

Μέθοδος Επιλογής του Απαιτούμενου Βαθμού Στεγάνωσης Πυθμένα Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)

Selection Method of the Required Sanitary Landfill Liner System

ΠΛΑΤΗΣ Α.Δ., Πολιτικός Μηχανικός, M.Eng., ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε.
 ΑΛΚΑΛΑΗΣ Η.Β, Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc., ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Ε.Π.Ε.
 ΤΣΕΛΕΝΤΗΣ Ι.Κ., Πολιτικός Μηχανικός, NAMA Α.Ε.
 ΚΟΥΜΟΥΛΟΣ Δ.Γ., Δρ Πολιτικός Μηχανικός, ΚΑΣΤΩΡ Ε.Π.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Παρουσιάζεται μία μεθοδολογία για την επιλογή του απαιτούμενου βαθμού στεγάνωσης του πυθμένα ΧΥΤΑ με βάση ορισμένα προτεινόμενα κριτήρια επιλογής. Τα κριτήρια αυτά λαμβάνουν υπόψη το είδος των απορριμμάτων, τις υδρογεωλογικές συνθήκες, και το είδος των χρήσεων του υδροφορέα προκειμένου να προσδιοριστεί το μέγεθος του κινδύνου υπέρβασης των επιτρεπομένων ορίων συγκέντρωσης ρύπων στα υπόγεια νερά. Επίσης περιγράφονται οι προτεινόμενοι εναλλακτικοί τρόποι στεγάνωσης του πυθμένα. Τέλος γίνεται εφαρμογή της μεθόδου σε πραγματικές περιπτώσεις ΧΥΤΑ και γίνεται σύγκριση με τις προτάσεις των μελετών των έργων αυτών.

ABSTRACT: A methodology for the selection of the required liner system of sanitary landfills, based on proposed selection criteria, is presented. These criteria take into account waste type, hydrogeological regime and potential uses of groundwater in order to determine the potential of exceeding the allowable concentration of certain pollutants in the groundwater. The proposed alternative liner system types are also described. Finally the proposed method is applied in two actual cases of sanitary landfills and the resulting liner system is compared to the corresponding one that was proposed by the design of each project.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θέμα της επιλογής του απαιτούμενου βαθμού στεγάνωσης ενός Χώρου Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) είναι σύνθετο και πολυπαραμετρικό. Οι υπάρχοντες εθνικοί κανονισμοί προδιαγράφουν έναν ελάχιστο απαιτούμενο βαθμό στεγάνωσης, επαφίεται δε στους εμπλεκόμενους φορείς (διαχείρισης και εποπτείας) και μελετητές (μελετητή περιβαλλοντικών επιπτώσεων και μελετητή ΧΥΤΑ) να καθορίσουν τον κατά περίπτωση απαιτούμενο βαθμό στεγάνωσης. Προκειμένου να γίνει ο προσδιορισμός του περιβαλλοντικού κινδύνου από τα παραγόμενα αποπλύματα (επίσημη μετάφραση των leachates) του ΧΥΤΑ και τον εξ αυτού απαιτούμενο βαθμό προστασίας των υπογείων νερών, δηλαδή του απαιτούμενου τρόπου στεγάνωσης, θα πρέπει να συναξιολογηθούν όλες οι υπεισερχόμενες παράμετροι.

Στην παρούσα ανακοίνωση προσδιορίζονται οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν

τον απαιτούμενο βαθμό προστασίας, και δημιουργούνται βάσει αυτών ορισμένα κριτήρια επιλογής του. Επίσης περιγράφονται οι προτεινόμενοι εναλλακτικοί τρόποι στεγάνωσης του πυθμένα, που αντιστοιχούν στον εκάστοτε προσδιοριζόμενο βαθμό προστασίας. Τέλος γίνεται εφαρμογή της μεθόδου σε δύο πραγματικές περιπτώσεις ΧΥΤΑ και συγκρίνονται οι προκύπτοντες απαιτούμενοι βαθμοί προστασίας με τους αντίστοιχους προταθέντες από τις μελέτες των έργων αυτών.

2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΒΑΘΜΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Οι κίνδυνοι που δημιουργούνται από τη διαφυγή αποπλυμάτων από τον ΧΥΤΑ στο έδαφος εξαρτώνται από τις ιδιαιτερότητες του συστήματος: *Πηγή-Μέσον-Αποδέκτης*.

Με τον όρο *πηγή* εννοούμε τον ίδιο τον ΧΥΤΑ, δηλαδή τη φύση των απορριμμάτων,

που επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα των παραγομένων αποπλυμάτων.

Με τον όρο *μέσον* εννοούμε το υδρογεωλογικό καθεστώς κάτω και γύρω από τον ΧΥΤΑ, το οποίο επηρεάζει την ταχύτητα διήθησης των αποπλυμάτων μέσα στο έδαφος, την ταχύτητα μεταφοράς των ρύπων μέσω των υπογείων νερών και τέλος το βαθμό φυσικής εξασθένησης των ρύπων με την απόσταση από την πηγή.

Τέλος με τον όρο *αποδέκτης* εννοούμε τον αποδέκτη των υπογείων νερών που μεταφέρουν τους ρύπους τόσο κατά είδος (πηγή, ποτάμι, λίμνη, θάλασσα, υδρογεώτρηση) όσο και κατά χρήση (βιομηχανία, άρδευση, ύδρευση, αναψυχή).

Αναλυτικότερά, οι παράγοντες που επηρεάζουν το σύστημα *Πηγή-Μέσον-Αποδέκτης*, και προσδιορίζουν το μέγεθος του περιβαλλοντικού κινδύνου από πιθανή διαφυγή αποπλυμάτων στο έδαφος, ομαδοποιούνται ως εξής:

2.1 Είδος απορριμμάτων (πηγή)

Τα απορρίματα μπορούν να διακριθούν, σύμφωνα με το πρόσφατο σχέδιο οδηγίας της ΕΕ 96/С 59/01, σε τέσσερις κατηγορίες:

α) Αδρανή: Εννοούνται τα απορρίματα που δεν υφίστανται σημαντικές φυσικές, χημικές ή βιολογικές μεταβολές. Η δυνατότητα δημιουργίας αποπλυμάτων και η περιεκτικότητα τους σε ρυπαντικό φορτίο καθώς και η οικοτοξικότητα των δημιουργουμένων αποπλυμάτων είναι ασήμαντη.

β) Αστικά: Εννοούνται τα οικιακά απορρίματα, καθώς και εκείνα τα απορρίματα των οποίων η φύση και η σύνθεση είναι παρεμφερής με αυτή των οικιακών.

γ) Ακίνδυνα: Εννοούνται τα απορρίματα που δεν εμπίπτουν στην επόμενη κατηγορία (δ).

δ) Επικίνδυνα: Εννοούνται τα απόβλητα που καλύπτονται από την Κοινοτική Οδηγία 91/689/ΕΕC/12-12-91, όπως αυτή τροποποιήθηκε από την Οδηγία 94/31/ΕC/2-7-94, και τα οποία έχουν ενδεικτικά ως συστατικά διάφορα μέταλλα ή ενώσεις τους και διάφορες επικίνδυνες οργανικές ενώσεις. Επισημαίνεται ότι ορισμένα από τα απόβλητα αυτά (π.χ. νοσοκομειακά, εκρηκτικά κλπ.) δεν είναι αποδεκτά για ταφή χωρίς προηγούμενη επεξεργασία.

2.2 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά ακόρεστης ζώνης (μέσον)

Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται το πάχος

και η μέση διαπερατότητα του εδάφους κάτω από τον ΧΥΤΑ, μέχρι τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (ΥΥΟ), δηλαδή η ακόρεστη ζώνη. Είναι η ζώνη μέσα από την οποία πρέπει να κινηθούν τα διαφεύγοντα αποπλύματα για να φθάσουν στον υπόγειο υδροφορέα. Η κίνηση στη ζώνη αυτή γίνεται με τη βαρύτητα. Ο απαιτούμενος χρόνος για την άφιξη των αποπλυμάτων στον υπόγειο υδροφορέα είναι ανάλογος του πάχους (H) και αντιστρόφως ανάλογος της μέσης διαπερατότητας (k) της ακόρεστης ζώνης.

Σύμφωνα με το σχέδιο αδηγίας της ΕΕ 96/С 59/01 θα πρέπει να εξασφαλίζεται φυσικά ή τεχνητά η παρουσία "γεωλογικού φραγμού" ισοδύναμου πάχους και διαπερατότητας κατά περίπτωση ως εξής:

- α) Αδρανή απορρίματα
 $k \leq 1 \times 10^{-7} \text{ m/s}$, $H \geq 1 \text{ m}$.
- β) Αστικά/ακίνδυνα απορρίματα
 $k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$, $H \geq 1 \text{ m}$.
- γ) Επικίνδυνα απορρίματα
 $k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$, $H \geq 5 \text{ m}$.

2.3 Χαρακτηριστικά υδροφορέα (μέσον)

Ο κίνδυνος υπέρβασης των επιτρεπομένων ορίων συγκέντρωσης ορισμένων ρύπων στη θέση του *αποδέκτη*, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία, εξαρτάται από τη θέση και την απόσταση του ΧΥΤΑ από τις σημερινές ή μελλοντικά προβλεπόμενες χρήσεις (που αναλύονται στην επόμενη παράγραφο), καθώς και από εκείνα τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα που επηρεάζουν αφ' ενός τη διασπορά και τη συγκράτηση των ρύπων (και άρα τη μείωση της συγκέντρωσης τους στα υπόγεια νερά) και αφ' ετέρου την ταχύτητα μεταφοράς τους. Πιο αναλυτικά οι παράγοντες που επηρεάζουν τον κίνδυνο υπέρβασης των επιτρεπομένων ορίων είναι:

α) Θέση χρήσης ως προς τον ΧΥΤΑ: Οι συνθήκες θεωρούνται ευνοϊκές αν η χρήση βρίσκεται ανάντη του ΧΥΤΑ σε σχέση με τη σημερινή ή την προβλεπόμενη μελλοντική διεύθυνση κίνησης του νερού στον υπόγειο υδροφορέα.

β) Απόσταση χρήσης από τον ΧΥΤΑ: Ανάλογα με την αρχική συγκέντρωση των ρύπων στην *πηγή* και τα αποδεκτά όρια συγκέντρωσης εκάστου εξ αυτών στη θέση της χρήσης (αναλόγως και του είδους της χρήσης), η απόσταση που απαιτείται για τη φυσική εξασθένηση των ποικίλει, εξαρτώμενη βεβαίως και από τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα, που περιγράφονται παρακάτω.

Από παραμετρικές αναλύσεις που έχουν γίνει από τους συγγραφείς προκύπτει ότι για κάθε είδους υδροφορέα, πλήν καρστικών, μία μέγιστη ασφαλής απόσταση για φυσική εξασθένηση των ρυπαντών στη θέση του αποδέκτη είναι της τάξης των 30 km για οποιαδήποτε χρήση του υπόγειου νερού. Οι παραμετρικές αυτές αναλύσεις έχουν γίνει για διάφορα πάχη και διαπερατότητες υδροφορέα, διάφορες υδραυλικές κλίσεις, απ' ευθείας τροφοδοσία του υδροφορέα με ρυπαντικό φορτίο (χωρίς την παρεμβολή τεχνητού φραγμού ή ακόρεστης ζώνης), θεωρώντας σχεδόν συντηρητικούς ρυπαντές (πολύ μικρός ρυθμός αποικοδόμησης και καθόλου συγκράτηση) και μικρή διασπορά. Επίσης η ποσότητα και η σύνθεση των παραγομένων από τον ΧΥΤΑ αποπλυμάτων, με τα οποία θεωρήθηκε ότι τροφοδοτείται απ' ευθείας ο υδροφορέας, αποτελούν τυπικούς μέσους όρους για αστικά απορρίμματα χώρων ταφής απορριμμάτων μεγάλων ελληνικών και ξένων πόλεων. Τέλος στις αναλύσεις αυτές θεωρήθηκε 30ετής διάρκεια τροφοδοσίας του υδροφορέα από τα αποπλύματα και ελέγχθηκε η κίνηση των ρύπων για 200 έτη.

Θα πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι η μέγιστη ασφαλής απόσταση των 30 km περίπου έχει προκύψει από συνδυασμό πολλών δυσμενών παραγόντων και ότι από μόνη της δεν αποτελεί κριτήριο προσδιορισμού του κινδύνου υπέρβασης των επιτρεπόμενων ορίων, αλλά μόνο μετά από δυσμενή συνδυασμό με τους λοιπούς παράγοντες, όπως αναπτύσσεται στη συνέχεια.

γ) Υδραυλική κλίση: Επηρεάζει ανάλογα την ταχύτητα μεταφοράς των ρύπων προς τον αποδέκτη και αντιστρόφως ανάλογα τη συγκέντρωση των ρύπων στη θέση εισόδου τους στον υδροφορέα.

δ) Πάχος υδροφορέα: Επηρεάζει αντιστρόφως ανάλογα τη συγκέντρωση των ρύπων στα υπόγεια νερά.

ε) Υδραυλική αγωγιμότητα: Επηρεάζει ανάλογα την ταχύτητα μεταφοράς των ρύπων προς τον αποδέκτη.

στ) Ομοιογένεια διαπερατότητας: Επηρεάζει τη διασπορά (και άρα τη συγκέντρωση) των ρύπων στα υπόγεια νερά. Η μεγάλη ανομοιογένεια της διαπερατότητας (συχνές και μεγάλες μεταβολές της διαπερατότητας από θέση σε θέση) ευνοεί τη διασπορά των ρύπων.

ζ) Συντελεστής γραμμικής διασποράς: Επηρεάζει ανάλογα τη διασπορά (και άρα τη συγκέντρωση) των ρύπων στα υπόγεια νερά. Μπορεί να μετρηθεί πειραματικά.

η) Εδαφική σύσταση: Επηρεάζει τη συγ-

κράτηση (και άρα τη συγκέντρωση) των ρύπων από το έδαφος. Ανάλογα με τη σύσταση των ρύπων, ορισμένοι από αυτούς μπορεί να συγκρατούνται, μέσω ηλεκτροχημικών αντιδράσεων, από το σχηματισμό του υδροφορέα. Μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά.

2.4 Χρήσεις νερού υδροφορέα (αποδέκτης)

Ανάλογα με τη χρήση του νερού στη θέση του αποδέκτη, το νερό στη θέση αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως:

α) Μη εκμεταλλεύσιμο: Αναφέρεται σε περιοχές όπου δεν υπάρχει, ούτε προβλέπεται να υπάρξει κάποια χρήση.

β) Εκμεταλλεύσιμο ως μη πόσιμο: Αναφέρεται κυρίως σε αρδευτική ή βιομηχανική χρήση του νερού.

γ) Εκμεταλλεύσιμο ως πόσιμο: Αναφέρεται σε υδρευτική χρήση του νερού χωρίς ή μετά από επεξεργασία.

3. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

Τα κριτήρια επιλογής του βαθμού στεγάνωσης του πυθμένα του ΧΥΤΑ προσδιορίζονται από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν αναλυτικά στην προηγούμενη παράγραφο. Κάθε ένα από τα κριτήρια αυτά υποδιαιρείται σε 3 βαθμούς περιβαλλοντικού κινδύνου ως εξής:

3.1 Είδος απορριμμάτων

- α) Αδρανή.
- β) Αστικά/Ακίνδυνα.
- γ) Τοξικά/Επικίνδυνα.

3.2 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά ακόρεσης ζώνης

- α) Ευνοϊκά: $H/k > 1 \times 10^9 \text{ sec}$.
- β) Μέσα: $1 \times 10^9 \text{ sec} > H/k > 1 \times 10^7 \text{ sec}$.
- γ) Δυσμενή: $H/k < 1 \times 10^7 \text{ sec}$.

3.3 Χαρακτηριστικά υδροφορέα

α) Ευνοϊκά όταν οι συνθήκες για τους πρώτους 2 παράγοντες και ταυτόχρονα οιοσδήποτε άλλους 4 παράγοντες του πίνακα 1 που ακολουθεί είναι ευνοϊκές.

β) Μέσα όταν η χρήση βρίσκεται ανάντη του ΧΥΤΑ ως προς τη διεύθυνση κίνησης του νερού και παράλληλα είναι ευνοϊκές οι συνθήκες για τουλάχιστον ακόμα 3 από τους υπόλοιπους παράγοντες.

γ) Δυσμενή σε κάθε άλλη περίπτωση.

Πίνακας 1. Παράγοντες που Καθορίζουν τα Χαρακτηριστικά του Υδροφορέα και τον κίνδυνο υπέρβασης των επιτρεπομένων ορίων συγκέντρωσης ρύπων.
Table 1. Factors Determining the Aquifer Characteristics and the Potential of Exceeding the Allowable Pollutant Concentration Limits.

a/a	ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΕΥΝΟΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΠΑΡΑΤΗ- ΡΗΣΕΙΣ
1	Θέση χρήσης ως προς ΧΥΤΑ	Ανάντη	Κατάντη	[1]
2	Απόσταση χρήσης από ΧΥΤΑ	Μεγάλη	Μικρή	[2]
3	Υδραυλική κλίση νερού	Μικρή	Μεγάλη	-
4	Πάχος υδροφορέα	Μεγάλο	Μικρό	[3]
5	Υδραυλική αγωγιμότητα	Μικρή	Μεγάλη	[4]
6	Ομοιογένεια διαπερατότητας	Μικρή	Μεγάλη	-
7	Συντελεστής διασποράς	Μεγάλος	Μικρός	-
8	Εδαφική σύσταση	Αντιδρά	Δεν αντιδρά	-

[1] Αναφέρεται ως προς τη διεύθυνση κίνησης του νερού στον υδροφορέα.

[2] Η απόσταση θεωρείται γενικά μεγάλη αν είναι μεγαλύτερη από 30 km περίπου.

[3] Το πάχος θεωρείται γενικά μικρό όταν είναι μικρότερο των 10 m.

[4] Η υδραυλική αγωγιμότητα θεωρείται γενικά μικρή όταν είναι μικρότερη από 10^{-6} m/s.

3.4 Χρήσεις νερού υδροφορέα

- α) Μη εκμεταλλεύσιμο.
- β) Εκμεταλλεύσιμο ως μη πόσιμο (π.χ. για άρδευση/βιομηχανία).
- γ) Εκμεταλλεύσιμο ως πόσιμο.

4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο τύπος στεγάνωσης του πυθμένα του ΧΥΤΑ προσδιορίζεται κατά περίπτωση η "τιμή" (βαθμός περιβαλλοντικού κινδύνου) από τα 4 κριτήρια επιλογής των παραγράφων 3.1 ως 3.4. Αν για κάποια από τα κριτήρια αυτά δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για να τεκμηριωθεί η επιλογή μίας συγκεκριμένης τιμής, τότε λαμβάνεται η αντίστοιχη υψηλότερη "τιμή". Με βάση αυτές τις "τιμές" προσδιορίζεται από τον Πίνακα 2 που ακολουθεί, ο κωδικός του τύπου στεγάνωσης που απαιτείται. Στο σχήμα 1 φαίνεται ο τύπος στεγάνωσης που αντιστοιχεί σε κάθε κωδικό.

Οι κωδικοί των συστημάτων στεγάνωσης αποτελούνται από έναν αριθμό (0, 1, 2) και από ένα γράμμα (α, β, γ). Οι αριθμοί εκφράζουν το βαθμό στεγάνωσης που απαιτείται, ήτοι:

- 0: Καμμία στεγάνωση
- 1: Απλό σύστημα στεγάνωσης
- 2: Διπλό σύστημα στεγάνωσης (με ενδιάμεση ζώνη ελέγχου διαρροών).

Τα γράμματα εκφράζουν υποπεριπτώσεις ή διαφορετική αδιαπερατότητα των 3 συστη-

μάτων στεγάνωσης. Οι υποπεριπτώσεις 1α και 1β θεωρούνται από πλευράς διαπερατότητας ισοδύναμες και η επιλογή μεταξύ των δύο γίνεται με τεχνικοοικονομικά κριτήρια.

Στην περίπτωση που οι γεωλογικές συνθήκες στην περιοχή του έργου είναι ιδιαίτερα δυσμενείς (ασταθείς σχηματισμοί, μεγάλη σεισμικότητα, ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων, σπηλαιώδες υπόβαθρο, εγκαταλελειμμένα ορυχεία, κλπ.), και το είδος των απορριμμάτων είναι είτε αστικά/ακίνδυνα είτε τοξικά/επικίνδυνα, θα πρέπει να αναζητείται εναλλακτική θέση κατασκευής του ΧΥΤΑ. Αν παρ' όλα αυτά είναι αναπόφευκτη η κατασκευή του ΧΥΤΑ στη θέση αυτή, και μόνο για αστικά/ακίνδυνα απορρίμματα, τότε το σύστημα προστασίας που θα εφαρμοστεί θα πρέπει να προκύπτει από ειδική μελέτη. Σ' αυτή την περίπτωση ο βαθμός περιβαλλοντικής προστασίας δεν μπορεί να είναι μικρότερος του συστήματος 2γ, το ελάχιστο πάχος των μεμβρανών θα πρέπει να είναι 2.5 mm και πιθανόν να απαιτηθεί η χρήση πρόσθετων ενισχυτικών υλικών (π.χ. γεωπλέγματα).

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

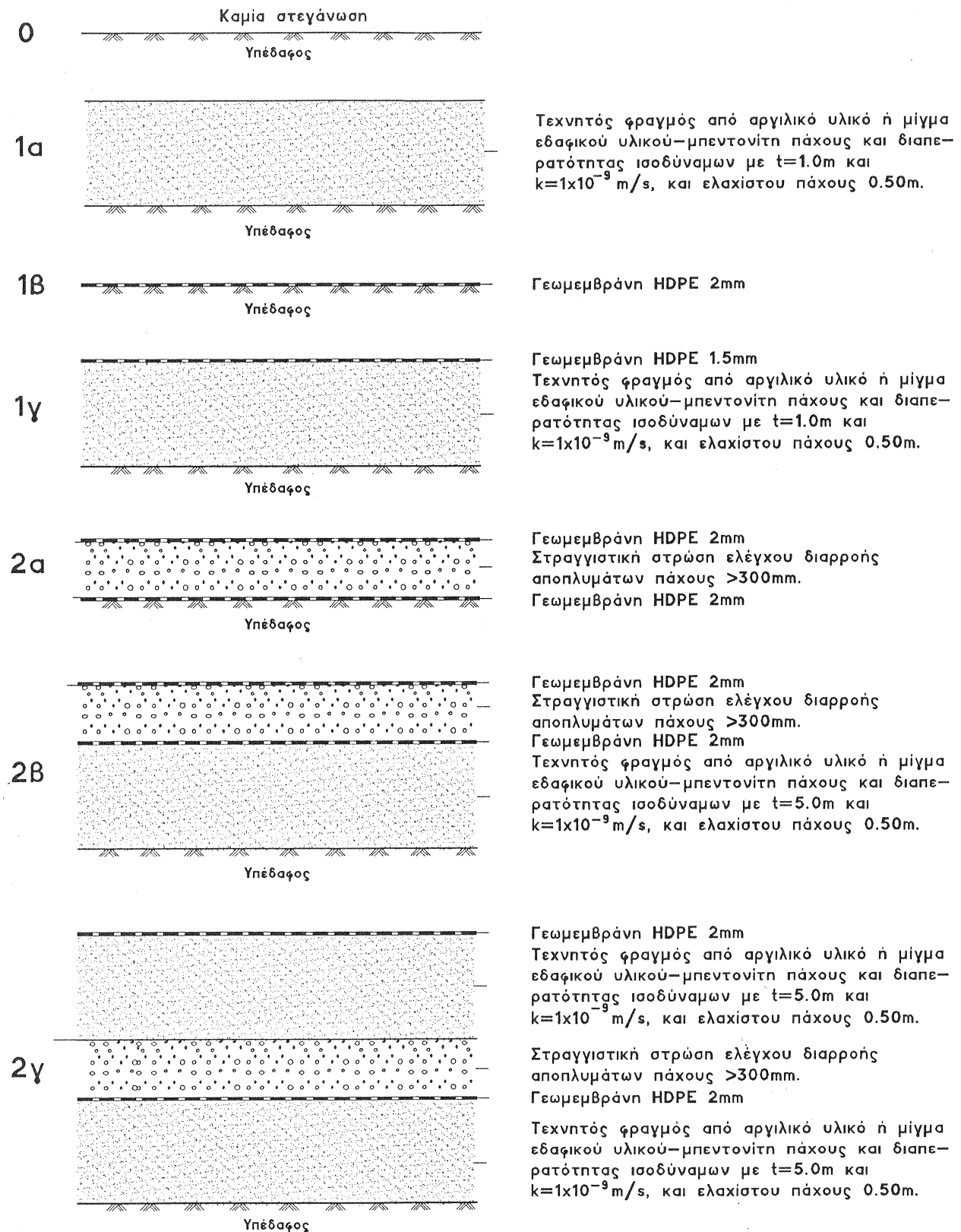
Η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόζεται στη συνέχεια σε δύο περιπτώσεις ΧΥΤΑ (Λάρισας και Πάτρας), για τους οποίους οι συγγραφείς έχουν στοιχεία για τις επικρατούσες εκεί συνθήκες.

Πίνακας 2. Προσδιορισμός απαιτούμενου τύπου στεγάνωσης πυθμένα
Table 2. Determination of required liner system type

ΕΙΔΟΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ											
ΧΡΗΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ		ΧΑΡΑΚΤΗ- ΡΙΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ	Αδρανή		Αστικά/Ακίνδυνα		Τοξικά/Επικίνδυνα				
			ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΚΟΡΕΣΤΗΣ ΖΩΝΗΣ								
			Ευνοϊκά	Μέσα	Δυσμενή	Ευνοϊκά	Μέσα	Δυσμενή	Ευνοϊκά	Μέσα	Δυσμενή
Μη εκμεταλλεύσιμο	-	0	0	0	0	1α-1β	1α-1β	2α	2β	2β	
Μη πόσιμο	Ευνοϊκά	0	0	0	0	1α-1β	1α-1β	2α	2β	2β	
	Μέσα	0	0	0	0	1α-1β	1α-1β	2α	2β	2β	
	Δυσμενή	0	0	0	0	1α-1β	1γ	2α	2β	2γ	
Πόσιμο	Ευνοϊκά	0	0	0	0	1α-1β	1γ	2α	2β	2γ	
	Μέσα	0	0	0/1α-1β (*)	0/1α-1β (*)	1γ	1γ	2β	2γ	2γ	
	Δυσμενή	0	0	1α-1β	1α-1β	1γ	1γ	2β	2γ	2γ	

(*) Στεγάνωση τύπου 0 αν προβλέπεται κατάλληλη επεξεργασία του νερού πριν από τη χρήση.
Στεγάνωση τύπου 1α-1β αν δεν προβλέπεται οιαδήποτε επεξεργασία του νερού πριν από τη χρήση.

Βαθμός στεγάνωσης



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: Στα σκαριφήματα δεν δίδονται οι λεπτομέρειες που αφορούν στις στραγγιστικές, προστατευτικές και διαχωριστικές στρώσεις, π.χ. γεωυφάσματα, γεωδίκτυα, σωλήνες αποστράγγισης και στρώσεις χαλίκων.

Σχήμα 1. Εναλλακτικοί τρόποι στεγάνωσης του πυθμένα ΧΥΤΑ.
Figure 1. Alternative types of sanitary landfill liner systems.

5.1 ΧΥΤΑ Λάρισας

- α) Είδος απορριμμάτων: Αστικά/Ακίνδυνα
 β) Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά ακόρεστης ζώνης:

Από στοιχεία εδαφοτεχνικών ερευνών και υδρογεωτρήσεων στην περιοχή, και από δοκιμαστικές αντλήσεις και επί τόπου μετρήσεις της διαπερατότητας έχει προκύψει ότι:

$$H \geq 120 \text{ m}$$

$$k = 10^{-7} \div 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\therefore H/k = 1.2 \times 10^6 \div 1.2 \times 10^9 \text{ sec}$$

Επομένως τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της ακόρεστης ζώνης είναι μέσα.

- γ) Χαρακτηριστικά υδροφορέα:

- Θέση χρήσης ως προς ΧΥΤΑ: Κατάντη (Δυσμενείς Συνθήκες).
- Απόσταση χρήσης:
 $\approx 0.4 \text{ km}$ από αρδευτικές γεωτρήσεις (Δυσμενείς Συνθήκες).
 $\approx 5.0 \text{ km}$ από αρδευτικές/υδρευτικές γεωτρήσεις (Δυσμενείς Συνθήκες).
- Υδραυλική κλίση: Μικρή (Ευνοϊκές Συνθήκες).
- Πάχος υδροφορέα: Μεγάλο (Ευνοϊκές Συνθήκες).
- Υδραυλική αγωγιμότητα: Μεγάλη (Δυσμενείς Συνθήκες).
- Ομοιογένεια διαπερατότητας: Μικρή (Ευνοϊκές Συνθήκες).
- Συντελεστής διασποράς: Άγνωστος $\Rightarrow$ Επιλέγεται "Μικρός" (Δυσμενείς Συνθήκες).
- Εδαφική σύσταση: Άγνωστη $\Rightarrow$ Επιλέγεται "Δεν αντιδρά" (Δυσμενείς Συνθήκες).

Με βάση τις παραπάνω επιλογές (5 συνθήκες είναι δυσμενείς και οι χρήσεις είναι κατάντη), προκύπτει ότι τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα είναι δυσμενή.

- δ) Χρήσεις νερού υδροφορέα:

Εκμεταλλεύσιμο ως μη πόσιμο και ως πόσιμο (εξετάζονται και οι δύο περιπτώσεις σε συνδυασμό με την αντίστοιχη απόσταση).

Συνοψίζοντας:

Είδος απορριμμάτων: Αστικά/Ακίνδυνα
 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά ακόρεστης ζώνης: Μέσα

Χαρακτηριστικά υδροφορέα: Δυσμενή

Χρήσεις νερού υδροφορέα: Εκμεταλλεύσιμο.

Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι ο απαιτούμενος τύπος στεγάνωσης είναι στην περίπτωση της αρδευτικής χρήσης (μη πόσιμο) 1α-1β στη δε περίπτωση της υδρευτικής χρήσης (πόσιμο) 1γ. Επομένως επιλέγεται ο τύπος στεγάνωσης 1γ

(μεμβράνη ελαχίστου πάχους 1.5 mm πάνω σε αργιλικό φραγμό ελαχίστου πάχους 1.0 m και μέγιστης διαπερατότητας $k=1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$).

Η λύση που έχει προταθεί από την προμελέτη του έργου αυτού είναι μεμβράνη ελαχίστου πάχους 2 mm πάνω σε αργιλικό φραγμό ελαχίστου πάχους 0.60 m και μέγιστης διαπερατότητας $6 \times 10^{-10} \text{ m/s}$. Επομένως η προταθείσα λύση στην προκειμένη περίπτωση είναι υδραυλικά ισοδύναμη με την επιλεγόμενη βάσει των προτεινομένων κριτηρίων επιλογής.

5.2 ΧΥΤΑ Πάτρας

- α) Είδος απορριμμάτων: Αστικά/Ακίνδυνα
 β) Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά ακόρεστης ζώνης:

Από τα στοιχεία της υδρογεωλογικής μελέτης του έργου προκύπτει ότι:

$$H \approx 2-15 \text{ m}$$

$$k = 10^{-4} \div 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$\therefore H/k = 2 \times 10^3 \div 1.5 \times 10^5 \text{ sec} < 1 \times 10^7 \text{ sec}$$

Επομένως τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της ακόρεστης ζώνης είναι δυσμενή.

- γ) Χαρακτηριστικά υδροφορέα:

- Θέση χρήσης ως προς ΧΥΤΑ: Κατάντη (Δυσμενείς Συνθήκες).
- Απόσταση χρήσης:
 $\approx 1.5 \text{ km}$ από αρδευτικές γεωτρήσεις και πηγάδια (Δυσμενείς Συνθήκες).
 $\approx 1.5 \text{ km}$ από αρδευτικές/υδρευτικές γεωτρήσεις και πηγάδια (Δυσμενείς Συνθήκες).
- Υδραυλική κλίση: Μεταβλητή (Δυσμενείς Συνθήκες).
- Πάχος υδροφορέα: Μικρό (Δυσμενείς Συνθήκες).
- Υδραυλική αγωγιμότητα: Μεγάλη (Δυσμενείς Συνθήκες).
- Ομοιογένεια διαπερατότητας: Μικρή (Ευνοϊκές Συνθήκες).
- Συντελεστής διασποράς: Άγνωστος $\Rightarrow$ Επιλέγεται "Μικρός" (Δυσμενείς Συνθήκες).
- Εδαφική σύσταση: Αδρομερή υλικά με μικρή ικανότητα συγκράτησης $\Rightarrow$ Επιλέγεται "Δεν αντιδρά" (Δυσμενείς Συνθήκες).

Με βάση τις παραπάνω επιλογές (7 συνθήκες είναι δυσμενείς και οι χρήσεις είναι κατάντη), προκύπτει ότι τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα είναι δυσμενή.

- δ) Χρήσεις νερού υδροφορέα:

Εκμεταλλεύσιμο ως μη πόσιμο και ως πόσιμο (εξετάζονται και οι δύο περιπτώσεις σε συνδυασμό με την αντίστοιχη απόσταση).

Συνοψίζοντας:

Είδος απορριμμάτων: Αστικά/Ακίνδυνα
 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά ακόρεστης
 ζώνης: Δυσμενής
 Χαρακτηριστικά υδροφορέα: Δυσμενής
 Χρήσεις νερού υδροφορέα: Εκμεταλλεύσιμο.

Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι ο απαιτούμενος τύπος στεγάνωσης είναι και για τα δύο είδη χρήσεων 1γ (μεμβράνη ελαχίστου πάχους 1.5 mm πάνω σε αργιλικό φραγμό ελαχίστου πάχους 1.00 m και μέγιστης διαπερατότητας $k=1 \times 10^{-9}$ m/s).

Η λύση που έχει προταθεί από την προμελέτη του έργου αυτού είναι μεμβράνη ελαχίστου πάχους 2 mm πάνω σε αργιλικό φραγμό ελαχίστου πάχους 0.30 m, μη προδιαγραφόμενης μέγιστης διαπερατότητας. Επομένως η προταθείσα λύση στην προκειμένη περίπτωση υστερεί ελαφρά εν σχέσει με την επιλεγόμενη βάσει των προτεινομένων κριτηρίων επιλογής.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα ανακοίνωση παρουσιάστηκε μία μέθοδος επιλογής του απαιτούμενου βαθμού στεγάνωσης ΧΥΤΑ βάσει τεσσάρων κριτηρίων επιλογής:

- Είδος απορριμμάτων.
- Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά ακόρεστης ζώνης.
- Χαρακτηριστικά υδροφορέα.
- Χρήσεις νερού υδροφορέα.

Η επιλογή γίνεται μεταξύ διαφόρων προτεινομένων τυπικών συστημάτων στεγάνωσης (βλ. Σχήμα 1), με τη βοήθεια του Πίνακα 2, αφού προηγουμένως προσδιοριστεί ο βαθμός περιβαλλοντικού κινδύνου καθενός από τα παραπάνω τέσσερα κριτήρια.

Με την προτεινόμενη μέθοδο αφ' ενός καθοδηγείται ο μελετητής στον προσδιορισμό εκείνων των παραμέτρων που επηρεάζουν το πρόβλημα και αφ' ετέρου παρέχεται η δυνατότητα μίας ρεαλιστικής αλλά και ασφαλούς επιλογής του τρόπου στεγάνωσης ενός ΧΥΤΑ. Η οικονομικότητα της επιλογής προφανώς επηρεάζεται από το βαθμό πληρότητας των στοιχείων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του βαθμού περιβαλλοντικού κινδύνου ενός εκάστου κριτηρίου επιλογής.

Η εφαρμογή της μεθόδου σε δύο περιπτώσεις ΧΥΤΑ έδειξε ότι οι τελικά επιλεγείσες από τους μελετητές και φορείς των έργων αυτών τύποι στεγάνωσης του πυθμένα ήταν περίπου ισοδύναμες με τις προκύπτουσες από την εφαρμογή της παρούσας μεθόδου.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Ε.Π.Ε. (1993)
 "Διερεύνηση Μαθηματικών Μοντέλων Διασποράς Ρύπων σε Υπόγεια Νερά", Αποτελέσματα ερευνητικού έργου, Τελική Έκθεση, Γ.Γ.Ε.Τ.
- BEAR J., VERRUIJT A. (1988)
 "Modeling Groundwater Flow & Pollution", Waste containment systems", D.Reidel Publishing Company.
- BONAPARTE R. (1990)
 "Waste containment systems", ASCE, Geotechnical Special Publication No. 26.
- ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε. (1995)
 "Γεωλογική-Γεωτεχνική Έρευνα & Μελέτη για το Νέο ΧΥΤΑ Λάρισας", Δήμος Λάρισας.
- ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε. (1996)
 "Συμπληρωματική Γεωτεχνική-Γεωλογική έρευνα για το Νέο ΧΥΤΑ Λάρισας", Δήμος Λάρισας.
- CLEMENT B. (1995)
 "Physico-Chemical Characterization of 25 French Landfill Leachates", 5th International Landfill Symposium, Sardinia 95, Volume I.
- ΕΣΔΚΝΑ (1993)
 "Μελέτη Αποκατάστασης Χ.Δ.Α. Άνω Λιοσίων - Φάση Β", Ειδική Προκαταρκτική Μελέτη.
- FREEZE R.A., CHERRY J.A. (1979)
 "Groundwater", Prentice Hall, New Jersey.
- KABBAΔΑΣ Μ., ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ Π. (1995)
 "Εξέλιξη της Ρύπανσης Εδαφών και Υπογείων Υδάτων", Διημερίδα "Γεωτεχνική Μηχανική & Περιβάλλον", HELECO '95, Αθήνα.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ.Α. (1986)
 "Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία", Έκδοση ΤΕΕ.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ Γ.Α., ΚΟΥΚΗΣ Γ., ΛΑΜΠΡΑΚΗΣ Ν. (1986)
 "Υδρογεωλογική Μελέτη ΧΥΤΑ Πατρών", Πανεπιστήμιο Πατρών.
- ΜΥΛΟΠΟΥΛΟΣ Ν., ΠΛΑΤΗΣ Α.Δ., ΜΥΛΟΠΟΥΛΟΣ Ι. (1995)
 "Μαθηματικά Μοντέλα Προσομοίωσης Υπογείων Υδροφορέων", Διημερίδα "Γεωτεχνική Μηχανική & Περιβάλλον", HELECO '95, Αθήνα.
- ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ Ε.Κ. (1991)
 Οδηγία 91/689/ΕΟΚ/12-12-91 για τα Επικίνδυνα Απόβλητα.
- ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ Ε.Κ. (1996)
 Σχέδιο Οδηγίας 96/С 59/01 για την Υγειονομική Ταφή των Αποβλήτων.