

Η σημασία του εύρους των οπίσθιων τροχών στην ευστάθεια γεωργικού ελκυστήρα

Ι. Γράβαλος¹, Θ. Γιαλαμάς¹, Ζ. Κουτσοφίτης¹, Δ. Κατέρης², Π. Ξυραδάκης¹, Ζ. Τσιρόπουλος¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι γεωργικοί ελκυστήρες που εργάζονται σε επικλινή εδάφη μπορεί να ανατραπούν εάν η γωνία κλίσης είναι αρκετά μεγάλη. Σκοπός της εργασίας είναι να μελετήσει το ρόλο που διαδραματίζει το εύρος των οπίσθιων τροχών και η τοποθέτηση πρόσθετου βάρους επί του εξωτερικού τροχού, στην ευστάθεια του ελκυστήρα σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο. Με τη βοήθεια πειραματικής τράπεζας δοκιμών μετρήθηκαν οι αναπτυσσόμενες αντιδράσεις του εδάφους στο στατικό φορτίο των οπίσθιων τροχών, υπολογίστηκε η μετατόπιση φορτίου στον εσωτερικό τροχό, για εύρος τροχών 1500/1650/1800 mm, μετά από την τοποθέτηση πρόσθετου βάρους 80 kg στον εξωτερικό τροχό και σε συνάρτηση σταθερών μεταβολών της γωνίας κλίσης. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι το στατικό όριο ανατροπής του ελκυστήρα αυξήθηκε σημαντικά, όταν το εύρος τροχών ήταν 1650 mm και στον εξωτερικό τροχό είχε τοποθετηθεί πρόσθετο βάρος.

Λέξεις κλειδιά: Γεωργικός ελκυστήρας, εύρος τροχών, πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο, ευστάθεια, ανατροπή, ασφάλεια εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργική γη στη χώρα μας έχει περιορισμένες πεδινές εκτάσεις και εκτεταμένες ημιορεινές και ορεινές. Η βιωσιμότητα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το βαθμό της εκμηχάνισης. Στη σημερινή πραγματικότητα, η εκμηχάνιση των καλλιεργειών σε αυτές τις περιοχές βασίζεται αποκλειστικά σε μηχανικά μέσα ίδια με αυτά των πεδινών περιοχών. Δηλαδή σε γεωργικά μηχανήματα που ανταποκρίνονται σε εδάφη με κλίση έως 10°. Όταν τα μηχανήματα αυτά εργάζονται σε εδάφη με μεγαλύτερη κλίση, μειώνεται η παραγωγικότητα και η ποιότητα των εκτελούμενων εργασιών και αυξάνεται ο κίνδυνος πρόκλησης ατυχημάτων από ανατροπή (Γράβαλος κ.ά., 2008).

Τα ατυχήματα με τους γεωργικούς ελκυστήρες είναι πολλά σε ολόκληρο τον κόσμο, όπως εξάλλου και στη χώρα μας. Τα ατυχήματα προκαλούνται από ανατροπές ή πλάγιες πτώσεις, από τροχαία ατυχήματα καθώς και από τη λειτουργία

διαφόρων μηχανισμών. Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας, τα θανατηφόρα ατυχήματα που προκλήθηκαν από ελκυστήρες και άλλα γεωργικά μηχανήματα κατά τη διάρκεια εργασίας, για τα έτη 1982 έως 1985 ανέρχονται σε 302 νεκρούς χειριστές. Αντιθέτως, για τα έτη 2002 έως 2005 τα θανατηφόρα ατυχήματα ανέρχονται στο 1/3 περίπου. Η μείωση αυτή οφείλεται: α) στην υποχρεωτική τοποθέτηση σε όλους τους ελκυστήρες διατάξεων ασφαλείας έναντι ανατροπής, β) στη βελτίωση του εργονομικού σχεδιασμού με αποτέλεσμα τη μειωμένη κόπωση των χειριστών και γ) στην καλύτερη ενημέρωση και εκπαίδευση σε θέματα ασφαλείας και χειρισμού.

Η οριακή γωνία ανατροπής, για ελκυστήρες γενικής χρήσεως σε κεκλιμένο επίπεδο, είναι συνήθως $\varphi_{\text{lim}} = 38-40^\circ$, ενώ για εξειδικευμένους ελκυστήρες είναι $\varphi_{\text{lim}} = 60^\circ$. Σε τέτοιου είδους μεγάλες κλίσεις εδάφους, οι ελκυστήρες δεν είναι δυνατό να κινηθούν, προφανώς για λόγους ασφαλείας. Οι ελκυστήρες μπορεί να απολέσουν την ευστάθειά τους

¹ Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων, 411 10, Λάρισα.

² Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονική Σχολή, Τομέας Εργείων Βελτιώσεων, Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής, 541 24 Θεσσαλονίκη.

ακόμη και σε μικρότερες κλίσεις υπό την επίδραση κάποιων δυναμικών καταστάσεων, όπως για παράδειγμα: η αυξημένη ταχύτητα κίνησης πάνω από κάποιο μικρό εμπόδιο, η πλάγια ολίσθηση, κ. ά. Η στιγμιαία γωνία κλίσης θα μπορούσε να αυξηθεί απότομα, καθώς ο ελκυστήρας κινείται πάνω από ένα μεγάλο εμπόδιο ακόμη και με πολύ μικρή ταχύτητα. Επίσης, τα όρια ευστάθειας των γεωργικών ελκυστήρων μεταβάλλονται σε κεκλιμένο επίπεδο, όταν σε αυτούς συνδέονται διάφορα παρελκόμενα μηχανήματα (Abu-Hamdeh και Al-Jalil, 2004).

Στο παρελθόν, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι υπολογισμού των ορίων ευστάθειας σε κεκλιμένο επίπεδο εφόσον είναι γνωστά: η γεωμετρία και η θέση του κέντρου βάρους (Spencer και Gilfillan, 1976; Semetko et al., 1981; Hunter, 1982; Τσατσαρέλης, 1997). Η σημασία της θέσης του κέντρου βάρους στην επίλυση της ευστάθειας γεωργικού ελκυστήρα, κατά την κίνησή του σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο (σύμφωνα με τις ισούψεις καμπύλες) παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Για την ακριβή επίλυση της εγκάρσιας ευστάθειας θα πρέπει να λάβουμε υπόψη την εξής παραδοχή: το σώμα του ελκυστήρα ταλαντεύεται ελεύθερα, χάρη στον περίο ταλάντωσης (pivot) του πρόσθιου άξονα. Στην περίπτωση αυτή, η βάση που σχηματίζεται είναι το τρίγωνο 123 και το σώμα του ελκυστήρα μπορεί πλέον να στρέφεται γύρω από τον νοητό άξονα, που συνδέει το σημείο επαφής του οπίσθιου εσωτερικού τροχού με το έδαφος (σημείο 2) και το στρεπτό έδρανο του πρόσθιου άξονα (σημείο 1). Επομένως, για την οριακή γωνία ανατροπής φ_{lim} θα ισχύει η ακόλουθη εξίσωση:

$$\tan \varphi_{lim} = \frac{n}{m} = \frac{\frac{b}{2} \lambda_c - z}{h - e \lambda_d} \quad (1)$$

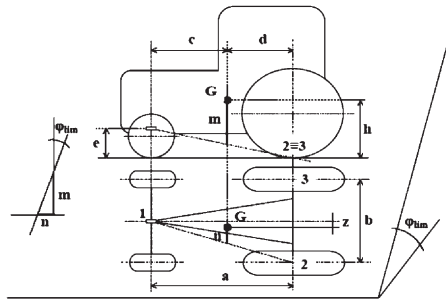
όπου φ_{lim} - η οριακή γωνία για την εγκάρσια ευστάθεια του ελκυστήρα σε κεκλιμένο επίπεδο, b - το εύρος των τροχών του ελκυστήρα, h - το ύψος του κέντρου βάρους του ελκυστήρα από το έδαφος, e - το ελεύθερο ύψος στον πρόσθιο άξονα του ελκυστήρα, d - η απόσταση του κέντρου βάρους από το κατακόρυφο επίπεδο που περνάει από τον άξονα των οπίσθιων τροχών και z - η απόσταση του κέντρου βάρους από το διάμηκες επίπεδο, η οποία καθορίζεται με βάση την κατανομή των φορτίων στη δεξιά και αριστερή πλευρά του ελκυστήρα.

Στη συνέχεια, οι λόγοι λ_c και λ_d είναι δυνατόν να υπολογιστούν από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\lambda_c = \frac{c}{a} = \frac{G_1}{G_t} \quad (2)$$

$$\lambda_d = \frac{d}{a} = \frac{G_2}{G_t} \quad (3)$$

όπου c - η απόσταση του κέντρου βάρους από το κατακόρυφο επίπεδο που περνάει από τον άξονα των πρόσθιων τροχών, d - η απόσταση του κέντρου βάρους από το κατακόρυφο επίπεδο που περνάει από τον άξονα των οπίσθιων τροχών, a - η απόσταση μεταξύ των αξόνων (μεταξόνιο), G_1 - το ολικό βάρος του ελκυστήρα, G_t - το στατικό βάρος στον πρόσθιο άξονα και G_2 - το στατικό βάρος στον οπίσθιο άξονα.



Σχήμα 1: Επίλυση της ευστάθειας γεωργικού ελκυστήρα σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο.

Στους ανωτέρω υπολογισμούς οι διάφορες διαστάσεις θα πρέπει να λαμβάνονται με βάση τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη ο πρόσθιος άξονας του ελκυστήρα. Οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους για ελκυστήρα χωρίς τον πρόσθιο άξονα δεν διαφέρουν κατά πολύ από τις συντεταγμένες του κέντρου βάρους για ολόκληρο τον ελκυστήρα. Επομένως, εάν χρησιμοποιηθούν οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους για ολόκληρο τον ελκυστήρα, οι οποίες είναι συνήθως γνωστές εκ των προτέρων, δεν θα επηρεαστεί σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα των υπολογισμών.

Τα όρια ευστάθειας είναι δυνατόν να μετρηθούν επακριβώς με ανακλιτές πλατφόρμες (tilting

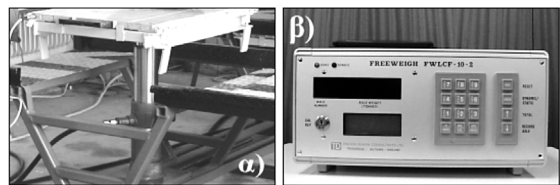
platforms), οι οποίες φέρουν ανεξάρτητες ηλεκτρονικές μονάδες ζύγισης για κάθε τροχό (Spencer et al., 1985; Fabbri και Molari, 2004). Μετρώνται οι αναπτυσσόμενες αντιδράσεις του εδάφους (R_A και R_B) στο στατικό φορτίο των οπίσθιων τροχών σε συνάρτηση των μεταβολών της γωνίας κλίσης φ . Η καμπύλη που σχηματίζεται, επιτρέπει τον προσδιορισμό της οριακής γωνίας κλίσης φ_{lim} (γωνία ανατροπής), κατά την οποία η αντίδραση του εξωτερικού τροχού μηδενίζεται.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετήσει το ρόλο που διαδραματίζει το εύρος των οπίσθιων τροχών και η τοποθέτηση πρόσθετου βάρους επί του εξωτερικού τροχού, στην ευστάθεια ελκυστήρα σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής πιστεύεται ότι θα βοηθήσουν τόσο στη θεωρητική έρευνα όσο στη βελτίωση των μεθόδων και των κανόνων σχεδίασης και χειρισμών των γεωργικών ελκυστήρων.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η ευστάθεια του γεωργικού ελκυστήρα σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο είναι ένα σύνθετο πρόβλημα, για την επίλυση του οποίου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι κατασκευαστικές και κινηματικές ιδιότητες του ελκυστήρα. Για το λόγο αυτό, στο Εργαστήριο Μηχανικής Οχημάτων Ανωμάτων Εδαφών του Τμήματος Μηχανικής και Βιοσυστημάτων του Τ.Ε.Ι. Λάρισας αναπτύχθηκε μία τράπεζα δοκιμών (Γιαλαμάς κ. ά., 2003 και 2005). Η τράπεζα περιλαμβάνει: α) ένα μεταλλικό πλαίσιο, ενισχυμένο με κοιλοδοκούς και χαλυβδοελάσματα, β) τέσσερις υδροστατικούς κυλίνδρους μεγάλης αντοχής και ανυψωτικής ικανότητας, των οποίων η θέση ελέγχεται από τη μονάδα παραγωγής υδραυλικής ισχύος και γ) ένα ηλεκτρονικό σύστημα αυτόματης καταγραφής των αναπτυσσόμενων αντιδράσεων του εδάφους στο στατικό φορτίο των τροχών του ελκυστήρα. Πρόκειται για το σύστημα Freeweigh FWLCF-10-2 της εταιρείας Trevor Deakin Consultants αποτελούμενο από τέσσερις αυτόνομες μονάδες ζύγισης και ένα καταγραφικό όργανο. Στο Σχήμα 2(α) παρουσιάζεται λεπτομέρεια της τράπεζας δοκιμών με τον υδροστατικό κύλινδρο σε θέση ανύψωσης, πάνω στον οποίο είναι τοποθετημένη η μονάδα ζύγισης και στο Σχήμα 2(β) απεικονίζεται το όργανο καταγραφής. Ο υδροστατικός κύλινδρος είναι απλής ενέργειας, τηλεσκοπικός, με μέγιστη διαδρομή 75 cm και ανυψωτική ικανότητα 10.000 kg. Κάθε μονάδα ζύγισης περιλαμβάνει μία διάτα-

ξη μετρητών μηχανικής τάσης (strain gauges) που ενσωματώνονται σε ένα προστατευτικό κάλυμμα. Η τράπεζα έχει τη δυνατότητα αυξομείωσης των διαστάσεών της, για δοκιμές ελκυστήρων με εύρος τροχών από 1100 mm μέχρι 1900 mm και μεταξύνιο από 1900 mm μέχρι 2900 mm. Με τη βοήθεια της τράπεζας είναι δυνατόν να μετρηθούν οι αναπτυσσόμενες αντιδράσεις σε κάθε τροχό. Η καταγραφή των αναπτυσσόμενων αντιδράσεων στο στατικό φορτίο των τροχών σε συνάρτηση των μεταβολών της γωνίας του κεκλιμένου επιπέδου, μας επιτρέπει στη συνέχεια να υπολογίσουμε τα όρια ευστάθειας του ελκυστήρα.



Σχήμα 2: α) Λεπτομέρεια της τράπεζας δοκιμών στην οποία απεικονίζονται ο υδροστατικός κύλινδρος σε θέση ανύψωσης και β) το όργανο καταγραφής.

Για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε ο τροχοφόρος γεωργικός ελκυστήρας Renault 361, με συνολικό βάρος 1700 kg. Η επίδραση του εύρους των οπίσθιων τροχών στην ευστάθεια του ελκυστήρα, σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο, μελετήθηκε για τρεις διαφορετικές ρυθμίσεις αυτού. Αρχικά στα 1500 mm και στη συνέχεια στα 1800 mm και 1650 mm. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, στις δύο πρώτες περιπτώσεις, οι τροχοί ήταν συμμετρικά τοποθετημένοι γύρω από το διάμηκες επίπεδο, που τέμνει κάθετα τον πρόσθιο και οπίσθιο άξονα στο μέσον τους. Ενώ, στη ρύθμιση των 1650 mm τοποθετήθηκαν ασύμμετρα (Σχήμα 3γ). Ο μεν αριστερός απέχει 900 mm από το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, ο δε δεξιός 750 mm. Σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις, η αλλαγή στη ρύθμιση του εύρους των οπίσθιων τροχών είχε ως αποτέλεσμα την διαφορετική κατανομή των φορτίων ως προς το διάμηκες επίπεδο. Ένα πρόσθετο ολικό βάρος 80 kg (Σχήμα 3δ) χρησιμοποιήθηκε ανά περίπτωση μελέτης και σε έναν από τους δύο οπίσθιους τροχούς, με σκοπό να ενισχυθεί η μετατόπιση φορτίου και να μελετηθεί περαιτέρω η ευστάθεια του ελκυστήρα. Στον πίνακα I παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι περιπτώσεις που μελετήθηκαν.

Πίνακας IV: Μεταβολή των αντιδράσεων στους οπίσθιους τροχούς του ελκυστήρα, με ολικό εύρος $b=1650$ mm, πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό και ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς.

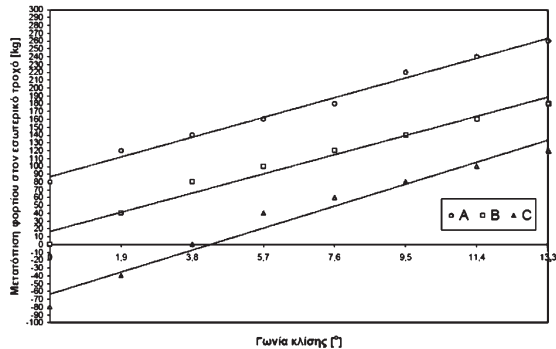
Γωνία κλίσης	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στον αριστερό οπίσθιο τροχό	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στο δεξιό οπίσθιο τροχό	Μετατόπιση φορτίου στον αριστερό οπίσθιο τροχό ($d_A = R_A - R_{A_0}$)
[°]	[kg]	[kg]	[kg]
0	540	720	-180
1,9	550	710	-160
3,8	560	700	-140
5,7	570	690	-120
7,6	580	680	-100
9,5	590	670	-80
11,4	600	660	-60
13,3	610	650	-40

Πίνακας II: Μεταβολή των αντιδράσεων στους οπίσθιους τροχούς του ελκυστήρα, με ολικό εύρος $b=1500$ mm, πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό και ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς.

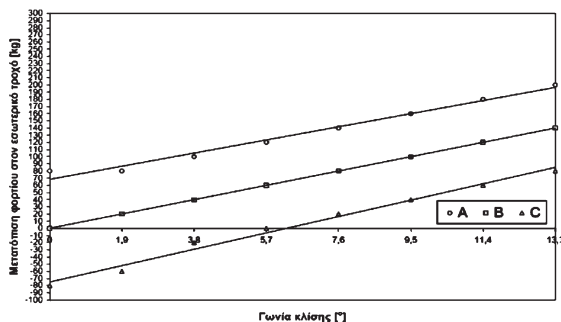
Γωνία κλίσης	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στον αριστερό οπίσθιο τροχό	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στο δεξιό οπίσθιο τροχό	Μετατόπιση φορτίου στον αριστερό οπίσθιο τροχό ($d_A = R_A - R_{A_0}$)
[°]	[kg]	[kg]	[kg]
0	590	670	-80
1,9	610	650	-40
3,8	630	630	0
5,7	650	610	40
7,6	660	600	60
9,5	670	590	80
11,4	680	580	100
13,3	690	570	120

Πίνακας III: Μεταβολή των αντιδράσεων στους οπίσθιους τροχούς του ελκυστήρα, με ολικό εύρος $b=1800$ mm, πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό και ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς.

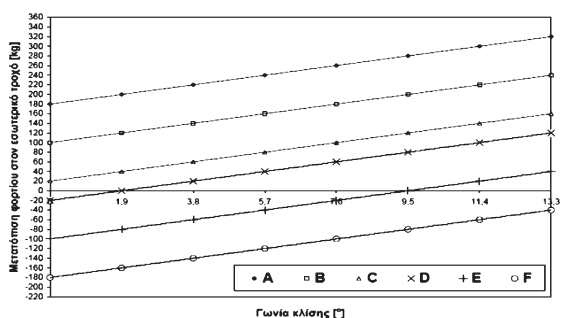
Γωνία κλίσης	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στον αριστερό οπίσθιο τροχό	Μεταβολή της αντίδρασης (R_A) στο δεξιό οπίσθιο τροχό	Μετατόπιση φορτίου στον αριστερό οπίσθιο τροχό ($d_A = R_A - R_{A_0}$)
[°]	[kg]	[kg]	[kg]
0	590	670	-80
1,9	600	660	-60
3,8	620	640	-20
5,7	630	630	0
7,6	640	620	20
9,5	650	610	40
11,4	660	600	60
13,3	670	590	80



Σχήμα 4: Μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό σε συνάρτηση των μεταβολών της γωνίας κλίσης. Ολικό εύρος τροχών του ελκυστήρα $b=1500$ mm. A- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο αριστερό τροχό, B- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, χωρίς το πρόσθετο βάρος, C- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό.

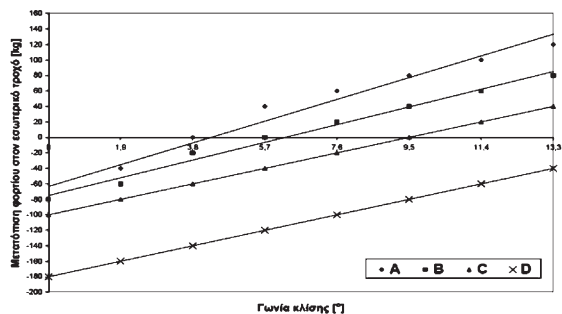


Σχήμα 5: Μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό σε συνάρτηση των μεταβολών της γωνίας κλίσης. Ολικό εύρος τροχών του ελκυστήρα $b=1800$ mm. A- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο αριστερό τροχό, B- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, χωρίς το πρόσθετο βάρος, C- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό.



Σχήμα 6: Μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό σε συνάρτηση των μεταβολών της γωνίας κλίσης. Ολικό

εύρος τροχών του ελκυστήρα $b=1650$ mm. A- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού αριστερής πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό, B- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού αριστερής πλευράς, χωρίς το πρόσθετο βάρος, C- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού αριστερής πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο αριστερό τροχό, D- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο αριστερό τροχό, E- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, χωρίς το πρόσθετο βάρος, F- ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό.



Σχήμα 7: Διάγραμμα σύγκρισης των καλύτερων περιπτώσεων ευστάθειας του ελκυστήρα σύμφωνα με τη μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό. A- ολικό εύρος τροχών $b=1500$ mm, ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό, B- ολικό εύρος τροχών $b=1800$ mm, ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό, C- ολικό εύρος τροχών $b=1650$ mm, ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, χωρίς το πρόσθετο βάρος, D- ολικό εύρος τροχών $b=1650$ mm, ανύψωση πρόσθιου και οπίσθιου τροχού δεξιάς πλευράς, με πρόσθετο βάρος 80 kg στον οπίσθιο δεξιό τροχό.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 5 παρουσιάζεται η μετατόπιση φορτίου προς τον αριστερό (εσωτερικό) τροχό του ελκυστήρα, όταν το ολικό εύρος τροχών ήταν $b=1800$ mm και είχαμε ανύψωση του πρόσθιου και οπίσθιου τροχού της δεξιάς πλευράς. Στην περίπτωση A το πρόσθετο βάρος των 80 kg τοποθετήθηκε επί του οπίσθιου αριστερού τροχού, στην περίπτωση B δεν χρησιμοποιήθηκε πρόσθετο βάρος, ενώ στην περίπτωση C το πρόσθετο βάρος τοποθετήθηκε επί του οπίσθιου δεξιού τροχού. Η μικρότερη μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό παρατηρήθηκε και πάλι κατά την περίπτωση C, δηλαδή, όταν το πρόσθετο βάρος τοποθετήθηκε επί του οπίσθιου δεξιού τροχού.

Η εναλλάξ μετατόπιση φορτίου και προς τους δύο οπίσθιους τροχούς του ελκυστήρα απεικονίζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 6. Στις περιπτώσεις A,

Β και C είχαμε ανύψωση του πρόσθιου και οπίσθιου τροχού της αριστερής πλευράς. Το πρόσθετο βάρος των 80 kg χρησιμοποιήθηκε μόνο στις περιπτώσεις Α και C, στη μεν περίπτωση Α τοποθετήθηκε στον οπίσθιο δεξιό, στη δε περίπτωση C τοποθετήθηκε στον οπίσθιο αριστερό. Ακολούθως, στις περιπτώσεις D, E και F προκλήθηκε ανύψωση του πρόσθιου και οπίσθιου τροχού της δεξιάς πλευράς. Το πρόσθετο βάρος των 80 kg χρησιμοποιήθηκε με παρόμοιο τρόπο. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση D τοποθετήθηκε στον οπίσθιο αριστερό και στην περίπτωση F στον οπίσθιο δεξιό. Από όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις, την καλύτερη κατανομή φορτίου σε κεκλιμένο επίπεδο παρουσιάζει η περίπτωση F.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 7 γίνεται σύγκριση ανάμεσα στις καλύτερες των περιπτώσεων κατανομής φορτίου, για τις τρεις διαφορετικές ρυθμίσεις του εύρους τροχών. Οι περιπτώσεις Α και Β αφορούν τις ρυθμίσεις του εύρους τροχών στα 1500 και 1800 mm αντιστοίχως. Ενώ οι περιπτώσεις C και D αναφέρονται στο εύρος των 1650 mm. Στις τρεις πρώτες περιπτώσεις, δηλαδή την Α, Β και C, παρουσιάζεται μία κλιμακούμενη βελτίωση της μετατόπισης φορτίου με κατεύθυνση από την Α προς την C. Αντιθέτως, η καμπύλη της περίπτωσης D διαφοροποιείται εντόνως σε σχέση με τις υπόλοιπες. Στην προκειμένη περίπτωση, η μετατόπιση φορτίου προς τον αριστερό τροχό είναι $d_A = -180 \div -40$ kg για γωνίες κλίσης $\varphi = 0 \div 13,3^\circ$ και επομένως, ο ελκυστήρας θα μπορούσε να κινηθεί σε κεκλιμένο επίπεδο με πολύ μεγαλύτερες κλίσεις. Αυτή η αισθητή βελτίωση της μετατόπισης φορτίου οφείλεται αφενός στην ασύμμετρη τοποθέτηση των τροχών, σε σχέση με το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας και αφετέρου στη χρήση του πρόσθετου βάρους των 80 kg.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, η γεωμετρία ενός γεωργικού ελκυστήρα έχει σημαντική επίπτωση στην ευστάθεια του μηχανήματος σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο. Μία μικρή μεταβολή της γεωμετρίας έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση φορτίου και κατά συνέπεια τη διαμόρφωση διαφορετικής γωνίας ανατροπής. Η οριακή γωνία ανατροπής, σύμφωνα με τους Γιαλαμά κ.ά. (2005), για το συγκεκριμένο ελκυστήρα (Renault 361) υπολογίστηκε στις 42° . Ο ακριβής πειραματικός προσδιορισμός της γωνίας ανατροπής δεν ήταν εφικτός λόγω ελλείψεως πρόσθετου εξοπλισμού (όπως γερανογέφυρας συγκράτησης του ελκυστήρα, στο τελικό στάδιο της ανατροπής). Στο σημείο αυτό θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι κατά το στατικό προσδιορισμό της γωνίας ανατροπής σε κεκλιμένο

επίπεδο, δεν λαμβάνονται υπόψη δυναμικοί παράγοντες, όπως είναι η ταχύτητα του μηχανήματος, η ταχύτητα του εδάφους και άλλοι, που όμως επηρεάζουν σημαντικά την ευστάθεια του ελκυστήρα.

Οι τεχνικές βελτιώσεις, που επηρεάζουν τη μετατόπιση φορτίου σε έναν ελκυστήρα, ο οποίος εργάζεται σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο, όπως είναι η αύξηση του εύρους των οπίσθιων τροχών και η χρήση πρόσθετου βάρους στον εξωτερικό τροχό, μπορούν να έχουν άμεση εφαρμογή. Η αύξηση του εύρους των οπίσθιων τροχών είναι μία επιβεβλημένη ενέργεια, στην οποία θα πρέπει να προβαίνουν όλοι οι χειριστές γεωργικών ελκυστήρων, κατά την εργασία σε πλάγιο κεκλιμένο επίπεδο. Επιπροσθέτως, η χρήση δίδυμων τροχών θα βελτιώνε ακόμη περισσότερο την ευστάθεια του μηχανήματος. Ένα πρόσθετο βάρος σαν αυτό που παρουσιάζεται στο Σχήμα 3(δ), το οποίο εύκολα μπορεί να τοποθετηθεί (κρεμαστεί) στον εξωτερικό τροχό, επηρεάζει επίσης την ευστάθεια του ελκυστήρα. Η χρήση του πρόσθετου βάρους έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αντίδρασης του εξωτερικού τροχού και συνεπώς την επιβράδυνση της μετατόπισης φορτίου και άρα τη διαμόρφωση μεγαλύτερης οριακής γωνίας ανατροπής. Η λύση της ασύμμετρης τοποθέτησης των οπίσθιων τροχών είναι δύσκολο να βρει πρακτική εφαρμογή από τους χειριστές των γεωργικών ελκυστήρων, όμως θα μπορούσε να αποτελέσει νέο αντικείμενο μελέτης για ερευνητές και μηχανικούς, ώστε στο μέλλον να προτείνουν μια τεχνικώς εφικτή λύση.

Επίσης, κρίνεται αναγκαίο να τονιστεί, ότι οι αναπτυσσόμενες αντιδράσεις του εδάφους στο στατικό φορτίο των πρόσθιων τροχών παρέμειναν αμετάβλητες στα 220 kg ανά τροχό σε όλες τις περιπτώσεις διαφορετικής ρύθμισης του εύρους, της χρήσης πρόσθετου βάρους 80 kg και για όλες τις γωνίες κλίσης. Επομένως, είναι φανερό ότι στον πρόσθιο άξονα του ελκυστήρα δεν παρατηρείται καμία μετατόπιση φορτίου, γεγονός που οφείλεται αποκλειστικά στη λειτουργία του πείρου ταλάντωσης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ο ρόλος του εύρους των οπίσθιων τροχών στην ευστάθεια των γεωργικών ελκυστήρων που εργάζονται σε επικλινή εδάφη είναι ιδιαίτερα σημαντικός.
- Οι αναπτυσσόμενες αντιδράσεις στο στατικό φορτίο των πρόσθιων τροχών δεν επηρεάζονται από τις διαφορετικές γωνίες κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη του πείρου ταλάντωσης.
- Η ασύμμετρη τοποθέτηση των οπίσθιων τροχών

ως προς το διάμηκες επίπεδο συμμετρίας, που τέμνει κάθετα τον πρόσθιο και οπίσθιο άξονα στο μέσον τους, καθώς και η χρήση πρόσθετου βάρους επί του εξωτερικού οπίσθιου τροχού, βελτιώνουν σημαντικά τη μετατόπιση φορτίου προς τον εσωτερικό τροχό, με αποτέλεσμα ο ελκυστήρας

να μπορεί να κινηθεί με σχετική ασφάλεια σε κεκλιμένο επίπεδο με πολύ μεγαλύτερες κλίσεις.

• Η πειραματική αυτή διαπίστωση θα βοηθούσε τόσο στη θεωρητική έρευνα όσο και στη βελτίωση των μεθόδων και των κανόνων σχεδίασης και χειρισμού των γεωργικών ελκυστήρων.

The significance of rear wheel width on agricultural tractor stability

I. Gravalos¹, Th. Gialamas¹, Z. Koutsofritis¹, D. Kateris², P. Xyradakis¹, Z. Tsiropoulos¹

ABSTRACT

The agricultural tractors, which move on inclined plane, overturn if the ground slope angle is great. The aim of this research is to investigate the role of the width of rear wheels and the use of additional weight on the external wheel, in tractor stability on inclined plane. An experimental testing bench was used for the measurements of the developed ground reactions on static load of rear wheels. It was also calculated the load displacement on internal wheel for the following different rear wheel widths 1500/1650/1800 mm, after the use of additional weight 80 kg on the external wheel and in constant changes of ground slope angle. After the processing the results, it was clear that the critical ground slope angle for tractor raises significantly when the rear width is 1650 mm and on the external wheel has been placed the additional weight.

Key words: Agricultural tractor, rear wheel width, inclined plane, stability, overturning, operating conditions safety.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abu-Hamdeh, N. H., Al-Jalil, H. F., 2004. Computer simulation of stability and control of tractor-trailed implement combinations under different operating conditions. *Bragantia Campinas* 63: 149-162.
- Fabbri, A., Molari, G., 2004. Static measurement of the center of gravity height on narrow-track agricultural tractors. *Biosystems Engineering* 87: 299-304.
- Γιαλαμάς, Θ., Κουτσοφίτης, Ζ., Φιλίντας, Α., 2003. Τράπεζα δοκιμών για τον καθορισμό της ευστάθειας γεωργικών μηχανημάτων. Πρακτικά 3ου Επιστημονικού Συνεδρίου της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος. Θεσσαλονίκη.
- Γιαλαμάς, Θ., Χαλούλης, Ι., Κουτσοφίτης, Ζ., Φιλίντας, Α., Τσατσαρέλης, Κ., Τσάκαλος, Α., Μανώλης, Κ., 2005. Πειραματική τράπεζα προσδιορισμού των γωνιών ευστάθειας γεωργικών ελκυστήρων. Πρακτικά 4ου Επιστημονικού Συνεδρίου της Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος. Αθήνα.
- Γράβαλος, Ι., Γιαλαμάς, Θ., Κουτσοφίτης, Ζ., Κατέρης, Δ., Τσιρόπουλος, Ζ., Ξυραδάκης, Π., 2008. Μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τις κινηματικές ιδιότητες ενός γεωργικού ελκυστήρα κατά την κίνησή του σε κεκλιμένο επίπεδο και την ασφάλεια του χειριστή του. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα* 19 (1): 27-37.
- Hunter, A., 1982. Tip angles for tractor sideways overturning from Norwegian test reports. Dept. Note SIN/355, Scot. Inst. Agric. Engng. Penicuik.
- Semetko, J., Drabant, S., Matejka, J., Pick, E., Smicr, V., Zikla, A., 1981. *Traktory a automobily. Priroda*. Bratislava.
- Spencer, H., Gilfillan, G., 1976. An approach to the assessment of tractor stability on rough sloping ground. *J. Agric. Engng. Res.* 21: 169-176.
- Spencer, H., Owen, G., Glasbey, C., 1985. On-site measurement of stability of agricultural machines. *J. Agric. Engng. Res.* 31: 81-91.
- Τσατσαρέλης, Κ., 1997. *Γεωργικοί Ελκυστήρες*. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.

¹ Technological Educational Institute of Larissa, Faculty of Agricultural Technology, Department of Biosystems Engineering, 41110, Larissa, Greece.

² Aristotle University, School of Agriculture, Department of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, 541 24 Thessaloniki, Greece.