

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΓΩΝΙΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

**Θ.Α. Γιαλαμάς¹, Ι.Α. Χαλούλης¹, Ζ.Ι. Κουτσοφίτης¹, Αγ.Θ. Φιλίντας¹,
Κ.Α. Τσατσαρέλης², Α.Η. Τσάκαλος¹, Κ.Η. Μανώλης¹**

¹Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάτων Εδαφών. Τομέας Γεωργικής Μηχανικής Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας. Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας. Τ.Κ.41110 Λάρισα.

²Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας. Τμήμα Γεωπονίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. 54124 Θεσσαλονίκη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται παρουσίαση πειραματικής τράπεζας δοκιμών για τον προσδιορισμό των γωνιών ευστάθειας των γεωργικών ελκυστήρων. Η γνώση των καταστάσεων ευσταθούς ισορροπίας επιτρέπει την ασφαλή κίνηση των γ.ε. σε επικλινή και ανώμαλα εδάφη και την αποφυγή ανατροπών ή πλάγιων πτώσεων. Οι καταστάσεις αυτές είναι γνωστό ότι προκαλούν αφενός ζημιές στα μηχανήματα και αφετέρου πολλά ατυχήματα, συχνά μάλιστα και θανατηφόρα. Ο προσδιορισμός των επιτρεπομένων γωνιών κλίσης πραγματοποιείται με διαδοχικές δοκιμές στην τράπεζα δοκιμών

Λέξεις κλειδιά: Ασφάλεια-ευστάθεια-ανατροπές γεωργικός ελκυστήρας, πρόληψη ατυχημάτων, γωνίες κλίσης.

ANGLE STABILITY DETERMINATION OF AGRICULTURAL TRACTORS

**Th. A. Gialamas¹, I.L. Xaloulis¹, Z. I. Koutsofotis¹, Ag. Th. Filintas¹,
K.A. Tsatsarelis², A.H. Tsakalos¹, K.H. Manolis¹**

¹Laboratory for Off-Road Equipment, Section of Agricultural Mechanics, Department of Agricultural Engineering and Irrigation, School of Agriculture, Technological Educational Institute of Larissa, 41110, Larissa, Greece.

²Laboratory for Agricultural Mechanics, Department of Agriculture, Aristotel University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki.

ABSTRACT

In the present study an adjustable testing - bench structure for angle stability determination of agricultural tractors is presented. Knowledge of stability situations allows the safety movement of agricultural tractors on sloping and rough grounds and avoidance of overthrows or sloping downfalls. It's well known that these situations cause mechanical damages and a lot of accidents which are frequently fatally. Determination of allowed grade angles is actualized with sequential tests on the adjustable testing - bench structure.

Keywords: Safety-stability-overthrows of tractors, forestalling accidents, grade angles.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα, όπως και στο εξωτερικό κάθε χρόνο συμβαίνει ένας πολύ μεγάλος αριθμός θανατηφόρων ατυχημάτων τα οποία προέρχονται από τις ανατροπές των Γεωργικών Μηχανημάτων που οφείλονται τις περισσότερες φορές σε απώλεια της σταθερότητας και του ελέγχου. Η απώλεια της σταθερότητας και του ελέγχου είναι οι δύο κύριοι παράγοντες οι οποίοι συντελούν στην ανατροπή των γεωργικών ελκυστήρων, όταν εργάζονται σε επικλινή εδάφη [1, 2, 4, 5, 7, 11]. Άλλοι παράγοντες, οι οποίοι οδηγούν σε ατυχήματα είναι το είδος του εδάφους στο οποίο εργάζεται ο ελκυστήρας, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται και τα μεταφερόμενα φορτία [3]. Η απώλεια της σταθερότητας προκύπτει, όταν οι αντιδράσεις των τροχών μεταβάλλονται λόγω της κλίσης ή της αλλαγής πορείας και κυρίως όταν προκαλούν τον μηδενισμό τους [7, 8]. Οι απώλειες ελέγχου μπορεί να οφείλονται σε ανεπαρκή πρόσφυση, φθαρμένα ελαστικά, των τροχών και φυτικά υπολείμματα του εδάφους [7]. Οι Crolla και Spenser [1] εφήρμοσαν ένα μαθηματικό μοντέλο για πρόβλεψη της τροχιάς ανατροπής του ελκυστήρα και συνέκριναν τα αποτελέσματα του μοντέλου με τα αποτελέσματα πειραμάτων κατά την κίνηση ενός ελκυστήρα ελεγχόμενο από απόσταση. Οι παραπάνω διαπίστωσαν ότι υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων τους. Οι ίδιοι ανέπτυξαν ένα μαθηματικό μοντέλο για εξέταση της συμπεριφοράς διαξονικών ελκυστήρων κατά τη διάρκεια ατυχημάτων από πλάγιες πτώσεις σε πλαγιές [9]. Οι Kim και άλλοι [6], μελέτησαν την πλευρική σταθερότητα του ελκυστήρα προσομοιώνοντας την κίνηση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και κατέληξαν σε ασφαλή συμπεράσματα για το χειρισμό του ελκυστήρα σε σχέση με το ανάγλυφο του εδάφους και των λειτουργικών συνθηκών. [6]. Διαπιστώνεται ότι ο προσανατολισμός των ερευνητών είναι να δημιουργηθούν ασφαλή πρότυπα ώστε να είναι δυνατό να προβλέπεται η κατάσταση ευσταθούς ή ασταθούς ισορροπίας στην κίνηση των γεωργικών ελκυστήρων. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός των γωνιών ευστάθειας των γεωργικών ελκυστήρων με τη βοήθεια της πειραματικής τράπεζας δοκιμών, ώστε να προβλέπεται η κατάσταση ευσταθούς ή ασταθούς ισορροπίας, που επιτρέπει την ασφαλή κίνηση των γεωργικών ελκυστήρων σε επικλινή και ανώμαλα εδάφη για την αποφυγή ανατροπών ή πλάγιων πτώσεων που προκαλούν ατυχήματα με τραυματισμούς ή θανάτους καθώς και ζημιές στους ελκυστήρες και στα γεωργικά μηχανήματα.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο προσδιορισμός των γωνιών ευστάθειας για την ασφαλή κίνηση των γεωργικών ελκυστήρων πραγματοποιείται στην τράπεζα δοκιμών που κατασκευάστηκε στα εργαστήρια του τμήματος Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας. Η τράπεζα δοκιμών μας παρέχει αυτή τη δυνατότητα, διότι δύναται να μεταβάλλει την κλίση της, προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως για πορεία ανοδική, καθοδική, εγκάρσια δεξιά και αριστερά. Η τράπεζα αποτελείται από μία μεταλλική στιβαρή κατασκευή, επάνω στην οποία ανέρχεται ο προς δοκιμή ελκυστήρας. Η τράπεζα έχει τη δυνατότητα αυξομείωσης των διαστάσεων της, για δοκιμές γεωργικών ελκυστήρων με εύρος τροχών από 1,10 m μέχρι 1,90 m και απόσταση μεταξύ των αξόνων από 1,90 m μέχρι 2,90 m. Στα σημεία επαφής των τροχών με την τράπεζα τοποθετούνται ειδικές αυτόματες ηλεκτρονικές ζυγιστικές μονάδες οι οποίες συνδέονται με ειδικά καλώδια μεταφοράς δεδομένων στις θύρες εισόδου ειδικής καταγραφικής μονάδας ή σε Η/Υ. Οι ζυγιστικές μονάδες προσαρμόζονται κατάλληλα σε μεταλλικές βάσεις, στο κάτω μέρος των οποίων είναι τοποθετημένοι υδραυλικοί κύλινδροι μεγάλης αντοχής και ανυψωτικής

ικανότητας. Κατά την διάρκεια των δοκιμών καταγράφονται οι μεταβολές των φορτίων των τεσσάρων τροχών. Ο γεωργικός ελκυστήρας με τη βοήθεια κεκλιμένου επιπέδου (ράμπας) ανέρχεται στο επάνω μέρος της τράπεζας δοκιμών, κινείται επάνω στα ειδικά διαμορφωμένα χαλυβδοελάσματα και κατευθύνεται στην κατάλληλη θέση για την εκτέλεση της δοκιμής. Η μεταβολή της κλίσης της τράπεζας και του προς δοκιμή ελκυστήρα, τόσο κατά τον διαμήκη όσο και τον εγκάρσιο άξονα, επιτυγχάνεται με την ανεξάρτητη μεταβολή του ύψους των τεσσάρων υδραυλικών κυλίνδρων. Οι υδραυλικοί κύλινδροι είναι απλής ενεργείας, τηλεσκοπικοί, με μέγιστη διαδρομή 75 cm και ανυψωτικής ικανότητας 10.000 kg. Σε κάθε θέση γίνεται νέα καταγραφή του φορτίου του κάθε τροχού, αλλά και του κάθε άξονα και με ειδικό πρόγραμμα υπολογισμού καθορίζονται οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους, δηλαδή τα τρία επίπεδα **B, C, H**. Στο σημείο τομής των τριών επιπέδων βρίσκεται το κέντρο βάρους του γεωργικού ελκυστήρα, η θέση του οποίου καθορίζει τις μέγιστες επιτρεπόμενες γωνίες κλίσης. Έτσι για κίνηση του ελκυστήρα σε έδαφος με ποικίλη κλίση προς όλες τις κατευθύνσεις είναι δυνατό να προβλέπεται η κατάσταση ευσταθούς ή ασταθούς ισορροπίας.

3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η διαδικασία προσδιορισμού των γωνιών ευστάθειας πραγματοποιείται εφόσον οι τροχοί του γεωργικού ελκυστήρα έρθουν σε επαφή με τις αντίστοιχες αυτόματες ηλεκτρονικές ζυγιστικές μονάδες, της πειραματικής τράπεζας δοκιμών (εικόνα 1), όπου καταγράφεται το βάρος του κάθε τροχού.

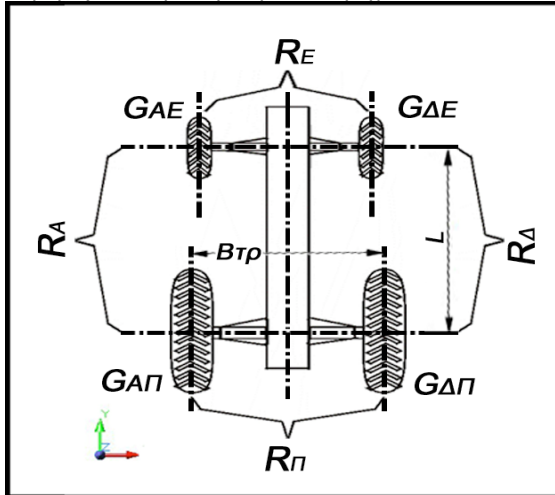


Εικόνα 1. Η πειραματική τράπεζα δοκιμών.

Με τον τρόπο αυτό καθορίζεται επίσης το συνολικό βάρος του γεωργικού ελκυστήρα **G**, το βάρος στον πρόσθιο **G_E**, και οπίσθιο άξονα **G_H**, καθώς και το βάρος στην δεξιά **G_Δ** και αριστερή **G_Α** πλευρά του. Επίσης σε κάθε γεωργικό ελκυστήρα είναι γνωστά από τον κατασκευαστή, ή μπορούν να μετρηθούν τα κατασκευαστικά του στοιχεία όπως το μήκος μεταξύ των αξόνων **L**, το εύρος των τροχών **B_{TP}**, για τον πρόσθιο και οπίσθιο άξονα, οι διάμετροι των πρόσθιων και οπίσθιων τροχών **D_E** και **D_H**, αντίστοιχα το ελεύθερο ύψος από το έδαφος **F** καθώς και άλλα στοιχεία. Στο σχήμα 1 φαίνεται η

κάτοψη ενός γεωργικού ελκυστήρα καθώς και το βάρος που αντιστοιχεί σε κάθε τροχό και τις αντιδράσεις R_E , R_{Π} , R_A και R_{Λ} .

Όπου : $G_{\Delta\Pi}$ = το βάρος στο δεξιό οπίσθιο τροχό του γεωργικού ελκυστήρα, $G_{\Delta\Pi}$ = το βάρος στον αριστερό οπίσθιο τροχό, $G_{\Delta E}$ = το βάρος στο δεξιό πρόσθιο τροχό, $G_{\Delta E}$ = το βάρος στον αριστερό πρόσθιο τροχό.



Σχήμα 1. Μέτρηση του βάρους σε κάθε τροχό.

επίσης το ίδιο, $G_{\Delta E} = G_{\Delta E}$ τότε η κατανομή του βάρους στη δεξιά G_{Δ} και αριστερή πλευρά G_{Δ} είναι ίδια. Το κέντρο βάρους θα βρίσκεται στο νοητό διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα, άρα $c = 0$. Εάν το βάρος είναι διαφορετικό στους δύο πρόσθιους τροχούς δεξιά και αριστερά $G_{\Delta E} \neq G_{\Delta E}$ και διαφορετικό στους δύο οπίσθιους τροχούς, δεξιά και αριστερά $G_{\Delta\Pi} \neq G_{\Delta\Pi}$, τότε θα υπάρχει απόκλιση C, σε μία απόσταση c του νοητού επιπέδου που δημιουργείται από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, ανάλογα με τη διαφορά του βάρους στους τροχούς του οπίσθιου άξονα $G_{\Delta\Pi}$, $G_{\Delta\Pi}$ και του πρόσθιου άξονα $G_{\Delta E}$, $G_{\Delta E}$.

3.1. Υπολογισμός της απόστασης b, του εγκάρσιου επιπέδου B, της θέσης του κέντρου βάρους.

Ο υπολογισμός των αντιδράσεων στους δύο άξονες του γεωργικού ελκυστήρα, όπως έχει αναφερθεί, πραγματοποιείται με τον καθορισμό του βάρους σε κάθε τροχό. Η θέση του κέντρου βάρους θα βρίσκεται επάνω στο εγκάρσιο επίπεδο B, που δημιουργείται, σε μία απόσταση b, (σχήμα 2) από τον οπίσθιο άξονα του γεωργικού ελκυστήρα, θεωρώντας συγκεντρωμένο το βάρος του G, στη θέση του κέντρου βάρους του. Λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος των αντιδράσεων στους δύο άξονες και με τη μαθηματική σχέση (1.1.) των ροπών, ως προς τα σημεία επαφής των τροχών με το έδαφος, υπολογίζονται οι αντιδράσεις του πρόσθιου και οπίσθιου άξονα. Η αντίδραση στον οπίσθιο άξονα είναι: $R_{\Pi} = G_{\Delta\Pi} + G_{\Delta\Pi}$ και η αντίδραση στον πρόσθιο $R_E = G_{\Delta E} + G_{\Delta E}$. Η αντίδραση, R_{Π} του οπίσθιου άξονα είναι η συνισταμένη των αντιδράσεων των οπίσθιων τροχών και προέρχεται από το βάρος που ασκείται από τους τροχούς στο έδαφος. Η αντίδραση, R_E του πρόσθιου είναι η συνισταμένη των αντιδράσεων των πρόσθιων τροχών και προέρχεται από το βάρος που ασκείται από τους τροχούς στο

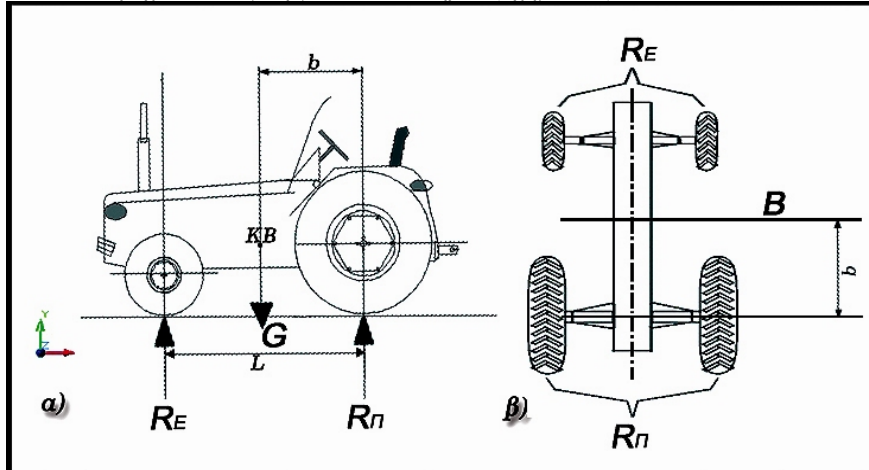
Με τα στοιχεία που καθορίστηκαν μπορεί να υπολογιστούν:

α). Η θέση του εγκάρσιου επιπέδου B, από τον οπίσθιο άξονα σε μία απόσταση b.

β). Η θέση του οριζοντίου επιπέδου H, σε απόσταση από το έδαφος h.

Η θέση του επιπέδου C, σε μία απόσταση c, μεταξύ της δεξιάς και αριστερής πλευράς, από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας. Εάν το βάρος των τροχών του οπίσθιου άξονα είναι το ίδιο, $G_{\Delta\Pi} = G_{\Delta\Pi}$ και το βάρος των τροχών του πρόσθιου άξονα είναι

έδαφος. Εάν $G_{\Delta\text{Π}} = G_{\Delta\text{Π}}$ και $G_{\Delta\text{Ε}} = G_{\Delta\text{Ε}}$, τότε οι αντιδράσεις στους τροχούς $R_{\text{Π}}$ και $R_{\text{Ε}}$ στο σχήμα 2.α, θα βρίσκονται στο μέσον του εύρους των τροχών, του οπίσθιου και πρόσθιου άξονα αντίστοιχα. Το εγκάρσιο επίπεδο B , (σχήμα 2.β) καθορίζεται με βάση την απόσταση b του σημείου του κέντρου βάρους από τον κατακόρυφο άξονα των οπισθίων τροχών, του γεωργικού ελκυστήρα, (σχήμα 2.α.),



Σχήμα 2.α,β. Καθορισμός του εγκάρσιου επιπέδου B του γεωργικού ελκυστήρα.

όπου: $R_{\text{Ε}}$, η αντίδραση, λόγω του βάρους στον πρόσθιο άξονα, και $R_{\text{Π}}$, η αντίδραση λόγω του βάρους στον οπίσθιο. Στην περίπτωση αυτή τα αντίστοιχα σημεία δημιουργούν ένα νοητό διάμηκες επίπεδο, αυτό θα συμπίπτει με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα, διότι η κατανομή του βάρους στη δεξιά πλευρά, θα ισούται με την κατανομή του βάρους στην αριστερή, οπότε η απόκλιση είναι μηδέν ($c = 0$). Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι για εγκάρσια πορεία του γεωργικού ελκυστήρα σε κλίση, είτε δεξιά είτε αριστερά, οι επιτρεπόμενες γωνίες κίνησης θα είναι ίσες. Από τη συνθήκη ισορροπίας του γεωργικού ελκυστήρα, θα πρέπει το άθροισμα των δυνάμεων και το άθροισμα των ροπών ως προς ένα σημείο, επαφής του τροχού με το έδαφος να είναι μηδέν δηλαδή, ο γεωργικός ελκυστήρας να βρίσκεται σε ισορροπία.

Το άθροισμα των ροπών του σχήματος 2.α δίνεται από τη σχέση:

$$\Sigma M R_{\text{Π}} = 0 \Rightarrow R_{\text{Ε}} \cdot L - G \cdot b = 0 \text{ και } b = R_{\text{Ε}} \cdot L / G \quad (1.1)$$

Το άθροισμα των κατακόρυφων δυνάμεων :

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow G - R_{\text{Ε}} - R_{\text{Π}} = 0 \text{ και } G = R_{\text{Ε}} + R_{\text{Π}} \quad (1.2)$$

Στην περίπτωση αυτή ένα απλό ζύγισμα του πρόσθιου άξονα είναι αρκετό για τον καθορισμό της θέσης του εγκάρσιου επιπέδου B , του γεωργικού ελκυστήρα.

3.2.Υπολογισμός της απόκλισης c , και του διάμηκους επιπέδου C , της θέσης του κέντρου βάρους.

Εάν σε ένα γεωργικό ελκυστήρα η κατανομή του βάρους στους τροχούς του δεν είναι ίδια αλλά διαφέρει, τότε η θέση του κέντρου βάρους δεν θα βρίσκεται επάνω στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του αλλά θα αποκλίνει δεξιά ή αριστερά ανάλογα με τη

διαφορά του βάρους που υπάρχει στους οπίσθιους και πρόσθιους τροχούς. Εάν ισχύει $G_{\Delta\Pi} > G_{\Delta\text{Π}}$ και $G_{\Delta\text{E}} > G_{\text{A}\text{E}}$ τότε η θέση του κέντρου βάρους του δε θα βρίσκεται στο διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα, αλλά σε κάποια θέση η οποία θα αποκλίνει δεξιά, ανάλογα με τη διαφορά του βάρους των τροχών, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.α.β. Για τον καθορισμό της απόκλισης ϵ γίνεται σύνθεση των δυνάμεων, από την κατανομή του βάρους των τροχών, για τον υπολογισμό της συνισταμένης αντίδρασης του πρόσθιου και οπίσθιου άξονα.

Από το σχήμα 3.α. προκύπτει για τους οπίσθιους τροχούς:

$$\mathbf{R}_{\Pi} = \mathbf{G}_{\Delta\Pi} + \mathbf{G}_{\text{A}\Pi} \quad (1.3)$$

Παίρνοντας ροπές ως προς το σημείο επαφής του οπίσθιου δεξιού τροχού $G_{\Delta\Pi}$, με το έδαφος προκύπτει:

$$\Sigma \mathbf{M}_{\Delta\Pi} = 0 \Rightarrow \mathbf{R}_{\Pi} \cdot \delta - \mathbf{G}_{\text{A}\Pi} \cdot \mathbf{B}_{\text{T}\Pi} \Rightarrow \delta = \mathbf{G}_{\text{A}\Pi} \cdot \mathbf{B}_{\text{T}\Pi} / \mathbf{R}_{\Pi} \quad (1.4)$$

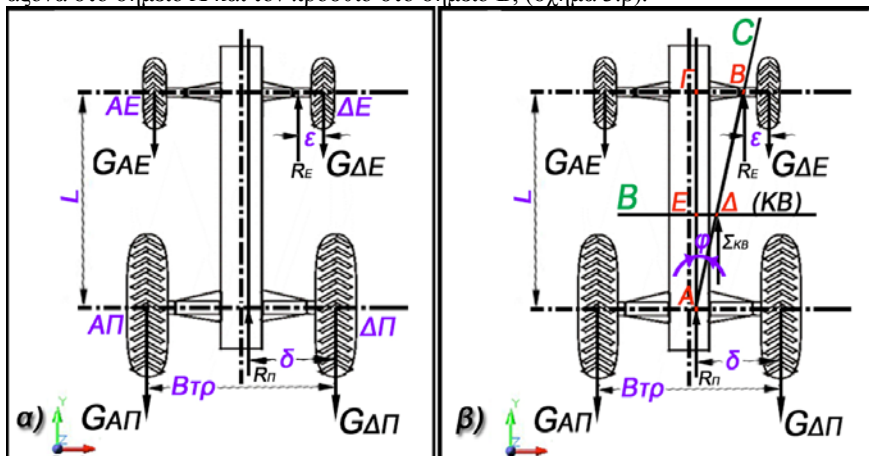
Η απόσταση δ καθορίζεται επάνω στον οπίσθιο άξονα των τροχών, από το σημείο επαφής του οπίσθιου δεξιού τροχού προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα. Για τους πρόσθιους τροχούς από το σχήμα 3.α. προκύπτει:

$$\mathbf{R}_{\text{E}} = \mathbf{G}_{\Delta\text{E}} + \mathbf{G}_{\text{A}\text{E}} \quad (1.5)$$

Παίρνοντας ροπές ως προς το σημείο επαφής του εμπρόσθιου δεξιού τροχού με το έδαφος προκύπτει:

$$\Sigma \mathbf{M}_{\Delta\text{E}} = 0 \Rightarrow \mathbf{R}_{\text{E}} \cdot \epsilon - \mathbf{G}_{\text{A}\text{E}} \cdot \mathbf{B}_{\text{T}\text{E}} \Rightarrow \epsilon = \mathbf{G}_{\text{A}\text{E}} \cdot \mathbf{B}_{\text{T}\text{E}} / \mathbf{R}_{\text{E}} \quad (1.6)$$

Η απόσταση ϵ καθορίζεται επάνω στον πρόσθιο άξονα των τροχών, από το σημείο επαφής του πρόσθιου δεξιού τροχού προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα. Από τα σημεία αυτά δ και ϵ του οπίσθιου και πρόσθιου άξονα, φέρεται μία ευθεία, η οποία καθορίζει το διάμηκες επίπεδο, το οποίο τέμνει τον οπίσθιο άξονα στο σημείο **A** και τον πρόσθιο στο σημείο **B**, (σχήμα 3.β).



Σχήμα 3.α,β. Καθορισμός της συνισταμένης δύναμης στον πρόσθιο και οπίσθιο άξονα και χάραξη του εγκάρσιου επιπέδου **B** και του διάμηκες επιπέδου **C**.

Το σημείο εφαρμογής της θέσης του κέντρου βάρους, καθορίζεται από τις συνισταμένες του βάρους του εμπρόσθιου και οπίσθιου άξονα. Η συνισταμένη του κέντρου βάρους του γεωργικού ελκυστήρα Σ_{KB} , θα είναι:

$$\Sigma_{\text{KB}} = \mathbf{R}_{\Pi} + \mathbf{R}_{\text{E}} \quad (1.7)$$

Ο υπολογισμός της απόστασης $A\Delta$ της θέσης του κέντρου βάρους από τον οπίσθιο άξονα του γεωργικού ελκυστήρα επάνω στο διάμηκες επίπεδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.β. δίνεται από τη σχέση 1.8:

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow A\Delta \cdot \Sigma_{\kappa\beta} - R_E \cdot AB \Rightarrow A\Delta \cdot \Sigma_{\kappa\beta} = R_E \cdot AB \Rightarrow A\Delta = \frac{R_E \cdot AB}{\Sigma_{\kappa\beta}} \quad (1.8)$$

Από το τρίγωνο $AB\Gamma$ στο σχήμα 3.β, υπολογίζεται το διάμηκες επίπεδο AB .

$$\text{Όπου: } AB = \sqrt{(A\Gamma)^2 + (B\Gamma)^2} \quad (1.9)$$

$$\text{Εάν θέσουμε } B\Gamma = \delta - \varepsilon \text{ και } A\Gamma = L \quad (1.10)$$

Όπου: L το μήκος μεταξύ των αξόνων του γεωργικού ελκυστήρα.

$$\text{Το διάμηκες επίπεδο είναι: } AB = \sqrt{L^2 + (\delta - \varepsilon)^2} \quad (1.11)$$

Επομένως η θέση του κέντρου βάρους βρίσκεται από τις σχέσεις (1.8) και (1.11) οπότε:

$$\text{Κέντρο βάρους (Κ.Β.): } A\Delta = \frac{R_E \sqrt{L^2 + (\delta - \varepsilon)^2}}{\Sigma_{\kappa\beta}} \quad (1.12)$$

όπου: $A\Delta = b / \text{συν } \varphi$ είναι η απόσταση του εγκάρσιου επιπέδου B το οποίο τέμνει το τρίγωνο $AB\Gamma$ με γωνία φ στα σημεία Δ και E , τα σημεία αυτά καθορίζουν την μία κάθετη πλευρά του τριγώνου $A\Delta E$ με την ίδια γωνία φ .

$$\text{Στο τρίγωνο } A\Delta E \text{ είναι: } A\Delta = A\Delta \cdot \text{συν } \varphi \quad (1.13)$$

$$\text{και } \Delta E, \text{ στο τρίγωνο } A\Delta E \text{ είναι } \Delta E = A\Delta \cdot \eta\mu\varphi \quad (1.14)$$

για $A\Gamma = L$ και $B\Gamma = \delta - \varepsilon$, η εφαπτομένη της γωνίας φ θα είναι :

$$\varepsilon\varphi = \frac{B\Gamma}{A\Gamma} \Rightarrow \varepsilon\varphi = \frac{\delta - \varepsilon}{L} \quad (1.15)$$

Επομένως η απόσταση του εγκάρσιου επιπέδου από τον οπίσθιο άξονα του γεωργικού ελκυστήρα δίνεται τις σχέσεις (1.12), (1.13) οπότε :

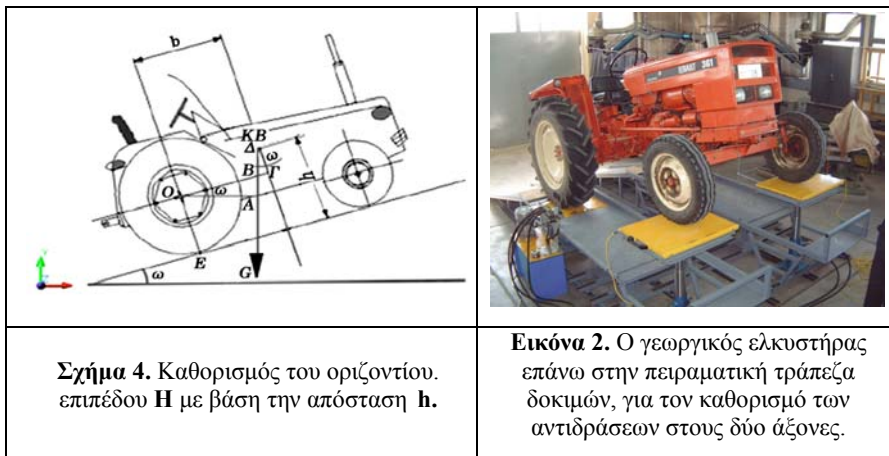
$$A\Delta = \frac{R_E \sqrt{L^2 + (\delta - \varepsilon)^2}}{\Sigma_{\kappa\beta}} \cdot \text{συν}\varphi \quad (1.16)$$

Επομένως η απόκλιση c από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας του γεωργικού ελκυστήρα δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Απόκλιση: } c = \left(\frac{B_{TP}}{2} - \delta \right) + \Delta E = \left(\frac{B_{TP}}{2} - \delta \right) + \frac{R_E \sqrt{L^2 + (\delta - \varepsilon)^2}}{\Sigma_{\kappa\beta}} \cdot \eta\mu\varphi \quad (1.17)$$

3.3.Υπολογισμός του ύψους h , και του οριζοντίου επιπέδου H , της θέσης του κέντρου βάρους και της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας κίνησης.

Το οριζόντιο επίπεδο H καθορίζεται με βάση την απόσταση h από το έδαφος με μαθηματικές σχέσεις, γνωρίζοντας επίσης, τις διαστάσεις των ελαστικών επισώτρων, τις αντιδράσεις των προσθίων και των οπισθίων τροχών, καθώς και την γωνία κλίσης για ανοδική πορεία (εικόνα 2). Για να υπολογιστεί το ύψος h του κέντρου βάρους πρέπει να υπολογιστεί η πλευρά $\Gamma\Delta$ του τριγώνου $B\Gamma\Delta$ (σχήμα 4).



Από το τρίγωνο ΒΓΔ προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\Gamma\Delta = \text{B}\Gamma / \varepsilon\phi\omega \quad (1.18)$$

$$\text{B}\Gamma = \text{O}\Gamma - \text{O}\text{B} \quad (1.19)$$

Από το τρίγωνο ΟΑΒ προκύπτει η σχέση:

$$\text{O}\text{B} = \frac{\text{O}\text{A}}{\sigma\upsilon\nu\omega} \quad (1.20)$$

$$\text{Από τις σχέσεις 1.18, 1.19, 1.20 προκύπτει: } \text{B}\Gamma = \text{O}\Gamma - \frac{\text{O}\text{A}}{\sigma\upsilon\nu\omega} \quad (1.21)$$

$$\Gamma\Delta = \frac{\text{O}\Gamma - \frac{\text{O}\text{A}}{\sigma\upsilon\nu\omega}}{\varepsilon\phi\omega} \quad (1.22)$$

$$\text{και το ύψος είναι (KB), } h = \text{O}\text{E} + \Delta\Gamma \quad (1.23)$$

όπου: ΟΑ είναι η απόσταση του κέντρου βάρους από τον οπίσθιο άξονα του ελκυστήρα στη θέση με κλίση, ΟΓ είναι η απόσταση του Κ.Β. από τον οπίσθιο άξονα του στη οριζόντια θέση, ΟΕ είναι η ακτίνα του οπισθίου τροχού και η γωνία $\text{A}\text{O}\text{B} = \text{B}\Delta\Gamma = \omega$.

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι η κατασκευή της ρυθμιζόμενης τράπεζας δοκιμών, μαζί με το αυτόματο σύστημα ζύγισης και καταγραφής του βάρους των τροχών όπως αναφέρθηκε που χρησιμοποιείται από το Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάτων Εδαφών του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας, επιτρέπει τον υπολογισμό της θέσης του κέντρου βάρους των γεωργικών ελκυστήρων, και των γωνιών κλίσης, με επιδιωκόμενο σκοπό την ασφαλή κίνησή τους, σε επικλινή εδάφη, καθώς και στην κίνησή τους με αλλαγή κατεύθυνσης πορείας των.

Ο υπολογισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας κίνησης πραγματοποιείται με την χρήση της σχέσης της φυγόκεντρης δύναμης :

$$\mathbf{F}\phi = \mathbf{m}\cdot\mathbf{u}^2 / \mathbf{R} \quad [\mathbf{N}] \quad \text{και} \quad \mathbf{m} = \mathbf{G}\mathbf{m} / \mathbf{g} \quad [\mathbf{N}\cdot\mathbf{s}^2/\mathbf{m}] \quad (1.24)$$

Όπου $\mathbf{F}\phi$ είναι η φυγόκεντρη δύναμη σε [N], \mathbf{m} είναι η μάζα του οχήματος σε $[\mathbf{N}\cdot\mathbf{s}^2/\mathbf{m}]$, \mathbf{u} είναι η ταχύτητα κίνησης του ελκυστήρα σε [m/s], \mathbf{R} είναι η ακτίνα στροφής του σε [m], $\mathbf{G}\mathbf{m}$ το βάρος του σε [N] και \mathbf{g} η επιτάχυνση της βαρύτητας σε $[\mathbf{m}/\mathbf{s}^2]$. Με

μετασχηματισμό της εξίσωσης που καθορίζει την φυγόκεντρο δύναμη προκύπτει η ταχύτητα κίνησης του ελκυστήρα.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατασκευή της τράπεζας δοκιμών και μετρήσεων έχει απλουστεύσει την διαδικασία των μετρήσεων για τον υπολογισμό των παρακάτω :

1. Της ευσταθούς πορείας για την κίνηση των γεωργικών ελκυστήρων, σε εδάφη με κλίση κατά την : 1. Ανοδική πορεία , 2. Καθοδική πορεία , 3. Πορεία με κλίση προς τα δεξιά , 4. Πορεία με κλίση προς τα αριστερά.
2. Της ευσταθούς πορείας για την κίνηση των Γ.Ε. με φερόμενα Γεωργικά Μηχανήματα, στο πρόσθιο και στο οπίσθιο σύστημα ανάρτησης.
3. Του υπολογισμού της μείστης επιτρεπομένης ταχύτητας κίνησης και αλλαγής πορείας σε αγροτικούς δρόμους.
4. Τέλος, η παραπάνω κατασκευή θα είναι η βασική διάταξη, μαζί με τις άλλες υπάρχουσες (όπως η εδαφολεκάνη με το ερπυστριοφόρο πειραματικό ελκυστήρα που έχει την δυνατότητα της αλλαγής των μέσων πρόωσής του, από ερπυστριοφόρο σε τροχοφόρο και το αντίστροφο), για τον καθορισμό του συντελεστή παραμόρφωσης του εδάφους. Οι παραπάνω συσκευές θα χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω ανάπτυξη των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάτων Εδαφών του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1. Γιαλαμάς, Α.Θ., Κουτσοφίτης, Ι.Ζ., Φιλίντας, Θ.Α., 2003. Τράπεζα δοκιμών για τον καθορισμό της ευστάθειας γεωργικών μηχανημάτων. Πρακτ. 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος. ΕΓΜΕ. Θεσσαλονίκη. 238-245.
2. Crolla, D.A., Spencer H.B., 1984. Tractor handling during control loss on sloping ground. Vehicles System Dynamics. 13:1. 1-17.
3. Hunter, AGM., 1981. Tractor safety on slopes. Agricultural Manpower. (3). 2-3.
4. Hunter, AGM., 1981. Tractor overturning accidents on slopes. Technical Report. Scottish Institute of Agricultural Engineering. (3) 26.
5. Hunter, AGM., 1981. Tractor safety on slopes. Agricultural Manpower. 36:4. 95-98.
6. Hunter, AGM., Owen, GM., 1983. Tractor overturning accidents on slopes. Journal of occupational Accidents. 5:353. 195-210.
7. Kim, K.U., Salokhe V.M.(ed.), Pngantileke S.G.(ed.), 1990. Lateral stability of agricultural tractors on slopes. Proc. Of the international agricultural engineering conference and exhibition. Bangkok. Thailand. 19-28.
8. Spencer, H.B., 1982. Tractor accidents on slopes-review-progress-solutions. Agricultural Manpower. (5) 12-14.
9. Spencer, H.B., 1982. Tractor accidents on slopes-review-progress-solutions. Proc. Of the 21st CIOSTA-CIGR(V) Congress (Ed. Agricultural development and Advisory Service and Institute of Management Services). London. U.K., 128-138.
10. Spencer, H.B., Crolla D.A., 1984. Control of tractors on sloping ground. Proc. Of 8th Int. conference of International Society for Terrain Vehicle Systems. Cambridge. U.K., Vol.2. 635-653.
11. Τσατσαρέλης, Α. Κ., 1997. Γεωργικοί Ελκυστήρες. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούδη. Θεσσαλονίκη.