



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ  
ΣΠΟΥΔΩΝ «ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Τεχνικό-οικονομική Μελέτη Εγκατάστασης Συστήματος  
Τηλεμετρίας σε Βιομηχανικό Περιβάλλον

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΗΛΙΑΝΑΣ Ν. ΚΑΡΑΜΠΑΣΙΑΔΗ

Επιβλέπων : Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2015





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ  
ΣΠΟΥΔΩΝ «ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

Τεχνικό-οικονομική Μελέτη Εγκατάστασης Συστήματος  
Τηλεμετρίας σε Βιομηχανικό Περιβάλλον

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

**ΗΛΙΑΝΑΣ Ν. ΚΑΡΑΜΠΑΣΙΑΔΗ**

Επιβλέπων : Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος  
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....  
Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος  
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

.....  
Ιωάννα Ρουσσάκη  
Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....  
Γεώργιος Ματσόπουλος  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2015

*(Υπογραφή)*

.....

**ΗΛΙΑΝΑ ΚΑΡΑΜΠΙΑΣΙΑΔΗ**

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2015 – All rights reserved

## Περίληψη

Η πρόοδος της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις των σύγχρονων βιομηχανικών μονάδων καθιστούν επιτακτική την ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων που θα καλύπτουν τις πολύπλευρες ανάγκες τους για παρακολούθηση της λειτουργίας της γραμμής παραγωγής. Για το σκοπό αυτό στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης με τη χρήση αισθητήρων το οποίο παρακολουθεί σε ολόημερη βάση παραμέτρους των μηχανών και του περιβάλλοντος και τις μεταφέρει σε έναν cloud server για επεξεργασία και παρουσίαση. Η παρουσίαση γίνεται σε μία απλή πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων με τη χρήση διαγραμμάτων και ειδοποιήσεων και πρέπει να παρακολουθείται από τον εκάστοτε υπεύθυνο της μονάδας παραγωγής. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα υψηλά κόστη των καθιερωμένων προγραμμάτων συντήρησης των μηχανών παραγωγής ευνοούν την εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης για εξοικονόμηση χρημάτων από άσκοπες συντηρήσεις. Παράλληλα, τα νέα ISO standards επιβάλλουν το προσωπικό που εργάζεται στη γραμμή παραγωγής να εργάζεται σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες, γεγονός που επιβάλλει τον μόνιμο έλεγχο από σύστημα παρακολούθησης. Όλα τα παραπάνω και πολλές άλλες τεχνικές και οικονομικές λεπτομέρειες για το εν λόγω σύστημα παρατίθενται στην παρούσα εργασία.

**Λέξεις Κλειδιά:** <<Τηλεμετρία, Τηλεματική, Αισθητήρας, Απομακρυσμένη Παρακολούθηση, Προβλεπτική Συντήρηση, Βιομηχανικό Περιβάλλον>>



## **Abstract**

The technology progress combined with the requirements of the modern industrial units settle imperative the need of systems to cover their needs for production line monitoring. For this purpose in this diploma thesis is presented a remote monitoring system with sensors which monitors in a daily basis machinery and environmental parameters and transfers them all to a cloud server for process and presentation. The presentation is in a simple data presentation platform using graphs and notifications and must be watched by production unit responsible. It must be noted that the high cost of the standard planned machinery maintenance is one more reason to install a monitoring system to reduce the maintenance costs. Another reason is the new ISO standards which force the industrial units to maintain specific environmental conditions for their employees. All above mentioned reasons and more technical or economic details for the system under discussion are elaborately explained in this thesis.

**Keywords:** <<Telemetry, Telematics, Sensor, Remote Monitoring, Condition Based Maintenance, Industrial Environment>>

## Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>6</b>
1.1	Χρησιμότητα και κίνητρα της διπλωματικής εργασίας.....	6
1.2	Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας .....	6
1.2.1	Συνεισφορά.....	7
1.3	Οργάνωση κειμένου .....	8
<b>2</b>	<b>Θεωρητικό υπόβαθρο .....</b>	<b>10</b>
2.1	Αισθητήρας.....	10
2.2	Cloud Services.....	11
2.3	Απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχος.....	11
2.4	Condition Based Maintenance .....	11
2.5	Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων .....	13
<b>3</b>	<b>Ανάλυση Απαιτήσεων Συστήματος .....</b>	<b>14</b>
3.1	Ορισμός του προβλήματος.....	14
3.2	Αιτιολόγηση του προβλήματος .....	14
3.2.1	Συντήρηση μηχανών.....	14
3.2.2	Απόδοση μηχανών.....	15
3.2.3	Συνθήκες εργασίας προσωπικού.....	15
3.2.4	Ασφάλεια χειριστών μηχανών.....	15
3.2.5	Διεθνείς επιβαλλόμενοι κανονισμοί .....	16
3.3	Περιορισμοί.....	16
3.3.1	Αντικατασκευαστικότητα συστήματος.....	16
3.3.2	Over the air programming.....	17
3.3.3	Ακρίβεια αισθητήρων.....	17
3.3.4	Βαθμονόμηση και Ευαισθησία Αισθητήρων <sup>15</sup> .....	17
3.3.5	Αντοχή σε κραδασμούς και υψηλές θερμοκρασίες .....	18
3.4	Κατηγορίες αισθητήρων .....	18
3.5	Χαρακτηριστικά χρηστών.....	22
<b>4</b>	<b>Αρχιτεκτονική Συστήματος .....</b>	<b>23</b>



4.1	Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων .....	23
4.1.1	Κατανάλωση ενέργειας .....	25
4.1.2	Πρωτόκολλα ασύρματης μετάδοσης.....	26
4.1.3	Τοπολογίες.....	28
4.1.4	Over the air programming <sup>21</sup> .....	29
4.2	Επεξεργασία, αποθήκευση και παρουσίαση δεδομένων .....	30
<b>5</b>	<b>Υλοποίηση .....</b>	<b>32</b>
5.1	Μελέτη .....	32
5.1.1	Επιθεώρηση χώρου και καταγραφή μηχανημάτων.....	33
5.1.2	Απαιτήσεις από τη φαρμακοβιομηχανία.....	34
5.1.3	Συχνότητα δειγματοληψίας .....	35
5.1.4	Επιλογή αισθητήρων <sup>20</sup> .....	36
5.1.5	Παρακολούθηση ποιότητας ηλεκτρικού δικτύου .....	38
5.2	Εγκατάσταση συστήματος .....	39
5.3	Συμπεράσματα.....	43
<b>6</b>	<b>Οικονομοτεχνική Μελέτη.....</b>	<b>44</b>
6.1	Συνολικό Κόστος Επένδυσης .....	44
6.2	Χρηματοδότηση του Έργου.....	46
6.3	Κόστος Συντήρησης .....	46
6.4	Ακαθάριστα Έσοδα.....	48
6.5	Έξοδα.....	50
6.6	Φορολογικά.....	51
6.7	Καθαρές Ταμειακές Ροές, ΚΠΑ και ΕΒΑ <sup>17</sup> .....	52
6.8	Ευαισθησία.....	55
6.9	Εναλλακτικές Επιλογές.....	56
6.10	S.W.O.T Ανάλυση.....	57
6.11	P.E.S.T Ανάλυση.....	57
<b>7</b>	<b>Επίλογος.....</b>	<b>59</b>
7.1	Μελλοντικές επεκτάσεις .....	60
<b>8</b>	<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>61</b>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

CBM	Condition Based Maintenance
OTAP	Over The Air Programming
IR	Infrared
BFS Engine	Blow, Fill, Seal Engine
ΚΠΑ/NPV	Καθαρή Παρούσα Αξία, Net Present Value
EBA/IRR	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης/Internal Rate of Return
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
PEST	Political, Economic, Social, Technological

## ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1 Αύξηση κραδασμών εν όψει ζημιάς μηχανής – lubsys.com .....	12
Εικόνα 2 Επικίνδυνες περιοχές – ATEX - atex-enclosure.com .....	16
Εικόνα 3 Εξελικτική πορεία βλάβης μηχανής σε διάστημα 9 μηνών - fluke.com .....	21
Εικόνα 4 Δίκτυο τοπολογίας mesh .....	24
Εικόνα 5 Πρωτόκολλο ασύρματης μετάδοσης Trusted Wireless .....	27
Εικόνα 6 Τοπολογία Mesh.....	28
Εικόνα 7 Τοπολογία Star .....	28
Εικόνα 8 Over the Air Programming - electronicsbus.com .....	29
Εικόνα 9 Αρχιτεκτονική συστήματος - libelium.com <sup>20</sup> .....	30
Εικόνα 10 Λογισμικό παρουσίασης δεδομένων - libelium.com <sup>20</sup> .....	31
Εικόνα 11 Libelium Sensor - Libelium <sup>20</sup> .....	36
Εικόνα 12 Libelium Sensor - Libelium <sup>20</sup> .....	36
Εικόνα 13 Libelium Sensor - Libelium <sup>20</sup> .....	36
Εικόνα 14 Libelium Sensor - Libelium <sup>20</sup> .....	37
Εικόνα 15 Libelium Sensor - Libelium <sup>20</sup> .....	37
Εικόνα 16 Libelium Sensor - Libelium <sup>20</sup> .....	37
Εικόνα 17 Αναλυτής Δικτύου - Schneider Electric <sup>22</sup> .....	37
Εικόνα 18 Ενεργός, Άεργος, Φαινομένη Ισχύς .....	38
Εικόνα 19 Κάτοψη γραμμής παραγωγής και θέσεις εγκατάστασης των αισθητήρων .....	39
Εικόνα 20 Libelium Smart Environment Pro <sup>20</sup> .....	40

Εικόνα 21 Libelium Smart Security <sup>20</sup> .....	40
Εικόνα 22 Libelium Smart Security <sup>20</sup> .....	41
Εικόνα 23 Αναλυτής ηλεκτρικού δικτύου - Schneider Elecric <sup>22</sup> .....	41
Εικόνα 24 Κεντρικός διαχειριστής δικτύου - Meshlium Gateway .....	42
Εικόνα 25 Γράφημα κόστους επένδυσης.....	46
Εικόνα 26 Καθαρή Ταμειακή Ροή σε Ονομαστικές Τιμές .....	54
Εικόνα 27 Αθροιστική Καθαρή Ταμειακή Ροή σε Παρούσα Αξία .....	55

## ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Εξίσωση 1 Ευαισθησία αισθητήρα.....	18
Εξίσωση 2 Πυκνότητα ασύρματων κόμβων σε μία περιοχή – Πηγή <sup>23</sup> .....	24
Εξίσωση 3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την ασύρματη επικοινωνία – Πηγή <sup>24</sup> .....	25
Εξίσωση 4 Καταναλισκόμενη ενέργεια από τον επεξεργαστή – Πηγή <sup>26</sup> .....	26
Εξίσωση 5 Συντελεστής Ισχύος.....	38
Εξίσωση 6 Έσοδα Επένδυσης .....	49
Εξίσωση 7 Λειτουργικά έξοδα .....	50
Εξίσωση 8 EBITDA και Αποσβέσεις.....	51
Εξίσωση 9 EBIT .....	51
Εξίσωση 10 Φόρος .....	51
Εξίσωση 11 Συντελεστής Αναγωγής σε Παρούσα Αξία .....	53
Εξίσωση 12 Μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου WACC .....	53

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1 Τοπολογίες .....	28
Πίνακας 2 Κατηγορίες αισθητήρων .....	37
Πίνακας 3 Ασύρματοι κόμβοι .....	41
Πίνακας 4 Κόστος επένδυσης.....	45
Πίνακας 5 Πλάνο προγραμματισμένης συντήρησης συστήματος.....	47
Πίνακας 6 Ζημιές τελευταίας δεκαετίας.....	48
Πίνακας 7 Ακαθάριστα Έσοδα.....	49
Πίνακας 8 Έξοδα .....	50

Πίνακας 9 Φορολογικά.....	52
Πίνακας 10 Ταμειακές ροές, ΚΠΑ, ΕΒΑ.....	54
Πίνακας 11 Μεταβολή Συντελεστή Φορολογίας.....	55
Πίνακας 12 Μεταβολή Πληθωρισμού.....	56
Πίνακας 13 Εναλλακτικές Επιλογές.....	56
Πίνακας 14 SWOT Analysis.....	57
Πίνακας 15 Ευαισθησία.....	59

# 1

## *Εισαγωγή*

### *1.1 Χρησιμότητα και κίνητρα της διπλωματικής εργασίας*

Η συνεχής παρακολούθηση μηχανών ή αισθητήρων και η περαιτέρω ανάλυση των συλλεγόμενων δεδομένων από αυτούς είναι από τα πιο ενδιαφέροντα ζητήματα που έχουν έρθει στην επικαιρότητα της τεχνολογίας τα τελευταία πέντε χρόνια. Ο χώρος της βιομηχανίας, της γεωργίας, της αυτοκινητοβιομηχανίας και οποιοσδήποτε άλλος κλάδος στον οποίο υπεισέρχεται η συνεχής χρήση μηχανών και αισθητήρων αντιμετωπίζει την ανάγκη παρακολούθησης αυτών και κατά συνέπεια την ανάγκη ανάλυσης των δεδομένων που συλλέγονται. Παράλληλα, η επιβολή προστίμων στις βιομηχανίες λόγω αυστηρότερης νομοθεσίας αλλά και η ανάγκη εξοικονόμησης χρημάτων για τη συντήρηση των μηχανών αποτελούν επιτακτικά κίνητρα για την εξέλιξη και εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης μηχανών. Στην ανάγκη αυτή έχουν ξεκινήσει να δίνουν λύσεις μεγάλες εταιρείες αυτοματισμού βιομηχανίας με σκοπό τα βοηθήσουν στην ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης και του κόστους λειτουργίας των μηχανών, αφού η ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται είναι αντιπροσωπευτική της κατάστασης λειτουργίας των μηχανών.

### *1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας*

Η παρούσα διπλωματική εργασία σκοπό έχει να παρουσιάσει και να αναλύσει πλήρως ένα σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης μηχανών και αισθητήρων καθώς και τη συλλογή τους σε κεντρικό server.

Παράλληλα, θα παρουσιαστεί και η οικονομική μελέτη η οποία θα κάνει ξεκάθαρο το γεγονός ότι η εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος εξοικονομεί χρήματα μειώνοντας τα έξοδα

λειτουργίας και συντήρησης των μηχανών, ενώ αποσβάνει σχετικά γρήγορα (10 έτη). Τέλος, σκοπεύει να δώσει λύσεις σε κοινά προβλήματα του χώρου της βιομηχανίας αλλά και αντίστοιχων χώρων, ενώ θα παρουσιαστεί και μία ολοκληρωμένη εφαρμογή του συστήματος σαν σενάριο εργασίας.

Αναλύοντας λίγο παραπάνω την πρακτική εφαρμογή του εν λόγω συστήματος παρατηρούμε ότι τα προβλήματα που μπορεί να λύσει ή να περιορίσει είναι πολλαπλά και εκτείνονται από το χώρο της βιομηχανίας και της γεωργίας μέχρι και τις κατασκευές και τα έξυπνα σπίτια:

- Condition Based Maintenance
- Παρακολούθηση λειτουργίας μηχανών και ηλεκτρικού δικτύου
- Προφύλαξη βιομηχανικών περιοχών από φωτιά ή πλημμύρα
- Παρακολούθηση από τη στεριά μηχανών και ηλεκτρογεννητριών πλοίων καθώς και συστημάτων πλοήγησης
- Παρακολούθηση συγκέντρωσης οξυγόνου στο νερό (παρακολούθηση ιχθυοκαλλιεργειών) ή στον αέρα καθώς και άλλων επικίνδυνων αερίων σε εκρηκτικά περιβάλλοντα ή σε περιβάλλοντα εργασίας
- Παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών σε αποθηκευτικούς χώρους και server rooms
- Παρακολούθηση κραδασμών και δονήσεων κτιρίου / αρχαίων μνημείων με οπτικούς αισθητήρες τάνυσης
- Παρακολούθηση σπιτιών (smart homes)

### **1.2.1 Συνεισφορά**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η παρούσα διπλωματική εργασία δύναται να λύσει παρεμφερή προβλήματα σε διάφορους χώρους που έχουν ως κοινό σημείο την ύπαρξη κρίσιμων μετρούμενων μεγεθών. Η τεχνολογία των αισθητήρων ξεκινά όταν ο πρώτος θερμοστάτης ήρθε στην αγορά το 1883 και ο πρώτος αισθητήρας υπερύθρων το 1940. Η εισαγωγή τους στη βιομηχανία έλυσε πολλά προβλήματα καθώς μπορούσαν πλέον στη γραμμή παραγωγής να γνωρίζουν τις στροφές των μηχανών τους, την πίεση των κυλίνδρων, την απόδοση των ηλεκτρογεννητριών κλπ. Όμως, δεν είναι μόνο η βιομηχανία που επωφελήθηκε από την εφεύρεση των αισθητήρων. Η ναυτιλία και ο χώρος των κατασκευών είναι επίσης παραδείγματα χώρων

στους οποίους η είσοδος των αισθητήρων διευκόλυνε τη συντήρηση των μηχανών και συνετέλεσε στην αποδοτικότερη λειτουργία τους.

Ξεινήσαμε λοιπόν από τη **βιομηχανία** εξετάσαμε τις ανάγκες παρακολούθησης της γραμμής παραγωγής. Μελετήσαμε τις ανάγκες μιας φαρμακοβιομηχανίας που παρασκευάζει και αποθηκεύει φάρμακα στην ίδια μονάδα. Ενδεικτικά, οι **ανάγκες** που προέκυψαν ήταν η παρακολούθηση και ο έλεγχος της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κοντά στις μηχανές καθώς και τα επίπεδα των εκπομπών αερίων τα οποία πρέπει να μην ξεπερνούν κάποια επίπεδα συγκέντρωσης (βάσει διεθνών κανονισμών).

Ένας ακόμα αντιπροσωπευτικός τομέας εφαρμογής είναι η **γεωργία** καθώς είναι συχνή η ανάγκη παρακολούθησης παραγόντων όπως π.χ. του επιπέδου μόλυνσης των υδάτων ή του ξεσπάσματος πυρκαγιάς στην περιοχή.

Για τις παραπάνω εφαρμογές αλλά και για πολλές άλλες μελετήσαμε την υλοποίηση ενός σύστημα απομακρυσμένης παρακολούθησης το οποίο είναι παραμετροποιήσιμο ώστε να προσαρμόζεται στις εκάστοτε ανάγκες και να γίνεται πιο εύκολη η παρακολούθηση των συστημάτων.

### **1.3 Οργάνωση κειμένου**

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται στα παρακάτω κεφάλαια:

#### [Κεφάλαιο 2](#)

Στο κεφάλαιο 2 παρατίθενται θεωρητικές έννοιες η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για την κατανόηση των επόμενων εννοιών και της ανάλυσης του συστήματος όπως οι υπηρεσίες cloud, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και το Condition Based Maintenance.

#### [Κεφάλαιο 3](#)

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η ανάλυση των απαιτήσεων του συστήματος. Στην ενότητα αυτή δίνεται ο ορισμός του προβλήματος καθώς και οι εφαρμογές αυτού, ενώ περιγράφονται και οι περιορισμοί που πρέπει να ικανοποιούνται από το σύστημα όπως π.χ. η αντικερηκτικότητα και η βαθμονόμηση των αισθητήρων.

#### [Κεφάλαιο 4](#)

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται η αρχιτεκτονική και ο σχεδιασμός του συστήματος για να είναι εφαρμόσιμο σε βιομηχανικό περιβάλλον (και όχι μόνο). Περιγράφεται η έννοια του ασύρματου δικτύου αισθητήρων με αναφορά στην κατανάλωση ενέργειας, στα πιθανά πρωτόκολλα ασύρματης μετάδοσης και στις πιθανές τοπολογίες. Τέλος, περιγράφεται η έννοια του Over the

Air Programming, χρήσιμη σε ότι αφορά τον επαναπρογραμματισμό των κόμβων του δικτύου, καθώς και η έννοιες της επεξεργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων.

### Κεφάλαιο 5

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται η περιγραφή μίας πρακτικής εφαρμογής του συστήματος σε μία φαρμακιοβιομηχανία. Παρατίθενται λεπτομέρειες της μελέτης σύμφωνα με τις ανάγκες καθώς και λεπτομέρειες της επιλογής των αισθητήρων και της εγκατάστασής τους.

### Κεφάλαιο 6

Στο κεφάλαιο 6 παρατίθεται η οικονομική μελέτη της εγκατάστασης του συστήματος που μελετήθηκε. Συγκεκριμένα, γίνεται καταγραφή του αρχικού κόστους εγκατάστασης, του κόστους συντήρησης καθώς και υπολογισμός του χρόνου απόσβεσης.

### Κεφάλαιο 7

Επίλογος της εργασίας

### Κεφάλαιο 8

Βιβλιογραφία



# 2

## Θεωρητικό υπόβαθρο

Πριν από την αναλυτική παρουσίαση του συστήματος χρήσιμο θα ήταν να οριστούν κάποιες έννοιες που θα χρειαστούν στην κατανόηση της αρχιτεκτονικής του.

### 2.1 Αισθητήρας

Αισθητήρας είναι μια συσκευή που ανιχνεύει και ανταποκρίνεται σε κάποιο είδος εισόδου από το φυσικό περιβάλλον. Η συγκεκριμένη είσοδος θα μπορούσε να είναι το φως, η θερμότητα, η κίνηση, η υγρασία, η πίεση, ή οποιαδήποτε άλλο περιβαλλοντικό φαινόμενο. Η έξοδος είναι εν γένει ένα σήμα που μετατρέπεται σε αναγνώσιμη μορφή κοντά στον αισθητήρα ή διαβιβάζεται ηλεκτρονικώς σε ένα δίκτυο για ανάγνωση ή περαιτέρω επεξεργασία. Μερικά παραδείγματα αισθητήρων είναι:

- Ο αισθητήρας οξυγόνου στο σύστημα ελέγχου εκπομπών ενός αυτοκινήτου ανιχνεύει την αναλογία βενζίνης/οξυγόνου, συνήθως μέσω μιας χημικής αντίδρασης που παράγει τάση (Volts). Ένας ελεγκτής στη μηχανή διαβάζει την τάση και, εάν δεν είναι η βέλτιστη, αναπροσαρμόζει την αναλογία.
- Οι αισθητήρες κίνησης σε διάφορα συστήματα, όπως τα φώτα ασφαλείας στο σπίτι και οι αυτόματες πόρτες στα καταστήματα, στέλνουν συνήθως μικροκύματα, υπερηχητικά κύματα ή ακτίνες φωτός και ανιχνεύουν τη διακοπή της ροής της ενέργειας από παρεμβαλλόμενα αντικείμενα παράγοντας στην έξοδό τους την κατάλληλη μεταβολή (trigger) τάσης ή ρεύματος για να ενεργοποιηθεί κάποιο σύστημα.
- Ο φωτοαισθητήρας που ανιχνεύει την παρουσία του ορατού φωτός, της μετάδοσης υπερόθρων (IR) και / ή της υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας, παράγει αντίστοιχα στην έξοδό του τάση, ρεύμα ή μεταβαλλόμενη αντίσταση (τα παλιά θερμοζεύγη)

## **2.2 Cloud Services**

Υπηρεσίες «σύννεφου» ή όπως συνήθως αναφέρονται ως Cloud υπηρεσίες είναι οι υπηρεσίες που διατίθενται στους χρήστες κατ' απαίτηση (on demand) μέσω του διαδικτύου από τους servers του παρόχου Cloud και όχι από τους εσωτερικούς servers της εταιρείας. Οι Cloud υπηρεσίες έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν εύκολη και επεκτάσιμη πρόσβαση στις εφαρμογές, στους πόρους και στις υπηρεσίες, ώστε να τις διαχειρίζεται πλήρως ο πάροχος των υπηρεσιών Cloud.

Μια υπηρεσία Cloud μπορεί να επεκταθεί δυναμικά και ανά πάσα στιγμή για να καλύψει τις ανάγκες των χρηστών της, και επειδή ο πάροχος υπηρεσιών παρέχει το υλικό και το λογισμικό που είναι απαραίτητο για την υπηρεσία, δεν υπάρχει καμία ανάγκη για μια εταιρεία να έχει δικούς της πόρους. Παραδείγματα των υπηρεσιών Cloud είναι η online αποθήκευση δεδομένων και οι λύσεις backup, οι υπηρεσίες ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που βασίζονται στο Web, η φιλοξενία λογισμικού γραφείου, οι υπηρεσίες διαμοιρασμού εγγράφων, η επεξεργασία δεδομένων από απαιτητικούς πόρους και άλλα.

## **2.3 Απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχος**

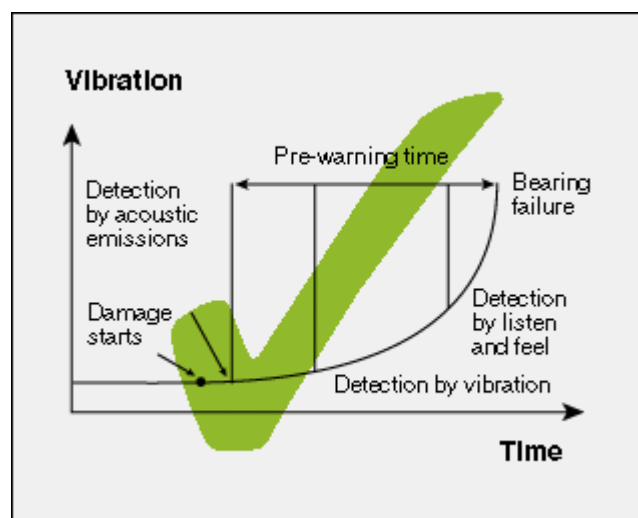
Η απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχος αναφέρεται σε έναν τομέα του βιομηχανικού αυτοματισμού, που εισέρχεται σε μια νέα εποχή με την ανάπτυξη των ασύρματων και ενσύρματων συσκευών ανίχνευσης – αισθητήρων. Μετά την παλιά τεχνολογία γνωστή ως SCADA, η απομακρυσμένη παρακολούθηση και ο έλεγχος αναφέρονται πλέον στη μέτρηση διαφορετικών συσκευών από ένα κέντρο διαχείρισης του δικτύου και στη δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου της λειτουργίας των διατάξεων αυτών από την εν λόγω κεντρική υπηρεσία (χωρίς να είναι απαραίτητη η φυσική παρουσία στο σημείο δειγματοληψίας).

## **2.4 Condition Based Maintenance**

Condition Based Maintenance (CBM) είναι μια στρατηγική συντήρησης που αξιολογεί την τρέχουσα πραγματική κατάσταση ενός λειτουργικού στοιχείου για να αποφασίσει τι συντήρηση απαιτείται. Η CBM<sup>16</sup> υπαγορεύει ότι η συντήρηση πρέπει να εκτελείται μόνο όταν ορισμένοι δείκτες παρουσιάζουν σημάδια της μείωσης των επιδόσεων ή επικείμενη αστοχία. Ο έλεγχος ενός μηχανήματος για τους δείκτες αυτούς μπορεί να περιλαμβάνει μη επεμβατικές μετρήσεις, οπτική επιθεώρηση, συλλογή δεδομένων απόδοσης (raw data) και προγραμματισμένες δοκιμές. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να συγκεντρωθούν σε ορισμένα χρονικά

διαστήματα, ή συνεχώς, εφαρμόζοντας ένα μόνιμο σύστημα παρακολούθησης όπως αυτό που αναλύεται στην εν λόγω εργασία.

Σε αντίθεση με την προγραμματισμένη συντήρηση, που εκτελείται σε προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα, η CBM εκτελείται μόνο όταν επιβάλλεται από τις τρέχουσες συνθήκες<sup>1</sup>. Η ανάλυση των δονήσεων για παράδειγμα μίας μηχανής (απαιτείται μεγάλη συχνότητα δειγματοληψίας) είναι μία πολύ βασική ένδειξη της κατάστασης της μηχανής και της απαιτούμενης ή μη συντήρησης αυτής (βλ. εικόνα). Σε σύγκριση με την προληπτική συντήρηση, αυτό αυξάνει το χρόνο μεταξύ των εργασιών συντήρησης, επειδή η συντήρηση γίνεται σε αναγκαία βάση.



Εικόνα 1 Αύξηση κραδασμών εν όψει ζημιάς μηχανής – [lubsys.com](http://lubsys.com)

Η CBM έχει κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με την προγραμματισμένη συντήρηση<sup>2,3</sup>:

- Βελτιωμένη αξιοπιστία του συστήματος
- Μείωση του κόστους συντήρησης
- Περιορισμός των εργασιών συντήρησης και συνεπώς μείωση του ανθρώπινου σφάλματος

Ενώ τα μειονεκτήματα είναι:

- Το υψηλό κόστος εγκατάστασης, ίσως μεγαλύτερο από το ίδιο το σύστημα που παρακολουθείται
- Οι απρόβλεπτες περίοδοι συντήρησης προκαλούν δαπάνες που δεν προγραμματίζονται
- Συντήρηση και έλεγχος του συστήματος που επιτελεί τη CBM

Σήμερα, λόγω του κόστους της, η CBM δε χρησιμοποιείται για λιγότερο σημαντικά μέρη της μηχανής, παρά τα προφανή πλεονεκτήματά της, καθώς συμφέρει να γίνεται η

προγραμματισμένη επισκευή παρά να δαπανηθούν χρήματα για την εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης και επιπλέον χρήματα για κάποιον άνθρωπο που θα το παρακολουθεί. Ωστόσο, μπορεί να βρεθεί παντού, όπου απαιτείται αυξημένη αξιοπιστία και ασφάλεια, και στο μέλλον αναμένεται να εφαρμόζεται ευρύτερα.

## ***2.5 Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων***

Η περιγραφή όλων των εννοιών που αφορούν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων θα περιγραφούν διεξοδικά παρακάτω, σε σχετικό κεφάλαιο.

# 3

## *Ανάλυση Απαιτήσεων Συστήματος*

Πρώτο μέλημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συλλογή των απαιτήσεων του συστήματος βάσει των αναγκών του εκάστοτε χώρου εφαρμογής του. Σε αυτό το κεφάλαιο θα κάνουμε πιο συγκεκριμένο το πρόβλημα που πραγματεύεται, εξετάζοντας το σκοπό ενός συστήματος παρακολούθησης σαν αυτό που μελετάται και περιγράφοντας όλους τους περιορισμούς στην εφαρμογή και λειτουργία του.

### *3.1 Ορισμός του προβλήματος*

Το πρόβλημα που εξετάζεται αφορά το χώρο της βιομηχανίας αλλά και της ναυτιλίας, της γεωργίας, των κατασκευών κτιρίων και οποιονδήποτε άλλο χώρο μπορούν να εγκατασταθούν αισθητήρες και χρήζει μόνιμης παρακολούθησης και λήψης αποφάσεων ακόμη και απομακρυσμένα.

Για όλες τις παραπάνω εφαρμογές μελετήθηκε ένα σύστημα συλλογής πληροφοριών και απομακρυσμένης παρακολούθησης παραμετροποιήσιμο και προσαρμόσιμο στις εκάστοτε ανάγκες ώστε να γίνεται πιο εύκολη η παρακολούθηση και ο έλεγχος των συστημάτων.

### *3.2 Αιτιολόγηση του προβλήματος*

Οι λόγοι ύπαρξης του προβλήματος που μελετάται είναι πολλαπλοί και εξηγούνται παρακάτω:

#### *3.2.1 Συντήρηση μηχανών*

Η συντήρηση μηχανών και μηχανημάτων συνήθως είναι προγραμματισμένη σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα ή μετά από συγκεκριμένες ώρες λειτουργίας (running hours).

Σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες η διαδικασία αυτή απαιτεί την ύπαρξη μηχανικού συντήρησης ο οποίος διατηρεί αρχείο όλων των εργασιών και είναι υπεύθυνος για την έγκαιρη συντήρηση των μηχανών. Η εγκατάσταση ενός μόνιμου συστήματος παρακολούθησης θα ευνοούσε την εφαρμογή της θεωρίας της CBM (Condition Based Maintenance) με σκοπό τη συντήρηση των μηχανών βάσει της τρέχουσας κατάστασης παρακολουθώντας συνεχώς την τάση των κραδασμών της μηχανής.

### **3.2.2 Απόδοση μηχανών**

Μια γραμμή παραγωγής στην οποία η απόδοση των μηχανών είναι σταθερή, σε αναμενόμενα επίπεδα, μπορεί να συντελέσει σε πιο εύρυθμη λειτουργία ολόκληρου του συστήματος του οποίου αποτελεί κινητήριο δύναμη. Η έγκαιρη συντήρηση των μηχανών και η συνεχής παρακολούθησή τους συνιστούν την άριστη λειτουργία τους σε βάθος χρόνου. Για παράδειγμα, η παρακολούθηση του επιπέδου λίπανσης ενός εμβόλου με τον κατάλληλο αισθητήρα, σε συνδυασμό με την παρακολούθηση κραδασμών<sup>19</sup>, βοηθά στο στοχευμένο προγραμματισμό της λίπανσης ανάλογα με τις τρέχουσες ανάγκες.

### **3.2.3 Συνθήκες εργασίας προσωπικού**

Στις βιομηχανίες και γενικά σε μέρη που διατηρείται μηχανοστάσιο, οι υπεύθυνοι προσωπικού και ασφαλείας φροντίζουν να παρακολουθούν καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγής τις συνθήκες εργασίας του προσωπικού. Τα επίπεδα οξυγόνου, διοξειδίου, μονοξειδίου, υγρασίας και πολλών άλλων παραμέτρων είναι ενδείξεις της καθαρότητας του περιβάλλοντος και χαρακτηριστικά καλών συνθηκών εργασίας. Άλλωστε, οι νέες νομοθεσίες επιβάλλουν κυρώσεις στις βιομηχανίες όπου οι εργαζόμενοι βρίσκονται σε ανθυγιεινές συνθήκες περιβάλλοντος.

### **3.2.4 Ασφάλεια χειριστών μηχανών**

Η σωστή και έγκαιρη συντήρηση διατηρεί τις μηχανές σε καλή κατάσταση δίνοντας το προνόμιο στους χειριστές των μηχανών να εργάζονται με μεγαλύτερη ασφάλεια. Για παραδειγμα, ένας γερανός ανύψωσης φορτίου σε προβλήτα φόρτωσης/εκφόρτωσης πρέπει να παρακολουθείται και να συντηρείται δυναμικά καθώς πιθανή βλάβη μπορεί να κοστίσει τη ζωή των εμπλεκόμενων χειριστών και μη.

### 3.2.5 Διεθνείς επιβαλλόμενοι κανονισμοί

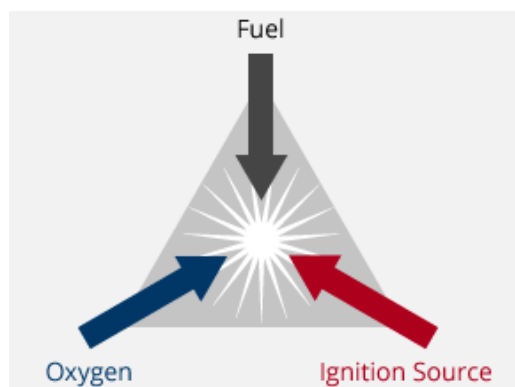
Συχνά, διεθνείς κανονισμοί επιβάλλουν στις βιομηχανίες την παρακολούθηση των εκπομπών και των ρύπων που ελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα. Ακόμη πιο σύνηθες είναι να επιβάλλονται κανονισμοί σε πλοία με σκοπό να περιοριστούν οι ρύποι που ελευθερώνονται.

## 3.3 Περιορισμοί

Ακολουθούν οι περιορισμοί που πρέπει να ικανοποιούνται από το σύστημα ώστε να λειτουργεί αδιάλειπτα και χωρίς προβλήματα.

### 3.3.1 Αντικερηκτικότητα συστήματος

Η εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης αισθητήρων σε περιβάλλοντα υψηλών επιπέδων εκρηκτικότητας είναι ένας από τους βασικότερους περιορισμούς αυτών των εγκαταστάσεων καθώς οι περισσότερες εφαρμογές αυτού του είδους είναι σε περιβάλλοντα υψηλού κινδύνου (π.χ. σπινθήρες από μηχανές κοπής, φαρμακοβιομηχανίες, δεξαμενές πετρελαίου κλπ). Για την ασφάλεια από πυρκαγιά ή αυτανάφλεξη, οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν για τέτοιες εφαρμογές πρέπει να ικανοποιούν τις προδιαγραφές προστασίας του χώρου βάσει των κανονισμών (Intrinsically safe sensors – ATEX approved)<sup>18</sup>.



Εικόνα 2 Επικίνδυνες περιοχές – ATEX - [atex-enclosure.com](http://atex-enclosure.com)

Επικίνδυνη ζώνη είναι μία περιοχή όπου, είτε έχει, είτε μπορεί να έχει φυσικό αέριο, ή ατμό ή στάχτη σε υψηλή συγκέντρωση. Όσο πιο συχνά εμφανίζεται το επικίνδυνο συστατικό στην περιοχή, τόσο πιο εκρηκτική είναι εκείνη. Οι εκρηκτικές περιοχές ταξινομημένες από την περισσότερο προς τη λιγότερο επικίνδυνη είναι:

**Zone 0:** > 1000 hours /year

**Zone 1:** 10 to 1000 hours/year

**Zone 2:** < 10 hours/year

### **3.3.2 Over the air programming**

Ο περιορισμός αυτού του είδους περιγράφεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

### **3.3.3 Ακρίβεια αισθητήρων**

Η ακρίβεια ενός αισθητήρα καθορίζεται από το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να περιέχεται στην ένδειξή του. Στην πράξη όλες οι συσκευές παράγουν σφάλμα στις μετρήσεις τους και το ζητούμενο είναι αυτό το σφάλμα να είναι το μικρότερο δυνατό. Η ακρίβεια των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στο εν λόγω σύστημα μπορεί να είναι υψηλής ή χαμηλής ακριβείας ανάλογα με την εφαρμογή και τη χρήση τους. Αν για παράδειγμα θέλουμε να παρακολουθούμε τη θερμοκρασία περιβάλλοντος για να ελέγχουμε τον κλιματισμό μίας μονάδας παραγωγής, ένα σφάλμα  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  είναι ανεκτό. Αντίθετα, αν μετρούμε την κλίση σε μία κινούμενη πλατφόρμα κάποιας βιομηχανικής εφαρμογής, θα έχουμε την απαίτηση ακριβείας μικρότερη από μια μοίρα. Συνεπώς, η επιλογή του αισθητήρα πρέπει να γίνεται ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής.

Ο όρος ακρίβεια (accuracy) εκφράζει τον βαθμό ελευθερίας του αισθητήρα από τυχαία σφάλματα. Αν πάρουμε μεγάλο αριθμό μετρήσεων από έναν ακριβή αισθητήρα, τότε η διασπορά τους θα είναι μικρή. Αν και η ακρίβεια συγχέεται συχνά με την πιστότητα, εν τούτοις η μεγάλη ακρίβεια δεν σημαίνει κατ' ανάγκην και μεγάλη πιστότητα.

Ένας ακριβής αισθητήρας μπορεί να έχει κακή πιστότητα. Κακής πιστότητας μετρήσεις από έναν ακριβή αισθητήρα, εισάγουν σε αυτές ένα συστηματικό σφάλμα, το οποίο μπορεί να διορθωθεί με βαθμονόμηση (διακριβωση) του αισθητήρα.

### **3.3.4 Βαθμονόμηση και Ευαισθησία Αισθητήρων <sup>15</sup>**

Η βαθμονόμηση (calibration) είναι η διαδικασία καθορισμού της συνάρτησης μεταφοράς ενός αισθητήρα ή γενικότερα ενός συστήματος μέτρησης. Η γνώση της συνάρτησης μεταφοράς του αισθητήρα είναι απαραίτητη κατά τη διαδικασία των μετρήσεων, έτσι ώστε μετρώντας την τιμή του ηλεκτρικού σήματος εξόδου που παράγει ο αισθητήρας, να υπολογίζεται μέσω της συνάρτησης μεταφοράς και η αντίστοιχη τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης εφαρμόζονται γνωστές τιμές του μετρούμενου φυσικού μεγέθους (από αντίστοιχες πρότυπες πηγές) στον αισθητήρα και μετρώνται οι αντίστοιχες τιμές του ηλεκτρικού σήματος εξόδου του. Η ακρίβεια με την οποία έχει καθοριστεί η συνάρτηση μεταφοράς του



αισθητήρα επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων, που λαμβάνονται κατά τη χρήση του αισθητήρα σε ένα σύστημα μέτρησης.

Η ευαισθησία (sensitivity) εκφράζει τη σχέση ανάμεσα στην αλλαγή της εξόδου και την αντίστοιχη αλλαγή της εισόδου, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η ευαισθησία ενός αισθητήρα είναι ίση με τη διαφορά των τιμών εξόδου προς τη διαφορά των αντίστοιχων τιμών της εισόδου, δηλαδή της μετρούμενης ποσότητας.

Άρα είναι :

$$\text{Ευαισθησία} = \frac{\max \text{τιμή εξόδου} - \min \text{τιμή εξόδου}}{\max \text{τιμή εισόδου} - \min \text{τιμή εισόδου}}$$

#### **Εξίσωση 1 Ευαισθησία αισθητήρα**

Οι μονάδες στις οποίες μετριέται η ευαισθησία ορίζονται από την παραπάνω εξίσωση και επομένως διαφέρουν ανάλογα με τη φύση του αισθητήρα και τη μετρούμενη ποσότητα.

#### **3.3.5 Αντοχή σε κραδασμούς και υψηλές θερμοκρασίες**

Σημαντική παράμετρος στην επιλογή του αισθητήρα είναι η αντοχή του σε κραδασμούς και υψηλές θερμοκρασίες. Τα περιβάλλοντα όπου εγκαθίστανται αυτά τα συστήματα είναι συνήθως γραμμές παραγωγής και γενικά βιομηχανικά περιβάλλοντα. Οι αισθητήρες και οι κόμβοι είναι κοντά σε μηχανές και μηχανήματα τα οποία αναπτύσσουν κραδασμούς και υψηλές θερμοκρασίες άνω των 50°C οπότε οι συσκευές που θα χρησιμοποιηθούν (αισθητήρες και κόμβοι) πρέπει να αντέχουν σε αυτές τις συνθήκες λειτουργίας.

### **3.4 Κατηγορίες αισθητήρων**

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία έχουν πλέον τη δυνατότητα να μετρούν τα περισσότερα μετρήσιμα μεγέθη καλύπτοντας τις ανάγκες όλων των βιομηχανικών εφαρμογών. Η έξοδος του αισθητήρα μπορεί να είναι:

- Ψηφιακή (pulse or level),
- Αναλογική (Volt, Ampere),
- Σειριακή (RS232/485/422),
- Αντίσταση, κλπ

### Αισθητήρας Θερμοκρασίας / Υγρασίας

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας/υγρασίας αποτελεί τη βασικότερη κατηγορία αισθητήρα και ταυτόχρονα τη πιο διαδεδομένη. Έχει εφαρμογή στην παρακολούθηση των επιπέδων θερμοκρασίας και υγρασίας περιβάλλοντος, δεξαμενών, υγρών και αερίων και λειτουργούν με δύο τεχνολογίες. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας με επαφή (θερμοζεύγη - RTD) είναι αισθητήρες ακριβείας και μεγέθους μερικών χιλιοστών και τοποθετούνται σε ακινητοποιημένη βάση για να μην καταπονούνται. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας χωρίς επαφή λειτουργούν αξιοποιώντας την τεχνολογία των υπέρυθρων. Οι υπέρυθροι αισθητήρες απορροφούν τη θερμική ακτινοβολία και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό σήμα. Το πλεονέκτημα της έλλειψης μηχανικής επαφής μεταξύ του αισθητήρα και του αντικειμένου καθιστά τους υπέρυθρους αισθητήρες ιδανικούς για εφαρμογές επιτήρησης θερμοκρασίας, όπως π.χ. κινούμενα αντικείμενα σε χώρους με δύσκολη πρόσβαση, αγωγίμα ή κολλώδη υλικά σε διαβρωτικά μέσα, όπου αφενός απαιτούνται μικροί χρόνοι απόκρισης και αφετέρου είναι επικίνδυνη η απ' ευθείας επαφή.

Οι αισθητήρες υγρασίας συνήθως συνοδεύουν τους προηγούμενους αισθητήρες καθώς η μελέτη των συνθηκών περιβάλλοντος ενός χώρου επιβάλλει τη μέτρηση και των δύο μεγεθών.

### Αισθητήρας Πίεσης / Μηχανικής Τάσης

Η πίεση και η μηχανική τάση είναι η δύναμη που ασκείται πάνω σε μία επιφάνεια, επομένως μετρούνται και τα δύο με τις ίδιες μονάδες ( $\text{Nm}^2$ ). Η λέξη πίεση αποτελεί ένα γενικό όρο και γενικά είναι μία μορφή μηχανικής τάσης. Οι αισθητήρες που μετρούν την πίεση, η οποία ασκείται σε υγρά ή αέρια, ονομάζονται αισθητήρες πίεσεως. Ένας μετατροπέας πίεσεως (pressure transducer) ανιχνεύει ενέργεια με την μορφή πίεσης και τη μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα (ρεύμα ή τάση). Η σχέση ανάμεσα στην πραγματική ηλεκτρική έξοδο και στην θεωρητική κλίμακα της πίεσης του οργάνου ορίζεται ως η ακρίβεια του μετατροπέα ή μεταδότη. Η πίεση είναι μια σημαντική παράμετρος στις βιομηχανικές εφαρμογές και στην διαχείριση συστημάτων θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού.

Οι ελαστικοί αισθητήρες πίεσης ονομάζονται έτσι, επειδή κάποιο τμήμα τους μπορεί να καμφθεί, να τεντωθεί ή παροδικά να παραμορφωθεί, όταν εφαρμόζεται σε αυτό μία πίεση.

Οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες πίεσης χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση δυναμικών φαινομένων πίεσης π.χ. δονήσεις σε κινητήρες.

Οι διαφορικοί αισθητήρες πίεσης χρησιμοποιούνται όταν στις άκρες ενός σωλήνα θέλει κανείς να μετρήσει τη διαφορά πίεσης και να κρίνει αν η σωλήνα έχει κάπου φράξει.

### Αισθητήρας Ανίχνευσης Αερίων

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μέτρηση της συγκέντρωσης αερίων και αερίων ρύπων σε χώρους βιομηχανικής παραγωγής και μηχανοστάσια, για λόγους κυρίως ασφάλειας των εργαζομένων αλλά και για την αποφυγή διαρροών και εκρήξεων. Για παράδειγμα, το οξυγόνο σε μία μονάδα με υψηλό κίνδυνο εκδήλωσης φωτιάς και απουσία ανθρώπινου παράγοντα πρέπει να παραμένει σε χαμηλό επίπεδο σε αντίθεση με μονάδες παραγωγής όπου εργάζονται άνθρωποι και το οξυγόνο πρέπει να είναι σε φυσιολογικά επίπεδα. Το μονοξείδιο του άνθρακα και άλλα τοξικά και δηλητηριώδη αέρια πρέπει να παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα για την υγεία των εργαζομένων αλλά και για την αποφυγή ατυχημάτων.

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι αισθητήρα είναι:

- a. Καταλυτικοί με πυρακτωμένο στοιχείο. Χρησιμοποιούνται πολύ συχνά, κυρίως για ανίχνευση εκρηκτικών αερίων.
- b. Ηλεκτροχημικοί. Χρησιμοποιούνται πιο σπάνια και κυρίως για ανίχνευση τοξικών αερίων σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση.
- c. Υπέρουθροι (IR). Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση τοξικών αερίων σε χαμηλή συγκέντρωση.

### Αισθητήρες Θορύβου

Η μέτρηση του επιπέδου του θορύβου κρίνεται απαραίτητη αν μέσα σε μία μονάδα παραγωγής πρέπει ο θόρυβος να κυμαίνεται σε ορισμένα επίπεδα για την υγεία των εργαζομένων.

### Αισθητήρες Κραδασμών

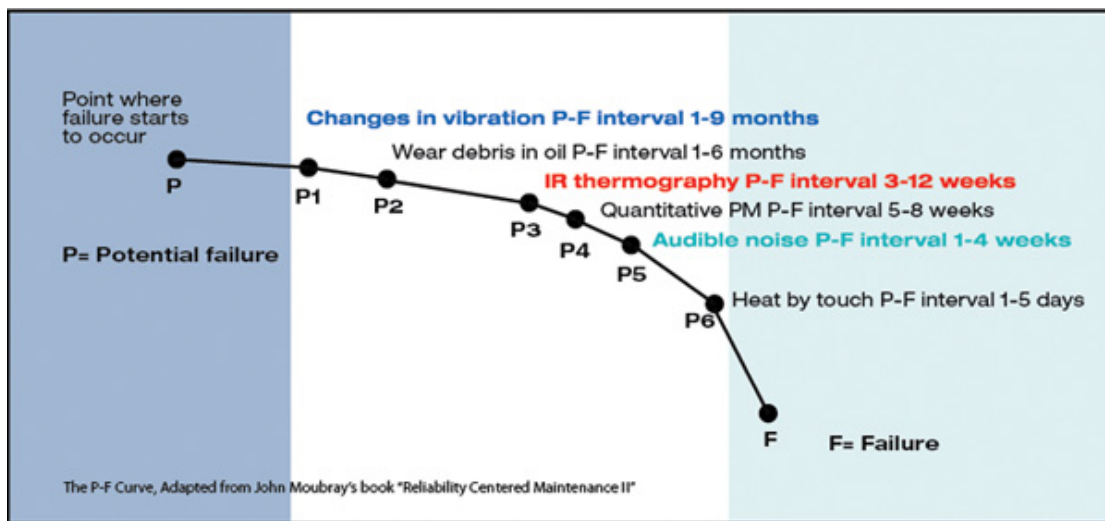
Οι αισθητήρες κραδασμών είναι το πιο χρήσιμο κομμάτι της προβλεπτικής συντήρησης μηχανημάτων (Condition Based Maintenance) στη βιομηχανία<sup>4,5</sup>. Πολλά εργοστάσια εξακολουθούν να λειτουργούν με τη λογική του να λειτουργούν οι μηχανές μέχρι να καταστραφούν χωρίς να ακολουθούν πλάνο συντήρησης. Σε αυτήν την περίπτωση, το προσωπικό συντήρησης τρέχει από τη μία καταστροφή στην άλλη και το κόστος συντήρησης και οι απώλειες παραγωγής είναι υψηλό.

Ορισμένες εταιρείες έχουν μεταβεί στην προληπτική ή βάσει ημερολογίου συντήρηση. Η συντήρηση προβλέπεται ανεξάρτητα από την πραγματική κατάσταση του εξοπλισμού. Με την προσέγγιση αυτή, υπάρχουν μηχανές που συντηρούνται χωρίς να το χρειάζονται πραγματικά., γεγονός το οποίο οδηγεί σε αύξηση του κόστους του προγράμματος συντήρησης.

Κατά τα τελευταία 30 χρόνια, πολλές εταιρείες μεταπηδούν από την προληπτική συντήρηση στο Condition Based Maintenance. Η κατάσταση των μηχανών μετράται με μεθόδους όπως η ανάλυση κραδασμών, που δεν απαιτεί διακοπή λειτουργίας της μηχανής για να

συμπεράνει ποια είναι η κατάσταση του. Η λογική αυτή προτείνει ότι η απαραίτητη επισκευή προγραμματίζεται όταν προκύπτει μια μηχανική βλάβη – ούτε νωρίτερα ούτε αργότερα.

Για τη μέτρηση και τη διάγνωση της υγείας του μηχανήματος χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές με πιο συνήθεις τη μέτρηση των δονήσεων και την υπέρυθη θερμογραφία. Το γράφημα δείχνει πώς εντοπίζονται οι βλάβες παρακολουθώντας τις δονήσεις και την υπέρυθη θερμογραφία. Αυτό που αξίζει να παρατηρήσει κανείς είναι ότι η βλάβη είναι αναγνωρίσιμη από τον άνθρωπο μόνο λίγο πριν από την τελική αστοχία της μηχανής, είτε ακούγοντας τον θόρυβο που δημιουργείται ή αντιλαμβάνοντας την περισσότερη ή λιγότερη θερμότητα που παράγεται.



Εικόνα 3 Εξελικτική πορεία βλάβης μηχανής σε διάστημα 9 μηνών - [fluke.com](http://fluke.com)

Πολύ σημαντικό στοιχείο για τους μηχανισμούς μέτρησης δόνησης είναι ότι η ανάλυση δόνησης χωρίζεται στα παρακάτω βήματα:

- Αναγνώριση της κορυφής δόνησης (vibration peak) και εντοπισμός του στοιχείου από το οποίο πηγάζει ο κραδασμός
- Ταυτοποίηση της βλάβης. Μοτίβα που βασίζονται σε κανόνες κραδασμών. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κορυφή δόνησης που προκύπτει από ένα συγκεκριμένο τμήμα της μηχανής, συνδέεται με μία συγκεκριμένη και καταγεγραμμένη βλάβη
- Μέτρηση του πλάτους της κορυφής δόνησης για να προσδιοριστεί η σοβαρότητα της βλάβης.

#### Αισθητήρες ροής & στάθμης υγρού

Οι αισθητήρες ροής υπερήχων doppler (φαινόμενο Doppler) μετρούν τη ροή εξωτερικά του αγωγού μέσω δετού αισθητήρα. Εκπέμπουν συνεχώς υπέρηχους στα 640 kHz που διασχίζουν τα τοιχώματα του σωλήνα και το τρεχούμενο υγρό. Ο ήχος ανακλάται πίσω στον αισθητήρα από

σωματίδια ή φυσαλίδες που υπάρχουν στο υγρό και έτσι υπολογίζεται η ροή. Οι μετρητές ροής doppler μετρούν διαρκώς αυτές τις μεταβολές συχνότητας για να υπολογίσουν τη ροή. Οι αισθητήρες ροής χρησιμεύουν σε εφαρμογές όπου πρέπει να ελέγχεται η ροή υγρών για να μετρηθούν καταναλώσεις αλλά και οι προμήθειες μεγάλων ποσοτήτων υγρού (π.χ. πετρελαίου).

Οι αισθητήρες στάθμης χρησιμοποιούνται για έλεγχο επιπέδου στάθμης, ή για ενεργοποίηση συναγερμού. Οι αισθητήρες στάθμης συνεχούς μέτρησης χρησιμοποιούνται για μέτρηση της στάθμης εντός ορισμένων ορίων και εξασφαλίζουν συνεχή επιτήρηση στάθμης. Χωρίζονται σε:

- Αισθητήρες Στάθμης Σημείων
- Αισθητήρες Συνεχούς Στάθμης

#### Άλλοι Αισθητήρες

Άλλες κατηγορίες χρήσιμων αισθητήρων για τη βιομηχανία είναι οι αισθητήρες επαφής για την παρακολούθηση στρωφών, οι αισθητήρες απόστασης με χρήση υπερήχων, οι αισθητήρες κλίσης για την παρακολούθηση της κλίσης κάποιας πλατφόρμας και οι αισθητήρες παρακολούθησης ροής ηλεκτρικού ρεύματος για λόγους ασφαλείας.

### **3.5 Χαρακτηριστικά χρηστών**

Οι χρήστες των συστημάτων παρακολούθησης κρίσιμων μεγεθών σε μια γραμμή παραγωγής είναι στην πλειοψηφία τους μηχανικοί οι οποίοι επιβλέπουν την καλή και αποδοτική λειτουργία των μηχανών. Αυτό σημαίνει ότι ο τρόπος παρουσίασης των συλλεγόμενων δεδομένων θα πρέπει να είναι φιλικός προς εκείνους ώστε να μπορούν να εξάγουν εύκολα και γρήγορα χρήσιμα συμπεράσματα. Επειδή όμως κάποιες ώρες τα άτομα που παρακολουθούν τα διάφορα συστήματα είναι χρήστες που δεν έχουν τεχνικές γνώσεις (π.χ. φύλακες μηχανοστασίου) η παρουσίαση των δεδομένων πρέπει να είναι φιλική προς το χρήστη ώστε τα κρίσιμα συμβάντα να γίνονται εύκολα και γρήγορα αντιληπτά και να αντιμετωπίζονται εν τη γενέσει τους.

# 4

## *Αρχιτεκτονική Συστήματος*

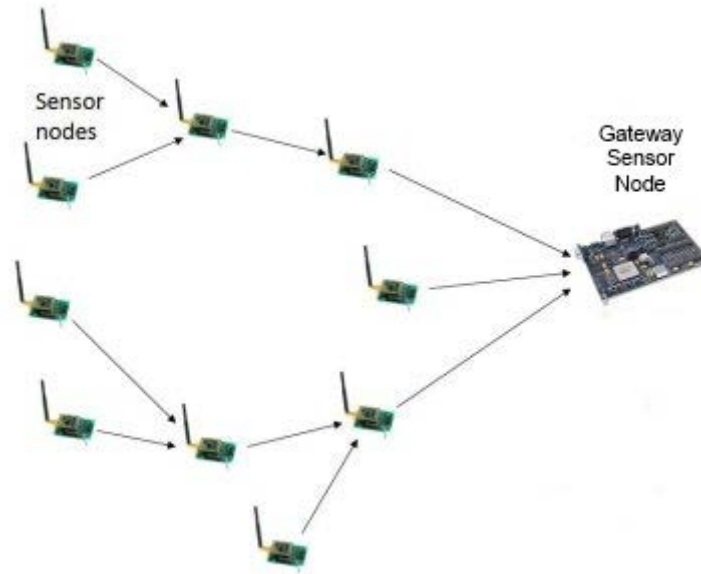
Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η αρχιτεκτονική του συστήματος παρακολούθησης των αισθητήρων. Το εν λόγω σύστημα παρακολούθησης αισθητήρων απαρτίζεται από μικρότερα υποσυστήματα τα οποία περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω. Σε κάθε υποσύστημα περιγράφεται εκτενώς ο τρόπος λειτουργίας αυτού και παρατίθενται ενδεικτικά παραδείγματα για την πληρέστερη παρουσίαση.

### *4.1 Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων*

Οι αισθητήρες είναι η πηγή συλλογής των πληροφοριών εισόδου του συστήματος. Οι αισθητήρες που απαρτίζουν το σύστημα σχηματίζουν ένα ασύρματο δίκτυο μετάδοσης που αποτελείται από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες για την παρακολούθηση των μεγεθών που μετρούν (π.χ. θερμοκρασία, ήχος, ατμοσφαιρική πίεση). Οι αισθητήρες αυτοί συνήθως δημιουργούν ένα αδόμητο και αυτοοργανούμενο δίκτυο μέσω του οποίου μεταφέρονται τα δεδομένα σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία (κεντρικός κόμβος συλλογής δεδομένων). Τα πιο μοντέρνα δίκτυα είναι ικανά και να δίνουν αλλά και να δέχονται πληροφορίες πράγμα που τους επιτρέπει να ελέγχουν την δραστηριότητα των αισθητήρων (remote control)<sup>6</sup>.

Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από πολλαπλούς κόμβους, όπου κάθε κόμβος συνδέεται σε έναν αισθητήρα. Κάθε τέτοιος κόμβος του δικτύου αισθητήρων έχει κάποια χαρακτηριστικά κομμάτια: (α) ένα ραδιοπομποδέκτη με μια εσωτερική ή μια εξωτερική κεραία, (β) ένα μικρο-ελεγκτή ο οποίος εκτελεί τις λειτουργίες επεξεργασίας των δεδομένων, και το χρονοπρογραμματισμό των διαφόρων διεργασιών, (γ) ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και (δ) μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία ή ένα εξωτερικό τροφοδοτικό.

Οι περιορισμοί σε μέγεθος και κόστος έχουν ως αποτέλεσμα αντίστοιχους περιορισμούς σε πόρους όπως ενέργεια, μνήμη, υπολογιστική ταχύτητα/ισχύ και στο εύρος ζώνης των επικοινωνιών<sup>7,8,9</sup>. Η τοπολογία των αισθητήρων μπορεί να διαφέρει από ένα δίκτυο τοπολογίας αστέρος (star) σε ένα αναπτυγμένο ασύρματο δίκτυο τοπολογίας mesh<sup>10,11</sup>.



**Εικόνα 4 Δίκτυο τοπολογίας mesh**

Ο αριθμός των αισθητήριων κόμβων στο ίδιο δίκτυο αισθητήρων μπορεί να είναι της τάξης των εκατοντάδων ή χιλιάδων. Ανάλογα με την εφαρμογή, ο αριθμός αυτός μπορεί να φτάσει και την ακραία τιμή των εκατομμυρίων. Ό,τι πρωτόκολλο σχεδιαστεί θα πρέπει να μπορεί να χειριστεί αυτόν τον αριθμό των κόμβων. Η πυκνότητα τοποθέτησης των κόμβων και άρα η χωρική διασπορά των σημείων δειγματοληψίας μπορεί να διαφέρει από μερικούς μέχρι εκατοντάδες κόμβους σε μια περιοχή η οποία μπορεί να είναι μικρότερη σε διάμετρο από 10m. Η πυκνότητα μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$\mu(R) = \frac{(N\pi R)^2}{A}$$

**Εξίσωση 2 Πυκνότητα ασύρματων κόμβων σε μία περιοχή – Πηγή <sup>23</sup>**

όπου **N** είναι ο αριθμός των διασπαρμένων κόμβων σε μια περιοχή **A** και **R** η εμβέλεια της ασύρματης μετάδοσης. Το **μ(R)** δίνει τον αριθμό των κόμβων μέσα στην εμβέλεια της ασύρματης μετάδοσης του κάθε κόμβου που ανήκει στην περιοχή A.

Η πυκνότητα των κόμβων εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία εγκαταστάθηκαν οι αισθητήριοι κόμβοι. Για την παρακολούθηση μηχανημάτων, η πυκνότητα των αισθητήριων

κόμβων είναι περίπου 300 για μια περιοχή 5m<sup>2</sup>. Ένα σπίτι μπορεί να περιέχει περίπου δύο 12αδες οικιακών συσκευών που να περιέχουν αισθητήριους κόμβους, αλλά αυτός ο αριθμός μεγαλώνει αν οι αισθητήριοι κόμβοι εμφυτεύονται στην επίπλωση και σε άλλα μικροαντικείμενα. Για εφαρμογές παρακολούθησης οικιών, ο αριθμός των κόμβων κυμαίνεται από 25 ως 100 ανά περιοχή.

#### 4.1.1 Κατανάλωση ενέργειας

Ο ασύρματος αισθητήριος κόμβος είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που τροφοδοτείται από μια πηγή ενέργειας (<0.5 Ah, 1.2V). Σε ένα δίκτυο αισθητήρων ο κάθε κόμβος παίζει το ρόλο του αποστολέα (συχνά του παραλήπτη) αλλά και του δρομολογητή. Τυχόν βλάβες σε κάποιους από τους κόμβους δημιουργούν ανάγκη για αναδιοργάνωση του δικτύου και επαναδρομολόγηση των μηνυμάτων, γι αυτό και τα δίκτυα που σχηματίζουν χαρακτηρίζονται ως αυτό-οργανούμενα. Συνεπώς η σωστή διαχείριση της ενέργειας των κόμβων παίζει μεγάλο ρόλο. Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να αποδοθεί σε τρεις λειτουργίες: sensing (συλλογή δεδομένων), επικοινωνία και επεξεργασία δεδομένων.

Η πιο απαιτητική λειτουργία, από άποψη κατανάλωσης ενέργειας, είναι η επικοινωνία. Συνήθως, για τις μικρές αποστάσεις που λειτουργούν οι αισθητήριοι κόμβοι η κατανάλωση είναι ίδια κατά την εκπομπή και την λήψη. Βεβαίως, εκτός από αυτό, σοβαρό ρόλο παίζει και το άνοιγμα και κλείσιμο του κυκλώματος του πομποδέκτη. Η παρακάτω εξίσωση παρουσιάζει την κατανάλωση της ενέργειας κατά την ασύρματη επικοινωνία:

$$P_c = N_T [P_T (T_{on} + T_{st}) + P_{out} (T_{on})] + N_R [P_R (R_{on} + R_{st})]$$

#### Εξίσωση 3 Κατανάλωση ενέργειας κατά την ασύρματη επικοινωνία – Πηγή <sup>24</sup>

όπου  $P_{T/R}$  είναι η ενέργεια που καταναλώνεται από τον πομπό/ δέκτη,  $P_{out}$  η ενέργεια εξόδου του πομπού,  $T/R_{on}$  ο χρόνος που ο πομπός/δέκτης είναι ενεργός,  $T/R_{st}$  ο χρόνος έναρξης του πομπού/δέκτη και  $N_{T/R}$  ο αριθμός των φορών που ο πομπός/δέκτης ανοίγει στην μονάδα του χρόνου, ο οποίος και εξαρτάται από το ανατιθέμενο σκοπό αλλά και το πρωτόκολλο στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων (MAC Layer). Οι σημερινοί πομποδέκτες έχουν τυπικές τιμές  $P_T$  και  $P_R$  περίπου στα 20 dbm και  $P_{out}$  κοντά στα 0 dbm.

Κατά πολύ μικρότερη είναι η ενέργεια που καταναλώνεται κατά την φάση της επεξεργασίας των δεδομένων σε σχέση με την αντίστοιχη στη φάση της επικοινωνίας. Συνεπώς θα πρέπει ο κόμβος να έχει ενσωματωμένο κύκλωμα επεξεργασίας προκειμένου να επεξεργάζεται τα δεδομένα με απώτερο σκοπό να στέλνει το δυνατόν λιγότερα πακέτα κατά την φάση της επικοινωνίας. Η ενέργεια που καταναλώνει ο επεξεργαστής εξαρτάται από την τάση και την



συχνότητα λειτουργίας του. Συνεπώς αν μειωθούν οι δύο αυτοί παράγοντες θα επιτευχθεί μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Βέβαια θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι με μείωση της κατανάλωσης θα μειωθεί και η ικανότητα επεξεργασίας. Μια άλλη εναλλακτική μπορεί να έχει ως βασική αρχή το γεγονός ότι ο επεξεργαστής εργάζεται λίγες φορές στο μέγιστο της απόδοσής του, οπότε με τη χρήση ενός δυναμικού τρόπου αυξομείωσης του ρεύματος και της συχνότητας λειτουργίας του μπορεί να επιτευχθεί οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας.

Η ενέργεια που σπαταλάται μπορεί να δοθεί ως εξής:

$$P_p = CV_{dd}^2 f_t + V_{dd} I_0 e^{\frac{V_{dd}}{nV_t}}$$

#### Εξίσωση 4 Καταναλισκόμενη ενέργεια από τον επεξεργαστή – Πηγή <sup>26</sup>

όπου  $C$  είναι η ολική χωρητικότητα μεταγωγής (total switching capacitance),  $V_{dd}$  η τάση και  $f$  η συχνότητα αλλαγής.

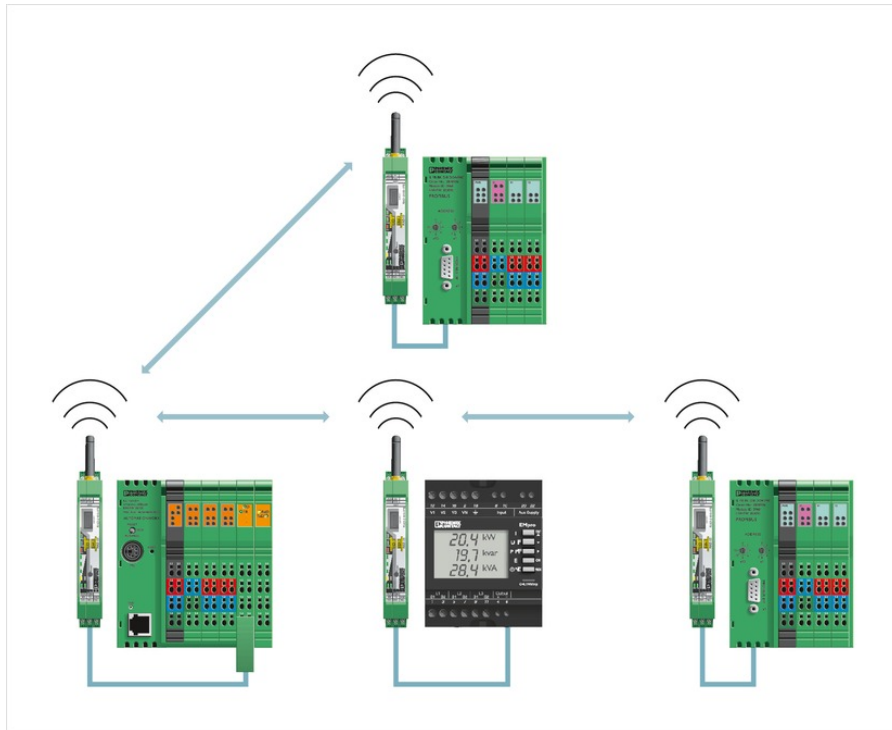
#### 4.1.2 Πρωτόκολλα ασύρματης μετάδοσης

Σε ένα δίκτυο αισθητήρων, οι κόμβοι συνδέονται ασύρματα. Αυτές οι ασύρματες ζεύξεις μπορούν να υλοποιηθούν με διάφορα πρωτόκολλα:

Μια επιλογή για ασύρματες ζεύξεις είναι η χρήση της **Βιομηχανικής, Επιστημονικής και Ιατρικής Μπάντας** (Industrial Scientific Medical ISM Band), η οποία προσφέρεται χωρίς άδεια χρήσης στις περισσότερες χώρες. Κάποιες από αυτές τις συχνότητες χρησιμοποιούνται ήδη για επικοινωνία σε ασύρματα τηλέφωνα ή τοπικά ασύρματα δίκτυα (WLANs). Για τα δίκτυα αισθητήρων απαιτείται ένας μικρού μεγέθους, χαμηλού κόστους και πολύ χαμηλής ενέργειας πομποδέκτης. Επίσης προτείνεται η χρήση των 433MHz στην Ευρώπη και των 915MHz στην Β. Αμερική. Το κύριο πλεονέκτημα χρήσης των συχνοτήτων ISM είναι η δωρεάν χρήση, το τεράστιο φάσμα και η παγκόσμια διαθεσιμότητα.

Ένα άλλος πιθανός τρόπος επικοινωνίας είναι μέσω **υπερύθρων**. Η επικοινωνία μέσω υπερύθρων μπορεί να γίνει χωρίς άδεια χρήσης και είναι ανθεκτική στις παρεμβολές από ηλεκτρικές συσκευές. Οι πομποδέκτες υπερύθρων είναι φθηνοί και κατασκευάζονται με σχετικά εύκολο τρόπο. Πολλές από τις σημερινές συσκευές όπως τηλέφωνα και υπολογιστές κατασκευάζονται έχοντας ενσωματωμένο ένα πομποδέκτη υπερύθρων. Το μόνο μειονέκτημα τους είναι η απαίτηση για οπτική επαφή μεταξύ των επικοινωνούντων συσκευών. Το τελευταίο κάνει αποτρεπτική την επιλογή για χρήση υπερύθρων σαν μέσο μετάδοσης σε δίκτυα ασύρματων αισθητήρων.

Το ασύρματο πρωτόκολλο **Trusted Wireless**<sup>14</sup> που έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία Phoenix Contact είναι επίσης κατάλληλο για αυτού του είδους τη μετάδοση δεδομένων στα 2.4GHz. Είναι γρήγορο, αξιόπιστο και λειτουργεί σε δίκτυα τοπολογίας mesh ή αστέρα.



**Εικόνα 5 Πρωτόκολλο ασύρματης μετάδοσης Trusted Wireless**

**Πηγή:Phoenix Contact**

Το πρωτόκολλο αυτό καλύπτει το κενό μεταξύ του WirelessHART και του WirelessLAN υψηλής ταχύτητας, εστιάζοντας στις απαιτήσεις της βιομηχανίας παρέχοντας:

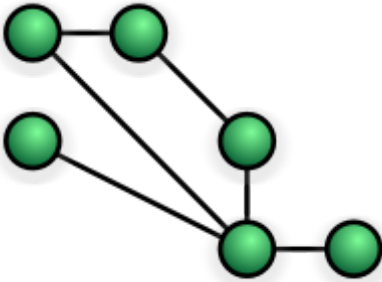
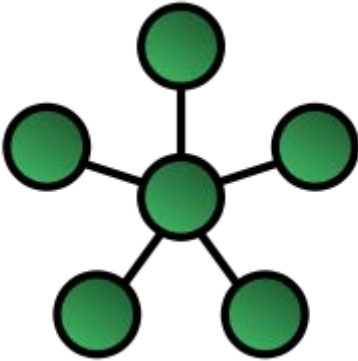
- Αξιόπιστη επικοινωνία λόγω FHSS
- 128 bit κρυπτογράφηση δεδομένων
- Αυτόματη διαχείριση του δικτύου που σημαίνει ότι κάθε κόμβος μπορεί να συνδεθεί απευθείας στον κεντρικό διαχειριστή δεδομένων ή μέσω κάποιου γειτονικού-ενδιάμεσου κόμβου. Αυτό καθιστά τη μετάδοση δεδομένων ταχύτερη
- Κάλυψη μεγάλων αποστάσεων (~300μ)

Το **WirelessHART**<sup>12</sup> (της Rosemount) είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης στα 2.4GHz που βασίζεται στο πρωτόκολλο επικοινωνίας HART. Το πιο αξιοσημείωτο πλεονέκτημα είναι ότι υποστηρίζει την ανάγνωση σημάτων 4-20mA που είναι τα πιο διαδεδομένα στη βιομηχανία.

Το γνωστό σε όλους **Wifi** (IEEE 802.11) πρωτόκολλο στα 2.4GHz.

### 4.1.3 Τοπολογίες

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων συναντώνται σε διάφορες τοπολογίες, όπως αναλύονται παρακάτω.

Τοπολογία	Εικόνα
<p>Το δίκτυο τοπολογίας mesh είναι ένα δίκτυο στο οποίο κάθε κόμβος στέλνει δεδομένα στο δίκτυο και όλοι οι κόμβοι συνεργάζονται για την κυκλοφορία και διανομή των δεδομένων στο δίκτυο.</p> <p>Ένα mesh δίκτυο μπορεί να μεταδώσει τα μηνύματα χρησιμοποιώντας είτε την τεχνική πλημμύρας ή την τεχνική δρομολόγησης. Με τη δρομολόγηση, το μήνυμα διαδίδεται κατά μήκος μιας διαδρομής με άλματα από κόμβο σε κόμβο (hop) μέχρι να φτάσει στον προορισμό του. Για να διασφαλιστεί η διαθεσιμότητα όλων των μονοπατιών του, το δίκτυο πρέπει να επιτρέπει συνεχείς συνδέσεις και να αναμορφώνει τα χαμένα μονοπάτια με χρήση κατάλληλων αλγορίθμων (Shortest Path Bridging). Η αυτοίαση (self-healing) επιτρέπει την δρομολόγηση των δεδομένων όταν ένας κόμβος καταστρέφεται ή όταν η σύνδεση γίνεται αναξιόπιστη</p>	 <p><b>Εικόνα 6 Τοπολογία Mesh</b></p>
<p>Το δίκτυο τοπολογίας star (αστέρα) είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από ένα κεντρικό switch, hub ή υπολογιστή, το οποίο ενεργεί ως αγωγός για τη μετάδοση μηνυμάτων. Αυτός είναι ο κεντρικό κόμβος, όπου είναι συνδεδεμένοι όλοι οι υπόλοιποι κόμβοι και παρέχει ένα κοινό σημείο σύνδεσης για όλους.</p> <p>Η τοπολογία αστέρα μειώνει τη ζημιά που προικαλείται από την αποτυχία μίας γραμμής συνδέοντας όλα τα συστήματα σε ένα κεντρικό κόμβο. Η αποτυχία μίας γραμμής μετάδοσης που συνδέει κάθε περιφερειακό κόμβο προς τον κεντρικό κόμβο, έχει ως αποτέλεσμα την απομόνωση του εν λόγω περιφερειακού κόμβου από όλους τους άλλους, αφήνοντας το υπόλοιπο των συστημάτων ανεπηρέαστο.</p>	 <p><b>Εικόνα 7 Τοπολογία Star</b></p>

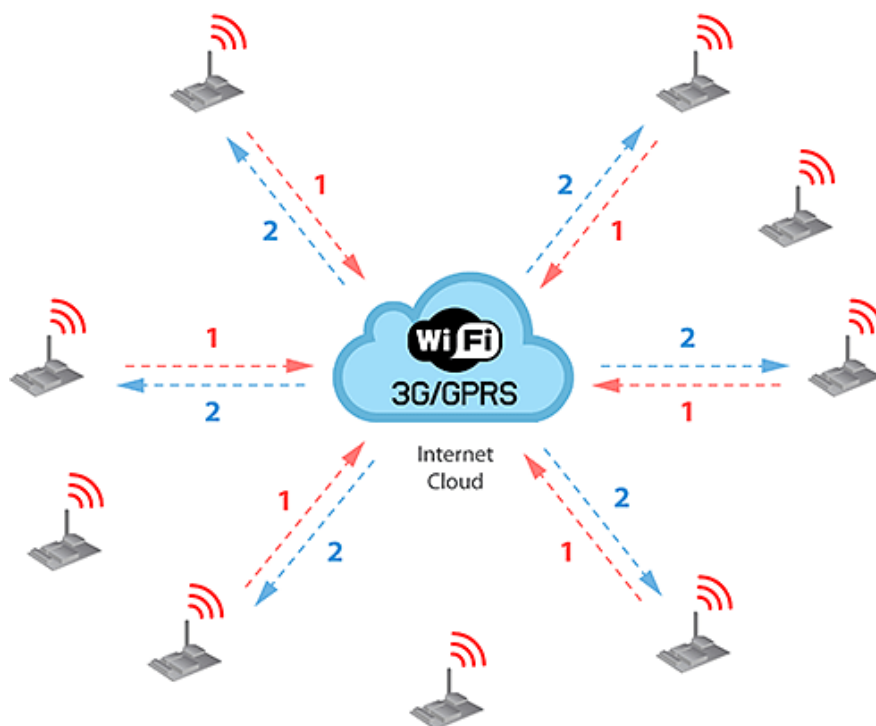
**Πίνακας 1 Τοπολογίες**

#### 4.1.4 Over the air programming<sup>21</sup>

Την τελευταία δεκαετία το Over the Air Programming χρησιμοποιείται ευρέως από τη βιομηχανία κινητών τηλεφώνων. Αυτό επιτρέπει τα νέα λογισμικά να στέλνονται στα κινητά τηλέφωνα και να εγκαθίστανται αυτόματα οι νέες υπηρεσίες καθώς οι ασύρματοι κόμβοι είναι συνήθως σε μέρη δυσπρόσιτα και έτσι διευκολύνεται ο προγραμματισμός τους.

Οι αναβαθμίσεις firmware μπορούν να γίνουν μέσα σε λίγα λεπτά και είναι δυνατόν να επιλέξουν μεταξύ ενημέρωσης σε μεμονωμένους κόμβους (unicast), πολλαπλούς κόμβους (multicast) ή ένα ολόκληρο δίκτυο (broadcast). Το OTAP (Over the air programming) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση «κολλημένων» κόμβων, καθώς και για την εύρεση κόμβων σε μια συγκεκριμένη περιοχή, κάνοντας broadcast μία ερώτηση αναζήτησης κόμβου.

Το OTAP που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Libelium<sup>20</sup> μπορεί να λειτουργήσει τόσο με direct όσο και με multihop πρόσβαση. Στην περίπτωση των δικτύων 802.15.4 ή 3G/GPRS/WiFi, οι κόμβοι που πρέπει να αναβαθμιστούν μπορούν να είναι προσβάσιμοι απευθείας από τον κεντρικό διαχειριστή. Κατά την εκτέλεση OTAP με απευθείας πρόσβαση, το κανάλι που χρησιμοποιείται στα 2.4GHz αλλάζει και έτσι δεν προκαλούνται παρεμβολές στους υπόλοιπους των κόμβους.



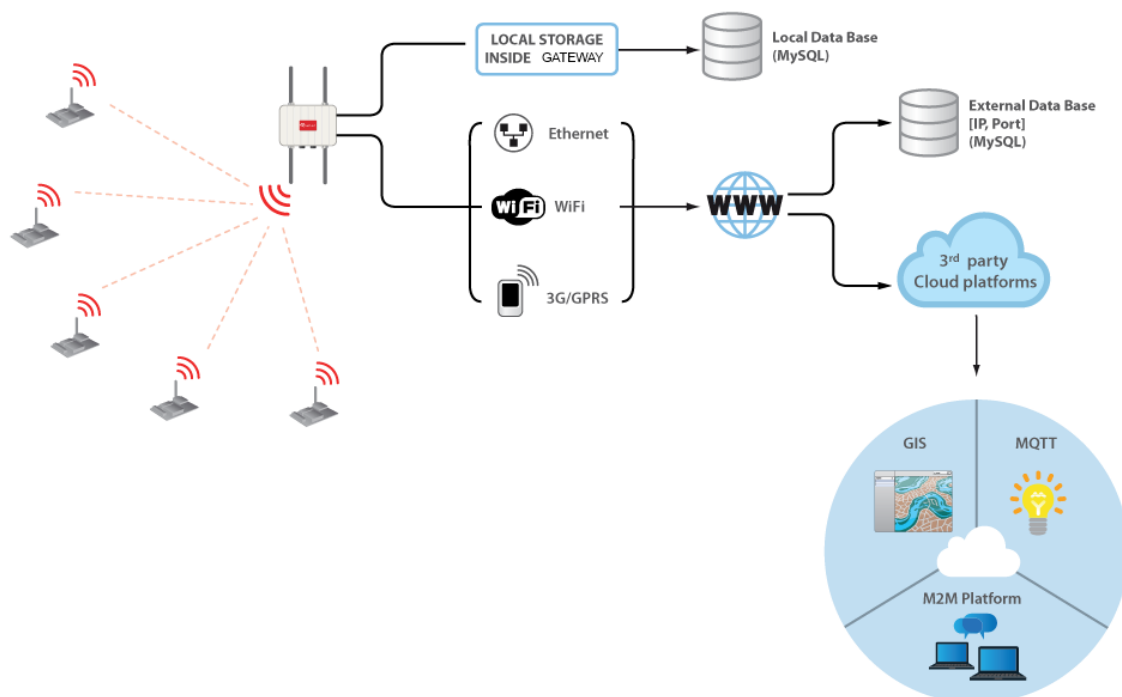
Εικόνα 8 Over the Air Programming - [electronicsbus.com](http://electronicsbus.com)

## 4.2 Επεξεργασία, αποθήκευση και παρουσίαση δεδομένων

Όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα, τα δεδομένα που ανταλλάσσονται στο ασύρματο δίκτυο συγκεντρώνονται στον κεντρικό διαχειριστή του δικτύου (παράδειγμα Meshlium gateway της Libelium<sup>20</sup>) και στη συνέχεια μεταφέρονται μέσω cloud σε έναν cloud server ώστε να είναι προσβάσιμα ανά πάσα στιγμή μέσω διαδικτύου.

Ο κεντρικός διαχειριστής πρέπει να υποστηρίζει πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως WiFi, Ethernet και 802.15.x, 3G/GPRS για να μπορεί να λαμβάνει δεδομένα από τους κόμβους, να τα διαβάζει και να τα αποθηκεύει σε μία τοπική βάση δεδομένων. Η τεχνολογία 802.15 επιτρέπει στα δεδομένα να αποθηκεύονται σχεδόν στιγμιαία στη βάση και επιτρέπει στους χρήστες να τα προσπελάσουν την ίδια στιγμή μέσω μιας public IP διεύθυνσης, από mobile συσκευή ή υπολογιστή αξιοποιώντας τις υπηρεσίες cloud (π.χ. MS Azure, esri, Axeda κλπ). Σε περίπτωση που χαθεί η σύνδεση με τη βάση δεδομένων, ο διαχειριστής πρέπει να μπορεί να αποθηκεύσει σε τοπική βάση τα δεδομένα που λαμβάνει και να τα μεταδώσει αμέσως μόλις αποκατασταθεί η σύνδεση.

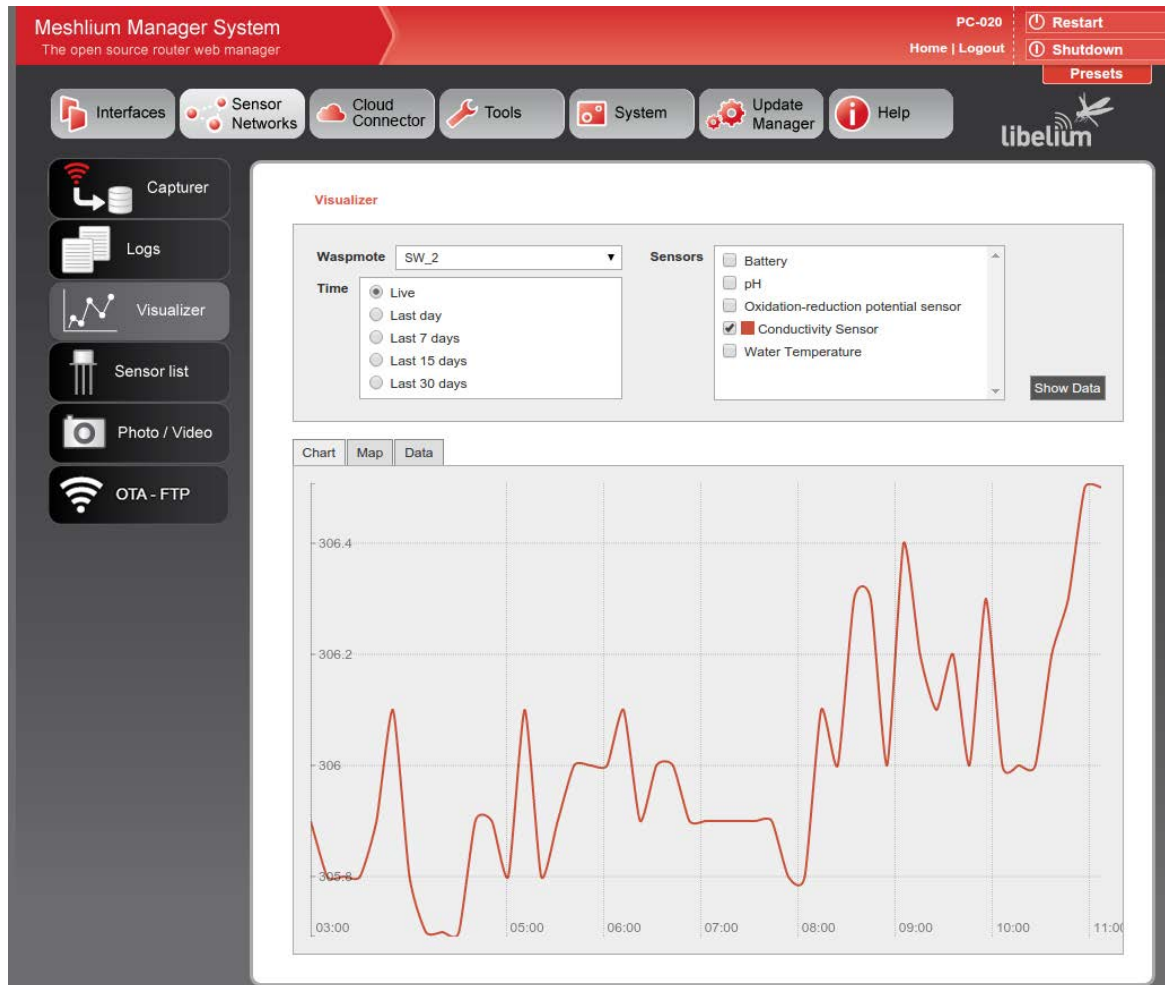
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ποια είναι η αρχιτεκτονική του εν λόγω συστήματος:



Εικόνα 9 Αρχιτεκτονική συστήματος - [libelium.com](http://libelium.com)<sup>20</sup>

Οι ασύρματοι κόμβοι μετάδοσης συνδέονται με τον κεντρικό διαχειριστή του δικτύου στον οποίο αποθηκεύονται προσωρινά τα δεδομένα σε μία τοπική βάση. Τα δεδομένα αυτά μεταδίδονται περιοδικά μέσω διαδικτύου (Ethernet, Wifi, 3G) σε μία βάση δεδομένων (Oracle,

SQL) που φιλοξενείται σε cloud. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια των cloud services, τα δεδομένα μπορούν να παρουσιαστούν σε πλατφόρμες παρουσίασης δεδομένων σε μορφή διαγραμμάτων, ειδοποιήσεων, χαρτών κλπ.



Εικόνα 10 Λογισμικό παρουσίασης δεδομένων - [libelium.com](http://libelium.com)<sup>20</sup>

# 5

## *Υλοποίηση*

Η πρακτική εφαρμογή του εν λόγω συστήματος παρακολούθησης αισθητήρων κάνει ξεκάθαρη τη χρησιμότητά του τόσο σε πρακτικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο (βλ. [Οικονομική Μελέτη](#)). Το σύστημα αυτό βρίσκει εφαρμογή στη μονάδα παραγωγής της φαρμακοβιομηχανίας ΕΛ.ΦΑΡΜΑΚ. η οποία διατηρεί γραμμή παραγωγής και αποθήκευσης φαρμάκων στα Οινόφυτα του ν.Βοιωτίας. Οι λόγοι επιλογής της ΕΛΦΑΡΜΑΚ είναι οι παρακάτω:

- Χρήση ρομποτικών μηχανών παραγωγής και παλετοποίησης (π.χ. μηχανές εγκιβωτισμού)
- Συμμετοχή του ανθρώπου στη γραμμή παραγωγής (τήρηση κανονισμών καλών συνθηκών εργασίας)
- Τήρηση αποθήκης με αυστηρές περιβαλλοντικές συνθήκες
- Ανάγκες ελαχιστοποίησης του κόστους συντήρησης

### *5.1 Μελέτη*

Πριν από κάθε υλοποίηση του συστήματος απαιτείται διερεύνηση του χώρου και καταγραφή των μηχανημάτων που πρέπει να παρακολουθούνται. Παράλληλα, πρέπει να καθοριστούν οι παράμετροι που είναι απαραίτητες να μετρηθούν καθώς και ποιες από αυτές πρέπει να παρακολουθούνται από το γραφείο. Η σωστή εκπόνηση μελέτης βοηθά στην αποφυγή μετέπειτα λαθών που μπορούν να ανατρέψουν βασικά κομμάτια της σχεδίασης και της εγκατάστασης.

### 5.1.1 Επιθεώρηση χώρου και καταγραφή μηχανημάτων

Μία επίσκεψη στην ΕΛΦΑΡΜΑΚ ήταν απαραίτητη για την καταγραφή των μηχανών της γραμμής παραγωγής καθώς και του χώρου εφαρμογής του συστήματος (Οι πληροφορίες που αναφέρονται στον τρόπο λειτουργίας της γραμμής παραγωγής στη φαρμακοβιομηχανία βρίσκονται ήδη δημοσιευμένες στο διαδίκτυο στην παρακάτω πηγή<sup>25</sup> - <http://www.metadosi-ischios.gr/printArticle.php?ID=300>)

## Παρασκευαστήριο

Η γραμμή παραγωγής ξεκινά από το παρασκευαστήριο του προϊόντος, στην προκειμένη περίπτωση του ορού. Το παρασκευαστήριο αποτελείται από πολλές μεγάλες **μεταλλικές δεξαμενές** στις οποίες παρασκευάζεται ο ορός.

## Μηχανές BFS

Στη συνέχεια το προϊόν οδηγείται στη γραμμή παραγωγής. Στο πρώτο στάδιο της γραμμής υπάρχουν οι μηχανές BFS (Blow, Fill, Seal), δηλαδή οι μηχανές που μορφοποιούν, γεμίζουν και σφραγίζουν τις πλαστικές φιάλες ορού. Οι μηχανές BFS λειτουργούν σε περιβάλλον απολύτως αποστειρωμένο (το λεγόμενο clean room) και το προσωπικό εργάζεται ενδεδυμένο με ειδικές προστατευτικές στολές σε όλο τους το σώμα και το πρόσωπο. Η BFS μηχανή λειτουργεί ως εξής: Το πλαστικό πολυπροπυλένιο (PP) μεταφέρεται από τον χώρο αποθήκευσης στη μηχανή, διαμορφώνεται, γεμίζεται με προϊόν και σφραγίζεται αμέσως. Η αυτοματοποιημένη διαδικασία γεμίσματος BFS εξαλείφει την ανθρώπινη παρέμβαση στην περιοχή γεμίσματος μέσω της πλήρως αυτοματοποιημένης διαδικασίας.

Αφού πληρωθούν οι φιάλες με ορό, δέχονται το πάμα, το οποίο συγκολλείται με τη βοήθεια ρομποτικού συστήματος. Όταν τα ράφια γεμίσουν τοποθετούνται ανά 6 σε μεταφορείς και οδηγούνται σε κλίβανους προκειμένου να αποστειρωθούν, στους 121° C.

Όλα τα προϊόντα αφού περάσουν από τον κλιβανισμό και την διαδικασία αποστείρωσης, οδηγούνται στη συσκευασία, όπου με τη χρήση αυτόματων ρομποτικών συστημάτων, τοποθετούνται σε ταινιόδρομο και από κει καταλήγουν στα κουτιά και τη διαδικασία παλετοποίησης.

## Τεστ στεγανότητας

Ένα ενδιαφέρον τμήμα της παραγωγής είναι ο χώρος όπου γίνονται τα τεστ στεγανότητας του προϊόντος. Στην περιήγησή μας είδαμε τη συγκεκριμένη γραμμή όπου



διέρχονται οι αμπούλες αφού έχουν περάσει από την μηχανή BFS, και τον κλιβανισμό, και στο τμήμα αυτό γίνεται έλεγχος εάν τα φιαλίδια είναι τρύπια ή ελαττωματικά, οπότε και απορρίπτονται. Στη συνέχεια το προϊόν προωθείται στην ετικετέζα, τη μηχανή όπου εκτυπώνεται και επικολλάται η ετικέτα πάνω στο προϊόν. Η διαδικασία αυτή ελέγχεται από ένα σύστημα καμερών και εάν εντοπιστούν λάθη σε αυτό το σημείο, τότε τα σιάρτα απορρίπτονται.

Η γραμμή παραγωγής των ορών στη φαρμακοβιομηχανία είναι παρόμοια σχεδιασμένη, όπως είναι οι πλαστικές αμπούλες ή οι γυάλινες φύσιγγες, ανάλογα το ενέσιμο προϊόν που περιέχουν. Ειδικά οι γυάλινες φύσιγγες διέρχονται από ειδικό πλυντήριο για τη διαδικασία της έκπλυσης, προκειμένου να καθαριστούν, και στη συνέχεια διέρχονται από το τούνελ αποπυρετογόνωσης και αποστείρωσης των περιεκτών. Ακολούθως, οδηγούνται στη γραμμή παραγωγής και στις γεμιστικές/κλειστικές μηχανές, όπου σφραγίζονται, κατόπιν οδεύουν στον κλίβανο για αποστείρωση και στο τέλος καταλήγουν στα μηχανήματα οπτικού ελέγχου και τεστ στεγανότητας προκειμένου να ελεγχθούν για τυχόν διαρροές. Σε αυτή την περίπτωση απορρίπτονται από τη γραμμή παραγωγής και οδηγούνται στα σιάρτα.

Να σημειωθεί ότι ακόμα και μετά τη συσκευασία των προϊόντων, αυτά παραμένουν στις αποθήκες σε κατάσταση καραντίνας και υπόκειται σε αναλύσεις προκειμένου να εξασφαλιστεί η απόλυτη ασφάλεια χρήσης των προϊόντων.

Για τον ακριβή έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας κρίθηκε απαραίτητη η εγκατάσταση ενός συστήματος παρακολούθησης μηχανών και συνθηκών περιβάλλοντος χώρου. Το σύστημα παρακολούθησης περιλαμβάνει τον έλεγχο όλης της γραμμής παραγωγής και του εξοπλισμού, αλλά και των μεμονωμένων μηχανών του εργοστασίου on line και επί 24ωρης βάσης.

### **5.1.2 Απαιτήσεις από τη φαρμακοβιομηχανία**

Τα στοιχεία που πρέπει να παρακολουθούνται στο υπό μελέτη σύστημα είναι τα εξής:

- **Κραδασμοί μηχανών.** Όπως περιγράφεται και στις παραγράφους [Condition Based Maintenance](#) και [Κατηγορίες αισθητήρων](#) οι αισθητήρες κραδασμών είναι η βασικότερη κατηγορία αισθητήρων για την παρακολούθηση και τον έγκαιρο και μη άσκοπο προγραμματισμό του Condition Based Maintenance. Οι αισθητήρες αυτοί είναι απαραίτητοι σε όλες τις μηχανές της γραμμής παραγωγής
- **Λίπανση μηχανών.** Όπως και στα αυτοκίνητα έτσι και στις μηχανές της γραμμής παραγωγής πρέπει να παρακολουθείται η λίπανση των μηχανών. Για την ακρίβεια, απαιτείται ένας αισθητήρας επιπέδου λαδιού που μετρά το επίπεδο του λαδιού που

απομένει ώστε να υπολογίζεται η ταχύτητα κατανάλωσης λαδιού από τη μηχανή που το χρησιμοποιεί.

- **Θερμοκρασία / Υγρασία / Φωτισμός χώρου εργασίας και αποθήκευσης.** Κατάλληλα υγρασιοθερμόμετρα και φωτόμετρα ακριβείας εγκαθίστανται στις μηχανές που χειρίζονται εργαζόμενοι σε όλη τους τη βάρδια ώστε να είναι όσο το δυνατόν ιδανικότερες οι συνθήκες εργασίας τους, στο clean room καθώς και στη φαρμακαποθήκη όπου αποθηκεύονται τα φάρμακα σε καθορισμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον, οι κλίβανοι πρέπει να παρακολουθούνται ώστε να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία στους 121° C.
- **Εκπομπές στο περιβάλλον.** Μέτρηση καυσαερίων, μονοξειδίου άνθρακα (CO) και οξειδίων Αζώτου και Θείου (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>).
- **Στάθμη υγρών δεξαμενής.** Ο έλεγχος του ανεφοδιασμού καυσίμων για τη λειτουργία των μηχανών της γραμμής παραγωγής είναι ένα σημαντικό κομμάτι εξοικονόμησης χρημάτων καθώς είναι σύνηθες κατά την εξέλιξη του ο προμηθευτής να «ξεγελά» τον πελάτη για τον όγκο του καυσίμου που του προμηθεύει ή και λόγω του φαινομένου carruccino (carruccino ή coca-cola effect).
- **Ποιότητα ηλεκτρικού δικτύου.** Η παρακολούθηση του ηλεκτρικού δικτύου έχει ως σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας του ηλεκτρικού δικτύου της γραμμής παραγωγής και τον υπολογισμό του Συντελεστή Ισχύος (Power Factor).

### 5.1.3 Συχνότητα δειγματοληψίας

- **Κραδασμοί μηχανών.** Είναι η πιο απαιτητική εφαρμογή. Όσο συχνότερη η δειγματοληψία τόσο πιο πλήρης εικόνα σχηματίζεται για την κατάσταση της μηχανής. Επιθυμητά επίπεδα δειγματοληψίας κυμαίνονται από 10kHz έως και 1MHz. Ιδανικά, η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται τοπικά (απαιτείται υψηλή υπολογιστική ισχύς) και μόνο τα αποτελέσματα μεταφέρονται στο cloud.
- **Λίπανση μηχανών.** Ένα δείγμα κάθε 5 λεπτά είναι ικανοποιητική συχνότητα για την αποφυγή ανεξέλεγκτης διαρροής.
- **Θερμοκρασία / Υγρασία / Φωτισμός χώρου εργασίας και αποθήκευσης.** Ένα δείγμα κάθε 5 λεπτά είναι ικανοποιητική συχνότητα.
- **Εκπομπές στο περιβάλλον.** Ένα δείγμα κάθε λεπτό είναι ικανοποιητική συχνότητα.

- **Στάθμη υγρών δεξαμενής.** Ένα δείγμα κάθε λίγα δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια του ανεφοδιασμού είναι ικανοποιητική συχνότητα.
- **Παρακολούθηση της ποιότητας του ηλεκτρικού δικτύου.** Μία μέτρηση ανά λεπτό είναι ικανοποιητική συχνότητα (μέτρηση ενεργού, άεργου και φαινόμενης ισχύος την ίδια χρονική στιγμή).

#### 5.1.4 Επιλογή αισθητήρων<sup>20</sup>

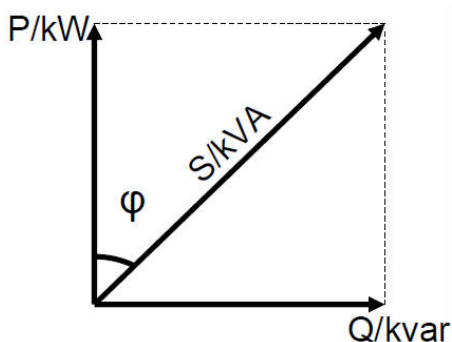
Κατηγορία	Εφαρμογή	Φωτογραφία
Κραδασμοί μηχανών	Σε όλες τις μηχανές της γραμμής παραγωγής	 <p>Εικόνα 11 Libelium Sensor - <a href="#">Libelium<sup>20</sup></a></p>
Λίπανση μηχανών (Αισθητήρας μέτρησης στάθμης υγρού)	Σε όλες τις μηχανές της γραμμής παραγωγής	 <p>Εικόνα 12 Libelium Sensor - <a href="#">Libelium<sup>20</sup></a></p>
Θερμοκρασία/Υγρασία	Σε χώρους εργασίας Clean room Αποθήκη	 <p>Εικόνα 13 Libelium Sensor - <a href="#">Libelium<sup>20</sup></a></p>

<p>Φωτισμός</p>		 <p>Εικόνα 14 Libelium Sensor - <a href="#">Libelium<sup>20</sup></a></p>
<p>Εκπομπές αερίων (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>x</sub>, Air Polutants)</p>	<p>Στη γραμμή παραγωγής για την ασφάλεια των εργαζομένων και στην έξοδο των καμινάδων για τη μέτρηση εκπομπών</p>	 <p>Εικόνα 15 Libelium Sensor - <a href="#">Libelium<sup>20</sup></a></p>
<p>Στάθμη υγρού δεξαμενής</p>	<p>Στις δεξαμενές ανεφοδιασμού καυσίμων</p>	 <p>Εικόνα 16 Libelium Sensor - <a href="#">Libelium<sup>20</sup></a></p>
<p>Ποιότητα ηλεκτρικού δικτύου</p>	<p>Στον κεντρικό ηλεκτρολογικό πίνακα ή/και στους πίνακες διανομής</p>	 <p>Εικόνα 17 Αναλυτής Δικτύου - <a href="#">Schneider Electric<sup>22</sup></a></p>

Πίνακας 2 Κατηγορίες αισθητήρων

### 5.1.5 Παρακολούθηση ποιότητας ηλεκτρικού δικτύου

Η ποιότητα του ηλεκτρικού δικτύου μίας μονάδας παραγωγής είναι παράγοντας καθοριστικός για την καλή και απρόσκοπτη λειτουργία των μηχανών. Παρακολούθηση του ηλεκτρικού δικτύου καλείται μία μόνιμη εγκατάσταση συσκευών στους πίνακες διανομής ώστε να υπολογίζεται σε μόνιμη βάση ο συντελεστής ισχύος του δικτύου και να λαμβάνονται ανάλογα μέτρα. Πέραν του συντελεστή ισχύος (που είναι το αποτέλεσμα απλών υπολογισμών) χρήσιμη πληροφορία είναι και η μέτρηση των ακόλουθων μεγεθών: Ενεργός, Άεργος και Φαινόμενη Ισχύς. Αναλυτικότερα:



Εικόνα 18 Ενεργός, Άεργος, Φαινόμενη Ισχύς

**P - Ενεργός Ισχύς (kW)** η ενέργεια που καταναλώνεται στη στοιχεία του κυκλώματος.

**Q - Άεργος Ισχύς (kVAR)** η ενέργεια που αποθηκεύεται και καταναλώνεται σε επαγωγικά φορτία.

**S - Φαινόμενη Ισχύς (kVA)** η ενέργεια που καταναλώνεται από μια συσκευή ανά μονάδα χρόνου. Είναι το διανυσματικό διάνυσμα των δύο άνω.

$$\text{Συντελεστής Ισχύος} = \frac{P}{S}$$

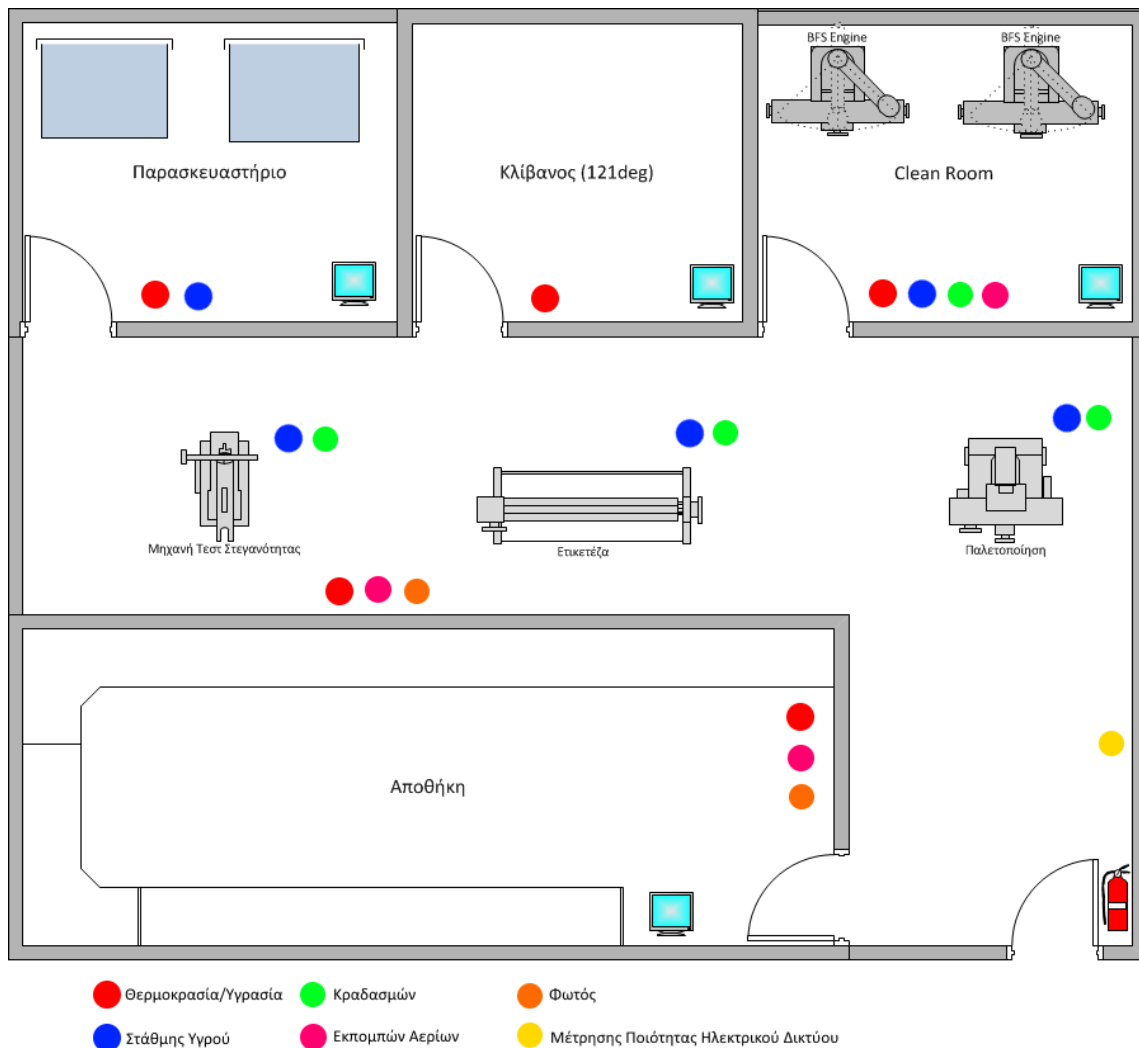
Εξίσωση 5 Συντελεστής Ισχύος

Ο **Συντελεστής Ισχύος (Power Factor)** είναι μία παράμετρος που υπολογίζεται από την ενεργό και τη φαινόμενη ισχύ και δηλώνει την καλή λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου. Ιδανικά, αυτός ο δείκτης πρέπει να είναι ίσος με τη μονάδα (στην πραγματικότητα ~0.95). Η άεργος ισχύς εμφανίζεται όταν υπάρχουν στο δίκτυο επαγωγικά ή χωρητικά φορτία (π.χ. ηλεκτρομηχανές) όπου και αποθηκεύεται μέρος της ισχύος του δικτύου χωρίς να αξιοποιείται ουσιαστικά. Συνεπώς, προκύπτουν θερμικές απώλειες, παλινδρόμηση ρεύματος και τάση-ρεύμα μη συμφασικά.

Στο σημείο αυτό υπεισέρχεται ο Συντελεστής Ισχύος στον υπολογισμό του οποίου θα βοηθήσει η προτεινόμενη διάταξη. Όσο μικρότερος είναι ο Συντελεστής Ισχύος τόσο το χειρότερο για το δίκτυο. Σε περίπτωση που μέσω της εγκατεστημένης διάταξης διαπιστωθεί ότι το δίκτυο χρειάζεται βελτίωση, προστίθενται επαγωγικά και χωρητικά φορτία ώστε να «παριδευτεί» η ισχύς. Αυτό συνεπάγεται ότι η τάση και το ρεύμα θα είναι σε φάση και θα αποφευχθούν συχνότητες που μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα.

## 5.2 Εγκατάσταση συστήματος



Στην παρακάτω κάτοψη φαίνεται η τοπολογία της γραμμής παραγωγής καθώς και τα σημεία εγκατάστασης των αισθητήρων. Ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε σημείου (όπως περιγράφηκε και παραπάνω) εγκαταστάθηκαν οι κατάλληλοι αισθητήρες σύμφωνα με το παρακάτω σχέδιο.



Εικόνα 19 Κάτοψη γραμμής παραγωγής και θέσεις εγκατάστασης των αισθητήρων

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την εγκατάσταση ήταν οι αισθητήρες που αναφέρθηκαν στην ενότητα [Επιλογή αισθητήρων](#) και οι ασύρματοι κόμβοι πάνω στους οποίους συνδέθηκαν ήταν επίσης της σειράς [Waspomte Plug & Sense](#) της Libelium<sup>20</sup>. Στη συγκεκριμένη υλοποίηση δεν παίζει ιδιαίτερο ρόλο η μελέτη των αποστάσεων μεταξύ των σημείων μέτρησης αφού οι αποστάσεις ήταν μικρές.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι συσκευές:

 <p><b>Εικόνα 20 <a href="#">Libelium Smart Environment Pro<sup>20</sup></a></b></p>	<p>Χρησιμοποιήθηκε όπου μετρήθηκε:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Θερμοκρασία</li> <li>• Υγρασία</li> <li>• Αέριοι ρύποι όπως: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Οξυγόνο</li> <li>○ Διοξείδιο Άνθρακα</li> <li>○ Μονοξείδιο Άνθρακα</li> <li>○ Οξείδια Θείου (SOx)</li> <li>○ Οξείδια Αζώτου (NOx)</li> </ul> </li> </ul>
 <p><b>Εικόνα 21 <a href="#">Libelium Smart Security<sup>20</sup></a></b></p>	<p>Χρησιμοποιήθηκε όπου μετρήθηκε:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Θερμοκρασία</li> <li>• Υγρασία</li> <li>• Επίπεδα φωτισμού</li> <li>• Στάθμη υγρού</li> </ul>

 <p><b>Εικόνα 22</b> <a href="#">Libelium Smart Security</a><sup>20</sup></p>	<p>Χρησιμοποιήθηκε όπου μετρήθηκαν οι κραδασμοί</p>
 <p><b>Εικόνα 23</b> Αναλυτής ηλεκτρικού δικτύου - <a href="#">Schneider Electric</a><sup>22</sup></p>	<p>Χρησιμοποιήθηκε στον ηλεκτρολογικό πίνακα για τη μέτρηση της κατανάλωσης. Κατάλληλα «δαχτυλίδια-τσιμπιδες» τοποθετήθηκαν σε κάθε φάση της παροχής για την ανάλυση ρεύματος ανά φάση.</p>

### Πίνακας 3 Ασύρματοι κόμβοι

Τα δεδομένα που ανταλλάσσονται στο ασύρματο δίκτυο συγκεντρώνονται στον κεντρικό διαχειριστή του δικτύου (παράδειγμα [Meshlium](#) gateway της Libelium<sup>20</sup>) και στη συνέχεια μεταφέρονται μέσω cloud σε έναν cloud server ώστε να είναι προσβάσιμα ανά πάσα στιγμή μέσω διαδικτύου. Αξίζει να τονίσουμε ότι η εμβέλεια του εν λόγω διαχειριστή στη συγκεκριμένη εφαρμογή που παρεμβάλλονται τοίχοι είναι μερικές δεκάδες μέτρα, αρκετό για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Το Gateway πρέπει να υποστηρίζει πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως WiFi, Ethernet και 802.15.x, 3G/GPRS για να μπορεί να λαμβάνει δεδομένα από τους κόμβους, να τα διαβάζει και να τα αποθηκεύει σε μία τοπική βάση δεδομένων.

Η τεχνολογία 802.15 επιτρέπει στα δεδομένα να αποθηκεύονται σχεδόν στιγμιαία στη βάση και στους χρήστες να τα προσπελάσουν την ίδια στιγμή μέσω μιας public IP διεύθυνσης, αξιοποιώντας της υπηρεσίες cloud (π.χ. MS Azure κλπ). Σε περίπτωση που χαθεί η σύνδεση με τη βάση δεδομένων ο διαχειριστής μπορεί να αποθηκεύει σε τοπική βάση τα δεδομένα που λαμβάνει και να τα μεταδώσει αμέσως μόλις αυτή αποκατασταθεί.



Τα δεδομένα μεταδίδονται περιοδικά μέσω διαδικτύου (Ethernet, Wifi, 3G) σε μία βάση δεδομένων (Oracle, SQL) που φιλοξενείται σε cloud. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια των cloud services τα δεδομένα μπορούν να παρουσιαστούν σε πλατφόρμες παρουσίασης δεδομένων σε μορφή διαγραμμάτων, ειδοποιήσεων, χαρτών κλπ.



**Εικόνα 24 Κεντρικός διαχειριστής δικτύου - [Meshlium Gateway](#)**

Στο σημείο αυτό πρέπει να διαχωρίσουμε σαφώς τη λειτουργία των υπόλοιπων αισθητήρων από το Powermeter το οποίο δεν έχει καμία σύνδεση με το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που περιγράφηκε ως τώρα στην υλοποίησή μας.

Το Powermeter συνδέεται στον ηλεκτρολογικό πίνακα της μονάδας παραγωγής μετρώντας την κάθε φάση της παροχής και οι μετρήσεις που συλλέγονται εμφανίζονται στην οθόνη τοπικά προς ενημέρωση των υπευθύνων για την παρακολούθηση των καταναλώσεων. Υπάρχει βέβαια και η εναλλακτική να τοποθετηθούν Powermeters για να παρακολουθείται η κατανάλωση ανά μηχανή. Παράλληλα, έχει τη δυνατότητα να παρέχει τις μετρούμενες παραμέτρους μέσω σειριακής εξόδου οπότε με ένα απλό λογισμικό που τρέχει σε κοντινό υπολογιστή να τις στείλει στο cloud (ανεξάρτητα από το Meshlium Gateway) και να είναι διαθέσιμες επίσης στην πλατφόρμα παρουσίασης δεδομένων.

### 5.3 Συμπεράσματα

Τα δεδομένα που μεταφέρονται στον cloud server είναι διαθέσιμα σε όλους τους ενδιαφερόμενους χρήστες (π.χ. διευθυντικά στελέχη, προϊστάμενοι) Η πρόσβαση στα δεδομένα του συστήματος και η παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο δίνει τη δυνατότητα άμεσων παρεμβάσεων όπου και όταν χρειαστεί, ώστε να αποκαθίστανται άμεσα τα προβλήματα από το τεχνικό προσωπικό της εταιρείας.

Η απεικόνιση όλων των δεδομένων γίνεται επίσης σε μια κεντρική οθόνη όπου καθένας μπορεί να έχει πρόσβαση στα πλήρη στοιχεία για το ποιες και πόσες μηχανές λειτουργούν, ανά βάρδια, και να έχουν στη διάθεσή τους την κατάσταση λειτουργίας τους. Επιπλέον παρέχεται:

- Πλήρης παρακολούθηση των συνθηκών αποθήκευσης των φαρμάκων
- Παρακολούθηση του ανεφοδιασμού καυσίμου για τη λειτουργία των μηχανών γεγονός που εξοικονομεί χρήματα όταν ο προμηθευτής είναι κακοπροαίρετος
- Παρακολούθηση της ποιότητας του ηλεκτρικού δικτύου γεγονός που ευνοεί την καλή κατάσταση των μηχανών και την καλύτερη απόδοσή τους
- Εφαρμογή της έννοιας του Condition Based Maintenance και άρα μείωση των εξόδων συντήρησης
- Παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών εργασίας και άρα τήρηση των κανονισμών
- Παρακολούθηση των εκπομπών ρύπων για την τήρηση κανονισμών

Το εν λόγω σύστημα συνεισφέρει στη διαχείριση του ρίσκου στη γραμμή παραγωγής και άρα στη βέλτιστη και απρόσκοπτη λειτουργία αυτής χωρίς επιπλέον απώλειες. Άλλωστε είναι κοινή τακτική για τις σύγχρονες βιομηχανίες στα πλαίσια του εκσυγχρονισμού τους και στα πλαίσια του εφοδιασμού τους με συστήματα διακρίβωσης ISO να προβαίνουν σε τέτοιες αναλύσεις ρίσκου προβλέποντας οποιαδήποτε παρέκλιση από την προγραμματισμένη παραγωγή.

# 6

## *Οικονομοτεχνική Μελέτη*

Στα πλαίσια του σκοπού της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι και η οικονομική μελέτη της εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος. Στη μελέτη αυτή παρατίθενται τα κόστη εγκατάστασης, συντήρησης του συστήματος αλλά και η εξέταση βιωσιμότητας της επένδυσης.

### *6.1 Συνολικό Κόστος Επένδυσης*

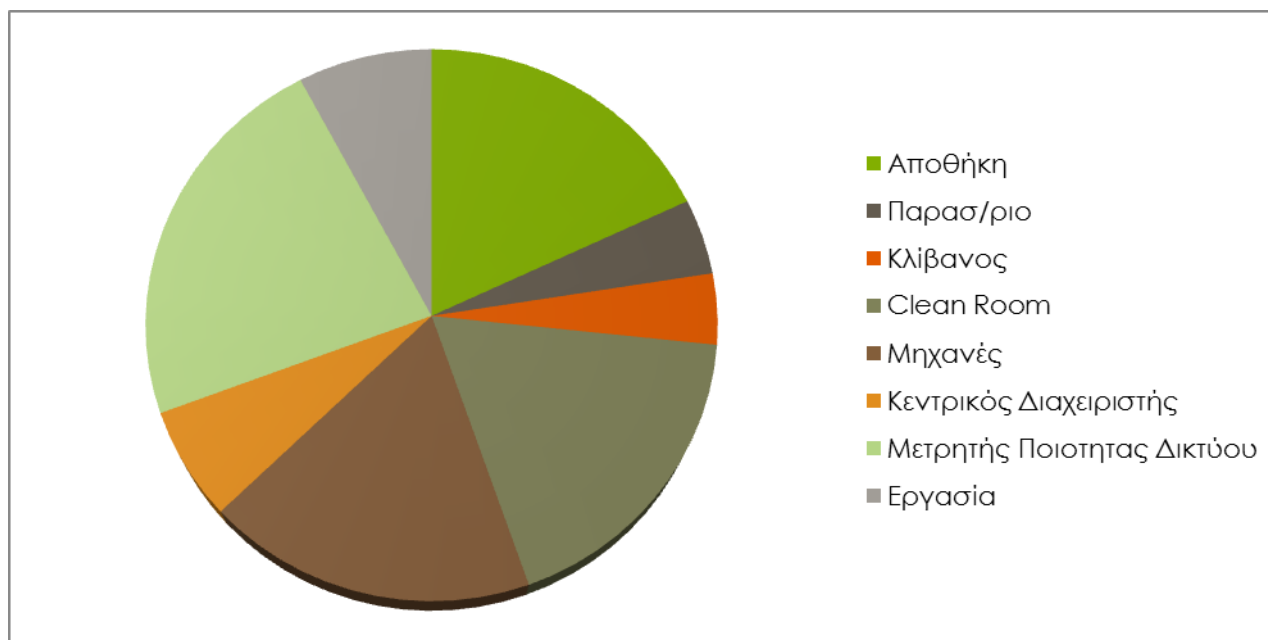
Το αρχικό κόστος της εγκατάστασης απαρτίζεται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την αρχική εγκατάσταση καθώς και το κόστος της υπηρεσίας εγκατάστασης. Η εγκατάσταση είναι αυτή ακριβώς που περιγράφεται στο κεφάλαιο της υλοποίησης. Αναλυτικά, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το πώς το συνολικό κόστος της επένδυσης αναλύεται σε επιμέρους κόστη:

	Συσκευή/Αισθητήρας	Ποσότητα	Τιμή μονάδας	Κόστος
Αποθήκη	Smart Environment Pro Wifi	1	€ 460.00	€ 460.00
	Smart Security Wifi	1	€ 425.00	€ 425.00
	Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας	1	€ 50.00	€ 50.00
	Αισθητήρας CO	1	€ 115.00	€ 115.00
	Αισθητήρας CO2	1	€ 485.00	€ 485.00
	Αισθητήρας O2	1	€ 145.00	€ 145.00
	Αισθητήρας O3	1	€ 210.00	€ 210.00
	Αισθητήρας NO2	1	€ 140.00	€ 140.00
	Αισθητήρας SO2	1	€ 165.00	€ 165.00
	Αισθητήρας επιπέδου φωτισμού	1	€ 20.00	€ 20.00
Παρασόρρο	Smart Security Wifi	1	€ 425.00	€ 425.00
	Αισθητήρας Στάθμης Υγρού	1	€ 30.00	€ 30.00
	Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας	1	€ 90.00	€ 90.00
Κλιβάνο	Smart Environment Pro Wifi	1	€ 460.00	€ 460.00
	Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας	1	€ 50.00	€ 50.00
Clean Room	Smart Environment Pro Wifi	1	€ 460.00	€ 460.00
	Smart Security Wifi	2	€ 425.00	€ 850.00
	Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας	1	€ 30.00	€ 30.00
	Αισθητήρας CO	1	€ 115.00	€ 115.00
	Αισθητήρας CO2	1	€ 485.00	€ 485.00
	Αισθητήρας O2	1	€ 145.00	€ 145.00
	Αισθητήρας O3	1	€ 210.00	€ 210.00
	Αισθητήρας NO2	1	€ 140.00	€ 140.00
	Αισθητήρας SO2	1	€ 165.00	€ 165.00
	Αισθητήρας Στάθμης Υγρού	2	€ 30.00	€ 60.00
Μηχανές	Smart Security Wifi	4	€ 425.00	€ 1,700.00
	Αισθητήρας Στάθμης Υγρού	3	€ 30.00	€ 90.00
	Smart Environment Pro Wifi	1	€ 460.00	€ 460.00
	Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας	1	€ 30.00	€ 30.00
	Αισθητήρας CO	1	€ 115.00	€ 115.00
	Αισθητήρας CO2	1	€ 485.00	€ 485.00
	Αισθητήρας O2	1	€ 145.00	€ 145.00
	Αισθητήρας O3	1	€ 210.00	€ 210.00
	Αισθητήρας NO2	1	€ 140.00	€ 140.00
	Αισθητήρας SO2	1	€ 165.00	€ 165.00
Αισθητήρας επιπέδου φωτισμού	1	€ 20.00	€ 20.00	
	Meshlium Gateway	1	€ 800.00	€ 800.00
	Μετρητής Ποιότητας Ηλεκτρικού Δικτύου	1	€ 2,800.00	€ 2,800.00
	Εργατοώρες (4άτομα*12 ώρες)	48	€ 20.00	€ 960.00

Πίνακας 4 Κόστος επένδυσης

**Συνολικό Κόστος: €14.050**

Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται καλύτερα στο γράφημα κόστους επένδυσης:



**Εικόνα 25** Γράφημα κόστους επένδυσης

Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος εγκατάστασης δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό για μία βιομηχανία, όπως προκύπτει και παρακάτω από τα οικονομικά στοιχεία. Αντιπαραβάλλοντας το κόστος εγκατάστασης (και συντήρησης) με το κόστος των βλαβών και των προγραμματισμένων συντηρήσεων που είχαν ως τώρα είναι σαφές ότι αποσβάνουν πολύ γρήγορα την επένδυσή τους.

## 6.2 Χρηματοδότηση του Έργου

Για την εγκατάσταση του εν λόγω συστήματος η ΕΛΦΑΡΜΑΚ διέθεσε εξ'ολοκλήρου το ποσό των €14.050 από τα ίδια κεφάλια της εταιρείας και λόγω του χαμηλού ύψους της επένδυσης δε χρειαστηκε κάποιου είδους δανειοδότηση από Πιστωτικό Ίδρυμα (Τράπεζα) ή από θυγατρική εταιρεία. Συνεπώς, στην ανάλυση δεν περιλαμβάνονται τοκοχρεωλυτικές υποχρεώσεις και δάνεια.

## 6.3 Κόστος Συντήρησης

Το σύστημα που εγκαταστάθηκε στη φαρμακοβιομηχανία είναι πιλοτικό και εφαρμόζεται για πρώτη φορά σε βιομηχανικό περιβάλλον. Αυτό συνεπάγεται ότι το κόστος συντήρησης θα γίνει κατ'εκτίμηση και από την πείρα μας ή την εργασιακή μας εμπειρία. Γι' αυτό καθορίζονται συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα στα οποία πρέπει να γίνουν κάποιες εργασίες ή αντικαταστάσεις στα πλαίσια της προγραμματισμένης συντήρησης, για την ομαλή λειτουργία του.

Θεωρείται ως δεδομένο ότι ο χρόνος ζωής του έργου είναι 20 έτη και ότι οι συσκευές λειτουργούν σε 24ωρη βάση, άρα οι ώρες λειτουργίας συμπίπτουν με τον χρόνο από την τελευταία συντήρηση. Ακολουθεί πίνακας με τις προγραμματισμένες συντηρήσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι επαναλαμβάνονται κάθε 3 έτη περιοδικά οι ίδιες συντηρήσεις.

Συσκευή/Αισθητήρας		Έτη					
		1	2	3	4	5	6
Αισθητή	Smart Environment Pro Wifi	Έλεγχος		Έλεγχος	Έλεγχος		Έλεγχος
	Smart Security Wifi	Έλεγχος		Έλεγχος	Έλεγχος		Έλεγχος
	Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας	Έλεγχος		Αλλαγή	Έλεγχος		Αλλαγή
	Αισθητήρας CO	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας CO2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας O2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας O3	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας NO2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας SO2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας επιπέδου φωτισμού	Έλεγχος	Έλεγχος	Αλλαγή	Έλεγχος	Έλεγχος	Αλλαγή
Παρασ/οιο	Smart Security Wifi			Έλεγχος			Έλεγχος
	Αισθητήρας Στάθμης Υγρού	Έλεγχος		Αλλαγή	Έλεγχος		Αλλαγή
	Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας	Έλεγχος		Αλλαγή	Έλεγχος		Αλλαγή
Κλιβάνο	Smart Environment Pro Wifi	Έλεγχος		Έλεγχος	Έλεγχος		Έλεγχος
	Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας	Έλεγχος		Αλλαγή	Έλεγχος		Αλλαγή
Clean Room	Smart Environment Pro Wifi			Έλεγχος			Έλεγχος
	Smart Security Wifi			Έλεγχος			Έλεγχος
	Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας	Έλεγχος		Αλλαγή	Έλεγχος		Αλλαγή
	Αισθητήρας CO	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας CO2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας O2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας O3	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας NO2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας SO2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας Στάθμης Υγρού	Έλεγχος	Έλεγχος	Αλλαγή	Έλεγχος	Έλεγχος	Αλλαγή
Μηχανές	Smart Security Wifi			Έλεγχος			Έλεγχος
	Αισθητήρας Στάθμης Υγρού	Έλεγχος		Αλλαγή	Έλεγχος		Αλλαγή
	Smart Environment Pro Wifi			Έλεγχος			Έλεγχος
	Αισθητήρας Υγρασίας/Θερμοκρασίας	Έλεγχος		Αλλαγή	Έλεγχος		Αλλαγή
	Αισθητήρας CO	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας CO2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας O2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας O3	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας NO2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
	Αισθητήρας SO2	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος	Έλεγχος
Αισθητήρας επιπέδου φωτισμού	Έλεγχος	Έλεγχος	Αλλαγή	Έλεγχος	Έλεγχος	Αλλαγή	
Meshlium Gateway							
Μετρητής Ποιότητας Ηλεκτρικού Δικτύου			Έλεγχος			Έλεγχος	
Εργατοώρες	€ 150.00	€ 75.00	€ 150.00	€ 150.00	€ 75.00	€ 150.00	
Κόστος Υλικών	€ 100.00	€ 100.00	€ 380.00	€ 100.00	€ 100.00	€ 380.00	
Σύνολο	€ 250.00	€ 175.00	€ 530.00	€ 250.00	€ 175.00	€ 530.00	

**Πίνακας 5 Πλάνο προγραμματισμένης συντήρησης συστήματος**

## 6.4 Αναθάρσιτα Έσοδα

Εκπονώντας το οικονομικό κομμάτι της μελέτης, είναι απαραίτητη η ποσοτικοποίηση και ο υπολογισμός των απωλειών και διαφυγόντων κερδών που είχε η μονάδα παραγωγής πριν την εγκατάσταση του συστήματος και θα μπορούσαν να αποφευχθούν αν ήταν ήδη εγκατεστημένο. Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι ζημιές που έγιναν σε βάθος 10ετίας και ποιες από αυτές μπορούσαν να προβλεφθούν από το σύστημα που εγκαταστάθηκε.

	Περιγραφή Ζημιάς	Συχνότητα	Επιπτώσεις	Έξοδα	Κόστος
Αποθήκη	Άνοδος θερμοκρασίας τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω διακοπής λειτουργίας του κλιματιστικού στην αποθήκη	2	Καταστροφή όλου του αποθηκευμένου εμπορεύματος	Χάσιμο από Απόρριψη εμπορεύματος	€ 12,000.00
Παρααίριο	Ανεξέλεγκτη αύξηση της στάθμης της μίας δεξαμενής λόγω κατεστραμμένου φλοτέρ	1	Απώλεια ποσότητας προϊόντος	Χάσιμο από Απόρριψη πρώτης ύλης	€ 8,000.00
Κλιβανός	Άνοδος θερμοκρασίας τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω διακοπής λειτουργίας του κλιματιστικού στον κλιβανό	1	Καταστροφή όλου του προϊόντος στον κλιβανό	Χάσιμο από Απόρριψη εμπορεύματος	€ 4,000.00
Clean Room	8ωρη διακοπή λειτουργίας μίας μηχανής BFS. Βλάβη λόγω ελλιπούς λίπανσης	2	Διακοπή τμήματος παραγωγής	Επισκευή+Χάσιμο λόγω διακοπής λειτουργίας	€ 6,000.00
Clean Room	8ωρη διακοπή λειτουργίας μίας μηχανής BFS. Βλάβη λόγω βρωμιάς - Ελλιπούς καθαρισμός μηχανής	1	Διακοπή τμήματος παραγωγής	Επισκευή+Χάσιμο λόγω διακοπής λειτουργίας	€ 3,000.00
Μηχανές	Υψηλή συγκέντρωση εκπομπών αερίων ρύπων	1	Πρόστιμο για παραβίαση κανονισμού συνθηκών εργασίας	Πληρωμή φορολογίας	€ 3,500.00
Μηχανές	8ωρη διακοπή λειτουργίας μίας μηχανής BFS. Βλάβη λόγω βρωμιάς - Ελλιπούς καθαρισμός μηχανής	1	Διακοπή τμήματος παραγωγής	Επισκευή+Χάσιμο λόγω διακοπής λειτουργίας	€ 4,000.00
				<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>€ 40,500.00</b>
				<b>ΕΤΗΣΙΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ 10ΕΤΙΑΣ</b>	<b>€ 4,050.00</b>

**Πίνακας 6 Ζημιές τελευταίας δεκαετίας**

Οι περισσότερες ζημιές που έγιναν σε αυτή τη μικρή μονάδα, έγιναν λόγω ελλιπούς παρακολούθησης της κατάστασης των μηχανημάτων και των περιβαλλοντικών συνθηκών του χώρου. Οι επιπτώσεις ήταν κυρίως απώλεια προϊόντος ή ζημιά σε μηχανήματα. Εκτός αυτών, οι νέοι κανονισμοί που επιβλήθηκαν στις μονάδες παραγωγής και σχετίζονται με συνθήκες εργασίας του προσωπικού επίσης επιβάρυναν με πρόστιμο την εν λόγω μονάδα. Το σύνολο την τελευταία δεκαετία ανέρχεται στα €40.500, δηλαδή κατά μέσο όρο €4.050 το έτος.

Τα παραπάνω έξοδα δικαιολογούν την ύπαρξη ενός συστήματος παρακολούθησης των μηχανών και του χώρου γιατί:

- Θα ενημερωνόταν ο υπεύθυνος για την άνοδο θερμοκρασίας στην αποθήκη και στον κλιβανό
- Θα ενημερωνόταν ο υπεύθυνος για την υπερχειλίση των δεξαμενών
- Θα παρακολουθούσε ο τεχνικός διευθυντής την αύξηση των κραδασμών στις μηχανές πριν βγουν εκτός λειτουργίας και θα δρομολογούσε την ανάλογη συντήρηση

- Θα παρακολουθούσε ο υπεύθυνος προσωπικού και ποιότητας τα αυξημένα επίπεδα ρύπων στο περιβάλλον εργασίας και κόσμος θα εργασόταν σε φιλικότερο περιβάλλον συν ότι θα απέφυγαν το πρόστιμο

Εφόσον όλα αυτά τα έξοδα θα μπορούσαν να αποφευχθούν αν είχε γίνει η εγκατάσταση και να εξοικονομήσει ο ιδιοκτήτης το ποσό των €4.050 ανά έτος (εκτίμηση), θεωρούμε ότι το ποσό αυτό ανήκει πλέον στα «έσοδα» του ιδιοκτήτη από την επένδυση που έκανε. Για τον υπολογισμό τους ακολουθείται ο παρακάτω τύπος θέτοντας μία **Ετήσια Πτώση Απόδοσης του έργου 0,5%** και **Πληθωρισμό 1%**:

$$\text{Έσοδα} = \text{Έσοδα Ζημιών που Αποφεύχθηκαν} * \left(1 + \frac{\text{Πληθωρισμός}}{4}\right) * (1 - \text{Πτώση Απόδοσης})$$

#### Εξίσωση 6 Έσοδα Επένδυσης

Τα έσοδα λοιπόν για τα 20 έτη που είναι και ο χρόνος ζωής του συστήματος είναι:

Έτος	Ακαθάριστα Έσοδα
0	
1	4,050
2	4,040
3	4,030
4	4,020
5	4,009
6	3,999
7	3,989
8	3,979
9	3,969
10	3,959
11	3,949
12	3,939
13	3,930
14	3,920
15	3,910
16	3,900
17	3,890
18	3,880
19	3,871
20	3,861
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>79,095</b>

Πίνακας 7 Ακαθάριστα Έσοδα



## 6.5 Έξοδα

Ως έξοδα λαμβάνονται τα έξοδα συντήρησης του εξοπλισμού καθώς και τα έξοδα λειτουργίας. Τα λειτουργικά έξοδα για κάθε έτος υπολογίζονται:

$$\text{Λειτουργικά έξοδα} = \text{Κόστος Επένδυσης} * \text{Λειτ. Έξοδα(\%)} * (1 + \text{Πληθωρισμός})$$

**Εξίσωση 7 Λειτουργικά έξοδα**

Έτος	Έξοδα (€)		
	Λειτουργικά Έξοδα	ΕΞΟΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	Σύνολο
0			
1	70	250	320
2	71	175	246
3	72	530	602
4	72	250	322
5	73	175	248
6	74	530	604
7	75	250	325
8	75	175	250
9	76	530	606
10	77	250	327
11	78	175	253
12	78	530	608
13	79	250	329
14	80	175	255
15	81	530	611
16	82	250	332
17	82	175	257
18	83	530	613
19	84	250	334
20	85	175	260
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	1,547	6,155	7,702

**Πίνακας 8 Έξοδα**

## 6.6 Φορολογικά

Επίσης, υπολογίζονται τα παρακάτω μεγέθη.

Κέρδη προ φόρων, τόκων και αποσβέσεων:

$$(EBITDA) = \text{Ακαθάριστα Έσοδα} - \text{Συνολικά ετήσια Έξοδα}$$

$$\text{Αποσβέσεις} = \text{Κόστος Επένδυσης} - \text{Απόσβεση (\%)}$$

### Εξίσωση 8 EBITDA και Αποσβέσεις

Όπου υποτέθηκε αρχικά 5% η ετήσια απόσβεση της επένδυσης.

Τα κέρδη Προ Φόρων και Τόκων (EBIT) για τον υπολογισμό του φόρου για το σύνολο του έργου υπολογίζονται:

$$EBIT = EBITDA - \text{Αποσβέσεις}$$

### Εξίσωση 9 EBIT

Ο Φόρος για το σύνολο του κόστους του έργου υπολογίζεται:

$$\text{Φόρος} = EBIT * \text{Συντελεστής Φορολογίας(\%)}, \text{ όπου ορίστηκε στο 27\%}.$$

### Εξίσωση 10 Φόρος

Σύμφωνα με τα παραπάνω για το σύνολο του κόστους του έργου έχουμε:

Έτος	Φορολογικά (€)			
	Κέρδη Προ Φόρων, Τόκων & Αποσβέσεων - EBITDA	Αποσβέσεις	Κέρδη Προ Φόρων & Τόκων (για υπολογισμό φόρου) - EBIT	Φόρος
0				
1	3,730	703	3,027	817
2	3,794	703	3,091	835
3	3,428	703	2,726	736
4	3,697	703	2,995	809
5	3,761	703	3,059	826
6	3,396	703	2,693	727
7	3,665	703	2,962	800
8	3,729	703	3,026	817
9	3,363	703	2,661	718
10	3,633	703	2,930	791
11	3,697	703	2,994	808
12	3,331	703	2,629	710
13	3,600	703	2,898	782
14	3,665	703	2,962	800
15	3,299	703	2,597	701
16	3,568	703	2,866	774
17	3,633	703	2,930	791
18	3,267	703	2,565	692
19	3,537	703	2,834	765
20	3,601	703	2,899	783
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	71,394	14,050	57,344	15,483

Πίνακας 9 Φορολογικά

## 6.7 Καθαρές Ταμειακές Ροές, ΚΠΑ και ΕΒΑ<sup>17</sup>

Για το σύνολο του κόστους του έργου ισχύουν τα παρακάτω:

- Η Καθαρή ταμειακή Ροή σε ονομαστικές τιμές κατ' έτος ορίζεται ως η διαφορά των Αναθάρσιτων Εσόδων μείον το Σύνολο των Εξόδων μείον τους Φόρους.
- Η Αθροιστική Καθαρή ταμειακή Ροή σε ονομαστικές τιμές κατ' έτος ορίζεται ως η το άθροισμα της Καθαρής ταμειακής Ροής του έτους που εξετάζεται συν την Καθαρή ταμειακή Ροή του προηγούμενου έτους.
- Για το υπολογισμό των παραπάνω μεγεθών σε Παρούσα Αξία διαιρείται η καθαρή ταμειακή ροή με τον συντελεστή αναγωγής σε παρούσα αξία.

Ο συντελεστής δίνεται:

*Συντελεστής Αναγωγής σε Παρούσα Αξία*

*= Συντελεστής Αναγωγής προηγούμενου έτους*

*\* Μέσο Σταθμικό κόστος κεφαλαίου*

### **Εξίσωση 11 Συντελεστής Αναγωγής σε Παρούσα Αξία**

Το μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου (WACC) υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο. Στην παρούσα ανάλυση δεν υπάρχει δανεισμός και συνεπώς το Μέσο Σταθμικό Κόστος Κεφαλαίου εξισώνεται με το Επιτόκιο Αναγωγής Ιδίων Κεφαλαίων το οποίο εκφράζει την Επιθυμητή απόδοση των Ιδίων Κεφαλαίων (υποκειμενικό για κάθε επενδυτή)

$$WACC = \text{Επιτόκιο Αναγωγής Ιδίων Κεφαλαίων} * (1 - \text{Ποσοστό Δανείου}) + \text{Επιτόκιο Δανείου} * (1 - \text{Συντελεστής Φορολογίας}) * \text{Ποσοστό Δανείου}$$

### **Εξίσωση 12 Μέσο σταθμικό κόστος κεφαλαίου WACC**

Άρα,  $WACC = 8\%$

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ, NPV) ορίζεται το άθροισμα των Καθαρών Ταμειακών Ροών σε Παρούσες Αξίες.

Αν η ΚΠΑ είναι θετική τότε η επένδυση θεωρείται αποδεκτή.

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης της επένδυσης είναι το επιτόκιο, στο οποίο η Παρούσα Αξία των ταμειακών ροών ισούται με την Παρούσα Αξία των ταμειακών εκροών.

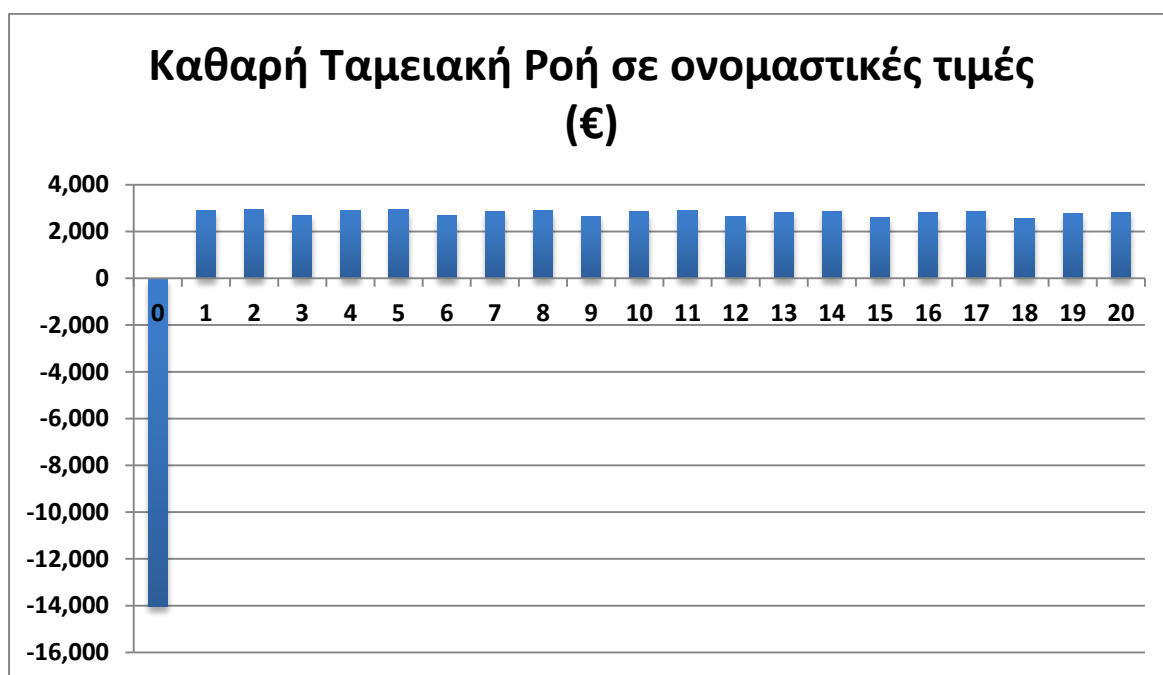
Το αποτέλεσμα αντανακλά το υψηλότερο επιτόκιο που θα μπορούσε να πληρώνει ο επενδυτής χωρίς να κινδυνεύσει να χάσει όλα τα χρήματα που διέθεσε για την επένδυση, ακόμα και αν υποθεθεί ότι έχει δανειστεί όλο το χρηματικό ποσό.

Απόσβεση του κόστους του έργου γίνεται το έτος εκείνο που η Αθροιστική Καθαρή Ταμειακή Ροή είναι μηδέν ή θετική.

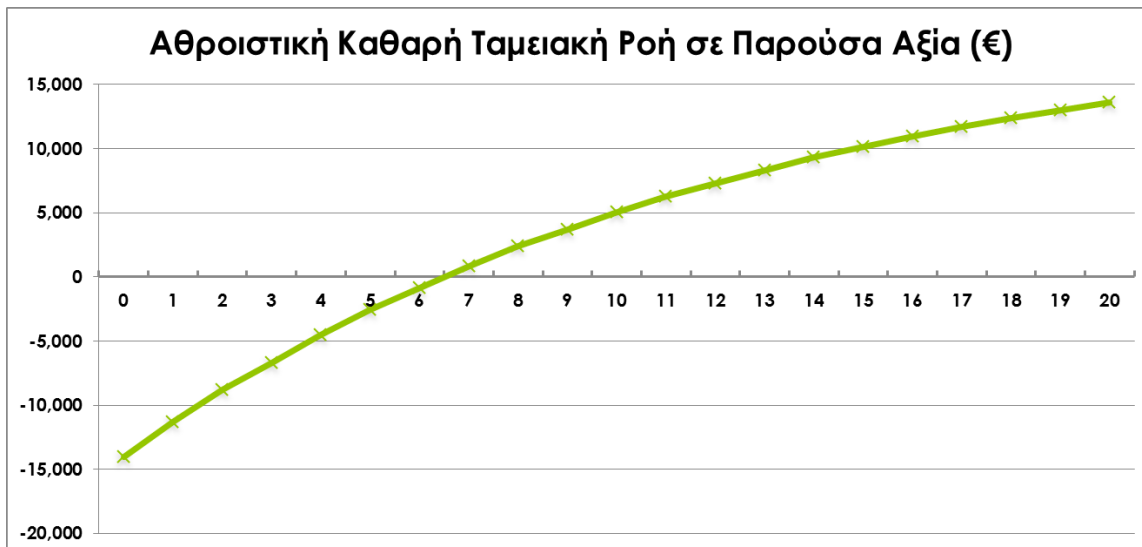
Συνεπώς:

Έτος	Ονομαστικές τιμές (€)		Συντελεστής Αναγωγής σε Παρούσα Αξία	Τιμές σε Παρούσα αξία (€)		IRR (%)	Έτη Απόσβεσης
	Καθαρή Ταμειακή Ροή	Αθροιστική Καθαρή Ταμειακή Ροή		Καθαρή Ταμειακή Ροή	Αθροιστική Καθαρή Ταμειακή Ροή		
0	-14,050	-14,050	1	-14,050	-14,050		
1	2,912	-11,138	1.08	2,697	-11,353	-79%	1
2	2,959	-8,178	1.17	2,537	-8,816	-43%	1
3	2,692	-5,486	1.26	2,137	-6,679	-21%	1
4	2,889	-2,598	1.36	2,123	-4,556	-8%	1
5	2,935	338	1.47	1,998	-2,558	1%	1
6	2,668	3,006	1.59	1,682	-877	6%	1
7	2,865	5,871	1.71	1,672	795	10%	0
8	2,912	8,783	1.85	1,573	2,368	12%	0
9	2,645	11,428	2.00	1,323	3,691	14%	0
10	2,841	14,269	2.16	1,316	5,007	15%	0
11	2,888	17,158	2.33	1,239	6,246	17%	0
12	2,621	19,779	2.52	1,041	7,287	17%	0
13	2,818	22,597	2.72	1,036	8,323	18%	0
14	2,865	25,462	2.94	975	9,299	18%	0
15	2,598	28,060	3.17	819	10,118	19%	0
16	2,795	30,855	3.43	816	10,933	19%	0
17	2,842	33,696	3.70	768	11,701	19%	0
18	2,575	36,271	4.00	644	12,346	19%	0
19	2,771	39,042	4.32	642	12,988	20%	0
20	2,818	41,861	4.66	605	13,593	20%	0
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>41,861</b>	<b>41,861</b>		<b>13,593</b>	<b>13,593</b>	<b>19.6%</b>	<b>6</b>

Πίνακας 10 Ταμειακές ροές, ΚΠΑ, ΕΒΑ



Εικόνα 26 Καθαρή Ταμειακή Ροή σε Ονομαστικές Τιμές



Εικόνα 27 Αθροιστική Καθαρή Ταμειακή Ροή σε Παρούσα Αξία

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα καθώς δίνει θετικά ΚΠΑ και ένα καλό ΕΒΑ. Επίσης, η απόσβεση γίνεται σε 6 έτη, χρονικό διάστημα αρκετά μικρό για την επένδυση.

## 6.8 Ευαισθησία

Στο σημείο αυτό εξετάζεται η ευαισθησία της επένδυσης σε σχέση με τη μεταβολή άλλων φορολογικών μεγεθών.

### Μεταβολή Συντελεστή Φορολογίας 25%, 26%, 28%

Εξετάζονται το NVP, το IRR και τα έτη απόσβεσης σε κάθε μία από τις παρακάτω περιπτώσεις μεταβολής του συντελεστή φορολογίας.

	25%	28%
NVP	14,161	13,309
IRR	20,1%	19,4%
Έτη Απόσβεσης	6	6

Πίνακας 11 Μεταβολή Συντελεστή Φορολογίας

### Μεταβολή Πληθωρισμού

Εξετάζονται το NPV, το IRR και τα έτη απόσβεσης σε κάθε μία από τις παρακάτω περιπτώσεις μεταβολής του πληθωρισμού.

	0%	1.5%	3%
NVP	13.141	13.822	14.521
IRR	19.4%	19.8%	20.1%
Έτη Απόσβεσης	6	6	6

Πίνακας 12 Μεταβολή Πληθωρισμού

### 6.9 Εναλλακτικές Επιλογές

Παρακάτω παρατίθενται εναλλακτικές επιλογές εγκατάστασης του εν λόγω συστήματος και το πώς μεταβάλλονται οι δείκτες NPV, IRR και τα έτη απόσβεσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο μικρότερο το κόστος, τόσο πιο λίγα είναι τα έτη απόσβεσης, τόσο πιο μεγάλη η τιμή του NPV και του IRR.

	Χωρίς Αποθήκη	Χωρίς Clean Room	Χωρίς Μετρητή Ποιότητας Δικτύου
Συνολικό Κόστος	11,575	11,130	10,990
NPV	9.035	9,526	9,675
IRR	17.5%	18,4%	18,7%
Έτη Απόσβεσης	7	7	6

Πίνακας 13 Εναλλακτικές Επιλογές

## 6.10 S.W.O.T Ανάλυση

Internal/ Εσωτερικό περιβάλλον	
Strengths	Weaknesses
Αποφυγή Απρόβλεπτων Ζημιών	Καινοτόμο πεδίο. Δεν είναι διαδεδομένο στις βιομηχανίες ακόμη. Υπάρχει χώρος για έρευνα και ανάπτυξη
Οικονομική Επένδυση	
Γρήγορη απόσβεση κεφαλαίου	
Απομακρυσμένη Παρακολούθηση	
Ασύρματη Εγκατάσταση	
Οικονομική Συντήρηση	
External/ Εξωτερικό περιβάλλον	
Opportunities	Threats
Καινοτόμο πεδίο για επενδύσεις σε μεγάλες μονάδες παραγωγής	Αστάθεια φορολογίας λόγω της κρίσης. Δεν ξέρεις αν τελικά θα αποσβέσει η επένδυση
Διαφήμιση στην αγορά λόγω αδιάλειπτης παρακολούθησης της παραγωγής	Γραφειοκρατία, Πληθωρισμός
Καλύτερες συνθήκες εργασίας και άρα μεγαλύτερο εύρος επιλογής προσωπικού	Έλλειψη χρηματοδότησης και ρευστότητας σε περίπτωση μεγάλης μονάδας
Αύξηση των πελατών της φαρμακοβιομηχανίας για παρασκευή φαρμάκων	

Πίνακας 14 SWOT Analysis

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα αντιλαμβάνεται κανείς ότι στο εσωτερικό αλλά και στο εξωτερικό περιβάλλον του έργου τα θετικά σημεία είναι περισσότερα από τα αρνητικά.

## 6.11 P.E.S.T Ανάλυση

- **Πολιτικό Περιβάλλον (Political Environment):** Είναι γεγονός ότι το πολιτικό περιβάλλον στην Ελλάδα δε χαρακτηρίζεται από σταθερότητα και δυστυχώς οι επενδυτές το τελευταίο χρονικό διάστημα και ειδικά μετά το Δημοψήφισμα του 2015 έχουν γίνει πιο δύσπιστοι και αποφεύγουν επενδύσεις στη χώρα. Αυτά τα στοιχεία έχουν καθοριστικό ρόλο στο αν μία επένδυση καθίσταται συμφέρουσα. Για παράδειγμα, ενώ κάποιες βιομηχανίες είχαν κατορθώσει να αποσπάσουν χρηματοδοτήσεις από την Ευρωπαϊκή Ένωση, τώρα λόγω της αστάθειας στην πολιτική ηγεσία «πάγωσαν» όλες οι προγραμματισμένες χρηματοδοτήσεις και επενδύσεις, γεγονός που οδηγεί σε μερική αβεβαιότητα.
- **Οικονομικό Περιβάλλον (Economic Environment):** Αναφέρεται στην οικονομική ζωή της χώρας, στους ρυθμούς ανάπτυξης, στον πληθωρισμό, το οποίο εκδηλώνεται με την αύξηση ή μείωση του επιτοκίου δανεισμού, της ευκολίας ή δυσκολίας δανειοδότησης από τα Πιστωτικά Ιδρύματα. Από το 2009 ο ρυθμός μεγέθυνσης της εθνικής οικονομίας είχε αρνητικό πρόσημο και εκδηλώθηκε επιβράδυνση της ανάπτυξης στους τομείς της βιομηχανίας και των



επιχειρήσεων. Η χώρα διανύει ακόμα δημοσιονομική κρίση αλλά οι επενδύσεις στις μονάδες παραγωγής παρουσιάζουν αξιόλογο βαθμό ανάπτυξης.

- **Κοινωνικό Περιβάλλον (Social Environment):** Στο κοινωνικό περιβάλλον εμπίπτει η δομή της κοινωνίας, οι αντιλήψεις των κατοίκων μίας κοινότητας, συντίθεται από δημογραφικά και ψυχογραφικά στοιχεία. Σχετικά με τις επενδύσεις σε συστήματα τηλεματικής παρατηρείται θετική στάση από τους ιδιοκτήτες βιομηχανικών μονάδων παραγωγής γεγονός που ευνοεί την επιδιωκόμενη ανάπτυξη. Βέβαια, οι εγκαταστάσεις συστημάτων τηλεματικής σε μονάδες της χώρας μας είναι περιορισμένες αλλά αν η οικονομική και πολιτική κατάσταση το επιτρέψει αυτές θα αυξηθούν σημαντικά μέσα στα επόμενα έτη
- **Τεχνολογικό Περιβάλλον (Technological Environment):** Διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στις επενδύσεις καθώς η ανάπτυξη οδηγεί σε μείωση του κόστους επένδυσης. Στην Ελλάδα οι τεχνολογικές έρευνες βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο αλλά εξελίσσονται σημαντικά ώστε οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες να αποδίδουν στο μέγιστο δυνατό και να είναι προσαρμοσμένες στις ανάγκες και τις απαιτήσεις της βιομηχανίας.

# 7

## Επίλογος

Η παρούσα εργασία είχε ως σκοπό τη μελέτη, εγκατάσταση και λειτουργία ενός συστήματος τηλεμετρίας για την παρακολούθηση μονάδας παραγωγής φαρμακοβιομηχανίας. Το κίνητρο για την επένυσή της ήταν η τεχνολογία της ασύρματης μετάδοσης η οποία ελαχιστοποιεί το κόστος και τον χρόνο εγκατάστασης. Ως πρώτη εφαρμογή επιλέχθηκε μια μικρή μονάδα παραγωγής φαρμάκων για τη μέτρηση μεγεθών παρακολούθησης της καλής κατάστασης των μηχανών, των εκπομπών αερίων ρύπων και άλλων μεγεθών.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα των οικονομικών αναλύσεων, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα καθώς λαμβάνουμε θετική ΚΠΑ με την απόσβεση να πραγματοποιείται στα έξι χρόνια λειτουργίας του συστήματος.

Κατόπιν ειδικότερων παραμέτρων που λάβαμε υπόψη παρατηρούμε ότι μικρή μεταβολή του ποσοστού φορολόγησης επηρεάζει την απόδοση της επένδυσης. Συγκεκριμένα, η μείωση του συντελεστή φορολογίας κατά 2% (25%) αύξησε την ΚΠΑ και τον ΕΒΑ ενώ η αύξηση φορολογίας μείωσε και τις δύο αυτές παραμέτρους χωρίς όμως να επηρεάζει το χρόνο απόσβεσης. Επίσης, παρατηρήσαμε ότι η μείωση του πληθωρισμού από 1% σε 0% μείωσε την ΚΠΑ καθώς και τον ΕΒΑ ενώ αντίθετα η αύξησή του αύξησε και τις δύο αυτές παραμέτρους. Τα έτη απόσβεσης παραμένουν και πάλι αμετάβλητα. Σχηματικά:

(↑↓↔)	Φορολογία		Πληθωρισμός	
	Μείωση	Αύξηση	Μείωση	Αύξηση
<b>NPV</b>	↑	↓	↓	↑
<b>IRR</b>	↑	↓	↓	↑
<b>Απόσβεση</b>	↔	↔	↔	↔

Πίνακας 15 Ευαισθησία

Σημειώνεται ότι σε ένα δύσκολο επιχειρηματικό και επενδυτικό περιβάλλον όπως αυτό της χώρας μας, όλοι οι παραπάνω δείκτες καθίστανται βασικοί και καθοριστικοί για την πραγματοποίηση της παρούσας επένδυσης. Επιπλέον παράγοντες όπως η αβεβαιότητα, η πολιτική αστάθεια κλπ. μπορούν να διαφοροποιηθούν σε μεγάλο βαθμό και να επηρεάσουν την απόδοση και την απόσβεση του υπό μελέτη έργου.

Η ανάλυση SWOT και η ανάλυση PEST οδήγησαν σε θετικά συμπεράσματα, αναδεικνύοντας τις θετικές επιδράσεις του έργου.

Εν κατακλείδι, υπάρχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις για την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος στην ελληνική βιομηχανία. Η Ελλάδα, με τις νέες γενιές μηχανικών που ενημερώνονται και αναζητούν νέες τεχνολογίες, έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει πεδίο εφαρμογής και ανάδειξης τέτοιων συστημάτων.

## ***7.1 Μελλοντικές επεκτάσεις***

Μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης σε μονάδα παραγωγής φαρμακοβιομηχανίας τα αποτελέσματα χρήσης του συστήματος προμηνύονται ενθαρρυντικά για να πραγματοποιηθούν εγκαταστάσεις του συστήματος και σε άλλες βιομηχανικές μονάδες.

Όμως δεν είναι μόνο η βιομηχανία πρόσφορο έδαφος για συστήματα τηλεμετρίας. Ακόμη ένα παράδειγμα εφαρμογής είναι τα θερμοκήπια. Η παρακολούθηση της περιβαλλοντικής θερμοκρασίας και υγρασίας όπως επίσης η υγρασία του εδάφους και η μόλυνση των υπόγειων υδάτων είναι σημεία μέτρησης που θα ενδιέφεραν τους γεωπόνους. Επίσης, τα έξυπνα σπίτια θα ήταν μία ακόμη εφαρμογή. Η παρακολούθηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων ανά πάσα στιγμή αλλά και η απομακρυσμένη παρακολούθηση στοιχείων όπως η εισβολή κάποιου στο σπίτι ή το ξέσπασμα πυρκαγιάς ή πλημμύρας είναι εφαρμογές που θα ενδιέφεραν ένα μέρος του καταναλωτικού κοινού.

# 8

## Βιβλιογραφία

### Έντυπη Βιβλιογραφία

1. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Albert H.C. Tsang (The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong)
2. *Condition-based Maintenance and Machine Diagnostics* J.H. Williams, A. Davies, P.R. Drake  
*Springer Science & Business Media*, 31-7-1994
3. *Structural Health Monitoring 2011: Condition Based Maintenance and Intelligent Structures*, Fu-Kuo Chang,  
*DEStech Publications, Inc*
4. *Maintenance Decision Making*, Liliane Pintelon and Frank Van Puyvelde, ACCO, 2006
5. *Maintenance for Indus Systems*, Riccardo Manzini, Alberto Regattieri, Hoang Pham, Emilio Ferrari, Springer  
*Science & Business Media*, 9-11-2009
6. *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*, Holger Karl, Andreas Willig, John Wiley & Sons,  
8-10-2007
7. *Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice*, Walteneus W. Dargie, Christian  
Poellabauer, John Wiley & Sons, 5-11-2010
8. *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications*, Kazem Sobraby, Daniel Minoli, Taieb  
Znati, John Wiley & Sons, 6-4-2007
9. *Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing*, Robert Faludi  
"O'Reilly Media, Inc.", 14-12-2010
10. *Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols*, Ekram Hossain, Kin K. Leung, Springer Science &  
*Business Media*, 20-11-2007
11. *Wireless Mesh Networking: Architectures, Protocols and Standards*, Yan Zhang, Jijun Luo, Honglin Hu,  
*CRC Press*, 13-12-2006

12. *WirelessHARTTM: Real-Time Mesh Network for Industrial Automation*, Deji Chen, Mark Nixon, Aloysius Mok, Springer Science & Business Media, 19-2-2009

### **Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία**

13. *Wikipedia* – [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
14. [Phoenix Contact Trusted Wireless Protocol](http://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?1dmy&urile=wcm:path:/usen/web/main/products/subcategory_pages/trusted_wireless_2-0_io_p-26-03-05/003d60ad-835c-4299-ab30-c4480f52914d)  
[https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?1dmy&urile=wcm:path:/usen/web/main/products/subcategory\\_pages/trusted\\_wireless\\_2-0\\_io\\_p-26-03-05/003d60ad-835c-4299-ab30-c4480f52914d](https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?1dmy&urile=wcm:path:/usen/web/main/products/subcategory_pages/trusted_wireless_2-0_io_p-26-03-05/003d60ad-835c-4299-ab30-c4480f52914d)
15. [Πτυχιακή Εργασία «Έξυπνοι Αισθητήρες», Βερυκοκίδης Μανώλης, ΑΤΕΙ Κρήτης, 2010](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse2/stef/ble/2010/VerikokidisEmmanuel/attached-document-1275895025-523016-24283/Verikokidis2010.pdf)  
<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse2/stef/ble/2010/VerikokidisEmmanuel/attached-document-1275895025-523016-24283/Verikokidis2010.pdf>
16. [Lubsys Maintenance Concepts](http://www.lubsys.com/knowledge/knw_mconcept.htm)  
[http://www.lubsys.com/knowledge/knw\\_mconcept.htm](http://www.lubsys.com/knowledge/knw_mconcept.htm)
17. [Διπλωματική Εργασία «Μοντέλο για Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διττών Οπτικών Ινών», Σπυρώνης Ιωάννης, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2011](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4856/1/TelikoKeimenoErgasias.pdf)  
<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4856/1/TelikoKeimenoErgasias.pdf>
18. [Hazardous Areas](http://atex-enclosure.com/information/hazardous-area-info/)  
<http://atex-enclosure.com/information/hazardous-area-info/>
19. [Understanding the benefits of vibration monitoring and analysis](http://en-us.fluke.com/community/fluke-news-plus/vibration/understanding-the-benefits-of-vibration-monitoring-and-analysis.html)  
<http://en-us.fluke.com/community/fluke-news-plus/vibration/understanding-the-benefits-of-vibration-monitoring-and-analysis.html>
20. [www.libelium.com](http://www.libelium.com)  
[Libelium Waspote Plug & Sense Technical Guide](http://www.libelium.com/development/plugin-sense/documentation/waspote-plugin-sense-technical-guide/)  
<http://www.libelium.com/development/plugin-sense/documentation/waspote-plugin-sense-technical-guide/>  
[Libelium Case Study - Smart Factory: Reducing Maintenance Costs and Ensuring Quality in the Manufacturing Process](http://www.libelium.com/smart-factory-reducing-maintenance-costs-ensuring-quality-manufacturing-process/)  
<http://www.libelium.com/smart-factory-reducing-maintenance-costs-ensuring-quality-manufacturing-process/>  
[Libelium Waspote](http://www.libelium.com/products/waspote/)  
<http://www.libelium.com/products/waspote/>  
[Libelium Plug-Sense](http://www.libelium.com/products/plugin-sense/)  
<http://www.libelium.com/products/plugin-sense/>  
[Libelium Meshlium](http://www.libelium.com/products/meshlium/)  
<http://www.libelium.com/products/meshlium/>
21. [ElectronicsBus - Over the Air Programming](http://electronicsbus.com/over-the-air-ota-programming-zigbee-wireless-sensor-network/)  
<http://electronicsbus.com/over-the-air-ota-programming-zigbee-wireless-sensor-network/>

22. *Schneider Electric Powerlogic – PM5350IB Power Meter*  
[http://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Id=720696038&p\\_File\\_Name=PLSED310064EN\\_\(web\).pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=720696038&p_File_Name=PLSED310064EN_(web).pdf)
23. *Distributed Computing in Sensor Systems- Phil Gibbons Springer Science & Business Media, 9-6-2006*
24. *Optimal Number of Clusters in Wireless Sensor Networks with Mobile Sink*  
<http://www.ijser.org/researchpaper%5COptimal-Number-of-Clusters-in-Wireless-Sensor-Networks-with-Mobile-Sink.pdf>
25. *Παρασκευή φιαλών και αμπούλων ορού στην Demo AE*  
<http://www.metadosi-ischios.gr/print.Article.php?ID=300>
26. *Ασφάλεια στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων – Διπλωματική Εργασία Αλέξανδρος Καπετανάκης ΕΜΠ  
 Ιούλιος 2005*  
<https://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAAAbUKEwiQ1JO7yozLAbUDVboKHT8bDlQ&url=http%3A%2F%2Fartemis-new.cslab.ece.ntua.gr%3A8080%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F4005%2F1%2FTR2005-0002.doc&usq=AFQjCNFyuIC7evcbWTvnjks0YgbZ6IyB4g&sig2=9f-IM7I6cZw3fgSGB5PYQA&cad=rja>