



Καινοτόμες λύσεις για τη βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική φυτοπροστασία των οπωροκηπευτικών της Ελλάδας, στην Ευρώπη του μέλλοντος

Παραδοτέο Π.5.1.2: Διερεύνηση ψεκαστικών παραμέτρων στη χρήση βιολογικών σκευασμάτων

Πληροφορίες για το έγγραφο

Αριθμός παραδοτέου: Π5.1.2

Ενότητα εργασίας: ΕΕ5

Επικεφαλής δικαιούχος: ΓΠΑ

Συγγραφείς: Σπυρίδων Φουντάς, Παναγιώτης Φραντζής, Βασίλειος Ψηρούκης

Έκδοση: 1.1

Είδος Παραδοτέου: Έκθεση

Ημερομηνία παράδοσης: 10 Δεκεμβρίου 2025

Στοιχεία Πράξης

Τίτλος: Καινοτόμες λύσεις για τη βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική φυτοπροστασία των οπωροκηπευτικών της Ελλάδας, στην Ευρώπη του μέλλοντος

Τίτλος (EN): InnoPP-Innovations in Plant Protection for sustainable and environmentally friendly pest control

Κωδικός πράξης: ΤΑΕΔΡ-0535675

Ακρωνύμιο έργου: InnoPP

Ημερομηνία έναρξης: 15 Μαΐου 2023

Διάρκεια: 28 Μήνες

Συντονιστής Φορέας: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Συντονιστής/ Επιστημονικός Υπεύθυνος: Ιωάννης Βόντας

Πίνακας Περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ	4
2. ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	5
2.1 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΑΡΟΤΟΥ.....	5
2.1.1 Υλικά και μέθοδοι	5
2.1.2 Αποτελέσματα καλλιέργειας καρότου	10
2.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΤΑΦΥΛΙΟΥ	11
2.2.1 Υλικά και μέθοδοι	12
2.2.2 Αποτελέσματα καλλιέργειας σταφυλιού	15
2.3 ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΉΛΟΥ	19
2.3.1 Υλικά και μέθοδοι	19
2.3.2 Αποτελέσματα καλλιέργειας μήλου	25
3. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	28
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	29

Περίληψη του Έργου

Το έργο «Καινοτόμες λύσεις για τη βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική φυτοπροστασία των οπωροκηπευτικών της Ελλάδας, στην Ευρώπη του μέλλοντος» στοχεύει στην ανάπτυξη σύγχρονων και καινοτόμων μεθόδων για την προστασία των καλλιεργειών όπως τα κηπευτικά, τα εσπεριδοειδή και το επιτραπέζιο σταφύλι. Περιλαμβάνει τη δημιουργία προηγμένων διαγνωστικών εργαλείων για την ανίχνευση εχθρών και παθογόνων με τεχνολογίες αιχμής, όπως ηλεκτρονικές παγίδες και βιοαισθητήρες, καθώς και πλατφόρμες αλληλούχισης για τον πλήρη προσδιορισμό των ιωμάτων. Επιπλέον, θα αναπτυχθούν μοντέλα πρόβλεψης επιδημιών και καινοτόμα βιοφυτοπροστατευτικά προϊόντα, τα οποία θα αξιολογηθούν για την ασφάλεια τους σε μη στόχους οργανισμούς. Τέλος, οι νέες τεχνολογίες θα ενσωματωθούν σε συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης φυτοπροστασίας και θα δοκιμαστούν σε πραγματικές συνθήκες, ενώ θα αξιολογηθούν οι κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους.

Σύνοψη της ΕΕ5

Η ΕΕ5 εστιάζει στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη εφαρμογών φυτοπροστασίας ακριβείας σε συμβατικά και βιολογικά συστήματα, με στόχο τη μείωση της χρήσης γεωργικών φαρμάκων και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας. Συγκεκριμένα, η ΕΕ5 περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση ψεκαστικών μηχανημάτων και παραμέτρων εφαρμογής, την αξιολόγηση της επικινδυνότητας και η περιβαλλοντικής επίπτωσης των εφαρμογών ακριβείας έναντι των συμβατικών, με έμφαση στα υπολείμματα, την ανάπτυξη και δοκιμασία πρωτοκόλλων ψεκασμών με drones σε πραγματικές συνθήκες. Παράλληλα, αποσκοπεί στην αναβάθμιση της Βάση Δεδομένων Γάλανθος για τη διαχείριση της ανθεκτικότητας, τη δημιουργία βάσης δεδομένων και διαδραστικοί χάρτες για την καταγραφή ιολογικών προβλημάτων, όπως και την ανάπτυξη έξυπνης διαδικτυακής πλατφόρμας για τη βέλτιστη διαχείριση της φυτοπροστασίας.

Συνοπτική παρουσίαση του παραδοτέου Π5.1.2

Στο συγκεκριμένο παραδοτέο πραγματοποιείται μια ολοκληρωμένη ανάλυση των παραμέτρων που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα του ψεκασμού κατά τη χρήση βιολογικών σκευασμάτων, με στόχο τη βελτιστοποίηση της εφαρμογής τους και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Εξετάζονται καινοτόμες τεχνολογίες ψεκασμού και συγκρίνονται με τις συμβατικές μεθόδους για τη βελτίωση της ακρίβειας και της αποδοτικότητας των εφαρμογών φυτοπροστασίας. Η μελέτη βασίστηκε σε πειραματικά δεδομένα, που σκοπό είχαν να αξιολογήσουν και να διερευνήσουν τη σχέση μεταξύ των ρυθμίσεων του ψεκαστικού εξοπλισμού, της κατανομής του ψεκαστικού υγρού και της αποτελεσματικής εναπόθεσης στα φυτά-στόχους. Για τη συλλογή και ανάλυση των δεδομένων αναλύονται εξειδικευμένα εργαλεία μέτρησης και τεχνικές ποσοτικοποίησης της εναπόθεσης και της παρασυρόμενης ποσότητας ψεκαστικού υγρού. Οι πειραματικές δοκιμές και τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αποσκοπούν στην κατανόηση της συμπεριφοράς του ψεκαστικού νέφους και στην αξιολόγηση του ρόλου παραμέτρων όπως ο τύπος και ο αριθμός των ακροφυσιών, η ταχύτητα αέρα και η γεωμετρία του φυλλώματος των καλλιεργειών.

1. Εισαγωγή και Στόχοι

Η γεωργία είναι ένα από τα κύρια θεμέλια μιας ανεπτυγμένης οικονομίας σήμερα. Τα τελευταία χρόνια, η γεωργία έχει φέρει επανάσταση και έχει αυτοματοποιηθεί. Η πιο προηγμένη πτυχή της αυτοματοποιημένης γεωργίας είναι η γεωργία ακριβείας. Η γεωργία ακριβείας έχει καταστεί απαραίτητη λόγω των δυνατοτήτων και των εφαρμογών της. Περιλαμβάνει την έξυπνη άρδευση, τη γεωργική ρομποτική, την τηλεπισκόπηση και τη χαρτογράφηση. Η γεωργική ρομποτική έχει έρθει σε βοήθεια των αγροτών και έχει κάνει τη γεωργία ευκολότερη και αποτελεσματικότερη (Yadav et al., 2023). Συγκεκριμένα η χρήση των ρομπότ για τη γεωργία ακριβείας είναι ιδιαίτερα σημαντική για τις εφαρμογές ψεκασμού (Danton et al., 2020). Τα σύγχρονα ψεκαστικά μηχανήματα μπορούν να ανοίγουν και να κλείνουν ακροφύσια ή τμήματα αυτόματα με βάση συγκεκριμένους χάρτες. Έτσι, μπορούν να μειώσουν την εφαρμογή εκτός στόχου που θα μπορούσε να είναι διπλή κάλυψη σε μια προηγουμένως επεξεργασμένη περιοχή που μπορεί να συμβεί κατά τον ψεκασμό σε γωνιακό ακρωτήριο ή κατά την επικάλυψη γειτονικών σβάρνων. Θα μπορούσε επίσης να είναι η εφαρμογή εκτός των ορίων του αγρού. Αυτός ο εξοπλισμός ψεκασμού επιτρέπει τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, παρέχοντας εξοικονόμηση εισροών και μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Terra et al., 2021).

Σήμερα, υπάρχει σαφής προτίμηση στη μείωση της χρήσης χημικών ουσιών στη γεωργία. Έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες τεχνολογίες για να καταστούν τα γεωργικά προϊόντα ασφαλέστερα και να μειωθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και η γεωργία ακριβείας αποτελεί πολύτιμη συνιστώσα του πλαισίου για την επίτευξη αυτού του στόχου. Ένας από τους στόχους της γεωργίας ακριβείας είναι να ελαχιστοποιηθεί ο όγκος των ζιζανιοκτόνων με τη χρήση συστημάτων διαχείρισης ζιζανίων ειδικά για κάθε περιοχή (Tellaeche et al., 2008). Η ανάγκη για προστασία των καλλιεργειών προκύπτει από τις ζημιές που προκαλούν στους πολύτιμους πόρους οι επιβλαβείς οργανισμοί. Μέσω της επίδρασής τους στα διάφορα συστατικά μιας καλλιέργειας, τα ζιζάνια, οι ασθένειες και τα ζωικά παράσιτα μπορούν να μειώσουν τόσο την απόδοση της καλλιέργειας όσο και την ποιότητά της. Οι ασθένειες, μπορούν να βλάψουν άμεσα το φυσιολογικό σύστημα του φυτού, όπως και τα έντομα και άλλα παράσιτα που τρέφονται και ωτοκοούν στα καλλιεργούμενα φυτά ή που εισάγουν άλλα παθογόνα. Η απώλεια της ποιότητας των καλλιεργειών μπορεί να προκύψει από τη μειωμένη θρεπτική κατάσταση, από ορατές ζημιές στο προϊόν της καλλιέργειας ή από την παρουσία επιβλαβών οργανισμών στη συγκομιζόμενη καλλιέργεια. (Norton, G. A. 1976). Τέλος οι βιολογικές μέθοδοι καταπολέμησης των παρασίτων μπορούν να μειώσουν τις εφαρμογές φυτοφαρμάκων (Yaruz-Bozdogan, N. 2018).

Ο σκοπός του παρόντος εγγράφου: Ο σκοπός του παρόντος εγγράφου είναι η διερεύνηση και τεκμηρίωση των ψεκαστικών παραμέτρων που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα εφαρμογής βιολογικών σκευασμάτων σε επιλεγμένες καλλιέργειες, με στόχο τη βελτιστοποίηση της εναπόθεσης και της κάλυψης, καθώς και τη μείωση των ανεπιθύμητων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάζονται και αναλύονται μελέτες και πειράματα από τη διεθνή βιβλιογραφία, με έμφαση σε παραδείγματα εφαρμογών καινοτόμων τεχνικών ψεκασμού και στη σύγκρισή τους με συμβατικές πρακτικές, για την εξαγωγή συμπερασμάτων χρήσιμων

για τη σωστή εφαρμογή βιολογικών σκευασμάτων.

Το παρόν έγγραφο **ακολουθεί την παρακάτω δομή:**

- 1. Εισαγωγή και Στόχοι:** Παρουσιάζεται το πλαίσιο και οι στόχοι της διερεύνησης των ψεκαστικών παραμέτρων κατά τη χρήση βιολογικών σκευασμάτων.
- 2. Περιγραφή των Εργασιών:** Παρουσιάζονται στοιχεία, μεθοδολογίες και αποτελέσματα ανά καλλιέργεια.
- 3. Σύνοψη και Συμπεράσματα:** Συνοψίζονται τα βασικά ευρήματα και διατυπώνονται συμπεράσματα σχετικά με τις κρίσιμες παραμέτρους ψεκασμού.
- 4. Βιβλιογραφικές Αναφορές:** Παρατίθενται οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν.

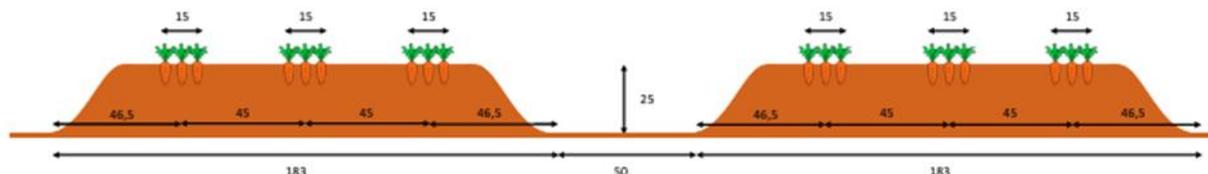
2. Μελέτες Και Πειράματα από τη Διεθνή Βιβλιογραφία

2.1 Καλλιέργεια καρότου

2.1.1 Υλικά και μέθοδοι

Στα πλαίσια του έργου OPTIMA πραγματοποιήθηκε πειραματικό σε συνθήκες παραγωγού σε αγροτεμάχιο που βρίσκεται στην κοινότητα Le Barp, στη Ζιρόντ, στη νοτιοδυτική Γαλλία. Ο σκοπός του πειραματικού είναι η βελτιστοποίηση ενός καινοτόμου ψεκαστικού μηχανήματος μεταβλητής δόσης τη εταιρίας Caffini σχεδιασμένο για καλλιέργεια καρότου, ιδίως για την αντιμετώπιση της Αλτερναριώσης (*Alternaria dauci*), καθώς και στη σύγκριση με έναν συμβατικό ψεκαστικό μηχανήμα για αναφορά. Η *Alternaria dauci* είναι ένας νεκροτροφικός μύκητας που ευθύνεται για την Μαύρη κηλίδωση (*Alternaria leaf blight*), την παγκοσμίως σημαντικότερη ασθένεια του φυλλώματος στην παραγωγή καρότου. Έχουν αναφερθεί σοβαρές επιδημίες που μειώνουν τις αποδόσεις κατά 40 έως 60%. Η διαχείριση της ασθένειας βασίζεται στην εφαρμογή Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Εχθρών και Παρασίτων.

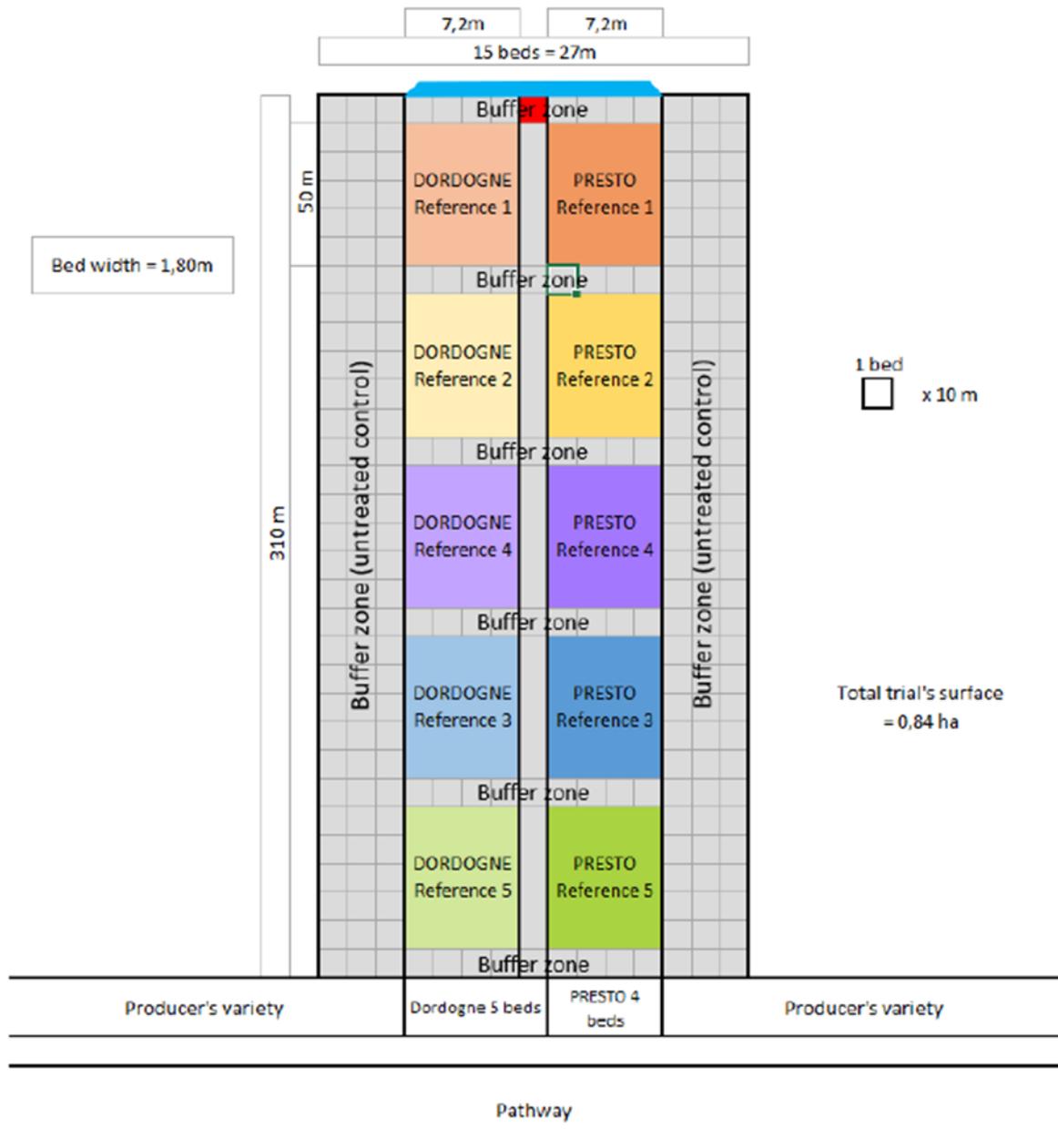
Ο αγρός καρότου επιλέχθηκε ώστε να πληροί τις απαιτήσεις όσον αφορά τον προσανατολισμό έναντι της κατεύθυνσης του ανέμου, την παρουσία καρότων στον αγρό τη στιγμή των δοκιμών και το διαθέσιμο παρακείμενο χώρο στον άνεμο προς τον υπό επεξεργασία αγρό (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Σχηματική απεικόνιση του σχεδιασμού του παρτεριού καρότου 1 (οι διαστάσεις δίνονται σε εκατοστά).

Στη Γαλλία, κατά κανόνα πραγματοποιούνται 4 έως 5 θεραπείες κατά της *Alternaria* στα καρότα κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου. Η πρώτη θεραπεία εφαρμόζεται γενικά γύρω στο BBCH 14 - 16 (δηλ. 4ο έως 6ο αληθινό φύλλο ξεδιπλωμένο). Εκείνη τη στιγμή περίπου, το 50% της ενδιάμεσης σειράς καλύπτεται από φύλλωμα. Μέχρι το BBCH 18 - 19, ολόκληρη η ενδιάμεση σειρά καλύπτεται από φύλλωμα. Η πειραματική

διάταξη που ακολούθησαν ήταν ένα γραμμικό σχέδιο δύο παραγόντων (ποικιλία και μεταχείριση αντίστοιχα), χωρίς κάποια τυχαιοποίηση. Κάθε αγροτεμάχιο έχει μήκος 50 m και πλάτος 7.2 m, δηλαδή συνολική έκταση 360 m² (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση του πιλοτικού πειραματικού.

Εκτός από τις θεραπείες για την Αλτερναρίωση, πραγματοποιούνται διάφορες εφαρμογές ζιζανιοκτόνων εντός της καλλιεργητικής περιόδου. Η πρώτη εφαρμογή ζιζανιοκτόνου συνίσταται σε μια εφαρμογή με διασπορά αμέσως μετά την σπορά. Άλλες επεμβάσεις ζιζανιοκτονίας που γίνονται κατά την εμφάνιση των ζιζανίων, εξαρτώνται από την κατάσταση (ποικιλία, στάδιο ανάπτυξης), αλλά γίνονται όλο και πιο νωρίς (η πρώτη στο BBCH 11) λόγω χαμηλής αποτελεσματικότητας των ζιζανιοκτόνων που διατίθενται στο καρότο. Η ακριβής ζιζανιοκτονία μεταξύ των γραμμών δεν είναι ακόμη

εφικτή, και συνεπώς η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων εξακολουθεί να είναι απαραίτητη.

Η επαναλήψεις αναφοράς, δηλαδή αυτές με το συμβατικό ψεκαστικό μηχάνημα, πραγματοποιήθηκαν με ρυθμίσεις τέτοιες ώστε να προσομοιάζουν μια υποθετική εφαρμογή, όπως αυτή δύναται να πραγματοποιηθεί από τους τοπικούς αγρότες. Μια επισκόπηση των χαρακτηριστικών και των ρυθμίσεων του ψεκαστικού μηχανήματος αναφοράς δίνεται στον Πίνακα 1. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τμήμα του βραχίονα ψεκασμού (μέρος των ακροφυσίων τοποθετημένα στη μπάρα του ψεκαστικού μηχανήματος ανοιχτά) αντί με πλήρη διάταξη ψεκασμού (όλα τα ακροφύσια της μπάρας ανοιχτά), ενώ ως καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα χρησιμοποιήθηκε ο PRESTIGE AIR 2800 L-21 TPG08 από την CAFFINI (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Επισκόπηση των χαρακτηριστικών και των ρυθμίσεων του ψεκαστικού μηχανήματος αναφοράς και του ψεκαστικού μηχανήματος σημείου εκκίνησης.

	Ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς	Ψεκαστικό μηχάνημα Optima
Μάρκα ψεκαστήρα	Δεν ορίστηκε	CAFFINI
Μοντέλο ψεκαστήρα	Τυπικός ψεκαστήρας με οριζόντιο βραχίονα	PRESTIGE AIR 2800 L – 21 TPG08
Τύπος ψεκαστήρα	Εκπεμπόμενος τοποθετημένος ή συρόμενος	Εκπεμπόμενος, συρόμενος
Τύπος ακροφυσίου	TeeJet XR (VS)	TeeJet XR (VS)
Μέγεθος ακροφυσίου	ISO 04	ISO 04
Γωνία ψεκασμού (°)	110°	110°
Απόσταση ακροφυσίων (m)	0.5	0.5
Ύψος βραχίονα (m)	0.5	0.5
Πλάτος βραχίονα (m)	21	21
Πίεση ψεκασμού (bar)	3.0	3.0
Ρυθμός εφαρμογής (L/ha)	158	158
Ταχύτητα οδήγησης (km/h)	12	12
Ρυθμός ροής αέρα (m ³ /h)	Χωρίς υποστήριξη αέρα	52.000
Μέγεθος ανεμιστήρα (mm)	Μη εφαρμόσιμο	700 (υδραυλικά κινούμενος)
Στροφές ανεμιστήρα (rpm)	Μη εφαρμόσιμο	2.200
Έξυπνα εξαρτήματα	Κανένα	Υποστήριξη αέρα, DPA (GPS, έλεγχος τμημάτων), έλεγχος ύψους βραχίονα (αισθητήρες υπερήχων)

Οι εξεταζόμενες συνθήκες αναφοράς με το συμβατικό μηχάνημα και με το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα είναι εφαρμογές ψεκασμού εκπομπής με τυπικά ακροφύσια TeeJet XR 110 04 σε πίεση ψεκασμού 3,0 bar, ύψος βραχίονα ψεκασμού 0,5 m και απόσταση

ακροφυσίου 0,5 m, στα 12,0 km/h, που αντιστοιχεί σε 158 L/ha. Ο στόχος είναι να βελτιστοποιηθούν οι εφαρμογές με το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα με αποτέλεσμα την καλύτερη εναπόθεση και κάλυψη ψεκασμού, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (όπως η μετατόπιση ψεκασμού και χρήση νερού).

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι ταχύτητες αέρα που επιτυγχάνονται με το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα caffini εξοπλισμένο με πτέρυγες Caffini και οι ταχύτητες που πρέπει να προσομοιωθούν στις εργαστηριακές δοκιμές, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ρυθμών ροής αέρα αυτού του ψεκαστικού μηχανήματος στο εργαστήριο φυτοπροστασίας DISAFA (Τορίνο, Ιταλία). Δεδομένου ότι δεν υπήρχε ψεκαστικό μηχάνημα με βραχίονα ψεκασμού 21 m για μετρήσεις εκείνη την εποχή, χρησιμοποιήθηκε ένα πανομοιότυπο ψεκαστικό μηχάνημα (ψεκαστικό μηχάνημα Caffini) με βραχίονα ψεκασμού 18 m, εφοδιασμένος με ανεμιστήρα υδραυλικής κίνησης 700 mm. Συνολικά, δοκιμάστηκαν 5 διαφορετικές ρυθμίσεις ανεμιστήρα, δηλ. 1400, 1750, 2000, 2300 και 2500 στροφές/λεπτό. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας ένα 2D ηχητικό ανεμόμετρο (Gill 2D1) τοποθετημένο σε ένα τρόλεϊ. Οι ταχύτητες αέρα και οι κατευθύνσεις αέρα αποκτήθηκαν κατά τη διάρκεια 45 δευτερολέπτων σε 18 θέσεις μέτρησης κάθετα κάτω από τον βραχίονα ψεκασμού, σε 0,5 m κάτω από την έξοδο αέρα και σε ενδιάμεσα βήματα 1 m. ανά σημείο μέτρησης, υπολογίστηκε η μέση ταχύτητα αέρα. Στις εργαστηριακές δοκιμές, προσομοιώθηκαν ταχύτητες αέρα που κυμάνθηκαν από 1,2 έως 2,6 m/s (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Ταχύτητες αέρα και αντίστοιχες ρυθμίσεις ανεμιστήρα Caffini.

Πτερύγιο αέρα Caffini	
Στροφές ανεμιστήρα (rpm)	Ταχύτητα αέρα (m/s)
0	0
1400	1,2
1750	1,6
2000	1,9
2300	2,3
2500	2,6

Η εστίαση έγινε κυρίως στην αξιολόγηση των επεμβάσεων των Azera, Neemix, PyGanic και Entrust ωστόσο, δεν δοκιμάστηκαν σε όλες τις δοκιμές τα εντομοκτόνα μαζί. Το Azera εφαρμόστηκε κυρίως με την ευρέως χρησιμοποιούμενη δόση των 2,34 L/h, αλλά αρκετές δοκιμές περιλάμβαναν δόσεις από 1,17 έως 4,68 L/h. Το Neemix εφαρμόστηκε με ρυθμό 1169 mL/h στις περισσότερες δοκιμές, εκτός από μερικές που δοκίμασαν επίσης τον χαμηλότερο ρυθμό των 585 mL/h. Το PyGanic εφαρμόστηκε κυρίως με ρυθμό 2,34 L/h, αν και αρκετές δοκιμές περιλάμβαναν εύρος ρυθμών από 1,17 έως 4,68 L/h. Το Entrust δοκιμάστηκε αρχικά σε προηγούμενα έτη δοκιμών ως σκεύασμα 80 W (80% κατά βάρος), ακολουθούμενο από το υγρό σκεύασμα (2SC Naturalyte σε 22,5% κατά βάρος) κατά τα επόμενα έτη. Αυτά τα σκευάσματα εφαρμόστηκαν στην τυπική δόση 71,2 g a.i./h για τις περισσότερες ομάδες επιβλαβών οργανισμών, αλλά αρκετές δοκιμές περιλάμβαναν δόσεις που κυμαίνονταν από 52,7 έως 105,5 g a.i./h.

Η εφαρμογή όλων των εντομοκτόνων έγινε με τη χρήση ψεκαστικού μηχανήματος πλάτης CO₂ με διαφορετικές διατάξεις βραχίονα και τύπους ακροφυσίων ανάλογα με το πλάτος του αγροτεμαχίου και τη δομή του θόλου της καλλιέργειας. Ο άνεμος, που έπνεε κυρίως από τη βορειοανατολική κατεύθυνση, ήταν σχεδόν κάθετος στις γραμμές των καλλιεργειών. Η ποικιλία ήταν Soprano, BBCH 49 (κοντά στη συγκομιδή). Λαμβάνοντας υπόψη το πλάτος του βραχίονα των 21 μέτρων, ψεκάστηκαν μόνο 9 παρτέρια καρότου πλάτους 1,85 μέτρων. Ένας τηλεσκοπικός ιστός ήταν εξοπλισμένος με δύο δισδιάστατα ηχητικά ανεμόμετρα (Gill Instruments Ltd, MaxiMet GMX 200) που τοποθετήθηκαν σε ύψος 4 και 10 m από το έδαφος και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες λαμβάνονταν με συχνότητα 10 Hz.

Για το πειραματικό αυτό δοκιμάστηκαν δύο ψεκαστικά μηχανήματα σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 3) και συγκεκριμένα ένα ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς με βάση τις παραδοσιακές πρακτικές των καλλιεργητών και το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα (Optima project).

Πίνακας 3: Ρυθμίσεις που αντιστοιχούν στους τρόπους ψεκασμού.

	Ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς	Ψεκαστικό μηχάνημα Optima
Πλάτος βραχίονα	21 m	21 m
Ταχύτητα πορείας	9 km/h	9 km/h
Τύπος και μέγεθος ακροφυσίου	XR 110 04 σταθερή απόσταση 0.5 m	AIUB 85 04/ AI110 04/ AIUB85 04 προσαρμοσμένα στις γραμμές
Ύψος ακροφυσίου	0.5 m	0.5 m
Πίεση	3 bar	3 bar
Υποβοήθηση αέρα	όχι	Ναι
Ρυθμός εφαρμογής (L/ha)	180	180
Διάταξη ακροφυσίων	(σχήμα ψεκασμού)	(σχήμα ψεκασμού)

Κάθε μέθοδος επαναλήφθηκε 3 φορές και εναλλάσσονταν κατά τη διάρκεια της ημέρας με την ακόλουθη σειρά: Opt1 - Ref 1 - Opt 2 - Ref 2 - Opt3 - Ref 3. Η εναπόθεση στο φύλλωμα της καλλιέργειας μελετήθηκε με τη χρήση τεχνητών πλαστικών συλλεκτών 2,5 cm x 6 cm που τοποθετήθηκαν στην καλλιέργεια σε δύο ύψη, κοντά στο έδαφος (2 συλλέκτες) και στο όριο του ύψους της κόμης (2 συλλέκτες).

Όπως αναμενόταν και στις δύο περιπτώσεις, οι αποθέσεις στην κορυφή του θόλου ήταν πάντα μεγαλύτερες από ό,τι στο κάτω μέρος, γεγονός που δείχνει την επίδραση φιλτραρίσματος της βλάστησης. Η συνολική ποσότητα που εναποτέθηκε στην κορυφή ήταν μεγαλύτερη για το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα (Optima project) σε σύγκριση με το ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς λόγω της διάταξης των ακροφυσίων με τα εκτός

κέντρου ακροφύσια να συγκεντρώνουν την εφαρμογή του ψεκασμού στο επίπεδο του καρπού σε σύγκριση με την εφαρμογή με διασπορά (Reference). Ωστόσο, οι εναποθέσεις στο κάτω μέρος ήταν σχεδόν ισοδύναμες, ακόμη και ελαφρώς χαμηλότερες για το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα Optima, γεγονός που δείχνει την κυρίαρχη επίδραση φιλτραρίσματος της βλάστησης και τη μικρότερη επίδραση του ανέμου.

Οι μετατόπισεις του ψεκασμού και από τα δύο ψεκαστικά μηχανήματα αξιολογήθηκαν τόσο μέσω καθίζησης όσο και μέσω αερομεταφερόμενης μετατόπισης. Η μετατόπιση από καθίζηση ποσοτικοποιήθηκε με τη χρήση σειράς τρυβλίων Petri που βρίσκονταν σε απόσταση 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10 και 12 μέτρων από την άκρη του αγρού. Σε κάθε απόσταση, οι συλλέκτες επανατοποθετήθηκαν 6 φορές. Η αερομεταφερόμενη μετατόπιση αξιολογήθηκε με τη χρήση κατακόρυφων τηλεσκοπικών ιστών που τοποθετήθηκαν στα 5 m και 10 m προς τον άνεμο. Ο καθένας από αυτούς στήριζε δύο κατακόρυφες σειρές νάιλον κορδονιών (διαμέτρου 2 mm) σε απόσταση περίπου 2 m που προσδιορίστηκαν ως ανατολικά και δυτικά. Μετά τη διαδικασία, από κάθε σειρά λήφθηκε δείγμα σε συλλέκτες 1 m και αναλύθηκε χωριστά.

2.1.2 Αποτελέσματα καλλιέργειας καρπού

Με βάση τις μέσες τιμές του ιζήματος ολίσθησης, η μέση μείωση της ολίσθησης που επιτεύχθηκε από την εφαρμογή με το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα (OPTIMA project) ήταν 67%. Κατά μέσο όρο, η μείωση της αερομεταφερόμενης ολίσθησης ήταν 85% με το ψεκαστικό μηχάνημα OPTIMA στα 5 m και 89 % στα 10 m σε σύγκριση με την εφαρμογή με το ψεκαστικό αναφοράς. Το ύψος κυμάνθηκε από 0,23 m και 0,2m (Optima στα 5 m και 10 m αντίστοιχα) έως 2,77 m και 1,92 m για την αναφορά στα 5 m και 10 m αντίστοιχα.

Οι δοκιμές αυτές επιβεβαίωσαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν με το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα βραχίονα Optima. Η διαμόρφωση Optima παρείχε διπλό όφελος όσον αφορά την εναπόθεση στην καλλιέργεια (με στοχευμένες εναποθέσεις στο επίπεδο της καλλιέργειας) και σημαντική μείωση της παρασύρσεως του ψεκασμού με τη χρήση ακροφυσίων χαμηλής παρασύρσεως και υποβοήθησης με αέρα. Ο αντίκτυπος αυτής της μείωσης της ολίσθησης είναι μεγαλύτερος στη μεταφορά σταγονιδίων με τον αέρα σε σύγκριση με την ολίσθηση από την καθίζηση, γεγονός που δείχνει ένα πιθανό όφελος για τους κατοίκους και τους παρευρισκόμενους.

Από τα αποτελέσματα είναι εμφανής η ύπαρξη ανομοιομορφίας στην κατανομή του αέρα κάτω από το βραχίονα, με γενικά υψηλότερες ταχύτητες αέρα στη δεξιά πλευρά του ψεκαστήρα (σημεία μέτρησης 10 έως 18, Πίνακας 4). Καθώς τα σημεία μέτρησης βρίσκονταν κάτω από τα ακροφύσια, η ανομοιομορφία στον αέρα κατανομή οφειλόταν πιθανότατα στο γεγονός ότι ο σάκος πτέρυγας αέρα δεν ήταν άκαμπτος και οι έξοδοι αέρα δεν ήταν πάντα τέλεια ευθυγραμμισμένες με τον βραχίονα. Ως εκ τούτου, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν οι ταχύτητες του αέρα κάτω από τη δεξιά πλευρά του ψεκαστήρα ως αναφοράς για περαιτέρω εργαστηριακές δοκιμές.

Πίνακας 4: Ταχύτητες αέρα που μετρήθηκαν στις διάφορες ρυθμίσεις του ανεμιστήρα του ψεκαστήρα Caffini.

Ταχύτητα αέρα (m/s)					
Σημείο μέτρησης	1.400 σ.α.λ	1.750 σ.α.λ	2.000 σ.α.λ	2.300 σ.α.λ	2.500 σ.α.λ
1	2,21	5,10	5,43	4,12	4,79
2	1,47	1,79	1,68	2,26	2,78
3	0,76	0,28	0,96	0,73	1,38
4	0,31	0,40	0,43	0,38	0,48
5	0,65	0,24	0,62	0,30	0,96
6	0,43	0,28	0,35	0,40	1,26
7	1,52	0,36	0,52	1,31	1,94
8	1,33	0,47	1,96	3,38	1,98
9	1,01	2,09	1,76	2,22	3,14
10	1,24	1,81	2,39	2,60	2,99
11	1,16	2,66	2,42	2,61	2,88
12	0,43	1,79	1,97	1,65	1,40
13	0,26	1,34	1,27	1,21	1,55
14	0,26	1,36	1,23	1,87	1,59
15	0,42	0,68	0,81	1,08	1,26
16	0,31	1,32	2,01	1,99	1,16
17	0,29	3,75	2,65	3,33	1,89
18	4,63	5,17	3,47	3,88	6,36
Μέσος όρος (σύνολο ψεκαστήρα)	1,04	1,51	1,77	1,96	2,21
Μέσος όρος (δεξιά πλευρά)	1,00	2,21	2,03	2,25	2,34

Τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης ότι η μέση ταχύτητα αέρα που μετρήθηκε στη δεξιά πλευρά του καινοτόμου ψεκαστικού μηχανήματος στις 1750 στροφές/λεπτό ήταν απροσδόκητα υψηλή (2,2 m/s) παρόμοια με εκείνη που αναφέρθηκε στις 2300 στροφές/λεπτό (2,3 m/s). Καθώς η γραμμική σχέση μεταξύ της ταχύτητας αέρα και της ταχύτητας περιστροφής του ανεμιστήρα στη δεξιά πλευρά του ψεκαστικού μηχανήματος έδωσε καλύτερη εφαρμογή με εξαίρεση τις μετρήσεις στις 1750 στροφές/λεπτό. Αυτή η ρύθμιση ανεμιστήρα παραλείφθηκε συνεπώς για περαιτέρω υπολογισμούς. Τέλος, οι ταχύτητες αέρα που χρησιμοποιήθηκαν στις εργαστηριακές δοκιμές προσδιορίστηκαν με βάση τη γραμμική σχέση μεταξύ της ταχύτητας αέρα και των μετρήσεων ταχύτητας περιστροφής ανεμιστήρα στη δεξιά πλευρά του ψεκαστικού μηχανήματος, χωρίς την ταχύτητα περιστροφής των 1750 στροφών/λεπτό.

2.2 Καλλιέργεια σταφυλιού

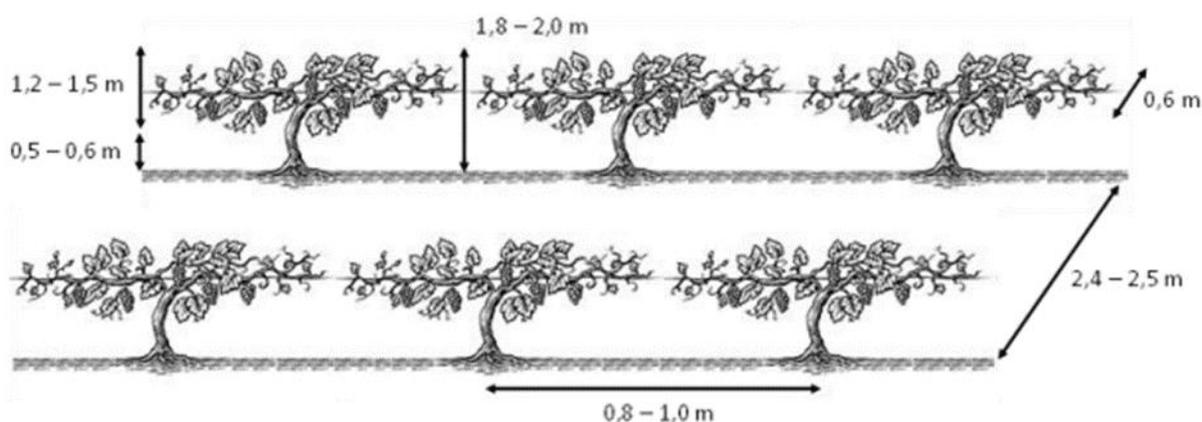
2.2.1 Υλικά και μέθοδοι

Πιθανές βελτιστοποιήσεις ψεκαστικών μηχανημάτων των αμπελώνων εξετάστηκαν επίσης μέσω του προγράμματος OPTIMA περιλαμβάνοντας τη χρήση επίπεδων ακροφυσίων με ανεμιστήρα (XR) αντί για ακροφύσια με κοίλο κώνο (ATR και TXA) και η χρήση ακροφυσίων εκτός κέντρου. Μια επισκόπηση των τύπων ακροφυσίων και ρυθμίσεις ψεκασμού που επιλέχθηκαν για τα πειράματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5. Η λήψη των ακροφυσίων πραγματοποιήθηκε από την Albus και την TeeJet.

Πίνακας 5: Επισκόπηση των ακροφυσίων και των ρυθμίσεων ψεκασμού που επιλέχθηκαν για τις δοκιμές.

	Τύπος ακροφυσίου	Πίεση ψεκασμού (bar)	Ρυθμός ροής (L/min)
Ακροφύσιο ψεκαστικού μηχανήματος αναφοράς	Albus ATR 80 yellow	14,0	1,21
Ακροφύσιο ψεκαστικού μηχανήματος Optima	TeeJet TXA 80 02 VK	4,2	0,91
Ακροφύσιο επιπέδου ανεμιστήρα (flat fan)	TeeJet XR 80 02 VS	4,0	0,91
Ακροφύσιο μείωσης drift	TeeJet AI 80 02 VS	4,0	0,91
Εκκεντρικό ακροφύσιο μηχανήματος αναφοράς	TJ DB25143-UB-85 02 SS	4,0	0,91
Εκκεντρικό ακροφύσιο μείωσης drift	TJ AIUB 85 02 VS	4,0	0,91

Παρόμοια με την ασθένεια της Αλτερναρίωσης στην καλλιέργεια καρότου, το πειραματικό έχει επίσης ως σκοπό την αντιμετώπιση του περονόσπορου στο αμπέλι. Οι δοκιμές στους αμπελώνες διεξάχθηκαν στην περιοχή Piemonte (Ιταλία), με κύριες ποικιλίες αμπέλου καλλιέργεια Barbera. Μια σχηματική απεικόνιση του συστήματος φύτευσης δίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3: Σχηματική σχεδίαση των αγροτεμαχίων του αμπελώνα.

Ο περονόσπορος των σταφυλιών που προκαλείται από τον ωομύκητα *Plasmopara viticola*, είναι η σοβαρότερη απειλή για τα αμπέλια σε όλες σχεδόν τις αμπελουργικές περιοχές παγκοσμίως όπου οι βροχοπτώσεις εμφανίζονται τακτικά κατά τα τέλη της άνοιξης και το καλοκαίρι. Η ασθένεια προσβάλλει όλα τα πράσινα μέρη της αμπέλου και ιδιαίτερα τα φύλλα, τις ταξιανθίες και τα νεαρό καρπό, προκαλώντας σημαντικές επιπτώσεις στην απόδοση, εάν δεν εφαρμοστούν μέτρα καταπολέμησης. Οι τρέχουσες στρατηγικές για την καταπολέμηση του περονόσπορου της αμπέλου βασίζονται κυρίως στη χρήση προληπτικών επεμβάσεων με χαλκό ή mancozeb από την αρχή της περιόδου κατά την οποία τα φυτά είναι ευαίσθητα στη μόλυνση. Τα συστηματικά μυκητοκτόνα πρέπει να εφαρμόζονται από πριν από την άνθηση έως τα μέσα του καλοκαιριού, που είναι η περίοδος της ταχύτερης ανάπτυξης της καλλιέργειας και του υψηλότερου επιπέδου ευαισθησίας. Αργότερα κατά τη διάρκεια της περιόδου, προτιμώνται τα προληπτικά μυκητοκτόνα επαφής. Ως εκ τούτου, τα μυκητοκτόνα πρέπει να εφαρμόζονται όταν δημιουργούνται προειδοποιήσεις από το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (DSS) ικανό να συλλέξει και να αναλύσει πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση, την υγρασία των φύλλων και την υγρασία, η χρήση των οποίων σε συνδυασμό με τον αποτελεσματικό ψεκασμό μπορεί να αποτρέψει αποτελεσματικά τις ζημιές από την ασθένεια, περιορίζοντας ταυτόχρονα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν από την εφαρμογή πολλών μυκητοκτόνων.

Το ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση του αμπελώνα, δηλαδή το συμβατικό ψεκαστικό μηχάνημα που χρησιμοποιείται από τους αγρότες, είναι το ψεκαστικό μηχάνημα αξονικού ανεμιστήρα Dragone serie Virgola 700 με 6 ακροφύσια σε κάθε πλευρά και εκτροπείς στο κάτω και στο πάνω μέρος της εξόδου του αέρα. Το ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς δεν μπορεί να τροποποιήσει τον προσανατολισμό της ροής του αέρα. Ενώ ως καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα στο πλαίσιο του έργου OPTIMA επιλέχτηκε το ψεκαστικό μηχάνημα εφαπτομενικού ανεμιστήρα Synthesis 1000 ATS/102 E από την CAFFINI. Η Επισκόπηση των χαρακτηριστικών και των ρυθμίσεων που χρησιμοποιήθηκαν για το πειραματικό παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Επισκόπηση των χαρακτηριστικών και των ρυθμίσεων του ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς και του ψεκαστικό μηχάνημα σημείου εκκίνησης.

	Ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς	Ψεκαστικό μηχάνημα Optima
Μάρκα ψεκαστικού μηχανήματος	Dragone	CAFFINI
Μοντέλο ψεκαστικού μηχανήματος	Serie Virgola 700	Synthesis 1000 ATS/102 E
Τύπος ψεκαστικού μηχανήματος	Αξονικό ψεκαστικό μηχάνημα με ανεμιστήρα	Εγκάρσιο αξονικό ψεκαστικό μηχάνημα με ανεμιστήρα
Τύπος ακροφυσίου	Albus ATR	TeeJet TXA/TXB
Μέγεθος ακροφυσίου	Yellow	ISO 02
Γωνία ψεκασμού (°)	80°	80°
Αριθμός ακροφυσίων	6 + 6	8 + 8
Θέση ακροφυσίων	Σταθερά τοποθετημένα κοντά στην έξοδο αέρα	Μεταβλητή απόσταση ακροφυσίων σε 1,4 m μήκος
Πίεση ψεκασμού (bar)	14	4,2
Ρυθμός εφαρμογής (L/ha)	634	635
Ταχύτητα οδήγησης (Km/h)	5,5	5,5
Ροή αέρα (m ³ /h)	Μέγιστη 19.000	22.000
Μέγεθος ανεμιστήρα (mm)	700	700
Στροφές ανεμιστήρα (rpm)	PTO 540 rpm	1/3,6 (πρώτη ταχύτητα), 1/4,5 (δεύτερη ταχύτητα)
Εκτροπείς	Ναι (επάνω και κάτω)	Όχι (πτερύγια εντός αγωγού)
Γωνία εκτροπής (°)	Μεταβλήτη	DPA
Έξυπνα εξαρτήματα	-	DPA

Τα ακροφύσια TeeJet TXB χρησιμοποιήθηκαν μόνο για τις αγροτικές δοκιμές.

Η πραγματική ταχύτητα οδήγησης κατά τη διάρκεια των αγροτικών δοκιμών ήταν 5,8 km/h.

Οι βελτιστοποιημένες ρυθμίσεις δοκιμάστηκαν στα 5,5 km/h.

Ο ψεκαστήρας αναφοράς Dragone serie Virgola 700 δοκιμάστηκε στη βασική του διαμόρφωση (D_T1) με 6+6 κίτρινα ακροφύσια Albus ATR που λειτουργούσαν στα 14 bar, με ταχύτητα περιστροφής ρυθμισμένη στις 540 στροφές/λεπτό, τους εκτροπείς αέρα που είναι τοποθετημένοι στο πάνω μέρος της εξόδου του ανεμιστήρα εντελώς ανοικτούς και τους εκτροπείς αέρα που ήταν τοποθετημένοι στο κάτω μέρος της εξόδου του ανεμιστήρα στην προεπιλεγμένη θέση. Αυτή η διαμόρφωση αντιστοιχεί στη ρύθμιση του ψεκαστήρα που εφαρμόζεται συνήθως από τους αμπελουργούς στην Ιταλία. Τα αποτελέσματα επισήμαναν ότι το κατακόρυφο προφίλ ψεκασμού υπερέβαινε σε μεγάλο βαθμό την κορυφή του θόλου σε στάδιο πλήρους ανάπτυξης (ύψος 1,9 m από το έδαφος) και ότι δεν υπήρχε συμμετρία μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς πλευράς λόγω της στρέβλωσης του προφίλ του αέρα που δημιουργείται από την κατεύθυνση περιστροφής του αξονικού ανεμιστήρα.

Δοκιμάστηκαν δύο εναλλακτικές διαμορφώσεις ψεκαστικών μηχανημάτων για τη βελτίωση της κατακόρυφης εικόνας ψεκασμού και για την ακριβέστερη προσαρμογή στο προφίλ της βλάστησης. Η πρώτη εναλλακτική διαμόρφωση (D_T2) ήταν με την ενεργοποίηση τεσσάρων ακροφυσίων ανά πλευρά του ψεκαστικού μηχανήματος αναφοράς χρησιμοποιώντας διαφορετικά μοντέλα ακροφυσίων στο αριστερή και δεξιά πλευρά του. Αυτή η στρατηγική είναι μερικές φορές χρήσιμη για αντισταθμίζει την ασύμμετρη ροή αέρα του ανεμιστήρα μεταξύ των δύο πλευρών του ψεκαστικού μηχανήματος, καθώς αυτή η ασύμμετρία έχει ως αποτέλεσμα τις μη βέλτιστες κατακόρυφες κατανομές ψεκασμού. Η δεύτερη εναλλακτική λύση διαμόρφωση (D_T3) χαρακτηριζόταν από τέσσερα ακροφύσια που ενεργοποιούνταν σε κάθε πλευρά του ψεκαστικού μηχανήματος χρησιμοποιώντας το ίδιο μοντέλο. Η πίεση λειτουργίας διατηρήθηκε πάντοτε στα 14 bar. Επιπλέον, και στις δύο εναλλακτικές διαμορφώσεις, οι εκτροπείς αέρα ήταν προσανατολισμένοι ώστε να ταιριάζουν καλύτερα με το στόχο του θόλου, όπως δοκιμάστηκε για το χαρακτηρισμό της ροής αέρα του ανεμιστήρα στη διαμόρφωση T2 (D_T2). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με τη διαμόρφωση D_T2, το κατακόρυφο μοτίβο ψεκασμού ήταν πιο στοχευμένο στο ύψος του θόλου από ό,τι με τη βασική διαμόρφωση D_T1, ακόμη και αν οι διαφορές στην κατανομή του υγρού μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς πλευράς του ψεκαστικού μηχανήματος ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με το σε σχέση με το D_T1. Με τη διαμόρφωση D_T3 στο ψεκαστικό μηχανήμα αναφοράς, το κατακόρυφο προφίλ ψεκασμού οδήγησε σε μεγαλύτερη ασύμμετρία μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς πλευράς από ό,τι με τις διαμορφώσεις D_T1 και D_T2. Επίσης εξακολουθούσε να υπερβαίνει το μέγιστο ύψος του θόλου, ιδίως στη δεξιά πλευρά, με το ψεκαστικό υγρό να συγκεντρώνεται μέχρι έως και 2,5 m από το έδαφος.

Στην ίδια διαδικασία δοκιμάστηκε επίσης το καινοτόμο ψεκαστικό μηχανήμα Caffini Synthesis στη διαμόρφωση με τη χρήση του καινοτόμου ψεκαστικού μηχανήματος (C_T1_StP) ως προς τη ρύθμιση που χρησιμοποιούν συνήθως οι αγρότες στην Ιταλία. Συγκεκριμένα, η διαμόρφωση χαρακτηρίζεται από 8+8 ενεργά, κοίλα κωνικά ακροφύσια TeeJet TXB 8002 που λειτουργούν σε πίεση 4 bar. Οι εκτροπείς αέρα στο εσωτερικό του μεταφορέα ρυθμίστηκαν όπως παραδόθηκαν από τον κατασκευαστή, χρησιμοποιώντας το προσανατολισμό του συστήματος εκτόξευσης αέρα ορθογώνια προς το στόχο και με την περιστροφή του ανεμιστήρα ρυθμισμένη στο υψηλή ταχύτητα του γρναζιού που λειτουργεί στις 540 στροφές/λεπτό.

2.2.2 Αποτελέσματα καλλιέργειας σταφυλιού

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, αν και διαπιστώθηκε καλή συμμετρία μεταξύ των δύο πλευρών του καινοτόμου ψεκαστικού μηχανήματος, το κατακόρυφο προφίλ ψεκασμού υπερέβαινε σε μεγάλο βαθμό την κορυφή του θόλου (έως το ύψος των 2,9 m) σε πλήρη στάδιο ανάπτυξης, με το μέγιστο όγκο ψεκαστικού υγρού να ανακτάται στο ανώτερο τμήμα της κόμης μεταξύ 1,50 και 1,90 m ύψος από το έδαφος.

Με το καινοτόμο ψεκαστικό μηχανήμα Caffini Synthesis, πραγματοποιήθηκε ένας πρώτος γύρος δοκιμών με βελτιστοποιημένες διαμορφώσεις με τον προσανατολισμό των εκτροπέων αέρα στο εσωτερικό του μεταφορέα αέρα στην προεπιλεγμένη θέση, όπως παραδίδεται από τον κατασκευαστή, και με την ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα ρυθμισμένη στη χαμηλή ταχύτητα που λειτουργεί στις 540 στροφές/λεπτό.

Με βάση τις προκαταρκτικές μετρήσεις της ροής αέρα του ανεμιστήρα, ο ταχύτητας ροής αέρα που παράγονται από την υψηλή ταχύτητα του γραναζιού θεωρήθηκαν υπερβολικά υψηλές, ανεξάρτητα της ταχύτητας του (540, 500 και 450 στροφές/λεπτό). Ο δεύτερος γύρος δοκιμών με βελτιστοποιημένες διαμορφώσεις πραγματοποιήθηκαν, με χρήση του εκτροπέα προσαρμοσμένου ώστε να ταιριάζει καλύτερα στον στόχο και με την ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα ρυθμισμένη στη χαμηλή ταχύτητα που λειτουργεί με 450 στροφές/λεπτό. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους δύο κύκλους δοκιμών παρουσιάζονται μαζί για τις διάφορες διαμορφώσεις ακροφυσίων, προκειμένου να γίνει καλύτερα κατανοητή η επίδραση ενός προσαρμοσμένου προσανατολισμού του εκτροπέα αέρα, περιστροφής και ρύθμισης του ανεμιστήρα στο προφίλ του ψεκαστικού υγρού.

Οι βασικές διαμορφώσεις των ακροφυσίων (C_T1_O και C_T1_A) χαρακτηρίζονταν από 8+8 ενεργά, κοίλα κωνικά ακροφύσια TeeJet TXB 8002 που λειτουργούσαν σε πίεση 4 bar. Ο προσανατολισμός του μεταφορέα αέρα διατηρήθηκε ορθογώνιος προς τον πάγκο δοκιμών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι 8 ακροφύσια που ενεργοποιήθηκαν για κάθε πλευρά ψεκαστήρα είναι υπερβολικά πολλά, ανεξάρτητα από τη ρύθμιση του μεταφορέα αέρα του ανεμιστήρα, ακόμη και αν το υγρό πάνω από το ύψος-στόχο μειώνεται έντονα όταν ο προσανατολισμός του μεταφορέα αέρα εκτροπέων ρυθμίζεται (C_T1_A). Παρ' όλα αυτά, η εργασία με τις 450 στροφές/λεπτό και τον προσαρμοσμένο προσανατολισμό των εκτροπέων αέρα, η συμμετρία του προφίλ του υγρού και στις δύο πλευρές μειώνεται αλλά η ομοιομορφία του ψεκασμού βελτιώνεται (χαμηλότερος συντελεστής διακύμανσης).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η χρήση 8 ακροφυσίων για κάθε πλευρά του ψεκαστήρα οδηγεί σε ένα κατακόρυφο προφίλ ψεκασμού που υπερέβαινε σε μεγάλο βαθμό το ύψος-στόχο του θόλου, η δοκιμή επαναλήφθηκε με το κλείσιμο των δύο πάνω ακροφυσίων και ενεργοποιώντας έτσι μόνο 6 ακροφύσια σε κάθε πλευρά ψεκαστήρα. Η τελευταία διαμόρφωση των ακροφυσίων συνδυάστηκε με τρεις διαφορετικούς προσανατολισμούς του μεταφορέα αέρα (ορθογώνιος - C_T2_O και C_T2_A, μέγιστος προς τα εμπρός - C_T3_O και C_T3_A και μέγιστος προς τα πίσω - C_T4_O και C_T4_A), τόσο για τον προεπιλεγμένο όσο και για τον προσαρμοσμένο προσανατολισμό του εκτροπέα αέρα σε συνδυασμό με 540 και 450 στροφές/λεπτό αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το προφίλ ψεκασμού ήταν πιο στοχευμένο στο θόλο με τη μείωση του αριθμού των ακροφυσίων από 8+8 σε 6+6, ειδικά όταν οι εκτροπείς αέρα προσαρμόστηκαν ώστε να ταιριάζουν στο σχήμα του στόχου (διαμορφώσεις C_T2_A, C_T3_A και C_T4_A). Ο προς τα εμπρός προσανατολισμός του μεταφορέα αέρα σε συνδυασμό με τους εκτροπείς αέρα προσαρμοσμένους (C_T3_A) επέτρεψαν την ακριβή προσαρμογή του σχήματος του θόλου, ουσιαστικά μείωση του ποσοστού και αύξηση της συμμετρίας μεταξύ των πλευρών του ψεκαστήρα. Ωστόσο, η χρήση χαμηλής ταχύτητας (450 στροφές/λεπτό) οδήγησε σε χαμηλότερη συμμετρία του προφίλ του υγρού και υψηλότερο ποσοστό του συντελεστή διακύμανσης (CV%) για το ορθογώνιο (C_T2_A) και οπίσθιο (C_T4_A) προσανατολισμό του μεταφορέα αέρα.

Περαιτέρω δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με ακροφύσια επίπεδου ανεμιστήρα TeeJet XR 8002 που λειτουργούσαν σε πίεση 4 bar. Οι διαμορφώσεις C_T5_O και C_T5_A διέθεταν 8 ενεργά ακροφύσια σε κάθε πλευρά του καινοτόμου ψεκαστικού μηχανήματος διατηρώντας τον μεταφορέα αέρα ορθογώνιο προς τον πάγκο δοκιμών. Η Χρήση των 8

επιπέδων ακροφυσιών ανεμιστήρα που ενεργοποιήθηκαν για κάθε πλευρά ψεκαστήρα, το προφίλ ψεκασμού που προέκυψε είχε επίσης ως αποτέλεσμα απώλειες ψεκασμού άνω των στο ύψος του στόχου, ανεξάρτητα από τη ρύθμιση του μεταφορέα αέρα του ανεμιστήρα, ακόμη και αν το ψεκαστικό υγρό πάνω από το ύψος-στόχο ήταν αρκετά μειωμένο πάνω από το ύψος των 2,3 m όταν ο προσανατολισμός του μεταφορέα αέρα των εκτροπέων ρυθμίστηκε (C_T5_A). Παρ' όλα αυτά, η εργασία στις 450 στροφές/λεπτό και του προσαρμοσμένου προσανατολισμού των εκτροπέων αέρα, η συμμετρία του προφίλ του ψεκαστικού υγρού και στις δύο πλευρές μειώθηκε (-13%), ενώ το ποσοστό CV αυξήθηκε στο ποσοστό 50,2%.

Καθώς το κατακόρυφο προφίλ ψεκασμού εξακολουθούσε να υπερβαίνει σε μεγάλο βαθμό το ύψος-στόχο, τα δύο κορυφαία ακροφύσια κλείστηκαν και το κατακόρυφο μοτίβο ψεκασμού αξιολογήθηκε με την ενεργοποίηση 6 ακροφυσιών ανά πλευρά ψεκαστήρα. Αυτή η διαμόρφωση δοκιμάστηκε επίσης σε τρεις διαφορετικές θέσεις του μεταφορέα αέρα, δηλ. ορθογώνια (διαμορφώσεις C_T6_O και C_T6_A), μέγιστη προς τα εμπρός (διαμορφώσεις C_T7_ και C_T7_A) και μέγιστη προς τα πίσω (διαμορφώσεις C_T8_O και C_T8_A), και για τις δύο περιπτώσεις για προεπιλεγμένο και προσαρμοσμένο προσανατολισμό του εκτροπέα αέρα σε συνδυασμό με 540 και 450 στροφές/λεπτό αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το προφίλ ψεκασμού ήταν πιο στοχευμένο στο θόλο του αμπελώνα σε σύγκριση με το τις διαμορφώσεις ακροφυσιών 8+8 C_T5_O και C_T5_A. Σε γενικές γραμμές, καλύτερη συμμετρία μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς πλευράς του ψεκαστήρα και χαμηλότερες τιμές συντελεστή διακύμανσης (CV%) επιτεύχθηκαν με τις υψηλότερες στροφές (540 στροφές/λεπτό) σε συνδυασμό με τον εκτροπέα αέρα στην προεπιλεγμένη θέση. Ωστόσο, η σωστή ρύθμιση του προσανατολισμού του εκτροπέα σε συνδυασμό με τις χαμηλές στροφές (450 στροφές/λεπτό) επέτρεψαν την καλύτερη προσαρμογή του θόλου, αποφεύγοντας μεγάλες ποσότητες υγρού που ψεκάζονται απευθείας στον αέρα πάνω από τον στόχο, εις βάρος του ποσοστού του συντελεστή διακύμανσης και της συμμετρίας του προφίλ του υγρού.

Η πτυχή αυτή είναι μείζονος σημασίας λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τον εφαρμογών ψεκασμού πεδίου. Ωστόσο, η καλύτερη ισορροπία μεταξύ ελάχιστων ποσοτήτων ψεκαστικού υγρού που υπερβαίνουν το στόχο, του ποσοστού του συντελεστή διακύμανσης (CV%) και της συμμετρίας του προφίλ του ψεκαστικού υγρού επιτεύχθηκε από τη διαμόρφωση C_T7_A, η οποία χαρακτηρίζεται από τον προσανατολισμό του μεταφορέα αέρα προς τα εμπρός. Αυτή η διαμόρφωση σημείωσε τιμές 78% SA, 3,3 SB και 49,5% CV, ενώ λιγότερο από 4% του υγρού ψεκάστηκε πάνω από τον στόχο (πάνω από 1,9 m από το έδαφος).

Πίνακας 7: Δείκτης συμμετρίας A και B υγρού που ανακτάται από το πρότυπο μεταξύ του αριστερά και δεξιά πλευρά του ψεκαστήρα. Τιμές χαμηλότερες και υψηλότερες από τη διάμεση τιμή, αντίστοιχα, δεν ικανοποιούν την απαιτούμενη προϋπόθεση.

Κωδικός διαμόρφωσης (ID)	Δείκτης συμμετρίας A (%)	Μέσος δείκτης συμμετρίας A (%)	Καλύπτεται η συνθήκη;	Δείκτης συμμετρίας B (%)	Μέσος δείκτης συμμετρίας B (%)	Καλύπτεται η συνθήκη;
D_T1	68,29	63,27	Ναι	2,81	4,96	Ναι
D_T2	63,27	63,27	Όχι	4,96	4,96	Όχι
D_T3	52,09	63,27	Όχι	8,68	4,96	Όχι
C_T1_A	85,01	78,55	Ναι	2,47	3,47	Ναι
C_T2_A	78,69	78,55	Ναι	4,32	3,47	Όχι
C_T3_A	87,26	78,55	Ναι	2,17	3,47	Ναι
C_T4_A	79,79	78,55	Ναι	2,69	3,47	Ναι
C_T5_A	72,45	78,55	Όχι	5,63	3,47	Όχι
C_T6_A	74,72	78,55	Όχι	2,46	3,47	Ναι
C_T7_A	78,72	78,55	Ναι	3,32	3,47	Ναι
C_T8_A	83,75	78,55	Ναι	4,07	3,47	Όχι

Πίνακας 8: Η υπόθεση που δοκιμάστηκε και ο αριθμός των προϋποθέσεων που ικανοποιήθηκαν για την επιλογή των διαμορφώσεων που πρέπει να δοκιμαστούν στις δοκιμές πεδίου.

Κωδικός διαμόρφωσης (ID)	Ψεκαστικό Υγρό πάνω από στόχο	CV% ανακτημένου ψεκαστικού υγρού	Δείκτης συμμετρίας A	Δείκτης συμμετρίας B	Αριθμός καλυμμένων συνθηκών
D_T1	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	3
D_T2	Ναι	Όχι	Όχι	Όχι	1
D_T3	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι	0
C_T1_A	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	3
C_T2_A	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι	2
C_T3_A	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	4
C_T4_A	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	3
C_T5_A	Όχι	Ναι	Όχι	Όχι	1
C_T6_A	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι	1
C_T7_A	Όχι	Ναι	Ναι	Ναι	3
C_T8_A	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι	2

Για τον ψεκαστήρα Dragon Virgola 700, η υπερβολική και ασύμμετρη ροή αέρα είχε ως αποτέλεσμα τη χαμηλότερη εναπόθεση στο θόλο, ακόμη και αν ο μεγαλύτερος όγκος ψεκασμού που εφαρμόστηκε ήταν (536 L/ha, δηλαδή 19% περισσότερο από ό,τι με το βελτιστοποιημένο επίπεδο ακροφύσιο ανεμιστήρα Caffeine Synthesis διαμόρφωση,

Opt_3). Παρόλο που οι προσαρμοσμένες ρυθμίσεις ροής αέρα μείωσαν τη συμμετρία του υγρού ψεκασμού και στις δύο πλευρές του ψεκαστήρα, είναι αξιοσημείωτο ότι χάθηκε μικρότερη ποσότητα υγρού πάνω από τον στόχο, ανεξάρτητα από τη διαμόρφωση του ακροφυσίου που δοκιμάστηκε. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα χαμηλότερο κλάσμα υγρού που ψεκάζεται απευθείας στον αέρα. Αυτό το κλάσμα θα μπορούσε να σταθεροποιηθεί στις μάζες του αέρα και θα μπορούσε ενδεχομένως να απομακρυνθεί από την περιοχή ψεκασμού ως παρασυρόμενο υγρό.

Η ροή αέρα που παρήγαγε ο ψεκαστήρας Caffini Synthesis ήταν υπερβολικά μεγάλη και η ροή του αέρα δεν απευθυνόταν σωστά στο στόχο του θόλου. Η ρύθμιση των εκτροπέων αέρα στο εσωτερικό του μεταφορέα σε συνδυασμό με μειωμένη ροή αέρα (χαμηλή ταχύτητα ταχυτήτων σε συνδυασμό με χαμηλές στροφές (450 στροφές/λεπτό) επέτρεψε την καλύτερη αντιμετώπιση της ροής του αέρα στο στόχο και αύξησε την εναπόθεση ψεκασμού θόλου έως και 21% (διαμορφώσεις Str Vs. Opt_1).

Με το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα Caffini ο προσανατολισμός του μεταφορέα αέρα σε διαφορετικές θέσεις σε σχέση με το στόχο (ορθογώνια, προς τα εμπρός και προς τα πίσω) είχε σημαντική επίδραση στην κάλυψη του ψεκασμού και στη συμμετρία του προφίλ υγρού ψεκασμού. Με βάση τις τρέχουσες μετρήσεις, τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν με τον μεταφορέα αέρα προσανατολισμένο προς τα εμπρός και ορθογώνια. Η μείωση του αριθμού των ενεργών ακροφυσίων κοίλου κώνου από 8+8 σε 6+6 που δοκιμάστηκαν στο διαμορφώσεις OPT_1 και Opt_2 αντίστοιχα, οδήγησε σε μείωση του εφαρμοζόμενου όγκου κατά 26% (από 567 σε 450 L/ha) και σε μη αναλογική μείωση της εναπόθεσης στο θόλο κατά 16% (μέσος όρος από 0,872 σε 0,731 μl/cm²). Ωστόσο, και οι δύο τύποι ακροφυσίων επίπεδου ανεμιστήρα (συμβατικός και αέρας επαγωγής), παρουσίασαν σημαντική αύξηση της εναπόθεσης ψεκασμού στο θόλο σε σύγκριση με τα παραδοσιακά ακροφύσια κοίλου κώνου, διατηρώντας παράλληλα μια καλή κάλυψη ψεκασμού (> 30%). Τα συμβατικά και τα ακροφύσια επαγωγής αέρα και τα εκτός κέντρου επίπεδα ακροφύσια ανεμιστήρα που δοκιμάστηκαν στις διαμορφώσεις Opt_3 και Opt_4 μπόρεσαν να αυξήσουν την εναπόθεση κατά 68% και 61% σε σύγκριση με τις διαμορφώσεις του συστήματος αναφοράς. Η κάλυψη ψεκασμού των συμβατικών επίπεδων ακροφυσίων ανεμιστήρα (6+6 σε διαμόρφωση Opt_3) ήταν περίπου 20% υψηλότερη από την κάλυψη 40% που επιτεύχθηκε από τα συμβατικά ακροφύσια κοίλου κώνου (8+8 στη διαμόρφωση Opt_1), αν και ο εφαρμοζόμενος όγκος ήταν 26% χαμηλότερος.

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων εναπόθεσης, η ανάπτυξη του έξυπνου ψεκαστήρα θα επικεντρωθεί στη χρήση επίπεδων ακροφυσίων με ανεμιστήρα, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης τεχνολογιών μείωσης της παρασύρσεως και ακροφύσια εκτός κέντρου για την καλύτερη προσαρμογή του ύψους-στόχου στα διάφορα στάδια ανάπτυξης κατά τη διάρκεια του εποχής.

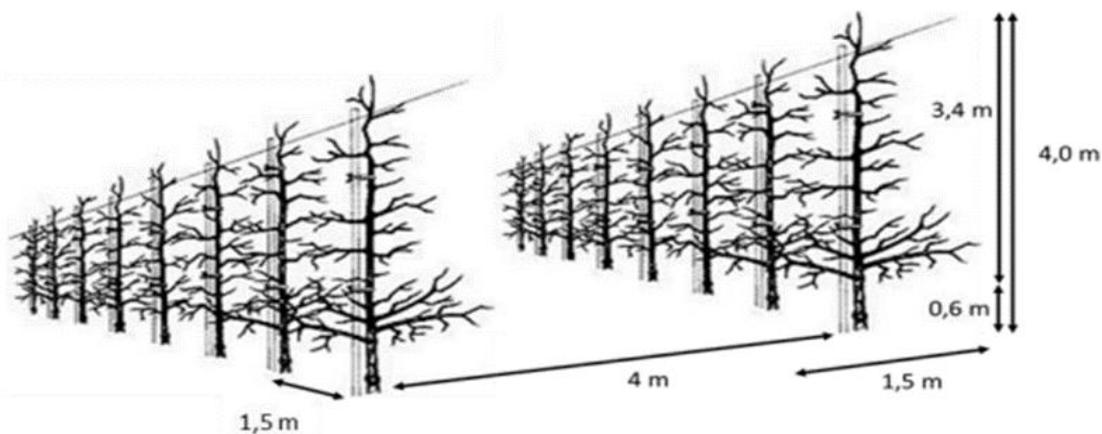
2.3 Καλλιέργεια Μήλου

2.3.1 Υλικά και μέθοδοι

Το φουζικλάδιο μηλιάς προκαλείται από τον μύκητα *Venturia inaequalis*, είναι η πιο σημαντική ασθένεια των μήλων. Η καταπολέμησή της βασίζεται κυρίως στη χρήση

συνθετικών μυκητοκτόνων, με την εφαρμογή 15 επεμβάσεων ανά έτος κατά μέσο όρο. Επί του παρόντος, για την καταπολέμηση της ασθένειας γίνεται ευρεία χρήση ανθεκτικών προληπτικών μυκητοκτόνων (dithianon, captan, fluazinam, dithiocarbamates), ενώ σπανιότερα χρησιμοποιούνται strobilurins και anyloprimidines και ευρεία χρήση της ντεφονοκοναζόλης σε μείγμα με μυκητοκτόνα επαφής για θεραπευτικές εφαρμογές και αυξανόμενο ενδιαφέρον για εναλλακτικά προϊόντα όπως τα νέα SDHI (fluopyram, penythiopyrad, fluxarunoxad) καθώς και οργανικές γεωργικές ενώσεις (χαλκός, θειάφι ασβέστη, θειάφι, διπτανθρακικό Κ). Ο χρόνος εφαρμογής των μυκητοκτόνων εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας μοντέλα πρόβλεψης καιρού και ασθενειών (RIM Pro, A Scab) για προληπτικές θεραπείες. Οι θεραπευτικές εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν μόνο σε κρίσιμες καταστάσεις όπως παρατεταμένη υγρασία. Ωστόσο, εξακολουθεί να υφίσταται η ανάγκη βελτιστοποίησης εναλλακτικών στρατηγικών για την καταπολέμηση του φουζικλαδίου των μήλων που βασίζονται σε φυσικές ουσίες, ανόργανες ενώσεις, βιοφυτοπροστατευτικά προϊόντα, έγκαιρη πρόβλεψη, αποτελεσματικοί ψεκασμοί και ενσωμάτωση συστημάτων Ολοκληρωμένης διαχείρισης εχθρών και παρασίτων.

Οι δοκιμές πεδίου με μήλα διεξάχθηκαν στη Σαραγόσα (Ισπανία), με κύριες ποικιλίες Golden (Smooth και Delicious) και Gala (Galaxy και Mundial). Μια σχηματική απεικόνιση του συστήματος φύτευσης δίνεται στην Εικόνα 4 απεικονίζει έναν τυπικό οπωρώνα μήλων.



Εικόνα 4: Σχηματική σχεδίαση των αγροτεμαχίων στον οπωρώνα μηλιάς.

Για την περίπτωση των μήλων, το ψεκαστικό μηχάνημα αξονικού ανεμιστήρα Futur της Pulverizadores Fede χρησιμοποιήθηκε ως το ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς. Το ψεκαστικό μηχάνημα διαθέτει 26 ακροφύσια διαθέσιμα, αλλά στο πλαίσιο του παρόντος πειραματικού χρησιμοποιήθηκαν μόνο 20 ακροφύσια. Ενώ ως καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα οπωρώνων χρησιμοποιήθηκε το ψεκαστικό μηχάνημα με αέρα Inverter Qi 9.0 της Pulverizadores Fede. Δίνεται μια επισκόπηση των χαρακτηριστικών και των ρυθμίσεων που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο του πειραματικού στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Επισκόπηση των χαρακτηριστικών και των ρυθμίσεων του ψεκαστικού μηχανήματος αναφοράς και του ψεκαστικού μηχανήματος σημείου εκκίνησης.

	Ψεκαστικό μηχανήμα αναφοράς	Ψεκαστικό μηχανήμα Optima
Μάρκα ψεκαστικού μηχανήματος	Fede	Fede
Μοντέλο ψεκαστικού μηχανήματος	Futur	Inverter Qi 9.0 H3O
Τύπος ψεκαστικού μηχανήματος	Αξονικός ανεμιστήρας χωρίς εκτροπή	Αεροβόλο ψεκαστικό μηχανήμα Inverter
Τύπος ακροφυσίων	Albuz ATR (κώνος)	TeeJet D3DC (πλήρης ή κώνος)
Μέγεθος Ακροφυσίου	Red	D3DC25, D3DC35
Γωνία ψεκασμού (°)	80°	D3DC25 – 69°, D3DC35 - 48°
Αριθμός ακροφυσίων	26 (20 σε χρήση)	22
Πίεση ψεκασμού (bar)	10,9	11,8
Ρυθμός εφαρμογής (L/ha)	1.000	1.000
Ταχύτητα οδήγησης (km/h)	6,0	5,0
Ροή αέρα (m ³ /h)	85.000	55.000
Μέγεθος ανεμιστήρα (mm)	900	900
Στροφές ανεμιστήρα (rpm)	540	480
Γωνίας εκτροπής (°)	Μη εφαρμόσιμο	43°

Επιλογή ακροφυσίου και ρυθμίσεις ψεκασμού

Οι πιθανές βελτιστοποιήσεις ψεκαστικών μηχανημάτων οπωρώνα που εξετάστηκαν περιλάμβαναν τη χρήση επίπεδων ακροφυσίων με ανεμιστήρα (XR) αντί για ακροφύσια με κοίλο κώνο (ATR και TXA), τη χρήση επίπεδων ακροφυσίων με ανεμιστήρα που μειώνουν την παράσυρση (AI) και τη χρήση ακροφυσίων εκτός κέντρου. Τα ακροφύσια ελήφθησαν από τις εταιρείες Albuz και TeeJet. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζεται η επισκόπηση των διαμορφώσεων, τύπων και ρυθμίσεων ακροφυσίων που επιλέχθηκαν για τις δοκιμές.

Πίνακας 10: Επισκόπηση των διαμορφώσεων, τύπων και ρυθμίσεων ακροφυσίων που επιλέχθηκαν για δοκιμές.

Διαμόρφωση	Τύπος και μέγεθος ακροφυσίων (αριθμός ενεργών ακροφυσίων)	Πίεση ψεκασμού (bar)	Ρυθμός ροής (L/min)	Μέγεθος σταγονιδίων	Ρυθμός εφαρμογής (L/ha επιφάνειας) στα 5,0 km/h
Ψεκαστικό μηχανήμα αναφοράς	Albuz ATR red (20)	10,9	2,00	Μικρό	1.000

Ψεκαστικό μηχάνημα Optima	TeeJet D3 DC25 (20), TeeJet D3 DC35 (2)	11,8	1,41 – 2,17	Μικρό	976
Τυπικά ακροφύσια κωνικού σχήματος	Lechler TR 80 02 (22)	10,9	1,52	Μικρό	1.003
Αντιπαρασυρόμενα ακροφύσια κωνικού σχήματος	Lechler ITR 80 02 (22)	10,9	1,52	Πολύ μεγάλο	1.003
Συμπαγή ακροφύσια με ανάμιξη αέρα	Lechler IDK 90 02 (22)	10,9	1,52	Μεσαίο	1.003
Συμπαγή ακροφύσια με ανάμιξη αέρα + ακροφύσια εκτός κέντρου	Lechler IDK 90 025 (20), Lechler IDKS 80 02 (2)	10,9	1,52 / 1,12	Μεγάλο/Μεσαίο	979
Συμπαγή ακροφύσια με ανάμιξη αέρα (συνδυασμός χρωμάτων)	Lechler IDK 90 025 (14), Lechler IDK 90 02 (8)	8,0	1,62 / 1,30	Μεγάλο/Μεγάλο	992
Συμπαγή ακροφύσια με ανάμιξη αέρα σε μειωμένη πίεση	Lechler IDK 90 03 (22)	4,9	1,52	Μεγάλο	1.003
Ακροφύσια επίπεδου τύπου με ανάμιξη αέρα	Lechler ID 90 02 (22)	10,9	1,52	Μεγάλο	1.003
Ακροφύσια επίπεδου τύπου χαμηλού drift	Lechler AD 90 02 (22)	10,9	1,52	Μεσαίο	1.003

***Στα 6 km/h**

***Κατηγορία ποιότητας ψεκασμού BCPC (Southcombe et al., 1997)**

Μετρήσεις ρυθμού ροής

Οι παροχές των ακροφυσίων που χρησιμοποιήθηκαν για τον χαρακτηρισμό των σταγονιδίων, καθορίστηκαν πριν από τα πειράματα χαρακτηρισμού των σταγονιδίων. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Spray Tech του ILVO με τη χρήση πάγκου δοκιμών ακροφυσίων. Κάθε ακροφύσιο δοκιμάστηκε τρεις φορές σε πίεση ψεκασμού 3,0 bar, καθώς η μέγιστη πίεση που μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση του πάγκου δοκιμών ήταν 5,0 bar. Το Lechler IDK 90 03 δοκιμάστηκε επιπλέον σε πίεση 4,9 bar. Ανά τύπο ακροφυσίου, το ακροφύσιο με τη μικρότερη μέση απόκλιση από την ονομαστική παροχή επιλέχθηκε για τον χαρακτηρισμό των σταγονιδίων.

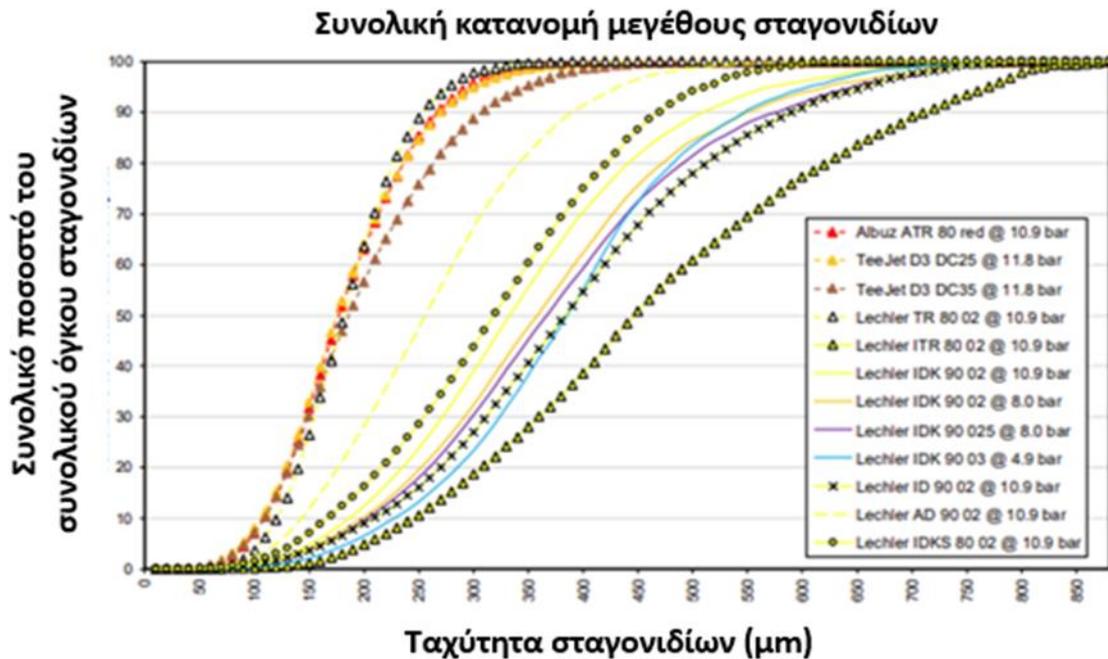
Χαρακτηριστικά μεγέθους και ταχύτητας σταγονιδίων

Τα χαρακτηριστικά του μεγέθους και της ταχύτητας των σταγονιδίων ελήφθησαν στο ILVO χρησιμοποιώντας μια διάταξη μέτρησης με λέιζερ PDPA. Συνολικά, δοκιμάστηκαν 12 συνδυασμοί ακροφυσίων/πίεσης με τη χρήση ενός μόνο ακροφυσίου χωρίς υποστήριξη αέρα. Στον πίνακα 11 παρατίθενται σε πίνακα τα προφίλ σάρωσης που χρησιμοποιήθηκαν. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε απόσταση 0,5 m κάτω από το ακροφύσιο και στην αντίστοιχη πίεση ψεκασμού. Οι μετρήσεις σε πιέσεις ψεκασμού άνω των 8,0 bar πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση μιας μονάδας ψεκασμού θερμοκηπίου (Delvano, Harelbeke, Βέλγιο), η οποία είναι εξοπλισμένη με δεξαμενή ψεκασμού μέγιστου όγκου 200 L, μια ηλεκτροκίνητη αντλία διαφράγματος (AR 813- Annoni Reverberi, Modena, Ιταλία) και έναν ρυθμιστή πίεσης (VDR50- Annoni Reverberi, Modena, Ιταλία).

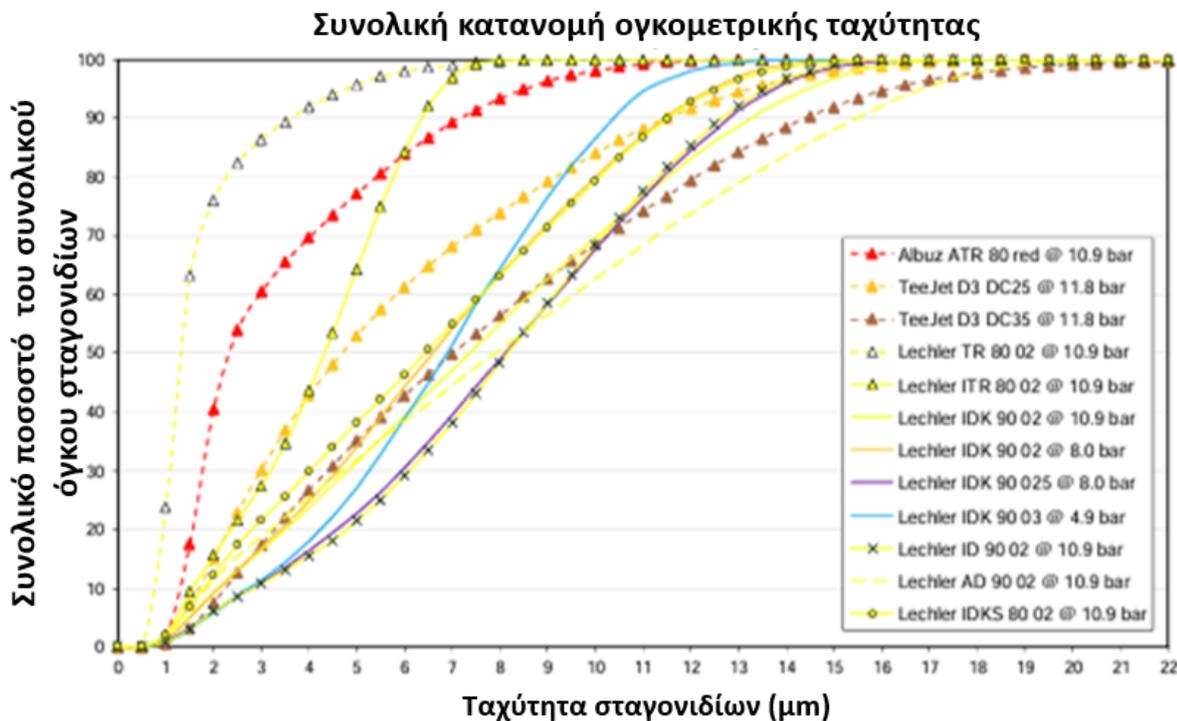
Πίνακας 11: Προφίλ σάρωσης για τους συνδυασμούς τύπου ακροφυσίου/πίεσης που δοκιμάστηκαν.

Ακροφύσιο	Πίεση ψεκασμού (bar)	z (cm)	x (cm)	y (cm)	Δx (cm)	Δy (cm)	Ταχύτητα σάρωσης (m/min)
Albuz ATR 80 red	10.9	50	100	60	v.a.	6.0	2.0
TeeJet D3 DC25	11.8	50	80	55	v.a.	5.5	1.5
TeeJet D3 DC35	11.8	50	80	46	v.a.	4.6	2.0
Lechler TR 80 02	10.9	50	120	80	v.a.	8.0	2.0
Lechler ITR 80 02	10.9	50	100	60	v.a.	6.0	0.3
Lechler IDK 90 02	10.9	50	140	20	v.a.	2.0	2.0
Lechler IDK 90 02	8.0	50	140	20	v.a.	2.0	2.5
Lechler IDK 90 025	8.0	50	140	20	v.a.	2.0	2.5
Lechler IDK 90 03	4.9	50	120	20	v.a.	2.0	2.0
Lechler ID 90 02	10.9	50	120	25	v.a.	2.5	1.5
Lechler AD 90 02	10.9	50	130	20	v.a.	2.0	2.5
Lechler IDKS 80 02	10.9	50	120	20	v.a.	2.0	3.0

Το αθροιστικό ογκομετρικό μέγεθος σταγονιδίων και η κατανομή ταχύτητας των συνδυασμών τύπου ακροφυσίου/πίεσης για την περίπτωση μήλου, ψεκάζοντας σε ύψος ψεκασμού 0,5 m, χωρίς υποστήριξη αέρα, εμφανίζονται στις Εικόνες 5 και 6.



Εικόνα 5: Αθροιστική κατανομή ογκομετρικού μεγέθους σταγονιδίων για 12 συνδυασμούς τύπου ακροφυσίου/πίεσης σε περίπτωση μήλου για ψεκασμό σε ύψος ψεκασμού 0,5 m, χωρίς υποστήριξη αέρα.



Εικόνα 6: Αθροιστική κατανομή ογκομετρικής ταχύτητας σταγονιδίων για 12 συνδυασμούς τύπου ακροφυσίου/πίεσης σε περίπτωση μήλου για ψεκασμό σε ύψος ψεκασμού 0,5 m, χωρίς υποστήριξη αέρα.

Ρυθμός ροής αέρα και μετρήσεις ροής αέρα

Η ροή του αέρα και η κατακόρυφη κατανομή του κατά μήκος της εξόδου του ανεμιστήρα μετρήθηκαν με ένα ανεμόμετρο 2D Meteo Digit I (Lambrecht meteo GmbH, Göttingen, Γερμανία). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το πρότυπο ISO 9898 -

Εξοπλισμός για την προστασία των καλλιεργειών - Μέθοδοι δοκιμής για ψεκαστικά μηχανήματα με υποβοήθηση αέρα για καλλιέργειες θάμνων και δέντρων (ISO, 2000). Για το ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ένα πλέγμα δειγματοληψίας αποτελούμενο από 33 σημεία μέτρησης (11 σημεία σε ύψος και 3 σε πλάτος), το οποίο κάλυπτε ολόκληρη την περιοχή εξόδου του ανεμιστήρα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν δύο φορές, τοποθετώντας το ανεμόμετρο ακριβώς στο τμήμα εξόδου και κάθετα στο ρεύμα αέρα. Ο χαρακτηρισμός του αέρα πραγματοποιήθηκε για πέντε διαμορφώσεις, δηλαδή για το μεγάλο γρανάζι με προσανατολισμό πτερυγίων 20°, 30° και 35° και για το μικρό γρανάζι με προσανατολισμό πτερυγίων 20° και 35°. Αυτές οι διαμορφώσεις κάλυπταν την ελάχιστη, τη μέγιστη και τη συνιστώμενη από τον κατασκευαστή παροχή αέρα. Τα χαρακτηριστικά του αέρα του ψεκαστικού μηχανήματος αναφοράς αξιολογήθηκαν με την ίδια διαδικασία. Ωστόσο, καθώς η επιφάνεια εξόδου του αέρα ήταν μεγαλύτερη από εκείνη του ψεκαστικού μηχανήματος αναφοράς, προσδιορίστηκαν 42 σημεία μέτρησης αντί για 33.

2.3.2 Αποτελέσματα καλλιέργειας μήλου

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ροής αέρα παρουσιάζονται στον πίνακα 12. Μπορεί να παρατηρηθεί ότι ο παράγοντας που επηρέασε περισσότερο τη ροή του αέρα δεν ήταν η ταχύτητα περιστροφής του ανεμιστήρα, αλλά η γωνία των πτερυγίων. Η διαμόρφωση του ψεκαστικού μηχανήματος αναφοράς παρουσίασε το χαμηλότερο συντελεστή διακύμανσης (CV) και συνεπώς παρήγαγε το πιο ομοιόμορφο προφίλ αέρα από όλες τις διαμορφώσεις που δοκιμάστηκαν. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την υψηλή τιμή της παροχής αέρα (67113 m³/h), η οποία είναι υπερδιπλάσια της μέγιστης τιμής του καινοτόμου ψεκαστικού μηχανήματος. Για το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα ωστόσο η διαμόρφωση με την υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής και τη γωνία πτερυγίων 30° οδήγησε στην πιο ομοιόμορφη ροή αέρα (χαμηλότερο CV) και επομένως πιθανώς θα μεταφέρει τα ψεκασμένα σταγονίδια στη βλάστηση με πιο ομοιόμορφο τρόπο.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα των μετρήσεων ροής αέρα.

Διαμόρφωση	Ροή αέρα (m ³ /h)	Ροή αριστερής-δεξιάς πλευράς (%)	Μέση τιμή (m/s)	T.A. (m/s)	CV (%)
Σύντομο, 20°	16577	50.68 – 49.32	9.4	4.4	46.8
Μεγάλο, 20°	17372	49.20 – 50.80	9.8	5.2	53.1
Μεγάλο, 30°	26195	49.82 – 50.18	14.8	7.3	38.8
Σύντομο, 35°	28143	51.01 – 48.99	15.9	8.0	50.3
Μεγάλο, 35°	30973	52.31 – 47.69	17.5	9.1	52.0
Αναφορά	67113	49.83 – 50.17	28.8	9.6	33.3

Στις εγκαταστάσεις UPC (Βαρκελώνη, Ισπανία), οι διαμορφώσεις ακροφυσίων και ψεκαστικών μηχανημάτων δοκιμάστηκαν στη διανομή ψεκασμού. Τρεις επαναλήψεις για κάθε διαμόρφωση εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας έναν κατακόρυφο πάγκο δοκιμών από το AAMS-Salvagni εξοπλισμένο με 30 συλλέκτες σε απόσταση 0,1 m, ξεκινώντας από 0,5 m από το έδαφος. Ο πάγκος αυτός υποστηρίχθηκε από ένα ηλεκτρονικό

σύστημα μέτρησης. Ο μέσος όρος των τριών επαναλήψεων υπολογίστηκε προκειμένου να μετριάσουν τα πιθανά σφάλματα που οφείλονται στο περιβάλλον ή στην ίδια τη διαδικασία. Ο μετεωρολογικός σταθμός (Hortimax, clima 500) χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών κατά τη διάρκεια των δοκιμών, συγκεκριμένα αυτά που αφορούν την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνση του ανέμου. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες που εξασφαλίζουν μέγιστη ταχύτητα ανέμου 3,0 m/s, σύμφωνα με την ισπανική νομοθεσία (BOE, 2012).

Προκειμένου να συγκριθούν όλες οι προτεινόμενες βελτιώσεις, το ψεκαστικό μηχάνημα αναφοράς επίσης δοκιμάστηκε για να αντιπροσωπεύει το ψεκαστικό μηχάνημα που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία. Για όλες τις διαμορφώσεις ακροφυσίων που χρησιμοποιήθηκαν στο καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα, ο ρυθμός ροής αέρα που παράχθηκε από το ψεκαστικό μηχάνημα ρυθμίστηκε σε αυτόν που συνιστά ο κατασκευαστής, δηλαδή οι ρυθμίσεις αέρα του καινοτόμου ψεκαστικού μηχανήματος αποτελούνταν από τη θέση του μεγάλου κιβωτίου ταχυτήτων και τον προσανατολισμό των λεπίδων στις 30ο.

Οι ακόλουθοι παράμετροι και τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του τρόπου εφαρμογής του ψεκαστικού υγρού στο στόχο για κάθε διαμόρφωση, και η επιλογή των καταλληλότερων διαμορφώσεων για την εφαρμογή ψεκασμού παρουσιάζονται παρακάτω:

Συντελεστής διακύμανσης (σε ποσοστό %): Οι διαμορφώσεις με CV χαμηλότερο από το μέσο όρο CV όλων των διαμορφώσεων επιλέχθηκαν.

$$CV(\%) = \frac{\sigma}{\mu} * 100$$

Όπου μ είναι ο μέσος όρος της εναπόθεσης (%) και σ η τυπική απόκλιση του μέσου όρου (%).

Ανάκτηση (σε %): Όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό ανάκτησης, τόσο πιο εστιασμένο είναι το ψεκαστικό υγρό στο στόχο. Επιλέχθηκαν διαμορφώσεις με ανάκτηση υψηλότερη από το μέσο όρο.

$$R(\%) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^m q_i * t} \right) * 100$$

Όπου V_i είναι ο όγκος που συλλέγεται από τον κατακόρυφο πάγκο (m^3), q_i είναι ο όγκος που έχει ψεκαστεί δίνεται από τη σχέση τα ακροφύσια (m^3/min), t είναι ο χρόνος εκτέλεσης κάθε δοκιμής (min), n είναι ο αριθμός των σωλήνων και m είναι ο αριθμός των ακροφυσίων.

Συμμετρία (σε %): Η υψηλότερη συμμετρία υποδηλώνει μικρότερες διαφορές μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς πλευράς του ψεκαστικού μηχανήματος και μια πιο ομοιογενή επεξεργασία. Οι Διαμορφώσεις με μεγαλύτερη συμμετρία από το μέσο όρο επιλέχθηκαν.

$$S(\%) = \left(1 - \sum_{l=1}^n \left| \frac{V_{l(L)}}{\sum_{l=1}^n V_{l(R)}} - \frac{V_{l(R)}}{\sum_{l=1}^n V_{l(L)}} \right| \right) * 100$$

Όπου V_i (R/L) είναι ο όγκος ψεκασμού που συλλέγεται από τον κατακόρυφο πάγκο (m^3) από τη δεξιά ή την αριστερή πλευρά.

Ο πίνακας 13 δείχνει το συντελεστή διακύμανσης, την ανάκτηση και τη συμμετρία για κάθε διαμόρφωση. Τρεις διαμορφώσεις πληρούσαν τα τρία κριτήρια, δηλαδή η T6 (IDK 90 02), T10 (IDK 90 03) και T11 (ID 90 02). Αυτές οι διαμορφώσεις θεωρήθηκαν ως οι πλέον κατάλληλες για τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας μήλου.

Πίνακας 13. Αποτελέσματα των μετρήσεων κατανομής ψεκασμού, συμπεριλαμβανομένου του μέσου όρου όλων των μετρήσεων. Τα καθιερωμένα κριτήρια δίνονται με πράσινο χρώμα, οι επιλεγμένες διαμορφώσεις με έντονη γραφή.

Διαμόρφωση ψεκασμού	Συντελεστής μεταβλητότητας (%)	Ανάκτηση (%)	Συμμετρία (%)
T1 – Ακροφύσιο ψεκαστήρα αναφοράς	31.30	3.64	79.34
T2 – Αρχικό σημείο	28.26	4.79	68.19
T3 – Lechler TR 80 02 (22)	23.22	4.24	85.38
T4 – Lechler TR 80 02 (20)	28.32	4.54	81.03
T5 – Lechler ITR 80 02 (20)	23.04	4.90	85.00
T6 – Lechler IDK 90 02 (20)	22.34	5.36	80.39
T7 – Lechler IDK 90 02 (18) / Lechler IDKS 80 02 (2)	23.10	6.11	76.02
T8 – Lechler IDK 90 02 (16) / Lechler IDKS 80 02 (4)	23.18	5.97	76.84
T9 – Lechler IDK 90 025 (12) / Lechler IDK 90 02 (8)	19.75	5.72	74.91
T10 – Lechler IDK 90 03 (20)	18.08	5.57	79.67
T11 – Lechler ID 90 02 (20)	18.79	5.82	79.03
T12 – Lechler AD 90 02 (20)	23.24	6.48	74.74
Μέσος όρος	23.55	5.26	78.38

3. Σύνοψη και Συμπεράσματα

Το παρόν παραδοτέο καταδεικνύει την αποτελεσματικότητα των καινοτόμων ψεκαστικών τεχνολογιών στη βελτίωση της ακρίβειας εφαρμογής βιολογικών σκευασμάτων και στη μείωση των απωλειών εκτός στόχου, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη μετάβαση προς βιώσιμες και περιβαλλοντικά υπεύθυνες πρακτικές φυτοπροστασίας. Τα πειραματικά δεδομένα από τις τρεις καλλιέργειες (καρότο, αμπέλι, μήλο) τεκμηριώνουν ότι η ορθή ρύθμιση των παραμέτρων ψεκασμού – όπως ο τύπος και το μέγεθος ακροφυσίων, η πίεση ψεκασμού, η ταχύτητα ροής αέρα και ο προσανατολισμός των εκτροπέων – επιτρέπει ουσιαστική βελτίωση στην εναπόθεση του ψεκαστικού υγρού και ταυτόχρονη μείωση της παρασυρόμενης ρύπανσης.

Στην καλλιέργεια καρότου, το καινοτόμο ψεκαστικό μηχάνημα της Caffini (Prestige Air 2800 L-21 TPG08) επέδειξε μέση μείωση αερομεταφερόμενης μετατόπισης κατά 85% και καθίζησης κατά 67% σε σύγκριση με το συμβατικό μηχάνημα αναφοράς. Η χρήση ακροφυσίων χαμηλής παρασυρόμενης ροής και υποβοήθησης με αέρα οδήγησε σε βελτιωμένη ομοιομορφία εναπόθεσης και περιορισμό της διασποράς του ψεκαστικού νέφους, με άμεση συνέπεια τη μείωση του κινδύνου ρύπανσης του εδάφους και των υδάτων.

Στην καλλιέργεια αμπελιού, οι δοκιμές βελτιστοποίησης αποκάλυψαν ότι ο προσανατολισμός του εκτροπέα αέρα και η μείωση του αριθμού των ενεργών ακροφυσίων (από 8+8 σε 6+6) βελτίωσαν τη συμμετρία ψεκασμού και τη στοχοποίηση του θόλου, ενώ ταυτόχρονα μείωσαν τον απαιτούμενο όγκο ψεκασμού κατά 26% χωρίς σημαντική απώλεια στην κάλυψη. Τα επίπεδα ακροφύσια ανεμιστήρα (XR και AI) και τα εκτός κέντρου ακροφύσια αποδείχθηκαν τα πιο αποδοτικά, επιτυγχάνοντας έως και 68% μεγαλύτερη εναπόθεση σε σχέση με τα παραδοσιακά ακροφύσια κοίλου κώνου. Οι παραμετρικές δοκιμές έδειξαν επίσης ότι η κατεύθυνση του αέρα προς τα εμπρός βελτιώνει την ομοιομορφία και μειώνει τη διαφυγή του ψεκαστικού νέφους προς το περιβάλλον.

Για τους οπωρώνες μήλου, το καινοτόμο ψεκαστικό Inverter Qi 9.0 της Pulverizadores Fede παρουσίασε καλύτερη ομοιομορφία ψεκασμού, χαμηλότερο συντελεστή διακύμανσης (CV%) και πιο σταθερό προφίλ αέρα σε σχέση με το συμβατικό Futur. Η γωνία πτερυγίων του ανεμιστήρα (30°) και η χαμηλή ταχύτητα περιστροφής (450–540 rpm) αναδείχθηκαν ως βέλτιστες ρυθμίσεις, προσφέροντας ομοιομορφία κατανομής του ψεκαστικού υγρού στο θόλο και μειωμένη απώλεια υλικού άνω του στόχου. Επιπλέον, η χρήση επιπέδων ακροφυσίων ανεμιστήρα και αέρα επαγωγής (AI) επέτρεψε τη μείωση της παρασυρόμενης δόσης χωρίς να επηρεάζεται η κάλυψη.

4. Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. Danton, A., Roux, J. C., Dance, B., Cariou, C., & Lenain, R. (2020, August). Development of a spraying robot for precision agriculture: An edge following approach. In 2020 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA) (pp. 267-272). IEEE.
2. Ingrid Zwertvaegher, David Nuyttens, Jean-Paul Douzals, Aude Lamare, Paolo Balsari, Paolo Marucco, Marco Grella, Emilio Gil, Paula Ortega, Bernat Salas Barenys, Spyros Fountas, Nikos Mylonas, Loukas Athanasakos, Amedeo Caffini, Lars Torsten Berger, Francisco Andreu, (2021). Report on optimal spray configuration and parameters for the different crop-disease-PPP combinations.
3. Norton, G. A. (1976). Analysis of decision making in crop protection. *Agroecosystems*, 3, 27-44.
4. Tellaeche, A., BurgosArtizzu, X. P., Pajares, G., Ribeiro, A., & Fernández-Quintanilla, C. (2008). A new vision-based approach to differential spraying in precision agriculture. *computers and electronics in agriculture*, 60(2), 144-155.
5. Terra, F. P., Nascimento, G. H. D., Duarte, G. A., & Drews-Jr, P. L. (2021). Autonomous agricultural sprayer using machine vision and nozzle control. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 102(2), 38.
6. Yadav, J., Chauhan, U., & Sharma, D. (2023). Importance of drone technology in Indian agriculture, farming. In *Smart Village Infrastructure and Sustainable Rural Communities* (pp. 35-46). IGI Global.
7. Yarpuz-Bozdogan, N. (2018). The importance of personal protective equipment in pesticide applications in agriculture. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 4, 1-4.)