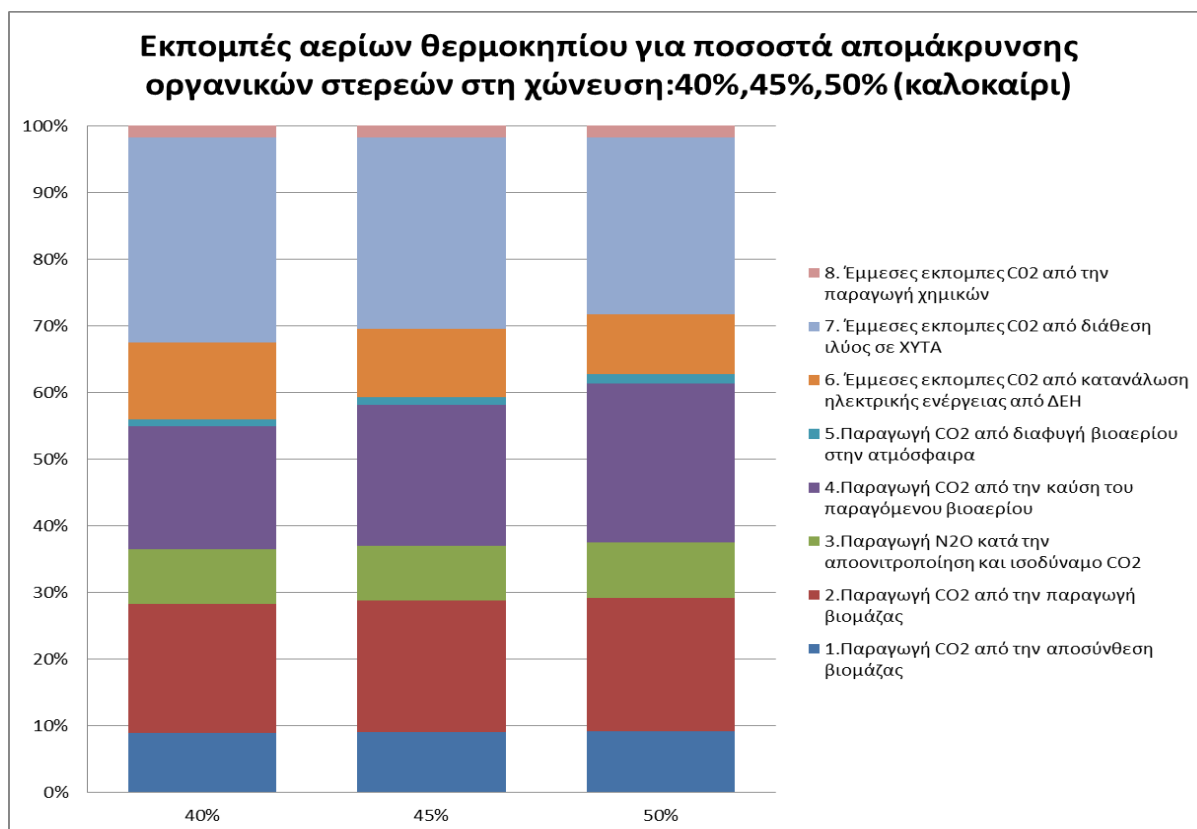
Σενάριο Ε:



Σχήμα 4.32: Διαγράμματα εκπομπών CO₂ για απομάκρυνση του 40%, 45%, 50% των οργανικών στερεών κατά την αναερόβια χώνευση για 350.000 ι.κ. με Α: εκπομπές ανά στάδιο παραγωγής, Β: ολικές ημερήσιες εκπομπές

Η αύξηση της αποδοτικότητας της αναερόβιας χώνευσης (για ίδιο χρόνο παραμονής στερεών στις δεξαμενές χώνευσης), που επιτυγχάνεται με την απομάκρυνση των οργανικών στερεών από 40% σε 45% και από 45% σε 50% συνεπάγεται την μείωση των ολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (CO₂) κατά 1,6% και 1,65% αντίστοιχα (διάγραμμα Β). Πιο συγκεκριμένα από την καύση και διαφυγή του παραγόμενου βιοαερίου παρουσιάζεται αύξηση των εκπομπών CO₂ κατά 12,5% και 11,1% για μεταβολή του βαθμού απομάκρυνσης στερεών από 40% σε 45% και από 45% σε 50% αντίστοιχα κάτι που είναι αναμενόμενο αφού τα οργανικά στερεά είναι η πρώτη ύλη για την

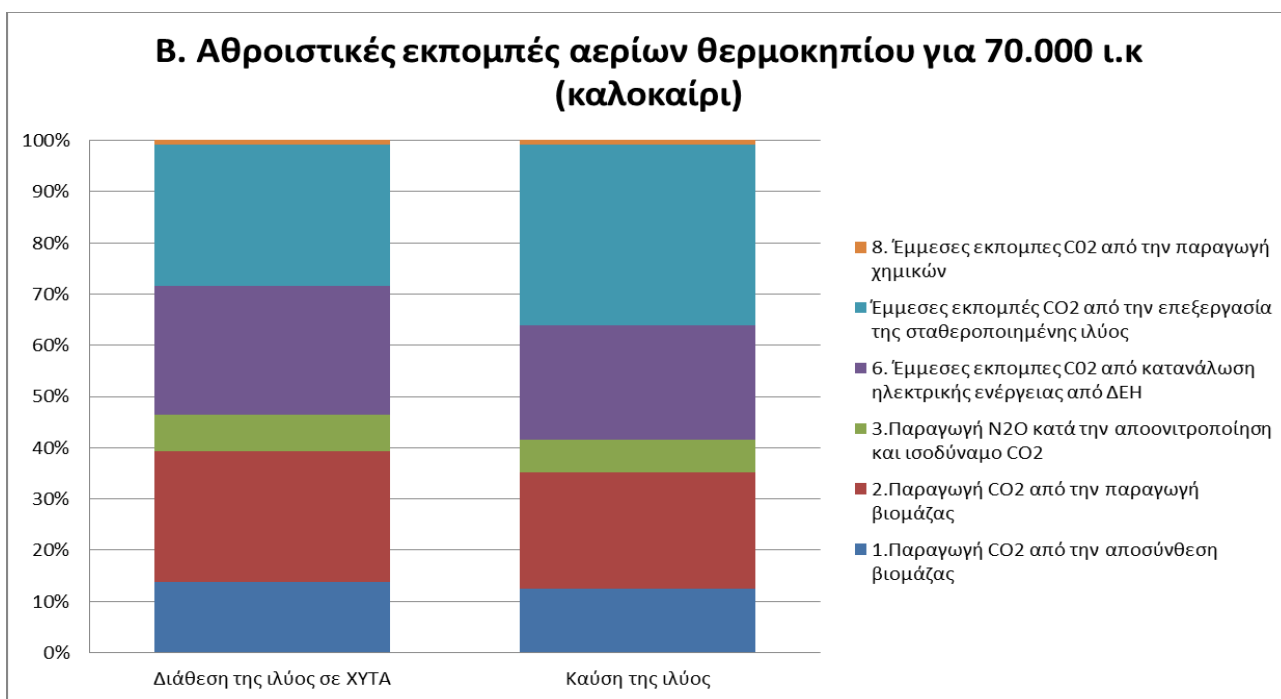
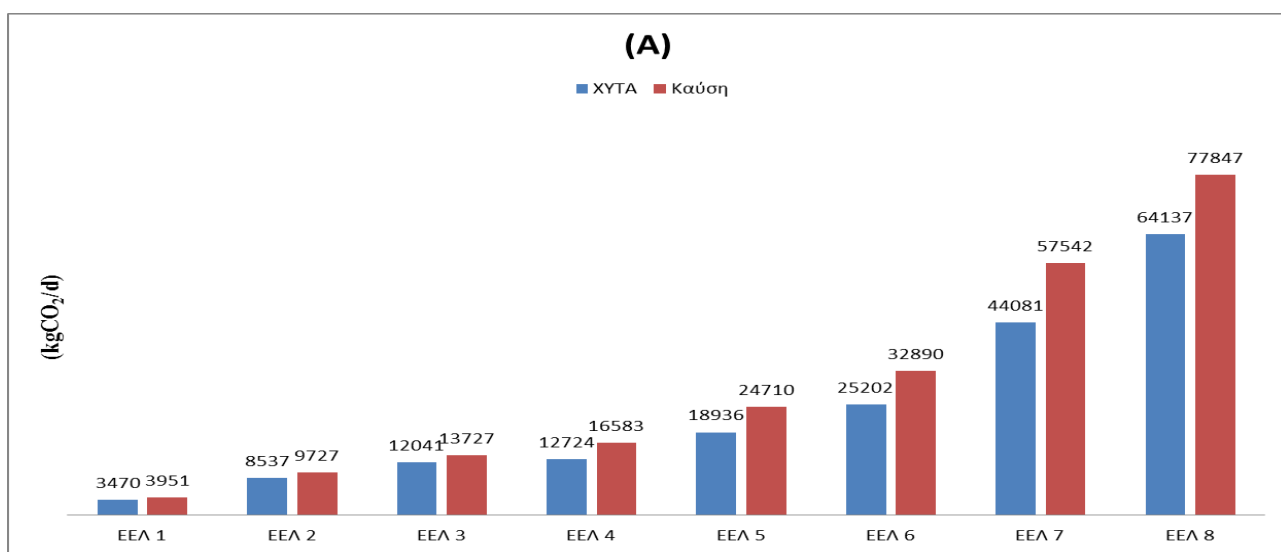
παραγωγή του βιοαερίου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μείωση των έμμεσων εκπομπών CO₂ που προσέρχονται από την ΔΕΗ και από την διάθεση της ιλύος στον ΧΥΤΑ, καθώς αυξάνεται η απομάκρυνση των οργανικών στερεών κατά τη χώνευση από 45% σε 50%. Αναλυτικότερα για τις εκπομπές από τη ΔΕΗ η αύξηση της αποδοτικότητας της χώνευσης από 40% σε 45% και από 45% σε 50% ακολουθείται από μείωση 9,5% και 10.6% στις εκπομπές CO₂ αντίστοιχα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι οι εκπομπές CO₂ από τη ΔΕΗ εκτιμήθηκαν από την διαφορά της ολικής απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας με την ενέργεια που παράγεται από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου και η οποία είναι περισσότερη για μεγαλύτερη απομάκρυνση οργανικών στερεών στην αναερόβια χώνευση. Οι έμμεσες εκπομπές CO₂ που οφείλονται στην διάθεση της σταθεροποιημένης ιλύος στον ΧΥΤΑ παρουσιάζουν μείωση 8,35% και 9,1% για μεταβολή της απομάκρυνσης των οργανικών στερεών από 40% σε 45% και από 45% σε 50% αντίστοιχα.



Σχήμα 4.33: Αθροιστικό ραβδόγραμμα εκπομπών CO₂ για απομάκρυνση του 40%,45%,50% των οργανικών στερεών κατά τη χώνευση (καλοκαίρι)

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται η διακύμανση των εκπομπών CO₂ που προέρχονται από την καύση και διαφυγή του παραγόμενου βιοαερίου αλλά και από τις έμμεσες εκπομπές από τη ΔΕΗ και τον ΧΥΤΑ. Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα του χειμώνα και για τον λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται.

Σενάριο ΣΤ:



Σχήμα 4.35: Διαγράμματα Α: ολικών ημερήσιων εκπομπών CO₂ για διάθεση της σταθεροποιημένης ιλύος σε ΧΥΤΑ και για καύση, Β: αθροιστικό ποσοστιαίο ραβδόγραμμα εκπομπών CO₂ ανά στάδιο παραγωγής για ΧΥΤΑ και καύση

Η διάθεση της σταθεροποιημένης ιλύος σε ΧΥΤΑ έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των ολικών εκπομπών CO₂, σε σχέση με την καύση της κατά 11% για τους πληθυσμούς της διάταξης 1 και 22% για τους πληθυσμούς της διάταξης 2 τον χειμώνα. Τα αντίστοιχα ποσοστά του καλοκαιριού είναι 13,9% και 30,5% (διάγραμμα Α). Στο διάγραμμα Β παρατηρείτε η αύξηση των εκπομπών CO₂ από την καύση της ιλύος, επί των συνολικών εκπομπών, σε αντιδιαστολή με τις εκπομπές από τη διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε ένα πρότυπο μοντέλο σχεδιασμού και υπολογισμού του ενεργειακού κόστους και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων διαφορετικού μεγέθους και διαφορετικών διατάξεων. Βασικός στόχος, της διπλωματικής αυτής εργασίας, είναι η διερεύνηση της επίδρασης κάποιων συγκεκριμένων παραμέτρων σχεδιασμού και λειτουργίας στο αποτύπωμα άνθρακα και ενέργειας σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, ΕΕΛ. Τα κυριότερα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνοψίζονται στα ακόλουθα:

Ως προς την ενεργειακή κατανάλωση:

- Η μέση ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση για ΕΕΛ μικρού σχετικά μεγέθους (που εξυπηρετούν λιγότερους από 100.000 I.K.) κυμαίνεται μεταξύ 0,089 και 0,11 kWh/d/IK ανάλογα με τον ολικό χρόνο παραμονής. Οι τιμές αυτές είναι παρόμοιες με τιμές που αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία για συστήματα παρατεταμένου αερισμού, γεγονός που επαληθεύει την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της ακολουθούμενης μεθοδολογίας.
- Αντίστοιχα η μέση ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση για ΕΕΛ μεγάλου μεγέθους (που εξυπηρετούν περισσότερους από 100.000 I.K. και περιλαμβάνουν αναερόβια χώνευσης της ύλης και μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας) κυμαίνεται μεταξύ 0,066 και 0,072 kWh/d/IK ανάλογα με τον χρόνο παραμονής και είναι επίσης αντίστοιχες των τιμών που αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία.
- Διαπιστώνεται συνεπώς ότι τα συστήματα παρατεταμένου αερισμού παρουσιάζουν κατά κανόνα μεγαλύτερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση σε σύγκριση με συμβατικά συστήματα ενεργού ύλους. Η αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στο σύστημα αερισμού μίας και οι υπόλοιπες διατάξεις παρουσιάζουν ελάχιστες μεταβολές
- Οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν σύστημα παρατεταμένου αερισμού, και αναφέρονται σε μικρούς πληθυσμούς, καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια ανά ισοδύναμο κάτοικο (0,87 kWh/d/i.k. με αντίστοιχο θ_C αερόβιο 7,5 ημέρες) από ότι οι εγκαταστάσεις με συμβατικό αερόβιο χρόνο και ύπαρξη δεξαμενής πρωτοβάθμιας καθίζησης με συνδυασμό χωνευτών (0,71 kWh/d/i.k. με αντίστοιχο θ_C αερόβιο 7 ημέρες)
- Ως προς το σύστημα αερισμού, οι ΕΕΛ με υποβρύχιο σύστημα διάχυσης αέρα καταναλώνουν, κατά 20% για τους μικρούς ισοδύναμους πληθυσμούς και κατά 18,5% για τους μεγάλους ισοδύναμους πληθυσμούς, λιγότερη ενέργεια από τις ΕΕΛ που χρησιμοποιούν επιφανειακό αερισμό.
- Η απόδοση των διαχυτήρων αερισμού έχει σοβαρή επίδραση στην ολική κατανάλωση ενέργειας μίας και η σταδιακή της αύξηση από 3 kgO₂/kWh σε 5 kgO₂/kWh με βήμα 0,5 kgO₂/kWh έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ολικής καταναλισκόμενης ενέργειας κατά 9,3% στις ΕΕΛ μεγάλης δυναμικότητας και κατά 11% στις ΕΕΛ μικρής δυναμικότητας.
- Η απόδοση της πρωτοβάθμιας καθίζησης αποτελεί σημαντικό παράγοντα εξοικονόμησης ενέργειας. Χαρακτηριστικά σημειώνεται ότι η αύξηση της απομάκρυνσης αιωρούμενων στερεών στις ΔΠΚ από 50% σε 70% οδηγεί σε μείωση της τάξης του 6% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και στην αύξηση της παραγόμενης ενέργειας στην μονάδα συμπαραγωγής (λόγω αύξησης της παραγόμενης πρωτοβάθμιας ύλης) της τάξης του 7%..

Επομένως οι ΕΕΛ με μεγαλύτερη απομάκρυνση στερεών στη ΔΠΚ παρουσιάζουν λιγότερο ενεργειακό κόστος και μεγαλύτερη ανάκτηση ενέργειας.

- Οι ΕΕΛ οι οποίες επιτυγχάνουν αυξημένη απόδοση απομάκρυνσης οργανικών στερεών κατά τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, δεν παρουσιάζουν κάποια ουσιαστική μεταβολή στην ενεργειακή κατανάλωση ωστόσο παράγουν περισσότερο βιοαέριο το οποίο με τη σειρά του μέσω των μονάδων συμπαραγωγής ενέργειας οδηγεί σε αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενεργειακής. Για παράδειγμα η αύξηση του ποσοστού διάσπασης των οργανικών στερεών στην μονάδα αναερόβιας χώνευσης από 40% σε 50% οδηγεί σε αύξηση της παραγόμενης ενέργειας κατά 25%.
- Το ποσοστό ανάκτησης της ενέργειας είναι υψηλότερο για τις ΕΕΛ οι οποίες λειτουργούν με μειωμένο χρόνο παραμονής στερεών. Αυτό συμβαίνει γιατί καταναλώνεται λιγότερη ενέργεια στη δεξαμενή αερισμού (που είναι και ο κρισιμότερος παράγοντας κατανάλωσης ενέργειας) ενώ και η παραγόμενη από το βιοαέριο ενέργεια είναι περισσότερη. Επίσης για κάθε αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας και δίχως μεταβολή της παραγόμενης παρατηρείται μείωση του ποσοστού ανάκτησης όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις του επιφανειακού σε σχέση με τον υποβρύχιο αερισμό και στην μείωση της απόδοσης του υποβρύχιου αερισμού. Όσον αφορά την αύξηση της απομάκρυνσης των ολικών στερεών από τη ΔΠΚ το ποσοστό ανάκτησης της ενέργειας αυξάνεται, όπως αυξάνεται και για την αύξηση της απομάκρυνσης των οργανικών στερεών κατά την αναερόβια χώνευση.

Ως προς τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου:

- Ως προς την επάρκεια της εκτίμησης του μοντέλου εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις Bridle (2008) οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν και σε αντίστοιχη εργασία με δεδομένα πραγματικών ΕΕΛ (Mamais et al. 2015) και κάτω από τις ίδιες συνθήκες και παραδοχές εξάγονται παρόμοια συμπεράσματα. Πιο συγκεκριμένα για την ΕΕΛ Ψυτάλλειας, η οποία είναι η μόνη που διαθέτει μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας, οι εκπομπές CO₂ ανηγμένες ανά ι.κ. είναι 0,162 kgCO₂/d/IK για χρόνο παραμονής στερεών στο σύστημα 8 ημέρες. Για αντίστοιχο χρόνο παραμονής τα αποτελέσματα του μοντέλου εκτιμούν τις εκπομπές CO₂ ανηγμένες ανά ι.κ. στο 0,151 kgCO₂/d/IK. Η διαφορά των δύο παραπάνω τιμών είναι της τάξεως του 8% και συγκαταλέγεται σε ανεκτά όρια απόκλισης. Επομένως το μοντέλο κρίνεται ιδιαίτερα επαρκές.
- Η αύξηση του χρόνου παραμονής στο σύστημα συνεπάγεται αύξηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου τόσο για το σύστημα παρατεταμένου αερισμού όσο και για το συμβατικό σύστημα ενεργοί ιλύος. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην αύξηση από την παραγωγή και αποσύνθεση βιομάζας και από την αύξηση των έμμεσων εκπομπών CO₂ από τη ΔΕΗ, ενώ μια μικρή μείωση παρατηρείται, καθώς αυξάνεται αερόβιος χρόνος, στις εκπομπές από την καύση και διαφυγή του βιοαερίου όπως και από τις έμμεσες εκπομπές από τον ΧΥΤΑ.
- Οι εγκαταστάσεις στις οποίες είναι εγκατεστημένο σύστημα πρωτοβάθμιας καθίζησης-χωνευτών παρουσιάζουν λιγότερες ημερήσιες εκπομπές CO₂ ανά ισοδύναμο κάτοικο (0,15 kgCO₂/d) σε σχέση με τα συστήματα παρατεταμένου αερισμού (0,17 kgCO₂/d).
- Ως προς το σύστημα αερισμού οι εκπομπές CO₂ μεταβάλλονται μόνο ως προς τις έμμεσες εκπομπές από τη ΔΕΗ. Αυτές προκαλούν μια αύξηση στις ολικές εκπομπές CO₂ της τάξεως περίπου 5% για την μεταβολή από τον διαχυτό στον επιφανειακό αερισμό τόσο για τις ΕΕΛ μικρής και μεγάλης δυναμικότητας

- Ως προς την απόδοση του υποβρύχιου συστήματος αερισμού, μεγαλύτερη απόδοση συνεπάγεται μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και αυτό συνεπάγεται μικρότερες έμμεσες εκπομπές CO₂ από τη ΔΕΗ, ενώ οι πηγές εκπομπών CO₂ παραμένουν αμετάβλητες. Η μεταβολή της απόδοσης από 3 kgO₂/kWh σε 5 kgO₂/kWh με βήμα 0,5 kgO₂/kWh έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των ολικών εκπομπών CO₂ κατά 2,8% στους μεγάλους ισοδύναμους κατοίκους και 3,5% στους μικρούς.
- Η εκτίμηση του ποσοστού μετατροπής του ολικού εισερχομένου αζώτου σε ισοδύναμο CO₂ έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς μικρές εκτιμήσεις, της τάξεως του 0,01%, έχουν σημαντική διαφορά στις ολικές εκπομπές CO₂ σε σχέση με μεγάλες εκτιμήσεις, της τάξεως του 2%. Η διαφορά αυτή είναι της τάξεως του 44% στους μεγάλους ισοδύναμους πληθυσμούς και 35% στους μικρούς με μικρότερη τιμή αυτή που αντιστοιχεί στο 0,01% και μεγαλύτερη αυτή που αντιστοιχεί στο 2%.
- Η μεταβολή του ποσοστού απομάκρυνσης των ολικών στερεών από τη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, και του αντίστοιχου BOD₅, δεν προκαλεί κάποια ουσιαστική διαφορά στις ολικές εκπομπές CO₂ (η μεταβολή του ποσοστού απομάκρυνσης των ολικών στερεών από 50% σε 60% και 70% προκαλεί μείωση των εκπομπών CO₂ κάτω από 1,5% ανά στάδιο μεταβολής)
- Οι ΕΕΛ οι οποίες επιτυγχάνουν μεγάλα ποσοστά απομάκρυνσης των οργανικών στερεών κατά τη διαδικασία της χώνευσης επιτυγχάνουν μια σχετική μείωση των ολικών εκπομπών CO₂, χωρίς όμως αυτή να είναι κρίσιμη (μείωση 1,9% για τη μεταβολή της απομάκρυνσης των οργανικών στερεών από 40% σε 45% και σε 50%). Αυτό συμβαίνει γιατί μειώνονται οι έμμεσες εκπομπές κατά την διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ και από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ αυξάνονται οι εκπομπές από την καύση και διαφυγή βιοαερίου.
- Ως προς την επεξεργασία της σταθεροποιημένης ιλύος μετά την αφυδάτωση, η διάθεση της σε ΧΥΤΑ παρουσιάζει μειωμένες ολικές εκπομπές CO₂ σε σχέση με την καύση της ιλύος.

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. Ευρωπαϊκή Ένωση (1991), Οδηγία 91/271/ΕΟΚ, ...για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων
6. 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
7. 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
8. Χατζιμπήρος Κίμων (2007), Οικοσυστήματα και προστασία του περιβάλλοντος, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
9. Hofman J., Hofman-Caris R., Nederlof M., Frijns J., M. van Loosdreche (2010), Water and energy as inseparable twins for sustainable solutions
10. Krampe J. (2013), Energy benchmarking of South Australian WWTPs
11. Antakyali D., Rolle R. (2010), Energetic aspects regarding the sewage and sludge treatment process of WWTPs
12. Mizuta K., Shimada M. (2010), Benchmarking energy consumption in municipal wastewater treatment plants in Japan
13. Keller J., Hartley K. (2003), Greenhouse gas production in wastewater treatment: process selection is the main factor
14. Gupta D., Singh S.K. (2012), Greenhouse gas emissions from wastewater treatment: A case study of Noida
15. De Haas D.W., Pepperell C., Foley J. (2013), Perspectives on greenhouse gas emissions estimates based on Australian wastewater treatment plant operating data
16. Yerashalmi L., Ashrafi O., Haghghat F (2013), Reductions in greenhouse gas (GHG) generation and energy consumption in wastewater treatment plants
17. Snip L.S.P. (2010) Quantifying the greenhouse gas emissions of wastewater treatment plants
18. Janset T., Wiers P. (2007) The Climate Footprint: a practical tool to address climate change
19. 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

20. Mamais D., Noutsopoulos C., Dimopoulou A., Stasinakis A., Lekkas T.D. (2015), Wastewater treatment process impact on energy savings and greenhouse gas emissions,
21. Gustavsson D.J.I., Tumlin S (2013) Carbon footprints of Scandinavian wastewater treatment plants
22. 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
23. UNFCCC (1998), Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change