



**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και
Επικοινωνιακών Συστημάτων**

Ανάπτυξη Συστήματος Ιχνηλασιμότητας Γάλακτος μέσω IoT τεχνολογιών και της
πλατφόρμας FarmOS

Διπλωματική Εργασία

Του

Μπεχτσούδη Βασίλειου

Σάμος, Ιούνιος 2025

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Γεώργιο Κορμέντζα, για την εμπιστοσύνη και την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον συνάδελφο και φίλο Ευάγγελο, για τη βοήθεια και τη στήριξη κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη σε όλα αυτά τα χρόνια.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική παρουσιάζει το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός συστήματος ιχνηλασιμότητας γάλακτος χρησιμοποιώντας τεχνολογίες Internet of Things και την πλατφόρμα FarmOS για την παρακολούθηση της ποιότητας και της ποσότητας του γάλακτος από την παραγωγή μέχρι τη μεταφορά του. Η διαδικασία καταγράφει και παρακολουθεί δεδομένα όπως την ποσότητα του γάλακτος, τη θερμοκρασία αποθήκευσης και τη μεταφορά μέσω αισθητήρων και RFID τεχνολογίας.

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω των συσκευών Raspberry Pi και Esp32, οι οποίες λειτουργούν ως κόμβος επικοινωνίας μεταξύ των αισθητήρων και τη πλατφόρμας FarmOS. Επιπλέον μέσω της εφαρμογής Blynk ο χρήστης έχει τη δυνατότητα ενεργοποίησης διαδικασιών όπως η αρμεγή, η μέτρηση βάρους αλλά και τη λήψη σημαντικών ειδοποιήσεων.

Τα δεδομένα συλλέγονται και απεικονίζονται σε πραγματικό χρόνο στην εφαρμογή FarmOS, απ' όπου ο χρήστης βλέπει συγκεντρωτικά τα δεδομένα και μπορεί να εξάγει αναφορές. Στόχος είναι η δημιουργία ενός αξιόπιστου συστήματος ιχνηλασιμότητας του γάλακτος, ενισχύοντας τη διαφάνεια, τη διαχείριση και την εξασφάλιση της ποιότητας του.

Λέξεις κλειδιά:

Internet of Things, ιχνηλασιμότητα, FarmOS, Raspberry Pi, Esp32, Blynk, αισθητήρες, RFID, παρακολούθηση ποιότητας

Abstract

This thesis presents the design and development of a milk traceability system using Internet of Things technologies and the FarmOS platform to monitor the quality and quantity of milk from production to transportation. The process records and monitors data such as milk quantity, storage temperature and transportation via sensors and RFID technology.

Data collection is carried out through Raspberry Pi and ESP32 devices, which act as communication hubs between the sensors and the FarmOS platform. Additionally, through the Blynk application,, the user can activate processes such as milking, weight measurement, and receive important notifications.

The data is collected and visualized in real time in the FarmOS platform, where the user can view aggregated information and export reports. The goal is to create a reliable milk traceability system that enhances transparency, management, and the assurance of milk quality.

Keywords:

Internet of things, traceability, FarmOS, Raspberry Pi, ESP32, Blynk, sensors, RFID, quality monitoring

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract.....	6
Κεφάλαιο 1	11
Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο 2	13
Ιχνηλασιμότητα και τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων στο κτηνοτροφικό τομέα	13
2.1 Ιχνηλασιμότητα: Ανασκόπηση, Σύγχρονες εφαρμογές και μελλοντική κατεύθυνση	
2.1.1 Συμβατικές μέθοδοι Ιχνηλασιμότητας	13
2.1.2 Σύγχρονες πρακτικές.....	14
2.1.3 Μελλοντική κατεύθυνση.....	15
2.1.4 Δυνατότητες Ιχνηλασιμότητας στη Βιομηχανία Γάλακτος.	15
2.2 Το Διαδίκτυο των πραγμάτων στη σύγχρονη κτηνοτροφία	18
2.3 Παρακολούθηση Γάλακτος και εφοδιαστική αλυσίδα.....	21
Κεφάλαιο 3	24
FarmOS: Περιγραφή και δυνατότητες.....	24
3.1 Εργαλεία ανοιχτού κώδικα	24
3.1.1 Εισαγωγή στα εργαλεία ανοιχτού κώδικα	24
3.1.2 Σημασία της τεχνολογίας ανοιχτού κώδικα	24
3.1.3 Λογισμικά ανοιχτού κώδικα για Ψηφιακή Γεωργία.....	25
3.2 Επιλογή του εργαλείου FarmOS	29
Κεφάλαιο 4	31
Σχεδίαση του συστήματος ιχνηλασιμότητας.....	31
4.1 Αρχιτεκτονική συστήματος.....	31
4.2 Ροή δεδομένων στο σύστημα ιχνηλασιμότητας γάλακτος.....	32
4.3 Μεθοδολογία.....	34
4.4 Προδιαγραφές απαιτήσεων υλικού	36
4.5 Προδιαγραφές απαιτήσεων υλικού.	36
Κεφάλαιο 5	38
Υλοποίηση συστήματος.....	38

5.1 Συνδεσμολογία Υλικών.....	38
5.1.1 Κόμβος Αρμεγής.....	38
5.1.2 Κόμβος αποθήκευσης γάλακτος.....	40
5.2 Εγκατάσταση Βιβλιοθηκών.....	41
5.2.1 Εγκατάσταση βιβλιοθηκών στο RaspberryPi	42
5.2.2 Εγκατάσταση βιβλιοθηκών στο Esp32	43
5.3 Blynk.....	44
5.3.1 Ρύθμιση διεπαφής.....	45
5.3.2 Ρύθμιση ειδοποιήσεων.....	47
5.4 Εγκατάσταση και χρήση πλατφόρμα FarmOs.....	48
5.4.1 Εγκατάσταση της πλατφόρμας FarmOS.....	49
5.4.2 Χρήση Αισθητήρων στη πλατφόρμα FarmOS.....	51
5.5 Προγραμματισμός.....	52
5.5.1 Προγραμματισμός Raspberry Pi.....	52
5.5.2 Προγραμματισμός Esp32	55
Κεφάλαιο 6	60
Επίδειξη	60
6.1 Χρήση.....	60
Κεφάλαιο 7	64
Επίλογος.....	64
7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα.....	64
7.2 Μελλοντικές επεκτασεις.....	64
Βιβλιογραφία.....	66

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Λογότυπο του λογισμικού ανοιχτού κώδικα FarmOS	4
Εικόνα 2: Λογότυπο του λογισμικού ανοιχτού κώδικα Tania	6
Εικόνα 3: Λογότυπο του λογισμικού ανοιχτού κώδικα Litefarm	11
Εικόνα 4: Αποθετήριο του FarmVibes στο Github	11
Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική συστήματος ιχνηλασιμότητας γάλακτος	13
Εικόνα 6: Διάγραμμα δραστηριοτήτων του συστήματος ιχνηλασιμότητας γάλακτος	13
Εικόνα 7: Μεθοδολογία ανάπτυξης συστήματος ιχνηλασιμότητας γάλακτος	13
Εικόνα 8: Συνδεσμολογία κυκλώματος ανάγνωσης RFID	14
Εικόνα 9: Συνδεσμολογία κυκλώματος φορτίου	15
Εικόνα 10: Τελική συνδεσμολογία κόμβου αρμεγής	15
Εικόνα 11: Συνδεσμολογία κυκλώματος θερμοκρασίας	18
Εικόνα 12: Τελική συνδεσμολογία κόμβου αποθήκευσης γάλακτος	21
Εικόνα 13: Εγκατάσταση βιβλιοθήκης hx711	24
Εικόνα 14: Εγκατάσταση βιβλιοθήκης BlynkLib	24
Εικόνα 15: Εγκατάσταση βιβλιοθήκης requests	24
Εικόνα 16: Εγκατάσταση Βιβλιοθήκης mfrc522	24
Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική της πλατφόρμα Blynk	24
Εικόνα 18: Κωδικός Ταυτοποίησης	25
Εικόνα 19: Οθόνη ρύθμισης διεπαφής Blynk	29
Εικόνα 20: Οθόνη διεπαφής Blynk	31
Εικόνα 21: Οθόνη ρύθμισης ειδοποιήσεων στη πλατφόρμα Blynk	31
Εικόνα 22: Εικόνα συστήματος διαχείρισης περιεχομένου Docker	31
Εικόνα 23: Εντολές εγκατάστασης του FarmOS στο τερματικό	32
Εικόνα 24: Οθόνη πλατφόρμας FarmOS	34
Εικόνα 25 Στοιχεία σύνδεσης αισθητήρα μέσω HTTP	36
Εικόνα 26: Οθόνη αισθητήρων στο FarmOs	36
Εικόνα 27: Εισαγωγή βιβλιοθηκών	38
Εικόνα 28: Σημεία σύνδεσης Blynk και FarmOS	38
Εικόνα 29 Έναρξη και τερματισμός αρμεγής	38
Εικόνα 30: Σάρωση RFID	38
Εικόνα 31: Μετατροπή σε κιλά	40
Εικόνα 32: Αποστολή δεδομένων	41
Εικόνα 33: Αποστολή δεδομένων συμπλήρωσης γάλακτος	42
Εικόνα 34: Παραλαβή γάλακτος	43

Εικόνα 35: Σύνδεση στο GPIO14	44
Εικόνα 36: Ανάγνωση θερμοκρασίας	45
Εικόνα 37: Σύνδεση με τη πλατφόρμα Blynk	47
Εικόνα 38: Σύνδεση με τη πλατφόρμα FarmOS	48
Εικόνα 39: Έναρξη μέτρησης θερμοκρασίας	49
Εικόνα 40: Τερματισμός μέτρησης θερμοκρασίας	51
Εικόνα 41: Αποστολή δεδομένων στο FarmOS	52
Εικόνα 42: Μήνυμα ειδοποίησης χρήστη	52
Εικόνα 43: Σημεία σύνδεσης των αισθητήρων	55
Εικόνα 44: Μέθοδος fetchTankData	60
Εικόνα 45: Πίνακας Collection logs	60
Εικόνα 46: Μέθοδος εξαγωγής αρχείου CSV	60
Εικόνα 47: Πίνακας Milk Collection Logs	64
Εικόνα 48: Πίνακας Milk Tank Transactions	64
Εικόνα 49: Πίνακας Milk Tank Total	64
Εικόνα 50: Ενημέρωση συμπλήρωσης γάλακτος στη δεξαμενή	64
Εικόνα 51: Πίνακας Milk Tank Temperature	66
Εικόνα 52: Μήνυμα προειδοποίησης υπέρβασης της θερμοκρασίας	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 53: Παραλαβή Γάλακτος	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 54: Άδειασμα δεξαμενής	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 55: Ενημέρωση παραλαβής γάλακτος	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 56: Αρχείο CSV	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Προκλήσεις στο τομέα γαλακτοπαραγωγής	4
--	---

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1: Σύστημα με δυνατότητα IoT για την παρακολούθηση της ποιότητας του γάλακτος και της εφοδιαστική αλυσίδας.	4
--	---

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Καθημερινά οι καταναλωτές, βασίζονται στη πεποίθηση ότι τα τρόφιμα τα οποία αγοράζουν έχουν παραχθεί, μεταφερθεί και αποθηκευτεί με βάση τα προβλεπόμενα πρότυπα ασφάλειας και ποιότητας. Ωστόσο, σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οργανισμό υγείας πάνω από 600 εκατομμύρια άνθρωποι παγκοσμίως αρρωσταίνουν από μολυσμένα τρόφιμα, με περισσότερους από 40.000 θάνατοι να οφείλονται σε αυτόν το λόγο.

Τα γαλακτοκομικά προϊόντα αποτελούν από τα πιο διαδεδομένα και ευρείας κατανάλωσης τρόφιμα σε ολόκληρο το κόσμο. Παρόλο που θεωρούνται σημαντικά για τη διατροφή και την υγεία των ηλικιακών ομάδων, η ποιότητα αποτελεί σημαντική πρόκληση στον κλάδο.

Η κακή υγιεινή στο γάλα καθώς και η εσκεμμένη μόλυνση των γαλακτοκομικών προϊόντων έχουν δείξει ότι το γάλα και τα παράγωγα του όπως το τυρί το γιαούρτι και το βούτυρο αποτελούν μία από τις πιο συχνές αιτίες τροφικών δηλητηριάσεων, που επηρεάζουν εκατομμύρια ανθρώπους κάθε χρόνο.

Το γάλα αποτελεί το τρίτο πιο παραγόμενο αγροτικό προϊόν στον κόσμο. Η παγκόσμια αγορά γαλακτοκομικών προϊόντων ξεπερνά τα 400 δισεκατομμύρια δολάρια και κατέχει το 14% του παγκόσμιου αγροτικού εμπορίου. Ωστόσο, παρά τη ραγδαία αύξηση του τομέα, η πρόοδος στη διασφάλιση της ποιότητας παραμένει περιορισμένη. Η άνοδος του βιοτικού επιπέδου και η αυξημένη ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σε θέματα ασφάλεια τροφίμων καθιστούν πλέον την ιχνηλασιμότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα αναγκαία, καθώς επιτρέπει την καταγραφή κάθε σταδίου που ακολουθεί ένα προϊόν, από την προέλευσή του, μέχρι την διάθεση στον καταναλωτή. Παρέχει χρήσιμες πληροφορίες όπως το πού και πώς παρήχθη το προϊόν καθώς και σε τι συνθήκες μεταφέρθηκε και αποθηκεύτηκε.

Παρά τον Κανονισμό της ΕΕ 178/2002 που καθιστά την ιχνηλασιμότητα υποχρεωτική οι συμβατικές τεχνικές ιχνηλασιμότητας που επικρατούν όπως οι χειρόγραφες καταγραφές, ετικέτες RFID και κωδικοί QR δεν ανταποκρίνονται στις ανάγκες της σύγχρονης εφοδιαστικής αλυσίδας.

Τα τελευταία χρόνια τεχνολογίες όπως το Blockchain και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων υιοθετούνται σταδιακά, ωστόσο βρίσκονται ακόμη σε φάση δοκιμής και εφαρμογής σε διάφορα σημεία της εφοδιαστικής αλυσίδας των γαλακτοκομικών. Αν και έχουν δείξει θετικά αποτελέσματα στη βελτίωση της παρακολούθησης και της ιχνηλασιμότητας των προϊόντων,

απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη και ενσωμάτωση για να καταστεί δυνατή η ευρεία χρήση τους. (Hassoun et al.2022b)

Στη παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μια συστηματική επισκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και των μελετών που υπάρχουν σε θέματα που σχετίζονται με την ιχνηλασιμότητα και συνδυάζουν τεχνολογίες Διαδικτύου των πραγμάτων. Επιπλέον αναπτύχθηκε ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας γάλακτος με στόχο την καταγραφή και παρακολούθηση κρίσιμων πληροφοριών που αφορούν το γάλα κατά τα πρώτα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. Το σύστημα αυτό συγκεντρώνει δεδομένα όπως η θερμοκρασία του γάλακτος στην δεξαμενή, ο ακριβής χρόνος αρμεγής, η ποσότητα που αρμέχτηκε, η στιγμή παράδοσης του γάλακτος στην εταιρεία, καθώς και η ποσότητα του γάλακτος που βρίσκεται ανά πάσα στιγμή στη δεξαμενή. Αυτές οι πληροφορίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τον παραγωγό, καθώς ενισχύουν τη διαφάνεια της παραγωγικής διαδικασίας και συμβάλλουν στη τήρηση των προδιαγραφών ασφαλείας.

Η καταγραφή και διαχείριση αυτών των δεδομένων, πραγματοποιείται μέσω της αξιοποίησης τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων(IoT), όπως αισθητήρες θερμοκρασίας, βάρους και τεχνολογίες RFID για την αποστολή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον με τη χρήση της εφαρμογής Blynk επιτυγχάνεται ο έλεγχος και η απομακρυσμένη παρακολούθηση των αισθητήρων. Μέσω της εφαρμογής ο παραγωγός λαμβάνει ειδοποιήσεις για σημαντικές μεταβολές στη θερμοκρασία της δεξαμενής, καθώς και για κάθε ενέργεια που σχετίζεται με την παράδοση του γάλακτος ή την ποσότητα που προστίθεται στη δεξαμενή. Παράλληλα η χρήση της πλατφόρμας FarmOS χρησιμοποιείται για την απεικόνιση και ανάλυση των δεδομένων. Στόχος μέσω του προτεινόμενου συστήματος ιχνηλασιμότητας είναι η μείωση απωλειών για το παραγωγό αλλά και μέσω αυτού να μπορεί ο παραγωγός να λάβει πιο τεκμηριωμένες αποφάσεις που θα τον βοηθήσουν να βελτιώσει το προϊόν του.

Η συνέχεια της εργασίας περιλαμβάνει στο κεφάλαιο 2 την ανάλυση της ιχνηλασιμότητας και των τεχνολογιών Διαδικτύου των πραγμάτων, στο κεφάλαιο 3 την παρουσίαση της πλατφόρμας FarmOS, στο κεφάλαιο 4 τη σχεδίαση του συστήματος ιχνηλασιμότητας, στο κεφάλαιο 5 την υλοποίηση του συστήματος, στο κεφάλαιο 6 το σενάριο λειτουργίας του συστήματος, και στο κεφάλαιο 7 την αξιολόγηση του συστήματος αλλά και μελλοντικές βελτιώσεις.

Κεφάλαιο 2

Ιχνηλασιμότητα και τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων στο κτηνοτροφικό τομέα

2.1 Ιχνηλασιμότητα: Ανασκόπηση, Σύγχρονες εφαρμογές και μελλοντική κατεύθυνση

2.1.1 Συμβατικές μέθοδοι Ιχνηλασιμότητας

Η ιχνηλασιμότητα στον γαλακτοκομικό τομέα έχει σταδιακά εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου. Αρχικά τα συστήματα παρακολούθησης προϊόντων ήταν αρκετά απλά και βασίζονταν στη χειροκίνητη τεκμηρίωση με έντυπα αρχεία(Prashar et al.,2020). Αυτή η διαδικασία περιλάμβανε την καταγραφή πληροφοριών σε διαφορετικά στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως ημερολόγια αγροκτημάτων, αρχεία μεταφοράς και αριθμούς παρτίδας κατά την επεξεργασία. Παρόλο που αυτές οι μέθοδοι προσέφεραν ένα βασικό επίπεδο παρακολούθησης, ήταν συχνά επιρρεπή σε λάθη, ανεπάρκειες και δόλιες πρακτικές(Casino et al.2020). Μερικές από τις προκλήσεις αυτών των τεχνικών, ήταν η αδυναμία πρόσβασης σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, η περιορισμένη διαφάνεια και η αδυναμία ανίχνευσης και διαχείρισης προβλημάτων ασφαλείας τροφίμων.

Όπως αναφέρει ο Khanna(2020), παρά τους περιορισμούς τα παραδοσιακά συστήματα ιχνηλασιμότητας έθεσαν τις βάσεις για πιο εξελιγμένες προσεγγίσεις, επισημαίνοντας την ανάγκη για ακριβή και ολοκληρωμένη παρακολούθηση σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Ιδανικά, η ιχνηλασιμότητα θα πρέπει να καλύπτει ολόκληρη τη διαδρομή ενός προϊόντος, αλλά η επίτευξη αυτού περιπλέκεται από τους διάφορους ανεξάρτητους οργανισμούς που εμπλέκονται, όπου ο καθένας διαθέτει τις δικές του μεθόδους διαχείρισης πληροφοριών.

Σύμφωνα με τον Tan και Ngan(2020), για να διασφαλιστεί η ιχνηλασιμότητα από άκρο σε άκρο, τα ενδιαφερόμενα μέρη της γαλακτοβιομηχανίας πρέπει να επικεντρωθούν σε τρεις κρίσιμες διαδικασίες: τη συλλογή δεδομένων, την ασφαλή αποθήκευση τους και την αποτελεσματική κοινοποίηση τους με άλλους που εμπλέκονται στην αλυσίδα.

Πιο συγκεκριμένα η συλλογή δεδομένων περιλαμβάνει τη συλλογή όλων των σχετικών πληροφοριών προϊόντος. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω παραδοσιακών μεθόδων, όπως αρχεία σε χαρτί ή σύγχρονα εργαλεία, κωδικοί QR, ετικέτες RFID και συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων.(Kumar και Kumar,2020).

Η αποθήκευση δεδομένων αναφέρεται στη διατήρηση των πληροφοριών που έχουν συλλεχθεί σε μία βάση δεδομένων για σκοπούς ιχνηλασιμότητας.

Η κοινοποίηση δεδομένων σημαίνει ότι όλες αυτές οι πληροφορίες είναι προσβάσιμες ανά πάσα στιγμή μεταξύ όλων των συμμετεχόντων στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Σύμφωνα με την έρευνα του Dash(2020), ένα αποτελεσματικό σύστημα ιχνηλασιμότητας απαιτεί έναν ολοκληρωμένο συνδυασμό υλικού και λογισμικού που επιτρέπει την απρόσκοπτη επικοινωνία σε όλο το δίκτυο.

2.1.2 Σύγχρονες πρακτικές

Σήμερα η βιομηχανία γάλακτος χρησιμοποιεί σύγχρονες τεχνολογίες για να βελτιώσει τον τρόπο παρακολούθησης των προϊόντων. Όπως διαπιστώνει ο Malik(2023) ψηφιακά εργαλεία όπως το Blockchain, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) και η Τεχνητή νοημοσύνη έχουν μεταμορφώσει την ιχνηλασιμότητα, καθιστώντας δυνατή την παρακολούθηση των γαλακτοκομικών προϊόντων σε πραγματικό χρόνο από το αγρόκτημα μέχρι τον καταναλωτή. Πιο συγκεκριμένα το Blockchain δημιουργεί ένα ασφαλές και αμετάβλητο αρχείο δεδομένων σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα. Εν τω μεταξύ, οι συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων παρακολουθούν συνεχώς συνθήκες όπως θερμοκρασία και υγρασία κατά τη μεταφορά και αποθήκευση.

Σύμφωνα με τον Hassoun(2024) αυτές οι τεχνολογίες έχουν αυξήσει σημαντικά την ακρίβεια και αξιοπιστία των συστημάτων παρακολούθησης, λύνοντας πολλά προβλήματα που είχαν οι παλιές μέθοδοι.

Ωστόσο, παραμένουν ορισμένες προκλήσεις. Η γαλακτοβιομηχανία αντιμετωπίζει δυσκολίες όπως το υψηλό κόστος εγκατάστασης, η έλλειψη κατάλληλης υποδομής και η κακή συνεργασία μεταξύ των διαφορετικών ομάδων.

Παρά τις προκλήσεις, υπάρχουν επιτυχημένα παραδείγματα που δείχνουν πως οι ψηφιακές τεχνολογίες μπορούν να βελτιώσουν την ιχνηλασιμότητα. Όπως υποστηρίζει ο Ryan(2022) η Carrefour χρησιμοποιεί ένα σύστημα Blockchain που επιτρέπει στους πελάτες να σαρώνουν ένα κωδικό QR για να δουν το ιστορικό του προϊόντος. Η Nestle εφαρμόζει Τεχνητή Νοημοσύνη και Διαδίκτυο των Πραγμάτων για την παρακολούθηση της παραγωγής γάλακτος (Usman,2022). Η Arla Foods χρησιμοποιεί Blockchain και κωδικούς QR για να διατηρεί την αλυσίδα εφοδιασμού διαφανή(Best, 2019). Ενώ επίσης ο Aritua(2021) αναφέρει πως η Maersk συνδυάζει το Διαδίκτυο των πραγμάτων και το Blockchain για τη παρακολούθηση της εφοδιαστικής αλυσίδας των γαλακτοκομικών προϊόντων.

Οι ερευνητές έχουν επίσης αναπτύξει διάφορα συστήματα ψηφιακής ιχνηλασιμότητας που βασίζονται σε Blockchain, Διαδίκτυο των Πραγμάτων, RFID και κωδικούς QR. Επιπλέον ορισμένα από αυτά συνδυάζουν πολλαπλές τεχνολογίες για να δημιουργήσουν ολοκληρωμένα συστήματα.

Ωστόσο σύμφωνα με τον Khanna(2020), η πρακτική χρήση αυτών των συστημάτων στη γαλακτοβιομηχανία παραμένει περιορισμένη και απαιτούνται περισσότερες δοκιμές και αξιολογήσεις.

Ενώ η γαλακτοβιομηχανία αργεί να υιοθετήσει αυτά τα συστήματα ιχνηλασιμότητας άλλοι τομείς σημειώνουν ταχύτερη πρόοδο. Για παράδειγμα στην έρευνα του ο Jo(2022) αναφέρει ότι η ιχνηλασιμότητα βασιζόμενη στη τεχνολογία Blockchain χρησιμοποιείται στη βιομηχανία κρέατος για τη βελτίωση της καλής διαβίωσης των ζώων και την παρακολούθηση των προϊόντων από την αρχή μέχρι το τέλος. Επιπρόσθετα άλλοι τομείς όπως η βιομηχανία τσαγιού χρησιμοποιεί RFID και Blockchain για την παρακολούθηση(Paul, 2022), αλλά και η κλωστοϋφαντουργία εφαρμόζει “έξυπνες” ετικέτες για τη βελτίωση της διαφάνειας στην αλυσίδα εφοδιασμού της(Aggarwal,2022).

Όλα τα παραπάνω δείχνουν τις τρέχουσες τάσεις και εξελίξεις στην τεχνολογία της ιχνηλασιμότητας, αναδεικνύοντας τόσο τις ευκαιρίες όσο και τις προκλήσεις στη γαλακτοβιομηχανία.

2.1.3 Μελλοντική κατεύθυνση

Όπως επισημαίνει ο Malik(2024b), οι νέες τεχνολογίες όπως η προηγμένη ανάλυση δεδομένων, η μηχανική μάθηση και οι συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων επόμενης γενιάς αναμένεται να προσφέρουν καλύτερο έλεγχο και κατανόηση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτά τα εργαλεία μπορούν να βοηθήσουν στην πρόβλεψη προβλημάτων πριν συμβούν.

Επίσης η δημιουργία διεθνών προτύπων για την ιχνηλασιμότητα μπορεί να διευκολύνει τη συνεργασία διαφορετικών συστημάτων και εταιρειών (Hassoun, 2022). Ωστόσο πολλές μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις ενδέχεται να δυσκολεύονται να αντέξουν οικονομικά ή να κλιμακώσουν αυτά τα συστήματα υψηλής τεχνολογίας. Επιπλέον, όσο η ιχνηλασιμότητα γίνεται πιο περίπλοκη, η εφαρμογή μέτρων κυβερνοασφάλειας, θα είναι απαραίτητη για την προστασία των ευαίσθητων δεδομένων. (Hassoun, 2022).

Η συνεργασία μεταξύ εταιρειών, κυβερνήσεων και εταιριών τεχνολογίας κρίνεται απαραίτητη για να ξεπεραστούν οι προκλήσεις και να δημιουργηθεί ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας που θα είναι ασφαλές και οικονομικό για όλους. Με τη συνεχή καινοτομία, η βιομηχανία μπορεί να βελτιώσει την ασφάλεια, την ποιότητα και τη βιωσιμότητα των τροφίμων(Hassoun,2024b).

2.1.4 Δυνατότητες Ιχνηλασιμότητας στη Βιομηχανία Γάλακτος.

Σύμφωνα με τη μελέτη του Malik(2023), ερευνητές ομαδοποίησαν 85 ερευνητικές εργασίες για να εξετάσουν πώς προοδεύει η βιομηχανία γάλακτος σε σχέση με την τεχνολογία. Από την

ανάλυση προέκυψε ότι η μεγαλύτερη έρευνα έχει επικεντρωθεί περισσότερο στην τεχνολογία με ποσοστό 44% και την ασφάλεια των τροφίμων με ποσοστό 52%, ενώ η μικρότερη στην αποτελεσματικότητα με 14% και τους κανονισμούς με 9%. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει ανάγκη για μία πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση που θα συνδυάζει την ποιότητα, ασφάλεια, την καλή διαβίωση των ζώων και τη διαφάνεια.

Επιπλέον στον πίνακα 1 οι ερευνητές απαρίθμησαν τις κύριες προκλήσεις της βιομηχανίας γάλακτος και πώς θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με ένα κατάλληλο σύστημα ιχνηλασιμότητας.

Τομέας Γαλακτοπαραγωγής	Κύριες Προκλήσεις	Λύσεις μέσω ιχνηλασιμότητας	Αναφορές
Παραγωγή	• Ισορροπία κόστους παραγωγής • Πρόσβαση σε ποιοτική τροφή • Θέματα ευζωίας ζώων • Έλλειψη παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο • Άδικη τιμολόγηση γάλακτος	• Αισθητήρες IoT για την παρακολούθηση υγείας και διατροφής ζώων • Ανάλυση δεδομένων για βελτιστοποίηση πόρων και τροφής • Συστήματα ιχνηλασιμότητας για την προέλευση ζωοτροφών και αγροτικές πρακτικές	Cabrera & Fadul-Pacheco(2021) Lovarelli et al. (2020)
Συλλογή	• Διασφάλιση ποιότητας γάλακτος κατά τη συλλογή • Μεταβολές στη σύνθεση του γάλακτος	• RFID ετικέτες για ιχνηλάτηση δοχείων γάλακτος και προέλευσης • Ψηφιακές πλατφόρμες για παρακολούθηση	Wahyono et al.(2023) Shillings et al.(2023)

	• Κίνδυνοι νοθείας • Υγιεινή αμέλεια • Έλλειψη διαφάνειας και διαχείρισης δεδομένων	ποιότητας και ποσότητας σε πραγματικό χρόνο	
Μεταφορά	• Διατήρηση αλυσίδας ψύξης • Προκλήσεις στη μεταφορά και καθυστερήσεις	• Συσκευές IoT για τη παρακολούθηση θερμοκρασίας κατά τη μεταφορά • GPS για σχεδιασμό και διαχείριση διαδρομών σε πραγματικό χρόνο	Hassoun et al.(2023) Malik et al.(2023)
Επεξεργασία	• Συμμόρφωση με τα πρότυπα ποιότητας και ασφάλειας • Διαχείριση μεταβλητών ποσοτήτων γάλακτος • Υγειονομικά προβλήματα • Κίνδυνοι νοθείας και επιμολύνσεων • Απώλειες θρεπτικών συστατικών • Ανεπαρκή συστήματα ιχνηλασιμότητας	• Blockchain για διαφάνεια στην εφοδιαστική αλυσίδα • Αυτοματοποιημένα συστήματα για έλεγχο ποιότητας και επεξεργασίας	Lopes et al.(202) Varavallo et al.(2022)

Διανομή	• Διατήρηση ποιότητας κατά τη διανομή • Μη αποδοτικές διαδρομές • Ανεπαρκής ιχνηλασιμότητας	• Ψηφιακή διαχείριση αποθέματος και ιχνηλασιμότητας προϊόντων • Αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης για βελτιστοποίηση διανομής	Freeman et al.(2022) Mangla et al.(2019)
Διαχείριση Γαλακτοπαραγωγής	• Ισορροπία μεταξύ κερδοφορίας και βιωσιμότητας • Προσαρμογή στις τεχνολογικές εξελίξεις	• Ολοκληρωμένο λογισμικό διαχείρισης αγροκτημάτων • Προγνωστικά μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης για λήψη αποφάσεων	Hassoun et al.(2023) Malik et al.(2023,2024b)

Πίνακας 1: Προκλήσεις στο τομέα γαλακτοπαραγωγής

2.2 Το Διαδίκτυο των πραγμάτων στη σύγχρονη κτηνοτροφία

Η ενσωμάτωση του Διαδικτύου των Πραγμάτων(IoT) και των τεχνικών που βασίζονται σε δεδομένα προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες στους γαλακτοπαραγωγούς για τη βελτίωση της διαχείρισης των αγροκτημάτων. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων χρησιμεύει ως μία κρίσιμη γέφυρα μεταξύ των εικονικών και φυσικών πεδίων, επιτρέποντας την ασύρματη επικοινωνία μέσω έξυπνων συσκευών, όπως αισθητήρων που χρησιμοποιούν τοπικές και παγκόσμιες υποδομές δικτύου για την υποστήριξη πλήρως αυτόνομων συστημάτων. Αυτή η συνδεσιμότητα σχηματίζει ένα εκτεταμένο δίκτυο εντός της εκμετάλλευσης όπου οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι ή ενσωματωμένοι μέσα στα ζώα και συνδέονται με άλλους κόμβους, βασιζόμενοι σε αποτελεσματικά πρωτόκολλα επικοινωνίας για τη διατήρηση της ροής δεδομένων.

Μια βασική καινοτομία που προκύπτει από αυτήν την ενσωμάτωση είναι η ανάπτυξη κόμβων οι οποίοι εκτελούν διακριτούς ρόλους σε όλο τον κύκλο ζωής των δεδομένων: δημιουργία δεδομένων(κόμβοι άκρης), επεξεργασία και μετασχηματισμός δεδομένων(κόμβοι νέφους) και αποθήκευση δεδομένων(σύννεφο). Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας θερμοκρασίας

τοποθετημένος μέσα στο στομάχι μίας αγελάδας λειτουργεί ως κόμβος άκρης καταγράφοντας ζωτικά δεδομένα θερμοκρασίας. Αυτές οι πληροφορίες μεταδίδονται σε ένα κολάρο που τοποθετούν στο ζώο, το οποίο λειτουργεί ως κόμβος νέφους, εκτελώντας εργασίες προ επεξεργασίας και ανάλυση προτύπων συμπεριφοράς πριν προωθήσει τα δεδομένα σε έναν διακομιστή cloud μέσω μίας πύλης δικτύου. Στο σύννεφο, οι προηγμένες αναλύσεις συμπεριλαμβανομένων των αλγορίθμων βαθιάς μάθησης, επιτρέπουν την έγκαιρη ανίχνευση συμβάντων υγείας, όπως η έναρξη ασθενειών, οι κύκλοι οίστρου, ο τοκετός και η μαστίτιδα.

Αυτή η πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για γαλακτοπαραγωγικές μονάδες που αναπτύσσουν ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μεγάλης κλίμακας, τα οποία παράγουν σημαντικές ποσότητες δεδομένων που πρέπει να μεταδίδονται αποτελεσματικά. Οι κόμβοι υπολογισμού άκρης και νέφους μειώνουν το βάρος στα συστήματα σύννεφου επεξεργάζοντας δεδομένα τοπικά σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας την αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων, τη χαμηλότερη καθυστέρηση και βελτιωμένη απόδοση δικτύου. Τα τελευταία χρόνια, αυτός ο συνδυασμός υπολογιστικού νέφους και άκρης έχει ενσωματωθεί όλο και περισσότερο στις πλατφόρμες παρακολούθησης και διαχείριση της υγείας των ζώων, βελτιώνοντας την ανταπόκριση και την αυτονομία.

Τα οφέλη από την υιοθέτηση της υπολογιστικής νέφους και άκρης στην παρακολούθηση του ζωικού κεφαλαίου είναι πολλά. Αρχικά μειώνουν τον πλεονασμό δεδομένων και τους όγκους μετάδοσης, δημιουργώντας πιο ανθεκτικά και αυτόνομα δίκτυα και χαμηλότερες απαιτήσεις εύρους ζώνης. Παρά τα πλεονεκτήματα, η εφαρμογή της υπολογιστικής άκρης αντιμετωπίζει εμπόδια που σχετίζονται κυρίως με το κόστος εξειδικευμένων συσκευών, οι οποίες συχνά απαιτούν ενημερώσεις ή αντικαταστάσεις, αυξάνοντας την συνολική επένδυση για τους κτηνοτρόφους. Εναλλακτικά, προσιτές πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα όπως το Raspberry Pi και το Arduino προσφέρουν πιθανές λύσεις, αλλά απαιτούν τεχνική εμπειρία, η οποία μπορεί να είναι σπάνια στον κτηνοτροφικό τομέα.

Η υιοθέτηση αισθητήρων που βασίζονται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην γαλακτοκομία παραμένει ετερογενής. Ενώ ορισμένοι αισθητήρες, όπως αυτοί που παρακολουθούν τη δραστηριότητα των αγελάδων και την απόδοση του γάλακτος είναι ευρέως διαδεδομένοι, άλλοι όπως η βαθμολόγηση της σωματικής κατάστασης είναι αναδυόμενες τεχνολογίες. Η αποδοχή από τους χρήστες είναι μια σύνθετη, πολύπλευρη διαδικασία που επηρεάζεται από παράγοντες που αφορούν το περιβάλλον, τους κοινωνικούς, τους γνωστικούς και συναισθηματικούς. Τόσο οι αναλύσεις κόστους και οφέλους όσο και συναισθηματικοί παράγοντες όπως η εμπιστοσύνη διαμορφώνουν αποφάσεις υιοθέτησης των συστημάτων. Επομένως, οι στρατηγικές για την

ενθάρρυνση της υιοθέτησης πρέπει να αντιμετωπίζουν όχι μόνο τις τεχνικές και υποδομικές προκλήσεις, αλλά και τα συναισθηματικά εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι κτηνοτρόφοι.

Το υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης, εγκατάστασης και συντήρησης αναδεικνύεται συνεχώς ως σημαντικά εμπόδια στην υιοθέτηση των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Τα ζητήματα συμβατότητας με τα υπάρχοντα γεωργικά συστήματα, οι προκλήσεις υποδομών, όπως η απομακρυσμένη πρόσβαση στο ευρυζωνικό δίκτυο στις αγροτικές περιοχές περιπλέκουν περαιτέρω την εφαρμογή.

Παρά αυτές τις προκλήσεις τα συστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων επιτρέπουν τη συλλογή και παρακολούθηση δεδομένων μεγάλης κλίμακας, ενώ το υπολογιστικό σύννεφο και η μηχανική μάθηση προσφέρουν εργαλεία για ακριβείς προσομοιώσεις και υποστήριξη αποφάσεων. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να μειώσουν δραματικά τον χρόνο και το κόστος που σχετίζονται με την ανάπτυξη μοντέλων και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, απαραίτητων για τη βελτίωση της διαχείρισης του ζωικού κεφαλαίου.

Μια από τις ελπιδοφόρες πτυχές του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην γαλακτοκομία είναι η ικανότητα του να αυτοματοποιεί εργασίες όπως η παρακολούθηση της υγείας σε πραγματικό χρόνο. Παρέχοντας εξατομικευμένα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για κάθε ζώο, οι λύσεις Διαδικτύου των πραγμάτων μπορούν να μειώσουν σημαντικά το κόστος εργασίας.

Επιπλέον στη διαχείριση του ζωικού κεφαλαίου, όπου ο έλεγχος των ζωοτροφών και των ασθενειών αποτελούν πρωταρχικά έξοδα, οι προηγμένες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης μπορούν να συμβάλουν στη βελτιστοποίηση του κόστους, μέσω τους καλύτερου ελέγχου των τιμών των ζωοτροφών, της διατροφικής σύνθεσης και των σχεδίων θεραπείας. Επιπλέον εργασίες όπως η αρμεγή και ο καθαρισμός μπορούν να γίνουν λιγότερο απαιτητικές σε ανθρώπινη εργασία και πιο οικονομικά αποδοτικές με την εφαρμογή αυτοματισμών.

Συνοψίζοντας, οι τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων διαμορφώνουν ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο για τον μετασχηματισμό της γαλακτοκομικής κτηνοτροφίας και ευρύτερων γεωργικών πρακτικών. Παρέχουν νέες δυνατότητες για την ακριβή διαχείριση του ζωικού κεφαλαίου, μέσω της συλλογής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, της αυτοματοποιημένης λήψης αποφάσεων και της αποδοτικότερης χρήσης των διαθέσιμων πόρων. Ωστόσο η ευρεία υιοθέτηση τους προϋποθέτει την υπέρβαση σημαντικών οικονομικών και υποδομικών προκλήσεων. Η αντιμετώπιση αυτών των εμποδίων μέσω τεχνολογικής καινοτομίας, πολιτικής υποστήριξης και διεπιστημονικής έρευνας θα είναι καθοριστική για τη βιώσιμη ενσωμάτωση του Διαδικτύου των πραγμάτων στη γαλακτοκομία.

2.3 Παρακολούθηση Γάλακτος και εφοδιαστική αλυσίδα

Η γαλακτοβιομηχανία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ποιότητα και την ιχνηλασιμότητα του γάλακτος σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα παραγωγής και εφοδιασμού της. Παραδοσιακά, η ποιότητα του γάλακτος αξιολογείται με τη συλλογή δειγμάτων στο αγρόκτημα κατά την παραλαβή και την αποστολή τους σε εργαστήρια για ανάλυση (Nyokabi et al., 2021). Ωστόσο όταν το γάλα από διαφορετικές πηγές αναμειχθεί κατά τη μεταφορά, καθίσταται αδύνατο να διαχωριστούν οι παρτίδες υψηλής και χαμηλής ποιότητας. Κατά συνέπεια ένα μείγμα γάλακτος με ποικίλα επίπεδα ποιότητας φτάνει στις μονάδες επεξεργασίας, επηρεάζοντας την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Plaza et al., 2021).

Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην παρακολούθηση της ποιότητας του γάλακτος σε πραγματικό χρόνο. Με τη βοήθεια προηγμένων αισθητήρων, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων επιτρέπει την ανίχνευση και τη διαφοροποίηση του γάλακτος με βάση τη σύνθεση και τις φυσικές του ιδιότητες πριν την ανάμειξη (Saravanan et al. 2021). Αυτή η καινοτομία επιτρέπει στη γαλακτοβιομηχανία να παρακολουθεί συνεχώς τις συνθήκες του γάλακτος, διευκολύνοντας την καλύτερη λήψη αποφάσεων, τη βελτιωμένη ποιότητα των προϊόντων και την αυξημένη αποτελεσματικότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα.

Η παρακολούθηση των συνθηκών του γάλακτος σε πραγματικό χρόνο, όπως η θερμοκρασία, ο όγκος και των συμβάντων παραλαβής, όχι μόνο μειώνει την πιθανότητα απόρριψης στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, αλλά βοηθά επίσης στον εντοπισμό υψηλής ποιότητας γάλακτος προκειμένου να συλλεχθεί ξεχωριστά. Επίσης αυτή η δυνατότητα βελτιώνει τον προγραμματισμό παραγωγής και την πρόβλεψη της προσφοράς (Patil et al. 2021). Επιπλέον, βοηθά τους αγρότες να λαμβάνουν ειδοποιήσεις σχετικά με προβλήματα αποθήκευσης και παραλαβής γάλακτος, όπως καθυστερήσεις φορτηγών ή ανεπαρκές πλύσιμο κάδου, συμβάλλοντας στη συνολική απόδοση του συστήματος και την ασφάλεια των προϊόντων (da Rosa Righi et al. 2020).

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η φασματοσκοπία που βασίζεται στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο (NIR) και υπέρυθρο (IR) φως είναι κατάλληλη για την αξιολόγηση της ποιότητας του γάλακτος (Castelum-Barríos, 2020). Μεταξύ αυτών, η φασματοσκοπία NIR θεωρείται η πιο πολλά υποσχόμενη για εμπορική χρήση λόγω της ακρίβειας και της αξιοπιστίας της (Porep et al., 2015). Ωστόσο σύμφωνα με τη μελέτη του Munir (2015) το κόστος και η πολυπλοκότητα του υπάρχοντος εξοπλισμού NIR την καθιστούν μη πρακτική για ευρεία υιοθέτηση της στις φάρμες. Αντίθετα, οι πρόσφατες εξελίξεις στους βιοαισθητήρες χαμηλού κόστους και τους ηλεκτροχημικούς αισθητήρες έχουν δείξει μεγάλη δυναμική στην εργαστηριακή ανάλυση της ποιότητας του

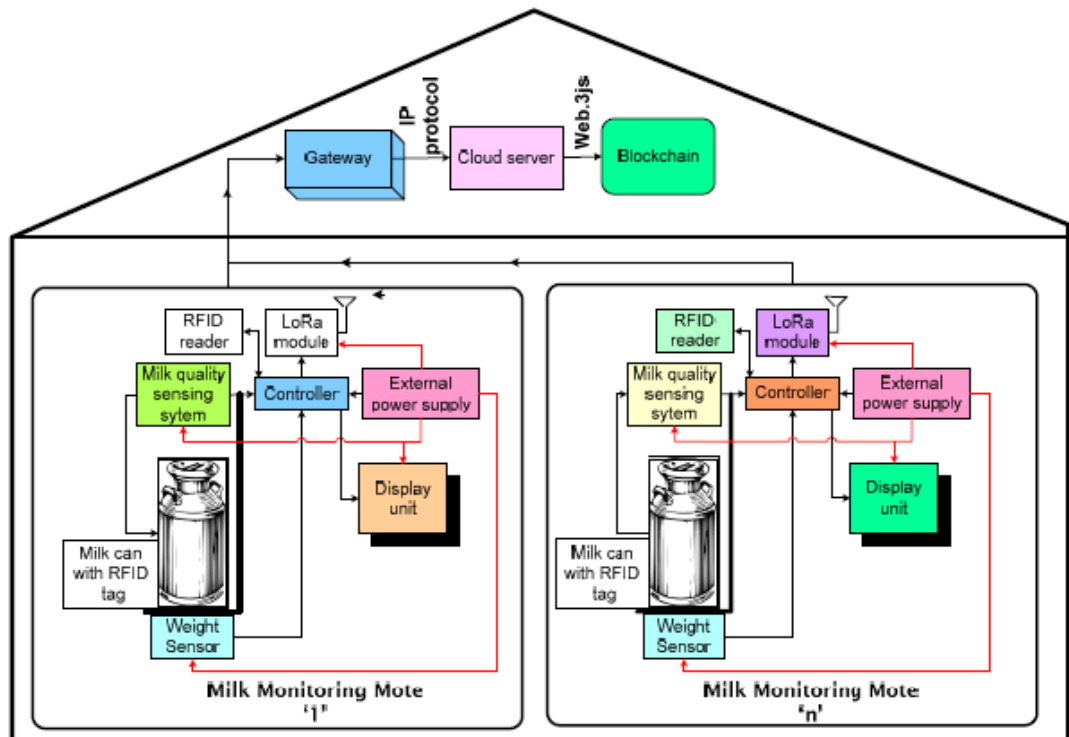
γάλακτος, ανοίγοντας το δρόμο για οικονομικά προσιτές και κλιμακούμενες λύσεις παρακολούθησης στις φάρμες.(Poghossian et.al 2019, Joshi et.al2015).

Όπως αναφέρει στην έρευνά του ο Akram(2020) για την περαιτέρω ενίσχυση της διαφάνειας και της ασφάλειας στην αλυσίδα εφοδιασμού γάλακτος, ο συνδυασμός τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων και Blockchain έχει προταθεί ως ένα αποτελεσματικό πλαίσιο. Στα τρέχοντα συστήματα, υπάρχει κίνδυνος χειραγώγησης δεδομένων και απόκρυψης δυσμενών συμβάντων. Η τεχνολογία Blockchain αντιμετωπίζει αυτές τις προκλήσεις επιτρέποντας της αποκεντρωμένη και απαραβίαστη αποθήκευση δεδομένων. Λειτουργεί ως βιβλίο καταγραφής που μοιράζεται μεταξύ πολλαπλών οντοτήτων, με ασφάλεια που εξασφαλίζεται μέσω αλγορίθμων κατακερματισμού και κρυπτογραφίας ιδιωτικού κλειδιού.

Ένα βασικό στοιχείο αυτής της αρχιτεκτονικής είναι ο κόμβος παρακολούθησης γάλακτος(milk monitoring mote), ο οποίος ενσωματώνει πολλά στοιχεία απαραίτητα για την παρακολούθηση της ποσότητας και ποιότητας του γάλακτος. Αυτό περιλαμβάνει έναν αισθητήρα βάρους για τη μέτρηση του όγκου γάλακτος και έναν αναγνώστη RFID για την αναγνώριση των δοχείων γάλακτος μέσω ενσωματωμένων ετικετών.

Αυτοί οι κόμβοι μπορούν να αναπτυχθούν σε μεγάλη κλίμακα σε γαλακτοπαραγωγικές φάρμες και έχουν σχεδιαστεί ώστε να επικοινωνούν τα δεδομένα μέσω μιας μονάδας LoRa, το οποίο αποστέλλει πληροφορίες σε μια τοπική πύλη.

Η πύλη, εξοπλισμένη τόσο με δυνατότητα λήψης σήματος LoRa όσο και με συνδεσιμότητα WiFi, μεταδίδει τα δεδομένα σε έναν διακομιστή νέφους. Αυτός ο διακομιστής, με τη σειρά του, συνδέεται στο δίκτυο Blockchain μέσω μίας διεπαφής Web3.js που υποστηρίζει επικοινωνίας πρωτοκόλλων HTTP,IPC ή WebSocket. Αυτή η ρύθμιση επιτρέπει τη συνεχή, ασφαλή και διάφανη καταγραφή της ποιότητας του γάλακτος και των συμβάντων παραλαβής. Το σχήμα 1 απεικονίζει αυτή την αρχιτεκτονική με δυνατότητα Διαδικτύου των πραγμάτων.



Σχήμα 1: Σύστημα με δυνατότητα IoT για την παρακολούθηση της ποιότητας του γάλακτος και της εφοδιαστική αλυσίδας.

Το συγκεκριμένο πλαίσιο μέσω των αμετάβλητων, προσβάσιμων και επαληθεύσιμων δεδομένων χτίζει την εμπιστοσύνη μεταξύ των μερών που εμπλέκονται στην εφοδιαστική αλυσίδα του γάλακτος συμπεριλαμβανομένων των κτηνοτρόφων, των διανομέων και των μεταποιητών. Η ψηφιοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού γάλακτος όχι μόνο βελτιώνει τη διαφάνεια, αλλά και ενισχύει τις επιχειρηματικές σχέσεις διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τη ποιότητα και την ιχνηλασιμότητα σε κάθε στάδιο της διαχείρισης του γάλακτος.

Κεφάλαιο 3

FarmOS: Περιγραφή και δυνατότητες

3.1 Εργαλεία ανοιχτού κώδικα

3.1.1 Εισαγωγή στα εργαλεία ανοιχτού κώδικα

Ο γεωργικός και κτηνοτροφικός κλάδος είναι ένας κλάδος σε μεταβατική φάση. Σημαντικό ρόλο σε αυτό έχουν διαδραματίσει οι τεχνολογικές εξελίξεις, καθώς η άνοδος των τεχνολογιών έξυπνης γεωργίας και κτηνοτροφίας έχει ενθαρρύνει τους αγρότες και κτηνοτρόφους να υιοθετήσουν πρακτικές που προωθούν τη βιώσιμη γεωργία. Μέσω των τεχνολογικών εξελίξεων οι αγρότες και κτηνοτρόφοι μπορούν να μειώσουν προβλήματα αλλά και να πάρουν καλύτερες αποφάσεις για την αύξηση της απόδοσης. Επιπλέον οι εμπλεκόμενοι στην εφοδιαστική αλυσίδα επωφελούνται από τις οικονομικά αποδοτικές και ευέλικτες λύσεις που καθίστανται δυνατές μέσω της ανάπτυξης λογισμικού ανοιχτού κώδικα.

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και περισσότεροι χρησιμοποιούν συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων σε συνδυασμό με δίκτυα υψηλής ταχύτητας όπως 4G και 5G. Αυτή η ανάπτυξη καθιστά ευκολότερη την υιοθέτηση τεχνικών ακριβούς γεωργίας και κτηνοτροφίας από όλες τις ηλικίες. Ωστόσο για να αντιμετωπιστούν οι μοναδικές απαιτήσεις και να καταστεί η γεωργία ακριβείας πιο διαδεδομένη και προσβάσιμη ο αγροτεχνολογικός τομέας αξιοποιεί λογισμικό ανοιχτού κώδικα.

Σύμφωνα με τον Medevel(2023) το λογισμικό ανοιχτού κώδικα αναφέρεται σε δωρεάν εφαρμογές που επιτρέπει στους χρήστες να έχουν τη δυνατότητα να ελέγξουν, να χρησιμοποιήσουν, να κατεβάσουν και να τροποποιήσουν τον πηγαίο κώδικα. Ο πηγαίος κώδικα είναι η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιούν οι προγραμματιστές για να δημιουργήσουν και να ελέγξουν τον τρόπο λειτουργίας του λογισμικού. Ο κώδικας των συγκεκριμένων εργαλείων αποθηκεύεται συνήθως σε δημόσια αποθετήρια, επιτρέποντας την ανοιχτή πρόσβαση από τον καθένα. Το λογισμικό ανοιχτού κώδικα συνήθως συνοδεύεται από άδειες χρήσης που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί, να τροποποιηθεί και να κοινοποιηθεί.

3.1.2 Σημασία της τεχνολογίας ανοιχτού κώδικα

Όπως αναφέρει και στην ερευνά του ο Verma(2023), η ευρεία χρήση της τεχνολογίας έχει ανοίξει τον δρόμο για λύσεις ανοιχτού κώδικα που προσφέρουν πολλά οφέλη στους αγρότες και τα ενδιαφερόμενα μέρη, ιδιαίτερα στην κατάρτιση, την εκπαίδευση, τη συνεργασία, την ανάπτυξη

υποδομών και την προσαρμογή της τεχνολογίας στις τοπικές ανάγκες. Μερικές από τις βασικές επιδράσεις της τεχνολογίας ανοιχτού κώδικα σε διάφορους τομείς είναι οι εξής:

- 1) Εκπαίδευση: Η τεχνολογία ανοιχτού κώδικα παρέχει πολύτιμες ευκαιρίες για την εκπαίδευση αγροτών και μαθητών, καθώς οι πληροφορίες είναι εύκολα προσβάσιμες. Επιπλέον οι πλατφόρμες φιλοξενούν μαθήματα εκπαίδευσης, βοηθώντας στην προσέγγιση ενός ευρέος κοινού.
- 2) Γεωργία ακριβείας: Οι τεχνολογίες ανοιχτού κώδικα διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην προώθηση της γεωργίας ακριβείας, προσφέροντας προσαρμόσιμες και οικονομικά προσιτές λύσεις. Επιτρέπουν τη συλλογή δεδομένων σχετικά με την ανάπτυξη των καλλιεργειών και την υγεία του εδάφους, επιτρέποντας στους αγρότες να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τη χρήση λιπασμάτων, τις εφαρμογές φυτοφαρμάκων, τον προγραμματισμό άρδευσης και τις συνολικές στρατηγικές διαχείρισης των καλλιεργειών.
- 3) Κοινότητα: Η συνεργασία μεταξύ αγροτών δημιουργεί ένα ισχυρό αίσθημα ενότητας και εμπιστοσύνης, οδηγώντας σε ανταλλαγή γνώσεων και προσπάθειες για κοινούς στόχους.
- 4) Συνεργασία: Η ανταλλαγή γνώσεων, δεδομένων και προβλέψεων όχι μόνο ωφελεί τα άτομα και τις κοινότητες, αλλά ενισχύει και τον γεωργικό τομέα στο σύνολο του. Μέσω συνεργατικών προσπαθειών οι οργανισμοί ενώνουν ενδιαφερόμενους φορείς, ειδικούς της αγροτεχνολογίας και αγρότες για να αναπτύξουν και διατηρήσουν πλατφόρμες ανοιχτού κώδικα που προωθούν την καινοτομία.
- 5) Μείωση κόστους: Η τεχνολογία ανοιχτού κώδικα επιτρέπει στους αγρότες και τους ενδιαφερόμενους να έχουν πρόσβαση σε δωρεάν λογισμικό, μειώνοντας την ανάγκη για ακριβά αδειοδοτούμενα συστήματα.
- 6) Τοπικοποίηση: Η ευελιξία της τεχνολογίας ανοιχτού κώδικα επιτρέπει την προσαρμογή της ώστε να καλύπτει και περιφερειακές ανάγκες. Για παράδειγμα, τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης που βασίζονται σε αλγορίθμους ανοιχτού κώδικα μπορούν να εντοπίσουν ασθένειες των φυτών που αφορούν συγκεκριμένες τοποθεσίες.

3.1.3 Λογισμικά ανοιχτού κώδικα για Ψηφιακή Γεωργία

Τα λογισμικά ανοιχτού κώδικα επωφελούνται από την υποστήριξη μιας τεράστιας κοινότητας προγραμματιστών και χρηστών και συχνά διατίθεται με μικρό ή μηδενικό κόστος. Υιοθετώντας λύσεις ανοιχτού κώδικα, οι αγρότες έχουν την δυνατότητα να διαχειρίζονται τις δραστηριότητες τους πιο αποτελεσματικά, ενισχύοντας τόσο την παραγωγικότητα όσο και την κερδοφορία. Αυτά τα πλεονεκτήματα καθιστούν τα εργαλεία ανοιχτού κώδικα πιο προσβάσιμα και προσαρμόσιμα για την αντιμετώπιση των γεωργικών προκλήσεων σε σχέση με τις ιδιόκτητες εναλλακτικές

λύσεις. Παρακάτω παρουσιάζεται μια επισκόπηση μερικών από τα καλύτερα δωρεάν λογισμικά ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιούνται για την ψηφιακή γεωργία.

1. FarmOs



Εικόνα 1: Λογότυπο του λογισμικού ανοιχτού κώδικα FarmOS

Πρόκειται για μια διαδικτυακή πλατφόρμα που έχει σχεδιαστεί κυρίως για την τήρηση αρχείων, τον προγραμματισμό, την παρακολούθηση και τη συνολική διαχείριση γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Αναγνωρισμένη ευρέως ως μία από τις κορυφαίες δωρεάν λύσεις λογισμικού ανοιχτού κώδικα παγκοσμίως υποστηρίζεται από μία συνεργατική κοινότητα προγραμματιστών ερευνητών, αγροτών και γεωργικών οργανισμών που είναι αφιερωμένη στη δημιουργία ενός ισχυρού εργαλείου συλλογής και διαχείρισης δεδομένων για τη γεωργία.

Το λογισμικό βασίζεται στο Drupal, ένα σύστημα διαχείρισης περιεχομένου ανοιχτού κώδικα, και διατίθεται με την γενική άδεια χρήσης. Περιλαμβάνει το FarmOS Field Kit, μια εφαρμογή για κινητά που υποστηρίζει την εισαγωγή δεδομένων εκτός σύνδεσης μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής που είναι διαθέσιμη στο FarmOS.app. Ο πηγαίος κώδικας είναι δημόσια προσβάσιμος μέσω του αποθετηρίου FarmOS Github.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά του είναι:

- Χαρτογράφηση πόρων: Οι χρήστες μπορούν να ορίσουν περιοχές χρησιμοποιώντας εργαλεία γεωμετρίας που επιτρέπουν τη σχεδίαση, την αναζήτηση διευθύνσεων και τη γεωγραφική τοποθεσία.
- Προγραμματισμός εκ των προτέρων: Επιτρέπει τον στρατηγικό σχεδιασμό για την καλλιέργεια και άλλες γεωργικές πρακτικές.
- Παρακολούθηση δραστηριότητας: Στη συγκεκριμένη λειτουργία εμφανίζονται οι καθημερινές εργασίες καθώς και οι παρατηρήσεις.
- Ανάθεση εργασιών: Οι χρήστες μπορούν να αναθέσουν ευθύνες στα μέλη της ομάδας.

Το συγκεκριμένο εργαλείο είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό για τη διαχείριση των γεωργικών πόρων και προσφέρει μια φιλική προς τον χρήστη λύση.

2. Tania



Εικόνα 2: Λογότυπο του λογισμικού ανοιχτού κώδικα Tania

Το Tania αποτελεί ένα δωρεάν, ανοιχτού κώδικα γεωργικό λογισμικό διαχείρισης αγροκτημάτων σχεδιασμένο να παρέχει προσβάσιμα εργαλεία και πληροφορίες για την έξυπνη γεωργία. Το Tania, που ξεκίνησε το 2017 από την Tanibox ΟΥ, αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού MySQL ή SQLite για την λειτουργία του. Διατίθεται με την άδεια Apache 2.0 και ο πηγαίος κώδικας του είναι διαθέσιμος στο Github. Η πλατφόρμα υποστηρίζεται από μια κοινότητα προγραμματιστών, αγροτών και ειδικών που συμμετέχουν ενεργά στο Telegram.

Όπως αναφέρει ο Richards (2023) ο πίνακας ελέγχου προσφέρει λεπτομερείς πληροφορίες για τις περιοχές καλλιέργειας, βοηθώντας τους χρήστες να προσδιορίσουν κατάλληλες ποικιλίες καλλιεργειών, να εντοπίσουν ζώνες που απαιτούν διαχείριση και να παρακολουθούν τα τρέχοντα σχέδια καλλιέργειας. Επιπλέον, η ενσωμάτωση με αισθητήρες που παρακολουθούν το κλίμα και συστήματα άρδευσης επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Το λογισμικό μπορεί να διαχειρίζεται δεξαμενές νερού, διασφαλίζοντας έγκαιρη και αποτελεσματική άρδευση ως μέρος της συνολικής διαχείρισης αγροκτημάτων.

3. Litefarm



Εικόνα 3: Λογότυπο του λογισμικού ανοιχτού κώδικα Litefarm

Το Litefarm είναι ένα συνεργατικό έργο ανοιχτού κώδικα που ξεκίνησε το πανεπιστήμιο της Βρετανικής Κολομβίας, συγκεντρώνοντας ειδικούς από το Κέντρο Βιώσιμων Συστημάτων Τροφίμων, προγραμματιστές ανοιχτού κώδικα, αγρότες, σχεδιαστές και δωρητές. Από την έναρξη του το 2020, το Litefarm έχει εξελιχθεί σε μία διαδικτυακή πλατφόρμα που φιλοξενείται σε cloud και είναι προσβάσιμη παγκοσμίως, με χρήστες σε περισσότερες από 140 χώρες. Ο πηγαίος κώδικας είναι διαθέσιμος στο GitHub, Επιτρέποντας τη συνεχή ανάπτυξη και τις συνεισφορές της κοινότητας.

Η πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί για την υποστήριξη διαχείρισης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, εξοπλίζοντας τους αγρότες με εργαλεία για τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων. Δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να:

- Καταγράφουν και να αναλύουν μετρήσεις όπως η εισροή οργανικής ύλης και τα επίπεδα νερού στο έδαφος.
- Παρακολουθούν τις καιρικές συνθήκες σε πραγματικό χρόνο, την ανάπτυξη των καλλιεργειών και τις τάσεις της αγοράς.
- Συγκρίνουν καλλιεργειες με βάση τον χρόνο, την τοποθεσία και τις τιμές της αγοράς.
- Πρόσβαση σε εκπαιδευτικά σεμινάρια για διάφορες πτυχές της διαχείρισης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων.

Το Litefarm είναι ιδιαίτερα πολύτιμο για την προώθηση της βιωσιμότητας και τη βελτίωση των μέσων διαβίωσης εντός της παγκόσμιας γεωργικής κοινότητας.

4. FamVibes.AI



Εικόνα 4: Αποθετήριο του FarmVibes στο Github

Το FarmVibes αποτελεί μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα σχεδιασμένη για τη μοντελοποίηση πολυτροπικών γεωχωρικών μοντέλων μηχανικής μάθησης και την ανάλυση χωροχρονικών συνόλων δεδομένων. Αναπτύχθηκε από την Microsoft Research στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας Project FarmVibes και στοχεύει στην υποστήριξη της βιώσιμης γεωργίας μέσω προηγμένων εργαλείων που βασίζονται σε δεδομένα.

Το FarmVibes.AI ενσωματώνει ένα ευρύ φάσμα πηγών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων εικόνων από drone και δορυφόρο, δεδομένων υψομέτρου εδάφους και καιρού, για τη δημιουργία ισχυρών μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης. Αυτά τα σύνολα δεδομένων είναι δημόσια διαθέσιμα και μπορούν να ληφθούν δωρεάν για έρευνα ή εφαρμογή.

Η πλατφόρμα λειτουργεί σε ένα cluster υπολογιστών Kubernetes(K8s) και περιλαμβάνει:

- Ένα REST API ή Python client για την παρακολούθηση ροών εργασίας και αποτελεσμάτων.
- Έναν χρονοπρογραμματιστή για τον συντονισμό της εκτέλεσης εργασιών.
- Επεξεργασία εισερχόμενων δεδομένων.
- Ένα σύστημα κρυφής μνήμης για την αποθήκευση ενδιάμεσων και τελικών εξόδων.

Επιπλέον το FarVibe.AI υποστηρίζει ροές εργασίας που εφαρμόζουν μοντέλα μηχανικής μάθησης για:

- Αναγνώριση χαρακτηριστικών της αγροτικής υποδομής
- Ανάλυση δέσμευσης άνθρακα
- Παρακολούθηση εκπομπών
- Αξιολόγηση εξοικονόμησης νερού

Συνδυάζοντας τις παρατηρήσεις του πεδίου με χωρικά και χρονικά δεδομένα, το σύστημα παράγει πληροφορίες σχετικά με:

- Διατροφικό περιεχόμενο
- Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από γεωργικές δραστηριότητες
- Επίπεδα υγρασίας εδάφους.

Συνολικά, το FarmVibes.AI δίνει τη δυνατότητα σε ερευνητές, προγραμματιστές και αγρότες να δημιουργήσουν λύσεις ακριβούς γεωργίας.

3.2 Επιλογή του εργαλείου FarmOS

Στη παρούσα εργασία, το FarmOS επιλέχθηκε ως η κύρια πλατφόρμα για την κατασκευή ενός συστήματος ιχνηλασιμότητας του γάλακτος. Η ευελιξία και επεκτασιμότητα που παρέχει, αποτελεί το ιδανικό λογισμικό για την ενσωμάτωση διάφορων αισθητήρων Διαδικτύου των Πραγμάτων, όπως αισθητήρες θερμοκρασίας και βάρους, για την αυτοματοποίηση της συλλογής και μετάδοσης δεδομένων. Αυτή η δυνατότητα παρακολούθησης κρίσιμων παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και το βάρος, ενισχύει την αποφυγή λαθών αλλά και τη καλύτερη λήψη αποφάσεων.

Επιπλέον ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του FarmOS είναι η αρθρωτή αρχιτεκτονική του, η οποία επιτρέπει την προσαρμογή εξειδικευμένων ενοτήτων σε συγκεκριμένες ροές εργασίας. Για το σύστημα ιχνηλασιμότητας γάλακτος, αυτό σημαίνει η δυνατότητα δημιουργίας αρχείων καταγραφής που θα καταγράφουν βασικά στοιχεία στη διαδικασία παραγωγής γάλακτος. Αυτά τα αρχεία μπορούν να καταγράφουν χρόνους αρμέγματος, ποσότητες αλλά και εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, διασφαλίζοντας ότι κάθε στάδιο τεκμηριώνεται ορθά.

Συνοψίζοντας, η υιοθέτηση του FarmOS για το σύστημα ιχνηλασιμότητας γάλακτος προσφέρει μια , προσαρμόσιμη και κλιμακούμενη λύση που βελτιώνει την παραγωγικότητα, διασφαλίζει τη συμμόρφωση και ενισχύει τον ποιοτικό έλεγχο σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Επιπλέον η ικανότητα του να ενσωματώνει συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων, να δημιουργεί αρχεία

καταγραφής που αφορούν συγκεκριμένες εργασίες, το καθιστά απαραίτητο εργαλείο για την προώθηση έξυπνων κτηνοτροφικών εφαρμογών.

Κεφάλαιο 4

Σχεδίαση του συστήματος ιχνηλασιμότητας

4.1 Αρχιτεκτονική συστήματος

Το πλαίσιο που προτείνεται για το σύστημα ιχνηλασιμότητας γάλακτος, έχει ως στόχο την παρακολούθηση και την καταγραφή βασικών παραμέτρων κατά τη διαδικασία συλλογής και αποθήκευσης γάλακτος. Χρησιμοποιούνται δύο μικροελεγκτές (Raspberry Pi 4 και Esp32) για τη συλλογή, διαχείριση και μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στην πλατφόρμα FarmOS. Η αρχιτεκτονική του συστήματος χωρίζεται σε δύο κόμβους: τον κόμβο αρμεγής και τον κόμβο αποθήκευσης γάλακτος, καθένας εξοπλισμένος με κατάλληλους αισθητήρες και ελεγχόμενος μέσω της εφαρμογής Blynk.

1. Κόμβος αρμεγής

Στο κόμβο αρμεγής, κάθε δοχείο γάλακτος φέρει ετικέτα RFID και η αναγνώριση πραγματοποιείται μέσω αναγνώστη RFID που είναι συνδεδεμένος με τον μικροελεγκτή. Μόλις αναγνωριστεί το δοχείο ζυγίζεται χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα βάρους.

Οι εντολές ανάγνωσης ετικέτας RFID και ζύγισης των δοχείων πραγματοποιούνται μέσω της κινητής εφαρμογής Blynk, προσφέροντας στον χρήστη μια διεπαφή ελέγχου. Όταν ολοκληρωθεί η ζύγιση, το σύστημα καταγράφει και μεταδίδει αυτόματα πληροφορίες όπως το μοναδικό αναγνωριστικό αριθμό του δοχείου, τη ποσότητα γάλακτος και τη χρονική στιγμή της ζύγισης.

Αυτή η καταγραφή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο διασφαλίζει ότι κάθε δοχείο γάλακτος παρακολουθείται με ακρίβεια από το σημείο συλλογής.

2. Κόμβος αποθήκευσης γάλακτος

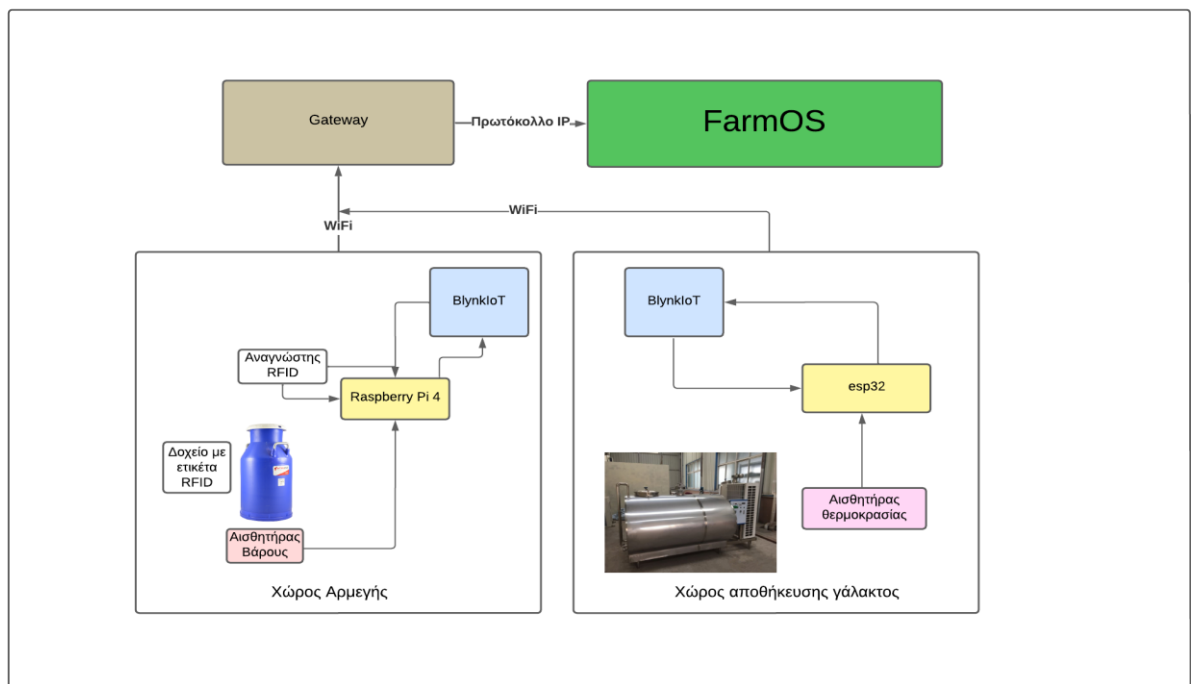
Ο δεύτερος κόμβος αφορά το χώρο όπου αποθηκεύεται το γάλα. Καθώς το γάλα αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης, ο χρήστης ξεκινά τη μέτρηση της θερμοκρασίας επιλέγοντας την κατάλληλη εντολή στη διεπαφή Blynk. Ο μικροελεγκτής που βρίσκεται στη δεξαμενή δίνει εντολή έναρξης μέτρησης θερμοκρασίας όποτε υπάρχει γάλα και αντίστοιχα σταματάει τη μέτρηση όποτε το γάλα μεταφέρεται στην εταιρεία και η δεξαμενή αδειάζει.

Τα δεδομένα που στέλνονται στο FarmOS αφορούν το σύνολο του γάλακτος που τοποθετείτε στη δεξαμενή από τη διαδικασία της αρμεγής. Με αυτό το τρόπο ο χρήστης γνωρίζει ανά πάσα στιγμή το σύνολο της ποσότητας που υπάρχει στη δεξαμενή.

Επιπλέον αποστέλλεται η τρέχουσα θερμοκρασία του περιβάλλοντος αποθήκευσης και η χρονική στιγμή της μέτρησης.

Αυτό διασφαλίζει ότι οι συνθήκες αποθήκευσης τεκμηριώνονται σωστά , συμβάλλοντας τόσο στην ασφάλεια όσο και στη διασφάλιση της ποιότητας.

Τέλος, τα δεδομένα από τους δύο κόμβους μεταδίδονται σύρματα μέσω WiFi στην πλατφόρμα FarmOS.



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική συστήματος ιχνηλασιμότητας γάλακτος

4.2 Ροή δεδομένων στο σύστημα ιχνηλασιμότητας γάλακτος

Το διάγραμμα δραστηριοτήτων που παρουσιάζεται στην εικόνα 6 αποτυπώνει με γραφικό τρόπο τα βήματα και τις ενέργειες που εκτελούνται από τους εμπλεκόμενους και τα υποσυστήματα, από τη φάση της αρμεγής μέχρι τη τελική καταγραφή των σχετικών πληροφοριών.

Αναλυτικότερα τα βασικά στάδια της διαδικασίας της ιχνηλασιμότητας περιλαμβάνουν:

1. Αρμεγή και καταγραφή βάρους γάλακτος

Ο κτηνοτρόφος ξεκινάει τη διαδικασία της αρμεγής. Κάθε φορά που γεμίζει ένα δοχείο σαρώνει την ετικέτα RFID του δοχείου και στη συνέχεια το ζυγίζει χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα ζύγισης. Το σύστημα αποστέλλει αυτόματα ποιο δοχείο χρησιμοποιήθηκε, πόσο γάλα περιέχει και

την ακριβή ώρα που γέμισε, στη πλατφόρμα FarmOS. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε δοχείο που χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία της αρμεγής.

2. Αποθήκευση Γάλακτος

Μετά τη διαδικασία της αρμεγής, ο κτηνοτρόφος μεταφέρει το γάλα στη δεξαμενή αποθήκευσης. Μέσω της εφαρμογής Blynk επιλέγει το κουμπί γέμισμα. Αυτό ενημερώνει το FarmOS για τη ποσότητα του γάλακτος που προστέθηκε και ενημερώνεται η συνολική ποσότητα που υπάρχει στη δεξαμενή. Με αυτό το ο κτηνοτρόφος γνωρίζει ανά πάσα στιγμή το σύνολο της ποσότητας που κατέχει. Παράλληλα αποστέλλεται ενημέρωση στον κτηνοτρόφο κατά τη διαδικασία συμπλήρωσης του γάλακτος στη δεξαμενή.

Στην περίπτωση που η εταιρεία παραλάβει το γάλα, ο κτηνοτρόφος επιλέγει από την εφαρμογή Blynk “Αποστολή” και το FarmOS καταγράφει τη στιγμή που έγινε η αποστολή του γάλακτος, αλλά επίσης ενημερώνεται και το σύνολο της δεξαμενής. Επιπλέον αποστέλλεται ενημέρωση στο κτηνοτρόφο για την αποστολή του γάλακτος.

3. Παρακολούθηση της θερμοκρασίας γάλακτος

Μέσω του συστήματος που προτείνεται, ενισχύεται η προστασία της ποιότητας του γάλακτος, καθώς όταν υπάρχει γάλα στη δεξαμενή ο κτηνοτρόφος ενεργοποιεί μέσω της εφαρμογής Blynk αισθητήρα θερμοκρασίας ο οποίος είναι εγκατεστημένος στο εσωτερικό της δεξαμενής. Εάν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 4°C, το σύστημα στέλνει άμεσα ειδοποίηση στον κτηνοτρόφο, προκειμένου να δράσει. Όταν η δεξαμενή είναι άδεια ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να απενεργοποιήσει τον αισθητήρα μέχρι το επόμενο γέμισμα.

Εν κατακλείδι μέσω του συστήματος ιχνηλασιμότητας οι κτηνοτρόφοι γνωρίζουν ανά πάσα στιγμή πόσο γάλα έχει παραχθεί και αν αποθηκεύεται στη σωστή θερμοκρασία. Οι ειδοποιήσεις σε περίπτωση απόκλισης από το επιτρεπόμενο όριο, ενισχύει τη διατήρηση της ποιότητας, ενώ η αυτόματη τήρηση αρχείων όλων των σταδίων παραγωγής του γάλακτος διευκολύνει την τήρηση των προτύπων ασφαλείας τροφίμων.



Εικόνα 6: Διάγραμμα δραστηριοτήτων του συστήματος ιχνηλασιμότητας γάλακτος

4.3 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στη παρούσα εργασία ακολουθεί μια συστηματική προσέγγιση που αποτελείται από 6 βασικά βήματα, που συνδυάζουν πτυχές υλικού και λογισμικού.

Βήμα 1: Σχεδίαση

Η αρχική φάση περιλαμβάνει το σχεδιασμό της αρχιτεκτονική του συστήματος και την περιγραφή των ειδικών απαιτήσεων. Αυτό περιλαμβάνει τον εντοπισμό των απαραίτητων στοιχείων υλικού και τον καθορισμό των επιθυμητών λειτουργιών και χαρακτηριστικών του συστήματος.

Βήμα 2: Ανάλυση

Σε αυτό το στάδιο, πραγματοποιείται μια ολοκληρωμένη ανάλυση για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας και βιωσιμότητας του προτεινόμενου συστήματος. Παράγοντες όπως τεχνικοί περιορισμοί, διαθεσιμότητα πόρων και οικονομικοί παράγοντες αξιολογούνται για να διασφαλιστεί η πρακτικότητα του έργου.

Βήμα 3: Σχεδιασμός υλικού

Με βάση τη σχεδίαση και τις απαιτήσεις, αυτό το βήμα περιλαμβάνει τη λεπτομερή σχεδίαση των στοιχείων υλικού, συμπεριλαμβανομένων των διαγραμμάτων κυκλωμάτων, της επιλογής εξαρτημάτων και της διάταξης. Ταυτόχρονα δημιουργείται ένα ολοκληρωμένο έγγραφο

ανάπτυξης λογισμικού, το οποίο καθορίζει τις ενότητες λογισμικού, τους αλγόριθμους και τις γλώσσες που θα χρησιμοποιηθούν.

Βήμα 4: Υλοποίηση

Σε αυτή τη φάση, το σύστημα παίρνει μορφή μέσω της ενοποίησης στοιχείων υλικού και λογισμικού. Τα στοιχεία πηγής και οι βιβλιοθήκες κώδικα χρησιμοποιούνται για τη συναρμολόγηση και τον προγραμματισμό του συστήματος, διασφαλίζοντας τη σωστή ενοποίηση και λειτουργικότητα.

Βήμα 5: Δοκιμή

Μόλις ολοκληρωθεί η υλοποίηση, διενεργείται ενδελεχής δοκιμή για να επαληθευτεί η απόδοση και η λειτουργικότητα του συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει την παρουσίαση του σχεδιασμού του κυκλώματος, τον έλεγχο τυχόν σφαλμάτων ή δυσλειτουργιών και τη διεξαγωγή δοκιμών σε επίπεδο συστήματος για να διασφαλιστεί ότι όλα τα εξαρτήματα λειτουργούν αρμονικά.

Βήμα 6: Συντήρηση και επισκευή ελαττωμάτων

Το τελευταίο βήμα περιλαμβάνει τη διατήρηση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας του συστήματος και την αντιμετώπιση τυχόν ελαττωμάτων ή ζητημάτων που προκύπτουν. Πραγματοποιείται άμεση επισκευή για την αποκατάσταση τυχόν δυσλειτουργιών ή σφαλμάτων που προκύπτουν κατά τη χρήση του συστήματος.

Ακολουθώντας αυτή τη μεθοδολογία, η εργασία διασφαλίζει μια δομημένη και ολοκληρωμένη προσέγγιση στο σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη συντήρηση. Αυτή η μεθοδολογία διευκολύνει την ανάπτυξη ενός ισχυρού και αξιόπιστου συστήματος, ικανού να ανταποκρίνεται στις καθορισμένες απαιτήσεις και να παρέχει αποτελεσματική απόδοση σε όλο το κύκλο ζωής του.



4.4 Προδιαγραφές απαιτήσεων υλικού

Για την ανάπτυξη του συστήματος ιχνηλασιμότητας χρησιμοποιούνται υλικά όπως μικροελεγκτές, αισθητήρες βάρους και θερμοκρασίας, τα οποία εξυπηρετούν τις ανάγκες του έργου που είναι ή συλλογή δεδομένων και ο απομακρυσμένος έλεγχος. Αναλυτικά τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- Raspberry Pi 4: Αποτελεί έναν πλήρη υπολογιστή, που διαθέτει λειτουργικό σύστημα και υποστηρίζει πολλαπλά περιβάλλοντα ανάπτυξης. Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιείται ως κεντρικός ελεγκτής για τη διαχείριση και αποστολή των δεδομένων που συγκεντρώνονται από τον αισθητήρα βάρους και τον αναγνώστη RFID.
- ESP32 TTGO T-Call: Μικροελεγκτής με ενσωματωμένο σύστημα WiFi, που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο και αποστολή δεδομένων του αισθητήρα θερμοκρασίας.
- MFRC-522(13.56MHZ RFID): Αισθητήρας ανάγνωσης RFID ετικετών, και στο συγκεκριμένο έργο χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του εξοπλισμού και συγκεκριμένα των δοχείων γάλακτος.
- Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20: Ψηφιακός αισθητήρας θερμοκρασίας και ιδανικός για μέτρηση θερμοκρασίας σε υγρά περιβάλλοντα.
- Αισθητήρας βάρους: Ιδανικός για εφαρμογές όπως ζυγαριές ή παρακολούθηση φορτίου.
- HX711: Ενισχυτής και μετατροπέας σήματος για τη σύνδεση με τον αισθητήρα φορτίου.

4.5 Προδιαγραφές απαιτήσεων υλικού.

Το λογισμικό αποτελεί τον βασικό μηχανισμό ελέγχου και λειτουργίας των συσκευών. Παρακάτω περιγράφονται τα εργαλεία ανάπτυξης και πλατφόρμες που χρησιμοποιήθηκαν για τη λειτουργία του έργου.

- Thonny IDE και Python: είναι ένα προ εγκατεστημένο περιβάλλον ανάπτυξης στο λογισμικό του RaspberrypiOS και το οποίο χρησιμοποιεί Python. Αποτελεί ιδανική λύση για τον έλεγχο GPIOpins, αισθητήρων κλπ.
- Arduino IDE: Αποτελεί την επίσημη εφαρμογή της εταιρείας, που λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ τη πλακέτας και τον χρήστη. Το κάθε πρόγραμμα συγγραφής, ή αλλιώς sketch, που καλείται να συντάξει ο χρήστης γράφεται στη γλώσσα προγραμματισμού Wiring. Όταν φορτωθεί το sketch στην εκάστοτε πλακέτα Arduino, ο κώδικας μετατρέπεται σε γλώσσα προγραμματισμού C, όπου στην συνέχεια ο μετατροπέας Avr-gcc δίνει την τελική μορφή του κώδικα, η οποία είναι κατανοητή από τον μικροελεγκτή.

- Blynk: Το Blynk είναι μία εφαρμογή που τρέχει πάνω από συσκευές Android και iOS για να ελέγχει οποιαδήποτε εφαρμογή που βασίζεται στο διαδίκτυο των πραγμάτων χρησιμοποιώντας Smartphone.

Κεφάλαιο 5

Υλοποίηση συστήματος

Όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 4.1 σχετικά με την αρχιτεκτονική του συστήματος, η υλοποίηση βασίζεται σε δύο κόμβους συλλογής δεδομένων. Ο πρώτος κόμβος βρίσκεται στον χώρο αρμεγής, όπου γίνεται η ταυτοποίηση των δοχείων και συλλέγονται τα δεδομένα για το βάρος του κάθε δοχείου που γεμίζει. Ο δεύτερος κόμβος βρίσκεται στο χώρο αποθήκευσης του γάλακτος, όπου συλλέγονται δεδομένα για την θερμοκρασία του γάλακτος.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η συνδεσμολογία των υλικών, οι βιβλιοθήκες λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν για την επικοινωνία με τους αισθητήρες και τον αναγνώστη RFID. Επιπλέον περιγράφεται η ανάπτυξη της διεπαφής Blynk, για τον απομακρυσμένο έλεγχο των κόμβων.

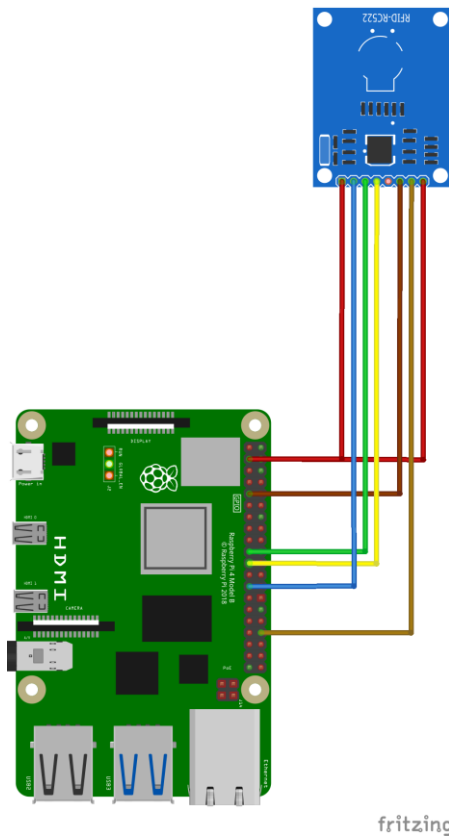
Επίσης, αναλύεται η ανάπτυξη του κώδικα που υλοποιήθηκε για την επικοινωνία των επιμέρους στοιχείων και την αποστολή των δεδομένων στην πλατφόρμα. Τέλος περιγράφεται η διαδικασία εγκατάστασης και παραμετροποίησης της πλατφόρμας FarmOS, για την εξειδικευμένη ως προς τις ανάγκες της εργασίας παρουσίαση των δεδομένων.

5.1 Συνδεσμολογία Υλικών

Στο κόμβο αρμεγής χρησιμοποιήθηκε το Raspberry Pi 4 το οποίο συνδέθηκε με τον αναγνώστη RFID και τον αισθητήρα βάρους, ενώ στο κόμβο αποθήκευσης γάλακτος χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής Esp32 ο οποίος συνδέθηκε με τον αισθητήρα θερμοκρασίας. Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά η συνδεσμολογία και των δύο κόμβων

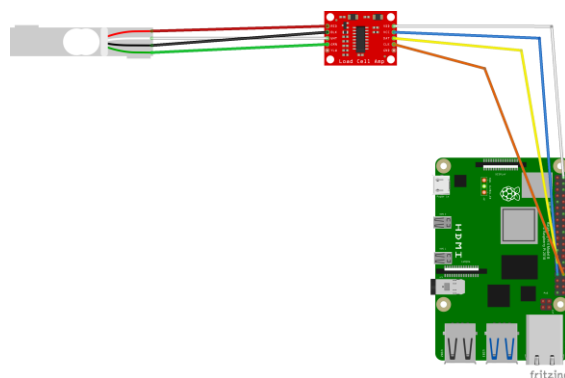
5.1.1 Κόμβος Αρμεγής

Αρχικά στο Raspberry Pi θα χρειαστεί να συνδεθεί ο αναγνώστης RFID MFRC522, ο οποίος χρησιμοποιεί πρωτόκολλο επικοινωνίας SPI. Ο αναγνώστης διαθέτει 8 ακροδέκτες από τους οποίους ο SDA συνδέεται με το GPIO8(CEO), για να ξεκινήσει η επικοινωνία με τον ελεγκτή. Ο SCK συνδέεται με το GPIO11 το οποίο καθορίζει τον ρυθμό ανταλλαγής δεδομένων. Ο ακροδέκτης MOSI ο οποίος συνδέεται με το GPIO11 είναι υπεύθυνος για την αποστολή των δεδομένων στον αναγνώστη, ενώ το MISO που ενώνεται με το GPIO 9 λαμβάνει τις απαντήσεις. Ο RST συνδέεται με το GPIO25 και επιτρέπει την επανεκκίνηση του αναγνώστη. Τέλος μέσω του ακροδέκτη 3.3V αλλά και του GND οι οποίοι συνδέονται με τους αντίστοιχους ακροδέκτες στο Raspberry Pi , εξασφαλίζεται η τροφοδοσία και η σωστή γείωση του κυκλώματος.

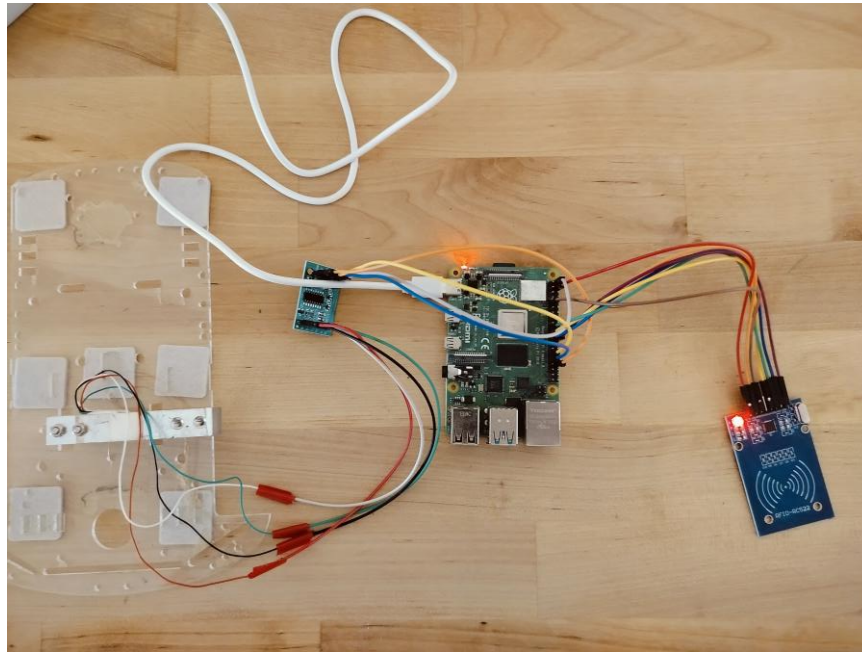


Εικόνα 8: Συνδεσμολογία κυκλώματος ανάγνωσης RFID 1

Η σύνδεση του αισθητήρα βάρους με το Raspberry Pi θα πραγματοποιηθεί μέσω του ενισχυτή HX711. Ο αισθητήρας διαθέτει τέσσερα καλώδια, από τα οποία το κόκκινο χρησιμοποιείται για τη τροφοδοσία του ρεύματος, το μαύρο για τη γείωση της τροφοδοσίας, το πράσινο το οποίο αποτελεί το θετικό σήμα εξόδου και τέλος το λευκό το οποίο αντιπροσωπεύει το αρνητικό σήμα εξόδου. Καθένα από τα καλώδια συνδέονται με τους αντίστοιχους ακροδέκτες του ενισχυτή HX711 που υπάρχουν στη μία πλευρά του. Στη συνέχεια από την άλλη πλευρά του ενισχυτή συνδέονται οι ακροδέκτες VCC με τη τροφοδοσία 3.3V και GND με τον αντίστοιχο ακροδέκτη GND του Raspberry Pi 4 για την τροφοδοσία και τη γείωση του κυκλώματος. Έπειτα οι υπόλοιποι ακροδέκτες DT και SCK με τους αντίστοιχους ακροδέκτες GPIO5 και GPIO6 για την μεταφορά και συγχρονισμό των δεδομένων.



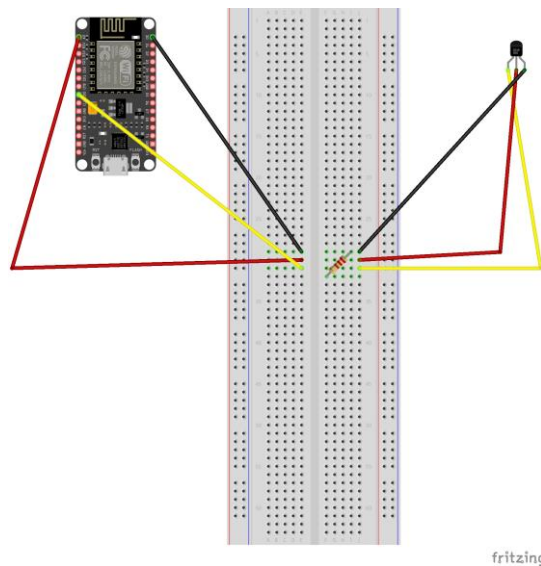
Εικόνα 9: Συνδεσμολογία κυκλώματος φορτίου



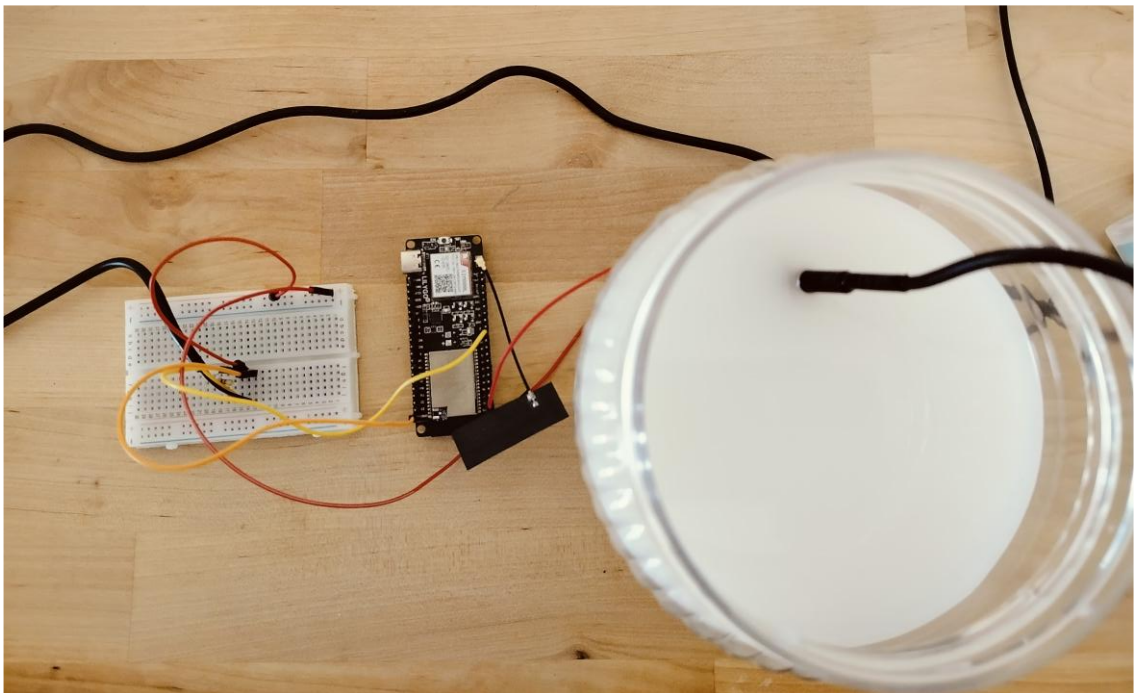
Εικόνα 10: Τελική συνδεσμολογία κόμβου αρμεγής

5.1.2 Κόμβος αποθήκευσης γάλακτος

Στον κόμβο αποθήκευσης γάλακτος ο μικροελεγκτής Esp32 συνδέεται με τον αισθητήρα θερμοκρασίας DS18B20. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας χρησιμοποιεί πρωτόκολλο 1-wire και διαθέτει τρία καλώδια. Το κόκκινο καλώδιο χρησιμοποιείται για τη τροφοδοσία ρεύματος του αισθητήρα και συνδέεται με τον ακροδέκτη 3.3V, ενώ το μαύρο που χρησιμοποιείται για τη γείωση ενώνεται με τον ακροδέκτη GND. Τέλος το κίτρινο καλώδιο χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δεδομένων και συνδέεται με τον ακροδέκτη GPIO14. Για τη σωστή μεταφορά των δεδομένων χρησιμοποιείται ένας αντιστάτης $4.7k\Omega$ μεταξύ του κίτρινου καλωδίου που μεταφέρει τα δεδομένα και του κόκκινου καλωδίου που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία.



Εικόνα 11: Συνδεσμολογία κυκλώματος θερμοκρασίας



Εικόνα 12: Τελική συνδεσμολογία κόμβου αποθήκευσης γάλακτος

5.2 Εγκατάσταση Βιβλιοθηκών

Για τη διασφάλιση της σωστής λειτουργικότητας και επικοινωνίας των επιμέρους στοιχείων η εγκατάσταση των σχετικών βιβλιοθηκών είναι ζωτικής σημασίας. Στη συγκεκριμένη υποενότητα γίνεται απαρίθμηση και ανάλυση των βιβλιοθηκών που εγκαταστάθηκαν τόσο στο RaspberryPi όσο και στο Esp32.

5.2.1 Εγκατάσταση βιβλιοθηκών στο RaspberryPi

Η εγκατάσταση των απαραίτητων βιβλιοθηκών πραγματοποιείται μέσω εντολών στο τερματικό (command line) του λειτουργικού συστήματος.

1) Βιβλιοθήκη RPi.GPIO

Αποτελεί βασική βιβλιοθήκη τον έλεγχο των σημάτων εισόδου και εξόδου των ακροδεκτών του RaspberryPi. Η συγκεκριμένη Βιβλιοθήκη συνήθως βρίσκεται προ εγκατεστημένη.

2) Βιβλιοθήκη HX711

Η παραπάνω βιβλιοθήκη επιτρέπει την ενίσχυση και την ανάγνωση αναλογικών σημάτων από αισθητήρες φορτίου. Η εγκατάσταση γίνεται μέσω της εντολής:

➤ Pip install hx711

```
(env) (base) pi@pi:~ $ pip install hx711  
Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://www.piwheels.org/simple
```

Εικόνα 13: Εγκατάσταση βιβλιοθήκης hx711

3) Βιβλιοθήκη BlynkLib

Η BlynkLib χρησιμοποιείται για τον απομακρυσμένο έλεγχο και παρακολούθηση συσκευών Διαδικτύου των πραγμάτων μέσω κινητού τηλεφώνου. Η βιβλιοθήκη εγκαθίσταται με την εξής εντολή:

➤ Pip install blynk-library

```
(env) (base) pi@pi:~ $ pip install blynk-library  
Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://www.piwheels.org/simple
```

Εικόνα 14: Εγκατάσταση βιβλιοθήκης BlynkLib

4) Βιβλιοθήκη requests

Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη χρησιμοποιείται για την εκτέλεση HTTP αιτημάτων. Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με τη πλατφόρμα FarmOS. Η εγκατάσταση γίνεται ως εξής:

➤ Pip install requests

```
(env) (base) pi@pi:~ $ pip install requests  
Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://www.piwheels.org/simple
```

Εικόνα 15: Εγκατάσταση βιβλιοθήκης requests

5) Βιβλιοθήκη mfrc522

Η Βιβλιοθήκη mfrc522 επιτρέπει την επικοινωνία του αναγνώστη RFID με το RaspberryPi. Η εγκατάσταση της βιβλιοθήκης γίνεται με την εντολή:

- Pip install mfrc522

```
(env) (base) pi@pi:~ $ pip install mfrc522  
Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://www.piwheels.org/simple
```

Εικόνα 16: Εγκατάσταση Βιβλιοθήκης mfrc522

5.2.2 Εγκατάσταση βιβλιοθηκών στο Esp32

1) Βιβλιοθήκη Esp32 WiFi

Η βιβλιοθήκη WiFi Esp32 παρέχει τις απαραίτητες λειτουργίες και εργαλεία για τη δυνατότητα σύνδεσης της μονάδας ESP32 σε ασύρματο δίκτυο. Επιτρέπει στον μικροελεγκτή να στέλνει και να λαμβάνει δεδομένα μέσω δικτύου.

2) Βιβλιοθήκη WiFiClient

Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη επιτρέπει στο Esp32 την ανταλλαγή δεδομένων HTTP. Αποτελεί στόχο μέσω της συγκεκριμένης βιβλιοθήκης να στέλνονται τα δεδομένα θερμοκρασίας στην πλατφόρμα FarmOS.

3) Βιβλιοθήκη Blynk

Η βιβλιοθήκη Blynk παρέχει τις ίδιες λειτουργίες όπως αναφέρθηκε και στη προηγούμενη υπό-ενότητα. Χρησιμοποιείται για την αποστολή και λήψη δεδομένων, την ενεργοποίηση ενεργειών και την ενημέρωση της κατάστασης του συστήματος.

4) Βιβλιοθήκη OneWire

Πρόκειται για βιβλιοθήκη που χρησιμοποιείται από αισθητήρες όπως ο DS18B20.

5) Βιβλιοθήκη DallasTemperature

Η παραπάνω βιβλιοθήκη χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την προηγούμενη που αναφέρθηκε και χρησιμεύει στην απόκτηση δεδομένων από αισθητήρες θερμοκρασίας που ανήκουν στην κατηγορία Dallas όπως ο DS18B20.

Τέλος, για την εγκατάσταση των παραπάνω βιβλιοθηκών πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

- Άνοιγμα του Arduino IDE
- Μετάβαση στο μενού “sketch” και επιλογή “include Library”
- Στη διαχείριση βιβλιοθήκης θα πρέπει να αναζητηθούν τα ονόματα των βιβλιοθηκών
- Επιλέγοντας το κουμπί Εγκατάστασης, εγκαθίστανται οι αντίστοιχες βιβλιοθήκες.
- Με την ολοκλήρωση της εγκατάστασης, μπορούμε να συμπεριλάβουμε στο έργο μας τις βιβλιοθήκες.

5.3 Blynk

Το Blynk αποτελεί μια πλατφόρμα που έχει σχεδιαστεί για έργα διαδικτύου των πραγμάτων. Μέσω του Blynk ο χρήστης μπορεί να σχεδιάζει διεπαφές σε κινητές συσκευές για τον απομακρυσμένο έλεγχο των μικροελεγκτών χρησιμοποιώντας διακόπτες και κουμπιά. Επιπλέον χάρη στην υποδομή σύννεφου που παρέχει η πλατφόρμα είναι δυνατή η αποθήκευση και απεικόνιση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

Η πλατφόρμα Blynk αποτελείται από τρία στοιχεία λειτουργίας

1) Εφαρμογή διεπαφής(Blynk App)

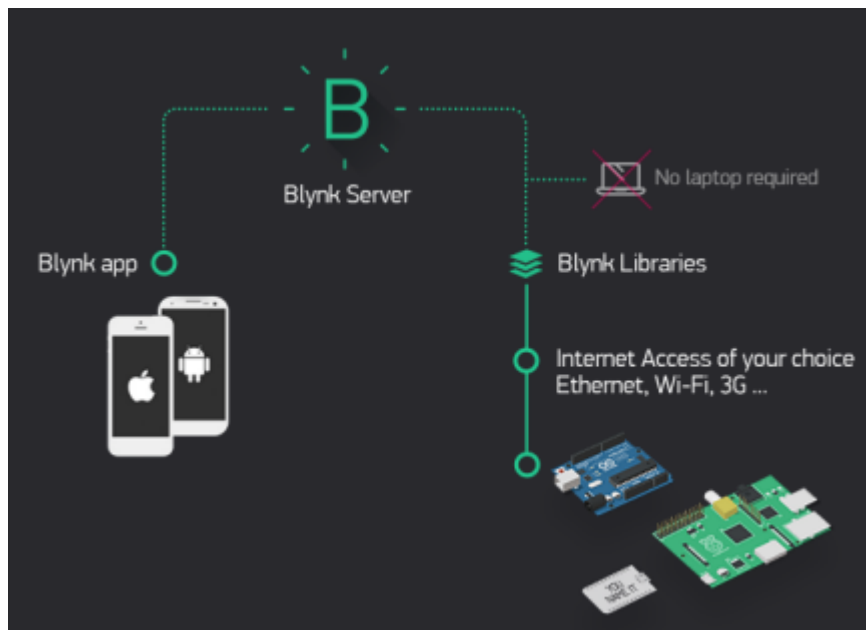
Προσφέρει μια οπτική πλατφόρμα ανάπτυξης βασισμένη σε εργαλεία διεπαφής, επιτρέποντας τη δημιουργία εφαρμογών Διαδικτύου των Πραγμάτων χωρίς κώδικα.

2) Διακομιστής Blynk (Blynk Server)

Αποτελεί το κόμβο επικοινωνίας μεταξύ της εφαρμογής και του υλικού.

3) Βιβλιοθήκες Blynk

Το Blynk διαθέτει βιβλιοθήκες για όλες τις δημοφιλείς πλατφόρμες υλικού (όπως Raspberry, Arduino, Esp32 κ.α), οι οποίες διευκολύνουν την επικοινωνία με τον διακομιστή και επεξεργάζονται όλες τις εισερχόμενες και εξερχόμενες εντολές.



Εικόνα 17: Αρχιτεκτονική της πλατφόρμας Blynk

Στη παρούσα εργασία το Blynk χρησιμοποιείται για τον έλεγχο των συσκευών RaspberryPi και Esp32, καθώς και για την αποστολή δεδομένων από τους αισθητήρες. Επιπλέον μέσω της εφαρμογής ο κτηνοτρόφος μπορεί να λαμβάνει ειδοποιήσεις μέσω του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου όταν ανιχνεύονται τιμές εκτός ορίων αλλά και να ενημερώνεται για δραστηριότητες όπως τη συμπλήρωση γάλακτος στη δεξαμενή ή τη παραλαβή του γάλακτος από την εταιρεία. Στη παρούσα υποενότητα γίνεται αναλυτική περιγραφή των ρυθμίσεων διεπαφής αλλά και των ρυθμίσεων ειδοποίησης προς τον κτηνοτρόφο.

5.3.1 Ρύθμιση διεπαφής

Αρχικά εγκαταστάθηκε η εφαρμογή Blynk στο κινητό τηλέφωνο(Android) και στη συνέχεια δημιουργήθηκε ο λογαριασμός. Έπειτα με τη δημιουργία νέου έργου παράγεται ένα κωδικός ταυτοποίησης(authentication token). Ο συγκεκριμένος κωδικός ενσωματώνεται στο κώδικα του έργου για τη σύνδεση με το σύννεφο.

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4FSDh5Wo-"  
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "milk  
traceability"
```

Εικόνα 18: Κωδικός Ταυτοποίησης

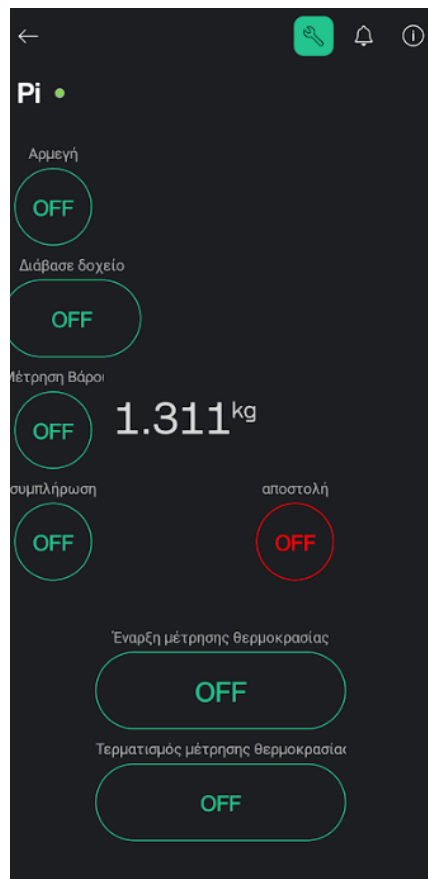
Στη συνέχεια μέσω των εργαλείων διεπαφής(κουμπιά, διακόπτες, κ.λπ.) επιτυγχάνεται η επικοινωνία με εικονικές θύρες(virtual pins) όπως v0,v1,κ.λπ.) που επιτρέπουν την αποστολή και λήψη δεδομένων από και προς τη συσκευή που είναι συνδεδεμένη στην πλατφόρμα Blynk.

Στο σύστημα ιχνηλασιμότητας γάλακτος που αναπτύχθηκε η κύρια οθόνη της εφαρμογής περιλαμβάνει λειτουργίες όπως η έναρξη και παύση της διαδικασίας της αρμεγής μέσω της εικονικής θύρας(V5). Στη συνέχεια μέσω της εικονικής θύρας(V2) ενεργοποιείται ο αναγνώστης RFID για την ανάγνωση της ταυτότητας του δοχείου. Η ενεργοποίηση της μέτρησης του βάρους πραγματοποιείται μέσω του V1, ενώ μέσω του V0 το αντίστοιχο βάρος εμφανίζεται σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη της συσκευής. Επιπλέον έχουν προστεθεί οι εικονικές θύρες V3 και V4 για την καταγραφή των διαδικασιών γεμίσματος του αποθηκευτικού χώρου αλλά και της παραλαβής του γάλακτος από την εταιρεία, αντίστοιχα. Τέλος έχουν ενσωματωθεί οι εικονικές θύρες V6 και v7 για την έναρξη και τερματισμό μέτρησης της θερμοκρασίας.

Όλες οι εικονικές θύρες με εξαίρεση τη V0 αντιστοιχούν σε κουμπιά μέσω των οποίων ενεργοποιούνται οι λειτουργίες του συστήματος. Η εικονική θύρα V0 αποτελεί ένα δυναμικό μετρητή , μέσω του οποίου αποτυπώνεται η μέτρηση του βάρους.



Εικόνα 19: Οθόνη ρύθμισης διεπαφής Blynk



Εικόνα 20: Οθόνη διεπαφής Blynk

5.3.2 Ρύθμιση ειδοποιήσεων

Στο πλαίσιο ανάπτυξης του συστήματος ιχνηλασιμότητας γάλακτος, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένας μηχανισμός ειδοποίησης ο οποίος ενημερώνει το κτηνοτρόφο με τη μορφή ηλεκτρονικού μηνύματος για τα διάφορα στάδια της διαδικασίας παραγωγής γάλακτος όπως η εισροή γάλακτος στον αποθηκευτικό χώρο και η συλλογή του από την εταιρεία. Επιπλέον ο κτηνοτρόφος ενημερώνεται σε περίπτωση που η δεξαμενή ξεπεράσει το επιτρεπόμενο όριο θερμοκρασίας. Η δημιουργία των ειδοποιήσεων έγινε μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας Blynk, επιλέγοντας από το μενού τη δημιουργία γεγονότων ενεργοποίησης.

Πιο συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν τρία γεγονότα ενεργοποίησης.

1. Προσθήκη γάλακτος στη δεξαμενή.

Όταν ο κτηνοτρόφος επιλέξει μέσω της εφαρμογής το κουμπί για τη συμπλήρωση του γάλακτος, ενεργοποιείται ένα γεγονός ειδοποίησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποστολή μηνύματος στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο του κτηνοτρόφου το οποίο τον ενημερώνει για την ποσότητα γάλακτος που καταχωρήθηκε στο σύστημα. Με αυτό το τρόπο ο κτηνοτρόφος γνωρίζει την ώρα και τη ποσότητα εισροής του γάλακτος.

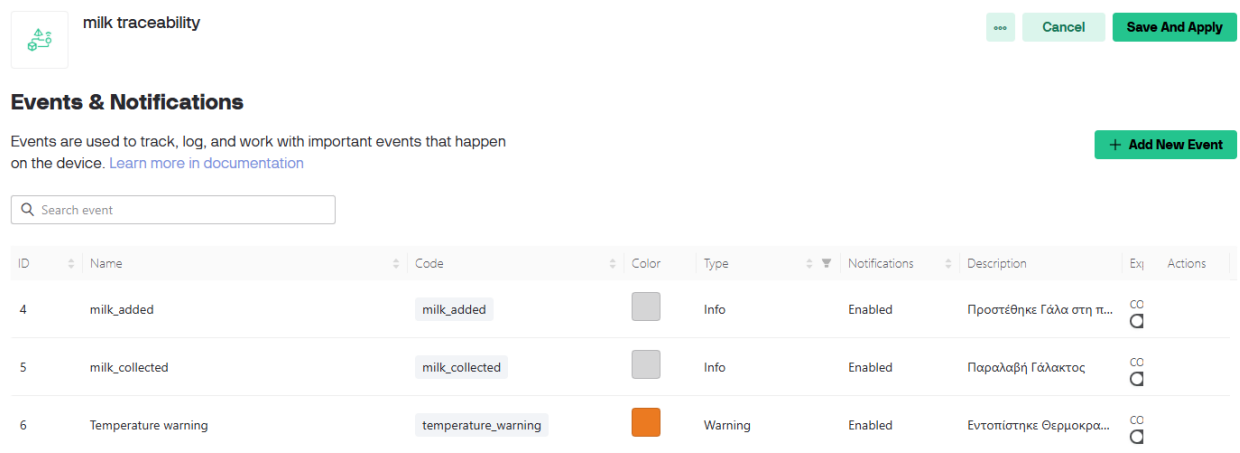
2. Παραλαβή γάλακτος από την εταιρεία

Κατά τη παραλαβή του γάλακτος από την εταιρεία ο χρήστης επιλέγει το κουμπί παραλαβής και ο κτηνοτρόφος ενημερώνεται για την ώρα παραλαβής του γάλακτος. Με αυτό το τρόπο ο κτηνοτρόφος γνωρίζει ότι το δοχείο αποθήκευσης άδειασε και μπορεί να προβεί στον τερματισμό καταγραφής της θερμοκρασίας που βρίσκεται στο εσωτερικό του δοχείου. Επίσης η πληροφορία αυτή είναι χρήσιμη προκειμένου ο κτηνοτρόφος μπορεί να προγραμματίσει και άλλες ενέργειες όπως η απολύμανση του δοχείου.

3. Προειδοποίηση θερμοκρασίας.

Σε περίπτωση που η θερμοκρασία του γάλακτος ξεπεράσει τους 4°C ο κτηνοτρόφος λαμβάνει τη σχετική ειδοποίηση με το μήνυμα “Θερμοκρασία μεγαλύτερη του φυσιολογικού” και την ακριβή θερμοκρασία που καταγράφηκε. Η συγκεκριμένη δυνατότητα ενισχύει την διασφάλιση της ποιότητας του γάλακτος, καθώς ο κτηνοτρόφος ενημερώνεται άμεσα και μπορεί να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες.

Η ύπαρξη του συστήματος ειδοποιήσεων διασφαλίζει ότι ο κτηνοτρόφος μπορεί να ενημερώνεται σε πραγματικό χρόνο, ακόμη και σε περίπτωση που δεν είναι ο ίδιος παρών αλλά οι διαδικασίες πραγματοποιούνται από τρίτο πρόσωπο όπως ένας εργάτης και να αξιοποιήσει τις ειδοποιήσεις για τον προγραμματισμό των εργασιών.



milk traceability

Cancel Save And Apply

Events & Notifications

Events are used to track, log, and work with important events that happen on the device. [Learn more in documentation](#)

+ Add New Event

Q Search event

ID	Name	Code	Color	Type	Notifications	Description	Ex	Actions
4	milk_added	milk_added		Info	Enabled	Προστέθηκε Γάλα στη π...	CO	
5	milk_collected	milk_collected		Info	Enabled	Παραλαβή Γάλακτος	CO	
6	Temperature warning	temperature_warning		Warning	Enabled	Εντοπίστηκε Θερμοκρα...	CO	

Εικόνα 21: Οθόνη ρύθμισης ειδοποιήσεων στη πλατφόρμα Blynk

5.4 Εγκατάσταση και χρήση πλατφόρμα FarmOS

Το FarmOS όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια είναι ένα λογισμικό που βασίζεται στο σύστημα διαχείρισης περιεχομένου Drupal, το οποίο προσφέρει ένα σύστημα καταγραφής και παρακολούθησης δεδομένων που σχετίζονται με το γεωργικό και κτηνοτροφικό τομέα. Ο χρήστης

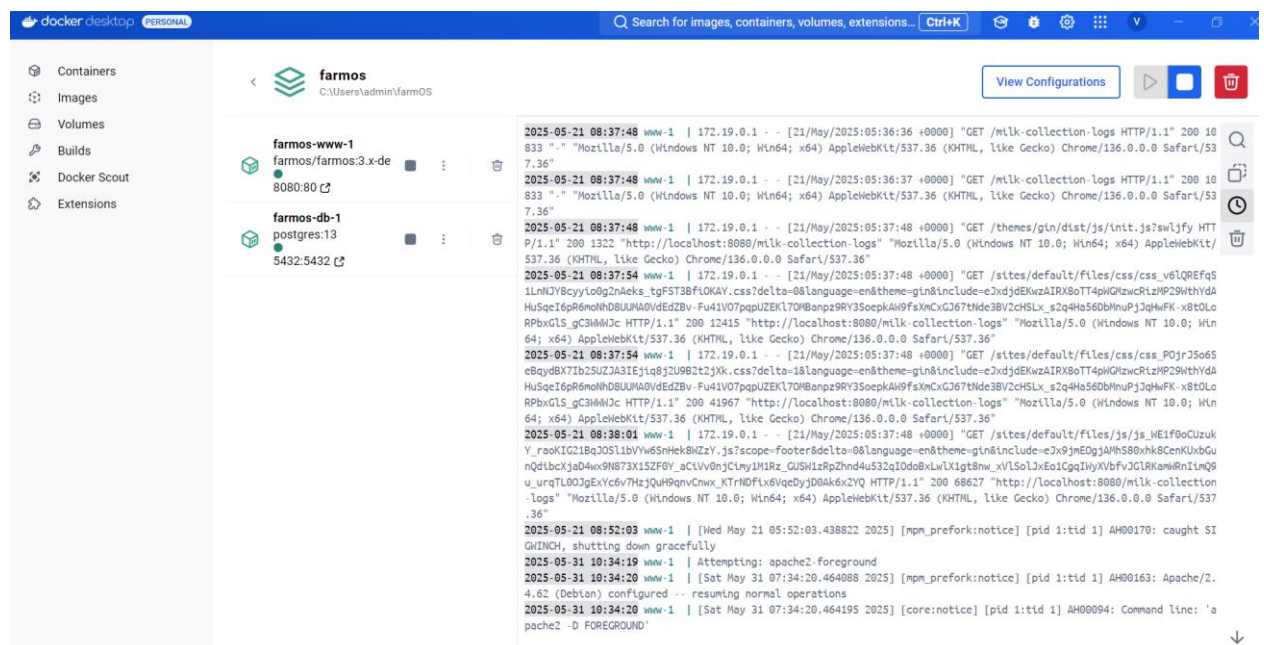
έχει τη δυνατότητα μέσω μίας πλατφόρμας να διαχειρίζεται αγροτεμάχια, καλλιέργειες, ζώα, εξοπλισμό και αισθητήρες.

Στη παρούσα υποενότητα παρουσιάζεται η διαδικασία εγκατάστασης της πλατφόρμας FarmOS και οι βασικές ρυθμίσεις που απαιτούνται για την εμφάνιση των δεδομένων και διαδικασιών που αποστέλλονται από τους μικροελεγκτές.

5.4.1 Εγκατάσταση της πλατφόρμας FarmOS

Στη συγκεκριμένη εργασία το λογισμικό εγκαταστάθηκε τοπικά, μέσω της τεχνολογίας Docker όπου δημιουργήθηκαν δύο εικονικά περιβάλλοντα.

- 1) Το πρώτο φιλοξενεί τον εξυπηρετητή της εφαρμογής(webserver) με όλα τα απαραίτητα στοιχεία (PHP, Βιβλιοθήκες κ.α)
- 2) Το δεύτερο περιλαμβάνει τη βάση δεδομένων(MySQL/PostgreSQL), όπου αποθηκεύονται όλα τα δεδομένα του συστήματος.



Εικόνα 22: Εικόνα συστήματος διαχείρισης περιεχομένου Docker

Η εγκατάσταση ξεκίνησε εκτελώντας στο τερματικό τις εντολές δημιουργίας νέου φακέλου FarmOS και τη λήψη του αρχείου docker-compose.yml από το αποθετήριο του FarmOS στο GitHub.

```
mkdir farmOS && cd farmOS
curl https://raw.githubusercontent.com/farmOS/farmOS/3.x/docker/docker-compose.development.yml -o docker-compose.yml
docker compose up -d
```

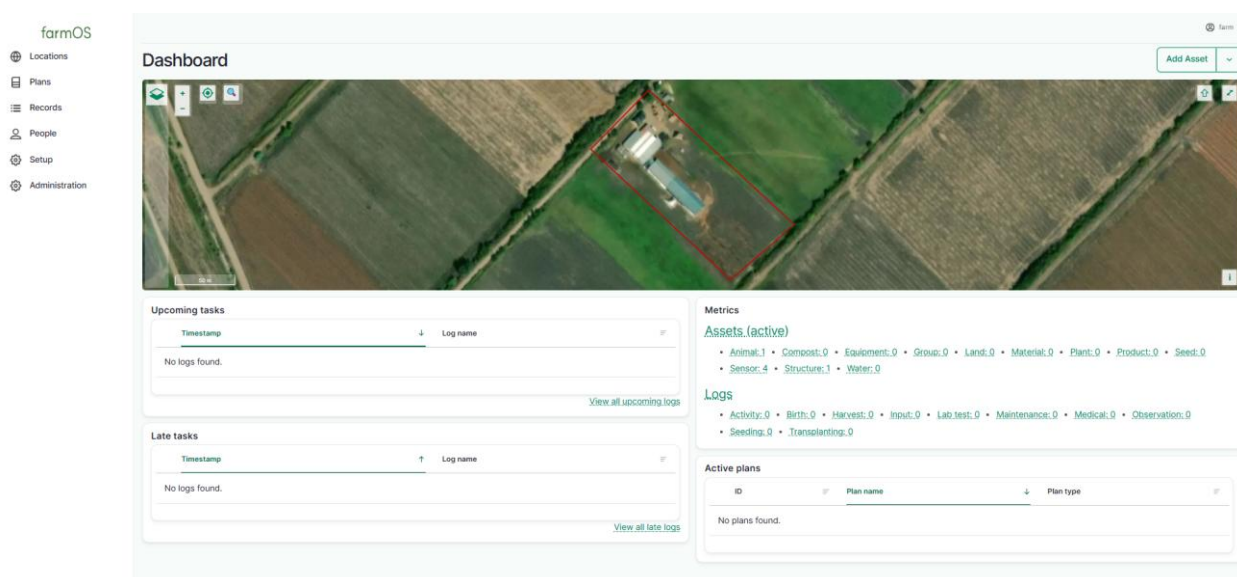
Εικόνα 23: Εντολές εγκατάστασης του FarmOS στο τερματικό

Έπειτα το FarmOS ήταν προσβάσιμο μέσω ενός περιηγητή από τη διεύθυνση [Http://localhost](http://localhost) όπου έπρεπε να συμπληρωθούν τα εξής στοιχεία για τη σύνδεση με τη βάση δεδομένων:

- Τύπος βάσης δεδομένων: PostgreSQL
- Όνομα βάσης δεδομένων: farm
- Όνομα χρήστη farm
- Κωδικός Πρόσβασης: farm
- Διακομιστής βάσης: db

Σε αυτό το σημείο η πλατφόρμα FarmOS ήταν έτοιμη προς χρήση. Το κεντρικό μενού διαθέτει βασικές ενότητες για τη διαχείριση και καταγραφή των αγροτικών και κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων όπως τοποθεσίες όπου καταγράφονται τα αγροτεμάχια και οι εγκαταστάσεις μαζί με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, σχέδια όπου οργανώνονται οι εργασίες όπως (άρμεγμα, η σίτιση των ζώων κ.α). Στην ενότητα καταγραφές πραγματοποιείται η καταγραφή και παρακολούθηση των δεδομένων που σχετίζονται με τις αγροκτηνοτροφικές δραστηριότητες, όπως οι εργασίες που πραγματοποιούνται, ο εξοπλισμός που υπάρχει, οι ποσότητες που καταναλώνονται.

Παράλληλα, στην ενότητα άνθρωποι καθορίζονται οι ρόλοι των χρηστών, ενώ στην ενότητα ρυθμίσεις ορίζονται βασικές ρυθμίσεις όπως τύποι δεδομένων και μονάδες μέτρησης. Τέλος από την ενότητα διαχείριση μπορούν να εκτελεστούν λειτουργίες για την επέκταση της λειτουργικότητας της πλατφόρμας.



Εικόνα 24: Οθόνη πλατφόρμας FarmOS

5.4.2 Χρήση Αισθητήρων στη πλατφόρμα FarmOS

Για την υλοποίηση του συστήματος αξιοποιήθηκε από την λειτουργία πάγια όπου καταχωρείται ο εξοπλισμός, η επιλογή αισθητήρες. Όταν δημιουργείται ένας νέος αισθητήρας στην πλατφόρμα, αυτή παρέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη σύνδεση http, όπως το μοναδικό δημόσιο κλειδί, τη διεύθυνση URL για την αποστολή δεδομένων. Έπειτα αυτά τα στοιχεία ενσωματώνονται στο κώδικα των μικροελεγκτών ώστε να αποστέλλονται τα δεδομένα μέσω HTTP Post αιτημάτων. Η αποστολή των τιμών στο σύστημα από τους μικρο ελεγκτές γίνεται με τη μορφή μηνύματος json.

^ Developer information

This sensor asset will listen for data posted to it from other web-connected devices and save it to data streams based on the name of the value used in the request. If a data stream by that name does not exist, a new one will be created automatically. Data for multiple streams may be included in each request. Use the information below to configure your device to begin posting data to this sensor.

URL: http://localhost:8080/asset/ca277afb-00df-4b18-87b4-b7959ca79c47/data/basic?private_key=2c2baa366b17c180fba2f17865484c23

Legacy URL: http://localhost:8080/farm/sensor/listener/3f14cee0cf0ce7c1b8c1e03a1db21049?private_key=2c2baa366b17c180fba2f17865484c23

JSON example: { "timestamp": 1748681699, "weight1": 76.5 }

JSON example (multiple values): { "timestamp": 1748681699, "weight1": 76.5, "value2": 60 }

Example CURL command: curl -H "Content-Type: application/json" -X POST -d '{ "timestamp": 1748681699, "weight1": 76.5 }' http://localhost:8080/asset/ca277afb-00df-4b18-87b4-b7959ca79c47/data/basic?private_key=2c2baa366b17c180fba2f17865484c23

Εικόνα 25 Στοιχεία σύνδεσης αισθητήρα μέσω HTTP

Στο πλαίσιο αυτό, δημιουργήθηκαν τέσσερις αισθητήρες. Οι αισθητήρες Milkbox1 και Milkbox2, όπου καταγράφεται το βάρος των δοχείων κατά τη διαδικασία της αρμεγής. Ο αισθητήρας Milk Tank αφορά το δοχείο όπου αποθηκεύεται το γάλα και καταγράφονται τα δεδομένα για το συνολικό βάρος γάλακτος που συγκεντρώνεται από τα δοχεία, καθώς και ο τύπος συναλλαγής, δηλαδή εάν συμπληρώνεται γάλα στο δοχείο ή γίνεται παραλαβή από την εταιρεία. Τέλος δημιουργήθηκε ο αισθητήρας Milk Tank Temperature που καταγράφει τη θερμοκρασία από το εσωτερικό του δοχείου αποθήκευσης καθώς και τη χρονική στιγμή που γίνεται η μέτρηση.

Sensor assets

Add Sensor Asset



☐	ID	Asset name	Public key (legacy)	Data stream	Public	Group	Status
☐	10	Milkbox1	3f14cee0cf0ce7c1b8c1e03a1db21049	weight1	No		Active
☐	11	Milkbox2	9b4dcc95091b184ac78723984a4afc62	weight2	No		Active
☐	13	Milk Tank	46a87751250d796a710c8de5d9ce975a	milk_total, transaction_type	No		Active
☐	14	Milk Tank Temperature	35ad70fbd5a0c80d90b65facbb42a269	value	No		Active

Εικόνα 26: Οθόνη αισθητήρων στο FarmOs

5.5 Προγραμματισμός

Ο προγραμματισμός αποτέλεσε βασικό στοιχείο στην υλοποίηση του συστήματος ιχνηλασιμότητας του γάλακτος, καθώς αποτελεί το κρίκο για την επικοινωνία του υλικού και λογισμικού, την επικοινωνία με εξωτερικά συστήματα και την αποστολή και αποθήκευση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Στη παρούσα υποενότητα παρουσιάζεται η ανάπτυξη λογισμικού για τις συσκευές Raspberry Pi και ESP32, οι οποίες συλλέγουν τα δεδομένα από τους αισθητήρες, τις μετατρέπουν σε κατάλληλες μονάδες και έπειτα αποστέλλουν τα δεδομένα μέσω κλήσεων REST API στις πλατφόρμες Blynk και FarmOS.

Τέλος περιγράφεται η ανάπτυξη της διαδικτυακής σελίδας που δημιουργήθηκε στο FarmOS για την προσαρμοσμένη εμφάνιση των δεδομένων που συλλέγονται από το σύστημα.

5.5.1 Προγραμματισμός Raspberry Pi

Η υλοποίηση βασίζεται σε γλώσσα Python, αξιοποιώντας τις βιβλιοθήκες που περιγράφηκαν στην υποενότητα 5.2.1 για την αποστολή δεδομένων αλλά και την αλληλεπίδραση των εισόδων και εξόδων του Raspberry Pi.

```
1 import time
2 import sys
3 import RPi.GPIO as GPIO
4 from hx711 import HX711
5 import BlynkLib
6 import requests
7 from mfrc522 import SimpleMFRC522
```

Εικόνα 27: Εισαγωγή βιβλιοθηκών

Στη συνέχεια ορίζονται τα σημεία διασύνδεσης(endpoints) και τα διαπιστευτήρια για την επικοινωνία με την εφαρμογή Blynk και FarmOS. Στη συγκεκριμένη περίπτωση κάθε URL αντιστοιχεί σε ένα μοναδικό εξοπλισμό δηλαδή στα δοχεία Milkbox1, Milkbox2 και την δεξαμενή MilkTank.

```
# Blynk Token
BLYNK_AUTH = "4cS_2rZ57TBfwtxE_a38cKa7hqGJiGGe"
blynk = BlynkLib.Blynk(BLYNK_AUTH)

# farmOS URLs και private keys
FARMOS_URL_MILKBOX1 = "http://192.168.2.3:8080/asset/ca277afb-00df-4b18-87b4-b7959ca79c47/data/"
PRIVATE_KEY_MILKBOX1 = "2c2baa366b17c180fba2f17865484c23"

FARMOS_URL_MILKBOX2 = "http://192.168.2.3:8080/asset/f3083168-1e9e-4b18-906f-99bd9b18b299/data/"
PRIVATE_KEY_MILKBOX2 = "6aa77a9a9b0d9dce4dc1bef23936692f"

MILKTANK_URL = "http://192.168.2.3:8080/asset/b25e9f65-ac6d-41ab-af7e-e1026170639b/data/basic"
MILKTANK_KEY = "493477fb278980e41a5ecda60913c3cf"
```

Εικόνα 28: Σημεία σύνδεσης Blynk και FarmOS

Ένα από τα βασικά σημεία είναι ο έλεγχος έναρξης και τερματισμού της διαδικασίας αρμεγής. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της εικονικής θύρας V5 όπου με κάθε πάτημα η μεταβλητή `milking_active` αλλάζει κατάσταση(True ή False αντίστοιχα).

```
# V5: Έναρξη/Τερματισμός αρμεγής
@blynk.on("V5")
def toggle_milking_mode(value):
    global milking_active, current_uid, milkbox_totals

    if int(value[0]) == 1:
        milking_active = not milking_active
        if milking_active:
            print("Έναρξη Αρμεγής")
            milkbox_totals = init_milkbox_totals() # Επαναφορά totals
        else:
            print("Τέλος Αρμεγής")
            current_uid = None
    blynk.virtual_write(5, 0)
```

Εικόνα 29 Έναρξη και τερματισμός αρμεγής

Έπειτα με την έναρξη της αρμεγής το επόμενο βήμα είναι ο αναγνώστης RFID να διαβάσει το μοναδικό αναγνωριστικό του κάθε δοχείο. Ο αναγνώστης παίρνει εντολή μέσω της εικονικής θύρας V2 του Blynk.

```
# V2: Σάρωση RFID
@blynk.on("V2")
def scan_rfid(value):
    global current_uid, last_rfid_time, milkbox_totals
```

Εικόνα 30: Σάρωση RFID

Μετά τη σάρωση του RFID πραγματοποιείται η μέτρηση του βάρους, όπου ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει το κουμπί V1 για να δοθεί εντολή μέτρησης στον αισθητήρα. Η μέτρηση του βάρους πραγματοποιείται μέσω του ενισχυτή HX711, ο οποίος μετατρέπει την ένδειξη σε κιλά και αποστέλλει την τιμή τόσο στην πλατφόρμα Blynk όσο και στη FarmOS.

```
weight_kg = round(weight_grams / 1000.0, 3)
```

Εικόνα 31: Μετατροπή σε κιλά

Τα δεδομένα αποστέλλονται στο σύστημα του FarmOS με τη μορφή μηνύματος JSON και περιλαμβάνουν τη χρονική στιγμή, το αναγνωριστικό του δοχείου που χρησιμοποιήθηκε και το βάρος σε κιλά.

```
# Αποστολή δεδομένων
if current_uid == "703578974408": # Milkbox1
    farmos_url = FARMOS_URL_MILKBOX1
    private_key = PRIVATE_KEY_MILKBOX1
    data = {"timestamp": int(time.time()), "weight1": weight_kg}
elif current_uid == "417008876455": # Milkbox2
    farmos_url = FARMOS_URL_MILKBOX2
    private_key = PRIVATE_KEY_MILKBOX2
    data = {"timestamp": int(time.time()), "weight2": weight_kg}
else:
    print("✗ Άγνωστο RFID")
    blynk.virtual_write(1, 0)
    return
```

Εικόνα 32: Αποστολή δεδομένων

Κατά τη περίπτωση συμπλήρωσης γάλακτος στη δεξαμενή, αθροίζονται τα βάρη από τα σκαναρισμένα δοχεία που χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία της αρμεγής και τα δεδομένα που στέλνονται στη πλατφόρμα περιλαμβάνουν τη χρονική στιγμή που έγινε η συγκεκριμένη συναλλαγή, το άθροισμα των βαρών και τη τιμή 2 στο πεδίο συναλλαγής η οποία δηλώνει τη συμπλήρωση του γάλακτος.

```
data = {
    "timestamp": int(time.time()),
    "milk_total": round(total_weight, 3),
    "transaction_type": 2 # Filling
}
```

Εικόνα 33: Αποστολή δεδομένων συμπλήρωσης γάλακτος

Τέλος ο χρήστης μπορεί να δηλώσει μέσω της εικονικής θύρας V4 ότι η δεξαμενή άδειασε και το σύστημα θα στείλει μήνυμα στο FarmOS ενημερώνοντας ότι το σύνολο της δεξαμενής είναι 0 και το πεδίο της συναλλαγής παίρνει τη τιμή 1, υποδεικνύοντας τη διαδικασία παραλαβής.

```
data = {
    "timestamp": int(time.time()),
    "milk_total": 0.0,
    "transaction_type": 1 # Collected
}
```

Εικόνα 34: Παραλαβή γάλακτος

5.5.2 Προγραμματισμός Esp32

Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή, βασίζεται στη χρήση του αισθητήρα DS18B20, ο οποίος καταγράφει τη θερμοκρασία. Ο αισθητήρας είναι συνδεδεμένος στη ψηφιακή θύρα GPIO14 και χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη DallasTemperature για την ανάγνωση των τιμών.

```
// DS18B20 αισθητήρας
#define ONE_WIRE_BUS 14
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

Εικόνα 35: Σύνδεση στο GPIO14

```
void sendTemperature() {
    sensors.requestTemperatures();
    float tempC = sensors.getTempCByIndex(0);
}
```

Εικόνα 36: Ανάγνωση θερμοκρασίας

Επίσης μέσω των κατάλληλων σημείων σύνδεσης και διαπιστευτηρίων ο Esp32 συνδέεται με τη πλατφόρμα FarmOS για την αποστολή δεδομένων αλλά και το Blynk για τον έλεγχο ενεργοποίησης ή τερματισμού του αισθητήρα.

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4FSDh5Wo-"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "milk traceability"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "4cS_2rZS7TBfwtxE_a38cKa7hqGJiGGe"
```

Εικόνα 37: Σύνδεση με τη πλατφόρμα Blynk 1

```
// FarmOS Endpoint
const char* farmosURL = "http://192.168.2.4:8080/asset/49fd1245-7ddb-4c30-8699-bda23f660f21/data/basic";
const char* privateKey = "333e3b6048e3acfd22007c4404632c39";
```

Εικόνα 38: Σύνδεση με τη πλατφόρμα FarmOS

Η λειτουργία ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης του αισθητήρα πραγματοποιείται από την εφαρμογή Blynk, χρησιμοποιώντας τις εικονικές θύρες V6 και V7.

```
// Blynk V6: Έναρξη μέτρησης
BLYNK_WRITE(V6) {
  if (param.asInt() == 1) {
    monitoring = true;
    lastSent = 0; // Άμεση αποστολή
    Serial.println("Ξεκίνησε η παρακολούθηση θερμοκρασίας.");
    Blynk.virtualWrite(V6, "Ξεκίνησε η παρακολούθηση.");
    sendTemperature();
  }
}
```

Εικόνα 39: Έναρξη μέτρησης θερμοκρασίας

```
// Blynk V7: Τέλος μέτρησης
BLYNK_WRITE(V7) {
  if (param.asInt() == 1) {
    monitoring = false;
    Serial.println("Διακόπηκε η παρακολούθηση θερμοκρασίας.");
    Blynk.virtualWrite(V7, "Διακόπηκε η παρακολούθηση.");
  }
}
```

Εικόνα 40: Τερματισμός μέτρησης θερμοκρασίας

Με την έναρξη της μέτρησης το σύστημα λαμβάνει ανά 15 λεπτά μέτρηση και στέλνει με τη μορφή μηνύματος json τη χρονική στιγμή της μέτρησης και τη τιμή της μέτρησης.

```
// Δημιουργία JSON για farmOS
String payload = String("{\"timestamp\":" + epochTime + ", \"value\":" + tempC + "}");
```

Εικόνα 41: Αποστολή δεδομένων στο FarmOS

Σε περίπτωση που η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 4°C αποστέλλεται μήνυμα μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, προκειμένου να ειδοποιήσει τον χρήστη. Στο μήνυμα αναγράφεται η θερμοκρασία που καταγράφηκε.

```
if (tempC > 4.0) {
  Serial.println("⚠ Θερμοκρασία πάνω από το φυσιολογικό!");
  Blynk.logEvent("temperature_warning", "Θερμοκρασία μεγαλύτερη του φυσιολογικού: " + String(tempC) + "°C");
}
// ...
```

Εικόνα 42: Μήνυμα ειδοποίησης χρήστη

Για τις ανάγκες τις εργασίες δημιουργήθηκε μια νέα σελίδα στην οποία συγκεντρώνονται όλα τα στοιχεία που συλλέγονται από τις συσκευές. Η σελίδα αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού PHP και σκοπός είναι να προσφέρει στους χρήστες μια διεπαφή όπου θα μπορούν να παρακολουθούν τις δραστηριότητες τα δεδομένα και να μπορούν να τα εξάγουν.

Αρχικά στον κώδικα ενσωματώνονται τα σημεία διασύνδεσης των αισθητήρων που είχαν δημιουργηθεί προηγουμένως .

```
public function content(Request $request) {
    $config = [
        'milkboxes' => [
            [
                'name' => 'Milkbox 1',
                'url' => 'http://192.168.2.3:8080/asset/ca277afb-00df-4b18-87b4-b7959ca79c47/data/basic?private_key=2c2baa366b17c180fba2f17865484c23',
                'primary_weight_key' => 'weight1',
                'alt_weight_keys' => ['weight', 'milkbox1']
            ],
            [
                'name' => 'Milkbox 2',
                'url' => 'http://192.168.2.3:8080/asset/f3083168-1e9e-4b18-906f-99bd9b18b299/data/basic?private_key=6aa77a9a9b0d9dce4dc1bef23936692f',
                'primary_weight_key' => 'weight2',
                'alt_weight_keys' => []
            ]
        ],
        'milk_tank' => [
            [
                'name' => 'Milk Tank',
                'url' => 'http://192.168.2.3:8080/asset/b25e9f65-ac6d-41ab-af7e-e1026170639b/data/basic?private_key=493477fb278980e41a5ecda60913c3cf',
                'weight_key' => 'milk_total'
            ]
        ],
        'milk_tank_temperature' => [
            [
                'name' => 'Milk Tank Temperature',
                'url' => 'http://192.168.2.3:8080/asset/49fd1245-7ddb-4c30-8699-bda23f660f21/data/basic?private_key=333e3b6048e3acfd22007c4404632c39',
                'temperature_key' => 'value'
            ]
        ],
        'timeout' => 15
    ];
}
```

Εικόνα 43: Σημεία σύνδεσης των αισθητήρων

Έπειτα χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι `fetchTankData()`, `fetchMilkboxData` και `fetchTankTemperatureData()`, οι οποίες μέσω HTTP κλήσεων φέρνουν τις τιμές από τις συσκευές.

```

private function fetchTankData(array $tank, int $timeout) {
    try {
        $response = $this->httpClient->get($tank['url'], ['timeout' => $timeout]);
        $data = json_decode($response->getBody()->getContents(), true);

        if (!is_array($data)) return [];

        usort($data, function($a, $b) {
            return ($a['timestamp'] ?? 0) <=> ($b['timestamp'] ?? 0);
        });

        $running_total = 0;
        $latest_timestamp = 0;

        foreach ($data as $entry) {
            $weight = $entry['milk_total'] ?? $entry['weight'] ?? 0;
            $type = $entry['transaction_type'] ?? 2;
            $timestamp = $this->normalizeTimestamp($entry['timestamp'] ?? 0);

            if ($type == 1) { // Collected
                $running_total = 0;
            }
            elseif ($type == 2) { // Filling
                $running_total += $weight;
            }

            $latest_timestamp = max($latest_timestamp, $timestamp);
        }

        return $latest_timestamp ? [
            date('d/m/Y - H:i', $latest_timestamp),
            number_format($running_total, 3)
        ] : [];
    } catch (\Exception $e) {
        $this->logger->error('Failed to fetch tank data: ' . $e->getMessage());
        return [];
    }
}

```

Εικόνα 44: Μέθοδος fetchTankData

Εφόσον ανακτηθούν τα δεδομένα, το επόμενο βήμα είναι η προβολή τους. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω δομών στο Drupal που περιγράφουν τι και πως θα εμφανιστεί στη σελίδα. Δημιουργήθηκαν τέσσερις βασικοί πίνακες δεδομένων. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκε ο πίνακας ο Milk tank total ο οποίος εμφανίζει το σύνολο του γάλακτος που βρίσκεται στη δεξαμενή, ο πίνακας Milk Tank Temperature ο οποίος εμφανίζει το ιστορικό μετρήσεων θερμοκρασίας, ο πίνακας Milk Transactions όπου εμφανίζονται οι εισροές και εκροές τους γάλακτος και τέλος ο πίνακας Milk Collection logs στον οποίο εμφανίζονται οι λεπτομέρειες ανά δοχείο αρμεγής.

```

$build['collection_logs'] = [
  '#type' => 'details',
  '#title' => $this->t('Milk Collection Logs'),
  '#open' => TRUE,
  'table' => [
    '#type' => 'table',
    '#header' => ['Timestamp', 'Milkbox', 'Weight (kg)'],
    '#rows' => $paged_logs,
    '#empty' => $this->t('No collection logs available.'),
  ],
],

```

Εικόνα 45: Πίνακας Collection logs

Τέλος έχει δημιουργηθεί η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων σε αρχείο της μορφής CSV, προσφέροντας ένα εργαλείο για την αποθήκευση και ανάλυση των πληροφοριών. Η λειτουργία αυτή υλοποιείται μέσα από τη μέθοδο `export()`, η οποία ανάλογα με το είδος δεδομένων, καλεί την αντίστοιχη μέθοδο ανάκτησης και διαμορφώνονται κατάλληλα τα δεδομένα σε μορφή πίνακα.

```

'export' => [
  '#type' => 'link',
  '#title' => $this->t('Export to CSV'),
  '#url' => \Drupal\Core\Url::fromRoute('milk_collection_logs.export', ['data_type' => 'transactions']),
  '#attributes' => [
    'class' => ['button', 'button--primary'],
  ],
],

```

Εικόνα 46: Μέθοδος εξαγωγής αρχείου CSV

Κεφάλαιο 6

Επίδειξη

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η επίδειξη της λειτουργίας του συστήματος ιχνηλασιμότητας γάλακτος, παρουσιάζοντας όλες τις λειτουργίες της.

6.1 Χρήση

Αρχικά ο κτηνοτρόφος μέσω της εφαρμογής Blynk θα πρέπει να ενεργοποιήσει τη διαδικασία της αρμεγής από το σχετικό κουμπί που υπάρχει. Με τη συμπλήρωση του πρώτου δοχείου γάλακτος, ο χρήστης θα πρέπει να το τοποθετήσει μπροστά από τον RFID αναγνώστη, και μέσω της επιλογής “Διάβασε δοχείο” στην εφαρμογή, καταγράφεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται.

Στη συνέχεια, το δοχείο τοποθετείται στον αισθητήρα βάρους, και μέσω της επιλογής “Μέτρηση Βάρους” στην εφαρμογή, καταγράφεται το βάρος του δοχείου. Το Raspberry Pi στη συνέχεια στέλνει στην πλατφόρμα FarmOS τις πληροφορίες της μέτρησης(χρονική στιγμή, ταυτότητα δοχείου, βάρος δοχείου) και αυτές καταχωρούνται στο πίνακα Milk Collection Logs.

Η διαδικασία ανάγνωσης RFID και μέτρησης βάρους επαναλαμβάνεται για κάθε επόμενο δοχείο που συμμετέχει στη διαδικασία. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία ο κτηνοτρόφος τερματίζει τη διαδικασία μέσω της εφαρμογής Blynk.

Milk Collection Logs

^ Milk Collection Logs

Timestamp	Milkbox	Weight (kg)
31/05/2025 - 23:25	Milkbox 2	2.163
31/05/2025 - 23:19	Milkbox 1	1.973

Showing 1 to 2 of 2 logs

• 1

Export to CSV

Εικόνα 47: Πίνακας Milk Collection Logs

Τη στιγμή που πρέπει ο κτηνοτρόφος να μεταφέρει το γάλα στη δεξαμενή, θα πρέπει να επιλέξει την εντολή “Συμπλήρωση”, δηλώνοντας με αυτό το τρόπο τη μεταφορά. Το Raspberry Pi αποστέλλει τις πληροφορίες στη βάση δεδομένων του FarmOS. Συγκεκριμένα στο πίνακα Milk Tank Transactions καταγράφεται η χρονική στιγμή της μεταφοράς, η πράξη της μεταφοράς και η συνολική ποσότητα γάλακτος από τα δοχεία που συμμετείχαν στην αρμεγή. Επίσης ενημερώνεται και ο πίνακας Milk Tank Total που απεικονίζει τη τρέχουσα ποσότητα γάλακτος που υπάρχει στη

δεξαμενή. Επιπλέον ο κτηνοτρόφος λαμβάνει ειδοποίηση η οποία ενημερώνει για τη ποσότητα του γάλακτος που προστέθηκε στη δεξαμενή.

^ Milk Tank Transactions

Timestamp	Transaction	Weight (kg)	Running Total (kg)
31/05/2025 - 23:29	Filling	4.136	4.136

Showing 1 to 1 of 1 transactions

• 1

Export to CSV

Εικόνα 48: Πίνακας Milk Tank Transactions

Milk Collection Logs

^ Milk Tank Total

Last Transfer	Total Weight (kg)
31/05/2025 - 23:29	4.136

Export to CSV

Εικόνα 49: Πίνακας Milk Tank Total

pi: milk_added Inbox x



Blynk <robot@blynk.cloud>

to me ▼

milk_added

Προστέθηκαν στη παγολεκάνη 4.136 kg γάλα

Εικόνα 50: Ενημέρωση συμπλήρωσης γάλακτος στη δεξαμενή

Στη συνέχεια ο κτηνοτρόφος ενεργοποιεί τον αισθητήρα θερμοκρασίας. Από τη στιγμή της ενεργοποίησης, καταγράφει τη θερμοκρασία του γάλακτος ανά 15 λεπτά, και τα δεδομένα απεικονίζονται στο πίνακα Milk Tank Temperature.

^ Milk Tank Temperature

Timestamp	Temperature (°C)
31/05/2025 - 23:34	3.0 °C

Showing 1 to 1 of 1 readings

• 1

Export to CSV

Εικόνα 51: Πίνακας Milk Tank Temperature

Σε περίπτωση που η θερμοκρασία υπερβεί τους 4°C, το σύστημα ενημερώνει αυτόματα τον κτηνοτρόφο, προκειμένου να παρέμβει και να διατηρηθεί η ποιότητα του γάλακτος.



Εικόνα 52: Μήνυμα προειδοποίησης υπέρβασης της θερμοκρασίας

Όταν το γάλα συλλέγεται από την εταιρεία, ο κτηνοτρόφος επιλέγει από την εφαρμογή “Παραλαβή” και στο πίνακα Milk Tank Transaction εμφανίζεται η χρονική στιγμή της συλλογής και η πράξη συλλογής. Αντίστοιχα ο πίνακας Milk Tank Total μηδενίζεται, υποδηλώνοντας ότι η δεξαμενή έχει αδειάσει. Επιπλέον ο κτηνοτρόφος λαμβάνει σε μήνυμα, ειδοποίηση για τη συλλογή του γάλακτος και στη συνέχεια απενεργοποιεί τον αισθητήρα θερμοκρασίας. Ολοκληρώνοντας με αυτό τον τρόπο τον κύκλο συλλογής, αποθήκευσης και παράδοσης του γάλακτος.

Milk Tank Transactions			
Timestamp	Transaction	Weight (kg)	Running Total (kg)
01/06/2025 - 00:07	Collected	0	0
31/05/2025 - 23:44	Filling	3.707	12.080
31/05/2025 - 23:40	Filling	4.237	8.373
31/05/2025 - 23:29	Filling	4.136	4.136

Εικόνα 53: Παραλαβή Γάλακτος

Milk Tank Total	
Last Transfer	Total Weight (kg)
01/06/2025 - 00:07	0.000

Export to CSV

Εικόνα 54: Άδειασμα δεξαμενής

pi: milk_collected Inbox x



Blynk <robot@blynk.cloud>

to me ▾

milk_collected

Παραλαβή Γάλακτος

Εικόνα 55: Ενημέρωση παραλαβής γάλακτος

Τέλος, ο κτηνοτρόφος έχει τη δυνατότητα να εξάγει χρήσιμες πληροφορίες που καταγράφονται στους πίνακες σε μορφή αρχείου CSV. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο για τη παρακολούθηση της παραγωγής όσο και για την ανάλυση ιστορικών δεδομένων.

C17							
	▼	fx					
	A	B	C	D	E	F	G
1	Timestamp	Transaction	Weight (kg)	Running Total (kg)			
2	5/31/2025	Filling	3.707	12.080			
3	5/31/2025	Filling	4.237	8.373			
4	5/31/2025	Filling	4.136	4.136			
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Εικόνα 56: Αρχείο CSV

Κεφάλαιο 7

Επίλογος

7.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην αρχή της παρούσας εργασίας παρουσιάστηκε η ανάγκη της ιχνηλασιμότητας του γάλακτος στην εφοδιαστική αλυσίδα, από τη φάρμα μέχρι τον τελικό καταναλωτή. Η διασφάλιση της ποιότητας και της διαφάνειας των γαλακτοκομικών προϊόντων απαιτούν καταγραφή και παρακολούθηση κρίσιμων δεδομένων και την άμεση παρέμβαση των εμπλεκομένων στη παραγωγική διαδικασία.

Σε αυτό το πλαίσιο το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελεί μια καινοτόμα προσέγγιση καθώς μέσω της διασύνδεσης και επικοινωνίας αισθητήρων, υπολογιστικών μονάδων, επιτυγχάνεται η αυτόματη συλλογή και παρακολούθηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, διασφαλίζοντας τη διαφάνεια.

Αναφορικά με την υλοποίηση, αναπτύχθηκε ένα σύστημα καταγραφής και διαχείρισης του γάλακτος κατά το στάδιο της παραγωγής, αξιοποιώντας τεχνολογίες του Διαδικτύου των Πραγμάτων και της πλατφόρμας FarmOS. Ο συνδυασμός τεχνολογίας RFID, αισθητήρων βάρους και θερμοκρασίας, η υπολογιστικής ισχύς των συσκευών Raspberry Pi και Esp32, παρέχουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής δεδομένων.

Τα δεδομένα που συλλέγονται αποθηκεύονται και απεικονίζονται στην πλατφόρμα FarmOS, ενισχύοντας τη ψηφιακή καταγραφή και παρακολούθηση των διαδικασιών και άλλων κρίσιμων δεδομένων.

Η παρακολούθηση της θερμοκρασίας του γάλακτος και η αυτόματη αποστολή ενημερώσεων, προσφέρουν τη δυνατότητα στους κτηνοτρόφους να διασφαλίζουν τη ποιότητα τους γάλακτος αλλά και της άμεσης παρέμβασης.

Αναδεικνύεται μέσω του συγκεκριμένου συστήματος πως η ενσωμάτωση των τεχνολογιών του Διαδικτύου των Πραγμάτων μπορεί να προσφέρει ουσιαστικά οφέλη στον γαλακτοπαραγωγικό τομέα και να συμβάλει στη διαφάνεια, την ιχνηλασιμότητα και την ασφάλεια των τροφίμων

7.2 Μελλοντικές επεκτασεις

Η παρούσα υλοποίηση του FarmOS μπορεί να επεκταθεί με τη μεταφορά της πλατφόρμας σε περιβάλλον Cloud. Αυτό έχει ως πλεονέκτημα τη δημιουργία μιας ανεξάρτητης πλατφόρμας, η οποία επιτρέπει την απομακρυσμένη πρόσβαση και την ασφάλεια των δεδομένων.

Επιπλέον ανάλογα με τις ανάγκες του κτηνοτρόφου, υπάρχει η δυνατότητα για καταγραφή και άλλων στοιχείων, όπως το pH ή υγρασία της δεξαμενής κ.α.

Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης αποτελεί λογική συνέχεια της υλοποίησης που παρουσιάστηκε. Το σύστημα θα μπορεί να αναλύει ιστορικά δεδομένα παραγωγής γάλακτος και να εντοπίζει τις τάσεις της παραγωγής και να ειδοποιεί τον παραγωγό για πιθανές αιτίες.

Τέλος η χρήση του Blockchain σε κάθε στάδιο της διαδικασίας, μπορεί να καταγράφει τα δεδομένα σε ένα ψηφιακό αρχείο το οποίο δε μπορεί να τροποποιηθεί. Επιπλέον αυτά τα δεδομένα θα μπορούν να τα βλέπουν όλοι οι εμπλεκόμενοι(παραγωγός, εταιρεία, καταναλωτής), ώστε να γνωρίζουν με διαφάνεια την πορεία του γάλακτος μέχρι το τελικό προϊόν.

Βιβλιογραφία

- Tangorra, F. M., Buoio, E., Calcante, A., Bassi, A., & Costa, A. (2024). Internet of Things (IoT): Sensors application in dairy cattle farming. *Animals*, 14(21), 3071. <https://doi.org/10.3390/ani14213071>
- Gehlot, A., Malik, P. K., Singh, R., Akram, S. V., & Alsuwian, T. (2022). Dairy 4.0: Intelligent Communication Ecosystem for the Cattle Animal Welfare with Blockchain and IoT Enabled Technologies. *Applied Sciences*, 12(14), 7316. <https://doi.org/10.3390/app12147316>
- Malik, Mohit, et al. “Unlocking Dairy Traceability: Current Trends, Applications, and Future Opportunities.” *Future Foods*, vol. 10, 1 Aug. 2024, pp. 100426–100426, <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100426>.
- Bosona, Techane, and Girma Gebresenbet. “Food Traceability as an Integral Part of Logistics Management in Food and Agricultural Supply Chain.” *Food Control*, vol. 33, no. 1, Sept. 2013, pp. 32–48, www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713513000790, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.02.004>.
- Rai, Nishtha Pradarshika. OPEN-SOURCE SOFTWARES for COST-FREE DIGITAL FARMING. Vol. 4, no. 1, 1 Jan. 2024, pp. 86–90, www.researchgate.net/publication/386466077_OPEN-SOURCE_SOFTWARES_FOR_COST-FREE_DIGITAL_FARMING.
- Tania • Open Source Farm Management Software. (n.d.). <https://usetania.org/>
- LiteFarm | Sustainable Farm Management Software. (n.d.). LiteFarm. <https://www.litefarm.org/>
- microsoft. (n.d.). GitHub - microsoft/farmvibes-ai: FarmVibes.AI: Multi-Modal GeoSpatial ML Models for Agriculture and Sustainability. GitHub. <https://github.com/microsoft/farmvibes-ai>
- Getting started. (n.d.). farmOS. <https://farmos.org/development/environment/>
- Installing FarmOS. (n.d.). farmOS. <https://farmos.org/hosting/install/>
- Get started with Blynk. (n.d.). <https://blynk.io/getting-started>
- Download fritzing. Download. (n.d.). <https://fritzing.org/download/>
- Getting started - raspberry pi documentation. (n.d.). <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/getting-started.html>