



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής
Σχεδίασης και Παραγωγής

&

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ**

Τμήμα Ναυτιλίας και
Επιχειρηματικών Υπηρεσιών



**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ»**

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΙΟΤ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟΥ

APPLYING IOT TECHNOLOGIES ON MONITORING PROJECT MACHINERY

Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή:

ΧΑΡΙΤΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Όνοματεπώνυμο Υπεύθυνου Καθηγητή:

ΔΡ. ΕΛΕΝΗ – ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΛΕΛΙΓΚΟΥ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2021

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

ΔΕΛΙΓΚΟΥ ΕΛΕΝΗ - ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΝΙΚΗΤΑΚΟΣ ΝΙΚΗΤΑΣ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χαριτάκης Ιωάννης του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 126 φοιτητής του Διϊδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής της Σχολής Μηχανικών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο δηλών

Ημερομηνία

15/6/202



ΧΑΡΙΤΑΚΗΣ Ι.
Χαριτάκης Ιωάννης

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΙΟΤ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟΥ**ΧΑΡΙΤΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

Μεταπτυχιακή Διατριβή που υποβάλλεται στο καθηγητικό σώμα για την μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης του μεταπτυχιακού τίτλου του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία και τις Μεταφορές» του Τμήματος Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου και του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ	viii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	ix
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Γενικά.....	11
1.2 Πηγή έμπνευσης – Αναγκαιότητα Εφαρμογής	12
1.3 Δείκτης καινοτομίας.....	13
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	16
3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	17
3.1 Τα κύρια μηχανήματα έργου.....	17
3.1.1 Ανάλυση κινήσεων Εκσκαφέα – Φορτωτή.....	19
3.1.2 Ανάλυση κινήσεων Φορτηγού οχήματος	21
3.1.3 Ανάλυση κινήσεων Προωθητή γαιών.....	22
3.1.4 Οδοστρωτήρας.....	22
3.1.5 Υδροφόρο όχημα	23
3.2 Εργοταξιακές ομάδες εργασίας (clusters) & χρήσιμοι παράμετροι καταγραφής.....	23
3.2.1 Διανοίξεις (π.χ. οδοποιίας)	23
3.2.2 Γενικές εκσκαφές.....	24
3.2.3 Εργασίες κατασκευής επιχωμάτων.....	25
3.2.4 Εργασίες συμπύκνωσης γαιών.....	26
3.2.5 Εργασίες σκυροδέτησης.....	27
4. ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	29
4.1 Γενικά χαρακτηριστικά δικτύου – Παράμετροι σχεδιασμού	29
4.2 Επιλογή πρωτοκόλλου επικοινωνίας.....	30
4.2.1 Διαθέσιμα δίκτυα ασύρματης επικοινωνίας.....	30
4.2.1.1 LORA	31
4.2.1.2 SIGFOX.....	32
4.2.1.3 INGENEU	33
4.2.1.4 LTE M2M.....	33
4.2.1.5 SYMPHONY LINK.....	34
4.2.1.6 NB-IOT	35
4.2.1.7 WEIGHTLESS.....	35
4.2.2 Συγκριτικός πίνακας – Επιλογή δικτύου	36
4.3 Σχεδιασμός δικτύου.....	38
5. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	41

5.1	Επιλογή αισθητήρων (sensors)	41
5.2	Επιλογή Hardware	44
5.3	Επιλογή Software.....	46
6.	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (Software engineering)	48
6.1	Γενικά.....	48
6.2	Προγραμματισμός Nodes (Arduino).....	48
6.2.1	Το περιβάλλον του προγράμματος Arduino Ide.....	49
6.2.2	Γενική ιδέα προγραμματισμού των Nodes (main concept programming).....	50
6.2.2.1	Εργασίες «Εκσκαφής».....	50
	<i>Διάγραμμα 3. Block diagram προγραμματισμού module Φορτηγού 2 (Loop 2)</i>	<i>54</i>
	54
6.3	Διασύνδεση πλατφόρμας μετάδοσης δεδομένων TTN	54
6.4	Αξιοποίηση δεδομένων – Data Analysis	55
6.4.1	Μορφή δεδομένων	56
6.4.2	Αξιοποίηση δεδομένων	57
	<i>Διάγραμμα 4. Block diagram προγραμματισμού προόδου έργου & ελέγχου χρονο/τος</i>	<i>59</i>
6.4.3	Geofencing.....	59
6.4.4	Visualization.....	60
6.5	Πειραματικό σκέλος.....	61
7.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	63
7.1	Πειραματικό σκέλος ανάπτυξης.....	63
7.2	Απεικόνιση πειράματος σε πραγματικό χρόνο.....	64
7.3	Εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες εργοταξίου	65
7.4	Μηχανική μάθηση και ποιοτικός έλεγχος τεχνικού έργου.....	65
7.5	SWOT ANALYSIS.....	66
7.6	Επίλογος.....	68
	References.....	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1. Συγκριτικός πίνακας προδιαγραφών σε τεχνολογίες IoT.....σελ. 36
2. Επεξήγηση δεδομένων GPS σε μορφή GPRMC.....σελ. 57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

1. Block diagram διεργασίας απομάκρυνσης προϊόντων εκσκαφής από το πολύγωνο Α.....σελ. 51
2. Block diagram προγραμματισμού module Εκσκαφέα 1 (Loop 1)...σελ. 52
3. Block diagram προγραμματισμού module Φορτηγού 2 (Loop 2)...σελ. 54
4. Block diagram προγραμματισμού προόδου έργου & ελέγχου χρονοδιαγράμματος.....σελ. 59

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

ABP – Activation by Personalization

BD – Bulldodger

ΔΕ – Διπλωματική Εργασία

ΕΕ – Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΧ – Excavator – Εκσκαφέας

ΜΕ – Μηχάνημα έργου (Γενικά)

ΜΠ – Μεταφορέας σκυροδέματος (Μπετονιέρα)

ΟΔ – Οδοστρωτήρας

ΟΤΑΑ – Over the Air Activation

ΠΣΚ – Παρασκευαστήριο Σκυροδέματος

ΣΕΠ – Σημείο κατασκευής επιχώματος

ΣΕΚ – Σημείο εκσκαφής

ΣΟΔ – Σημείο οδοστρωσίας

ΣΣΚ – Σημείο Σκυροδέτησης

Φ – Φορτηγό Όχημα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Στο πλαίσιο της συγγραφής της Διπλωματικής Εργασίας του μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών του τμήματος «Νέες Τεχνολογίες στη Ναυτιλία & τις Μεταφορές», επιλέχθηκε το θέμα «Τεχνολογίες IoT στην Παρακολούθηση Βαρέων Οχημάτων Εργοταξίου». Το θέμα βρίσκεται στην αιχμή της τεχνολογίας, δεδομένης και της εξέλιξης των τηλεπικοινωνιακών δικτύων 5G που αναμένεται να υλοποιηθεί τα επόμενα χρόνια. Η εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών στα οχήματα εργοταξίου θα δώσει λύσεις σε χρόνια προβλήματα που αντιμετωπίζει ο κλάδος των κατασκευών.

Ειδικότερα, στο **1^ο κεφάλαιο** αναλύεται η αναγκαιότητα της διαφανόμενης εργασίας. Η πηγή έμπνευσης προερχόμενη από επαγγελματικά βιώματα και ο ενδεδειγμένος έλεγχος του δείκτη καινοτομίας της, είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την απόδειξη της χρησιμότητας και της επιτυχημένης εμπορικής χρήσης της σε μελλοντικό στάδιο.

Στο **2^ο κεφάλαιο** αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθείται για την προσέγγιση του προβλήματος και οι τεχνικές που εφαρμόζονται για την επίλυσή του.

Στο **3^ο κεφάλαιο** γίνεται η παραμετροποίηση του προβλήματος. Στο σημείο αυτό αναλύονται τα μηχανήματα που συμμετέχουν στην υλοποίηση ενός κατασκευαστικού έργου. Εξετάζονται οι βασικές κινήσεις του καθενός ξεχωριστά και πως συνεργάζονται μεταξύ τους. Έτσι λαμβάνουμε πολύτιμα συμπεράσματα για τα μηχανήματα που απαρτίζουν τα cluster (ομάδες) εργασίας σε ένα κατασκευαστικό έργο. Τέλος στο κεφάλαιο αυτό, και με βάση τα παραπάνω, αναλύονται οι βασικές παράμετροι, η καταγραφή των οποίων, θα μπορούσε να εξάγει πολύτιμα συμπεράσματα για την πρόοδο του έργου.

Στο **4^ο κεφάλαιο** αναλύεται το δίκτυο μετάδοσης δεδομένων. Ξεκινώντας από τις ιδιαιτερότητες του δικτύου και αναλύοντας τις απαιτήσεις της εφαρμογής, αναζητούμε το καλύτερο πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Στο **5^ο κεφάλαιο** αναλύεται ο εξοπλισμός που προτείνεται για ενδεχόμενο πειραματικό έλεγχο της εφαρμογής. Συγκεκριμένα προτείνεται εξοπλισμός hardware που θα μπορούσε να επιλεγεί για την κατασκευή της εφαρμογής. Η πρόταση περιλαμβάνει τους αισθητήρες (sensors), τις πλακέτες συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (modules), και τους διακομιστές (transmitters, gateways), από τη λίστα προϊόντων των σημαντικότερων κατασκευαστών δικτύων LORA. Επίσης περιγράφεται και το λογισμικό (software) υποστήριξης του εξοπλισμού και σχολιάζεται το περιβάλλον εργασίας τους.

Στο **6^ο κεφάλαιο**, αναλύεται ο σκελετός του κώδικα προγραμματισμού που προτείνεται για την αξιοποίηση των δεδομένων. Ειδικότερα, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύονται τα block diagrams προγραμματισμού επιπέδου module, αλλά και επιπέδου data analysis. Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται και σχολιασμός της «μορφής» των δεδομένων που αναμένεται να λαμβάνονται μέσω του δικτύου LORA.

Το ανακεφαλαιωτικό **7^ο κεφάλαιο** περιλαμβάνει τις προοπτικές περαιτέρω έρευνας και τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας. Στο ίδιο κεφάλαιο αναλύονται και οι προοπτικές που διανοίγονται μέσω της εφαρμογής που μελετάται.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ορολογία κατασκευαστικού έργου: Ερπυστριοφόρο μηχάνημα έργου - *Construction machinery*, Εκσκαφέας - *Excavator*, Φορτωτής - *Loader*, Φορτηγό όχημα - *Truck*, Διαμορφωτής εδάφους - *Grader*, Οδοστρωτήρας - *Compactor*, Προωθητής γαιών - *Bulldozer*, Έργα υποδομής - *Infrastructure*

Ορολογία ασύρματης επικοινωνίας (δικτύου): *Remote monitoring, LORA, node, gateway, Over the Air communication (OTA)*

Ορολογία hardware: *Arduino, Dragino, Libelium, module, GPS tracking, proximity sensor, I/O contactor,*

Ορολογία προγραμματισμού: *Python, serial monitoring,*

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το πεδίο της διοίκησης έργου (project management) ήταν πάντοτε -και παραμένει μέχρι σήμερα- ένα από τα δυσκολότερα αντικείμενα στην ανάπτυξη έργων, με αρκετά υψηλό κίνδυνο αστοχίας προγραμματισμού, εξ' αιτίας πολλών και απρόβλεπτων παραγόντων. Η ιστορία διαθέτει πολλά τέτοια παραδείγματα κατασκευαστικών έργων.

Η κατασκευή της διώρυγας του Ισθμού της Κορίνθου για παράδειγμα, που αναμφισβήτητα ήταν ένα θαύμα της Μηχανικής τη χρονική στιγμή που κατασκευάστηκε, χρειάστηκε έντεκα (11) ολόκληρα χρόνια και αλλαγή δύο (2) κατασκευαστριών εταιριών για να ολοκληρωθεί. Στο ενδιάμεσο (8 χρόνια από την έναρξη των εργασιών) ο αρχικός συμβασιούχος, εταιρία που συστάθηκε υπό το στρατηγό Τυρρ, χρεωκόπησε λόγω κακής εκτίμησης του κόστους υλοποίησης του έργου, με αποτέλεσμα η κατασκευή να συνεχισθεί με νέο σχήμα και κάτω από την επιτήρηση του Α. Συγγρού (Γιάννης-Μάρτιος 2009).

Το τελευταίο τρανό παράδειγμα καθυστέρησης, είναι το μετρό Θεσσαλονίκης. Ένα έργο, το οποίο στη σύγχρονη ιστορία του ήρθε στην επικαιρότητα επί δημαρχίας Κούβελα. Το 1992 έγινε η πρώτη δημοπράτηση και το 1998 η ανάδοχος εταιρεία «Θεσσαλονίκη Μετρό» δεν εξασφάλισε χρηματοδότηση. Στη συνέχεια υπήρξε νέα δημοπράτηση και το 2006 ανέλαβε ανάδοχος η εταιρία «Αττικό Μετρό». Οι εργασίες ξεκίνησαν για 13 σταθμούς και 9,6 χλμ. διαδρομής, με ορίζοντα παράδοσης τα 6,5 χρόνια. Ωστόσο, η χρεωκοπία μιας εταιρείας και η οικονομική κρίση που ανέκυψε στην Ελλάδα, οδήγησαν σε παύση των εργασιών. Τελικά, τα έργα επανεκκίνησαν το 2017, με ημερομηνία παράδοσης τα τέλη του 2019! Μάλιστα, προβλεπόταν κι ένας χρόνος δοκιμαστικής λειτουργίας και παράδοση προς χρήση στα τέλη του 2020. Τα τελευταία ανακοινωθέντα μιλούν για παράδοση του έργου το 2023. (Μπαλής 2019)

Παρότι η Μηχανική στις μέρες μας έχει σημειώσει αλματώδη πρόοδο, με ιδιαίτερα χρήσιμες και ασφαλείς κατασκευές, εντούτοις το τμήμα του Project Management παρατηρείται να μην συμβαδίζει με τις απαιτήσεις των καιρών. Τόσο τα χρονοδιαγράμματα, όσο και οι προϋπολογισμοί των έργων πολλές φορές, ακόμα και στις μέρες μας, παρεκκλίνουν σημαντικά, θέτοντας σε κίνδυνο τόσο την υλοποίηση του έργου όσο και τους οικονομικούς δείκτες των εμπλεκόμενων φορέων, ακόμα και της ίδιας της χώρας. Όλα αυτά στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στην έλλειψη στοιχείων (μετρούμενων μεγεθών) για την εκτίμηση του σταδίου εξέλιξης του έργου και των δαπανών του. Οι δείκτες στους οποίους βασίζεται το σημερινό project management είναι συγκεκριμένοι «στόχοι προόδου» (milestones), βασιζόμενοι κυρίως στις αλληλουχίες των εκτελεσθέντων εργασιών. Οι «στόχοι» συγκρίνονται με τις πραγματικές συνθήκες και αναλόγως αναθεωρούνται τα χρονοδιαγράμματα, οι προϋπολογισμοί και οι εκταμιεύσεις. Εντούτοις, είναι δύσκολο να εκτιμηθούν και συνήθως δεν συμπεριλαμβάνονται στη μελέτη προόδου, πληθώρα αστάθμητων παραγόντων όπως για παράδειγμα η παραγωγικότητα και η

αποτελεσματικότητα των συνεργειών, η κόπωση του προσωπικού, οι δυσκολίες των εργασιών κ.α. Η συλλογή στοιχείων και η επεξεργασία των δεδομένων τους θα μπορούσε με βεβαιότητα να σηματοδοτήσει μια νέα εποχή στον τομέα του Project Management

1.2 Πηγή έμπνευσης – Αναγκαιότητα Εφαρμογής

Επί σειρά ετών ασχολήθηκα με την επίβλεψη και τη διοίκηση ενεργειακών έργων και την κατασκευή Αιολικών Πάρκων στην Ελληνική επικράτεια. Τα συγκεκριμένα έργα παρουσιάζουν τις ακόλουθες ιδιαιτερότητες:

- Είναι πολύ απομακρυσμένα (από τα πλησιέστερα αστικά κέντρα), με αποτέλεσμα να απαιτείται λεπτομερής συντονισμός για τον ανεφοδιασμό (καύσιμα – λιπαντικά) των χωματουργικών μηχανημάτων, σε καθημερινή βάση
- Οι θέσεις εργασίας των χωματουργικών μηχανημάτων παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. Υπάρχει περίπτωση, για παράδειγμα, να εκτελούνται ταυτόχρονα εργασίες σκυροδέτησης και εκσκαφής ορεινής οδοποιίας και τα συνεργεία που εργάζονται σε αυτές, να απέχουν μεταξύ τους μέχρι και 10km. Η επίβλεψη και των δύο εργασιών ταυτόχρονα είναι σχεδόν αδύνατη
- Οι συνθήκες εργασίας είναι εκτεθειμένες στα καιρικά φαινόμενα, τα οποία ενίοτε είναι απαγορευτικά για την εκτέλεση εργασιών (π.χ. εργασίες σκυροδέτησης σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και υψηλής υγρασίας)

Ο επιβλέπων μηχανικός, ακόμα και στις μέρες μας, δυστυχώς δεν διαθέτει τα κατάλληλα μέσα και εργαλεία για τον έλεγχο όλων των παραπάνω παραμέτρων. Επίσης, είναι αρκετά δύσκολο να μεταφέρει στον project manager, μια ολοκληρωμένη εικόνα προόδου των εργασιών. Άμεσο αποτέλεσμα αυτού είναι:

- Οι μηνιαίες «πιστοποιήσεις» για την πληρωμή των συνεργείων και τη χρηματοδότηση του έργου να γίνεται κατ' εκτίμηση, χωρίς να βασίζεται σε συγκεκριμένα μετρούμενα μεγέθη.
- Η πρόοδος των εργασιών, το ποσοστό ολοκλήρωσης αλλά και η επικαιροποίηση (update) του χρονοδιαγράμματος να γίνονται κατ' εκτίμηση. Συνήθως, τουλάχιστον αυτό που τηρείται μέχρι σήμερα, είναι η εξέλιξη του έργου να παρακολουθείται αρκετά απλουστευμένα, μόνο από κάποια κομβικά σημεία προόδου (milestones, π.χ. αν έχει πραγματοποιηθεί σκυροδέτηση των 5 θεμελίων επί συνόλου 10, τότε οι εργασίες θεμελίωσης βρίσκονται στο 50% της προόδου του έργου).
- Οι λεπτομέρειες, οι δυσκολίες κατασκευής, και εν γένει ένα record book του έργου, είναι εξαιρετικά δύσκολο, έως αδύνατο, να αποτυπωθεί σε μετρούμενα μεγέθη, απ' όπου θα μπορούσαν να εξαχθούν πολύτιμα συμπεράσματα για μελλοντικά παρεμφερή έργα
- Το σχέδιο ποιότητας του έργου (Quality Plan), δεν περιλαμβάνει σημαντικές παραμέτρους καταγραφής, όπως π.χ. καιρικές συνθήκες που επικρατούν την ώρα

σκυροδέτησης. Πολύ σημαντικές παράμετροι όπως ο χρόνος, οι συνθήκες κατασκευής και το ιστορικό πάνω σε θέματα αντοχής υλικών μέχρι σήμερα δεν καταγράφονται

- Το σχέδιο ασφαλείας (Safety Management Plan) στηρίζεται σε απαρχαιωμένα μέσα για την κάλυψη συνθηκών έκτακτης ανάγκης και ενημέρωσης άμεσου κινδύνου

Από την άλλη πλευρά, σχεδόν η πλειονότητα των κατασκευαστικών έργων παρουσιάζει κάποια κοινά χαρακτηριστικά, όπως:

- Όλη η δραστηριότητα βρίσκεται σε ανοικτούς χώρους (open air sites), οι οποίες εκτείνονται σε ακτίνα περίπου 15km
- Βρίσκονται εντός της εμβέλειας κάλυψης δικτύων κινητής τηλεφωνίας
- Συνήθως στην έκταση του χώρου όπου εκτελούνται οι εργασίες δεν υπάρχουν εμπόδια, τα οποία θα μπορούσαν να παρεμποδίσουν ασύρματα σήματα. Ενίοτε υπάρχει και οπτική επαφή στο μεγαλύτερο ποσοστό έκτασης του έργου (sight vision distance)
- Για λόγους ασφαλείας η κυκλοφορία των διερχόμενων οχημάτων και των μηχανημάτων έργου, περιορίζεται σε ταχύτητα μικρότερη των 30km/h

Τόσο οι παραπάνω ανάγκες, όσο και οι προαναφερθείσες προϋποθέσεις, ανταποκρίνονται στις δυνατότητες που προσφέρουν τα ασύρματα δίκτυα των νέων τεχνολογιών IoT, οι οποίες αναμένεται να κυριαρχήσουν τα προσεχή έτη, σε πολλούς τομείς της καθημερινότητάς μας, ιδιαίτερα μετά την εγκατάσταση των δικτύων 5G. Θεωρούμε ότι διαφαίνονται μεγάλες προοπτικές διεξόδου των τεχνολογιών IoT στο χώρο των κατασκευών και η παρούσα διπλωματική εργασία θα συνεισφέρει με κάθε τρόπο στην προσπάθεια αυτή.

1.3 Δείκτης καινοτομίας

Οι τεχνολογίες IoT, αποτελούν ίσως τον πιο καινοτόμο κλάδο τεχνολογικών ανακαλύψεων στις μέρες μας. Εκατοντάδες start-up επιχειρήσεις σε ολόκληρο τον κόσμο, εκμεταλλεύονται την αλματώδη πρόοδο του κλάδου. Ενδεικτικά αναφέρουμε ορισμένες από αυτές:

Εφαρμογές στην «έξυπνη πόλη» του μέλλοντος: Από τον έλεγχο της κυκλοφοριακής συμφόρησης & την αυτόματη ρύθμιση των φωτεινών σηματοδοτών, μέχρι την συγκομιδή των απορριμμάτων και τη διαμόρφωση των δρομολογίων των απορριμματοφόρων οχημάτων, οι εφαρμογές IoT στον κλάδο αυτό είναι αρκετές και ιδιαίτερα προηγμένες, βρίσκοντας εφαρμογή ακόμα και στις μέρες μας, στις πιο ανεπτυγμένες πόλεις του πλανήτη

Εφαρμογή στην παρακολούθηση ατόμων ευπαθών ομάδων: Όταν η τεχνολογία βρίσκεται στη διάθεση επίλυσης ηθικά ευαίσθητων και κοινωνικά χρήσιμων ζητημάτων, συνειδητοποιείται ο κοινωνικός χαρακτήρας της και η πραγματική χρησιμότητά της. Σήμερα

οι τεχνολογίες IoT προστατεύουν διαβητικούς ασθενείς, άτομα που αντιμετωπίζουν προβλήματα άνοιας, συντροφεύουν κατοικίδια ζώα και παιδιά που κινδυνεύουν να απομακρυνθούν από την επίβλεψη του συνοδού τους.

Εφαρμόζονται στις αγροτικές καλλιέργειες: Οι τεχνολογίες IoT είναι πλέον διαδεδομένες στο χώρο της γεωργικής καλλιέργειας. Έτσι παράμετροι όπως υγρασία εδάφους και θερμοκρασίες περιβάλλοντος, ενεργοποιούν αντίστοιχα όργανα ελέγχου άρδευσης, προληπτικού ψεκασμού, αναγκαίας λίπανσης και άλλων γεωργικών εργασιών. Ακόμα και η συγκομιδή του καρπού μπορεί να συμπεριληφθεί στον μηχανισμό αυτόματης ειδοποίησης.

Εφαρμογές στο χώρο της εφοδιαστικής αλυσίδας: Ένας ακόμη κλάδος όπου οι τεχνολογίες IoT βρίσκουν ιδιαίτερη εφαρμογή. Τα οχήματα μεταφοράς, αλλά ακόμα και οι μεμονωμένες συσκευασίες μεταφοράς (π.χ. κοντεϊνερ), μπορεί να φέρουν αισθητήρες παρακολούθησης και μετάδοσης πληροφορίας σχετικά με την κατάσταση του εμπορεύματος και τις συνθήκες μεταφοράς και διάθεσής του.

Εφαρμογές στο χώρο των κατασκευών: Στο χώρο των κατασκευών, οι εισχώρηση των εν λόγω τεχνολογιών είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Η εταιρία Machinemax1 έχει αναπτύξει ένα λογισμικό όπου καταγράφεται μία εκ των καταστάσεων (ON & WORKING – OFF – ON & NOT WORKING), με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου των μηχανημάτων έργου. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά για την ωφελιμότητα τέτοιων εφαρμογών.

Έχει επιχειρηθεί σε ερευνητικό επίπεδο (Elsevier 2015) η απεικόνιση της πρόοδου εργασιών ενός κατασκευαστικού έργου, με τη βοήθεια δορυφορικών φωτογραφιών, παρόμοιες με εκείνες που απεικονίζονται στο Google Maps. Μάλιστα αξίζει να σημειωθεί ότι στο συγκεκριμένο άρθρο, οι ερευνητικοί στόχοι και οι ανάγκες που καλείται να καλύψει η συγκεκριμένη έρευνα, είναι οι ίδιες με εκείνες που αναπτύσσονται σε αυτή την διπλωματική εργασία (βλ. παρ.1.2). Η έρευνα μελετάει «γραμμικά» έργα (π.χ. κατασκευή σιδηροδρομικών γραμμών, υπόγειων σωληνώσεων, οδοποιίας) τα οποία προϋποθέτουν την αλληλουχία εργασιών (π.χ. ολοκλήρωση εκσκαφής ορύγματος πριν την τοποθέτηση σωληνώσεων κλπ.). Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή έκβαση της εν λόγω μελέτης που βασίζεται στην φωτογραφική ανάλυση, είναι τα έργα να ολοκληρώνονται σε μεγάλη χρονική διάρκεια, ώστε οι φωτογραφίες, με απλή παρατήρηση, να μπορούν να απεικονίζουν την πρόοδο των εργασιών.

Εντούτοις, η λήψη πραγματικών δεδομένων μέσω αισθητηρίων οργάνων που θα τοποθετηθούν επί των μηχανημάτων έργου και η ασύρματη μετάδοση των σημάτων τους σε κεντρικό υπολογιστή, όπου θα λαμβάνει χώρα η επεξεργασία τους, αποτελεί ένα ιδιαίτερα

¹ www.machinemax.com

τολμηρό και καινοτόμο εγχείρημα, το οποίο συνδυάζει τις τεχνολογίες IoT με τις σύγχρονες απαιτήσεις των κατασκευαστικών έργων.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για να προσεγγιστεί το πρόβλημα θα πρέπει καταρχήν να οριοθετήσουμε τις προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει η προτεινόμενη εφαρμογή (ζητούμενα προβλήματος) και να περιγράψουμε όσο γίνεται καλύτερα την επιθυμητή (ιδανική) λύση, η οποία θα αποτελέσει και τους στόχους της εφαρμογής (λύσεις).

Τα «δεδομένα» του προβλήματος είναι στην ουσία η αποτύπωση του τρόπου λειτουργίας των μηχανημάτων έργου. Εξετάζεται επομένως σε πρώτη φάση, ο τρόπος λειτουργίας των μηχανημάτων έργου και αναλύονται οι βασικές κινήσεις τους. Στη συνέχεια αναλύεται ο μηχανισμός λειτουργίας ενός κατασκευαστικού έργου και εξετάζονται οι «ομάδες εργασιών» που το αποτελούν.

Η παρατήρηση των βασικών κινήσεων του κάθε μηχανήματος θα οδηγήσει στην επιλογή των κατάλληλων οργάνων μέτρησης (αισθητήρων) για την κάθε περίπτωση μηχανήματος. Η παρούσα διπλωματική εργασία θα οριοθετήσει τις προδιαγραφές επιλογής των κατάλληλων αισθητηρίων ελέγχου και θα προτείνει κάποια μοντέλα της αγοράς.

Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει το σχεδιασμό του ασύρματου δικτύου μετάδοσης δεδομένων. Αρχικά επιλέγεται το κατάλληλο πρωτόκολλο επικοινωνίας και η κύρια δομή του δικτύου, ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της απομακρυσμένης παρακολούθησης προόδου του έργου. Στο στάδιο αυτό προτείνεται και ο βασικός εξοπλισμός του δικτύου (hardware – software).

Έχοντας επιλέξει τον εξοπλισμό των αισθητηρίων οργάνων και τη μορφή του ασύρματου δικτύου επικοινωνίας, εξετάζεται η μορφή των δεδομένων που αναμένεται να λαμβάνονται στον τελικό αποδέκτη. Εξετάζεται επίσης και η ενδεχόμενη μετατροπή των δεδομένων αυτών, ώστε να είναι αξιοποιήσιμα από λογισμικό προγραμματισμού. Στο σημείο αυτό προτείνεται και η κύρια δομή (ο βασικός κορμός – main structure) του κώδικα προγραμματισμού.

Καταλήγοντας, παραθέτουμε τις δυσκολίες και τους περιορισμούς που αναμένεται να συναντήσει ο κατασκευαστής ενός τέτοιου ασύρματου δικτύου παρακολούθησης. Εξετάζονται επομένως παράμετροι που αφορούν το βεληνικές, την αξιοπιστία στη μετάδοση των πακέτων και τους περιορισμούς του πρωτοκόλλου επικοινωνίας.

3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

3.1 Τα κύρια μηχανήματα έργου

Σε ένα εργοτάξιο θα συναντούσε κανείς τα ακόλουθα μηχανήματα έργου:

- **Εκσκαφέας:** Πρόκειται για το πλέον διαδεδομένο μηχάνημα βαρέως τύπου, ενώ συνήθως χρησιμοποιούνται παράλληλα περισσότερα του ενός σε κάθε κατασκευαστικό



Εικόνα 1. Εκσκαφέας γαιών

έργο. Συνήθως διαθέτει κουβά με όνυχες για την απομάκρυνση και την φόρτωση γαιών, ενώ συγχρόνως μπορεί να μετατραπεί σε σφύρα με την προσαρμογή ενός ειδικού υδραυλικού εργαλείου στην άκρη του βραχίονα. Ο εκσκαφέας διαθέτει 4 βαθμούς ελευθερίας στην κίνηση των μηχανικών μερών του, που εξασφαλίζονται από υδραυλικά συστήματα ελέγχου (βραχίονας) & οδοντωτούς τροχούς (πορεία – περιστροφή καμπίνας). Στο κυρίως μέρος του μηχανήματος

βρίσκεται ο κινητήρας του (Diesel) αλλά και το υδραυλικό σύστημα υψηλής πίεσης. Συνήθως συνεργάζεται με τον προωθητή γαιών και τα φορτηγά οχήματα.



Εικόνα 2. Φορτωτής

- **Φορτωτής:** Επίσης αρκετά συνηθισμένο μηχάνημα έργου, χρησιμοποιείται για τη φόρτωση αδρανών υλικών επί φορτηγών οχημάτων. Διαθέτει κουβά μεγάλης χωρητικότητας, ώστε να μειωθεί στο ελάχιστο ο αριθμός των απαιτούμενων ανατροπών για την πλήρωση του φορτηγού οχήματος. Διαθέτει επίσης 4 βαθμούς ελευθερίας. Συνήθως συνεργάζεται με τα φορτηγά οχήματα.

- **Φορτηγά οχήματα:** Είναι απαραίτητα σε κάθε κατασκευαστικό έργο. Κάθε

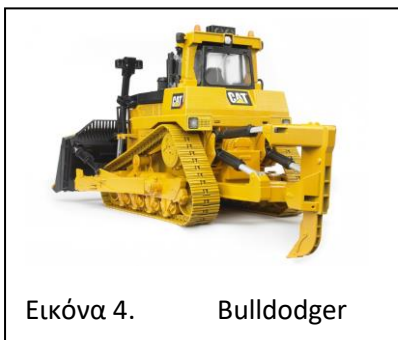


Εικόνα 3. Φορτηγό όχημα

κατασκευαστικό έργο προϋποθέτει τη μεταφορά και απόθεση γαιών, όπως επίσης και την επίστρωση κατάλληλων αδρανών υλικών (επεξεργασμένα υλικά λατομείου), σύμφωνα με τη γεωτεχνική μελέτη.

Οι μεταφορές γίνονται με φορτηγά οχήματα που διαθέτουν ανάλογα με την κατηγορία τους (μονοαξονικά, τριαξονικά, τετραξονικά, επικαθίμενα κλπ.) καροσερί διαφόρων χωρητικότητας. Με κατάλληλο υδραυλικό

σύστημα γίνεται η ανύψωση της καρότσας από τη μια πλευρά και επιτυγχάνεται η ανατροπή των αδρανών υλικών. Συνεργάζονται με όλα τα μηχανήματα έργου, αλλά κυρίως με τον εκσκαφέα, τον φορτωτή και τον οδοστρωτήρα



Εικόνα 4. Bulldozer

- **Πρωθητής γαιών (Bulldozer):** Το χωματουργικό αυτό μηχάνημα χρησιμοποιείται για την αρχική διαμόρφωση του χώρου και τη συσσώρευση γαιών. Είναι το μηχάνημα έργου που χρησιμοποιείται πρώτο και δίνει το εναρκτήριο λάκτισμα του project. Πολλές φορές χρησιμοποιείται και για την κατάρριψη των υπαρχουσών κτισμάτων που δεν περιλαμβάνονται στον τελικό σχεδιασμό του έργου. Διαθέτει 3 βαθμούς ελευθερίας και συνεργάζεται κυρίως με εκσκαφείς.



Εικόνα 5. Οδοστρωτήρας

- **Οδοστρωτήρας:** Πολύ σημαντικό μηχάνημα έργου με μεγάλη εφαρμογή σε έργα που διαθέτουν τμήματα οδοποιίας αλλά και κατασκευής υπόβασης θεμελιώσεων. Διαθέτει δονητικό μηχανισμό (vibrator) και κυλιόμενο τύμπανο, η δόνηση του οποίου επιτυγχάνει τη συμπύκνωση του εδάφους και των αδρανών υλικών που επιστρώνονται. Διαθέτει 2 βαθμούς ελευθερίας. Συνεργάζεται με το Grader και τα φορτηγά οχήματα.



Εικόνα 6. Grader

- **Grader:** Επιτυγχάνει το διαμοιρασμό των αδρανών υλικών που αποθέτουν τα φορτηγά οχήματα, ώστε να ακολουθήσουν στη συνέχεια άλλα μηχανήματα έργου, όπως υδροφόρα οχήματα & οδοστρωτήρες. Πρόκειται για αρκετά εξειδικευμένο μηχάνημα, με ευρεία χρήση σε τμήματα οδοποιίας αλλά και μεγάλων επιφανειών κατασκευής υπόβασης – έδρασης οικοδομήματος.



Εικόνα 7. Υδροφόρα

- **Υδροφόρα οχήματα:** Απαραίτητα μηχανήματα έργου για την επίτευξη της απαιτούμενης ποιότητας κατασκευής. Τα αδρανή υλικά προκειμένου να αποκτήσουν τη συνεκτικότητα και τις αντοχές που απαιτούν οι προδιαγραφές του έργου, προϋποθέτουν την ύπαρξη συγκεκριμένου ποσοστού υγρασίας πριν την συμπύκνωσή τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαβροχή τους πριν την τελική συμπύκνωσή τους με τα υδροφόρα οχήματα. Διαθέτουν 2 βαθμούς ελευθερίας και συνεργάζονται με οδοστρωτήρες, Grader & φορτηγά οχήματα. Στην πίσω πλευρά του οχήματος

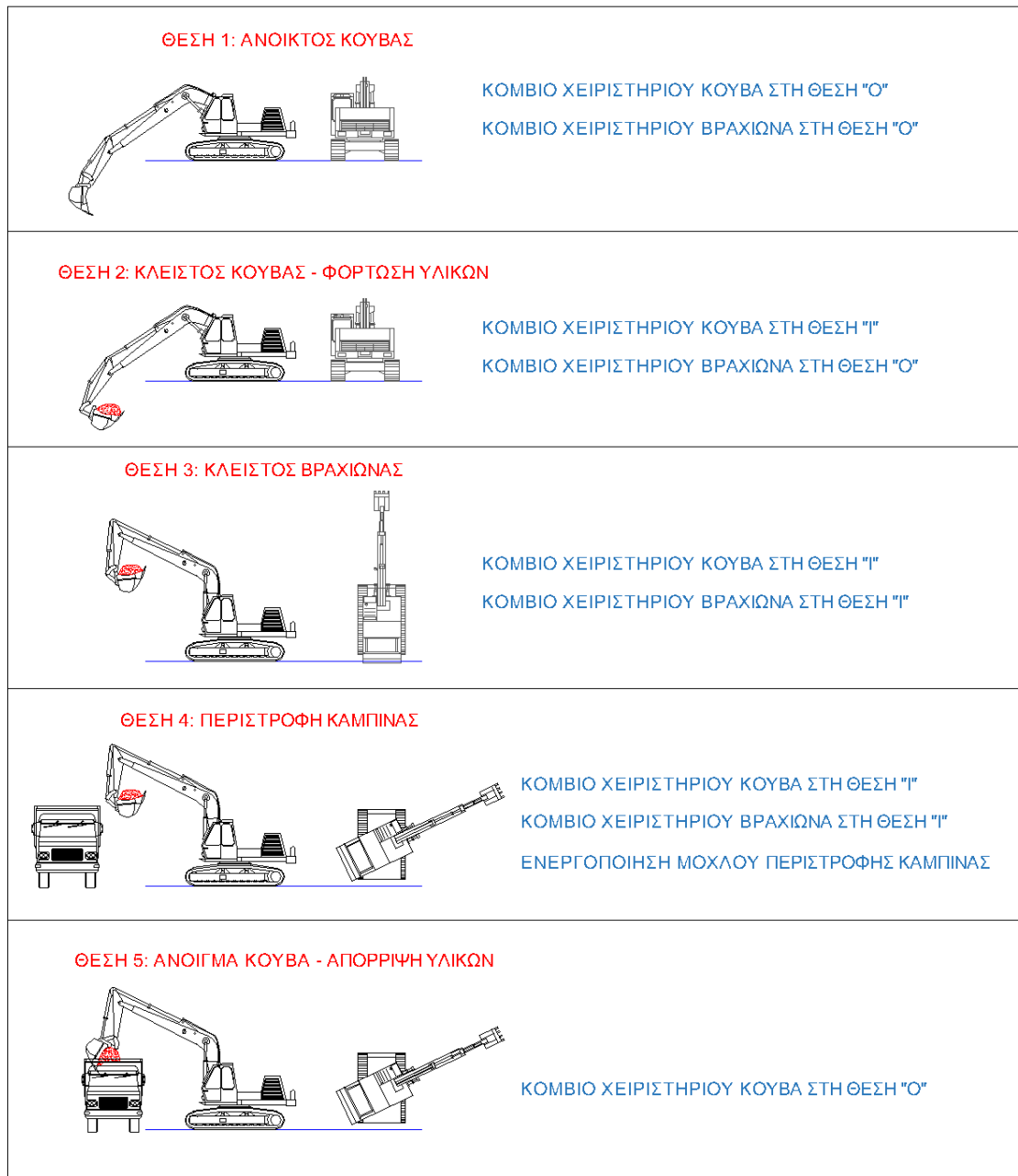
υπάρχει ένας συλλέκτης που επιτυγχάνει το διαμοιρασμό του νερού σε όλο το πλάτος του οχήματος. Η παροχή της βάνας απομόνωσης σε συνδυασμό με την ταχύτητα πρόωσης του οχήματος, καθορίζει το επίπεδο διαβροχής, μία σημαντική παράμετρο που επηρεάζει το κόστος του έργου και την ποιότητα κατασκευής

3.1.1 Ανάλυση κινήσεων Εκσκαφέα – Φορτωτή

Σε ένα κατασκευαστικό έργο ο εκσκαφέας χρησιμοποιείται:

- Για την εκσκαφή γαιών
- Για την θραύση πετρωμάτων μέσω υδραυλικής σφύρας που προσαρμόζεται στον βραχίονά του
- Για την φόρτωση των γαιών εκσκαφής επί φορτηγού οχήματος

Από τις παραπάνω εργασίες, η μόνη που θα μπορούσε να επιμετρηθεί είναι η φόρτωση των γαιών εκσκαφής επί φορτηγού οχήματος. Έτσι για παράδειγμα εάν γνωρίζουμε ότι η χωρητικότητα του κουβά εκσκαφής είναι π.χ. $0,7\text{m}^3$ και κατά την εκτέλεση εργασίας φόρτωσης γαιών επί φορτηγού οχήματος, εκτελέστηκαν 21 κινήσεις απόθεσης, τότε μπορούμε να υπολογίσουμε ότι την δεδομένη χρονική στιγμή απομακρύνθηκαν $21 \times 0,7 = 14,7\text{m}^3$ από το σημείο εκσκαφής Α.



Σχήμα 1. Ανάλυση κινήσεων Εκσκαφέα γαιών

Παρατηρείται ότι για την φόρτωση των γαιών στο φορτηγό όχημα, ο εκσκαφέας αρχικά εκτελεί φόρτωση των αδρανών υλικών στον κουβά του βραχιονά του, το οποίο επιτυγχάνεται με το κλείσιμο του βραχιονά μέχρι το τέλος της διαδρομής του (τα υλικά ανυψώνονται στο υψηλότερο δυνατό σημείο). Στη συνέχεια εκτελείται μικρή ή μεγαλύτερη περιστροφή και τέλος απόρριψη των υλικών μέσω αντίστοιχης κίνησης ανοίγματος του κουβά. Επομένως για την απόρριψη των αδρανών υλικών κάθε φορά επί φορτηγού οχήματος, εκτελείται μία αλληλουχία κινήσεων, ως εξής:

χειρισμός κλεισίματος κουβά μέχρι το τέλος της διαδρομής του χειριστηρίου → χειρισμός περιστροφής καμπίνας → χειρισμός απελευθέρωσης κουβά, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.

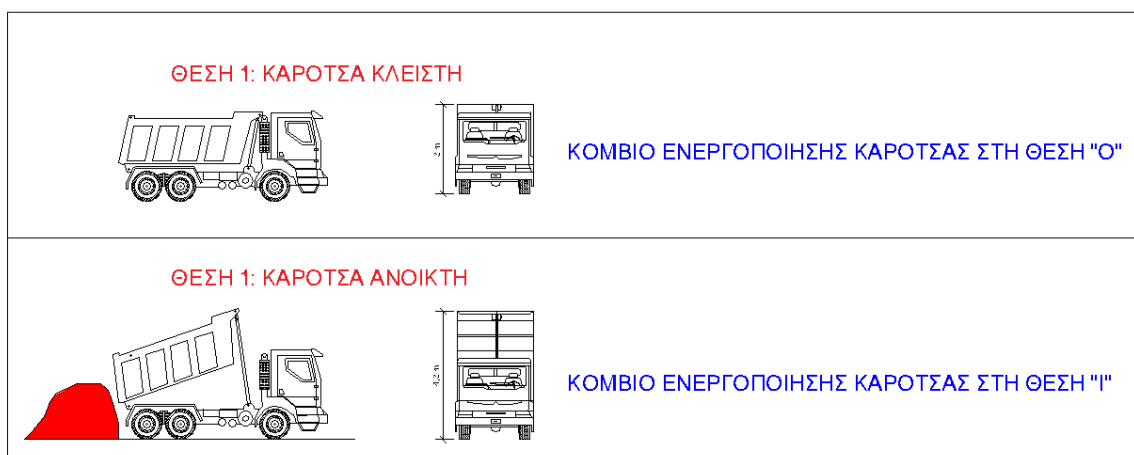
Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η παραπάνω αλληλουχία χειρισμών, με τη σειρά που φαίνεται στο σχήμα 1, ΔΕΝ εκτελείται για καμία άλλη εργασία του εκσκαφέα, πέραν της φόρτωσης γαιών επί φορτηγού οχήματος.

3.1.2 Ανάλυση κινήσεων Φορτηγού οχήματος

Το φορτηγό όχημα διαθέτει σειρά από άξονες τροχών (τριαξονικά – τετραξονικά κλπ.), οι οποίοι εξασφαλίζουν την κίνηση του οχήματος στο επίπεδο Χ – Ψ. Συγχρόνως η ανύψωση της καροσερί, οδηγεί στην απόρριψη των αδρανών υλικών (βλ. σχέδιο XXXX).

Οι κινήσεις που εκτελεί ένα φορτηγό όχημα σε ένα κατασκευαστικό έργο είναι:

- Μεταφορά αδρανών υλικών από το σημείο Α στο σημείο Β
- Απόρριψη των υλικών στο σημείο Β



Σχήμα 2. Ανάλυση κινήσεων φορτηγού οχήματος

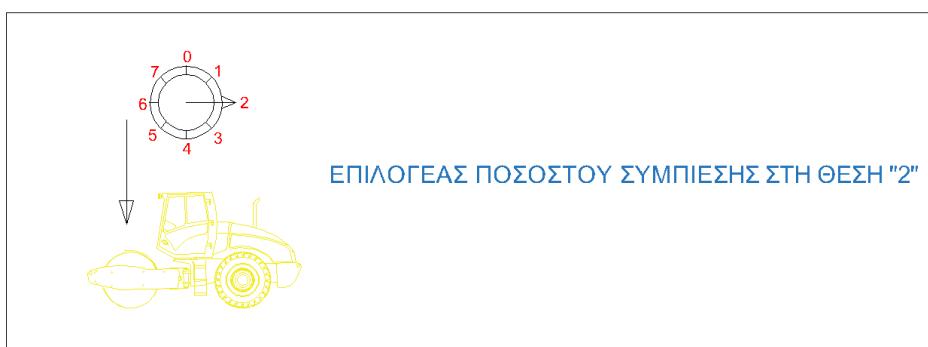
Η κίνηση της απόρριψης, πάντοτε συνοδεύεται με την ανύψωση της καροσερί, βλ. σχήμα 2. Επομένως αν μπορούσαμε να καταγράψουμε τον αριθμό των απορρίψεων που εκτελεί ένα φορτηγό όχημα σε μια ευρύτερη περιοχή απόθεσης αδρανών υλικών, θα είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε το συνολικό όγκο των υλικών που απαιτήθηκε για την κατασκευή του συγκεκριμένου επιχώματος. Για την κίνηση της ανύψωσης της καροσερί, ο οδηγός του οχήματος πιέζει αντίστοιχο μπουτόν (διακόπτης I/O) που βρίσκεται στο ταμπλό χειρισμών.

3.1.3 Ανάλυση κινήσεων Προωθητή γαιών

Ο προωθητής γαιών είναι ένα ερπυστριοφόρο όχημα που φέρει σιδερένιο παραπέτασμα στο μπροστά μέρος, το οποίο χρησιμεύει στην προώθηση των γαιών που απομακρύνει από την επιφάνεια του εδάφους, πάνω στην οποία κινείται. Ουσιαστικά το μηχάνημα αυτό χρησιμοποιείται για την αρχική χάραξη του κατασκευαστικού έργου. Η κίνησή του περιορίζεται μόνο στο επίπεδο X-Y και η προώθησή του από το σημείο A στο σημείο B, στη διάρκεια της ημέρας, είναι η κύρια καταγραφή η οποία αποτυπώνει την παραγωγή του εν λόγω μηχανήματος.

3.1.4 Οδοστρωτήρας

Το μηχάνημα αυτό φέρει μεταλλικό τύμπανο – τροχό, μεγάλης διαμέτρου, ο οποίος συνδέεται με υδραυλικό σύστημα δόνησης. Οι δονήσεις που προκαλούνται, μεταδίδονται στο έδαφος και με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η συμπύκνωση των γαιών και αδρανών υλικών (π.χ. άσφαλτος). Η κίνησή του περιορίζεται στον άξονα X-Y.



Σχήμα 3. Ανάλυση κινήσεων οδοστρωτήρα

Το υδραυλικό σύστημα πρόκλησης δονήσεων, ενεργοποιείται από ηλεκτρικό κλιμακωτό διακόπτη (ροοστάτη), που βρίσκεται εντός της καμπίνας του χειριστήριου.

Η καταγραφή των κινήσεων που θα μας ενδιέφερε για το μηχάνημα αυτό, είναι:

- η προώθησή του, και
- το ποσοστό έντασης του βαθμού συμπίεσης (0-100%), σε κάθε σημείο όπου εκτελείται εργασία συμπύκνωσης γαιών

3.1.5 Υδροφόρο όχημα

Πρόκειται ουσιαστικά για ένα φορτηγό όχημα το οποίο φέρει και βυτίο μεταφοράς νερού. Στα νέας τεχνολογίας υδροφόρα οχήματα, η απόρριψη του νερού γίνεται μέσω ηλεκτροβάνας η οποία ενεργοποιείται από κομβίο που βρίσκεται στο χειριστήριο του μηχανήματος.

Σχετικά με τις παραμέτρους καταγραφής που μας ενδιαφέρουν, ισχύει ότι αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.1.2 για το φορτηγό όχημα, μόνο που στην περίπτωση αυτή μας ενδιαφέρει κυρίως η ποσότητα του απορριπτόμενου νερού.

3.2 Εργοταξιακές ομάδες εργασίας (clusters) & χρήσιμοι παράμετροι καταγραφής

Για να είμαστε σε θέση να απεικονίσουμε τις βασικές εργασίες που εκτελούνται σε ένα κατασκευαστικό έργο, οπότε και να εξάγουμε πολύτιμα συμπεράσματα για την πρόοδο του έργου, θα πρέπει να ανιχνεύσουμε την φύση της κάθε εργασίας και να καταγράψουμε τα κύρια μηχανήματα έργου που την εκτελούν. Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα παράγραφο καλούμαστε να δώσουμε απάντηση στα ερωτήματα:

- Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν οι εργασίες ενός κατασκευαστικού έργου υποδομών;
 - Ποια μηχανήματα συμμετέχουν στην κάθε κατηγορία;
 - Ποιες βασικές κινήσεις εκτελούν;
 - Με τι είδους καταγραφή θα μπορούσαμε να εξάγουμε πολύτιμα συμπεράσματα – δεδομένα (data) προς επεξεργασία;
 - Πως τα παραπάνω δεδομένα, θα μετατραπούν σε δείκτες εξέλιξης του έργου;
- Ας δούμε όμως μερικές βασικές κατηγορίες εργασιών που εκτελούνται σε ένα κατασκευαστικό έργο υποδομής:

3.2.1 Διανοίξεις (π.χ. οδοποιίας)

Πρόκειται για μια από τις πιο κοινές εργασίες σε έργα υποδομής, ενώ συγχρόνως είναι η εργασία με την οποία συνήθως ξεκινούν τα έργα (starting work). Η εργασία εκτελείται κυρίως από τον προωθητή γαιών (Bulldogger), ενώ υποστηρικτικά συμβάλουν οι εκσκαφείς και τα φορτηγά οχήματα, για την απομάκρυνση των φυτικών γαιών που συσσωρεύονται από τον προωθητή (bulldogger). Οι βασική παράμετρος ένδειξης της εξέλιξης της συγκεκριμένης φάσης είναι η πρόωση του μηχανήματος. Έτσι, καταγράφοντας την θέση (συντεταγμένες) του κύριου μηχανήματος, δηλαδή του bulldogger, μπορούμε να αποτυπώσουμε:

- Την πρόοδο των εργασιών σε ημερήσια – εβδομαδιαία – μηνιαία βάση

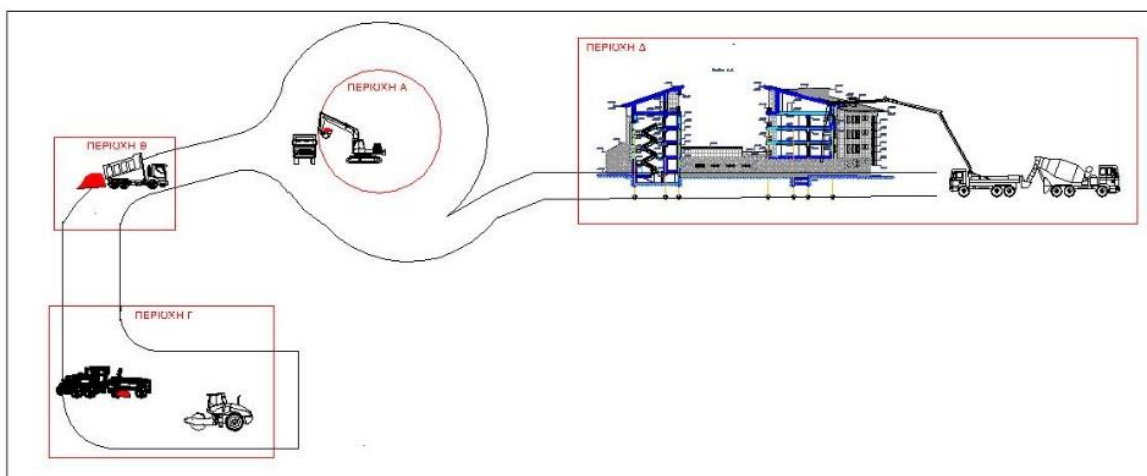
- Την παραγωγή του συγκεκριμένου χειριστή του μηχανήματος
- Την πρόβλεψη για το πότε πρόκειται να ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη εργασία (συγκρίνοντας με το σύνολο της διάνοιξης που απαιτείται)

Για την λήψη των χρήσιμων data προτείνεται η τοποθέτηση συστήματος GPS επί του κύριου μηχανήματος της εργασίας, δηλαδή του Bulldozer. Η μονάδα μέτρησης των δεδομένων που θα λαμβάνονται, είναι σε μέτρα (m)

3.2.2 Γενικές εκσκαφές

Σε κάθε κατασκευαστικό έργο και σε διάφορα σημεία αυτού, μεμονωμένα ή παράλληλα, λαμβάνουν χώρα διάφορες εργασίες γενικών εκσκαφών. Αυτές μπορεί να αφορούν την κατασκευή θεμελιώσεων οικοδομημάτων, διαμόρφωση πλατειών, εκσκαφές πρανών οδοποιίας κ.α. Οι εργασίες αυτές εκτελούνται από εκσκαφείς βαρέως τύπου, ενώ τα υλικά εκσκαφής συνήθως (σε ποσοστό άνω του 90%), φορτώνονται και απομακρύνονται από το συγκεκριμένο σημείο.

Επομένως, οι εκσκαφείς συνήθως συνεργάζονται με φορτηγά οχήματα. Για να αποτυπωθεί η παραγωγή της συγκεκριμένης εργασίας, αρκεί να υπολογιστούν οι ποσότητες υλικών εκσκαφής που απομακρύνονται από το εν λόγω σημείο. Η μονάδα μέτρησης της συγκεκριμένης καταγραφής είναι τα m^3 των προϊόντων εκσκαφής. Θεωρώντας ότι ο «κουβάς» του μηχανήματος εκσκαφής έχει συγκεκριμένη χωρητικότητα φόρτωσης αδρανών υλικών, ένας τρόπος καταγραφής τους θα μπορούσε να είναι η επιμέτρηση των απορρίψεων του επί του φορτηγού οχήματος. Επομένως, ένας αισθητήρας επαφής επί του «κουβά» του εκσκαφέα, δίνοντας σήμα εξόδου στο τερματικό άνοιγμά του, θα μπορούσε να είναι μία αξιόπιστη και επαρκής λύση καταγραφής. Η τιμή αυτή θα μπορούσε να συγκριθεί με τη χωρητικότητα της καροσερί του φορτηγού οχήματος.



Σχήμα 4. Σχηματική απεικόνιση ομάδων εργασιών

Έτσι, για παράδειγμα, μια προτεινόμενη καταγραφή στην εργασία αυτή θα μπορούσε να είναι:

- Έστω σημείο A του εργοταξίου
- Αν στο σημείο A προβλέπεται (βάση μελέτης) να εκτελεστούν εργασίες εκσκαφής, και
- Στο σημείο A βρίσκεται ο εκσκαφέας E1, και
- Στο σημείο A βρίσκεται το φορτηγό όχημα Φ1, και
- Οι συντεταγμένες θέσης εκσκαφέα και φορτηγού οχήματος είναι <math><10\text{m}</math>
- => εκτελείται εργασία φόρτωσης προϊόντων εκσκαφής
- Ο κουβάς του εκσκαφέα έχει χωρητικότητα 1m^3
- Ο αισθητήρας επαφής (πλήρους ανοίγματος του κουβά) καταγράφει 15 σήματα
- Υπολογισμός υλικών εκσκαφής προς απομάκρυνση (παράδειγμα = $1\text{m}^3 / \text{σήμα} \times 15 \text{ σήματα} = 15\text{m}^3$)

Οι καταγραφές συγκρίνονται με την χωρητικότητα της καρότσας του φορτηγού οχήματος, π.χ. 17m^3 . If $15 < 17$, then $15\text{m}^3 = \text{correct calculation} \Rightarrow 15\text{m}^3$ απομακρύνθηκαν από το σημείο εκσκαφής A τη χρονική στιγμή t_1

3.2.3 Εργασίες κατασκευής επιχωμάτων

Εργασίες κατασκευής επιχωμάτων εκτελούνται σε επιλεγμένα σημεία ενός εργοταξίου, όπου το υψόμετρο του φυσικού εδάφους υπολείπεται του υψομέτρου που προβλέπει η μελέτη. Στα σημεία αυτά πρέπει να γίνει μεταφορά – απόθεση – διάστρωση & συμπύκνωση αδρανών υλικών. Η διάστρωση και η συμπύκνωση γίνεται συνήθως τμηματικά (ανά 20 εκατοστά), ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο αντοχής της κατασκευής.

Ένας δείκτης μέτρησης του σταδίου εξέλιξης της κατασκευής είναι η μέτρηση των υλικών επίχωσης που αποτίθενται στο σημείο αυτό, με μονάδα μέτρησής τους τα m^3 . Η μεταφορά γίνεται με φορτηγά οχήματα συγκεκριμένης δυναμικότητας μεταφοράς ανά όχημα. Η προσμέτρηση των ανατροπών της καροσερί των οχημάτων στο συγκεκριμένο σημείο, με αισθητήρα επαφής που θα ενεργοποιείται με κάθε ανατροπή της καρότσας, θα δώσει τη ζητούμενη χρήσιμη πληροφορία.

Παράδειγμα καταγραφής προόδου κατασκευής επιχωμάτων:

- Έστω σημείο B του εργοταξίου όπου προβλέπεται (βάση της μελέτης) η κατασκευή επιχώματος
- Το φορτηγό όχημα Φ₁, με χωρητικότητα μεταφοράς 18m^3 , εισέρχεται στο σημείο B
- Ο αισθητήρας επαφής (που ενεργοποιείται με το άνοιγμα της καρότσας) δίνει σήμα
- => έγινε απόθεση 18m^3 στο σημείο B
- Τα αδρανή αυτά υλικά προστίθενται στα υλικά που έχουν τοποθετηθεί στο σημείο αυτό από την έναρξη της εν λόγω εργασίας.
- Υπολογίζεται το σύνολο SUM(B)

- Βάση γεωτεχνικής μελέτης, η συνολική ποσότητα των υλικών επίχωσης στο σημείο Β είναι 5000m³
- Συγκρίνεται το SUM(B) vs 5000 m³
- Λαμβάνεται στη συνέχεια το ποσοστό ολοκλήρωσης της εν λόγω εργασίας

3.2.4 Εργασίες συμπύκνωσης γαιών

Οι εργασίες συμπύκνωσης γαιών λαμβάνουν χώρα σε διάφορα σημεία του έργου (υπόστρωμα θεμελίωσης οικοδομήματος, υπόστρωμα οδοστρώματος, κατασκευή επιχωμάτων κ.α.). Η εργασία γίνεται με τη βοήθεια των μηχανημάτων Οδοστρωτήρα, Grader & Υδροφόρας.

Για να επιτευχθούν τα αναμενόμενα αποτελέσματα αντοχής, η συμπύκνωση πρέπει να γίνεται ανά 20εκ. και να περιλαμβάνει απαραίτητως την ύπαρξη συγκεκριμένου ποσοστού υγρασίας στα υλικά που αναμένεται να δεχθούν την πίεση του οδοστρωτήρα. Στην συνέχεια το δονητικό μηχάνημα εφαρμόζει συγκεκριμένη πίεση, με αποτέλεσμα το υλικό να αποκτήσει ομοιομορφία και συνεκτικότητα.

Η κρίσιμη παράμετρος στην περίπτωση αυτή (σχετίζεται πιο πολύ με την εξασφάλιση ποιότητας αλλά και με το κόστος), είναι η ύπαρξη της απαιτούμενης υγρασίας. Έτσι, σε περιόδους όπου η υγρασία της ατμόσφαιρας είναι σχετικά υψηλή (ασθενής βροχή), καλό θα ήταν (για οικονομικούς λόγους) να μην γίνεται διαβροχή των πρωτογενών υλικών με υδροφόρο όχημα. Αντιθέτως, όταν επικρατούν ιδιαίτερα ξηρές ατμοσφαιρικές συνθήκες, ίσως απαιτείται η διαβροχή με περισσότερα του ενός οχημάτων υδροφόρας. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι στα κατασκευαστικά έργα εκτελούνται δειγματοληπτικοί έλεγχοι μέτρησης του ποσοστού συμπύκνωσης, συνήθως από τρίτο, ανεξάρτητο φορέα και τα αποτελέσματα αρχειοθετούνται στο φάκελο ποιότητας έργου. Σε περίπτωση που ένα δείγμα αστοχήσει (μικρότερη συμπύκνωση από την προβλεπόμενη), τότε ο εργολάβος υποχρεούται να αποξηλώσει όλο το επίχωμα, να ακολουθήσει νέα ανάμιξη του υλικού, νέα διάστρωση & διαβροχή και τέλος νέα συμπύκνωση. Το κόστος της συγκεκριμένης διόρθωσης είναι συνήθως τριπλάσιο της αρχική εργασίας.

Ένα παράδειγμα ελέγχου των εργασιών διαβροχής στο σημείο συμπύκνωσης γαιών θα μπορούσε να είναι:

- Στο σημείο Γ, γίνεται συμπύκνωση γαιών
- Μέτρηση της υγρασίας των αδρανών υλικών συμπύκνωσης στο σημείο φόρτωσής τους
- Αν το ποσοστό υγρασίας είναι χαμηλό (π.χ. <60%)
- Απαιτείται η πλήρης ενεργοποίηση των μηχανημάτων διαβροχής (π.χ. 2 υδροφόρες στο συγκεκριμένο σημείο)

- Σε διαφορετική περίπτωση (ποσοστό υγρασίας αδρανών υλικών >60%), απαιτείται διαβροχή από λιγότερα μηχανήματα, ενώ σε πολύ υψηλά ποσοστά υγρασίας ενδεχομένως να μην απαιτείται καθόλου διαβροχή

Και για το μηχάνημα του οδοστρωτήρα:

- Το «τύμπανο» του οδοστρωτήρα ενεργοποιείται από περιστροφικό διακόπτη, ο οποίος με τη σειρά του δίνει εντολή σε υδραυλικό σύστημα δόνησεων. Καταγράφουμε σε ημερήσια βάση τη «θέση» του διακόπτη ενεργοποίησης τυμπάνου
- Καταγραφή των γεωδαιτικών συντεταγμένων του οδοστρωτήρα σε διάστημα μιας ημέρας
- Η σύγκριση των δύο παραπάνω μετρήσεων θα υπολογίζει σε ποια σημεία η συμπίκνωση έγινε με πλήρες φορτίο δόνησης και σε ποια σημεία η συμπίκνωση έγινε με μερικό φορτίο δόνησης

3.2.5 Εργασίες σκυροδέτησης

Το σκυρόδεμα είναι ένα αρκετά ευπαθές υλικό, όπου απαιτεί ειδικές συνθήκες μεταφοράς και τοποθέτησης εντός του ξυλότυπου (ξυλότυπος ή μεταλλότυπος = καλούπι). Βάση του Ελληνικού Κτιριοδομικού Κανονισμού, (διαφορετικού για κάθε κράτος της ΕΕ), προβλέπεται η μεταφορά του σκυροδέματος να γίνεται σε ειδικά οχήματα μεταφοράς (μπετονιέρες) και να μην υπερβαίνει το χρονικό διάστημα των 45min ανάμεσα στην παρασκευή και την τοποθέτησή του. Επίσης κατά την τοποθέτηση είναι απαραίτητη η ύπαρξη δονητικού μηχανήματος, το οποίο εξασφαλίζει την απρόσκοπτη ροή σε όλο το μεταλότυπο και τη διέλευσή του μέσω του σιδηροπλισμού της κατασκευής. Τέλος ο Κτιριοδομικός Κανονισμός προδιαγράφει την απαγόρευση σκυροδετήσεων σε ακραία καιρικά φαινόμενα και πιο συγκεκριμένα σε θερμοκρασίες μικρότερες των -5°C και μεγαλύτερες των 42°C .

Το σύστημα καταγραφής – ελέγχου που προτείνεται για αυτή την εργασία είναι:

- Στο σημείο Δ, εκτελείται εργασία σκυροδέτησης,
- Το παρασκευαστήριο σκυροδέματος βρίσκεται στο σημείο Π
- Το όχημα μεταφοράς σκυροδέματος ΜΠ₁ (μπετονιέρα 1) εκτελεί τη διαδρομή Δ – Π.
- Καταγραφή χρονικής στιγμής απομάκρυνσης από το σημείο Π (έστω t_1)
- Καταγραφή χρονικής στιγμής έλευσης στο σημείο Δ (έστω t_2)
- Υπολογισμός χρονικού διαστήματος μεταφοράς ($t_2 - t_1$)
- Αν $t_2 - t_1 < 45\text{min}$ then OK, if not => alarm

Επίσης στη συγκεκριμένη εργασία θα μπορούσαμε να εκτελέσουμε τον ακόλουθο αλγόριθμο καταγραφής:

- Στο σημείο Δ (σημείο εκτέλεσης εργασιών σκυροδέτησης), προβλέπεται βάση μελέτης να σκυροδετηθούν π.χ. 150m^3 σκυροδέματος

- Συνολική άθροιση των οχημάτων μεταφοράς σκυροδέματος την ημέρα σκυροδέτησης, π.χ. 19
- Άθροιση των ζυγολογιών του κάθε οχήματος, π.χ. ($ΜΠ_1 \times 8m^3$ την χρονικής στιγμή t_1 + $ΜΠ_2 \times 7,6m^3$ (t_2) + ... +=SUM ΜΠ (=Συνολική ποσότητα μεταφερόμενου σκυροδέματος)
- If SUMΜΠ<150 (+-5%), then OK, if NOT=>alarm

4. ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 Γενικά χαρακτηριστικά δικτύου – Παράμετροι σχεδιασμού

Βασική προϋπόθεση για την επιτυχή εφαρμογή ενός δικτύου είναι ο σωστός σχεδιασμός του, ανταποκρινόμενος πλήρως στις ανάγκες των χρηστών του. Επομένως, το αρχικό στάδιο μελέτης πρέπει οπωσδήποτε να περιλαμβάνει την καταγραφή των αναγκών των χρηστών και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του δικτύου, εφόσον απαιτούνται. Η διαδικασία αυτή καταγραφής αναμένεται να προσδιορίσει τις παραμέτρους σχεδιασμού του και να οδηγήσει στην τελική επιλογή των hardware & software.

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης μελέτης εφαρμογής, το δίκτυο μετάδοσης δεδομένων θα πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Ασύρματη μετάδοση δεδομένων: Τα μηχανήματα έργου κινούνται σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις (5-10Km), οπότε απαραίτητως το σχεδιαζόμενο δίκτυο πρέπει να προσφέρει τη δυνατότητα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων εντός της εμβέλειας αυτής

Λήψη δεδομένων σε απομακρυσμένους χρήστες: Τα δεδομένα δεν αρκεί να καταγράφονται σε τοπικό server. Επιθυμητό θα ήταν να υπάρχει η δυνατότητα λήψης των δεδομένων σε απομακρυσμένους χρήστες, ώστε η επεξεργασία τους (απεικόνιση – υπολογισμοί – μελέτες προβλέψεων) να γίνεται από εξειδικευμένους μελετητές – αναλυτές δεδομένων (data analyst), οι οποίοι να μην είναι υποχρεωμένοι να βρίσκονται στο σημείο εκτέλεσης του έργου. Πρόκειται επομένως για μια εργασία που ενδεχομένως δεν θα γίνεται on – site. Ενδέχεται επίσης, ο αναλυτής να διαχειρίζεται περισσότερα του ενός έργα κατασκευής. Όπως θα δούμε άλλωστε και στη συνέχεια, η ανάλυση δεδομένων πρέπει να γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού προγραμματισμού π.χ. Python, Matlab κλπ.

Εξοικονόμηση ενέργειας: Σε ένα κατασκευαστικό έργο ενδέχεται να εργάζονται 40-50 μηχανήματα έργου. Η λήψη και η μετάδοση δεδομένων πρέπει να γίνονται με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, καθώς η επιμέλεια για την ενεργειακή τροφοδοσία των επιμέρους πομπών και δεκτών του δικτύου μπορεί να αποδειχθεί μια αρκετά δαπανηρή & επίπονη διαδικασία, η οποία εντέλει να καταστήσει ασύμφορη την εφαρμογή.

Κόστος: Το κόστος είναι μια βασική παράμετρος επιτυχίας οποιουδήποτε project. Στην περίπτωσή μας το συνολικό κόστος περιλαμβάνει το κόστος αγοράς του εξοπλισμού, μελέτης, εφαρμογής – παραμετροποίησης, συντήρησης και τέλος το κόστος επεξεργασίας δεδομένων. Όσο απλούστερος είναι ο σχεδιασμός του και όσο οι επιλογές του εξοπλισμού (hardware) βασίζονται σε διαδεδομένες εμπορικές λύσεις, το συνολικό κόστος θα περιορίζεται στο ελάχιστο.

Γνωστικό επίπεδο: Μια αδιαμφισβήτητα σημαντική παράμετρος είναι το επιστημονικό υπόβαθρο του προσωπικού που θα σχετίζεται, με τη λειτουργία κυρίως, της εφαρμογής. Τα

δίκτυα μετάδοσης δεδομένων, συμπεριλαμβάνονται στους ταχύτατα εξελισσόμενους κλάδους, με ιδιαίτερες προοπτικές τεχνολογικών ανακαλύψεων τα προσεχή χρόνια. Το γεγονός αυτό επιβαρύνει τα project δικτύων, με την σχετικά σύντομη απαξίωσή τους, λόγω των νέων τεχνολογικών ανακαλύψεων. Επίσης οι πιο πρόσφατες τεχνολογίες στερούνται υποστήριξης, κατάλληλα ενημερωμένου επιστημονικού προσωπικού και σχετικής βιβλιογραφίας. Μια επιτυχημένη εφαρμογή πρέπει να συνδυάζει σύγχρονες τεχνολογίες με πολλές δυνατότητες, απλής ωστόσο εφαρμογής, ώστε να είναι ιδιαίτερα προσιτή στους χρήστες της.

4.2 Επιλογή πρωτοκόλλου επικοινωνίας

Η ανθρωπότητα βρίσκεται στο κατώφλι μιας νέας βιομηχανικής επανάστασης, που χαρακτηρίζεται από την ευφυή εκμάθηση/αυτό-εκπαίδευση των ίδιων των Μηχανών (Machine Learning), την επιστήμη των Δεδομένων (Data Science) και την Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) που συνδυαστικά δημιουργούν προκλήσεις και ευκαιρίες.² Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η επικοινωνία των συσκευών μεταξύ τους και η ανταλλαγή δεδομένων. Όμως, τι δεδομένα ανταλλάσσονται, από ποιους συλλέγονται και με ποιο τρόπο πραγματοποιείται η ζεύξη των συσκευών; Αυτά είναι 3 σημαντικά ερωτήματα που τίθενται στη βάση σχεδιασμού κάθε δικτύου. Έτσι, για παράδειγμα, μία συσκευή ενός εργοστασίου που ενεργοποιείται με την πλήρωση μιας δεξαμενής ή ενός ιμάντα μεταφοράς προϊόντων, επικοινωνεί μέσω ενός δικτύου profibus, ενώ τα σήματα επεξεργάζονται από μία κεντρική μονάδα PLC. Εντελώς διαφορετική φιλοσοφία σχεδιασμού διέπει ένα δίκτυο παρακολούθησης εμποροκιβωτίων.

4.2.1 Διαθέσιμα δίκτυα ασύρματης επικοινωνίας

Τα κυριότερα ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας που υπάρχουν στην αγορά είναι τα εξής:

- LoRa
- SigFox
- Ingenu
- LTE M2M
- Symphony Link
- NB IoT
- Weightless

² www.liberal.gr, 4^η Βιομηχανική επανάσταση, Θεοφάνης Παπαδόπουλος

4.2.1.1 LORA

Η τεχνολογία LORA είναι μια καινοτόμα τεχνολογία για την ασύρματη ζεύξη συσκευών που ανταλλάσσουν πακέτα δεδομένων. Επινοήθηκε από την γαλλική εταιρία Cycleo, η οποία στη συνέχεια εξαγοράστηκε από την Semtech. Τα δίκτυα τεχνολογίας LORA, μαζί με τα δίκτυα Sigfox, συγκαταλέγονται στα δημοφιλέστερα της αγοράς και κατέχουν σήμερα περίπου το 25%³.

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι το LoraWAN και προδιαγράφεται από την εταιρία LORALLIANCE . Πρόκειται για ένα αρκετά σύγχρονο πρωτόκολλο, που εξασφαλίζει την επικοινωνία συσκευών οι οποίες βρίσκονται σε κίνηση (mobile devices) και καταναλώνουν λίγη ενέργεια (low power). Όπως προδιαγράφει το πρωτόκολλο αυτό, που στηρίζεται στις αρχές του πρωτοκόλλου ALOHA, η επικοινωνία γίνεται με την ανταλλαγή κωδικοποιημένων πακέτων, χωρίς να υπόκεινται σε καθεστώς αδειών χρήσης (open license). Χρησιμοποιεί την τεχνολογία CSS (Chirped Spread Spectrum)⁴, η οποία υποστηρίζεται από τον ψηφιακό επεξεργαστή σήματος SX1301, κατασκευής του οίκου Semtech, ενώ το κύριο χαρακτηριστικό των δικτύων Lora, είναι το ιδιαίτερα χαμηλό κόστος κτήσης του ηλεκτρονικού εξοπλισμού και η σχετικά εύκολη τοποθέτηση και η παραμετροποίηση διασύνδεσης των συσκευών επικοινωνίας. Ωστόσο, δεν υποστηρίζεται η ασύρματη *αναβάθμιση* του λογισμικού των συσκευών εκπομπής.

Στα μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου συγκαταλέγονται η αδυναμία μετάδοσης μεγάλου όγκου πακέτων (π.χ. videos, VoIP), bandwidth μόλις στα 51 bytes/message, και η ασύγχρονη σειριακή διασύνδεση ⁵, με περιορισμένη δυνατότητα επιβεβαίωσης των πακέτων αποστολής, με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντικός κίνδυνος απώλειας ορισμένων πακέτων. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι σύμφωνα με την έκδοση της Link Labs με τίτλο «Symphony Link vs LoraWan», απώλειες πακέτων της τάξεως του 50% στα δίκτυα πρωτοκόλλου LORAWAN, είναι συνηθισμένες⁶.

Η αρχιτεκτονική του δικτύου με τη χρήση του πρωτοκόλλου Lora, βασίζεται στην ακόλουθη «φιλοσοφία»:

³ «Comparison of 6LoWPAN and LPWAN for the internet of Things», Australian Journal of Electric & Electronics Engineering, 2017, Al-Kashoasha and Andrew Kemp

⁴ CSS: τεχνολογία εκπομπής ραδιοσημάτων που βασίζεται στην δημιουργία σημάτων γραμμικά μεταβαλλόμενης συχνότητας για την κωδικοποίηση σημάτων.

⁵ Asynchronous serial communication: Η κωδικοποίηση του χρόνου εκπομπής του κεντρικού δέκτη, δεν ταυτίζεται με την αντίστοιχη των πομπών

⁶ «Symphony Link vs LoraWan», Link Labs, εκδ. 2016, σελ. 3, παρ. «Guaranteed message receipt»

- Πακέτα δεδομένων στέλνονται ασύρματα από τους πομπούς (End device or Node). Τα πακέτα μπορεί να περιλαμβάνουν από δεδομένα αισθητηρίων οργάνων μέχρι και συντεταγμένες θέσεων κλπ.
- Gateways ή αλλιώς δέκτες, είναι ουσιαστικά κεραιές που χρησιμεύουν στην επικοινωνία (παραλαβή αλλά και αποστολή των πακέτων δεδομένων) με τους πομπούς (nodes)
- Κεντρικοί Network Servers συνδέονται με τους δέκτες (gateways), με σύνδεση κλασσικής επικοινωνίας π.χ. Ethernet ή Cloud, αναλαμβάνοντας την αποστολή των πακέτων στους χρήστες της πλατφόρμας

Η συχνότητα εκπομπής των δικτύων LORAWAN στην Ευρώπη είναι στα 863-870 MHz και είναι «ανοιχτή», πράγμα που σημαίνει ότι ο ιδιοκτήτης – σχεδιαστής του δικτύου δεν επιβαρύνεται με επιπρόσθετες χρεώσεις για την εκπομπή και λήψη πακέτων επικοινωνίας στη συχνότητα αυτή.

Το εύρος κάλυψης της ασύρματης επικοινωνίας των δικτύων Lora, κυμαίνεται από 2 – 5 Km σε αστικές περιοχές και 15km σε αγροτικές ή ανοιχτών χώρων περιοχές.

Περιορισμός στη μετάδοση μηνυμάτων: max 1% του χρόνου

4.2.1.2 SIGFOX

Η τεχνολογία Sigfox κατέχει την πρώτη θέση παγκοσμίως στο IoT. Η τεχνολογία έχει αναπτύξει ένα λογισμικό (software), το οποίο επιτρέπει την λήψη απ' ευθείας στο cloud των δεδομένων εκπομπής (data). Έτσι, δεν απαιτείται μεγάλο κόστος επένδυσης, καθώς δεν είναι απαραίτητη η εγκατάσταση υποδομών λήψης δεδομένων (κεραίες, δέκτες κλπ.). Τα δίκτυα SigFox, εκπέμπουν στη συχνότητα των 869MHz (για την Ευρώπη), ενώ τα σήματα εκπομπής ανήκουν στην κατηγορία των ultra Narrow Band Radio (bandwidth στα 100 – 200Hz). Η φιλοσοφία των δικτύων SigFox στηρίχτηκε σε ένα αρκετά ελαφρύ (Light) λογισμικό, που να διαχειρίζεται μικρά μηνύματα (payload μόλις 12Bytes ανά πακέτο) και με περιορισμό στη μετάδοση του αριθμού μηνυμάτων ανά ημέρα (140packets/day). Εξίσου χαμηλή είναι και η ταχύτητα μετάδοσης (κυρίως οφείλεται στο μικρό όγκο των πακέτων) και ανέρχεται στα 100bps(data rate). Τα μικρού μεγέθους μηνύματα όμως, σημαίνει συνάμα και μικρή κατανάλωση ενέργειας, επομένως και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Στο σχεδιασμό τους, στα ασύρματα δίκτυα SigFox, τα δεδομένα εκπομπής μπορούν να παραληφθούν από πολλούς δέκτες συγχρόνως, σε αντίθεση με τα πρωτόκολλα των δικτύων 3G, όπου η κάθε συσκευή επικοινωνεί με μία βάση. Στα μειονεκτήματα των δικτύων τεχνολογίας Sigfox, συγκαταλέγεται η αδυναμία υποστήριξης δεδομένων GPS, και η αδυναμία υποστήριξης μετακινούμενων nodes (no mobility support).

Δυστυχώς, παρότι τα δίκτυα SigFox βρίσκουν μεγάλη διάδοση παγκοσμίως σε εφαρμογές κυρίως smart city, ΔΕΝ υποστηρίζονται στην Ελλάδα. Για το λόγο αυτό, αλλά και για την αδυναμία υποστήριξης Mobility nodes, δεν περιλαμβάνονται στις υποψήφιες προτάσεις της εφαρμογής μας.

4.2.1.3 INGENEU

Η Αμερικάνικη εταιρία On-Ramp Wireless, η οποία στη συνέχεια μετονομάστηκε σε INGENU, ξεκίνησε να κατασκευάζει ασύρματα δίκτυα μετάδοσης δεδομένων για την αξιοποίησή τους στην αγορά πετρελαίου (Oil & Gas Market). Τα δίκτυα INGENU, έχουν την ίδια φιλοσοφία με τα δίκτυα Sigfox, δηλαδή αποστολή δεδομένων σε κεντρικό δίκτυο, με τη μόνη διαφορά ότι σχεδιάστηκαν για την απευθείας ζεύξη ανάμεσα σε συσκευές (Machine to Machine), αξιοποιώντας την ασύρματη τεχνολογία RPMA. Εκπέμπουν στα 2,4GHZ, στην ίδια δηλαδή συχνότητα με τα δίκτυα WiFi & Bluetooth, με αποτέλεσμα να δέχονται κάποιες παρεμβολές από αυτά. Διαθέτουν μεγάλη ταχύτητα 625 kbps – uplink (125kbps in downlink), προσφέροντας τη δυνατότητα διασύνδεσης πολλών συσκευών ανά δέκτη. Διαθέτουν επίσης την καλύτερη απόδοση σε αισθητήρια τα οποία βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές (άριστη διεύθυνση εντός οικοδομικών κτιρίων). Το πρωτόκολλο επικοινωνίας που στηρίζεται στα δίκτυα Ingeu, έχει τη δυνατότητα αμφίδρομης (και με τα ίδια χαρακτηριστικά uplink-downlink characteristics) επικοινωνίας των συσκευών, επιβεβαίωσης όλων των μηνυμάτων, αποστολής μηνυμάτων σε πολλούς συγχρόνως λήπτες (broadcast capability) και κωδικοποίησης των μηνυμάτων με 128 τουλάχιστον bits για λόγους ασφαλείας (security encryption). Σε σύγκριση με τις άλλες τεχνολογίες είναι πιο ενεργοβόρες (λόγω της μεγαλύτερης ταχύτητας) και έχουν μικρότερη κάλυψη, μόλις 5-6km (οφείλεται στην υψηλή συχνότητα εκπομπής των 2,4GHz).

Και στην περίπτωση αυτή όπως και στα δίκτυα SigFox, δεν υποστηρίζονται στην Ελλάδα, επομένως δεν λαμβάνονται υπόψη σαν υποψήφια λύση στο σχεδιαζόμενο δίκτυο.

4.2.1.4 LTE M2M

Η συντομογραφία LTE-M2M ή αλλιώς LTE-M αναφέρεται στον όρο της διεθνούς βιβλιογραφίας ως Long Term Evaluation Machine to Machine Communication. Κάνει χρήση του δικτύου GSM, για τη απευθείας ζεύξη συσκευών σε δίκτυο 4G. Πρόκειται για μία αρκετά πρόσφατη τεχνολογία (αναπτύχθηκε μόλις το 2017) και αναμένεται να καλύψει τις ζητούμενες συνδέσεις μέσω των παρόχων υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας. Βρίσκει ιδιαίτερη εφαρμογή σε βιομηχανικό περιβάλλον, καθώς οι συσκευές επικοινωνούν μέσω του δικτύου WiFi και στη συνέχεια τα πακέτα πληροφοριών μεταβιβάζονται μέσω της σύνδεσης που διαθέτει η βιομηχανία σε όλους τους τελικούς χρήστες της υπηρεσίας.

Το 2020 εμφανίστηκαν στην αγορά τα δίκτυα 5G, που εστιάζουν περισσότερο στην χωρητικότητα και στα πακέτα αποστολής, παρά στις ταχύτητες σύνδεσης. Αυτό δίνει ιδιαίτερη ώθηση στην τεχνολογία LTE M2M.

Δυστυχώς, η υπηρεσία δεν είναι ακόμα εφαρμόσιμη από τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας που δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα και για το λόγο αυτό δεν συμπεριλαμβάνεται στις προσφερόμενες προτάσεις σχεδιασμού.

4.2.1.5 SYMPHONY LINK

Ένα παρόμοιο πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι το Symphony Link⁷. Στηρίζεται στην ίδια φιλοσοφία με το LoRa, διαθέτει παρόμοιες συσκευές επικοινωνίας (πομποί – δέκτες), ωστόσο διαφέρει στα ακόλουθα σημεία:

- Αναμεταδότες⁸ προσαρμόζονται ευκολότερα και με λιγότερες ανάγκες αναβάθμισης του firmware των συσκευών, στο δίκτυο Symphony Link. Μπορούμε έτσι να επεκτείνουμε το δίκτυο, ευκολότερα και με μικρότερο κόστος
- Το δυναμικό εύρος (dynamic range) στις τεχνολογίες LoRa, περιορίζεται στα 20dB. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, όταν συγχρονίζονται οι αποστολές πακέτων από 2 διαφορετικούς πομπούς. Αυτό σημαίνει ότι στα δίκτυα που σχεδιάζονται με βάση το πρωτόκολλο LoRa, όταν ένας πομπός που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από το δέκτη, στείλει ένα μήνυμα την ίδια χρονική στιγμή με ένα μακρινό πομπό, τότε το σήμα του κοντινού δέκτη θα ληφθεί σε προτεραιότητα σε σχέση με το αντίστοιχο του μακρινού δέκτη, με αποτέλεσμα να υπάρχει και μεγάλος κίνδυνος απώλειάς του. Το πρωτόκολλο Symphony Link, πριν την αποστολή κάποιου πακέτου, υπολογίζει το χρόνο λήψης του μηνύματος επιβεβαίωσης από τον δέκτη, και προσαρμόζει αναλόγως την ένταση του μηνύματος. Έτσι «κοντινά» και «μακρινά» πακέτα, θα φτάσουν στον δέκτη με την ίδια ισχύ σήματος.
- Το δίκτυο LoraWan, είναι δωρεάν για το βασικό πακέτο όπου περιλαμβάνει 1 πύλη (gateway) και 10 πομπούς (nodes), ενώ το πακέτο αυτό δεν υποστηρίζει υπηρεσίες LoRa GeoLocation⁹. Το πακέτο που προσαρμόζεται στις ανάγκες της υπηρεσίας μας, είναι το «private instance», η τιμή του οποίου ανέρχεται στις 20.000€/ετησίως¹⁰, εντούτοις το

⁷ <https://www.link-labs.com/symphony>

⁸ Ο αγγλικός όρος είναι repeaters

⁹ <https://www.loriot.io/pricing.html>

¹⁰ «Symphony Link vs LoraWan», Link Labs, εκδ. 2016, σελ. 5, παρ. 2

μεγάλο πλεονέκτημά του είναι ότι το δίκτυο Symphony Link δεν επιβαρύνει το σχεδιαστή – κάτοχο με κάποιο κόστος συνδρομής (π.χ. ετήσιο ή μηνιαίο).

4.2.1.6 NBIOT

Τον κόσμο του Internet of Things (IoT) παρουσίασε πρώτη στην Ελλάδα η COSMOTE σε συνεργασία με τη Deutsche Telekom και τη Huawei. Η COSMOTE επενδύει στην τεχνολογία Narrow-Band Internet of Things. Μέσω του NB-IoT, η διασύνδεση μεταξύ συσκευών όπως αισθητήρες, αυτοκίνητα, ρομπότ κ.λπ., γίνεται ευκολότερα και με χαμηλότερο κόστος, καθώς δεν απαιτείται η χρήση ειδικού εξοπλισμού. Υπερτερεί σημαντικά σε ποιότητα και ασφάλεια σε σχέση με άλλες τεχνολογίες IoT, αφού η μετάδοση δεδομένων γίνεται μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας, γεγονός που επιτρέπει και ευρεία κάλυψη των συσκευών επικοινωνίας (σε εσωτερικούς & εξωτερικούς χώρους).

Η COSMOTE έχει ξεκινήσει να εφαρμόζει πιλοτικά προγράμματα Internet of Things σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας. Η αρχή έγινε με τη Χαλκίδα και την Πάτρα, όπου η COSMOTE συμμετείχε στο πιλοτικό πρόγραμμα «έξυπνη πόλη». Στις δύο αυτές πόλεις εφαρμόστηκε ένα σύστημα smart parking και smart lighting.

Το NB-IoT πρόκειται όμως να αναβαθμιστεί ακόμα περισσότερο, προκειμένου να συμπεριλάβει μεθόδους εντοπισμού θέσης, περιαγωγής, υπηρεσιών μετάδοσης πολυμέσων και πολλών ακόμη λειτουργιών, που θα εξελίξουν σημαντικά τις δυνατότητες του Internet of Things¹¹.

Το 2019 η COSMOTE παρουσίασε πληθυσμιακή κάλυψη 95% σε υπηρεσίες NB IoT. Ωστόσο, η γεωγραφική κάλυψη είναι σημαντικά μικρότερη και ως εκ τούτου σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου εστιάζει η εφαρμογή μελέτης, ίσως η υπηρεσία NB IoT να μην είναι διαθέσιμη.

4.2.1.7 WEIGHTLESS¹²

Τα δίκτυα Weightless, όπως άλλωστε μαρτυρεί και η ονομασία τους, σχεδιάστηκαν για την αποστολή δεδομένων λίγων bytes (<48) ανά μήνυμα. Εκπέμπουν στις συχνότητες εκπομπής των τηλεοπτικών σημάτων (470-790MHz), εκμεταλλευόμενες τις «κενές» συχνότητες των καναλιών. Έχουν συγκεκριμένο κόστος άδειας ανά χρήστη (1295,00 USD/developer),

¹¹ <https://www.cosmotesmartliving.gr>

¹² <http://www.weightless.org>

ανεξάρτητα εάν συνδέσει 1 ή 100 συσκευές. Σε σύγκριση με τις άλλες τεχνολογίες, διαθέτει τη μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης (1Mbps στα δίκτυα Wireless-N & 100Mbps στα δίκτυα Wireless-N), ωστόσο επιτρέπει μόνο μια κατεύθυνση διασύνδεσης (only uplink communication). Διαθέτει όλα τα χαρακτηριστικά των LPWAN δικτύων που αναφέρθηκαν στις παραπάνω ενότητες. Δυστυχώς, ούτε τα δίκτυα WEIGHTLESS έχουν εφαρμογή στην Ελλάδα.

4.2.2 Συγκριτικός πίνακας – Επιλογή δικτύου

Ένας συγκριτικός πίνακας αξιολόγησης των παραπάνω διαθέσιμων λύσεων, φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Τεχν/Κριτηρ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ¹³ (data rate)	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (energy cons.) ¹⁴	ΚΑΛΥΨΗ (Range)	Εφαρμογή Στην Ελλάδα	OPEN STANDARD	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ	Duty Cycle Restrictions
LORA	Έως 27kBps	10 year/batt.	15-20km	Ιδιωτικό δίκτυο	Ναι	Μέτρια	1%
SIGFOX	Έως 600Bps	10 year/batt.	30-35km	Όχι	Όχι	Υψηλή	140msg/day
INGENEU	Έως 625kBps	Μέτρια	33mile ² /access point	Όχι	Όχι	Υψηλή	n/a
LTE M2M	Έως 100kBps	Μέτρια	n/a	Ναι μέσω παρόχων κινητής τηλεφ.	Όχι	Υψηλή	n/a
SYMPHONY LINK	Έως 200kBps (4x capacity of LORAWAN)	Χαμηλή	n/a	Ιδιωτικό δίκτυο	Ναι	Υψηλή	1%
NB IoT	250kBps	10 year/batt.	22km	Αστική κάλυψη μέσω 3G-4G	Όχι	Μέτρια	n/a
WEIGHTLESS	100Kbps ¹⁵	Χαμηλή	n/a	Όχι	Ναι	Μέτρια	n/a

Πίνακας 1 Συγκριτικός πίνακας προδιαγραφών σε τεχνολογίες IoT

¹³ Uplink data rate

¹⁴ <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/396/1/012027/pdf>

¹⁵ <https://www.leverage.com/blogpost/comparison-of-lpwan-technologies>

Με βάση τις παραμέτρους σχεδιασμού, όπως αυτές αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 4.1 και λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω επιδόσεις των ασύρματων δικτύων, το πρωτόκολλο που θα υποστηρίξει καλύτερα την εφαρμογή μας είναι το LoRaLPWA. Οι κυριότεροι λόγοι που συντείνουν στην επιλογή αυτή είναι:

- Είναι «ανοιχτού κώδικα» επομένως δεν επιβαρύνεται με επιπρόσθετες χρεώσεις
- Έχει ικανοποιητικό «βεληνεκές» που φτάνει μέχρι και τα 15Km. Σε περίπτωση αδυναμίας κάλυψης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε περισσότερα του ενός gateways
- Είναι δίκτυο ιδιαίτερα χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, κάτι που είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην σχεδιαζόμενη εφαρμογή
- Διαθέτει μεγάλο ποσοστό ελευθερίας στο σχεδιασμό (prototyping design) και δεν περιορίζει καθόλου το χρήστη
- Το σημαντικότερο ίσως μειονέκτημά του είναι ο μικρός όγκος δεδομένων που μπορούν να αποσταλούν. Ωστόσο, αυτός δεν είναι πολύ επιβαρυντικός παράγοντας για την εφαρμογή μας, καθώς τα πακέτα μας θα είναι σχετικά μικρού όγκου, όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο

4.3 Σχεδιασμός δικτύου

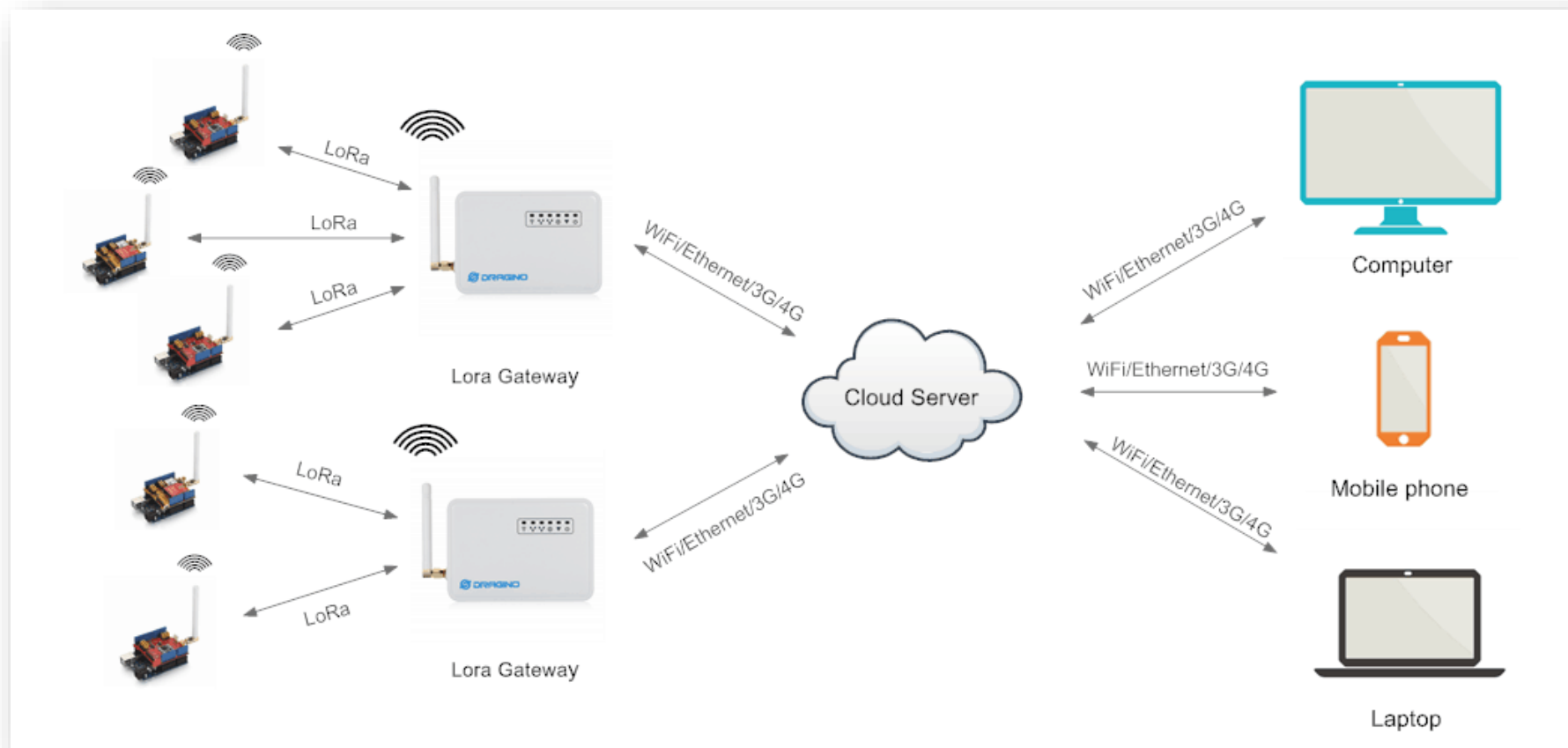
Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, ο βασικός κορμός του δικτύου απαρτίζεται από:

- *Πομπές (nodes)*: Αρχικά λαμβάνουν τα σήματα από τα αισθητήρια όργανα και μεταδίδουν ασύρματα (Over The Air) στο gateway
- *Gateway*: Πρόκειται για transceiver modules με κύρια αποστολή, την αδιάληπτη επικοινωνία με τα nodes και τη μετάδοση των πακέτων μέσω διαδικτύου στον cloud server
- *Cloud server*: Πρόκειται για μια διαδικτυακή πλατφόρμα συλλογής – απεικόνισης και καταγραφής των δεδομένων που συλλέγουν οι αισθητήρες των nodes. Στον Cloud Server, έχουν πρόσβαση μόνο συγκεκριμένοι χρήστες, για λόγους κυβερνοασφάλειας και προστασίας του λογισμικού της εφαρμογής μας. Επίσης, οι συγκεκριμένοι χρήστες μπορούν μέσω ιδιωτικών συσκευών πληροφορικής (laptop, PC, smartphones), να αποθηκεύσουν τα δεδομένα στις προσωπικές τους συσκευές για να εκτελέσουν κάποιο προγραμματισμό.

ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ: Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατεύθυνση της επικοινωνίας σε όλα τα στάδια είναι αμφίδρομη (uplink – downlink). Αυτό σημαίνει ότι εκτός από τη συνηθισμένη ροή των πακέτων πληροφορίας π.χ. από το node προς το gateway, μπορεί να μεταδοθεί πληροφορία και προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν θελήσουμε π.χ. να αλλάξουμε μία ρύθμιση στον προγραμματισμό των nodes. Αν για παράδειγμα θελήσουμε να τροποποιήσουμε τη συχνότητα αποστολής των πακέτων από 1/10sec σε 1/30sec, σε όλα τα μηχανήματα του έργου, αυτό μπορεί να γίνει εύκολα και

απομακρυσμένα από τον σχεδιαστή του δικτύου. Σε διαφορετική περίπτωση ο προγραμματιστής θα έπρεπε να επισκεφθεί όλες τις συσκευές, να συνδέσει το laptop σε κάθε μία από αυτές για να αλλάξει μία μόνο παράμετρο του λογισμικού τους. Σε ένα μεγάλο κατασκευαστικό έργο, όπου μπορεί να εργάζονται πάνω από 200 μηχανήματα, καταλαβαίνουμε ότι κάτι τέτοιο θα ήταν εξαιρετικά δύσκολο.

Μια σχηματική απεικόνιση του σχεδιαζόμενου δικτύου φαίνεται στο ακόλουθο σχεδιάγραμμα:



Σχήμα 6. Σχηματική απεικόνιση ασύρματου δικτύου παρακολούθησης εργασιών εργοταξίου

5. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τον απαραίτητο εξοπλισμό (hardware) που απαιτείται για την κατασκευή ενός δικτύου LORA.

5.1 Επιλογή αισθητήρων (sensors)

Τα αισθητήρια όργανα, δεδομένων των συνθηκών λειτουργίας τους στην προτεινόμενη εφαρμογή, πρέπει να πληρούν ορισμένες γενικές προδιαγραφές, όπως:

- *Ιδιαίτερη αντίσταση σε συνθήκες σκόνης & υγρασίας:* Αναμφισβήτητα στα εργοτάξια επικρατούν ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα σκόνης, τα οποία εφόσον εισέλθουν στα ηλεκτρικά – ηλεκτρονικά μέρη των αισθητηρίων οργάνων, ενδέχεται ακόμα και να τα θέσουν εκτός λειτουργίας. Προτείνεται ο εξοπλισμός να φέρει, κατ' ελάχιστο, τη σήμανση IP67 (ασήμαντη διαπερατότητα σκόνης, πόντιση σε νερό βάθους 1m)
- *Χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης:* Η ηλεκτρική τροφοδοσία των αισθητηρίων οργάνων των δικτύων LORA, γίνεται συνήθως μέσω της τροφοδοσίας των αντίστοιχων πλακετών nodes. Οι πλακέτες με τη σειρά της τροφοδοτούνται από εξωτερικούς συσσωρευτές (μπαταρίες) μικρού μεγέθους. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω των χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων των πλακετών (modules) τέτοιων δικτύων, η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών αυτών κυμαίνεται μεταξύ 2 – 3 ετών. Μέσα στο χρονικό αυτό διάστημα, ενδέχεται να έχει περατωθεί το κατασκευαστικό έργο.

Οι αισθητήρες που προτείνονται προς τοποθέτηση στα μηχανήματα που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2.1 είναι οι ακόλουθοι:

Αισθητήρες θέσης (limit switch): Θα τοποθετηθούν στις καροσερί των φορτηγών οχημάτων & στους βραχίονες των εκσκαφών. Αναμένεται να συνδεθούν ενσύρματα στον controller του συγκεκριμένου μηχανήματος, μαζί με άλλα αισθητήρια όργανα.

Προτεινόμενο μοντέλο: magnetic switch CNFHQD.



Εικόνα 2 Magnetic switch CBFHQD

Ο αισθητήρας αποτελεί μια απλουστευμένη έκδοση, βασισμένη στις ανάγκες της παρούσας ΔΕ. Ουσιαστικά παρέχει ψηφιακό σήμα με το κλείσιμο της επαφής και θα χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή των ανατροπών των φορτηγών οχημάτων.

Ενδεικτική τιμή αγοράς: 2€

Εναλλακτικά, για την εφαρμογή αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο ακόλουθος αισθητήρας.

Module ενεργοποίησης κομβίου ελέγχου (button): Οι ανατροπές των καροσερί των φορτηγών οχημάτων, αλλά και η ενεργοποίηση της ηλεκτροβάννας του υδροφόρου οχήματος γίνεται με το «πάτημα» ενός button. Για να λαμβάνουμε σημειακό σήμα (I/O) κάθε φορά που ενεργοποιείται το πάτημα του συγκεκριμένου διακόπτη, απαιτείται η τοποθέτηση κατάλληλου αισθητήρα.



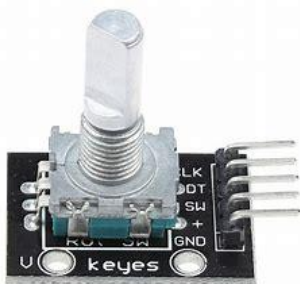
Προτεινόμενο μοντέλο: KY-004 Button module¹⁶

Ενδεικτική τιμή αγοράς: 1€

Συνδέεται πολύ εύκολα σε πλακέτα Arduino ή Raspberry PI, και παρέχει την επιθυμητή πληροφορία

Εικόνα 3: Button Module KY-004

Module ροοστάτη: Ο υδραυλικός μηχανισμός που θέτει σε κίνηση το τύμπανο του οδοστρωτήρα, ενεργοποιείται από περιστροφικό διακόπτη (ροοστάτη) ο οποίος επιτρέπει στον χειριστή την επιλογή της έντασης του μηχανισμού. Η κλίμακα κυμαίνεται ανάμεσα στις τιμές 0 – 10, ενώ το βήμα του διακόπτη είναι 0,5. Για να μπορέσουμε να καταγράψουμε το ποσοστό της συμπύκνωσης γαιών σε κάθε κατασκευαστικό έργο, θα πρέπει να εφαρμόσουμε το αντίστοιχο module στο χειριστήριο του «τυμπάνου» του οδοστρωτήρα.



Προτεινόμενο μοντέλο: KY-040 encoder

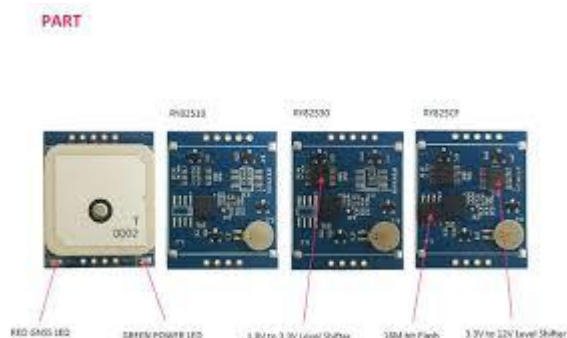
Το συγκεκριμένο module, επιτρέπει την καταγραφή της θέσης του διακόπτη χειρισμού του «τυμπάνου». Η συγκεκριμένη πλακέτα, επιτρέπει την οριοθέτηση του εύρους τιμών.

Ενδεικτική τιμή αγοράς: 2-3€

Εικόνα 4 KY – 040 Encoder Module

Αισθητήρες GPS-GNSS: Οι αισθητήρες εντοπισμού θέσης αναμένεται να τοποθετηθούν μαζί με την πλακέτα επεξεργασίας & μετάδοσης δεδομένων, εντός της καμπίνας του κάθε μηχανήματος για την αποφυγή έκθεσης σε εξωτερικές συνθήκες σκόνης και υγρασίας.

¹⁶ [KY-004 Datasheet PDF - Datasheet4U.com](https://www.datasheet4u.com/kY-004-Datasheet-PDF)



Προτεινόμενο μοντέλο: REYAX RY82530¹⁷

Εικόνα 5 Module αισθητήρα REYAX RY82530

Το μοντέλο αυτό διαθέτει πολύ καλές κριτικές από χρήστες, σε σχέση με την ακρίβεια των δεδομένων. Συνδέεται εύκολα σε πλακέτες Arduino, σε πρωτόκολλο επικοινωνίας LORA, που είναι και το προτεινόμενο πρωτόκολλο μετάδοσης δεδομένων.

Βάση των επιδόσεων που αναγράφονται στο Manual του κατασκευαστή, το αισθητήριο έχει ακρίβεια 2m, ψυχρή εκκίνηση εντός χρονικού διαστήματος 26sec και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Τα παραπάνω στοιχεία ανταποκρίνονται πλήρως στις προδιαγραφές του συστήματός μας.

Ενδεικτική τιμή αγοράς: 15-20€

Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας – υγρασίας: Οι αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας περιβάλλοντος, θα τοποθετηθούν στον εξωτερικό χώρο των σημείων σκυροδέτησης του έργου.

Προτεινόμενο μοντέλο: DHT11¹⁸



Οι προδιαγραφές του εν λόγω αισθητήρα είναι:

Χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, τυπική απόκλιση της μέτρησης θερμοκρασίας $\pm 2^{\circ}\text{C}$, τυπική απόκλιση της μέτρησης υγρασίας $\pm 5\%\text{RH}$, καλύπτει μετρήσεις που εκτείνονται σε αποστάσεις έως και 20m από το σημείο λήψης των δεδομένων, πλήρως συμβατό σε περιβάλλον προγραμματισμού Arduino.

Πρόκειται να τοποθετηθεί στο σταθμό καταγραφής των καιρικών συνθηκών

Ενδεικτική τιμή αγοράς: 5-10€

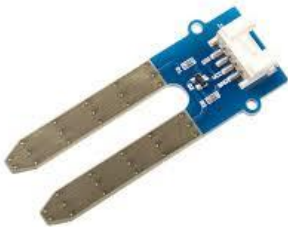
Εικόνα 6: Module αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας DT11

¹⁷<http://reyax.com/products/ry82510/>

¹⁸<https://www.robot-r-us.com/vmchk/sensor-temp/humid/dht11-temperature-and-humidity-sensor.html>

Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας εδάφους: Απαραίτητη παράμετρος για τον συνδυασμό των τιμών της με τη διαβροχή των αδρανών υλικών (βλ. παράγραφο 3.2.4).

Προτεινόμενο μοντέλο: Seeduino SKU 101020008



Συνδέεται στην αναλογική θύρα του επεξεργαστή Arduino, και παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης της υγρασίας εδάφους μετατρέποντάς την σε αναλογικό σήμα. Θα τοποθετηθεί στο σταθμό καταγραφής μετεωρολογικών δεδομένων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του θα καθορίσουν τις απαραίτητες διαβροχές των αδρανών υλικών.

Ενδεικτική τιμή αγοράς: 15€

Εικόνα 6 Soil moisture sensor Seeduino

5.2 Επιλογή Hardware

Λόγω της ευρείας εφαρμογής των δικτύων LORA, η αγορά διαθέτει μεγάλη γκάμα προϊόντων nodes & gateways. Τα προτεινόμενα κριτήρια επιλογής του εξοπλισμού αυτού, είναι:

- **Κόστος αγοράς:** Η προτεινόμενη εφαρμογή επιβαρύνεται με το κόστος σχεδιασμού – προγραμματισμού & επεξεργασίας δεδομένων που αναμένεται να επιβαρύνουν σημαντικά το συνολικό κόστος επένδυσης. Επιλέγουμε επομένως να διατηρήσουμε το κόστος κτήσης του εξοπλισμού σε χαμηλό επίπεδο, όσο βέβαια αυτό είναι επιτρεπτό αναλογιζόμενοι και τις τεχνικές προδιαγραφές του.
- **Αξιοπιστία:** Η αξιοπιστία του εξοπλισμού είναι σημαντική παράμετρος επιλογής. Για το λόγο αυτό πριν την τελική επιλογή, προτείνεται να ενημερωθούμε από ανάλογα sites – forums, ανατρέχοντας συγκεκριμένα στα σχόλια των χρηστών του συγκεκριμένου εξοπλισμού. Πρέπει να εστιάσουμε σε θέματα **αξιοπιστίας, απώλειας πακέτων, ταχύτητας ανταπόκρισης, συμβατότητας και αδιάλειπτης επικοινωνίας**, που περιλαμβάνονται στο σχολιασμό τους.

Μετά από σχετική έρευνα αγοράς που έγινε στο διαδίκτυο και με βασικά κριτήρια το value – for – money και τα σχόλια των προηγούμενων χρηστών προτείνουμε τον ακόλουθο εξοπλισμό hardware:

Gateway: Dragino OLG01N (Limited 2019) Outdoor LoRaWAN Gateway, με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Πρόκειται για δέκτη εξωτερικής τοποθέτησης (outdoor gateway), δικτύου επικοινωνίας LORA, με δυνατότητα επικοινωνίας έως 300 πομπών (nodes).

Δύναται να συνδεθεί με τοπικό modem, ενώ παράλληλα ενδείκνυται για τη σύνδεση των nodes στο διαδικτυακό server IoT εφαρμογών, ονομασίας TTN, ενώ παράλληλα προσφέρει και την εναλλακτική λύση σύνδεσης TCP/IP για τη λήψη των δεδομένων σε local server. Λειτουργεί μέσω του πρωτοκόλλου LORA και η εμβέλειά του κυμαίνεται στο εύρος 5-10Km, με την περιοχή των 500m να αναφέρεται ως περιοχή υψηλής διασύνδεσης (high density area). Το συγκεκριμένο modem χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την κατασκευή ιδιόκτητων ασύρματων δικτύων πρωτοκόλλου επικοινωνίας LORA και όχι μητροπολιτικών δικτύων LORAWAN.



Ενδεικτική τιμή αγοράς: 93€

Εικόνα 7. Dragino OLG01-N

LORA nodes: Οι πομποί σημάτων πρέπει να διαθέτουν αρκετά μεγάλη εμβέλεια για να καλύπτουν όλη την επικράτεια του έργου. Η αγορά διαθέτει αρκετές λύσεις διαθέσιμων προϊόντων, ενώ για την συγκεκριμένη εφαρμογή, ξεχωρίσαμε τα ακόλουθα modules:

Προτεινόμενο μοντέλο: Dragino Lora Shield v1.4 (Dragino 2020)



Το module της σειράς Dragino, διαθέτει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως πομπός, είτε ως δέκτης (Transciever), διαθέτει κάλυψη ασύρματης μετάδοσης δεδομένων έως 9Km βάσει προδιαγραφών σχεδιασμού αλλά και μετρήσεων των χρηστών του, είναι συμβατό με τα modules Arduino και συγχρόνως έχει σχετικά χαμηλό κόστος αγοράς.

Ενδεικτική τιμή αγοράς: 35€

Εικόνα 8. Dragino Lora Shield v1.4

Δεύτερη λύση πομπού μετάδοσης είναι το Module της Seeduino RHF76-052 (Seed Technology Co. 2020). Το module αυτό:



Εικόνα 9. Seeduino RHF76-052

Διαθέτει αισθητήρα GPS ενσωματωμένο επί του σώματος του επεξεργαστή. Διαθέτει 12 ψηφιακές εισόδους σημάτων (12DI) & 6 αναλογικές εισόδους (4AI) και 1 αναλογική έξοδο (1AO), επεξεργαστική ισχύ 32KB, ταχύτητα ανάλυσης 48MHz, ενώ λειτουργεί βάση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας LORA.

Μικρο-επεξεργαστής δεδομένων (Micro controller): Μια από τις πιο βασικές μονάδες σχεδιασμού και επεξεργασίας των δεδομένων που πρέπει να συλλέξουμε. Πρέπει να υποστηρίζει τις βασικές λειτουργίες επεξεργασίας.

Προτεινόμενο μοντέλο: Arduino – Uno



Εικόνα 10. Arduino UNO controller

Ο προτεινόμενος επεξεργαστής, διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους σημάτων (14DI) & 4 αναλογικές (4AI), επεξεργαστική ισχύ 2KB, ταχύτητα ανάλυσης 16MHz.

Ανταποκρίνεται πλήρως στις ζητούμενες προδιαγραφές και διαθέτει αρκετά ελκυστική τιμή αγοράς.

Ενδεικτική τιμή αγοράς: 12€

5.3 Επιλογή Software

Το λογισμικό που θα υποστηρίξει την εφαρμογή μας είναι το ακόλουθο:

TTN (The Things Network): Αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες διαδικτυακές πλατφόρμες απεικόνισης δεδομένων σε περιβάλλον σχεδιασμού LORA



Διαθέτει δυνατότητα διασύνδεσης του gateway που επιλέχθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, ευχάριστο περιβάλλον απεικόνισης των δεδομένων, δυνατότητα λήψης σε μορφή Excel. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η παραμετροποίηση του gateway (setup), βάση των οδηγιών του κατασκευαστή, ενώ παράλληλα προσφέρει τη δυνατότητα συμμετοχής του gateway σε δίκτυο κάλυψης

ευρύτερης περιοχής. Με τον τρόπο αυτό τα δεδομένα των nodes και άλλων χρηστών, θα μεταβιβάζονται στο cloud της εφαρμογής εφόσον βρίσκονται εντός της εμβέλειας του συγκεκριμένου gateway. Το module συνδέεται με το modem και μέσω αυτού μεταβιβάζονται τα «πακέτα» στον cloud server.

Arduino IDE: Το software που υποστηρίζει τα module της Arduino, είναι το Arduino IDE.



Διαθέτει πληθώρα εφαρμογών, απλό μενού σύνταξης του κώδικα λήψης δεδομένων και πλούσια βιβλιοθήκη για τους περισσότερους αισθητήρες της αγοράς.

Στα σημαντικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου software συγκαταλέγεται και το γεγονός ύπαρξης μεγάλης διαδικτυακής κοινότητας (forum) όπου ανταλλάσσονται ολοκληρωμένες ιδέες εφαρμογών.

Python: Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και ο λογικός προγραμματισμός παρακολούθησης της προόδου του εργοταξίου, προτείνεται να γίνει με τη χρήση του λογισμικού Python. Πρόκειται για το πιο διαδεδομένο λογισμικό προγραμματισμού με ιδιαίτερα μεγάλο πλήθος εφαρμογών στον τομέα της μηχανικής μάθησης και της ανάλυσης δεδομένων. Διαθέτει πλούσια βιβλιοθήκη πακέτων προγραμματισμού και σχετικά απλό μενού εντολών.



Επιπροσθέτως, οποιαδήποτε ερωτήματα προκύψουν στην πορεία σχεδιασμού, αναμένεται να επιλυθούν μέσω της πολυπληθούς διαδικτυακής παγκόσμιας κοινότητας προγραμματιστών (forum). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο λογισμικό είναι μηδενικού κόστους, καθώς υπόκειται στην πολιτική διάδοσης της εταιρίας 100 % free – open source code.

6. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (Software engineering)

6.1 Γενικά

Ο προγραμματισμός της εφαρμογής περιλαμβάνει τρία επίπεδα:

1. Τον προγραμματισμό των nodes του ασύρματου δικτύου. Πραγματοποιείται μέσω ειδικού λογισμικού το οποίο διαφέρει ανάλογα με τον προμηθευτή της πλακέτας που θα χρησιμοποιηθεί. Εφόσον έχουν προταθεί τα modules των κατασκευαστών Arduino – Seeduino, ο προγραμματισμός τους θα γίνει μέσω του λογισμικού Arduino IDE.
2. Τον προγραμματισμό της πλατφόρμας λήψης των δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, προτείνεται η πλατφόρμα μετάδοσης δεδομένων TTN cloud platform
3. Την επεξεργασία όλων των δεδομένων που θα λαμβάνονται από όλα τα nodes και η μετάδοσή τους θα γίνεται μέσω της πλατφόρμας TTN. Εφόσον θα συνδεθούν όλα τα μηχανήματα έργου στο ασύρματο δίκτυο παρακολούθησης, τα δεδομένα που θα λαμβάνονται στην πλατφόρμα και θα διαχειρίζονται από τον τελικό προγραμματιστή, αναμένεται να είναι ιδιαίτερα υψηλού όγκου. Κρίνεται επομένως απαραίτητη η ομαδοποίηση και η επεξεργασίας τους από εξειδικευμένο αναλυτή (data analyst), ώστε να εξαχθούν όσο το δυνατόν περισσότερα χρήσιμα συμπεράσματα, που θα αποτυπώσουν με ακρίβεια την πρόοδο του κατασκευαστικού έργου. Για το επίπεδο αυτό προγραμματισμού προτείνεται το λογισμικό Python ή Matlab.

Τα βήματα προγραμματισμού του κάθε επιπέδου, αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

6.2 Προγραμματισμός Nodes (Arduino)

Ο προγραμματισμός των nodes, περιλαμβάνει:

- Την επιλογή (loading) των κατάλληλων βιβλιοθηκών (libraries) προγραμματισμού, βάση των επιλεγμένων αισθητήρων
- Την παραμετροποίηση του προγράμματος προσαρμόζοντας τις απαιτήσεις της εφαρμογής μας

Ας δούμε όμως αναλυτικότερα ποιες βιβλιοθήκες απαιτούνται για τους αισθητήρες που επιλέχθηκαν και τη δομή του προγραμματισμού για ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συνεργείου εκσκαφών.

6.2.1 Το περιβάλλον του προγράμματος Arduino Ide

Ο προγραμματισμός των nodes γίνεται μέσω του software Arduino Ide. Η τελευταία εφαρμογή που χρησιμοποιείται είναι η έκδοση V1.8.12. Το συγκεκριμένο software, διαθέτει μια πλούσια βιβλιοθήκη «έτοιμων» προγραμμάτων, οι οποίες δύναται να επεξεργαστούν τα σήματα που λαμβάνονται από τα αισθητήρια όργανα που συνδέονται στην πλακέτα. Για τα αισθητήρια όργανα που προτάθηκαν για την εφαρμογή αυτή (βλ. παρ. 5.1), οι βιβλιοθήκες (Libraries) που προτείνονται είναι:

- LMIC (Kooijman 2020): Χρησιμοποιείται για την ασύρματη επικοινωνία του module Arduino UNO με dragino shield v1.4, μέσω πρωτοκόλλου επικοινωνίας LORA. Η βιβλιοθήκη εξασφαλίζει την ασύρματη επικοινωνία ανάμεσα σε node & gateway. Στέλνει πακέτα επικοινωνίας (ζεύξης), και ενημερώνει τον χρήστη σε περίπτωση επιτυχούς επικοινωνίας «join enable» ή αποτυχίας σύνδεσης «join failed». Σημειώνεται ότι η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη, διαθέτει την επιλογή επικοινωνίας ABP (Activation by Personalization) ή OTAA (Over the Air Activation). Στην επικοινωνία ABP, το ζεύγος node – gateway, ορίζει εξ' αρχής και άπαξ, τις παραμέτρους AppSKey και NetSKey. Στην σύνδεση OTAA, σε κάθε αίτημα ζεύξης που προηγείται πάντοτε της μετάδοσης δεδομένων, επιβεβαιώνονται οι παράμετροι AppEUI και AppKey. Η ζεύξη OTAA θεωρείται πιο «ασφαλής», ενώ ο χρήστης πρέπει να προσθέσει τις μεταβλητές «Network Session Key», «App Session Key» και «Device Addr», ώστε να εξασφαλιστεί η μονοσήμαντη επικοινωνία ανάμεσα σε κάθε ζεύγος node – gateway. Στη δική μας εφαρμογή, όπου το site συνήθως βρίσκεται σε απομακρυσμένη περιοχή, δεν απαιτείται υψηλή ασφάλεια, επομένως μια σύνδεση ABP, είναι επαρκής
- Digital Read Serial: Χρησιμοποιήθηκε για την λήψη σημάτων του magnetic switch. Η βιβλιοθήκη (Library) αυτή, διαβάζει την κατάσταση της ψηφιακής επαφής π.χ. 3 και εκτυπώνει τη θέση του διακόπτη στο serial monitor. Έτσι, όταν η μαγνητική επαφή είναι ανοιχτή (π.χ. καρότσα φορτηγού οχήματος ανοιχτή), θα λαμβάνουμε σήμα "0", ενώ σε αντίθετη περίπτωση θα λαμβάνουμε σήμα "1"
- Tiny GPS ++: Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη βιβλιοθήκη για τη λήψη σημάτων GPS. Τα πακέτα δεδομένων που λαμβάνονται είναι σε μορφή NMEA, βλ. παρ. 6.4.1. Η βιβλιοθήκη αυτή προσφέρει την επιλογή ρύθμισης της συχνότητας λήψης των σημάτων συντεταγμένων (π.χ. every 10sec). Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη επιτρέπει την αποστολή πακέτου δεδομένων, μόνο όταν αυτό είναι «πλήρες». Με τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη δεν επιβαρύνει τη ζεύξη με επιπλέον δεδομένα, πλέον των απολύτως απαραίτητων (Hart 2019)
- DHT 11 (Szazo 2020): Ο αισθητήρας μέτρησης της θερμοκρασίας και της υγρασίας DHT11, διαθέτει τη δική του βιβλιοθήκη στο περιβάλλον προγραμματισμού των Arduino. Και στην περίπτωση αυτή η συχνότητα λήψης των δεδομένων μέτρησης ορίζεται εντός του κώδικα προγραμματισμού, οπότε προσφέρει την επιλογή ταυτοχρονισμού με τα

παραπάνω δεδομένα (π.χ. GPS, DigitalRead κλπ.) και την προώθησή τους στο ίδιο πακέτο ασύρματης επικοινωνίας. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εξοικονόμηση όγκου και πλήθους δεδομένων στον ημερήσιο κύκλο (duty cycle)

6.2.2 Γενική ιδέα προγραμματισμού των Nodes (main concept programming)

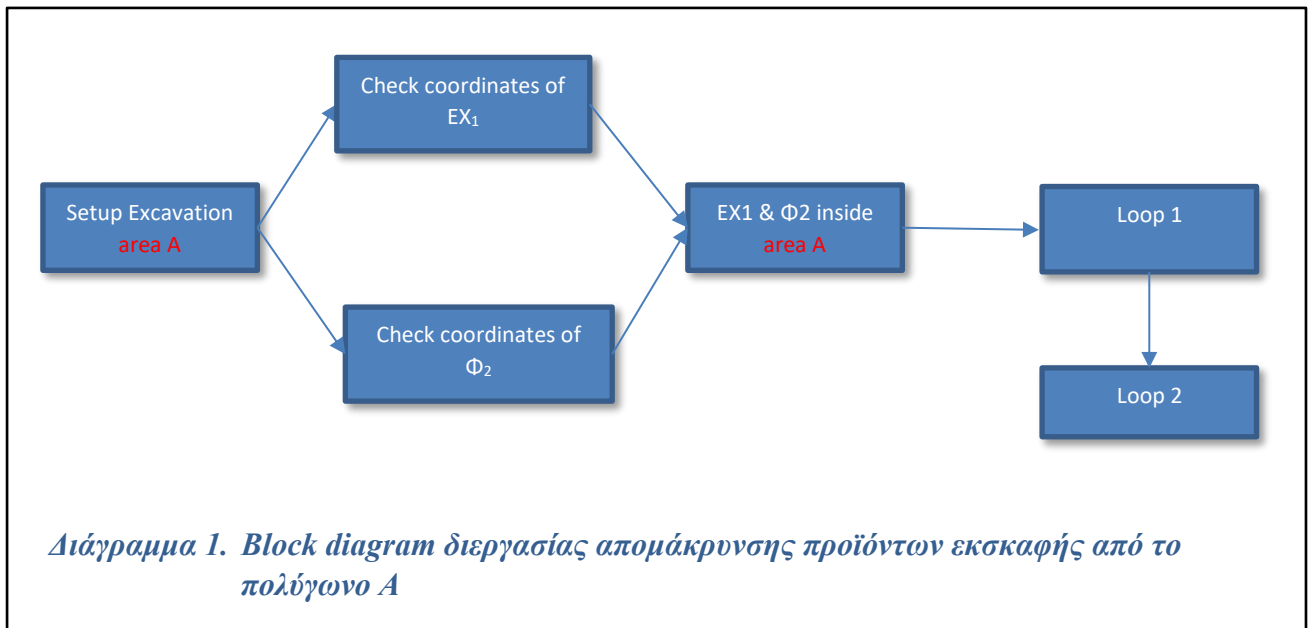
Προηγουμένως αναφερθήκαμε στο software για τον προγραμματισμό των modules των nodes. Ας δούμε όμως και τη δομή (concept) του προγραμματισμού τους, η οποία θα είναι διαφορετική ανά ομάδα εργασίας – cluster (π.χ. ομάδα εκσκαφής, ομάδα διάνοιξης οδοποιίας, ομάδα οδοστρωσίας κλπ.). Σημειώνεται ότι η λογική του προγραμματισμού σε επίπεδο module, προσαρμόζεται με τέτοιο τρόπο στην κάθε εργασία ώστε να μπορούν να λαμβάνονται τα δεδομένα εκείνα που θα αποτυπώσουν (καταμετρήσουν) με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την πρόοδο της κάθε ομάδας εργασίας.

Ας δούμε όμως ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας ομάδας εργασίας γενικών εκσκαφών που λαμβάνει χώρα στην περιοχή A και αποτελείται από 2 μηχανήματα έργου, ένα εκσκαφέα EX_1 και ένα φορτηγό όχημα Φ_2

6.2.2.1 Εργασίες «Εκσκαφής»

Ας θεωρήσουμε ότι στην περιοχή (A), η οποία είναι οριοθετημένη από το πολύγωνο (A), εκτελούνται εργασίες εκσκαφής με την χρήση του μηχανήματος έργου 1 (EX_1) και τα υλικά εκσκαφής φορτώνονται στο φορτηγό όχημα 2 (Φ_2) και απομακρύνονται εκτός περιοχής (A). Αυτό που μας ενδιαφέρει να καταγράψουμε, είναι η ποσότητα των υλικών που θα απομακρυνθούν από την περιοχή (A). Η ίδια ποσότητα υλικών θα απορριφθεί στο σημείο επιχώσεων (π.χ. B) του έργου.

Το λογικό διάγραμμα όλης της διεργασίας εκσκαφής απεικονίζεται στο σχεδιάγραμμα που ακολουθεί:



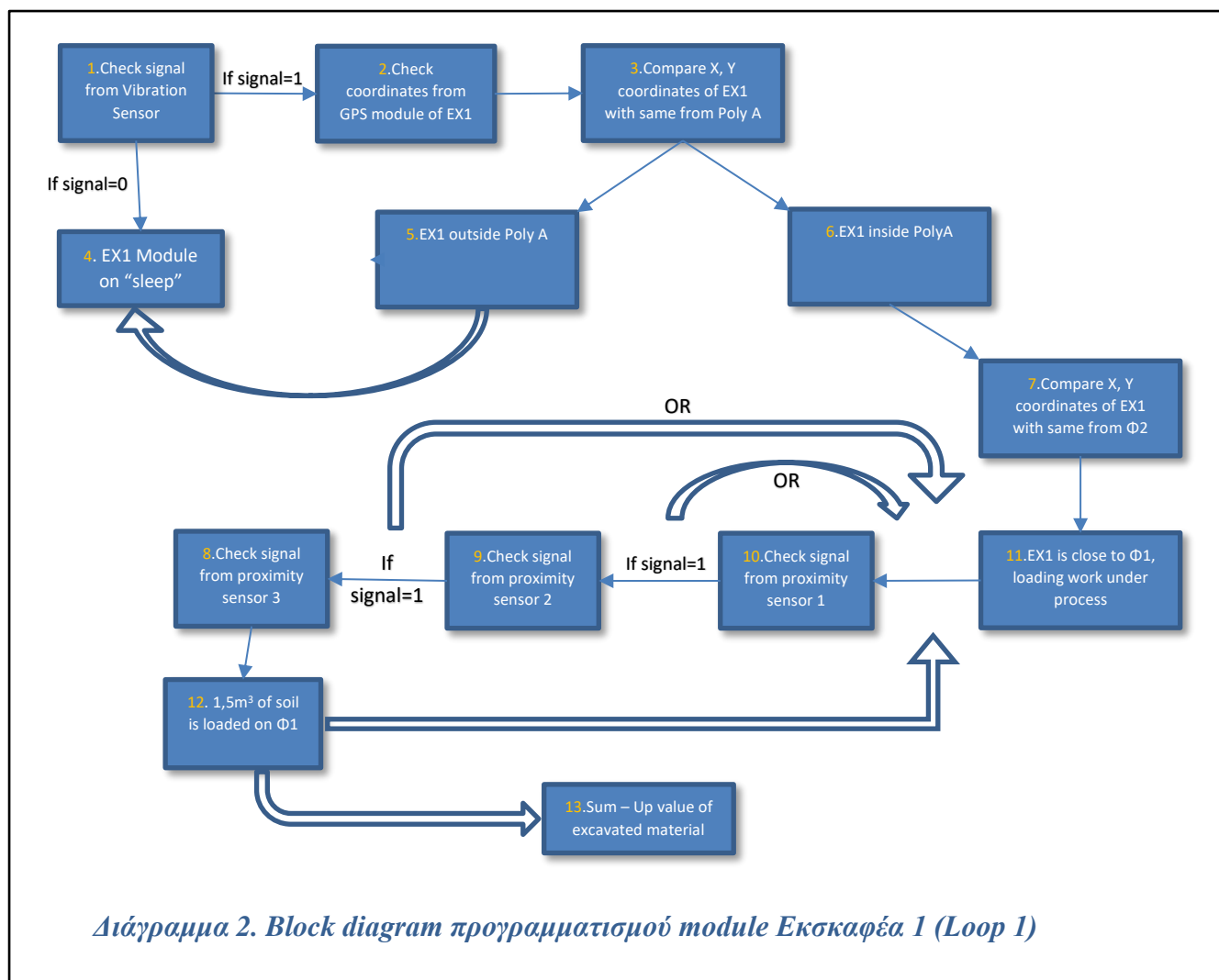
Όπου τα Loop 1 & Loop 2 είναι block προγραμμάτων των Module του εκσκαφέα και του φορτηγού, όπως αυτά αναλύονται στη συνέχεια.

Πιο συγκεκριμένα, στο module του EX₁, έχουν τοποθετηθεί τα αισθητήρια όργανα:

- GPS module
- Vibration Sensor
- Proximity sensor 1, ελέγχου κομβίου χειριστηρίου κουβά
- Proximity sensor 2, ελέγχου κομβίου χειριστηρίου βραχίονα
- Proximity sensor 3, ελέγχου χειριστηρίου περιστροφής καμπίνας

Σημειώνεται ότι τα proximity sensors εφαρμόζονται στα χειριστήρια του μηχανήματος.

Το λογικό διάγραμμα στο οποίο βασίζεται ο προγραμματισμός του module του εκσκαφέα 1 (Loop 1), είναι:



Αναλυτικότερα, η πρόοδος προγραμματισμού του module του Εκσκαφέα είναι η ακόλουθη:

Αρχικά εξετάζεται η κατάσταση λειτουργίας του μηχανήματος (1)¹⁹, μέσω του σήματος που λαμβάνεται από τον vibration sensor. Το σήμα αυτό, σε περίπτωση «μη λειτουργίας» θέτει το module σε κατάσταση sleep, για την εξοικονόμηση ενέργειας (4).

Αν το μηχάνημα λειτουργεί (σήμα "1" από το vib. sensor), τότε λαμβάνονται οι συντεταγμένες του μηχανήματος EX₁ (2). Στο module αυτό γίνεται στη συνέχεια upload των δεδομένων από τις συντεταγμένες του Φ₁ και εκτελείται μια απλή εξίσωση σύγκρισης πριν προχωρήσει ο προγραμματισμός στο επόμενο βήμα (7). Σε περίπτωση που το αποτέλεσμα της σύγκρισης των συντεταγμένων αποδείξει ότι τα δύο μηχανήματα βρίσκονται κοντά (π.χ. αν X₁ είναι η συντεταγμένη X του EX₁ και X₂, η συντεταγμένη X του Φ₂ θα πρέπει να ικανοποιείται η

¹⁹ Η ένδειξη του αριθμού εντός των παρενθέσεων, παραπέμπει στο box του βήματος διεργασίας του παραπάνω διαγράμματος 2

συνθήκη $X_1 - X_2 \leq 5m$), τότε εκτελείται ένα μικρότερο loop εντός του προγράμματος του module EX₁, που περιλαμβάνει τα βήματα 10 – 9 – 8 – 12.

Στο loop των βημάτων 10 – 9 – 8 – 12, λαμβάνονται τα σήματα από τα αισθητήρια επαφής (proximity sensor) που βρίσκονται τοποθετημένα στο χειριστήριο του μηχανήματος. Σε περίπτωση που παρατηρείται η αλληλουχία $I_1 - I_2 - I_3 - O_1$, όπου: I_1 = Σήμα “I” από τον proximity sensor 1, σημαίνει ότι ο το χειριστήριο που ελέγχει τον κουβά του εκσκαφέα έχει φτάσει στο τέρμα της διαδρομής του, επομένως ο κουβάς έχει «κλείσει» πλήρως I_2 = Σήμα “I” από τον proximity sensor 2. Το χειριστήριο του βραχίονα του εκσκαφέα έχει φτάσει στο τέρμα της διαδρομής του, επομένως ο βραχίονας έχει ανυψωθεί πλήρως I_3 = Σήμα “I” από τον proximity sensor 3 που βρίσκεται στο χειριστήριο της περιστροφής του μηχανήματος. Αυτό σημαίνει ότι εκτελείται περιστροφή ώστε να έρθει ο κουβάς πάνω από την καροσερί του φορτηγού οχήματος και να εκτελεστεί η απόρριψη των υλικών εκσκαφής. O_1 = Σήμα “O” από τον proximity sensor 1. Επομένως ο κουβάς του μηχανήματος έχει «ανοίξει», για να εκτελεστεί η εργασία της απόρριψης των υλικών.

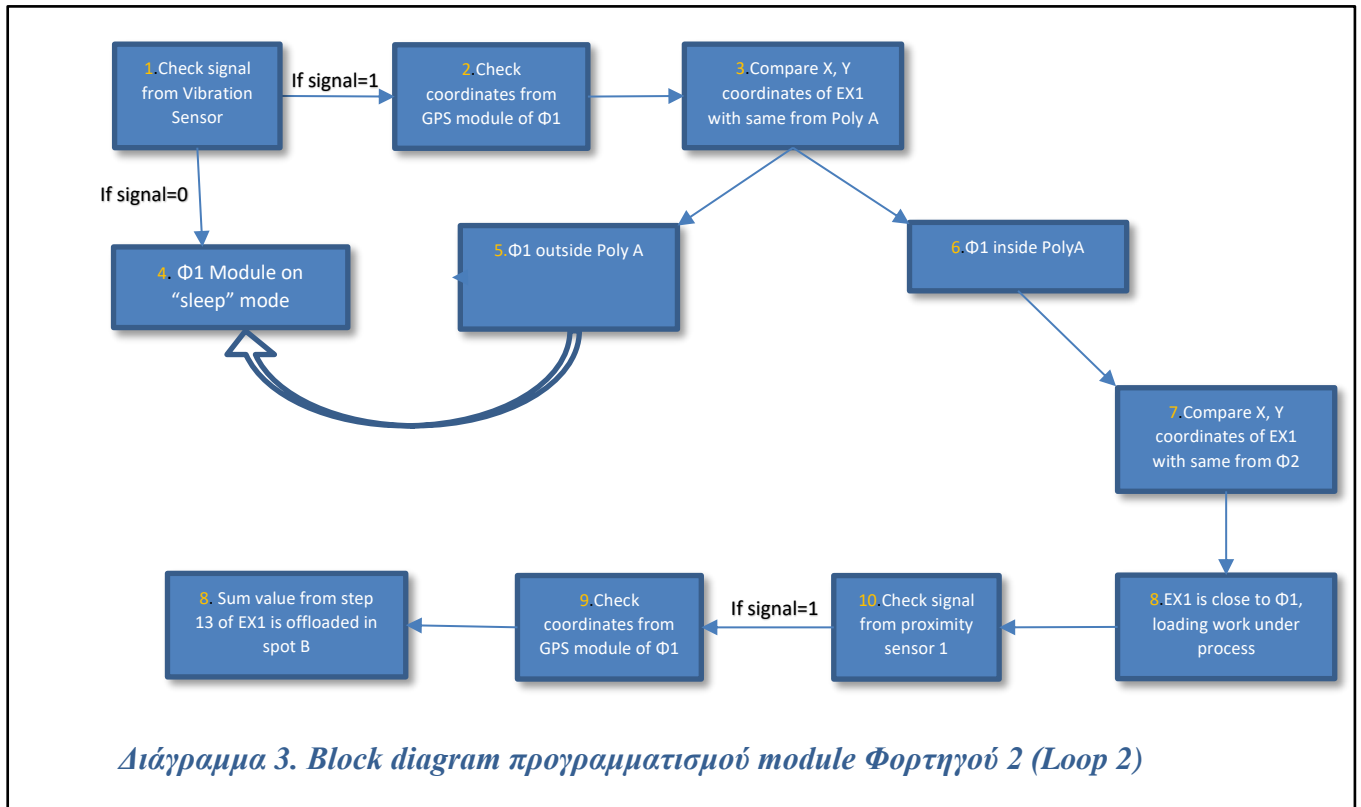
Εφόσον ληφθούν τα σήματα του ενδιάμεσου αυτού loop, με τη σειρά που αναφέρονται παραπάνω, θα στέλνεται από το module του EX₁, ένα σήμα (Boolean) στο gateway, που θα σημαίνει ότι αναμένεται να απομακρυνθεί ποσότητα υλικών εκσκαφής ίση με τη χωρητικότητα του κουβά του εκσκαφέα από το πολύγωνο A. Η συχνότητα επανελέγχου του loop προτείνεται να οριστεί σε 1min, επομένως κάθε 1min = 60 sec, θα εξετάζεται η λήψη σημάτων με την παραπάνω αλληλουχία. Το χρονικό αυτό διάστημα είναι αρκετό για την φόρτωση υλικών επί του Φ₂.

Αντιστοίχως, το λογικό διάγραμμα στο οποίο βασίζεται ο προγραμματισμός του module του φορτηγού 2, είναι: Η ανάλυση της προόδου προγραμματισμού step by step, του module του Φορτηγού οχήματος, είναι:

- Έλεγχος της κατάστασης του μηχανήματος (ON – OFF), βήματα (1), (2) & (4) όπως και προηγουμένως
- Έλεγχος εισόδου του μηχανήματος εντός του πολυγώνου A, βήματα (3) & (6), όπως και προηγουμένως
- Έλεγχος εγγύτητας των δύο μηχανημάτων, βήματα (7) & (8)
- Έλεγχος ενεργοποίησης του αισθητήρα επαφής (proximity sensor 1), από το «άνοιγμα – ανύψωση» της καροσερί του φορτηγού οχήματος

Εφόσον ληφθεί σήμα “I” από τον παραπάνω αισθητήρα, οι συντεταγμένες του μηχανήματος στο σημείο αυτό αποστέλλονται στο gateway του δικτύου

Έτσι ο αναλυτής με τη λήψη του παραπάνω σήματος θα είναι σε θέση να γνωρίζει την απόρριψη π.χ. 15m³ στο σημείο επίχωσης B.



6.3 Διασύνδεση πλατφόρμας μετάδοσης δεδομένων TTN

Τα πακέτα δεδομένων προωθούνται ασύρματα από τα modules των nodes και λαμβάνονται από το πλησιέστερο gateway. Στόχος είναι η περαιτέρω προώθησή τους σε διαδικτυακή πλατφόρμα (cloud), προς επεξεργασία από τον τελικό παραλήπτη, που ενδέχεται να είναι μια εξειδικευμένη ομάδα αναλυτών (data analysts). Με τη βοήθεια της πλατφόρμας, η φυσική παρουσία των αναλυτών στο έργο δεν είναι απαραίτητη.

Μια πολύ διαδεδομένη πλατφόρμα χαμηλού κόστους, δικτύων LORA, είναι η TTN που αποτελεί συντομογραφία της επωνυμίας “The Things Network”. Για την δημιουργία ενός ιδιόκτητου δικτύου παρακολούθησης στην πλατφόρμα αυτή, απαιτείται:

- Η δημιουργία προφίλ χρήστη (New user) στην πλατφόρμα εφαρμογών IoT της TTN, στην ηλεκτρονική διεύθυνση <https://www.thethingsnetwork.org/>. Πρέπει να προστεθεί το gateway στο προφίλ χρήστη μέσω της καρτέλας «add console» και στη συνέχεια «add gateway»
- *Gateway setup*: Στη συνέχεια απαιτείται η ενεργοποίηση του gateway στην πλατφόρμα TTN. Ανάμεσα στις παραμέτρους που πρέπει να ορίσουμε είναι η συχνότητα ασύρματης επικοινωνίας, activation method και ο δείκτης SF (= spreading factor). Προτείνονται οι ακόλουθες ρυθμίσεις:

- *Frequency*: Η επιτρεπτή συχνότητα για τα δίκτυα LORA στην Ε.Ε. είναι η συχνότητα των 868100Hz
- *Activation Method*: Προσφέρει τη δυνατότητα ενεργοποίησης μέσω OTAA (over the air activation) ή ABP (activation by personalization). Η διαφορά ανάμεσα στις 2 μεθόδους διασύνδεσης είναι ότι στο OTAA κάθε node, στέλνει ένα JOIN request το οποίο μπορεί να εξυπηρετηθεί από οποιοδήποτε διαθέσιμο δίκτυο LORA (δλδ. Gateway), εντός της εμβέλειάς του, σε αντίθεση με το ABP όπου κάθε node συνδέεται σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο το οποίο πρέπει να διαθέτει Network ID. Στο παράδειγμα εφαρμογής επιλέγουμε activation method **OTAA**.
- *Spreading Factor (SF)*: Πρόκειται για ένα συντελεστή ο οποίος προσαρμόζει την απόσταση και την ταχύτητα μετάδοσης ανάλογα με το μέγεθος των πακέτων που αναμένεται να σταλούν. Παίρνει τιμές από 7 – 12 ενώ ο μικρότερος συντελεστής αντιστοιχεί στις μεγαλύτερες ταχύτητες και στις μικρότερες αποστάσεις. Ενδεικτικά αναφέρουμε το παρακάτω παράδειγμα:
 - SF7 - 5470bps - 2km - 56ms
 - SF12 - 290bps - 14km - 1400ms

Στο παράδειγμα του ασύρματου δικτύου παρακολούθησης προόδου εργασιών κατασκευαστικού έργου, όπου ο δέκτης είναι σε σχετικά μικρή απόσταση από τον πομπό, προτείνουμε την επιλογή SF7.

- Δημιουργία της εφαρμογής, εντός της πλατφόρμας. Στη συνέχεια απαιτείται η προσθήκη της συγκεκριμένης εφαρμογής μέσω της καρτέλας «add application». Το επόμενο βήμα ήταν η προσθήκη των nodes, βλ. «register device». Αξίζει να σημειωθεί ότι το κάθε node προστίθεται ξεχωριστά στο σημείο αυτό.
- Τέλος, απαραίτητη είναι και η αποκρυπτογράφηση των δεδομένων που λαμβάνονται, στην πλατφόρμα. Η συγκεκριμένη διαδικασία γίνεται μέσω της καρτέλας Applications//Η εφαρμογή μας//payload formats//decoder.

6.4 Αξιοποίηση δεδομένων – Data Analysis

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η ανάλυση δεδομένων απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και εμπειρίες. Προτείνεται να γίνει από ομάδα ειδικών ερευνητών που θα αποτελείται από επεξεργαστές δεδομένων (data analysts) και από πεπειραμένους project managers οι οποίοι θα ορίσουν τις προδιαγραφές των δεδομένων καταγραφής. Για την επεξεργασία τους προτείνεται η χρήση του λογισμικού Python. Ας δούμε όμως στη συνέχεια ποια μορφή θα έχουν τα δεδομένα καταγραφής:

6.4.1 Μορφή δεδομένων

Τα δεδομένα που αναμένονται να λαμβάνονται από τους παραπάνω προτεινόμενους αισθητήρες, είναι:

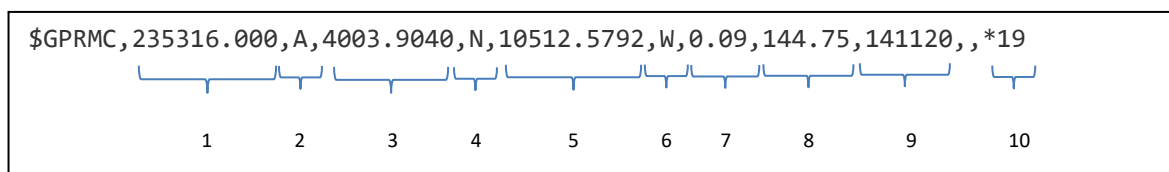
Δεδομένα διακόπτη «rotary encoder»

Τα δεδομένα που αναμένονται να ληφθούν από τον διακόπτη που ελέγχει την ένταση «τυμπάνου» του οδοστρωτήρα (βλ.παρ. 3.1.4), είναι σε μορφή byte (byte data type). Πρόκειται για μια διαβαθμισμένη κλίμακα ακέραιων αριθμών η οποία θα παίρνει τιμές π.χ. 0-20.

Δεδομένα GPS²⁰

Τα δεδομένα που εκπέμπει το module του GPS, στέλνονται συνήθως με συχνότητα 1 ανά δευτερόλεπτο (1Hz), σε σειριακή θύρα (serial interface). Τα δεδομένα είναι σε μορφή NMEA και μια τυπική μορφή είναι:

```
$GPRMC,235316.000,A,4003.9040,N,10512.5792,W,0.09,144.75,141120,,*19
```



Η ιδιομορφία των δεδομένων αυτών είναι ότι περιέχουν σε μία πρόταση, διαχωρισμένη από κόμματα, 10 πληροφορίες. Πιο συγκεκριμένα:

Αριθμός Δεδομένου	Περιγραφή πληροφορίας	Μονάδα μέτρησης	Παράδειγμα
1	Ώρα λήψεως δεδομένου	UTC (hhmmsec)	23:53':16''
2	Position Status	A (data valid) OR V (data invalid)	A = data valid

²⁰ GPS Basics - learn.sparkfun.com

3	Latitude coordinates	Degrees, Decimal Minutes (DDMM,MM)	40 Degrees, 03Minutes, 9040 decimal minutes
4	Direction	North or South (N or S)	N = North
5	Latitude coordinates	Degrees, Decimal Minutes (DDDMM,MMMM)	105 degrees, 12 minutes, 5792 decimal minutes
6	Longitude direction	East or West (E or W)	W = West
7	Speed over ground	knots	9 knots
8	Magnetic Variation	DDD.MM	144 degrees 75 minutes
9	Date stamp	dd/mm/yy	14 th of November 2020
10	Message number	aa	Message N ^o 19

Πίνακας 2 Επεξήγηση δεδομένων GPS σε μορφή GPRMC (Novatel 2021)

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια των μετρήσεων αυτών κυμαίνεται σε 1 – 3 μέτρα και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως: οι καιρικές συνθήκες, η τεχνολογία του δέκτη και η δορυφορική κάλυψη στο σημείο

Δεδομένα μετρητή θερμοκρασίας – υγρασίας

Τα δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας του αισθητήρα DHT11 λαμβάνονται στις γνωστές κλίμακες °C και ποσοστιαία επί τοις εκατό (%). Οι τιμές τους είναι σε μορφή *integer*.

6.4.2 Αξιοποίηση δεδομένων

Τα πακέτα δεδομένων συγκεντρώνονται από τα modules των nodes και αποστέλλονται στα gateway, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 4. Ο σχεδιαστής του δικτύου θα προγραμματίσει το δίκτυο, σύμφωνα με τη λογική που αναπτύχθηκε στην παράγραφο 6.2.2. Ο τελικός

αποδέκτης θα είναι ένας μηχανικός με ειδικές γνώσεις data analyst, που θα επεξεργαστεί τα δεδομένα με τέτοιο τρόπο ώστε:

- Από το πλήθος μηνυμάτων που λαμβάνονται, να απομονωθεί μόνο η χρήσιμη πληροφορία
- Να επεξεργαστούν τα δεδομένα με τέτοιο τρόπο ώστε να εξαχθεί το ζητούμενο αποτέλεσμα που θα αποτυπώνει την πρόοδο του έργου.

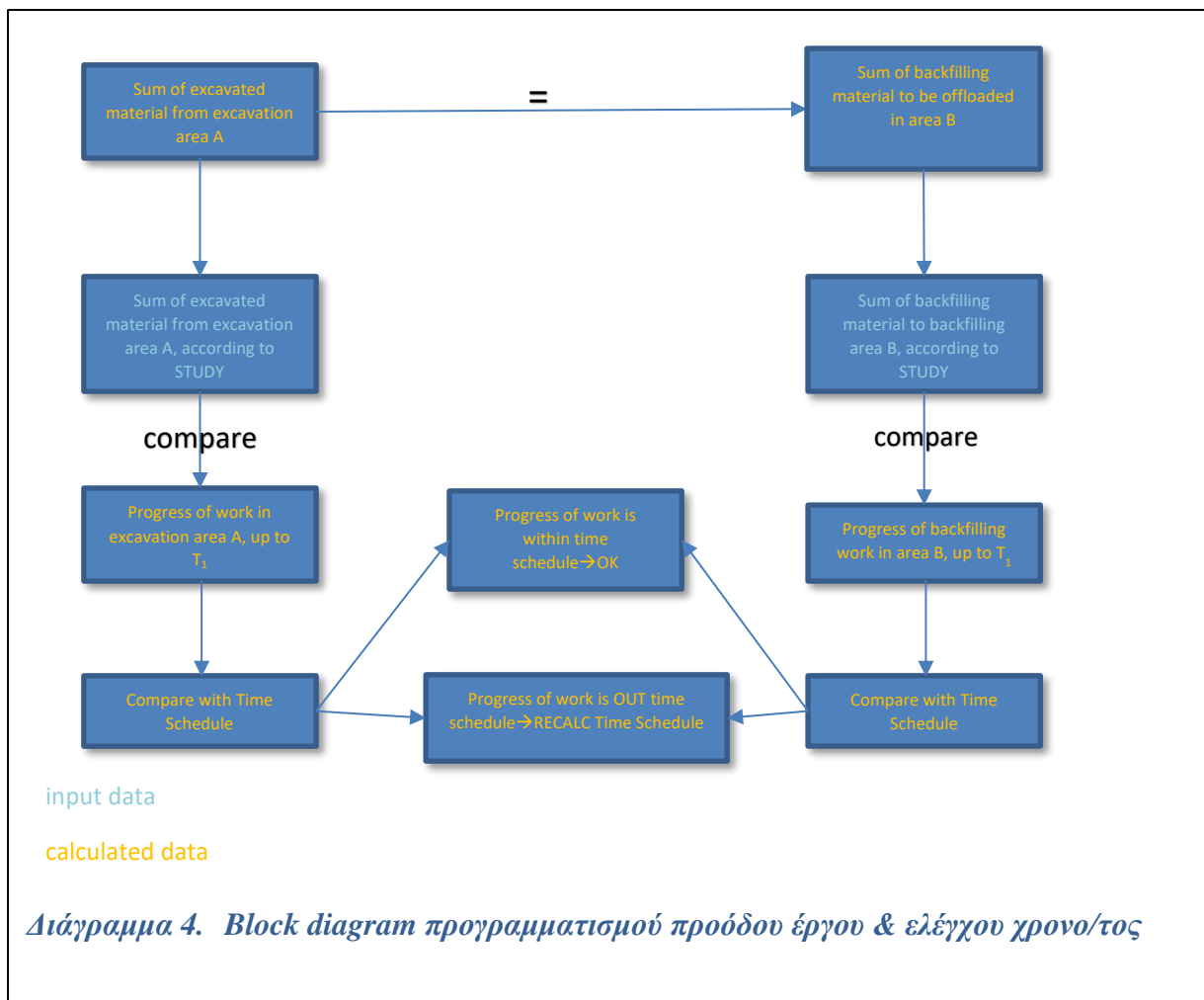
Για παράδειγμα από τα δεδομένα GPS που θα λαμβάνονται πρέπει να απομονωθούν μόνο οι συντεταγμένες longitude, latitude, time, date και ενδεχομένως και η ταχύτητα εδάφους. Στη συνέχεια θα ακολουθήσει μία σύγκριση των συντεταγμένων, είτε ανάμεσα στα διάφορα μηχανήματα, είτε ανάμεσα σε προγενέστερες μετρήσεις, ώστε να αποτυπωθεί η πρόοδος στο χρονικό διάστημα 1 ημέρας, 1 χρόνου κλπ.

Τα δεδομένα εισαγωγής (**input**) του προγραμματισμού αυτού είναι σε επίπεδο micro π.χ. αριθμός απορρίψεων κουβά που φορτώθηκαν στο φορτηγό όχημα Φ_2 , από τον εκσκαφέα EX_1 , στο σημείο A, τη δεδομένη χρονική στιγμή T_1 , ενώ τα αναμενόμενα αποτελέσματα **data output**, θα είναι σε επίπεδο macro, πχ. συνολική ποσότητα κυβικών εκσκαφής που απομακρύνθηκε από το σημείο A, μέχρι τη χρονική στιγμή T_1

Επίσης, η ανάλυση δεδομένων θα πρέπει να περιλαμβάνει 2 σκέλη, αποτυπώνοντας:

- Βραχυχρόνια πρόοδο εργασιών, π.χ. ημερήσια πρόοδο, αποτύπωση παραγωγικότητας εργαζομένων κλπ.
- Μακροχρόνια πρόοδο εργασιών, π.χ. ποσοστό ολοκλήρωσης έργου, συγκρίνοντας τα μετρούμενα μεγέθη με τους υπολογισμούς της αρχικής μελέτης

Έτσι, για παράδειγμα, ένα λογικό διάγραμμα που θα περιγράφει τη φάση αυτή προγραμματισμού, και θα περιλαμβάνει την απομάκρυνση υλικών εκσκαφής από την περιοχή A και την απόρριψή τους στην περιοχή B, είναι:



6.4.3 Geofencing

Πολύ σημαντική παράμετρος, όπως φαίνεται άλλωστε και στα παραπάνω Block diagrams, είναι η θέση του κάθε μηχανήματος, η οποία προσδιορίζεται από τις συντεταγμένες εντοπισμού θέσης που λαμβάνονται από τα module των GPS. Σε διάφορα σημεία του προγραμματισμού, είτε θα συγκρίνουμε συντεταγμένες μηχανημάτων ώστε να εξετάσουμε ότι τα μηχανήματα βρίσκονται σε απόσταση «συνεργασίας» μεταξύ τους, είτε θα χρησιμοποιήσουμε τις συντεταγμένες για να επιβεβαιώσουμε π.χ. την είσοδο ενός μηχανήματος έργου σε μια περιοχή ενδιαφέροντος π.χ. περιοχή εκσκαφών Α. Για παράδειγμα, συγκρίνοντας της συντεταγμένες του φορτηγού οχήματος με εκείνες του εκσκαφέα, μπορούμε να καταλάβουμε ότι τα δύο οχήματα βρίσκονται σε κοντινή απόσταση, επομένως εκτελείται η εργασία φόρτωσης γαιών. Επίσης, μόνο εφόσον ένας οδοστρωτήρας βρίσκεται εντός του πολυγώνου που εκτελείται η εργασία συμπύκνωσης γαιών, έχει νόημα να πραγματοποιείται η καταμέτρηση των διελεύσεων του συγκεκριμένου μηχανήματος. Ο προγραμματισμός εντοπισμού θέσης, είναι πολύ σημαντικός για την προτεινόμενη εφαρμογή και για το λόγο αυτό γίνεται ιδιαίτερη μνεία στην παράγραφο αυτή. Ο

συγκεκριμένος προγραμματισμός, συναντάται στη διεθνή βιβλιογραφία με την ορολογία «geofencing».

Το geofencing αξιοποιεί τα δεδομένα εντοπισμού θέσης συσκευών, που λαμβάνονται κυρίως από GPS και Smartphones που διαθέτουν την ανάλογη υποδομή. Η πιο δημοφιλής εφαρμογή του geofencing είναι στο χώρο του marketing, όπου γίνεται στοχευμένη προώθηση προϊόντων (διαφήμιση) ανάλογα με τη θέση του καταναλωτή, η οποία εντοπίζεται μέσω των γεωδαιτικών συντεταγμένων που λαμβάνονται από την τηλεφωνική του συσκευή (smartphone). Ομοίως στην περίπτωση μας, οι συντεταγμένες του module GPS του μηχανήματος έργου πρέπει να ενεργοποιούν ένα κύκλο προγραμματισμού, όπως φαίνεται στα block diagrams που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

Μια πολύ καλή μεθοδολογία προγραμματισμού του geofencing, εντοπίστηκε στον ιστότοπο της Microsoft ²¹. Αρχικά οριοθετείται η περιοχή ενδιαφέροντος μέσω δημιουργίας λογαριασμού στην ηλεκτρονική πλατφόρμα Azure Maps. Στη συνέχεια προγραμματίζεται ο αλγόριθμος για τον οποίο ενεργοποιείται σήμα ειδοποίησης, το οποίο στέλνεται μέσω e-mail. Έτσι μπορούμε να λαμβάνουμε e-mail ειδοποίησης κάθε φορά που εισέρχεται το φορτηγό όχημα εντός της περιοχής ενδιαφέροντος Α αλλά και κάθε φορά που αποχωρεί από αυτήν.

Επίσης, σύστημα παρακολούθησης geofencing μπορεί να προγραμματιστεί και ιδιωτικά χωρίς την εγκατάσταση κάποιου λογισμικού (prototyping). Το διαδίκτυο περιλαμβάνει πληθώρα τέτοιων λύσεων.

6.4.4 Visualization

Τα δεδομένα γεωδαιτικών συντεταγμένων των μηχανημάτων έργου που λαμβάνονται με κάποια δεδομένη συχνότητα (π.χ. ανά 30sec – 60sec), μπορούν να αποτυπωθούν σε λογισμικό υποστήριξης χαρτογραφικών δεδομένων π.χ. ArcGis, Maptitude 2019, Google Earth, κλπ.

Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η επεξεργασία των δεδομένων αυτών. Για παράδειγμα ο υπολογισμός της συνολικής απόστασης που διένυσε ένα φορτηγό όχημα στη διάρκεια της ημέρας, γίνεται μέσω του λογισμικού ArcGis πολύ πιο εύκολη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το ArcGis, προσφέρει τη δυνατότητα προσθήκης συντεταγμένων GPS σε πραγματικό χρόνο – Live Feed from a GPS device, (Szukalski 2011)²². Το γεγονός αυτό δίνει

²¹ [Tutorial: Create a geofence and track devices on a Microsoft Azure Map | Microsoft Docs](#)

²² [An easy way to add GPS data to ArcMap \(esri.com\)](#)

μια άλλη δυναμική στην εφαρμογή μας, όπως θα δούμε και στο κεφάλαιο 7 που περιγράφονται οι προοπτικές για περαιτέρω έρευνα.

6.5 Πειραματικό σκέλος

Με βάση τον παραπάνω προτεινόμενο εξοπλισμό, επιχειρήσαμε μια πειραματική προσέγγιση της εφαρμογής σε τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα (παιχνίδια). Η μόνη διαφορά σε σχέση με τον προτεινόμενο εξοπλισμό του κεφαλαίου 5, είναι ότι χρησιμοποιήθηκε το αντίστοιχο indoor gateway LG01N αντί του προτεινόμενου *Dragino OLG01-N* εξωτερικής τοποθέτησης.

Αρχικά επιχειρήσαμε την διασύνδεση των αισθητηρίων οργάνων GPS - I/O sensor – humidity sensor κλπ. Χρησιμοποιήσαμε τις βιβλιοθήκες προγραμματισμού που προτείνονται στην παράγραφο 6.2.1. Το χρονικό περιθώριο επανελέγχου (time loop) επιλέχθηκε στα 200sec, ώστε να μην περιορίζεται από την παράμετρο duty cycle (Vilaiosana 2017) του δικτύου LORA. Η ροή των δεδομένων ήταν η αναμενόμενη και συνεχής.

Στο manual της συσκευής²³ LG01N και συγκεκριμένα στο κεφ. 4 (σελίδες 18 – 33), περιλαμβάνονται αναλυτικές οδηγίες (step by step), για την σύνδεσης του gateway με την πλατφόρμα TTN. Ακολουθώντας τις οδηγίες αυτές καταφέραμε να συνδέσουμε το διακομιστή με την πλατφόρμα και να δημιουργήσουμε ένα νέο project (application). Η διασύνδεση διακομιστή – πλατφόρμας, όπως και η δημιουργία λογαριασμού στην πλατφόρμα (Login) απεδείχθη μια σχετικά εύκολη διαδικασία που δεν απαιτούσε εξειδικευμένες γνώσεις (software). Ωστόσο η ασύρματη επικοινωνία node – gateway ήταν αρκετά πιο δύσκολη και απαιτούσε την πλήρη κατανόηση του κώδικα που προτείνει η βιβλιοθήκη LMIC του προγράμματος Arduino CC. Αρχικά επιχειρήσαμε μια απλή διασύνδεση με την αποστολή απλού μηνύματος “Hello World” στην πλατφόρμα. Χρειάστηκε να γίνει αλλαγή στη συχνότητα των δικτύων LORA που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη (868Mhz), ενώ προστέθηκαν και οι παράμετροι NWSKEY & APPSKEY, οι οποίες είναι μοναδικές για κάθε ζεύγος node – gateway.

The image shows a configuration form for a TTN application. The fields are as follows:

- Application ID:** ergotaxio_monitor
- Device ID:** ard_1
- Activation Method:** OTAA
- Device EUI:** A5 67 56 B7 99 09 56 88
- Application EUI:** A8 40 41 1D 18 88 41 50

²³ [LG01N LoRa Gateway User Manual v1.1.pdf \(dragino.com\)](#)

Επιπλέον σημειώνουμε ότι τα σήματα που λαμβάνονται στην πλατφόρμα TTN, απαιτούν αποκρυπτογράφηση (decoding). Το στάδιο αυτό ήταν αρκετά πολύπλοκο και απαιτούσε ειδικές γνώσεις software. Δυστυχώς, η έλλειψη εμπειρίας στον προγραμματισμό δεν μας επέτρεψε να τελειοποιήσουμε το πειραματικό σκέλος. Επίσης παρέμεινε ημιτελής και το επόμενο στάδιο του πειράματος που είναι η επεξεργασία των δεδομένων στη γλώσσα προγραμματισμού Python βάση του block diagram 4 (βλ. σελ. 58). Αυτό συνέβη λόγω αδυναμίας λήψης των δεδομένων και η απομόνωση της χρήσιμης πληροφορίας τους. Θεωρώντας ότι η εξειδίκευση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις σύγχρονες εφαρμογές, δεν αναλωθήκαμε στο σκέλος του software engineering. Η συνέχεια της παρούσας εργασίας επομένως, απαιτεί την πολύτιμη εμπειρία ενός προγραμματιστή. Παρόλα αυτά όμως, η ιδέα (concept), οι προτάσεις (initiatives), η δομή (structure) και το επιθυμητό αποτέλεσμα (focus data), αναλύονται πλήρως στην παρούσα έκθεση.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Πειραματικό σκέλος ανάπτυξης

Η παραπάνω μελέτη, θα μπορούσε να εφαρμοστεί πειραματικά σε μοντέλο προσομοίωσης εργασιών εργοταξίου. Έτσι για παράδειγμα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τηλεκατευθυνόμενα οχήματα που θα προσομοιώνουν την κίνηση των μηχανημάτων εργοταξίου και πάνω σε αυτά να προσαρμοστούν αισθητήρες και πλακέτες Arduino σύμφωνα με τα προτεινόμενα του κεφαλαίου 5.



Εικόνα 11. Τηλεκατευθυνόμενος Εκσκαφέας με ασύρματο module Arduino – Dragino

Στην παραπάνω εικόνα διακρίνεται μια τέτοια εφαρμογή. Ο βραχίονας του εκσκαφέα φέρει αισθητήρα επαφής ο οποίος μεταδίδει σήμα επαφής, μόλις βρεθεί στο υψηλότερο σημείο του. Το Arduino module βρίσκεται τοποθετημένο πίσω από το βραχίονα και φέρει Dragino shield για την ασύρματη μετάδοση των δεδομένων. Σε κοντινή απόσταση από την πλακέτα, διακρίνεται και ο αισθητήρας GPS. Η τροφοδοσία της πλακέτας γίνεται μέσω μπαταρίας που βρίσκεται στο δεξί μέρος του βραχίονα



Εικόνα 12. Τηλεκατευθυνόμενο φορτηγό όχημα με Seeduino

Στο φορτηγό όχημα μας ενδιαφέρει η καταγραφή των ανατροπών και το βάρος των μεταφερόμενων αδρανών υλικών. Για το λόγο αυτό, τοποθετούμε αισθητήρα επαφής στο σημείο τερματισμού της κίνησης του κάδου του φορτηγού οχήματος (βλ. εικόνα XXX, δεξί άκρο της καρότσας). Επίσης τοποθετείται αισθητήρας μέτρησης βάρους στο σημείο μέγιστης ροπής, το οποίο κατ' επέκταση θα δέχεται τις μεγαλύτερες κατακόρυφες δυνάμεις (πάνω από το σημείο της καμπίνας). Απαραίτητη παράμετρος καταγραφής, όπως άλλωστε γίνεται και στα υπόλοιπα μηχανήματα, είναι οι γεωδαιτικές συντεταγμένες. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι τιμές λαμβάνονται από το ίδιο το module της Seeduino RHF76-052, το οποίο διαθέτει ενσωματωμένο GPS (δεν απαιτείται η χρήση επιπρόσθετου αισθητηρίου). Η πλακέτα έχει τοποθετηθεί στο μπροστινό μέρος (μέτωπο) του τηλεκατευθυνόμενου οχήματος.

7.2 Απεικόνιση πειράματος σε πραγματικό χρόνο

Η λήψη σημάτων γεωδαιτικών συντεταγμένων, προσφέρει τη δυνατότητα απεικόνισης σε χάρτη, της σχεδιαζόμενης εφαρμογής. Έτσι τα δεδομένα συντεταγμένων, σε μορφή NMEA, όπως είδαμε στην παράγραφο 6.4.1, δύναται να εισαχθούν σε κατάλληλο λογισμικό π.χ. ArcGis για την απεικόνισή τους και την περαιτέρω επεξεργασία τους.

Μέσα από το software αυτό μπορούν να εξαχθούν επίσης σημαντικά συμπεράσματα όπως π.χ. η επιμέτρηση της απόστασης που διανύουν τα φορτηγά οχήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας και η ημερήσια πρόωση των προωθητών γαιών. Δυστυχώς οι εφαρμογή του software

της Python είναι περιορισμένων δυνατοτήτων, όσο αφορά την επιμέτρηση διανυσμάτων. Έτσι ένας εξειδικευμένος μελετητής, θα μπορούσε να επεξεργαστεί τα δεδομένα συντεταγμένων, που λαμβάνονται από την παρούσα εφαρμογή στο λογισμικό περιβάλλον του ARCGIS, εξάγοντας έτσι πολύ χρήσιμα συμπεράσματα.

7.3 Εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες εργοταξίου

Το πειραματικό μέρος της εργασίας πρέπει να εφαρμοστεί σε πραγματικά μηχανήματα έργου.

Οι συνθήκες που επικρατούν σε πραγματικά δεδομένα διαφέρουν από αυτές του μοντέλου τηλεκατευθυνόμενων οχημάτων. Για παράδειγμα, η σκόνη που επικρατεί σε κάθε κατασκευαστικό έργο αναμένεται να επηρεάσει τις ηλεκτρονικές συνδέσεις των πλακετών. Επίσης οι κραδασμοί που προκαλούνται από την κίνηση των μηχανημάτων, μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στη μετάδοση των σημάτων. Παρόμοια εφαρμογή σε πραγματικά δεδομένα θα αποτελούσε σίγουρα ένα επίπονο αλλά ιδιαίτερα χρήσιμο εγχείρημα

7.4 Μηχανική μάθηση και ποιοτικός έλεγχος τεχνικού έργου

Η αλματώδης πρόοδος της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης τα τελευταία χρόνια, έχει επιτρέψει την ανάλυση της φωτογραφίας σε πολύ υψηλά επίπεδα (image analysis). Εφαρμογές όπως το face recognition που χρησιμοποιείται στα smart phones κρύβονται πίσω από την ανάλυση της φωτογραφίας. Το συγκεκριμένο πεδίο θα μπορούσε να εφαρμοστεί και στην πρότασή μας.

Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσαν να τοποθετηθούν κάμερες λήψης φωτογραφιών σε ορισμένα μηχανήματα έργου που εκτελούν διάστρωση πρωτογενών υλικών π.χ. οδοστρωτήρας, grader, φορτωτής κ.α. Τα αδρανή υλικά αποτελούνται από μείγμα προϊόντων εκσκαφής διαφορετικού διαμετρήματος π.χ. άμμος + παιπάλη (ψηλή σκόνη) + θραυστό υλικό <35mm κ.α. Η αναλογία των υλικών σε κάθε μείγμα (ποσοστό %), προσδιορίζει την κατάταξη του μείγματος σε κατηγορίες, π.χ. 2A, 3A κλπ. Η γεωτεχνική μελέτη κάθε κατασκευαστικού έργου προδιαγράφει επακριβώς την αναλογία των αδρανών υλικών επίστρωσης και επιχωμάτωσης σε κάθε σημείο του. Για το λόγο αυτό, στη φάση του ποιοτικού ελέγχου του έργου, πραγματοποιείται δειγματοληπτικός έλεγχος από ειδικά διαπιστευμένα εργαστήρια. Ωστόσο, η δειγματοληψία για την κατάταξη του μείγματος σε κάποια κατηγορία, είναι μια επίπονη και δαπανηρή διαδικασία, που εφαρμόζεται σε τυχαία δείγματα και όχι στην πλειονότητα των μεταφερόμενων υλικών. Η στοχαστικότητα του δείγματος, η τυπική απόκλιση και το περιθώριο σφάλματος είναι παράμετροι που επιβαρύνουν κάθε στατιστική ανάλυση, επομένως και τους δειγματοληπτικούς ποιοτικούς

ελέγχους ενός κατασκευαστικού έργου. Με κάμερες λήψης φωτογραφιών που θα τοποθετηθούν σε κάθε φορτηγό όχημα, θα μπορούσαν να πραγματοποιούνται λήψεις φωτογραφιών σε τακτά χρονικά διαστήματα και να αποστέλλονται μέσω του δικτύου LORA, στον κεντρικό διακομιστή και εν τέλει στον επεξεργαστή δεδομένων. Με τη βοήθεια ανάλυσης των φωτογραφιών μέσω της μηχανικής μάθησης, θα μπορούσαμε να κατατάξουμε τα υλικά επίστρωσης που τοποθετούνται σε κάθε σημείο του έργου. Μια τέτοια εφαρμογή δικτύου μπορεί να τροφοδοτήσει μια πολύτιμη βάση δεδομένων για κάθε σημείο κατασκευής και να δημιουργήσει ένα ολοκληρωμένο και πλήρη φάκελο ποιοτικού ελέγχου της κατασκευής.

7.5 SWOT ANALYSIS

Η SWOT Analysis, παρόλο που περάσανε περισσότερα από 40 χρόνια από τότε που αναπτύχθηκε, θεωρείται ακόμα και σήμερα σημαντικό “εργαλείο” στην λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων και όχι μόνο. Πατέρας της SWOT Analysis φέρεται να είναι ο [Albert Humphrey](#), καθηγητής την δεκαετία του 60 και 70 στο Stanford University.

Η Ανάλυση SWOT εξετάζει τα **Ισχυρά** (Strengths) και **Αδύναμα** σημεία (Weaknesses) μιας επιχείρησης, τις **Ευκαιρίες** (Opportunities) και **Απειλές** (Threats) από το περιβάλλον που δραστηριοποιείται. Χρησιμοποιείτε από πολλές επιχειρήσεις προκειμένου να αξιολογήσουν την κατάσταση που βρίσκονται σήμερα με σκοπό να πάρουν αποφάσεις και να διαμορφώσουν έτσι την μελλοντική στρατηγική τους.

Η Ανάλυση SWOT χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη. Στην ανάλυση του εσωτερικού περιβάλλοντος της επιχείρησης που είναι τα Δυνατά (Strengths) και Αδύναμα (Weaknesses) σημεία, και στην ανάλυση του εξωτερικού περιβάλλοντος της επιχείρησης που είναι οι Ευκαιρίες (Opportunities) και οι απειλές (Threats) (Pappas n.d.).

Εφαρμόζοντας την ανάλυση αυτή στην πρότασή μας, διακρίνουμε τα ακόλουθα:

A. ΔΥΝΑΤΑ ΣΗΜΕΙΑ (Strength)

1. Καταφέραμε να προσδιορίσουμε τις βασικές κινήσεις που εκτελούν τα μηχανήματα έργου και να προτείνουμε την τοποθέτηση αισθητηρίων οργάνων σε κατάλληλα σημεία, ώστε να μπορέσουμε να καταγράψουμε τις βασικές κινήσεις τους
2. Επιλέξαμε το καταλληλότερο δίκτυο ασύρματης επικοινωνίας για το συγκεκριμένο παράδειγμα, μέσα από ενδελεχή έλεγχο των διαθέσιμων προτάσεων της αγοράς
3. Προτείναμε τον εξοπλισμό οργάνων και ασύρματης επικοινωνίας του δικτύου εξετάζοντας ρεαλιστικές προτάσεις

4. Εξετάσαμε τις ομάδες μηχανημάτων που συμμετέχουν στην κατασκευή ενός κατασκευαστικού έργου και προτείναμε διάγραμμα προγραμματισμού (block diagram) για την ομάδα «εκσκαφών»

B. ΑΔΥΝΑΤΑ ΣΗΜΕΙΑ (Weaknesses)

1. Η κύρια αδυναμία της εφαρμογής είναι ότι η πειραματική αυτή πρόταση παρέμεινε σε θεωρητικό μόνο επίπεδο. Δυστυχώς δεν καταφέραμε να ολοκληρώσουμε την πειραματική εφαρμογή της πρότασης σε επίπεδο μοντελισμού. Δεν καταφέραμε επομένως να διερευνήσουμε τις δυσκολίες που ενδέχεται να ανακύψουν σε επίπεδο κατασκευής
2. Τα πακέτα στα δίκτυα LORA έχουν περιορισμό χρόνου (1 per 120sec)²⁴. Αν στο ενδιάμεσο αυτό χρονικό διάστημα, αλλάζει η κατάσταση του μηχανήματος, ο περιορισμός αυτός ενδέχεται να έχει αρνητική επίδραση στην σχεδιαζόμενη εφαρμογή
3. Οι πραγματικές συνθήκες που επικρατούν σε ένα κατασκευαστικό έργο (υψηλά επίπεδα σκόνης, έκθεση σε ακραία καιρικά φαινόμενα κλπ.), ενδέχεται να επηρεάσουν την ορθή λειτουργία των modules των nodes και να περιορίσουν την ασύρματη επικοινωνία του δικτύου
4. Δεν προτάθηκε προγραμματισμός ανάλυσης δεδομένων (block diagrams) και για τις υπόλοιπες «ομάδες εργασίας», πέραν της ομάδας εκσκαφών (βλ. παρ. 6.2.2.1)
5. Δεν πραγματοποιήθηκε μελέτη σκοπιμότητας της εφαρμογής

Γ. ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ (opportunities)

1. Προτείναμε μια ρεαλιστική και εφαρμόσιμη πρόταση για την αναλυτική καταγραφή της προόδου εργασιών ενός κατασκευαστικού έργου όπου συμμετέχουν βαρέα οχήματα. Η καταγραφή θα βασίζεται πλέον σε πραγματικές μετρήσεις που θα λαμβάνονται ασύρματα απ' ευθείας από τα μηχανήματα έργου
2. Η εφαρμογή προσφέρει τη δυνατότητα αναθεώρησης της προόδου του έργου (time schedule update), βασιζόμενη σε πραγματικές μετρήσεις υψηλής αξιοπιστίας
3. Η εφαρμογή διαθέτει υψηλό δείκτη καινοτομίας και καλύπτει πάγιες ανάγκες του project management ενός κατασκευαστικού έργου όπως π.χ. ακρίβεια στην αποτύπωση του χρονοδιαγράμματος και ακρίβεια στην πιστοποίηση εργασιών των υπερβολάβων
4. Διαθέτει προοπτική αποτύπωσης των εργασιών σε πραγματικό χρόνο (on-line visualization)
5. Μέσω της προτεινόμενης εφαρμογής διευκολύνεται η δημιουργία αξιόπιστου φακέλου ποιότητας έργου (quality assurance – quality control), ο οποίος θα βασίζεται σε πλούσια βάση δεδομένων (data base) καταγραφής

²⁴ [Limitations | The Things Network](#)

Δ. ΑΠΕΙΛΕΣ (threats)

1. Για την δημιουργία μιας ολοκληρωμένης πρότασης που θα βασίζεται στην παραπάνω εφαρμογή, απαιτείται η συνεισφορά επιστημόνων διαφορετικών ειδικοτήτων (data analyst – project manager – network designer – site manager). Ο συντονισμός τους με σκοπό την σχεδίαση της προτεινόμενης εφαρμογής ενδέχεται να είναι αρκετά δύσκολος.
2. Το συνολικό κόστος κατασκευής και παρακολούθησης της εφαρμογής αυτής μπορεί να καταλήξει σε αρκετά υψηλά επίπεδα και εντέλει η εφαρμογή να καταστεί ασύμφορη

7.6 Επίλογος

Η παραπάνω εργασία προσέγγισε το θέμα της παρακολούθησης προόδου κατασκευαστικού έργου μέσω ασύρματου δικτύου LORA σε θεωρητική βάση. Η μελέτη αυτή μπορεί να αποτελέσει το πρώτο βήμα για την εισχώρηση των τεχνολογιών IoT στο χώρο των κατασκευών. Απώτερος στόχος είναι η δημιουργία μιας εμπορικής εφαρμογής, η οποία θα αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο του κατασκευαστικού κλάδου. Ο δρόμος ωστόσο μέχρι την ολοκλήρωση αυτή παραμένει μακρύς και γεμάτος επιστημονικές προκλήσεις. Ελπίζουμε η εργασία αυτή να εμπνεύσει μελλοντικούς επιστήμονες και παραμένουμε στη διάθεση της επιστημονικής κοινότητας για οποιαδήποτε πληροφορία χρειαστεί μελλοντικά.

References

- Dragino. *Dragino*. October 2020. https://wiki.dragino.com/index.php?title=Lora_Shield (accessed January 16, 2021).
- Elsevier. "Automation in Construction." *Automated progress monitoring system for linear infrastructure projects using satellite remote sensing*, 2015: 14.
- Hart, Mikal. *GitHub*. Oct 13, 2019. <https://github.com/mikalhart/TinyGPSPlus> (accessed 2 22, 2021).
- Kooijman, Matthijs. *GitHub*. October 3, 2020. <https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic> (accessed Feb 24, 2021).
- Limited, Dragino Technology Co. *Dragino*. January 19, 2019. https://www.dragino.com/downloads/index.php?dir=LoRa_Gateway/LG01N/ (accessed January 18, 2021).
- Novatel. *GPS specific information*. January 2021. <https://docs.novatel.com/oem7/Content/Logs/GPRMC.htm>.
- Pappas, Vasilis. *epixirin.gr*. n.d. <https://epixeirein.gr/2009/07/31/swot-analysis-efarmogi/> (accessed May 2021).
- Seeed Technology Co., Ltd. *Seeedduino LoraWan*. 2020. https://wiki.seeedstudio.com/Seeedduino_LoRAWAN/ (accessed January 12, 2021).
- Szazo. *GitHub*. July 22, 2020. https://github.com/szazo/DHT11_Python (accessed Feb 21, 2021).
- Szukalski, Bern. *ESRI*. February 01, 2011. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-desktop/data-management/an-easy-way-to-add-gps-data-to-arcmap/>.
- Vilaiosana, Xavier. "Understanding the Limits of LoRaWan." *IEEE Communication Magazine*, 2017.
- Γιάννης-Μάριος, Ντούζγος. "Απο τον Ισθμό στη Διώρυγα της Κορίνθου." 18-19. Α.Ε.ΔΙ.Κ, 2009.
- Μπαλής, Δημήτρης. *Huffingtonpost.gr*. 09 13, 2019. www.huffingtonpost.gr.

WEB SITES

<https://www.thethingsnetwork.org/>

<https://www.arduino.cc>

<https://www.dragino.com>

<https://epixeirein.gr>

<https://www.esri.com>

<https://docs.microsoft.com/>

<https://github.com>

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου Δρ. Ελένη Αικατερίνη Λελίγκου για την πολύτιμη βοήθειά της και κυρίως για τη στήριξή της στο δύσκολο έργο μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υπομονή και την στήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω από την λίστα ευχαριστιών τον Λέκτορα Εφαρμογών του τομέα Βιομηχανικών Συστημάτων και Ελέγχου του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, κ. Χατζόπουλο Αβραάμ για την πολύτιμη βοήθειά του στον προγραμματισμό Arduino Ide.