

Καθιζήσεις ΧΥΤΑ: Υπολογισμός με Βάση το Μοντέλο της Μονοδιάστατης Στερεοποίησης και επί τόπου Μετρήσεις

Settlement of MSW Landfills: Estimation Based on the Model of One-Dimensional Consolidation and Site Measurements

ΣΑΜΑΡΑ, Ο. Πολιτικός Μηχανικός, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
ΠΑΝΤΑΖΙΔΟΥ, Μ. Επίκ. Καθηγήτρια, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η πρόβλεψη του μεγέθους και της χρονικής εξέλιξης των καθιζήσεων ΧΥΤΑ παρουσιάζει πολλαπλό πρακτικό ενδιαφέρον, γεγονός που παρακίνησε πολλούς ερευνητές να μελετήσουν το φαινόμενο και να διατυπώσουν μαθηματικά μοντέλα για την εκτίμηση της παραμόρφωσης. Η συγκριτική αξιολόγηση αυτών των σχέσεων έδειξε την υπεροχή του μοντέλου της μονοδιάστατης στερεοποίησης. Η παρούσα δημοσίευση δίνει ένα παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου της μονοδιάστατης στερεοποίησης για μακροχρόνια πρόβλεψη καθίζησης, χρησιμοποιώντας δεδομένα καθιζήσεων από έναν πραγματικό χώρο.

ABSTRACT: Predicting the rate and magnitude of the anticipated landfill settlement is of great practical interest. This has motivated many researchers to study the process and develop analytical models for the estimation of deformations. Comparative assessment of these models has shown the advantages of estimating landfill settlements using the model of one-dimensional consolidation. The present paper gives an example of the implementation of the model of one-dimensional consolidation for the prediction of long-term settlements, using data from an existing landfill.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πρόβλεψη των καθιζήσεων σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), τόσο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους όσο και στο στάδιο της μεταφροντίδας, παρουσιάζει πολλαπλό πρακτικό ενδιαφέρον. Ιδιαίτερα μετά το πέρας λειτουργίας του χώρου, η εξέλιξη των καθιζήσεων μπορεί να αποτελέσει κριτήριο σταθεροποίησης του όγκου των απορριμμάτων και επομένως κριτήριο καθορισμού του χρόνου παύσης της μεταφροντίδας, δηλαδή της συντήρησης, της παρακολούθησης και του ελέγχου του χώρου.

Το πρακτικό ενδιαφέρον που παρουσιάζουν οι καθιζήσεις των ΧΥΤΑ παρακίνησε πολλούς ερευνητές να μελετήσουν το φαινόμενο, οδηγώντας στην αναγνώριση των μηχανισμών που οδηγούν στην εκδήλωσή του, την κατανόηση της ποιοτικής του εξέλιξης και

τελικά στη διατύπωση μαθηματικών μοντέλων για την πρόβλεψη των αναμενόμενων καθιζήσεων. Οι πρώτες και πιο διαδεδομένες προσπάθειες προσομοίωσης του φαινομένου βασίζονται στις σχέσεις της εδαφομηχανικής για τον υπολογισμό της μονοδιάστατης συμπίεσης λόγω στερεοποίησης, κατ' αναλογία με τις καθιζήσεις εδαφών με υψηλό ποσοστό οργανικών ουσιών (Sowers, 1973). Ακολούθησαν προτάσεις μιας σειράς εμπειρικών συσχετίσεων [λογαριθμική συνάρτηση (Yen and Scanlon, 1975), πολυωνυμική συνάρτηση (Edil et al., 1990), υπερβολική συνάρτηση (Ling et al., 1998)], καθώς και κάποιες αναλυτικές εκφράσεις που προσπαθούν να περιγράψουν τους μηχανισμούς της καθίζησης [ρεολογικό μοντέλο (Edil et al., 1990), διφασικό καταστατικό μοντέλο συμπεριφοράς (Machado et al., 2002), σύνθετο μοντέλο συμπίεσης

(Marques et al., 2003), μοντέλο αποσύνθεσης (Park and Lee, 2002)].

2. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Καθώς οι προτεινόμενες αναλυτικές μέθοδοι πλήθαιναν, άρχισαν να δημοσιεύονται και συγκριτικές μελέτες των πιο συχνά εμφανιζόμενων μεθόδων, χρησιμοποιώντας ως βασικό κριτήριο τη μαθηματική προσέγγιση των μετρήσεων από την εξίσωση της κάθε μεθόδου. Οι Edil et al. (1990) παρουσίασαν το ρεολογικό μοντέλο και την πολυωνυμική συνάρτηση και κατέληξαν ότι η πολυωνυμική συνάρτηση προσεγγίζει καλύτερα τις μετρήσεις. Οι El-Fadel et al. (1999) χρησιμοποίησαν το μοντέλο της μονοδιάστατης στερεοποίησης, το ρεολογικό μοντέλο και την πολυωνυμική συνάρτηση για να προσομοιώσουν μετρήσεις από πειραματικές κυψέλες και υπολόγισαν ότι το μοντέλο στερεοποίησης έχει το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης με τις μετρήσεις, ενώ το ρεολογικό μοντέλο δίνει τις μικρότερες αποκλίσεις. Οι Ling et al. (1998) έδωσαν έμφαση στην υπεροχή των εμπειρικών συσχετίσεων και ειδικότερα της υπερβολικής συνάρτησης. Οι Park et al. (2002) χρησιμοποίησαν επί τόπου μετρήσεις από επτά ΧΥΤΑ για να αξιολογήσουν το μοντέλο της μονοδιάστατης στερεοποίησης, τη λογαριθμική συνάρτηση, την πολυωνυμική συνάρτηση και την υπερβολική συνάρτηση. Κατέληξαν ότι όλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των καθιζήσεων, εφόσον ληφθούν υπόψη μετρήσεις από τη φάση της δευτερογενούς καθίζησης.

Στο πλαίσιο της συγκριτικής αξιολόγησης των μεθόδων πρόβλεψης καθιζήσεων, έγινε από τη Σαμαρά (2003) μια εργασία με στόχο τη διατύπωση κριτηρίων για την επιλογή μεθόδου πρόβλεψης των καθιζήσεων ΧΥΤΑ και τη διατύπωση κατευθυντήριων γραμμών για να σταθμίσει ο μηχανικός την αξιοπιστία της πρόβλεψης και τις ανάγκες για μετρήσεις πεδίου. Για το σκοπό αυτό, συγκεντρώθηκε μια βάση δεδομένων με στοιχεία καθιζήσεων από 17 χώρους απόθεσης απορριμμάτων και πέντε εργαστηριακά πειράματα. Η συγκριτική αξιολόγηση των μοντέλων οδήγησε στο συμπέρασμα ότι το μοντέλο της μονοδιάστατης στερεοποίησης, το ρεολογικό μοντέλο και η υπερβολική συνάρτηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των καθιζήσεων δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα. Από τα τρία αυτά μοντέλα, αυτό της

μονοδιάστατης στερεοποίησης υπερερεί των άλλων, καθώς όχι μόνο προσεγγίζει ικανοποιητικά τις μετρήσεις και προσομοιώνει με αρκετή ακρίβεια το φυσικό φαινόμενο, αλλά επίσης είναι εύκολο να προσδιοριστούν οι παράμετροί του. Η υπεροχή του μοντέλου τεκμηριώνεται από την ύπαρξη αρκετών συστηματικών συσχετίσεων μεταξύ των παραμέτρων του μοντέλου και των παραγόντων που επηρεάζουν τις καθιζήσεις, καθώς και από την παρατήρηση ότι οι παράμετροι σταθεροποιούνται μέσα σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, της τάξης των 2 έως 3 ετών (Σαμαρά και Πανταζίδου, 2005).

3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Το μοντέλο μονοδιάστατης στερεοποίησης βασίζεται στη θεωρία στερεοποίησης συνεκτικών εδαφών και προτάθηκε από τον Sowers (1973) για τον υπολογισμό των καθιζήσεων ΧΥΤΑ. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη ότι η δευτερογενής καθίζηση χωρίζεται σε δύο φάσεις, η συνολική καθίζηση S μιας στρώσης απορριμμάτων αρχικού ύψους H_0 δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{S(t)}{H_0} = C_c \cdot \log \frac{p_0 + dp}{p_0} + C_{a1} \cdot \log \frac{t}{t_1} \quad \forall t_2 \geq t \geq t_1 \quad (1a)$$

$$\frac{S(t)}{H_0} = C_c \cdot \log \frac{p_0 + dp}{p_0} + C_{a1} \cdot \log \frac{t_2}{t_1} + C_{a2} \cdot \log \frac{t}{t_2} \quad \forall t \geq t_2 \quad (1b)$$

όπου C_c , C_{a1} και C_{a2} είναι οι συντελεστές πρωτογενούς, ενδιάμεσης δευτερογενούς και μακροχρόνιας δευτερογενούς συμπίεστικότητας, αντίστοιχα, p_0 είναι η υπάρχουσα κατακόρυφη πίεση στο μέσο της στρώσης, dp είναι η αύξηση της κατακόρυφης πίεσης στο μέσο της στρώσης, t είναι ο χρόνος από την αρχή των μετρήσεων (που συμπίπτει με το κλείσιμο της κυψέλης ή την επιβολή φορτίου), t_1 είναι η διάρκεια της πρωτογενούς καθίζησης και t_2 ο χρόνος έναρξης της μακροχρόνιας δευτερογενούς καθίζησης. Στην περίπτωση της καθίζησης υπό ίδιο βάρος (i.β.), ως υπάρχουσα κατακόρυφη πίεση (p_0) θεωρείται η πίεση που ασκούν τα μηχανήματα συμπίκνωσης κατά την τοποθέτηση [48 kN/m² σύμφωνα με τον Sowers (1973)] και ως

αύξηση της κατακόρυφης πίεσης (dp) το ι.β. των απορριμμάτων.

Το μοντέλο στερεοποίησης έχει πέντε παραμέτρους, τους τρεις συντελεστές συμπίεσής, C_c , $C_{\alpha 1}$ και $C_{\alpha 2}$, το χρόνο πρωτογενούς συμπίεσης t_1 και το χρόνο έναρξης της μακροχρόνιας δευτερογενούς συμπίεσης t_2 . Γενικά ο χρόνος t_1 κυμαίνεται από ένα έως τρεις μήνες το πολύ, ενώ η διακύμανση για το χρόνο t_2 είναι ένα με τρία χρόνια (Yuen, 1999). Οι βιβλιογραφικές τιμές για τον συντελεστή $C_{\alpha 1}$ κυμαίνονται μεταξύ 0,01 και 0,06, ενώ ο συντελεστής $C_{\alpha 2}$ λαμβάνει κατά μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερες τιμές που μπορεί να φθάσουν έως και 0,5 (El-Fadel et al., 1999, Lee and Park, 1999). Οι τρεις παράμετροι συμπίεσής προσδιορίζονται με μαθηματική προσαρμογή του μοντέλου στις υπάρχουσες μετρήσεις, ενώ οι χρονικές παράμετροι μπορούν να προσδιοριστούν γραφικά από διαγράμματα καθίζησης – χρόνου σε ημιλογαριθμική κλίμακα, όπως περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

Στην περίπτωση που ενδιαφέρει μόνο η εξέλιξη των καθιζήσεων στο στάδιο της μακροχρόνιας δευτερογενούς συμπίεσης, δηλαδή για χρόνους μεγαλύτερους από t_2 , ο Coumoulios (2003) παρατήρησε ότι ο συντελεστής συμπίεσής $C_{\alpha 2}$ μπορεί να προσδιοριστεί από το ρυθμό της ανηγμένης παραμόρφωσης σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{d(\Delta H / H)}{dt} = \frac{0,434 C_{\alpha 2}}{t} \quad (2)$$

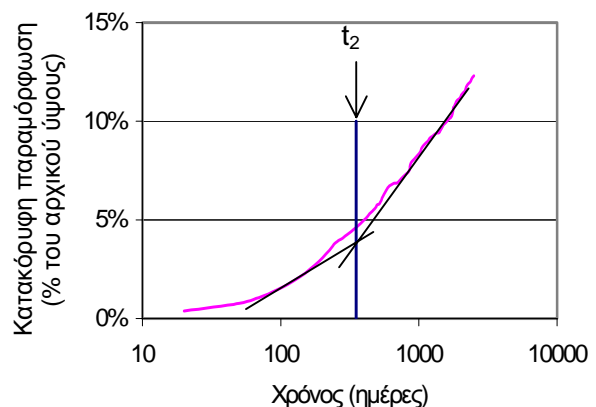
Με προσαρμογή μετρήσεων από 12 χώρους απόθεσης απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένου και του ΧΥΤΑ της Αθήνας, ο Coumoulios υπολόγισε από την Εξίσωση (2) συντελεστές μακροχρόνιας δευτερογενούς συμπίεσής $C_{\alpha 2}$ οι οποίοι κυμαίνονται ως επί το πλείστον μεταξύ των τιμών 0,07 και 0,25.

4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Η παρούσα δημοσίευση θα δώσει ένα παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου μονοδιάστατης στερεοποίησης βασισμένο σε δεδομένα καθιζήσεων από ένα πραγματικό χώρο απόθεσης απορριμμάτων. Ο χώρος που θα χρησιμοποιηθεί είναι ο ΧΥΤΑ Bandeirantes που βρίσκεται στα προάστια του Σάο Πάολο της Βραζιλίας (Machado et al., 2002). Η έναρξη της λειτουργίας του χώρου έγινε στα μέσα του 1979. Η στήλη των απορριμμάτων, ύψους 26

m, στην οποία έγιναν οι μετρήσεις (σημείο MS13) ολοκληρώθηκε 15 έτη αργότερα, οπότε και ξεκίνησαν οι μετρήσεις, οι οποίες συνεχίστηκαν συστηματικά για περίπου 7 έτη. Τα απορρίμματα συμπυκνώνονταν κάθε 0,6 – 0,8 m, είχαν περιεχόμενο σε οργανικά υλικά 55% και ειδικό βάρος 10 kN/m³.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι μετρήσεις της κατακόρυφης παραμόρφωσης συναρτήσει του χρόνου σε ημιλογαριθμική κλίμακα. Από το σημείο καμπής του διαγράμματος προσδιορίζεται ο χρόνος t_2 , ο οποίος βρίσκεται ίσος με 400 ημέρες. Γραφικά μπορεί να υπολογιστεί και ο χρόνος μετάβασης από την πρωτογενή στη δευτερογενή καθίζηση (t_1). Σε περιπτώσεις όμως, όπως η συγκεκριμένη, που έχουμε παλαιά απορρίμματα χωρίς επιβολή εξωτερικού φορτίου, το μέγεθος και η διάρκεια της πρωτογενούς καθίζησης είναι πολύ μικρά σε σχέση με τα αντίστοιχα μεγέθη της δευτερογενούς καθίζησης, με αποτέλεσμα να μη μπορούν να προσδιοριστούν γραφικά.



Σχήμα 1. Γραφικός προσδιορισμός χρόνου μετάβασης στη μακροχρόνια δευτερογενή καθίζηση.

Figure 1. Graphical estimation of the time when long-term secondary settlement begins.

Το μοντέλο όμως, όπως φαίνεται και από την Εξίσωση (1α), είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην επιλογή του χρόνου ολοκλήρωσης της πρωτογενούς καθίζησης t_1 . Για το λόγο αυτό, επιλέγονται τρεις δυνατές τιμές του t_1 (ένας, δύο και τρεις μήνες) και για κάθε μια υπολογίζεται ένα ζεύγος τιμών των συντελεστών $C_{\alpha 1}$ και C_c από την Εξίσωση (1α) με γραμμική προσέγγιση των μετρήσεων. Τελικά ως χρόνος t_1 λαμβάνεται αυτός στον οποίον αντιστοιχεί η καλύτερη προσέγγιση των μετρήσεων από το μοντέλο.

Συγκεκριμένα εκτιμάται η κλίση της ευθείας (που αντιστοιχεί στο συντελεστή C_{a1}) και ο σταθερός όρος (που αντιστοιχεί στη τιμή της πρωτογενούς καθίζησης, $C_c \cdot \log \frac{p_0 + dp}{p_0}$) και

κατόπιν υπολογίζεται ο συντελεστής C_c . Σημειώνεται ότι οι τιμές των t_1 και C_c που υπολογίζονται με τον τρόπο αυτό δεν αντικατοπτρίζουν την πραγματική εξέλιξη της πρωτογενούς καθίζησης, αλλά αποτελούν ένα προϊόν μαθηματικής προσέγγισης, με σκοπό την καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης στις μετρήσεις. Για το λόγο αυτό, οι τιμές αυτές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σχετικά με την πρωτογενή καθίζηση.

Πίνακας 1. Εκτίμηση διάρκειας πρωτογενούς καθίζησης, t_1 (μέρες), και συντελεστή C_{a1} .
Table 1. Estimation of t_1 (days) and C_{a1} .

Μετρήσεις		$t_1 = 30$	$t_1 = 60$	$t_1 = 90$
		$C_{a1} = 0,050$	$C_{a1} = 0,056$	$C_{a1} = 0,060$
t	$\Delta H/H_0$	$\Delta H/H_0$		
20	0,38%			
50	0,77%	0,24%		
75	1,15%	1,12%	0,83%	
100	1,54%	1,74%	1,53%	1,36%
125	1,92%	2,23%	2,07%	1,94%
150	2,31%	2,62%	2,51%	2,42%
175	2,69%	2,96%	2,88%	2,82%
200	3,08%	3,25%	3,21%	3,16%
225	3,46%	3,50%	3,49%	3,47%
250	3,85%	3,73%	3,75%	3,74%
275	4,04%	3,94%	3,98%	3,99%
300	4,23%	4,12%	4,19%	4,22%
350	4,62%	4,46%	4,56%	4,62%
400	5,00%	4,75%	4,88%	4,97%
Συντελεστής συσχέτισης R		0,98	1,00	1,00
Τυπική απόκλιση SD		14%	8%	5%
Μέση απόκλιση AD		10%	6%	3%

Ο Πίνακας 1 περιλαμβάνει τις 14 πρώτες (από τις 60 συνολικά) μετρήσεις στο σημείο MS13 του ΧΥΤΑ Bandeirantes, οι οποίες αντιστοιχούν στα στάδια της πρωτογενούς και ενδιάμεσης δευτερογενούς καθίζησης (δηλ. για $t \leq t_2 = 400$ ημέρες). Επίσης δείχνει και τις αντίστοιχες υπολογισμένες τιμές για κάθε ένα

συντελεστή ενδιάμεσης δευτερογενούς συμπιεστότητας C_{a1} για τους τρεις πιθανούς χρόνους t_1 . Παρατηρούμε ότι για το χρόνο $t_1 = 90$ ημέρες υπολογίζεται συντελεστής $C_{a1} = 0,06$ ο οποίος δίνει το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης R και τις μικρότερες αποκλίσεις. Για τον υπολογισμό του συντελεστή C_c λαμβάνεται υπάρχουσα κατακόρυφη πίεση $p_0 = 48 \text{ kN/m}^2$ (πίεση των μηχανημάτων συμπίεσης), και αύξηση της πίεσης λόγω του ι.β. των απορριμμάτων ίση με $dp = 130 \text{ kN/m}^2$ (στο μέσον της στήλης των απορριμμάτων) και προκύπτει $C_c = 0,019$.

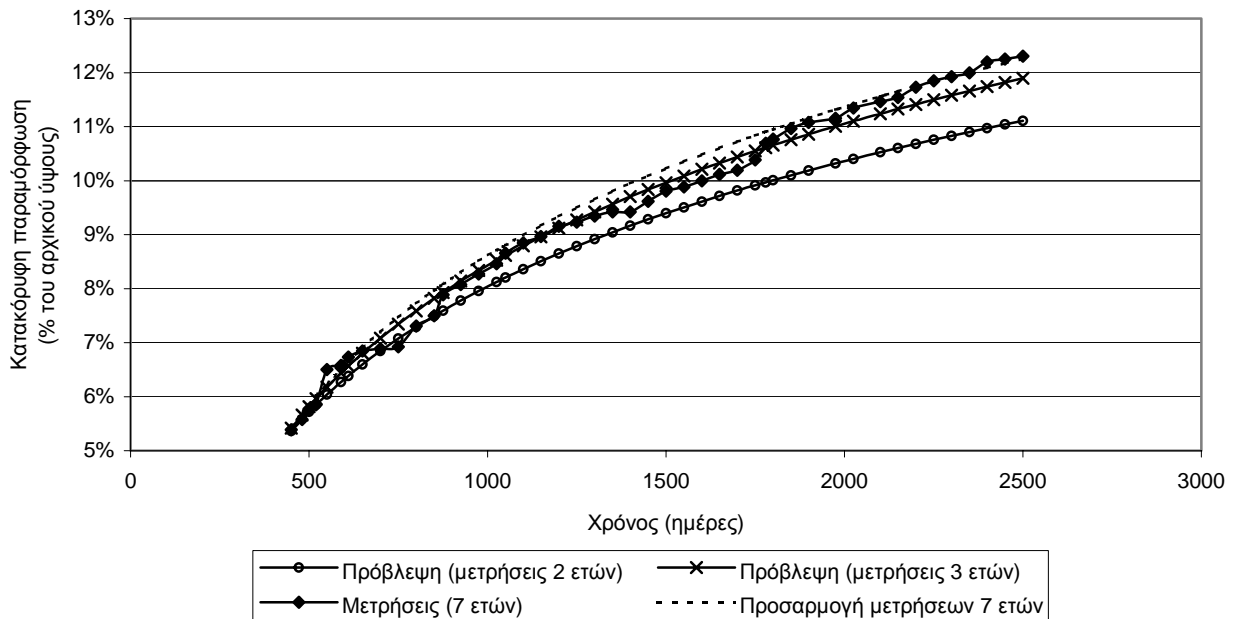
Τέλος, εκτιμάται ο συντελεστής C_{a2} με γραμμική προσαρμογή των υπόλοιπων μετρήσεων (δηλ. για χρόνους $t > t_2 = 400$ ημέρες) στην Εξίσωση (1β) και έτσι προκύπτει $C_{a2} = 0,091$. Τόσο η τιμή αυτή όσο και η τιμή του $C_{a1} = 0,060$ που υπολογίστηκε παραπάνω βρίσκονται εντός των βιβλιογραφικών ορίων που αναφέρθηκαν στην Ενότητα 3.

5. ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ

Για να μπορεί να γίνει αξιόπιστη μακροχρόνια πρόβλεψη των καθιζήσεων, πρέπει οι παράμετροι του μοντέλου να μπορούν να διατηρηθούν σταθερές για το χρονικό διάστημα της πρόβλεψης. Για το μοντέλο της μονοδιάστατης στερεοποίησης, ο συντελεστής δευτερογενούς συμπιεστότητας αλλάζει κατά την είσοδο του χώρου στην τελική φάση της μακροχρόνιας δευτερογενούς καθίζησης και κατόπιν παραμένει θεωρητικά σταθερός, γεγονός που διευκολύνει τη μακροχρόνια πρόβλεψη των καθιζήσεων. Η πράξη δείχνει ότι για τη σταθεροποίηση του συντελεστή C_{a2} απαιτούνται μετρήσεις περίπου 2 έως 3 ετών μετά το κλείσιμο του χώρου (Σαμαρά και Πανταζίδου, 2005).

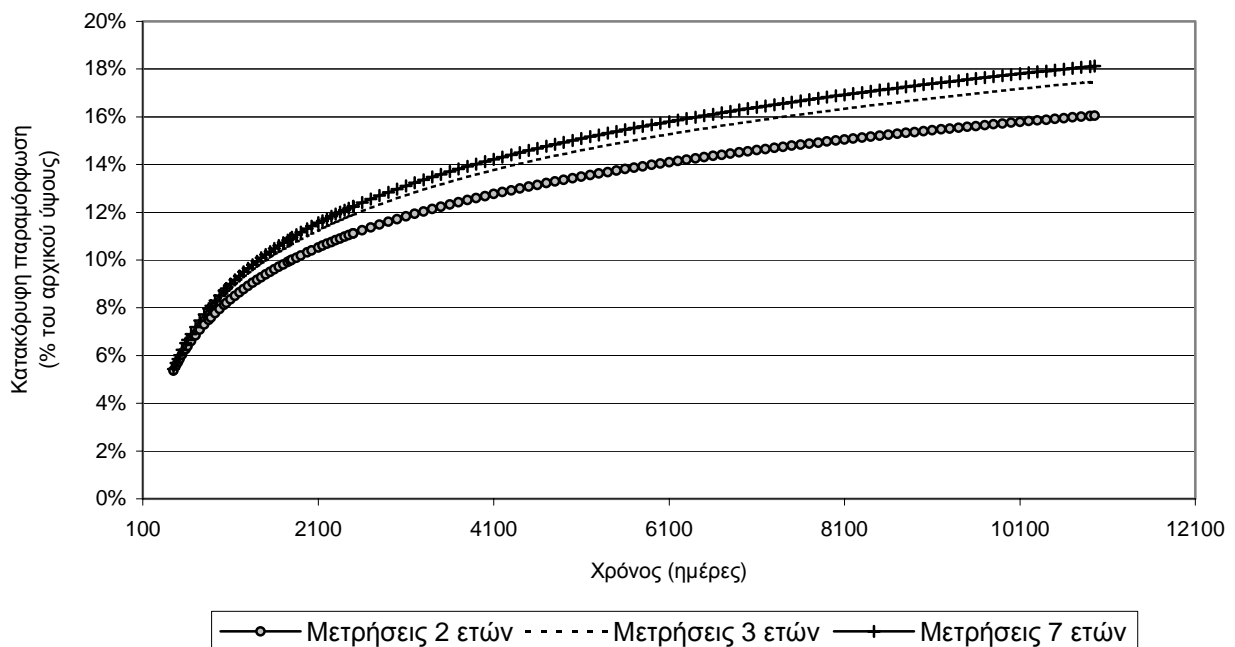
Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η πρόβλεψη της καθίζησης αν χρησιμοποιηθούν μετρήσεις των πρώτων 2 ή 3 ετών. Συγκρίνοντας στις δύο αυτές περιπτώσεις την προβλεπόμενη τιμή κατακόρυφης παραμόρφωσης με τη μετρηθείσα καθίζηση 7 έτη μετά το κλείσιμο του χώρου, παρατηρούμε απόκλιση της τελικής πρόβλεψης κατά 9,8% και 4%, αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι ο συντελεστής συσχέτισης πρόβλεψης και μετρήσεων είναι και στις δύο περιπτώσεις μεγαλύτερος του 0,99.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η πρόβλεψη της καθίζησης για 30 έτη για τρεις περιπτώσεις όπου για την προσαρμογή του μοντέλου έχουν χρησιμοποιηθεί μετρήσεις 2, 3 ή και των 7



Σχήμα 2. Σύγκριση επί τόπου μετρήσεων και προβλέψεων με χρήση του μοντέλου μονοδιάστατης στερεοποίησης.

Figure 2. Comparison of site settlement data and predictions based on the model of one-dimensional consolidation.



Σχήμα 3. Προβλέψεις εξέλιξης καθιζήσεων 30ετίας με βάση μετρήσεις καθιζήσεων 2, 3 και 7 ετών.

Figure 3. Estimates of 30-year deformation based on settlement measurements of 2, 3 and 7 years.

διαθέσιμων ετών. Η απόκλιση της τελικής πρόβλεψης του υπολογισμού με βάση δεδομένα 2 και 3 χρόνων, σε σύγκριση με την πρόβλεψη που βασίζεται σε δεδομένα 7 χρόνων, είναι 11,3% και 4,2%, αντίστοιχα.

Όπως παρατηρούμε, με προσαρμογή του μοντέλου στερεοποίησης σε μετρήσεις 3 ετών μπορούμε να κάνουμε σχετικά αξιόπιστες προβλέψεις. Σφάλμα πρόβλεψης της τάξης του 5% μπορεί να θεωρηθεί μικρό, δεδομένων των αποκλίσεων που παρατηρούνται μεταξύ των καθιζήσεων σε διαφορετικά σημεία μέτρησης στην ίδια κυψέλη (Σαμαρά, 2003).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία δόθηκε ένα παράδειγμα χρήσης του μοντέλου μονοδιάστατης στερεοποίησης σε συνδυασμό με επί τόπου μετρήσεις για τη μακροχρόνια πρόβλεψη καθιζήσεων. Παρατηρούμε ότι οι παράμετροι του μοντέλου υπολογίζονται εύκολα με χρήση μαθηματικών προσεγγίσεων των διαθέσιμων μετρήσεων. Η μέθοδος μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα εφόσον ληφθούν υπόψη μετρήσεις 2 ή 3 ετών. Σε κάθε περίπτωση, όμως, είναι προτιμότερο να συνεχίζονται οι μετρήσεις μέχρι να διαπιστωθεί η σταθεροποίηση του συντελεστή $C_{\alpha 2}$ από διαγράμματα μεταβολής αυτού του συντελεστή συναρτήσει του χρόνου. Οι μετρήσεις μπορούν να συνεχιστούν και μετά τη σταθεροποίηση του συντελεστή, σε λιγότερες θέσεις και σε πιο αραιά διαστήματα, για να ελέγχονται τυχόν αποκλίσεις από την πρόβλεψη και να αναπροσαρμόζεται ανάλογα το μοντέλο.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Coumoulos, D.G. (2003), "Landfills-Long-term Settlement Behaviour of Landfills". Proceedings XIII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Prague, August 25-28, Vol. 3, 137-142.

El-Fadel, M., Shazbak, S., Saliby, E. and Leckie, J. (1999), "Comparative Assessment of Settlement Models for Municipal Solid Waste Landfill Applications". Waste Management and Research, 17:347-368.

Lee, S.R. and Park, H.I. (1999), Discussion of "Estimation of Municipal Solid Waste Landfill Settlement" by Ling et al. ASCE Journal of Geotechnical and

Geoenvironmental Engineering, 125:8: 722-724.

Ling, H.I., Leshchinsky, D., Yoshiyuki, M. and Toshinori, K. (1998), "Estimation of Municipal Solid Waste Landfill Settlement". ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124:1:21-28.

Machado, S.L., Carvalho, M.F. and Vilar, M.O. (2002), "Constitutive Model for Municipal Solid Waste". ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128:11:942-951.

Marques, A.C.M., Filz, G.M. and Vilar, O.M. (2003), "Composite Compressibility for Municipal Solid Waste". ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 129:4:372-378.

Park, H.I. and Lee, S.R. (2002), "Long-term Settlement Behaviour of MSW Landfills with Various Fill Ages". Waste Management and Research, 20:3:259-268.

Park, H.I., Lee, S.R. and Do, N.Y. (2002), "Evaluation of Decomposition Effect on Long-term Settlement Prediction for Fresh Municipal Solid Waste Landfills". ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128:2: 107-118.

Σαμαρά, Ο. (2003), "Συγκριτική Αξιολόγηση Μεθόδων Εκτίμησης Καθιζήσεων σε Χώρους Απόθεσης Αστικών Απορριμμάτων". Διπλωματική Εργασία, Τομέας Γεωτεχνικής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Σαμαρά, Ο. και Πανταζίδου, Μ. (2005), "Συνδυασμός Αναλυτικών Υπολογισμών και επί τόπου Μετρήσεων για την Πρόβλεψη Καθιζήσεων ΧΥΤΑ". Ορυκτός Πλούτος, 135:7-24.

Sowers, G.F. (1973), "Settlement of Waste Disposal Fills". Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (ICSMFE), Moscow, 207-210.

Yen, B.C. and Scanlon, B. (1975), "Sanitary Landfill Settlement Rates". ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, 101:GT5:475-487.

Yuen, S.T.S. (1999), "Bioreactor Landfills Promoted by Leachate Recirculation: A Full Scale Study". Doctor of Philosophy Thesis, University of Melbourne.