



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

INDUSTRY 4.0: ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗ  
ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ - ΙΩΑΝΝΗΣ ΛΟΥΓΓΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ-ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

Λαμία 2022





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

INDUSTRY 4.0: ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗ  
ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ - ΙΩΑΝΝΗΣ ΛΟΥΓΓΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΧΡΥΣΙΚΟΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ-ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

Λαμία 2022





UNIVERSITY OF  
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

INDUSTRY 4.0: BROADBAND  
CONNECTIVITY FOR DATA SIGNALING AND  
CONTROLLING IN AN INDUSTRIAL CONTEXT

KONSTANTINOS - IOANNIS LOUNGOS

FINAL THESIS

ADVISOR

THEOFILOS CHRYSIKOS  
Tutor

Lamia 2022



«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις <sup>(1)</sup>, που προβλέπονται από τις διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.
2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.
3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια
4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: 10/3/2022

Ο Δηλών

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύονται οι έννοιες των έξυπνων βιομηχανικών πλαισίων, τα επιμέρους χαρακτηριστικά και εισαγόμαστε στον κόσμο της έξυπνης βιομηχανίας και συγκεκριμένα της Industry 4.0, το άμεσο αποτέλεσμα του φαινομένου της βιομηχανικής επανάστασης και του καινοτόμου έξυπνου κόσμου, έννοιες που έχουν επηρεαστεί από την συμβολή τεχνολογικών τάσεων όπως αυτή του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και άλλων σημαντικών τεχνολογικών εξελίξεων. Η Industry 4.0 αφορά την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση και αναφέρεται στην ροπή προς μία συνεχόμενη ψηφιοποίηση του χώρου της Βιομηχανίας με τεχνολογίες όπως το IoT δηλαδή ενός συνδεδεμένου κόσμου, που αποτελείται από δισεκατομμύρια μηχανήματα τα οποία έχουν την δυνατότητα να συλλέγουν πληροφορίες και να μπορούν να τις μεταβιβάσουν σε άλλες συνδεδεμένες μηχανές και συστήματα. Αναλύονται τα βασικά συστατικά της βιομηχανίας και αναφέρουμε διάφορες περιπτώσεις για μία καλύτερη κατανόηση αυτών των τεχνολογιών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γνωρίζουμε το βιομηχανικό πλαίσιο και συγκεκριμένα την έννοια του Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων (IIoT) που αναφέρεται στην χρήση όλων αυτών των συνδεδεμένων συστημάτων και μηχανών και την συμβολή τους στην Βιομηχανία. Η έρευνα επεκτείνεται, αναλύοντας συγκεκριμένα πρωτόκολλα επικοινωνίας εντός του βιομηχανικού περιβάλλοντος και αφού πρώτα χωριστούν σε δύο κατηγορίες, συγκρίνουμε τις δυνατότητες τους και παρουσιάζουμε ένα σενάριο χρήσης. Επίσης αναφερόμαστε στο σημαντικό κομμάτι της ασφάλειας των επιπέδων.

Στο τρίτο κεφάλαιο στοχεύουμε στην ανάλυση των δικτύων πέμπτης γενιάς και κυρίως της χρησιμότητας αυτής της τεχνολογίας επικοινωνίας για την κάλυψη των απαιτήσεων και αναγκών της Industry 4.0. Οι διάφορες υποκατηγορίες του Δικτύου 5G όπως και άλλες προσεγγίσεις αυτού, μπορούν να καλύψουν ένα τεράστιο κενό της αγοράς που πριν χρόνια ήταν σχεδόν ακατόρθωτο να αντιμετωπιστεί. Ερευνώνται διάφορα σενάρια εφαρμογής αυτών των τεχνολογιών μετάδοσης της πληροφορίας και παρουσιάζονται αναλύοντας βασικές χρήσεις αυτών των αναφερομένων τεχνολογιών ενώ ταυτόχρονα κατατάσσονται σε κατηγορίες.



Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τρόποι και τεχνολογίες πέρα από το 5G αλλά και η ανάγκη για μετάβαση σε μία ενοποιημένη τεχνολογία και σε ένα φάσμα ραδιοσυχνοτήτων που δεν θα επηρεάζεται ιδιαίτερα από παρεμβολές και γενικότερα αναλύεται η μελλοντική τάση της επικοινωνίας M2M της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται μία έρευνα βασισμένη σε διενέργεια μετρήσεων των σημάτων καθώς και απωλειών λόγω παρεμβολών εντός ενός βιομηχανικού περιβάλλοντος σε ένα δώροφο κτίριο που αποτελείται από γραφεία και μιας γραμμής παραγωγής δηλαδή ενός εργοστασίου.

---

## ABSTRACT

---

In the first chapter, the main smart industrial concepts as well as their characteristics are analyzed, and we are taking a peek into the smart industrial world and more importantly the Industry 4.0 one, which is the direct result of the industrial revolution and the innovative smart connected world, those are some concepts that have been influenced by the contribution of a numerous technology based trends including Internet of Things (IoT) and some other major technological developments. Industry 4.0 refers to the Fourth Industrial Revolution, the known trend towards a continuous digitization of the whole Industry with technologies such as the IoT, a connected world, consisting of billions of machines that have the ability to collect information and exchange it between other connected machines and systems. The key components of the industry are analyzed and several cases are being reported for a more spherical understanding of these technologies.

In the second chapter we are getting to know the industrial world and specifically the concept of the Industrial Internet of Things (IIoT) which refers to the use of all these connected systems and machines with their contribution to the Industrial world. The research is extended by analyzing some specific communication protocols used within the industrial environment, we are dividing them into two categories and after that we compare their capabilities and present a usage scenario. Lastly, the important part of the security and privacy level is analyzed.

In the third chapter, we target the explanation of the 5th Generation Networking and mainly the usefulness of this communication technology in order to meet the demands and needs of Industry 4.0. The various subcategories of the 5G network and other approaches/uses of it can fill a huge gap in the market that years ago was almost impossible to address. Various application scenarios of these information transmission technologies are investigated and presented by analyzing key uses of these mentioned technologies while at the same time classifying them into categories.

In the fourth chapter ways and technologies, are mentioned, beyond 5G as well as the need of a transition to a unified technology and a radio frequency spectrum that will not be particularly affected by any interference and in general the future trend of M2M communication of the Fourth Industrial Revolution is analyzed.

Finally, in the fifth chapter, a research based on measurements of signals as well as losses due to interference within an industrial environment in a two-story building consisting of offices and a production line, i.e. a factory, is analyzed.

## Table of Contents

---

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	I
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ ΤΗΣ ΒΙΟΜ. ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ</b>	<b>2</b>
1.1 - ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η INDUSTRY 4.0	2
1.2 - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΒΙΟΜ. ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΕΩΝ	4
1.3 - ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0	9
1.4 - ΕΠΙΡΡΟΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΕΒΑΛΑΝ ΣΤΗΝ INDUSTRY 4.0	14
1.5 - ΤΟ ΚΑΙΝΟΤΟΜΟ ΕΞΥΠΝΟ ΜΕΛΛΟΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΙοΤ	15
1.5.1 - ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ (ΙοΤ)	15
1.5.2 - ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ (LAYERS) ΤΟΥ ΙοΤ	17
1.6 - ΙΟΤ BASED ΕΞΥΠΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	19
1.7 - ΕΞΥΠΝΗ ΙΟΤ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	19
1.8 - ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ	20
1.9 - SMART IOT EXAMPLES	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΙΙοΤ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ</b>	<b>26</b>
2.1 - ΤΟ ΙΙοΤ ΩΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0	26
2.2 - ΤΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ	27
2.3 - Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ STATE OF ART LP-WAN ΣΕ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΤΟΥ ΙΙοΤ	35
2.4 - ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΙοΤ ΛΥΣΕΩΝ ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ LP-WAN	37
2.5 - ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΕΜΠΙΣΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ INDUSTRY 4.0	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ 5G</b>	<b>61</b>

3.1 - ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ 5G ΚΑΙ Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ INDUSTRY 4.0	61
3.2 - USE CASES ΒΙΟΜΗΧΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΑΣΕΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	66
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - BEYOND 5G ΣΤΗΝ ΤΕΤΑΡΤΗ ΒΙΟΜ. ΕΠΙΧ.</b>	<b>77</b>
4.1 - BEYOND 5G FOR INDUSTRY 4.0	77
4.2 - WIRELESS ISOCHRONOUS REAL TIME NETWORKS	79
4.3 - 60 GHz BAND	87
4.3 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ BEYOND 5G	89
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΕΡΕΥΝΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ</b>	<b>90</b>
5.1 - ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	90
5.2 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	91
5.3 - ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ	95
5.4 - ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΙΜΩΝ	98
5.5 - ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ	102
5.6 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	105
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>108</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Τι είναι το Industry 4.0

---

Το “INDUSTRY 4.0” (“ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ 4.0”) ή αλλιώς Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, αναφέρεται στην τωρινή φάση στην οποία βρίσκεται ο χώρος της βιομηχανίας και της παραγωγής, και σχετίζεται με τον τρόπο στον οποίο οι διάφορες παραγωγικές διαδικασίες εκτελούνται, αυτοματοποιούνται και το σύνολο των ενεργειών ανταλλαγής δεδομένων στις αλυσίδες παραγωγής λόγω της αυξανόμενης διασυνδεσιμότητας και του έξυπνου τεχνολογικού αυτοματισμού.

Είναι μία επανάσταση που φέρνει κοντά τον ψηφιακό και τον φυσικό κόσμο μέσω των κυβερνοφυσικών συστημάτων που είναι ενισχυμένα από εξελισσόμενες τεχνολογικές τάσεις, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT), Cloud Computing και αυτοματοποιήσεις που στοχεύουν στην αύξηση της αποτελεσματικότητας της παραγωγικής διαδικασίας για ομαλότερη - και πιο δια-συνδεδεμένη από ποτέ - διαχείριση βιομηχανικών ενεργειών.

Μέσω των τωρινών και όλο πιο αναβαθμισμένων τεχνολογικών τάσεων όπως για παράδειγμα αυτή του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), ενισχύεται όλο και πιο πολύ ένα πλαίσιο ιδανικό για την ανάπτυξη ενός πραγματικά - για τα μέχρι στιγμής δεδομένα του χώρου - “έξυπνου” εργοστασίου ή αλλιώς βιομηχανικού περιβάλλοντος, ικανό να λειτουργήσει σε κάθε τομέα εξ’ ολοκλήρου αυτοματοποιημένα και διασυνδεδεμένα μέσω διαδικτυακών και πλήρως εξελιγμένων συστημάτων που υποστηρίζονται από το υπολογιστικό νέφος (Cloud Computing) και αποτελείται από πλήρως δια-συνδεδεμένες συσκευές.

Όπως αναφέρει και ο Klaus Schwab (Κλάους Σβαμπ), ιδρυτής και πρόεδρος του Παγκόσμιου Οικονομικού Φόρουμ (World Economic Forum), σε άρθρο που βρίσκεται στην ιστοσελίδα του οργανισμού: «Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση είναι μια σειρά κοινωνικών, πολιτικών, πολιτισμικών και οικονομικών ανατροπών που εκτυλίσσονται στον 21ο αιώνα» [1.1].

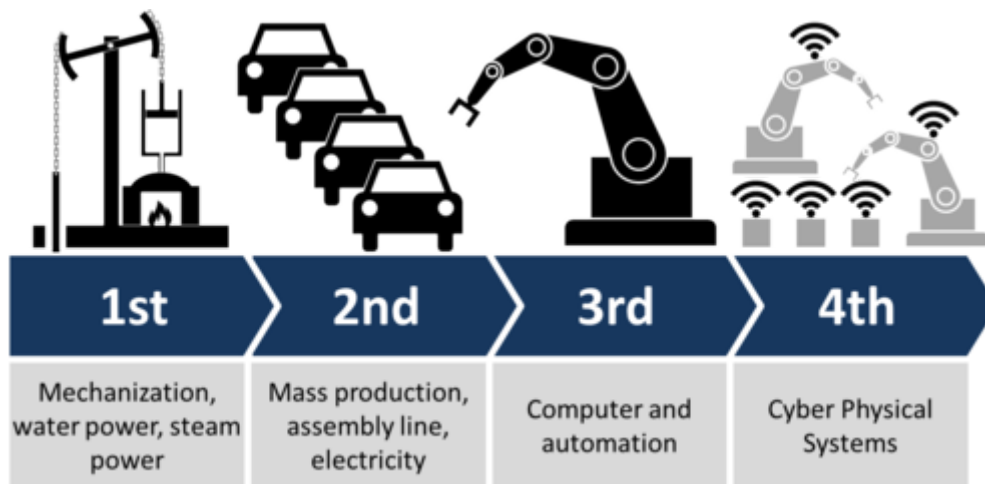
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση περιλαμβάνει μια συστημική αλλαγή σε ένα μεγάλο εύρος τομέων της καθημερινότητας και της ζωής του ανθρώπου κάτι που συνδέεται άμεσα με την αναβάθμιση του βιομηχανικού πλαισίου.

Η τεχνητή νοημοσύνη βελτιώνει τις διαδικασίες και τις δεξιότητες σε όλους τους τομείς. Η νευροτεχνολογία είναι το απόλυτο εργαλείο στην ανθρώπινη βιολογία, σημειώνοντας πρωτοφανή πρόοδο στη χρήση και τον χειρισμό του εγκεφάλου.

Ο αυτοματισμός διαταράσσει τα πρότυπα μεταφοράς και κατασκευής αλλάζοντας τα δεδομένα και τεχνολογίες όπως το blockchain και τα έξυπνα υλικά επαναπροσδιορίζουν τα όρια μεταξύ του ψηφιακού και του φυσικού κόσμου.

Είναι ξεκάθαρο δηλαδή πως οι νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται και εφαρμόζονται με ολοένα και πιο γρήγορους ρυθμούς έχουν αντίκτυπο στις ανθρώπινες ζωές. Επηρεάζοντας τα κίνητρα, τους κανόνες, ακόμα και της οικονομικής ζωής και μεταμορφώνει τον τρόπο με τον οποίο επικοινωνούμε, μαθαίνουμε, ψυχαγωγούμαστε και συναναστρεφόμαστε ο ένας με τον άλλο.

## 1.2 Ιστορική αναδρομή των Βιομηχανικών Επαναστάσεων



**Σχήμα 1.1: Οι τέσσερις φάσεις Βιομηχανικής Επανάστασης**

Πηγή: <https://www.allaboutlean.com/industry-4-0/>

Πριν από το Industry 4.0, υπήρχαν τρεις προηγούμενες Βιομηχανικές Επαναστάσεις που οδήγησαν στην τελική ανάπτυξη της 4ης Βιομηχανίας, με τεχνολογίες και μηχανισμούς όπως το νερό, ενέργεια μέσω ατμού (Steam Powered), η μαζική παραγωγή σε γραμμές συναρμολόγησης και η αυτοματοποίηση με χρήση τεχνολογιών της πληροφορικής.

Το Industry 1.0 ξεκίνησε γύρω στη δεκαετία του 1780 με την εισαγωγή της ενέργειας μέσω του νερού και του ατμού (Water and Steam Powered Engines) που βοήθησε στη μηχανική παραγωγή και βελτίωσε σημαντικά τον αγροτικό τομέα.

Στη συνέχεια, το Industry 2.0 ορίζεται ως η περίοδος κατά την οποία το μεγαλύτερο κομμάτι της μαζικής παραγωγής ξεκινάει. Η μαζική παραγωγή χάλυβα συγκεκριμένα,

βοήθησε να δημιουργηθούν και να εισαχθούν σιδηρόδρομοι στο βιομηχανικό σύστημα κάτι που βοήθησε ραγδαία την εξέλιξη και ανάπτυξη της Βιομηχανίας λόγω της ευκολίας μεταφοράς υλικών και κατά συνέπεια συνέβαλε στην αυξημένη μαζική παραγωγή.

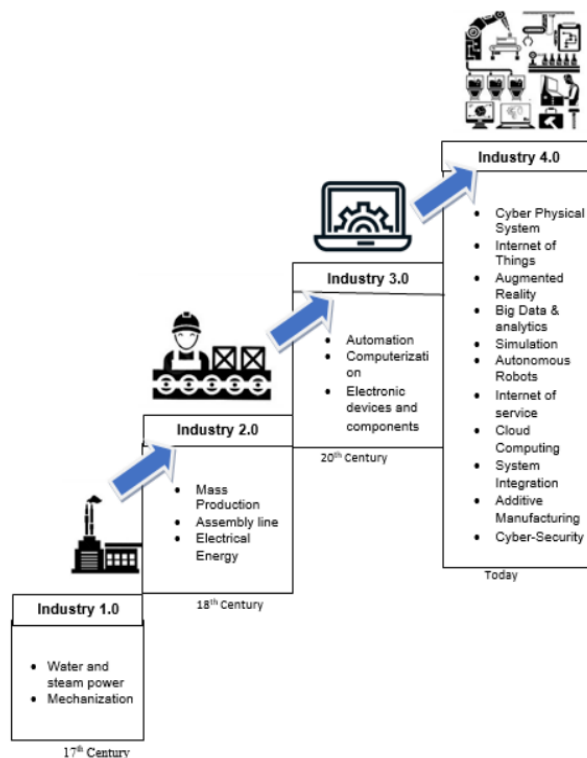
Κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, το Industry 3.0 προέκυψε με την έλευση της Ψηφιακής Επανάστασης (Digital Revolution) που είναι και πιο επίκαιρη, σε σύγκριση με τη Industry 1.0 και 2.0, λόγω του τεχνολογικού της ενδιαφέροντος, καθώς οι περισσότεροι άνθρωποι που ζουν σήμερα είναι εξοικειωμένοι με βιομηχανίες που στηρίζονται στην ψηφιακή ενοποίηση τους με τεχνολογίες και έξυπνα συστήματα στην παραγωγή.

Το Industry 3.0 δηλαδή ήταν και εξακολουθεί να είναι το άμεσο αποτέλεσμα της τεράστιας εξέλιξης της βιομηχανίας των υπολογιστών και της Πληροφορικής γενικότερα. Ξεκίνησε περίπου το 1970 με την εισαγωγή των συστημάτων της Πληροφορικής για να επιτύχει περαιτέρω την αυτοματοποίηση της παραγωγής. Τις τελευταίες δεκαετίες του 20ού αιώνα, η εφεύρεση και κατασκευή ηλεκτρονικών συσκευών, όπως τα τρανζίστορ και, αργότερα, ολοκληρωμένων λύσεων όπως chips κυκλώματος, κατέστησαν δυνατή την πληρέστερη αντικατάσταση του ανθρώπινου δυναμικού από μηχανές και λύσεις υλικού και λογισμικού.

Το Industry 4.0 παρουσιάζεται ως μια συνολική αλλαγή λόγω της ψηφιοποίησης και της αυτοματοποίησης κάθε μέρους και συστήματος ενός βιομηχανικού περιβάλλοντος. Μεγάλες διεθνείς εταιρείες που χρησιμοποιούν έξυπνες τεχνολογίες και ακολουθούν τάσεις και πρότυπα του τομέα της Πληροφορικής αποδέχονται την έννοια του Industry 4.0 ώστε να επωφεληθούν και να γίνουν ακόμη πιο ανταγωνιστικοί στην αγορά. Οι κατασκευαστές θα μπορούν να επικοινωνούν με υπολογιστές αντί να χειρίζονται κατευθείαν τα συστήματά τους.

Στο παρακάτω σχήμα υπάρχει και μία επισκόπηση των Βιομηχανικών Επαναστάσεων.





**Σχήμα 1.2: Έννοιες που περιγράφουν κάθε μία από τις τέσσερις φάσεις της Βιομηχανικής Επανάστασης**

Πηγή: <https://simbotix.com.au/wp-content/uploads/2020/06/I4.0-Definttiions.pdf>

Η Βιομηχανική Επανάσταση αφορά την ανάπτυξη των τεχνολογιών που επιφέρουν αλλαγές σε διάφορους τομείς, με τους σημαντικότερους κυρίως να είναι οικονομικοί και κοινωνικοί. Αυτή είναι υπεύθυνη για την εξέλιξη των παραδοσιακών βιομηχανικών συστημάτων και έχει επομένως επιφέρει ραγδαία ανάπτυξη σε κλάδους όπως, έξυπνα κατασκευαστικά συστήματα, έξυπνα εργοστάσια, έξυπνα νοσοκομεία, έξυπνες αγροτικές πρακτικές, αυτοματοποιημένα συστήματα και αναβαθμισμένα βιομηχανικά πλαίσια.

Όλες αυτές οι τεχνολογίες έχουν αποτελέσει τη μεταμόρφωση της βιομηχανίας και συγκεκριμένα της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης (Industry 4.0) και την ανάπτυξη της σε μία πιο διασυνδεδεμένη από ποτέ εκδοχή. Πλέον κάθε κομμάτι της βιομηχανικής παραγωγής μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο και να χρησιμοποιηθεί πλήρως αυτοματοποιημένα από ειδικά συστήματα με σκοπό την αναπτυγμένη διασύνδεση.

Για παράδειγμα, στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, αισθητήρες, αυτοματοποιημένα οχήματα (Automated Vehicles), συστήματα, και γραμμές παραγωγής επικοινωνούν μεταξύ τους σε ένα εξ' ολοκλήρου διασυνδεδεμένο δίκτυο που στοχεύει στην συνεργασία όλων αυτών μαζί με την σωστή και ανάλογη χρήση.

Ένα κεντρικό σύστημα θα μπορεί να ελέγχει την πορεία τους, να συμβάλει στο κομμάτι των διαδικασιών, και να μπορεί να χειρίζεται παραγωγικές διαδικασίες βοηθώντας με αυτό το

τρόπο τη διανομή και τον έλεγχο βιομηχανικών ενεργειών, δίνοντας τις κατάλληλες εντολές και καθοδηγώντας τα σωστά συστήματα για την επίτευξη τελικών παραγωγικών σκοπών.

Με πολλές θετικές επιρροές όπως μικρότερος χρόνος αναμονής για ξεφόρτωμα και φόρτωμα του φορτίου προϊόντων, μεγαλύτερες και αυτοματοποιημένες αντιδράσεις για γρήγορα αντιμετώπιση σφαλμάτων, χειρισμό από απόσταση κ.α. Όλα αυτά τα οφέλη σε συνδυασμό με τις εξελισσόμενες τεχνολογίες που τα υποστηρίζουν, δημιουργούν ένα πλαίσιο ιδανικό για την εξερεύνηση και ανάπτυξη ανανεωμένων κυβερνοφυσικών συστημάτων.

Ένα κυβερνοφυσικό σύστημα (CPS) είναι ένα σύστημα στο οποίο οι μηχανισμοί του ελέγχονται και λειτουργούν με την συνδρομή από ειδικά διαμορφωμένους υπολογιστικούς αλγόριθμους. Στα κυβερνοφυσικά συστήματα τα φυσικά και κυβερνητικά στοιχεία είναι βαθιά συνυφασμένα μεταξύ τους, και είναι ικανά να λειτουργούν σε ένα εύρος διαφορετικών περιστάσεων και τρόπων επιδεικνύοντας πολλαπλούς και διακριτούς τρόπους συμπεριφοράς αλλά και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με τρόπους που αλλάζουν ανάλογα με το πλαίσιο στο οποίο αυτά διαμορφώνονται.

Τα κυβερνοφυσικά συστήματα έχουν άμεση σχέση με το Διαδίκτυο Των Πραγμάτων (IoT), αφού μοιράζονται την ακριβώς ίδια βασική αρχιτεκτονική, τη διασύνδεση μηχανισμών. Ωστόσο τα κυβερνοφυσικά συστήματα παρουσιάζουν μία πιο ειδική συνένωση αυτών των δύο κόσμων. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων δηλαδή αφορά τη σύνδεση "Πραγμάτων" στο Διαδίκτυο και εν τέλει μεταξύ τους, ενώ τα κυβερνοφυσικά συστήματα, Cyber Physical Systems (CPS) αποτελούν μία ενοποίηση υπολογισμών, δικτύωσης και φυσικής διαδικασίας.

Αυτά τα συστήματα αλληλεπιδρούν και γενικότερα λειτουργούν με τον φυσικό κόσμο σε πραγματικό χρόνο (real-time). Τα συστατικά των CPS αναπτύσσονται από τον άνθρωπο και περιλαμβάνουν την επεξεργασία, την επικοινωνία και φυσικά τον έλεγχο των πληροφοριών (Big Data) που αυτά χρησιμοποιούν και διαχειρίζονται.

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, αφορά την τάση για συνεχή ψηφιοποίηση του χώρου της Βιομηχανίας [1.2]. Είναι προφανές πως για την αντιμετώπιση των ραγδαίων αλλαγών τόσο στο χώρο της τεχνολογίας όσο και στην καθημερινότητα του ανθρώπου και σε όλο τον κόσμο, ο ψηφιακός μετασχηματισμός των κλάδων και γενικότερα η ανάπτυξη αυτών είναι μονόδρομος.

Έτσι αυτή η τάση ή αλλιώς ανάγκη για ψηφιοποίηση είναι μια κατάσταση που θα ονομάζεται ως Βιομηχανία X, και φυσικά με το σύμβολο X εννοούμε τον αριθμό που χαρακτηρίζει την περίοδο της αντίστοιχης βιομηχανικής περιόδου.

Οι ευρέως διαδεδομένες χρήσεις των τεχνολογιών που αφορούν το Διαδίκτυο (π.χ. IoT) καθώς και οι ραγδαίες εξελίξεις της τεχνολογίας, έχουν τροποποιήσει σε γιγαντιαίο βαθμό

τις ανάγκες χρήσης βιομηχανιών. Η συνδεσιμότητα και η επικοινωνία μηχανών (Machine to Machine, M2M) στην Βιομηχανία 4.0 ενισχύεται όλο και πιο πολύ καθημερινά. Έξυπνα μηχανήματα και έξυπνες πρακτικές μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν με τελικό σκοπό της διαμόρφωση κατάλληλων σχέσεων μεταξύ συσκευών για την επίτευξη διαφόρων διαδικασιών και έργων. Οι μηχανές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση προκλήσεων της βιομηχανίας, σε περιβάλλοντα που παλαιότερα το ανθρώπινο δυναμικό δεν θα μπορούσε να ανταπεξέλθει.

Για παράδειγμα, σε ένα τοξικό περιβάλλον στο οποίο η άμεση επαφή του ανθρώπου με τα τοξικά υλικά θα επιφέρουν θανατηφόρες συνέπειες - ακόμα και με χρήση ειδικού εξοπλισμού δεν μπορεί να συγκριθεί με την παραγωγικότητα που μπορεί να αποδοθεί σε μεγάλο βαθμό από την χρήση μηχανών που θα έχουν άμεση επαφή και επικοινωνία με την γραμμή παραγωγής και θα είναι πλήρως διασυνδεδεμένα με το υπολογιστικό νέφος για να μπορούν να διαχειριστούν κάθε κατάσταση, είτε με την βοήθεια απομακρυσμένου ελέγχου από ανθρώπους, είτε μέσω αλγορίθμων Τεχνητής Νοημοσύνης.

Τα έξυπνα μηχανήματα μπορούν να εντοπίσουν οποιαδήποτε βλάβη στα συστήματα και να εφαρμόσουν ανάλογες ενέργειες με σκοπό την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και φυσικά σε χρονικό διάστημα αισθητά μικρότερο από ότι ένα ανθρώπινο δυναμικό. Ως εκ τούτου, οι διάφοροι κίνδυνοι που προκαλούνται στους εργαζόμενους - τοξικοί και μη - (για την υγεία) μπορούν να μειωθούν σημαντικά ή και να εξασθενίσουν συνολικά. Έτσι όχι μόνο μειώνονται οι προκλήσεις ατυχημάτων στον χώρο εργασίας αλλά αντιθέτως αυξάνεται η συνολική απόδοση και η αποδοτικότητα του εργασιακού χώρου και εν τέλει της συνολικής παραγωγής.

Όλα αυτά τα συστήματα όπως δια-συνδεδεμένοι αισθητήρες, έξυπνες γραμμές παραγωγής και η υποβοήθηση από λογισμικό που βασίζεται σε machine-learning αλγορίθμους για την σωστή διαχείριση κάθε κομματιού ενός εργοστασίου, αποτελούν την Βιομηχανία 4.0, όπως για παράδειγμα του “Google Cloud IIoT” συστήματος που με τη συνεργασία των εταιρειών Siemens και Google, η πρώτη θα βασίζεται πλέον στην τεχνολογία αλγορίθμων της Google για τη διαχείριση των παραγωγικών της διαδικασιών [1.3]. Η ανάγκη για λύσεις λογισμικού και Τεχνητής Νοημοσύνης όλο και πιο πολύ αυξάνεται [1.4].

Ο εργοστασιακός εξοπλισμός είναι μέρος αυτού που ονομάζεται Βιομηχανικό Διαδίκτυο των πραγμάτων (IIoT), το οποίο αναφέρεται σε ένα δίκτυο συνδεδεμένων συσκευών στον βιομηχανικό τομέα. Το βασικό του χαρακτηριστικό είναι ότι οι συσκευές ανταλλάσσουν δεδομένα ανάμεσα τους, χωρίς καμία απολύτως ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Στον κατασκευαστικό χώρο ονομάζεται Network of Autonomous Devices, μία τεχνική στη οποία όλος ο εξοπλισμός παραγωγής είναι συνδεδεμένος στο Δίκτυο, αλλά λειτουργεί μεμονωμένα.

Έξυπνα εργοστάσια με διασυνδεδεμένες εγκαταστάσεις και γραμμή παραγωγής, έξυπνες αγροτικές δραστηριότητες, Τεχνητή Νοημοσύνη, ρομποτική και Διαδίκτυο Των Πραγμάτων είναι κάποιες από τις έννοιες που απαρτίζουν αυτή την Επανάσταση στο χώρο της Βιομηχανίας. Η έννοια αυτή έχει δοθεί για να περιγράψει όλες αυτές τις τάσεις στο κόσμο της τεχνολογίας που αφορούν στο βασικότερο κομμάτι της, τη μεταφορά δεδομένων σε ένα πλήρως συνδεδεμένο πλαίσιο. Αυτοματοποιησμοί (Automations), ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διασυνδεδεμένων συσκευών και μία πλήρη δια-συνδεσιμότητα όλων των εξαρτημάτων και συσκευών είναι αυτά που την χαρακτηρίζουν.

### 1.3 Χαρακτηριστικά και Τεχνολογίες της Industry 4.0

Η Τέταρτη Βιομηχανία κυριεύεται από το κύμα της τεχνολογικής εξέλιξης που εκδηλώνεται με γιγαντιαίο ρυθμό ανάπτυξης. Ενδεικτικά ο IT (Information Technology) τομέας προβλέπεται να αυξηθεί κατά 104% μέσα στην πενταετία των ετών 2018 - 2023, δηλώνοντας τη σημαντική εξέλιξη και την προσαρμογή των νέων τεχνολογιών στη ζωή μας [1.5]. Νέες τάσεις όπως τα IoT Softwares, Big Data Analytics και ο κλάδος της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Reality), εκτιμάται πως θα απαρτίζουν το μεγαλύτερο κομμάτι αυτής της ανάπτυξης.

Η Industry 4.0 αποτελεί το μέλλον της παγκόσμιας παραγωγικής διαδικασίας. Αφορά εξ' ολοκλήρου την εποχή του αυτοματισμού και του ψηφιοποιημένου εργοστασίου. Ωστόσο, ένας κοινά αποδεκτός ορισμός από την ακαδημαϊκή κοινότητα εξακολουθεί να μην υπάρχει καθώς είναι δύσκολο να οριστεί η προσέγγιση της, καθώς το Industry 4.0 είναι ένας βασικός όρος που αναφέρεται στην Τέταρτη Βιομηχανική επανάσταση. Αυτό προκαλεί δυσκολία στη διάκριση των συστατικών και της λειτουργίας του.

Ωστόσο υπάρχουν κάποια συστατικά που την χαρακτηρίζουν.

Τα χαρακτηριστικά συστατικά της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης είναι τα εξής:

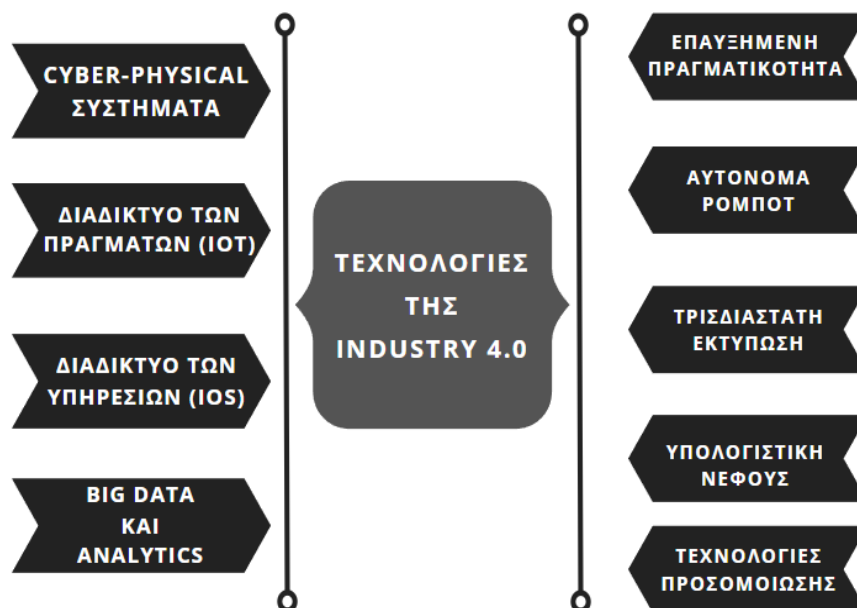
- Οι διάφορες συσκευές όπως αισθητήρες, προσαρμοσμένα συστήματα, IoT εφαρμογές και μηχανήματα, κατέχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό (Unique Identifier) τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω τεχνολογιών που βασίζονται στο Διαδίκτυο. Αυτές οι δια-συνδεδεμένες (Interconnected) συσκευές επιτρέπουν τη δυνατότητα διαλειτουργικότητας (ανταλλαγή και χρήση των δεδομένων με κατάλληλο τρόπο) για τη διαμόρφωση της γραμμής παραγωγής με δυνατότητες Industry 4.0.

- Το σύστημα πληροφοριών που συγκεντρώνει όλα τα ακατέργαστα δεδομένα (Raw Data) τα οποία συλλέγονται από τους αισθητήρες και τις έξυπνες IoT συσκευές και δημιουργεί το διαδικτυακό - εικονικό αντίγραφο χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που συλλέχθηκαν.
- Τα διασυνδεδεμένα συστήματα τα οποία μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους, να εκτελούν σύνθετες εργασίες σε πραγματικό χρόνο και να λαμβάνονται οι αντίστοιχες αποφάσεις με πολύ μικρή ή και καθόλου ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτές οι εργασίες που εκτελούνται από μηχανήματα ενδέχεται να μην είναι ασφαλείς για τον άνθρωπο τις περισσότερες φορές για αυτό και γίνεται αναγκαία η χρήση τους.

Όλα αυτά τα συστήματα συλλέγουν δεδομένα, το κάθε ένα ξεχωριστά, τα συγκεντρώνουν σε βάσεις δεδομένων και τα αναλύουν με τελικό σκοπό την λήψη μιας απόφασης, όλα αυτά γίνονται ανεξάρτητα από οποιαδήποτε ανθρώπινη παρέμβαση.

Είναι λογικό να συμπεράνουμε πως με την πάροδο των χρόνων, η ανάπτυξη των Βιομηχανικών φάσεων, προέρχεται κυρίως από την τεχνολογική εξέλιξη η οποία ευθύνεται για τις αλλαγές στο Βιομηχανικό τομέα και είναι εμφανείς οι επιρροές της στο κοινωνικό αλλά και οικονομικό κλάδο.

Στο παρακάτω διάγραμμα εμφανίζονται οι διάφορες τεχνολογίες που απαρτίζουν την Industry 4.0:



*Σχήμα 1.3: Τεχνολογίες και έννοιες που χρησιμοποιούνται από την Industry 4.0*

Οι χαρακτηριστικές τεχνολογίες που απαρτίζουν την Industry 4.0 περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω και έχουν ως εξής:

- **Cyber-Physical System (CPS).** Ένα κυβερνοφυσικό σύστημα (CPS) είναι ένα σύστημα στο οποίο οι μηχανισμοί του ελέγχονται και λειτουργούν με την συνδρομή από ειδικά διαμορφωμένους υπολογιστικούς αλγόριθμους. Κάθε σύστημα παραγωγής CPS έχει εγκατεστημένους αισθητήρες για να συνδέσει τα φυσικά πράγματα με εικονικά μοντέλα. Το CPS αποτελεί επίσης το θεμέλιο για τη δημιουργία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) που μπορεί να συνδυαστεί για να γίνει το Διαδίκτυο Υπηρεσιών (IoS) (αναφέρεται στη συνέχεια). Ως εκ τούτου, οι επιχειρήσεις και γενικότερα οι γραμμές παραγωγής, θα είναι πιο εύκολο να δημιουργήσουν παγκόσμια δίκτυα (Global Networks) που εντάσσονται στο συστήματα αποθήκευσης (Warehouse Controlling Systems), δεδομένης της χρήσης CPS συστημάτων.
- **Internet of Things (IoT).** Η Industry 4.0 είναι η νέα φράση για το συνδυασμό της τρέχουσας τεχνολογίας του Internet of Things (IoT) και της Βιομηχανίας παραγωγής. Η Industry 4.0 ξεκίνησε ως αποτέλεσμα του συνδυασμού του Internet of Things (IoT) και του Internet of Services (Διαδίκτυο Υπηρεσιών - IoS) στη διαδικασία παραγωγής. Γενικά, Το IoT μπορεί να παρέχει προηγμένη συνδεσιμότητα συστημάτων, υπηρεσιών, φυσικών αντικειμένων, με βασικό στόχο την επικοινωνία και την κοινή χρήση δεδομένων μεταξύ συσκευών και υπολογιστικών συστημάτων.
- **Internet of Services (IoS).** Το Διαδίκτυο Υπηρεσιών λειτουργεί ως ένα ενοποιημένο σύστημα παροχής υπηρεσιών. Οι δραστηριότητες και γενικότερα οι υπηρεσίες που προσφέρονται, ενεργοποιούνται με τη μεταφορά δεδομένων μέσω του Διαδικτύου. Το Διαδίκτυο Υπηρεσιών (IoS) ενεργεί ως “προμηθευτής υπηρεσιών”. Η Αμερικανική αυτοκινητοβιομηχανία Tesla, για παράδειγμα, είναι γνωστή για την χρήση IoS προτάσεων στους καταναλωτές της, δίνοντας την δυνατότητα σε αυτούς, να ενεργοποιήσουν στο αυτοκίνητο τους την υπηρεσία αυτόματου πιλότου, η οποία ενεργοποιείται κατόπιν περαιτέρω αγοράς από τον καταναλωτή [1.6].
- **Big Data και Analytics.** Για την Industry 4.0, η ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων και αναλυτικών είναι βασικό εργαλείο για την λειτουργία της. Η δυνατότητα ανάλυσης των δεδομένων δίνει την δυνατότητα για επωφελής πρόγνωση κινήσεων και πράξεων της παραγωγικής διαδικασίας. Οι κατασκευαστές συλλέγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων από έξυπνους αισθητήρες μέσω του υπολογιστικού νέφους και πλατφορμών του IIoT που τους επιτρέπουν να αποκαλύπτουν μοτίβα που τους βοηθούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης της

εφοδιαστικής τους αλυσίδας. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων μειώνει τις βλάβες και τον προγραμματισμένο χρόνο διακοπής λειτουργίας κατά περίπου 25 τοις εκατό [1.7].

- **Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality).** Η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) θεωρείται ένας από τους πιο πολλά υποσχόμενους κλάδους της Πληροφορικής και αυτό διότι ξεκλειδώνει ένα τεράστιο εύρος δυνατοτήτων που πριν δεν μπορούσαν να επιτευχθούν. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να προσφέρει τεράστια υποστήριξη για εργασίες συντήρησης σε επιχειρήσεις, να προσφέρει μείωση του χρόνου που απαιτείται για τις εργασίες συντήρησης και μείωση των πιθανών σφαλμάτων.
- **Αυτόνομα Ρομπότ (Autonomous Robots).** Εξελιγμένα και αυτόνομα ρομπότ μπορούν να εκτελούν εργασίες δύσκολες και σε χώρους δυσπρόσιτους για τον άνθρωπο. Τα ρομπότ αυτά έχουν μεγαλύτερη ευελιξία, προηγμένες λειτουργίες και είναι πιο εύκολο να λειτουργήσουν σε ένα πλήθος πεδίων. Στο μέλλον, τα ρομπότ θα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και θα συνεργάζονται ενεργά με τους ανθρώπους υπό την καθοδήγηση των χειριστών. Αυτά τα ρομπότ θα είναι φθηνότερα και πιο εξελιγμένα προκειμένου να επιτύχουν καλύτερες ικανότητες σε σύγκριση με αυτές που υπάρχουν σήμερα χρησιμοποιείται στον τομέα της παραγωγής.
- **3D Printing (Τρισδιάστατη Εκτύπωση).** Η τρισδιάστατη εκτύπωση ή η κατασκευή προσθέτων (additive manufacturing) είναι μια διαδικασία κατασκευής τρισδιάστατων αντικειμένων από ψηφιακό σχέδιο. Η τρισδιάστατη εκτύπωση βοηθά στη δημιουργία σύνθετων σχεδίων χρησιμοποιώντας λιγότερα υλικά και πιο αποτελεσματικά. Το Industry 4.0 τονώνει τη χρήση προηγμένων τεχνολογιών δεδομένων και έξυπνων συστημάτων παραγωγής. Ως εκ τούτου, η παραγωγή άμεσων και ειδικά προσαρμοσμένων πρόσθετων είναι ένα από τα κρίσιμα εργαλεία για την ανάπτυξη της Industry 4.0.
- **Cloud Computing (Υπολογιστική Νέφος).** Το Cloud Computing είναι μια σχετικά νέα λογική συστήματος που παρέχει έναν τεράστιο χώρο αποθήκευσης στον χρήστη. Αφορά την διάθεση της δύναμης των υπολογιστικών συστημάτων μέσω όμως του διαδικτύου, από απομακρυσμένα συστήματα που δουλεύουν με στόχο την υποστήριξη της ενεργειακής προς τον τελικό χρήστη, παρέχοντας ευκολίες και ευελιξία σύνδεσης. Με την πάροδο του χρόνου, η απόδοση των τεχνολογιών συνεχίζουν να βελτιώνονται, ωστόσο, η λειτουργικότητα των δεδομένων μηχανής θα συνεχίσει να αποθηκεύεται στο Cloud σύστημα αποθήκευσης, επιτρέποντας στα συστήματα παραγωγής να βασίζονται περισσότερο στα δεδομένα.
- **Προσομοίωση (Simulation Technology).** Η μοντελοποίηση προσομοίωσης είναι ένας τρόπος εκτέλεσης μιας πραγματικής ή και εικονικής διαδικασίας. Οι προσομοιώσεις γίνονται χρησιμοποιώντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την

αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου σε ένα μοντέλο προσομοίωσης, το οποίο περιλαμβάνει ανθρώπους, προϊόντα και μηχανές. Επομένως, οι χειριστές είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν μια κατάσταση εξ' ολοκλήρου σε επίπεδο προσομοίωσης.

Η ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την απόδοση σε πραγματικό χρόνο, τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας, τη βελτιστοποίηση τιμών, την πρόβλεψη σφαλμάτων, την ανάπτυξη προϊόντων και τον έξυπνο εργοστασιακό σχεδιασμό [1.8].

## 1.4 Παράγοντες που συνέβαλαν στο Industry 4.0

Η εκτεταμένη ανάγκη για ψηφιοποίηση και η χρήση νέων τεχνολογικών τάσεων που βασίζονται στο Διαδίκτυο Των Πραγμάτων είναι τα βασικά κομμάτια που συνέβαλαν στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση. Το "Industry 4.0" εξελίχθηκε βάσει των παρακάτω νέων επιρροών [1.9]-[1.14]:

- Η ενσωμάτωση διαφόρων τεχνολογιών όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα στον Τεχνολογικό και Βιομηχανικό τομέα
- Η βοήθεια της 5ης γενιάς δικτύου (5G) δηλαδή οι τεχνολογίες επικοινωνίας
- Η τρισδιάστατη εκτύπωση
- Η ανάπτυξη του Βιο-Πληροφορικού τομέα (π.χ. Gene Sequencing)
- Ο βασικός σκελετός των τεχνολογιών που βασίζονται στο Διαδίκτυο είναι οι έξυπνοι κόμβοι αισθητήρων.
- Οι έξυπνοι κόμβοι αισθητήρων εξελίχθηκαν με τη πάροδο του χρόνου και είναι ισχυρότεροι, πιο οικονομικοί από ποτέ και μικρότεροι σε μέγεθος, σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς κόμβους αισθητήρων.



Όλα αυτά αποτέλεσαν το έναυσμα για τη μετάβαση στην επόμενη φάση της Βιομηχανικής Επανάστασης και εν τέλει προς την μετεξέλιξη του Industry 4.0. Αυτές οι τεχνολογίες αποτελούν τα δομικά στοιχεία για έξυπνα εργοστάσια, έξυπνες και συνδεδεμένες μηχανές και έξυπνα συστήματα παραγωγής.

## 1.5 Το καινοτόμο έξυπνο μέλλον με βάση το IoT

---

Το Διαδίκτυο Των Πραγμάτων (IoT) αποτελεί μία από τις αναπτυσσόμενες τεχνολογίες που θα συμβάλει στην ανάπτυξη των τεχνολογιών του μέλλοντος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ισχυροποίηση της επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων σε Βιομηχανικά πλαίσια ανάμεσα σε συσκευές και μηχανικά μέρη. Αναφέρεται σε ένα συνολικό Δίκτυο Πραγμάτων, πάνω στο οποίο συνδέονται όλες οι συσκευές που βασίζονται σε διαδικτυακές τεχνολογίες, ώστε να έχουν την δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων και σημάτων με άμεση σχέση και να επικοινωνούν ακατάπαυστα.

### Ενότητα 1.5.1 - Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

---

Η έννοια IoT βασίζεται στην ιδέα ενός συνδεδεμένου κόσμου, ο οποίος καλύπτεται από δισεκατομμύρια μηχανήματα τα οποία έχουν την δυνατότητα να αισθανθούν, να συλλέγουν πληροφορίες και να μπορούν να τις μεταβιβάσουν ανάμεσα σε άλλες συνδεδεμένες μηχανές μέσω Δικτύων του Διαδικτύου.

Αναφερόμαστε, λοιπόν, σε φυσικά πράγματα, συσκευές με αισθητήρες παντός τύπου ικανές να διακρίνουν ένα εύρος αλλαγών εντός του περιβάλλοντός τους.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αποτελείται από τις εξής τρεις κατηγορίες:

1. **People to people:** Αναφερόμαστε στην επικοινωνία μεταξύ ανθρώπων ή αλλιώς στην επικοινωνία με σκοπό την αναγνώριση και για όφελος μεταξύ ανθρώπων.
2. **People to Machine:** Αφορά την επικοινωνία μεταξύ ανθρώπου και μηχανής και το αντίστροφο.
3. **Machine to Machine:** Αφορά την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών. Η επικοινωνία αυτή αφορά συσκευές που παρέχουν υπηρεσίες που ικανοποιούν τις ανάγκες των καταναλωτών και βιομηχανιών

Οπότε κατά βάση, βασίζεται στην ανάγκη για επικοινωνία, σε διάφορα πλαίσια, αλλά κυρίως σε καθημερινές συσκευές, που διαχειρίζονται δεδομένα τα οποία συλλέγονται με διάφορους τρόπους από ειδικά διαμορφωμένους αισθητήρες και αποκτούν χρησιμότητα και

μπορούν να βοηθήσουν σε άλλες επιμέρους διαδικασίες. Αυτές οι συσκευές συνδέονται σε δημόσια ή προσωπικά IP Δίκτυα.

Αυτές οι συνδεδεμένες συσκευές, συλλέγουν συνεχώς δεδομένα μέσω τεχνολογιών διασύνδεσης όπως ραδιοσυχνότητες RFID, τα δίκτυα τηλεπικοινωνιών 3G/4G/5G, τα ασύρματα δίκτυα WLAN, το GPS, και αναλύουν δεδομένα ώστε να εκτελέσουν μια διαδικασία.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων δεν είναι απλά μία τεχνολογία από μόνη της, αλλά αποτελείται από έναν μεγάλο εύρος διαφόρων τεχνολογιών υλικού και λογισμικού. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων παρέχει λύσεις που βασίζονται στην ενοποίηση της Πληροφορικής, που αναφέρεται δηλαδή σε υλικό και λογισμικό και χρησιμοποιείται για την αποθήκευση, ανάκτηση, επεξεργασία και ανταλλαγή δεδομένων.

Αποτελεί μια έννοια ποικίλων τεχνολογιών επικοινωνίας που χρειάζεται να προσαρμοστούν ώστε να αντιμετωπίσουν τις ανάγκες του ΙοΤ, όπως η αποδοτικότερη σχέση μηχανών, η γρήγορη ταχύτητα επικοινωνίας, η ασφάλεια και η αξιοπιστία.

Αν και η ιδέα του ΙοΤ υπάρχει εδώ και πολλά χρόνια, μια συλλογή από πρόσφατες προόδους σε μια σειρά από διαφορετικές τεχνολογίες την έχει κάνει πιο πρακτική από ποτέ. Τα χαρακτηριστικά της είναι η Διασύνδεση, οι Υπηρεσίες των Πραγμάτων, η ανομοιογένεια, οι Δυναμικές αλλαγές της, η τεράστια κλίμακα της, η ασφάλεια και η συνδεσιμότητα.

Αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά της περιγράφονται παρακάτω:

**Διασύνδεση:** Αναφορικά με το ΙοΤ, οποιαδήποτε συσκευή έχει την δυνατότητα μέσω διαφόρων τεχνολογιών να συνδεθεί σε μία βάση δεδομένων πληροφοριών και επικοινωνίας.

**Υπηρεσίες των Πραγμάτων:** Το ΙοΤ είναι ικανό να παρέχει υπηρεσίες που σχετίζονται με τα Πράγματα που σχετίζονται με αυτό, όπως η προστασία, η ασφάλεια και σημασιολογική συνέπεια μεταξύ των φυσικών πραγμάτων με τα εικονικά.

**Ανομοιογένεια:** Ένα μεγάλο εύρος συσκευών χρησιμοποιούν το ΙοΤ, κάθε συσκευή διαφορετική μεταξύ της και με ανάμεικτα τεχνολογικά πρωτόκολλα επικοινωνίας και εξίσου διαφορετικές πλατφόρμες υλικού.

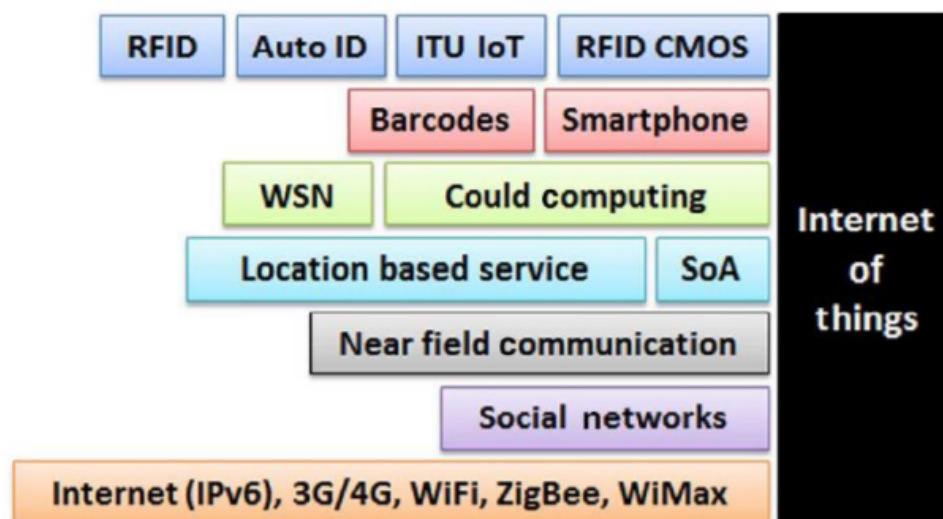
**Δυναμικές αλλαγές:** Οι καταστάσεις στις οποίες βρίσκονται οι συσκευές (π.χ. connected και disconnected, sleep και wake up) μπορούν να αλλάξουν στιγμιαία το ίδιο και τα δεδομένα τους (π.χ. δεδομένα τοποθεσίας, δεδομένα ανίχνευσης κίνησης) όλα αυτά θα πρέπει να είναι ικανά να μεταδοθούν ανα πάσα στιγμή.

**Τεράστια κλίμακα:** Ο αριθμός των συσκευών που χρειάζονται έλεγχο και διαχείριση καθώς επικοινωνούν μεταξύ τους, είναι αρκετά μεγάλος. Σχεδόν κάθε κομμάτι της Βιομηχανίας έχει ψηφιοποιηθεί ή βρίσκεται σε διαδικασία μετατροπής σε πιο εξελιγμένες και έξυπνες μορφές. Οι συσκευές που θα συνδέονται στο Διαδίκτυο όλο και θα μεγαλώνει.

**Ασφάλεια:** Η ασφάλεια αποτελεί ζωτικής σημασίας. Κάθε άκρο επικοινωνίας θα πρέπει να προστατευτεί με αλγορίθμους κρυπτογράφησης και τεχνικές που μειώνουν τους κινδύνους δημιουργίας κενών ασφαλείας.

**Συνδεσιμότητα:** Η συνδεσιμότητα καθιστά ικανή την πρόσβαση στο Δίκτυο και αυξάνει την συμβατότητα. Η πρόσβαση αφορά την δυνατότητα σύνδεσης στο Δίκτυο και η συμβατότητα προσφέρει την ικανότητα για κατανάλωση, παραγωγή και ανταλλαγή δεδομένων.

#### Ενότητα 1.5.2 - Επίπεδα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)



**Σχήμα 1.4: Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται**

Πηγή: <https://hal-uphf.archives-ouvertes.fr/hal-03691396/document>

Το IoT βασίζεται στην άμεση επαφή και συνένωση διαφορετικών πραγμάτων μέσω Δικτύων. Η αρχιτεκτονική του IoT αποτελείται από διάφορα επίπεδα τεχνολογιών που το υποστηρίζουν και χωρίζεται κυρίως σε τρεις κατηγορίες επιπέδων όπως φαίνονται και στη συνέχεια.

Το επίπεδο Αντίληψης (Perception layer), αποτελεί τον βασικό πυρήνα των IoT τεχνολογιών. Όλα τα είδη πληροφορίας του φυσικού κόσμου που αναγνωρίζονται από τις έξυπνες συσκευές, αισθητήρες (Wireless Sensors Network), tags με συστήματα

ραδιοσυχνοτήτων (RFID), κάμερες, συστήματα GPS, έξυπνα τερματικά κ.α. συλλέγονται σε αυτό το επίπεδο.

Το επίπεδο Δικτύου (Network layer) ή αλλιώς επίπεδο Μεταφοράς (Transport layer), προσφέρει την δυνατότητα διαφανούς αποστολής και λήψης δεδομένων μέσω επικοινωνιακών πρωτοκόλλων όπως το Τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο (GSM, 2G, 3G, 4G, 5G) και των Radio Access Networks (RAN), ενσύρματων δικτύων Ethernet.

Το επίπεδο Εφαρμογών (Application) που αφορά όλες τις εφαρμογές που έχουν την δυνατότητα διασύνδεσης στο Διαδίκτυο. Είναι δηλαδή, η διεπαφή μεταξύ της συσκευής IoT και του δικτύου με το οποίο θα αυτή επικοινωνεί. Αναλαμβάνει την οργάνωση και μορφοποίηση των δεδομένων μορφοποίηση και χρησιμεύει ως γέφυρα μεταξύ αυτού που κάνει η συσκευή IoT και της μεταφοράς του δικτύου των δεδομένων που παράγει.

Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με το IoT φαίνονται στην εικόνα 1.4. Αυτές αποτελούνται από αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID), ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN), ενδιάμεσο λογισμικό, υπολογιστικό νέφος και λογισμικό εφαρμογών IoT.

## 1.6 IoT - based Smart Road System

Ένα σενάριο εφαρμογής των IoT τεχνολογιών είναι αυτό των έξυπνων υποδομών των πόλεων και συγκεκριμένα του κυκλοφοριακού συστήματος. Στη συγκεκριμένη αναφορά, περιγράφονται τρόποι χρήσης εφαρμογών IoT που στοχεύουν στην έξυπνη διαχείριση φαναριών και δημόσιων φώτων για εξοικονόμηση ενέργειας.

Ένα μεγάλο εύρος αισθητήρων μπορούν να εγκατασταθούν κατά μήκος αυτοκινητόδρομων που θα ελέγχουν την κίνηση αυτοκινήτων και οχημάτων. Το φως φαναριών για παράδειγμα θα μπορεί να απενεργοποιηθεί αυτόματα κατά τη διάρκεια της νύχτας και ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν φυσικά τα οχήματα πλησιάζουν σε αυτό.

Το όχημα θα μπορεί να περνά από τον αισθητήρα που έχει εγκατασταθεί και θα μπορεί να προσαρμοστεί αναλόγως το φως των φαναριών με τη μέγιστη ή ελάχιστη ένταση φωτός χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση, αυτό μπορεί να εξοικονομήσει ενέργεια ρεύματος σε βάθος χρόνου και σε εφαρμογή μεγάλης κλίμακας.

Αντίστοιχη πρακτική μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στον Δημόσιο Φωτισμό για χρήση λιγότερης ενέργειας.

## 1.7 Έξυπνη IoT Διαχείριση Ενέργειας για Power efficiency σε περιβάλλοντα εργοστασίων

Η Μεταποιητική Βιομηχανία αντιπροσωπεύει περίπου το ένα τρίτο της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης [1.15]. Σε συνδυασμό με την αύξηση των τιμών της ενέργειας το τελευταίο διάστημα, η διαχείριση της ενέργειας είναι ένα βασικό ζήτημα του κλάδου. Οι παραδοσιακές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται βασίζονται σε μεμονωμένες καταστάσεις και περιπτώσεις που δεν μπορούν να προσαρμοστούν σε απαιτήσεις ενεργειακής οικονομίας με εύκολο τρόπο. Η έλλειψη ειδικά σχεδιασμένης υποδομής για συνολική και προσαρμοσμένη χαρτογράφηση των επιχειρήσεων είναι αυτή που ευθύνεται για τις απαρχαιωμένες διαδικασίες οικονομικής κάλυψης.

Το IoT μπορεί να βοηθήσει με τις συσκευές συνεχής παρακολούθησης που μπορούν να τοποθετηθούν σε κρίσιμα σημεία των επιχειρήσεων για ανάλυση δεδομένων και σωστή διαχείριση παραγωγής και χρήσης των ενεργειακών υποδομών. Η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να μειωθεί αισθητά όταν γίνει η χρήση ειδικών συσκευών και λογισμικών που βασίζονται σε αναλύσεις δεδομένων για την διαχείριση των βιομηχανικών χώρων.

Αυτές οι συσκευές επιτρέπουν τον απομακρυσμένο έλεγχο από μία κεντρική διαχείριση μέσω διεπαφών χρήστη ή και αυτοματοποιημένων και πλήρως εικονικών περιβαλλόντων. Για παράδειγμα η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση συστημάτων θέρμανσης από απόσταση αφού ελεγχθεί πως η θερμοκρασία του συγκεκριμένου χώρου έφτασε στα θεμιτά επίπεδα ή αλλαγή συνθηκών φωτισμού αυτοματοποιημένα [1.16], συστήματα πληροφοριών επιχειρήσεων, παραγωγικές διαδικασίες και logistics. Η απόκτηση δεδομένων από αυτές τις συσκευές και ο συσχετισμός της χρησιμότητας αυτών, πρέπει να υπάρχουν για την ανάπτυξη καλών στρατηγικών που θα στοχεύουν στην στατιστική ανάλυση των πληροφοριών που σχετίζονται με την ενέργεια σε πραγματικό χρόνο. Η ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data) μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στην κίνηση προς την κατεύθυνση μιας οικονομικά αποδοτικότερης παραγωγής.

## 1.8 Διαχείριση Συνδεδεμένης Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Τα συστήματα με δυνατότητα IoT μπορούν να συνδέσουν όλα τα μέρη μιας αλυσίδας εφοδιασμού μέσω ανταλλαγής πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο στο επίπεδο παραγωγής όσον αφορά διαδικασίες όπως η απογραφή προϊόντων, οι αγορές και η αποθήκευση / διαχείριση αυτών, ο έλεγχος χώρου στην αποθήκη.

Άλλες δυνατότητες έχουν να κάνουν με την παρακολούθηση αγαθών και την πορεία τους από και προς σε αποθήκες και άλλους χώρους εντός αλλά και εκτός του εργοστασίου. Μπορούν ακόμα να συμπεριλαμβάνουν τη ροή των υλικών/εξαρτημάτων καθώς και τον χρόνο κύκλου παραγωγής, και φυσικά να αντιμετωπιστούν πιθανά ζητήματα προτού καν αυτά συμβούν.

Αυτό μπορεί να έχει μεγάλο αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητα της παραγωγικής διαδικασίας και δίνει την ευκαιρία σε επιχειρήσεις να έχουν την μεγαλύτερη εικόνα, σε εικονικό περιβάλλον, των διαδικασιών της παραγωγής.

## 1.9 Smart IoT Παραδείγματα

---

Το IoT είναι ευρέως γνωστό ως ένα νέο παράδειγμα τεχνολογιών, που μπορεί να μεταμορφώσει ριζικά την βιομηχανία. Λόγω της εύκολης προσαρμογής της σε κάθε ζήτημα και διαδικασία είναι ικανό να προσαρμοστεί και να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος κλάδων της βιομηχανίας.

Η ενσωμάτωση διαφόρων υλικών και λογισμικών δίνει το βήμα για την συνεχή ανάπτυξη και υιοθέτηση αυτού και με την πάροδο του χρόνου γίνεται ολοένα και πιο έξυπνο αφού είναι βασισμένο σε ένα εξαιρετικά ευφυή και ενσωματωμένο κυβερνο-φυσικό επίπεδο.

Έτσι δίνεται η ευκαιρία να δημιουργηθούν εντελώς νέες επιχειρήσεις και ευκαιρίες στην αγορά για την παραγωγή, οι οποίες είναι λογικό πως μπορεί να είναι ικανές να αλλάξουν για πάντα την αγορά και έχουν μεγάλο αντίκτυπο για την παγκόσμια οικονομία.

Παρακάτω θα δούμε τρία παραδείγματα εφαρμογής του IoT.

### Ενότητα 1.9.1 - Smart Health (Έξυπνη υγεία)

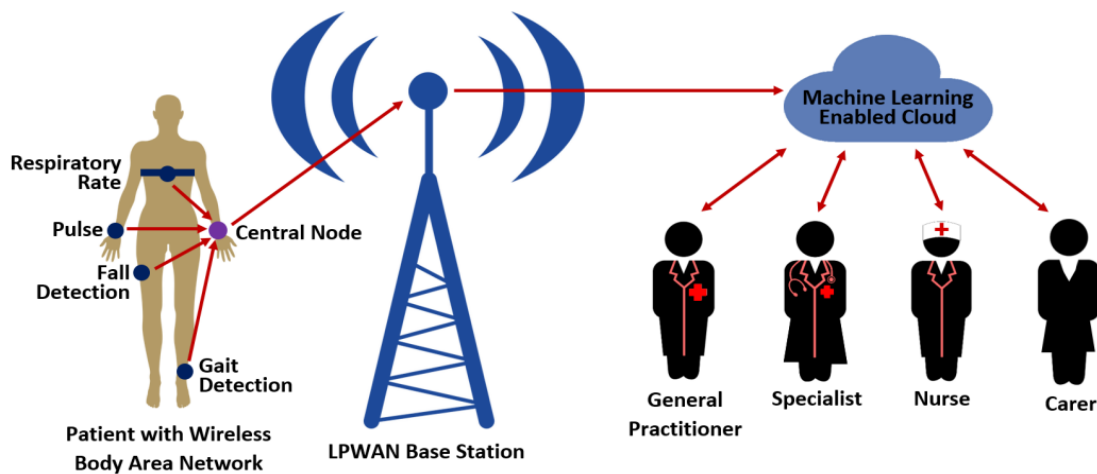
---

#### **Smart Health (Έξυπνη υγεία)**

Το IoT δημιουργήθηκε με βασικό σκοπό την διασύνδεση πολλών συσκευών μεταξύ τους ώστε να διευκολύνει την ανάλυση και διαχείριση δεδομένων. Ένας τομέας που μπορεί να επωφεληθεί από αυτό είναι η Υγεία. Στην έξυπνη Υγεία μπορούν να δημιουργηθούν πολλά σενάρια χρήσης των IoT τεχνολογιών και να προσαρμοστούν αναλόγως των απαιτήσεων.

Οι διάφορες Wearable συσκευές όπως έξυπνα ρολόγια αποτελούν σημαντικά εργαλεία. Ένα νοσοκομείο θα μπορούσε να ελέγχει την πορεία και τα δεδομένα των ασθενών του μέσω τέτοιων συσκευών που είναι πιο ευέλικτες από παραδοσιακά μοντέλα.

Ένας κεντρικός διακομιστής θα μπορεί να συλλέγει όλα αυτά τα δεδομένα όπως για παράδειγμα πίεση, οξυγόνο στο αίμα, ηλεκτροκαρδιογράφημα όλα αυτά σε ένα συνεχή χρονικό διάστημα και σε περίπτωση που βρεθούν σημαντικές αλλαγές στα στατιστικά του ασθενή, ενημερώνονται αυτόματα οι γιατροί.



**Σχήμα 1.5: Smart Health Διάγραμμα Ασθενή με Γιατρούς**

Πηγή:

[https://www.researchgate.net/figure/Application-of-an-SVM-in-Diagnosis-Sakumura-et-al-2017-B-Wireless-Body-Area-Network\\_fig2\\_356164672](https://www.researchgate.net/figure/Application-of-an-SVM-in-Diagnosis-Sakumura-et-al-2017-B-Wireless-Body-Area-Network_fig2_356164672)

Όπως βλέπουμε και στο παραπάνω Σχήμα 1.5 η διαδικασία είναι πολύ απλή και μπορεί να καλυφθεί είτε από short range τεχνολογίες όπως το Bluetooth είτε από long range τεχνολογίες για μια πιο ευρεία κάλυψη. Οι διάφοροι αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί στον ασθενή είτε σε μορφή Wearable είτε μηχανήματα εντός του χώρου που παραμένει ο ασθενής, έχουν σκοπό τον συνεχή έλεγχο των δεδομένων και συλλογή πληροφοριών. Στο επόμενο στάδιο αυτά τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω τεχνολογιών επικοινωνίας σε έναν σταθμό βάσης (θα μπορούσε για παράδειγμα αυτός ο σταθμός να βρίσκεται εντός κάθε ορόφου του νοσοκομείου ή και εκτός αυτού).

Στην συνέχεια τα δεδομένα αυτά αναλύονται από ειδικά σχεδιασμένους αλγορίθμους που είναι ικανοί να ξεχωρίσουν και να παρουσιάσουν τις πληροφορίες αυτά είτε σε στατιστικό επίπεδο, (π.χ. πόσοι είναι διασωληνωμένοι αυτήν την στιγμή) είτε σε προσωπικό επίπεδο (π.χ. πόσο ήταν το οξύγονο στο αίμα του X ασθενή την Y ημερομηνία και ώρα).

Τέλος είναι εφικτό να αναλυθούν και με την βοήθεια Machine Learning και AI αλγορίθμων που σε αυτή την υπόθεση, όχι απλά θα μπορούν να ελέγχουν την πορεία των δεδομένων και να ενημερώνουν για τυχόν αλλαγές σε αυτά, αλλά θα μπορούν να προβλέψουν ακόμη και την πορεία καταστάσεων και νοσηλειών προετοιμάζοντας το έδαφος σε πολλές περιπτώσεις για την σωστότερη λήψη μελλοντικών αποφάσεων.

## Έξυπνες κάμερες

Σε αντίθεση με την παραδοσιακή παρακολούθηση ασθενών, η χρήση έξυπνων καμερών επιτρέπει στους χειρουργούς και γιατρούς να χρησιμοποιούν κάμερες για να παρακολουθούν τα ζωτικά σημεία των ασθενών χωρίς να βρίσκονται κοντά σε αυτούς.

Το λογισμικό της έξυπνης κάμερας παρακολουθεί συνεχώς τον χώρο και τον ίδιο τον ασθενή. Επίσης παρατηρεί για τυχόν αλλαγές τόσο στο χώρο όσο και στο σώμα του ασθενή, ελέγχοντας τα καρέ του βίντεο. Για παράδειγμα αν υποθέσουμε πως ο ασθενής κατά τη διάρκεια του ύπνου δυσκολεύεται να αναπνεύσει, η κάμερα θα ανιχνεύει την διαφορά στην οποία το στήθος του ασθενή ανεβαίνει και πέφτει όταν αναπνέει.

Με αυτή την λύση αποφεύγεται η ανάγκη για εντατική φυσική εξέταση των ασθενών, πόσο μάλλον όταν είναι πάρα πολλοί και σε μικρό διάστημα θα πρέπει να ελεγχθούν από μικρό ποσοστό γιατρών.

Οι έξυπνες κάμερες προσφέρουν επίσης μεγαλύτερη ευαισθησία από ό,τι μπορεί να προσφέρει μια ανθρώπινη αξιολόγηση, παρακολουθώντας ανεπαίσθητες αλλαγές στον τόνο του δέρματος για παράδειγμα ή αλλεργικές αντιδράσεις. Εξίσου σημαντική είναι και η θερμοκρασία του σώματος των ασθενών που αντίστοιχα με θερμοκάμερες μπορούν να ελεγχθούν αυτομάτως και να παρακολουθηθεί ο ασθενής με κάμερα χωρίς να υπάρχει οποιαδήποτε ενόχληση την νύχτα κατά τη διάρκεια του ύπνου, με συνεχείς επισκέψεις για την πορεία του ασθενούς.

## Ενότητα 1.9.2 - Smart Aviation

### **Smart Aviation**

Ένα άλλο παράδειγμα αφορά την Αεροπορική βιομηχανία. Εξίσου σημαντική είναι η συμβολή του Διαδικτύου των Πραγμάτων στην Αεροπορική βιομηχανία. Τα αεροδρόμια οφείλουν να εξυπηρετήσουν εκατομμύρια επισκέπτες κάθε χρόνο, για χιλιάδες πτήσεις και με μεγάλο όγκο δεδομένων να διαχειριστούν.

Κάποια από τα πιθανά σενάρια είναι τα εξής:

- **Smart Check-in:** Ο επιβάτης μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορες μεθόδους για check-in χρησιμοποιώντας υπηρεσίες του διαδικτύου, διαθέσιμες μέσω των κινητών τηλεφώνων και εφαρμογών. Με γρήγορες και εύκολες διαδικασίες, ο επιβάτης μπορεί εύκολα να κάνει check-in και να επιλέξει την θέση και τις αποσκευές του. Εξατομικευμένοι αλγόριθμοι κρατάνε πληροφορίες και δημιουργούνται στατιστικά που θα ωφεληθούν τόσο τον ίδιο τον επιβάτη όσο και τις αεροπορικές εταιρείες. Πολλά αεροδρόμια επιλέγουν την συγκεκριμένη ηλεκτρονική και άμεση μέθοδο τόσο μέσω εφαρμογών δηλαδή εκτός του χώρου του αεροδρομίου όσο και εντός



αυτού. Τέτοιο παράδειγμα είναι και αυτό των ηλεκτρονικών e-kiosks που υπάρχουν εντός των αεροδρομίων που με γρήγορο τρόπο και χωρίς την ανάγκη λειτουργίας από κάποιον εργαζόμενο πέρα από τον ίδιο τον επιβάτη, μπορεί εύκολα να χειριστεί το check-in του μειώνοντας σημαντικά τα ανθρώπινα λάθη.

- **Βιομετρικές υπηρεσίες:** Τα περισσότερα από τα σύγχρονα αεροδρόμια υλοποιούν αυτοματοποιημένα συστήματα προσωπικής αναγνώρισης των επιβατών τους. Είτε με παθητικούς τρόπους π.χ. μέσω ειδικών καμερών κλειστού κυκλώματος είτε με άμεσο τρόπο όπως δακτυλικά αποτυπώματα ή RFID checking με χρήση του εισιτηρίου.
- **Εφαρμογές και υπηρεσίες προς χρήστες:** Οι επιβάτες μπορούν να έχουν υπηρεσίες αεροδρομίου μέσω εφαρμογών για κινητά και κιόσκια εισιτηρίων για να ολοκληρώσουν τις κρατήσεις και την ταξιδιωτική τους πορεία. Επίσης εφαρμογές που θα ελέγχουν την τοποθεσία των αποσκευών τον χρόνο που θα χρειαστούν για φτάσουν σε κάποιο προορισμό ή και ακόμα τον πλήρη έλεγχο κρατήσεων διαμονών.

### Ενότητα 1.9.3 - Smart Home Automations

---

#### Smart Home Automations

Έξυπνο σπίτι μπορεί να είναι ένα σπίτι που χρησιμοποιεί τις έξυπνες και συνδεδεμένες συσκευές ώστε να διευκολύνει την ζωή του ιδιοκτήτη. Οι συσκευές ενός έξυπνου σπιτιού συνδέονται μεταξύ τους και είναι προσβάσιμες μέσω ενός κεντρικού σημείου είτε ένα smartphone, tablet, φορητό υπολογιστή ή και μία κεντρική κονσόλα υπεύθυνη για όλες τις συνδεδεμένες συσκευές.

Τέτοια παραδείγματα έχουν να κάνουν με κλειδαριές κεντρικών θυρών ενός σπιτιού που μπορούν να ξεκλειδώσουν και να κλειδώσουν με έξυπνους αισθητήρες ανίχνευσης του χρήστη. Εφόσον βεβαιωθεί η ταυτότητα του χρήστη τότε αυτομάτως ξεκλειδώνει και η πόρτα του σπιτιού. Είτε με κάποιο RFID/NFC tag είτε με πιο παραδοσιακούς τρόπους όπως η εισαγωγή ενός κωδικού για την επαλήθευση, ή χρήση βιομετρικών στοιχείων όπως το αποτύπωμα δακτύλου.

Τηλεοράσεις, θερμοστάτες, οικιακές συσκευές, φώτα, ακόμα και συσκευές όπως το ψυγείο μπορούν να ελεγχθούν μέσω ενός συστήματος οικιακού αυτοματισμού. Το σύστημα είναι εγκατεστημένο σε μια κινητή ή άλλη δικτυωμένη συσκευή και ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει χρονοδιαγράμματα για να τεθούν σε ισχύ ορισμένες αλλαγές.

Οι έξυπνες οικιακές συσκευές διαθέτουν δεξιότητες αυτομάθησης, ώστε να μπορούν να μάθουν τα χρονοδιαγράμματα του ιδιοκτήτη του σπιτιού και να κάνουν προσαρμογές

ανάλογα με τις ανάγκες. Τα έξυπνα σπίτια που διαθέτουν έλεγχο φωτισμού επιτρέπουν στους ιδιοκτήτες σπιτιού να μειώσουν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και να επωφεληθούν από την εξοικονόμηση κόστους που σχετίζεται με την ενέργεια. Ορισμένα συστήματα οικιακού αυτοματισμού ειδοποιούν τον ιδιοκτήτη του σπιτιού εάν εντοπιστεί κάποια κίνηση στο σπίτι όταν είναι μακριά, ενώ άλλα μπορούν να καλέσουν ακόμα και την αστυνομία ή την πυροσβεστική σε περίπτωση ανίχνευσης κάποιας επικίνδυνης κατάστασης εντός και εκτός της οικίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΙΙoT

---

### 2.1 Το ΙΙoT ως αποτέλεσμα της Industry 4.0

---

Η κοινή χρήση της τεχνολογίας του Διαδικτύου Των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) στους κλάδους της Βιομηχανίας 4.0, επέφερε την ανάπτυξη του Βιομηχανικού Διαδικτύου Των Πραγμάτων (Industrial Internet of Things, ΙΙoT). Οι συνδεδεμένες συσκευές και τα έξυπνα μηχανήματα, συνδέονται μεταξύ τους μέσω του Διαδικτύου και κατέχουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό (Unique Identifier) που δηλώνει την μοναδικότητα κάθε συσκευής για την αντίστοιχη εργασία την οποία έχει οδηγηθεί να εκτελέσει.

Η ραγδαία ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) σε συνδυασμό με την υιοθέτηση των Cyber-Physical συστημάτων στο πλαίσιο της Βιομηχανίας, πυροδότησαν την ανάγκη για ανακάλυψη νέων έξυπνων συσκευών, που μέσω της βοήθειας των αισθητήρων που τους συνοδεύουν, θα είναι ικανά να συλλέγουν πληροφορίες από τον περιβάλλοντα χώρο τους, να τις επεξεργάζονται και να τις χρησιμοποιούν προς όφελος Βιομηχανιών για περαιτέρω ανάλυση σε ένα συνδεδεμένο Δίκτυο.

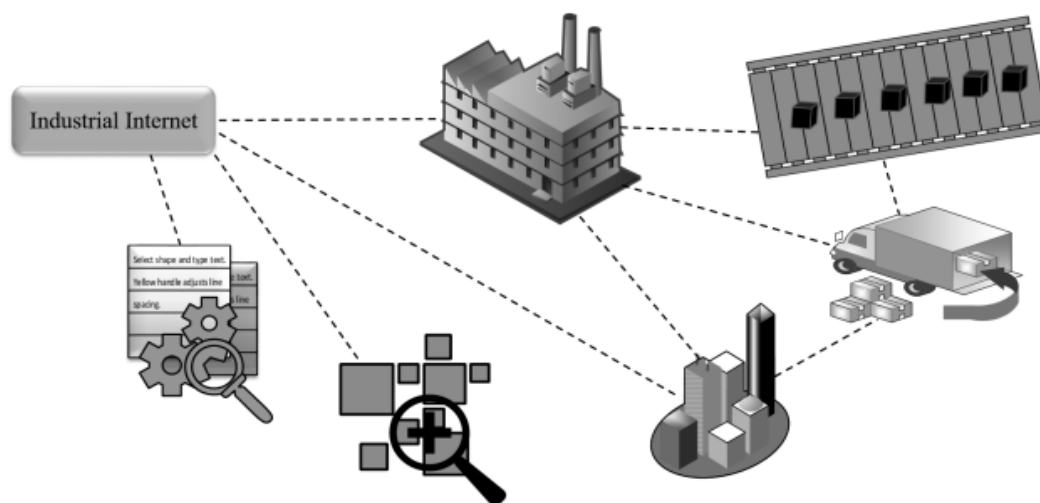
Αυτό το συνδεδεμένο Δίκτυο Πραγμάτων και συσκευών εντός του Βιομηχανικού χώρου, ονομάζεται Βιομηχανικό Διαδίκτυο Των Πραγμάτων (Industrial Internet of Things, ΙΙoT) και χρησιμοποιείται από Βιομηχανικά πλαίσια με σκοπό την διευκόλυνση και αυτοματοποίηση παραγωγικών πράξεων.

Έτσι εύλογα προκύπτει πως η αποδοχή και χρήση του Διαδικτύου Των Πραγμάτων (Internet of Things) επέφερε την δημιουργία του Βιομηχανικού Διαδικτύου Των Πραγμάτων (Industrial Internet of Things, ΙΙoT).

Αυτά τα Δίκτυα της 4ης Βιομηχανίας και του ΙΙoT, βασίζονται σε ευρυζωνικές συνδέσεις (Broadband access) για την επικοινωνία και τη σηματοδότηση των δεδομένων τους. Η τεχνολογία του Δικτύου Πέμπτης Γενιάς 5G (5th Generation Technology) αποτελεί κύριο λόγο στην γρήγορη αυτή μετάδοση των δεδομένων που ανταλλάσσονται από τις αντίστοιχες συσκευές και χαρακτηρίζεται από ταχύτερη μετάδοση και χαμηλότερη καθυστέρηση δηλαδή το διάστημα χρόνου από μία ενέργεια που δόθηκε μέχρι και την εκτέλεση, έτσι δημιουργείται ένα ιδανικό πλαίσιο ανάπτυξης τεχνολογιών οι οποίες βασίζονται σε αυτά τα δίκτυα μετάδοσης πληροφοριών με άμεσο όφελος για όλους.

### 2.2 Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο και τα χαρακτηριστικά του

---



**Σχήμα 2.1: Βιομηχανικό Διαδίκτυο και η δυνατότητα διασύνδεσης**

Πηγή: <https://icograms.com/usage-network-diagram>

Ο όρος Industrial Internet επινοήθηκε από την αμερικανική εταιρεία, GE. Το βιομηχανικό Διαδίκτυο προέκυψε από την ταυτόχρονη σύνδεση του φυσικού και ψηφιακού κόσμου. Όπως ορίζεται και από την Αμερικανική GE [2.1], το Industrial Internet είναι «η συνένωση όλων των Παγκόσμιων Βιομηχανικών συστημάτων και της προηγμένης υπολογιστικής, ανάλυσης συστημάτων και των νέων επιπέδων συνδεσιμότητας που επιτρέπεται από το Διαδίκτυο». Η βασική έννοια του Industrial Internet απεικονίζεται στο Σχήμα 2.1.

Οι οργανισμοί με δυνατότητα Industrial Internet χρησιμοποιούν κόμβους αισθητήρων, ειδικά διαμορφωμένο λογισμικό και Machine-to-Machine (M2M) επικοινωνίες για τη συλλογή δεδομένων από υλικά πράγματα και συσκευές. Όπως φαίνεται και στο σχήμα παραπάνω, οι διασυνδεδεμένες συσκευές σε βιομηχανίες, αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής και τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, συλλέγονται από κόμβους αισθητήρων όπου η ανάλυσή και αντίστοιχη χρήση τους μπορεί να αναφέρεται ως Βιομηχανικό Διαδίκτυο.

Τα επεξεργασμένα αυτά δεδομένα δίνουν την δυνατότητα για αμέτρητες άλλες χρήσεις και νέες τεχνικές υλοποίησης τους. Το βιομηχανικό Διαδίκτυο θα οδηγήσει σε αύξηση στην ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών όπως η αεροπορία, οι σιδηροδρομικές μεταφορές, η εξόρυξη, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. Επιπλέον, θα έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των εγκαταστάσεων απασχόλησης, την επιτάχυνση της παραγωγικότητας του μεταποιητικού συστήματος και την προώθηση της συνολικής οικονομικής ανάπτυξης. Με απλά λόγια, οι βιομηχανίες θα έχουν μία βελτιστοποιημένη καθώς και κεντρική διαχείριση του εξοπλισμού τους.

Σύμφωνα με την GE [2.1], υπάρχουν τρεις φάσεις στην ανάπτυξη του Βιομηχανικού Διαδικτύου, οι οποίες είναι οι εξής:

1. **Βιομηχανική Επανάσταση:** Κατά την πρώτη και δεύτερη βιομηχανική επανάσταση, ξεκίνησε η παραγωγικότητα και η εκμηχάνιση των εργοστασίων. Η αποδοτικότητα της παραγωγής ενέργειας στο νερό, η ανάπτυξη ατμομηχανών και Η μείωση του κόστους των καυσίμων σημειώθηκε κατά την πρώτη βιομηχανική επανάσταση. Με η εμφάνιση των γραμμών συναρμολόγησης κατά τη δεύτερη βιομηχανική επανάσταση, ξεκίνησε η μαζική παραγωγή. Επιπλέον, ασύρματη επικοινωνία με χρήση κυψέλης τηλέφωνα αναπτύχθηκαν σε μεταγενέστερα στάδια κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.
2. **Επανάσταση του Διαδικτύου:** Η τρίτη βιομηχανική επανάσταση οδήγησε στην ανάπτυξη του αυτοματισμού στο σύστημα παραγωγής, στους υπολογιστές και στο εμφάνιση του διαδικτύου (World Wide Web). Αυτή η επανάσταση είναι επίσης γνωστό ως Υπολογιστής ή Ψηφιακή Επανάσταση. Ένα από τα πιο αξιόλογα αποτελέσματα αυτής της επανάστασης ήταν η ανταλλαγή πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις μέσω Διαδικτύου και smartphone.
3. **Βιομηχανικό Διαδίκτυο:** Η συγχώνευση των Cyber-physical systems (CPS) και η εξέλιξη των τεχνολογιών που βασίζονται στο Διαδίκτυο οδήγησαν στην ανάπτυξη του Βιομηχανικού Διαδικτύου. Ως εκ τούτου, γενικά θεωρείται ότι η Industry 4.0 ή η 4η βιομηχανική επανάσταση προέκυψε από αυτές τις τεχνολογίες

Ευφυείς μηχανές, προηγμένα αναλυτικά στοιχεία και συνδεδεμένοι άνθρωποι είναι τα βασικά στοιχεία πίσω από την ανάπτυξη του βιομηχανικού Διαδικτύου. Η διασύνδεση μεταξύ αυτών των βασικών στοιχείων και ο συνδυασμός τους βελτιώνουν συνολικά την οικονομία μέσω της βελτιστοποίησης των διαδικασιών, την ελαχιστοποίηση του κόστους προϊόντος και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο βοηθούν στην παροχή βαθύτερης εικόνας και στη βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς.

**Πίνακας 2.1: Συγκριτικός πίνακας χαρακτηριστικών μεταξύ της Industry 4.0 και Παραδοσιακής αυτοματοποίησης**

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	INDUSTRY 4.0	ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ
Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο	Η Machine-to-Machine (M2M) επικοινωνία είναι δυνατή και με τις μικρότερες πιθανές	Machine-to-Machine (M2M) επικοινωνία αλλά σε μικρό επίπεδο (κυρίως περιορισμένη

	καθυστερήσεις	προσαρμοστικότητα)
Ψηφιακές πληροφορίες	Είτε ο πομπός, είτε ο δέκτης (της πληροφορίας) αποτελεί μηχανή (machine)	Ο πομπός και δέκτης αποτελεί είτε μηχανή (machine) είτε ειδική συσκευή
Αυτοματοποίηση	Υπάρχει η δυνατότητα της αυτοματοποίησης ανάμεσα σε μηχανικά μέρη με διάφορα συστήματα	Η αυτόματη λειτουργία των μηχανικών μερών δεν είναι δυνατή

**Πίνακας 2.2: Σύγκριση των χαρακτηριστικών της Industry 4.0 και του IIoT**

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	INDUSTRY 4.0	IIoT
Έννοια	Αποτελεί πρόταση της κυβέρνησης της Γερμανίας (γνωστή ως Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση)	Η GE το ονόμασε Industrial Internet. Η CISCO, Internet of Everything. Ο οργανισμός IIC αναγνωρίζει το IIoT
Τομέας που εστιάζει	Κατασκευαστική, Μεταποιητική Βιομηχανία	Όλες τις βιομηχανίες, ανεξάρτητα κατηγορίας
Στόχος	Να κερδίσει μία ανταγωνιστική θέση σε μία δυναμική αγορά	Να επιταχύνει τη χρήση Internet-enabled τεχνολογιών μεταξύ των βιομηχανιών
Περιγραφή	Οικονομικό αντίκτυπο	Τεχνολογική ανάπτυξη
Επιρροή	Λιγότερο συμφέρουσα μακροπρόθεσμα	Συμφέρει αρκετά σε μακροπρόθεσμη περίοδο

Μέσα στην τελευταία δεκαετία, ο αριθμός των συσκευών του Διαδικτύου των Πραγμάτων Things (IoT) που εισάγονται στην αγορά έχει αυξηθεί δραστικά με τον αριθμό των συνδεδεμένων συσκευών να πλησιάζει τα 15 δισεκατομμύρια και αναλογεί σε περίπου 2 συσκευές ανά άνθρωπο, υπάρχουν λοιπόν περισσότερα συνδεδεμένα συστήματα από ότι άνθρωποι.

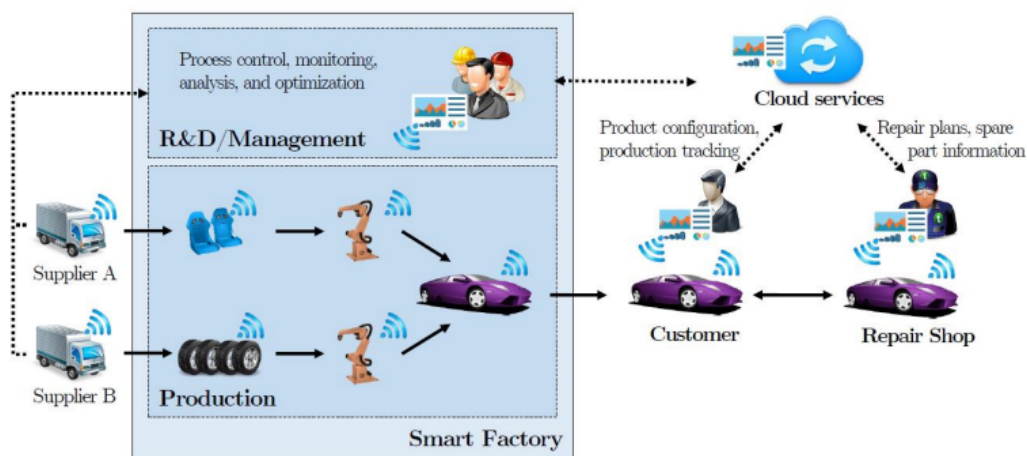
Η διεύρυνση του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), με όλο και πιο έξυπνες, προσιτές και αποδοτικότερες συσκευές, που διευκολύνουν τη ζωή του ανθρώπου, έχει άμεση επιρροή τόσο σε μία μέση οικία όσο και σε ένα Βιομηχανικό περιβάλλον.

Ενώ το IoT επηρεάζει μεταξύ άλλων τις μεταφορές (Smart Transportation), τον κλάδο της υγείας ή τα έξυπνα σπίτια, το Industrial Internet of Things (IIoT) αναφέρεται εξ' ολοκλήρου σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Το IIoT είναι ένα νέο βιομηχανικό οικοσύστημα που συνδυάζει έξυπνες και αυτόνομες μηχανές και συστήματα, με εξελιγμένες δυνατότητες όπως προηγμένα προγνωστικά και αναλυτικά που ανταλλάσσονται σε συνεργασία μηχανής-ανθρώπου με απώτερο σκοπό τη βελτίωση της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας αλλά και της αξιοπιστίας. Δημιουργεί ένα έξυπνο και διασυνδεδεμένο πλαίσιο (Interconnected Industrial Area) στο οποίο συνδεδεμένα και ενσωματωμένα συστήματα ή προϊόντα λειτουργούν ως μέρος άλλων μεγαλύτερων συστημάτων.

Το βιομηχανικό Διαδίκτυο των πραγμάτων (IIoT) αναφέρεται στην εφαρμογή του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) σε διάφορους Βιομηχανικούς κλάδους, όπως ο κλάδος της μεταποίησης, των εφοδιαστικών αλυσίδων, τις μεταφορές, την ενέργεια, αερομεταφορές, πληροφορική και βιοπληροφορική και πολλοί άλλοι βιομηχανικοί τομείς.

Ένα τυπικό σχεδιάγραμμα ενός βιομηχανικού Διαδικτύου των πραγμάτων εφαρμοσμένο σε μία Βιομηχανία φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 2.2.



**Σχήμα 2.2: Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων**

Πηγή:

<https://blog.datumize.com/the-future-of-iiot-adoption-in-the-u.s.-compared-to-europe-who-are-ahead-the-curb>

Το IIoT χρησιμοποιείται αρκετά συχνά ως μία έννοια που εμπεριέχει αυτή της Industry 4.0, αλλά και άλλων αντίστοιχων πρωτοβουλιών σε όλο τον κόσμο. Το IIoT αναφέρεται συγκεκριμένα στο Βιομηχανικό κλάδο και περιγράφει την δραματική αλλαγή του Διαδικτύου καθώς και την μεταστροφή του, σε ένα σύνολο συνδεδεμένων μηχανών, και κυβερνο-φυσικών συστημάτων που συλλέγουν πληροφορίες και αναλυτικά μέσω του

υπολογιστικού νέφους για την ανάλυση και την επικοινωνία των μηχανών αυτοματοποιημένα χωρίς ιδιαίτερους χειρισμούς από τον άνθρωπο.

Με το Industry 4.0, η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση έχει οριστεί για τη συνένωση τομέων του αυτοματισμού και των πληροφοριών στο Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT) με υπηρεσίες και ανθρώπους. Η υποδομή επικοινωνίας που έχει δημιουργηθεί με τη συνδρομή της Industry 4.0, επιτρέπει στις συσκευές να είναι προσβάσιμες χωρίς εμπόδια και στο Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων, χωρίς να θυσιάζεται η ακεραιότητα της ασφάλειας και της προστασίας δεδομένων.

Ο όρος «Βιομηχανικό Διαδίκτυο» (Industrial Internet) επινοήθηκε από τον Αμερικανικό κολοσσό General Electric (GE) [2.1] για να περιγράψει τον βιομηχανικό μετασχηματισμό στο συνδεδεμένο πλαίσιο μηχανών, συστημάτων του κυβερνοχώρου, ενσωματωμένων συστημάτων με προηγμένες δυνατότητες και ανίχνευση και ανταλλαγή δεδομένων και αναλυτικών στοιχείων με τη βοήθεια της Τεχνητής Νοημοσύνης, τον όσο το δυνατό ελάχιστο χειρισμό από ανθρώπους, και την συνδρομή των Cloud τεχνολογιών.

Η GE μαζί με τον οργανισμό Industrial Internet Consortium (IIC) αποφάσισαν ότι ο όρος IIoT ήταν συνώνυμο του Industrial Internet μια και οι δύο όροι περιγράφουν ακριβώς την ίδια τάση και ανάγκη για αυτοματοποίηση της Βιομηχανίας.

Όπως το IoT, το Industrial IoT εμφανίζεται σε πολλές βιομηχανίες και ανοίγει πολλές ευκαιρίες στον αυτοματισμό, τη βελτιστοποίηση, μεταποίησης, μεταφοράς και ευφυούς βιομηχανίας και χημικής βιομηχανίας [2.2].

- **Κατασκευή:** Αυτή είναι η μεγαλύτερη αγορά του IIoT. Αποτελεί, επίσης, τον κλάδο με τις μεγαλύτερες δαπάνες που αφορούν το IoT (δαπάνες σε λογισμικά, υλικά, συνδεδεμένες συσκευές και εφαρμογές με συνδεσιμότητα). Η μεταποίηση είναι ένας από τους βιομηχανικούς τομείς που θα επηρεαστούν άμεσα από την υιοθέτηση τάσεων που αφορούν το IIoT. Μια έξυπνη μονάδα παραγωγής μπορεί να αποτελείται από ένα μεγάλο συνδεδεμένο περιβάλλον, ιδανικά διαμορφωμένο για την αύξηση της παραγωγικότητας. Βιομηχανικά συστήματα και αισθητήρες ανίχνευσης και ανάλυσης δεδομένων, έξυπνα και διασυνδεδεμένα υλικά, εξαρτήματα, και μηχανές. Όλα αυτά συντελούν σε ένα πλήρως προσαρμοσμένο Βιομηχανικό περιβάλλον.

Εξίσου σημαντικά είναι και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιούνται, τα οποία θα στοχεύουν στη σωστή και έξυπνη ανάλυση του αποθέματος αλλά και της υλικοτεχνικής κατασκευής των εργοστασίων που θα μπορούν να υποστηρίξουν με τον πιο αποδοτικό τρόπο της ανταλλαγή δεδομένων και γενικότερα της επικοινωνίας συσκευών σε αστραπιαίο χρονικό διάστημα.



Στον Κατασκευαστικό κλάδο, οι έξυπνοι αισθητήρες, ο κατανεμημένος έλεγχος και το ασφαλές λογισμικό είναι τα βασικά υλικά για την διαμόρφωση μιας άψογης Βιομηχανικής διαχείρισης.

Όλοι οι Κατασκευαστές που συνειδητοποιούν την χρησιμότητα του ΠoT, συνδέουν τα προϊόντα και τα περιβάλλοντα τους στο Βιομηχανικό Διαδίκτυο και επωφελούνται τις δυνατότητες ενός διασυνδεδεμένου εργοστασίου, ενώ όσοι αποτυγχάνουν να δράσουν έγκαιρα σε τεχνολογικές τάσεις, τώρα κινδυνεύουν να μείνουν αισθητά πίσω [2.3].

- **Μεταφορές:** Αφορά τη δεύτερη μεγαλύτερη αγορά του ΠoT (βάσει δαπανών που σχετίζονται με το Διαδίκτυο των Πραγμάτων). Πλέον οι υποδομές μεταφορών - κυρίως σε μεγαλουπόλεις - είναι αρκετά πιεσμένες λόγω της αυξημένης ανάγκης των πολιτών για μετακίνηση σε κοινές ώρες της ημέρας. Πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις, έχουν ξεκινήσει, τα τελευταία χρόνια, να ακολουθούν τέτοιες τάσεις έξυπνων μεταφορών για να βελτιστοποιήσουν τις διαδρομές και τις υποδομές των δημόσιων συγκοινωνιών τους και να διευκολύνουν τους κατοίκους τους [2.4]

Τέτοιου είδους προσπάθειες αφορούν για παράδειγμα σε πλήρως συνδεδεμένα οχήματα που κυκλοφορούν κατά βάσιν ανεξάρτητα ανθρώπινης παρέμβασης, σε προμελετημένες διαδρομές, εξοπλισμένα με αισθητήρες, ικανά φυσικά να δράσουν αυτόνομα με τη γενναϊόδωρη συνδρομή του υπολογιστικού νέφους και των αλγορίθμων των επεξεργαστών μηχανής.

Τέτοιο παράδειγμα υπάρχει και σε πόλη της Ελλάδας. Συγκεκριμένα στην πόλη των Τρικάλων Θεσσαλίας, που και αποτελούν την πρώτη ψηφιακή πόλη της Ελλάδας [2.5]. Έξυπνα λεωφορεία με τη συμβολή ευρωπαϊκού προγράμματος (CITYMOBIL2: Cities demonstrating cybernetic mobility) που στόχευε στη μελέτη και ανάπτυξη έξυπνων μεταφορών και υποδομών, διέθεσε οχήματα τύπου mini buses με την δυνατότητα να κινηθούν ακόμα και εντελώς αυτόνομα. Τέτοιες πρωτοβουλίες δηλώνουν την ανάγκη αλλά και τη σημασία α ανάπτυξη του κλάδου Μεταφορών, και έρχονται να δημιουργήσουν ασφαλέστερος δρόμους, να μειώσουν το κόστος υποδομής και να μειώσουν την κυκλοφορική συμφόρηση.



*Εικόνα 2.3: Φωτογραφία που απεικονίζει ένα από τα έξυπνα mini buses του προγράμματος CityMobil2 στην πόλη των Τρικάλων  
Πηγή φωτογραφίας: Thanassis Stavrakis/Ar*

Όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο πολλές βιομηχανίες μπορούν να επωφεληθούν από το IoT. Αεροπορικές εταιρείες, οι σιδηροδρομικές εταιρείες και σε γενικότερο βαθμό τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς μπορούν να συγκεντρώσουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων μέσω συνδεδεμένων συσκευών για βελτιστοποίηση υπηρεσιών.

## 2.3 Η χρήση του State of Art LP-WAN σε υπηρεσίες του Industrial IoT

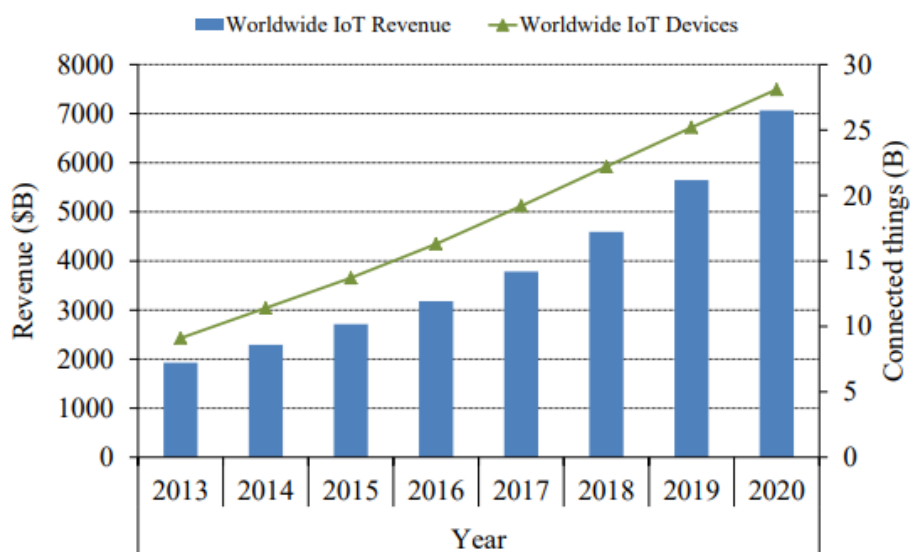
---

Η Machine-to-Machine επικοινωνία και η τεχνολογία του Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων (IIoT) αποτελούν τις δύο τεχνολογικές προσεγγίσεις της μελλοντικής βιομηχανικής Δικτύωσης. Η εμφάνιση οικονομικότερων IoT συσκευών με δυνατότητες δικτύωσης ανοίγει νέους ορίζοντες για την δημιουργία νέων υλικών και λογισμικών προτάσεων που θα πάρουν μέρος στο βιομηχανικό πλαίσιο. Η ανάπτυξη καλά δομημένων και εύκολα προσβάσιμων δικτύων M2M θα διευκολύνουν την διαχείριση παραγωγής των υποδομών εργοστασίων και θα την βοηθήσουν να μειώσουν τα κόστη με έξυπνες IoT στρατηγικές. Νέες υπηρεσίες, όπως η επεξεργασία των δεδομένων συσκευών σε πραγματικό χρόνο και η συνεχής πρόσβαση σε πληροφορίες παρακολούθησης θα εισαχθούν στις

εφοδιαστικές αλυσίδες δίνοντας την δυνατότητα για έλεγχο και αποφυγή σφαλμάτων της παραγωγής ή ακόμα και αύξηση της οικονομικής απόδοσης.

Τα δίκτυα M2M μπορούν να θεωρηθούν ως μια αναθεώρηση των ευρέως διαδεδομένων δικτύων επικοινωνίας των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (WSN).

Οι περισσότερες από τις προαναφερθείσες εφαρμογές και χρήσεις βασίζονται σε αυτά τα δίκτυα. Οι κλασικές λύσεις WSN όπως το ZigBee, το Bluetooth ή ακόμα και το WiFi, αφορούν τεχνολογίες μικρής εμβέλειας, και το βασικό σημείο στα βιομηχανικά δίκτυα M2M είναι η τεράστια αύξηση του αριθμού των συσκευών που είναι συνδεδεμένες. Οι παγκόσμιες συνδέσεις συσκευών υπολογίζονται σε περίπου 28 δισεκατομμύρια έως το 2020 [2.6].



**Σχήμα 2.4: Συνδεδεμένες IoT συσκευές και έσοδα σε δολάρια**

Πηγή: <https://doi.org/10.3390/s16050708>

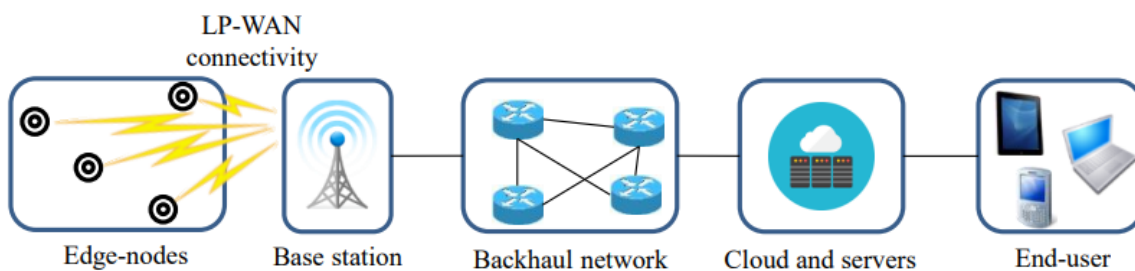
Αυτή η τεράστια αύξηση συνδεδεμένων συσκευών χρειάζεται:

1. ελαχιστοποιημένο κόστος ανά μονάδα
2. βελτιστοποιημένη κατανάλωση ενέργειας των edge-nodes
3. υψηλή επεκτασιμότητα δικτύου
4. μία ευρεία κάλυψη δικτύου

Πολλά από αυτά τα σημεία αποτελούν τις βασικές αδυναμίες του παραδοσιακών WSN τεχνολογιών. Οι Βιομηχανίες χρειάζονται να λειτουργήσουν σε μεγάλες περιοχές που δεν μπορούν να καλυφθούν από αυτές τις WSN λύσεις σε μακροπρόθεσμο βαθμό. Υπάρχει ανάγκη μεγάλης κάλυψης, αυτό ως ένα βαθμό έχει αντιμετωπιστεί με την βοήθεια των τηλεπικοινωνιακών δικτύων GSM (Global System for Mobile Communications) και των δορυφορικών επικοινωνιών (satellite connectivity). Παρόλα αυτά τα υψηλά κόστη

διαχείρισης των υποδομών αυτών και η αυξημένη ανάγκη ενέργειας των συστημάτων τα κάνει ακατάλληλα για μακροχρόνια σχέση επικοινωνίας των M2M Δικτύων.

Το Low-Power Wide Area Networking (LP-WAN) μπορεί να βοηθήσει με την χρήση του στις συνωστισμένες από Data Βιομηχανικές M2M επικοινωνίες. Αυτά τα συστήματα επικοινωνιών μπορούν να χειριστούν έναν αυξανόμενο αριθμό χρηστών με μεγάλο φόρτο εργασίας χωρίς ιδιαίτερες πιέσεις, χρησιμοποιώντας συσκευές χαμηλού κόστους και με μικρές απαιτήσεις ενέργειας [2.7].



**Σχήμα 2.5: Διάγραμμα αρχιτεκτονικής των LP-WAN**  
Πηγή: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/5/708>

Στο Σχήμα 2.5 περιγράφεται η αρχιτεκτονική των LP-WAN Δικτύων που αποτελείται από άμεση σχέση των τελικών συσκευών με τον σταθμό σήματος που εκπέμπεται. Η αρχιτεκτονική είναι παρόμοια με αυτή των τηλεπικοινωνιακών δικτύων, δηλαδή ένας σταθμός εκπομπή σήματος (Cellular Tower) βρίσκεται σε άμεση από τις edge-συσκευές στο κεντρικό δίκτυο των διακομιστών μέσω του cloud και στις τελικές συσκευές.

Η αρχιτεκτονική του edge-network είναι διαφορετική των παραδοσιακών WSN δικτύων αντί να συνθέσει ένα τοπικό δίκτυο και να χρησιμοποιεί μια πύλη για αποστολή δεδομένων εκτός, οι τερματικοί κόμβοι συνδέονται απευθείας με το σταθμό βάσης.

Έτσι απλοποιείται η πολυπλοκότητα της διαχείρισης του δικτύου που ισοδυναμεί σε μικρότερη κατανάλωση ενέργειας δεδομένου ότι απαγορεύονται οι εργασίες δρομολόγησης.

## 2.4 Περιορισμοί των IIoT Λύσεων και η συμβολή του LP-WAN στην Βιομηχανία

Οι τωρινές τεχνολογίες αναφορικά με το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων μπορούν να χωριστούν σε δύο προσεγγίσεις, (1) μικρής εμβέλειας, (2) μεγάλης εμβέλειας. Τα κύρια εμπόδια στην εφαρμογή βιώσιμων και οικονομικά αποδοτικών λύσεων IIoT είναι τα κόστη

διαχείρισης, η οργάνωση και κλιμάκωση των δικτύων, η αποδοτικότητα των edge-nodes και φυσικά η μεγάλη κάλυψη δικτύου.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την χρησιμότητα των διαφόρων τεχνολογιών μικρού και μεγάλου εύρος και μελετάμε τις βασικές προκλήσεις ανάμεσα σε επικοινωνίες M2M [2.8].

### **Συνδέσεις μικρής εμβέλειας (Low Range Technologies)**

Τα συστήματα αυτά αποτελούν τις πρώτες τεχνολογίες επικοινωνίας των WSN δικτύων, αφορούν τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας με εκπομπή σημάτων σε περιορισμένο εύρος. Σε αυτήν ασύρματη επικοινωνία μεσαίας εμβέλειας τα σήματα μπορούν να ταξιδεύουν ακόμα και έως 100 μέτρα περίπου, ενώ τα σήματα στην ασύρματη επικοινωνία ευρείας περιοχής μπορούν να ταξιδέψουν από πολλά χιλιόμετρα έως αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα. Παραδείγματα ασύρματων επικοινωνιών μικρής εμβέλειας είναι το Bluetooth, οι υπέρυθρες, η επικοινωνία κοντινού πεδίου (Near Field Communication), η ultraband και το Zigbee.

Όσον αφορά το κόστος διαχείρισης δικτύου, ένα χαρακτηριστικό αυτού του είδους λύσης είναι η ιδιοκτησία μεγάλου μέρους του δικτύου. Αυτό σημαίνει πως σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να προκληθεί ιδιαίτερη αύξηση του κόστους συντήρησης και δυσκολίες αναφορικά με λειτουργίες. Βέβαια αυτό αντίστοιχα σημαίνει πως οι ιδιοκτήτες αυτών των δικτύων έχουν πλήρη πρόσβαση στις διαδικασίες ανάπτυξης, την τοποθέτηση συσκευών (edge-device) στο backhaul δίκτυο προκειμένου τα δεδομένα να είναι προσβάσιμα από έξω. Ο όρος backhaul χρησιμοποιείται συχνά στις τηλεπικοινωνίες και αναφέρεται στη μετάδοση ενός σήματος από μια απομακρυσμένη τοποθεσία ή δίκτυο σε μια άλλη τοποθεσία, άρα μια γραμμή σύνδεσης υψηλής χωρητικότητας, ικανής να μεταδώσει υψηλό εύρος ζώνης σε πολύ γρήγορες ταχύτητες.

Σε περίπτωση προβλημάτων στο δίκτυο, η υποστήριξη θα πρέπει να γίνει από τις εταιρίες που είναι υπεύθυνες αυτού, που χειρίζονται το ιδιωτικό σύστημα και θα πρέπει να αναλάβουν τα έξοδα συντήρησης.

Αντίθετα, με τη χρήση δημόσιων δικτύων, υπάρχει μία αλλαγή στο μοντέλο και έτσι αλλάζει και το κόστος εγκατάστασης αφού χωρίζεται πλέον σε δύο σχέσεις, ο συνδρομητής αναλαμβάνει το κόστος της συσκευών κόμβων, ενώ ο διαχειριστής του δικτύου αναλαμβάνει τα έξοδα εγκατάστασης και συντήρησης του δικτύου backhaul.

Σε περίπτωση που ένα παραδοσιακό WSN υιοθετήσει την στρατηγική δημόσιας αρχιτεκτονικής δικτύων, η άμεση επικοινωνία μεταξύ των δύο δεν θα υπάρχει λόγω του περιορισμένου εύρους μετάδοσης των κόμβων και έλλειψης της άμεσης σχέσης μεταξύ συνδρομητή και ιδιοκτήτη της αρχιτεκτονικής αυτής. Βέβαια αυτό θα μπορούσε να λυθεί υπό κάποιων συνθηκών μέσω πλατφορμών και στρατηγικών συλλογής δεδομένων συνδέστε

τους κόμβους άκρης στον κεντρικό σταθμό βάσης που στοχεύουν στην άμεση επικοινωνία των δύο αυτών σχέσεων. αλλά εμείς θα εμβαθύνουμε στην περίπτωση ιδιωτικής χρήσης αυτών των δικτύων [2.9].

Ένα άλλο βασικό θέμα των δικτύων μικρής εμβέλειας είναι και αυτό της δυσκολίας προσαρμογής. Δηλαδή τεχνολογίες όπως το ZigBee που βασίζεται στο πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 και WPAN Δικτύων όπως το 6LOWPAN ενώ είναι αρκετά αποδοτικές στο κομμάτι ενέργειας και αποτελούν οικονομικές λύσεις δικτύωσης, μειονεκτούν στο κομμάτι της προσαρμογής σε νέα δεδομένα και καταστάσεις. Συγκεκριμένα η προσαρμογή αυτών σε Βιομηχανικά περιβάλλοντα των οποίων οι απαιτήσεις ολόένα και αυξάνονται, περιορίζονται λόγω θεμάτων διαχείρισης και παρεμβολών όλων αυτών των συνδεδεμένων συσκευών [2.10].

Εξίσου σημαντικό θέμα είναι και το κομμάτι της σύνδεσης στο Διαδίκτυο. Όλες αυτές οι τεχνολογίες μικρής εμβέλειας είναι λογικό πως χρειάζονται πρόσβαση στο Διαδίκτυο για να μεταδώσουν τις πληροφορίες που χρειάζονται για την σωστή τους λειτουργία. Το πρόβλημα εδώ έγκειται σε περιοχές και εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε δυσπρόσιτες περιοχές με αρκετές ελλείψεις απαραίτητων υποδομών, η σύνδεση αυτών στο Διαδίκτυο και η ανάπτυξη των απαραίτητων υποδομών θα είναι ιδιαίτερη αυξημένη σε θέμα χρημάτων και με αρκετές προκλήσεις λόγω της απουσίας δομών δικτύων που μπορούν να προσφέρουν την απαραίτητη σύνδεση και ταχύτητα.

### **Συνδέσεις Μεγάλης εμβέλειας (Wide Range Technologies)**

Μία γρήγορη λύση σε αυτά τα προβλήματα είναι και τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα οποία βασίζονται σε δημόσιες υποδομές και καλύπτουν μεγάλες περιοχές, τέτοια δίκτυα είναι τα GSM, GPRS, 3G, 4G και 5G. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιούν αυτές τις υποδομές κινητής για αποστολή και λήψη των Data που έχουν συλλέξει και να τα μεταδώσουν στο Cloud. Όμως αυτά τα δίκτυα κινητής δεν έχουν κατασκευαστεί με στόχο την υποστήριξη τέτοιων προβλημάτων IIoT και φυσικά για να δουλεύουν σε μία τόσο μεγάλη κλίμακα. Η τάση ανάπτυξης των κινητών δικτύων αφορούν την αυξημένη κατα καιρούς ταχύτητα σύνδεσης, επομένως την μείωση των καθυστερήσεων μεταδοσης των πληροφοριών ανάμεσα σε πομπό και δέκτη [2.3], δηλαδή αυξανόμενο bandwidth ώστε να αντιμετωπιστεί και η αυξανόμενη ανάγκη για περισσότερη κατανάλωση δεδομένων των χρηστών, τα δίκτυα κινητής στοχεύουν σε υποστήριξη χαμηλού αριθμού συνδεδεμένων χρηστών ανά κυψέλη, σε σχέση με την τάση για υψηλότερο bandwidth για κάθε χρήστη ξεχωριστά. Οι επικοινωνίες M2M όμως έχουν ανάγκη από δίκτυα που υποστηρίζουν πολλές συσκευές οι οποίες μεταδίδουν μικρές ποσότητες πληροφοριών [2.11].

Επομένως, οι τρέχουσες κυψελοειδείς λύσεις είναι μη αποτελεσματικές όσον αφορά στην επεκτασιμότητα και κατανάλωση ενέργειας σε ανάγκες IIoT.

Οι δορυφορικές επικοινωνίες μπορούν εν μέρη να βοηθήσουν αφού παρέχουν τεράστια κάλυψη (αρκεί η εγκατάσταση ενός απλού δορυφορικού πιάτου). Ωστόσο, η υψηλή καθυστέρηση αυτών των μεταδόσεων και η ενέργεια που καταναλώνεται σε κάθε μετάδοση είναι υπερβολική για εφαρμογές IIoT. Επίσης άλλα κόστη όπως το κόστος δικτύου, η συνδρομή δορυφορικής σύνδεσης και το κόστος συντήρησης εξακολουθεί να τις κάνει μία ακριβή λύση για τις απαιτήσεις των υπηρεσιών IIoT.

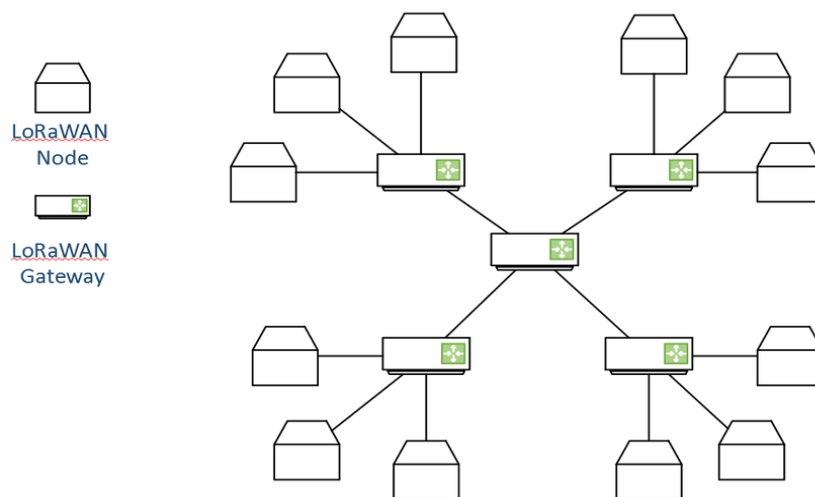
## Low-power wide-area network (LPWAN)

Υπάρχουν πολλές και διάφορες LPWAN προσεγγίσεις που έχουν δημιουργηθεί και είναι ιδανικά προσαρμοσμένες για χρήση σε IIoT πλαίσια. Εμείς συγκεκριμένα θα μελετήσουμε τις LoRaWAN και Sigfox που βασίζονται στα πλεονεκτήματα της χρήσης των κινητών δικτύων και στην χαμηλή διαχείριση ενέργειας των WSN.

### Το LoRaWAN πρωτόκολλο επικοινωνίας

Το LoRaWAN είναι ένα πολλά υποσχόμενο πρωτόκολλο επικοινωνίας. Είναι ένα open networking protocol το οποίο προσφέρει μία ασφαλή επικοινωνία διπλής κατεύθυνσης, κινητικότητας και υπηρεσιών τοποθεσίας, που διαχειρίζεται από την LoRa Alliance [2.12].

Η LoRa Alliance είναι ένας ανοιχτός non-profit οργανισμός που ασχολείται με την διαχείριση και την τυποποίηση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας LPWAN. Αυτό βασίζεται στην stars-of-stars τοπολογία δικτύου, στην οποία κάθε στοιχείο δικτύου είναι φυσικά συνδεδεμένο με έναν κεντρικό κόμβο όπως ένας δρομολογητής, ένας διανομέας ή ένας μεταγωγέας.



**Σχήμα 2.6: Αναπαράσταση της Stars topology**

Πηγή:

<https://medium.com/coinmonks/lpwan-lora-lorawan-and-the-internet-of-things-aed7d5975d5d>

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί το Chirp Spread Spectrum της Semtech, όπου τα chirps είναι ο φορέας των δεδομένων (data carrier). Ο συντελεστής διασποράς (spreading factor) ελέγχει τον ρυθμό chirps και επομένως ελέγχει την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων.

Αυτή η έννοια αντιπροσωπεύει την αναλογία μεταξύ του ρυθμού chip και του ρυθμού πληροφοριών βασικής ζώνης, και είναι συνήθως γνωστή ως Συντελεστής Διασποράς (SF). Ένας μεγάλος Συντελεστής Διασποράς επηρεάζει την απόδοση επικοινωνίας, αυξάνει τον χρόνο στον αέρα, γεγονός που αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας, μειώνει τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και βελτιώνει το εύρος επικοινωνίας.

Το ασύρματο πρωτόκολλό του, χρησιμοποιεί ένα ευρύ κανάλι έως 250/500 kHz (για Ευρώπη και Βόρεια Αμερική) το οποίο παρέχει προσαρμοστικές δυνατότητες του ρυθμού των δεδομένων που μεταδίδονται μέσω διαδικασιών που μεταβάλλουν την επεξεργαστική δύναμη για να εξοικονομηθεί κέρδος ενέργειας ανα πάσα στιγμή. Η LoRaWAN έχει συντελεστή διασποράς από 7 έως 12, οι edge nodes μπορούν να συντονίσουν την ισχύ μετάδοσης και τον ρυθμό μετάδοσης bit στις πραγματικές συνθήκες δικτύου και φυσικά τις αντίστοιχες ανάγκες όγκου δεδομένων και να επιτρέψουν την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Το LoRaWAN ορίζει τρεις τύπους συσκευών (edge-devices) ανάλογα με τις ανάγκες λήψης. Κλάσης A, B και Γ. Οι συσκευές της κλάσης A, έχουν ένα προγραμματισμένο παράθυρο λήψης αμέσως μετά από κάθε uplink σύνδεση, μια στρατηγική μετάδοσης που ξεκινά από δέκτη και με ιδιαίτερα χαμηλή κατανάλωση ενέργεια.

Οι συσκευές Κλάσης B έχουν πρόσθετα προγραμματισμένα περιθώρια αφότου συνδεθούν, στρατηγική συντονισμένης δειγματοληψίας ακρόασης, με κατανάλωση μέσης ισχύος. Κλάση Γ, οι συσκευές μπορούν να λαμβάνουν μηνύματα σχεδόν ανά πάσα στιγμή, στρατηγική συνεχής ακρόασης, με μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.

Το LoRaWAN μπορεί να εκπέμπει σήμα ακόμα και σε απόσταση 5 χιλιομέτρων χωρίς ιδιαίτερες παρεμβολές. Αρχικά ήταν φτιαγμένο για να χρησιμοποιηθεί σε ISM μπάντες που είναι διεθνώς διαθέσιμες για χρήση σε βιομηχανικά πλαίσια, αλλά μπορεί να προσαρμοστεί και σε άλλες πλατφόρμες φάσματος ραδιοσυχνοτήτων. Διατηρεί σήματα 19,5 dB κάτω από το επίπεδο θορύβου, επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερες εμβέλειες από εκείνες που παρέχονται από τους κυψελοειδείς σταθμούς βάσης των τηλεπικοινωνιών για κινητά, με data-rate εύρος από 0.25 kbps (0.98 kbps στην Βόρεια Αμερική λόγω περιορισμών του FCC (Federal Communications Commission) και μέχρι 50 kbps ταχύτητας με μέγιστο μετάδοση ωφέλιμου φορτίου που φτάνει τα 256 bytes [2.12].

Όσον αφορά το κομμάτι ασφαλείας, χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο AES (Advanced Encryption Standard) για την κρυπτογράφηση των επικοινωνιών ανάμεσα των συσκευών.



## Το Sigfox πρωτόκολλο επικοινωνίας

Καλύπτει ένα μεγάλο εύρος της Ευρώπης (Γαλλία, Ισπανία, Ρωσία) και διαφέρει από το LoRaWAN. Αντί να χρησιμοποιεί αμφίδρομα κανάλια εύρους φάσματος, η Sigfox χρησιμοποιεί μια ειδική διαμόρφωση εξαιρετικά στενής ζώνης (Differential Binary Phase Shift Keying, DBPSK) με πολύ περιορισμένη σύνδεση ζεύξης. Με αυτή μπορούν να επιτευχθεί μέγιστος ρυθμός δεδομένων 100 bps η οποία γίνεται με μετάδοση μηνυμάτων με μέγιστο μήκος ωφέλιμου φορτίου 12 byte. Έτσι ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης bit επιτρέπει μεγάλες αποστάσεις 10 km και άνω με πολύ χαμηλή ισχύ μετάδοσης, το οποίο επιτρέπει εξοικονόμηση ενέργειας στα edge nodes. Η Sigfox αναφέρει πως μια μπαταρία των 2500 mAh μπορεί να παρέχει ενέργεια από 10 έως και 20 χρόνια [2.13], [2.14].

Η stars topology του Sigfox, είναι παρόμοια με την αρχιτεκτονική των Δικτύων Κινητής, που με ευρεία χρήση σταθμών βάσης καλύπτουν ολόκληρες χώρες με την συμβολή από τις μπάντες ISM.

Αυτή η δομή του σταθμού βάσης επιτρέπει στους edge-nodes να ανεβάσουν τα δεδομένα που έχουν συγκεντρωθεί απευθείας στους διακομιστές Sigfox, που τα κάνει προσβάσιμα σε συσκευές μέσω ενός web-based API (Application Programming Interface).

Η χρήση ζωνών ISM μαζί με τη στρατηγική μεσαίας πρόσβασης της Sigfox, δηλαδή χωρίς τεχνικές αποφυγής σύγκρουσης (collision-avoidance techniques) οδηγεί σε έναν αυστηρό περιορισμό κατοχής εύρους ζώνης που υφίστανται οι κόμβοι ακμών. Για παράδειγμα, ένας κύκλος εργασίας 1% ορίζεται από ευρωπαϊκούς κανονισμούς και έτσι το πολύ 140 μηνύματα ανά κόμβο την ημέρα επιτρέπονται. Στην περίπτωση των ΗΠΑ, ο περιορισμένος ρυθμός δεδομένων της Sigfox των 100 bps δείχνει ότι η μετάδοση μεμονωμένων μηνυμάτων συνήθως διαρκεί 2 με 3 δευτερόλεπτα, που είναι εκτός των μέγιστων ορίων που έχουν προταθεί από την FCC (0,4 s).

Αν και αρχικά σχεδιάστηκε ως σύστημα μονής κατεύθυνσης, το Sigfox έχει πρόσφατα συμπεριλάβει ένα περιορισμένο downlink περιθώριο (τέσσερα μηνύματα των οκτώ byte ανά κόμβο ανά ημέρα) παρόμοια με τη στρατηγική που υιοθετήθηκε από τις συσκευές Κλάσης A της LoRaWAN που μελετήσαμε παραπάνω.

Όσον αφορά το κομμάτι της ασφάλειας, υπάρχουν μηχανισμοί στο κομμάτι των διακομιστών όπως frequency-hopping (γρήγορη εναλλαγή συχνοτήτων) και anti-replay μηχανισμοί. Το Anti-replay είναι ένας μηχανισμός ασφαλείας IPSec (Internet Protocol Security) σε επίπεδο πακέτων που βοηθά στην αποφυγή ανεπιθύμητων χρηστών από το να υποκλέψουν και να τροποποιήσουν ένα πακέτο ESP (Encapsulating Security Payload). Το ESP είναι μέλος των Internet Protocol Security (IPsec) πρωτοκόλλων που κρυπτογραφούν και αυθεντικοποιούν πακέτα δεδομένων που ανταλλάσσονται μεταξύ

συσκευών. Αυτό γίνεται προσθέτοντας έναν αριθμό ακολουθίας στην ενθυλάκωση ESP το οποίο στην συνέχεια επαληθεύεται έτσι ώστε τα πακέτα να λαμβάνονται με τη σωστή σειρά. Δεν υπάρχουν όμως διαδικασίες κρυπτογράφησης στο κομμάτι των end-nodes και των σταθμών βάσης [2.15].

**Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων LoRaWAN και Sigfox**

Πηγή:

<https://iot.telekom.com/resource/blob/data/492968/e396f72b831b0602724ef71056af5045/mobile-iot-network-comparison-nb-iot-lorawan-sigfox.pdf>

	<b>LoRaWAN</b>	<b>Sigfox</b>
Μπάντα	433/868/780/915MHz	868/915MHz
Μέγιστος ρυθμός δεδομένων	50 kbps	100 bps
Εύρος (σε ανοιχτό χώρο)	5 km	10 km
Μέγεθος πακέτων δεδομένων	Μέγιστο 256 B	12 B
Downlink	Ναι	Ναι
Τοπολογία	Stars-of-stars	Star
Roaming	Ναι	Ναι
Ασφάλεια	Πλήρης	Μερική
Πρωτόκολλο	Μερικώς εξειδικευμένο	Εξειδικευμένο

**Η χρήση LP-WAN τεχνολογίας στην Ευρώπη**

Το LP-WAN βρίσκεται στα αρχικά του στάδια ανάπτυξης παγκοσμίως. Το Sigfox θεωρείται μία λύση με πλεονέκτημα των υπολοίπων. Μετά από συμφωνία των Sigfox και Cellnex (ευρωπαϊκός πάροχος τηλεπικοινωνιών) η Sigfox (εταιρεία που διαχειρίζεται την ομώνυμη τεχνολογία και το πρότυπο) έχει ξεπεράσει τους 1300 σταθμούς βάσης στην χώρα της Ισπανίας, χρησιμοποιώντας υποδομές της Cellnex [2.16].

Η στρατηγική συνεργασίας με τηλεπικοινωνιακούς παρόχους βοηθάει την υιοθέτηση της Sigfox όπως έχει και γίνει σε Γαλλία και Ολλανδία. Η Sigfox έχει στραφεί σε αγορές όπως έξυπνες φάρμες και βιομηχανίες αγροτικής παραγωγής [2.17].

Και άλλες πλατφόρμες έχουν ξεκινήσει να χρησιμοποιούνται στην Ισπανία, για παράδειγμα, ένα δίκτυο LoRaWAN αναπτύχθηκε στη πόλη της Μάλαγα από την ελβετική εταιρεία iSPHER [2.18], [2.19].

Μέσω του SPHERNET όπως ονομάστηκε, δίνεται μια λειτουργική λύση δικτύου LoRa IoT από άκρο σε άκρο, που καλύπτει ολόκληρη τη περιοχή της πόλης.

### **Σενάριο Χρήσης LP-WAN διαχείρισης νερού**

Το συγκεκριμένο σενάριο χρήσης, στοχεύει στην εφαρμογή ενός τρόπου μελέτης και παρακολούθησης του νερού μέσω έξυπνων M2M επικοινωνιών IIoT δικτύων. Λόγω λοιπόν της ανάγκης διαχείρισης νερού, και της ανάγκης εξοικονόμησης αυτού, εταιρίες που το διαχειρίζονται έχουν αυξημένες απαιτήσεις ελέγχου του περιορισμού της σπατάλης του. Ας υποθέσουμε λοιπόν την ανάγκη κάποιων εταιριών αγροπαραγωγής για την διαχείριση του νερού στην παραγωγή τους. Ένα κύριο εμπόδιο που έχει βρεθεί μέχρι τώρα είναι η απομακρυσμένη θέση των χωραφιών, που σε πολλές περιπτώσεις στερούνται από είδη συνδεσιμότητας ή ακόμα και ηλεκτρική ενέργεια.

Επομένως, έχοντας έναν κεντρικό έλεγχο της κατανάλωσης νερού είναι πολύ δύσκολο να συμβεί λόγω των μεγάλων αποστάσεων μεταξύ των πεδίων, και της δυσκολίας προσαρμογής των WSN για συνδεση και αποστολή δεδομένων με το διαδίκτυο. Με παλαιότερες τεχνολογίες δικτύων τηλεπικοινωνιών θα ήταν είναι δύσκολο και ακριβό να καθιερωθεί ένας τρόπος αποδοτικής χρήσης τους.

Επομένως, αυτό είναι ένα καλό παράδειγμα της δυνατότητας εφαρμογής των λύσεων LP-WAN. Λαμβάνοντας υπόψη το μεγάλο εύρος κάλυψης των σταθμών βάσης, κυρίως σε μεγάλες εκτάσεις μπορούν να εγκατασταθούν μετρητές και αισθητήρες που να παρέχουν συνδεσιμότητα με πολλούς μετρητές νερού, οι οποίοι μπορούν άμεσα μεταδώσουν τις αναγνώσεις τους στο σταθμό βάσης σε πραγματικό χρόνο με χαμηλή χρήση ενέργειας [2.20].

Έτσι η κατανάλωση, η κλοπή νερού ή οι απώλειες σωλήνων μπορούν εύκολα να εντοπιστούν, αυξάνοντας την απόδοση ολόκληρου του συστήματος με μια συγκριτικά οικονομική επένδυση.

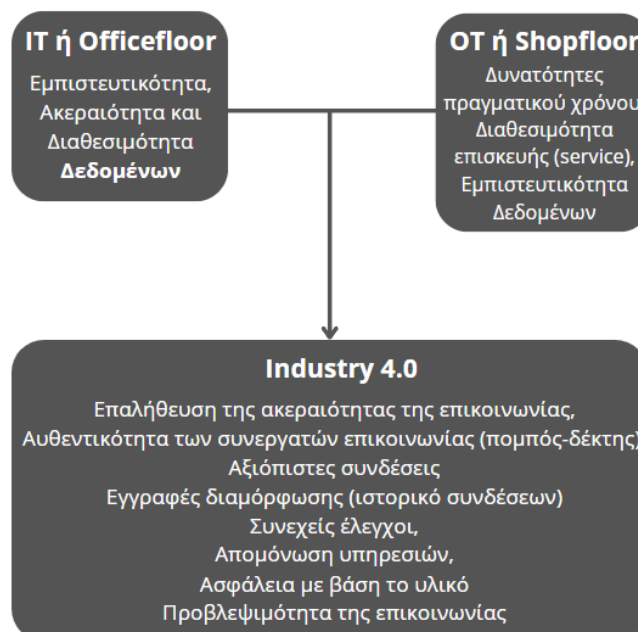
## **2.5 Ασφάλεια και εμπιστευτικότητα εντός του βιομηχανικού περιβάλλοντος και της Industry 4.0**

---

### **Η Ασφάλεια**

Η επικοινωνία πρέπει να ικανοποιεί δύο βασικές προϋποθέσεις, την λειτουργικότητα και την ασφάλεια. Αυτό ακριβώς θα εξετάσουμε στο συγκεκριμένο τμήμα της εργασίας. Στο κομμάτι της λειτουργικότητας θα ερευνήσουμε το πως θα πρέπει να είναι η επικοινωνία και πως θα πρέπει αυτή να έχει σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί αποτελεσματικά και με κατάλληλο τρόπο για μία πιο άμεση ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών και μηχανημάτων. Θα μελετηθεί τόσο το κομμάτι των Office floors (δηλαδή το επίπεδο που αναλαμβάνει την διαχείριση των επικοινωνιών και γενικότερα το τομέα των τεχνολογιών της Πληροφορίας, IT) καθώς και των Shop floors (δηλαδή το επίπεδο που αναλαμβάνει την εκτέλεση εργασιών στην γραμμή παραγωγής ενός εργοστασίου). Θα βασιστούμε στην ανάγκη για μία πιο αποτελεσματική ασφάλεια λόγω της διαχείρισης πολύτιμων δεδομένων. Με αμέτρητες συσκευές συνδεδεμένες και με ταυτόχρονη μετάδοση όλων αυτών των σημαντικών δεδομένων, θα πρέπει να εξασφαλιστεί η σωστή εκτέλεση και διαχείριση των διαδικασιών και φυσικά η προστασία αυτών με τον καταλληλότερο τρόπο.

Είναι κρίσιμο, λοιπόν να σχεδιαστούν επικοινωνιακά πρωτόκολλα που θα καλύπτουν τις ανάγκες επικοινωνίας βιομηχανικών περιβαλλόντων. Τα πρωτόκολλα αυτά και γενικότερα οι υπηρεσίες που θα βασίζονται οι συσκευές και τα μηχανήματα για την διασύνδεση τους, διαδραματίζουν βασικό ρόλο. Η τεχνολογία αλλάζει καθημερινά τόσο και οι ανάγκες για κάλυψη των απαιτήσεων ενός εργοστασίου. Θα πρέπει να σημειωθεί πως οι βιομηχανίες θα πρέπει να είναι σε θέση να διαχειριστούν αρκετές τεχνολογίες ταυτόχρονα, κάθε μία ξεχωριστά και για ιδιαίτερες χρήσεις ώστε να μεγιστοποιηθεί η δυνατότητα καταλληλότερης συνδεσιμότητας. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες επικοινωνίας αναβαθμίζονται καθημερινά [2.21].



**Σχήμα 2.7: Industry 4.0, το Office-floor και το Shop-floor**

Πηγή:

[https://www.researchgate.net/publication/333777083\\_Secure\\_communication\\_for\\_Industrie\\_40](https://www.researchgate.net/publication/333777083_Secure_communication_for_Industrie_40)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι επικοινωνίες των μηχανών (M2M) μελλοντικά θα βασίζονται σε ένα παγκόσμια αναγνωρισμένο επίπεδο ασφαλείας. Τα επίπεδα ασφαλείας βασίζονται κυρίως στον εξής τρόπο για να εξασφαλίσουν την αξιοπιστία μεταξύ συσκευών, στα εξαρτήματα που χαρακτηρίζονται ως αξιόπιστα αποδίδονται καθορισμένα αναγνωριστικά (IDs), έτσι ώστε άλλες εγκαταστάσεις ή αντίστοιχα μηχανήματα στην παραγωγή να είναι ικανά να τα αναγνωρίσουν και να προβούν σε αξιόπιστη σύνδεση. Αυτά τα αναγνωριστικά επαληθεύουν ότι τα στοιχεία πληρούν τη συμπεριφορά και τις απαιτήσεις συστημάτων και έτσι η επικοινωνία μπορεί να λαμβάνει χώρα. Βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί πως για να καλυφθεί πλήρως το κομμάτι της ασφάλειας δεν είναι ικανός μόνο ένας έλεγχος εξ αρχής (πριν την ανταλλαγή δεδομένων), αλλά ένας συνεχής συνδυασμός όλων, δηλαδή πριν, κατά τη διάρκεια αλλά και μετά την ανταλλαγή των δεδομένων και πληροφοριών. Σε ασφαλείς και βιομηχανικές επικοινωνιακές υποδομές είναι βασικό να τεθούν πρωτόκολλα επικοινωνίας ικανά για αξιόπιστες βιομηχανικές διασυνδέσεις [2.22].

### **Γενικές απαιτήσεις επικοινωνίας και αρχιτεκτονική**

Η σχέση επικοινωνίας μεταξύ των μηχανημάτων και των διαφόρων εξαρτημάτων της Industry 4.0 πρέπει να διευκολύνει την αλληλεπίδραση αυτών και να τους επιτρέπει να ανταλλάσσουν δεδομένα και υπηρεσίες για την αυτοματοποίηση διαδικασιών και καταστάσεων. Αυτά αφορούν το μοντέλο αλληλεπίδρασης, την επικοινωνία δικτύου και τις αρχιτεκτονικές υπηρεσιών που έχουν να κάνουν και με τους πόρους και δεδομένα που χρησιμοποιούνται.

### **Για να γίνει χρήση αυτών των πόρων, πρέπει να υπάρχει επικοινωνία με ορισμένες απαιτήσεις:**

Υποθέτουμε γενικά ότι η περισσότερη επικοινωνία θα πραγματοποιηθεί μέσω δικτύου TCP/IP. Στο μέλλον, το IPv6 πρωτόκολλο θα αναπτυχθεί στο επίπεδο δικτύου (Το IPv4 χρησιμοποιείται ευρέως μέχρι και σήμερα). Αυτό το πρωτόκολλο σχηματίζει τη βάση για τη σύνδεση των δικτύων στην Industry 4.0, κυρίως λόγω της εύκολης δυνατότητας που προσφέρει όσον αφορά την διασύνδεση των office floors και shop floors τόσο μεταξύ τους και εντός της βιομηχανίας, όσο και με εξωτερικά Διαδικτυακά περιβάλλοντα σε όλο το κόσμο.

Διάφορα πρωτόκολλα TCP/IP βασίζονται στο IP. Η μεταφορά μέσω TCP ή UDP μπορεί να είναι αξιόπιστη ή και αναξιόπιστη αναλόγως την χρήση περαιτέρω πρωτοκόλλων. Πρόσθετα πρωτόκολλα επιτρέπουν επίσης την αναπαράσταση των αρχικών μοντέλων αλληλεπιδράσεων. Αρχιτεκτονικές όπως το OPC UA στο shop floor επίπεδο (Το OPC Unified Architecture (OPC UA) είναι ένα πρότυπο IEC62541 σε πολλαπλές

πλατφόρμες και αφορά την ανταλλαγή πληροφοριών των αισθητήρων και των εφαρμογών διαδικτύου (και αναπτύχθηκε από το OPC Foundation) ή άλλες web υπηρεσίες και το SOAP, διασφαλίζουν ότι τα μορφοποιημένα δεδομένα μεταδίδονται και οι διάφορες καταστάσεις εκτελούνται.

Το SOAP (Simple Object Access Protocol) είναι μια προδιαγραφή πρωτοκόλλου ανταλλαγής μηνυμάτων για την ανταλλαγή πληροφοριών κατά την υλοποίηση Web υπηρεσιών σε δίκτυα υπολογιστών.

Η βασική δομή των TCP/IP δικτύων έχει υιοθετηθεί για την εκπλήρωση της επικοινωνίας της Industry 4.0, πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη οι σχετικές απαιτήσεις και ζητήματα ασφάλειας. Χρειάζεται να δοθεί προσοχή στο σχεδιασμό δικτύου, όπως περιοριστικό δίκτυο, το διαχωρισμό μέσω τείχους προστασίας, λιστών ελέγχου πρόσβασης, VLAN και ελέγχους πρόσβασης δικτύων καθώς και αποτελεσματικούς τρόπους παρακολούθησης των λειτουργικών συμβάντων. Επιπλέον, η ασφάλεια των κατώτερων επιπέδων στο ISO/OSI μοντέλο αλλά και άλλες πρακτικές όπως η κρυπτογράφηση ασύρματων δικτύων έργων και συνδέσεων μέσω δημόσιων δικτύων και τα VPNs για ασφαλέστερη μεταφορά δεδομένων εντός κλειστών δικτύων [2.23].

## Αλληλεπίδραση των στοιχείων της Industry 4.0

Εφόσον εξασφαλιστεί μια ασφαλής σύνδεση από άκρο σε άκρο στο επίπεδο δικτύου και μεταφοράς, όπου το TCP/IP και το OPC πρωτόκολλο για παράδειγμα έχει χρησιμοποιηθεί, τότε οι λογικές διεπαφές της επικοινωνίας της Industry 4.0, μπορούν να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους. Η ασφάλεια και η αποτελεσματικότητα είναι επίσης σημαντική σε αυτό το σημείο. Σε όποιον επιτραπεί η πρόσβαση στους πόρους, στα δεδομένα και πληροφορίες του κελύφους διαχείρισης, ρυθμίζεται από ειδική μοντέλο άδειας δικαιωμάτων που περιλαμβάνεται στο σχεδιασμό του κελύφους διαχείρισης.

Είναι επομένως σημαντικό να παρέχει το πρωτόκολλο επικοινωνίας και η στοίβα επικοινωνίας κατάλληλους μηχανισμούς ασφαλείας.

Η ακριβής μορφή που παίρνουν οι επικοινωνιακές σχέσεις καθορίζεται αναλόγως από τις αντίστοιχες απαιτήσεις σχετικά με την έγκαιρη δηλαδή απόκριση ή την ασφάλεια και εμπιστευτικότητα αλλά και την απαίτηση ανταλλαγής και επαλήθευσης της ηλεκτρονικής υπογραφής μεταξύ μηχανών. Απαιτήσεις που σχετίζονται με την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, τις μικρές καθυστερήσεις κτλ. Πρέπει να μπορεί το επίπεδο επικοινωνίας να υποστηρίζει τη διαπραγμάτευση και την αξιολόγηση των ιδιοτήτων της υψηλότερης ποιότητας, όπως αυτή ενός πρωτοκόλλου ασφαλείας της αξιοπιστίας του συνεργάτη επικοινωνίας και στην συνέχεια να συνδέεται με τη διαχείριση δικαιωμάτων του κελύφους της διοίκησης.

Αυτό το είδος δομής έχει οριστεί για τα μοντέλα επικοινωνίας από το OpenAAS Project, Com4.0-Basic. Παρακάτω βλέπουμε στην εικόνα των τριών επιπέδων, τα επικοινωνιακά χαρακτηριστικά του [2.24].



**Σχήμα 2.8: Τα επικοινωνιακά επίπεδα**

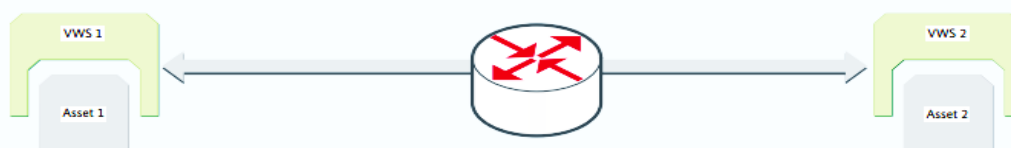
Πηγή:

[https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/IP/Forms/Listen/Downloads/DE/Downloads\\_Formular.html](https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/IP/Forms/Listen/Downloads/DE/Downloads_Formular.html)

### Δομές επικοινωνίας

Υπάρχει απαίτηση για διαφορετικές δομές για υποστήριξη της επικοινωνίας και ανάλογα τις απαιτήσεις και εφαρμογές που χρησιμοποιούνται [2.25].

- **Επικοινωνία από άκρο σε άκρο.** Σε μία απλή περίπτωση, δύο συσκευές (μέρη) της Industry 4.0 επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους. Διάφορες δυνατότητες υποδομών θα πρέπει να υπάρχουν για την εκπλήρωση της επικοινωνιακής σχέσης αυτών των δύο μερών όπως για παράδειγμα ανάλυση ονομάτων στις διευθύνσεις IP ή διαχείριση ταυτότητας επικοινωνίας των συσκευών.

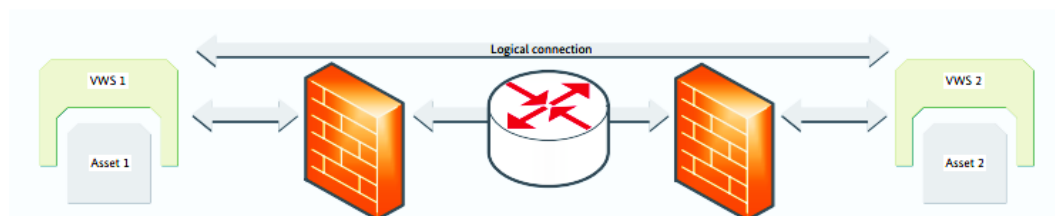


**Σχήμα 2.9: Η επικοινωνία από άκρο σε άκρο της Industry 4.0**

Πηγή:

[https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/IP/Forms/Listen/Downloads/DE/Downloads\\_Formular.html](https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/IP/Forms/Listen/Downloads/DE/Downloads_Formular.html)

- **Επικοινωνία μέσω πυλών.** Σε πολλούς οργανισμούς, η επικοινωνία διεξάγεται μέσω πυλών που επιτρέπουν τον έλεγχο των δεδομένων. Εξαρτήματα ή συστήματα που δεν επικοινωνούν απευθείας με τις τεχνολογίες του Industry 4.0 μπορούν να συνδεθούν μέσω κατάλληλων πυλών. Αυτό το είδος διασύνδεσης είναι απαραίτητο για την αφομοίωση των υπάρχοντων εγκαταστάσεων στον κόσμο της βιομηχανίας. Επίσης υπάρχουν εξίσου αρκετά συστήματα και εξαρτήματα τα οποία δεν έχουν υψηλή υπολογιστική ισχύ ενσωματωμένη σε αυτά ή και μικρή έως καθόλου μνήμη, άρα είναι αναγκαία η διασύνδεση τους με το Δίκτυο για να εκπληρωθούν αυτές οι ανάγκες μέσω Διαδικτυακών τεχνικών πρακτικών (Cloud Computing, Cloud Storage).



**Σχήμα 2.10: Η επικοινωνιακές σχέσεις καλύπτονται από τεχνικές ασφάλειας όπως τα firewalls**

Πηγή:

[https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/IP/Forms/Listen/Downloads/DE/Downloads\\_Formular.html](https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/IP/Forms/Listen/Downloads/DE/Downloads_Formular.html)



Έτσι, για παράδειγμα μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις που δεν διαθέτουν τους εσωτερικούς πόρους για εισαγωγή και λειτουργία εξαρτημάτων της Industry 4.0 με υψηλά χαρακτηριστικά, άλλα επιθυμούν ωστόσο να συμμετάσχουν, οι πύλες μπορούν να λειτουργήσουν για ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων από παρόχους υπηρεσιών. Οι πύλες Industry 4.0 πρέπει γενικά να μπορούν να προστατεύουν το συστήματα τους.

- **Μοντέλο δημοσίευσης-εγγραφής.** Τα μοντέλα Publish-subscribe μπορούν να διανείμουν πληροφορίες σε αρκετούς εταίρους αυτής. Οι δέκτες πληροφοριών (δηλαδή οι συνδρομητές) επιβεβαιώνουν την σχέση τους με τον αποστολέα (δηλαδή εκδότη) ή με μια υπηρεσία διανομής για να συμμετέχουν στη ροή των πληροφοριών. Οι δέκτες είναι αυτοί που θα επιλέξουν το τύπο μηνύματος που επιθυμούν αυτοί να λάβουν. Ο αριθμός των συνδρομητών μπορεί να αυξηθεί. Η αύξηση δηλαδή αυτή δεν θέτει κάποιο ιδιαίτερο τεχνικό πρόβλημα, είναι εύκολο να κλιμακωθεί η διανομή των πληροφοριών που θα μεταδοθούν. Αυτού του είδους τα μοντέλα κάνουν συχνή χρήση τηλεγραφημάτων δεδομένων χωρίς επιβεβαίωση (UDP) και έχουν σχεδιαστεί για να ανέχονται χαμένα τηλεγραφήματα, όπως δεδομένα ήχου ή βίντεο και προϋποθέτουν ένα πολύ αξιόπιστο δίκτυο υποδομής, όπως συχνά διασφαλίζεται στον αυτοματισμό μέσω μεγάλων αποθεμάτων εύρους ζώνης. Επιπλέον, υπάρχει μία αξιόπιστη λειτουργία όπου ο συνδρομητής μπορεί να λαμβάνει με συνέπεια όλα τα τηλεγραφήματα που δεν είχαν παραδοθεί προηγουμένως.
- **Επικοινωνία με το δίκτυο ως συνεργάτης.** Χρονικά κρίσιμες εφαρμογές αυτοματισμού που πρέπει, για παράδειγμα, να λειτουργούν σε σύγχρονη λειτουργία για να μπορούν να συνεργάζονται, συχνά απαιτούν ειδικές ιδιότητες δικτύου, όπως ο αριθμός καθυστέρησης που απαιτούν (latency) ή jitter (ντετερμινιστική χρονική απόκριση).

## Η Δυνατότητα εφαρμογής διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας

Η Διαδικτυακή επικοινωνία έχει χωριστεί σε επίπεδα πρωτοκόλλων. Αυτά τα πρωτόκολλα περιγράφουν τις υπηρεσίες οι οποίες εφαρμόστηκαν σε αυτά, ανάλογα με το σκοπό ή το περιβάλλον, και παρέχουν κατάλληλες υπηρεσίες.

Οι διεπαφές μεταξύ πρωτοκόλλων είναι ευέλικτες ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να αναπτυχθούν αρκετοί πιθανοί συνδυασμοί διαφορετικών πρωτοκόλλων [2.26].

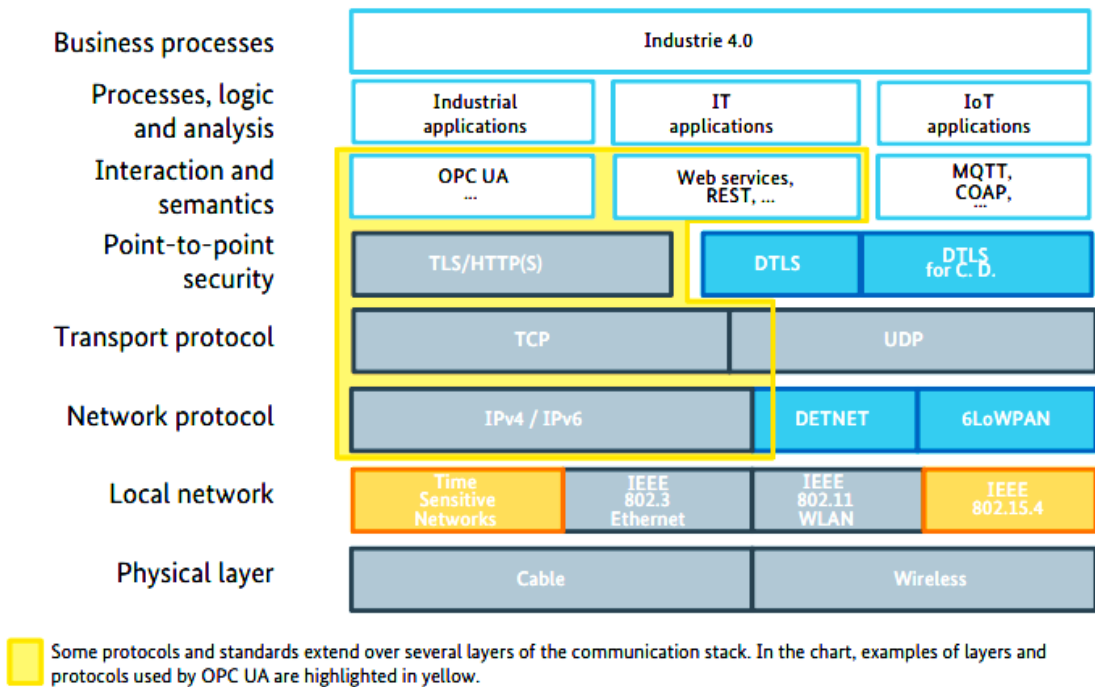
Για παράδειγμα, είναι δυνατή η ρύθμιση μίας επικοινωνίας TCP/IP τόσο μέσω καλωδιακών τύπων δικτύου όπως το IEEE 802.3 Ethernet (ενσύρματος τρόπος μετάδοσης) όσο και

μέσω ασύρματων δικτύων όπως το IEEE 802.1 WLAN, χωρίς να χρειάζεται να τροποποιηθούν τα πρωτόκολλα επικάλυσης και η λογική της εφαρμογής.

Αυτή η συνεργασία πολλών πρωτοκόλλων αποτελούν μέρος της Industry 4.0, γιατί είναι απαραίτητο να έχουν ομοιόμορφη επικοινωνία μεταξύ κελυφών διοίκησης μέσω όλων των τύπων δικτύου όπως φαίνεται από τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία:

- Για γρήγορη επικοινωνία σε συστήματα κλειστού βρόχου. Δηλαδή μπορεί να είναι σημαντική η επικοινωνία μέσω Ethernet TSN με δυνατότητα real-time (πραγματικού χρόνου) δικτύων.
- Ισχυρά δίκτυα Ethernet χωρίς TSN ή ευέλικτα ασύρματα δίκτυα με WLAN μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση δεδομένων με χαμηλότερες απαιτήσεις επικοινωνίας, όπου δεν είναι τόσο σημαντικό εάν ένα πακέτου δεδομένων αργήσει να παραλειφθεί.
- Οι εφαρμογές που χρειάζονται κυρίως μεγάλους χρόνους εκτέλεσης για συσκευές που τροφοδοτούνται με μπαταρίες (αισθητήρες και άλλες έξυπνες συσκευές) κατά πάσα πιθανότητα απαιτούν 802.15.4 δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης και συνδυασμό πρωτοκόλλων δικτύου χαμηλής κατανάλωσης όπως π.χ 6LoWPAN και COAP.

Ένα ξεκάθαρο πολυεπίπεδο μοντέλο μπορεί ήδη να σχεδιάσει ακόμη και για τεχνολογίες (όπως η ντετερμινιστική ραδιοεπικοινωνία) που δεν είναι ακόμη διαθέσιμες σήμερα και μπορεί στη συνέχεια να εισαχθεί εύκολα μελλοντικά. Θα υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα και αρχιτεκτονικές σε συνδυασμό με το επίπεδο εφαρμογής, είτε τεχνολογίες office floor (υπηρεσίες Ιστού, για παράδειγμα) ή η τεχνολογία αυτοματοποίησης (π.χ. OPC UA) που θα αναπτυχθούν σε συγκεκριμένους τομείς [2.27].



**Σχήμα 2.11: Τα επικοινωνιακά πρωτόκολλα και οι τεχνολογίες βάσει επιπέδων**

Πηγή:

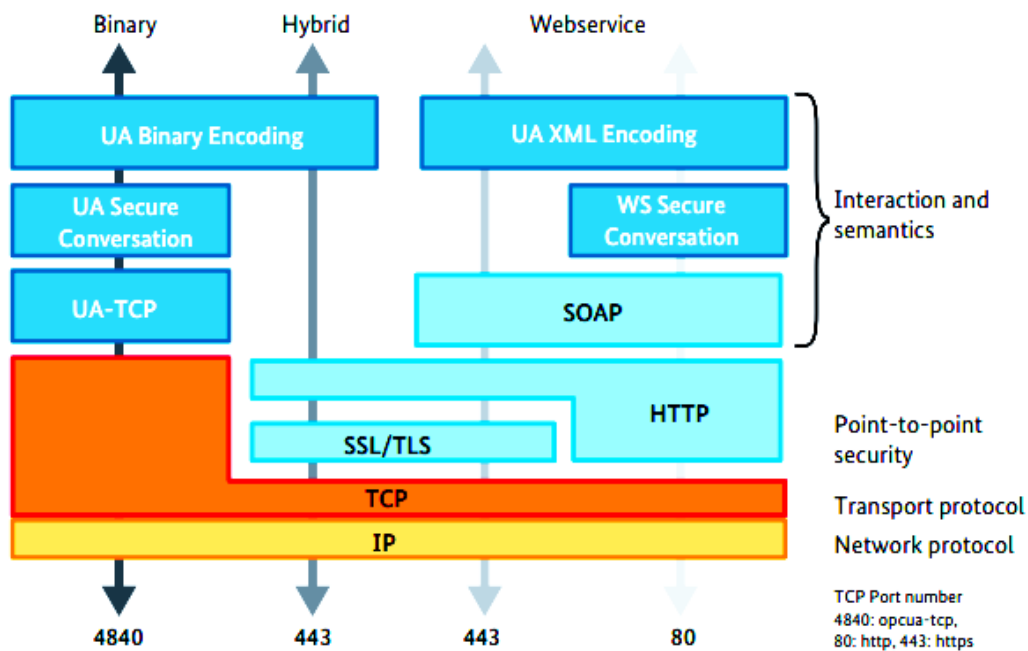
[https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/IP/Forms/Listen/Downloads/DE/Downloads\\_Formular.html](https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/IP/Forms/Listen/Downloads/DE/Downloads_Formular.html)

Διάφορες τεχνολογίες και πρωτόκολλα επικοινωνίας χρησιμοποιούνται από διαφορετικές συσκευές. Κάποιες έχουν καθιερωθεί στον τομέα της αυτοματοποίησης και της πληροφορικής που δεν είναι εύκολο να αλλάξουν. Και εδώ αντίστοιχα γίνεται παράλληλη χρήση διαφορετικών πρωτοκόλλων και αρχιτεκτονικών. Μπορεί να φαίνεται ότι η παράλληλη χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων όπως περιγράφεται παραπάνω να είναι άσκοπα πολύπλοκη, αλλά χάρη στα σαφή σημεία μεταφοράς στα επίπεδα πρωτοκόλλου, τα πρωτόκολλα μπορούν να λειτουργούν αποτελεσματικά σε συνδυασμό μεταξύ τους. Υπάρχουν επίσης ήδη δυνατότητες επικοινωνίας μεταξύ τομέων: το OPC UA, για παράδειγμα, ήδη παρέχει τις αλληλεπιδράσεις σε office floor και εφαρμόζει τις διάφορες εφαρμογές υπηρεσιών web και το πρωτόκολλο ασφαλείας TLS.

Για την πολλαπλή χρήση πρωτοκόλλων είναι σημαντικό να γίνεται αποτελεσματική χρήση των μηχανισμών τους που είναι διαθέσιμοι στα επιμέρους στρώματα. Γενικά, πολλά από αυτά τα πρωτόκολλα υποστηρίζουν λειτουργίες ελέγχου ταυτότητας, δυνατότητες κρυπτογράφησης και προστασίας ακεραιότητας. Επιπλέον, μπορούν να εγκατασταθούν διάφοροι μηχανισμοί στα στρώματα για τον έλεγχο μίας ασφαλούς πρόσβασης [2.28].

Στο παρακάτω Σχήμα 2.12, φαίνεται η πολυεπίπεδη κατασκευή του OPC UA. Εδώ το OPC UA χρησιμοποιεί λειτουργίες σε διαφορετικά στρώματα. Ακόμη και μέσα σε αυτό το πρότυπο, υπάρχουν εξίσου ικανά, εναλλάξιμα πρωτόκολλα (SOAP και UA TCP).

Στα χαμηλότερα επίπεδα, το OPC UA χρησιμοποιεί επίσης τις λειτουργίες των δικτύων TCP/IP. Καθώς το OPC UA καθορίζεται ανεξάρτητα από συγκεκριμένους τύπους δικτύου (Ethernet ή WLAN), μπορεί προφανώς να αναπτυχθεί σε πολλά περιβάλλοντα.



**Σχήμα 2.12: Η κατασκευή του OPC UA και η ασφάλεια που προσφέρει**

Πηγή:

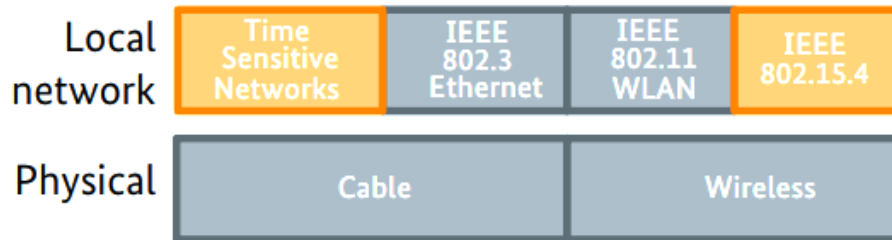
[https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/IP/Forms/Listen/Downloads/DE/Downloads\\_Formular.html](https://www.plattform-i40.de/SiteGlobals/IP/Forms/Listen/Downloads/DE/Downloads_Formular.html)

## Security requirements and mechanisms on communication stack layers

Όσον αφορά την ασφάλεια ενός συστήματος πρέπει να σημειωθεί πως δεν μπορεί να διασφαλιστεί μόνο σε ένα στρώμα ή σε ένα μόνο σημείο. Αλλά αντιθέτως αφορά μία συνεχή διαδικασία που βρίσκεται σε όλα τα σημεία της επικοινωνίας. Αυτό σημαίνει ότι λαμβάνονται υπόψη οι λειτουργίες, η διαχείριση των πρωτοκόλλων και η εμπιστευτικότητα ή ακεραιότητα των δεδομένων που μεταφέρονται μέσω αυτών. Θα περιγράψουμε τις απαιτήσεις και τους μηχανισμούς ασφαλείας των επιπέδων ως εξής:

### Ζεύξη δεδομένων και φυσικά επίπεδα

Η ζεύξη δεδομένων (data link) και τα φυσικά επίπεδα (OSI Layers 1+2) περιλαμβάνουν τη φυσική μετάδοση ενός σήματος και τη μεταφορά δεδομένων σε τοπικό δίκτυο. Οι κυρίαρχες τεχνολογίες στα επίπεδα OSI 1+2 είναι οι IEEE 802.3 (Ethernet), IEEE 802.11 (Ασύρματο LAN) και IEEE 802.15.4.



**Σχήμα 2.13: Χαρακτηριστικά ανά επίπεδο**

Πηγή: <https://www.dnsstuff.com/physical-logical-network-diagram>

Ο προσδιορισμός των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο είναι αρκετά σημαντικός. Το σύστημα ασφαλείας πρέπει να διασφαλίζει ότι μόνο εξουσιοδοτημένοι συμμετέχοντες του δικτύου μπορούν να στείλουν δεδομένα ή πακέτα στο δίκτυο ή και να λάβει δεδομένα από αυτό.

Αυτό μπορεί να γίνει με τρόπους όπως η κρυπτογράφηση της επικοινωνίας στα δεδομένα που μεταδίδονται (όπως με ασύρματο WLAN) και μετέπειτα έλεγχο της ταυτότητας των συμμετεχόντων (μέσω IEEE 802.1X πρωτοκόλλων). Ένας νέος χρήστης στο δίκτυο για παράδειγμα, εισάγει κωδικούς και όνομα χρήστη δηλώνοντας το προσωπικό του πιστοποιητικό και έτσι συνδέεται με ασφάλεια.

Εάν τεθούν σε ισχύ οι μηχανισμοί ελέγχου πρόσβασης στο δίκτυο, οι μη εξουσιοδοτημένοι συμμετέχοντες π.χ. κακόβουλη ενέργεια παραβίασης από τρίτους, τότε δεν μπορούν να συμμετέχουν στο δίκτυο και φυσικά δεν μπορούν να αποκρυπτογραφήσουν την κίνηση δεδομένων αυτού.

Η άμεση και φυσική πρόσβαση σε δρομολογητές, διακόπτες και συστήματα από μη εξουσιοδοτημένα άτομα είναι πολύ σημαντική για την αποστολή δεδομένων σε φυσικά επίπεδα. Πρέπει να υπάρχουν κατάλληλα προστατευτικά μέτρα που να περιορίζουν την άμεση επαφή σε συγκεκριμένα μόνο άτομα ή και να υπάρχει η δυνατότητα απενεργοποίησης των θυρών Ethernet για παράδειγμα μέσω λογισμικού.

Η ζεύξη δεδομένων και τα φυσικά επίπεδα εκτελούν επίσης ένα άλλο κύριο ρόλο. Πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών. Τεχνολογίες όπως το TSN, μπορούν, για παράδειγμα, να προμηθεύουν ντετερμινιστικά πακέτα δεδομένων σε κρίσιμες εφαρμογές και

σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, πρέπει να εγκατασταθούν μηχανισμοί ασφαλείας για την προστασία της κρίσιμης κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο από υπερφόρτωση λόγω άλλων ειδών κυκλοφορίας πληροφοριών.

Άλλοι πιθανοί στόχοι για hacking είναι οι τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα που διαχειρίζονται διεργασίες όσον αφορά τη σύνδεση δεδομένων και στα φυσικά επίπεδα.

Ένας τρίτος που έχει πρόσβαση σε αυτά τα κομμάτια επικοινωνίας μπορεί να διαταράξει τις λειτουργίες. Γι' αυτό τα κατάλληλα μέτρα (π.χ. ασφάλεια θύρας και παρακολούθηση DHCP) πρέπει να ληφθούν για την προστασία από αλλαγές και διαταραχές στις λειτουργίες των πρωτοκόλλων διαχείρισης, όπως το Address Resolution Πρωτόκολλο (ARP), το πρωτόκολλο διαμόρφωσης δυναμικού κεντρικού υπολογιστή (DHCP), πρωτόκολλα πολλαπλής διανομής και πρωτόκολλα QoS.

Άλλοι τρόποι επίσης υπάρχουν όπως η καταγραφή ιστορικού σύνδεσης των συσκευών στο δίκτυο για να αναλυθούν τυχόν αλλαγές κατά την αποστολή πακέτων σε τρίτους.

### **Επίπεδο δικτύου**

Το επίπεδο δικτύου με το κύριο πρωτόκολλο επικοινωνίας, το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP), συνδέει συσκευές και μηχανισμούς με δυνατότητα IP. Επιτρέπει σε συσκευές να συνδεθούν σε τοπικό ή παγκόσμιο επίπεδο διευκολύνοντας την ανταλλαγή δεδομένων.

Για να τεθούν περιορισμοί στην επικοινωνία για την προστασία των δεδομένων τότε πρέπει να εισαχθούν τείχη προστασίας (firewalls) και gateways για τον έλεγχο των δεδομένων. Οι στρατηγικές προστασίας μπορεί να είναι υλοποιούνται με τη βοήθεια αυτών των τεχνολογιών και συσκευών όπως περιγράφεται στο ISO/IEC 62443 (π.χ. ζώνες και αγωγοί) συσκευές συγκεντρώνονται σε κατάλληλες λειτουργικές ομάδες (π.χ. όλες οι συσκευές σε ειδικό εξάρτημα εγκατάστασης) όπου επικοινωνούν με άλλες συσκευές.



**Σχήμα 2.14: Το πρωτόκολλο δικτύου**

Πηγή: <https://www.eventhelix.com/networking/>

Αυτό μπορεί να αποτρέψει την επικοινωνία με άλλες συσκευές και παραβιάσεις. Αυτή η τμηματοποίηση τοποθετεί στενούς περιορισμούς στην εμβέλεια του χάκερ στο δίκτυο και προστατεύει τα ευάλωτα συστήματα από την επιρροές τρίτων.

### **Επίπεδο μεταφοράς και ασφάλεια από άκρο σε άκρο.**

Το επίπεδο μεταφοράς συνδέει μεμονωμένες εφαρμογές των διαφόρων συσκευών. Για να διασφαλιστεί η ασφάλειά τους, η ταυτότητα των συσκευών και υπηρεσιών είναι ένα σημαντικό ζήτημα.

Δύο πρωτόκολλα έχουν βρει ευρεία χρήση για ασφαλείς συνδέσεις στρώματος μεταφοράς:

1. Transport Layer Security (TLS) και
2. Datagram Transport Layer Security (DTLS).

Βιομηχανικά πρωτόκολλα (όπως το OPC UA) μπορούν επίσης να εφαρμόσουν αυτά τα πρωτόκολλα.

Αυτά τα πρωτόκολλα εφαρμόζουν πιστοποιητικά X.509 για την αξιόπιστη κρυπτογραφική επιβεβαίωση της ταυτότητας ενός τελικού συστήματος και της ιδιότητας μέλους ενός συγκεκριμένου οργανισμού. Καθιερώνεται με από άκρο σε άκρο κρυπτογράφηση και προστασία ακεραιότητας μεταξύ των τελικών σημείων επικοινωνίας που έχουν πιστοποιηθεί σε με αυτόν τον τρόπο. Αυτό αποτρέπει τις απόπειρες παραβιάσεων.

Τα δεδομένα που αφορούν το επίπεδο μεταφοράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό μιας επίθεσης. Αυτά είναι κυρίως οι ταυτότητες των τελικών σημείων επικοινωνίας και τα πρότυπα επικοινωνίας τους.

Οι μορφές οπτικοποίησης έχουν ήδη τεθεί σε εφαρμογή για την κανονιστική περιγραφή και ανταλλαγή της διαδικασίας και των επιχειρησιακών λογικών, για παράδειγμα, το Unified Modeling Language (UML), Business Process Model and Notation (BPMN) και Business Process Execution Language (BPEL).

Επιπλέον, τα σχετικά μοντέλα έχουν εγκαταστήθηκαν στη βιομηχανία, όπως Service-oriented Architecture (SOA) και σε μεγάλο βαθμό ψηφιοποιημένα συστήματα εκτέλεσης, όπως το Manufacturing Execution System (MES) και το Enterprise Resource Σχεδιασμός (ERP).

Μια βελτιωμένη μορφή χειρισμού λειτουργιών και δεδομένων στα επίπεδα του Industry 4.0 είναι το κέλυφος διαχείρισης. Το κέλυφος συνδυάζει δεδομένα και μοντέλα αλληλεπίδρασης και παρέχει βασικές λειτουργίες ασφάλειας (π.χ. έλεγχο ταυτότητας, ακεραιότητα και προστασία πρόσβασης και καταγραφή συμβάντων). Οι ταυτότητες των συσκευών που συμμετέχουν σε μια επικοινωνία Industry 4.0, οι ρόλοι και τα δικαιώματά τους είναι επίσης βασικά σε αυτά τα στρώματα.

Καθώς μοντελοποιούνται οι βιομηχανικές διαδικασίες και η επιχειρηματική λογική και εφαρμόζονται τα ανώτερα στρώματα, τα κατάλληλα μέτρα είναι απαραίτητα για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας δικαίου. Οι διαδικασίες πρέπει να είναι ελεγχόμενες και το σύστημα πρέπει να είναι αξιόπιστο. Καθώς υπάρχουν ήδη πολλά εταιρικά συστήματα που διαχειρίζονται και μοντελοποιούν επιχειρηματικές διαδικασίες και πληροφορίες.

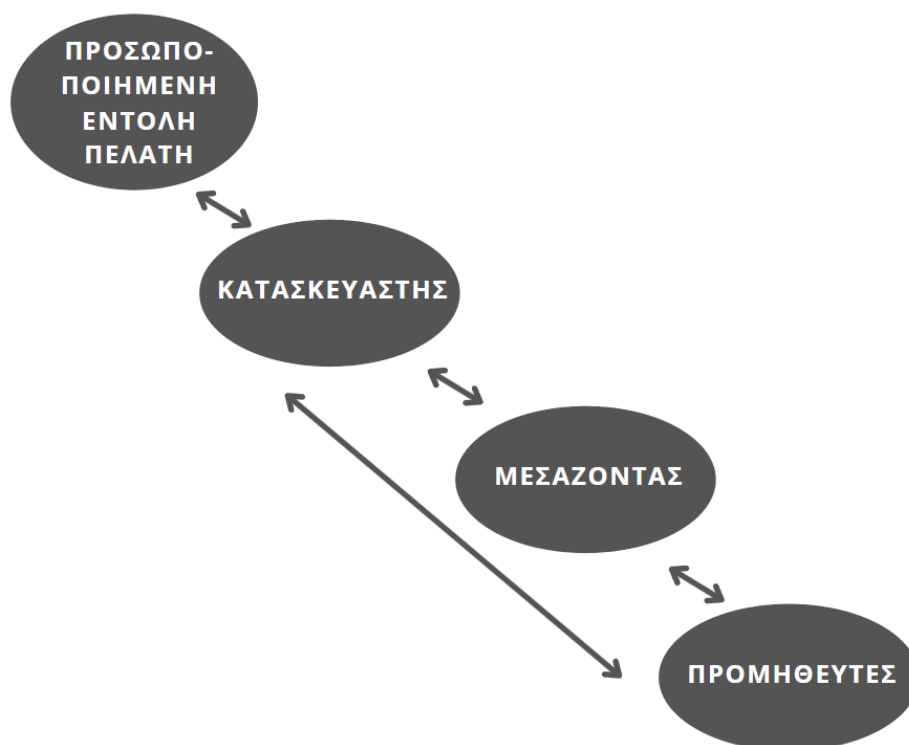
### **Εφαρμογή αυτών στο Industry 4.0**

Ας δούμε ένα παράδειγμα επικοινωνίας σε βιομηχανικό επίπεδο με βήματα.

- **Βήμα 1:** Ο κατασκευαστής αναθέτει την διαδικασία υποβολής προσφορών σε μία εταιρία για αγορά πολλών τεμαχίων ενός προϊόντος.
- **Βήμα 2:** Η εταιρία αυτή αναλαμβάνει την διαδικασία και αναζητεί προμηθευτές που θα καλυψουν τις ανάγκες του κατασκευαστή.
- **Βήμα 3:** Οι ενδιαφερόμενοι προμηθευτές υποβάλλουν προσφορές στην μεσαζούσα εταιρία.
- **Βήμα 4:** Η εταιρία μεταφέρει τις πληροφορίες αυτές μαζί με τις προσφορές στον κατασκευαστή
- **Βήμα 5:** Ο κατασκευαστής κάνει την παραγγελία απευθείας με τον επιλεγμένο προμηθευτή (ανάδοχο).
- **Βήμα 6:** Ο προμηθευτής στέλνει στον πελάτη τα συμφωνημένα προϊόντα
- **Βήμα 7:** Παραδίδεται το φυσικό προϊόν.

Για καθένα από αυτά τα βήματα, υπάρχουν διάφορες απαιτήσεις βιομηχανικής επικοινωνίας αναλόγως της σημαντικότητας και ευαισθησίας των δεδομένων.





**Σχήμα 2.15: Αλληλεπιδράσεις μεταξύ οντοτήτων**

Το παραπάνω σχήμα απεικονίζει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ οντοτήτων εντός του βιομηχανικού περιβάλλοντος. Είναι ένα απλό παράδειγμα του πώς γίνονται οι υποβολές προσφορών από τον κατασκευαστή και των προμηθευτών.

Οι απαιτήσεις και οι υλοποιήσεις θα πρέπει να εξετάζονται ξεχωριστά και να αξιολογούνται για τα πρωτόκολλα που έχουν αναπτυχθεί, αφενός για την εμπιστευτικότητα κατά μήκος της διαδρομής επικοινωνίας και αφετέρου για την προστασία της ακεραιότητας των πληροφοριών αυτών.

Το παράδειγμα που περιγράφεται παραπάνω αποτελεί ένα μικρό σενάριο εφαρμογής για παραγγελία και επικοινωνία των βιομηχανιών στο κομμάτι της παραγωγής ως μια επιχειρησιακή συναλλαγή.

Φυσικά υπάρχουν πολλά άλλα παραδείγματα επικοινωνιών πολύ διαφορετικά από αυτό που αναφέραμε και αναλόγως των αναγκών των επικοινωνιών, προσαρμόζονται και οι τεχνικές ασφάλειας των δεδομένων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ 5G ΣΤΟ INDUSTRY 4.0

## 3.1 Ιστορική εξέλιξη των Γενιών Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων

---

Από την πρώτη εμφάνιση της 1ης Γενιάς Κινητών Δικτύων έχουν εξελιχθεί ιδιαίτερα τα δεδομένα. Την δεκαετία του 1980 εμφανίστηκε η πρώτη γενιά δικτύου και από εκεί και ύστερα εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου σε όλο και πιο ανεπτυγμένα Δίκτυα.

- Η πρώτη γενιά (1G) που αφορά την εισαγωγή του τηλεπικοινωνιακού δικτύου κινητής στη ζωή του ανθρώπου.
- Την δεύτερη γενιά (2G), στη δεκαετία του 1990, με το πρότυπο GSM να χρησιμοποιείται για την υποστήριξη του δικτύου και την μετατροπή σε ψηφιακή μετάδοση από αναλογική, η οποία είχε το πλεονέκτημα της χαμηλότερης κατανάλωσης ενέργειας στις συσκευές που ισοδυναμούσε με μεγαλύτερη διάρκεια της μπαταρίας.
- Τρίτης Γενιάς (3G). Την δεκαετία του 2000 εισήχθη η ανταλλαγή γραπτών μηνυμάτων SMS με την εμφάνιση της τρίτης γενιάς (3G), η οποία έφερε τη δυνατότητα ανταλλαγής πακέτων δεδομένων και διαδικτύου με υψηλής ταχύτητας IP δικτύωσης.

Η μεταγωγή πακέτων χρησιμοποιήθηκε για τη μετάδοση δεδομένων σε αντίθεση με τη μεταγωγή κυκλώματος που χρησιμοποιούνταν ωρίτερα. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα για μεταφορά ροής πολυμέσων ψηφιακού περιεχομένου σε συσκευές 3G οπότε υπηρεσίες όπως Live Video και streaming (αν και σε μικρή ανάλυση έγιναν διαθέσιμες και δημιούργησαν νέους επιχειρηματικούς κλάδους υπηρεσιών πολυμέσων.

Η Τέταρτη Γενιά (4G), τη δεκαετία του 2010 σημείωσε την ανάπτυξη της ευρυζωνικότητας για κινητές συσκευές, με βελτιώσεις στην ταχύτητα έως και δεκαπλάσιες σε σύγκριση με την προηγούμενη γενιά δικτύου (3G), η οποία βασίστηκε στην επέκταση της ήδη υπάρχουσας υποδομής της Τρίτης Γενιάς αυξάνοντας το εύρος ζώνης. Η αποστολή πακέτων δεδομένων αυξήθηκε και έφτασε ακόμη και τα 100 Mbit/s σε ταχύτητες κατεβάσματος (download speed) με το πρότυπο δικτύου 4G Long Term Evolution (LTE) και στα 300 Mbps με το LTE-A (4G+), δηλαδή την πιο αναβαθμισμένη εκδοχή του 4G [3.1].

Η Πέμπτη Γενιά (5G), εμφανίστηκε το 2016 [3.2],[3.3] και αποτελεί το πιο πρόσφατα ανεπτυγμένο δίκτυο τηλεφωνίας και η πλήρης κάλυψη και χρήση του θα επιφέρει τεράστια αλλαγή στον τομέα των κινητών επικοινωνιών και αποτελεί τον βασικό μοχλό της περαιτέρω εξάπλωσης των IoT λύσεων. Με την πάροδο του χρόνου όλο και πιο γρήγορες λύσεις επικοινωνιών εμφανίζονται που θα βοηθήσουν στην αλλαγή της ανταλλαγής δεδομένων σε τέτοιο βαθμό που θα αλλάξει ριζικά η κοινωνία λόγω της ιδέας μια τεχνολογικά ενωμένης κοινωνίας.

## ***Το Δίκτυο Πέμπτης Γενιάς 5G και η συμβολή του στην Industry 4.0***

Το δίκτυο 5G περιλαμβάνει μια αρχιτεκτονική που ορίζεται από λογισμικό και επιτρέπει τον δυναμικό προγραμματισμό για την παροχή ξεχωριστών επιπέδων για διαφορετικές εφαρμογές. Αυτό θα δώσει την ευκαιρία σε καινούργια μοντέλα επιχειρήσεων να κάνουν την εμφάνιση τους. Το 5G υποστηρίζει δηλαδή το «network slicing», μία αρχιτεκτονική που επιτρέπει τον “τεμαχισμό” δικτύου και την πολυπλεξία εικονικών και ανεξάρτητων λογικών δικτύων (logical networks) στην ίδια φυσική υποδομή δικτύου. Κάθε τμήμα δικτύου είναι ένα απομονωμένο δίκτυο από άκρο σε άκρο προσαρμοσμένο για να πληροί διαφορετικές απαιτήσεις που μπορούν να ζητηθούν από διάφορες εφαρμογές

Η Πέμπτη Γενιά Δικτύου λόγω της ταχύτερης από ποτέ αποστολής και λήψης δεδομένων μπορεί να επιφέρει τεράστια επιρροή στο Βιομηχανικό πλαίσιο και άρα την Industry 4.0. Με ταχύτητες που πλησιάζουν τα 10Gb/s οι δυνατότητες μεγιστοποιήθηκαν όσο ποτέ ξανά. Υποστηρίζει τη ροή βίντεο Ultra-high ανάλυσης (2K, 4K, 8K) αλλά και εφαρμογές που βασίζονται σε πολυμέσα Τεχνητής Πραγματικότητας (Virtual Reality) με καθυστέρηση δικτύου (latency) λιγότερο από 1ms, καθώς και άλλες αντίστοιχες εφαρμογές πραγματικού χρόνου (real-time). Είναι από 10 έως 100 φορές γρηγορότερη από την Γενιά 4G και υποστηρίζει εξίσου ένα τεράστιο αριθμό υπηρεσιών και εφαρμογών με οφέλη όπως καλύτερες επιδόσεις ενέργειας συσκευής, γρηγορότερες ταχύτητες και μικρότερες καθυστερήσεις από ποτέ.

Τα Βιομηχανικά πλαίσια στα οποία η χρήση της Πέμπτης Γενιάς (5G) δικτύου, βάσει των χαρακτηριστικών της, θα επιφέρει ραγδαίες αλλαγές είναι:

- **Απαιτήσεις χαμηλής καθυστέρησης**  
Απομακρυσμένη ανάγνωση μετρητή κατανάλωσης για λόγους χρέωσης. Εξ' αποστάσεως ενημέρωση εταιρειών ενέργειας για την κατανάλωση των χρηστών της χωρίς την ανάγκη για επίσκεψη του χώρου και ανάγνωση του μετρητή από κοντά.
- **Αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης < 1 ms**  
Για συστήματα ασφάλειας και ελέγχου της βιομηχανίας μέσω κλειστού κυκλώματος καμερών και ειδικών αισθητήρων παρακολούθησης διεργασιών του βιομηχανικού χώρου. Παρακολούθηση ασθενών σε πραγματικό χρόνο.  
Έλεγχος φαναριού αυτοκινητοδρόμων σε πραγματικό χρόνο. Εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα.
- **Υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας δικτύου**  
Ηλεκτρικά δίκτυα, βιομηχανικός έλεγχος, κυκλοφοριακός έλεγχος, ηλεκτρονική υγεία και διαχείριση δικτύων έξυπνων πόλεων.

- **Χαλαρό επίπεδο αξιοπιστίας δικτύου**  
Αισθητήρες θερμοκρασίας/υγρασίας οικίας, smart home τεχνολογίες.
- **Υψηλός όγκος πληροφοριών**  
Απομακρυσμένη παρακολούθηση βίντεο 4K ανάλυσης.
- **Χαμηλός όγκος πληροφοριών**  
Παρακολούθηση πληροφοριών και στατιστικών φορτίου και ποσότητα προϊόντων της αποθήκης στη ναυτιλιακή βιομηχανία.
- **Χαμηλό κόστος συσκευής ή χαμηλή ενέργεια**  
Δίκτυα αισθητήρων που τροφοδοτούνται από μπαταρίες.

Ένα συνδεδεμένο βιομηχανικό περιβάλλον έχει διάφορες παραλλαγές και ξεχωριστές ανάγκες στο πλαίσιο εφαρμογών με δυνατότητα Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), μηχανήματα με πολλά κινούμενα μέρη, απομακρυσμένα εξαρτήματα, μερικά χρειάζονται εξαιρετική αξιοπιστία κ.λπ.

Πολλές από τις τεχνολογίες δικτύου που έχουμε σήμερα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά και πρέπει να αλλαχτούν/αναπτυχθούν περαιτέρω για να ικανοποιήσουν τις όλο και πιο απαιτητικές επικοινωνιακές ανάγκες. Ακόμη και σήμερα, συχνά χρειάζεται να χρησιμοποιούμε έναν συνδυασμό τεχνολογιών σταθερών και ασύρματων δικτύων για την υλοποίηση μαζικών έργων IoT, δεδομένου ότι το 5G δεν έχει υλοποιηθεί στο μέγιστο.

Η αξιοπιστία που προσφέρει το δίκτυο Γενιάς 5G που αγγίζει το ποσοστό 99,999% σε συνδυασμό με την καθυστέρηση που είναι μικρότερη του 1 ms και η μειωμένη ανάγκη του για υψηλή χρήση ενέργειας της συσκευής, θα ικανοποιήσει τις ελλείψεις της υπάρχουσας τεχνολογίας επικοινωνίας. Για να γίνει η διαδικασία παραγωγής πιο ευέλικτη, θα πρέπει να είναι πολύ εύκολο να προστεθούν ή και να αλλαχτούν εύκολα τα υπάρχοντα μηχανήματα ή αισθητήρες μία ευελιξία δηλαδή που προσφέρεται από το 5G [3.4]-[3.7].

### **Τεχνολογίες που θα βοηθήσουν στην περαιτέρω εξάπλωση του IoT**

Οι διάφορες τεχνολογίες που θα βοηθήσουν στην περαιτέρω εξάπλωση του IoT αναφέρονται παρακάτω [3.8]:

- Τρισδιάστατη εκτύπωση (3D Printing)
- Μη επανδρωμένα αεροσκάφη (Drones)
- Τεχνολογίες αισθητήρων
- Νανοτεχνολογίες

- Τεχνητή νοημοσύνη (A.I.)
- Εικονική Πραγματικότητα (V.R.)
- Ρομποτική

Κάποιες από αυτές έχουν αρκετά χρόνια που έχουν εμφανιστεί, παρόλα αυτά η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογικής δύναμης μαζί με τεχνολογικές τάσεις όπως Cloud Computing, η αυξανόμενη υπολογιστική δύναμη και οι IoT τεχνολογίες, ευθύνονται για την ανάπτυξη τους σε ένα τόσο σημαντικό επίπεδο που θα βοηθήσει όπως ποτέ άλλοτε το Industry 4.0.

Το Industry 4.0 χρειάζεται τεχνολογίες ικανές να αντιμετωπίσουν τις απαιτήσεις της βιομηχανίας, χρονικά ευαίσθητες διαδικασίες, προστασία και ασφάλεια επικοινωνιών και σωστά διαμορφωμένες υποδομές. Ο χρόνος είναι βασικός παράγοντας αποτελεσμάτων της βιομηχανίας, κάθε διαδικασία θα πρέπει να εκτελείται με τον γρηγορότερο τρόπο μετάδοσης σημάτων και δεδομένων, βιομηχανίες που ασχολούνται με την κατασκευή οχημάτων έχουν ανάγκη από γρήγορες διαδικασίες, που θα εκτελεστούν στιγμιαία ώστε να ολοκληρωθεί η κατασκευή των μηχανικών τμημάτων ανά πάσα στιγμή. Εφαρμογές και υπηρεσίες που σχετίζονται με αυτοματοποιημένες αντιδράσεις από αισθητήρες κίνησης, χρειάζονται καθυστέρηση μικρότερη από 1ms.

Οι χρονικές απαιτήσεις, ποικίλλουν από βιομηχανία σε βιομηχανία και αναλόγως της υποδομής των αντίστοιχων εργοστασίων.

Έχουν οριστεί γενικές κατηγορίες για επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο. Συνήθως, η αυτοματοποίηση διαδικασιών σε βιομηχανίες (όπως πετρέλαιο και φυσικό αέριο, χημικά, τρόφιμα και ποτά, εργοστάσια παραγωγής ενέργειας) απαιτούν καθυστέρηση δικτύου περίπου 100 ms.

Στον αυτοματισμό εργοστασίων (π.χ. παραγωγή αυτοκινήτων, βιομηχανικά μηχανήματα και εξοπλισμός, καταναλωτικά προϊόντα) οι τυπικοί χρόνοι καθυστέρησης δικτύου είναι 10 ms. Οι υψηλότερες απαιτήσεις τίθενται από εφαρμογές ελέγχου κίνησης όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (για παράδειγμα εκτυπωτικά μηχανήματα, υφάσματα, χαρτοβιομηχανίες) που απαιτούν λιγότερους χρόνους κύκλου από 1ms για να ολοκληρωθούν με σωστό τρόπο οι παραγωγικές διαδικασίες τους.

Ο χρόνος καθυστέρησης δικτύου αντιπροσωπεύει το χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός κύκλου μιας διαδικασίας ή λειτουργίας. Η διαδικασία δηλαδή αναφέρεται σε ένα στάδιο παραγωγής, αλλά μπορεί να είναι οποιαδήποτε επαναλαμβανόμενη δραστηριότητα, της παραγωγικής διαδικασίας όπως η συμπλήρωση εντύπων, η απάντηση σε κλήσεις πελατών ή φόρτωση φορτηγών, η κατασκευή ενός μηχανικού μέρους ενός προϊόντος.

## 3.2 Use Cases Βιομηχανοποίησης βάσει χαρακτηριστικών

### Πέντε use cases βιομηχανοποίησης βάσει των παρακάτω χαρακτηριστικών

Όσον αφορά την κατασκευή, έχουν εντοπιστεί πέντε κατηγορίες περιπτώσεων χρήσης που περιγράφουν τις απαιτήσεις των αλυσίδων εφοδιασμού και των δικτύων παραγωγής της επόμενης γενιάς των συνδεδεμένων εργοστασίων.

Θεωρούμε διεργασίες εντός των τειχών οποιουδήποτε εργοστασίου αλλά και διεργασίες μεταξύ διαφορετικών κτιρίων εργοστασίων, όπως θέματα εφοδιαστικού χαρακτήρα.

Τα όρια μεταξύ διεργασιών που αφορούν το εσωτερικό του εργοστασίου και το εξωτερικό του εργοστασίου είναι όλο και πιο θολά με καινοτόμες ιδέες όπως εικονικά περιβάλλοντα.

Τα εργοστάσια του μέλλοντος δεν είναι μεμονωμένα κομμάτια παραγωγής αλλά αντιθέτως θα έχουν πολλές διαστάσεις και θα αποτελούν μέρος μιας ακόμη μεγαλύτερης αλυσίδας και οικοσυστήματος.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις 5 περιπτώσεις χρήσης, μαζί με περιγραφή κάποιων σεναρίων τους και σημειώνονται οι πιθανές επιπτώσεις στην βιομηχανική παραγωγή [3.9],[3.10].

**Πίνακας 3.1: Περιγραφή πέντε βασικών κατηγοριών για την κατασκευαστική βιομηχανία και η επιρροή τους**

	<b>Είδος Σεναρίου</b>	<b>Σενάρια</b>	<b>Επιρροή</b>
Σενάριο Χρήσης 1	Χρονικά κρίσιμη (time-critical), αξιόπιστη βελτιστοποίηση διεργασιών εντός του ψηφιακού εργοστασίου	Επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ μηχανών για αύξηση αποδοτικότητας, Εφαρμογές τρισδιάστατου περιβάλλοντος σε συνδυασμό με επαυξημένη πραγματικότητα για εκπαίδευση και διατήρηση υποδομών, Τρισδιάστατη	Αυξημένη αποδοτικότητα, Αυξημένη ικανοποίηση εργασιακού περιβάλλοντος από τους εργάτες, Αυξημένη ασφάλεια

		αλληλεπίδραση εφαρμογών μεταξύ ανθρώπων και μηχανών (ρομπότ)	
Σενάριο Χρήσης 2	Μη χρονικά κρίσιμη (time-critical) επικοινωνία εντός του ψηφιακού εργοστασίου	Αναζήτηση και εύρεση διαφορών αντικειμένων εντός του βιομηχανικού περιβάλλοντος, Συλλογή δεδομένων από αισθητήρες όχι σε πραγματικό χρόνο για την αύξηση της αποδοτικότητας των υπηρεσιών, καθώς και για την σχεδίαση, οργάνωση και μελέτη νέων προϊόντων και παραγωγικών διαδικασιών	Αυξημένη αποδοτικότητα, αυξημένη ευελιξία. Αυξημένη δυνατότητα για πιο φιλικές προς το περιβάλλον τεχνικές
Σενάριο Χρήσης 3	Εξ' αποστάσεως ελεγχόμενα ψηφιακά εργοστάσια	Εξ' αποστάσεως έλεγχος ποιότητας υπηρεσιών, Εξ' αποστάσεως ηλεκτρονικό office	Αυξημένη ποιότητα προϊόντων και διαδικασιών παραγωγής
Σενάριο Χρήσης 4	Οικοσύστημα απρόσκοπτης ενδοεταιρικής επικοινωνίας	Παρακολούθηση αγαθών στην αλυσίδα παραγωγής από άκρο σε άκρο, αξιόπιστη και ασφαλής διασύνδεση των χώρων, ανταλλαγή δεδομένων για σκοπούς προσομοίωσης και σχεδιασμού	Αυξημένη αποδοτικότητα κόστους και χρόνου.
Σενάριο Χρήσης 5	Συνδεδεμένα αγαθά που ενσωματώνουν τη διάρκεια ζωής τους	Σύνδεση αγαθών κατά τη διάρκεια ζωής τους, για την παρακολούθηση των χαρακτηριστικών	Αύξηση πωλήσεων (νέα προϊόντα, υπηρεσίες)

		του προϊόντος	
--	--	---------------	--

**Σενάριο Χρήσης 1: χρονικά κρίσιμη (time-critical), αξιόπιστη βελτιστοποίηση διεργασιών εντός του ψηφιακού εργοστασίου.**

Για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της παραγωγικής διαδικασίας, υπάρχει μια τάση άμεσης βελτιστοποίησης (instant optimization) που βασίζεται στον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο: της απόδοσης των επιμέρους μηχανικών μερών, τις συνεχώς μετρούμενες διακυμάνσεις ποιότητας των παραγόμενων αγαθών, τις αλληλεπιδράσεις των χειριστών και τις παραγοντικές μεταβολές στο περιβάλλον.

Για παράδειγμα, κάποιος αισθητήρας μπορεί να επικοινωνούν με χαμηλούς ρυθμούς bitrate και με εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση ζητώντας εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία, ωστόσο ρομποτικά οχήματα με αυτόνομη ελεγχόμενη όραση ή και κινητά ρομπότ ενδέχεται να απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης (high bandwidth) επικοινωνίας.

Άρα κάθε συσκευή (ή εξάρτημα) έχει τη δική του ατομική απαίτηση συγκεκριμένων ταχυτήτων και χαρακτηριστικών δυνατοτήτων και οι αντίστοιχες υποδομές πρέπει να είναι σε κατάσταση να ξεχωρίσουν, να προσαρμοστούν, και να αναγνωρίσουν τις απαιτήσεις αυτών των συστημάτων.

Εκτός από τις επικοινωνίες τύπου μηχανής, νέα σενάρια για χρονικά κρίσιμη επικοινωνία εμφανίζονται με τις τεχνολογικές δυνατότητες που προσφέρουν: οι νέες γενιές ρομπότ, η εισαγωγή φορητών συσκευών (Wearables) και η εξέλιξη της επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality). Ένας αυξανόμενος αριθμός συσκευών γίνονται ασύρματες και απαιτούν την ανταλλαγή τεράστιου όγκου δεδομένων (μοντέλα 3D, μεγάλα σύνολα με δεδομένα ιστορικού π.χ. υγείας, δημόσιας διοίκησης κ.λπ). Αυτός ο όγκος των πληροφοριών που πρέπει να ανταλλαχθούν ανάμεσα σε συσκευές και servers , για να παρθεί μία απόφαση της στιγμής μιας μηχανής είναι αρκετά μεγάλος και η ταχύτητα ανταλλαγής παίζει καθοριστικό ρόλο.

Αυτή η συνεργασία μηχανών πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο, για παράδειγμα τα ρομπότ προσαρμόζονται στις ικανότητες των χειριστών κατά την διάρκεια αλληλεπίδρασης, βάσει πληροφοριών που συλλέγονται από τα wearables του χειριστή, τους γύρω αισθητήρες και τα συστήματα ελέγχου του ίδιου του μηχανήματος.

Τα ρομποτικά οχήματα θα διευκολύνουν την περαιτέρω αυτοματοποίηση, θα αυξήσουν την αποτελεσματικότητα των εργασιών του χειριστή, την απόδοση και ποιότητα παραγωγής αυξάνοντας ταυτόχρονα τη συνολική ασφάλεια του χειριστή.



Η ρομποτική συνεργατική λειτουργία που λειτουργεί στην Industry 4.0 έχει ήδη καθοριστεί με πρότυπο ISO (συγκεκριμένα το ISO 10218) από τον διεθνή οργανισμό ISO [9] που τυποποιεί τον τρόπο που οι επιχειρήσεις και οι οργανισμοί λειτουργούν, παράγουν και εμπορεύονται τα προϊόντα και τις υπηρεσίες που προσφέρουν.

Με την εξαιρετικά γρήγορη (ultra-fast) και εξαιρετικά αξιόπιστη (ultra-reliable) πρόσβαση σε κινούμενα αντικείμενα, η γενιά 5G έχει καθοριστικό ρόλο εξουσίας λόγω των δυνατοτήτων που προσφέρει, αφού μπορεί να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις αξιοπιστίας και απόδοσης, και να δημιουργηθεί με την συνεργασία της, μια ευέλικτη συνδεσιμότητα δικτύων (είτε 5G είτε άλλων πρωτοκόλλων επικοινωνίας μετάδοσης πληροφοριών) προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες μεταβλητής χωρητικότητας και κινητικότητας σε μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα.

### **Σενάριο Χρήσης 2: μη χρονικά κρίσιμη (time-critical) επικοινωνία εντός του ψηφιακού εργοστασίου.**

Ενώ στο πρώτο σενάριο χρήσης τα εμπλεκόμενα μηχανήματα και ρομπότ αποτελούν μέρος κλειστών, χρονικά κρίσιμων βρόχων ελέγχου, αυτή το σενάριο περιπτώσεων χρήσης αναφέρεται σε λιγότερο χρονικά κρίσιμες επικοινωνίες που περιλαμβάνουν τον εντοπισμό αγαθών και βιομηχανικών χώρων του εργοστασίου και εφοδιαστικές διαδικασίες υλικοτεχνικής υποστήριξης, με μη κρίσιμη ποιότητα ελέγχου ή συλλογή δεδομένων για μελλοντική χρήση σε περιβάλλοντα εικονικού σχεδιασμού (Virtual Design Contexts). Επίσης η επικοινωνία με τους χειριστές στη γραμμή παραγωγής δεν απαιτεί πάντοτε εξαιρετικά υψηλές καθυστερήσεις (ultra-high latencies), δεδομένου ότι οι χρόνοι απόκρισης των ανθρώπων είναι πολύ υψηλότεροι σε σύγκριση με τους χρόνους αντίδρασης των μηχανής.

Όσον αφορά την παραγωγή, ο ακριβής εντοπισμός των ανυψωτικών, των αυτόνομων οχημάτων, τρόλεϊ, σκαφών και λοιπά, μπορεί να μειώσει σημαντικά τα ποσοστά σφαλμάτων στην φάση επιλογή και συσκευασίας προϊόντων, με την ανάλυση της πηγής και του προορισμού των επιλεγμένων προϊόντων ή ανταλλακτικών σε πραγματικό χρόνο με έξυπνα συστήματα διαχείρισης αποθήκης (WMS). Μία τέτοια τεχνολογία μπορεί να αποφευχθούν εξ' ολοκλήρου λάθη και προκλήσεις όπως π.χ. τα προϊόντα να μεταφερθούν και να καταλήξουν σε λάθος φορτηγό, και με αυτό το τρόπο πραγματοποιείται μια σημαντική εξοικονόμηση κόστους κατά μήκος της αλυσίδας παραγωγής.

Η σωστή ανάλυση των δεδομένων αυτών από ειδικούς αισθητήρες που βρίσκονται στη γραμμή παραγωγής, καθώς και κατά μήκος της αποθήκης και των οχημάτων είναι ένα ακόμα παράδειγμα ενός σεναρίου χρήσης με μη χρονικά κρίσιμη (time-critical) επικοινωνία εντός του ψηφιακού εργοστασίου. Είναι σημαντική η ψηφιοποίηση τμημάτων και διαδικασιών του εργοστασίου, και να δρομολογούνται εικονικές διεργασίες και τεχνικές

που θα οργανώσουν τα εργοστάσια μέσω προσομοιώσεων των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο διευκολύνοντας την παραγωγή και τον έλεγχο.

Οι προκλήσεις που πηγάζουν από αυτές τις διαδικασίες βασίζονται στην ανάγκη διασφάλισης της υψηλής διαθεσιμότητας των ασύρματων δικτύων, ακόμη και σε σκληρές βιομηχανικές συνθήκες. Η κάλυψη των εσωτερικών χώρων σε κάθε σημείο του εργοστασίου που θα πρέπει να επιτρέπει τη συνδεσιμότητα όλων των τμημάτων, ορόφων, αποθηκών, δωματίων κ.λπ. θα πρέπει να μελετηθεί σωστά ώστε να διασφαλιστεί η σωστή κάλυψη δικτύων επικοινωνίας.

### **Σενάριο Χρήσης 3: Εξ' αποστάσεως ελεγχόμενα ψηφιακά εργοστάσια.**

Στα δύο προηγούμενα σενάρια χρήσης, αναφέρθηκε κυρίως η τοπική (on-site) επικοινωνία των συσκευών εντός ενός εργοστασίου. Σε αυτήν την περίπτωση χρήσης το δημόσιο ασύρματο δίκτυο πρόσβασης (Public W.A.N.) διαδραματίζει επίσης κύριο ρόλο στην επικοινωνία μεταξύ των απομακρυσμένων εργατών και του εργοστασίου.

Αυτό το σενάριο περιλαμβάνει εφαρμογές/υπηρεσίες που βασίζονται σε εξ' αποστάσεως χειρισμό που τρέχουν σε συσκευές όπως π.χ. tablets και έξυπνα κινητά τηλέφωνα. Επίσης με την τάση της αναπτυσσόμενης επαυξημένης πραγματικότητας (AR), είναι λογικό να προκύψουν νέες κατηγορίες απομακρυσμένων υπηρεσιών που θα διευκολύνουν τη δημιουργία μιας ομάδας virtual back office. Αυτή η απομακρυσμένη ομάδα, θα έχει τη δυνατότητα χρήσης των δεδομένων που προέρχονται από όλες τις έξυπνες αυτές συσκευές για προληπτικές αναλύσεις και εύκολη πρόσβαση σε οδηγίες εργασίας, π.χ. να έχουν πρόσβαση σε τι βλέπει ο χρήστης στην οθόνη του ή τι εφαρμογές κατεβάζει μέσω των γυαλιών επαυξημένης πραγματικότητας του.

Επιπλέον, η εφαρμογή της επαυξημένης πραγματικότητας στο εργοστάσιο θα διευκολύνει:

- **Υποστήριξη της Επαυξημένης Πραγματικότητας στην Παραγωγή και τη Συναρμολόγηση προϊόντων:** Δείχνει στον χειριστή το επόμενο βήμα που θα πρέπει να κάνει σε εικονικό περιβάλλον και βοηθά στην αποφυγή λανθασμένης τοποθέτησης και περιττά βήματα που θα αυξήσουν χωρίς λόγο τον χρόνο συναρμολόγησης.
- **Υποστήριξη της Επαυξημένης Πραγματικότητας στη Συντήρηση και την Επισκευή:** Βήματα και διαδικασίες μπορούν να εμφανίζονται σε επαυξημένο περιβάλλον χωρίς την ανάγκη του χειριστή για ιδιαίτερη ανάγκη υπάρχουσας γνώσης ή εκπαίδευσης καθώς υπάρχει αναλυτικά η καθοδήγηση σε εικονικό περιβάλλον.

Σε αυτήν την κατηγορία περιπτώσεων χρήσης, υπάρχει μια λιγότερο αυστηρή ανάγκη για χαμηλή καθυστέρηση. Οι χρόνοι αλληλεπίδρασης ακόμη έως και δευτερόλεπτα είναι αποδεκτά στη περίπτωση εξ αποστάσεως συντήρησης μηχανών. Ωστόσο, η υψηλή διαθεσιμότητα μπορεί να διασφαλίσει ότι μπορούν να γίνουν άμεσα κάποιες ενέργειες έκτακτης συντήρησης. Σε περίπτωση τηλε-συντήρησης (video-controlled maintenance), με επαυξημένο περιεχόμενο σε πραγματικό χρόνο και μεγάλη ανάλυση του βίντεο, το εύρος ζώνης είναι προφανώς αυξημένο (bandwidth).

Επίσης, η χρονική καθυστέρηση καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική για τον έλεγχο κίνησης των ρομπότ σε πραγματικό χρόνο. Εντούτοις απαιτείται το Edge Computing εντός του δικτύου προκειμένου να εκπληρωθούν οι απαιτήσεις χαμηλής καθυστέρησης και να μεταδοθούν τα δεδομένα εντός του χώρου μειώνοντας όσο το δυνατόν περισσότερο τις χρονικές καθυστερήσεις.

Η δυνατότητα για απομακρυσμένη πρόσβαση σε μηχανήματα και εγκαταστάσεις του εργοστασίου εισάγει επίσης νέα τρύπες ασφαλείας ιδανικές για την ανάπτυξη κακόβουλων προγραμμάτων. Για αυτό το λόγο επιτόπου λαμβάνονται μέτρα ασφάλειας και θα πρέπει να ληφθούν ειδικά μέτρα ώστε οι αλυσίδες εφοδιασμού να προστατεύονται στο μέγιστο δυνατό, και με τις κρίσιμες ενέργειες να θωρακίζονται για από μη εξουσιοδοτημένα μέρη.

#### **Σενάριο Χρήσης 4: Οικοσύστημα απρόσκοπτης ενδοεταιρικής επικοινωνίας.**

Σε αυτό το περιβάλλον επικοινωνίας δίνεται βάση στο σκεπτικό του σχεδιασμού και της παραγωγής από οποιοδήποτε μέρος, για την ενσωμάτωση και αυτοματοποίηση της διαδικασίας της αλυσίδας αξίας και την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων.

Οι μελλοντικές λύσεις επικοινωνίας αναμένονται να εξασφαλίσουν τη συνδεσιμότητα μεταξύ διαφορετικών εγκαταστάσεων παραγωγής της αλυσίδας αξίας (π.χ. προμηθευτές, logistics) χωρίς διακοπές και σε πραγματικό χρόνο.

Επιπλέον, αυτές οι λύσεις επικοινωνίας θα πρέπει να επιτρέπουν την παρακολούθηση των υλικών ή των προϊόντων που διανέμονται από τις εργοστασιακές αποθήκες σε άλλες περιοχές με αποτελεσματικό τρόπο για την βελτιστοποίηση των ροών εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η ολοκληρωμένη δικτύωση και επικοινωνία μεταξύ όλων των εξαρτημάτων και συστημάτων που εμπλέκονται στην αλυσίδα παραγωγής αποτελεί ένα μεγάλο ζήτημα. Η συμβολή της γενιάς δικτύου 5G θα χρειαστεί σε τέτοιες περιπτώσεις για την ολοκληρωμένη επικοινωνία αυτών των έξυπνων περιβαλλόντων στη βιομηχανία.

Ένας συνδυασμός τεχνολογιών επικοινωνίας συμπεριλαμβανομένης της χρήσης ασύρματων τρόπων μετάδοσης, θα βοηθήσει στην αύξηση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας των

δεδομένων που ανταλλάσσονται ανάμεσα στα διάφορα περιβάλλοντα εντός του βιομηχανικού πλαισίου.

### **Σενάριο Χρήσης 5: Συνδεδεμένα αγαθά που ενσωματώνουν τη διάρκεια ζωής τους**

Η υπηρεσιοποίηση (servitisation) φυσικών αγαθών θα είναι στρατηγικής σημασίας για την έξυπνη βιομηχανία. Αυτό το μοντέλο παραγωγής βασίζεται στην εξής λογική: αντί να πωλούνται συσκευές και μηχανήματα μεμονωμένα, αντιθέτως πωλούνται με έναν τρόπο που βασίζονται σε υπηρεσίες πάνω σε αυτά. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα του μοντέλου υπηρεσιοποίησης, αποτελεί αυτό της Rolls-Royce (TotalCare by Rolls-Royce) για τις μηχανές που κατασκευάζει για τα αεροπλάνα. Οι πελάτες πληρώνουν ένα καθορισμένο χρηματικό ποσό με βάση τον αριθμό των ωρών πτήσης του αεροπλάνου. Σε αντάλλαγμα, η Rolls-Royce θα επισκευάσει, θα αντικαταστήσει σπασμένα εξαρτήματα και θα παρακολουθεί την κατάσταση και τα επίπεδα του κινητήρα από απόσταση [10]. Αυτό το νέο μοντέλο εγγυάται μια μακροχρόνια σχέση με τους πελάτες και μειώνει αισθητά τον χρόνο και τα υλικά που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ανα καιρό για επισκευές.

Αυτά τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα απαιτούν την συλλογή εκτενούς όγκου δεδομένων κύκλου ζωής των προϊόντων σε συνδυασμό με εξατομικευμένα δεδομένα χρήσης και περιβάλλοντος. Ενισχύοντας τη σχέση προϊόντος - υπηρεσίας, τα εργοστάσια θα εξελιχθούν σε ένα οικοσύστημα βασισμένο στα δεδομένα και την συνδεσιμότητα.

Τα εργοστάσια θα διαδραματίσουν επίσης σημαντικό ρόλο στην παροχή των συνδεδεμένων αγαθών που είναι που παράγονται.

Το βασικό όραμα σε αυτό το σενάριο βασίζεται στο εξής χαρακτηριστικό: τα προϊόντα που παράγονται, θυμούνται με κάποιο τρόπο από ποια στάδια πέρασαν για να κατασκευαστούν και συνδέονται απευθείας με στατιστικά που εξηγούν την πορεία εντός της γραμμής παραγωγής, τα δεδομένα που συλλέγονται κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων του έξυπνου εργοστασίου και διευκολύνουν την κατανόηση κατασκευής και την αποφυγή μελλοντικών σφαλμάτων ή και την διόρθωση αυτών.

Απαιτούνται συστήματα που δεν είναι ακριβά και ταυτόχρονα είναι αποδοτικά και προσαρμόζονται εύκολα πάνω σε προϊόντα. Εδώ πάλι εμφανίζεται το 5G που με τα χαρακτηριστικά του λύνει αυτό το πρόβλημα προσαρμοστικότητας. Αισθητήρες ή συστήματα συλλογής δεδομένων μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στα αγαθά διαμορφώνοντας μια λύση στο πρόβλημα αυτό. Ένα άλλο παράδειγμα είναι αυτό των QR Code, κάθε προϊόν έχει ένα qr code που καθορίζει την πορεία του και εμπεριέχει χρήσιμα στοιχεία για αυτό και προγραμματίζεται αλλά και εκτυπώνεται ασύρματα και αυτοματοποιημένα μέσω του 5G δικτύου.

Στο παρακάτω διάγραμμα περιγράφονται τα χαρακτηριστικά και οι ανάγκες των διαφόρων σεναρίων που περιγράφηκαν. Τα σενάρια έχουν ως εξής:

**Σενάριο 1:** Στα εργοστάσια του μέλλοντος υπάρχουν αυστηρές απαιτήσεις για κρίσιμη διαδικασία αποστολής δεδομένων σε εσωτερικούς βιομηχανικούς χώρους. Αποτελούνται από εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις, σε συνδυασμό με εξαιρετικά υψηλή αξιοπιστία. Το περιβάλλον αυτό απαιτεί βελτιώσεις στα υφιστάμενα πρωτόκολλα κινητών επικοινωνιών 4G & 5G.

**Σενάριο 2, 3, 4:** Λιγότερο απαιτητικά μοντέλα όσον αφορά την απόδοση και ταχύτητα των δικτύων επικοινωνιών που χρησιμοποιούν

**Σενάριο 5:** Αναφέρεται και σε υπηρεσίες εικονικού εργοστασίου. Σε περιπτώσεις αξιοποίησης δεδομένων διάρκειας ζωής των προϊόντων και συνδεδεμένα αγαθά.

**Πίνακας 3.2: Τα πέντε Use Cases και τα χαρακτηριστικά τους.**

		Καθυστέρηση	Αξιοπιστία	Bandwidth	Κάλυψη Σεναρίου	Ασφάλεια	Αυτονομία
Σ.Χ. 1	Χρονικά κρίσιμη βελτιστοποίηση	Αρκετά Χαμηλή	Αρκετά υψηλή	Χαμηλό προς υψηλό	Εσωτερικός περιβάλλον	Σημαντική	Λιγότερο σημαντική
Σ.Χ. 2	Μη χρονικά κρίσιμος έλεγχος	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλό προς υψηλό	Εσωτερικό και εξωτερικό	Σημαντική	Σημαντική
Σ.Χ. 3	Εξ' αποστάσεως έλεγχος	Χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλό προς υψηλό	Ευρύ περιβάλλον	Σημαντική	Λιγότερο σημαντική
Σ.Χ. 4	Οικοσύστημα απρόσκοπτης ενδοεταιρικής επικοινωνίας	Αρκετά χαμηλή	Υψηλή	Χαμηλό προς υψηλό	Ευρύ περιβάλλον	Σημαντική	Λιγότερο σημαντική

Σ.Χ. 5	Συνδεδεμ ένα αγαθά που ενσωματ ώνουν τη διάρκεια ζωής τους	Χαμηλή	Χαμηλή	Χαμηλό	Ευρύ	Σημαντικ ή	Σημαντικ ή
--------	---	--------	--------	--------	------	---------------	---------------

### *Τρεις εκδοχές του 5G δικτύου*

Το Γραφείο Ραδιοεπικοινωνιών της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU-R) ορίζει τρία τυπικά σενάρια εφαρμογών για το 5G, ως βελτιωμένη ευρεία ζώνη κινητής τηλεφωνίας (eMBB), εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (low latency) (uRLLC) και μαζική επικοινωνίες τύπου μηχανής (mMTC).

Ανάμεσα σε αυτές, το eMBB εφαρμόζεται κυρίως σε υπηρεσίες ζήτησης υψηλού εύρους ζώνης όπως η εικονική πραγματικότητα (VR), επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και βίντεο ανάλυσης 4K και 8K στο διαδίκτυο. Το mMTC προορίζεται κυρίως για υπηρεσίες με υψηλές απαιτήσεις σύνδεσης με ανάγκη για αποστολή μεγάλου όγκου δεδομένων, όπως υπηρεσίες έξυπνων πόλεων και έξυπνων μεταφορών. Το uRLLC αφορά κυρίως υπηρεσίες ευαίσθητες σε καθυστερήσεις συνδέσεων, όπως πλήρως συνδεδεμένα στο Cloud οχήματα, μη επανδρωμένη οδήγηση, και UAV (μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα).

Συγκεκριμένα, οι ορισμοί των τριών σεναρίων και εφαρμογών του δικτύου 5G είναι οι εξής:

- **eMBB:** Δηλαδή βελτιωμένη ευρυζωνική σύνδεση κινητής τηλεφωνίας (enhanced mobile broadband) με βασικό χαρακτηριστικό της, το μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Είναι ένα ανθρωποκεντρικό σενάριο εφαρμογής, το οποίο εστιάζει σε εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης των δεδομένων. Η κίνηση δεδομένων των χρηστών συνεχίζει να παρουσιάζει υψηλή αύξηση [3.11] (μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης φτάνει το 47%), και ο τύπος επιχείρησης είναι επίσης κυριαρχεί το βίντεο (που αντιστοιχεί στο 78%). Με την υποστήριξη του 5G, οι χρήστες μπορούν απολαύσουν βίντεο 4K/8K ακόμα και βίντεο με δυνατότητες VR/AR στο διαδίκτυο ευκολότερα από ποτέ. Η εμπειρία χρήσης και ταχύτητας μπορεί να φτάσει και τα 1 Gbps, ενώ το 4G φτάνει περίπου τα 10 Mbps.
- **uRLLC:** Δηλαδή εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία με χαμηλές καθυστερήσεις (ultra-reliable low-latency communication). Σε μελλοντικά σενάρια εφαρμογών, η καθυστέρηση σύνδεσης πρέπει να φτάσει το επίπεδο του 1ms και να υποστηρίζει υψηλή αξιοπιστία (99,999%) συνδέσεις σε υψηλές ταχύτητες (π.χ. 500 km/h). Αυτό το σενάριο είναι πιο προσανατολισμένο από βιομηχανικές εφαρμογές

όπως Διαδίκτυο οχημάτων, βιομηχανικός έλεγχος και τηλεϊατρική και γενικότερα από κλάδους που απαιτούν αντίστοιχου είδους συνδέσεις με μηδενική αποκοπή επικοινωνιών [3.12].

- **mMTC:** Δηλαδή μαζικές επικοινωνίες τύπου μηχανής (massive machine-type communications). Η ισχυρή υποδομή του δικτύου 5G μπορεί να διευκολύνει την προώθηση βιομηχανιών που αφορούν την έξυπνη κατασκευή, έξυπνη γεωργία, έξυπνες πόλεις, έξυπνα σπίτια, προστασία του περιβάλλοντος. Σε μία περίοδο που όλα μπαίνουν σε μία κατάσταση αυτοματοποίησης και συνδεσιμότητας με το διαδίκτυο η ζωή του ανθρώπου θα επωφεληθεί άμεσα από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και την άμεση και χωρίς διακοπές σύνδεση καλύπτοντας όλες τις πτυχές του Βιομηχανικού κλάδου. [3.13]

### **Συμπεράσματα της τεχνολογίας 5G σε βιομηχανικό περιβάλλον**

Είναι φανερό πως με την έλευση του 5G καθώς και των επόμενων δικτύων, η βιομηχανία θα λάβει ιδιαίτερο όφελος των υψηλότερων ταχυτήτων με μεγαλύτερο εύρος ζώνης και χαμηλότερες καθυστερήσεις. Επίσης κάποιες υπηρεσίες που δεν μπορούσαν να επιτευχθούν στο παρελθόν, πλέον είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν [3.14].

Το 5G αναμένεται να αξιοποιήσει περαιτέρω το δυναμικό κατανάλωσης και να διευρύνει την συνολική κατανάλωση δεδομένων. Επιπλέον, έχει σημαντικά οφέλη σε βιομηχανίες, παραγωγές και επικοινωνίες μεταξύ μηχανημάτων και συσκευών, διευκολύνοντας σε γιγαντιαίο βαθμό την παραγωγή και την επικοινωνία όπως ποτέ άλλοτε, έχοντας ταυτόχρονα μεγάλη επίδραση στην βιομηχανική και κατασκευαστική διαδικασία [3.15].

Κοιτάζοντας στο μέλλον, το 5G θα γίνει η βασική υποδομή για τη συνολική οικοδόμηση ενός πλήρως ψηφιοποιημένου μοντέλου εργοστασίων και παραγωγικών διαδικασιών. Από παραδοσιακές εκδοχές σε τεχνολογικά ανεπτυγμένες μορφές βιομηχανικών πλαισίων που θα εφαρμόζουν τις απαραίτητες τεχνολογίες με σκοπό την αμεσότερη και πιο αποτελεσματική επικοινωνία διαχείρισης συσκευών και ανταλλαγής δεδομένων για την ικανοποίηση των βιομηχανικών πρακτικών [3.16].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Beyond 5G στην Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση

---

### 4.1 Beyond 5G Wireless IRT for Industry 4.0

---

Η τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση έχει να κάνει με την ανάγκη μετατροπής μια εφοδιαστικής αλυσίδας σε μία πλήρως ψηφιοποιημένη μορφή με κυβερνο φυσικά συστήματα, ευφείς τεχνικές και μία πλήρη συνδεσιμότητα κατά το μήκος της. Βιομηχανικά πλαίσια όπως η Μεταποιητική βιομηχανία και σχεδόν όλες οι βιομηχανικές πρακτικές θα διευκολυνθούν από την χρήση αυτής [4.1].

Το βασικό μέλημα της Industry 4.0 όπως έχουμε αναλύσει, είναι η μείωση της ανάγκης λειτουργίας και χειρισμού από ανθρώπους, με την αυξημένη τάση χρησιμοποίησης αυτοματοποιημένων λειτουργιών και τεχνολογιών επικοινωνίας που λειτουργούν με την συμβολή της τεχνητής νοημοσύνης μέσω των Industrial Control Networks (ICN) [4.2].

Είναι γεγονός πως όλες οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν αυτά τα δίκτυα (ICN) στην Industry 4.0 έχουν διάφορες απαιτήσεις. Αυτές συμπεριλαμβάνουν την συνεχή σύνδεση συσκευών και συστημάτων για τον ανα πάσα στιγμή έλεγχο τους σε πραγματικό χρόνο (real time). Όπως ο έλεγχος ταχύτητας των συστημάτων της παραγωγής, έλεγχος και αλλαγή της θερμοκρασίας περιβαλλόντων και χώρων εντός του εργοστασίου κτλ. Αυτές οι ανάγκες χρήσης των συστημάτων ανά πάσα στιγμή μπορεί να έχουν τεράστια συχνότητα αποστολής δεδομένων και πολλών κύκλων εντολών ανά δευτερόλεπτο, τα οποία είναι ευαίσθητα σε εναλλαγές ταχύτητας και αποδοτικότητας με ανάγκες χαμηλών καθυστερήσεων από 0.1 έως 1 ms [4.2].

Υπάρχουν πολλοί τρόποι επικοινωνίας των ICN Δικτύων, όπως για παράδειγμα το PROFINET και IEEE 802.1 Time Sensitive Networking. Το PROFINET είναι μια ανοιχτή βιομηχανική λύση Ethernet βασισμένη σε διεθνή πρότυπα. Είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που έχει σχεδιαστεί για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ελεγκτών και συσκευών αυτοματισμού. Παρουσιάστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 2000 και είναι η πιο καλά υιοθετημένη λύση Industrial Ethernet. Δεδομένου ότι το PROFINET είναι ένα ανοιχτό πρότυπο, εκατοντάδες κατασκευαστές έχουν αναπτύξει προϊόντα PROFINET, όπως PLC, PAC, Drives, Robots, Proxies, IO και διαγνωστικά εργαλεία [4.3].

Το IEEE 802.1 από την άλλη, βασίζεται σε πρωτόκολλα και standards της IEEE και προσφέρει ντετερμινιστική επικοινωνία μέσω τυπικού Ethernet παρέχοντας μία ακρίβεια σε όλο το δίκτυο, προγραμματίζοντας την κρίσιμη κυκλοφορία δεδομένων και το προληπτικό μπλοκάρισμα μη ευαίσθητων στο χρόνο κίνησης δεδομένων όταν χρειάζεται.



Ωστόσο, αυτές είναι βασισμένες σε ενσύρματες επικοινωνίες Ethernet που περιορίζουν την ευελιξία, την επεκτασιμότητα και τις επιλογές ανάπτυξης των υπηρεσιών που απαιτούν ισόχρονους βρόχους ελέγχου σε πραγματικό χρόνο και οδηγούν σε υψηλές λειτουργικές δαπάνες για καλωδίωση, εγκατάσταση και συντήρηση [4.4].

Πολλές τεχνολογίες έχουν κατά καιρούς προταθεί όπως το WLAN, ZigBee, Bluetooth και εκτάσεις αυτών όπως Wireless Interface to Sensors and Actuators αλλά λειτουργούν σε ένα κοινό και συνωστισμένο φάσμα με μη προβλεπόμενα επίπεδα παρεμβολών, άρα δεν μπορούν να υποστηρίξουν εφαρμογές με υψηλή αξιοπιστία και με αρκετά χαμηλές καθυστερήσεις [4.5].

Το Ultra Reliable and Low Latency Communication του Δικτύου πέμπτης γενιάς αντιμετωπίζει ακριβώς αυτό το πρόβλημα αξιοπιστία σε milliseconds αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για logic/motion control για μικρές καθυστερήσεις. Για παράδειγμα το PROFINET IRT ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της υψηλής ακρίβειας επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο σε ICN, τις οποίες το 5G NR δεν μπορεί να εκπληρώσει. Ένα καλύτερο μοντέλο δηλαδή θα μπορούσε μελλοντικά να δημιουργηθεί για την αντιμετώπιση κάθε μίας υποστήριξης [4.6].

Θα ερευνήσουμε και θα παρουσιάσουμε ένα Πέρα από το 5G Ασύρματο σύστημα Ισόχρονου Πραγματικού Χρόνου (Wireless Isochronous Real Time System, WIRT) που στοχεύει στο να καλύψει τις ανάγκες χαμηλής καθυστέρησης 0,1 ms και μεγάλης αξιοπιστίας [4.7].

Η ανάγκη για επεκτασιμότητα, υψηλή αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση είναι φυσικό να υπάρχει για αυτό θα ασχοληθούμε με μελλοντικά συστήματα που θα υποστηρίζουν τέτοιου είδους απαιτήσεις.

## 4.2 Τα Ασύρματα Συστήματα Πραγματικού Χρόνου (WIRT)

### **Γενικές απαιτήσεις που έχουν τεθεί**

Τα Ασύρματα Συστήματα Πραγματικού Χρόνου (WIRT) χρησιμοποιούνται από εφαρμογές που απαιτούν γρήγορο έλεγχο των κύκλων εντολών των κόμβων. Για παράδειγμα σε επικοινωνίες μηχανών (engine) και παύσεων αυτών σε πραγματικό χρόνο (in-real time controlling) [4.8].

**Πίνακας 4.1: Γενικές απαιτήσεις χαρακτηριστικών των WIRT**

Παράμετρος	Περιγραφή
------------	-----------

Περιβάλλον	Κατασκευαστικό, Μεταποιητικό
Αξιοπιστία	$10^{(-9)}$
Καθυστέρηση	0.1 ms
Bytes Δεδομένων	32 bytes
Τύπος διαδρομής	Periodic
Φάσμα	Χωρίς licensing
Τοπολογία δικτύου	Star / Meshed
Κυψέλες ανα κελί	20 - 200
Form Factor	Μικρού μεγέθους
Εύρος	περίπου 10 μέτρα

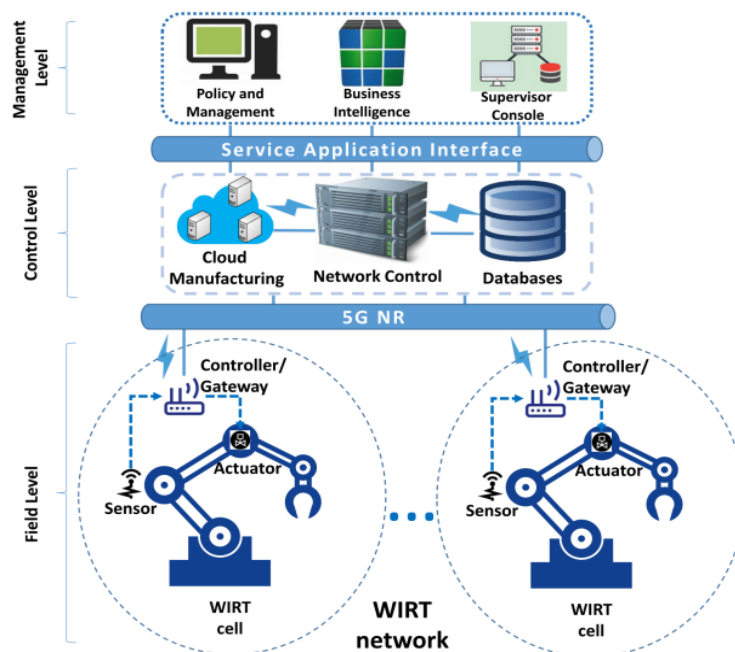
Μια κυψέλη WIRT αποτελείται από ένα σημείο πρόσβασης (συνδεδεμένο σε έναν ελεγκτή) και έναν αριθμό συσκευών, αισθητήρων και ενεργοποιητών (actuators). Το σημείο πρόσβασης θεωρείται ως μια πύλη (gateway) (GW), καθώς μπορεί να διασυνδέεται με υπάρχοντα ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα για λειτουργίες ελέγχου υψηλότερης σημασίας βάσει της εξυπηρέτησης των τελικών συσκευών. Ο στόχος αξιοπιστίας που έχει τεθεί σε αυτή την μελέτη φτάνει τα  $10^{(-9)}$  όπως και απαιτείται για κρίσιμες ενσύρματες εφαρμογές ICN, και 0.1 ms ελάχιστης καθυστέρησης δικτύου. Η χρήση των bands επιτρέπει στα WIRT να λειτουργούν αυτόνομα και με προφανή πλεονεκτήματα όσον αφορά την ευελιξία ανάπτυξης του και της γρήγορης εγκατάστασης [4.9].

Το MIMO (Multiple Input Multiple Output, πολλαπλή είσοδος, πολλαπλή έξοδος) είναι μια τεχνολογία κεραίας για ασύρματη σύνδεση επικοινωνιών στις οποίες χρησιμοποιούνται πολλαπλές κεραίες τόσο στην πηγή (πομπός) όσο και στον προορισμό (δέκτης). Οι κεραίες σε κάθε άκρο του κυκλώματος επικοινωνιών είναι ειδικά σχεδιασμένες για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων, τη βελτιστοποίηση της ταχύτητας δεδομένων και τη βελτίωση της χωρητικότητας μετάδοσης των ραδιο-κυμάτων, επιτρέποντας στα δεδομένα να ταξιδεύουν σε πολλές διαδρομές σήματος ταυτόχρονα [4.10].

Το MIMO δημιουργεί μια πιο σταθερή σύνδεση και λιγότερη συμφόρηση. Αυτή η τεχνολογία πρέπει να θεωρείται ως θεμελιώδης συστατικό για την επίτευξη υψηλής αξιοπιστίας. Ωστόσο, το μικρό μέγεθος των end-devices ίσως εμποδίσει τη χρήση πολλών κεραίων, τουλάχιστον για την μετάδοση στο περιοχή φάσματος κάτω των 10 GHz. Το GW μπορεί να φιλοξενήσει περισσότερες κεραίες. Δεδομένου ότι οι συσκευές WIRT μπορούν

να λειτουργούν με χρήση μπαταρίας εντός της συσκευής, οπότε ερευνούμε έναν σχεδιασμό χαμηλής κατανάλωσης που εκτείνει και τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Αναμένουμε ότι ένα κελί WIRT να υποστηρίζει έναν αριθμό κόμβων (αισθητήρες/ενεργοποιητές) που κυμαίνονται από 20 έως 200. Θα στοχεύουμε σε μια κλιμακούμενη καθυστέρηση (scalable latency) σε συνάρτηση με τα χρονικά παράθυρα λειτουργίας και το πλήθος των υποστηριζόμενων κόμβων.

Η εμβέλεια μιας κυψέλης WIRT είναι της τάξης των 10 m και δεν υποστηρίζεται καμία κινητικότητα. Αυτό διαφέρει φυσικά από το 5G ultra-reliable low latency communication (URLLC), που υποστηρίζει την κινητικότητα και επικοινωνία με εμβέλεια της τάξης των 100 m ή και περισσότερα. Το WIRT αναμένεται να γεμίσει τα κενά ανάμεσα στις υπάρχοντες ενσύρματες και ασύρματες υποδομές για ICN. Η επικοινωνία σε επίπεδο πεδίου μπορεί να εκτελεστεί μέσω του 5G URLLC, καθώς το WIRT υποστηρίζει μικρής εμβέλειας εύρος ελέγχου κλειστού βρόχου. Για παράδειγμα, τα WIRT cells μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε σταθμό μιας γραμμής παραγωγής για τον έλεγχο ρομποτικών βραχιόνων, και τα υπόλοιπα κομμάτια της παραγωγικής διαδικασίας να χρησιμοποιούν την τεχνολογία του 5G.

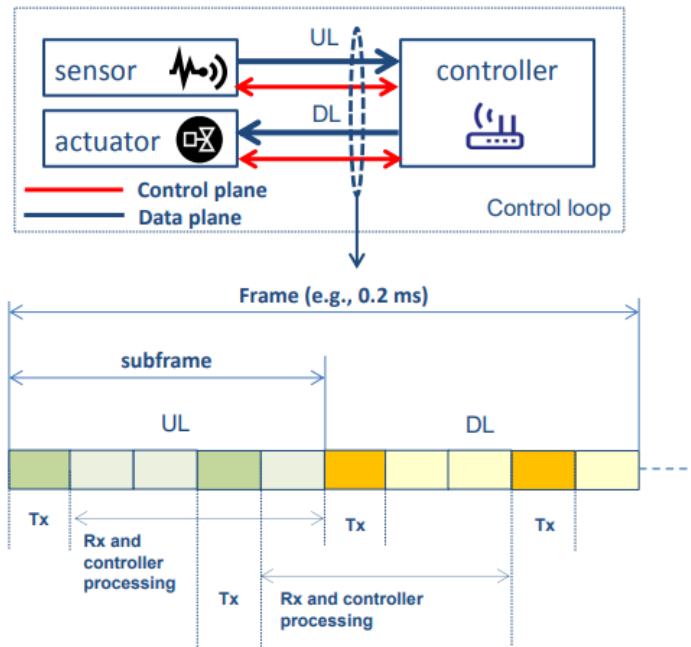


**Σχήμα 4.1: WIRT Δίκτυο σε βιομηχανικά πλαίσια**  
 Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8644245>

## Υποστήριξη της ισόχρονης real time μετάδοσης πληροφοριών

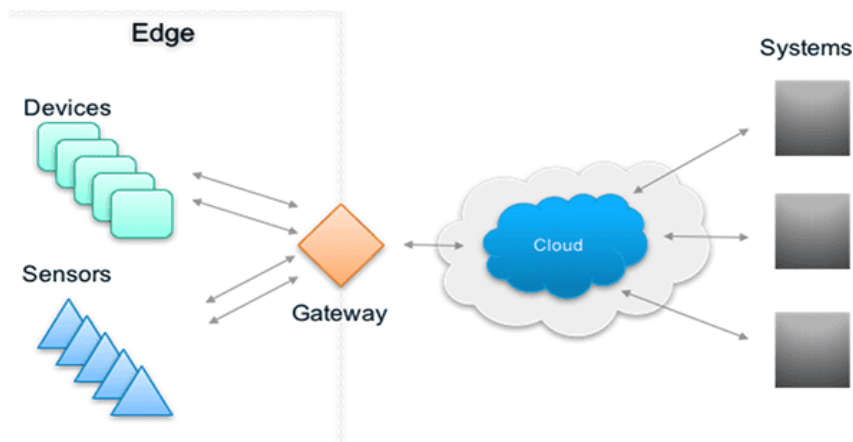
Εξετάζουμε μία stars-topology, όπου ένας ελεγκτής συσχετίζεται με ένα GW και συνδέεται με έναν αριθμό αισθητήρων και ενεργοποιητών.

Στο σενάριο αυτό μετράμε ως εξής. Για uplink (UL) μετάδοση, μετράμε την μεταφορά δεδομένων από τους αισθητήρες προς την GW και για το downlink (DL) μετράμε την μεταφορά δεδομένων από το GW προς τους actuators όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



**Σχήμα 4.2:** Παράδειγμα δομής πλαισίου, με συμμετρική κίνηση UL / DL

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8644245>



**Σχήμα 4.3:** Διάφορες συσκευές και αισθητήρες συνδέονται με μία πύλη δικτύου

Πηγή: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8644245>

Αυτό βασίζεται σε ισόχρονη μετάδοση σε πραγματικό χρόνο (Isochronous Real Time, IRT), η οποία υπολογίζει ένα συγχρονισμένο σύστημα στο οποίο κάθε αισθητήρας και ενεργοποιητής (actuator) αφιερώνει μια ποσότητα αποκλειστικών περιοδικών ασύρματων πόρων.

Το σύστημα δρομολογείται, υποβάλλοντας μια αρχική σύνδεση για την εκχώρηση των ειδικών πόρων. Η ροή δεδομένων που μεταδίδονται είναι μονής κατεύθυνσης, ενώ ο έλεγχος για την εκχώρηση πόρων είναι αμφίδρομος.

Οι εκπομπές UL και DL οργανώνονται σε ένα Time Division Duplex. Δηλαδή κάθε πλαίσιο αποτελείται από ένα UL και ένα DL υποπλαίσιο και η διάρκειά του καθορίζεται από το βρόχο ελέγχου κύκλου (control loop cycle). Η αναλογία UL/DL πρέπει να ρυθμιστεί σύμφωνα με τον αριθμό των ενεργών αισθητήρων και ενεργοποιητών που θα εξυπηρετηθούν.

Ένα παράδειγμα πλαισίου μετάδοσης με σχετικούς χρόνους διεργασίας φαίνεται στην εικόνα 4.3, λαμβάνοντας υπόψη ότι στην περίπτωση των 0.2ms με συμμετρική κίνηση UL/DL.

Χωρίζουμε το υποπλαίσιο των 100 μικροδευτερόλεπτων (μs) σε 5 slots διάρκειας 20 μs. Υποθέτοντας τον στόχο ελάχιστου λανθάνοντος χρόνου 0,1 ms, μια μετάδοση από έναν αισθητήρα (ή σε έναν ενεργοποιητή) πρέπει να τερματιστεί μέσα σε μία υποδοχή, αφήνοντας ένα χρονικό περιθώριο περίπου 80 μs για την επεξεργασία του αποδέκτη.

Μπορούν να υπάρχουν έως και 5 βρόχοι αισθητήρων/ενεργοποιητών. Ένας μεγαλύτερος αριθμός συσκευών μπορεί να υποστηριχθεί με την εισαγωγή της πολυπλεξίας συχνότητας. Για παράδειγμα, Η χρήση 4 καναλιών συχνότητας επιτρέπει την υποστήριξη των 20 συσκευών που έχουμε θέσει ως ελάχιστο στόχο για το WIRT.

## **Enabling ultra-reliable ultra-low latency communication**

Δεν γίνεται να μην λάβουμε υπόψη την ultra-reliable ultra-low latency επικοινωνία. Συγκεκριμένα το βασικό χαρακτηριστικό της δηλαδή η αξιοπιστία. Είναι λογικό πως η αξιοπιστία πόσο μάλλον σε παλαιότερα ασύρματα δίκτυα μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά χρησιμοποιώντας τεχνικές διαχείρισης των πακέτων πληροφοριών με πιο φερέγγυο τρόπο. Η χρήση του Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) που στην πράξη, τα εσφαλμένως ληφθέντα κωδικοποιημένα μπλοκ δεδομένων συχνά αποθηκεύονται στον δέκτη αντί να απορρίπτονται, και όταν λαμβάνεται το μπλοκ που μεταδίδεται εκ νέου, τα δύο μπλοκ συνδυάζονται.

Ενώ είναι πιθανό δύο δεδομένες μεταδόσεις να μην μπορούν να αποκωδικοποιηθούν ανεξάρτητα χωρίς σφάλμα, μπορεί να συμβεί ο συνδυασμός των εκπομπών που ελήφθησαν προηγουμένως εσφαλμένα και να μας δώσει αρκετές πληροφορίες για τη σωστή αποκωδικοποίηση. Αυτή η τεχνική μπορεί όντως να αυξήσει την αξιοπιστία αλλά δυστυχώς αγνοείται λόγω του στενού χρόνου καθυστερήσεις που τέθηκε εξ αρχής σε αυτή μας την μελέτη (0.1 ms).

Πρέπει να υπάρχει υψηλή ποικιλομορφία τεχνικών, συγκεκριμένα, το υψηλό κέρδος χωρικής ποικιλομορφίας μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μεγάλου αριθμού μη

συσχετισμένων κεραιών εκπομπής και λήψης. Βέβαια όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι συσκευές WIRT ίσως αποτρέψουν την χρήση μεγάλου αριθμού κεραιών κατά τη λειτουργία τους σε φάσματα κάτω των 10 GHz. Αυτό μπορεί να περιορίσει τη δυνατότητα λήψης (downlink).

Η ποικιλομορφία συχνότητας μπορεί να επιτευχθεί ως ένας τρόπος λύσης του προβλήματος, με μεταπήδηση της μετάδοσης μέσω πολλαπλών καναλιών συχνότητας.

Τα οφέλη της διαφοροποίησης συχνοτήτων (frequency selective fading) στο WIRT είναι τα εξής:

- επιτρέπει την παράκαμψη του αρνητικού αντίκτυπο της επιλεκτικής εξασθένησης συχνότητας που μπορεί να επηρεάσει τμήματα του εύρους ζώνης
- επιτρέπει την αποφυγή των παρεμβολών που μπορεί να επηρεάσουν τα κανάλια μετάδοσης.

Άρα μπορούμε να καταλήξουμε στο ότι οι WIRT συσκευές θα πρέπει να εκμεταλλευτούν την μεγάλη ποικιλομορφία συχνοτήτων π.χ. μέσω μεταπήδησης καναλιού και πακέτου επαναλήψεων (channel hopping). Το Adaptive Frequency Hopping spread spectrum (AFH) χρησιμοποιείται και στο Bluetooth και βελτιώνει την αντίσταση στις παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων αποφεύγοντας τις πολυσύχναστες συχνότητες στην ακολουθία μεταπήδησης.

Αν ερευνήσουμε την centimeter-wave περιοχή φάσματος πάνω από 2 GHz, τα υποψήφια φάσματα είναι τα 2,4 και 5 GHz φάσματα.

Η ζώνη των 2,4 GHz είναι ακόμα αρκετά στενή (περίπου 83 MHz) και εξαιρετικά συνωστισμένη (λόγω των χιλιάδων άλλων συσκευών που την χρησιμοποιούν), που οδηγεί επίπεδα παρεμβολών.

Η ζώνη των 5 GHz είναι διαιρεμένη σε πολλά κομμάτια με διαφορετικούς περιφερειακούς κανονισμούς πρόσβασης στο κανάλι. Συγκεκριμένα η Ομοσπονδιακή επιτροπή επικοινωνιών των ΗΠΑ (FCC) και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών (ECC) απαιτούν Dynamic Frequency Selection (DFS) μηχανισμό σε εύρος 5.250-5.350 GHz και 5.470-5.725 GHz για την αποφυγή παρεμβολών από άλλα συστήματα όπως ραντάρ αεροπλάνων κτλ που λειτουργούν στις ίδιες ζώνες.

Η μετάδοση υπερ ευρείας ζώνης (Ultra wideband, UWB) αντιπροσωπεύει μια πιθανή εναλλακτική λύση, δηλαδή επιτρέπει την πρόσβαση χωρίς άδεια σε ένα πολύ μεγάλο φάσμα (έως περίπου 7 GHz) με αυστηρούς κανονισμούς όσον αφορά την φασματική πυκνότητα ισχύος για να μην βλάψει τα παλαιού τύπου συστήματα που λειτουργούν ακόμα στις ίδιες ζώνες.

Η χρήση χωρίς άδεια φάσμα στην περιοχή κυμάτων χιλιοστών, δηλαδή στα 60 GHz φάσμα, μπορεί επίσης να παρακάμψει τους περιορισμούς του 2.4 και 5GHz δεδομένου του μεγάλου διαθέσιμου εύρους ζώνης. Ενώ η διάδοση σε τέτοιες συχνότητες είναι γνωστό ότι πάσχει από σοβαρές απώλειες.

Η FCC και η ITU ορίζουν το UWB ως μια μετάδοση σήματος κεραίας για την οποία το εύρος ζώνης του εκπεμπόμενου σήματος υπερβαίνει τα 500 MHz ή 20% της αριθμητικής κεντρικής συχνότητας.

Στην Ευρώπη, τα σήματα UWB πρέπει να έχουν ένα ελάχιστο εύρος ζώνης των 50 MHz. Η FCC και η ECC έχουν θέσει όρια εκπομπών για max mean και peak effective radiated power (EIRP) για διαφορετικές εφαρμογές και ζώνες συχνοτήτων στο εύρος 3,1 έως 10,6 GHz.

Για παράδειγμα, για εφαρμογές εσωτερικού χώρου η FCC επιβάλλει μέγιστο μέσο EIRP -41,3 dBm/MHz και μέγιστο EIRP 0 dBm/50 MHz μέσα στο εύρος των 3,1 - 10,6 GHz.

Το ECC υιοθετεί τους ίδιους περιορισμούς για γενικές εφαρμογές αλλά σε μειωμένο εύρος (6-8,5 GHz), ενώ λειτουργεί σε διαφορετικά κομμάτια συχνότητας οδηγεί στην αναγκαιότητα εφαρμογής περαιτέρω τεχνικών μετριάσμου όπως ως μηχανισμοί Ανίχνευσης και Αποφυγής (DAA). Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως έχει υπάρξει προσπάθεια τυποποίησης του UWB στο πρότυπο IEEE 802.15.3a Personal Area Networks (PAN). Ωστόσο, ο όμιλος διαλύθηκε το 2006 λόγω διαφωνιών και το έργο ολοκληρώθηκε από τον Συμμαχία WiMedia το 2009 [4.8]. Επιπρόσθετα, το UWB είναι προαιρετικό φυσικό επίπεδο στο πρότυπο IEEE 802.15.4 για Low-Rate Ασύρματα PAN Δίκτυα (LR-WPAN) [4.9].

Η μεγάλη ζώνη μετάδοσης συνάδει με την στιβαρότητα σε παρεμβολές στενής ζώνης. Δύο επιλογές πολλαπλής πρόσβασης εξετάζονται συνήθως για το UWB: Το φάσμα διασποράς άμεσης ακολουθίας (DS-SS) και πολλαπλών ζωνών OFDM. Στο DS-SS κάθε bit πληροφοριών αντιστοιχίζεται πάνω από έναν ψευδοτυχαίο κωδικό που μεταδίδεται ως μία σειρά από εξαιρετικά σύντομους παλμούς. Το πλεονέκτημα του DS-SS είναι η απλή αρχιτεκτονική του πομποδέκτη λόγω μετάδοσης χωρίς φορέα, καθώς και στιβαρότητα σε πολλαπλές διαδρομές.

Ωστόσο, εκτίμηση καναλιού και ο συγχρονισμός μπορεί να είναι αρκετά δύσκολα. Το multiband OFDM διαιρεί το φάσμα σε πολλά κομμάτια και εφαρμόζει την παραδοσιακή προσέγγιση πολλαπλών φορέων σε κάθε κομμάτι. Το Multiband OFDM τη χαμηλή πολυπλοκότητα και επεξεργασία τομέα συχνότητας και έχει υψηλότερη φασματική απόδοση με βελτιωμένη επεκτασιμότητα του φάσματος.

### Σχετικά με το WIRT:

- Αν και πολύ δημοφιλές αρχικά σε μετάδοση ραδιοσυχνοτήτων, η τεχνολογία UWB αντιμετώπισε στη συνέχεια χαμηλό ενδιαφέρον λόγω της αβεβαιότητας της θέσης της συγκεκριμένης τεχνολογίας στην αγορά.
- Αρχικά σχεδιάστηκε για ευρυζωνικές εφαρμογές. Το IEEE 802.11 και οι εξελίξεις του, είναι ανταγωνιστικές τεχνολογίες με παρόμοιο ρυθμό δεδομένων απόδοσης με χαμηλότερο κόστος τσιπ.

Ωστόσο, το UWB (φάσμα) είναι ιδανικό για εφαρμογές εξαιρετικά χαμηλής καθυστέρησης. Στην έρευνα αυτή, προβλέπεται η προσέγγιση orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) ως το πιο πολλά υποσχόμενο πρωτόκολλο, δεδομένης της ανώτερης φασματικής του απόδοσης και τα γνωστά οφέλη πολλαπλών φορέων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση του UWB στη βιομηχανία έχει επίσης προταθεί πρόσφατα στο χρησιμοποιώντας το φυσικό επίπεδο του IEEE 802.15.4-2011, εμφανίζοντας σημαντικά χαμηλότερο ρυθμό απώλειας πακέτων από τις συσκευές ZigBee που λειτουργούν σε λειτουργία chirp spread spectrum (CSS).

## 4.3 60 GHz band

---

### 60 GHz band

Η millimeter-wave μετάδοση έχει ενδυναμωθεί τα τελευταία χρόνια με την αντίστοιχη ανάπτυξη των τεχνολογιών Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) και καλύτερων κεραιών [4.11].

Η FCC έχει εκχωρήσει φάσμα 7 GHz στο εύρος 57-64 GHz για λειτουργίες από το 2001, με επέκταση στα 71 GHz το 2015. Το IEEE 802.11ad είναι το κύριο πρότυπο που λειτουργεί στα 60 GHz φάσματος και προσφέρει ταχύτερες δεδομένων έως και 11 φορές ταχύτερες από ό,τι παρέχεται από το 802.11n σε ζώνες κυμάτων [4.12].

Άλλα σχετικά πρότυπα είναι το ECMA-387 για ασύρματη σύνδεση προσωπικών δικτύων και εφαρμογές όπως το HD streaming για την ροή βίντεο υψηλής ευκρίνειας [4.13].

Η διάδοση ραδιοσυχνοτήτων στα 60 GHz έχει απώλεια ή αλλιώς high free space path loss (+21 dB σε σχέση με 5 GHz), και με προβλήματα όπως απώλειες σήματος γύρω από εμπόδια και τεράστιες απώλειες απορρόφησης από υλικά.

Ωστόσο, το μικρό μήκος κύματος (short wavelength) (περίπου 5 mm) επιτρέπει τη δημιουργία συμπαγών κεραιών εσωτερικά των chips το οποίο επιτρέπει τη διαμόρφωση



κατευθυντικής δέσμης (directional beamforming), η οποία βοηθάει τα σήματα που αποστέλλονται και λαμβάνονται από τα πολλαπλά μέρη της κεραίας.

Το όριο EIRP των 40 dBm είναι σημαντικά πιο χαλαρό από ό,τι στην περίπτωση του μη αδειοδοτημένου φάσματος στην περιοχή κάτω των 10 GHz. Η υψηλή κατευθυντική μετάδοση σε συνδυασμό με την επαρκώς υψηλή ισχύς μετάδοσης, μπορεί να αντισταθμίσει τις απώλειες διάδοσης σε περιορισμένη απόσταση.

Τα μεταλλικά εμπόδια μπορούν να λειτουργήσουν ως ισχυροί ανακλαστήρες σημάτων, επιτρέποντας την επικοινωνία σε Non-LOS (NLOS) περιπτώσεις (No Visual line of sight). Οι κατευθυντικές μεταδόσεις οδηγούν σε μια μεγάλη χωρική επαναχρησιμοποίηση, δηλαδή τη δυνατότητα μιας μεγάλης και ταυτόχρονης εκπομπής πολλών και διαφορετικών σημάτων που συνυπάρχουν στο ίδιο περιβάλλον χωρίς αμοιβαίες παρεμβάσεις. Ωστόσο, μπορεί να εμφανιστούν κατευθυντικές παρεμβολές σε περίπτωση ευθυγράμμισης της δέσμης λήψης με ακούσιους πομπούς, με πιθανές διασπαστικές επιπτώσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αναμένονται τεχνικές διαχείρισης αυτών των παρεμβολών.

### **Πλεονεκτήματα για το WIRT:**

Παρόμοια με το UWB, τα πρότυπα ραδιοφώνου που λειτουργούν στο φάσμα των 60 GHz μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί κυρίως για ευρυζωνικές υπηρεσίες. Επίσης, το μεγάλο διαθέσιμο φάσμα είναι ιδανικό για τις WIRT συσκευές αφού επιτρέπει την μετάδοση με δυνατότητα χρήσης διαφόρων συχνοτήτων.

Σύμφωνα με ευρωπαϊκούς κανονισμούς για τις ευρυζωνικές λειτουργίες στη ζώνη 60 GHz, επιβάλλεται η χρήση μιας τεχνικής που ονομάζεται Listen Before Talk (LBT) σε κάθε συσκευή για ευρυζωνική σύνδεση. Αυτός ο μηχανισμός λειτουργεί ως εξής: μια συσκευή μπορεί να έχει πρόσβαση στο φάσμα μετά την αξιολόγηση της απουσίας ταυτόχρονης μετάδοσης για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Σε περίπτωση που το κανάλι καταλαμβάνεται από άλλο πομπό, η μετάδοση πρέπει να αναβληθεί. Η χρήση του LBT έχει σκοπό να βελτιώσει την απόδοση για την καλύτερη δυνατή επικοινωνία.

Και οι δύο επιλογές πρόσβασης (unlicensed access) UWB στην περιοχή φάσματος κυμάτων centimeter και στη ζώνη των 60 GHz φαίνεται πως χρίζουν της αναγκαιότητας των WIRT για την μείωση παρεμβολών και κέρδος ποικιλομορφίας.

Ο πομποδέκτης συμπεριλαμβανομένης της επιλογής του σχήματος κωδικοποίησης έχει μεγάλη σημασία λόγω της ανάγκης εξαιρετικά σύντομης επεξεργασίας. Τα συστήματα κωδικοποίησης που εκμεταλλεύονται ένα υψηλό βαθμό παραλληλισμού, π.χ. Έλεγχος ισοτιμίας χαμηλής πυκνότητας (LDPC) κωδικοί ή πολικοί κώδικες, έχουν σαφή δυνατότητα για WIRT.

### 4.3 Συμπεράσματα για Beyond 5G

---

Η αντικατάσταση ενσύρματων δικτύων βιομηχανικού ελέγχου με ασύρματες λύσεις ξεκλειδώνει τις δυνατότητες ενός οργανωμένου και επεκτάσιμου δικτύου με ευελιξία και επεκτασιμότητα. Το όραμα για έναν Ισόχρονο Ασύρματο Πέρα από 5G σε πραγματικό χρόνο σύστημα με τον σχεδιασμό συστήματος (WIRT) που στοχεύει σε καθυστέρηση μέχρι 0.1 ms και σε συσκευές που αποτελούνται από έναν αριθμό από αισθητήρες/ενεργοποιητές που επικοινωνούν ασύρματα με έναν ελεγκτή.

Παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν κάποιες τεχνικές επικοινωνίας και τα χαρακτηριστικά αυτών με γενικές αρχές σχεδιασμού για την υποστήριξη κατάλληλων πρωτοκόλλων.

Τα μελλοντικά βήματα για το σύστημα WIRT περιλαμβάνουν την μοντελοποίηση του καναλιού για προσαρμογή σε βιομηχανικά σενάρια που θα χρησιμοποιηθούν για ταχύτατη επικοινωνία με πολύ μικρές καθυστερήσεις και ελάχιστες καταναλώσεις ενέργειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Σενάριο Εργασίας

---

### 5.1 Εισαγωγή

---

Όπως αναλύθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, η αξιοπιστία και η συνδεσιμότητα των επικοινωνιακών συνδέσεων που χρησιμοποιούνται από τις διάφορες συσκευές, αποτελούν υψίστης σημασίας τόσο για τον μέσο καταναλωτή ή χρήστη των συσκευών και τεχνολογιών αυτών, όσο και για τις ίδιες τις επιχειρήσεις καθώς και για τα βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Στο κεφάλαιο αυτό, ερευνάται μία σύνθετη τοπολογία ως σενάριο χρήσης, μιας διεθνώς ενεργούς εταιρείας, η οποία περιλαμβάνει δύο ορόφους με χώρους γραφείων καθώς και μία βιομηχανική μονάδα, δηλαδή ένα εργοστάσιο παραγωγής.

Έχουν διεξαχθεί εκτενείς μετρήσεις αναφορικά με το κανάλι συχνοτήτων 3,5 GHz προκειμένου να δημιουργηθούν στατιστικά χαρακτηριστικά μιας ζώνης συχνοτήτων που θεωρείται όλο και περισσότερο ως το σημείο εκκίνησης για την ανάπτυξη των κάτω των 6 GHz, δηλαδή 5G δικτύων.

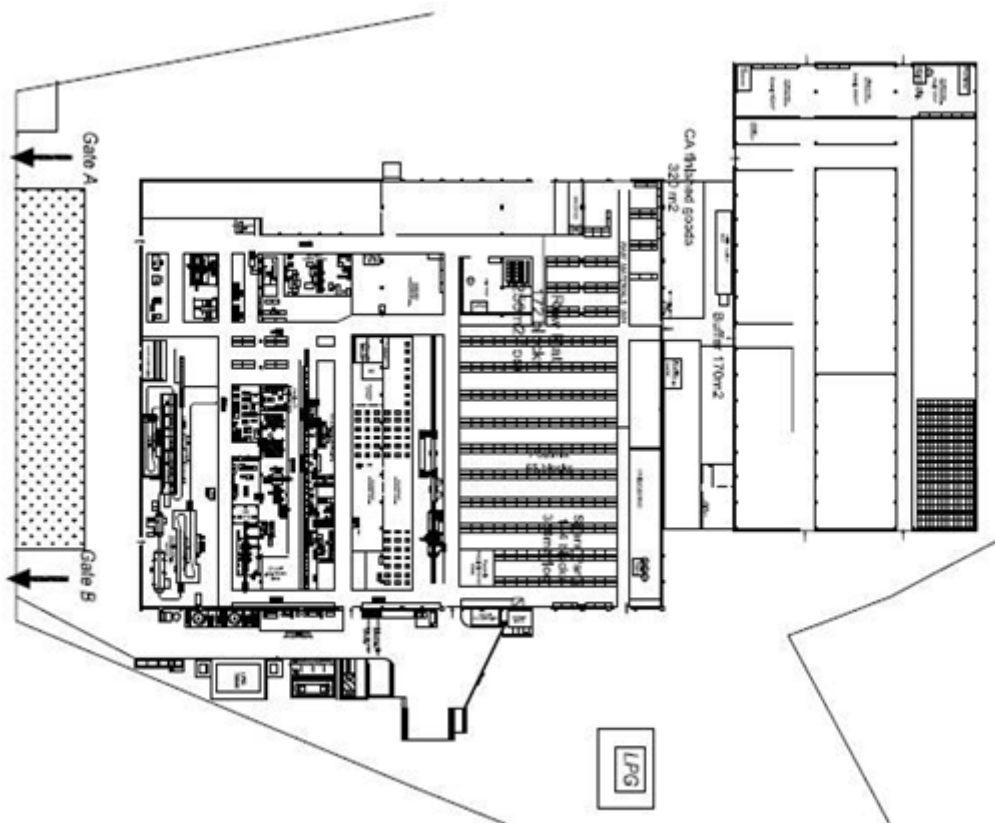
Τα εγγενή χαρακτηριστικά της τοπολογίας μελετώνται και τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής μας παρέχουν ένα προσχέδιο για τις όλες αυτές τις αναδυόμενες εφαρμογές που βασίζονται σε τεχνολογικές τάσεις όπως αυτή του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT).

### 5.2 Μετρήσεις RF σήματος σε βιομηχανικό περιβάλλον

---

Το κανάλι συχνοτήτων 3,5 GHz αποτελεί από τον Σεπτέμβριο του 2020 διεθνώς, και στην χώρα μας από τον Δεκέμβριο του 2020, την κεντρική συχνότητα για την ανάπτυξη του 5G δικτύου, και αποτελεί ένα εξελικτικό σχήμα των σημερινών μικρών κυψελών/backhaul για congested δίκτυα LTE σε αστικά περιβάλλοντα [5.1]. Για το σκοπό αυτό, οι μετρήσεις και ο χαρακτηρισμός των καναλιών σε αυτήν τη συχνότητα είναι απαραίτητες για την περαιτέρω εξέλιξη του δικτύου 5G.

Στο κεφάλαιο αυτό ερευνάται μια πολύπλοκη τοποθεσία μέτρησης με διαφορετικά σενάρια τοπολογιών διάδοσης σε εσωτερικούς χώρους. Πραγματοποιήθηκαν εκτενείς μετρήσεις ραδιοσυχνοτήτων RF για να αξιολογηθούν τα πιο σημαντικά μοντέλα απώλειας διαδρομής εσωτερικού χώρου για ένα ρεαλιστικό use case στο οποίο υπάρχουν εμπόδια όπως διάφορων τύπων τοίχοι, δάπεδα, όροφοι και άλλα διάφορα αντικείμενα και παρέχονται υπολογισμοί για τα στατιστικά φαινόμενα σκίασης και τον χαρακτηρισμό διαλείψεων μεγάλης κλίμακας [5.1].



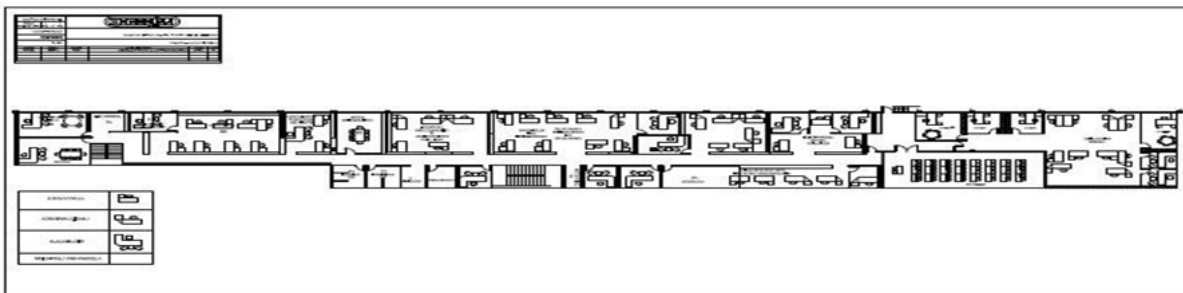
**Σχήμα 5.1: Τοπολογία μετρήσεων για βιομηχανικό περιβάλλον [5.1]**

Ο χώρος μέτρησης των εκτεταμένων RF μετρήσεων ήταν η βιομηχανική μονάδα και το συγκρότημα γραφείων της εταιρείας Frigoglass στην Κάτω Αχαΐα. Πρόκειται για ένα μεγάλο κτίριο που αρχικά χτίστηκε για τη στέγαση της μονάδας παραγωγής και στη συνέχεια επεκτάθηκε ώστε να διαθέτει διάφορα γραφεία στελεχών και εργαζομένων, καθώς και εγκαταστάσεις κουζίνας και τραπεζαρίας, χώρους συνεδριάσεων και εγκαταστάσεις υγιεινής. Πρόκειται, επομένως, για μια τοπολογία όπου λαμβάνουν χώρα και οφείλουν να ληφθούν υπόψη όλοι οι διαφορετικοί τρόποι ηλεκτρομαγνητικής μετάδοσης (ανάκλαση, σκέδαση, περίθλαση).

Τα σημεία μέτρησης επιλέχθηκαν σε πολλαπλούς χώρους του ίδιου ορόφου αλλά και σε πολλαπλούς αντίστοιχα ορόφους (στους χώρους γραφείων των δύο ορόφων), έτσι ώστε να εξεταστεί ένα ολοκληρωμένο σενάριο. Συνολικά υπήρξαν 22 μετρήσεις και συγκεκριμένα σε κάθε ξεχωριστή τοποθεσία, μετρήθηκαν τρία διαφορετικά ύψη, με μέσο όρο στο ύψος του ενός μέτρου (στο επίπεδο της μέσης). Οι μετρήσεις σε κάθε σημείο και ύψος έκαστου σημείου μέτρησης ελήφθησαν σε επαρκές χρονικό παράθυρο (6 λεπτών ανά ύψος μέτρησης, δηλ 18 λεπτά ανά σημείο).

Επιπλέον, οι μετρήσεις υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο σε μια τοπική απόσταση δέκα μηκών κύματος (wavelengths), προκειμένου να αποκλειστεί η εξασθένηση μικρής κλίμακας λόγω φαινομένων πολλαπλών διαδρομών.

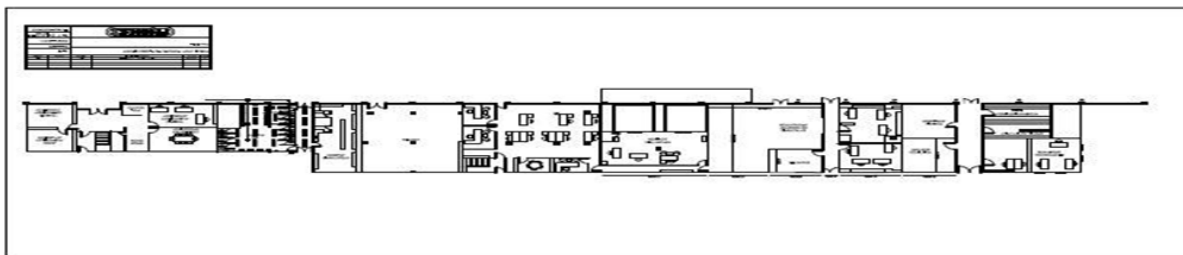
Αυτός ο μέσος όρος χωροχρόνου δίνει την δυνατότητα να αποκτηθούν τιμές τοπικής μέσης ισχύος σε όλο το μήκος των γραφείων και της βιομηχανικής περιοχής. Η γεννήτρια σήματος του παλμού 3,5 GHz τοποθετήθηκε στο κέντρο του πρώτου ορόφου της τοπολογίας γραφείων. Η γεννήτρια σήματος τοποθετήθηκε σε ένα γραφείο, 1 μέτρο πάνω από το έδαφος. Το σήμα της ζώνης βάσης ήταν ένας μη διαμορφωμένος παλμός εύρους ζώνης 1 MHz. Μια παν-κατευθυντική διπολική κεραία χρησιμοποιήθηκε για τη μετάδοση σήματος πάνω από την τοπολογία. Η συνολική αποτελεσματική ιστροπική ισχύς (EIRP) του σήματος ήταν 4 dBm.



**Σχήμα 5.2: Ο όροφος που βρίσκονται τα γραφεία [5.1]**

Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζεται η συνολική τοποθεσία των γραφείων, τις θέσεις μετρήσεων στο βιομηχανικό εργοστάσιο του κτιρίου, στο ισόγειο (6 από τις συνολικά 22). Στο Σχήμα 5.2 απεικονίζεται το συγκρότημα γραφείων του πρώτου ορόφου, με τις ίδιες μετρήσεις ορόφου, όπου βρισκόταν η γεννήτρια σήματος (9 από τις συνολικά 22). Εν συνεχεία, στο Σχήμα 5.3 εμφανίζεται το συγκρότημα γραφείων του ισογείου, με τις μετρήσεις διαφοράς ενός ορόφου (7 από τις συνολικά 22).

Όλες οι θέσεις και τιμές μέτρησης της τοπικής μέσης ισχύος παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1.



**Σχήμα 5.3: Τοπολογία μετρήσεων, σύνθεση γραφείων (διαφορά ενός ορόφου) [5.1]**  
**Πίνακας 5.1: Μετρήσεις RF σήματος και προβλέψεις λογαριθμικών μοντέλων για κάθε σημείο της βιομηχανικής μονάδας**

T-R distance (m)	Received power (dBm)	Free space (dBm)	One slope (dBm)	Case study	ITU model	LD (6 dB)	LD (7 dB)	LD (10 dB)	$\sigma$ (dB)	a (dB/m)	MWF model (dBm)
54.4	-86.89	-70.57	-91.57	same floor	-94.95	-80.44	-82.09	-87.02	9.92	0.30	-86.57
37.4	-85.70	-67.64	-86.67	same floor	-90.07	-77.51	-79.16	-84.09	10.98	0.48	-88.64
35.7	-86.89	-67.28	-86.07	same floor	-89.46	-77.15	-78.79	-83.73	11.92	0.55	-88.28
15.3	-69.32	-60.65	-74.99	same floor	-78.42	-70.52	-72.17	-77.10	5.27	0.57	-69.65
3.4	-56.89	-48.90	-55.33	same floor	-58.82	-58.77	-60.41	-65.35	4.86	2.35	-57.90
10.2	-76.89	-57.48	-69.69	same floor	-73.14	-67.35	-69.00	-73.93	11.80	1.90	-73.48
25.5	-79.78	-64.65	-81.67	same floor	-85.08	-74.52	-76.16	-81.10	9.20	0.59	-80.65
34.0	-84.93	-66.90	-85.43	same floor	-88.82	-76.77	-78.41	-83.35	10.96	0.53	-82.90
51.0	-85.34	-70.07	-90.73	same floor	-94.11	-79.94	-81.58	-86.52	9.29	0.30	-86.07
44.5	-85.34	-69.00	-88.94	1-floor diff.	-96.33	-78.87	-80.51	-85.45	9.94	0.37	-85.00
36.0	-85.43	-67.35	-86.19	1-floor diff.	-93.59	-77.22	-78.87	-83.80	10.99	0.50	-83.35
14.5	-73.88	-60.23	-74.28	1-floor diff.	-81.71	-70.10	-71.74	-76.68	8.30	0.94	-76.23
17.7	-75.34	-61.80	-76.91	1-floor diff.	-84.33	-71.67	-73.32	-78.25	8.23	0.76	-77.80
19.4	-84.70	-62.49	-78.06	1-floor diff.	-85.49	-72.36	-74.01	-78.94	13.50	1.15	-87.49
24.3	-84.77	-64.28	-81.05	1-floor diff.	-88.46	-74.15	-75.79	-80.73	12.46	0.84	-89.28
41.1	-84.62	-68.38	-87.91	1-floor diff.	-95.30	-78.25	-79.90	-84.83	9.87	0.40	-84.38
17.2	-83.58	-61.57	-76.52	factory	-83.95	-71.44	-73.09	-78.02	13.38	1.28	-86.57
15.6	-72.79	-60.82	-75.26	factory	-82.69	-70.69	-72.33	-77.27	7.28	0.77	-69.82
20.6	-83.58	-62.98	-78.87	factory	-86.29	-72.85	-74.49	-79.43	12.53	1.00	-83.98
41.2	-83.70	-68.40	-87.95	factory	-95.34	-78.27	-79.92	-84.85	9.30	0.37	-84.40
39.3	-83.04	-68.03	-87.32	factory	-94.71	-77.90	-79.54	-84.48	9.12	0.38	-84.03
31.6	-83.30	-66.33	-84.48	factory	-91.88	-76.20	-77.85	-82.78	10.32	0.54	-82.33

### 5.3 Λογαριθμικά μοντέλα πρόβλεψης λαμβανόμενης ισχύος

Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μοντέλα απώλειας διαδρομής για την πρόβλεψη των μέσω λαμβανόμενων επιπέδων ισχύος σε σενάρια διάδοσης εσωτερικών χώρων είναι το μοντέλο ελεύθερου χώρου (Free Space), το μοντέλο One-Slope, το μοντέλο ITU, το μοντέλο Log-Distance και το μοντέλο Multi-Wall-Floor.

Το μοντέλο ελεύθερου χώρου [5.2] είναι το πιο θεμελιώδες και ιδεαλιστικό μοντέλο απώλειας διαδρομής. Είναι αξιόπιστο αποκλειστικά για τη διάδοση του LOS και είναι μια λογαριθμική έκφραση της εξίσωσης Friis:

$$P_L = 32.45 + 20 \log_{10}(f \text{ (MHz)}) + 20 \log_{10}(d \text{ (km)}) \quad (1)$$

$$P_r \text{ (dBm)} = P_t \text{ (dBm)} + K \text{ (dB)} - 10n \log_{10}(d/d_0) \quad (2)$$

Όπου το  $d$  εκφράζεται σε μέτρα, το  $d_0$  είναι η απόσταση αναφοράς που σε σχήματα διάδοσης εσωτερικών χώρων ισούται με 1 μέτρο και το  $K$  είναι η απώλεια διαδρομής αναφοράς στο 1 m, η οποία υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης (1) και ισούται με -43,33 dB για 3,5 GHz. Ο εκθέτης απώλειας διαδρομής ισούται με 2. Για σενάρια LOS εσωτερικού χώρου, ισούται με 1,8 [3].

Μια πιο ρεαλιστική τιμή του εκθέτη απώλειας διαδρομής μπορεί να δοθεί από το μοντέλο One-Slope [4] που είναι ένα τροποποιημένο μοντέλο νόμου ισχύος. Η απώλεια διαδρομής υπολογίζεται μέσω μιας τεχνικής ελάχιστου μέσου τετραγώνου σφάλματος (MMSE) προσαρμογής σε εμπειρικά δεδομένα (που παρέχεται από μετρήσεις).

Το μοντέλο απώλειας διαδρομής εσωτερικού χώρου της ITU περιγράφεται από τον ακόλουθο τύπο [5.5]:

$$P_L = 20 \log_{10}(f) + N \log_{10}(d) + Lf(n) - 28 \text{ dB} \quad (3)$$

Εδώ έχουμε,  $f$  που είναι η φέρουσα συχνότητα εκφρασμένη σε MHz,  $N = 10n$  είναι ο συντελεστής κλίσης (slope factor) και  $Lf(n)$  ο συντελεστής διεξόδου δαπέδου. Για τις ίδιες μετρήσεις δαπέδου,  $Lf(n) = 0$ . Οι προδιαγραφές της ITU παρέχουν έναν αριθμό τιμών για τον συντελεστή κλίσης (εκθέτης απώλειας διαδρομής), για διαφορετικές συχνότητες.

Η μαθηματική έκφραση του μοντέλου απώλειας διαδρομής Log-Distance δίνεται από [5.6]-[5.7] και είναι:

$$L_{total} = PL(d_0) + N \log_{10}(d/d_0) + X_\sigma \quad (4)$$

Όπου  $PL(d_0)$  είναι η απώλεια διαδρομής στην απόσταση αναφοράς, συνήθως λαμβάνεται ως (θεωρητική) απώλεια ελεύθερου χώρου στο 1 m,  $N$  είναι ο εκθέτης απόστασης απώλειας διαδρομής και  $X_\sigma$  είναι μια Gaussian τυχαία μεταβλητή με μηδέν μέσο όρο και τυπική απόκλιση  $\sigma$  dB. Τα  $N$  και  $\sigma$  προέρχονται από πειραματικά δεδομένα.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας υποτέθηκε μια πιθανότητα κάλυψης 95% οπότε έχουμε:

$$X_\sigma = z * \sigma \text{ (dB)} = 1.645 * \sigma \text{ (dB)} \quad (5)$$

Στις μετρήσεις που παρουσιάζονται, όλη η δραστηριότητα έλαβε χώρα όταν το προσωπικό της εταιρείας απουσίαζε, με εξαίρεση ένα περιορισμένο προσωπικό ασφαλείας. Έτσι, οι επιπτώσεις της σκίασης από τα σώματα [5,8] ήταν αμελητέες και οι απώλειες εξασθένησης αποδίδονται αποκλειστικά στις επιπτώσεις των φυσικών και χωρικών εμποδίων.

Το μοντέλο Multi-Wall-Floor είναι ένα εμπειρικό μοντέλο απώλειας διαδρομής για εσωτερικά περιβάλλοντα διάδοσης του οποίου ο περίτεχνος μαθηματικός τύπος παρέχεται από το [5.9]:

$$L = L_0 + 10n \log_{10}(d) + \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^{K_{wi}} L_{wik} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{K_{fj}} L_{fjk} \quad (6)$$

Και έχουμε τα εξής:

- Με I, J αναφερόμαστε στον αριθμό των τύπων τοίχων και ορόφων
- $L_{wik}$  είναι η εξασθένηση λόγω kth διασχισμένου τοίχου τύπου i
- $L_{fjk}$  είναι η εξασθένηση λόγω kth διασχισμένου τοίχου τύπου j
- $K_{wi}$  είναι ο αριθμός των τοίχων τύπου i
- $K_{fj}$  είναι ο αριθμός των τοίχων τύπου j

Το μοντέλο Multi-Wall-Floor ενσωματώνει όλες τις απώλειες που προκαλούνται από τους ορόφους και τους τοίχους που παρεμβαίνουν στη διαδρομή του σήματος στον μαθηματικό τύπο του. Ο εκθέτης απώλειας διαδρομής ισούται με  $n = 1.8$  σύμφωνα με τις προδιαγραφές LOS εσωτερικού χώρου [5.3].

Το μοντέλο απώλειας διαδρομής Multi-Wall-Floor είναι το πιο ακριβές σε σύγκριση με όλα τα άλλα μοντέλα τόσο για τοπολογίες γραφείων όσο και για εμπορικούς εσωτερικούς χώρους, συμπεριλαμβανομένου του μοντέλου Motley-Keenan [5.10].

Η εξασθένηση σε απόσταση (dB/m) είναι μια βασική παράμετρος στις ασύρματες επικοινωνίες, ειδικά στη μοντελοποίηση εσωτερικών χώρων, καθώς είναι μια μέτρηση της υπερβολικής απώλειας διαδρομής. Η εξασθένηση σε απόσταση μπορεί να υπολογιστεί μέσω του γραμμικού μοντέλου εξασθένησης (LAM), επίσης γνωστό ως μοντέλο Devasirvatham [5.6]:

$$P_L (dB) = P_{L_0} (dB) + 10n \log_{10}(d) + ad \quad (7)$$



Όπου  $P_L$  (dB) είναι η μέση απώλεια διαδρομής (dB),  $P_{L_0}$  (dB) αντιπροσωπεύει την απώλεια διαδρομής αναφοράς που εξαρτάται από τη συχνότητα (απώλεια διαδρομής σε απόσταση 1 m από τον πομπό),  $n$  είναι ο εκθέτης απώλειας διαδρομής που εκφράζει τον ρυθμό των απωλειών εξασθένησης,  $a$  η εξασθένηση σε απόσταση (dB/m) και  $d$  την απόσταση πομπού-δέκτη σε μέτρα.

Όταν οι μέσες τιμές λαμβανόμενης ισχύος μετρώνται πειραματικά (σε dBm) σε επιλεγμένες θέσεις μιας δεδομένης τοπολογίας διάδοσης και το συνολικό EIRP είναι γνωστό (σε dBm), τότε η εξασθένηση στην απόσταση υπολογίζεται (σε dB/m) με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\alpha = \frac{EIRP(dBm) - P_r(dBm) - 10n \log_{10} d - 43.33 \text{ dB}}{d} \quad (8)$$

Στο παραπάνω τύπο τα 43,33 dB αποτελούν την απώλεια διαδρομής αναφοράς (απώλεια διαδρομής σε απόσταση 1 m από τον πομπό) για τη συχνότητα 3,5 GHz.

Σε αυτήν την ενότητα, οι μετρούμενες τιμές μέσης λαμβανόμενης ισχύος θα συγκριθούν με τις αντίστοιχες προβλέψεις των μοντέλων απώλειας διαδρομής, τόσο για σχήματα ίδιου ορόφου όσο και πολλαπλών ορόφων.

Υποθέτοντας ένα συνολικό μεταδιδόμενο EIRP 4 dBm, θα παρέχεται το μέσο σφάλμα (%) κάθε μοντέλου απώλειας διαδρομής. Η μέση λαμβανόμενη ισχύς που προβλέπεται από το μοντέλο Ελεύθερου Χώρου (Free Space Model) είναι:

$$P_r = - 39.33 - 18 \log_{10} (d) \quad (9)$$

Το μοντέλο One-Slope υποθέτει μια τιμή βάσει μέτρησης του εκθέτη απώλειας διαδρομής, η οποία ισούται με 3,01 (για όλες τις θέσεις):

$$P_r = - 39.33 - 30.1 \log_{10} (d) \quad (10)$$

Το μοντέλο ITU έχει συντελεστή διείσδυσης δαπέδου μηδέν (για τον ίδιο όροφο). Για την περίπτωση μέτρησης πολλαπλών ορόφων, ο συντελεστής διείσδυσης θα οριστεί ίσος με 4 dB. Όσον αφορά τον εκθέτη απώλειας διαδρομής, θα εφαρμοστεί μια «σφαιρική» προσαρμογή, σε σχέση με τις αρχικές προδιαγραφές του μοντέλου ITU, υποθέτοντας n=3 για όλες τις θέσεις μέτρησης.

Η έκφραση του μοντέλου απώλειας διαδρομής ITU διατυπώνεται έτσι όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση 11:

$$P_r = - 42.8 - 30 \log_{10} (d) \quad (11)$$

**Σχήμα 5.5. Πίνακας με τις απώλειες βάσει υλικών**

Αρ.	Εσωτερικές μεσοτοιχίες	Εξωτερικά τοίχοι	Εξασθένιση λόγω εδάφους	Εξασθένιση λόγω ύψους ορόφων
1	9 dB	16 dB	16 dB	15 dB
2	7 dB	13 dB	13 dB	
3	5 dB			
4	2 dB			
5	2 dB			

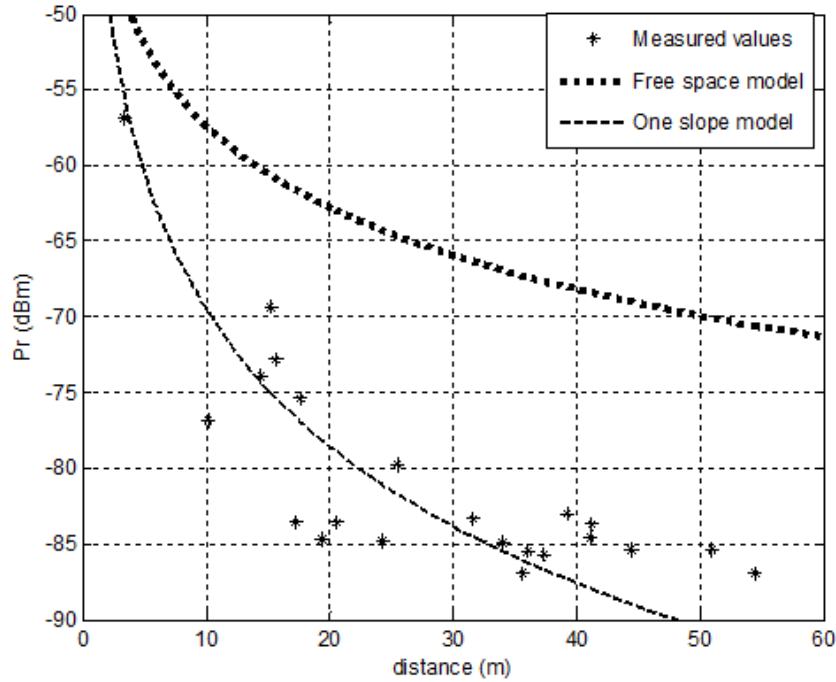
Με βάση την εξίσωση 6, υπολογίζονται οι προβλέψεις του μοντέλου Multi-Wall-Floor, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες υλικών παρεμπόδισης, όπως φαίνεται στον παραπάνω Πίνακα της εικόνας 5.5. Αυτές οι απώλειες έχουν μετρηθεί για το κανάλι 3,5 GHz με βάση προηγούμενες εκστρατείες μοντελοποίησης καναλιών εσωτερικού χώρου για την συχνότητα αυτή σε συνθήκες διάδοσης σήματος με πολλά εμπόδια [11]. Αυτές οι απώλειες έχουν αποδειχθεί ότι εξαρτώνται από τη συχνότητα και έχουν ληφθεί με περιορισμένες μετρήσεις γύρω από τα εμπόδια, οι οποίες έχουν υπολογιστεί κατά μέσο όρο για το σύνολο των πιθανών σημείων άφιξης. Ο πίνακας της εικόνας 5.5 παρουσιάζει τις μέσες τιμές του λόγου των απωλειών που εκφράζονται σε λογαριθμική μορφή.

Όσον αφορά τις προβλέψεις του μοντέλου log-distance, θα ληφθούν υπόψη τρεις διαφορετικές τιμές της απόκλισης σκίασης, ανταποκρινόμενες σε τρία διαφορετικά σενάρια βάθους σκιάς (shadow depth) που συναντώνται στη μοντελοποίηση διάδοσης σε εσωτερικούς χώρους [6]: 6 dB, 7 dB και 10 dB.

Αυτές οι τιμές έχουν ληφθεί από εκτενείς μετρήσεις διάδοσης σε εσωτερικούς χώρους και προέρχονται, με βάση τις απώλειες εμποδίων, από την πραγματική διάδοση του σήματος, και όχι από στατιστικές μετρήσεις των τοπικών διακυμάνσεων μέσης ισχύος [12].

Τα παρακάτω σχήματα στις εικόνες 5.4 - 5.7 απεικονίζουν τις προβλέψεις μέσης λαμβανόμενης ισχύος των μοντέλων απώλειας διαδρομής σε σχέση με τις μετρούμενες τιμές.

Το μοντέλο ITU θεωρεί συντελεστή διείσδυσης δαπέδου 4 dB [5,6], για τις περιπτώσεις διαφοράς ενός ορόφου για την τοπολογία του ισογείου και την τοπολογία βιομηχανικών εγκαταστάσεων.



**Σχήμα 5.4: Μετρήσεις σε σύγκριση με Free Space & One Slope μοντέλα**

Το μοντέλο Multi-Wall-Floor παρέχει τις πιο αξιόπιστες και ακριβείς προβλέψεις. Το μοντέλο Ελεύθερου Χώρου είναι το πιο αναξιόπιστο, αφού προϋποθέτει ένα ιδανικό σχήμα διάδοσης χωρίς εμπόδια και απώλειες διείσδυσης. Το προσαρμοσμένο μοντέλο ITU και το μοντέλο μιας κλίσης προσπαθούν να συμμορφωθούν με τα πειραματικά δεδομένα, αλλά αποτυγχάνουν να προβλέψουν τη μέση λαμβανόμενη ισχύ με δυναμικό και αξιόπιστο τρόπο.

## Ενότητα 5.5

Οι μεγάλης κλίμακας διακυμάνσεις του μέσου ληφθέντος σήματος σε ένα δεδομένο περιβάλλον διάδοσης, δηλαδή οι τοπικές μέσες τιμές της λαμβανόμενης ισχύος, είναι γνωστό ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή λογαριθμικού ελέγχου [5,2]-[5,7], τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (Probability Density Function - PDF) εκ των οποίων δίνεται από το [5.13]:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

Όπου  $x$  είναι η λαμβανόμενη ισχύς (λογαριθμική τιμή) σε κάθε θέση μέτρησης (τοπική μέση ισχύς),  $\bar{x}$  είναι η μέση λαμβανόμενη ισχύς (λογαριθμική τιμή) για όλες τις θέσεις μέτρησης

(μέση τιμή της λαμβανόμενης ισχύος συνολικά στην εν λόγω τοπολογία) και  $\sigma$  είναι η τυπική απόκλιση των απωλειών σκίασης (σε dB).

Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της διακύμανσης των τοπικών μέσων τιμών της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος μπορούν να υπολογιστούν πειραματικά μετρημένα δείγματα όπως δίνεται από το [5.6]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (13)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (14)$$

Προκειμένου να παρέχονται αμερόληπτα αποτελέσματα, απαιτείται σημαντικός αριθμός δειγμάτων [5.5]. Οι μεγάλης κλίμακας διακυμάνσεις της λαμβανόμενης ισχύος έχουν αποδοθεί σε απώλειες από εμπόδια με αναλογίες σημαντικά μεγαλύτερες από το μήκος κύματος του σήματος, οι οποίες παραμένουν σταθερές σε χρονική κλίμακα δευτερολέπτων ή λεπτών (εξασθένιση μεγάλης κλίμακας). Η απόκλιση σκίασης, ή το βάθος σκιάς, εκφράζει την υπερβολική απώλεια διαδρομής, που ορίζεται από τον Jakes ως «η διαφορά (σε ντεσιμπέλ) μεταξύ της υπολογισμένης τιμής της ισχύος του ληφθέντος σήματος στον ελεύθερο χώρο και της πραγματικής μετρούμενης τιμής του τοπικού μέσου ληφθέντος σήματος» [13].

Χρησιμοποιώντας στατιστικά μαθηματικά Gaussian [13] προκειμένου να υπολογιστεί η απόκλιση σκίασης (σε dB) για μετρήσεις ίδιου ορόφου και πολλαπλών ορόφων, ο Πίνακας της εικόνας 5.8 προκύπτει τόσο για τα σενάρια του ίδιου ορόφου όσο και για τα σενάρια πολλαπλών ορόφων. Η κατανομή Gauss εκφράζει τη λογαριθμική-κανονική φύση της μεγάλης κλίμακας διακύμανσης της τοπικής μέσης ισχύος.

**Πίνακας 5.8: Πίνακας με μέση τιμή και απόκλιση σκίασης.**

Μετρήσεις	Μέση Τιμή (dBm)	Απόκλιση Σκίασης (dB)
Όλες οι τοποθεσίες	-80.76	7.3
Στον ίδιο όροφο	-79.18	10.2
1 όροφος διαφορά (γραφείο)	-82.01	5.08
1 όροφος διαφορά (βιομηχανικό περιβάλλον)	-81.66	4.35

**Πίνακας 5.9: Πίνακας με απόκλιση σκιάς και εξασθένηση σε απόσταση.**

Μετρήσεις	$\sigma$ (dB)	$a$ (dB/m)
Όλες οι τοποθεσίες	9.97	0.77
Ίδιος όροφος	9.35	0.84
1 όροφος διαφορά (γραφείο)	10.47	0.71
1 όροφος διαφορά (βιομηχανικό περιβάλλον)	10.32	0.72

Ο πίνακας της εικόνας 5.9 παρουσιάζει τις τιμές της απόκλισης σκίασης και της εξασθένησης σε απόσταση που προέρχονται από τις μετρούμενες τιμές τοπικής μέσης ισχύος. Σε αυτήν την περίπτωση, η απόκλιση σκίασης είναι μια έκφραση του βάθους σκιάς που εξαρτάται από το εμπόδιο και όχι μια στατιστική μέτρηση των διακυμάνσεων των τιμών ισχύος που λαμβάνονται [12].

#### Ενότητα 5.6 - Συμπεράσματα

---

Σε αυτή την ενότητα, διερευνήθηκε μια σύνθετη τοπολογία διάδοσης για το κανάλι των 3,5 GHz, που περιλαμβάνει μια περίτεχνη βιομηχανική εγκατάσταση και ένα διώροφο γραφείο,

σύμφωνα με την ταξινόμηση τοπολογιών εσωτερικού χώρου της ITU. Μια γεννήτρια σήματος με σήμα ζώνης βάσης εύρους ζώνης 1 MHz χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση εκτεταμένων μετρήσεων ραδιοσυχνοτήτων τόσο στον ίδιο όροφο (τοπολογία πρώτου γραφείου) με τον πομπό όσο και σε διαφορετικό όροφο (διαχωρισμός TR ενός ορόφου) για το δεύτερο γραφείο τοπολογία και τη βιομηχανική περιοχή. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τις προβλέψεις του μοντέλου απώλειας διαδρομής, για κάθε θέση μέτρησης και για το σύνολο όλων των τοποθεσιών (συνολική αξιολόγηση).

Το μοντέλο Multi-Wall-Floor βρέθηκε να είναι το πιο αξιόπιστο όσον αφορά την πρόβλεψη της μέσης λαμβανόμενης ισχύος. Οι υπερβολικές απώλειες διαδρομής υπολογίστηκαν με βάση τις προμετρημένες απώλειες εμποδίων, οι οποίες είναι ήδη γνωστό ότι εξαρτώνται από τη συχνότητα και τον τύπο του υλικού. Όλα τα άλλα μοντέλα απώλειας διαδρομής είναι λιγότερο ικανοποιητικά στις προβλέψεις τους, με το μοντέλο Ελεύθερου Χώρου να είναι το πιο αναξιόπιστο λόγω των ιδεαλιστικών του υποθέσεων. Το μοντέλο μιας κλίσης και το μοντέλο ITU προσαρμόστηκαν για να ταιριάζουν με τα πειραματικά δεδομένα στον καλύτερο βαθμό, αλλά και πάλι δεν μπορούσαν να ακολουθήσουν τη δυναμική εξάπλωση των τιμών ισχύος που ελήφθησαν γύρω από μια μέση τιμή.

Πιο συγκεκριμένα, το μέσο σχετικό σφάλμα (%) κάθε μοντέλου απώλειας διαδρομής που χρησιμοποιείται σε αυτήν την εργασία απεικονίζεται στον πίνακα της εικόνας 5.11. Όπως σε τυπικές τοπολογίες διάδοσης εσωτερικών χώρων με εμπόδια [5.12], το μοντέλο Ελεύθερου Χώρου έχει μέσο σχετικό σφάλμα ~20% . Όλα τα άλλα μοντέλα ρίχνουν το μέσο σφάλμα κάτω από το όριο του 10% [13]. Η τροποποιημένη έκδοση του μοντέλου ITU αποδίδει πολύ καλύτερα από τις αρχικές προδιαγραφές, ενώ το μοντέλο log-distance αποδίδει καλύτερα καθώς αυξάνεται η απόκλιση σκιάς (βάθος υπερβολικής απώλειας διαδρομής [5.13] ). Το μοντέλο λογαριθμικής απόστασης έχει μέσο σφάλμα ~3% καθώς η απόκλιση σκιάς φτάνει την τιμή της μέσης περιοχής των 10 dB (9,92 dB όπως φαίνεται στον πίνακα της εικόνα 5.9).

Η στατιστική περιγραφή των διακυμάνσεων της στάθμης ισχύος αποδείχθηκε ότι είναι σύμφωνη με την κατανομή Log-normal, καθώς οι λογαριθμικές τιμές των τιμών ισχύος που μετρήθηκαν ήταν προσαρμοσμένες στην κατανομή Gauss. Όπως επισημαίνεται στο [5.12], αυτές οι διακυμάνσεις δεν παρέχουν απαραίτητα τυπική απόκλιση ίση με την υπολογιζόμενη τιμή του βάθους της σκιάς απευθείας από τις απώλειες του εμποδίου.

Τέλος, η εξασθένηση σε απόσταση (dB/m) υπολογίστηκε με βάση το μοντέλο γραμμικής εξασθένησης (μοντέλο Devasirvatham) που παρέχει εμπειρικές τιμές για την εξασθένηση σε απόσταση ως εναλλακτική έκφραση της υπερβολικής απώλειας διαδρομής.

**Εικόνα 5.11: Πίνακας με μέσο σχετικό σφάλμα (%).**

Free Space (n=1.8)	20.13
--------------------	-------

One Slope (n=3.01	4.09
ITU μοντέλο	8.12
Log-distance (6 dB)	8.25
Log-distance (7 dB)	6.67
Log-distance (10 dB)	3.80
Multi wall floor	2.09



## Συμπερασματικά

Καταλήγουμε στο γεγονός πως το κανάλι 3,5 GHz λοιπόν, έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της βιομηχανίας και του ακαδημαϊκού κόσμου τα τελευταία 15 χρόνια [14]. Έχουν χρησιμοποιηθεί μετρήσεις και προσομοιώσεις για την πιθανή χρήση αυτής της συχνότητας για διάφορες τεχνολογίες, με πιο πρόσφατη την ανάπτυξη του 5G στη ζώνη μικροκυμάτων κάτω των 6 GHz.

Η σημασία της εστίασης σε τοπολογίες εσωτερικών χώρων και ιδιαίτερα σε χώρους γραφείων [15], καταδεικνύει την ανάγκη παροχής ισχυρού χαρακτηρισμού καναλιών και τοπικής μέσης πρόβλεψης ισχύος σε τοπολογίες με υψηλή συγκέντρωση χρηστών.

Η σκίαση του σώματος είναι μία από τις παρενέργειες αυτού του γεγονότος και υπάρχει πράγματι ανάγκη να διερευνηθεί ο αντίκτυπος αυτού του φαινομένου στη λήψη σήματος [16].

### Κεφάλαιο 1

---

[1] Schwab K, (2021) The Fourth Industrial Revolution. Encyclopedia Britannica  
Ημερομηνία επίσκεψης: 31 Ιανουαρίου 2022.  
<https://www.britannica.com/topic/The-Fourth-Industrial-Revolution-2119734>

[2] Industry X explained by Accenture  
Ημερομηνία επίσκεψης: 31 Ιανουαρίου 2022.  
<https://www.accenture.com/us-en/services/industry-x-index>

[3] Siemens and Google Cloud to cooperate on AI-based solutions in manufacturing (2021)  
Ημερομηνία επίσκεψης: 31 Ιανουαρίου 2022.  
<https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-and-google-cloud-cooperate-ai-based-solutions-manufacturing>

[4] Dilmegani C, (2022) ARTIFICIAL INTELLIGENCE Future of AI according to top AI experts: In-Depth Guide for 2022. AIMULTIPLE  
Ημερομηνία επίσκεψης: 1 Φεβρουαρίου 2022.  
<https://research.aimultiple.com/future-of-ai/>

[5] IT industry growth rate forecast worldwide from 2018 to 2023, Statista Research Department, (2021).  
Ημερομηνία επίσκεψης: 1 Φεβρουαρίου 2022.  
<https://www.statista.com/statistics/967095/worldwide-it-industry-growth-rate-for-ecast-segment/>

[6] Siddiqui Faiz, (2021) Elon Musk says Tesla drivers can now subscribe to 'Full Self-Driving.' But he isn't sure they should. Washington Post, July 26, 2021, NA. Gale Academic OneFile  
Ημερομηνία επίσκεψης: 1 Φεβρουαρίου 2022.  
<https://link.gale.com/apps/doc/A669681989/AONE?u=anon~cb7f24c7&sid=google Scholar&xid=d48a9262>.

[7] Uhlenberg A, (2018) How Big Data Drives Production Gains. IEN.  
Ημερομηνία επίσκεψης: 1 Φεβρουαρίου 2022.  
<https://www.ien.com/software/article/20998639/how-big-data-drives-production-gains>

- [8] Tay Shu, Te Chuan, Lee & Aziati, A. & Ahmad, Ahmad Nur Aizat. (2018). An Overview of Industry 4.0: Definition, Components, and Government Initiatives. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 10. 14.
- [9] 5G: WHAT IT MEANS FOR IOT. by CBS INTERACTIVE INC, ZDNet, TechRepublic (2020)  
Ημερομηνία επίσκεψης: 1 Φεβρουαρίου 2022.  
[https://staff.fmi.uvt.ro/~stelian.mihalas/com\\_net/courses/TR\\_SF\\_5G-What\\_it\\_means\\_for\\_IoT\\_r2\\_\\_1\\_.pdf](https://staff.fmi.uvt.ro/~stelian.mihalas/com_net/courses/TR_SF_5G-What_it_means_for_IoT_r2__1_.pdf)
- [10] "What is IoT?" by Oracle.com (2022)  
Ημερομηνία επίσκεψης: 1 Φεβρουαρίου 2022.  
<https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>
- [11] Jia, X., Feng, Q., Fan, T., & Lei, Q. (2012). RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT). 2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet).
- [12] Liu, Yuxi; Zhou, Guohui (2012). [IEEE 2012 Fifth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA) - Zhangjiajie, Hunan, China (2012.01.12-2012.01.14)] 2012 Fifth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation - Key Technologies and Applications of Internet of Things. , (0), 197–200.
- [13] Domingo, M. C. (2012). An overview of the Internet of Things for people with disabilities. *Journal of Network and Computer Applications*, 35(2), 584–596.
- [14] Yang, Chen; Shen, Weiming; Wang, Xianbin (2018). *The Internet of Things in Manufacturing: Key Issues and Potential Applications*. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, 4(1), 6–15.
- [15] S. Karnouskos, A. W. Colombo, J. L. M. Lastra, C. Popescu, "Towards the energy efficient future factory," in Proc. 7th IEEE Int. Conf. Industrial Informatics, 2009, pp. 367–371.
- [16] Ersue M., Romascanu D., Schoenwaelder J., Sehgal, A. (2014). "Management of Networks with Constrained Devices: Use Cases". IETF Internet Draft.

### Κεφάλαιο 2

---

[1] Matthew N. O. Sadiku, Yonghui Wang, Suxia Cui, and Sarhan M. Musa Roy G. Perry, INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS, College of Engineering Prairie View A&M University

[2] Final Report Summary - CITYMOBIL2 (Cities demonstrating cybernetic mobility), European Commission

Ημερομηνία επίσκεψης: 18 Φεβρουαρίου 2022.

<https://cordis.europa.eu/project/id/314190/reporting>

[3] Manyika, J. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Value; McKinsey Global Institute: San Francisco, CA, USA, 2015.

[4] Sanchez-Iborra, Ramon & Cano, Maria-Dolores. (2016). State of the art in LP-WAN solutions for industrial IoT services. *Sensors*. 16. 708. 10.3390/s16050708.

[5] F. Wang and J. Liu, "Networked Wireless Sensor Data Collection: Issues, Challenges, and Approaches," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 13, no. 4, pp. 673-687, Fourth Quarter 2011, doi: 10.1109/SURV.2011.060710.00066.

[6] Worldwide and Regional Internet of Things (IoT) 2014–2020 Forecast: A Virtuous Circle of Proven Value and Demand.

Ημερομηνία επίσκεψης: 18 Φεβρουαρίου 2022.

[https://www.business.att.com/content/article/IoT-worldwide\\_regional\\_2014-2020-forecast.pdf](https://www.business.att.com/content/article/IoT-worldwide_regional_2014-2020-forecast.pdf) (accessed on 10 May 2016)

[7] T. T. Nguyen, H. H. Nguyen, R. Barton and P. Grossetete, "Efficient Design of Chirp Spread Spectrum Modulation for Low-Power Wide-Area Networks," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 6, pp. 9503-9515, Dec. 2019, doi: 10.1109/JIOT.2019.2929496.

[8] LoRa and LoRaWAN: Technical overview

Ημερομηνία επίσκεψης: 18 Φεβρουαρίου 2022.

<https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

[9] B. Dunlop, H. H. Nguyen, R. Barton and J. Henry, "Interference Analysis for LoRa Chirp Spread Spectrum Signals," *2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/CCECE.2019.8861956.

[10] Semtech Corporation, (2019) LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview  
Ημερομηνία επίσκεψης: 18 Φεβρουαρίου 2022.  
[https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa\\_and\\_LoRaWAN-A\\_Tech\\_Overview-Downloadable.pdf](https://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf)

[11] Wang, Feng; Liu, Jiangchuan (2011). *Networked Wireless Sensor Data Collection: Issues, Challenges, and Approaches. IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 13(4), 673–687. doi:10.1109/SURV.2011.060710.00066

[12] Ofcom, Frequency bands designated for Industrial, Scientific and Medical use (ISM) (2017)  
Ημερομηνία επίσκεψης: 18 Φεβρουαρίου 2022.  
[https://www.ofcom.org.uk/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0022/103297/fat-ism-frequencies.pdf](https://www.ofcom.org.uk/__data/assets/pdf_file/0022/103297/fat-ism-frequencies.pdf)

[13] Gomez C, Veras JC, Vidal R, Casals L, Paradells J. A Sigfox Energy Consumption Model. *Sensors (Basel)*. 2019;19(3):681. Published 2019 Feb 7. doi:10.3390/s19030681

[14] Sigfox Technology – Make Things Come Alive, Wireless Communication, White-paper (2021)  
Ημερομηνία επίσκεψης: 20 Φεβρουαρίου 2022.  
<https://www.daviteq.com/blog/en/sigfox-technology-make-things-come-alive/>

[15] Cellnex Telecom.  
Ημερομηνία επίσκεψης: 18 Φεβρουαρίου 2022.  
<https://www.cellnextelecom.com/noticia-8>

[16] Khorov, E.; Lyakhov, A.; Krotov, A.; Guschin, A. A survey on IEEE 802.11ah: An enabling networking technology for smart cities. *Comput. Commun.* 2015, 58, 53–69

[17] Flore, D. Evolution of LTE in Release 13.  
Ημερομηνία επίσκεψης: 18 Φεβρουαρίου 2022.  
<http://www.3gpp.org>

[18] Sanchez-Iborra R, Cano M-D. State of the Art in LP-WAN Solutions for Industrial IoT Services. *Sensors*. 2016; 16(5):708. <https://doi.org/10.3390/s16050708>

[19] Europa Press.

Ημερομηνία επίσκεψης: 18 Φεβρουαρίου 2022.

<http://www.europapress.es/andalucia/malaga-00356/noticia-sostenible-ayuntamiento-malaga-estudia-implantacion-proyecto-internet-cosas-20151025122230.html>

[19] Lopez-Gunn, E.; Zorrilla, P.; Prieto, F.; Llamas, M.R. Lost in translation? Water efficiency in Spanish agriculture. *Agric. Water Manag.* 2012, 108, 83–95

[20] E. Sisinni, A. Saifullah, S. Han, U. Jennehag and M. Gidlund, "Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 11, pp. 4724-4734, Nov. 2018, doi: 10.1109/TII.2018.2852491.

[21] Toffetti A, Wilschut ES, Martens MH, et al. CityMobil: Human Factor Issues Regarding Highly Automated Vehicles on eLane. *Transportation Research Record*. 2009;2110(1):1-8. doi:10.3141/2110-01

[22] Final Report Summary - CITYMOBIL2 (Cities demonstrating cybernetic mobility)

Ημερομηνία επίσκεψης: 18 Φεβρουαρίου 2022.

<https://cordis.europa.eu/project/id/314190/reporting>

[23] F. Malandrino, C. Chiasserini and S. Kirkpatrick, "Understanding the present and future of cellular networks through crowdsourced traces," 2017 IEEE 18th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2017, pp. 1-9, doi: 10.1109/WoWMoM.2017.7974294.

[24] J. Wan *et al.*, "Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 20, pp. 7373-7380, Oct.15, 2016, doi: 10.1109/JSEN.2016.2565621.

[25] Jia, Xiaolin & Feng, Quanyuan & Fan, Taihua & Lei, Quanshui. (2012). RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT). 2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks, CECNet 2012 - Proceedings. 10.1109/CECNet.2012.6201508.

[26] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, (2016) Secure Communication for Industrie 4.0

Ημερομηνία επίσκεψης: 21 Φεβρουαρίου 2022.

<https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/hm-2018-sichere-kommunikation.html>

[27] Jänicke, Lutz. "Secure communication for Industrie 4.0: A multi-stakeholder problem" at - Automatisierungstechnik, vol. 67, no. 5, 2019, pp. 364-371.

<https://doi.org/10.1515/auto-2019-0018>

[28] B. Baruah and S. Dhal, "An Efficient Authentication Scheme for Secure Communication between Industrial IoT Devices," 2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2020, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICCCNT49239.2020.9225644.

- [1] Ian F. Akyildiz, David M. Gutierrez-Estevez, Elias Chavarria Reyes, The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced, Physical Communication, Volume 3, Issue 4, 2010, Pages 217-244, ISSN 1874-4907, <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2010.08.001>.
- [2] N. Hassan, K. A. Yau and C. Wu, "Edge Computing in 5G: A Review," in IEEE Access, vol. 7, pp. 127276-127289, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2938534.
- [3] Huawei and DOCOMO Conduct World's First 5G Large Scale Field Trial in the 4.5 GHz Band  
Ημερομηνία επίσκεψης: 21 Φεβρουαρίου 2022.  
<https://www.huawei.com/en/news/2016/11/World-First-5G-Large-Scale-Field-Trial>
- [4] W. S. H. M. W. Ahmad et al., "5G Technology: Towards Dynamic Spectrum Sharing Using Cognitive Radio Networks," in IEEE Access, vol. 8, pp. 14460-14488, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2966271.
- [5] Junxian Huang, Feng Qian, Alexandre Gerber, Z. Morley Mao, Subhabrata Sen, and Oliver Spatscheck. 2012. A close examination of performance and power characteristics of 4G LTE networks. In Proceedings of the 10th international conference on Mobile systems, applications, and services (MobiSys '12). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 225–238. DOI:<https://doi.org/10.1145/2307636.2307658>
- [6] M. Shafi et al., "5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 35, no. 6, pp. 1201-1221, June 2017, doi: 10.1109/JSAC.2017.2692307.
- [7] A. Osseiran et al., "Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project," in IEEE Communications Magazine, vol. 52, no. 5, pp. 26-35, May 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6815890.
- [8] Deloitte Report—Industries 4.0-challenges and solutions for digital transformation and use of exponential technologies.



Ημερομηνία επίσκεψης: 21 Φεβρουαρίου 2022.

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>

[9] ISO - International Organization for Standardization]

Ημερομηνία επίσκεψης: 21 Φεβρουαρίου 2022.

<https://www.iso.org/standards.html>

[10] Power by the hour Our (TotalCare) by Rolls Royce

Ημερομηνία επίσκεψης: 21 Φεβρουαρίου 2022.

<https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/discover/2017/totalcare.aspx>

[11] Mobile data traffic outlook by ericsson

Ημερομηνία επίσκεψης: 21 Φεβρουαρίου 2022.

<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/dataforecasts/mobile-traffic-forecast>

[12] O'Connell E, Moore D, Newe T. Challenges Associated with Implementing 5G in Manufacturing. *Telecom.* 2020; 1(1):48-67.

<https://doi.org/10.3390/telecom1010005>

[13] Jean-Sebastien Bedo, Orange Emilio Calvanese Strinati, CEA-LETI, MINATEC Silvia Castellvi, Atos Tahar Cherif, Mines Telecom Valerio Frascolla, Intel Wouter Haerick, iMinds Isabelle Korthals, Deutsche Telekom Oscar Lazaro, Innovalia Edwin Sutedjo, Nokia Luis Usatorre, TECNALIA Research and Innovation Martin Wollschlaeger, TU Dresden Editors Wouter Haerick, iMinds Milon Gupta, Eurescom, 5G and the Factories of the Future

Ημερομηνία επίσκεψης: 21 Φεβρουαρίου 2022.

<https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-Factories-of-the-Future-Vertical-Sector.pdf>

[14] M. Müller, D. Behnke, P. Bok, M. Peuster, S. Schneider and H. Karl, "5G as Key Technology for Networked Factories: Application of Vertical-specific Network Services for Enabling Flexible Smart Manufacturing," 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2019, pp. 1495-1500, doi: 10.1109/INDIN41052.2019.8972305.

[15] Zsolt Marcell Temesvári, Dóra Maros, Péter Kádár, Review of Mobile Communication and the 5G in Manufacturing, *Procedia Manufacturing*, Volume 32, 2019, Pages 600-612, ISSN 2351-9789, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.259>.

[16] J. Ordonez-Lucena, J. F. Chavarria, L. M. Contreras and A. Pastor, "The use of 5G Non-Public Networks to support Industry 4.0 scenarios," 2019 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/CSCN.2019.8931325.

- [1] Berardinelli, Gilberto; Mahmood, Nurul H.; Rodriguez, Ignacio; Mogensen, Preben (2018). [IEEE 2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) - Abu Dhabi, United Arab Emirates (2018.12.9-2018.12.13)] 2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) - Beyond 5G Wireless IRT for Industry 4.0: Design Principles and Spectrum Aspects., 1–6. doi:10.1109/GLOCOMW.2018.8644245
- [2] J. Zhang, E. Björnson, M. Matthaiou, D. W. K. Ng, H. Yang and D. J. Love, "Prospective Multiple Antenna Technologies for Beyond 5G," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 38, no. 8, pp. 1637-1660, Aug. 2020, doi: 10.1109/JSAC.2020.3000826.
- [3] B. Wang, F. Gao, S. Jin, H. Lin, G. Y. Li, S. Sun, and T. S. Rappaport, "Spatial-wideband effect in massive MIMO with application in mmWave systems," IEEE Commun. Mag., vol. 56, no. 12, pp. 134–141, Dec. 2018.
- [4] K. Samdanis and T. Taleb, "The Road beyond 5G: A Vision and Insight of the Key Technologies," in IEEE Network, vol. 34, no. 2, pp. 135-141, March/April 2020, doi: 10.1109/MNET.001.1900228.
- [5] K. David and H. Berndt, "6G Vision and Requirements: Is There Any Need for Beyond 5G?," in IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 13, no. 3, pp. 72-80, Sept. 2018, doi: 10.1109/MVT.2018.2848498.
- [6] T. Wild, V. Braun and H. Viswanathan, "Joint Design of Communication and Sensing for Beyond 5G and 6G Systems," in IEEE Access, vol. 9, pp. 30845-30857, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3059488.
- [7] "Short Range Devices (SRD) using Ultra Wide Band (UWB); Technical characteristics for SRD equipment using Ultra Wide Band Sensor technology (UWB) based on amended mitigation techniques for UWB," ETSI, Tech. Rep. EN 103 314 (V1.1.1) (05-2017), 2017.
- [8] MULTIBAND OFDM PHYSICAL LAYER SPECIFICATION, Copyright © 2005 by MultiBand OFDM Alliance (MBOA) Special Interest Group (SIG). Copyright © 2005-2009 by WiMedia Alliance, Inc. (WiMedia).  
Ημερομηνία επίσκεψης: 21 Φεβρουαρίου 2022.

[https://www.wikimedia.org/en/docs/10003r02WM\\_CRB-WiMedia\\_PHY\\_Spec\\_1.5.pdf](https://www.wikimedia.org/en/docs/10003r02WM_CRB-WiMedia_PHY_Spec_1.5.pdf)

[9] Y. Rahayu, T. A. Rahman, R. Ngah and P. S. Hall, "Ultra wideband technology and its applications," 2008 5th IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN '08), 2008, pp. 1-5, doi: 10.1109/WOCN.2008.4542537.

[10] N. P. Nikhare, P. N. Shinde and J. P. Shinde, "Circularly polarized MIMO monopole antenna with Defected Ground Structure for S-band application," 2016 International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA), 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCUBEA.2016.7860116.

[11] T. Prakash and D. Ghosh, "Review of the ultra wideband pulse generation," 2015 International Conference on Microwave, Optical and Communication Engineering (ICMOCE), 2015, pp. 310-313, doi: 10.1109/ICMOCE.2015.7489754.

[12] Zhang, Jiayi; Bjornson, Emil; Matthaiou, Michail; Ng, Derrick Wing Kwan; Yang, Hong; Love, David J. (2020). Prospective Multiple Antenna Technologies for Beyond 5G. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, (), 1–1. doi:10.1109/JSAC.2020.3000826

[13] Mitsuishi, Mamoru; Ueda, Kanji; Kimura, Fumihiko (2008). Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier || Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing. 10.1007/978-1-84800-267-8(Chapter 23), 115–118.

### Κεφάλαιο 5

---

- [1] Chrysikos, Theofilos, et al. "Measurement-based characterization of the 3.5 GHz channel for 5G-enabled IoT at complex industrial and office topologies." 2018 Wireless Telecommunications Symposium (WTS). IEEE, 2018.
- [2] J. D. Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel. Hoboken, NJ: Wiley Interscience, 2000.
- [3] A. Aguiar and J. Gross, Wireless Channel Models, Technical Report, TKN, Berlin, 2003.
- [4] A. Goldsmith, Wireless Communications. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [5] J. Seybold, Introduction to RF Propagation. Hoboken, NJ: Wiley Interscience, 2005.
- [6] T. Rappaport, Wireless Communications: Principles & Practice. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
- [7] Recommendation ITU-R P.529-3, Prediction Methods for the Terrestrial Land Mobile Service in the VHF and UHF Bands, 1999.
- [8] R. Mathur, M. Klepal, A. McGibney, and D. Pesch, "Influence of people shadowing on Bit Error Rate of IEEE 802.11 2.4 GHz channel", 1st International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS 2004), pp. 448-452, Port-Louis, Mauritius, September 20-22, 2004.
- [9] M. Lott, I. Forkel, "A multi wall and floor model for indoor radio propagation", IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2001-Spring), Rhodes Island, Greece, May 6-9, 2001.
- [10] A. Lima, L. Menezes, "Motley-Keenan model adjusted to the thickness of the wall", SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference, Brasilia, Brazil, July 25-28, 2005.
- [11] T. Chrysikos, C. Papadacos and S. Kotsopoulos, "Wireless channel measurements and modeling for an office topology at 3.5 GHz", Wireless Telecommunications Symposium 2015 (WTS 2015), New York City, USA, April 15-17, 2015.
- [12] T. Chrysikos and S. Kotsopoulos, "Characterization of large-scale fading for the 2.4 GHz channel in obstacle-dense indoor propagation topologies", IEEE

Vehicular Technology Conference (VTC-Fall 2012), Quebec City, Canada, September 3-6, 2012.

[13] W. C. Jakes (Ed.), *Microwave mobile communications*. New York, NY: Wiley Interscience, 1974.

[14] G. L. Siqueira, G. L. Ramos, and R. D. Vieira, "Propagation measurements of a 3.5 GHz signal: Path-loss and variability studies", *Proceedings of the 2001 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, Belem, Brazil, August 6-10, 2001.

[15] J. Zeng, and J. Zhang, "Propagation characteristics in indoor office scenario at 3.5 GHz", *8th International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM)*, Guilin, China, August 14-16, 2013.

[16] Z. Lai, N. Bessis, G. de la Roche, P. Kuonen, J. Zhang, and G. Clapworthy, "The Characterisation of Human Body Influence on Indoor 3.5 GHz Path Loss Measurement", *2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*, Sydney, Australia, April 18-21, 2010.