

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΜΕ ΣμηΕΑ ΣΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΠΟΛΕΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΑΚΟΥ ΤΗΣ ΕΛΙΑΣ

Χρήστος Καβαλάρης

*Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού
Περιβάλλοντος, Οδός Φυτόκου, 38446 Βόλος, ✉chkaval@uth.gr*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ψεκασμοί με Συστήματα μη επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ ή κοινώς drones), στη γεωργία είναι μια καινοτόμα ανερχόμενη τεχνολογία της οποίας όμως το κόστος εφαρμογής είναι σχετικά ασαφές. Στην παρούσα μελέτη γίνεται προσπάθεια προσδιορισμού κρίσιμων στοιχείων και παραμέτρων για την ενδεχόμενη περίπτωση χρήσης ΣμηΕΑ στην καταπολέμηση του δάκου της ελιάς, με σκοπό την εκτίμηση του κόστους της επέμβασης και της σύγκρισης αυτού, με το κόστος δύο παραδοσιακών μεθόδων: ψεκασμοί με επινώτιους ψεκαστήρες και ψεκασμοί με γεωργικό και ελκυστήρα και αυλούς που χειρίζονται εργάτες. Η περίπτωση της δακοπροστασίας επιλέχθηκε διότι η χρήση εργατών ανεβάζει το κόστος και αφετέρου, ο δολωματικούς χαρακτήρας των ψεκασμών δεν επιβάλλει πλήρη κάλυψη της κόμης, γεγονός που τη καθιστά ιδεατή για ψεκασμούς με ΣμηΕΑ. Προσδιορίστηκε το κόστος της εργασίας, η ανάλωση του κεφαλαίου, τα κόστη επισκευών και συντήρησης, το κόστος των καυσίμων (πετρελαίου και ηλεκτρικού ρεύματος) και το κόστος των τελών και των εισφορών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κόστος της επέμβασης με ΣμηΕΑ ήταν 64% υψηλότερο από το κόστος των παραδοσιακών ψεκασμών κυρίως εξαιτίας της περιορισμένης διάρκειας οικονομικής ζωής του εξοπλισμού και την υψηλότερη αμοιβή των πιστοποιημένων χειριστών ΣμηΕΑ.

COST ANALYSIS OF UAV SPRAYING IN THE CASE OF OLIVE FRUIT FLY CONTROL

Chris Cavalaris

*University of Thessaly, Department of Agriculture, Crop Production and Rural Environment,
Fytokou str, 38446 Volos, ✉chkaval@uth.gr*

ABSTRACT

Spraying with Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in agriculture is a novel upcoming technology but the cost of the application is yet rather uncertain. The present study aims to access some critical components and parameters in the potential case of using UAVs for control of olive fruit fly in order to access the cost of the operation and compare this, with the costs of two methods of traditional spraying; man spaying with backpack sprayers and man spraying with tractor assisted lances. The case of olive fruit fly was selected because it involves costly man spraying whereas the bait character of spraying doesn't imply full canopy coverage, making it ideal for UAV applications. Costs of labour, capital spending, repair and maintenance, fuel and electricity and taxes and fees were estimated for each of the three methods. The results showed that the cost of spraying with UAVs was 64% higher than the traditional methods, mainly because the low economic life of the equipment and the higher wages for the skilled UAV pilots.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ ή κοινώς drone) αναμένεται να αναλάβουν σημαντικούς ρόλους στη γεωργία του μέλλοντος είτε συμμετέχοντας στην τηλεπισκόπηση των καλλιεργειών, είτε υποκαθιστώντας τα επίγεια μηχανήματα σε διάφορες καλλιεργητικές εργασίες όπως οι ψεκασμοί, η διανομή λιπασμάτων και η σπορά [1]. Στην Ευρώπη, μέχρι το 2035, περίπου 25.000 ΣμηΕΑ αναμένεται να επιχειρούν στο γεωργικό τομέα εκτελώντας γεωργικές εργασίες [2]. Τα ΣμηΕΑ αναμένεται να εγκαινιάσουν μια νέα εποχή στη φυτοπροστασία παρέχοντας αποτελεσματικές, χαμηλού κόστους και περιβαλλοντικά ασφαλείς λύσεις, ειδικά εναντίων συστηματικών εχθρών όπως ο δάκος της ελιάς.

Παραδοσιακά, η προστασία από το δάκο της ελιάς (*Dacus oleae*) βασίζεται σε επίγειους δολωματικούς ψεκασμούς που διεξάγονται από εργάτες με επινώτιους ψεκαστήρες ή με αυλούς που συνδέονται σε φερόμενο σε γεωργικό ελκυστήρα ψεκαστήρα. Οι ψεκασμοί αποφασίζονται με βάση στοιχεία της εξέλιξης του πληθυσμού που συλλέγονται από δίκτυα παγίδων. Η απόφαση είναι καταφατική όταν σε διάστημα 5-6 ημερών καταμετρηθούν 5-20 έντομα στις παγίδες λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη το στάδιο της καλλιέργειας, την αναμενόμενη καρποφορία, την ποικιλία και τις καιρικές συνθήκες. Συνήθως 4-7 ψεκασμοί ετησίως είναι απαραίτητοι για την αποτελεσματική δακοπροστασία. Οι ψεκασμοί γίνονται στο 1/3 των δένδρων ακολουθώντας κανονικοποιημένα σχήματα και καλύπτοντας τμήματα της κόμης. Ξεκινούν νωρίς το πρωί και διακόπτονται προς το μεσημέρι, μετά από 5-6 ώρες, όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 28°C διότι παύει η δραστηριότητα του εντόμου. Η κάθε επέμβαση θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί σε ένα σύντομο διάστημα 5-6 ημερών.

Η δακοκτονία προϋποθέτει την περιστασιακή απασχόληση εργατών που πολλές φορές δεν είναι διαθέσιμοι και που βέβαια, ανεβάζουν σημαντικά το κόστος της επέμβασης. Εκτός αυτού, οι εργάτες αποφεύγουν την δακοκτονία διότι εκθέτουν τον εαυτό τους στον κίνδυνο της χρήσης επικινδύνων για την υγεία αγροχημικών. Από την άλλη πλευρά, η χρήση των ΣμηΕΑ σε εφαρμογές ψεκασμών, είναι μια ανερχόμενη νέα τεχνολογία που υπόσχεται ταχείς, αποτελεσματικές και ασφαλείς επεμβάσεις. Ο δολωματικός χαρακτήρας των ψεκασμών στη δακοκτονία δεν επιβάλλει πλήρη κάλυψη της καλλιέργειας καθιστώντας τη ιδανική περίπτωση για την χρήση ΣμηΕΑ. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να εντοπίσει και να καταγράψει κρίσιμες παραμέτρους των ψεκασμών στη δακοκτονία για δύο παραδοσιακές μεθόδους και μια καινοτόμο μέθοδο ψεκασμού με ΣμηΕΑ με σκοπό την ανάπτυξη ενός υπολογιστικού μοντέλου για την εκτίμηση του κόστους για κάθε μια από αυτές και την αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας του ψεκασμού με ΣμηΕΑ.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μελετήθηκαν 3 εναλλακτικές περιπτώσεις

- Παραδοσιακός ψεκασμός με επινώτιους ψεκαστήρες
- Παραδοσιακός ψεκασμός με γεωργικό ελκυστήρα και εργάτες
- Καινοτόμος μέθοδος ψεκασμού με ΣμηΕΑ

Για όλες τις περιπτώσεις θεωρήθηκε συμβατική ελαιοκαλλιέργεια με 175 δένδρα ανά (διάταξη πλέγματος 8x8m).

2.1 Περιγραφή περιπτώσεων

Περίπτωση I. Ψεκασμός με επινώτιους ψεκαστήρες

Ο ψεκασμός διεξάγεται από εργάτες που φέρουν επινώτιους ψεκαστήρες. Συγκροτούνται συνεργεία από 3-6 ψεκαστές, έναν οδηγό αγροτικού αυτοκινήτου (α.α.) ή γεωργικού ελκυστήρα (γ.ε.) που μεταφέρει τον εξοπλισμό και έναν αρχιεργάτη που συντονίζει την επιχείρηση. Κάθε συνεργείο είναι υπεύθυνο για έναν "Τομέα" έκτασης 80-150ha. Περίπου 300ml ψεκαστικού διαλύματος εφαρμόζεται σε κάθε δένδρο (ανάλογα με το μέγεθος της κόμης) με μέσου μεγέθους σταγονίδια 500μm. Η ποσότητα αυτή ισοδυναμεί με $17.5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ για τον ψεκασμό του 1/3 των δένδρων. Στην ουσία, ένας ψεκαστής που φέρει μια ψεκαστήρα 18 λίτρων ψεκάζει περίπου 60 δένδρα, και καλύπτει μια έκταση 1,03ha σε περίπου 40min. Λαμβάνοντας επίσης υπόψη 10min για επαναγέμισμα των ψεκαστήρων και ανάπαυση των εργατών, υπολογίζεται ότι 6 ψεκαστήρες μπορούν να εφαρμοσθούν ημερησίως από έναν εργάτη σε διάστημα 5h και 22min. Πέντε ψεκαστές ενός συνεργείου μπορούν να καλύψουν 30,9ha.

Περίπτωση II. Ψεκασμός με γεωργικό ελκυστήρα και εργάτες

Ο ψεκασμός διεξάγεται από εργάτες που φέρουν αυλούς οι οποίοι τροφοδοτούνται από μηχανοκίνητο ψεκαστήρα φερόμενο σε γ.ε. Συγκροτούνται συνεργεία με έναν ή δύο επίγειους ψεκαστές που βαδίζουν παράλληλα με τον γ.ε. και έναν οδηγό για τον γ.ε. ο οποίος συνήθως αναλαμβάνει και το ρόλο του αρχιεργάτη. Το μέγεθος των σταγονιδίων και η ποσότητα του ψεκαστικού διαλύματος είναι όμοια με την προηγούμενη περίπτωση. Ένα βυτίο ψεκαστήρα 500 λίτρων μπορεί να παρέχει ψεκαστικό διάλυμα για τον ψεκασμό 1670 δένδρων, την προστασία 5000 δένδρων και την κάλυψη 28,6 εκταρίων. Λαμβάνοντας υπόψη 15λεπτα διαλλείματα ανάπαυσης των εργατών ανά ώρα, υπολογίζεται ότι ένα βυτίο 500 λίτρων δύναται να εφαρμοστεί ημερησίως σε διάστημα 5 ωρών και 19 λεπτών καλύπτοντας μια συνολική έκταση 28.6 εκταρίων.

Περίπτωση III. Ψεκασμός με ΣμηΕΑ

Ο ψεκασμός δύναται να εφαρμοστεί με ένα ΣμηΕΑ με δυνατότητα ψεκασμού το οποίο χειρίζεται ένας πιστοποιημένος χειριστής ΣμηΕΑ. Για την παρούσα μελέτη επιλέχθηκε το πολυκόπτερο ΣμηΕΑ DJI Agras MG1 [3]. Η εφαρμογή γίνεται και πάλι στο 1/3 των δένδρων. Αυτό προϋποθέτει την καταγραφή της ακριβούς θέσης του κάθε δένδρου και των διαστάσεων της κόμης αυτού σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών στο οποίο θα καταστρωθούν επίσης τα σχέδια πτήσης του ΣμηΕΑ και οι στόχοι του ψεκασμού. Η χρήση ενός συστήματος σχετικού κινηματικού προσδιορισμού της γεωγραφικής θέσης (RTK-GPS) κρίνεται απαραίτητη για την επίτευξη της επιθυμητής ακρίβειας τόσο κατά το στάδιο της καταγραφής όσο και κατά το στάδιο της εφαρμογής. Το ΣμηΕΑ έχει τη δυνατότητα να προσεγγίζει πλησιέστερα στη κόμη των δένδρων, σε σχέση με τους επίγειους ψεκασμούς, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση μικρότερων σταγονιδίων που επιτυγχάνουν μεγαλύτερη κάλυψη του φυλλώματος. Επιπλέον, το καθοδικό ρεύμα από τους έλικες του ΣμηΕΑ ενισχύει την διείδυση του ψεκαστικού νέφους στη κόμη. Το MG1 Agras φέρει ένα δοχείο ψεκαστικού διαλύματος 10l και μια αντλία που τροφοδοτεί 4 ακροφύσια (τύπου Teejet XR11001) ικανά να παράγουν σταγονίδια κατώτατου μεγέθους 130μm με μια παροχή $0.45 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ [4]. Επομένως, μόλις 75ml ανά δένδρο ή $4.4 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ είναι ικανά να επιτύχουν όμοια φυτοκάλυψη με αυτή που πετυχαίνεται με

300ml ανά δένδρο από σταγονίδια 500μm που παράγονται από αυλούς. Και για τις δύο περιπτώσεις δεν λήφθηκε υπόψη η επίδραση της διασποράς τους ψεκαστικού νέφους. Με τα 4 ακροφύσια σε λειτουργία και τη μικρότερη παροχή, το ΣμηΕΑ ψεκάζει $1.8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ καταφέροντας μια αυτονομία 25 λεπτών μέχρι να αδειάσει το δοχείο (λαμβάνοντας επίσης υπόψη και τους χρόνους για τη μετάβαση από το ένα δένδρο στο 3ο επόμενο). Η ονομαστική αυτονομία όμως των ηλεκτρικών συσσωρευτών του αεροσκάφους, για αποτελεσματικό ψεκασμό είναι μόλις 15min. Επομένως, ο περιοριστικός παράγοντας για τη διάρκεια μιας πτήσης δεν είναι η χωρητικότητα του δοχείου αλλά η αυτονομία του συσσωρευτή. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι σε κάθε 15λεπτη πτήση μπορούν να ψεκαστούν 109 δένδρα και να προστατευθούν 327 δηλαδή 1,87ha. Λαμβάνοντας επίσης υπόψη 10λεπτα μεσοδιαστήματα για την επιστροφή του ΣμηΕΑ στο σημείο απογείωσης, το επαναγέμισμα του δοχείου και την αλλαγή του συσσωρευτή, 1 λεπτό για τη μετάβαση στο επόμενο σημείο απογείωσης καθώς επίσης 20 λεπτά για την ανάπτυξη του εξοπλισμού στο πεδίο στην αρχή της ημέρας και την συγκέντρωσή του στο τέλος, υπολογίζεται ότι ημερησίως δύνανται να πραγματοποιηθούν 12 πτήσεις σε ένα διάστημα 5,5 ωρών καλύπτοντας μια συνολική έκταση 22,4ha. Η προ-προγραμματισμένη πλοήγηση του ΣμηΕΑ επιτρέπει την όλη επιχείρηση να πραγματοποιηθεί και να ελέγχεται από έναν μόνο χειριστή δίχως την ανάγκη για βοηθό πτήσης.

Για την αξιολόγηση των τριών περιπτώσεων αναπτύχθηκε ένα υπολογιστικό μοντέλο σε φύλλο εργασίας Excel. Στο **Πίνακα 1** παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων που εισήχθησαν στο υπολογιστικό μοντέλο κατά τη παρούσα μελέτη.

Πίνακας 1. Παράμετροι ψεκασμού για τις τρεις εναλλακτικές περιπτώσεις

	με επινώτιους ψεκαστήρες (περ. I)	με γ.ε. και εργάτες (περ. II)	με ΣμηΕΑ (περ. III)
Αριθμός εργατών	7 ^[a]	3 ^[b]	1
Μέγεθος σταγονιδίων (μm)	500	500	130
Παροχή ακροφυσίων (l min^{-1})	1.2	2.8	0.45
Δόση ψεκασμού (l ha^{-1})	17.5	17.5	4.4
χωρητικότητα δοχείου (l)	18	500	10
Δένδρα που ψεκάζονται με ένα δοχείο	60	1669	109 ^[c]
Δοχεία που εφαρμόζονται ημερησίως	30	1	12
Εκτάρια (ha) που ψεκάζονται ημερησίως	30.9	28.6	22.4
Ημερήσιος χρόνος ψεκασμού (h)	5.37	5.32	5.51

^[a] 5 ψεκαστές, 1 οδηγός, 1 αρχιεργάτης ^[b] 2 ψεκαστές 1 οδηγός ^[c] με ένα συσσωρευτή (μπαταρία)

2.2. Ανάλυση κόστους

2.2.1. Εργασία

Οι ψεκαστές με επινώτιους ψεκαστήρες ή αυλούς και οι οδηγοί των οχημάτων είναι κυρίως ανειδίκευτοι εργάτες με σχετικά χαμηλούς μισθούς. Οι αρχιεργάτες διαθέτουν κάποια εμπειρία και γι' αυτό αμείβονται ελαφρώς καλύτερα. Οι χειριστές ΣμηΕΑ ωστόσο είναι ειδικευμένο και πιστοποιημένο προσωπικό που απαιτεί υψηλότερες αμοιβές. Για την παρούσα μελέτη, τα ημερομίσθια για 8ωρη ημερήσια

απασχόληση του ανειδίκευτου προσωπικού λήφθηκαν 50€, των αρχιεργατών 60€ και των χειριστών ΣμηΕΑ 120€. Τα ημερομίσθια προσαρμόστηκαν ανάλογα με τον πραγματικό ημερήσιο χρόνο απασχόλησης.

2.2.2. Ανάλυση κεφαλαίου

Ένα συνεργείο με επινώτιους ψεκαστές χρειάζεται ψεκαστές για κάθε εργάτη, ένα βυτίο 500 περίπου λίτρων για καθαρό νερό και έναν γ.ε. ή ένα αγροτικό Ι.Χ. για μεταφορά του εξοπλισμού. Ένα συνεργείο με γ.ε. χρειάζεται ένα γ.ε. και το παρελκόμενο ψεκαστήρα. Ο ψεκασμός με ΣμηΕΑ εμπλέκει ένα ΣμηΕΑ με εξαρτήματα ψεκασμού, ικανό αριθμό συσσωρευτών και σταθμό επαναφόρτισης για διαρκή λειτουργία, ένα RTK GPS και ένα αγροτικό Ι.Χ. για σταθμό βάσης και μεταφορά του εξοπλισμού. Η ανάγκη για περισσότερους συσσωρευτές όμως δεν επηρεάζει την ανάλυση κεφαλαίου διότι το κόστος εκφράζεται ανά ώρες χρήσης.

Πίνακας 2. Παράμετροι του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού για τις 3 περιπτώσεις.

		με επινώτιους ψεκαστές (περίπτωση I)	με γ.ε. και εργάτες (περίπτωση II)	με ΣμηΕΑ (περίπτωση III)
Τιμή αγοράς (Q ₀) (€):	Μονάδα ψεκασμού	50 ^[a]	8000 ^[b]	9000 ^[c]
	γ.ε. / α.α.	30000.0	45000.0	20000 ^[d]
	Συσσωρευτές ΣμηΕΑ			800
	Σταθμός φόρτισης			1500
	RTK GPS			6000
Οικονομική ζωή (OZ)(h):	Μονάδα ψεκασμού	1500 ^[a]	1500 ^[b]	4 ^[c] (έτη)
	γ.ε. / α.α.	16000	16000	10000 ^[d] (ώρες)
	Συσσωρευτές ΣμηΕΑ			300 (ώρες)
	Σταθμός φόρτισης			4 (έτη)
	RTK GPS			10 (έτη)
Ετήσια χρήση (ώρες):	Μονάδα ψεκασμού	116 ^[a]	130 ^[b]	91 ^[c]
	γ.ε. / α.α.	25.3	137.6	1.6 ^[d]
	Συσσωρευτές ΣμηΕΑ			91
	Σταθμός φόρτισης			135
	RTK GPS			95
Υπολειμματική αξία (% της τιμής αγοράς)	Μονάδα ψεκασμού	0	10	20
	γ.ε. / α.α.	10	10	10
	Συσσωρευτές ΣμηΕΑ			0
	Σταθμός φόρτισης			20
	RTK GPS			20

^[a] επινώτιοι ψεκαστές, ^[b] φερόμενος ψεκαστήρας γ.ε., ^[c] ΣμηΕΑ ψεκασμών, ^[d] αγροτ. αυτ.

Οι υπολογισμοί για την ανάλυση του κεφαλαίου βασίστηκαν σε ένα ονομαστικό επιτόκιο 5% και ένα συντελεστή πληθωρισμού 1%. Στον **Πίνακα 2** παρουσιάζονται τιμές αγοράς (Q₀) για το έτος 2019, η οικονομική ζωή (OZ) και η υπολειμματική αξία. Η OZ (σε ώρες) για το γ.ε. και τον φερόμενο ψεκαστήρα λήφθηκαν από τα ASABE standards [5]. Για τους επινώτιους ψεκαστές θεωρήθηκε επίσης η OZ του μηχανοκίνητου ψεκαστήρα. Για το ΣμηΕΑ η OZ εκλήφθηκε στα 4 έτη εξαιτίας του

καινοτόμου της τεχνολογίας που συνεπάγεται ταχεία τεχνολογική παλαιώση [6] [7]. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι η ετήσια χρήση αλλά η παλαιότητα που καθορίζει το όριο της ΟΖ. Το ίδιο ισχύει και για το σταθμό φόρτισης που συνήθως συνοδεύει τους συσσωρευτές του ΣμηΕΑ. Το RTK-GPS περιλαμβάνει σχετικά ωριμότερη τεχνολογία και γι' αυτό η ΟΖ εκλήφθηκε στα 10 έτη [8]. Οι γ.ε. με τους παρελκόμενους ψεκασθήρες βέβαια, όπως και τα α.α., δεν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στους ψεκασμούς. Αντιθέτως, η χρήση τους στον ψεκασμό αποτελεί συνήθως πολύ μικρό τμήμα της συνολικής ετήσιας χρήσης αυτών. Για έναν "δίκαιο" επιμερισμό του κόστους στις άνωθεν περιπτώσεις υπολογίστηκε η «Υποθετική οικονομική ζωή» (ΥΟΖ) του εξοπλισμού, δηλαδή τα έτη ζωής υποθέτοντας αποκλειστική χρήση στις υπό μελέτη εργασίες και αγνοώντας την τεχνολογική παλαιώση. Η ΥΟΖ (σε έτη) υπολογίστηκε ως ο λόγος ΟΖ (σε ώρες) / (ώρες ετήσιας χρήσης) και η ετήσια απόσβεση ως ο λόγος Q_0 / ΥΟΖ. Η ανάλυση του κεφαλαίου περιλαμβάνει την ετήσια απόσβεση και τους τόκους του κεφαλαίου. Για την αποφυγή στρεβλώσεων το τελευταίο υπολογίστηκε για τη πραγματική ΟΖ. Η υπολειμματική αξία του εξοπλισμού εκλήφθηκε 20% της τιμής αγοράς για το ΣμηΕΑ και τα εξαρτήματά του (εκτός από τους συσσωρευτές που λήφθηκε 0%), 10% για το γ.ε. τον ψεκαστήρα και το Ι.Χ. και 0% για τους επινώτιους ψεκασθήρες. Η υψηλότερη υπολειμματική αξία για το ΣμηΕΑ και τα εξαρτήματα οφείλεται στην περιορισμένη ΟΖ που δίνει περιθώρια για αξιοποίηση σε λιγότερο απαιτητικές εργασίες ή πώληση των ανταλλακτικών τους.

2.2.3. Επισκευές και συντήρηση R&M

Για την εκτίμηση του κόστους των επισκευών και της συντήρησης του ψεκαστήρα, του γ.ε. και του α.α χρησιμοποιήθηκε η σχέση των ASABE Standards D497.5 [5].

$$C_{rm} = (RF_1)Q_0 \left[\frac{h}{10000} \right]^{(RF_2)}$$

	RF ₁	RF ₂
Ψεκαστήρας γ.ε.	0.410	0.005
Γεωργ. ελκ. / αγρ. αυτ.	1.300	2.000

όπου C_{rm} το σωρευτικό κόστος επισκευών και συντήρησης Q_0 η τιμή αγοράς, h οι συνολικές ώρες χρήσης και RF_1 , RF_2 σταθερές που σχετίζονται με τον εξοπλισμό. Για τους επινώτιους ψεκασθήρες και τα ΣμηΕΑ που δεν υπάρχουν στοιχεία για τα κόστη επισκευών & συντήρησης αυτά υπολογίστηκαν στο 50% της τιμής αγοράς [7].

Οι επισκευές συχνά εμπλέκουν ένα δεύτερο, έμμεσης μορφής κόστος το οποίο προέρχεται από την ακινησία του εξοπλισμού εξαιτίας βλάβης. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις, η απώλεια εισοδήματος από την μη έγκαιρη εκτέλεση μιας εργασίας μπορεί να είναι υψηλότερη ακόμη και από το ίδιο το κόστος της αντικατάστασης του εξοπλισμού που υπέστη βλάβη. Ιδανικά, θα πρέπει πάντα να υπάρχει διαθέσιμος εφεδρικός εξοπλισμός. Αυτό είναι εύκολα εφικτό για χαμηλού κόστους εξοπλισμό όπως οι επινώτιοι ψεκασθήρες η ακόμη και για ακριβότερο εξοπλισμό όπως οι γ.ε. και οι φερόμενοι σε γ.ε. ψεκασθήρες, διότι συνήθως υπάρχει πληθώρα παρόμοιων μηχανημάτων στις αγροτικές περιοχές που μπορούν ακόμα και να μισθωθούν σε περίπτωση ανάγκης. Δεν ισχύει όμως το ίδιο για τα ΣμηΕΑ και τον συνοδό τους εξοπλισμό. Σε αυτή τη περίπτωση, ο διαχειριστής θα πρέπει να διαθέτει εφεδρικά στοιχεία για όλο το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό. Για τα ΣμηΕΑ, η συχνότητα βλαβών είναι $1/10^3$ [9]. Λαμβάνοντας υπόψη ένα μήνα ακινησίας για το αεροσκάφος μέχρι την επισκευή, υπολογίζεται ότι απαιτείται ένα εφεδρικό

ΣμηΕΑ για κάθε σμήνος από 33 ΣμηΕΑ. Στη περίπτωση της δακοκτονίας που εξετάζεται, ωστόσο, είναι απίθανο ένας διαχειριστής να διαθέτει περισσότερα από 5 ΣμηΕΑ. Η ανάλωση του κεφαλαίου για το ΣμηΕΑ επομένως προσαυξήθηκε κατά 1/5, ώστε να συμπεριλάβει και το κόστος του εφεδρικού ΣμηΕΑ και το ίδιο έγινε και για το συνοδό εξοπλισμό.

2.2.4. Ενέργεια

Ο γ.ε. και το α.α. καταναλώνουν καύσιμο ντήζελ ενώ το ΣμηΕΑ χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια. Η κατανάλωση καυσίμου υπολογίστηκε για κάθε μια από τις παρακάτω περιπτώσεις: μετακίνηση στο χωράφι, μετακίνηση σε αγροτικό δρόμο, ισχυοδότηση του φερόμενου ψεκαστήρα. Η απόδοση του οχήματος, η ώθηση των τροχών, η ολίσθηση και η απορροφόμενη ισχύς υπολογίστηκαν από τις σχέσεις που δίδονται στα ASABE D497.5 Standards [5]. Η απορροφόμενη ισχύς εκφράστηκε σε ισοδύναμη στο δυναμοδότη ισχύ, για το γ.ε. και ισχύ στο σφόνδυλο για το α.α. και από εκεί υπολογίστηκε η ειδική κατανάλωση καυσίμου και εν τέλει, η κατανάλωση καυσίμου. Λαμβάνοντας υπόψη μια τιμή για το ντήζελ, 1,65€/l, υπολογίστηκε το κόστος του καταναλισκόμενου καυσίμου.

Το ΣμηΕΑ DJI Agras MG1 είναι ένα οκτακόπτερο με συνολική ισχύ κινητήρων 3.25KW με πλήρη φορτίο [3] ή 1.95kW για μισό φορτίο. Υπολογίζεται ότι το ΣμηΕΑ θα πρέπει να βρίσκεται σε αιώρηση περίπου 3h από τις 5,5h που διαρκεί ο ημερήσιος ψεκασμός. Ως εκ τούτου, η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας υπολογίζεται στις 5.85kWh και η ετήσια κατανάλωση στις 180kWh. Λαμβάνοντας υπόψη μια τιμή κιλοβατώρας 0.1892€/kWh, υπολογίστηκε το ετήσιο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για το ΣμηΕΑ.

2.2.5. Φόροι και εισφορές

Οι γεωργικοί ελκυστήρες και τα αγροτικά αυτοκίνητα επιβάλλεται να διαθέτουν ασφάλεια αστικής ευθύνης η οποία χονδρικά εκτιμάται στο $2.5/1000$ της τιμής αγοράς. Τα ΣμηΕΑ επιβάλλεται επίσης να διαθέτουν ασφάλεια η οποία, σε τιμές 2019, στοιχίζει 300€ το έτος. Επιπλέον, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, όταν ένα ΣμηΕΑ χρησιμοποιείται για εμπορικούς σκοπούς, πρέπει να διαθέτει πιστοποιητικό πτητικής επάρκειας το οποίο κοστίζει 180€ το έτος και ο χειριστής είναι αναγκασμένος να ανανεώνει την άδεια χειριστού κάθε τρία έτη, με κόστος 20€

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το συνολικό κόστος του παραδοσιακού ψεκασμού με επινώτιους ψεκαστήρες υπολογίστηκε στα 8.82€/ha (Πίνακας 3). Από αυτό, τα 8,06€/ha, ποσοστό 91% επί του συνολικού, αφορά την αμοιβή της εργασίας. Το υπόλοιπο 6,4% αφορούσε την ανάλωση του κεφαλαίου και τις επισκευές και συντήρηση και 2,5% τα καύσιμα και την ασφάλεια του οχήματος.

Για τον ψεκασμό με γ.ε. το συνολικό κόστος υπολογίστηκε στα 8.81€/ha, σχεδόν όμοιο με τη προηγούμενη περίπτωση. Το κόστος της εργασίας βέβαια είναι ασφαλώς μικρότερο, 3.49€/ha, καθότι εμπλέκονται λιγότεροι εργάτες αλλά υπάρχει ένα σημαντικά αυξημένο κόστος από την ανάλωση του κεφαλαίου και τις επισκευές και συντήρηση που ανέρχεται στα 2.61€/ha και ένα εξίσου υψηλό κόστος καυσίμου ίσο με 2.58€/ha. Η εργασία αντιπροσωπεύει το 39.9% του συνολικού κόστους η ανάλωση κεφαλαίου και οι επισκευές & συντήρηση το 29% και τα καύσιμα το 29.5%

Το συνολικό κόστος του ψεκασμού με ΣμηΕΑ ήταν σημαντικά υψηλότερο από το κόστος των δύο παραδοσιακών μεθόδων και υπολογίστηκε στα 14.46€/ha. Αξιοσημείωτο είναι ότι το κόστος της εργασίας με ΣμηΕΑ ήταν επίσης υψηλότερο από το κόστος του ψεκασμού με γ.ε. παρότι εμπλέκεται ένας εργάτης αντί για τρεις. Τούτο οφείλεται στην υψηλότερη αμοιβή του εξειδικευμένου χειριστή ΣμηΕΑ που ήταν 15€/h σε σύγκριση με τα 6.25€/h για τους ανειδίκευτους εργάτες. Το κόστος της εργασίας για τον ψεκασμό με ΣμηΕΑ αφορά το 27,5% του συνολικού κόστους της επέμβασης. Παρόλα αυτά, η υψηλότερη συμμετοχή, 65% επί του συνολικού, προέρχεται από την ανάλωση του κεφαλαίου (6.54€/ha) και τις επισκευές & συντήρηση (2.80€/ha). Το υψηλό κόστος του κεφαλαίου οφείλεται στην σύντομη οικονομική ζωή του εξοπλισμού που περιλαμβάνει καινοτόμες τεχνολογίες οι οποίες υπόκεινται σε υψηλές τεχνολογικές αβεβαιότητες όπως αξιοπιστία, λειτουργικές αστοχίες, συμβατότητα, ελλιπής υποστήριξη και υποκατάσταση από νεότερες τεχνολογίες [8]. Το υψηλό κόστος επισκευών & συντήρησης επίσης προέρχεται από τον υψηλό κίνδυνο βλάβης ή ατυχήματος του ΣμηΕΑ κατά τη διάρκεια της πτήσης [9]. Οι φόροι και οι ασφαλιστικές εισφορές για το ΣμηΕΑ είναι επίσης υψηλές και ανέρχονται στα 1.08€/ha, 7.5% του συνολικού κόστους. Το χαμηλότερο κόστος προέρχεται από τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, 0.06€/ha.

Η εργασία, οι επισκευές και η συντήρηση και η ενέργεια συνιστούν το μεταβλητό κόστος των επεμβάσεων που είναι άμεσα συνυφασμένο με την ετήσια χρήση του εξοπλισμού. Η ανάλωση του κεφαλαίου, οι φόροι και οι εισφορές συνιστούν το σταθερό κόστος των επεμβάσεων το οποίο είναι ανεξάρτητο από την ετήσια χρήση. Η μέθοδος ψεκασμού με ΣμηΕΑ περιλαμβάνει ένα σημαντικά υψηλό σταθερό κόστος, μεγαλύτερο του 50%, γεγονός που σημαίνει ότι η επένδυση στη νέα τεχνολογία, πριν από τη λήψη όποιων αποφάσεων, θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί και εξετασθεί προσεκτικά με γνώμονα τη μέγιστη αξιοποίηση του εξοπλισμού στη διάρκεια του έτους.

Πίνακας 3. Κόστος λειτουργίας για τις τρεις εναλλακτικές μεθόδους ψεκασμού

	κόστος χρήσης (€/ha)		
	με επινώτιους ψεκαστήρες	με γ.ε. και εργάτες	με ΣμηΕΑ
Εργασία	8.06	3.49	3.98
Ανάλωση κεφαλαίου	0.34	1.67	6.54
Επισκευές & συντήρηση	0.20	0.94	2.80
Ενέργεια	0.13	2.58	0.06
Φόροι και εισφορές	0.08	0.13	1.08
Σύνολο	8.82	8.81	14.46

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κόστος ψεκασμού με ΣμηΕΑ για την καταπολέμηση του δάκου της ελιάς ανέρχεται στα 14.46€/ha, 64% υψηλότερο από τον παραδοσιακό ψεκασμό με επινώτιους ψεκαστήρες (8.82€/ha) ή με γ.ε (8.81€/ha). Το υψηλότερο κόστος οφείλεται στην αυξημένη ανάλωση κεφαλαίου εξαιτίας της σύντομης οικονομικής ζωής της νέας τεχνολογίας και εξαιτίας των υψηλότερων αμοιβών για τους επαγγελματίες χειριστές ΣμηΕΑ. Το κόστος των εισφορών είναι επίσης σχετικά

υψηλό. Η ανάλυση κεφαλαίου και οι εισφορές συνιστούν το σταθερό κόστος της επέμβασης που αποτελεί το 53% επί του συνολικού. Υψηλά σταθερά κόστη επιβάλουν προσεκτικό σχεδιασμό των επενδύσεων.

Η παρούσα μελέτη βασίστηκε σε παραδοχές παραμέτρων οι οποίες ενδεχομένως υπόκεινται σε περαιτέρω συζήτηση. Για παράδειγμα, ποια θα ήταν η επίπτωση στο κόστος ψεκασμού με ΣμηΕΑ εάν η οικονομική ζωή ήταν μεγαλύτερη των τεσσάρων ετών; Ποια θα ήταν η επίπτωση αν η διάρκεια πτήσης ήταν μεγαλύτερη; Αυτά και άλλα στοιχεία χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης η οποία είναι δυνατή με το παρόν υπολογιστικό μοντέλο, ξεφεύγει όμως από τα πλαίσια της παρούσας εργασίας λόγω περιορισμών χώρου.

5. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον Διευθυντή ΔΑΟΚ Τριφυλίας, κο Αντώνιο Παρασκευόπουλο για τα στοιχεία και τις πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τους συμβατικούς ψεκασμούς δακοκτονίας, που βοήθησαν σημαντικά στη διαμόρφωση του υπολογιστικού μοντέλου με τρόπο που αυτό να ανταποκρίνεται στη πραγματικότητα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] FAO, E-agriculture in Action: Drones for Agriculture (Sylvester G. Edr), ISBN 978-92-5-130246-0s
- [2] SESAR Joint undertaking, 2016. European Drones Outlook Study - Unlocking the value for Europe https://www.sesariu.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf
- [3] DJI AGRAS MG1 <https://www.dji.com/gr/mg-1>
- [4] Teejet Technologies – Nozzles https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET/documents/catalogs/broadcast_nozzles-m.pdf
- [5] ASABE Standard D497.5 Agricultural Machinery Management Data
- [6] Borgogno Mondino, E., Gajetti, M., 2017. Preliminary considerations about costs and potential market of remote sensing from UAV in the Italian viticulture context. Eur. J. Remote Sens. doi:10.1080/22797254.2017.1328269
- [7] UAVs: Total Cost of Ownership (TCO) <https://www.auav.com.au/articles/UAVs-total-cost-ownership-tco/>
- [8] Pedersen, S.M.; Medici, M.; Anken, T.; Tohidloo, G.; Pedersen, M.F.; Carli, G.; Canavari, M.; Tsiropoulos, Z. and Fountas, S. (2019). Financial and environmental performance of integrated precision farming systems. In: Precision agriculture '19 (Stafford, John V. ed.), Wageningen Academic Publishers, pp. 833–839.
- [9] Petritoli, E., Leccese, F., Ciani, L., 2018. Reliability and maintenance analysis of unmanned aerial vehicles. Sensors (Switzerland) 18, 1–16. doi:10.3390/s18093171