

(124)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗΣ ΕΛΞΗΣ ΚΑΙ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΟΜΟΙΩΜΑ ΤΡΟΧΟΦΟΡΟΥ ΕΛΚΥΣΤΗΡΑ

**Θ.Α. Γιαλαμας^{1α}, Ι. Γραβαλος¹, Α. Ανδρέου¹, Σ. Τσάντζος¹,
Δ. Κατέρης¹, Κ.Α. Τσατσαρέλης², Θ. Α. Γέμτος³.**

¹Εργ. Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάτων Εδαφών. Τομέας Γ. Μηχανικής Τμ. Γ. Μηχ. & Αρδεύσεων. Σ.ΤΕ.Γ Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισα. Τ.Κ.41110 Λάρισα, * e-mail: gialamas@teilar.gr

²Εργ. Γεωργικής Μηχανολογίας. Σχ. Γεωπονίας. Α.Π.Θ., 54124, Θεσσαλονίκη.

³Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας, Φυτ. Παρ/γης και Αγρ. Περιβάλλοντος, Εργ. Γεωργικής Μηχανολογίας. Οδός Φυτόκου, Ν. Ιωνία Μαγνησίας, Τ.Κ.38446.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πειραματική αυτή εργασία γίνεται εφαρμογή της μεθόδου της στρεπτικής καταπόνησης (πίεσης) του εδάφους, με τη βοήθεια διατμητικού κιβωτίου, με σκοπό την πρόβλεψη των αναπτυσσομένων διατμητικών δυνάμεων, αλλά και της ολίσθησης που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της έλξης γεωργικών μηχανημάτων, από τους γεωργικούς ελκυστήρες. Ο προσδιορισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους (K) πραγματοποιείται με την εκτέλεση δοκιμών σε εδαφολεκάνη, όπου τοποθετείται έδαφος στο οποίο έχει γίνει προηγουμένως προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας, της μηχανικής σύστασης και του φαινομένου ειδικού βάρους.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF SHEARING FORCE AND SLIPPING BY TEMPLATE OF WHEELED TRACTOR

**TH. A. Gialamas^{1a}, I. Gravalos¹, A. Andreou¹, S. Tsantzios¹,
D.L. Kateris¹, K.A. Tsatsarelis², TH. A. Gemtos³.**

¹Lab. of Off-Road Equipment, Sect. of Agr. Mechanics, Dept. of Agr. Eng. & Irrigation, Sch. of Agr., TEI of Larissa, 41110, Larissa, Greece, * e-mail: gialamas@teilar.gr

² Laboratory for Agricultural Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki.

³Laboratory of Farm Mechanization Dep. Of Agriculture, Crop Production and Rural Environment, Univ.of Thessaly.

ABSTRACT

In this experimental study the method of torsional stress (pressure) of the soil is applied with the contribution of shearing box, aiming at the prediction of the developing shearing forces and the slipping that is observed during the traction of agricultural machinery, by the tractors. Determination of the distortion coefficient (K) of a specific type of soil is actualized with the implementation of tests in a soil bin where the mechanical composition, the bulk density and the moisture of the soil is previously specified.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να προσδιοριστεί ο συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους, το μέγεθος της ελκτικής δύναμης που αναπτύσσει ένας τροχοφόρος γεωργικός ελκυστήρας, η τριβή κύλισης, η ολίσθηση καθώς και να γίνει πρόβλεψη των αναπτυσσομένων διατμητικών δυνάμεων κατά την εκτέλεση της εργασίας του με παρελκόμενα γεωργικά μηχανήματα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια δοκιμών με πειραματικό όχημα σε εδαφολεκάνη με καθορισμένο έδαφος [1,2] και με εφαρμογή της μεθόδου της στρεπτικής καταπόνησης (πίεσης) του εδάφους, με τη βοήθεια διατμητικού κιβωτίου [1,2,3]. Στο έδαφος γίνεται ανάλυση για τον προσδιορισμό της μηχανικής του σύστασης, του φαινομένου ειδικού βάρους και της περιεχόμενης υγρασίας του [4, 9]. Συγκεκριμένα στο έδαφος που θα πραγματοποιηθούν οι δοκιμές είναι αργιλλοπηλώδες. Η πρόβλεψη του μεγέθους της ελκτικής δύναμης σε ένα τροχοφόρο γεωργικό ελκυστήρα ο οποίος κινείται σε καθορισμένο έδαφος, μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο του διατμητικού κιβωτίου [6, 8, 9] και να περιγραφεί από απλές μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες στηρίζονται στις ιδιότητες του εδάφους, με προσδιορισμό της μέγιστης διατμητικής τάσης που εφαρμόστηκε από τη σχέση (1), του Coulomb.

$$\tau_m = c_a + \sigma \cdot \tan\varphi \quad (1)$$

όπου: τ_m = μέγιστη διατμητική τάση σε (N/m^2), c_a = συντελεστής συνάφειας, σ = αναπτυσσόμενη τάση στο έδαφος από το βάρος του τροχοφόρου ελκυστήρα, $\tan\varphi$ = συντελεστής τριβής μεταξύ του επιφάνειας του τροχού και του εδάφους. Για τον προσδιορισμό της διατμητικής τάσης, χρησιμοποιείται η εξίσωση (2), η οποία είναι εκθετικής μορφής και παρουσιάζει μεγάλη προσέγγιση στα χαρακτηριστικά της δύναμης προς την παραμόρφωση του εδάφους.

$$\tau = \tau_m (1 - e^{-j/K}) \quad (2)$$

όπου: τ_m = μέγιστη διατμητική τάση σε (N/m^2), $j = \Delta l / l$ = ανηγμένη μετατόπιση, Δl = μετατόπιση των τροχών λόγω πρόσθετης δύναμης στην έλξη, l = μήκος κίνησης του τροχού και K = συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο προσδιορισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους με τη βοήθεια πειραματικού οχήματος τροχοφόρου γεωργικού ελκυστήρα (γ.ε.), πραγματοποιείται σε μία εδαφολεκάνη η οποία έχει τις εξής διαστάσεις: πλάτος 1,10 m, μήκος 5,0 m, και ύψος 0,30 m. Στην εδαφολεκάνη τοποθετείται εδαφικό υπόστρωμα (έδαφος) στο οποίο πραγματοποιείται ανάλυση για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης του φαινομένου ειδικού βάρους και της περιεχόμενης υγρασίας. Το έδαφος θρυμματίζεται κατάλληλα, τοποθετείται στην εδαφολεκάνη μέχρι ύψος 0,15 m, ισοπεδώνεται και συμπιέζεται με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων πριν από κάθε δοκιμή, ώστε να διατηρηθεί η κατάσταση του σταθερή σε όλες τις διαδοχικές δοκιμές. Πάνω στο έδαφος τοποθετείται το ομοίωμα ενός πειραματικού τροχοφόρου ελκυστήρα ο οποίος έχει διαστάσεις πλάτος 0,65 m, μήκος 1,05 m, ύψος 0,33 m και κινείται με τη βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα. Το βάρος του είναι 90 kg, Η περίμετρος των τροχών είναι 1,04 m και το πλάτος του κάθε τροχού είναι 0,105 m. Στο πρόσθιο τμήμα του τροχοφόρου ελκυστήρα, υπάρχει ειδική μεταλλική βάση για την τοποθέτηση πρόσθετου φορτίου βάρους 8,0 kg. Το φορτίο αυτό έχει την δυνατότητα μετατόπισης σε οριζόντια απόσταση από 0 μέχρι 0,35 m, με σκοπό να μεταβάλλεται η κατανομή της δύναμης πίεσης στον πρόσθιο άξονα του τροχού κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Ο τροχοφόρος ελκυστήρας φορτίζεται κατά τις δοκιμές, μέσω συστήματος συρματόσχοινου και τροχαλιών, με βάρη από 10 έως 50 Kg. Τα βάρη θεωρούνται ως αντιστάσεις στην κίνηση του, δηλαδή

προσομοιάζουν την αντίσταση που εξασκεί το έδαφος στην κίνηση παρελκομένων γεωργικών μηχανημάτων. Στο πίσω μέρος του τροχοφόρου ελκυστήρα υπάρχει ειδικός καταγραφικός μηχανισμός. Η καταγραφή βοηθά στον προσδιορισμό της ολίσθησης. Η πρώτη διαδρομή των δοκιμών πραγματοποιείται χωρίς φόρτιση και καταγράφεται το διανυόμενο μήκος. Στις επόμενες διαδρομές τοποθετούνται διαδοχικά βάρη τόσο στο πρόσθιο όσο και στο οπίσθιο μέρος, επιτυγχάνοντας έτσι διαφορετική φόρτιση του τροχοφόρου ελκυστήρα και καταγράφονται τα διανυόμενα μήκη. Για τον υπολογισμό της σταθεράς K η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος της στρεπτικής πίεσης [1,2.]. Τα όργανα που απαιτούνται είναι: α) ρολόμετρο, β) γωνιόμετρο και γ) το διατμητικό κιβώτιο. Το ρολόμετρο αποτελείται από μια ράβδο κατακόρυφη κυκλικής διατομής η οποία στο ένα άκρο συνδέεται με μια επίπεδη επιφάνεια για την τοποθέτηση των βαρών και μία οριζόντια ράβδο κυκλικής διατομής συνδεδεμένη κάθετα στην κατακόρυφη ράβδο στο επάνω μέρος της. Η οριζόντια ράβδος έχει στο άκρο της προσαρμοσμένο ένα ειδικό δυναμόμετρο και το μήκος της είναι $l = 0,5 \text{ m}$. Το ρολόμετρο τοποθετείται σε ειδική υποδοχή στο κέντρο του διατμητικού κιβωτίου που είναι τοποθετημένο μέσα στο έδαφος. Η εξωτερική ακτίνα, του διατμητικού κιβωτίου είναι $r_e = 0,077 \text{ m}$ και η εσωτερική ακτίνα του είναι $r_i = 0,062 \text{ m}$.

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ο υπολογισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους K, εξαρτάται από την επιφάνεια επαφής των τροχών, από το έδαφος, καθώς και από τη συμπίεση που έχει υποστεί.

3.1. Υπολογισμός της δύναμης στρέψης συναρτήσει της γωνίας διάτμησης και του κατακόρυφου φορτίου στο διατμητικό κιβώτιο

Γίνεται εφαρμογή της μεθόδου του διατμητικού κιβωτίου στο έδαφος της εδαφολεκάνης με επαναληπτικές δοκιμές. Τα τελικά αποτελέσματα των μετρήσεων των δοκιμών παρατίθενται στους πίνακες 1 και 2.

Πίνακας 1. Μέτρηση της αναπτυσσόμενης δύναμης στρέψης συναρτήσει της γωνίας διάτμησης και του κατακόρυφου φορτίου στο διατμητικό κιβώτιο.

α/α	Βάρος συσκευής (Kg)	Γωνία A (Θ°)	Δύναμη A (N)	Γωνία B (Θ°)	Δύναμη B (N)
1	14,10	5 $^\circ$	26,192	10 $^\circ$	28,449
2	24,10	5 $^\circ$	43,850	10 $^\circ$	45,420
3	34,10	5 $^\circ$	53,268	10 $^\circ$	59,154
4	44,10	5 $^\circ$	57,879	10 $^\circ$	67,002
5	54,10	5 $^\circ$	71,907	10 $^\circ$	80,736

Στη συνέχεια υπολογίζεται η ροπή (M_D) για κάθε περίπτωση, η ανηγμένη ροπή στρέψης B η οποία δίνεται από την σχέση: $B = M_{Di} / M_{Dmax}$, όπου: M_{Di} είναι οι επιμέρους ροπές δοκιμής και M_{Dmax} είναι η μέγιστη ροπή διάτμησης και ο παράγοντας J_θ με την βοήθεια του οποίου μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους K. Όλοι οι προηγούμενοι παράμετροι υπολογίζονται για κάθε ένα από τα φορτία που τοποθετήθηκαν στην έλξη (πίνακας 1). Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στους πίνακες 3, 4 και 5.

Πίνακας 2. Μέτρηση της γωνίας και της δύναμης διάτμησης στο διατμητικό κιβώτιο.

a/a	Γωνία Γ (Θ°)	Δύναμη Γ (N)	Γωνία Διάτμησης (Θ°)	Μέσος Όρος Γωνίας Διάτμησης	Μέσος Όρος Δύναμης Διάτμησης (N)
1	15°	31,392	18° 18°	18,0°	32,373
2	15°	46,107	20° 19°	19,0°	54,445
3	15°	64,451	22° 21°	21,5°	66,021
4	15°	70,920	22° 22°	22,0°	75,242
5	15°	92,900	24° 23°	23,0°	97,119

Πίνακας 3. Υπολογισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους Κ.

A/A	Για Θ=5° (A)	Για Θ=10° (B)
	M _D (Nm) B J _θ K	M _D (Nm) B J _θ K
1	13,096 0,7999 2,30 0,134	14,224 0,8698 2,95 0,210
2	21,925 0,8054 2,35 0,131	22,710 0,8342 2,60 0,238
3	26,634 0,8068 2,35 0,131	29,577 0,8960 3,35 0,185
4	28,939 0,7468 1,95 0,158	35,501 0,8645 2,90 0,213
5	35,953 0,7404 1,90 0,163	40,368 0,8313 2,55 0,243

Πίνακας 4. Υπολογισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους Κ, συναρτήσει της μέγιστης γωνίας διάτμησης.

a/a	Για Θ=15° (Γ)	Για Θ=Γωνία Διάτμησης (m)	M.O ki
	M _D (Nm) B J _θ K	M _{Dm} (Nm) B J _θ K	
1	15,696 0,9587 5,00 0,186	16,371 1 10 0,111	0,160
2	23,053 0,8468 2,70 0,344	27,222 1 10 0,136	0,212
3	32,225 0,9762 6,20 0,150	33,010 1 10 0,117	0,145
4	35,463 0,9151 3,70 0,251	28,749 1 10 0,133	0,188
5	46,450 0,9565 4,90 0,189	48,559 1 10 0,177	0,193

3.2. Υπολογισμός των δυνάμεων και μετατοπίσεων

Μετά την προετοιμασία του εδάφους τίθεται σε κίνηση ο τροχοφόρος ελκυστήρας ώστε να κινηθεί στο στίβο της εδαφολεκάνης τρεις έως τέσσερις φορές. Το χρησιμοποιούμενο φορτίο στην έλξη τοποθετείται σε άγκιστρο που βρίσκεται μέσα σε μεταλλικό δικτυωτό πλαίσιο. Μετά από συγκεκριμένο χρόνο κίνησης $t = 10$ s, ο τροχοφόρος ελκυστήρας ακινητοποιείται και γίνεται η επόμενη δοκιμή. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των τροχών και του εδάφους είναι διατμητικές και υπολογίζονται από την σχέση 3:

$$\tau = F/A \quad (3)$$

όπου: τ η διατμητική τάση σε N/m^2 , F η δύναμη έλξεως (N) και A η ενεργός επιφάνεια των κινητήριων τροχών η οποία υπολογίζεται από την σχέση $A=4bL \times 0,78$, όπου: b το

πλάτος του τροχού $b = 0,105$ m και L το ενεργό μήκος επαφής του τροχού $L=0,145$ m. Η ανηγμένη μετατόπιση j υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

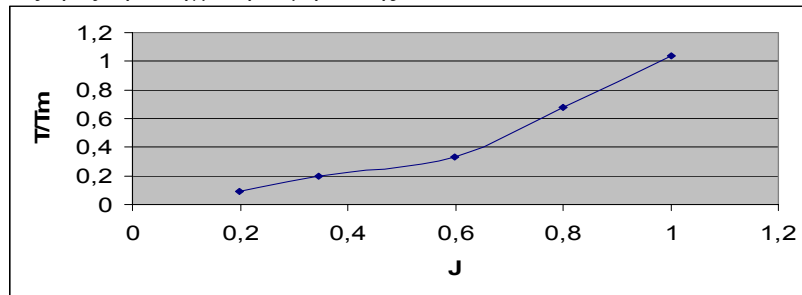
$$j = \Delta l / l \quad (4)$$

όπου: Δl είναι η ολική μετατόπιση του τροχού λόγω της πρόσθετης δύναμης στην έλξη και l είναι το διανυόμενο ενεργό μήκος του τροχού.

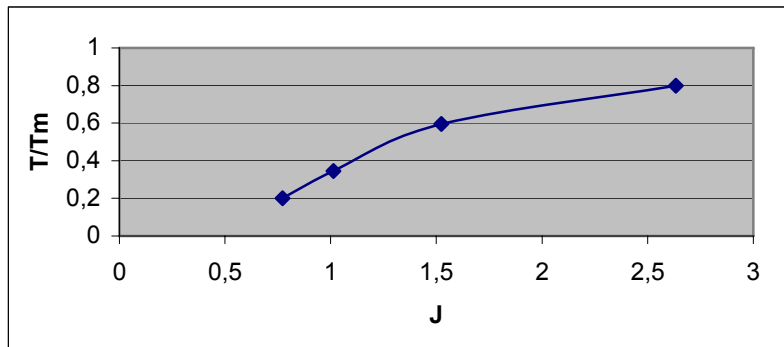
Πίνακας 5. Αποτελέσματα δοκιμής αντοχής του εδάφους σε διάτμηση με τη μέθοδο του διατμητικού κιβωτίου.

Κατ'/ρωφα Φορτία (N)	$\Theta=5^\circ$		$\Theta=10^\circ$		$\Theta=15^\circ$		Γωνία διάτμησης	
	T (N/m ²)	J _Θ	T (N/m ²)	J _Θ	T (N/m ²)	J _Θ	T (N/m ²)	J _{Θm}
138,2	26249,6	2,30	28510.5	2,95	31461.0	5,00	32814,03	10
236,4	43946,4	2,35	45519.9	2,60	46207.4	2,70	54563,7	10
334,5	53385,1	2,35	59224.5	3,35	64591.7	6,20	66165,2	10
432,6	58005,3	1,95	71158.2	2,90	71082.0	3,70	77668,4	10
530,7	72064,1	1,90	80913.6	2,55	93104.3	4,90	97331,6	10
(N)	Μερικές Δυνάμεις στροφής (N)						Δυνάμεις Διάτμησης	Γων. Διατ.
138,2	26,192		28,449		31,392		32,373	18,0°
236,4	43,850		45,420		46,107		54,445	19,0°
334,5	53,268		59,154		64,451		66,021	21,5°
432,6	57,879		67,002		70,926		77,499	22,0°
530,7	71,907		80,736		92,900		97,119	23,0°

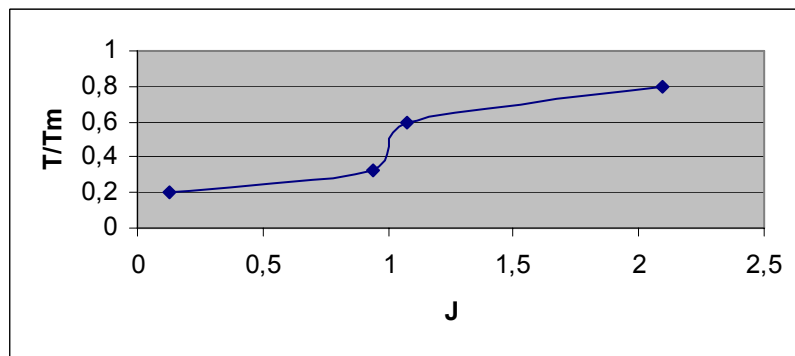
Στις εικόνες 1, 2, 3, και 4 φαίνεται η μεταβολή του λόγου της διατμητικής τάσης (T/T_m) ως προς την ανηγμένη επιμήκυνση j .



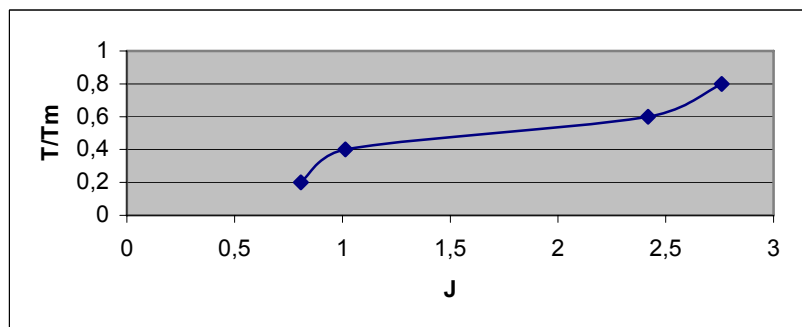
Εικόνα 1. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης χωρίς πρόσθετο κατακόρυφο φορτίο εμπρός και φορτίο στην έλξη.



Εικόνα 2. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης με πρόσθετο κατακόρυφο φορτίο 8 Kg εμπρός σε απόσταση 0,11 m και φορτίο στην έλξη.



Εικόνα 3. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης με πρόσθετο κατακόρυφο φορτίο 8 Kg εμπρός σε απόσταση 0,22 m και φορτίο στην έλξη.



Εικόνα 4. Κατανομή διατμητικής τάσης και ανηγμένης επιμήκυνσης με πρόσθετο κατακόρυφο φορτίο 8 Kg εμπρός σε απόσταση 0,33 m και φορτίο στην έλξη.

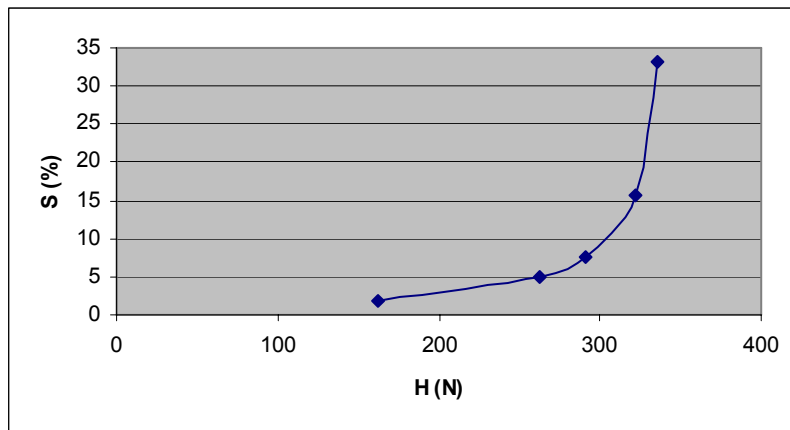
3.3. Μέτρηση ολίσθησης

Προσδιορίζεται η ολίσθηση του τροχοφόρου γεωργικού ελκυστήρα χωρίς κατακόρυφο φορτίο και με κατακόρυφο φορτίο στο πρόσθιο μέρος του, σε τρεις διαφορετικές θέσεις. Συνολικά θα υπάρχουν τέσσερις περιπτώσεις δοκιμών για τον υπολογισμό της ολίσθησης. Για κάθε περίπτωση τοποθετούνται διαδοχικά φορτία στην οριζόντια έλξη του τροχοφόρου ελκυστήρα τα οποία αυξάνονται διαδοχικά [4,5,6]. Τα

διαφορετικά φορτία που χρησιμοποιούνται στην έλξη για κάθε δοκιμή επηρεάζουν το μέγεθος της αντίδρασης R στο σημείο επαφής των τροχών με το έδαφος.



Εικόνα 5. Ομοίωμα τροχοφόρου ελκυστήρα κατά τη διάρκεια των δοκιμών.



Εικόνα 6. Ωθηση και ολίσθηση του ελκυστήρα κατά τη διάρκεια δοκιμών με πρόσθιο φορτίο $W=8\text{kg}$ σε απόσταση $Z=0$,

4. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης της πρόβλεψης του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους K , με τη μέθοδο του διατμητικού κιβωτίου και τις καμπύλες των διαγραμμάτων που προέκυψαν από τις δοκιμές του πειραματικού τροχοφόρου ελκυστήρα με τετημένη τον λόγο της διατμητικής τάσης T/T_m και τεταγμένη τον λόγο της ανηγμένης μετατόπισης j .

- Από τον Πίνακα 3, διαπιστώνεται ότι: α) για γωνία διάτμησης $\Theta=5^0$ προκύπτει συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους $K=0,134$, με αναπτυσσόμενη ροπή στρέψης $M_D=13,096$ Nm. β) για γωνία διάτμησης $\Theta=10^0$ προκύπτει συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους $K=0,213$, με αναπτυσσόμενη ροπή στρέψης $M_D=35,501$ Nm.
- Από τον Πίνακα 4, διαπιστώνεται ότι για γωνία διάτμησης $\Theta=15^0$ προκύπτει συντελεστής παραμόρφωσης του εδάφους $K=0,251$, με αναπτυσσόμενη ροπή στρέψης $M_D=35,463$ Nm.
- Υπάρχει δυνατότητα καθορισμού του συντελεστή παραμόρφωσης K του εδάφους, με τη μέθοδο του διατμητικού κιβωτίου, για πραγματικές συνθήκες σε αγρό.
- Από την εικόνα 6 διαπιστώνεται ότι υπάρχει στο πρόσθιο μέρος φορτίο $W=8$ kg σε απόσταση $Z=0$ και παρατηρείται μία γραμμική μεταβολή της ολίσθησης μέχρι 8% περίπου, με φορτίο στην έλξη από 150N, μέχρι 300N. Για φορτία > 300 N, υπάρχει απότομη αύξηση της ολίσθησης, που φθάνει το 35%, γεγονός που ο ελκυστήρας παρασύρεται από το φορτίο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γιαλαμάς Α.Θ. 1990. Μηχανική Οχημάτων Ανωμάτων Εδαφών. Διδακτικές σημειώσεις. Τμήμα Γεωργικών Μηχανών & Αρδεύσεων. Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Λάρισα.
2. Γιαλαμάς Α.Θ. κ.α. 2005. Προσδιορισμός του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους με τη βοήθεια ομοιώματος πειραματικού ερπυστριοφόρου ελκυστήρα. Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής.
3. Τσατσαρέλης. Α.. Κ.. 1997. Γεωργικοί Ελκυστήρες. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
4. Smith. M.. J.. 1981. Soil Mechanics. George Godwin. England.
5. Barger. E.. L.. Liljedahl. J.B.. Carleton. W.. M.. McKibben. E.. G.. 1963. Tractors and their power units. John Wiley & Sons. Inc.. USA.
6. Shrinivasa. U.. K.. William. C.. J.. Perumpral. J.. V.. Schafer. R.. L.. Gill. W.. R.. VandenBerg. G.. E.. 1994. Advances in soil dynamics. Pamela DeVore-Hansen. USA.
7. Bekker. M.. G.. 1960. Off-the-Road Locomotion. University of Michigan Press. USA.
8. Wills. B.. D.. 1963. Measurement of soil shear strength and deformation moduli and a comparison of the actual and theoretical performance of a family of rigid tracks. J. Agric.Engng.. Res. 8 (2).
9. Reece. A. R.. 1965. Principles of Soil/Vehicle Mechanics. Auto Div. I.Mech.E..