



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία:

"ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΡΟΜΠΟΤ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ"

Φοιτήτρια: Χαδουλού Ιωάννα
(ΑΜ: ΗΝ07893)

Εποπτεύων Καθηγητής:
Τσιαμήτρος Δημήτριος

ΚΟΖΑΝΗ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία:

"ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΡΟΜΠΟΤ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ"

Φοιτήτρια: Χαδουλού Ιωάννα

(ΑΜ: HN07893)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εφαρμογή ηλιακών ρομπότ στη γεωργία δύναται να βοηθήσει τους αγρότες να μειώσουν σε σημαντικό βαθμό τα προβλήματα που ανακύπτουν αναφορικά με τις καλλιέργειές τους, μειώνοντας το κόστος και τον κόπο τους και αυξάνοντας παράλληλα την αποδοτικότητα της παραγωγής.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι ερευνητές που ασχολούνται με τους αυτοματισμούς έχουν προχωρήσει στην κατασκευή ευφυών ρομποτικών συστημάτων, ενώ παράλληλα κινούνται στην κατεύθυνση αξιοποίησης των ΑΠΕ, όπως π.χ. της ηλιακής ενέργειας.

Βάσει των ανωτέρω, στην παρούσα εργασία θα επιχειρηθεί να αναλυθούν διεξοδικά εφαρμογές που αφορούν ιδιαιτέρως στα ρομποτικά συστήματα που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια. Θα περιγραφούν ποικίλες μελέτες και εφαρμογές ηλιακών ρομπότ ερευνώντας και εντοπίζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει η παρουσίαση διαφόρων μοντέλων ηλιακών ρομποτικών συστημάτων και εν γένει συστημάτων αυτοματισμού που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια έχοντας εγκατεστημένους σύγχρονους μικροελεγκτές (microprocessors), ενώ εν συνεχεία θα περιγραφούν εφαρμογές με παράλληλη χρήση εξελιγμένων συσκευών, όπως π.χ. τα έξυπνα τηλέφωνα κλπ.

Εν συνεχεία, θα επιχειρηθεί η οικονομοτεχνική ανάλυση της αξιοποίησης των ηλιακών συστημάτων ρομποτικής στον τομέα της γεωργίας, προκειμένου να εξαχθούν σχετικά συμπεράσματα αναφορικά με τα οφέλη που προκύπτουν στην αγροτική παραγωγή.

Τέλος, θα εντοπιστούν τα ερευνητικά πεδία, τα οποία ενδεχομένως επιδέχονται περαιτέρω έρευνας, ώστε να υπάρξουν προτάσεις βελτιστοποίησης του επιστημονικού τομέα της ρομποτικής.

Λέξεις Κλειδιά: ηλιακά ρομπότ, αυτοματισμοί, ενέργεια, κόστος - όφελος



UNIVERSITY OF
WESTERN MACEDONIA

POLYTECHNIC SCHOOL

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERS &

OF COMPUTER ENGINEERING

Thesis:

**”APPLICATION OF SOLAR – POWERED ROBOTS AND OF AUTOMATION
SYSTEMS ESPECIALLY FOR AGRICULTURE”**

Writer: Ioanna Chadoulou

ABSTRACT

The implementation of solar robots in agriculture can help farmers to significantly reduce the problems that arise in relation to their crops, reducing their costs and effort and at the same time increasing the efficiency of production.

In this way, researchers involved in automation try to advance the production of intelligent robotic systems, while moving in the direction of RES utilization, such as. of solar energy.

Based on the above, in the present dissertation we will attempt to analyze applications that relate to robotic systems that utilize solar energy. Various studies and applications of solar robots will be described, researching and identifying their advantages and disadvantages. More specifically, various models of solar robotic systems and in general automation systems that utilize solar energy with the installation of modern microprocessors will be presented, while then applications with parallel use of advanced devices will be described, such as smart phones etc.

Then, will be attempted an economic-technical analysis of the utilization of solar robotics systems in the agricultural sector, in order to draw relevant conclusions regarding the benefits that arise in agricultural production.

Finally, will be identified the research fields, which may be subject to further research, in order to make proposals for the optimization of the scientific field of robotics.

Keywords: solar robots, automation, energy, cost - benefit

Υπεύθυνη δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η διπλωματική εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Όνοματεπώνυμο

Υπογραφή

Ημερομηνία

Ευχαριστίες

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : Η επιστήμη της ρομποτικής	11
1.1 Εισαγωγή στην ρομποτική επιστήμη για την καλλιέργεια.....	11
1.2 Ρομποτικά συστήματα και σύγχρονες τεχνολογίες καλλιέργειας.....	14
1.2.1 Εφαρμογές αυτόνομων εμπορικών ρομποτικών συστημάτων	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : Οι σύγχρονες τεχνολογίες στην υπηρεσία της γεωργίας σε συνδυασμό με την ρομποτική	31
2.1 Η τεχνολογία IOT.....	31
2.2 Δίκτυα αισθητήρων WSN	36
2.3 Τα κύρια χαρακτηριστικά των τεχνολογιών Cloud και Fog Computing	36
2.3 Γεωργικές εφαρμογές των τεχνολογιών IOT και 5G.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : Εφαρμογές ηλιακών αγροτικών ρομποτικών συστημάτων.....	44
3.1 Ηλιακό ρομπότ	44
3.2 Έξυπνα κινητά και ρομποτική καλλιέργεια	46
3.3 Ηλιακό ρομπότ γεωργίας με μικροελεγκτή τύπου ARM7.....	58
3.4 Η χρήση της ηλιακής ρομποτικής τεχνολογίας για την ανίχνευση θανατηφόρων και τοξικών χημικών ουσιών.....	63
3.5 Η εφαρμογή δικτύου αισθητήρων στη γεωργία.....	65
Κεφάλαιο 4 ^ο : Οικονομοτεχνική ανάλυση αξιοποίησης των ηλιακών ρομπότ στη γεωργία.....	68
4.1 Οικονομοτεχνική ανάλυση αυτοματοποιημένης ανίχνευσης και καταπολέμησης ζιζανίων	68
4.2 Ανάλυση κόστους - όφελους.....	71
4.3 Συμπεράσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης	73
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιδέα της εφαρμογής της ρομποτικής στην γεωργία δεν είναι και τόσο νέα. Αρκετοί μηχανικοί πειραματίστηκαν στο παρελθόν, ώστε να κατασκευάσουν αυτοκινούμενα τρακτέρ. Εντούτοις, οι προσπάθειές τους δεν έφεραν τα προσδοκώμενα αποτελέσματα, δεδομένου ότι δεν είχαν την δυνατότητα να ανταποκριθούν στις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας που ήταν πολλές.

Η πλειοψηφία των κατασκευών αυτών λειτουργούσαν εντός ενός βιομηχανικού σχεδιασμού περιβάλλοντος, όπου οι συνθήκες δεν ήταν μεταβαλλόμενες, ενώ τα οχήματα κινούνταν υπό συγκεκριμένες τροχιές.

Την τελευταία 20ετία, με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και ειδικότερα της πληροφορικής και της ηλεκτρονικής, έγινε έντονη προσπάθεια να δημιουργηθούν νέα πιο μικρά, εύχρηστα και εύελικτα οχήματα, όπου διαθέτοντας ευφυΐα να μπορούν να εργάζονται σε ένα είτε αμετάβλητο είτε ημιφυσικό περιβάλλον.

Αναφέροντας την έννοια της ευφυΐας, αναφερόμαστε στις μηχανές που δύνανται να εμφανίζουν λογική συμπεριφορά όταν θα πρέπει να λειτουργούν κάτω από αναγνωρίσιμες συνθήκες. Γι' αυτό το λόγο, επιβάλλεται να είναι εφοδιασμένα με την ανάλογη τεχνολογία, προκειμένου να προσδιορίζουν τις ενέργειες των γεωργών υπό συγκεκριμένες συνθήκες, αναλύοντας το σύνολο των ενεργειών με μηχανικό έλεγχο.

Η σύγχρονη προσέγγιση για την καλλιέργεια γίνεται βάσει των αναγκών από μικρά αυτόνομα ρομπότ. Πρόκειται για ένα νέο άλμα προς στη λεγόμενη Γεωργία Ακριβείας (Precision Farming - PF).

Για να επιτευχθούν τα ανωτέρω, συνδυάζονται η ρομποτική με νέες τεχνολογίες, όπως η IOT, η τεχνολογία Cloud και Fog καθώς επίσης και τα δίκτυα 5G.

Έτσι, η σύγχρονη γεωργία αξιοποιεί μικρά οχήματα, όσο το δυνατόν λιγότερο ενεργοβόρα, φιλικά προς το περιβάλλον με χρήση ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά συστήματα, υδρογόνο κλπ.) που λειτουργούν υπό μεταβλητές συνθήκες και παράλληλα παρέχουν ασφάλεια στους χρήστες – καλλιεργητές.

Το ζητούμενο που προκύπτει είναι αν η είσοδος της τεχνολογίας μπορεί τελικά να μειώσει το κόστος της καλλιέργειας και να παρέχει οφέλη τόσο στους αγρότες όσο και στο περιβάλλον.

Στη βάση αυτή, η παρούσα εργασία θα επιχειρήσει να παρουσιάσει την εφαρμογή των ηλιακών ρομπότ στη γεωργία και να διερευνήσει αν μπορεί να συμβάλει στον περιορισμό των προβλημάτων που υφίστανται σε σχέση με τις καλλιέργειές τους, μειώνοντας το κόστος και τον κόπο τους και αυξάνοντας παράλληλα την αποδοτικότητα της παραγωγής.

Θα εντοπίσει τα πιο σύγχρονα μοντέλα αγροτικών ρομπότ που αναπτύσσονται, εντοπίζοντας παράλληλα τα πλεονεκτήματα ή/και τα μειονεκτήματά τους. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει η παρουσίαση ρομποτικών συστημάτων και εν γένει συστημάτων αυτοματισμού, τα οποία αξιοποιούν μεταξύ άλλων την ηλιακή ενέργεια και μέσω μικροελεγκτών και σε συνδυασμό με έξυπνες συσκευές, γίνεται ο εξ αποστάσεως έλεγχος της διαδικασίας της καλλιέργειας.

Εντούτοις, επειδή είναι σαφές ότι εισάγεται κόστος στην εν λόγω επένδυση, θα επιχειρηθεί η οικονομοτεχνική ανάλυση της αξιοποίησης των ηλιακών συστημάτων ρομποτικής στον τομέα της γεωργίας, ώστε να καταλήξει αν αξίζει η εν λόγω επένδυση στους γεωργικούς αυτοματισμούς και ποια είναι η διάρκεια απόσβεσης.

Η εργασία θα καταλήξει με χρήσιμα συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω βελτίωση επί τεχνικών κι επιστημονικών ζητημάτων που ενδεχομένως ανακύπτουν κατά την αυτοματοποιημένη καλλιέργεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Η επιστήμη της ρομποτικής

1.1 Εισαγωγή στην ρομποτική επιστήμη για την καλλιέργεια

Η ρομποτική στη γεωργία αποτελεί μια καινοτομία, η οποία ξεκινά ως ιδέα αρκετές δεκαετίες πριν. Αρχικά, κατασκευάστηκαν οι λεγόμενοι αυτοκινούμενοι γεωργικοί ελκυστήρες. Ωστόσο, η ιδέα αυτή δεν γνώρισε μεγάλη επιτυχία, δεδομένου ότι δεν μπορούσαν να καλύψουν πλήρως τις ανάγκες των αγροτών, αφού κινούνται υπό συγκεκριμένες τροχιές, γεγονός που καθιστούσε ανέφικτη την ευρεία εφαρμογή τους στις καλλιέργειες.

Την τελευταία δεκαετία, με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, οι μηχανικοί κατάφεραν να δημιουργήσουν πιο μικρά και ευφυή οχήματα με νοημοσύνη, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν εντός ενός μεταβλητού ή ημιφυσικού περιβάλλοντος (unstructured or semi-structured environment), το οποίο χαρακτηρίζει τη γεωργία (Moshou, 2019).

Με τον όρο ευφυείς μηχανές, αναφερόμαστε στις μηχανές που εμφανίζουν λογική συμπεριφορά και νοημοσύνη, λειτουργώντας υπό συγκεκριμένες και αναγνωρίσιμες συνθήκες. Η νοημοσύνη των μηχανών αποτελεί ένα γενικό όρο, ο οποίος χρησιμοποιείται, προκειμένου να περιγράψει την ακρίβεια της μηχανικής μάθησης (Machine Learning - ML), της βαθιάς μάθησης (Deep learning - DL) ή το αποτέλεσμα ενός κλασικού αλγορίθμου (Ιστοσελίδα techopedia, 2021).

Με άλλα λόγια, πρόκειται για μηχανές εφοδιασμένες με την κατάλληλη τεχνολογία και τεχνογνωσία τεχνητής νοημοσύνης, προκειμένου να είναι σε θέση να μπορούν να εκτιμούν και να προσδιορίζουν τις ενέργειες των ανθρώπων σε δεδομένες συνθήκες, αναλύοντας παράλληλα τις εν λόγω ενέργειες με έλεγχο μηχανικό (Lucci & Korac, 2020).

Είναι σαφές, λοιπόν, ότι σύμφωνα με το εντυπωσιακό τεχνολογικό άλμα της τελευταίας 20ετίας, δύναται να προσεγγιστεί, πλέον, η καλλιέργεια με ένα εντελώς διαφορετικό τρόπο και βάσει των αναγκών σε κάθε χωράφι με την αξιοποίηση μικρών αυτόνομων ρομπότ ακριβείας, με άμεσο αποτέλεσμα την μείωση του κόστους εργασίας.

Φθάσαμε, λοιπόν, σήμερα στο σημείο ορόσημο και επέκτασης της καλλιέργειας, εισάγοντας την έννοια της γεωργίας με ακρίβεια και επιλεκτικότητα. Συγκεκριμένα, διεξάγεται η διαχείριση μεμονωμένων φυτών με την εφαρμογή της φυτοτεχνολογίας

(phytotechnology) με τρόπο εξαιρετικά ακριβή. Πρόκειται για μια ιδέα που προήλθε από την Ιαπωνία και σχετίζεται μεταξύ άλλων και με την καλλιέργεια και φροντίδα φυτών μεγάλης αξίας (Trihadiningrum et. al., n.d.).

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν είναι σημαντικά και είναι τα εξής (Salt et al., 1998; Garbisu & Alkorta, 2001; Russel, 2005):

- Ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό η απορροή και η διάβρωση του εδάφους.
- Εφαρμόζεται είτε αυτόνομα είτε σε συνδυασμό και με άλλες σύγχρονες μεθόδους αποκατάστασης
- Επιτυγχάνεται ο έλεγχος της έκλυσης σκόνης,
- Μειώνεται σημαντικά ο θόρυβος
- Ελαχιστοποιούνται οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την υγεία των καλλιεργητών

Δεν είναι άλλωστε τυχαίο ότι εδώ και πάνω από είκοσι (20) έτη, οι Ιάπωνες μηχανικοί έχουν διεξάγει πληθώρα μελετών στον τομέα των αυτοκινούμενων οχημάτων, παρουσιάζοντας μια σειρά εξελιγμένων ρομποτικών γεωργικών συστημάτων (Toji, 2000).

Επίσης, μεταξύ ποικίλων ερευνητικών ανασκοπήσεων περί αυτοκινούμενων ή ημι-αυτοκινούμενων οχημάτων (Freyberger & Jahns, 2000), οι οποίες έχουν διεξαχθεί στο παρελθόν,

προκύπτει ότι έχουν γίνει αντιληπτά από πολύ νωρίς τα οφέλη που προκύπτουν για τη γεωργία από τις τεχνολογικές εξελίξεις.

Οι εν λόγω σύγχρονες μορφές διαχείρισης της καλλιέργειας και της παραγωγής μέσω των αυτοκινούμενων ρομποτικών οχημάτων συμβάλλουν στην βέλτιστη προσέγγιση των φυτών και σημειώνοντας εξαιρετική ακρίβεια (Pedersen et. al., 2006).

Επιπροσθέτως, χάρη σε εξελιγμένους τεχνολογικά αισθητήρες που διαθέτουν τα έξυπνα ρομποτικά οχήματα, τα καθιστούν ικανά να επιτελούν σε πολλές καλλιέργειες σύνθετες και επαναλαμβανόμενες εργασίες, εκτελώντας αυτόματη ανίχνευση και αυτόματο έλεγχο (on-the-go), χωρίς να επηρεάζονται, συνήθως, από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν (Adamchuk et al., 2004).

Στη βάση αυτή, έχει δοθεί έμφαση στην βέλτιστη ενσωμάτωση της σύγχρονης τεχνολογίας αυτοματισμών, ώστε να εδραιωθεί η χρήση ρομποτικών συστημάτων

καλλιέργειας και να εξελιχθεί σε μια όσο το δυνατόν πιο φθηνή, φιλική, αξιόπιστη και ελκυστική λύση για τους νέους καλλιεργητές.

Οι βασικές τεχνικές προδιαγραφές των οχημάτων αφορούν το μικρό μέγεθος και όσο το δυνατόν ελάχιστο βάρος (λιγότερο ενεργοβόρα) και την αυτονομία αντιμετώπισης μη προβλέψιμων καταστάσεων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, γίνεται επικοινωνία μέσω ηλ. υπολογιστή που ελέγχει τα ποικίλα μέρη των οχημάτων (π.χ. τους ρομποτικούς βραχίονες) και μεριμνά για την ασφάλη, αδιάλειπτη και ταυτόχρονη λειτουργία τους. Να σημειωθεί ότι η υλοποίηση του λογισμικού, καθώς επίσης και ο τεχνικομηχανικός εξοπλισμός των συστημάτων εφαρμόζονται και χρησιμοποιούνται ήδη σε εμπορικό επίπεδο. Εντούτοις, παρατηρήθηκε ότι απαιτείτο η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των συστημάτων τεχνικής νοημοσύνης, ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα στις γεωργικές ανάγκες (Blackmore, 2007).

Αυτό σημαίνει ότι με την πάροδο του χρόνου έγινε αντιληπτό ότι ήταν αναγκαία η κατασκευή αυτοκινούμενων ευφυών οχημάτων, που θα αντιδρούν και θα ανταποκρίνονται σε μεμονωμένα ερεθίσματα του περιβάλλοντος χώρου, προσεγγίζοντας ολιστικά τις γεωργικές ανάγκες της καλλιέργειας με όσο το δυνατόν καλύτερο τρόπο. Να σημειωθεί ότι, παράλληλα, έπρεπε να διασφαλιστεί το χαμηλό κόστος κατασκευής τους.

Με άλλα λόγια, γνωρίζοντας τις ανάγκες της καλλιέργειας για κάθε είδος, προγραμματίζονται τα ρομπότ, ώστε να αντιμετωπίζουν θετικά τα όποια ζητήματα ανακύπτουν, μειώνοντας ταυτόχρονα και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ώστε να επιτυγχάνεται και η βιώσιμη και πράσινη ανάπτυξη που είναι κρίσιμο ζητούμενο για την προστασία του περιβάλλοντος και κατ' επέκταση του πλανήτη. Έτσι επιτυγχάνεται η μείωση χρήσης λιπασμάτων, χημικών και καυσίμων, αλλά και των αποβλήτων. Συνεπώς μειώνεται σημαντικά η ενεργειακή κατανάλωση, αλλά και η περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Βάσει των ανωτέρω, με την αξιοποίηση ευφυών ρομποτικών συστημάτων μπορούν να εκτελεστούν χωρίς προβλήματα και με πολλαπλά οφέλη βασικές εργασίες, όπως η σπορά, η φροντίδα των φυτών (αποπαρασίτωση, καθαρισμός από ξερά χόρτα κλπ.) και η συγκομιδή.

Εστιάζοντας περαιτέρω στην τεχνολογία της ρομποτικής, καθίσταται, σαφές ότι ο εν λόγω κλάδος βασίζεται κατά κύριο λόγο στις θετικές επιστήμες (πληροφορικής,

ηλεκτρονικής, ηλεκτρολογίας και μηχανολογίας).

Τα ρομπότ είναι αυτόματες μηχανές με προγραμματισμένη συμπεριφορά, η χρήση των οποίων αποσκοπεί στην αντικατάσταση του ανθρώπου στην εκτέλεση έργου, τόσο σε φυσικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο λήψης αποφάσεων (Farbod, 2009).

Η ρομποτική επιστήμη έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο με τα ρομποτικά συστήματα να εξελίσσονται τεχνολογικά και να έχουν καταφέρει να εισβάλλουν στη ζωή. Τα ρομπότ παρέχουν πολλαπλές λύσεις δρώντας υποστηρικτικά σε όλο το φάσμα των υπόλοιπων υλικοτεχνικών επιτευγμάτων του ανθρώπου (Ιστοσελίδα <http://edurobotics.weebly.com>, χ.η.).

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την κατασκευή ενός τυπικού ρομπότ ακολουθούνται ορισμένες αρχές και κανόνες. Συγκεκριμένα, τα ρομπότ δεν επιτρέπεται να δρουν ενεργητικά με κίνδυνο να βλάψουν τον ανθρώπινο. Έχουν προορισμό να υπηρετούν και να υπακούουν στον άνθρωπο, εκτός αν η εντολή αφορά στη βλάβη άλλου ατόμου. Τέλος, τα ρομπότ προστατεύουν την ύπαρξή τους, με δεδομένο ότι ισχύουν οι ανωτέρω προϋποθέσεις (Λυράτζη, 2012).

Συνήθως ο προγραμματισμός τους γίνεται αρχικά από την κατασκευάστρια εταιρία, επιδιώκοντας να καλυφθεί ένα φάσμα επαναλαμβανόμενων εργασιών. Πλέον, όπως υπονοήθηκε προηγουμένως εμπλέκονται σε ιδιαίτερα πολύπλοκες εργασίες, μεταξύ των οποίων και την αλληλεπίδρασή τους με τον άνθρωπο. Αυτό σημαίνει ότι τα ρομπότ πλέον μπορούν να καλύψουν πολλαπλούς ρόλους μέσα στην κοινωνία, από τον αυτοματισμό των βιομηχανιών, την ιατρική, τις εφαρμογές υπηρεσιών, την ψυχαγωγία και προφανώς την γεωργία, όπου θα εστιάσει η εργασία.

1.2 Ρομποτικά συστήματα και σύγχρονες τεχνολογίες καλλιέργειας

Τα ρομπότ προγραμματίζονται κατάλληλα για την επιτέλεση εργασιών δύσκολων, επίπονων ή και επικίνδυνων για τον άνθρωπο. Ενδεικτικά, ένα ρομποτικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή και συναρμολόγηση των αυτοκινήτων, όπου τα ρομπότ υποκαθιστούν τον άνθρωπο εντός της γραμμής συναρμολόγησης.

Κατ' αυτόν τον τρόπο και οι καλλιεργητές μπορούν να προγραμματίζουν π.χ. το τρακτέρ τους, προκειμένου να εκτελεί ορισμένες επίπονες γεωργικές εργασίες, οι οποίες απαιτούν κόπο και πρόσθετο κόστος που απαιτεί ανθρώπινο κεφάλαιο.

Επιπλέον, με τα συστήματα αυτοματισμού, μπορεί πλέον ένας γεωργός να παρακολουθεί τις εργασίες που εκτελούνται και τους χώρους, μέσω τοποθετημένων καμερών από το κινητό, το σταθερό ή φορητό υπολογιστή τους ή το τάμπλετ. Με άλλα λόγια, βρίσκεται στα σπάργανα η εξ αποστάσεως γεωργία, όπου οι καλλιεργητές θα μπορούν να ελέγχουν την πλειοψηφία των εργασιών από το γραφείο τους.

Συγκεκριμένα τα ρομποτικά τρακτέρ περιλαμβάνουν μια σειρά ευφυών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (IC). Χάρη στον προγραμματισμό τους έχουν ικανότητες ανίχνευσης του χώρου και αντίληψη. Είναι εξοπλισμένα με ειδικούς αισθητήρες (sensors), ραντάρ (radar) ή ακόμα και κάμερες, ώστε να διευκολύνονται τα τρακτέρ να αποφεύγουν τα ενδεχόμενα εμπόδια ή πρόσκρουσή τους.

Στην περίπτωση που αντιμετωπίσουν εμπόδιο, αυτομάτως σταματούν και ενημερώνεται επί τόπου ο χειρίστης τους. Ακόμη, κάνοντας χρήση ενσωματωμένων καμερών, δύναται ο κάθε καλλιεργητής να είναι σε θέση να γνωρίζει τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να ανταποκριθεί σε οποιοδήποτε πρόβλημα ανακύπτει. Ενδεικτικά, οι αγρότες που χειρίζονται τα τρακτέρ με ρομποτικά συστήματα μπορούν επιλέξουν ή και να αγνοήσουν ένα εμπόδιο, δίνοντας εντολή να προχωρήσει ή να αλλάξει κατεύθυνση. Επιπροσθέτως, ένα αυτοματοποιημένο σύστημα καλλιέργειας έχει εργαλεία καλλιέργειας, τα οποία μπορούν να ψεκάσουν, να βάλουν λίπασμα, να αναλάβουν τη σπορά, να ποτίσουν και να σκάσουν με εξαιρετική ακρίβεια. Ακόμη μπορούν να αφαιρέσουν τα ζιζάνια. Για παράδειγμα με τις μηχανές "see & spray" εντοπίζονται οι καλλιέργειες που έχουν προσβληθεί από ζιζάνια και ψεκάζονται (Ιστοσελίδα precisionagriculture.re, χ.η.).

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι πλέον λαμβάνει χώρα η αναγνώριση και καταγραφή των ζιζανίων στις καλλιέργειες. Συγκεκριμένα καταγράφεται η αύξηση της φυλλικής επιφάνειας που βρίσκεται εκτός των σειρών σποράς ή υπολογίζεται το σχήμα των ζιζανίων βάσει συγκεκριμένων προτύπων αναγνώρισης. Επίσης δύναται να γίνει η αναγνώριση σύμφωνα με το χρώμα. Με αυτόν τον τρόπο, επιλέγεται η ενδεικνυόμενη αντιμετώπιση του προβλήματος σε όποιες εκτάσεις απαντάται αυτό, αφήνοντας ανεπηρέαστη την υπόλοιπη περιοχή που δεν είναι επηρεασμένη από την ύπαρξη ζιζανίων. Στο σημείο αυτό είναι καταλυτική η παρουσία των ρομποτικών συστημάτων, τα οποία με ακρίβεια προβαίνουν σε ακριβείς μικροψεκασμούς αξιοποιώντας την τεχνολογία laser (Griepentrog et al., 2006).

Αναφορικά με το όργωμα των εκτάσεων, προετοιμάζεται το έδαφος της γης, ώστε να είναι καλλιεργήσιμο. Παράλληλα το έδαφος που έχει τοποθετηθεί ο σπόρος υπόκειται σε κατεργασία και εξασφαλίζεται η ύπαρξη υγρασίας και θρεπτικών στοιχείων μέσω του αυτόματου ποτίσματος. Στο πλαίσιο αυτό, μπορεί να εφαρμοστεί και χαρτογράφηση σποράς. Αυτό επιτυγχάνεται με ειδικούς αισθητήρες με υπέρυθρες ακτίνες, οι οποίοι εγκαθίστανται στην μηχανή σποράς. Συγκεκριμένα, οι υπέρυθρες ακτίνες προσπίπτουν στο έδαφος και καταγράφεται η ακριβής θέση της σποράς, έχοντας πλέον ο γεωργός ακριβείς συντεταγμένες, ώστε να προβαίνει ανά πάσα στιγμή σε στοχευμένες και άρα αποτελεσματικές ενέργειες κατά την περίοδο της καλλιέργειας (Ιστοσελίδα [pharmablog](#), 2017).

Επίσης, οι καλλιεργητές έχουν τη δυνατότητα να αποκτούν τον πλήρη έλεγχο της διαχείρισης της καλλιέργειας, δεδομένου ότι είναι σε θέση να συλλέγουν τις απαραίτητες πληροφορίες αναφορικά με την πορεία της καλλιέργειας. Γι' αυτό το λόγο αξιοποιούνται κατάλληλοι αισθητήρες (π.χ. πολυφασματικοί) ή κάμερες φθορισμού.

Επιπλέον, ανάμεσα στις εφαρμογές που αναπτύσσονται, μπορεί να χρησιμοποιηθούν και *drones* αγροκτημάτων, μέσω των οποίων θα μπορούν να παρακολουθούν και να ελέγχονται οι καλλιέργειες. Με αυτόν τον τρόπο, π.χ. οι γεωπόνοι δεν θα απαιτείται να έχουν πρόσβαση στα χωράφια, ώστε να κάνουν επιτόπια αυτοψία, ειδικά όταν οι καλλιέργειες έχουν πριν ραντιστεί.

Επιπλέον, τα ρομποτικά συστήματα μπορούν να συμβάλλουν στην προώθηση της επιλεκτικής συγκομιδής. Η επιλεκτική συγκομιδή συνδέεται με τη συλλογή μέρους μιας καλλιέργειας, η οποία πληροί συγκεκριμένα όρια ποιότητας που έχουν τεθεί. Η ευφυής, αυτοματοποιημένη και επιλεκτική συγκομιδή, μπορεί να προσφέρει σημαντική βελτίωση στην παραγωγή (Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης – Ινστιτούτο Τεχνολογιών Πληροφορικής & Επικοινωνιών, 2020).

Συγκεκριμένα, με κατάλληλους αισθητήρες θα γίνεται αντιληπτή η ποιότητα της καλλιέργειας (π.χ. στις ελιές ή σε αμπέλια, σε συγκομιδή λαχανικών σε θερμοκήπια κλπ.) και θα γίνεται επιλογή της έκτασης που η καλλιέργεια θα είναι πιο ώριμη για τη συγκομιδή, αφήνοντας την υπόλοιπη έως ότου ωριμάσει.

Έτσι, λοιπόν, οι εφαρμογές γεωργίας ακριβείας (*precision agriculture*) μαζί με τα ρομπότ, προβάλλουν ως εξέχουσες λύσεις για την αύξηση τα παραγωγικότητας, της ποιότητας και της βιωσιμότητας των καλλιεργειών. Παράλληλα δυναμικά βελτιώνουν

τις συνθήκες εργασίας των καλλιεργητών (Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης – Ινστιτούτο Τεχνολογιών Πληροφορικής & Επικοινωνιών, 2020).

Με τη γεωργία ακριβείας διαμορφώνονται ζώνες διαχείρισης στις καλλιέργειες, όπου πρακτικά υπολογίζεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. Οι ζώνες διαχείρισης, αποτελούν τα επί μέρους τμήματα του χωραφιού, τα οποία έχουν κοινά χαρακτηριστικά. Επομένως και η διαχείριση εκεί είναι ομοιόμορφη (Kitchen et al., 2005).

Τα χαρακτηριστικά των ζωνών διαχείρισης είναι τα ακόλουθα:

- Σταθερότητα στο χρόνο.
- Εύκολη οριοθέτηση.
- Συσχέτιση με την παραγωγή.
- Μικρό κόστος.

Ακόμη, έχουν κατασκευαστεί τα λεγόμενα ρομποτικά σμήνη καλλιέργειας που φέρουν το πλεονέκτημα ότι είναι ιδιαίτερα μικρού βάρους με αποτέλεσμα να μην πετρώνει το έδαφος κατά το πέρασμά τους, όπως με τα τυπικά τρακτέρ. Αυτό συνεπάγεται με την αύξηση απόδοσης στην καλλιέργεια (Dorigo et al., 2020).

Μια άλλη πρακτική που εφαρμόζεται πλέον ευρέως είναι το ρομποτικό άρμεγμα των προβάτων και των αγελάδων.

Επίσης οι ευαίσθητες καλλιέργειες, όπως π.χ. οι φράουλες ή οι φρέσκες ντομάτες είναι μερικά από τα φυτά που βασίζονται πραγματικά στις ανάγκες της χειροποίητης εργασίας. Ωστόσο, οι ερευνητές εργάζονται προς την κατεύθυνση της κατασκευής έξυπνων ρομποτικών μηχανημάτων που θα αναλαμβάνουν την αυτοματοποιημένη συγκομιδή αυτών των καλλιεργειών (Ιστοσελίδα: <https://precisionagriculture.re>, χ.η.).

Ήδη τα ρομπότ και τα αυτόνομα γεωργικά οχήματα έχουν σφραγίσει με την παρουσία τους πολλές πτυχές της γεωργίας. Το ζητούμενο είναι αν θα αποτελέσει η επένδυση αυτή σ' αυτήν την περίοδο μια μακροπρόθεσμη αποτελεσματική επιχειρηματική κίνηση των αγροτών (Ιστοσελίδα: <https://precisionagriculture.re>, χ.η.).

1.2.1 Εφαρμογές αυτόνομων εμπορικών ρομποτικών συστημάτων

Σύμφωνα με άρθρο του ο Richard van Hoijdonk, αποτελεί, πλέον, σύγχρονη τάση των αγροτών να στρέφονται προς τη χρήση των αυτόνομων αγροτικών ρομπότ. Άλλωστε η έλλειψη εργατών και η ταυτόχρονη πίεση για αυξημένη παραγωγή χωρίς την ύπαρξη φυτοπροστατευτικών προϊόντων τους αναγκάζει να αντικαταστήσουν τους εργάτες με μηχανές (Ιστοσελίδα m.naftemporiki, 2018).

Στη βάση αυτής της ανάγκης, η εταιρία John Lewis Partnership υλοποιεί ένα δοκιμαστικό πρόγραμμα σε συνεργασία με την εταιρία Small Robot, όπου δοκιμάζονται σύγχρονα αγροτικά ρομπότ σε ένα αγρόκτημα της εταιρείας στο Leckford του Hampshire. Εφαρμόζεται η χρήση τριών (3) μικρών ρομπότ, του Tom, του Dick και του Harry, όπου δοκιμάζεται η τεχνολογία τους σε ένα χωράφι μεγέθους ενός εκταρίου που είναι σπαρμένο με σιτάρι (Ιστοσελίδα m.naftemporiki, 2018).

Το ρομπότ Tom είναι εξοπλισμένο με κάμερες και ο ρόλος του είναι η χαρτογράφηση της περιοχής. Ζυγίζει μόλις 10 κιλά και έχει την ικανότητα να κινείται αυτόνομα, προκειμένου να μπορεί να αποκτήσει εικόνα ακριβείας για κάθε φυτό χωραφιού χωριστά (Ιστοσελίδα m.naftemporiki, 2018).

Από τα δεδομένα, η Small Robot Company αναπτύσσει το machine learning, ώστε να δύναται να ανταποκριθεί σε ένα πλήθος γεωργικών σεναρίων, όπως π.χ. η διαφοροποίηση που υπάρχει στο έδαφος, η ύπαρξη διαφορετικών παρασίτων κλπ. Επιπλέον, προκύπτουν χρήσιμες πληροφορίες αναφορικά με τη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών, όπως είναι η χρήση της ρομποτικής και της τεχνητής νοημοσύνης (Ιστοσελίδα m.naftemporiki, 2018).



Εικόνα 1.1: Αυτόνομοι ρομποτικοί «αγρότες»

(Πηγή: <https://m.naftemporiki.gr/story/1425769/autonomoi-rompotikoi-agrotes>)

Σύμφωνα με τα εξαγόμενα δεδομένα, επειδή γενικά υπολογίζεται ότι αυξάνονται τα κόστη της καλλιέργειας κατά 8% κάθε χρόνο, η εφαρμογή των τριών (3) ρομπότ δύναται να συμβάλει στην αντιστάθμιση της αύξηση του κόστους, ενώ παράλληλα να συμβάλει στην βελτίωση της απόδοσης, με ταυτόχρονη μείωση της χρήσης χημικών, γεγονός που αποτελεί απαίτηση των καταναλωτών. Ακόμη, βοηθά στην αξιοποίηση των λεγόμενων big data σε πρακτικές καλλιέργειας (Ιστοσελίδα m.naftemporiki, 2018).

Το ρομπότ Tom συλλέγει δεδομένα, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για την ανάπτυξη ενός συστήματος τεχνητής νοημοσύνης, με την ονομασία Wilma. Έτσι σύμφωνα με το εν λόγω project υπάρχει η προοπτική της καθοδήγησης τριών (3) ρομπότ, τα οποία θα εκτελούν τις αγροτικές εργασίες με αυτόνομο τρόπο (Ιστοσελίδα m.naftemporiki, 2018).

Η εν λόγω δοκιμή, αναμένεται να χρησιμοποιηθεί και για την κατασκευή πρωτοτύπων εκδόσεων του Dick, το οποίο δρομολογείται να αναλάβει το ξεχορτάρισμα με μεγάλη ακρίβεια. Ακόμη, το τρίτο ρομπότ, ο Harry, θα έχει την ευθύνη της ψηφιακής φύτευσης με μέγιστη ακρίβεια, κάνοντας παράλληλα χαρτογράφηση της φύτευσης κάθε σπόρου. Το ρομπότ Dick μπορεί να χρησιμοποιεί machine vision, ώστε να μπορεί να εκτελεί τον εντοπισμό των ζιζανίων στις καλλιέργειες, ενώ θα μπορεί να αντιμετωπίζει τα ζιζάνια με χρήση laser (Ιστοσελίδα m.naftemporiki, 2018).

Τέλος, αναμένεται σύμφωνα με την εταιρεία, ότι εκτός της αυξημένης ακρίβειας και της αύξησης της παραγωγικότητας, η αξιοποίηση των τριών (3) μικρών ρομπότ θα παρέχει και περιβαλλοντικά οφέλη. Τα ρομπότ είναι πιο ελαφριά σε σχέση με τα τρακτέρ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η ζημιά στο έδαφος από τις συμβατικές αγροτικές μεθόδους. Αντίθετα, τα μικρά ρομπότ, είναι σε θέση να φροντίζουν κάθε φυτό με τρόπο μεμονωμένο, εξασφαλίζοντας την παροχή του βέλτιστου επιπέδου θρεπτικών ουσιών και φροντίδας, χωρίς να προκύπτουν απόβλητα (Ιστοσελίδα m.naftemporiki, 2018).

Στην Εικόνα 1.2, απεικονίζεται ένα ηλιακό ρομπότ σε χωράφι που περιέχει ζαχαρότευτλα. Το ρομπότ μοιάζει με τραπέζι που διαθέτει τροχούς. Σκοπός τους είναι σαρώνει όλες τις σειρές των καλλιεργειών με την εγκατεστημένη κάμερά του, ώστε να ανιχνεύει και να αναγνωρίζει τα ζιζάνια (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.2: Τα ρομπότ καταπολεμούν τα ζιζάνια

(Πηγή: <https://www.pinterest.ie/pin/66639269472127726/>)

- Ρομπότ και drones

Όπως προαναφέρθηκε, το αγροτικό ενδιαφέρον έχει στραφεί στη χρήση νέων τεχνολογιών, δημιουργώντας μια νέα τεχνολογική αγορά με αγροτικά ρομπότ και drones. Εκτιμάται ότι θα προσεγγίσει τα 23,06 δισ. δολάρια έως το 2028 (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Στην Εικόνα 1.3, παρουσιάζεται ένα τρακτέρ χωρίς οδηγό, που αποτελεί ουσιαστικά γεωργικό ρομπότ και συνεργάζεται με ένα drone (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.3: Τρακτέρ χωρίς οδηγό, ρομπότ γεωργίας και drone

(Πηγή: <https://precisionagriculture.re/future-of-farming-driverless-tractors-agriculture-robots-and-drones/>, ABCTV Catalyst)

Είναι γεγονός ότι η εν λόγω τεχνολογία είναι ακόμα σε αρχικά στάδια, Εντούτοις, υφίστανται αρκετά παραδείγματα, σύμφωνα με τα οποία καταδεικνύεται η δυναμική που φέρουν τα αγροτικά ρομπότ για την ριζική αλλαγή του τρόπου καλλιέργειας και παραγωγής των τροφίμων (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

- Το ρομπότ Rubion για τη συγκομιδή φράουλας

Στην Εικόνα 1.4, φαίνεται το ρομπότ Rubion. Θεωρείται το πιο κατάλληλο ρομπότ συγκομιδής φράουλας, ακόμη και από τους εργάτες (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.4: Rubion: Καλύτερο από τους εργάτες στη συγκομιδή φράουλας

(Πηγή: <https://www.agro24.gr/agrotika/kainotomia/tehnologia/dekarompot-poy-kanoun-paihni-ti-doyleia-sto-horafi>)

Αναλυτικά, κατόπιν ερευνών σε διάρκεια μιας 5ετίας, η Ελβετική εταιρεία ρομποτικής Octinion, υλοποίησε ένα 100% αυτόνομο ρομπότ με εξειδίκευση τη συγκομιδή φράουλας. Το ρομπότ έχει όνομα Rubion (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Η λειτουργία του σχετίζεται με την περιήγηση στα θερμοκήπια, ανιχνεύοντας και συλλέγοντας τις ώριμες φράουλες. Κατά τη συλλογή εξασφαλίζεται η ποιότητα της

φράουλας, ώστε να μην έχει κακώσεις, ενώ εν συνεχεία ζυγίζονται και τοποθετούνται σε τελάρο. Ακόμη, το ρομπότ μπορεί να κάνει πρόβλεψη της συγκομιδής, κάνοντας ανάλυση της καλλιέργειας και παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο βοήθεια στους παραγωγούς, ώστε να προγραμματίσουν με τρόπο αποτελεσματικό τις δραστηριότητές τους. Ενδεχομένως, το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του Rubion είναι ότι μαζεύονται οι φράουλες ακριβώς τη στιγμή που είναι ώριμες, χωρίς να προσδοκά ο καλλιεργητής τη διαθεσιμότητα των εργατών του (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Τέλος, να σημειωθεί ότι βρίσκεται σε εξέλιξη κι άλλο project από την εταιρεία, το οποίο έχει χρηματοδότηση από το Interreg. Με το πρόγραμμα CIMAT (Catalyst for Innovative Mechatronic in Agricultural Technology) σχεδιάζεται και είναι σε φάση υλοποίησης το ρομπότ με την ονομασία Titanion που προορίζονται για υπαίθριες καλλιέργειες (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

- Το ρομπότ SmartCore

Ένα ζήτημα που αντιμετωπίζουν οι αγρότες είναι ότι οφείλουν να αναλύουν τα δείγματα από το έδαφος, ώστε να μπορούν να προσδιορίσουν τις θρεπτικές ουσίες που απαιτούνται για δεδομένα σημεία καλλιέργειας στο χωράφι (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Όσο βελτιώνεται η χρήση της παροχής της κατάλληλης ποσότητας θρεπτικών συστατικών, τόσο αυξάνεται η απόδοση και παράλληλα μειώνεται το κόστος. Ακόμη, αποτρέπεται η ρύπανση τόσο των επιφανειακών όσο και υπόγειων υδάτων (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Εντούτοις, οι αγρότες είθισται να λαμβάνουν δείγματα από το έδαφος με το χέρι, γεγονός που σημαίνει ότι ακόμη δεν εφαρμόζουν την τεχνολογικά εξελιγμένη αποτελεσματική μέθοδο. Έχοντας ως συνέπεια να υφίσταται ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό σφαλμάτων δειγματοληψίας (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.5: SmartCore: ασύγκριτο στις εδαφικές αναλύσεις

(Πηγή: <https://www.agro24.gr/agrotika/kainotomia/tehnologia/deka-rompot-poy-kanovn-paihni-di-ti-doyleia-sto-horafi>)

Αναφορικά με το εν λόγω ζήτημα, οι απόφοιτοι του Πανεπιστημίου Purdue των ΗΠΑ, Troy Fiechter και Drew Schumacher, κατόπιν διεξαγωγής έρευνας και μελετών, προσδιόρισαν και πρότειναν τη βέλτιστη λύση για την ανάλυση του εδάφους (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Συγκεκριμένα, ανέπτυξαν το αυτόνομο ρομπότ SmartCore. Το ρομπότ μπορεί να προχωρά στα χωράφια και να λαμβάνει δείγματα από συγκεκριμένες τοποθεσίες. Η καθοδήγηση του μηχανήματος γίνεται με ειδικούς αλγορίθμους ανίχνευσης εμποδίων σε συνδυασμό με GPS, προκειμένου να γίνεται η λήψη δειγμάτων από το ίδιο σημείο. Έτσι οι γεωργοί παρακολουθούν την εξέλιξη του εδάφους. Μετά τη λήψη του δείγματος, το ρομπότ SmartCore το οδηγεί στην άκρη του χωραφιού, ώστε να αποσταλεί σε εργαστήριο και να αναλυθεί (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

- Τα ρομπότ Fendt για τη σπορά καρπών

Η Fendt είναι γερμανική εταιρεία αγροτικών μηχανημάτων. Σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο του Ουλμ και τη συγχρηματοδότηση της ΕΕ, έχουν αναπτύξει εδώ και μια τριετία σε πειραματικό επίπεδο, ένα μηχανήμα για σπορά. Το όνομά του είναι Fendt Xaver (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Η τεχνολογία που εφαρμόζεται βοηθά τους αγρότες να χρησιμοποιήσουν ένα σμήνος από μια σειρά μικρών ρομπότ που μπορούν να εκτελέσουν συγκεκριμένες εργασίες (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.6: Το ρομπότ της Fendt σπέρνουν καρπούς

(Πηγή: <https://www.agro24.gr/agrotika/kainotomia/tehnologia/deka-rompot-poy-kanoun-paihni-ti-doyleia-sto-horafi>)

Το εν λόγω ρομποτικό σύστημα περιλαμβάνει πολλά μέρη. Η μονάδα logistics είναι ενσωματωμένη εντός ενός τρέιλερ υψηλής τεχνολογίας. Ο ρόλος της συνδέεται κυρίως με τη φόρτιση της μπαταρίας του ρομπότ, την τροφοδοσία των σπόρων και την πλοήγηση μικρών, ρομπότ με κίνηση 4x4 μέσω Cloud. Οι γεωργοί με τη χρήση π.χ. ενός tablet προγραμματίζουν τις εργασίες τους, παρακολουθώντας τα στοιχεία που συλλέγουν για τους σπόρους (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Τέλος, αναφορικά με την τεχνολογία Cloud, καθώς επίσης και άλλες σύγχρονες τεχνολογίες που μπορούν να συνδυαστούν ή να λειτουργήσουν μεμονωμένα για την εφαρμογή τους στις καλλιέργειες, θα γίνει εκτενής αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο.

- Tertill: εξαφανίζει τα ζιζάνια από οικιακά μποστάνια και κήπους

Είναι αρκετοί όσοι καλλιεργούν τα λαχανικά ή τα λουλούδια τους στους κήπους των σπιτιών τους ή σε μικρά χωράφια. Ωστόσο, παραμένουν τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν σε μικρή κλίμακα (π.χ. ζιζάνια, θρεπτικά στοιχεία και υγρασία του εδάφους κλπ.). Στον αγώνα εξάλειψης των ζιζανίων, τα οποία απορροφούν τόσο το

νερό όσο και τα θρεπτικά συστατικά, η start up επιχείρηση Franklin Robotics προτείνει τη χρήση ενός ρομπότ που έχει βάρος μόλις 1,1 κιλά. Το ρομπότ είναι ανεξάρτητο ονομάζεται Tertill και είναι κατάλληλο για κήπους (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Πρόκειται για μια τετρακίνητη συσκευή που έχει εγκατεστημένους αισθητήρες για τον εντοπισμό των στόχων της. Με ένα ειδικά προσαρμοσμένο νάιλον κορδόνι στην κάτω πλευρά του ρομπότ μπορεί να εξαλείφει τα ζιζάνια (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Για τη φόρτιση της μπαταρίας του χρησιμοποιείται ηλιακό panel. Εναλλακτικά, η φόρτιση μπορεί να γίνει μέσω καλωδίου USB (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Οι κάτοχοι του ρομπότ Tertill έχουν την υποχρέωση της περίφραξης του κήπου ή του χωραφιού τους. Ο τοίχος πρέπει να έχει ύψος πάνω από πέντε (5) εκατοστά, ώστε το ρομπότ να μη δραπετεύει και να κινείται σε συγκεκριμένη περιοχή (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Το Tertill εμφανίζεται ανθεκτικό στις έντονες καιρικές συνθήκες. Ωστόσο, συνήθως σταματάει σε πέτρες, λάσπες ή σε ανώμαλο έδαφος (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Η εταιρία Franklin Robotics, παράλληλα έχει αναπτύξει μια εφαρμογή για smartphone. Σύμφωνα με τη χρήση της εφαρμογής, οι χρήστες μπορούν να παρακολουθούν τη δραστηριότητα του ρομπότ, αλλά και τις συνθήκες που επικρατούν (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Στην Εικόνα 1.7 φαίνεται το ρομπότ Tertill. Είναι συμπαγές κυκλικό ρομπότ που αφαιρεί τα ζιζάνια από το χώμα και τις καλλιέργειες ή τα λουλούδια. Αυτό που το κάνει να ξεχωρίζει είναι το γεγονός ότι αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια για να φορτίζεται. Θεωρείται από πολλούς ειδικούς ως το μέλλον της γεωργίας (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.7: Tertill Robot

(Πηγή: <http://agtecher.com/product/tertill-robot/>)

- Ζιζανιοκτόνα από το ρομπότ Dino

Η γαλλική εταιρεία ρομποτικής Naïo Technologies κατασκεύασε το αυτόνομο ρομπότ με το όνομα Dino. Εκτελεί την ίδια εργασία με το Tertill, αλλά προορίζεται για μεγάλα ανοιχτά χωράφια (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Το ρομπότ Dino μπορεί να εκτελέσει εργασίες εκσκαφής και ξεχορταριάσματος ζιζανίων. Εμποδίζει τα ζιζάνια να απορροφήσουν νερό ή θρεπτικά συστατικά που είναι αναγκαία για τα φυτά (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Το ρομπότ κινείται με τέσσερις τροχούς και ζυγίζει περίπου 800 κιλά. Είναι εξοπλισμένο με ειδικό σύστημα όρασης υπολογιστή, ώστε να ανιχνεύει τις σειρές των καλλιεργειών με υψηλή ακρίβεια (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Η εταιρία Naïo θεωρεί ότι το ρομπότ Dino εμφανίζει μεγάλη αποτελεσματικότητα σε ό,τι αφορά στο ξεχορτάρισμα (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.8: Το ρομπότ Dino για τη ζιζανιοκτονία μεγάλων χωραφιών

(Πηγή: <https://www.agro24.gr/agrotika/kainotomia/tehnologia/deka-rompot-poy-kanovn-paihni-di-ti-doyleia-sto-horafi>)

Επιπροσθέτως, λειτουργεί χωρίς να απαιτείται επίβλεψη και ακολουθεί μια συγκεκριμένη διαδρομή με τη βοήθεια συστήματος καθοδήγησης GPS.

Χάρη στη λειτουργία του, οι αγρότες εξοικονομούν χρόνο και χρήμα, δεδομένου ότι αντιμετωπίζουν αρκετές περίπλοκες γεωργικές εργασίες. Το Dino είναι φιλικό προς το περιβάλλον επειδή κατορθώνει να μειώσει τη χρήση χημικών ζιζανιοκτόνων. Ακόμη,

χάρη στην ισχυρή του μπαταρία, έχει διάρκεια λειτουργίας μέχρι και οκτώ (8) ώρες, γεγονός που το καθιστά χρήσιμο σε μεγάλες εκτάσεις (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Τέλος, η γαλλική εταιρεία βρίσκεται σε φάση μελέτης και προώθησης στη διεθνή αγορά των ρομπότ καλλιέργειας, των ρομπότ Oz και Ted (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

- SwagBot: Βάζει ακόμη το κοπάδι σε τάξη

Η start up εταιρία Agerris συγκέντρωσε 4,6 εκατ. δολάρια, έχοντας ως project την περαιτέρω ανάπτυξη των ικανοτήτων ενός ρομπότ με όνομα SwagBot. Ο κύριος στόχος της είναι να υιοθετηθεί ένα ειδικό λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης, χωρίς να εφαρμοστεί ένα απομακρυσμένο σύστημα ελέγχου (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.9: SwagBot: Έλεγχος κοπαδιού βοοειδών

(Πηγή: <https://modernfarmer.com/2016/07/swagbot/>)

Η Agerris βρίσκεται σε φάση υλοποίησης ενός άλλου ρομπότ με την ονομασία Digital Farmhand. Ο σκοπός του ρομπότ είναι να αυτοματοποιήσει ποικίλες εργασίες, όπως είναι η εκτίμηση της απόδοσης με τη βοήθεια ενός λογισμικού, οι ψεκασμοί των καλλιεργειών και η αφαίρεση ζιζανίων (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Παράλληλα, σύμφωνα με τον καθηγητή του Πανεπιστημίου του Σίδνεϊ της Αυστραλίας, Salah Sukkarieh, η ομάδα του σχεδιάζει να ενισχύσει το SwagBot, τοποθετώντας αισθητήρες, οι οποίοι θα επιτρέπουν στο ρομπότ να παρακολουθεί την

κατάσταση των βοοειδών στο ένα χωράφι σε τακτική βάση. Πρόκειται για μια σημαντική αναβάθμιση, σύμφωνα με την οποία ο κτηνοτρόφος θα είναι σε θέση να προσδιορίσει εάν π.χ. μια αγελάδα είναι άρρωστη ή τραυματισμένη σύμφωνα με τη θερμοκρασία του σώματός της ή βάσει του τρόπου που βαδίζει.

Επιπλέον, το SwagBot θα έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί την κατάσταση των βοσκοτόπων στα οποία περιπλανάται το κοπάδι, προσδιορίζοντας ποια χωράφια προσφέρουν το πιο άφθονο γρασίδι, ώστε να καταναλωθεί από τα πρόβατα ή τις αγελάδες. Συγκεκριμένα, θα αναπτυχθούν οι απαραίτητοι αλγόριθμοι που θα είναι σε θέση να ενεργοποιούν τις δυνατότητες παρακολούθησης του κοπαδιού.

Οι αγρότες θα ελέγχουν μέσω υπολογιστή ή tablet το SwagBot, έχοντας τη δυνατότητα να τροποποιήσουν τις οδηγίες σε αυτό. Αμέσως μόλις δοθούν σχετικές οδηγίες, ο στόχος είναι να μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ακόμα και χωρίς χειροκίνητο έλεγχο.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι είναι πιθανό να περάσουν αρκετά χρόνια έως ότου το SwagBot να φτάσει στο επίπεδο να δύναται να περιπολεί στα χωράφια αντικαθιστώντας πλήρως τους κτηνοτρόφους ή τα αξιαγάπητα τσοπανόσκυλα (Hayward, 2016).

- Mamut: Περιπλανιέται στα χωράφια και εντοπίζει ασθένειες

Η εταιρεία Cambridge Consultants, η οποία είναι θυγατρική του γαλλικού κολοσσού Altran, έχει αναπτύξει ένα αυτόνομο ρομπότ τεχνητής νοημοσύνης. Το ρομπότ ονομάζεται Mamut. Ο ρόλος του είναι να χαρτογραφεί, να πλοηγείται σε φυσικό περιβάλλον με χρήση στερεοφωνικής κάμερας, ενώ διαθέτει αισθητήρα και πυξίδα. Ακόμη, περιλαμβάνει έξι (6) κάμερες των 360°. Η μία εξ αυτών είναι πολυφασματική. Το εν λόγω ρομπότ μπορεί να κινείται εντός των χωραφιών, προκειμένου να συλλέξει οπτικά δεδομένα και να δημιουργήσει χάρτες. Με αυτόν τον τρόπο, οι καλλιεργητές εντοπίζουν τις ασθένειες, μπορούν να προχωρήσουν σε εκτίμηση της απόδοσης των καλλιεργειών τους, αποφασίζοντας τον κατάλληλο χρόνο της συγκομιδής.

Αντίθετα από τη λειτουργία των drone, το Mamut μπορεί να κινείται κάτω από τον θόλο της βλάστησης. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνει να συλλέξει ακόμη πιο λεπτομερή δεδομένα (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.10: Mamut: Περιπλανιέται στα χωράφια και εντοπίζει ασθένειες

(Πηγή: <https://www.agro24.gr/agrotika/kainotomia/tehnologia/deka-rompot-poy-kanoy-n-paih-nidi-ti-doyleia-sto-horafi>)

- FarmWise: Η έξυπνη κίνηση που ξεφορτώνεται ζιζάνια

Η εταιρία start up FarmWise έχει έδρα το Σαν Φρανσίσκο. Κατασκευάζει αυτόνομα ρομπότ με τεχνητή νοημοσύνη. Σκοπός τους είναι η αφαίρεση ζιζανίων. Βασίζονται σε ειδικούς αλγόριθμους βαθιάς μάθησης (DL), ώστε να εντοπίζουν τον στόχο τους, αποφεύγοντας τη βλάβη των φυτών (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

Επιπροσθέτως, λειτουργούν σε διάφορα περιβάλλοντα. Είναι κατασκευασμένα έτσι, ώστε να προσαρμόζονται στην μεγάλη πλειοψηφία των χωραφιών με μαρούλια, καρότα, μπρόκολο κοκ. Σύμφωνα με τον Dennis Donohue, διευθυντή του Κέντρου Καινοτομίας και Τεχνολογίας των Western Growers, πρόκειται για την καλύτερη εφεύρεση του πρώτου μισού του 20ου αιώνα (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.11: «Παιχνιδάκι» για το Dino η ζιζανιοκτονία μεγάλων χωραφιών

(Πηγή: <https://www.agro24.gr/agrotika/kainotomia/tehnologia/deka-rompot-poy-kanoy-n-paih-nidi-ti-doyleia-sto-horafi>)

- Thorvald: Έρχεται για να αντικαταστήσει τους εργάτες γης

Στο Πανεπιστήμιο Lincoln της Αγγλίας σε συνεργασία με το Νορβηγικό πανεπιστήμιο Επιστημών Ζωής, υλοποιείται ένα φιλόδοξο πρόγραμμα ρομποτικής. Το εν λόγω project υλοποιείται παράλληλα με τη συνδρομή της startup εταιρείας, Saga Robotics.

Ο βασικός στόχος είναι ένα αυτόνομο ρομπότ με την ονομασία Thorvald να μπορεί να εκτελεί ένα εύρος γεωργικών εργασιών καταφέροντας να αντικαταστήσει πλήρως την φυσική παρουσία των καλλιεργητών (Ιστοσελίδα agro24, 2020).



Εικόνα 1.12: Thorvald: Έρχεται για να αντικαταστήσει τους εργάτες γης

(Πηγή: <https://www.agro24.gr/agrotika/kainotomia/tehnologia/deka-rompot-poy-kanovn-paihni-di-ti-doyleia-sto-horaf-i>)

Το ρομπότ υποτίθεται ελίσσεται με ευκολία σε εδάφη ανώμαλα και πλοηγείται σε χωράφια χωρίς να ακουμπά τα φυτά. Έτσι επιτυγχάνει να μην βλάπτονται. Επίσης, μπορεί να μεταφέρει και φορτία, με αποτέλεσμα να εξοικονομούνται για τους καλλιεργητές αρκετές ώρες σκληρής εργασίας (Ιστοσελίδα agro24, 2020).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Οι σύγχρονες τεχνολογίες στην υπηρεσία της γεωργίας σε συνδυασμό με την ρομποτική

2.1 Η τεχνολογία IOT

Η τεχνολογία IOT (Internet of Things) έχει ήδη εισβάλει στη ζωή των ανθρώπων σημειώνοντας ένα νέο τεχνολογικό άλμα και φέροντας όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά, ώστε να μπορεί να αλλάξει την καθημερινότητα εντός ενός νέου έξυπνου πλαισίου και σύγχρονου περιβάλλοντος (Ahmed et al., 2018).

Η τεχνολογία IOT μπορεί να επιτύχει τη διαχείριση ενός τεράστιου όγκου δεδομένων. Υλοποιεί με εξαιρετικά αποδοτικό τρόπο τη διαλειτουργικότητα ανάμεσα σε διαφορετικές και ετερογενείς συσκευές που ανιχνεύουν πληροφορίες (π.χ. στις καλλιέργειες, στις οικίες κλπ.) και το internet.

Οι συσκευές που ανιχνεύουν τις πληροφορίες είναι ως επί το πλείστον αναγνώστες RFID (Radio Frequency Identification readers), (Glover & Bhatt, 2006).

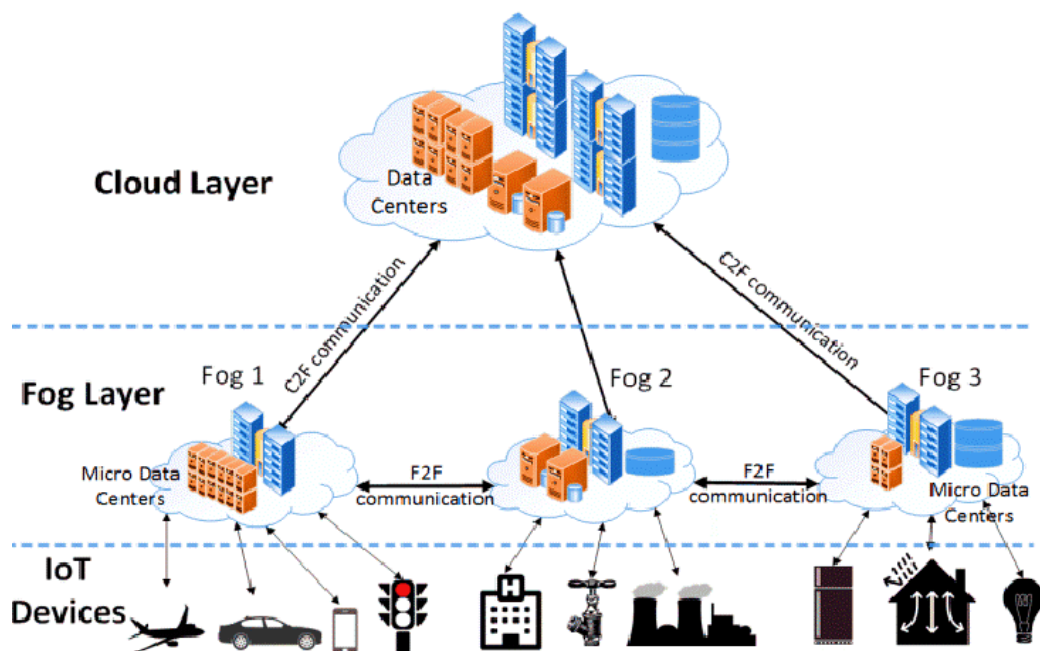
καθώς επίσης και αισθητήρες υπερύθρων (IR sensors) και GPS (Global Positioning System) και σαρωτές λέιζερ (laser scanner) (Finkenzeller, 2000), που χρησιμοποιούνται πλέον κατά κόρον στην γεωργία.

Οι συσκευές συνδέονται μέσω του internet και ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ασκεί απομακρυσμένο έλεγχο.

Η τεχνολογία IOT αρχικώς εφαρμόστηκε στα έξυπνα σπίτια και στις βιομηχανίες. Εν συνεχεία χρησιμοποιήθηκε για την προστασία του περιβάλλοντος και την πρόληψη πυρκαγιών κλπ. Επίσης, δεδομένου ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε ευφυή δίκτυα μεταφορών, είναι αυτονόητη και η εύκολη προσαρμογή του στις καλλιέργειες.

Η τεχνολογία IOT βασίζεται στην Αρχιτεκτονική SOA (Service Oriented Architecture). Η εν λόγω αρχιτεκτονική έχει σκοπό την προώθηση λογισμικών για την παροχή υπηρεσιών στο internet. Το μεγάλο της πλεονέκτημα είναι η επαναχρησιμοποίηση των υπηρεσιών που δύνανται να είναι ετερογενών τεχνολογιών και σε συνεχώς μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα.

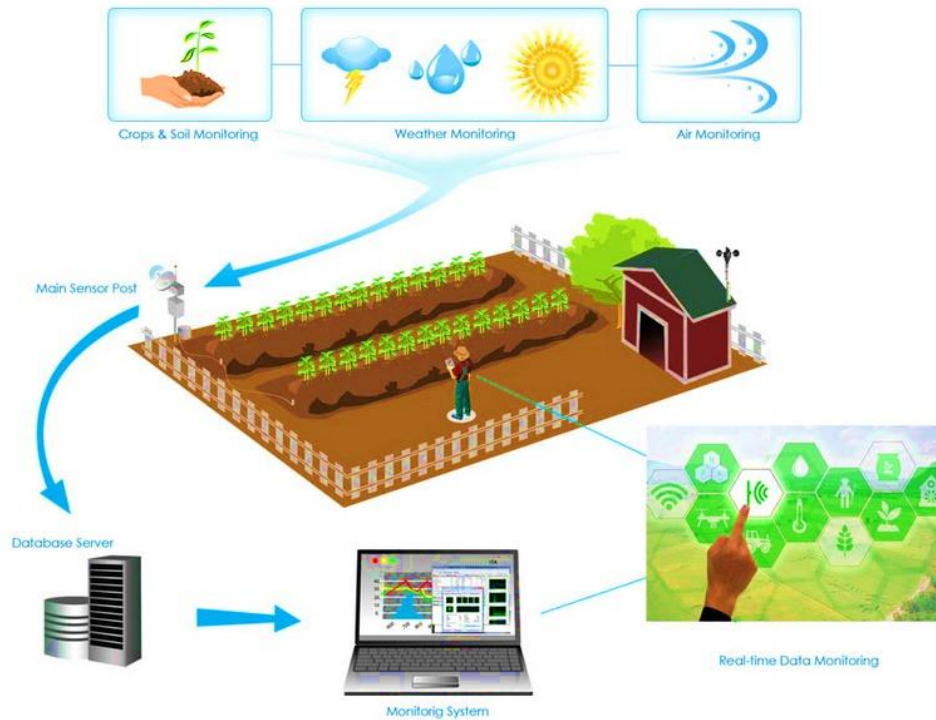
Η Αρχιτεκτονική SOA εκπροσωπεί το μέλλον. Πλέον δεν απαιτείται απαραίτητα κάποια τοπική εγκατάσταση ή ανάπτυξη λογισμικού και πόρων σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Όλα μαζί εγκαθίστανται σε Cloud. Με άλλα λόγια, διατίθενται υπολογιστικοί πόροι δια μέσω του internet (με τεράστιους servers) από κεντρικά απομακρυσμένα συστήματα από τους χρήστες που εξυπηρετούν εύκολα αυτοματοποιημένες διαδικασίες εμφανίζοντας ιδιαίτερη ευελιξία κατά τη σύνδεσή τους.



Εικόνα 2.1: Η διαστρωμάτωση και διαλειτουργικότητα μεταξύ IOT, Fog και Cloud

(Πηγή: Masri et al., 2017)

Τα αντικείμενα της τεχνολογίας IOT μπορεί να είναι wearable συσκευές, μηχανές με εγκατεστημένους αισθητήρες που συλλέγουν δεδομένα, ώστε ο χρήστης να είναι σε θέση να καθορίσει τις αποφάσεις του μέσω του internet. Έτσι για παράδειγμα στέλνοντας μια ρομποτική συσκευή δεδομένα στο γεωργό, μπορεί να λαμβάνει σχετικές αποφάσεις (π.χ. για πότισμα κλπ.) μέσω του ρολογιού του. Επομένως στην τεχνολογία IOT γίνεται έλεγχος και διαχείριση όλων των σχετικών εργασιών που αφορούν στο χρήστη.



Εικόνα 2.2: Διάγραμμα Αρχιτεκτονικής ΙΟΤ στις καλλιέργειες

(Πηγή: Ιστοσελίδα agrotechnomarket.com, 2018)

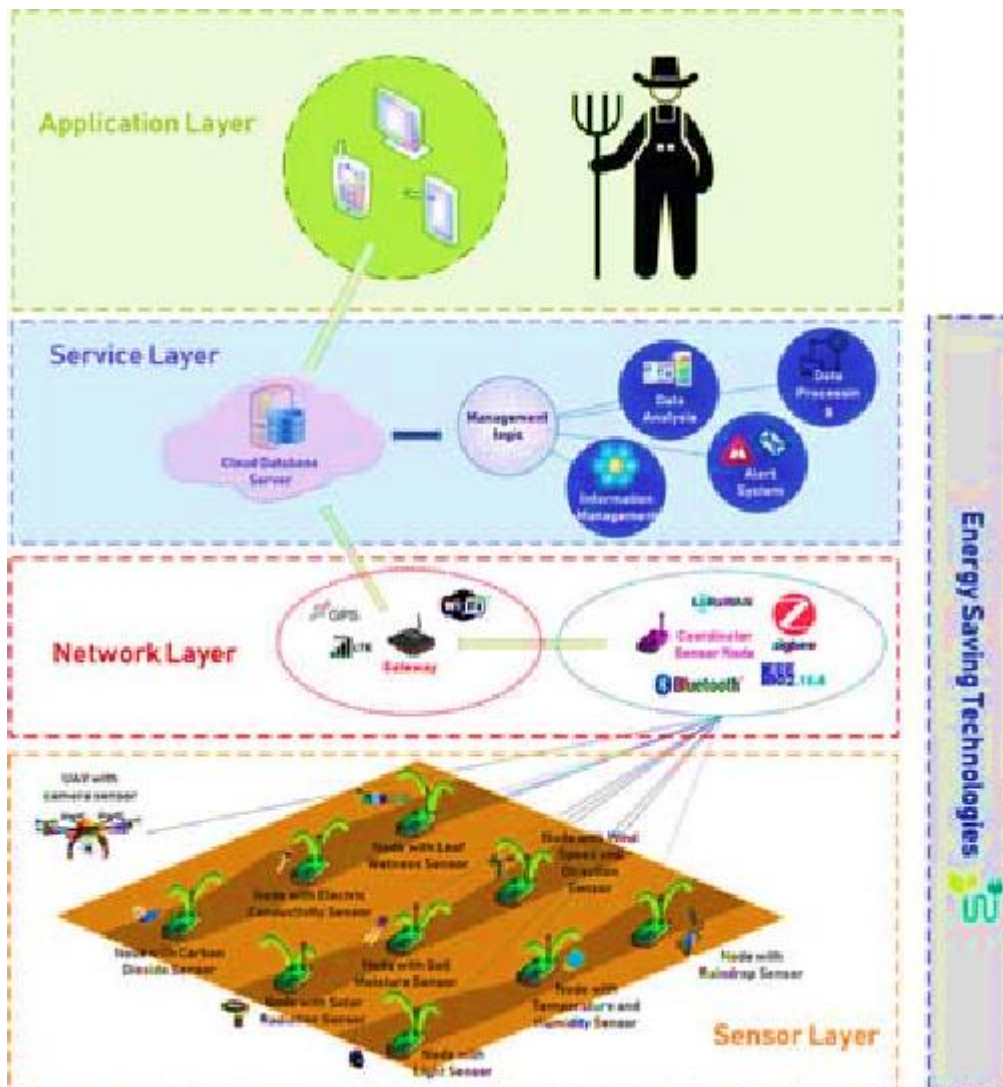
Έτσι, σύμφωνα με τα ανωτέρω έχει δημιουργηθεί η έξυπνη καλλιέργεια (Smart Farming) που δίνει έμφαση στη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις που ανακύπτουν στον τομέα της γεωργίας (Triantafyllou et al., 2019).

Τεχνολογίες όπως η ΙΟΤ και η Cloud Computing, μπορούν να επιτύχουν τον ψηφιακό μετασχηματισμό των συμβατικών γεωργικών πρακτικών, υποσχόμενες αυξημένο ρυθμό παραγωγής και μέγιστη ποιότητα στα προϊόντα (Triantafyllou et al., 2019).

Επιπλέον, ερευνώνται και προτείνονται συμβατές αρχιτεκτονικές και τεχνολογίες, οι οποίες ενσωματώνουν τέσσερα (4) επίπεδα ενός μοντέλου αρχιτεκτονικής (επίπεδο αισθητήρα, επίπεδο δικτύου, επίπεδο υπηρεσίας και επίπεδο εφαρμογής) (Triantafyllou et al., 2019).

Τέλος, στην έξυπνη γεωργία, καθώς επίσης και στην κτηνοτροφία, η τεχνολογία IOT βοηθά στην παρακολούθηση των συνθηκών της υγρασίας στο έδαφος και της θερμοκρασίας, ενώ παρέχει πληροφορίες για το μικροκλίμα. Στην κτηνοτροφία μπορεί να βοηθήσει τους κτηνοτρόφους στον εντοπισμό και την καταμέτρηση των εκτρεφόμενων ζώων.

Συνεπώς, είναι φανερό ότι η έξυπνη καλλιέργεια με την παράλληλη εξέλιξη των σύγχρονων τεχνολογιών που αναφέρθηκαν φαίνεται ότι θα έχει ένα λαμπρό μέλλον, συμβάλλοντας στην αύξηση της παραγωγικότητας και ταυτόχρονα με σεβασμό στο περιβάλλον.



Εικόνα 2.3: Αρχιτεκτονικό μοντέλο έξυπνης γεωργίας

(Πηγή: Triantafyllou et al., 2019)

Τα πιο βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας IOT αναφέρονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά τεχνολογίας IOT

A/A	Ονομασία	Περιγραφή
1	Επικοινωνία	Οι συσκευές δικτυώνονται με τους πόρους του διαδικτύου. Χρησιμοποιούν τα δεδομένα και τις υπηρεσίες. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής: UMTS, Wi-Fi και Bluetooth.
2	Διευθυνσιοδότηση	Γίνεται η εξ αποστάσεως IPv6 διευθυνσιοδότηση των συσκευών μέσω της ανεύρεσης ή σύμφωνα με το όνομα της παρεχόμενης υπηρεσίας.
3	Ταυτοποίηση	Γίνεται η μονοσήμαντη αναγνώριση και ταυτοποίηση των συσκευών με τις τεχνολογίες RFID, NFC και OBC.
4	Ανίχνευση	Οι αισθητήρες βοηθούν στην ανίχνευση των συσκευών. Συλλέγουν τις απαραίτητες πληροφορίες και κατόπιν τις διαβιβάζουν.
5	Ενεργοποίηση	Τα ηλεκτρικά σήματα μετατρέπονται από τους ενεργοποιητές για τον έλεγχο των διεργασιών που γίνονται μέσω internet.
6	Επεξεργασία και αποθήκευση των πληροφοριών	Οι αισθητήρες συλλέγουν τα δεδομένα που επεξεργάζονται. Τα δεδομένα αποθηκεύονται από έξυπνες συσκευές.
7	Εντοπισμός	Οι έξυπνες συσκευές εντοπίζονται με την εφαρμογή των τεχνολογιών GPS ή GSM ή UMTS.
8	Διεπαφή	Διεξάγεται η επικοινωνία ανάμεσα στους χρήστες και τις έξυπνες συσκευές.

(Πηγή: ίδια κατασκευή)

Η IOT είναι μια τεχνολογία αξιόπιστη και λειτουργική, ενώ μειώνει σημαντικά τόσο το κόστος όσο και την κατανάλωση ενέργειας.

Ωστόσο, δεδομένου ότι αξιοποιεί το διαδίκτυο υφίστανται και ζητήματα ασφαλείας.

2.2 Δίκτυα αισθητήρων WSN

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) συνίστανται σε ένα πλήθος αισθητήρων, οι οποίοι συλλέγουν και μεταδίδουν τα δεδομένα προς μια κεντρική συσκευή. Κατόπιν, η κεντρική συσκευή αποστέλλει τα δεδομένα σε μια αποθήκη δεδομένων προς επεξεργασία (Benabdessalem et al., 2014).

Οι κεντρικές συσκευές έχουν κατά κανόνα μεγάλη υπολογιστική ισχύ σε σχέση με τους αισθητήρες, επειδή διαχειρίζονται μεγάλο όγκο εισερχόμενων πληροφοριών και συχνά τις στέλνουν σε ένα νέο τερματικό σύστημα (back-end) (Borgia, 2014).

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι υφίστανται περιορισμοί αναφορικά με την αποθήκευση των δεδομένων, την επεξεργαστική ισχύ, αλλά και τα κανάλια επικοινωνίας, ενώ οι αισθητήρες έχουν συγκεκριμένη εμβέλεια, η οποία είναι μικρή. Σε περίπτωση αδυναμίας μετάδοσης των πληροφοριών από κάποιους αισθητήρες των δικτύων, τις αναμεταδίδουν μέσω εναλλακτικών αισθητήρων και μονοπατιών κάνοντας ειδικών αλγορίθμων (Borgohain et al., 2015).

2.3 Τα κύρια χαρακτηριστικά των τεχνολογιών Cloud και Fog Computing

Η τεχνολογία Cloud συμβάλει στην ευέλικτη διαδικτυακή πρόσβαση εντός ενός κοινόχρηστου και παραμετροποιήσιμου πλήθους υπολογιστικών πόρων. Με άλλα λόγια, παρέχει τις απαραίτητες υπολογιστικές υπηρεσίες μέσω internet. Οι πόροι είναι τα δίκτυα, οι εξυπηρετητές (servers), οι εφαρμογές και οι υπηρεσίες.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της τεχνολογίας Cloud είναι το ιδιαίτερα χαμηλό κόστος διαχείρισης (Ιστοσελίδα salesforce.com, 2015).

Τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας Cloud είναι τα εξής (Ιστοσελίδα salesforce.com, 2015):

- Υπολογιστικό μοντέλο κατ' απαίτηση: Ο κάθε χρήστης μπορεί να επιλέγει την τροποποίηση των διαθέσιμων πόρων ανάλογα με τις ανάγκες του χωρίς να απαιτείται η παρέμβαση του παρόχου.
- Δικτυακή πρόσβαση: Οι υπηρεσίες είναι του διαδικτύου και όλες οι διεργασίες λαμβάνουν χώρα στο διαδίκτυο.

- Συγκέντρωση πόρων: Γίνεται η συγκέντρωση των πόρων, προκειμένου να μπορούν να εξυπηρετούνται πολλαπλοί χρήστες με το εύρος ζώνης της σύνδεσης του δικτύου να μεταβάλλεται με δυναμικό τρόπο.
- Ευελιξία και φιλικότητα: Γίνεται η αυτόματη δέσμευση και αποδέσμευση τόσο των πόρων όσο και των παρεχόμενων υπηρεσιών σε συνάρτηση με τη ζήτηση.
- Παροχή υπηρεσίας βελτιστοποίησης του συστήματος: Διεξάγεται ο διαρκής έλεγχος και η διαδικασία βελτιστοποίησης όλων των συστημάτων ελέγχου.
- Λογισμικό / πλατφόρμα / υπηρεσία ως υπηρεσία (Software / Platform / Infrastructure as a Service): Το διαθέτουν οι πάροχοι, που εκτελούν το χειρισμό της υποδομής, με τους χρήστες να παίζουν ρόλο στην ανάπτυξη.

Βάσει των χαρακτηριστικών της τεχνολογίας Cloud, προκύπτει ότι πρόκειται για μια τεχνολογία με ιδιαίτερη ευελιξία και αξιοπιστία. Παρέχεται η δυνατότητα ανάκτησης των δεδομένων και των αυτόματων ενημερώσεων του λογισμικού. Το πιο σημαντικό του πλεονέκτημα είναι το σχετικά μικρό κόστος υλοποίησης και η δυνατότητα για εργασία και πρόσβαση από οποιοδήποτε μέρος της γης.

Το μοντέλα ανάπτυξης είναι τα εξής (Ιστοσελίδα [salesforce.com](https://www.salesforce.com), 2015):

- Ιδιωτικό (Private): Παρέχεται από έναν φορέα ή οργανισμό σε πολλούς χρήστες. Η ασφάλεια και ο έλεγχος είναι προτεραιότητες.
- Δημόσιο (Public): Παρέχεται και διαχειρίζεται κυρίως από επιχειρήσεις. Επίσης μπορεί να διαχειρίζονται από ακαδημαϊκούς ή κυβερνητικούς φορείς. Οι χρήστες μπορεί να μοιράζονται μεταξύ τους τους πόρους. Εντούτοις, στην περίπτωση αυτή υπάρχει περιορισμός σε κάποιες επιλογές, καθώς επίσης εμφανίζεται μειωμένη ασφάλεια και διαθεσιμότητα. Τέλος, σε σχέση με το Ιδιωτικό, το Δημόσιο είναι πιο μεγάλο.
- Κοινότητας (Community): Αξιοποιείται από μια κλειστή κοινότητα χρηστών με κοινά ενδιαφέροντα. Η διαχείριση γίνεται από έναν ή περισσότερους οργανισμούς ή μέρη της κοινότητας. Η υποδομή εγκαθίσταται εντός ή εκτός των εγκαταστάσεών τους.
- Υβριδικό (Hybrid): αποτελεί συνδυασμό διαφορετικών υποδομών.

Η τεχνολογία Fog συνίσταται σε ένα σύνολο πόρων με διαδικτυακή συνδεσιμότητα. Είναι μια υπολογιστική υποδομή που βρίσκεται αποκεντρωμένη. Η κατανομή των δεδομένων, των υπολογισμών, του αποθηκευτικού χώρου και των εφαρμογών γίνεται

ανάμεσα στην πηγή των δεδομένων και σε ένα Cloud. Υποστηρίζει εφαρμογές που εμφανίζουν καθυστέρηση. Ακόμη, παρέχει παντού υπολογιστικούς και αποθηκευτικούς πόρους μέσω δικτυακής συνδεσιμότητας, ενώ οι κόμβοι είναι φυσικοί ή εικονικοί και τοποθετούνται μεταξύ του Cloud και των έξυπνων τερματικών συσκευών (Chandrima, 2022).

Τα βασικά χαρακτηριστικά του Fog computing είναι τα εξής (Iorga, 2017; Sarhan, 2020):

- Μεγάλος αριθμός κόμβων.
- Υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων
- Δυνατότητα κινητικότητας (mobility)
- Αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των εφαρμογών
- Ενσύρματη ή ασύρματη πρόσβαση
- Λειτουργία σε ετερογενή περιβάλλοντα με δυνατότητα διαλειτουργικότητας των συσκευών.
- Διαθέτει κατανεμημένη ανάπτυξη.
- Στατιστική ανάλυση σε συνδυασμό με τη χρήση του Cloud.

Στον Πίνακα 2.2 γίνεται συνοπτικά η σύγκριση μεταξύ των χαρακτηριστικών του Cloud Computing και του Fog Computing.

Πίνακας 2.2: Σύγκριση Cloud και Fog

Χαρακτηριστικό	Cloud	Fog
Καθυστέρηση	Υψηλή	Χαμηλή
Θέση των τερματικών κόμβων	Στο διαδίκτυο	Στο άκρο του τοπικού δικτύου
Απόσταση ανάμεσα σε client και server	Πολλαπλά βήματα (hops)	Ένα βήμα (hop)
Ασφάλεια	Αδιευκρίνιστη	Μπορεί να καθοριστεί
Επίθεση στα δεδομένα κατά τη διαδρομή	Υψηλή πιθανότητα	Μικρή πιθανότητα
Επίγνωση τοποθεσίας	Όχι	Ναι

Γεωγραφική κατανομή	Κεντριοποιημένη	Κατανεμημένη
Πλήθος των τερματικών κόμβων	Μικρό	Πολύ μεγάλο
Υποστήριξη κινητικότητας	Περιορισμένη	Υποστηρίζεται

(Πηγή: Vaquero et. al., 2017; Ιστοσελίδα sam-solutions.com, χ.η.)

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τεχνολογία IOT διαθέτει μικρό χώρο αποθήκευσης. Επίσης, ενώ διαθέτει κατανεμημένες συσκευές σε μεγάλο εύρος, δεν έχουν ιδιαίτερες επεξεργαστικές δυνατότητες. Επιπλέον, υφίστανται συχνά ζητήματα απόδοσης και αξιοπιστίας, αλλά και ασφαλείας.

Όλα τα ανωτέρα τεχνικά προβλήματα, μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση της τεχνολογίας Cloud, δεδομένου ότι πρόκειται για ένα μεγάλο δίκτυο που έχει τεράστιες δυνατότητες αποθήκευσης των δεδομένων και μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Έτσι, το περιβάλλον των χρηστών καθίσταται ισχυρό και, προωθώντας και ενισχύοντας την τάση ενσωμάτωσης των δεδομένων από πολλαπλές πηγές.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, η τεχνολογία IOT ενοποιείται με την τεχνολογία Cloud. Στην πράξη, η τεχνολογία IOT βασίζεται στην τεχνολογία Cloud, όπου ευνοείται περαιτέρω ο σκοπός της έξυπνης χρήσης των εφαρμογών και ανταλλάσσονται οι πληροφορίες με όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες. Αυτό σημαίνει ότι η τεχνολογία IOT με την τεχνολογία Cloud αλληλοσυμπληρώνονται και αξιοποιούνται παράλληλα τα πλεονεκτήματα που φέρει η κάθε τεχνολογία, απαλείφοντας στο μέγιστο βαθμό τα μειονεκτήματα.

Επομένως, από την ενοποίηση των εν λόγω τεχνολογιών, διαμοιράζονται αυτόματα πολλές εφαρμογές και δεδομένα με σημαντικά χαμηλό κόστος. Επίσης, αναφορικά με το χώρο αποθήκευσης, η τεχνολογία Cloud μπορεί και πετυχαίνει χαμηλό κόστος διαχείρισης των δεδομένων μεγάλου όγκου, ενσωματώνοντας και ομαδοποιώντας τα δεδομένα. Επιπλέον, διαμοιράζονται τα δεδομένα με υψηλή ρυθμαπόδοση και υψηλές επεξεργαστικές δυνατότητες (Alabdulatif et al., 2018).

2.3 Γεωργικές εφαρμογές των τεχνολογιών IOT και 5G

Έχει ήδη καταστεί σαφές ότι η παραδοσιακή - συμβατική γεωργία τείνει να μεταβληθεί σε έξυπνη γεωργία. Ο λόγος είναι η αξιοποίηση των τεχνολογιών, όπως η IOT. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα μειωθεί σημαντικά ο κόπος των αγροτών και πλέον θα είναι σε θέση να παρακολουθούν εξ αποστάσεως (από το σπίτι ή το γραφείο τους) ένα μεγάλο μέρος των διαδικασιών της καλλιέργειας (Heble et al., 2018).

Επιπλέον, τα συστήματα IOT, βοηθούν στην εξοικονόμηση πόρων. Αυτό σημαίνει ότι αυξάνεται η απόδοση της γεωργικής παραγωγής.

Με την παρακολούθηση των καλλιεργειών, ήτοι την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων στα χωράφια μέσω της εφαρμογής της τεχνολογίας IOT, πρακτικά μοντελοποιείται η μέθοδος καλλιέργειας και βελτιστοποιείται η πρόβλεψη της απόδοσης της παραγωγής. Πρόκειται για μια αυτοματοποιημένη διαδικασία καλλιέργειας και παραγωγής. Αυτό συνεπάγεται την βελτιστοποίηση των αποφάσεων των γεωργών ανάλογα με τις ανάγκες που προκύπτουν (Bauer & Aschenbruck, 2018).

Οι εφαρμογές ρομποτικής εξαπλώνονται και καλύπτουν ένα ευρύτατο πλέγμα δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Είναι η ευκαιρία για την αντικατάσταση των ανθρώπινων χεριών με την παροχή βέλτιστων λύσεων που θα αυξάνουν την απόδοση, καθιστώντας την επένδυση ελκυστική (Blackmore, 2007). Ιδιαίτερα εφόσον οι αγροτικές εργασίες απαιτούν το ράντισμα χημικών ουσιών ή λιπασμάτων, οι οποίες φέρουν επικινδυνότητα για την υγεία τους, η καλύτερη λύση είναι η εφαρμογή μη επανδρωμένων ρομποτικών συστημάτων (Balaji et al., 2018).

Στη βάση αυτή, σε πρακτικό επίπεδο, η τεχνολογία IOT εφαρμόζει κατάλληλους αισθητήρες που έχουν το βάρος της συλλογής των δεδομένων και κατόπιν μέσω έξυπνων συσκευών που επικοινωνούν μεταξύ τους γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων και η ανάλυσή τους. Έτσι, βάσει των αποτελεσμάτων, οι καλλιεργητές κάνουν χρήση των συστημάτων υποστήριξης λήψης αποφάσεων. Ενδεικτικά, αποφασίζουν αν απαιτείται και σε ποιο σημείο καθάρισμα, αντιμετώπιση των ζιζανίων, ρίψη λιπάσματος κλπ. (Bauer & Aschenbruck, 2018).

Οι αισθητήρες WSN, που προαναφέρθηκαν αποτελούν τη βάση για την έξυπνη καλλιέργεια. Λαμβάνουν πληροφορίες αναφορικά με τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ηλιακή ακτινοβολία, την υγρασία στο έδαφος κλπ και μεταδίδουν τα δεδομένα (Sahitya et al., 2016).

Πρόκειται για τη γεωργία ακριβείας, που αυξάνει σημαντικά την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα και επομένως το κέρδος. Αντίθετα, στην συμβατική γεωργία, η προσέγγιση όλων των ζητημάτων γίνεται εμπειρικά και με φυσική παρουσία κάνοντας αρκετές φορές εκτιμήσεις υποθετικές που ενδέχεται να οδηγήσουν σε λανθασμένες αποφάσεις (Khattab et al., 2016).

Οι κυριότεροι IOT αισθητήρες και συσκευές για την καλλιέργεια είναι οι ακόλουθες:

- Αισθητήρες θερμοκρασίας
- Αισθητήρες υγρασίας εδάφους
- Αισθητήρες υγρασίας ατμόσφαιρας
- Αισθητήρες pH
- Αισθητήρες έντασης φωτός
- Αισθητήρες ηλιακής ακτινοβολίας
- Αισθητήρες διοξειδίου του άνθρακα και υπέρυθρης ακτινοβολίας
- Μικροελεγκτές
- Δικτυακές συσκευές δικτύωσης.

Επιπροσθέτως, και τα δίκτυα 5G μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά παρέχοντας μεγάλα οφέλη με την αξιοποίηση ακόμη πιο πολλών εφαρμογών και με την μετάδοση των δεδομένων με εξαιρετική ταχύτητα και δυναμική.

Ταυτόχρονα η ανάγκη που προκύπτει για μαζική και ταυτόχρονη συνδεσιμότητα των συσκευών IOT προϋποθέτει την ύπαρξη δικτύων, όπως το 5G, που θα έχει μεγάλη ταχύτητα και δυναμικά χαρακτηριστικά (Ιστοσελίδα gsacom.com, 2018).

Με την ανάπτυξη του δικτύου 5G, φαίνεται ότι μια νέα τεχνολογική επανάσταση είναι σε εξέλιξη για την παροχή υπηρεσιών απομακρυσμένης επικοινωνίας, γεγονός που απαιτητό στην έξυπνη γεωργία.

Συγκεκριμένα, οι εφαρμογές 5G έχουν την δυνατότητα να παρέχουν ένα μεγάλο αριθμό χρήσεων, οι οποίες θα προσαρμόζονται ανά περίπτωση σε κάθε συνθήκη και τομέα. Εφόσον η ταξινόμηση των αναγκών είναι η κατάλληλη, η χρήση του δικτύου 5G σε συνδυασμό με την τεχνολογία IOT καθίσταται ακόμη πιο αποτελεσματική (Xiang et al., 2017; Ιστοσελίδα sdxcentral.com, 2018).

Μεταξύ πολλών που θα επωφεληθούν από τα δίκτυα 5G, θα είναι και οι αγρότες όπου θα αντλούν τις απαιτούμενες πληροφορίες και θα διεξάγουν μετρήσεις, όπως

αναφορικά με τα επίπεδα ρύπανσης, θερμοκρασίας, υγρασίας στις καλλιέργειές τους κλπ.

Εντούτοις, η εν λόγω υλοποίηση επειδή απαιτεί τη συμμετοχή μιας σειρά αισθητήρων και συσκευών με σαφή ετερογενή χαρακτηριστικά, θα πρέπει να υπάρχει μέριμνα για την αντιμετώπιση ενδεχόμενων ασυμβατοτήτων που προκύπτουν, ώστε κατά την αλληλεπίδραση των συσκευών να αξιοποιείται όλο το φάσμα των εφαρμογών και των διαθέσιμων υπηρεσιών (Ιστοσελίδα iotsolutionprovider.com, 2018).

Έτσι με την βοήθεια της ρομποτικής που θα φέρουν εγκατεστημένους τους απαραίτητους ανιχνευτές και της εξ αποστάσεως παρακολούθησης του περιβάλλοντος θα παρέχονται στους χρήστες δεδομένα με μεγάλη ακρίβεια και υψηλή ταχύτητα.

Στο πλαίσιο αυτό, ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που θα αναπτυχθούν τα λεγόμενα συνεταιριστικά ευφυή συστήματα μεταφορών (Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) που θα ανταλλάσσουν αξιόπιστες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο μέσω των δικτύων 5G, θα μπορούν να αλληλεπιδρούν και τα ρομποτικά συστήματα καλλιέργειας. Με την αυτοματοποιημένη οδήγηση των οχημάτων ή των μέσων μαζικής μεταφοράς θα εξοικονομείται η κατανάλωση καυσίμων και θα μειώνονται οι εκπεμπόμενοι ρύποι (Ιστοσελίδα fantastic5g.eu, 2018).

Επιπλέον, με την εφαρμογή συστημάτων ενεργητικής ασφάλειας, θα προειδοποιούνται είτε οι οδηγοί είτε οι χρήστες που κινούν τα οχήματα από απόσταση για ενδεχόμενες επικίνδυνες καταστάσεις, προκειμένου με την εφαρμογή της αυτόματης πέδησης να επιτυγχάνεται η αποφυγή λανθασμένων χειρισμών ή ατυχημάτων. Ακόμη, τα διασυνδεδεμένα οχήματα θα προειδοποιούν για τυχόν εμπόδια, ώστε να επιλέγεται εναλλακτική διαδρομή (Ιστοσελίδα 5g-ppp.eu, 2015).

Τα δεδομένα από τους αισθητήρες μεταφέρονται real time, παρέχοντας πληροφορίες ζωτικής σημασίας για την ορθή κίνηση.

Επιπλέον, οι τεχνολογικές προκλήσεις που απορρέουν από την τεχνολογία 5G δύνανται να συνδυαστούν και με άλλες σύγχρονες τεχνολογίες που συνδέονται με την κατανάλωση και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω της αξιοποίησης των ΑΠΕ.

Ενδεικτική πρακτική εφαρμογή του 5G στη γεωργία είναι η εγκατάσταση έξυπνων μετρητών στα χωράφια. Συγκεκριμένα, ως γνωστόν, οι έξυπνοι μετρητές παίζουν σπουδαίο ρόλο για τη λειτουργία των έξυπνων δικτύων. Πραγματοποιούν μετρήσεις

περί της κατανάλωσης της ενέργειας χωρίς να είναι απαραίτητη η παρουσία του προσωπικού των παρόχων.

Η αρχή λειτουργία τους συνδέεται με την παρακολούθηση και τον έλεγχο της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και τον υπολογισμό του κόστους λειτουργίας όλων των εμπλεκόμενων ηλεκτρικών συσκευών σε πραγματικό χρόνο.

Η άμεση ενημέρωση του καταναλωτή – γεωργού, έχει ως στόχο την ορθή χρήση και διαχείριση των μηχανημάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Δηλαδή, οι έξυπνοι μετρητές ενέργειας παρέχουν πληροφορίες για το σύνολο ή τις μεμονωμένες βαθμίδες του εξοπλισμού και έτσι αποφεύγονται ενδεχόμενες διαρροές ή υπερκαταναλώσεις ενέργειας. Οι εν λόγω πληροφορίες εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας στο κινητό, στο laptop ή στο tablet του κάθε χρήστη.

Ακόμη, η μετάδοση των δεδομένων, αναμένεται να βελτιστοποιήσει τον έλεγχο στα δίκτυα ύδρευσης και παροχής ενέργειας.

Αναφορικά με τη ρομποτική στην καλλιέργεια, και για την επίτευξη αύξησης της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας, βελτιστοποιούνται οι επιδόσεις των επιμέρους λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο, των διακυμάνσεων της ποιότητας των προϊόντων. Τα κινητά ρομπότ με τους αισθητήρες, με την παράλληλη αξιοποίηση όλων των προαναφερθεισών τεχνολογιών (IOT, 5G, Cloud κλπ.) που παρέχουν τον απαιτούμενο υψηλό ρυθμό μετάδοσης και διασφαλίζουν αξιόπιστη επικοινωνία ανάμεσα στις συσκευές, θα οδηγήσει σε εξελισσόμενες τεχνολογικά λειτουργίες με νέας γενιάς ρομπότ, όπου παράλληλα με την εισαγωγή νέων έξυπνων συσκευών ελέγχου, θα δώσουν νέες διαστάσεις στην καλλιέργεια.

Συμπερασματικά, πρέπει να επισημανθεί με έμφαση ότι η ανάγκη της γρήγορης μετάδοσης μεγάλου όγκου δεδομένων, έχει ήδη οδηγήσει στο σχεδιασμό περισσότερων ασύρματων ή κινητών συσκευών. Ακόμη, τόσο η ρυθμαπόδοση όσο και ο όγκος των πληροφοριών που μεταδίδονται και επεξεργάζονται διασφαλίζουν την έγκαιρη λήψη αποφάσεων μείζονος σημασίας. Έτσι, η ύπαρξη συνεργατικών ρομπότ, δύναται να βελτιώσει περαιτέρω την αυτοματοποίηση, την απόδοση και την ποιότητα της παραγωγής και παράλληλα με τα δίκτυα 5G, θα παίξουν καταλυτικό ρόλο ανάμεσα σε πολλούς τομείς και στην γεωργία (METIS, 2014).

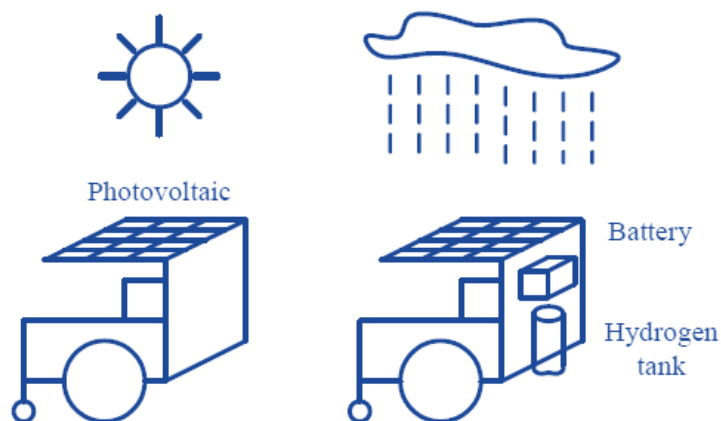
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Εφαρμογές ηλιακών αγροτικών ρομποτικών συστημάτων

3.1 Ηλιακό ρομπότ

Τα ρομποτικά συστήματα καλλιέργειας στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ηλιακή ενέργεια. Κατ' αυτόν τον τρόπο, είναι σκόπιμο να αναφερθούν εισαγωγικά οι βασικές αρχές λειτουργίας των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου και των ρομποτικών συστημάτων με ηλιακή ενέργεια (Takahashi et al., 2010).

Είναι γνωστό ότι η ρομποτική τεχνολογία είναι ενδεχομένως η πιο δημοφιλής λύση σε ζητήματα ανάγκης ανθρώπινης αυτονομίας (Takahashi et al., 2008).

Στο Σχήμα 3.1 μπορούμε να παρατηρήσουμε δύο προτεινόμενες τεχνολογίες ρομποτικών συστημάτων τύπων αμαξιού. Στο πρώτο σχήμα το ρομπότ λειτουργεί αμιγώς με ηλιακή ενέργεια, ενώ στο δεύτερο σχήμα, το ρομπότ λειτουργεί με εγκατεστημένη συστοιχία μπαταριών και δεξαμενή υδρογόνου. Θα μπορούσαν οι δύο τεχνολογίες να συνδυάζονται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες (δηλ. σε περίπτωση ηλιοφάνειας ή όχι) (Takahashi & Mori, 2006).



**Σχήμα 3.1: Συνθήκες λειτουργίας του προτεινόμενου ρομποτικού συστήματος
(α) Λειτουργία με ηλιοφάνεια (β) Λειτουργία όταν η ηλιακή ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη**

(Πηγή: Takahashi et al., 2010)

Συνεπώς το ζητούμενο είναι ο σχεδιασμός ενός ρομποτικού συστήματος, που θα διαθέτει όσο το δυνατόν πιο μεγάλη αυτονομία με δύο πηγές ενέργειας: την ηλιακή ενέργεια και ένα μικρό φωτοβολταϊκό στοιχείο σε συνδυασμό με ένα στοιχείο καυσίμου, όπως π.χ. το υδρογόνο (Jin et al., 2009).

Συγκεκριμένα, το σύστημα ελέγχου δίνει προτεραιότητα στην παροχή ενέργειας από τη φωτοβολταϊκή κυψέλη, κατόπιν αξιοποιεί τη δυνατότητα του καυσίμου ή της συστοιχίας των μπαταριών. Με άλλα λόγια, όταν υφίσταται αρκετό ηλιακό φως, χρησιμοποιείται το φωτοβολταϊκό στοιχείο στην οροφή του ρομπότ, ενώ όταν η ηλιακή ενέργεια είναι περιορισμένη, χρησιμοποιείται η ενέργεια του καυσίμου ή της μπαταρίας. Το εν λόγω σύστημα ελέγχου ενέργειας έχει σχεδιαστεί, ώστε με τη χρήση ενός μικροϋπολογιστή να αλλάζει γρήγορα η επιλογή της πηγής ενέργειας. Στόχος είναι το ηλιακό ρομποτικό σύστημα να επιτρέπει στους χρήστες να απολαμβάνουν την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αυτονομία όταν βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους.

Είναι σαφές ότι το πλεονέκτημα της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας είναι ότι παράγεται ενέργεια χωρίς την απαίτηση άλλων καυσίμων παράγοντας ισοδύναμη ισχύ και προστατεύοντας το περιβάλλον. Άλλωστε, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και τα στοιχεία καυσίμου υδρογόνου αποτελούν τις λεγόμενες πράσινες τεχνολογίες βιώσιμης ανάπτυξης (Bialasiewicz, 2008; Jin et al., 2009).

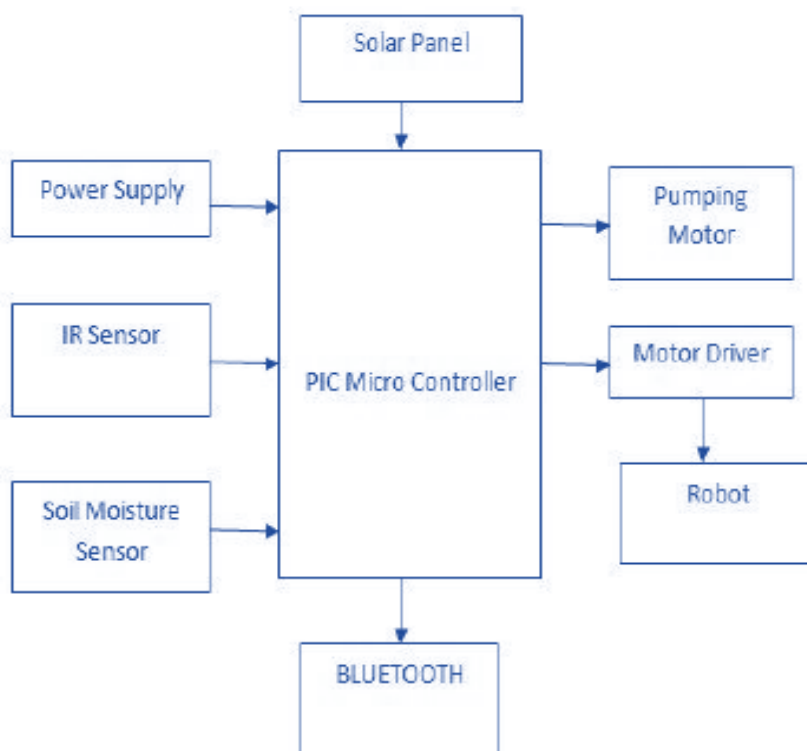
Ωστόσο το μειονέκτημα είναι ότι η λειτουργία αυτή προϋποθέτει την ύπαρξη αρκετής ηλιακής ενέργειας γεγονός που ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες είναι σπάνιο.

Η μπαταρία είναι επαναφορτιζόμενη και φορτίζεται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο στην οροφή της εγκατάστασης. Το υδρογόνο παράγεται με τη χρήση ηλεκτρογεννήτριας υδρογόνου που προκαλεί ηλεκτρόλυση στο νερό και η κυψέλη του καυσίμου χρησιμοποιεί το παραγόμενο υδρογόνο. Επίσης, αντί για την εφαρμογή της μεθόδου της ηλεκτρόλυσης, δύναται να επιλεγεί η τεχνολογία της χρήσης των αποβλήτων βιομάζας παράγοντας αιθανόλη (Takahashi & Mori, 2006; Clauser et al., 2021; Saxena et al., 2009).

3.2 Έξυπνα κινητά και ρομποτική καλλιέργεια

Τα έξυπνα κινητά και τα ρομπότ, συνεργάζονται στις καλλιέργειες. Στο πλαίσιο αυτό, θα γίνει αναφορά σε ένα ρομποτικό μηχάνημα γεωργίας, το οποίο επιτελεί πολλαπλές λειτουργίες (σκάβει, ψεκάζει, σπέρνει κλπ.), ανήκει στην νέα γενιά ρομπότ και έχει τροφοδοσία μπαταρίες ή την ηλιακή ενέργεια (Balaji et al., 2018).

Το ρομπότ διαθέτει τέσσερις (4) ρόδες που κινούνται μέσω ενός dc κινητήρα. Στην άκρη του τοποθετείται ένα από τα απαραίτητα εξαρτήματα καλλιέργειας και λειτουργεί με τάση 12Vdc. Το εξάρτημα μπορεί να είναι είτε σκαπτικό είτε ψεκαστικό κλπ. Για να λειτουργεί το ρομπότ με την ηλιακή ενέργεια, τοποθετείται στην κορυφή του ένα φωτοβολταϊκό panel, το οποίο συνδέεται με την μπαταρία 12V για να τη φορτίζει όταν το ρομπότ είναι σε κατάσταση αδράνειας. Επιπλέον το ρομπότ έχει εγκατεστημένο έναν πομποδέκτη υπέρυθρων ακτίνων (IR), ώστε να ελέγχεται η λειτουργία του. Το απλοποιημένο block διάγραμμα του συστήματος που περιγράφεται φαίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Block διάγραμμα του ρομποτικού συστήματος καλλιέργειας

(Πηγή: Balaji et al., 2018)

Σύμφωνα με το block διάγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εντολοδότηση και τον έλεγχο του το έξυπνο κινητό. Όπως φαίνεται στο σχήμα, αποτελείται από έναν μικροελεγκτή, όπου μέσω αυτού επιτελούνται όλες οι λειτουργίες του. Ακόμη διακρίνεται ένας αισθητήρας ανίχνευσης εμποδίων και ένας αισθητήρας μέτρησης της υγρασίας ή της στάθμης του νερού στο έδαφος. Ανάλογα με τη στάθμη του νερού ή την υγρασία, ο μικροελεγκτής ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τον κινητήρα άντλησης. Περιλαμβάνει έναν ρότορα, ο οποίος μπορεί να ξεχορταριάσει ή να λειάνει το χώμα.

Μέσω Bluetooth αντλούνται οι απαραίτητες πληροφορίες για τη λειτουργία του ρομπότ. Ακόμη, στο διάγραμμα διακρίνεται ο κινητήρας και μια αντλία άντλησης νερού από το χωράφι (Balaji et al., 2018). Ουσιαστικά το Bluetooth χρησιμοποιείται για την αποστολή μηνυμάτων στον αγρότη αναφορικά με τις λειτουργίες που εκτελούνται από το ρομπότ (Blackmore, 2007).

Το ρομπότ ενεργοποιείται και κινείται, ενώ παράλληλα ενεργοποιούνται όλοι οι αισθητήρες. Οι αισθητήρες υπέρυθρων μπορούν να ανιχνεύσουν χόρτα ή ζιζάνια, όπου ο ρότορας αυτόματα λαμβάνει εντολή από τον μικροελεγκτή να περιστραφεί, ώστε το εργαλείο να κόψει τα χόρτα ή τα φυτά που έχουν τα ζιζάνια. Ταυτόχρονα λειτουργεί ο αισθητήρας υγρασίας, όπου στην περίπτωση που η ένδειξη της υγρασίας είναι σε χαμηλά επίπεδα, ενεργοποιείται η αντλία νερού. Το έξυπνο τηλέφωνο συνδέεται με το ρομπότ μέσω της εφαρμογής Bluetooth. Η εγκατεστημένη εφαρμογή στο έξυπνο τηλέφωνο σαρώνει τη συσκευή, ανιχνεύει και συνδέει το ρομπότ. Ακόμη, ο διακομιστής των εφαρμογών μπορεί και αποθηκεύει τα αρχεία λειτουργιών για την άρδευση, την κοπή χόρτων κλπ.

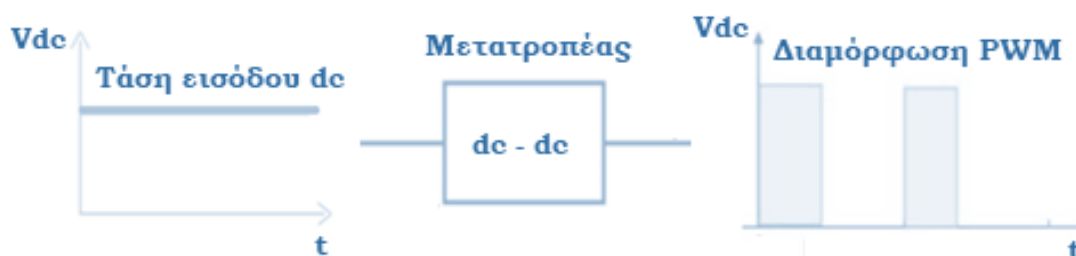
Η αυτόματη λειτουργία εφαρμογής Android με διασύνδεση Bluetooth χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της κατάστασης λειτουργίας του ρομπότ.

Τα πλεονεκτήματα που εμφανίζει το ρομπότ είναι τα ακόλουθα (Balaji et al., 2018):

- Μειώνει τον αριθμό των εργασιών που απαιτούνται για τη γεωργική δραστηριότητα.
- Λόγω της γρήγορης δράσης του, εξοικονομείται ο χρόνος.
- Μπορεί να λειτουργεί με ικανοποιητική αυτονομία κάτω υπό δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες έως και για ένα 24ωρο.
- Προστατεύει τον άνθρωπο από τις επιβλαβείς χημικές ουσίες.

Αναφορικά με τη ροή ενέργειας στο ρομποτικό σύστημα, όπως προαναφέρθηκε, μέλημα είναι, το ρομποτικό σύστημα, να είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Κατ' αυτόν τον τρόπο το ενεργειακό σύστημα που χρησιμοποιείται δεν εξαντλεί το διοξείδιο του άνθρακα αφού δεν χρησιμοποιεί καύσιμα (βενζίνη, πετρέλαιο κλπ.) (Takahashi et al., 2010). Πιο συγκεκριμένα, στο περιγραφόμενο μοντέλο ρομπότ, η ενέργεια που χρησιμοποιείται προέρχεται από τη σύνδεση δύο φωτοβολταϊκών panel με έξοδο dc τάσης 17,4V και ονομαστικής ισχύς εξόδου 43W. Η έξοδος της τάσης είναι 24Vdc με τη χρήση ενός μετατροπέα DC σε DC (Takahashi et al., 2010).

Οι μετατροπείς DC σε DC εκτελούν διαμόρφωση PWM (Pulse Width Modulation) στη dc τάση εισόδου στο σύστημα. Έτσι η τάση εξόδου αποτελείται από μια σειρά παλμών (Σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Διαμόρφωση PWM από μετατροπέα τάσης DC σε DC

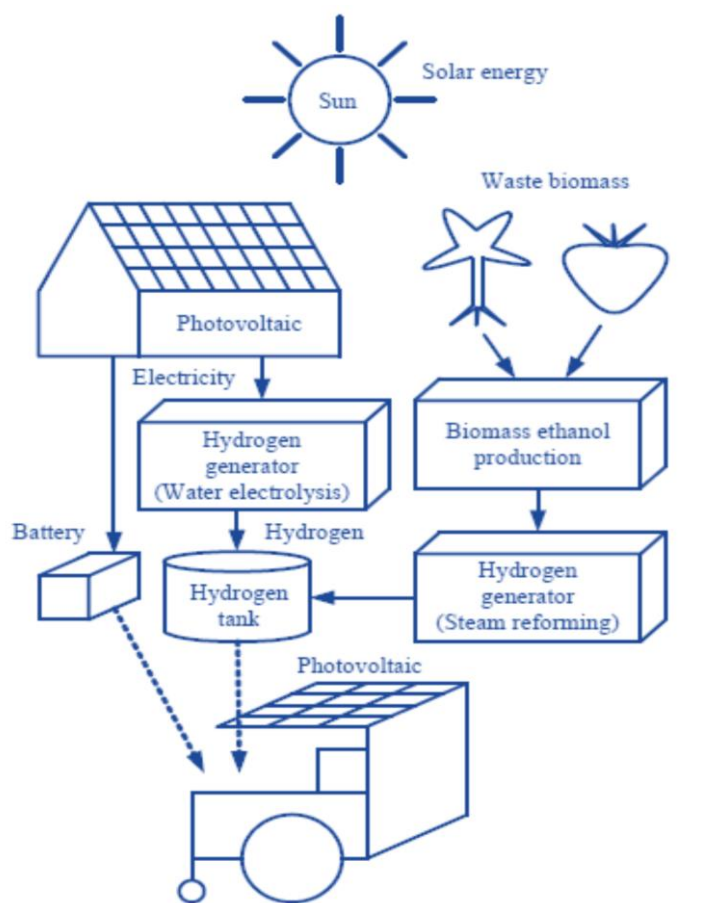
(Πηγή: Takahashi et al., 2010)

Επίσης, μπορεί να υφίσταται και εναλλακτική γραμμή ενέργειας. Πρόκειται για τη γραμμή ενέργειας από μια γεννήτρια υδρογόνου, από την οποία το νερό υπόκειται σε ηλεκτρόλυση.

Το φωτοβολταϊκό panel στην οροφή του ρομπότ είναι ισχύος περίπου 10kW και τροφοδοτεί τη γεννήτρια ηλεκτρόλυσης. Το υδρογόνο που παράγεται αποθηκεύεται σε μια ειδική δεξαμενή υδρογόνου των 60 NL με την πίεση εξόδου της γεννήτριας υδρογόνου να μετριέται στα 0,3 MPa. Να σημειωθεί ότι ο κινητήρας έχει ονομαστική ισχύ εξόδου 100 W.

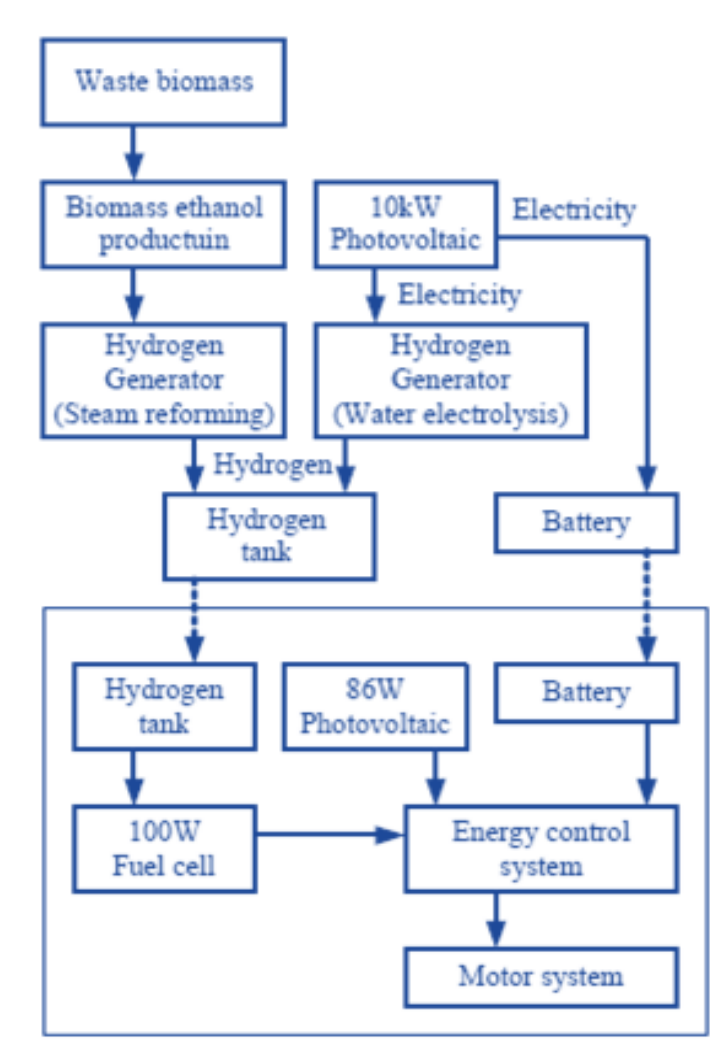
Προφανώς, η μπαταρία αποτελεί την 3^η γραμμή ροής της ενέργειας στο ρομποτικό σύστημα που φορτίζεται με ηλεκτρικό ρεύμα από το τοποθετημένο φωτοβολταϊκό panel.

Ως 4^η λύση ενεργειακής ροής είναι η βιομάζα. Συγκεκριμένα, η αιθανόλη παράγεται από τα απόβλητα βιομάζας και κατόπιν παράγεται υδρογόνο μέσω μιας γεννήτριας υδρογόνου. Το παραγόμενο υδρογόνο αποθηκεύεται σε δεξαμενή υδρογόνου μετάλλων 60 NL. Η παραγόμενη αιθανόλη θεωρείται ασφαλής κατά το χειρισμό. Ωστόσο, η συγκεκριμένη προτεινόμενη γραμμή ροής της ενέργειας αποτελεί ένα ζήτημα που χρήζει περαιτέρω εξέτασης από τεχνικής άποψης (Takahashi et al., 2010).



Σχήμα 3.4: Οι προτεινόμενες λύσεις ενέργειας στο ρομποτικό σύστημα

(Πηγή: Takahashi et al., 2010).



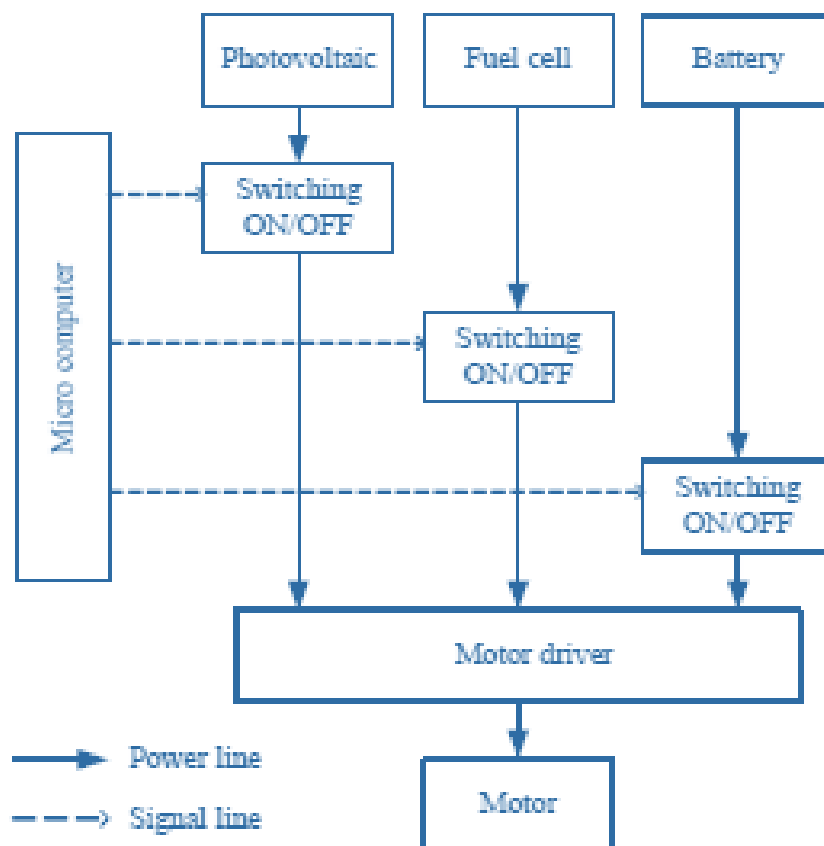
Σχήμα 3.5: Μπλοκ διάγραμμα ροής ενέργειας

(Πηγή: Takahashi et al., 2010)

Συγκεντρωτικά, τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά του ρομποτικού συστήματος είναι τα εξής (Takahashi et al., 2010):

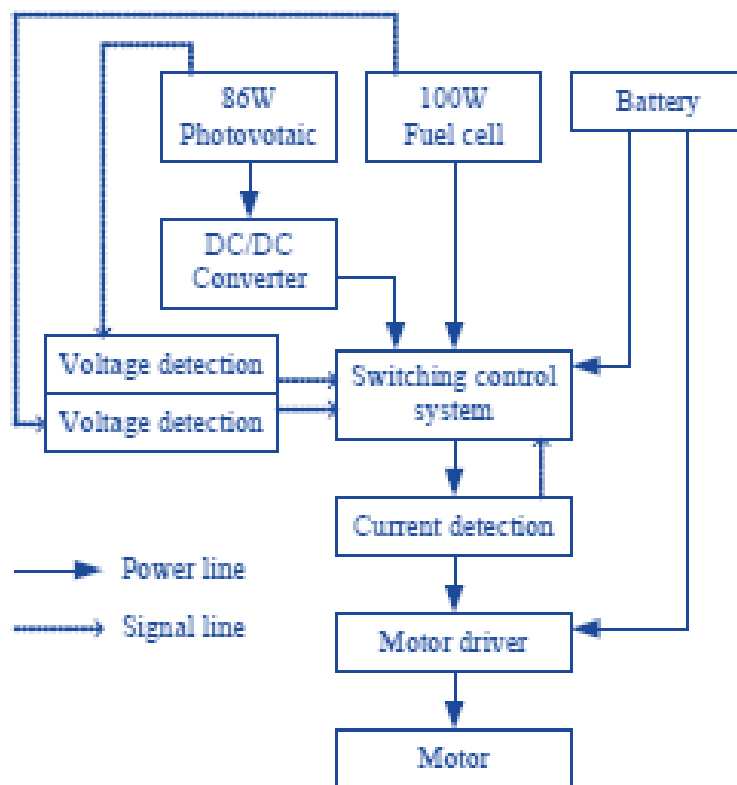
- Βάρος: 13 κιλά
- Λειτουργία: Με τηλεκατεύθυνση
- Κινητήρας: 24Vdc
- Ονομαστική ισχύς: 43W
- Μέγιστη τάση λειτουργίας: 17.4 V

Το σύστημα της ενέργειας ελέγχεται από μικροϋπολογιστή, ο οποίος επιλέγει ως πηγές ενέργειας τα φωτοβολταϊκά συστήματα στην οροφή του ρομπότ, το υδρογόνο ως στοιχείο καυσίμου ή την μπαταρία, εφόσον δεν υπάρχει ενέργεια εκ των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται το σύστημα ελέγχου της ενέργειας και στο Σχήμα 3.7 η αρχιτεκτονική του συστήματος. Όπως, φαίνεται, στο Σχήμα 3.7, το σύστημα ελέγχου μεταγωγής εισάγει την τάση από το φωτοβολταϊκό στοιχείο ή από την κυψέλη καυσίμου. Ακόμη εισάγεται το ρεύμα του κινητήρα.



Σχήμα 3.6: Σύστημα ελέγχου της ενέργειας

(Πηγή: Takahashi et al., 2010)



Σχήμα 3.7: Αρχιτεκτονική του συστήματος ελέγχου ενέργειας

(Πηγή: Takahashi et al., 2010)

Όπως προαναφέρθηκε, το σύστημα ελέγχου και μεταγωγής της ενέργειας αποτελείται από έναν μικροϋπολογιστή ελέγχει το σύνολο του συστήματος ελέγχου της ενέργειας. Γίνεται με χρήση FET, που λειτουργούν ως διακόπτες για την εναλλαγή της ροής ενέργειας. Ακόμη, τοποθετείται στο σύστημα κατάλληλος ηλεκτρολυτικός πυκνωτής, προκειμένου να παρέχει την απαιτούμενη απότομη και άμεση αύξηση της ισχύος.

Ασκώντας μια σύντομη κριτική στο περιγραφόμενο σύστημα, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι επιδέχεται εξέτασης βελτιώσεων.

Όπως είναι αναμενόμενο, το σύστημα ελέγχου πρέπει να δίνει προτεραιότητα στη φωτοβολταϊκή κυψέλη. Η επόμενη λύση είναι η κυψέλη καυσίμου και τέλος η μπαταρία. Ο έλεγχος μεταγωγής της ενέργειας γίνεται, αφού ληφθεί υπόψη η κατάσταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, καθώς επίσης και των κυψελών τους.

Εξετάζοντας τεχνικά την περίπτωση που το ρεύμα κίνησης του κινητήρα είναι κάτω των 2,5A και εφόσον η φωτοβολταϊκή τάση είναι άνω των 30V, επιλέγεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Εφόσον το ρεύμα κίνησης του κινητήρα είναι κάτω από 4A με την τάση κυψέλης να είναι άνω των 24Vdc, επιλέγεται η κυψέλη καυσίμου.

Τέλος, όταν το ρεύμα οδήγησης του κινητήρα είναι κάτω από 20A, επιλέγεται η αξιοποίηση της μπαταρίας (Takahashi et al., 2010).

Όπως είναι αντιληπτό εφαρμόζεται ειδικός αλγόριθμος ελέγχου και επιλογής της ενέργειας.

Ο αλγόριθμος περιγράφεται στον Πίνακα 3.1 (Takahashi et al., 2010).

Πίνακας 3.1: Αλγόριθμος ελέγχου και επιλογής ενέργειας

Κατάσταση	Περιγραφή
1	Όταν το ρεύμα του κινητήρα είναι πάνω από 0,0 A και λιγότερο από 2,5 A, και η τάση του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι πάνω από 30 V, τότε επιλέγεται το φωτοβολταϊκό σύστημα.
2	Όταν το ρεύμα του κινητήρα είναι πάνω από 0,0 A και μικρότερο από 2,5 A, η τάση του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι μικρότερη από 30 V και η τάση της κυψέλης καυσίμου είναι πάνω από 24 V, τότε επιλέγεται η κυψέλη καυσίμου.
3	Όταν το ρεύμα του κινητήρα είναι πάνω από 0,0 A και μικρότερο από 2,5 A, η φωτοβολταϊκή τάση είναι μικρότερη από 30 V και η τάση κυψέλης καυσίμου είναι μικρότερη από 24 V, τότε επιλέγεται η μπαταρία.
4	Όταν το ρεύμα του κινητήρα είναι πάνω από 2,5 A και μικρότερο από 4,0 A και η τάση της κυψέλης καυσίμου είναι πάνω από 24 V, τότε επιλέγεται η κυψέλη καυσίμου.
5	Όταν το ρεύμα του κινητήρα είναι πάνω από 2,5 A και λιγότερο από 4,0 A και η τάση κυψέλης καυσίμου είναι μικρότερη από 24 V, τότε επιλέγεται η μπαταρία.
6	Όταν το ρεύμα του κινητήρα είναι πάνω από 4,0 A και λιγότερο από 20,0 A, τότε επιλέγεται η μπαταρία.

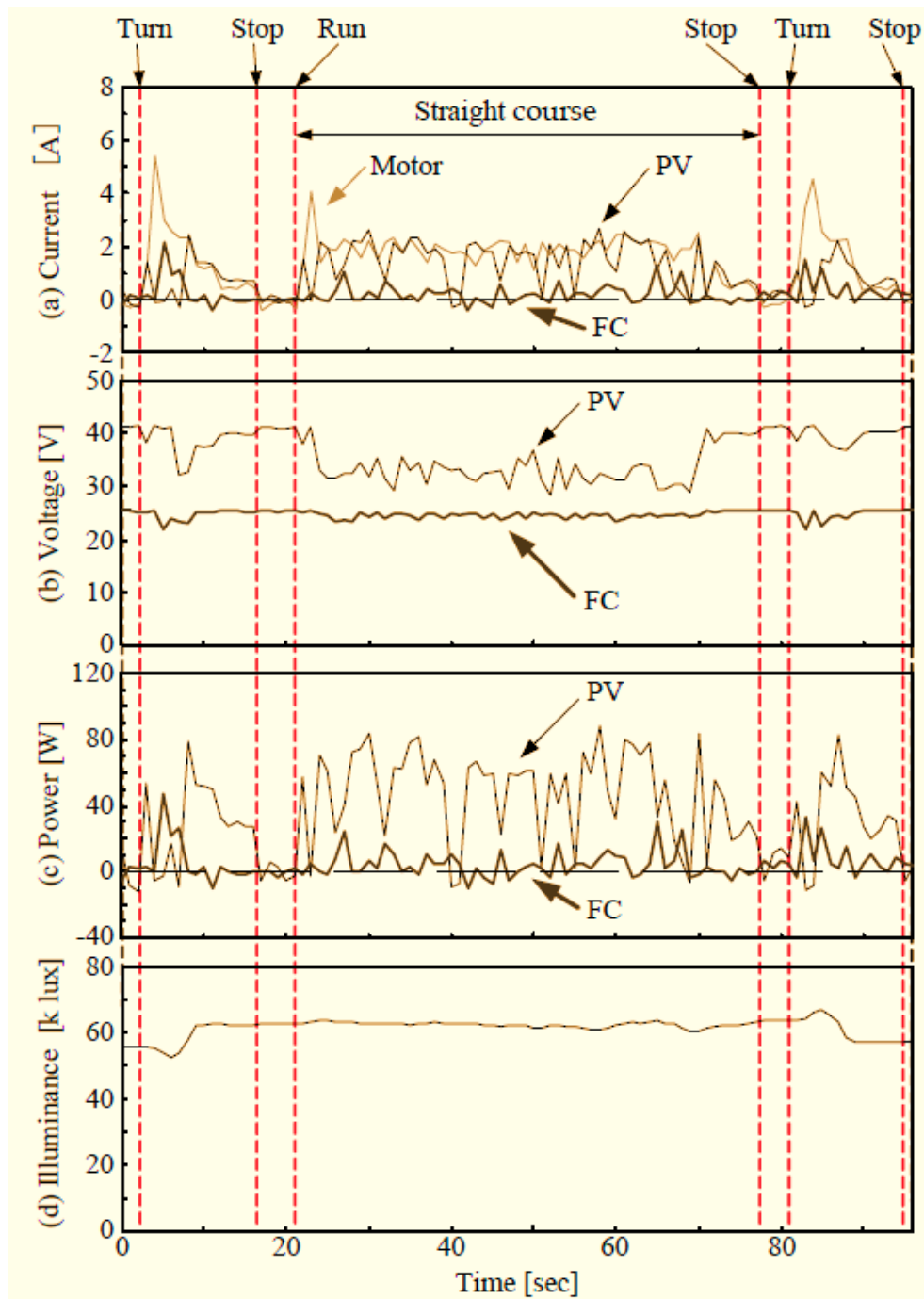
(Πίνακας 3.1: Takahashi et al., 2010)

Σύμφωνα με τους (Takahashi et al., 2010), εκτελέστηκε σχετικό πείραμα, αναφορικά με την επιλογή πηγής ενέργειας μεταξύ του ηλιακού συλλέκτη, της κυψέλης καυσίμου και της μπαταρίας, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Στα Σχήματα 3.8 και 3.9 φαίνονται οι δοκιμές που έγιναν και τα αντίστοιχα πειραματικά αποτελέσματα. Κάθε σχήμα, του άνω γραφήματος φανερώνει τα αποτελέσματα του ρεύματος κίνησης του κινητήρα, του ρεύματος φωτοβολταϊκών και του ρεύματος κυψέλης καυσίμου. Επίσης, η επόμενη εικόνα, φανερώνει τα αποτελέσματα από την τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων και την τάση της κυψέλης καυσίμου. Στην 3^η εικόνα του σχήματος φαίνονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του φωτοβολταϊκού panel και του καυσίμου. Το τελευταίο γράφημα αναπαριστά το φωτισμό (Takahashi et al., 2010).

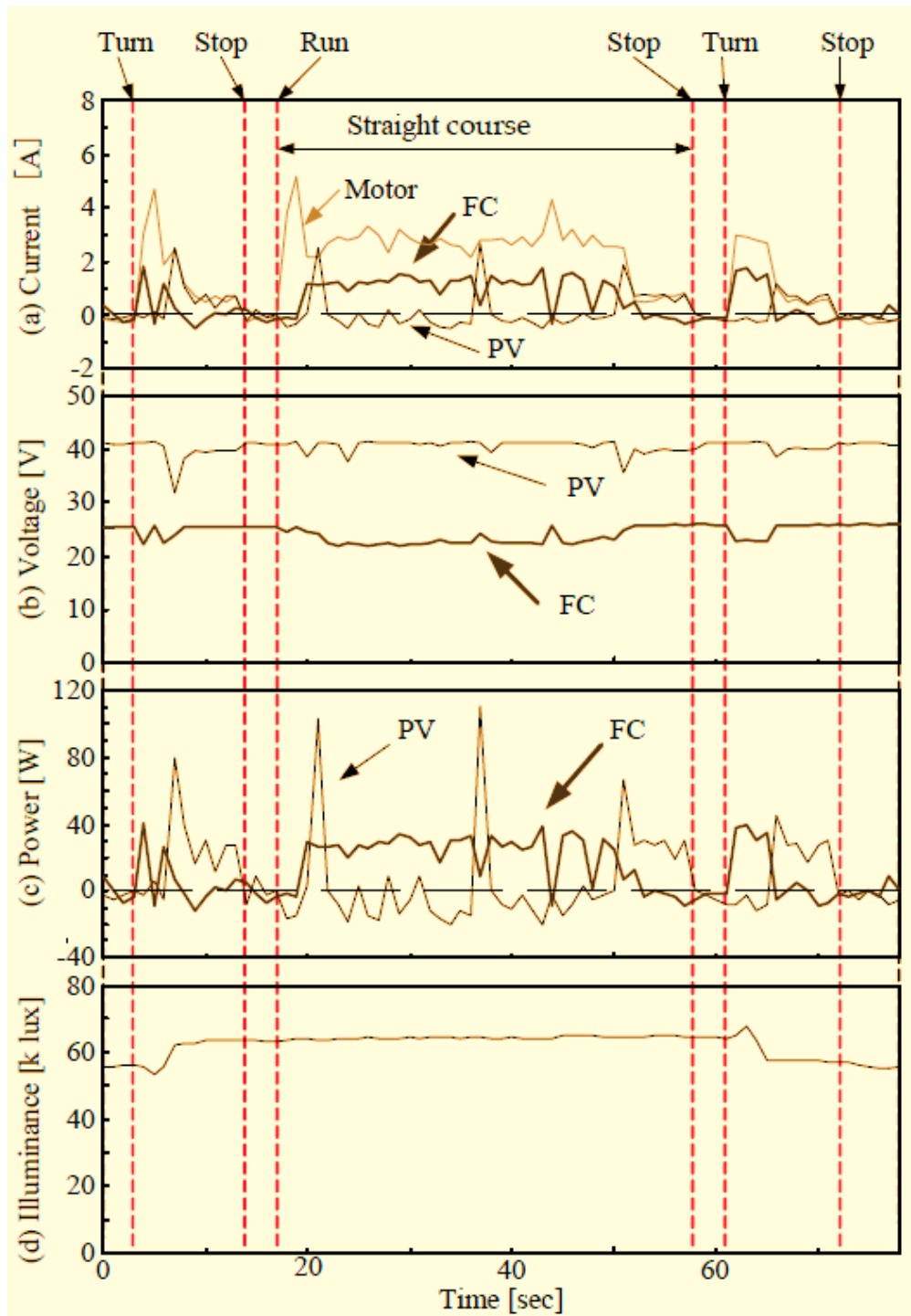
Επιλέχθηκαν τα εξής πρότυπα δοκιμών ταχύτητας (Takahashi et al., 2010):

- Με χαμηλή ταχύτητα (2,4 km/h).
- Με υψηλή ταχύτητα (3,4 km/h).



Σχήμα 3.8: Με χαμηλή ταχύτητας στα 2,4 km/h

(Πηγή: Takahashi et al., 2010)



Σχήμα 3.8: Με υψηλότερη ταχύτητα στα 3,4 km/h

(Πηγή: Takahashi et al., 2010)

Συμπερασματικά, καθίσταται σαφές ότι όταν υφίσταται άπλετο φως από τον ήλιο, το ρομπότ μπορεί να κινείται αποκλειστικά τροφοδοτούμενο μέσω του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Αν επιλέγεται επίπεδη και ευθεία διαδρομή και το ρομπότ κινείται με χαμηλή ταχύτητα σε μεγάλες αποστάσεις, επιλέγεται η άντληση της ηλιακής ενέργειας. Αν το ρομπότ πρέπει να στρίψει, εκτελεί τη στροφή με πιο χαμηλή ταχύτητα. Όταν απαιτείται η ανάπτυξη μεγαλύτερων ταχυτήτων, επειδή προφανώς υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερη ισχύ, χρησιμοποιείται και η ενέργεια από την κυψέλη καυσίμου ή/και την μπαταρία.

Στην παρούσα εργασία, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους, προτείνεται το ρομποτικό σύστημα να αξιοποιεί σχεδόν αποκλειστικά την ηλιακή ενέργεια, όπου χρησιμοποιεί τρεις πηγές ενέργειας, μία φωτοβολταϊκή κυψέλη, μια κυψέλη καυσίμου και μια μπαταρία.

Η μπαταρία φορτίζεται με ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από το μεγάλο φωτοβολταϊκό στοιχείο που είναι εγκατεστημένο στην οροφή του ρομπότ. Το υδρογόνο για την κυψέλη καυσίμου παράγεται από μια γεννήτρια υδρογόνου ηλεκτρόλυσης νερού, η οποία τροφοδοτείται επίσης από το ίδιο φωτοβολταϊκό στοιχείο στην οροφή του. Το σύστημα ελέγχου ενέργειας επιλέγει τη βέλτιστη πηγή ενέργειας βάσει των διαφόρων συνθηκών οδήγησης του ρομπότ.

Επιπλέον, σύμφωνα με τους Takahashi et al (2010), επιβεβαιώθηκε πειραματικά ότι το ρομποτικό σύστημα δύναται να εκτελέσει ακόμα και ελιγμούς με τη χρήση του φωτοβολταϊκού στοιχείου με την προϋπόθεση ότι υφίστανται οι απαραίτητες συνθήκες, που σημαίνει μεγάλη ηλιακή ενέργεια (καθαρή ατμόσφαιρα και υψηλή θερμοκρασία όσο το δυνατόν πιο επίπεδη και ευθεία διαδρομή και χαμηλή ταχύτητα).

Ακόμη, από τα πειραματικά αποτελέσματα, προκύπτει ότι το ρομποτικό σύστημα μπορεί να αυξήσει την εμβέλεια της κίνησής του, χρησιμοποιώντας την ενέργεια από την κυψέλη καυσίμου ή/και την μπαταρία.

Τέλος, μπορούν να μελετηθούν περαιτέρω βελτιώσεις ως προς την διερεύνηση ταχύτερης φόρτισης της μπαταρίας από το φωτοβολταϊκό στοιχείο προκειμένου να αυξηθεί κατά το δυνατόν η ισχύς του ρομπότ (Takahashi et al., 2010).

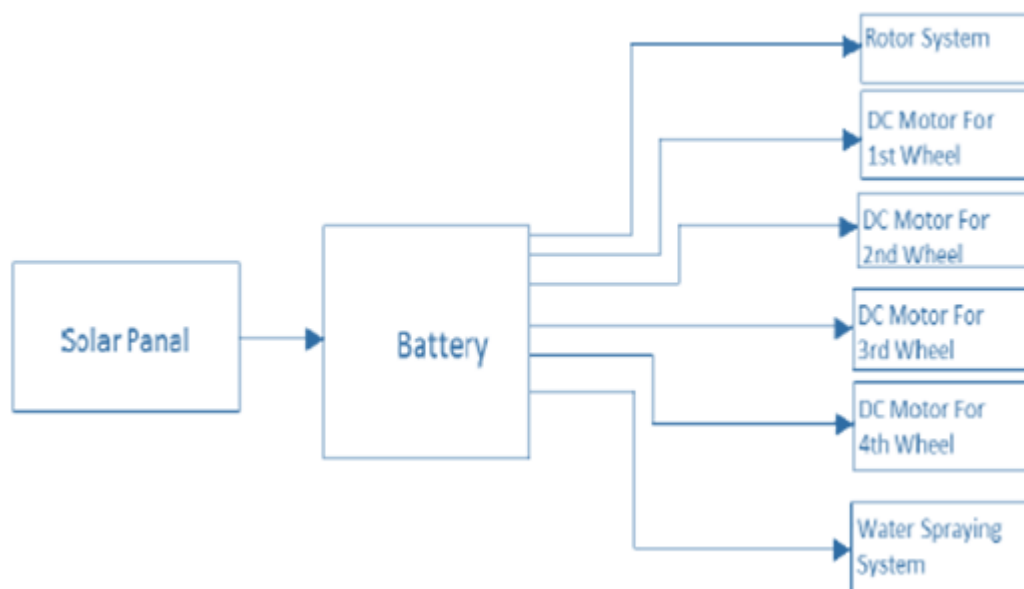
3.3 Ηλιακό ρομπότ γεωργίας με μικροελεγκτή τύπου ARM7

Το ρομπότ ελαχιστοποιεί τον ανθρώπινο κόπο, δεδομένου ότι οι λειτουργίες του ελέγχονται από τον γεωργό ασύρματα. Ακόμη, το κόστος του εξοπλισμού θεωρείται προσιτό για τους αγρότες.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα από τα παλαιότερα μοντέλα ρομπότ καλλιέργειας διέθεταν βενζινοκινητήρες. Την επισκευή τους, ωστόσο, την αναλάμβαναν μόνο εξειδικευμένοι τεχνικοί, ενώ επιβάρυναν το περιβάλλον.

Στα ζητήματα αυτά, τη λύση έδωσε ένα νέο μη επανδρωμένο ρομπότ για την αυτόματη καλλιέργεια της γης.

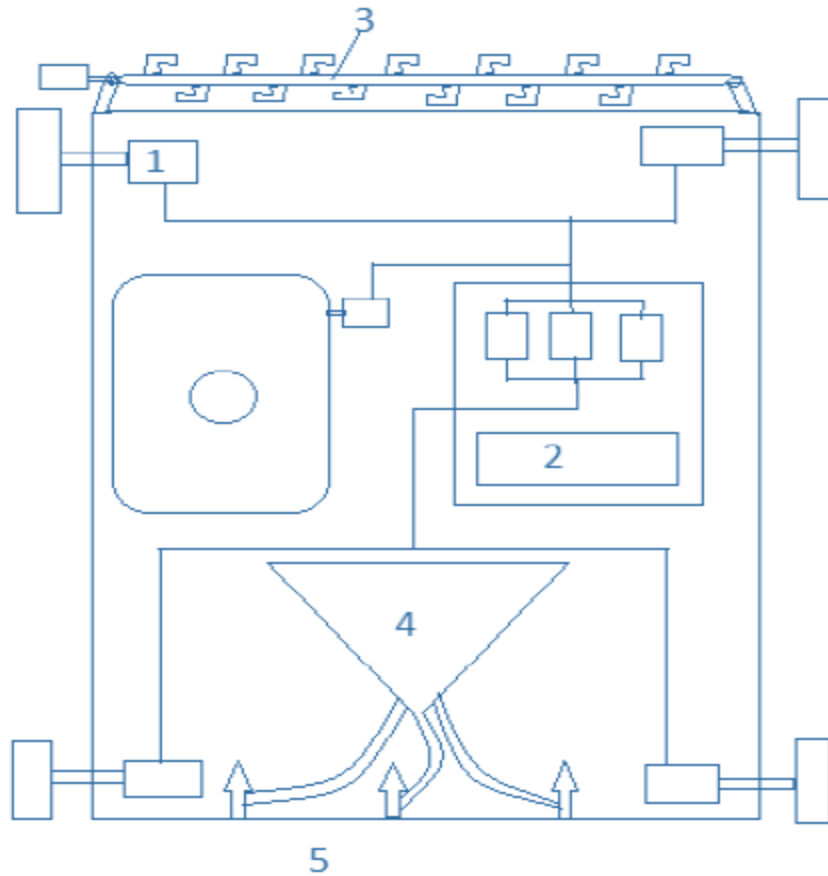
Το μπλοκ διάγραμμα του ηλιακού ρομπότ φαίνεται στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3: Μπλοκ διάγραμμα ηλιακού ρομπότ καλλιέργειας

Το ρομπότ καλλιέργειας να διαθέτει μικροελεγκτή ARM7 για τον έλεγχο και την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση διαφόρων άλλων συσκευών όπως π.χ. dc κινητήρων κλπ.

Το ρομπότ φαίνεται στο Σχήμα 3.4.



1-DC κινητήρας, 2-Μπαταρία, 3-Ρότορας, 4-Χωνί, 5-Σκαλτικό

Σχήμα 3.4: Διάγραμμα ρομπότ με τα βασικά του μέρη

(Πηγή: Sachin et al., 2017)

Το τηλεχειριστήριο του ρομπότ περιλαμβάνει τον κωδικοποιητή RF και τον πομπό RF. Έχει οκτώ (8) διακόπτες για την εντολοδότηση μετακίνησης του ρομπότ σε διάφορες κατευθύνσεις. Αυτοί οι διακόπτες συνδέονται με τον κωδικοποιητή RF που επικοινωνεί με τον πομπό RF. Ο πομπός αυτός συνδέεται με μια κεραία για τη μετάδοση των σημάτων RF.

Η βαθμίδα του δέκτη περιλαμβάνει τα εξής μέρη:

- Τον αποκωδικοποιητή RF

Ο αποκωδικοποιητής RF χρησιμοποιείται κυρίως για την ψηφιακή αποκωδικοποίηση του σήματος RF και την μετατροπή του σε μια σειρά από bits, τα οποία φθάνουν στον μικροελεγκτή δίνοντάς του εντολή να ενεργοποιηθεί. Αλλά κατά την εκκίνηση λόγω παρεμβολής γραμμής και λάθος επιλογής αντιστάτη και πυκνωτή (που θα αποφασίσει την χρονική σταθερά RC που πρέπει να είναι 30 ms ή περισσότερο). Ανάλογα με τον διακόπτη που έχει πατηθεί (αριστερά, δεξιά, προς τα εμπρός ή προς τα πίσω κλπ), τα ψηφιακά δεδομένα από τους διακόπτες μεταφέρονται στον κωδικοποιητή RF, ο οποίος κωδικοποιεί αυτά τα ψηφιακά δεδομένα σε σήματα ραδιοσυχνοτήτων και τα μεταδίδει στον πομπό RF, ο οποίος μεταδίδει τα σήματα RF στον δέκτη (ρομπότ) μέσω της κεραίας. Έτσι το ρομπότ, αφού λάβει τα δεδομένα, εκτελεί τις εντολές – ενέργειες που του δίνονται.

- Τον μικροελεγκτή αρχιτεκτονικής ARM 7

Η αρχιτεκτονική ARM έχει αναπτυχθεί από την ARM Holdings και θεωρείται από τις πιο διαδεδομένες αρχιτεκτονικές 32-bit διαθέτοντας ένα ευρύ φάσμα ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (IC), τα οποία τα παρέχουν οι διάφοροι κατασκευαστές IC. Πρόκειται για αρχιτεκτονική συνόλου εντολών RISC των 32-bit, που συνδέεται με τον προγραμματισμό και περιλαμβάνει τους τύπους δεδομένων της μηχανής, τις εντολές, τους καταχωρητές, τους τρόπους διευθυνσιοδότησης (addressing modes), την αρχιτεκτονική μνήμης, τον χειρισμό διακοπών και εξαιρέσεων, καθώς και την εξωτερική είσοδο/έξοδο (Input/output, I/O). Μια αρχιτεκτονική συνόλου εντολών περιλαμβάνει το σύνολο των μνημονικών εντολών (opcodes) της γλώσσας μηχανής, και τις εντολές που υλοποιούνται από τον ίδιο τον επεξεργαστή (Randal & O' Hallaron, 2010).

Τα αρχικά ARM σημαίνουν Προχωρημένη Μηχανή RISC. Η αρχιτεκτονική ARM είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη αρχιτεκτονική συνόλου εντολών 32-bit όσον αφορά τους επεξεργαστές που παράγονται (Hachman, 2002).

Οι επεξεργαστές ARM είναι σχετικά απλοί, κάτι που τους κάνει κατάλληλους για εφαρμογές χαμηλής ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουν υπερισχύσει στις αγορές των κινητών και των ενσωματωμένων συστημάτων, σαν μικροί και σχετικά χαμηλού κόστους μικροεπεξεργαστές και μικροελεγκτές.

Κατ' αυτόν τον τρόπο οι επεξεργαστές ARM περιλαμβάνονται σε μια τεράστια ποικιλία προϊόντων τεχνολογίας όπως π.χ. σε κινητά τηλέφωνα ή μέχρι και σε συστήματα πέδησης για αυτοκίνητα.

- Τον οδηγό του κινητήρα:

Ο κινητήρας είναι συχνότερα ηλεκτρικός. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κινητήρες εσωτερικής καύσης ή υδραυλικοί κινητήρες. Κατασκευάζονται με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος, φροντίζοντας να διαθέτουν παρατεταμένη διάρκεια ζωής, μικρό θόρυβο και μέγιστη απόδοση λειτουργίας. Στους κινητήρες είναι τοποθετημένοι και ειδικοί μηχανισμοί αυξομείωσης της ταχύτητας (κιβώτιο ταχυτήτων) (gear increasers & reducers), που αποτελούνται από ένα σετ γραναζιών, αξόνων και ρουλεμάν που είναι εργοστασιακά τοποθετημένα σε κλειστό, λιπαντικό περίβλημα.

- Τους κινητήρες ψεκασμού και σποράς:

Ο κινητήρας ψεκασμού αναλαμβάνει τον ψεκασμό φυτοφαρμάκων. Επίσης, μέσω ειδικής κάμερας, γίνεται ο εντοπισμός της θέσης των ζιζανίων. Μία μέθοδος θανάτωσης των ζιζανίων στα φυτά καλλιέργειας είναι η χρήση περιορισμένου ψεκασμού απευθείας στα φύλλα που βρίσκονται τα ζιζάνια με μικρές ποσότητες φυτοφαρμάκου. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι στις περιοχές συγκομιδής, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή για να μην καταστραφεί η καλλιέργεια ή να μην διαταραχθεί το έδαφος (Raman, χ.η.).

Επίσης, δοκιμές έχουν δείξει ότι το πιτσίλισμα μπορεί να μειωθεί όταν ένα φυτοφάρμακο ψεκάζεται ως παχύρευστο gel και όχι σε απόλυτα υγρή μορφή. Άλλες δοκιμές έχουν δείξει ότι όταν η σωστή ποσότητα ζιζανιοκτόνου τοποθετείται με τον σωστό τρόπο την κατάλληλη στιγμή, η χρήση του ζιζανιοκτόνου μειώνεται δραστικά κατά 1 γραμμάριο ανά 2,5 στρέμματα περίπου για προσβολή της τάξης των 100 ζιζανίων ανά τετραγωνικό μέτρο.

Στο Ινστιτούτο Γεωργικών Επιστημών της Δανίας (DIAS - Danish Institutes of Agricultural Sciences) έχει αναπτυχθεί ένα αντίστοιχο ρομποτικό σύστημα ψεκασμού. Πρόκειται για το λεγόμενο ρομποτικό ποτιστή με τη μορφή ενός μηχανοκίνητου ψεκαστήρα για τον ψεκασμό μεταβλητών ποσοτήτων φυτοφαρμάκου. Κατ' αυτόν τον

τρόπο, γνωρίζοντας τις θέσεις που βρίσκονται τα διάφορα ζιζάνια αλλά και πόσο επιβλαβή είναι, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, ώστε να ψεκαστούν τα φυτά με σωστό τρόπο, αλλά και ταυτόχρονα να αφαιρεθούν τα μαραμένα κλαδιά. Επίσης ο κινητήρας σποράς αναλαμβάνει να σπείρει το έδαφος (Raman, χ.η.).

- Τον κινητήρα κοπής αγριόχορτων

Αυτός ο κινητήρας χρησιμοποιείται για την κοπή ανεπιθύμητων χόρτων ή φυτών. Επίσης χρησιμοποιείται και για τη συγκομιδή. Η επιλεκτική συγκομιδή περιλαμβάνει την έννοια της συγκομιδής μόνο εκείνων των τμημάτων της καλλιέργειας που πληρούν ορισμένα κατώτατα όρια ποιότητας. Για παράδειγμα γίνεται η επιλεκτική συγκομιδή κριθαριού όπου οι σπόροι του είναι αρκετά στεγνοί ή διαθέτουν σταθερή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες ή γίνεται επιλογή για συγκομιδή φρούτων και λαχανικών που πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια μεγέθους. Για να είναι δυνατή η αποτελεσματική επιλεκτική συγκομιδή, απαιτείται να πληρούνται δύο βασικά κριτήρια: η ικανότητα να αντιλαμβάνεται τους ποιοτικούς παράγοντες πριν από τη συγκομιδή και η ικανότητα συγκομιδής του προϊόντος χωρίς να καταστρέφεται η υπόλοιπη καλλιέργεια (Raman, χ.η.).

Τα πλεονεκτήματα ηλιακού agrobot είναι τα εξής (Raman, χ.η.):

- Διαθέτει μεγάλη αντοχή
- Δεν ρυπαίνει το περιβάλλον
- Εμφανίζει ελάχιστα σφάλματα σε υψηλές ταχύτητες
- Μπορεί εύκολα να δουλέψει γύρω από δέντρα, βράχους, λίμνες και άλλα εμπόδια. Επίσης μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά σε μεγάλες εκτάσεις γης.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκτός από τη γεωργία, στην ιατρική και στη διαστημική μελέτη των πλανητών.

3.4 Η χρήση της ηλιακής ρομποτικής τεχνολογίας για την ανίχνευση θανατηφόρων και τοξικών χημικών ουσιών

Είναι εξαιρετικά χρήσιμη η αξιοποίηση των ρομπότ για την ανίχνευση και την αποφυγή της έκθεσης σε τοξικά ή επιβλαβή χημικά. Πρόκειται, πραγματικά, για ένα κρίσιμο ζήτημα και πρόκληση. Για να αντιμετωπιστεί η πρόκληση αυτή, σχεδιάστηκε ένα αυτόνομο τηλεχειριζόμενο ρομπότ, όπου δεν απαιτείται καθοδήγηση και ανθρώπινη παρέμβαση. Το ρομπότ αυτό θα έχει ως βασικό σκοπό του την ανίχνευσή επιβλαβών, τοξικών και ενδεχομένως θανατηφόρων χημικών στοιχείων που απαντώνται συχνά και στο έδαφος. Τα βασικότερα στοιχεία ανίχνευσης είναι τα εξής: NO₂, N₂, CO, CO₂, LPG, CH₄, CNG, C₂H₅OH, NH₃, H₂ κ.α.) (Heng et al., 2011).

Ένα ηλιακό ρομπότ ανίχνευσης (SCDR) μειώνει δυνητικά το ενδεχόμενο απώλειας ανθρώπινων ζωών και προστατεύει από την καταστροφή του περιβάλλοντος συμβάλλοντας στην ευημερία της γης, σε ένα πιο υγιές οικοσύστημα και στη βιώσιμη ανάπτυξη (Heng et al., 2011).

Το σύστημα διαχείρισης ισχύος και διανομής του SCDR τροφοδοτείται από μια φιλική προς το περιβάλλον επαναφορτιζόμενη μπαταρία που μπορεί να επαναφορτιστεί κατά τη διάρκεια της ημέρας με ηλιακή ενέργεια. Κατ' αυτόν τον τρόπο επεκτείνονται οι ώρες λειτουργίας του SCDR. Αλλωστε η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας στον ανεπτυγμένο κόσμο τα τελευταία 30 χρόνια έχει δημιουργήσει σοβαρές αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στον πλανήτη μας. Είναι γνωστό ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη και η ρύπανση του αέρα έχει ήδη προξενήσει διαπιστωμένα την απώλεια ανθρώπινων ζωών λόγω της επιβάρυνσης της υγείας τους. Έτσι όλο και περισσότεροι έχουν συνειδητοποιήσει τη σημασία της εξοικονόμησης ενέργειας και την ανάγκη χρήσης ανανεώσιμης ενέργειας ακόμα και στον τομέα της γεωργίας (Heng et al., 2011).

Βάσει των ανωτέρω, το ηλιακό ρομπότ ανίχνευσης χημικών (SCDR) έχει σχεδιαστεί για τον εντοπισμό διαφόρων επιβλαβών, τοξικών και θανατηφόρων χημικών ουσιών τόσο στον αέρα όσο και στο έδαφος μέσω της χρήσης διαφόρων χημικών αισθητήρων. Στον τομέα της γεωργίας δύναται να αξιοποιηθεί για τον εντοπισμό ουσιών στο έδαφος.

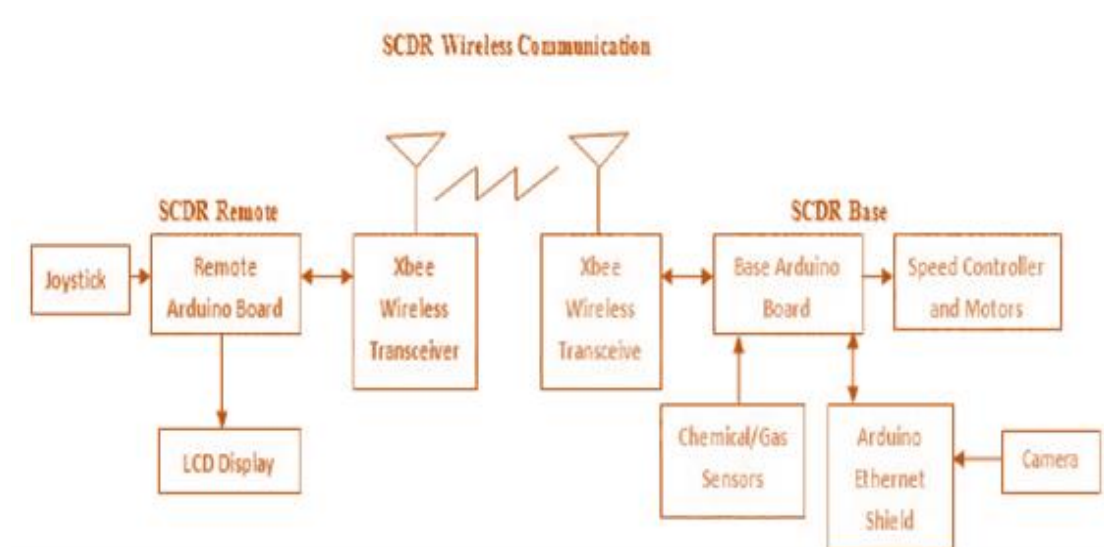
Το SCDR λειτουργεί είτε με τηλεχειριστήριο είτε αυτόνομα και χωρίς να υπάρχει ανθρώπινη παρέμβαση (Heng et al., 2011).

Τροφοδοτείται με επαναφορτιζόμενη μπαταρία που συμπληρώνεται με ηλιακή ενέργεια μέσω του ηλιακού συλλέκτη.

Το panel διαθέτει έναν αυτόματο μηχανισμό κλίσης, ο οποίος είναι κατάλληλα σχεδιασμένος, για να ευθυγραμμίζεται στην υψηλότερη ένταση ηλιακής ενέργειας.

Το ρομπότ αποτελείται από τέσσερις (4) κινητήρες dc, οι οποίοι ενεργοποιούνται με την ανίχνευση του φωτός.

Η λειτουργία του ρομποτικού συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα στο μπλοκ διάγραμμα ασύρματης επικοινωνίας με πομποδέκτες Xbee για το ρομποτικό σύστημα SCDR (Heng et al., 2011).



Σχήμα 3.6: Ασύρματη επικοινωνία με πομποδέκτες Xbee (ZigBee) στο ρομπότ

(Πηγή: Heng et al., 2011)

Η τεχνολογία ZigBee προορίζεται για ασύρματα δίκτυα και εφαρμόζεται στους πομποδέκτες Xbee. Η συχνότητα λειτουργίας είναι στα 2,4 GHz και σε όλους τους πομποδέκτες τεχνολογίας ZigBee έχει εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Ακόμη ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που δύναται να επιτευχθεί είναι της τάξης των 250Kbps.

Υλοποιείται σε εφαρμογές όπου απαιτείται ελάχιστη κατανάλωση ισχύος, ασύρματη διασύνδεση μεγάλου αριθμού συσκευών και χαμηλό κόστος κατασκευής, ενώ παράλληλα δεν υφίσταται η ανάγκη για υψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Για παράδειγμα ενδείκνυται για σήματα που στέλνουν τα αισθητήρια ενός αυτοματισμού.

Ακόμη το πρότυπο ZigBee ακολουθεί το μοντέλου OSI, άλλα με τέσσερα επίπεδα, από τα οποία τα δύο πρώτα επίπεδα PHY και MAC δημιουργήθηκαν από την IEEE και αποτελούν το πρότυπο 802.15.4.

Το SCDR ενσωματώνοντας την ασύρματη επικοινωνία με πομποδέκτες Xbee διαθέτει παράλληλα και μια ασύρματη κάμερα, που επιτρέπει στους χρήστες να κατευθύνουν την κίνηση του SCDR εξ αποστάσεως σε αναζήτηση πιθανών περιβαλλοντικών κινδύνων. Επιπλέον, η χρήση της ασύρματης επικοινωνίας ZigBee επιτρέπει στους χρήστες να διαβάσουν τα δεδομένα από τα αισθητήρια σε μια οθόνη LCD.

Τέλος, το χειριστήριο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της κίνησης του SCDR.

Συμπερασματικά, η ανάπτυξη ενός ηλιακού χημικού ρομπότ ανίχνευσης τοξικών ουσιών στο έδαφος συμβάλλει στην υγεία των αγροτών και στην αποφυγή της ρύπανσης του περιβάλλοντός μας. Τα τοξικά στοιχεία που απαντώνται στα χωράφια κυρίως λόγω των αποβλήτων των εργοστασίων εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα, αποτελώντας κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (Heng et al., 2011).

3.5 Η εφαρμογή δικτύου αισθητήρων στη γεωργία

Οι διάφορες γεωργικές πρακτικές που έχουν εφαρμοστεί και εν γένει η υπερεκμετάλλευση της γης τις τελευταίες δεκαετίες έχει προξενήσει ζητήματα γεωλογικά. Για παράδειγμα το έδαφος έχει υποστεί διάβρωση, ενώ είναι φθίνουσα η ποιότητα νερού. Ταυτόχρονα έχει παρατηρηθεί σε πολλές περιοχές της γης η απώλεια της βιοποικιλότητας κλπ. (Wark et al., 2007).

Γι' αυτό τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν ένα κρίσιμο εργαλείο για τη μέτρηση της σύνθετης συνδυασμένης δυναμικής των φυσικών συστημάτων και της κατανόησης των αλληλένδετων προβλημάτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως (Wark et al., 2007).

Στο παρελθόν, στην γεωργία ένας καλλιεργητής με έντονη δραστηριότητα αναλάμβανε την καλλιέργεια των φυτών και την εκτροφή των ζώων σχεδόν αποκλειστικά. Πλέον με ένα δίκτυο αισθητήρων κινητής τηλεφωνίας οι κόμβοι μπορούν να παρακολουθούν και να ελέγχουν τις θέσεις των ζώων που εκτρέφονται.

Κατ' αυτόν τον τρόπο ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να βελτιώσει την παραγωγικότητα αυξάνοντας την επίγνωση από τον κτηνοτρόφο περί της κατάστασης που βρίσκονται π.χ. γνωρίζουν τις συνθήκες που επικρατούν στους βοσκοτόπους και στα ζώα που βρίσκονται εκεί εξ αποστάσεως (Wark et al., 2007).

Ακόμη, έχουν καθιερωθεί διάφορα ασύρματα πρότυπα, όπως το IEEE 802.11b (“WiFi”) (IEEE, 1999b) και ασύρματο PAN, IEEE 802.15.1 (Bluetooth) (IEEE, 2002) και IEEE 802.15.4 (ZigBee) (IEEE, 2003), χρησιμοποιούνται ευρύτερα για εφαρμογές μετρήσεων και αυτοματισμών. Όλα αυτά τα πρότυπα χρησιμοποιούν τις ραδιοφωνικές ζώνες οργάνων, επιστημονικής και ιατρικής (ISM), συμπεριλαμβανομένων των ζωνών sub-GHz 902–928MHz (ΗΠΑ), 868–870MHz (Ευρώπη), 433.05–434.79MHz (ΗΠΑ και Ευρώπη) και 314–316MHz (Ιαπωνία) και οι ζώνες GHz των 2.400-2.4835 GHz (παγκόσμια αποδεκτές) (Wang et al., 2006).

Η ζώνη των 2,4 GHz έχει ευρύτερο εύρος, το οποίο επιτρέπει σε περισσότερα κανάλια να εκτελέσουν αναπήδηση συχνότητας (frequency hopping). Ακόμα επιτρέπει στα ασύρματα LAN (IEEE 802.11) να είναι ένα ευέλικτο πρωτόκολλο επικοινωνίας δεδομένων και δύναται να εφαρμόζεται για την επέκταση ή ακόμα και την αντικατάσταση του ενσύρματου δικτύου Ethernet. Το εύρος ζώνης των LAN (802.11b) είναι 11 Mbits και λειτουργούν σε συχνότητα 2,4 GHz (Wang et al., 2006).

Το Bluetooth (IEEE 802.15.1) χρησιμοποιείται για επικοινωνία μικρής εμβέλειας. Χρησιμοποιεί τις ζώνες ραδιοφώνου 2,4 GHz, 915MHz και 868MHz για να επικοινωνεί σε 1 Mbit μεταξύ έως και οκτώ συσκευών. Το Bluetooth αντικατέστησε επάξια το καλώδιο στις φορητές συσκευές. Έχει σχεδιαστεί κυρίως για τη μεγιστοποίηση της λειτουργικότητας και της απόδοσης των ad hoc δικτύων (Wang et al., 2006).

Το πρότυπο IEEE 802.15.4 είναι μια προδιαγραφή που παρέχει συνδεσιμότητα χαμηλού ρυθμού δεδομένων μεταξύ σχετικά απλών συσκευών που καταναλώνουν ελάχιστη ισχύ και συνήθως συνδέονται σε μικρές αποστάσεις. Είναι ιδανικό για παρακολούθηση, έλεγχο, αυτοματοποίηση, ανίχνευση και παρακολούθηση εφαρμογών για οικιακά, ιατρικά και βιομηχανικά περιβάλλοντα (Wang et al., 2006).

Τα χαρακτηριστικά των συσκευών IEEE 802.15.4 περιλαμβάνουν (Wang et al., 2006):

- Ζώνη 868MHz, 1 κανάλι, 20 kbps.
- Ζώνη ISM 915MHz, 10 κανάλια, 40 kbps.
- 2,4 GHz ζώνη ISM, 16 κανάλια, 250 kbps.
- σύνδεση έως 255 συσκευών ανά δίκτυο.
- πλήρες πρωτόκολλο για αξιοπιστία μεταφοράς.

- διαχείριση ισχύος για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Ακόμη, οι «έξυπνοι μετατροπείς» είναι αισθητήρες ή ενεργοποιητές εξοπλισμένοι με μικροελεγκτές για την παροχή τοπικής «νοημοσύνης» και δυνατότητας δημιουργίας δικτύου. Τις πρώτες προσπάθειες τυποποίησης τις ξεκίνησε από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST) και ανέπτυξαν για έξυπνους μετατροπείς τα πρότυπα IEEE 1451 (Wang et al., 2006).

Η αρχιτεκτονική ενός έξυπνου μετατροπέα περιλαμβάνει μια μονάδα διασύνδεσης έξυπνου μετατροπέα (STIM), έναν επεξεργαστή εφαρμογών με δυνατότητα δικτύου (NCAP), μια ανεξάρτητη διεπαφή μετατροπέα (TII) μεταξύ του STIM και του NCAP και ένα δίκτυο. Κάθε μονάδα STIM και NCAP περιέχει έναν ανεξάρτητο μικροελεγκτή (Wang et al., 2006).

Οι έξυπνοι μετατροπείς (αισθητήρες ή ενεργοποιητές) και τα κυκλώματα ρύθμισης του σήματός τους θεωρούνται μέρη του STIM. Τα αναλογικά και ψηφιακά σήματα που προέρχονται από τους αισθητήρες συνδέονται στον μικροεπεξεργαστή του STIM μέσω θυρών μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό και ψηφιακής εισόδου, αντίστοιχα. Τα σήματα ελέγχου μπορούν να σταλούν σε ενεργοποιητές μέσω θύρας ψηφιακού σε αναλογικό μετατροπέα ή ψηφιακής εξόδου του μικροεπεξεργαστή (Wang et al., 2006).

Κατ' αυτόν τον τρόπο, μια μονάδα STIM μπορεί να φιλοξενήσει μια μεγάλη ποικιλία αισθητήρων και ενεργοποιητών. Ακόμα, το NCAP λειτουργεί ως πύλη μεταξύ δομής δικτύου και του STIM. Έχει πρόσβαση στα δεδομένα μετατροπέα STIM από τη μία πλευρά μέσω της διεπαφής TII και από την άλλη πλευρά αποκτά πρόσβαση στους πόρους του δικτύου. Το TII και το NCAP παρέχουν από κοινού τη δυνατότητα ενεργοποίησης του δικτύου για τους έξυπνους μετατροπείς (Wang et al., 2006).

Επιπρόσθετα, το IEEE 1451.5 αναπτύσσεται για να γεφυρώσει τους ασύρματους αισθητήρες με τους «έξυπνους μετατροπείς» για την παραγωγή έξυπνων ασύρματων αισθητήρων που συνδυάζουν την ανίχνευση, τις μετρήσεις και την επικοινωνία. Χρησιμοποιώντας αυτό το πρότυπο, οι έξυπνοι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές μπορούν να συνδεθούν σε ένα κοινό δίκτυο μέσω ενσύρματων και ασύρματων μεταδόσεων για την εκτέλεση εξελιγμένων λειτουργιών. Το πρότυπο IEEE 1451.5 συμβάλλει στην ενσωμάτωση των έξυπνων μετατροπέων με διάφορα πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας, όπως 802.11 (Wi-Fi), 802.15.4 (Bluetooth) και 802.15.5 (ZigBee) (Wang et al., 2006).

Κεφάλαιο 4^ο: Οικονομοτεχνική ανάλυση αξιοποίησης των ηλιακών ρομπότ στη γεωργία

4.1 Οικονομοτεχνική ανάλυση αυτοματοποιημένης αντίχνευσης και καταπολέμησης ζιζανίων

Σύμφωνα με τα δεδομένα της εργασίας των Φουντάς κ.ά. (2005) με τίτλο: "Τεχνικοοικονομική μελέτη των αυτό-οδηγούμενων οχημάτων στη γεωργία", που παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν στο 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών υπό την αιγίδα της Εταιρίας Γεωργικών Μηχανημάτων Ελλάδος (ΕΓΜΕ), θα επιχειρηθεί να διερευνηθεί η αξία της εισόδου των ρομποτικών συστημάτων και των αυτοματισμών στην καλλιέργεια. Συγκεκριμένα θα διερευνηθεί αν η χρήση των αυτόνομων συστημάτων στις καλλιέργειες μπορούν να εμφανίσουν οικονομικότητα κατά την μετατροπή τριών (3) αυτόνομων συστημάτων εργασιών καλλιέργειας. Θα συγκριθούν με αντίστοιχες συμβατικές μεθόδους και θα εξαχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Από την εργασία που παρουσιάστηκε στο Συνέδριο, επιλέχθηκαν προς μελέτη τα δύο (2) από τρία (3) σενάρια, τα οποία κρίνονται ως τα πλέον κρίσιμα και αντιπροσωπευτικά. Αφορούν στην ρομποτική καταπολέμηση των ζιζανίων σε χωράφια, όπου οι καλλιέργειες θεωρούνται υψηλής αξίας, καθώς επίσης στην αντίχνευση των ζιζανίων.

Να σημειωθεί ότι αξιοποιήθηκε η αυτοματοποιημένη πλατφόρμα του Ινστιτούτου Γεωργικής Μηχανικής (API) της Δανίας (Bak & Jakobsen, 2004).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα ανωτέρω σενάρια επιλέχθηκε βάσει των δυνατοτήτων της αυτοματοποίησης και σύμφωνα με την ύπαρξη των δεδομένων προς ανάλυση, αλλά και από τη συλλογή λοιπών ερευνητικών δεδομένων.

Κατά τους υπολογισμούς, καταρτίζεται ο μερικός προϋπολογισμός. Συγκρίνονται οι μεταβολές του κεφαλαίου και του κόστους με τις συμβατικές μορφές εκμηχάνισης.

Τα δεδομένα που συμπεριλαμβάνει η έρευνα συνδέονται με την αρχική επένδυση, το κόστος ημερομισθίων, την ταχύτητα και τις εργατοώρες των μηχανημάτων. Επίσης συμπεριλαμβάνεται στην μελέτη η κατανάλωση της ενέργειας και το κόστος του αυτοματισμού και της πλοήγησης. Ως χρόνος απόσβεσης ορίστηκε μια δεκαετία με

σταθερό ποσοστό επιτοκίου, το 5%. Ακόμη, έγινε η πρόσθεση ενός χρόνου προσαρμογής και εκπαίδευσης του προσωπικού στα αυτοκινούμενα οχήματα.

Οι κύριες παραδοχές για τα τρία σενάρια είναι τα ακόλουθα (Φουντάς κ.ά., 2005):

- Ανίχνευση ζιζανίων

Διεξήχθη η σύγκριση της ανίχνευσης των ζιζανίων σε καλλιέργειες σιτηρών με αυτοκινούμενο όχημα και με συμβατικές μεθόδους.

Η πλατφόρμα API αποτελείται από τέσσερις (4) με δύο (2) κινητήρες ανά τροχό, προκειμένου να εξασφαλίζεται μεγαλύτερη αντίσταση στην ολίσθηση και βέλτιστη κινητικότητα (Bisgaard et al., 2004).

Έχει 60 cm απόσταση από το έδαφος και πλάτος εργασίας 1 μέτρου. Περιλαμβάνει το σύστημα RTK (Real-time kinematic positioning)-GPS και έναν φορητό υπολογιστή.



Εικόνα 4.1: Η ερευνητική αυτοκινούμενη πλατφόρμα API

(Πηγή: Φουντάς κ.ά., 2005)

Το σύστημα RTK αποτελεί εφαρμογή τοπογραφίας. Επιτυγχάνει τη διόρθωση σφαλμάτων που προέρχονται από τα συστήματα δορυφορικής πλοήγησης (GNSS) και παρέχει ακρίβεια σε επίπεδο εκατοστών σε συνδυασμό με το GPS (Wanninger, 2008).

Έχει τη δυνατότητα σύνδεσης με ψεκαστικό μηχάνημα και μηχάνημα κοπής. Επιπλέον, διαθέτει κάμερα αναγνώρισης των ζιζανίων και αισθητήρες αποφυγής εμποδίων.

- Καταπολέμηση των ζιζανίων

Έγινε χρήση του συστήματος ψεκασμού micro-spraying. Αποτελείται από οκτώ (8) βαλβίδες με ανεξάρτητο μηχανισμό ενεργοποίησης του κάθε ακροφυσίου. Κάθε ακροφύσιο έχει πέντε (5) ανοίγματα με πλάτος ψεκασμού να κυμαίνεται από 1,27cm έως 10,16cm, ώστε να μπορεί να καλύπτει όλο το πλάτος της εργασίας (Lee et al., 1999).

Διεξήχθη ο υπολογισμός του κόστους καταπολέμησης των ζιζανίων ανάμεσα στις γραμμές με τις συμβατικές μεθόδους και το σύστημα micro-spraying επί των γραμμών.

Στον Πίνακα 4.1 περιλαμβάνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των σεναρίων. Το σύστημα αυτοκινούμενης ανίχνευσης των ζιζανίων θεωρητικά καλύπτει έκταση ογδόντα (80) εκταρίων και το σύστημα καταπολέμησης ζιζανίων καλύπτει πεντακόσια (500) εκτάρια.

Αναφορικά με τα στοιχεία που αφορούν στο αυτοκινούμενο σύστημα και στο παραδοσιακό γεωργικό όχημα, το αυτοκινούμενο όχημα διαθέτει απλά χειριστή, ενώ επίσης υφίσταται και ένα σημαντικό κόστος για την μετατροπή και τη λειτουργία του συμβατικού οχήματος σε αυτοκινούμενο.

Επιπλέον, αναφορικά με το αυτοκινούμενο όχημα ανίχνευσης ζιζανίων, συγκρίνεται με τη χειρωνακτική παρατήρηση των ζιζανίων, η οποία εκτιμάται ότι απαιτεί περίπου 0,7 ανθρωποώρες το έτος ανά εκτάριο (Pedersen, 2003).

Να σημειωθεί ότι τον πρώτο χρόνο, οι απαιτήσεις ανίχνευσης ζιζανίων είναι πιο μεγάλες, ενώ στα επόμενα χρόνια, η ανίχνευση δεν κρίνεται εξίσου σημαντική.

Οι περιοχές ζιζανίων στην περίπτωση αυτοματοποιημένης ανίχνευσης μπορούν να καταγραφούν μέσω GPS, όπου με το γνωστό γεωγραφικό σύστημα GIS δημιουργούνται οι αντίστοιχοι χάρτες με τα ζιζάνια ανά αγροτεμάχιο.

Η έκταση των πεντακοσίων (500) έχει οριστεί για την κάλυψη της επένδυσης, δεδομένου ότι απαιτείται αποκλειστικά μία εφαρμογή κάθε έτος, με την ταχύτητα της πλατφόρμας να είναι 3,6 km/h και να φέρει δυναμικότητα 4,32 ha/h.

Σε σχέση με το σύστημα micro-spraying για την καταπολέμηση των ζιζανίων, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο χρόνος εκτέλεσης της εν λόγω εργασίας είναι μεγαλύτερος. Το εν λόγω σύστημα συγκρίνεται με το κόστος καταπολέμησης των ζιζανίων σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιείται η πλατφόρμα API. Το κόστος τεσσάρων (4) συστημάτων micro-spraying είναι περίπου 6.730 ευρώ το ένα, ενώ η ταχύτητα λειτουργίας τους είναι 1,8 km/h με δυνατότητα κάλυψης 0,4 εκτάρια/h.

Πίνακας 4.1 Τεχνικές προδιαγραφές των δύο σεναρίων

	Αυτοκινούμενη ανίχνευση ζιζανίων	Ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων
Πλατφόρμα	Σύστημα API	Σύστημα API
Σύστημα GPS	RTK-GPS	RTK-GPS
Συνολική έκταση	500 ha	80 ha
Ταχύτητα	1.8 km/h	3.6 km/h
Πλάτος εργασίας	12 m	2 m 4 γραμμές
Δυναμικότητα (capacity)	4.32 ha/h	0.4 ha/h
Αριθμός παρεμβάσεων	1 παρέμβαση/ χρόνο	3 παρεμβάσεις/ χρόνο
Χρόνος εξοικείωσης	2 εβδομάδες	2 εβδομάδες
Ημερήσιος χρόνος εργασίας	16 h	16 h
Ετήσιος χρόνος εργασίας	116 h	667 h
Ετήσιος χρόνος εργασίας	7 μέρες	42 μέρες
Περίοδος εργασιών	Απρίλιο-Ιούλιο	Απρίλιο-Ιούνιο

(Πηγή: Φουντάς κ.ά., 2005)

4.2 Ανάλυση κόστους - όφελους

Το συνολικό κόστος για την επένδυση σε αυτά τα συστήματα αναγράφεται στον Πίνακα 4.2. Το κόστος ανεβαίνει με την απαραίτητη προσθήκη του συστήματος εντοπισμού RTK-GPS (Φουντάς κ.ά., 2005).

Ακόμη, στον Πίνακα 4.3 αναλύονται οι σταθερές και μεταβλητές δαπάνες των ανωτέρω συστημάτων, οι οποίες κυμαίνονται από 8.000 ευρώ καθ' έτος για την ανίχνευση των ζιζανίων σε 20.834 ευρώ για την καταπολέμηση των ζιζανίων (Φουντάς κ.ά., 2005).

Πίνακας 4.2 Επένδυση των αυτοκινούμενων συστημάτων

	Αυτοκινούμενη ανίχνευση ζιζανίων σε σιτηρά	Ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων σε ζαχαρότευτλα
----- EURO -----		
Σύστημα API	15,141	15,141
RTK-GPS	20,188	20,188
Σύστημα micro- spraying, 4 γραμμών		26,918
Σύστημα ηλεκτρονικών		
Testing	2,692	2,692
Σύνολο	38,022	64,939

(Πηγή: Φουντάς κ.ά., 2005)

Πίνακας 4.3: Ανάλυση του κόστους των αυτοκινούμενων συστημάτων

	Αυτοκινούμενη ανίχνευση ζιζανίων σε σιτηρά	Ρομποτική καταπολέμηση ζιζανίων σε ζαχαρότευτλα
----- EURO/ χρόνο -----		
Κεφάλαιο επένδυσης	951	1,624
Απόσβεση	3,802	6,494
Συντήρηση	1,141	1,984
GPS-RTKsignal, ετήσια συνδρομή	1,615	1,615
GPS-RTKsignal κόστος, μεταβλητό	156	897
Δημιουργία χάρτη ζιζανίων		150
Κόστος ζιζανιοκτόνου		1,731
Κόστος ζιζανιοκτονίας στην γραμμή		5,599
Άλλα έξοδα, π.χ. καυσίμου, φόρτωσης, κλπ	135	776
Συνολικά έξοδα	7,799	20,834

(Πηγή: Φουντάς κ.ά., 2005)

Στην καταπολέμηση των ζιζανίων συμπεριλαμβάνεται το κόστος καταπολέμησης των ζιζανίων στις γραμμές με μηχανική καταπολέμηση ζιζανίων με συμβατικές μεθόδους. Εκεί το κόστος είναι 5.599 ευρώ ανά έτος (Φουντάς κ.ά., 2005).

Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζεται το ετήσιο κόστος των τριών συστημάτων χρησιμοποιώντας αυτοκινούμενα οχήματα ή ακολουθώντας τις συμβατικές μεθόδους. Και στις δύο περιπτώσεις η αυτοματοποίηση είναι πιο αποδοτική και κερδοφόρα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους. Συγκεκριμένα, η μείωση του κόστους ανίχνευσης και καταπολέμησης των ζιζανίων ανέρχεται περίπου σε 20% και 12%, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.4: Διαφορά κόστους εργασίας μεταξύ αυτοκινούμενων και συμβατικών συστημάτων

	Αυτοκινούμενα	Συμβατικά
	----- EURO/ha -----	
Ανίχνευση ζιζανίων	15.6	19.4
Καταπολέμηση ζιζανίων	260.4	296.6

(Πηγή: Φουντάς κ.ά., 2005)

Ο χρόνος απόσβεσης έχει ορισθεί στα 10 χρόνια, ωστόσο είναι δόκιμο να μειωθεί στα 5-8 χρόνια στην περίπτωση της ρομποτικής καταπολέμησης ζιζανίων που λειτουργεί αρκετές ώρες τον χρόνο.

Αντιθέτως, στην περίπτωση της ανίχνευσης ζιζανίων, που είναι μία καινούργια σχετικά εργασία στα πλαίσια της εκμηχάνισης που συνδέεται με τις αρχές της γεωργικής ακριβείας, ο χρόνος απόσβεσης, μπορεί να είναι και μεγαλύτερος από 10 χρόνια, λόγω του μικρού αριθμού ωρών λειτουργίας.

4.3 Συμπεράσματα οικονομοτεχνικής ανάλυσης

Συμπερασματικά, στην οικονομοτεχνική μελέτη των συστημάτων, η επιλογή έγινε βάσει των υψηλών απαιτήσεων σε εργατικά ημερομίσθια, που θα μπορούσαν να αντικατασταθούν με αυτοκινούμενα οχήματα χωρίς την ύπαρξη χειριστή.

Η μία προϋπόθεση είναι ότι τα εν λόγω οχήματα είναι εύχρηστα και ότι δεν απαιτούνται πρόσθετα έξοδα για τη λειτουργία του υπολογιστή που έχουν εγκατεστημένο.

Οι εν λόγω περιπτώσεις δύνανται να επεκταθούν και σε άλλες καλλιέργειες, όπως είναι η κατεργασία του εδάφους (σκάψιμο και λείανση) κλπ.

Η αυτόνομη ψηφιακή αντίχνευση των ζιζανίων δίνει μια νέα διάσταση στους ψεκασμούς εισάγοντας την έννοια των μεταβλητών δόσεων στο χώρο. Ακόμη, στην ρομποτική καταπολέμηση των ζιζανίων, αν δεν εξεταστούν οι ενδεχόμενες μειώσεις στο κόστος εφαρμογής της εν λόγω μεθόδου, προκύπτει ότι το κέρδος από την σαφή μείωση των ζιζανιοκτόνων προσεγγίζει το 90%. Αυτό συνεπάγεται την δραστική μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και την παροχή προστασίας στην υγεία των αγροτών.

Τέλος, κατά την ανάλυση του κόστους, προκύπτει ότι η κύρια πηγή των εξόδων στα αυτοκινούμενα συστήματα αποτελεί το υψηλό κόστος τόσο της αγοράς όσο και της χρήσης του συστήματος πλοήγησης RTK-GPS (Φουντάς κ.ά., 2005).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Είναι προφανές ότι πλέον η σύγχρονη γεωργία μπορεί να μπει στην τροχιά της εξέλιξης της ρομποτικής επιστήμης και της πληροφορικής αποκομίζοντας όλα τα οφέλη και τα πλεονεκτήματα που τους προσφέρονται και διευκολύνοντας στις γεωργικές εργασίες περίπου 150 εκατομμυρίων καλλιεργητών παγκοσμίως (Αλεξάκη, 2019).

Ο σκοπός είναι η αύξηση της παραγωγής με όσο το δυνατόν περισσότερο μεγαλύτερη ακρίβεια και κυρίως μειωμένο κόστος.

Σύμφωνα με έρευνες, εκτιμάται ότι η είσοδος της ρομποτικής στην γεωργία μπορεί να αυξήσει την παραγωγή έως και κατά 300 εκατ. τόνους σε παγκόσμιο επίπεδο (Αλεξάκη, 2019).

Ακόμη, πράγματι, το κόστος παραγωγής εμφανίζεται να μειώνεται έως και 100 δισ. δολάρια. Παράλληλα διασφαλίζονται οι στόχοι της βιώσιμης και πράσινης ανάπτυξης, με την εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών, φιλικών προς στο περιβάλλον. Μάλιστα, θα μειωθεί σημαντικά η χρήση του νερού, ενώ θα μειωθεί και η χρήση χημικών σε σημαντικό βαθμό. Αυτό σημαίνει ότι προστατεύεται το περιβάλλον, αλλά και η υγεία των ανθρώπων (Αλεξάκη, 2019).

Άλλωστε οι επενδύσεις από εταιρείες αγροτεχνολογίας που φτάνουν τα 700 εκατομμύρια δολάρια την τελευταία 5ετία, δεν είναι τυχαίες, ενώ παρατηρείται ότι οι συγκεκριμένες επενδύσεις αυξάνονται.

Μελετώντας άρθρα των Financial Times (Αλεξάκη, 2019), αναφέρεται ότι οι start up εταιρείες έδωσαν δυναμική και ώθηση για τη δημιουργία σύγχρονων αυτοματοποιημένων μηχανών που ενισχύουν την παραγωγή και φυσικά αυξάνουν την απόδοση της κερδοφορίας.

Κατ' αυτόν τον τρόπο, έχει στραφεί το ενδιαφέρον της επιστήμης και των εταιριών προς τα αγρορομπότ, ώστε να επιτύχουν να επιλυθούν πρακτικά ζητήματα που ανακύπτουν.

Στην πράξη εφαρμόζονται, εκτός από τα συστήματα που περιεγράφηκαν στην εργασία δύο βασικοί τύποι ρομπότ: τα συστήματα που συμβάλλουν στην μείωση του κόστους (π.χ. τα ζιζανιοκτόνα, παρασιτοκτόνα και της ρίψης λιπασμάτων) και τα ρομπότ που στόχο έχουν να αντικαθιστούν πλήρως τα εργατικά χέρια στη συγκομιδή.

Ωστόσο, παραμένει εξαιρετικά δύσκολη η μαζική παραγωγή από τέτοια συστήματα,

δεδομένου ότι δεν θεωρείται εύκολη η κατασκευή διαφόρων βραχιόνων τεχνικά, ώστε να μην πληγώνονται π.χ. ευαίσθητα φρούτα. Επιπροσθέτως, δεν καταφέρνουν τελικώς να αντικαταστήσουν τους εργάτες, δεδομένου ότι δεν θεωρούνται ιδιαίτερα γρήγορα και φυσικά δεν είναι ακόμη φθηνά. Αυτό συνεπάγεται ότι επιβάλλεται η διεύρυνση των ερευνών στην κατεύθυνση εξέλιξης των συστημάτων.

Παρόλα αυτά, είναι προφανές ότι με την αλματώδη τεχνολογική εξέλιξη θα μεταβληθεί στην πάροδο του χρόνου η γεωργική και παραγωγική δραστηριότητα. Κανείς δεν θα μπορούσε να φανταστεί, πριν δέκα (10) χρόνια, ότι οι καλλιεργητές, λαμβάνοντας, για παράδειγμα, SMS στο έξυπνο κινητό τους, θα μπορούν να αντλήσουν όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες αναφορικά με τις συνθήκες που επικρατούν στο χωράφι τους (θερμοκρασία, υγρασία εδάφους, ζιζάνια κλπ.) Είναι, πράγματι, ιδιαίτερα εντυπωσιακό το γεγονός ότι με τη χρήση ενός laptop ή tablet χωρίς να υφίσταται ουδεμία επικινδυνότητα ή σπατάλη χρόνου, παρέχονται σημαντικές πληροφορίες για τις καλλιέργειες (π.χ. για το πότισμα, το λίπασμα κλπ.) Όλες οι πληροφορίες διατηρούνται σε Cloud, προκειμένου να μπορεί ο κάθε αγρότης να τις αντλεί και να τις επεξεργάζεται ανά πάσα στιγμή, έχοντας πλήρη εικόνα για την πορεία της καλλιέργειάς του.

Ταυτόχρονα, οι ερευνητές που ασχολούνται με τους αυτοματισμούς, θα έχουν πρόσβαση σε μια βάση δεδομένων με πολλαπλά στοιχεία, ώστε να μπορούν να τα μελετούν και να μπορούν να εξάγουν συμπεράσματα προτείνοντας νέες τεχνολογικές λύσεις (Αλεξάκη, 2019).

Είναι γεγονός ότι η ανθρωπότητα έχει φτάσει σε ένα ιδιαίτερα υψηλό τεχνολογικό επίπεδο, υλοποιώντας την ψηφιακή γεωργία. Ακόμη και στην χώρα μας που παρακολουθεί τις εξελίξεις μετρώντας λίγα τεχνολογικά βήματα πίσω από τις υπόλοιπες προοδευμένες χώρες, βρίσκεται σε φάση υλοποίησης της τοποθέτησης άνω των 6.000 επίγειων σταθμών παρακολούθησης των καλλιεργειών. Βάσει εκτιμήσεων, όταν υλοποιηθεί το έργο πλήρως, θα επιτευχθεί η μείωση του κόστους παραγωγής έως και 45% με την ταυτόχρονη αύξηση της ποιότητας των προϊόντων και την αποδοτικότητα των καλλιεργειών.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι τα οφέλη από την είσοδο της ρομποτικής, της πληροφορικής και των αυτοματισμών στις καλλιέργειες είναι πολλαπλά. Συνοπτικά είναι τα ακόλουθα:

- Αυξάνεται το κέρδος παραγωγής και μειώνεται το κόστος της με την ορθολογική χρήση χημικών και λιπασμάτων, δεδομένου ότι πλέον είναι ελεγχόμενη (συνήθως μειωμένη) η εφαρμογή εισροών.

- Βελτιώνεται η ποιότητα των αγαθών που παράγονται, χάρη στην γεωργία ακριβείας, σύμφωνα με την οποία η αντιμετώπιση των αναγκών στις καλλιέργειες για λίπανση, άρδευση και φυτοπροστασία, είναι βελτιστοποιημένη.

- Μειώνονται σημαντικά οι επιδράσεις στο περιβάλλον, επειδή δεν γίνεται πλέον κατάχρηση φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων, αλλά και νερού.

- Αντιμετωπίζονται οι ανακύπτοντες κίνδυνοι για την παραγωγή με αποτελεσματικότητα λόγω της άμεσης εξ αποστάσεως ενημέρωσης και προειδοποίησης των καλλιεργητών. Συγκεκριμένα, πλέον μπορούν να ιχνηλατούνται τα προϊόντα σε όλα τα στάδια της καλλιέργειας και της παραγωγής τους. Το γεγονός αυτό τους προσθέτει και αξία.

- Υφίσταται συμμόρφωση με το πλαίσιο για τις καλλιέργειες από την Ε.Ε.

- Είναι ευρύτερη και πιο ουσιαστική η πρόσβαση των επιστημόνων και των εταιριών σε ένα μεγάλο πλήθος δεδομένων, προκειμένου να τα αξιοποιούν σε ερευνητικούς τους σκοπούς.

- Ενθαρρύνεται η καινοτομία και δημιουργούνται νέες εφαρμογές και αντίστοιχα λογισμικά, τα οποία παρέχουν νέες δυνατότητες.

Επομένως, τα ρομποτικά συστήματα που εκτελούν, πλέον, όλες τις γεωργικές εργασίες ελεγχόμενα εξ αποστάσεως, επιτρέπουν στους αγρότες να μειώνουν τον κόπο τους, να διευρύνουν τον ελεύθερο χρόνο τους, εποπτεύοντας απλά τα ρομπότ.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ένας έντονος προβληματισμός: Μήπως στα επόμενα χρόνια, η πλήρης αυτοματοποίηση της γεωργίας, αφαιρέσει το δικαίωμα για εργασία από τους εργάτες, μειώνοντας περαιτέρω τις θέσεις εργασίας στο γεωργικό τομέα στο βωμό του κέρδους...;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Moshou, D. (2019) Sensors in Agriculture, Volume 1, Printed Edition of the Special Issue Published in Sensor, www.mdpi.com/journal/sensors, <https://doi.org/10.3390/books978-3-03897-413-0>
2. Ιστοσελίδα techopedia (2021) Machine Intelligence. Διαθέσιμο στο: <https://www.techopedia.com/definition/33706/machine-intelligence> [Τελευταία πρόσβαση στις 22.08.21]
3. Lucci, S. & Kopec, D. (2020) Artificial intelligence in the 21st century: a living introduction, 3rd Edition, Dulles, Virginia : Mercury Learning and Information
4. Trihadiningrum, Y., Basri, H. Mukhlisin, M. Listiyanawati, D. & Jalil, N.A. bt Ab. (n.d) Phytotechnology, a nature-based approach for sustainable water sanitation and conservation, Presentation
5. Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, N.P.B.A., Dushenkov, V., Ensley, B.D., Chet, I. &
6. Raskin, I. (1995) Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals
7. from the environment using plants. *Biotechnology*, 13: 468–474
8. Alkorta, I. & Garbisu, C. (2001) Phytoremediation of organic contaminants in soils, 487 *Bioresour. Technol*, 79(3): 273-276, doi:10.1016/S0960-8524(01)00016-5
9. Russel, K. (2005) The Use and Effectiveness of Phytoremediation to Treat Persistent
10. Organic Pollutants, Environmental Careers Organization, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation and Field Services Division. Διαθέσιμο στο: https://clu-in.org/download/studentpapers/phyto_to_treat_pops_russell.pdf [Ανακτήθηκε στις 28.08.21]
11. Torii, T. (2000) Research in autonomous agriculture vehicles in Japan, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 25, Issues 1–2, pp. 133-153, [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00060-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00060-5).
12. Freyberger, F. & Jahns, G. (2000) Symbolic course description for semiautonomous agricultural vehicles, *Computers and Electronics in Agriculture*,

Volume 25, Issues 1–2, pp. 121-132, [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(99\)00059-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(99)00059-9).

13. Pedersen, S.M., Fountas, S., Have, H. & Blackmore, B.S. (2006) Agricultural robots - System analysis and economic feasibility, *Precision Agriculture*, 7(4):295-308, DOI:10.1007/s11119-006-9014-9
14. Adamchuk, V.I., Hummel, J.W., Morgan, M.T., Upadhyaya, S.K. (2004) On-the-go soil sensors for precision agriculture, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 44, Issue 1, pp. 71-91, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>.
15. Blackmore, S. (2007) A systems view of agricultural robots, 4th International Symposium on Intelligent Information Technology in Agriculture, ISITA.
16. Farbod F. (2009) *Autonomous Robots: Modeling, Path Planning, and Control*, Springer Link.
17. Ιστοσελίδα <http://edurobotics.weebly.com> (χ.η.) Εκπαιδευτική Ρομποτική: Η ρομποτική στη ζωή μας
18. Διαθέσιμο στο: <http://edurobotics.weebly.com/gammaepsiloniotaakappa940-eta-rhoomicronmupiomicrontauiotakappa942.html> [Τελευταία πρόσβαση στις 13.09.21]
19. Λύρατζη, Β. (2012) Τα ρομπότ στην υπηρεσία του ανθρώπου. Διαθέσιμο στο: <https://www.pemptousia.gr/2012/12/ta-rompot-stin-ipiresia-tou-anthropou/> [τελευταία πρόσβαση στις 01.09.21]
20. Ιστοσελίδα precisionagriculture.re (χ.η.) Precision Agriculture: Future of farming: Driverless tractors, Agriculture robots and Drones. Διαθέσιμο στο: <https://precisionagriculture.re/future-of-farming-driverless-tractors-agriculture-robots-and-drones/> [Τελευταία πρόσβαση στις 08.09.21]
21. Griepentrog H.W., Norremark, M. & Nielsen, J. (2006) Autonomous intra-row rotor weeding based on GPS. In: *Proceedings CIGR World Congress – Agricultural Engineering for a Better World*, 9.2006 Bonn, Germany, VDI, Düsseldorf, Germany
22. Ιστοσελίδα pharmablog (2017) Χαρτογράφηση των εδαφών και γεωργία ακριβείας. Διαθέσιμο στο: <https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/georgia-akriveias/item/1756-xartografisi-ton-edafon-kai-georgia-akriveias> [Τελευταία πρόσβαση στις 10.09.21]
23. Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης – Ινστιτούτο Τεχνολογιών

- Πληροφορικής & Επικοινωνιών (2020) Έργα Έρευνας και Ανάπτυξης: BACCHUS - MoBile Robotic PLATforms for ACtive InSpeCtion and HarveSting in AgricUltural AreaS. Διαθέσιμο στο: <https://www.iti.gr/iti/projects/BACCHUS.html> [Τελευταία πρόσβαση στις 12.09.21]
24. Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Myers, D.B., Drummond, S.T. & Hong, S.Y. (2005) Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 46, Issues 1–3, pp. 285-308, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.012>.
25. Dorigo, M., Theraulaz, G. & Trianni, V. (2020) Reflections on the future of swarm robotics, *Science Robotics*, Vol. 5, eabe4385. Διαθέσιμο στο: <https://crca.cbi-toulouse.fr/wp-content/uploads/2020/12/121.pdf> [Ανακτήθηκε στις 22.12.21]
26. Ιστοσελίδα m.naftemporiki (2018) Αυτόνομοι ρομποτικοί «αγρότες». Διαθέσιμο στο:
27. <https://m.naftemporiki.gr/story/1425769/autonomoi-rompotikoi-agrotes> [Τελευταία πρόσβαση στις 07.09.21]
28. Ιστοσελίδα agro24 (2020) Δέκα ρομπότ που κάνουν «παιχνίδι» τη δουλειά στο χωράφι. Διαθέσιμο στο: <https://www.agro24.gr/agrotika/kainotomia/tehnologia/deka-rompot-poy-kanoun-paihni-di-ti-doyleia-sto-horafi> [Τελευταία πρόσβαση στις 10.09.21]
29. Hayward, A. (2016) Meet SwagBot, the Robot Cowboy that Can Herd and Monitor Cattle on Its Own. Διαθέσιμο στο: <https://modernfarmer.com/2016/07/swagbot/> [Τελευταία πρόσβαση στις 12.02.22]
30. Balaji, B.S., Shivakumara, M.C., Sunil, Y.S., Yamuna, A.S., Shruthi, M. (2018) Smart Phone Operated Multipurpose Agricultural Robot, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 7 Issue 05, Published by: www.ijert.org
31. Ahmed, N., D. De, D. & Hussain, I. (2018) Internet of Things (IoT) for Smart Precision Agriculture and Farming in Rural Areas, in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 6, pp. 4890-4899.
32. Glover, B. & Bhatt, H. (2006) *RFID Essentials (Theory in Practice)*, O'Reilly Media, Inc

33. Finkenzeller, K. (2000) RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication, 3rd Edition, Translated by Müller, D., Wiley Editions.
34. Masri, W, Al Ridhawi, I., Mostafa, N. & Pourghomi, P. (2017) Minimizing delay in IoT systems through collaborative fog-to-fog (F2F) communication, Conference: 2017 Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), pp. 1005 – 1010, DOI: 10.1109/ICUFN.2017.7993950
35. Ιστοσελίδα agrotechnomarket.com (2018) Agriculture, Technology, and Business Market: 2021 IoT Architecture for Agriculture. Διαθέσιμο στο: <https://www.agrotechnomarket.com/2018/08/iot-architecture-for-agriculture.html> [Τελευταία πρόσβαση στις 02.10.21]
36. Triantafyllou, A., Tsouros, D.C., Sarigiannidis, P.G., Bibi, S. (2019) An Architecture model for Smart Farming, 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), pp. 385-392
37. Benabdessalem, R. Hamdi, M & Kim, T.-H. (2014) A survey on security models, techniques, and tools for the internet of things: 7th International Conference on Advanced Software Engineering and Applications (ASEA), pp. 44-48.
38. Borgia, E. (2014) The Internet of Things Vision: Key Features, Applications and Open Issues. Computer Communications, 54, pp. 1-31, <http://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
39. Borgohain, T., Kumar, U., & Sanyal, S. (2015). Survey of Security and Privacy Issues of Internet of Things. ArXiv, abs/1501.02211
40. Salesforce (2015) What are the Advantages of Cloud Computing? 10 Reasons to Move to the Cloud. Διαθέσιμο στο: <https://www.salesforce.com/uk/blog/2015/11/why-move-to-the-cloud-10-benefits-of-cloud-computing.html> [Τελευταία πρόσβαση στις 08.09.21]
41. Iorga, M., Feldman, L., Barton, R., Martin, M.J., Goren, N, Mahmoudi, C. (2017) The NIST Definition of Fog Computing, NIST Special Publication 800-191, National Institute of Standards and Technology. Διαθέσιμο στο: <https://csrc.nist.gov/CSRC/media//Publications/sp/800-191/draft/documents/sp800-191-draft.pdf> [Ανακτήθηκε στις 01.09.21]
42. Vaquero, L. M., Rodero-Merino, L. (2017) Finding your Way in the Fog: Towards a Comprehensive Definition of Fog Computing. Διαθέσιμο στο: <http://fognetworks.org/researchpaper/news/paper16/> [Τελευταία πρόσβαση στις

22.09.21]

43. Samsolutions (χ.η.) Fog Computing vs. Cloud Computing for IoT Projects. Διαθέσιμο στο: <https://www.sam-solutions.com/blog/fog-computing-vs-cloud-computing-for-iot-projects/> [Τελευταία πρόσβαση στις 28.09.21]
44. Alabdulatif, A., Khalil, I., Ahmed, S. H. (2018) Integration of Internet of Things (IoT) and Cloud Computing: Privacy Concerns and Possible Solutions, IEEE Internet Policy Newsletter. Διαθέσιμο στο: <https://internetinitiative.ieee.org/newsletter/september-2018/integration-of-internet-of-things-iot-and-cloud-computing-privacy-concerns-and-possible-solutions> [Τελευταία πρόσβαση στις 15.09.21]
45. Heble, S. Kumar, A., Prasad, K. V. V. D., Samirana, S., Rajalakshmi, P. & Desai, U. B. (2018) A low power IoT network for smart agriculture, IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Singapore, pp. 609-614
46. Bauer, J. & Aschenbruck, N. (2018) Design and implementation of an agricultural monitoring system for smart farming, IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany), Tuscany, pp. 1-6
47. Sahitya, G., Balaji, N. & Naidu, C. D. (2016) Wireless sensor network for smart agriculture, 2nd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT), Bangalore, pp. 488-493
48. Khattab, A., Abdelgawad, A. & Yelmarthi, K. (2016) Design and implementation of a cloud-based IoT scheme for precision agriculture," 2016 28th International Conference on Microelectronics (ICM), Giza, pp. 201-204
49. Ιστοσελίδα gsacom.com (2018) The Road to 5G: Drivers, Applications, Requirements and Technical Development – GSA. Διαθέσιμο στο: <https://gsacom.com/paper/the-road-to-5g-drivers-applications-requirements-and-technical-development/>. [Τελευταία πρόσβαση στις 27.09.21]
50. Xiang, W., Zheng, K. & Shen, X. (2017) 5G Mobile Communications. Switzerland: Springer. Διαθέσιμο στο: <https://download.e-bookshelf.de/download/0007/6969/09/L-G-0007696909-0016030772.pdf> [Ανακτήθηκε στις 30.09.21]
51. Ιστοσελίδα sdxcentral.com (2018) The Top 5G Use Cases — SDxCentral.com, Διαθέσιμο στο: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/top-5g-use-cases/> [Τελευταία πρόσβαση στις 30.09.21]
52. Ιστοσελίδα iotsolutionprovider.com (2018) Connect the Dots: Massive, 5G

Readies to Take Low-Latency IoT Mainstream", IOT Solution Provider. Διαθέσιμο στο: <https://www.iotsolutionprovider.com/industrial/connect-the-dots-massive-5g-readies-to-take-low-latency-iot-mainstream>. [Τελευταία πρόσβαση στις 01.10.21].

53. Ιστοσελίδα fantastic-5g.eu (2018) Use cases, KPIs and requirements," 2015. [Online]. Available: http://fantastic5g.eu/wp-content/uploads/2016/01/FANTASTIC-5G_IR2-1_final.pdf. [Ανακτήθηκε στις 02.10.21]
54. Ιστοσελίδα 5g-ppp.eu (2015) 5G automotive vision. Διαθέσιμο στο: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-Automotive-Vertical-Sectors.pdf> [Ανακτήθηκε στις 02.10.21]
55. METIS (2014) Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system, Version 1, Ref. Ares (2014) 1067654 - 04/04/201. Διαθέσιμο στο: <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/9/317669/080/deliverables/001-METISD11v1pdf.pdf> [Ανακτήθηκε στις 03.10.21]
56. Sarhan, A. (2020) Fog Computing as Solution for IoT-Based Agricultural Applications. In A. Gupta, A., Goyal, D., Singh, V. & Sharma H. (Eds.), Smart Agricultural Services Using Deep Learning, Big Data, and IoT, pp. 46-68, IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5003-8.ch003>
57. Chandrima R., Nivedita D., Siddharth S. R., Manjusha P. (2022) Chapter 16: A fog computing-based IoT framework for prediction of crop disease using big data analytics,
58. In Ajith A., Sujata D., Joel J.P.C. R., Biswaranjan A., Subhendu K. P. (Eds), Intelligent Data-Centric Systems, AI, Edge and IoT-based Smart Agriculture, Academic Press, pp. 287-300
59. Takahashi, Y., Ogawa, S. and Machida, S. (2008) 'Experiments on step climbing and simulations on inverse pendulum control using robotic wheelchair with inverse pendulum control', Transactions of the Institute of Measurement and Control, 30(1), pp. 47–61. doi: 10.1177/0142331206075538.
60. Takahashi, J. & Mori, T. (2006) Hydrogen Production from Reaction of Apple Pomace with Water over Commercial Stream Reforming Ni Catalysis, Journal of Japan Petroleum Institute, vol.49, no.5, pp.262-267.
61. Takahashi, Y., Matsuo, Y. & Kawakami, K. (2010). Energy Control System of Solar Powered Wheelchair, Solar Energy, Radu D Rugescu (Ed.), InTech. Διαθέσιμο στο: <http://www.intechopen.com/books/solar-energy/energy-control-system-of-solar->

powered-wheelchair [Ανάκτηση 02.11.21]

62. Jin, K.E., Ruan, X., Yang, M. & Xu, M. (2009) A Hybrid Fuel Cell Power System, Trans on Industrial Electronics, vol.56, no.4, pp.1212-1222
63. Bialasiewicz, J.T. (2008) Renewable Energy Systems With Photovoltaic Power Generators: Operation and Modeling, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 7, pp. 2752-2758, doi: 10.1109/TIE.2008.920583
64. Clauser, N.M., González, G., Mendieta, C.M., Kruyeniski, J., Area, M.C., Vallejos, M.E. (2021) Biomass Waste as Sustainable Raw Material for Energy and Fuels. Sustainability 2021, 13, 794. <https://doi.org/10.3390/su13020794>
65. Saxena, R.C., Adhikari, D.K. and Goyal, H.B., (2009); Biomass-Based Energy Fuel Cell through Biochemical Routes, Renew. Sust. Energ. Rev. Vol.13, pp.167-178.
66. Sachin B.J, Saurabh M. B., Vishal A. D., Navin M. D. & Adhapure D.U (2017) A Review On Solar Operated Multipurpose Agriculture Robot, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 04 Issue: 10, e-ISSN: 2395-0056, p-ISSN: 2395-0072
67. Randal, E., B. & O' Hallaron, D.R. (2010). Computer Systems: A Programmer's Perspective. Carnegie Mellon University. p.160.
68. Hachman, M. (2002) ARM Cores Climb Into 3G Territory. Διαθέσιμο στο: <https://www.extremetech.com/extreme/52180-arm-cores-climb-into-3g-territory> [Τελευταία πρόσβαση στις 17.11.21]
69. Raghu, R. (χ.η.) Design and Implementation of Solar Powered Agriculture Robot. Διαθέσιμο στο: https://www.academia.edu/30700222/DESIGN_AND_IMPLEMENTATION_OF_SOLAR_POWERED_AGRICULTURE_ROBOT?auto=download [Ανάκτηση στις 27.11.21]
70. Heng, I., Harb, A. Zhang, A.S (2011) Using Solar Robotic Technology to Detect Lethal and Toxic Chemicals, IEEE Global Humanitarian Technology Conference, DOI: 10.1109/GHTC.2011.45
71. Wark, T., Corke, P, Sikka, P., Klingbeil, L. Guo, Y., Crossman, C., Valencia, P. Swain, D. & Bishop-Hurley, G. (2007) Transforming Agriculture through Pervasive Wireless Sensor Networks, Pervasive computing, IEEE Computer Society
72. Wang, N., Zhang, N. & Wang, M. (2006) Wireless sensors in agriculture and food

industry - Recent development and future perspective, *Computers and Electronics in Agriculture* 50 (2006) 1–14, Elsevier

73. Bak, T. & Jakobsen, H. (2004) Agricultural Robotic Platform with Four Wheel Steering for Weed Detection, *Biosystems Engineering* 87(2), pp. 125–136
74. Φουντάς, Σ, Pedersen, S., Blackmore, S. & Γέμτος, Θ. (2005) Τεχνικοοικονομική μελέτη των αυτό-οδηγούμενων οχημάτων στη γεωργία, 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών υπό την αιγίδα της Εταιρίας Γεωργικών Μηχανημάτων Ελλάδος (ΕΓΜΕ). Διαθέσιμο στο: https://egme.gr/EGME_PRAKTIKA/PDFS/4_conference/4_Proceedings%20EGME%202005_Part%202.pdf [Ανακτήθηκε στις 10.12.21]
75. Wanninger, L. (2008) Introduction to Network RTK. International Association of Geodesy, Commission 4: Positioning & Applications, Sub-Commission 4.5: Next Generation RTK, Working Group 4.5.1: Network RTK (2003 – 2007). Διαθέσιμο στο: <http://www.wasoft.de/e/iagwg451/> [Τελευταία πρόσβαση στις 20.12.21]
76. Bisgaard, M., D., Vinther & Østergaard, K. Z. (2004) Modelling and Fault-Tolerant Control of an Autonomous Wheeled Robot. Group Report 04gr1030a. Institute of Control Engineering, Aalborg University, Denmark
77. Lee, W.S., Slaughter, D.C. and Giles, D.K. (1999) Robotic weed control system for tomatoes. *Precision Agriculture* 1, 1999, pp. 95-113
78. Pedersen, S.M. (2003) Precision farming – Technology assessment of site-specific input application in cereals, Ph.D. dissertation, IPL, Danish Technical University
79. Αλεξάκη, Δ. (2019) Ευφυής γεωργία: Αλλάζει τα δεδομένα στον αγροδιατροφικό τομέα - Η τεχνητή νοημοσύνη στην υπηρεσία του πρωτογενούς τομέα. Διαθέσιμο στο: <https://m.naftemporiki.gr/story/1449055> [Ανάκτηση: 07.01.22]