

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας και Περιβαλλοντικής Μεταλλευτικής της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του ΕΜΠ. Με αφορμή την ολοκλήρωσή της, θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Καλιαμπάκο Δημήτριο για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, καθώς επίσης και για τις ουσιαστικές συμβουλές του.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον κ. Μπενάρδο Ανδρέα, Λέκτορα ΕΜΠ, για την συνεχή και υπομονετική καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καλλιανιώτη Τάσο, Υποψήφιο Διδάκτορα, για την πολύτιμη βοήθεια του, τις γνώσεις και τις οδηγίες του καθώς και την άριστη συνεργασία σε κάθε φάση της εργασίας, καθώς η βοήθειά του ήταν καθοριστική για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την ΕΥΔΑΠ, και πιο συγκεκριμένα τον κ. Ηλία Παναγιώτη, για όλα τα στοιχεία που μου παρείχε σχετικά με την κατασκευή και λειτουργία του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στην Μεταμόρφωση, καθώς και για το πολύτιμο φωτογραφικό υλικό που μου προσέφερε. Εξίσου θερμές ευχαριστίες οφείλονται στον καθηγητή κ. Ρόζο Δημήτριο για τη συμβολή του στην ολοκλήρωση της εργασίας, παρά το φόρτο εργασίας του.

Επιπλέον θέλω να ευχαριστήσω τον Μηχανικό Μεταλλείων-Μεταλλουργό Σοφό Νίκο για την ουσιαστική βοήθεια του στην επίλυση προβλημάτων κατά την εκπόνηση της εργασίας, τον Κατσουλάκο Νικόλαο Μηχανολόγο Μηχανικό MSc για την βοήθεια που μου προσέφερε, καθώς και τον κ. Μαυρίκο Αθανάσιο για το φωτογραφικό υλικό που μου προσέφερε.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά όλα τα μέλη του Εργαστηρίου που μου έδωσαν την δυνατότητα να εργαστώ σε ένα περιβάλλον που διέπεται από ένα ευχάριστο κλίμα συνεργασίας.

Αθήνα, Ιούλιος 2010

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|  |    |
|--|----|
| ΣΥΝΟΨΗ .....   | 11 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....   | 12 |
| ABSTRACT .....   | 14 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> __Υπόγεια ανάπτυξη & Παραδείγματα από το εξωτερικό.....                        | 15 |
| 1.1 Εισαγωγή .....   | 16 |
| 1.2 Λόγοι ανάπτυξης .....  | 21 |
| 1.3 Παραδείγματα υπόγειων συγκροτημάτων βιολογικού καθαρισμού.....                                     | 23 |
| 1.3.1 Εισαγωγή.....  | 23 |
| 1.3.2 Φιλανδία .....   | 24 |
| 1.3.2.1 Περιγραφή του έργου (Viikinmaki).....  | 24 |
| 1.3.2.2 Σχεδιασμός επέκτασης του κέντρου .....   | 29 |
| 1.3.2.4 Υποστήριξη του υπόγειου χώρου.....   | 32 |
| 1.3.2.5 Υποστήριξη των νέων υπόγειων χώρων .....   | 34 |
| 1.3.2.6 Περιγραφή του έργου (KAKOLANMÄKI) .....  | 37 |
| 1.3.3 Τσεχία.....  | 39 |
| 1.3.3.1 Περιγραφή του έργου .....  | 40 |
| 1.3.3.2 Γεωλογικές συνθήκες .....  | 41 |
| 1.3.3.3 Κατασκευή και υποστήριξη των υπόγειων έργων .....  | 42 |
| 1.3.3.4 Τεχνικά και οικονομικά δεδομένα .....  | 44 |
| 1.3.4 Νορβηγία .....   | 45 |
| 1.3.4.1 Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Hovringen.....  | 45 |
| 1.3.4.2 Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ladehammeren .....                                      | 46 |
| 1.3.4.3 Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στην περιοχή του Όσλο .....                             | 48 |
| 1.3.4.4 Περιγραφή του έργου .....  | 48 |
| 1.3.4.5 Στάδια εκσκαφής και μέτρα υποστήριξης .....  | 50 |
| 1.3.4.6 Απόδοση των εργασιών .....   | 51 |
| 1.3.4.7 Κατανομή κόστους .....   | 51 |
| 1.3.5 Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στην πόλη North Jaeren, κοντά στο Stavanger .....         | 53 |
| 1.3.6 Χονγκ Κονγκ.....   | 57 |
| 1.3.7 Σουηδία .....  | 64 |
| 1.3.7.1 Περιγραφή του έργου (Käppala).....   | 64 |
| 1.3.7.2 Προβλήματα που συναντήθηκαν κατά την κατασκευή του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων ..... | 65 |
| 1.3.7.3 Περιγραφή του έργου (Henriksdal) .....   | 66 |
| 1.3.8 Ιταλία .....   | 69 |
| 1.3.8.1 Τεχνικά στοιχεία .....   | 71 |
| 1.3.8.2 Πλεονεκτήματα υπογειοποίησης του συγκροτήματος .....   | 71 |
| 1.3.9 Ταιβάν .....   | 71 |
| 1.3.9.1 Περίπτωση Neihu σύστημα επεξεργασίας λυμάτων .....   | 71 |
| 1.3.9.2 Περίπτωση Dihua σύστημα επεξεργασίας λυμάτων .....   | 74 |
| 1.3.9 Συμπεράσματα από τη διεθνή εμπειρία .....  | 76 |

|   |     |
|---|-----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> Περιγραφή των υφιστάμενων έργων του Κέντρου Επεξεργασίας<br>Λυμάτων Μεταμόρφωσης..... | 78  |
| 2.1 Συνοπτική περιγραφή αποχετευτικού συστήματος της.....   | 79  |
| πρωτεύουσας.....  | 79  |
| 2.1.1 Συλλογή ακαθάρτων.....  | 79  |
| 2.1.2 Επεξεργασία ακαθάρτων.....  | 79  |
| 2.1.3 Διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων και επεξεργασμένης ιλύος.....  | 80  |
| 2.2 Τεχνική Περιγραφή του Κέντρου Λυμάτων Μεταμόρφωσης.....   | 81  |
| 2.2.1 Χώρος εκκένωσης βυτιοφόρων.....   | 84  |
| 2.2.2 Προεπεξεργασία βοθρολυμάτων.....  | 85  |
| 2.2.2.1 Εσχάρωση.....   | 85  |
| 2.2.2.2 Εξάμμωση – Απολίπανση.....  | 85  |
| 2.2.2.3 Επεξεργασία των οσμών.....  | 86  |
| 2.2.3 Πρωτοβάθμια επεξεργασία βοθρολυμάτων: χημικά υποβοηθούμενη<br>καθίζηση.....                             | 87  |
| 2.2.3.1 Χημικά υποβοηθούμενη καθίζηση.....  | 87  |
| 2.2.4 Προεπεξεργασία αστικών λυμάτων.....   | 88  |
| 2.2.4.1 Εσχάρωση.....   | 88  |
| 2.2.4.2 Εξάμμωση – Απολίπανση.....  | 88  |
| 2.2.5 Πρωτοβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων.....  | 89  |
| 2.2.6 Δευτεροβάθμια επεξεργασία.....  | 90  |
| 2.2.6.1 Βιολογικός αντιδραστήρας.....   | 90  |
| 2.2.6.2 Δευτεροβάθμια καθίζηση.....   | 90  |
| 2.2.7 Απολύμανση.....   | 91  |
| 2.2.8 Δίκτυο βιομηχανικού νερού.....  | 92  |
| 2.2.9 Επεξεργασία ιλύος.....  | 93  |
| 2.2.10 Αφυδάτωση ιλύος.....   | 95  |
| 2.3 Περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του κέντρου και αξιολόγηση δεδομένων<br>λειτουργίας.....                 | 95  |
| 2.3.1 Χαρακτηριστικά εισερχομένων βοθρολυμάτων και αστικών λυμάτων.....                                       | 96  |
| 2.3.2 Σύστημα ενεργού ιλύος.....  | 101 |
| 2.3.3 Χώνευση Ιλύων.....  | 105 |
| 2.3.4 Αφυδάτωση - Τελική διάθεση ιλύος.....   | 106 |
| 2.3.5 Τελική εκροή.....   | 107 |
| 2.3.6 Λειτουργικά προβλήματα του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων.....  | 108 |
| Μεταμόρφωσης.....   | 108 |
| 2.3.6.1 Οσμές.....  | 108 |
| 2.3.6.2 Εσχάρωση βοθρολυμάτων.....  | 110 |
| 2.3.6.3 Εξαμμωτές βοθρολυμάτων.....   | 110 |
| 2.3.6.4 Διαχωριστές βοθρολυμάτων.....   | 110 |
| 2.3.6.5 Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης.....   | 111 |
| 2.3.6.6 Βιολογική Επεξεργασία.....  | 111 |
| 2.3.6.7 Αναερόβιοι χωνευτές.....  | 112 |
| 2.3.6.8 Φρεάτιο Μερισμού του Παρακηφίσιου Συλλεκτήρα Ακαθάρτων.....   | 112 |
| 2.4 Δυναμικότητα των υφιστάμενων εγκαταστάσεων του Κέντρου Επεξεργασίας<br>Λυμάτων Μεταμόρφωσης.....          | 113 |
| 2.4.1 Δυναμικότητα βιολογικής επεξεργασίας.....   | 114 |
| 2.5 Συμπεράσματα.....   | 114 |

|  |     |
|--|-----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> Γεωλογική – γεωτεχνική περιγραφή του ΚΕΛΜ.....   | 115 |
| 3.1 Ταυτότητα περιοχής .....   | 116 |
| 3.1.1 Θέση του Κέντρου Λυμάτων Μεταμόρφωσης και μορφολογία εδάφους .....   | 116 |
| 3.1.2 Γεωλογία της περιοχής .....  | 118 |
| 3.1.3 Υδρολογία – Υδρογραφικό δίκτυο .....   | 123 |
| 3.1.4 Γεωτεχνική περιγραφή εδαφών .....  | 124 |
| 3.1.5 Γεωτρήσεις .....   | 125 |
| 3.1.6 Υπόγεια υδροφορία .....  | 133 |
| 3.1.7 Ποιότητα νερών .....   | 133 |
| 3.2 Αισθητική του τοπίου .....   | 136 |
| 3.2.1 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής του έργου .....   | 136 |
| 3.2.2 Ζώνη κάλυψης του έργου.....  | 137 |
| 3.3.1 Δίκτυα υποδομής .....  | 137 |
| 3.3.2 Καθεστώς γης – Θεσμικό πλαίσιο .....   | 138 |
| <br>   |     |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> Πρόταση υπογειοποίησης του ΚΕΛΜ.....   | 140 |
| 4.1 Πρόταση υπογειοποίησης Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης .....                                       | 141 |
| 4.1.1 Εισαγωγή.....  | 141 |
| 4.1.2 Πλεονεκτήματα .....  | 142 |
| 4.1.3 Μειονεκτήματα .....  | 144 |
| 4.1.4 Συμπεράσματα .....   | 144 |
| 4.2 Κατασκευή Υπόγειου Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων .....  | 145 |
| 4.2.1 Εισαγωγή.....  | 145 |
| 4.2.2 Μεθοδολογία Cut & Cover .....  | 145 |
| 4.3 Διαμόρφωση Υπόγειου Χώρου .....  | 150 |
| 4.3.1 Συστήματα Η/Μ εγκαταστάσεων .....  | 152 |
| 4.4 Αποκατάσταση επιφανειακού χώρου πάνω από το ΚΕΛΜ .....   | 154 |
| 4.4.1 Φωτοβολταϊκά.....  | 155 |
| 4.4.2 Πρόταση τοποθέτησης φωτοβολταϊκών επάνω στο ΚΕΛΜ .....   | 157 |
| <br>   |     |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> Εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality) & Κατασκευή των τρισδιάστατων (3d) σκηνών..... | 159 |
| 5.1 Εισαγωγή .....   | 160 |
| 5.1.1 Σημασία εφαρμογών τρισδιάστατης απεικόνισης για τον μηχανικό .....   | 160 |
| 5.2 Βασικές λειτουργίες του 3D Studio Max .....  | 163 |
| 5.3 Vue 6 xStream 32bit .....  | 170 |

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 5.4 Poser 7 .....    | 175 |
| 5.5 Real Flow .....  | 178 |
| 5.6 Photoshop .....  | 181 |
| <br>                 |     |
| 6. Συμπεράσματα..... | 182 |
| <br>                 |     |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....   | 184 |

## ΕΙΚΟΝΕΣ

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 1.1: Άποψη υπόγειων χώρων του Subtropolis .....  | 17 |
| Εικόνα 1.2: Υπόγειος χώρος αποθήκευσης .....  | 17 |
| Εικόνα 1.3: Υπόγειος χώρος στάθμευσης.....  | 18 |
| Εικόνα 1.4: Θάλαμος αποθήκευσης αργού πετρελαίου στην Ιαπωνία .....   | 18 |
| Εικόνα 1.5: Gordon Power station στη λίμνη Pedde .....  | 19 |
| Εικόνα 1.6: Υπόγειος χώρος αποθήκευσης, Λαύριο .....  | 19 |
| Εικόνα 1.7: Υπόγειος χώρος αποθήκευσης, Λαύριο .....  | 20 |
| Εικόνα 1.8: Υπόγειος χώρος στρατιωτικής βάσης .....   | 20 |
| Εικόνα 1.9: Υπόγειο κολυμβητήριο, Φιλανδία.....   | 21 |
| Εικόνα 1.10: Central Artery Βοστώνη, αντιπαράθεση εικόνων που απεικονίζουν την κατάσταση που επικρατεί όταν υπάρχουν μεγάλοι αυτοκινητόδρομοι στην επιφάνεια (κυκλοφοριακή συμφόρηση) σε αντίθεση με το πώς θα ήταν αν γίνονταν υπόγειοι και στη θέση τους αναπτύσσονταν χώροι πρασίνου ..... | 22 |
| Εικόνα 1.11: Υπόγειος χώρος κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki, Φιλανδία .....   | 24 |
| Εικόνα 1.12: Τοποθεσία κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki, Φιλανδία .....  | 25 |
| Εικόνα 1.13: Σκαρίφημα του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki.....   | 25 |
| Εικόνα 1.14: Είσοδος του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki .....  | 26 |
| Εικόνα 1.15: Επιφανειακή άποψη του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Viikinmaki, Φιλανδία.....   | 27 |
| Εικόνα 1.16: Διάτρηση στο Viikinmaki με το μηχάνημα Atlas Corco Boomer XL3 C .....  | 27 |
| Εικόνα 1.17: Εκσκαφή θαλάμου Viikinmaki, Φιλανδία .....   | 28 |
| Εικόνα 1.18: Υπόγεια δεξαμενή του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki.....  | 28 |
| Εικόνα 1.19: Υπόγειες δεξαμενές του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki ...   | 29 |
| Εικόνα 1.20: Επέκταση του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki ...  | 30 |
| Εικόνα 1.21: Σχεδιάγραμμα της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.....   | 31 |
| Εικόνα 1.22: Υπόγειος χώρος του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki κατά την φάση κατασκευής.....   | 32 |
| Εικόνα 1.23: Εργασίες κατά την κατασκευή του υπόγειου χώρου Viikinmaki .....  | 33 |
| Εικόνα 1.24: Άποψη εργασιών κατά την φάση διάνοιξης και υποστήριξης του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki .....   | 33 |
| Εικόνα 1.25: Άποψη εργασιών κατά την φάση διάνοιξης του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki .....   | 34 |
| Εικόνα 1.26: Άποψη εργασιών κατά την φάση διάνοιξης του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki .....   | 34 |
| Εικόνα 1.27: Προσομοίωση των σταδίων εκσκαφής και της υποστήριξης.....  | 35 |
| Εικόνα 1.28: Τομή του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων.....   | 35 |
| Εικόνα 1.29:Υπόγειοι χώροι του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων.....  | 36 |
| Εικόνα 1.30: Χώροι εργασίας του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων.....   | 36 |
| Εικόνα 1.31: Υπόγειος θάλαμος του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων.....   | 37 |
| Εικόνα 1.32: Άποψη του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Kakolanmaki .....   | 38 |
| Εικόνα 1.33: Διάγραμμα ροής εργασιών.....   | 38 |
| Εικόνα 1.34: Θάλαμοι του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Kakolanmaki σε 3d σχέδιο .....  | 38 |
| Εικόνα 1.35: Κατασκευή δεξαμενών του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Kakolanmaki.....  | 38 |
| Εικόνα 1.36: Κατασκευή των θαλάμων του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Kakolanmaki.....  | 39 |
| Εικόνα 1.37: Κατασκευή των θαλάμων του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Kakolanmaki.....  | 39 |
| Εικόνα 1.38: Τοποθεσία του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων στο Pec pod Snezkou41   |    |

|   |     |
|---|-----|
| Εικόνα 1.39: Εγκάρσια τομή του αγωγού προώθησης των λυμάτων στο κέντρο .....                          | 42  |
| Εικόνα 1.40: Υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Hovringen .....                                      | 46  |
| Εικόνα 1.41: Υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ladehammeren .....                                   | 47  |
| Εικόνα 1.42: Γενικό σχέδιο του έργου και γεωλογία της περιοχής .....                                  | 49  |
| Εικόνα 1.43: Τοποθέτηση αγκυρίων.....   | 50  |
| Εικόνα 1.44: Σκίτσο υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Oslo .....                                  | 52  |
| Εικόνα 1.45: Υπόγεια δεξαμενή του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stavanger .....                        | 53  |
| Εικόνα 1.46: Αντληση των λυμάτων για την περαιτέρω επεξεργασία τους.....                              | 55  |
| Εικόνα 1.47: Υπόγειοι θάλαμοι του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stavanger.....                         | 56  |
| Εικόνα 1.48: Εσωτερικό υπόγειου θαλάμου Stanley.....  | 57  |
| Εικόνα 1.49: Υπόγειος θάλαμος κύριας επεξεργασίας λυμάτων .....                                       | 58  |
| Εικόνα 1.50 : Θάλαμος εξαερισμού .....  | 58  |
| Εικόνα 1.51: Διάγραμμα ροής του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων .....                                    | 59  |
| Εικόνα 1.52: Δεξαμενή αερισμού (aeration tank) .....  | 60  |
| Εικόνα 1.53: Υπόγειος θάλαμος κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley .....                              | 60  |
| Εικόνα 1.54: Σήραγγα εισόδου στο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Stanley.....                             | 61  |
| Εικόνα 1.55: Χώρος φίλτρων του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley .....                             | 61  |
| Εικόνα 1.56: Υπόγειος θάλαμος κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley .....                              | 62  |
| Εικόνα 1.57: Σήραγγα υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley .....                              | 62  |
| Εικόνα 1.58: Υπόγειος θάλαμος κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley .....                              | 63  |
| Εικόνα 1.59: Υπόγειος θάλαμος κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley .....                              | 63  |
| Εικόνα 1.60 : Θάλαμοι του υπόγειου κέντρου Kårpala σε 3D σχέδιο.....                                  | 64  |
| Εικόνα 1.61: Διάγραμμα ροής του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal .....                         | 67  |
| Εικόνα 1.62: Στοά του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal.....                                    | 68  |
| Εικόνα 1.63: Θάλαμος του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal.....                                 | 68  |
| Εικόνα 1.64: Σήραγγα του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal .....                                | 68  |
| Εικόνα 1.65: Θάλαμος επεξεργασίας του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal .....          | 69  |
| Εικόνα 1.66: Συγκρότημα βιολογικού καθαρισμού στην Ιταλία.....  | 70  |
| Εικόνα 1.67: Σκίτσο του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Neihu .....                             | 73  |
| Εικόνα 1.68: Σχεδιάγραμμα ροής του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Neihu .....                  | 73  |
| Εικόνα 1.69: Επιφανειακή άποψη της αποκατάστασης του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Dihua..... | 74  |
| Εικόνα 1.70: Διάγραμμα ροής των λειτουργιών του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Dihua .....              | 75  |
| <br>  |     |
| Εικόνα 2.1: Χάρτης της Αθήνας.....  | 81  |
| Εικόνα 2.2: Άποψη του ΚΕΛΜ με τη χρήση ηλεκτρονικού χάρτη .....                                       | 82  |
| Εικόνα 2.3: Άποψη εγκαταστάσεων ΚΕΛ Μεταμόρφωσης.....   | 84  |
| Εικόνα 2.4: Εγκαταστάσεις αερισμού.....   | 90  |
| Εικόνα 2.5: Δεξαμενές τελικής καθίζησης .....   | 91  |
| Εικόνα 2.6: Μονάδα απολύμανσης.....   | 92  |
| Εικόνα 2.7: Δεξαμενές χώνευσης, στο μέσο διακρίνεται το κτίριο εξυπηρέτησης των χωνευτών.....         | 94  |
| <br>  |     |
| Εικόνα 3.1: Αεροφωτογραφία της περιοχής όπου βρίσκεται το ΚΕΛΜ.....                                   | 117 |
| Εικόνα 3.2: Άποψη του ΚΕΛΜ από το Google earth.....   | 117 |
| Εικόνα 3.3: Γεωλογικός χάρτης περιοχής ενδιαφέροντος (Μεταμόρφωση).....                               | 121 |
| Εικόνα 3.4: Δειγματοληψία γεώτρησης ΓΜ1 .....   | 127 |
| Εικόνα 3.5: Δειγματοληψία γεώτρησης ΓΜ2 .....   | 128 |
| Εικόνα 3.6: Δειγματοληψία γεώτρησης ΓΜ3 .....   | 129 |
| Εικόνα 3.7: Δειγματοληψία γεώτρησης ΓΜ4 .....   | 130 |
| Εικόνα 3.8: Γεωτεχνική τομή αγωγού Πύρνας – ΓΜ1.....  | 131 |
| Εικόνα 3.9: Γεωτεχνική τομή Γ1- ΓΜ3- ΓΜ4.....   | 131 |

|   |     |
|---|-----|
| Εικόνα 4.1: Γενική διάταξη – Υφιστάμενα έργα ΚΕΛΜ .....   | 145 |
| Εικόνα 4.2: Στάδια κατασκευής τεχνικού έργου (σήραγγα), η οποία γίνεται με την τεχνική εκσκαφής και επανεπίχωσης ( Cut & Cover) στα αριστερά και της τεχνικής κάλυψης και εκσκαφής στα δεξιά ( Cover & Cut) ..... | 146 |
| Εικόνα 4.3: Μέθοδος κατασκευής Cut & Cover, άποψη προσωρινής αντιστήριξης με φρεατοπασσάλους .....  | 148 |
| Εικόνα 4.4: Άποψη πασσαλοστοιχίας που συνδέεται στην κορυφή της με ισχυρή δοκό σκυροδέματος.....  | 148 |
| Εικόνα 4.5: Στάδιο κατασκευής σταθμού μετρό στην Αθήνα με την μέθοδο Cut & Cover .....  | 149 |
| Εικόνα 4.6: Κατασκευή ενός υπόγειου χώρου με την χρήση της μεθόδου Cut & Cover .....  | 150 |
| Εικόνα 4.7: Φωτοβολταικά.....   | 155 |
| Εικόνα 4.8: Φωτοβολταικά συστήματα .....  | 156 |
| <br>  |     |
| Εικόνα 5.1 : Τρισδιάστατη απεικόνιση εξωτερικής όψης κτιρίου .....  | 161 |
| Εικόνα 5.2 : Τρισδιάστατη απεικόνιση εσωτερικής όψης κτιρίου.....   | 161 |
| Εικόνα 5.3 : Απεικόνιση του περιβάλλοντος του Adobe Premier.....  | 163 |
| Εικόνα 5.4: Αρχική επιφάνεια εργασίας 3d studio max .....   | 164 |
| Εικόνα 5.5: Απεικόνιση του περιβάλλοντος material editor.....   | 165 |
| Εικόνα 5.6: Απεικόνιση της λίστας τροποποίησης (Modifier List).....   | 166 |
| Εικόνα 5.7: Άποψη των δεξαμενών καθίζησης σε αρχικό στάδιο χωρίς υφές .....   | 167 |
| Εικόνα 5.8: Άποψη των δεξαμενών μετά από την εισαγωγή του Real Flow στην επιφανείας εργασίας του προγράμματος .....   | 167 |
| Εικόνα 5.9: Άποψη των δεξαμενών καθίζησης αστικών λυμάτων μετά από την εισαγωγή του Real Flow .....   | 168 |
| Εικόνα 5.10: Άποψη των δεξαμενών καθίζησης βοθρολυμάτων μετά από την εισαγωγή του Real Flow .....   | 168 |
| Εικόνα 5.11: Διαμόρφωση της κεντρικής στοάς όπως φαίνεται από τα viewport του 3dsmax .....  | 169 |
| Εικόνα 5.12: Διαμόρφωση της κεντρικής στοάς με χρήση της ιδιότητας wire .....   | 169 |
| Εικόνα 5.13: Άποψη της κεντρικής στοάς όπως φαίνεται από την επιφάνεια εργασίας του 3DSmax.....   | 170 |
| Εικόνα 5.14 : Επιφάνεια εργασίας Vue 6 xStream.....   | 171 |
| Εικόνα 5.15: Αρχική επιφάνεια εργασίας με τέσσερις όψεις (viewports).....   | 172 |
| Εικόνα 5.16: Viewports.....   | 172 |
| Εικόνα 5.17: Μέρος της αποκατάστασης του ΚΕΛΜ με πρωινή ατμόσφαιρα.....   | 173 |
| Εικόνα 5.18: Μέρος της αποκατάστασης του ΚΕΛΜ με διαφορετική οπτική γωνία .....   | 174 |
| Εικόνα 5.19: Μέρος της αποκατάστασης του ΚΕΛΜ με βραδινή ατμόσφαιρα.....  | 174 |
| Εικόνα 5.20: Φωτοβολταικά.....  | 175 |
| Εικόνα 5.21: Viewport του Poser 7 .....   | 176 |
| Εικόνα 5.22: Προεπιλογή γυμνού σώματος .....  | 177 |
| Εικόνα 5.23: Προεπιλογή προσώπου.....   | 177 |
| Εικόνα 5.24: Παράμετροι επεξεργασίας τμημάτων σώματος .....   | 178 |
| Εικόνα 5.25: Παράθυρο του Realflow .....  | 179 |
| Εικόνα 5.26: Dumb σωματίδια .....   | 180 |
| Εικόνα 5.27: RealFlow soft bodies.....  | 180 |



## ΠΙΝΑΚΕΣ

|   |     |
|---|-----|
| Πίνακας 1.1: Τεχνικά και οικονομικά δεδομένα για το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στο Ρεσ ροδ Snezku.....                                     | 44  |
| Πίνακας 1.2: Ανάλυση ποιότητας πετρωμάτων της περιοχής .....  | 49  |
| Πίνακας 1.3: Στάδια εργασίας.....   | 51  |
| <br>  |     |
| Πίνακας 2.1: Παροχές και ρυπαντικά φορτία βοθρολυμάτων και αστικών λυμάτων .  | 97  |
| Πίνακας 2.2: Μηνιαίες παροχές αστικών λυμάτων (m <sup>3</sup> ) για τα έτη 2000, 2001, 2002, 2003 και 2004.....                             | 98  |
| Πίνακας 2.3: Μηνιαίες παροχές βοθρολυμάτων (m <sup>3</sup> ) για τα έτη 2000, 2001, 2002, 2003 και 2004 .....                               | 98  |
| Πίνακας 2.4: Μηνιαίες συνολικές παροχές αστικών λυμάτων και βοθρολυμάτων (m <sup>3</sup> ) για τα έτη 2000, 2001, 2002, 2003 και 2004 ..... | 99  |
| Πίνακας 2.5: Λειτουργικά στοιχεία συστήματος ενεργού ιλύος του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης (Πηγή : ΕΥΔΑΠ) .....               | 103 |
| Πίνακας 2.6: Προσφορά και ζήτηση οξυγόνου για το έτος 1996.....   | 104 |
| Πίνακας 2.7: Ποσότητα παραγόμενης αφυδατωμένης ιλύος στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης.....                                      | 107 |
| Πίνακας 2.8: Χαρακτηριστικά εκροής για το έτος 1996.....  | 108 |
| <br>  |     |
| Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτική κατάσταση των μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών που συναντήθηκαν στις γεωτρήσεις ΓΜ1 έως ΓΜ4.....        | 132 |
| Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά επεξεργασμένων υγρών απόβλητων .....  | 134 |



## **ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ**

|   |     |
|---|-----|
| Διάγραμμα 2.1: Διάγραμμα ροής Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης                                 | 96  |
| Διάγραμμα 2.2: Μηνιαίες παροχές αστικών λυμάτων (m <sup>3</sup> /μήνα) .....                            | 99  |
| Διάγραμμα 2.3: Μηνιαίες παροχές βοθρολυμάτων (m <sup>3</sup> /μήνα).....                                | 100 |
| Διάγραμμα 2.4: Μηνιαίες συνολικές παροχές αστικών λυμάτων και βοθρολυμάτων (m <sup>3</sup> /μήνα) ..... | 100 |

## Σύνοψη

Τα τελευταία χρόνια ο ευρύτερος τομέας της κατασκευής υπογείων έργων γνωρίζει μεγάλη άνθηση κυρίως στο διεθνή, αλλά και στον ελληνικό χώρο. Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην πληθώρα των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι μεγαλουπόλεις, τα οποία προκαλούν συνεχή υποβάθμιση της ποιότητας ζωής.

Βάσει των παραπάνω, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία μελετάται η προοπτική της δημιουργίας ενός Υπόγειου Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στην Μεταμόρφωση Αττικής. Δεδομένων των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν, προτείνεται η κατασκευή από την αρχή του ΚΕΛΜ υπόγεια και η ανάπλαση του επιφανειακού χώρου ως χώρου αναψυχής, αθλητικών εγκαταστάσεων κ.λ.π. Για την καλύτερη κατανόηση της πρότασης αυτής πραγματοποιείται η τρισδιάστατη απεικόνιση του έργου, πως θα είναι μέρος του υπογείου καθώς και η επιφανειακή αποκατάσταση.

Η ανάπτυξη μιας τρισδιάστατης απεικόνισης της μελλοντικής εγκατάστασης, μας δίνει την δυνατότητα να παρουσιάσουμε τα πλεονεκτήματα αυτά με τον πλέον εύληπτο τρόπο σε ακροατήρια διαφορετικού βαθμού ειδίκευσης αλλά και διαφορετικών επιστημονικών κλάδων, ενώ δίνεται η ευκαιρία στους εμπλεκόμενους φορείς να εξετάσουν με μεγάλη ακρίβεια την τελική μορφή και τις τεχνικές λεπτομέρειες του έργου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματεύεται το σχεδιασμό ενός Υπόγειου Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στην Μεταμόρφωση Αττικής. Σκοπός της είναι η πραγματοποίηση μιας ολοκληρωμένης ανάλυσης, η οποία αφενός εξετάζει τις παραμέτρους κατασκευής του υπόγειου έργου και αφετέρου προχωρά σε μια παρουσίαση τόσο των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από την υπογειοποίηση ενός τέτοιου κέντρου, όσο και της ιδέας για μελλοντική αποκατάσταση – ανάπλαση του εναπομείναντα επιφανειακού χώρου, με την δημιουργία χώρων αναψυχής, αθλητισμού κ.λ.π.

Άλλωστε, η πληθώρα παραδειγμάτων αντίστοιχων χώρων που υφίστανται στο εξωτερικό, αναδεικνύει τη διεθνή τάση προς υπογειοποίηση των κέντρων επεξεργασίας λυμάτων και την μετέπειτα ανάπλαση του εναπομείναντα επιφανειακού χώρου σε πολλές περιπτώσεις. Εξάλλου, με τον τρόπο αυτό αξιοποιούνται σε μέγιστο βαθμό τα πλεονεκτήματα και χαρακτηριστικά που παρουσιάζει ο υπόγειος χώρος, πολλά εκ των οποίων αποτελούν υψίστης σημασίας ζητήματα, όσον αφορά την καλύτερη επεξεργασία των λυμάτων.

Η επιλογή της περιοχής της Μεταμόρφωσης Αττικής ως περιοχή κατασκευής του υπόγειου χώρου, πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη το κομβικό σημείο που κατέχει σε μια κυρίως βιομηχανική περιοχή. Στο σημείο αυτό δραστηριοποιείται ήδη το ΚΕΛΜ με τις επιφανειακές εγκαταστάσεις του για πάνω από 20 χρόνια.

Όλες οι απαιτούμενες γεωτεχνικές πληροφορίες για την διεξαγωγή αυτής της διπλωματικής εργασίας, προήλθαν από την ευρύτερη περιοχή του ΚΕΛΜ, όπου επρόκειτο να κατασκευαστεί και το υπόγειο έργο. Οι πληροφορίες αυτές συνέβαλαν με τον τρόπο τους στον καθορισμό της μεθόδου εκσκαφής, η οποία προτείνεται να γίνει με εκσκαφή και επανεπίχωση ( Cut & Cover).

Για την βέλτιστη κατανόηση της μελλοντικής κατασκευής αλλά και την απεικόνιση τόσο του υπόγειου έργου όσο και του επιφανειακού χώρου μετά την ανάπλαση κρίθηκε απαραίτητη η χρήση προγραμμάτων τρισδιάστατης απεικόνισης (3d StudioMax, Vue6, Poser, RealFlow, κλπ.) Με την εφαρμογή αυτών των προγραμμάτων δίνεται η δυνατότητα για να γίνει πιο αντιληπτό τόσο στον ίδιο τον μηχανικό όσο και στον ευρύτερο κόσμο για το πώς θα είναι μια μελλοντική εγκατάσταση. Για τον σύγχρονο μηχανικό άλλωστε η τρισδιάστατη απεικόνιση έχει μεγάλη αξία. Ένας από τους βασικότερους παράγοντες που προσδίδουν στον

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

μηχανικό μια ξεχωριστή θέση στον επαγγελματικό χώρο, είναι η δυνατότητα του να συνδυάζει την γνώση και την πρακτική με τον οικονομικό παράγοντα.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι η δημιουργία ενός Υπόγειου Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στην Μεταμόρφωση Αττικής είναι μια λύση με αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα και σημαντικές προοπτικές, ενώ συγχρόνως καταδεικνύεται η υπεροχή της υπόγειας κατασκευής σε σχέση με μια επιφανειακή εγκατάσταση, τόσο από πλευράς περιβαλλοντικών παραγόντων όσο και λειτουργικών πλεονεκτημάτων του ίδιου του κέντρου.

## **ABSTRACT**

The following Dissertation is a study of the design of an Underground Sewage Treatment Plant in Metamorfwsis in Attica. The aim is a complete analysis that on a first level includes the examination of the construction parameters of the underground work. Furthermore, there is an extensive study both the benefits arising from the lowering of such a center, and the idea of future rehabilitation of the remaining surface area, the creation of recreational areas, sports etc.

Moreover, the fact that there is a great number of similar underground spaces in other countries, shows a tendency on an international level, to construct underground sewage treatment plant and the subsequent reconstruction of surface area remaining in many cases. On the other hand, the characteristics and advantages found in every underground space, are exploited to the highest degree, as far as the better sewage treatment concerns.

Metamorfwsis in Attica was selected as the area for the construction of the facility, on the basis of the focal point held in a predominantly industrial area. At this point, KELM is here with his surface facilities for over 20 years.

The geotechnical data evaluated for the necessities of the present study, were coming from the region of KELM, where it is going to construct the underground space. This information contributed to determine the method of excavation proposed to be excavated and cover (Cut & Cover).

For the best view of both the underground space and surface area after the reconstruction program has been used three dimensional- imaging (3d StudioMax, Vue6, Poser, RealFlow, etc.). By implementing these programs have the opportunity to become more visible both in the same mechanical and the wider world about how a future plant will be. For the modern mechanic the three dimensional- imaging has great value. One of the main factor which gives the mechanic a special place in the workplace, is the ability to combine the knowledge and the practise with the economical factor.

In conclusion, the construction of an Underground Sewage Treatment Plant in Metamorfwsis in Attica, is an alternative with remarkable advantages and significant prospectives, while at the same time, it is shown that the underground construction is superior to a surface facility.

**ΣΥΝΟΨΗ**

---



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

### **Υπόγεια ανάπτυξη & Παραδείγματα από το εξωτερικό**

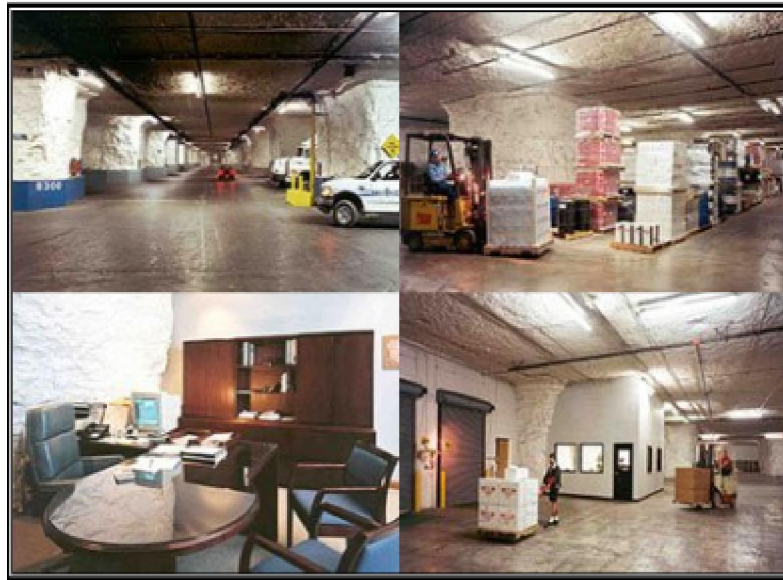
## 1.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη και η δυναμική που εμφανίζουν τα τελευταία χρόνια τα υπόγεια έργα, τροφοδοτείται από το γενικότερο πνεύμα της αειφόρου ανάπτυξης που καθορίζει σε στρατηγικό επίπεδο τις επιλογές του σύγχρονου κόσμου.

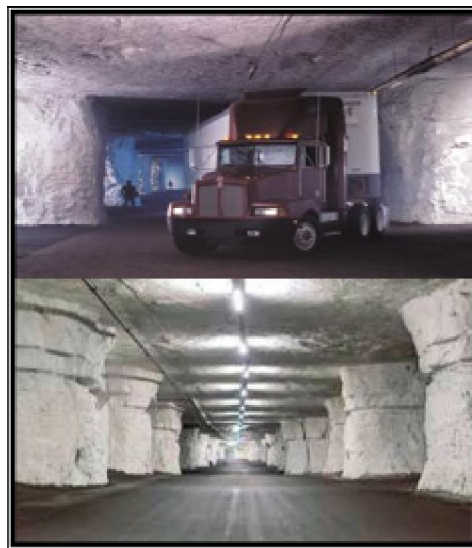
Η απότομη αύξηση του πληθυσμού, σε συνδυασμό με την έλλειψη ανάλογου χωροταξικού σχεδιασμού, οδηγεί συχνά σε υποβάθμιση της ποιότητας ζωής, ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές. Έτσι, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση στο πλήθος και στο μέγεθος των υπόγειων κατασκευών. Τα παραπάνω περικλείονται στον όρο “ **υπόγεια ανάπτυξη**” (Underground Development) . Γενικά , υπόγεια ανάπτυξη είναι η τάση που υποστηρίζει την εκμετάλλευση του υπογείου χώρου με σκοπό την ικανοποίηση των σύγχρονων αναγκών. Προφανώς, η υπόγεια ανάπτυξη δεν είναι κάτι νέο, παραδείγματα υπόγειας ανάπτυξης μπορούν να αντληθούν από διάφορες περιόδους της ιστορίας. Σήμερα όμως η τάση αυτή εμφανίζεται πιο έντονη, σε ορισμένες μάλιστα κοινωνίες είναι συστηματική, ως αποτέλεσμα πολλών παραγόντων.

Ως υπόγεια έργα δεν νοούνται μόνο οι σήραγγες, δεδομένου ότι οι σήραγγες (συγκοινωνιακές , υδραυλικές κλπ) έχουν ενσωματωθεί πλέον, ως λύσεις τόσο στο πλαίσιο του υφιστάμενου τεχνικού δυναμικού της χώρας όσο και σε επίπεδο κοινωνικό-πολιτικό, αλλά υπόγεια έργα μπορεί να είναι :

- Υπόγειοι αποθηκευτικοί χώροι (Εικόνα : 1.1, 1.2 )
- Υπόγειοι χώροι στάθμευσης(Εικόνα : 1.3)
- Υπόγεια αποθήκευση καυσίμων και φυσικού αερίου(Εικόνα : 1.4)
- Υπόγειοι ταμιευτήρες νερού
- Υπόγειοι ενεργειακοί σταθμοί(Εικόνα : 1.5)
- Υπόγειοι χώροι διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων(Εικόνα : 1.6, 1.7)
- Υπόγειοι χώροι στρατιωτικών εφαρμογών(Εικόνα : 1.8)
- Πέρα από τα παραπάνω οι υπόγειες κατασκευές εξυπηρετούν και κοινωφελείς σκοπούς. (Εικόνα : 1.9)



**Εικόνα 1.1:** Άποψη υπόγειων χώρων του Subropolis



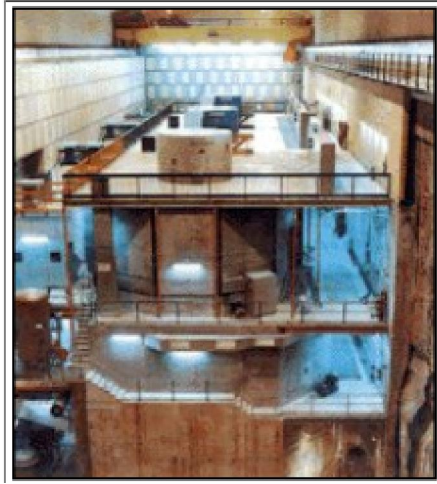
**Εικόνα 1.2:** Υπόγειος χώρος αποθήκευσης



**Εικόνα 1.3:** Υπόγειος χώρος στάθμευσης



**Εικόνα 1.4:** Θάλαμος αποθήκευσης αργού πετρελαίου στην Ιαπωνία



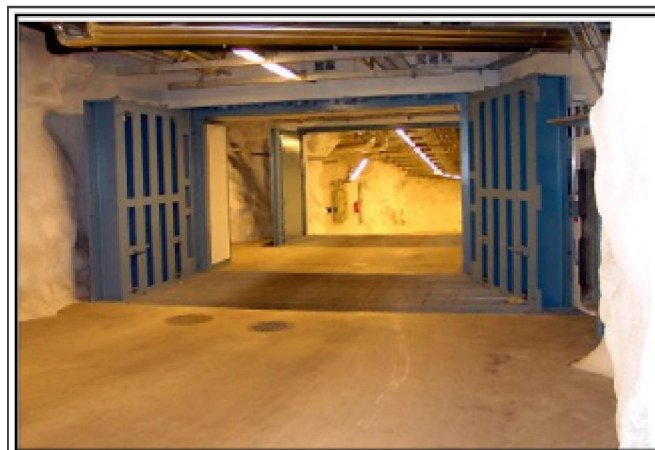
**Εικόνα 1.5:** Gordon Power station στη λίμνη Pedde



**Εικόνα 1.6:** Υπόγειος χώρος αποθήκευσης, Λαύριο



**Εικόνα 1.7:** Υπόγειος χώρος αποθήκευσης, Λαύριο



**Εικόνα 1.8:** Υπόγειος χώρος στρατιωτικής βάσης



Εικόνα 1.9: Υπόγειο κολυμβητήριο, Φιλανδία

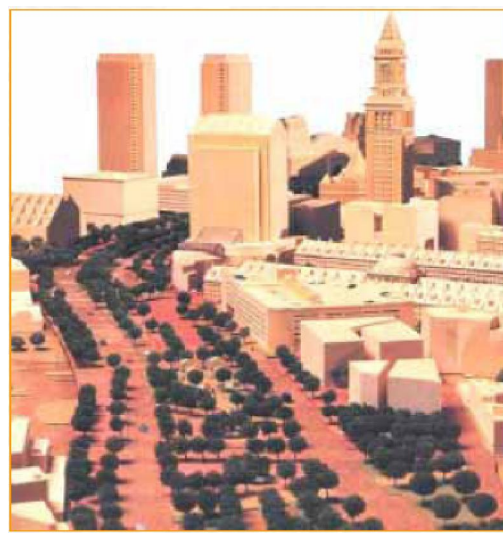
## 1.2 Λόγοι ανάπτυξης

Σε έναν υπόγειο χώρο οι παράγοντες που αποτελούν τους λόγους ανάπτυξης του είναι ταυτόχρονα και τα πλεονεκτήματα του. Έχοντας ως γνώμονα λοιπόν τα θετικά στοιχεία που προσφέρει η υπόγεια ανάπτυξη οδηγούμαστε ολοένα και περισσότερο προς την υλοποίηση της, αποτελούν όπως θα μπορούσε να ειπωθεί το ερέθισμα προς αυτή την κατεύθυνση.

Οι παράγοντες που ωθούν ολοένα και περισσότερο προς την πλευρά της υπόγειας ανάπτυξης είναι (Καλιαμπάκος, Μάιος 2003):

- ❖ Η έλλειψη χώρου στην επιφάνεια, ως αποτέλεσμα της μεγάλης αστικοποίησης των τελευταίων δεκαετιών. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αύξηση των απαιτήσεων, όσον αφορά στην ποιότητα ζωής, καθιστά τις ελεύθερες επιφανειακές εκτάσεις που έχουν απομείνει “είδος προς εξαφάνιση”, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος της γης και να οδηγούμαστε προς εκμετάλλευση της “τρίτης διάστασης” (δηλαδή προς τα κάτω).
- ❖ Περιβαλλοντικοί λόγοι, όπως η απομάκρυνση των ανεπιθύμητων και ρυπογόνων δραστηριοτήτων και εγκαταστάσεων από την επιφάνεια (π.χ χώροι διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων). Σε πολλές περιπτώσεις έχει αποδειχθεί ότι οι υπόγειες κατασκευές έναντι των αντίστοιχων επιφανειακών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύ αποτελεσματικά, προσφέροντας λύσεις υψηλής περιβαλλοντικής προστασίας, σε αποδεκτά οικονομικά όρια.

- ❖ Λόγοι ασφάλειας. Σε αντίθεση με την ευρέως διαδεδομένη αίσθηση περί επικινδυνότητας των υπογείων χώρων, αυτοί προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια από πολλές απόψεις, ειδικά όσον αφορά σε θέματα αντιμετώπισης σεισμικού κινδύνου, καλύτερου ελέγχου των εγκαταστάσεων αλλά και πυρασφάλειας.
- ❖ Οικονομικοί λόγοι. Τα υπόγεια έργα, εκεί που ευρύτατα εφαρμόζονται, έχουν επικρατήσει, πρώτα από όλα, στο επίπεδο της ανταγωνιστικότητας ( από πλευράς ενοικίων, λειτουργικών εξόδων κλπ., λόγω σταθερών θερμοκρασιακών συνθηκών, μη ανάγκη ύπαρξης φέροντος οργανισμού κλπ.)



Πριν

Μετά

**Εικόνα 1.10:** Central Artery Βοστώνη, αντιπαράθεση εικόνων που απεικονίζουν την κατάσταση που επικρατεί όταν υπάρχουν μεγάλοι αυτοκινητόδρομοι στην επιφάνεια (κυκλοφοριακή συμφόρηση) σε αντίθεση με το πώς θα ήταν αν γίνονταν υπόγειοι και στη θέση τους αναπτύσσονταν χώροι πρασίνου

Υπάρχουν βέβαια και στον αντίποδα ορισμένα μειονεκτήματα, που αφορούν κυρίως :

- ❖ Τα υψηλά ποσοστά αρχικής επένδυσης και την αβεβαιότητα που επικρατεί για την καλή τεχνική και οικονομική λειτουργία του έργου.

Η δημιουργία υπόγειων έργων απαιτεί υψηλές αρχικές επενδύσεις και μεγάλη χρονική διάρκεια κατασκευής. Τα εξειδικευμένα εργαλεία και το υψηλό επίπεδο των πόρων που δεσμεύονται, δημιουργούν μια ιδιαίτερη σχέση οικονομικού κινδύνου του εγχειρήματος, σε συνδυασμό με το υψηλό βαθμό αβεβαιότητας, που πολλές φορές υπεισέρχονται στην κατασκευή.



- ❖ Η ανθρώπινη ψυχολογία που πολλές φορές δημιουργεί φοβίες και αμφιβολίες για την χρήση του υπόγειου χώρου.

Οι ψυχολογικοί παράγοντες, οι φοβίες και οι αμφιβολίες των ανθρώπων για τη λειτουργία σε ένα υπόγειο, κλειστό χώρο, αν και μπορεί να φαντάζει ως ένα σχετικά μικρό ζήτημα, το οποίο μπορεί να αντιμετωπιστεί, πολλές φορές μπορεί να δράσει ως ο πιο αποφασιστικός και ανασταλτικός παράγοντας για τη δημιουργία ενός υπόγειου έργου, καθώς αποτελεί την οικονομική του βιωσιμότητα.

Η μη εξοικείωση με την ίδια φιλοσοφία των υπογείων έργων και τις δυνατότητες υπόγειας ανάπτυξης δημιουργεί επιπρόσθετα προβλήματα, όταν χρειαστεί να παρθούν αποφάσεις πολιτικής ή οικονομικής φύσεως, από ανθρώπους που αγνοούν τις συγκεκριμένες επιλογές.

## **1.3 Παραδείγματα υπόγειων συγκροτημάτων βιολογικού καθαρισμού**

### **1.3.1 Εισαγωγή**

Τα τελευταία χρόνια, διάφορες χώρες επεξεργάζονται στοιχεία και δεδομένα, ενώ πολλές από αυτές έχουν προχωρήσει στην κατασκευή υπόγειων χώρων επεξεργασίας λυμάτων (Εικόνα 1.11). Αυτό οφείλεται κυρίως στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης της ρύπανσης του περιβάλλοντος, σύμφωνα με το πνεύμα της αειφορίας.

Σε περιοχές κοντά στη θάλασσα, σε τοποθεσίες κοντά σε φιόρδ, σε αγροτικές περιοχές σε μέρη με φυσική ομορφιά, καθώς και σε αστικές περιοχές, οι επιφανειακές διαδικασίες επεξεργασίας λυμάτων δεν είναι αποδεκτές. Τοποθετώντας τις εργασίες αυτές υπογείως, σε υπόγειους θαλάμους, σήραγγες ή εντός χώρων που κατασκευάζονται με τη μέθοδο της εκσκαφής και της επίχωσης ( cut & cover) επιτυγχάνεται η μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.



**Εικόνα 1.11:** Υπόγειος χώρος κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki, Φιλανδία

Από τη διεθνή εμπειρία έχουμε αρκετά παραδείγματα υπόγειων βιολογικών συγκροτημάτων, τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια και οι πληροφορίες προέρχονται από το διαδίκτυο.

## **1.3.2 Φιλανδία**

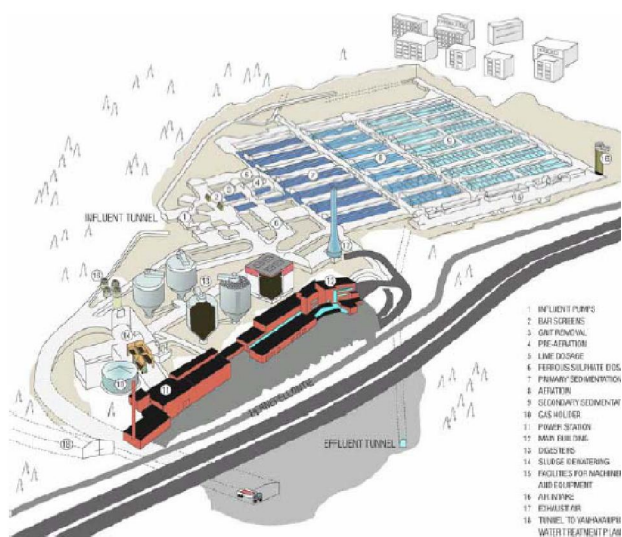
### **1.3.2.1 Περιγραφή του έργου (Viikinmaki)**

Στο Ελσίνκι υπάρχει το κέντρο επεξεργασίας υγρών απόβλητων Viikinmaki, το οποίο είναι από τις μεγαλύτερες κατασκευές τέτοιου είδους στην Ευρώπη.



**Εικόνα 1.2:** Τοποθεσία κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmäki, Φινλανδία

Το πρώτο κέντρο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στο Ελσίνκι κατασκευάστηκε κατά τη δεκαετία 1910 καθώς ο πληθυσμός αυξανόταν, νέα κέντρα προστέθηκαν προοδευτικά στο σύστημα, μέχρι που στις αρχές της δεκαετίας 1970, έντεκα κέντρα λειτουργούσαν (πηγή: διαδίκτυο). Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, δημιουργήθηκαν μεγαλύτερες μονάδες και ο αριθμός των κέντρων μειώθηκε στα οχτώ, επωφελούμενοι από την οικονομία κλίμακας. Αυτή η πρόοδος συνέπεσε με την ολοκλήρωση μιας μελέτης, η οποία εξέταζε την πιθανότητα της αντικατάστασης όλων των κέντρων επεξεργασίας λυμάτων με ένα υπόγειο κεντρικό συγκρότημα (Εικόνα 1.13). Ο στόχος ήταν να κατασκευαστεί ένα τεχνικά και οικονομικά αποδοτικό κέντρο, ικανό να αυξήσει την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας, το οποίο θα συμβάδιζε με τους αυστηρούς περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Το συμβούλιο της πόλης έδωσε το πράσινο φως για την υλοποίηση του έργου το 1986 και η κατασκευή του κέντρου Viikinmäki ξεκίνησε στις αρχές του επόμενου έτους.



**Εικόνα 1.13:** Σκαρίφημα του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmäki

Τα υγρά απόβλητα αντλούνταν από τα παλιά κέντρα επεξεργασίας προς το νέο, και κατασκευάστηκαν περίπου 20km νέων υπόγειων οχετών. Το επεξεργασμένο νερό οδηγούνταν στη θάλασσα μέσω μιας σήραγγας σε ένα φρέαρ, το οποίο διανοίχτηκε στον πυθμένα της θάλασσας, κοντά στο νησί Katajaluoto, 8km από το νοτιότερο άκρο του Ελσίνκι. Το σύστημα εξαερισμού οδηγούσε τα αέρια που παράγονταν στην ατμόσφαιρα. Στην εικόνα 1.14 απεικονίζεται η είσοδος στο υπόγειο κέντρο.



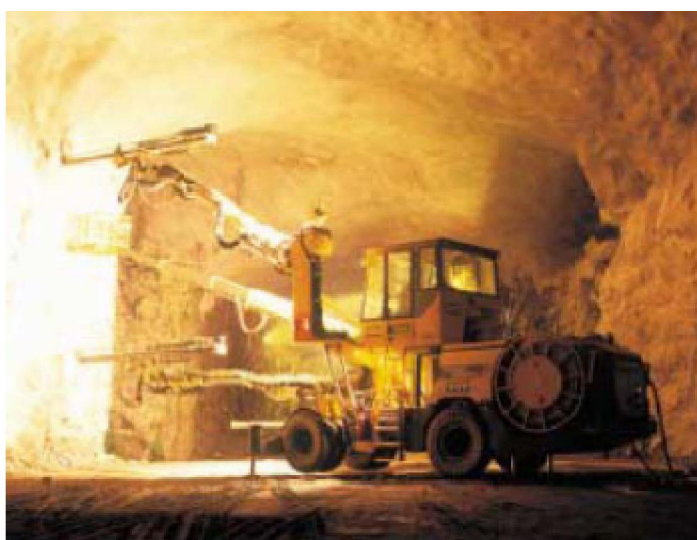
**Εικόνα 1.14:** Είσοδος του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmäki

Λόγω της μεγάλης επιτυχίας που γνώρισε το έργο, επεκτάθηκε πρόσφατα και προστέθηκαν 200.000 m<sup>3</sup> χώρου για να δεχθούν φίλτρα καθαρισμού και δυο επιπλέον γραμμές επεξεργασίας. Το νέο κέντρο επεξεργασίας επιλέχθηκε να τοποθετηθεί στο Viikinmäki για διάφορους λόγους. Ήταν τοποθετημένο κεντρικά σε σχέση με τα παλαιότερα κέντρα επεξεργασίας. Επίσης, η περιοχή δεν ήταν αναπτυγμένη και βρίσκονταν σε κατάλληλο υψόμετρο, ώστε να επιτρέψει ένα μόνο στάδιο άντλησης, από την επεξεργασία μέχρι την εκβολή, παρόλο που το κέντρο ήταν υπόγειο.



**Εικόνα 1.15:** Επιφανειακή άποψη του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Viihinmaki, Φινλανδία

Η επέκταση του κέντρου πραγματοποιήθηκε σε μια περιοχή με πέτρωμα χαμηλής ποιότητας και σε μικρό βάθος. Επομένως, ειδική προσοχή έπρεπε να δοθεί κατά τη διάνοιξη με συμβατικά μέσα (Εικόνα 1.16), καθώς και στην ενίσχυση του πετρώματος.



**Εικόνα 1.16:** Διάτρηση στο Viihinmaki με το μηχάνημα Atlas Copco Boomer XL3 C



**Εικόνα 1.17:** Εκσκαφή θαλάμου Viikinmäki, Φιλανδία

Όλες οι μονάδες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και της λάσπης τοποθετήθηκαν υπογείως. Στις εικόνες 1.18 και 1.19 απεικονίζονται υπόγειες δεξαμενές του κέντρου. Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός του κέντρου και οι εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες των στρώσεων του σκληρού γρανίτη και του μαρμαρυγιακού γνευσίου, συνέβαλλαν ότι ο υπόγειος χώρος παρέχει σταθερή θερμοκρασία καθ'όλο το χρόνο, παρά τις δυσμενείς συνθήκες που επικρατούν το χειμώνα στην επιφάνεια(πηγή: διαδίκτυο).



**Εικόνα 1.18:** Υπόγεια δεξαμενή του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmäki

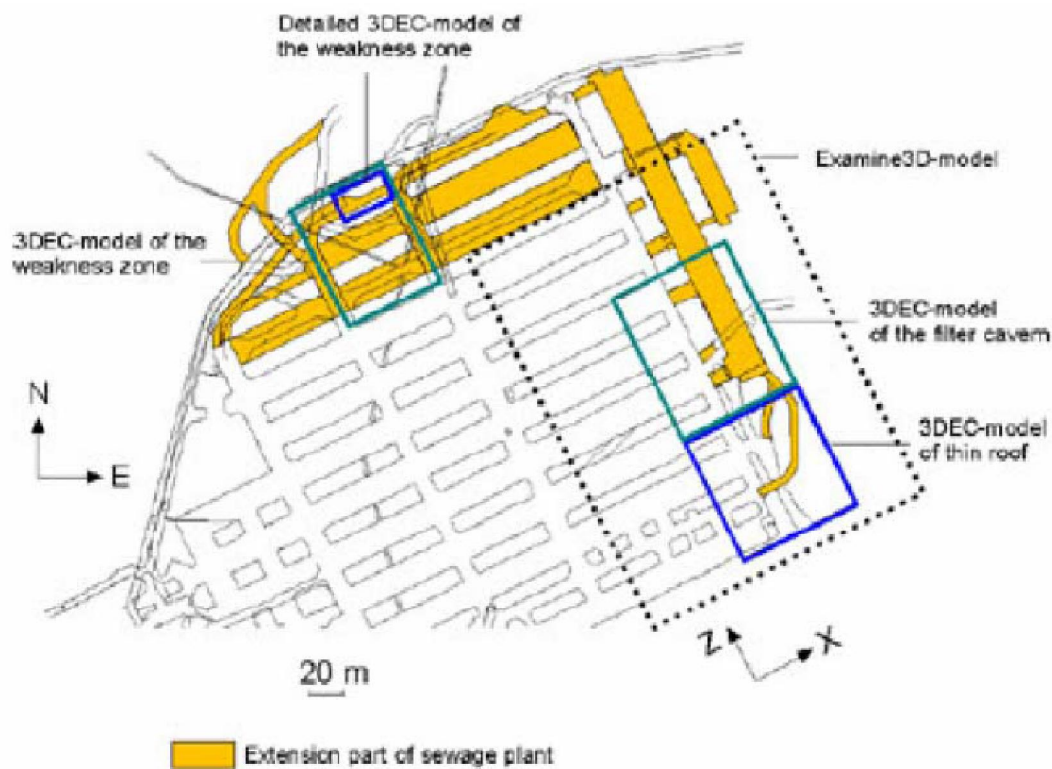


**Εικόνα 1.19:** Υπόγειες δεξαμενές του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki

### **1.3.2.2 Σχεδιασμός επέκτασης του κέντρου**

Αρχικά, ο συνολικός αριθμός κατοίκων που εξυπηρετούσε το κέντρο ήταν 750.000. Επίσης, το κέντρο επεξεργασίας για περίπου μισή δεκαετία είχε σκοπό τη μείωση του BOD και του φωσφόρου από τα υγρά απόβλητα. Από το 1993, ο πληθυσμός στην περιοχή έχει αυξηθεί κατά περίπου 10.000, ενώ οι ανάγκες της επεξεργασίας έγιναν πιο αυστηρές. Επιπλέον, το 1997 εγκαταστάθηκε επιπλέον εξοπλισμός για να διευκολυνθεί η κατά 50 % απομάκρυνση του αζώτου.

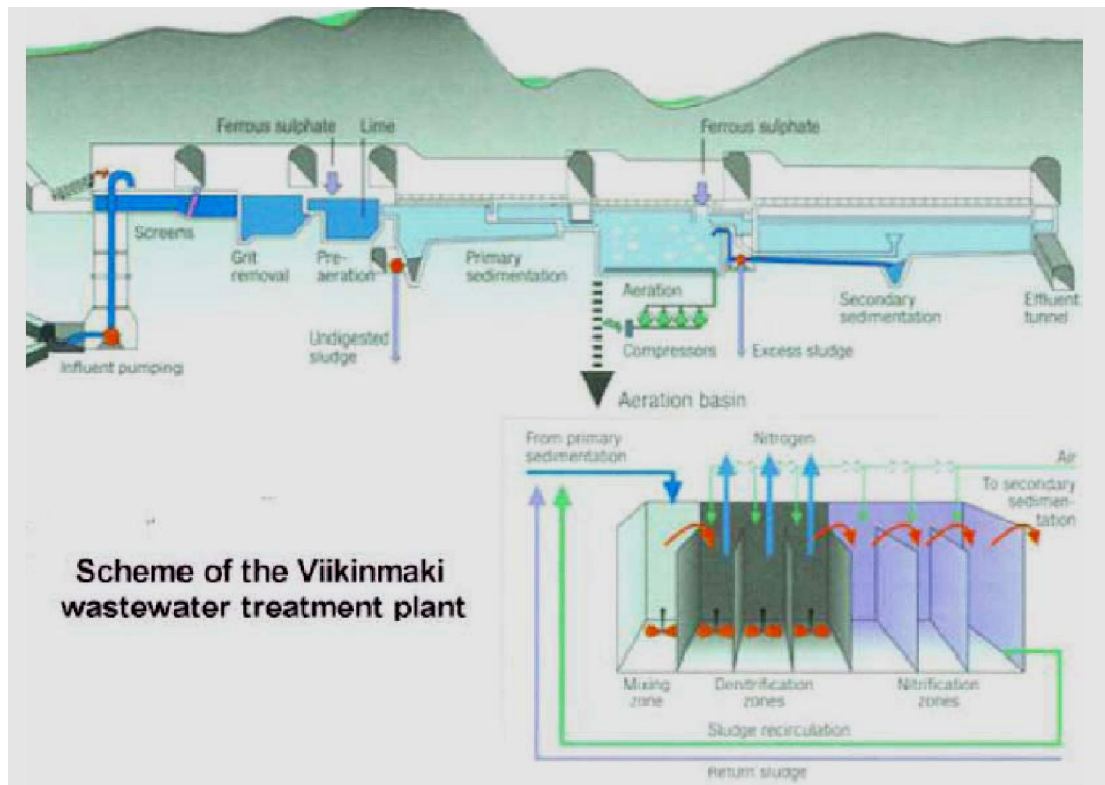
Με την πάροδο του χρόνου, κρίθηκε απαραίτητη η επέκταση του υπόγειου κέντρου, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι μεγαλύτερες ανάγκες λόγω αύξησης του πληθυσμού, αλλά και για να επιτευχθεί μείωση του αζώτου κατά 70% από τα υγρά απόβλητα. Ο επιπλέον χώρος 200.000m<sup>3</sup> που προέκυψε από την επέκταση του υπόγειου κέντρου στεγάζει φίλτρα για την απομάκρυνση του αζώτου και δυο επιπρόσθετες γραμμές επεξεργασίας λυμάτων. Στην εικόνα 1.20 παρουσιάζεται το υπόγειο κέντρο, αλλά και το τμήμα επέκτασής του.



**Εικόνα 1.20:** Επέκταση του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Vikiinmaki

Η διαδικασία επεξεργασίας που ακολουθείται είναι μία τυπική διαδικασία παραγωγής λάσπης και αποτελείται από τρία στάδια, τη μηχανική τη βιολογική και τη χημική επεξεργασία (Εικόνα 1.21). Οι δύο νέες γραμμές επεξεργασίας είναι παράλληλες με τις ήδη υπάρχουσες. Η λάσπη που διαχωρίζεται σε αυτά τα στάδια αποσυντίθεται σε θερμοκρασία 36° έως 37°C. Μετά από μία περίοδο τριών εβδομάδων φτάνει σε ένα κατάλληλο επίπεδο από άποψη υγιεινής, ώστε να μπορεί να προωθηθεί για περαιτέρω επεξεργασία. Περίπου 65% των αερίων που παράγονται κατά τη διάλυση είναι μεθάνιο, ενώ το υπόλοιπο κυρίως διοξείδιο του άνθρακα. Το διαλυμένο αέριο καίγεται στη γεννήτρια για να παραχθεί ηλεκτρισμός και θερμική ενέργεια για το κέντρο(πηγή: διαδίκτυο).





Εικόνα 1.21: Σχεδιάγραμμα της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων

Από την πλευρά της μηχανικής πετρωμάτων, η κατασκευή του κέντρου επεξεργασίας (Εικόνα 1.22) ήταν ασυνήθιστα προκλητική, λόγω του εξαιρετικά μεγάλου μεγέθους του κέντρου και της ποικιλίας των στρώσεων. Ο συνολικός εκσκαπτόμενος όγκος των σηράγγων ήταν  $1.000.000\text{m}^3$ . Ο επιφανειακός χώρος πάνω από το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων προοριζόταν για νέες κατοικίες, όπου το ελάχιστο ύψος υπερκειμένων ήταν 10m. Σε ρηχές περιοχές, η κατασκευή κατοικιών δεν επιτρεπόταν. Σε αυτές τις περιοχές, οι θάλαμοι ήταν πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και το ύψος υπερκειμένων δεν υπερέβαινε τα 4m. Οι θάλαμοι διαχωρίζονταν με στύλους πάχους 10 έως 12m.

Υπολογισμοί μηχανικής πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν για να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του υπόγειου θαλάμου. Η μεγάλη έκταση του έργου έθεσε σε πρώτη προτεραιότητα τη βελτιστοποίηση της οργάνωσης του χώρου εργασίας και τη διάθεση του εκσκαπτόμενου βράχου.



**Εικόνα 1.22:** Υπόγειος χώρος του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Vikiinmaki κατά την φάση κατασκευής

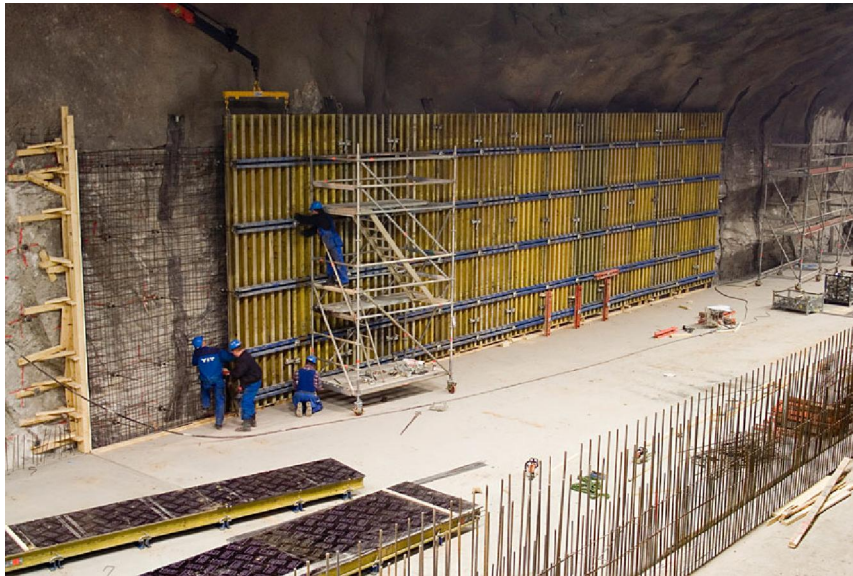
### **1.3.2.3 Εκσκαφή του νέου τμήματος του κέντρου**

Η εταιρεία Rock Mechanics Technology Ltd επιλέχθηκε για να μετρήσει και να υπολογίσει το τασικό πεδίο του βράχου, χρησιμοποιώντας προηγμένη τεχνολογία. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης δείγματα βράχου από γεωτρήσεις, μετρήσεις κατά τη διάτρηση, παρακολούθηση με κάμερες, σεισμικά κύματα και ραντάρ. Οι δύο κύριες τάσεις ήταν οριζόντιες με τιμές 8MPa και 3MPa αντίστοιχα. Η τρίτη κύρια τάση είναι κατακόρυφη και έχει τιμή 1MPa. Κτίρια που προορίζονταν για κατοικία, ένα σχολείο και δρόμοι κατασκευάστηκαν ταυτόχρονα με το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων, θέτοντας περιορισμούς στις υπόγειες εκρήξεις και στις εργασίες υποστήριξης. Την εκσκαφή των επιπλέον 200.000m<sup>3</sup> ανέλαβε η YIT Construction Ltd. Οι εργασίες ξεκίνησαν το Μάιο του 2000 και ολοκληρώθηκαν τον Ιανουάριο του 2002 και ο προϋπολογισμός του έργου εκτιμήθηκε σε 5,6 εκατομμύρια ευρώ.

### **1.3.2.4 Υποστήριξη του υπόγειου χώρου**

Οι υπόγειοι θάλαμοι ενισχύθηκαν με αγκύρια πλήρους πάκτωσης (grouted rebarbolts) και ινοπλισμένο σκυρόδεμα (steel fiber reinforced shotcrete). Περίπου 5500 αγκύρια διαμέτρου 25mm τοποθετήθηκαν σε ένα τυπικό βάθος 4m και μία συνολική περιοχή 199.000 m<sup>2</sup> επενδύθηκε με σκυρόδεμα. Ένα αποστραγγιστικό δίκτυο τοποθετήθηκε κάτω από τη στρώση του σκυροδέματος για να διοχετεύει το νερό στη διαδικασία επεξεργασίας. Επίσης, αποστραγγιστικά γεωπλέγματα

τοποθετήθηκαν μεταξύ του βράχου των τοιχωμάτων και του σκυροδέματος. Η εισροή νερού για όλο το κέντρο επεξεργασίας ήταν εξαιρετικά χαμηλή, μόλις 200lit/min. Οι υπολογισμοί των μηχανικών ιδιοτήτων του άρρηκτου βράχου χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο σχεδιασμού για να εκτιμηθεί η επιτρεπόμενη μετατόπιση του βράχου που θα μπορούσε να προκληθεί από την εκσκαφή. Χρησιμοποιήθηκαν μηνυσιόμετρα (extensometers) για να μετρηθούν οι μετατοπίσεις σε κρίσιμα σημεία στην οροφή και στους στύλους κατά τη διάρκεια της εκσκαφής και της κατασκευής. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής παρακολουθούνταν τόσο τα φορτία που φέρει η υποστήριξη όσο και οι αλλαγές στο εντατικό πεδίο του βράχου σε τακτά χρονικά διαστήματα. Επιπρόσθετα, παρακολουθούνταν οι επιφανειακές καθιζήσεις που μπορεί να προκαλούνταν λόγω της εκσκαφής. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών και εκείνα των μετρήσεων βρίσκονταν σε στενή συμφωνία.



**Εικόνα 1.23:** Εργασίες κατά την κατασκευή του υπόγειου χώρου Viikinmaki



**Εικόνα 1.24:** Άποψη εργασιών κατά την φάση διάνοιξης και υποστήριξης του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki



**Εικόνα 1.25:** Άποψη εργασιών κατά την φάση διάνοιξης του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki

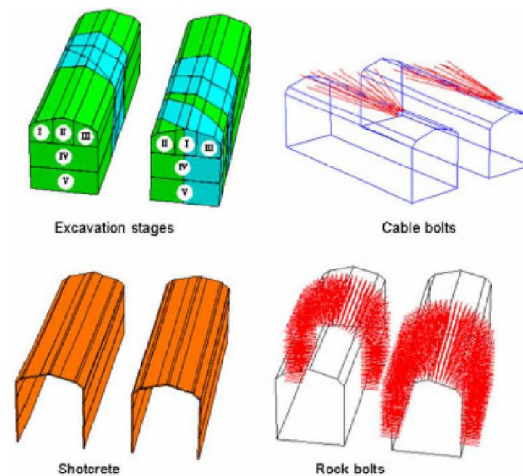


**Εικόνα 1.26:** Άποψη εργασιών κατά την φάση διάνοιξης του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Viikinmaki

### **1.3.2.5 Υποστήριξη των νέων υπόγειων χώρων**

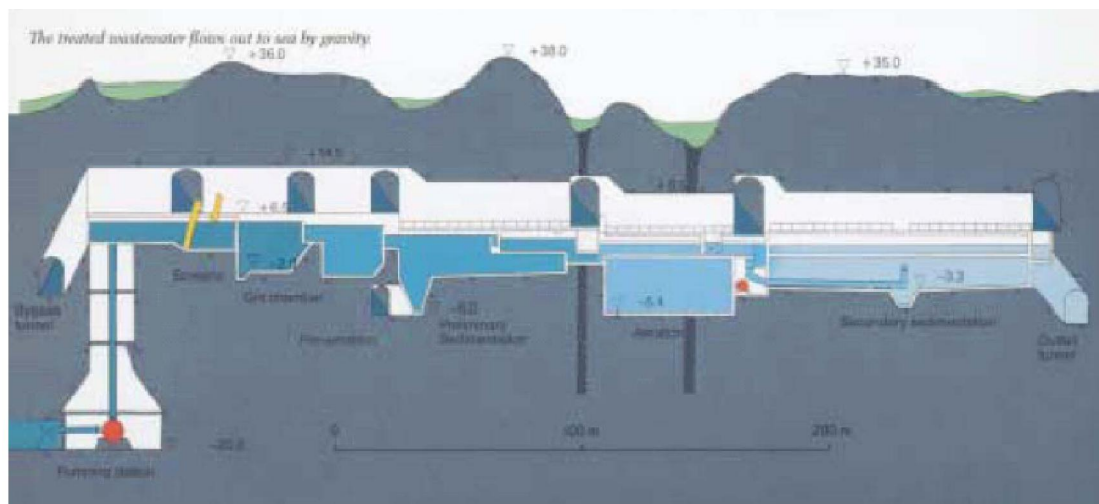
Ένα μηχάνημα Atlas Corco Boltec 435 SH χρησιμοποιήθηκε για τη διάτρηση και τοποθέτηση περίπου 60.000m χαλύβδινων αγκυριών. Επίσης η εταιρεία ΥΙΤ τοποθέτησε περίπου 6.500 m<sup>3</sup> σκυροδέματος και ενέσιμου υλικού όπου χρειαζόταν (πηγή: διαδίκτυο). Κάποιες αποχετευτικές σήραγγες που δεν χρησιμοποιούνταν πληρώθηκαν με 4.200m<sup>3</sup> σκυροδέματος για να αποκατασταθεί σε αυτή την περιοχή η βραχώμαζα. Όλη η ποσότητα του εκσκαπτόμενου βράχου θραύστηκε και χρησιμοποιήθηκε σε επιφανειακές κατασκευές, ως αδρανές υλικό. Αρχικά τα προϊόντα της εκσκαφής μεταφέρονταν στην επιφάνεια, αλλά όταν υπήρχε αρκετός ελεύθερος χώρος υπογείως, οι διαδικασίες θραύσης πραγματοποιούνταν μέσα στον υπόγειο χώρο. Το βραχώδες υπόστρωμα ήταν κυρίως σκληρό και κρυσταλλικό,

όμως η περιοχή όπου επεκτάθηκε το κέντρο διαπερνούνταν από μία ζώνη θραυσμένου υλικού, η οποία επηρέαζε τρεις από τους θαλάμους, που είχαν άνοιγμα 17m και ύψος υπερκειμένων μόνο 2 έως 3m. Κατά την τοποθέτηση των αγκυριών της οροφής και των τοιχωμάτων, η εκσκαφή προχωρούσε σε μικρό βαθμό (Εικόνα 1.27). Ο εξαερισμός του υπόγειου χώρου γινόταν σε δύο κατευθύνσεις (μεικτό σύστημα).



**Εικόνα 1.27:** Προσομοίωση των σταδίων εκσκαφής και της υποστήριξης

Η εκσκαφή ολοκληρώθηκε στις αρχές του 2002. Ο υπόγειος θάλαμος των φίλτρων κατασκευάστηκε το 2003 και οι πρόσθετες γραμμές επεξεργασίας στα τέλη του 2004. Στη συνέχεια παρατίθενται εικόνες από τους εσωτερικούς χώρους του υπόγειου κέντρου (Εικόνες 1.29, 1.30 και 1.31), καθώς και ένα διάγραμμα της τομής του κέντρου (Εικόνα 1.28).



**Εικόνα 1.28:** Τομή του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων



**Εικόνα 1.29:** Υπόγειοι χώροι του κέντρου επεξεργασίας λιμάτων



**Εικόνα 1.30:** Χώροι εργασίας του κέντρου επεξεργασίας λιμάτων



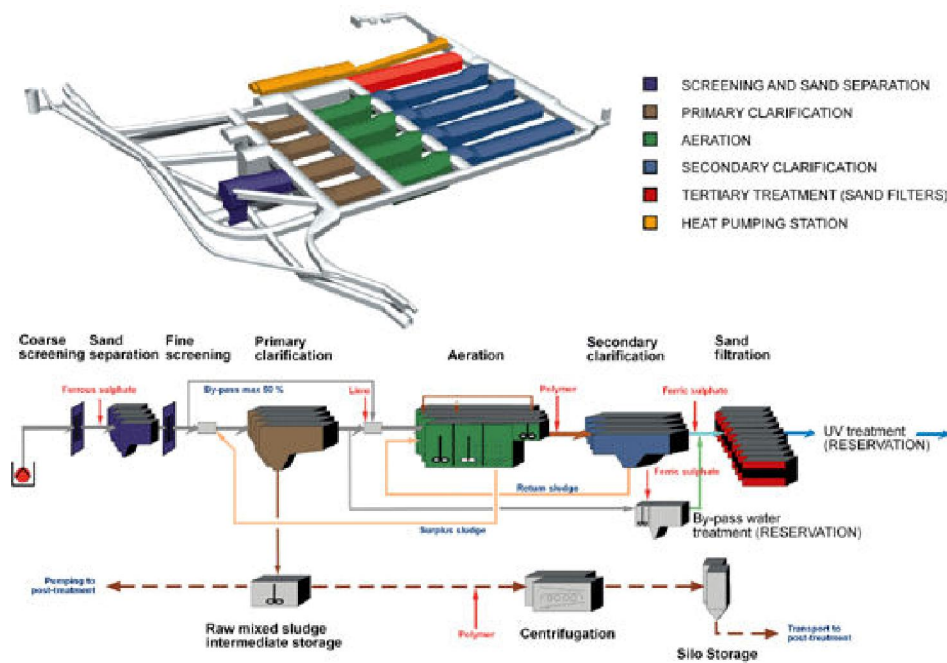
**Εικόνα 1.31:** Υπόγειος θάλαμος του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων

### **1.3.2.6 Περιγραφή του έργου (ΚΑΚΟΛΑΝΜΆΚΙ)**

Το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Kakolanmaki (Εικόνα 1.32) έχει σχεδιασθεί να επεξεργάζεται λύματα για περίπου 280.000 κατοίκους (πηγή: διαδίκτυο). Το πλεονέκτημα της υπόγειας εγκατάστασης επεξεργασίας είναι η συνοχή της θερμοκρασίας και της υψηλότερης μέσης θερμοκρασίας, η οποία είναι ιδιαίτερα επωφελής από την άποψη της απονιτροποίησης. Οι κλειστοί χώροι θα διευκολύνουν και τον έλεγχο των δυσάρεστων οσμών.



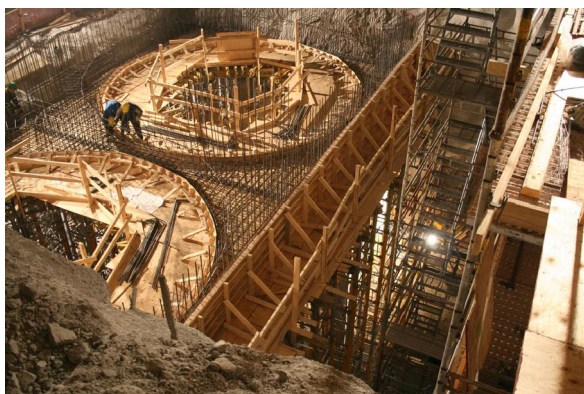
Εικόνα 1.32: Άποψη του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Κακολιανμακι



Εικόνα 1.33: Διάγραμμα ροής εργασιών

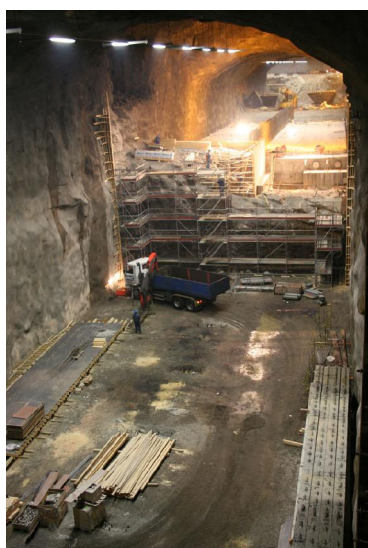


Εικόνα 1.34: Θάλαμοι του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Κακολιανμακι σε 3d σχέδιο



Εικόνα 1.35: Κατασκευή δεξαμενών του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Κακολιανμακι





**Εικόνα 1.36:** Κατασκευή των θαλάμων του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Kakolanmaki



**Εικόνα 1.37:** Κατασκευή των θαλάμων του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Kakolanmaki

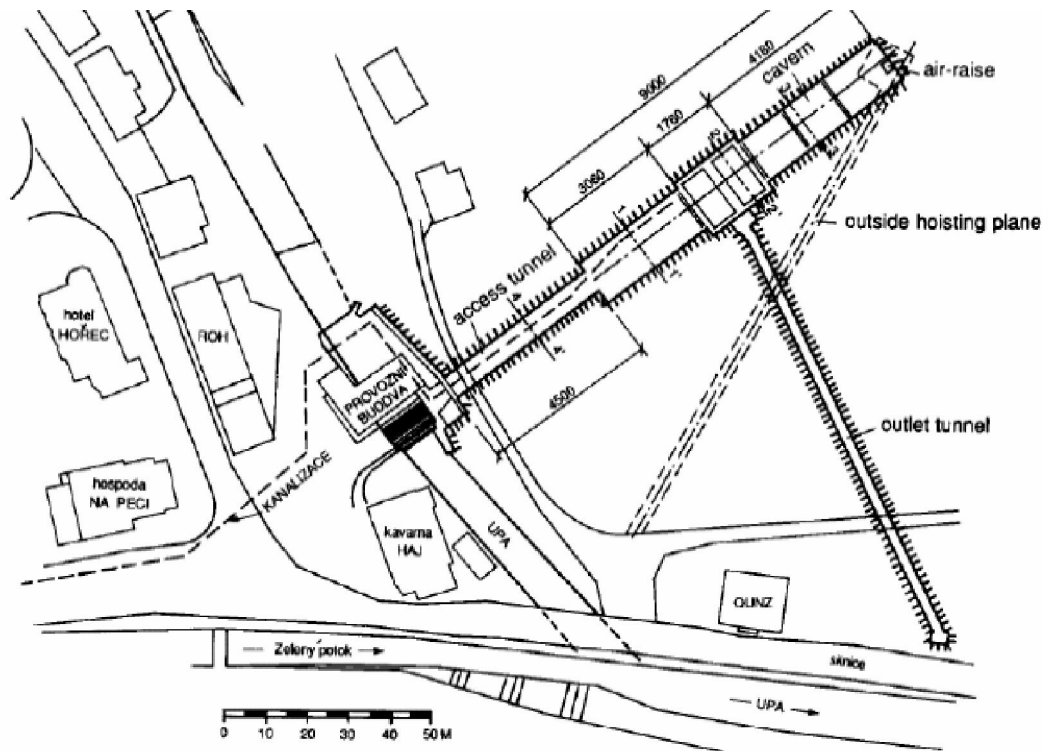
### 1.3.3 Τσεχία

Στην Τσεχία, στην περιοχή Pec pod Snezkou, όπου αναπτύσσεται το φυσικό πάρκο Giant Mountains National Park, μία ευρέως τουριστική περιοχή σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το πρώτο υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων (πηγή: διαδίκτυο). Η απόφαση της τοποθέτησης του κέντρου σε ένα υπόγειο θάλαμο υπερτερούσε της εναλλακτικής λύσης που πρότεινε την κατασκευή ενός επιφανειακού κέντρου επεξεργασίας λυμάτων, το οποίο θα βρισκόταν στην κοιλάδα

του ποταμού Ura, μπροστά από την είσοδο του Pec pod Snezku. Η χρήση υπόγειου χώρου για την κατασκευή του κέντρου αποτελεί ένα σημαντικό έργο, αφού περιόρισε τη χρήση του επιφανειακού χώρου και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε μία περιοχή μεγάλης τουριστικής αξίας.

### **1.3.3.1 Περιγραφή του έργου**

Από την άποψη διαχείρισης του νερού, το υπόγειο κέντρο σχεδιάστηκε έχοντας ως σκοπό τη δημιουργία στερεοποιημένης λάσπης, ολοκληρώνοντας με αυτό τον τρόπο το βιολογικό καθαρισμό των υγρών αποβλήτων. Η στερεοποιημένη λάσπη μεταφέρεται με φορτηγά για περαιτέρω επεξεργασία στο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων της πόλης, στο Trunton. Το έργο περιλαμβάνει επίσης τρεις βασικές γραμμές υπονόμων στο χωριό, οι οποίες διαμορφώνουν τις βάσεις για τη δημιουργία ενός μελλοντικού δικτύου αποχέτευσης. Η τοποθεσία του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων απεικονίζεται στην Εικόνα 1.38. Το κέντρο τοποθετείται στη νοτιοδυτική πλαγιά κοντά στη συμβολή του ποταμού Ura με το Zeleny potok (Green Brook), στο νοτιοανατολικό όριο του χωριού. Ο χώρος επεξεργασίας του κέντρου τοποθετείται σε ένα υπόγειο θάλαμο, ο οποίος έχει μία σήραγγα εισόδου που δέχεται τα λύματα, ένα φρέαρ εξαερισμού και ένα αγωγό λυμάτων. Τα υπόλοιπα κτίρια τοποθετούνται επιφανειακά, κοντά στην είσοδο της σήραγγας. Όμως, λόγω της έλλειψης ελεύθερου επιφανειακού χώρου, ορισμένες κατασκευές, όπως το κτίριο εξυπηρέτησης, τα έργα διευθέτησης της κοίτης του ποταμού και το μηχανολογικό δίκτυο, τοποθετούνται άνωθεν του ποταμού Ura.



Εικόνα 1.38: Τοποθεσία του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων στο Pec pod Snezku

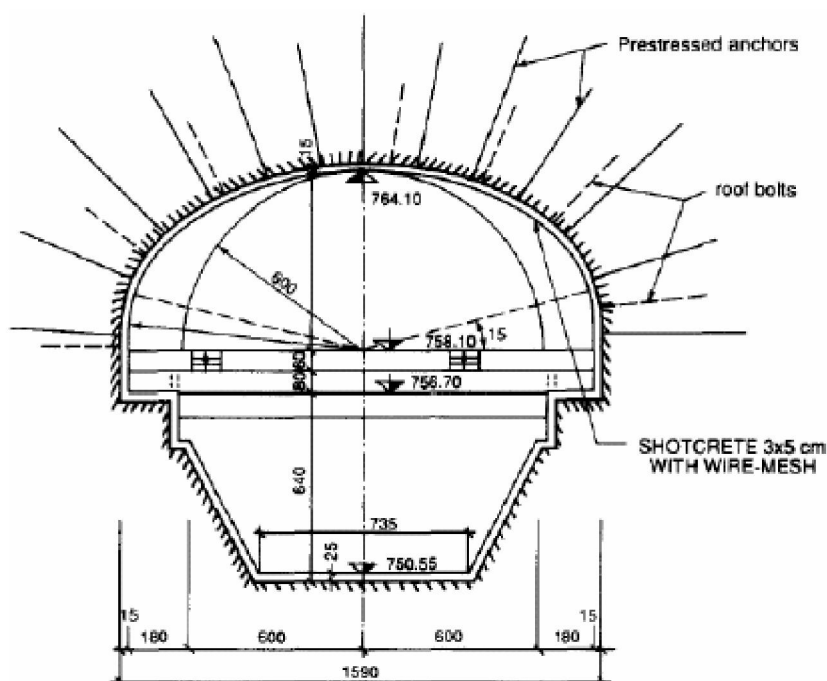
### 1.3.3.2 Γεωλογικές συνθήκες

Η απόφαση να επιλεγθεί η λύση της υπόγειας κατασκευής βασίσθηκε σε ένα μεγάλο βαθμό στις καλές γεωλογικές και μορφολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Χάρη στη φυσική κλίση του εδάφους στο Pec pod Snezku, η νοτιοδυτική αριστερή όχθη του ποταμού Ura, πάνω από τη συμβολή του με το Green Brook επιλέχθηκε ως η καταλληλότερη περιοχή για την τοποθέτηση του υπόγειου έργου. Η κατάσταση του πετρώματος εξετάστηκε με χρήση γεωφυσικών μεθόδων και συγκεκριμένα με σεισμικές μεθόδους. Η μελέτη ολοκληρώθηκε με γεωτρήσεις, οι οποίες έδωσαν μία ολοκληρωμένη εικόνα των γεωλογικών συνθηκών στο χώρο κατασκευής. Τα αποτελέσματα των ερευνητικών γεωτρήσεων έδειξαν ότι στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν διάφοροι τύποι μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου. Επιπρόσθετα, τα καρότα των γεωτρήσεων περιλάμβαναν χαλαζία και φλέβες πηγματίτη, το πάχος των οποίων ποικίλει από χιλιοστά μέχρι εκατοστά.

Η κατάσταση του βράχου εκτιμήθηκε από τους γεωλόγους καλή ή ακόμα καιπολύ καλή, σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης της βραχώμαζας Q (Barton et al., 1974), λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δειγμάτων καθώς και τις μετρημένες τιμές των σεισμικών ταχυτήτων.

### 1.3.3.3 Κατασκευή και υποστήριξη των υπόγειων έργων

Η είσοδος στον υπόγειο θάλαμο του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων διαμορφώνεται από μία σήραγγα πρόσβασης πλάτους 6,2m, ύψους 4,2m, μήκους 50m και εμβαδού εκσκαφής 25 m<sup>2</sup>. Το ύψος των υπερκειμένων κυμαίνεται από 0 έως 26m. Τα πρώτα 30m της σήραγγας είναι επενδεδυμένα με χαλύβδινα πλαίσια και οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 10cm. Τα επόμενα 20m της σήραγγας υποστηρίζονται με αγκύρια οροφής 3m και ένα στρώμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος ενισχυμένο με δομικό πλέγμα. Επί του δαπέδου της σήραγγας βρίσκεται ο αγωγός μέσω του οποίου μεταφέρονται τα υγρά απόβλητα στο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων (Εικόνα 1.39).



Εικόνα 1.39: Εγκάρσια τομή του αγωγού προώθησης των λυμάτων στο κέντρο

Η προσωρινή υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής γίνεται με χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος, ενώ η ενίσχυση της οροφής πραγματοποιείται με αγκύρια απλά και προεντεταμένα, καθώς και με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Το σύστημα των αγκυρίων οροφής, των προεντεταμένων αγκυρίων και του εκτοξευόμενου σκυροδέματος συγκρατεί τη βραχώμαζα δημιουργώντας ένα λεπτό δακτύλιο, ο οποίος εμποδίζει τη χαλάρωση και βοηθά την αυτοϋποστήριξη του πετρώματος. Η μέθοδος σχεδιασμού της υποστήριξης επιτρέπει τη λειτουργική ρύθμιση της πυκνότητας και της διεύθυνσης των αγκυρίων οροφής και των προεντεταμένων αγκυρίων, καθώς και του πάχους του εκτοξευόμενου σκυροδέματος σύμφωνα με τις επικρατούσες γεωλογικές συνθήκες. Παράλληλα, είναι απαραίτητο να μετρούνται οι συγκλίσεις του ανοίγματος σε τακτά χρονικά διαστήματα, έτσι ώστε να επιβεβαιώνεται η αποτελεσματικότητα της υποστήριξης. Η σήραγγα πρόσβασης επικοινωνεί με το θάλαμο επεξεργασίας λυμάτων που περιλαμβάνει όλο τον τεχνολογικό εξοπλισμό, καθώς επίσης τον εξαερισμό και φρεάτια συγκέντρωσης νερών. Ο υπόγειος θάλαμος αποτελεί ένα ευρύχωρο υπόγειο έργο με μία θολωτή οροφή, η οποία στην τελική της φάση ενισχύεται με ένα στρώμα εκτοξευόμενου σκυροδέματος πάχους 12 έως 15cm και διπλό δομικό πλέγμα. Το τελευταίο σχεδιάστηκε σε συνδυασμό με αγκύρια οροφής 3m, αντοχής 60 KNt και προεντεταμένα αγκύρια μήκους 4,5 έως 5,5m, αντοχής 100 KNt. Ο σχεδιασμός της υποστήριξης βασίζεται στην ταξινόμηση του βράχου σύμφωνα με το εμπειρικό σύστημα ταξινόμησης της βραχώμαζας Q, και τις διαστάσεις του ανοίγματος. Συγχρόνως, λήφθηκαν υπόψη οι διαστάσεις των κατασκευών που θα τοποθετηθούν υπογείως, σύμφωνα με εμπειρικές εκτιμήσεις. Για τους στατικούς υπολογισμούς, θεωρήθηκαν οι παρακάτω μηχανικές ιδιότητες για τον άρρηκτο βράχο:

Γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi = 22^{\circ}$

Συνοχή  $c = 1,2 \text{ MPa}$

Λόγος Poisson  $\nu = 0,2$

Μέτρο ελαστικότητας  $E = 10 \text{ MPa}$

Τιμή Q = 27 έως 60

Η εκσκαφή και η υποστήριξη του θαλάμου πραγματοποιήθηκε σε διάφορες φάσεις με τη μέθοδο των τμηματικών μετώπων εκσκαφής(πηγή: διαδίκτυο). Το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την εξόρυξη ενός τμήματος (top heading), το εμβαδόν του οποίου είναι περίπου  $28 \text{ m}^2$  και το συνολικό του μήκος 100m. Κατά τη διάρκεια των υπόλοιπων φάσεων κατασκευής, ο υπόγειος θάλαμος ολοκληρώνεται για να δεχτεί ένα οχετό υγρών αποβλήτων, μήκους περίπου 100m και έκτασης  $6,4 \text{ m}^2$ . Το συνολικό μήκος του υπόγειου θαλάμου είναι 90m, ενώ το πλάτος του ποικίλει από

12,2 έως 15,8m. Το ύψος των υπερκειμένων ποικίλει από 26 έως 50m. Στο τέλος του υπόγειου θαλάμου βρίσκεται ένα φρέαρ εξαερισμού ύψους 45m και διαστάσεων 1,9m x 2,2m, επενδεδυμένο με σκυρόδεμα, το οποίο οδηγεί στην επιφάνεια με τη μέθοδο της ανυψωτικής οριζόντιας στοάς.

#### **1.3.3.4 Τεχνικά και οικονομικά δεδομένα**

Από την 1η Ιανουαρίου 1986, η κατασκευή του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων αποτέλεσε δεσμευτικό έργο για την πολιτεία. Τεχνικά και οικονομικά δεδομένα για το έργο δίδονται στον Πίνακα 1.1 (Καρβώνη Ζαφειρούλα, Φεβρουάριος 2006):

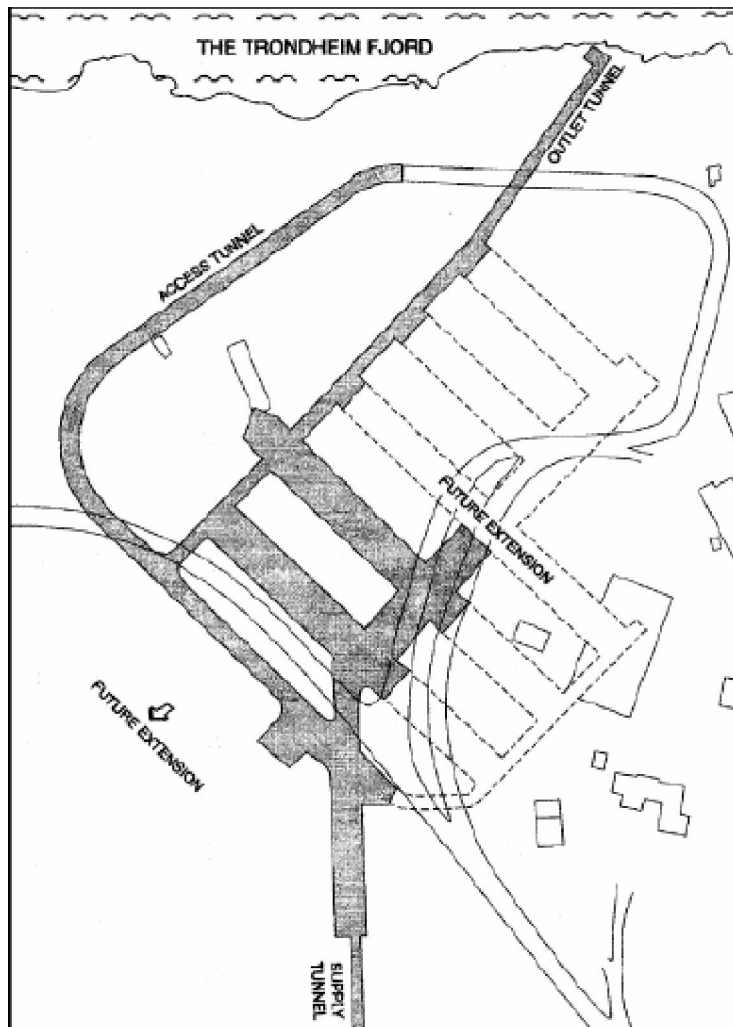
|   |                          |
|---|--------------------------|
| <b>Έναρξη της κατασκευής</b>                      | Αύγουστος 1985           |
| <b>Ημερομηνία ολοκλήρωσης</b>                     | Οκτώβριος 1988           |
| <b>Συνολικό κόστος κατασκευής</b>                 | 47.000.000 Czech. crowns |
| <b>Κόστος κατασκευής υπόγειων χώρων</b>           | 26.700.000 Czech. crowns |
| <b>Συνολικός όγκος μετώπου εκσκαφής</b>           | 13.500 m <sup>3</sup>    |
| <b>Κόστος ανά m<sup>3</sup> μετώπου εκσκαφής:</b> |                          |
| Σήραγγα πρόσβασης                                 | 1670 Czech. crowns       |
| Υπόγειος θάλαμος                                  | 1450 Czech. crowns       |
| Οχετός λυμάτων                                    | 2200 Czech. crowns       |
| Φρέαρ εξαερισμού                                  | 1880 Czech. crowns       |

**Πίνακας 1.1:** Τεχνικά και οικονομικά δεδομένα για το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στο Pec pod Snezkou (πηγή: διαδίκτυο)

## **1.3.4 Νορβηγία**

### **1.3.4.1 Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Hovringen**

Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Hovringen στη Νορβηγία (Εικόνα 1.40) κατασκευάσθηκε σε σκληρό βραχώδες στρώμα γνευσίου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι υπόγειοι θάλαμοι να μη χρειάζονται σχεδόν καθόλου υποστήριξη, παρά μόνο σε ορισμένα τμήματα, όπου χρησιμοποιήθηκαν αγκύρια και σκυρόδεμα. Μέσα στους υπόγειους θαλάμους στεγάζεται ο εξοπλισμός του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων, ενώ έχει γίνει μελέτη για μελλοντική επέκταση του κέντρου. Το κέντρο εξυπηρετεί 90.000 κατοίκους, δηλαδή το 70% του πληθυσμού της πόλης Trondheim. Το επεξεργασμένο νερό εκβάλλει στη θάλασσα, χωρίς να υπάρχει καμία ένδειξη μόλυνσης του θαλασσινού νερού(πηγή: διαδίκτυο).



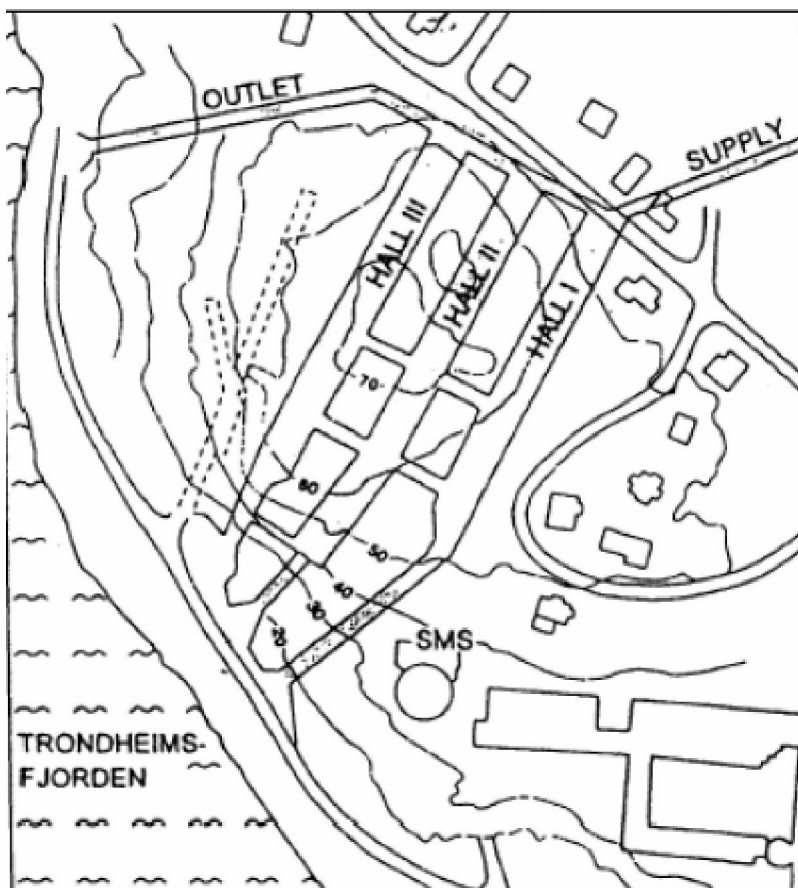
Εικόνα 1.40: Υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Hovringen

#### 1.3.4.2 Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ladehammeren

Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ladehammeren κατασκευάστηκε σε σχηματισμό πρασινοσχιστολίθου. Σε αυτή την περιοχή, πολλοί υπόγειοι θάλαμοι είχαν δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια του 2ου Παγκοσμίου Πολέμου για στρατιωτικούς σκοπούς(πηγή: διαδίκτυο). Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1970, κάποιοι από αυτούς αξιοποιήθηκαν και έγιναν οι πρώτοι υπόγειοι, ψυκτικοί, αποθηκευτικοί χώροι στον κόσμο. Ο σχεδιασμός του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων ξεκίνησε το 1992. Λόγω του συνδυασμού της πυκνοκατοικημένης περιοχής και του στενού κολπίσκου στο φιόρδ Inner Oslo, αυτό μολυνόταν ολοένα και περισσότερο και γινόταν λιγότερο ελκυστικό ως περιοχή αναψυχής. Προκειμένου να βελτιωθεί η ποιότητα του νερού, κατασκευάστηκαν τη δεκαετία του 1980 (Rohde et al.) ένα σύστημα σηράγγων μεταφοράς λυμάτων και ένα υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων. Εκτός από το σταθμό άντλησης στο Frognerparken, η ροή των λυμάτων μέσα στις σήραγγες



γινόταν μέσω της βαρύτητας. Για να ικανοποιηθούν οι νέοι περιορισμοί για μείωση της διαφυγής συστατικών φωσφόρου και αζώτου, ήταν υποχρεωτική η επέκταση του κέντρου και η βελτίωση της επεξεργασίας. Παρόλες τις δύσκολες υπόγειες κατασκευαστικές εργασίες κατά τη διάρκεια επέκτασης του κέντρου, αυτό βρισκόταν σε συνεχή λειτουργία με μείωση μόνο κατά 10÷20% της αποδοτικότητάς του. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.41, το κέντρο αποτελείται από τρεις υπόγειους θαλάμους, οι οποίοι έχουν συνολικό μήκος 450m, ενώ ο συνολικός εκσκαπτόμενος όγκος, συμπεριλαμβανομένων και των σηράγγων φτάνει τα 100.000 m<sup>3</sup>. Το κέντρο δέχεται λύματα 50.000 κατοίκων, καθώς και βιομηχανικά υγρά απόβλητα και πραγματοποιείται δευτεροβάθμια επεξεργασία λυμάτων. Καθώς βρίσκεται κοντά σε κέντρα επιχειρήσεων του ναυτικού, η εκσκαφή του κέντρου πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ελεγχόμενης ανατίναξης, προκειμένου να αποφευχθεί η πρόκληση δονήσεων. Οι υπόγειοι θάλαμοι και οι σήραγγες υποστηρίχθηκαν με αγκύρια και σκυρόδεμα. Χρησιμοποιήθηκε ενισχυμένο σκυρόδεμα με μεμβράνη πολυαιθυλενίου, πάχους 50mm, για την αποφυγή εισροής νερού, καθώς και για προστασία σε περίπτωση πυρκαγιάς.



**Εικόνα 1.41:** Υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Ladehammeren

### 1.3.4.3 Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στην περιοχή του Όσλο

Οι σήραγγες μεταφοράς υγρών αποβλήτων στην περιοχή του Όσλο χρονολογούνται από τη δεκαετία του 1950. Σήμερα, στο Όσλο έχουν κατασκευαστεί πάνω από 57km σηράγγων μεταφοράς λυμάτων (πηγή: διαδίκτυο). Τα υγρά απόβλητα μεταφέρονται στα δύο κύρια κέντρα επεξεργασίας, ένα σε κάθε πλευρά του φιόρδ. Εξαιτίας του λοφώδους ανάγλυφου και της τάσης να μεταφέρονται τα λύματα στα κέντρα επεξεργασίας μέσω της βαρύτητας, κατασκευάζοντας όσο το δυνατό λιγότερους σταθμούς άντλησης, χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλο βαθμό σήραγγες. Αυτά τα κέντρα εάν είχαν τοποθετηθεί στην επιφάνεια του εδάφους, θα καταλάμβαναν τεράστιες εκτάσεις και μπορεί να παρήγαγαν αέρια και οσμές που δεν είναι αποδεκτές από τους κατοίκους. Για αυτό το λόγο, τα κέντρα επεξεργασίας λυμάτων τοποθετούνται υπογείως σε διάφορες τοποθεσίες, στα προάστια του Όσλο. Από το Όσλο μία σήραγγα μήκους 23km οδηγεί στο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στη νοτιοδυτική ακτή. Οι συλλεκτήριες σήραγγες που καταλήγουν σε αυτό το κέντρο έχουν συνολικό μήκος 42km και υπάρχουν 40 στόμια εισόδου.

Το υπόγειο βιολογικό συγκρότημα, νοτιοδυτικά του Όσλο είναι το μεγαλύτερο, με υπόγειους θαλάμους που καταλαμβάνουν όγκο 400.000m<sup>3</sup>. Επεξεργάζεται λύματα από 315.000 κατοίκους που διαμένουν στην περιοχή, καθώς επίσης και βιομηχανικά λύματα που αντιστοιχούν περίπου σε 250.000 ανθρώπους.

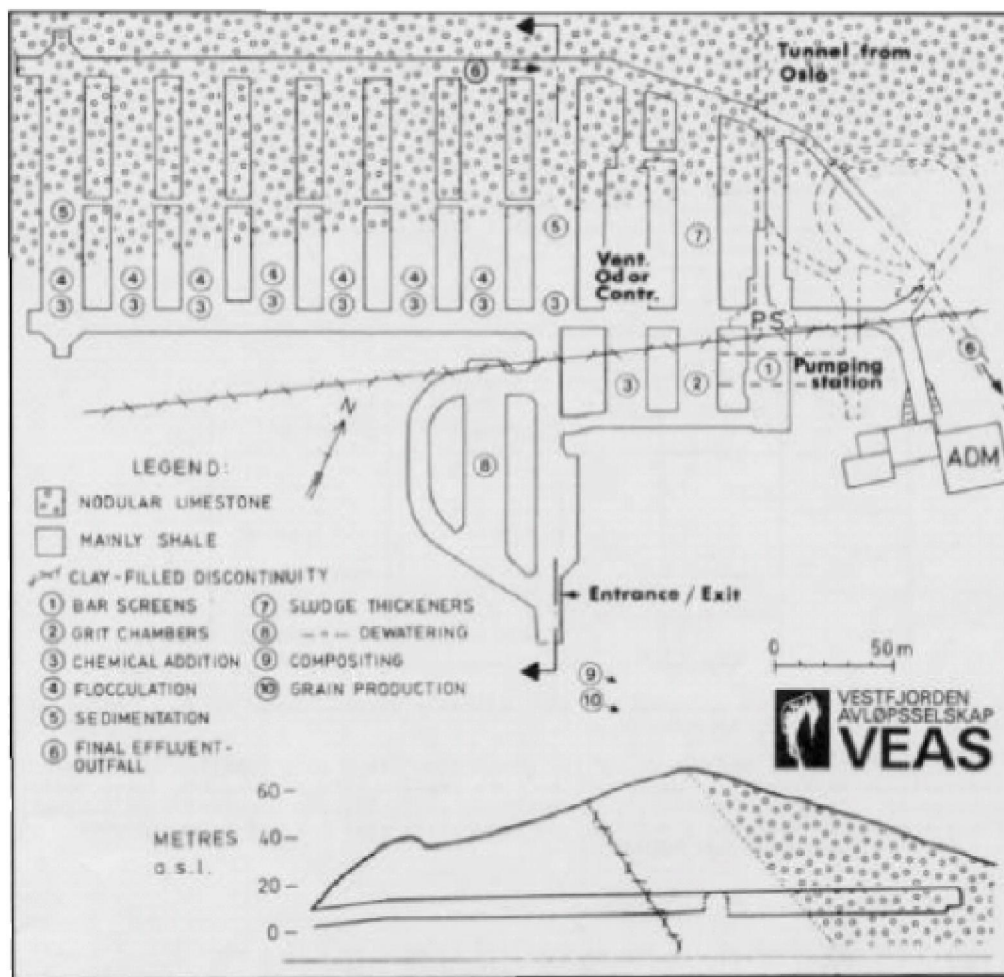
### 1.3.4.4 Περιγραφή του έργου

Η πολιτεία του Όσλο αποφάσισε το 1976 να κατασκευάσει ένα μεγάλο, τοπικό υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στο Bjerkas, στο Asker. Αυτή η τοποθεσία βρίσκεται περίπου 30km νοτιοδυτικά του Όσλο και αποτελεί το τέρμα περίπου 42km σηράγγων που έχουν διανοιχτεί με TBM και χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υγρών αποβλήτων. Το υπόγειο έργο κατασκευάστηκε σε ιζηματογενή πέτρωμα παλαιοζωικής ηλικίας. Τα αποτελέσματα γεωλογικής ταξινόμησης δείχνουν ότι το πέτρωμα αντιστοιχεί σε κατηγορία πετρωμάτων πολύ φτωχή προς μέτρια, ακόμα και σε περιοχές που δε θραύονται από ζώνες διάτμησης (Εικόνα 1.42).

Η εκσκαφή του υπόγειου κέντρου υπολογίζεται σε 400.000m<sup>3</sup> και οι εργασίες υποστήριξης περιλαμβάνουν συνολικά 14.000m<sup>3</sup> σκυροδέματος και 25.000 αγκύρια. Ο προγραμματισμένος χρόνος επέτρεπε ένα μόνο χρόνο για την εκσκαφή και την

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ & ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ**

υποστήριξη των 11 υπόγειων θαλάμων με άνοιγμα 16m, μήκος 100m και έκταση 150m<sup>3</sup>. Κατασκευάστηκαν επίσης συνδετήριες σήραγγες, σήραγγες κίνησης και μία σήραγγα εξόδου, μήκους 925m. Η προσφορά για το έργο, τον Αύγουστο του 1978, ήταν 20 εκατομμύρια δολάρια περίπου. Το 30% αντιστοιχεί στην εκσκαφή, το 30% στην υποστήριξη, το 30% στο σκυρόδεμα και τις εγκαταστάσεις και το 10% στις επιφανειακές εργασίες.



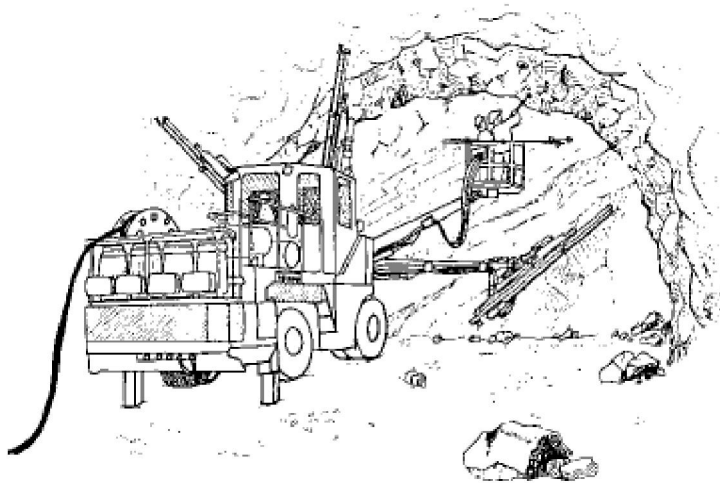
**Εικόνα 1.42:** Γενικό σχέδιο του έργου και γεωλογία της περιοχής

| Βραχομάζα             | Τιμή Q     | Κατηγορία                    |
|-----------------------|------------|------------------------------|
| Ασβεστόλιθος          | 5 ÷ 10     | Μέτρια                       |
| Αργιλικός σχιστόλιθος | 0.5 ÷ 10   | Πολύ φτωχή προς μέτρια       |
| Ζώνες διάτμησης       | 00.5 ÷ 0.5 | Εξαιρετικά φτωχή προς μέτρια |

**Πίνακας 1.2:** Ανάλυση ποιότητας πετρωμάτων της περιοχής (πηγή: διαδίκτυο)

### 1.3.4.5 Στάδια εκσκαφής και μέτρα υποστήριξης

Οι κύριοι υπόγειοι θάλαμοι διανοίχτηκαν με συμβατικά μέσα, σε δύο φάσεις (top heading και bench) και είχαν μέγιστο ύψος top heading 8m. Η διάτρηση πραγματοποιήθηκε με ηλεκτρο-υδραυλικό διατρητικό φορείο με χρήση ειδικών τεχνικών ορύξεως. Μετά την ανατίναξη, το υλικό φορτώνονταν σε ένα φορτωτή Komatsu χωρητικότητας 7t για τη μεταφορά του. Το επόμενο βήμα ήταν το ξεσκάρωμα, το οποίο πραγματοποιούνταν μηχανικά με ένα εκσκαφέα. Η ομάδα σκυροδέτησης ακολουθούσε, καλύπτοντας την οροφή και τα τοιχώματα με σκυρόδεμα πάχους 10cm κάθε φορά. Το ακροφύσιο σκυροδέτησης στηριζόταν σε ένα τηλεκατευθυνόμενο, κάθε φορά υδραυλικό βραχίονα.



Εικόνα 1.43: Τοποθέτηση αγκυρίων

Η διάτρηση οπών για την τοποθέτηση αγκυρίων πραγματοποιείται από ένα άτομο με χρήση ενός διατρητικού jumbo. Ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, ο κάνναβος κοχλίωσης είχε διαστάσεις 1,5m x 1,5m έως 1,0m x 1,0m. Το τελευταίο βήμα ήταν η τοποθέτηση των αγκυρίων. Οι οπές γέμιζαν με ένα ειδικό τσιμεντένεμα. Ύστερα, μία χαλύβδινη ράβδος μήκους 3,5m και διαμέτρου 25mm τοποθετούνταν μέσα στο τσιμεντένεμα. Στον Πίνακα 1.3 που ακολουθεί αναφέρονται τα έξι βήματα εργασίας που ακολουθούνταν.

|               |   |
|---------------|---|
| <b>Βήμα 1</b> | Διάτρηση και ανατίναξη                    |
| <b>Βήμα 2</b> | Φόρτωση και μεταφορά                      |
| <b>Βήμα 3</b> | Ξεσκάρωμα                                 |
| <b>Βήμα 4</b> | Σκυροδέτηση                               |
| <b>Βήμα 5</b> | Διάτρηση οπών για τοποθέτηση αγκυρίων     |
| <b>Βήμα 6</b> | Grouting και τοποθέτηση χαλύβδινων ράβδων |

Πίνακας 1.3: Στάδια εργασίας (πηγή: διαδίκτυο)

#### 1.3.4.6 Απόδοση των εργασιών

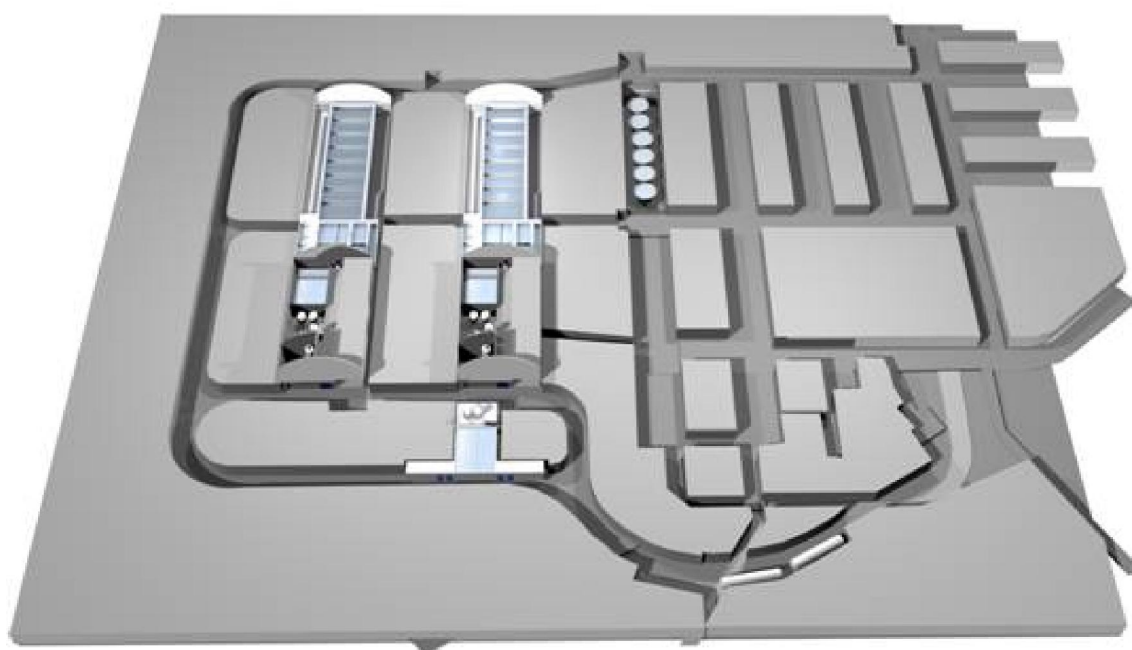
Οι εργασίες ξεκίνησαν τον Αύγουστο 1978 και στο τέλος του 1979, η εκσκαφή και η υποστήριξη των υπόγειων θαλάμων, είχαν ολοκληρωθεί σύμφωνα με το πρόγραμμα. Μία εκτίμηση δείχνει ότι κάθε βάρδια εργασίας (7,5 ώρες) που αποτελούνταν από 20 άτομα, εργοδηγούς και επιβλέποντα, παρήγαγε το παρακάτω έργο κατά μέσο όρο: εκσκαφή 500m<sup>3</sup> βράχου, τοποθέτηση 42 αγκυρίων (L = 3,5m) και τοποθέτηση 23m<sup>3</sup> σκυροδέματος. Το 90% του σκυροδέματος παρέμενε στην επιφάνεια της βραχώμαζας, ενώ το υπόλοιπο 10% χανόταν λόγω αναπηδήσεων. Κατά τη μέγιστη απόδοση, και όταν ήταν διαθέσιμη μεγάλη επιφάνεια πετρώματος, η παραγωγή της βάρδιας ήταν πάνω από 51m<sup>3</sup> σκυροδέματος.

#### 1.3.4.7 Κατανομή κόστους

Η τελική κατανομή του κόστους δεν απείχε πολύ από τις αρχικές εκτιμήσεις, όπως φαίνεται παρακάτω(πηγή: διαδίκτυο):

- ❖ Σκυρόδεμα 29,4%
- ❖ Εργασίες υποστήριξης της βραχώμαζας 20,3%
- ❖ Εκσκαφή με συμβατικά μέσα 27,2%
- ❖ Ενεμάτωση (grouting) 0,6%
- ❖ Άλλα τεχνικά έργα 4,3%

Το έργο προγραμματιζόταν να ολοκληρωθεί την 1η Οκτωβρίου 1981. Η δοκιμαστική λειτουργία του κέντρου πραγματοποιήθηκε την άνοιξη του 1981 και η πρώτη επεξεργασία υγρών αποβλήτων έγινε στις 8 Μαρτίου 1982. Τελικά, το υπόγειο κέντρο ολοκληρώθηκε σύμφωνα με το πρόγραμμα και λειτούργησε επίσημα τον Ιούνιο 1982.



**Εικόνα 1.44:** Σκίτσο υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Oslo

### 1.3.5 Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στην πόλη North Jaeren, κοντά στο Stavanger

Το κέντρο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στην πόλη North Jaeren είναι ένα από τα μεγαλύτερα και πιο εξελιγμένο τεχνολογικά παγκοσμίως. Το κέντρο εξυπηρετεί την πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή γύρω από το Stavanger, όπου διαμένουν 210.000 κάτοικοι (πηγή: διαδίκτυο).



**Εικόνα 1.45:** Υπόγεια δεξαμενή του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stavanger

Το έργο κατασκευάστηκε στα πλαίσια της προσπάθειας της χώρας για μείωση της μόλυνσης της Βόρειας Θάλασσας. Ο ωκεανός δεν μπορούσε να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τη διάθεση των υγρών αποβλήτων. Επίσης, η νομοθεσία ήταν τόσο αυστηρή, που η κυβέρνηση δεν παραχωρούσε πλέον δικαιώματα για χρήση της

θάλασσας για τέτοιους σκοπούς. Για αυτό το λόγο κατασκευάστηκε το συγκεκριμένο κέντρο, μεγάλο τμήμα του οποίου είναι υπόγειο. Κύριος σκοπός τη επεξεργασίας στο υπόγειο αυτό κέντρο είναι η απομάκρυνση του φωσφόρου από τα υγρά απόβλητα, ο οποίος προέρχεται κυρίως από διάφορα απορρυπαντικά. Μία άλλη πηγή μόλυνσης είναι το άζωτο, η απομάκρυνση του οποίου δεν είναι ακόμα υποχρεωτική από το νόμο, αλλά το κέντρο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι δυνατή η πραγματοποίηση αυτής της διαδικασίας στο μέλλον.

Η διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ξεκινά με την προεπεξεργασία. Μία κύρια αποχετευτική σήραγγα μήκους 8km μεταφέρει τα υγρά απόβλητα από το Stavanger και τις γύρω περιοχές στο υπόγειο κέντρο. Ενώ η μεταφορά των λυμάτων γίνεται μέσω της βαρύτητας, μέσα στο κέντρο τα λύματα πρέπει να αντληθούν σε δεξαμενές που βρίσκονται σε ύψος 22m, όπου απομακρύνονται τα χονδρά υλικά και η άμμος (Εικόνα 1.46). Η διαδικασία πραγματοποιείται σε μία τεράστια δεξαμενή διαχωρισμού (διυλιστήριο) και προκειμένου να διευκολυνθεί ο διαχωρισμός των υλικών, προστίθεται χλωριούχος σίδηρος.

Σε ένα υπόγειο θάλαμο τοποθετούνται δύο δεξαμενές τέτοιου τύπου. Κατά τη διάρκεια του φιλτραρίσματος, με τη βοήθεια των παραπάνω ουσιών η λάσπη συγκεντρώνεται στον πυθμένα της δεξαμενής. Καθημερινά απομακρύνονται 400m<sup>3</sup> λάσπη και στερεοποιούνται σε δεξαμενές χώνευσης.

Στη συνέχεια, αυτή η μάζα απαλλάσσεται από το νερό σε φυγοκεντρωτές, δημιουργώντας ένα στέρεο κατά 30% υλικό. Ένας κυλινδρικός, θερμός στεγνωτήρας χρησιμοποιείται για την περαιτέρω απομάκρυνση της υγρασίας. Το τελικό προϊόν αποτελείται κατά 80% από στερεό υλικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση του εδάφους. Κατά τη διάρκεια της παραπάνω διαδικασίας απομακρύνονται το 90% του φωσφόρου και το 70% των οργανικών ουσιών από τα υγρά απόβλητα. Το επεξεργασμένο νερό μεταφέρεται μέσω μίας υπόγειας σήραγγας μήκους 4km και εκρέει στη θάλασσα. Οι σήραγγες εισόδου και εξόδου διανοίγονται με τη μέθοδο ολομέτωπης κοπής και έχουν διάμετρο 4,5m.





**Εικόνα 1.46:** Άντληση των λυμάτων για την περαιτέρω επεξεργασία τους

Στους υπόγειους θαλάμους (Εικόνα 1.47), το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για υποστήριξη μόνο σε τμήματα όπου πραγματοποιούνται σημαντικές λειτουργίες. Ο εξοπλισμός του κέντρου συμβαδίζει με τη νορβηγική φιλοσοφία, κάθε χώρος εργασίας να είναι όσο το δυνατό πιο άνετος, ακόμα και αν τα άτομα που εργάζονται σε αυτόν είναι ελάχιστα. Όλες οι λειτουργίες του κέντρου είναι αυτοματοποιημένες.

Οι τέσσερις υπόγειοι θάλαμοι όπου βρίσκονται οι δεξαμενές διαχωρισμού καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο όγκο. Κατά την εκσκαφή τους, τουλάχιστον 100.000m<sup>3</sup> προϊόντων εκσκαφής έπρεπε να μεταφερθούν. Το υλικό εκσκαφής απορρίπτονταν στη θάλασσα μπροστά από το κέντρο.

Εκτός από την κοινή τεχνολογία σηράγγων, στο συγκεκριμένο έργο εφαρμόστηκαν κάποιες ασυνήθιστες μέθοδοι χρήσης σκυροδέματος. Τα τελειώματα των δεξαμενών απαιτούσαν σκυρόδεμα υψηλών προδιαγραφών, υψηλής εφελκυστικής αντοχής και ανθεκτικότητας στο νερό (υδραυλικότητα), διότι η διαρροή

υγρών αποβλήτων θα δημιουργούσε προβλήματα στα χαμηλότερα τμήματα του κέντρου. Για αυτό το λόγο, οι δεξαμενές σφραγίζονταν με μία στεγανοποιητική στρώση κατάλληλου υλικού.



**Εικόνα 1.47:** Υπόγειοι θάλαμοι του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stavanger

### 1.3.6 Χονγκ Κονγκ

Το πρώτο, μεγάλης κλίμακας, υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στην Ασία κατασκευάστηκε στην πόλη Stanley, στο Χονγκ Κονγκ, μία περιοχή σπουδαίας φυσικής ομορφιάς και ένα αγαπημένος τουριστικός προορισμός. Το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Stanley Sewage Treatment Works περιλαμβάνει τρεις μεγάλους υπόγειους θαλάμους, κάθε ένας από τους οποίους έχει μήκος 120m, πλάτος 15m και ύψος 17m (Εικόνα 1.48). Υπάρχουν επίσης πάνω από 450m δρόμοι πρόσβασης, θάλαμος εξαερισμού (Εικόνα 1.50) και φρέατα (πηγή: διαδίκτυο).

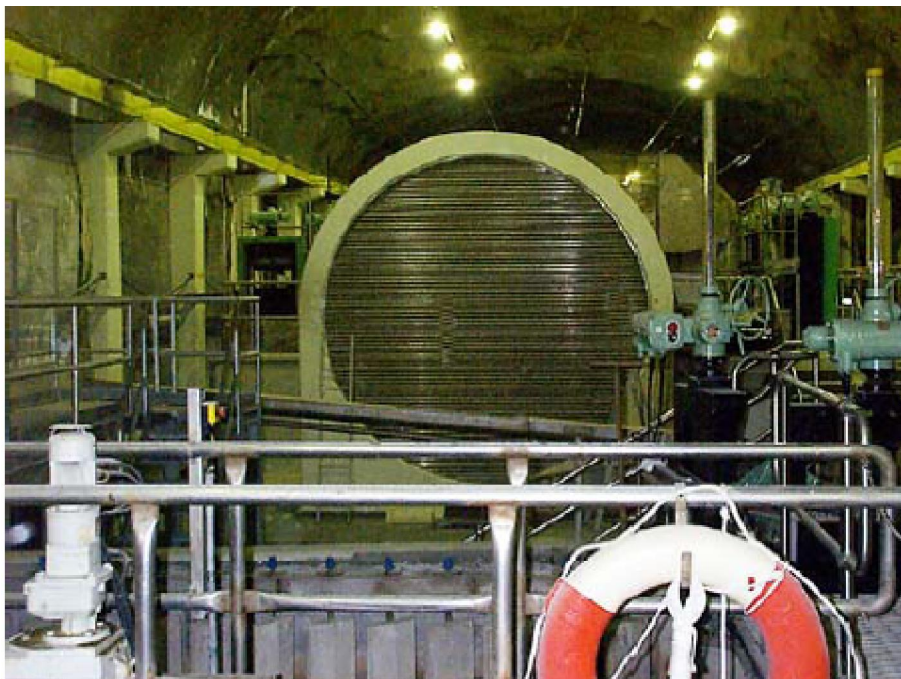


**Εικόνα 1.48:** Εσωτερικό υπόγειου θαλάμου Stanley

Η περιοχή στην οποία κατασκευάστηκε το έργο αποτελείται από συμπαγή, σκληρό γρανίτη. Ο υπόγειος θάλαμος, στον οποίο πραγματοποιείται η κύρια επεξεργασία των λυμάτων έχει ανυποστήρικτη οροφή, καθώς και ανυποστήρικτα τοιχώματα πάνω από το επίπεδο των δεξαμενών (Εικόνα 1.49). Τα τοιχώματα στους υπόλοιπους υπόγειους χώρους υποστηρίζονται με σκυρόδεμα.

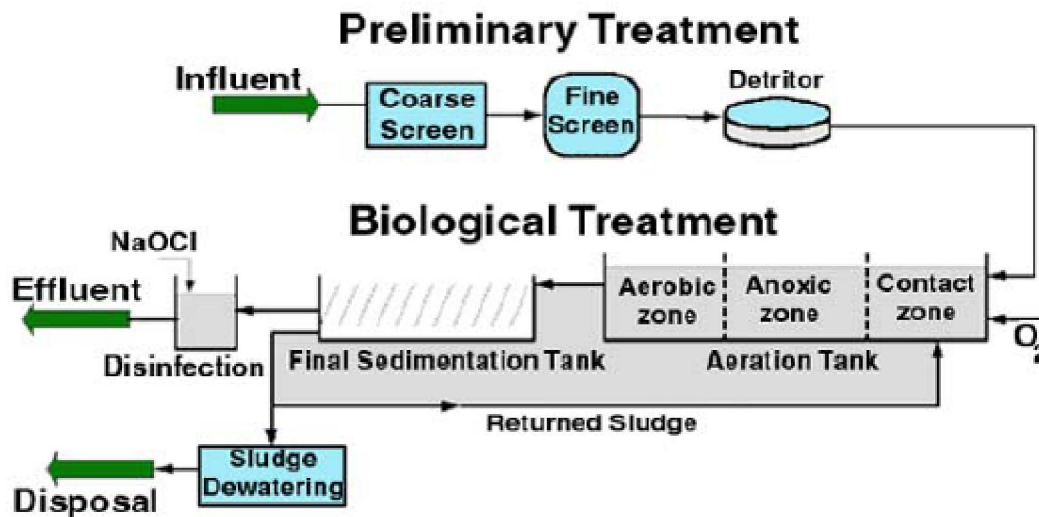


**Εικόνα 1.49:** Υπόγειος θάλαμος κύριας επεξεργασίας λυμάτων



**Εικόνα 1.50 :** Θάλαμος εξαερισμού

Το διάγραμμα ροής του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 1.51: Διάγραμμα ροής του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων(πηγή: διαδίκτυο)

Το κέντρο εξυπηρετεί ένα πληθυσμό 27.000 κατοίκων στις περιοχές Stanley, Tai Tam, Chung Hom Kok και Red Hill. Τα λύματα που συγκεντρώνονται υποβάλλονται σε δευτεροβάθμια επεξεργασία, στην δεξαμενή αερισμού (Εικόνα 1.52), μέσα στους υπόγειους θαλάμους του κέντρου. Μετά την απολύμανση, τα νερά εκρέουν στον ωκεανό, νοτιοανατολικά της χερσονήσου, μέσω ενός υποθαλάσσιου αγωγού, ο οποίος έχει διάμετρο 0,6m και μήκος 2,3km.



**Εικόνα 1.52:** Δεξαμενή αερισμού (aeration tank)

Χάρη στο υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων, το φυσικό περιβάλλον της περιοχής διατηρείται καθαρό και υπάρχει μικρή αντίδραση από τους κατοίκους των γειτονικών περιοχών, τόσο κατά τη διάρκεια κατασκευής του, όσο και κατά τη λειτουργία του.



**Εικόνα 1.53:** Υπόγειος θάλαμος κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley



**Εικόνα 1.54:** Σήραγγα εισόδου στο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Stanley



**Εικόνα 1.55:** Χώρος φίλτρων του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley



Εικόνα 1.56: Υπόγειος θάλαμος κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley



Εικόνα 1.57: Σήραγγα υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley





**Εικόνα 1.58:** Υπόγειος θάλαμος κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley



**Εικόνα 1.59:** Υπόγειος θάλαμος κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Stanley

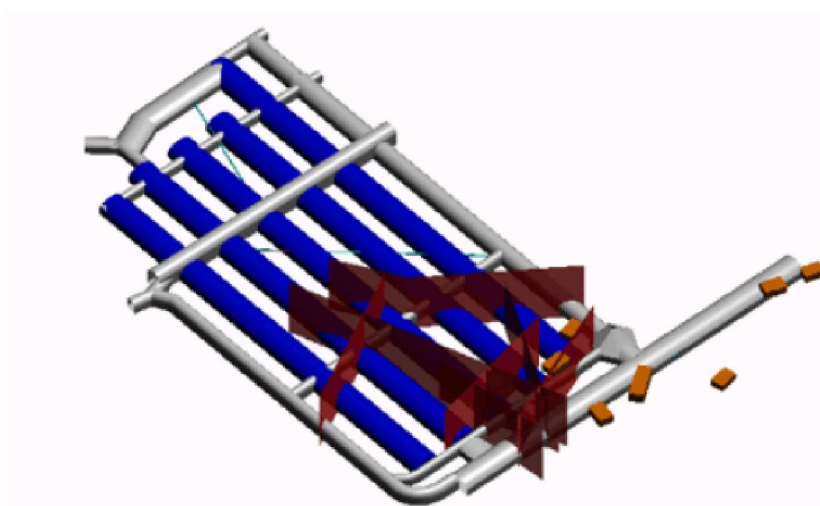
### 1.3.7 Σουηδία

Στη Σουηδία έχουν κατασκευαστεί διάφορα υπόγεια έργα υποδομής. Δυο από τα πιο σημαντικά υπόγεια έργα της χώρας αποτελεί το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Kärpala καθώς και το Henriksdal.

#### 1.3.7.1 Περιγραφή του έργου (Kärpala)

Ορισμένοι δήμοι στα βόρεια προάστια της Στοκχόλμης, προκειμένου να συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος, συμφώνησαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960 να κατασκευάσουν ένα κέντρο επεξεργασίας λυμάτων σε μία συγκεκριμένη περιοχή, το οποίο θα εξυπηρετούσε όλους τους δήμους. Η τοποθεσία που επιλέχθηκε ήταν το Lindigo, μία μικρή, προαστιακή πόλη που απέιχε 10km από το κέντρο της Στοκχόλμης. Η μόνη επιλογή ήταν να χρησιμοποιήσουν τον υπόγειο χώρο για την κατασκευή του κέντρου. Το κέντρο ολοκληρώθηκε και λειτουργεί από το 1972 και επεξεργάζεται τα λύματα περίπου μισού εκατομμυρίου ανθρώπων. Παρόλα αυτά, σήμερα η Στοκχόλμη έχει επεκταθεί και η ανάγκη για περαιτέρω επεξεργασία των λυμάτων σε ένα τρίτο στάδιο κάνει απαραίτητη την επέκταση του κέντρου.

Το νέο έργο ξεκίνησε το 1994 με την εκσκαφή πέντε νέων θαλάμων, καθώς και ενός νέου θαλάμου φίλτρων για να εξυπηρετήσουν το κέντρο (Εικόνα 1.60). Ο συνολικός όγκος εκσκαφής ήταν 450.000m<sup>3</sup>. Μετά την ολοκλήρωσή του, το κέντρο είχε τη δυνατότητα να επεξεργάζεται λύματα περίπου 1,2 εκατομμυρίου ανθρώπων. Το έργο περιλαμβάνεται στα πλαίσια της προσπάθειας για την προστασία της Βαλτικής θάλασσας από περαιτέρω μόλυνση (πηγή: διαδίκτυο).



Εικόνα 1.60 : Θάλαμοι του υπόγειου κέντρου Kärpala σε 3D σχέδιο

### **1.3.7.2 Προβλήματα που συναντήθηκαν κατά την κατασκευή του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων**

#### **❖ Χώρος απόθεσης των προϊόντων εκσκαφής**

Πριν την έναρξη του έργου πραγματοποιήθηκαν έρευνες, προκειμένου να υπολογιστούν οι ποσότητες των προϊόντων εκσκαφής που θα μπορούσαν να εξαχθούν απευθείας με πλοίο από την περιοχή του έργου σε διάφορες αγορές γύρω από τη Βαλτική θάλασσα, καθώς και σε άλλα μέρη της Ευρώπης. Δυστυχώς, όλοι οι έλεγχοι έγιναν μόνο σε δείγματα βράχου που προέρχονταν από πολύ λίγες γεωτρήσεις.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών και οι οικονομικές μελέτες έδειξαν ότι το υλικό εκσκαφής δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε άλλες εργασίες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη διαφωνία του κύριου του έργου και του εργολάβου ως προς το κόστος μεταφοράς των προϊόντων εκσκαφής από τη θάλασσα. Τελικά, η έλλειψη χρόνου και άλλοι σημαντικοί παράγοντες έκαναν αναγκαία την παροχή αδείας για τη ρίψη του υλικού στην κοντινή θάλασσα.

Καθώς το έργο κατασκευαζόταν σε μία πυκνοκατοικημένη και αρκετά αναπτυσσόμενη περιοχή, συχνά δεν επιτρεπόταν από τις αρχές η κυκλοφορία μεγάλων φορτηγών στους δρόμους. Όμως, μεγάλα έργα, όπως το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Kärpala παράγουν μία μεγάλη ποσότητα υλικού εκσκαφής σε μικρό χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Προκειμένου να μειωθεί η μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής στο οδικό δίκτυο της πόλης, ήταν σημαντικό να ταξινομείται το υλικό και στη συνέχεια να διαχωρίζονται οι διαφορετικοί τύποι βράχου (για σκυρόδεμα, δρόμους, σιδηροδρόμους, εμπόριο κλπ.) και να αποθηκεύεται το προς χρήση υλικό σε κατάλληλες περιοχές.

#### **❖ Περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω των δονήσεων από τη χρήση εκρηκτικών υλών**

Το πιο σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα κατά την κατασκευή του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Kärpala ήταν οι επιπτώσεις που προκαλούσαν οι δονήσεις από τη χρήση εκρηκτικών υλών στις υπάρχουσες κατασκευές πάνω από τους

υπόγειους θαλάμους. Ένας βασικός περιορισμός ήταν ότι το παλιό κέντρο επεξεργασίας λυμάτων λειτουργούσε κανονικά καθ'όλη τη διάρκεια των εργασιών επέκτασής του και συνεπώς δεν έπρεπε να επηρεαστεί από τις διαδικασίες ανατίναξης. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιήθηκαν τεχνολογικά σύγχρονες, διατρητικές μηχανές και τεχνικές ανατίναξης. Παρόλα αυτά, η υπάρχουσα βραχόμαζα έδειξε να επηρεάζεται, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έντασης των δονήσεων που μετρήθηκαν σε διάφορα κτίρια πάνω από τον υπόγειο χώρο.

### **1.3.7.3 Περιγραφή του έργου (Henriksdal)**

Το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal, το οποίο εξυπηρετεί Στοκχόλμη, Haninge, Nacka και Tyreso, είναι σήμερα ένα από τα μεγαλύτερα και πιο εξελιγμένα στην Ευρώπη (πηγή: διαδίκτυο). Άνοιξε περίπου το 1941 όταν είχε χωρητικότητα για την χαμηλού βαθμού επεξεργασία του μόλις και μετά βίας 150.000 m<sup>3</sup> λυμάτων ανά ημέρα, και το 1953 επεκτάθηκε και η χωρητικότητα του διπλασιάστηκε. Έκτοτε έγινε περαιτέρω επέκταση για να συμπεριλαμβάνει χημική και βιολογική επεξεργασία. Το πιο πρόσφατο πρόγραμμα επέκτασης, η οποία διήρκεσε από τον Απρίλιο του 1992 μέχρι τον Απρίλιο του 1997, είχε δεσμευθεί να μειώσει τις εκπομπές του αζώτου κατά τουλάχιστον 50% και να βελτιωθεί η μεταχείριση φωσφόρου. Το είναι μια από τις μεγαλύτερες υπόγειες μονάδες επεξεργασίας του κόσμου, καλύπτει περίπου 300.000 m<sup>2</sup> και διαθέτει περίπου 18km σήραγγες. Το σύνολο των επιφανειακών εγκαταστάσεων περιλαμβάνει κτίριο κέντρου ελέγχου, μηχανική επεξεργασία, τις δεξαμενές ιλύος, τα ανώτερα τμήματα των πυκνωτικών ιλύος καθαρισμού, τους χωνευτήρες, το φυσικό αέριο, τη μονάδα συλλογής και αποθήκευσης φυσικού αερίου. Η καμινάδα αερισμού έχει ύψος 80m και 7m σε διάμετρο.

Απαιτήσεις μονάδας:

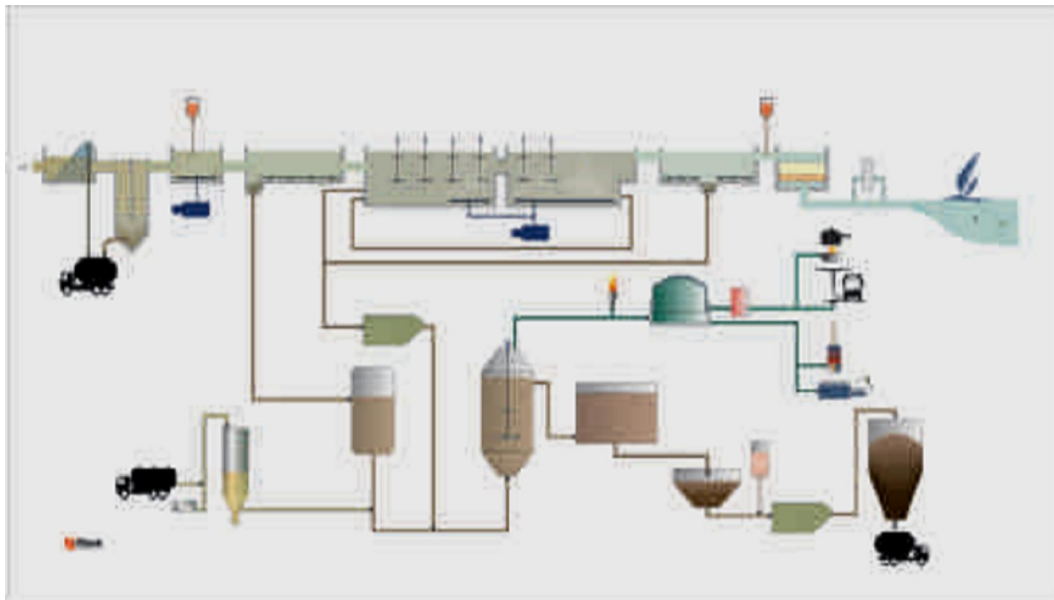
Τιμές για τις δυο μονάδες επεξεργασίας σταθμισμένη ανάλογα με την ροή, από τις 30 Ιουνίου 2000 : 8mg BOD7 / l και 0,3mg P-tot /l ως μέση τιμή τριμήνου, 3mg NH4-N / l, η μέση τιμή από Ιούλιο έως Οκτώβριο και 10mg N-TOT/l ως μέση ετήσια τιμή.

Δεδομένα σχεδιασμού:

- Αριθμός προσώπων που απασχολούνται : 700.000
- Μέση ροή 241.000 m<sup>3</sup>/24 ώρες
- BOD7 φορτίο 48 τόνοι BOD7/24 ώρες
- N-tot φορτίου(συμπεριλαμβανομένων και των απορριφθέντων): 9 τόνοι N-tot/24 ώρες
- Q<sub>dim</sub> : 4,5 m<sup>3</sup>/s
- Q<sub>max</sub> : 10 m<sup>3</sup>/s
- Q<sub>max</sub> σε βιολογικό επίπεδο : 8 m<sup>3</sup>/s
- Q<sub>max</sub> με φίλτρα : 10 m<sup>3</sup>/s

Πρωτοβάθμια καθίζηση δεξαμενών :

- Συνολικός όγκος: 30.000 m<sup>3</sup>
- Συνολική έκταση : 8.200 m<sup>2</sup>



**Εικόνα 1.61:** Διάγραμμα ροής του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal (πηγή: διαδίκτυο)



**Εικόνα 1.62:** Στοά του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal



**Εικόνα 1.63:** Θάλαμος του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal



**Εικόνα 1.64:** Σήραγγα του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal



**Εικόνα 1.65:** Θάλαμος επεξεργασίας του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Henriksdal

### 1.3.8 Ιταλία

#### Περιγραφή του έργου

Σε μια επαρχία της Β. Ιταλίας κοντά στις Άλπεις έχει εγκατασταθεί το συγκρότημα βιολογικού καθαρισμού λυμάτων με τέτοιο τρόπο ώστε να μην αλλοιώσει το φυσικό περιβάλλον. Η περιοχή Alto Adige των Ιταλικών Άλπεων χαρακτηρίζεται από βουνά, πεδιάδες και ποτάμια και η Val Pusteria είναι γνωστή ως το πιο γραφικό σημείο της περιοχής (πηγή: διαδίκτυο).

Το πρότυπο συγκρότημα καθαρισμού λυμάτων ονομάστηκε Media Pusteria και είναι το πρώτο στο είδος του στην Κεντρική Ευρώπη και θα εξυπηρετεί 95.000 ανθρώπους.

Θα λειτουργεί κατά τα πρότυπα του παρόμοιου υπόγειου συγκροτήματος βιολογικού καθαρισμού λυμάτων στο Henriksdal έξω από τη Στοκχόλμη, Σουηδίας, το οποίο αφαιρεί το 95% των φωσφορούχων, αζωτούχων και άλλων ρυπαντών από μολυσμένα λύματα.

Το συγκρότημα θα καταλαμβάνει την μικρότερη δυνατή επιφανειακή έκταση στο κάτω μέρος τη πεδιάδας, θα εξαλείψει τη δυσοσμία και το θόρυβο και θα είναι επίσης πιο ασφαλές στην περίπτωση σεισμών. Τα σχέδια και το μέγεθος του

συγκροτήματος είναι σύμφωνα με τους τελευταίους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης και θα πληρεί απόλυτα τις αυστηρές προδιαγραφές, από πλευράς ορίων καθαρισμού λυμάτων, που έχουν θεσπιστεί.

Το συγκρότημα αποτελείται από μια σήραγγα προσαγωγής διαμέτρου 3,9μ. και μήκους 950 μ. που μεταφέρει τα λύματα μέσα σε μια μεγάλη κεντρική υπόγεια δεξαμενή όπου γίνεται η πρώτη βαθμίδα καθαρισμού, (μηχανικός διαχωρισμός, αφαίρεση άμμου, αφαίρεση λιπαρών ουσιών και προκαταρτική ιζηματοπτώση).

Τα υπόλοιπα υγρά λύματα στη συνέχεια διοχετεύονται σε δύο πλευρικά παρακείμενες υπόγειες λεκάνες, όπου γίνεται ο βιολογικός καθαρισμός. Μετά από αυτό τα υγρά επιστρέφουν στην κεντρική δεξαμενή, αφού περάσουν πρώτα από τους θαλάμους χημικής επεξεργασίας και τελικά αποχετεύονται με 95% συντελεστή καθαρότητας.

Ένα μέρος από τα στερεά υπολείμματα, σε μορφή λάσπης επεξεργάζονται στη συνέχεια για την παραγωγή λιπασμάτων, ενώ ένα μέρος μετατρέπεται σε βιολογικό αέριο το οποίο τροφοδοτεί μια εγκατεστημένη θερμοπαραγωγική μονάδα, εξοικονομώντας έτσι 50% σε κόστος ενέργειας. Ο δύσσομος αέρας καθαρίζεται με μια χημιο-βιολογική μέθοδο.



**Εικόνα 1.66:** Συγκρότημα βιολογικού καθαρισμού στην Ιταλία



### **1.3.8.1 Τεχνικά στοιχεία**

Η σήραγγα προσαγωγής και τα 326m. πιλοτικής σήραγγας για την κεντρική λεκάνη, ανοίχτηκαν με ένα μηχάνημα ολομέτωπης κοπής( TBM) της Atlas Corco τύπου Jarva MK 12 . Για τη συγκράτηση της οροφής στις λεκάνες χρησιμοποιήθηκαν 4000 αγκύρια Super Swellex μήκους 3 και 4,5m ενώ στη σήραγγα χρησιμοποιήθηκαν αγκύρια Swellex, συμβατικού τύπου.

Για τη διάτρηση στις λεκάνες χρησιμοποιήθηκε ένα Boomer H 188 με δυο υδραυλικούς βραχίονες, καλάθι εργασίας και υδραυλικά σφυριά. Στην επιφάνεια για τη διευθέτηση των χώρων εγκατάστασης των κτιρίων Διοίκησης και συντήρησης χρησιμοποιήθηκε ένα ROC 612 HC με αναδιπλούμενη μπούμα.

### **1.3.8.2 Πλεονεκτήματα υπογειοποίησης του συγκροτήματος**

Οι εργασίες στα υπόγεια δεν επηρεάζονται από τις κλιματολογικές συνθήκες και αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα, γιατί με αυτό τον τρόπο επιτρέπονται οι εργασίες να γίνονται συνέχεια. Η θερμοκρασία στα υπόγεια είναι σταθερή μεταξύ 8-10 °C, ενώ στην ύπαιθρο μπορεί να πέφτει στους -25 °C.

Αυτό θα βοηθήσει τη διαδικασία του βιολογικού καθαρισμού, θα αυξήσει την απόδοση του συγκροτήματος, θα μειώσει το κόστος λειτουργίας και θα αυξήσει το χρόνο ζωής των εγκαταστάσεων.

## **1.3.9 Ταιβάν**

### **1.3.9.1 Περίπτωση Νειihu σύστημα επεξεργασίας λυμάτων**

❖ Χρονοδιάγραμμα του έργου

Το Project για το Νειihu σύστημα επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνει δουλειά αρχιτέκτονα και πολιτικού μηχανικού, επεξεργασία συστήματος μηχανικής εργασίας και αρχιτεκτονικής τοπίου. Το σύνολο του έργου ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 2002.

❖ Τύπος της θεραπείας:

Είναι ενεργοποιημένη η δευτεροβάθμια διαδικασία επεξεργασίας ιλύος, μέρος των επεξεργασμένων λυμάτων περνούν από φίλτρα, από τα οποία το τελικό προϊόν θα οδηγηθεί για επαναχρησιμοποίηση του νερού.

❖ Ικανότητα σχεδιασμού και ποιότητα ροής(πηγή: διαδίκτυο):

1. Σχεδιασμός δυναμικότητας:  
Μέση δυναμικότητα επεξεργασίας κατά το πρώτο στάδιο: 150.000 κυβικό μέτρο / ημέρα  
Μέση ικανότητα επεξεργασίας στο τελικό στάδιο: 240.000 κυβικό μέτρο / ημέρα  
Μέγιστη ικανότητα επεξεργασίας: 480.000 κυβικό μέτρο / ημέρα
2. Σχεδιασμός ροής Ποιότητα:  
Εισρέοντα: BOD5 = 185mg / L, SS = 190mg / L.  
Εκρέουν: BOD5 = 20 mg / L, SS = 20 mg / L.  
Φίλτρα λυμάτων: BOD5 = 10 mg / L, SS = 10 mg / L.
3. Ανακυκλωμένο νερό:  
α. Μέρος των ανακυκλωμένων λυμάτων είναι για χρήση ως νερό άρδευσης και νερό καθαρισμού δρόμων: περίπου 20.000 κυβικό μέτρο ανά ημέρα  
β. Τεχνητό ρυάκι σε πάρκα αναψυχής (τα επεξεργασμένα λύματα από τη δευτεροβάθμια επεξεργασίας, οι οποίες έχουν περάσει μέσα από τα φίλτρα άμμου και να έχουν απολυμανθεί με υπεριώδη ακτινοβολία): 100 κυβικό μέτρο ανά ημέρα.

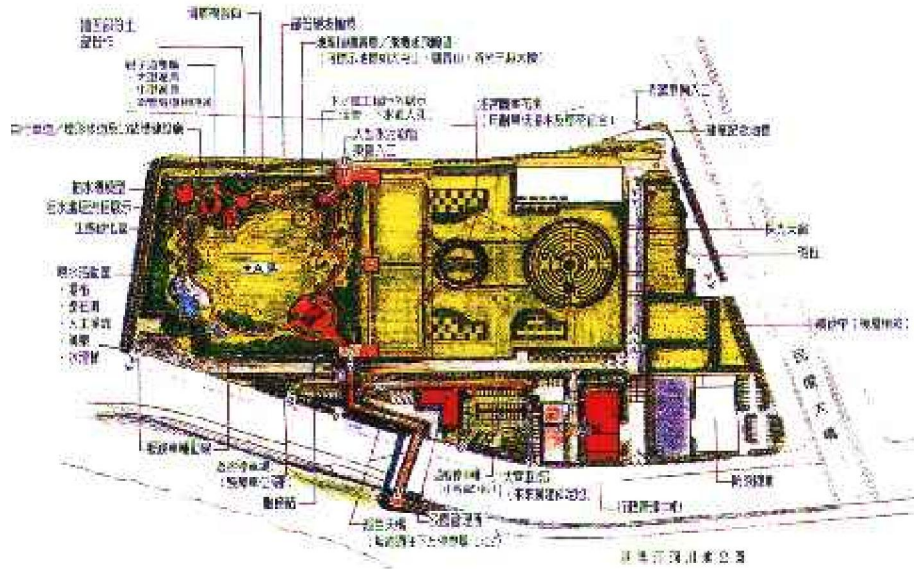
❖ Μηχανικά Χαρακτηριστικά:

1. Η μονάδα επεξεργασίας λυμάτων είναι η πρώτη που έχει κατασκευαστεί στην Ταϊβάν, η οποία είναι υπόγεια κατασκευή και εμποδίζει τη διασπορά των οσμών.
2. Για την αναψυχή και την περιβαλλοντική εκπαίδευση των πολιτών, στις στέγες των μεγάλων μονάδων επεξεργασίας, έχει σχεδιαστεί ένα πάρκο αναψυχής, 3,8 εκτάρια, σε υδάτινο περιβάλλον με προβολή της διαδικασίας επεξεργασίας του νερού( Εικόνα 1.67).

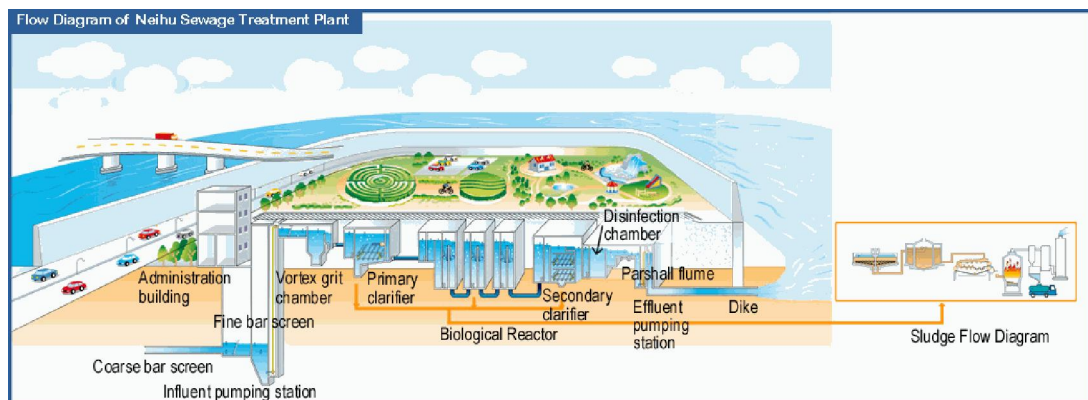
❖ Συγκεκριμένα αποτελέσματα:

Μετά την έναρξη λειτουργίας, η πλήρης μονάδα επεξεργασίας έχει ελαφρύνει την παροχή λυμάτων στο αποχετευτικό σύστημα της πόλης Ταϊπέι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ & ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ



Εικόνα 1.67: Σκίτσο του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Neihu



Εικόνα 1.68: Σχεδιάγραμμα ροής του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Neihu (πηγή: διαδίκτυο)

### 1.3.9.2 Περίπτωση Dìhua σύστημα επεξεργασίας λυμάτων



**Εικόνα 1.69:** Επιφανειακή άποψη της αποκατάστασης του υπόγειου κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Dìhua

Το σύστημα επεξεργασίας λυμάτων, το οποίο άνοιξε τον Ιούλιο 1980, έχει μέση δυναμικότητα επεξεργασίας 274.000 κυβικών μέτρων την ημέρα (πηγή: διαδίκτυο).

❖ Ικανότητα σχεδιασμού και ποιότητα ροής:

1. Σχεδιασμός ικανότητας επεξεργασίας:  
Μέσος όρος 500.000 κυβικό μέτρο ανά ημέρα
2. Σχεδιασμός ποιότητας ροής:  
Εισρέοντα: BOD5 = 180 mg / L, SS = 180 mg / L.  
Εκρέουν: BOD5 = 20 mg / L, SS = 20 mg / L.
3. Ανακυκλωμένο νερό: 10.000 κυβικό μέτρο ανά ημέρα.

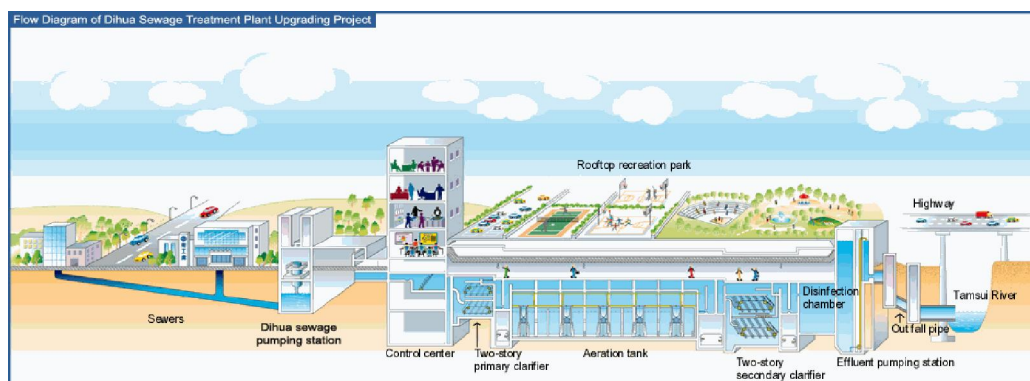
❖ Περιγραφή διαδικασίας ( Εικόνα 1.70):

1. Μετά τη διαίρεση ένα μέρος των λυμάτων από το αντλιοστάσιο λυμάτων, εισέρχεται στο Dìhua σύστημα επεξεργασίας λυμάτων. Στη συνέχεια τα λύματα περνούν μπροστά από οθόνες μπαρ για την άρση των χονδροειδών υλικών. Ρέει στη συνέχεια σε πρωτοβάθμια καθίζηση για να αφαιρεθεί το μεγαλύτερο μέρος των αιωρούμενων στερεών και ένα μικρό μέρος των οργανικών υλών στα λύματα.
2. Τα λύματα από την πρωτοβάθμια καθίζηση ρέουν σε λεκάνες αερισμού και δευτεροβάθμιας καθίζησης για την άρση των οργανικών υλών στα λύματα.
3. Τα λύματα από τη δευτεροβάθμια καθίζηση απολυμαίνονται με υποχλωριώδες νάτριο, για την άρση των παθογόνων παραγόντων πριν από την απόρριψή τους στο Danshui ποταμό. Μετά από διήθηση σε άμμο, 10.000 κυβικά μέτρα ανά ημέρα από τα απόβλητα, επαναχρησιμοποιούνται για το εργοστάσιο ως επαναχρησιμοποιημένο νερό .

❖ Μηχανικά Χαρακτηριστικά:

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΞΗ & ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ**

1. Το κέντρο επεξεργασίας με χωρητικότητα 500.000 κυβικά μέτρα / ημέρα, είναι η μεγαλύτερη εγκατάσταση δευτεροβάθμιας επεξεργασίας στην Ταϊβάν.
2. Έχει 210m μήκος, 250 μέτρα πλάτος, 17m βάθος.
3. Το εργοστάσιο χρησιμοποιεί ένα διπλό στρώμα σχεδιασμού τόσο για την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια καθίζηση. Επιτρέπει μεγαλύτερη ικανότητα επεξεργασίας στην υφιστάμενη περιοχή της γης.
4. Μετά την ολοκλήρωση αυτού του έργου, σε 4 περίπου στρέμματα πάνω από τις μεγάλες μονάδες επεξεργασίας έχουν σχεδιαστεί ένα πάρκο αναψυχής με διαφοροποιημένες περιοχές δραστηριοποίησης, συμπεριλαμβανομένου ενός χώρου για παιδιά, ένα roller-παγοδρόμιο, γήπεδα μπάσκετ, τένις, σόφτμπολ και χώρο στάθμευσης. Όλη η περιοχή αναψυχής είναι ανοικτή για το κοινό (Εικόνα 1.68).



**Εικόνα 1.70:** Διάγραμμα ροής των λειτουργιών του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων Dihua (πηγή: διαδίκτυο)

### 1.3.9 Συμπεράσματα από τη διεθνή εμπειρία

Παραδείγματα από το εξωτερικό δείχνουν σαν κυριότερο λόγο υπογειοποίησης των κέντρων επεξεργασίας λυμάτων την προστασία του περιβάλλοντος. Σε αγροτικές περιοχές και σε μέρη με σπουδαία φυσική ομορφιά επιλέχθηκε η λύση της κατασκευής υπόγειων θαλάμων τοποθετώντας μέσα σε αυτούς όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας λυμάτων. Έτσι, επιτυγχάνεται μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε μεγάλο βαθμό. Τα αντίστοιχα επιφανειακά κέντρα καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις και παράγουν αέρια και οσμές που είναι μη αποδεκτές από τους κατοίκους των γειτονικών περιοχών. Η φυσική απομόνωση και αδιαφάνεια των υπόγειων κέντρων επεξεργασίας λυμάτων, η παρουσία των οποίων στην επιφάνεια είναι ελάχιστα αποδεκτή ή και ανεπιθύμητη, είναι δύο από τους παράγοντες που τα κάνουν περισσότερο ελκυστικά.

Χώρες όπως η Νορβηγία και η Φινλανδία, ευαισθητοποιημένες σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος, επέλεξαν την λύση της υπογειοποίησης των κέντρων επεξεργασίας λυμάτων, συμβάλλοντας έτσι στην εκμηδένιση της επίδρασης των κατασκευών αυτών στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον μιας περιοχής. Από την άλλη μεριά, ακόμη και χώρες λιγότερο αναπτυγμένες, όπως η Τσεχοσλοβακία, υιοθέτησαν την ιδέα των υπόγειων θαλάμων προσφέροντας με αυτό τον τρόπο προστασία και αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού.

Κατασκευές τέτοιου είδους προσφέρουν μηδενική οπτική ρύπανση, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος και αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων (π.χ. θόρυβος, αέρια ρύπανση). Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του κέντρου επεξεργασίας λυμάτων στο Χονγκ Κονγκ, αναφέρεται ότι τόσο κατά τη διάρκεια κατασκευής του όσο και κατά τη λειτουργία του υπήρχαν μικρές αντιδράσεις από τους κατοίκους των γειτονικών περιοχών, δεδομένου ότι οι οχλήσεις ήταν αρκετά μειωμένες. Αντίστοιχα, στη Φινλανδία, τα παραγόμενα αέρια από τη διαδικασία επεξεργασίας λυμάτων οδηγούνται σε μια ψηλή καπνοδόχο όπου διαλύονται γρήγορα στην ατμόσφαιρα. Στα αέρια αυτά, αρχικά γίνεται επεξεργασία μέσα στο κέντρο, ώστε μειώνεται με αυτό τον τρόπο το ρυπαντικό τους φορτίο, και τελικά εξέρχονται από ένα και μόνο καθορισμένο σημείο στην ατμόσφαιρα όπου και διαλύονται.

Ως πλεονέκτημα των υπόγειων θαλάμων εμφανίζεται επίσης τόσο η μεγάλη αυτονομία που τους χαρακτηρίζει όσο και οι αυξημένες δυνατότητες επεκτασιμότητας. Η υψηλή «διαθεσιμότητα» του υπόγειου χώρου επιτρέπει τη δημιουργία έργων ακόμα και σε τοποθεσίες όπου δεν είναι δυνατή η κατασκευή επιφανειακών εγκαταστάσεων, είτε διότι συγκεκριμένες τοπογραφικές συνθήκες δεν

το επιτρέπουν, είτε 0.60 διότι δεν υπάρχουν οι απαιτούμενες εκτάσεις και στη Σουηδία (Kärrala), προκειμένου να ενσωματώσουν επιπλέον γραμμές επεξεργασίας, επεκτάθηκαν, εξυπηρετώντας μεγαλύτερο αριθμό κατοίκων.

Ωστόσο, ένα πρόβλημα που συναντάται στην περίπτωση των υπόγειων κατασκευών είναι η διάταξη των προσπελαστικών έργων και των επιφανειακών συνδέσεων. Όταν πρόκειται για εγκαταστάσεις τέτοιου είδους, οι οποίες διαθέτουν μηχανολογικό εξοπλισμό που προϋποθέτει διαρκή και αυστηρή συντήρηση, η πρόσβαση σε αυτές αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα.

Η σημασία των υπόγειων κέντρων επεξεργασίας λυμάτων για τη δημιουργία ενός νέου τύπου ανάπτυξης, με γνώμονα τη βελτίωση των συνθηκών ζωής, είναι κάτι που δεν μπορεί να αμφισβητηθεί, παρά τα όποια μειονεκτήματα που παρουσιάζει. Το κυριότερο ζήτημα που χρειάζεται να αντιπαρέλθει η ανάπτυξη των υπόγειων κατασκευών είναι το θέμα του κόστους της κατασκευής, το οποίο εμφανίζεται σε αρκετές περιπτώσεις να είναι πιο αυξημένο, έναντι των κλασικών επιφανειακών επιλογών. Όμως, ο συνυπολογισμός του εξωτερικού κόστους (περιβαλλοντικού κόστους) σε μια ανάλυση κόστους – οφέλους μπορεί να αντιστρέψει την κατάσταση και να αποδείξει ότι η υιοθέτηση υπόγειων λύσεων πολλές φορές αποτελεί την πιο αποδεκτή επιλογή.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

### **Περιγραφή των υφιστάμενων έργων του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης**



## **2.1 Συνοπτική περιγραφή αποχετευτικού συστήματος της πρωτεύουσας**

### **2.1.1 Συλλογή ακαθάρτων**

Το λεκανοπέδιο της Αττικής διαθέτει δίκτυο αποχέτευσης, το μεγαλύτερο μέρος του οποίου είναι χωριστικό και μόνο το κεντρικό τμήμα της Αθήνας έχει παντοροϊκό δίκτυο. Το δίκτυο αυτό καταλήγει βαρυτικά μέσω του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού και του πρόσφατα κατασκευασθέντος Συμπληρωματικού Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού στον Ακροκέραμο. Λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία της Ε.ΥΔ.Α.Π., η συνολική ποσότητα λυμάτων που φτάνουν στον Ακροκέραμο είναι της τάξης των 750.000m<sup>3</sup>/ημέρα. Η αποχέτευση των βορείων και δυτικών προαστίων της Αθήνας γίνεται μέσω του Παρακηφίσιου Συλλεκτήρα Ακαθάρτων. Η εισροή των αστικών λυμάτων στο Κέντρο Λυμάτων της Μεταμόρφωσης, ρυθμίζεται με ένα φρεάτιο μερισμού που βρίσκεται επί του Παρακηφίσιου συλλεκτήρα πάνω στην Εθνική Οδό Αθηνών-Λαμίας, στο ύψος του κέντρου. Όπως έχει προαναφερθεί, οι μέσες ημερήσιες παροχές αστικών λυμάτων που φθάνουν στο κέντρο είναι περίπου 13.000m<sup>3</sup>/ημέρα, ενώ οι αντίστοιχες παροχές των βοθρολυμάτων είναι περίπου 7.000m<sup>3</sup>/ημέρα (πηγή : ΕΥΔΑΠ).

### **2.1.2 Επεξεργασία ακαθάρτων**

Στον Ακροκέραμο, όπου καταλήγουν ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός και ο Συμπληρωματικός Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός, υπάρχουν οι εγκαταστάσεις μηχανικής επεξεργασίας των λυμάτων, οι οποίες περιλαμβάνουν αντλιοστάσιο για την ανύψωση των λυμάτων και συγκροτήματα εσχάρωσης και εξάμμωσης που είναι εξοπλισμένα με κατάλληλα συστήματα εξαερισμού για την αποφυγή δυσοσμίων. Τα λύματα μετά την προεπεξεργασία οδηγούνται μέσω υποβρύχιου ανεστραμμένου σιφώνα στη νήσο Ψυτάλεια, όπου έχει κατασκευαστεί και τεθεί σε αποδοτική λειτουργία η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (πρωτοβάθμια επεξεργασία και επεξεργασία ιλύος). Το Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ σε συνεργασία με την Ε.ΥΔ.Α.Π. προχωρεί στην επέκταση των έργων για βιολογική επεξεργασία και απομάκρυνση του αζώτου και του φωσφόρου.

Στο Κέντρο Λυμάτων Μεταμόρφωσης, όπου καταλήγουν τα βοθρολύματα της Αττικής και τα αστικά λύματα των βορείων και δυτικών προαστίων της Αθήνας, υπάρχουν εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας, πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, καθώς και εγκαταστάσεις επεξεργασίας της παραγόμενης ιλύος. Υπάρχουν, επίσης, εγκαταστάσεις απολύμανσης (χλωρίωσης) των επεξεργασμένων λυμάτων και δίκτυο βιομηχανικού νερού.

### **2.1.3 Διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων και επεξεργασμένης ιλύος**

Τα επεξεργασμένα λύματα της Ψυττάλειας διατίθενται στη θάλασσα, μέσω ενός διπλού υποθαλάσσιου αγωγού, σε βάθος της τάξης των 60m, και διαχέονται στο Σαρωνικό κόλπο, αποφορτισμένα κατά 35-40% από το οργανικό τους φορτίο. Η επεξεργασμένη ιλύς, μετά και την αφυδάτωση της, οδηγείται για τελική διάθεση στη χωματερή των Άνω Λιοσίων. Τα επεξεργασμένα λύματα του Κέντρου Λυμάτων Μεταμόρφωσης εκρέουν στο ρέμα της Πύρνας και από εκεί οδηγούνται στον Κηφισό. Στον Κηφισό έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν εγκάρσιες τομές ("κόφτρες") συλλογής πάσης φύσεως παροχών, οι οποίες κατά τις ξηρές περιόδους συρρέουν στον Κηφισό, όπως για παράδειγμα ανεξέλεγκτα βιομηχανικά απόβλητα και λοιπές παράνομες συνδέσεις ακαθάρτων.

Οι κόφτρες επικοινωνούν με τον Παρακηφίσιο συλλεκτήρα με θυροφράγματα, τα οποία ρυθμίζονται χειροκίνητα, ανάλογα με την παροχή του ποταμού. Έτσι, όταν η παροχή είναι μικρή (ξηρή περίοδος) όλα τα λύματα καταλήγουν στον Παρακηφίσιο συλλεκτήρα, ενώ όταν η παροχή είναι μεγάλη, τα θυροφράγματα δεν λειτουργούν, και έτσι τα επεξεργασμένα λύματα της Μεταμόρφωσης και τα όμβρια ύδατα οδηγούνται μέσω του Κηφισού στον Σαρωνικό Κόλπο. Επομένως, τα λύματα της Μεταμόρφωσης, μέσω του υφιστάμενου αποχετευτικού συστήματος του Λεκανοπεδίου της Αθήνας, καταλήγουν είτε στο κέντρο επεξεργασίας της Ψυττάλειας, και ουσιαστικά αραιώνουν κατά ένα μικρό ποσοστό τα εισρέοντα λύματα, είτε στον Σαρωνικό Κόλπο, μαζί με τα όμβρια ύδατα, όταν η παροχή του Κηφισού είναι μεγάλη. Η επεξεργασμένη ιλύς, μετά την αφυδάτωση της, οδηγείται για τελική διάθεση στη χωματερή των Άνω Λιοσίων.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι υπάρχουν παράνομες εισροές βιομηχανικών κυρίως ανεπεξέργαστων αποβλήτων στον Κηφισό και στα ρέματα ή τους αγωγούς που εκβάλλουν σ' αυτόν, αλλά και ότι πραγματοποιείται, κατά περίπτωση, υπερχείλιση των αστικών λυμάτων του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού προς τον Κηφισό, εξαιτίας του παντοροϊκού συστήματος αποχέτευσης ορισμένων κεντρικών περιοχών

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

της Αθήνας, η αποχέτευση των επεξεργασμένων λυμάτων της Μεταμόρφωσης μέσω του υδρογραφικού δικτύου του Κηφισού χαρακτηρίζεται θετική, δεδομένου ότι αυτά τα επεξεργασμένα λύματα αραιώνουν τις προαναφερόμενες παροχές, κυρίως κατά την ξηρή περίοδο, και επομένως ελαττώνουν μερικώς το πρόβλημα των οσμών της ανοικτής κοίτης του ποταμού, καθώς και της ποιότητας των νερών που καταλήγουν είτε απευθείας στο Σαρωνικό κόλπο είτε στην Ψυττάλεια.

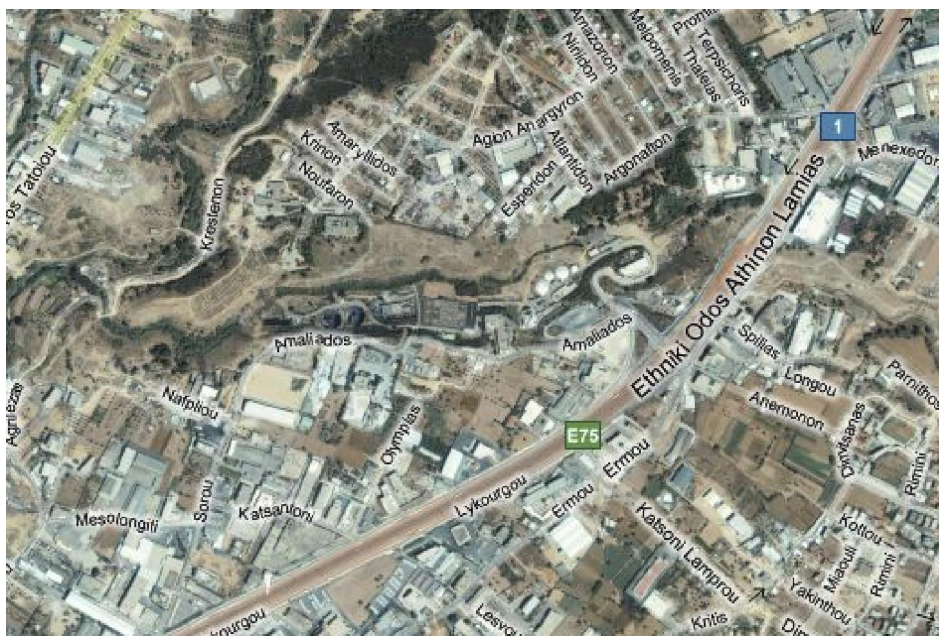
### 2.2 Τεχνική Περιγραφή του Κέντρου Λυμάτων Μεταμόρφωσης

Η εγκατάσταση του Κέντρου Λυμάτων Μεταμόρφωσης, βρίσκεται στο Δήμο Μεταμόρφωσης του Νομού Αττικής (Εικόνα 2.1), στα όριά του με τον Δήμο Κηφισιάς. Εξυπηρετείται οδικά από την Εθνική Οδό Αθηνών – Λαμίας στον Κόμβο Μεταμόρφωσης (14ο χλμ εθνικής οδού) (Εικόνα 2.2), καθώς βρίσκεται σε απόσταση περίπου 300m από αυτή.



Εικόνα 2.1: Χάρτης της Αθήνας

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**



**Εικόνα 2.2:** Άποψη του ΚΕΛΜ με τη χρήση ηλεκτρονικού χάρτη

Το Κέντρο Λυμάτων Μεταμόρφωσης έχει κατασκευαστεί σε αστική εκτός σχεδίου περιοχή, σε μία ζώνη κατά μήκος της εθνικής οδού, η οποία καλύπτεται σχεδόν εξολοκλήρου από αμιγείς βιοτεχνικές – βιομηχανικές χρήσεις. Η έκταση που καταλαμβάνει το κέντρο είναι περίπου 90 στρέμματα.

Σύμφωνα με τον σχεδιασμό, το κέντρο μπορεί να επεξεργάζεται 24.000m<sup>3</sup>/ημέρα βοθρολύματα και 20.000m<sup>3</sup>/ημέρα αστικά λύματα. Η λειτουργία του κέντρου ξεκίνησε το 1984 και για τα δύο πρώτα έτη λειτουργίας του δεχόταν μόνο βοθρολύματα. Τα βοθρολύματα, περίπου 8.000-10.000m<sup>3</sup>/ημέρα μετά από προεπεξεργασία (εσχάρωση και εξάμμωση), υπόκειντο σε χημικά υποβοηθούμενη καθίζηση και στη συνέχεια διοχετεύονταν προσωρινά στον αγωγό ασφαλείας με τελική κατάληξη τον Παρακηφίσιο Συλλεκτήρα Ακαθάρτων. Η ιλύς των βοθρολυμάτων μετά από αναερόβια χώνευση και αφυδάτωση κατέληγε στη χωματερή των Άνω Λιοσίων. Η εισροή αστικών λυμάτων άρχισε το 1986 και συνδυάστηκε με την έναρξη λειτουργίας της βιολογικής βαθμίδας.

Το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Μεταμόρφωσης (Εικόνα 2.3) αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες μονάδες συνεπεξεργασίας αστικών λυμάτων και βοθρολυμάτων στην Ευρώπη (Οριστική μελέτη, ΕΥΔΑΠ). Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης δεν προβλέπει την επεξεργασία ισχυρών βιομηχανικών ή τοξικών αποβλήτων. Το σχήμα επεξεργασίας που εφαρμόζεται στο κέντρο περιλαμβάνει ξεχωριστές εισόδους αστικών λυμάτων και βοθρολυμάτων, χωριστά συστήματα προεπεξεργασίας και πρωτοβάθμιας επεξεργασίας και στη συνέχεια κοινή

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

επεξεργασία των λυμάτων σε τυπικό σύστημα ενεργού ιλύος. Τα επεξεργασμένα λύματα υπόκεινται σε απολύμανση και διατίθενται στο ρέμα της Πύρνας, το οποίο καταλήγει στον Κηφισό. Η περίσσεια βιολογική ιλύς, η πρωτοβάθμια ιλύς των αστικών λυμάτων καθώς και η ιλύς από τη δεξαμενή διαχωρισμού των βοθρολυμάτων υπόκεινται σε αναερόβια χώνευση. Στη συνέχεια η χωνεμένη ιλύς οδηγείται στη μονάδα αφυδάτωσης που αποτελείται από τέσσερις ταινιοφιλτρόπρεσες. Η αφυδατωμένη ιλύς μεταφέρεται με φορτηγά για τελική διάθεση στη χωματερή των Άνω Λιοσίων (πηγή : ΕΥΔΑΠ).

Η προεπεξεργασία των λυμάτων περιλαμβάνει εσχάρωση και εξάμμωση, ενώ προβλέπονται και αντίστοιχες μονάδες για τα βοθρολύματα. Τα προϊόντα της εσχάρωσης και της εξάμμωσης - απολίπανσης αποθηκεύονται σε σιλό και απομακρύνονται με φορτηγά. Για την αποφυγή των οσμών, τα έργα προεπεξεργασίας είναι εγκατεστημένα σε κλειστό χώρο, ώστε να είναι εφικτή η συλλογή και επεξεργασία του αέρα. Για την προστασία της εγκατάστασης, σε περίπτωση υψηλών υδραυλικών φορτίων, προβλέπεται παράκαμψη της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας επεξεργασίας μέσω αγωγού, ο οποίος διοχετεύει τα λύματα από την έξοδο των εγκαταστάσεων προεπεξεργασίας στο δίκτυο αποχέτευσης.

Τα βοθρολύματα υπόκεινται σε χημικά υποβοηθούμενη καθίζηση σε δύο κυκλικές δεξαμενές διαχωρισμού, διαμέτρου 20m. Τα αστικά λύματα οδηγούνται αντίστοιχα σε δύο ορθογωνικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, πλάτους 10m και μήκους 54m. Τα πρωτοβάθμια επεξεργασμένα λύματα και τα βοθρολύματα εισέρχονται στη δεξαμενή αερισμού συνολικού όγκου 21.000m<sup>3</sup>, σε διαφορετικές θέσεις. Το ανάμικτο υγρό από τη δεξαμενή αερισμού οδηγείται σε δύο δεξαμενές τελικής καθίζησης διαμέτρου 42m.

Η πρωτοβάθμια ιλύς των αστικών λυμάτων και των βοθρολυμάτων, καθώς και η περίσσεια δευτεροβάθμια ιλύς σταθεροποιείται σε αναερόβιους χωνευτές δύο σταδίων. Οι δύο πρωτοβάθμιοι χωνευτές έχουν όγκο 7.900m<sup>3</sup> έκαστος, και ο δευτεροβάθμιος χωνευτής 3.000m<sup>3</sup> αντίστοιχα.

Τέλος, τα επεξεργασμένα λύματα υπόκεινται σε απολύμανση με αέριο χλώριο, μέσα σε ορθογωνική δεξαμενή συνολικού όγκου 1.600m<sup>3</sup>. Ο χρόνος παραμονής για τη παροχή αιχμής είναι 30min.



**Εικόνα 2.3:** Άποψη εγκαταστάσεων ΚΕΛ Μεταμόρφωσης

### **2.2.1 Χώρος εκκένωσης βυτιοφόρων**

Ο χώρος εκκένωσης των βυτιοφόρων περιλαμβάνει μία οδό κυκλοφορίας των βυτιοφόρων, εκατέρωθεν της οποίας βρίσκονται δεκαπέντε χώροι στάθμευσης. Ο χώρος αυτός διαθέτει εγκατάσταση πλύσης των βυτιοφόρων και 30 σημεία εκκενώσεως των βυτιοφόρων (πηγή : ΕΥΔΑΠ).

Σύμφωνα με τον κανονισμό λειτουργίας, προβλέπονται συγκεκριμένα μέτρα για τον περιορισμό και την αποφυγή ρύπανσης από διαφυγές αερίων ή διασπορά αποβλήτων κατά την εκκένωση των βυτιοφόρων. Ο κανονισμός ορίζει τον τρόπο εκκένωσης των βυτιοφόρων, ώστε να αποφεύγονται οι διαφυγές δύσσομων αερίων και να ελαχιστοποιούνται πιθανές διαρροές λυμάτων στο χώρο στάθμευσης και εκκένωσης των βυτίων. Επίσης, ο κανονισμός λειτουργίας προβλέπει τον περιοδικό έλεγχο των ποιοτικών χαρακτηριστικών των βοθρολυμάτων.

Βοθρολύματα που περιέχουν υψηλό οργανικό φορτίο δεν γίνονται δεκτά στην εγκατάσταση για επεξεργασία και διατίθενται, κατόπιν υποδείξεως του προσωπικού λειτουργίας του κέντρου, σε ειδικό φρεάτιο εκκένωσης που τελικά καταλήγει στο δίκτυο αποχέτευσης, παρακάμπτοντας την εγκατάσταση επεξεργασίας. Επίσης, δεν προβλέπεται η εκκένωση βυτιοφόρων στο χώρο που περιέχουν τοξικά απόβλητα.

## **2.2.2 Προεπεξεργασία βοθρολυμάτων**

Η προεπεξεργασία των βοθρολυμάτων συνίσταται στην απομάκρυνση χονδρόκοκκων υλικών με τη βοήθεια των εσχάρων, την απολίπανση, την εξάμμωση και την απόσμηση (πηγή : ΕΥΔΑΠ).

Η εξάμμωση γίνεται σε δίδυμο αεριζόμενο εξαμμωτή. Τα προϊόντα της εξάμμωσης έχουν ποσοστό υγρασίας κοντά στο 30% και ποσοστό οργανικών της τάξεως του 10÷15%. Επομένως, τα χαρακτηριστικά δεν διαφοροποιούνται σημαντικά από τα συνήθως παρατηρούμενα χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων επεξεργασίας τυπικών λυμάτων (υγρασία 20÷30% και ποσοστό οργανικών 15÷25%).

Η απολίπανση γίνεται σε κατάλληλη δεξαμενή ηρεμίας κατόπιν του εξαμμωτή και η απομάκρυνση των λιπών και ελαίων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια επιφανειακού σαρώτρου. Τα προϊόντα της εσχάρωσης και της εξάμμωσης που ανέρχονται σε 5t/ημέρα περίπου.

### **2.2.2.1 Εσχάρωση**

Η εσχάρωση αποτελείται από χονδροεσχάρα και λεπτή εσχάρωση. Δύο μηχανικά καθοριζόμενες κατακόρυφες εσχάρες χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση σωματιδίων διαστάσεων  $\geq 25\text{mm}$ . Τα συγκρατούμενα σωματίδια συλλέγονται σε μεταφορική ταινία και αποθηκεύονται σε σιλό.

### **2.2.2.2 Εξάμμωση – Απολίπανση**

Τα βοθρολύματα περιέχουν σημαντικές ποσότητες άμμου, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στο μηχανολογικό εξοπλισμό της εγκατάστασης, καθώς και αποθέσεις στις δεξαμενές αερισμού και στους χωνευτές. Για την απομάκρυνση των ανόργανων αδρανών υλικών και των επιπλεόντων σωματιδίων χρησιμοποιείται αεριζόμενος εξαμμωτής, συνολικού όγκου  $300\text{m}^3$ . Η άμμος μεταφέρεται με μεταφορικό κοχλία και απομακρύνεται με φορτηγό για τελική διάθεση στη χωματερή των Άνω Λιοσίων. Οι επιπλέουσες ουσίες συλλέγονται σε εξαφρωτή

και οδηγούνται στη κεφαλή του κέντρου επεξεργασίας, όπου απομακρύνονται περιοδικά με βυτία.

### **2.2.2.3 Επεξεργασία των οσμών**

Κατά το στάδιο της προεπεξεργασίας προβλέπεται επεξεργασία απόσμησης, λόγω της σηπτικότητας των βοθρολυμάτων και της απελευθέρωσης σημαντικών ποσοτήτων υδρόθειου, μερκαπτανών και άλλων δύσοσμων ουσιών. Η απόσμηση επιτελείται στα υγρά λύματα (υγρή φάση), αλλά και στην αέρια φάση, στο χώρο όπου στεγάζονται οι εγκαταστάσεις προεπεξεργασίας των βοθρολυμάτων και των αστικών λυμάτων.

Η απόσμηση των βοθρολυμάτων κατά την υγρή φάση συνίσταται στη δέσμευση των θειούχων, με προσθήκη θειικού σιδήρου ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), και τη δημιουργία θειούχου σιδήρου, ο οποίος καθιζάνει και απομακρύνεται με τη λάσπη των διαχωριστών. Ένας μετρητής θειούχων, σε συνδυασμό με τον μετρητή παροχής ρυθμίζουν αυτόματα την παροχή διαλύματος θειικού σιδήρου ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή δόση. Το σύστημα απόσμησης περιλαμβάνει:

- ❖ σύστημα παρασκευής θειικού σιδήρου
- ❖ ειδικό σύστημα μέτρησης περιεκτικότητας θειούχων στο λύματα
- ❖ δύο δοσομετρικές αντλίες ρυθμιζόμενης παροχής
- ❖ δεξαμενή ανάμιξης βοθρολυμάτων και όγκου θειικού σιδήρου που αναδεύεται με αέρα, ο οποίος παρέχεται από τους δύο αεροσυμπιεστές του εξαμμωτή.

Όσον αφορά στην απόσμηση του αέρα, για την καλύτερη αντιμετώπιση των οσμών, τα έργα προεπεξεργασίας είναι στεγασμένα σε κλειστό χώρο, ώστε να είναι δυνατή η συλλογή και επεξεργασία του αέρα. Η εφαρμοζόμενη μέθοδος απόσμησης συνίσταται σε πύργους απόσμησης με καυστική σόδα. Το σύστημα απόσμησης του αέρα περιλαμβάνει:

- ❖ πύργο απόσμησης, ύψους 5m.
- ❖ ανεμιστήρα, ώστε να εξασφαλίζεται η ανανέωση του αέρα με συχνότητα 8 ανανεώσεις/ώρα



- ❖ καμινάδα απαγωγής των αερίων
- ❖ κάδο αποθήκευσης διαλύματος σόδας, όγκου 1,5m<sup>3</sup>
- ❖ αντλία τροφοδότησης του πύργου πλύσεως
- ❖ δεξαμενή υποδοχής του κορεσμένου διαλύματος σόδας όγκου 2,0m<sup>3</sup>
- ❖ ανιχνευτή αερίων υδρόθειου

### **2.2.3 Πρωτοβάθμια επεξεργασία βοθρολυμάτων: χημικά υποβοηθούμενη καθίζηση**

#### **2.2.3.1 Χημικά υποβοηθούμενη καθίζηση**

Μετά την προεπεξεργασία των βοθρολυμάτων, προστίθεται σε αυτά ασβέστης σε δόσεις που ποικίλουν από 175÷200mg/L, σύμφωνα με τα στοιχεία λειτουργίας των ετών 1994-1996. Στη συνέχεια, τα λύματα οδηγούνται σε δύο κυκλικές δεξαμενές πρωτοβάθμιου διαχωρισμού, διαμέτρου 20 μέτρων. Σύμφωνα με τα αρχικά δεδομένα σχεδιασμού η φόρτιση των βοθρολυμάτων ανέρχεται σε 2,4m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-ώρα για την παροχή αιχμής των βοθρολυμάτων. Λόγω όμως των μειωμένων παροχών των βοθρολυμάτων η εφαρμοζόμενη φόρτιση δεν ξεπερνά τα 0,90m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-ώρα (πηγή : ΕΥΔΑΠ).

Σύμφωνα με τα δεδομένα λειτουργίας (1994-1996), οι μέσοι μηνιαίοι βαθμοί απόδοσης ως προς BOD<sub>5</sub> κυμαίνονται μεταξύ 33÷71% με μέση τιμή 52% και η συγκέντρωση του BOD<sub>5</sub> στην έξοδο από τους διαχωριστές βρίσκεται μεταξύ 300÷1.162mg/L. Οι ρυθμοί απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών είναι της τάξεως του 60%. Σε σχέση με παλαιότερες περιόδους λειτουργίας της εγκατάστασης όπου οι ρυθμοί απομάκρυνσης των στερεών κυμαίνονταν από 90÷95%, το 1996 οι ρυθμοί εμφανίζονται ιδιαίτερα χαμηλοί. Πιθανόν οι μεγαλύτεροι ρυθμοί απομάκρυνσης, που παρατηρήθηκαν την περίοδο 1986-1987, να σχετίζονται με χρήση αυξημένων δόσεων ασβέστη. Η επιβαρυνόμενη έξοδος από τους διαχωριστές έχει ως συνέπεια την αύξηση του οργανικού φορτίου της βιολογικής βαθμίδας, με αποτέλεσμα τη μείωση της δυναμικότητας της εγκατάστασης ως προς την ποσότητα των βοθρολυμάτων που μπορεί να δεχτεί.

Για τους λόγους αυτούς, θα ήταν χρήσιμος ο προσδιορισμός της βέλτιστης δόσης ασβέστη με τη βοήθεια αντιπροσωπευτικών δειγματοληψιών και την εφαρμογή Jar Tests.

Η πρωτοβάθμια επεξεργασία των βοθρολυμάτων έχει ως στόχο την καθίζηση των αιωρούμενων στερεών με χρήση κροκιδωτικών υλικών. Κατά το στάδιο της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, προστίθεται στα βοθρολύματα ασβέστος σε δόσεις που κυμαίνονται μεταξύ 175-300mg/L. Η μονάδα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας βοθρολυμάτων στο κέντρο περιλαμβάνει:

- ❖ Μονάδα κροκίδωσης όγκου 120m<sup>3</sup>. Η μονάδα κροκίδωσης αναδεύεται με 4 αναδευτήρες για την υποβοήθηση της συσσωμάτωσης των κροκίδων.
- ❖ Σύστημα αποθήκευσης ασβέστου, όγκου 50m<sup>3</sup> και αντλία προσθήκης ασβέστου.
- ❖ Δύο κυκλικές δεξαμενές καθίζησης, διαμέτρου 20m και συνολικού όγκου 2.700m<sup>3</sup>.

## **2.2.4 Προεπεξεργασία αστικών λυμάτων**

### **2.2.4.1 Εσχάρωση**

Η προεπεξεργασία των αστικών λυμάτων περιλαμβάνει εσχάρωση και εξάμμωση. Χρησιμοποιείται μία μηχανικά καθαριζόμενη εσχάρα για τη συγκράτηση στερεών μεγέθους  $\geq 25\text{mm}$ . Τα συγκρατούμενα σωματίδια συλλέγονται σε μεταφορική ταινία και αποθηκεύονται σε σιλό.

### **2.2.4.2 Εξάμμωση – Απολίπανση**

Για την απομάκρυνση των ανόργανων αδρανών υλικών και των επιπλεόντων σωματιδίων χρησιμοποιείται αεριζόμενος εξάμμωτής, συνολικού όγκου 385m<sup>3</sup>. Η άμμος απομακρύνεται με φορητά για τελική διάθεση στη χωματερή των Άνω Λιοσίων. Οι επιπλέουσες ουσίες συλλέγονται και απομακρύνονται περιοδικά με βυτία. Η εγκατάσταση u960 προεπεξεργασίας των αστικών λυμάτων είναι στεγασμένη σε κοινό κτίριο με την εγκατάσταση προεπεξεργασίας των βοθρολυμάτων, όπου χρησιμοποιείται κοινό σύστημα απόσμησης.

### **2.2.5 Πρωτοβάθμια επεξεργασία αστικών λυμάτων**

Τα αστικά λύματα υφίστανται εσχάρωση και εξάμμωση και στη συνέχεια οδηγούνται σε δύο ορθογωνικές δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης. Η πρωτοβάθμια καθίζηση των αστικών λυμάτων πραγματοποιείται σε δύο ορθογωνικές δεξαμενές πλάτους 10m, μήκους 54m και μέσου βάθους 2,8m (πηγή : ΕΥΔΑΠ). Η παραγόμενη πρωτοβάθμια ιλύς μαζί με τη περίσσεια βιολογική ιλύ οδηγούνται στη χώνευση. Οι επιπλέον ουσίες συλλέγονται σε κανάλι συλλογής αφρών.

Η υδραυλική φόρτιση σχεδιασμού είναι περίπου  $20\text{m}^3/\text{m}^2\text{-ημέρα}$ , αλλά λόγω των μειωμένων παροχών η λειτουργία γίνεται σήμερα με φόρτιση  $12\text{m}^3/\text{m}^2\text{-ημέρα}$  περίπου. Στις δύο αυτές ορθογωνικές δεξαμενές, εκτός από την συγκράτηση ποσοστού στερεών των αστικών λυμάτων γίνεται και η συνδυασμένη πάχυνση της πρωτοβάθμιας αστικής και της πλεονάζουσας βιολογικής ιλύος.

Η μέση τιμή  $\text{BOD}_5$  και TSS στην εκροή ανέρχεται σε 209 και  $261\text{mg/L}$  αντίστοιχα. Ο βαθμός απόδοσης ως προς την απομάκρυνση του  $\text{BOD}_5$  και των TSS είναι αντίστοιχα 37% και 53%, όταν οι συνήθεις βαθμοί απόδοσης για αστικά λύματα χωρίς επανακυκλοφορία περίσσειας ιλύος κυμαίνονται μεταξύ  $25\div 40\%$  ως προς το  $\text{BOD}_5$  και  $50\div 70\%$  ως προς το TSS.

Η μέση ημερήσια ποσότητα ιλύος που διοχετεύεται στους χωνευτές ανέρχεται σε  $9,4\text{t}/\text{ημέρα}$  με μία μέση συμπύκνωση  $2,5\div 3\%$ . Η ποσότητα της πρωτοβάθμιας ιλύος είναι περίπου  $2,5\div 3$  τόνοι ημερησίως, ενώ η ποσότητα της περίσσειας βιολογικής ιλύος είναι περίπου  $6,7\text{t}/\text{ημέρα}$ . Συνήθως σε δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης, στις οποίες δεν επανακυκλοφορεί πλεονάζουσα βιολογική ιλύς, παρατηρούνται βαθμοί συμπύκνωσης μεγαλύτεροι από 3%.

Συμπερασματικά, λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό απομάκρυνσης των στερεών στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης και το βαθμό συμπύκνωσης της ιλύος, η επανακυκλοφορία της περίσσειας ιλύος δεν φαίνεται να δημιουργεί θετικά αποτελέσματα στην απομάκρυνση των στερεών, δρώντας ως βιοκροκιδωτικό. Αντιθέτως, μειώνει το βαθμό συμπύκνωσης της πρωτοβάθμιας ιλύος.

Επιπλέον, σε περίπτωση διόγκωσης  $u_{964}$  της ιλύος ή απονιτροποίησης, η επανακυκλοφορία της περίσσειας βιολογικής ιλύος είναι δυνατόν να προκαλέσει προβλήματα επίπλευσης της ιλύος στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης και σε πολύ δυσμενείς περιπτώσεις τη διαφυγή στερεών στην έξοδο. Συνεπώς, θα ήταν χρήσιμο να διερευνηθούν εναλλακτικοί τρόποι πάχυνσης της περίσσειας ιλύος με μηχανικά μέσα χωριστά από τη πρωτοβάθμια λάσπη.

## **2.2.6 Δευτεροβάθμια επεξεργασία**

### **2.2.6.1 Βιολογικός αντιδραστήρας**

Μετά από την χωριστή πρωτοβάθμια επεξεργασία των αστικών λυμάτων και των βοθρολυμάτων, τα λύματα οδηγούνται σε κοινή εγκατάσταση δευτεροβάθμιας επεξεργασίας. Η δεξαμενή αερισμού είναι ορθογωνική, μήκους 94m και πλάτους 54m, με μέσο βάθος 4,35m. Ο συνολικός όγκος της δεξαμενής είναι 21.000m<sup>3</sup> και χωρίζεται σε 5 φατνώματα διαστάσεων 18m x 54m. Τα λύματα ακολουθούν μαιανδρική ροή, ώστε να επιτυγχάνεται η κατά το δυνατό εμβολοειδής ροή (πηγή : ΕΥΔΑΠ). Η είσοδος των βοθρολυμάτων και των αστικών λυμάτων γίνεται σε διαφορετικές θέσεις του αντιδραστήρα. Το σύνολο της ανακυκλοφορίας εισρέει στο ανάντι άκρο της δεξαμενής. Ο αερισμός πραγματοποιείται από 15 μηχανικούς επιφανειακούς αεριστήρες, τρεις ανά φατνώμα γραμμής επεξεργασίας (Εικόνα 2.4).



**Εικόνα 2.4:** Εγκαταστάσεις αερισμού

### **2.2.6.2 Δευτεροβάθμια καθίζηση**

Το ανάμικτο υγρό οδηγείται μέσω δύο αγωγών βαρύτητας Ø1000 σε δύο κυκλικές δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης με τα κάτωθι χαρακτηριστικά:

- ❖ διάμετρος 42m
- ❖ εμβαδόν επιφάνειας/δεξαμενή 1.385m<sup>2</sup>
- ❖ μήκος υπερχειλιστή/δεξαμενή 117m
- ❖ μέσο βάθος 3,3m

Η περίσσεια βιολογική ιλύς, σύμφωνα με τα δεδομένα σχεδιασμού της εγκατάστασης, υπολογίζεται σε 6,900kg/ημέρα για τη μέση παροχή της ξηρής περιόδου που αντιστοιχεί σε όγκο παραγόμενης ιλύος ίσο με 1.150m<sup>3</sup>/ημέρα, με μία

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

συγκέντρωση στερεών περίπου 6.000mg/L. Η περίσσεια ιλύς οδηγείται στη δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης για συμπύκνωση μαζί με τη βαρύτερη πρωτοβάθμια ιλύ και στη συνέχεια αντλείται στους δύο πρωτοβάθμιους χωνευτές. Για την απομάκρυνση της περίσσειας ιλύος χρησιμοποιούνται δύο ηλεκτρικές οριζόντιες αντλίες.



**Εικόνα 2.5:** Δεξαμενές τελικής καθίζησης

### **2.2.7 Απολύμανση**

Η απολύμανση των δευτεροβάθμιων εκροών πραγματοποιείται με χλωρίωση των λυμάτων με χρήση αέριου χλωρίου. Η προσθήκη του χλωρίου γίνεται σε δεξαμενή χωρητικότητας 23m<sup>3</sup>, εξοπλισμένη με αναμικτήρα ισχύος 2,5kW. Η δοσομέτρηση του χλωρίου, που κυμαίνεται μεταξύ 6÷8mg/L, ελέγχεται από μετρητή παροχής, ανάντη του σημείου προσθήκης απολυμαντικού. Η μονάδα απολύμανσης διαθέτει χλωριόμετρο του οποίου η παροχή κυμαίνεται από 10÷25kg/hr. Η δεξαμενή χλωρίωσης (Εικόνα 2.6) έχει τη μορφή μαιανδρικού καναλιού με συνολικό όγκο 1.600m<sup>3</sup> και σχέση συνολικού μήκους προς συνολικό πλάτος καναλιού ίσο με 65, ώστε να εξασφαλίζεται η εμβολοειδής ροή κατά μήκος του καναλιού χλωρίωσης. Ο ελάχιστος υδραυλικός χρόνος παραμονής για τη μέση παροχή σχεδιασμού είναι

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

περίπου 30min. Οι διαστάσεις της δεξαμενής χλωρίωσης είναι οι ακόλουθες(πηγή : ΕΥΔΑΠ) :

- ❖ μήκος 60m
- ❖ πλάτος 3,4m
- ❖ βάθος 2m
- ❖ πλήθος καναλιών 4

Το αέριο χλώριο αποθηκεύεται σε τέσσερις χαλύβδινες δεξαμενές χωρητικότητας 1000kg η κάθε μία. Η μονάδα αποθήκευσης χλωρίου διαθέτει συσκευή ανίχνευσης διαφυγής χλωρίου που θέτει αυτόματα σε λειτουργία ένα πύργο εξουδετέρωσης του αερίου χλωρίου με διάλυμα ουδετεροποίησης NaOH, όγκου 14,5m<sup>3</sup>.



**Εικόνα 2.6:** Μονάδα απολύμανσης

### **2.2.8 Δίκτυο βιομηχανικού νερού**

Για την παραγωγή της απαραίτητης ποσότητας βιομηχανικού νερού, τα επεξεργασμένα λύματα υπόκεινται σε διύλιση μέσω τριών αμμόφιλτρων πίεσεως με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

- ❖ διάμετρος 2m
- ❖ κυλινδρικό ύψος 1,2m
- ❖ πίεση λειτουργίας 1bar
- ❖ επιφάνεια αμμόφιλτρου 3,14m<sup>2</sup>
- ❖ παροχή 50m<sup>3</sup>/hr/φίλτρο

Το δίκτυο τροφοδοσίας βιομηχανικού νερού αποτελείται από μία δεξαμενή αποθήκευσης χωρητικότητας 1000L, αγωγό Ø150 και τρία ζεύγη αντλιών, δυναμικότητας 50m<sup>3</sup>/hr.

### **2.2.9 Επεξεργασία ιλύος**

Η πρωτοβάθμια ιλύς των βοθρολυμάτων και των αστικών λυμάτων, καθώς και η περίσσεια βιολογική ιλύς υπόκεινται σε κοινή αναερόβια χώνευση που πραγματοποιείται σε δύο πρωτοβάθμιους χωνευτές χωρητικότητας 7.900m<sup>3</sup>, έκαστος, και σε ένα δευτεροβάθμιο χωνευτή όγκου 3.000m<sup>3</sup>. Ο δευτεροβάθμιος χωνευτής χρησιμοποιείται περισσότερο ως δεξαμενή αποθήκευσης της ιλύος και εξισορρόπησης της παροχής στις εγκαταστάσεις αφυδάτωσης της ιλύος.

Σύμφωνα με τα δεδομένα σχεδιασμού, οι ποσότητες των παραγόμενων ιλύων για την παροχή σχεδιασμού (44.000m<sup>3</sup>/ημέρα) ανέρχονται σε:

- ❖ πρωτοβάθμια ιλύς βοθρολυμάτων 50.000kg/ημέρα
- ❖ πρωτοβάθμια ιλύς αστικών λυμάτων 3.000Kg/ημέρα
- ❖ περίσσεια βιολογική ιλύς 7.000Kg/ημέρα

Τα χαρακτηριστικά των δύο κυλινδρικών πρωτοβάθμιων χωνευτών και του δευτεροβάθμιου χωνευτή (Εικόνα 2.7) είναι τα εξής(πηγή : ΕΥΔΑΠ) :

|                         | <b>Πρωτοβάθμιοι</b> | <b>Δευτεροβάθμιος</b> |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| διάμετρος               | 26,80m              | 17,90m                |
| εξωτερικό πλευρικό ύψος | 13,25m              | 11,15m                |

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

|                |                     |                     |
|----------------|---------------------|---------------------|
| ύψος κώνου     | 2,65m               | 2,40m               |
| όγκος χωνευτού | 7.900m <sup>3</sup> | 3.000m <sup>3</sup> |

Ο προβλεπόμενος από το σχεδιασμό χρόνος παραμονής της ιλύος στους πρωτοβάθμιους χωνευτές για την παροχή σχεδιασμού κυμαίνεται μεταξύ 14÷15 ημέρες, ενώ στο δευτεροβάθμιο χωνευτή η παραμονή είναι περίπου 3 ημέρες. Λόγω όμως των μικρότερων φορτίσεων, ο συνολικός μέσος χρόνος παραμονής της ιλύος ανέρχεται σε 32 ημέρες περίπου.



**Εικόνα 2.7:** Δεξαμενές χώνευσης, στο μέσο διακρίνεται το κτίριο εξυπηρέτησης των χωνευτών

Οι πρωτοβάθμιοι χωνευτές θερμαίνονται στους 35° C περίπου, από ένα σύστημα θέρμανσης που χρησιμοποιεί βιοαέριο ως καύσιμο και αποτελείται από:

- ❖ εξωτερικούς εναλλάκτες με ζεστό νερό, όπου η ιλύς κυκλοφορεί σε κεντρικό σωλήνα και το ζεστό νερό στο εξωτερικό δακτυλωτό τμήμα του εναλλάκτη
- ❖ δύο λέβητες
- ❖ κύκλωμα ζεστού νερού

Η ποσότητα του παραγόμενου αερίου εκτιμάται σε 1m<sup>3</sup>/kg απομακρυνόμενων πτητικών στερεών. Το ημερήσιο βάρος των διασπώμενων πτητικών ανέρχεται, σύμφωνα με τα δεδομένα σχεδιασμού, σε 21.000kg/ημέρα για τη μέση παροχή λυμάτων (44.000m<sup>3</sup>/ημέρα) και συνεπώς η ημερήσια ποσότητα βιοαερίου εκτιμάται



σε 21.000m<sup>3</sup>/ημέρα, εκ των οποίων απαιτούνται περίπου 7.300m<sup>3</sup>/ημέρα για τη θέρμανση των δύο πρωτοβάθμιων χωνευτών, ενώ το υπόλοιπο πλεονάζον βιοαέριο καίγεται σε δύο δαυλούς. Για τη αποθήκευση του βιοαερίου χρησιμοποιείται δεξαμενή χωρητικότητας 1.000m<sup>3</sup>. Στην πραγματικότητα, λόγω των χαμηλότερων φορτίσεων και της μειωμένης ποσότητας ιλύος, η ημερήσια ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου δεν ξεπερνά τα 3.500m<sup>3</sup>/ημέρα.

### **2.2.10 Αφυδάτωση Ιλύος**

Η αφυδάτωση της ιλύος γίνεται από τέσσερις ταινιοφιλτρόπρεσσες, οι οποίες σύμφωνα με το σχεδιασμό έχουν τη δυνατότητα να παράγουν αφυδατωμένη ιλύ με ποσοστό στερεών 25%. Η ποσότητα της χωνεμένης ιλύος σύμφωνα με τα δεδομένα σχεδιασμού ανέρχεται σε 39.000kgDS/ημέρα ή 780m<sup>3</sup>/ημέρα.

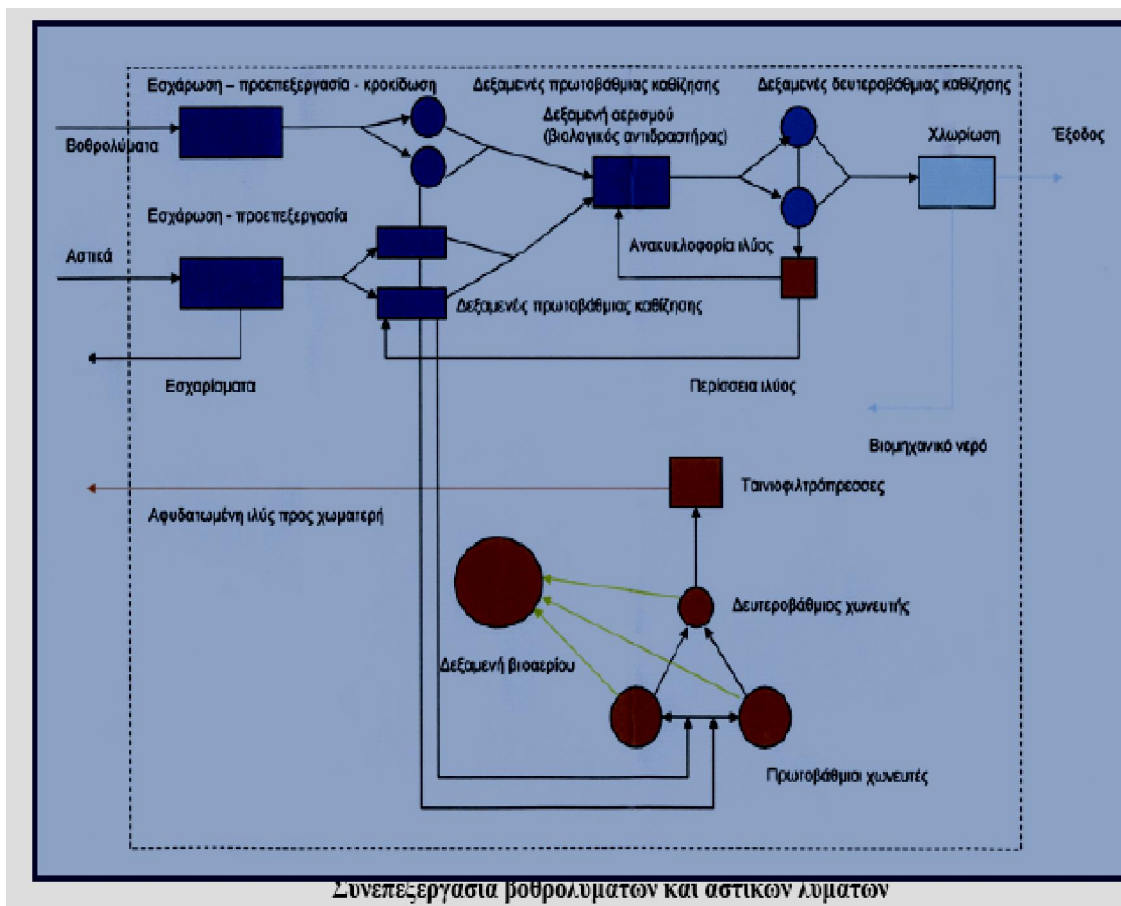
Οι μονάδες αφυδάτωσης βρίσκονται σε κλειστό χώρο. Η αφυδατωμένη ιλύς οδηγείται με μεταφορικό ιμάντα σε χώρο φόρτωσης, από όπου απομακρύνεται με φορτηγά οχήματα για τελική διάθεση στη χωματερή των Άνω Λιοσίων.

## **2.3 Περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του κέντρου και αξιολόγηση δεδομένων λειτουργίας**

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το Κέντρο Λυμάτων Μεταμόρφωσης έχει σχεδιασθεί για να δέχεται και να επεξεργάζεται 24.000m<sup>3</sup>/ημέρα βοθρολύματα και 20.000m<sup>3</sup>/ημέρα λύματα, εξυπηρετώντας έναν πληθυσμό 550.000 κατοίκων περίπου.

Στην πραγματικότητα, η παροχή βοθρολυμάτων είναι περίπου 7.000m<sup>3</sup>/ημέρα και η παροχή των αστικών λυμάτων κοντά στις 13.000m<sup>3</sup>/ημέρα εξυπηρετώντας ένα πληθυσμό περίπου 250.000κατοίκους/ημέρα. Τα διάφορα στάδια επεξεργασίας του κέντρου δίνονται σχηματικά στο Διάγραμμα 2.1.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**



**Διάγραμμα 2.1:** Διάγραμμα ροής Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης (πηγή : ΕΥΔΑΠ)

**2.3.1 Χαρακτηριστικά εισερχομένων βοθρολυμάτων και αστικών λυμάτων**

Οι μέσες τιμές των χαρακτηριστικών των βοθρολυμάτων και των αστικών λυμάτων, τα οποία καταλήγουν στο κέντρο, καθώς και οι διακυμάνσεις των παροχών των λυμάτων δίνονται στον Πίνακα 2.1, για την περίοδο 1994 - 1996. Όπως φαίνεται από τον πίνακα, οι μέσες τιμές του BOD<sub>5</sub> των βοθρολυμάτων και των αστικών λυμάτων κυμαίνονται μεταξύ 1124÷1270mg/L και 412÷431mg/L αντίστοιχα.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

| Παράμετρος                            | Βοθρολύματα | Αστικά |
|---------------------------------------|-------------|--------|
|                                       |             |        |
| BOD <sub>5</sub> , mg/L               | 1.197       | 416    |
| COD, mg/L                             | 2.150       | 814    |
| TSS, mg/L                             | 1.416       | 436    |
|                                       |             |        |
| <b>Παροχή:</b>                        |             |        |
| Μέση ημερήσια, m <sup>3</sup> /day    | 7.000       | 13.000 |
| Μέγιστη ημερήσια, m <sup>3</sup> /day | 11.000      | 24.500 |
| Μέγιστη ωριαία, m <sup>3</sup> /hr    | 1.050       | 1.400  |

**Πίνακας 2.1:** Παροχές και ρυπαντικά φορτία βοθρολυμάτων και αστικών λυμάτων

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά οι μηνιαίες παροχές των αστικών λυμάτων, των βοθρολυμάτων καθώς και η συνολική παροχή, δηλαδή το άθροισμα των δύο προηγούμενων για τα έτη 2000, 2001, 2002, 2003 και 2004.

Ακόμη, υπολογίζεται η μέση μηνιαία παροχή (m<sup>3</sup>/μήνα) και για τις τρεις περιπτώσεις, ως ο μέσος όρος όλων των μηνιαίων παροχών, καθώς επίσης και η μέση ημερήσια παροχή (m<sup>3</sup>/μέρα), διαιρώντας το άθροισμα των μηνιαίων παροχών κάθε έτους δια 365 μέρες.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

| Παροχή αστικών λυμάτων (m <sup>3</sup> )         |        |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   |
| Ιανουάριος                                       | 469000 | 508000 | 390500 | 444000 | 435000 |
| Φεβρουάριος                                      | 408000 | 435000 | 367000 | 401000 | 405000 |
| Μάρτιος  | 494000 | 376000 | 392000 | 477000 | 412500 |
| Απρίλιος   | 436000 | 312500 | 438000 | 424000 | 389000 |
| Μάιος  | 458000 | 346500 | 442000 | 425000 | 388000 |
| Ιούνιος  | 478000 | 379000 | 487000 | 438000 | 378000 |
| Ιούλιος  | 4000   | 380500 | 431000 | 441000 | 357000 |
| Αύγουστος  | 366000 | 357500 | 387000 | 388000 | 354000 |
| Σεπτέμβριος                                      | 487000 | 382500 | 409000 | 417000 | 373500 |
| Οκτώβριος  | 507000 | 380500 | 404000 | 434500 | 389000 |
| Νοέμβριος  | 483000 | 365000 | 419700 | 408500 | 354200 |
| Δεκέμβριος                                       | 497000 | 385000 | 429000 | 433000 | 322400 |
| <b>Μ.Ο.<br/>(m<sup>3</sup>/μήνα)</b>             | 423917 | 384000 | 416350 | 427583 | 379800 |
| <b>Ημερήσια παροχή<br/>(m<sup>3</sup>/ημέρα)</b> | 13937  | 12625  | 13688  | 14058  | 12487  |

**Πίνακας 2.2:** Μηνιαίες παροχές αστικών λυμάτων (m<sup>3</sup>) για τα έτη 2000, 2001, 2002, 2003 και 2004 (πηγή : ΕΥΔΑΠ)

| Παροχή βοθρολυμάτων (m <sup>3</sup> )            |        |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   |
| Ιανουάριος                                       | 156984 | 179555 | 221650 | 221705 | 225723 |
| Φεβρουάριος                                      | 170857 | 158122 | 201318 | 224054 | 207373 |
| Μάρτιος  | 182913 | 200199 | 206089 | 227613 | 255946 |
| Απρίλιος   | 182197 | 176802 | 248092 | 236091 | 237376 |
| Μάιος  | 203098 | 206126 | 244110 | 269818 | 229467 |
| Ιούνιος  | 193427 | 196822 | 219062 | 238990 | 253817 |
| Ιούλιος  | 186381 | 193648 | 250973 | 255065 | 260203 |
| Αύγουστος  | 180674 | 179261 | 222402 | 200841 | 232458 |
| Σεπτέμβριος                                      | 176821 | 179445 | 212310 | 238458 | 234697 |
| Οκτώβριος  | 157663 | 198070 | 213869 | 243321 | 230623 |
| Νοέμβριος  | 168508 | 192180 | 222934 | 214456 | 247652 |
| Δεκέμβριος                                       | 194602 | 176362 | 215741 | 231302 | 265488 |
| <b>Μ.Ο.<br/>(m<sup>3</sup>/μήνα)</b>             | 179510 | 186382 | 223212 | 233476 | 240068 |
| <b>Ημερήσια παροχή<br/>(m<sup>3</sup>/ημέρα)</b> | 5902   | 6128   | 7338   | 7676   | 7893   |

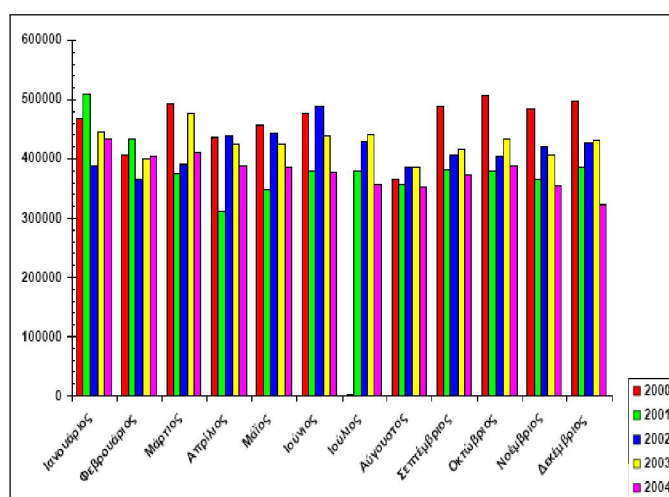
**Πίνακας 2.3:** Μηνιαίες παροχές βοθρολυμάτων (m<sup>3</sup>) για τα έτη 2000, 2001, 2002, 2003 και 2004 (πηγή : ΕΥΔΑΠ)

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

| Συνολική παροχή (m <sup>3</sup> )                |               |               |               |               |               |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|  | 2000          | 2001          | 2002          | 2003          | 2004          |
| Ιανουάριος                                       | 625984        | 687555        | 612150        | 665705        | 660723        |
| Φεβρουάριος                                      | 578857        | 593122        | 568318        | 625054        | 612373        |
| Μάρτιος  | 676913        | 576199        | 598089        | 704613        | 668446        |
| Απρίλιος   | 618197        | 489302        | 686092        | 660091        | 626376        |
| Μάιος  | 661098        | 552626        | 686110        | 694818        | 617467        |
| Ιούνιος  | 671427        | 575822        | 706062        | 676990        | 631817        |
| Ιούλιος  | 190381        | 574148        | 681973        | 696065        | 617203        |
| Αύγουστος  | 546674        | 536761        | 609402        | 588841        | 586458        |
| Σεπτέμβριος                                      | 663821        | 561945        | 621310        | 655458        | 608197        |
| Οκτώβριος  | 664663        | 578570        | 617869        | 677821        | 619623        |
| Νοέμβριος  | 651508        | 557180        | 642634        | 622956        | 601852        |
| Δεκέμβριος                                       | 691602        | 561362        | 644741        | 664302        | 587888        |
| <b>Μ.Ο.<br/>(m<sup>3</sup>/μήνα)</b>             | <b>603427</b> | <b>570382</b> | <b>639562</b> | <b>661060</b> | <b>619868</b> |
| <b>Ημερήσια παροχή<br/>(m<sup>3</sup>/ημέρα)</b> | <b>19839</b>  | <b>18752</b>  | <b>21027</b>  | <b>21733</b>  | <b>20379</b>  |

**Πίνακας 2.4:** Μηνιαίες συνολικές παροχές αστικών λυμάτων και βοθρολυμάτων (m<sup>3</sup>) για τα έτη 2000, 2001, 2002, 2003 και 2004 (πηγή : ΕΥΔΑΠ)

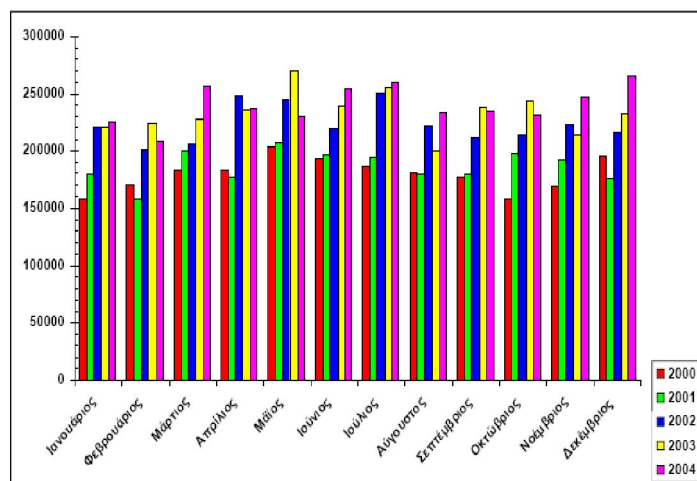
Οι μηνιαίες παροχές των αστικών λυμάτων κάθε έτους (2000÷2004) απεικονίζονται γραφικά στο Διάγραμμα 2.2 που ακολουθεί.



**Διάγραμμα 2.2:** Μηνιαίες παροχές αστικών λυμάτων (m<sup>3</sup>/μήνα) (πηγή: ΕΥΔΑΠ)

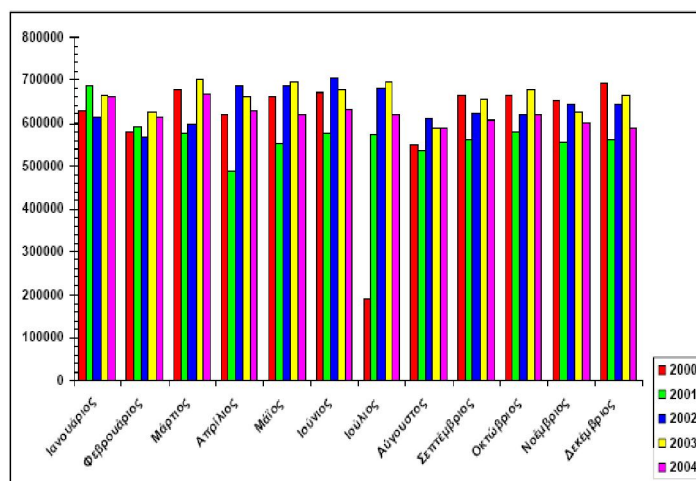
Οι μηνιαίες παροχές των βοθρολυμάτων κάθε έτους (2000÷2004) απεικονίζονται γραφικά στο Διάγραμμα 2.3 που ακολουθεί.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**



**Διάγραμμα 2.3:** Μηνιαίες παροχές βοθρολυμάτων (m<sup>3</sup>/μήνα) (πηγή: ΕΥΔΑΠ)

Οι μηνιαίες συνολικές παροχές των αστικών λυμάτων και των βοθρολυμάτων κάθε έτους (2000÷2004) απεικονίζονται γραφικά στο Διάγραμμα 2.4 που ακολουθεί.



**Διάγραμμα 2.4:** Μηνιαίες συνολικές παροχές αστικών λυμάτων και βοθρολυμάτων (m<sup>3</sup>/μήνα) (πηγή : ΕΥΔΑΠ)

Στο Διάγραμμα 2.2 παρουσιάζεται η διακύμανση των μηνιαίων παροχών των αστικών λυμάτων κατά τα έτη 2000, 2001, 2002, 2003 και 2004 αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι οι διακυμάνσεις στις τιμές δεν είναι τόσο έντονες, εκτός από τον Ιούλιο του 2000, όπου η παροχή έχει τιμή μόλις 4.000m<sup>3</sup>. Η μέγιστη μέση μηνιαία

παροχή των αστικών λυμάτων παρατηρείται το έτος 2003 και έχει τιμή 427.583m<sup>3</sup>/μήνα. Αντίστοιχα, η μέγιστη ημερήσια παροχή παρατηρείται το 2003 και έχει τιμή 14.058m<sup>3</sup>/ημέρα.

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.3 η μέση παροχή των βοθρολυμάτων παρουσιάζει μία συστηματική αύξηση με το πέρασμα των χρόνων. Πιο συγκεκριμένα, το 2000 ήταν 179.510m<sup>3</sup>, το 2001 ήταν 186.382m<sup>3</sup>, το 2002 ήταν 223.212m<sup>3</sup>, το 2003 ήταν 233.476m<sup>3</sup> και τέλος το 2004 ήταν 240.068m<sup>3</sup>. Όπως είναι αναμενόμενο, και οι ημερήσιες παροχές παρουσιάζουν παρόμοια αύξηση με εμφάνιση της μέγιστης ημερήσιας παροχής το έτος 2004 (7.893m<sup>3</sup>).

Τέλος, στο Διάγραμμα 2.4, το οποίο απεικονίζει τις συνολικές μηνιαίες παροχές λυμάτων, παρατηρούνται κάποιες διακυμάνσεις, σχετικά μικρές. Παρατηρούμε ότι για κάθε έτος, η μηνιαία παροχή παρέμενε σχεδόν σταθερή για όλους τους μήνες. Μεγάλη απόκλιση όσον αφορά στην τιμή παρουσιάζει η συνολική παροχή του μήνα Ιουλίου του 2000, σε σχέση με τις υπόλοιπες μηνιαίες παροχές του ίδιου έτους, γεγονός που οφείλεται στην αρκετά μειωμένη εισροή αστικών λυμάτων εκείνη την περίοδο, όπως προαναφέραμε. Η μέγιστη ημερήσια παροχή παρατηρείται το έτος 2003 και έχει τιμή 21.733m<sup>3</sup>.

### **2.3.2 Σύστημα ενεργού ιλύος**

Όπως έχει προαναφερθεί, η δεξαμενή αερισμού έχει όγκο 21.000m<sup>3</sup> και έχει σχεδιασθεί να δέχεται 44.000m<sup>3</sup>/ημέρα μίγματος αστικών και βοθρολυμάτων μετά από την προκαταρκτική και την πρωτοβάθμια καθίζηση, με μέση συγκέντρωση BOD<sub>5</sub> 275mg/L. Σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό της εγκατάστασης, η μονάδα έχει διαστασιολογηθεί ώστε να επιτυγχάνεται ένας βαθμός απόδοσης ως προς BOD<sub>5</sub> ίσος με 93%, με στόχο την εξασφάλιση συγκέντρωσης BOD<sub>5</sub> στα επεξεργασμένα λύματα που διατίθενται στην Πύρνα μικρότερη των 20mg/L.

- Στον Πίνακα 2.5 παρατίθενται οι σημαντικότερες παράμετροι της βιολογικής βαθμίδας, σύμφωνα με τον σχεδιασμό, καθώς επίσης και εκείνες με βάση τα λειτουργικά αποτελέσματα του 1996. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την σύγκριση των στοιχείων σχεδιασμού με εκείνα του 1996 είναι τα εξής (πηγή: Μιχαλοπούλου Α., Ανάλυση κύκλου ζωής υπόγειου συγκροτήματος βιολογικού καθαρισμού : Η περίπτωση του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης, Αθήνα 2006)

1. Η απόδοση της εγκατάστασης για τη μέση φόρτιση είναι υψηλή και κυμαίνεται γύρω στο 96%, με μέση τιμή συγκέντρωσης BOD<sub>5</sub> και TSS στην δευτεροβάθμια εκροή περίπου 17 και 15mg/L αντίστοιχα.

2. Η εγκατάσταση λειτουργεί κάτω από σημαντικά χαμηλότερες οργανικές και υδραυλικές φορτίσεις σε σχέση με αυτές που προβλέπονταν κατά το σχεδιασμό του κέντρου και με υψηλότερες συγκεντρώσεις ανάμικτου υγρού στη δεξαμενή αερισμού. Οι δεξαμενές τελικής καθίζησης δέχονται περίπου το 60% του φορτίου σχεδιασμού ως προς τα στερεά και το 40% του υδραυλικού φορτίου σχεδιασμού. Η υδραυλική φόρτιση και η φόρτιση στερεών για την μέση παροχή είναι 7,2m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-ημέρα και 65kg/m<sup>2</sup>-ημέρα, αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι αρκετά χαμηλότερες από τις συνιστώμενες μέγιστες τιμές στη βιβλιογραφία (16m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-ημέρα και 80kg/m<sup>2</sup>-ημέρα, αντίστοιχα). Συνεπώς οι δεξαμενές τελικής καθίζησης εμφανίζουν ένα σημαντικό περιθώριο ασφαλείας και φαίνεται ότι μπορούν να αντιμετωπίσουν σημαντικά μεγαλύτερα φορτία ή και περιστασιακά προβλήματα αφρισμού και διόγκωσης της ιλύος.

3. Ο χρόνος παραμονής των στερεών κυμαίνεται μεταξύ 14÷17 ημέρες, με μέση τιμή περίπου 15 ημέρες, έναντι 7,7 ημερών που προβλεπόταν στη μελέτη σχεδιασμού. Κάτω από τις αυτές τις συνθήκες λειτουργίας, είναι πολύ πιθανόν να πραγματοποιείται νιτροποίηση ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών.

4. Σύμφωνα με τα λειτουργικά στοιχεία της εγκατάστασης, θα πρέπει να αναμένεται τουλάχιστον μερική νιτροποίηση κατά τη διάρκεια του έτους.



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

| Παράμετρος   | Μελέτη | 1996   |
|--|--------|--------|
| Παροχή βοθρολυμάτων, m <sup>3</sup> /ημέρα                 | 24.000 | 7.000  |
| Παροχή αστικών, m <sup>3</sup> /ημέρα                      | 20.000 | 13.000 |
| BOD <sub>5</sub> βοθρολυμάτων, mg/L                        | 1.120  | 1.197  |
| BOD <sub>5</sub> αστικών, mg/L                             | 180    | 416    |
| BOD <sub>5</sub> βοθρολυμάτων μετά από διαχωριστές, mg/L   | 400    | 571    |
| BOD <sub>5</sub> αστικών μετά από ΔΠΚ, mg/L                | 125    | 261    |
| Οργανική φόρτιση, kgBOD/KgSS-ημ                            | 0,19   | 0,065  |
| Ηλικία ιλύος, ημέρα  | 7,7    | 15     |
| Συγκέντρωση Ανάμικτου Υγρού, mg/L                          | 3.000  | 4.500  |
| Οργανικό Φορτίο, kg BOD <sub>5</sub> /kgSS-ημ              | 12.100 | 7.400  |
| Υδραυλική φόρτιση ΔTK, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -day | 16     | 7.2    |
| Φόρτιση Στερεών ΔTK, kg/m <sup>2</sup> -day                | 100    | 65     |
| BOD <sub>5</sub> στη δευτεροβάθμια εκροή, mg/L             | 20     | <20    |
| TSS στη δευτεροβάθμια εκροή, mg/L                          | 30     | <20    |

**Πίνακας 2.5:** Λειτουργικά στοιχεία συστήματος ενεργού ιλύος του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης (Πηγή : ΕΥΔΑΠ)

Στον Πίνακα 2.6 δίδεται το ισοζύγιο προσφοράς και κατανάλωσης οξυγόνου για το έτος 1996. Στην τέταρτη στήλη αναγράφεται το συνολικό οργανικό φορτίο που υπόκειται σε βιολογική επεξεργασία και στην πέμπτη στήλη οι ώρες λειτουργίας των αεριστών για κάθε μήνα. Στην έβδομη στήλη παρουσιάζονται οι συνολικές απαιτήσεις σε οξυγόνο για την ενδογενή αναπνοή και στην όγδοη στήλη υπολογίζονται οι ανάγκες σε οξυγόνο, λαμβάνοντας υπόψη και την μερική νιτροποίηση. Στην ένατη στήλη υπολογίζεται η προσφερθείσα ποσότητα οξυγόνου που προέκυψε πολλαπλασιάζοντας τις ώρες λειτουργίας των αεριστών επί την ισχύ τους και επί ένα πραγματικό συντελεστή απόδοσης οξυγόνου, ίσο με 1,4kg O<sub>2</sub>/kWh.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
 ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

| Μήνας             | Οργανικό Φορτίο Αστικών kg/μήνα | Οργανικό Φορτίο Βοθ/των kg/μήνα | Ώρες Λειτουργ. Αεριστών hr/μήνα | Συνολικό Οργανικό Φορτίο kg/μήνα | MLSS g/L   | Ενδογ. Ζήτηση O <sub>2</sub> kg/μήνα | Συνολική Ζήτηση O <sub>2</sub> kg/μήνα | Προσφερ. O <sub>2</sub> kg/μήνα |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------|--------------------------------------|--|---------------------------------|
| Ιαν-Φεβ           | 109376                          | 103076                          | 212453,9                        | 5602                             | 4,5        | 148516                               | 360970                                 | 368614                          |
| Φεβ-Μαρ           | 99984                           | 128766                          | 228751,5                        | 4321                             | 4,8        | 146761                               | 375513                                 | 284383                          |
| Μαρ-Απρ           | 127785                          | 95379                           | 223165,3                        | 4607                             | 6,3        | 207255                               | 430421                                 | 303141                          |
| Απρ-Μαι           | 130802                          | 135335                          | 266138,5                        | 4406                             | 6,4        | 243855                               | 509993                                 | 289923                          |
| Μαι-Ιουν          | 215981                          | 106604                          | 322586,0                        | 4659                             | 7,8        | 282731                               | 605317                                 | 306602                          |
| Ιουν-Ιουλ         | 77986                           | 135107                          | 213093,5                        | 4534                             | 6,5        | 298874                               | 511967                                 | 298354                          |
| Ιουλ-Αυγ          | 81736                           | 52855                           | 134592,5                        | 4680                             | 3,1        | 142212                               | 276804                                 | 307964                          |
| Αυγ-Σεπτ          | 95859                           | 77015                           | 172875,3                        | 3907                             | 3,9        | 167430                               | 340306                                 | 257107                          |
| Σεπτ-Οκτ          | 85789                           | 124990                          | 210780,4                        | 4299                             | 4,4        | 157006                               | 367786                                 | 282900                          |
| Οκτ-Νοεμ          | 64020                           | 137238                          | 201259,2                        | 5228                             | 5,9        | 210174                               | 411433                                 | 344055                          |
| Νοεμ-Δεκ          | 75213                           | 132344                          | 20755,8                         | 4916                             | 7,1        | 191281                               | 398840                                 | 323475                          |
| Δεκ-Ιαν           | 58169                           | 164846                          | 223016,2                        | 5364                             | 5,9        | 154714                               | 377731                                 | 352975                          |
| <b>Μέσος Όρος</b> | <b>101892</b>                   | <b>116130</b>                   | <b>218023</b>                   | <b>4711</b>                      | <b>5,5</b> | <b>195901</b>                        | <b>413924</b>                          | <b>309958</b>                   |

**Πίνακας 2.6:** Προσφορά και ζήτηση οξυγόνου για το έτος 1996 (πηγή : ΕΥΔΑΠ)

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, το προσφερόμενο οξυγόνο όχι μόνο δεν ικανοποιεί τη ζήτηση οξυγόνου, αν ληφθεί υπόψη και η μερική νιτροποίηση, αλλά υστερεί κατά 30% περίπου των συνολικών απαιτήσεων οξυγόνου.

Το πρόγραμμα λειτουργίας των αεριστών αποσκοπεί στη διατήρηση μηδενικών συγκεντρώσεων οξυγόνου, με στόχο τον περιορισμό της νιτροποίησης και συνεπώς την ελαχιστοποίηση της ζήτησης οξυγόνου. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη μέθοδος λειτουργίας των αεριστών πρέπει να εφαρμόζεται με ιδιαίτερη προσοχή και με διαρκή παρακολούθηση των συγκεντρώσεων οξυγόνου, χρησιμοποιώντας κατάλληλα οξυγονόμετρα.

### **2.3.3 Χώνευση Ιλύων**

Η λάσπη των βοθρολυμάτων, η αστική και η περίσσεια βιολογική ιλύς σταθεροποιούνται σε αναερόβιους χωνευτές. Τα χαρακτηριστικά και οι ποσότητες των παραγόμενων ιλύων δίδονται παρακάτω:

#### **❖ Ιλύς βοθρολυμάτων**

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, η παραγόμενη ιλύς από τη χημικά υποβοηθούμενη καθίζηση των βοθρολυμάτων ανέρχεται κατά μέσο όρο για την περίοδο 1994-1996 σε 18τόνους/ημέρα, με παροχή 210m<sup>3</sup>/ημέρα και συγκέντρωση στερεών περίπου 83g/L. Το ποσοστό των οργανικών στερεών κυμαίνεται μεταξύ 50÷60%, με μέση τιμή περίπου 54,5%.

#### **❖ Αστική ιλύς**

Η ποσότητα της αστικής ιλύος και της περίσσειας βιολογικής ιλύος ανέρχεται σε 9τόνους/ημέρα, με συμπύκνωση στερεών γύρω στο 2,5÷3%. Ο μέσος ημερήσιος όγκος της παραγόμενης ιλύος ανέρχεται σε 313m<sup>3</sup>/ημέρα, με ποσοστό πτητικών οργανικών στερεών περίπου 67%.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, η ημερήσια ποσότητα ιλύος των βοθρολυμάτων, των αστικών και της περίσσειας βιολογικής ιλύος ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 27τόνους/ημέρα με παροχή περίπου 523m<sup>3</sup>/ημέρα. Το ποσοστό οργανικών στερεών του μίγματος ανέρχεται περίπου σε 60%.

Κατά τη διάρκεια των ετών 1995 και 1996, οι δύο χωνευτές έχουν περιοδικά τεθεί εκτός λειτουργίας για να καθαριστούν από σημαντικές ποσότητες αποθέσεων που είχαν δημιουργηθεί κατά την δεκαετή συνεχή λειτουργία τους, με αποτέλεσμα οι φορτίσεις των u967 χωνευτών να είναι σημαντικά μεγαλύτερες των προβλεπόμενων.

Η μελέτη του κέντρου προέβλεπε ένα μέσο ποσοστό διάσπασης των οργανικών στερεών της τάξης του 50%, για χρόνο παραμονής ίσο με 14÷15 ημέρες. Η εκτίμηση αυτή είχε γίνει βασιζόμενη αποκλειστικά σε βιβλιογραφικά στοιχεία λειτουργίας εγκαταστάσεων επεξεργασίας καθαρά αστικών λυμάτων. Από τα λειτουργικά στοιχεία του κέντρου είναι φανερό ότι οι βαθμοί απόδοσης των χωνευτών για την περίοδο 1994-1996 ήταν μικρότεροι (18÷26%). Άλλες μετρήσεις που έγιναν όταν λειτουργούσαν και οι δύο χωνευτές και ο χρόνος παραμονής ήταν 29 ημέρες έδειξαν ότι ο βαθμός απόδοσης των χωνευτών ήταν της τάξης του 40%.

Η μείωση της απόδοσης των χωνευτών μπορεί να αποδοθεί μερικώς στο σχετικά χαμηλό ποσοστό των οργανικών στερεών που περιέχονται στα βοθρολύματα που δέχεται το κέντρο. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, στην περίπτωση ιλύων με χαμηλό ποσοστό οργανικών στερεών (55÷60%), ικανοποιητική χώνευση

επιτυγχάνεται με μείωση των οργανικών κατά 40÷50%. Συνεπώς, για τους χωνευτές του κέντρου, όπου το μίγμα ιλύος βοθρολυμάτων, ιλύος αστικών λυμάτων και περίσσειας βιολογικής ιλύος χαρακτηρίζεται από χαμηλό ποσοστό οργανικών στερεών, περίπου ίσο με 60%, μια μείωση της τάξης του 40÷45% μπορεί να θεωρείται ικανοποιητική για την παραγωγή επαρκώς σταθεροποιημένης ιλύος.

Επιπλέον, όπως προκύπτει από την επεξεργασία των υπαρχόντων στοιχείων, μία ικανοποιητική τιμή του χρόνου παραμονής της ιλύος στους πρωτοβάθμιους χωνευτές, προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική μείωση των οργανικών και να παραχθεί επαρκής ποσότητα σταθεροποιημένης ιλύος, είναι περίπου 25÷30 ημέρες.

- Όσον αφορά στην παραγωγή βιοαερίου, η μέση παραγωγή κατά την περίοδο 1994-1996 ανερχόταν σε 3.000m<sup>3</sup>/ημέρα, η οποία αντιστοιχεί σε 0,21m<sup>3</sup> ανά kg οργανικών στερεών που τροφοδοτούνταν στο χωνευτή. Οι τιμές αυτές είναι σημαντικά μειωμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της περιόδου 1988-1989, όταν η παραγωγή ανέρχονταν σε 0,35m<sup>3</sup>/kg οργανικών στερεών που τροφοδοτούνταν στο χωνευτή. Αυτή η μείωση της παραγωγής βιοαερίου κατά την περίοδο 1994-1996 αποδίδεται στο μειωμένο βαθμό απόδοσης των χωνευτών ( πηγή: Μιχαλοπούλου Α., Αθήνα 2006).

### 2.3.4 Αφυδάτωση - Τελική διάθεση ιλύος

Η αφυδάτωση της χωνεμένης ιλύος πραγματοποιείται σε τέσσερις ταινιοφιλτρόπρεσες που διαθέτει το κέντρο, δυναμικότητας 39 τόνων ξηρών στερεών ανά ημέρα, με ποσοστό στερεών περίπου 25%. Βέβαια, οι πραγματικές ποσότητες της παραγόμενης αφυδατωμένης ιλύος ανέρχονται σε 13 τόνους ξηρών στερεών ανά ημέρα, με ποσοστό στερεών 28%.(Πίνακας 2.7).

| Έτος λειτουργίας  | Ποσότητα<br>Αφυδατωμένης<br>ιλύος<br>τόνοι / ημέρα | Ποσοστό<br>Στερεών %<br>Ξηρών |
|-------------------|--|-------------------------------|
| 1994-95           | 15,9   | 27,4                          |
| 1995-96           | 10,4   | 27,7                          |
| 1996-97           | 12,00  | 28,3                          |
| <b>Μέσος Όρος</b> | <b>12,8</b>  | <b>27,8</b>                   |

Πίνακας 2.7: Ποσότητα παραγόμενης αφυδατωμένης ιλύος στο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης( πηγή: Μιχαλοπούλου Α., Αθήνα 2006)

### **2.3.5 Τελική εκροή**

Σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό, η εγκατάσταση πρέπει να επιτυγχάνει τέτοιο βαθμό απόδοσης, ώστε να εξασφαλίζονται τα παρακάτω κριτήρια τελικής εκροής:

- ❖ Οργανικό φορτίο στην τελική εκροή με  $BOD_5 < 20\text{mg/L}$ .
- ❖ Συγκέντρωση ολικών κολοβακτηριδίων  $< 1.000 /100\text{ml}$ .

Τα υπάρχοντα κριτήρια ποιότητας δεν περιλαμβάνουν κανένα περιορισμό στην συγκέντρωση του αμμωνιακού αζώτου κατά την τελική εκροή. Στον Πίνακα 2.8 δίδονται οι ελάχιστες, οι μέγιστες και οι μέσες τιμές των μετρήσεων του οργανικού φορτίου και των στερεών στη τελική εκροή για το έτος 1996. Όπως προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα, το όριο των  $20\text{mg/L } BOD_5$  δεν ικανοποιείται για όλα τα δείγματα, αλλά μόνο για τις μέσες μηνιαίες τιμές. Οι συγκεντρώσεις των ολικών κολοβακτηριδίων στην τελική εκροή ξεπερνούν κατά πολύ το όριο των  $1.000$  κολοβακτηριδίων/ $100\text{ml}$  και πιο συγκεκριμένα κυμαίνονται από  $100.000-1.000.000$  ολικά κολοβακτηρίδια/ $100\text{ml}$ .

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

| 1996 | Μέγιστες τιμές φορτίων |             |                          | Ελάχιστες τιμές φορτίων |             |                          | Μέση τιμή φορτίων |             |                          |
|------|------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------|-------------|--------------------------|-------------------|-------------|--------------------------|
|      | TSS<br>mg/l            | COD<br>mg/l | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | TSS<br>mg/l             | COD<br>mg/l | BOD <sub>5</sub><br>mg/l | TSS<br>mg/l       | COD<br>mg/l | BOD <sub>5</sub><br>mg/l |
| JAN  | 32                     | 80          | 22                       | 10                      | 20          | 10                       | 21                | 49,2        | 14,3                     |
| FEB  | 36                     | 74          | 27                       | 16                      | 44          | 12                       | 25,7              | 61,3        | 20,2                     |
| MAR  | 29                     | 61          | 23                       | 14                      | 36          | 16,5                     | 23,5              | 50,8        | 19,6                     |
| APR  | 26                     | 84          | 24                       | 16                      | 47          | 16                       | 21,9              | 59,6        | 20,2                     |
| MAY  | 24                     | 78          | 24                       | 15                      | 42          | 15                       | 18,9              | 58,9        | 19,2                     |
| JUN  | 20                     | 68          | 25                       | 11                      | 44          | 16                       | 17,3              | 53,7        | 19,1                     |
| JUL  | 31                     | 58          | 21                       | 11                      | 21          | 9                        | 17,7              | 45,9        | 15,1                     |
| AUG  | 22                     | 61          | 23                       | 11                      | 28          | 9                        | 17,3              | 44,8        | 16,7                     |
| SEP  | 24                     | 67          | 24                       | 14                      | 32          | 11                       | 19                | 52,3        | 17,7                     |
| OCT  | 22                     | 56          | 21                       | 14                      | 41          | 16                       | 18,7              | 49,6        | 18,3                     |
| NOV  | 26                     | 60          | 20                       | 10                      | 34          | 11                       | 17,5              | 48,7        | 14,6                     |
| DEC  | 26                     | 54          | 20                       | 18                      | 40          | 14                       | 21,7              | 43          | 17,5                     |

Πίνακας 2.8: Χαρακτηριστικά εκροής για το έτος 1996 ( πηγή: Μιχαλοπούλου Α., Αθήνα 2006)

### 2.3.6 Λειτουργικά προβλήματα του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης

#### 2.3.6.1 Οσμές

Οι εστίες δημιουργίας των οσμών εντοπίζονται κυρίως στο χώρο εκκένωσης των βυτιοφόρων και στα έργα προεπεξεργασίας των βοθρολυμάτων και των αστικών λυμάτων. Οι ίδιοι οι κάτοικοι της περιοχής εκφράζουν τα παράπονα τους για την κατάσταση αυτή, ενώ ο ίδιος ο δήμαρχος Δημήτρης Φωκιανός αναφέρει σε συνέντευξη του (ΑΜΑΡΥΣΙΑ, Οκτώβριος 2009) ότι την υπογειοποίηση του ΚΕΛΜ πρόκειται να απαιτήσει τόσο ο Δήμος Λυκόβρυσης όσο και οι όμοροι της Κηφισιάς και της Μεταμόρφωσης. Οι τρεις Δήμοι πρόκειται να αναθέσουν στο Πολυτεχνείο την εκπόνηση σχετικής μελέτης, προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Σύμφωνα με τον δήμαρχο Δημήτρη Φωκιανό, η μελέτη πρόκειται να έχει 4 σκέλη. Το πρώτο θα αφορά στην υπογειοποίηση του κέντρου λυμάτων για όσο χρονικό διάστημα θα λειτουργεί. Μέσω αυτής θα γίνει προσπάθεια να αποδειχθεί ότι

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

το κόστος της υπογειοποίησης είναι λιγότερο από το κόστος του ως υπέργειος χώρος. Παράλληλα, θα εκπονηθεί μια ξεχωριστή μελέτη, η οποία θα καταγράφει τις δυσμενείς επιπτώσεις σε κάθε Δήμο, περιλαμβάνοντας και τις οικονομικές. «Στη μελέτη θα ληφθεί υπόψη το κόστος από τις μυρωδιές, τα αυτοκίνητα αλλά και την αισθητική υποβάθμιση της εκάστοτε περιοχής», αναφέρει ο δήμαρχος.

Σύμφωνα τον κ. Φωκιανό, οι τρεις δήμαρχοι είναι αποφασισμένοι, μετά την εκπόνηση των μελετών, να διεκδικήσουν την υπογειοποίηση του κέντρου από την ΕΥΔΑΠ, ενώ μέχρι τότε θα απαιτήσουν να τους δοθούν αντισταθμιστικά οφέλη, όπως η πραγματοποίηση δένδροφυτεύσεων. «Το κέντρο λυμάτων αποτελεί βραχνά για την πόλη και υποβαθμίζει ποικιλοτρόπως το προάσιό μας. Δεν πρόκειται να αφήσουμε αυτή την κατάσταση να συνεχιστεί άλλο», δηλώνει κατηγορηματικά.

Μάλιστα, ο δήμαρχος τονίζει ότι «το αίτημα για υπογειοποίηση δεν είναι ανέφικτο, καθώς ήδη στη χώρα μας, και συγκεκριμένα στο νησί Τζιά, κατασκευάζεται υπόγειος βιολογικός καθαρισμός μικρότερου μεγέθους, με επιδότηση από το κράτος».

Στο χώρο εκκένωσης των βυτιοφόρων η δημιουργία οσμών οφείλεται κυρίως σε ανεπαρκή έκπλυση με καθαρό νερό. Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπισθεί με αυστηρότερη τήρηση της διαδικασίας εκκένωσης των βυτιοφόρων.

Στο χώρο προεπεξεργασίας των βοθρολυμάτων θα πρέπει να ελεγχθεί το σύστημα απόσμησης, τόσο της αέριας όσο και της υγρής φάσης. Για τη δέσμευση των θειούχων ενώσεων των βοθρολυμάτων, γίνεται προσθήκη αλάτων σιδήρου σε δόσεις που σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό ανέρχονται σε 2,5gr σιδήρου ανά 1gr θείου. Στην πραγματικότητα, οι εφαρμοζόμενες δόσεις σιδήρου είναι σημαντικά μικρότερες των προβλεπόμενων και δεν ξεπερνούν τα 1,5gr σιδήρου ανά 1gr θείου. Επομένως, θα ήταν χρήσιμο για την τεκμηρίωση της επάρκειας της προστιθέμενης ποσότητας σιδήρου να γίνεται μέτρηση των συγκεντρώσεων θειούχων στα βοθρολύματα κατόπιν των διαχωριστών και η δόση του σιδήρου να ρυθμίζεται, ώστε η συγκέντρωση των θειούχων να είναι κάτω από τα όρια των συγκεντρώσεων που προκαλούν οσμές (< 0,5mg/L).

Αμφίβολη είναι επίσης και η αποτελεσματικότητα του συστήματος απόσμησης του χώρου προεπεξεργασίας αστικών λυμάτων, καθώς το σύστημα απόσμησης τα τελευταία χρόνια έχει τεθεί σε αχρηστία. Επίσης, σημαντικός κίνδυνος οσμών δημιουργείται από την διαφυγή αερίων από ανοίγματα π.χ. πόρτες που συχνά μένουν ανοιχτές στο κτίριο προεπεξεργασίας.

### **2.3.6.2 Εσχάρωση βοθρολυμάτων**

Η εσχάρωση των βοθρολυμάτων πραγματοποιείται από δύο μηχανικά καθοριζόμενες εσχάρες πλάτους 1,2m και διάκενων 25mm, οι οποίες σύμφωνα με τους υπεύθυνους λειτουργίας της εγκατάστασης του κέντρου επιτρέπουν τη διέλευση αρκετά μεγάλων σωματιδίων που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα στον κατάντη μηχανολογικό εξοπλισμό. Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων θα μπορούσε να εξεταστεί η αντικατάσταση των υπάρχουσών εσχάρων με δύο μηχανικά καθοριζόμενες σχάρες διάκενων 10mm.

### **2.3.6.3 Εξαμμωτές βοθρολυμάτων**

Σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό του κέντρου, για την ανάμιξη του εξαμμωτή των βοθρολυμάτων χρησιμοποιούνται δύο μονάδες παροχής αέρα, δυναμικότητας 400m<sup>3</sup>/hr η κάθε μία. Για το συνολικό μήκος του εξαμμωτή, ο οποίος ανέρχεται σε 25m, η απαιτούμενη παροχή αέρα είναι 450m<sup>3</sup>/hr, δηλαδή σημαντικά μικρότερη της μέγιστης δυναμικότητας των δύο αεροσυμπιεστών, η οποία ανέρχεται σε 800m<sup>3</sup>/hr.

Επομένως, κρίνεται χρήσιμη η ανάλυση του ποσοστού των ολικών και πτητικών στερεών των προϊόντων της εξάμμωσης, ώστε να εκτιμηθεί η αποδοτικότητα της μονάδας.

### **2.3.6.4 Διαχωριστές βοθρολυμάτων**

Η απόδοση των διαχωριστών ως προς την απομάκρυνση των στερεών προσδιορίστηκε, σύμφωνα με τα λειτουργικά δεδομένα των τελευταίων ετών, ίση με 60%, τιμή σημαντικά μικρότερη των βαθμών απόδοσης των ετών 1986-1988, κατά την διάρκεια των οποίων η απομάκρυνση των στερεών στους διαχωριστές κυμαίνονταν μεταξύ 90÷95%. Οι χαμηλότερες αυτές αποδόσεις, χωρίς να δημιουργούν σημαντικά προβλήματα στην εγκατάσταση, έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση των ρυπαντικών φορτίων που καταλήγουν στη δεξαμενή αερισμού και συνεπώς τη μείωση της δυναμικότητας της εγκατάστασης, όσον αφορά στην ποσότητα των βοθρολυμάτων που μπορεί να δεχτεί.



### **2.3.6.5 Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης**

Όπως προέκυψε από την ανάλυση των λειτουργικών δεδομένων της πρωτοβάθμιας επεξεργασίας των αστικών λυμάτων, ο βαθμός απομάκρυνσης δεν φαίνεται να αυξάνεται με την επανακυκλοφορία της περίσσειας βιολογικής ιλύος και κυμαίνεται γύρω στο 53%, τιμή συνήθης για αστικά λύματα χωρίς επανακυκλοφορία περίσσειας ιλύος. Όμως, η επανακυκλοφορία της περίσσειας ιλύος στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας επεξεργασίας προκαλεί σημαντική μείωση του βαθμού συμπύκνωσης της πρωτοβάθμιας ιλύος από μέσες τιμές περίπου 6% που παρατηρούνται σε δεξαμενές στις οποίες δεν επανακυκλοφορεί πλεονάζουσα βιολογική ιλύς, σε τιμές μικρότερες του 3%.

### **2.3.6.6 Βιολογική Επεξεργασία**

Σύμφωνα με την ανάλυση των δεδομένων λειτουργίας του συστήματος αερισμού, το προσφερόμενο οξυγόνο δεν ικανοποιεί τη ζήτηση και υστερεί κατά 30% περίπου των συνολικών απαιτήσεων σε οξυγόνο. Το πρόγραμμα λειτουργίας των αεριστών αποσκοπεί στη διατήρηση πολύ χαμηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου, με στόχο την ελαχιστοποίηση της ζήτησης οξυγόνου για νιτροποίηση. Η μειωμένη παροχή οξυγόνου δεν φαίνεται να έχει κάποια άμεση συνέπεια στο βαθμό επεξεργασίας της εγκατάστασης, καθώς ο βαθμός απομάκρυνσης του οργανικούφορτίου παραμένει υψηλός, τουλάχιστον όσον αφορά στις μέσες μηνιαίες τιμές.

Η μέθοδος αυτή όμως, που μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στο περιορισμό της κατανάλωσης οξυγόνου, πρέπει να εφαρμόζεται με ιδιαίτερη προσοχή και με διαρκή παρακολούθηση των συγκεντρώσεων οξυγόνου με την χρήση οξυγονόμετρων, καθώς μπορεί να προκαλέσει μείωση του βαθμού επεξεργασίας και σε ορισμένες περιπτώσεις να υποβοηθήσει το φαινόμενο της διόγκωσης της ιλύος και του αφρισμού. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η ρύθμιση της λειτουργίας των αεριστών μέσω των οξυγονόμετρων και η συνεχής καταγραφή των συγκεντρώσεων του διαλυμένου οξυγόνου στη δεξαμενή αερισμού.

Μία σημαντική βελτίωση της λειτουργίας του βιοαντιδραστήρα μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση ρυθμιστή στροφών (inverter) στους αεριστήρες, ώστε να παρέχεται μεγαλύτερη ευελιξία και καλύτερη προσέγγιση της πραγματικής ανάγκης οξυγόνου. Επίσης, θα πρέπει να εγκατασταθεί και ένας υποβρύχιος αναδευτήρας στο τελευταίο φάτνωμα, έτσι ώστε να παρέχεται ικανοποιητική ανάμιξη,

χωρίς να απαιτείται η λειτουργία των αεριστών (στην περίπτωση που το DO στο φάτνωμα αυτό ξεπερνά τα 2mg/L).

### **2.3.6.7 Αναερόβιοι χωνευτές**

Κατά τη διάρκεια των ετών 1995 και 1996, οι δύο πρωτοβάθμιοι χωνευτές τέθηκαν διαδοχικά εκτός λειτουργίας ώστε να καθαριστούν. Όπως προέκυψε από ανάλυση των λειτουργικών δεδομένων των χωνευτών κατά την διάρκεια αυτή, οι βαθμοί απόδοσης των χωνευτών που για την περίοδο 1994-1996 κυμαίνονται μεταξύ 18÷25,9% ήταν κατώτεροι των προβλεπόμενων, λόγω των σχετικά μικρών χρόνων παραμονής των στερεών που κυμαίνονταν μεταξύ 10÷15 ημέρες. Αντίστοιχη μείωση παρουσιάστηκε και στη παραγωγή βιοαερίου που κατά την περίοδο 1994-96 ανερχόταν σε 3.000m<sup>3</sup>/ημέρα, δηλαδή 0,21m<sup>3</sup> ανά kg οργανικών στερεών που οδηγούνται στο χωνευτή. Οι παραπάνω τιμές είναι σημαντικά μειωμένες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της περιόδου 1988-1989 όπου για χρόνο παραμονής 25÷30 ημέρες, η απόδοση των χωνευτών κυμαίνονταν μεταξύ 40÷45% και η παραγωγή του βιοαερίου ανέρχονταν σε 0,35m<sup>3</sup>/kg οργανικών στερεών. Με την ολοκλήρωση του καθαρισμού των δύο χωνευτών εκτιμάται ότι θα επιτυγχάνονται χρόνοι παραμονής περίπου 30 ημερών, οι οποίοι κρίνονται ικανοποιητικοί για την παραγωγή επαρκώς σταθεροποιημένης ιλύος.

### **2.3.6.8 Φρεάτιο Μερισμού του Παρακηφίσιου Συλλεκτήρα Ακαθάρτων**

- Στο φρεάτιο μερισμού του Παρακηφίσιου Συλλεκτήρα Ακαθάρτων παρατηρούνται τα εξής λειτουργικά προβλήματα( πηγή: Μιχαλοπούλου Α., Αθήνα 2006)

:

- ❖ Συχνά παρατηρούνται υπερχειλίσεις στην είσοδο του κέντρου και ειδικότερα στα έργα προκαταρκτικής επεξεργασίας, όταν σε περιόδους πλημμυρικής παροχής το θυρόφραγμα απομόνωσης παραμένει ανοικτό.

- ❖ Επειδή το θυρόφραγμα στο φρεάτιο μερισμού είναι χειροκίνητο, όταν αναμένεται μεγάλη βροχόπτωση, πρέπει ένας εργαζόμενος να μεταβαίνει στο φρεάτιο για να το κλείσει, και έτσι συχνά δημιουργούνται λειτουργικά προβλήματα στην εγκατάσταση, αφού δεν υπάρχει έλεγχος στάθμης στο φρεάτιο για τον προσδιορισμό της "πλημμυρικής παροχής".
- ❖ Τις περιόδους πλημμυρικής παροχής τα λύματα τόσο προς τον Παρακηφίσιο συλλεκτήρα, όσο και προς το κέντρο εκτρέπονται υπερχειλιστικά και έτσι μπαζώνει το φρεάτιο εκτροπής. Όταν στη συνέχεια ανοίξει ξανά το θυρόφραγμα προς το κέντρο, η άμμος και τα ιζήματα οδηγούνται στα έργα προκαταρκτικής επεξεργασίας και έτσι μπαζώνονται στη συνέχεια τα κανάλια εσχάρωσης.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προβλημάτων θα πρέπει να εγκατασταθεί ηλεκτροκίνητο θυρόφραγμα και όργανα μέτρησης, ώστε να είναι δυνατή η αυτόματη λειτουργία των έργων μερισμού.

## **2.4 Δυναμικότητα των υφιστάμενων εγκαταστάσεων του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης**

• Σύμφωνα με την ανάλυση των λειτουργικών δεδομένων των ετών 1994-1996 και 2000-2004, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η δυναμικότητα της εγκατάστασης του κέντρου καθορίζεται κυρίως από δύο κρίσιμα στάδια της επεξεργασίας( πηγή: Μιχαλοπούλου Α., Αθήνα 2006)

:

- ❖ το οργανικό φορτίο που μπορεί να οξειδωθεί με το υπάρχον σύστημα αερισμού κατά τη βιολογική επεξεργασία και
- ❖ την ικανοποιητική αναερόβια σταθεροποίηση της παραγόμενης ιλύος, με ποσοστό διάσπασης οργανικών στερεών περίπου ίσο με 40%.

Τα υπόλοιπα στάδια της επεξεργασίας δέχονται μικρότερα φορτία από τα φορτία σχεδιασμού και οι υφιστάμενες φορτίσεις είναι πολύ μικρότερες των συνιστώμενων μέγιστων φορτίσεων που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

### **2.4.1 Δυναμικότητα βιολογικής επεξεργασίας**

Οι βιοχημικές διεργασίες που εκτελούνται στη δεξαμενή αερισμού απαιτούν ζήτηση οξυγόνου που σε μία βιολογική εγκατάσταση επεξεργασίας θα πρέπει να καλύπτεται από το κατάλληλο σύστημα αερισμού. Στην περίπτωση των εν λειτουργία εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, η δυναμικότητα του συστήματος αερισμού, καθορίζει σε αρκετές περιπτώσεις και το μέγιστο οργανικό φορτίο που μπορεί να δεχθεί η δεξαμενή αερισμού, και κατά συνέπεια την δυναμικότητα ολόκληρης της εγκατάστασης.

Για τον ακριβή προσδιορισμό της δυναμικότητας τους, η οξυγονωτική ικανότητα των αεριστών θα πρέπει να υπολογιστεί υπό κανονικές συνθήκες. Η επίδραση της συγκεκριμένης γεωμετρίας της δεξαμενής αερισμού δεν είναι συνήθως σημαντική και μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα

## **2.5 Συμπεράσματα**

Τα αποτελέσματα ανάλυσης των λειτουργικών δεδομένων του κέντρου για την συνεπεξεργασία των υφισταμένων φορτίων αστικών λυμάτων και βοθρολυμάτων έδειξαν ότι εξαντλείται περίπου το 70% της δυναμικότητας του συστήματος αερισμού και το 75% της δυναμικότητας των αναερόβιων χωνευτών. Αλλαγή του τρόπου διαχείρισης των παραγόμενων ιλύων και υιοθέτηση συστήματος μηχανικής πάχυνσης της περίσσειας ιλύος μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση του όγκου των παραγόμενων ιλύων, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται το 55% της δυναμικότητας των αναερόβιων χωνευτών για την σταθεροποίηση των ιλύων που σήμερα καταλήγουν στο κέντρο. Συνεπώς το κέντρο δύναται να επεξεργαστεί τα παρακάτω πρόσθετα φορτία:

- ❖ σύμφωνα με τη διαθέσιμη δυναμικότητα του συστήματος αερισμού, η δευτεροβάθμια επεξεργασία μπορεί να δεχθεί πρόσθετο οργανικό φορτίο της τάξης των 5.500-6.000kgBOD<sub>5</sub>/ημέρα

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

- ❖ σύμφωνα με τις ποσότητες των παραγόμενων ιλύων, οι αναερόβιοι χωνευτές μπορούν να δεχθούν πρόσθετη ποσότητα ιλύος όγκου περίπου 145m<sup>3</sup>/ημέρα ή 250m<sup>3</sup>/ημέρα στη περίπτωση που γίνει προσθήκη μονάδας μηχανικής πάχυνσης της περίσσειας βιολογικής ιλύος.

Η ανωτέρω πρόσθετη δυναμικότητα του κέντρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την επεξεργασία μεγαλύτερων φορτίων από αστικά λύματα, είτε για την συνεπεξεργασία βιομηχανικών βοθρολυμάτων με τα υφιστάμενα αστικά λύματα και βοθρολύματα.

Επισημαίνεται ωστόσο, ότι η δημιουργία ενός κέντρου επεξεργασίας βιομηχανικών βοθρολυμάτων στην Αττική είναι μεγαλύτερης σημασίας από την επεξεργασία κάποιων υψηλότερων φορτίων αστικών λυμάτων, τα οποία με αντλήσεις ενδεχομένως να κατέληγαν στο κέντρο, ενώ με βαρύτητα θα επιβάρυναν κατά ένα αμελητέο ποσοστό το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων της Ψυττάλειας.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **Γεωλογική – γεωτεχνική περιγραφή του ΚΕΛΜ**

## **3.1 Ταυτότητα περιοχής**

### **3.1.1 Θέση του Κέντρου Λυμάτων Μεταμόρφωσης και μορφολογία εδάφους**

Το Κέντρο Λυμάτων Μεταμόρφωσης βρίσκεται στο Δήμο Μεταμόρφωσης, στο βορειοδυτικό τμήμα του Νομού Αττικής (Εικόνα 3.1). Η ευρύτερη περιοχή του έργου αποτελεί τμήμα της πεδιάδας του Κηφισού, η οποία αναπτύσσεται μεταξύ των ορεινών όγκων Πάρνηθας και Πεντέλης. Το κέντρο έχει κατασκευασθεί μέσα στη λεκάνη απορροής του Κηφισού, δίπλα στην καλυμμένη με κλειστό αγωγό κοίτη του ρέματος Πύρνας, το οποίο εκβάλλει στον Κηφισό, σε απόσταση 500m κατάντη του έργου.

Το ρέμα της Πύρνας είναι παραπόταμος του Κηφισού, με γενική διεύθυνση Α-Δ, και παρουσιάζει εποχιακή απορροή. Στη θέση του έργου, το υψόμετρο στην κοίτη του ρέματος είναι της τάξης των 173 m, ενώ το υψόμετρο του υψιπέδου είναι της τάξης των 205 m. Τα πρανή του ρέματος, το οποίο στην περιοχή του έργου είναι σκεπασμένο και λειτουργεί αγωγός όμβριων μεγάλης διατομής, παρουσιάζουν σημαντικές κλίσεις στην περιοχή εγκατάστασης του κέντρου, ιδιαίτερα στη βόρεια πλευρά του ρέματος, οι οποίες μειώνονται σταδιακά προς δυτικά. Αλλουβιακές αναβαθμίδες παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή του έργου, οι οποίες αναπτύσσονται κατά μήκος του υπάρχοντος υδρογραφικού δικτύου.

Η ευρύτερη περιοχή του έργου είναι αστικοποιημένη, με αποτέλεσμα το ανάγλυφο να έχει επηρεαστεί σημαντικά από ανθρωπογενείς επεμβάσεις. Χαρακτηριστική είναι η εικόνα στο ρέμα της Πύρνας, όπου παρατηρούνται πολύ χαλαρά, προσχωματικά εδάφη, ανακατωμένα με μπάζα και σκουπίδια. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το ανάγλυφο στην περιοχή του έργου είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενών επεμβάσεων και χαρακτηρίζεται ομαλό.



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---



**Εικόνα 3.1:** Αεροφωτογραφία της περιοχής όπου βρίσκεται το ΚΕΛΜ



**Εικόνα 3.2:** Άποψη του ΚΕΛΜ από το Google earth

### **3.1.2 Γεωλογία της περιοχής**

Στο Λεκανοπέδιο Αθηνών οι κυρίαρχοι γεωλογικοί σχηματισμοί του υποβάθρου ανήκουν στη σχετικά αυτόχθονη ενότητα της Αττικής και είναι οι Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι και το Κατώτερο Μάρμαρο. Οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτονται από Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις των οποίων το πάχος κυμαίνεται από λίγα μέτρα μέχρι μερικές δεκάδες μέτρα. Τεχνητά επιχώματα περιορισμένου πάχους έχουν χαρτογραφηθεί σε πάρα πολλές θέσεις – και ιδιαίτερα στις έντονα αστικοποιημένες περιοχές.

Η ευρύτερη περιοχή ανάπτυξης του έργου δομείται γεωλογικά από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, καθώς και ποτάμιες και χερσαίες αποθέσεις (Εικόνα 3.3). Οι επικείμενες αποθέσεις αποτελούνται από Διλουβιακής προέλευσης ερυθροκάστανες αργιλοϊλύες, αμμούχους αργίλους και ασύνδετα κροκαλοπαγή. Η διαβρωτική δράση της ροής του υφιστάμενου ρέματος της Πύρνας έχει διαμορφώσει σχηματισμούς αλλουβίων και ποτάμιων αναβαθμίδων, που εκτείνονται στα χαμηλότερα κυρίως υψομετρικά σημεία του ρέματος. Πρόκειται για χαλαρούς έως μέσης πυκνότητας σχηματισμούς από άμμους, ιλύες, βότσαλα, χάλικες και κροκάλες.

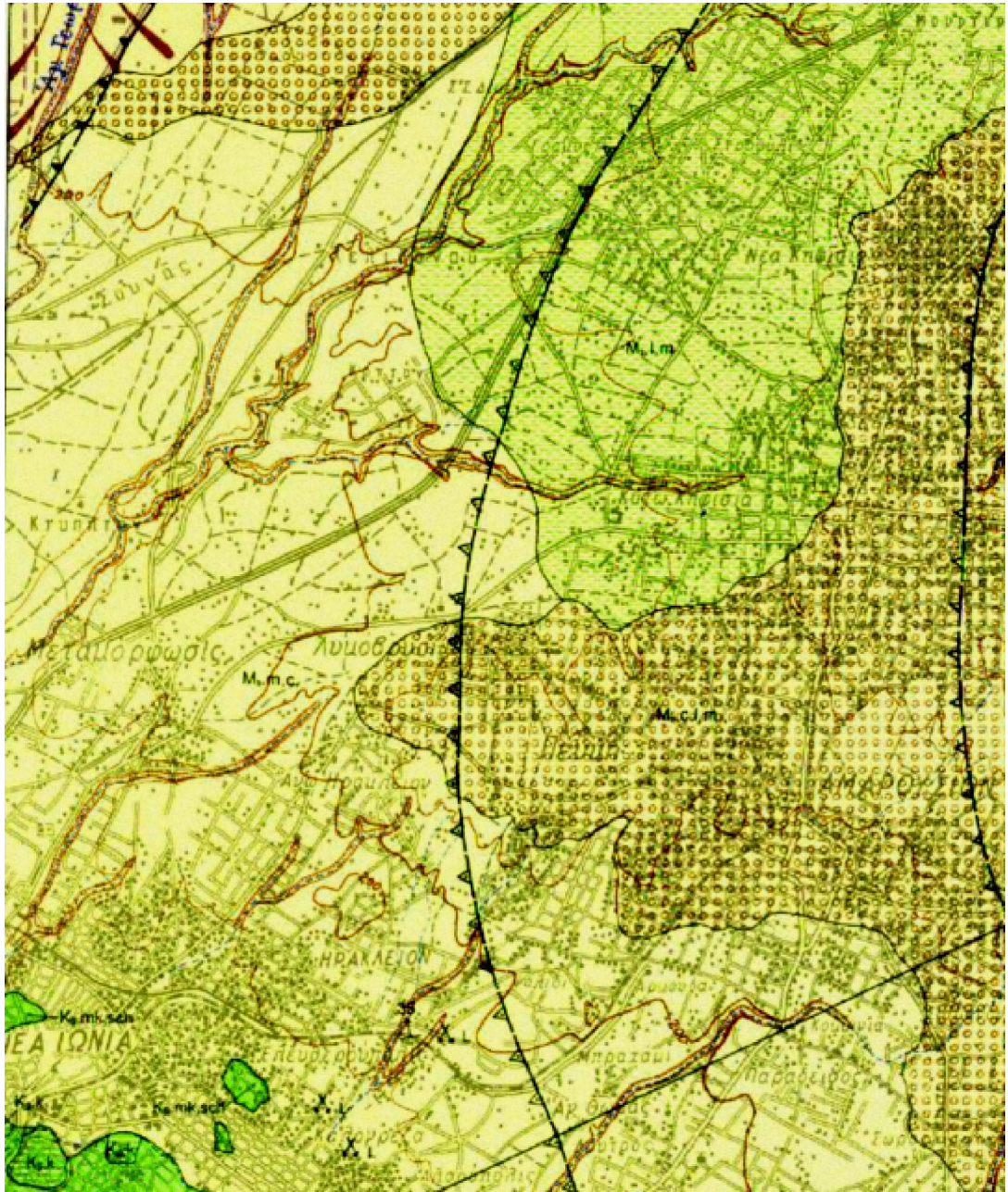
Η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος έχει υποστεί τις ηπειρογενετικές κινήσεις του Τεταρτογενούς και τις ευστατικές καθοδικές κινήσεις των ιστορικών χρόνων. Η γενική διεύθυνση των ρηξιγενών δομών που εμφανίζονται στην περιοχή είναι ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Το ρέμα της Πύρνας και το κύριο γειτονικό κλάδο της Χελιδονούς αναπτύσσονται κατά μήκος ρηξιγενών ζωνών.

Αναλυτικά οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στη στενή περιοχή του έργου κατά σειρά ηλικίας είναι οι ακόλουθοι (Ηλίας Παναγιώτης, Μάιος, 2009) :

- ❖ Υλικά επιχωματώσεων
- ❖ Πρόσφατες και παλαιότερες αναβαθμίδες
- ❖ Πλειοκαινικές αποθέσεις λεπτομερών φάσεων

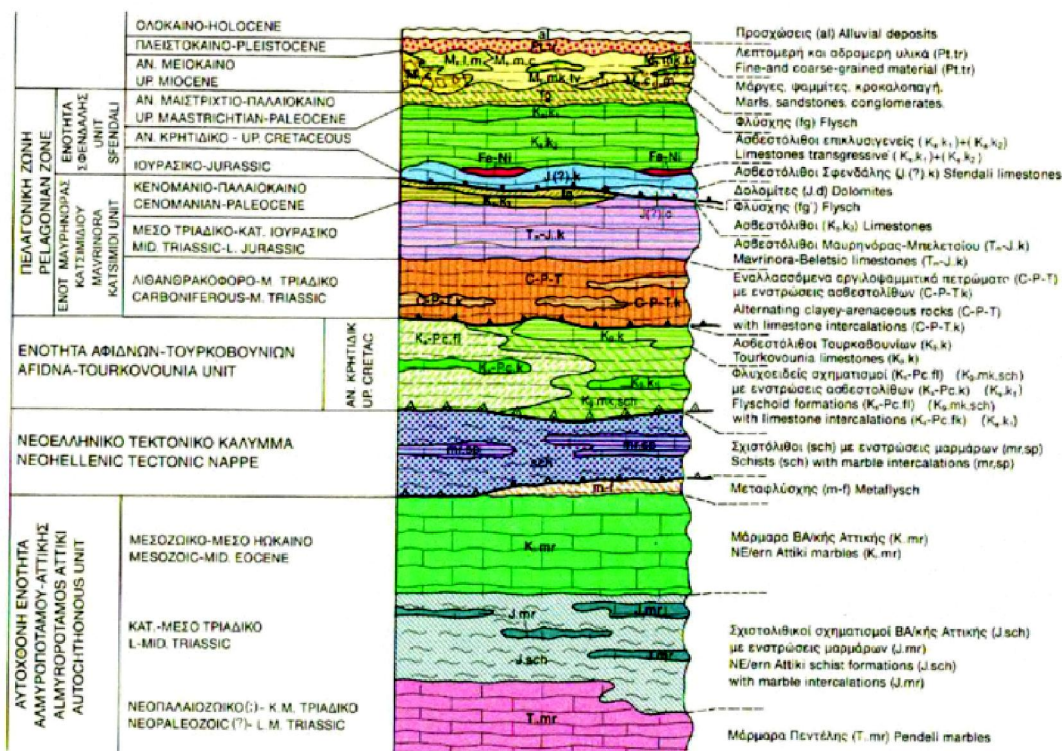
**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
 ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

**ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΤΗΛΗ  
 STRATIGRAPHIC - TECTONIC COLUMN**



**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

**ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ**

**ΟΛΟΚΑΙΝΟ**

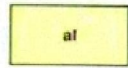
**Ανθρωπογενείς αποθέσεις:** απορρίμματα εξόρυξης λατομείων.



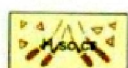
**Κατολισθαίνουσες μάζες:** πετρωμάτων και ογκολιθών.



**Προχωματικές αποθέσεις:** σε ποταμοκλιμάδες ανοικτές προς τη θάλασσα και σε μικρές εσωτερικές λεκάνες, κυρίως από χαλαρά καστανόχρωμα αργιλοσμηώδη υλικά με διάσπαρτες κροκαλολατιύτες και κατά θέσε: με παρεμβολές χαλαρών κροκαλολατιύποταγών, **ερυθρογή**, από καστανέρυθρα λεπτομερή υλικά με διάσπαρτες κροκαλολατιύτες **υλικά χειμάρρων αναβαθμίδων**, μικρού ύψους, **ασύνδετα υλικά**: από άμμους και κροκαλολατιύτες στις κοίτες των χειμάρρων και **παράκτιοι σχηματισμοί**: από άμμους, κροκάλες και συνεκτικούς φαμίτες (beach rock).



**Πλευρικά κορήματα και κώνιοι κορημάτων:** από ασύνδετα υλικά, κατά κανόνα αδρομερή και γυνιώδη.



**ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ**

**Λεπτομερείς προχωματικές αποθέσεις:** καστανέρυθρα, συνήθως χρίματος, με διάσπαρτες κροκαλολατιύτες και κατά θέσε, παρεμβολές κροκαλολατιύποταγών και υλικά κώνων κορημάτων και χειμάρρων αναβαθμίδων, ύψους έως και 10m.



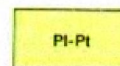
**Παλαιά πλευρικά κορήματα και κώνιοι κορημάτων:** πολύ συνεκτικά από αδρομερή γυνιώδη στοιχεία, ποικίλου μεγέθους. Μερικές φορές συνοδεύονται από ογκολίθους. Συχνά σ' αυτά υπέρκεινται, κατά θέσε, ασύνδετα υλικά νεότερων κώνων και πλευρικών κορημάτων.



**ΝΕΟΓΕΝΕΣ - ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ  
 ΑΝΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

**Ποταμοθαλάσσιοι σχηματισμοί:** από συνεκτικά κροκαλολατυποπαγή με παρεμβολές αργιλοσμούχων υλικών και καστανέρυθρων πηλών, που βαθμιαία μεταβαίνουν προς τους θαλάσσιους σχηματισμούς της Ραφήνας, με τη γνωστή πλούσια μακροπανίδα, ηλικίας Ανωτέρου Πλειοκαίνου – Κατώτερου Πλειστοκαίνου (φάση Αστρίου). Στην περιοχή Κόκκινο Λιμάνι βρέθηκαν πολλά όστρακα θαλάσσιων απολιθωμάτων, κυρίως *Ostrea*. Πάχος ορατό: 15m περίπου.



**ΝΕΟΓΕΝΕΣ  
ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ**

Οι σχηματισμοί του Ανωτέρου Μειοκαίνου είναι λιμναίες φάσης συνοδευόμενοι κατά κανόνι από ποταμολιμναίες και λιμνοχερσαίες αποθέσεις. Καταλαμβάνουν, σχεδόν εξ ολοκλήρου, το βόρειο ήμισυ του Λεκανοπεδίου των Αθηνών και συνεχίζονται, τόσο προς τα βόρεια, προς τους ανωμειοκαινικούς σχηματισμούς της μεγάλης λιμναίας Λεκάνης Θηβών – Τανάρας - Ωρωπού, όσο και προς ανατολάς, προς τους ανωμειοκαινικούς λιμναίους σχηματισμούς της περιοχής Μεσογαίων. Οι εν λόγω σχηματισμοί διακρίθηκαν ως παρακάτω:

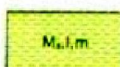
**Κροκαλολατυποπαγή Καπανδριτίου (M<sub>1</sub>c):** ποταμολιμναίες κυρίως αποθέσεις κροκαλολατυποπαγών, μικρής συνεκτικότητας, που συνιστούν τη βάση των νεογενών σχηματισμών της περιοχής Ωρωπού. Είναι άστρωτα ή με ασαφή στρώση, με κροκαλολατιπες, μεγέθους από λίγα έως 20 cm. Συχνά απαντώνται παρεμβολές πηλών και άμμων, καθώς και μεγάλοι ογκόλιθοι, ποικίλης λιθολογικής σύστασης. Επίσης, κατά θέσεις, απαντώνται παρεμβολές στρωμάτων **Μαργαϊκών - Τραβερτινοειδών Ασβεστολίθων (M<sub>1</sub>mk.tv)**. Ηλικία: Ανωτέρω Μειοκαίνο (Βαλλέσις), από παλυνολογική ανάλυση σχηματισμών λιγνιτικών κοιτασμάτων Μαυροσουβάδας-Μπαφίου, που αποτελούν πλευρική μετάβαση των εν λόγω σχηματισμών (Α. ΜΕΤΤΟΣ, 1992). Πάχος: έως και 200m



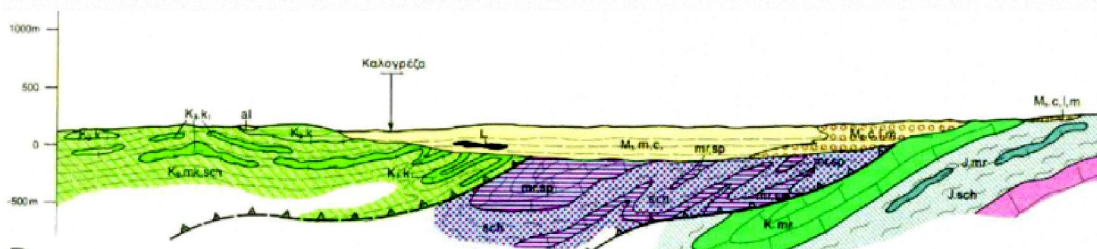
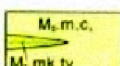
**Αδρομερείς ποταμολιμναίοι σχηματισμοί παρυφών Πάρνηθας και Πεντελικού (M<sub>1</sub>c.lm):** κυρίως παλαιοί (ανωμειοκαινικοί) σχηματισμοί δέλτα, ριπιθίων και κώνων κορημάτων. Είναι λατιποπαγείς και κροκαλολατυποπαγείς σχηματισμοί στις περιοχές που γειτνιάζουν με τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας και του Πεντελικού, εναλλασσόμενοι με λεπτομερέστερους σχηματισμούς στις απομακρυσμένες από τους όγκους αυτούς περιοχές. Κατά θέσεις, παρεμβάλλονται κρηβάτοι πηλοί και μαργαϊκά υλικά καθώς και εντρούσιες **Μαργαϊκών - Τραβερτινοειδών Ασβεστολίθων (M<sub>1</sub>mk.tv)**, των οποίων οι μεγάλες εμφανίσεις έχουν διαχωριστεί. Πάχος: έως και 250m.



**Λιμνοχερσαίοι σχηματισμοί Κηφισού:** κυρίως καστανέρυθρου χρώματος, λεπτομερείς αποθέσεις πηλών, αργίλων και αργιλοσμούχων υλικών με, κατά θέσεις, διάσπαρτες κροκάλες και παρεμβολές ψηφιδοπαγών και κροκαλοπαγών. Τα λεπτομερή αυτά καστανέρυθρα υλικά χρησιμοποιήθηκαν παλαιότερα για την κατασκευή ταύβων και στην τσιμεντοβιομηχανία. Πάχος ορατό: 150m περίπου.



**Λιμναίοι σχηματισμοί Καλογρέζας - Πικερμίου (M<sub>1</sub>m.c):**  
 - Περιοχή Καλογρέζας: κυρίως αποθέσεις, που συνίστανται από λευκές έως υποκίτρινες μάρμες, αιγιές έως αμμοχέες και από κρηβάτους πηλούς, με συχνές παρεμβολές κροκαλοπαγών, ψαμιπιτών και αργιλοσμούχων υλικών. Επίσης απαντώνται εντρούσιες μαργαϊκών ασβεστολίθων μικρού πάχους. Στους σχηματισμούς αυτούς υπήρχαν σημαντικά κοιτάσματα λιγνιτών, τα οποία, κατά το παρελθόν, έτυχαν έντονης εξόρυξης. Στο ΒΑϊκό τμήμα των σχηματισμών αυτών, παρατηρείται βαθμιαία αύξηση των κλαστικών υλικών και τελικά αυτοί περνούν πλευρικά στους Αδρομερείς σχηματισμούς της ΝΔϊκής παρυφής του Πεντελικού (M<sub>1</sub>c.lm). Αντίθετα προς τα νότια, η παρουσία κλαστικών υλικών σ' αυτούς είναι μικρή, με αποτέλεσμα οι, γενικά, λεπτομερείς αυτές, αποθέσεις της περιοχής Καλογρέζας να φθάνουν μέχρι και τις παρυφές των λόφων Γαλατσίου-Φιλοθέης. Στην εκτός φύλλου περιοχή του Πύργου της Βασιλίσσας (περιοχή Αγίων Αναργύρων), στην οποία απαντώνται οι ίδιοι σχηματισμοί, ο Β. FREYBERG (1951) βρήκε πλούσια πικερμική πανίδα από:



**Εικόνα 3.3:** Γεωλογικός χάρτης περιοχής ενδιαφέροντος (Μεταμόρφωση)

Τα υλικά των επιχωματώσεων συνίσταται από προϊόντα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε συνδυασμό με εδαφικά υλικά ευρέως σύστασης. Ειδικότερα τα υλικά επιχωμάτωσης του σκουφοειδούς αγωγού αποτελούνται κύρια από τα υλικά εκσκαφών γειτονικών θέσεων, όπου θεμελιώθηκαν τα διάφορα έργα του ΚΕΛ Μεταμόρφωσης κατά την περίοδο 1981-1983.

Τα υλικά αυτά αναπτύσσονται σε σημαντική έκταση, αλλά παρουσιάζουν την μεγαλύτερη εξάπλωση και πάχος (μέχρι 10-11m.) κύρια στο ρέμα κατά μήκος του άξονα του σκουφοειδούς αγωγού και στην Β-ΒΔ κλίτη του ρέματος.

Τα υλικά των αναβαθμίδων ανάλογα με την προέλευση και τον μηχανισμό σχηματισμού τους περιλαμβάνουν αμμοιλύες, ιλυώδεις άμμους, βότσαλα, χάλικες και κροκάλες.

Οι πρόσφατες ποτάμιες αναβαθμίδες αποτελούνται από λεπτομερείς σχηματισμούς με αμμοιλύες, ιλυώδεις άμμους και άμμους. Στη θέση έρευνας στο ρέμα Πύρνας τα υλικά της ποτάμιας αναβαθμίδας καλύπτονται από τις επιχωματώσεις.

Οι παλαιότερες αναβαθμίδες βρίσκονται στα υψηλότερα υψομετρικά σημεία των πρηνών του ρέματος Πύρνας, πρόκειται για αποθέσεις παλαιοκοιτών αποτελούμενες κύρια από αδρομερείς σχηματισμούς με βότσαλα, χάλικες και κροκάλες με μαργαϊκό, αμμώδες και αργιλώδες συνδετικό υλικό.

Οι Πλειοκαινικές αποθέσεις, αποτελούν τον κύριο γεωλογικό σχηματισμό της ευρύτερης περιοχής του ΚΕΛ Μεταμόρφωσης και έχουν πάχος μεγαλύτερο από 100μ. Οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν έντονη λιθολογική μεταβολή κατά την κατακόρυφο και οριζόντιο με επικράτηση της ιλυώδους φάσης. Συνίστανται από λιμνοχερσαίους σχηματισμούς, κυρίως ερυθροκάστανου χρώματος, λεπτομερείς αποθέσεις πηλών αμμωδών αργίλων και αργιλοαμμούχων υλικών με κατά θέσεις οριζόντες αμμοιλύων και άμμων. Οι αμμώδεις καστανέρυθρες αργιλοιλύες χαρακτηρίζονται σαν CL, με πισσόλιθους και κατά θέσεις με ασβεστιτικά συγκρίματα, είναι σκληρές έως πολύ χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας και χαμηλής συνήθως συμπιεστότητας.

Οι μικτές αδρομερείς φάσεις των Πλειοκαινικών αποθέσεων εντοπίζονται με τη μορφή φακών ή οριζόντων μικρού πάχους 0,50-2,00μ. Πρόκειται για ημισυνεκτικά ιζήματα με ψηφίδες, χάλικες, κροκάλες, λατύπες και σπάνια μικρούς ογκόλιθους κύρια σχιστολιθικής και ασβεστολιθικής σύστασης, που συνδέονται μεταξύ τους με αργιλικό, αργιλοψαμμιτικό και ασβεστοψαμμιτικό υλικό. Η συνδετική ύλη των ψηφίδων, χαλίκων και λατυπών επηρεάζει τη συνεκτικότητα του σχηματισμού, που στο σύνολο του χαρακτηρίζεται σαν πολύ σκληρό έδαφος έως μαλακός βράχος. Η συμμετοχή των αδρομερών και λεπτομερών υλικών στους σχηματισμούς παρουσιάζει έντονη μεταβολή κατά την οριζόντιο και κατακόρυφο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πλευρικών μεταβάσεων και αποσφηνώσεων των διαφόρων λιθολογικών τύπων.

### **3.1.3 Υδρολογία – Υδρογραφικό δίκτυο**

Όπως έχει προαναφερθεί, η ευρύτερη περιοχή κατασκευής του κέντρου βρίσκεται στη λεκάνη απορροής του ρέματος της Πύρνας. Η λεκάνη απορροής του ρέματος έχει έκταση 13,24km<sup>2</sup> και περιλαμβάνει αστικές περιοχές (Πολιτεία, Κηφισιά) και υπεραστικές περιοχές (δυτικές πλαγιές Πεντέλης). Το κέντρο έχει κατασκευασθεί στη βόρεια παρυφή του ρέματος σε απόσταση 500m περίπου από το σημείο συμβολής του ρέματος με τον Κηφισό.

- Κλίμα

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος είναι εύκρατο μεσογειακό με ετήσιο μέσο όρο βροχόπτωσης της τάξης των 500mm. Η ετήσια κατανομή των βροχοπτώσεων παρουσιάζει όπως αναμένεται, μέγιστα κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο & Ιανουάριο), ενώ τα ελάχιστα εμφανίζονται κατά τη θερινή περίοδο (Ιούλιος & Αύγουστος). Λόγω της δομής των σχηματισμών της περιοχής, της μορφολογίας καθώς και των απορροών στην γειτονία των έργων, τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης αποτελούν ένα από τους καθοριστικούς παράγοντες που επιδρούν στην ισορροπία των πτανών.

- Επιφανειακή απορροή

Η επιφανειακή απορροή στην περιοχή ενδιαφέροντος γίνεται διαμέσου του κύριου κλάδου του ρέματος της Πύρνας, παραπόταμου του Κηφισού, που τροφοδοτείται από σειρά δευτερευόντων κλάδων. Το ρέμα της Πύρνας παρουσιάζει απορροή ακόμη και τους θερινούς μήνες, σχετικά χαμηλή συνήθως, ενώ επεισόδια πλημμύρων δεν σπανίζουν μετά από έντονες βροχοπτώσεις ακόμη και κατά τη ξηρή περίοδο. Κατά τη χειμερινή περίοδο οι παροχές αυξάνουν με ανάλογη αύξηση της διαβρωτικής ικανότητας του ρέματος στο τμήμα που δεν είναι διευθετημένο.

- Υδρογεωλογία

Από τους σχηματισμούς της περιοχής παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον οι αδρομερείς σχηματισμοί (ποτάμιες αναβαθμίδες και λατυποκροκαλοπαγή) με μεγάλη υδροπερατότητα, ενώ οι λεπτομερείς σχηματισμοί με ευθροκάστανες αργιλοϊλίες έως αμμώδεις αργιλοϊλίες παρουσιάζουν μικρή περατότητα.

Με τη δεδομένη στρωματογραφική διαδοχή των σχηματισμών στο χώρο έρευνας, την υδραυλική κλίση της ροής του ρέματος, η κύρια ανάπτυξη του υδροφόρου λαμβάνει χώρα στις ποτάμιες αποθέσεις των υλικών των αναβαθμίδων.

- Σεισμικότητα περιοχής

Στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου των Αθηνών, που βρίσκεται και η θέση του έργου στο ΚΕΛ Μεταμόρφωση, έχουν σημειωθεί από τους Ιστορικούς χρόνους μέχρι και σήμερα αρκετοί σεισμοί, μερικοί από τους οποίους ήταν ιδιαίτερα καταστρεπτικοί.

Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης της σεισμικότητας σε συνδυασμό με τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (Ε.Α.Κ., 2000), με την αναθεώρηση του 2003, η περιοχή έρευνας ρέμα Μεταμόρφωσης κατατάσσεται στη κατηγορία (II), με σεισμική επιτάχυνση εδάφους  $A = a \cdot g$ , όπου  $a = 0,24$  με έδαφος κατηγορίας Β (στρώσεις προσυμπιεσμένων αργίλων σημαντικού πάχους) με τιμές χαρακτηριστικών περιόδων  $T_1 = 0,15 \text{ sec}$  &  $T_2 = 0,60 \text{ sec}$ .

### **3.1.4 Γεωτεχνική περιγραφή εδαφών**

Βάσει των συμπερασμάτων των Γεωτεχνικών Μελετών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή κατασκευής του Κέντρου Λυμάτων Μεταμόρφωσης, στα πλαίσια των προκαταρκτικών μελετών, καθώς και της εδαφολογικής μελέτης του Ινστιτούτου Αμπέλου, το οποίο βρίσκεται σε απόσταση ενός χιλιομέτρου από το κέντρο στην περιοχή της Λυκόβρυσης, τα εδάφη που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή είναι αργιλοπηλώδη, με αμμώδεις ενδιστρώσεις και χαλίκια, σχετικά λεπτόκοκκα.

Στην περιοχή του έργου, τα εδάφη θεμελίωσης χαρακτηρίζονται από οριζόντια ανομοιομορφία και είναι κεκλιμένα, με αποτέλεσμα ο ίδιος εδαφικός σχηματισμός να συναντάται κατά θέσεις σε διαφορετικά βάθη και να παρουσιάζει κυμαινόμενο πάχος. Με βάση στοιχεία από 16 γεωτρήσεις που έγιναν στην περιοχή θεμελίωσης του έργου, οι εδαφικοί σχηματισμοί που συναντώνται από την επιφάνεια του εδάφους προς το βάθος, είναι οι ακόλουθοι (πηγή: ΕΥΔΑΠ) :

- ❖ Κατά θέσεις, μπάζα και οργανικά σκουπίδια. Παρατηρούνται κυρίως βόρεια και βορειοδυτικά και είναι κεκλιμένα προς το ρέμα της Πύρνας. Πάχος: από 1 έως 10m τοπικά.
- ❖ Χαλαρές, καστανοκόκκινες αργιλικές αποθέσεις με άμμο και χαλίκια. Πάχος: από 2 έως 8 m.



- ❖ Συνεκτική, καστανόφαιη άργιλος. Πάχος: από 2,5 έως 6 m.
- ❖ Σκληρή, αδρή, καστανέρυθρη άργιλος με διακλάσεις και οξειδώσεις σε μεγάλα επίπεδα. Πάχος: από 3,5 έως 8 m.
- ❖ Κατά θέσεις, λεπτό, πυκνό αμμοχάλικο με μαργαϊκή σύνδεση. Πάχος: από 1,5 έως 2 m.
- ❖ Σκληρή, ψαθυρή άργιλος με μαργαϊκά χαλίκια που παρουσιάζει κατακερματισμένο ιστό. Πάχος: από 2,5 έως 6 m.
- ❖ Ερυθρή, πολύ σκληρή άργιλος που σε μεγαλύτερα βάθη εξελίσσεται σε ημιβράχο. Πάχος: μεγαλύτερο των 10 m.

Με εξαίρεση τις τεχνητές και πρόσφατες αποθέσεις περιορισμένου πάχους και τον αποσαθρωμένο αργιλικό μανδύα, επίσης μικρού πάχους, το μεγαλύτερο τμήμα της εδαφοτομής καλύπτεται από συνεκτικές έως πολύ σκληρές αργίλους, οι οποίες παρουσιάζουν και κάποιες αργιλοαμμώδεις στρώσεις και χαρακτηρίζονται από υψηλή προσυμπύεση. Σε μικρά βάθη, ο ιστός τους εμφανίζεται ψαθυρός έως κατακερματισμένος, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη η συνεκτικότητά του αυξάνει σημαντικά. Στις θέσεις όπου η ψαθυρή ή η κατακερματισμένη άργιλος εκτίθεται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, υφίσταται έντονη εξαλλοίωση και αποσάθρωση. Συμπερασματικά, ο κύριος σχηματισμός έδρασης του έργου είναι η άργιλος.

Γενικά, η γεωτεχνική συμπεριφορά του υγιούς σχηματισμού χαρακτηρίζεται ικανοποιητική. Εξαίρεση αποτελούν οι επιφανειακές προσχώσεις (μπάζα) και ο αποσαθρωμένος αργιλικός μανδύας.

### **3.1.5 Γεωτρήσεις**

Στοιχεία για τους γεωλογικούς σχηματισμούς που υπάρχουν στον ευρύτερο χώρο του ΚΕΛΜ προκύπτουν και από 4 ερευνητικές γεωτεχνικές γεωτρήσεις που έχουν γίνει στο χρονικό διάστημα από 10-3-2009 έως 16-3-2009, με συνεχή δειγματοληψία και επί τόπου δοκιμές. Τα βάθη κάθε γεώτρησης είναι, ΓΜ-1 :16,25m, ΓΜ-2:16,70m, ΓΜ-3: 20,00m και ΓΜ-4: 15,20m και συνολικά διατρήθηκαν 68,00 m (Γεωτεχνική μελέτη θεμελίωσης έργων συμπλήρωσης και επέκτασης λειτουργίας του ΚΕΛ Μεταμόρφωσης, Ηλίας Π. & Παντούλας Κ., Αθήνα, Μάιος 2009).

Για την διάτρηση χρησιμοποιήθηκε περιστροφικό γεωτρήπανο τύπου FORAKY με κοπτικό άκρο βίδα, κατά τη διάτρηση έγινε δειγματοληψία με φραγμό.

• **ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΜ-1**

Βάθος γεώτρησης: 16,25 m

Υψόμετρο εδάφους: 185,20 m

Βάθος στάθμης υδροφόρου ορίζοντα: 11,80 m (10-3-2009)

Λιθολογική περιγραφή:

- 0,00-0,40 m: φυτική γη
- 0,40-1,80 m: μπάζα από υλικά εκσκαφών οικοδομών με λατύπες, χάλικες, ψηφίδες, άμμους και ιλύες. Ο σχηματισμός έχει αποκτήσει κάποια συνεκτικότητα και χαρακτηρίζεται σαν μέσης πυκνότητας.
- 1,80-10,95 m: τεχνητές επιχωματώσεις ερυθροκάστανου χρώματος κύρια αργιλικής σύστασης με κατά θέσεις ψηφίδες και αραιούς χάλικες που προέρχονται από υλικά εκσκαφών για τη θεμελίωση των έργων ΚΕΛ. Στα βάθη 4,00-4,20 m, 6,20-6,30 m, 9,60-9,70 m & 10,15-10,55 m επικρατούν τα αδρομερή υλικά. Ο σχηματισμός παρουσιάζει πορώδη υφή και έχει αποκτήσει κάποια συνεκτικότητα, καθώς οι επιχωματώσεις έχουν γίνει πριν από 25 χρόνια και χαρακτηρίζεται σαν σιφρός εδαφικός σχηματισμός, χαμηλής πλαστικότητας και αυξημένης συμπίεστότητας.
- 10,95-12,00 m: αμμοχάλικα μέσης πυκνότητας με χάλικες έως 8 cm και σπάνια κροκάλες, κύρια ανθρακικής και σπάνια ψαμμιτικής και πυριτικής σύστασης. Η συνδετική ύλη αποτελείται από άμμους και αμμοϊλύες, που ξεπλένονται κατά τη διάτρηση. Πρόκειται για τις αδρομερείς πρόσφατες αποθέσεις του ρέματος της Πύρνας.
- 12,00-14,20 m: λεπτομερής ποτάμια αναβαθμίδα του ρέματος της Πύρνας, που συνιστάται από λεπτόκοκκους άμμους έως ιλυώδεις άμμους, τεφροκάστανου χρώματος, με λεπτούς οριζόντες αδρόκοκκων άμμων και βότσαλων. Μέσης πυκνότητας εδαφικός σχηματισμός εντός του οποίου φιλοξενείται υπόγεια υδροφορία.
- 14,20-16,25 m: πολύ σκληρή ερυθροκάστανη αμμώδης αργιλοίλυσ, μέσης πλαστικότητας και μικρής συμπίεστότητας (πρακτικά ασυμπίεστος) σχηματισμός.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**



**Εικόνα 3.4:** Δειγματοληψία γεώτρησης ΓΜ1

• **ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΜ-2**

Βάθος γεώτρησης: 16,70 m

Υψόμετρο εδάφους: 184,80 m

Βάθος στάθμης υδροφόρου ορίζοντα: 11,50 m (14-3-2009)

Λιθολογική περιγραφή:

- 0,00-0,50 m: φυτική γη
- 0,50-5,20 m: τεχνητές επιχωματώσεις ερυθροκάστανου χρώματος κύρια αργιλικής σύστασης με κατά θέσεις ψηφίδες και αραιούς χάλικες που προέρχονται από υλικά εκσκαφών για τη θεμελίωση των έργων ΚΕΛ. Στα βάθη 1,80-2,20 m και 2,60-4,50 m επικρατούν τα αδρομερή υλικά. Ο σχηματισμός παρουσιάζει πορώδη υφή και έχει αποκτήσει κάποια συνεκτικότητα, καθώς οι επιχωματώσεις έχουν γίνει πριν από 25 χρόνια και χαρακτηρίζεται σαν σφιχτός εδαφικός σχηματισμός, χαμηλής πλαστικότητας και αυξημένης συμπίεστότητας.
- 5,20-10,00 m: τεχνητές επιχωματώσεις καστανού χρώματος με διάφορα υλικά λατύπες, χάλικες, ψηφίδες, αργιλοίλυες και διάφορα μπάζα εκσκαφών. Ο σχηματισμός παρουσιάζει πορώδη υφή και έχει αποκτήσει συνεκτικότητα.
- 10,00-14,30m: λεπτομερής ποτάμια αναβαθμίδα του ρέματος της Πύρνας, που συνίσταται από λεπτόκοκκους άμμους έως ιλυώδεις άμμους τεφροκάστανου χρώματος, με λεπτούς οριζόντες

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

αδρόκοκκων άμμων και βότσαλων. Μέσης πυκνότητας εδαφικός σχηματισμός εντός του οποίου φιλοξενείται υπόγεια υδροφορία.

- 14,30-16,70 m: πολύ σκληρή ερυθροκάστανη αργιλοίλυσ με άμμο, μέσης πλαστικότητας και μικρής συμπιεστότητας (πρακτικά ασυμπίεστος) σχηματισμός. Κατά θέσεις παρουσιάζονται διακλάσεις και οξειδώσεις μαγγανίου.



**Εικόνα 3.5:** Δειγματοληψία γεώτρησης ΓΜ2

- **ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΜ-3**

Βάθος γεώτρησης: 20,00 m

Υψόμετρο εδάφους: 197,00 m

Βάθος στάθμης υδροφόρου ορίζοντα: χωρίς στάθμη

Λιθολογική περιγραφή:

- 0,00-6,80 m: πολύ σκληρή ερυθροκάστανη αργιλοίλυσ με άμμο, μέσης πλαστικότητας και μικρής συμπιεστότητας (πρακτικά ασυμπίεστος) σχηματισμός.
- 6,80-13,80 m: πολύ σκληρή καστανέρυθη αργιλοίλυσ με πισσόλιθους μαγγανίου, μέσης πλαστικότητας και μικρής συμπιεστότητας σχηματισμός. Κατά θέσεις παρουσιάζονται διακλάσεις και οξειδώσεις μαγγανίου.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

- 13,80-17,90 m: εναλλαγές ευθροκάστανης αμμοιλύς με σημαντικό ποσοστό άμμου, ψηφίδων και χαλικιών, με οριζόντες καστανέρυθρων αργιλοιλύων. Μέσης πλαστικότητας και μικρής συμπιεστότητας σχηματισμός.
- 17,90-20,00m: πολύ σκληρή καστανέρυθρη αργιλοιλύς με πισσόλιθους μαγγανίου, μέσης πλαστικότητας και μικρής συμπιεστότητας σχηματισμός. Κατά θέσεις παρουσιάζονται διακλάσεις και οξειδώσεις μαγγανίου.



**Εικόνα 3.6:** Δειγματοληψία γεώτρησης ΓΜ3

- **ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΜ-4**

Βάθος γεώτρησης: 15,20 m

Υψόμετρο εδάφους: 197,70 m

Βάθος στάθμης υδροφόρου οριζοντα: χωρίς στάθμη

Λιθολογική περιγραφή:

- 0,00-2,30 m: πολύ σκληρή ερυθροκάστανη αργιλοιλύς με ασβεστιτικά συγκρίματα με κάποιο τρόπο ποσοστό άμμου, χαμηλής πλαστικότητας και μικρής συμπιεστότητας σχηματισμός.
- 2,30-7,00m: πολύ σκληρή καστανή αργιλοιλύς με αυξημένο ποσοστό χαλικιών, χαμηλής πλαστικότητας και μικρής συμπιεστότητας σχηματισμός.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

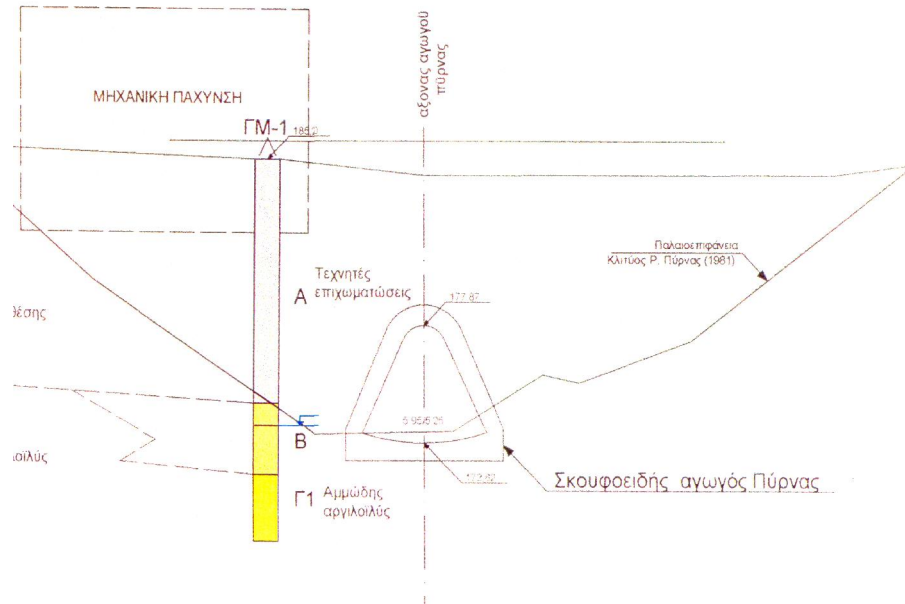
- 7,00-12,50 m: πολύ σκληρή καστανή αργιλοίλυς με άμμο, μέσης πλαστικότητας και μικρής συμπιεστότητας σχηματισμός. Σε βάθος 7,00-9,20 m το χρώμα γίνεται ανοικτοκάστανο, ενώ στους βαθύτερους ορίζοντες καστανέρυθρο.
- 12,50-14,50m: πολύ σκληρή καστανή αμμοίλυς με άργιλο, χαμηλής πλαστικότητας και μικρής συμπιεστότητας σχηματισμός.
- 14,50-15,20m: πολύ σκληρή καστανέρυθρη αργιλοίλυς με πισσόλιθους μαγγανίου, μέσης πλαστικότητας και μικρής συμπιεστότητας σχηματισμός. Κατά θέσεις παρουσιάζονται διακλάσεις και οξειδώσεις μαγγανίου.



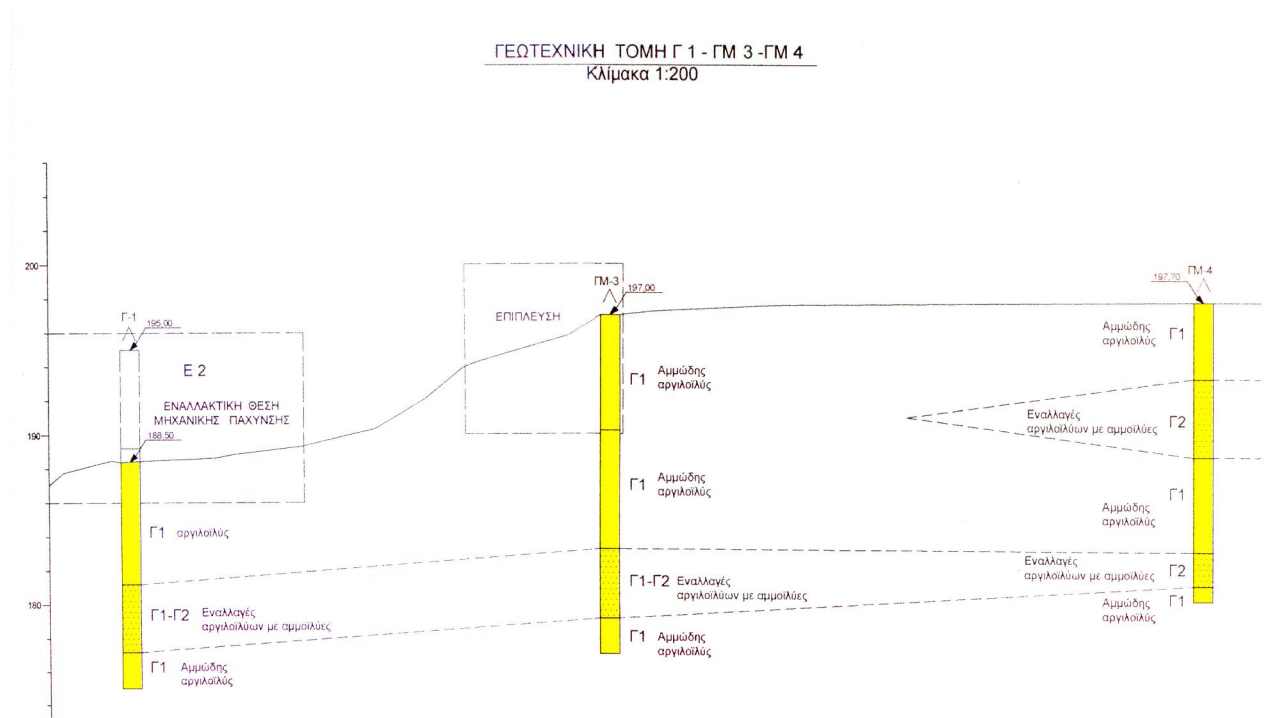
**Εικόνα 3.7:** Δειγματοληψία γεώτρησης ΓΜ4

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

Κλίμακα 1:200



**Εικόνα 3.8: Γεωτεχνική τομή αγωγού Πύρνας – ΓΜ1**



**Εικόνα 3.9: Γεωτεχνική τομή Γ1- ΓΜ3- ΓΜ4**

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
 ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

| ΒΑΘΟΣ<br>ΟΡΙΖΟΝΤΑ      | ΒΑΘΟΣ<br>ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ |               | ΕΙΔΟΣ<br>ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | ΔΟΚΙΜΗ<br>ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ<br>ΘΛΙΨΗ |                       | ΔΟΚΙΜΗ<br>ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ<br>(CD) |         | ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ<br>ΔΟΚΙΜΗ<br>(CUPP) |         | ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ<br>ΔΟΚΙΜΗ<br>(UU) |                     | ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ |                |  |
|------------------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------|--------------------------------|---------|------------------------------|---------------------|----------------------|----------------|--|
|                        | ΑΠΟ<br>m           | ΕΩΣ<br>m      |                    | ε<br>%                         | q <sub>u</sub><br>kPa | c'<br>kPa                   | φ'<br>° | c'<br>kPa                      | φ'<br>° | c <sub>u</sub><br>kPa        | φ <sub>u</sub><br>° | Cc                   | e <sub>0</sub> | E <sub>s</sub> (kN/m <sup>2</sup> )<br>100 kPa 200 kPa |
| <b>ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΜ - 1</b> |                    |               |                    |                                |                       |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| 1.80                   | 10.95              | 6.55 - 6.70   | Φραγμός            | 13                             | 229                   |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
|                        |                    | 9.25 - 9.45   | Φραγμός            | 9                              | 96                    |                             |         |                                |         |                              | 0.17                | 0.62                 | 2.600          | 4.000  |
|                        |                    | 9.95 - 10.15  | Φραγμός            | 17                             | 41                    |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| 12.00                  | 14.20              | 13.80 - 14.00 | Φραγμός            |                                |                       |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| 14.20                  | 16.25              | 15.60 - 16.00 | Φραγμός            |                                |                       |                             |         |                                |         |                              | 0.07                | 0.46                 | 20.000         | 20.000   |
| <b>ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΜ - 2</b> |                    |               |                    |                                |                       |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| 14.30                  | 16.70              | 15.00 - 15.35 | Φραγμός            |                                |                       |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| <b>ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΜ - 3</b> |                    |               |                    |                                |                       |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| 0.00                   | 6.80               | 2.95 - 3.40   | Φραγμός            |                                |                       | 16                          | 28      |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
|                        |                    | 4.50 - 4.80   | Φραγμός            |                                |                       | 40                          | 27      |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| 6.80                   | 13.80              | 9.30 - 9.70   | Φραγμός            |                                |                       |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
|                        |                    | 11.80 - 12.15 | Φραγμός            |                                |                       |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| 17.90                  | 20.00              | 18.35 - 18.60 | Φραγμός            | 13                             | 784                   |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| <b>ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΜ - 4</b> |                    |               |                    |                                |                       |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| 7.00                   | 12.50              | 9.60 - 9.97   | Φραγμός            |                                |                       |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
|                        |                    | 11.93 - 12.30 | Φραγμός            | 8                              | 674                   |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
| 14.50                  | 15.20              | 14.80 - 15.10 | Φραγμός            | 7                              | 448                   |                             |         |                                |         |                              |                     |                      |                |  |
|                        |                    |               | Φραγμός            |                                |                       |                             |         |                                |         |                              | 0.06                | 0.40                 | 20.800         | 22.400   |

Πίνακας 3.1: Συγκεντρωτική κατάσταση των μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών που συναντήθηκαν στις γεωτρήσεις ΓΜ1 έως ΓΜ4(Γεωτεχνική μελέτη θεμελίωσης έργων συμπλήρωσης και επέκτασης λειτουργίας του ΚΕΛ Μεταμόρφωσης, Ηλίας Π. & Παντούλας Κ., Αθήνα, Μάιος 2009).



### **3.1.6 Υπόγεια υδροφορία**

Οι ανώτεροι ορίζοντες των ερυθροπηλών, αργίλων και αμμομαργών δεν παρουσιάζουν υδροφορία μέχρι βάθους 20 m, όπως προκύπτει από γεωτρήσεις που έγιναν στο χώρο εγκατάστασης του κέντρου, στα πλαίσια των γεωτεχνικών ερευνών που πραγματοποιήθηκαν στην προκαταρκτική και οριστική μελέτη. Η έλλειψη υδροφορίας αποδίδεται στη στεγανότητα των αργιλομαργαϊκών σχηματισμών που απαντούν μέχρι βάθους τουλάχιστον 20 m. Σημειώνεται ότι σε αρκετές από τις γεωτρήσεις, σε βάθη της τάξης των 6 έως 14 m, έχει βρεθεί σκληρή καστανέρυθρη άργιλος με διακλάσεις και οξειδώσεις σε μεγάλα επίπεδα, οι οποίες αποδίδονται σε μερική κατείσδυση επιφανειακού νερού.

Σε αρκετά μεγάλα βάθη, αναμένεται υδροφορία σε κλαστικούς σχηματισμούς (άμμους, χαλίκια), δεδομένου ότι στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν παλιά πηγάδια, αλλά και κάποιες σύγχρονες γεωτρήσεις που αντλούν νερό για την άρδευση κηπευτικών. Οι υδροφόροι σχηματισμοί αναμένεται να παρουσιάζουν κυμαινόμενη υδροπερατότητα, η οποία θα καθορίζεται από την κατά θέσεις διαφοροποίηση της λιθολογικής σύστασης και από τη διαβάθμιση των κλαστικών υλικών.

### **3.1.7 Ποιότητα νερών**

Η ποιότητα των επιφανειακών νερών στην περιοχή του έργου έχει υποβαθμισθεί σημαντικά από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Στο ρέμα της Πύρνας εκβάλλουν τα επεξεργασμένα λύματα του κέντρου, τα οποία έχουν υποστεί έως και τριτοβάθμια επεξεργασία. Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση ερευνητικού προγράμματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, το οποίο εκπονήθηκε το 1995, τα χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων κατά την έξοδό τους είναι τα ακόλουθα.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
 ΛΥΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

| Χαρακτηριστικά<br>επεξεργασμένων υγρών<br>αποβλήτων | ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ |           |
|---|----------------|-----------|
|   | Ελάχιστη       | Μέγιστη   |
| SS (Αιωρούμενα στερεά)                              | 11,7 mg/l      | 14,2 mg/l |
| COD (Χημικά απαιτούμενο<br>Οξυγόνο)                 | 51,1 mg/l      | 60,7 mg/l |
| BOD (Βιομηχ. απαιτούμενο<br>Οξυγόνο)                | 15,2 mg/l      | 18,7 mg/l |
| pH  | 7,7            | 8,0       |

| Βαρέα Μέταλλα                  |           |            |
|--------------------------------|-----------|------------|
| (Cu) Χαλκός                    | 0,00 ppm  | 0,01 ppm   |
| (Cd) Κάδμιο                    | 0,00 ppm  | 0,01 ppm   |
| (Zn) Ψευδάργυρος               | 0,11 ppm  | 0,32 ppm   |
| (Pb) Μόλυβδος                  | 0,00 ppm  | 0,12 ppm   |
| (Ni) Νικέλιο                   | 0,03 ppm  | 0,05 ppm   |
| (Mn) Μαγγάνιο                  | 0,02 ppm  | 0,04 ppm   |
| Δείκτες Μόλυνσης               |           |            |
| (NO <sub>3</sub> -N) Νιτρικά   | 1,84 µg/l | 13,9 µg/l  |
| (NH <sub>4</sub> -N) Αμμωνιακά | 0,41 µg/l | 21,35 µg/l |

| Κόρια Ιόντα                         |            |            |
|-------------------------------------|------------|------------|
| (P) Φώσφορος                        | 1,50 ppm   | 3,27 ppm   |
| (Ca) Ασβέστιο                       | 4,2 meq/l  | 4,4 meq/l  |
| (Mg) Μαγνήσιο                       | 1,71 meq/l | 2,04 meq/l |
| (K) Κάλιο                           | 28,43 ppm  | 29,5 ppm   |
| (Na) Νάτριο                         | 1,5 meq/l  | 9,3 meq/l  |
| (Cl) Χλώριο                         | 5,5 meq/l  | 6,5 meq/l  |
| Ηλεκτρική Αγωγιμότητα               | 895 µS/cm  | 1660 µS/cm |
| SAR (Λόγος Προσροφήσεως<br>Νατρίου) | 0,85       | 5,3        |

**Πίνακας 3.2:** Χαρακτηριστικά επεξεργασμένων υγρών απόβλητων (πηγή : Καρβώνη Ζ., Φεβρουάριος 2006)

Συγκρίνοντας τα προαναφερόμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων λυμάτων με τα απαιτούμενα όρια από τις υπάρχουσες εθνικές και ευρωπαϊκές διατάξεις, καθώς και με τα προτεινόμενα κριτήρια ποιότητας νερού για τη διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων, προκύπτει ότι η ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων του κέντρου είναι ικανοποιητική για την εκβολή τους στο υπάρχον υδρογραφικό δίκτυο, αλλά και για την επαναχρησιμοποίησή τους, υπό προϋποθέσεις, για κάποιες χρήσεις. Επομένως, η ποιότητα των νερών του Σαρωνικού κόλπου, ως τελικός αποδέκτης των επεξεργασμένων λυμάτων του κέντρου, τα οποία εκρέουν στο ρέμα της Πύρνας και συνεχίζουν στον Κηφισό, για να καταλήξουν είτε στο Σαρωνικό είτε στις εγκαταστάσεις της Ψυττάλειας – ανάλογα με τη λειτουργία ή όχι των κοφτρών – δεν επιβαρύνεται από αυτά.

Εκτός όμως των επεξεργασμένων λυμάτων, στο ρέμα της Πύρνας εισρέουν ανεξέλεγκτα και ανεπεξέργαστα λύματα, τόσο ανάντη του κέντρου όσο και κατάντη αυτού, με τη μορφή παράνομων εισροών στο δίκτυο, εφόσον δεν εντοπισθούν έγκαιρα. Μπορεί μάλιστα να θεωρηθεί ότι τα επεξεργασμένα λύματα (εκροές) του κέντρου αραιώνουν σε ένα βαθμό, με τη μόνιμη ροή τους, τις ανεπεξέργαστες παράνομες εισροές.

Τέλος, στο χώρο του κέντρου υπάρχει ειδικό φρεάτιο εκκένωσης βιομηχανικών αποβλήτων, όπου αποτίθενται τα βιομηχανικά μη τοξικά βοθρολύματα, τα οποία μέχρι σήμερα δεν γίνονται αποδεκτά προς επεξεργασία στο κέντρο. Το φρεάτιο συνδέεται με τον Παρακηφίσιο συλλεκτήρα, όπου καταλήγουν τα εν λόγω βιομηχανικά απόβλητα και μέσω του οποίου φτάνουν τελικά για επεξεργασία στις εγκαταστάσεις της Ψυττάλειας. Η είσοδος και κυκλοφορία των βιομηχανικών μη τοξικών βοθρολυμάτων, μέσω του ειδικού φρεατίου στο υπάρχον δίκτυο της Ε.ΥΔ.Α.Π., αντιβαίνει τον κανονισμό του δικτύου και προκαλεί καταστροφές, χωρίς όμως να έχει άμεσα αποτελέσματα στους υδάτινους πόρους.

Στην περίπτωση, όμως, που οι απορριπτόμενες μη επεξεργασμένες ποσότητες των βιομηχανικών αποβλήτων, σε ανάμιξη με τα υπόλοιπα λύματα, διοχετεύονται σε κάποιο σημείο της πορείας τους από τον Παρακηφίσιο συλλεκτήρα στον Κηφισό, η επιβάρυνση τόσο του υδρογραφικού δικτύου του Κηφισού, όσο και του Σαρωνικού κόλπου - ως τελικού αποδέκτη - είναι σημαντικές. Επιπλέον, είναι δυνατόν αν υπάρχει οποιαδήποτε υδραυλική επικοινωνία μεταξύ υδροφορέα και του ρέματος της Πύρνας, στα κατάντη αυτού, να επιβαρύνεται σημαντικά η ποιότητα του υπόγειου νερού.

Όπως προκύπτει από τα όσα προαναφέρθηκαν, η ποιότητα των υδάτινων πόρων υποβιβάζεται σημαντικά στην περιοχή του έργου, λόγω των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, νομίμων και μη νομίμων.

## **3.2 Αισθητική του τοπίου**

Η αισθητική του αστικού τοπίου στην κλίμακα της πόλης αξιολογείται σύμφωνα με τα βασικά στοιχεία του χώρου που γίνονται άμεσα αντιληπτά από τον κάτοικο και το χρήστη, από την ποιότητα του δομημένου περιβάλλοντος, καθώς και από τα τυχόν ιστορικά και πολιτιστικά στοιχεία του πολεοδομικού ιστού.

### **3.2.1 Περιγραφή της ευρύτερης περιοχής του έργου**

Στην περιοχή του έργου δεν υπάρχουν ιδιαίτερα ιστορικά ή πολιτιστικά στοιχεία που να χαρακτηρίζουν το τοπίο. Η εικόνα που χαρακτηρίζει την ευρύτερη περιοχή είναι η εθνική οδός Αθηνών-Λαμίας με τους κόμβους και τις παράπλευρες οδούς, καθώς και οι μεγάλες εγκαταστάσεις των βιομηχανιών(πηγή : Καρβώνη Ζ., Φεβρουάριος 2006)

Οι εγκαταστάσεις του κέντρου δεν έχουν οπτική επαφή με την εθνική οδό ή με τις διάφορες χρήσεις της περιοχής, πέραν της απόστασης των 100 μέτρων από τα όριά του, δεδομένου ότι βρίσκεται μέσα στη φυσική κοιλότητα που έχει σχηματίσει η ευρύτερη κοίτη του ρέματος της Πύρνας. Σε όλο το μήκος των εγκαταστάσεων του κέντρου και ανάντη αυτού, η φυσική κοίτη του ρέματος έχει αντικατασταθεί από κλειστό αγωγό σκυροδέματος σκουφοειδούς διατομής, ο οποίος εκβάλλει ακριβώς κατάντη της εγκατάστασης. Από το σημείο αυτό το ρέμα συνεχίζει τη ροή στη φυσική του κοίτη, ώσπου συναντά τον Κηφισό σε απόσταση 500 μέτρων περίπου.

Τα πρηνή της κοίτης του ρέματος δεν καλύπτονται από βλάστηση σε μεγάλο ορατό από την εγκατάσταση μέρος τους, εκτός από τα Β-Α και τα Β-Δ πρηνή που καλύπτονται από πεύκα και θάμνους.

### **3.2.2 Ζώνη κάλυψης του έργου**

Το έργο χαρακτηρίζεται από μεγάλα οικοδομικά στοιχεία, διάσπαρτα στο χώρο της εγκατάστασης. Ως επί το πλείστον πρόκειται για ανοικτές δεξαμενές, μικρού ύψους, χωρίς μεγάλες ορατές επιφάνειες από σκυρόδεμα, εκτός από το κλειστό κτίριο προεπεξεργασίας και των δεξαμενών χώνευσης ιλύος, από τα οποία το πρώτο έχει κάποια στοιχεία που επιδέχονται αισθητική αναβάθμιση.

## **3.3 Ανθρωπογενές περιβάλλον**

### **3.3.1 Δίκτυα υποδομής**

Για την εξυπηρέτηση και λειτουργία των εγκαταστάσεων του κέντρου λειτουργούν διάφορα δίκτυα υποδομής. Καταρχήν, υπάρχει υποσταθμός της ΔΕΗ πίσω από τους χωνευτές, ο οποίος εξυπηρετεί όλες τις ανάγκες του κέντρου σε ηλεκτρική ενέργεια (λειτουργία των διαφόρων σταδίων επεξεργασίας, φωτισμός, βοηθητικοί χώροι, κ.λ.π.), με υπέργειες καλωδιώσεις. Δυστυχώς, το παραγόμενο βιοαέριο της εγκατάστασης οδηγείται σε πύργο καύσης, όπου καίγεται, χωρίς να γίνεται εκμετάλλευσή του, η οποία θα ενίσχυε το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπρόσθετα, το κέντρο εξυπηρετείται από το δίκτυο ύδρευσης της Ε.ΥΔ.Α.Π. για διάφορες χρήσεις (προσωπικό, εγκαταστάσεις, συμπλήρωση άρδευσης). Οι εξυπηρετούμενες από το κέντρο περιοχές είναι αυτές που βρίσκονται βόρεια της εγκατάστασης, όπως το Κρουονέρι, Αγ.Στέφανος, Άνοιξη, Δροσιά, Εκάλη, Διόνυσος, Καστρί, Ν.Ερυθραία, Ν.Κηφισιά, Λυκόβρυση, Πεύκη. Τα αστικά λύματα των περιοχών αυτών οδηγούνται στον αγωγό εκτροπής Κηφισιάς και τον Παρακηφισίο συλλεκτήρα, ενώ ένα μέρος τους (μέχρι 20.000 m<sup>3</sup>/ημέρα) παραλαμβάνει το κέντρο μέσω φρεατίου μερισμού. Η ποσότητα αυτή οδηγείται στο κτίριο προεπεξεργασίας (πηγή : Καρβώνη Ζ., Φεβρουάριος 2006)

Η αποχέτευση των όμβριων υδάτων στο χώρο του κέντρου γίνεται μέσω του κλειστού, σκουφοειδούς διατομής, αγωγού της Πύρνας, στον οποίο συγκεντρώνονται και τα επιφανειακά νερά του ρέματος, ανάντη του κέντρου. Όλες οι εγκαταστάσεις του

κέντρου είναι προσβάσιμες μέσω του ικανοποιητικού οδικού δικτύου που έχει κατασκευαστεί για το σκοπό αυτό.

### **3.3.2 Καθεστώς γης – Θεσμικό πλαίσιο**

Ο Δήμος Μεταμόρφωσης στον οποίο βρίσκεται το κέντρο έχει 21.052 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του έτους 1991. Μεγάλο μέρος του Δήμου έχει χαρακτηριστεί ως βιομηχανικό ή βιοτεχνικό πάρκο, όπου ανήκει και το κέντρο επεξεργασίας λυμάτων.

Επίσης, το κέντρο βρίσκεται κατά ένα τμήμα του μέσα στην θεσμοθετημένη με το Π.Δ. 632Δ/94 ζώνη προστασίας του ποταμού Κηφισού και των παραχειμάρρων του, ενώ συγχρόνως αποτελεί προϋπάρχουσα βιομηχανική χρήση, σύμφωνα με το άρθρο 3. Πρέπει να σημειωθεί ότι το έργο δεν έχει κατασκευαστεί μέσα σε φυσική κοίτη, αλλά σε διαμορφωμένη κοίτη με κλειστό αγωγό σκυροδέματος μεγάλων διαστάσεων.

Άλλες χρήσεις της περιοχής του έργου είναι κάποιες βιομηχανίες μικρής κυρίως όχλησης, όπως εργοστάσιο επεξεργασίας ελαίων και βιοτεχνίες υφασμάτων στην άμεση γειτονιά των εγκαταστάσεων του κέντρου, ενώ σε μεγαλύτερη απόσταση (περίπου 100 μέτρα) βρίσκονται περιμετρικά του νότιου ορίου της εγκατάστασης:

- ❖ εργοστάσιο σιδηροκατασκευών
- ❖ μάνδρα με υλικά οικοδομών
- ❖ βαφείο
- ❖ παραγωγή αδρανών
- ❖ μάνδρα αυτοκινήτων/ψυγείων
- ❖ βιοτεχνικά πλαστικοποίησης και βερνικοποίησης χαρτιού
- ❖ φινιριστήρια
- ❖ βιοτεχνία κουφωμάτων αλουμινίου

- ❖ μάρμαρα

Βόρεια της εγκατάστασης και σε ακόμα μεγαλύτερη απόσταση (μέχρι 500 μέτρα) βρίσκονται:

- ❖ Γενικό Ογκολογικό Νοσοκομείο Κηφισιάς Άγιοι Ανάργυροι
- ❖ Εργοστάσιο παραγωγής γιαουρτιού
- ❖ Στάνη
- ❖ Εργοστάσιο χημικών
- ❖ Μάντρα παλιοσίδερων
- ❖ Αποθήκη ηλεκτρικών συσκευών

Κατοικίες εκτός σχεδίου πόλης υπάρχουν στις παραπάνω θεσμοθετημένες ή υπό θεσμοθέτηση περιοχές, στην έμμεση ζώνη επιρροής του έργου, και σε απόσταση 1.000 m περιμετρικά από αυτό.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### **Πρόταση υπογειοποίησης του ΚΕΛΜ**



## **4.1 Πρόταση υπογειοποίησης Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης**

### **4.1.1 Εισαγωγή**

Η εγκατάσταση του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων της Μεταμόρφωσης αποτελεί μια ζωτικής σημασίας μονάδα για την Αθήνα, καθώς διαχειρίζεται μεγάλο ποσοστό των υγρών αποβλήτων που παράγονται καθημερινά στην πρωτεύουσα. Οι επιπτώσεις των εγκαταστάσεων στην ευρύτερη περιοχή δημιουργούν όμως αρκετά προβλήματα.

Η ιδέα για υπογειοποίηση του κέντρου προέκυψε από την ανάγκη εύρεσης λύσης στο προαναφερόμενο πρόβλημα και κυρίως για άρση των επιπτώσεων αλλά και για αναβάθμιση του περιβάλλοντος και στηρίχτηκε στην πλούσια και επιτυχημένη εμπειρία ανάλογων εγκαταστάσεων στο εξωτερικό, τα παραδείγματα των οποίων αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 1.

Το ΚΕΛ λειτουργεί πάνω από 20 χρόνια, με αποτέλεσμα οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις να έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους και να υπάρχει άμεση ανάγκη για νέες εγκαταστάσεις πιο εκσυγχρονισμένες. Σε αυτή την φάση έρχεται η πρόταση για υπογειοποίηση, η οποία ουσιαστικά αυτό που διαπραγματεύεται είναι η δημιουργία νέων εγκαταστάσεων υπόγεια, ενώ οι ήδη υπάρχουσες παλιές εγκαταστάσεις θα πάψουν να λειτουργούν και να υπάρχουν δημιουργώντας στην θέση τους ελεύθερους επιφανειακούς χώρους για νέες χρήσεις γης (όπως δημιουργία κοινωφελών χώρων αναψυχής κλπ.).

Η περιοχή και πιο συγκεκριμένα ο χώρος όπου θα γίνει το υπόγειο ΚΕΛ είναι ο ίδιος που υπήρχαν και πρωτύτερα οι παλιές επιφανειακές εγκαταστάσεις, και αυτό γιατί δεν μπορεί να πάει κάπου αλλού και γιατί στηρίζει τις υποδομές που χρειάζεται το κέντρο. Η περιοχή της Μεταμόρφωσης όπου έχει επιλεγθεί και έχει κατασκευαστεί το ΚΕΛ είναι ένα κομβικό σημείο και κατέχει δυναμικό ρόλο, καθώς βρίσκεται σε μια περιοχή με αναπτυσσόμενη βιομηχανική δραστηριότητα. Από την άλλη, δεν είναι εύκολη η εύρεση μιας ελεύθερης επιφάνειας τόσο μεγάλων διαστάσεων για την Αττική για την κατασκευή μιας νέας μονάδας. Επομένως ως μόνη λύση φαίνεται να είναι η κατασκευή του υπόγεια. Με την υπογειοποίηση αυτή βελτιώνονται οι παράμετροι λειτουργίας των εγκαταστάσεων επεξεργασίας, ελαχιστοποιούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και παράλληλα υπάρχει αξιοποίηση του επιφανειακού χώρου.

Στην προσπάθεια για ανάδειξη των βασικών χαρακτηριστικών που δύναται να έχει ένα Υπόγειο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων στην περιοχή της Μεταμόρφωσης Αττικής, έγινε η εκτίμηση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων, όπως δίνονται στην συνέχεια.

#### **4.1.2 Πλεονεκτήματα**

Με την κατασκευή ενός Υπόγειου Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στην περιοχή αυτή αναδεικνύεται μια σειρά από πλεονεκτήματα τα οποία παρατίθενται παρακάτω.

##### **❖ Βελτιστοποίηση παραμέτρων λειτουργίας βιολογικού καθαρισμού**

Ένα πλεονέκτημα της υπογειοποίησης του ΚΕΛ είναι η προστασία των εγκαταστάσεων από τις έντονες καιρικές συνθήκες και η ανεμπόδιστη λειτουργία τους. Το υπέδαφος προσφέρει απομόνωση από κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια. Δυο εν γένει χαρακτηριστικά των υπογείων χώρων, η σταθερή υγρασία και θερμοκρασία, τα οποία βρίσκουν ήδη ευρύ πεδίο εφαρμογών, δύναται να αξιοποιηθούν και στο Υπόγειο Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων. Ένα υπόγειο έργο παρέχει ένα σταθερό θερμοκρασιακά περιβάλλον συγκρινόμενο με τις θερμοκρασιακές αλλαγές που υφίστανται στις επιφανειακές κατασκευές, σε καθημερινό επίπεδο, κατά την διάρκεια της ημέρας, αλλά και κατά την διάρκεια του χρόνου (διάφορες εποχές). Βασικό πλεονέκτημα είναι ότι οι σταθερές συνθήκες βελτιώνουν την απόδοση των χημικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα, με αποτέλεσμα το ποσοστό επεξεργασίας να είναι καλύτερο και να έχουμε μειωμένες οσμές, καθώς οι χημικές διεργασίες είναι πιο αποδοτικές.

##### **❖ Περιβάλλον**

Το κύριο πρόβλημα του υφιστάμενου ΚΕΛ είναι οι οσμές, γεγονός που αποτελεί επιτακτική ανάγκη για να γίνει η υπογειοποίηση του. Η οπτική ρύπανση, σε μικρότερο βαθμό αποτελεί ένα στοιχείο περιβαλλοντικής ρύπανσης και η κατασκευή ενός υπόγειου χώρου στην περιοχή, καθώς και η αποκατάσταση του επιφανειακού

χώρου που θα προκύψει, θα προσδώσει μια διαφορετική όψη στην εικόνα που παρουσιάζεται σήμερα, και θα περιορισθεί αν όχι εξαλειφθεί η ρετινιά που συνοδεύει μέχρι σήμερα την περιοχή. Είναι σημαντικό επίσης να αναφερθεί ότι, από περιβαλλοντικής άποψης, με την κατασκευή τέτοιων εγκαταστάσεων υπόγεια υπάρχει ελάχιστη έως μηδαμινή επέμβαση στο τοπίο. Ακόμη, όσον αφορά το Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων, με την υπογειοποίηση του εξαλείφεται τοπικά η δυσοσμία, καθώς αυτό παύει να είναι επιφανειακό και υπάρχει και η δυνατότητα πιο εύκολου ελέγχου των οσμών αλλά και η δυνατότητα εφαρμογής μέτρων απόσμωσης πριν την απελευθέρωση τους στο περιβάλλον.

#### ❖ Αναβάθμιση περιοχής

Η υπογειοποίηση του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στη Μεταμόρφωση Αττικής παρουσιάζει πλεονεκτήματα που αφορούν στη γενικότερη αναβάθμιση της περιοχής. Ο Δήμος της Μεταμόρφωσης συνορεύει με του Δήμους Λυκόβρυσης, Ηρακλείου και Ν. Φιλαδέλφειας. Έχει έκταση 5.502 στρέμματα και είναι Δήμος πολύ μεγαλύτερος ( 3-4 φορές μεγαλύτερος) από τους γειτονικούς του. Τέλος, διασχίζεται από δυο κεντρικούς αρτηριακούς άξονες : την Αττική Οδό και την Εθνική Οδό Αθηνών – Λαμίας.

Η Μεταμόρφωση είναι ένα αστικό κέντρο σε εξέλιξη και παρουσιάζει την ιδιομορφία να διαθέτει μια τεράστια- σε έκταση και αριθμό επιχειρηματικών μονάδων-βιομηχανική ζώνη, μέσα στα όρια του δήμου της και σε επαφή με τον οικιστικό της ιστό. Στη ζώνη αυτή εδρεύουν και δραστηριοποιούνται 1.700 περίπου μεγάλες και μικρές επιχειρηματικές μονάδες, που καλύπτουν, σχεδόν ολόκληρο, το φάσμα της βιομηχανικής και βιοτεχνικής παραγωγής, του μεταποιητικού κλάδου, της παροχής υπηρεσιών και του εμπορικού τομέα. Είναι επομένως μια περιοχή που με ανεπτυγμένη βιομηχανία που χρειάζεται σωστές υποδομές.

Επομένως, ένα πλεονέκτημα που προκύπτει από την υπογειοποίηση του ΚΕΛΜ είναι η βελτίωση της συνολικής εικόνας της περιοχής, η οποία έχει επιβαρυνθεί τα τελευταία χρόνια. Με την υπογειοποίηση του ΚΕΛΜ δίνεται η δυνατότητα και η ευκαιρία για μια εναλλακτική χρήση του επιφανειακού χώρου που προκύπτει. Απελευθερώνεται, έτσι, χώρος για τους κατοίκους, ο οποίος μπορεί να αξιοποιηθεί κατάλληλα με την δημιουργία κοινωφελή χώρων αναψυχής, αθλητικής δραστηριότητας και περιπάτου.

### **4.1.3 Μειονεκτήματα**

Όπως συμβαίνει με κάθε νέα κατασκευή, έτσι και εδώ, στον αντίποδα υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα, μπορεί στο σύνολο τους να είναι λιγότερα από τα θετικά στοιχεία, στην περίπτωση μας ένα είναι το βασικό μειονέκτημα, παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί.

#### **❖ Υψηλά ποσά αρχικής επένδυσης**

Για την υπογειοποίηση του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων απαιτούνται υψηλές αρχικές επενδύσεις, καθώς η κατασκευή από την αρχή ενός τέτοιου κέντρου υπόγεια, αποτελεί ένα έργο μεγάλης κλίμακας, όπου είναι απαραίτητη η συνδρομή πολλών ατόμων, με κατάλληλη εξειδίκευση ο καθένας τους. Αλλά ακόμα και μετά το πέρας κατασκευής του θα υπάρχει ένα κόστος λειτουργίας, καθώς θα είναι αναγκαίος ο συνεχής φωτισμός, ο αερισμός του χώρου, κλπ., μιας και οι υπόγειοι χώροι έχουν υψηλές απαιτήσεις ανακύκλωσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Απαιτείται συνεχής ανανέωση του αέρα και παράλληλος φωτισμός, τόσο κατά την φάση κατασκευής όσο και κατά την λειτουργία του υπόγειου χώρου.

#### **❖ Προσωρινή διακοπή λειτουργίας του ΚΕΛ**

Για την κατασκευή του υπόγειου χώρου θα χρειαστεί για κάποιο χρονικό διάστημα να σταματήσει να λειτουργεί το ΚΕΛ, καθώς οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις θα πάψουν να υφίστανται.

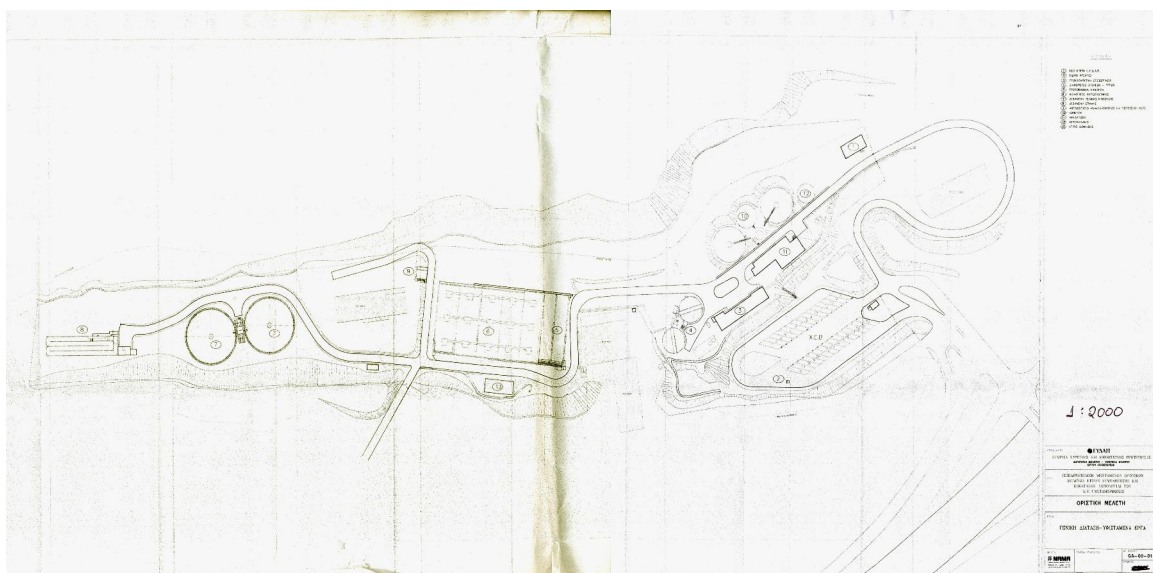
### **4.1.4 Συμπεράσματα**

Εκτιμώντας τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν πιο πάνω, παρατηρείται ότι τα οφέλη που προκύπτουν από την υπογειοποίηση του ΚΕΛΜ είναι σημαντικότερα και μπορούν να οδηγήσουν την ΕΥΔΑΠ και το Δήμο Μεταμόρφωσης σε ένα πλαίσιο συνεργασίας, όπου θα συνυπάρχουν οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις αλλά θα υπάρχει και ο έλεγχος για την δραστική μείωση των περιβαλλοντικών. Επομένως, ο ευρύτερος τομέας των υπογείων έργων διαφαίνεται να δίνει μια νέα προοπτική ανάπτυξης του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων.

## 4.2 Κατασκευή Υπόγειου Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων

### 4.2.1 Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός του Υπόγειου Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ανοιχτού ορύγματος (γνωστή και ως Cut & Cover, μέθοδο «εκσκαφής και επανεπίχωσης»). Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια εύκολη και απλή σχετικά λύση, χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες και με ελάχιστες απαιτήσεις σε εξοπλισμό και τεχνικές, ενώ παράλληλα έχει εφαρμοστεί με επιτυχία στο παρελθόν στον ελληνικό χώρο. Για την υπό μελέτη περιοχή, φαίνεται να είναι άλλωστε και η βέλτιστη λύση για την κατασκευή του υπόγειου χώρου, λόγω των γεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή (χαλαρούς έως μέσης πυκνότητας σχηματισμούς από άμμους, ιλύες, βότσαλα, χάλικες και κροκάλες).

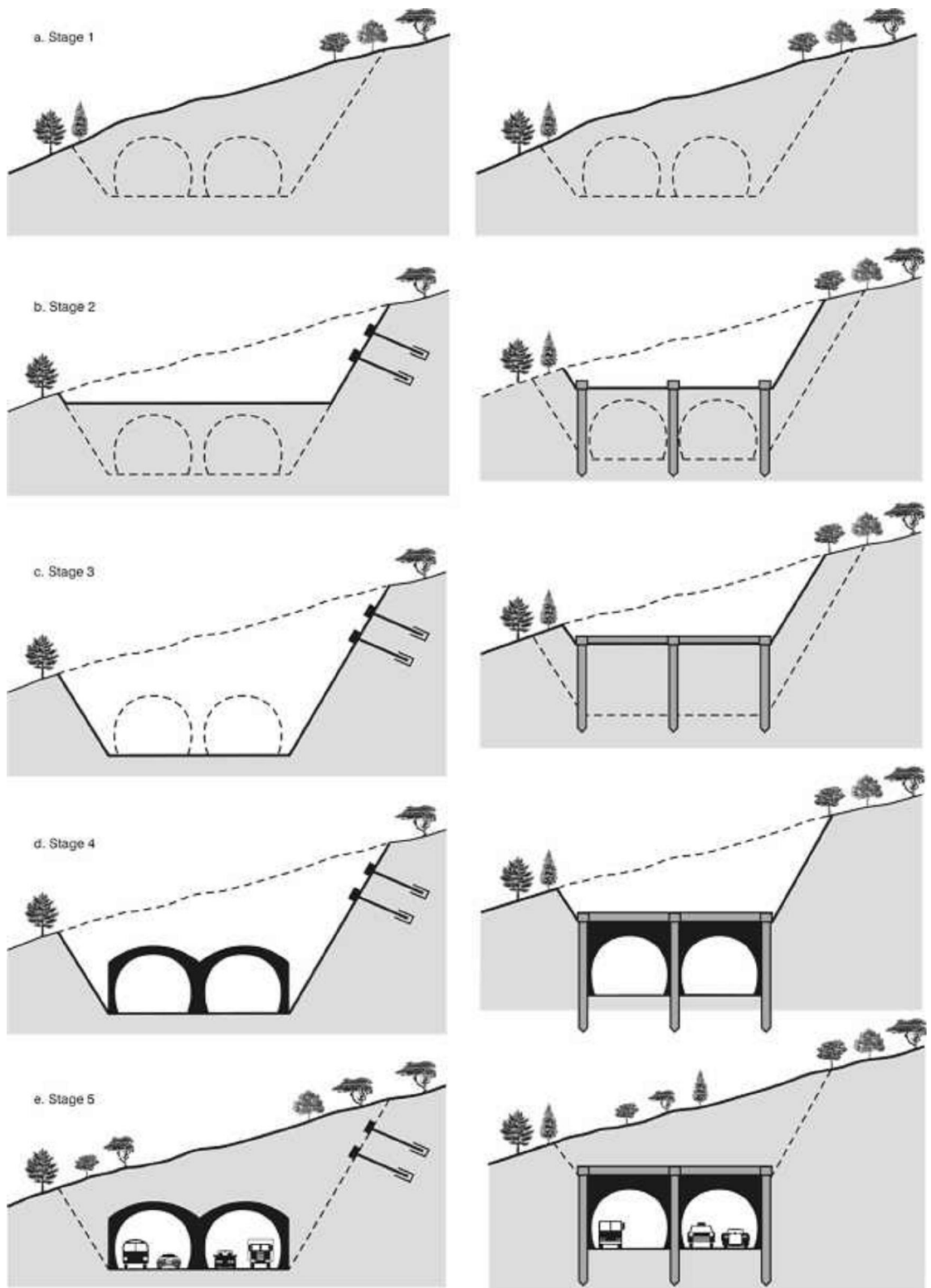


Εικόνα 4.1: Γενική διάταξη – Υφιστάμενα έργα ΚΕΑΜ

### 4.2.2 Μεθοδολογία Cut & Cover

Η μεθοδολογία της ανοικτής εκσκαφής είναι απλή ως σύλληψη (Αττικό Μετρό Α.Ε., 2009). Αρχικά σκάβεται το ορύγμα και αντιστηρίζονται τα πρανή του καταλλήλως. Ακολούθως «κτίζεται» ο μόνιμος φορέας του έργου ξεκινώντας από τη θεμελίωση προς τα επάνω δηλαδή ως μια συνήθη οικοδομική εργασία. Τέλος, γίνεται επικάλυψη της κατασκευής με επίχωση ως την επιφάνεια του εδάφους και αποκαθίσταται η περιοχή (Εικόνα 4.1)( A. Mouratidis, Professor of Highway Engineering, Aristotle University of Thessaloniki).

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΡΟΤΑΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ  
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**



**Εικόνα 4. 2:** Στάδια κατασκευής τεχνικού έργου (σήραγγα), η οποία γίνεται με την τεχνική εκσκαφής και επανεπίχωσης ( Cut & Cover) στα αριστερά και της τεχνικής κάλυψης και εκσκαφής στα δεξιά ( Cover & Cut)

Αναλυτικότερα τα στάδια έχουν ως εξής (Αττικό Μετρό Α.Ε, 2009):

- Εκτελείται γεωτεχνική/γεωλογική έρευνα και δοκιμές (επί τόπου και εργαστηριακές) για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή όπου έχει σχεδιασθεί να γίνει η κατασκευή μας.
- Γίνεται η μελέτη (υπολογισμοί και σχέδια) εκσκαφής και προσωρινής αντιστήριξης, με βάσει τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά του εδάφους που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης, εκτελείται και η μελέτη του μόνιμου φορέα της κατασκευής.
- Πραγματοποιείται η εκσκαφή και η αντιστήριξη η οποία αποτελείται από φρεατοπασσάλους.
- Κατασκευή υδατοστεγάνωσης
- Δημιουργία φέροντας οργανισμός

Αναλυτικότερα η προσωρινή αντιστήριξη της εκσκαφής αποτελείται συνήθως από πασσάλους (φρεατοπασσάλους) σκυροδέματος, κυκλικής διατομής με διάμετρο της τάξεως 0.80-1.00 m, που τοποθετούνται ανά αποστάσεις μεταξύ τους 1.50-2.50m περιμετρικά της προβλεπόμενης εκσκαφής προτού αυτή αρχίσει (Εικόνα 4.3). Η πασσαλοστοιχία συνδέεται στην κορυφή της με ισχυρή δοκό σκυροδέματος ( Εικόνα 4.4). Η εκσκαφή πραγματοποιείται με συμβατικά μηχανικά μέσα (εκσκαφείς, σφύρες, κλπ) έως ένα καθορισμένο βάθος, π.χ. 3.5m, και στη συνέχεια τοποθετούνται αγκύρια σε οπές που διανοίγονται στο έδαφος μέσω των πασσάλων. Τα αγκύρια αυτά έχουν μεγάλο μήκος (της τάξεως 15-25m) και προεντείνονται με την προβλεπόμενη από τη μελέτη δύναμη.

Κατόπιν εφαρμόζεται δομικό πλέγμα σε όλη την περιμετρική επιφάνεια του σκάμματος και τοποθετείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Μετά από αυτά, συνεχίζεται η εκσκαφή ως την επόμενη στάθμη και τοποθετείται και προεντείνεται άλλη μια σειρά αγκυρίων. Ο κύκλος αυτός συνεχίζεται έως την τελική στάθμη εκσκαφής όπου θα θεμελιωθεί η κατασκευή. Εάν υπάρχει παρουσία υπογείων υδάτων στις επιφάνειες του σκάμματος, αυτά εκτονώνονται με συστηματικά διατρήματα / σωληνώσεις

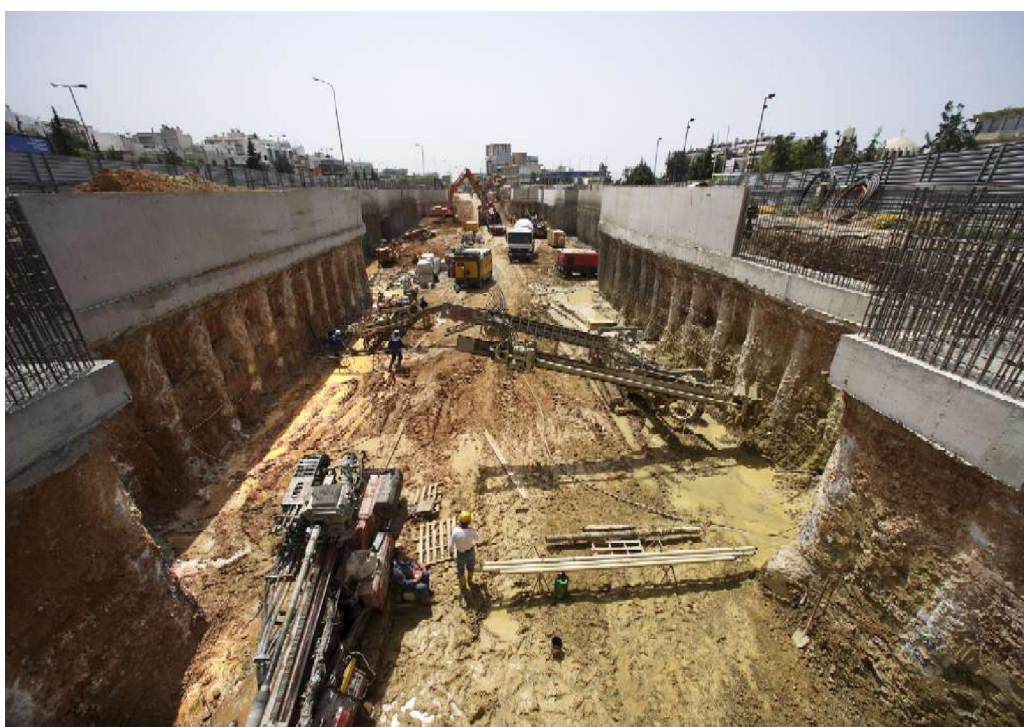
**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΡΟΤΑΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ  
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

βάθους συνήθως 3-4 m επί της αντιστήριξης / εκσκαφής και απομακρύνονται με κατάλληλο σύστημα αποστράγγισης.



**Εικόνα 4.3:** Μέθοδος κατασκευής Cut & Cover, άποψη προσωρινής αντιστήριξης με φρεατοπασσάλους



**Εικόνα 4.4:** Άποψη πασσαλοστοιχίας που συνδέεται στην κορυφή της με ισχυρή δοκό σκυροδέματος



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΡΟΤΑΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ  
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

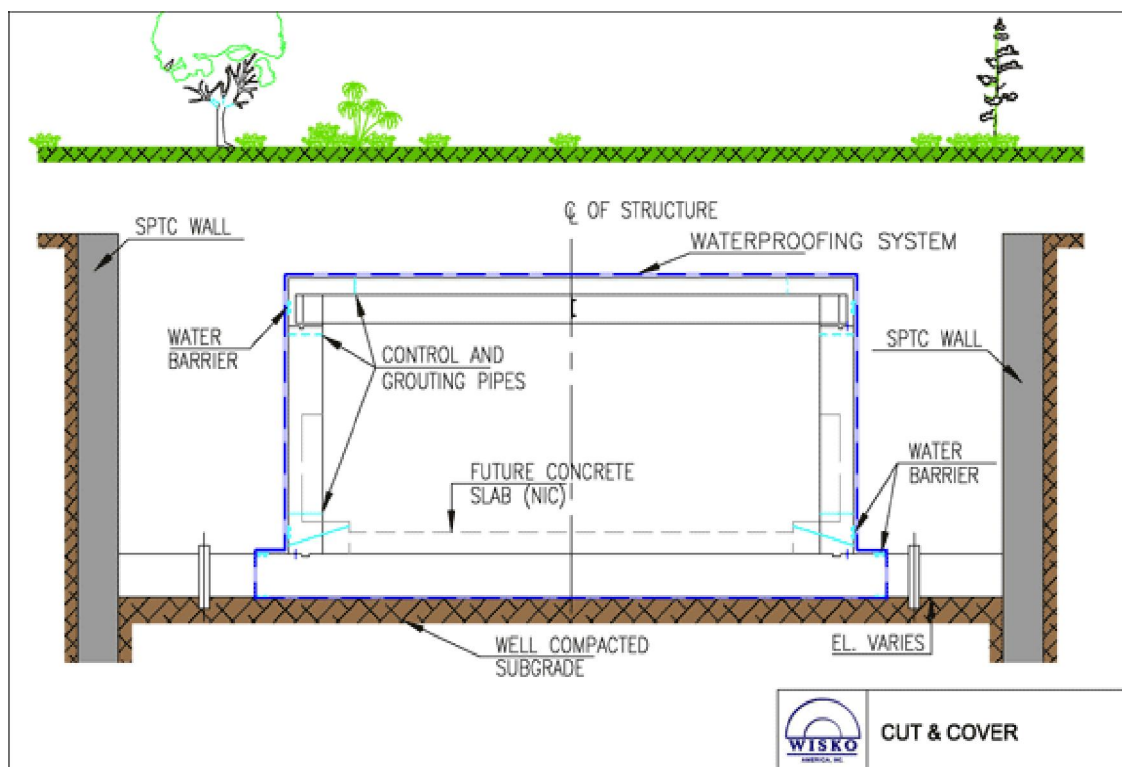
Το σύστημα υδατοστεγάνωσης της κατασκευής, τοποθετείται στον πυθμένα και στις περιμετρικές επιφάνειες του σκάμματος και αποτελείται συνήθως από γεωυφάσματα, μεμβράνη υδατοστεγάνωσης και υδατοφραγμούς.

Η κατασκευή του φέροντος οργανισμού γίνεται κατά φάσεις αρχίζοντας από την θεμελίωση, ακολουθούν τα τοιχία και κατόπιν η πλάκα οροφής. Η κατασκευή αρχίζει με την τοποθέτηση των σιδηρών οπλισμών της πλάκας θεμελίωσης (ή γενικής κοιτόστρωσης). Κατόπιν γίνεται η έγχυση του σκυροδέματος, κατηγορίας αντοχής C25/30, κατά φάσεις κατά το μήκος της κατασκευής με πρόβλεψη καταλλήλων αρμών. Παρομοίως γίνεται και η κατασκευή των υπολοίπων στοιχείων της μόνιμης κατασκευής.

Σχετικά με τις αντιστηρίξεις, ο τρόπος αντιστήριξης των εκσκαφών πραγματοποιείται πολλές φορές σχεδόν αποκλειστικά με πασσάλους διάτρησης από οπλισμένο σκυρόδεμα (φρεατοπασσάλους) και προεντεταμμένα αγκύρια, ενδεχομένως να χρησιμοποιηθεί και η λεγόμενη «μέθοδος Βερολίνου» στην οποία μέχρι ένα βάθος τοποθετούνται μεταλλικοί πάσσαλοι αντιστηριζόμενοι αντικριστά με σιδηρές αντηρίδες, ενώ στα βαθύτερα στρώματα του υπεδάφους χρησιμοποιείται ελαφρότερη αντιστήριξη με οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και παθητικά βλήτρα (“καρφιά”) εδάφους.



**Εικόνα 4.5:** Στάδιο κατασκευής σταθμού μετρό στην Αθήνα με την μέθοδο Cut & Cover



**Εικόνα 4.6:** Κατασκευή ενός υπόγειου χώρου με την χρήση της μεθόδου Cut & Cover

### 4.3 Διαμόρφωση Υπόγειου Χώρου

Με το πέρας της διαδικασίας εκσκαφής του υπόγειου χώρου είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθεί και η σωστή διαμόρφωση του χώρου. Για το σωστό σχεδιασμό και την διαμόρφωση του υπόγειου χώρου καθοριστικό ρόλο έπαιξαν δυο παραδείγματα του εξωτερικού. Πιο συγκεκριμένα, στην Ταιβάν έχουν κατασκευαστεί με μεγάλη επιτυχία δυο υπόγεια κέντρα επεξεργασίας λυμάτων (όπως έχει αναφερθεί στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο) σε γεωλογικούς σχηματισμούς ανάλογης αντοχής με αυτούς της Μεταμόρφωσης, όπου και βρίσκεται το ΚΕΛ. Η μέθοδος εκσκαφής ήταν εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut & Cover), ενώ παράλληλα ο επιφανειακός χώρος που ελευθερώθηκε αξιοποιήθηκε καταλλήλως με την δημιουργία πάρκων αναψυχής και όχι μόνο.

Έχοντας, επομένως, ως παράδειγμα και οδηγό αυτά τα δυο αξιόλογα έργα στην Ταιβάν, έγινε παρόμοια και ο σχεδιασμός του ΚΕΛΜ. Διαμορφώνεται έτσι ο υπόγειος χώρος, ώστε να υπάρχει μια ροή μεταξύ των διεργασιών και των σταδίων επεξεργασίας του ΚΕΛ, χωρίς να διαταραχτεί ούτε στο ελάχιστο ο τρόπος λειτουργίας του. Η έκταση που θα καταλαμβάνει το υπόγειο έργο, που θα βρίσκεται στο χώρο

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΡΟΤΑΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ  
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

που υπάρχει ήδη το ΚΕΛ στην Μεταμόρφωση, είναι σαφώς μικρότερη από το επιφανειακό, μειώνοντας τον χώρο μεταξύ των χώρων επεξεργασίας, χωρίς όμως να αλλάξουν οι διαστάσεις των εκάστοτε δεξαμενών. Κατά την φάση σχεδιασμού λαμβάνεται υπόψη και ο αγωγός την Πύρνας, για να μην υπάρξει κάποιο σημείο τομής μεταξύ του έργου και του άξονά του αγωγού. Ακόμα, πριν ξεκινήσει η εκσκαφή για την κατασκευή των υπόγειων εγκαταστάσεων, να σημειωθεί ότι θα πρέπει να καθαριστεί ο επιφανειακός χώρος από το προηγούμενο συγκρότημα, δηλαδή θα πρέπει αφαιρεθούν με ασφάλεια οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις που βρίσκονται στην επιφάνεια.

Επίσης η υπόγεια κατασκευή δεν θα ξεπερνάει σε βάθος τα 20m, επειδή κάτω από τα οποία υπάρχει ενδεχόμενη υδροφορία, και εκτιμάται ότι θα καταλαμβάνει γύρω στα 8m, συνυπολογίζοντας το ύψος των εγκαταστάσεων καθώς και του εδαφικού υλικού που θα τοποθετηθεί αφού ολοκληρωθεί η εκσκαφή και κατασκευή του υπόγειου χώρου (μέθοδος Cut & Cover).

Πιο συγκεκριμένα, οι πάσσαλοι που πρόκειται να διανοιχθούν στην περίμετρο της εκσκαφής εκτιμάται ότι θα είναι σε αποστάσεις των 2 m ακτινικά, διαμέτρου Φ800 από σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25, συνολικά προβλέπεται η κατασκευή διακοσίων σαράντα (240) πασσάλων.

Όσον αφορά τον υπόγειο χώρο, η πρόταση για τον σχεδιασμό και την διαμόρφωση του περιλαμβάνει :

- Είσοδο
- Έξοδο
- Φρέαρ
- Κεντρική στοά
- Χώρο για γραφεία
- Αποθήκη
- Χώρο συστημάτων ασφαλείας
- Ηλεκτροστάσιο
- Χώρο προεπεξεργασίας βοθρολυμάτων
- Χώρο προεπεξεργασίας αστικών λυμάτων
- Χώρο πρωτοβάθμιας καθίζησης βοθρολυμάτων

- Χώρο πρωτοβάθμιας καθίζησης αστικών λυμάτων
- Χώρο δευτεροβάθμιας καθίζησης λυμάτων
- Χώρο βιοαερίου
- Χώρο φίλτρων
- Χώρος χωνευτών
- Χώρος αερισμού
- Χώρος απολύμανσης

#### **4.3.1 Συστήματα Η/Μ εγκαταστάσεων**

Το υπόγειο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων θα διαθέτει σύστημα πυρανίχνευσης και πυρόσβεσης, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κανονισμών πυροπροστασίας και σε όλους τους χώρους προβλέπεται να υπάρχει κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης. Συγκεκριμένα τα ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα που θα εφαρμόζονται είναι τα ακόλουθα:

##### ❖ Πυρασφάλεια – Πυρόσβεση

Η πυρασφάλεια και η πυρόσβεση είναι δύο έννοιες πολύ σημαντικές για κάθε τεχνικό έργο και βιομηχανική εγκατάσταση. Ιδιαίτερα μάλιστα για τα υπόγεια τεχνικά έργα λόγω των ιδιοτήτων που παρουσιάζει η κατασκευή τους. Η πυρασφάλεια αφορά την εγγύηση και βεβαιότητα για την έλλειψη κινδύνων από πυρκαγιές (πρόληψη), ενώ η πυρόσβεση αφορά την «υπεράσπιση» ανθρωπίνων και υλικών αξιών με την υιοθέτηση συγκεκριμένων μέτρων (καταστολή). Προκειμένου για τις ανάγκες πυρόσβεσης προτείνεται η χρήση αυτόματου συστήματος πυρόσβεσης με καταιονισμό νερού (SPRINKLER).

##### ❖ Πυρανίχνευση

Η πυρανίχνευση αποτελεί ίσως το σημαντικότερο κομμάτι της πυροπροστασίας. Έχει την ικανότητα, μέσω της διέγερσης ενός κατάλληλου αισθητήρα, να επισημαίνει την εστία της φωτιάς και να θέτει σε λειτουργία τον

μηχανισμό κατάσβεσης. Συγκεκριμένα, οι ανιχνευτές παρακολουθούν συνεχώς ή σε τακτά χρονικά διαστήματα την τυχόν εμφάνιση φυσικών ή και χημικών φαινομένων, επακόλουθα της φωτιάς, σε μια ορισμένη περιοχή της εγκατάστασης και μεταδίδουν τα αντίστοιχα σήματα συναγερμού ή ελέγχου.

#### ❖ Αερισμός

Ο αερισμός αποτελεί έναν παράγοντα με μεγάλη σημασία για μια υπόγεια μονάδα επεξεργασίας λυμάτων . Έχει πρωταρχική σημασία για την υγιεινή και την ασφάλεια των εργαζομένων. Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο του αέρα σε όλους τους χώρους εργασίας, δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 19,5% σε όγκο.

Με το σύστημα αερισμού επιδιώκεται, από τη μια πλευρά ποιοτικός έλεγχος, που αφορά στη διατήρηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας, της θερμοκρασίας και της υγρασίας του υπογείου έργου μέσα σε επιτρεπόμενα όρια ώστε να μην εκτίθενται σε κίνδυνο το προσωπικό και το έργο, και από την άλλη πλευρά ποσοτικός έλεγχος που εξασφαλίζεται με τον καθορισμό και την παρακολούθηση της ποιότητας της ροής και της διευσύνησεως της κίνησης του αέρα που κυκλοφορεί. Οι δύο αυτοί έλεγχοι αλληλοσυμπληρώνονται, αποτελούν όμως ξεχωριστές διαδικασίες.

#### ❖ Φωτισμός

Τα φωτιστικά σώματα, οι ρευματοδότες και οι διακόπτες θα είναι στεγανού τύπου προστασίας IP 55, σύμφωνα με το DIN 40050 ή VDE 0710, με λαμπτήρες υψηλής φωτεινής απόδοσης. Η τοποθέτηση των φωτιστικών σωμάτων πρέπει να είναι σε τέτοιο ύψος, έτσι ώστε να μειώνεται η γωνία πρόσπτωσης. Η φωτεινή πηγή πρέπει επίσης να βρίσκεται πάνω από το επίπεδο των ματιών για να αποφεύγεται η θάμβωση. Η απόσταση μεταξύ των λαμπτήρων είναι κατά κανόνα 2 – 3 m.

Στα υπόγεια έργα είναι υποχρεωτικό να υπάρχει εφεδρικός φωτισμός ασφαλείας, ο οποίος θα εξυπηρετείται από ιδιαίτερα κυκλώματα και αυτόνομη ενέργεια ή άλλη ανεξάρτητη πηγή. Πρέπει επίσης να είναι ασφαλούς λειτουργίας και άμεσης ανταπόκρισης ενός (1) δευτερολέπτου για γρήγορη και ασφαλή εκκένωση, σε περίπτωση διακοπής της κανονικής ηλεκτροδότησης του υπογείου χώρου στάθμευσης. Ο εφεδρικός φωτισμός περιλαμβάνει τα κλιμακοστάσια, τα μηχανοστάσια αερισμού, τα γραφεία ελέγχου και τα αντλιοστάσια αποχέτευσης και πυρόσβεσης.

Θα υπάρχει επίσης και φωτισμός ασφαλείας που θα τοποθετηθεί στα καίρια σημεία των χώρων του σταθμού και στις διαδρομές διαφυγής, και θα αποτελείται από φωτιστικά σώματα, τα οποία θα φέρουν την ένδειξη «ΕΞΟΔΟΣ ΠΕΖΩΝ».

#### **4.4 Αποκατάσταση επιφανειακού χώρου πάνω από το ΚΕΛΜ**

Στην περίπτωση του ΚΕΛ δεν έχουμε να κάνουμε με ένα διαταραγμένο φυσικό ανάγλυφο όπου ο στόχος μας θα ήταν η αποκατάσταση του και η εξυγίανση του, αλλά με μια ήδη διαμορφωμένη έκταση, η οποία προτείνεται να καθαριστεί. Επομένως δεν υπάρχει σχεδιασμός νέου αναγλύφου αλλά δημιουργία ενός νέου τοπίου, καθώς δεν υπήρξε επέμβαση σε μια φυσική έκταση την οποία εν συνεχεία θα έπρεπε να την αποκαταστήσουμε και την επαναφέρουμε όπως ήταν πριν την επέμβαση. Η πρόταση περί υπογειοποίησης και αποκατάστασης ουσιαστικά προτείνει την δημιουργία νέας γης.

Όσον αφορά για το ΚΕΛ Μεταμόρφωσης προτείνεται να αναμορφωθεί σε έναν κοινωφελή χώρο αναψυχής, αθλητικής δραστηριότητας και περιπάτου, ενώ ταυτόχρονα με την εκτεταμένη δενδροφύτευση που θα λάβει χώρα, θα αναβαθμιστεί η ποιότητα του περιβάλλοντος και με την σειρά της η ποιότητα ζωής των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής. Κατά τη διαμόρφωση και τον σχεδιασμό του χώρου θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την γενικότερη ασφάλεια χρήσης και συντήρησης του χώρου, την εύκολη πρόσβαση σε όλους του χώρους και την ασφάλεια και λειτουργικότητα των εγκαταστάσεων.

Πιο συγκεκριμένα, το πλάνο αποκατάστασης του ΚΕΛΜ, περιλαμβάνει :

- χώρους αθλητισμού, όπως δυο γήπεδα μπάσκετ, τρία γήπεδα τέννις, και ένα γήπεδο ποδοσφαίρου
- παιδική χαρά
- ανοιχτό μικρό θέατρο
- χώρο αναψυκτηρίου – καφέ
- σιντριβάνι
- παγκάκια, χώρους ξεκούρασης
- δενδροφύτευση
- ποδηλατοδρόμιο
- πλακόστρωτους διαδρόμους

- κτίριο εταιρίας
- κτίριο εισόδου οχημάτων του ΚΕΛΜ για απόθεση των λυμάτων
- φωτοβολταϊκά

Η δημιουργία ενός τέτοιου χώρου στην επιφάνεια θα έχει κατά κύριο λόγο θετικά αποτελέσματα, δίνοντας μια νέα πνοή ζωής στην περιοχή. Νέοι χώροι άθλησης και αναψυχής προσφέρονται βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των ανθρώπων, σε μια εποχή που η ανάγκη για χώρους πρασίνου δεσπόζει.

#### **4.4.1 Φωτοβολταϊκά**

Τα φωτοβολταϊκά (ή Φ/Β)(Εικόνα 4.7) συστήματα αποτελούν μια από τις εφαρμογές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με τεράστιο ενδιαφέρον για την Ελλάδα. Εκμεταλλεζόμενο το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια.



**Εικόνα 4.7:** Φωτοβολταϊκά

#### **❖ Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα ( Εικόνα 4.8) έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΡΟΤΑΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ  
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

---

- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου,
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας.
- Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογίσει κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό.



**Εικόνα 4.8:** Φωτοβολταϊκά συστήματα



#### **4.4.2 Πρόταση τοποθέτησης φωτοβολταϊκών επάνω στο ΚΕΛΜ**

❖ **Λόγος χρήσης φωτοβολταϊκών επάνω στο ΚΕΛΜ**

Η υπογειοποίηση ενός Κέντρου Επεξεργασίας λυμάτων αποτελεί μία μείζονα περιβαλλοντική παρέμβαση. Μειώνονται οι οχλήσεις που προκύπτουν από μία επιφανειακή μονάδα και διαμορφώνεται ένας εκτεταμένος ελεύθερος χώρος πάνω από την εγκατάσταση. Άρα, αυτή η «πράσινη» παρέμβαση είναι απόλυτα συμβατή και με μία «πράσινη» ενεργειακή προσθήκη, στο πάρκο.

Επίσης το πάρκο έχει απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία του. (Φωτισμός χώρου, φωτισμός γηπέδων, λειτουργία αναψυκτηρίου). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες αυτές.

Υπάρχουν δύο επιλογές: 1) Πλήρης κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του πάρκου (λύση με υψηλό κόστος, λόγω της μεγάλης ισχύος που απαιτείται για το φωτισμό των γηπέδων) 2) Κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών φωτισμού και αναψυκτηρίου (λύση με εύλογο κόστος)

❖ **Περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων**

Η χρήση ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες κατά βάση προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Στην Ελλάδα, κατά μέσο όρο, οι θερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκπέμπουν 0,99 kg CO<sub>2</sub> ανά kWh παραγόμενης ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν διάρκεια ζωής τουλάχιστον 25 έτη. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους δεν παρουσιάζουν καμία αρνητική περιβαλλοντική επίπτωση. Υπολογίζεται ότι η ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή τους, αποσβέννεται το πολύ σε 5 χρόνια λειτουργίας τους. Δηλαδή, εάν οι θερμικοί σταθμοί εκπέμπουν 0,99 kg CO<sub>2</sub> / kWh, το αντίστοιχο μέγεθος για τα φωτοβολταϊκά συστήματα (ανάγοντας την απαραίτητη ενέργεια για την κατασκευή τους) είναι μόλις 0,03 kg CO<sub>2</sub> / kWh.

- ❖ Κοινωνικά οφέλη από τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων στο πάρκο

Η διάδοση της χρήσης των ΑΠΕ, δεν μπορεί να είναι αποτελεσματική εάν οι πολίτες δεν εξοικειωθούν με τις συγκεκριμένες τεχνολογίες και εάν δεν αλλάξουν τα καταναλωτικά πρότυπα, προς μία κατεύθυνση εξοικονόμησης ενέργειας. Έτσι, εάν σε ένα πάρκο, όπου υπάρχουν αθλητικές εγκαταστάσεις και θα γίνονται επισκέψεις σχολείων κ.ο.κ. εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά συστήματα, οι μαθητές θα μπορούν να έρθουν σε επαφή με τις «πράσινες» ενεργειακές τεχνολογίες. Μέσα από μία διαδικασία βιωματικής περιβαλλοντικής εκπαίδευσης, το πάρκο θα δίνει τη δυνατότητα στα παιδιά να γνωρίσουν τα περιβαλλοντικά οφέλη και της υπογειοποίησης οχλουσών εγκαταστάσεων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

### **Εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality) & Κατασκευή των τρισδιάστατων (3d) σκηνών**

## **5.1 Εισαγωγή**

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι και πολλές εφαρμογές για την απεικόνιση των κατασκευών που πραγματοποιούνται από τους μηχανικούς.

Τα προηγούμενα χρόνια ,αλλά και σήμερα πολλές φορές, για την απεικόνιση των κατασκευών γινόταν ευρεία χρήση της γνωστής “μακέτας”. Η μακέτα στηρίζεται στην κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων με την χρήση χαρτονιών, κόλλας, χρωμάτων και διάφορα άλλα υλικά.

Η μακέτα δεν είναι αποτελεί αντικατάστατο του γραμμικού σχεδίου, το οποίο υπερτερεί λόγω της ακρίβειας και των απαραίτητων πληροφοριών που παρέχει για το έργο- κατασκευή. Μια μακέτα, ωστόσο, έχει την δυνατότητα να δίνει στον κάθε ενδιαφερόμενο μια ιδέα για την τελική εικόνα και μορφή της κατασκευής.

Οι εφαρμογές της τρισδιάστατης απεικόνισης διαδέχονται την λειτουργία αυτή της μακέτας.

### **5.1.1 Σημασία εφαρμογών τρισδιάστατης απεικόνισης για τον μηχανικό**

Οι εφαρμογές της τρισδιάστατης απεικόνισης είναι προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών που έχουν κατασκευαστεί με υψηλές προδιαγραφές και αποτελούν σχεδόν καθαρά “επαγγελματικά εργαλεία”. Στόχος των προγραμμάτων αυτών είναι να αποδώσουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο μια κατασκευή σε τρισδιάστατο μοντέλο.

Για τον σύγχρονο μηχανικό η τρισδιάστατη απεικόνιση έχει μεγάλη αξία. Ένας από τους βασικότερους παράγοντες που προσδίδουν στον μηχανικό μια ξεχωριστή θέση στον επαγγελματικό χώρο, είναι η δυνατότητα του να συνδυάζει την γνώση και την πρακτική με τον οικονομικό παράγοντα.



**Εικόνα 5.1 :** Τρισδιάστατη απεικόνιση εξωτερικής όψης κτιρίου

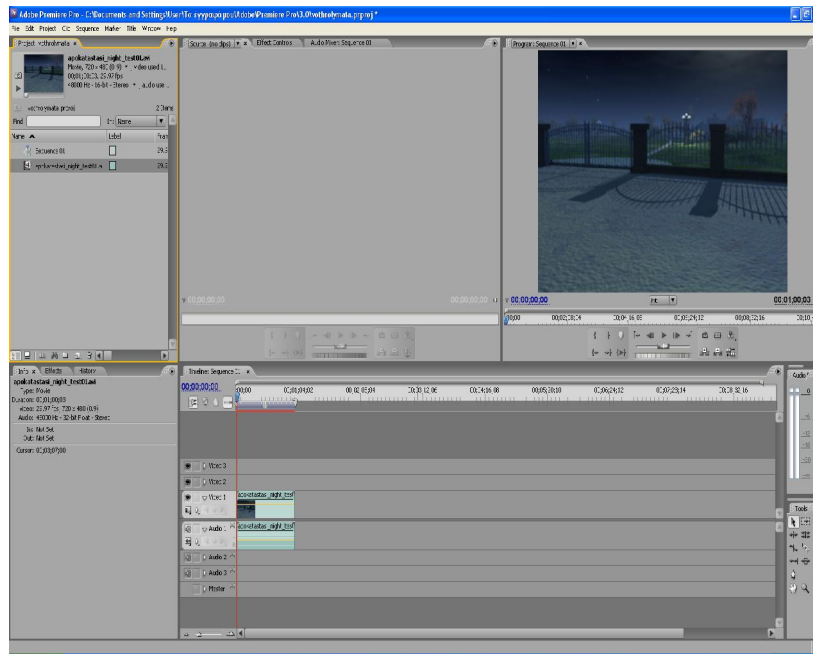


**Εικόνα 5.2 :** Τρισδιάστατη απεικόνιση εσωτερικής όψης κτιρίου

Στην παρούσα εργασία για να γίνει πιο κατανοητή η πρόταση υπογειοποίησης του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων και η μετέπειτα αποκατάσταση του έγινε χρήση προγραμμάτων εικονικής πραγματικότητας για να πραγματοποιηθεί η οπτικοποίηση της. Στην συγκεκριμένη εργασία κάποια προγράμματα κρίθηκαν καταλληλότερα για την κατασκευή των μοντέλων και κάποια άλλα για τη δημιουργία του περιβάλλοντος. Σε όλα όμως, τα προγράμματα ανεξαρτήτως υπάρχει η δυνατότητα να προσαρμοστεί κίνηση-Animation. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των 3D μοντέλων και των εικονικού περιβάλλοντος είναι τα :

- 3D Studio Max 8
- Vue 6 xStream 32bit
- Poser 7
- Real Flow

Αξίζει να σημειωθεί ότι, το κάθε πρόγραμμα μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα αλλά και να συνδυαστούν μεταξύ τους μέσω μεταφοράς στοιχείων από το ένα πρόγραμμα στο άλλο. Για παράδειγμα πρώτα θα κατασκευαστεί ένα μοντέλο στο 3D Studio Max και μέσω μιας διαδικασίας που θα αναλυθεί στη συνέχεια, να ενσωματωθεί αυτό στο Vue 6 xStream στο οποίο έχει ήδη δημιουργηθεί το εικονικό περιβάλλον. Τέλος να αναφέρουμε ότι χρησιμοποιήσαμε και το πρόγραμμα Photoshop προς διευκόλυνση της δημιουργίας υφών των 3d μοντέλων και το Adobe Premier ( Εικόνα 5.3 )για να μπορέσουμε να φτιάξουμε το τελικό βίντεο με την συνένωση των επιμέρους σκηνών.



Εικόνα 5.3 : Απεικόνιση του περιβάλλοντος του Adobe Premier

## 5.2 Βασικές λειτουργίες του 3D Studio Max

Το **3D Studio Max** αποτελεί ένα από τα πληρέστερα προγράμματα τρισδιάστατης απεικόνισης. Έχει την δυνατότητα εισαγωγής αρχιτεκτονικών και μηχανολογικών σχεδίων από την πολύ γνωστή εφαρμογή σχεδιασμού AutoCad.

Το 3ds Max (3D Studio MAX) είναι ένα πρόγραμμα που αναπτύχθηκε από Autodesk Media και Entertainment και που έχει τη δυνατότητα να κατασκευάσει τρισδιάστατα μοντέλα, να τους προσδώσει κίνηση (animation) και τέλος να τα μετατρέψει σε εικόνες ή video.

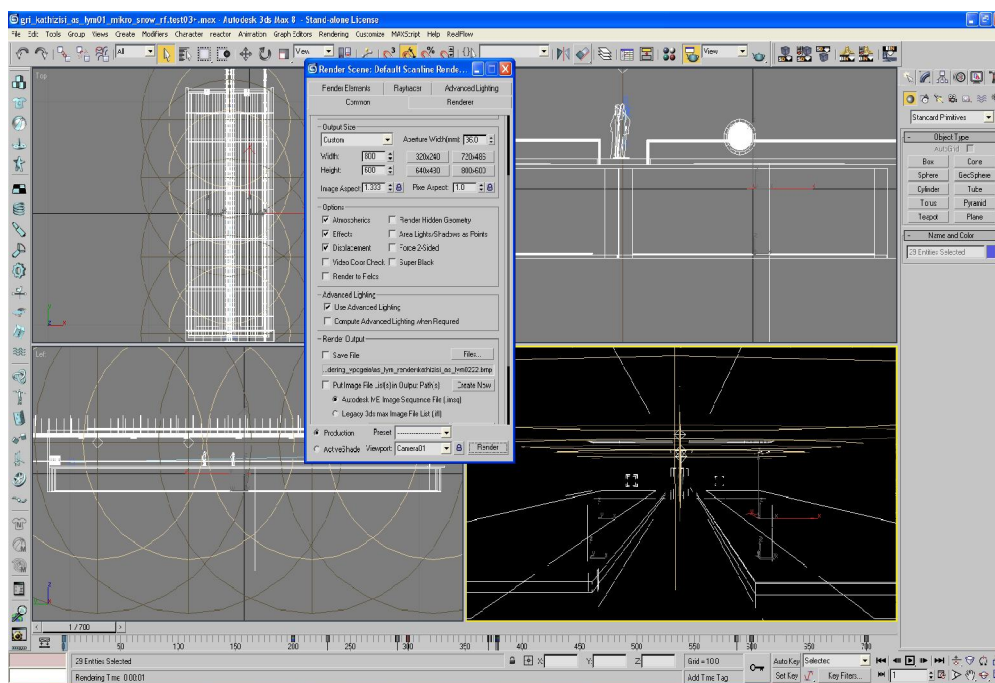
Το πρόγραμμα αυτό έχει επίσης τη δυνατότητα να δημιουργήσει εικονικά περιβάλλοντα, με δικό του φωτισμό και εφέ για τα μοντέλα, όμως για αυτή την εργασία θεωρήθηκε καταλληλότερο να γίνει η χρήση του 3D Studio Max μονάχα για την μοντελοποίηση. Ο φωτισμός στο 3D STUDIO βασίζεται στη γωνία υπό την οποία βρίσκεται η φωτεινή πηγή σε σχέση με το αντικείμενο και όχι στην απόστασή του από αυτό. Όταν το φως μιας φωτεινής πηγής πέφτει κάθετα σε ένα επίπεδο και είναι πολύ μακριά από αυτό, οι ακτίνες φωτός είναι σχεδόν παράλληλες και ο φωτισμός είναι αρκετά ομοιόμορφος. Εάν η ίδια φωτεινή πηγή μεταφερθεί πολύ κοντά στο αντικείμενο, η γωνία πρόσπτωσης των φωτεινών ακτινών θα διαφέρει σημαντικά και θα δημιουργεί μια έντονα φωτισμένη περιοχή (περιοχή μέγιστου φωτισμού, hotspot). Είναι συνήθως επιθυμητό να σκιαζουμε τα αντικείμενα βαθμιαία στις επιφάνειες τους και όχι να δημιουργούμε τέτοιες περιοχές έντονου φωτισμού. Το 3D STUDIO διαθέτει

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ – VIRTUAL REALITY**

τρεις μεθόδους για το φωτισμό ενός μοντέλου. Αυτοί είναι, το πάντα παρόν φως περιβάλλοντος (ambient), η σημειακή φωτεινή πηγή (omni), και οι προβολείς (spotlights) με δυνατότητα παραγωγής σκιών. Κάθε τύπος φωτός έχει τον δικό του υποκλάδο εντολών κάτω από τον κλάδο εντολών lights. Αν και πολλές εντολές είναι παρόμοιες στους διάφορους τύπους φωτός, κάθε μορφή μπορεί να ελεγχθεί μόνο από τον αντίστοιχο κλάδο εντολών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, ο φωτισμός, το περιβάλλον, η κίνηση ακόμα και η μετατροπή σε εικόνα (rendering) έγινε από άλλα προγράμματα. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι το πρόγραμμα δεν είναι το καταλληλότερο αντικειμενικά, κάθε άλλο μάλιστα, καθώς έχει αποδειχθεί ότι είναι το καλύτερο στον τομέα της εικονικής πραγματικότητας. Η χρήση και άλλων προγραμμάτων έγινε για να διευρυνθεί η γνώση στο αντικείμενο και ενδεχομένως να δοθούν λύσεις σε προβλήματα που είχαν αντιμετωπιστεί στο παρελθόν με κυρίαρχο το θέμα του χρόνου σε συνδυασμό με την ποιότητα.

Για να κατασκευαστεί ένα οποιοδήποτε μοντέλο χρειάζονται κατ' αρχήν, βασικά γεωμετρικά σχήματα τα οποία επεξεργάζονται με ειδικά εργαλεία του προγράμματος για να τους δοθεί η ακριβής μορφή τους.



**Εικόνα 5.4:** Αρχική επιφάνεια εργασίας 3d studio max

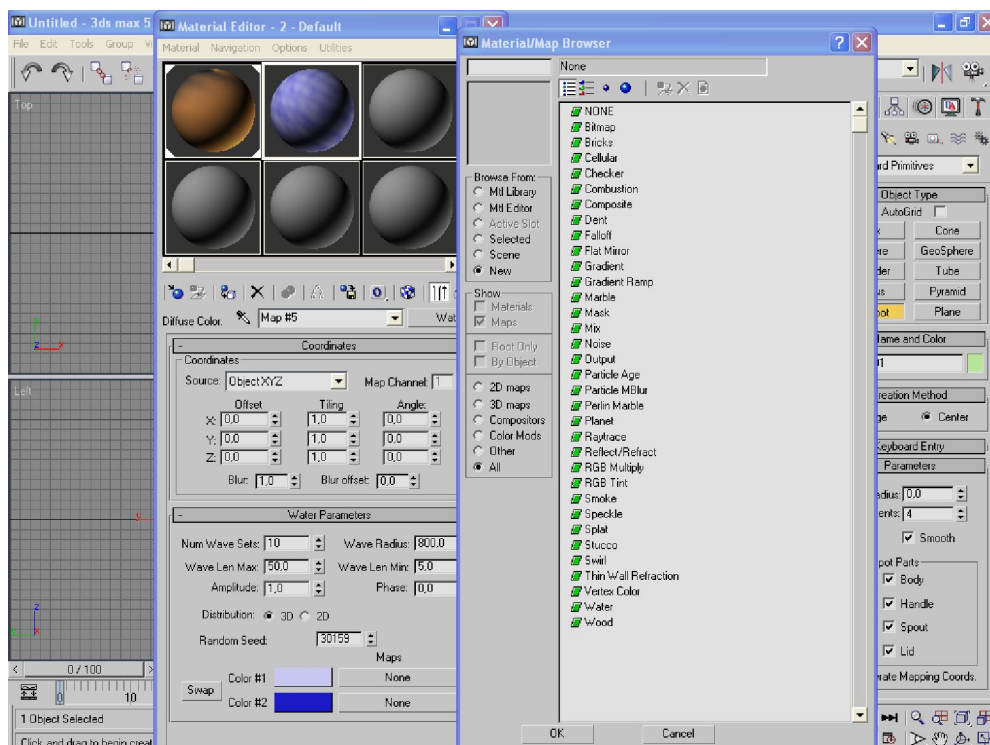


Στην παραπάνω (εικόνα 5.4) φαίνεται η αρχική επιφάνεια εργασίας του προγράμματος. Σε αυτήν διακρίνονται οι τέσσερις όψεις (viewports) που αποτελούνται από την κάτοψη (Top), την πρόσοψη (Front), την πλάγια όψη (Left) και την προοπτική όψη (Perspective) καθώς και πολλά από τα εργαλεία που χρησιμοποιούμε.

Στη ρύθμιση του Create επιλέγουμε από τα Standard Primitives τα σχήματα που θα αποδώσουν το τελικό μας αντικείμενο. Αυτόματα το πρόγραμμα δίνει εικονικά τρεις διαστάσεις σε ότι θέλουμε να δημιουργήσουμε.

Στη συνέχεια δημιουργούμε και προσθέτουμε την κατάλληλη υφή προσπαθώντας να δώσουμε όσο το δυνατό πιο ρεαλιστική εικόνα στην τρισδιάστατη απεικόνιση. Αυτό γίνεται με το Material Editor, ένα εργαλείο για να δώσουμε χρώμα και υφή στην επιφάνεια που έχουμε επιλέξει.

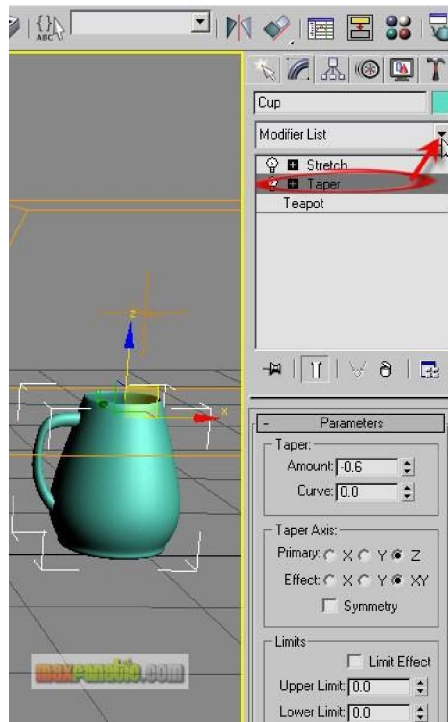
Το Material Editor (Εικόνα 5.5) έχει ήδη μια βιβλιοθήκη εικόνων αλλά παράλληλα επιτρέπει και την επεξεργασία πραγματικών φωτογραφιών.



Εικόνα 5.5: Απεικόνιση του περιβάλλοντος material editor

Για να δώσουμε στα αντικείμενά μας περαιτέρω ιδιότητες, χρησιμοποιούμε από το Command Panel την ρύθμιση Modify (Modifier List) (Εικόνα: 5.6). Έτσι μπορούμε

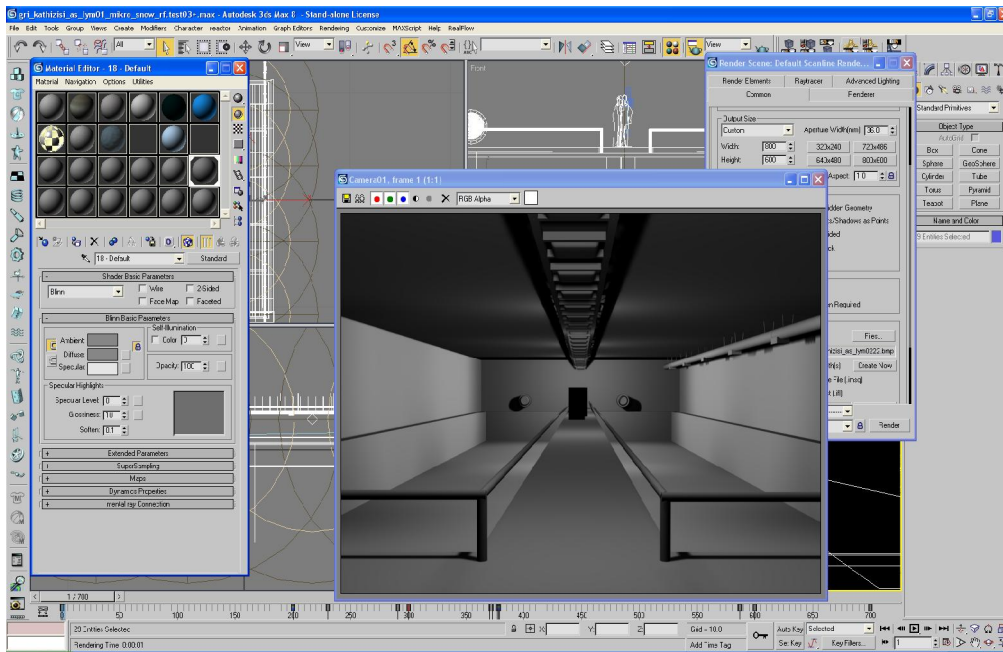
π.χ. να κόψουμε , να λιώσουμε , να αφαιρέσουμε μέρος από τα αντικείμενά μας κ.λ.π.



**Εικόνα 5.6:** Απεικόνιση της λίστας τροποποίησης (Modifier List)

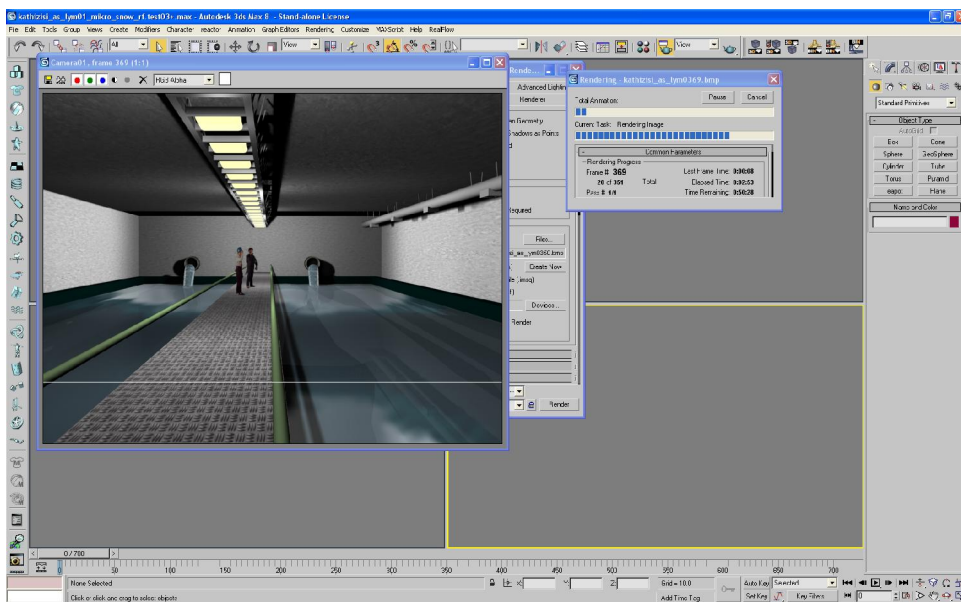
Αρχικά ασχοληθήκαμε με το σχεδιασμό των θαλάμων και των δεξαμενών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σχεδιασμός της δεξαμενής καθίζησης. Αυτή έγινε ενεργοποιώντας την επιλογή Object και μετά box. Τέσσερα boxes χρησιμοποιήθηκαν για τους τέσσερις τοίχους της δεξαμενής ( Εικόνα 5.7). Στη συνέχεια επιλέγουμε το κουμπί Tube και χρησιμοποιώντας διαδοχικά τις εντολές Rotate, Move και Slice δημιουργούμε τη σκεπή της δεξαμενής. Με την εντολή Edit Mesh δημιουργήσαμε δύο τρύπες στο τοίχο για την είσοδο και την έξοδο σωληνώσεων για τη μεταφορά του νερού. Έπειτα, μέσω του Material Editor προσθέτουμε την υφή του τσιμέντου στα τοιχώματα της δεξαμενής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ – VIRTUAL REALITY



Εικόνα 5.7: Άποψη των δεξαμενών καθίζησης σε αρχικό στάδιο χωρίς υφές

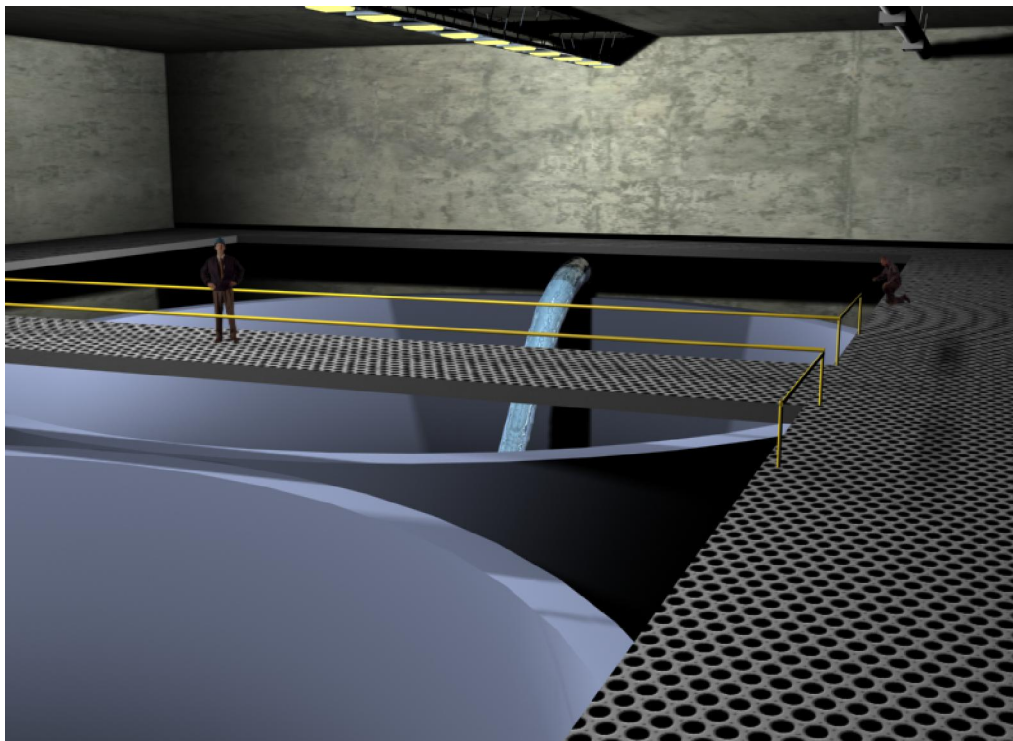
Στη συνέχεια προχωρήσαμε στην επεξεργασία του εσωτερικού της δεξαμενής προσθέτοντας φωτισμό, «γέμισμα» της δεξαμενής με νερό με χρήση του κατάλληλου προγράμματος Real Flow, συνεχή ροή νερού καθώς και χλωρίωση του νερού. Αυτές οι ενέργειες πραγματοποιήθηκαν με τις επιλογές αντικειμένων όπως box, snow και omni light. Με το αντικείμενο snow δημιουργήσαμε την εισαγωγή του χλωρίου. Τοποθετήσαμε επίσης omni lights για το φωτισμό. Με το Material Editor προσδώσαμε υφή και χρώμα στο νερό.



Εικόνα 5.8: Άποψη των δεξαμενών μετά από την εισαγωγή του Real Flow στην επιφανείας εργασίας του προγράμματος



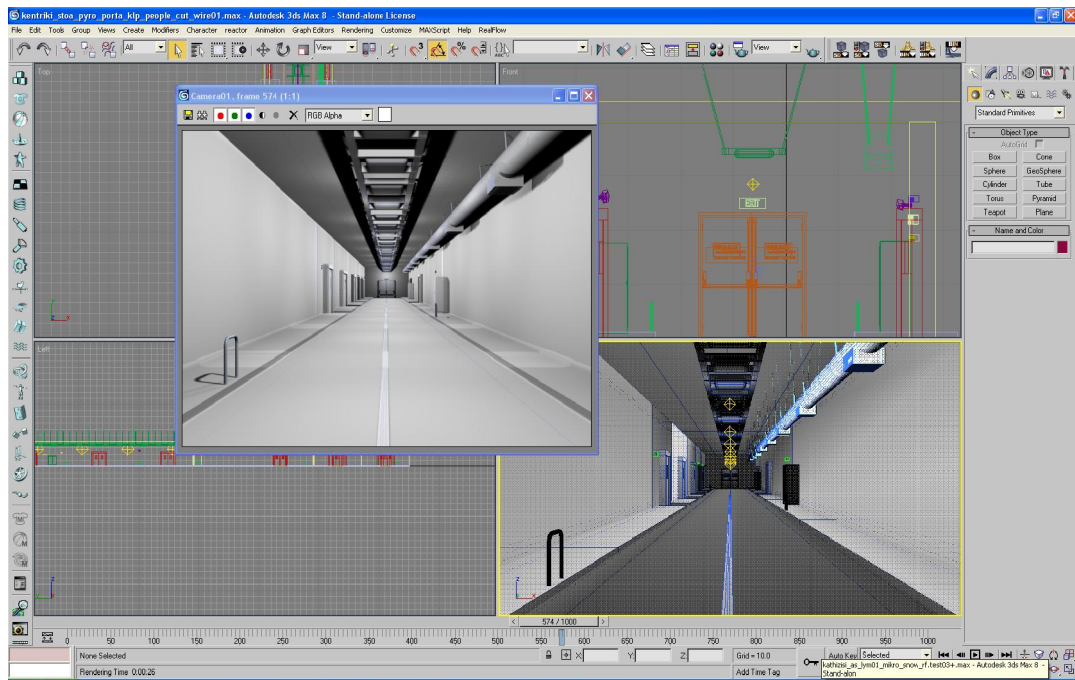
**Εικόνα 5.9:** Άποψη των δεξαμενών καθίζησης αστικών λυμάτων μετά από την εισαγωγή του Real Flow



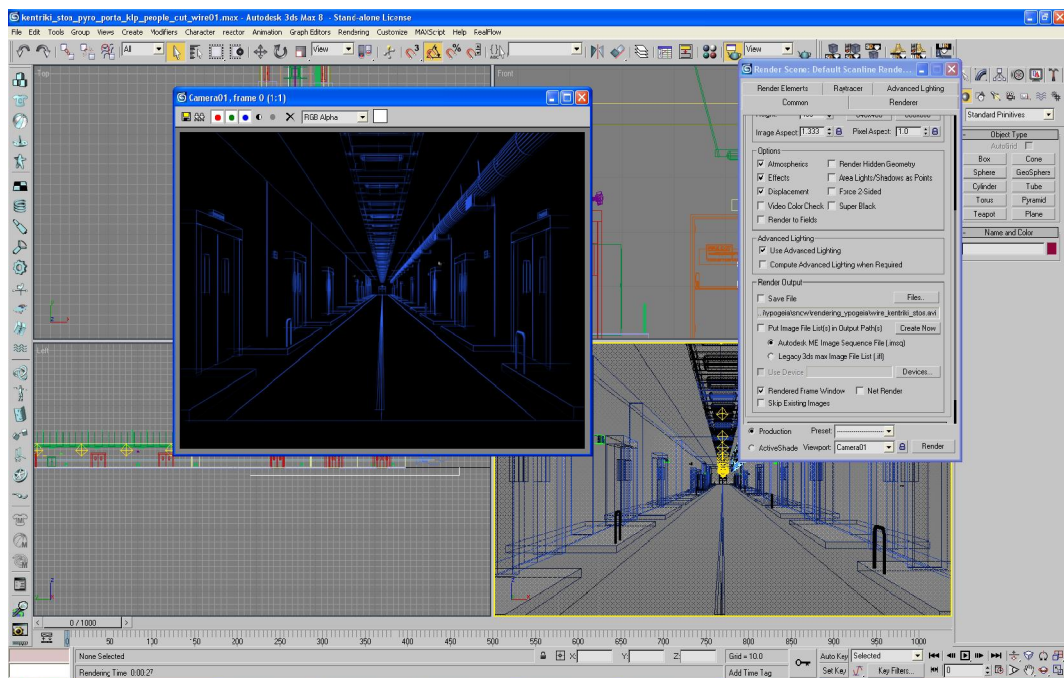
**Εικόνα 5.10:** Άποψη των δεξαμενών καθίζησης βοθρολυμάτων μετά από την εισαγωγή του Real Flow

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ – VIRTUAL REALITY

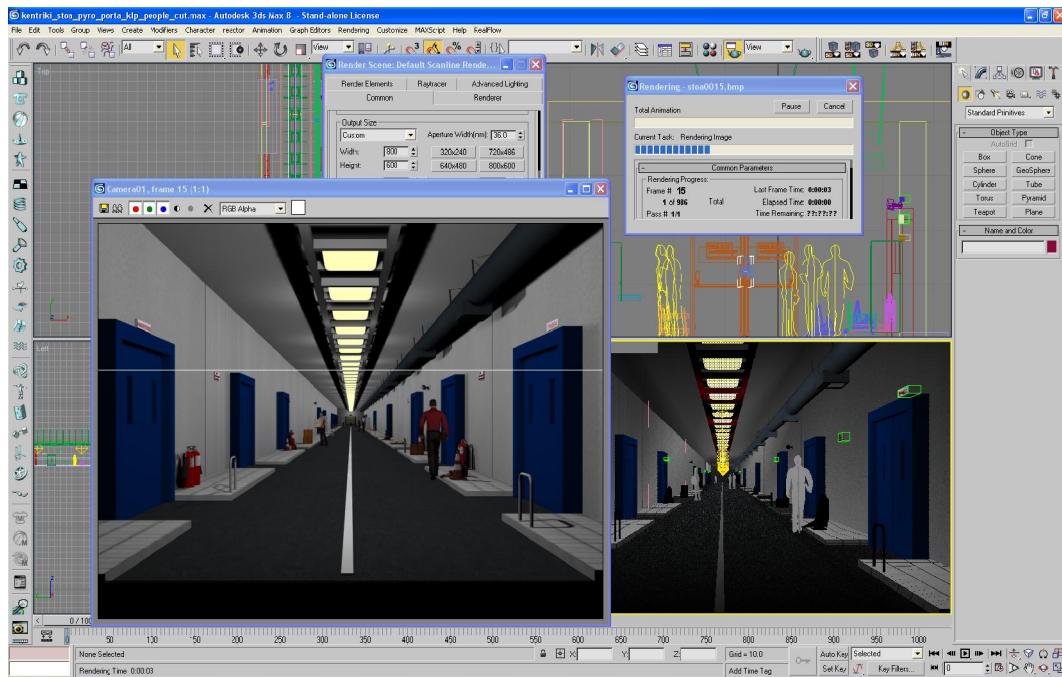
Πέρα από τη διαμόρφωση των δεξαμενών καθίζησης, με την χρήση του 3d studio max, έγινε και η διαμόρφωση της κεντρικής στοάς του υπόγειου χώρου, όπως και ένα μέρος της αποκατάστασης της επιφανειακής έκτασης του ΚΕΛΜ.



**Εικόνα 5.11:** Διαμόρφωση της κεντρικής στοάς όπως φαίνεται από τα viewport του 3dsmax



**Εικόνα 5.12:** Διαμόρφωση της κεντρικής στοάς με χρήση της ιδιότητας wire



**Εικόνα 5.13:** Άποψη της κεντρικής στοάς όπως φαίνεται από την επιφάνεια εργασίας του 3DSmax

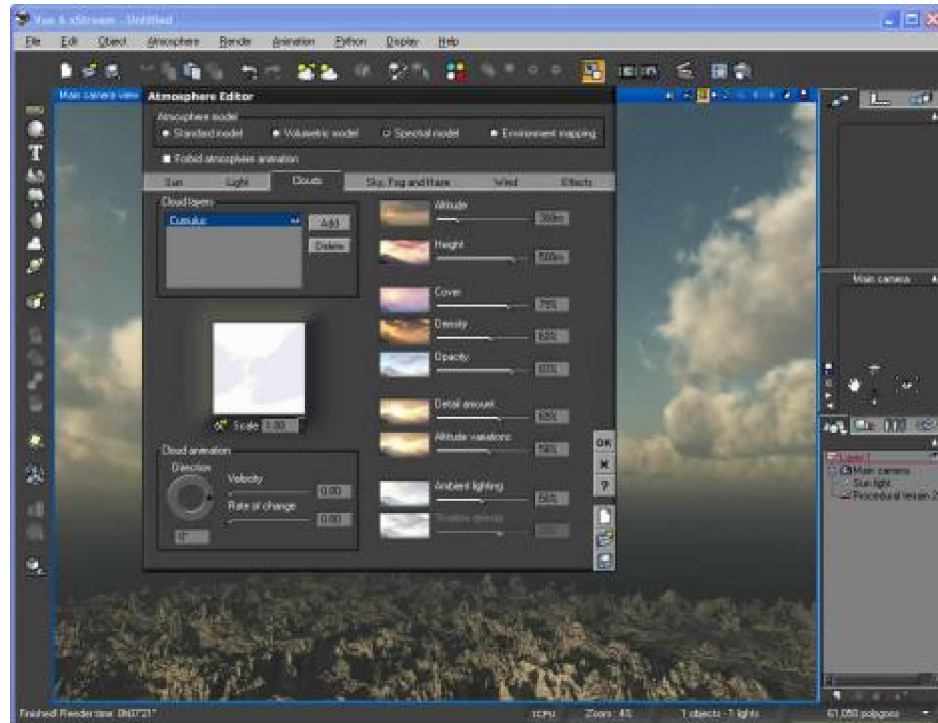
Αφού λοιπόν κατασκευάστηκαν όλα τα μοντέλα που θα συνέθεταν την αποκατάσταση του ΚΕΛΜ, τους δόθηκε μια εντολή εξαγωγής από το πρόγραμμα (File → Export) και μετατράπηκαν σε άλλη μορφή αρχείου. Δηλαδή από το «μητρικό» 3DSmax αρχείο μετατράπηκε σε ένα 3ds ή obj αρχείο για κάθε μοντέλο, καθώς αυτή ήταν η κατάλληλη μορφή για να εισαχθεί στο Vue 6 xStream.

### 5.3 Vue 6 xStream 32bit

Το Vue 6 xStream 32bit είναι η πιο προηγμένη και αποτελεσματική λύση για την δημιουργία πλούσιων και ρεαλιστικών φυσικών περιβάλλοντων. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκε στην εργασία, για τη διαμόρφωση του τελικού χώρου, του φωτισμού, της κίνησης, της διαδικασίας αναπαραγωγής των τελικών εικόνων (rendering).

Το βασικό πλεονέκτημα του προγράμματος σε σχέση με το 3DSmax, έγκειται στα υψηλού ρεαλισμού αποτελέσματα στη δημιουργία του περιβάλλοντος πολύ γρηγορότερα κατασκευαστικά και με μεγαλύτερη ευκολία στο χειρισμό του menu των παραμέτρων. Γι' αυτό λοιπόν και επιλέχθηκε η κατασκευή και διαμόρφωση του τελικού χώρου εξ' ολοκλήρου στο συγκεκριμένο πρόγραμμα.

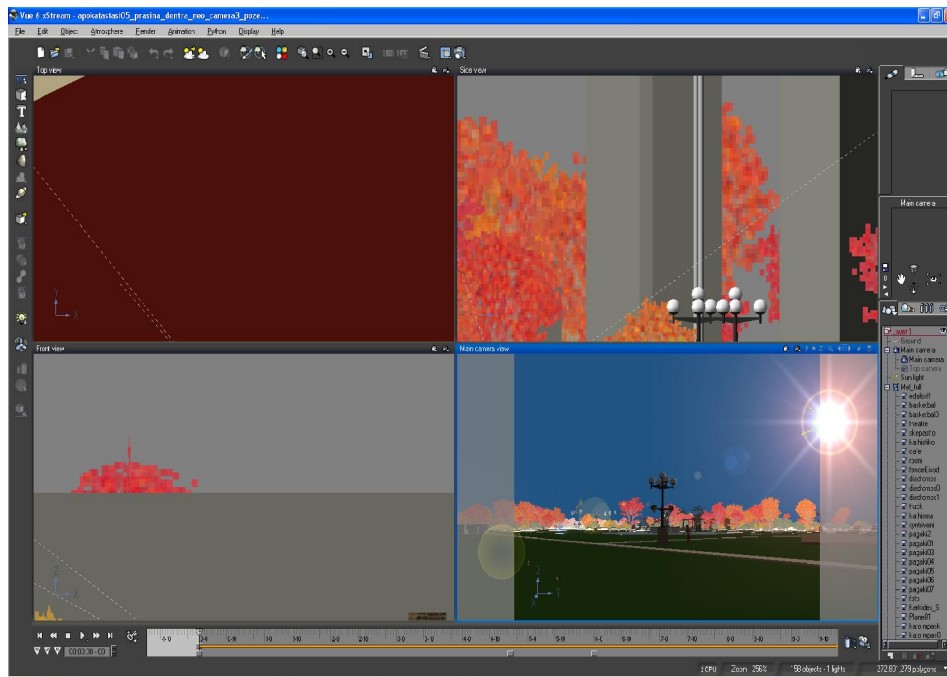
Επίσης και το Vue 6 xStream ( Εικόνα 5.14), όπως και το 3DSmax, μπορεί να κατασκευάσει αντικείμενα αλλά με πάρα πολύ λιγότερες δυνατότητες σε σχέση με το 3DSmax. Δηλαδή, μπορεί μεν να κατασκευάσει κάποια βασικά σχήματα, όμως δεν διαθέτει τα κατάλληλα εργαλεία και εντολές για να τους προσδώσει μια πιο ρεαλιστική διαμόρφωση από θέμα γεωμετρίας. Αυτό είναι ένα από τα βασικά μειονεκτήματα που παρουσιάζει το πρόγραμμα, αν και δεν ανήκει στο βασικό αντικείμενο της λειτουργίας του.



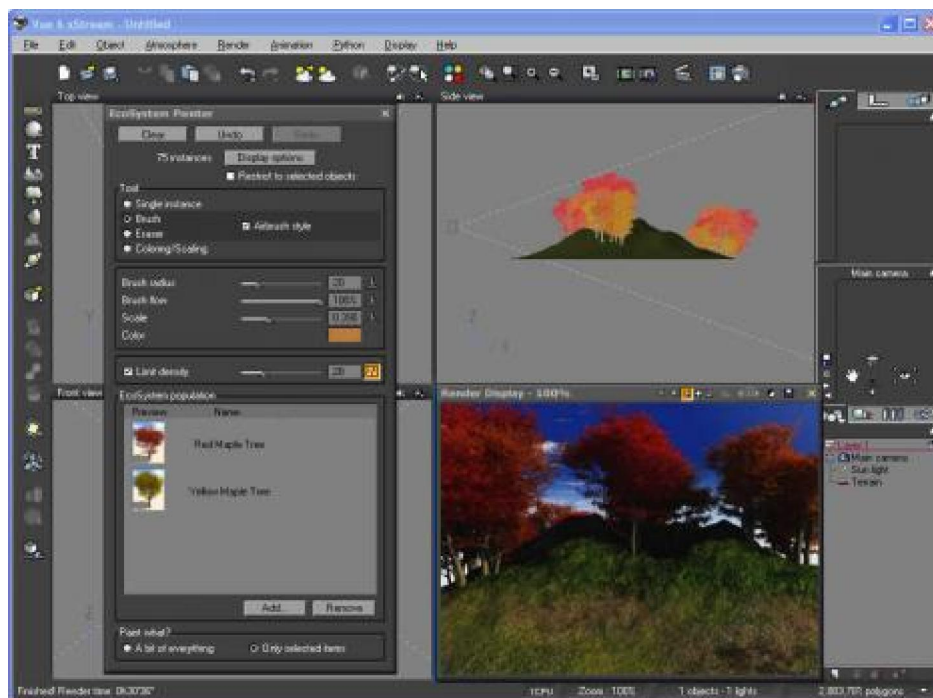
**Εικόνα 5.14 :** Επιφάνεια εργασίας Vue 6 xStream

Όπως στο 3D Studio Max, έτσι και στο Vue 6xStream υπάρχει μια αρχική επιφάνεια εργασίας με τέσσερις όψεις (viewports). Από την πάνω γραμμή εντολών αρχικά θα επιλεγθεί ένα από τα προκατασκευασμένα δείγματα ατμόσφαιρας που παρέχει το πρόγραμμα και ύστερα να κάνει ο χρήστης σε αυτό τις μετατροπές που επιθυμεί. Επειδή το Vue χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή εξωτερικών χώρων και τοπίων, πάντα υπάρχει προεπιλεγμένος φωτισμός από έναν «ήλιο» και το έδαφος με το οποίο αντιδρά το φως. Υπάρχει επιπλέον η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και πρόσθετος φωτισμός αν κριθεί απαραίτητο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ – VIRTUAL REALITY



Εικόνα 5.15: Αρχική επιφάνεια εργασίας με τέσσερις όψεις (viewports)



Εικόνα 5.16: Viewports

Πάνω σε αυτό τον χώρο εισάγονται τα μοντέλα από το 3Dmax και το Poser και τους δίνεται προσανατολισμός και κίνηση. Εφόσον τα αποτελέσματα του περιβάλλοντος ήταν τόσο ρεαλιστικά, δεν έμενε παρά να δοθούν υφές στα αντικείμενα, τα οποία αντιδρούν με αυτό το περιβάλλον και κάνουν τις υφές τους εξ' ίσου ρεαλιστικές μέσα στο χώρο.

Όλα τα παραπάνω πρέπει να συνδυαστούν απόλυτα με σωστό συγχρονισμό στα κατάλληλα frames ούτως ώστε να γίνει ομάδα η κίνηση των αντικειμένων και της



κάμερας. Όλες οι ιδιότητες «κλειδώνονται» πάνω στα frames με τη χρήση κλειδιών, είτε αυτά είναι για τα αντικείμενα, είτε είναι για την κάμερα.

Δηλαδή όταν κατά τη διάρκεια του video προβάλλεται ένα συγκεκριμένο frame τα αντικείμενα και η κάμερα παρουσιάζουν τις ιδιότητες που τους έχουμε δώσει με την τοποθέτηση «κλειδιών» στο frame αυτό. Στο κάτω μέρος της οθόνης βρίσκεται η «μπάρα» του χρόνου. Από εκεί ορίζεται δηλαδή, η διάρκεια του video και οι θέσεις των «κλειδιών» για τις κινήσεις.

Στο τέλος μέσα από το μενού Rendering γίνονται οι τελευταίες ρυθμίσεις πριν από τη δημιουργία των εικόνων. Αυτές έχουν να κάνουν με την ανάλυση και την ποιότητα της εικόνας καθώς και με τη μορφή του τελικού αρχείου. Στην εργασία, επιλέχθηκε να αποθηκεύονται τα αρχεία σε μορφή εικόνων τύπου bmp, για λόγους κυρίως πρακτικούς.

Σε αυτή την εργασία έγιναν όλες οι παραπάνω ενέργειες προκειμένου να διαμορφωθεί όσο πιο ρεαλιστικά γίνεται ο χώρος όπου θα πραγματοποιηθεί η αποκατάσταση του ΚΕΛΜ. Τα κτίρια και οι διάφορες εγκαταστάσεις αφού εισήχθησαν από το 3DSmax έτοιμα σαν αντικείμενα στο Vue 6xStream, ακολούθησε η τοποθέτηση τους στο χώρο και η επιλογή των κατάλληλων υφών.



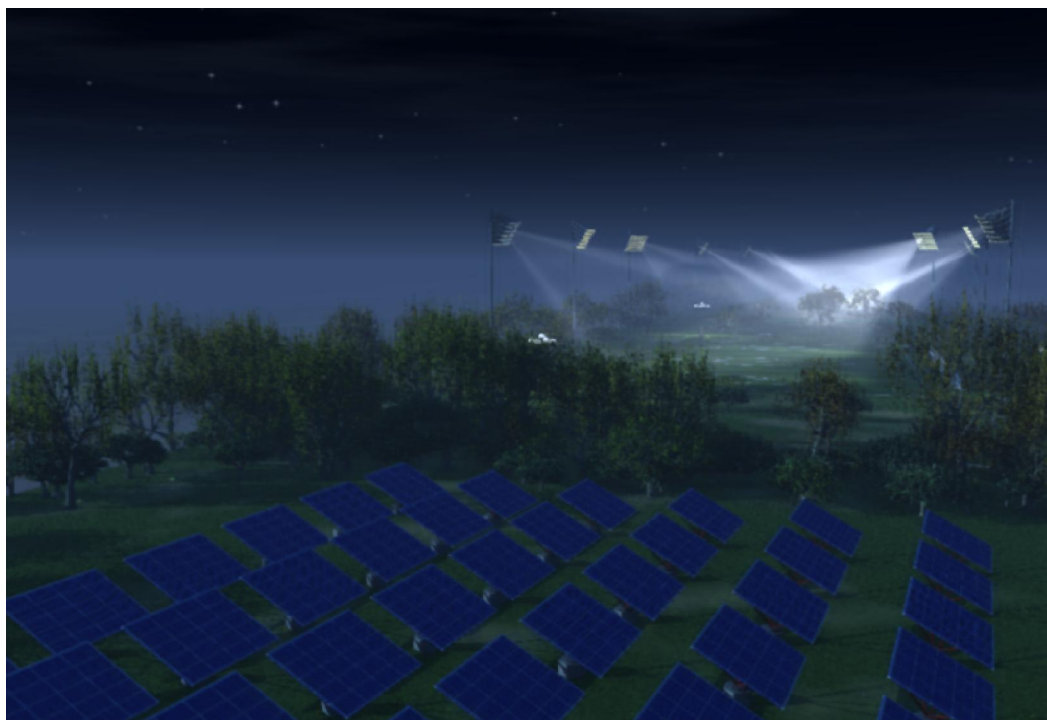
**Εικόνα 5.17:** Μέρος της αποκατάστασης του ΚΕΛΜ με πρωινή ατμόσφαιρα



**Εικόνα 5. 18:** Μέρος της αποκατάστασης του ΚΕΛΜ με διαφορετική οπτική γωνία



**Εικόνα 5.119:** Μέρος της αποκατάστασης του ΚΕΛΜ με βραδινή ατμόσφαιρα

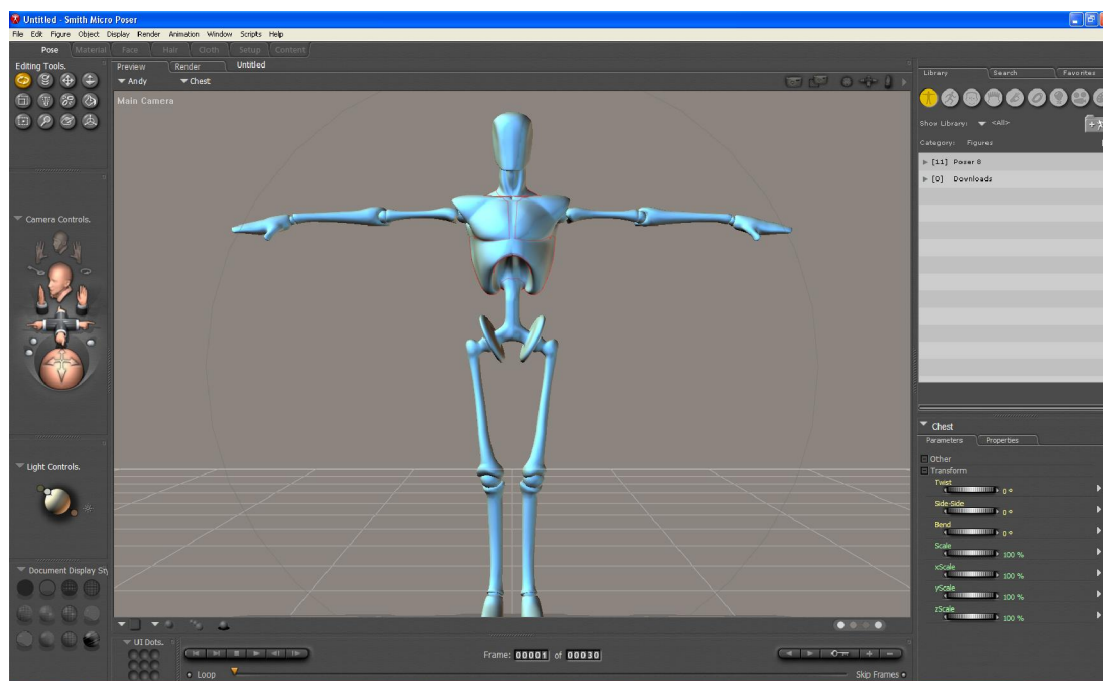


**Εικόνα 5.20:** Φωτοβολταικά

Αφού τελειώσουν και αυτές οι ρυθμίσεις, επιλέγεται η εντολή Render Animation και το πρόγραμμα ξεκινάει την δημιουργία των εικόνων.

## 5.4 Poser 7

Η δημιουργία πιστευτών τρισδιάστατων σκηνών, είναι μια μεγάλη πρόκληση. Παρ' όλα αυτά για να αποτυπωθεί πλήρως η φυσικότητα και η ζωή στο video, είναι αναγκαίο να συμπληρωθεί από ανθρώπους. Η παρουσία ρεαλιστικών μοντέλων ανθρώπων δίνει ζωντάνια και ενδιαφέρον στην εικόνα, καθώς επίσης βοηθάει τον θεατή να καταλάβει καλύτερα τα μεγέθη, τα αντικείμενα ή ακόμη περισσότερο λειτουργίες και συμπεριφορές. Το Poser 7, λοιπόν, είναι το πρόγραμμα που επιλέχθηκε για την κατασκευή των μοντέλων των ανθρώπων.

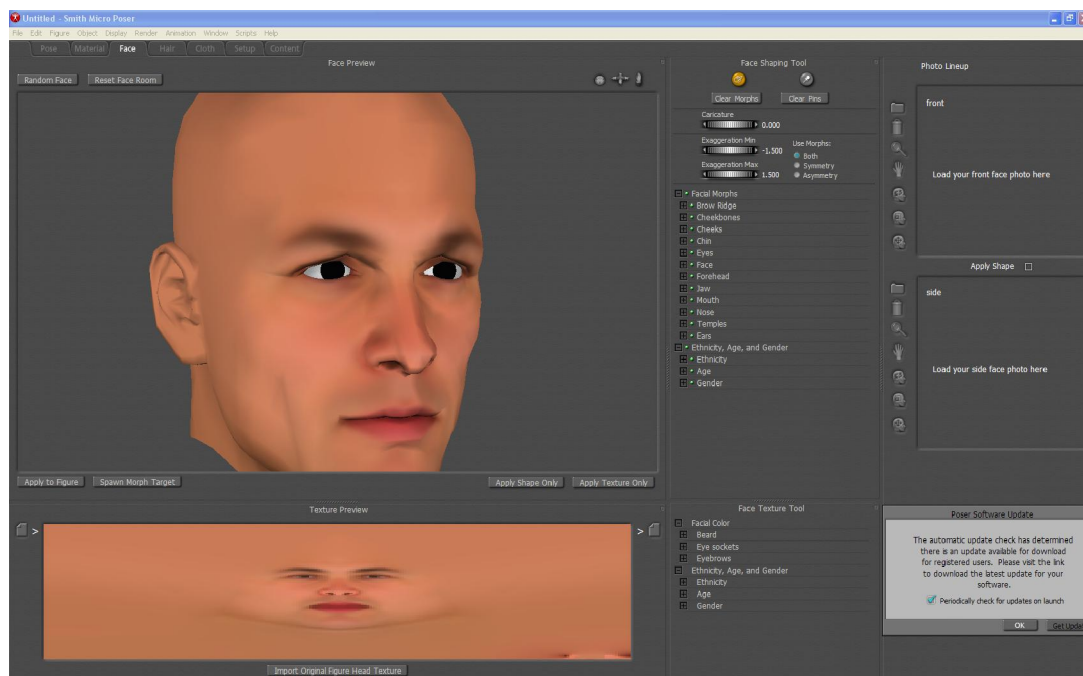


Εικόνα 5.21: Viewport του Poser 7

Αρχικά, γίνεται η εμφάνιση ενός γυμνού σώματος, το οποίο υπάρχει ως προεπιλογή στο πρόγραμμα. Στη συνέχεια, ακολουθεί η επεξεργασία κάθε μέρους του σώματος, έτσι ώστε να παραχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Με την επιλογή ενός μέρους του σώματος εμφανίζεται ένας πίνακας παραμέτρων που επηρεάζει τη μορφή του. Για την εργασία αυτή, χρειάστηκαν μεταβολές μόνο στις επιλογές “Scale” και “Twist”. Η πρώτη επιλογή επηρεάζει το μέγεθος (το κανονικό είναι στο 100%), ενώ η δεύτερη επιλογή επηρεάζει την κλίση του αντίστοιχου μέρους του σώματος.



Εικόνα 5.22: Προεπιλογή γυμνού σώματος



Εικόνα 5.23: Προεπιλογή προσώπου

Το “Twist” χρησιμοποιήθηκε κυρίως για τη μέση, το λαιμό και τους μηρούς του ομοιώματος, ενώ το “Scale” χρησιμοποιήθηκε παντού. Παράλληλα μπορεί να δοθεί και η απαραίτητη κίνηση στο μοντέλο, μετακινώντας το «slider-δείκτη» στη «γραμμή» του χρόνου, στο κάτω μέρος της οθόνης, ούτως ώστε να μετατοπιστούν τα μέλη του σώματος την κατάλληλη στιγμή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να κινηθεί το μοντέλο

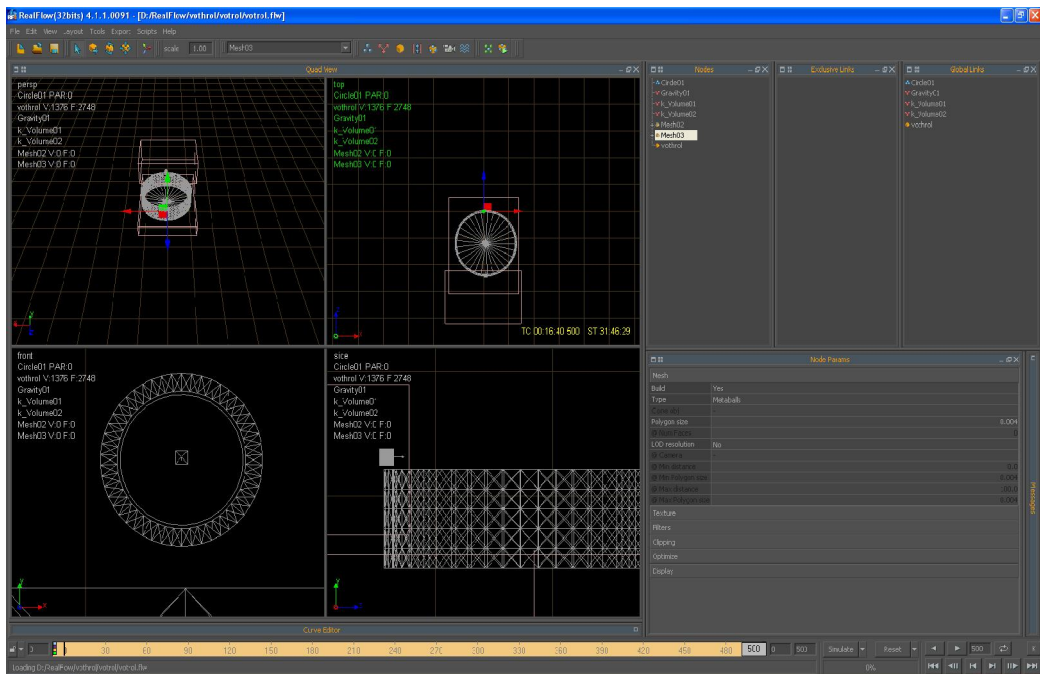
σύμφωνα με τον τρόπο και τη διάρκεια που είναι απαραίτητη για τις ανάγκες του Video.



Εικόνα 5.24: Παράμετροι επεξεργασίας τμημάτων σώματος

## 5.5 Real Flow

Το Realflow είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης ρευστών σωμάτων, το οποίο είναι δυνατόν να τρέξει σε 32 και 64 bits. Αποτελείται από ένα πλήρες σετ μηχανών προσομοίωσης, οι οποίες συνεργάζονται για να δημιουργήσουν πολύπλοκες σκηνές με πολλαπλές δράσεις μεταξύ στοιχείων διαφορετικών φύσεων.



Εικόνα 5.25: Παράθυρο του Realflow

Επίσης έχει και άλλες τεχνολογικές λειτουργίες όπως η δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων από σωματίδια, η δημιουργία ινοειδών αντικειμένων, καθώς και δυνατότητες προγραμματισμού όλων των παραπάνω.

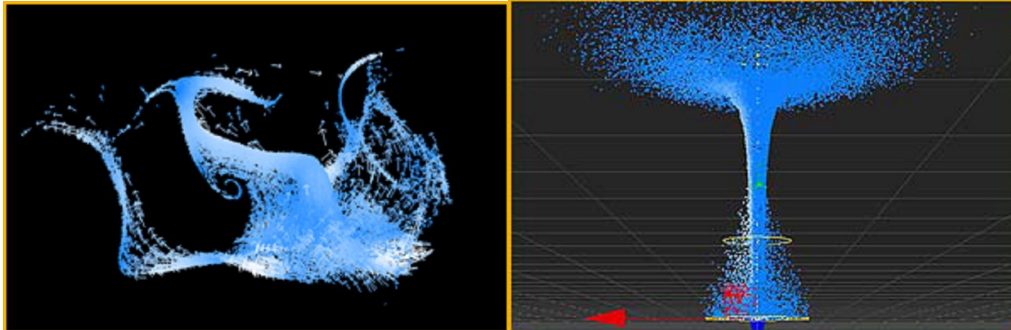
Ο τύπος ρευστών του RealFlow παρουσιάζει ένα πραγματικό, ασυμπίεστο ρευστό χρησιμοποιώντας μία συλλογή από coherent particles τα οποία εξομοιώνουν τις ιδιότητες της δύναμης των ρευστών.

Κάθε σωματίδιο αντιπροσωπεύει ένα στοιχείο υγρής μάζας και είναι επίσης ένα ακανόνιστο δείγμα των πραγματικών φυσικών πεδίων που καθορίζουν τη δυναμική συμπεριφορά των ρευστών, όπως η πίεση, η ταχύτητα, η επιτάχυνση, η πυκνότητα και το ιξώδες. Τα σωματίδια ρευστών του RealFlow διατηρούν από πλευρά προσομοίωσης μια φυσική συμπεριφορά της ασυμπίεστης ρευστής δύναμης και παρέχουν μία ακριβή αντιπροσώπευση των δυναμικών ιδιοτήτων των ρευστών.

Τα αέρια έχουν κάποιες κοινές ιδιότητες με τα ρευστά αλλά δεν συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο. Ένα αέριο θα επεκτείνει τη προσπάθεια να γεμίσει όσο το δυνατόν περισσότερο όγκο γίνεται, μέχρι να χάσει όλη την ενέργεια που προέρχεται από εσωτερική πίεση ή μέχρι να έρθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Όπως στα σωματίδια των ρευστών, έτσι και η συμπεριφορά και οι διαδραστικότητες των σωματιδίων των αερίων ελέγχονται από διάφορες παραμέτρους.

Οι τύποι σωματιδίων Dumb δεν επιδρούν το ένα με το άλλο και έτσι δεν δημιουργούν όγκο. Το RealFlow μπορεί να χειριστεί ένα τεράστιο όγκο dumb σωματιδίων χωρίς πολύ μεγάλη προσπάθεια και έτσι οι υπολογισμοί εκτελούνται γρηγορότερα. Τα dumb σωματίδια δεν επηρεάζονται από άλλα σωματίδια ή συστήματα σωματιδίων αλλά επιδρούν σε άλλα αντικείμενα και μπορούν να επηρεάσουν άλλους τύπους σωματιδίων όπως τα ρευστά και τα αέρια.

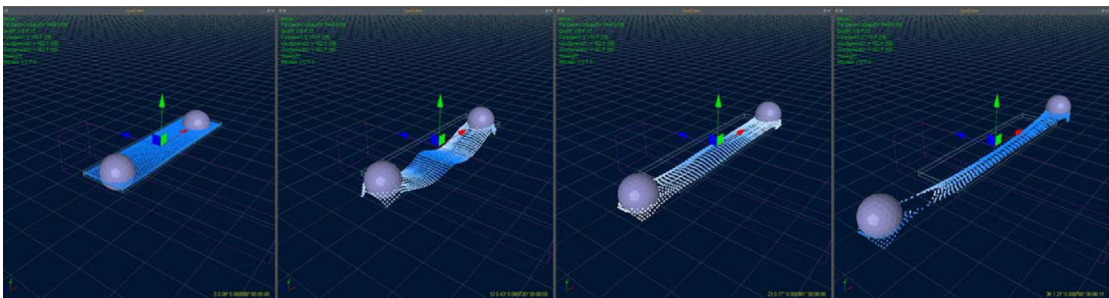


Εικόνα 5.26: Dumb σωματίδια

Η μηχανή σωματιδίων του RealFlow υποστηρίζει προγραμματισμό συμπεριφοράς δίνοντας στο χρήστη την ικανότητα να καθορίσει πως θα συμπεριφερθούν τα σωματίδια.

Το Real Impact είναι το η μηχανή εξομοίωσης στερεών αντικειμένων του RealFlow και επιτρέπει τη προσομοίωση σύγκρουσης και επαφής μεταξύ των αντικειμένων.

Τα RealFlow soft-bodies χρησιμοποιούν ένα σύστημα ελαστικής μάζας στα μεταξύ τους σωματίδια, δημιουργώντας μία ευέλικτη δομή που υποστηρίζει τα σωματίδια. Έτσι, η δομή αυτή προσπαθεί να επανέλθει από οποιαδήποτε πίεση. Τα ελαστικά σωματίδια μπορούν επίσης να ρυθμιστούν έτσι ώστε να σπάνε ή να χάνουν τις ελαστικές τους ιδιότητες.



Εικόνα 5.27: RealFlow soft bodies

Το RealFlow παρέχει ένα φυσικώς ορθό σύστημα το οποίο είναι ικανό να καταγράψει την εξέλιξη των βαρυτικών κυμάτων σε ένα τρισδιάστατο αντικείμενο,



προσομοιώνοντας μία επιφάνεια ρευστών. Υπολογίζει επίσης τις δυνάμεις άνωσης πάνω στο αντικείμενο και την φυσική τους κίνηση.

Για να ελέγξει τις κινήσεις της επιφάνειας, το RealFlow παρέχει ένα σετ παραμέτρων που μπορούν να προσαρμοστούν έτσι ώστε να δημιουργούν κύματα, αφρούς, dock fields, ρεύματα, splashes, μαζί με άλλα είδη παραμέτρων για τον έλεγχο της ανάλυσης και ποιότητας της επιφάνειας.

Η επιφάνεια εργασίας είναι πλήρως ρυθμίσιμη. Μπορεί κανείς να χωρίσει παράθυρα, να αλλάξει το μέγεθός τους, να καθορίσει τα περιεχόμενα, να τα ξεκλειδώσει και να κλείσει παράθυρα κάνοντας διπλό κλικ στη title bar.

Επίσης μπορεί κανείς να ρυθμίσει επιπλέον πράγματα όπως το font text ή τα χρώματα των viewports, ρυθμίζοντας έτσι το πρόγραμμα στις ανάγκες του χρήστη.

Τα αντικείμενα μπορούν να μετατραπούν ή να τους προσδοθεί κίνηση σε περιβάλλον 3D, και έτσι δεν υπάρχει περιορισμός σε μία εισαγμένη σκηνή γιατί μπορεί κανείς να την επεξεργαστεί, να την αλλάξει ή να την συνδυάσει με άλλα στοιχεία.

Η δυνατότητα να εισαχθούν βασικά αντικείμενα όπως μία μπάλα, ένα κουτί, ή οποιοδήποτε αντικείμενο από αρχείο της επιλογής μας. Αυτά τα αντικείμενα μπορούν να γίνουν κινούμενα, να αλλάξει το σχήμα τους κλπ. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάθε φορά ποια είδη στοιχείων θα προσομοιωθούν κάθε φορά

Αφού τα σωματίδια έχουν υπολογιστεί, το RealFlow μπορεί να αυξήσει την πυκνότητα του σύννεφου σωματιδίων με το να ενσωματώνει νέα σωματίδια.

## **5.6 Photoshop**

Το Photoshop χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των εικόνων. Στην παρούσα εργασία, οι εικόνες που χρειαστήκαν επεξεργασία ήταν εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν για να αποδώσουν τις υφές στα αντικείμενα.

Οι υφές των αντικειμένων έχουν την δική τους ξεχωριστή σημασία. Δίνουν χρώματα και μια επιπλέον αίσθηση ρεαλισμού στο αντικείμενο που τη φέρει. Για παράδειγμα, το Photoshop έχει τη δυνατότητα να αλλάξει την απόχρωση μιας δεδομένης εικόνας-υφής. Στην εργασία το Photoshop, χρησιμοποιήθηκε για να αποδοθεί καλύτερα η υφή σε ορισμένα αντικείμενα όπως το δάπεδο του μπάσκετ, το φιλέ στο τέννις, τα φωτοβολταικά κλπ.



## 6. Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε το σχεδιασμό ενός Υπόγειου Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στην Μεταμόρφωση Αττικής, όπως και την αξιοποίηση του εναπομείναντος επιφανειακού χώρου ως χώρο αναψυχής, αθλητικών εγκαταστάσεων κλπ., με παράλληλη οπτικοποίηση αυτών για να γίνει καλύτερα κατανοητό.

Όπως διαφαίνεται από τα παραδείγματα αντίστοιχων χώρων στο εξωτερικό υφίσταται μια τάση προς υπογειοποίηση των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούνται για την λειτουργία ενός Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων. Άλλωστε, όπως έχει ήδη αναλυθεί και στο σύνολο της εργασίας, υπάρχει μια πληθώρα πλεονεκτημάτων που δύναται να παρουσιάσει η αξιοποίηση ενός τέτοιου υπόγειου χώρου.

Η επιλογή της χωροθέτησης του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων στην Μεταμόρφωση Αττικής είχε ως αφορμή το γεγονός ότι στην εν λόγω περιοχή υπάρχει και λειτουργεί το επιφανειακό Κέντρο Επεξεργασίας Λυμάτων. Για την επιβεβαίωση της ορθότητας της επιλογής αυτής, εξετάστηκαν και άλλοι παράγοντες, λόγου χάριν η στρατηγική τοποθέτηση του χώρου, η θετική επίδραση προς το περιβάλλον κλπ.

Από τεχνικής άποψης, η κατασκευή του Υπόγειου Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων είναι εφικτή και δεν αναμένεται να συναντήσει ιδιαίτερες δυσκολίες, καθώς η τεχνική που θα χρησιμοποιηθεί είναι της εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cut & Cover) και το εδαφικό υλικό της περιοχής είναι κατά κύριο λόγο αργιλικό, επομένως δεν θα συναντήσει ιδιαίτερη δυσκολία. Για την κατασκευή ακόμη του υπόγειου χώρου θα χρειαστεί να σταματήσει για κάποιο χρονικό διάστημα η λειτουργία της ήδη υπάρχουσας μονάδας επεξεργασίας λυμάτων, μιας και θα γίνει από την αρχή η κατασκευή των δεξαμενών υπόγεια, όπως και του κέντρου ολόκληρου.

Αφού κατασκευαστεί ο υπόγειος χώρος, προτείνεται μέσα από την εργασία και η αποκατάσταση του επιφανειακού χώρου, προσφέροντας με αυτόν τον τρόπο νέες χρήσεις γης προς μετέπειτα αξιοποίηση τους. Χαρακτηριστικά προτείνεται η ανάπλαση του επιφανειακού χώρου με την δημιουργία χώρου αναψυχής, αναψυκτηρίου, χώρων αθλητικών εγκαταστάσεων κλπ.

. Για την καλύτερη κατανόηση της πρότασης αυτής πραγματοποιείται η τρισδιάστατη απεικόνιση του έργου, πως θα είναι μέρος του υπογείου καθώς και η επιφανειακή αποκατάσταση.

Η ανάπτυξη μιας τρισδιάστατης απεικόνισης της μελλοντικής εγκατάστασης, μας δίνει την δυνατότητα να παρουσιάσουμε τα πλεονεκτήματα αυτά με τον πλέον εύληπτο τρόπο σε ακροατήρια διαφορετικού βαθμού ειδίκευσης αλλά και διαφορετικών επιστημονικών κλάδων, ενώ δίνεται η ευκαιρία στους εμπλεκόμενους φορείς να εξετάσουν με μεγάλη ακρίβεια την τελική μορφή και τις τεχνικές λεπτομέρειες του έργου.

Συγκεκριμένα για την τρισδιάστατη απεικόνιση του χώρου υπόγειου αλλά και επιφανειακού, έγινε χρήση του προγράμματος 3d StudioMax, όπως και του Vue, καθένα από τα οποία βοήθησε στο τελικό αποτέλεσμα. Σε μικρότερο βαθμό έγινε χρήση και των προγραμμάτων RealFlow, Poser και Adobe Premier. Τα προγράμματα αυτά μας δίνουν την δυνατότητα να δούμε σε εικόνα όλα όσα προτείνουμε μέσα από την εργασία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Καλλιανιώτης Τ., Ρηγόπουλος Φ., «Σχεδιασμός εικονικού περιβάλλοντος με θέμα τη μεταλλευτική δραστηριότητα στο αρχαίο Λαύριο», Διπλωματική εργασία που υποβλήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων–Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, Αθήνα 2006
- Κούνας Δ., Παράμετροι σχεδιασμού στη διαμόρφωση του υπόγειου χώρου, Αθήνα 2004
- Σοφός Ν., Εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας στα υπόγεια έργα, Αθήνα 2003
- Κακάρογλου Γ., Σχεδιασμός νέων χρήσεων γης στον λατομικό χώρο “Μερέντα” Μαρκοπούλου, Αθήνα 2007
- Μιχαλοπούλου Α., Ανάλυση κύκλου ζωής υπόγειου συγκροτήματος βιολογικού καθαρισμού : Η περίπτωση του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Μεταμόρφωσης, Αθήνα 2006
- Καλιαμπάκος Δ., Ειδικά υπόγεια έργα: Ένα πεδίο δυναμικής ανάπτυξης της Μεταλλευτικής, Μάιος 2003
- Καλιαμπάκος Δ. (2009), Εισαγωγή στην έννοια της υπόγειας ανάπτυξης. Σημειώσεις για το μάθημα Υπογείων έργων. (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση [http://www.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d29d9\\_gr](http://www.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d29d9_gr))
- Καλιαμπάκος Δ., Σημειώσεις μαθήματος Υπόγεια έργα, 2003

- Αναστάσιος Ι. Στάμου : Βιολογικός καθαρισμός αστικών αποβλήτων, Β' Έκδοση, Αθήνα, 2004, ISBN: 960-7510-16-X
- Καλιαμπάκος Δ., Ειδικά θέματα, περιβαλλοντικής μεταλλευτικής και λατομικής τεχνολογίας
- Αντωνίου & Μιγκίρος, Η μορφοτεκτονική δομή της Αττικής
- Antoniou -Papadimitriou -Tsiambaos , A geographical information system managing geotechnical data for Athens and its use for automated seismic microzonation,
- Ηλίας Παναγιώτης γεωλόγος- γεωτεχνικός, Παντουλας Κων/νος γεωλόγος – περιβαλλοντολόγος , Γεωτεχνική μελέτη θεμελίωσης έργων συμπλήρωσης και επέκτασης λειτουργίας του ΚΕΛ Μεταμόρφωσης, τεχνική έκθεση ,ΕΥΔΑΠ, Μάιος 2009
- Ρόζος Δ., Μέθοδοι βελτίωσης – αντιστήριξης εδάφους – υπεδάφους, 2007, ΕΜΠ

### **Διαδικτυακοί Τόποι**

- Hunt Midwest Enterprises Inc, “Subtropolis: The World’s Largest Underground Business Complex”, 2001, ([www.huntmidwest.com](http://www.huntmidwest.com))
- Ε. Γ. Φούγιας Δρ. Πολιτικός Μηχανικός-Υγιεινολόγος, ΕΥΔΑΠ, Διεύθυνση Μελετών, Υπηρεσία Μελετών Έργων Αποχέτευσης, Και μετά την Ψυτάλεια τι? Το συνεχιζόμενο έλλειμμα σε υποδομές αποχέτευσης στην Αττική

- ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε, Τεχνικά στοιχεία
- Lehto J. and Koponen V. (2002), Central Wastewater Treatment in Helsinki. (Διαθέσιμο στο Διαδίκτυο στη διεύθυνση <http://www.miningandconstruction.com/files/Pages%2053-56.pdf>)
- Α. Μουρατίδης Professor of Highway Engineering, Aristotle University of Thessaloniki , The “Cut-and-Cover” and “Cover-and-Cut ” Techniques in Highway
- Bowles JE (1996) Foundation Analysis and Design, Handbook, McGraw-Hill, Fifth Edition Egnatia Motorway (2002-2003) Design Studies of Underground Structures
- Holz, RP and Kovacs, WD (1981) An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice Hall
- Mouratidis A., S.Lambropoulos, E. Sakoumpenta (2005) The “Cover and Cut” Method in Tunnel and Roadway Construction , Conference “Earthworks in Europe”, Paris
- Norwegian Public Roads Administration (2004), Road Tunnels Manual
- Sirtariotis, N., A. Mouratidis (2005) Design Considerations and Application of the “Cut and Cover” Method in Tunnel Construction , Conference “Earthworks in Europe”, Paris
- Terzaghi, K., RB Peck, and G. Mesri (1996) Soil Mechanics in Engineering Practice
- «Εικονική πραγματικότητα και εκπαίδευση» - Wikipedia, the free encyclopedia
- Επεξεργασία λυμάτων - Wikipedia, the free encyclopedia

- Tunnel - Wikipedia, the free encyclopedia
- WWTP Design - Wastewater Treatment Plant Design - Industrial Wastewater Treatment Plant Design Engineering Construction Installation
- The HENRIKSDAL Wastewater Treatment Plant
- Overview on survey of water installations underground: underground water-conveyance and storage facilities A. Nordmark
- Stanley sewage treatment plant
- Rock & soil reinforcement
- [www.sjostadsverket.se/english/english/aboutsj...](http://www.sjostadsverket.se/english/english/aboutsj...)
- Sustainable underground concept ,Norwegian tunneling society
- The singapore engineer, the magazine of the institution of engineers
- Sewerage system office- neihu sewage treatment plant
- Sewerage system office- dihua sewage treatment plant



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---