

Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Διπλωματική Εργασία

***«Συναρτήσεις Κόστους και Υπολογισμός Όγκου
Διασταλλαγμάτων, Διαρροών και εκπομπών από ΧΥΤΑ»***

Γρηγορόπουλος Νικόλαος

A.M 9750026

Εξεταστική Επιτροπή

- ***Οικονομόπουλος Α. (επιβλέπων)***
- ***Γκέκας Β.***
- ***Γιδαράκος Ε.***

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΗΣ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΧΥΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	7
ΕΘΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ.....	9
ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	12
1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΥΤΑ.....	15
1.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	15
1.1.1 Παραγόμενες Ποσότητες.....	15
1.1.2 Εκτιμήσεις και Προβλέψεις Ποσοτήτων.....	16
1.2 ΕΙΔΗ ΧΥΤΑ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ	18
1.2.1 Εκτατική εκμετάλλευση.....	19
1.2.2 Καθ' ύψος Εκμετάλλευση.....	20
1.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	21
1.3.1 Γεωμετρία Ημερήσιου Κυττάρου.....	23
1.4 ΣΤΑΔΙΑΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	24
1.5 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ	28
1.6 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	30
1.6.1 Εκσκαφές κατά την λειτουργία	32
1.7 ΜΟΝΩΣΗ ΧΩΡΟΥ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ	32
1.7.1 Γενικά.....	32
1.7.2 Μόνωση με ορυκτά υλικά.....	33
1.7.3 Μόνωση με συνθετική Γεωμεμβράνη.....	35
1.7.3 Κατασκευή Μόνωσης Γεωμεμβράνης.....	36
1.7.4 Κόστος Μόνωσης ΧΥΤΑ	38
1.8 ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	39
1.8.1 Σχεδίαση Αποστραγγιστικής ζώνης.....	40
1.8.2 Κοστολόγηση Συστήματος Συλλογής και απομάκρυνσης στραγγισμάτων.....	44
1.9 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ	45
1.9.1 Γενικά.....	45
1.9.1 Επανακυκλοφορία	46
1.9.2 Διαστασιολόγηση συστήματος επανακυκλοφορίας.....	47
1.10 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	48
1.10.1 Συστήματα Αντλησης Βιοαερίου	48
1.10.2 Σύστημα μεταφορά και τελική Διάθεσης του βιοαερίου.....	49
1.10.3 Κόστος συστήματος Συλλογής και Επεξεργασίας Βιοαερίου	50
1.11 ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ	50
1.12 ΟΧΗΜΑΤΑ	52
1.12.1 Λαστιχοφόρος Φορτωτής.....	53
1.12.2 Ερπυστριοφόρος Φορτωτής.....	53
1.12.3 Προωθητήρες	53
1.12.4 Συμπιεστής	53
1.12.5 Φορτηγά και Υδροφόρες	54
1.12.6 Κόστος Οχημάτων.....	54
1.13 ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΧΥΤΑ.....	55
1.13.1 Περίφραξη.....	55
1.13.2 Ζυγιστήριο	55
1.13.3 Δρόμος πρόσβασης.....	56

1.13.4 Αντιπυρική προστασία.....	56
1.13.5 Περιμετρική Δενδροφύτευση	56
1.13.6 Κτιριακές εγκαταστάσεις	56
1.13.7 Αποθήκη Υγρών Κανσίων	57
1.14 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΕΙΟΥ ΧΥΤΑ	57
1.14.1 Εξοπλισμός για την τήρηση βάσεων πληροφοριών	61
1.15 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΤΑΦΡΟΝΤΙΔΟΣ.....	62
1.15.1 Τελική Κάλυψη του Απορριμματικού Ανάγλυφου	62
2. ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΟΣΤΟΥΣ	65
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	65
2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΥΤΑ	66
2.2.1 Πρόγραμμα εκμετάλλευσης του ΧΥΤΑ.....	66
2.2.2 Εκσκαφές	69
2.2.3 Ορισμός διαφόρων χαρακτηριστικών	70
2.2.4 Συμπεράσματα.....	73
2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΩΦΕΛΙΜΟΥ ΌΓΚΟΥ ΚΑΙ ΌΓΚΟΥ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ.....	74
2.3.1 Γενικά	74
2.3.2 Υπολογισμός Όγκων Φάσης 1	74
2.3.3 Υπολογισμός Όγκων Φάσης 2.....	75
2.3.4 Υπολογισμός Όγκων Φάσης 3	77
2.3.5 Υπολογισμός Όγκων Φάσης 4	77
2.3.6 Υπολογισμός όγκων Φάσης 5.....	77
2.3.7 Ολικός Ωφέλιμος όγκος του ΧΥΤΑ.	78
2.4 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΩΦΕΛΙΜΟΥ ΌΓΚΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ.....	79
2.5 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΧΥΤΑ.....	81
2.6 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΟΣΤΟΥΣ	82
2.7 ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΩΝ ΒΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΧΥΤΑ.	84
2.7.1 Κόστος Εκσκαφών.....	84
2.7.2 Κόστος Μόνωσης	86
2.7.2 Κόστος αποστραγγιστικής ζώνης.	88
2.8 ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΠΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ	92
2.9 ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΑΤΙΚΩΝ.....	93
2.10 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΈΚΤΑΣΗ ΚΑΙ ΛΟΙΠΗ ΥΛΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ.....	94
2.10.1 Απαιτούμενη έκταση	94
2.10.2 Κόστος Ζώνης Πυροπροστασίας και Περιμετρικού Δρόμου.....	95
2.10.3 Κόστος περίφραξης.....	96
2.10.4 Κόστος Κτιριακών Εγκαταστάσεων	97
2.10.5 Κόστος ζυγιστηρίου.	97
2.10.6 Κόστος Μηχανοργάνωσης.....	98
2.10.7 Κόστος Οχημάτων	99
2.11 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΟΣΤΗ.....	99
2.11.1 Περιβαλλοντικές Μετρήσεις	99
2.11.2 Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης Οχημάτων.	100
2.11.3 Κόστος Ηλεκτρικού Ρεύματος	100
2.12 ΛΟΙΠΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΟΣΤΗ.....	101
2.12.1 Κόστος Υλικού Κάλυψης.	101
2.13 ΚΟΣΤΟΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΡΟΝΤΙΔΑΣ.....	102
2.13.1 Κόστος Τελικής Κάλυψης.....	102
2.13.2 Κόστος Ζώνης Συλλογής Βιοαερίου.....	103

2.13.3 Κόστος Αργιλικής Μόνωσης.....	104
2.13.4 Κόστος Ζώνης Αποστράγγισης Τελικής Κάλυψης.....	104
2.13.5 Κόστος Τελικής Κάλυψης με εδαφικό υλικό.....	105
2.14 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΟΣΤΟΥΣ	106
2.15 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΚΟΣΤΟΥΣ	108
2.15.1 Μοναδιαία Κόστη.....	108
2.15.2 Κατασκευαστικό Κόστος.....	110
2.15.3 Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος.....	113
2.15.4 Κόστος Μεταφροντίδας.....	115
2.16 ΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΤΟΝΟ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΜΕΧΡΙ ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ...	115
2.17 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΜΕ ΓΝΩΣΤΑ ΚΟΣΤΗ ΧΥΤΑ.	117
2.18 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΒΑΘΟΥΣ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΣΤΟ ΑΝΑ ΤΟΝΟ ΚΟΣΤΟΣ.....	121
3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	
HELP	125
3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	125
3.1.2 Εισαγωγή	125
3.1.3 Μετεωρολογικά στοιχεία.....	126
Στοιχεία Θερμοκρασίας και Στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας	127
3.2.4 Στοιχεία σχεδιασμού και εδάφους.....	127
Γενικά.....	127
Απαιτούμενα χαρακτηριστικά εδάφους.....	129
Απαιτούμενα χαρακτηριστικά γεωμεμβράνης.	130
3.2.5 Εξωτερικά χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ	132
3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HELP3.....	132
3.2.1 Εισαγωγή	132
3.2.2 Σχεδιαστικά Προφίλ ΧΥΤΑ.....	133
3.2.3 Μετεωρολογικά Δεδομένα.....	136
3.2.4 Αποτελέσματα Εφαρμογής.....	138
3.2.5 Επίδραση Επανακυκλοφορίας Στα στραγγίσματα.....	143
4.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	146
4.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟΝ ΧΥΤΑ	146
4.2 ΜΟΝΤΕΛΟ LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL (LANDGEM).....	148
4.2.1 Γενικά.....	148
4.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	150
4.2.2.1 Δεδομένα Εφαρμογής.....	150
4.2.2.2 ΧΥΤΑ Χωρητικότητας 182500 τόνων	150
4.2.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	152
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.	154

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια το πρόβλημα της διαχείρισης των αστικών στερεών αποβλήτων απασχολεί την κοινωνία μας όλο και περισσότερο. Από ανύπαρκτο θέμα στην ζωή των τοπικών κοινωνιών, περνάει στο κέντρο των σημαντικότερων προβλημάτων, που καλείται να λύσει η τοπική αυτοδιοίκηση. Όλοι μας έχουμε δει στα μέσα μαζικής ενημέρωσης ατελείωτες συζητήσεις για το πια θα πρέπει να είναι η σωστή αντιμετώπιση του θέματος. Δήμαρχοι να ανταλλάσσουν απόψεις, μερικές φορές να ξεπερνάνε τα όρια του πολιτισμένου διαλόγου και πολίτες να διαμαρτύρονται για την χωροθέτηση ενός ΧΥΤΑ κοντά στην περιοχή τους, μέχρι και αποκλεισμούς δρόμων είδαμε τις τελευταίες μέρες.

Όλα αυτά σχεδόν ξαφνικά μπήκαν στην ζωή μας. Η πλειοψηφία των πολιτών σχεδόν αγνοεί το γεγονός ότι οι διάφορες καθημερινές, ακόμα και οι πιο απλές, δραστηριότητες του ανθρώπου παράγουν απορρίμματα. Το γεγονός ότι δεν τα βλέπαμε ή δεν ακούγαμε για αυτά, δεν σημαίνει ότι δεν υπήρχαν. Όμως όλοι ήμασταν ευτυχισμένοι που δεν τα βλέπαμε στην γειτονιά μας, και βλέποντας τα απορριμματοφόρα του δήμου να τα μαζεύουν νιώθαμε ανακουφισμένοι και ήσυχοι.

Και ξαφνικά φτάνουμε στο σημείο που η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επιβάλλει πρόστιμο στην Ελλάδα για την χωματερή του Κουρουπητού στα Χανιά. Όλοι τότε έδειχναν αιφνιδιασμένοι με το γεγονός. Τα ΜΜΕ το είχαν πρώτη είδηση και η κεντρική Κυβέρνηση αναγκάστηκε να παρέμβει για να θέσει τέλος στο πρόστιμο. Σίγουρα όλη η Ελλάδα θα άκουσε την είδηση και θα αναρωτήθηκε για πιο λόγο μας επιβλήθηκε το πρόστιμο. Χωρίς κανέναν να σκεφτεί πόσοι άλλοι «Κουρουπητοί» υπάρχουν στην χώρα μας.

Τότε γινόταν λόγος για τον «Κεντρικό σχεδιασμό», ο οποίος ήταν από καιρό έτοιμος να εφαρμοστεί και ότι η κατάσταση θα αλλάξει σύντομα. Αν αναλογιστεί κανένας ότι αυτές τις μέρες το ΥΠΕΧΩΔΕ προχωράει σε χωροθέτηση των νέων ΧΥΤΑ με νομοθετική παρέμβαση, τότε καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η κατάσταση είναι σχεδόν στάσιμη.

Οι δήμαρχοι συνεχίζουν να συζητούν και οι πολίτες να διαμαρτύρονται. Οι δημόσιες υπηρεσίες να τους διαβεβαιώνουν ότι δεν υπάρχει κανένας απολύτως κίνδυνος για την υγεία και το περιβάλλον γιατί όλα θα γίνουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και τηρώντας πάντα τους νόμους.

Ας δούμε όμως αναλυτικά πώς εξελίσσεται η κατάσταση της διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμμάτων στην χώρα μας. Έτσι θα μπορέσουμε να καταλάβουμε το μέγεθος του προβλήματος.

Ιστορικό της Υπάρχουσας Κατάστασης στην Λειτουργία ΧΥΤΑ στην Ελλάδα.

Κατά την περίοδο πριν το 1994, σύμφωνα πάντα με το ΥΠΕΧΩΔΕ, η κύρια πρακτική διαχείρισης των ΑΣΑ που εφαρμοζόταν ήταν η «εναπόθεση» ενώ η υγειονομική ταφή ήταν περιορισμένη. Δηλαδή τα αστικά απορρίμματα απορρίπτονταν σε κάθε γωνιά της χώρας και σε μέρη εντελώς ακατάλληλα, όπως σε ακτές και ρέματα. Σε επίπεδο χώρας είχαν καταγραφεί 3430 χώροι «ανεξέλεγκτης απόρριψης» οι οποίοι δέχονταν το 35% των οικιακών απορριμμάτων. Επιπλέον, υπήρχαν 1420 εγκεκριμένοι χώροι που δέχονταν το 65% περίπου της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων απορριμμάτων, που στην ουσία και αυτοί ήταν χώροι «ανεξέλεγκτης απόρριψης» αλλά αδειοδοτημένοι. Πρακτικά δηλαδή δεν είχαν καμία λειτουργική διαφορά. Σε σχετική μελέτη του 1993 εξετάστηκαν 302 από τους 1420 εγκεκριμένους χώρους και διαπιστώθηκε ότι το 81% των χώρων, δεν πληροί ούτε τους βασικούς και κρίσιμους όρους καταλληλότητας.

Σε αρκετούς από τους χώρους αυτούς υπήρχαν σοβαρά προβλήματα σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη, όπως σχηματισμός στραγγισμάτων και παραγωγή βιοαερίου. Μάλλον δεν είχαν όλοι οι χώροι παρόμοια προβλήματα γιατί είτε τα στραγγίσματα δεν ήταν ορατά και διείσδυαν γρήγορα στο υπέδαφος, είτε τα απορρίμματα καίγονταν με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται τα παραπάνω προβλήματα. Αλλιώς δεν μπορεί να εξηγηθεί το πώς μπορεί μία χωματερή να μην συγκεντρώνει στραγγίσματα ή το πώς γίνεται το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων να μην βιοαποικοδομείται. Και όλα αυτά σε «εγκεκριμένους» χώρους απόρριψης.

Οι ανεξέλεγκτοι χώροι, που μάλλον δεν ήταν μόνο 3430 γιατί ως γνωστόν κάθε δήμος και κοινότητα είχε τουλάχιστον από έναν τέτοιο χώρο, δημιουργούσαν σοβαρά προβλήματα στο περιβάλλον. Σε πολλούς τέτοιους χώρους τα απορρίμματα καιγόntonταν συστηματικά σε μία προσπάθεια περιορισμού του όγκου τους, με σοβαρές επιπτώσεις στα γειτνιάζοντα δάση. Είναι γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των δασικών πυρκαγιών προήλθαν από χώρους απόρριψης απορριμμάτων. Επιπλέον στους χώρους αυτούς δεν υπήρχε η παραμικρή πρόνοια για την συγκέντρωση στραγγισμάτων με αποτέλεσμα να κινδυνεύει ο υδροφόρος ορίζοντας, στην

περίπτωση που οι ποσότητες των στραγγισμάτων ήταν μεγάλες, ώστε να δημιουργήσουν προβλήματα.

Σαν συνέπεια των προβλημάτων αυτών η πολιτεία προσπάθησε να ελέγξει την κατάσταση και από το 1991 μέχρι το 1997 έγιναν σημαντικά βήματα. Το 1991 το σύνολο των παραγόμενων απορριμμάτων απορρίπτονταν σε χωματερές ενώ το 1997 το 50.3% σε ΧΥΤΑ και το υπόλοιπο 49.7% σε χωματερές. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι σε πολλές περιπτώσεις οι χώροι που αναφέρονται ως ΧΥΤΑ το 1997, ήταν στην ουσία χωματερές που λειτουργούσαν νομότυπα. Αυτό αποδεικνύεται από μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ [5], με βάση την οποία, το 1999 το 72% των φορέων λειτουργίας των ΧΥΤΑ δεν δίνει στοιχεία για τις ποσότητες των παραγόμενων στραγγισμάτων, ενώ η ίδια μελέτη επισημαίνει ότι όσοι δίνουν «είναι προφανές ότι πρόκειται για εκτιμήσεις». Δηλαδή κανένας δεν ξέρει τι συμβαίνει με το κύριο ρυπαντικό στοιχείο της λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ, τα στραγγίσματα. Επίσης το 33.3% των ΧΥΤΑ δεν δίνει στοιχεία για την μέθοδο διαχείρισης των στραγγισμάτων, και αυτό μάλλον γιατί δεν υπάρχει μέθοδος διαχείρισης. Τα ίδια παρατηρεί κανείς και για την διαχείριση του βιοαερίου όπου το 50% των ΧΥΤΑ, κατά τα παραπάνω, δεν έχουν σύστημα διαχείρισης του βιοαερίου. Με αυτές τις συνθήκες οι χώροι αυτοί δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως ΧΥΤΑ, αλλά μάλλον ως «χωματερές».

Σε όλα τα παραπάνω μπορούμε να προσθέσουμε και το γεγονός ότι 5 από τους 18, ποσοστό 36% των εν λειτουργία ΧΥΤΑ το 2001, άρχισαν την λειτουργία τους **πριν από** την ημερομηνία απόφασης της έγκρισης των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Αν τώρα συνυπολογίσουμε ότι σε αυτούς τους 5 ανήκουν η Θεσσαλονίκη και η Πάτρα που είναι, η δεύτερη και η τρίτη μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας, τότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα απορρίμματα που καταλήγουν το 1997 σε ΧΥΤΑ είναι πολύ λιγότερα. Προφανώς οι παραπάνω ΧΥΤΑ το 1991 καταγράφονταν σαν «χωματερές» και το 1997 απλά μετονομάστηκαν σε «ΧΥΤΑ» από το ΥΠΕΧΩΔΕ. Ενδεικτικά αναφέρεται ο ΧΥΤΑ του δήμου Λαμίας, ο οποίος έλαβε την προέγκριση χωροθέτησης το 1990 με απόφαση του Νομάρχη και άρχισε την λειτουργία του επίσης το 1990. Ενώ η έγκριση των περιβαλλοντικών όρων έγινε στις 29-10-1997.

Με όλα αυτά να συμβαίνουν και υπό τον φόβο νέων προστίμων από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το ΥΠΕΧΩΔΕ προχώρησε στην επικαιροποίηση του Εθνικού Σχεδιασμού για την Διαχείριση των Στερεών Αποβλήτων το 2000.

Εθνικός Σχεδιασμός Για την Διαχείριση των Στερεών Απορριμμάτων

Στην ΚΥΑ 113944/97 με τίτλο «Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης των Στερεών Αποβλήτων κ.λ.π.» και με την συμπλήρωση της ΚΥΑ 14312/2000 με τίτλο «Συμπλήρωση και εξειδίκευση της 113944/1997 κοινή υπουργική απόφαση κ.λ.π.», δίνονται οι γενικές κατευθύνσεις για την ακολουθούμενη πολιτική στον τομέα της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων. Οι παραπάνω ΚΥΑ αναφέρονται στον σχεδιασμό του ΥΠΕΧΩΔΕ σε επίπεδο χώρας και περιφερειών, για όλα τα θέματα σχετικά με τα στερεά απόβλητα και όχι μόνο για τα αστικά. Επίσης αναφέρονται σε θέματα πολιτικών για την μείωση των παραγόμενων ποσοτήτων και ανακύκλωσης καθώς και πολλών άλλων στοιχείων. Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρει ο σχεδιασμός για τους ΧΥΤΑ και θα αναφερθούμε σε αυτούς με περισσότερες λεπτομέρειες.

Σύμφωνα με τον Εθνικό σχεδιασμό οι απαιτούμενοι ΧΥΤΑ σε επίπεδο χώρας δίνονται στον πίνακα 1.

Από τους απαιτούμενους ΧΥΤΑ σύμφωνα με το πρόγραμμα του ΥΠΕΧΩΔΕ λειτουργούν οι 33 το 2001 ενώ αρκετοί είναι στην φάση έγκρισης περιβαλλοντικών όρων ή στην φάση δημοπράτησης και κατασκευής. Εδώ θα πρέπει να σχολιάσουμε τις διαφορές που υπάρχουν στον σχεδιασμό για τους απαιτούμενους ΧΥΤΑ και σε αυτούς που σχεδιάζουν να κατασκευάσουν οι νομαρχίες. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, όπου ενώ με βάση τον Εθνικό Σχεδιασμό οι απαιτούμενοι ΧΥΤΑ είναι 6, οι ΧΥΤΑ που έχουν κατασκευαστεί ή έχουν λάβει έγκριση περιβαλλοντικών όρων, είναι 7. Να τονιστεί ότι ο νομός Δράμας δεν έχει προγραμματίσει να κατασκευάσει κανένα ΧΥΤΑ, άρα αν συμπεριλάβουμε και τον έναν τουλάχιστον που θα πρέπει να έχει η Δράμα τότε, στην συγκεκριμένη περιφέρεια θα έχουμε 8 ΧΥΤΑ σε σχέση με τους 6 «απαιτούμενους».

Έχουμε δηλαδή μία περίεργη κατάσταση, το ΥΠΕΧΩΔΕ άλλα να σχεδιάζει και η τοπική αυτοδιοίκηση άλλα να πραγματοποιεί, θεωρώντας λανθασμένο τον «Εθνικό Σχεδιασμό». Το φαινόμενο κυρίως οφείλεται στην έλλειψη συνεννόησης μεταξύ των διαφορετικών εμπλεκόμενων δήμων, οι οποίοι προτιμούν να διαχειρίζονται μόνοι τους τα απορρίμματα τους, παρά να δέχονται στην περιοχή τους τα απορρίμματα γειτονικών δήμων. Στην κατάσταση αυτή συμμετέχουν και οι πολίτες οι οποίοι διακατέχονται από το σύνδρομο που είναι γνωστό ως «not in my backyard». Αντιδρούν δηλαδή σε κάθε προσπάθεια συνεννόησης και κοινής

αντιμετώπισης του προβλήματος γιατί, θεωρούν την λειτουργία ενός διαδημοτικού ή διανομαρχιακού ΧΥΤΑ στην περιοχή τους, υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Με αποτέλεσμα να σχεδιάζονται και να λειτουργούν τόσοι πολλοί ΧΥΤΑ, με όλα τα προβλήματα που συνεπάγεται αυτό (π.χ. λειτουργικά προβλήματα, δυσκολίες ελέγχου καλής λειτουργίας, αυξημένου κόστους)

Περιφέρεια	ΧΥΤΑ	Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών	Σταθμοί μεταφόρτωσης Απορριμμάτων	Εργοστάσια Μηχανικής Ανακύκλωσης
Αν. Μακεδονία & Θράκη	6	1	10	1
Κεντρ. Μακεδονία	11	3	24	2
Δυτ. Μακεδονία	1	6	8	1
Θεσσαλία	9	3	18	1
Ήπειρος	7	1	12	
Δυτική Ελλάδα	10	1	14	1
Στερεά Ελλάδα	11	4	16	2
Πελοπόννησος	10	3	21	1
Αττική	1	2	5	1
Κρήτη	11	1	13	3
Νησιά Ιονίου	5	2	3	1
Βόρειο Αιγαίο	6	3	3	
Νότιο Αιγαίο	32	5	5	

Πίνακας 1 : Εθνικός Σχεδιασμός Σε επίπεδο Χώρας. Απαιτούμενες Εγκαταστάσεις.

Στις πιέσεις αυτές πολλές φορές υποχωρεί και το Υπουργείο ανατρέποντας τους δικούς του σχεδιασμούς. Ενώ για παράδειγμα, θεωρεί ότι στην Αττική πρέπει να λειτουργήσει ένας ΧΥΤΑ, προχωράει στην χωροθέτηση τριών περιοχών, σύμφωνα με τις τελευταίες δηλώσεις της υπουργού. Αλλά ακόμα και έτσι οι πολίτες των υποψήφιων περιοχών διαμαρτύρονται και ακούγονται ακόμα και εξεζητημένες προτάσεις, για παράδειγμα να πηγαίνουν τα απορρίμματα σε χώρο εκτός Αττικής στην Βοιωτία.

Για τις ανεξέλεγκτες χωματερές ο Εθνικός Σχεδιασμός προβλέπει ότι από 2182 που υπήρχαν το 2001, θα μειώνονται σταδιακά. Συγκεκριμένα υπολογίζεται ότι στο τέλος του 2002 θα υπήρχαν 1300 και στο τέλος του 2003 θα υπάρχουν 1000. Επίσης ο στόχος είναι να μην λειτουργεί κανένας χώρος ανεξέλεγκτης απόθεσης στο τέλος του 2006. Μάλιστα τις τελευταίες μέρες η κυβέρνηση προωθεί και νομοθετική τροπολογία για το θέμα αυτό. Το ΥΠΕΧΩΔΕ, σε μία προσπάθεια να πιέσει τους δήμους να κλείσουν οριστικά τις χωματερές, έχει δώσει σαφείς οδηγίες στις Περιφέρειες για την εποπτεία και τον αυστηρό έλεγχο της τήρησης των υγειονομικών και περιβαλλοντικών διατάξεων. Επίσης το ΥΠΕΧΩΔΕ ζήτησε από το Υπουργείο Εσωτερικών, να προχωρήσει σε νομοθετική ρύθμιση, ώστε να παρακρατούνται από τους Κεντρικούς Αυτοτελείς Πόρους της αυτοδιοίκησης, τα τυχόν πρόστιμα και οι άλλες δαπάνες που προκύπτουν, λόγω της πλημμελούς τήρησης των υποχρεώσεων τους αυτών. Για την κατασκευή συστημάτων διαχείρισης των στερεών αποβλήτων το ΥΠΕΧΩΔΕ έχει δεσμεύσει το ποσό των 483 εκατομμυρίων ευρώ.

Γενικά ο στόχος που έχει τεθεί, είναι η ύπαρξη όσο γίνεται λιγότερων ΧΥΤΑ σε κάθε περιφέρεια και η συνεργασία των νομαρχιών για την από κοινού διαχείριση του προβλήματος. Σαν παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση της Περιφέρειάς Δυτικής Μακεδονίας, όπου οι τέσσερις νομοί προχώρησαν στην κατασκευή ενός κοινού ΧΥΤΑ και στην μεταφορά των απορριμμάτων από τους τέσσερις νομούς μέσω ισάριθμων Σταθμών Μεταφόρτωσης Απορριμμάτων. Αυτό το παράδειγμα είναι το μοντέλο που προωθεί το υπουργείο για όλη την υπόλοιπη Ελλάδα καθώς το υψηλό κόστος λειτουργίας και κατασκευής ενός ΧΥΤΑ τους κάνει απαγορευτικούς για μικρούς Δήμους και Νομαρχίες. Επίσης και τα υπόλοιπα στοιχεία του Εθνικού σχεδιασμού ωθούν στην διανομαρχιακή συνεργασία (π.χ. υποχρέωση ανακύκλωσης με εργοστάσια μηχανικής διαλογής, μείωση του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των απορριμμάτων που οδηγούνται στους ΧΥΤΑ).

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας

Καθώς ο Εθνικός Σχεδιασμός για την διαχείριση των στερεών απορριμμάτων πιέζει προς την δημιουργία μεγάλων εγκαταστάσεων, το θέμα του κόστους και της οικονομίας κλίμακας γίνεται όλο και πιο επίκαιρο. Το κύριο θέμα που απασχολεί τους φορείς διαχείρισης είναι η μεταβολή του κόστους ενός ΧΥΤΑ σε σχέση με την δυναμικότητάς του.

Σύμφωνα με την [5], από τα κυριότερα προβλήματα της λειτουργίας ΧΥΤΑ στην χώρα μας είναι η μεγάλη έλλειψη στοιχείων σχετικά με το κόστος. Από την ίδια μελέτη φαίνεται πως για το 35% των λειτουργούντων ΧΥΤΑ στην Ελλάδα δεν υπάρχουν στοιχεία για το κόστος κατασκευής. Αλλά ακόμα και στις περιπτώσεις όπου οι φορείς λειτουργίας δίνουν δεδομένα για το κόστος κατασκευής, τα ποσά που δηλώνουν αμφισβητούνται έντονα ως προς «την ακρίβεια και την αξιοπιστία τους»[5].

Στην [5] αναφέρεται σαν αιτία αυτής της κατάστασης η «έλλειψη θέσπισης κριτηρίων για τους προϋπολογισμούς των έργων ΧΥΤΑ». Οι ήδη λειτουργούντες ΧΥΤΑ δεν κατασκευάστηκαν με τις ίδιες προδιαγραφές με αποτέλεσμα να εμφανίζουν τόσο μεγάλες αποκλίσεις στο κόστος.

Καθώς λοιπόν δεν υπάρχουν ασφαλή δεδομένα για τα κόστη ενός ΧΥΤΑ, δεν μπορεί να εκτιμηθεί το κόστος κάθε τόνου απορριμμάτων που οδηγείται για τελική διάθεση σε αυτόν. Έτσι η τοπική αυτοδιοίκηση, που είναι αρμόδια για την διαχείριση των απορριμμάτων, δεν μπορεί να διαχειριστή χρηματοοικονομικά τους ΧΥΤΑ, για τους οποίους είναι υπεύθυνη. Με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζει προβλήματα όσον αφορά την οικονομική διαχείριση των έργων.

Σύμφωνα με την νομοθεσία, ο φορέας διαχείρισης των στερεών απορριμμάτων είναι υπεύθυνος για την οικονομική ευρωστία του έργου και πρέπει να καλύπτει το λειτουργικό κόστος και το κόστος της μεταφροντίδας του ΧΥΤΑ από την φορολόγηση των χρηστών. Οι χρήστες αυτοί δεν είναι άλλοι από τους κατοίκους της περιοχής που εξυπηρετεί ένας ΧΥΤΑ. Οπότε συνήθως το αποτέλεσμα είναι οι ΟΤΑ να αντιμετωπίζουν οικονομικά προβλήματα, είτε επειδή τα τέλη που θέτουν είναι πολύ μικρά για να καλύψουν της ανάγκες ενός ΧΥΤΑ, είτε επειδή από τα έσοδα αυτά καλύπτουν άλλες ανάγκες, άσχετες με τα στερεά απορρίμματα. Στην [5] δηλώνεται πως το 61% των φορέων λειτουργίας των ΧΥΤΑ δε δίνει κανένα στοιχείο για τα τυχόν έσοδα που μπορεί να έχει.

Η τοπική αυτοδιοίκηση λοιπόν αγνοεί τα οικονομικά δεδομένα της λειτουργίας και κατασκευής ενός ΧΥΤΑ και κατά συνέπεια δεν είναι δυνατόν να γνωρίζει τα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την κατασκευή μεγαλύτερων ΧΥΤΑ. Η οικονομία κλίμακας ισχύει σε όλα τα έργα. Με αποτέλεσμα η ανά τόνο διαχείριση των απορριμμάτων, να στοιχίζει λιγότερο σε μεγάλης δυναμικότητας ΧΥΤΑ από ότι σε μικρότερης. Είναι δύσκολο να φανταστούν πως η διαχείριση των απορριμμάτων μπορεί να κοστίζει λιγότερο όταν εναποτίθενται σε μεγάλες εγκαταστάσεις, παρόλο που μπορεί να μεταφέρονται απορρίμματα και από διπλανούς Νομούς.

Σε αυτό ακριβώς το πρόβλημα θα προσπαθήσει να δώσει λύση η παρούσα διπλωματική εργασία. Σκοπός είναι η περιγραφή όλων των υποχρεωτικών υποσυστημάτων, που πρέπει να διαθέτει ένας ΧΥΤΑ, για μπορεί να λειτουργεί σωστά. Έτσι δημιουργούμε μία κοινή βάση για να συγκριθούν τα κόστη σε σχέση με την δυναμικότητα. Στην συνέχεια θα περιγραφούν τα υποσυστήματα αυτά συναρτήσει της ημερήσιας δυναμικότητας και θα κοστολογηθούν με στοιχεία προϋπολογισμών, ήδη κατασκευασμένων ΧΥΤΑ.

Τελικός στόχος είναι η δημιουργία εύχρηστων συναρτήσεων υπολογισμού των διάφορων εξόδων ενός ΧΥΤΑ και το κόστος ανά τόνο απορριμμάτων. Έτσι καθώς θα είναι εύκολος ο υπολογισμός του κόστους σε σχέση με την δυναμικότητα, θα μπορούν να ληφθούν πιο εύκολα αποφάσεις που αφορούν την βέλτιστη δυναμικότητα του υπό μελέτη ΧΥΤΑ, από την οικονομική πλευρά του θέματος. Γνωρίζοντας την μεταβολή του κόστους ανά τόνο απορριμμάτων, σε σχέση με την δυναμικότητα, μπορεί να βρεθεί εύκολα η απόσταση μεταφοράς που είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Επιπλέον η παρούσα διπλωματική εργασία θα ασχοληθεί και με τα άλλα δύο προβλήματα που παρουσιάζονται στην [5], για την λειτουργία των ΧΥΤΑ στην Ελλάδα . Όπως έχουμε ήδη δει, δεν είναι άλλα από τον σωστό υπολογισμό των παραγόμενων στραγγισμάτων και των ποσοτήτων βιοαερίου που εκλύονται από έναν ΧΥΤΑ. Για τα δύο αυτά ρυπογόνα στοιχεία της λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ, δεν παρέχονται δεδομένα, για τους περισσότερους εν λειτουργία ΧΥΤΑ. Έτσι θα παρουσιάσουμε και θα εφαρμόσουμε δύο υπολογιστικά μοντέλα, που μπορούν να βοηθήσουν στην σωστή πρόβλεψη των παραγόμενων σταλαγμάτων και βιοαερίου. Τα μοντέλα αυτά είναι το Hydrologic Evaluation of Landfill Performance για τον

Εισαγωγή

υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου ενός ΧΥΤΑ και το Landfill Gas Emissions Model για τις παραγόμενες ποσότητες βιοαερίου.

1 Γενικά χαρακτηριστικά ΧΥΤΑ

1.1 Παραγωγή αστικών στέρεων απορριμμάτων

1.1.1 Παραγόμενες Ποσότητες

Κυρίαρχο ζήτημα στην αποτίμηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ είναι, η εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων των αστικών στερεών απορριμμάτων στην υπό μελέτη περιοχή. Με βάση αυτή την εκτίμηση θα γίνει ο σχεδιασμός και η κοστολόγηση του υπό κατασκευή ΧΥΤΑ.

Οι παραγόμενες ποσότητες αστικών στερεών απορριμμάτων συνήθως εκφράζονται σε μονάδες βάρους. Προτιμάται το βάρος σαν μονάδα μέτρησης των στερεών απορριμμάτων από τον όγκο, γιατί είναι πιο εύκολα μετρίσιμο και είναι ανεξάρτητο από τον βαθμό συμπίεσης των απορριμμάτων, πράγμα που δεν συμβαίνει με τον όγκο. Κατά κανόνα οι ποσότητες των οικιακών αλλά και αστικών γενικότερα αποβλήτων υπολογίζονται σε μονάδες βάρους ανά κάτοικο ανά ημέρα (kg/άτομο και ημέρα). Η μονάδα αυτή μέτρησης είναι πολύ εύχρηστη, γιατί μπορούν να εκτιμηθούν οι παραγόμενες ποσότητες, για διάφορα μεγέθη πληθυσμού και για διάφορες χρονικές περιόδους.

Η ανά άτομο παραγωγή ΑΣΑ δεν είναι σταθερή και παρουσιάζει αυξητική τάση, παράλληλη με την αύξηση του οικονομικού επιπέδου της υπό μελέτης περιοχής. Για παράδειγμα η παραγωγή σε πολύ φτωχές χώρες είναι σχεδόν μηδενική και μπορεί να φτάσει έως τα 4 kg/ημέρα/άτομο σε ορισμένες αναπτυγμένες περιοχές.

Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι, σε χωριά με πληθυσμό κάτω των 2000 κατοίκων, η μέση παραγωγή ΑΣΑ είναι 0.6 έως 0.8 kg/ ημέρα/ άτομο. Σε πόλεις 100000 κατοίκους η μέση παραγωγή είναι από 0.8 έως 1.2 kg/ ημέρα/ άτομο ενώ σε μεγαλύτερες πόλεις, η μέση παραγωγή για όλη την πόλη εκτιμάται από 1.2 έως 1.4 kg/ ημέρα/ άτομο.

Πληθυσμός Οικισμού ή Πόλης	Οικιακά Απορρίματα	Εμπορικά, Ιδρυμάτων	Σύνολο
<2000	0,5	0,2	0,7
2000-10000	0,7	0,2	0,9
10000-100000	0,7	0,3	1,0
>100000	0,8	0,5	1,3

Πίνακας 1.1: Παραγόμενες ποσότητες αστικών απορριμμάτων σε kg/day&κατ. [1]

Όπως βλέπουμε από τον παραπάνω πίνακα όσο μεγαλώνει ο πληθυσμός μίας πόλης, ταυτόχρονα αυξάνεται και η παραγωγή των οικιακών απορριμμάτων ανά ημέρα και άτομο. Η αύξηση αυτή αποδίδεται στο υψηλότερο οικονομικό επίπεδο των μεγαλουπόλεων, οι κάτοικοι των οποίων καταναλώνουν περισσότερο από τους κατοίκους των μικρών πόλεων. Επίσης παρατηρούμε και μία πολύ σημαντική αύξηση στην παραγωγή των εμπορικών στερεών απορριμμάτων ανάλογα με τον πληθυσμό των πόλεων που οφείλεται κυρίως, στο ότι στις μεγαλουπόλεις έχουμε συνήθως μεγαλύτερο αριθμό εμπορικών και μεταποιητικών επιχειρήσεων από ότι στις πόλεις, μεσαίου και μικρού πληθυσμού.

Οι παραπάνω τιμές για την παραγωγή των ΑΣΑ σε μία πόλη είναι ενδεικτικές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σαν μία πρώτη εκτίμηση για τις ανάγκες του μελετητή μηχανικού, εφόσον ελλείπουν άλλα στοιχεία.

1.1.2 Εκτιμήσεις και Προβλέψεις Ποσοτήτων.

Η εκτίμηση των παραγόμενων ΑΣΑ σε μία περιοχή ή πόλη είναι μία αρκετά δύσκολη υπόθεση. Από την σωστή πρόβλεψη και εκτίμηση των ποσοτήτων αυτών εξαρτάται, ο σωστός σχεδιασμός του ΧΥΤΑ καθώς και το κόστος κατασκευής. Ουσιαστικά έχουμε δύο προβλήματα, από την μία το να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε τις καθημερινές ποσότητες που παράγονται σε μία περιοχή και από την άλλη το πώς αυτές οι ποσότητες θα διαφοροποιηθούν κατά την διάρκεια λειτουργίας του ΧΥΤΑ.

Όσον αφορά την εκτίμηση των παραγόμενων ΑΣΑ στην παρούσα χρονική περίοδο και ελλείψει βέβαια μετρήσεων του βάρους των απορριμμάτων σε κάποια ήδη υπάρχουσα εγκατάσταση (πχ σε παλιό ΧΥΤΑ ή ΣΜΑ), μπορεί να γίνει με δειγματοληπτικές μετρήσεις ή με την χρήση τιμών από την βιβλιογραφία.

Οι δειγματοληπτικές μετρήσεις ως γνωστό είναι μία στατιστική ανάλυση ενός δείγματος από το σύνολο των παραγόμενων ΑΣΑ σε μία περιοχή. Ο αριθμός των δειγματοληψιών εξαρτάται από

- Το κόστος της εκτέλεσης των δειγματοληψιών
- Τον χρόνο που διατίθεται για τις δειγματοληψίες
- Τον επιθυμητό βαθμό στατιστικής αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων
- Την δυνατότητα επανάληψης της διαδικασίας για έλεγχο και για συγκριτικές αξιολογήσεις σε διαχρονική βάση

Ο στόχος της στατιστικής αυτής ανάλυσης θα πρέπει να είναι η απάντηση των εξής ερωτημάτων

- Ποια είναι η μέση τιμή της ποσότητας οικιακών στερεών απορριμμάτων που απορρίπτονται στον κάδο και συλλέγονται σε ένα χρόνο στην περιοχή μελέτης;
- Ποια η μέση τιμή της κατά άτομο ποσότητας ανά ημέρα και ποια η μηνιαία διακύμανση της; Ποια η επίπτωση του Σαββατοκύριακου;
- Ποια η σύνθεση των ΑΣΑ και ποια τα φυσικοχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά τους, για κάθε μήνα του έτους και για τις διάφορες μέρες;
- Πως διαφοροποιούνται τα παραπάνω για διάφορες κοινωνικό-οικονομικές κατηγορίες κατοίκων μέσα στο ίδιο γεωγραφικό διαμέρισμα.

Στα ίδια βέβαια ερωτήματα πρέπει να απαντήσουμε και αν χρησιμοποιήσουμε τιμές από την βιβλιογραφία ή από άλλες μελέτες. Με την επισημάνση ότι θα πρέπει να υπάρχει ανεκτός βαθμός ομοιότητας της περίπτωσης της βιβλιογραφίας με την υπό εξέταση περιοχή. Αφού οι ποσότητες και η σύνθεση των ΑΣΑ μπορεί να διαφοροποιούνται διαχρονικά και γεωγραφικά, καθώς εξαρτώνται από τα εκάστοτε κοινωνικοοικονομικά και καταναλωτικά χαρακτηριστικά των κατοίκων.

Οι ποσότητες τώρα αυτές, που προκύπτουν και από τους δύο τρόπου, είναι φυσικό να μεταβάλλονται κατά την διάρκεια των χρόνων που χρησιμοποιείται ένας ΧΥΤΑ. Πρώτα από όλα ο πληθυσμός μίας περιοχής αλλάζει, από χρόνο σε χρόνο είτε, από εποχή σε εποχή (πχ τουρισμός). Ένα δεύτερο ζήτημα είναι η πρόβλεψη των μελλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή των ΑΣΑ

Η εκτίμηση του πληθυσμού στο μέλλον μπορεί να γίνει αρκετά εύκολα με την εξίσωση $P_k = P_0 (1+r/100)^k$, όπου P_0 ο αρχικός πληθυσμός, r η ανά περίοδο % αύξηση, k ο αριθμός των περιόδων και P_k ο πληθυσμός μετά από k περιόδους. Βέβαια η εξίσωση αυτή προϋποθέτει ότι γνωρίζουμε το r και ότι είναι αμετάβλητο για τις χρονικές περιόδους k . Ενδεχομένως η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία να έχει προβλέψεις για την εξέλιξη του πληθυσμού στην υπό εξέταση περιοχή.

Οι παράγοντες τώρα που επηρεάζουν τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των ΑΣΑ μπορούν να ομαδοποιηθούν και να αντιστοιχηθούν σε τέσσερα επίπεδα [1]

1^ο Επίπεδο- Το Νοικοκυριό: Το βιοτικό επίπεδο, οι καταναλωτικές συνήθειες, ο τρόπος ζωής, το μέγεθος του νοικοκυριού, η συχνότητα συλλογής ΑΣΑ κ.α.

2^ο Επίπεδο-Το Γεωγραφικό Διαμέρισμα: Το μέγεθος του διαμερίσματος, η τουριστική κίνηση, τα συστήματα θέρμανσης των κατοικιών, τα πολεοδομικά

χαρακτηριστικά, η διευκόλυνση που παρέχεται από τον φορέα συλλογής (π.χ. αν αποκομίζεται κάθε τι που αφήνεται στον κάδο), κ.α.

3^ο Επίπεδο-Μακροοικονομία: Το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν, το οικογενειακό εισόδημα, κ.α.

4^ο Επίπεδο-Τα προϊόντα: Τα υλικά παραγωγής, η συσκευασία, η διάρκεια ζωής και χρήσης, κ.α.

Πρέπει λοιπόν, στον μελλοντικό υπολογισμό των παραγόμενων ΑΣΑ, να ληφθούν υπ' όψιν όλοι αυτοί οι παράγοντες. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται σε περιπτώσεις όπου ο σχεδιαζόμενος ΧΥΤΑ προβλέπεται να λειτουργήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. 20 χρόνια) γιατί όσο επεκτείνεται η μελέτη στον χρόνο τόσο πιο δύσκολα προβλέψιμοι γίνονται οι παράγοντες αυτοί. Για παράδειγμα μία σημαντική αύξηση του οικονομικού επιπέδου των πολιτών στην δεκαετία, θα μπορούσε ενδεχομένως να επιφέρει μεγαλύτερη αύξηση στη παραγωγή ΑΣΑ από ότι μία ενδεχόμενη μη προβλέψιμη αύξηση του πληθυσμού στην συγκεκριμένη δεκαετία.

Επίσης σε μελέτες με μεγάλο χρονικό ορίζοντα, ο μελετητής είναι φρόνιμο να λάβει περιορισμούς και νομοθετικές ρυθμίσεις που υποδεικνύουν μείωση του ρυθμού παραγωγής των ΑΣΑ στο μέλλον. Είναι αξιοσημείωτο ότι, από τους παραπάνω παράγοντες των τεσσάρων επιπέδων οι περισσότεροι σχετίζονται με αποφάσεις εκτός νοικοκυριού. Κατά συνέπεια οι ενδεχόμενες μελλοντικές νομοθετικές παρεμβάσεις θα πρέπει να στοχεύουν κυρίως τους παραγωγούς των αγαθών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η διάρκεια χρήσιμης ζωής των Η/Υ προ δεκαετίας ήταν δέκα χρόνια ενώ σήμερα είναι τέσσερα..

Για την παρούσα μελέτη υποθέτουμε πως μία ημερήσια παραγόμενη ποσότητα απορριμμάτων 1 kg/day για κάθε κάτοικο μπορεί να θεωρηθεί τυπική. Αυτό γιατί ένας ΧΥΤΑ μπορεί να δέχεται απορρίμματα από διαφορετικές περιοχές (από πόλεις αλλά και χωρία) οπότε η παραπάνω τιμή βρίσκεται κοντά στον μέσο όρο, δεδομένου ότι η Ελλάδα έχει ελάχιστες πόλεις με πληθυσμό μεγαλύτερο από 100.000 κατοίκους.

1.2Είδη ΧΥΤΑ ανάλογα με το πρόγραμμα εκμετάλλευσης

Οι ΧΥΤΑ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το πρόγραμμα εκμετάλλευσης που ακολουθούν. Όπως ορίζει και η νομοθεσία [7], η εκμετάλλευση του χώρου μπορεί να ακολουθεί μία από τις εξής τρεις τεχνικές ή μεθόδους:

1. *Εκτατική εκμετάλλευση*: Συνίσταται για μικρού και μεσαίου μεγέθους ΧΥΤΑ (έκταση < από 60 στρέμματα).
2. *Καθ' ύψος εκμετάλλευση του χώρου (μέθοδος των κυττάρων)*: Συνίσταται για ΧΥΤΑ μεσαίου και μεγάλου μεγέθους (έκταση > 60 στρέμματα)
3. *Εκμετάλλευση κατά τμήματα (συνδυασμός των δύο παραπάνω μεθόδων)*: Τμήματα κατ' έκταση, κύτταρα καθ' ύψος)

1.2.1 Εκτατική εκμετάλλευση

Για την μέθοδο αυτή συνήθως επιλέγονται χώροι επίπεδοι ή με μικρές φυσικές κλίσεις, όπως πλαγιές λόφων, κοιλάδες ή επιφανειακά ορυχεία. Η διαμόρφωση της βάσης και των πρανών εκτελείται για όλο των ΧΥΤΑ εφάπαξ και η βάση του ΧΥΤΑ είναι ενιαία. Τις περισσότερες φορές το σχήμα του χώρου καθορίζεται από το φυσικό έδαφος και δεν γίνονται μεγάλες επεμβάσεις με εκσκαφές ή επιχωματώσεις. Η πλήρωση του χώρου με απορρίμματα γίνεται από τα κατάντη προς τα ανάντη κατά την διαμήκη έννοια του προσφερόμενου χώρου. Το τελικό ύψος των απορριμμάτων δεν ξεπερνά πολύ το φυσικό έδαφος στην περίπτωση που ο ΧΥΤΑ κατασκευάζεται σε πλαγιά και στην περίπτωση της πλήρωσης φυσικού κοιλώματος, δεν ξεπερνά τα φυσικά πρανή.

Ειδική μέριμνα πρέπει να ληφθεί για τα όμβρια. Θα πρέπει ο σχεδιασμός της βάσης και των πρανών του ανάντη τμήματος να γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε τα όμβρια που αυτή συλλέγει να εκτρέπονται περιφερειακά του κατάντη απορριμματικού ανάγλυφου. Τα όμβρια που δεν μπορούν να εκτραπούν θα πρέπει να συλλέγονται σε δεξαμενή και να παροχετεύονται με αντλία κατάντη.

Τα έργα διαμόρφωσης της μόνωσης και της ζώνης αποστράγγισης εκτελούνται τμηματικά. Τα έργα αυτά θα πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί ένα με δύο μήνες πριν από την άφιξη των πρώτων απορριμμάτων στο υπόψη τμήμα. Βλέπουμε πως η μόνωση του ΧΥΤΑ και η αποστραγγιστική ζώνη δεν θα πρέπει να κατασκευάζεται όλη μαζί και αυτό, γιατί κινδυνεύουν να υποστούν ζημιές αν μείνουν εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως από μικρής δυναμικότητας ΧΥΤΑ όπως άλλωστε προτείνει και η σχετική ΚΥΑ. Όπως είπαμε το τελικό ύψος των απορριμμάτων σε αυτήν την μέθοδο δεν είναι μεγάλο, άρα έχουμε μικρή ποσότητα απορριμμάτων ανά μονάδα χρησιμοποιούμενης γης. Σε περίπτωση δηλαδή, που

χρησιμοποιηθεί η εκτατική εκμετάλλευση για μεγάλης δυναμικότητας ΧΥΤΑ, απαιτείται η δέσμευση τεραστίων εκτάσεων γης.

1.2.2 Καθ' ύψος Εκμετάλλευση.

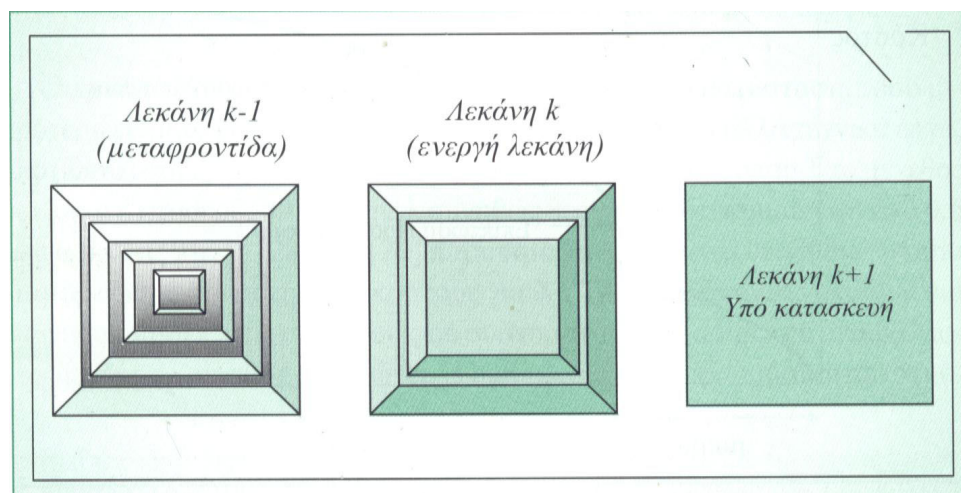
Η μέθοδος αυτή αναφέρεται και σαν μέθοδος των κυττάρων. Η επιφάνεια της βάσης είναι συνήθως 30 στρέμματα σύμφωνα με την νομοθεσία και το μέγιστο ύψος του απορριμματικού ανάγλυφου 20 με 25 μέτρα. (κλίση πρανών $< 1/3$). Σχηματίζεται δηλαδή το γεωμετρικό σχήμα της πυραμίδας. Όταν η γεωμετρική αυτή διαμόρφωση δεν είναι δυνατή, επιλέγεται και αναπτύσσεται ένα μικρότερο τμήμα (ως προς την επιφάνεια βάσης και το ύψος), στην συνέχεια αναπτύσσεται το γειτονικό τμήμα (σε επαφή με το πρώτο) και μετά συνεχίζεται η καθ' ύψος ανάπτυξη πάνω στα προηγούμενα δύο τμήματα.

Η αλληλουχία διαμόρφωσης των κυττάρων ακολουθεί την εξής σειρά. Κατά την διαμήκη έννοια του προσφερόμενου χώρου, κινούμεθα από τα κατάντη προς τα ανάντη. Κατά την εγκάρσια έννοια, τα κύτταρα κατασκευάζονται από τα όρια του χώρου προς το εσωτερικό και από εκεί προς το απέναντι όριο. Ως προς την χρονική σειρά, κατά την λειτουργία του κυττάρου N, στο τμήμα N-1 εκτελούνται οι εργασίες για την τελική κάλυψη (εφ' όσον δε θα υπάρξει περαιτέρω ανάπτυξη καθ' ύψος), και στο κύτταρο N+1 γίνονται οι εργασίες διαμόρφωσης ή στεγάνωσης της βάσης. Η βάση του τμήματος N+1 θα πρέπει να είναι έτοιμη ένα με δύο μήνες πριν από την εξάντληση του κυττάρου N.

Οι ΧΥΤΑ αυτής της κατηγορίας μπορεί να είναι είτε υπεδάφιοι, είτε υπερεδάφιοι. Η βασική διαφορά τους είναι ότι στους υπεδάφιους γίνονται μεγάλες εκσκαφές και η καθ' ύψος εκμετάλλευση ξεκινάει κάτω από το αρχικό ανάγλυφο, ενώ στους υπερεδάφιους η ανάπτυξη ξεκινάει από το ύψος του αρχικού ανάγλυφου.

Οι εκσκαφές γίνονται για να εξασφαλιστεί το υλικό της καθημερινής κάλυψης των απορριμμάτων αλλά και για να αυξηθεί η ποσότητα των απορριμμάτων ανά μονάδα επιφάνειας του ΧΥΤΑ. Από την άλλη για την συλλογή των στραγγισμάτων χρησιμοποιείται αντλία και η διαχείριση τους παρουσιάζει περισσότερα προβλήματα από ότι στους υπερεδάφιους ΧΥΤΑ. Γενικά ο κανόνας που ακολουθείται είναι η εκσκαφή μερικών μέτρων σε βάθος, αρκεί βέβαια να συμφέρει οικονομικά (π.χ εκσκαφή σε βραχώδες έδαφος είναι ασύμφορη) αλλά και να μην φτάνει τα όρια του υδροφόρου ορίζοντα. Στην τελευταία περίπτωση μπορεί να έχουμε εισροή ύδατος

από τον υπόγειο υδροφόρα στο κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ, και σαν συνέπεια να αυξηθεί σημαντικά η ποσότητα των παραγόμενων στραγγισμάτων.



Σχήμα 1.1 Σταδιακή ανάπτυξης ΧΥΤΑ[1]

Καθώς οι διαθέσιμοι χώροι προς πλήρωση αρχίζουν να σπανίζουν και σε συνδυασμό με την προτροπή του Εθνικού Σχεδιασμού για δημιουργία ΧΥΤΑ μεγάλης δυναμικότητας, οι ΧΥΤΑ με καθ' ύψος εκμετάλλευσης εμφανίζονται όλο και συχνότερα. Αυτόν τον τύπο θα χρησιμοποιήσουμε και στην συνέχεια σαν βάση για την ανάπτυξη των συναρτήσεων κόστους.

1.3 Οργάνωση Λειτουργίας

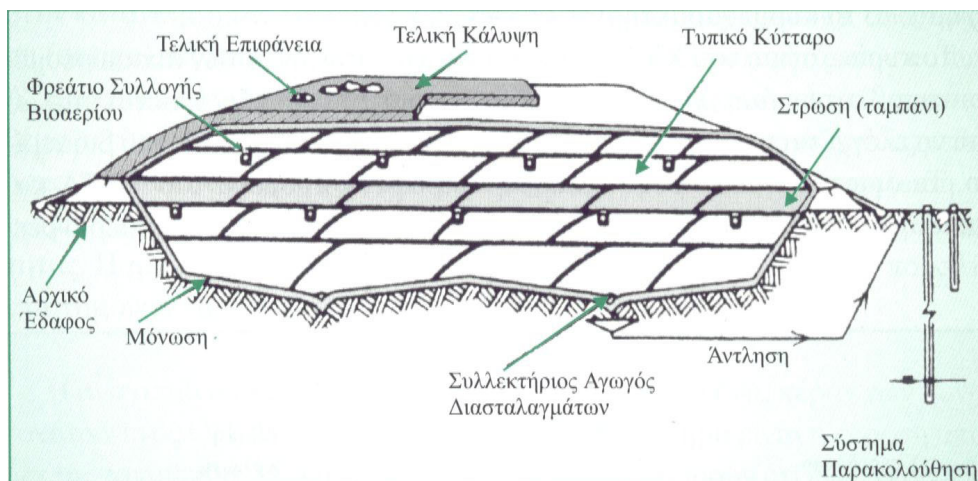
Για να κατανοηθεί η λειτουργία ενός ΧΥΤΑ θα πρέπει να οριστεί πρώτα το βασικό δομικό του στοιχείο, που δεν είναι άλλο από το κύτταρο. Με τον όρο «κύτταρο» ορίζεται η ποσότητα ΑΣΑ μιας επαναλαμβανόμενης χρονικής περιόδου (συνήθως μίας μέρας), που συμπίπτουν και καλύπτονται με λεπτή στρώση εδαφικού υλικού. Τα χαρακτηριστικά αυτού του δομικού στοιχείου, επηρεάζουν την όλη λειτουργία του ΧΥΤΑ. Ας δούμε όμως αναλυτικά τον κύκλο των απορριμμάτων από την είσοδο τους στον χώρο του ΧΥΤΑ μέχρι τον σχηματισμό του κυττάρου.

Καταρχήν τα απορριμματοφόρα εισέρχονται στον ΧΥΤΑ και αφού ζυγιστεί και καταγραφεί το φορτίο, σε περίπτωση ουράς, οδηγούνται στον χώρο αναμονής. Διαφορετικά οδηγούνται στο μέτωπο εργασίας. Εκεί τα οχήματα εκφορτώνουν τα απορρίμματα που μεταφέρουν, και έδω αρχίζει η διαμόρφωση του κυττάρου.

Τα «φρέσκα» απορρίμματα διαστρώνονται με χαμηλές κλίσεις πάνω στην ανοικτή πλευρά του ενεργού κυττάρου και στην συνέχεια συμπίπτουν. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι ενός ορισμένου ύψους. Όσο πιο μικρό είναι το ύψος των επαναλαμβανόμενων αυτών στρώσεων, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός συμπίεσης.

Σε ορισμένο αριθμό περασμάτων, του οχήματος συμπίεσης, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη συμπίεση στη στρώση με το μικρότερο ύψος. Για ύψος 30-50 cm (πριν την συμπίεση) επιτυγχάνεται πυκνότητα πάνω από 1 tn/m^3 , ενώ αν το πάχος των στρώσεων είναι μεγαλύτερο από 1 m τότε δύσκολα επιτυγχάνεται τελική πυκνότητα $0,8 \text{ tn/m}^3$. Το τελικό ύψος των στρώσεων είναι το ύψος του καθημερινού κυττάρου.

Το μέτωπο τώρα του κυττάρου, πρέπει να έχει τέτοιο πλάτος ώστε να μην είναι δύσκολος ο χειρισμός του. Καλό θα είναι να μην είναι πολύ μεγάλο για να μπορεί να ελέγχεται εύκολα (<50m), αλλά και όχι πολύ μικρό για να μην δημιουργείται ουρά αναμονής στα απορριμματοφόρα που θέλουν να εκφορτώσουν (>4m). Σε περίπτωση πολύ μεγάλων ΧΥΤΑ, που δεν είναι αρκετό ένα μέτωπο 50m, προτείνεται η λειτουργία δύο μετώπων.



Σχήμα 1.2 Τυπική μορφή ΧΥΤΑ [14].

Αφού λοιπόν έχει τοποθετηθεί όλη η ημερήσια ποσότητα απορριμμάτων που πρόκειται να δεχτεί ο ΧΥΤΑ, τα συμπιεσμένα απορρίμματα καλύπτονται με το εδαφικό υλικό. Στόχος της κάλυψης αυτής είναι ο έλεγχος των οσμών, της διασποράς ελαφρών υλικών, των πυρκαγιών, των πουλιών και των τρωκτικών. Η ημερήσια κάλυψη, όπως εύκολα μπορεί να κατανοηθεί, περιορίζει τον ωφέλιμο προς πλήρωση όγκο του ΧΥΤΑ. Μάλιστα όταν μειώνεται το ύψος του κυττάρου τότε αυξάνεται το ποσοστό της κάλυψης ως προς τον συνολικό όγκο του κυττάρου. Για το λόγο αυτό σε περιπτώσεις όπου υπάρχει έλλειψη υλικού κάλυψης, επιλέγεται μεγαλύτερο ύψος κυττάρου. Το πάχος της ημερήσιας κάλυψης εξαρτάται από τις τοπικές και λειτουργικές συνθήκες του ΧΥΤΑ, συνήθως είναι από 15-20 cm. Η οριζόντια κάλυψη όταν παραμένει εκτεθειμένη για μερικούς μήνες, μπορεί να έχει μεγαλύτερο πάχος 20-30cm.

Το υλικό της κάλυψης μπορεί να είναι χώμα, προϊόντα κομποστοποίησης, ή και αδρανή υλικά. Όταν η ημερήσια κάλυψη είναι από εδαφικό υλικό, συμπιέζεται και αυτό μετά την τοποθέτηση. Όποιο και αν είναι το υλικό θα πρέπει να έχει υψηλή διαπερατότητα, για να είναι εύκολη η διέλευση των υγρών και των αερίων μέσα στο σώμα του ΧΥΤΑ. Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση του εδαφικού υλικού καλό θα είναι, να αποφεύγονται υψηλές περιεκτικότητες σε άργιλο.

Οι διαστάσεις του κυττάρου καθορίζονται από την ποσότητα των ημερησίως παραγόμενων απορριμμάτων. Με αυτό το δεδομένο και αφού υποθέσουμε πως οι ημερήσιες παραγόμενες ποσότητες είναι σχετικά σταθερές, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το μέγεθος του ημερήσιου κυττάρου είναι και αυτό σταθερό.

Με βάση τα ημερήσια κύτταρα και το πρόγραμμα κατασκευής και σταδιακής ανάπτυξης του ΧΥΤΑ, σχηματίζεται το απορριμματικό ανάγλυφο. Οι διάφορες επιλογές για το σχήμα και την χρονική ανάπτυξη του απορριμματικού ανάγλυφου θα σχολιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο.

1.3.1 Γεωμετρία Ημερήσιου Κυττάρου.

Με βάση την γεωμετρία του ημερήσιου κυττάρου μπορεί να υπολογιστεί ο όγκος του κυττάρου που αντιστοιχεί στο υλικό κάλυψης και ο τελικός ωφέλιμος όγκος του ΧΥΤΑ για απορρίμματα. Το γεωμετρικό σχήμα του κυττάρου παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα. Με βάση βιβλιογραφικές αναφορές φαίνεται πως δεν μπορεί να οριστεί μία σταθερή τιμή για τα μεγέθη του κυττάρου που παρουσιάζονται στο σχήμα. Όλα σχεδόν επηρεάζονται από τις λειτουργικές και τοπικές συνθήκες του κάθε ΧΥΤΑ. Παρόλα αυτά μπορούν να οριστούν «τυπικές» τιμές για λόγους ευκολίας [4]:

Ύψος Κυττάρου $h=2,5$ m

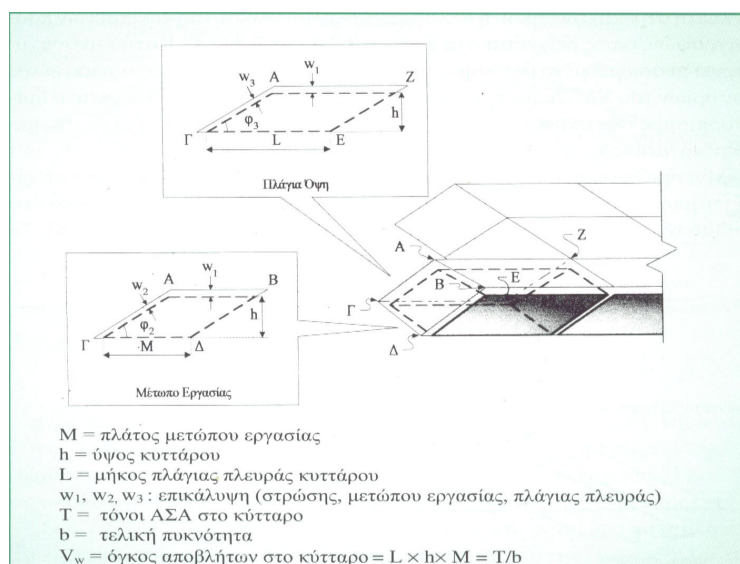
Πλάτος μετώπου $M=6$ m

Πάχος οριζόντιας κάλυψης κυττάρων $\omega_1=0,30$ m

Πάχος κάλυψης πλάγιας πλευράς $w_2=0,15$ m

Πάχος κάλυψης μετώπου $w_3=0,15$ m

Πυκνότητα απορριμμάτων μετά την ταφή $b=0,6$ tn/m³



Σχήμα 1.3 Γεωμετρία Ημερήσιου Κυττάρου[15]

Δεδομένων των παραπάνω μεγεθών, αλλά και το βάρος των απορριμμάτων στο κύτταρο T , μπορεί εύκολα να υπολογιστεί το μήκος της πλάγιας πλευράς του κυττάρου L .

Ο όγκος των αποβλήτων στο κύτταρο από το σχήμα είναι $V=L \cdot h \cdot M=T/b$, λύνοντας ως προς L έχουμε

$L=T/(b \cdot h \cdot M)$ βέβαια πρέπει να προστεθεί και το πάχος της πλάγιας κάλυψης που είναι 15cm.

Ο όγκος του υλικού κάλυψης είναι για κάθε κύτταρο θα είναι

$$V_{\text{καλ.}} = (L+0,15) \cdot (h+0,30) \cdot (M+0,15) - T/b \text{ σε } m^3$$

Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να υπολογίσουμε την ημερήσια και ολική ποσότητα υλικού για κάλυψη που θα χρειαστεί ο ΧΥΤΑ.

Για τις παραπάνω τυπικές τιμές, για πυκνότητα απορριμμάτων $0,6 \text{ tn}/m^3$ και για ημερήσιες ποσότητες απορριμμάτων από 50 tn/day μέχρι 2000 το εδαφικό υλικό της κάλυψης καταλαμβάνει από 15 μέχρι 13% του ολικού όγκου του ημερήσιου κυττάρου.

1.4 Σταδιακή Ανάπτυξη

Όπως είδαμε η νομοθεσία ορίζει πως η ανάπτυξη του ΧΥΤΑ θα πρέπει να γίνεται σταδιακά ανάλογα με το πρόγραμμα πλήρωσης του. Οι ΧΥΤΑ κατασκευάζονται με χρονικό ορίζοντα ορισμένων δεκαετιών, αλλά τα επιμέρους τμήματά τους (λεκάνες, modules) έχουν διάρκεια ζωής από 1 έτος έως μερικά έτη.

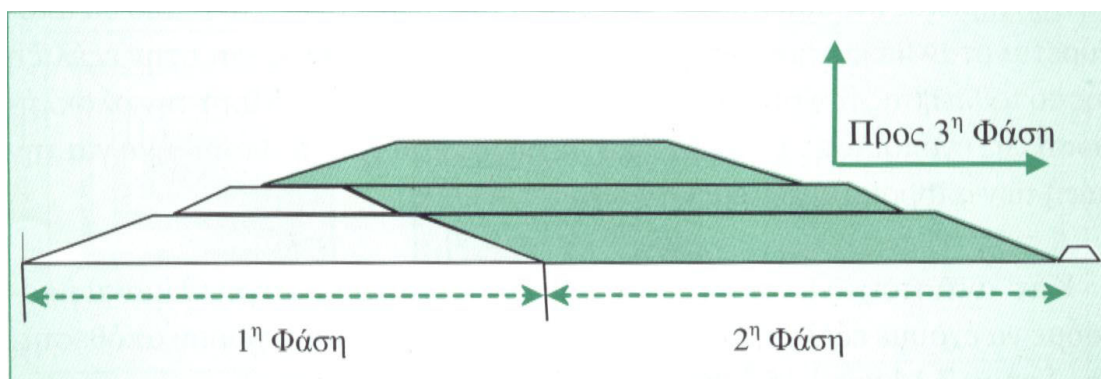
Η ανάπτυξη των ΧΥΤΑ σε ζώνες και φάσεις έχει πολλαπλά πλεονεκτήματα[1]:

1. Ελαχιστοποιείται η στεγανοποιημένη έκταση που είναι ανοιχτή στα κατακρημνίσματα
2. Ελαχιστοποιείται το απορριμματικό ανάγλυφο που είναι ανοιχτό στα κατακρημνίσματα, τα οποία απαιτούν ιδιαίτερη μεταχείριση όταν δεν υπάρχει ακόμα η τελική κάλυψη.
3. Επιμερίζεται το κόστος κατασκευής σε περισσότερες χρονικές περιόδους.
4. Σε περίπτωση που καταστεί αναγκαία η διακοπή λειτουργίας του ΧΥΤΑ, η ύπαρξη χωριστών ζωνών διευκολύνει τη διαδικασία κλεισίματος.
5. Επιτυγχάνεται αυξημένος ρυθμός ανάκτησης και εκμετάλλευσης του βιοαερίου.
6. Διευκολύνεται η διαμόρφωση της εσωτερικής οδοποιίας.
7. Διευκολύνεται η σταδιακή αποκατάσταση και απόδοση κλειστού χώρου για άλλες χρήσεις.

Το πώς γίνεται ο προγραμματισμός της κατασκευής των φάσεων είναι ένα σύνθετο πρόβλημα που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (π.χ. νομοθετικούς, οικονομικούς, κτλ). Η νομοθεσία της χώρας μας αφήνει στον μελετητή να προγραμματίσει την κατασκευή, και δίνει μόνο γενικές κατευθύνσεις ως προς την μέγεθος της έκτασης κάθε φάσης (30 στρέμματα περίπου).

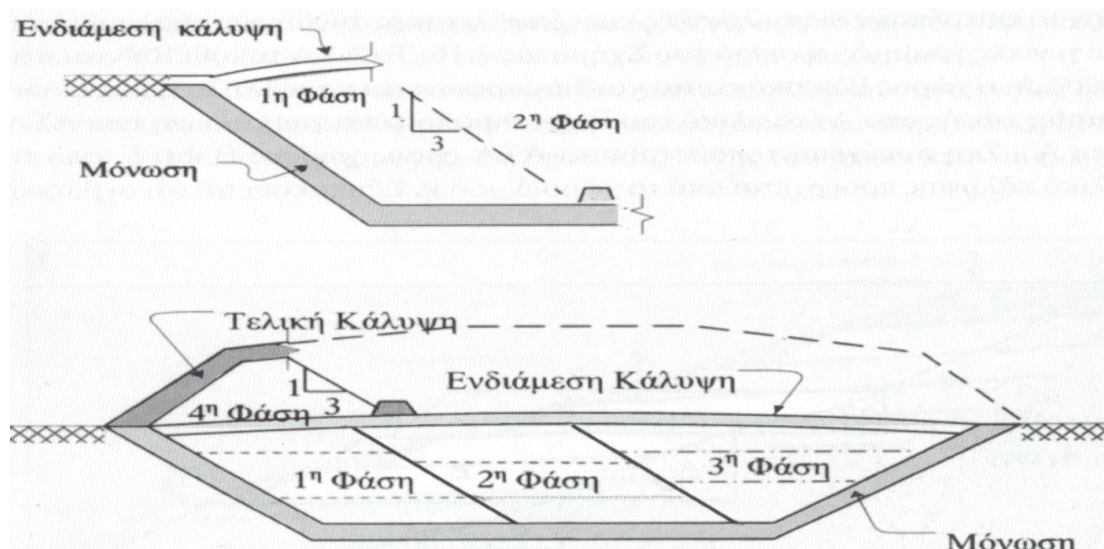
Γενικά στην χώρα μας κατασκευάζονται εφάπαξ οι ΧΥΤΑ ή τα επιμέρους τμήματα έχουν διάρκεια ζωής πολύ μεγαλύτερη από την συνιστώμενη των μερικών χρόνων (π.χ. δέκα χρόνια για τον ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς με έκταση 20 στρ.). Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι το κόστος κατασκευής καλύπτεται από το ΥΠΕΧΩΔΕ και οι ΟΤΑ καλύπτουν το κόστος λειτουργίας και μεταφροντίδας. Έτσι οι ΟΤΑ φροντίζουν να κατασκευάζουν μεγάλης χωρητικότητας τμήματα, για να γλιτώνουν τις διαδικασίες έγκρισης νέων κονδυλίων, για την κατασκευή των μελλοντικών φάσεων. Ένας επιπλέον λόγος είναι η μικρή δυναμικότητα των περισσότερων ΧΥΤΑ στην Ελλάδα, με εξαίρεση αυτών της Αττικής και Θεσσαλονίκης. Οι περισσότεροι ΧΥΤΑ με μία έκταση περίπου 20 στρεμμάτων καλύπτουν τις ανάγκες τους για πολλά χρόνια. Όπως είναι φυσικό δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιούν έργα στεγανοποίησης για 1 περίπου στρέμμα κάθε χρόνο, έτσι κατασκευάζουν τον ΧΥΤΑ ολόκληρο.

Ακόμα όμως και στην περίπτωση που ο ΧΥΤΑ κατασκευαστεί σε διαφορετικές φάσεις υπάρχει η δυνατότητα η ανάπτυξη του απορριμματικού ανάγλυφου να γίνει σύμφωνα με το Σχήμα 1.4. Αντίθετα με το Σχήμα 1.1 εδώ δεν καλύπτεται η πρώτη φάση με εξωτερική κάλυψη αλλά για λόγους οικονομίας συνεχίζεται η καθ' ύψος εκμετάλλευση μετά το τέλος ανάπτυξης της δεύτερης φάσης. Η βάση του ΧΥΤΑ επεκτείνεται κατά ίσα τμήματα αλλά ο όγκος των απορριμμάτων κάθε φάσεις δεν είναι ο ίδιος.



Σχήμα 1.4. Συνέχιση της καθ' ύψος ανάπτυξης μετά το τέλος της 2^{ης} Φάσης[1]

Στην περίπτωση τώρα που η μόνωση και η ζώνη αποστράγγισης του ΧΥΤΑ κατασκευαστεί ολόκληρη, για τους λόγους που θέσαμε παραπάνω, τότε είναι δυνατόν και σε αυτήν την περίπτωση να έχουμε εξέλιξη κατά φάσεις. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.5, η ενιαία μόνωση μπορεί να διαχωριστεί σε περισσότερα από ένα τμήματα, με τοιχία μικρού ύψους (περίπου ενός μέτρου). Στα τμήματα αυτά, υπάρχει σύστημα συλλογής των κατακρημνισμάτων το οποίο είναι ανεξάρτητο για κάθε τμήμα. Το νερό που συλλέγεται, στο κάθε τμήμα δεν εισέρχεται σε κάποιο άλλο, αλλά οδηγείται εκτός του σώματος του ΧΥΤΑ. Με αυτόν τον τρόπο όταν βρισκόμαστε στην Φάση 1, το νερό που συλλέγεται από τα τμήματα 2 και 3 μπορεί να παροχετευτεί σε φυσικό αποδέκτη καθώς δεν έχει έρθει σε επαφή με απορρίμματα και δεν έχει ρυπαντικό φορτίο. Μόλις φτάσουμε στην φάση 2 τότε το σύστημα συλλογής αυτής της φάσης συνδέεται με αυτό της φάσης 1, και ακολουθεί από κοινού διαχείριση των στραγγισμάτων τους. Μία τέτοια αποχετευτική διάταξη είναι εύκολο να κατασκευαστεί αφού τα δίκτυα των διαφορετικών φάσεων θα συνδέονται εξωτερικά του χώρου.



Σχήμα 1.5 Ανάπτυξη Φάσεων ΧΥΤΑ με κατασκευή ενιαίας βάσης[1]

Η ίδια λειτουργία μπορεί να εξασφαλιστεί, χωρίς την κατασκευή των παραπάνω τοιχίων, με την κατάλληλη κλίση της μόνωσης της βάσης του ΧΥΤΑ. Με την κατασκευή διαδοχικών κλίσεων είναι δυνατόν να διαχωρίζονται τα νερά της βροχής, του τμήματος εκείνου που δεν έχει δεχτεί ακόμη απορρίμματα και να μην εισέρχονται στην απορριμματική μάζα της γειτονικής φάσης

Ένα ακόμα πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής, είτε πρόκειται για υπεδάφιο είτε για υπερεδάφιο ΧΥΤΑ, είναι ότι με την ολοκλήρωση κάθε επιμέρους τμήματος, ακολουθεί η κατασκευή της ενδιάμεσης κάλυψης. Η ενδιάμεση κάλυψη είναι από το ίδιο υλικό με αυτό της καθημερινής κάλυψης, αλλά είναι παχύτερη από την καθημερινή. Το πάχος της είναι συνήθως 20 έως 30 cm ή και μεγαλύτερο ανάλογα με της συνθήκες. Το κέρδος από αυτήν την ενδιάμεση κάλυψη, είναι η ελαχιστοποίηση της εισροής των κατακρημνισμάτων στην απορριμματική μάζα. Αυτό επιτυγχάνεται κατασκευάζοντας την ενδιάμεση κάλυψη με κάποια κλίση (2-5%), με αποτέλεσμα να αυξάνεται η επιφανειακή απορροή και άρα να μειώνεται η ποσότητα του ύδατος που εισρέει στον σώματος του ΧΥΤΑ. Έτσι η μάζα των απορριμμάτων είναι «ανοιχτή» στο νερό της βροχής, μόνο στο ενεργό τμήμα του ΧΥΤΑ. Η ενδιάμεση κάλυψη συνήθως αφαιρείται μερικώς, όταν πρόκειται να τοποθετηθούν τα απορρίμματα της φάσης 4.

1.5 Απαιτούμενη έκταση

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης έκτασης του ΧΥΤΑ είναι μία σχετικά πολύπλοκη διαδικασία και αυτό γιατί η έκταση εξαρτάται από πολλούς κατασκευαστικούς και λειτουργικούς παράγοντες. Οι κυριότεροι παράγοντες είναι η προσδοκώμενη διάρκεια ζωής του ΧΥΤΑ και ο εξυπηρετούμενος πληθυσμός. Ας δούμε όμως αναλυτικά αυτούς τους παράγοντες.

Το πρώτο πράγμα που θα πρέπει ο μελετητής να λάβει υπ' όψιν του είναι το μέγεθος του εξυπηρετούμενου πληθυσμού αλλά και πως αυτός θα εξελιχθεί στο μέλλον. Ο αριθμός των κατοίκων όπως έχουμε αναφέρει επηρεάζει τις παραγόμενες ποσότητες των στερεών απορριμμάτων, ουσιαστικά οι παραγόμενες ποσότητες είναι ανάλογες του πληθυσμού. Βέβαια οι παραγόμενες ποσότητες σε kg/κάτοικο και ημέρα εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως έχουμε δει. Για τον υπολογισμό της έκτασης, για λόγους ευκολίας και ελλείψει στοιχείων, θα θεωρήσουμε ότι παράγονται 1 kg/κάτοικο κάθε ημέρα. Άρα με βάση τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό μπορούμε να υπολογίσουμε την ολική ποσότητα που θα φτάνει στον ΧΥΤΑ κάθε ημέρα.

Ένα δεύτερο στοιχείο που καλείται συνήθως, η τοπική αυτοδιοίκηση να ορίσει είναι ο χρόνος ζωής του μελλοντικού ΧΥΤΑ. Η νομοθεσία προτείνει, οι εγκαταστάσεις εναπόθεσης αστικών στερεών αποβλήτων, να έχουν χρόνο ζωής τουλάχιστον 15 χρόνια., αλλά το καλύτερο θα ήταν ο ΧΥΤΑ να μπορεί να δεχτεί απορρίμματα για τουλάχιστον 20. Αυτό το όριο θα χρησιμοποιήσουμε για την παρούσα μελέτη. Έτσι λοιπόν αφού οριστεί και ο χρόνος ζωής μπορεί να υπολογιστεί η συνολική ποσότητα ΑΣΑ που θα δεχτεί ο ΧΥΤΑ μέχρι το κλείσιμο του.

Ένα επόμενο στοιχείο, που θα πρέπει να ξεκαθαριστεί, είναι η τελική πυκνότητα των απορριμμάτων μετά την συμπίεση τους στον ΧΥΤΑ. Όπως θα δούμε αργότερα η πυκνότητα εξαρτάται από το είδος των οχημάτων συμπίεσης και από τα περάσματα συμπίεσης κάθε ημερήσιου κυττάρου στον ΧΥΤΑ. Μπορούμε βέβαια να υποθέσουμε έναν μέτριο βαθμό συμπίεσης στα 600 kg/tn απορριμμάτων. Με γνωστή και την πυκνότητα των απορριμμάτων μπορούμε να υπολογίσουμε τον ολικό όγκο που θα καταλαμβάνουν τα ΑΣΑ μετά το τέλος λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Εδώ βέβαια

θα πρέπει να τονιστεί ότι τα ΑΣΑ με την πάροδο του χρόνου, λόγω της βιοαποικοδόμησης των ζυμώσιμων αλλά και λόγω της συσσώρευσης σε ύψος, συμπίεζονται. Έχει παρατηρηθεί, σε ΧΥΤΑ με μέσο βαθμό συμπίκνωσης, ολική καθίζηση από 20-50% του αρχικού ύψους,

Τέλος θα πρέπει να οριστούνε κάποια στοιχεία της λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Αυτά τα στοιχεία είναι το είδος του ΧΥΤΑ (υπεδάφιος, υπερεδάφιος κ.λ.π.) αλλά και η ποσότητα του υλικού καθημερινής κάλυψης που χρησιμοποιείται. Οι επικαλύψεις αντιστοιχούν σε ένα σημαντικό μέρος του ωφέλιμου όγκου που κυμαίνεται μεταξύ 15 και 25%. Το είδος του ΧΥΤΑ παίζει σημαντικό ρόλο καθώς από αυτό εξαρτάται το συνολικό ύψος του ΧΥΤΑ και άρα η ποσότητα των απορριμμάτων ανά μονάδα επιφάνειας. Για αυτό ακριβώς τον λόγο συνήθως υπολογίζεται πρώτα ο απαιτούμενος όγκος του ΧΥΤΑ και με βάση τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του, στη συνέχεια καθορίζεται και η απαιτούμενη έκταση.

Με γνωστά τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να βρούμε τον απαιτούμενο όγκο από την σχέση:

$$V=(T/b)*N*(1+\omega/100)*(1-\theta/100) \quad (1)$$

Τ η ετήσια παραγόμενη ποσότητα, V ο απαιτούμενος όγκος, b η πυκνότητα των απορριμμάτων στον χώρο απόθεσης σε tn/m³, ω είναι το ποσοστό επί τις εκατό του ολικού όγκου που καταλαμβάνει το υλικό κάλυψης και θ το ποσοστό επί τις εκατό της συνολικής καθίζησης σε N χρόνια.

Για μία γρήγορη εκτίμηση μπορούμε να κάνουμε ορισμένες παραδοχές όπως οι παραπάνω για τις παραγόμενες ποσότητες ανά κάτοικο και της συμπίεσης των απορριμμάτων. Επιπλέον μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το υλικό κάλυψης καταλαμβάνει το 20% του όγκου και ότι θα υπάρχει καθίζηση 35% μετά από 20 χρόνια. Έτσι για μία πόλη 50000 κατοίκων θα παράγει κάθε χρόνο 50000*365*1,2kg= 21900 tn το χρόνο. Από την εξίσωση (1) έχουμε:

$$V=(21900/0,6)*20*(1+20/100)*(1-35/100)= 569400 \text{ m}^3$$

Από τον όγκο αυτό διαιρέσουμε με το μέσο ύψος των απορριμμάτων, που εξαρτάται από το είδος του ΧΥΤΑ, βρίσκουμε την απαιτούμενη έκταση.

Στην [4] δίνεται ο διαθέσιμος όγκος του υπερεδάφιου ΧΥΤΑ που έχει υπολογιστεί ως συνάρτηση του εμβαδού E σε στρέμματα

$$V=k*E^{1,53}$$

Όπου k είναι ο συντελεστής εξαρτώμενος από το γεωμετρικό σχήμα της βάσης ($k=0,55$ για ορθογώνιο 1:5, $k=1,17$ για κύκλο, $k=1,01$ για τετράγωνο και $k=0,87$ για ορθογώνιο 1:2).

Βέβαια η απαιτούμενη έκταση ενός ΧΥΤΑ δεν είναι μόνο ο χώρος που καταλαμβάνει το κυρίως σώμα του ΧΥΤΑ. Υπάρχει η ανάγκη για επιπλέον χώρο για την κτιριακή υποδομή, για τους δρόμους πρόσβασης, για την αντιτυρική προστασία αλλά το πιο σημαντικό είναι να υπάρχει η απαιτούμενη έκταση για την απόληψη του υλικού της καθημερινής κάλυψης των απορριμμάτων. Ακόμα και να μην υπάρχει διαθέσιμος χώρος για εκσκαφή για το υλικό κάλυψης θα πρέπει να υπάρχει η αναγκαία έκταση για την αποθήκευση του υλικού σε περίπτωση που έρχεται από περιοχή εκτός του ΧΥΤΑ. Η επιπλέον έκταση υπολογίζεται σε 25 έως 80% της έκτασης του κυρίως σώματος του ΧΥΤΑ με το μεγαλύτερο ποσοστό στην περίπτωση που η εκσκαφή του υλικού κάλυψης γίνεται εντός του ΧΥΤΑ [6]. Πολλές φορές βέβαια το υλικό κάλυψης προέρχεται από τις εκσκαφές για την διαμόρφωση του ίδιου του ΧΥΤΑ, ειδικά στην περίπτωση των υπεδάφίων αλλά και από φερτά υλικά στον χώρο όπως μπάζα.

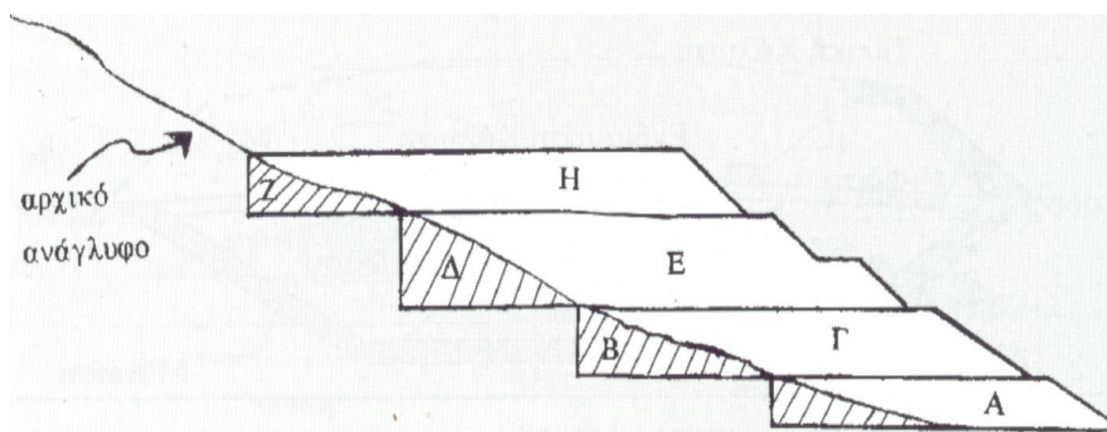
Από την [5] βλέπουμε ότι στην Ελλάδα το κόστος της γης για την εγκατάσταση ΧΥΤΑ είναι κατά μέσο όρο 240000 δρχ/στρέμμα. Ενώ πολλές φορές οι ΟΤΑ χρησιμοποιούν δημοτική γη και για αυτό δεν δηλώνουν κόστος απόκτησης γης (περίπτωση ΧΥΤΑ Ξάνθης). Αυτό όμως δεν είναι ορθό γιατί, μπορεί να μην κοστολόγησαν την συγκεκριμένη χρήση της γης, αλλά η ίδια η χρήση της έχει κάποιο κόστος. Θα μπορούσε η έκταση αυτή να έχει άλλη πιο κερδοφόρα χρήση. Έτσι θα θεωρούμε ότι η χρήση της γης, ακόμα και στην περίπτωση που είναι δημοτική, κοστίζει το ίδιο. Βέβαια η χρήση δημοτικής γης έχει άλλα πλεονεκτήματα σε σχέση με την ιδιωτική (αποφυγή χρονοβόρων διαδικασιών απαλλοτρίωσης, λιγότερες διαμαρτυρίες πολιτών κ.λπ.).

1.6 Διαμόρφωση του Χώρου

Το κόστος της διαμόρφωσης του χώρου, δηλαδή τα χωματουργικά έργα, είναι ένα σημαντικό στοιχείο του ολικού κατασκευαστικού κόστους. Σε αυτά τα έργα συμπεριλαμβάνεται η εκσκαφή του χώρου για μεγιστοποίηση της χωρητικότητας του, η ισοπέδωση του, η εκσκαφή των θεμελίων για τις κτιριακές εγκαταστάσεις, η μεταφορά των υλικών των εκσκαφών εκτός του χώρου κ.λ.π.

Η ισχύουσα νομοθεσία δίνει κατευθύνσεις μόνο για τις κλίσεις των πρανών, και αφήνει την διαμόρφωση του χώρου στον μελετητή μηχανικό. Για παράδειγμα σε έναν μερικώς υπεδάφιο ΧΥΤΑ τα πλευρικά πρανή δεν θα πρέπει να ξεπερνούν την κλίση 1/3, το ίδιο ισχύει και σε έναν υπερεδάφιο ΧΥΤΑ.

Οι απαραίτητες χωματουργικές εργασίες για την εγκατάσταση ενός ΧΥΤΑ είναι ανάλογες με την μορφολογία του φυσικού ανάγλυφου. Για παράδειγμα όταν η διαθέσιμη περιοχή για ΧΥΤΑ είναι μία πλαγιά ενός λόφου, τότε, εφόσον το επιτρέπουν οι γεωλογικές και εδαφολογικές συνθήκες, ακολουθείται η σειρά του Σχήματος 1.6. Τα απορρίμματα τοποθετούνται στον χώρο Α, ο χώρος Β εκσκάπτεται και διαμορφώνεται παράλληλα με της διαδικασίες ταφής στο Α (το υλικό από την εκσκαφή της Β περιοχής χρησιμοποιείται για την κάλυψη των απορριμμάτων στην Α). Το ίδιο συνεχίζεται μέχρι την περιοχή Δ. Όπως διαπιστώνεται οι αναγκαίες χωματουργικές εργασίες διαφέρουν από χώρο σε χώρο και δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν.



Σχήμα 1.6 Διαμόρφωση ΧΥΤΑ σε πλαγιά

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τις «αναγκαίες» χωματουργικές εργασίες είναι ο παράγοντας κόστος. Αν στο παραπάνω παράδειγμα στις περιοχές Β,Δ,Ζ υπήρχε βραχώδες έδαφος, τότε ενδεχομένως να μην συμφέρει οικονομικά η εκσκαφή του.

Στους καθ' ύψος αναπτυσσόμενους ΧΥΤΑ οι συχνότερες εκσκαφές αφορούν την εις βάθος εκσκαφή του χώρου είτε για να δημιουργηθεί ένας εξολοκλήρου υπεδάφιος ΧΥΤΑ είτε ένας μερικώς. Με τις εκσκαφές αυτές μεγιστοποιείται η χωρητικότητα του ΧΥΤΑ για δεδομένη έκταση. Μερικές φορές μπορεί να επιλεγεί η εκσκαφή του χώρου, ακόμα αν είναι πολύ δαπανηρή, λόγω έλλειψης διαθέσιμου χώρου για την εγκατάσταση ΧΥΤΑ.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το κόστος των χωματουργικών εξαρτάται κατά βάση από τις εδαφολογικές συνθήκες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σαν ενδεικτικά τα στοιχεία από τις [10] και [9]. Στην [9] οι γενικές χωματουργικές εργασίες πληρώθηκαν προς 415 δρχ./m³ ενώ οι απλές εκσκαφές και η μεταφορά των προϊόντων 319 δρχ. (2001), και στις δύο περιπτώσεις το έδαφος ήταν γεώδες. Από την άλλη στην [10] οι εκσκαφές σε έδαφος βραχώδες κοστολογούνται σε 2566 δρχ./m³, βέβαια επί του ποσού αυτού θα γίνει έκπτωση από τον εργολάβο που συνήθως είναι τις τάξης του 30%, άρα η εκσκαφή βραχώδους εδάφους κοστίζει 1800 δρχ περίπου. Η διαφορά των τιμών είναι πολύ μεγάλη ανάμεσα σε γαιώδες και βραχώδες έδαφος.

1.6.1 Εκσκαφές κατά την λειτουργία

Εκσκαφές και χωματουργικές εργασίες είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν και κατά την διάρκεια της λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Πολλές φορές το αναγκαίο εδαφικό υλικό για την ημερήσια κάλυψη εξασφαλίζεται από εκσκαφές παρακείμενου στον ΧΥΤΑ χώρου. Επιπλέον η διαμόρφωση των εσωτερικών οδικών προσβάσεων είναι μία συνεχής λειτουργία συνδεδεμένη με το πρόγραμμα εκμετάλλευσης του ΧΥΤΑ. Στην [2] παρουσιάζεται ότι κατά την διάρκεια λειτουργίας του ΧΥΤΑ Πατραίων πραγματοποιήθηκαν 0,079 m³ / tn msw εκσκαφών. Τα έξοδα αυτών των εκσκαφών μπορούμε να τα συμπεριλάβουμε στα λειτουργικά έξοδα των οχημάτων του ΧΥΤΑ, αφού συνήθως αυτά χρησιμοποιούνται και για τις χωματουργικές εργασίες.

1.7 Μόνωση Χώρου Ελεγχόμενης Εναπόθεσης

1.7.1 Γενικά

Το σύστημα μόνωσης του ΧΥΤΑ αποτελεί βασικό παράγοντα σωστής λειτουργίας και προϋπόθεση για τις όσο το δυνατόν λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Είναι η βάση πάνω στην οποία στήνεται το σύστημα συλλογής των στραγγισμάτων και το τεχνητό φράγμα που εμποδίζει την διαφυγή των στραγγισμάτων στο περιβάλλον και στον υπόγειο υδροφόρο.

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία στόχοι της μόνωσης είναι:

- Η ελαχιστοποίηση ή και ο εκμηδενισμός της πιθανότητας διαφυγής στραγγισμάτων, και διαρροής ή μετακίνησης βιοαερίου από την βάση του ΧΥΤΑ και τα πλευρικά τοιχώματα.

- Η διασφάλιση της αποτελεσματικότητας του συστήματος συλλογής των στραγγισμάτων και του συστήματος συλλογής του βιοαερίου.

Το φυσικό έδαφος του πυθμένα και των πλευρικών πρανών, σύμφωνα πάντα με την ισχύουσα νομοθεσία, πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις υδραυλικής αγωγιμότητας και πάχους οι οποίες αντιστοιχούν σε στρώμα αργίλου ενός μέτρου με $K \leq 1 \times 10^{-9}$ m/sec. Αν οι απαιτήσεις αυτές δεν καλύπτονται από τη φυσική μόνωση, τοποθετείται τεχνητή εδαφική μόνωση ή γίνεται ενίσχυση με άλλα μέσα ώστε να επιτυγχάνεται ισοδύναμη προστασία. Σε περίπτωση που τοποθετηθεί τεχνητή μόνωση με εδαφικά υλικά, αυτή θα πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 50 cm και να τοποθετείται σε δύο επάλληλες στρώσεις πάχους μεγαλύτερου ή ίσου με 25 cm. Πριν ξεκινήσουν οι εργασίες κατασκευής της μονωτικής στρώσης, η επιφάνεια του εδάφους εξομαλύνεται και συμπιέζεται.

Επιπλέον της τοποθέτησης ενδεχόμενης εδαφικής μόνωσης, απαραίτητη είναι και η τοποθέτηση μόνωσης γεωμεμβράνης.

1.7.2 Μόνωση με ορυκτά υλικά

Προδιαγραφές Αργιλικής Μόνωσης

Η μόνωση της βάσης με ορυκτά υλικά είναι αρκετά διαδεδομένη. Η μόνωση αυτή αποτελείται από άργιλο ή μπετονίτη ή συνδυασμό ενός, δύο ή τριών υλικών (αργίλου, μπετονίτη, ιπτάμενης τέφρας, θηραϊκής γης ή υδρύαλου ή ασφάλτου). Ποιο συχνά χρησιμοποιούμενη μόνωση από ορυκτά υλικά είναι η αργιλική μόνωση.

Η κείμενη νομοθεσία θέτει ορισμένες προδιαγραφές και απαιτήσεις ως προ τα αργιλικά εδαφικά υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της αργιλικής μόνωσης:

- Το ποσοστό του λεπτόκοκκου υλικού με διάμετρο κάτω από 2 μ m να είναι μεγαλύτερο από το 20% κατά μάζα
- Το ποσοστό του οργανικού υλικού να μην ξεπερνάει το 5%
- Το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου να είναι μικρότερο από 20%
- Και το ποσοστό του χονδρόκοκκου υλικού (διάμετρος μικρότερη από 32mm) να είναι μικρότερο από 40% επί του ολικού όγκου.

Επίσης θα πρέπει να πιστοποιείται, με εργαστηριακό έλεγχο, η καταλληλότητα των υλικών της αργιλικής στρώσης. Ο έλεγχος αυτός θα πρέπει κατ' ελάχιστον να περιλαμβάνει τα εξής:

- Κατάταξη του υλικού (κοκκομετρική διαβάθμιση, υγρασία, ποσοστά αργιλικού και οργανικού υλικού, όρια πυκνότητας)
- Μέτρο συμπίεσης
- Διατμητική αντοχή
- Πυκνότητα κατά Proctor
- Υδραυλική αγωγιμότητα

Κατασκευή Αργιλικής μόνωσης

Κατ' αρχήν η φυσική επιφάνεια του εδάφους καθαρίζεται, εξομαλύνεται και συμπίεζεται. Ο βαθμός συμπίεσης της επιφάνειας εξομάλυνσης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 95% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας Proctor.

Το αργιλικό υλικό μεταφέρεται στον τόπο κατασκευής και αποθηκεύεται σε σειράδια. Αφού ομογενοποιηθεί με φρέζες, έτσι ώστε να σπάσουν οι σβόλοι που σχηματίζει η άργιλος, ρυθμίζεται η υγρασία του μέχρι το επιθυμητό βαθμό. Το όριο υδαρότητας της αργίλου θα πρέπει να μην ξεπερνά το 40% και ο δείκτης πλαστικότητας να είναι μεταξύ 10% και 25%.

Στην συνέχεια η άργιλος θα πρέπει να τοποθετείται σε περισσότερες από δύο λεπτές στρώσεις. Αυτό βοηθάει στην κατάλληλη συμπίεση και ομογενοποίηση της αργίλου. Γενικά το πάχος των στρώσεων θα πρέπει να είναι μεταξύ 25 και 30 cm πριν την συμπίεση και 20 cm μετά την συμπίεση. Είναι σημαντικό κάθε στρώση να εφαρμόζει πολύ καλά πάνω στην προηγούμενη και η κάθε στρώση να έχει πολύ καλή σύνδεση με την επόμενη. Αν αυτό δεν γίνει τότε, μπορεί οι διαφορετικές στρώσεις να λειτουργούν σαν ανεξάρτητες στρώσεις. Σαν αποτέλεσμα αυτής της μη καλής σύνδεσης στην αργιλική μόνωση, εμφανίζεται η υδραυλική ασυνέχεια μεταξύ των στρώσεων, η οποία μπορεί να έχει πολύ κακές επιπτώσεις ειδικά σε περιπτώσεις κατασκευαστικών αστοχιών σε κάθε μία από τις στρώσεις. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το φαινόμενο θα πρέπει η επιφάνεια της προηγούμενης στρώσης να μην είναι λεία έτσι ώστε η επόμενη να δένει με αυτήν.

Η συμπίεση των στρώσεων γίνεται με δύο τρόπους. Με έμβολο ή με κυλινδρικό στρωτήρα ο οποίος φέρει προεξέχοντες ράβδους ή πόδια μήκους 15cm. Γενικά οι κυλινδρικοί στρωτήρες είναι πιο αποτελεσματικοί στην συμπίεση των αργιλικών στρωμάτων. Το μηχάνημα συμπίεσης θα πρέπει να περάσει τουλάχιστον 6 φορές πάνω από την αργιλική στρώση.

Οι στρώσεις τοποθετούνται οριζόντια στην βάση της μόνωσης, ενώ στα πλευρικά τοιχώματα μπορούν να τοποθετηθούν παράλληλα με τα πρανή (κλίση όχι μεγαλύτερη από 1/3) είτε οριζόντια. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην περίπτωση οριζόντιων στρώσεων στα πρανή γιατί σε περίπτωση αστοχία μίας στρώσης τότε δημιουργείται άνοιγμα με κίνδυνο την διαφυγή στραγγισμάτων.

Η τοποθέτηση της μόνωσης θα πρέπει να γίνεται σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα για να μην εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία. Γενικά θα πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση της αργιλικής μόνωσης κατά την διάρκεια πολύ ζεστών ημερών, με μεγάλη ηλιοφάνεια ή κατά την διάρκεια πολύ χαμηλών θερμοκρασιών σε συνδυασμό με μεγάλες βροχοπτώσεις.

Η επιφάνεια της μόνωσης πρέπει να είναι ομογενής και ομοιόμορφη. Οι αποκλίσεις / ανωμαλίες δεν θα ξεπερνούν το όριο των 2 cm σε οριζόντια απόσταση 4m. Επίσης επιτόπιοι έλεγχοι γίνονται για κάθε στρώση, όπου ελέγχεται η πυκνότητα για κάθε 1000 m² ενώ ελέγχονται το πάχος και οι επιφανειακές κλίσεις κάθε 20 μέτρα.

1.7.3 Μόνωση με συνθετική Γεωμεμβράνη

Προδιαγραφές γεωμεμβράνης

Οι γεωμεμβράνες είναι συνθετικά υλικά, κυρίως πλαστικά, σε μορφή φύλλων που χρησιμοποιούνται στη μόνωση του ΧΥΤΑ. Οι γεωμεμβράνες είναι κατασκευασμένες από πολυμερή με μεγάλο μοριακό βάρος όπως πολυβινυλοχλωρίδια (PVC), πολυαιθυλένιο (PE), χλωριωμένο πολυαιθυλένιο (CPE) ελαστομερή. Τα δύο πιο κοινά χρησιμοποιούμενα υλικά είναι το υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE) και το PVC.

Υπάρχει μία τάση να χρησιμοποιούνται περισσότερο γεωμεμβράνες από HDPE καθώς εμφανίζουν πολύ υψηλές χημικές αντοχές και είναι πολύ ανθεκτικές στον χρόνο. Είναι ένα υλικό, λίγο δύσκαμπτο αλλά έχει πολύ καλές φυσικές αντοχές και μπορεί να αντέξει τις υψηλές καταπονήσεις που εφαρμόζονται στην μεμβράνη κατά την διάρκεια κατασκευής και τοποθέτησης της στον ΧΥΤΑ.

Αντίθετα το PVC χρησιμοποιείται σπανιότερα σε ΧΥΤΑ λόγω του μικρότερου χρόνου ζωής και της μικρότερης αντοχής σε χημικές ενώσεις όπως αυτές των στραγγισμάτων. Από την άλλη το PVC είναι γενικά φθηνότερο από το HDPE και μπορεί να κατασκευασθεί σε μεγαλύτερα φύλλα έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η τοποθέτηση του και σε λιγότερο χρόνο, αφού θα χρειάζονται λιγότερες συγκολλήσεις.

Στην υπάρχουσα νομοθεσία δεν γίνεται αναφορά στο υλικό της γεωμεμβράνης αλλά ορίζονται ορισμένες προδιαγραφές

- Εφελκυστική αντοχή θραύσης να είναι μεγαλύτερη από 24 N/mm^2
- Εφελκυστική αντοχή διαρροής να είναι μεγαλύτερη από 15 N/mm^2
- Επιμήκυνση σε θραύση να είναι μεγαλύτερη από 600%
- Επιμήκυνση σε διαρροή να είναι μεγαλύτερη από 8%
- Αντοχή σε σχίσσιμο μεγαλύτερη από 500 N/mm^2
- Αντοχή σε διάτρηση μεγαλύτερη από 300 N/mm^2
- Αντοχή σε εφελκυσμό κατά τη θραύση μεγαλύτερη από 120 N/mm^2
- Όριο σχισίματος μεγαλύτερο από 500 N
- Πολυαξονική επιμήκυνση σε θραύση μεγαλύτερη από 15%

Επίσης γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο μέγεθος των φύλλων της γεωμεμβράνης που πρέπει να είναι τουλάχιστον 150 m σε μήκος και 5 m σε πλάτος, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι συγκολλήσεις μεταξύ των φύλλων. Τέλος το ελάχιστο επιτρεπόμενο πάχος της γεωμεμβράνης είναι 1.5 mm.

1.7.3 Κατασκευή Μόνωσης Γεωμεμβράνης

Τοποθέτηση της γεωμεμβράνης.

Η μεμβράνη παραλαμβάνεται σε μεγάλα ρολά τα οποία θα πρέπει να αποθηκεύονται κατάλληλα έτσι ώστε να προφυλάσσονται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία προσλαμβάνεται από την γεωμεμβράνη λόγω του χρώματος της (συνήθως έχει το χρώμα του άνθρακα) και προκαλεί την γήρανση της. Επίσης θα πρέπει να προστατεύεται και από την έκθεση της σε μεγάλες θερμοκρασίες και ο χώρος αποθήκευσης θα πρέπει να αερίζεται καλά, για να εκτίθεται η μεμβράνη σε όσο το δυνατόν μικρότερες θερμοκρασίες.

Το ρολό ξετυλίγεται μόνο στην περίπτωση που πρόκειται να τοποθετηθεί την ίδια μέρα. Κατά την τοποθέτηση τα φύλλα ελέγχονται για τυχόν κατασκευαστικές ατέλειες. Είναι πολύ σημαντικό να σημειωθούν ενδεχόμενες τρύπες στην μεμβράνη για να μπορέσουν να διορθωθούν.

Θα πρέπει να γίνει προσεκτικός προγραμματισμός όσο αφορά την τοποθέτηση των φύλλων για να μην χρειαστεί να περάσει κάποιο όχημα επάνω από ήδη τοποθετημένο φύλλο. Μόνο το προσωπικό που είναι υπεύθυνο για την συγκόλληση των φύλλων και ο απαραίτητος μηχανολογικός εξοπλισμός θα πρέπει να

βρίσκεται εντός του χώρου. Η τοποθέτηση γίνεται με μεγάλη προσοχή και γίνονται προσπάθειες η μεμβράνη να εφάπτεται πολύ καλά στο τεχνητό ή φυσικό υπόστρωμα.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην προσωρινή αγκύρωση της γεωμεμβράνης στα άκρα για να μην δημιουργήσει προβλήματα ο άνεμος. Ένας μικρής έντασης άνεμος είναι δυνατόν να παρασύρει την γεωμεμβράνη και ενδεχομένως να την σχίσει. Για να αποτραπεί το συγκεκριμένο φαινόμενο μπορεί να χρησιμοποιηθούν σάκοι με άμμο στην άκρη των φύλλων.

Τέλος η μεμβράνη δεν θα πρέπει να μένει ακάλυπτη για μεγάλο χρονικό διάστημα, και επιβάλλεται η επικάλυψη της όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Συνήθως επάνω από την μεμβράνη τοποθετείται γεωύφασμα 800 g/m^2 ή 1200 g/m^2 , το οποίο είναι ένα ύφασμα από πολυμερές υλικό. Αλλά μπορεί να τοποθετηθεί και μία ζώνη από θραυστό υλικό συνήθως άμμος θαλάσσης, κατευθείαν επάνω από την μεμβράνη.

Το στρώσιμο αυτής της προστατευτικής στρώση απαιτεί μεγάλη προσοχή γιατί τα οχήματα που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτόν είναι εύκολο να τραυματίσουν την μεμβράνη. Η ζημιά που θα προκληθεί μπορεί να είναι μεγάλη και πολύ δύσκολα ανιχνεύσιμη. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ελαφρά οχήματα τα οποία σε καμία περίπτωση δεν περνάνε από ακάλυπτη μεμβράνη. Γενικά ο χρόνος κάλυψης της μεμβράνης είναι 50%-100% του χρόνου τοποθέτησης και συγκόλλησης. Συνιστάται να μην αναλαμβάνουν την επικάλυψη πάνω από δύο συνεργεία (το καθένα να αποτελείται από ένα μικρό φορτηγό και μία ελαφριά μπουλντόζα).

Συγκόλληση των φύλλων

Τα φύλλα της μεμβράνης τοποθετούνται έτσι ώστε να υπάρχει επικάλυψη τουλάχιστον κατά 50 cm. Χρειάζεται μεγάλη προσοχή έτσι ώστε να είναι καθαρά και στεγνά στα σημεία που θα γίνει η συγκόλληση. Αν η συγκόλληση ξεκινάει πρωί θα πρέπει να περιμένουμε ώστε να εξατμιστεί η πρωινή υγρασία για να μην έχουμε προβλήματα.

Η συγκόλληση γίνεται με δύο τρόπους:

- Με **εξέλαση** όπου χρησιμοποιείται υλικό το οποίο αφού λιώθει συγκολλά τις δύο μεμβράνες
- Με **θερμοστοιχείο** το οποία θερμαίνει της μεμβράνες στα σημεία συγκόλλησης και αφού τα λιώσει, τα συμπιέζει για να κολλήσουν μεταξύ τους.

Η ταχύτητα συγκόλλησης διαφέρει ανάλογα με τον μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται και κυμαίνεται από 50 ft/hr μέχρι 300 ft/hr.

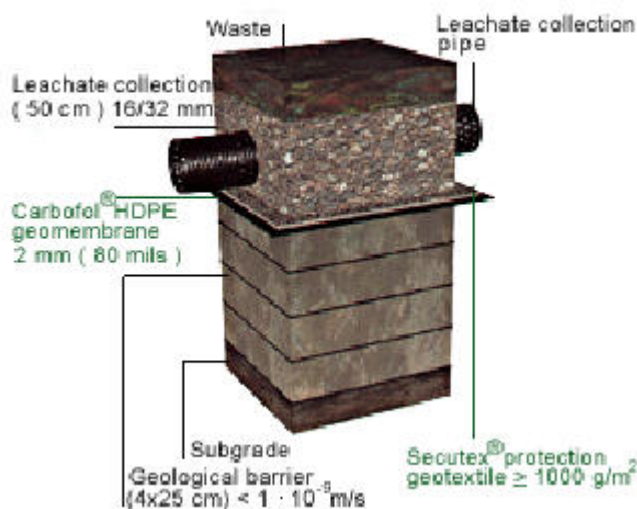
Η σωστή συγκόλληση των φύλλων θα πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή καθώς εκεί ακριβώς, στις συγκολλήσεις, είναι και το πιο πιθανό σημείο για διαρροές. Για αυτό το λόγο οι συγκολλήσεις γίνονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δυνάμεις που εφαρμόζονται σε αυτές. Οι γενικές αρχές του σχεδιασμού είναι

- Οι συγκολλήσεις θα πρέπει να είναι παράλληλες στην γραμμή της μεγαλύτερης κλίσης και όχι κάθετες.
- Οι παράλληλες συγκολλήσεις στην βάση της κλίσης τοποθετούνται σε απόσταση τουλάχιστον 1.5 m.
- Οι παράλληλες συγκολλήσεις στην κορυφή της κλίσης τοποθετούνται σε απόσταση 1 m από την κορυφή.
- Τα φύλλα στην βάση του ΧΥΤΑ τοποθετούνται έτσι ώστε τα ανάντη να υπερκαλύπτουν τα κατόντη.
- Ο αριθμός των συγκολλήσεων γενικά πρέπει να ελαχιστοποιείται, ειδικά σε γωνίες.

Καθόλη την διάρκεια των εργασιών συγκόλλησης και τοποθέτησης της μεμβράνης ελέγχονται οι συγκολλήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι έλεγχοι πραγματοποιούνται με συσκευές κενού αέρος

1.7.4 Κόστος Μόνωσης ΧΥΤΑ

Συνήθως στους ΧΥΤΑ που δέχονται αστικά απορρίμματα χρησιμοποιείται η ελάχιστη μόνωση που απαιτεί ο νόμος. Αυτή αποτελείται από στρώμα αργιλικής μόνωσης, γεωμεμβράνη και γεωύφασμα προστασίας της γεωμεμβράνης (Σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.7 Τυπικό Προφίλ Μόνωσης

Στους χώρους όπου δέχονται επικίνδυνα απόβλητα κατασκευάζονται συνήθως διπλές μονώσεις με δύο αποστραγγιστικές ζώνες. Για τις ανάγκες μας θα υποθέσουμε ότι ο ΧΥΤΑ χρησιμοποιεί απλή μόνωση, όπως άλλωστε συμβαίνει στην πλειοψηφία των λειτουργούντων ΧΥΤΑ στην Ελλάδα

Το κόστος της μόνωσης μετριέται σε μονάδες χρημάτων ανά καλυπτόμενη επιφάνεια. Σύμφωνα με την [8] η συνολική μόνωση κόστισε 4500 δρχ/m², ενώ από την [9] η τιμή είναι παρόμοια 4160 δρχ/m². Τα ποσά είναι χωρίς ΦΠΑ και εργολαβικό κέρδος 18%.

Από την [10] όπου υπάρχει αναλυτική κοστολόγηση για τα επιμέρους τμήματα έχουμε για την αργιλική μόνωση 2800 δρχ/m², για την γεωμεμβράνη 4500 δρχ/m² και για το γεώφασμα 2500 δρχ/m². Βλέπουμε πως στην [10] η γεωμεμβράνη κοστολογείται όσο ολόκληρη η μόνωση στις άλλες δύο πηγές. Αυτό οφείλεται στο ότι οι τιμές τις [10] είναι πριν την έκπτωση του εργολάβου (τυπική τιμή 30%) και επιπλέον είναι τιμές του 2003, ενώ οι προηγούμενες είναι προγενέστερες.

Εδώ πρέπει να τονίσουμε πως η τιμή για την γεωμεμβράνη είναι σχεδόν ανεξάρτητη από το πάχος της. Από τιμές της εταιρείας TECON η γεωμεμβράνη κοστολογείται από 715 δρχ/m², για μεμβράνη HDPE 1mm, μέχρι 1260 δρχ/m² η μεμβράνη HDPE 2 mm. Η διαφορά είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την κοστολόγηση της [10]. Η εταιρεία όμως TECON κατασκευάζει μονώσεις σαν υπερεργολάβος και αυτές είναι οι τιμές που πληρώνεται από τους κύριους εργολάβους των έργων. Ο εργολάβος των έργων κοστολογεί την μόνωση με βάση τις τιμές της [10] και στην συνέχεια αναθέτει το έργο σε υπερεργολάβους με χαμηλότερη τιμή.

Εμείς είμαστε υποχρεωμένοι να χρησιμοποιήσουμε για την κοστολόγηση της μόνωσης τις τιμές της [10] αφού αυτές πληρώνουν οι ΟΤΑ για την κατασκευή του έργου.

1.8 Αποστραγγιστική Ζώνη

Γενικά

Ένα από τα βασικά κριτήρια αξιολόγησης της καλής λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ είναι η δυνατότητα απομάκρυνσης των στραγγισμάτων, έξω από το απορριμματικό ανάγλυφο, προς το σύστημα επεξεργασίας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί κανένα σύστημα μόνωσης δεν προσφέρει απόλυτη προστασία από την διαρροή των στραγγισμάτων. Η διαρροή αυτή είναι ανάλογη με το υδραυλικό ύψος των στραγγισμάτων επάνω από την μόνωση. Άρα η ελαχιστοποίηση του υδραυλικού

ύψους των στραγγισμάτων είναι, εξίσου σημαντική με την αποτελεσματική μόνωση του χώρου.

Το Σύστημα Συλλογής και Απομάκρυνσης των Στραγγισμάτων σχεδιάζεται έτσι ώστε να ικανοποιεί αυτή ακριβώς την ανάγκη της αποτελεσματικής και ελεγχόμενης απομάκρυνσης των σταλαγμάτων. Το ΣΣΜΑ συνήθως αποτελείται από:

- Μία στρώση εδαφικού υλικού μεγάλης υδραυλικής αγωγιμότητας, η σχετική ΚΥΑ ορίζει 10-3-10-2 m/sec, και πάχους τουλάχιστον 30 cm. Η στρώση αυτή τοποθετείται ακριβώς επάνω από την μόνωση του χώρου και κατασκευάζεται με κάποια κλίση για να απομακρύνονται τα στραγγίσματα με την δύναμη της βαρύτητας (κλίση 2-3%).
- Αγωγούς συλλογής των στραγγισμάτων, οι οποίοι τοποθετούνται εσωτερικά της αποστραγγιστικής ζώνης, στο κατώτερο σημείο της και οι οπές καλύπτουν τα 2/3 της επιφάνειάς τους. Οι αγωγοί αυτοί βελτιώνουν την αποστραγγιστική ικανότητα της και οδηγούν τα στραγγίσματα σε φρεάτια άντλησης. Πολλές φορές οι αγωγοί περιβάλλονται από ένα προστατευτικό φίλτρο, αποτελούμενο από χαλίκι, για να εμποδίζεται το φράξιμο των αγωγών από συμπυκνώματα.
- Φρεάτια συλλογής και άντλησης των στραγγισμάτων. Σε αυτά τα φρεάτια οδηγούνται τα στραγγίσματα και αντλούνται είτε προς την δεξαμενή στραγγισμάτων είτε προς το σύστημα επεξεργασίας.

1.8.1 Σχεδίαση Αποστραγγιστικής ζώνης.

Για την αποτελεσματική μελέτη και κατασκευή ενός συστήματος αποστράγγισης, αλλά και της κοστολόγησης, ακολουθείται μία συγκεκριμένη μεθοδολογία την οποία θα παρουσιάσουμε στην συνέχεια σε συνδυασμό με την ισχύουσα νομοθεσία στην Ελλάδα. Τα βήματα που ακολουθούνται σε γενικές γραμμές είναι τα εξής :

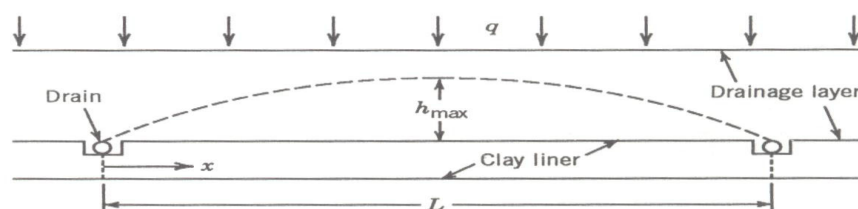
Βήμα 1. Υπολογισμός των παραγόμενων στραγγισμάτων. Ο υπολογισμός του όγκου των στραγγισμάτων που συλλέγεται από την ζώνη αποστράγγισης γίνεται χρησιμοποιώντας μοντέλα εκτίμησης του υδατικού ισοζυγίου του ΧΥΤΑ. Ο υπολογισμός αυτός μπορεί να γίνει με υπολογιστικά μοντέλα, όπως το HELP3, η λειτουργία του οποίου θα αναπτυχθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Το σύστημα συλλογής πρέπει να σχεδιαστεί για την χειρότερη περίπτωση, που ορίζεται με βάση την μέγιστης διάρκειας και έντασης βροχόπτωση της 20-ετίας, λαμβάνοντας συγχρόνως υπ όψιν το υπάρχον ανάγλυφο, τις εδαφομηχανικές

παραμέτρους της ζώνης και τα φορτία των υπερκείμενων απορριμμάτων. Η χειρότερη δηλαδή περίπτωση εντοπίζεται σε συνδυασμό των παραπάνω παραγόντων. Γενικά το χειρότερο σενάριο είναι η μέγιστη βροχόπτωση 20-ετίας την χρονική περίοδο κατά την οποία έχει τοποθετηθεί στον ΧΥΤΑ μόνο μία στρώση απορριμμάτων.

Βήμα 2. Υπολογισμός των κλίσεων της βάσης, των αποστάσεων μεταξύ των αγωγών και της υδραυλικής αγωγιμότητας της αποστραγγιστικής ζώνης.

Για μία δεδομένη ποσότητα παραγόμενων στραγγισμάτων, το υδραυλικό ύψος επάνω στην στρώση της μόνωσης εξαρτάται μόνο από τους παραπάνω παράγοντες. Για να γίνει κατανοητή η επίδραση των παραπάνω παραγόντων στο υδραυλικό ύψος θα παρουσιαστεί η μέθοδος του Cedergren. Η μέθοδος αυτή υπολογίζει την παροχή στο ΣΣΜΑ και υποθέτει ότι δεν υπάρχει κλίση μεταξύ των σωλήνων συλλογής, η ζώνη της μόνωσης είναι αδιαπέραστη και ότι η παροχή των στραγγισμάτων στην ζώνη αποστράγγισης είναι ομοιόμορφη. Αν η μισή παροχή διοχετεύεται σε κάθε έναν από τους δύο σωλήνες τότε η παροχή σε κάθε σωλήνα θα είναι



Σχήμα 1.8: Ροή στραγγισμάτων σε επίπεδη αποστρ. Ζώνη[16]

$$Q=q*L/2$$

Επίσης αν εφαρμοστεί ο νόμος του Darcy, τότε η παροχή σε κάθε σωλήνα θα είναι ανά μονάδα πλάτους

$$Q=k*(h_{max}/0.5L)*h_{max}=k*2*h_{max}/L$$

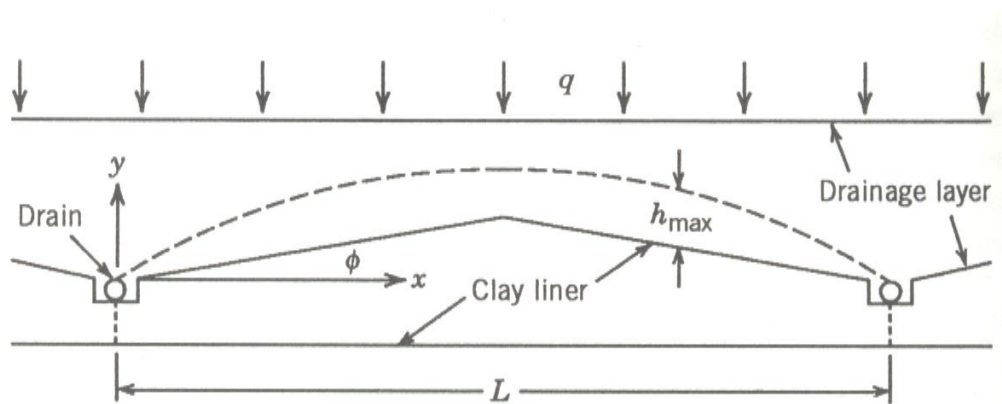
Αν τώρα συνδυαστούν οι δύο εξισώσεις, τότε

$$(q*L)/2=k*2h_{max}/L$$

$$L=2h_{max}(k/q)^{1/2}$$

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται πως η απόσταση των αγωγών είναι συνάρτηση της παροχής των στραγγισμάτων q , της υδραυλικής αγωγιμότητας και του υδραυλικού ύψους h . Αν θεωρηθεί ότι το h_{max} δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30 cm [11] και με το q γνωστό, αφού εξαρτάται κυρίως από το υδατικό ισοζύγιο, μπορεί εύκολα να υπολογιστεί η αναγκαία απόσταση των αγωγών.

Αν τώρα υπάρχει η δυνατότητα για να διαμορφωθεί η στρώση της μόνωσης με διαδοχικές κλίσεις για να οδηγούνται τα στραγγίσματα στις σωληνώσεις, τότε ισχύει το μοντέλο του Moore (Σχήμα 1.9)



Σχήμα 1.9 Ροή στραγγισμάτων σε ζώνη με διαδοχικές κλίσεις [16]

Και το μέγιστο ύψος δίνεται από τον τύπο:

$$L = \frac{2 * h_{\max}}{\sqrt{c} \left[(\tan^2 \phi / c) + 1 - (\tan \phi / c) \sqrt{\tan^2 \phi + c} \right]}$$

$$c = q/k$$

Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι η υδραυλική αγωγιμότητα, η κλίση της μόνωσης και η απόσταση των αγωγών επηρεάζουν εξίσου την καλή και αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος συλλογής και απομάκρυνσης των στραγγισμάτων. Αν για παράδειγμα δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση υλικού με μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα τότε υποχρεωτικά πρέπει να μειωθεί η απόσταση μεταξύ των αγωγών ή να αυξηθούν οι κλίσεις. Βέβαια με την μείωση της απόστασης αυξάνονται τα απαιτούμενα μέτρα αγωγών για την κάλυψη της ίδιας επιφάνειας, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και το κόστος. Από την άλλη η τοποθέτηση υλικού με μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα ή η κατασκευή διαδοχικών κλίσεων ενδεχομένως να είναι πιο δαπανηρή. Στην χώρα μας η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ δύο αγωγών είναι 40 m.

Ο έλεγχος όλων των παραπάνω παραγόντων μπορεί να γίνει με το μοντέλο HELP. Το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να υπολογίσει τα αποτελέσματα των μεταβολών όλων των σχεδιαστικών παραμέτρων.

Βήμα 3. Επιλογή υλικού, μεγέθους, πάχους των αγωγών.

Καταρχήν η επιλογή των αγωγών γίνεται με βάση την διάμετρο τους, η ελάχιστη εσωτερική διάμετρος είναι 150 mm. Η παροχευτικότητα των αγωγών

εξαρτάται από το μέγεθος τις διατομής τους και υπολογίζεται από τον τύπο του Manning για ανοιχτούς αγωγούς

$Q = J/n * A * R^{2/3} * J^{1/2}$ σε m³/sec (ημικυκλική πλήρως ύδατος διατομή)

Όπου n συντελεστής τραχύτητας του αγωγού

A το εμβαδόν της υγρής διατομής

R υδραυλική ακτίνα

J η κλίση του αγωγού

Αφού είναι ήδη γνώστή η παροχή Q μπορεί να υπολογιστεί η επιφάνεια των αγωγών και άρα και η διάμετρος τους.

Το υλικό και το πάχος των αγωγών επιλέγονται με βάση τις ανάγκες αλλά και την διαθεσιμότητα των υλικών. Τα πιο συνηθισμένα υλικά για τους αγωγούς είναι το PVC και το πολυαιθυλένιο. Το πάχος τώρα των σωληνώσεων επιλέγεται για να αντέχει στην πίεση του υπερκείμενου φορτίου απορριμμάτων αλλά και των οχημάτων του ΧΥΤΑ. Είναι γενικώς γνωστό ότι το κόστος των αγωγών αυξάνει με το μέγεθος της διατομής αλλά και με την αύξηση της αντοχής τους. Γενικά οι σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται είναι από πολυαιθυλένιο και αντοχής 10 Atm.

Κατά τον υπολογισμό των διατομών πρέπει να προβλεφθεί και το φράξιμο των αγωγών λόγω φυσικών, χημικών ή βιολογικών διεργασιών. Λεπτόκοκκο υλικό μπορεί να μεταφερθεί με την πάροδο του χρόνου και να κλείσει τις οπές των σωληνώσεων. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και με την ανάπτυξη μικροοργανισμών στο εσωτερικό του συστήματος. Επίσης το εδαφικό υλικό της αποστραγγιστικής θα πρέπει να είναι φτωχό σε ανθρακικό ασβέστιο (<20% κατά βάρος), επειδή αντιδρά με τα όξινα συστατικά των στραγγισμάτων και δημιουργούνται ιζήματα με αποτέλεσμα να μειώνεται η υδραυλική αγωγιμότητα της στρώσης.

Για τους παραπάνω λόγους παίρνονται ορισμένα σχεδιαστικά μέτρα. Κατασκευάζεται μία ζώνη προστασία 30-60cm από εδαφικό υλικό για να λειτουργεί ως φίλτρο, εμποδίζοντας την μεταφορά λεπτόκοκκων υλικών στις σωληνώσεις. Πολλές φορές οι αγωγοί περιβάλλονται από ένα προστατευτικό φίλτρο από αδρανές υλικό (ίδιο με της αποστραγγιστικής ζώνης). Τέλος ο σχεδιασμός του ΣΣΜΑ θα πρέπει να επιτρέπει τον καθαρισμό των σωληνώσεων με νερό.

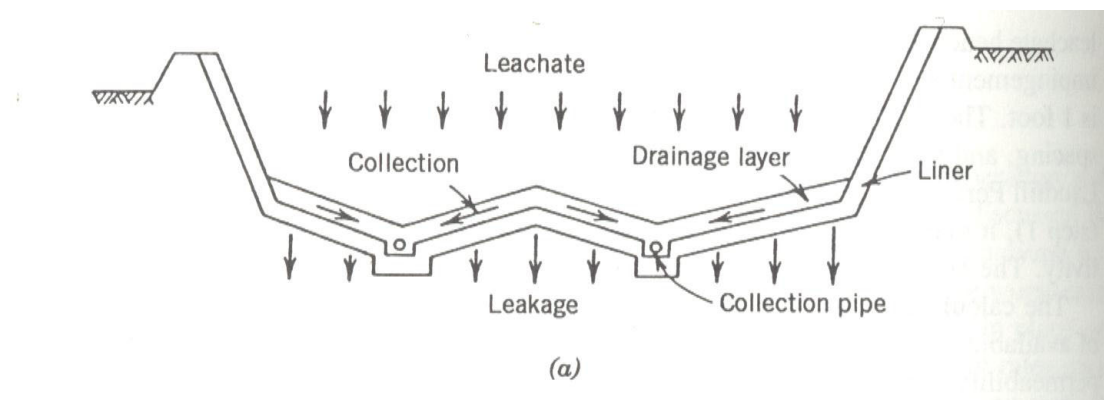
Βήμα 4. Επιλογή διαστάσεων φρεατίων άντλησης, δεξαμενής στραγγισμάτων και αντλιών.

Οι αγωγοί της αποστραγγιστικής ζώνης καταλήγουν σε φρεάτια συλλογής. Κατά κανόνα τα φρεάτια βρίσκονται εκτός του απορριμματικού ανάγλυφου αλλά σε

περιπτώσεις μεγάλων ΧΥΤΑ μπορεί να βρίσκονται και εντός. Στα φρεάτια αυτά καταλήγουν τα στραγγίσματα από όπου αντλούνται στην δεξαμενή στραγγισμάτων. Συνήθως είναι από HDPE και έχουν διάμετρο 2-3 m και κατασκευάζονται ανά διαστήματα όχι μεγαλύτερα των 300 m.

Η δεξαμενή στραγγισμάτων είναι συνήθως κατασκευασμένη από σκυρόδεμα και έχει μονωτική επικάλυψη από συνθετική ρητίνη. Θα πρέπει να έχει αρκετή χωρητικότητα για στραγγίσματα 4 ημερών. Από εδώ τα στραγγίσματα οδηγούνται στην επανακυκλοφορία ή στο σύστημα επεξεργασίας.

Για την άντληση των στραγγισμάτων από τα φρεάτια χρησιμοποιούνται αντλίες. Η άντληση τις περισσότερες φορές γίνεται σε καθημερινή βάση. Τα φρεάτια και οι αντλίες μπορεί να είναι εφοδιασμένα με σύστημα αυτόματης άντλησης που ενεργοποιούνται μόλις το υγρό στα φρεάτια φτάσει σε ένα ορισμένο ύψος. Επιπλέον υπάρχει ανάγκη για την ύπαρξη και δεύτερης αντλίας σε περίπτωση βλάβης της κύριας.



Σχήμα 1.10 Τυπική λειτουργία Συστήματος Συλλογής [16].

1.8.2 Κοστολόγηση Συστήματος Συλλογής και απομάκρυνσης στραγγισμάτων

Για να είναι δυνατή η κοστολόγηση του Συστήματος Συλλογής και Απομάκρυνσης των στραγγισμάτων είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός όλων των παραπάνω παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται αποκλειστικά από τον σχεδιασμό του ΧΥΤΑ και από τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Κατά συνέπεια είναι δύσκολο να μοντελοποιηθεί το κόστος σε σχέση με κάποιο σχεδιαστική παράμετρο του ΧΥΤΑ (π.χ. κόστος/m² έκτασης ΧΥΤΑ) ή να οριστεί μία μέση τιμή ανά m² αποστραγγιστικής ζώνης. ΧΥΤΑ με τις ίδιες προδιαγραφές (έκταση, δυναμικότητα κλπ) είναι δυνατόν να έχουν πολύ μεγάλες διαφορές ως προς το κόστος ανά m² τις ζώνης αποστράγγισης.

Για παράδειγμα οι διαφορές στο κόστος των αγωγών ανάλογα με την διατομή τους είναι πολύ σημαντικές. Αγωγοί Φ400 HDPE 10 atm κοστολογούνται, με βάση την [10], προς 41,678 δρχ το μέτρο ενώ οι Φ500 HDPE 10 atm 59891 δρχ/m. Υπάρχει μία διαφορά της τάξης του 30% στην τιμή. Η διαφορά γίνεται ακόμα μεγαλύτερη αν συγκριθούν οι τιμές αγωγών μικρότερης ανθεκτικότητας και διατομής π.χ. σύμφωνα πάλι με την [10] οι αγωγοί Φ90 HDPE 6 atm κοστίζουν 1932 δρχ/m. Το ίδιο συμβαίνει και με τις απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ των αγωγών, αν μειωθεί η απόσταση στο μισό τότε απαιτούνται και διπλάσια μέτρα αγωγών για την κάλυψη της ίδιας έκτασης.

Ένας τρόπος για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα είναι να γίνει η κοστολόγηση με βάση τις ελάχιστες απαιτήσεις που θέτει η νομοθεσία. Δηλαδή απόσταση μεταξύ των αγωγών 40 m, διατομή αγωγών 150mm, αντοχής 10 atm, πάχος ζώνης αποστράγγισης 30cm και ένα φρεάτιο ανά 300m. Για τις αντλίες δεν υπάρχουν τέτοιου είδους ελάχιστες απαιτήσεις, αλλά δεδομένου ότι οι αντλίες κοστίζουν από 1500000-3000000 δρχ, ποσό ασήμαντο σε σχέση με τον προϋπολογισμό του έργου, μπορεί να θεωρηθεί η τιμή των 2000000 δρχ ενδεικτική για κάθε μία από τις δύο αντλίες.

Ο δεύτερος τρόπος είναι η χρησιμοποίηση της μέσης τιμής ανά τετραγωνικό μέτρο αποστραγγιστικής ζώνης που προκύπτει από τις [9] και [10]. Βέβαια το δείγμα είναι πολύ μικρό και άρα καθόλου ενδεικτικό. Η τιμή αυτή είναι 3000δρχ/m² περίπου.

Το μόνο στοιχείο που είναι δύσκολο να κοστολογηθεί είναι η δεξαμενή στραγγισμάτων. Το κόστος της όμως αποτελεί μικρό μέρος του συνολικού κατασκευαστικού κόστους και δεν παίζει ουσιαστικό ρόλο η παράληψη της.

1.9 Σύστημα επεξεργασίας των στραγγισμάτων

1.9.1 Γενικά

Υπάρχουν πολλές και ποικίλες μέθοδοι επεξεργασίας των στραγγισμάτων οι οποίες οι οποίες είναι συνδυασμός φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών. Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος προϋποθέτει σωστά δεδομένα ως προς την σύνθεση και τις ποσότητες των σταλαγμάτων. Τα δεδομένα αυτά δεν υπάρχουν για την χώρα μας. Από την [5] φαίνεται ότι μόνο οι ΧΥΤΑ Δ. Βόλου και Λάρισας οδηγούν τα στραγγίσματα σε βιολογικό καθαρισμό, ενώ οι υπόλοιποι είτε δεν δίνουν στοιχεία είτε εφαρμόζουν την μέθοδο της επανακυκλοφορίας στο απορριμματικό

ανάγλυφο. Επίσης υπάρχει σύστημα επεξεργασίας στραγγισμάτων και στον ΧΥΤΑ Αν. Λιοσίων αλλά υπολειτουργεί και τα στραγγίσματα οδηγούνται για επανακυκλοφορία.

Από την άλλη τα αυστηρά όρια εκροών που επιβάλουν οι αρχές οδηγούν στο σχεδιασμό πολύπλοκων και πολυδάπανων συστημάτων που κατά κανόνα αστοχούν ή δεν λειτουργούν. Είναι προφανές ότι η μείωση του COD από 30000 mg/l σε 20 mg/l είναι εξαιρετικά δαπανηρή αν όχι ανέφικτη.

Έτσι οι φορείς διαχείρισης των ΧΥΤΑ οδηγούνται στην λύση της επανακυκλοφορίας των στραγγισμάτων. Βέβαια εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι η νομοθεσία επιτρέπει την επανακυκλοφορία μόνο προεπεξεργασμένων στραγγισμάτων και μόνο για της ανάγκες διατήρησης της επιθυμητής υγρασίας στην απορριμματική μάζα. Η επανακυκλοφορία είναι ουσιαστικά ημιπαράνομη καθώς εφαρμόζεται σχεδόν στο σύνολο των λειτουργούντων ΧΥΤΑ τη στιγμή που απαγορεύεται. Για της ανάγκες της παρούσας εργασίας θα θεωρήσουμε πως η επεξεργασία των στραγγισμάτων γίνεται με την μέθοδο της επανακυκλοφορίας και με αυτήν θα γίνει η κοστολόγηση.

1.9.1 Επανακυκλοφορία

Με την επανακυκλοφορία των στραγγισμάτων στην απορριμματική μάζα συντελούνται δύο κυρίως διεργασίες, η αναερόβια επεξεργασία τους αλλά και η εξάτμιση μέρος τους κατά την διάρκεια κάθε κύκλου.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις BOD, COD η ακόμα και βαρέων μετάλλων στα στραγγίσματα εμφανίζονται αμέσως μετά την απόθεση των απορριμμάτων, στα νεώτερα τμήματα της απορριμματικής μάζας. Αυτό συμβαίνει λόγω των χαμηλών τιμών του pH οι οποίες οφείλονται στην ύπαρξη οργανικών οξέων στα νεώτερα απορρίμματα. Με την επανακυκλοφορία των στραγγισμάτων τα οξέα αυτά αποδομούνται βιολογικά ή τα πιο πτητικά εξατμίζονται Έτσι το ρυπαντικό φορτίο μειώνεται.

Σε σχετικά ξηρά κλίματα όπου η βροχή δεν τροφοδοτεί το υδατικό ισοζύγιο με μεγάλες ποσότητες ύδατος μπορεί η ποσότητα ύδατος που εξατμίζεται να είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα που εισέρχεται λόγω βροχής. Υπάρχει περίπτωση δηλαδή με την επανακυκλοφορία να μηδενίζεται η ποσότητα των στραγγισμάτων που εκρέει από τον ΧΥΤΑ. Βέβαια από την άλλη σε υγρά κλίματα η επιπλέον προσθήκη των στραγγισμάτων στο υδατικό ισοζύγιο μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα.

Με τις επιπτώσεις της επανακυκλοφορίας στον όγκο των στραγγισμάτων θα ασχοληθούμε σε επόμενο κεφάλαιο.

1.9.2 Διαστασιολόγηση συστήματος επανακυκλοφορίας.

Τα στραγγίσματα από την δεξαμενή συλλογής οδηγούνται με την βοήθεια αντλιών στην κορυφή του απορριμματικής μάζας. Εκεί είτε μέσω ψεκασμού ή από οπές στις σωληνώσεις μεταφοράς ελευθερώνονται στην στρώση της ημερήσιας κάλυψης των απορριμμάτων.

Αρα για το όλο σύστημα αποτελείται από δύο στοιχεία, τις σωληνώσεις μεταφοράς και την αντλία επανακυκλοφορίας.

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από HDPE και θα πρέπει να καλύπτουν έκταση ίση με την έκταση της αποστραγγιστικής ζώνης. Βέβαια είναι μικρότερης αντοχής από ότι οι αγωγοί συλλογής των στραγγισμάτων. Συνήθως χρησιμοποιούνται αγωγοί μικρών διαστάσεων 90 mm και αντοχής 6 atm, καθώς οι αγωγοί δεν δέχονται μεγάλες πιέσεις. Οι αγωγοί αυτοί καθώς το απορριμματικό ανάγλυφο αυξάνεται καθ' ύψος μετακινούνται από το προσωπικό του ΧΥΤΑ και τοποθετούνται συνεχώς στην κορυφή. Επιπλέον μπορεί η επανακυκλοφορία να γίνεται σε διαφορετικό σημείο του ΧΥΤΑ κάθε φορά. Μετά το κλείσιμο του χώρου οι αγωγοί αυτοί τοποθετούνται μόνιμα κάτω από την ζώνη εξωτερικής μόνωσης του ΧΥΤΑ για την ανακυκλοφορία των παραγόμενων στραγγισμάτων στην φάση της μεταφροντίδος. Στην συνάρτηση του κόστους θα θεωρήσουμε ότι το απαιτούμενο μήκος των αγωγών είναι ίδιο με των αγωγών συλλογής και ότι χρησιμοποιούνται αγωγοί HDPE 90 mm 6 atm οι οποίοι κοστολογούνται προς 1300 δρχ/m σύμφωνα με την [10].

Από την άλλη οι αντλίες που χρησιμοποιούνται για την επανακυκλοφορία είναι ισχυρότερες από ότι οι αντλίες συλλογής. Αυτό συμβαίνει διότι τα στραγγίσματα ανυψώνονται κατά κύριο σε μεγαλύτερο ύψος στην επανακυκλοφορία από ότι κατά την συλλογή. Για παράδειγμα η αντλία μεταφοράς των στραγγισμάτων από ένα φρεάτιο βάθους 5 m στην δεξαμενή χρειάζεται να έχει μικρότερη ισχύ από την αντλία μεταφορά των στραγγισμάτων στην κορυφή ενός απορριμματικού ανάγλυφου ύψους 20 m. Για το λόγο αυτό θεωρείται ότι η τιμή μιας αντλίας επανακυκλοφορίας είναι αυξημένη κατά 50% σε σχέση με τις αντίστοιχές που χρησιμοποιούνται για την συλλογή.

1.10 Σύστημα Συλλογής και Επεξεργασίας Βιοαερίου

1.10.1 Συστήματα Άντλησης Βιοαερίου

Ο πρωταρχικός στόχος των συστημάτων συλλογής είναι η μείωση των εκπομπών επικίνδυνων ουσιών και ειδικότερα του CH₄ που βρίσκονται στο βιοαέριο. Τα συστήματα συλλογής και μεταφοράς χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες:

1. *Το παθητικό σύστημα.* Στο παθητικό σύστημα απαερίωσης, η συλλογή και μεταφορά του βιοαερίου γίνεται με την δική του πίεση και εφαρμόζεται συνήθως σε παλαιούς χώρους εναπόθεσης απορριμμάτων.
2. *Το ενεργητικό σύστημα.* Στο ενεργητικό σύστημα η απαερίωση του βιοαερίου διεξάγεται με εφαρμογή υποπίεσης.

Για την συλλογή του βιοαερίου χρησιμοποιούνται κατακόρυφοι ή οριζόντιοι αγωγοί. Οι κατακόρυφοι αγωγοί μπορούν να ανοιχτούν μετά το κλείσιμο του χώρου αλλά η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η σταδιακή ανάπτυξη των κατακόρυφων στοιχείων καθώς εξελίσσεται η απορριμματική μάζα. Τα στοιχεία αυτά παλαιότερα αποτελούνταν από τσιμεντένιους διάτρητους δακτυλίους γεμάτους χαλίκι. Αυτοί οι αγωγοί όμως λόγω του μεγάλου βάρους τους μπορεί να προκαλέσουν φθορές στην μόνωση της βάσης. Σήμερα χρησιμοποιούνται στήλες από χαλίκι διαμέτρου 1,5-2 m και στο κέντρο της στήλης τοποθετείται αγωγός από πλαστικό με διάμετρο τουλάχιστον 150 mm. Η βάση των κάθετων αυτών στοιχείων πρέπει να απέχει τουλάχιστον 2 m από την βάση του απορριμματικού ανάγλυφου. Στην κορυφή αυτών των στοιχείων μπορούν να τοποθετηθούν κεφαλές για παθητική απαέρωση ή ειδικές κεφαλές που οδηγούν το βιοαέριο στο σύστημα μεταφοράς. Οι αποστάσεις μεταξύ των στοιχείων δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 50 m για την περίπτωση της παθητικής απαερίωσης και 60 m για την ενεργητική άντληση. Το σύστημα αυτό είναι και το πιο συνηθισμένο στην χώρα μας.

Οι κάθετοι αγωγοί από πλαστικό είναι συνήθως κατασκευασμένοι από PVC. Οι αγωγοί αυτοί για να μην επηρεάζονται από τις καθιζήσεις είναι τηλεσκοπικοί, για να προσαρμόζονται ανάλογα.. Επίσης οι οριζόντιοι αγωγοί μεταφοράς όπως φαίνεται και από τις φωτογραφίες είναι κατασκευασμένοι από ευέλικτο υλικό.



Φωτογραφίες πηγαδιών άντλησης και κεφαλών.

Υπάρχει η δυνατότητα και για οριζόντιους αγωγούς συλλογής του βιοαερίου αλλά η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει πολλά προβλήματα λόγω διαφορετικών καθιζήσεων στην απορριμματική μάζα και δεν χρησιμοποιείται συχνά.

1.10.2 Σύστημα μεταφορά και τελική Διάθεσης του βιοαερίου.

Για την μεταφορά του βιοαερίου από τους αγωγούς συλλογής χρησιμοποιούνται ελαστικοί αγωγοί. Οι αγωγοί αυτοί μπορεί να οδηγούν το βιοαέριο απ' ευθείας στο σύστημα καύσης ή μέσω ενδιάμεσων σταθμών ρύθμισής.

Για την αποφυγή συγκέντρωσης στραγγισμάτων στους αγωγούς μεταφοράς χρησιμοποιούνται ειδικές κεφαλές στα πηγάδια άντλησης που απομακρύνουν τα στραγγίσματα ή χρησιμοποιούνται ειδικά αποστραγγιστικά συστήματα στους αγωγούς μεταφοράς.

Σε περίπτωση ενεργητικής άντλησης η εφαρμοζόμενη υποπίεση συνίσταται να είναι όσο τον δυνατόν μικρότερη έτσι ώστε να μειώνεται η πιθανότητα διείσδυσης ατμοσφαιρικού οξυγόνου στην μάζα των απορριμμάτων. Το μείγμα βιοαερίου και οξυγόνου είναι εκρηκτικό υπό ορισμένες συνθήκες (5-15% αέρα).

Το παραγόμενο βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η επεξεργασία όμως του βιοαερίου για την μετέπειτα ενεργειακή του αξιοποίηση είναι αρκετά δαπανηρή (μείωση υγρασίας, αφαίρεση H_2S). Μέχρι σήμερα μόνο δύο μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης υπάρχουν στην Ελλάδα, στον ΧΥΤΑ Αν. Λιοσίων και στους Ταγαράδες Θεσσαλονίκης.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος τελικής διάθεσης είναι η καύση του βιοαερίου σε πυρσούς. Η ελάχιστη θερμοκρασία καύσης θα πρέπει να είναι $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ και ο χρόνος παραμονής του βιοαερίου στον πυρσό τουλάχιστον 3 sec. Εδώ πρέπει να τονίσουμε πως όταν δεν είναι εφικτή η ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου επιβάλλεται η καύση του σε πυρσούς.

1.10.3 Κόστος συστήματος Συλλογής και Επεξεργασίας Βιοαερίου

Το κόστος του συστήματος συλλογής και τελικής διάθεσης του βιοαερίου αποτελείται από τρία συστατικά μέρη α) το κόστος των κάθετων στοιχείων συλλογής β) του συστήματος μεταφοράς και γ) του συστήματος τελικής διάθεσης.

Το κόστος των αγωγών συλλογής εξαρτάται από το εμβαδόν της βάσης του ΧΥΤΑ, καθώς οι αποστάσεις μεταξύ των αγωγών είναι συγκεκριμένες (<50m), και από το τελικό ύψος του απορριμματικού ανάγλυφου. Το κόστος των πλαστικών αγωγών ανά μέτρο δεν αναμένεται να είναι ιδιαίτερα μεγάλο διότι δεν απαιτούνται μεγάλης αντοχής αγωγοί. Το κόστος του αμμοχάλικου είναι το ίδιο με το αμμοχάλικο που χρησιμοποιείται και στην αποστραγγιστική ζώνη.

Το σύστημα μεταφοράς αποτελείται από τις κεφαλές των πηγαδιών των οποίων ο αριθμός εξαρτάται αποκλειστικά από το εμβαδόν της βάσης. Αλλά και το κόστος των αγωγών μεταφοράς κυρίως εξαρτάται από το εμβαδόν της επιφάνειας που πρέπει να καλυφθεί μέχρι το σύστημα καύσης.

Η δυναμικότητα του συστήματος τελικής καύσης του βιοαερίου εξαρτάται αποκλειστικά από την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ αλλά και από την σύνθεση των απορριμμάτων. Απορρίμματα με μεγάλο ποσοστό βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες μεθανίου.

Δυστυχώς δεν υπήρχε η δυνατότητα συγκέντρωσης μοναδιαίων τιμών για το σύστημα συλλογής του βιοαερίου. Στους προϋπολογισμούς κατασκευής των έργων δεν υπήρχαν στοιχεία για το υποσύστημα του ΧΥΤΑ καθώς η κατασκευή του πραγματοποιείται μετά την έναρξη λειτουργίας του ΧΥΤΑ.

1.11 Προσωπικό

Σύμφωνα με την νομοθεσία οι βασικές ειδικότητες ή κατηγορίες προσωπικού είναι: Προϊστάμενος ΧΥΤΑ, φύλακας, επιστάτης, χειριστής μηχανημάτων, οδηγός οχημάτων και εργάτες γενικών καθηκόντων. Ο αριθμός των ατόμων αυτών εξαρτάται από το μέγεθος του ΧΥΤΑ. Σε μικρούς ΧΥΤΑ, ένα άτομο μπορεί να καλύπτει περισσότερες από μία ειδικότητες. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται ενδεικτικές τιμές για τον ελάχιστο αριθμό εργαζομένων για διάφορα μεγέθη ΧΥΤΑ.

	Ημερησίως Εισερχόμενοι Τόνοι			
	Μέχρι 200	200-500	500-1000	1000-4000
Επιστάτες (Μηχανικοί,Εργοδηγοί)	1	1	1	2
Χειριστές Μηχανημάτων	1	2	4	8
Φύλακες	1	1	2	3
Εργάτες	1	3	4	6
Υπεύθυνος Εισόδου (Ελεγχος/ζύγισμα)	1	2	2	3

Πίνακας 1.2 Ελάχιστο απαιτούμενο προσωπικό[1]

Σε περιπτώσεις τώρα με ΧΥΤΑ με μικρές δυναμικότητες συνήθως έχουμε ακόμα λιγότερο προσωπικό. Για παράδειγμα στον ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς έχουμε έναν επιστάτη ο οποίος είναι Χημικός μηχανικός και έναν χειριστή φορτωτή μόνιμο. Το καλοκαίρι προσλαμβάνεται και ένας ακόμα εποχιακός επειδή αυξάνεται η δυναμικότητα λόγω τουρισμού. Ο συγκεκριμένος ΧΥΤΑ έχει δυναμικότητα 70 τόνων ανά ημέρα. Βλέπουμε δηλαδή ότι λειτουργεί με ελάχιστο προσωπικό. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι όσο μειώνεται το προσωπικό τόσο η εγκατάσταση υπολειτουργεί. Για παράδειγμα μπορεί η κάλυψη των απορριμμάτων με εδαφικό υλικό να γίνεται κάθε εβδομάδα και όχι κάθε μέρα όπως απαιτείται. Γενικά το απαραίτητο προσωπικό δεν μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια αλλά καλό θα ήταν να υπάρχει τουλάχιστον ένας επιστάτης και ένας χειριστής μηχανημάτων που θα απασχολούνται αποκλειστικά στον ΧΥΤΑ. Επιπλέον σημαντικό είναι να υπάρχει ένας υπεύθυνος του ζυγιστηρίου και ένας φύλακας για τις βραδινές ώρες έτσι ώστε να εμποδίζεται η παράνομη απόρριψη επικίνδυνων υλικών στον ΧΥΤΑ.

Αν θεωρήσουμε τις τιμές του παραπάνω πίνακα σαν σωστές, τότε βλέπουμε ότι για δυναμικότητες μέχρι 200 τόνων χρειαζόμαστε τον ίδιο αριθμό εργαζομένων. Άρα σε έναν ΧΥΤΑ με δυναμικότητα 150 tn το εργατικό κόστος ανά τόνο απορριμμάτων είναι μεγαλύτερο από έναν ΧΥΤΑ με δυναμικότητα 200 tn/ημέρα. Το ίδιο ισχύει και για τις άλλες κατηγορίες ΧΥΤΑ.

Ο μισθός του κάθε εργαζομένου είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί καθώς εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες όπως από τα χρόνια που είναι στην δουλειά από την οικογενειακή του κατάσταση κ.λ.π. Επίσης ένας άλλος παράγοντας που καθορίζει τον μισθό είναι τα επιδόματα που μπορεί να παίρνει, οικογενειακό κ.λ.π. Από στοιχεία για τον ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς βλέπουμε πως ο χειριστής έχει μισθό 7.000.000 δρχ. ενώ ο μηχανικός 6000.000 δρχ. ακαθάριστα. Αυτή η διαφορά μπορεί

να οφείλεται στα επιδόματα που μπορεί να παίρνει ο χειριστής ή μπορεί να εργάζεται πιο πολλά χρόνια. Γενικά μπορούμε να υποθέσουμε έναν μέσο μισθό 6.500.000 δρχ. ανά εργαζόμενο σε ΧΥΤΑ. Αμέσως βλέπουμε πως τα εργατικά είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος του λειτουργικού κόστους. Αν για παράδειγμα έχουμε τρεις εργαζομένους τότε μόνο τα εργατικά είναι 20.000.000 δρχ. το χρόνο. Είναι απορροϊάς άξιο πως υπάρχουν ΧΥΤΑ, που δηλώνουν ετήσιο λειτουργικό κόστος 11,6 εκατομμύρια δρχ. (Καβάλας), δηλαδή απασχολούν το πολύ έναν εργαζόμενο, αν βέβαια τα υπόλοιπα έξοδα τους είναι 5.000.000 δρχ.

Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι πολλές φορές οι εργαζόμενοι στους ΧΥΤΑ απασχολούνται και σε άλλες δραστηριότητες από τους Δήμους ή άλλες φορές εργαζόμενοι δηλωμένοι σε άλλες υπηρεσίες των Δήμων, εργάζονται ουσιαστικά στον ΧΥΤΑ. Στην τελευταία περίπτωση βρίσκονται και οι υπάλληλοι των διαδημοτικών εταιριών διαχείρισης των απορριμμάτων, που πολλοί από αυτούς ουσιαστικά εργάζονται για τον ΧΥΤΑ τις περιοχές τους. Για παράδειγμα οι μηχανικοί της διαδημοτικής επιχείρησης μπορεί να πραγματοποιούν τοπογραφικές μελέτες ή περιβαλλοντικούς ελέγχους χωρίς να υπολογίζονται οι μισθοί τους στα έξοδα λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Όταν λοιπόν οι Δήμοι υπολογίζουν το κόστος της υγειονομικής ταφής παραβλέπουν το κόστος των μισθών των υπαλλήλων αυτών, με συνέπεια να εμφανίζεται το κόστος ανά τόνο απορριμμάτων μικρότερο από το πραγματικό.

Επειδή είναι δύσκολο να υπολογιστούν οι παραπάνω μισθοί, στην παρούσα διπλωματική θα θεωρήσουμε ότι οι ΧΥΤΑ λειτουργούν με το ελάχιστο προσωπικό του παραπάνω πίνακα και την επιπλέον εργασία που χρειάζεται θα την χρεώνουμε σαν εργολαβικά έξοδα. Για παράδειγμα τους περιβαλλοντικούς ελέγχους θα θεωρούμε ότι ανατίθενται σε εταιρεία παρόλο που σε μερικούς ΧΥΤΑ γίνονται από διαδημοτικές επιχειρήσεις ή από τις υπηρεσίες των Δήμων.

1.12 Οχήματα

Ο αριθμός και το είδος των οχημάτων που θα χρησιμοποιηθούν σε ένα ΧΥΤΑ εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης καθώς και από τον βαθμό συμπίεσης που θέλουμε να επιτύχουμε.

Η σωστή επιλογή των οχημάτων επηρεάζει αρκετά την λειτουργία του ΧΥΤΑ και είναι ένα αρχικό κόστος αρκετά μεγάλο το οποίο πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν στο τελικό κόστος κατασκευής αλλά και λειτουργίας. Τα καύσιμα αλλά και τα έξοδα

συντήρησης μπορεί να φτάσουν σε υψηλό ποσοστό του συνολικού λειτουργικού κόστους της εγκατάστασης.

Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι

1.12.1 Λαστιχοφόρος Φορτωτής

Αν και δεν είναι πολύ καλός για την συμπίεση των απορριμμάτων μπορεί να φανεί πολύ χρήσιμος στην λειτουργία του ΧΥΤΑ. Ουσιαστικά είναι ένα μηχάνημα πολλαπλών χρήσεων το οποίο μπορεί να φορτώσει φορτηγά με το υλικό επικάλυψης των καθημερινών στρώσεων του χώρου, να διαστρώσει τα απορρίμματα πετυχαίνοντας συμπίεσεις από 500-700 kg/m³. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μεταφορά των αποβλήτων εντός του χώρου.

Σε μικρούς ΧΥΤΑ (κάτω από 20 τόννος/μέρα) πολλές φορές αρκεί ένας μόνο λαστιχοφόρος φορτωτής με εξάρτηση εκσκαφέα για να λειτουργεί ομαλά η εγκατάσταση.

1.12.2 Ερπυστριοφόρος Φορτωτής

Όπως και ο λαστιχοφόρος φορτωτής, ο ερπυστριοφόρος είναι μηχάνημα για όλες τις δουλειές. Επιπλέον μπορεί να επιτελέσει με πολύ ευκολία δουλειές όπως η προώθηση γαιών και λόγω των ερπυστριών δεν επηρεάζεται από τα καιρικά φαινόμενα.

1.12.3 Προωθητήρες

Ο προωθητής είναι το μηχάνημα με την μεγαλύτερη χρήση στους χώρους ταφής των αποβλήτων. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την διάσθρωση και συμπίεση των απορριμμάτων όπου πετυχαίνουν πυκνότητες μέχρι 600 kg/m³. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διαμόρφωση των οδών πρόσβασης αλλά και για την διάσθρωση του υλικού επικάλυψης.

1.12.4 Συμπιεστής

Ο συμπιεστής είναι ένα εξειδικευμένο μηχάνημα που χρησιμοποιείται στους ΧΥΤΑ με μεγάλη δυναμικότητα. Πρόκειται για οχήματα με μεγάλο βάρος τα οποία στην θέση των τροχών έχουν μεταλλικούς κυλίνδρους που φέρουν δόντια ή μαχαίρια για τον τεμαχισμό και την συμπίεση των αποβλήτων. Επιπλέον στο μπροστινό μέρος φέρουν μαχαίρι για την προώθηση υλικού επικάλυψης αλλά και απορριμμάτων.

Οι συμπιεστές είναι γρηγορότεροι και πιο ευκίνητοι στο μέτωπο εργασίας αλλά το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του είναι ότι επιτυγχάνει συμπίεσεις από 700 μέχρι

kg/m³. Η δυνατότητα του αυτή τον κάνει απαραίτητο σε ΧΥΤΑ με μεγάλη δυναμικότητα όπου ο περιορισμός του όγκου των απορριμμάτων, αρα και ο περιορισμός της απαιτούμενης επιφάνειας, είναι πρωταρχικής σημασίας.

1.12.5 Φορτηγά και Υδροφόρες

Αρκετές φορές οι ΧΥΤΑ διαθέτουν και φορτηγά αυτοκίνητα, συνήθως τετραξονικά, για της διάφορες εργασίες. Επίσης τα φορτηγά χρησιμοποιούνται και για την μεταφορά του υλικού επικάλυψης σε περίπτωση που αυτό μεταφέρεται από μακριά . Τέλος το φορτηγό μπορεί να μεταφέρει υλικά ανακύκλωσης.

Σε πολλούς ΧΥΤΑ για την αντιμετώπιση της σκόνης αλλά και για τον κίνδυνο πυρκαγιών υπάρχει και μία υδροφόρα.

1.12.6 Κόστος Οχημάτων.

Το κόστος απόκτησης των οχημάτων εξαρτάται από την ιπποδύναμη τους και από το βάρος τους. Ενδεικτικές τιμές για ένα συμπίεστή είναι 240.000 ευρώ (στοιχεία από τον προϋπολογισμό του ΧΥΤΑ Κομοτηνής). Τα υπόλοιπα οχήματα όπως οι φορτωτές κυμαίνονται γύρω στα 90.000 ευρώ για τα καινούργια και 45.000 για τα μεταχειρισμένα. Από τις παραπάνω τιμές βλέπουμε ότι οι συμπίεστές που είναι εξειδικευμένα μηχανήματα έχουν σχεδόν τριπλάσια τιμή από έναν φορτωτή. Για αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρής δυναμικότητας ΧΥΤΑ.

Ένα δεύτερο στοιχείο είναι το λειτουργικό κόστος των οχημάτων. Στο λειτουργικό κόστος περιλαμβάνεται το κόστος του καυσίμου αλλά και η συντήρηση. Στοιχεία για το καύσιμα που χρειάζονται σε έναν ΧΥΤΑ δεν υπάρχουν πολλά εκτός από την [2], όπου παρουσιάζεται μία κατανάλωση καυσίμων 0,843 lt/tn απορριμμάτων για όλη την περίοδο λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι η κατανάλωση καυσίμων είναι ανάλογη της δυναμικότητας της εγκατάστασης και προσεγγίσουμε έτσι την κατανάλωση των καυσίμων με αυτήν την τιμή. Βέβαια αυξομειώσεις στην κατανάλωση θα υπάρχουν ανάλογα με το είδος του οχήματος και της τεχνολογίας του. Αν για παράδειγμα τα οχήματα του ΧΥΤΑ Πατρών είναι σχετικά πεπαλαιωμένα τότε σε ένα καινούργιο ΧΥΤΑ θα έχουμε μικρότερη κατανάλωση.

Για το κόστος συντήρησης ελλείπει στοιχείων μπορούμε να υποθέσουμε ότι είναι το 50% του κόστους των καυσίμων ανά τόνο απορριμμάτων. Αν δηλαδή έχουμε ένα κόστος από τα καύσιμα 1ευρώ/ tn τότε το συνολικό κόστος μαζί με την συντήρηση μπορούμε να πούμε ότι είναι 1,5 ευρώ/tn. Η παραπάνω υπόθεση

στηρίζεται στο ότι η απαιτούμενη συντήρηση είναι ανάλογη της χρήσης του οχήματος, η οποία με την σειρά της είναι ανάλογη των καταναλισκόμενων καυσίμων. Άλλωστε στα εξειδικευμένα περιοδικά για οχήματα τόσο κοστολογείται η συντήρηση. Έτσι θα έχουμε συνολικά λειτουργικά έξοδα για τα οχήματα 1,26 lt/tn. Το καύσιμο που χρησιμοποιούν όλα τα επαγγελματικά αυτοκίνητα είναι το diesel.

Τέλος πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος της ασφάλισης των οχημάτων που ανέρχεται σε 250.000 δρχ το έτος για κάθε όχημα περίπου [8].

1.13 Τεχνική Υποδομή ΧΥΤΑ

1.13.1 Περίφραξη

Κάθε ΧΥΤΑ υποχρεούται να είναι περιφραγμένος. Η περίφραξη κατασκευάζεται με τουλάχιστον 2,5 m ύψος από γαλβανισμένο συρματόπλεγμα, το οποίο στερεώνεται σε πασσάλους με απόσταση τριών μέτρων μεταξύ τους. Οι πάσσαλοι στερεώνονται σε τοιχίο από σκυρόδεμα 30x30 cm με θεμέλιο 30cm.

Η περίφραξη είναι υποχρεωτική, σαν μέτρο ασφαλείας του χώρου, για να εμποδίζει την είσοδο ανθρώπων που δεν εργάζονται στην εγκατάσταση και ζώων αλλά για να περιορίζει την διασπορά χαρτιών και γενικά ελαφριών αντικειμένων.

Η περίφραξη για μία τετράγωνη έκταση είναι

$\Pi=4*L$ όπου L το μήκος της πλευράς του χώρου, ενώ το εμβαδόν του χώρου είναι

$E=L^2$ άρα $L=E^{1/2}$ αν αντικατασταθεί το L στην παραπάνω σχέση έχουμε

$\Pi=4*E^{1/2}$

Εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι αν αυξήσουμε την έκταση δεν θα αυξηθεί με τον ίδιο ρυθμό και η περίμετρος. Όσο αυξάνεται δηλαδή ο διαθέσιμος χώρος τόσο μειώνονται τα μέτρα της περίφραξης για κάθε τετραγωνικό μέτρο έκτασης. Η συνάρτηση m Περίφραξης/ m^2 σχέση με τα m^2 είναι φθίνουσα. Υπάρχει δηλαδή οικονομία κλίμακας.

Το μέτρο της περίφραξης στοιχίζει περίπου 6000 σύμφωνα με την [8] αν λάβουμε υπ' όψιν και των τιμάρθμο.

1.13.2 Ζυγιστήριο

Στο χώρο εισόδου, μέσα στον ΧΥΤΑ κατασκευάζεται ζυγιστήριο. Ο αριθμός των ζυγαριών εξαρτάται από την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ. Τα οχήματα ζυγίζονται κατά την είσοδο και την έξοδο τους από τον χώρο. Καλό θα είναι η ζυγαριά να μπορεί

να συνδεθεί με ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής των αποβλήτων (βάρος αποβλήτων, είδος αποβλήτων, φορέας μεταφοράς, ημερομηνία και ώρα).

Το κόστος του ζυγιστηρίου εξαρτάται από την ικανότητα ζύγισης. Ένα μέσο κόστος μπορεί να εκτιμηθεί σε 2.000.000 δρχ σύμφωνα με την [8].

1.13.3 Δρόμος πρόσβασης.

Ο δρόμος πρόσβασης αποτελεί βασική προϋπόθεση σωστής λειτουργίας ενός ΧΥΤΑ. Όπως έχουμε δει ένα από τα κριτήρια επιλογής ενός χώρου για την εγκατάσταση ενός ΧΥΤΑ είναι η απόσταση του από το οδικό δίκτυο. Συνήθως το οδικό δίκτυο δεν φτάνει μέχρι τον ΧΥΤΑ οπότε είναι απαραίτητη η επέκταση ή η βελτίωση του υπάρχοντος.

Η κατασκευή ενός δρόμου είναι ένα σημαντικό κόστος που υπολογίζεται σε 5000.000 δρχ/km. Η κατασκευή ενός δρόμου, για την σύνδεση του χώρου με το οδικό δίκτυο, είναι ένα πάγιο κόστος ανεξάρτητο από την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ.

1.13.4 Αντιπυρική προστασία

Για την αντιπυρική προστασία σύμφωνα με την νομοθεσία κατασκευάζεται

- Αντιπυρική ζώνη πλάτους 8 m, παράλληλα με την περίφραξη και εφόσον το απαιτεί η μορφολογία του εδάφους. Η κατασκευή της ζώνης αυτής μπορεί να κοστολογηθεί αρχικά ως χωματουργικά έργα. Η συντήρηση της μπορεί να γίνεται με τα οχήματα του ΧΥΤΑ (μπουλντόζα) έτσι ώστε να μην αναπτύσσεται βλάστηση.
- Δεξαμενή πυρόσβεσης επαρκούς χωρητικότητας ανάλογα με την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ. Βέβαια αν ο χώρος έχει πρόσβαση σε δίκτυο νερού τότε μπορεί να αντικατασταθεί από πυροσβεστικούς κρουνούς.
- Χώρος για την αποθήκευση εδαφικού υλικού ο οποίος μπορεί να είναι κοινός με τον χώρο αποθήκευσης του υλικού της ημερήσιας κάλυψης.

1.13.5 Περιμετρική Δενδροφύτευση

Στόχος της δενδροφύτευσης είναι η οπτική και ηχητική απομόνωση της εγκατάστασης. Η δενδροφύτευση κατασκευάζεται εσωτερικά της περίφραξης και παράλληλα με αυτήν.

1.13..6 Κτιριακές εγκαταστάσεις.

Οι κτιριακές εγκαταστάσεις αποτελούνται από:

- Τον οικίσκο ελέγχου στην είσοδο του ΧΥΤΑ, όπου κρατούνται τα αρχεία των εισερχομένων ποσοτήτων και γίνεται έλεγχος των οχημάτων. Στο κτίριο αυτό μπορεί να υπάρχει και ηλεκτρονικός υπολογιστής σε περίπτωση που το αρχείο είναι ηλεκτρονικό. Γενικά οικίσκος 20 m² μπορεί να είναι αρκετός για ένα συνηθισμένο ΧΥΤΑ.
- Γραφεία του προσωπικού. Στο κτίριο αυτό βρίσκονται τα γραφεία του διοικητικού προσωπικού σε περίπτωση μεγάλων ΧΥΤΑ. Επίσης μπορεί να υπάρχει και χώρος συσκέψεων. Το μέγεθος των γραφείων εξαρτάται από το μέγεθος του ΧΥΤΑ και τον αριθμό των υπαλλήλων. Σε ΧΥΤΑ με όχι πολύ μεγάλη δυναμικότητα υπάρχει το πολύ ένα γραφείο του προϊστάμενου.
- Χώροι υγιεινής και παραμονής του προσωπικού. Κατασκευάζεται εγκατάσταση WC και λουτρών για τους εργαζόμενους.
- Χώροι φύλαξης μετρικών οργάνων και εργαστήριο περιβαλλοντικών μετρήσεων. Βέβαια οι περισσότεροι ΧΥΤΑ στην Ελλάδα αναθέτουν τις περιβαλλοντικές μετρήσεις σε ανεξάρτητα εργαστήρια.

Γενικά κτιριακές εγκαταστάσεις 15 m²/εργαζόμενο μπορεί να θεωρηθούν αρκετές για μικρούς και μεσαίους ΧΥΤΑ. Οι πολύ μεγάλοι ΧΥΤΑ συνήθως διοικούνται από ΟΤΑ και όπως έχουμε αναφέρει το προσωπικό των ΟΤΑ απασχολείται για λογαριασμό του ΧΥΤΑ. Έτσι σε μεγάλους ΧΥΤΑ το διοικητικό προσωπικό μπορεί να στεγάζεται σε κτίρια του ΟΤΑ όπως συμβαίνει με τον ΧΥΤΑ Αν. Λιοσίων όπου μεγάλο μέρος του διοικητικού προσωπικού στεγάζεται στον Ενιαίο Σύνδεσμο,

Ένα τυπικό κόστος είναι 170000 δρχ /m² από την [9] .

1.13.7 Αποθήκη Υγρών Καυσίμων

Κατασκευάζεται υπέργεια. Τα καύσιμα χρησιμοποιούνται μόνο για την κάλυψη των αναγκών της ίδιας της εγκατάστασης του ΧΥΤΑ. Σε μικρούς κυρίως ΧΥΤΑ δεν υπάρχει δεξαμενή καυσίμων. Τα οχήματα πιθανόν να τροφοδοτούνται από γειτονικό πρατήριο καυσίμων ή από βυτιοφόρο πρατηρίου.

1.14 Περιβαλλοντικές μετρήσεις και λοιπά στοιχεία αρχείου ΧΥΤΑ

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 29407/3508-2002 οι φορείς διαχείρισης ενός ΧΥΤΑ οφείλουν να συλλέγουν περιβαλλοντικά δεδομένα για την λειτουργία του ΧΥΤΑ αλλά διάφορα άλλα στοιχεία όπως στοιχεία συντήρησης των μηχανημάτων. Η

καταγραφή των στοιχείων αυτών αποτελεί μία βάση δεδομένων η οποία βοηθάει τον διαχειριστή του συστήματος στην διαδικασία λήψης αποφάσεων. Επίσης με βάση αυτά τα στοιχεία συντάσσονται οι εξάμηνες υποχρεωτικές εκθέσεις παρακολούθησης του έργου.

Τα περιβαλλοντικά στοιχεία που πρέπει να συλλέγονται είναι αναλυτικά τα εξής

Μετεωρολογικά Στοιχεία. Τα μετεωρολογικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του υδατικού ισοζυγίου του ΧΥΤΑ. Με βάση αυτό το ισοζύγιο γίνονται οι εκτιμήσεις για το εάν συσσωρεύονται στραγγίσματα στον όγκο των απορριμμάτων ή εάν υπάρχει διαρροή. Τα στοιχεία αυτά συλλέγονται στον χώρο του ΧΥΤΑ ή από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό.

Φάση Λειτουργίας		Φάση μετέπειτα φροντίδας
Ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων	Καθημερινά	Καθημερινά, Επιπλέον των μηνιαίων τιμών
Θερμοκρασία (κατώτατη, ανώτερη, ώρα 14:00 ΩΚΕ)	Καθημερινά	Μηνιαίος μέσος όρος
Διεύθυνση και ένταση κυριαρχούντος ανέμου	Καθημερινά	Δεν απαιτείται
Εξάτμιση (λυσίμετρο ή άλλες κατάλληλες μεθόδους)	Καθημερινά	Καθημερινά, επιπλέον των μέσων μηνιαίων τιμών
Ατμοσφαιρική Υγρασία (ώρα 14:00 ΩΚΕ)	Καθημερινά	Μηνιαίος μέσος όρος

Πίνακας 1.3: Συχνότητα Μετεωρολογικών Δεδομένων

Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι η συλλογή των στοιχείων συνεχίζεται και κατά την διάρκεια της μεταφροντίδας.

Στοιχεία για τις εκπομπές: έλεγχος υδάτων, στραγγισμάτων και αερίων. Τα δείγματα των στραγγισμάτων και των επιφανειακών νερών, αν υπάρχουν, πρέπει να συλλέγονται σε αντιπροσωπευτικά σημεία. Η δειγματοληψία και η μέτρηση (όγκος και σύνθεση) πρέπει να εκτελούνται χωριστά σε κάθε σημείο απ' όπου εκρέουν στραγγίσματα στον ΧΥΤΑ.

Η παρακολούθηση των επιφανειακών υδάτων πρέπει να γίνεται σε δύο σημεία, ένα ανάντη και ένα κατόντη του ΧΥΤΑ. Ενώ η παρακολούθηση των αερίων να είναι αντιπροσωπευτική για κάθε τμήμα του ΧΥΤΑ.

Από τα στραγγίσματα και τα ύδατα λαμβάνεται προς παρακολούθηση ένα δείγμα αντιπροσωπευτικό της μέσης σύνθεσης.

	Φάση λειτουργίας	Φάση μετέπειτα φροντίδος
Όγκος στραγγισμάτων	Μηνιαίως	Ανά Εξάμηνο
Σύνθεση στραγγισμάτων	Ανά τρίμηνο	Ανά εξάμηνο
Όγκος και σύνθεση επιφανειακών υδάτων	Ανά τρίμηνο	Ανά εξάμηνο
Δυνητικές εκπομπές αερίων και ατμοσφαιρική πίεση (CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S, H ₂ , κλπ)	Μηνιαίως	Ανά εξάμηνο

Πίνακας 1.4: Συχνότητα Δειγμάτων Περιβαλλοντικών Μετρήσεων

Οι μετρήσεις του όγκου των στραγγισμάτων και της σύστασης του βιοαερίου μπορεί να γίνονται στο ΧΥΤΑ από το προσωπικό του και με την βοήθεια φορητού αναλυτή βιοαερίου. Οι μετρήσεις όμως των στραγγισμάτων και των επιφανειακών νερών απαιτούν την ύπαρξη εξειδικευμένου εργαστηρίου και προσωπικού που συνήθως δεν υπάρχουν παρά μόνο σε πολύ μεγάλους ΧΥΤΑ. Για το λόγο αυτό οι φορείς διαχείρισης δίνουν τις μετρήσεις αυτές σε εξωτερικά εργαστήρια.. Από την [8] οι μετρήσεις στραγγισμάτων 4 φορές των χρόνων κοστίζουν περίπου 600000 δρχ. Αρά για την περίοδο της μεταφροντίδας θα απαιτούνται τα μισά χρήματα τον χρόνο.

Σε περίπτωση ύπαρξης επιφανειακών υδάτων οι μετρήσεις κοστολογούνται το ίδιο με των στραγγισμάτων.

Προστασία υπόγειων υδάτων. Οι μετρήσεις πρέπει να παρέχουν πληροφορίες για τα υπόγεια ύδατα που ενδέχεται να επηρεαστούν από την διαρροή στραγγισμάτων, με ένα τουλάχιστον σημείο μέτρησης στην περιοχή εισροής και δύο στην περιοχή εκροής. Πριν την έναρξη λειτουργίας διενεργείται δειγματοληψία στις ίδιες θέσεις για να χρησιμοποιηθούν σαν τιμές αναφοράς στις μελλοντικές μετρήσεις.

Οι παράμετροι που αναλύονται περιλαμβάνουν δείκτες, για να εξασφαλίζεται η έγκαιρη ανίχνευση τυχόν αλλαγών της ποιότητας των υδάτων. Συνιστώμενες παράμετροι είναι το pH, TOC, φαινόλες, βαρέα μέταλλα, φθόριο, Αρσενικό, υδρογονάνθρακες.

	Φάση λειτουργίας	Φάση μετέπειτα φροντίδος
Στάθμη υπογείων υδάτων	Ανά εξάμηνο	Ανά εξάμηνο
Σύνθεση υπόγειων υδάτων	Ανάλογο με τον συγκεκριμένο χώρο	Ανάλογο με τον συγκεκριμένο χώρο

Πίνακας 1.5 Συχνότητα Μετρήσεων Υπ. Υδάτων.

Η συχνότητα των δειγματοληψιών της σύνθεσης πρέπει να βασίζεται στην δυνατότητα ανάληψης δράσης, αν σημειωθεί επίπεδο συναγερμού. Αν δηλαδή η σύνθεση των υπογείων υδάτων αλλάξει ριζικά από τις τιμές αναφοράς. Μετρήσεις ανά εξάμηνο θεωρούνται ικανοποιητικές. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να κοστολογηθούν όσο των στραγγισμάτων, δηλαδή προς 300000 για κάθε σημείο, άρα συνολικά 900000 δρχ.

Στοιχεία για την σύνθεση των απορριμμάτων και στοιχεία καθιζήσεων. Θα πρέπει να συλλέγονται στοιχεία σχετικά με το διάγραμμα με το διάγραμμα οργάνωσης του ΧΥΤΑ όπως: επιφάνεια καλυπτόμενη από τα απόβλητα, όγκος και σύνθεση των αποβλήτων, μέθοδος απόθεσης, χρόνος και διάρκεια απόθεσης και υπολογισμός της εναπομένουσας διαθέσιμης χωρητικότητας.

	Φάση λειτουργίας	Φάση μετέπειτα φροντίδος
Δομή και σύνθεση του φορτίου αποβλήτων	Ετησίως	
Καθίζηση του φορτίου αποβλήτων	Ετησίως	Ετήσια ανάγνωση

Πίνακας 1.6 Συχνότητα λοιπών μετρήσεων.

Τα δεδομένα για τις καθιζήσεις όσο και για τα υπόλοιπα σχετικά με την δομή και την σύνθεση των απορριμμάτων μπορούν να συλλέγονται από το προσωπικό. Η καθιζήση ελέγχεται με μάρτυρες που τοποθετούνται στο σώμα του απορριμματικού ανάγλυφου, ενώ η σύνθεση των απορριμμάτων μπορεί να ελέγχεται από δειγματοληψίες στον χώρο του ΧΥΤΑ. Η ανάλυση της σύνθεσης των απορριμμάτων ενδεχομένως να απαιτεί την πρόσληψη επιπλέον προσωπικού που συνεπάγεται επιπλέον κόστος. Στοιχεία για το κόστος των δειγματοληψιών δεν υπάρχουν εκτός από των ΧΥΤΑ του Δ. Λάρισας [5] που στοίχισε 5.000.000 δρχ.

Λοιπά μη υποχρεωτικά στοιχεία. Εκτός από τα παραπάνω απαιτούμενα στοιχεία από την νομοθεσία ο φορέας διαχείρισης του ΧΥΤΑ καλό θα είναι να τηρεί αρχεία και για τα παρακάτω δεδομένα

- Εισερχόμενες ποσότητες ΑΣΑ σε καθημερινή βάση
- Εισερχόμενες ποσότητες ειδικών απόβλητων (μη συνήθων οικιακών)
- Τύπος, προέλευση και ώρα εισόδου οχήματος
- Απασχόληση προσωπικού (παρουσία, είδος απασχόλησης)
- Στοιχεία οχημάτων
- Δαπάνες κάθε είδους
- Στοιχεία συντήρησης και λειτουργίας μηχανών
- Ρυθμός κατανάλωσης και αποθέματα υλικού κάλυψης

Όλα αυτά τα δεδομένα θα βοηθήσουν σημαντικά στην ορθολογική διαχείριση του ΧΥΤΑ τόσο από την πλευρά της προστασίας του περιβάλλοντος αλλά της οικονομικής βιωσιμότητας του.

1.14.1 Εξοπλισμός για την τήρηση βάσεων πληροφοριών

Για την τήρηση και καταγραφή των παραπάνω δεδομένων είναι αναγκαία η ύπαρξη μηχανοργάνωσης. Η αγορά τουλάχιστον δύο Η/Υ και λογισμικού διαχείρισης βάσεων δεδομένων είναι υποχρεωτική. Το κόστος των Η/Υ ανέρχεται περίπου στις 700000 δρχ μαζί με κάποιον εκτυπωτή και η διάρκεια ζωής τους είναι το πολύ 5 χρόνια. Ένας ΧΥΤΑ δηλαδή με διάρκεια ζωής 20 θα χρειαστεί να ανανεώσει το υλικό αυτό τουλάχιστον τρεις φορές. Από την άλλη ένα λογιστικό πρόγραμμα για μία μικρή επιχείρηση με δυνατότητες διαχείρισης αποθήκης κοστίζει περίπου στα 1500000-2000000 δρχ. Τόσο θα κοστίζει και το λογισμικό της μηχανοργάνωσης του ΧΥΤΑ αφού ουσιαστικά θα είναι παρόμοιο με τα εμπορικά προγράμματα για μικρές επιχειρήσεις.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι όλα τα παραπάνω έξοδα είναι εντελώς ανεξάρτητα από το μέγεθος και την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ. Τα έξοδα που έχει ένας ΧΥΤΑ δυναμικότητας 500 tn για την τήρηση όλων των παραπάνω αρχείων ακριβώς τα ίδια με ενός ΧΥΤΑ 50 tn.

1.15 Περίοδος Μεταφροντίδος

Γενικά

Με τον όρο περίοδο μεταφροντίδα χαρακτηρίζεται η χρονική περίοδος που ακολουθεί την λήξη λειτουργίας του ΧΥΤΑ. Αύτη η περίοδος για την ελληνική νομοθεσία είναι τα 15 χρόνια. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου ο φορέας διαχείρισης του ΧΥΤΑ είναι ακόμα υπεύθυνος για αυτόν και έχει την υποχρέωση λήψης μέτρων για την αποφυγή περιβαλλοντικών κινδύνων. Τα μέτρα αυτά αφορούν κυρίως την κατασκευή της τελικής κάλυψης του απορριμματικού ανάγλυφου, την συνέχιση των περιβαλλοντικών μετρήσεων και την διαχείριση των στραγγισμάτων και του βιοαερίου, καθώς ο χώρος εναπόθεσης είναι ενεργός για αρκετά χρόνια μετά το τέλος των εργασιών. Βλέπουμε δηλαδή πως ο ΧΥΤΑ συνεχίζει να έχει έξοδα και μετά το κλείσιμο του. Τα έξοδα αυτά είναι υποχρεωμένος να τα καλύπτει ο φορέας διαχείρισης και μάλιστα θα πρέπει να καλύπτει τα έξοδα αυτά από τα τέλη που συλλέγει από τους χρήστες του χώρου. Στο κόστος της υγειονομικής ταφής για τον υπολογισμό των τελών πρέπει να υπολογίζονται και τα έξοδα της περιόδου μεταφροντίδος.

Στην παρούσα φάση θα ασχοληθούμε με την κατασκευή της τελικής κάλυψης του ΧΥΤΑ.

1.15.1 Τελική Κάλυψη του Απορριμματικού Ανάγλυφου

Όταν οι στρώσεις των απορριμμάτων φτάσουν στο επιθυμητό όριο για την διαμόρφωση του τελικού ανάγλυφου, αρχίζουν οι εργασίες για την τελική κάλυψη του χώρου και επανένταξης του στο φυσικό περιβάλλον η απόδοσής του για άλλες χρήσεις. Η τελική κάλυψη σκοπό έχει

1. Την ικανοποιητική απορροή των βροχοπτώσεων
2. Την αποτροπή κατεΐσδυσής των κατακρημνισμάτων στο εσωτερικό του χώρου
3. Την αποτροπή πλευροδιηθήσεων στα πρανή
4. Την αποτροπή εκπομπών βιοαερίου εκτός του χώρου

Ουσιαστικά με την τελική κάλυψη διαχωρίζεται, διαχωρίζεται η απορριμματική μάζα από τους χρήστες της τελικής επιφάνειας του κλειστού ΧΥΤΑ.

Σύμφωνα με τον νόμο η τελική κάλυψη πρέπει να περιλαμβάνει : α) στρώμα απαγωγής των αερίων, β)Αδιαπέραστο στρώμα εδαφικού υλικού (άργιλος) γ)στρώμα αποστράγγισης τουλάχιστον 0,5 m δ) χωμάτινο κάλυμμα τουλάχιστον 1m. Η τοποθέτηση τεχνητής μεμβράνης στεγανοποίησης δεν είναι υποχρεωτική.

Επειδή εντός των πρώτων δύο ετών μετά το κλείσιμο ο ΧΥΤΑ παραμένει ενεργός μέρος των έργων τελικής κάλυψης και επανένταξης του χώρου σε άλλες χρήσεις γίνεται τουλάχιστον δύο χρόνια μετά το κλείσιμο. Σε περίπτωση που ο ΧΥΤΑ έχει περισσότερες από μία φάσεις τότε μετά το κλείσιμο της φάσης κατασκευάζεται η αργιλική μόνωση και η τελική κάλυψη κατασκευάζεται για όλο τον ΧΥΤΑ μετά το τέλος λειτουργίας του.

Η ζώνη συλλογής του βιοαερίου είναι συνήθως 30 cm και κατασκευάζεται από υλικό διαμέτρου 4/16 mm, με μέγιστη περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο 10% ανά βάρος. Το υλικό αυτό κοστολογείται όσο και το υλικό της αποστραγγιστικής ζώνης.

Η ορυκτή μόνωση είναι η ίδια με αυτής της βάσης του ΧΥΤΑ και πρέπει να είναι τουλάχιστον 50cm και να έχει συντελεστή περατότητας $K=10^{-9}$ m/sec.

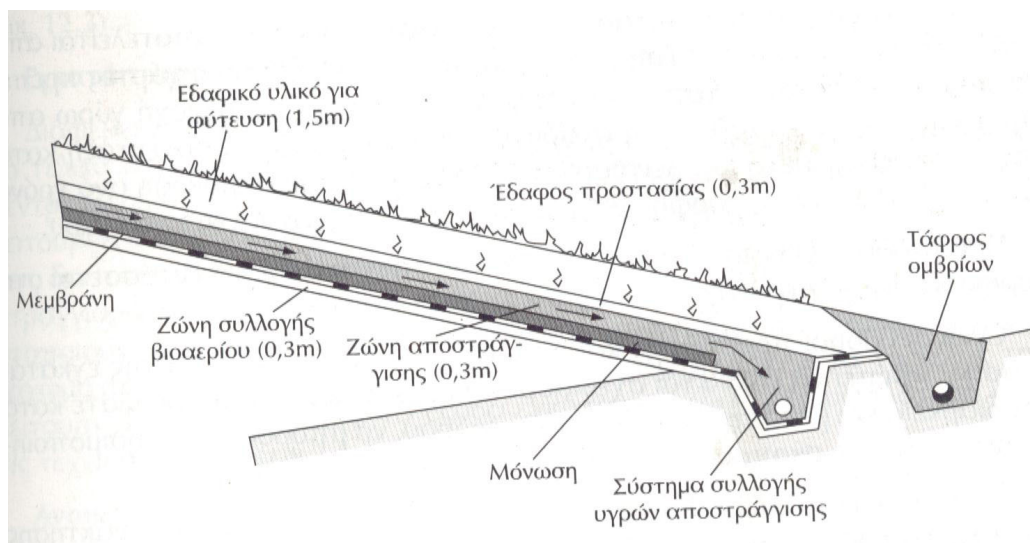
Η ζώνη αποστράγγισης της τελικής κάλυψης είναι ακριβώς ίδια με την αντίστοιχη ζώνη της βάσης. Τα όμβρια που αυτή συλλέγει καταλήγουν σε περιμετρική τάφρο ομβρίων.

Τέλος το εδαφικό υλικό πρέπει να είναι κατάλληλο για την καλλιέργεια φυτών της περιοχής και να είναι τουλάχιστον 1,5 m σε πάχος. Σε αυτήν την στρώση γίνεται φύτευση γρασιδιού ή θάμνων για να περιορίζεται η διάβρωση της τελικής κάλυψης αλλά και για να αυξηθεί η εξατμισοδιαπνοή.

Τα υλικά όλων των παραπάνω στρώσεων υπόκεινται στους ίδιους ελέγχους και προδιαγραφές με τα αντίστοιχα υλικά της μόνωσης της βάσης του ΧΥΤΑ και άρα κοστολογούνται το ίδιο.

Οι κλίσεις τώρα της εξωτερικής κάλυψης (μετά τις καθιζήσεις) είναι 3-5% για την επάνω τελική επιφάνεια και 1/3 για τα πρανή. Οι κλίσεις αυτές σε ΧΥΤΑ με καθ' ύψος πρόγραμμα εκμετάλλευσης δίνουν στον ΧΥΤΑ την μορφολογία της πυραμίδας.

Λόγω των ενδεχόμενων διαβρώσεων και καθιζήσεων η τελική κάλυψη χρειάζεται συντήρηση τουλάχιστον για τα πρώτα χρόνια μετά την κατασκευή της. Το κόστος της οποίας είναι αδύνατο να προβλεφθεί.



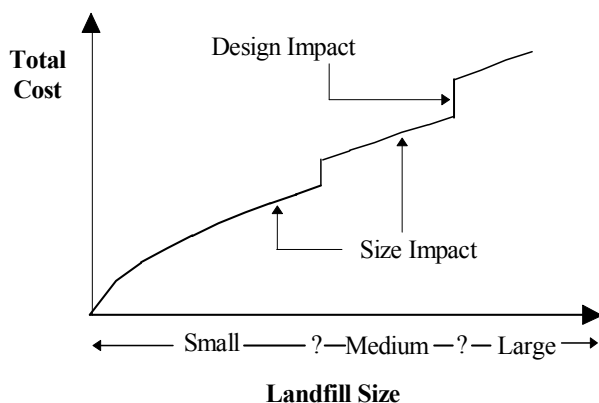
Σχήμα 1.11. Διαμόρφωση Τελικής Κάλυψης [12]

2. Συναρτήσεις κόστους

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει προσπάθεια να συνδεθεί το κόστος κατασκευής, λειτουργίας και μεταφροντίδας ενός ΧΥΤΑ, με την ημερήσια δυναμικότητα του. Σκοπός μας δηλαδή είναι η κατασκευή συναρτήσεων του τύπου $K=F(T)$, όπου το K είναι κάποιο κόστος και το T είναι η ημερήσια δυναμικότητα του ΧΥΤΑ σε tn/day. Ήδη από στην βιβλιογραφία αναφέρονται τέτοιες συναρτήσεις οι οποίες έχουν την μορφή $K= a \cdot T^c$ για το συνολικό κόστος, όπου a και c σταθερές [11]. Εύκολα συμπεραίνουμε, ότι από την τιμή της σταθεράς c εξαρτάται η οικονομία κλίμακας. Η οποία λογικά θα πρέπει να είναι $c < 1$, όπως άλλωστε συμβαίνει σχεδόν σε όλα τα κατασκευαστικά έργα. Στην [11] βλέπουμε, βιβλιογραφικές αναφορές να ορίζουν την c για τους ΧΥΤΑ $0,67 < c < 1$ ενώ από στοιχεία της US EPA η τιμή αυτή είναι 0,655.

Μάλιστα σύμφωνα με την [11] η συνάρτηση κόστους ενός ΧΥΤΑ σε σχέση με την χωρητικότητα του δεν είναι συνεχής (Σχήμα 3.1). Αυτή η ασυνέχεια οφείλεται στις διάφορες αλλαγές στον σχεδιασμό του ΧΥΤΑ για κάθε μία από τις τρεις κατηγορίες που ορίζονται στην [11]. Όταν περνάμε σε μεγαλύτερη κατηγορία ΧΥΤΑ είναι φυσικό να διαφοροποιείται ο σχεδιασμός του, οπότε η παραπάνω εξίσωση της μορφής $K= a \cdot T^c$ ισχύει για κάθε κατηγορία ΧΥΤΑ, με διαφορετικά a και c .



Σχήμα 3.1 Ολική συνάρτηση κόστους.

Για να είναι δυνατή όμως η εξαγωγή μιας συνάρτησης κόστους σε σχέση με την ημερήσια ή συνολική δυναμικότητα του ΧΥΤΑ, θα πρέπει να βρεθούν συναρτήσεις που να υπολογίζουν το μέγεθος των υποσυστημάτων του ΧΥΤΑ (π.χ. την έκταση της μόνωσης) σε σχέση με την δυναμικότητα του. Αν είναι γνωστή, για παράδειγμα, η απαιτούμενη έκταση της μόνωσης του ΧΥΤΑ τότε μπορεί εύκολα να

υπολογιστεί το κόστος της μόνωσης, αν είναι γνωστό το κόστος ανά m^2 της μόνωσης. Στο προηγούμενο κεφάλαιο ορίσαμε τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελείται ένας ΧΥΤΑ και ορίσαμε μοναδιαίες τιμές ανάλογα με τις προδιαγραφές που ορίζει η νομοθεσία. Το άθροισμα τώρα των συναρτήσεων κόστους όλων των υποσυστημάτων του ΧΥΤΑ θα δίνει την συνάρτηση του συνολικού κόστους του ΧΥΤΑ.

Τα μεγέθη όμως των υποσυστημάτων ενός ΧΥΤΑ δεν εξαρτώνται μόνο από την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ, αλλά και από την μορφολογία και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του. Δεν γίνεται να συγκριθεί η απαιτούμενη έκταση της μόνωσης ενός ΧΥΤΑ που ακολουθεί την εκτατική εκμετάλλευση, με κάποιον άλλον που ακολουθεί την καθ' ύψος εκμετάλλευση ακόμα και αν έχουν την ίδια δυναμικότητα. Είναι κατανοητό ότι πρέπει να οριστούν πρώτα τα βασικά χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ. Στην συνέχεια πρέπει να εξαχθούν οι συναρτήσεις που θα συνδέουν το μέγεθος των υποσυστημάτων με την δυναμικότητα, και θα έχουν καθολική εφαρμογή σε όλους τους ΧΥΤΑ με παρόμοια χαρακτηριστικά.

Στις επόμενες παραγράφους λοιπόν, θα οριστούν τα χαρακτηριστικά αυτά του υποθετικού ΧΥΤΑ και θα δούμε πως επιδρούν στον υπολογισμό των συστημάτων του. Σαν παράδειγμα θα χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση του όγκου. Θα δούμε δηλαδή πως η συνάρτηση του όγκου μεταβάλλεται σε σχέση με τις προδιαγραφές των υποσυστημάτων του.

2.2 Γενικά Χαρακτηριστικά ΧΥΤΑ

2.2.1 Πρόγραμμα εκμετάλλευσης του ΧΥΤΑ.

Το πρόγραμμα εκμετάλλευσης που ακολουθεί ο ΧΥΤΑ είναι ίσως το βασικότερο χαρακτηριστικό που επηρεάζει τις συναρτήσεις καθορισμού των διαστάσεων των υποσυστημάτων του. Κυρίως όμως, επηρεάζει την συνάρτηση υπολογισμού του διαθέσιμου όγκου σε σχέση με τις διαστάσεις του. Διαφορετική θα είναι η συνάρτηση όγκου σε σχέση με τις διαστάσεις του χώρου, σε έναν ΧΥΤΑ που ακολουθείται την εκτατική εκμετάλλευση από ότι σε κάποιον άλλον που ακολουθείται η καθ' ύψος εκμετάλλευση.

Στην παρούσα εργασία υποθέτουμε ότι οι ΧΥΤΑ ακολουθούν την καθ' ύψος εκμετάλλευση. Η συγκεκριμένη κατηγορία ΧΥΤΑ επιλέγεται καθώς είναι ευκολότερη η περιγραφή της με μαθηματικές συναρτήσεις και δεν επηρεάζεται τόσο από την φυσικό ανάγλυφο της περιοχής.

Αν υποθέσουμε πως το αρχικό ανάγλυφο είναι επίπεδο τότε ο διαθέσιμος όγκος μπορεί να γραφεί σαν συνάρτηση των διαστάσεων της βάσης του χώρου, υπό ορισμένες προϋποθέσεις: α) να είναι γνωστές οι κλίσεις των πλευρών του απορριμματικού ανάγλυφου και β) να είναι γνωστό το τελικό γεωμετρικό σχήμα του απορριμματικού ανάγλυφου. Αν θεωρήσουμε πως το σχήμα της βάσης είναι ορθογώνιο (συνήθως είναι) τότε το τελικό ανάγλυφο μπορεί να πάρει το γεωμετρικό σχήμα της πυραμίδας ή του πρίσματος. Καταλαβαίνουμε πως ο υπολογισμός του όγκου είναι διαφορετικός για τα δύο αυτά γεωμετρικά σχήματα. Αλλά ακόμα και αν καταλήξουμε στο τελικό γεωμετρικό σχήμα, δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο. Χρειαζόμαστε και την κλίση των πλευρών, η οποία μπορεί βέβαια να ληφθεί ίση με την ανώτερη επιτρεπτή 1/3. Βλέπουμε πως ο υπολογισμός του όγκου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Για τον λόγο αυτό είμαστε αναγκασμένοι να κάνουμε ορισμένες παραδοχές.

Καταρχήν θεωρούμε πως το τελικό ανάγλυφο έχει σχήμα πυραμίδας και το σχήμα της βάσης του είναι τετράγωνο (ο όγκος πυραμίδας με τετράγωνη βάση είναι μεγαλύτερος από πυραμίδα με ορθογώνια βάση ίσου εμβαδού). Επιπλέον η κλίση των πλευρών είναι 1/3. Ας δούμε τον τελικό όγκο. Ο όγκος της πυραμίδας δίνεται από τον τύπο:

$$V = \frac{1}{3} * B * h \quad \text{όπου } B \text{ το εμβαδόν της βάσης και } h \text{ το ύψος της πυραμίδας. Με}$$

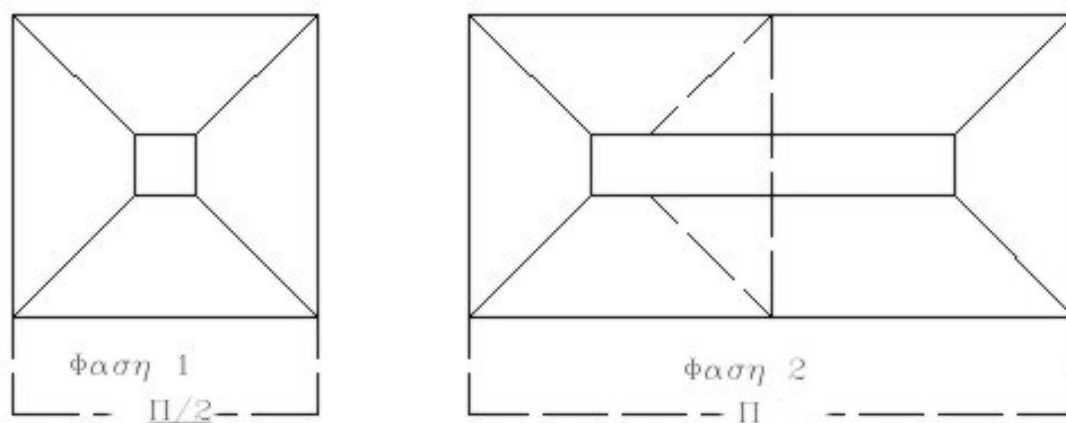
δεδομένη την κλίση των πλευρών η πυραμίδα θα είναι κανονική και το ύψος της θα

$$\text{είναι } h = \frac{1}{3} * \frac{\Pi}{2} \quad \text{όπου } \Pi \text{ η πλευρά της βάσης της. Άρα ο τελικός τύπος του όγκου θα}$$

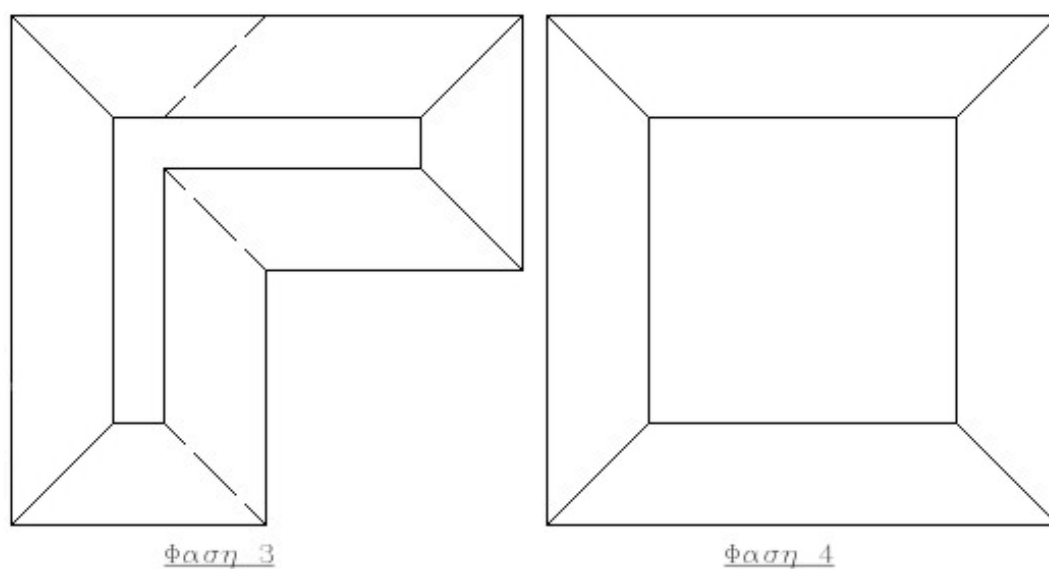
$$\text{είναι } V = \frac{1}{18} * \Pi^3 \quad (1). \text{ Θα δούμε στην συνέχεια ότι ο τύπος αυτός δεν είναι αρκετός}$$

για τον υπολογισμό του όγκου.

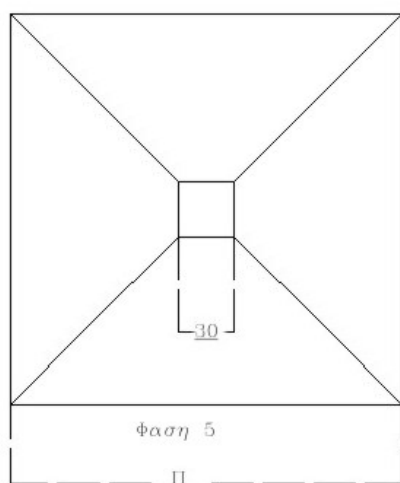
Γνωρίζουμε τον τελικό όγκο του απορριμματικού ανάγλυφου και το σχήμα του. Ο όγκος του χώρου θα πρέπει να επαρκεί για τις ανάγκες μίας 20ετίας. Όπως έχουμε δει, για τόσο μεγάλα χρονικά διαστήματα, ο ΧΥΤΑ θα πρέπει να αναπτύσσεται τμηματικά. Μπορεί το τελικό σχήμα να είναι η πυραμίδα με τον παραπάνω όγκο αλλά πρέπει να ορίσουμε και τις διάφορες φάσεις ανάπτυξης του απορριμματικού ανάγλυφου μέχρι να πάρει την τελική του μορφή. Επιλέγουμε την ισοεμβαδική ανάπτυξη του χώρου σύμφωνα με το παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 3.2 Κάτοψη του απορριμματικού ανάγλυφου στο τέλος της πρώτης και δεύτερης φάσης.



Σχήμα 3.3 Κάτοψη του απορριμματικού ανάγλυφου στο τέλος της φάσης 3 & 4.



Σχήμα 3.4 Κάτοψη του απορριμματικού ανάγλυφου στο τέλος της πέμπτης φάσης.

Στο τέλος κάθε καινούργιας φάση αλλάζει το γεωμετρικό σχήμα του ολικού απορριμματικού ανάγλυφου. Στο τέλος της πρώτης φάσης έχει το σχήμα πυραμίδας. Στο τέλος της δεύτερης φάσης παίρνει την μορφή του πρίσματος, το ίδιο και στην τρίτη. Μετά το τέλος και της τέταρτης φάσης το σχήμα του απορριμματικού ανάγλυφου έχει την μορφή πυραμίδας, όπου έχει αποκοπεί το ανώτερο τμήμα της.. Το τμήμα αυτό που λείπει, προστίθεται στην πέμπτη φάσης ανάπτυξης του χώρου (σχήμα.3.7) Έτσι καταλήγουμε τελικά στην ποιο συνηθισμένη μορφή του απορριμματικού ανάγλυφου, δηλαδή το σχήμα της πυραμίδας.

Κάθε φάση ανάπτυξης του ΧΥΤΑ έχει βάση με εμβαδόν ίσο με $(\Pi/2)^2$, αν Π είναι το μήκος της πλευράς της βάσης του τελικού απορριμματικού ανάγλυφου.

Ορίσαμε λοιπόν το τελικό σχήμα του απορριμματικού ανάγλυφου και τις διάφορες φάσεις ανάπτυξης του. Ο τελικός όγκος του θα είναι $V_{ολ} = V1_{ολ} + V2_{ολ} + V3_{ολ} + V4_{ολ} + V5_{ολ}$ δηλαδή το άθροισμα των όγκων κάθε φάσης.

Στη συνέχεια θα εξηγήσουμε την μεταβολή του τελικού όγκου ανάλογα με την μεταβολή ορισμένων σχεδιαστικών παραμέτρων του ΧΥΤΑ. Για ευκολία θα χρησιμοποιήσουμε σαν παράδειγμα τις μεταβολές στον όγκο της πρώτης φάσης και όχι στον συνολικό.

2.2.2 Εκσκαφές

Είδαμε πως ο τελικός όγκος του χώρου θα είναι το άθροισμα των όγκων των επιμέρους φάσεων του ΧΥΤΑ. Αυτό βέβαια ισχύει μόνο στην περίπτωση που δεν γίνουν καθόλου εκσκαφές στα τέσσερα τμήματα της βάσης του χώρου. Στην περίπτωση που έχουμε εκσκαφές τότε θα πρέπει να υπολογίσουμε και τον ωφέλιμο όγκο που προκύπτει από τις εκσκαφές.

Ο επιπλέον αυτός όγκος μπορεί να υπολογιστεί σαν συνάρτηση του μήκους της πλευράς του κάθε τμήματος της βάσης, του βάθους εκσκαφής και των κλίσεων των πρανών. Όσο αυξάνεται κάθε ένας από τους παραπάνω παράγοντες θα αυξάνεται και ο ωφέλιμος όγκος. Άρα αν θέλουμε να υπολογίζουμε τον όγκο σε σχέση μόνο με το μήκος της πλευράς της τετράγωνης βάσης, οφείλουμε να θεωρήσουμε σταθερούς τους άλλους δύο παράγοντες. Έτσι θεωρούμε το βάθος εκσκαφής ίσο με 5 m και την κλίση των πρανών 1/3(την μεγαλύτερη δυνατή).

Ας υπολογίσουμε τώρα τον ωφέλιμο όγκο της πρώτης φάσης ανάπτυξης του υποθετικού ΧΥΤΑ. Θα είναι το άθροισμα των όγκων του απορριμματικού ανάγλυφου (σχήμα πυραμίδας με πλευρά $\Pi/2$ αν Π είναι όλο το μήκος της βάσης του συνολικού

χώρου) που βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια του εδάφους, συν τον ωφέλιμο όγκο που προέκυψε από τις εκσκαφές.

$$V_{ολ} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2}\right)^3 + V_{εκσκ}$$

Ο όγκος των εκσκαφών υπολογίζεται από τον προηγούμενο τύπο (1) της πυραμίδας αν αφαιρέσουμε από αυτόν το τμήμα της πυραμίδα που λείπει. Το τμήμα που αφαιρείται είναι και αυτό μία πυραμίδα, με πλευρές, για βάθος εκσκαφών 5 m, ίσες με $\Pi/2 - 6*5$ (γιατί έχουμε κλίση 1/3). Έτσι ο όγκος των εκσκαφών θα είναι:

$$V_{εκσκ} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2}\right)^3 - \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 6*5\right)^3 \quad (2)$$

Άρα ο ολικός ωφέλιμος όγκος της πρώτης φάσης είναι

$$V_{ολ} = \frac{1}{9} * \left(\frac{\Pi}{2}\right)^3 - \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 6*5\right)^3 \quad (3)$$

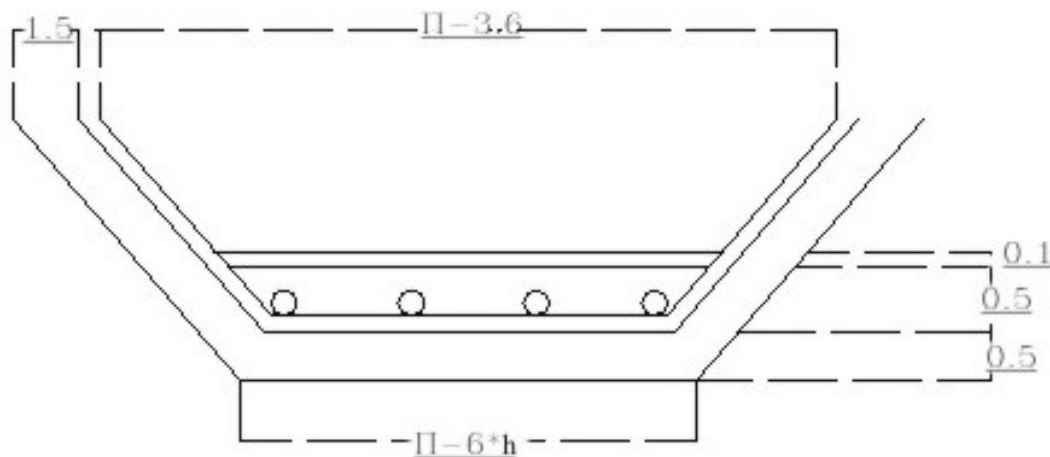
Ο τύπος αυτός μας δίνει τον διαθέσιμο όγκο της πρώτης φάσης του ΧΥΤΑ αν πραγματοποιηθούν εκσκαφές βάθους 5 m. Παρατηρούμε ότι ο υπολογισμός του όγκο γίνεται πιο περίπλοκος.

2.2.3 Ορισμός διαφόρων χαρακτηριστικών

Με τον τύπο (3) είδαμε ότι υπολογίζουμε τον όγκο της πρώτης φάσης του ΧΥΤΑ ως προς το μήκος των πλευρών του συνολικού χώρου (Π) και έχοντας θέσει κάποιες σταθερές (κλίση και βάθος). Είναι προφανές όμως ότι ορισμένο όγκο, από τον προσφερόμενο όγκο των εκσκαφών, καταλαμβάνουν η μόνωση και η ζώνη αποστράγγισης της βάσης, ας τους ονομάσουμε $V_{μον}$ και $V_{αποστρ}$ αντίστοιχα. Το άθροισμα των όγκων αυτών αυξάνει καθώς αυξάνει το πάχος των στρώσεων. Αν για παράδειγμα χρησιμοποιηθεί αργλική στρώση πάχους 60 cm θα καταλάβει περισσότερο όγκο από μία στρώση 50 cm. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα πως πρέπει να οριστούν σαν σταθερές τα πάχη των στρώσεων και στην συνέχεια να υπολογιστεί ο ωφέλιμος όγκος των εκσκαφών.

Θεωρούμε λοιπόν ότι τα πάχη των στρώσεων της μόνωσης και της αποστραγγιστικής ζώνης είναι τα ελάχιστα επιτρεπόμενα από τον νόμο. Συγκεκριμένα ο ΧΥΤΑ θα έχει μόνωση που αποτελείται από α) 0,5 m αργλικής στρώσης β) 1,5 mm γεωμεμβράνης (δεν παίζει ρόλο στον υπολογισμό του όγκου) γ) γεωύφασμα προστασίας 600 gr/mm² (ούτε αυτό υπολογίζεται στους όγκους) και γ) 0,1 m στρώση προστασίας από άμμο. Ενώ η αποστραγγιστική ζώνη αποτελείται από

α) 0,5 m στρώσης αμμοχάλικου και β) 0,1 m ζώνης προστασίας άμμου. Επίσης θεωρείται ότι η ζώνη αποστράγγισης βρίσκεται μόνο στο οριζόντιο μέρος της βάσης και όχι στα πρανή.



Σχήμα 3.5: Τομή της λεκάνης των εκσκαφών μετά την κατασκευή και της αποστραγγιστικής ζώνης

Ας ξεκινήσουμε από τον υπολογισμό του όγκου της μόνωσης. Εύκολα διαπιστώνουμε πως ο όγκος που απομένει αν αφαιρέσουμε την μόνωση μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο (2), μόνο που η πλευρά της βάσης θα είναι $\Pi/2-6*0,6$ (0,6 είναι το πάχος της μόνωσης και της άμμου προστασίας, όμως το οριζόντιο πάχος της είναι $3*0,6$ λόγω της κλίσης 1/3. Άρα η πλευρά μειώνεται συνολικά $2*3*0,6$) και το βάθος μικρότερο κατά 0,6 από το βάθος των εκσκαφών. Το καινούργιο $V_{εκσκ}$ θα είναι

$$V_{εκσκ} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 3,6 \right)^3 - \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 3,6 - 6 * 4,4 \right)^3 \text{ δηλ}$$

$$V_{εκσκ} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 3,6 \right)^3 - \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 30 \right)^3 \quad (4)$$

Η σχέση (4) μας δίνει τον ωφέλιμο όγκο των εκσκαφών χωρίς τον όγκο της μόνωσης. Τώρα μένει να αφαιρέσουμε και τον όγκο της αποστραγγιστικής ζώνης. Βλέπουμε πως η κάτω επιφάνεια της αποστραγγιστικής ζώνης έχει μήκος πλευρών $\Pi/2-30$ άρα οι πάνω επιφάνεια θα έχει πλευρά κατά $6*0,5$ μεγαλύτερη δηλαδή $\Pi/2-27$ (δεν υπολογίζουμε και τον όγκο της άμμου προστασίας). Ο όγκος δηλαδή της αποστραγγιστικής ζώνης θα δίνεται από τον τύπο

$$V_{αποστρ} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right)^3 - \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 30 \right)^3 \text{ (χωρίς τον όγκο της άμμου προστασίας)}$$

Ο όγκος της άμμου προστασία της αποστραγγιστικής ζώνης μπορεί να υπολογιστεί με πολύ μικρή απόκλιση σαν το γινόμενο της επάνω επιφάνειας της αποστραγγιστικής ζώνης επί 0,1m, του πάχους της ζώνης προστασίας. Άρα ο ολικό όγκος της αποστραγγιστικής ζώνης είναι:

$$V_{\text{αποστρ}} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right)^3 - \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 30 \right)^3 + \left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right)^2 * 0,1 \quad (5)$$

Ο ωφέλιμος όγκος που κερδίζουμε από τις εκσκαφές θα είναι $V_{\omega\phi\text{Εκσκ}} = (4) - (5)$ δηλαδή

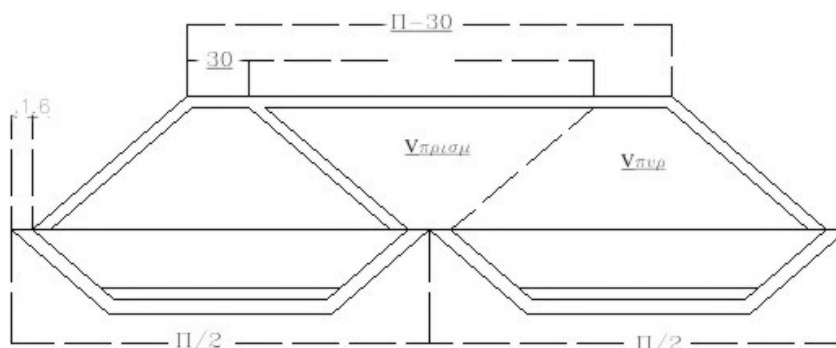
$$V_{\omega\phi\text{Εκσκ}} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 3,6 \right)^3 - \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right)^3 - \left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right)^2 * 0,1 \quad (6)$$

Βλέπουμε ότι ενώ στην (2) ορίσαμε εύκολα το $V_{\omega\phi\text{Εκσκ}}$, μετά τον ορισμό ορισμένων παραμέτρων ο τύπος γίνεται πολύπλοκος.

Όπως επηρεάστηκε ο όγκος που προκύπτει από τις εκσκαφές αντίστοιχα επηρεάζεται και ο όγκος της πυραμίδας της πρώτης φάσης αφού μειώνεται το μήκος των πλευρών της βάσης κατά 6*0,6. Επιπλέον αν λάβουμε υπ' όψιν μας και την ύπαρξη της ενδιάμεσης κάλυψης πάχους 0,4 m που καλύπτει εξωτερικά κάθε φάση του ΧΥΤΑ τότε το μήκος των πλευρών γίνεται κατά 6*(0,6+0,4) μικρότερο. Έτσι ο ολικός ωφέλιμος όγκος της πρώτης φάσης θα γίνεται

$$V1_{\omega\phi} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 6 \right)^3 + V_{\omega\phi\text{Εκσκ}}$$

Από αυτόν τον όγκο βέβαια θα πρέπει να αφαιρέσουμε ένα τμήμα από την κορυφή της πυραμίδας. Ο όγκος αυτός αφαιρείται γιατί πρέπει να υπάρχει μία επίπεδη επιφάνεια στην κορυφή για την κυκλοφορία των οχημάτων. Ποια όμως είναι η απαραίτητη επιφάνεια



Σχήμα 3.6: Τομή του απορριμματικού ανάγλυφου μετά το τέλος της Φάσης 2.

Η νομοθεσία ορίζει πως σε επιφάνεια 30 στρεμμάτων το απορριμματικό ανάγλυφο μπορεί να φτάσει τα 20-25 μέτρα σε ύψος. Υποθέτοντας ότι η βάση είναι τετράγωνη τότε η πλευρά της έχει διαστάσεις περίπου 175 m. Το μέγιστο ύψος μίας πυραμίδας με κλίση 1/3 και μήκος πλευρών 175 m, είναι $0,5 \cdot 175 \cdot 1/3 = 29,3$ περίπου 30m. Το μέγιστο ύψος όμως πρέπει να είναι 25, άρα πρέπει να αφαιρέσουμε το ανώτερο τμήμα της πυραμίδας με μήκος βάσης $30 = 6 \cdot 5$ m και ύψος 5 m. Αφαιρούμε δηλαδή όγκο $1/18 \cdot 30^3 = 1500 \text{ m}^3$. Άρα

$$V_{1\omega\phi} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 6 \right)^3 + V_{\omega\phi\text{Εκσκ}} - 1500 \quad (7)$$

2.2.4 Συμπεράσματα

Διαπιστώσαμε τα γενικά χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ και ορίσαμε τις σταθερές του με την βοήθεια της εξίσωσης του ωφέλιμου όγκου της πρώτης φάσης. Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά αυτά είναι

- Τελικό απορριμματικό ανάγλυφο σχήματος κανονικής πυραμίδας με τετράγωνη βάση και κλίσεις πλευρών 1/3
- Ισόχωρη ανάπτυξη των φάσεων του ΧΥΤΑ
- Εκσκαφές βάθους 5 m σε κάθε τμήμα της βάσης.
- Πάχος μόνωσης (0,5 m αργλικής μόνωσης και 0,1 m άμμου προστασίας)
- Πάχος αποστραγγιστικής ζώσης (0,5m στρώση αμμοχάλικου και 0,1m άμμου προστασίας).
- Εξωτερική ενδιάμεση κάλυψη κάθε φάσης ανάπτυξης πάχους 0,4 m

Εδώ οφείλουμε να τονίσουμε πως τα παραπάνω χαρακτηριστικά δεν είναι τα μόνα που πρέπει να οριστούν, είναι όμως αυτά που επιδρούν καθολικά στις συναρτήσεις διότι επηρεάζουν τον ωφέλιμο όγκο του ΧΥΤΑ. Τα επιπλέον χαρακτηριστικά που πρέπει να οριστούν, επηρεάζουν μόνο τα διάφορα υποσυστήματα του ΧΥΤΑ και για τον λόγο αυτό θα αναφερθούν στην συνέχεια.

2.3 Υπολογισμός Ωφέλιμου Όγκου και Όγκου ενδιάμεσης Κάλυψης

2.3.1 Γενικά

Ήδη έχουμε δει, πως υπολογίζεται ο ωφέλιμος όγκος για την πρώτη φάση ανάπτυξης του ΧΥΤΑ (εξίσωση (7)). Υπάρχουν άλλες τέσσερις τέτοιες εξισώσεις, μία για κάθε φάση ανάπτυξης του ΧΥΤΑ. Κάθε μία από αυτές αν αναπτυχθεί είναι ένα πολυώνυμο 3^{ου} βαθμού και όπως είναι φυσικό και ο ολικός ωφέλιμος όγκος του ΧΥΤΑ θα είναι πολυώνυμο 3^{ου} βαθμού, αφού είναι άθροισμα πολυωνύμων του ίδιου βαθμού.

Οι συναρτήσεις αυτές είναι πολύ δύσκολο να αναπτυχθούν στην μορφή του πολυώνυμου (ειδικά της δεύτερης φάσης λόγω περίπλοκου γεωμετρικού σχήματος), και αναπόφευκτες οι απλοποιήσεις των πολλών δεκαδικών. Έτσι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποιο λογιστικό φύλλο ηλεκτρονικού υπολογιστή και αφού τρέξουμε τις εξισώσεις για διάφορες τιμές του Π να βρούμε με γραμμική παρεμβολή ένα πολυώνυμο τρίτου βαθμού το οποίο θα είναι πολύ κοντά με το πραγματικό. Για παράδειγμα ο όγκος $V_{1\omega\phi}$ που υπολογίστηκε με γραμμική παρεμβολή είναι

$$V_{1\omega\phi} = 0,0069 * \Pi^3 + 0,6927 * \Pi^2 - 53,403 * \Pi - 504,78 \quad (8)$$

Και το μέγιστο σχετικό σφάλμα μεταξύ των τιμών που μας δίνει το πολυώνυμο σε σχέση με την (7) είναι 0,032%. Το σχετικό σφάλμα είναι πάρα πολύ μικρό και μπορούμε να δεχτούμε την εξίσωση (8). Στην ίδια τάξη μεγέθους είναι και τα μέγιστα σχετικά σφάλματα για τους υπόλοιπους όγκους.

Έτσι στην συνέχεια όλες οι εξισώσεις που θα προκύπτουν θα μετατρέπονται σε πολυώνυμα 3^{ου} βαθμού για ευκολία χρήσης τους.

2.3.2 Υπολογισμός Όγκων Φάσης 1

Παρακολουθήσαμε βήμα προς βήμα πως υπολογίζεται ο ωφέλιμος όγκος της πρώτης φάσης του ΧΥΤΑ, και δώσαμε το ισοδύναμο πολυώνυμο (8). Αυτό που μένει ακόμα για την πλήρη περιγραφή της φάσης αυτής, είναι ο υπολογισμός της ενδιάμεσης κάλυψης που καλύπτει εξωτερικά το απορριμματικό ανάγλυφο.

Για να υπολογίσει κανείς τον όγκο της ενδιάμεσης κάλυψης αρκεί να αφαιρέσει τον εξωτερικό ωφέλιμο όγκο (αυτόν που σχηματίζει το απορριμματικό ανάγλυφο επάνω από το έδαφος), από τον ολικό εξωτερικό όγκο. Τα γεωμετρικά σχήματα των δύο αυτών όγκων έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Η μόνη διαφορά τους

είναι το μήκος των πλευρών της βάσης τους. Έτσι ο ολικός εξωτερικός όγκος θα δίνεται από τον τύπο (1), αντικαθιστώντας την πλευρά της βάσης Π με $(\Pi/2-3,6)$. Αφαιρώντας βέβαια έναν όγκο 1500m^3 που αντιστοιχεί στον όγκο του τμήματος της πυραμίδας που λείπει Όπως εξηγήσαμε ήδη μπορεί η πλευρά της βάσης να είναι $\Pi/2$ αλλά η ανάπτυξη του απορριμματικού ανάγλυφου δεν μπορεί να γίνει επάνω στην μόνωση, για αυτό μειώνουμε την βάση της πυραμίδας κατά $2*3*0,6=3,6$. Έτσι ο ολικός εξωτερικός όγκος θα είναι

$$V1_{ολΕξ} = \frac{1}{18} \left(\frac{\Pi}{2} - 3,6 \right)^3 - 1500$$

Ενώ ο εξωτερικός ωφέλιμος θα είναι αντίστοιχα

$$V1_{ωφΕξ} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 6 \right)^3 - 1500 \quad \text{καθώς η πλευρά της βάσης είναι κατά } 6*0,4$$

μικρότερη από την πλευρά της βάσης του εξωτερικού ολικού. Άρα ο όγκος της ενδιάμεσης κάλυψης της πρώτης φάσης θα είναι $V1_{ενδ} = V1_{ολΕξ} - V1_{ωφΕξ}$ δηλαδή

$$V1_{end} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 3,6 \right)^3 - \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 6 \right)^3 \quad (9) \quad \text{και το πολυώνυμο που αντιστοιχεί στην}$$

$$(9) \text{ είναι } V1_{ενδ} = 0,099 * \Pi^2 - 1,9008 * \Pi + 9,3139 \quad (10)$$

2.3.3 Υπολογισμός Όγκων Φάση 2

Καταρχήν ο ωφέλιμος όγκος από τις εκσκαφές της βάσης της δεύτερης φάσης είναι ακριβώς ο ίδιος με της πρώτης φάσης. Έτσι αρκεί να υπολογίσουμε τους όγκους της δεύτερης φάσης που βρίσκονται επάνω από την επιφάνεια του εδάφους και να προσθέσουμε τον ωφέλιμο όγκο των εκσκαφών.

Για να υπολογίσουμε όμως τον εξωτερικό ωφέλιμο όγκο αλλά και τον όγκο της ενδιάμεσης κάλυψης της φάσης θα πρέπει να αναγάγουμε το γεωμετρικό σχήμα της φάσης σε άθροισμα απλών σχημάτων. Παρατηρώντας τα παραπάνω σχήμα 3.4 βλέπουμε πως μπορούμε να αναγάγουμε τον ολικό εξωτερικό όγκο της φάσης 2 σε δύο απλά σχήματα. Σε έναν όγκο $V_{\text{πυραμ}}$ ο οποίος είναι ίσος με τον ολικό εξωτερικό όγκο της πρώτης φάσης και σε έναν όγκο $V_{\text{πρισμα}}$ ο οποίος έχει το γεωμετρικό σχήμα πρίσματος.

Ο όγκος $V_{\text{πυραμ}}$ όπως είπαμε είναι ίσος με τον ολικό εξωτερικό όγκο της πρώτης φάσης, αλλά ο ωφέλιμος όγκος και η εξωτερική κάλυψη του τμήματος αυτού διαφέρουν από τα αντίστοιχα της φάσης 1. Η διαφορά βρίσκεται στο ότι ενώ η φάση

1 καλύπτεται εξωτερικά με ενδιάμεση κάλυψη από όλες της πλευρές. Ο συγκεκριμένος όγκος της φάσης 2 δεν καλύπτεται από εξωτερική κάλυψη στην πλευρά που συνορεύει με τον όγκο $V_{\text{πρίσμα}}$. Οπότε για να βρούμε τον ωφέλιμο όγκο του τμήματος αυτού, πρέπει να αφαιρέσουμε από τον ολικό του όγκο τη εξωτερική κάλυψη. Ο όγκος της εξωτερικής του κάλυψης ισούται με το άθροισμα του όγκου της οριζόντιας κάλυψης της φάσης 1, συν τον όγκο που καταλαμβάνει η κάλυψη των τριών πλευρών της φάσης 1.

Το οριζόντια τμήμα της κάλυψης της φάσης 1 έχει όγκο

$$V_{\text{ενδορ}} = \frac{1}{18} * (30 + 6 * 0,4)^3 - \frac{1}{18} * (30)^3 \approx 390 \text{ m}^3 \text{ ενώ η κάθε πλευρά της η κάθε}$$

πλευρά της φάσης 1 έχει κάλυψη όγκου

$$V_{\text{ενδΠλευρών}} = \frac{1}{4} * (V_{1\text{ενδ}} - V_{\text{ενδορ}})$$

Οπότε ο ωφέλιμος όγκος από του $V_{\text{πυραμ}}$ είναι

$$V_{\text{ωφΠυραμ}} = \frac{1}{18} \left(\frac{\Pi}{2} - 3,6 \right)^3 - 1500 - (3 * V_{\text{ενδΠλευρών}} + V_{\text{ενδορ}})$$
 και ο όγκος της ενδιάμεση

κάλυψης αυτού του τμήματος $V_{\text{ενδΠυραμ}} = V_{\text{ενδορ}} + 3 * V_{\text{ενδΠλευρών}}$

Ο υπολογισμός του όγκου $V_{\text{πρίσμα}}$ είναι λίγο πιο περίπλοκος. Επειδή το πρίσμα δεν έχει παράλληλες της δύο του πλευρές, πρέπει να το μετατρέψουμε σε κανονικό πρίσμα προσθέτοντας δύο όγκους με γεωμετρικό σχήμα πυραμίδας. Αφού υπολογίσουμε τον όγκο του κανονικού πρίσματος, στην συνέχεια αφαιρούμε τους όγκους των πυραμίδων που προσθέσαμε και βρίσκουμε τον όγκο που αναζητάμε. Προχωρούμε σε αυτήν την προσθαφαίρεση των όγκων γιατί οι τύποι υπολογισμού του κανονικού πρίσματος και της πυραμίδας είναι απλοί και γνωστοί.

Πρώτα θα υπολογιστεί ο ολικός όγκος του πρίσματος και στην συνέχεια ο ωφέλιμος. Έτσι με αφαίρεση θα προκύψει ο όγκος της ενδιάμεσης κάλυψης. Έχουμε λοιπόν

$$V_{\text{ολΠρίσμα}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Pi}{2} - 30 \right) * h * \left(\frac{\Pi}{2} - 3,6 \right) - \frac{1}{3} * \left(\frac{\Pi}{2} - 3,6 - 30 \right) * \left(\frac{\Pi}{2} - 30 \right) * h$$

Στον παραπάνω τύπο η αρχική ποσότητα είναι ο όγκος του κανονικού πρίσματος και η ποσότητα που αφαιρείται είναι ο όγκος της πυραμίδας. Το h είναι ίσο με το ύψος του απορριμματικού ανάγλυφου δηλαδή $h = 1/3 * 1/2 * (\Pi/2 - 3,6) - 5$

Ενώ ο τύπος του $V_{\text{ωφΠρίσμα}}$ είναι

$$V_{\omega\phi\text{Πρισμα}} = \frac{1}{2} * \left(\frac{\Pi}{2} - 32,4 \right) * (h - 0,4) * \left(\frac{\Pi}{2} - 6 \right) - \frac{1}{3} * \left(\frac{\Pi}{2} - 6 - 30 \right) * \left(\frac{\Pi}{2} - 32,4 \right) * (h - 0,4)$$

Άρα ο όγκος της ενδιάμεσης κάλυψης θα είναι $V_{\text{ενδΠρισμα}} = V_{\text{ολΠρισμα}} - V_{\omega\phi\text{Πρισμα}}$

Έτσι ο συνολικός ωφέλιμος όγκος της δεύτερης φάσης είναι

$$V2_{\omega\phi} = V_{\omega\phi\text{Πυραμ}} + V_{\omega\phi\text{Πρισμα}} + V_{\omega\phi\text{Εκσκ}} \text{ και το πολυώνυμο του}$$

$$V2_{\omega\phi} = 0.0104 * \Pi^3 + 0.6159 * \Pi^2 - 88.852 * \Pi + 1147.7 \quad (11)$$

Ενώ ο όγκος της ενδιάμεσης κάλυψης της φάσης 2 είναι

$$V2_{\text{ενδ}} = V_{\text{ενδΠυραμ}} + V_{\text{ενδΠρισμα}} \text{ και το πολυώνυμο}$$

$$V2_{\text{ενδ}} = 10^{-16} * \Pi^3 + 0.1243 * \Pi^2 - 2.1596 * \Pi - 66.04 \quad (12)$$

2.3.4 Υπολογισμός Όγκων Φάσης 3

Οι όγκοι του της τρίτης φάσης του ΧΥΤΑ είναι ακριβώς οι ίδιοι με της δεύτερης φάσης. Άρα ισχύουν οι εξισώσεις της προηγούμενης φάσης.

2.3.5 Υπολογισμός Όγκων Φάσης 4

Το γεωμετρικό σχήμα της τέταρτης φάσης είναι αρκετά πιο απλό από των προηγούμενων φάσεων. Εδώ έχουμε να κάνουμε με ένα παραλληλεπίπεδο. Έτσι ο ολικός εξωτερικός όγκος της φάσης 4 θα δίνεται από τον τύπο

$$V4_{\text{ολ}} = \left(\frac{\Pi}{2} \right)^2 * h \text{ όπου } h \text{ ύψος του απορριμματικού ανάγλυφου.}$$

Και ο εξωτερικός ωφέλιμος όγκος

$$V4_{\omega\phi\text{Εξ}} = \left(\frac{\Pi}{2} - 1,2 \right)^2 * (h - 0,4) \text{ και όπως είναι φυσικό ο όγκος της ενδιάμεσης}$$

κάλυψης της φάσης θα είναι $V4_{\text{ενδ}} = V4_{\text{ολ}} - V4_{\omega\phi\text{Εξ}}$ και το πολυώνυμο

$$V4_{\text{ενδ}} = 0.1999 * \Pi^2 - 7.3192 * \Pi + 8.6391 \quad (13)$$

ενώ ο ολικός ωφέλιμος όγκος $V4_{\omega\phi} = V4_{\omega\phi\text{Εξ}} + V_{\omega\phi\text{Εκσκ}}$ και το πολυώνυμο

$$V4_{\omega\phi} = 0.0208 * \Pi^3 - 0.6595 * \Pi^2 - 49.054 * \Pi + 998.46 \quad (14)$$

2.3.6 Υπολογισμός όγκων Φάσης 5

Ο όγκος της φάσης 5 υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο που έχει υπολογιστεί ο εξωτερικός όγκος της φάσης 1. Ο ολικός όγκος θα είναι δηλαδή

$$V5_{\text{ολ}} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} + 30 \right)^3 - 1500$$

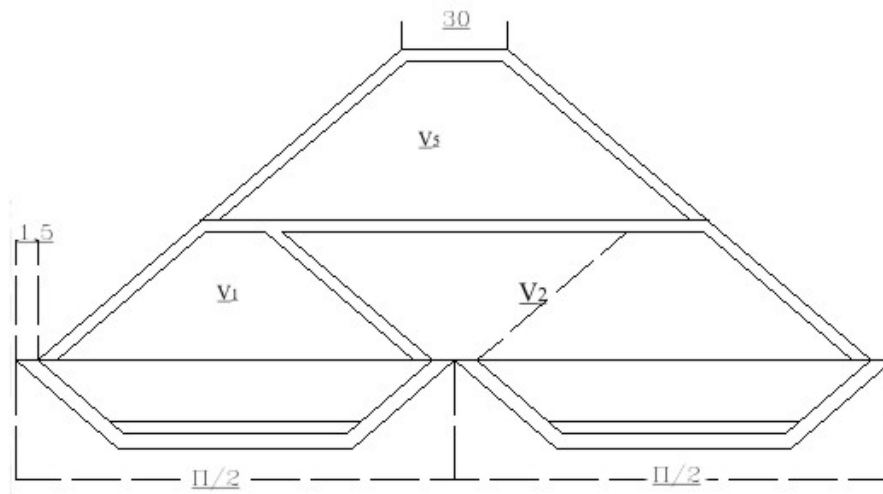
και ο ωφέλιμος όγκος

$$V5_{\omega\phi} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} + 30 - 2,4 \right)^3 - 1500 \text{ σε πολυώνυμο πολυωνυμική μορφή}$$

$$V5_{\omega\phi} = 0.0069 * \Pi^3 + 1.15 * \Pi^2 + 63.48 * \Pi - 331.97 \quad (15)$$

Ενώ ο όγκος της ενδιάμεσης κάλυψης θα είναι $V5_{\epsilon\upsilon\delta} = V5_{\omicron\lambda} - V5_{\omega\phi}$ και το πολυώνυμο

$$V5_{\epsilon\upsilon\delta} = 0.1 * \Pi^2 + 11.52 * \Pi + 331.97 \quad (16)$$



Σχήμα 3.7: Τομή απορριμματικού ανάγλυφου στο τέλος της Φάσης 5

2.3.7 Ολικός Ωφέλιμος όγκος του ΧΥΤΑ.

Έχουμε αναφέρει ήδη πως ο ολικός ωφέλιμος όγκος του ΧΥΤΑ, με βάση την μέθοδο ανάπτυξης που έχουμε καθορίσει, θα ισούται με το άθροισμα των ωφέλιμων όγκων των πέντε φάσεων του.

$V_{\omega\phi\omicron\lambda} = V1_{\omega\phi} + V2_{\omega\phi} + V3_{\omega\phi} + V4_{\omega\phi} + V5_{\omega\phi}$ και το πολυώνυμο που αντιστοιχεί είναι

$$V_{\omega\phi\omicron\lambda} = 0.0553 * \Pi^3 + 2.4151 * \Pi^2 - 216.68 * \Pi + 2457.2 \quad (17)$$

Η γραμμική παρεμβολή έγινε αφού προστέθηκαν πρώτα οι πραγματικοί όγκοι και όχι οι όγκοι που υπολογίζονται από τα πολυώνυμα. Έτσι αποφεύγουμε να μεταφέρουμε τα σχετικά σφάλματα του κάθε πολυώνυμου στο τελικό πολυώνυμο υπολογισμού του ολικού ωφέλιμου όγκου.

Αντίστοιχα ο ολικός όγκος του υλικού της ενδιάμεσης κάλυψης θα είναι

$V_{\epsilon\upsilon\delta\omicron\lambda} = V1_{\epsilon\upsilon\delta} + V2_{\epsilon\upsilon\delta} + V3_{\epsilon\upsilon\delta} + V4_{\epsilon\upsilon\delta} + V5_{\epsilon\upsilon\delta}$ και το πολυώνυμο

$$V_{\epsilon\upsilon\delta\omicron\lambda} = 4 * 10^{-16} * \Pi^3 + 0.6475 * \Pi^2 - 2.0192 * \Pi + 217.84 \quad (18)$$

2.4 Συσχέτιση Ωφέλιμου Όγκου με την Ημερήσια Δυναμικότητα.

Για να μπορέσει να υπάρξει συσχέτιση του ωφέλιμου όγκου του ΧΥΤΑ με την ημερήσια δυναμικότητα του σε tn/day απορριμμάτων, θα πρέπει καταρχήν να επιλεγεί η διάρκεια λειτουργίας του. Επιλέγουμε διάρκεια λειτουργίας τα 20 έτη. Έτσι αν υποθέσουμε πως ο ΧΥΤΑ λειτουργεί καθημερινά (και Κυριακή) τότε είναι γνωστός ο όγκος που καταλαμβάνει το καθημερινό κύτταρο των απορριμμάτων.

Ισχύει ότι $V_{\omega\phi\omicron\lambda} = T_{\lambda\epsilon\iota\tau\upsilon\rho\gamma\acute{\iota}\alpha\varsigma} * V_{\eta\mu.\text{Κυττάρου}}$

Όπου $T_{\lambda\epsilon\iota\tau\upsilon\rho\gamma\acute{\iota}\alpha\varsigma}$ το σύνολο των ημερών που θα λειτουργήσει ο ΧΥΤΑ για όλη την διάρκεια ζωής του (δηλ $20*365$), και $V_{\eta\mu.\text{Κυττάρου}}$ ο όγκος του ημερήσιου κυττάρου. Λύνοντας ως προς $V_{\eta\mu.\text{Κυττάρου}}$ έχουμε

$$V_{\eta\mu.\text{Κυττάρου}} = V_{\omega\phi\omicron\lambda} / T_{\lambda\epsilon\iota\tau\upsilon\rho\gamma\acute{\iota}\alpha\varsigma} \quad (19)$$

Το ημερήσιο κύτταρο όπως αναφέρεται στην παράγραφο 1.3.1 αποτελείται από τον όγκο των απορριμμάτων και από τον όγκο του υλικού κάλυψης της ημερήσιας ποσότητας των απορριμμάτων. Στην ίδια παράγραφο αναφέρθηκε πως μπορούμε να θεωρήσουμε τον όγκο της ημερήσιας κάλυψης των απορριμμάτων και τον όγκο των απορριμμάτων, ίσο με το 15% και 85% αντίστοιχα του συνολικού ημερήσιου κυττάρου. Για την παραδοχή αυτή πρέπει η πυκνότητα των απορριμμάτων να είναι $0,6 \text{ tn/m}^3$ μετά την συμπίεση του στον χώρο και επίσης θεωρούμε πως οι υπόλοιπες σχεδιαστικές παράμετροι είναι ίσες με τις τυπικές της παραγράφου 1.3.1. Έχουμε δηλαδή

$$V_{\eta\mu.\text{Απορρ}} = 0,85 * V_{\eta\mu.\text{Κυττάρου}} \quad (20)$$

Όπου $V_{\eta\mu.\text{Απορρ}}$ ο όγκος της ημερήσιας ποσότητας απορριμμάτων μετά την συμπίεση τους. Ο όγκος των απορριμμάτων μετά την συμπίεση τους είναι ίσος με την μάζα τους προς την πυκνότητα τους. Είναι δηλαδή

$$V_{\eta\mu.\text{Απορρ}} = M_{\eta\mu.\text{Απορρ}} / d \quad (21) \quad \text{όπου } d \text{ η πυκνότητα των απορριμμάτων } d = 0.6 \text{ tn/day}$$

Από τις (19), (20) και (21) λύνοντας ως προς $M_{\eta\mu.\text{Απορρ}}$ έχουμε

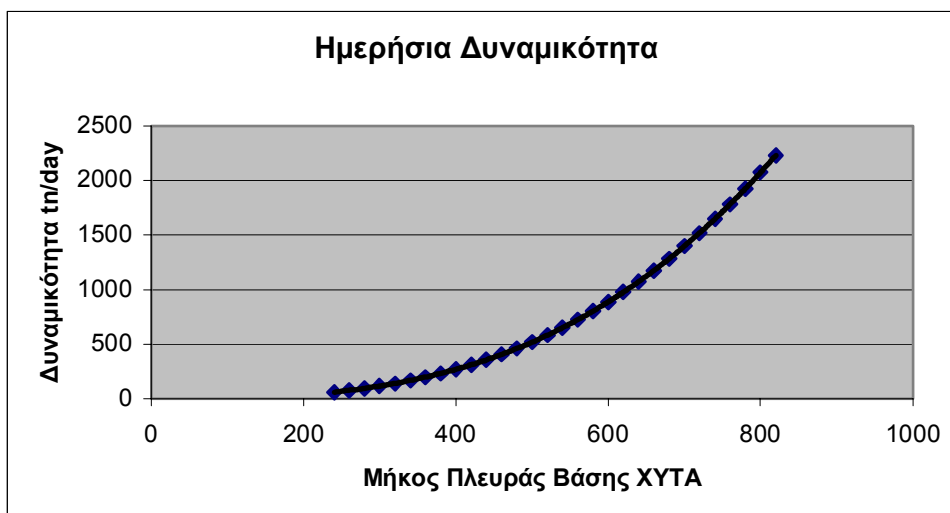
$$M_{\eta\mu.\text{Απορρ}} = V_{\omega\phi\omicron\lambda} * d * 0.85 / T_{\lambda\epsilon\iota\tau\upsilon\rho\gamma\acute{\iota}\alpha\varsigma} \quad (22)$$

αν αντικαταστήσουμε τις γνωστές ποσότητες τότε η (22) παίρνει την μορφή

$$M_{\eta\mu.\text{Απορρ}} = (0.0553 * \Pi^3 + 2.4151 * \Pi^2 - 216.68 * \Pi + 2457.2) * \frac{0,6 * 0,85}{20 * 365} \Rightarrow$$

$$M_{\eta\mu.\text{Απορρ}} = (0.0553 * \Pi^3 + 2.4151 * \Pi^2 - 216.68 * \Pi + 2457.2) * 6,9863 * 10^{-5} \quad (24)$$

Με την εξίσωση (24) μπορούμε να βρούμε την ημερήσια δυναμικότητα που μπορεί να εξυπηρετήσει ένας χώρος με μήκος πλευρών Π. Σύμφωνα με όλες τις παραπάνω παραδοχές (χρόνος λειτουργίας, πυκνότητα απορριμμάτων κτλ.).



Γράφημα 2.1 Ημερήσια δυναμικότητα σε σχέση με το μήκος της βάσης (Π) του τελικού απορριμματικού ανάγλυφου

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται η μεταβολή την ημερήσιας δυναμικότητας του ΧΥΤΑ σε σχέση με το μήκος των πλευρών της βάσης του. Τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για το Π είναι από 240 m, που δίνει ημερήσια δυναμικότητα 59 tn, μέχρι 820 m και δυναμικότητα 2200tn. Αυτό το εύρος τιμών θα χρησιμοποιηθεί και στην συνέχεια καθώς θεωρείται αρκετό για τις ελληνικές συνθήκες. Μόνο ο ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων έχει μεγαλύτερη δυναμικότητα από 2200 tn αλλά και αυτός θα αντικατασταθεί από τρεις μικρότερους μετά από απόφαση της κυβέρνησης.

Παρατηρούμε πως η κλίση της γραφικής παράστασης της (24) αυξάνει με την αύξηση του Π. Υπάρχει οικονομία κλίμακας όσον αφορά τις ποσότητες που μπορεί να δεχτεί ο ΧΥΤΑ σε σχέση με την έκταση της βάσης του.

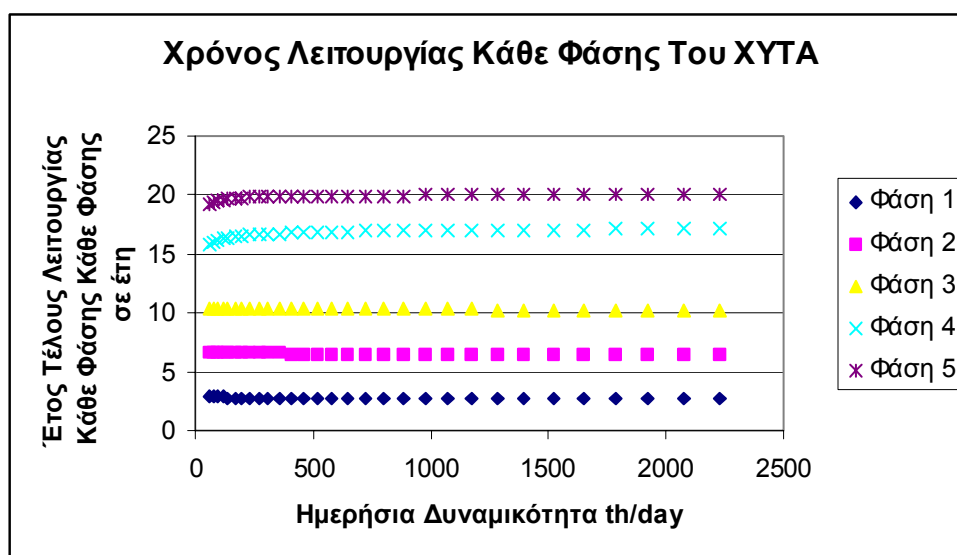
Εδώ πρέπει να τονίσουμε πως για τους παραπάνω υπολογισμούς δεν λήφθηκαν υπ' όψιν οι ενδεχόμενες καθιζήσεις. Ουσιαστικά οι καθιζήσεις οφείλονται στην μεταβολή της πυκνότητας των απορριμμάτων λόγω της πίεσης που ασκούν τα υπερκείμενα φορτία (αλλά και λόγω της βιοαποδόμησης). Η μεταβολή αυτή της πυκνότητας αυξάνει όσο αυξάνει το ύψος του απορριμματικού ανάγλυφου. Είναι εύκολο να φανταστεί κανείς, πως όσο αυξάνουν οι πλευρές της βάσης του απορριμματικού ανάγλυφου τόσο αυξάνει και το μέγιστο ύψος του. Άρα αν γνωρίζαμε την μεταβολή αυτή της πυκνότητας και δεν θεωρούσαμε την πυκνότητα

σταθερή ($0,6 \text{ tn/m}^3$), η κλίση της γραφικής παράστασης της (24) ως προς το μήκος των πλευρών της βάσης θα ήταν πιο απότομη. Θα υπήρχε μεγαλύτερη οικονομία κλίμακας, από την υπολογιζόμενη στην εξίσωση (24), αλλά και στις εξισώσεις που θα διατυπωθούν στην συνέχεια. Δυστυχώς η μεταβολή αυτή λόγω των καθιζήσεων είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Για αυτό στους υπολογισμούς την θεωρούμε μηδενική.

Πραγματοποιήσαμε αυτήν την μετατροπή από όγκο, σε ποσότητα (βάρος) απορριμμάτων που μπορεί να δεχτεί ο ΧΥΤΑ, γιατί είναι πιο κατανοητή μια ποσότητα απορριμμάτων εκφρασμένη σε μονάδες βάρους παρά όγκου. Επιπλέον συνηθίζεται να εκφράζονται τα αναγκαία υποσυστήματα ενός ΧΥΤΑ ως προς την ημερήσια δυναμικότητα του. Για παράδειγμα στην παράγραφο 1.11 δίνεται ο ελάχιστος αριθμός εργαζομένων σε έναν ΧΥΤΑ ανάλογα με την ημερήσια δυναμικότητα του σε tn/day .

2.5 Διάρκεια Χρήσης Κάθε Φάσης του ΧΥΤΑ

Ήδη γνωρίζουμε τον ωφέλιμο όγκο της κάθε φάσης του ΧΥΤΑ και τον συνολικό. Ο συνολικός όγκος υποθέσαμε πως πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες για 20 χρόνια. Άρα η ποσότητα $(V_{\omega\phi\text{Φάσης}} / V_{\omega\phi\text{Ολ}}) \cdot T_{\lambda\text{ειτουργίας}}$ θα μας δίνει την διάρκεια λειτουργίας κάθε φάσης του ΧΥΤΑ. Χρησιμοποιώντας τους τύπους (15), (24), (14), (11), (8) δημιουργούμε την γραφική παράσταση του χρόνου λειτουργίας κάθε φάση ως προς την ημερήσια δυναμικότητα στο γράφημα 2.2



Γράφημα 2.2 Έτος Τέλους Κάθε Φάσης με έτος μηδέν το έτος έναρξης.

Βλέπουμε από το γράφημα πως ο χρόνος λειτουργία δεν επηρεάζεται από το μέγεθος του, με βάση την σχεδίαση που έχουμε ορίσει. Έτσι η λειτουργία κάθε φάσης θα διαρκεί 2.7, 3..79, 3.79, 6.4, και 3 έτη για τις φάσεις 1 , 2, 3, 4, και 5 αντίστοιχα.

2.6 Γενικές παρατηρήσεις για τις Συναρτήσεις Κόστους

Η μέθοδος που ακολουθείται για την παραγωγή των συναρτήσεων κόστους είναι σχετικά απλή. Κάθε υποσύστημα του ΧΥΤΑ υπολογίζεται σαν συνάρτηση του μήκους των πλευρών της βάσης του ή σαν συνάρτηση της ημερήσιας δυναμικότητας του. Για παράδειγμα υπολογίζεται ο όγκος των εκσκαφών σε σχέση με την πλευρά της βάσης του. Στην συνέχεια αυτός ο όγκος πολλαπλασιάζεται με τυπικές μοναδιαίες τιμές (π.χ $\delta\rho\chi/m^3$ εκσκαφών) και υπολογίζεται το κόστος του κάθε υποσυστήματος.

Εδώ πρέπει να γίνουν ορισμένες παρατηρήσεις για τις μοναδιαίες τιμές που θα χρησιμοποιήσουμε στην συνέχεια. Αλλά για να γίνει κατανοητό πως υπολογίζονται αυτές καλό είναι πρώτα να γίνει αναφορά στο σύστημα κατασκευής των δημόσιων έργων (όπως οι ΧΥΤΑ.)

Καταρχήν ο προϋπολογισμός του έργου συντάσσεται από τον φορέα λειτουργίας του με βάση μοναδιαίες τιμές που ορίζονται από το κράτος (οι τιμές στην [10] ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία). Έτσι συντάσσεται ο προϋπολογισμός του έργου με βάση τον οποίο γίνεται ο διαγωνισμός κατασκευής του έργου.

Οι εργολαβικές εταιρίες πραγματοποιούν προσφορές, και τον διαγωνισμό κερδίζει (μετά την εφαρμογή του μαθηματικού τύπου) η προσφορά της οποίας η έκπτωση βρίσκεται πιο κοντά στον μέσο όρο των εκπτώσεων. Το ποσοστό αυτό της έκπτωσης επί του συνολικού προϋπολογισμού του έργου μπορεί να θεωρηθεί σαν έκπτωση ίδιου ποσοστού στο κάθε υποσύστημα του ΧΥΤΑ. Αν δηλαδή έχουμε μία έκπτωση 20% επί του προϋπολογισμού τότε μπορούμε να πούμε πως και η έκπτωση επί του μοναδιαίου κόστους των εκσκαφών, του παραδείγματος μας, είναι επίσης 20%. Καταλαβαίνουμε πως οι τιμές που θα χρησιμοποιήσουμε, πρέπει να είναι οι πληρωτέες τιμές μετά την έκπτωση, οι οποίες είναι δύσκολο να προβλεφθούν (η τεχνική υπηρεσία της Νομαρχίας Χανίων την υπολογίζει στο 30% περίπου).

Η διαδικασία που περιγράφηκε αφορά κυρίως συνήθη τεχνικά έργα που οι μελέτες κατασκευής γίνονται από τις δημόσιες υπηρεσίες. Σε έργα όμως που οι δημόσιες υπηρεσίες δεν έχουν την τεχνογνωσία για την πραγματοποίηση μελετών (συνήθως τα έργα κατασκευής ΧΥΤΑ ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία), η ανάθεση του έργου ακολουθεί διαφορετική διαδικασία. Σε αυτήν την περίπτωση το έργο

προκηρύσσεται με την διαδικασία μελέτης-κατασκευής. Εδώ κάθε εργολαβική εταιρεία πραγματοποιεί την δική της μελέτη και ταυτόχρονα καταθέτει και την οικονομική της προσφορά για την κατασκευή της ίδια μελέτης. Οι μελέτες βαθμολογούνται από αρμόδια επιτροπή και το έργο ανατίθεται στην εταιρεία που έχει τον καλύτερο συνδυασμό μελέτης και κατασκευής. Το έργο δηλαδή μπορεί να ανατεθεί στην εταιρεία που δεν κατέθεσε την καλύτερη οικονομική προσφορά. Με την διαδικασία αυτή ο φορέας υλοποίησης του έργου (π.χ. ο ένας Δήμος) δεν γνωρίζει πόσο κόστισε κάθε υποσύστημα του ΧΥΤΑ, γιατί η κοστολόγηση έγινε με βάση την μελέτη της εταιρείας, από τη ίδια την εταιρεία και όχι της τεχνικής υπηρεσίας του φορέα υλοποίησης.

Το πρόβλημα γίνεται μεγαλύτερο αν λάβουμε υπ' όψιν μας τις ενδεχόμενες αναπροσαρμογές που γίνονται, αφού το έργο ανατεθεί σε κάποια εταιρεία. Μία εταιρεία μπορεί να κερδίσει τον διαγωνισμό με μία Α προσφορά στην περίπτωση μελέτης-κατασκευής, αλλά στην συνέχεια κατά την κατασκευή του έργου επικαλείται τεχνικές δυσκολίες και ζητά αναπροσαρμογή του συμβολαίου. Κάτι τέτοιο είναι σύνθηρες σε κατασκευαστικά έργα. Έτσι ακόμα και αν γνωρίζουμε το ποσοστό της έκπτωσης, στην ουσία γνωρίζουμε το κόστος πριν την αναπροσαρμογή.

Καταλαβαίνουμε πως όποιες τιμές χρησιμοποιηθούν και έχουν σαν πηγή προϋπολογισμούς έργων ή ακόμα και τις τιμές μετά την ανάθεση, δεν θα ισχύουν καθολικά για όλα τα παρόμοια έργα.

Η λύση στο πρόβλημα των μοναδιαίων τιμών είναι η απογραφή τιμών, που έχουν πληρωθεί, στους ήδη κατασκευασμένους ΧΥΤΑ στην Ελλάδα, για να βρεθεί ο μέσος όρος που θα ισχύει καθολικά. Έγινε προσπάθεια για μία τέτοια απογραφή με την αποστολή ερωτηματολογίων σε πολλούς ΧΥΤΑ αλλά δυστυχώς μόνο ο ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς ανταποκρίθηκε.

Έτσι αναγκαστικά θα χρησιμοποιηθούν μοναδιαίες τιμές, οι οποίες είναι εκτιμήσεις βασισμένες στις [8],[9],[10] και [12]. Οι συναρτήσεις θα δοθούν με τέτοιο τρόπο που θα είναι εύκολη η αλλαγή των μοναδιαίων τιμών.

Τέλος στις τιμές που θα δίνονται παρακάτω πρέπει να προστεθεί ο ΦΠΑ 18% και το νόμιμο εργολαβικό κέρδος 18%. Η τελική τιμή που θα χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με $A=1,18*1,18=1,3924$. Βέβαια το εργολαβικό κέρδος θα χρησιμοποιείται μόνο στα κατασκευαστικά τμήματα και όχι για παράδειγμα στην αγορά αναλώσιμων υλικών (πετρέλαιο κίνησης).

2.7 Συναρτήσεις Κόστους των Βάσεων του ΧΥΤΑ.

Σε προηγούμενη παράγραφο έχουμε θεωρήσει πως η βάση του τελικού απορριμματικού ανάγλυφου αναπτύσσεται σε τέσσερις ίσες επιφάνειες με πλευρές μήκους $\Pi/2$, αν η ολική βάση του ΧΥΤΑ έχει μήκος πλευρών Π . Επίσης θεωρούμε πως οι βάσεις αυτές διαμορφώνονται με τα ίδια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (πάχος μόνωσης, βάθος εκσκαφών κτλ). Τέλος υποθέσαμε πως το αρχικό φυσικό ανάγλυφο της χώρας κατασκευής είναι επίπεδο και άρα δεν απαιτούνται χωματουργικές εργασίες για την διαμόρφωση της επιφάνειας του.

Με όλες αυτές τις προϋποθέσεις το κόστος κατασκευής της κάθε ξεχωριστής βάσης θα αποτελείται από το κόστος των εκσκαφών, της μόνωσης και της αποστραγγιστικής στρώσης. Θα είναι δηλαδή

$K_{\text{βάσης}} = K_{\text{εκσκαφών}} + K_{\text{μόνωσης}} + K_{\text{αποστραγγ.}}$ Όπου K_a τα αντίστοιχα κόστη του υποσυστήματος a . Επιπλέον το κόστος όλης της βάσης του ΧΥΤΑ θα είναι τέσσερις φορές το κόστος της μίας βάσης

$$K_{\text{ολ.Βάσης}} = 4 * K_{\text{βάσης}} = 4 * K_{\text{εκσκαφών}} + 4 * K_{\text{μόνωσης}} + 4 * K_{\text{αποστραγγ.}}$$

Αρκεί λοιπόν να υπολογιστούν τα κόστη κατασκευής των υποσυστημάτων της κάθε βάσης.

2.7.1 Κόστος Εκσκαφών.

Το κόστος των εκσκαφών της κάθε βάσης είναι ανάλογο προς τον συνολικό όγκο του εδαφικού υλικού που εκσκάπτεται. Γνωρίζοντας το όγκο των εκσκαφών και την τιμή ανά m^3 μπορεί να βρεθεί το κόστος.

Ο όγκος των εκσκαφών κάθε βάσης για βάθος 5 m δίνεται από την εξίσωση (2). Αν την πολλαπλασιάσουμε επί το κόστος κάθε m^3 θα έχουμε το κόστος των εκσκαφών. Το κόστος θα είναι λοιπόν:

$$K_{\text{εκσκαφών}} = V_{\text{εκσκ}} * M_{\text{εκσκ}} * A \text{ Όπου } M_{\text{εκσκ}} \text{ το κόστος ανά } m^3 \text{ εκσκαφών.}$$

Βρίσκοντας τιμές του $V_{\text{εκσκ}}$ για διάφορες τιμές του Π από την εξίσωση (2) και χρησιμοποιώντας το EXCEL μπορούμε να βρούμε το αντίστοιχο πολυώνυμο το οποίο είναι

$$V_{\text{εκσκ}} = 1.25 * \Pi^2 - 75 * \Pi + 1500 \text{ με σχεδόν μηδενικό σχετικό σφάλμα. Άρα}$$

$$K_{\text{εκσκαφών}} = (1.25 * \Pi^2 - 75 * \Pi + 1500) * M_{\text{εκσκ}} * A$$

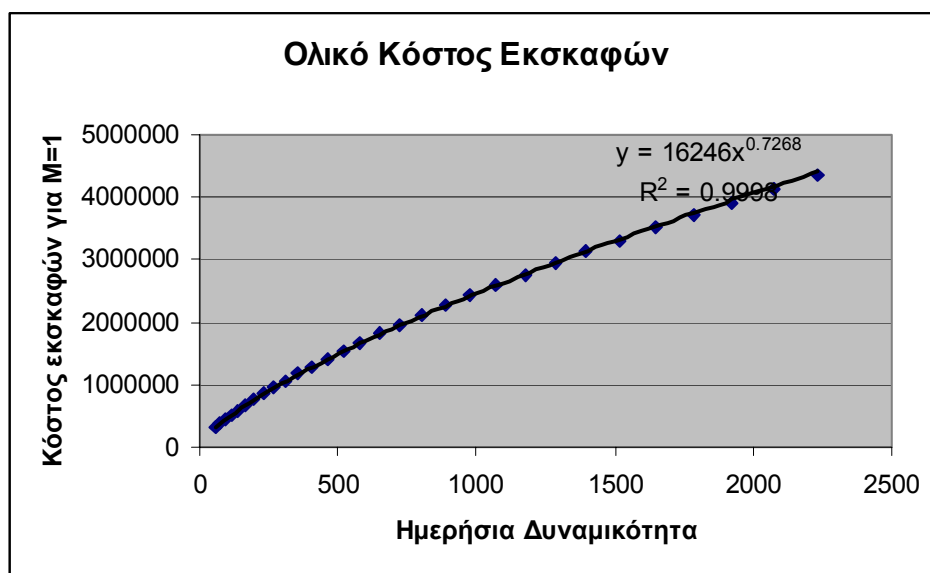
Και το ολικό κόστος των εκσκαφών της βάσης

$$K_{\text{ολ.Εκσκ}} = 4 * (1.25 * \Pi^2 - 75 * \Pi + 1500) * M_{\text{εκσκ}} * A \quad (25)$$

Έχουμε υπολογίσει το ολικό κόστος των εκσκαφών για το σύνολο του ΧΥΤΑ σαν συνάρτηση του Π και της μοναδιαίας τιμής των εκσκαφών. Για τις ανάγκες όμως των συναρτήσεων χρειαζόμαστε μία συνάρτηση μεταξύ της ημερήσιας δυναμικότητας του ΧΥΤΑ και του κόστους των εκσκαφών.

Ήδη γνωρίζουμε την συσχέτιση της ημερήσιας δυναμικότητας με το Π . Χρησιμοποιώντας το Excel μπορεί να υπολογιστεί το ολικό κόστος των εκσκαφών, εξίσωση (25), για μία σειρά τιμών του Π , $240 < \Pi < 820$. Έχοντας υπολογίσει και την ημερήσια δυναμικότητα για τις ίδιες τιμές του Π μπορεί να κατασκευαστεί η γραφική παράσταση του ολικού κόστους των εκσκαφών προς την ημερήσια δυναμικότητα. Από το γράφημα αυτό είναι δυνατόν με γραμμική παρεμβολή να υπολογιστεί η συνάρτηση του κόστους των εκσκαφών ως προς την ημερήσια δυναμικότητα.

Επειδή όμως θέλουμε να είναι εύκολη η μεταβολή της μοναδιαίας τιμής των εκσκαφών, θέτουμε $M_{\text{εκσκ}}=1$ στον υπολογισμό του κόστους από την (25). Έτσι η συνάρτηση που θα προκύψει μεταξύ των τιμών τις (25) και της ημερήσιας δυναμικότητας θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με την πραγματική τιμή $M_{\text{εκσκ}}$. Το τελικό αποτέλεσμα θα είναι μία συνάρτηση της μορφής $K_{\text{ολεκσκ}}=F(T)*M_{\text{εκσκ}}$. Η $F(T)$ είναι η συνάρτηση που θα υπολογιστεί με γραμμική παρεμβολή.



Γράφημα 2.3: Κόστος εκσκαφών λεκάνης ΧΥΤΑ

Η συνάρτηση $F(T)$ μπορεί να είναι εκθετική, πολυωνυμική, λογαριθμική κτλ. Μετά από δοκιμές ο τύπος της $F(T)$ που έδινε σχεδόν μηδενικό σχετικό σφάλμα ήταν αυτός του πολυωνύμου τετάρτου βαθμού. Επειδή όμως μία συνάρτηση τετάρτου βαθμού είναι δύσχρηστη, επιλέχθηκε τελικά η $F(T)$ να δοθεί με την μορφή εκθετικής

συνάρτησης. Το μέγιστο σχετικό σφάλμα στην περίπτωση αυτή είναι 2,6%, ενώ στο μεγαλύτερο διάστημα κυμαίνεται κάτω από το 1%. Έτσι η συνάρτηση του ολικού κόστους των εκσκαφών θα δίνεται από την εξίσωση:

$$K_{\text{ολεκσκ}} = 1624 \cdot T^{0,7268} \cdot M_{\text{εκσκαφών}} \quad (26) \text{ με } T \text{ την ημερήσια δυναμικότητα σε tn/day.}$$

Ουσιαστικά η γραφική παράσταση της $F(T)$ είναι η γραφική παράσταση του όγκου των εκσκαφών πολλαπλασιασμένη επί τον παράγοντα A προς την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ. Αν διαιρέσουμε την $F(T)$ με τον παράγοντα A θα έχουμε τον όγκο των εκσκαφών προς την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ, η οποία θα είναι της ίδιας μορφής με την $F(T)$. Από την γραφική παράσταση $F(T)$ βγάζουμε το συμπέρασμα ότι ο όγκος των εκσκαφών δεν αυξάνει στον ίδιο βαθμό με την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ. Μειώνεται δηλαδή ο απαραίτητος όγκος εκσκαφών ανά τόνο απορριμμάτων. Έτσι ακόμα και αν δεν είναι γνωστή η τιμή $M_{\text{εκσκαφών}}$, για να γίνει εμφανής η οικονομία κλίμακας με την μορφή εξοικονόμησης χρημάτων, γίνεται εμφανής η οικονομία κλίμακας σε όγκο εκσκαφών.

2.7.2 Κόστος Μόνωσης

Το είδος της μόνωσης που θα χρησιμοποιήσουμε το έχουμε περιγράψει στην παράγραφο που υπολογιζόταν ο ωφέλιμος όγκος από τις εκσκαφές. Αποτελείται από α) ζώνη πάχους 0,5m αργιλικής μόνωσης β) από γεωμεμβράνη γ) γεωφάσμα προστασίας και δ) στρώση προστασίας άμμου πάχους 0,1m.

Το κόστος δηλαδή της μόνωσης για κάθε τμήμα της βάσης θα είναι $K_{\text{μόνωσης}} = K_{\text{αργίλου}} + K_{\text{μεμβράνης}} + K_{\text{γεωφάσματος}} + K_{\text{άμμου}}$. Θα εργαστούμε όπως και στην περίπτωση της κοστολόγησης των εκσκαφών της βάσης. Θα υπολογίσουμε τα μεγέθη των τμημάτων της μόνωσης σε σχέση με το Π και στη συνέχεια θα συσχετίσουμε τα μεγέθη αυτά με την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ.

Όλα τα στοιχεία της μόνωσης κοστολογούνται με βάση την επιφάνεια που καταλαμβάνει η μόνωση, εκτός από την ζώνη της άμμου που υπολογίζεται ως προς τον όγκο της χρησιμοποιούμενης άμμου. Σαν εμβαδόν αναφοράς λαμβάνεται το εμβαδόν της εσωτερικής επιφάνειας της λεκάνης εκσκαφών μετά την τοποθέτηση της αργιλικής στρώσης. Το εμβαδόν της αργιλικής στρώσης, της μεμβράνης και του γεωφάσματος μπορούν να θεωρηθούν ίδια, επειδή τα πάχη της γεωμεμβράνης και του γεωφάσματος είναι πολύ μικρά για να επιφέρουν αλλαγή στο εμβαδόν. Ενδεχομένως να χρειάζονται μεγαλύτερες ποσότητες γεωφάσματος και

γεωμεμβράνης για την αναγκαία αγκύρωση τους, αλλά μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες σε σχέση με την συνολική επιφάνεια που πρέπει να καλυφθεί.

Ο γενικός τύπος που γίνει το εμβαδόν της πλευράς μίας πυραμίδας με τα ίδια χαρακτηριστικά λεκάνης (κλίση, τετράγωνη βάση, κανονική πυραμίδα) είναι

$E = \frac{\sqrt{10}}{12} * L^2$ όπου L το μήκος των πλευρών της βάσης. Έτσι το ολικό εμβαδόν των πλευρών της πυραμίδας θα είναι 4*E, και για τις τέσσερις πλευρές. Το εμβαδόν της βάσης θα ισούται με το άθροισμα της επιφάνειας των πρανών συν την οριζόντια επιφάνεια της λεκάνης.

Ο παραπάνω τύπος αν εφαρμοστεί για $L = \Pi/2 - 6*0,5$, όσο το μήκος των πλευρών της βάσης μετά την τοποθέτηση της αργιλικής στρώσης, δίνει το εμβαδόν των πλευρών μιας πυραμίδας με βάση LxL. Από αυτό το εμβαδόν πρέπει να αφαιρεθεί το εμβαδόν των πλευρών μίας πυραμίδας, με μήκος βάσης ίσο με το μήκος της οριζόντιας επιφάνειας της λεκάνης $L' = \Pi/2 - 6*0,5 - 6*(5-0,5)$. Έτσι το εμβαδόν των πρανών θα είναι

$$E_{\text{πρανών}} = 4 * \left(\frac{\sqrt{10}}{12} * \left(\frac{\Pi}{2} - 6 * 0,5 \right)^2 - \frac{\sqrt{10}}{12} * \left(\frac{\Pi}{2} - 6 * 0,5 - 6 * (5 - 0,5) \right)^2 \right)$$

Σε αυτό το εμβαδόν πρέπει να προσθέσουμε και το εμβαδόν της οριζόντιας επιφάνειας που είναι ίσο με L'^2 . Το εμβαδόν της μόνωσης κάθε τμήματος είναι λοιπόν

$$E_{\text{μόνωσης}} = 4 * \left(\frac{\sqrt{10}}{12} * \left(\frac{\Pi}{2} - 3 \right)^2 - \frac{\sqrt{10}}{12} * \left(\frac{\Pi}{2} - 30 \right)^2 \right) + \left(\frac{\Pi}{2} - 30 \right)^2 \quad (27)$$

και σε πολυωνυμική μορφή $E_{\text{μόνωσης}} = 0.25 * \Pi^2 - 1.5395 * \Pi - 39.196$

Το ολικό εμβαδόν της βάσης είναι $E_{\text{ΟλΜόνωσης}} = 4 * E_{\text{μόνωσης}}$

Οπότε το ολικό κόστος της μόνωσης θα είναι

$$K_{\text{ΟλΜόνωσης}} = 4 * (K_{\text{αργίλου}} + K_{\text{μεμβράνης}} + K_{\text{γεωυφάσματος}} + K_{\text{άμμου}}) \Rightarrow$$

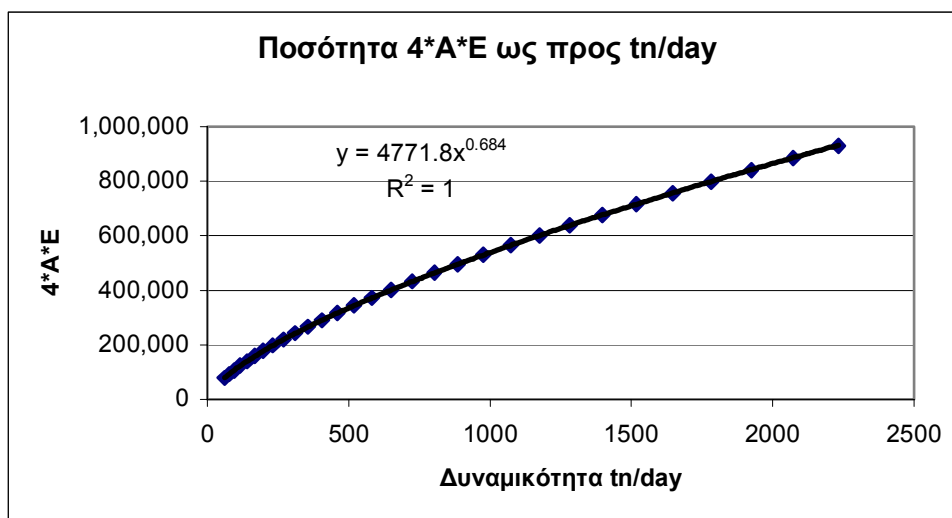
$$K_{\text{ΟλΜόνωσης}} = 4 * A * (M_{\text{αργίλου}} * E_{\text{μόνωσης}} + M_{\text{μεμβράνης}} * E_{\text{μόνωσης}} + M_{\text{γεωυφάσματος}} * E_{\text{μόνωσης}} + V_{\text{άμμου}} * M_{\text{άμμου}})$$

αλλά ισχύει ότι $V_{\text{άμμου}} = E_{\text{μόνωσης}} * 0,1$ Άρα τελικά έχουμε

$$K_{\text{ΟλΜόνωσης}} = 4 * A * E_{\text{μόνωσης}} (M_{\text{αργίλου}} + M_{\text{μεμβράνης}} + M_{\text{γεωυφάσματος}} + 0,1 * M_{\text{άμμου}}) \quad (28)$$

Λειτουργώντας όπως και στην περίπτωση του κόστους των εκσκαφών, με την βοήθεια του EXCEL, Δημιουργούμε την γραφική παράσταση της ποσότητας

$4 \cdot A \cdot E_{\text{μόνωσης}}$ ως προς την ημερήσια δυναμικότητα για τις ίδιες τιμές του Π ($240 < \Pi < 820$).



Γράφημα 2.4 Κόστος μόνωσης ΧΥΤΑ

Με γραμμική παρεμβολή βρίσκουμε την συνάρτηση που συνδέει την ποσότητα $4 \cdot A \cdot E_{\text{μόνωσης}}$ και την ημερήσια δυναμικότητα.

Έτσι η (28) γίνεται

$$K_{\text{ΟλΜόνωσης}} = 4771,8 \cdot T^{0,684} \cdot (M_{\text{αργιλου}} + M_{\text{μεμβράνης}} + M_{\text{γεωυφίσματος}} + 0,1 \cdot M_{\text{άμμου}}) \quad (29)$$

Το σχετικό μέγιστο σχετικό σφάλμα της (29) είναι 0,36%, σχεδόν ασήμαντο.

Βλέπουμε από το γράφημα πως και το κόστος της μόνωσης αυξάνεται σε μικρότερο βαθμό από ότι αυξάνει η δυναμικότητα του ΧΥΤΑ.

2.7.2 Κόστος αποστραγγιστικής ζώνης.

Το κόστος της αποστραγγιστικής ζώνης όπως έχουμε δει αποτελείται από το κόστος του εδαφικού υλικού (αμμοχάλικο), της άμμου προστασίας, των σωληνώσεων, των φρεατίων και από το κόστος των αντλιών συλλογής. Το κόστος σε κάθε ένα από τα παραπάνω στοιχεία εξαρτάται από διαφορετικό μέγεθος (π.χ. όγκος για το αμμοχάλικο και μήκος για τις σωληνώσεις), έτσι δεν μπορούμε να δημιουργήσουμε μία εξίσωση παρόμοια με την (29) και θα εργαστούμε ξεχωριστά για κάθε συστατικό στοιχείο της αποστραγγιστικής ζώνης.

Το κόστος του αμμοχάλικου θα είναι ανάλογο με τον όγκο της αποστραγγιστικής ζώνης. Τον όγκο αυτόν τον έχουμε ήδη υπολογίσει και για κάθε βάση είναι

$$V_{\text{αποστρ}} = \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right)^3 - \frac{1}{18} * \left(\frac{\Pi}{2} - 30 \right)^3 \text{ και σε μορφή πολυωνύμου}$$

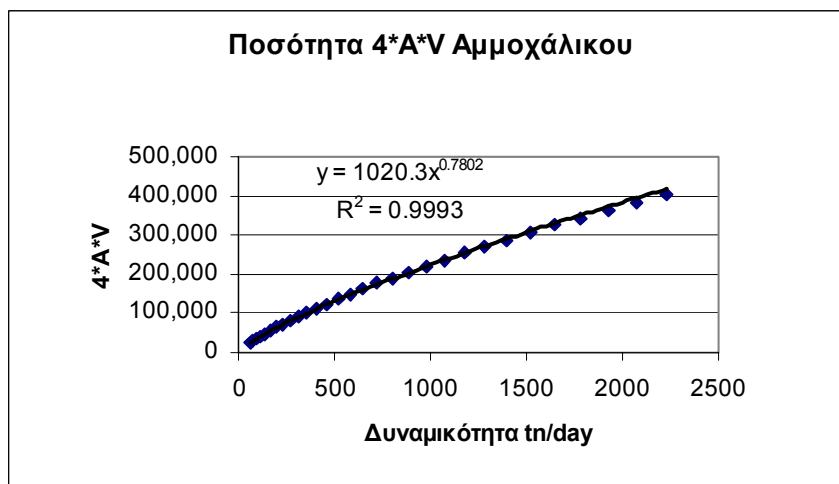
$$V_{\text{αποστρ}} = 0.125 * \Pi^2 - 14.25 * \Pi + 406.5$$

Το κόστος αντίστοιχα του αμμοχάλικου θα είναι

$$K_{\text{αμμοχάλικου}} = V_{\text{αποστρ}} * A * M_{\text{αμμοχάλικου}} \text{ και το ολικό αντίστοιχα}$$

$$K_{\text{Ολ.Αμμοχάλ}} = 4 * V_{\text{αποστρ}} * A * M_{\text{αμμοχάλικου}}$$

Κατασκευάζουμε την γραφική παράσταση της ποσότητας $4 * V_{\text{αποστρ}} * A$ ως προς την ημερήσια δυναμικότητα και βρίσκουμε την μεταξύ τους συνάρτηση



Γράφημα 2.5 Ποσότητα χρησιμοποιούμενου αμμοχάλικου στη αποστραγγιστική ζώνη.

Έτσι θα έχουμε

$$K_{\text{Ολ.Αμμοχάλ}} = 1020.3 * T^{0.7802} * M_{\text{αμμοχάλικου}} \quad (30)$$

με μέγιστο σχετικό σφάλμα 3,6%. Το σχετικό σφάλμα είναι αρκετά μικρό και δεδομένου ότι αφορά μόνο το κόστος του αμμοχάλικου μπορούμε να το δεχτούμε.

Το κόστος της άμμου, για την ζώνη προστασίας της αποστραγγιστικής ζώνης, πάχους 0,1 m, θα είναι ανάλογο του όγκου της άμμου. Ο όγκος της άμμου έχει ήδη υπολογιστεί για τις ανάγκες της εύρεσης του ωφέλιμου όγκου των εκσκαφών.

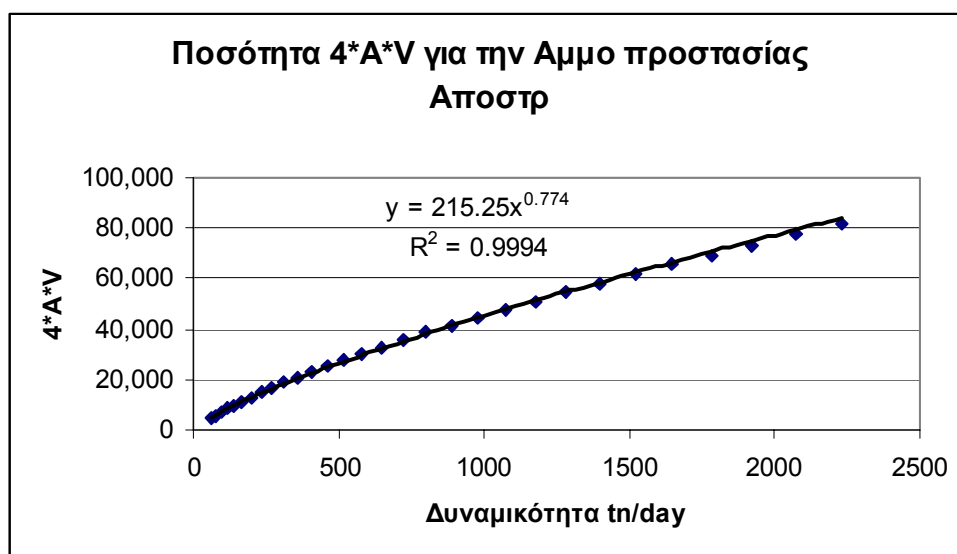
Οπότε έχουμε

$$K_{\text{άμμουΑποστρ}} = V_{\text{άμμουΑποστρ}} * A * M_{\text{άμμου}} \text{ η τιμή } M_{\text{άμμου}} \text{ είναι ίση με την τιμή της άμμου στην ζώνη προστασίας της μόνωσης.}$$

Και έχουμε ότι $V_{\text{άμμουΑποστρ}} = \left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right)^2 * 0,1$ έτσι το ολικό κόστος της άμμου θα είναι

$$V_{\text{ΟλΑμμου}} = 4 * A * \left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right)^2 * 0,1 * M_{\text{άμμου}} \quad \text{βρίσκοντας την συσχέτιση της ποσότητα}$$

$4 * A * V_{\text{άμμουΑποστρ}}$ με την ημερήσια δυναμικότητα θα έχουμε



Γράφημα 2.6 Ποσότητα χρησιμοποιούμενης Άμμου.

Άρα το ολικό κόστος για την άμμο προστασίας θα είναι

$$K_{\text{ΟλΑμμου}} = 215,25 * T^{0,774} * M_{\text{άμμου}} \quad (31) \quad \text{με σχετικό σφάλμα } 3,5\%$$

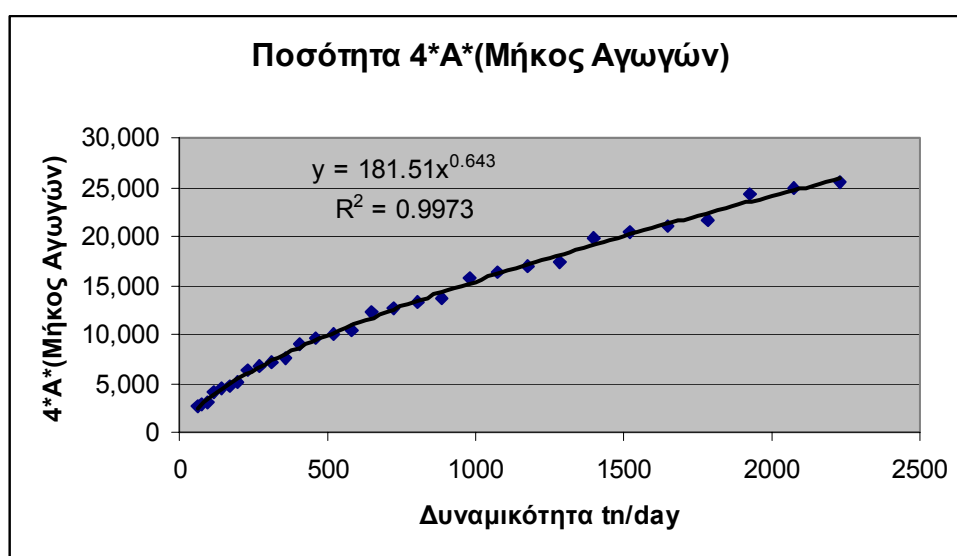
Για τον υπολογισμό του κόστους των σωληνώσεων χρειαζόμαστε το μήκος τους. Για να είναι όμως δυνατός ο υπολογισμός του ολικού μήκους των σωληνώσεων θα πρέπει να καθοριστεί η διάταξη των αγωγών στην ζώνη αποστράγγισης. Έτσι θεωρούμε πως η διάταξη των αγωγών είναι παράλληλη και η απόσταση μεταξύ τους είναι 40 m (η μέγιστη επιτρεπτή). Άρα για να καλυφθεί μία επιφάνεια με διαστάσεις $L \times L$ απαιτούνται $(L/40+1) * L$ m σωληνώσεων (ο αριθμός $(L/40+1)$ των σωληνώσεων μήκους L πρέπει να είναι ακέραιος). Επιπλέον είναι απαραίτητος και ένας αγωγός σύνδεσης κάθετος στην διεύθυνση της κλίσης της ζώνης που θα συνδέει τους αγωγούς συλλογής. Θεωρούμε την διάμετρο του ίση με αυτή των αγωγών συλλογής. Το μήκος αυτού του αγωγού θα είναι ίσο με το μήκος της πλευράς της ζώνης (για το παράδειγμα θα έχει μήκος L). Το συνολικό δηλαδή μήκος των αγωγών θα είναι $(L/40+2) * L$ m.

Το κόστος των σωληνώσεων για κάθε βάση του XYTA που έχει μήκος πλευρών όπως ξέρουμε $(\Pi/2-27)$ θα είναι

$$K_{\text{σωλήνων}} = A * \left[\frac{\left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right)}{40} + 2 \right] * \left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right) * M_{\text{Αγ.Συλλογής}} \text{ και το συνολικό κόστος}$$

$$K_{\text{Ολογωγών}} = 4 * A * \left[\frac{\left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right)}{40} + 2 \right] * \left(\frac{\Pi}{2} - 27 \right) * M_{\text{Αγ.Συλλογής}}$$

Κατά τα γνωστά δημιουργούμε την γραφική παράσταση της ποσότητας $4*A*(\text{Μήκος αγωγών})$



Γράφημα 2.7 Ολικό Μήκος αγωγών ΧΥΤΑ

Στην γραφική παράσταση παρατηρούμε πως τα σημεία παρουσιάζουν μία ασυνέχεια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αριθμός των σωλήνων, δηλαδή η ποσότητα $(L/40+2)$, πρέπει να είναι ακέραιος. Οπότε τον στρογγυλοποιούμε στον αμέσως μεγαλύτερο ακέραιο. Για το λόγο αυτό, ο αριθμός αυξάνεται κάθε φορά που αυξάνει κατά 40 μέτρα το μήκος της πλευράς της αποστραγγιστικής ζώνης. Έτσι κάθε 40 μέτρα έχουμε την ασυνέχεια στο γράφημα. Για να την απαλείψουμε θα πρέπει να θέσουμε διαφορετική συνάρτηση για το μήκος των αγωγών για κάθε 40 m που αυξάνει το μήκος της πλευράς της αποστραγγιστικής. Κάτι τέτοιο όμως θα ήταν έξω από το πνεύμα της εργασίας, που αναζητά καθολικές συναρτήσεις κόστους. Δεχόμαστε λοιπόν την συνάρτηση γραμμικής παρεμβολής της ποσότητας $4*A*(\text{Μήκος αγωγών})$ με την ημερήσια δυναμικότητα. Η συνάρτηση αυτή εμφανίζει αυξημένο μέγιστο σχετικό (6,5%) σφάλμα αλλά την υιοθετούμε για λόγους ευκολίας.

Το ολικό κόστος των σωληνώσεων θα δίνεται τώρα από τον τύπο

$$K_{\text{Ολ.Αγωγών}} = 181,51 \cdot T^{0,643} \cdot M_{\text{Αγ.Συλλογής}} \quad (32)$$

Το κόστος των φρεατίων για βάθος 5 m είναι πολύ μικρό σε σχέση με το ολικό κόστος της αποστραγγιστικής ζώνης και δεν το λαμβάνουμε υπ' όψιν.

Το κόστος των αντλιών συλλογής θα είναι $K_{\text{αντλιών}} = 2 \cdot A \cdot M_{\text{αντλιών}}$ για κάθε βάση του ΧΥΤΑ, ενώ το συνολικό θα είναι $K_{\text{Ολ.Αντλιών}} = 8 \cdot A \cdot M_{\text{αντλιών}}$. Προφανώς θεωρούμε πως σε κάθε επέκταση της βάσης θα χρησιμοποιούμε του ίδιου τύπου αντλίες.

Το ολικό λοιπόν κόστος της αποστραγγιστικής ζώνης και για τις τέσσερις φάσεις επέκτασης της βάσης του ΧΥΤΑ θα είναι

$$\begin{aligned} K_{\text{Ολ.Αποστρ}} &= K_{\text{Ολ.Αμμογάλ}} + K_{\text{Ολ.Αμμου}} + K_{\text{Ολ.Αγωγών}} + K_{\text{Ολ.Αντλιών}} \text{ δηλαδή} \\ K_{\text{Ολ.Αποστρ}} &= 1020,3 \cdot T^{0,7802} \cdot M_{\text{αμμοχάλλικου}} + 215,25 \cdot T^{0,774} \cdot M_{\text{άμμου}} + \\ &+ 181,51 \cdot T^{0,643} \cdot M_{\text{Αγ.Συλλογής}} + 8 \cdot A \cdot M_{\text{αντλιών}} \quad (33) \end{aligned}$$

2.8 Κόστος Συστήματος επανακυκλοφορίας Στραγγισμάτων

Έχουμε θεωρήσει ότι το σύστημα συλλογής, των στραγγισμάτων για κάθε επέκταση της βάσης του ΧΥΤΑ, λειτουργεί ανεξάρτητα. Θεωρούμε πως και το σύστημα επανακυκλοφορίας των στραγγισμάτων θα είναι ανεξάρτητο, για κάθε μία από τις τέσσερις πρώτες φάσεις ανάπτυξης του ΧΥΤΑ. Με την μέθοδο αυτήν ελαττώνονται οι απαραίτητες μετακινήσεις των αγωγών επανακυκλοφορίας. Όταν αναπτύσσεται για παράδειγμα η τέταρτη φάση του ΧΥΤΑ οι αγωγοί επανακυκλοφορίας των στραγγισμάτων στις προηγούμενες τρεις παραμένουν σταθεροί. Μόνο κατά την πέμπτη φάση δημιουργείται το τελικό σύστημα επανακυκλοφορίας για το τελικό απορριμματικό ανάγλυφο.

Γενικά δεν υπάρχουν καθολικοί κανόνες όσον αφορά την διάταξη των αγωγών επανακυκλοφορίας. Όπως όμως φαίνεται από την μελέτη επέκτασης του ΧΥΤΑ Χανίων το μήκος των αγωγών επανακυκλοφορίας μπορεί να θεωρηθεί το ίδιο με των αγωγών συλλογής. Στην παρούσα μελέτη θα θεωρήσουμε πως το μήκος των αγωγών επανακυκλοφορίας είναι ίσο με το μήκος των αγωγών συλλογής. Ακόμα και αν το απαιτούμενο μήκος δεν είναι αυτό που θεωρούμε, το τελικό σφάλμα στον υπολογισμό του συνολικού κόστους θα είναι μικρό, διότι οι αγωγοί επανακυκλοφορίας κοστίζουν ελάχιστα χρήματα σε σχέση με τους αγωγούς συλλογής.

Επιπλέον ο αριθμός των αντλιών επανακυκλοφορίας θα είναι ίδιος με των αντλιών συλλογής, δηλαδή 8 στον αριθμό.

Το μόνο στοιχείο του συστήματος επανακυκλοφορίας που δύσκολα κοστολογείται είναι το κόστος της δεξαμενής συλλογής. Το μέγεθος της, άρα και το κόστος κατασκευής της, καθορίζεται από την ποσότητα στραγγισμάτων. Η ποσότητα όμως των στραγγισμάτων είναι δύσκολο να προβλεφθεί και να γραφεί σαν συνάρτηση του μεγέθους του ΧΥΤΑ. Για τον λόγο αυτό και δεν μπορεί να κοστολογηθεί.

Έχουμε λοιπόν από την συνάρτηση (32) το κόστος των αγωγών συλλογής. Με αλλαγή της μοναδιαίας τιμής των αγωγών συλλογής, μπορεί η ίδια εξίσωση να εκφράσει το κόστος των αγωγών επανακυκλοφορίας. Θα είναι λοιπόν

$K_{\text{Ολ.ΑγωγώνΕπανακ.}} = 181,51 \cdot T^{0,643} \cdot M_{\text{Αγ.Επανακ.}}$ και αν προστεθεί και το κόστος των 8 αντλιών θα έχουμε τελικά

$$K_{\text{Ολ.Επανακ.}} = 181,51 \cdot T^{0,643} \cdot M_{\text{Αγ.Επανακ.}} + 8 \cdot A \cdot M_{\text{Αντλ.Επανακ.}} \quad (33)$$

2.9 Κόστος εργατικών

Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 1.11 ο ελάχιστος αριθμός των υπαλλήλων σε έναν ΧΥΤΑ εξαρτάται από την ημερήσια δυναμικότητα του. Μάλιστα από τον Πίνακα 1.2 βλέπουμε πως ο αριθμός των εργαζομένων δεν αυξάνεται αναλογικά με την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ. Ο συγκεκριμένος πίνακας χωρίζει τους ΧΥΤΑ σε κατηγορίες ανάλογα με την δυναμικότητα. Ο αριθμός των εργαζομένων αλλάζει με την αλλαγή κατηγορίας ΧΥΤΑ. Έτσι δεν μπορούμε να δημιουργήσουμε μία συνεχή συνάρτηση μεταξύ του κόστους των εργαζομένων και της δυναμικότητας του ΧΥΤΑ.

Αναγκαζόμαστε να ορίσουμε το ετήσιο κόστος των εργατικών, ενός ΧΥΤΑ, για κάθε ξεχωριστή κατηγορία δυναμικότητας. Το κόστος αυτό θα ισούται με τον ολικό αριθμό των εργαζομένων επί τον μέσο μισθό. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μία μοναδιαία τιμή για τον μισθό, καθώς οι μισθοί των διαφόρων κατηγοριών εργαζομένων στον ΧΥΤΑ, δεν διαφέρουν σημαντικά. Άρα για κάθε κατηγορία ΧΥΤΑ το ετήσιο κόστος για εργατικά θα είναι

$K_{\text{ετησιοΕργατικά}} = N_{\text{εργαζομένων}} \cdot M_{\text{μισθού}}$ όπου $N_{\text{εργαζομένων}}$ ο συνολικός αριθμός εργαζομένων και $M_{\text{μισθού}}$ ο μέσος ετήσιος ακαθάριστος μισθός. Στον πίνακα 2.1 δίνεται το $N_{\text{εργαζομένων}}$ σύμφωνα με την παράγραφο 1.11.

	Ημερήσια Δυναμικότητα ΧΥΤΑ σε tn/day			
	Μέχρι 200	200-500	500-1000	1000-4000
N _{εργαζομένων}	5	9	13	22

Πίνακας 2.1 Αριθμός εργαζομένων σε σχέση με την ημερήσια δυναμικότητα

Ανάλογα τώρα σε ποια κατηγορία ανήκει ο ΧΥΤΑ που εξετάζουμε, θα χρησιμοποιούμε και τον ανάλογο N_{εργαζομένων}.

Το συνολικό κόστος των εργατικών για την διάρκεια λειτουργίας του ΧΥΤΑ (20 έτη) θα είναι $K_{ΟλΕργατικά}=20 \cdot K_{ετησιοΕργατικά}$. Για τον υπολογισμό του κόστους των εργατικών για την περίοδο λειτουργίας θεωρούμε πως οι μισθοί δεν μεταβάλλονται. Κάτι που δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα, αν αναλογιστεί κανείς πως οι ετήσιες αυξήσεις του μισθού κυμαίνονται στα επίπεδα του ετήσιου πληθωρισμού. Οπότε για να γίνει η αναγωγή της αξίας του μισθού του τελευταίου έτους της 20ετίας, στην αξία που θα είχαν στο πρώτο έτος πρέπει να αφαιρέσει τον πληθωρισμό, δηλαδή την αύξηση του μισθού.

Για την περίοδο της μεταφροντίδας θεωρούμε πως δεν απασχολείται κανένας εργαζόμενος καθώς δεν απαιτείται η συνεχή παρουσία εργαζομένων στον χώρο. Η μόνη εργασία, που είναι υποχρεωτική, είναι η συλλογή περιβαλλοντικών δεδομένων και η παρακολούθηση των απορριμματικού ανάγλυφου για τυχόν αλλοιώσεις. Η συλλογή των περιβαλλοντικών δεδομένων θα συζητηθεί σε επόμενο κεφάλαιο ενώ η παρακολούθηση του απορριμματικού ανάγλυφου απαιτεί ελάχιστες ώρες εργασίας και το κόστος αυτών αμελητέο.

Με βάση των συνολικό αριθμό των εργαζομένων, αλλά και τον αριθμό σε επιμέρους ειδικότητες, θα καθοριστούν στην συνέχεια τα μεγέθη ορισμένων υποσυστημάτων του ΧΥΤΑ. Για παράδειγμα το μέγεθος των κτιριακών εγκαταστάσεων εξαρτάται από τον αριθμό των εργαζομένων. Οπότε αυτή η διάκριση των ΧΥΤΑ σε κατηγορίες ανάλογα με την δυναμικότητα τους, θα γίνει στην συνέχεια και για άλλα υποσυστήματα.

2.10 Απαιτούμενη Έκταση και λοιπή Υλικοτεχνική Υποδομή.

2.10.1 Απαιτούμενη έκταση

Έχει ήδη υπολογιστεί η ημερήσια δυναμικότητα του ΧΥΤΑ σε σχέση με το μήκος των πλευρών της βάσης του απορριμματικού ανάγλυφου Π. Η βάση του χώρου εναπόθεσης είναι τετράγωνη με πλευρές Π.

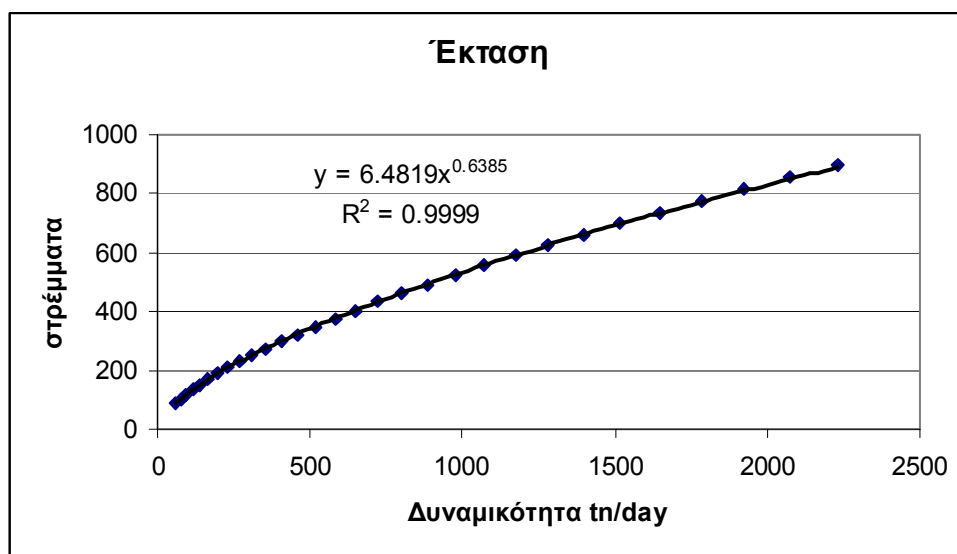
Γύρω από αυτήν την βάση είναι απαραίτητο να υπάρχει περιμετρικός δρόμος πλάτους 6 m καθώς και ζώνη πυροπροστασίας πλάτους 8 m. Άρα ο απαραίτητος χώρος για εναπόθεση τώρα έχει μήκος πλευρών $(\Pi+2*6+2*8)$ και συνολικό εμβαδόν $(\Pi+28)^2$. Αυτό είναι το απαραίτητο εμβαδόν για την εναπόθεση. Όμως είναι αναγκαία η ύπαρξη επιπλέον χώρου για την εγκατάσταση των κτιρίων, την αποθήκευση υλικού κάλυψης κλπ. Θεωρούμε το επιπλέον εμβαδόν ίσο με το 25% του απαραίτητου για την εναπόθεση. Η συνολική έκταση που απαιτείται είναι λοιπόν $E=(\Pi+28)^2*1,25/1000$ το E θα δίνεται σε μονάδες στρεμμάτων.

Για της ανάγκες υπολογισμού της περιμέτρου της τελικής έκτασης θεωρούμε πως το τελικό σχήμα της είναι ορθογώνιο με το μήκος του πλάτους της ίσο με $M=(\Pi+28)$, οπότε το μήκος της θα είναι $L=(\Pi+28)^2*1,25/(\Pi+28)$ δηλαδή $L=(\Pi+28)*1,25$

Το κόστος της έκτασης θα είναι

$K_{έκτασης}=E*M_{έκτασης}$ Το $M_{έκτασης}$ σε μονάδες χρημάτων/ στρέμμα

Μπορούμε να βρούμε την συσχέτιση του E με την ημερήσια δυναμικότητα του ΧΥΤΑ



Γράφημα 2.8 Συσχέτιση Έκτασης με ημερήσια δυναμικότητα

Το κόστος δίνεται από την

$K_{έκτασης}=6,4819*T^{0,6385}*M_{έκτασης}$ (34) με μέγιστο σχετικό σφάλμα 1,7%.

2.10.2 Κόστος Ζώνης Πυροπροστασίας και Περιμετρικού Δρόμου

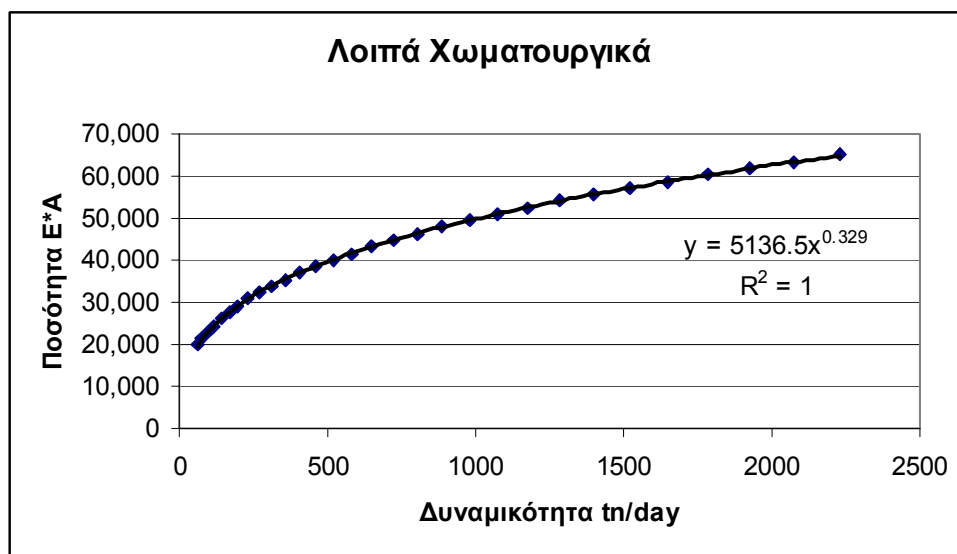
Θεωρούμε το κόστος της ζώνης πυροπροστασίας και του χωμάτινου περιμετρικού δρόμου ίδιο ανά μονάδα επιφάνειας. Εξάλλου το κόστος τους είναι

ασήμαντο σε σχέση με τα υπόλοιπα χωματουργικά έργα και θα ήταν περιττό να υπολογίζονται ξεχωριστά.

Το κόστος αυτό θα είναι ανάλογο με το συνολικό εμβαδόν των δύο αυτών υποσυστημάτων. Το εμβαδόν τους δίνεται από τον παρακάτω τύπο

$E_{\text{χωματουργ}} = (\Pi + 28)^2 - \Pi^2$ το E τώρα εκφράζεται σε m^2 και το κόστος θα δίνεται από

$K_{\text{χωματουργ}} = E_{\text{χωματουργ}} * A * M_{\text{χωματουργ}}$ εκφράζουμε κατά τα γνωστά την ποσότητα $E * A$ σε σχέση με την ημερήσια δυναμικότητα και έχουμε τελικά



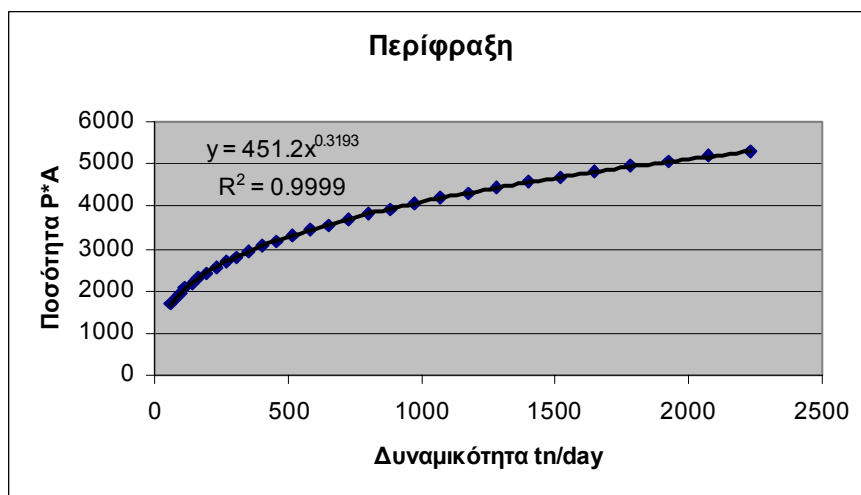
Γράφημα 2.9 Εμβαδόν λοιπών Χωματουργικών

$K_{\text{χωματουργ}} = 5136,5 * T^{0,329} * M_{\text{χωματουργ}}$ (35) με μέγιστο σχετικό σφάλμα 0,4%

2.10.3 Κόστος περίφραξης

Το κόστος της περίφραξης θα είναι ανάλογο προς το μήκος της περιμέτρου του χώρου. Η περίμετρος του χώρου είναι $P = 2 * (\Pi + 28) + 2 * (\Pi + 28) * 1,25$, όπως είδαμε στον υπολογισμό της έκτασης. Άρα το κόστος της περίφραξης θα είναι

$K_{\text{περίφραξης}} = P * A * M_{\text{περίφραξης}}$. Μετασχηματίζοντας την ποσότητα $P * A$ ως προς την ημερήσια δυναμικότητα θα έχουμε τελικά



Γράφημα 2.9 Μήκος περίφραξης

$K_{\text{περίφραξης}} = 451,2 \cdot T^{0,3193} \cdot M_{\text{περίφραξης}}$ (36) με μέγιστο σχετικό σφάλμα 0,08%

2.10.4 Κόστος Κτιριακών Εγκαταστάσεων

Στην παράγραφο 1.13.6 ορίσαμε τις απαραίτητες κτιριακές εγκαταστάσεις. Το μέγεθος των κτιριακών εγκαταστάσεων καθορίζεται από τον αριθμό των εργαζομένων στον ΧΥΤΑ. Για κάθε εργαζόμενο υποθέσαμε ότι αντιστοιχούν 15 m² κτιρίων. Όπως και στην περίπτωση του κόστους των εργατικών, δεν είναι δυνατόν να δημιουργήσουμε μία συνάρτηση μεταξύ του κόστους των κτιριακών εγκαταστάσεων και της ημερήσιας δυναμικότητας. Έτσι το κόστος θα δίνεται από τον τύπο $K_{\text{κτιρίων}} = N_{\text{εργαζομένων}} \cdot 15 \cdot A \cdot M_{\text{κτιρίων}}$ με το $M_{\text{κτιρίων}}$ εκφρασμένο σε μονάδες χρήματα/m² κτιρίων. Το $N_{\text{εργαζομένων}}$ έχει οριστεί προηγουμένως για τις διάφορες κατηγορίες δυναμικότητας.

2.10.5 Κόστος ζυγιστηρίου.

Επειδή ο αριθμός των ζυγιστηρίων εξαρτάται από την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ, θεωρούμε πως ο ΧΥΤΑ χρειάζεται ένα ζυγιστήριο για κάθε υπάλληλο στον έλεγχο εισόδου που διαθέτει. Η συγκεκριμένη θεώρηση προϋποθέτει πως ο ΧΥΤΑ λειτουργεί μόνο ένα οκτάωρο κάθε μέρα. Οπότε για να μπορούν να εργάζονται ταυτόχρονα όλοι οι υπάλληλοι στην είσοδο απαιτείται η ύπαρξη ίσου αριθμού ζυγιστηρίων.

Το κόστος των ζυγιστηρίων θα είναι $K_{\text{ζυγιστηριο}} = N_{\text{ζυγιστηριο}} \cdot A \cdot M_{\text{ζυγιστηριο}}$. Ο αριθμός των ζυγιστηρίων ($N_{\text{ζυγιστηριο}}$) ανάλογα με την δυναμικότητα δίνεται από τον παρακάτω πίνακα..

	Ημερήσια Δυναμικότητα ΧΥΤΑ σε tn/day			
	Μέχρι 200	200-500	500-1000	1000-4000
N _{ζυγιστήριο}	1	2	2	3

Πίνακας 2.2 Αριθμός ζυγιστηρίων.

2.10.6 Κόστος Μηχανοργάνωσης

Η μηχανοργάνωση του ΧΥΤΑ είναι σχεδόν υποχρεωτική, για να καταστεί δυνατή η τήρηση των αρχείων, όπως ορίζει η νομοθεσία. Επίσης βοηθάει σημαντικά τους διαχειριστές του ΧΥΤΑ στην λήψη αποφάσεων.

Το κόστος της μηχανοργάνωσης θεωρούμε ότι αποτελείται από το ειδικό λογισμικό για την τήρηση των αρχείων και από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Βέβαια λογικά θα υπάρχει και επιπλέον ηλεκτρονικός εξοπλισμός (εκτυπωτές) αλλά το κόστος τους είναι σχετικά μικρό. Τα κόστη των λειτουργικών και λοιπών προγραμμάτων ενσωματώνονται στο κόστος κάθε Η/Υ. Θεωρούμε πως πρέπει να υπάρχει ένας Η/Υ για κάθε υπάλληλο στην είσοδο του ΧΥΤΑ και για έναν για κάθε επιστάτη ή μηχανικό που εργάζεται στην εγκατάσταση. Τέλος το κόστος του λογισμικού διαχείρισης θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος του ΧΥΤΑ.

Άρα το κόστος των Η/Υ θα είναι

$K_{H/Y} = N_{H/Y} * K_{H/Y}$ το μοναδιαίο κόστος των Η/Υ περιέχει και το ΦΠΑ 18%. Ο απαιτούμενος αριθμός των Η/Υ ($N_{H/Y}$) αφορά την έναρξη λειτουργίας. Ο χρόνος ζωής όμως των Η/Υ είναι 5 χρόνια. Έτσι το κόστος των Η/Υ για 20 χρόνια λειτουργίας του ΧΥΤΑ θα είναι

$K_{H/Y} = 4 * N_{H/Y} * K_{H/Y}$ και το κόστος του λογισμικού

$K_{\text{λογισμικού}} = M_{\text{λογισμικού}}$ Το λογισμικό συνήθως αναβαθμίζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα αλλά είναι δύσκολη η πρόβλεψη των αναβαθμίσεων. Κατά συνέπεια ορίζουμε το κόστος του εφάπαξ. Άλλωστε οι αναβαθμίσεις κοστίζουν πολύ λιγότερο από την αρχική έκδοση.

Το $N_{H/Y}$ δίνεται από των παρακάτω πίνακα για κάθε κατηγορία ΧΥΤΑ

	Ημερήσια Δυναμικότητα ΧΥΤΑ σε tn/day			
	Μέχρι 200	200-500	500-1000	1000-4000
N _{H/Y}	2	3	3	5

Πίνακας 2.3 Αριθμός Η/Υ

2.10.7 Κόστος Οχημάτων

Θεωρούμε πως ο αριθμός των οχημάτων που χρησιμοποιούνται στην λειτουργία ενός ΧΥΤΑ είναι ίδιος με τον αριθμό των χειριστών οχημάτων που εργάζονται σε αυτόν. Υποθέτουμε πως είναι ελαστικοφόροι φορτωτές και πως έχουν την ίδια ιπποδύναμη ανεξάρτητα της δυναμικότητας του ΧΥΤΑ. Επιπλέον αυτών των οχημάτων θεωρούμε πως υπάρχει και ένας προωθητήρας για κάθε ΧΥΤΑ. Για τους ΧΥΤΑ με ημερήσια δυναμικότητα μεγαλύτερη των 500 tn/day πρέπει να υπάρχει και μία υδροφόρα για πυροπροστασία.. Τα συνολικά οχήματα σε σχέση με την δυναμικότητα δίνονται από τον παρακάτω πίνακα

	Ημερήσια Δυναμικότητα ΧΥΤΑ σε tn/day			
	Μέχρι 200	200-500	500-1000	1000-4000
Φορτωτές	1	2	4	8
Προωθητήρες	1	1	1	1
Υδροφόρα	0	0	1	1

Πίνακας 2.4 Αριθμός οχημάτων

Έτσι το κόστος αγοράς των οχημάτων είναι

$$K_{\text{οχημάτων}} = N_{\text{φορτωτών}} * M_{\text{φορτωτών}} + N_{\text{προωθητήρων}} * M_{\text{προωθητήρων}} + N_{\text{υδροφόρας}} * M_{\text{υδροφόρας}}$$

Το κάθε μοναδιαίο κόστος για τα οχήματα περιλαμβάνει και τον ΦΠΑ 18%.

2.11 Λειτουργικά Κόστη

2.11.1 Περιβαλλοντικές Μετρήσεις

Στην παράγραφο 1.14 είδαμε πως τα έξοδα των περιβαλλοντικών μετρήσεων είναι ανεξάρτητα της δυναμικότητας του ΧΥΤΑ. Επιπλέον υποθέτουμε πως οι περιβαλλοντικές μετρήσεις ανατίθενται σαν εργολαβία σε εταιρίες. Οι μετρήσεις λοιπόν για τα στραγγίσματα και τα υπόγεια ύδατα θα είναι

$K_{\text{μετρήσεων}} = M_{\text{στραγγισμάτων}} + M_{\text{Υπ,Υδάτων}}$ τα μοναδιαία κόστη αφορούν τα ετήσια έξοδα για κάθε κατηγορία μετρήσεων, κατά την φάση λειτουργίας. Κατά συνέπεια το ολικό κόστος για τα 20 έτη λειτουργίας θα είναι

$$K_{\text{Ολ.Μετρήσεων}} = 20 * K_{\text{μετρήσεων}}$$

Αντίστοιχα για την φάση μεταφροντίδος έχουμε

$$K_{\text{Μετρ.Μεταφροντίδας}} = 0,5 * M_{\text{στραγγισμάτων}} + M_{\text{Υπ,Υδάτων}} \text{ για κάθε χρόνο.}$$

Οι πυκνότητα των μετρήσεων κάθε χρόνου, στην φάση της μεταφροντίδας, περιορίζεται στο μισό της φάσης λειτουργίας για αυτό και έχουμε το μισό κόστος.. Άρα για την 15ετή περίοδο μεταφροντίδας θα είναι

$$K_{\text{Ολ.Μετρ.Μεταφρ}}=15* K_{\text{Μετρ.Μεταφροντίδας}}$$

Τέλος τα μετεωρολογικά δεδομένα υποθέτουμε πως συλλέγονται από σταθμό της ΕΜΥ με ασήμαντο κόστος ετησίως.

2.11.2 Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης Οχημάτων.

Στην παράγραφο 1.12.6 υποθέτουμε πως το κόστος των καυσίμων σε ένα ΧΥΤΑ είναι ανάλογο προς την ποσότητα των απορριμμάτων που διαχειρίζεται η εγκατάσταση. Έστω ότι T ημερήσια ποσότητα που δέχεται ο ΧΥΤΑ, τότε η ετήσια θα είναι $365*T$. Υποθέσαμε πως για κάθε τόνο απορριμμάτων η ποσότητα των καυσίμων που χρησιμοποιούνται είναι σταθερή. Άρα το κόστος των καυσίμων θα είναι για ένα έτος

$$K_{\text{καυσίμων}}=365*T*B_{\text{καυσίμων}}*M_{\text{καυσίμων}}$$

$B_{\text{καυσίμων}}$ είναι η σταθερή ποσότητα καυσίμων ανά τόνο απορριμμάτων που την ορίσαμε ίση με 0,86 lt/tn απορριμμάτων. Οπότε θα έχουμε

$$K_{\text{καυσίμων}}=365*0,86*T *M_{\text{καυσίμων}}$$

Επιπλέον τα έξοδα συντήρηση θα είναι τα μισά από τα έξοδα των καυσίμων οπότε τα συνολικά έξοδα λειτουργίας των οχημάτων για κάθε χρόνο θα είναι

$$K_{\text{Ολ.Λειτουργ.Οχημ}}=1,5*K_{\text{καυσίμων}}$$

Τα έξοδα των ασφαλειών θα είναι ανάλογα με τον αριθμό των οχημάτων

$K_{\text{ασφαλειών}}=N_{\text{οχημάτων}}*M_{\text{ασφάλειας}}$ το μοναδιαίο κόστος $M_{\text{ασφάλειας}}$ είναι το μέσο κόστος της ετήσιας ασφάλισης κάθε οχήματος. Ο αριθμός των οχημάτων δίνεται από τον παρακάτω πίνακα.

	Ημερήσια Δυναμικότητα ΧΥΤΑ σε tn/day			
	Μέχρι 200	200-500	500-1000	1000-4000
	2	3	6	10
$N_{\text{οχημάτων}}$	2	3	6	10

Πίνακας 2.5 Συνολικός Αριθμός οχημάτων

2.11.3 Κόστος Ηλεκτρικού Ρεύματος

Το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνεται στην εγκατάσταση υπολογίζεται όπως το κόστος των εξόδων για τα οχήματα του ΧΥΤΑ. Η ανά τόνο απορριμμάτων κατανάλωση ρεύματος υποθέτουμε πως είναι 2,5 KWh [2]. Βέβαια η

κατανάλωση θα αυξάνεται με το μέγεθος του ΧΥΤΑ λόγω αυξημένων αναγκών (μεγαλύτερες κτιριακές εγκαταστάσεις κτλ.) αλλά δεν υπάρχει τρόπος να υπολογιστεί με ακρίβεια η σχέση κατανάλωσης και δυναμικότητας. Έτσι την θεωρούμε σταθερή. Το κόστος για κάθε χρόνο λειτουργίας θα είναι

$K_{\text{ρεύματος}} = 365 * 2,5 * T * M_{\text{KWh}}$ με T την ημερήσια δυναμικότητα σε tn/day και M_{KWh} την τιμή της KWh.

2.12 Λοιπά Λειτουργικά Κόστη

Υπάρχουν και λειτουργικά κόστη που είναι ασήμαντα όπως το νερό ή τα διάφορα αναλώσιμα όπως χαρτικά κ.α. Τα κόστη αυτά αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό των συνολικών λειτουργικών εξόδων και δεν τα λαμβάνουμε υπ' όψιν μας.

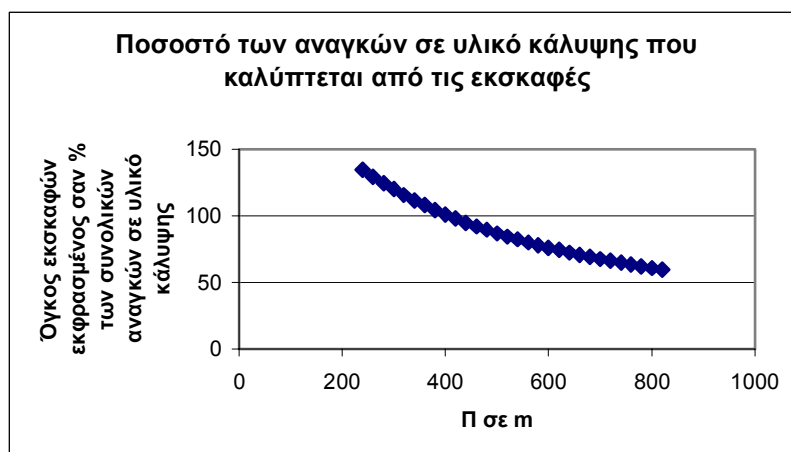
2.12.1 Κόστος Υλικού Κάλυψης.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες για την καλή λειτουργία ενός ΧΥΤΑ είναι η επάρκεια του ημερήσιου υλικού κάλυψης. Ο διαχειριστής του ΧΥΤΑ πρέπει να φροντίζει να υπάρχουν ανά πάσα στιγμή οι αναγκαίες ποσότητες για την κάλυψη των ημερήσιων φορτίων αλλά και για την πυρόσβεση ενδεχόμενης πυρκαγιάς στα απορρίμματα. Στην παρούσα μελέτη θεωρούμε πως το υλικό από τις εκσκαφές των βάσεων του ΧΥΤΑ αποθηκεύεται σε διπλανό σημείο όπου δεν έχουν αρχίσει ακόμα οι εργασίες. Έτσι εν μέρει οι ανάγκες καλύπτονται από της εκσκαφές των βάσεων.

Από την σχέση (18) έχουμε τον ολικό ωφέλιμο όγκο ενός ΧΥΤΑ και έχουμε υποθέσει πως το υλικό για την ημερήσια κάλυψη είναι το 15% του ολικού ωφέλιμου όγκο. Επιπλέον, χρειαζόμαστε παρόμοιο υλικό για τις ενδιάμεσες καλύψεις, ο όγκος του οποίου δίνεται από την σχέση (19). Επίσης γνωρίζουμε τον συνολικό όγκο των εκσκαφών και για τις τέσσερις φάσεις της βάσης του ΧΥΤΑ,

$$V_{\text{ΟΛΕΚΣΚ}} = 4 * (1.25 * \Pi^2 - 75 * \Pi + 1500).$$

Μπορούμε άρα να βρούμε το ποσοστό των αναγκών σε υλικό κάλυψης που καλύπτεται από τις εκσκαφές. Δημιουργούμε το γράφημα της ποσότητας $V_{\text{ΟΛΕΚΣΚ}} * 100 / (0.15 * V_{\text{ωφΟΛ}} + V_{\text{ενδΟΛ}})$ ως προς το μήκος Π , για $240 < \Pi < 820$ που καλύπτει δυναμικότητες από 50 μέχρι 2200 tn/day.



Γράφημα 2.10 Ποσοστό των αναγκών σε εδαφικό υλικό που καλύπτεται από τις εκσκαφές της βάσης

Από το γράφημα βλέπουμε ότι, με την σχεδίαση του ΧΥΤΑ που έχουμε ορίσει, ο όγκος των εκσκαφών καλύπτει το λιγότερο το 50% των αναγκών σε υλικό κάλυψης. Στην [2] φαίνεται πως είναι δυνατή η κάλυψη των αναγκών σε εδαφικό υλικό μέχρι ποσοστού 60% από φερτά υλικά στον ΧΥΤΑ (π.χ. μπάζα). Άρα με βάση την σχεδίαση που υποθέσαμε, ο ΧΥΤΑ ανεξαρτήτως της δυναμικότητάς του, είναι δυνατόν να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες σε υλικό κάλυψης. Έτσι δεν επιβαρύνεται με επιπλέον κόστη για το υλικό κάλυψης.

2.13 Κόστος Τελικής Κάλυψης και Μεταφροντίδας

2.13.1 Κόστος Τελικής Κάλυψης

Το κόστος της τελικής μόνωσης του απορριμματικού ανάγλυφου είναι ανάλογο με τον όγκο των υλικών που χρησιμοποιούνται, μόνο το κόστος της αργιλικής μόνωσης υπολογίζεται με βάση το εμβαδόν, για τους ίδιους λόγους που ισχύουν και για την μόνωση της βάσης. Υποθέτουμε πως δεν χρησιμοποιείται γεωμεμβράνη, καθώς η χρήση της δεν είναι υποχρεωτική για την τελική μόνωση.

Την κατασκευή της τελικής μόνωσης θεωρούμε πως την αναλαμβάνει εργολαβική εταιρεία και δεν κατασκευάζεται από το προσωπικό του ΧΥΤΑ.

Η τελική μόνωση θα αποτελείται από α) ζώνη συλλογής του βιοαερίου πάχους 30 cm από αμμοχάλικο β) ζώνη αργιλικής μόνωσης πάχους 0,5 m γ) αποστραγγιστική μόνωση αποτελούμενη από αμμοχάλικο πάχους 0,5 m και γ) τελική στρώση εδαφικού υλικού κατάλληλο για φύτευση πάχους 1,5 m.

2.13.2 Κόστος Ζώνης Συλλογής Βιοαερίου

Καταρχήν πρέπει να υπολογιστεί ο όγκος του αμμοχάλικου. Ο εξωτερικός όγκος του τελικού απορριμματικού ανάγλυφου θα δίνεται από τον τύπο

$$V_{\text{Απ.Αναγλ}} = \frac{1}{18} * (\Pi - 3,6)^3 - 1500 \quad \text{ο γνωστός τύπος για τον όγκο πυραμίδας με τα}$$

γνωστά χαρακτηριστικά. Ενώ ο όγκος του απορριμματικού ανάγλυφου μετά την τοποθέτηση της ζώνης συλλογής του βιοαερίου θα είναι

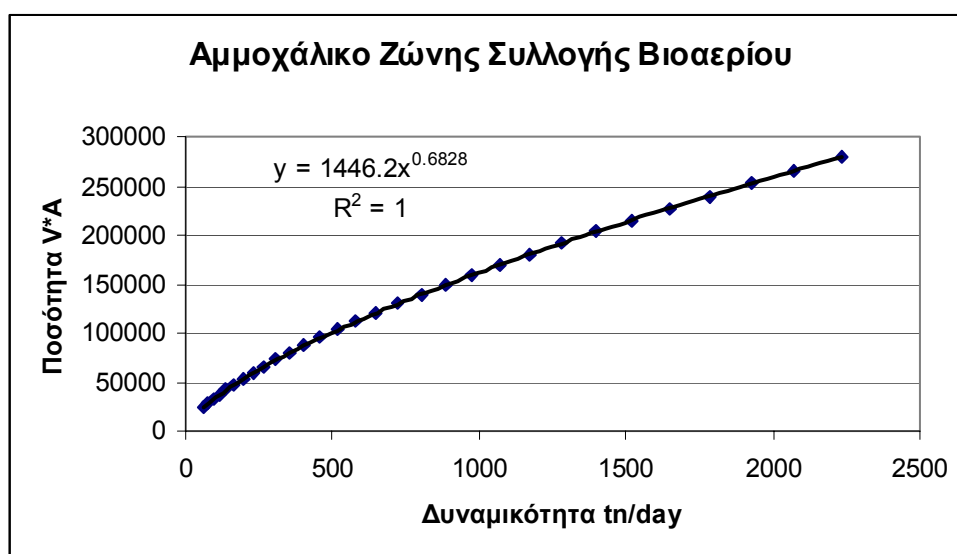
$$V_{\text{ΜεζώνηΣυλλογής}} = \frac{1}{18} * (\Pi - 3,6 + 6 * 0,3)^3 - 1500 \quad \text{καθώς αυξάνεται το μήκος της βάσης}$$

κατά $2 * 3 * 0,3 \text{ m}$. Η διαφορά των παραπάνω όγκων δίνει τον όγκο του αμμοχάλικου

$$V_{\text{ΑμμοχάλικουΜεταφρ}} = \frac{1}{18} * (\Pi - 3,6 + 6 * 0,3)^3 - \frac{1}{18} * (\Pi - 3,6)^3$$

Έτσι το κόστος για το αμμοχάλικο θα είναι

$K_{\text{Μαμμοχάλικο}} = V_{\text{ΑμμοχΜεταφρ}} * A * M_{\text{αμμοχάλικο}}$ υποθέτουμε πως το μοναδιαίο κόστος του αμμοχάλικου είναι το ίδιο με του αμμοχάλικου που χρησιμοποιείται στην αποστραγγιστική Ζώνη. Κατά τα γνωστά δημιουργούμε το γράφημα της ποσότητας $V * A$ ως προς την ημερήσια δυναμικότητα.



Γράφημα 2.11 Όγκος αμμοχάλικου Ζώνης Συλλογής Βιοαερίου.

Και η συνάρτηση κόστους μετασχηματίζεται σε

$$K_{\text{Μαμμοχάλικο}} = 1446,2 * T^{0,6826} * M_{\text{αμμοχάλικο}} \quad \text{το } M_{\text{αμμοχάλικο}} \text{ είναι σε μονάδες χρήματος/m}^3 \text{ αμμοχάλικου}$$

2.13.3 Κόστος Αργιλικής Μόνωσης.

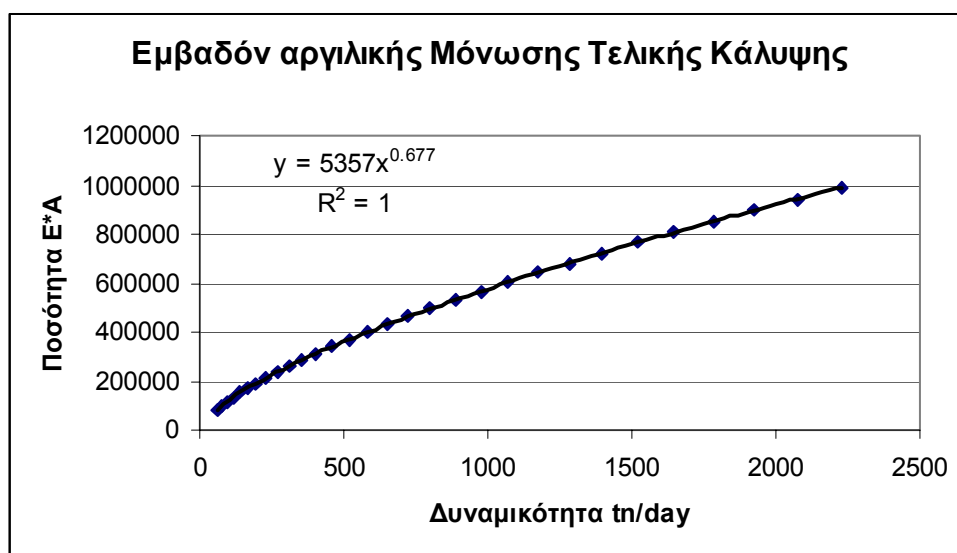
Το εμβαδόν της αργιλικής μόνωσης υπολογίζεται με βάση των τύπο που υπολόγιζε το εμβαδόν της μόνωσης για την βάση του ΧΥΤΑ. Το εμβαδόν θα δίνεται από τον τύπο

$$E_{\text{ΜόνωσηςΜεταφρ}} = 4 * \left(\frac{\sqrt{10}}{12} * (\Pi - 3,6 + 6 * 0,8)^2 - \frac{\sqrt{10}}{12} * (30)^2 \right) + 30^2$$

Η βάση του απορριμματικού ανάγλυφου μετά την κατασκευή της αργιλικής μόνωσης θα έχει μήκος $(\Pi - 3,6 + 6 * 0,8)$ και η οριζόντια επιφάνεια θα έχει διαστάσεις 30 m. Άρα το κόστος της αργιλικής μόνωσης θα είναι

$K_{\text{ΜόνωσηςΜεταφρ}} = E * A * M_{\text{αργίλου}}$ το $M_{\text{αργίλου}}$ είναι ίδιο με την μοναδιαία τιμή της αργιλικής μόνωσης της βάσης.

Δημιουργώντας αντίστοιχα το διάγραμμα της ποσότητας $E * A$ ως προς την ημερήσια δυναμικότητα έχουμε



Γράφημα 2.12: Εμβαδόν αργιλικής Μόνωσης στην Τελική Κάλυψη

και η συνάρτηση κόστους μετασχηματίζεται σε

$$K_{\text{ΜόνωσηςΜεταφρ}} = 5357 * T^{0,677} * M_{\text{αργίλου}}$$

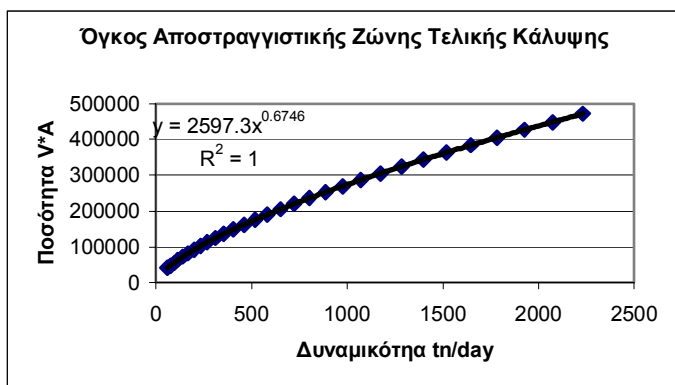
2.13.4 Κόστος Ζώνης Αποστράγγισης Τελικής Κάλυψης

Ο Όγκος του αμμοχάλικου της αποστραγγιστικής ζώνης της τελικής κάλυψης υπολογίζεται όπως ο όγκος του αμμοχάλικου της ζώνης συλλογής του βιοαερίου. Δίνεται από τον τύπο

$$V_{\text{ΑποστρΜεταφρ}} = \frac{1}{18} * (\Pi - 3,6 + 6 * 1,3)^3 - \frac{1}{18} * (\Pi - 3,6 + 6 * 0,8)^3$$

Και το κόστος αντίστοιχα

$K_{\text{ΑποστρΜεταφρ}} = V_{\text{ΑποστρΜεταφρ}} * A * M_{\text{αμμοχάλικο}}$ Μετασχηματίζοντας την ποσότητα $V * A$ έχουμε



Γράφημα 2.13: Όγκος αμμοχάλικου Απ. Ζώνης. Τελικής κάλυψης.

Άρα το κόστος του αμμοχάλικου γίνεται

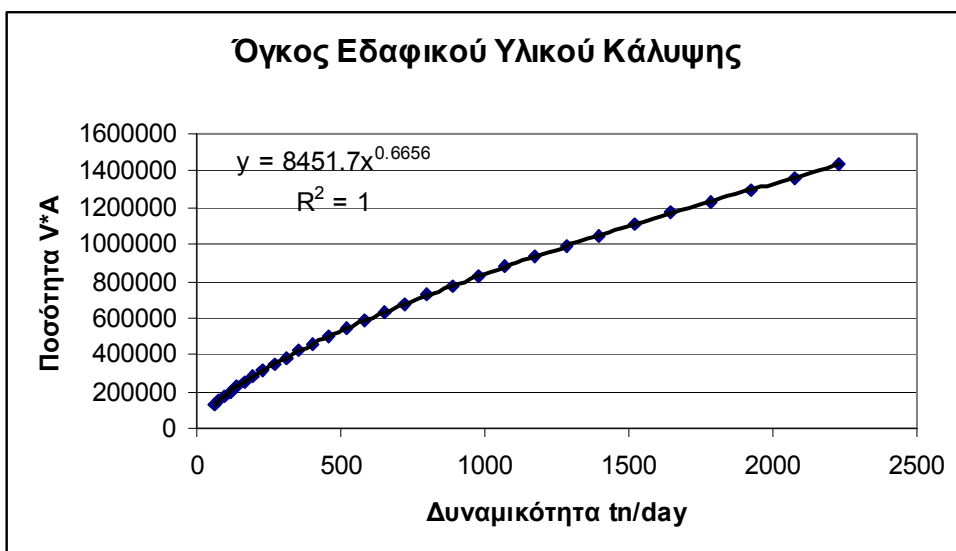
$$K_{\text{ΑποστρΜεταφρ}} = 2597,3 * T^{0,6746} * M_{\text{αμμοχάλικο}}$$

2.13.5 Κόστος Τελικής Κάλυψης με εδαφικό υλικό

Παρόμοια με τα παραπάνω υπολογίζεται και ο όγκος του εδαφικού υλικού πάχους 1,5 m. Έτσι έχουμε

$$V_{\text{ΑποστρΜεταφρ}} = \frac{1}{18} * (\Pi - 3,6 + 6 * 2,8)^3 - \frac{1}{18} * (\Pi - 3,6 + 6 * 1,3)^3$$

και το κόστος $K_{\text{εδαφΥλικού}} = V_{\text{εδαφΥλικού}} * A * M_{\text{εδαφΥλικού}}$ μετασχηματίζοντας την ποσότητα $V * A$ έχουμε



Γράφημα 2.14 Όγκος Εδαφικού υλικού στην Τελική Κάλυψη

$$K_{\text{εδαφΥλικού}} = 8451,7 * T^{0,6696} * M_{\text{εδαφΥλικού}}$$

2.14 Συμπεράσματα Από τις συναρτήσεις Κόστους

Από τις εξισώσεις κόστους για τα διάφορα υποσυστήματα του ΧΥΤΑ, που ορίσαμε, φαίνεται καθαρά πως υπάρχει οικονομία κλίμακας για κάθε υποσύστημα. Από τα γραφήματα βγαίνει το συμπέρασμα πως η αύξηση της δυναμικότητας του ΧΥΤΑ δεν συνοδεύεται και από αντίστοιχη των μεγεθών των υποσυστημάτων του. Για παράδειγμα το εμβαδόν της μόνωσης ανά τόνο απορριμμάτων που θα δεχτεί ένας ΧΥΤΑ 200 τόνων είναι μικρότερο από ότι σε έναν ΧΥΤΑ με δυναμικότητα 50 τόνων ανά ημέρα.

Γενικά με την αύξηση της δυναμικότητας ενός ΧΥΤΑ και άρα και τις τελικής ποσότητας απορριμμάτων που μπορεί να δεχτεί, επιτυγχάνεται η οικονομικότερη διαχείριση κάθε τόνου απορριμμάτων. Αυτή η οικονομία εκφράζεται, τόσο σε εξοικονόμηση υλικών για την κατασκευή, αλλά και σε εξοικονόμηση μέσων και πόρων κατά την λειτουργία (το κόστος πολλών από τα λειτουργικά έξοδα είναι ανεξάρτητο από την δυναμικότητα).

Αναπόφευκτα έχουν παραληφθεί ορισμένα έξοδα τόσο στην κατασκευή όσο και στην λειτουργία του ΧΥΤΑ (κόστος επίπλων, αναλώσιμων) γιατί η κοστολόγηση τους είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Τα υποσυστήματα που έχουν κοστολογηθεί πιστεύεται ότι εκφράζουν το μεγαλύτερο μέρος των εξόδων ενός ΧΥΤΑ και η παράληψη εξόδων, όπως το κόστος των επίπλων, δεν επηρεάζει ουσιαστικά το τελικό κόστος της διαχείρισης.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία το λειτουργικό κόστος ανά τόνο απορριμμάτων, για όλη την διάρκεια χρήσης του έργου, είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος της αγοράς της απαιτούμενης έκτασης και της κατασκευής του έργου. Για παράδειγμα σε μελέτη της Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (USEPA) για 17 ΧΥΤΑ που λειτουργούν στην Αμερική έδειξε ότι το λειτουργικό κόστος είναι περισσότερο από τα $\frac{3}{4}$ του συνολικού κόστους της εναπόθεσης. Τα ποσοστά δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία	Εργασία	Ποσοστό
Αρχικώς Επενδυμένο Κεφάλαιο	Γη	4,3
	Κατασκευή και διαμόρφωση υποδομής	4,3
	Σταθερός Εξοπλισμός	0,3
	Οχήματα	12,8
	Υποσύνολο	21,7
Λειτουργικό Κόστος	Εργατικά	39,3
	Σταθερός Εξοπλισμός	1,3
	Λειτουργικά έξοδα και συντήρηση των οχημάτων	27,5
	Έξοδα διοίκησης κ.λ.π.	10,2
	Υποσύνολο	78,3
	Σύνολο	100

Πίνακας 2.6 Μέσο Κόστος Εναπόθεσης Εκφρασμένο ως ποσοστό κόστους ανά τόνο απορριμμάτων[6]

Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε πως από το συνολικό κόστος της εναπόθεσης ενός τόνου απορριμμάτων το 78,3% αντιστοιχεί στο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης. Επίσης το μεγαλύτερο μέρος από το λειτουργικό κόστος είναι τα εργατικά και η συντήρηση των οχημάτων που χρησιμοποιούνται στον ΧΥΤΑ. Τα υποσυστήματα που έχουν τον μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής στο τελικό κόστος, έχουν συμπεριληφθεί στην παρούσα μελέτη.

Από άλλες αναφορές, για στοιχεία πάλι εκτός Ελλάδας, προκύπτει ότι το 1/3 του κόστους των ΧΥΤΑ για όλο τον κύκλο ζωής του, αντιστοιχεί στη λειτουργία, το 1/3 στη κατασκευή και εν γένει διαμόρφωση της υποδομής και περίπου το 10% στην μεταφροντίδα [1]. Βλέπουμε δηλαδή ότι το λειτουργικό κόστος είναι ισοδύναμο του κόστους κατασκευής, για την εναπόθεση των απορριμμάτων. Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι η αγορά γης είναι γενικότερα πιο ακριβή στην Ελλάδα από ότι στην Αμερική, το ίδιο και οι μισθοί. Άρα περιμένουμε να υπάρχουν κάποιες αλλαγές ως προς τα ποσοστά που καταλαμβάνουν τα επιμέρους κόστη στο συνολικό ανά τόνο απορριμμάτων κόστος.

Τέλος στην κοστολόγηση των υποσυστημάτων του ΧΥΤΑ έχει παραληφθεί το κόστος συλλογής του βιοαερίου. Καθώς η κατασκευή του συστήματος συλλογής γίνεται κατά την διάρκεια λειτουργίας ή μετά το τέλος λειτουργίας του ΧΥΤΑ είναι

πολύ δύσκολο να βρεθούν στοιχεία κόστους γιατί δεν περιλαμβάνονται στους προϋπολογισμούς των έργων κατασκευής. Το κόστος όμως κατασκευής και λειτουργίας του συστήματος συλλογής του βιοαερίου δεν αναμένεται να είναι μεγάλο σε σχέση με τα υπόλοιπα υποσυστήματα. Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως το κόστος του σταθερού εξοπλισμού είναι μόλις το 1,3% των συνολικών εξόδων, για την περίοδο λειτουργίας και μόλις το 0,3 κατά την περίοδο κατασκευής. Το Σύστημα Συλλογής και Τελικής Διάθεσης του Βιοαερίου ανήκει σε αυτήν την κατηγορία και η παράληψη του δεν επηρεάζει σημαντικά το τελικό υπολογιζόμενο κόστος. Συγκεκριμένα για τον ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς το κόστος του συστήματος βιοαερίου είναι 5 εκατομμύρια δραχμές ενώ το συνολικό κόστος κατασκευής είναι 400 εκτ. Δρχ, Σαν ποσοστό είναι το 1,25 % του κόστους κατασκευής.

Επίσης η πρόβλεψη των παραγόμενων ποσοτήτων βιοαερίου σε έναν ΧΥΤΑ είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί, πριν από την έναρξη της λειτουργίας του. Γενικά συνίσταται η πραγματοποίηση μετρήσεων τουλάχιστον κατά τα δύο πρώτα χρόνια λειτουργίας του ΧΥΤΑ, όσον αφορά την παραγωγή του βιοαερίου, πριν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί το σύστημα συλλογής.

2.15 Εφαρμογή Των Συναρτήσεων Κόστους

Για να γίνει η εφαρμογή των συναρτήσεων θα πρέπει αρχικά να οριστούν μοναδιαίες τιμές για όλα τα υποσυστήματα που έχουν οριστεί.

2.15.1 Μοναδιαία Κόστη

Τα μοναδιαία κόστη που θα χρησιμοποιηθούν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Μοναδιαία Κόστη Υλικών	Σύμβολο	Τιμή	Μονάδες	Παρατηρήσεις
Εκσκαφών Βάσης	$M_{εκσκ}$	2,05	Ευρώ/ m^3	Για έδαφος γαιώδες [10]
Αργιλικής Μόνωσης	$M_{αργίλου}$	7,33	Ευρώ/ m^2	Για πάχος 50 cm [10]
Γεωμεμβράνης	$M_{μεμβράνης}$	8,21	Ευρώ/ m^2	[10]
Γεωυφάσματος	$M_{γεωυφάσματος}$	5,86	Ευρώ/ m^2	Για 600 gr/ m^2 [10]
Άμμου	$M_{άμμου}$	6,77	Ευρώ/ m^3	[10]
Αμμοχάλικου	$M_{αμμοχάλικου}$	6,57	Ευρώ/ m^3	Χρησιμοποιείται το ίδιο αμμοχάλικο σε

				όλα τα συστήματα του ΧΥΤΑ [10]
Σωληνώσεων Συλλογής Στραγγισμάτων	$M_{\text{Αγ.Συλλογής}}$	51,35	Ευρώ/m	Για διάμετρο 150 mm και 10 Ατμ [10]
Αντλιών Συλλογής	$M_{\text{αντλιών}}$	5869	Ευρώ ανά αντλία	Μέση τιμή αντλιών [10]
Αγωγών Επανακυκλοφορίας	$M_{\text{Αγ.Επανακ}}$	3,9	Ευρώ/m	Για αγωγούς 90 mm διάμετρο [10]
Αντλιών επανακυκλοφορίας	$M_{\text{Αντλ.Επανακ}}$	6160	Ευρώ ανά αντλία	Τυπική τιμή [10]
Μισθών	$M_{\text{μισθοῦ}}$	20542	Ευρώ το έτος ανά εργαζόμενο	Το σύνολο των χρημάτων που κοστίζει στον εργοδότη ο κάθε υπάλληλος [8]
Έκτασης	$M_{\text{έκτασης}}$	704	Ευρώ/στρέμμα	
Λοιπων Χωματουργικών	$M_{\text{χωματουργ}}$	5,86	Ευρώ/m ²	[8]
Περίφραξη	$M_{\text{περίφραξης}}$	18	Ευρώ/m	[8]
Κτιρίων	$M_{\text{κτιρίων}}$	499	Ευρώ/m ²	[9]
Ζυγιστήρια	$M_{\text{ζυγιστηρίου}}$	17600	Ευρώ/μονάδα	[8]
*Ηλεκτρονικών Υπολογιστων	$M_{\text{Η/Υ}}$	1385	Ευρώ/Η/Υ	
*Λογισμικού Αρχείου	$M_{\text{λογισμικού}}$	5870	Ευρώ/μονάδα	
*Φορτωτών	$M_{\text{φορτωτών}}$	104000	Ευρώ/μονάδα	Τυπική τιμή [9]
*Προωθητηρων	$M_{\text{προωθητήρων}}$	104000	Ευρώ/μονάδα	Τυπική τιμή [9]
*Υδροφόρας	$M_{\text{υδροφόρας}}$	52000	Ευρώ/μονάδα	Τυπική τιμή [9]
*Μετρήσεων Στραγγισμάτων	$M_{\text{στραγγισμάτων}}$	1760	Ευρώ/έτος	[8]
*Μετρήσεων Υπογείων Υδάτων	$M_{\text{Υπ.Υδάτων}}$	2650	Ευρώ/έτος	[8]
*Καύσιμα	$M_{\text{καυσίμων}}$	0,73	Ευρώ/lt	
*Ασφάλειες Οχημάτων	$M_{\text{ασφάλειας}}$	740	Ευρώ/όχημα ανά έτος	[8]
*Ρεύμα	M_{KWh}	0.058	Ευρώ/KWh	
Εδαφικού Υλικού Τελικής Κάλυψης	$M_{\text{εδ.Υλικού}}$	3	Ευρώ/m ³	

Στις παρατηρήσεις αναφέρεται η πηγή των εκτιμήσεων. Όσες τιμές προέρχονται από τον προϋπολογισμό του ΧΥΤΑ Χανίων μετατρέπονται με έκπτωση 30%. Οι υπόλοιπες τιμές αφού είναι τιμές κατασκευής, μετά δηλαδή την έκπτωση, λαμβάνονται ως έχουν.

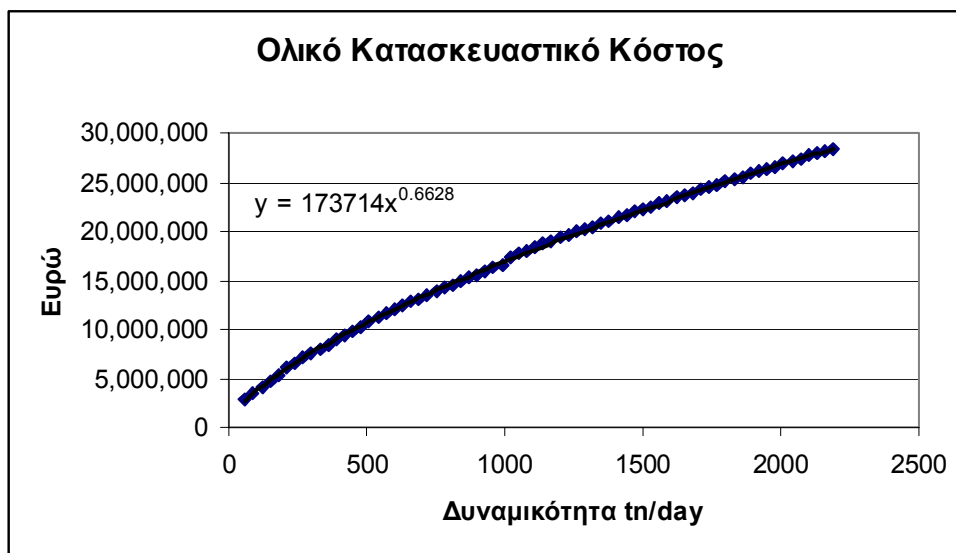
Τα μοναδιαία κόστη που αναφέρονται σε υλικά κατασκευής δεν περιέχουν τον ΦΠΑ και το εργολαβικό κόστος 18%. Ενώ τα κόστη που σημειώνονται με «*» δηλώνονται με τον ΦΠΑ.

2.15.2 Κατασκευαστικό Κόστος

Σαν κατασκευαστικό κόστος ορίζουμε το αρχικό κόστος κατασκευής του ΧΥΤΑ και για της τέσσερις φάσης ανάπτυξης του. Στο κατασκευαστικό κόστος λοιπόν περιλαμβάνεται

1. Το Κόστος εκσκαφών των βάσεων
2. Το Κόστος της μόνωσης για τις τέσσερις φάσεις
3. Το Κόστος των αποστραγγιστικών ζωνών
4. Το κόστος του συστήματος επανακυκλοφορίας
5. Τα λοιπά χωματουργικά
6. Των υλικοτεχνικών υποδομών (περίφραξης, κτιρίων, ζυγιστηρίων, μηχανοργάνωσης)
7. Το Κόστος Γης
8. Κόστος αγοράς Οχημάτων

Εφαρμόζοντας λοιπόν τις εξισώσεις κόστους, με τις παραπάνω μοναδιαίες τιμές, για δυναμικότητα ΧΥΤΑ από 60 έως 200 tn/day και αθροίζοντας τα επιμέρους κόστη, έχουμε το παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 2.15 Ολικό Κατασκευαστικό Κόστος

Με γραμμική παρεμβολή βρίσκουμε την εκθετική εξίσωση που συνδέει το κατασκευαστικό κόστος με την ημερήσια δυναμικότητα του ΧΥΤΑ.

$$K_{\text{κατασκευαστικό}} = 173714 \cdot T^{0,6628} \text{ το } T \text{ σε tn/day}$$

Παρατηρούμε πως ο εκθέτης είναι ίσος με 0,6634 πολύ κοντά στις τιμές που βρίσκουμε στην βιβλιογραφία όπως αναφέρθηκε στην αρχή του Κεφαλαίου.

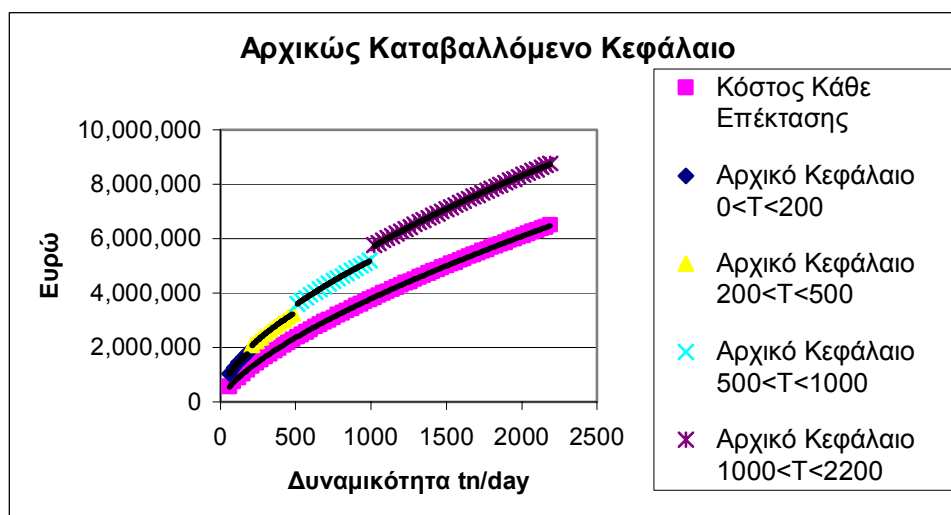
Το μέγιστο σφάλμα της εξίσωσης του κατασκευαστικού κόστους είναι 3,73% και εμφανίζεται για μικρές τιμές δυναμικότητας. Για τιμές δυναμικότητας μεγαλύτερες από 100 tn/day το σφάλμα κυμαίνεται κάτω από 1%.

Το υπολογιζόμενο κόστος από την γενική εξίσωση κόστους είναι το συνολικό κατασκευαστικό κόστος για όλες τις φάσεις ανάπτυξης του ΧΥΤΑ. Το αρχικό καταβαλλόμενο ποσό είναι μικρότερο, επειδή αρχικά κατασκευάζεται μόνο η πρώτη λεκάνη της βάσης. Το κατασκευαστικό κόστος παρουσιάστηκε συνολικά για να είναι εφικτή η σύγκριση με ήδη κατασκευασμένους ΧΥΤΑ, που συνήθως κατασκευάζονται εφάπαξ όλες οι υποδομές τους.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, με βάση την υπόθεση της σταδιακής κατασκευής της βάσης του χώρου, το αρχικώς καταβαλλόμενο κεφάλαιο υπολογίζεται αθροίζοντας:

1. Το κόστος της αρχικής λεκάνης. Το οποίο ισούται με το $\frac{1}{4}$ του συνολικού κόστους για όλες της λεκάνες, συν το $\frac{1}{4}$ του συνολικού κόστους του συστήματος επανακυκλοφορίας.
2. Τα υπόλοιπα κατασκευαστικά κόστη του συνολικού κατασκευαστικού.

Στο γράφημα 2.15 παρουσιάζεται το αρχικό κατασκευαστικό κόστος, μαζί με το κόστος κάθε επέκτασης.



Γράφημα 2.15. Αρχικό Κατασκευαστικό Κόστος

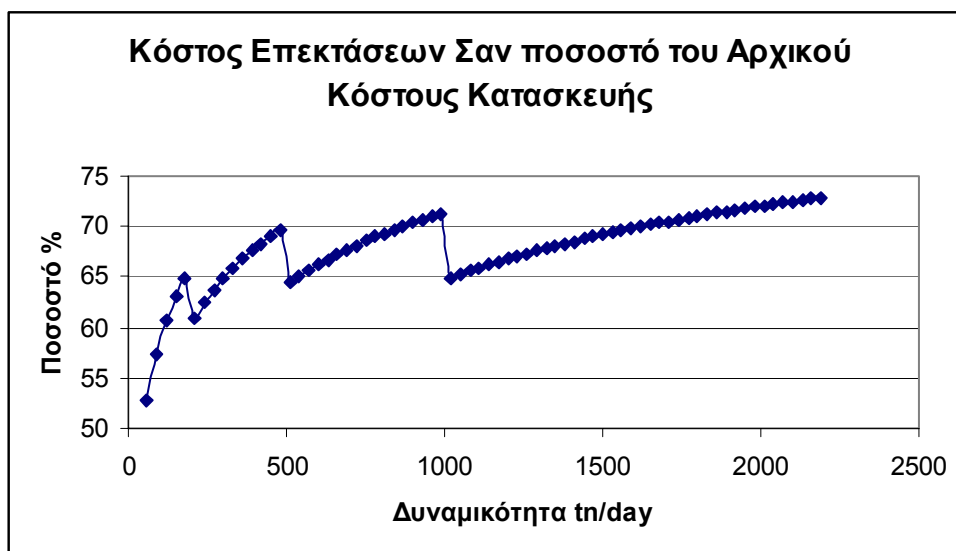
Από το παραπάνω γράφημα βλέπουμε πως η γραφική παράσταση του αρχικού κεφαλαίου δεν είναι συνεχής ως προς την δυναμικότητα του ΧΥΤΑ. Αυτό οφείλεται

στο ότι με την αλλαγή κατηγορίας δυναμικότητας, μερικά υποσυστήματα αυξάνουν σε μέγεθος και παραμένουν σταθερά για όλη την συγκεκριμένη κατηγορία. Για παράδειγμα ο αριθμός των οχημάτων αυξάνει από 2, για ΧΥΤΑ έως 200 τόνους, σε 3 για την κατηγορία από 200 έως 500. Το ίδιο συμβαίνει και με τον αριθμό των ζυγιστηρίων. Αυτή η ασυνέχεια δεν παρατηρείται στην γραφική παράσταση του ολικού κατασκευαστικού κόστους. Διότι σε αυτό συμπεριλαμβάνεται όλο το κόστος της βάσης, το οποίο είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερο από το κόστος των υποσυστημάτων που αυξάνονται μόνο με την αλλαγή κατηγορίας. Στο αρχικό κεφάλαιο όμως, το κόστος των υποσυστημάτων αυτών, είναι αρκετά μεγάλο σαν ποσοστό του καταβαλλόμενου ποσού. Έτσι είμαστε αναγκασμένοι να ορίσουμε με γραμμική παρεμβολή διαφορετική συνάρτηση κόστους για κάθε κατηγορία ΧΥΤΑ. Από την άλλη το κόστος των επεκτάσεων μπορεί να δοθεί με την μορφή καθολικής συνάρτησης ανεξάρτητης από την κατηγορία του ΧΥΤΑ

	Ημερήσια Δυναμικότητα ΧΥΤΑ σε tn/day			
	Μέχρι 200	200-500	500-1000	1000-4000
Συνάρτηση αρχικού καταβαλλόμενου Κεφαλαίου (Κ _{αρχικόΚατασκευαστικό})	$154432 \cdot T^{0,4729}$	$131893 \cdot T^{0,5203}$	$131241 \cdot T^{0,5352}$	$139731 \cdot T^{0,5399}$
Κόστος Κάθε Επέκτασης (Κ _{επέκτασης})	$33973 \cdot T^{0,6826}$			

Πίνακας 2.7 Αρχικό κατασκευαστικό Κόστος για τις διαφορετικές κατηγορίες ΧΥΤΑ

Αν δημιουργηθεί το γράφημα του κόστους των επεκτάσεων σαν ποσοστό του αρχικού κεφαλαίου θα φανεί ξεκάθαρα η οικονομική σημασία της κατασκευής του ΧΥΤΑ σε διάφορες φάσεις



Γράφημα 2.16 Κόστος των επεκτάσεων σαν ποσοστό του Αρχικού κόστους Κατασκευής.

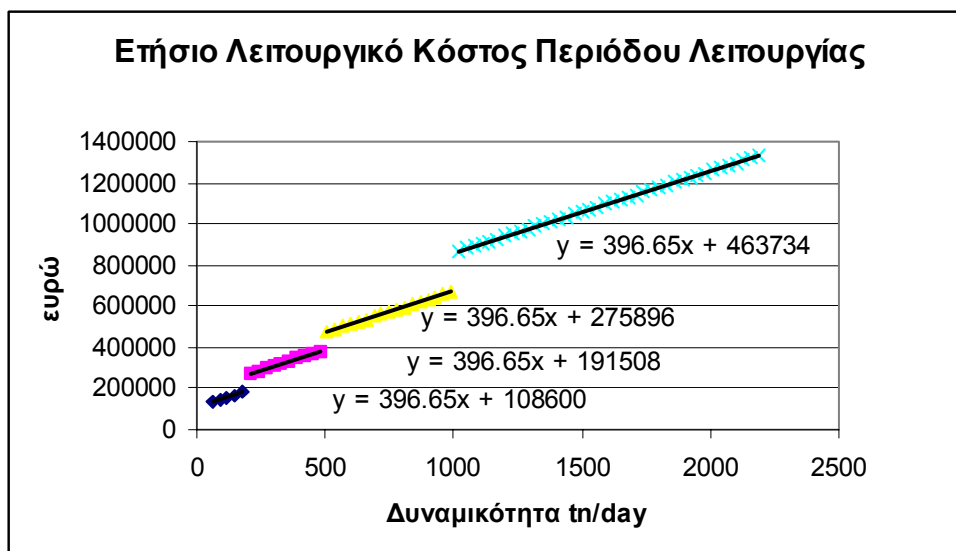
Από το γράφημα βλέπουμε πως οι επεκτάσεις του ΧΥΤΑ κοστίζουν από 54% έως 74% του αρχικού κόστους κατασκευής. Τεμαχίζοντας την κατασκευή του ΧΥΤΑ, απαιτείται αρχικά η εκταμίευση ενός ποσού σημαντικά μικρότερου, από ότι αν ο ΧΥΤΑ κατασκευαζόταν ολόκληρος. Για παράδειγμα για την κατασκευή ενός ΧΥΤΑ με δυναμικότητα 150 tn/day το αρχικό κόστος κατασκευής θα ήταν 1.651.242 ευρώ και κάθε μία από τις τρεις επεκτάσεις του, θα κόστιζαν 1.038.804 ευρώ. Ενώ αν κατασκευαζόταν ολόκληρος από την αρχή, το κόστος θα ήταν 4.767.654 ευρώ. Είναι κατανοητό πως η εκταμίευση τεσσάρων αντί για ενός εκατομμυρίων είναι πιο δύσκολη. Επιπλέον γίνεται επένδυση χρημάτων για κατασκευή υποδομής που θα χρησιμοποιηθεί μετά από αρκετά χρόνια.

2.15.3 Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος

Στο ετήσιο λειτουργικό Κόστος περιλαμβάνονται

1. Οι μισθοί των εργαζομένων
2. Τα καύσιμα και η συντήρηση των οχημάτων
3. Το ηλεκτρικό Ρεύμα
4. Τα έξοδα για τις περιβαλλοντικές μετρήσεις στραγγισμάτων και υπ. Υδάτων

Αθροίζοντας τα ετήσια αυτά έξοδα και δημιουργώντας την γραφική παράσταση σε σχέση με την ημερήσια δυναμικότητα του ΧΥΤΑ έχουμε



Γράφημα 2.17 Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος.

Παρατηρούμε πως και η γραφική παράσταση του ετήσιου λειτουργικού κόστους κατά την περίοδο λειτουργίας εμφανίζει την ίδια ασυνέχεια στα σημεία αλλαγής κατηγορίας του XYTA, όπως συμβαίνει και με το αρχικό κόστος κατασκευής. Επίσης βλέπουμε πως το λειτουργικό κόστος αυξάνει αναλογικά με την τη δυναμικότητα του XYTA. Η μορφή αυτή είναι φυσική αφού όλα τα ετήσια λειτουργικά κόστη ορίστηκαν σαν γραμμική συνάρτηση της δυναμικότητας του XYTA. Για παράδειγμα το ετήσιο κόστος των καυσίμων είναι γραμμική συνάρτηση της δυναμικότητας. Βέβαια θα περίμενε κανείς να υπάρχει οικονομία κλίμακας και για το λειτουργικό κόστος αλλά με τα στοιχεία που μπορέσαμε να συλλέξουμε δεν ήταν εφικτός ο υπολογισμός της. Και στην βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές όπου το λειτουργικό κόστος ορίζεται γραμμικά ως προς την δυναμικότητα του XYTA όπως στην [13].

Οι συναρτήσεις κόστους για το ετήσιο λειτουργικό κόστος θα δίνονται ξεχωριστά για κάθε κατηγορία XYTA όπως και με το αρχικό κόστος κατασκευής.

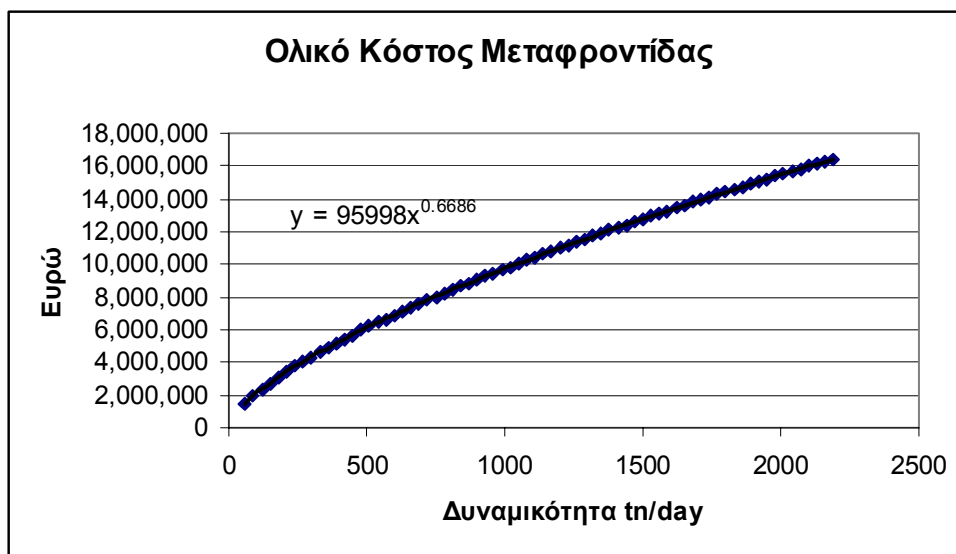
	Ημερήσια Δυναμικότητα XYTA σε tn/day			
	Μέχρι 200	200-500	500-1000	1000-4000
Συνάρτηση ετήσιου Λειτουργικού Κόστους για την περίοδο Λειτουργίας (Κ _{Ετ.Λειτουργίας})	396.65*T+108600	396.65*T+191508	396.65*T+275896	396.65*T+463734

Πίνακας 2.8 Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος.

Το ολικό λειτουργικό κόστος για την περίοδο λειτουργίας του ΧΥΤΑ (20 έτη) θα είναι το 20πλάσιο του ετήσιου.

2.15.4 Κόστος Μεταφροντίδας

Στο κόστος της μεταφροντίδας περιλαμβάνεται το κόστος κατασκευής της τελικής κάλυψης και το λειτουργικό κόστος όλης της περιόδου μεταφροντίδας (15 έτη). Αθροίζοντας τα επιμέρους κόστη μπορούμε να δημιουργήσουμε την γραφική παράσταση του κόστους μεταφροντίδος σε σχέση με την ημερήσια δυναμικότητα.



Γράφημα 2.17: Ολικό Κόστος Μεταφροντίδος.

Και η συνάρτηση του ολικού κόστους της μεταφροντίδας που προκύπτει με γραμμική παρεμβολή είναι

$K_{\text{Ολ.Μεταφροντίδας}} = 95998 \cdot T^{0.6686}$ με μέγιστο σχετικό σφάλμα 1,1%.

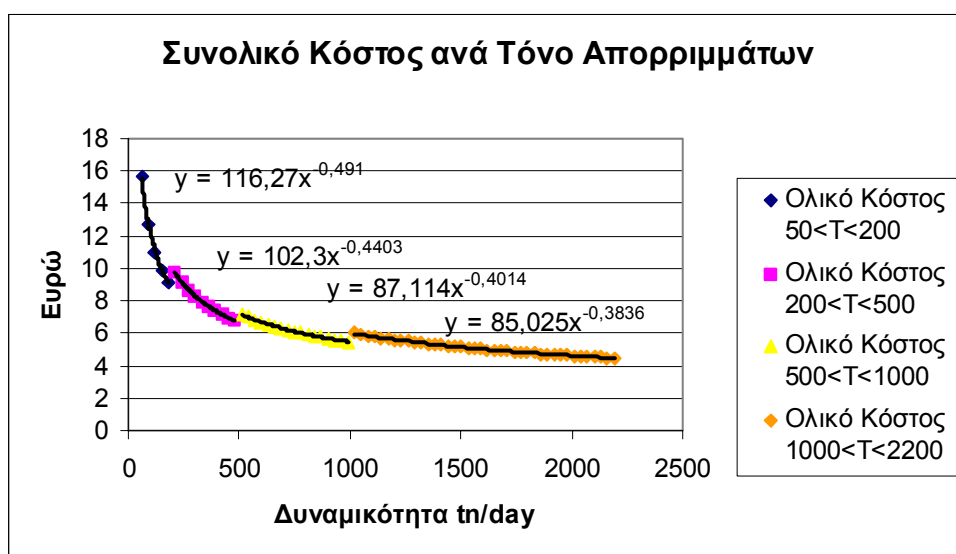
2.16 Ολικό κόστος ανά τόνο απορριμμάτων μέχρι το τέλος Λειτουργίας

Στην παρούσα παράγραφο θα υπολογίσουμε το κόστος κάθε τόνου απορριμμάτων που διαχειρίζεται ένας ΧΥΤΑ μέχρι το τέλος και της περιόδου μεταφροντίδας.

Η συνολική ποσότητα που θα διαχειριστεί ένας ΧΥΤΑ με ημερήσια δυναμικότητα Α είναι $\Sigma T = 20 \cdot 365 \cdot A$ (20 έτη λειτουργίας). Και τα συνολικά έξοδα του ΧΥΤΑ, συμπεριλαμβανομένης και της περιόδου μεταφροντίδας, είναι το άθροισμα του αρχικού κατασκευαστικού κόστους, του συνολικού κόστους λειτουργίας και του συνολικού κόστους μεταφροντίδος. Ισχύει δηλαδή με

$$K_{\text{Ολικό}} = K_{\text{αρχικόΚατασκευαστικό}} + 3 \cdot K_{\text{επέκτασης}} + 20 \cdot K_{\text{Ετ.Λειτουργίας}} + K_{\text{Ολ.Μεταφροντίδας}}$$

Αν δημιουργήσουμε την γραφική παράσταση του συνολικού κόστους κάθε τόνου απορριμμάτων, δηλαδή της ποσότητας $K_{\text{ολικό}}/\Sigma T$, σε σχέση με την ημερήσια δυναμικότητα έχουμε



Γράφημα 2.19: Ολικό Κόστος ανά Τόνο Απορριμμάτων

Στο γράφημα παρουσιάζεται το συνολικό κόστος κάθε τόνου απορριμμάτων που εναποτίθεται στον ΧΥΤΑ. Παρατηρούμε πως για ΧΥΤΑ με δυναμικότητα από 50 έως 100 τόνους ανά ημέρα, η καμπύλη του κόστους φθίνει πολύ γρήγορα. Ενώ για ΧΥΤΑ, με δυναμικότητα μεγαλύτερη από 1000 τόνους ελαττώνεται η κλίση της καμπύλης. Γίνεται λοιπόν κατανοητό το οικονομικό όφελος από την λειτουργία ΧΥΤΑ, με μεγάλη δυναμικότητα.

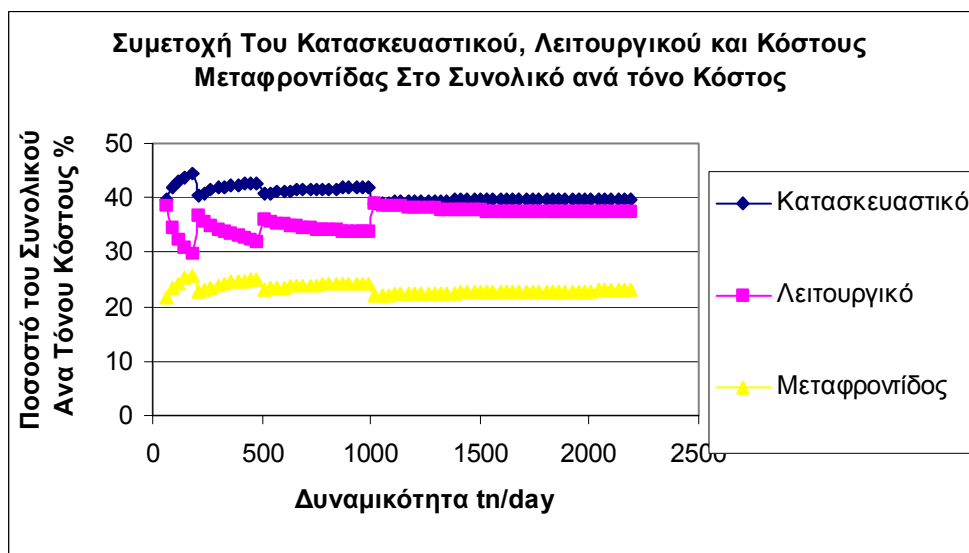
Για κάθε κατηγορία δυναμικότητας, το κόστος ανά τόνο απορριμμάτων θα δίνεται από διαφορετική συνάρτηση. Στον Πίνακα 2.9 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις κόστους ανά τόνο απορριμμάτων.

	Ημερήσια Δυναμικότητα ΧΥΤΑ σε tn/day			
	Μέχρι 200	200-500	500-1000	1000-4000
Συνάρτηση Συνολικού Κόστους Ανά Τόνου Απορριμμάτων	$116.27 \cdot T^{-0.401}$	$102.3 \cdot T^{-0.4403}$	$87.114 \cdot T^{-0.4014}$	$85.025 \cdot T^{-0.3836}$

Πίνακας 2.8 Συνολικό Κόστος ανά Τόνο Απορριμμάτων.

Στο Γράφημα 2.19 παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής κάθε επιμέρους κόστους, στο συνολικό ανά τόνο απορριμμάτων, για όλη την διάρκεια ζωής του

ΧΥΤΑ. Βλέπουμε πως το κόστος της μεταφροντίδας παραμένει σχεδόν σταθερό και κυμένεται γύρω στο 20% του συνολικού. Από την άλλη το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος συγκλίνουν περίπου στο ίδιο ποσοστό για δυναμικότητες μεγαλύτερη από 1000 tn/day. Για δυναμικότητες μικρότερες από 1000 tn/day το λειτουργικό είναι μικρότερο από το κατασκευαστικό.



Γράφημα 2.20 Ποσοστό επιμέρους κόστους επί του Συνολικού ανά Τόνο

2.17 Σύγκριση αποτελεσμάτων Συναρτήσεων με Γνωστά Κόστη ΧΥΤΑ.

Αν δοκιμάσουμε την εξίσωση του ολικού κατασκευαστικού κόστους, για ημερήσια δυναμικότητα 151 tn/day τότε το κατασκευαστικό κόστος του ΧΥΤΑ θα είναι 4.745.606 ευρώ. Ο ΧΥΤΑ Λάρισας με την ίδια δυναμικότητα κόστισε 4.402.054 ευρώ [5] το 1998. Αν υπολογιστεί το ποσό για το 2003 με βάση την μεταβολή του δείκτη τιμών εργολάβων, τότε είναι 4.830.691. Βλέπουμε πως η τιμή που υπολογίζεται είναι πολύ κοντά με την πραγματική. Βέβαια ο ΧΥΤΑ Λάρισας υπολογίζεται να λειτουργήσει για 25 χρόνια και όχι για 20, που ήταν η υπόθεση για την δημιουργία των συναρτήσεων.

Χρησιμοποιούμε τον ΧΥΤΑ Λάρισας σαν παράδειγμα γιατί είναι από τους καλύτερα οργανωμένους ΧΥΤΑ στην Ελλάδα. Το παράδειγμα δίνεται με κάθε επιφύλαξη, καθώς οι προϋπολογισμοί των ΧΥΤΑ που αναφέρονται στην [5] εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις και το δείγμα είναι περιορισμένο για ασφαλή

συμπεράσματα. Επίσης για να γίνει η σύγκριση θα πρέπει ο κατασκευασμένος ΧΥΤΑ να έχει προσδοκώμενη διάρκεια λειτουργίας τα 20 έτη και να ακολουθεί την σχεδίαση που υποθέσαμε.

Ο ίδιος ΧΥΤΑ (Λάρισας) θα έχει ετήσιο λειτουργικό κόστος για την περίοδο λειτουργίας 168.494 ευρώ, με βάση τις συναρτήσεις του Πίνακα 2.8. Ενώ ο κάθε τόπος απορριμμάτων που εισέρχεται στον ΧΥΤΑ θα κοστίζει 14,74 Ευρώ. Από την [5] βλέπουμε πως ο ΧΥΤΑ Λάρισας έχει ετήσιο λειτουργικό κόστος 820.000 Ευρώ. Η διαφορά είναι πολύ μεγάλη μεταξύ των υπολογιζόμενων τιμών και των δηλωμένων, από τον Φορέα διαχείρισης του έργου. Η διαφορά μπορεί να οφείλεται στο ότι στον ΧΥΤΑ Λάρισας, λειτουργεί ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των στραγγισμάτων, κάτι που δεν έχουμε υπολογίσει στις συναρτήσεις κόστους. Από την άλλη ο ΧΥΤΑ Πατραίων στην [5] δηλώνει ετήσιο λειτουργικό κόστος 293.000 ευρώ και έχει ημερήσια δυναμικότητα 220 tn/day. Το υπολογιζόμενο από τις συναρτήσεις είναι 278.771 Ευρώ, πάρα πολύ κοντά στο πραγματικό. Ο ΧΥΤΑ Πατραίων δεν διαθέτει σύστημα επεξεργασίας στραγγισμάτων, οπότε ακολουθεί την σχεδίαση που υποθέσαμε.

Γενικά εμφανίζεται μεγάλη διαφορά στα λειτουργικά κόστη που δηλώνονται στους ήδη λειτουργούντες ΧΥΤΑ. Κατά συνέπεια είναι πολύ δύσκολο να υπάρξουν ασφαλή συμπεράσματα, αλλά πιστεύουμε πως τα υπολογιζόμενα κόστη των συναρτήσεων είναι πολύ κοντά στα πραγματικά. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα το ΧΥΤΑ Καβάλας ο οποίος με ημερήσια δυναμικότητα 70 tn έχει ετήσια λειτουργικά έξοδα 34.000 Ευρώ. Το κόστος αυτό σημαίνει ότι, είτε ο ΧΥΤΑ υπολειτουργεί, είτε το ποσό αυτό δεν είναι αληθές. Το αντίστοιχο ποσό από τις συναρτήσεις του Πίνακα 2.8 είναι 136.365 ευρώ. Συγκρίνοντας το, με το λειτουργικό κόστος του ΧΥΤΑ Πατραίων, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το υπολογιζόμενο, είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα από το δηλωθέν.

Για να συγκριθούν όλα τα διαθέσιμα κατασκευαστικά κόστη από την [5], με τα αποτελέσματα της συνάρτησης του ολικού κατασκευαστικού κόστους της παραγράφου 2.15.2, μετατρέπουμε αρχικά τα γνωστά κόστη σε έτος αναφοράς το 2003 (Πίνακας 2.9).

ΧΥΤΑ	Συνολικός Όγκος	Κόστος σε Ευρώ για έτος αναφοράς το 2003	Κόστος ανά m ³
Δ.Πατραίων	2100000	6747102.928	3.212906156
Δ.Ζακύνθου	245000	1709282.895	6.976664878
Ν.Κεφαλλονιάς	170000	1459353.774	8.584433965
Λάρισας	3240000	5113286.944	1.578174983
Καβάλας	518300	1718064.413	3.314806894
Ξάνθης	120000	1353289.283	11.27741069
Ρεθύμνου	290000	4744934.875	16.3618444
Λαμίας	2600000	1353289.283	0.520495878
Βόλου	2800000	2544164.186	0.908630066

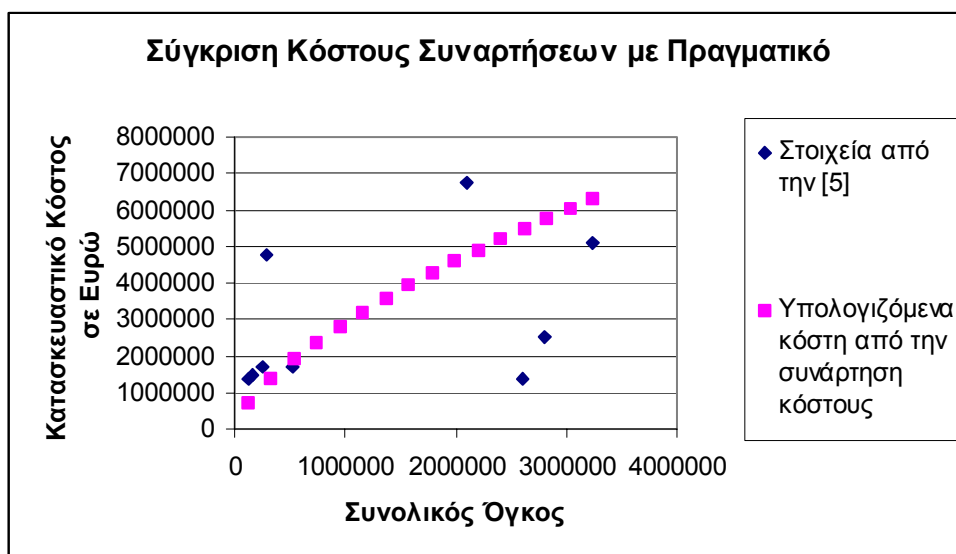
Πίνακας 2.9 Κατασκευαστικά Κόστη από την [5]

Επειδή για τους κατασκευασμένους γνωρίζουμε τον ολικό διαθέσιμο όγκο, πρέπει να μετατρέψουμε την συνάρτηση του κατασκευαστικού κόστους, έτσι ώστε η μεταβλητή να είναι ο ολικός ωφέλιμος όγκος. Η συνάρτηση (22) στην παράγραφο 2.4 μας δίνει την ημερήσια δυναμικότητα σε σχέση με τον ωφέλιμο όγκο, αντικαθιστώντας στην συνάρτηση του ολικού κατασκευαστικού έχουμε

$K_{\text{κατασκευαστικό}} = 173714 * (V_{\text{ωφΟλ}} * d * 0.85 / T_{\text{λειτουργίας}})^{0.6628}$ το d το ορίσαμε ίσο με 0.6 tn/m^3 και το $T_{\text{λειτουργίας}} = 7300$ μέρες. Έτσι η παραπάνω εξίσωση γίνεται τελικά

$$K_{\text{κατασκευαστικό}} = 305,77 * V_{\text{ωφΟλ}}^{0.6628}$$

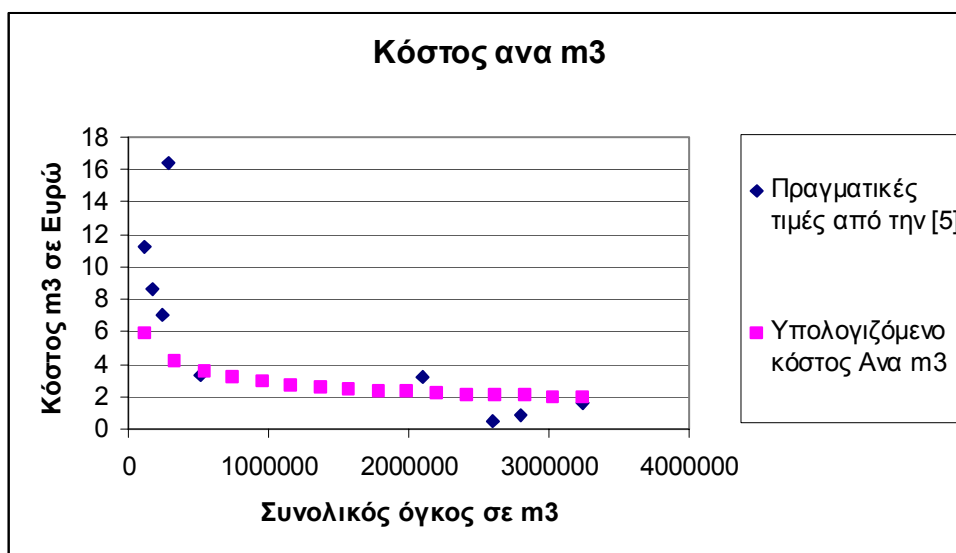
Δημιουργώντας την γραφική παράσταση την εξίσωσης κόστους ως προς των όγκο και τοποθετώντας στο ίδιο διάγραμμα τα στοιχεία του Πίνακα 2.9 έχουμε το γράφημα 2.21



Γράφημα 2.21 Σύγκριση πραγματικών στοιχείων με τα υπολογιζόμενα θεωρητικά

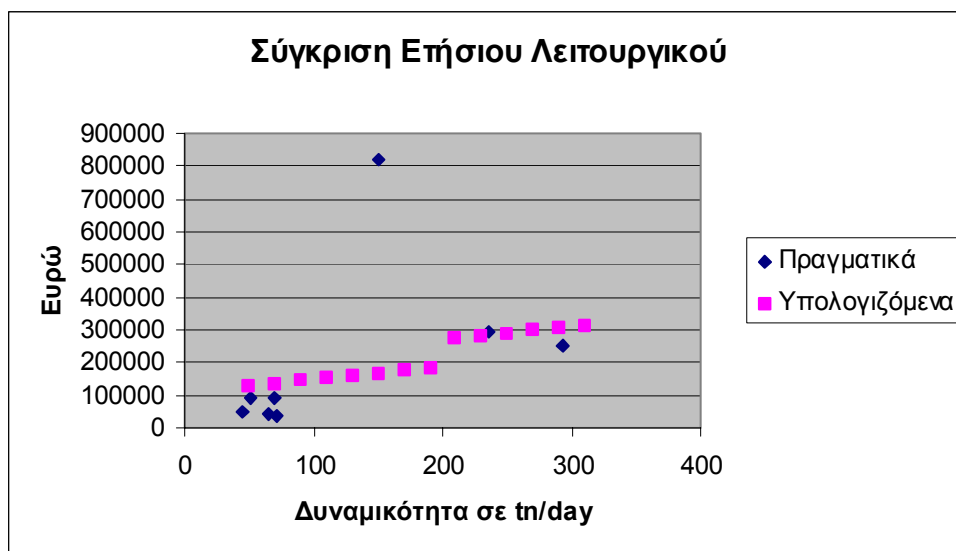
Παρατηρούμε πως το κόστος που υπολογίζει η συνάρτηση διέρχεται ανάμεσα από τα σημεία των πραγματικών. Γενικά δεν μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια το κόστος καθώς επιδρούν πολύ αστάθμητοι παράγοντες στην διαμόρφωση του. Ο σημαντικότερος είναι η έκπτωση του εργολάβου στην δημοπράτηση του έργου. Εμείς έχουμε υποθέσει έκπτωση 30% επί των τιμών της [10]. Οπότε με διαφορετικό ποσοστό έκπτωσης η γραφική παράσταση θα μετακινείται παράλληλα είτε προς τα επάνω σε περίπτωση μικρότερης έκπτωσης από 30%, είτε προς τα κάτω σε περίπτωση μεγαλύτερης από 30%. Εδώ πρέπει να πούμε πως η έκπτωση της δημοπράτησης δεν καθορίζεται από το μέγεθος του έργου. Έχει παρατηρηθεί πως σε μεγαλύτερα έργα δίνονται μικρότερες εκπτώσεις, καθώς οι εταιρείες που μπορούν να συμμετάσχουν στον διαγωνισμό είναι πιο λίγες. Υπάρχει βέβαια και το πρόβλημα των ελάχιστων δεδομένων που έχουμε.

Στο γράφημα 2.22 παρουσιάζεται το ανά m^3 κατασκευαστικό κόστος. Βλέπουμε πως η συνάρτηση κόστους παρουσιάζει μεγάλες διαφορές για τα κόστη των ΧΥΤΑ με μικρή χωρητικότητα. Ενώ αντίθετα είναι αρκετά κοντά στους ΧΥΤΑ με μεγαλύτερη χωρητικότητα. Από τα 9 σημεία πραγματικά που έχουμε, η συνάρτηση βρίσκεται πολύ κοντά στα 6. Τα κόστη που έχουν μεγάλη απόκλιση είναι των ΧΥΤΑ Ρεθύμνου, Ξάνθης και Κεφαλονιάς.



Γράφημα 2.22 Κατασκευαστικό Κόστος ανά m^3

Η σύγκριση του λειτουργικού που παρουσιάζεται στην [5] σε σχέση με τις συναρτήσεις δίνεται στο παρακάτω γράφημα



Βλέπουμε πως οι συναρτήσεις είναι πολύ κοντά σε ορισμένα πραγματικά. Το μοναδικό σημείο που διαφέρει πολύ ανήκει στον ΧΥΤΑ Λάρισας, ο οποίος είναι και ο μοναδικός με σύστημα διαχείρισης των απορριμμάτων.

2.18 Επίδραση Βάθους Εκσκαφών Στο Ανά Τόνο Κόστος.

Στην παράγραφο 2.2.2 ορίσαμε το βάθος εκσκαφών ίσο με 5 m, για τον υποθετικό ΧΥΤΑ. Θεωρήσαμε πως είναι ένα μέσο βάθος. Το βάθος όμως των εκσκαφών μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 15 μέτρα ή και περισσότερο. Στην παρούσα παράγραφο θα εξετάσουμε την επιρροή των εκσκαφών στο κόστος.

Θα χρησιμοποιηθούν οι μοναδιαίες τιμές από τον προϋπολογισμό του ΧΥΤΑ Κομοτηνής. Υποθέτουμε πως η βάση του απορριμματικού ανάγλυφου είναι τετράγωνη και για τα 20 στρέμματα της έκτασης του, έχει μήκος πλευρών 140 m.

Θα ασχοληθούμε μόνο με το κόστος κατασκευής της λεκάνης του ΧΥΤΑ, αφού όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του, είναι ανεξάρτητα του βάθους εκσκαφών. Ο συνολικός διαθέσιμος όγκος θα είναι το άθροισμα του όγκου των εκσκαφών συν τον εξωτερικό ωφέλιμο όγκο.

Ο όγκος των εκσκαφών δίνεται από τον τύπο (4) μόνο που τώρα η πλευρά Π είναι σταθερή και ίση με 140 m και αντί για βάθος ίσο με 5 m, έχουμε την μεταβλητή h. Ο όγκος των εκσκαφών θα είναι λοιπόν

$$V_{\text{εκσκ}} = \frac{1}{18} * (140)^3 - \frac{1}{18} * (140 - 6 * h)^3$$

και ο ωφέλιμος όγκος των εκσκαφών

$$V_{\Omega_{\text{εκσκ}}} = \frac{1}{18} * (140 - 3.6)^3 - \frac{1}{18} * (140 - 3.6 - 6 * (h - 0.6))^3$$

Ενώ ο εξωτερικός όγκος θα δίνεται από τον τύπο

$$V_{\text{Εξωτερικός}} = \frac{1}{18} * (140 - 3.6)^3 - 1500$$

Το εμβαδόν της μόνωσης θα είναι με βάση την σχέση (27)

$$E_{\text{πρανών}} = 4 * \frac{\sqrt{10}}{12} * ((140 - 3.6)^2 - (140 - 3.6 - 6 * (h - 0.6))^2) + (140 - 3.6 - 6 * (h - 0.6))^2$$

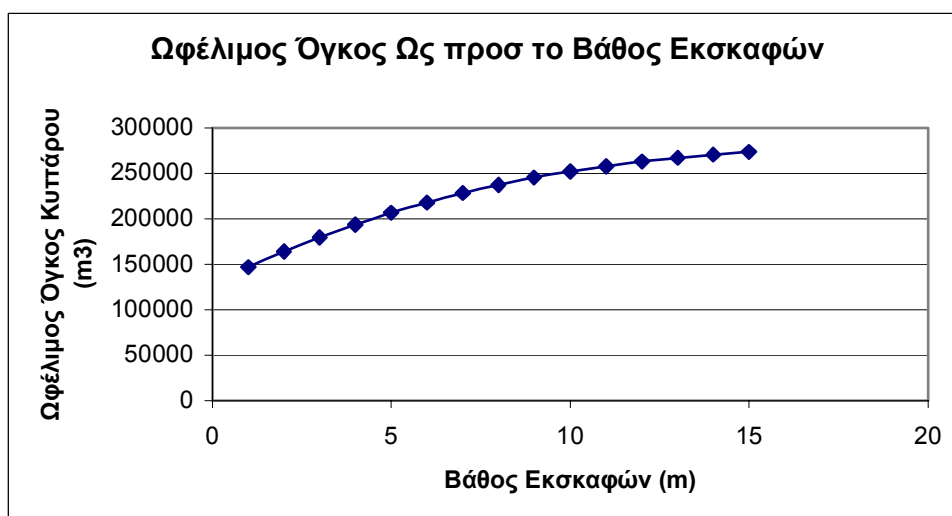
Το κόστος κατασκευής της λεκάνης του ΧΥΤΑ είναι

$$K_{\text{Λεκάνης}} = V_{\text{εκσκ}} * A * M_{\text{εκσκ}} + E_{\text{πρανών}} * A * M_{\text{μόνωσης}} \text{ (χωρίς την ζώνη αποστράγγισης).}$$

Στον προϋπολογισμό του ΧΥΤΑ Κομοτηνής το μοναδιαίο κόστος των εκσκαφών είναι 1,21 ευρώ/m³ και το συνολικό κόστος της μόνωσης (αργιλική, γεωύφασμα, γεωμεμβράνη και άμμο προστασίας) είναι 12,20 ευρώ/m² και η αποστραγγιστική ζώνη μαζί με το σύστημα επεξεργασίας στοίχισε 223.037 ευρώ. Υποθέτοντας ότι το κόστος της αποστραγγιστικής ζώνης και του συστήματος επεξεργασίας στραγγισμάτων δεν μεταβάλλεται με το βάθος εκσκαφών, το συνολικό κόστος θα δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

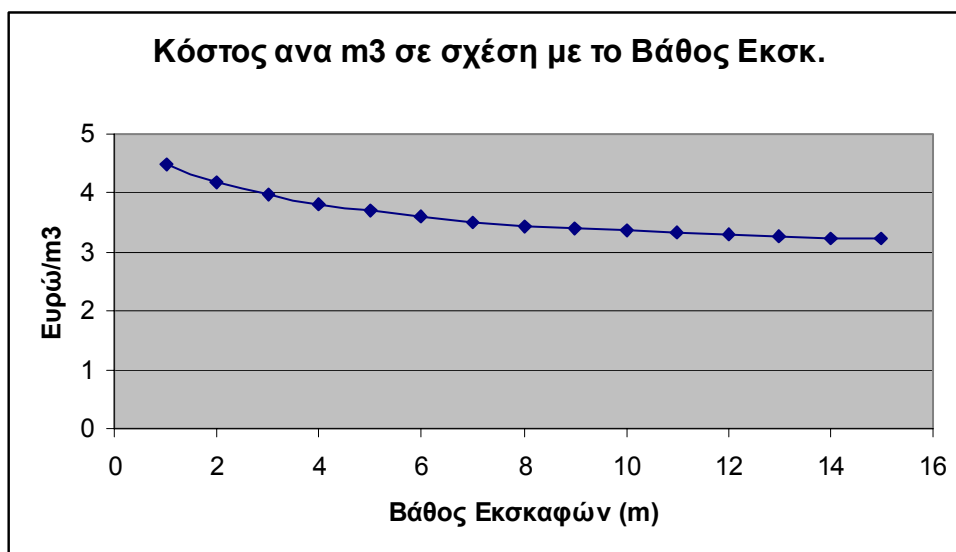
$$K_{\text{Λεκάνης}} = V_{\text{εκσκ}} * A * M_{\text{εκσκ}} + E_{\text{πρανών}} * A * M_{\text{μόνωσης}} + 223037 * A$$

Ο συνολικός όγκος $V_{\text{ολ}} = V_{\Omega_{\text{εκσκ}}} + V_{\text{Εξωτερικός}}$ είναι συνάρτηση του βάθους των εκσκαφών. Η γραφική του παράσταση δίνεται στο γράφημα 2.20. Παρατηρούμε ότι ο συνολικός διαθέσιμος όγκος του Κυττάρου σχεδόν διπλασιάζεται από βάθος 1 m σε βάθος 15 m.



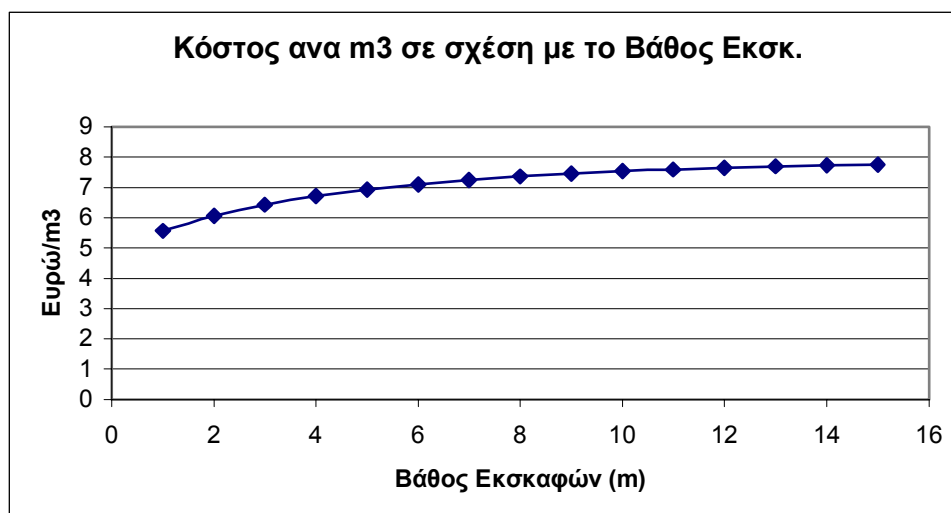
Γράφημα 2.23: Ωφέλιμος Όγκος σε σχέση με το βάθος εκσκαφών.

Η γραφική παράσταση του κόστους ανά διαθέσιμου m^3 ($K_{\text{Λεκάνης}} / V_{\text{ολ}}$), για τις παραπάνω μοναδιαίες τιμές, ως προς το βάθος εκσκαφών παρουσιάζεται στο γράφημα 2.22.



Γράφημα 2.24 Κόστος ανά m^3 για τιμή εκσκαφών 1.2 ευρώ/ m^3 .

Βλέπουμε πως με τις συγκεκριμένες μοναδιαίες τιμές, για εκσκαφές 15 m, το κυβικό κοστίζει 1,2 Ευρώ φθηνότερα, σε σχέση με το κόστος που έχουμε για βάθος 1 m. Το συγκεκριμένο κέρδος οφείλεται μόνο στα συστήματα που ορίσαμε προηγουμένως.. Το συνολικό κέρδος ανά τόνο θα είναι μεγαλύτερο, αν λάβουμε υπ' όψιν το κόστος της εξωτερικής κάλυψης που δεν μεταβάλλεται καθόλου. Άρα το συνολικό ανά τόνο κόστος θα μειώνεται ακόμα περισσότερο. Για τις παραπάνω τιμές συμφέρει οικονομικά η εκσκαφή μέχρι το βάθος που επιτρέπει ο υδροφόρος ορίζοντας. Σε περίπτωση όμως που το υπέδαφος ήταν βραχώδες και η εκσκαφή κόστιζε 7.3 ευρώ/ m^3 , το κόστος ανά τόνο δίνεται στο γράφημα 2.22.



Γράφημα 2.25: Κόστος ανά m^3 για τιμή εκσκαφών 7.3 ευρώ/ m^3

Παρατηρούμε πως το κόστος ανά m^3 αυξάνεται σημαντικά. Το βέλτιστο βάθος εκσκαφών καθορίζεται αποκλειστικά από το τύπο του υπεδάφους, δηλαδή από την μοναδιαία τιμή ανά m^3 των εκσκαφών. Όπως είδαμε για έδαφος βραχώδες, δεν συμφέρει οικονομικά η εκσκαφή της λεκάνης, ενώ αντίθετα για έδαφος γαιώδες καλό θα είναι να γίνεται εκσκαφή της λεκάνης μέχρι το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα.

3. Υπολογισμός Στραγγισμάτων Με Χρήση του μοντέλου HELP

3.1 Παρουσίαση του Μοντέλου

3.1.2 Εισαγωγή

Το πρόγραμμα HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) είναι ένα πολύ γρήγορο και οικονομικό εργαλείο στα χέρια των μελετητών ενός ΧΥΤΑ. Με αυτό μπορούν να εκτιμήσουν τις επιπτώσεις που θα έχουν, οι οποιασδήποτε αλλαγές στην σχεδίαση του ΧΥΤΑ. Με το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί ο ρόλος που παίζει κάθε επιμέρους στοιχείο του ΧΥΤΑ στο υδατικό ισοζύγιο, στον όγκο των στραγγισμάτων, καθώς επίσης και στον υπολογισμό του ύψους της πιεζομετρικής γραμμής επάνω από τα συστήματα μόνωσης του χώρου. Με τα αποτελέσματα μπορούμε να υπολογίσουμε, την επίπτωση που θα έχει στην παραγωγή στραγγισμάτων, κάθε διαφορετική σχεδιαστική στρατηγική. Τέλος με τα αποτελέσματα του μοντέλου μπορούμε να διαστασιολογίσουμε το σύστημα αποστράγγισης, συλλογής και επεξεργασίας των στραγγισμάτων.

Το πρόγραμμα χρειάζεται καιρικά και σχεδιαστικά στοιχεία για να υπολογίσει της αναμενόμενες ημερήσιες υδατικές μάζες που κινούνται μέσα στο σώμα του ΧΥΤΑ. Για να υπολογίσει το υδατικό ισοζύγιο το πρόγραμμα λαμβάνει υπ' όψιν του την ημερήσια βροχόπτωση, την χιονόπτωση, την απορροή, την διείσδυση του νερού, την επιφανειακή εξάτμιση, την εξατμισοδιαπνοή, την υγρασία στα διάφορα στρώματα του ΧΥΤΑ, την διαρροή από την μόνωση και την συλλογή από την αποστραγγιστική στρώση μέσω του συστήματος συλλογής και επανακυκλοφορίας.

Το μοντέλο χρησιμοποιεί τρεις τύπους δεδομένων : καιρικών, σχεδιαστικών και δεδομένα που έχουν να κάνουν με τον τύπο του εδάφους που έχουμε. Το μοντέλο δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε δεδομένα που ήδη έχει για διάφορες πόλεις και περιοχές των ΗΠΑ καθώς επίσης και να εισάγουμε δεδομένα κατευθείαν από κρατικούς οργανισμούς των ΗΠΑ. Για την περίπτωση που το μοντέλο χρησιμοποιείται εκτός ΗΠΑ ο χρήστης θα πρέπει να εισαγάγει τα δεδομένα μόνος του, είτε χειρονακτικά είτε από αρχείο ASCII, το οποίο μπορεί να φανεί χρήσιμο σε περίπτωση που έχουμε τα στοιχεία σε κάποιο φύλλο εργασίας (π.χ. EXCEL).

Στην παρούσα εφαρμογή τα στοιχεία εισάγονται σε μορφή αρχείου ASCII.

3.1.3 Μετεωρολογικά στοιχεία

Στοιχεία Εξατμισοδιαπνοής

Τα στοιχεία που για την εξατμισοδιαπνοή που χρειάζεται το μοντέλο είναι τα εξής

- **Τοποθεσία.** Η τοποθεσία του σχεδιαζόμενου ΧΥΤΑ ζητείται από το μοντέλο για αρχειακούς λόγους και δεν παίζει κανένα ρόλο στην λειτουργία του μοντέλου.
- **Βάθος ζώνης εξάτμισης.** Η ζώνη εξάτμισης είναι το μεγαλύτερο βάθος από το οποίο το νερό μπορεί να αφαιρεθεί μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Το μοντέλο δεν επιτρέπει το βάθος εξάτμισης να είναι μεγαλύτερο από το βάθος του ανώτερου τμήματος της μόνωσης (π.χ. του στρώματος αργίλου που χρησιμοποιείται για μόνωση της τελικής στρώσης του ΧΥΤΑ). Ομοίως το βάθος της εξάτμισης δεν θα πρέπει να φτάνει πολύ βαθιά στην ζώνη αποστράγγισης της τελικής στρώσης. Όταν υπάρχει βλάστηση η τιμή του βάθους εξάτμισης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με το βάθος που φτάνουν οι ρίζες της βλάστησης. Στην πραγματικότητα το βάθος εξάτμισης είναι λίγο μεγαλύτερο από το βάθος που φτάνουν οι ρίζες της βλάστησης. Σε περίπτωση όπου δεν έχουμε βλάστηση το βάθος εξάτμισης εξαρτάται από το τύπο του εδάφους. Για άμμο κυμαίνεται από 4 μέχρι 8 in, σε λασπώδη εδάφη από 8 μέχρι 18 in και σε αργιλικά από 12 μέχρι 60 in. Σε περίπτωση που έχουμε βλάστηση το βάθος εξάτμισης εξαρτάται από πολλές μεταβλητές: είδος βλάστησης, είδος εδάφους, πυκνότητα βλάστησης κτλ. Γενικά για το γρασίδι σε υγρά κλίματα έχουμε ένα βάθος εξάτμισης από 6 μέχρι 24 in, ενώ σε ξηρά από 6 μέχρι 48 in.
- **Δείκτης μέγιστης περιοχής φυλλώματος.** Ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει έναν αδιάστατο αριθμό ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από το φύλλωμα της βλάστησης, σε σχέση με την συνολική περιοχή που καταλαμβάνει η βλάστηση. Ο αριθμός αυτός για γυμνό έδαφος είναι μηδέν. Για φτωχό γρασίδι μπορεί να φτάσει το 1.0, για καλό γρασίδι μπορεί να φτάσει το 3.5 και για πολύ καλής ποιότητας γρασίδι το 5.0. Σε περίπτωση που έχουμε θάμνους ή δέντρα επίσης παίρνει μια τιμή κοντά στο

5.0. Οι περισσότεροι ΧΥΤΑ συνήθως έχουν τιμή στην καλύτερη περίπτωση 2.0 με πιο συνηθισμένη τιμή την 1.0.

- **Ημέρες έναρξης και λήξης της περιόδου ανάπτυξης της βλάστησης που έχουμε.** Τυπικά η μέρα έναρξης της ανάπτυξης της βλάστησης για το γρασίδι είναι η μέρα κατά την οποία η μέση ημερήσια θερμοκρασία φτάνει τους 50 με 55 Fahrenheit. Ενώ η περίοδος λήξης είναι όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία πέσει κάτω από 50 με 55 Fahrenheit. Οι ημέρες ορίζονται με έναν αριθμό από το 0 μέχρι το 365, με το 0 να είναι η πρώτη μέρα του χρόνου και το 365 η τελευταία.
- **Μέση κανονική ετήσια ταχύτητα ανέμου.** Μπορεί πολύ εύκολα να βρεθεί από στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.
- **Κανονική μέση σχετική υγρασία τριμήνου.** Επίσης μπορεί να βρεθεί εύκολα από στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.

Στοιχεία Ατμοσφαιρικής Κατακρήμνισης.

Ο χρήστης μπορεί να εισαγάγει χειρονακτικά, ημερήσια στοιχεία βροχόπτωσης για ένα μέχρι 100 χρόνια. Ο χρήστης μπορεί να προσθέσει, να σβήσει ή να αλλάξει την σειρά των ετήσιων στοιχείων. Το ίδιο μπορεί να κάνει και με τα ημερήσια στοιχεία κάθε έτους έτσι ώστε να μπορεί να προσθέσει περιστατικά βροχόπτωσης εικοσαετίας. Εναλλακτικά ο χρήστης μπορεί να εισαγάγει αρχεία ASCII με ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης. Το κάθε αρχείο πρέπει να έχει δεδομένα για μία χρονιά. Τα δεδομένα χωρίζονται στο αρχείο ASCII με ένα κενό.

Επιπλέον στοιχεία για καθαρά λόγους ευκολίας του χρήστη είναι η χρονολογία και η τοποθεσία του χώρου.

Στοιχεία Θερμοκρασίας και Στοιχεία ηλιακής ακτινοβολίας

Όπως και με τα δεδομένα βροχόπτωσης ο χρήστης θα πρέπει να εισαγάγει ημερήσιες μέσες θερμοκρασίες και ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία από ένα μέχρι 100 χρόνια. Ο τρόπος εισαγωγής γίνεται όπως και με τα στοιχεία της βροχόπτωσης.

3.2.4 Στοιχεία σχεδιασμού και εδάφους.

Γενικά

Ένα από τα σημαντικότερα δεδομένα που πρέπει να δώσουμε στο μοντέλο είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά των στρώσεων που αποτελούν τον ΧΥΤΑ. Το

μοντέλο δέχεται τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες στρώσεων : 1) στρώση κάθετης διήθησης 2) στρώση αποστράγγισης 3) στρώση εδαφικής μόνωσης και 4) στρώση γεωμεμβράνης. Ανάλογα με το τι είδους στρώσης έχουμε το μοντέλο χρησιμοποιεί και διαφορετικές εξισώσεις για να περιγράψει την κίνηση του ύδατος μέσα στο σώμα του ΧΥΤΑ. Εδώ θα πρέπει να αναλύσουμε τι εννοούμε με τους παραπάνω όρους

Με τον όρο στρώση κάθετης διήθησης το μοντέλο ορίζει τα τμήματα του ΧΥΤΑ στα οποία η ροή του ύδατος είναι κάθετη και πραγματοποιείται κυρίως από την επίδραση της βαρύτητας. Τέτοιες στρώσεις είναι η στρώση των απορριμμάτων ή η εξωτερική στρώση του ΧΥΤΑ, η οποία είναι σχεδιασμένη για την υποστήριξη της βλάστησης. Ο ρυθμός της διήθησης είναι εξαρτάται από την υγρασία της στρώσης αλλά και από τα χαρακτηριστικά της. Όταν το μοντέλο ζητάει την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα τότε θα πρέπει να δίνουμε την κάθετη υδραυλική αγωγιμότητα, σε περίπτωση ανισοτροπικής στρώσης.

Οι στρώσεις αποστράγγισης είναι οι στρώσεις οι οποίες βρίσκονται ακριβώς επάνω από τις στρώσεις της μόνωσης και είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να οδηγούν τα στραγγίσματα μέσω του συστήματος συλλογής εκτός του κυρίως σώματος του ΧΥΤΑ. Το μοντέλο ζητάει την κλίση του αποστραγγιστικού συστήματος και μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 50 %. Το μήκος της αποστράγγισης είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ της κορυφής της κλίσης και του αγωγού συλλογής. Επίσης σε αυτό το είδος των στρώσεων το πρόγραμμα επιτρέπει να ορίσουμε ποιο ποσοστό των στραγγισμάτων που συλλέγει, επανακυκλοφορείται και σε ποια στρώση πηγαίνει η επανακυκλοφορία.

Οι στρώσεις μόνωσης που ορίζει το μοντέλο είναι οι στρώσεις που σκοπό έχουν να περιορίσουν την κάθετη διήθηση των στραγγισμάτων. Η υδραυλική αγωγιμότητα της μόνωσης θα πρέπει να είναι μικρότερη από αυτήν των άλλων στρώσεων. Το πρόγραμμα θεωρεί ότι η στρώσεις της μόνωσης είναι κορεσμένες, ότι δεν υπάρχει εξατμισοδιαπνοή αλλά και ούτε οριζόντια κίνηση του ύδατος μέσα σε αυτές. Η κίνηση των στραγγισμάτων γίνεται μόνο σε κάθετη κατεύθυνση μέσα από το σώμα της μόνωσης.

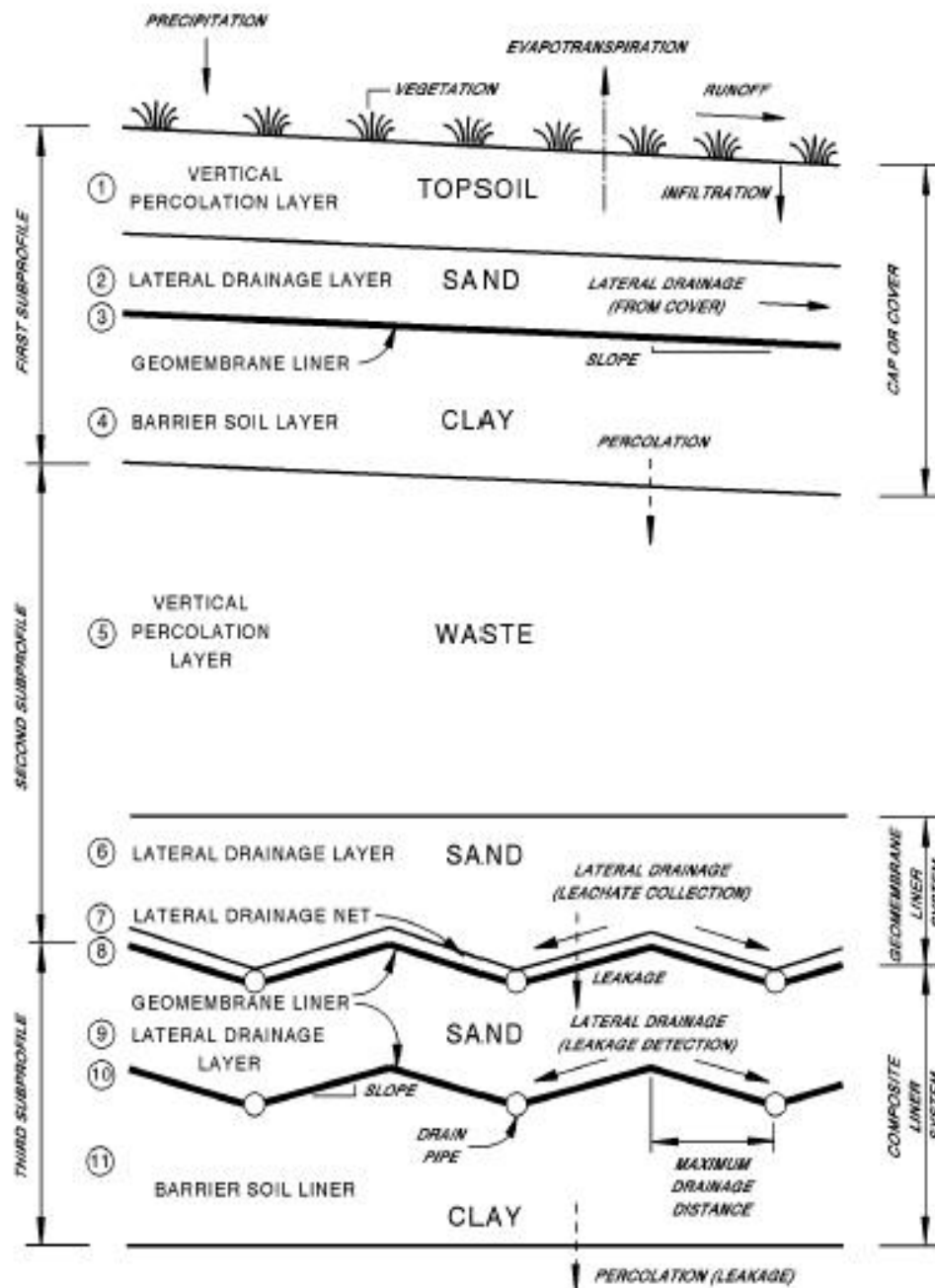
Ο τέταρτος και τελευταίος τύπος στρώσεως που επιτρέπει το HELP είναι οι γεωμεμβράνες. Το μοντέλο θεωρεί ότι έχουμε διαρροή από την γεωμεμβράνη μόνο όταν υπάρχει κάποιο ύψος ύδατος πάνω από την επιφάνεια της, όταν δηλαδή η στρώση αποστράγγισης είναι κορεσμένη. Αναλυτικότερα τα στοιχεία που απαιτούνται για την γεωμεμβράνη δίνονται παρακάτω.

Απαιτούμενα χαρακτηριστικά εδάφους

Ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα χαρακτηριστικά των στρώσεων, χρησιμοποιώντας στοιχεία από την βάση δεδομένων που διαθέτει το μοντέλο για τυπικές τιμές διαφορών εδαφών. Η βάση δεδομένων του προγράμματος περιέχει δεδομένα για διάφορα είδη εδάφους (στρώσεων), όπως αργίλου, αστικών απορριμμάτων ή ακόμα και γεωμεμβρανών. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα, να φτιάξει ο χρήστης την δική του βάση δεδομένων ή ακόμα και να εισάγει δεδομένα μόνος του. Για να χρησιμοποιήσουμε τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία, το μόνο που απαιτείται είναι να επιλέξουμε ένα από την λίστα που μας δίνει το μοντέλο. Στην περίπτωση τώρα που θέλουμε να εισάγουμε δικά μας στοιχεία τότε τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που πρέπει να ορίσουμε είναι:

- **Κατά όγκο περιεκτικότητα της στρώσης σε νερό.** (Soil Water Storage) Ο όγκος του ύδατος ως προς τον όγκο που καταλαμβάνει η στρώση. Η συγκεκριμένη τιμή, ακόμα και στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε τα δεδομένα του μοντέλου, πρέπει να οριστεί από τον χρήστη. Αν δεν είναι γνωστή το πρόγραμμα υπολογίζει την τιμή αυτή σε σταθερή κατάσταση (steady-state) και μετά τρέχει την προσομοίωση για περίοδο ενός χρόνου. Οι τιμές στο τέλος αυτής της προσομοίωσης, χρησιμοποιούνται σαν αρχικές για ολόκληρη την περίοδο της προσομοίωσης.
- **Το πορώδες της στρώσης** (Total Porosity). Ο όγκος του νερού ως προς τον ολικό όγκο της στρώσης σε συνθήκες κορεσμού.
- **Field Capacity.** Ο όγκος του νερού ως προς τον συνολικό όγκο της στρώσης αφού εφαρμοστεί κενό αέρος υποπίεσης 1/3 bar στην στρώση με σκοπό την αποστράγγιση της.
- **Wilting Point.** Η μικρότερη δυνατή κατά όγκο περιεκτικότητα της στρώσης, που μπορεί να επιτευχθεί με την εξατμισοδιαπνοή των φυτών και αντιστοιχεί στην υγρασία του εδάφους κατά την οποία όλα τα φυτά μαραίνονται. Η συγκεκριμένη περιεκτικότητα επιτυγχάνεται με κενό αέρος υποπίεσης 15 bar.
- **Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα.**

Τα παραπάνω στοιχεία απαιτούνται για όλα τα είδη των στρώσεων και εδαφών εκτός αν πρόκειται για στρώση γεωμεμβράνης. Για τις γεωμεμβράνες απαιτείται μόνο η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας καθώς και άλλα κατασκευαστικά στοιχεία.



Σχήμα 3.1 Προφίλ Στρώσεων Σε έναν ΧΥΤΑ.

Απαιτούμενα χαρακτηριστικά γεωμεμβράνης.

Το HELP εκτός από το πάχος της μεμβράνης και την υδραυλική της αγωγιμότητα χρειάζεται και κάποια επιπλέον στοιχεία, που έχουν να κάνουν με τα σχεδιαστικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της στρώσης της μεμβράνης. Πρέπει να ορίσουμε στο πρόγραμμα τα παρακάτω στοιχεία:

Συναρτήσεις Κόστους και Υπολογισμός Όγκου Διασταλλαγμάτων, Διαρροών και Εκπομπών από 130 ΧΥΤΑ- Νικόλαος Γρηγορόπουλος

- **Pinhole Density.** Τον αριθμό των ατελειών (διάμετρος οπής ίση ή μικρότερη από το πάχος της μεμβράνης, υπολογίζεται περίπου 1 mm διάμετρος) ανά μονάδα εμβαδού της μεμβράνης. Συνήθως αυτές οι ατέλειες προέρχονται από κατασκευαστικά λάθη και ατέλειες στον πολυμερισμό του πλαστικού. Μια συνηθισμένη τιμή είναι 1 με 2 οπές ανά εκτάριο.
- **Installation Defect Density.** Είναι ο αριθμός των ατελειών και οπών στην επιφάνεια της μεμβράνης, οι οποίες προκλήθηκαν κατά την τοποθέτηση της μεμβράνης. Τέτοιες ατέλειες συναντώνται κυρίως στις συγκολλήσεις των φύλλων της μεμβράνης. Η κάθε οπή υπολογίζεται σε 1 cm² διάμετρο. Το εγχειρίδιο του προγράμματος παρέχει έναν οδηγό για να εκτιμηθεί η τιμή αυτή.

Ποιότητα Εγκατάστασης	Αριθμός οπών διαμέτρου > 1cm ²	Συχνότητα εμφάνισης σε XYTA
Τέλεια	Από 0 έως 1	10%
Καλή	1 μέχρι 4	40%
Αρκετά καλή	4 μέχρι 10	40%
Κακή	10 μέχρι 20	10%

- **Placement Quality:** Σε περίπτωση που αναφερθούν οπές, είτε από κατασκευαστικές ατέλειες είτε από λάθη εγκατάστασης, τότε θα πρέπει να ορίσουμε ακόμα μία τιμή που δείχνει την ποιότητα της εγκατάστασης της μεμβράνης. Οι διαθέσιμες τιμές είναι

Ποιότητα εγκατάστασης της γεωμεμβράνης	
1. Perfect	Το μοντέλο υποθέτει ότι υπάρχει τέλεια επαφή μεταξύ της μεμβράνης και της αργλικής μόνωσης
2. Excellent	Το μοντέλο υποθέτει εξαιρετική επαφή μεταξύ του εδάφους και της γεωμεμβράνης η οποία περιορίζει την διαρροή των στραγγισμάτων (συνήθως τέτοιου είδους εγκατάσταση επιτυγχάνεται μόνο σε εργαστήρια ή πειραματικές μονάδες
3. Good	Το μοντέλο υποθέτει καλές συνθήκες εγκατάστασης, με καλά προετοιμασμένο έδαφος και έλεγχο της

	γεωμεμβράνης έτσι ώστε να βεβαιωθεί η καλή επαφή της με το έδαφος.
4. Poor	Το μοντέλο κακή εγκατάσταση, όχι τόσο καλή προετοιμασία του εδάφους έτσι ώστε να έχουμε κακή επαφή της γεωμεμβράνης και του υποκείμενου εδάφους.
5. Worst Case	Το μοντέλο υποθέτει ότι η επαφή της γεωμεμβράνης με το έδαφος δεν περιορίζει την διαρροή στραγγισμάτων και ότι ο μόνος περιοριστικός παράγοντας είναι η ίδια η οπή.

3.2.5 Εξωτερικά χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ

Ο χρήστης θα πρέπει να δώσει τον συντελεστή απορροής για την εξωτερική επιφάνεια του ΧΥΤΑ ή να ορίσει ορισμένα στοιχεία έτσι ώστε το μοντέλο να μπορέσει να υπολογίσει μόνο του, τον συντελεστή αυτό. Το μοντέλο παρέχει τρεις επιλογές για τον υπολογισμό του συντελεστή απορροής

1. Να οριστεί ο συντελεστής από τον χρήστη.
2. Να ορίσει ο χρήστης ένα συντελεστή απορροής και το μοντέλο να τον προσαρμόσει σύμφωνα με την κλίση και το μήκος της επιφάνειας του ΧΥΤΑ
3. Να υπολογίσει μόνο του τον συντελεστή απορροής με βάση την κλίση της επιφάνειας του ΧΥΤΑ, το μήκος της κλίσης, τον τύπο του εδάφους της επιφανειακής στρώσης και την κάλυψη της βλάστησης

3.2 Εφαρμογή του Μοντέλου HELP3

3.2.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα φάση θα πραγματοποιηθεί μία εφαρμογή του μοντέλου HELP3 για τρεις ενδεικτικές περιοχές της Ελλάδας. Οι περιοχές αυτές είναι η Θεσσαλονίκη, η Αττική και το Ηράκλειο Κρήτης καθώς μόνο για αυτές τις περιοχές βρέθηκαν ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα για τα έτη 1999 και 2000.

Σκοπός της εφαρμογής είναι η αξιολόγηση των ελάχιστων ορίων, στις σχεδιαστικές παραμέτρους, που θέτει η νομοθεσία. Με την βοήθεια του μοντέλου θα υπολογιστούν οι ποσότητες των συλλεγόμενων στραγγισμάτων αλλά και οι πιθανές διαρροές από την μόνωση του υποθετικού ΧΥΤΑ. Επίσης θα μελετηθούν οι διαφορές

στην ποσότητα των στραγγισμάτων για διαφορετικά προφίλ ΧΥΤΑ. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα διαφορετικά σχεδιαστικά προφίλ.

3.2.2 Σχεδιαστικά Προφίλ ΧΥΤΑ

Για την εφαρμογή του μοντέλου επιλέχθηκαν τέσσερα διαφορετικά σχεδιαστικά προφίλ.

Το πρώτο προφίλ που εξετάστηκε αφορούσε την χειρότερη περίπτωση. Η χειρότερη περίπτωση είναι όταν στον ΧΥΤΑ έχει εναποτεθεί μόνο μία στρώση απορριμμάτων και ταυτόχρονα δεν είναι δυνατή η απορροή της βροχόπτωσης (περίπτωση υπεδάφιος ΧΥΤΑ). Με μόνο μία στρώση απορριμμάτων το νερό που διεισδύει στην απορριμματική μάζα φτάνει σε πολύ μικρό χρόνο στην αποστραγγιστική ζώνη και η υπάρχει ο κίνδυνος να αυξηθεί η πιεζομετρική στάθμη στην ζώνη αυτή. Για τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του ΧΥΤΑ για το πρώτο προφίλ παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν είναι από την βάση δεδομένων του μοντέλου και επιλέχθηκαν με βάση τυπικές τιμές. Το πάχος των στρώσεων επιλέχθηκε έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει τις ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές.

Το δεύτερο σχεδιαστικό προφίλ (Πίνακας 3.2) αφορά έναν ΧΥΤΑ με καθ' ύψος ανάπτυξη του απορριμματικού ανάγλυφου. Ο συγκεκριμένος ΧΥΤΑ υποθέτουμε πως έχει εμβαδόν βάσης 30 στρέμματα (τυπική τιμή) και μέγιστο ύψος 25 m. Επίσης θεωρούμε πως η βάση του είναι τετράγωνη και η κλίση των πρανών του 1/3. Για αυτές τις τιμές το απορριμματικό ανάγλυφο θα έχει μέσο ύψος 11,6 m. Η βάση του ΧΥΤΑ (μόνωση) αποτελείται από ακριβώς τα ίδια υλικά με την μόνωση του πρώτου προφίλ. Τέλος εξωτερικά η απορριμματική μάζα καλύπτεται από εδαφικό υλικό πάχους 40 cm.

Το τρίτο σχεδιαστικό προφίλ (Πίνακας 3.3) που θα εξετάσουμε αφορά έναν υποθετικό ΧΥΤΑ στον οποίο έχει κατασκευαστεί και η προβλεπόμενη από τον νόμο τελική κάλυψη. Το ύψος της απορριμματικής μάζας, το εμβαδόν της βάσης καθώς και η εξωτερική κλίση των πρανών είναι ίδια με του δεύτερου προφίλ.

Το τέταρτο σχεδιαστικό προφίλ (Πίνακας 3.4) είναι ίδιο με το τρίτο μόνο που στην τελική κάλυψη έχει προστεθεί και μία στρώση γεωμεμβράνης. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει η τοποθέτηση γεωμεμβράνης στην τελική κάλυψη δεν είναι υποχρεωτική και η απόφαση εξαρτάται από τον μελετητή. Έτσι συγκρίνοντας τα προφίλ 2 και 3,

όσον αφορά την παραγόμενη ποσότητα στραγγισμάτων, μπορεί να εκτιμηθεί το κατά πόσο αρκεί η τοποθέτηση μόνο αργιλικής μόνωσης ή είναι απαραίτητη και η γεωμεμβράνη στην τελική κάλυψη.

Με τα παραπάνω σχεδιαστικά προφίλ επιχειρείται να εξεταστεί η παραγωγή σταλαγμάτων για έναν υποθετικό ΧΥΤΑ για όλη την χρονική περίοδο ανάπτυξης του. Από τα πρώτα στάδια (προφίλ 1) μέχρι την τελική διαμόρφωση του πριν από την τελική του κάλυψη (προφίλ 2), αλλά και μετά (προφίλ 3 και 4).

Προφίλ 1			
Αριθμός Στρώσης	Περιγραφή	Πάχος στρώσης cm	Αριθμός υλικού Από την βάση δεδομένων του Μοντέλου
1	Εδαφικό υλικό καθημερινής κάλυψης	30	6
2	Απορρίμματα	250	19
3	Ζώνη προστασίας από άμμο	10	2
4	Αποστραγγιστική ζώνη αμμοχάλικου	50	21
5	Γεωμεμβράνη HDPE και γεωύφασμα	0,2	35
6	Αργιλική μόνωση	50	25

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά σχεδιαστικού Προφίλ 1

Προφίλ 2			
Αριθμός Στρώσης	Περιγραφή	Πάχος στρώσης cm	Αριθμός υλικού Από την βάση δεδομένων του Μοντέλου
1	Εδαφικό υλικό καθημερινής κάλυψης	40	6
2	Απορρίμματα	1160	19
3	Ζώνη προστασίας από άμμο	10	2
4	Αποστραγγιστική ζώνη αμμοχάλικου	50	21
5	Γεωμεμβράνη HDPE και γεωύφασμα	0,2	35
6	Αργιλική μόνωση	50	25

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά σχεδιαστικού Προφίλ 2

Προφίλ 3			
Αριθμός Στρώσης	Περιγραφή	Πάχος στρώσης cm	Αριθμός υλικού Από την βάση δεδομένων του Μοντέλου
1	Τελική κάλυψη εδαφικού υλικού	150	5
2	Αποστραγγιστική ζώνη αμμοχάλικου	50	21
3	Αργιλική μόνωση	50	29
4	Ζώνη συλλογής βιοαερίου	30	21
5	εδαφικού υλικού	30	5
6	Απορρίμματα	1160	19
7	Ζώνη προστασίας από άμμο	10	2
8	Αποστραγγιστική ζώνη αμμοχάλικου	50	21
9	Γεωμεμβράνη HDPE και γεωφάσμα	0,2	35
10	Αργιλική μόνωση	50	29

Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά σχεδιαστικού Προφίλ 3

Προφίλ 4			
Αριθμός Στρώσης	Περιγραφή	Πάχος στρώσης cm	Αριθμός υλικού Από την βάση δεδομένων του Μοντέλου
1	Τελική κάλυψη εδαφικού υλικού	150	5
2	Αποστραγγιστική ζώνη αμμοχάλικου	50	21
3	Γεωμεμβράνη HDPE	0.2	35
4	Αργιλική μόνωση	50	29
5	Ζώνη συλλογής βιοαερίου	30	21
6	εδαφικού υλικού	30	5
7	Απορρίμματα	1160	19
8	Ζώνη προστασίας από άμμο	10	2
9	Αποστραγγιστική ζώνη αμμοχάλικου	50	21
10	Γεωμεμβράνη HDPE και	0,02	35

	γεώφασμα		
11	Αργιλική μόνωση	50	25

Πίνακας 3.4: Χαρακτηριστικά σχεδιαστικού Προφίλ 4

Τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο είναι:

- Ποσοστό της επιφάνεια του ΧΥΤΑ που είναι εφικτή η απορροή για το Προφίλ 1 είναι 0 % ενώ για τα υπόλοιπα τρία υποθέτουμε ότι είναι 100%
- Τα χαρακτηριστικά των στρώσεων, όπως η υδραυλική αγωγιμότητα, είναι από την βάση δεδομένων του HELP3.
- Το μέγιστο μήκος απορροής για την αποστραγγιστική ζώνη της βάσης τέθηκε ίσο με 20 m αφού η νομοθεσία επιτρέπει μέγιστη απόσταση αγωγών συλλογής τα 40 m. Ενώ για την αποστραγγιστική ζώνη της τελικής κάλυψης το μέγιστο μήκος απορροής τέθηκε ίσο με 80 m. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στο μίσο του μήκους τετραγώνου με εμβαδόν 30 στρέμματα.
- Κλίση αποστραγγιστικής ζώνης. Για την ζώνη της βάσης τέθηκε ίση με 3% (τυπική τιμή [12]) και για την αποστραγγιστική ζώνη της τελικής κάλυψης ίση με 33% όσο και η κλίση.
- Λοιπά στοιχεία γεωμεμβράνης. Για τον αριθμό των οπών, διαμέτρου μικρότερης από 1 mm ανά εκτάριο, επιλέχθηκε η τιμή 1. Οι οπές που προκαλούνται κατά την τοποθέτηση της μεμβράνης υποθέτουμε πως είναι 10/εκτάριο. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε καλή ποιότητα τοποθέτησης. Ενώ η επαφή της γεωμεμβράνης με την αργιλική μόνωση θεωρούμε ότι είναι καλή (Good, επιλογή 3).
- Ο συντελεστής της επιφανειακής απορροής υπολογίστηκε από το μοντέλο για κλίση της εξωτερικής επιφάνειας 33%, μήκος κλίσης 80m και ποιότητα βλάστησης 2 (fair stand of grass) για τα προφίλ 3 και 4 καθώς υποθέτουμε πως στο προφίλ 2 δεν υπάρχει βλάστηση.
- Το αρχικό ποσοστό υγρασία υπολογίζεται από το μοντέλο με βάση το πρώτο έτος της προσομοίωσης.

3.2.3 Μετεωρολογικά Δεδομένα

Η πιο δύσκολη φάση για την λειτουργία του μοντέλου είναι η συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων. Η συλλογή των δεδομένων από την Εθνική

Μετεωρολογική Υπηρεσία αποδείχτηκε μία εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία.

Τα στοιχεία που τελικά συλλέχθηκαν, αφορούν τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Μίκρας στην Θεσσαλονίκη, του Ηρακλείου Κρήτης και του Ελληνικού στην Αττική. Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν τα έτη 1999 και 2000. Δυστυχώς ήταν να μόνα στοιχεία που ήταν άμεσα διαθέσιμα από την ΕΜΥ. Τα στοιχεία αυτά αφορούσαν την ημερήσια σχετική υγρασία, ημερήσια μέση θερμοκρασία και ημερήσια ταχύτητα ανέμου.

Από τα δεδομένα αυτά υπολογίστηκε η μέση σχετική υγρασία για κάθε τρίμηνο του έτους και η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου. Το μοντέλο χρειάζεται τις μέσες τιμές των παραπάνω δεδομένων για περίοδο 30 ετών. Επειδή όμως οι μέσες τιμές για τριάντα έτη δεν ήταν διαθέσιμες χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των δύο χρόνων (1999 και 2000).

Ενώ για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκαν δύο ομάδες δεδομένων. Στην πρώτη ομάδα, που αφορά τα προφίλ 1 και 2, υποθέσαμε πως δεν υπάρχει βλάστηση και θέσαμε τον συντελεστή φυτοκάλυψης ίσο με μηδέν. Ενώ στα προφίλ 3 και 4 χρησιμοποιήσαμε συντελεστή φυτοκάλυψης ίσο με 2 (fair stand of grass). Τέλος σαν μέγιστο βάθος εξάτμισης θέσαμε τα 30 cm και περίοδος ανάπτυξης των φυτών από αρχές Απριλίου μέχρι τέλος Ιουλίου για όλες τις περιοχές και τα προφίλ.

Για την ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία, λόγω έλλειψης στοιχείων από την Ελλάδα, αναγκαστικά χρησιμοποιήθηκε η επιλογή του μοντέλου για δημιουργία δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας βάση συντελεστών για την Αμερική. Το μοντέλο για να δημιουργήσει τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιεί τρεις συντελεστές: α) το καθημερινό ύψος βροχής β) τους συντελεστές κάποιας περιοχής που διαθέτει στην βάση δεδομένων του και γ) το γεωγραφικό πλάτος της υπό εξέτασης περιοχής. Άρα για να δημιουργήσει το μοντέλο δεδομένα ακτινοβολίας πρέπει να εξομοιώσουμε τις κλιματολογικές συνθήκες τις Ελλάδας με κάποια περιοχή των ΗΠΑ.

Πραγματοποιώντας δοκιμές για το Seattle και το El Paso στο TEXAS, που μπορούν να θεωρηθούν περιοχές με την μεγαλύτερη και την μικρότερη βροχόπτωση αντίστοιχα, είδαμε πως η παραγωγή στραγγισμάτων δεν διαφέρει σημαντικά. Συγκεκριμένα τρέχοντας το μοντέλο για το προφίλ 1 και τα μετεωρολογικά στοιχεία από την Μίκρα, οι παραγόμενες ποσότητες στραγγισμάτων για το Seattle ήταν 4566 m³ και για το El Paso 4134 m³, η διαφορά δηλαδή είναι 9,4 % για το έτος 1999.

Επίσης ούτε η μέγιστες τιμές που παρατηρούνται για τα δύο έτη παρουσιάζουμε σημαντικές διαφορές. Η μέγιστη ημερήσια ποσότητα στραγγισμάτων που συλλέγεται από την αποστραγγιστική ζώνη είναι 301 m^3 και 298 m^3 για το Seattle και El Paco αντίστοιχα.

Παρατηρούμε πως η συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας δεν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ποια περιοχή θα χρησιμοποιηθεί για την εξομοίωση της. Αυτό είναι λογικό καθώς η ηλιακή ακτινοβολία είναι συνάρτηση της βροχόπτωσης και του γεωγραφικού πλάτους. Αφού λοιπόν τα δεδομένα αυτά παραμένουν σταθερά η ένταση της ηλιακή ακτινοβολίας δεν αλλάζει σημαντικά με την αλλαγή της περιοχής προσομοιώσεις.

Ένας επιπλέον λόγος για την παρατηρούμενη μικρή διαφορά στην παραγωγή των στραγγισμάτων είναι ότι η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία, το μέγιστο βάθος εξάτμισης κτλ. Αλλάζοντας λοιπόν μόνο την περιοχή εξομοιώσεις για την ηλιακή ακτινοβολία δεν επηρεάζεται σημαντικά η εξατμισοδιαπνοή και άρα η παραγόμενη ποσότητα στραγγισμάτων.

Για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η περιοχή του Sacramento στην California καθώς βρίσκεται, όσον αφορά την ηλιακή ακτινοβολία, ανάμεσα στο ανώτερο και κατώτερο επίπεδο που θέσαμε (Seattle και El Paco). Επίσης η περιοχή βρίσκεται στο ίδιο γεωγραφικό Ύψος της Λαμίας. Πιστεύουμε πως με την χρήση της συγκεκριμένης περιοχής δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από τις επικρατούσες συνθήκες στην Ελλάδα.

3.2.4 Αποτελέσματα Εφαρμογής

Τα αποτελέσματα του μοντέλου για το πρώτο σχεδιαστικό προφίλ δίνονται στον Πίνακα 3.5 και για τις τρεις περιοχές μελέτης

Παρατηρούμε στον πίνακα 3.5, πως για το Προφίλ 1 η ποσότητα ύδατος που παραμένει στην απορριμματική μάζα δεν εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις εκτός από την περίπτωση της Μίκρας. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη διαφορά του ύψους βροχόπτωσης του 1999 με του 2000 για την Μίκρα. Η υδατική μάζα που συγκρατήθηκε στο XYTA το 1999 με την αυξημένη βροχόπτωση, παρουσιάζεται το 2000 σαν παραγόμενα στραγγίσματα. Επιπλέον η ετήσια συνολική διαρροή από την βάση του XYTA είναι πολύ μικρή και για τις τρεις περιοχές ($0,002 \text{ mm}$ κατά Μ.Ο.), η

οποία για την έκταση του ΧΥΤΑ που θέσαμε (30 στρέμματα) μεταφράζεται σε 0,06 m³ περίπου.

Σχεδιαστικό Προφίλ 1									
	Μίκρα			Ηράκλειο			Ελληνικό		
	1999	2000	Μ.Ο.	1999	2000	Μ.Ο.	1999	2000	Μ.Ο.
Ύψος Βροχόπτωσης	496,6	210	353	360,8	392,5	376,6	374,3	175,1	274,7
Επιφανειακή απορροή	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Εξατμισοδιαπνοή	348,1	190,9	269	212,2	215,9	214	252,1	122,8	187,4
Συλλογή Στραγγισμάτων	148,5	95	122	148,4	186,2	167,3	122,1	55,1	88,6
Διαρροή	0,0025	0,0017	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001
Διαφορά ύδατος στην Απορριμματική Μάζα	-0,02	-76,48	-38,22	0,1	-9,6	-4,7	0,01	-2,8	-1,43

Πίνακας 3.5 Ετήσια Σύνολα για το Προφίλ 1. Τα αποτελέσματα δίνονται σε mm.

Αν εξετάσουμε τώρα το μέγιστο πιεζομετρικό ύψος στην αποστραγγιστική ζώνη είναι 23.1, 41 και 35.6 mm για την περιοχή Μίκρας, Ηρακλείου και Ελληνικού αντίστοιχα, πολύ κάτω από την συνιστώμενη των 30 cm. Άρα η μέγιστη δυνατή απόσταση μεταξύ των αγωγών συλλογής είναι αρκετή, τουλάχιστον βάση των διαθέσιμων στοιχείων. Δεδομένου και ότι το σχεδιαστικό προφίλ αποτελεί την χειρότερη περίπτωση.

Η μέγιστη ημερήσια παραγωγή στραγγισμάτων που παρατηρείται και για τα δύο έτη είναι 9.9, 18.6 και 15.9 mm για τους σταθμούς Μίκρας, Ηρακλείου και Ελληνικού.

Για το προφίλ 2 τα αντίστοιχα αποτελέσματα δίνονται στον επόμενο πίνακα

Σχεδιαστικό Προφίλ 2									
	Μίκρα			Ηράκλειο			Ελληνικό		
	1999	2000	Μ.Ο.	1999	2000	Μ.Ο.	1999	2000	Μ.Ο.
Ύψος Βροχόπτωσης	496,6	210	353,3	360,8	392,5	376,6	374,3	175,1	274,7
Επιφανειακή απορροή	19,1	4,04	11,5	24,9	7,2	16	37,1	2,8	19,9
Εξατμισοδιαπνοή	348	191,3	269,6	212,3	215,9	214,1	251,6	122,8	187,2
Συλλογή Στραγγισμάτων	129,4	88,1	108,2	123,9	194,6	159,2	85,5	48,9	67,2
Διαρροή	0,002	0,001	0,0019	0,002	0,003	0,002	0,001	0,0009	0,001
Διαφορά ύδατος στην Απορριμματική Μάζα	-0,05	-73,5	-36,8	-0,3	-25,3	-12,8	0,02	0,4	0,2

Πίνακας 3.6 Ετήσια Σύνολα για το Προφίλ 2. Τα αποτελέσματα δίνονται σε mm.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.5 και 3.6, βλέπουμε καταρχήν ότι η εξατμισοδιαπνοή δεν επηρεάζεται σχεδόν καθόλου, από τον όγκο του απορριμματικού ανάγλυφου. Ο μόνος παράγοντας που ουσιαστικά μεταβάλλεται στα αποτελέσματα των προφίλ 1 και 2 είναι η επιφανειακή απορροή. Στο προφίλ 1 είναι μηδενική, καθώς θεωρήσαμε πως για μία στρώση απορριμμάτων δεν είναι δυνατή η επιφανειακή απορροή. Με αποτέλεσμα η μείωση των παραγόμενων στραγγισμάτων, που παρατηρείται στο προφίλ 2, να είναι ίση με την επιφανειακή απορροή. Δεν υπάρχει δηλαδή διαφορά στην παραγωγή στραγγισμάτων, σε έναν ΧΥΤΑ με ολοκληρωμένο το απορριμματικό ανάγλυφο και χωρίς τελική κάλυψη, από έναν ΧΥΤΑ που βρίσκεται στα πρώτα στάδια ανάπτυξης του. Εκτός βέβαια από το μικρό ποσό της επιφανειακής απορροής.

Η διαφορά στα προφίλ 1 και 2, βρίσκεται στις μέγιστες τιμές της διετίας μελέτης, τόσο για το πιεζομετρικό ύψος όσο και για την ημερήσια ποσότητα στραγγισμάτων (Πίνακας 3.7). Αν συγκρίνουμε τις μέγιστες ημερήσιες τιμές των προφίλ 1 και 2 βλέπουμε ότι οι μέγιστες τιμές του προφίλ 2 εμφανίζονται πολύ μικρότερες. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο ύψος της απορριμματικής μάζας η οποία λειτουργεί σαν ρυθμιστής της κίνησης του ύδατος προς την βάση ΧΥΤΑ. Έτσι το νερό της βροχής που εισέρχεται στον ΧΥΤΑ αργεί να εμφανιστεί ως στραγγίσματα.

Προφίλ 2			
	Μίκρα	Ηράκλειο	Ελληνικό
Συλλογή Στραγγισμάτων	5,01	5,02	5,07
Μέγιστο Πιεζομετρικό Ύψος στην ΖΑ	12,1	12,6	12,2

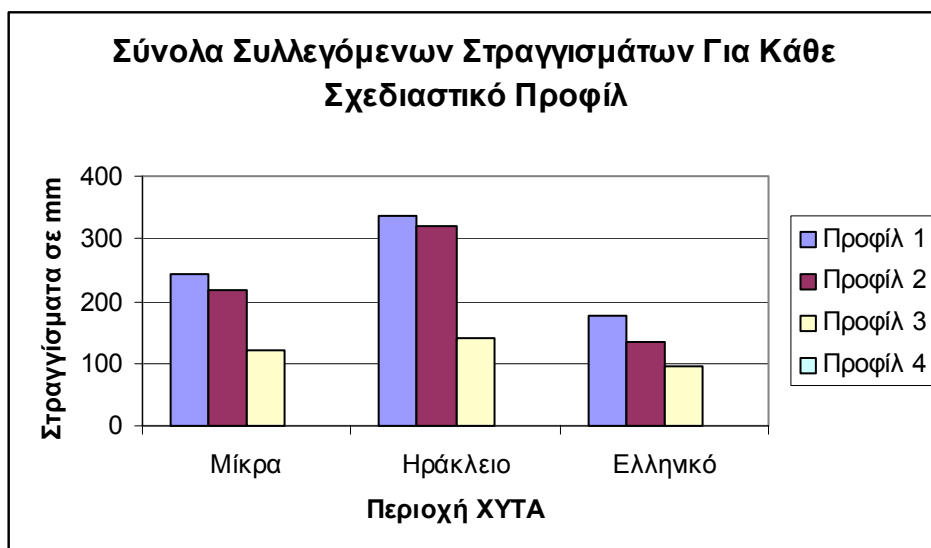
Πίνακας 3.7 Μέγιστες ημερήσιες τιμές για τα έτη 1999-2000. Οι τιμές σε mm

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε πως κάθε φάση ανάπτυξης του ΧΥΤΑ θα πρέπει να καλύπτεται όσο το δυνατόν πιο σύντομα με την τελική κάλυψη. Διότι η παραγωγή των στραγγισμάτων είναι σχεδόν ανεξάρτητη από το ύψος των απορριμμάτων. Πολλές φορές η ανάπτυξη ενός τμήματος του ΧΥΤΑ σταματάει με σκοπό την περαιτέρω ανάπτυξη καθ' ύψος, αφού ολοκληρωθεί και το γειτονικό τμήμα. Σκοπός είναι η εκμετάλλευση του διαθέσιμου όγκου για οικονομικούς λόγους. Η διακοπή όμως της ανάπτυξης γίνεται μέχρι την ολοκλήρωση του γειτονικού τμήματος, που μπορεί να διαρκέσει μερικά χρόνια. Πρέπει λοιπόν να διερευνηθεί, αν το οικονομικό όφελος της εκμετάλλευσης του επιπλέον όγκου, είναι μεγαλύτερο από το κόστος της διαχείρισης των παραγόμενων στραγγισμάτων της πρώτης φάσης, κατά την διάρκεια που παραμένει ανοιχτή.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου για το απορριμματικό ανάγλυφο με τις ελάχιστες προδιαγραφές(προφίλ 3) που επιτρέπει ο νόμος (Πίνακας 3.8). Βλέπουμε πως, λόγω κυρίως της βλάστησης στο εδαφικό υλικό της τελικής κάλυψης, έχει αυξηθεί σημαντικά η εξατμισοδιαπνοή σε σχέση με το προφίλ 2. Παρόλο όμως την ύπαρξη της τελικής κάλυψης, μία αρκετά μεγάλη ποσότητα ύδατος διεισδύει στην απορριμματική μάζα. Έτσι η παραγωγή στραγγισμάτων δεν σταματάει με την κατασκευή της τελικής κάλυψης. Η εξωτερική μόνωση του χώρου μόνο με εδαφικό υλικό (αργιλική στρώση) δεν είναι αρκετή. Σκοπός της τελικής μόνωσης είναι η απομόνωση της απορριμματικής μάζας από τα κατακρημνίσματα για ελαχιστοποίηση των στραγγισμάτων. Όμως όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του προφίλ 3 (Πίνακας 3.8), μετά την κατασκευή της αργιλικής μόνωσης, η εκροή στραγγισμάτων συνεχίζεται. Οι ποσότητες βέβαια δεν φτάνουν εκείνες του προφίλ 2 αλλά είναι αρκετά μεγάλες, σχεδόν οι μισές (γράφημα 3.1). Έτσι σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει σταματήσει η παραγωγή των στραγγισμάτων με την τοποθέτηση αργιλικής μόνωσης. Στην περίπτωση αυτή στραγγίσματα θα εκρέουν και μετά το τέλος λειτουργίας του ΧΥΤΑ.

Σχεδιαστικό Προφίλ 3									
Ύψος Βροχόπτωσης Επιφανειακή απορροή Εξατμισοδιαπνοή Συλλογή ύδατος στην αποστραγγιστική Ζώνη Τελικής Κάλυψης Ποσότητα Διείσδυσης μέσα από την μόνωση της εξωτερικής Κάλυψης Συλλογή Στραγγισμάτων Στην βάση του ΧΥΤΑ Διαρροή Διαφορά ύδατος Στο Σώμα του ΧΥΤΑ	Μίκρα			Ηράκλειο			Ελληνικό		
	1999	2000	M.O.	1999	2000	M.O.	1999	2000	M.O.
	496,6	210	353,3	360,8	392,5	376,6	374,3	175,1	274,7
	1,03	0	0,5	0,9	0	376,5	4,8	0	2,4
	384,6	226,2	305,4	208,4	208,3	0,4	247,5	126,5	187
	47,5	39,4	43,5	68,3	106,5	87,4	50,6	3,2	26,9
	64,9	60,3	62,6	82,7	82,7	82,7	71,4	25,5	48,5
	58	62,2	60,1	55,7	83,7	82,75	64,2	31,1	47,6
	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0007	0,001
	5,2	-117	-56,3	27,3	-6,2	10,5	7	14,2	10,6

Πίνακας 3.8 Ετήσια Σύνολα για το Προφίλ 3. Τα αποτελέσματα δίνονται σε mm.



Γράφημα 3.1 Συνολικές ποσότητες συλλεγομένων Στραγγισμάτων Για τα διάφορα προφίλ

Έτσι είμαστε αναγκασμένοι να τοποθετήσουμε στην εξωτερική κάλυψη και στρώση γεωμεμβράνης για να ενισχυθεί η μόνωση του χώρου. Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα του προφίλ 4 (Πίνακας 3.9), μόνο τότε έχουμε μηδενική εκροή στραγγισμάτων. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα η κατασκευή και μόνωσης γεωμεμβράνης στην τελική κάλυψη του ΧΥΤΑ κρίνεται απαραίτητη.

Σχεδιαστικό Προφίλ 4									
	Μίκρα			Ηράκλειο			Ελληνικό		
	1999	2000	Μ.Ο.	1999	2000	Μ.Ο.	1999	2000	Μ.Ο.
Ύψος Βροχόπτωσης	496,6	210	353,3	360,8	392,5	376,6	374,3	175,1	274,7
Επιφανειακή απορροή	0,2	0	0,1	0,9	0	0,4	4,8	0	2,4
Εξατμισοδιαπνοή	343,0	200,3	271,6	208,4	208,3	24,4	247,5	126,5	187
Συλλογή ύδατος στην αποστραγγιστική Ζώνη Τελικής Κάλυψης	121,6	130,2	125,9	151,1	189,4	170,2	122,1	28,8	75,4
Ποσότητα Διείσδυσης μέσα από την μόνωση της εξωτερικής Κάλυψης	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0003	0,0007
Συλλογή Στραγγισμάτων Στην βάση του ΧΥΤΑ	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0003	0,0006
Διαρροή	0,00006	0,00006	-	-	-	-	-	-	-

Διαφορά ύδατος Στο Σώμα του XYTA	31,5	120	-44,4	0,3	-5,3	0	-0,2	19,7	9,7
--	------	-----	-------	-----	------	---	------	------	-----

Πίνακας 3.9 Ετήσια Σύνολα για το Προφίλ 4. Τα αποτελέσματα δίνονται σε mm.

3.2.5 Επίδραση Επανακυκλοφορίας Στα στραγγίσματα

Το μοντέλο HELP3 δίνει την επιλογή στον χρήστη να ορίσει το ποσοστό των συλλεγόμενων στραγγισμάτων που οδηγούνται για επανακυκλοφορία. Θα εξετάσουμε τον ρόλο της επανακυκλοφορίας στην παραγωγή των στραγγισμάτων. Για τον σκοπό αυτό θα χρησιμοποιήσουμε το σχεδιαστικό προφίλ 2, καθώς η επανακυκλοφορία γίνεται σε XYTA χωρίς τελική κάλυψη.

Οι φορείς λειτουργίας των XYTA στην Ελλάδα υποστηρίζουν πως με την επανακυκλοφορία μειώνεται η ποσότητα των στραγγισμάτων. Δηλώνουν πως το καλοκαίρι, λόγω αυξημένης εξατμισοδιαπνοής, τα στραγγίσματα που επανακυκλοφορούνται εξατμίζονται. Οπότε ισχυρίζονται πως δεν υπάρχει συσσώρευση ύδατος στην απορριμματική μάζα.

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα ετήσια σύνολα σύμφωνα με το HELP3 για την περιοχή της Μίκρας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το ύψος της εξατμισοδιαπνοής, στην περίπτωση της επανακυκλοφορίας, δεν μεταβάλλεται σχεδόν καθόλου. Η μόνη τιμή που μεταβάλλεται σημαντικά, είναι το ύψος της επιφανειακής απορροής. Η μεταβολή αυτή δεν είναι τόσο μεγάλη για να θεωρηθεί η επανακυκλοφορία σαν λύση στο πρόβλημα των στραγγισμάτων. Το μόνο αποτέλεσμα είναι η μερική μείωση της υδατικής μάζας και σε καμία περίπτωση αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί επαρκή επεξεργασία των στραγγισμάτων. Το ύψος της μείωσης, είναι το άθροισμα της διαφοράς της εξατμισοδιαπνοής και επιφανειακής απορροής στις περιπτώσεις με και χωρίς επανακυκλοφορία. Η συνολική μείωση, για τα δύο έτη, είναι 19,46 mm, όταν έχουμε συνολική ποσότητα συλλεγόμενων στραγγισμάτων, χωρίς επανακυκλοφορία, 217,5 mm. Το ουσιαστικό δηλαδή κέρδος της επανακυκλοφορίας είναι πολύ μικρό.

Σχεδιαστικό Προφίλ 2	Χωρίς Επανακυκλοφορία			Με Επανακυκλοφορία 100%		
	Μίκρα			Μίκρα		
	1999	2000	M.O.	1999	2000	M.O.
Ύψος Βροχόπτωσης	496,6	210	353,3	496,6	210	353,3
Επιφανειακή απορροή	19.1	4.04	11,5	31.5	8.4	19,9
Εξατμισοδιαπνοή	348	191.3	269.6	348.4	193.6	271
Συλλογή Στραγγισμάτων	129.4	88.1	108,2	-	-	-
Διαρροή	0,002	0,001	0,0019	0,02	0,4	0,03
Διαφορά ύδατος στην Απορριμματική Μάζα	-0,05	-73,5	-36,8	114,7	4,3	59,5

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα Προφίλ 2, με και χωρίς επανακυκλοφορία για τον σταθμό της Μίκρας σε mm.

Αν σκεφτούμε πως με την επανακυκλοφορία ουσιαστικά συσσωρεύεται υδατική μάζα κάθε χρόνο στο υδατικό ισοζύγιο του ΧΥΤΑ, τότε καταλαβαίνουμε πως κάθε χρόνο θα πρέπει να επανακυκλοφορούμε όλο και μεγαλύτερες ποσότητες στραγγισμάτων. Είναι περίεργο το ότι υπάρχουν ΧΥΤΑ που δηλώνουν πως, με την επανακυκλοφορία, η υδατική μάζα παραμένει σταθερή και επανακυκλοφορούν κάθε χρόνο ένα σταθερό όγκο στραγγισμάτων. Δύο λογικές εξηγήσεις υπάρχουν για την περίπτωση αυτή, ή δεν είναι αληθείς οι δηλωμένες ποσότητες ή υπάρχουν τεράστιες διαρροές από την μόνωση του ΧΥΤΑ.

Επιλέξαμε την περιοχή της Μίκρας για την εξέταση επανακυκλοφορίας καθώς η βροχόπτωση της διετίας που διαθέταμε παρουσιάζει μεγάλη ετήσια διακύμανση. Το 1999 η βροχόπτωση είναι υπερδιπλάσια αυτής του 2000. Ο μέσος όρος θα πρέπει να κυμαίνεται κοντά σε αυτές τις τιμές. Έτσι η μείωση των στραγγισμάτων, ακόμα και για την βροχόπτωση του 2000, θεωρείται μικρή και ακόμα και σε αυτή την χρονιά προστίθεται ουσιαστικά ποσότητα ύδατος στην απορριμματική μάζα.

Την ίδια μικρή μείωση δίνει το μοντέλο και για τις άλλες δύο περιοχές, του Ελληνικού και του Ηρακλείου. Οπότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως η επανακυκλοφορία δεν μπορεί να είναι λύση στο θέμα των στραγγισμάτων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για να ρυθμίζει την επιθυμητή υγρασία στην απορριμματική μάζα και για να ρυθμίζονται οι ημερήσιες ποσότητες στραγγισμάτων που οδηγούνται στο σύστημα επεξεργασίας.

Βλέπουμε πως η κατασκευή ενός συστήματος επεξεργασίας των στραγγισμάτων είναι υποχρεωτική. Οπότε τίθεται το ερώτημα, για ποιές ποσότητες στραγγισμάτων πρέπει να διαστασιολογηθεί.

Είδαμε πως με την επανακυκλοφορία του 100% των συλλεγόμενων στραγγισμάτων αυξάνεται αρκετά η επιφανειακή απορροή. Η αύξηση αυτή οφείλεται στον κορεσμό της εξωτερικής στρώσης του ΧΥΤΑ, λόγω επανακυκλοφορίας. Άρα, αν μειωθεί η επανακυκλοφορία, θα μειωθεί και η επιφανειακή απορροή. Θα αυξηθούν δηλαδή οι ποσότητες ύδατος που εισέρχονται στην απορριμματική μάζα. Η μέγιστη δυνατή ποσότητα που μπορεί να προστεθεί στο σύστημα είναι η υπολογιζόμενη χωρίς επανακυκλοφορία και την ποσότητα αυτή θα πρέπει να επεξεργάζεται το σύστημα επεξεργασίας. Οπότε διαστασιολογείται το σύστημα με βάση την ετήσια παραγωγή στραγγισμάτων χωρίς επανακυκλοφορία.

Η ετήσια παραγωγή σχεδιασμού θα πρέπει να είναι η μέγιστη ετήσια παραγωγή στραγγισμάτων για την περίοδο της 20ετίας. Η ημερήσια δυναμικότητα του θα πρέπει να είναι το $1/365$ της μέγιστης ετήσιας. Η επιπλέον ημερήσια ποσότητα στραγγισμάτων επανακυκλοφορείται για να διατηρείται σταθερή η λειτουργία της μονάδας για όλη την διάρκεια του έτους.

Για παράδειγμα αν τα παραγόμενα στραγγίσματα του έτους 1999 για την Μίκρα ήταν το μέγιστο της 20ετίας τότε η ημερήσια δυναμικότητα του συστήματος επεξεργασίας θα έπρεπε να ήταν $129,4/365=0,354$ mm ανά επιφάνεια της απορριμματικής μάζας. Οι ημερήσιες ποσότητες που υπερβαίνουν το ύψος των 0,354 θα οδηγούνται στην επανακυκλοφορία.

4. Υπολογισμός Παραγόμενου Βιοαερίου

4.1 Παραγωγή Βιοαερίου στον ΧΥΤΑ

Ένας ΧΥΤΑ μπορεί να θεωρηθεί ως ένας βιοαντιδραστήρας. Τα οργανικά υλικά βιοαποδομούνται σταδιακά μέσα στο ΧΥΤΑ. Η βιοαποδόμηση οφείλεται σε συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών και παράγει στερεά, υγρά και αέρια προϊόντα.

Η ακριβής εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων είναι εξαιρετικά δύσκολη αν όχι αδύνατη [1]. Υπάρχουν πλήθος υπολογιστικών μοντέλων για τον υπολογισμό τους και συνεχώς ανακλύπουν νέα, βασισμένα στις συνεχώς αυξανόμενες εμπειρίες. Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το υπολογιστικό μοντέλο της US EPA, Landfill Gas Emissions Model (Landgem).

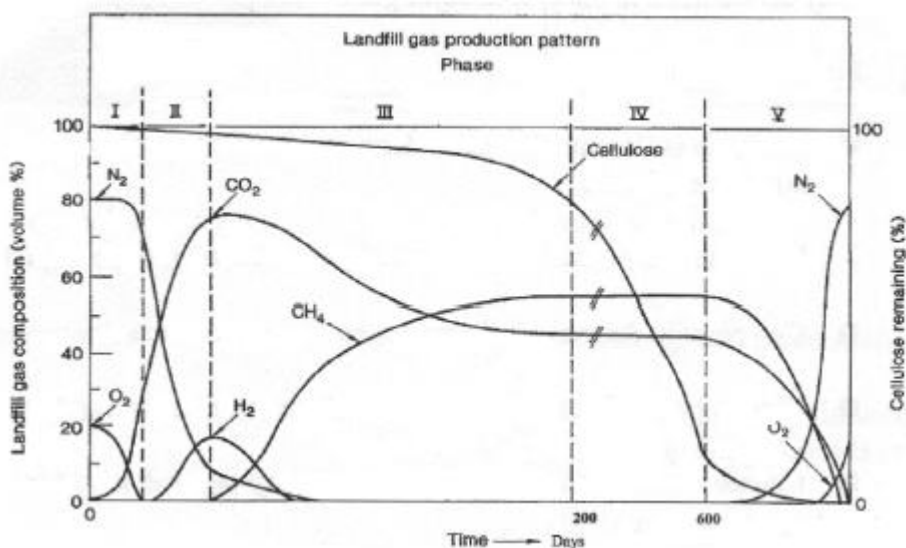
Θεωρητικά, από ένα τόνο αστικών απορριμμάτων παράγονται από 120 μέχρι 400 m³ βιοαερίου με θερμογόνο δύναμη από 3800 μέχρι 4700 Kcal/m³. Στην πράξη όμως ποτέ μία ποσότητα απορριμμάτων δεν παράγει την θεωρητικά μέγιστη ποσότητα βιοαερίου.

Η διαδικασία με την οποία τα οργανικά υλικά βιοαποδομούνται σταδιακά μέσα στο ΧΥΤΑ, παράγοντας αέρια, μπορεί να διακριθεί σε πέντε φάσεις όπως περιγράφονται περιληπτικά παρακάτω.

1. **Αρχική Προσαρμογή.** Η οργανική ύλη βιοαποδομείται αερόβια. Το απαιτούμενο οξυγόνο προέρχεται από το παγιδευμένο οξυγόνο μέσα στην απορριμματική μάζα. Το παραγόμενο αέριο αποτελείται κατά 90% από διοξείδιο του άνθρακα, δημιουργώντας έτσι όξινα στραγγίσματα.
2. **Μεταβατική Φάση.** Στην φάση αυτή αρχίζει η εξάντληση του παγιδευμένου οξυγόνου και δημιουργούνται αρχικά ανοξικές και στην συνέχεια αναερόβιες συνθήκες. Η οργανική ύλη μετατρέπεται σε CO₂, H₂ και πτητικά οξέα.
3. **Αναερόβια όξινη φάση.** Διακρίνεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο συμβαίνει υδρόλυση των πολυμερών ενώσεων (λιπών, πρωτεϊνών) και μετατροπή τους σε προϊόντα μικρότερου μοριακού βάρους (μονοσακχαρίτες, αμινοξέα, κλπ.). Στο δεύτερο στάδιο συμβαίνει ζύμωση των παραπάνω προϊόντων και παραγωγή καρβοξυλικών οξέων μικρού μοριακού βάρους (προπιονικού, βουτυρικού και οξικού οξέως, τα οποία είναι πρόδρομες ενώσεις του μεθανίου), CO₂ και H₂ και αλκοολών. Στο τρίτο στάδιο συμβαίνει οξεογένεση

(παραγωγή οξικού οξέως, CO_2 και H_2) από τα προϊόντα του προηγούμενου σταδίου από υποχρεωτικά οξεογενή βακτήρια. Στη φάση αυτή το CO_2 είναι το κύριο χαρακτηριστικό του βιοαερίου.

4. **Μεθανιογέννηση.** Το οξικό οξύ ή/και τα CO_2 και H_2 υφίστανται αναερόβια μικροβιακή μετατροπή σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Στη φάση αυτή η αναλογία CO_2/CH_4 είναι περίπου 45/55.
5. **Ωρίμανση.** Με την συνεχιζόμενη κυκλοφορία νερού στην απορριμματική μάζα, καθίσταται πλέον δυνατή η διάθεση της οργανικής ύλης, που στις προηγούμενες φάσεις δεν ήταν διαθέσιμη, για μετατροπή σε CO_2 και CH_4 . Ο ρυθμός παραγωγής του βιοαερίου ελαττώνεται σημαντικά λόγω του ότι τα απαραίτητα θρεπτικά υλικά ή έχουν εξαντληθεί ή έχουν απομακρυνθεί με τα στραγγίσματα, γεγονός που δυσχεράνει τη βιοαποδόμηση της απομένουσας οργανικής ύλης.



Εικόνα 4.1: Διαχρονική Εξέλιξη των Ποιοτικών Χαρακτηριστικών του βιοαερίου από ΧΥΤΑ, για τις διάφορες φάσεις.

Σε ενεργούς ΧΥΤΑ, είναι φυσικό να υπάρχει ταυτοχρόνως δραστηριότητα σε όλες τις παραπάνω φάσεις. Σε ένα ΧΥΤΑ υπάρχουν ποσότητες απορριμμάτων που βρίσκονται και στις πέντε φάσεις της παραγωγής βιοαερίου. Για το λόγο αυτό είναι πολύ δύσκολο να προσεγγιστεί ο χρόνος πλήρους αδρανοποίησης.

Επίσης στο βιοαέριο βρίσκονται σε μικρότερες συγκεντρώσεις εκτός από CO_2 και CH_4 και πολλές άλλες χημικές ενώσεις. Στον πίνακα 7.2 παρουσιάζονται μερικές από αυτές.

4.2 Μοντέλο Landfill Gas Emissions Model (Landgem)

4.2.1 Γενικά

Το μοντέλο LandGEM παρέχει ένα γρήγορο και εύκολο τρόπο για την εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων των διάφορων αερίων που εκπέμπονται από τους ΧΥΤΑ. Το μοντέλο δημιουργήθηκε από την US EPA και είναι διαθέσιμο ελεύθερα στην ιστοσελίδα της.

Για των υπολογισμό των εκπομπών του βιοαερίου το μοντέλο χρειάζεται σαν input τα παρακάτω δεδομένα

- Τη χωρητικότητα του εξεταζόμενου ΧΥΤΑ
- Τη ποσότητα των απορριμμάτων που εναποτίθενται κάθε χρόνο στον ΧΥΤΑ
- Τον συντελεστή μεθανογένεσης (k). Ο συντελεστής αυτό εκφράζει το βαθμό παραγωγής του βιοαερίου στον ΧΥΤΑ. Ο k είναι συνάρτηση της υγρασίας στα απορρίμματα, του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων, του pH, και της θερμοκρασίας.
- Τη θεωρητική ποσότητα μεθανίου που μπορεί να παραχθεί από ένα τόνο απορριμμάτων (L_0). Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται αποκλειστικά από το μέγεθος του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων.
- Την συγκέντρωση του οργανικού μη μεθανικού κλάσματος του βιοαερίου (Nonmethane Organic Compounds)
- Τα χρόνια που λειτουργεί ήδη ο ΧΥΤΑ
- Και το αν ο ΧΥΤΑ δέχεται επικίνδυνα απορρίμματα ή μόνο αστικά.

Το μοντέλο χρησιμοποιεί την εξίσωση χημικής κινητικής πρώτου βαθμού εξίσωση αποδόμησης του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων.

Το μοντέλο υποθέτει πως το παραγόμενο βιοαέριο αποτελείται από 50% CH_4 και 50 % CO_2 με κάποιες πιο μικρές ποσότητες NMOC, αλλά τα ποσοστά αυτά μπορούν να μεταβληθούν από τον χρήστη σε περίπτωση που υπάρχουν δεδομένα πεδίου.

Για τον υπολογισμό του μεθανίου απαιτείται μόνο ο ορισμός του συντελεστή μεθανογένεσης και της θεωρητικής ποσότητας παραγόμενου μεθανίου, από ένα τόνο απορριμμάτων. Το μοντέλο παρέχει δύο τυπικές τιμές για τους δύο συντελεστές οι οποίες είναι βασισμένες σε μετρήσεις και κανονισμούς λειτουργία στις ΗΠΑ για τα έτη 1991 και 1997. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει τους συντελεστές αυτούς εύκολα.

Σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του μοντέλου το k μπορεί να πάρει τιμές από 0,003 μέχρι 0,21 (EPA a). Ενώ οι δύο τυπικές τιμές είναι 0,05 1/yr για τους

κανονισμούς που ίσχυαν το 1991 και 0,04 για τους κανονισμούς του 1997. Ενώ το L_0 μπορεί να πάρει τιμές από 6,2 μέχρι 270 m^3/t απορριμμάτων. Όσο μεγαλύτερο είναι το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων τόσο μεγαλύτερος και ο συντελεστής L_0 . Οι αντίστοιχες τυπικές τιμές είναι 170 m^3/t για το 1991 και 100 m^3/t για το 1997. Προφανώς το 1997 οι κανονισμοί λειτουργίας υποχρέωναν τους φορείς λειτουργίας των ΧΥΤΑ να μειώσουν το οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων που εναποτίθεται, για αυτό και μειώθηκε ο L_0 .

Τέλος η συγκέντρωση των NMOC εξαρτάται από το είδος των απορριμμάτων και από τις ιδικές συνθήκες που επικρατούν στον ΧΥΤΑ. Για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων αυτών το μοντέλο χρειάζεται μία τυπική τιμή. Η τιμή αυτή μπορεί να είναι από 240 μέχρι 14300 ppmv. Υπάρχουν τρεις τυπικές τιμές στο μοντέλο μία για τους κανονισμούς του 1991 που είναι 4000 ppmv σαν εξάνιο ενώ για τους κανονισμούς του 1997 το μοντέλο έχει μία τυπική τιμή για εναπόθεση και επικίνδυνων απορριμμάτων (codisposal) που είναι 2420 ppmv και για εναπόθεση μόνο αστικών απορριμμάτων είναι 595 ppmv.

Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε πως οι τυπικές τιμές για τους κανονισμούς του 1991 (σαν CAA αναφέρονται στο μοντέλο) είναι πιο κοντά στις συνθήκες λειτουργίας της Ελλάδας αν λάβουμε υπόψη μας τους «ελαστικούς» κανονισμούς λειτουργίας των ΧΥΤΑ αλλά και το υψηλό ποσοστό του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων. Για την Ελλάδα που το οργανικό κλάσμα φτάνει το 47% των απορριμμάτων ο συντελεστής L_0 εκτιμάται ότι είναι 225 m^3/t και ο συντελεστής k ίσος με 0,06 για απορρίμματα 5 χρόνων και 0,03 για απορρίμματα 10 χρόνων [12]. Μπορούμε άρα να δεχτούμε την τυπική τιμή 0,05 για τον συντελεστή k καθώς χρειαζόμαστε μία γενική τιμή ανεξάρτητη από την ηλικία των απορριμμάτων.

Το μοντέλο δίνει την δυνατότητα με ένα εργαλείο να υπολογιστεί ο συντελεστής k με βάση δεδομένα πεδίου. Τα απαραίτητα δεδομένα είναι

- Μέσο βάθος πηγαδιών συλλογής βιοαερίου
- Μέση ακτίνα επιρροής των πηγαδιών
- Πυκνότητα των απορριμμάτων
- Το ποσοστό του οργανικού κλάσματος των απορριμμάτων
- Του συντελεστή L_0
- Μέση ροή βιοαερίου από κάθε πηγάδι (m^3/min)
- Μέση ηλικία των απορριμμάτων στον ΧΥΤΑ.

Όσον αφορά την συγκέντρωση των NMOC θα χρησιμοποιηθεί η τυπική τιμή 4000 ppmv.

4.2.2 Εφαρμογή Του Μοντέλου

4.2.2.1 Δεδομένα Εφαρμογής

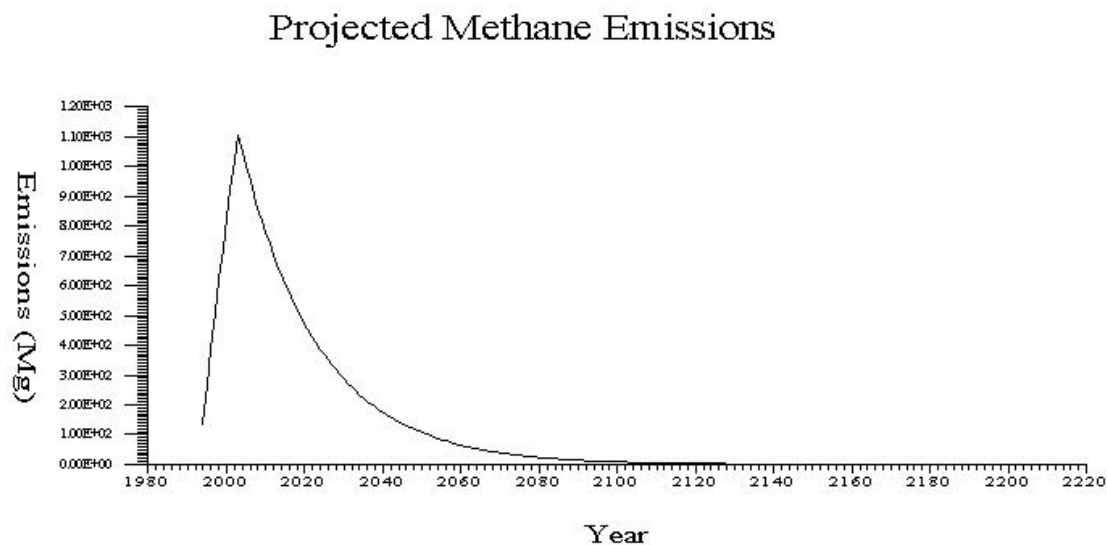
Το LandGEM μπορεί να δώσει τις παραγόμενες ποσότητες διαφόρων αερίων από έναν ΧΥΤΑ είτε σε μορφή κειμένου είτε σε μορφή γραφήματος.

Για την εφαρμογή θα χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω συντελεστές

1. $k=0.05$ είναι μία από τις τυπικές τιμές του μοντέλου και όπως είδαμε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις συνθήκες της Ελλάδας.
2. $L_0=225 \text{ m}^3/\text{tn}$ απορριμμάτων που είναι η θεωρητική τιμή για τα απορρίμματα στις Ελληνικές συνθήκες.
3. Συγκέντρωση NMOC στο βιοαέριο ίση με 4000 ppmv που είναι η τυπική τιμή του μοντέλου. Θα χρησιμοποιηθεί αυτή η τιμή λόγω έλλειψης στοιχείων από ΧΥΤΑ στην Ελλάδα.
4. Επίσης υποθέτουμε πως οι ΧΥΤΑ της εφαρμογής δέχονται μόνο αστικά απορρίμματα (επιλογή no codisposal στο μοντέλο).
5. Θα τρέξουμε το μοντέλο για ενδεικτική χωρητικότητα ΧΥΤΑ 182500 και διάρκεια λειτουργίας 10 έτη (συνηθισμένο για την Ελλάδα). Οι παραπάνω χωρητικότητα εκφρασμένη σε ημερήσια δυναμικότητα, για την διάρκεια λειτουργίας 10 έτη, είναι 50 tn/day αντίστοιχα.
6. Τέλος η αναλογία CH_4 και CO_2 ορίζεται ως η τυπική τιμή του μοντέλου δηλαδή 50-50.

4.2.2.2 ΧΥΤΑ Χωρητικότητας 182500 τόνων

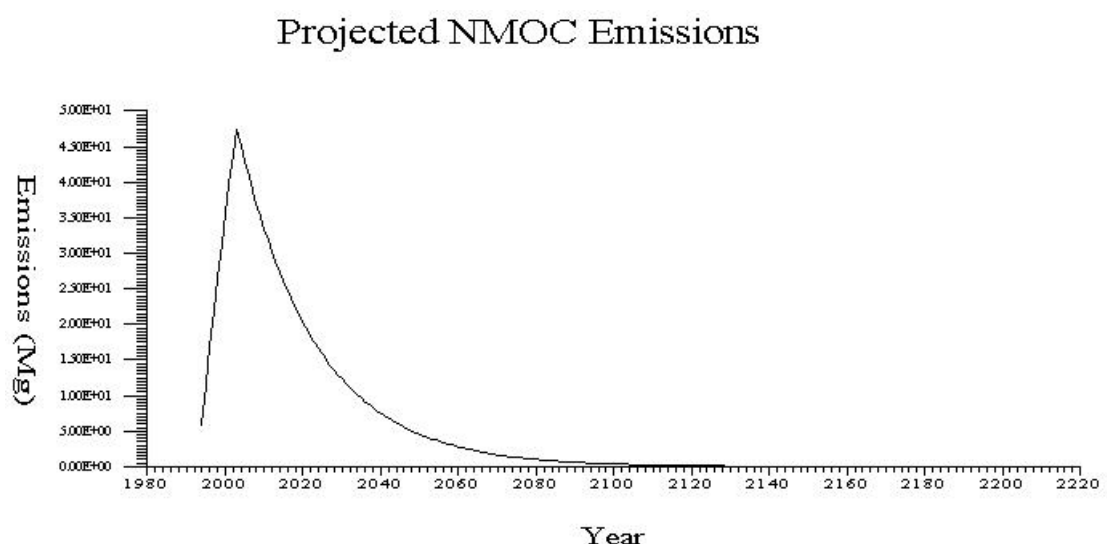
Τα αποτελέσματα του μοντέλου θα παρουσιαστούν με την μορφή γραφημάτων όπως δίνονται από το μοντέλο. Σαν έτος έναρξης της λειτουργίας του ΧΥΤΑ θεωρείται το 1993 και έτος λήξης το 2003. Έτσι έχουμε για τον ΧΥΤΑ με ημερήσια δυναμικότητα 50 tn/day το παρακάτω γράφημα.



Γράφημα 4.1: Παραγόμενη ποσότητα CH_4 για XYTA με ημερήσια δυναμικότητα 50 tn/day

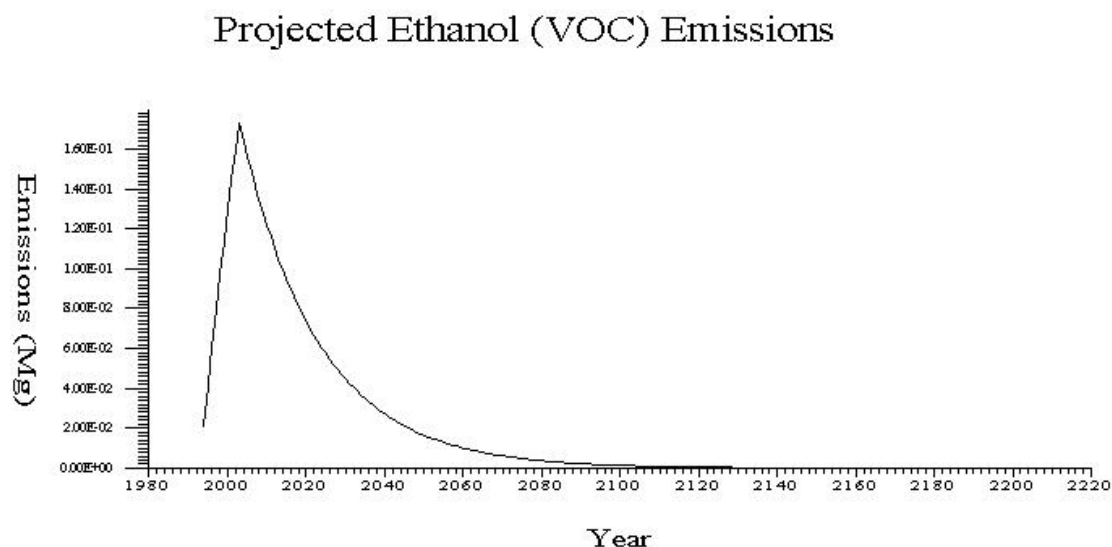
Όπως παρατηρούμε τα αποτελέσματα του μοντέλου για το παραγόμενο μεθάνιο δίνονται σε μονάδες βάρους ανά χρόνο. Η περίοδος με την μέγιστη παραγωγή παρουσιάζεται το έτος 2003, που είναι και το έτος λήξης της λειτουργίας του υποτιθέμενου XYTA εφαρμογής. Το μοντέλο παρέχει την δυνατότητα παρουσίασης των αποτελεσμάτων σε αρχείο κειμένου, όπου δίνονται οι παραγόμενες ποσότητες αερίων και με μονάδες κυβικών μέτρων το χρόνο για θερμοκρασία 25 °C.

Οι παραγόμενες ποσότητες για τους NMOC για τον ίδιο XYTA είναι



Γράφημα 4.2: Παραγόμενες ποσότητες NMOC εκφρασμένες ως εξάνιο σε tn/year

Επίσης το μοντέλο μπορεί να υπολογίσει τις παραγόμενες ποσότητες πολλών άλλων χημικών ενώσεων που βρίσκονται στο βιοαέριο όπως ακετόνες, αιθανόλη, κτλ. Ενδεικτικά παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για την αιθανόλη.



Γράφημα 4.3: Παραγόμενες ποσότητες αιθανόλης σε tn/year.

Και από τα τρία γραφήματα φαίνεται ότι παραγωγή βιοαερίου συνεχίζεται για πολλά χρόνια μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ. Για παράδειγμα, 15 χρόνια μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ, οι παραγόμενες ποσότητες βιοαερίου μειώνονται σχεδόν στο μισό σε σχέση με την χρονιά με την μέγιστη παραγωγή (χρονιά λήξης λειτουργίας). Δίνουμε σαν παράδειγμα τα 15 έτη μετά το κλείσιμο του ΧΥΤΑ καθώς αυτό είναι το χρονικό όριο που ορίζει η νομοθεσία σαν περίοδο μεταφροντίδος ενός ΧΥΤΑ. Βλέπουμε πρακτικά ότι αυτό το όριο δεν επαρκεί για να γίνει πρακτικά ανενεργός ένας ΧΥΤΑ και θα πρέπει να επεκταθεί, καθώς οι ποσότητες αερίων που εκλύονται είναι αρκετά μεγάλες.

4.2.3 Παρατηρήσεις

Το μοντέλο LandGEM είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων βιοαερίου από ένα ΧΥΤΑ. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με βάση τις τυπικές τιμές για να παρέχει στους φορείς διαχείρισης ενός ΧΥΤΑ μία πρώτη εκτίμηση των μελλοντικών ποσοτήτων βιοαερίου, πριν από την κατασκευή του ΧΥΤΑ.

Στην συνέχεια μετά την κατασκευή του ΧΥΤΑ μπορεί να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από τον λειτουργούντα ΧΥΤΑ για την καλύτερη εκτίμηση των συντελεστών k και L_0 έτσι ώστε τα αποτελέσματα του να είναι περισσότερο αξιόπιστα και να ανταποκρίνονται στις τοπικές συνθήκες λειτουργίας.

Στην [5] παρουσιάζεται, σαν ένα από τα σημαντικά προβλήματα των λειτουργούντων ΧΥΤΑ στην Ελλάδα, το ότι το 50% των φορέων λειτουργίας των ΧΥΤΑ δεν δίνει κανένα στοιχείο για την παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου. Για το

λόγο αυτό έγινε η παρουσίαση του μοντέλου LandGEM, το οποίο είναι ένα εύχρηστο και εύκολο στην λειτουργία εργαλείο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άτομα χωρίς μεγάλη εμπειρία στην λειτουργία ΧΥΤΑ.

Άλλωστε είναι υποχρεωτική η παρουσίαση εξαμηνιαίων εκθέσεων για την λειτουργία του ΧΥΤΑ και σε αυτές τις εκθέσεις πρέπει να περιλαμβάνονται και οι παραγόμενες ποσότητες του βιοαερίου.

Βιβλιογραφία.

1. Δημήτριος Χ. Παναγιωτακόπουλος. Βιώσιμη Διαχείριση Αστικών Στερεών Αποβλήτων, Εκδόσεις Ζυγός 2002
2. Ανάλυση Κύκλου Δεδομένων Στο ΧΥΤΑ Του Δήμου Πατρέων. Α.Τριανταφυλλόπουλος, HELECO '03
3. Methology for Municipal Landfill Sites Selection, Ioannis Frantzis, Waste Management & Research (1993) 11, 441-451
4. Συναρτησιακές Σχέσεις Για Το Σχεδιασμό Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, Βασίλειος Αϊβαλιώτης, Διδακτορική διατριβή, Τμ Πολιτικών Μηχανικών, Ξάνθη 1998
5. Έκθεση ΙΙΙ, Χώροι Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (ΧΥΤΑ) στην Έλλαδα, ΥΠΕΧΩΔΕ, Απρίλιος 2001
6. The Solid Waste Handbook A practical guide, William D. Robinson, 1986
7. ΚΥΑ 114218 /ΦΕΚ 1016/β/17-11-1997
8. Ερωτηματολόγιο ΧΥΤΑ Κεφαλονιάς.
9. Προϋπολογισμός ΧΥΤΑ Δήμου Κομοτηνής
10. Προκαταρκτική Μελέτη Επέκτασης ΧΥΤΑ Χανίων. Τεχνική Υπηρεσία Ν. Χανίων.
11. A Procedure For Generating Landfill Cost Functions And Estimating The Degree Of Economies Of Scale, M. G. Moutsiou and D. Panagiotakopoulos, Proccedings of The International Conference For the Protection and Restoration of the Environment, Vol II, Halkidiki, Greece, July 1998, pp 643-650
12. Ελεγχόμενη Εναπόθεση Στερεών μη Επικίνδυνων Αποβλήτων, Αδαμάντιος Δ. Σκορδύλης, 2001
13. “Determining The Optimal Landfill size: Is bigger always better?”, Mitch Renkow & Andrew G. Keeler, Journal of Solid Waste Management 1996, 46, pp 66-75
14. Tcobanoglous G., H. Theisen and S. Vigil (1993), Integrated Solid Waste Management, McGraw Hill.
15. Panagiotakopoulos, D and I. Dokas, “Design of Landfill Daily Cells” Waste Management and Research, Vol. 19, 2001, pp332-341
16. “Waste Containment Systems, Waste Stabilization and Landfills” Hari D. Sharma, Sangeeta P. Lewis
17. Paul T. Wiliams, “Waste Treatment and Disposal”, Leeds 1998
18. Thomas H. Christensen, “Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact”, 1989
19. Amalendu Bagchi, “Design Construction & Monitoring of Sanitary Landfill”, 1989
20. Εθνικός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, ΚΥΑ 114218, !7 Νοεμβρίου 1997, Β'
21. Μέτρα και όροι για την Υγειονομική Ταφή των αποβλήτων, ΚΥΑ 29407/3508, 16 Δεκεμβρίου 2002, Αρ.Φ 1572 Β'
22. Συμπλήρωση και εξειδίκευση της 113944/1997 κοινή υπουργική απόφαση κ.λ.π, ΚΥΑ 14312/2000
23. Schoeder PR, AzizNM, Lloyd CM, Zappi PA (1994), The Hydrologic evaluation of landfill performance (HELP) model: user guide for Version 3. EPA, EPA/600/R-94/168a

Βιβλιογραφία

24. Schoeder PR, Dozier TS, Zappi, PA, McEnroe BM (1994), The hydrologic evaluation of landfill performance model: engineering documentation for version 3. EPA/600/R-94/168b
25. F. Yalcin & G.N. Demirer, Performance of Landfill with HELP (hydrologic evaluation of landfill performance) model: Izmit case study. Environmental Geology, 2002.