

Εφαρμογές Γεωσυνθετικών Υλικών – Αποκατάσταση Λεκάνης Λυματολάσπης στο ΧΑΔΑ Δουρούτης Ιωαννίνων

Applications of Geosynthetic Materials - Restoration of a Sludge Basin in Dourouti Landfill Ioannina

ΠΛΑΤΗΣ, Α.	Πολιτικός Μηχανικός, M.Eng., Γεωσύμβουλοι Ε.Π.Ε.
ΜΑΛΛΙΟΥ, Κ.	Πολιτικός Μηχανικός, Γεωσύμβουλοι Ε.Π.Ε.
ΠΛΑΤΗΣ, Δ.	Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc., Γεωσύμβουλοι Ε.Π.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Παρουσιάζεται η τεχνική λύση που μελετήθηκε προκειμένου να καλυφθεί η λεκάνη διάθεσης λυματολάσπης που υπήρχε στο χώρο του Χ.Α.Δ.Α. Δουρούτης Ιωαννίνων, έτσι ώστε αυτή να ενσωματωθεί στην τελική αποκατάσταση του Χ.Α.Δ.Α. Η κάλυψη της λυματολάσπης προβλέφθηκε με σύστημα αποτελούμενο από 3 στρώσεις γεωσυνθετικών υλικών, ενώ προβλέφθηκε και η πλήρωση της στεγανής λεκάνης που δημιουργήθηκε με νερό, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια στεγανή λίμνη πάνω από τη θέση κάλυψης της λυματολάσπης. Η τροφοδοσία και ανανέωση του νερού αυτής της λίμνης επιτυγχάνθηκε με τη διοχέτευση των απορρεόντων ομβρίων της ευρύτερης λεκάνης μέσω αυτής.

ABSTRACT: The technical solution adopted in order to cover a sludge disposal basin that existed in the area of Dourouti landfill is presented.

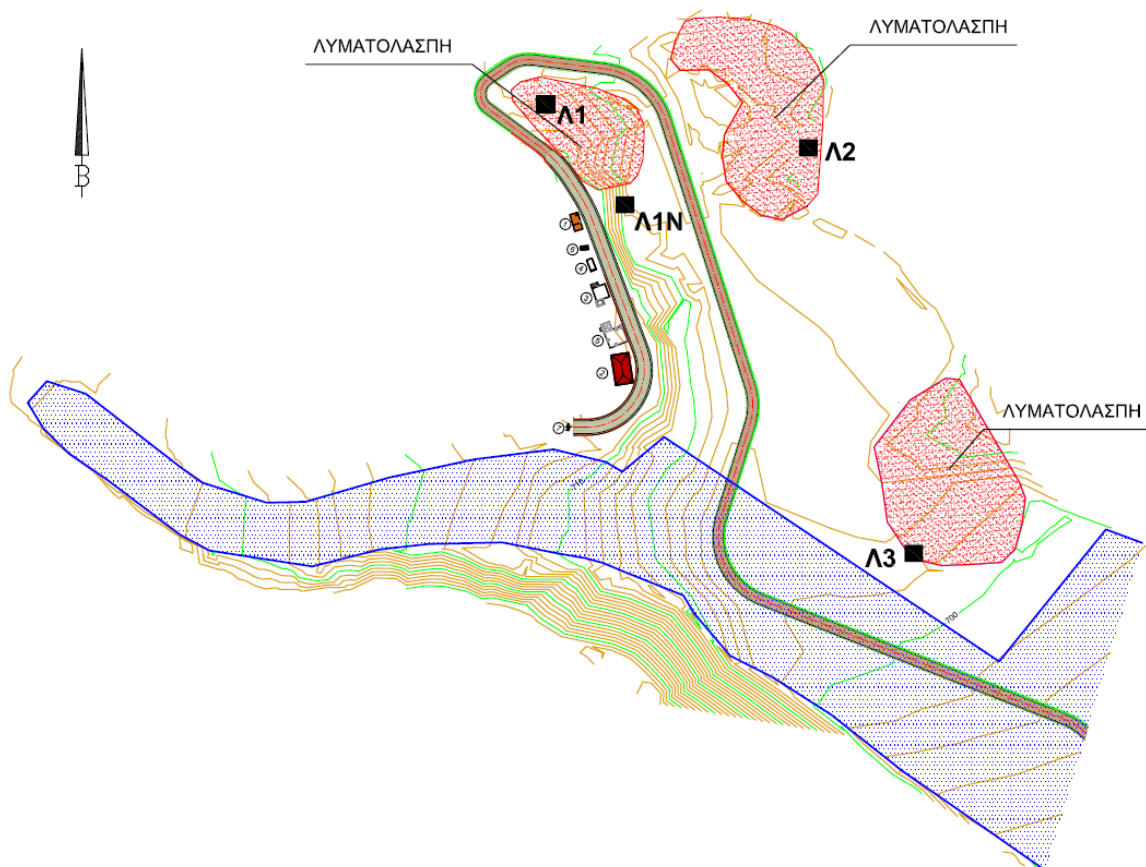
The technical solution included covering the sludge with a composite system consisting of 3 layers of geosynthetics. The basin created by the geosynthetics, was filled with water in order to create a pond.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην περιοχή του αποκατεστημένου πλέον Χώρου Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Αποβλήτων (Χ.Α.Δ.Α.) Δουρούτης Ιωαννίνων, προ της αποκατάστασής του, υπήρχαν λεκάνες διάθεσης λυματολάσπης, οι οποίες έπρεπε να καλυφθούν ώστε να ενσωματωθούν στην τελική αποκατάσταση του Χ.Α.Δ.Α. Στην παρούσα ανακοίνωση περιγράφεται η τεχνική λύση που μελετήθηκε και εφαρμόστηκε, με τη χρήση γεωσυνθετικών υλικών, λαμβάνοντας υπόψη στοιχεία από τις μελέτες αποκατάστασης που είχαν εκπονηθεί για το έργο (ΕΠΕΜ Α.Ε., 2007 και ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε., 2012) καθώς και τη γεωτεχνική αναγνώριση που εκτελέστηκε στις λεκάνες διάθεσης λυματολάσπης (Δημ. Πλατής, 2013).

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Όπως φαίνεται στο τοπογραφικό σκαρίφημα του σχήματος 1 και στη φωτογραφία 1, στο Χ.Α.Δ.Α. υπήρχαν 3 κύριες λεκάνες διάθεσης λυματολάσπης (Λ1, Λ2 και Λ3) συνολικού όγκου 60.000 m³, η έκταση των οποίων ήταν συνολικά 7.200 m², με μέγιστο βάθος των λεκανών αυτών της τάξης των 10,00-12,00 m.



Σχήμα 1. Θέσεις λεκανών και δειγματοληψίας λυματολάσπης.
Figure 1. Sludge basin and sampling locations.



Φωτογραφία 1. Άποψη των λεκανών διάθεσης λιματολάσπης από ΝΔ (04/2013).
Photograph 1. Sludge basins view from SW (04/2013).

Οι 2 από τις 3 λεκάνες διάθεσης (Λ1 και Λ2) είχαν καλυφθεί με κλαδιά και εδαφικό υλικό και έγινε σύσταση να μη γίνουν περαιτέρω ενέργειες για την κάλυψή τους, εν τούτοις για την κάλυψη της τρίτης λεκάνης (Λ3), στην οποία επέπλεαν απορρίμματα (βλ. φωτογραφία 2) απαιτείτο η λήψη μέτρων προκειμένου να καλυφθεί η λυματολάσπη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ενσωματωθεί στην τελική αποκατάσταση του Χ.Α.Δ.Α.



Φωτογραφία 2. Επιπλέοντα απορρίμματα στη λεκάνη λυματολάσπης Λ3.
 Photograph 2. Floating waste on L3 sludge basin.

Σημαντικό ρόλο για την επιλογή της λύσης διαδραμάτισε η φύση της λυματολάσπης. Κατά την εκτέλεση της γεωτεχνικής αναγνώρισης ελήφθησαν διαταραγμένα δείγματα λυματολάσπης από 4 θέσεις (Λ1, Λ1N, Λ2 και Λ3 - βλ. σχήμα 1) μέχρι βάθους 4,00 m, και έγιναν δοκιμές προσδιορισμού φυσικής υγρασίας.

Στη φωτογραφία 3 που ακολουθεί φαίνεται ένα χαρακτηριστικό δείγμα λυματολάσπης, ενώ στον παρακάτω πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών προσδιορισμού φυσικής υγρασίας που εκτελέστηκαν.

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 1, οι υγρασίες των δειγμάτων της λυματολάσπης ήταν πολύ υψηλές (300-600% περίπου) και το υλικό βρισκόταν σε σχεδόν υδαρή κατάσταση. Σημειώνεται επίσης ότι το υλικό αυτό είχε πολύ έντονη οσμή, με πιο χαρακτηριστική αυτή της αμμωνίας, η οποία διατηρήθηκε και μετά πάροδο τουλάχιστον 2 εβδομάδων έκθεσης στις ατμοσφαιρικές συνθήκες.



Φωτογραφία 3. Κοντινή άποψη δείγματος λυματολάσπης.
 Photograph 3. Close up view of sludge sample.

Πίνακας 1. Σύνοψη των αποτελεσμάτων προσδιορισμού υγρασίας δειγμάτων
 Table 1. Summary of water content results.

Λεκάνη	Βάθος δειγματοληψίας (m)	Θερμοκρασία ξηρανσης	Διάρκεια ξηρανσης	Ποσοστό υγρασίας	Οσμή
Λ1	0,00-0,30	65°±5°C	48 ώρες	≥435,3% ²	Έντονη
Λ1N ¹	0,00-0,30	65°±5°C	48 ώρες	≥569,6% ²	Έντονη
Λ2	0,00-0,15	105°±5°C	24 ώρες	312,2%	Ήπια
	0,00-0,30	65°±5°C	48 ώρες	≥606,5% ²	Έντονη
Λ3	0,00-0,50	65°±5°C	48 ώρες	≥305,4% ²	Έντονη
	2,00	65°±5°C	48 ώρες	≥392,1% ²	Έντονη
	4,00	65°±5°C	48 ώρες	≥441,2% ²	Έντονη

¹ Νέα λεκάνη δίπλα στη Λ1

² Το δείγμα δεν είχε ξηρανθεί πλήρως μετά την αναφερόμενη διάρκεια παραμονής του στο φούρνο

3. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Είναι προφανές ότι επί ενός υλικού με τα παραπάνω χαρακτηριστικά θα ήταν πρακτικά αδύνατο να κινηθούν χωματουργικά μηχανήματα για να κατασκευαστεί με ασφάλεια επίχωμα οιοδήποτε ύψους χωρίς κίνδυνο θραύσης, προκειμένου να αποκατασταθεί ο χώρος.

Ένα άλλο πρόβλημα ήταν οι μεγάλες καθιζήσεις που αναμένονται σε ένα τέτοιο υλικό, αν αποθεθούν επ' αυτού απορρίμματα κάποιου σημαντικού ύψους. Το βασικότερο πρόβλημα που θα προκαλούσαν οι καθιζήσεις στο τελικό ανάγλυφο είναι η δημιουργία υφέσεων στην τελική επιφάνεια, που θα οδηγούσε σε συγκέντρωση ομβρίων και κακή απορροή και ενδεχομένως σε ζημιές σε τυχόν δίκτυα (π.χ. άρδευσης) ή κατασκευές στις περιοχές αυτές.

Γνωρίζοντας όμως εκ των προτέρων το πρόβλημα αυτό και τις θέσεις όπου αυτό θα παρουσιαστεί, θα ήταν δυνατό να γίνει κατάλληλη πρόβλεψη διαμόρφωσης του τελικού αναγλύφου έτσι ώστε να αποφευχθούν τα προβλήματα αυτά όπως:

- ✓ Πρόβλεψη δημιουργίας στεγανών λιμνών (με μεμβράνη) που θα ενταχθούν στην τελική αρχιτεκτονική διαμόρφωση τοπίου.
- ✓ Πρόβλεψη εξάρσεων του τελικού αναγλύφου στις περιοχές αυτές, έτσι ώστε μετά την καθίζηση να συνεχίζει η απρόσκοπτη απορροή των ομβρίων.
- ✓ Τοποθέτηση εύκαμπτου δικτύου άρδευσης, που να μπορεί να παραλάβει πιθανές μεγάλες υποχωρήσεις χωρίς αστοχία.
- ✓ Αποφυγή τοποθέτησης κατασκευών ευαίσθητων σε καθιζήσεις στις περιοχές αυτές στην τελική αρχιτεκτονική διαμόρφωση τοπίου.

4. ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΗΣ ΛΥΜΑΤΟΛΑΣΠΗΣ

Η επιλογή των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού για τη λυματολάσπη βασίστηκε στα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που έγιναν στα δείγματα της λυματολάσπης καθώς και σε βιβλιογραφικά στοιχεία για οργανικά εδάφη και τύρφεις και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 2.

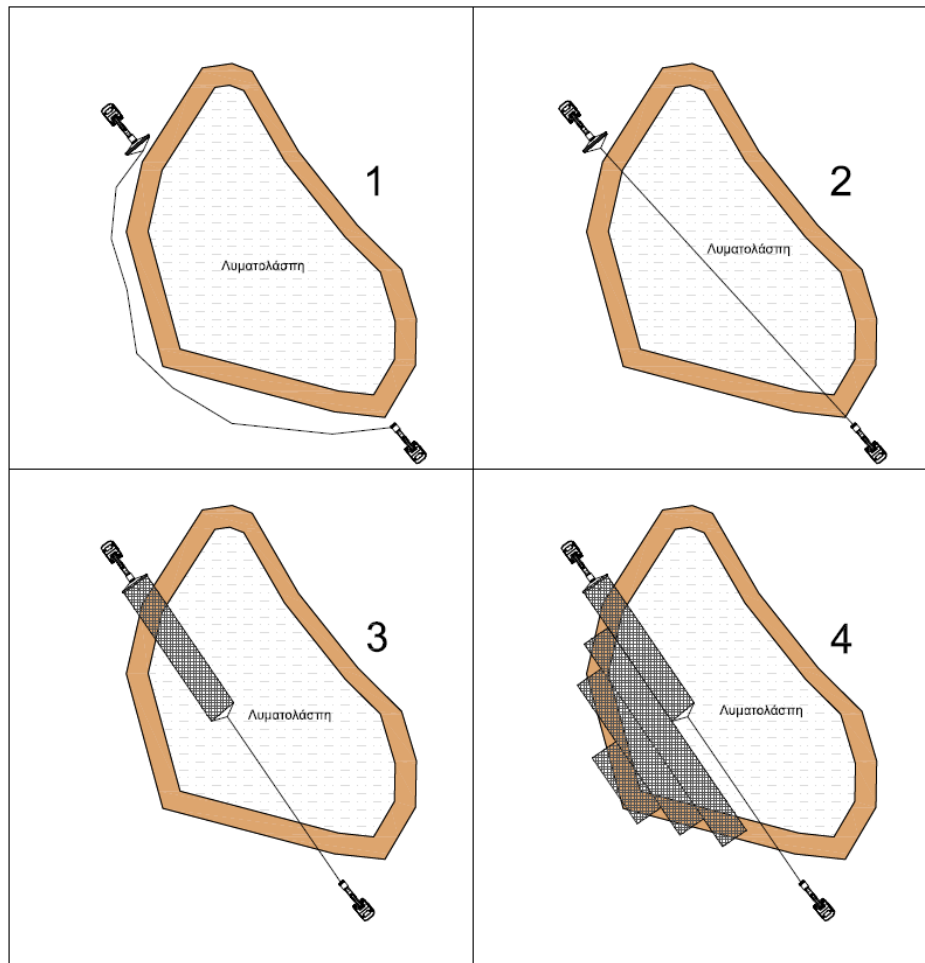
Πίνακας 2. Γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού λυματολάσπης.
Table 2. Sludge geotechnical design parameters.

Παράμετρος	Τιμή σχεδιασμού
Υγρό φαινόμενο βάρος γ (kN/m ³)	10
Δείκτης συμπίεσης C_c	8
Λόγος κενών (e)	5
Συντελ. δευτερογενούς συμπίεσης (C_α)	0,10

5. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω επιλέχθηκε η λύση κάλυψης της λυματολάσπης με σύνθετο σύστημα αποτελούμενο από 3 στρώσεις γεωσυνθετικών υλικών, τα οποία είτε αγκυρώνονται στην περίμετρο της λεκάνης είτε συνδέονται με τις στρώσεις των γεωσυνθετικών του τελικού καλύμματος. Πιο συγκεκριμένα το σύστημα κάλυψης της λυματολάσπης είχε την εξής δομή και λειτουργία (βλ. και σχήμα 3 παρακάτω):

- ❖ Περιμετρικά της λεκάνης της λυματολάσπης προβλέφθηκε η κατασκευή αναχώματος πλάτους στέφης 2,00 m με κλίση 2:3 (κατ:οριζ). Επί του αναχώματος αυτού προβλέφθηκε η δημιουργία οδού πρόσβασης πλάτους 5,00 m.
 - ❖ Επί της λυματολάσπης και των απορριμμάτων που επέπλεαν εντός αυτής τοποθετήθηκε ένα μη υφαντό γεωύφασμα βάρους 600 gr/m². Το γεωύφασμα αυτό χρησίμευε αφενός μεν ως εξομάλυνση της επιφάνειας προκειμένου στη συνέχεια να τοποθετηθεί η προβλεπόμενη γεωμεμβράνη, αφετέρου δε για να προστατεύει τη μεμβράνη από τραυματισμό από τυχόν υποκείμενα ογκώδη απορρίμματα.
 - ❖ Επί του μη υφαντού γεωυφάσματος προβλέφθηκε η τοποθέτηση γεωμεμβράνης HDPE αμφίπλευρα λείας, πάχους 2 mm, η οποία αποτελούσε τη στεγάνωση της λεκάνης, ενώ παράλληλα διασφάλιζε τη συνέχεια της απομόνωσης του απορριμματοειδούς όγκου από το περιβάλλον. Η μεμβράνη προβλέφθηκε να τοποθετηθεί απόλυτα χαλαρή με μικροπτυχώσεις (χωρίς καμία τάνυση).
 - ❖ Επί της γεωμεμβράνης προβλέφθηκε η τοποθέτηση ενός ακόμα μη υφαντού γεωυφάσματος βάρους 600 gr/m² ως προστασία της μεμβράνης από την προβλεπόμενη στρώση άμμου που θα τοποθετείτο επ' αυτού.
 - ❖ Επί του ανώτερου μη υφαντού γεωυφάσματος προβλέφθηκε να τοποθετηθεί στρώση άμμου πάχους 0,10 m, αφενός για την προστασία του γεωυφάσματος αφετέρου για να αποτελέσει πρόσφορο έδαφος για ανάπτυξη χλωρίδας σε συνδυασμό με το νερό που προβλέφθηκε να διοχετευτεί τελικά επί της άμμου.
 - ❖ Εσωτερικά του περιμετρικού αναχώματος της λεκάνης, προβλέφθηκε η κατασκευή πρίσματος προστασίας από χαλίκια 20-40 mm, τοποθετούμενα με ήπια κλίση ($\approx$ 1:3 – κατ:οριζ).
 - ❖ Εντός της στεγανής λεκάνης που δημιουργήθηκε από τα γεωσυνθετικά που τοποθετήθηκαν επί της λυματολάσπης και το περιμετρικό ανάχωμα προβλέφθηκε η διοχέτευση νερού (όμβρια ή τεχνητώς προσαγώμενο νερό), το ύψος του οποίου εκτιμήθηκε ότι θα ανέρχεται σε 1,00 m περίπου. Το βάρος του νερού αυτού αφενός μεν θα προκαλούσε κάποιες καθιζήσεις στο στρώμα της λυματολάσπης, αφετέρου δε θα συντελούσε στη δημιουργία μιας στεγανής λίμνης στη θέση κάλυψης της λυματολάσπης.
- Λαμβάνοντας υπόψη την αδυναμία κίνησης μηχανημάτων απ' ευθείας επί της λυματολάσπης προτάθηκε η διάστρωση των γεωσυνθετικών να γίνει με τη βοήθεια δύο εκσκαπτικών μηχανημάτων (τσάπες) τα οποία θα στέκονταν αντιδιαμετρικά της λεκάνης της λυματολάσπης και με τη χρήση ενός συρματοσχοινίου θα ξεδίπλωναν τα ρολά των γεωσυνθετικών (βλ. σχήμα 2 στην επόμενη σελίδα).



Σχήμα 2. Πρόταση διάστρωσης γεωσυνθετικών.
Figure 2. Proposed method of geosynthetics placement.

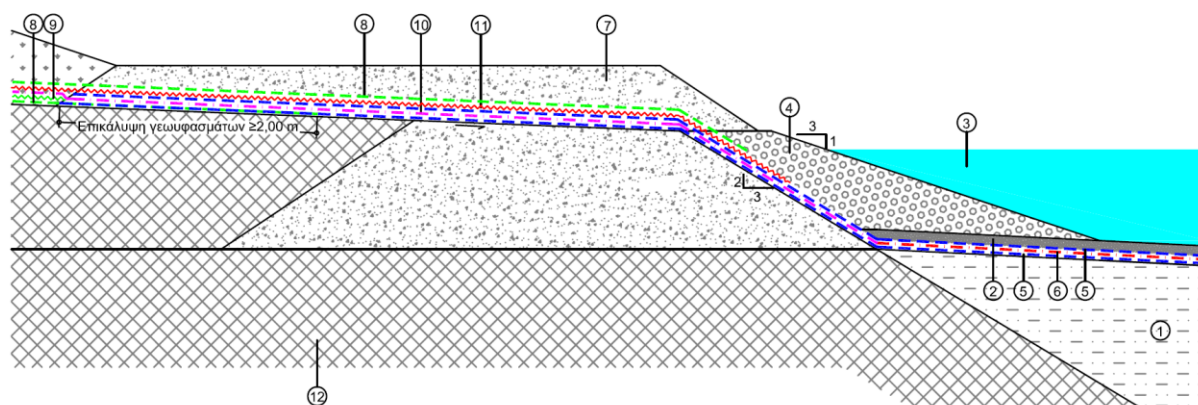
6. ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Η εκπόνηση της μελέτης περιελάμβανε υπολογισμούς εκτίμησης καθιζήσεων της λυματολάσπης και αντίστοιχα έλεγχο παραμόρφωσης της γεωμεμβράνης λόγω των υποχωρήσεων αυτών.

Οι υπολογισμοί εκτίμησης των καθιζήσεων εκτελέστηκαν με τη χρήση του κώδικα H/Y Settle 3D v2.0 της Rocscience, λαμβάνοντας υπόψη υποχωρήσεις από πρωτογενή στερεοποίηση καθώς και δευτερογενή συμπίεση. Η λεκάνη της λυματολάσπης προσομοιώθηκε με κυκλική φορτιζόμενη επιφάνεια διαμέτρου 60 m, ενώ το βάθος επιρροής για τον υπολογισμό των καθιζήσεων λήφθηκε όσο το εκτιμώμενο μέγιστο πάχος της λυματολάσπης στη λεκάνη, που ήταν ίσο προς 12 m. Ως επιβαλλόμενο φορτίο λήφθηκε αυτό που ασκείται από 0,10 m άμμο και 1,00 m νερό (= 11 kPa - το υγρό φαινόμενο βάρος της άμμου λήφθηκε συντηρητικά ως $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$). Από τους υπολογισμούς αυτούς προέκυψε ότι η μέγιστη καθίζηση ήταν της τάξης των 2,00 m (στο κέντρο της λεκάνης).

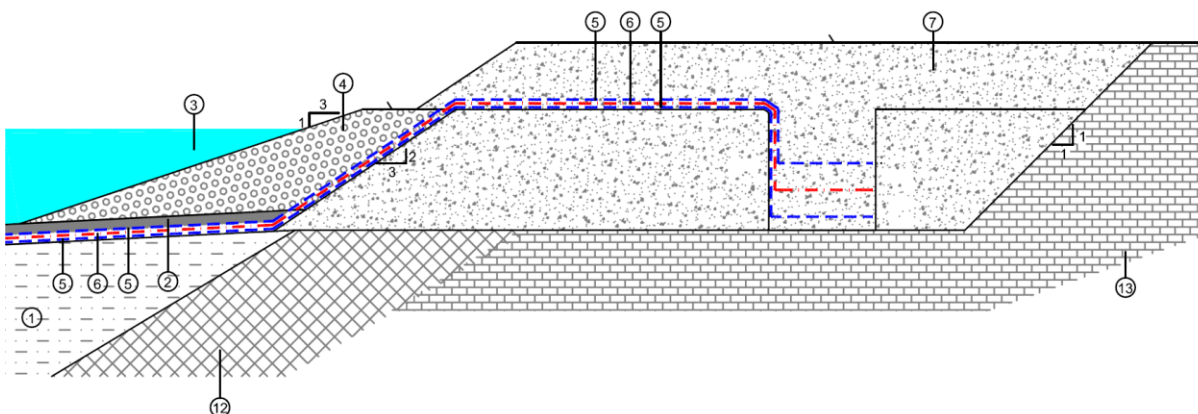
Η παραμόρφωση που προκαλείται στη μεμβράνη λόγω της καθίζησης αυτής είναι της τάξης του $2 \times 10^{-3} \%$, που είναι σαφώς μικρότερη από τη μέγιστη παραμόρφωση της γεωμεμβράνης στη διαρροή (5%), σύμφωνα με τα τεχνικά φυλλάδια των μεμβρανών του εμπορίου. Παρ' όλ' αυτά, προκειμένου να αποφευχθούν συγκεντρώσεις τάσεων στη μεμβράνη, στην περίπτωση που οι καθιζήσεις ήταν πιο ανομοιόμορφες από τις υπολογιζόμενες, λόγω διαφοροποίησης του πάχους και της συμπίεστικότητας της λυματολάσπης από θέση σε θέση, όπως προαναφέρθηκε, η μεμβράνη προτάθηκε να τοποθετηθεί απόλυτα χαλαρή με μικροπτυχώσεις (χωρίς καμία τάνυση).

Στο σχήμα 3 που ακολουθεί δίνεται η απόληξη του σύνθετου συστήματος των γεωσυνθετικών υλικών, σε θέση σύνδεσης με τις στρώσεις των γεωσυνθετικών του τελικού καλύμματος (α) και στην περίπτωση αγκύρωσης στην περίμετρο της λεκάνης (β).



(α) – (α)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
① Λυματολάσπη	⑧ Μη υφαντό γεωύφασμα βάρους 180 gr/m ²
② Άμμος πάχους 0,10 m	⑨ Γεωσυνθετικό στραγγιστήριο HDPE, τρισδιάστατου πυρήνα, ισοδύναμης παροχευτικότητας με στρώση από χαλίκι ελαχίστου πάχους 0,30 m με $k \geq 10^{-3}$ m/s
③ Όμβρια ή τεχνητά προσαγώγιμο νερό	⑩ Γεωμεμβράνη HDPE αμφίπλευρα τραχεία πάχους 2 mm
④ Χαλίκια 20-40 mm	⑪ Γεωσυνθετικό στραγγιστήριο HDPE, τρισδιάστατου πυρήνα, ισοδύναμης παροχευτικότητας με στρώση από χαλίκι ελαχίστου πάχους 0,50 m με $k \geq 10^{-3}$ m/s
⑤ Μη υφαντό γεωύφασμα βάρους 600 gr/m ²	⑫ Απορρίμματα
⑥ Γεωμεμβράνη HDPE αμφίπλευρα λεία πάχους 2 mm, τοποθετούμενη χαλαρά και με μικροπυλώσεις (χωρίς καμία τάνυση) επί της λυματολάσπης	⑬ Βραχώδες υπόβαθρο
⑦ Επιχώσεις από συμπυκνωμένα γαιώδη υλικά μεγίστου κόκκου 75 mm και ποσοστό χαλίκων ≤ 30%	



(β) – (β)

Σχήμα 3. Σύνδεση του σύνθετου συστήματος με τις στρώσεις των γεωσυνθετικών του τελικού καλύμματος του Χ.Α.Δ.Α. (α).
Αγκύρωση του σύνθετου συστήματος στην περίμετρο της λεκάνης λυματολάσπης (β).

Figure 3. Connection of the composite system to the layers of the landfill final cap (a).
Anchorage of the composite system to the perimeter of the sludge basin (b).

Στις φωτογραφίες 4 και 5 που ακολουθούν παρουσιάζεται υλοποιημένη η λύση της μετατροπής της λεκάνης λυματολάσπης σε στεγανή λίμνη και η ενσωμάτωσή της στην αποκατάσταση του Χ.Α.Δ.Α Δουρούτης Ιωαννίνων.



Φωτογραφία 4. Υλοποίηση της τεχνικής λύσης από την εταιρεία Μηχανική Περιβάλλοντος Α.Ε.
 Photograph 4. Implementation of the technical solution by Environmental Engineering S.A.



Φωτογραφία 5. Πανοραμική άποψη του αποκατεστημένου Χ.Α.Δ.Α. Δουρούτης.
 Photograph 5. Panoramic view of Dourouti Landfill final closure.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΕΠΕΜ Α.Ε. (2007), “Οριστική Μελέτη Αποκατάστασης Χ.Δ.Α. Δουρούτης”.
- ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε. (2012), “Αποκατάσταση Χ.Δ.Α. Δουρούτης, Επικαιροποίηση – Τροποποίηση Μελέτης”.
- Πλατής Δ.Α., (2013), “Γεωτεχνική Μελέτη για την Κάλυψη Λεκανών Λυματολάσπης στο Χ.Α.Δ.Α. Δουρούτης Ιωαννίνων”, Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης – Αποχέτευσης Ιωαννίνων (Δ.Ε.Υ.Α.Ι.).