

ΑγροΣΥΣ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΜΠΕΛΟΥΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

**Α. Μπαλαφούτης¹, Γ. Μπανιάς¹, Δ. Κατέρης¹, Δ. Μπόχτης¹, Μ. Μωραΐτης^{1,2},
Γ. Παπαδάκης², Χ.-Σ. Καραβάς², Β. Αραποστάθης², Κ. Μπινιάρη², Μ. Σταυρακάκη²,
Δ. Παλιοκώστας², Π. Λάγιος³, Ε. Λώλος³, Κ. Τσιάτσου⁴, Γ. Στασιμιώτης⁴, Π. Λαγγουράνης⁴,
Π. Ζέρβας⁴**

¹Ινστιτούτο Βιο-οικονομίας & Αγρο-τεχνολογίας, Δημάρχου Γεωργιάδου 118, 38333, Βόλος.

²Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα. ³GIZELIS ROBOTICS A.B.E.E, Θέση Κορματζίνι, 32009, Σχηματάρι. ⁴ENERGY TRADING A.E., Αιόλου 67, 10559, Αθήνα
a.balafoutis@certh.gr

Περίληψη

Αντικείμενο του έργου ΑγροΣΥΣ είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η εμπορευματοποίηση ενός ολοκληρωμένου αυτόνομου συστήματος αμπελουργίας ακριβείας που θα βασίζεται στις ενέργειες ηλεκτροκίνητων UAV και UGV τα οποία θα φορτίζονται σε ηλιακούς σταθμούς φόρτισης εντός του αμπελώνα και θα ενσωματώνουν τεχνολογίες παρακολούθησης (α) της ευρωστίας και του όγκου βλάστησης για προγραμματισμό λίπανσης, (β) της υδατικής καταπόνησης των πρέμνων για προγραμματισμό άρδευσης και (γ) της εκτίμηση παραγωγής του αμπελώνα για τον επιλεκτικό τρυγητό βάσει επιπέδου ωρίμανσης.

Λέξεις κλειδιά: Γεωργικά επίγεια μη επανδρωμένα οχήματα, Γεωργικά εναέρια μη επανδρωμένα οχήματα, ηλιακοί σταθμοί φόρτισης, ρομποτικοί βραχίονες φόρτισης, αμπελουργία ακριβείας

AgroSYS – Development Of An Autonomous Collaborative Robotic System Of Precision Viticulture

**A. Balafoutis¹, G. Baniyas¹, D. Kateris¹, D. Bochtis¹, M. Moraitis^{1,2},
G. Papadakis², C.-S. Karavas², V. Arapostathis², K. Biniari², M. Stavrakaki², D. Paliokostas²,
P. Lagios³, E. Lolos³, K. Tsiatsou⁴, G. Stasimiotis⁴, P. Langouranis⁴, P. Zervas⁴**

¹Institute of Bio-economy & Agro-technology, Dimarchou Georgiadiou 118, 38333, Volos. ²Agricultural University of Athens, Iera Odos 75, 11855, Athens. ³GIZELIS ROBOTICS A.B.E.E, Kormatzini, 32009, Schimatari. ⁴ENERGY TRADING A.E., Aioulou 67, 10559, Athens
a.balafoutis@certh.gr

Abstract

The aim of AGROSYS project is the design, development and commercialization of an integrated autonomous system of precision viticulture based on the autonomous navigation of a UAV and UGV fleet that will be charged by solar charging stations within the vineyard and incorporate technologies for monitoring (a) vigour and volume of the vines vegetation for fertilization programming, (b) water stress of the vines for irrigation programming, and (c) vineyard production for selective harvesting on the basis of maturation level.

Keywords: Agricultural UGVs, Agricultural UAVs, solar charging stations, charging robotic arm, precision viticulture

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού απαιτεί μεγέθυνση της παραγωγής γεωργικών προϊόντων, η οποία διακινδυνεύεται από πολλές προκλήσεις όπως η μεταβολή του κλίματος, η έλλειψη εργατικού δυναμικού και το κόστος απόδοσης της παραγωγικότητας (EC, 2017). Τα τελευταία χρόνια, η χρήση Τεχνολογιών Ευφυούς Γεωργίας (ΤΕΓ) αυξάνει ταχέως και δείχνει να αποτελεί αξιόπιστη λύση για τις ανωτέρω προκλήσεις (EC, 2018). Οι ΤΕΓ περιλαμβάνουν συστήματα διαχείρισης γεωργικών πληροφοριών (FMIS), συστήματα γεωργίας ακριβείας (ΓΑ), γεωργικούς αυτοματισμούς και ρομποτικές εφαρμογές που (α) αυξάνουν την απόδοση, (β) βελτιώνουν την ποιότητα των προϊόντων, (γ) κάνουν ορθολογική και αποτελεσματική τη χρήση των εισροών, (δ) μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας και (ε) προστατεύουν τους εδαφοϋδατικούς πόρους (European Parliament, 2016; Fountas et al., 2005).

Ενώ οι ΤΕΓ που αφορούν τα FMIS, τις μεθόδους ΓΑ και τους αυτοματισμούς έχουν αναπτυχθεί εμπορικά, μόνο λίγες περιπτώσεις ρομποτικών συστημάτων βρίσκονται σε εμπορικό επίπεδο (Shamshiri et al., 2018; Pedersen et al., 2006). Παρόλα αυτά, η ρομποτική παρουσιάζει μεγάλη εξέλιξη, αφού αυτόνομα μη επανδρωμένα εναέρια (UAV) και επίγεια (UGV) οχήματα ενσωματώνουν προσθετικά τεχνολογικό εξοπλισμό με σκοπό την παρακολούθηση καλλιεργειών και την εφαρμογή γεωργικών πρακτικών. Η χρήση τους μπορεί να αυξήσει την παραγωγικότητα, την κερδοφορία, την ασφάλεια της εργασίας και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα (Bac et al., 2014).

Όμως, ακόμα και τα εμπορικά διαθέσιμα UAV και UGV για γεωργική χρήση λειτουργούν ως μεμονωμένες λύσεις και όχι ως ένα συνδυασμένο σύστημα που τα δύο μέσα αλληλοβοηθούνται. Υπάρχει έρευνα σχετικά με τη διασύνδεση των επίγειων και εναέριων μέσων (Vu et al., 2018; Salah et al., 2017; Hood et al., 2017) που όμως δεν έχει καταλήξει σε εμπορικές λύσεις συνδυασμένης χρήσης και ελέγχου στον αγρό.

Τέτοια συστήματα θα μπορούσαν να βρουν πολλαπλές γεωργικές εφαρμογές, αλλά ιδανική θα ήταν σε υψηλής αξίας καλλιέργειες που λόγω των εξειδικευμένων απαιτήσεών τους (π.χ. υψηλή ποιότητα τελικού προϊόντος), αλλά και του υψηλού εισοδήματος που παρέχουν στον παραγωγό επιτρέπουν την αρχική τους υιοθέτηση. Τέτοια καλλιέργεια είναι το οиноποιήσιμο αμπέλι που απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και εκτενείς γεωργικές πρακτικές κατά την καλλιέργειά του (Nuske et al., 2014).

Όσον αφορά την ισχυροδότηση των αυτόνομων οχημάτων, η ηλεκτροκίνηση αποτελεί πια τη βέλτιστη λύση για παντός τύπου UAV και UGV (εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων) αφού πλεονεκτούν λόγω (α) των μηδενικών εκπομπών καυσαερίων (Ma et al., 2014), (β) της υψηλής απόδοσης κινητήρων (90-92%) (Jorgensen, 2018), (γ) της συμβολής τους στην ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στο ενεργειακό σύστημα (Richardson, 2013), (δ) του μικρότερου κόστους λειτουργίας σε σύγκριση με ορυκτά/υγρά καύσιμα (Thomas, 2009) και (ε) της φόρτισής τους κατά τη διάρκεια της νύχτας που μπορεί να εξομαλύνει τον κύκλο λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και να μειώσει τις πρόσθετες εκκινήσεις τους (Clement-Nyngs et al., 2010). Το κύριο μειονέκτημα των ηλεκτροκίνητων UAV και UGV είναι το μειωμένο χρονικό περιθώριο εργασίας λόγω περιορισμένης αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας που επιδεινώνεται στη γεωργία λόγω περιορισμένης προσβασιμότητάς τους σε πηγή φόρτισης καθώς συχνά ενεργούν σε περιοχές απομακρυσμένες από το τοπικό δίκτυο.

Στόχος του ΑγροΣΥΣ είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η εμπορική αξιοποίηση ενός ολοκληρωμένου αυτόνομου συστήματος αμπελουργίας ακριβείας που θα βασίζεται στις

ενέργειες ηλεκτροκίνητων UAV και UGV. Τα οχήματα του στόλου θα φορτίζονται σε ηλιακούς σταθμούς φόρτισης εντός του αμπελώνα και θα ενσωματώνουν τεχνολογίες παρακολούθησης της ευρωστίας και του όγκου της βλάστησης, καθώς και τεχνολογίες μέτρησης της υδατικής καταπόνησης των πρέμνων για προγραμματισμό άρδευσης και εκτίμησης ωρίμανσης της παραγωγής για διενέργεια επιλεκτικού τρυγητού (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Το σύστημα ΑγροΣΥΣ.

Οι επιμέρους στόχοι του έργου είναι οι εξής:

- Ανάπτυξη συστήματος συνδυαστικής παρακολούθησης αμπελώνα με αισθητήρια σε UAV και UGV και λήψης αποφάσεων γεωργικών πρακτικών (άρδευση, λίπανση, επιλεκτικός τρυγητός).
- Ανάπτυξη συστήματος ασφαλούς πλοήγησης στόλου UAV και UGV σε αμπελώνα με ενσωμάτωση κατάλληλων αισθητηρίων στα οχήματα και αλγορίθμων αναγνώρισης και αποφυγής εμποδίων.
- Κατασκευή μικρής κλίμακας ηλιακών σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών UAV και UGV για εγκατάστασή τους σε αμπελώνες.
- Κατασκευή και προγραμματισμός ρομποτικών βραχιόνων για τη σύνδεση των UAV και UGV με την πηγή φόρτισης.
- Ανάπτυξη ολοκληρωμένου και βέλτιστα διαχειριζόμενου αυτόνομου συστήματος στόλου UAV και UGV.
- Δοκιμές σε πιλοτικό αμπελώνα για βελτιστοποίηση του συστήματος για μια τουλάχιστον καλλιεργητική περίοδο.
- Διερεύνηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων ενός τέτοιου συστήματος σε μια αμπελοοικονομική επιχείρηση και ανάλυση αξιοποίησης αποτελεσμάτων για εμπορική αξιοποίηση του συστήματος.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η υλοποίηση του προτεινόμενου αυτόνομου συνεργατικού ρομποτικού συστήματος αμπελουργίας ακριβείας βασίζεται στο συνδυασμό σχεδιασμού, ανάπτυξης και δοκιμής διαφορετικών υποσυστημάτων.

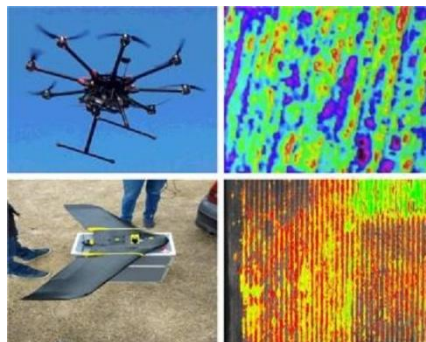
Όσον αφορά το γεωργικό σκέλος θα γίνεται συνδυαστική παρακολούθηση του αμπελώνα μέσω UAV και UGV, ενώ τα δεδομένα που θα συλλέγονται θα υπόκεινται επεξεργασία βάσει αλγορίθμων οδηγώντας σε λήψη αποφάσεων κατάλληλων γεωργικών πρακτικών. Επίσης, θα αναπτυχθεί ένα πλήρες σύστημα αυτόνομης πλοήγησης UAV και UGV μέσω εγκατάστασης αισθητήρων και δημιουργίας αλγορίθμων για την αναγνώριση και

αποφυγή εμποδίων. Θα κατασκευαστούν μικρής κλίμακας ηλιακοί σταθμοί φόρτισης ηλεκτρικών UAV και UGV για εγκατάστασή τους στον πειραματικό αμπελώνα, οι οποίοι θα φέρουν ρομποτικούς βραχίονες που θα προγραμματιστούν ανάλογα για την σύνδεση του ρευματολήπτη των UAV και UGV με τον ρευματοδότη του σταθμού. Τα ανωτέρω υποσυστήματα θα διασυνδεθούν με σκοπό την ανάπτυξη ενός πλήρους, ελεγχόμενου και βέλτιστα διαχειριζόμενου αυτόνομου συστήματος. Το σύστημα θα εγκατασταθεί σε πειραματικό αμπελώνα έκτασης 350 στρεμμάτων και θα δοκιμασθεί για βελτιστοποίησή του για μια παραγωγική περίοδο. Τέλος, δεδομένων των σημαντικών ευρημάτων του έργου στα αντικείμενα της Γεωργίας, Ρομποτικής και Ενέργειας με πιθανή εμπορική ανάπτυξή τους, θα γίνει ανάλυση περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων και διερεύνηση πιθανής εμπορικής αξιοποίησης. Οι καινοτομίες του συστήματος παρουσιάζονται εν συντομία παρακάτω:

2.1. Συνδυαστική παρακολούθηση αμπελώνα από τα ηλεκτροκίνητα UAV και UGV

Οι αμπελώνες έχουν ένα ιδιάζον χαρακτηριστικό: απαιτείται να παρακολουθείται ταυτόχρονα η ανώτερη και πλαϊνή βλάστηση των πρέμνων για την πλήρη διάγνωση της κατάστασης του αμπελώνα (Tagarakis et al., 2013; Tagarakis et al., 2018) και την επιλογή των κατάλληλων καλλιεργητικών επεμβάσεων. Επομένως, ο συνδυασμός UAV και UGV μπορεί να δώσει την λύση για τη παρακολούθηση των πρέμνων σχεδιάζοντας 3D χάρτες των χαρακτηριστικών της βλάστησης του αμπελώνα με εναέρια και επίγεια δεδομένα.

Ο πιλοτικός αμπελώνας θα παρακολουθείται με πτήσεις (UAV) και επίγεια παρατήρηση (UGV) σε επιλεγμένα φαινολογικά στάδια της αμπέλου (Άνθηση, Καρπόδεση, Πράσινη Ράγα, Περκασμός, Ωρίμανση). Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείται από έναν ετερογενή στόλο σε τρία επίπεδα: 1) επιχειρησιακό περιβάλλον [επίγεια-εναέρια], 2) απαιτήσεις ενέργειας [μικρό – μεσαίο – μεγάλο ρομποτικό όχημα] και 3) αποστολή [επίγνωσης, χαρτογράφησης – στοχευμένης δειγματοληψίας – συνολικής σάρωσης]. Τα UAV (Εικόνα 2) θα φέρουν πολυφασματικό αισθητήρα (Sequoia) για τον υπολογισμό δεικτών βλάστησης (NDVI, NDRE, LAI, etc), αλλά και θερμική κάμερα (FLIR Vue Pro) για τον καθορισμό της υδατικής καταπόνησης των πρέμνων για τον προγραμματισμό άρδευσης ακολουθώντας προκαθορισμένη διαδρομή για δημιουργία χρονοσειρών.



Εικόνα 2. Εναέρια αυτόνομα οχήματα στον αγρό και χάρτες εντοπισμού κόμης και δεικτών βλάστησης.

Το UGV Thorvald (Εικόνα 3) θα φέρει υπερφασματική κάμερα (Cubert S185SE) εύρους 450-950nm προσανατολισμένη στην πλαϊνή βλάστηση του αμπελώνα για τον υπολογισμό των αντίστοιχων δεικτών βλάστησης αλλά και την πρόβλεψη τεχνολογικής ωρίμανσης και τελικής παραγωγής μέσω της αναγνώρισης του χρωματισμού των σταφυλών που θα δώσει την δυνατότητα επιλεκτικού τρυγητού. Το UGV Husky (Εικόνα 3) θα φέρει επιπρόσθετως

θερμική κάμερα ίδια με τα UAV για την ολοκληρωμένη ανάλυση της υδατικής καταπόνησης. Όλα τα επίγεια οχήματα θα φέρουν σαρωτή λέιζερ (Velodyne puck Hi-Res) για τη διαδικασία επίγνωσης περιβάλλοντος και χαρτογράφησης και για την δημιουργία νέφους σημείων για ογκομέτρηση της βλάστησης και των κληματίδων που θα χαρτογραφήσει το φορτίο των κλαδεμάτων. Επίσης, τα UGV θα φέρουν μικροηλεκτρομηχανικά συστήματα (MEMS) εύρους 1100-2450nm προσανατολισμένα στο έδαφος για την εξέταση των χαρακτηριστικών του εδάφους για καθορισμό της λίπανσης σε συνδυασμό με τους δείκτες βλάστησης. Κάθε σάρωση του αμπελώνα μπορεί να παράγει χάρτες για την διαφοροποιημένη άρδευση και λίπανση και για επιλεκτικό τρυγητό (Εικόνα 2) (Liebisch et al., 2016).

Το σύστημα θα συμπληρώνεται με πλήρη μετεωρολογικό σταθμό συνδεδεμένο μέσω ασύρματου δικτύου με σειρά αισθητήρων, όπως υγρασίας εδάφους, μέτρησης εδαφικού pH, υγρασίας φυλλώματος, θερμοκρασίας εδάφους σε διάφορα βάθη. Τα δεδομένα θα αποθηκεύονται σε ένα κεντρικό διακομιστή που θα φιλοξενεί ένα FMIS, υπεύθυνο για τη λήψη αποφάσεων για το βέλτιστο προγραμματισμό όλων των ενεργειών στον αμπελώνα.



Εικόνα 3. Γεωργικά ηλεκτρικά ρομποτικά οχήματα (Thorvald, Husky).

2.2. Ανάπτυξη πληροφοριακού συστήματος για την αυτόνομη λειτουργία των αυτόνομων ρομποτικών

Στο ΑγροΣΥΣ θα χρησιμοποιηθεί για τη πλοήγηση και το χειρισμό των δύο τύπων οχημάτων το πλαίσιο ανοιχτού κώδικα Robotic Operating System (ROS) (Quigley et al., 2009). Ως αποτέλεσμα, τα UGV και UAV θα είναι ικανά να εξερευνήσουν αυτόνομα ένα άγνωστο περιβάλλον, να το χαρτογραφήσουν και να πλοηγηθούν αποτελεσματικά (βάσει αλγορίθμων βέλτιστων διαδρομών) και με ασφάλεια μέσα σε αυτό, χωρίς οποιαδήποτε εξωτερική παρέμβαση (Moisiadis et al., 2018). Επιπλέον, θα αναπτυχθεί ένας ειδικά σχεδιασμένος ελεγκτής που θα αποφασίζει το βέλτιστο σημείο λειτουργίας των UGV και UAV με χρήση τεχνικών υπολογιστικής νοημοσύνης (Fuzzy Cognitive Maps-FCM) (Kyriakarakos et al., 2017; Kyriakarakos et al., 2012). Το σύστημα ελέγχου θα παρακολουθεί το ποσοστό εκφόρτισης του συσσωρευτή των UGV και UAV και θα αποφασίζει την ταχύτητά τους.

2.3. Η φόρτιση των ηλεκτρικών αυτόνομων ρομποτικών οχημάτων θα γίνεται με μικρής κλίμακας σταθμούς φόρτισης μέσω τοπολογίας μικροδικτύου σε διασπορά εντός του αμπελώνα δράσης των οχημάτων

Στο ΑγροΣΥΣ προβλέπεται η φόρτιση των ηλεκτρικών ρομποτικών οχημάτων μέσω αυτόνομων σταθμών φόρτισης με φωτοβολταϊκές συστοιχίες και συσσωρευτές. Το σύστημα

ηλεκτροπαραγωγής του κάθε σταθμού θα υλοποιηθεί μέσω τοπολογίας μικροδικτύου (Kyriakarakos et al., 2011). Τα συστήματα αυτά ταυτίζονται με τη σύγχρονη τάση προώθησης των έξυπνων δικτύων και της αποκεντρωμένης παραγωγής ενέργειας (Karavas et al., 2015). Στο ΑγροΣΥΣ, οι σταθμοί φόρτισης (α) θα φέρουν προηγμένα συστήματα διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου για βέλτιστη διαχείριση ενέργειας και κάλυψη των αναγκών του στόλου και (β) θα εγκατασταθούν σε κατάλληλη γεωγραφική διασπορά μέσα στον αμπελώνα βάσει των βέλτιστων διαδρομών των UGV και UAV. Επομένως, θα αναπτυχθεί ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας και ελέγχου που θα ενσωματώνει αλγόριθμους πρόγνωσης (Kyriakarakos et al., 2013). Όλοι οι σταθμοί φόρτισης οχημάτων θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, ανταλλάσσοντας πληροφορίες σχετικά με την αποθηκευμένη ενέργειά τους και το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών τους.

2.4. Οι σταθμοί φόρτισης θα φέρουν ρομποτικούς βραχίονες για τη σύνδεση των μη επανδρωμένων οχημάτων με την πηγή φόρτισης

Η αυτοματοποίηση στην φόρτιση των UGV και UAV αποτελεί αναπόσπαστο μέρος ενός πλήρους αυτόνομου συνεργατικού ρομποτικού συστήματος. Το σύστημα θα μπορεί να λειτουργεί αδιάκοπα και ο ανθρώπινος παράγοντας θα επεμβαίνει μόνο σε περίπτωση συντήρησης ή βλάβης. Πιο συγκεκριμένα, θα τοποθετηθούν σε κάθε σταθμό εντός του αμπελώνα 2 βραχίονες διασύνδεσης: ένας για φόρτιση των UGV και ένας για τα UAV, οι οποίοι με τη βοήθεια εγκατεστημένων οπτικών αισθητήρων θα εντοπίζουν την ακριβή θέση του ρευματολήπτη του οχήματος και θα τον συνδέουν με τον ρευματοδότη του σταθμού.

2.5. Τα ρομποτικά οχήματα και οι σταθμοί φόρτισης θα συνδέονται με ευφυές σύστημα ελέγχου για κάλυψη των απαιτήσεων του ολοκληρωμένου συστήματος

Το ολοκληρωμένο σύστημα που προτείνει το ΑγροΣΥΣ περιλαμβάνει το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός λειτουργικού συστήματος ελέγχου των σταθμών φόρτισης και των UGV και UAV που θα συνδέονται μέσω δικτύου. Το λειτουργικό σύστημα θα έχει την καθολική εποπτεία, θα επικοινωνεί με τα αυτόνομα οχήματα μεταφέροντας πληροφορίες όπως επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών τους και θα αποφασίζει για τη βέλτιστη διαδρομή του καθενός μέσα στον αγρό χρησιμοποιώντας αλγόριθμους υπολογιστικής νοημοσύνης (Fuzzy Logic) (Kyriakarakos et al., 2012). Λαμβάνοντας όλες τις πληροφορίες από τους σταθμούς φόρτισης και τα οχήματα θα αποφασίζει ποιος σταθμός θα φορτίσει το εκάστοτε όχημα και σε ποια χρονική στιγμή. Το ευφυές σύστημα λήψης αποφάσεων θα βασιστεί στη Θεωρία Παιγνίων (Karavas et al., 2017; Fudenberg et al., 1991).

3. ΠΡΟΟΔΟΣ ΕΡΓΟΥ

Το έργο ΑγροΣΥΣ είναι ενεργό τους τελευταίους 12 μήνες και υλοποιεί τους στόχους του τμηματικά.

Έχει προχωρήσει η ενσωμάτωση των αισθητήρων στα UAV ((α) πολυφασματικός αισθητήρας για τους δείκτες βλάστησης, (β) θερμική κάμερα για την υδατική καταπόνηση των πρέμνων), αλλά και στα UGV ((α) υπερφασματική κάμερα για τους δείκτες βλάστησης και την πρόβλεψη της ωρίμανσης για επιλεκτικό τρυγητό, (β) θερμική κάμερα για την υδατική καταπόνηση, (γ) σαρωτή λέιζερ για την ογκομέτρηση της βλάστησης και των κλαδεμάτων και (δ) MEMS για τα χαρακτηριστικά του εδάφους). Ο αμπελώνας έχει

σαρωθεί ως προς την εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα, έχει χωριστεί σε 6 βασικές ζώνες που με την σειρά τους έχουν καταταχθεί σε 5 αγροτεμάχια από τα οποία έχουν επιλεγεί 5 πρέμνα τα οποία θα παρακολουθούνται για τις περιόδους 2023 και 2024. Έχουν προγραμματιστεί για το καλοκαίρι του 2023 τόσο οι παραδοσιακές αμπελουργικές μετρήσεις όσο και αυτές με τη χρήση των αισθητήρων.

Ο σχεδιασμός τόσο του συστήματος πλοήγησης για τους δύο τύπους οχημάτων όσο και του συστήματος διαχείρισης ενέργειας έχει ξεκινήσει. Επόμενο βήμα μετά την ολοκλήρωση του λογισμικού και υλισμικού είναι οι πειραματικές δοκιμές της λειτουργίας του στόλου των UAV και UGV σε πραγματικές συνθήκες αμπελώνων, με σκοπό την επιβεβαίωση ή βελτιστοποίηση της πλοήγησης σε άγνωστο εξωτερικό περιβάλλον.

Η διαμόρφωση των οικίσκων που προορίζονται να μετατραπούν στους μικρής κλίμακας ηλιακών σταθμών φόρτισης ηλεκτρικών UAV και UGV έχει προχωρήσει. Η διαστασιολόγηση του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας έχει ολοκληρωθεί και η εγκατάσταση πρόκειται να ολοκληρωθεί εντός του καλοκαιριού του 2023. Αναμένεται ο σχεδιασμός του συστήματος επικοινωνίας των δύο σταθμών μεταξύ τους αλλά και με τα οχήματα, η ανάπτυξη του συστήματος συλλογής δεδομένων αλλά και του συστήματος λήψης αποφάσεων.

Ο σχεδιασμός, ανάπτυξη και κατασκευή του αυτόματου συστήματος τροφοδοσίας των UGV και UAV με δύο ρομποτικούς βραχίονες, έναν για κάθε τύπο οχήματος, με δυνατότητα διττής φόρτισης είναι σε διαδικασία υλοποίησης. Τόσο ο σχεδιασμός της λειτουργίας των βραχιόνων όσο και των ρευματοληπτών έχει ξεκινήσει με τις δοκιμές των πρωτότυπων βραχιόνων να αναμένεται μέσα στο δεύτερο εξάμηνο του 2023.

Η ανάπτυξη του ολοκληρωμένου συστήματος στον πιλοτικό αμπελώνα δεν έχει ξεκινήσει ακόμα και η έναρξη αυτής είναι προγραμματισμένη για το Φθινόπωρο του 2023.

Τέλος, η διερεύνηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων του ολοκληρωμένου συστήματος και η ανάλυση των αποτελεσμάτων για εμπορική αξιοποίηση έχει ξεκινήσει με την συλλογή των διάφορων δεδομένων για την Ανάλυση Κύκλου Ζωής και την Οικονομοτεχνική ανάλυση του πλήρους συστήματος.

Παράλληλα, για τις ανάγκες διάδοσης του έργου κατασκευάστηκε η γενική ιστοσελίδα (<https://www.agrosys-project.gr/>) αλλά και οι επιμέρους σελίδες μέσω κοινωνικής δικτύωσης ([LinkedIn](#), [Facebook](#), [Twitter](#), [YouTube](#)) του έργου, στις οποίες προβάλλονται τα νέα που αφορούν σε αυτό.

Η δράση υλοποιείται στο πλαίσιο του Εθνικού Σχεδίου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας Ελλάδα 2.0 με τη χρηματοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης – NextGenerationEU.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bac et al. (2014) Journal of Field Robotics 31, 888–911.
Clement-Nyns et al. (2010) IEEE Trans on Power Systems 25(1), 371-380.
European Commission (2017), EU Agriculture Overview, url: https://europa.eu/european-union/topics/agriculture_en.
European Commission (2018), Agricultural technological innovation, url: <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/agricultural-technological-innovation> .
European Parliamentary Research Service (2016), url: [www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU\(2016\)581892_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU(2016)581892_EN.pdf).

Fountas et al. (2005), url: <http://departments.agri.huji.ac.il/economics/gelb-pedersen-5.pdf>.

Shamshiri et al. (2018) Book Chapter "Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming".

Fudenberg, D.; Tirole, J. (1991) Game Theory; The MIT Press: Cambridge, MA, USA, p. 12.

Hood et al. (2017) "Bird's eye view: Cooperative exploration by UGV and UAV." Proceedings ICUAS, 247-255, IEEE.

Jorgensen (2008) Utilities Policy 16(2), 72-79.

Karavas et al. (2015), Energy Conversion and Management 103, 166-179.

Karavas et al. (2017) "Integration of renewable energy technologies in the community of the agricultural university of Athens". 33th EU PVSEC, Netherlands.

Kyriakarakos et al. (2011) Applied Energy 88(12), 4517-4526.

Kyriakarakos et al. (2012) Applied Soft Computing 12(12), 3785-3797.

Kyriakarakos et al. (2012) Renewable Energy 41, 315-327.

Kyriakarakos et al. (2013) Applied Energy 103 39-51.

Kyriakarakos et al. (2017) Applied energy 187, 575-584.

Liebisch et al. (2016) Workshop Computer-Bildanalyse und Unbemannte autonom fliegende Systeme in der Landwirtschaft. Vol. 21.

Ma et al. (2012) Energy Policy 44, 160-173.

Moisiadis et al. (2018) "A ROS-enabled out-door robotic perception system" Proceedings CIGR, Turkey.

Nuske et al. (2014) "Modeling and calibrating visual yield estimates in vineyards". In Field and Service Robotics, 343–356, Springer.

Pedersen et al. (2006) Precision agriculture 7(4), 295-308.

Quigley et al. (2009) "ROS: an open-source Robot Operating System." ICRA workshop on open source software 3.

Richardson, (2013) Renewable and Sustainable Energy Reviews 19, 247-254.

robot-charging-unit-evar-video/.

Salah et al. (2017) Cooperative Robotic Systems in Agriculture. In Robotics and Mechatronics for Agriculture, 139-164, CRC Press.

Tagarakis et al. (2013) Precision Agriculture 14(1), 18-39.

Tagarakis et al. (2018). Precision Agriculture 19(2), 334–347.

Thomas (2009) International Journal of Hydrogen Energy 34(15), 6005-6020.

Vu et al. (2018) Trends in Development of UAV-UGV Cooperation Approaches in Precision Agriculture. Proceedings ICICR, 213-221, Springer.