

Χρήση Μαθηματικού Μοντέλου για τον Έλεγχο της Υγειονολογικής Διαστασιολόγησης του ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας

Ε. Γ. ΦΟΥΓΙΑΣ

Δρ Πολιτικός Μηχανικός-Υγεινολόγος
Διεύθυνση Μελετών, Ε.ΥΔ.Α.Π. Α.Ε.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η χρήση μαθηματικών μοντέλων για τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος αποτελεί απαραίτητο εργαλείο για την τήρηση των προδιαγραφών εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων σύμφωνα με την ισχύουσα Νομοθεσία, καθώς και για την ικανοποίηση των κριτηρίων βέλτιστης απόδοσης και λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Στην παρούσα εργασία, έγινε εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου διεργασιών ASM1 της IWA για τον έλεγχο των συμβατικών υγειονολογικών υπολογισμών του προτεινόμενου Κέντρου Επεξεργασίας των Λυμάτων (ΚΕΛ) Κορωπίου-Παιανίας στο κεντρικό τμήμα της Νομαρχίας Ανατολικής Αττικής, όπως αυτοί συντάχθηκαν στο πλαίσιο της Προμελέτης του έργου. Η χρησιμοποίηση του ASM1 έγινε για τον έλεγχο της μελλοντικής λειτουργίας της εγκατάστασης με τους όγκους και τις λειτουργικές παραμέτρους, όπως αυτές καθορίστηκαν στους υγειονολογικούς υπολογισμούς της Προμελέτης, καθώς και για τον καθορισμό της κατανομής της ζήτησης διαλυμένου οξυγόνου ανά αερόβιο διαμέρισμα του κάθε βιοαντιδραστήρα, η οποία και αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Κέντρο Επεξεργασίας των Λυμάτων (Κ.Ε.Λ.) Κορωπίου-Παιανίας έχει σχεδιαστεί για δυναμικότητα 29.000 m³/d ή για ισοδύναμο πληθυσμό (Ι.Π.) 136.000 περίπου κατοίκους για την τελική φάση ανάπτυξης του το έτος 2044. Το έργο έχει χωροθετηθεί σύμφωνα με την Προμελέτη του έργου [1], σε θέση νοτιοανατολικά του Διεθνούς Αεροδρομίου της Αθήνας «Ελ. Βενιζέλος» (Σχήμα 1). Θα επεξεργάζεται τα αστικά λύματα περιοχών των Δήμων Παιανίας και Κορωπίου της Νομαρχίας Ανατολικής Αττικής, με εξαίρεση τις παραλιακές περιοχές του Δήμου Κορωπίου, τα αστικά λύματα της περιοχής Χαμολιάς του Δήμου Μαρκόπουλου, καθώς και προεπεξεργασμένα βιομηχανικά απόβλητα από τις Βιομηχανικές Περιοχές (ΒΙ.ΠΕ) των Δήμων Κορωπίου και Παιανίας τα οποία θα πληρούν τις προδιαγραφές για συνεπεξεργασία μαζί με τα αστικά λύματα στο Κέντρο Επεξεργασίας των Λυμάτων. Το

Κ.Ε.Λ. Κορωπίου-Παιανίας θα περιλαμβάνει πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια (βιολογική) και δυνατότητα τριτοβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων (διύλιση, απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία U.V.), καθώς και όλες τις απαραίτητες εγκαταστάσεις για την επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος, μέσω πάχυνσης, αναερόβιας χώνευσης και αφυδάτωσης. Τα έργα προσαγωγής των λυμάτων στην εγκατάσταση θα περιλαμβάνουν κεντρικό δίκτυο ακαθάρτων συνολικού μήκους 26,5 km περίπου. Η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων θα γίνεται με χερσαίο αγωγό συνολικού μήκους 11 km που θα οδηγεί τα λύματα από το ΚΕΛ στη θαλάσσια περιοχή της Χαμολιάς στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο, και από εκεί σε απόσταση 1000 m από την ακτή, τα επεξεργασμένα λύματα θα διατίθενται με υποθαλάσσιο αγωγό σε βάθος 50 m από την επιφάνεια της θάλασσας (Σχήμα 1). Εναλλακτικά, έχει προβλεφθεί στο ΚΕΛ η δυνατότητα τριτοβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων για την επαναχρησιμοποίηση της εκροής του ΚΕΛ για απεριόριστη άρδευση γειτονικών γεωργικών εκτάσεων.

Η μαθηματική προσομοίωση των εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος (mathematical modelling) αποτελεί διεθνώς εδώ και αρκετά χρόνια ένα απαραίτητο εργαλείο για τον επιτυχή σχεδιασμό τους, έτσι ώστε να τηρούνται οι προδιαγραφές εκροής των επεξεργασμένων λυμάτων και να ικανοποιούνται τα κριτήρια βέλτιστης απόδοσης και λειτουργίας των εγκαταστάσεων [2,3,4]. Η προσομοίωση του συστήματος ενεργού ιλύος με χρήση H/Y δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της συμπεριφοράς του συστήματος για διαφορετικές θερμοκρασίες λειτουργίας, τόσο κάτω από σταθερές συνθήκες (steady-state conditions) όσο και κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες παροχής και ρυπαντικών φορτίων (dynamic conditions). Η προσομοίωση μπορεί να γίνει για διαφορετικούς τύπους του συστήματος, από τον απλό αντιδραστήρα πλήρους μίξης μέχρι τον σύνθετο βιοαντιδραστήρα εμβολικής ροής που περιλαμβάνει έναν αριθμό αντιδραστήρων πλήρους μίξης σε σειρά.

Από τα εγκυρότερα μοντέλα που έχουν προταθεί για την προσομοίωση συστημάτων ενεργού ιλύος που πραγμα-

τοποιούν βιολογική απομάκρυνση οργανικού άνθρακα και αζώτου, είναι το γνωστό μοντέλο ASM1 (Activated Sludge Model No 1, [2]) της IWA (International Water Association, πρώην IAWRPC: International Association on Water Research and Pollution Control). Το μοντέλο αυτό έχει εφαρμοστεί με επιτυχία τα τελευταία χρόνια σε διάφορες χώρες του κόσμου, τόσο για την προσομοίωση της λειτουργίας υφιστάμενων εγκαταστάσεων, όσο και για επεκτάσεις υφιστάμενων εγκαταστάσεων ή τον εξ' αρχής σχεδιασμό νέων μονάδων.

Το ASM1 χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για τον έλεγχο των συμβατικών υγειονομικών υπολογισμών του ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας, όπως αυτοί συντάχθηκαν στο πλαίσιο της Προμελέτης του έργου [1]. Η εφαρμογή του ASM1 έγινε μέσω του υπολογιστικού προγράμματος SSSP (Simulation of Single Sludge Processes), το οποίο αναπτύχθηκε από τους Bidstrup και Grady [5]. Η χρησιμοποίηση του ASM1 έγινε με σκοπό: α) τον έλεγχο της λειτουργίας της εγκατάστασης με τους όγκους και τις λειτουργικές παραμέτρους που καθορίστηκαν στους υγειονομικούς υπολογισμούς της Προμελέτης και β) τον υπολογισμό της κατανομής της ζήτησης διαλυμένου οξυγόνου σε κάθε αερόβιο διαμέρισμα των βιοαντιδραστήρων που δεν μπορεί να καθορισθεί με συμβατικούς υγειονομικούς υπολογισμούς.

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΤΗΣ IWA

2.1 Συνοπτική περιγραφή του μαθηματικού μοντέλου

Το μαθηματικό μοντέλο ASM1 της IWA προσομοιώνει συστήματα ενεργού ιλύος που, εκτός από την οξείδωση του οργανικού άνθρακα BOD_5 , πραγματοποιούν και βιολογική απομάκρυνση αζώτου (νιτροποίηση-απονιτροποίηση) σε κοινό σύστημα ενεργού ιλύος (single-sludge systems). Το ASM1 απλοποιεί τις πολύπλοκες βιολογικές διεργασίες του συστήματος ενεργού ιλύος και βασίζεται σε τέσσερις βασικές διεργασίες που πραγματοποιούνται κάτω από αερόβιες και ανοξικές συνθήκες: α) ανάπτυξη της βιομάζας, β) αποσύνθεση της βιομάζας, γ) αμμωνιοποίηση του διαλυμένου οργανικού αζώτου και δ) υδρόλυση των σωματιδιακών οργανικών και του αζώτου που παγιδεύονται στη βιοκροκίδα της ιλύος.

Το μοντέλο περιλαμβάνει δύο κατηγορίες βιομάζας: την ετεροτροφική βιομάζα (X_H) που πραγματοποιεί τη βιολογική απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα κάτω από αερόβιες και ανοξικές συνθήκες και την αυτοτροφική βιομάζα (X_A) που πραγματοποιεί την οξείδωση του αμμωνιακού αζώτου σε νιτρικά (νιτροποίηση).

Η ετεροτροφική βιομάζα χρησιμοποιεί ως μόνη τροφή για την ανάπτυξή της εύκολα βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (S_S). Η αργά βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη (X_S) θεωρείται ότι απομακρύνεται ακαριαία από την αιώρηση με την παγίδευσή της στη βιοκροκίδα, και από εκεί μέσω της διαδικα-

σίας της υδρόλυσης μετατρέπεται σε εύκολα βιοδιασπάσιμη τροφή. Η απομάκρυνση της εύκολα βιοδιασπάσιμης τροφής θεωρείται ότι είναι ανάλογη της ανάπτυξης.

Η αυτοτροφική βιομάζα χρησιμοποιεί ως πηγή τροφής για την ανάπτυξή της διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και ως πηγή ενέργειας αυτή που αποδίδεται κατά τη νιτροποίηση (παράλληλη οξείδωση του διαλυμένου αμμωνιακού αζώτου S_{NH} σε νιτρικό άζωτο S_{NO}).

Τα συστατικά του μοντέλου φαίνονται στην πάνω σειρά του Πίνακα 1 με τα σύμβολά τους και τις μονάδες μέτρησής τους να δίνονται παρακάτω. Οι βασικές διεργασίες που περιγράφονται στο μοντέλο αναγράφονται στην αριστερή στήλη του Πίνακα 1, ενώ οι εκφράσεις των κινητικών τους αναγράφονται στη δεξιά στήλη του πίνακα. Συνολικά, το μοντέλο ASM1 περιλαμβάνει 13 συστατικά που αποτελούν τις χαρακτηριστικές παραμέτρους των λυμάτων και της ενεργού ιλύος στο σύστημα:

- Διαλυτό αδρανές COD, S_I (g COD/m³)
- Εύκολα βιοδιασπάσιμο διαλυτό COD, S_S (gCOD/m³)
- Αδρανές σωματιδιακό COD, X_I (g COD/m³)
- Αργά βιοδιασπάσιμο σωματιδιακό COD, X_S (g COD/m³)
- Ετεροτροφική βιομάζα, X_H (g COD/m³)
- Αυτοτροφική βιομάζα, X_A (g COD/m³)
- Μη βιοδιασπάσιμα, σωματιδιακά προϊόντα αποσύνθεσης της βιομάζας X_P (g COD/m³)
- Διαλυμένο οξυγόνο, S_O (g O₂ /m³)
- Νιτρικό άζωτο NO₃ - N, S_{NO} (g N/m³)
- Αμμωνιακό άζωτο NH₄ - N, S_{NH} (g N/m³)
- Διαλυμένο οργανικό άζωτο, S_{ND} (g N/m³)
- Σωματιδιακό οργανικό άζωτο, X_{ND} (g N/m³)
- Αλκαλικότητα, S_{ALK}

Όπως φαίνεται παραπάνω, όλα τα οργανικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων και των σωματιδιακών, εκφράζονται σε όρους COD. Η διαλυμένη αδρανής οργανική ουσία συνεισφέρει στο COD της εκροής. Η συγκέντρωση των πτητικών αιωρούμενων στερεών MLVSS στο σύστημα ενεργού ιλύος (σε όρους COD) είναι το άθροισμα των πέντε χαρακτηριστικών όρων: X_S , X_H , X_A , X_I , X_P .

2.2 Στοιχειομετρία και κινητικές εξισώσεις διεργασιών

Η στοιχειομετρία και οι κινητικές εξισώσεις διεργασιών του μοντέλου δίνονται στον Πίνακα 1. Η στοιχειομετρία σχετίζεται με την αρχή διατήρησης της μάζας στην οριζόντια διεύθυνση (το άθροισμα των στοιχειομετρικών συντελεστών κάθε γραμμής που αντιστοιχούν σε μία διεργασία πρέπει να είναι ίσο με το μηδέν). Με δεδομένο ότι τόσο για την τροφή, όσο και για τη βιομάζα χρησιμοποιούνται μονάδες COD και επειδή το οξυγόνο μετράται ως αρνητικό COD, η διατήρηση της συνέχειας συνεπάγεται ότι η απαίτηση οξυγόνου πρέπει να εξισώνει την καθαρή απομάκρυνση COD (διαλυμένη τροφή που απομακρύνθηκε μείον δημιουργηθέντα κύττα-

ρα). Για τη μετατροπή των συγκεντρώσεων του νιτρικού και του αμμωνιακού αζώτου σε ισοδύναμες μονάδες COD, στη στοιχειομετρία του μοντέλου χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχοι συντελεστές $2.86 \text{ g O}_2/\text{NO}_3 - \text{N}$ και $4.57 \text{ g O}_2/\text{NH}_4 - \text{N}$. Με τον τρόπο αυτό, απλοποιείται η διαδικασία της κατάστρωσης των εξισώσεων ισοζυγίου μάζας (mass balance equations), για κάθε κλάσμα των λυμάτων και της ενεργού ύλης σε κάθε αντιδραστήρα πλήρους μίξης.

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΚΕΛ ΚΟΡΩΠΙΟΥ-ΠΑΙΑΝΙΑΣ

3.1 Γενικά

Για την εφαρμογή του μοντέλου τα απαιτούμενα δεδομένα που θα πρέπει να προσδιοριστούν σε μία εγκατάσταση είναι τα ακόλουθα:

- Ροϊκό διάγραμμα λειτουργίας της εγκατάστασης.
- Χαρακτηρισμός των λυμάτων και
- Εκτίμηση των τιμών των κινητικών και στοιχειομετρικών παραμέτρων.

3.2 Ροϊκό διάγραμμα ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας

Το ροϊκό διάγραμμα λειτουργίας της εγκατάστασης, όπως αυτή προσομοιώθηκε, απεικονίζεται στο Σχήμα 2. Στο μοντέλο προσομοιώθηκε η λειτουργία μιάς γραμμής επεξεργασίας, που περιλαμβάνει έναν βιοαντιδραστήρα και μία δεξαμενή τελικής καθίζησης. Σύμφωνα με την Προμελέτη του έργου [1], κάθε βιοαντιδραστήρας έχει σχεδιαστεί να έχει συνολικό ωφέλιμο όγκο νιτροποίησης-απονιτροποίησης 3.840 m^3 .

Η ανοξική ζώνη θα αποτελείται από 2 διαμερίσματα (DN 1 και DN 2), χωρητικότητας 510 m^3 το καθένα, εφοδιασμένα με υποβρύχιους αναδευτήρες για την εξασφάλιση του απαραίτητου βαθμού ανάμιξης, και από 2 διαμερίσματα (DN/NI 1 και DN/NI 2) χωρητικότητας 390 m^3 με επαμφοτερίζουσα λειτουργία (ανοξικά/αερόβια). Με τα τελευταία αυτά δύο διαμερίσματα, που θα είναι εφοδιασμένα και με διαχυτές αέρα κατανεμημένους στον πυθμένα των δεξαμενών, θα επιτυγχάνεται η αυξομείωση του ανοξικού και του αερόβιου όγκου του βιοαντιδραστήρα, ανάλογα με το σενάριο λειτουργίας της εγκατάστασης κατά τη χειμερινή ή τη θερινή περίοδο (Σχήματα 2α και 2β).

Η αερόβια ζώνη θα αποτελείται από 4 διαμερίσματα (NI1, NI2, NI3 και NI4) χωρητικότητας 510 m^3 το καθένα, εφοδιασμένα στον πυθμένα με διαχυτές αέρα λεπτής φυσαλίδας από ελαστική μεμβράνη.

Η εσωτερική ανακυκλοφορία του ανάμικτου υγρού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, θα πραγματοποιείται από το

τελευταίο αεριζόμενο διαμέρισμα στο πρώτο ανοξικό διαμέρισμα, ενώ η επανακυκλοφορία της ενεργού ύλης θα πραγματοποιείται από τη δεξαμενή τελικής καθίζησης στο πρώτο ανοξικό διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα.

3.3 Χαρακτηρισμός λυμάτων και σενάρια λειτουργίας της εγκατάστασης

Σύμφωνα με τους υγειονομολογικούς υπολογισμούς της Προμελέτης του ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας [1] προσδιορίστηκαν οι παροχές και οι συγκεντρώσεις των ρυπαντικών φορτίων εισόδου στη βιολογική βαθμίδα (Q, BOD, SS, TN).

Η λειτουργία της εγκατάστασης ενεργού ύλης προσομοιώθηκε για τέσσερα σενάρια λειτουργίας που αντιστοιχούν στη χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο της 20ετίας και 40ετίας (έτος σύνταξης Προμελέτης: 2004, Α' φάση: έτος 2024, Β' φάση: έτος 2044). Οι θερμοκρασίες σχεδιασμού της χειμερινής και της καλοκαιρινής περιόδου ήταν 14°C και 24°C , αντίστοιχα.

Τα σενάρια λειτουργίας που εξετάστηκαν με τις χαρακτηριστικές τιμές των παραμέτρων δίνονται στον Πίνακα 3. Η επεξεργασία των λυμάτων στο ΚΕΛ θα γίνεται σε 4 ανεξάρτητες γραμμές επεξεργασίας, που η καθεμία θα περιλαμβάνει από ένα βιοαντιδραστήρα και από μία δεξαμενή τελικής καθίζησης. Για τις ανάγκες της Α' φάσης η επεξεργασία θα γίνεται σε 3 γραμμές επεξεργασίας, ενώ για τη Β' φάση η επεξεργασία θα συμπληρωθεί με τη λειτουργία και τέταρτης γραμμής.

Σε ό,τι αφορά στον χαρακτηρισμό των οργανικών κλασμάτων των λυμάτων με κριτήριο τον βαθμό διασπασιμότητας καθώς και των κλασμάτων αζώτου που απαιτούνται για την εισαγωγή στο μοντέλο, αυτά εκτιμήθηκαν από τα δεδομένα λειτουργίας ανάλογων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα (Ερευνητικό πρόγραμμα του Εργαστηρίου Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ, Ανδρεαδάκης Α., [9]). Αυτό ήταν αναγκαίο, γιατί στην περιοχή που θα εξυπηρετεί το μελλοντικό ΚΕΛ δεν υπάρχουν σήμερα κατασκευασμένα δίκτυα αποχέτευσης, και συνεπώς δεν υπάρχουν μετρήσεις των χαρακτηριστικών των λυμάτων (παροχές, συγκεντρώσεις ρυπαντικών φορτίων) που θα εισέρχονται στην εγκατάσταση.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, έγινε η κατανομή του συνολικού COD των λυμάτων που επιμερίζεται στο 50% για το διαλυμένο COD και στο υπόλοιπο 50% για το σωματιδιακό COD (Πίνακας 4). Για το αδρανές διαλυμένο και σωματιδιακό COD, SI και XI, ελήφθησαν τιμές 8% του ολικού COD. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι λίγο μεγαλύτερες τιμές του εύκολα βιοδιασπάσιμου κλάσματος της οργανικής ύλης SS σε σύγκριση με το δύσκολα βιοδιασπάσιμο COD, XS, οφείλονται στο γεγονός ότι στο εύκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα συμπεριλαμβάνεται και το ταχέως υδρόλυσιμο κλάσμα του COD. Για τον λόγο αυτό θεωρήθηκε σκόπιμο, για τις ανάγκες του μοντέλου, να γίνει μία μικρή προσαύξηση

της συγκέντρωσης του SS σε βάρος της συγκέντρωσης του XS: Παρόμοια λογική εφαρμόστηκε στην περίπτωση της μαθηματικής προσομοίωσης του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων των Βορείων Μεσογείων (Α. Ανδρεαδάκης, [10]).

3.4 Εκτίμηση των κινητικών και στοιχειομετρικών παραμέτρων

Για την εφαρμογή οποιουδήποτε βιοκινητικού μοντέλου, η επιλογή κατάλληλων τιμών για τις κινητικές και τις στοιχειομετρικές παραμέτρους της ενεργού ιλύος έχει μεγάλη σημασία. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι τιμές που υιοθετήθηκαν (Πίνακας 2) βρίσκονται σε αντιστοιχία με τις τυπικές τιμές που προτείνονται στη βιβλιογραφία για το μοντέλο της IWA [2], και έχουν γενικά επαληθευτεί και στον Ελληνικό χώρο [10].

Από την εμπειρία σε Ελληνικές Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ), έχει παρατηρηθεί ότι στην πράξη μία αναχαίτιση της νιτροποίησης της τάξης του 15% είναι αρκετά πιθανή [10]. Για τον λόγο αυτό, υπέρ της ασφαλείας, οι ταχύτητες νιτροποίησης που υιοθετήθηκαν ήταν μικρότερες από τις προτεινόμενες τιμές του μοντέλου ($0.80-1.00 \text{ ημ}^{-1}$ για τους 20°C).

Οι βιολογικές διεργασίες της ανάπτυξης και αποσύνθεσης για την ετεροτροφική και αυτοτροφική βιομάζα, όπως και αυτή της υδρόλυσης του βραδέως βιοδιασπάσιμου σωματιδιακού COD (XS), εξαρτώνται από τη θερμοκρασία. Η επίδραση της θερμοκρασίας στον ρυθμό της βιολογικής διεργασίας περιγράφεται από τη γνωστή σχέση του Arrhenius και οι θερμοκρασιακοί συντελεστές συντελεστές (θ) που ελήφθησαν για χρήση στο μοντέλο (Πίνακας 2) βρίσκονται σε αντιστοιχία με τις τυπικές τιμές της βιβλιογραφίας [2].

3.5 Κριτήρια σχεδιασμού εγκατάστασης

Ο ευρύτερος Ευβοϊκός κόλπος, όπως και η επιμέρους θαλάσσια περιοχή της Χαμολιάς, όπου θα γίνεται η εκβολή των επεξεργασμένων λυμάτων από το ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας, δεν έχουν χαρακτηριστεί ως ευαίσθητοι αποδέκτες από το ΥΠΕΧΩΔΕ, υπό την έννοια της εφαρμογής της Οδηγίας 91/271 της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Για τον παραπάνω λόγο, η ποιότητα της τελικής εκροής του ΚΕΛ θα πρέπει να πληρεί τους όρους της Οδηγίας για κανονικούς αποδέκτες, χωρίς να υπάρχει τυπικά η απαίτηση πρόσθετης απομάκρυνσης θρεπτικών (αζώτου και/ή φωσφόρου). Σύμφωνα με τον σχετικό πίνακα του Παραρτήματος Ι της Οδηγίας, η απαιτούμενη επεξεργασία θα πρέπει, μέσω βιολογικών διεργασιών, να εξασφαλίζει συγκεντρώσεις BOD_5 , COD και SS των επεξεργασμένων λυμάτων μικρότερες από 25 mg/l , 125 mg/l και 35 mg/l αντίστοιχα για το 93% των ημερήσιων δειγμάτων (Πίνακας 5).

Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της «Μαθηματικής Προσομοίωσης της Υδροδυναμικής Διάταξης και των Ποιοτικών Χαρακτηριστικών του Νότιου Ευβοϊκού Κόλπου» που εκπονήθηκε από το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ (Ανδρεαδάκης Α., 1998, [8]), το άζωτο αποτελεί τον κύριο περιοριστικό παράγοντα ευτροφισμού στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο. Κατά συνέπεια, η βιολογική απομάκρυνση του αζώτου μέσω νιτροποίησης-απονιτροποίησης αποτελεί προτεραιότητα για τη διατήρηση σε ικανοποιητικό επίπεδο των ποιοτικών χαρακτηριστικών του θαλάσσιου οικοσυστήματος (χαμηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης, αύξηση της διαφάνειας των υδάτων). Το βασικό αυτό συμπέρασμα προέκυψε από την εξέταση των επιπτώσεων εναλλακτικών σχημάτων επεξεργασίας των λυμάτων των περιοχών της Ανατολικής Αττικής στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παράκτιων περιοχών του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου, με χρήση του μοντέλου του ΕΜΠ.

Συναξιολογώντας τα ανωτέρω, διαμορφώνονται τα όρια εκροής του Πίνακα 5 που θα πρέπει να εξασφαλίζει το ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας, σύμφωνα με την Προμελέτη του έργου. Η εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί για να επιτυγχάνει απομάκρυνση αζώτου της τάξης του 70-80% με συγκεντρώσεις αζώτου στην εκροή που για το δεδομένο μέγεθος του έργου (πληθυσμός 136.000 ισοδύναμων κατοίκων) δεν θα υπερβαίνουν τα 10 mg/l N (μέση ετήσια τιμή), σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας για ευαίσθητους αποδέκτες. Επιπλέον, - αν και δεν απαιτείται - έχει συμπεριληφθεί στον σχεδιασμό της εγκατάστασης η βιολογική απομάκρυνση φωσφόρου σε ποσοστό της τάξης του 50% για λειτουργικούς λόγους που έχουν να κάνουν με τη σταθεροποίηση της διαδικασίας της βιολογικής επεξεργασίας και την παραγωγή λάσπης με καλύτερα χαρακτηριστικά καθιζησιμότητας (χαμηλές τιμές SVI).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η λειτουργία της εγκατάστασης ενεργού ιλύος του ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας προσομοιώθηκε για τα τέσσερα σενάρια λειτουργίας του κέντρου (Πίνακας 3), που αντιστοιχούν στη χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο λειτουργίας του για τα έτη 2024 και 2044. Η μαθηματική προσομοίωση με το μοντέλο ASM 1 είχε ως ζητούμενο τα ακόλουθα:

- Τον έλεγχο της απόδοσης της εγκατάστασης σύμφωνα με τα κριτήρια σχεδιασμού της με τους όγκους και τις λειτουργικές παραμέτρους, όπως αυτά καθορίστηκαν στους υγειονομολογικούς υπολογισμούς της Προμελέτης.
- Τον καθορισμό της κατανομής της ζήτησης διαλυμένου οξυγόνου σε κάθε αερόβιο διαμέρισμα των βιοαντιδραστήρων, που δεν μπορεί να υπολογισθεί με συμβατικούς υγειονομολογικούς υπολογισμούς.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της εγκατάστασης ενεργού ιλύος του ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας με το μοντέλο ASM1 σε σύγκριση με τους υγειονομολογικούς υπολογισμούς της Προμελέτης δίνονται στον Πίνακα 6.

4.1 Έλεγχος απόδοσης της εγκατάστασης

Σχετικά με την ποιότητα εκροής που θα επιτυγχάνεται στο ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας, οι εκτιμήσεις του μοντέλου είναι πολύ κοντά με αυτές των υγειονομολογικών υπολογισμών της Προμελέτης (Πίνακας 6). Το μοντέλο εκτιμά συγκεντρώσεις εκροής COD, BOD, SS και ολικού αζώτου (TN) για τη χειμερινή και καλοκαιρινή εκροή της 40ετίας, παραπλήσιες με τις αντίστοιχες των υγειονομολογικών υπολογισμών. Οι προβλέψεις του μοντέλου είναι σαφέστερα μικρότερες των ορίων εκροής, όπως αυτά καθορίζονται από την οδηγία 91/271 και τα κριτήρια σχεδιασμού της εγκατάστασης (Πίνακας 5).

Περαιτέρω, από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με τους υγειονομολογικούς υπολογισμούς της Προμελέτης προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Σε ό,τι αφορά στις συγκεντρώσεις των MLSS, οι τιμές του μοντέλου είναι παραπλήσιες με αυτές των υγειονομολογικών υπολογισμών, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με τους βαθμούς απομάκρυνσης οργανικού φορτίου (BOD₅) και αζώτου (TN).

Οι συγκεντρώσεις εξόδου των νιτρικών που δίνει το μοντέλο είναι μικρότερες από αυτές των υγειονομολογικών υπολογισμών κατά 1,3 mg/l. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο μοντέλο η ετεροτροφική βιομάζα χρησιμοποιεί το εύκολα βιοδιασπάσιμο κλάσμα της οργανικής ύλης ως πηγή άνθρακα για την απονιτροποίηση με αποτέλεσμα οι συνεπαγόμενοι ρυθμοί απονιτροποίησης να στηρίζονται στην κατανάλωση του S₅. Αντίθετα, στους υγειονομολογικούς υπολογισμούς η απονιτροποίηση στηρίζεται σε έναν μέσο ρυθμό, ο οποίος (για λόγους ασφαλείας) είναι οπωσδήποτε μικρότερος από τους παρατηρούμενους ρυθμούς απονιτροποίησης για εύκολα βιοδιασπάσιμες οργανικές τροφές. Επίσης, η απομάκρυνση αζώτου με την παραγόμενη λάσπη είναι μεγαλύτερη στο μοντέλο (8,6% της βιομάζας είναι άζωτο) σε σύγκριση με τη συντηρητική παραδοχή που έγινε στους υγειονομολογικούς υπολογισμούς ότι το 15% του αζώτου των λυμάτων απομακρύνεται με τη βιομάζα.

- Οι εκτιμήσεις για τις παραγόμενες ποσότητες ιλύος στο μοντέλο είναι αρκετά κοντά με αυτές των υγειονομολογικών υπολογισμών τόσο για τη χειμερινή, όσο και για την καλοκαιρινή περίοδο της 40ετίας.

4.2 Κατανομή της ζήτησης οξυγόνου στους βιοαντιδραστήρες

Συγκρίνοντας τη συνολική κατανάλωση οξυγόνου, παρατηρούμε ότι το μοντέλο δίνει τιμές λίγο μικρότερες από αυτές των υγειονομολογικών υπολογισμών, στο 80-90% περίπου των τιμών των υγειονομολογικών υπολογισμών. Τέτοιες αποκλίσεις μπορούν να δικαιολογηθούν από το γεγονός ότι στους υγειονομολογικούς υπολογισμούς υπεισέρχονται κάποιοι

συντελεστές ασφάλειας για τον υπολογισμό του απαιτούμενου οξυγόνου και επομένως είναι φυσικό το αποτέλεσμα τέτοιων υπολογισμών να είναι συντηρητικό ως προς αυτό το μέγεθος. Τέλος, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του μοντέλου, οι ρυθμοί κατανάλωσης οξυγόνου εκφρασμένοι σε kgO₂/hg και επομένως η ζήτηση οξυγόνου αυξάνει μεταξύ χειμερινής και θερινής περιόδου της 40ετίας.

Σε ό,τι αφορά στην κατανομή της ζήτησης οξυγόνου στα επιμέρους αεριζόμενα διαμερίσματα κάθε βιοαντιδραστήρα, παρατηρούμε από τον Πίνακα 7 ότι είναι παρόμοια για τα διάφορα σενάρια λειτουργίας. Η λειτουργία λιγότερων αερόβιων διαμερισμάτων κατά τη χειμερινή περίοδο (5 διαμερίσματα αντί για 6 της θερινής) -για την ενίσχυση της απονιτροποίησης τον χειμώνα στις ανοξικές ζώνες (3 ανοξικά διαμερίσματα αντί για 2 της θερινής περιόδου)-, έχει σαν αποτέλεσμα τα πέντε αερόβια διαμερίσματα της χειμερινής περιόδου να παρουσιάζουν λίγο αυξημένα ποσοστά ζήτησης σε σχέση με το καλοκαίρι. Λόγω του αυξημένου φορτίου, τα τρία πρώτα διαμερίσματα εμφανίζουν ζήτηση μεγαλύτερη από το μέσο όρο (65% περίπου της συνολικής ζήτησης), ενώ περιορισμένη είναι η ζήτηση οξυγόνου στα τρία τελευταία διαμερίσματα (35% της συνολικής).

Η παραπάνω κατανομή ζήτησης οξυγόνου (OTR) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη φάση τελικού σχεδιασμού της εγκατάστασης για την διαστασιολόγηση του συστήματος διάχυσης και την κατανομή των διαχυτών αέρα ανά αεριζόμενο διαμέρισμα κάθε βιοαντιδραστήρα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι εκτιμήσεις του μοντέλου σχετικά με την ποιότητα εκροής που θα επιτυγχάνεται στο ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας είναι πολύ κοντά με τις αντίστοιχες των υγειονομολογικών υπολογισμών της Προμελέτης, και σαφέστερα μικρότερες των ορίων εκροής, όπως αυτά καθορίζονται από την οδηγία 91/271 και τα κριτήρια σχεδιασμού της εγκατάστασης.
- Συγκρίνοντας τη συνολική κατανάλωση οξυγόνου, οι προβλέψεις του μοντέλου είναι στο 80-90% περίπου των τιμών των υγειονομολογικών υπολογισμών, λόγω της υιοθέτησης συντηρητικών συντελεστών ασφαλείας για τον υπολογισμό της συνολικής ζήτησης οξυγόνου στην Προμελέτη.
- Τα αποτελέσματα του μοντέλου ως προς την κατανομή της συνολικής ζήτησης οξυγόνου στα επιμέρους αεριζόμενα διαμερίσματα κάθε βιοαντιδραστήρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τελικό σχεδιασμό του συστήματος διάχυσης και στην κατανομή των διαχυτών αέρα ανά αεριζόμενο διαμέρισμα του κάθε βιοαντιδραστήρα.
- Στην παρούσα φάση, η εφαρμογή του μοντέλου ASM 1 είχε σαν σκοπό τον έλεγχο του σχεδιασμού και της ποιότητας εκροής που θα επιτυγχάνεται στο ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας. Η εφαρμογή αυτή βασίστηκε σε παραδοχές

ως προς τη σύσταση των λυμάτων και τις μεταβολικές ιδιότητες της βιομάζας που θα αναπτυχθεί στο σύστημα της ενεργού ιλύος, με δεδομένο ότι δεν υπάρχουν σήμερα κατασκευασμένα δίκτυα αποχέτευσης στην περιοχή και συνεπώς διαθέσιμες μετρήσεις των χαρακτηριστικών των λυμάτων που θα δέχεται η εγκατάσταση.

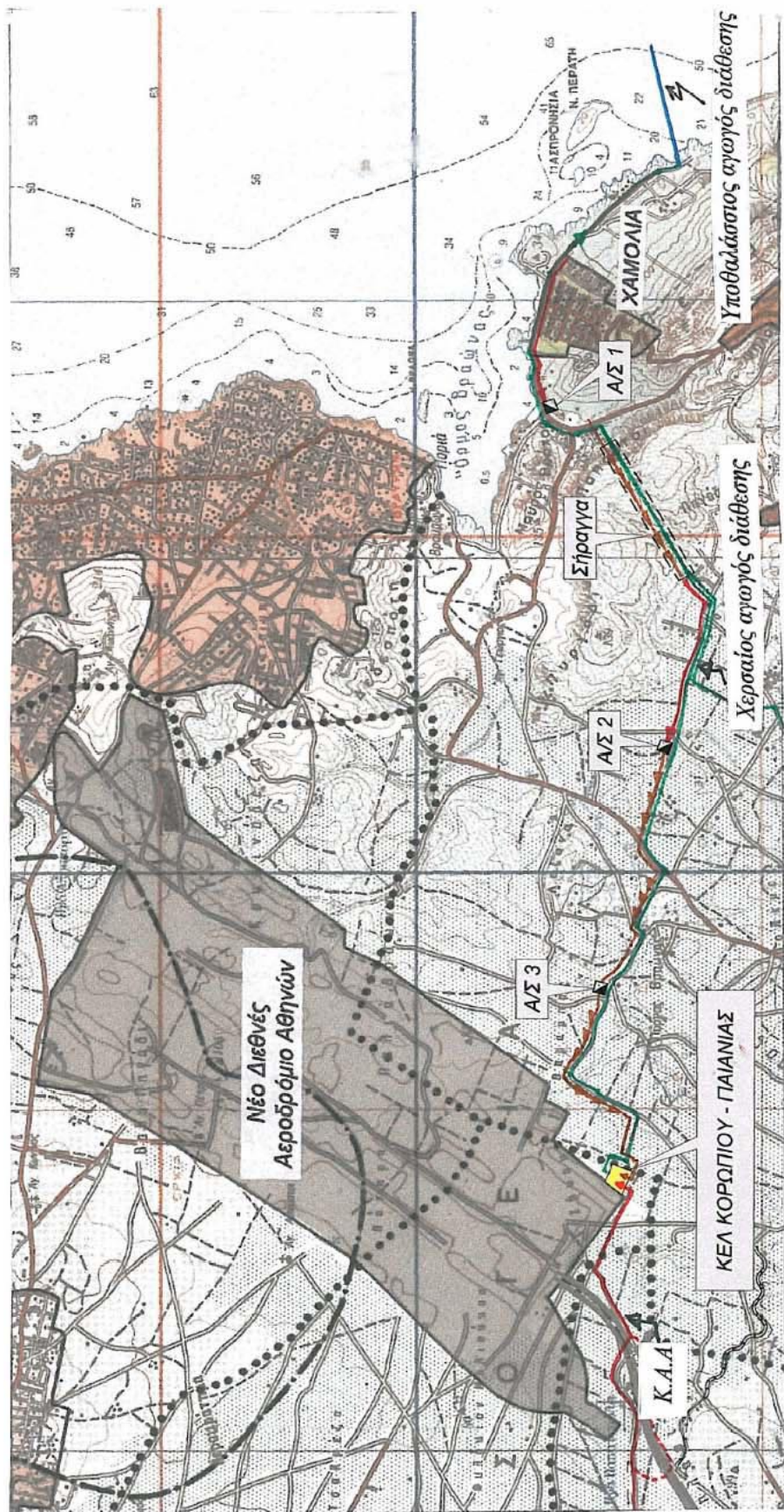
- Στο μέλλον, - όταν θα έχουν κατασκευασθεί δίκτυα αποχέτευσης στην περιοχή και όταν το ΚΕΛ στην αρχική φάση λειτουργίας του θα δέχεται επαρκή ποσότητα λυμάτων για τη δοκιμαστική ή την κανονική του λειτουργία - το παραπάνω μοντέλο θα μπορούσε να αποτελέσει ένα αξιόπιστο εργαλείο για τον λειτουργικό έλεγχο του ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας. Υπό την προϋπόθεση, βέβαια, ότι θα γίνει σωστή ρύθμιση του μοντέλου με μετρήσεις: α) των χαρακτηριστικών των λυμάτων που εισέρχονται στην εγκατάσταση και β) των κινητικών/στοιχειομετρικών παραμέτρων της ενεργού ιλύος. Για τον σκοπό αυτό, η ρύθμιση του μοντέλου θα μπορούσε να γίνει σε κατάλληλη εγκατεστημένη μονάδα εργαστηριακής ή πιλοτικής κλίμακας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ε.ΥΔ.Α.Π., 2004 «Προμελέτη Έργων Αποχέτευσης Ακαθάρτων Δήμων Κορωπίου και Παιανίας – Μέρος 2: Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Κορωπίου-Παιανίας», Τεύχος Τεχνικής Έκθεσης, **Μελετητές: ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ Ε.Π.Ε., ΥΔΡΟΔΟΜΙΚΗ Ε.Ε., ΟΤΜΕ Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε.**
2. Henze, M., Grady, C.P.L.Jr., Gujer, W., Marais G.v.R. and Matsuo T., 1987 “**Activated Sludge Model No. 1**”, Scientific and Technical Report No. 1, IAWPRC, London, U.K.
3. Henze, M., Gujer, W., Mino, T., and van Loosdrecht., M.C.M., 2000 “**Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3**”, Scientific and Technical Report No. 9, IWA, London, U.K.
4. Metcalf & Eddy, Inc., 2003 “Wastewater Engineering: Treatment and Reuse”, **Mc Graw-Hill Series in Civil and Environmental Engineering**, Fourth Edition, Section 8-10: Simulation Design Models, pp 859–865.
5. Bidstrup, S.M. and Grady, C.P.L.Jr., 1988 “SSSP - Simulation of single sludge processes”, **J. Water Pollut. Control. Fed.**, Vol. 60, pp. 351-361.
6. Siegrist, H. and Tschui M., 1992 “Interpretation of experimental data with regard to the Activated Sludge Model No. 1 and calibration of the model for municipal wastewater treatment plants”, **Water Sci. Technol.**, Vol. 25, No 6, pp 167 - 183.
7. Daigger, G.T. and Nolasco D., 1995 “Evaluation and Design of full-scale wastewater treatment plants using biological process models”, **Water Sci. Technol.**, Vol. 31, No 2, pp 245 - 255.
8. Ε.ΥΔ.Α.Π., 1998 «Μαθηματική Προσομοίωση Υδροδυναμικής Δίαιτας και Ποιοτικών Χαρακτηριστικών Νότιου Ευβοϊκού Κόλπου», **Σύνταξη: Α.Δ. Ανδρεαδάκης, Καθηγητής Ε.Μ.Π**
9. Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (Γ.Γ.Ε.Τ.), ΠΙΝΕΔ’ 94, «Διερεύνηση φαινομένων διογκωμένης ιλύος σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων», Ερευνητικό Πρόγραμμα, **Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, Τομέας Υδατικών Πόρων και Θαλασσιών Έργων ΕΜΠ, Επιστημονικός Υπεύθυνος Α. Ανδρεαδάκης, Καθηγητής ΕΜΠ**, Κεφάλαιο 2: Χαρακτηρισμός Λυμάτων, σελ. 3-10, Δεκέμβριος 1998, Αθήνα.
10. Ε.ΥΔ.Α.Π., 2003 «Προμελέτη Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Βορείων Μεσογείων», Τεύχος Τεχνικής Έκθεσης, **Μελετητές: Α.Δ.Κ Α.Ε., Ε.Ν.Μ. Ε.Π.Ε., ΥΔΡΟΤΕΚ Ε.Π.Ε.**, Τεύχος Υγειονομικών Υπολογισμών, σελ. 43-48, **Σύνταξη: Α.Δ. Ανδρεαδάκης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

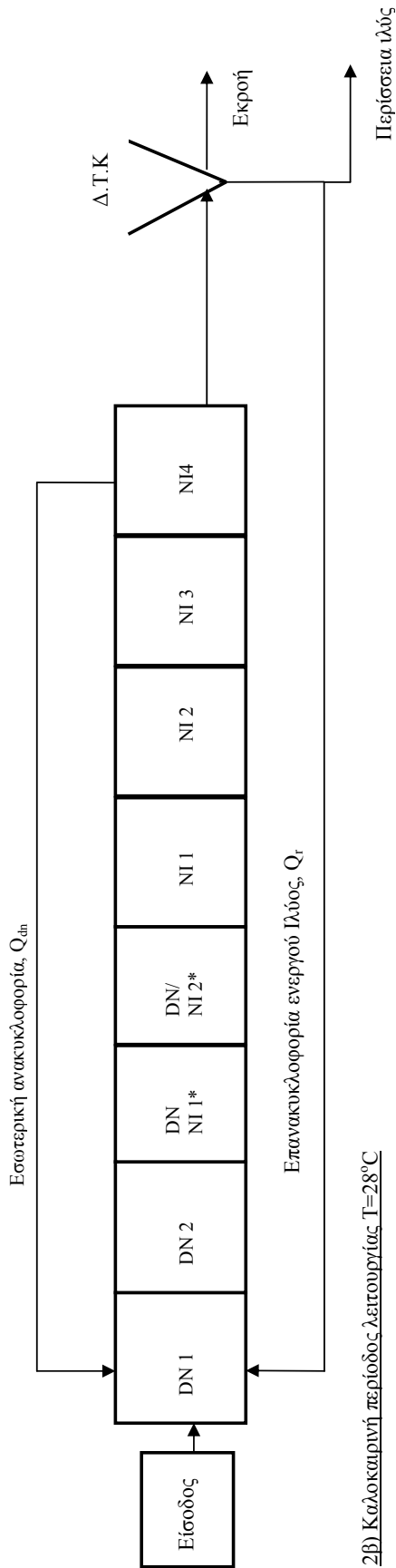
Ε.Γ. Φούγιας

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός - Υγιεινολόγος, Ε.ΥΔ.Α.Π Α.Ε. Διεύθυνση Μελετών, Υπηρεσία Μελετών Έργων Αποχέτευσης Ιλισίων και Λαοδικείας 29, 157 71, Αθήνα, τηλ.: (210) 74.95.269, e-mail: efougias@eydap.gr

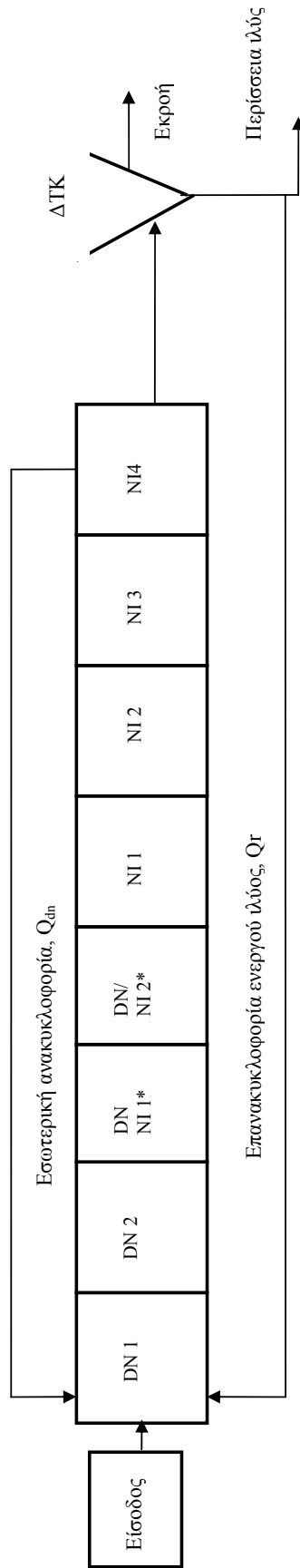


Σχήμα 1: Γενική διάταξη προτεινόμενων έργων αποχέτευσης ακαθάρτων Κορωπίου-Παιανίας, όπου σημειώνονται ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (Κ.Α.Α) προσαρμογής των λυμάτων στο ΚΕ.Α, η θέση του ΚΕ.Α Κορωπίου-Παιανίας και τα έργα διάθεσης των επεξεργασμένων λυμάτων από το ΚΕ.Α στη θαλάσσια περιοχή της Χαμόλιās στο Νότιο Ευβοϊκό κόλπο (χερσαίος και υποθαλάσσιος αγωγός διάθεσης).
 Figure 1: General layout of the Koropi-Paiania proposed wastewater treatment works, where the Central Collector Sewer (ΚΑΑ), the Koropi-Paiania WWTW site, and the treated effluent disposal pipelines in the seaside region of Hamolia at Southern Evoikos Gulf are shown.

2α) Χειμερινή περίοδος λειτουργίας $T=14^{\circ}\text{C}$
 Το επαμφοτερίζον διαμέρισμα DN/NI 1* θα λειτουργεί ως ανοξικό, ενώ το επαμφοτερίζον διαμέρισμα DN/NI 2* θα λειτουργεί ως αερόβιο.



2β) Καλοκαιρινή περίοδος λειτουργίας $T=28^{\circ}\text{C}$
 Τα επαμφοτερίζοντα διαμερίσματα DN/NI 1* και DN/NI 2* θα λειτουργούν ως αερόβια.



Σχήμα 2: Προσμοιωμένο σύστημα ενεργού ιλύος για την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο, $T=14^{\circ}\text{C}$ και $T=28^{\circ}\text{C}$ (ο όγκος κάθε ανοξικού διαμερίσματος, DN και κάθε αερόβιου διαμερίσματος NI, είναι $V=510\text{ m}^3$, ο όγκος κάθε επαμφοτερίζοντος διαμερίσματος DN/NI, είναι $V=390\text{ m}^3$).

Figure 2: Activated sludge process flow schemes used for the simulation of the plant winter and summer operational periods, $T=14^{\circ}\text{C}$ and $T=28^{\circ}\text{C}$ respectively (the volume of each anoxic compartment, DN and of each facultative compartment DN/NI, is $V=390\text{ m}^3$).

Πίνακας 1: Κινητικές εξισώσεις διεργασιών του βιοκινητικού μοντέλου (ASM 1)
 Table 1: Process rate equations of the biokinetic model (ASM 1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Ρυθμός διεργασιών
	S _I	S _s	X _I	X _S	X _H	X _A	X _P	S _O	S _{NO}	S _{NH}	S _{ND}	X _{ND}	S _{ALK}	$\rho_i (\text{ML}^{-3}\text{T}^{-1})$
1. Αερόβια ανάπτυξη ετεροτροφικών		$-(1/Y_H)$			1			$(1 - Y_H / Y_A)$		$-i_{XB}$			$-(i_{XB}/14)$	$\mu_{\max,H} \cdot \left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right) \cdot \left(\frac{S_O}{K_O + S_O}\right) \cdot X_H$
2. Ανοξική ανάπτυξη ετεροτροφικών		$-(1/Y_H)$			1			$(1 - Y_H / 2.86 Y_H)$		$-i_{XB}$			$(1 - Y_H / 14)(2.86 Y_H)$	$\mu_{\max,H} \cdot \left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right) \cdot \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}}\right) \cdot \left(\frac{K_O}{K_O + S_O}\right) \cdot X_H \cdot n_g$
3. Αερόβια ανάπτυξη αυτοτροφικών						1		$(4.57 - Y_A / Y_A)$	$1/Y_A$	$-i_{XB} - (1/Y_A)$				$\mu_A \cdot \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}}\right) \cdot \left(\frac{S_O}{K_O + S_O}\right) \cdot X_A$
4. Αποσύνθεση ετεροτροφικών				$1 - f_p$	-1		f_p					$i_{XB} - f_p \cdot i_{XP}$		$b_H \cdot X_H$
5. Αποσύνθεση αυτοτροφικών				$1 - f_p$		-1	f_p					$i_{XB} - f_p \cdot i_{XP}$		$b_A \cdot X_A$
6. Αμμονιοποίηση διαλυμένου οργανικού αζώτου										$+1$	-1		$1/14$	$K_s \cdot S_{ND} \cdot X_H$
7. Υδρόλυση παραγόμενων οργανικών		1		-1										$K_h \cdot \frac{\left(\frac{X_S}{X_H}\right)}{K_X + \left(\frac{X_S}{X_H}\right)} \cdot \left(\frac{S_O}{K_O + S_O}\right) + n_h \cdot \left(\frac{K_O}{K_O + S_O}\right) \cdot \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}}\right) \cdot X_H$
8. Υδρόλυση οργανικού αζώτου											$+1$	-1		$\rho_7 \cdot (X_{ND}/X_S)$
Παρατηρούμενος ρυθμός αντίδρασης	$r_i = \sum y_{ij} \cdot \rho_j$													

Πίνακας 2: Στοιχειομετρικές και κινητικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στη μαθηματική προσομοίωση για τους 14°C και 24°C.
Table 2: Kinetic and stoichiometric parameters used for the mathematical simulation at 14°C and 24°C.

Παράμετροι	Μονάδες	Τυπικές τιμές στους 20°C*	Αριθμός Arrhenius	14°C	24°C
<u>Στοιχειομετρικές Παράμετροι</u>					
Συν/στής παραγωγής ετεροτρ. βιομάζας Y_H	gCOD/gCOD	0.67			
Συν/στής παραγωγής αυτοτρ. βιομάζας Y_A	gCOD/gN	0.24			
N στη βιομάζα i_{XB}	gN/gCOD	0.086			
N στο αδρανές COD i_{XI}	gN/gCOD	0.01			
Ποσοστό αδρανούς COD στη βιομάζα f_P	gCOD/gCOD	0.080			
<u>Κινητικές Παράμετροι</u>					
<i>Ετεροτροφική Βιομάζα</i>					
Μέγιστη ειδ. Ταχ. Αναπτ. ετεροτρ. βιομ. μ_H	day ⁻¹	6.0	1.072	3,95	7,92
Συν/στής αποσύνθεσης b_H	day ⁻¹	0.62	1.116	0.32	0,96
Σταθερά Monod για τροφή K_{sh}	gCOD/m ³	20.0	1.0	20.0	20.0
Σταθερά Monod για οξυγόνο K_{oa}	gO ₂ /m ³	0.50	1.0	0.50	0.50
Σταθερά Monod για αμμωνιακό N K_{na}	gN/m ³	0.01	1.0	0.01	0.01
Σταθερά Monod για νιτρικά K_{noh}	gN/m ³	0.50	1.0	0.50	0.50
Διορθ. Συν/στής αναπτ.απονιτρ. n_g	Αδιάστατο	0.80			
<i>Αυτοτροφική Βιομάζα</i>					
Μέγιστη ειδ. Ταχ. Αναπτ. αυτοτρ. βιομ. μ_A	day ⁻¹	0.68	1.103	0.38	1.00
Συν/στής αποσύνθεσης b_A	day ⁻¹	0.12	1.092	0.070	0.17
Σταθερά Monod για αμμωνιακό N K_{na}	gN/m ³	1.0	1.0	1.0	1.0
Σταθερά Monod για οξυγόνο K_{oa}	gO ₂ /m ³	0.4	1.0	0.4	0.4
<i>Υδρόλυση</i>					
Μεγ. Ειδ. Ρυθ.Υδρόλυσης K_h	gCOD/gCOD/d	3.0	1.116	1.55	4,65
Συν/στής Κορεσμού K_X	gCOD/gCOD	0.05	1.116	0.026	0,078
Ρυθμός Αμμωνιοποίησης K_a	m ³ /gCOD/day	0.08	1.072	0.053	0,10
Διορθ.Συν/στής για Ανοξ.Συνθ. n_h	Αδιάστατο	0.4			

*Τυπικές τιμές των παραμέτρων του μοντέλου για τους 20°C.

Πίνακας 3: Σενάρια λειτουργίας της εγκατάστασης ενεργού ιλύος

Table 3: Scenarios used for the mathematical simulation of the activated sludge system.

Παράμετροι	Σενάριο 1:	Σενάριο 2:	Σενάριο 3:	Σενάριο 4:
	Χειμώνας 2024*	Καλοκαίρι 2024*	Χειμώνας 2044*	Καλοκαίρι 2044*
Γραμμές επεξεργασίας	3	3	4	4
Όγκος βιοαντιδραστήρων	3x3.840 m ³	3x3.840 m ³	4x3.840 m ³	4x3.840 m ³
Θερμοκρασία (T)	14°C	24°C	14°C	24°C
Συνολική ηλικία ιλύος (θ _c)	14,79 d	13,2 d	14,79 d	13,2 d
Παροχή λυμάτων ανά βιοαντιδραστήρα (Q)	7.143 m ³ /day	7.143 m ³ /day	7.609 m ³ /day	7.609 m ³ /day
Επανακυκλοφορία ενεργού ιλύος (Q _r)	10.929 m ³ /day (r =1.53)	8.200 m ³ /day (r =1.148)	11.642 m ³ /day (r =1.53)	8.735 m ³ /day (r =1.148)
Εσωτερική ανακυκλοφορία (Q _{dn})	2.429 m ³ /day (r _{dn} =0.34)	14.143 m ³ /day (r _{dn} =1.98)	2.587 m ³ /day (r _{dn} =0.34)	15.066 m ³ /day (r _{dn} =1.98)
COD πρωτοβάθμιων εκροών	450 mg/l	450 mg/l	464 mg/l	464 mg/l
BOD πρωτοβάθμιων εκροών	211,2 mg/l	211,2 mg/l	217,7 mg/l	217,7 mg/l
SS πρωτοβάθμιων εκροών	170,1 mg/l	170,1 mg/l	175 mg/l	175 mg/l
Ολικό άζωτο πρωτοβάθμιων εκροών	36,4 mg/l	36,4 mg/l	37,8 mg/l	37,8 mg/l

Παρατήρηση*: Τα έτη 2024 και 2044 αντιστοιχούν στην 20ετία και 40ετία σχεδιασμού της εγκατάστασης, με αφετηρία το έτος σύνταξης της Προμελέτης (2004).

Πίνακας 4: Χαρακτηρισμός λυμάτων για τα τέσσερα προσομοιούμενα σενάρια λειτουργίας.

Table 4: Wastewater composition fractions for the four simulating scenarios.

	Έτος 2024		Έτος 2044	
	Χειμώνας	Καλοκαίρι	Χειμώνας	Καλοκαίρι
Κλάσματα COD (mg/l)				
COD ολικό	450	450	464	464
COD διαλυμένο	225	225	232	232
COD σωματιδιακό	225	225	232	232
Διαλυμένο εύκολα-βιοδιασπάσιμο COD (S _s)	190	190	195	195
Διαλυμένο αδρανές COD (S _i)	36	36	37	37
Σωματιδ. δυσκολα-βιοδιασπάσιμο COD (X _s)	153	153	159	159
Σωματιδιακό αδρανές COD (X _i)	36	36	37	37
Σωματιδ. COD ετεροτρ. Οργανισμών (X _{bH})	35	35	36	36
Κλάσματα Αζώτου (mg/l)				
Ολικό-N	36,4	36,4	37,8	37,8
Αμμωνιακό-N S _{NH}	26,6	26,6	27,6	27,6
Διαλυμένο οργανικό-N S _{ND}	4,9	4,9	5,1	5,1
Σωματιδιακό οργανικό-N X _{ND}	4,9	4,9	5,1	5,1

Πίνακας 5: Ποιότητα εκροής δευτεροβάθμια επεξεργασμένων λυμάτων στο ΚΕΛ Κορωπίου-Παιανίας, μετά από βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών (BNR)

Table 5: Treated effluent design standards for the Koropi-Paiania WWTP, after biological nutrient removal treatment (BNR)

Χαρακτηριστική παράμετρος	Ανώτατο όριο συγκέντρωσης	Ελάχιστο ποσοστό δειγμάτων που θα ικανοποιούν τις απαιτήσεις
BOD	25 mg/l*	93%*
COD	125 mg/l*	93%*
TSS	35 mg/l*	93%*
Ολικό άζωτο	10 mg/l**	μέση ετήσια τιμή
Ολικός φώσφορος	5 mg/l**	μέση ετήσια τιμή

* Ανώτατα όρια συγκέντρωσης των παραμέτρων για κανονικούς αποδέκτες, όπως προκύπτει από τον μέγιστο επιτρεπόμενο αριθμό δειγμάτων για καθημερινή δειγματοληψία και διάστημα ενός έτους, στα οποία μπορεί να παρατηρηθεί υπέρβαση των ανωτάτων ορίων συγκεντρώσεων (Οδηγία 91/271 της Ε.Ε., Πίνακες 1 & 3, Παράρτημα Ι).

** Πρόσθετη επιπλέον βιολογική απομάκρυνση θρεπτικών (αζώτου και φωσφόρου) που θα επιτυγχάνεται στο ΚΕΛ, σε ποσοστά 70-80% και 50% για το άζωτο και τον φώσφορο αντίστοιχα.

Πίνακας 6: Σύγκριση αποτελεσμάτων μοντέλου ASM1 με τα αποτελέσματα των υγειονομικών υπολογισμών της Προμελέτης.

Table 6: Comparison of ASM1 model predictions with Preliminary Design calculations.

Παράμετροι	Μοντέλο ASM 1		Υγειονομικοί υπολογισμοί Προμελέτης	
	Χειμώνας 2044	Καλοκαίρι 2044	Χειμώνας 2044	Καλοκαίρι 2044
<i>1) Ποιοτικά χαρακτηριστικά εκροής</i>				
CODεξ, mg/l	76.60	77.7	83.16	79.2
BODεξ, mg/l	12.76	12.95	13.86	13.2
SSεξ, mg/l	17.00	17.22	25	25
(NH ₄ -N)εξ, mg/l	0.90	0.20	0.14	0.16
(NO ₃ -N)εξ, mg/l	6.70	4.70	8.0	6.0
Ολικό άζωτο (TN), mg/l	8.40	5.90	9.14	7.16
<i>2) Λειτουργικά χαρακτηριστικά συστήματος ενεργού ιλύος</i>				
Αιωρούμενα στερεά ανάμικτου υγρού (MLSS), mg/l	4550	3120	4500	4000
Οργανική φόρτιση ιλύος, F/M (kg BOD ₅ /kg MLVSS.d)	0.095	0.14	0.13	0.13
Παραγωγή περίσσειας ιλύος (kg/d)	4.600	3.630	3.925	3.903
Ζήτηση οξυγόνου σε πραγματικές συνθήκες (OTR, kg O ₂ /hr)	402	453	448	576
Βαθμός απομάκρυνσης ως προς BOD ₅ (%)	94	94	93,60	93,90
Βαθμός απομάκρυνσης ως προς ολικό άζωτο TN (%)	78	84	75,80	81

Πίνακας 7: Τιμές OTR (kgO₂/hr) για κάθε αερόβιο διαμέρισμα του βιοαντιδραστήρα
 Table 7: Actual hourly oxygen requirements ((kgO₂/hr) for each aerobic compartment of the bioreactor

Σενάρια Προσομοίωσης	Αερόβια Ζώνη 1		Αερόβια Ζώνη 2		Αερόβια Ζώνη 3		Αερόβια Ζώνη 4		Αερόβια Ζώνη 5		Αερόβια Ζώνη 6		Συνολικό OTR (kg/hr)
	OTR (kg/hr)	Κατανομή (%)	OTR (kg/hr)	Κατανομή (%)	OTR (kg/hr)	Κατανομή (%)	OTR (kg/hr)	Κατανομή (%)	OTR (kg/hr)	Κατανομή (%)	OTR (kg/hr)	Κατανομή (%)	
Σενάριο 1 Χειμώνας 2024	73	26.6	64	23.4	54	19.7	46	16.8	37	13.5	-	-	274
Σενάριο 2 Καλοκαίρι 2024	79	25.7	58	18.8	57	18.5	44	14.3	37	12	33	10.7	308
Σενάριο 3 Χειμώνας 2044	106.50	26.5	93.50	23.2	80	19.9	67	16.7	55	13.7	-	-	402
Σενάριο 4 Καλοκαίρι 2044	115	25.4	85	18.8	84	18.6	65	14.4	54.5	12	49	10.80	453

Extended summary

Use of a Mathematical Model for the Validation of the Koropi-Paiania WWTP Process Design

E. G. FOUGIAS

Dr. Civil & Sanitary Engineer
Design Division, EYDAP S.A.

Abstract

In recent years, the use of mathematical models has been a valuable tool for the design of activated sludge systems in accordance with the required treatment standards, as these are defined in the European Union by the Directive 91/271 and the relevant national legislation. In the present study, the ASM1 model of IWA was implemented in order to validate the proposed design for the new Koropi-Paiania WWTP for a region east of Athens, in the Eastern Attiki Prefecture. The use of ASM1 had a twofold objective: a) to examine whether the selected volumes and operational parameters of the proposed activated sludge scheme, as defined in the Preliminary Design Study, satisfy the required treated effluent standards, and b) to determine the oxygen demand distribution along the aerobic section of each activated sludge bioreactor, which is of crucial importance and cannot be determined with conventional design calculations.

1. INTRODUCTION

The proposed Koropi-Paiania WWTP in the Eastern Attica Region was designed with a treatment capacity of 29,000 m³/d or an equivalent population of 136,000 p.e for the final design phase (2044). According to the Preliminary Design Study, the plant will be located in the proximity and southeast of the Athens International Airport "El. Venizelos" (Figure 1). The new plant will treat wastewater from domestic areas of the municipalities Koropi and Paiania of the Eastern Attiki Prefecture, and from the seaside region of Hamolia. In addition, it will treat a quantity of pre-treated, biodegradable, non-toxic industrial wastewater from industrial activities in the region that will be discharged into the sewerage network.

The proposed design scheme for the Koropi-Paiania WWTP includes typical secondary, biological nutrient removal treatment (BNR) for the wastewater, as well as optional tertiary treatment for potential effluent reuse for agricultural applications. As far as sludge treatment is concerned, the process scheme is a conventional one, including thickening, anaerobic digestion and dewatering of the produced sludge.

The raw sewage will reach the WWTP with a sewerage network of 26.5 km main collector sewers. Treated effluent from the WWTP will be routed to the seaside region of Hamolia with an 11 km long disposal pipeline, and it will be discharged with a sea outfall of about 1 km length into the Hamolia Gulf, at a depth of 50 m under the seawater level (Figure 1). Alternatively, there is the option that treated effluent, after tertiary treatment, could be reused for agricultural applications in the nearby region.

In recent years, mathematical models have been widely used for the optimisation of design of new activated sludge systems, as well as for the retrofitting and upgrading of existing systems. Computer modelling provides the tool to incorporate the large number of components and reactions, in order to evaluate activated sludge performance under both steady-state and dynamic conditions, for multiple-staged plug-flow reactors as well as single-stage complete-mix reactors.

One of the most extensively used models for the simulation of activated sludge systems performing carbon oxidation, nitrification and denitrification is the ASM 1 model of IWA. The ASM 1 model only describes reactions in single-sludge systems by heterotrophic bacteria under aerobic and anoxic conditions consuming carbonaceous substrates, and autotrophic nitrifying bacteria oxidising ammonia to nitrate.

The ASM1 model was used in the present study in order to validate the design for the proposed Koropi-Paiania WWTP, as this was defined in the Preliminary Design Study for the WWTP. The implementation of ASM1 had two objectives: a) to test whether the selected volumes and operational parameters adopted for the design of the WWTP fit with the required plant performance and effluent standards, and b) to determine the oxygen demand distribution along the aerobic section of each activated sludge bioreactor, modelled as a plug-flow bioreactor consisting of a number of aerobic compartments in series. This latter objective is of crucial importance for the future operation of the treatment plant and cannot be defined with conventional design calculations.

2. IMPLEMENTATION OF ASM 1 MATHEMATICAL MODEL FOR THE SIMULATION OF KOROPHI-PAIANIA WWTP

For the simulation of the proposed Koropi-Paiania WWTP with ASM1, the following data must be introduced into the model:

- a) Process configuration and flow distribution,
- b) Wastewater characterisation, and
- c) Estimation of model kinetic and stoichiometric parameters.

Regarding to the process configuration, the flow scheme used for the simulation was that of the Preliminary Design (Figure 2). The model was calibrated for wastewater composition by using relevant operational data from existing WWTPs in Greece (Table 4), since there is no established sewerage network in the region and therefore no available measurements. Typical values for kinetic and stoichiometric parameters were used, according to the default values given in the literature and from relevant estimations reported from Greek WWTPs (Table 2). An adjustment in the value of specific growth rate for nitrifying bacteria was made, to account for an inhibition percentage of around 15% observed in Greek plants.

The biological processes for growth and decay of heterotrophic and autotrophic biomass and of hydrolysis of particulate COD are temperature dependent. The effect of temperature on the process rate is better described by the Arrhenius equation, and the temperature coefficients used in the model are in agreement with typical values given in the literature (Table 2).

The operation of the activated sludge system was simulated for four simulating scenarios (Table 3), which correspond to the winter and summer plant operational period for phase A (2024) and phase B (2044). The design temperatures were 14°C and 24°C for the winter and summer periods, respectively.

The treated effluent design standards for the plant are in conformity with the 91/271 EU Directive guidelines for non-sensitive receiving water bodies, but with the inclusion of a 70-80% nitrogen removal rate for the prevention of eutrophication in the receiving water body of the Southern Evoikos Gulf (Table 5).

3. SIMULATION RESULTS

3.1 Estimation of the activated sludge system performance

- Model predictions were in agreement with the design calculations for phases A and B (2024 and 2044) of the plant development.

- The model gives concentrations of treated effluent BOD, SS and Total Nitrogen (TN) for the summer discharge of 2044 similar to those of the design calculations (Table 6). These values are definitely less than the discharge consent values, as the latter are defined by the EU Directive 91/271 and the plant design criteria (Table 5).
- A close agreement was also found between model predictions and design calculations regarding the concentrations of MLSS, sludge loading rates, produced sludge quantities and the removal rates for organic load (BOD₅) and total nitrogen load.
- Effluent nitrate-nitrogen (NO₃-N) concentrations determined in the model were less than those of the design calculations by approximately 1.3 mg/l. This may be attributed to the fact that in the model heterotrophic biomass uses readily biodegradable COD (SS) as the carbon source for denitrification, and thus the estimated denitrification rates are SS dependent. In contrast, in the conventional design calculations denitrification rates are more conservative average values, which in any case are less than the observed rates for readily biodegradable carbon sources.

3.2 Distribution of oxygen demand along the bioreactor

- By comparing the values of oxygen consumption estimated by the model and from design calculations, it can be seen that model values are the 80-90% of those of design calculations. This can be attributed to the fact that, for the safety of the design, the determination of oxygen demand in conventional calculations includes a number of safety coefficients.
- According to the model predictions shown in Table 7, there is a small increase in the oxygen consumption in the summer period of 2044 compared to that of the winter period. Due to increased organic load in the first aerobic compartments of the bioreactor, the first three aerobic compartments present an oxygen demand equal to 65% of the total oxygen demand.

4. CONCLUDING REMARKS

- The ASM1 model was used in the present study in order to validate the design for the proposed Koropi-Paiania WWTP, as this was defined in the Preliminary Design Study for the WWTP. The implementation of ASM1 had two objectives: a) to evaluate whether the selected volumes and operational parameters adopted for the design of the WWTP fit with the required plant performance and effluent standards, and b) to determine the oxygen demand distribution along the aerobic section

of each activated sludge bioreactor, which cannot be determined with conventional design calculations.

- Model predictions were consistent with design calculations regarding the discharge effluent concentrations for BOD, SS and Total Nitrogen (TN) for the summer period of 2044. These concentrations were definitely less than the discharge limits, as defined by the EU Directive 91/271 and the plant design criteria.
- A comparison of the values of oxygen consumption estimated by the model and by design calculations, showed that model values were the 80-90% of those of design calculations. This can be attributed to the fact that in the design calculations, for safety reasons, the determination of oxygen demand includes a number of safety coefficients.
- The determination of oxygen demand at each aerobic compartment of the bioreactors can be used for the final design of the diffused aeration system and the dimensioning of the diffusers' batteries along the bioreactors.
- At the present stage, model application had the purpose

of predicting treatment plant performance for the proposed Koropi-Paiania WWTP. Model calibration was based on typical wastewater composition data, as well as operational data taken from existing WWTPs in Greece, since there is no established sewerage network in the region and therefore no available measurements of the influent wastewater parameters.

- In the future, when some basic sewerage network infrastructure has been developed in the region and the WWTP has been fed with a sufficient quantity of raw wastewater for its trial operation, the above model might be a useful tool for WWTP operational control. For this purpose, a proper calibration of the model would be required, where input data to the model could be obtained from site measurements regarding to: a) the influent wastewater characteristics, and b) the kinetic and stoichiometric parameters of the activated sludge developed in the full-scale plant. These parameters could be defined in a bench-scale or pilot-scale activated sludge unit, which would work in parallel with the full-scale activated sludge plant.

E. G. Fougias,

Dr. Civil & Sanitary Engineer, Athens Water Supply and Sewerage Company (E.YD.A.P S.A), Design Division, Department of Wastewater Works Design, Ilision and Laodikeias 29, P.O. 157 71, Athens, e-mail:efougias@eydap.gr