

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη και προτυποποίηση τεχνολογιών επικοινωνίας  
για το Industry 4.0 και τα Smart Factories»



Της φοιτήτριας  
**ΤΡΑΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ ΘΕΟΔΩΡΑ**  
Αρ. Μητρώου: 26/2019

Επιβλέπων  
**ΧΑΤΖΗΜΙΣΙΟΣ ΠΕΡΙΚΛΗΣ**  
Καθηγητής

Ημερομηνία Σεπτέμβριος 2022

Τίτλος Δ.Ε. Μελέτη και προτυποποίηση τεχνολογιών επικοινωνίας για το Industry 4.0 και τα Smart  
Factories

Κωδικός Δ.Ε. 21234

Όνοματεπώνυμο φοιτήτριας Τραγιαννοπούλου Θεοδώρα

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Χατζημίσιος Περικλής

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 24-04-2021

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 01-10-2022

*Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.*

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Τραγιαννοπούλου Θεοδώρα που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Η διπλωματική εργασία μου είναι αφιερωμένη στον σύζυγό μου Νίκο και τους γονείς μου, για τη πίστη τους σε εμένα και τις δυνατότητές μου καθώς και την αστείρευτη συναισθηματική, ψυχική και ψυχολογική υποστήριξη που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια.»*



## Περίληψη

Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η μελέτη και η προτυποποίηση, που αφορούν την επικοινωνία για το Industry 4.0 και τα Smart Factories. Η εργασία ξεκινά αναλύοντας τις κατηγορίες και τις βασικές τεχνολογίες για το Industry 4.0 και τα Smart Factories. Ακολουθεί η ανάλυση 10 οργανισμών, όπου αναφέρονται τα πρότυπα τους στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα 77 πρότυπα ομαδοποιημένα από τους 10 οργανισμούς που αναλύθηκαν νωρίτερα. Ακολουθούν οι διαχωρισμοί με βάση τα 3 μοντέλα αρχιτεκτονικής: SOA, RAMI 4.0 και IIRA, με βάση το Quality of Service (QoS) και το Quality of Data (QoD) και τέλος με βάση το Radio Access Network (RAN) και το Core Network (CORE). Για τον κάθε διαχωρισμό κατατάσσουμε στα επίπεδα της κάθε αρχιτεκτονικής, τα πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories. Επίσης, σε κάθε διαχωρισμό και σε κάθε στάδιο απαιτήσεων τα πρότυπα όπου αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories. Στο τέλος η εργασία ολοκληρώθηκε συνοψίζοντας τα συμπεράσματα με αναφορά σε μελλοντική έρευνα.

**Λέξεις κλειδιά:** Industry 4.0, Smart Factories; SOA; RAMI 4.0; IIRA; QoS; QoD; RAN; CORE; 5G; IWN; Cyber Physical; IoT; IIoT; ISO; ISA; IEEE; IEC; ISA; IETF; PI; EPSG; EIA; Modbus Organization; AMQP; MQTT; OPC UA; FDT; FDI; Zigbee; 6LoWPAN; Coap; RPL; Profinet; Profibus; Powerlink; Communication Protocol

# «Study and standardization of communication technologies for Industry 4.0 and Smart Factories»

«Theodora Tragiannopoulou»

## **Abstract**

The object of this work is the study and standardization, concerning communication for Industry 4.0 and Smart Factories. The paper begins by analyzing the categories and key technologies for Industry 4.0 and Smart Factories. Here is the analysis of 10 organizations, citing their standards in the communication of Industry 4.0 and Smart Factories. The 77 standards grouped by the 10 organizations analyzed earlier are presented below. Here are the breakdowns based on the 3 architecture models: SOA, RAMI 4.0 and IIRA, based on Quality of Service (QoS) and Quality of Data (QoD) and based on Radio Access Network (RAN) and Core Network (CORE). For each division, we classify the standards mentioned in the communication of Industry 4.0 and Smart Factories into the levels of each architecture. Also, in each division at each stage of requirements the standards mentioned in the communication of Industry 4.0 and Smart Factories. At the end the paper is concluded by summarizing the conclusions with reference to future research.

**Keywords:** Industry 4.0, Smart Factories; SOA; RAMI 4.0; IIRA; QoS; QoD; RAN; CORE; 5G; IWN; Cyber Physical; IoT; IIoT; ISO; ISA; IEEE; IEC; ISA; IETF; PI; EPSG; EIA; Modbus Organization; AMQP; MQTT; OPC UA; FDT; FDI; Zigbee; 6LoWPAN; Coap; RPL; Profinet; Profibus; Powerlink; Communication Protocol

## Ευχαριστίες

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου, θα ήθελα να ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χατζημίσιο Περικλή, για την άριστη συνεργασία που είχαμε, την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές του και την άμεση βοήθεια που μου παρείχε όποτε την χρειάστηκα.

Η ολοκλήρωση όμως αυτής της εργασίας, δεν θα μπορούσε να υλοποιηθεί αν δεν υπήρχε η υποστήριξη και η παρότρυνση του συζύγου μου και η κατανόηση των γονιών μου.

# Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract .....	vi
Ευχαριστίες .....	vii
Περιεχόμενα .....	viii
Κατάλογος Σχημάτων .....	xiii
Κατάλογος Πινάκων.....	xiii
Συντομογραφίες.....	xiv
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Σκοπός - Στόχοι.....	3
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας .....	3
Κεφάλαιο 2ο: Industry 4.0 .....	5
2.1 Εισαγωγή στο Industry 4.0.....	5
2.2 Ο στόχος του Industry 4.0 .....	6
2.3 Ασύρματο δίκτυο βιομηχανίας (IWN) .....	7
2.4 Η Βιομηχανία 4.0 που βασίζεται σε Cyber Physical Systems (CPS).....	8
2.5 Ο κλάδος της Βιομηχανίας 4.0 (I4.0) και οι τεχνολογίες του .....	8
2.5.1 Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT).....	9
2.5.2 Ο ρόλος των μεγάλων δεδομένων στη Βιομηχανία 4.0 .....	9
2.5.3 Cloud για την ενσωμάτωση του CPS .....	10
2.5.4 Κυβερνοασφάλεια .....	10
2.6 Βιομηχανία 4.0 περιπτώσεις χρήσης και απαιτήσεις επικοινωνίας.....	11
2.7 Ο ρόλος των δικτύων 5G στον Βιομηχανικό Αυτοματισμό.....	13
Κεφάλαιο 3ο: Οργανισμοί προτυποποίησης .....	15
3.1 Οργανισμοί τυποποίησης .....	15
3.2 Διεθνές Επίπεδο: Παγκόσμιοι Οργανισμοί Τυποποίησης.....	15
3.2.1 International Organization for Standardization – ISO.....	15
3.2.2 International Electrotechnical Commission – IEC .....	16
3.2.3 Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE .....	16
3.2.4 Internet Engineering Task Force – IETF .....	17
3.2.5 International Society of Automation - ISA.....	17
3.2.6 PI (PROFIBUS & PROFINET International) .....	19

3.3	Περιφερειακό επίπεδο: Ευρωπαϊκοί Οργανισμοί Τυποποίησης .....	19
3.3.1	European Telecommunications Standards Institute - ETSI.....	19
3.3.2	Ethernet POWERLINK - EPSG.....	20
3.4	Εθνικό επίπεδο: Εθνικοί Οργανισμοί Τυποποίησης (National Standards Bodies - NSBs)...	21
3.4.1	Modbus Organization .....	21
3.4.2	Electronics Industries Alliance (EIA) .....	22
Κεφάλαιο 4ο: Πρότυπα επικοινωνιών για το Industry 4.0.....		23
4.1	Τα Πρότυπα του International Organization for Standardization – ISO.....	23
4.1.1	NFC: ISO/IEC 13157-1:2010.....	23
4.1.2	AMQP: ISO/IEC 19464:2014 .....	23
4.1.3	ISO/IEC/IEEE 21450:2010 .....	24
4.1.4	ISO/IEC 27033-6:2016.....	24
4.1.5	ISO/IEC 29180:2012.....	25
4.1.6	ISO/TR 13283:1998 .....	25
4.1.7	ISO 23570-2:2005 .....	25
4.1.8	ISO 22093:2003 .....	26
4.1.9	ISO 15745-5:2007 .....	26
4.1.10	ISO 15745-2:2003 .....	26
4.1.11	ISO 15745-3:2003 .....	26
4.1.12	ISO 15745-4:2003 .....	27
4.1.13	ISO 9506-1:2003 .....	27
4.1.14	ISO 9506-2:2003 .....	27
4.2	Τα Πρότυπα του International Electrotechnical Commission – IEC .....	28
4.2.1	WirelessHart: IEC 62591 .....	28
4.2.2	WIA-PA: IEC 62601 .....	29
4.2.3	IEC 61131-2:2017 .....	29
4.2.4	IEC 62657-1:2017 .....	30
4.2.5	IEC White Paper IoT: WSN: 2014.....	30
4.2.6	EtherCAT: IEC 61158.....	30
4.2.7	IEC 61784 Fieldbus.....	31
4.2.8	IEC 61784-5-1:2013.....	31
4.2.9	IEC 61784-5-13:2013.....	31
4.2.10	IEC 61784-5-16:2013.....	32
4.2.11	IEC 61784-5-17:2013.....	32
4.2.12	IEC 61784-5-19:2013.....	32

4.2.13	IEC 61139-2:2022 PRV .....	32
4.2.14	IEC 61784-3-18:2011+AMD1:2016+AMD2:2021 CSV .....	32
4.2.15	OPC UA: IEC 62541-5:2020.....	33
4.2.16	Field Device Tool (FDT): IEC 62453-1:2016.....	33
4.2.17	IEC 62443-2-1:2010.....	33
4.2.18	Field Device Integration (FDI): IEC 61804 .....	34
4.3	Τα Πρότυπα του Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE .....	34
4.3.1	IEEE 802.1AS-2011 .....	34
4.3.2	IEEE 802.11Qbv-2015 .....	35
4.3.3	IEEE 802.11Qcc-2018.....	35
4.3.4	IEEE 802.1Qch-2017 .....	36
4.3.5	IEEE 802.11Qci-2017 .....	36
4.3.6	IEEE 802.11a-1999 .....	36
4.3.7	IEEE 61158-2017.....	37
4.3.8	IEEE P802.15.13 .....	37
4.3.9	IEEE 802.1BA-2011 .....	37
4.3.10	IEEE 802.15.2-2003 .....	38
4.3.11	IEEE 802.16a-2003 .....	38
4.3.12	IEEE 802.3-2018.....	39
4.3.13	IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001.....	39
4.3.14	IEEE 802.10-1998.....	39
4.3.15	ZigBee: IEEE 802.15.4-2006 .....	40
4.3.16	IEEE 802.11n-2009 .....	40
4.3.17	IEEE 802.15.4c-2009 .....	41
4.3.18	IEEE 802.15.4e-2012 .....	41
4.3.19	IEEE 802.15.8-2017 .....	41
4.3.20	IEEE 488.2-1992 .....	42
4.3.21	IEEE 802.11y-2008.....	42
4.3.22	IEEE 802.1Qay-2009 .....	42
4.3.23	IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996.....	43
4.3.24	IEEE 1904.1-2013 .....	43
4.3.25	IEEE 1904.1-2017 .....	43
4.3.26	IEEE 1903.1-2017.....	44
4.4	Τα Πρότυπα του Internet Engineering Task Force – IETF .....	44
4.4.1	6LoWPAN.....	44

4.4.2	RPL: RFC 6550.....	44
4.4.3	Coap: RFC 7252.....	45
4.4.4	RFC 5673 .....	45
4.4.5	RFC 7733 .....	46
4.4.6	RFC 7650 .....	46
4.4.7	RFC 7641 .....	46
4.4.8	RFC 8613 .....	47
4.4.9	RFC 9175 .....	47
4.5	Τα Πρότυπα του International Society of Automation – ISA.....	48
4.5.1	ISA100.11a.....	48
4.5.2	ISA-TR100.14.01-Part 1-2011 .....	48
4.5.3	Mqtt Protocol.....	48
4.5.4	ISA95.....	49
4.6	Τα Πρότυπα των PI (PROFIBUS & PROFINET International).....	49
4.6.1	Profinet.....	50
4.6.2	Profibus PA V3.02 .....	50
4.7	Το Πρότυπο του European Telecommunications Standards Institute – ETSI.....	51
4.7.1	GSM .....	51
4.8	Το Πρότυπο του Ethernet POWERLINK – EPSG.....	51
4.8.1	POWERLINK .....	51
4.9	Το Πρότυπο του Modbus Organization.....	52
4.9.1	Modbus – TCP.....	52
4.10	Το Πρότυπο του Electronics Industries Alliance (EIA).....	52
4.10.1	RS232C .....	53
Κεφάλαιο 5ο: Διαχωρισμός με βάση την αρχιτεκτονική .....		54
5.1	Service-oriented architecture (SOA) of IoT .....	54
5.1.1	Sensing Layer .....	57
5.1.2	Networking Layer.....	58
5.1.3	Service Layer.....	60
5.1.4	Interface Layer .....	62
5.2	Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0) .....	63
5.2.1	Business Layer .....	65
5.2.2	Functional Layer.....	66
5.2.3	Information Layer.....	67
5.2.4	Communication Layer.....	68

5.2.5	Integration Layer .....	69
5.2.6	Asset Layer .....	70
5.3	Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) .....	70
5.3.1	Business Viewpoint .....	72
5.3.2	Usage Viewpoint .....	73
5.3.3	Functional Viewpoint .....	75
5.3.4	Implementation Viewpoint .....	76
Κεφάλαιο 6ο: Διαχωρισμός με βάση το Quality of Service (QoS) και το Quality of Data (QoD) .....		78
6.1	Αρχιτεκτονική QoS και QoD-oriented Βιομηχανικών ασύρματων δικτύων (IWNs) .....	78
6.2	Επικοινωνία και δικτύωση .....	79
6.2.1	Real-time performance .....	81
6.2.2	Reliability .....	83
6.2.3	Longevity .....	87
6.2.4	Security .....	89
6.2.5	Privacy .....	92
6.3	QoD των IWNs .....	94
6.3.1	Validity .....	94
6.3.2	Accuracy .....	95
6.3.3	Reliability .....	95
6.3.4	Integrity .....	96
Κεφάλαιο 7ο: Διαχωρισμός με βάση το Radio Access Network (RAN) και το Core Network (CORE) .....		97
7.1	Τι είναι ένα Δίκτυο Πρόσβασης RAN .....	97
7.2	Τύποι δικτύων RAN .....	97
7.3	Λειτουργία δικτύου RAN .....	99
7.4	Radio Access Technologies .....	99
7.5	Τι είναι ένα Δίκτυο Πρόσβασης CORE .....	106
7.6	Software Defined Networks (SDN) .....	107
7.7	Λειτουργία δικτύων CORE .....	108
7.8	Core Network and Network Management Technologies .....	109
Κεφάλαιο 8ο: Συμπεράσματα και Μελλοντική Έρευνα .....		114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....		116

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Η εξέλιξη της Βιομηχανικής Επανάστασης [1] .....	2
Σχήμα 2.1: Η Διάταξη του Industry 4.0 [3].....	6
Σχήμα 2.2: Σχηματικό διάγραμμα βιομηχανικού ασύρματου δικτύου [3] .....	7
Σχήμα 5.1: Η αρχιτεκτονική SOA για τα IoT [115].....	55
Σχήμα 5.2: Το μοντέλο RAMI 4.0 [117].....	64
Σχήμα 5.3: Απεικονίζονται τα επίπεδα και οι σχέσεις μεταξύ τους στην IIRA [120] .....	71
Σχήμα 6.1: Η αρχιτεκτονική QoS and QoD των IWNs [3] .....	78
Σχήμα 6.2: Το QoS των IWNs [3].....	79
Σχήμα 6.3: QoD των IWNs [3] .....	94
Σχήμα 7.1: Παρουσίαση δικτύου Πρόσβασης RAN [124] .....	97
Σχήμα 7.2: Παρουσίαση δικτύου πρόσβασης C-RAN [124] .....	98
Σχήμα 7.3: Παρουσίαση δικτύου CORE [126] .....	107

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Περιπτώσεις Χρήσης και εφαρμογές του Industry 4.0 [7] .....	12
Πίνακας 5.1: Τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής SOA [115] .....	54
Πίνακας 5.2: Εκτιμήσεις σχεδιασμού συγκεκριμένα για τις βιομηχανικές εφαρμογές IoT [115] .....	55
Πίνακας 5.3: Διαχωρισμός Προτύπων σύμφωνα με τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής SOA.....	56
Πίνακας 5.4: Διαχωρισμός Προτύπων σύμφωνα με τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής RAMI 4.0 .....	65
Πίνακας 5.5: Διαχωρισμός Προτύπων σύμφωνα με τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής IIRA.....	72
Πίνακας 6.1: Διαχωρισμός Προτύπων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του QoS .....	80
Πίνακας 6.2: Απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο σε διαφορετικά βιομηχανικά περιβάλλοντα [3] .....	82
Πίνακας 6.3: Συλλογές ενέργειας για WSN [3] .....	88
Πίνακας 6.4: Επιθέσεις και μέθοδοι κωδικοποίησης [3].....	90
Πίνακας 7.1: Απαιτήσεις Industry 4.0 για περιοδικά μηνύματα [125].....	100

## Συντομογραφίες

3GPP	3rd Generation Partnership Project
API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
AVB	Audio Video Bridging
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications
CD	Content Delivery
CDMA	Code Division Multiple Access
CM	Cloud Manufacturing
CN	Controlled Nodes
CQF	Cyclic Queuing and Forwarding
CPS	Cyber Physical System
CSMS	Cyber Security Management System
DCE	Data Circuit Terminating Equipment
DMIS	Dimensional Measuring Interface Standard
DTE	Data Terminal Equipment
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EDDL	Electronic Device Description Language
EFTA	European Free Trade Association
EPON	Ethernet Passive Optical Network
EPSSG	Ethernet Powerlink
ERP	Enterprise Resource Planning
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FE	Functional Entity
FDI	Field Device Integration
FEC	Forward Error Correction
FTP	File Transfer Protocol
GSM	Global System for Mobile Communications
HMI	Human Machine Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IACS	Industrial Automation and Control Systems

ICT	Information and Communication Technology
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IoP	Internet of Person
IoS	Internet of Service
IIoT	Industrial Internet of Things
IIRA	Industrial Internet Reference Architecture
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ISA	International Society of Automation
ISO	International Organization for Standardization
IWN	Industry Wireless Network
KMP	Key Management Protocol
LLN	Low Power and Lossy Networks
M2M	Machine to Machine
MAC	Medium Access Control
MIMO	Multiple Input and Multiple Output
MN	Managing Node
MNO	Mobile Network Operator
MP2P	Multipoint to Point
MSB	Market Strategy Board
NFV	Network Function Virtualization
NSB	National Standards Bodies
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
P2MP	Point to Multipoint
P2P	Point to Point
PA	Process Automation
PAC	Peer Aware Communications
PHY	Physical Layer
PLC	Programmable Logic Controllers
PSFP	Per Stream Filtering and Policing
QoD	Quality of Data

QoS	Quality of Service
RAMI	Reference Architectural Model Industry
RAN	Radio Access Network
RFID	Radio Frequency Identification
RTE	Real Time Ethernet
SDE	Secure Data Exchange
SDN	Software Defined Networking
SDO	Standards Developing Organizations
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SOA	Service Oriented Architecture
SONET	Synchronous Optical Networking
SRP	Stream Reservation Protocol
SR	Service Routing
SSO	Standards Setting Organization
TEDS	Transducer Electronic Data Sheets
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TC	Technical Committee
TSN	Time Sensitive Networking
TIM	Transducer Interface Module
UUID	Universally Unique Identifier
UWB	Ultra Wideband
WISP	Wireless Internet Services Provider
WPAN	Wireless Personal Area Networks
WSC	World Standards Cooperation
WSN	Wireless Sensor Network

## Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

### 1.1 Γενικά

Αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η μελέτη και προτυποποίηση τεχνολογιών επικοινωνίας για το Industry 4.0 και τα Smart Factories. Στο παρακάτω Σχήμα 1.1, βλέπουμε την εξέλιξη των σταδίων της Βιομηχανικής επανάστασης, τα οποία αναλύονται παρακάτω.

Η Πρώτη βιομηχανική επανάσταση: Ξεκινώντας από τα τέλη του 18ου αιώνα στη Βρετανία, η πρώτη βιομηχανική επανάσταση βοήθησε να καταστεί δυνατή η μαζική παραγωγή με τη χρήση νερού και του ατμού αντί της καθαρά ανθρώπινης και ζωικής ενέργειας. Τα τελικά προϊόντα κατασκευάζονταν με μηχανές αντί να παράγονται με κόπο στο χέρι.

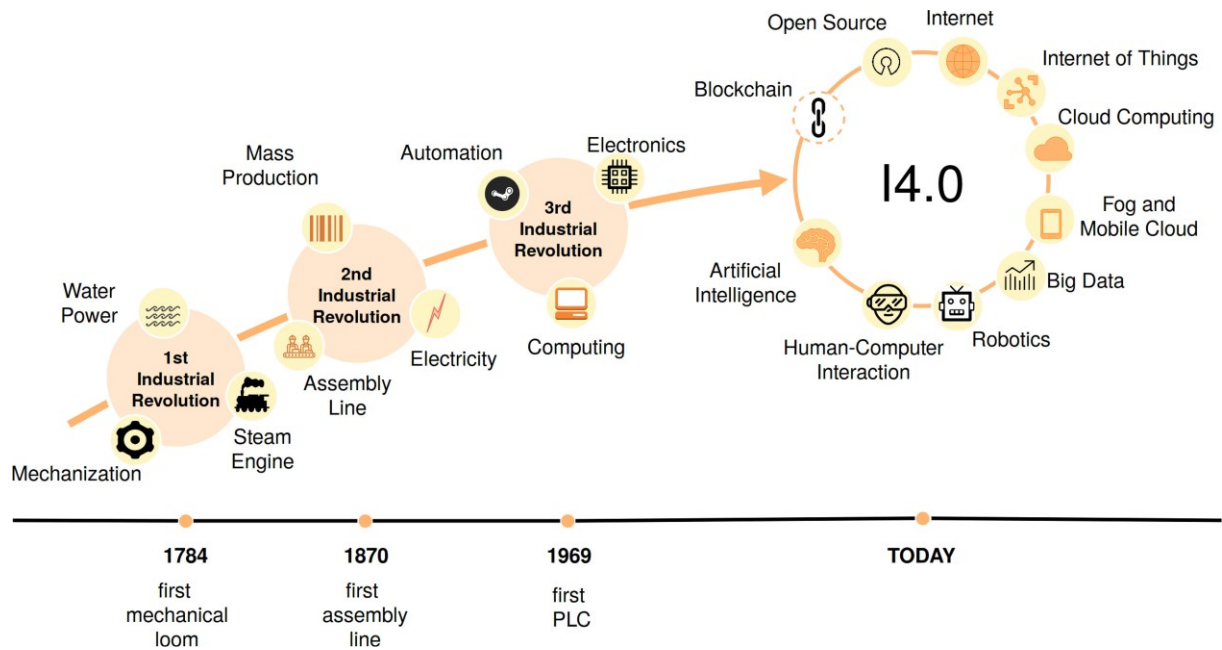
Η Δεύτερη βιομηχανική επανάσταση: Έναν αιώνα αργότερα, η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση εισήγαγε γραμμές συναρμολόγησης και τη χρήση πετρελαίου, φυσικού αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι νέες πηγές ενέργειας, μαζί με πιο προηγμένες επικοινωνίες μέσω του τηλεφώνου και του τηλεγράφου, έφεραν μαζική παραγωγή και κάποιο βαθμό αυτοματισμού στις διαδικασίες παραγωγής.

Η Τρίτη βιομηχανική επανάσταση: Ξεκίνησε στα μέσα του 20ου αιώνα, πρόσθεσε υπολογιστές, προηγμένες τηλεπικοινωνίες και ανάλυση δεδομένων στις διαδικασίες παραγωγής. Η ψηφιοποίηση των εργοστασίων ξεκίνησε με την ενσωμάτωση προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) σε μηχανήματα για να βοηθήσουν στην αυτοματοποίηση ορισμένων διαδικασιών και στη συλλογή και στην κοινή χρήση δεδομένων.

Η Τέταρτη βιομηχανική επανάσταση: Βρισκόμαστε τώρα στην συγκεκριμένη γενιά, που αναφέρεται και ως Industry 4.0. Χαρακτηριστικά από την αυξανόμενη αυτοματοποίηση και τη χρήση έξυπνων μηχανών και έξυπνων εργοστασίων, τα ενημερωμένα δεδομένα βοηθούν στην παραγωγή αγαθών πιο αποτελεσματικά και πιο παραγωγικά σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας. Η ευελιξία βελτιώνεται έτσι ώστε οι κατασκευαστές να μπορούν να ανταποκρίνονται καλύτερα στις απαιτήσεις των πελατών τους, χρησιμοποιώντας μαζική προσαρμογή και επιδιώκοντας τελικά να επιτύχουν αποτελεσματικότητα σε πολλές περιπτώσεις. Συλλέγοντας περισσότερα δεδομένα από το εργοστάσιο και συνδυάζοντάς τα με άλλα επιχειρησιακά δεδομένα της επιχείρησης, ένα έξυπνο εργοστάσιο μπορεί να επιτύχει διαφάνεια πληροφοριών και φυσικά καλύτερες αποφάσεις.

Το Industry 4.0 φέρνει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι εταιρείες κατασκευάζουν, βελτιώνουν και διανέμουν τα προϊόντα τους. Οι κατασκευαστές ενσωματώνουν νέες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένου του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), του υπολογιστικού νέφους και της ανάλυσης, καθώς και της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στις εγκαταστάσεις παραγωγής τους και σε όλες τις δραστηριότητές τους.

Αυτά τα έξυπνα εργοστάσια είναι εξοπλισμένα με προηγμένους αισθητήρες, ενσωματωμένο λογισμικό και ρομποτική που συλλέγουν, αναλύουν δεδομένα και επιτρέπουν καλύτερη λήψη αποφάσεων. Ακόμη μεγαλύτερη αξία δημιουργείται όταν τα δεδομένα από τις παραγωγικές λειτουργίες συνδυάζονται με λειτουργικά δεδομένα από το ERP, την αλυσίδα εφοδιασμού, την εξυπηρέτηση πελατών και άλλα εταιρικά συστήματα για να δημιουργηθούν εντελώς νέα επίπεδα ορατότητας και διορατικότητας από προηγούμενες πληροφορίες.



Σχήμα 1.1: Η εξέλιξη της Βιομηχανικής Επανάστασης [1]

Αυτές οι ψηφιακές τεχνολογίες οδηγούν σε αυξημένη αυτοματοποίηση, προγνωστική συντήρηση, αυτοβελτιστοποίηση των βελτιώσεων της διαδικασίας και κυρίως σε ένα νέο επίπεδο αποτελεσματικότητας και ανταπόκρισης στους πελάτες που δεν ήταν προηγουμένως δυνατόν.

Η ανάπτυξη έξυπνων εργοστασίων παρέχει μια απίστευτη ευκαιρία στη μεταποιητική βιομηχανία να εισέλθει στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Η ανάλυση των μεγάλων ποσοτήτων και των μεγάλων δεδομένων που συλλέγονται από αισθητήρες στο χώρο του εργοστασίου, διασφαλίζει την ορατότητα των κατασκευαστικών στοιχείων σε πραγματικό χρόνο και μπορεί να παρέχει εργαλεία για την εκτέλεση προγνωστικής συντήρησης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος διακοπής της λειτουργίας του εξοπλισμού.

Η χρήση συσκευών IoT υψηλής τεχνολογίας σε έξυπνα εργοστάσια οδηγεί σε υψηλότερη παραγωγικότητα και βελτιωμένη ποιότητα. Η αντικατάσταση των επιχειρηματικών μοντέλων χειροκίνητης επιθεώρησης με οπτικές πληροφορίες με τεχνητή νοημοσύνη μειώνει τα κατασκευαστικά σφάλματα και εξοικονομεί χρήματα και χρόνο. Με ελάχιστη επένδυση, το προσωπικό ελέγχου ποιότητας μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα smartphone συνδεδεμένο στο cloud για να παρακολουθεί τις διαδικασίες παραγωγής οποιαδήποτε στιγμή από οπουδήποτε. Εφαρμόζοντας αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, οι κατασκευαστές μπορούν να ανιχνεύσουν τα σφάλματα αμέσως, παρά σε μεταγενέστερα στάδια όπου οι εργασίες επισκευής είναι και πιο ακριβές.

Οι έννοιες και οι τεχνολογίες του Industry 4.0 μπορούν να εφαρμοστούν σε όλους τους τύπους βιομηχανικών εταιρειών, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής και της παραγωγής διεργασιών, καθώς και σε τομείς πετρελαίου και φυσικού αερίου, εξόρυξης και άλλων βιομηχανικών τομέων.

## 1.2 Σκοπός - Στόχοι

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και προτυποποίηση τεχνολογιών επικοινωνίας για το Industry 4.0 και τα Smart Factories.

Στο πλαίσιο αυτό οι στόχοι της διπλωματικής εργασίας είναι:

- Να αναζητήσουμε πληροφορίες που αφορούν τις κατηγορίες και τις βασικές τεχνολογίες για το Industry 4.0 και τα Smart Factories.
- Να αναζητήσουμε και να μελετήσουμε πρότυπα που αφορούν την επικοινωνία για το Industry 4.0 και τα Smart Factories.
- Να ορίσουμε τους οργανισμούς προτυποποίησης που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.
- Να ορίσουμε τα πρότυπα για τον κάθε οργανισμό ξεχωριστά, που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.
- Να αναφέρουμε τις αρχιτεκτονικές και να διαχωρίσουμε για το κάθε επίπεδο τα πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.
- Να αναφέρουμε τον διαχωρισμό με βάση το Quality of Service (QoS) και το Quality of Data (QoD) και να κατατάξουμε σε κάθε στάδιο απαιτήσεων τα πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.
- Να αναφέρουμε τον διαχωρισμό με βάση το Radio Access Network (RAN) και το Core Network (CORE) στα πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

Στο πλαίσιο αυτό η διπλωματική εργασία αναφέρει την μελέτη και την προτυποποίηση τεχνολογιών επικοινωνίας για το Industry 4.0 και τα Smart Factories, βασιζόμενη σε άρθρα από τη διεθνή βιβλιογραφία.

## 1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από 8 κεφάλαια, στα οποία γίνεται αναφορά και περιγραφή όλων όσων έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα.

Αναλυτικότερα, το πρώτο κεφάλαιο αποτελείται από το μέρος της εισαγωγής στο Industry 4.0 και τα Smart Factories το οποίο δίνει μια περιγραφή ώστε να αντιληφθεί κάποιος το αντικείμενο της εργασίας μας, τους βασικούς σκοπούς, τους στόχους της και τη δομή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι κατηγορίες και τις βασικές τεχνολογίες του Industry 4.0 και των Smart Factories. που μας βοηθάνε να κατανοήσουμε το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλοι οι οργανισμοί προτυποποίησης, που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

Στην συνέχεια, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλα τα πρότυπα για τον κάθε οργανισμό ξεχωριστά, που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχιτεκτονικές και γίνεται διαχωρισμός για το κάθε επίπεδο στα πρότυπα, που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο διαχωρισμός με βάση το Quality of Service (QoS) και το Quality of Data (QoD) και να κατατάσσονται σε κάθε στάδιο απαιτήσεων τα πρότυπα, που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

Επίσης στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο διαχωρισμός με βάση το Radio Access Network (RAN) και το Core Network (CORE) στα πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται συνοψίζοντας τα συμπεράσματα με αναφορά σε μελλοντική έρευνα, στο όγδοο κεφάλαιο και ακολουθεί η διεθνή βιβλιογραφία.

## Κεφάλαιο 2ο: Industry 4.0

### 2.1 Εισαγωγή στο Industry 4.0

Οι τρεις πρώτες βιομηχανικές επαναστάσεις προέκυψαν ως αποτέλεσμα της μηχανοποίησης, του ηλεκτρισμού και της πληροφορικής. Πλέον, η εισαγωγή του Διαδικτύου των πραγμάτων και των υπηρεσιών στο περιβάλλον παραγωγής εισάγει την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Στο μέλλον, οι επιχειρήσεις θα ιδρύσουν τα παγκόσμια δίκτυα που ενσωματώνουν τα μηχανήματα τους, στα συστήματα αποθήκευσης και εγκατάστασης της παραγωγής με βάση τα Κυβερνοφυσικά Συστήματα (CPS).

Στο περιβάλλον της παραγωγής, τα Cyber Physical συστήματα περιλαμβάνουν έξυπνες μηχανές, συστήματα αποθήκευσης και εγκαταστάσεις παραγωγής με δυνατότητα αυτόνομης ανταλλαγής πληροφοριών, ενεργοποίηση και έλεγχο ενεργειών. Αυτό διευκολύνει τις θεμελιώδεις βελτιώσεις στις βιομηχανικές διαδικασίες που ασχολούνται με την κατασκευή, τη μηχανική, τη χρήση υλικών και τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και του κύκλου ζωής.

Τα έξυπνα εργοστάσια που έχουν ήδη αρχίσει να εμφανίζονται, εφαρμόζουν μια εντελώς νέα προσέγγιση στην παραγωγή. Τα έξυπνα προϊόντα είναι μοναδικά αναγνωρίσιμα, μπορούν να εντοπιστούν ανά πάσα στιγμή και γνωρίζουν τη δική τους τρέχουσα κατάσταση και εναλλακτικές οδούς για την επίτευξη του στόχου τους. Τα ενσωματωμένα συστήματα κατασκευής δικτυώνονται με επιχειρηματικές διαδικασίες εντός των εργοστασίων και οι επιχειρήσεις είναι συνδεδεμένες με δίκτυα διάσπαρτα που μπορούν να διαχειρίζονται σε πραγματικό χρόνο, από τη στιγμή που μια παραγγελία τοποθετείται σωστά στα εξερχόμενα των logistics.

Το Industry 4.0 έχει τεράστιες δυνατότητες. Τα έξυπνα εργοστάσια επιτρέπουν και πρέπει φυσικά να πληρούνται οι ατομικές απαιτήσεις των πελατών. Στις δυναμικές επιχειρήσεις οι διαδικασίες επιτρέπουν αλλαγές της τελευταίας στιγμής στην παραγωγή και παρέχεται η ικανότητα να ανταποκρίνεται ευέλικτα σε διαταραχές και αστοχίες για λογαριασμό προμηθευτών, για παράδειγμα. Επίσης, παρέχεται διαφάνεια όσον αφορά την κατασκευαστική διαδικασία, διευκολύνοντας τη βελτιστοποιημένη και τη λήψη αποφάσεων.

Το Industry 4.0 θα οδηγήσει επίσης σε νέους τρόπους δημιουργίας αξίας και νέα επιχειρηματικά μοντέλα. Ειδικότερα, θα παρέχει νεοσύστατες και μικρές επιχειρήσεις με την ευκαιρία για την ανάπτυξη και την παροχή μεταγενέστερων υπηρεσιών. Επιπλέον, θα αντιμετωπίσει και θα λύσει ορισμένες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο κόσμος σήμερα, όπως η αποδοτικότητα πόρων και ενέργειας, η αστική παραγωγή και η δημογραφική αλλαγή. Επίσης, θα επιτρέπει τη συνεχή λειτουργία αύξησης της παραγωγικότητας των πόρων και της αποδοτικότητας [2].

Προκειμένου να παραδοθούν οι στόχοι της στρατηγικής των CPS, τα ακόλουθα χαρακτηριστικά του Industry 4.0 θα πρέπει να εφαρμοστούν:

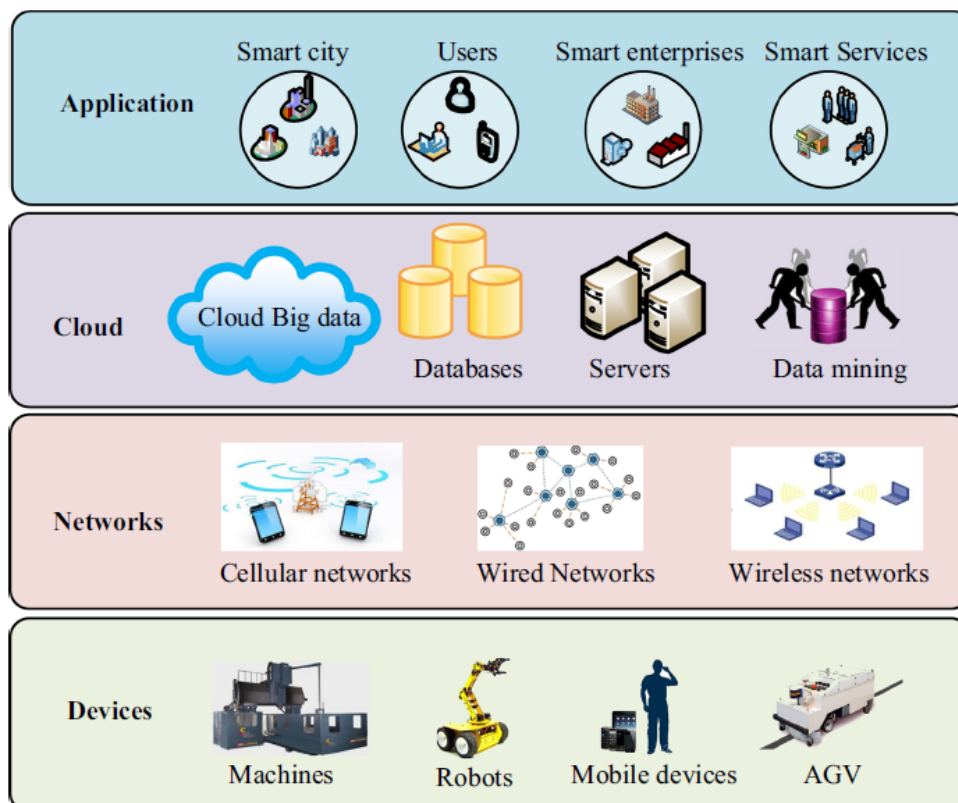
- Οριζόντια ολοκλήρωση μέσω δικτύων.
- Ψηφιακή ολοκλήρωση της μηχανικής σε ολόκληρη την επιχειρηματική αλυσίδα.
- Κάθετη ολοκλήρωση και δικτυωμένη κατασκευή στα συστήματα.

## 2.2 Ο στόχος του Industry 4.0

Ο στόχος του Industry 4.0 είναι η σύνδεση και η ενοποίηση παραδοσιακών βιομηχανιών, ιδιαίτερα της μεταποίησης, της ευελιξίας, της προσαρμοστικότητα, της αποτελεσματικότητα και της αύξησης της επικοινωνίας μεταξύ παραγωγών και καταναλωτών. Το Industry 4.0 αναφέρεται στη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών εργοστασίων που βρίσκονται γενικά σε διαφορετικά απομακρυσμένα μέρη. Επομένως, οι επικοινωνίες και τα δίκτυα παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στο Industry 4.0.

Το παρακάτω Σχήμα 2.1 απεικονίζει τη γενική διάταξη του Industry 4.0. Αυτό το πλαίσιο περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στοιχεία: το φυσικό επίπεδο, το δίκτυο, το σύννεφο/μεγάλα δεδομένα και το στρώμα εφαρμογής. Μηχανές, ρομπότ, κινητές συσκευές, εργάτες, AGV και άλλες ευφείς οντότητες αποτελούν το φυσικό επίπεδο για την απόκτηση και τον υπολογισμό των δεδομένων, την ολοκλήρωση μηχανικών εργασιών και άλλων βασικών λειτουργιών.

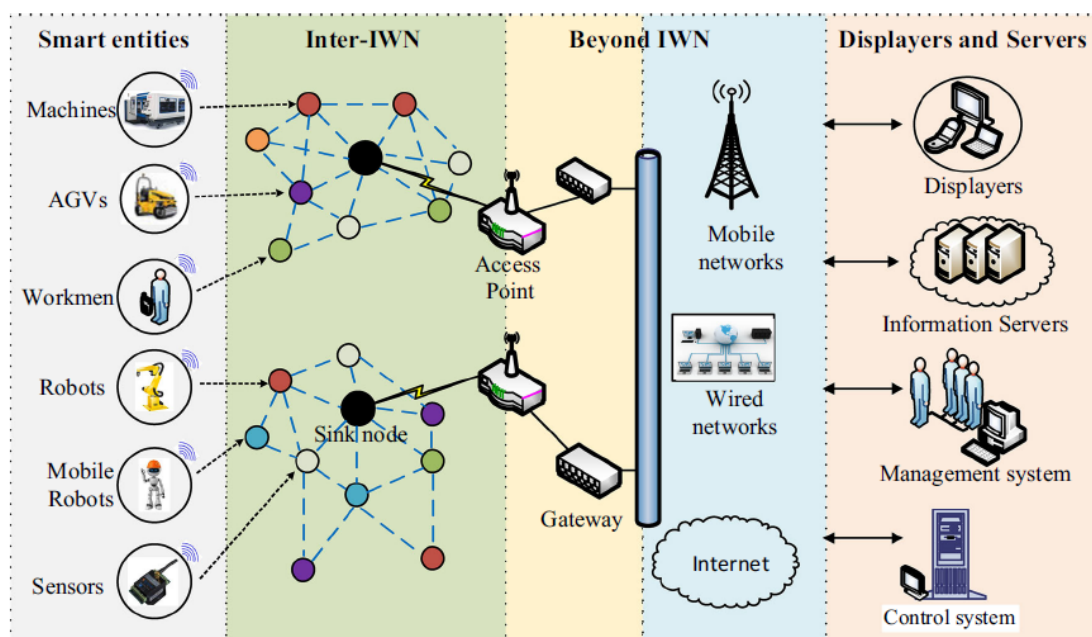
Τα δίκτυα σχηματίζονται από κυβελωτά, ενσύρματα, IWN και άλλα δίκτυα που μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μεταξύ τους, με διαφορετικές οντότητες όπως μηχανή σε μηχανή (M2M), εργάτες σε συσκευές ή δίκτυα σε διακομιστές δεδομένων ή βιομηχανικά σύννεφα. Τα σύννεφα (μεγάλα δεδομένα ή διακομιστές) είναι υπεύθυνα για την αποθήκευση δεδομένων, τον καθαρισμό, την εξόρυξη, την υψηλή απόδοση σε υπολογιστές και σε άλλες υπηρεσίες. Επιπλέον, τα σύννεφα παρέχουν τη γέφυρα μεταξύ του δικτύου και των στρωμάτων εφαρμογής. Το επίπεδο εφαρμογών αποτελείται από την έξυπνη πόλη, τους χρήστες, τις έξυπνες επιχειρήσεις και άλλες έξυπνες υπηρεσίες [3].



Σχήμα 2.1: Η Διάταξη του Industry 4.0 [3]

## 2.3 Ασύρματο δίκτυο βιομηχανίας (IWN)

Για να εξηγήσουμε περαιτέρω το πλαίσιο των IWNs, θα εστιάσουμε στην ασύρματη επικοινωνία από το εσωτερικό του εργοστασίου. Τα IWN έχουν στην πραγματικότητα παρόμοια δομή με το Industry 4.0, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2 (βιομηχανικό σχηματικό διάγραμμα ασύρματων δικτύων). Το σύστημα με την επικοινωνία του IWN μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα μέρη: τις έξυπνες οντότητες, μέσα στο IWN, πέρα από IWN, προβολείς και διακομιστές [3].



Σχήμα 2.2: Σχηματικό διάγραμμα βιομηχανικού ασύρματου δικτύου [3]

Μέσα στο IWN, οι έξυπνες οντότητες (όπως εργάτες, AGV, μηχανές, αισθητήρες) με ασύρματους πομποδέκτες θεωρούνται ως ασύρματοι κόμβοι. Είναι ξεκάθαρο ότι το IWN σχηματίζεται μεταξύ κόμβων από ασύρματα ραδιόφωνα.

Πέρα από το IWN, αφορά τους κόμβους του σημείου πρόσβασης και την πύλη γέφυρας σε άλλα δίκτυα όπως κυψελοειδές, ενσύρματο Διαδίκτυο και άλλα δημόσια δίκτυα. Τέλος, στο υψηλότερο επίπεδο, οι εφαρμογές δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των διακομιστών δεδομένων, της διαχείρισης των ελεγκτών και των συσκευών προβολής, μπορεί να βασίζονται σε αυτά τα συγκεκριμένα δίκτυα.

Για την επικοινωνία και τα δίκτυα εντός εργοστασίου, το IWN διαδραματίζει τον κρίσιμο ρόλο σε ολόκληρο το σύστημα. Εν τω μεταξύ, αν και βιομηχανικά ενσύρματα δίκτυα, π.χ. το βιομηχανικό διαδίκτυο, έχουν σημειώσει μεγάλη πρόοδο χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες και τις τεχνολογίες επικοινωνίας. Το IWN είναι δωρεάν δίκτυο σε ένα βιομηχανικό ενσύρματο σύστημα επικοινωνίας και έχει προφανή πλεονεκτήματα, που συμπίπτουν με τις απαιτήσεις του Industry 4.0, άρα και έχουν υιοθετηθεί περισσότερες βιομηχανικές ασύρματες λύσεις εντός των εργοστασίων, ιδιαίτερα όπου χρησιμοποιούνται κινούμενες συσκευές ή τα ενσύρματα δίκτυα που δεν είναι κατάλληλα [3].

## **2.4 Η Βιομηχανία 4.0 που βασίζεται σε Cyber Physical Systems (CPS)**

Το Industry 4.0 ορίζεται ως «η τέταρτη επανάσταση της βιομηχανίας». Το Κυβερνο-Φυσικό Σύστημα (CPS) είναι η βάση αυτής της επανάστασης. Τα CPS είναι συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού που ενσωματώνουν καινοτόμες λειτουργίες μέσω δικτύωσης για να ενεργοποιήσουν τη σύνδεση των λειτουργιών της φυσικής πραγματικότητας με τους υπολογιστές και την επικοινωνιακή υποδομή. Αυτός ο ορισμός δείχνει ότι τα CPS απαιτούν ετερογενή δεδομένα από πολλαπλές πηγές. Ως αποτέλεσμα, οι τεχνικές ανάλυσης δεδομένων είναι κατάλληλες στην εφαρμογή των πληροφοριών, ως μέρος της υπηρεσίας CPS.

Οι μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων παραμένουν μία πρόκληση για αυτές τις εφαρμογές CPS. Ως εκ τούτου, η εφαρμογή της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων και η μηχανική μάθηση είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη του Industry 4.0. Ο όγκος των δεδομένων που παράγονται από τα ευφυή CPS είναι δύσκολο για την αρχιτεκτονική στο cloud ως προς την επεξεργασία τους.

Αναπόφευκτα, το edge computing χρησιμοποιείται για τη διανομή του φορτίου για την επεξεργασία δεδομένων. Επίσης, οι υπολογιστικές συσκευές είναι πιο κοντά στους τελικούς χρήστες. Επομένως, εξασφαλίζουν χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο μιας υπηρεσίας [4].

## **2.5 Ο κλάδος της Βιομηχανίας 4.0 (I4.0) και οι τεχνολογίες του**

Η μετάβαση στις τεχνολογίες I4.0 προσφέρει πολλές ευκαιρίες να εφεύρουν εκ νέου παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού. Ως ιδέα, το I4.0 απρόσκοπτα συνδέει φυσικά στοιχεία και προηγμένες ψηφιακές τεχνολογίες, που περιλαμβάνει εννέα ψηφιακές τεχνολογίες, δηλαδή προηγμένα ρομπότ, IIoT, μεγάλη ανάλυση δεδομένων, κατασκευή πρόσθετων, κατασκευή cloud, επαυξημένη πραγματικότητα (AR), προσομοίωση, οριζόντια και κάθετη ολοκλήρωση και την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο του I4.0.

Οι τεχνολογίες επικεντρώνονται στην ψηφιοποίηση από άκρο σε άκρο ολόκληρης της αλυσίδας. Ωστόσο, σε μια πτυχή της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι τεχνολογίες I4.0 προσφέρουν μια ευκαιρία για σημαντική βελτίωση της σε διαδικασίες και στη συνέχεια επίτευξη στρατηγικών αποτελεσμάτων. Αυτή η κίνηση της ψηφιοποίησης έχει γίνει ο βασικός άξονας για τους οργανισμούς, ανεξάρτητα από το μέγεθος ή την κλίμακα τους.

Η εφαρμογή τεχνολογιών I4.0 θα βοηθήσει τους οργανισμούς να συνειδητοποιήσουν τη βιώσιμη ανάπτυξη και να δημιουργήσουν ανώτατες και κατώτατες αξίες μέσω ταχύτερου σχεδιασμού και ανάπτυξης, καινοτόμων προϊόντων, με ελάχιστο κίνδυνο και φυσικά με εξάλειψη της σπατάλης.

Η ψηφιακή τεχνολογία είναι κάτι παραπάνω από έναν απλό μετασχηματισμό που βασίζεται στην τεχνολογία. Διευκολύνει να υποστηρίζεται από όλους, δηλαδή, συμπεριλαμβανομένων των ηγετών του κλάδου, των υπευθύνων χάραξης πολιτικής και τα άτομα από όλες τις εισοδηματικές ομάδες και χώρες, για τη δημιουργία της ανθρωποκεντρικής κοινωνίας [5].

Στη Industry 4.0, το IoT συνδέεται παράλληλα με τα CPS με τέτοιο τρόπο ώστε το σύστημα να αναπτύσσουν τη δυνατότητα παραγωγής και τροφοδοσίας πληροφοριών, προσθέτοντας αξία στη διαδικασία της παραγωγής. Η διασύνδεση καθίσταται δυνατή με συνδυασμό λογισμικού, αισθητήρων, επεξεργαστή και τεχνολογίες επικοινωνίας [6].

### 2.5.1 Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT)

Το IoT είναι ένα νέο βιομηχανικό οικοσύστημα που συνδυάζει έξυπνες και αυτόνομες μηχανές, προηγμένες προγνωστικές αναλύσεις και συνεργασία μηχανής - ανθρώπου για τη βελτίωση της παραγωγικότητας, της αποτελεσματικότητας και της αξιοπιστίας. Το IoT παρέχει ικανότητα ανίχνευσης/ενεργοποίησης σε πραγματικό χρόνο και δυνατότητα γρήγορης μετάδοσης δεδομένων/πληροφοριών, έτσι ώστε η εξ' αποστάσεως λειτουργία των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και η αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων να διευκολύνεται σημαντικά.

Το Cloud Manufacturing (CM) και το IoT είναι αλληλένδετα, αλλά στα περισσότερα εστιάζει μόνο σε ένα από αυτά και λαμβάνει το άλλο ως συστατική τεχνολογική μονάδα. Η αυξανόμενη χρήση αισθητήρων σε φυσικά προϊόντα τους επιτρέπει να συλλαμβάνουν, να επεξεργάζονται και να επικοινωνούν τα δεδομένα με ανθρώπους και άλλα φυσικά συστήματα. Υπάρχει μεγάλο δυναμικό για την ανάπτυξη εφαρμογών που βασίζονται σε αισθητήρες, καθώς αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προληπτική συντήρηση ανιχνεύοντας τη φθορά του εξοπλισμού, για να αποφευχθούν τα αποθέματα μέσω της παρακολούθησης των επιπέδων τους, για καλύτερη χωρητικότητα στον προγραμματισμό και την αξιολόγηση της χρήσης και της λειτουργικότητας των προϊόντων.

Η τεχνολογία IoT χρησιμοποιείται για τη συλλογή, την ανάλυση και τη διαχείριση δεδομένων και το αντικειμενοστραφές σύστημα RFID χρησιμοποιείται ως διαδικασία ελέγχου στα συστήματα παραγωγής. Τα προϊόντα IoT έχουν μοναδικά αναγνωριστικά και συνδέονται περίπλοκα με πληροφορίες σχετικά με την προέλευση, τη χρήση και τον προορισμό τους.

Η χρήση του IoT βοηθά στον αποτελεσματικό συντονισμό και συγχρονισμό της ροής των προϊόντων και των πληροφοριών. Τα CPS που βασίζονται στην τεχνολογία IoT, βρίσκουν εφαρμογές στην έξυπνη κατασκευή για την επίτευξη έξυπνης αντίληψης και πρόσβασης σε διάφορους κατασκευαστικούς πόρους, για τη σύνδεση πολλών μερών χρησιμοποιώντας κοινωνικά δίκτυα για τη διευκόλυνση ανοιχτών καινοτομιών, για τον έλεγχο διαδικασίας με χρήση RFID, για την παροχή μεγαλύτερης ευελιξίας στη διαδικασία παραγωγής, για τη βελτίωση της παραγωγικότητας των μικροσυσκευών και για τη διαχείριση της δυναμικής στις διαδικασίες εφοδιαστικής παραγωγής [6].

### 2.5.2 Ο ρόλος των μεγάλων δεδομένων στη Βιομηχανία 4.0

Οι κατασκευαστικές εταιρείες θα πρέπει να διαθέτουν τις δυνατότητες ανάλυσης δεδομένων για την προώθηση του ψηφιακού μετασχηματισμού. Ως εκ τούτου, απαιτείται να διαθέτουν μια ευρεία ποικιλία συνόλων δεξιοτήτων για την ανάπτυξη των αλγορίθμων και την ερμηνεία των δεδομένων. Τα μεγάλα data analytics και οι τεχνολογίες που υποστηρίζουν τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από πολλές διαφορετικές πηγές, η ολοκληρωμένη ανάλυση των δεδομένων και η λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο οδηγούν σε βελτιωμένη ευελιξία κατασκευής, ποιότητας προϊόντων, ενεργειακής απόδοσης και βελτιωμένης υπηρεσίας εξοπλισμού μέσω προγνωστικής συντήρησης.

Τα αναλυτικά στοιχεία μεγάλων δεδομένων έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην κατασκευή για την παρακολούθηση της διαδικασίας και την εύρεση σφαλμάτων που υποστηρίζει νέες δυνατότητες όπως η προγνωστική ανάλυση. Ωστόσο, αυτές οι δυνατότητες απαιτούν υψηλής ποιότητας δεδομένων και τεχνογνωσία στην ανάλυση για την υλοποίηση αποτελεσματικών διαδικτυακών λύσεων παραγωγής. Η εκμετάλλευση της ευφυΐας από μεγάλα δεδομένα για την προώθηση της ευελιξίας απαιτεί την

αντιμετώπιση νέων προκλήσεων, όπως το πώς να διασφαλιστεί η συνέπεια και η εμπιστευτικότητα των δεδομένων μέσω μακρών, πολύπλοκων αλυσίδων εφοδιασμού [6].

### 2.5.3 Cloud για την ενσωμάτωση του CPS

Το Industry 4.0 και η κατασκευή cloud επιτρέπουν τη δικτύωση κατασκευαστικών πραγμάτων, υπηρεσιών, δεδομένων και ανθρώπων μέσω του διαδικτύου στον τομέα της κατασκευής, ο οποίος αποτελεί μέρος του έξυπνου, δικτυωμένου κόσμου. Το cloud manufacturing θα απελευθερώσει το πλήρες δυναμικό της μεταποιητικής βιομηχανίας στην επόμενη νέα εποχή της βιομηχανικής παραγωγής. Οι τεχνολογίες cloud μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρέως στο Industry 4.0 για αυξημένη κοινή χρήση δεδομένων πέρα από τα όρια της εταιρείας, βελτιωμένη απόδοση και μειωμένο κόστος μέσω της σύνδεσης συστημάτων στο διαδίκτυο.

Ο Wang et al. παρουσίασε ένα πλαίσιο smart factory που ενσωματώνει βιομηχανικό δίκτυο, σύννεφο και τερματικά ελέγχου εποπτείας με έξυπνα αντικείμενα όπως μηχανήματα, μεταφορείς και προϊόντα. Αυτά τα αυτοοργανωμένα φυσικά συστήματα υποβοηθούνται από ανατροφοδότηση μεγάλων δεδομένων που βασίζεται σε σύννεφο και έλεγχο συντονισμού. Το προτεινόμενο σύστημα βοηθά στο σχεδιασμό συμπληρωματικών στρατηγικών για την αποφυγή αδιεξόδων βελτιώνοντας τη λήψη αποφάσεων των πρακτόρων και τη συμπεριφορά του συντονιστή.

Το σύστημα που προτάθηκε από τον Wang et al. εισήγαγε τις κινητές υπηρεσίες ως το τρίτο επίπεδο, ενσωματωμένες με την τεχνολογία του υπολογιστικού νέφους και τα επίπεδα συσκευών κατασκευής. Σε αυτό το σύστημα, τα στρώματα των συσκευών κατασκευής αποτελούνται από φυσικές συσκευές, όπως ένας εύκαμπτος μεταφορικός ιμάντας, βιομηχανικά ρομπότ και αντίστοιχοι αισθητήρες, οι οποίοι συνδέονται με το cloud μέσω της υποστήριξης μιας ασύρματης μονάδας. Τα μεγάλα δεδομένα παραγωγής σχετικά με την προσαρμοσμένη κατασκευή υπολογίζονται στη συνέχεια στο cloud και χρησιμοποιούνται για τη λήψη παραγγελιών από πελάτες και για την έρευνα σχετικά με τις απαραίτητες πληροφορίες παραγωγής, με βάση μια πλατφόρμα υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας.

Ο Parkand Tran στην συνέχεια πρότεινε ένα έξυπνο σύστημα παραγωγής βασισμένο σε cloud για μηχανική μετάδοση στο οποίο η προηγμένη τεχνολογία πληροφοριών και επικοινωνίας, όπως ο γνωστικός παράγοντας, η νοημοσύνη και το cloud computing, χρησιμοποιούνται για την ενοποίηση, την οργάνωση και την κατανομή των πόρων μηχανικής επεξεργασίας. Με την αυξανόμενη χρήση των τεχνολογιών υπολογιστικού νέφους, υπάρχει ανάγκη βελτιστοποίησης του χώρου αποθήκευσης. Συνιστάται η χρήση μνήμης flash με βελτιωμένους αλγορίθμους [6].

### 2.5.4 Κυβερνοασφάλεια

Τα CPS που βασίζονται στο IoT που συνδέονται με εκατομμύρια ενσωματωμένους αισθητήρες και συσκευές επικοινωνίας ενέχουν τους συνήθεις κινδύνους που σχετίζονται με την αυξημένη χρήση δεδομένων και τους πιο σημαντικούς κινδύνους συστημικών παραβιάσεων. Τα CPMS ενδέχεται να αντιμετωπίσουν την απειλή των επιθέσεων στον κυβερνοχώρο. Μόλις αναπτυχθούν τα CPMS στους οργανισμούς, το κακόβουλο λογισμικό μπορεί να επηρεάσει και να εξαπλωθεί από το ένα μηχάνημα στο άλλο μέσω των συστημάτων επικοινωνίας. Οι ιοί που διαδίδονται μέσω αυτού του κακόβουλου λογισμικού ενδέχεται να έχουν σκοπό να τροποποιήσουν τη διαδικασία κατασκευής ή να καταστρέψουν

δεδομένα μέσω του συστήματος, οδηγώντας σε ελαττώματα στα προϊόντα ή σε πλήρη τερματισμό λειτουργίας.

Τα ζητήματα ασφάλειας στα CPMS με τη μορφή κυβερνοεπιθέσεων και κλοπών δεδομένων είναι κρίσιμα και πρέπει να ελέγχονται για να βελτιωθεί η αξιοπιστία και η αποδοχή του συστήματος. Τα βιομηχανικά δεδομένα είναι εξαιρετικά ευαίσθητα, καθώς περικλείουν διάφορες πτυχές της βιομηχανικής λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών σχετικά με προϊόντα, επιχειρηματικές στρατηγικές ακόμα και για τις ίδιες τις εταιρείες [6].

## 2.6 Βιομηχανία 4.0 περιπτώσεις χρήσης και απαιτήσεις επικοινωνίας

Το Industry 4.0 προβλέπει μια σειρά αλλαγών για τη μετατροπή του ρεύματος σχετικά με στατικές και μακροχρόνιες εγκαταστάσεις παραγωγής σε υψηλής ευκαμψίας συνδεδεμένα και ψηφιοποιημένα εργοστάσια. Τα έξυπνα εργοστάσια είναι πιο ευέλικτα και ενσωματώνονται πιο αποτελεσματικά με κινητά ρομπότ, επαναδιαμορφώσιμα μηχανήματα και κινητές βιομηχανικές εφαρμογές. Αυτό απαιτεί μεγαλύτερη ενσωμάτωση της ασύρματης επικοινωνία στα εργοστάσια και το 5G που είναι σίγουρα ένας σημαντικός παράγοντας για τη βιομηχανία 4.0.

Η Τεχνολογία 5G για τις Συνδεδεμένες Βιομηχανίες και Αυτοματισμού και τα 3GPP, έχει προσδιορίσει τη χρήση του Industry 4.0 με νέες υποθέσεις και αιτήσεις. Οι περιπτώσεις χρήσης σχετίζονται με διαφορετικούς τομείς εφαρμογής, όπως ο αυτοματισμός διεργασιών και εργοστασίων Logistics, η αποθήκευση, η παρακολούθηση και η συντήρηση. Οι περιπτώσεις χρήσης έχουν διαφορετικές απαιτήσεις επικοινωνίας, ως προς τους ρυθμούς δεδομένων, την καθυστέρηση, την αξιοπιστία ή την διαθεσιμότητα μεταξύ άλλων.

Οι περιπτώσεις χρήσης ταξινομούνται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες κυκλοφορίας: ντετερμινιστική περιοδική, ντετερμινιστική απεριοδική και μη ντετερμινιστική. Η ντετερμινιστική περιοδική κίνηση δημιουργείται περιοδικά και πρέπει να παραληφθεί εντός δεδομένης προθεσμίας. Επίσης, χαρακτηρίζεται από μέγιστη καθυστέρηση και αυτό εξαρτάται από την υποστηριζόμενη περίπτωση χρήσης. Η ντετερμινιστική περιοδική κίνηση είναι η πιο κοινή κλάση ως προς την βιομηχανία. Για παράδειγμα, σχετίζεται με περιπτώσεις χρήσης όπως ο έλεγχος κίνησης, ο έλεγχος της επικοινωνίας, της κινητής επικοινωνίας μεταξύ των ρομπότ και της αυτοματοποίησης διαδικασιών.

Η ντετερμινιστική απεριοδική κίνηση δεν δημιουργείται περιοδικά, αλλά όταν δημιουργούνται πακέτα πρέπει επίσης να λαμβάνονται με μία συγκεκριμένη προθεσμία που δίνεται. Επίσης, είναι χαρακτηριστικό των περιπτώσεων χρήσης που βασίζονται σε συμβάντα όπου ενεργοποιείται μια μετάδοση όταν συμβαίνουν συγκεκριμένα γεγονότα. Αυτά τα συμβάντα μπορούν να ενεργοποιηθούν, για παράδειγμα, όταν: 1) υπερβαίνει μια θερμοκρασία, μία πίεση ή ένα επίπεδο ή πέφτει κάτω από τα προκαθορισμένα επίπεδα, 2) αισθητήρες ανίχνευσης δυσλειτουργιών ή σφαλμάτων συσκευών ή μονάδων, 3) ή βάσει πληροφοριών που υποδεικνύουν την απαραίτητη συντήρηση εργασίας για την πρόληψη ίσως αστοχιών. Η ντετερμινιστική απεριοδική κίνηση για παράδειγμα, χρησιμοποιεί συνθήκες που σχετίζονται με πίνακες ελέγχου, με λειτουργίες ασφαλείας και αυτοματοποίησης διαδικασιών.

Τέλος, η μη ντετερμινιστική κίνηση είναι κίνηση περιοδική ή απεριοδική, που δεν έχει χρονική προθεσμία με την οποία πρέπει να παραληφθεί. Επίσης, χαρακτηριστικό των εφαρμογών της, που για παράδειγμα απαιτούν στο λογισμικό ενημερώσεις ή και νέες λήψεις. Αυτές οι εφαρμογές μπορεί να βρεθούν σε περιπτώσεις χρήσης όπως ο έλεγχος κίνησης, η ασφάλεια των πάνελ ή η αυτοματοποίηση διεργασιών [7].

Τα κύρια χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις επικοινωνίας ορισμένων επιλεγμένων περιπτώσεων χρήσης Industry 4.0 περιγράφονται παρακάτω. Οι απαιτήσεις τους συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.1 όπου οι περιπτώσεις χρήσης και οι εφαρμογές ομαδοποιούνται με βάση την επισκευσιμότητα.

Πίνακας 2.1: Περιπτώσεις Χρήσης και εφαρμογές του Industry 4.0 [7]

Traffic class	Use Case	Application	Latency	Payload	Data Rate	#Nodes
Deterministic periodic traffic	Motion to Control	Printing machine	2 ms	20 bytes	-	20-100
	Control to Control	Machine coordination	4-10 ms	1 Kbytes	-	5-10
	Mobile robots	Cooperative control	1 ms	40-250 bytes	-	<100
Deterministic aperiodic traffic	Safety panels	Emergency stops	<4 ms	40-250 bytes	-	<100
	PA-Closed loop control	Closed-loop control events	<10 ms	10 bytes	-	10-1000
	PA-Plan asset management	Failure alarms	<50 ms	10-100 bytes	-	<10.000Km <sup>2</sup>
Non-deterministic traffic	Motion control	Software/firmware updates	-	-	>1 Mbps	<100
	Safety panels	User interaction	-	-	>5 Mbps	<4
	Plan asset management	Assets software updates	-	-	>1 Mbps	<10.000Km <sup>2</sup>

Παρακάτω παρουσιάζεται μία λεπτομερής ανάλυση όλων των περιπτώσεων χρήσης και των απαιτήσεών τους:

- Έλεγχος κίνησης: Υπεύθυνο είναι ένα σύστημα ελέγχου κίνησης για τον έλεγχο κινούμενων και/ή περιστρεφόμενων μηχανών (π.χ. εκτυπωτικές μηχανές, εργαλειομηχανές). Ο έλεγχος κίνησης δημιουργεί περιοδική κίνηση με ντετερμινιστικές και αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης. Αυτή η περίπτωση χρήσης μπορεί επίσης να απαιτεί δεδομένα που δεν σχετίζονται με πραγματικό χρόνο για παράδειγμα σε ενημερώσεις ή σε συντήρηση λογισμικού/πληροφοριών. Αυτή η περίπτωση χρήσης περιλαμβάνεται επομένως δύο κατηγορίες κυκλοφορίας στον Πίνακα 2.1.
- Επικοινωνία ελέγχου προς έλεγχο: Αυτή η περίπτωση χρήσης σχετίζεται με την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών βιομηχανικών ελεγκτών. Μια τέτοια επικοινωνία μπορεί να είναι απαραίτητη στη σύνδεση, για παράδειγμα, σε μεμονωμένες μηχανές που χρησιμοποιούνται σε μια γραμμή συναρμολόγησης με σκοπό την ολοκλήρωση μιας κοινής εργασίας. Μπορεί να απαιτείται επίσης ο συγχρονισμός και η ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μεταξύ διαφορετικών ελεγκτών σε μεγάλα μηχανήματα (π.χ. μηχανές εκτύπωσης εφημερίδων). Η έλεγχος προς έλεγχο επικοινωνία συνήθως δημιουργεί περιοδική κίνηση με ντετερμινιστικές και σχεδόν σε πραγματικό χρόνο απαιτήσεις καθυστέρησης.
- Κινητά ρομπότ: Ένα κινητό ρομπότ είναι ένα προγραμματιζόμενο μηχανήμα ικανό να φέρει εις πέρας μια μεγάλη ποικιλία εργασιών συνήθως ακολουθώντας προγραμματισμένες διαδρομές. Τα κινητά ρομπότ είναι συνήθως ελεγχόμενα ή παρακολουθούνται από σύστημα ελέγχου καθοδήγησης. Μια ντετερμινιστική και περιοδική επικοινωνία μεταξύ του ρομπότ και του συστήματος ελέγχου συνήθως απαιτείται. Μπορεί επίσης να απαιτηθούν και άλλοι τύποι κυκλοφορίας ανάλογα με την ειδική εφαρμογή που υποστηρίζεται από το κινητό ρομπότ.
- Κινητοί πίνακες ελέγχου με λειτουργίες ασφαλείας: Οι πίνακες ελέγχου χρησιμοποιούνται κυρίως για διαμόρφωση, παρακολούθηση και έλεγχο μηχανών, ρομπότ ή γραμμές παραγωγής. Οι πίνακες ελέγχου ασφαλείας είναι επίσης τυπικά εξοπλισμένοι με κουμπί διακοπής έκτακτης

ανάγκης. Αυτή η χρήση απαιτεί τη μετάδοση μη κρίσιμων δεδομένων (μη ντετερμινιστική) για τη διαμόρφωση, τη παρακολούθηση και τη συντήρηση των μηχανημάτων. Απαιτεί επίσης τη μετάδοση εξαιρετικά κρίσιμης και απρόβλεπτης ασφάλειας δεδομένων με αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης (ντετερμινιστική απεριοδική κυκλοφορία) όταν πατηθεί ο διακόπτης έκτακτης ανάγκης.

- Έλεγχος κλειστού βρόχου αυτοματισμού διεργασιών (PA.): Σε αυτή την περίπτωση χρήσης, αρκετοί αισθητήρες είναι εγκατεστημένοι σε ένα σύστημα και ο καθένας αισθητήρας κάνει συνεχείς μετρήσεις. Τα δεδομένα διαβιβάζονται σε έναν ελεγκτή που ενεργεί σε ορισμένους ενεργοποιητές. Η καθυστέρηση και ο ντετερμινισμός σε αυτή τη χρήση περίπτωσης είναι κρίσιμης σημασίας. Ο έλεγχος κλειστού βρόχου παράγει περιοδική και μη περιοδική κίνηση με αυστηρές απαιτήσεις καθυστέρησης (δηλαδή ντετερμινιστική κίνηση). Η κίνηση είναι απεριοδική εάν για παράδειγμα ο αισθητήρας μεταδίδει δεδομένα μόνο όταν έχει ξεπεραστεί ένα συγκεκριμένο όριο. Θα είναι περιοδικό εάν τα δεδομένα πρέπει να διαβιβάζονται περιοδικά για τη διατήρηση της ενεργής βιομηχανικής διεργασίας.
- Διαχείριση στοιχείων σχεδίου αυτοματισμού διαδικασιών (PA.): Σε αυτήν την περίπτωση χρήσης, οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τα στοιχεία. Αυτά τα δεδομένα πρέπει να διαβιβάζονται για αποθήκευση και να υποβάλλονται σε επεξεργασία μέσα σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα (ντετερμινιστική απεριοδική κίνηση). Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για τη συνεχή διάγνωση των στοιχείων και είναι σε θέση να ανιχνεύει (και ακόμη και να προβλέπει) οποιαδήποτε πιθανή αστοχία. Εάν υπάρχει αστοχία ανιχνεύεται το συμβάν και μεταδίδεται αμέσως. Αυτή η χρήση περίπτωσης μπορεί επίσης να περιλαμβάνει ενημερώσεις λογισμικού όταν, για παράδειγμα, είναι απαραίτητο να προσαρμοστούν τα στοιχεία σε μελλοντικές μεταβαλλόμενες συνθήκες [7].

## 2.7 Ο ρόλος των δικτύων 5G στον Βιομηχανικό Αυτοματισμό

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός είναι ο πυρήνας της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης και το 5G είναι η υποδομή του δικτύου και η βασική υποστήριξη όλων των στοιχείων που την αποτελούν. Την επόμενη δεκαετία, η μεταποιητική βιομηχανία αναμένεται να εξελιχθεί σε έναν κατανομημένο οργανισμό παραγωγής, με συνδεδεμένα αγαθά (προϊόντα με επικοινωνιακή ικανότητα), με διαδικασίες χαμηλής ενέργειας, με συνεργατικά ρομπότ και με logistics.

Ένα σενάριο εφαρμογής είναι να σχηματιστεί ένα δίκτυο με γεωγραφικά διανεμημένα εργοστάσια με ευέλικτη προσαρμογή των παραγωγικών δυνατοτήτων και κοινή χρήση πόρων και στοιχείων για τη βελτίωση εκπλήρωσης παραγγελίας. Μεταξύ άλλων πράγματα, μια αξιόπιστη επικοινωνία ευρείας περιοχής χρειάζεται για αυτή την περίπτωση χρήσης. Σαν αποτέλεσμα αυτών των μετασχηματισμών, οι βιομηχανίες θα έχουν ενισχυμένη τεχνική διαθέσιμη ικανότητα να πυροδοτήσουν την ανάπτυξη των νέων προϊόντων και υπηρεσιών.

Το δίκτυο προσφέρει οριζόντια επικοινωνία μέσα σε κάθετη δομή. Στην Ευρώπη, η επόμενη γενιά των δικτύων θα θεωρείται ως ένα συνδυασμένο σύστημα, καλύπτοντας τόσο ενσύρματα όσο και ασύρματα τις λύσεις επικοινωνίας, από ιδιωτικούς και δημόσιους παρόχους επικοινωνίας, προσφέροντας εικονική και φυσική λειτουργία.

Η ετερογένεια σε μια τέτοια προσέγγιση είναι προφανής, καθώς παρέχει ένα σύνολο κατάλληλων εφαρμογών και υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες, που είναι και η βασική απαίτηση. Είναι επίσης σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις των τελικών χρηστών. Στο πλαίσιο αυτό, λαμβάνονται υπόψη και οι τελικοί χρήστες και τα μελλοντικά εργοστάσια [8].

Οι απαιτήσεις δείχνουν ότι η καθυστέρηση, η αξιοπιστία και η πυκνότητα, μαζί με αυστηρούς περιορισμούς σε έδαφος και πληθυσμιακή κάλυψη, είναι οι πιο σημαντικοί στόχοι που πρέπει να επιτύχει το 5G για την υποστήριξη όλων των δυνατών υπηρεσιών. Εξάλλου, με τη διαθεσιμότητα επικοινωνιών, με υψηλό επίπεδο εγγυημένης ποιότητας υπηρεσιών (QoS) και με επίπεδα κόστους κατάλληλα για την ικανοποίηση πελατών, το 5G θα ανοίξει τον τρόπο για νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες.

Επιπλέον, οι απαιτήσεις έχουν ενσωματωθεί σε ένα συνολικό όραμα του 5G. Έχει αναπτυχθεί μια κοινή δομή που αποτελείται από διαφορετικά στρώματα με συγκεκριμένα επίπεδα. Οι ευφυείς πλατφόρμες προκύπτουν από τα δίκτυα 5G και την αρχιτεκτονική 5G και αναμένεται να φιλοξενήσουν μια μεγάλη γκάμα περιπτώσεων χρήσης με προηγμένες απαιτήσεις, ιδίως από άποψη του λανθάνοντος χρόνου, της ανθεκτικότητας, της κάλυψης και το εύρος ζώνης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το 5G αφορά περισσότερο το κινητό Διαδίκτυο και, ως εκ τούτου, περισσότερο από την απλή επέκταση του σημερινού τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Το 5G χρειάζεται να ενσωματωθούν διαφορετικές τεχνολογίες ενεργοποίησης (π.χ. κινητό, ενσύρματο, δορυφορικό και οπτικό), ρυθμιστικά πλαίσια φάσματος (π.χ. με άδεια και χωρίς άδεια) και δυνατότητες ενεργοποίησης (π.χ. IoT, CPS). Για να αντιμετωπίσει την αυξανόμενη ποικιλομορφία των ασύρματων συστημάτων IoT στην κατασκευή, υπάρχει η ανάγκη για δυνατότητες διασφάλισης του ίδιου επιπέδου αξιοπιστίας όπως προσφέρεται στις ενσύρματες τοπολογίες.

Το βιομηχανικό Διαδίκτυο έχει τις περισσότερες αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά τις καθυστερήσεις και την αξιοπιστία, ιδίως για χρήση σε χρονικά κρίσιμη επικοινωνία κλειστού βρόχου. Υπάρχουν ακόμα κάποια ερωτήματα για τον τρόπο διαχείρισης, όπως:

- συνύπαρξη διαφορετικών ασύρματων πρωτοκόλλων και συστημάτων
- συνύπαρξη διαφορετικών καλωδίων
- διαλειτουργικότητα μεταξύ επικοινωνίας συστημάτων
- μηχανική, προσαρμοστική κατά τη διάρκεια λειτουργία (με βάση προηγουμένως συλλέγονται δεδομένα από την πραγματική ζωή).

Για να καταστεί δυνατή η συνύπαρξη των ασύρματων τεχνολογιών απαιτούνται νέα πρωτόκολλα για τη διαχείριση της συνεργασίας των τεχνολογιών που λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων ή για να εξαπλωθεί η χρήση σε πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων με συντονισμένο και προσαρμοστικό τρόπο. Βασικός στόχος είναι η αύξηση της χωρητικότητας των σύγχρονων ασύρματων τεχνολογιών μέσω της αυτοοργάνωσης της τεχνολογίας 5G και της προετοιμασία για μελλοντικά σενάρια, όπου μπορούν έως και 100 αισθητήρες να λειτουργούν ανά κυβικό μέτρο χωρίς να θέτουν σε κίνδυνο τη διαθεσιμότητα των ρομπότ ή τις συνδεδεμένες μηχανές.

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας του Διαδικτύου θα επιτρέψει την ευκολότερη ενοποίηση των ροών εργασίας μέσω τυποποιημένων διεπαφών. Κάθε μία από τις ροές εργασίας μπορεί να έχει διαφορετικές απαιτήσεις σε σχέση με το εύρος ζώνης, την καθυστέρηση και την διαθεσιμότητα και ως αποτέλεσμα το κόστος για τη δικτύωση. Υπάρχει η ευκαιρία για την κοινότητα του 5G για επέκταση της διαχείρισης των δυνατοτήτων πέρα από τη δικτύωση και τις υπηρεσίες για την ασφάλεια, την ανάλυση δεδομένων και το cloud/edge computing [9].

## Κεφάλαιο 3ο: Οργανισμοί προτυποποίησης

### 3.1 Οργανισμοί τυποποίησης

Οι οργανισμοί τυποποίησης μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το ρόλο, τη θέση τους και το μέγεθος της επιρροής τους στην τοπική, εθνική, περιφερειακή και παγκόσμια «αρένα» της τυποποίησης. Με γεωγραφική ονομασία, υπάρχουν διεθνείς, περιφερειακοί και εθνικοί φορείς τυποποίησης, οι τελευταίοι εκ των οποίων συνήθως αναφέρονται ως Εθνικοί Οργανισμοί Τυποποίησης (National Standards Bodies - NSBs). Με βάση το τεχνολογικό αντικείμενο ή την προέλευση από κάποιον βιομηχανικό κλάδο, υπάρχουν οργανισμοί που αναπτύσσουν πρότυπα (Standards Developing Organizations - SDO), καθώς, επίσης, και οργανισμοί που τα ορίζουν (Standards Setting Organizations - SSOs), γνωστοί ως κοινοπραξίες.

Οι οργανισμοί τυποποίησης μπορεί να είναι κυβερνητικοί, ημι-κυβερνητικοί ή μη κυβερνητικοί φορείς. Οι ημι-κυβερνητικοί και οι μη κυβερνητικοί οργανισμοί προτυποποίησης είναι συνήθως μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί.

### 3.2 Διεθνές Επίπεδο: Παγκόσμιοι Οργανισμοί Τυποποίησης

Συνήθως ένας διεθνής οργανισμός τυποποίησης αναπτύσσει διεθνή πρότυπα με παγκόσμια κάλυψη και εφαρμογή. Υπάρχουν πολλοί διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης, όπως ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Organization for Standardization - ISO), η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (International Electrotechnical Commission - IEC), το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE), η Ειδική Ομάδα Μηχανικής Διαδικτύου (Internet Engineering Task Force - IETF), η Διεθνής Εταιρεία Αυτοματισμού (International Society of Automation - ISA) και η PI (PROFIBUS & PROFINET International) που δραστηριοποιούνται για περισσότερα από 50 χρόνια (ιδρύθηκαν το 1947, το 1906, το 1963, το 1986, το 1945 και το 1997 αντίστοιχα) και εδρεύουν οι δύο πρώτοι στη Γενεύη της Ελβετίας, οι επόμενοι δύο εδρεύουν στο Piscataway του New Jersey στις ΗΠΑ και στην Καλιφόρνια στις ΗΠΑ, ο προ-τελευταίος στο Πίτσμπουργκ της Πενσυλβάνιας και ο τελευταίος στη Γερμανία/Καρλσρούη αντίστοιχα.

Έχουν συσταθεί δεκάδες χιλιάδες πρότυπα που καλύπτουν σχεδόν κάθε πιθανό θέμα. Πολλά από αυτά υιοθετούνται στη συνέχεια σε όλο τον κόσμο και αντικαθιστούν διάφορα ασύμβατα «τοπικά» πρότυπα. Πολλά απ' αυτά τα πρότυπα εξελίχθηκαν φυσιολογικά από πρότυπα που δημιούργησε η ίδια η βιομηχανία ή μία συγκεκριμένη χώρα, ενώ άλλα έχουν κατασκευαστεί από το μηδέν από ομάδες εμπειρογνομόνων που είναι μέλη σε διάφορες τεχνικές επιτροπές (Technical Committees - TCs).

#### 3.2.1 International Organization for Standardization – ISO

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης ISO αποτελείται από τους εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης (National Standardization Bodies - NSBs), έναν από κάθε χώρα-μέλος του (για την Ελλάδα ο εθνικός οργανισμός τυποποίησης είναι ο ΕΛΟΤ). Ο οργανισμός IEC αποτελείται από «εθνικές επιτροπές»,

επίσης μία από κάθε χώρα-μέλος. Η Συνεργασία Παγκόσμιων Προτύπων (World Standards Cooperation - WSC) είναι μια συνεργατική προσπάθεια μεταξύ του ISO, της IEC και της ITU.

Οι οργανισμοί ISO και IEC είναι διεθνείς οργανισμοί οι οποίοι δεν δημιουργήθηκαν με διεθνείς συνθήκες (non-treaty). Τα μέλη τους μπορεί να είναι μη κυβερνητικές οργανώσεις ή κυβερνητικές υπηρεσίες. Ο ITU είναι ένα παράδειγμα οργανισμού προτύπων, ο οποίος δημιουργήθηκε με διεθνή συνθήκη (είναι παράρτημα του ΟΗΕ). Σε αυτού του είδους τους οργανισμούς μόνο οι κυβερνήσεις είναι κύρια μέλη. Τα μέλη αυτών των οργανισμών είναι το Υπουργείο Εξωτερικών της κάθε κυβέρνησης ή/και κατάλληλα ρυθμιστικά όργανα (ρυθμιστική αρχή τηλεπικοινωνιών, γεωργίας, ασφαλείας των τροφίμων ή των φαρμάκων κ.λπ.) [10].

### **3.2.2 International Electrotechnical Commission – IEC**

Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) είναι ο παγκόσμιος οργανισμός που είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη και τη δημοσίευση των διεθνών προτύπων και των προδιαγραφών για όλες τις ηλεκτρικές, ηλεκτρονικές και σχετικές μ' αυτές τεχνολογίες - γνωστές ως «ηλεκτροτεχνολογία». Όπου υπάρχουν προϊόντα ή εφαρμογές ηλεκτρικής ενέργειας και ηλεκτρονικών ειδών, η IEC ορίζει τις προδιαγραφές που αφορούν την ασφάλεια και τις επιδόσεις, την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον, την ηλεκτρική ενεργειακή απόδοση και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η IEC, επίσης, διαχειρίζεται τα συστήματα αξιολόγησης της συμμόρφωσης που πιστοποιούν ότι ο εξοπλισμός, τα συστήματα ή τα συστατικά μέρη είναι σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπά του. Ο IEC αποτελείται από περισσότερες από 75 χώρες που συμμετέχουν, από τις οποίες οι 60 είναι πλήρη μέλη και οι 26 συνεργαζόμενα, συμπεριλαμβανομένων όλων των σημαντικών εμπορικών δυνάμεων του κόσμου και ενός αυξανόμενου αριθμού βιομηχανοποιημένων χωρών. Τα πρότυπά του χρησιμοποιούνται σε περισσότερες από 100 χώρες ως βάση για τους εθνικούς κανόνες και νόμους [11].

### **3.2.3 Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE**

Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) είναι η μεγαλύτερη επαγγελματική ένωση του κόσμου και προωθεί την καινοτομία και την τεχνολογική αριστεία προς όφελος της ανθρωπότητας, με περισσότερα από 375.000 μέλη σε περίπου 160 χώρες. Το IEEE και τα μέλη του εμπνέουν μία παγκόσμια κοινότητα να καινοτομεί για ένα καλύτερο αύριο, μέσα από τις εξέχουσες δημοσιεύσεις του, τα συνέδρια, τα τεχνολογικά πρότυπα και τις επαγγελματικές και εκπαιδευτικές δραστηριότητές του. Το IEEE είναι η αξιόπιστη «φωνή» για τη μηχανική, την πληροφορική και την τεχνολογία της πληροφορίας σε όλο τον κόσμο, μία ηγετική αρχή σε ένα μεγάλο φάσμα αντικειμένων, από την αεροδιαστημική, τους υπολογιστές και τις τηλεπικοινωνίες μέχρι και τη βιοϊατρική, την ηλεκτρική ενέργεια και τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης. Το IEEE παράγει σχεδόν το 30 % της παγκόσμιας βιβλιογραφίας των ηλεκτρολόγων και ηλεκτρονικών μηχανικών, καθώς και της επιστήμης των υπολογιστών. Αυτή η μη κερδοσκοπική οργάνωση, επίσης, επιχορηγεί ή συνεπιχορηγεί περισσότερα από 300 τεχνικά συνέδρια κάθε χρόνο.

Από το 2004 μία συμφωνία μεταξύ της IEC και του IEEE επιδιώκει να ενισχύσει τη διαδικασία ανάπτυξης των διεθνών προτύπων. Όπου υπάρχουν ήδη σχετικά πρότυπα IEEE στην ηλεκτρονική, στην

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στις τηλεπικοινωνίες και αλλού, αυτά μπορούν να προταθούν στην IEC για δημοσίευση ως Διεθνή Πρότυπα Διπλού Σήματος (IEC/IEEE). Βάσει της συμφωνίας, τα πρότυπα IEEE υποβάλλονται προς έγκριση στο Διοικητικό Συμβούλιο Τυποποίησης του IEC (IEC Standardization Management Board) και προς επεξεργασία από τις αρμόδιες τεχνικές επιτροπές του IEC. Έπειτα υπόκεινται σε ψηφοφορία από τις χώρες-μέλη της IEC και, εάν εγκριθούν, δημοσιεύονται ως πρότυπο IEC/IEEE Διπλού Σήματος [12].

### 3.2.4 Internet Engineering Task Force – IETF

Η IETF (Internet Engineering Task Force, Τακτική Δύναμη Μηχανικών Internet) αναπτύσσει και προωθεί πρότυπα (Standards) του Internet, συνεργαζόμενη στενά με τους οργανισμούς W3C και ISO/IEC. Ασχολείται ιδιαίτερα με πρότυπα του (TCP/IP). Είναι ένας οργανισμός ανοικτών προτύπων, χωρίς τυπικά μέλη ή τυπικές απαιτήσεις από τα μέλη του. Όλοι οι ιθύνοντες και οι συμμετέχοντες είναι εθελοντές, αν και η δουλειά τους συνήθως χρηματοδοτείται είτε από τους εργοδότες τους, είτε από τρίτους χρηματοδότες.

Η πρώτη συνάντηση της IETF, πραγματοποιήθηκε στις 16 Ιανουαρίου του 1986 και αποτελούταν από 21 ερευνητές χρηματοδοτούμενους από την κυβέρνηση των ΗΠΑ. Ήταν συνέχεια της δουλειάς της προγενέστερης GADS Task Force. Αρχικά οι συναντήσεις γίνονταν κάθε τρίμηνο, αλλά από το 1991 γίνονται 3 φορές το χρόνο. Από την τέταρτη συνάντηση της IETF, προσκαλούνται και μη κυβερνητικοί φορείς. Από τότε όλες οι συναντήσεις είναι δημόσιες. Η πλειονότητα της δουλειάς της IETF γίνεται με ταχυδρομικές λίστες χωρίς να είναι απαραίτητη η παρακολούθηση των συναντήσεων από τους συνεισφέροντες. Οι αρχικές συναντήσεις ήταν πολύ μικρές, με λιγότερο από 35 ανθρώπους να παρακολουθούν σε κάθε μία από τις 5 πρώτες συναντήσεις. Η μέγιστη συμμετοχή κατά τις 13 πρώτες συναντήσεις, ήταν μόνο 120 συμμετέχοντες. Αυτό συνέβη στην 12η συνάντηση τον Ιανουάριο του 1989.

Οι συναντήσεις διογκώθηκαν έντονα και σε συμμετοχή και σε στόχους στις αρχές του 1990. Η συνάντηση στο San Diego το Δεκέμβριο του 2000 στην Καλιφόρνια είχε 2810 συμμετέχοντες. Η συμμετοχή μειώθηκε μετά το 2000 και σήμερα κυμαίνεται περί τα 1200 άτομα. Στις αρχές του 1990 η IETF άλλαξε μορφή, από μία δραστηριότητα της κυβέρνησης των ΗΠΑ, σε μία ανεξάρτητη διεθνή δραστηριότητα συνδεμένη με την κοινότητα του Ίντερνετ (Internet Society). Υπάρχουν στατιστικά στοιχεία, από εκδόσεις της RFC, τα οποία δείχνουν ποιοι είναι οι κορυφαίοι στη συνεισφορά [13].

### 3.2.5 International Society of Automation - ISA

Η International Society of Automation (ISA), παλαιότερα γνωστή ως The Instrumentation, Systems, and Automation Society, είναι μια μη κερδοσκοπική τεχνική εταιρεία για μηχανικούς, τεχνικούς, επιχειρηματίες, εκπαιδευτικούς και φοιτητές, που εργάζονται, σπουδάζουν ή ενδιαφέρονται για αυτοματισμός και επιδιώξεις που σχετίζονται με αυτόν, όπως η οργάνωση. Ήταν αρχικά γνωστό ως Instrument Society of America. Η κοινωνία είναι ευρύτερα γνωστή με το ακρωνύμιό της, ISA, και το πεδίο εφαρμογής της κοινωνίας περιλαμβάνει πλέον πολλούς τεχνικούς και μηχανικούς κλάδους. Η ISA είναι ένας από τους κορυφαίους επαγγελματικούς οργανισμούς στον κόσμο για τον καθορισμό

προτύπων και την εκπαίδευση των επαγγελματιών του κλάδου στον αυτοματισμό. Τα όργανα και ο αυτοματισμός είναι μερικές από τις βασικές τεχνολογίες που εμπλέκονται σχεδόν σε όλη τη βιομηχανοποιημένη παραγωγή. Η σύγχρονη βιομηχανική κατασκευή είναι μια πολύπλοκη αλληλεπίδραση πολλών συστημάτων. Τα όργανα παρέχουν ρύθμιση για αυτά τα πολύπλοκα συστήματα χρησιμοποιώντας πολλές διαφορετικές συσκευές μέτρησης και ελέγχου. Ο αυτοματισμός παρέχει τις προγραμματιζόμενες συσκευές που επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία στη λειτουργία αυτών των πολύπλοκων συστημάτων παραγωγής.

Η International Society of Automation είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός με γνώμονα τα μέλη, ο οποίος βασίζεται σε μια ραχοκοκαλιά εθελοντών. Οι εθελοντές, που συνεργάζονται με το προσωπικό πλήρους απασχόλησης του ISA άνω των 75, είναι το κλειδί για τη συνεχή αποστολή και την επιτυχία του οργανισμού. Ο ISA έχει ένα ισχυρό πρόγραμμα ανάπτυξης ηγεσίας που αναπτύσσει εθελοντές ηγέτες καθώς εμπλέκονται με πολλές διαφορετικές πτυχές του οργανισμού. Το ISA έχει πολλούς διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους συμμετέχουν οι εθελοντές από τις ρίζες του τμήματος, του τμήματος και των προτύπων του οργανισμού.

Τα μέλη του ISA έχουν συνήθως μια ενότητα ISA που σχετίζεται με τη γεωγραφική τους θέση. Τα μέλη μπορούν στη συνέχεια να ενταχθούν σε Τμήματα ISA που ανταποκρίνονται στα επιμέρους τεχνικά τους ενδιαφέροντα. Οι Επιτροπές Προτύπων ISA είναι ανοιχτές τόσο σε μέλη όσο και σε μη μέλη να εμπλακούν.

Η ISA ιδρύθηκε επίσημα ως Instrument Society of American στις 28 Απριλίου 1945, στο Πίτσμπουργκ της Πενσυλβάνιας. Η κοινωνία αναπτύχθηκε από την επιθυμία 18 τοπικών εταιρειών οργάνων να σχηματίσουν μια εθνική οργάνωση. Ήταν το πνευματικό τέκνο του Richard Rimbach της Instruments Publishing Company. Ο Ρίμπαχ αναγνωρίζεται ως ο ιδρυτής της ISA. Βιομηχανικά όργανα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ευρέως κατά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, συνέχισε να παίζει ολοένα και μεγαλύτερο ρόλο στην επέκταση της τεχνολογίας μετά τον πόλεμο.

Άτομα όπως ο Rimbach και άλλοι που ασχολούνται με τη βιομηχανία είδαν την ανάγκη για ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τα μέσα σε εθνική βάση, καθώς και για πρότυπα και ομοιομορφία. Η Instrument Society of American αντιμετώπισε αυτή την ανάγκη. Ο Albert F. Sperry, πρόεδρος της Panelit Corporation, έγινε ο πρώτος πρόεδρος της ISA το 1946. Την ίδια χρονιά, η Εταιρεία πραγματοποίησε το πρώτο της συνέδριο και έκθεση στο Πίτσμπουργκ. Το πρώτο πρότυπο, RP 5.1 Instrument Flow Plan Symbols, ακολούθησε το 1949 και το πρώτο περιοδικό δημοσιεύτηκε το 1954. Στα χρόνια που ακολούθησαν, η ISA συνέχισε να επεκτείνει τα προϊόντα και τις υπηρεσίες της, αυξάνοντας το μέγεθος και το εύρος του συνεδρίου και της έκθεσης ISA, ανάπτυξη συμποσίων, προσφορά επαγγελματικής εξέλιξης και κατάρτισης, προσθήκη τεχνικών τμημάτων. Τα μέλη αυξήθηκαν από 900 το 1946 σε 6.900 το 1953 και από το 2019, τα μέλη του ISA αριθμούν περίπου 32.000 από περισσότερες από 100 χώρες.

Το 1980, η ISA μετέφερε την έδρα της στο Research Triangle Park (RTP), στη Βόρεια Καρολίνα, και ένα εκπαιδευτικό κέντρο ιδρύθηκε στο κοντινό Raleigh. Το 1997, τα κεντρικά γραφεία και το εκπαιδευτικό κέντρο ενοποιήθηκαν σε ένα νέο κτίριο στο RTP, όπου οι καθημερινές δραστηριότητες της εταιρείας διαχειρίζονται επαγγελματικό προσωπικό περίπου 75 ατόμων.

Αναγνωρίζοντας το γεγονός ότι το τεχνικό πεδίο εφαρμογής του ISA είχε αυξηθεί πέρα από τα όργανα και ότι η εμβέλειά του ξεπέρασε την "Αμερική", το φθινόπωρο του 2000 το Συμβούλιο Αντιπροσώπων της κοινωνίας του ISA ενέκρινε μια νομική αλλαγή ονόματος σε ISA—The Instrumentation, Systems,

and Automation Society. Σήμερα, η στρατηγική εταιρικής επωνυμίας της ISA εστιάζει αποκλειστικά στα γράμματα, αν και η επίσημη, νομική ονομασία της ISA παραμένει η ίδια.

Τα τελευταία χρόνια, η ISA έχει υιοθετήσει έναν πιο παγκόσμιο προσανατολισμό, προσλαμβάνοντας πολύγλωσσο προσωπικό και διευθυντή παγκόσμιων επιχειρήσεων, ναυλώνει νέα τμήματα σε πολλές χώρες εκτός των Ηνωμένων Πολιτειών και τον Καναδά, εκδίδοντας δημοσιεύσεις στα ισπανικά και το 2002 ο ISA εξέλεξε τον πρώτο πρόεδρό του από το εξωτερικό. Βόρεια Αμερική.

Στις 2 Οκτωβρίου 2007, το Συμβούλιο Αντιπροσώπων της Κοινωνίας συζήτησε μια πρόταση για αλλαγή του νομικού ονόματος της εταιρείας σε «Διεθνής Εταιρεία Αυτοματισμού». Η πλειοψηφία ψήφισε υπέρ της δράσης. Ωστόσο, δεδομένου ότι δεν επιτεύχθηκε η πλειοψηφία των 2/3 που απαιτείται για την αλλαγή του καταστατικού, η πρόταση δεν εγκρίθηκε. Στις 13 Οκτωβρίου 2008, το Συμβούλιο Αντιπροσώπων της Κοινωνίας συζήτησε μια πρόταση για αλλαγή του νομικού ονόματος της εταιρείας σε «Διεθνής Εταιρεία Αυτοματισμού». Η πλειοψηφία υπερψήφισε τη δράση και η πρόταση εγκρίθηκε [14].

### 3.2.6 PI (PROFIBUS & PROFINET International)

Η PROFIBUS και η PROFINET International (PI) λειτουργούν μέσω του Κέντρου Υποστήριξης PI (PISC) που εδρεύει στη Γερμανία/Καρλσρούη και συντονίζει τις δραστηριότητες ενός δικτύου REGIONAL PI ASSOCIATIONS (RPAs), PI COMPETENCE CENTERS (PICCs), PI TRAINING CENTERS (PITCs) και PI TEST LABS (PITL) σε μεγάλες βιομηχανικές χώρες. Επιπλέον, το PI φιλοξενεί μεγάλο αριθμό ενεργών Ομάδων Εργασίας που έχουν την ευθύνη για την ανάπτυξη, την τυποποίηση και τη συντήρηση του PROFIBUS και του PROFINET [15].

## 3.3 Περιφερειακό επίπεδο: Ευρωπαϊκοί Οργανισμοί Τυποποίησης

Οι κύριοι ευρωπαϊκοί οργανισμοί προτυποποίησης (European Standards Organizations) είναι το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute - ETSI) και η ομάδα τυποποίησης (Ethernet POWERLINK - EPSG).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μόνο τα πρότυπα που δημιουργούνται από το ETSI και την EPSG αναγνωρίζονται ως «ευρωπαϊκά πρότυπα», και τα κράτη μέλη υποχρεούνται να κοινοποιούν στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, αλλά και το ένα στο άλλο, όλα τα προσχέδια τεχνικών κανονισμών που αφορούν προϊόντα και υπηρεσίες πληροφορικής, υπολογιστών και τηλεπικοινωνιών, πριν από την έγκρισή τους από το εθνικό δίκαιο. Οι κανόνες αυτοί καθορίζονται από την οδηγία 98/34/EC της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, με στόχο την εξασφάλιση της διαφάνειας και του ελέγχου, όσον αφορά τους τεχνικούς κανονισμούς.

### 3.3.1 European Telecommunications Standards Institute - ETSI

Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute - ETSI) είναι ένας ανεξάρτητος, μη κερδοσκοπικός οργανισμός τυποποίησης του κλάδου των τηλεπικοινωνιών (κατασκευαστές εξοπλισμού και φορείς εκμετάλλευσης δικτύου) στην Ευρώπη, με παγκόσμια προβολή. Το ETSI έχει σημειώσει επιτυχία, όσον αφορά την τυποποίηση του συστήματος

του κινητού τηλεφώνου GSM (Global System for Mobile Communications, originally Groupe Special Mobile) και του επαγγελματικού συστήματος κινητών επικοινωνιών TETRA (Terrestrial Trunked Radio).

Το ETSI δημιουργήθηκε από την CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications/ Ευρωπαϊκή Συνδιάσκεψη για τις Μεταφορές και τις Τηλεπικοινωνίες) το 1988 και είναι επίσημα αναγνωρισμένος από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και τη γραμματεία της Ευρωπαϊκής Ζώνης Ελευθέρων Συναλλαγών (European Free Trade Association — EFTA). Εδρεύει στη Sophia Antipolis (Γαλλία) και είναι επίσημα ο αρμόδιος οργανισμός στην Ευρώπη για την τυποποίηση των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ/Information and Communication Technology - ICT). Οι τεχνολογίες αυτές περιλαμβάνουν τις τηλεπικοινωνίες, τις ραδιοτηλεοπτικές εκπομπές και συναφείς τομείς, όπως αυτόν των ευφών μεταφορών και των ιατρικών ηλεκτρονικών. Το ETSI έχει 696 μέλη από 62 χώρες/περιφέρειες, εντός και εκτός της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευαστών, των φορέων εκμετάλλευσης δικτύων, των διοικήσεων, των παρόχων υπηρεσιών, των ερευνητικών φορέων και των χρηστών. Στην πραγματικότητα, συμμετέχουν όλοι οι «βασικοί παίκτες» στην «αρένα» των ΤΠΕ.

Το 2005 ο προϋπολογισμός του ETSI ξεπέρασε τα 20 εκατομμύρια ευρώ, με συνεισφορές που προέρχονταν από τα μέλη του, τις εμπορικές δραστηριότητές του, όπως την πώληση των εγγράφων, τους ελέγχους πιστοποίησης και τη διοργάνωση διασκέψεων, τις συμβάσεις εργασίας και τη χρηματοδότηση από εταιρούς. Περίπου το 40 % πηγαίνει στα λειτουργικά έξοδα και το υπόλοιπο 60 % στα προγράμματα εργασίας, περιλαμβανομένων των κέντρων εξειδίκευσης και των ειδικών έργων. Ο οργανισμός ETSI είναι ιδρυτικό μέλος της Συνεργασίας για τα Παγκόσμια Πρότυπα (Global Standards Collaboration) [16].

#### **3.3.2 Ethernet POWERLINK - EPSG**

Η Ομάδα Τυποποίησης Ethernet POWERLINK (EPSG) ιδρύθηκε το 2003 στην Ελβετία ως ανεξάρτητη ένωση με δημοκρατική δομή. Οι στόχοι του είναι η τυποποίηση, η προώθηση και η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας POWERLINK, η οποία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στο κοινό το 2001. Το POWERLINK είναι ένα σύστημα επικοινωνίας χωρίς δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, ανεξάρτητο από τον κατασκευαστή και πλήρως βασισμένο σε λογισμικό, το οποίο είναι διαθέσιμο ως μια δωρεάν λύση ανοιχτού κώδικα από το 2008.

Το γραφείο POWERLINK της EPSG με έδρα το Βερολίνο διαχειρίζεται τις δημόσιες σχέσεις, συντονίζει την υλοποίηση κοινών έργων και παρέχει πληροφορίες για τα υπάρχοντα και τα υπογρήφια μέλη.

Στόχοι του είναι η τυποποίηση και περαιτέρω ανάπτυξη του πρωτοκόλλου POWERLINK που εισήχθη για πρώτη φορά από την B&R το 2001. Αυτό το σύστημα επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο υψηλής απόδοσης είναι ένα προηγμένο πρωτόκολλο βασισμένο στο πρότυπο Ethernet IEEE 802.3 που έχει σχεδιαστεί για να διασφαλίζει τη μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στο μικροδευτερόλεπτο εύρος. Το EPSG συνεργάζεται με κορυφαίους οργανισμούς τυποποίησης όπως το CAN in Automation (CiA), το OPC Foundation και το IEC [17].

### 3.4 Εθνικό επίπεδο: Εθνικοί Οργανισμοί Τυποποίησης (National Standards Bodies - NSBs)

Σε γενικές γραμμές, κάθε χώρα ή οικονομία έχει ένα μοναδικό, αναγνωρισμένο οργανισμό τυποποίησης. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τον οργανισμό Modbus από τους νόμους της Κοινοπολιτείας της Μασαχουσέτης των ΗΠΑ, την Electronic Industries Alliance των ΗΠΑ και η PI (PROFIBUS & PROFINET International).

Οι οργανισμοί τυποποίησης μπορεί να είναι είτε οργανισμοί του δημόσιου, είτε του ιδιωτικού τομέα, είτε συνδυασμός και των δύο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόφαση αν ένας οργανισμός τυποποίησης για μια συγκεκριμένη χώρα θα είναι ένας δημόσιος ή ιδιωτικός οργανισμός συνήθως καθορίζονται από το ρόλο του ιδιωτικού τομέα ιστορικά στην ανάπτυξη της οικονομίας της χώρας αυτής.

#### 3.4.1 Modbus Organization

Ο οργανισμός Modbus είναι μια ομάδα ανεξάρτητων χρηστών και προμηθευτών συσκευών αυτοματισμού που επιδιώκει να προωθήσει την υιοθέτηση της σουίτας πρωτοκόλλων επικοινωνίας Modbus και την εξέλιξη στην αντιμετώπιση αρχιτεκτονικών για καταναμημένα συστήματα αυτοματισμού σε πολλαπλά τμήματα της αγοράς. Ο οργανισμός Modbus θα παρέχει επίσης την υποδομή για τη λήψη και την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με τα πρωτόκολλα, την εφαρμογή και την πιστοποίησή τους για την απλούστευση της εφαρμογής από τους χρήστες με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους.

Ο οργανισμός Modbus είναι μια εμπορική ένωση που βασίζεται σε μέλη, που έχει ενσωματωθεί ως "Modbus Organization, Inc." σύμφωνα με τους νόμους της Κοινοπολιτείας της Μασαχουσέτης, ΗΠΑ και αναγνωρίζεται από την Υπηρεσία Εσωτερικών Εσόδων των ΗΠΑ ως μη κερδοσκοπικός οργανισμός σύμφωνα με τον Κώδικα Εσωτερικών Εσόδων. Οι δωρεές προς τον οργανισμό δεν εκπίπτουν ως φιλανθρωπικές συνεισφορές, αλλά ενδέχεται να εκπίπτουν ως επιχειρηματική δαπάνη.

Ο Οργανισμός Modbus συμμετέχει σε ένα ευρύ φάσμα δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη συντήρηση και τη διάδοση του πρωτοκόλλου Modbus. Μερικές από αυτές τις δραστηριότητες περιλαμβάνουν:

Συμμετοχή σε δραστηριότητες προτύπων παγκοσμίως.

- Πρωτοπόρος στην εξέλιξη του πρωτοκόλλου Modbus και των παραλλαγών του.
- Ενθάρρυνση και υποβοήθηση της χρήσης του Modbus σε ένα ευρύ φάσμα φυσικών επιπέδων και μέσων μετάδοσης.
- Διατήρηση και εξέλιξη ενός προγράμματος δοκιμών συμμόρφωσης για τη διασφάλιση μεγαλύτερης διαλειτουργικότητας των συσκευών Modbus.
- Παροχή πληροφοριών τόσο σε χρήστες όσο και σε προμηθευτές για να τους βοηθήσει να είναι επιτυχείς στη χρήση του Modbus.
- Συμμετοχή σε εκπαιδευτικές και προωθητικές προσπάθειες, συμπεριλαμβανομένων εμπορικών εκθέσεων, ενημερωτικών δελτίων, αυτού του ιστότοπου και άλλων δραστηριοτήτων προβολής [18].

### 3.4.2 Electronics Industries Alliance (EIA)

Η Electronic Industries Alliance (EIA, μέχρι το 1997 Electronic Industries Association) ήταν ένας αμερικανικός οργανισμός προτύπων και εμπορίου που συγκροτήθηκε ως συμμαχία εμπορικών ενώσεων για κατασκευαστές ηλεκτρονικών ειδών στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ανέπτυξαν πρότυπα για να εξασφαλίσουν ότι ο εξοπλισμός διαφορετικών κατασκευαστών ήταν συμβατός και εναλλάξιμος. Διέκοψε τη λειτουργία της στις 11 Φεβρουαρίου 2011, αλλά οι πρώην τομείς συνεχίζουν να εξυπηρετούν τις εκλογικές περιφέρειες της EIA.

Το 1924, 50 κατασκευαστές ραδιοφώνου στο Σικάγο σχημάτισαν μια εμπορική ομάδα που ονομάζεται Associated Radio Manufacturers. Αυτός ο οργανισμός σχεδιάστηκε για να ελέγχει την αδειοδότηση του μεγάλου αριθμού διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας ραδιοφώνου, έτσι ώστε κάθε μέλος να μπορεί να έχει πρόσβαση σε όλα τα σχετικά διπλώματα ευρεσιτεχνίας που είναι απαραίτητα για την κατασκευή ραδιοπομπών, κεραιών και δεκτών. Με τον καιρό, οι νέες ηλεκτρονικές τεχνολογίες έφεραν νέα μέλη, μέλη μη κατασκευαστές και αλλαγές ονομάτων.

Η EIA ανακοίνωσε το 2007 ότι θα διαλυόταν στα συστατικά της τμήματα και θα μεταφερόταν αμέσως μετά. Η Συμμαχία έπαυσε επίσημα να υπάρχει στις 11 Φεβρουαρίου 2011. Η EIA όρισε την ECA να συνεχίσει να αναπτύσσει πρότυπα για ηλεκτρονικά εξαρτήματα διασύνδεσης, παθητικά και ηλεκτρομηχανικά (IP&E) σύμφωνα με την ονομασία ANSI των προτύπων EIA. Η διαχείριση όλων των άλλων προτύπων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων θα γίνεται από τους αντίστοιχους τομείς τους [19].

## Κεφάλαιο 4ο: Πρότυπα επικοινωνιών για το Industry 4.0

### 4.1 Τα Πρότυπα του International Organization for Standardization – ISO

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης ISO έχει αναπτύξει και προωθήσει τα 14 παρακάτω πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories. Οι επόμενοι παράγραφοι αναλύουν το κάθε πρότυπο ξεχωριστά.

#### 4.1.1 NFC: ISO/IEC 13157-1:2010

Το πρότυπο ISO/IEC 13157-1:2010 καθορίζει το ασφαλές κανάλι NFC-SEC και τις κοινόχρηστες μυστικές υπηρεσίες για το NFCIP-1 και τις μονάδες δεδομένων πρωτοκόλλου και το πρωτόκολλο για τις υπηρεσίες που αφορούν την επικοινωνία στην Βιομηχανία [20].

Το NFC-SEC έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για το πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων του ISO/IEC 18092. Το ISO/IEC 13157-1:2010 δεν αντιμετωπίζει μηχανισμούς ασφαλείας για συγκεκριμένες εφαρμογές (όπως απαιτείται συνήθως για περιπτώσεις χρήσης που σχετίζονται με έξυπνες κάρτες και τυποποιούνται στο ISO/IEC 7816). Το NFC-SEC μπορεί να συμπληρώσει μηχανισμούς ασφαλείας για συγκεκριμένες εφαρμογές του ISO/IEC 7816 [20].

Το NFC επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των αντικειμένων με απλό και ασφαλή τρόπο απλά έχοντας τα κοντά στο καθένα άλλα. Το κινητό τηλέφωνο μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί ως συσκευή ανάγνωσης NFC και να μεταδώσει τα δεδομένα ανάγνωσης σε ένα κεντρικό διακομιστή. Όταν χρησιμοποιείται σε κινητό τηλέφωνο, η κάρτα SIM παίζει σημαντικό ρόλο ως αποθήκευση για τα δεδομένα NFC και τα διαπιστευτήρια ελέγχου ταυτότητας (όπως στοιχεία ταυτότητας κλπ) [21].

Οι συσκευές μπορούν να ενωθούν σε δίκτυα και να διευκολύνουν την επικοινωνία μεταξύ ομοτίμων για εξειδικευμένους σκοπούς ή για την αύξηση της ευρωστίας των καναλιών και των δικτύων επικοινωνίας. Επίσης, μπορούν να σχηματίσουν ad-hoc δίκτυα και peer-to-peer σε καταστάσεις καταστροφής για να διατηρήσουν τη ροή ζωτικής σημασίας με πληροφορίες που διατίθενται σε περίπτωση αστοχίας της τηλεπικοινωνιακής υποδομής [22].

#### 4.1.2 AMQP: ISO/IEC 19464:2014

Το πρότυπο ISO/IEC 19464:2014 ορίζει το Advanced Message Queuing Protocol (AMQP), ένα ανοιχτό πρωτόκολλο Διαδικτύου για επαγγελματικά μηνύματα και στην Βιομηχανία. Ορίζει ένα δυαδικό πρωτόκολλο σε επίπεδο καλωδίου που επιτρέπει την αξιόπιστη ανταλλαγή επιχειρηματικών μηνυμάτων μεταξύ δύο μερών. Το AMQP έχει πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική και η προδιαγραφή του είναι οργανωμένη ως ένα σύνολο εξαρτημάτων που αντικατοπτρίζει αυτήν την αρχιτεκτονική. Αποτελείται από:

- Το Μέρος 1 που ορίζει το σύστημα τύπου AMQP και την κωδικοποίηση.
- Το Μέρος 2 που ορίζει το επίπεδο μεταφοράς AMQP, ένα αποτελεσματικό, δυαδικό, peer-to-peer πρωτόκολλο για τη μεταφορά μηνυμάτων μεταξύ δύο διεργασιών μέσω ενός δικτύου.
- Το Μέρος 3 που ορίζει τη μορφή μηνύματος AMQP, με συγκεκριμένη κωδικοποίηση.

- Το Μέρος 4 που ορίζει πώς οι αλληλεπιδράσεις μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ατομικές συναλλαγές.
- Το Μέρος 5 που ορίζει τα επίπεδα ασφαλείας AMQP [23].

Το AMQP είναι ένα ανοιχτό τυπικό πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής για ενδιάμεσο λογισμικό προσανατολισμένο σε μηνύματα. Τα καθοριστικά χαρακτηριστικά του AMQP είναι ο προσανατολισμός των μηνυμάτων, η ουρά, η δρομολόγηση, η αξιοπιστία και η ασφάλεια [24].

Επιβάλλει τη συμπεριφορά του παρόχου μηνυμάτων και του πελάτη στο βαθμό που οι υλοποιήσεις από διαφορετικούς προμηθευτές είναι διαλειτουργικές, με τον ίδιο τρόπο που τα SMTP, HTTP, FTP κ.λπ. έχουν δημιουργήσει διαλειτουργικά συστήματα [24].

Επίσης, είναι ένα πρωτόκολλο ενσύρματου επιπέδου. Ένα πρωτόκολλο σε επίπεδο καλωδίου είναι μια περιγραφή της μορφής των δεδομένων που αποστέλλονται μέσω του δικτύου ως ροή byte. Κατά συνέπεια, κάθε εργαλείο που μπορεί να δημιουργήσει και να ερμηνεύσει μηνύματα που συμμορφώνονται με αυτήν τη μορφή δεδομένων μπορεί να λειτουργήσει με οποιοδήποτε άλλο συμβατό εργαλείο, ανεξάρτητα από τη γλώσσα υλοποίησης του [25].

### 4.1.3 ISO/IEC/IEEE 21450:2010

Το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 21450:2010 παρέχει μια κοινή βάση ώστε τα μέλη της σειράς διεθνών προτύπων ISO/IEC/IEEE 21451 να είναι διαλειτουργικά. Καθορίζει τις λειτουργίες που πρέπει να εκτελούνται από μια μονάδα διασύνδεσης μετατροπέα (TIM) και τα κοινά χαρακτηριστικά για όλες τις συσκευές που εφαρμόζουν το TIM. Καθορίζει τις μορφές για τα Ηλεκτρονικά Φύλλα Δεδομένων του Transducer (TEDS).

Επίσης, ορίζει ένα σύνολο εντολών για τη διευκόλυνση της ρύθμισης και του ελέγχου του TIM καθώς και για την ανάγνωση και την εγγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα. Οι διεπαφές προγραμματισμού εφαρμογών (API) ορίζονται για να διευκολύνουν την επικοινωνία με το TIM και με τις εφαρμογές και στα βιομηχανικά περιβάλλοντα [26].

### 4.1.4 ISO/IEC 27033-6:2016

Το πρότυπο ISO/IEC 27033-6:2016 περιγράφει τις απειλές, τις απαιτήσεις ασφαλείας, τον έλεγχο ασφαλείας και τις τεχνικές σχεδιασμού που σχετίζονται με τα ασύρματα δίκτυα. Παρέχει οδηγίες για την επιλογή, την εφαρμογή και την παρακολούθηση των τεχνικών ελέγχων που είναι απαραίτητοι για την παροχή ασφαλών επικοινωνιών με χρήση ασύρματων δικτύων. Οι πληροφορίες σε αυτό το τμήμα του ISO/IEC 27033 προορίζονται για χρήση κατά την αναθεώρηση ή την επιλογή επιλογών τεχνικής αρχιτεκτονικής ασφάλειας/σχεδίασης που περιλαμβάνουν τη χρήση ασύρματου δικτύου σύμφωνα με το προηγούμενο πρότυπο ISO/IEC 27033-2 [27].

Συνολικά, το ISO/IEC 27033-6 βοηθάει σημαντικά στον ολοκληρωμένο ορισμό και την εφαρμογή της ασφαλείας για το περιβάλλον ασύρματου δικτύου οποιουδήποτε οργανισμού και βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Απευθύνεται σε χρήστες και υλοποιητές που είναι υπεύθυνοι για την εφαρμογή και τη συντήρηση των τεχνικών ελέγχων που είναι απαραίτητοι για την παροχή ασφαλών ασύρματων δικτύων [24].

#### 4.1.5 ISO/IEC 29180:2012

Η πρόοδος της ασύρματης τεχνολογίας επικοινωνίας και των ηλεκτρονικών έχει διευκολύνει την υλοποίηση ενός δικτύου αισθητήρων χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος. Βασικά, ένα πανταχού παρόν δίκτυο αισθητήρων (USN) αποτελείται από τρία μέρη: ένα δίκτυο αισθητήρων που αποτελείται από μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων, έναν σταθμό βάσης (επίσης γνωστός ως πύλη) που διασυνδέεται μεταξύ του δικτύου αισθητήρων και ενός διακομιστή εφαρμογών και τον διακομιστή εφαρμογών τον έλεγχο του κόμβου αισθητήρων στο δίκτυο αισθητήρων ή τη συλλογή των αισθητήρων πληροφοριών από τους κόμβους αισθητήρων στο δίκτυο αισθητήρων [24].

Το πρότυπο ISO/IEC 29180:2012 περιγράφει τις απειλές ασφαλείας και τις απαιτήσεις ασφαλείας του USN. Επιπλέον, κατηγοριοποιεί τις τεχνολογίες ασφαλείας σύμφωνα με τις λειτουργίες ασφαλείας που ικανοποιούν τις εν λόγω απαιτήσεις ασφαλείας και όπου οι τεχνολογίες εφαρμόζονται στο μοντέλο ασφαλείας του USN.

Επίσης, χρησιμοποιείται το ISO/IEC 29180:2012 ώστε εξασφαλίζουν την ασφάλεια για τα πανταχού παρόντα δίκτυα αισθητήρων σε βιομηχανικά περιβάλλοντα [28].

#### 4.1.6 ISO/TR 13283:1998

Το πρότυπο ISO/TR 13283:1998 αφορά τα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού. Προσδιορίζει τις απαιτήσεις των χρηστών για συστήματα που υποστηρίζουν συστήματα επικοινωνιών κρίσιμης σημασίας για το χρόνο και την πτυχή διαχείρισης δικτύου που είναι ειδικά για την αρχιτεκτονική επικοινωνιών κρίσιμης σημασίας σε επικοινωνίες peer-to-peer και multipeer εντός ή μεταξύ των διαδικασιών εφαρμογής.

Αυτή η τεχνική έκθεση μεταφράζει τις απαιτήσεις των χρηστών για συστήματα που υποστηρίζουν κρίσιμες επικοινωνίες σε απαιτήσεις QoS για τη διαχείριση και υποστήριξη ενός κρίσιμου δικτύου επικοινωνιών, χρησιμοποιώντας τις έννοιες και την ορολογία του Βασικού Πλαισίου QoS που αναπτύχθηκε από το πρότυπο ISO/IEC JTC1/SC21/WG7. Περιγράφει ένα μοντέλο, χαρακτηριστικά και λειτουργίες για τη διαχείριση δικτύου σε κρίσιμα για το χρόνο συστήματα επικοινωνιών.

Επίσης, εστιάζει σε συστήματα επικοινωνιών κρίσιμων για το χρόνο που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές κατασκευής διακριτών ανταλλακτικών. Ωστόσο, αυτά τα κρίσιμα για το χρόνο συστήματα επικοινωνιών μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου διεργασιών. Επικεντρώνεται κυρίως σε κρίσιμα χρονικά συστήματα επικοινωνιών για εφαρμογές που βασίζονται σε συμβάντα, στις οποίες η ροή κυκλοφορίας και η διαμόρφωση του δικτύου αλλάζουν δυναμικά. Ωστόσο, μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε εφαρμογές που βασίζονται σε κατάσταση, στις οποίες τα μοτίβα κυκλοφορίας και οι ρυθμίσεις παραμέτρων είναι στατικές [29].

#### 4.1.7 ISO 23570-2:2005

Το πρότυπο ISO 23570-2:2005 καθορίζει τη διασύνδεση στοιχείων στο σύστημα ελέγχου εργαλειομηχανών και παρόμοιων μεγάλων κομματιών βιομηχανικού αυτοματισμού. Αυτή η προδιαγραφή περιλαμβάνει τύπους καλωδίων, μεγέθη και χρώματα περιβλήματος, τύπους συνδέσμων και αντιστοιχίσεις επαφών, καθώς και διαγνωστικές λειτουργίες κατάλληλες για τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές.

Το ISO 23570-2:2005 καθορίζει την καλωδίωση για τις επικοινωνίες fieldbus και την κατανομή ισχύος στις μονάδες σε αυτόν τον δίαυλο επικοινωνιών [30].

#### **4.1.8 ISO 22093:2003**

Ο στόχος του ISO 22093:2003 είναι να παρέχει ένα πρότυπο για την αμφίδρομη επικοινωνία των δεδομένων επιθεώρησης μεταξύ συστημάτων υπολογιστών και εξοπλισμού επιθεώρησης. Το Dimensional Measuring Interface Standard (DMIS) είναι ένα λεξιλόγιο όρων, το οποίο καθιερώνει μια ουδέτερη μορφή για τα προγράμματα επιθεώρησης και τα δεδομένα αποτελεσμάτων επιθεώρησης.

Αν και έχει σχεδιαστεί κυρίως για επικοινωνία μεταξύ βιομηχανικού αυτοματοποιημένου εξοπλισμού, το DMIS έχει σχεδιαστεί για να είναι τόσο αναγνώσιμο από τον άνθρωπο όσο και εγγράψιμο από τον άνθρωπο, επιτρέποντας τη σύνταξη προγραμμάτων επιθεώρησης και την ανάλυση των αποτελεσμάτων επιθεώρησης χωρίς τη χρήση βοηθημάτων υπολογιστή. Με τη βελτίωση των επεκτάσεων γλώσσας υψηλού επιπέδου, το DMIS μπορεί να λειτουργήσει και να υλοποιηθεί ως γλώσσα DME [31].

#### **4.1.9 ISO 15745-5:2007**

Το πρότυπο ISO 15745-5:2007 αφορά τα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού. Ορίζει τα ειδικά στοιχεία και τους κανόνες τεχνολογίας για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των προφίλ συσκευών ειδικά για συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε HDLC.

Το ISO 15745-5:2007 πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το ISO 15745-1 για την περιγραφή ενός πλαισίου ενοποίησης εφαρμογών [32].

#### **4.1.10 ISO 15745-2:2003**

Το ISO 15745-2:2003 αφορά τα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού. Ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των προφίλ συσκευών ειδικά για συστήματα ελέγχου που βασίζονται στο ISO 11898. Συγκεκριμένα, το ISO 15745-2:2003 περιγράφει πρότυπα προφίλ ειδικά για την τεχνολογία για το προφίλ της συσκευής και το προφίλ του δικτύου επικοινωνίας.

Το ISO 15745-2:2003 πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το ISO 15745-1:2003 για την περιγραφή ενός πλαισίου ενοποίησης εφαρμογών. Τα γενικά στοιχεία και οι κανόνες για την περιγραφή των μοντέλων ολοκλήρωσης και των προφίλ διαλειτουργικότητας εφαρμογών, μαζί με τα προφίλ στοιχείων τους (προφίλ διεργασιών, προφίλ ανταλλαγής πληροφοριών και προφίλ πόρων) καθορίζονται στο ISO 15745-1:2003 [33].

#### **4.1.11 ISO 15745-3:2003**

Το ISO 15745-3:2003 αφορά τα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού. Ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των

πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των προφίλ συσκευών ειδικά για συστήματα ελέγχου που βασίζονται στο IEC 61158. Συγκεκριμένα, το ISO 15745-3:2003 περιγράφει πρότυπα προφίλ ειδικά για την τεχνολογία για το προφίλ της συσκευής και το προφίλ του δικτύου επικοινωνίας. Τα προφίλ για συστήματα ελέγχου που βασίζονται στο ISO/IEC 8802-3 δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του ISO 15745-3:2003.

Το ISO 15745-3:2003 πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το ISO 15745-1:2003 για την περιγραφή ενός πλαισίου ενοποίησης εφαρμογών. Τα γενικά στοιχεία και οι κανόνες για την περιγραφή των μοντέλων ολοκλήρωσης και των προφίλ διαλειτουργικότητας εφαρμογών, μαζί με τα προφίλ στοιχείων τους (προφίλ διεργασιών, προφίλ ανταλλαγής πληροφοριών και προφίλ πόρων) καθορίζονται στο ISO 15745-1:2003 [34].

#### **4.1.12 ISO 15745-4:2003**

Το ISO 15745-4:2003 αφορά τα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού. Ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των προφίλ συσκευών ειδικά για συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε Ethernet. Συγκεκριμένα, το ISO 15745-4:2003 περιγράφει πρότυπα προφίλ ειδικά για την τεχνολογία για το προφίλ της συσκευής και το προφίλ του δικτύου επικοινωνίας.

Το ISO 15745-4:2003 πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το ISO 15745-1:2003 για την περιγραφή ενός πλαισίου ενοποίησης εφαρμογών. Τα γενικά στοιχεία και οι κανόνες για την περιγραφή των μοντέλων ολοκλήρωσης και των προφίλ διαλειτουργικότητας εφαρμογών, μαζί με τα προφίλ στοιχείων τους (προφίλ διεργασιών, προφίλ ανταλλαγής πληροφοριών και προφίλ πόρων) καθορίζονται στο ISO 15745-1:2003 [35].

#### **4.1.13 ISO 9506-1:2003**

Το πρότυπο ISO 9506-1:2003 είναι μια προδιαγραφή επικοινωνίας επιπέδου εφαρμογής, σύμφωνα με το μοντέλο επικοινωνίας OSI. Παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών κατάλληλων για τις επικοινωνίες μεταξύ αυτοματοποιημένου εξοπλισμού και συστημάτων που τον διερευνούν ή τον ελέγχουν. Η περιγραφή των αλληλεπιδράσεων ακολουθεί το μοντέλο διακομιστή πελάτη. Είναι κατάλληλο για χρήση σε οποιοδήποτε δίκτυο που υποστηρίζει πλήρη αμφίδρομη, αξιόπιστη επικοινωνία, όπως το Διαδίκτυο.

Το ISO 9506-1:2003 παρέχει ένα σύνολο αφηρημένων μοντέλων αντικειμένων για πληροφορίες που μπορούν να βρεθούν σε τέτοια αυτοματοποιημένα συστήματα και τις προδιαγραφές ενός συνόλου υπηρεσιών που λειτουργούν με αυτά τα μοντέλα.

Επίσης, παρέχει το πρωτόκολλο για τα μηνύματα που θα ανταλλάσσονται μεταξύ πελάτη και διακομιστή για την υλοποίηση και την υποστήριξη των βιομηχανικών υπηρεσιών [36].

#### **4.1.14 ISO 9506-2:2003**

Το πρότυπο ISO 9506-2:2003 είναι μια προδιαγραφή επικοινωνίας επιπέδου εφαρμογής, σύμφωνα με το μοντέλο επικοινωνίας OSI. Παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών κατάλληλων για τις επικοινωνίες μεταξύ αυτοματοποιημένου εξοπλισμού και συστημάτων που τον διερευνούν ή τον ελέγχουν. Η περιγραφή των

αλληλεπιδράσεων ακολουθεί το μοντέλο διακομιστή πελάτη. Είναι κατάλληλο για χρήση σε οποιοδήποτε δίκτυο που υποστηρίζει πλήρη αμφίδρομη, αξιόπιστη επικοινωνία, όπως το Διαδίκτυο.

Το ISO 9506-2:2003 παρέχει ένα σύνολο αφηρημένων μοντέλων αντικειμένων πληροφοριών που μπορούν να βρεθούν σε τέτοια αυτοματοποιημένα συστήματα και τις προδιαγραφές ενός συνόλου υπηρεσιών που λειτουργούν με αυτά τα μοντέλα.

Επίσης, παρέχει το πρωτόκολλο για τα μηνύματα που θα ανταλλάσσονται μεταξύ πελάτη και διακομιστή για την υλοποίηση και την υποστήριξη των βιομηχανικών υπηρεσιών [37].

## 4.2 Τα Πρότυπα του International Electrotechnical Commission – IEC

Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) έχει αναπτύξει και προωθήσει τα 18 παρακάτω πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories. Οι επόμενοι παράγραφοι αναλύουν το κάθε πρότυπο ξεχωριστά.

### 4.2.1 WirelessHart: IEC 62591

Το πρότυπο IEC 62591: WirelessHART είναι ένα διεθνές πρότυπο για ασύρματες συσκευές αυτοματισμού διεργασιών. Οι συσκευές που συμμορφώνονται με το πρότυπο περιλαμβάνουν προηγμένες διατάξεις για την ασφάλεια, το πρωτόκολλο και άλλα χαρακτηριστικά απαραίτητα για τα ασύρματα δίκτυα [38].

Το WirelessHART, που βασίζεται στο παραδοσιακό πρωτόκολλο HART, έχει ήδη κερδίσει ευρεία υποστήριξη στον κλάδο λόγω της αναγκαιότητας ζήτησης στο ανοιχτό διεθνές πρότυπο που ταιριάζει στις βιομηχανικές απαιτήσεις. Η τελευταία έκδοση του WirelessHART πρωτοκόλλου εγκρίθηκε από τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή το 2016. Το πρότυπο διαθέτει ορισμένες νέες ενημερωμένες δυνατότητες, όπως:

- Ασύρματη δικτύωση πλέγματος.
- Συγχρονισμός χρόνου και σφράγιση.
- Επίπεδο δικτύου και μεταφορών.
- Κρυπτογράφηση και αποκρυπτογράφηση ασφαλείας.
- Βελτιωμένη λειτουργία ριπής μηνυμάτων.
- Σωλήνες για μεταφορά αρχείων υψηλής ταχύτητας [39].

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας WirelessHART χρησιμοποιεί μόνο πέντε επίπεδα του μοντέλου OSI από τα επτά στρώματα. Τα πέντε επίπεδα OSI που χρησιμοποιούνται από το WirelessHART είναι το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων, το επίπεδο δικτύου, το επίπεδο μεταφοράς και το επίπεδο εφαρμογής. Την δρομολόγηση, τον προγραμματισμό επικοινωνίας και την αντίστοιχη παραγωγή σήματος διαχειρίζεται ο κεντρικός διαχειριστής του δικτύου [40].

#### 4.2.2 WIA-PA: IEC 62601

Το πρότυπο IEC 62061:2015 καθορίζει την αρχιτεκτονική του συστήματος και το πρωτόκολλο επικοινωνίας των ασύρματων δικτύων για Βιομηχανικό Αυτοματισμό - Αυτοματισμό Διαδικασιών (WIA-PA) που είναι κατασκευασμένο σύμφωνα με το IEEE 802.15.4-2011. Αυτή η δεύτερη έκδοση ακυρώνει και αντικαθιστά την πρώτη έκδοση που δημοσιεύτηκε το 2011 [41].

Αν και το WIA-PA είναι επίσης ένα εντελώς νέο πρότυπο, υιοθετεί το IEEE 802.15.4 χωρίς τροποποίηση. Το WIA-PA έχει σχεδιαστεί για μέτρηση, παρακολούθηση και έλεγχο ανοιχτού βρόχου βιομηχανικών διεργασιών. Ένα τυπικό δίκτυο WIA-PA υποστηρίζει μια ιεραρχική τοπολογία δικτύου. Το πρώτο επίπεδο του δικτύου έχει τοπολογία πλέγματος, που αποτελείται από routers και gateways, ενώ το δεύτερο επίπεδο είναι μια τοπολογία αστεριού, που αποτελείται από δρομολογητές και πεδίο/φορητές συσκευές [3].

Ένα τυπικό δίκτυο WIA-PA αποτελείται από πέντε είδη συσκευών: (1) κεντρικός υπολογιστής, (2) συσκευή πύλης, (3) συσκευή δρομολόγησης, (4) συσκευή πεδίου και (5) φορητή συσκευή. Στο υποδίκτυο οι συσκευές δρομολόγησης εκτελούν το ρόλο των κεντρικών κόμβων, που ονομάζονται επίσης κεφαλές συστάδων. Αντίστοιχα, το πεδίο/χειροκίνητες συσκευές λειτουργούν ως μέλη συμπλέγματος, συλλέγοντας δεδομένα και στέλνοντας κατευθείαν στις κεφαλές των συστάδων τους. Δεν έχουν την δυνατότητα δρομολόγησης και μπορούν να επικοινωνούν μόνο με τους μεταξύ τους. Ο επικεφαλής του συμπλέγματος είναι υπεύθυνος για την κατασκευή και την παρακολούθηση του δικτύου αστέρι [40].

#### 4.2.3 IEC 61131-2:2017

Το πρότυπο IEC 61131-2:2017 καθορίζει τις απαιτήσεις λειτουργικής και ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και τις σχετικές δοκιμές επαλήθευσης για κάθε προϊόν όπου ο κύριος σκοπός είναι η εκτέλεση της λειτουργίας του εξοπλισμού βιομηχανικού ελέγχου, συμπεριλαμβανομένου του PLC ή/και του PAC, ή/και των σχετικών περιφερειακών τους που έχουν ως προορισμό τους, να χρησιμοποιούν τον έλεγχο μηχανών, αυτοματοποιημένων διαδικασιών παραγωγής και βιομηχανικών διαδικασιών, π.χ. διακριτικό, κατά παρτίδες και συνεχή έλεγχο.

Αυτή η τέταρτη έκδοση ακυρώνει και αντικαθιστά την τρίτη έκδοση που δημοσιεύτηκε το 2007. Επίσης, αποτελεί τεχνική αναθεώρηση και περιλαμβάνει τις ακόλουθες σημαντικές τεχνικές αλλαγές σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση:

- αφαίρεση των απαιτήσεων ασφαλείας με αντίθετη αναφορά στο IEC 61010-2-201.
- προσθήκη ψηφιακών εισόδων και εξόδων αρνητικής λογικής.
- προσθήκη ψηφιακής εισόδου τύπου 3-d.
- προσθήκη απαίτησης 2,7 GHz σε 6 GHz για διαμορφωμένη ανοσία ηλεκτρομαγνητικού πλάτους ραδιοσυχνοτήτων.
- κατάργηση ορισμένων τεχνολογιών και
- γενική ενημέρωση πολλαπλών πτυχών της λειτουργικότητας [42].

#### 4.2.4 IEC 62657-1:2017

Το πρότυπο IEC 62657-1:2017 παρέχει τις απαιτήσεις ασύρματης επικοινωνίας που υπαγορεύονται από τις εφαρμογές των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας στον βιομηχανικό αυτοματισμό και τις απαιτήσεις που αφορούν στο σχετικό πλαίσιο. Οι απαιτήσεις καθορίζονται με τρόπο που είναι ανεξάρτητος από την ασύρματη τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Οι απαιτήσεις περιγράφονται λεπτομερώς και με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνονται κατανοητές από ένα μεγάλο κοινό, συμπεριλαμβανομένων των αναγνωστών που δεν είναι εξοικειωμένοι με τις εφαρμογές του συγκεκριμένου κλάδου [43].

Αυτή η έκδοση ακυρώνει και αντικαθιστά την πρώτη έκδοση του IEC TS 62657-1 που δημοσιεύτηκε το 2014. Αυτή η έκδοση αποτελεί και τεχνική αναθεώρηση. Επίσης, περιλαμβάνει τις ακόλουθες σημαντικές τεχνικές αλλαγές σε σχέση με το IEC TS 62657-1:2014:

- ενημέρωση των απαιτήσεων για ασύρματες βιομηχανικές εφαρμογές και
- προσθήκη δεικτών απόδοσης και μέτρησή τους [44].

#### 4.2.5 IEC White Paper IoT: WSN: 2014

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) προκαλούν αυξανόμενο ενδιαφέρον από τη βιομηχανία και την έρευνα. Αυτό οφείλεται στη διαθεσιμότητα φθηνών μικροσκοπικών εξαρτημάτων χαμηλής κατανάλωσης όπως επεξεργαστές, ραδιόφωνα και αισθητήρες που μερικές φορές ενσωματώνονται σε ένα μόνο τσιπ.

Η ιδέα του IoT αναπτύχθηκε παράλληλα με τα WSN. Ενώ το IoT δεν προϋποθέτει μια συγκεκριμένη τεχνολογία επικοινωνίας, οι τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του IoT. Τα WSN θα οδηγήσουν πολλές εφαρμογές και πολλές βιομηχανίες.

Αυτή η Λευκή Βίβλος της IEC συζητά τη χρήση και την εξέλιξη των WSN στο ευρύτερο πλαίσιο του IoT. Παρέχει μια ανασκόπηση των εφαρμογών WSN, των τεχνολογιών υποδομών, των εφαρμογών καθώς και των προτύπων που ισχύουν για τα σχέδια WSN.

Το IEC White Paper IoT έγινε υπό την ηγεσία του IEC MSB (Market Strategy Board) που συγκεντρώνει CTO κορυφαίων διεθνών εταιρειών σε συνεργασία με το NIST (το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας των ΗΠΑ) [45].

#### 4.2.6 EtherCAT: IEC 61158

Το πρότυπο EtherCAT - 61158 πέρασε ομόφωνα στην τελική ψηφοφορία ως επίσημο πρότυπο IEC. Αυτό είναι ένα σημαντικό ορόσημο μετά από περισσότερα από τέσσερα χρόνια εργασίας της επιτροπής IEC, κατά την οποία το ETG ανακηρύχθηκε επίσημος εταίρος τυποποίησης IEC [46].

Το EtherCAT είναι μέρος του προτύπου IEC 61158 και υπάρχει από το 2003. Δεν έχουν υπάρξει αναβαθμίσεις έκδοσης από την έναρξή του. Τα μέλη της Ομάδας Τεχνολογίας EtherCAT περιλαμβάνουν κατασκευαστές συσκευών, παρόχους τεχνολογίας, ενοποιητές συστημάτων και τελικούς χρήστες [46].

Το πρότυπο επικοινωνίας EtherCAT είναι μια βιομηχανική τεχνολογία Ethernet σε πραγματικό χρόνο που αναπτύχθηκε αρχικά από την Beckhoff για τη δικτύωση κάθε είδους βιομηχανικών συσκευών από

I/O έως αισθητήρες έως μονάδες δίσκου. Το πρωτόκολλο EtherCAT είναι μέρος του προτύπου IEC 61158 και είναι κατάλληλο για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο στον αυτοματισμό, τις δοκιμές και τις μετρήσεις, την ενδολογιστική και πολλές άλλες εφαρμογές [47].

#### 4.2.7 IEC 61784 Fieldbus

Το IEC 61784 εξηγεί ορισμένες κοινές αρχές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μετάδοση μηνυμάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια μεταξύ των συμμετεχόντων σε ένα καταναμημένο δίκτυο που χρησιμοποιούν τεχνολογία fieldbus σύμφωνα με τις απαιτήσεις του IEC 61508 για την λειτουργική ασφάλεια. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές όπως έλεγχος διεργασιών, αυτοματισμοί κατασκευής και μηχανήματα [48].

Το πρότυπο IEC 61784 Fieldbus αφορά τα βιομηχανικά δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για καταναμημένο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Τα προφίλ Fieldbus είναι τυποποιημένα από τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) ως IEC 61784 [1].

Ένα σύνθετο αυτοματοποιημένο βιομηχανικό σύστημα είναι συνήθως δομημένο σε ιεραρχικά επίπεδα ως σύστημα καταναμημένου ελέγχου (DCS). Σε αυτήν την ιεραρχία, τα ανώτερα επίπεδα για τις διοικήσεις παραγωγής συνδέονται με το επίπεδο άμεσου ελέγχου των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών (PLC) μέσω ενός μη κρίσιμου χρονικά συστήματος επικοινωνιών (π.χ. Ethernet) [1].

Το fieldbus συνδέει τα PLC του επιπέδου άμεσου ελέγχου με τα εξαρτήματα της εγκατάστασης του επιπέδου πεδίου, όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, ηλεκτροκινητήρες, φώτα κονσόλας, διακόπτες, βαλβίδες και επαφές και αντικαθιστά τις άμεσες συνδέσεις μέσω βρόχων ρεύματος ή ψηφιακών σημάτων I/O. Η απαίτηση για ένα fieldbus είναι επομένως κρίσιμης χρονικής σημασίας και ευαίσθητη στο κόστος. Έχει δημιουργηθεί ένας αριθμός fieldbus που βασίζονται σε Ethernet σε πραγματικό χρόνο και έχουν τη δυνατότητα να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά fieldbus μακροπρόθεσμα [49].

#### 4.2.8 IEC 61784-5-1:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-1:2013 αφορά τα βιομηχανικά δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για καταναμημένο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, καθορίζει με αξιοπιστία τα προφίλ εγκατάστασης για το Foundation Fieldbus (CPF1). Κάθε προφίλ εγκατάστασης CP καθορίζεται ξεχωριστά για αυτή τη σειράς προτύπων. Η σειρά IEC 61784 παράγεται για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου [50].

#### 4.2.9 IEC 61784-5-13:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-13:2013 αφορά τα βιομηχανικά δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για καταναμημένο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Καθορίζει τα προφίλ εγκατάστασης για το Ethernet POWERLINK σε βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνίας. Επίσης, παράγεται για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου [51].

#### **4.2.10 IEC 61784-5-16:2013**

Το πρότυπο IEC 61784-5-16:2013 αφορά τα βιομηχανικά δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για καταναμημένο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, λειτουργεί για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου [52].

#### **4.2.11 IEC 61784-5-17:2013**

Το πρότυπο IEC 61784-5-17:2013 αφορά τα βιομηχανικά δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για καταναμημένο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, λειτουργεί για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου, σε βελτιωμένη έκδοση [53].

#### **4.2.12 IEC 61784-5-19:2013**

Το πρότυπο IEC 61784-5-19:2013 αφορά τα βιομηχανικά δίκτυα υπολογιστών που χρησιμοποιούνται για καταναμημένο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Επίσης, λειτουργεί για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου, σε βελτιωμένη έκδοση, όλων των προηγούμενων [54].

#### **4.2.13 IEC 61139-2:2022 PRV**

Το πρότυπο IEC 61139-2:2022 PRV αφορά τα βιομηχανικά δίκτυα - Διεπαφή ψηφιακής επικοινωνίας και τις λειτουργικές επεκτάσεις ασφαλείας. Καθορίζει τις επεκτάσεις του SDCI στο IEC 61131-9 για θέματα της λειτουργικής ασφαλείας.

Αυτό περιλαμβάνει:

- μια τυποποιημένη διεπαφή για πλεονάζοντα σήματα μεταγωγής με βάση το IEC 61131-2,
- μικρές τροποποιήσεις/επεκτάσεις σε μηχανές κατάστασης του SDCI για την υποστήριξη των λειτουργιών ασφαλείας,
- ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας λειτουργικής ασφαλείας πάνω από την τυπική επικοινωνία SDCI που είναι ένα κανάλι σύμφωνα με το IEC 61784-3:2021,
- λειτουργίες διαχείρισης πρωτοκόλλου για διαμόρφωση, παραμετροποίηση και θέση σε λειτουργία,
- επεκτάσεις IODD για λειτουργική ασφαλεία,
- και μια διεπαφή εργαλείου συσκευής για υποστήριξη αποκλειστικών εργαλείων σύμφωνα με πρότυπα λειτουργικής ασφαλείας [55].

#### **4.2.14 IEC 61784-3-18:2011+AMD1:2016+AMD2:2021 CSV**

Το πρότυπο EC 61784-3-18:2011+AMD1:2016+AMD2:2021 CSV αφορά τα βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνιών. Καθορίζει ένα επίπεδο επικοινωνίας ασφαλείας (υπηρεσίες και πρωτόκολλο) με βάση το IEC 61784-2 και το IEC 61158.

Επίσης, προσδιορίζει τις αρχές για τις επικοινωνίες λειτουργικής ασφαλείας στο IEC 61784-3 που σχετίζονται με αυτό το επίπεδο επικοινωνίας ασφαλείας [56].

#### 4.2.15 OPC UA: IEC 62541-5:2020

Το πρότυπο OPC UA:IEC 62541-5:2020 είναι διαθέσιμο ως IEC 62541-5:2020 RLV που περιέχει το Διεθνές Πρότυπο και την έκδοση Redline του, που δείχνει όλες τις αλλαγές του τεχνικού περιεχομένου σε σύγκριση με την προηγούμενη έκδοση.

Το OPC UA είναι το διεθνές πρότυπο για κάθετη και οριζόντια επικοινωνία στην κατασκευή και τον αυτοματισμό, παρέχοντας σημασιολογική διαλειτουργικότητα για τον κόσμο των συνδεδεμένων συστημάτων. Παρέχει τη βάση για συνδεσιμότητα για το Internet of Things (IoT) και για το Industry 4.0 [57].

Το IEC 62541-5:2020 ορίζει το μοντέλο πληροφοριών της Ενοποιημένης Αρχιτεκτονικής OPC. Το μοντέλο πληροφοριών περιγράφει τυποποιημένους κόμβους του χώρου διευθύνσεων ενός διακομιστή. Αυτοί οι κόμβοι είναι τυποποιημένοι τύποι καθώς και τυποποιημένες παρουσίες που χρησιμοποιούνται για διαγνωστικά ή ως σημεία εισόδου σε κόμβους συγκεκριμένους διακομιστή. Έτσι, το μοντέλο πληροφοριών ορίζει το χώρο διευθύνσεων ενός άδειου διακομιστή OPC UA. Ωστόσο, δεν αναμένεται ότι όλοι οι Διακομιστές θα παρέχουν όλους αυτούς τους Κόμβους [58].

#### 4.2.16 Field Device Tool (FDT): IEC 62453-1:2016

Το πρότυπο IEC 62453-1:2016 αφορά τις προδιαγραφές διεπαφής εργαλείου συσκευής πεδίου (FDT). Παρουσιάζει μια επισκόπηση και καθοδήγηση για τη σειρά IEC 62453. Επεξηγεί τη δομή και το περιεχόμενο της σειράς IEC 62453 και παρέχει επεξηγήσεις για ορισμένες πτυχές της σειράς IEC 62453 που είναι κοινές σε πολλά από τα μέρη της σειράς.

Αυτή η δεύτερη έκδοση ακυρώνει και αντικαθιστά την πρώτη έκδοση που δημοσιεύτηκε το 2009. Αυτή η έκδοση αποτελεί τεχνική αναθεώρηση και περιλαμβάνει τις ακόλουθες σημαντικές τεχνικές αλλαγές σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση.

Επίσης, παρέχει πληροφορίες για την ενσωμάτωση του πρωτοκόλλου PROFIBUS στην προδιαγραφή διεπαφής FDT (IEC 62453-1). Αυτό το τμήμα του IEC 62453 καθορίζει υπηρεσίες επικοινωνίας και άλλες υπηρεσίες και σε βιομηχανικά περιβάλλοντα [59].

#### 4.2.17 IEC 62443-2-1:2010

Το πρότυπο IEC 62443-2-1:2010 αφορά τα βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνίας – την ασφάλεια δικτύων και συστημάτων. Ορίζει τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης ασφάλειας στον κυβερνοχώρο (CSMS) για συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού και ελέγχου (IACS) και παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξης αυτών των στοιχείων. Τα στοιχεία ενός CSMS που περιγράφονται σε αυτό το πρότυπο σχετίζονται κυρίως με την πολιτική, τη διαδικασία, την πρακτική και το προσωπικό, που περιγράφουν τι πρέπει ή πρέπει να συμπεριληφθεί στο τελικό CSMS για τον οργανισμό [60].

Η ασφάλεια των συστημάτων βιομηχανικού αυτοματισμού και ελέγχου εξελίχθηκε ως πρότυπο για βιομηχανικούς αυτοματισμούς και συστημάτων ελέγχου, τα οποία εξυπηρετούν στην άμυνα για τα βιομηχανικά περιβάλλοντα. Το συγκεκριμένο πρότυπο θεωρείται το πιο σχετικό για τη βιομηχανική ασφάλεια. Επικεντρώνεται κυρίως σε τρεις στόχους: εμπιστευτικότητα, ακεραιότητα και διαθεσιμότητα σε πτυχές όπως: η εκτίμηση απειλών και κινδύνων και η ασφάλεια σε επίπεδα κύκλου ζωής. Άλλες

βασικές πτυχές για την τυποποίηση είναι: τα δίκτυα αισθητήρων, το IoT, το Cloud Computing και οι κατακευματισμένες πλατφόρμες με τα μεγάλα δεδομένα [43].

#### **4.2.18 Field Device Integration (FDI): IEC 61804**

Στα σημερινά συστήματα αυτοματισμού πρέπει να ενσωματωθούν συσκευές πεδίου πολλών διαφορετικών κατασκευαστών με αποτέλεσμα την προσπάθεια εγκατάστασης, διαχείρισης εκδόσεων και λειτουργίας της συσκευής. Αυτή η πρόκληση μπορεί να αντιμετωπιστεί μόνο με μια ανοιχτή και τυποποιημένη ενσωμάτωση συσκευών.

Τα τελευταία χρόνια ο οργανισμός FDI (Field Device Integration) έχει καθορίσει μια τυπική αρχιτεκτονική για την ενοποίηση συσκευών που βασίζεται στο IEC 61804 – Γλώσσα περιγραφής ηλεκτρονικών συσκευών (EDDL) για την περιγραφή συσκευών.

Εκτός από το μοντέλο της συσκευής, η FDI ορίζει επίσης πώς οι τοπολογίες επικοινωνίας του συστήματος αυτοματισμού αντιπροσωπεύοντας ολόκληρη την υποδομή επικοινωνίας θα αντιπροσωπεύονται σε ένα OPC UA AddressSpace [61].

### **4.3 Τα Πρότυπα του Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE**

Το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE) έχει αναπτύξει και προωθήσει τα 26 παρακάτω πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories. Οι επόμενοι παράγραφοι αναλύουν το κάθε πρότυπο ξεχωριστά.

#### **4.3.1 IEEE 802.1AS-2011**

Το πρότυπο IEEE 802.1AS-2011 ορίζει ένα πρωτόκολλο και τις διαδικασίες για τη μεταφορά του χρονισμού μέσω από γεφυρωμένα και εικονικά γεφυρωμένα τοπικά δίκτυα. Περιλαμβάνει τη μεταφορά συγχρονισμένου χρόνου, την επιλογή της πηγής χρονισμού (δηλαδή, την καλύτερη κύρια) και την ένδειξη της εμφάνισης και του μεγέθους των βλαβών χρονισμού (δηλαδή, ασυνέχειες φάσης και συχνότητας) [9].

Καθορίζει τις λειτουργικές απαιτήσεις για τον Βιομηχανικό Αυτοματισμό για δίκτυα Ethernet και παρέχονται διαφορετικά προφίλ για την υποστήριξη ορισμένων εφαρμογών, ακόμη και εκείνα που δεν λειτουργούν με αυστηρά πρότυπα χρονικών περιορισμών αντιμετωπίζουν σοβαρούς κινδύνους εάν το κάνουν.

Αυτό το παραπάνω παράδειγμα δείχνει μια σειρά από περιβάλλοντα όπου τα προβλήματα συγχρονισμού μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα από κακή εμπειρία χρήστη και εμπορική μη βιωσιμότητα μέχρι κίνδυνο ζωής. Οι απαιτήσεις συγχρονισμού χρόνου για τα προϊόντα και τις εφαρμογές που λειτουργούν σε αυτά τα περιβάλλοντα είναι πολύ αυστηρές και απαιτούν μέτρηση με την υψηλότερη ακρίβεια και υψηλούς ρυθμούς γραμμής εύρους ζώνης για τη μείωση τυχόν κινδύνου απόδοσης και τη διατήρηση της αξιοπιστίας, όχι μόνο επειδή το έλεγε το πρότυπο, αλλά επειδή έχει σημασία ο χρόνος [62].

### 4.3.2 IEEE 802.11Qbv-2015

Το πρότυπο IEEE 802.11Qbv-2015 ορίζει το προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο για τους βιομηχανικούς αυτοματισμούς. Τα προφίλ επιλέγουν χαρακτηριστικά, διαμορφώσεις, πρωτόκολλα και διαδικασίες γεφυρών, τερματικών σταθμών και τοπικών δικτύων για την κατασκευή δικτύων βιομηχανικού αυτοματισμού.

Αυτή η τροπολογία καθορίζει διαδικασίες ουράς με επίγνωση χρόνου, διαχειριζόμενα αντικείμενα και επεκτάσεις σε υπάρχοντα πρωτόκολλα που επιτρέπουν στις γέφυρες και στους τερματικούς σταθμούς να προγραμματίζουν τη μετάδοση πλαισίων με βάση το χρονοδιάγραμμα που προέρχεται από το IEEE 802.1AS. Οι κωδικοποιημένες τιμές προτεραιότητας με ετικέτες εικονικού τοπικού δικτύου (VLAN) εκχωρούνται επιτρέποντας την ταυτόχρονη υποστήριξη της προγραμματισμένης κυκλοφορίας, της κίνησης διαμορφωτή βάσει και άλλης γεφυρωμένης κίνησης μέσω τοπικών δικτύων (LAN) [63].

Οι γέφυρες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τη διασύνδεση συσκευών που υποστηρίζουν οι προγραμματισμένες εφαρμογές (π.χ. βιομηχανικός αυτοματισμός, έλεγχος διεργασιών και έλεγχος οχημάτων). Αυτή η τροποποίηση θα παρέχει διαβεβαιώσεις απόδοσης λανθάνοντος χρόνου και διακύμανσης παράδοσης για να ενεργοποιηθούν αυτές οι εφαρμογές σε ένα τεχνικό LAN, διατηρώντας παράλληλα τις υπάρχουσες εγγυήσεις για την κίνηση διαμόρφωσης και βέλτιστης προσπάθειας που βασίζεται σε πιστώσεις [9].

### 4.3.3 IEEE 802.11Qcc-2018

Το πρότυπο IEEE 802.11Qcc-2018 ορίζει το προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο για τους βιομηχανικούς αυτοματισμούς. Τα προφίλ επιλέγουν χαρακτηριστικά, επιλογές, διαμορφώσεις, προεπιλογές, πρωτόκολλα και διαδικασίες γεφυρών, τερματικών σταθμών και τοπικών δικτύων για την κατασκευή δικτύων βιομηχανικού αυτοματισμού.

Το SRP χρησιμοποιεί αποκεντρωμένη διαδικασία εγγραφής και κράτησης, πολλαπλά αιτήματα μπορούν να επιφέρουν καθυστερήσεις στην κυκλοφορία. Η τροπολογία IEEE 802.1Qcc-2018 Stream Reservation Protocol (SRP) μειώνει το μέγεθος των μηνυμάτων κράτησης και επαναπροσδιορίζει τους χρονοδιακόπτες, ώστε να ενεργοποιούν ενημερώσεις μόνο όταν αλλάζει η κατάσταση σύνδεσης ή η κράτηση. Για να βελτιωθεί η διαχείριση TSN σε δίκτυα μεγάλης κλίμακας, κάθε Διεπαφή Δικτύου Χρήστη (UNI) παρέχει μεθόδους για την υποβολή αιτημάτων υπηρεσιών επιπέδου 2, συμπληρωμένες με Κεντρική Διαμόρφωση Δικτύου (CNC) για παροχή κεντρικής κράτησης και προγραμματισμού και απομακρυσμένης διαχείρισης χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα NETCONF/RESTCONF και IETF YANG /NETCONF.

Το CNC εφαρμόζει ένα μοντέλο απόκρισης αιτήματος ανά ροή, όπου η κλάση SR δεν χρησιμοποιείται ρητά: οι τερματικοί σταθμοί στέλνουν αιτήματα για μια συγκεκριμένη ροή χωρίς γνώση της διαμόρφωσης του δικτύου και το CNC εκτελεί κράτηση ατμού κεντρικά. Το MSRP εκτελείται μόνο στη σύνδεση προς τερματικούς σταθμούς ως φορέας πληροφοριών μεταξύ CNC και τερματικών σταθμών, όχι για κράτηση ροής. Το IEEE 802.11Qcc-2018 επιτρέπει την κεντρική διαχείριση διαμόρφωσης να συνυπάρχει με την αποκεντρωμένη, πλήρως κατανεμημένη διαμόρφωση του πρωτοκόλλου SRP [64].

#### 4.3.4 IEEE 802.1Qch-2017

Το πρότυπο IEEE 802.1Qch-2017 ορίζει προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο για βιομηχανικούς αυτοματισμούς. Τα προφίλ επιλέγουν χαρακτηριστικά, επιλογές, διαμορφώσεις, προεπιλογές, πρωτόκολλα και διαδικασίες γεφυρών, τερματικών σταθμών και τοπικών δικτύων για την κατασκευή δικτύων βιομηχανικού αυτοματισμού.

Το Time sensitive networking (TSN) επιτρέπει την μετάδοση σε τυπικό Ethernet με τις βελτιώσεις διαμόρφωσης με επίγνωση του χρόνου. Ο διαμορφωτής με επίγνωση χρόνου απαιτεί συνήθως πολύπλοκα χρονοδιαγράμματα για τον έλεγχο της εισόδου και της εξόδου των ουρών πακέτων των μεταγωγέων και εφαρμόζεται σε συστήματα TSN με στατική κίνηση ευαίσθητη στον χρόνο. Ωστόσο, για σενάρια με δυναμικές απαιτήσεις μετάδοσης, όπως το βιομηχανικό Διαδίκτυο των πραγμάτων (IIoT), τέτοιου είδους διαμορφωτής ενδέχεται να μην ισχύει πλέον ως βαρύνει επανυπολογισμός και επανάληψη φόρτωσης των διαμορφώσεων προγραμματισμού για κάθε μεταγωγή.

Για να λύσει αυτό το πρόβλημα, το πρότυπο IEEE 802.1Qch-2017 πρότείνει πρόσφατα έναν διαμορφωτή που βασίζεται σε κυκλική ουρά και προώθηση (CQF) που δεν απαιτεί περίπλοκες διαμορφώσεις. Ωστόσο, επί του παρόντος, κανένας αλγόριθμος προγραμματισμού δεν μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας στον διαμορφωτή που βασίζεται στο CQF με δυναμική κίνηση ευαίσθητη στον χρόνο. Για να καταστεί το CQF πρακτικό στα σενάρια εφαρμογής δυναμικού TSN, απαιτούνται επειγόντως νέοι αλγόριθμοι προγραμματισμού [65].

#### 4.3.5 IEEE 802.11Qci-2017

Το πρότυπο IEEE 802.11Qci-2017 ορίζει προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο για βιομηχανικούς αυτοματισμούς. Τα προφίλ επιλέγουν χαρακτηριστικά, επιλογές, διαμορφώσεις, προεπιλογές, πρωτόκολλα και διαδικασίες γεφυρών, τερματικών σταθμών και τοπικών δικτύων για την κατασκευή δικτύων βιομηχανικού αυτοματισμού.

Το IEEE 802.11Qci Per-Stream Filtering and Policing (PSFP) βελτιώνει την ευρωστία του δικτύου φιλτράροντας μεμονωμένες ροές κυκλοφορίας. Αποτρέπει συνθήκες υπερφόρτωσης κυκλοφορίας που μπορεί να επηρεάσουν τις γέφυρες και τα τελικά σημεία λήψης λόγω δυσλειτουργίας ή επιθέσεων άρνησης υπηρεσίας (DoS). Το φίλτρο ροής χρησιμοποιεί αντιστοίχιση κανόνων για να επιτρέπει πλαίσια με καθορισμένα αναγνωριστικά ροής και επίπεδα προτεραιότητας και να εφαρμόζει ενέργειες πολιτικής διαφορετικά. Η μέτρηση ροής εφαρμόζει προκαθορισμένα προφίλ εύρους ζώνης για κάθε μία ξεχωριστά [66].

#### 4.3.6 IEEE 802.11a-1999

Το πρότυπο IEEE 802.11a-1999 ήταν μια τροποποίηση των προδιαγραφών ασύρματου τοπικού δικτύου IEEE 802.11 που καθόριζε απαιτήσεις για ένα σύστημα επικοινωνίας πολυπλεξίας ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM). Αρχικά σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει ασύρματη επικοινωνία στις ζώνες μη αδειοδοτημένης εθνικής υποδομής πληροφοριών (U-NII) στην περιοχή συχνοτήτων 5–6 GHz, όπως ρυθμίζεται στις Ηνωμένες Πολιτείες από τον Κώδικα Ομοσπονδιακών Κανονισμών.

Ο σκοπός αυτού του προτύπου είναι ο καθορισμός ενός μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) και πολλών φυσικών επιπέδων (PHY) προδιαγραφών για ασύρματη συνδεσιμότητα για σταθερούς, φορητούς και κινούμενους σταθμούς (STAs), όπως και σε βιομηχανικά περιβάλλοντα [67].

Είναι το πρώτο ασύρματο πρότυπο που χρησιμοποιεί OFDM που βασίζεται σε πακέτα, βάσει πρότασης του Richard van Nee από την Lucent Technologies στο Nieuwegein. Το OFDM υιοθετήθηκε ως προσχέδιο προτύπου IEEE 802.11a-1999 τον Ιούλιο του 1998 μετά τη συγχώνευση με μια πρόταση NTT. Επικυρώθηκε το 1999. Επίσης, χρησιμοποιεί το ίδιο πρωτόκολλο πυρήνα με το αρχικό πρότυπο, λειτουργεί σε ζώνη 5 GHz και χρησιμοποιεί πολυπλεξία ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) με μέγιστο ρυθμό ακατέργαστων δεδομένων 54 Mbit/s, που αποδίδει ρεαλιστική καθαρή επιτεύξιμη απόδοση στα μέσα των 20 Mbit/s. Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων μειώνεται σε 48, 36, 24, 18, 12, 9 και στη συνέχεια 6 Mbit/s, εάν απαιτείται [68].

#### **4.3.7 IEEE 61158-2017**

Το IEEE 61158-2017 είναι μια υιοθέτηση του EPSG DS 301, Ethernet POWERLINK--Προδιαγραφές για βιομηχανική επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο. Το Ethernet POWERLINK είναι ένα προφίλ επικοινωνίας για Ethernet σε πραγματικό χρόνο (RTE). Επεκτείνει το Ethernet σύμφωνα με το IEEE 802.3 με μηχανισμούς μεταφοράς δεδομένων με προβλέσιμο χρονισμό και ακριβή συγχρονισμό.

Το προφίλ επικοινωνίας ικανοποιεί τις απαιτήσεις χρονισμού για εφαρμογές αυτοματισμού και κίνησης υψηλής απόδοσης. Δεν αλλάζει τις βασικές αρχές του Fast Ethernet Standard IEEE 802.3 αλλά το επεκτείνει προς το RTE. Έτσι, είναι δυνατό να αξιοποιηθεί και να συνεχιστεί η χρήση οποιουδήποτε τυπικού Ethernet, στοιχείου υποδομής ή εξοπλισμού δοκιμής και μέτρησης, όπως ένας αναλυτής δικτύου [69].

#### **4.3.8 IEEE P802.15.13**

Το πρότυπο IEEE P802.15.13 για οπτικές ασύρματες βιομηχανικές επικοινωνίες πολλαπλών Gigabit ανά δευτερόλεπτο (OWC), με εμβέλεια έως 200 μέτρα, τόσο για σταθερές όσο και για κινητές συσκευές.

Επίσης, ορίζει το πρωτόκολλο και τον συμβατό εξοπλισμό δικτύου για οπτικές ασύρματες επικοινωνίες και τη λειτουργία του ως οπτικό ασύρματο προσωπικό δίκτυο (OWPAN) που υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων πολλαπλών Gbit/s για ασύρματες ειδικές εφαρμογές. Το πρότυπο ορίζει ένα επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μεσαίου επιπέδου (MAC) που λειτουργεί σε λειτουργία με ενεργοποιημένη ή μη ενεργοποιημένη λειτουργία φάρου και τρία φυσικά επίπεδα (PHYs) που επιτρέπουν χαμηλή πολυπλοκότητα, χαμηλή ισχύ και υψηλή απόδοση [70].

#### **4.3.9 IEEE 802.1BA-2011**

Το πρότυπο IEEE 802.1BA-2011 ορίζει προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο για βιομηχανικούς αυτοματισμούς. Τα προφίλ επιλέγουν χαρακτηριστικά, επιλογές, διαμορφώσεις, προεπιλογές, πρωτόκολλα και διαδικασίες γεφυρών, τερματικών σταθμών και τοπικών δικτύων για την κατασκευή δικτύων βιομηχανικού αυτοματισμού.

Τα προφίλ που επιλέγουν είναι απαραίτητα για τη δημιουργία δικτύων που είναι ικανά να μεταφέρουν ευαίσθητες στο χρόνο ροές δεδομένων ήχου και/ή βίντεο ορίζονται σε αυτό το πρότυπο.

Ο σκοπός αυτού του προτύπου είναι να καθορίσει προεπιλογές και προφίλ που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι κατασκευαστές εξοπλισμού LAN για να αναπτύξουν στοιχεία LAN συμβατά με AVB και να επιτρέψει σε ένα άτομο που δεν είναι ειδικευμένο στη δικτύωση να δημιουργήσει ένα δίκτυο, χρησιμοποιώντας εκείνα τα στοιχεία που δεν απαιτεί διαμόρφωση και μπορεί να παρέχει λειτουργικές υπηρεσίες ήχου και/ή εικόνας.

Οι απαιτήσεις απόδοσης του Audio Video Bridging (AVB) σε διάφορα μέσα αποτρέπουν τη χρήση ορισμένων τμημάτων άλλων προτύπων και απαιτεί την επιλογή των προεπιλεγμένων παραμέτρων λειτουργίας. Αυτά πρέπει να ορίζονται προκειμένου να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών εξαρτημάτων που είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με αυτά τα πρότυπα. Πρέπει να καθοριστεί η ανίχνευση εξοπλισμού που δεν είναι AVB, ώστε να μπορεί να διατηρηθεί η απόδοση του εξοπλισμού AVB [71].

#### **4.3.10 IEEE 802.15.2-2003**

Το πρότυπο IEEE 802.15.2-2003 ορίζει το πρωτόκολλο και τον συμβατό εξοπλισμό δικτύου για οπτικές ασύρματες επικοινωνίες και τη λειτουργία του ως οπτικό ασύρματο προσωπικό δίκτυο (OWPAN) που υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων πολλαπλών Gbit/s για ασύρματες ειδικές εφαρμογές. Το πρότυπο ορίζει ένα επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μεσαίου επιπέδου (MAC) που λειτουργεί σε λειτουργία με ενεργοποιημένη ή μη ενεργοποιημένη λειτουργία φάρου και τρία φυσικά επίπεδα (PHYs) που επιτρέπουν χαμηλή πολυπλοκότητα, χαμηλή ισχύ και υψηλή απόδοση.

Επίσης, ασχολείται με τη συνύπαρξη ασύρματων προσωπικών δικτύων περιοχής (WPAN) με άλλες ασύρματες συσκευές που λειτουργούν σε ζώνες συχνοτήτων χωρίς άδεια, όπως ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) σε βιομηχανικά περιβάλλοντα [72].

#### **4.3.11 IEEE 802.16a-2003**

Το πρότυπο IEEE 802.16a-2003 παρέχει σταθερή ευρυζωνική ασύρματη πρόσβαση (BWA) μεταξύ 2 και 11 GHz. Είναι μια επέκταση του παγκόσμιου προτύπου IEEE 802.16 WirelessMAN για 10 έως 66 GHz που δημοσιεύτηκε τον Απρίλιο του 2002.

Όπως και στο βασικό πρότυπο IEEE 802.16, η προηγμένη τεχνολογία που ορίζει έχει σχεδιαστεί από τις πρώτες αρχές για να υποστηρίξει υπηρεσίες πολυμέσων όπως τηλεδιάσκεψη, φωνή και gaming. Περιλαμβάνονται επίσης νέα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένης της προαιρετικής αρχιτεκτονικής πλέγματος.

Το IEEE 802.16a-2003 θέτει τις βάσεις για την ευρεία ανάπτυξη ασύρματων από 2 έως 11 GHz ως οικονομική εναλλακτική λύση στο καλώδιο συνδέσεις σε δημόσια δίκτυα. Υποστηρίζει φάσματα με άδεια και εξαιρούμενα από άδεια χρήσης μεταξύ 2 και 11 GHz. Αυτές οι συχνότητες είναι κατάλληλες για εφαρμογές επιχειρήσεων που χρησιμοποιούν συνδέσμους μη οπτικής επαφής. Οι πάροχοι υπηρεσιών ασύρματου διαδικτύου (WISP), οι εθνικοί και πολυεθνικοί πάροχοι και οι ανεξάρτητες τηλεφωνικές εταιρείες είναι κύριοι πελάτες του εξοπλισμού που έχει αναπτυχθεί σύμφωνα με το πρότυπο [73].

#### 4.3.12 IEEE 802.3-2018

Η λειτουργία του τοπικού δικτύου Ethernet καθορίζεται για επιλεγμένες ταχύτητες λειτουργίας από 1 Mb/s έως 400 Gb/s χρησιμοποιώντας μια κοινή βάση προδιαγραφών και διαχείρισης πληροφοριών ελέγχου πρόσβασης μέσων (MAC). Το πρωτόκολλο MAC Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) καθορίζει τη λειτουργία κοινόχρηστου μέσου (half duplex), καθώς και τη λειτουργία full duplex.

Οι διεπαφές ανεξάρτητων μέσων (MII) ειδικά για την ταχύτητα επιτρέπουν τη χρήση επιλεγμένων συσκευών Physical Layer (PHY) για λειτουργία μέσω ομοαξονικών, συνεστραμμένων ζευγών ή καλωδίων οπτικών ινών ή ηλεκτρικών πλαισίων. Οι εκτιμήσεις του συστήματος για τα δίκτυα κοινής πρόσβασης πολλαπλών τμημάτων περιγράφουν τη χρήση των Repeater που έχουν οριστεί για λειτουργικές ταχύτητες έως και 1000 Mb/s. Η λειτουργία τοπικού δικτύου (LAN) υποστηρίζεται σε όλες τις ταχύτητες. Άλλες καθορισμένες δυνατότητες περιλαμβάνουν: διάφορους τύπους PHY για δίκτυα πρόσβασης [74].

#### 4.3.13 IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001

Το πρότυπο IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001 αφορά την τεχνολογία πληροφοριών--Τηλεπικοινωνίες και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ συστημάτων τοπικών και μητροπολιτικών δικτύων--Ειδικές απαιτήσεις. Επίσης υποστηρίζει τον έλεγχο πρόσβασης μέσου ασύρματου LAN (MAC) και Φυσικό Επίπεδο (PHY).

Ο σκοπός αυτού του προτύπου είναι ο καθορισμός ενός μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) και πολλών φυσικών επιπέδων (PHY) προδιαγραφών για ασύρματη συνδεσιμότητα για σταθερούς, φορητούς και κινούμενους σταθμούς (STAs) σε μια τοπική περιοχή [75].

#### 4.3.14 IEEE 802.10-1998

Το πρότυπο IEEE 802.10 είναι ένα παλιό πρότυπο για λειτουργίες ασφαλείας που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε τοπικά δίκτυα όσο και σε δίκτυα μητροπολιτικών περιοχών που βασίζονται στα πρωτόκολλα IEEE 802. Επίσης, καθορίζει τη διαχείριση συσχετισμού ασφαλείας και τη διαχείριση κλειδιών, καθώς και τον έλεγχο πρόσβασης, την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα των δεδομένων.

Το IEEE 802.10 παρέχει προδιαγραφές για ένα πρωτόκολλο ασφαλείας επιπέδου διαλειτουργικής ζεύξης δεδομένων και σχετικές υπηρεσίες ασφαλείας. Το πρωτόκολλο Secure Data Exchange (SDE) υποστηρίζεται από ένα πρωτόκολλο διαχείρισης Key Management Protocol (KMP) που δημιουργεί συσχετίσεις ασφαλείας για το SDE και άλλα πρωτόκολλα ασφαλείας. Καθορίζεται μια επιλογή ετικέτας ασφαλείας που επιτρέπει την εφαρμογή ελέγχου πρόσβασης βάσει κανόνων χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο SDE. Παρέχεται επίσης μια μέθοδος που επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα με προγράμματα-πελάτες Ελέγχου Πρόσβασης Μέσου (MAC) με κωδικοποίηση, καθώς και ένα σύνολο κλάσεων διαχειριζόμενων αντικειμένων που θα χρησιμοποιηθούν στη διαχείριση του υποστρώματος SDE και των ανταλλαγών πρωτοκόλλου του [76].

#### 4.3.15 ZigBee: IEEE 802.15.4-2006

Το ZigBee είναι μια ανοιχτή παγκόσμια ασύρματη τεχνολογία και έχει σχεδιαστεί ειδικά για χρήση σε καταναλωτικές, εμπορικές και βιομηχανικές περιοχές. Επομένως, το ZigBee είναι χαμηλό ισχυρό και εύκολο στη χρήση, και είναι πανταχού παρόν μεταξύ της δικτύωσης IoT, της ανίχνευσης και τον έλεγχο εφαρμογών και συσκευών. Το ZigBee βασίζεται στο πρότυπο IEEE 802.15.4-2006, που ορίζει τα φυσικά και τα επίπεδα MAC. Επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα με τα προϊόντα από διαφορετικούς κατασκευαστές.

Το ZigBee λειτουργεί σε μια περιοχή περίπου 70 μέτρων, αλλά πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις μπορούν να λαμβάνονται κατά την αναμετάδοση επικοινωνιών από έναν κόμβο ZigBee σε έναν άλλο σε ένα δίκτυο. Οι κύριες εφαρμογές για το ZigBee 802.15.4-2006 είναι έλεγχου και παρακολούθησης, όπου απαιτούνται σχετικά χαμηλά επίπεδα απόδοσης δεδομένων και χαμηλή η ισχύς, όπου απαιτείται [22].

Το ZigBee λειτουργεί σε τρεις ζώνες χωρίς άδεια στα 2,4 GHz, 915 MHz για την North μερική και 868MHz για την Ευρώπη. Επομένως, το πρότυπο ZigBee μπορεί να λειτουργήσει σε όλο τον κόσμο, αν και οι ακριβείς προδιαγραφές για κάθε ένα από τα συγκροτήματα είναι ελαφρώς διαφορετικά. Στα 2,4 GHz, υπάρχουν 16 διαθέσιμα κανάλια και ο μέγιστος ρυθμό μετάδοσης δεδομένων είναι 250 Kbps. Για 915 MHz (Βόρεια Αμερική), υπάρχουν 10 κανάλια διαθέσιμα και το πρότυπο υποστηρίζει μέγιστο ρυθμό δεδομένων 40 Kbps, ενώ στα 868MHz (Ευρώπη), υπάρχει μόνο ένα κανάλι και αυτό μπορεί να υποστηρίζει δεδομένα μεταφοράς έως και 20 Kbps [40].

Το ZigBee υποστηρίζει τρεις τοπολογίες δικτύου—το αστέρι, το πλέγμα και το δέντρο συμπλέγματος ή υβριδικά δίκτυα. Το δίκτυο αστεριών χρησιμοποιείται συνήθως, καθώς είναι το πιο απλό. Ωστόσο, ενεργοποιούνται οι διαμορφώσεις δικτύου πλέγματος ή peer-to-peer, όπου πρέπει να επιτευχθούν υψηλοί βαθμοί αξιοπιστίας. Τα μηνύματα ενδέχεται να δρομολογούνται κατά μήκος του δικτύου χρησιμοποιώντας διαφορετικούς σταθμούς. Υπάρχει συνήθως μια επιλογή από τις διαδρομές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αυτό καθιστά το δίκτυο πολύ εύρωστο. Εάν υπάρχουν παρεμβολές σε ένα τμήμα ενός δικτύου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί άλλο τμήμα.

Το βασικό πρότυπο ZigBee υποστηρίζει διευθύνσεις IEEE 64 bit καθώς και 16 bit σύντομες διευθύνσεις. Οι διευθύνσεις 64-bit προσδιορίζουν μοναδικά κάθε συσκευή στο δίκτυο παρόμοιο με τον τρόπο που οι συσκευές έχουν μια μοναδική διεύθυνση IP [77].

#### 4.3.16 IEEE 802.11n-2009

Το πρότυπο IEEE 802.11n-2009 είναι ένα πρότυπο ασύρματης δικτύωσης που χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες για να αυξήσει τους ρυθμούς δεδομένων. Η Wi-Fi Alliance έχει επίσης επισημάνει αναδρομικά την τεχνολογία για το πρότυπο ως Wi-Fi. Τυποποιούσε την υποστήριξη για πολλαπλές εισόδους πολλαπλών εξόδων, συνάθροιση πλαισίων και βελτιώσεις ασφάλειας, μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις ζώνες συχνοτήτων 2,4 GHz ή 5 GHz [78].

Ως το πρώτο πρότυπο Wi-Fi που εισήγαγε την υποστήριξη MIMO, μερικές φορές οι συσκευές/συστήματα που υποστηρίζουν το συγκεκριμένο πρότυπο, αναφέρονται ως MIMO, ειδικά πριν από την εισαγωγή του προτύπου επόμενης γενιάς.

Το IEEE 802.11n στη βιομηχανική επικοινωνία βρίσκεται σε πολύ αρχικό στάδιο, ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί. Επίσης, έχει γίνει η υιοθέτηση του για βιομηχανική κυκλοφορία πολυμέσων σε πραγματικό χρόνο, όπως αυτό που δημιουργούνται από τη μετάδοση ροών βίντεο [68].

#### **4.3.17 IEEE 802.15.4c-2009**

Σύμφωνα με το πρότυπο IEEE 802.15.4c-2009, η τροπολογία ενισχύει τα φυσικά επίπεδα Ultra-Wideband (UWB), τον έλεγχο πρόσβασης μέσου (MAC) και τις σχετικές τεχνικές εμβέλειας, ενώ διατηρεί τη συμβατότητα με τις συσκευές με δυνατότητα βελτιωμένης εμβέλειας (ERDEV). Τομείς βελτίωσης περιλαμβάνουν: πρόσθετη κωδικοποίηση, σχήματα διαμόρφωσης σε πρόσθετη κωδικοποίηση, σχήματα διαμόρφωσης για την υποστήριξη βελτιωμένου προϋπολογισμού σύνδεσης και/ή μειωμένο χρόνο μετάδοσης σε σχέση με το πρότυπο IEEE 802.15.4 UWB [79].

Διαθέτει τεχνικές παρεμβολών για την υποστήριξη μεγαλύτερης πυκνότητας συσκευών και υψηλότερης χρήσης περιπτώσεων κυκλοφορίας σε σχέση με το IEEE 802.15.4 UWB, βελτιώσεις στην ακρίβεια, την αξιοπιστία και τη διαλειτουργικότητα για εμβέλεια υψηλής ακεραιότητας. Σχέδια για τη μείωση της πολυπλοκότητας και της κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης το συγκεκριμένο πρότυπο παρέχει βελτιωμένους μηχανισμούς εγγενούς ανακάλυψης και ρύθμισης σύνδεσης, δυνατότητες ανίχνευσης για την υποστήριξη ανίχνευσης παρουσίας και χαρτογράφησης του βιομηχανικού περιβάλλοντος και μηχανισμούς που υποστηρίζουν ροή χαμηλής κατανάλωσης χαμηλής καθυστέρησης καθώς και υψηλής ταχύτητας ροής των δεδομένων, που επιτρέπει τουλάχιστον 50 Mb/s απόδοσης [80].

#### **4.3.18 IEEE 802.15.4e-2012**

Το πρότυπο IEEE 802.15.4e-2012 ορίζει ασύρματη επικοινωνία μικρής εμβέλειας κοντά ή μέσα σε ένα περιβάλλον όπως, το ανθρώπινο, το αμάξιμο οχήματος ή το βιομηχανικό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας το φυσικό στρώμα Ultra Wideband (UWB) και στενής ζώνης (PHY) και μεσαία πρόσβαση ελέγχου (MAC) για την υποστήριξη ενισχυμένης αξιοπιστίας στα δίκτυα περιοχής, στις ζώνες βιομηχανικής επιστημονικής ιατρικής (ISM) και στους τοπικούς ιατρικούς κανονισμούς.

Το συγκεκριμένο πρότυπο υποστηρίζει την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) και τους ρυθμούς δεδομένων έως και 50 Mb/s και ενσωματώνει υποστήριξη για δίκτυα περιοχής με παρεμβολές και καθυστέρηση βρόχου ελέγχου ανίχνευσης και ανάδρασης [81].

#### **4.3.19 IEEE 802.15.8-2017**

Οι μηχανισμοί φυσικού επιπέδου (PHY) και ελέγχου πρόσβασης μεσαίου επιπέδου (MAC) ορίζονται στο πρότυπο IEEE 802.15.8-2017 για ασύρματα προσωπικά δίκτυα περιοχής (WPAN) ομότιμες επικοινωνίες (PAC) βελτιστοποιημένες για επικοινωνίες peer-to-peer και χωρίς υποδομή με πλήρως κατανεμημένο συντονισμό ακόμα και σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Τα χαρακτηριστικά PAC περιλαμβάνουν ανακάλυψη για πληροφορίες ομοτίμων χωρίς συσχέτιση, ρυθμό σηματοδότησης συνήθως μεγαλύτερο από 100 kb/s, εύρεση του αριθμού συσκευών στο δίκτυο, κλιμακωτούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων συνήθως έως 10 Mb/s, ομαδικές επικοινωνίες με ταυτόχρονη συμμετοχή σε πολλαπλές ομάδες συνήθως έως 10, σχετική τοποθέτηση, ασφάλεια και

λειτουργία σε επιλεγμένες παγκοσμίως διαθέσιμες ζώνες χωρίς άδεια/αδειοδότηση κάτω των 11 GHz ικανές να υποστηρίξουν αυτές τις απαιτήσεις [82].

#### **4.3.20 IEEE 488.2-1992**

Καθορίζεται ένα σύνολο κωδικών και μορφών που θα χρησιμοποιηθούν από συσκευές συνδεδεμένες μέσω του διαύλου IEEE 488.1. Το πρότυπο IEEE 488.2-1992 ορίζει επίσης πρωτόκολλα επικοινωνίας που είναι απαραίτητα για την πραγματοποίηση ανταλλαγών μηνυμάτων ανεξάρτητα από την εφαρμογή και τη συσκευή, και περαιτέρω ορίζει κοινές εντολές και χαρακτηριστικά χρήσιμα σε εφαρμογές συστημάτων οργάνων, όπως και σε βιομηχανικούς χώρους.

Επίσης, προορίζεται να εφαρμοστεί σε συστήματα οργάνων μικρής έως μεσαίας κλίμακας που αποτελούνται κυρίως από συσκευές μέτρησης, διέγερσης και διασύνδεσης με ελεγκτή οργάνων. Το πρότυπο μπορεί επίσης να ισχύει για ορισμένες συσκευές εκτός του πεδίου εφαρμογής του περιβάλλοντος συστήματος οργάνων [83].

#### **4.3.21 IEEE 802.11y-2008**

Αυτή η τροπολογία του πρότυπου IEEE 802.11y-2008 ορίζει τροποποιήσεις στο επίπεδο ελέγχου πρόσβασης μεσαίου επιπέδου IEEE 802.11 (MAC) και στα Directional Multi Gigabit (DMG) και βελτιωμένα DMG (EDMG) PHY για τη βελτίωση της λειτουργίας ανίχνευσης ασύρματου τοπικού δικτύου (WLAN) σε συχνότητα που εξαιρείται από άδεια ζώνες μεταξύ 1 GHz και 7,125 GHz και άνω των 45 GHz.

Επίσης, δίνει τη δυνατότητα στους σταθμούς μέσα σε βιομηχανικά περιβάλλοντα να εκτελούν ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα: να ενημερώνουν άλλους σταθμούς για τις ικανότητες ανίχνευσης WLAN, να ζητούν και να ρυθμίζουν μεταδόσεις που επιτρέπουν την εκτέλεση μετρήσεων ανίχνευσης WLAN, για να υποδεικνύουν ότι μια μετάδοση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για WLAN ανίχνευσης και για την ανταλλαγή ανατροφοδότησης και πληροφοριών ανίχνευσης WLAN, οι μετρήσεις ανίχνευσης WLAN πρέπει να λαμβάνονται χρησιμοποιώντας μεταδόσεις που ζητούνται, αυτόκλητα ή ακόμα τα δύο.

Αυτή η τροπολογία ορίζει τροποποιήσεις στη διεπαφή υπηρεσίας PHY των PHY υψηλής απόδοσης, πολύ υψηλής απόδοσης, υψηλής απόδοσης και εξαιρετικά υψηλής απόδοσης. Αυτή η τροποποίηση παρέχει συμβατότητα προς τα πίσω και συνύπαρξη με παλαιού τύπου συσκευές IEEE 802.11 που λειτουργούν στην ίδια ζώνη [84].

#### **4.3.22 IEEE 802.1Qay-2009**

Αυτή η τροπολογία του πρότυπου IEEE 802.1Qay-2009 καθορίζει βελτιώσεις απορρήτου που συμπληρώνουν τις υπάρχουσες δυνατότητες από το πρότυπο IEEE 802.1AE MAC Security και μειώνουν την ικανότητα των εξωτερικών παρατηρητών να συσχετίζουν τα πλαίσια δεδομένων χρήστη, τα μεγέθη τους, το χρόνο μετάδοσης και τη συχνότητα μετάδοσης με την ταυτότητα και τις δραστηριότητες των χρηστών μέσα σε βιομηχανικό περιβάλλον. Καθορίζει μια μορφή που επιτρέπει σε ένα ή περισσότερα πλαίσια δεδομένων χρήστη και οκτάδες padding να μεταφέρονται εντός των

δεδομένων που προστατεύονται από εμπιστευτικότητα των ενοποιημένων πλαισίων, αποκρύπτοντας τις διευθύνσεις MAC των χρηστών και τα αρχικά μεγέθη πλαισίων.

Ο πομπός μπορεί να εξισορροπήσει τη βελτίωση της ιδιωτικής ζωής έναντι της απώλειας απόδοσης και της καθυστέρησης ελέγχοντας τα μεγέθη των πλαισίων ενοποίησης και τότε μεταδίδονται. Τα μοντέλα διαμόρφωσης και λειτουργικής κατάστασης ορίζονται τόσο για την υπάρχουσα λειτουργικότητα του όσο και για τη λειτουργικότητα που θα προστεθεί από το συγκεκριμένο πρότυπο. Επίσης, περιγράφει ζητήματα απορρήτου για τη χρήση, το σχεδιασμό και την ανάπτυξη γεφυρωμένων δικτύων [85].

#### **4.3.23 IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996**

Ορίζεται μια μέθοδος ενοποιημένης πρόσβασης που προσφέρει ολοκληρωμένες υπηρεσίες στους χώρους εργασίας για μια ποικιλία δικτύων κορμού που διαχειρίζονται δημόσια και ιδιωτικά σε βιομηχανικά περιβάλλοντα [86].

#### **4.3.24 IEEE 1904.1-2013**

Το πρότυπο IEEE 1904.1-2013 περιγράφει τις απαιτήσεις σε επίπεδο συστήματος που απαιτούνται για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο υπηρεσίας και πολλαπλών προμηθευτών του εξοπλισμού παθητικού οπτικού δικτύου Ethernet (EPON). Οι προδιαγραφές συμπληρώνουν τα υπάρχοντα πρότυπα IEEE 802.3 και IEEE 802.1, τα οποία διασφαλίζουν τη διαλειτουργικότητα στο Physical Layer (PHY) και στο Data Link Layer.

Ειδικά σε αυτήν την προδιαγραφή περιλαμβάνονται - Προδιαγραφές διαλειτουργικότητας σε επίπεδο συστήματος EPON που καλύπτουν τη λειτουργικότητα του εξοπλισμού, τη μηχανική κυκλοφορίας και τους μηχανισμούς ποιότητας υπηρεσίας/κατηγορίας υπηρεσίας σε επίπεδο υπηρεσίας (QoS/CoS). Επίσης, προδιαγραφές διαχείρισης που καλύπτουν τη διαχείριση εξοπλισμού, τη διαχείριση υπηρεσιών και τον μηχανισμό εξοικονόμησης ενέργειας EPON [87].

#### **4.3.25 IEEE 1904.1-2017**

Με το πρότυπο IEEE 1904.1-2017 περιγράφονται οι απαιτήσεις σε επίπεδο συστήματος που απαιτούνται για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο υπηρεσίας και πολλαπλών προμηθευτών του εξοπλισμού παθητικού οπτικού δικτύου Ethernet (EPON). Τα υπάρχοντα πρότυπα IEEE 802.3 και IEEE 802.1, τα οποία διασφαλίζουν τη διαλειτουργικότητα στο Physical Layer (PHY) και στο Data Link Layer, συμπληρώνονται από τις προδιαγραφές.

Ειδικά σε αυτήν την προδιαγραφή περιλαμβάνονται - Προδιαγραφές διαλειτουργικότητας σε επίπεδο συστήματος EPON που καλύπτουν τη λειτουργικότητα του εξοπλισμού, τη μηχανική κυκλοφορίας και τους μηχανισμούς ποιότητας υπηρεσίας/κατηγορίας υπηρεσίας σε επίπεδο υπηρεσίας (QoS/CoS). Επίσης, προδιαγραφές διαχείρισης που καλύπτουν τη διαχείριση εξοπλισμού, τη διαχείριση υπηρεσιών και τον μηχανισμό εξοικονόμησης ενέργειας EPON [88].

#### **4.3.26 IEEE 1903.1-2017**

Το πρότυπο IEEE 1903.1-2017 αφορά την υποστήριξη προηγμένης δυνατότητας παράδοσης περιεχομένου σε δίκτυα επικάλυψης υπηρεσιών επόμενης γενιάς, συμπεριλαμβανομένης της λειτουργικής οντότητας παράδοσης περιεχομένου (CD), της δρομολόγησης υπηρεσίας (SR) FE, της απόφασης πολιτικής υπηρεσίας (SPD) FE, της ανακάλυψης και της διαπραγμάτευσης υπηρεσίας (SDN) FE. Τα FE διαχείρισης πληροφοριών περιβάλλοντος (CIM) καθορίζονται από το ίδιο το πρότυπο.

Η ανακάλυψη του περιεχομένου, η διαχείριση της κρυφής μνήμης και της αποθήκευσης του περιεχομένου, ο έλεγχος παράδοσης περιεχομένου και ο έλεγχος QoS μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών παράδοσης περιεχομένου με βάση το πλαίσιο και δυναμικά προσαρμοστικού περιεχομένου, υποστηρίζονται από τη δυνατότητα παράδοσης περιεχομένου [89].

### **4.4 Τα Πρότυπα του Internet Engineering Task Force – IETF**

Η IETF (Internet Engineering Task Force, Τακτική Δύναμη Μηχανικών Internet) έχει αναπτύξει και προωθήσει τα 9 παρακάτω πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories. Οι επόμενοι παράγραφοι αναλύουν το κάθε πρότυπο ξεχωριστά.

#### **4.4.1 6LoWPAN**

Το πρότυπο 6LoWPAN προέκυψε από την ιδέα ότι το Πρωτόκολλο Διαδικτύου θα μπορούσε και θα έπρεπε να εφαρμόζεται ακόμη και στις μικρότερες συσκευές και ότι οι συσκευές χαμηλής κατανάλωσης με περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας θα πρέπει να μπορούν να συμμετέχουν στο Διαδίκτυο των πραγμάτων.

Το 6LoWPAN έχει ορίσει ένα σύνολο πρωτοκόλλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενσωμάτωση κόμβων αισθητήρων σε δίκτυα IPv6. Τα βασικά πρωτόκολλα για την αρχιτεκτονική 6LoWPAN έχουν καθοριστεί και ορίζονται για ορισμένες εμπορικές διαδικασίες που εφαρμόζουν αυτήν τη σουίτα πρωτοκόλλων [90].

Σχεδιασμένο να στέλνει πακέτα IPv6 μέσω δικτύων που βασίζονται σε IEEE802.15.4 και να εφαρμόζει ανοιχτά πρότυπα IP, συμπεριλαμβανομένων των TCP, UDP, HTTP, COAP, MQTT και web υποδοχές, το πρότυπο προσφέρει διευθυνσιοδοτούμενους κόμβους από άκρο σε άκρο. Αυτό επιτρέπει στον δρομολογητή να συνδέσετε το δίκτυο σε IP.

Το 6LoWPAN αφορά ένα δίκτυο πλέγματος δηλαδή ορίζεται ως ανθεκτικό, επεκτάσιμο και αυτοθεραπευόμενο. Οι συσκευές δρομολογητή πλέγματος μπορούν να δρομολογούν δεδομένα που προορίζονται για άλλες συσκευές, ενώ οι οικοδεσπότες μπορούν να μην λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα [22].

#### **4.4.2 RPL: RFC 6550**

Τα ζητήματα δρομολόγησης είναι πολύ προκλητικά για δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης. Αυτό οφείλεται στις συσκευές που λειτουργούν μέσω ραδιοζεύξεων με κακή απώλεια και η κατάσταση προκύπτει λόγω της χαμηλής ισχύος που είναι διαθέσιμη για τους κόμβους. Το πρόβλημα επιδεινώνεται στις τοπολογίες

πλέγματος πολλαπλών βημάτων και στις συχνές αλλαγές τοπολογίας. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα εάν η κινητικότητα είναι μεγάλη.

Μια λύση για τη λειτουργία σε δίκτυα με απώλειες είναι το πρότυπο RPL: RFC 6550, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει μια μεγάλη ποικιλία διαφορετικών επιπέδων συνδέσεων, συμπεριλαμβανομένων αυτών που είναι περιορισμένα με δυνητικές απώλειες. Οι σχεδιαστές συνήθως χρησιμοποιούν το RPL σε συνδυασμό με τον κεντρικό υπολογιστή ή συσκευές δρομολογητή με πολύ περιορισμένους πόρους, όπως στον αυτοματισμό κτιρίου/οικίας, σε βιομηχανικά περιβάλλοντα και σε αστικές εφαρμογές [86].

Το RPL δημιουργεί αποτελεσματικά και γρήγορα γνώσεις δρομολόγησης δικτύου, κάτι που μπορεί καταναμηθεί μεταξύ των συνδεδεμένων κόμβων του. Οι κόμβοι RPL του δικτύου συνήθως συνδέονται μέσω μονοπατιών πολλαπλών βημάτων σε ένα μικρό σύνολο συσκευών.

Το RPL μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικά είδη πληροφοριών κυκλοφορίας και σηματοδότησης και υποστηρίζει Multipoint-to-Point (MP2P), Point-to-Point (P2P) Κυκλοφορία πολλαπλών σημείων (P2MP) και από σημείο σε σημείο (P2P) [22].

#### 4.4.3 Coap: RFC 7252

Το πρότυπο CoAP: RFC 7252 είναι ένα πρωτόκολλο μεταφοράς για χρήση με περιορισμένους κόμβους και περιορισμούς (π.χ., δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης, με απώλειες). Οι κόμβοι έχουν συχνά 8-bit μικροελεγκτές με μικρές ποσότητες ROM και RAM, ενώ είναι περιορισμένοι σε δίκτυα όπως το IPv6 μέσω ασύρματων προσωπικών δικτύων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (6LoWPAN), έχουν συχνά υψηλά ποσοστά σφαλμάτων πακέτων και τυπική απόδοση 10 kbit/s [92].

Το συγκεκριμένο πρότυπο έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές (M2M) όπως η έξυπνη ενέργεια και τα περιβάλλοντα με αυτοματισμούς. Επίσης, παρέχει ένα μοντέλο αλληλεπίδρασης αιτήματος/απόκρισης μεταξύ των τερματικών σημείων εφαρμογής, υποστηρίζει την ενσωματωμένη ανακάλυψη υπηρεσιών και πόρων και περιλαμβάνει βασικές έννοιες του Ιστού, όπως URI.

Το CoAP έχει σχεδιαστεί για εύκολη διασύνδεση με το HTTP με σκοπό την ενσωμάτωση με τον Ιστό, ενώ πληρούνται εξειδικευμένες απαιτήσεις, όπως υποστήριξη πολλαπλής εκπομπής, πολύ χαμηλή επιβάρυνση και απλότητα σε περιορισμένα περιβάλλοντα [22].

#### 4.4.4 RFC 5673

Το πρότυπο RFC 5673 αφορά τις απαιτήσεις της βιομηχανικής δρομολόγησης σε δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης και απωλειών. Η ευρεία ανάπτυξη ασύρματων συσκευών χαμηλού κόστους θα είναι σημαντική βελτίωση της παραγωγικότητας και της ασφάλειας των βιομηχανικών εγκαταστάσεων ενώ η αύξηση της αποδοτικότητας των εργαζομένων στα εργοστάσια επεκτείνοντας τις διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του εργοστασίου.

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρησιμοποιείται σε βιομηχανικά δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης και απώλειας (LLN) των συσκευών του πεδίου. Η αξιοπιστία του LLN συνιστά πολλές άσχετες πτυχές:

- Διαθεσιμότητα συνδεσιμότητας πηγής-προορισμού όταν η εφαρμογή το χρειάζεται.
- Διαθεσιμότητα συνδεσιμότητας πηγής-προορισμού όταν η εφαρμογή μπορεί να το χρειαστεί.

- Ικανότητα, να παραδώσει δεδομένα από την πηγή στον προορισμό εντός περιορισμένου χρόνου.
- Πόσο καλά ένα δίκτυο (που εξυπηρετεί πολλές εφαρμογές) επιτυγχάνει από ένα άκρο σε τερματισμό παράδοσης πακέτων εντός περιορισμένου λανθάνοντος χρόνου.
- Αξιοπιστία των δεδομένων που παραδίδονται στους κόμβους [93].

### 4.4.5 RFC 7733

Η χρήση του προτύπου δρομολόγησης RFC 7733 αφορά τα δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης και απώλειας σε κτίρια αυτοματισμού και τον έλεγχο των κτιρίων αυτών.

Γενικά, το δίκτυο σε κτίρια αυτοματισμού ή το δίκτυο ελέγχου κτιρίων αποτελείται από ενσύρματα και ασύρματα υποδίκτυα. Σε μεγάλα κτίρια τα ασύρματα υποδίκτυα μπορούν να συνδεθούν σε μια IP, η οποία είναι το δίκτυο κορμού όπου όλες οι υπηρεσίες υποδομής (π.χ. Όνομα Τομέα) εντοπίζονται στα συστήματα (DNS) και στους διακομιστές αυτοματισμού. Το ασύρματο υποδίκτυο μπορεί να διαμορφωθεί σύμφωνα με τις παρακάτω τοπολογίες:

- Ένα αυτόνομο δίκτυο 10-100 κόμβων χωρίς δρομολογητή, αυτό συμβαίνει συνήθως σε κτίρια με ένα αυτόνομο χειριστήριο δικτύου, σε κτίρια χαμηλού κόστους και κατά την εγκατάσταση των συστημάτων ελέγχου υψηλής τεχνολογίας.
- Ένα συνδεδεμένο δίκτυο με έναν δρομολογητή. Αυτή η διαμόρφωση συμβαίνει σε κτίρια, από όπου ελέγχονται οι συσκευές εκτός του κτιρίου, πιθανώς μέσω έξυπνης συσκευής.
- Ένα συνδεδεμένο δίκτυο με πολλαπλούς δρομολογητές, αυτό συνήθως συμβαίνει σε εγκαταστάσεις μεγάλων κτιρίων, όπως και βιομηχανικές εγκαταστάσεις [94].

### 4.4.6 RFC 7650

Με την χρήση του πρότυπου RFC 7650 περιορισμένης εφαρμογής για πόρους, το Location And Discovery (RELOAD) επιτρέπει στους κόμβους του να αποθηκεύουν πόρους, σε μια σύνδεση peer-to-peer, παρέχοντας υπηρεσίες αναζήτησης. Αυτή η λειτουργικότητα υλοποιείται στην ίδια την RELOAD, χωρίς τη χρήση κεντρικών διακομιστών.

Αυτή η χρήση προορίζεται για διασυνδεδεμένες συσκευές σε μεγάλη περιοχή με γεωγραφική κάλυψη, όπως σε περιπτώσεις όπου πολλαπλά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) πρέπει να συνενωθούν σε κάποια ευρύτερη περιοχή σε κοινό δίκτυο, για παράδειγμα τα βιομηχανικά περιβάλλοντα. Αυτά τα WSN θα διασυνδέονται μέσω κόμβων που είναι εξοπλισμένο με μονάδες μεγάλης εμβέλειας (π.χ. 2G, 3G, 4G) καθώς και με μικρού μήκους εύρος (π.χ. XBee, ZigBee, Bluetooth LE) [95].

### 4.4.7 RFC 7641

Ενώ ένας πελάτης βρίσκεται στη λίστα των παρατηρητών ενός πόρου σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, ο στόχος του πρότυπου RFC 7641 είναι να διατηρείται η κατάσταση του πόρου που παρατηρείται από τον πελάτη όσο το δυνατόν στενά σε συγχρονισμό με την πραγματική κατάσταση στον διακομιστή.

Δεν μπορεί να αποφευχθεί ότι ο πελάτης και ο διακομιστής θα χάνουν τον συγχρονισμό κατά καιρούς: Πρώτον, υπάρχει πάντα κάποια καθυστέρηση μεταξύ της αλλαγής της κατάστασης των πόρων και τη

λήψη της ειδοποίησης. Δεύτερον, τα μηνύματα με ειδοποιήσεις μπορεί να χαθούν, κάτι που θα προκαλέσει στον πελάτη να αναλάβει μια παλιά κατάσταση μέχρι να λάβει μια νέα ειδοποίηση. Και τρίτον, ο διακομιστής μπορεί εσφαλμένα να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι ο πελάτης δεν ενδιαφέρεται πλέον για τον πόρο, κάτι που θα προκαλέσει στο διακομιστή να σταματήσει την αποστολή ειδοποιήσεων και ο πελάτης να υποθέσει μια παλιά κατάσταση μέχρι να δηλώσει ξανά το ενδιαφέρον της [96].

#### 4.4.8 RFC 8613

Το πρότυπο RFC 8613 αφορά την ασφάλεια αντικειμένων για περιορισμένα και περιβάλλοντα (OSCORE). Το OSCORE παρέχει προστασία από ένα άκρο σε ένα άλλο άκρο μεταξύ τελικών σημείων που επικοινωνούν χρησιμοποιώντας CoAP ή HTTP με την δυνατότητα χαρτογράφησης που παρέχεται από το CoAP. Το OSCORE έχει σχεδιαστεί για περιορισμένους κόμβους και δίκτυα που υποστηρίζουν μία σειρά από λειτουργίες, όπως: οι λειτουργίες διακομιστή μεσολάβησης, συμπεριλαμβανομένης της διαφορετικότητας μεταξύ των πρωτοκόλλων μεταφοράς.

Το OSCORE λειτουργεί σε πολύ περιορισμένους κόμβους και δίκτυα σε βιομηχανικούς χώρους, χάρη σε αυτό το μικρό μέγεθος μηνύματος και τις περιορισμένες απαιτήσεις της μνήμης. Το OSCORE μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοδήποτε επίπεδο, όπως UDP ή TCP, και με μεταφορές χωρίς IP. Μπορεί επίσης, να χρησιμοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους HTTP. Τα μηνύματα που προέρχονται από το συγκεκριμένο πρότυπο μπορούν να μεταφερθούν σε HTTP και χρησιμοποιείται το πρότυπο για την προστασία των μηνυμάτων HTTP με δυνατότητα χαρτογράφησης CoAP [97].

#### 4.4.9 RFC 9175

Το πρότυπο RFC 9175 ορίζει την επιλογή Echo, μια ελαφριά πρόκληση-μηχανισμός απόκρισης, που επιτρέπει σε έναν διακομιστή να επαληθεύσει το αίτημα. Ένα νέο αίτημα είναι αυτό του οποίου ο χρόνος δεν έχει ακόμη ξεπεράσει τις απαιτήσεις που όρισε ο διακομιστής. Οι απαιτήσεις είναι συγκεκριμένες για την εφαρμογή και μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τους πόρους που διαθέτει ένα βιομηχανικό περιβάλλον.

Αυτός ο μηχανισμός δεν είναι σημαντικός μόνο στην περίπτωση ενεργοποιητών ή σε άλλες περιπτώσεις χρήσης όπου οι λειτουργίες του CoAP απαιτούν ανανέωση του αιτήματος, αλλά και γενικά για συγχρονισμό κατάστασης μεταξύ ενός CoAP πελάτη και διακομιστή, επαληθεύοντας κρυπτογραφικά ότι ο πελάτης είναι ενεργός ή εξαναγκάζοντας τον να επιδείξει προσβασιμότητα στη διεκδίκησή για την διεύθυνση του δικτύου.

Η ίδια λειτουργικότητα μπορεί να παρέχεται με την μορφή ήχου στα ωφέλιμα φορτία CoAP, αλλά αυτό λειτουργεί μόνο με τις μεθόδους και τους κωδικούς απόκρισης που έχουν οριστεί για να έχουν ωφέλιμο φορτίο. Η επιλογή μορφής ήχου παρέχει μια σύνδεση για τη μεταφορά που λειτουργεί για όλες τις μεθόδους και τους κωδικούς απόκρισης [98].

## 4.5 Τα Πρότυπα του International Society of Automation – ISA

Η International Society of Automation (ISA) έχει αναπτύξει και προωθήσει τα 4 παρακάτω πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories. Οι επόμενοι παράγραφοι αναλύουν το κάθε πρότυπο ξεχωριστά.

### 4.5.1 ISA100.11a

Το ISA100.11a είναι ένα πρότυπο τεχνολογίας ασύρματης δικτύωσης που αναπτύχθηκε από τη International Society of Automation (ISA). Η επίσημη περιγραφή είναι Ασύρματα Συστήματα Βιομηχανικού Αυτοματισμού: Έλεγχος Διαδικασιών και Συναφείς Εφαρμογές [99].

Η εφαρμογή της τεχνολογίας περιλαμβάνει:

- Αισθητήρες πεδίου που χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση, έλεγχο, συναγερμό και τερματισμό λειτουργίας που μπορούν να ενσωματωθούν κάθετα από το πεδίο στα επιχειρηματικά συστήματα.
- Ασύρματη τεχνολογία της οποίας οι χρήσεις περιλαμβάνουν συστήματα σε πραγματικό χρόνο από πεδίο σε επιχείρηση (π.χ. συστήματα διασύνδεσης ασύρματου εξοπλισμού, συστήματα παραγγελιών εργασίας, LAN ελέγχου, επιχειρηματικό LAN, φωνή).
- Σε όλες τις βιομηχανίες - επεξεργασία ρευστών, επεξεργασία υλικών και περιβάλλοντα κατασκευής διακριτών ανταλλακτικών [100].

### 4.5.2 ISA-TR100.14.01-Part 1-2011

Το πρότυπο ISA-TR100.14.01-Part 1-2011 αφορά την αξιοπιστία που σχετίζεται με τη χρήση ασύρματης τεχνολογίας σε συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού. Εξαιρούνται συγκεκριμένα εκείνα τα χαρακτηριστικά που μπορεί να είναι κοινά με τα ενσύρματα συστήματα και επομένως καλύπτονται αλλού ή τα χαρακτηριστικά που είναι ειδικά για άλλους τομείς εφαρμογών, όπως οι εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης.

Επίσης, εξαιρούνται εκείνα τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με βοηθητικά ζητήματα, όπως οι επιπτώσεις στην υγεία των ραδιοσυχνοτήτων ή υλικών εξαρτημάτων (όπως οι μπαταρίες). Το συγκεκριμένο πρότυπο αναφέρεται στην αξιοπιστία η οποία, περιλαμβάνει χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ασφάλεια και την ανθεκτικότητα [101].

### 4.5.3 Mqtt Protocol

Το πρότυπο MQTT είναι ένα ελαφρύ πρωτόκολλο δικτύου, δημοσίευσης-συνδρομής, από μηχανή σε μηχανή. Έχει σχεδιαστεί για συνδέσεις με απομακρυσμένες τοποθεσίες που έχουν συσκευές με περιορισμούς πόρων ή περιορισμένο εύρος ζώνης δικτύου. Πρέπει να εκτελείται μέσω ενός πρωτοκόλλου μεταφοράς που παρέχει διατεταγμένες, χωρίς απώλειες, αμφίδρομες συνδέσεις, συνήθως TCP/IP [102].

Το MQTT είναι ένα πρωτόκολλο δημοσίευσης/εγγραφής που επικεντρώνεται στη συλλογή δεδομένων συσκευής. Ο κύριος σκοπός του είναι η τηλεμετρία, ή απομακρυσμένη παρακολούθηση, επομένως έχει

σχεδιαστεί για τη διασύνδεση και την ανάκτηση δεδομένων από χιλιάδες συσκευές. Επομένως, στη γενική ταξινόμηση, θεωρείται ως πρωτόκολλο από συσκευή σε διακομιστή [103].

Το MQTT βασίζεται σε μια τοπολογία hub-to-spoke, καθώς έχει σχεδιαστεί για να συλλέγει δεδομένα από μετατροπείς και να στέλνει τα δεδομένα που συλλέγονται πίσω σε έναν διακομιστή συλλογής για τις λειτουργίες και τη διαχείριση. Εξαιτίας αυτού του σχεδιασμού, το MQTT δεν διευκολύνει τη μεταφορά από συσκευή σε συσκευή και λειτουργεί από σημείο σε σημείο μεταξύ συσκευών και τον διακομιστή συλλογής [104].

Ως αποτέλεσμα αυτών των προδιαγραφών σχεδιασμού, το MQTT είναι κατάλληλο για εξωτερικές και απομακρυσμένη παρακολούθηση συσκευών, όπως παρακολούθηση της κατάστασης ενός πετρελαίου ή αερίου. Οι ικανοί αισθητήρες/συσκευές απαιτούν την αποστολή δεδομένων σε έναν κοινό διακομιστή/εφαρμογή, που ισχύουν στην επικοινωνία εντός του βιομηχανικού Ethernet περιλαμβάνουν το MQTT [1].

#### 4.5.4 ISA95

Το πρότυπο ISA95, όπως αναφέρεται πιο συχνά, είναι ένα διεθνές πρότυπο από τη Διεθνή Εταιρεία Αυτοματισμού για την ανάπτυξη μιας αυτοματοποιημένης διεπαφής μεταξύ επιχειρήσεων και συστημάτων ελέγχου. Αυτό το πρότυπο έχει αναπτυχθεί για παγκόσμιους κατασκευαστές. Αναπτύχθηκε για να εφαρμόζεται σε όλες τις βιομηχανίες και σε κάθε είδους διαδικασίες, όπως διεργασίες κατά παρτίδες, συνεχείς και επαναλαμβανόμενες διαδικασίες [105].

Οι στόχοι του ISA95 παρέχει συνεπή ορολογία που αποτελεί τη βάση για τις επικοινωνίες προμηθευτών και κατασκευαστών, να παρέχει συνεπή μοντέλα πληροφοριών και να παρέχει συνεπή μοντέλα λειτουργιών που αποτελούν τη βάση για την αποσαφήνιση της λειτουργικότητας της εφαρμογής και του τρόπου χρήσης των πληροφοριών [106].

Πεδίο Εφαρμογής:

- Καθιερώνεται ως μοντέλο της επιχείρησης, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών ελέγχου παραγωγής και των επιχειρηματικών λειτουργιών και της ανταλλαγής πληροφοριών της.
- Καθιερώνει μία κοινή ορολογία για την περιγραφή και την κατανόηση της επιχείρησης, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών ελέγχου παραγωγής και των λειτουργιών επιχειρηματικής διαδικασίας και της ανταλλαγής πληροφοριών της.
- Καθιερώνει την ηλεκτρονική ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των λειτουργιών ελέγχου παραγωγής και άλλων εταιρικών λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένων μοντέλων δεδομένων και ορισμών ανταλλαγής [107].

#### 4.6 Τα Πρότυπα των PI (PROFIBUS & PROFINET International)

Η PROFIBUS και η PROFINET International (PI) έχει αναπτύξει και προωθήσει τα 2 παρακάτω πρότυπα που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories. Οι επόμενοι παράγραφοι αναλύουν το κάθε πρότυπο ξεχωριστά.

#### 4.6.1 Profinet

Το Profinet είναι ένα βιομηχανικό τεχνικό πρότυπο για την επικοινωνία δεδομένων μέσω Industrial Ethernet, σχεδιασμένο για τη συλλογή δεδομένων από και τον έλεγχο εξοπλισμού σε βιομηχανικά συστήματα, με ιδιαίτερη δύναμη στην παροχή δεδομένων υπό στενούς χρονικούς περιορισμούς. Το πρότυπο διατηρείται και υποστηρίζεται από την Profibus και την Profinet International, έναν οργανισμό με έδρα την Καρλσρούη της Γερμανίας [108].

Το Profinet υλοποιεί τη διασύνδεση με περιφερειακά. Καθορίζει την επικοινωνία με περιφερειακές συσκευές συνδεδεμένες στο πεδίο. Η βάση του είναι μια διαδοχική ιδέα σε πραγματικό χρόνο. Το Profinet ορίζει ολόκληρη την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των ελεγκτών (IO-Controllers) και των συσκευών (IO-Devices), καθώς και τη ρύθμιση παραμέτρων και τη διάγνωση. Οι ελεγκτές IO είναι συνήθως PLC, DCS ή IPC, ενώ οι συσκευές IO μπορούν να ποικίλλουν: μπλοκ I/O, μονάδες δίσκου, αισθητήρες ή ενεργοποιητές. Το πρωτόκολλο Profinet έχει σχεδιαστεί για τη γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών πεδίου που βασίζονται σε Ethernet και ακολουθεί το μοντέλο παρόχου-καταναλωτή [22].

Η επικοινωνία στο Profinet πραγματοποιείται κυκλικά και χωρίζεται σε διάφορες φάσεις. Κάθε κύκλος ξεκινά με την φάση, στην οποία τα πλαίσια RT (IRT) μεταδίδονται. Η μετάδοση των πλαισίων IRT έχει ήδη διαμορφωθεί κατά την εγκατάσταση του δικτύου. Μέσω του συγχρονισμού, σε κάθε συσκευή το χρονικό σημείο είναι ακριβώς προγραμματισμένο όταν ένα IRT πλαίσιο μπορεί να σταλεί.

Παρά τη μετάδοση δεδομένων σε πλαίσια Ethernet, η διευθυνσιοδότηση δεν πραγματοποιείται με διευθύνσεις MAC αλλά σε πλαίσια που προωθούνται μέσω διακοπών σε σταθερή διαδρομή ανάλογα με τον χρόνο μετάδοσης. Μετά την ισόχρονη φάση, ακολουθεί η επόμενη φάση RT και τέλος, παρέχονται δεδομένα που μεταδίδονται μέσω UDP ή TCP [47].

#### 4.6.2 Profibus PA V3.02

Το πρότυπο PROFIBUS PA V3.02 είναι τυποποιημένο σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61158 – επομένως έχει τεθεί η βάση για τη διαλειτουργικότητα και τη συμβατότητα. Επιπλέον, το προφίλ PROFIBUS PA επιτρέπει την ομαλή συνεργατική λειτουργία των συσκευών διεργασίας στο δίαυλο. Η τρέχουσα έκδοση PROFIBUS PA V3.02 περιλαμβάνει πολλές λειτουργίες, οι οποίες κάνουν τον χειρισμό των συσκευών πεδίου ακόμα πιο εύκολο, π.χ. σε περίπτωση αλλαγής συσκευής.

Όταν ανταλλάσσεται μια συσκευή πεδίου, η νέα συσκευή αναλαμβάνει αυτόματα τον ρόλο της προκατόχου συσκευής – επομένως η ανταλλαγή συσκευής μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα και χωρίς διακοπή της λειτουργίας του συστήματος. Αυτή η αυτόματη προσαρμογή είναι επίσης δυνατή με συσκευές διαφορετικών γενεών.

Αυτό σημαίνει ότι η τυποποίηση προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και κανέναν περιορισμό στην επιλογή προμηθευτή. Πράγματι, στο μεταξύ υπάρχει μια τεράστια γκάμα συσκευών που μπορούν να συνδυαστούν σχεδόν με οποιονδήποτε τρόπο. Ακόμη και η αντικατάσταση συσκευών αργότερα είναι απολύτως εύκολη και με το PROFIBUS οι νέες συσκευές είναι πάντα συμβατές με το παρελθόν [109].

## **4.7 Το Πρότυπο του European Telecommunications Standards Institute – ETSI**

Το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute - ETSI) έχει αναπτύξει και προωθήσει το 1 παρακάτω πρότυπο που αναφέρεται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

### **4.7.1 GSM**

Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM) είναι ένα πρότυπο που αναπτύχθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) για να περιγράψει τα πρωτόκολλα για ψηφιακά κυψελωτά δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G) που χρησιμοποιούνται από κινητές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα και tablet και σε βιομηχανικούς χώρους. Αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στη Φινλανδία τον Δεκέμβριο του 1991. Στα μέσα της δεκαετίας του 2010, έγινε παγκόσμιο πρότυπο για τις κινητές επικοινωνίες επιτυγχάνοντας πάνω από 90% μερίδιο αγοράς και λειτουργώντας σε περισσότερες από 193 χώρες και περιοχές.

Το πρότυπο GSM αρχικά περιέγραφε ένα ψηφιακό δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος βελτιστοποιημένο για πλήρη αμφίδρομη φωνητική τηλεφωνία. Αυτό επεκτάθηκε με την πάροδο του χρόνου για να συμπεριλάβει επικοινωνίες δεδομένων, πρώτα με μεταφορά με μεταγωγή κυκλώματος, στη συνέχεια με μεταφορά δεδομένων πακέτων μέσω Γενικής Υπηρεσίας Ραδιοφωνικής Υπηρεσίας πακέτων (GPRS) και ενισχυμένους ρυθμούς δεδομένων για την εξέλιξη του GSM [110].

Η αρχιτεκτονική GSM είναι ένα πολυεπίπεδο μοντέλο που έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ δύο διαφορετικών συστημάτων. Τα κατώτερα επίπεδα διασφαλίζουν τις υπηρεσίες των πρωτοκόλλων ανώτερου επιπέδου. Κάθε επίπεδο περνάει κατάλληλες ειδοποιήσεις για να διασφαλίσει ότι τα μεταδιδόμενα δεδομένα έχουν μορφοποιηθεί, μεταδοθεί και ληφθεί με ακρίβεια [21].

## **4.8 Το Πρότυπο του Ethernet POWERLINK – EPSG**

Η Ομάδα Τυποποίησης Ethernet POWERLINK (EPSG) έχει αναπτύξει και προωθήσει το 1 παρακάτω πρότυπο που αναφέρεται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

### **4.8.1 POWERLINK**

Σε αντίθεση με άλλα βιομηχανικά συστήματα Ethernet, το πρότυπο POWERLINK είναι μια λύση που βασίζεται αποκλειστικά σε λογισμικό και είναι 100% σύμφωνη με το IEEE 802.3 Ethernet πρότυπο. Παρέχοντας στενή συμμόρφωση με το πρότυπο διασφαλίζει ότι όλα τα οφέλη και η ευελιξία της τεχνολογίας Ethernet μεταφέρεται στο πρωτόκολλο σε πραγματικό χρόνο.

Ως εκ τούτου, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ίδιο τυποποιημένο υλικό με τα εξαρτήματα και να χρησιμοποιήσουν τα ίδια εργαλεία για διαγνωστικά. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η δυνατότητα σε πραγματικό χρόνο, το POWERLINK καταφεύγει σε μια διαδικασία που επιτρέπει μόνο σε έναν κόμβο τη φορά να στέλνει δεδομένα [111].

Γενικά, η επικοινωνία προχωρά όπως συμβαίνει σε μια οργανωμένη συζήτηση, όπου ένας συντονιστής προτρέπει τους συμμετέχοντες να κάνουν δηλώσεις. Σε αυτό το σενάριο, ο συντονιστής φροντίζει για

όλους να παίρνουν τη σειρά ώστε να μιλήσουν σε συγκεκριμένη ώρα. Σε αντίθεση με το τυπικό Ethernet, αυτή η διαδικασία διασφαλίζει ότι οι κόμβοι δεν μπορούν να «μιλήσουν» ταυτόχρονα.

Το POWERLINK χρησιμοποιεί την ακόλουθη δομή επικοινωνίας: ένας κόμβος, ένα PLC, ένας ελεγκτής κίνησης και ένας βιομηχανικός Η/Υ που ορίζεται αυθαίρετα για να λειτουργεί ως το λεγόμενο Managing Node (MN), δηλ. να χρησιμεύει ως «συντονιστής της συνομιλίας». Όλες οι άλλες συσκευές λειτουργούν ως ελεγχόμενοι κόμβοι (CN). Το MN ορίζει τον παλμό του ρολογιού για το συγχρονισμό όλων των συσκευών που διαχειρίζεται τα δεδομένα στην επικοινωνία [112].

### 4.9 Το Πρότυπο του Modbus Organization

Ο οργανισμός Modbus έχει αναπτύξει και προωθήσει το 1 παρακάτω πρότυπο που αναφέρεται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

#### 4.9.1 Modbus – TCP

Το Modbus - TCP είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας δεδομένων που δημοσιεύθηκε αρχικά από τη Modicon το 1979 για χρήση με τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές της (PLC). Το Modbus έχει γίνει ένα τυπικό πρωτόκολλο επικοινωνίας και είναι πλέον ένα ευρέως διαθέσιμο μέσο σύνδεσης βιομηχανικών ηλεκτρονικών συσκευών.

Το Modbus είναι δημοφιλές σε βιομηχανικά περιβάλλοντα επειδή δημοσιεύεται ανοιχτά και χωρίς δικαιώματα. Αναπτύχθηκε για βιομηχανικές εφαρμογές, είναι σχετικά εύκολο να αναπτυχθεί και να διατηρηθεί σε σύγκριση με άλλα πρότυπα και θέτει λίγους περιορισμούς στη μορφή των δεδομένων που θα μεταδοθούν.

Το πρωτόκολλο Modbus χρησιμοποιεί σειριακές γραμμές επικοινωνίας χαρακτήρων, Ethernet ή τη σουίτα πρωτοκόλλων Internet ως επίπεδο μεταφοράς. Το Modbus υποστηρίζει επικοινωνία από και προς πολλαπλές συσκευές συνδεδεμένες στο ίδιο καλώδιο ή δίκτυο Ethernet.

Το Modbus χρησιμοποιείται συχνά για τη σύνδεση ενός υπολογιστή εποπτείας εγκατάστασης/συστήματος με μια απομακρυσμένη τερματική μονάδα (RTU) σε συστήματα εποπτικού ελέγχου και απόκτησης δεδομένων. Πολλοί από τους τύπους δεδομένων ονομάζονται από τον βιομηχανικό έλεγχο των εργοστασιακών συσκευών, όπως το ladder logic λόγω της χρήσης του σε μια φυσική έξοδος ενός bit ονομάζεται πηνίο και μια φυσική είσοδος ενός bit ονομάζεται διακριτή είσοδος [113].

### 4.10 Το Πρότυπο του Electronics Industries Alliance (EIA)

Η Electronic Industries Alliance (EIA, μέχρι το 1997 Electronic Industries Association) έχει αναπτύξει και προωθήσει το 1 παρακάτω πρότυπο που αναφέρεται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

#### 4.10.1 RS232C

Το πρότυπο RS-232C (Recommended Standard 232) είναι ένα πρότυπο για σειριακή μετάδοση δυαδικών σημάτων δεδομένων μεταξύ ενός DTE (Data terminal equipment) και ενός DCE (Data Circuit-terminating equipment). Χρησιμοποιείται συχνά στις σειριακές θύρες των προσωπικών υπολογιστών. Ένα παρόμοιο πρότυπο της ITU-T που είναι το V.24 [114].

Το RS232C είναι πολύ απλό και εύκολο στην εφαρμογή ακόμη και στους πιο περιορισμένες συσκευές, καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για επεξεργαστές και υψηλότερες στοίβες πρωτοκόλλου, όπως το TCP/IP. Συσκευές που εκτελούν το RS232C μπορούν εύκολα να τοποθετηθούν, παρά την έλλειψη IP δυνατοτήτων μέσω φθηνών μετατροπέων σειριακής σε USB.

Επιπλέον, ως αναλογική μορφή επικοινωνίας, μπορεί να εκτελείται σε πολύ μεγαλύτερες συνδέσεις από την ψηφιακή επικοινωνία και είναι πολύ λιγότερο επιρρεπής σε θόρυβο και εξασθένιση σήματος, ακόμη και για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μεγάλες αποστάσεις και σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Επομένως, δεν υπάρχει επιτακτικός λόγος, εάν αυτές οι συσκευές ακόμα εκτελούν τις εργασίες για τις οποίες σχεδιάστηκαν, για την αναβάθμιση ή την αντικατάστασή τους [22].

## Κεφάλαιο 5ο: Διαχωρισμός με βάση την αρχιτεκτονική

### 5.1 Service-oriented architecture (SOA) of IoT

Το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) στοχεύει στη σύνδεση διαφορετικών πραγμάτων μέσω των δικτύων. Σαν βασική τεχνολογία για την ενοποίηση ετερογενών συστημάτων ή συσκευών, η αρχιτεκτονική SOA μπορεί να εφαρμοστεί για την υποστήριξη IoT. Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ερευνητικούς τομείς όπως η βιομηχανία, το cloud computing, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) και το δίκτυο οχημάτων [21].

Έχουν δημιουργηθεί αρκετές αρχιτεκτονικές SOA πολλαπλών επιπέδων βασισμένες στο IoT σχετικά με την επιλεγμένη τεχνολογία, τις επιχειρηματικές ανάγκες και τις τεχνικές απαιτήσεις. Ο Liu et al. σχεδίασε την παρακάτω υποδομή εφαρμογής IoT που περιέχει το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο μεταφοράς, το επίπεδο που αφορά το λογισμικό και το επίπεδο εφαρμογών. Με βάση τις λειτουργίες, η αρχιτεκτονική SOA των τεσσάρων επιπέδων του IoT παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.1 [115].

Πίνακας 5.1: Τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής SOA [115]

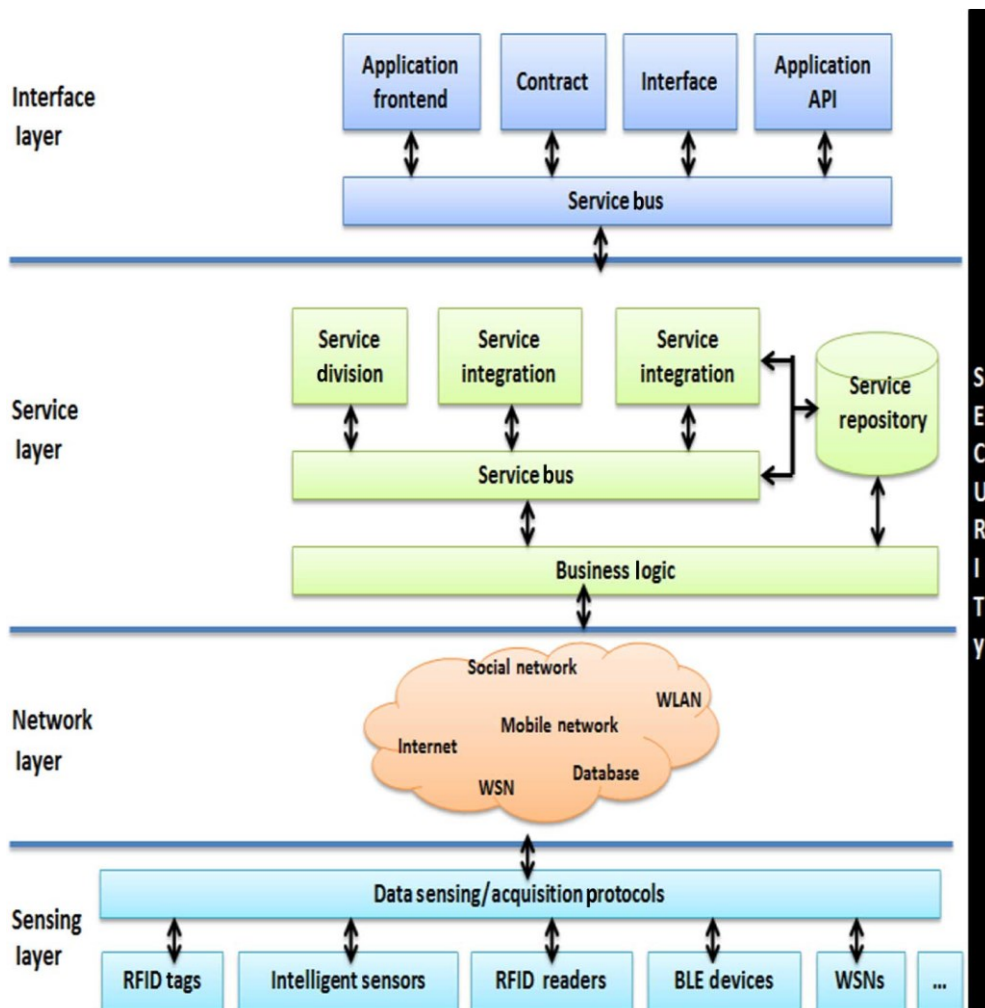
Επίπεδα:	Περιγραφή:
Sensing Layer	Αυτό το επίπεδο αφορά το ενσωματωμένο λογισμικό (την ταυτοποίηση μέσω ραδιοσυχνότητας (RFID), τους αισθητήρες, τους ενεργοποιητές κ.α.) για τον έλεγχο του φυσικού κόσμου και των ληφθέντων δεδομένων.
Networking Layer	Αυτό το επίπεδο αφορά την βασική υποστήριξη δικτύωσης και μεταφοράς δεδομένων μέσω του ασύρματου ή του ενσύρματου δικτύου.
Service Layer	Αυτό το επίπεδο αφορά τις υπηρεσίες που δημιουργούνται και διαχειρίζονται για να ικανοποιήσει τις ανάγκες των χρηστών.
Interface Layer	Αυτό το επίπεδο αφορά τις μεθόδους που παρέχονται με σκοπό την αλληλεπίδραση σε χρήστες και σε άλλες εφαρμογές.

Στην συνέχεια ο παρακάτω Πίνακας 5.2. δείχνει τις εκτιμήσεις σχεδιασμού, συγκεκριμένα για τις βιομηχανικές εφαρμογές IoT καθώς και στον Πίνακα 5.3 βλέπουμε τον διαχωρισμό των προτύπων σύμφωνα με τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής SOA.

Επίσης, στο παρακάτω Σχήμα 5.1. φαίνεται η αρχιτεκτονική SOA, όπου τα τέσσερα στρώματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους [115].

Πίνακας 5.2: Εκτιμήσεις σχεδιασμού συγκεκριμένα για τις βιομηχανικές εφαρμογές IoT [115]

Design Goals	Description
Energy	Πόσο καιρό μπορεί να λειτουργήσει μια συσκευή IoT με περιορισμένη παροχή ρεύματος;
Latency	Πόσος χρόνος χρειάζεται για τη διάδοση και την επεξεργασία του μηνύματος;
Throughput	Ποιος είναι ο μέγιστος όγκος δεδομένων που μπορεί να μεταφερθεί μέσω του δικτύου;
Scalability	Πόσες συσκευές υποστηρίζονται;
Topology	Πώς πρέπει να γίνει η επικοινωνία και με ποιον;
Security and Safe	Πόσο ασφαλή είναι η εφαρμογή;



Σχήμα 5.1: Η αρχιτεκτονική SOA για τα IoT [115]

Πίνακας 5.3: Διαχωρισμός Προτύπων σύμφωνα με τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής SOA

Reference Architecture	Layers	Πρότυπα σε Layers
<b>Service-oriented architecture (SOA) of IoT</b>	Interface Layer	6LoWPAN
		Coap: RFC 7252
		ISO/IEC/IEEE 21450:2010
		IEEE 802.16a-2003
		IEEE 802.15.4e-2012
		IEEE 802.15.4c-2009
		IEEE 802.15.2-2003
		IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996
		IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001
	Service Layer	GSM
		RFC 5673
		ISO 9506-1:2003
		ISO 9506-2:2003
		IEEE 1904.1-2017
		IEEE 1904.1-2013
		IEEE 1903.1-2017
	Network Layer	WirelessHart: IEC 62591
		Modbus - TCP
		EtherCat: IEC 61158
		Profibus PA V3.02
		RPL: RFC 6550
		POWERLINK
		ISO/TR 13283:1998
		IEEE 61158-2017
		IEEE 802.1BA-2011
		IEEE 802.3-2018
		IEEE 802.11n-2009
		IEEE 802.11a-1999
		IEEE 802.11Qbv-2015
	Sensing Layer	ISA95
		NFC: ISO/IEC 13157
		RFC 7733
		RFC 7650
		RFC 7641
		ZigBee: IEEE 802.15.4-2006
		RS232C
		IEEE P802.15.13
		IEEE 1903.1-2017
		IEEE 802.1AS-2011
	IEEE 802.1Qch-2017	

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός των IoT ασχολείται με το στυλ της αρχιτεκτονικής, με την δικτύωση και την επικοινωνία, τα έξυπνα αντικείμενα, τις Web υπηρεσίες και τις εφαρμογές, τα επιχειρηματικά μοντέλα και αντίστοιχα με τις διαδικασίες όπως η επεξεργασία δεδομένων, η ασφάλεια κ.λπ. Από το θέμα της τεχνολογικής προοπτική, ο σχεδιασμός μιας αρχιτεκτονικής IoT χρειάζεται να εξετάσει ως

προς την επεκτασιμότητα, την αρθρωτή και τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των ετερογενών συσκευών. Καθώς τα δεδομένα μπορεί να κινούνται ή να χρειάζονται αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο με το περιβάλλον τους, πάντα απαιτείται μια προσαρμοστική αρχιτεκτονική για να βοηθήσει τις συσκευές να αλληλεπιδρούν δυναμικά με άλλες συσκευές. Έτσι, η αρχιτεκτονική SOA θεωρείται μια καλή προσέγγιση για την επίτευξη της διαλειτουργικότητας μεταξύ ετερογενών συσκευών [107].

### 5.1.1 Sensing Layer

Το IoT μπορεί να θεωρηθεί ως μια παγκόσμια φυσική εσωτερική σύνδεση στο δίκτυο, στο οποίο μπορούν να συνδεθούν οι συσκευές και να ελέγχονται εξ αποστάσεως. Καθώς εξοπλίζονται όλο και περισσότερες συσκευές με RFID ή έξυπνους αισθητήρες, η σύνδεση τους γίνεται με πολύ πιο εύκολο τρόπο [115].

Στο συγκεκριμένο επίπεδο, τα ασύρματα έξυπνα συστήματα με ετικέτες ή αισθητήρες είναι πλέον σε θέση να ανιχνεύουν αυτόματα και να μπορούν να ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ διαφορετικών συσκευών. Αυτές οι πρόοδοι στην τεχνολογία βελτιώνουν σημαντικά την ικανότητα ανίχνευσης των IoT και είναι σε θέση να αναγνωρίσουν πράγματα ή ακόμα και το ίδιο το περιβάλλον [115].

Σε ορισμένους κλάδους της βιομηχανίας, τα έξυπνα συστήματα ανάπτυξης υπηρεσιών μαζί με ένα καθολικό μοναδικό αναγνωριστικό (UUID) εκχωρούνται σε κάθε υπηρεσία ή συσκευή που μπορεί να χρειάζεται [115].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (SOA) σε επίπεδα, αναφέρονται παρακάτω τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Sensing Layer:

- ISA95

Το ISA95 είναι ένα διεθνές πρότυπο από τη Διεθνή Εταιρεία Αυτοματισμού για την ανάπτυξη μιας αυτοματοποιημένης διεπαφής μεταξύ επιχειρήσεων και συστημάτων ελέγχου [106].

- NFC: ISO/IEC 13157-1:2010

Το πρότυπο NFC: ISO/IEC 13157-1:2010 έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για το πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων και τις κοινόχρηστες υπηρεσίες [20].

- RFC 7733

Χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου RFC 7733 είναι ότι μέσα σε ένα δίκτυο με δρομολογητή και πολλούς κόμβους, μπορεί να υπάρχουν οι αισθητήρες με μπαταρίες και ελεγκτές διαμορφωμένοι για να έρθουν σε επαφή με άλλους κόμβους σε συμβάντα και μετά να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση [94].

- RFC 7650

Η χρήση του πρωτοκόλλου RFC 7650 παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας για συνένωση με ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) [95].

- RFC 7641

Το πρότυπο RFC 7641 ακολουθεί μια προσέγγιση βέλτιστης προσπάθειας για την αποστολή νέων συνδέσεων με πελάτες και παρέχει τελική κατάσταση που παρατηρείται από κάθε πελάτη και της πραγματικής κατάστασης πόρων ως προς τον διακομιστή [96].

- ZigBee: IEEE 802.15.4-2006

Η αρχιτεκτονική του πρότυπου ZigBee: IEEE 802.15.4-2006 έχει σχεδιαστεί ώστε οι συσκευές να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω ενός απλού ασύρματου δικτύου [77].

- RS232C

Το RS232 είναι ένα πρότυπο για μετάδοση δεδομένων μεταξύ ενός DTE (Data terminal equipment) και ενός DCE (Data Circuit-terminating equipment). Χρησιμοποιείται και ως ένας αγωγός για εκπομπή δεδομένων [114].

- IEEE P802.15.13

Το πρότυπο IEEE P802.15.13 ορίζει το πρωτόκολλο και τον συμβατό εξοπλισμό δικτύου για οπτικές ασύρματες επικοινωνίες και τη λειτουργία του ως οπτικό ασύρματο προσωπικό δίκτυο (OWPAN) που υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων πολλαπλών Gbit/s για ειδικές ασύρματες εφαρμογές [70].

- IEEE 1903.1-2017

Το πρότυπο IEEE 1903.1-2017 χρησιμοποιείται για την υποστήριξη παράδοσης περιεχομένου σε δίκτυα επικάλυψης υπηρεσιών επόμενης γενιάς, όπως τα content delivery (CD), functional entity (FE) και service routing (SR) [89].

- IEEE 802.1AS-2011

Το πρότυπο IEEE 802.1AS-2011 ορίζει ένα πρωτόκολλο και τις διαδικασίες του για τη μεταφορά σε πραγματικό χρόνο σε εικονικά τοπικά δίκτυα [62].

- IEEE 802.1Qch-2017

Το πρότυπο IEEE 802.1Qch-2017 ορίζει το προφίλ δικτύωσης σε πραγματικό χρόνο για βιομηχανικούς αυτοματισμούς [65].

### 5.1.2 Networking Layer

Ο ρόλος του επιπέδου δικτύωσης είναι να συνδέει όλα τις συσκευές μαζί και να τις επιτρέψει στα να μοιράζονται τις πληροφορίες και με άλλους συνδεδεμένους. Επιπλέον, το συγκεκριμένο επίπεδο είναι ικανό να συγκεντρώνεται πληροφορίες από υπάρχουσες υποδομές πληροφορικής (π.χ συστήματα μεταφορών, δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, συστήματα υγειονομικής περίθαλψης, συστήματα ΤΠΕ κ.λπ.). Στην αρχιτεκτονική SOA-IoT, οι υπηρεσίες που παρέχονται από τις συσκευές συνήθως αναπτύσσονται σε ένα ετερογενές δίκτυο και όλες οι πληροφορίες εισάγονται στην υπηρεσία του Internet [116].

Αυτή η διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει διαχείριση και έλεγχο ποιότητα εξυπηρέτησης (QoS) ανάλογα και με τις απαιτήσεις των χρηστών/εφαρμογών. Από την άλλη, είναι απαραίτητο για ένα αυτόματο δυναμικά μεταβαλλόμενο δίκτυο να μπορεί να ανακαλύψει και χαρτογραφήσει τις συσκευές μέσα σε ένα δίκτυο. Οι συσκευές πρέπει να είναι αναπτύσσουν τον κάθε ρόλο τους που αφορά στην διαχείριση και στον προγραμματισμό με άλλες συσκευές και επίσης να είναι σε θέση να αλλάζουν ρόλο ανά πάσα στιγμή, όπως απαιτείται. Αυτές οι δυνατότητες επιτρέπουν στις συσκευές να είναι σε θέση να εκτελούν εργασίες και από κοινού [115].

Οι σχεδιαστές πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν τους ζητήματα στη σχεδίαση όσον αφορά το επίπεδο της δικτύωσης στο IoT, όπως το δίκτυο για τεχνολογίες διαχείρισης σε ετερογενή δίκτυα (σταθερό, ασύρματο και κινητό), την ενεργειακή απόδοση σε δίκτυα QoS που σχετίζονται με τις απαιτήσεις, την ανακάλυψη και την ανάκτηση υπηρεσιών, τα δεδομένα και το σήμα, την ασφάλεια και το απόρρητο [115].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (SOA) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Networking Layer:

- WirelessHart: IEC 62591

Το πρότυπο WirelessHart: IEC 62591 καθορίζει ένα ασύρματο δίκτυο έχοντας τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: τον ορισμό υπηρεσίας φυσικού επιπέδου και την προδιαγραφή του πρωτοκόλλου, την υπηρεσία και το πρωτόκολλο επιπέδου σύνδεσης δεδομένων, την υπηρεσία και το πρωτόκολλο επιπέδου της εφαρμογής, την διαχείριση του δικτύου, την ασφάλεια, το προφίλ επικοινωνίας και τις ασύρματες διαδικασίες [38].

- Modbus – TCP

Το πρότυπο Modbus – TCP καλύπτει τη χρήση μηνυμάτων MODBUS σε περιβάλλον «Intranet» ή «Internet» χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα TCP/IP [113].

- EtherCat: IEC 61158

Το πρότυπο EtherCAT: IEC 61158, η ασύρματη τεχνολογία Industrial Ethernet που εφευρέθηκε από τον Beckhoff, κάνει τα μηχανήματα και τα συστήματα πιο γρήγορα, απλούστερα και πιο οικονομικά [46].

- Profibus PA V3.02

Το πρότυπο Profibus PA V3.02 αφορά τις συσκευές ελέγχου διεργασίας που συνδέονται με το δίκτυο της εγκατάστασης παρέχοντας και καταναλώνοντας τις τιμές μέτρησης και κατά κύριο λόγο τις αντίστοιχες τιμές εξόδου [109].

- RPL: RFC 6550

Το πρότυπο RPL: RFC 6550, RPL έχει σχεδιαστεί για να μπορεί να λειτουργεί σε μια ποικιλία διαφορετικών συνδέσεων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που είναι περιορισμένα, δυνητικά με απώλειες ή τυπικά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με υψηλό περιορισμό ή ακόμα και σε συσκευές δρομολόγησης [91].

- POWERLINK

Το πρότυπο POWERLINK βασίζεται σε Ethernet και αντιπροσωπεύει τη δεύτερη γενιά πεδίων διαύλων. Αυτό καθιστά δυνατή την εφαρμογή σε πλήρους ισχύος των τεχνολογιών πληροφορικής και ειδικότερα στον τομέα του αυτοματισμού. Επίσης, είναι ιδανικό για μονάδες δίσκου, και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συστημάτων Programmable Logic Controllers (PLC) [112].

- ISO/TR 13283:1998

Το πρότυπο ISO/TR 13283:1998 προσδιορίζει τις απαιτήσεις των χρηστών σε συστήματα που υποστηρίζουν τα συστήματα επικοινωνιών στο χρόνο και στην διαχείριση του δικτύου που είναι ειδικά για την αρχιτεκτονική επικοινωνιών σε ομότιμες και πολλαπλές επικοινωνίες [29].

- IEEE 61158-2017

Το πρότυπο IEEE 61158-2017 αφορά την επικοινωνία για δίκτυα Ethernet σε πραγματικό χρόνο (RTE) [69].

- IEEE 802.1BA-2011

Το πρότυπο IEEE 802.1BA-2011 αφορά τις διαμορφώσεις και τις διαδικασίες γεφυρών, σταθμών και δικτύων LAN που είναι απαραίτητα στη δημιουργία δικτύων με σκοπό να είναι ικανά να μεταφέρουν ευαίσθητες στο χρόνο ροές δεδομένων ήχου ή ακόμα και βίντεο [71].

- IEEE 802.3-2018

Το πρότυπο IEEE 802.3-2018 αφορά την λειτουργία του τοπικού δικτύου Ethernet, το οποίο καθορίζεται για τις επιλεγμένες ταχύτητες λειτουργίας από 1 Mb/s έως 400 Gb/s, χρησιμοποιώντας μια κοινή βάση προδιαγραφών και διαχείρισης πληροφοριών ελέγχου πρόσβασης μέσων (MAC) [74].

- IEEE 802.11n-2009

Το 802.11n-2009 είναι ένα πρότυπο ασύρματης δικτύωσης που χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραιές για να αυξήσει τους ρυθμούς δεδομένων [78].

- IEEE 802.11a-1999

Το πρότυπο IEEE 802.11a-1999 είναι μια τροποποίηση των προδιαγραφών ασύρματου τοπικού δικτύου IEEE 802.11 που καθόριζε τις απαιτήσεις για ένα σύστημα επικοινωνίας πολυπλεξίας ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM) [67].

- IEEE 802.11Qbv-2015

Το πρότυπο 802.11Qbv-2015 ορίζει το προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο για βιομηχανικούς αυτοματισμούς [63].

### 5.1.3 Service Layer

Το επίπεδο υπηρεσιών βασίζεται στην τεχνολογία του ενδιάμεσου λογισμικού που παρέχει λειτουργίες για την ενοποίηση των υπηρεσιών και των εφαρμογών στο IoT. Αυτή η τεχνολογία ενδιάμεσου λογισμικού παρέχει στο IoT μια οικονομικά αποδοτική πλατφόρμα, όπου οι πλατφόρμες υλικού και λογισμικού μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Η κύρια δραστηριότητα στο επίπεδο υπηρεσιών περιλαμβάνει προδιαγραφές για τις υπηρεσίες που αφορούν το λογισμικό, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί από διάφορους οργανισμούς [116].

Σε μία καλοσχεδιασμένη υπηρεσία, στο επίπεδο θα είναι σε θέση να προσδιορίζει κοινές απαιτήσεις εφαρμογών και να παρέχει τα API και τα πρωτόκολλα για την υποστήριξη των απαιτούμενων υπηρεσιών, εφαρμογών και τις ανάγκες των χρηστών. Αυτό το επίπεδο επεξεργάζεται επίσης όλα τα προσανατολισμένα ζητήματα στις υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένης της ανταλλαγής πληροφοριών, της αποθήκευσης, της διαχείρισης δεδομένων, τις μηχανές αναζήτησης καθώς και την επικοινωνία [115].

Αυτό το επίπεδο περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- 1) Εύρεση υπηρεσίας: εύρεση συσκευών που μπορούν να προσφέρουν τις απαραίτητες υπηρεσίες και πληροφορίες με αποτελεσματικό τρόπο.

- 2) Σύνθεση υπηρεσίας: επιτρέποντας την αλληλεπίδραση και την επικοινωνία μεταξύ συνδεδεμένων συσκευών. Στο συγκεκριμένο επίπεδο αξιοποιεί τις σχέσεις μεταξύ διαφορετικών συσκευών για να ανακαλύψει την επιθυμητή υπηρεσία και τον προγραμματισμό της συγκεκριμένης υπηρεσίας ή να δημιουργήσει εκ νέου πιο κατάλληλες υπηρεσίες με σκοπό να αποκτήσει τις πιο αξιόπιστες.
- 3) Διαχείριση αξιοπιστίας: με βάση τον προσδιορισμό της εμπιστοσύνης, μπορούν να αξιολογήσουν και να χρησιμοποιήσουν τις πληροφορίες που παρέχονται από άλλες συσκευές για τη δημιουργία ενός νέου αξιόπιστου συστήματος.
- 4) Service API: υποστήριξη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των υπηρεσιών που απαιτείται στο IoT [115].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (SOA) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Service Layer:

- GSM

Το GSM είναι ένα πρότυπο που αναπτύχθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) για να περιγράψει τα πρωτόκολλα για τα ψηφιακά δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G) που χρησιμοποιούνται από κινητές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα και tablet ακόμα και σε βιομηχανικούς χώρους [110].

- RFC 5673

Το πρότυπο RFC 5673 αφορά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης και απώλειας ενέργειας (LLN) συσκευών πεδίου [93].

- ISO 9506-1:2003

Το πρότυπο ISO 9506-1:2003 είναι μια προδιαγραφή επικοινωνίας σε επίπεδο εφαρμογής. Παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών κατάλληλων για τις επικοινωνίες μεταξύ αυτοματοποιημένου εξοπλισμού και συστημάτων που τον διερευνούν ή τον ελέγχουν [36].

- ISO 9506-2:2003

Το πρότυπο ISO 9506-2:2003 είναι μια προδιαγραφή επικοινωνίας σε επίπεδο εφαρμογής. Παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών κατάλληλων για τις επικοινωνίες μεταξύ αυτοματοποιημένου εξοπλισμού και συστημάτων που τον διερευνούν ή τον ελέγχουν. Η περιγραφή των αλληλεπιδράσεων ακολουθεί το μοντέλο διακομιστή πελάτη. Είναι κατάλληλο για χρήση σε οποιοδήποτε δίκτυο που υποστηρίζει πλήρη αμφίδρομη, αξιόπιστη επικοινωνία, όπως το Διαδίκτυο [37].

- IEEE 1903.1-2017

Το πρότυπο IEEE 1903.1-2017 αφορά τα πρωτόκολλα για την υποστήριξη προηγμένης δυνατότητας παράδοσης περιεχομένου σε δίκτυα επικάλυψης υπηρεσιών επόμενης γενιάς [89].

- IEEE 1904.1-2013

Το πρότυπο IEEE 1904.1-2013 περιγράφει τις προδιαγραφές σε επίπεδο συστήματος που απαιτούνται για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο υπηρεσίας του δικτύου Ethernet [87].

- IEEE 1904.1-2017

Το πρότυπο IEEE 1904.1-2017 περιγράφει τις προδιαγραφές σε επίπεδο συστήματος που απαιτούνται για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο υπηρεσίας του δικτύου Ethernet. Οι προδιαγραφές διαλειτουργικότητας σε επίπεδο συστήματος καλύπτουν τη λειτουργικότητα του εξοπλισμού, τη μηχανικής κυκλοφορίας και τους μηχανισμούς ποιότητας σε επίπεδο υπηρεσιών QoS [88].

#### 5.1.4 Interface Layer

Στο IoT, ένας μεγάλος αριθμός συσκευών που εμπλέκονται κατασκευάζονται από διαφορετικούς κατασκευαστές/πωλητές και δεν ακολουθούν πάντα τα ίδια πρότυπα/πρωτόκολλα. Ως αποτέλεσμα της ετερογένειας, να υπάρχουν πολλά προβλήματα αλληλεπίδρασης με την ανταλλαγή πληροφοριών, την επικοινωνία μεταξύ συσκευών και την συνεργατική επεξεργασία μεταξύ διαφορετικών συσκευών [22].

Επιπλέον, η συνεχής αύξηση των συσκευών που συμμετέχουν στο IoT καθιστά δυσκολότερο τη δυναμική σύνδεση, την επικοινωνία, την αποσύνδεση καθώς και την λειτουργία. Για αυτό το λόγο υπάρχει αναγκαιότητα για το επίπεδο διεπαφής με σκοπό την απλοποίηση της διαχείρισης και της διασύνδεσης των συσκευών. Τα προφίλ διεπαφής χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των προδιαγραφών μεταξύ των εφαρμογών και των υπηρεσιών [116].

Οι υπηρεσίες στο επίπεδο υπηρεσιών εκτελούνται απευθείας σε περιορισμένο αριθμό δικτυακών υποδομών για την αποτελεσματική εύρεση νέων υπηρεσιών σε μια εφαρμογή, καθώς συνδέονται στο δίκτυο. Παραδοσιακά, το επίπεδο υπηρεσιών παρέχει τα API για τις εφαρμογές. Ωστόσο, αποτελέσματα από έρευνες που έχουν γίνει για την αρχιτεκτονική SOA-IoT, αναφέρουν ότι η διαδικασία παροχής υπηρεσιών (SPP) μπορεί επίσης να παρέχει και αποτελεσματική αλληλεπίδραση μεταξύ εφαρμογών και υπηρεσιών [115].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (SOA) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Interface Layer:

- 6LoWPAN

Το πρότυπο 6LoWPAN αφορά τις είναι συσκευές που χρειάζονται ασύρματη συνδεσιμότητα με πολλές άλλες συσκευές με χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων και με πολύ περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας [90].

- Coap: RFC 7252

Το πρότυπο Coap: RFC 7252 αφορά την αλληλεπίδραση αιτήματος/απόκρισης μεταξύ των τελικών σημείων εφαρμογής, υποστηρίζει την ενσωματωμένη ανακάλυψη υπηρεσιών και πόρων και περιλαμβάνει βασικές έννοιες του Ιστού, όπως URI και τύπους μέσω Διαδικτύου. Το CoAP έχει σχεδιαστεί για εύκολη διασύνδεση με το HTTP για σύνδεση με τον Ιστό, ενώ πληροί εξειδικευμένες απαιτήσεις όπως υποστήριξη πολλαπλής μετάδοσης, πολύ χαμηλή επιβάρυνση και απλότητα σε περιβάλλοντα περιορισμού [92].

- ISO/IEC/IEEE 21450:2010

Το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 21450:2010 καθορίζει τις λειτουργίες που πρέπει να εκτελούνται και τα κοινά χαρακτηριστικά για όλες τις συσκευές που εφαρμόζονται από την μονάδα διασύνδεσης μετατροπέα (TIM) [26].

- IEEE 802.16a-2003

Το πρότυπο IEEE 802.16a-2003 καθορίζει τη διεπαφή μεταξύ των σταθερών ευρυζωνικών συστημάτων ασύρματης πρόσβασης που παρέχουν πολλαπλές υπηρεσίες [73].

- IEEE 802.15.4e-2012

Το πρότυπο IEEE 802.15e-2012 βελτιώνει την καλύτερη υποστήριξη των βιομηχανικών αγορών και επιτρέπει τη συμβατότητα σε τροποποιήσεις που προτάθηκαν στο κινεζικό WPAN [81].

- IEEE 802.15.4c-2009

Το πρότυπο IEEE 802.15.4c-2009 ορίζει ένα επίπεδο μεσαίου ελέγχου πρόσβασης (MAC) που λειτουργεί με ενεργοποιημένο ή μη και σε τρία φυσικά επίπεδα (PHYs) που επιτρέπουν χαμηλή πολυπλοκότητα, χαμηλή ισχύ και υψηλή απόδοση [79].

- IEEE 802.15.2-2003

Το πρότυπο IEEE 802.15.2-2003 ορίζει το πρωτόκολλο και τον συμβατό εξοπλισμό του δικτύου για οπτικές ασύρματες επικοινωνίες και τη λειτουργία του ως οπτικό ασύρματο προσωπικό δίκτυο (OWPAN) που υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων πολλαπλών Gbit/s για ειδικές ασύρματες εφαρμογές [72].

- IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996

Το πρότυπο IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996 καθορίζει την διεπαφή στο υπόστρωμα MAC και στο επίπεδο PHY [86].

- IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001

Ο σκοπός του προτύπου IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001 είναι ο καθορισμός ενός μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) και πολλών φυσικών επιπέδων (PHY) προδιαγραφών για ασύρματη σύνδεση σε σταθερούς, φορητούς και κινούμενους σταθμούς (STAs) σε μια τοπική περιοχή [75].

## 5.2 Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0)

Η έννοια του Industry 4.0 σχετίζεται με τρεις αλληλένδετους παράγοντες που επηρεάζουν ο ένας τον άλλον. Αυτοί έχουν ως εξής:

1. Την ψηφιοποίηση και την ενοποίηση τόσο απλών όσο και πολύπλοκων παραγωγικών και εμπορικών σχέσεων ή και αλυσίδες.
2. Την ψηφιοποίηση της παραγωγής και των υπηρεσιών.
3. Τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα [117].

Όλες αυτές οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι μεταξύ τους αλληλένδετες μέσω πολλών και διαφορετικών συστημάτων επικοινωνιών, τα οποία περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο το Internet of Things (IoT), το Internet of Services (IoS) και το Internet of Persons (IoP). Το IoT στη συνέχεια υποδιαιρείται εντός της Εμπορική Βιομηχανίας 4.0 για να επιδιώξει την αμοιβαία επικοινωνία σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους, ανεξάρτητα από τα σύνορα μεταξύ εταιρειών, εθνών ή και κρατών [103].

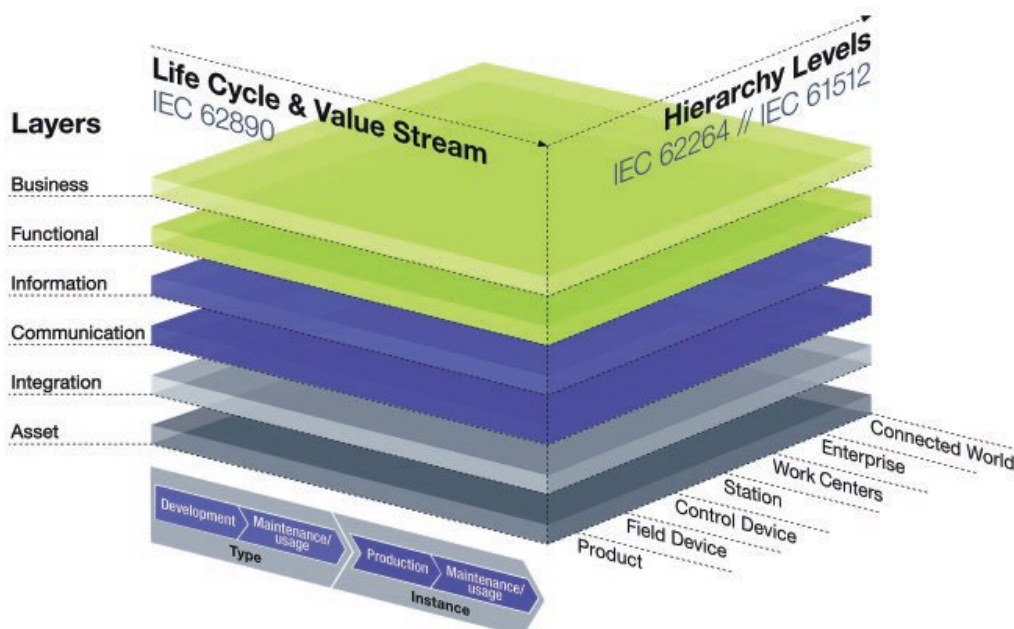
Όλες οι οντότητες εντός της αλυσίδας παραγωγής θα πρέπει να διαθέτουν όλα εκείνα τα απαιτούμενα δεδομένα και αυτή η διάθεση θα μπορεί να ωφελήσει σημαντικά τις συγκεκριμένες οντότητες. Οι

συμμετέχοντες στην παραγωγική και την εμπορική αλυσίδα συμπεριλαμβανομένων, για παράδειγμα, τους κατασκευαστές μηχανών και τους σχεδιαστές λογισμικού, θα έχουν έτσι την ευκαιρία να αναπτύξουν τα δικά τους προϊόντα που βασίζονται στην εκ των προτέρων γνώση των πιο πρόσφατων εξαρτημάτων, δηλαδή αυτά που δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί πλήρως και δοκιμαστεί από τους παραγωγούς [48].

Για τους σκοπούς τέτοιων ολοκληρωμένων αλυσίδων, κορυφαίες γερμανικές εταιρείες και ιδρύματα συντάξαν και κυκλοφόρησαν το 2015 το RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industry 4.0) και το Industry 4.0. Λαμβάνοντας υπόψη τους τρεις κεντρικούς, προαναφερόμενους παράγοντες που σχετίζονται με το Industry 4.0, το μοντέλο RAMI 4.0 είναι τρισδιάστατο [48].

Το έργο σχεδιάστηκε από πολλά ιδρύματα, μεταξύ των οποίων εξέχουσα θέση έχουν τα BITCOM, VDI/VDE και ZVEI, και ενσωμάτωσαν το αποτέλεσμα της μακροχρόνιας τους προσπάθειας για το σχεδιασμό ενός τρισδιάστατου μοντέλου για να ενώσει μαζί όλες τις πτυχές της παραγωγής που μέχρι τώρα είχαν συνδεθεί απλώς σε ένα «χειροκίνητο» τρόπο. Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης πλατφόρμας διαμορφώθηκε εύκολα στο προηγούμενο παράδειγμα που είχε βρει χρήση στην ανάπτυξη εφαρμογών στο ενεργειακό σύστημα έξυπνων δικτύων και πραγματοποιήθηκαν μόνο μικρές αλλαγές για την παροχή συγκεκριμένων συνθηκών στο στάδιο της βιομηχανικής παραγωγής [118].

Εισέρχονται περίπου δεκαπέντε κλάδοι της βιομηχανίας που χαρακτηρίζονται από το μοντέλο SGAM όσο και νέοι κλάδοι που χαρακτηρίζονται μέσω της RAMI 4.0. Το μοντέλο RAMI 4.0 διευκολύνει πολλαπλές απόψεις ή και πτυχές. Έτσι, ο κατακόρυφος άξονας που φαίνεται και στο παρακάτω Σχήμα 5.2 καθορίζει τις πτυχές από τις οποίες προβάλλεται καθώς και στον Πίνακα 5.4, βλέπουμε τον διαχωρισμό των προτύπων σύμφωνα με τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής RAMI 4.0. Τα επιμέρους επίπεδα και οι αλληλεπιδράσεις τους περιγράφονται παρακάτω [117].



Σχήμα 5.2: Το μοντέλο RAMI 4.0 [117]

Πίνακας 5.4: Διαχωρισμός Προτύπων σύμφωνα με τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής RAMI 4.0

Reference Architecture	Layers	Πρότυπα σε Layers
Reference Architecture Model for Industry 4.0 (RAMI 4.0)	Business Layer	IEC 61131-2:2017
		IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996
	Functional Layer	IEC 61784 Fieldbus
		Field Device Integration (FDI): IEC 61804
		ISO 15745-5:2007
		ISA100.11a
		IEEE 1904.1-2017
	Information Layer	Field Device Tool (FDT): IEC 62453
		AMQP: ISO/IEC 19464:2014
		ISO/IEC 29180:2012
		ISA-TR100.14.01-Part 1-2011
		IEEE 802.11y-2008
	Communication Layer	OPC UA: IEC 62541
		EtherCat: IEC 61158
		IEC 61784-3-18:2011+AMD1:2016+AMD2:2021 CSV
		IEC 61784-5-16:2013
		IEC 61784-5-17:2013
		IEC 61784-5-19:2013
		IEC 61139-2:2022 PRV
		IEC 62443-2-1:2010
		RFC 8613
		IEEE 802.15.8-2017
	Integration Layer	IEC 62657-1
		Modbus – TCP
		ISO 15745-2:2003
		ISO 15745-4:2003
	Asset Layer	ISO 15745-3:2003
ISA95		
IEEE 802.11Qci-2017		
		IEEE 802.11Qcc-2018

### 5.2.1 Business Layer

Το Business Layer αντιπροσωπεύει δεδομένα που σχετίζονται με τις επιχειρήσεις που ανταλλάσσονται σε βιομηχανικές διαδικασίες. Επιτρέποντας στους χρήστες να χαρτογραφούν ρυθμιστικές πολιτικές και πολιτικές που σχετίζονται με την αγορά, επιχειρηματικά μοντέλα, προϊόντα και υπηρεσίες. Τα δεδομένα σε αυτό το επίπεδο μπορούν επίσης να αντιπροσωπεύουν επιχειρηματικές δυνατότητες και διαδικασίες [117].

Το Business Layer δεν αφορά συγκεκριμένα συστήματα, όπως για παράδειγμα ένα σύστημα ERP. Το ERP λειτουργεί στο πλαίσιο της διαδικασίας που βρίσκεται συνήθως στο Functional Layer.

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (RAMI 4.0) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Business Layer:

- IEC 61131-2:2017

Το πρότυπο IEC 61131-2:2017 καθορίζει λειτουργικές και ηλεκτρομαγνητικές απαιτήσεις συμβατότητας και σχετικές δοκιμές επαλήθευσης για κάθε προϊόν όπου ο πρωταρχικός σκοπός είναι η εκτέλεση της λειτουργίας βιομηχανικού εξοπλισμού ελέγχου [42].

- IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996

Το πρότυπο IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996 καθορίζει την διεπαφή στο υπόστρωμα MAC και στο επίπεδο PHY [86].

## 5.2.2 Functional Layer

Οι κανόνες και η λογική λήψης αποφάσεων δημιουργούνται μέσα στο Functional Layer. Ανάλογα με την περίπτωση χρήσης, μπορούν επίσης να εκτελεστούν και στα χαμηλότερα επίπεδα (Information ή Integration Layer) [117].

Απαιτούνται μόνο η απομακρυσμένη πρόσβαση και η σύνδεση με το αντικείμενο μέσα στο Functional Layer. Αυτό εξασφαλίζει την ακεραιότητα των πληροφοριών και των συνθηκών στη διαδικασία και την ολοκλήρωση του τεχνικού επιπέδου [119].

Το Asset και το Integration Layer μπορούν επίσης να έχουν πρόσβαση προσωρινά για λόγους συντήρησης. Αυτή η πρόσβαση χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για το κάλεσμα σε πληροφορίες και διαδικασίες που αφορούν μόνο τα δευτερεύοντα επίπεδα [119].

Παραδείγματα είναι όπως όταν αναβοσβήνουν οι αισθητήρες/ενεργοποιητές ή όταν γίνεται ανάγνωση των δεδομένων. Αυτή η τεχνική σχετίζεται με την προσωρινή απομακρυσμένη πρόσβαση και δεν σχετίζεται με την μόνιμη λειτουργία ή την οριζόντια ολοκλήρωση [58].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (RAMI 4.0) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Functional Layer:

- IEC 61784 Fieldbus

Το πρότυπο IEC 61784-3:2021 Fieldbus εξηγεί ορισμένες κοινές αρχές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μετάδοση μηνυμάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια μεταξύ των συμμετεχόντων σε ένα καταναμημένο δίκτυο και χρησιμοποιούν την τεχνολογία fieldbus σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους για λειτουργική ασφάλεια [49].

- Field Device Integration (FDI): IEC 61804

Το πρότυπο Field Device Integration (FDI): IEC 61804 καθορίζει την τεχνολογία Electronic Device Description Language (EDDL), η οποία επιτρέπει την σύνδεση με τις πραγματικές λεπτομέρειες του προϊόντος [61].

- ISO 15745-5:2007

Το πρότυπο ISO 15745-5:2007 ορίζει τα ειδικά στοιχεία και τους κανόνες τεχνολογίας για την περιγραφή τόσο των προφίλ του δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των προφίλ των συσκευών ειδικά για συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε HDLC [32].

- ISA100.11a

Το ISA100.11a είναι ένα πρότυπο τεχνολογίας ασύρματης δικτύωσης που αναπτύχθηκε από τη International Society of Automation (ISA). Η επίσημη περιγραφή του είναι "Ασύρματα Συστήματα Βιομηχανικού Αυτοματισμού: Έλεγχος Διαδικασιών και Συναφείς Εφαρμογές" [99].

- IEEE 1904.1-2017

Το πρότυπο IEEE 1904.1-2017 περιγράφει τις προδιαγραφές σε επίπεδο συστήματος που απαιτούνται για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο υπηρεσίας του δικτύου Ethernet. Οι προδιαγραφές διαλειτουργικότητας σε επίπεδο συστήματος καλύπτουν τη λειτουργικότητα του εξοπλισμού, τη μηχανικής κυκλοφορίας και τους μηχανισμούς ποιότητας σε επίπεδο υπηρεσιών QoS [88].

### 5.2.3 Information Layer

Το Information Layer υποστηρίζει το επιχειρηματικό επίπεδο παρέχοντας το περιβάλλον χρόνου εκτέλεσης για (προ-) επεξεργασία σε συμβάντα, την εκτέλεση κανόνων που σχετίζονται με συμβάντα, την επίσημη περιγραφή κανόνων και το πλαίσιο που αφορά την προεπεξεργασία συμβάντος.

Στο πλαίσιο αυτό, οι κανόνες εφαρμόζονται σε ένα ή περισσότερα συμβάντα για τη δημιουργία ενός ή περισσότερων συμβάντων, τα οποία στη συνέχεια μεταβαίνουν στην επεξεργασία του Functional Layer [117].

- Τα δεδομένα που αντιπροσωπεύουν τα συγκεκριμένα μοντέλα.
- Η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων.
- Συνεπής σύνδεση με διαφορετικά δεδομένα.
- Λήψη νέων, υψηλότερης ποιότητας δεδομένων (δεδομένα, πληροφορίες, γνώση).
- Παροχή δομημένων δεδομένων μέσω διεπαφών σε υπηρεσίες.
- Λήψη γεγονότων και μετατροπή τους σε αντιστοιχία δεδομένα που είναι διαθέσιμα για το Functional Layer.

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (RAMI 4.0) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Information Layer:

- Field Device Tool (FDT): IEC 62453-1:2016

Το πρότυπο Field Device Tool (FDT): IEC 62453-1:2016 παρέχει πληροφορίες για την ενσωμάτωση της στην τεχνολογία HART και καθορίζει υπηρεσίες επικοινωνίας [59].

- AMQP: ISO/IEC 19464:2014

Το πρότυπο AMQP: ISO/IEC 19464:2014 είναι ένα ανοιχτό τυπικό πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής για ενδιάμεσο λογισμικό προσανατολισμένο σε μηνύματα. Τα χαρακτηριστικά του AMQP είναι ο προσανατολισμός των μηνυμάτων, η ουρά, η δρομολόγηση, η αξιοπιστία και η ασφάλεια [23].

- ISO/IEC 29180:2012

Το πρότυπο ISO/IEC 29180:2012 περιγράφει τις απειλές ασφαλείας και τις απαιτήσεις ασφαλείας του πανταχού παρόντος δίκτυο αισθητήρων (USN). Επιπλέον, κατηγοριοποιεί τις τεχνολογίες

ασφαλείας σύμφωνα με τις λειτουργίες ασφαλείας που ικανοποιούν τις εν λόγω απαιτήσεις ασφαλείας και όπου οι τεχνολογίες ασφαλείας εφαρμόζονται στο μοντέλο ασφαλείας του USN [28].

- ISA-TR100.14.01-Part 1-2011

Το πρότυπο ISA-TR100.14.01-Part 1-2011 παρέχει αξιοπιστία στον ασύρματο βιομηχανικό αυτοματισμό [29].

- IEEE 802.11y-2008

Το πρότυπο IEEE 802.11y-2008 επιτρέπει στον εξοπλισμό μεταφοράς δεδομένων να λειτουργεί σε κύρια βάση στη ζώνη των 3650 έως 3700 MHz, εκτός εάν βρίσκεται κοντά σε έναν δορυφορικό σταθμό και επιτρέπεται μόνο ως αδειοδοτημένη ζώνη [84].

## 5.2.4 Communication Layer

Το Communication Layer δίνει έμφαση σε πρωτόκολλα και μηχανισμούς για τη διαλειτουργική ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των στοιχείων. Το αποτέλεσμα είναι οι ενοποιημένες μορφές δεδομένων και οι διεπαφές που παρέχουν πρόσβαση στα δεδομένα, η οποία ήταν μία υιοθέτηση του Industry 4.0 για μεγάλο χρονικό διάστημα [117].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (RAMI 4.0) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Communication Layer:

- OPC UA: IEC 62541

Το πρότυπο OPC UA: IEC 62541 ορίζει το μοντέλο πληροφοριών της Αρχιτεκτονικής OPC. Το μοντέλο πληροφοριών περιγράφει τους κόμβους του χώρου διευθύνσεων ενός διακομιστή [57].

- EtherCat: IEC 61158

Το EtherCAT: IEC 61158 είναι ένα διεθνές πρότυπο που αντιπροσωπεύει τη σταθερότητα. Αυτό σημαίνει ότι οι τρέχουσες συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υπάρχοντα συστήματα χωρίς προβλήματα και χωρίς να χρειάζεται να ληφθούν υπόψη διαφορετικές εκδόσεις [46].

- IEC 61784-3-18:2011+AMD1:2016+AMD2:2021 CSV

Το πρότυπο IEC 61784-3-18:2011+A1:2016+A2:2021 καθορίζει ένα επίπεδο επικοινωνίας με αξιοπιστία και ασφάλεια [56].

- IEC 61784-5-16:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-16:2013 λειτουργεί για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου [52].

- IEC 61784-5-17:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-17:2013 λειτουργεί για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου, σε βελτιωμένη έκδοση [53].

- IEC 61784-5-19:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-19:2013 λειτουργεί για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου, σε βελτιωμένη έκδοση, όλων των προηγούμενων [54].

- IEC 61139-2:2022 PRV

Το πρότυπο IEC 61139-2:2022 PRV επιτρέπει επίσης τη μεταφορά παραμέτρων σε συσκευές και την παράδοση πληροφοριών αναγνώρισης και διάγνωσης από τις συσκευές σε συστήματα αυτοματισμού [55].

- IEC 62443-2-1:2010

Το πρότυπο IEC 62443-2-1:2010 ορίζει τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης ασφάλειας στον κυβερνοχώρο (CSMS) για συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού και ελέγχου (IACS) και παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξης αυτών των στοιχείων [60].

- RFC 8613

Το πρότυπο RFC 8613 ορίζει την ασφάλεια ενός αντικειμένου για περιορισμένη περιβάλλοντα (OSCORE), για περιορισμένους κόμβους και δίκτυα και υποστηρίζει διαφορετικά πρωτόκολλα μεταφοράς [97].

- IEEE 802.15.8-2017

Το πρότυπο IEEE 802.15.8-2017 ορίζει το πρωτόκολλο και τον συμβατό εξοπλισμό του δικτύου για τις οπτικές ασύρματες επικοινωνίες και τη λειτουργία του ως οπτικό ασύρματο προσωπικό δίκτυο (OWPAN) που υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων πολλαπλών Gbit/s για ειδικές ασύρματες εφαρμογές [82].

### 5.2.5 Integration Layer

Το Integration Layer περιγράφει τα φυσικά στοιχεία ως τα ψηφιακά τους ισοδύναμα. Αυτό το επίπεδο επωμίζεται τη σημαντικότερη ευθύνη της αναπαράστασης της μετάβασης από τον φυσικό κόσμο στον κυβερνοχώρο μέσω διαφόρων καινοτόμων προσεγγίσεων (σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθοδολογίες ολοκλήρωσης) για εργασία στην τεκμηρίωση, στο λογισμικό, στον μηχανισμό ελέγχου και στην παρακολούθηση [117].

Η αλληλεπίδραση με τους ανθρώπους λαμβάνει χώρα επίσης σε αυτό το επίπεδο, για παράδειγμα μέσω της επαφής με ανθρώπινη μηχανή (HMI).

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (RAMI 4.0) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Integration Layer:

- IEC 62657-1

Το πρότυπο IEC 62657-1 παρέχει τις απαιτήσεις ασύρματης επικοινωνίας που ενημερώνονται από τις εφαρμογές των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας στον βιομηχανικό αυτοματισμό και τις απαιτήσεις του σχετικού πλαισίου [44].

- Modbus – TCP

Το πρότυπο MODBUS-TCP είναι μια παραλλαγή της οικογένειας MODBUS των απλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας ως προς τον προμηθευτή που προορίζονται για την επίβλεψη και τον έλεγχο του εξοπλισμού αυτοματισμού [113].

- ISO 15745-2:2003

Το πρότυπο ISO 15745-2:2003 ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, ειδικά για συστήματα ελέγχου [33].

- ISO 15745-3:2003

Το πρότυπο ISO 15745-3:2003 ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, ειδικά για συστήματα ελέγχου, σε βελτιωμένη έκδοση [34].

- ISO 15745-4:2003

Το πρότυπο ISO 15745-4:2003 ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, ειδικά για συστήματα ελέγχου, σε βελτιωμένη έκδοση, όλων των προηγούμενων [35].

### 5.2.6 Asset Layer

Το Asset Layer αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα, π.χ. φυσικά στοιχεία όπως γραμμικοί άξονες, μεταλλικά μέρη, έγγραφα, διαγράμματα κυκλωμάτων, ιδέες και αρχεία. Τα ανθρώπινα όντα αποτελούν επίσης μέρος του στρώματος του ενεργητικού και είναι συνδεδεμένα με τον εικονικό κόσμο μέσω του επιπέδου ενσωμάτωσης. Παθητική σύνδεση των περιουσιακών στοιχείων με το επίπεδο ενοποίησης δημιουργείται χρησιμοποιώντας, για παράδειγμα, κωδικούς QR [117].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (RAMI 4.0) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Asset Layer:

- ISA95

Το ISA95 είναι ένα διεθνές πρότυπο από τη Διεθνή Εταιρεία Αυτοματισμού για την ανάπτυξη μιας αυτοματοποιημένης διεπαφής μεταξύ επιχειρήσεων και συστημάτων ελέγχου [106].

- IEEE 802.11Qci-2017

Το πρότυπο IEEE 802.11Qci-2017 ορίζει το προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο για βιομηχανικούς αυτοματισμούς [66].

- IEEE 802.11Qcc-2018

Το πρότυπο IEEE 802.11Qcc-2018 ορίζει το προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο για την κατασκευή δικτύων βιομηχανικού αυτοματισμού [64].

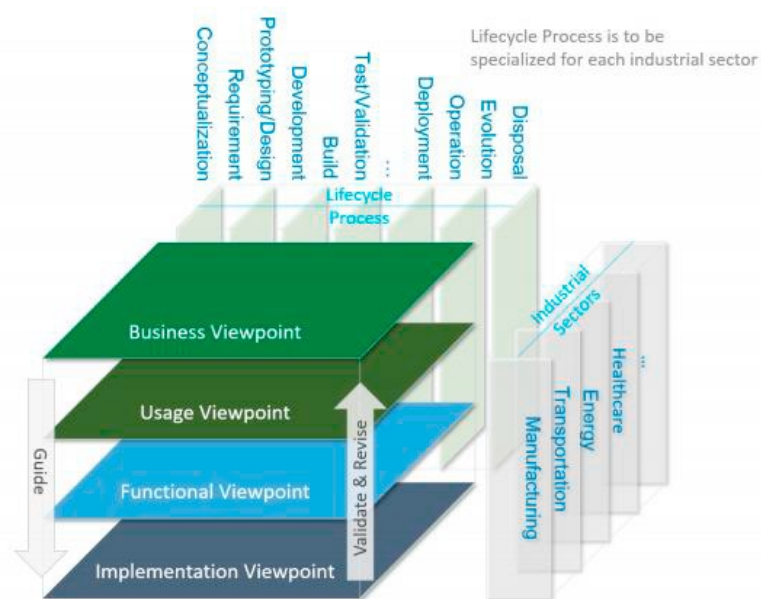
## 5.3 Industrial Internet Reference Architecture (IIRA)

Αρκετές κοινοπραξίες εργάζονται για την επίτευξη του στόχου διαλειτουργικότητας στην Industry 4.0, παρέχοντας μοντέλα αναφοράς από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Ένα τέτοιο μοντέλο αναφοράς, είναι η Industrial Internet Reference Architecture (IIRA), ήταν η πρώτη που δημοσιεύθηκε το 2015 από την Ομάδα Εργασίας Industrial Internet Consortium Architecture [120].

Το μοντέλο IIRA αποτελείται από ένα αρχιτεκτονικό πρότυπο και την μεθοδολογία που παρέχει κατευθυντήριες γραμμές για τη μηχανική συστημάτων ώστε να σχεδιαστούν τα δικά τους βιομηχανικά συστήματα με βάση ένα κοινό πλαίσιο [120].

Έτσι η IIRA είναι μια αρχιτεκτονική γενικού σκοπού που παρέχει ένα υψηλό επίπεδο στο οποίο μπορεί να παραχθεί ένα ευρύ φάσμα από βιομηχανικά σενάρια. Το αρχιτεκτονικό πλαίσιο στο οποίο βασίζεται το συγκεκριμένο μοντέλο είναι η Industrial Internet Architecture Πλαίσιο (IIAF). Αυτό καθιερώθηκε με αναφορά στην προδιαγραφή προτύπου ISO 42010 και συγκεντρώνει επίσης κοινούς κανόνες με αποτέλεσμα να οριστεί ότι ήταν το κλειδί για την επίτευξη της συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής [121].

Στο παρακάτω Σχήμα 5.3 απεικονίζονται τα επίπεδα και οι σχέσεις μεταξύ τους καθώς και στον Πίνακα 5.5, βλέπουμε τον διαχωρισμό των προτύπων σύμφωνα με τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής IIRA.



Σχήμα 5.3: Απεικονίζονται τα επίπεδα και οι σχέσεις μεταξύ τους στην IIRA [120]

Έτσι, το μοντέλο IIRA υποστηρίζει διάφορες κατηγορίες που μπορούν να εφαρμοστούν σε σχέση με την καθιέρωση μιας παγκόσμιας τυποποίησης. Περιλαμβάνει ποικίλους τύπους συστημάτων, διαμορφώσεις συστημάτων, εκατοντάδες διαφορετικούς τύπους σύνδεσης και μελέτες περιπτώσεων από μια ποικιλία διαφορετικών βιομηχανιών. Η πιο πρόσφατη επανάληψη της IIRA είναι η έκδοση 1.8, στην οποία έγινε ενημέρωση για να ενσωματωθεί η ανάπτυξη των τεχνολογιών, των εννοιών και των εφαρμογών του βιομηχανικού Διαδικτύου των πραγμάτων (IIoT).

Ωστόσο, το μοντέλο IIRA επικεντρώνεται στην υποστήριξη της διαδικασίας σχεδιασμού και όχι στην παροχή κατευθύνσεων για το πώς θα έπρεπε να γίνει ο σχεδιασμός ώστε να εφαρμοστεί. Επομένως τα πρότυπα έχουν μικρότερη σημασία στο συγκεκριμένο μοντέλο, ωστόσο η τυποποίηση παίζει τον κεντρικό ρόλο και αναφέροντας τα διάφορα εναλλακτικά πρότυπα [43].

Πίνακας 5.5: Διαχωρισμός Προτύπων σύμφωνα με τα επίπεδα της αρχιτεκτονικής IIRA

Reference Architecture	Layers	Πρότυπα σε Layers
Internet Industrial Reference Architecture (IIRA)	Business Viewpoint	6LoWLAN
		Coap: RFC 7252
		Mqtt Protocol
		IEC 61784-5-1:2013
		IEC 61784-5-13:2013
		IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996
	Usage Viewpoint	WI-PA: IEC 62601
		POWERLINK
		Profinet
		RFC 7650
		RFC 9175
		ISA-TR100.14.01-Part 1-2011
		WirelessHart: IEC 62591
		OPC UA: IEC 62541
		EtherCat: IEC 61158
		IEC White Paper IoT: WSN:2014
		Modbus - TCP
		IEC 61784 Fieldbus
		Profibus PA V3.02
		IEEE 802.1Qay-2009
		IEEE 802.10-1998
	Functional Viewpoint	IEC 62657-1
		IEC 62443-2-1:2010
		ISO/IEC 29180:2012
		ISO 23570-2:2005
		ISO 15745-5:2007
		ISA100.11a
		IEEE 1904.1-2017
	Implementation Viewpoint	ZigBee: IEEE 802.15.4-2006
		ISO 22093:2003
		ISO 15745-3:2003
		RS232C
		RFC 7733
ISO/IEC 27033-6:2016		
NFC: ISO/IEC 13157		
IEEE 488.2-1992		

### 5.3.1 Business Viewpoint

Το επίπεδο αυτό είναι η επιχειρηματική άποψη, η οποία αντιμετωπίζει ζητήματα που προσανατολίζονται προς τις επιχειρήσεις, όπως το πώς το σύστημα προσφέρει αξία στην επιχείρηση και πώς κατευθύνεται με την στρατηγική της επιχείρησης, καθώς και οι οικονομικές ανησυχίες, όπως η αναμενόμενη απόδοση της οποιασδήποτε επένδυσης. Ως εκ τούτου, οι ενδιαφερόμενοι τείνουν να είναι κυρίως επιχειρηματίες οραματιστές και οι φορείς λήψης αποφάσεων είναι πάντα σε θέση να

προσδιορίσουν, να αξιολογήσουν και να αντιμετωπίσουν τις επιχειρηματικές ανησυχίες και απαιτήσεις. Αυτοί οι ενδιαφερόμενοι συνήθως έχουν ένα σημαντικό μερίδιο στην επιχείρηση και έχουν ισχυρή επιρροή στη λήψη των αποφάσεων και το πώς λειτουργεί η στρατηγική της κάθε εταιρείας [120].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (IRA) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Business Viewpoint:

- 6LoWLAN

Το πρότυπο 6LoWPAN αφορά τις είναι συσκευές που χρειάζονται ασύρματη συνδεσιμότητα με πολλές άλλες συσκευές με χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων και με πολύ περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας [90].

- Coap: RFC 7252

Το πρότυπο Coap: RFC 7252 αφορά την αλληλεπίδραση αιτήματος/απόκρισης μεταξύ των τελικών σημείων εφαρμογής, υποστηρίζει την ενσωματωμένη ανακάλυψη υπηρεσιών και πόρων και περιλαμβάνει βασικές έννοιες του Ιστού, όπως URI και τύπους μέσων Διαδικτύου. Το CoAP έχει σχεδιαστεί για εύκολη διασύνδεση με το HTTP για σύνδεση με τον Ιστό, ενώ πληροί εξειδικευμένες απαιτήσεις όπως υποστήριξη πολλαπλής μετάδοσης, πολύ χαμηλή επιβάρυνση και απλότητα σε περιβάλλοντα περιορισμού [92].

- Mqtt Protocol

Το πρότυπο MQTT είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων για το Internet of Things (IoT). Το πρωτόκολλο είναι ένα σύνολο κανόνων που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές IoT μπορούν να δημοσιεύουν και να εγγραφούν σε δεδομένα μέσω του Διαδικτύου [102].

- IEC 61784-5-1:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-1:2013 καθορίζει τα προφίλ εγκατάστασης για το FOUNDATION Fieldbus σε βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνίας [50].

- IEC 61784-5-13:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-13:2013 καθορίζει τα προφίλ εγκατάστασης για το Ethernet POWERLINK σε βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνίας [51].

- IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996

Το πρότυπο IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996 καθορίζει την διεπαφή στο υπόστρωμα MAC και στο επίπεδο PHY [86].

### 5.3.2 Usage Viewpoint

Το επίπεδο αυτό είναι η οπτική μεριά της χρήσης ως προς τις επιχειρηματικές απαιτήσεις για τις πραγματικές δραστηριότητες του χρήστη και των συστημάτων με αποτέλεσμα να παραχθούν τα απαιτούμενα αποτελέσματα και οι επιχειρηματικοί στόχοι. Οι δραστηριότητες που περιγράφονται χρησιμεύουν ως δεδομένα για τις απαιτήσεις του συστήματος, που θα επιτρέψουν τελικά και το πώς θα λειτουργήσει το σύστημα [120].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (IRA) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Usage Viewpoint:

- WI-PA: IEC 62601

Το διεθνές πρότυπο WI-PA: IEC 62601 καθορίζει την αρχιτεκτονική του συστήματος και το πρωτόκολλο επικοινωνίας των ασύρματων δικτύων για βιομηχανικό αυτοματισμό [41].

- POWERLINK

Το πρότυπο POWERLINK βασίζεται σε Ethernet και αντιπροσωπεύει τη δεύτερη γενιά πεδίων διαύλων. Αυτό καθιστά δυνατή την εφαρμογή σε πλήρους ισχύος των τεχνολογιών πληροφορικής και ειδικότερα στον τομέα του αυτοματισμού. Επίσης, είναι ιδανικό για μονάδες δίσκου, και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συστημάτων Programmable Logic Controllers (PLC) [112].

- Profinet

Το Profinet είναι ένα βιομηχανικό τεχνικό πρότυπο για την επικοινωνία δεδομένων μέσω Industrial Ethernet, σχεδιασμένο για τη συλλογή δεδομένων από και τον έλεγχο εξοπλισμού σε βιομηχανικά συστήματα [108].

- RFC 7650

Η χρήση του πρωτοκόλλου RFC 7650 παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας για συνένωση με ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) [91].

- RFC 9175

Το πρότυπο RFC 9175 αφορά τα εξής: απαιτήσεις επεξεργασίας για Tokens πελατών, απαγόρευση μη ασφαλούς επαναχρησιμοποίησης των Tokens για τη διασφάλιση της δέσμευσης απόκρισης προς αίτημα όταν χρησιμοποιείται το CoAP με πρωτόκολλο ασφαλείας [98].

- ISA-TR100.14.01-Part 1-2011

Το πρότυπο ISA-TR100.14.01-Part 1-2011 παρέχει αξιοπιστία στον ασύρματο βιομηχανικό αυτοματισμό [101].

- WirelessHart: IEC 62591

Το πρότυπο WirelessHart: IEC 62591 καθορίζει ένα ασύρματο δίκτυο έχοντας τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: τον ορισμό υπηρεσίας φυσικού επιπέδου και την προδιαγραφή του πρωτοκόλλου, την υπηρεσία και το πρωτόκολλο επιπέδου σύνδεσης δεδομένων, την υπηρεσία και το πρωτόκολλο επιπέδου της εφαρμογής, την διαχείριση του δικτύου, την ασφάλεια, το προφίλ επικοινωνίας και τις ασύρματες διαδικασίες [38].

- OPC UA: IEC 62541

Το πρότυπο OPC UA: IEC 62541 ορίζει το μοντέλο πληροφοριών της Αρχιτεκτονικής OPC. Το μοντέλο πληροφοριών περιγράφει τους κόμβους του χώρου διευθύνσεων ενός διακομιστή [57].

- EtherCat: IEC 61158

Το πρότυπο EtherCAT: IEC 61158, η ασύρματη τεχνολογία Industrial Ethernet που εφευρέθηκε από τον Beckhoff, κάνει τα μηχανήματα και τα συστήματα πιο γρήγορα, απλούστερα και πιο οικονομικά [46].

- IEC White Paper IoT: WSN:2014

Το πρότυπο IEC White Paper IoT: WSN:2014 βοηθά στη χρήση και στην εξέλιξη των WSN στο ευρύτερο πλαίσιο του IoT. Παρέχει μια ανασκόπηση των εφαρμογών WSN, των τεχνολογιών υποδομών, των εφαρμογών καθώς και των προτύπων που ισχύουν για τα σχέδια WSN [45].

- Modbus – TCP

Το πρότυπο MODBUS-TCP είναι μια παραλλαγή της οικογένειας MODBUS των απλών πρωτοκόλλων επικοινωνίας ως προς τον προμηθευτή που προορίζονται για την επίβλεψη και τον έλεγχο του εξοπλισμού αυτοματισμού [113].

- IEC 61784 Fieldbus

Το πρότυπο IEC 61784-3:2021 Fieldbus εξηγεί ορισμένες κοινές αρχές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μετάδοση μηνυμάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια μεταξύ των συμμετεχόντων σε ένα καταναμημένο δίκτυο και χρησιμοποιούν την τεχνολογία fieldbus σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους για λειτουργική ασφάλεια [49].

- Profibus PA V3.02

Το πρότυπο Profibus PA V3.02 αφορά τις συσκευές ελέγχου διεργασίας που συνδέονται με το δίκτυο της εγκατάστασης παρέχοντας και καταναλώνοντας τις τιμές μέτρησης και κατά κύριο λόγο τις αντίστοιχες τιμές εξόδου [109].

- IEEE 802.1Qay-2009

Το πρότυπο IEEE 802.1Qay-2009 προσαρμόζει την τεχνολογία Ethernet σε δίκτυα μεταφορών κατηγορίας βιομηχανικών αυτοματισμών [85].

- IEEE 802.10-1998

Το πρότυπο IEEE 802.10 παρέχει προδιαγραφές για ένα πρωτόκολλο ασφαλείας επιπέδου διαλειτουργικής ζεύξης δεδομένων και σχετικές με υπηρεσίες ασφαλείας [76].

### 5.3.3 Functional Viewpoint

Το επίπεδο αυτό είναι η λειτουργική άποψη το πως δηλαδή αντιμετωπίζονται οι ανησυχίες των ενδιαφερομένων σχετικά με την λειτουργικότητα του συστήματος Industrial Internet. Αυτό είναι πιο εύκολο να ειπωθεί παρά να γίνει μέσα σε μεγάλα και σε πολύπλοκα συστήματα, έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν οι ανησυχίες της λειτουργίας των υπηρεσιών [122].

Κατά συνέπεια, η εφαρμογή του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ευέλικτη και δεν προορίζεται ούτε ως ελάχιστο ούτε ως απαιτούμενο σύνολο λειτουργιών. Για παράδειγμα, η περίπτωση χρήσης από έναν κλάδο μπορεί να δώσει μεγαλύτερη έμφαση σε ορισμένους λειτουργικούς τομείς από άλλους κλάδους [120].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (IRA) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Functional Viewpoint:

- IEC 62657-1

Το πρότυπο IEC 62657-1 παρέχει τις απαιτήσεις ασύρματης επικοινωνίας που ενημερώνονται από τις εφαρμογές των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας στον βιομηχανικό αυτοματισμό και τις απαιτήσεις του σχετικού πλαισίου [44].

- IEC 62443-2-1:2010

Το πρότυπο IEC 62443-2-1:2010 ορίζει τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης ασφάλειας στον κυβερνοχώρο (CSMS) για συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού και ελέγχου (IACS) και παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξης αυτών των στοιχείων [60].

- ISO/IEC 29180:2012

Το πρότυπο ISO/IEC 29180:2012 περιγράφει τις απειλές ασφαλείας και τις απαιτήσεις ασφαλείας του πανταχού παρόντος δίκτυο αισθητήρων (USN). Επιπλέον, κατηγοριοποιεί τις τεχνολογίες ασφαλείας σύμφωνα με τις λειτουργίες ασφαλείας που ικανοποιούν τις εν λόγω απαιτήσεις ασφαλείας και όπου οι τεχνολογίες ασφαλείας εφαρμόζονται στο μοντέλο ασφαλείας του USN [28].

- ISO 23570-2:2005

Το πρότυπο ISO 23570-2:2005 καθορίζει τη διασύνδεση στοιχείων στο σύστημα ελέγχου εργαλειομηχανών σε συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού [28].

- ISO 15745-5:2007

Το πρότυπο ISO 15745-5:2007 ορίζει τα ειδικά στοιχεία και τους κανόνες τεχνολογίας για την περιγραφή τόσο των προφίλ του δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των προφίλ των συσκευών ειδικά για συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε HDLC [32].

- ISA100.11a

Το ISA100.11a είναι ένα πρότυπο τεχνολογίας ασύρματης δικτύωσης που αναπτύχθηκε από τη International Society of Automation (ISA). Η επίσημη περιγραφή του είναι "Ασύρματα Συστήματα Βιομηχανικού Αυτοματισμού: Έλεγχος Διαδικασιών και Συναφείς Εφαρμογές" [99].

- IEEE 1904.1-2017

Το πρότυπο IEEE 1904.1-2017 περιγράφει τις προδιαγραφές σε επίπεδο συστήματος που απαιτούνται για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο υπηρεσίας του δικτύου Ethernet. Οι προδιαγραφές διαλειτουργικότητας σε επίπεδο συστήματος καλύπτουν τη λειτουργικότητα του εξοπλισμού, τη μηχανικής κυκλοφορίας και τους μηχανισμούς ποιότητας σε επίπεδο υπηρεσιών QoS [88].

### 5.3.4 Implementation Viewpoint

Το επίπεδο αυτό αφορά την υλοποίηση που είναι ίσως και η πιο ενδιαφέρουσα πτυχή του μοντέλου PIRA, καθώς περιλαμβάνει την τεχνολογία και όχι τις επιχειρηματικές ή τις λειτουργίες χρήσης. Αναμφίβολα, η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική καθοδηγείται από επιχειρηματικούς και οικονομικούς περιορισμούς, οι οποίοι περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, επιχειρηματικές απαιτήσεις, καθοδήγηση με εταιρικές στρατηγικές, τον προϋπολογισμό και την απόδοση της κάθε επένδυσης όσον αφορά τόσο τα οικονομικά όσο και τα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα [120].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό της αρχιτεκτονικής (IRA) σε επίπεδα, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Implementation Viewpoint:

- ZigBee: IEEE 802.15.4-2006

Η αρχιτεκτονική του πρότυπου ZigBee: IEEE 802.15.4-2006 έχει σχεδιαστεί ώστε οι συσκευές να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω ενός απλού ασύρματου δικτύου [77].

- ISO 22093:2003

Το πρότυπο ISO 22093:2003 παρέχει ένα πρότυπο για την αμφίδρομη επικοινωνία των δεδομένων επιθεώρησης μεταξύ συστημάτων υπολογιστών και εξοπλισμού επιθεώρησης σε συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού [31].

- ISO 15745-3:2003

Το πρότυπο ISO 15745-3:2003 ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, ειδικά για συστήματα ελέγχου, σε βελτιωμένη έκδοση [34].

- RS232C

Το RS232 είναι ένα πρότυπο για μετάδοση δεδομένων μεταξύ ενός DTE (Data terminal equipment) και ενός DCE (Data Circuit-terminating equipment). Χρησιμοποιείται και ως ένας αγωγός για εκπομπή δεδομένων [114].

- RFC 7733

Χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου RFC 7733 είναι ότι μέσα σε ένα δίκτυο με δρομολογητή και πολλούς κόμβους, μπορεί να υπάρχουν οι αισθητήρες με μπαταρίες και ελεγκτές διαμορφωμένοι για να έρθουν σε επαφή με άλλους κόμβους σε συμβάντα και μετά να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση [94].

- ISO/IEC 27033-6:2016

Το πρότυπο ISO/IEC 27033-6:2016 περιγράφει τις απειλές, τις απαιτήσεις ασφάλειας, τον έλεγχο ασφαλείας και τις τεχνικές σχεδιασμού που σχετίζονται με τα ασύρματα δίκτυα [27].

- NFC: ISO/IEC 13157-1:2010

Το πρότυπο NFC: ISO/IEC 13157-1:2010 έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για το πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων και τις κοινόχρηστες υπηρεσίες [20].

- IEEE 488.2-1992

Το πρότυπο IEEE 488.2-1992 ορίζει πρωτόκολλα επικοινωνίας που είναι απαραίτητα για την πραγματοποίηση ανταλλαγής μηνυμάτων ανεξάρτητα από την εφαρμογή και τη συσκευή και επίσης ορίζει κοινές εντολές και χαρακτηριστικά χρήσιμα σε εφαρμογές [83].

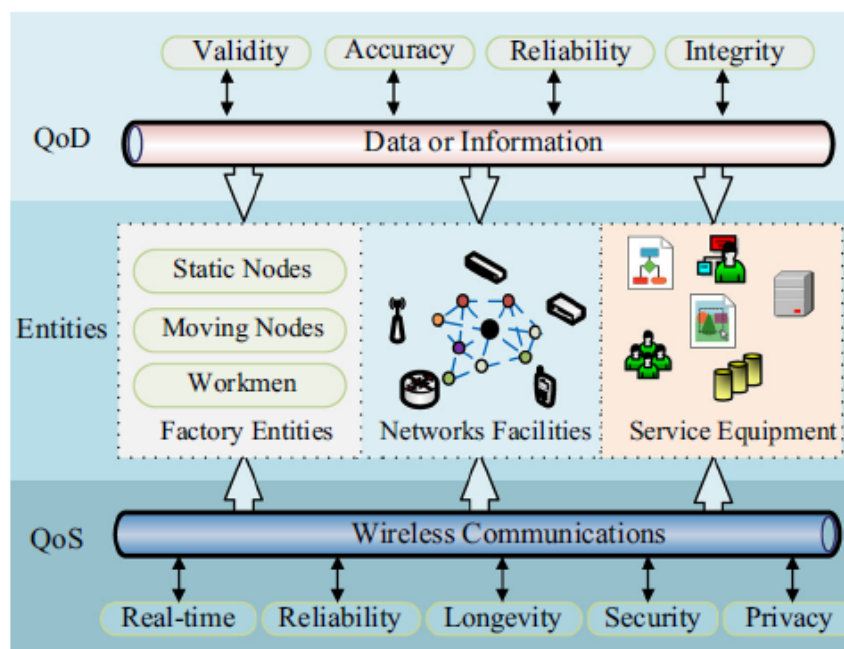
## Κεφάλαιο 6ο: Διαχωρισμός με βάση το Quality of Service (QoS) και το Quality of Data (QoD)

### 6.1 Αρχιτεκτονική QoS και QoD-oriented Βιομηχανικών ασύρματων δικτύων (IWNs)

Στο πλαίσιο του Industry 4.0, τα δεδομένα ή οι πληροφορίες μεταδίδονται με ασύρματη επικοινωνία μέσω IWN. Τα μεγάλα δεδομένα, τα βιομηχανικά σύννεφα και τα βιομηχανικά συστήματα, χρησιμοποιούνται στο Industry 4.0 για την αύξηση της παραγωγικότητας, τη μείωση του κόστους και της κατανάλωσης ενέργειας και την ενίσχυση της ευελιξίας και της εξατομίκευσης [107].

Για την υλοποίηση των στόχων του Industry 4.0, υπάρχουν νέες απαιτήσεις στο σύνολο των συστημάτων IWN, ειδικά για τις υπηρεσίες και τα δεδομένα. Τα δεδομένα μεταφέρουν σημαντικές πληροφορίες για το εργοστάσιο, τις υπηρεσίες, την κατασκευή και τους χρήστες καθώς και η ασύρματη επικοινωνία είναι ο υπεύθυνος για τη μετάδοση και λήψη αυτών των δεδομένων [3].

Ως εκ τούτου, μια νέα αρχιτεκτονική IWN έχει εισαχθεί και στοχεύει να καλύψει τις απαιτήσεις για την διαφορετικότητα και την ιδιαιτερότητα που υπάρχει στις βιομηχανικές εφαρμογές. Όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 6.1, το QoS και η αρχιτεκτονική στο QoD των IWN έχει ρυθμιστεί για τις συγκεκριμένες οντότητες. Οι συγκεκριμένες οντότητες είναι το θεμέλιο ολόκληρης της αρχιτεκτονικής και περιλαμβάνουν τις εργοστασιακές οντότητες, τις εγκαταστάσεις δικτύων και τον εξοπλισμό εξυπηρέτησης. Οι απαιτήσεις του QoS αφορούν τον πραγματικό χρόνο, την αξιοπιστία, την μακροζωία, τον έλεγχο ασφάλειας και το απόρρητο. Η απόδοση του QoD αφορά την εγκυρότητα, την ακρίβεια, την αξιοπιστία και την ακεραιότητα. Επί πλέον, το QoS και το QoD επηρεάζονται το ένα από το άλλο [3].



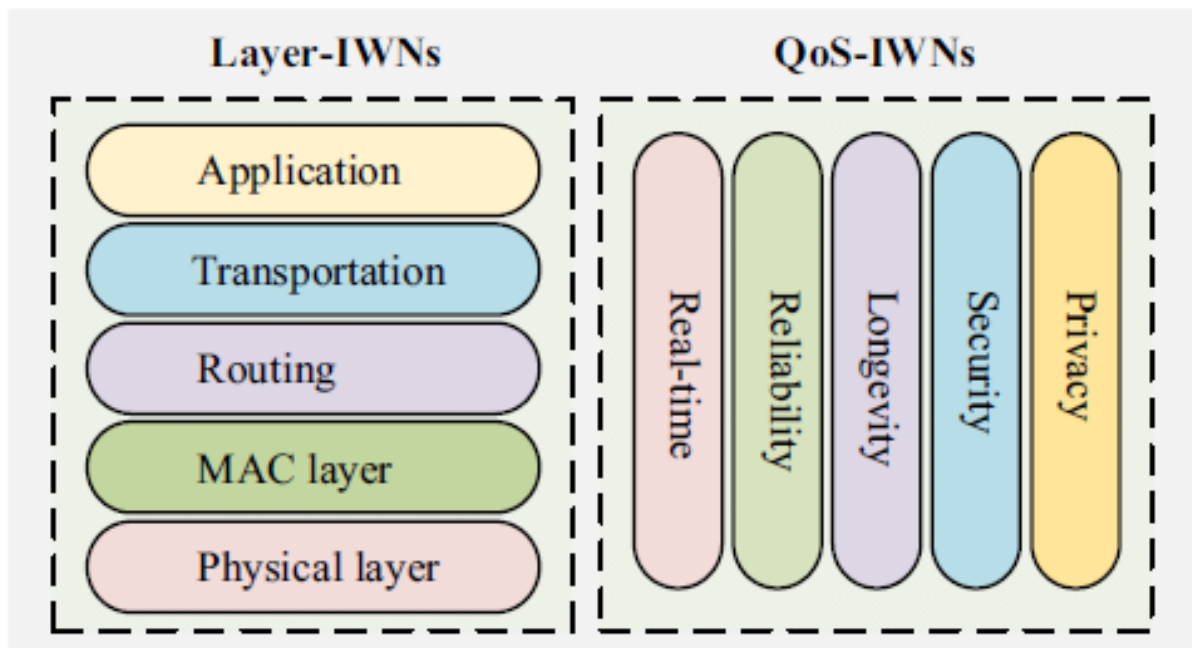
Σχήμα 6.1: Η αρχιτεκτονική QoS and QoD των IWNs [3]

## 6.2 Επικοινωνία και δικτύωση

Μπορεί να έχει αναπτυχθεί το συμπέρασμα ότι τα IWN παίζουν πρωταρχικό ρόλο στο πλαίσιο του Industry 4.0 και του έξυπνου εργοστασίου. Γενικά, όμως οι ερευνητές χρησιμοποιούν διαφορετικά επίπεδα για να αναλύσουν την αρχιτεκτονική των δικτύων. Τα IWN δεν αποτελούν εξαίρεση. Πολλές μελέτες έχουν χωρίσει τα IWN επίπεδα, σε φυσικό μέσο έλεγχος πρόσβασης (MAC), σε δρομολόγηση, σε μεταφορά και σε εφαρμογή [3].

Ωστόσο, αυτά τα παραδοσιακά επίπεδα της αρχιτεκτονικής δεν μπορεί να ικανοποιήσουν τις αυξανόμενες απαιτήσεις για τις διαφορετικές εφαρμογές που προκύπτουν από τη συνεχή ανάπτυξη των τεχνολογιών. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, η έννοια του σχεδιασμού των επιπέδων που προτάθηκε, εφαρμόστηκε και με επιτυχία [3].

Ωστόσο, υπάρχουν και νέες απαιτήσεις QoS που πρέπει να ικανοποιηθούν από τα διαφορετικά IWN στον βιομηχανικό τομέα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2, το QoS των IWN περιλαμβάνει τον πραγματικό χρόνο, την αξιοπιστία, την μακροζωία, τον έλεγχο ασφάλειας και το απόρρητο καθώς και στον Πίνακα 6.1, βλέπουμε τον διαχωρισμό των προτύπων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του QoS. Για την κάλυψη αυτών των κριτηρίων του QoS, για τον σχεδιασμό πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν όλες τις απαιτήσεις, καθώς αναπτύσσονται τα IWN, με αποτέλεσμα όλο και περισσότερες εταιρείες και οι συμμαχίες τους να έχουν επενδύσει σε αυτούς τους τομείς [3].



Σχήμα 6.2: Το QoS των IWNs [3]

Πίνακας 6.1: Διαχωρισμός Προτύπων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του QoS

Requirements	Πρότυπα
Privacy	OPC UA: IEC 62541
	RPL: RFC 6550
	Mqtt Protocol
	Coap: RFC 7252
	IEEE 802.15.8-2017
	IEEE 802.1Qay-2009
	IEEE 802.1AS-2011
	IEEE 802.11Qbv-2015
	IEEE 802.11Qci-2017
	IEEE 802.11Qcc-2018
Security	RFC 5673
	RFC 9175
	NFC: ISO/IEC 13157
	IEC 61139-2:2022 PRV
	IEC 61784-3-18:2011+AMD1:2016+AMD2:2021 CSV
	IEC 61784-5-16:2013
	IEC 61784-5-17:2013
	IEC 61784-5-19:2013
	IEC 61784 Fieldbus
	ISO/IEC 27033-6:2016
	ISO/IEC 29180:2012
	ISA100.11a
	IEC 62443-2-1:2010
	RFC 8613
	ISO/IEC/IEEE 21450:2010
	IEEE 802.11y-2008
	IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996
	IEEE 802.10-1998
	IEEE 802.1Qch-2017
	Longevity
6LoWPAN	
RFC 7733	
RFC 7641	
Profinet	
ISA95	
IEEE 802.16a-2003	
Reliability	WirelessHart: IEC 62591
	IEC 61784-5-1:2013
	IEC 61784-5-13:2013
	EtherCAT: IEC 61158
	IEC 62657-1:2017
	IEC White Paper IoT:WSN:2014
	Profibus PA V3.02
	Field Device Integration (FDI): IEC 61804
	AMQP: ISO/IEC 19464:2014
	Mqtt Protocol
	ISA-TR100.14.01-Part 1-2011

	ISO 23570-2:2005
	ISO 22093:2003
	ISO 15745-5:2007
	ISO 15745-2:2003
	ISO 15745-3:2003
	ISO 15745-4:2003
	ISO 9506-1:2003
	ISO 9506-2:2003
	ISA100.11a
	IEEE 802.15.4c-2009
	IEEE 802.11n-2009
	IEEE 802.15.4e-2012
	IEEE 802.15.2-2003
	IEEE 1904.1-2013
	IEEE 1904.1-2017
	IEEE 1903.1-2017
	IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001
	ZigBee: IEEE 802.15.4-2006
Real-time	WI-PA: IEC 62601
	IEC 61131-2:2017
	ISO/TR 13283:1998
	RFC 7650
	IEEE 61158-2017
	IEEE 488.2-1992
	IEEE 802.11a-1999
	IEEE 802.1BA-2011
	IEEE 802.3-2018

### 6.2.1 Real-time performance

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) έχουν εφαρμοστεί σε έξυπνες εγκαταστάσεις, σε βιομηχανικό περιβάλλον και σε εργοστάσια παρακολούθησης και αυτοματισμού με σκοπό τα χαμηλά επίπεδα λανθάνουσας ασύρματης επικοινωνίας. Επομένως, τα WSN στις βιομηχανικές εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή των IWN [3].

Η απόδοση σε πραγματικό χρόνο είναι ένας σημαντικός δείκτης για το βιομηχανικό QoS. Επιπλέον, οι επικοινωνίες μεταξύ των ασύρματων κόμβων απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση για τη βελτίωση της παραγωγικότητας. Ωστόσο, οι διαφορετικές εφαρμογές μπορεί να έχουν διαφορετικό πραγματικό χρόνο και φυσικά και διαφορετικές απαιτήσεις στα IWN [3].

Ο παρακάτω Πίνακας 6.1 δείχνει την καθυστέρηση που υπάρχει στις απαιτήσεις για τα διαφορετικά συστήματα. Τα συστήματα του ελέγχου κίνησης έχουν την ταχύτερη απαίτηση σε πραγματικό χρόνο ( $\sim 10$  ms), ενώ τα συστήματα παρακολούθησης ανέχονται τη μεγαλύτερη τιμή καθυστέρησης ( $\sim 100$  ms).

Πίνακας 6.2: Απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο σε διαφορετικά βιομηχανικά περιβάλλοντα [3]

Industrial Environments	Latency
Automation system	<50 ms
Monitoring system	<100 ms
Control operations	10 – 50 ms
Motion control	<10 ms

Πολλοί ερευνητές έχουν παρουσιάσει τις μεθόδους τους και επιτυγχάνουν καλή απόδοση σε πραγματικό χρόνο από τις διαφορετικές προβολές και τα επίπεδα των ασύρματων δικτύων. Οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες έχουν πέτυχε χαμηλό λανθάνοντα χρόνο, βελτιώνοντας τη δρομολόγηση MAC, ή τα επίπεδα μεταφοράς ή τη χρήση μηχανισμών.

Σύμφωνα με το διαχωρισμό των απαιτήσεων του QoS των IWNs, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Real-time Performance:

- WI-PA: IEC 62601

Το πρότυπο WI-PA: IEC 62601 καθορίζει την αρχιτεκτονική του συστήματος και το πρωτόκολλο επικοινωνίας των ασύρματων δικτύων για Βιομηχανικό Αυτοματισμό - Αυτοματισμό Διαδικασιών (WIA-PA) σε πραγματικό χρόνο [41].

- IEC 61131-2:2017

Το πρότυπο IEC 61131-2:2017 καθορίζει τις απαιτήσεις λειτουργικής και ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και τις σχετικές δοκιμές επαλήθευσης για κάθε προϊόν όπου ο κύριος σκοπός είναι η εκτέλεση της λειτουργίας του εξοπλισμού των αυτοματοποιημένων διαδικασιών παραγωγής και βιομηχανικών διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο [42].

- ISO/TR 13283:1998

Το πρότυπο ISO/TR 13283:1998 προσδιορίζει τις απαιτήσεις των χρηστών για τα συστήματα που υποστηρίζουν συστήματα επικοινωνιών κρίσιμης σημασίας στο χρόνο και την διαχείριση του δικτύου που είναι ειδικά για την αρχιτεκτονική των μοντέλων επικοινωνιών peer-to-peer και multipeer εντός ή μεταξύ των διαδικασιών κάθε εφαρμογής [29].

- RFC 7650

Το πρότυπο RFC 7650 αφορά τους κόμβους οι οποίοι θα χρησιμοποιήσουν το RELOAD ως μηχανισμό προσωρινής αποθήκευσης για πληροφορίες σχετικά με το ποιοι πόροι είναι διαθέσιμοι στον κόμβο σε πραγματικό χρόνο [95].

- IEEE 61158-2017

Το πρότυπο IEEE 61158-2017 είναι μια υιοθέτηση του Ethernet POWERLINK. Το Ethernet POWERLINK είναι ένα προφίλ επικοινωνίας για Ethernet σε πραγματικό χρόνο (RTE) με μηχανισμούς μεταφοράς δεδομένων με προβλέσιμο χρονισμό και ακριβή συγχρονισμό [69].

- IEEE 488.2-1992

Το πρότυπο IEEE 488.2-1992 ορίζει πρωτόκολλα επικοινωνίας που είναι απαραίτητα για την πραγματοποίηση ανταλλαγών μηνυμάτων ανεξάρτητα από την εφαρμογή και τη συσκευή, και επίσης ορίζει κοινές εντολές και χαρακτηριστικά χρήσιμα σε εφαρμογές συστημάτων σε πραγματικό χρόνο [83].

- IEEE 802.11a-1999

Σκοπός του προτύπου IEEE 802.11a-1999 είναι ο καθορισμός ενός μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) και πολλών φυσικών επιπέδων (PHY) προδιαγραφών για ασύρματη συνδεσιμότητα για σταθερούς, φορητούς και κινούμενους σταθμούς (STAs) σε μια τοπική περιοχή, σε πραγματικό χρόνο [67].

- IEEE 802.1BA-2011

Το πρότυπο IEEE 802.1BA-2011 ορίζει το προφίλ δικτύωσης με ακρίβεια στο χρόνο για τη δημιουργία δικτύων βιομηχανικού αυτοματισμού [71].

- IEEE 802.3-2018

Το πρότυπο IEEE 802.3-2018 καθορίζει την λειτουργία του τοπικού δικτύου Ethernet για επιλεγμένες ταχύτητες λειτουργίας, χρησιμοποιώντας μια κοινή βάση προδιαγραφών και διαχείρισης πληροφοριών ελέγχου πρόσβασης μέσω με ακρίβεια στο χρόνο [74].

## 6.2.2 Reliability

Σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον, τα συστήματα επικοινωνίας είναι πιο ευαίσθητα σε λανθάνουσα κατάσταση, ιδιαίτερα για τους αυτοματισμούς και τα συστήματα ελέγχου διεργασιών και κατασκευής. Επομένως, η αξιοπιστία του IWN είναι μία σημαντική απαίτηση αξιολόγησης [3].

Ωστόσο, οι κινούμενοι ασύρματοι κόμβοι και τα δύσκολα βιομηχανικά περιβάλλοντα των IWN μπορεί να εισάγουν περισσότερες παρεμβολές και να αυξήσουν το ποσοστό σφάλματος bit (BER). Σε συμβατικά WNS, ένας μηχανισμός αναμετάδοσης γενικά εγκρίνεται για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων, η οποία αυξάνει κατά κύριο λόγο και την καθυστέρηση. Αυτό είναι ένα ζήτημα για τα IWN και επομένως πολλοί επιστήμονες έχουν προτείνει αποτελεσματικούς αλγόριθμους για να εγγραφούν με αυτό τον τρόπο την αξιοπιστία του δικτύου [3].

Με σκοπό την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών, τα IWN έχουν υψηλό επίπεδο σφαλμάτων καναλιού/πακέτων εξαιτίας της εξασθένησης πολλαπλών διαδρομών, του δύσκολου βιομηχανικού περιβάλλοντος και των πολλαπλών ασύρματων σημάτων που υπάρχουν. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα και να βελτιώσουν την αξιοπιστία και τους μεθόδους για την ελαχιστοποίηση αυτής της παρεμβολής έχουν αναπτυχθεί εξειδικευμένες τεχνολογίες κωδικοποίησης.

Η διαίρεση κώδικα για πολλαπλή πρόσβαση (CDMA) είναι μια κλασική τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την ελαχιστοποίηση των παρεμβολών. Ωστόσο, με την επέκταση των δικτυακών κλιμάκων και βιομηχανικών εφαρμογών, η CDMA έχει δείξει περιορισμούς κωδικοποίησης τα τελευταία χρόνια [123].

Με βάση τον πλεονασμό δεδομένου ότι η αναμετάδοση έχει πολλά μειονεκτήματα για απόδοση σε πραγματικό χρόνο, ο πλεονασμός μπορεί να είναι καλύτερος ως εναλλακτική επιλογή στα βιομηχανικά WSN, ειδικά για τα WSN που βασίζονται σε πραγματικά συμβάντα. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ενεργοποίησης πλεονασμού, συμπεριλαμβανομένου του πλεονασμού δεδομένων και τον πλεονασμό δρομολόγησης [123].

Ο μηχανισμός διόρθωσης σφαλμάτων προώθησης (FEC) είναι μια κλασική μέθοδος πλεονασμού δεδομένων για τη βελτίωση της αξιοπιστίας. Στον μηχανισμό FEC, τα δίκτυα διορθώνουν το bit σφάλματος προσθέτοντας περιττά bit ή δεδομένα στο πακέτο/πλαίσιο [123].

Ο Celimuge Wu et al. έχει προτείνει ένα νέο πρωτόκολλο με βάση τον πλεονασμό δεδομένων που αλλάζει προσαρμοστικά το επίπεδο πλεονασμού σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και το ποσοστό απώλειας συνδέσμου. Η μέθοδος πλεονασμού δρομολόγησης χρησιμοποιεί την άποψη ότι για τη συνολική αξιοπιστία των WSN, οποιαδήποτε μεμονωμένη διαδρομή μετάδοσης είναι επιρρεπής σε αδυναμίες κατά κύριο λόγο στα βιομηχανικά περιβάλλοντα. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα, έχουν προταθεί αλγόριθμοι περιττής δρομολόγησης [3].

Ο Suraj et al. παρουσίασε ένα σύμπλεγμα βασισμένο πρωτόκολλο δρομολόγησης πολλαπλών διαδρομών (CMRP) για τη βελτίωση, την αξιοπιστία και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του WNS, που υπολογίζει τις διαδρομές πριν από τη χρήση. Το CMRP είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που βασίζεται σε συμπλέγματα που απαιτούν μια διαδρομή η οποία κατευθύνεται προς το σταθμό βάσης. Ο σταθμός βάσης παρέχει τη διαδρομή δρομολόγησης κάθε κόμβου με αισθητήρα στο δίκτυο [3].

Επιπλέον, εάν ένα δίκτυο έχει μόνο ένα κανάλι εργασίας, συνήθως υποφέρει από παρεμβολές συχνότητας και σφάλματα σε πακέτα. Ωστόσο, με την αύξηση της ανάπτυξης της ασύρματης επικοινωνίας και των ασύρματων δικτύων, μπορεί να λειτουργεί σε υψηλότερες συχνότητες, ειδικά με την εμφάνιση τεχνολογιών 3G, 4G και 5 GHz και τις συναφείς αρχιτεκτονικές [3].

Τα WSN μπορούν να αντισταθούν στις παρεμβολές μεταξύ διαφορετικών πρωτοκόλλων και να αποφύγουν τη συμφόρηση του δικτύου λειτουργώντας μέσα σε πολλαπλά κανάλια και με χρήση συχνότητας μετάβασης. Οι ειδικοί έχουν προτείνει πολλές νέες στρατηγικές για την αύξηση της αξιοπιστίας των WSN [3].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό των απαιτήσεων του QoS των IWNS, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Reliability:

- WirelessHart: IEC 62591

Το IEC WirelessHart:62591 καθορίζει με αξιοπιστία ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας, στους τομείς: ορισμού υπηρεσίας φυσικού επιπέδου και προδιαγραφής πρωτοκόλλου, υπηρεσίας πρωτοκόλλου επιπέδου σύνδεσης δεδομένων, διαχείρισης δικτύου και ασφάλειας [38].

- IEC 61784-5-1:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-1:2013 καθορίζει με αξιοπιστία τα προφίλ εγκατάστασης για το Foundation Fieldbus (CPF1). Κάθε προφίλ εγκατάστασης CP καθορίζεται ξεχωριστά για αυτή τη σειρά προτύπων. Η σειρά IEC 61784 παράγεται για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου [50].

- IEC 61784-5-13:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-1:2013 καθορίζει με αξιοπιστία τα προφίλ εγκατάστασης για το Ethernet POWERLINK (CPF13). Κάθε προφίλ εγκατάστασης CP καθορίζεται ξεχωριστά για αυτή τη σειρά προτύπων. Η σειρά IEC 61784 παράγεται για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου [51].

- EtherCAT: IEC 61158

Το πρότυπο EtherCAT: IEC 61158 είναι βελτιστοποιημένο για αξιόπιστα δεδομένα διεργασίας και μεταφέρεται απευθείας εντός του τυπικού πλαισίου [46].

- IEC 62657-1:2017

Το πρότυπο IEC 62657-1:2017 παρέχει με αξιοπιστία τις απαιτήσεις της ασύρματης επικοινωνίας από τις εφαρμογές των συστημάτων στον βιομηχανικό αυτοματισμό και τις απαιτήσεις για κάθε σχετικό πλαίσιο [44].

- IEC White Paper IoT: WSN:2014

Το πρότυπο IEC White Paper IoT: WSN:2014 λόγω της αξιοπιστίας ως προς τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) προκαλούν αυξανόμενο ενδιαφέρον από τη βιομηχανία και την έρευνα [45].

- Profibus PA V3.02

Το πρότυπο PROFIBUS PA V3.02 περιλαμβάνει πολλές λειτουργίες, οι οποίες κάνουν τον χειρισμό των συσκευών πεδίου πιο αξιόπιστο, για παράδειγμα και σε περίπτωση αλλαγής συσκευής [109].

- Field Device Integration (FDI): IEC 61804

Το πρότυπο Field Device Integration (FDI): IEC 61804 αφορά την υποστήριξη του ελέγχου, αποφεύγοντας παράλληλα λεπτομέρειες που σταματούν την καινοτομία καθώς και την εξειδίκευση για διαφορετικούς βιομηχανικούς τομείς [61].

- AMQP: ISO/IEC 19464:2014

Το πρότυπο AMQP: ISO/IEC 19464:2014 είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο Διαδικτύου για βιομηχανικά μηνύματα. Ορίζει ένα δυαδικό πρωτόκολλο που επιτρέπει την αξιόπιστη ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των δύο μερών [23].

- Mqtt Protocol

Το πρότυπο MQTT είναι ένα πρωτόκολλο δικτύου. Έχει σχεδιαστεί για συνδέσεις με απομακρυσμένες τοποθεσίες που έχουν συσκευές με περιορισμούς πόρων ή και με περιορισμένο εύρος ζώνης δικτύου. Εκτελείται μέσω ενός πρωτοκόλλου μεταφοράς που παρέχει με αξιοπιστία και χωρίς απώλειες αμφίδρομες συνδέσεις [102].

- ISA-TR100.14.01-Part 1-2011

Το πρότυπο ISA-TR100.14.01-Part 1-2011 παρέχει την αξιοπιστία στον ασύρματο βιομηχανικό αυτοματισμό [101].

- ISO 23570-2:2005

Το πρότυπο ISO 23570-2:2005 καθορίζει τη διασύνδεση των στοιχείων με αξιοπιστία στα σύστημα ελέγχου εργαλειομηχανών και βιομηχανικού αυτοματισμού. Περιλαμβάνει τύπους καλωδίων, μεγέθη και χρώματα περιβλήματος, τύπους συνδέσμων και αντιστοιχίσεις επαφών, καθώς και διαγνωστικές λειτουργίες κατάλληλες για τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές [30].

- ISO 22093:2003

Ο στόχος του ISO 22093:2003 είναι να παρέχει ένα αξιόπιστο πρότυπο για την αμφίδρομη επικοινωνία των δεδομένων μεταξύ των συστημάτων υπολογιστών και εξοπλισμού [31].

- ISO 15745-2:2003

Το πρότυπο ISO 15745-2:2003 περιγράφει με αξιοπιστία τα ειδικά στοιχεία για την τεχνολογία, για το προφίλ της συσκευής και το προφίλ του δικτύου επικοινωνίας σε συστήματα ελέγχου [33].

- ISO 15745-3:2003

Το πρότυπο ISO 15745-3:2003 ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των προφίλ συσκευών σε συστήματα ελέγχου [34].

- ISO 15745-4:2003

Το πρότυπο ISO 15745-4:2003 ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των προφίλ συσκευών ειδικά για συστήματα ελέγχου που βασίζονται κυρίως σε Ethernet [35].

- ISO 15745-5:2007

Το πρότυπο ISO 15745-5:2007 ορίζει με αξιοπιστία τα ειδικά στοιχεία και τους κανόνες τεχνολογίας για την περιγραφή τόσο των προφίλ δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των προφίλ συσκευών σε συστήματα ελέγχου [32].

- ISO 9506-1:2003

Το πρότυπο ISO 9506-1:2003 είναι μια προδιαγραφή επικοινωνίας επιπέδου εφαρμογής, σύμφωνα με το μοντέλο επικοινωνίας OSI. Παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών κατάλληλων για τις επικοινωνίες μεταξύ αυτοματοποιημένου εξοπλισμού και συστημάτων που τον διερευνούν ή τον ελέγχουν [36].

- ISO 9506-2:2003

Το πρότυπο ISO 9506-2:2003 είναι μια προδιαγραφή επικοινωνίας επιπέδου εφαρμογής, σύμφωνα με το μοντέλο επικοινωνίας OSI. Παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών κατάλληλων για τις επικοινωνίες μεταξύ αυτοματοποιημένου εξοπλισμού και συστημάτων που τον διερευνούν ή τον ελέγχουν [37].

- ISA100.11a

Το πρότυπο ISA100.11a ασχολείται με αξιοπιστία στα ασύρματα συστήματα κατασκευής και ελέγχου στον τομέα της τεχνολογίας και του κύκλου ζωής για τον ασύρματο εξοπλισμό και τα συστήματα [99].

- IEEE 802.15.4c-2009

Το πρότυπο IEEE 802.15.4c-2009 ορίζει το πρωτόκολλο με αξιοπιστία συμβατότητας στον εξοπλισμό του δικτύου για οπτικές ασύρματες επικοινωνίες και τη λειτουργία του ως οπτικό ασύρματο προσωπικό δίκτυο που υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων πολλαπλών Gbit/s για ασύρματες εφαρμογές [79].

- IEEE 802.11n-2009

Το IEEE 802.11n-2009 είναι ένα πρότυπο ασύρματης δικτύωσης που χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες για να αυξήσει τους ρυθμούς δεδομένων. Υποστηρίζεται με αξιοπιστία για πολλαπλές εισόδους πολλαπλών εξόδων και βελτιώσεις ασφάλειας [78].

- IEEE 802.15.4e-2012

Το πρότυπο IEEE 802.15.4e-2012 αφορά στην βελτίωση και στην πρόσθεση λειτουργικότητας στο IEEE 802.15.4 για την καλύτερη υποστήριξη των βιομηχανικών αγορών και επιτρέποντας τη συμβατότητα με τροποποιήσεις που προτάθηκαν στο WPAN [81].

- IEEE 802.15.2-2003

Το πρότυπο IEEE 802.15.2-2003 περιγράφει με αξιοπιστία τους μηχανισμούς συνύπαρξης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διευκόλυνση της συνύπαρξης ασύρματων τοπικών δικτύων σε βιομηχανικό περιβάλλον [72].

- IEEE 1904.1-2013

Το πρότυπο IEEE 1904.1-2013 περιγράφει τις προδιαγραφές σε επίπεδο συστήματος που απαιτούνται για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο υπηρεσίας του δικτύου Ethernet [87].

- IEEE 1903.1-2017

Το πρότυπο IEEE 1903.1-2017 χρησιμοποιείται για την υποστήριξη παράδοσης περιεχομένου σε δίκτυα επικάλυψης υπηρεσιών επόμενης γενιάς, όπως τα content delivery (CD), functional entity (FE) και service routing (SR) [89].

- IEEE 1904.1-2017

Το πρότυπο IEEE 1904.1-2017 περιγράφει τις προδιαγραφές σε επίπεδο συστήματος που απαιτούνται για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο υπηρεσίας του δικτύου Ethernet. Οι προδιαγραφές διαλειτουργικότητας σε επίπεδο συστήματος καλύπτουν τη λειτουργικότητα του εξοπλισμού, τη μηχανική κυκλοφορίας και τους μηχανισμούς ποιότητας σε επίπεδο υπηρεσιών QoS [88].

- IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001

Ο σκοπός του προτύπου IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001 είναι ο καθορισμός ενός μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) και πολλών φυσικών επιπέδων (PHY) προδιαγραφών για ασύρματη σύνδεση σε σταθερούς, φορητούς και κινούμενους σταθμούς (STAs) σε μια τοπική περιοχή [75].

- ZigBee: IEEE 802.15.4-2006

Η αρχιτεκτονική του προτύπου ZigBee: IEEE 802.15.4-2006 έχει σχεδιαστεί ώστε οι συσκευές να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω ενός απλού ασύρματου δικτύου [77].

### 6.2.3 Longevity

Σε ένα ασύρματο δίκτυο, όπου οι περισσότεροι ασύρματοι κόμβοι αισθητήρων τροφοδοτούνται με μπαταρία, η αντικατάσταση και η επαναφόρτιση του μεγάλου αριθμού μπαταριών δεν είναι πρακτικοί τρόποι και φέρουν υψηλότερο κόστος. Επομένως, η ενέργεια κίνησης των κόμβων είναι σχετική με την διάρκεια ζωής του συνολικού δικτύου. Καθώς αυξάνονται οι αριθμοί των WN και προστίθενται κινητές συσκευές στα δίκτυα, οι κόμβοι όχι μόνο συλλέγουν, συγχωνεύουν και μεταδίδουν τα δεδομένα, αλλά και κινούνται ανεξάρτητα ώστε να εκτελούν άλλα μηχανικές επιχειρήσεις. Κατά συνέπεια, σε αυτό το μέρος θα επικεντρωθούμε σε αυτές τις δύο πτυχές που αφορούν την παράταση της λειτουργίας των IWSN και τη μακροζωία [3].

Τα τελευταία χρόνια, πολλές ερευνητικές προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί για την απόδοση ισχύος εντός της εφαρμογής. Στην πραγματικότητα, κάθε δραστηριότητα που εκτελείται από τους κόμβους σε ένα WSN, καταναλώνει ενέργεια και περιορίζει την ισχύ. Η αποτελεσματική διαχείριση και η

εξοικονόμηση ενέργειας είναι μέτρα ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της μακροζωίας. Στρατηγικές ενεργειακής απόδοσης έχουν υλοποιηθεί σε διαφορετικά επίπεδα και λειτουργίες [3].

Πρώτον, μέσα στο φυσικό επίπεδο, οι περιττές ενέργειες μπορούν να μειωθούν και οι φυσικές παράμετροι μπορούν να βελτιστοποιηθούν για να επιτύχετε ισχυρή απόδοση εξοικονόμησης ενέργειας, ιδιαίτερα για τους κινητούς κόμβους. Δεύτερον, στο πλαίσιο της δικτύωσης και της επικοινωνίας, τα πρωτόκολλα MAC, δρομολόγησης και μεταφοράς έχουν τροποποιηθεί για να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας. Τέλος, εντός του επίπεδο εφαρμογής, υπάρχουν πολλές χρήσιμες μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, όπως οι τεχνικές που βασίζονται στην εφαρμογή και αποτελεσματικότητα των δεδομένων από μηνύματα [3].

Η συλλογή ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μετατροπή της περιβαλλοντικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια και η μεταφορά ενέργειας στα ασύρματα. Τα συστήματα συλλογής ενέργειας περιλαμβάνουν τις συσκευές συγκομιδής, τη διαχείριση της ενέργειας και τις στρατηγικές εξοικονόμησης ενέργειας. Πολλοί ερευνητές έχουν μελετήσει αυτό το θέμα διερευνώντας και άλλες περιβαλλοντικές ενέργειες όπως η ηλιακή, η αιολική, η ροή νερού, η δόνηση και η θερμική ενέργεια. Είναι προφανές ότι αυτές οι μελέτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναφορές όταν τα WSN εφαρμόζονται στον βιομηχανικό τομέα. Ο Πίνακας 6.2 συνοψίζει πιθανές πηγές ενέργειας για τη συλλογή με περισσότερες λεπτομέρειες [3].

Πίνακας 6.3: Συλλογές ενέργειας για WSN [3]

Harvesting-authors	Harvesting energy
Lee et al.	Solar
Azevedo and Santos	Wind, Water
Qiu et al.	Magneto – electric
Zhang et al.	Vibrations
Yen and Panda	Solar, Ambient light, Thermal energy
Miso et al,	Vibration, Piezo-electric

Σύμφωνα με το διαχωρισμό των απαιτήσεων του QoS των IWNs, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Longevity:

- Field Device Tool (FDT): IEC 62453-1:2016

Το πρότυπο Field Device Tool (FDT): IEC 62453-1:2016 παρέχει πληροφορίες για την ενσωμάτωση της στην τεχνολογία HART και καθορίζει υπηρεσίες επικοινωνίας με σκοπό την μακροζωία [59].

- 6LoWPAN

Το πρότυπο 6LoWPAN αφορά τις είναι συσκευές που χρειάζονται ασύρματη συνδεσιμότητα με πολλές άλλες συσκευές με χαμηλότερους ρυθμούς δεδομένων και με πολύ περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας με σκοπό την μακροζωία [90].

- RFC 7733

Χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου RFC 7733 είναι ότι μέσα σε ένα δίκτυο με δρομολογητή και πολλούς κόμβους, μπορεί να υπάρχουν οι αισθητήρες με μπαταρίες και ελεγκτές διαμορφωμένοι για να έρθουν σε επαφή με άλλους κόμβους σε συμβάντα και μετά να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση και να συνεχίσει την ίδια διαδικασία [94].

- RFC 7641

Το πρότυπο RFC 7641 ακολουθεί μια προσέγγιση βέλτιστης προσπάθειας για την αποστολή νέων συνεχώς συνδέσεων με πελάτες και παρέχει τελική κατάσταση που παρατηρείται από κάθε πελάτη και της πραγματικής κατάστασης πόρων ως προς τον διακομιστή [96].

- Profinet

Το Profinet είναι ένα βιομηχανικό τεχνικό πρότυπο για την συνεχόμενη επικοινωνία δεδομένων μέσω Industrial Ethernet, σχεδιασμένο για τη συλλογή δεδομένων από και τον έλεγχο εξοπλισμού σε βιομηχανικά συστήματα [108].

- ISA95

Το ISA95 είναι ένα διεθνές πρότυπο από τη Διεθνή Εταιρεία Αυτοματισμού για την ανάπτυξη μιας μόνιμης αυτοματοποιημένης διεπαφής μεταξύ επιχειρήσεων και συστημάτων ελέγχου [106].

- IEEE 802.16a-2003

Το πρότυπο IEEE 802.16a-2003 καθορίζει τη διεπαφή μεταξύ των σταθερών ευρυζωνικών συστημάτων ασύρματης πρόσβασης που παρέχουν πολλαπλές υπηρεσίες [73].

## 6.2.4 Security

Για ενσύρματα δίκτυα, ένας εισβολέας απαιτεί φυσική σύνδεση όταν προσπαθεί να χακάρει στο δίκτυο. Ωστόσο, τα ασύρματα δίκτυα έχουν υψηλότερη πιθανότητα εισβολής, ειδικά για ασύρματα δίκτυα που λειτουργούν εντός της ζώνης των Βιομηχανιών, των Επιστημών και της Ιατρικής (ISM). Επιπλέον, τα περισσότερα δημόσια ασύρματα και ενσύρματα δίκτυα συγχωνεύονται με τα IWN, για παράδειγμα το βιομηχανικό Wi-Fi και το αστικό Wi-Fi έχουν παρόμοια πρωτόκολλα [3].

Αυτή η συνεχής ενσωμάτωση αυξάνει την ευελιξία, την ευκολία, και την επεκτασιμότητα, ωστόσο εισάγει δυσμενείς κινδύνους για την ασφάλεια αλλά και για την Ιδιωτικότητα. Γενικά, τα IWSN είναι περισσότερο επιρρεπείς σε επιθέσεις ασφαλείας και διαρροές απορρήτου. Κατά συνέπεια, για την ασφάλεια και την προστασία της ιδιωτικής ζωής έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες για ασύρματα δίκτυα ή IWN.

Είναι προφανές ότι η ασφάλεια της ασύρματης δικτύωσης έχει γίνει σημαντικό θέμα τα τελευταία χρόνια. Επί πλέον, στο πλαίσιο IWN 4.0, στο διαδίκτυο ή σε άλλο δίκτυο επικοινωνίας χρησιμοποιείται για τη σύνδεση όλων των συσκευών ή ακόμα και των εξαρτημάτων. Τα IWN ανοιχτής πρόσβασης αντιμετωπίζουν και τις δύο παραδοσιακές απειλές για την ασφάλεια, καθώς και άλλες επιθέσεις από το internet, ειδικά για τα ασύρματα δίκτυα [3].

Αμυντικοί μηχανισμοί ερευνώνται εν συντομία και παρατίθενται στον Πίνακα 6.3. Ωστόσο, λόγω των διαφορών μεταξύ των ασύρματων και των ενσύρματων δικτύων και τις ειδικές απαιτήσεις τους στην βιομηχανική εφαρμογή, τα παραδοσιακά μέτρα ασφαλείας μπορούν να μην είναι κατάλληλα για IWN.

Για την αντιμετώπιση αυτών των αναδυόμενων προβλημάτων, έχουν αναπτυχθεί ορισμένες νέες στρατηγικές [3].

Πίνακας 6.4: Επιθέσεις και μέθοδοι κωδικοποίησης [3]

Attacks	Methods
Eavesdropping	Encryption and decryption technique
Denial of service	Random bac-offs
Node compromise	Code testing schemes
Selective forwarding	Multihop acknowledgments
Sybil attack	Link Layer encryption and authentication
Sinkhole and wormhole attacks	Unique symmetric shared key
Physical attack	Tamper-proof hardware

Υπάρχει πολύτιμη εμπειρία που πρέπει να ληφθεί από αυτές τις μελέτες του IWN, ωστόσο το βιομηχανικό περιβάλλον και οι συγκεκριμένες απαιτήσεις IWN δεν λαμβάνονται υπόψη από αυτές τις μελέτες και ως εκ τούτου υπάρχει απαίτηση για νέα ασφάλεια και νέες μεθόδους απορρήτου που θα προταθούν στο μέλλον [123].

Σύμφωνα με το διαχωρισμό των απαιτήσεων του QoS των IWNs, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Security:

- RFC 5673

Το πρότυπο RFC 5673 αφορά την ευρεία ανάπτυξη των ασύρματων συσκευών χαμηλού κόστους με σκοπό τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της ασφάλειας των βιομηχανικών εγκαταστάσεων [93].

- RFC 9175

Το πρότυπο RFC 9175 αφορά τα εξής: απαιτήσεις επεξεργασίας για Tokens πελατών, απαγόρευση μη ασφαλούς επαναχρησιμοποίησης των Tokens για τη διασφάλιση της δέσμευσης απόκρισης προς αίτημα όταν χρησιμοποιείται το CoAP με πρωτόκολλο ασφαλείας [98].

- NFC: ISO/IEC 13157-1:2010

Το πρότυπο NFC: ISO/IEC 13157-1:2010 έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για ασφάλεια για το πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων και τις κοινόχρηστες υπηρεσίες [20].

- IEC 61139-2:2022 PRV

Το πρότυπο IEC 61139-2:2022 PRV επιτρέπει επίσης τη μεταφορά παραμέτρων σε συσκευές και την παράδοση πληροφοριών με ασφάλεια αναγνώρισης και διάγνωσης από τις συσκευές σε συστήματα αυτοματισμού [55].

- IEC 61784-3-18:2011+AMD1:2016+AMD2:2021 CSV

Το πρότυπο IEC 61784-3-18:2011+A1:2016+A2:2021 καθορίζει ένα επίπεδο επικοινωνίας με αξιοπιστία και ασφάλεια [56].

- IEC 61784-5-17:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-17:2013 λειτουργεί για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου, σε βελτιωμένη έκδοση ασφάλειας [53].

- IEC 61784-5-19:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-19:2013 λειτουργεί για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου, σε βελτιωμένη έκδοση ασφάλειας, όλων των προηγούμενων [54].

- IEC 61784 Fieldbus

Το πρότυπο IEC 61784-3:2021 Fieldbus εξηγεί ορισμένες κοινές αρχές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μετάδοση μηνυμάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια μεταξύ των συμμετεχόντων σε ένα κατακεντρωμένο δίκτυο και χρησιμοποιούν την τεχνολογία fieldbus σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους για λειτουργική ασφάλεια [49].

- ISO/IEC 27033-6:2016

Το πρότυπο ISO/IEC 27033-6:2016 περιγράφει τις απειλές, τις απαιτήσεις ασφαλείας, τον έλεγχο ασφαλείας και τις τεχνικές σχεδιασμού που σχετίζονται με τα ασύρματα δίκτυα [27].

- ISO/IEC 29180:2012

Το πρότυπο ISO/IEC 29180:2012 περιγράφει τις απειλές ασφαλείας και τις απαιτήσεις ασφαλείας του πανταχού παρόντος δίκτυο αισθητήρων (USN). Επιπλέον, κατηγοριοποιεί τις τεχνολογίες ασφαλείας σύμφωνα με τις λειτουργίες ασφαλείας που ικανοποιούν τις εν λόγω απαιτήσεις ασφαλείας και όπου οι τεχνολογίες ασφαλείας εφαρμόζονται στο μοντέλο ασφαλείας του USN [28].

- ISA100.11a

Το πρότυπο ISA100.11a ασχολείται με αξιοπιστία στα ασύρματα συστήματα κατασκευής και ελέγχου στον τομέα της τεχνολογίας και του κύκλου ζωής για τον ασύρματο εξοπλισμό και τα συστήματα [99].

- IEC 62443-2-1:2010

Το πρότυπο IEC 62443-2-1:2010 ορίζει τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης ασφαλείας στον κυβερνοχώρο (CSMS) για συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού και ελέγχου (IACS) και παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξης αυτών των στοιχείων [60].

- RFC 8613

Το πρότυπο RFC 8613 ορίζει την ασφάλεια ενός αντικειμένου για περιορισμένη περιβάλλοντα (OSCORE), για περιορισμένους κόμβους και δίκτυα και υποστηρίζουν διαφορετικά πρωτόκολλα μεταφοράς [97].

- ISO/IEC/IEEE 21450:2010

Το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 21450:2010 καθορίζει τις λειτουργίες που πρέπει να εκτελούνται και τα κοινά χαρακτηριστικά για όλες τις συσκευές που εφαρμόζονται από την μονάδα διασύνδεσης μετατροπέα (TIM) με σκοπό την ασφάλεια [26].

- IEEE 802.11y-2008

Το πρότυπο IEEE 802.11y-2008 επιτρέπει στον εξοπλισμό μεταφοράς δεδομένων να λειτουργεί σε κύρια βάση στη ζώνη των 3650 έως 3700 MHz, εκτός εάν βρίσκεται κοντά σε έναν δορυφορικό σταθμό και επιτρέπεται μόνο ως αδειοδοτημένη ζώνη [84].

- IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996

Το πρότυπο IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996 καθορίζει την διεπαφή στο υπόστρωμα MAC και στο επίπεδο PHY [86].

- IEEE 802.10-1998

Το πρότυπο IEEE 802.10 παρέχει προδιαγραφές για ένα πρωτόκολλο ασφαλείας επιπέδου διαλειτουργικής ζεύξης δεδομένων και σχετικές με υπηρεσίες ασφαλείας [76].

- IEEE 802.1Qch-2017

Το πρότυπο IEEE 802.1Qch-2017 ορίζει το προφίλ δικτύωσης σε πραγματικό χρόνο με υπηρεσίες ασφαλείας για βιομηχανικούς αυτοματισμούς [65].

### 6.2.5 Privacy

Για την διατήρηση του απορρήτου εντός του πλαισίου Industry 4.0, οι επιχειρήσεις μπορούν να παρέχουν εξατομικευμένες υπηρεσίες και προϊόντα που χρησιμοποιούν η δημόσια εξόρυξη δεδομένων και η τεχνητή νοημοσύνη. Τα προσωπικά δεδομένα και πληροφορίες των ατόμων θα συλλέγονται και θα ανεβαίνουν στο cloud από υβριδικά δίκτυα. Αυτές οι πληροφορίες μπορεί να ανταλλάσσονται μεταξύ διαφορετικών έξυπνων συσκευών, εργαζομένων και ούτω καθεξής [3].

Ως εκ τούτου, η διατήρηση της ιδιωτικής ζωής είναι ακόμη μεγαλύτερη πρόκληση σε αυτή την κατάσταση. Επιπλέον, οι προσεγγίσεις διατήρησης της ιδιωτικής ζωής, εφαρμόζονται με μυστικότητα σε μεγάλη κλίμακα στα βιομηχανικά περιβάλλοντα. Η συντήρηση μπορεί συνήθως να χωριστεί σε δύο κατηγορίες: προστασία δεδομένων και περιβάλλοντος.

Η προστασία δεδομένων περιλαμβάνει συνολικά τα δεδομένα και μπορεί να αναζητήσει στα δεδομένα, ενώ παράλληλα η προστασία που υπάρχει στο περιβάλλον επικεντρώνεται στην προστασία των πληροφοριών, όπως π.χ για την τοποθεσία, τον χρόνο και την μετάδοση πληροφοριών σε δίκτυα WSN.

Για την προστασία του απορρήτου, τον έλεγχο της πρόσβασης και τον έλεγχο της ταυτότητας παίζει σημαντικό ρόλο η προστασία της ασφαλείας στα ευαίσθητα δεδομένα αισθητήρων από κακόβουλη χρήση από τους ίδιους τους χρήστες.

Σύμφωνα με το διαχωρισμό των απαιτήσεων του QoS των IWNs, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο Privacy:

- OPC UA: IEC 62541

Στο πρότυπο OPC UA: IEC 62541, ο πελάτης αποφασίζει πότε και ποια δεδομένα ανακτά ο διακομιστής από τα υποκείμενα συστήματα λόγω απορρήτου [57].

- RPL: RFC 6550

Το πρότυπο RPL: RFC 6550, RPL έχει σχεδιαστεί για να μπορεί να λειτουργεί σε μια ποικιλία διαφορετικών συνδέσεων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που είναι περιορισμένα, δυνητικά με απώλειες ή τυπικά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με υψηλό περιορισμό ή ακόμα και σε συσκευές δρομολόγησης [91].

- Mqtt Protocol

Το πρότυπο MQTT είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων για το Internet of Things (IoT). Το πρωτόκολλο είναι ένα σύνολο κανόνων που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές IoT μπορούν να δημοσιεύουν και να εγγραφούν σε δεδομένα μέσω του Διαδικτύου [102].

- Coap: RFC 7252

Το πρότυπο Coap: RFC 7252 αφορά την αλληλεπίδραση αιτήματος/απόκρισης μεταξύ των τελικών σημείων εφαρμογής, υποστηρίζει την ενσωματωμένη ανακάλυψη υπηρεσιών και πόρων και περιλαμβάνει βασικές έννοιες του Ιστού, όπως URI και τύπους μέσω Διαδικτύου. Το CoAP έχει σχεδιαστεί για εύκολη διασύνδεση με το HTTP για σύνδεση με τον Ιστό, ενώ πληροί εξειδικευμένες απαιτήσεις όπως υποστήριξη πολλαπλής μετάδοσης, πολύ χαμηλή επιβάρυνση και απλότητα σε περιβάλλοντα περιορισμού [92].

- IEEE 802.15.8-2017

Ο σκοπός του προτύπου IEEE 802.15.8-2017 είναι η παροχή ενός παγκόσμιου προτύπου για επεκτάσιμες, χαμηλής ισχύος, αξιόπιστες και απόρρητες ασύρματες επικοινωνίες [82].

- IEEE 802.1Qay-2009

Το πρότυπο IEEE 802.1Qay-2009 προσαρμόζει την τεχνολογία Ethernet σε δίκτυα μεταφορών κατηγορίας βιομηχανικών αυτοματισμών [85].

- IEEE 802.1AS-2011

Το πρότυπο IEEE 802.1AS-2011 ορίζει ένα πρωτόκολλο και τις διαδικασίες του για τη μεταφορά με βάση το απόρρητο σε πραγματικό χρόνο σε εικονικά τοπικά δίκτυα [62].

- IEEE 802.11Qbv-2015

Το πρότυπο IEEE 802.11Qbv-2015 ορίζει το προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο και με χρήση ελέγχου πρόσβασης λόγω απορρήτου για βιομηχανικούς αυτοματισμούς [63].

- IEEE 802.11Qci-2017

Το πρότυπο IEEE 802.11Qci-2017 ορίζει το προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο και με χρήση ελέγχου πρόσβασης λόγω απορρήτου για βιομηχανικούς αυτοματισμούς [66].

- IEEE 802.11Qcc-2018

Το πρότυπο IEEE 802.11Qcc-2018 ορίζει το προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο και με χρήση ελέγχου πρόσβασης λόγω απορρήτου για βιομηχανικούς αυτοματισμούς [64].

### 6.3 QoD των IWNs

Η ποιότητα των δεδομένων είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τα ενσύρματα δίκτυα, ειδικά για το διαδίκτυο. Ωστόσο, δεδομένου ότι τα περισσότερα στοιχεία στα παραδοσιακά IWN συλλέγονται για την επίλυση ειδικών προβλημάτων, παρακολουθούνται οι παράμετροι και παρέχονται οδηγίες. Το συνολικό σύστημα δεν απαιτεί υψηλή ποιότητα δεδομένων ή πληροφορίες. Ωστόσο, για το Industry 4.0, σχεδόν κάθε ροή εργασίας βασίζεται σε δεδομένα υψηλής ποιότητας και ακρίβεια στις πληροφορίες και τα δεδομένα αποτελούν το πρωταρχικό συστατικό του βιομηχανικού συστήματος που λειτουργεί με επιτυχία [3].

Στην πραγματικότητα στα έξυπνα εργοστάσια και στα συστήματα που χρησιμοποιούν το Industry 4.0, μπορεί να ληφθεί υπόψη ότι η κάθε συσκευή, ο εργαζόμενος και το κάθε κομμάτι του εξοπλισμού, ώστε να είναι πελάτης δεδομένων και όλες οι λειτουργίες να υποστηρίζονται από το βιομηχανικό cloud και η μηχανή εξόρυξης των δεδομένων παρέχει την υψηλότερη παραγωγικότητα.

Από την οπτική γωνία του χρήστη, τα δεδομένα του IWN θα πρέπει να έχουν εγγυημένη εγκυρότητα, ακρίβεια, αξιοπιστία και ακεραιότητα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.3. Επομένως, παρακάτω θα αναλυθούν αυτά τα χαρακτηριστικά δεδομένων και θα αναφερθούν ορισμένοι δείκτες ποιότητας δεδομένων [3].



Σχήμα 6.3: QoD των IWNs [3]

#### 6.3.1 Validity

Ως τεχνολογίες σε cloud και σε επικοινωνία (όπως 3G και internet) γίνονται πιο ευρέως διαθέσιμα, όλο και παράγονται περισσότερα δεδομένα. Η μονάδα ποσότητας δεδομένων αυξάνεται από MB σε GB και TB σε PB. Εμπειρογνώμονες, χρήστες και ερευνητές αντιμετωπίζουν το οξύ πρόβλημα του τρόπου ανάκτησης τις χρήσιμες πληροφορίες από τον τεράστιο όγκο των δεδομένων.

Ο κλάδος 4.0, τα εργοστάσια, οι χρήστες, οι συσκευές και τα IWN αντιμετωπίζουν και αυτοί τα ίδια ζητήματα μεγάλων δεδομένων. Αυτή η τεράστια ποσότητα δεδομένων θα έχει αρκετές επιπτώσεις. Πρώτον, η αύξηση του όγκου δεδομένων θα καταστήσει πιο δύσκολη την εξόρυξη έγκυρων πληροφοριών. Δεύτερον, τα τεράστια δεδομένα θα οδηγήσουν σε μεγάλο φόρτο κυκλοφορίας για τα

IWN. Και τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, απαιτεί περισσότερους πόρους για να είναι αποκλειστικά για την αποθήκευση, την ανάλυση και την συντήρηση αυτού του τεράστιου όγκου δεδομένων.

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, θα πρέπει να υπάρχει βελτίωση και να βρεθεί μια αποτελεσματική λύση στην εγκυρότητα δεδομένων. Τα IWN μπορούν να συνειδητοποιήσουν αυτό με την εισαγωγή βελτιώσεων στα επίπεδα. Πρώτα, η εγκυρότητα της συλλογής δεδομένων απαιτεί βελτίωση στο φυσικό στρώμα στη συγκέντρωση. Δεύτερον, για την έγκυρη απόκτηση δεδομένων, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η συγχώνευση δεδομένων, όπως ο καθορισμός έγκυρων περιορισμών δεδομένων. Τέλος, η εγκυρότητα των δεδομένων επηρεάζει άμεσα και την απόδοση των IWN.

Έτσι, πιο έγκυρες πληροφορίες μπορούν να ληφθούν από το στρώμα εφαρμογής όπως μέσα σε βιομηχανικά σύννεφα, όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται και υπολογίζονται χρησιμοποιώντας βελτιστοποιημένους αλγόριθμους [3].

### 6.3.2 Accuracy

Η ακρίβεια είναι ένας σημαντικός δείκτης της ποιότητας των δεδομένων. Στο βιομηχανικό τομέα, η ακρίβεια των δεδομένων σχετίζεται άμεσα με την ακρίβεια της ροής εργασιών των μηχανημάτων και του εξοπλισμού, όπως η συναρμολόγηση, η παραγωγή, η εφοδιαστική και άλλοι.

Επιπλέον, η ακρίβεια των δεδομένων μπορεί να έχει αντίκτυπο στην ποιότητα των προϊόντων, την αποδοτικότητα της παραγωγής και τα οικονομικά κέρδη. Σε ένα IWN, το πλαίσιο μπορεί να περιλαμβάνει ζωτικής σημασίας πληροφορίες σχετικά με τα ίδια τα δεδομένα όπως η ώρα, ο αριθμός των hop, οι γείτονες και τα κρυφά σφάλματα του συστήματος μπορεί να βρεθούν κατά την εξόρυξη των δεδομένων [3].

### 6.3.3 Reliability

Η αξιοπιστία είναι ένας διαφορετικός αλλά όχι λιγότερο σημαντικός δείκτης δεδομένων που αξιολογεί τη σταθερότητα και τη συνέπεια των αποτελεσμάτων του συστήματος ή του εξοπλισμού. Η αξιοπιστία των δεδομένων μπορεί να αντικατοπτρίζει την απόδοση ολόκληρου του συστήματος, ιδιαίτερα των IWN και τις βιομηχανικές υπηρεσίες cloud. Στα IWN, η παράδοση των αξιόπιστων δεδομένων είναι ευαίσθητη στην κινητή και δυναμική στην τοπολογία.

Η ασταθής ροή δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία σύνδεσης ή σε ένα πακέτο λάθος. Επομένως, η αξιοπιστία στα πρωτόκολλα δρομολόγησης και μεταφοράς, θα συμβάλει στην αξιοπιστία των δεδομένων που απηχούν στο QoS των IWN. Οι αποτελεσματικές στρατηγικές θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις επιπτώσεις στη συλλογή δεδομένων, στο επίπεδο δρομολόγησης και στον έλεγχο συμφόρησης.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αξιοπιστία των δεδομένων επηρεάζει το σύνολο της αρχιτεκτονικής του συστήματος, από το φυσικό επίπεδο στο επίπεδο εφαρμογής και μπορεί να συνταχθεί το συμπέρασμα ότι τα αξιόπιστα δεδομένα όχι μόνο εξαρτάται από την αξιόπιστη μεταφορά και την συλλογή, αλλά εξαρτώνται επίσης από τον υπολογισμό και την ανάλυση των αποτελεσμάτων από το ίδιο το cloud. Πολλοί χρήστες των IWN, όπως και οι εργάτες, ασχολούνται με κάποιο είδος συναγερμών και στα αυτοματοποιημένα βήματα παραγωγής και βασίζονται στην ανάλυση των

αποτελεσμάτων από τα ανεπεξέργαστα δεδομένα. Μπορεί κάποια αποτυχία του συστήματος ανάλυσης, να προκαλέσουν απροσδόκητες καταστάσεις για ολόκληρο το εργοστάσιο [3].

### 6.3.4 Integrity

Για εφαρμογές Industry 4.0 και IWN, είναι εύκολο να αποκτηθούν ελλιπή δεδομένα λόγω σφάλματος ή απώλειας πακέτου, αποτυχία μεταφοράς και περιορισμοί δεδομένων, ιδίως σε συστήματα πολλαπλών αντικειμένων και σε δίκτυα μεγάλης κλίμακας. Είναι γνωστό ότι τα ελλιπή δεδομένα μπορεί να είναι επιβλαβή για τον κλάδο 4.0 και το έξυπνο εργοστάσιο. Ωστόσο, πολλές μελέτες των IWNs, στα βιομηχανικά σύννεφα και στις εφαρμογές αναλαμβάνονται με βάση τα πλήρη δεδομένα, ώστε οι μηχανικοί να μην πρέπει να αντιμετωπίσουν τα ελλιπή στοιχεία.

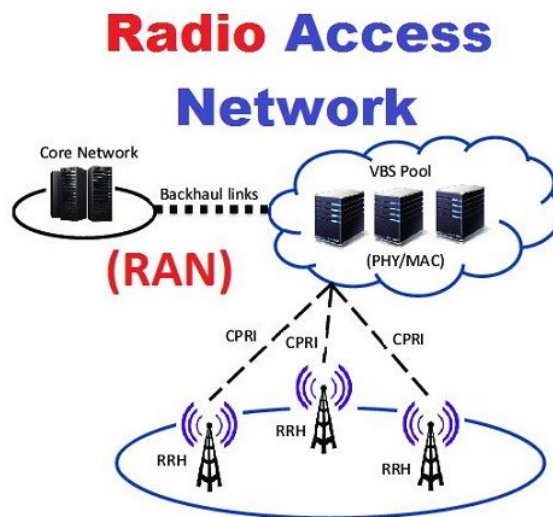
Η ακεραιότητα των δεδομένων είναι βασικός ερευνητικός τομέας του Industry 4.0 και των IWN. Οι τέσσερις δείκτες που περιγράφονται παραπάνω της ακεραιότητας, της αξιοπιστίας, της ακρίβεια και της εγκυρότητας συνδέονται στενά μεταξύ τους. Ωστόσο, η εγκυρότητα μπορεί να θεωρηθεί ως ο πιο σημαντικός δείκτης και εξαρτάται και από τα άλλα τρία μέτρα [3].

## Κεφάλαιο 7ο: Διαχωρισμός με βάση το Radio Access Network (RAN) και το Core Network (CORE)

### 7.1 Τι είναι ένα Δίκτυο Πρόσβασης RAN

Το δίκτυο Radio Access Network (RAN) είναι το μέρος ενός συστήματος επικοινωνιών που παραδοσιακά συνδέει τις συσκευές με τη δυνατότητα της κινητής τηλεφωνίας (π.χ. 4G LTE, 5G) σε δημόσιο ή/και ιδιωτικό κεντρικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας μέσω ενός υπάρχοντος κορμού δικτύου [124].

Συγκεκριμένα, τα κινητά τηλέφωνα και άλλες συσκευές στέλνουν και λαμβάνουν σήματα από τους πομποδέκτες του δικτύου RAN για σύνδεση στο κεντρικό δίκτυο, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1: Παρουσίαση δικτύου Πρόσβασης RAN [124]

### 7.2 Τύποι δικτύων RAN

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι δικτύων RAN, κυρίως GRAN, GERAN, UTRAN και E-UTRAN. Υπάρχουν επίσης μερικοί άλλοι τύποι, όπως CRAN, VRAN και ORAN. Παρακάτω αναλύονται ο κάθε τύπος ξεχωριστά:

- GRAN: Δίκτυο πρόσβασης GSM

Το Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών (GSM) είναι μια από τις αρχαιότερες τεχνολογίες που παρατηρήθηκαν στα RAN και εισήχθη για πρώτη φορά για πρωτόκολλα στα κυψελωτά δίκτυα δεύτερης γενιάς 2G. Αφού πρωτοεμφανίστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990, έγινε γρήγορα παγκόσμιο πρότυπο μέχρι το 2010 με τη μαζική υιοθέτηση των τεχνολογιών 2G.

- GERAN: Δίκτυο πρόσβασης GSM EDGE

Αυτό το πρότυπο δικτύου χρησιμοποιεί την τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) που συμβάλλει στη βελτίωση της μετάδοσης δεδομένων και λειτουργεί ως μια συμβατή προσθήκη στο τυπικό GSM. Η τεχνολογία EDGE χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε δίκτυα GSM το 2003 και προσφέρει τριπλάσια χωρητικότητα και απόδοση σε σύγκριση με μόνο το GSM/GPRS.

- UTRAN: Επίγειο Δίκτυο UMTS

Αυτή είναι μια μορφή RAN που είναι υπεύθυνη για τη σύνδεση του εξοπλισμού χρήστη (UE) στο κεντρικό δίκτυο. Το δίκτυο αποτελείται από σταθμούς βάσης και ελεγκτές δικτύου ραδιοφώνου που λαμβάνουν το σήμα μιας κυψελοειδούς συσκευής και επεξεργάζονται στο κεντρικό δίκτυο. Η τεχνολογία πίσω από τα UMTS RAN είναι ευρύτερα γνωστή ως 3G στο κοινό και ήταν η πρώτη μορφή RAN που έκανε δυνατή την πρώτη γενιά smartphone.

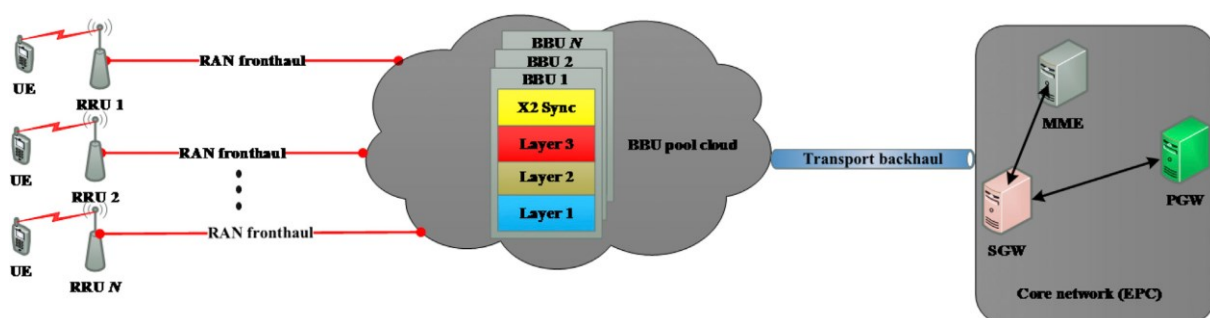
- E-UTRAN: Δίκτυο LTE UMTS

Αυτό το RAN ήταν η επόμενη εξέλιξη του UTRAN που κυκλοφόρησε ένα νέο σύστημα διεπαφής αέρα που θα μπορούσε να παρέχει καλύτερους ρυθμούς δεδομένων, χαμηλότερη καθυστέρηση, αλλά το πιο σημαντικό ήταν βελτιστοποιημένο για δεδομένα πακέτων. Αυτή η μορφή RAN άρχισε επίσης να χρησιμοποιεί ψηφιακή διαμόρφωση OFDMA η οποία βοήθησε δραματικά στη μείωση των παρεμβολών.

- CRAN: Κεντρικό RAN

Μερικές φορές αναφέρεται ως Cloud-RAN, αυτός ο τύπος αρχιτεκτονικής RAN χρησιμοποιεί το cloud Computing ως τον πυρήνα του δικτύου του και την επεξεργασία δεδομένων για σήματα κινητής τηλεφωνίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.2. Τα CRAN εκμεταλλεύονται διαφορετικούς τύπους νέων τεχνολογιών όπως το πρότυπο CPRI, το οποίο δίνει στα CRAN τη δυνατότητα να εκπέμπουν αξιόπιστα σε μεγάλες αποστάσεις από μια κεντρική ανάπτυξη πύργου.

Ειδικότερα, το CRAN χρησιμοποιεί επίσης οπτικοποίηση σε πραγματικό χρόνο για δυναμική κατανομή των κοινόχρηστων πόρων και υποστήριξη περιβαλλόντων πολλών χρηστών. Το CRAN ήταν το πρώτο RAN που χρησιμοποίησε την υποδομή του υπολογιστικού νέφους και της πληροφορικής για να παρέχει βελτιωμένη κυψελοειδές κάλυψη, χωρητικότητα και αξιοπιστία.



Σχήμα 7.2: Παρουσίαση δικτύου πρόσβασης C-RAN [124]

- VRAN: Εικονικό RAN

Τα VRAN αξιοποιούν περαιτέρω την εικονικοποίηση που παρατηρείται στα CRAN για να υποστηρίξουν την εξέλιξη στην τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας, ειδικά στο 5G. Αυτή η εικονικοποίηση βοηθά στην άρση των περιορισμών υλικού στα RAN και επιτρέπει καλύτερη διαλειτουργικότητα και επικοινωνία μεταξύ συσκευών και δικτύων πολλών χρηστών.

Τα VRAN βοηθάνε ολόκληρο το δίκτυο καθώς όλοι οι προμηθευτές είναι σε θέση να επικοινωνούν και να προσαρμόζουν τους πόρους κινητής τηλεφωνίας για να βελτιώσουν την εμπειρία του χρήστη καθώς τα σήματα μεταδίδονται.

- ORAN: Ανοιχτό δίκτυο πρόσβασης ραδιοφώνου (Open RAN)

Το ORAN ή το Open RAN είναι μια αρχιτεκτονική καθώς και ένας οργανισμός που εργάζεται για τη βελτίωση των RAN μέσω της διάσπασης των στοιχείων ενός RAN, καθώς και της εγκατάστασής τους σε λογισμικό που βασίζεται σε τεχνολογίες ανοιχτού κώδικα και ανοιχτά πρότυπα.

Ένα ORAN επιδιώκει να χρησιμοποιήσει στοιχεία που καθορίζονται από λογισμικό που αναπτύσσονται σε τυπικούς διακομιστές για τη μείωση του κόστους και την αύξηση της ευελιξίας. Το 5G καθιστά το ORAN δυνατό για ιδιωτικά δίκτυα μεγάλης κλίμακας που εξυπηρετούν συσκευές IoT, αυτόνομα οχήματα και έξυπνες πόλεις.

### 7.3 Λειτουργία δικτύου RAN

Σε υψηλό επίπεδο, τα σύγχρονα δίκτυα RAN χρησιμοποιούν πομποδέκτες για τη σύνδεση συσκευών στο διαδίκτυο. Οι σταθμοί βάσης RAN που αποτελούν μέρος ενός δημόσιου δικτύου κινητής τηλεφωνίας συνδέονται μέσω καλωδίων οπτικών ινών, μικροκυμάτων ή άλλων μεθόδων και συγκεντρωτικών σημάτων προς αποστολή στο δημόσιο κεντρικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Αυτό αναφέρεται συχνά ως backhaul.

Τα πιο πρόσφατα RAN διαθέτουν συχνά έναν ελεγκτή που χρησιμοποιεί δικτύωση που καθορίζεται από λογισμικό (SDN) για τον έλεγχο της κάλυψης και της χωρητικότητας της κινητής συσκευής. Με την αξιοποίηση του λογισμικού και της εικονικοποίησης λειτουργιών δικτύου (NFV), αυτά τα σήματα μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία και να μεταδοθούν με την ταχύτητα και τη χωρητικότητα που απαιτείται για την υποστήριξη τεχνολογιών 5G και μελλοντικής γενιάς.

Η χρήση χωριστών επιπέδων ελέγχου, δεδομένων και διαχείρισης θα είναι το κλειδί για τα σύγχρονα RAN στο μέλλον. Αυτός ο διαχωρισμός επιτρέπει βελτιωμένο απόρρητο και ασφάλεια, καθώς και λειτουργίες για αξιόπιστη ασύρματη επικοινωνία 5G.

Αυτά τα RAN δίνουν στους φορείς εκμετάλλευσης δικτύων κινητής τηλεφωνίας (MNO) και στις επιχειρήσεις που χρησιμοποιούν ιδιωτικό LTE ή ιδιωτικό 5G τη δυνατότητα να ενεργοποιούν τον τεμαχισμό του δικτύου, κάτι που επιτρέπει σε έναν MNO να παραχωρεί χωρητικότητα σε μεμονωμένες τοποθεσίες επιχειρήσεων όταν διαχωρίζει τη χρήση σε ένα δημόσιο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

Στον πυρήνα της, η αρχιτεκτονική RAN απλώς συνδέει συσκευές με άλλα μέρη ενός δικτύου χρησιμοποιώντας σήματα. Στα σύγχρονα RAN αυτά τα σήματα εισάγονται στο κεντρικό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας και εκχωρούνται από έναν ελεγκτή RAN [125].

### 7.4 Radio Access Technologies

Ένας βασικός τρόπος για την ενοποίηση του 5GS και του IEEE TSN είναι η επαναχρησιμοποίηση του πλαισίου URLLC του 5G New Radio (5G NR). Δίνει τη δυνατότητα να υπάρχουν ελάχιστες

καθυστερήσεις μονής κατεύθυνσης της τάξης των 0,5-1 ms στο RAN ανάλογα με τη διαμόρφωση PHY και μία μεγάλη εγγύηση της αξιοπιστίας σε επίπεδα 99,9999% διατηρώντας παράλληλα τη λανθάνουσα κατάσταση κάτω από 1 ms.

Το RAN είναι χαμηλό και η καθυστέρηση του βασικού δικτύου είναι αμελητέα, όπως και η απόδοση είναι επαρκής για να καλύψει πολλές από τις περιπτώσεις χρήσης και απαιτήσεις που περιγράφονται στον Πίνακα 7.1. Ένα πλεονέκτημα του TSN, σε σύγκριση με τις συμβατικές περιπτώσεις χρήσης URLLC, είναι ότι οι άκρως προγραμματισμένες κινήσεις TSN διευκολύνουν τη κράτηση πόρων και τα πρωτόκολλα πρόσβασης βελτιστοποιούνται για καθυστέρηση του συστήματος [125].

Πίνακας 7.1: Απαιτήσεις Industry 4.0 για περιοδικά μηνύματα [125]

Requirements	Use Case Class (UCC)		
	UCC A	UCC B	UCC B
Service availability	99,9 - 99,9999%	99,99 - 99,999999%	99,9999 - 99,999999%
E2E latency	10 ms – 1 min	1 – 100 ms	0.25 – 5 ms
Synchronicity	0.5 ms – 0.5 s	10 μs – 50 ms	0.25 μs – 1 ms
Message Size	40 B – 10 MB	20 B – 250 B	20 B – 1000 B
Transfer Interval	20 ms – 1 day	1 – 500 ms	<0.5 – 10 ms

Ωστόσο, υπάρχουν διάφορες προκλήσεις που σχετίζονται με το RAN, που πρέπει να αντιμετωπιστούν για αποτελεσματική υποστήριξη TSN. Πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη στην αλληλεπίδραση CP με το TSN CNC, δηλαδή ως μέρος της ανεξάρτητης καθυστέρησης σε μήκος πακέτου. Η πραγματική απόδοση του, όσον αφορά την καθυστέρηση, την αξιοπιστία και τη χωρητικότητα εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες.

Σύμφωνα με όλες τις παραπάνω πληροφορίες από τις προηγούμενες υποενότητες που αφορούν το δίκτυο RAN, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο συγκεκριμένο δίκτυο:

- NFC: ISO/IEC 13157-1:2010

Το πρότυπο NFC: ISO/IEC 13157-1:2010 έχει σχεδιαστεί αποκλειστικά για το πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων. Επίσης, καθορίζει το ασφαλές κανάλι και τις κοινόχρηστες υπηρεσίες και τις μονάδες δεδομένων για αυτές τις υπηρεσίες [20].

- WirelessHart: IEC 62591

Το πρότυπο WirelessHart: IEC 62591 καθορίζει ένα ασύρματο δίκτυο έχοντας τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: τον ορισμό υπηρεσίας φυσικού επιπέδου και την προδιαγραφή του πρωτοκόλλου, την υπηρεσία και το πρωτόκολλο επιπέδου σύνδεσης δεδομένων, την υπηρεσία και το πρωτόκολλο επιπέδου της εφαρμογής, την διαχείριση του δικτύου, την ασφάλεια, το προφίλ επικοινωνίας και τις ασύρματες διαδικασίες [38].

- WI-PA: IEC 62601

Το πρότυπο IEC 62601 καθορίζει το δίκτυο WI-PA. Το δίκτυο WI-PA αποτελείται από ασύρματες πύλες και ασύρματα όργανα. Τα ασύρματα όργανα ως κόμβοι αισθητήρων δίνουν το σήμα από τη

διαδικασία επεξεργασίας και μεταδίδουν τα πακέτα δεδομένων στην πύλη χρησιμοποιώντας το ασύρματο δίκτυο πλέγματος WI-PA [41].

- AMQP: ISO/IEC 19464:2014

Το πρότυπο AMQP: ISO/IEC 19464:2014 είναι ένα δυαδικό πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής, σχεδιασμένο να υποστηρίζει αποτελεσματικά μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών ανταλλαγής μηνυμάτων και μοτίβων επικοινωνίας. Παρέχει επικοινωνία ελεγχόμενης ροής, προσανατολισμένη στο μήνυμα με εγγυήσεις παράδοσης μηνυμάτων. Η προδιαγραφή του AMQP ορίζεται σε πολλά επίπεδα: (i) ένα σύστημα τύπου, (ii) ένα συμμετρικό, ασύγχρονο πρωτόκολλο για τη μεταφορά μηνυμάτων από τη μια διαδικασία στην άλλη, (iii) μια τυπική, επεκτάσιμη μορφή μηνύματος και (iv) ένα σύνολο τυποποιημένων αλλά επεκτάσιμων «δυνατοτήτων ανταλλαγής μηνυμάτων» [23].

- IEC 61131-2:2017

Το πρότυπο IEC 61131-2:2017 καθορίζει λειτουργικές και ηλεκτρομαγνητικές απαιτήσεις συμβατότητας και σχετικές δοκιμές επαλήθευσης για κάθε προϊόν όπου ο πρωταρχικός σκοπός είναι η εκτέλεση της λειτουργίας βιομηχανικού εξοπλισμού ελέγχου από 2,7 GHz σε 6 GHz για διαμορφωμένη ανοσία ηλεκτρομαγνητικού πλάτους ραδιοσυχνοτήτων [42].

- IEC 62657-1

Το πρότυπο IEC 62657-1 παρέχει τις απαιτήσεις ασύρματης επικοινωνίας που ενημερώνονται από τις εφαρμογές των συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας στον βιομηχανικό αυτοματισμό και τις απαιτήσεις σε δείκτες απόδοσης και μέτρησής [44].

- IEC White Paper IoT: WSN:2014

Το πρότυπο IEC White Paper IoT: WSN:2014 βοηθά στη χρήση και στην εξέλιξη των WSN στο ευρύτερο πλαίσιο του IoT. Παρέχει μια ανασκόπηση των εφαρμογών WSN, των τεχνολογιών υποδομών, των εφαρμογών καθώς και των προτύπων που ισχύουν για τα σχέδια WSN [45].

- EtherCAT: IEC 61158

Το πρότυπο EtherCAT: IEC 61158, η ασύρματη τεχνολογία Industrial Ethernet που εφευρέθηκε από τον Beckhoff, κάνει τα μηχανήματα και τα συστήματα πιο γρήγορα, απλούστερα και πιο οικονομικά [46].

- IEC 61784 Fieldbus

Το πρότυπο IEC 61784-3:2021 Fieldbus εξηγεί ορισμένες κοινές αρχές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μετάδοση μηνυμάτων που σχετίζονται με την ασφάλεια μεταξύ των συμμετεχόντων σε ένα κατακευματισμένο δίκτυο και χρησιμοποιούν την τεχνολογία fieldbus σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους για λειτουργική ασφάλεια. Βασίζεται στην προσέγγιση των καναλιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές όπως έλεγχος διεργασιών, αυτοματισμοί κατασκευής και μηχανήματα [49].

- IEC 61784-5-1:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-1:2013 καθορίζει τις βασικές απαιτήσεις για την εγκατάσταση μέσων σε δίκτυα επικοινωνίας σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις αυτοματισμού και βιομηχανικών χώρων. Αυτό το πρότυπο καλύπτει καλώδια και οπτικές ίνες. Καλύπτει επίσης την υποδομή καλωδίωσης για ασύρματα μέσα [50].

- IEC 61784-5-13:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-13:2013 καθορίζει τα προφίλ εγκατάστασης για το Ethernet POWERLINK σε βιομηχανικά δίκτυα επικοινωνίας. Επίσης, παράγεται για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου [51].

- IEC 61784-5-16:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-16:2013 καθορίζει τα προφίλ εγκατάστασης για το SERCOS. Επίσης, παράγεται για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου [52].

- IEC 61784-5-17:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-17:2013 καθορίζει τα προφίλ εγκατάστασης για το RAPIEnet. Επίσης, παράγεται για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου [53].

- IEC 61784-5-19:2013

Το πρότυπο IEC 61784-5-19:2013 καθορίζει τα προφίλ εγκατάστασης για MECHATROLINK. Επίσης, παράγεται για να διευκολύνει τη χρήση δικτύων επικοινωνίας σε συστήματα βιομηχανικού ελέγχου [54].

- ISO 23570-2:2005

Το πρότυπο ISO 23570-2:2005 καθορίζει τη διασύνδεση στοιχείων στο σύστημα ελέγχου εργαλειομηχανών σε συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού. Επίσης, καθορίζει την καλωδίωση για τις επικοινωνίες fieldbus και την κατανομή ισχύος στις μονάδες σε αυτόν τον διάλογο επικοινωνιών [30].

- ISO 9506-1:2003

Το πρότυπο ISO 9506-1:2003 είναι μια προδιαγραφή επικοινωνίας επιπέδου εφαρμογής, σύμφωνα με το μοντέλο επικοινωνίας OSI. Παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών κατάλληλων για τις επικοινωνίες μεταξύ αυτοματοποιημένου εξοπλισμού και συστημάτων που τον διερευνούν ή τον ελέγχουν. Η περιγραφή των αλληλεπιδράσεων ακολουθεί το μοντέλο διακομιστή πελάτη. Είναι κατάλληλο για χρήση σε οποιοδήποτε δίκτυο που υποστηρίζει πλήρη αμφίδρομη, αξιόπιστη επικοινωνία, όπως το Διαδίκτυο [36].

- ISO 9506-2:2003

Το πρότυπο ISO 9506-2:2003 είναι μια προδιαγραφή επικοινωνίας επιπέδου εφαρμογής, σύμφωνα με το μοντέλο επικοινωνίας OSI. Παρέχει ένα σύνολο υπηρεσιών κατάλληλων για τις επικοινωνίες μεταξύ αυτοματοποιημένου εξοπλισμού και συστημάτων που τον διερευνούν ή τον ελέγχουν. Η περιγραφή των αλληλεπιδράσεων ακολουθεί το μοντέλο διακομιστή πελάτη. Είναι κατάλληλο για χρήση σε οποιοδήποτε δίκτυο που υποστηρίζει πλήρη αμφίδρομη, αξιόπιστη επικοινωνία, όπως το Διαδίκτυο [37].

- Profinet

Το πρότυπο Profinet υλοποιεί τη διασύνδεση με τις περιφερειακές συσκευές. Καθορίζει την επικοινωνία με περιφερειακές συσκευές συνδεδεμένες στο πεδίο. Επίσης, ορίζει ολόκληρη την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των ελεγκτών και των συσκευών, καθώς και τη ρύθμιση παραμέτρων

και τη διάγνωση. Οι ελεγκτές IO είναι συνήθως PLC , DCS ή IPC . ενώ οι συσκευές IO μπορούν να ποικίλλουν: μονάδες δίσκου, αισθητήρες ή ενεργοποιητές. Έχει σχεδιαστεί για τη γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών πεδίου που βασίζονται σε Ethernet και ακολουθεί το μοντέλο παρόχου-καταναλωτή [108].

- IEEE 802.11n-2009

Το IEEE 802.11n-2009 είναι ένα πρότυπο ασύρματης δικτύωσης που χρησιμοποιεί πολλαπλές κεραίες για να αυξήσει τους ρυθμούς δεδομένων. Υποστηρίζεται με αξιοπιστία για πολλαπλές εισόδους πολλαπλών εξόδων και βελτιώσεις ασφάλειας [78].

- MQTT Protocol

Το πρότυπο MQTT είναι ένα τυπικό πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων για το IoT. Έχει σχεδιαστεί ως ένα εξαιρετικά ελαφρύ μέσο μεταφοράς μηνυμάτων δημοσίευσης/συνδρομής που είναι ιδανικό για τη σύνδεση απομακρυσμένων συσκευών με ελάχιστο εύρος ζώνης δικτύου. Το MQTT χρησιμοποιείται σήμερα σε μια μεγάλη ποικιλία βιομηχανιών [102].

- ISO/IEC 27033-6:2016

Το πρότυπο ISO/IEC 27033-6:2016 θα βοηθήσει σημαντικά στον ολοκληρωμένο ορισμό και την εφαρμογή της ασφάλειας για το περιβάλλον ασύρματου δικτύου οποιουδήποτε οργανισμού. Απευθύνεται σε χρήστες, που είναι υπεύθυνοι για την εφαρμογή και τη συντήρηση των τεχνικών ελέγχων που είναι απαραίτητοι για την παροχή ασφαλών ασύρματων δικτύων [27].

- ISO/IEC 29180:2012

Το πρότυπο ISO/IEC 29180:2012 αφορά το δίκτυο αισθητήρων (USN) και αποτελείται από τρία μέρη: ένα δίκτυο αισθητήρων που αποτελείται από μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων, έναν σταθμό βάσης, που διασυνδέεται μεταξύ του δικτύου αισθητήρων και ενός διακομιστή εφαρμογών και τον διακομιστή εφαρμογών τον έλεγχο του κόμβου αισθητήρων στο δίκτυο αισθητήρων [28].

- ISO 22093:2003

Ο στόχος του ISO 22093:2003 είναι να παρέχει ένα πρότυπο για την αμφίδρομη επικοινωνία των δεδομένων επιθεώρησης μεταξύ συστημάτων υπολογιστών και εξοπλισμού [31].

- IEC 62443-2-1:2010

Το πρότυπο IEC 62443-2-1:2010 ορίζει τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης ασφάλειας στον κυβερνοχώρο (CSMS) για συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού και ελέγχου (IACS) και παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τον τρόπο ανάπτυξης αυτών των στοιχείων [60].

- ISO/IEC/IEEE 21450:2010

Το πρότυπο ISO/IEC/IEEE 21450:2010 καθορίζει τις λειτουργίες που πρέπει να εκτελούνται και τα κοινά χαρακτηριστικά για όλες τις συσκευές που εφαρμόζονται από την μονάδα διασύνδεσης μετατροπέα (TIM) [26].

- ISO 15745-5:2007

Το πρότυπο ISO 15745-5:2007 ορίζει τα ειδικά στοιχεία και τους κανόνες τεχνολογίας για την περιγραφή τόσο των προφίλ του δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την

επικοινωνία των προφίλ των συσκευών ειδικά για συστήματα ελέγχου που βασίζονται σε HDLC [32].

- ISO/TR 13283:1998

Το πρότυπο ISO/TR 13283:1998 προσδιορίζει τις απαιτήσεις των χρηστών σε συστήματα που υποστηρίζουν τα συστήματα επικοινωνιών στο χρόνο και στην διαχείριση του δικτύου που είναι ειδικά για την αρχιτεκτονική επικοινωνιών σε ομότιμες και πολλαπλές επικοινωνίες [29].

- ISO 15745-2:2003

Το πρότυπο ISO 15745-2:2003 ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ του δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των συσκευών ειδικά για τα συστήματα ελέγχου [33].

- ISO 15745-3:2003

Το πρότυπο ISO 15745-3:2003 ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ του δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των συσκευών ειδικά για τα συστήματα ελέγχου [34].

- ISO 15745-4:2003

Το πρότυπο ISO 15745-4:2003 ορίζει τα ειδικά τεχνολογικά στοιχεία και τους κανόνες για την περιγραφή τόσο των προφίλ του δικτύου επικοινωνίας όσο και των πτυχών που σχετίζονται με την επικοινωνία των συσκευών ειδικά για τα συστήματα ελέγχου, που βασίζονται σε Ethernet [35].

- IEEE 802.1AS-2011

Το πρότυπο IEEE 802.1AS-2011 ορίζει τα προφίλ δικτύωσης με ευαισθησία στο χρόνο για βιομηχανικούς αυτοματισμούς. Τα προφίλ επιλέγουν χαρακτηριστικά, επιλογές, διαμορφώσεις, προεπιλογές, πρωτόκολλα και διαδικασίες γεφυρών, τερματικών σταθμών και δικτύων LAN για τη δημιουργία δικτύων βιομηχανικού αυτοματισμού [62].

- IEEE 802.11Qbv-2015

Το πρότυπο IEEE 802.11Qbv-2015 καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο υποστηρίζεται η υπηρεσία ελέγχου πρόσβασης μέσω (MAC) από τα Γεφυρωμένα Δίκτυα, τις αρχές λειτουργίας αυτών των δικτύων και τη λειτουργία των Γεφυρών MAC και των Γεφυρών VLAN, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης, των πρωτοκόλλων και των αλγορίθμων [63].

- IEEE 802.11Qcc-2018

Το πρότυπο IEEE 802.11Qcc-2018 καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο υποστηρίζεται η υπηρεσία ελέγχου πρόσβασης μέσω (MAC) από τα Γεφυρωμένα Δίκτυα, τις αρχές λειτουργίας αυτών των δικτύων και τη λειτουργία των Γεφυρών MAC και των Γεφυρών VLAN, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης, των πρωτοκόλλων και των αλγορίθμων [64].

- IEEE 802.1Qch-2017

Το πρότυπο IEEE 802.1Qch-2017 καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο υποστηρίζεται η υπηρεσία ελέγχου πρόσβασης μέσω (MAC) από τα Γεφυρωμένα Δίκτυα, τις αρχές λειτουργίας αυτών των δικτύων και τη λειτουργία των Γεφυρών MAC και των Γεφυρών VLAN, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης, των πρωτοκόλλων και των αλγορίθμων [65].

- IEEE 802.11Qci-2017

Το πρότυπο IEEE 802.11Qci-2017 καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο υποστηρίζεται η υπηρεσία ελέγχου πρόσβασης μέσω (MAC) από τα Γεφυρωμένα Δίκτυα, τις αρχές λειτουργίας αυτών των δικτύων και τη λειτουργία των Γεφυρών MAC και των Γεφυρών VLAN, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης, των πρωτοκόλλων και των αλγορίθμων [66].

- IEEE 802.11a-1999

Το πρότυπο IEEE 802.11a-1999 είναι μια τροποποίηση των προδιαγραφών ασύρματου τοπικού δικτύου IEEE 802.11 που καθόριζε τις απαιτήσεις για ένα σύστημα επικοινωνίας πολυπλεξίας ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDM). Η χρήση της ζώνης των 5 GHz δίνει στο 802.11a σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς η ζώνη των 2,4 GHz είναι πολύ συνηθισμένη σε σημείο να είναι γεμάτη [67].

- IEEE 61158-2017

Το πρότυπο IEEE 61158-2017 είναι μια υιοθέτηση του Ethernet POWERLINK. Το Ethernet POWERLINK είναι ένα προφίλ επικοινωνίας για Ethernet σε πραγματικό χρόνο (RTE). Επεκτείνει το Ethernet σύμφωνα με το IEEE 802.3 με μηχανισμούς μεταφοράς δεδομένων με προβλέψιμο χρονισμό και ακριβή συγχρονισμό. Το προφίλ επικοινωνίας ικανοποιεί τις απαιτήσεις χρονισμού τυπικές για εφαρμογές αυτοματισμού και κίνησης υψηλής απόδοσης [69].

- IEEE P802.15.13

Το πρότυπο IEEE P802.15.13 ορίζει το πρωτόκολλο και τον συμβατό εξοπλισμό δικτύου για οπτικές ασύρματες επικοινωνίες και τη λειτουργία του ως οπτικό ασύρματο προσωπικό δίκτυο (OWPAN) που υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων πολλαπλών Gbit/s για ειδικές ασύρματες εφαρμογές [70].

- IEEE 802.1BA-2011

Το πρότυπο IEEE 802.1BA-2011 αφορά τις διαμορφώσεις και τις διαδικασίες γεφυρών, σταθμών και δικτύων LAN που είναι απαραίτητα στη δημιουργία δικτύων με σκοπό να είναι ικανά να μεταφέρουν ευαίσθητες στο χρόνο ροές δεδομένων ήχου ή ακόμα και βίντεο [71].

- IEEE 802.15.2-2003

Το πρότυπο IEEE 802.15.2-2003 περιγράφει με αξιοπιστία τους μηχανισμούς συνύπαρξης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διευκόλυνση της συνύπαρξης ασύρματων τοπικών δικτύων σε βιομηχανικό περιβάλλον [72].

- IEEE 802.16a-2003

Το πρότυπο IEEE 802.16a-2003 καθορίζει τη διεπαφή μεταξύ των σταθερών ευρυζωνικών συστημάτων ασύρματης πρόσβασης που παρέχουν πολλαπλές υπηρεσίες [73].

- IEEE 802.3-2018

Το πρότυπο IEEE 802.3-2018 αφορά την λειτουργία του τοπικού δικτύου Ethernet, το οποίο καθορίζεται για τις επιλεγμένες ταχύτητες λειτουργίας από 1 Mb/s έως 400 Gb/s, χρησιμοποιώντας μια κοινή βάση προδιαγραφών και διαχείρισης πληροφοριών ελέγχου πρόσβασης μέσω (MAC) [74].

- IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001

Ο σκοπός του προτύπου IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001 είναι ο καθορισμός ενός μέσου ελέγχου πρόσβασης (MAC) και πολλών φυσικών επιπέδων (PHY) προδιαγραφών για ασύρματη σύνδεση σε σταθερούς, φορητούς και κινούμενους σταθμούς (STAs) σε μια τοπική περιοχή. Υποστήριξη του Physical Layer υψηλότερου ρυθμού για λειτουργία στη ζώνη των 2,4 GHz [75].

- IEEE 802.10-1998

Το πρότυπο IEEE 802.10 αφορά τις λειτουργίες ασφαλείας που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε τοπικά δίκτυα όσο και σε δίκτυα ευρύτερων περιοχών που βασίζονται στα πρωτόκολλα IEEE 802. Επίσης, καθορίζει τη διαχείριση συσχετισμού ασφαλείας και τη διαχείριση κλειδιών, καθώς και τον έλεγχο πρόσβασης, την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα των δεδομένων για την υποστήριξη VLAN σε Ethernet [76].

- IEC 61139-2:2022 PRV

Το πρότυπο IEC 61139-2:2022 PRV επιτρέπει επίσης τη μεταφορά παραμέτρων σε συσκευές και την παράδοση πληροφοριών αναγνώρισης και διάγνωσης από τις συσκευές σε συστήματα αυτοματισμού [55].

- IEC 61784-3-18:2011+AMD1:2016+AMD2:2021 CSV

Το πρότυπο IEC 61784-3-18:2011+A1:2016+A2:2021 καθορίζει ένα επίπεδο επικοινωνίας με αξιοπιστία και ασφάλεια [56].

## 7.5 Τι είναι ένα Δίκτυο Πρόσβασης CORE

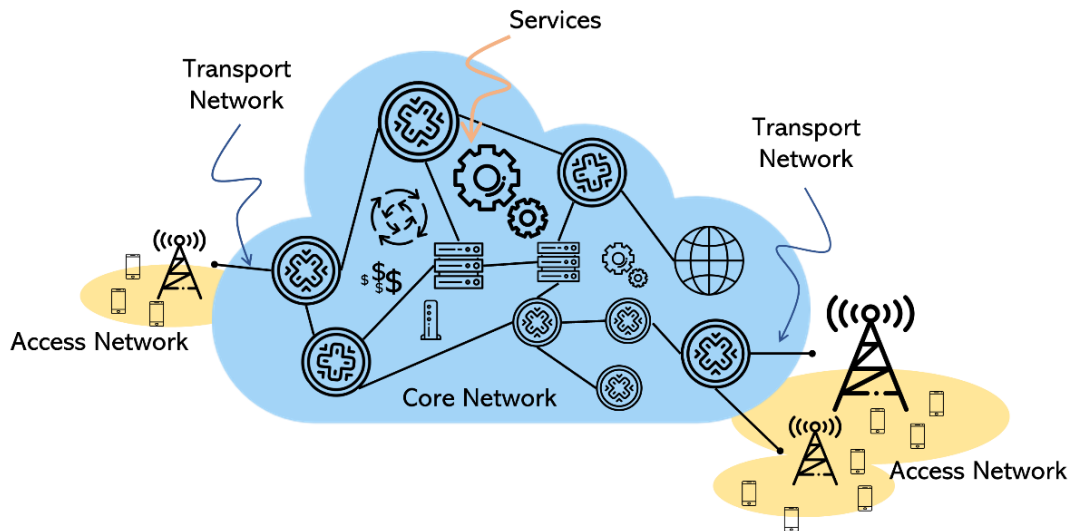
Στις τηλεπικοινωνίες, ένα κεντρικό δίκτυο - που ονομάζεται επίσης δίκτυο κορμού - είναι ένας κεντρικός αγωγός που έχει σχεδιαστεί για τη μεταφορά της κυκλοφορίας του δικτύου σε υψηλές ταχύτητες. Τα βασικά δίκτυα επικεντρώνονται στη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της αξιοπιστίας των επικοινωνιών δεδομένων μεγάλων αποστάσεων και μεγάλης κλίμακας. Συνδέουν συνολικά δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN) και τοπικά δίκτυα (LAN).

Ενώ τα βασικά δίκτυα παρέχουν μια πληθώρα υπηρεσιών, μια από τις βασικές λειτουργίες τους περιλαμβάνει τη δρομολόγηση τηλεφωνικών κλήσεων μέσω του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου μεταγωγής (PSTN). Συνήθως, ο όρος υποδηλώνει τις υψηλής λειτουργίας ευκολίες επικοινωνίας που διασυνδέουν τους κύριους κόμβους. Επιπλέον, το κεντρικό δίκτυο παρέχει διαδρομές για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών υποδικτύων. Ενώ ο όρος «backbone» χρησιμοποιείται συχνά σε λύσεις εταιρικών δικτύων και όχι σε κεντρικό δίκτυο, οι πάροχοι υπηρεσιών δικτύου χρησιμοποιούν ως επί το πλείστον τον όρο βασικό δίκτυο. Επιπλέον, στη μακροπρόθεσμη εξέλιξη 4G (LTE), τα δίκτυα είναι γνωστά ως εξελιγμένα πακέτα (EPC).

Οι συσκευές και οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για τα βασικά δίκτυα είναι γενικά μεταγωγείς και δρομολογητές, με τους πρώτους να χρησιμοποιούνται περισσότερο. Ο στόχος είναι να διατηρούνται οι βασικές συσκευές γρήγορες, αλλά όχι «smart» ειδικότερα, εξοπλίζοντας τις συσκευές με την ευφυΐα καθώς και τις ακραίες περιοχές του δικτύου.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τις εγκαταστάσεις του βασικού δικτύου περιλαμβάνουν κυρίως τεχνολογίες σύνδεσης δεδομένων και επιπέδου δικτύου, όπως IP, λειτουργία ασύγχρονης

μεταφοράς (ATM), πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP), σύγχρονη οπτική δικτύωση (SONET) και πολυπλεξία με διαίρεση πυκνού μήκους κύματος (DWDM). Επιπλέον, για δίκτυα κορμού επιχειρήσεων, χρησιμοποιούνται επίσης σε αρκετές περιπτώσεις τεχνολογίες GB Ethernet [126].



Σχήμα 7.3: Παρουσίαση δικτύου CORE [126]

## 7.6 Software Defined Networks (SDN)

Οι βασικοί τύποι δικτύων CORE είναι οι ακόλουθοι:

- Collapsed backbone

Σε ένα κατεστραμμένο δίκτυο κορμού, όλες οι τοποθεσίες διαθέτουν μια σύνδεση πίσω από ένα κεντρικό σημείο που συνδέεται με το συγκεκριμένο δίκτυο κορμού. Επίσης, μπορεί να είναι ένας δρομολογητής, ένας μεμονωμένος διακόπτης ή ένα σύμπλεγμα. Η αρχιτεκτονική και η τοπολογία είναι ένα δέντρο ή ένα αστέρι με ρίζες.

- Distributed backbone

Ένα κατανεμημένο δίκτυο κορμού περιέχει πολλαπλές συσκευές συνδεδεμένες σε μια σειρά κεντρικών συσκευών, συμπεριλαμβανομένων μεταγωγέων, διανομέων ή δρομολογητών, σε μια πυραμίδα. Αυτό το είδος τοπολογίας επιτρέπει μειωμένες δαπάνες κεφαλαίου και άμεση επέκταση για ανάπτυξη, καθώς μπορούν να προστεθούν περισσότερα επίπεδα συσκευών στα υπάρχοντα επίπεδα.

- Serial backbone

Ο σειριακός κορμός είναι ο απλούστερος τύπος δικτύου κορμού. Περιέχει τουλάχιστον δύο συσκευές που λειτουργούν στο Διαδίκτυο που συνδέονται μεταξύ τους με ένα μόνο καλώδιο σε στυλ μαργαρίτας.

Οι κόμβοι συνδέονται συχνά με αυτόν τον τρόπο για να επεκτείνουν ένα δίκτυο. Εκτός από τους διανομείς, οι δρομολογητές, οι πύλες, οι γέφυρες και οι μεταγωγείς αποτελούν επίσης μέρος του σειριακού δικτύου κορμού. Επιπλέον, ο σειριακός κορμός βρίσκει χρήση σε δίκτυα εταιρικού επιπέδου, παρόλο που σπάνια εκτελείται για αυτόν τον σκοπό.

- Parallel backbone

Ένα παράλληλο δίκτυο κορμού είναι μια έκδοση ενός collapse backbone που χρησιμοποιεί έναν κεντρικό κόμβο ή σημείο σύνδεσης, αν και επιτρέπει διπλότυπες συνδέσεις σε περίπτωση περισσότερων του ενός μεταγωγέων ή δρομολογητών. Όλοι οι δρομολογητές και οι διακόπτες συνδέονται με δύο καλώδια. Έχοντας τουλάχιστον ένα καλώδιο που συνδέει κάθε συσκευή, τα παράλληλα δίκτυα κορμού εξασφαλίζουν συνδεσιμότητα σε οποιαδήποτε θέση του δικτύου.

Τα παράλληλα δίκτυα κορμού είναι πιο δαπανηρά από άλλα δίκτυα κορμού, καθώς απαιτούν περισσότερη καλωδίωση σε σύγκριση με διαφορετικές τοπολογίες δικτύου. Η απόδοση και η ανοχή σφαλμάτων που προσφέρει αντισταθμίζει τα έξοδα.

## 7.7 Λειτουργία δικτύων CORE

Τα δίκτυα CORE προσφέρουν τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Aggregation

Οι βασικοί κόμβοι παρέχουν το υψηλότερο επίπεδο συγκέντρωσης σε ένα δίκτυο παρόχου υπηρεσιών. Εφαρμόζεται σε διαφορετικές τεχνικές συγχώνευσης πολλών συνδέσεων δικτύου ταυτόχρονα για τη βελτίωση της απόδοσης πέρα από την ικανότητα μιας μόνο ζεύξης και για την παροχή πλεονασμού σε περίπτωση βλάβης μιας από τις συνδέσεις.

Εντός των κόμβων, στη συνέχεια στην ιεραρχία, έρχονται τα δίκτυα διανομής και ακολουθούν τα δίκτυα ακμών. Δυστυχώς, ο εξοπλισμός που παρέχεται από τον πελάτη (CPE) συνήθως δεν συνδυάζεται με τα βασικά δίκτυα ενός μεγάλου παρόχου υπηρεσιών στη δικτύωση.

- Authentication

Ο εξοπλισμός εντός των βασικών δικτύων μπορεί να καθορίσει εάν η υπηρεσία που απαιτείται από τον χρήστη στο δίκτυο τηλεπικοινωνιών θα επιτρέψει να ολοκληρώσει την εργασία εντός αυτού του δικτύου.

- Call control/switching

Η λειτουργία ελέγχου ή μεταγωγής κλήσεων καθορίζει την περαιτέρω πορεία μιας κλήσης σύμφωνα με την επεξεργασία του σήματος κλήσης. Για παράδειγμα, η λειτουργία μεταγωγής μπορεί να καθορίσει, σύμφωνα με τον «καλούμενο αριθμό», εάν η κλήση θα πρέπει να δρομολογηθεί προς έναν συνδρομητή εντός του ραντάρ του χειριστή του δικτύου ή με τη φορητότητα αριθμού σε άλλη ασφαλή υπηρεσία δικτύου.

- Charging

Ο βασικός εξοπλισμός του δικτύου μπορεί να διαχειριστεί την επεξεργασία και την ταξινόμηση της φόρτισης των δεδομένων που παράγονται από διαφορετικούς κόμβους δικτύου. Οι σημερινές ασφαλείς υπηρεσίες δικτύου διαθέτουν δύο διαδεδομένους μηχανισμούς χρέωσης - τη μεταπληρωμή και τη προπληρωμένη χρέωση.

- Service invocation

Το κεντρικό δίκτυο εκτελεί την εργασία επίκλησης υπηρεσιών για τους συνδρομητές του. Η επίκληση υπηρεσίας μπορεί να προκύψει λόγω της συγκεκριμένης ενέργειας του χρήστη (όπως μεταφορά κλήσεων) ή αναμένοντας (αναμονή κλήσης). Ωστόσο, λάβετε υπόψη ότι η υλοποίηση της υπηρεσίας

μπορεί να είναι ή να μην είναι μια βασική δυνατότητα δικτύου, καθώς οι κόμβοι/δίκτυα τρίτων ενδέχεται να συμμετέχουν στην υλοποίηση της πραγματικής υπηρεσίας.

- Gateways

Στα βασικά δίκτυα, οι πύλες βρίσκουν χρήση στην πρόσβαση σε άλλα δίκτυα. Η λειτουργικότητά τους βασίζεται στο είδος του δικτύου με το οποίο συνδέονται. Φυσικά, τουλάχιστον μία από αυτές τις λογικές λειτουργίες μπορεί να υπάρχει από κοινού σε έναν συγκεκριμένο κόμβο του δικτύου.

## 7.8 Core Network and Network Management Technologies

Το 5GS εφαρμόζει υψηλό επίπεδο στην υλοποίηση των λειτουργιών 5GC. Συνδέσεις που βασίζονται σε υπηρεσίες (SBI), χρησιμοποιούνται για επικοινωνία μεταξύ των λειτουργιών του δικτύου CP (NF). Το CP (NF) μπορεί να εκθέσει τις υπηρεσίες του σε άλλες, NFs. Το 5GS μπορεί να αποτελείται από εικονικά και μη εικονικά στοιχεία δικτύου όπου διαφορετικές οντότητες μπορούν να είναι υπεύθυνες για τη διαχείρισή τους. Για το δίκτυο 3GPP, οι λειτουργίες διαχείρισης είναι υπεύθυνες για τη διαχείριση των NF 3GPP που τρέχουν πάνω από εικονικούς πόρους.

Μία από τις θεμελιώδεις προκλήσεις για την ενσωμάτωση E2E του TSN και ενός 3GPP 5GS είναι μια απόκλιση μεταξύ τους στις διαδικασίες. Από τη μία πλευρά, το TSN απαιτεί ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την υποκείμενη υποδομή συμπεριλαμβανομένου της ταχύτητας και των καθυστερήσεων πριν από τη ρύθμιση μιας ροής TSN. Σε αντίθεση, το 5GS μπορεί να παρέχει τέτοιες πληροφορίες μόνο μετά την συνδεσιμότητα εντός του δικτύου που έχει δημιουργηθεί. Αυτή η διαφορά μεταξύ δύο δικτύων μπορεί να ξεπεραστεί στο 5GS όπου η συνδεσιμότητα θα αντιστοιχούσε στις πιο αυστηρές απαιτήσεις του αντίστοιχου TSN. Ωστόσο, αυτό είναι ανεπιθύμητο για προσέγγιση λόγω των αυξημένων απαιτήσεων για το 5GS, που συνεπάγονται σπατάλη πόρων και φυσικά αυξημένο κόστος.

Σύμφωνα με όλες τις παραπάνω πληροφορίες από τις προηγούμενες υποενότητες που αφορούν το δίκτυο CORE, παρακάτω αναφέρονται τα πρότυπα επικοινωνίας που ανήκουν στο συγκεκριμένο δίκτυο:

- ZigBee: IEEE 802.15.4-2006

Το IEEE 802.15.4 είναι ένα τεχνικό πρότυπο που ορίζει τη λειτουργία ενός ασύρματου προσωπικού δικτύου χαμηλής συχνότητας (LR-WPAN). Καθορίζει το φυσικό επίπεδο και τον έλεγχο πρόσβασης μέσω για τα LR-WPAN και διατηρείται από την ομάδα εργασίας IEEE 802.15 [77]

- Profibus PA V3.02

Το πρότυπο Profibus PA V3.02 αφορά τις συσκευές ελέγχου διεργασίας που συνδέονται με το δίκτυο της εγκατάστασης παρέχοντας και καταναλώνοντας τις τιμές μέτρησης και κατά κύριο λόγο τις αντίστοιχες τιμές εξόδου [109]

- ISA100.11a

Το πρότυπο ISA100.11a καλύπτει τις ανάγκες απόδοσης για περιοδική παρακολούθηση και έλεγχο διεργασιών όπου λανθάνοντες χρόνοι της τάξης των 100 ms μπορούν να γίνουν ανεκτοί με προαιρετική συμπεριφορά για μικρότερη καθυστέρηση [99].

- ISA-TR100.14.01-Part 1-2011

Το πρότυπο ISA-TR100.14.01-Part 1-2011 παρέχει αξιοπιστία στον ασύρματο βιομηχανικό αυτοματισμό [101].

- RS232C

Το RS-232 είναι ένα πρότυπο για σειριακή μετάδοση δυαδικών σημάτων δεδομένων μεταξύ ενός DTE (Data terminal equipment) και ενός DCE (Data Circuit-terminating equipment). Χρησιμοποιείται συχνά στις σειριακές θύρες των προσωπικών υπολογιστών [114].

- OPC UA: IEC 62541

Το πρότυπο OPC UA: IEC 62541 είναι ένα από τα πιο κοινά πρωτόκολλα επικοινωνίας για περιβάλλοντα παραγωγής. Ωστόσο, οι πλήρεις υλοποιήσεις της εκτεταμένης προδιαγραφής OPC UA είναι εξαιρετικά περίπλοκες. Το OPC UA βασίζεται στην αρχιτεκτονική πελάτη/διακομιστή. Όταν πολλές ετερογενείς εφαρμογές και συσκευές διαφορετικών κατασκευαστών πρέπει να είναι δικτυωμένες, η αρχιτεκτονική OPC UA είναι δύσκολο να εφαρμοστεί [57].

- Field Device Tool (FDT): IEC 62453-1:2016

Το πρότυπο IEC 62453-1:2016 παρέχει πληροφορίες για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας HART στο πρότυπο FDT. Καθορίζει υπηρεσίες επικοινωνίας και άλλες υπηρεσίες. Επίσης, παρέχεται βελτιωμένη υποστήριξη για ενημερώσεις του πρωτοκόλλου HART [59].

- Modbus – TCP

Το πρότυπο Modbus-TCP είναι δημοφιλές σε βιομηχανικά περιβάλλοντα επειδή δημοσιεύεται ανοιχτά και χωρίς δικαιώματα. Αναπτύχθηκε για βιομηχανικές εφαρμογές, είναι σχετικά εύκολο να αναπτυχθεί και να διατηρηθεί σε σύγκριση με άλλα πρότυπα και θέτει λίγους περιορισμούς στη μορφή των δεδομένων που θα μεταδοθούν. Επίσης, χρησιμοποιεί σειριακές γραμμές επικοινωνίας χαρακτήρων, Ethernet ή τη σουίτα πρωτοκόλλων Internet ως επίπεδο μεταφοράς [113].

- ISA95

Το πρότυπο ISA95 αφορά την ανάπτυξη μιας αυτοματοποιημένης διεπαφής μεταξύ επιχειρήσεων και συστημάτων ελέγχου. Αυτό το πρότυπο έχει αναπτυχθεί για να εφαρμόζεται σε όλες τις βιομηχανίες και σε κάθε είδους διαδικασίες, όπως διεργασίες κατά παρτίδες, συνεχείς και επαναλαμβανόμενες διαδικασίες [106].

- 6LoWPAN

Το πρότυπο 6LoWPAN προήλθε από το Πρωτόκολλο Διαδικτύου και θα έπρεπε να εφαρμόζεται ακόμη και στις μικρότερες συσκευές και σε συσκευές χαμηλής κατανάλωσης με περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας. Επίσης με τη βοήθεια του 6LoWPAN προήλθε η ανακάλυψη γειτόνων και άλλων μηχανισμών που επιτρέπουν στο IPv6 να λειτουργεί σε δίκτυα που βασίζονται στο IEEE 802.15.4 [90].

- Field Device Integration (FDI): IEC 61804

Το πρότυπο Field Device Integration (FDI): IEC 61804 καθορίζει την τεχνολογία Electronic Device Description Language (EDDL), η οποία επιτρέπει την σύνδεση με τις πραγματικές λεπτομέρειες του προϊόντος [61].

- RPL: RFC 6550

Το πρότυπο RPL: RFC 6550, RPL έχει σχεδιαστεί για να μπορεί να λειτουργεί σε μια ποικιλία διαφορετικών συνδέσεων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που είναι περιορισμένα, δυνητικά με απώλειες ή τυπικά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με υψηλό περιορισμό ή ακόμα και σε συσκευές δρομολόγησης [91].

- Coap: RFC 7252

Το πρότυπο Coap: RFC 7252 αφορά την αλληλεπίδραση αιτήματος/απόκρισης μεταξύ των τελικών σημείων εφαρμογής, υποστηρίζει την ενσωματωμένη ανακάλυψη υπηρεσιών και πόρων και περιλαμβάνει βασικές έννοιες του Ιστού, όπως URI και τύπους μέσων Διαδικτύου. Το CoAP έχει σχεδιαστεί για εύκολη διασύνδεση με το HTTP για σύνδεση με τον Ιστό, ενώ πληροί εξειδικευμένες απαιτήσεις όπως υποστήριξη πολλαπλής μετάδοσης, πολύ χαμηλή επιβάρυνση και απλότητα σε περιβάλλοντα περιορισμού [92].

- POWERLINK

Το πρότυπο POWERLINK βασίζεται σε Ethernet και αντιπροσωπεύει τη δεύτερη γενιά πεδίων διαύλων. Αυτό καθιστά δυνατή την εφαρμογή σε πλήρους ισχύος των τεχνολογιών πληροφορικής και ειδικότερα στον τομέα του αυτοματισμού. Επίσης, είναι ιδανικό για μονάδες δίσκου, και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συστημάτων Programmable Logic Controllers (PLC) [112].

- GSM

Το GSM είναι ένα πρότυπο που αναπτύχθηκε από το Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) για να περιγράψει τα πρωτόκολλα για τα ψηφιακά δίκτυα δεύτερης γενιάς (2G) που χρησιμοποιούνται από κινητές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα και tablet ακόμα και σε βιομηχανικούς χώρους [110].

- RFC 5673

Το πρότυπο RFC 5673 αφορά τα πρωτόκολλα δρομολόγησης που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης και απώλειας ενέργειας (LLN) συσκευών πεδίου [93].

- RFC 7733

Χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου RFC 7733 είναι ότι μέσα σε ένα δίκτυο με δρομολογητή και πολλούς κόμβους, μπορεί να υπάρχουν οι αισθητήρες με μπαταρίες και ελεγκτές διαμορφωμένοι για να έρθουν σε επαφή με άλλους κόμβους σε συμβάντα και μετά να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση [94].

- RFC 7650

Η χρήση του πρωτοκόλλου RFC 7650 παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας για συνένωση με ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) [95].

- RFC 7641

Το πρότυπο RFC 7641 ακολουθεί μια προσέγγιση βέλτιστης προσπάθειας για την αποστολή νέων συνδέσεων με πελάτες και παρέχει τελική κατάσταση που παρατηρείται από κάθε πελάτη και της πραγματικής κατάστασης πόρων ως προς τον διακομιστή [96].

- RFC 8613

Το πρότυπο RFC 8613 ορίζει την ασφάλεια ενός αντικειμένου για περιορισμένη περιβάλλοντα (OSCORE), για περιορισμένους κόμβους και δίκτυα και υποστηρίζουν διαφορετικά πρωτόκολλα μεταφοράς [97].

- RFC 9175

Το πρότυπο RFC 9175 αφορά τα εξής: απαιτήσεις επεξεργασίας για Tokens πελατών, απαγόρευση μη ασφαλούς επαναχρησιμοποίησης των Tokens για τη διασφάλιση της δέσμευσης απόκρισης προς αίτημα όταν χρησιμοποιείται το CoAP με πρωτόκολλο ασφαλείας [98].

- IEEE 802.15.4c-2009

Το πρότυπο IEEE 802.15.4c-2009 ορίζει ένα επίπεδο μεσαίου ελέγχου πρόσβασης (MAC) που λειτουργεί με ενεργοποιημένο ή μη και σε τρία φυσικά επίπεδα (PHYs) που επιτρέπουν χαμηλή πολυπλοκότητα, χαμηλή ισχύ και υψηλή απόδοση [79].

- IEEE 802.15.4e-2012

Το πρότυπο IEEE 802.15.4e-2012 αφορά στην βελτίωση και στην πρόσθεση λειτουργικότητας στο IEEE 802.15.4 για την καλύτερη υποστήριξη των βιομηχανικών αγορών και επιτρέποντας τη συμβατότητα με τροποποιήσεις που προτάθηκαν στο WPAN [81].

- IEEE 802.15.8-2017

Το πρότυπο IEEE 802.15.8-2017 ορίζει το πρωτόκολλο και τον συμβατό εξοπλισμό του δικτύου για τις οπτικές ασύρματες επικοινωνίες και τη λειτουργία του ως οπτικό ασύρματο προσωπικό δίκτυο (OWPAN) που υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων πολλαπλών Gbit/s για ειδικές ασύρματες εφαρμογές [82].

- IEEE 488.2-1992

Το πρότυπο IEEE 488.2-1992 ορίζει πρωτόκολλα επικοινωνίας που είναι απαραίτητα για την πραγματοποίηση ανταλλαγής μηνυμάτων ανεξάρτητα από την εφαρμογή και τη συσκευή και επίσης ορίζει κοινές εντολές και χαρακτηριστικά χρήσιμα σε εφαρμογές. Επίσης, έχει εφαρμοστεί σε συστήματα οργάνων μικρής έως μεσαίας κλίμακας που αποτελούνται κυρίως από συσκευές μέτρησης, διέγερσης και διασύνδεσης με ελεγκτή οργάνων [83].

- IEEE 802.11y-2008

Το πρότυπο IEEE 802.11y-2008 επιτρέπει στον εξοπλισμό μεταφοράς δεδομένων να λειτουργεί σε κύρια βάση στη ζώνη των 3650 έως 3700 MHz, εκτός εάν βρίσκεται κοντά σε έναν δορυφορικό σταθμό και επιτρέπεται μόνο ως αδειοδοτημένη ζώνη [84].

- IEEE 802.1Qay-2009

Το πρότυπο IEEE 802.1Qay-2009 προσαρμόζει την τεχνολογία Ethernet σε δίκτυα μεταφορών κατηγορίας βιομηχανικών αυτοματισμών [85].

- IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996

Το πρότυπο IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996 ορίζει μια μέθοδος ενοποιημένης πρόσβασης που προσφέρει ολοκληρωμένες υπηρεσίες (IS) για μια ποικιλία δικτύων κορμού που διαχειρίζονται δημόσια και ιδιωτικά. Επιπλέον, καθορίζεται η διεπαφή στο στρώμα MAC και στο επίπεδο PHY [86].

- IEEE 1904.1-2013

Το πρότυπο IEEE 1904.1-2013 περιγράφει τις προδιαγραφές σε επίπεδο συστήματος που απαιτούνται για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο υπηρεσίας του δικτύου Ethernet [87].

- IEEE 1903.1-2017

Το πρότυπο IEEE 1903.1-2017 χρησιμοποιείται για την υποστήριξη παράδοσης περιεχομένου σε δίκτυα επικάλυψης υπηρεσιών επόμενης γενιάς, όπως τα content delivery (CD), functional entity (FE) και service routing (SR) [89].

- IEEE 1904.1-2017

Το πρότυπο IEEE 1904.1-2017 περιγράφει τις προδιαγραφές σε επίπεδο συστήματος που απαιτούνται για τη διασφάλιση της διαλειτουργικότητας σε επίπεδο υπηρεσίας του δικτύου Ethernet. Οι προδιαγραφές διαλειτουργικότητας σε επίπεδο συστήματος καλύπτουν τη λειτουργικότητα του εξοπλισμού, τη μηχανική κυκλοφορίας και τους μηχανισμούς ποιότητας σε επίπεδο υπηρεσιών QoS [88].

## Κεφάλαιο 8ο: Συμπεράσματα και Μελλοντική Έρευνα

Σε αυτή την διπλωματική εργασία, έχει παρουσιαστεί μια ολοκληρωμένη μελέτη και προτυποποίηση τεχνολογιών επικοινωνίας για το Industry 4.0 και των Smart Factories από υπάρχουσες ερευνητικές προσπάθειες για τη δικτύωση και υπολογιστικά συστήματα στο I-IoT.

Το Industry 4.0 είναι ένα πλήρως συνδεδεμένο αυτόνομο εργοστάσιο που απαιτεί διαλειτουργικά/καθολικά πρότυπα για να καλύψει τις ανάγκες και τα κενά, που υπάρχουν μεταξύ των προτύπων στις τεχνολογίες επικοινωνίας. Κάθε έξυπνο εργοστάσιο μπορεί να έχει διαφορετικές απαιτήσεις και θέματα ασφάλειας στην επικοινωνία και χρειάζεται μια προσαρμοσμένη λύση στρατηγικής, που ευθυγραμμίζει διαφορετικά πρότυπα.

Στα συστήματα δικτύωσης, έχουμε μελετήσει ορισμένες αντιπροσωπευτικές τεχνολογίες δικτύωσης (π.χ. 5G) και συζήτησαν τις χρήσεις τους στο IIoT. Λαμβάνοντας υπόψη τα υπολογιστικά συστήματα, έχουμε μελετήσει τις πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες της πληροφορικής (π.χ. υπολογιστικό νέφος και ενσωμάτωση υπολογιστικού νέφους), και τις δυνατότητες εφαρμογής για IIoT.

Οι έννοιες και οι τεχνολογίες του Industry 4.0 μπορούν να εφαρμοστούν σε όλους τους τύπους βιομηχανικών εταιρειών, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής και της παραγωγής διεργασιών, καθώς και σε τομείς πετρελαίου και φυσικού αερίου, εξόρυξης και άλλων βιομηχανικών τομέων.

Πιο συγκεκριμένα, αναζητήσαμε πληροφορίες που αφορούν τις κατηγορίες και τις βασικές τεχνολογίες για το Industry 4.0 και τα Smart Factories. Στην συνέχεια παρουσιάσαμε 10 διαφορετικούς οργανισμούς προτυποποίησης που αναφέρονται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories. Για τον κάθε οργανισμό ξεχωριστά, αναλύσαμε τα 77 πρότυπα, το καθένα ξεχωριστά, που αναφέρεται στην επικοινωνία του Industry 4.0 και των Smart Factories.

Περαιτέρω, ερευνήσαμε υπάρχοντα μοντέλα αναφοράς όπως το SOA, το RAMI και το IIRA και αναλύσαμε το κάθε επίπεδο, με σκοπό να διαχωρίσουμε και να κατατάξουμε αυτά τα 77 πρότυπα. Επίσης, μελετήσαμε την αρχιτεκτονική QoS και QoD-oriented βιομηχανικών ασύρματων δικτύων (IWNs), ώστε να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τις απαιτήσεις σύμφωνα με την επικοινωνία και την δικτύωση.

Ακολούθησε ο διαχωρισμός των 77 προτύπων με σκοπό την κατάταξη τους στις απαιτήσεις του QoS. Καθώς τα δεδομένα του IWN θα πρέπει να έχουν εγγυημένη εγκυρότητα, ακρίβεια, αξιοπιστία και ακεραιότητα, αναλύσαμε αυτά τα χαρακτηριστικά τους και αναφερθήκαμε στους δείκτες ποιότητας τους.

Και τέλος αναφερθήκαμε στα δίκτυα πρόσβασης RAN και CORE. Για το δίκτυο RAN, αναφερθήκαμε στους τύπους του, στην λειτουργία του και στις Radio Access Technologies. Για το Δίκτυο CORE, αναφερθήκαμε στο SDN, στην λειτουργία του και στο Core Network and Network Management Technologies. Μετά την μελέτη των δικτύων πρόσβασης, ακολούθησε και ο διαχωρισμός των 77 διαφορετικών προτύπων, σε πιο από τα δύο ανήκουν.

Οι πρωταρχικοί στόχοι αυτής της έρευνας είναι ο εντοπισμός των προτύπων που αναφέρονται στις τεχνολογίες επικοινωνίας για το Industry 4.0 και των Smart Factories, βασιζόμενη σε άρθρα από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Στη μελλοντική μας εργασία, οραματιζόμαστε να επεκτείνουμε το σύνολο των προτύπων του Industry 4.0 καθώς και να διερευνηθούν οι σημασιολογικοί σχολιασμοί των προτύπων μέσω των οντολογιών.

Επιπλέον, στοχεύουμε να εξετάσουμε τις ταξινομήσεις και άλλων αρχιτεκτονικές μοντέλων. Περαιτέρω, σκοπεύουμε να ορίσουμε και αλγόριθμους για την ανακάλυψη και την συσχέτιση μεταξύ των εννοιών των προτύπων του Industry 4.0 και των Smart Factories.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Giuseppe Aceto, Valerio Persico and Antonio Pescapé, "A Survey on Information and Communication Technologies for Industry 4.0: State-of-the-Art, Taxonomies, Perspectives, and Challenges," August 2019.
- [2] Prof. Dr. Henning Kagermann, Prof. Dr. Wolfgang Wahlster and Dr. Johannes Helbig, Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, 2013.
- [3] Xiaomin Li, Di Li, Jiafu Wan, Athanasios V. Vasilakos, Chin-Feng Lai and Shiyong Wang, "A review of industrial wireless networks in the context of Industry," November 2015.
- [4] Ian Zhou, Imran Makhdoom, Negin Shariati, Muhammad Ahmad Raza, Rasool Keshavarz, Justin Lipman, Mehran Abolhasan and Abbas Jamalipour, "Internet of Things 2.0: Concepts, Applications, and Future Directions," April 2021.
- [5] Sanjiv Narula, Harish Puppala, Anil Kumar, Guilherme F. Frederico, Maheshwar Dwivedy, Surya Prakash and Vishal Talwar, "Applicability of industry 4.0 technologies in the adoption of global reporting initiative standards for achieving sustainability," December 2020.
- [6] perspectives Sachin S. Kamble, Angappa Gunasekaran and Shradha A. Gawankar, "Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives," February 2018.
- [7] Jan García-Morales, M. Carmen Lucas-Estañ and Javier Gozalvez, "Latency-Sensitive 5G RAN Slicing for Industry 4.0," September 2019.
- [8] Hansong Xu, Wei Yu, David Griffith and Nada Golmie, "A Survey on Industrial Internet of Things: A Cyber-Physical Systems Perspective," December 2018.
- [9] MAR TIN WOLLSCH LAEGER, THILO SAUTER,, "The Future of Industrial Communication," March 2017.
- [10] "International Organization for Standardization (ISO)," [Online]. Available: <https://www.iso.org/home.html>.
- [11] "International Electrotechnical Commission (IEC)," [Online]. Available: <https://iec.ch/homepage>.
- [12] "Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)," [Online]. Available: <https://www.ieee.org/>.
- [13] "Internet Engineering Task Force (IETF)," [Online]. Available: <https://www.ietf.org/>.
- [14] "International Society of Automation (ISA)," [Online]. Available: <https://www.isa.org/>.
- [15] "PROFIBUS - PROFINET," [Online]. Available: <https://www.profibus.com/>.

- [16] "European Telecommunications Standards Institute (ETSI)," [Online]. Available: <https://www.etsi.org/>.
- [17] "Ethernet Powerlink," [Online]. Available: <https://www.ethernet-powerlink.org/>.
- [18] "Modbus Organization," [Online]. Available: <https://modbus.org/>.
- [19] "Electronics Industries Alliance (EIA)," [Online]. Available: <https://www.ecianow.org/>.
- [20] "NFC: ISO/IEC 13157-1:2010 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/53430.html>.
- [21] Debasis Bandyopadhyay and Jaydip Sen, "Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization," April 2011.
- [22] Alasdair Gilchrist, THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS, Apress, 2016.
- [23] "AMQP: ISO/IEC 19464:2014 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/64955.html>.
- [24] Amy J.C. Trappey, Charles V. Trappey, Usharani Hareesh Govindarajan, Allen C. Chuang and John J. Sun, "A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0," June 2016.
- [25] Samer Jaloudi, "Communication Protocols of an Industrial Internet of Things Environment: A Comparative Study," February 2019.
- [26] "ISO/IEC/IEEE 21450:2010 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/54356.html>.
- [27] "ISO/IEC 27033-6:2016 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/51585.html>.
- [28] "ISO/IEC 29180:2012 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/45259.html>.
- [29] "ISO/TR 13283:1998 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/30882.html>.
- [30] "ISO 23570-2:2005 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/39927.html>.
- [31] "ISO 22093:2003 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/36093.html>.
- [32] "ISO 15745-5:2007 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/42278.html>.
- [33] "ISO 15745-2:2003 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/32973.html>.
- [34] "ISO 15745-3:2003 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/33820.html>.
- [35] "ISO 15745-4:2003 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/33443.html>.
- [36] "ISO 9506-1:2003 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/37079.html>.
- [37] "ISO 9506-2:2003 Standard," [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/37080.html>.

- [38] "WirelessHart: IEC 62591 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/24433>.
- [39] P. Arun Mozhi Devan, Fawnizu Azmadi Hussin, Rosdiazli Ibrahim and Kishore Bingi, "A Survey on the Application of WirelessHART for Industrial Process Monitoring and Control," May 2021.
- [40] Quan Wang and Jin Jiang, "Comparative Examination on Architecture and Protocol of Industrial Wireless Sensor Network Standards," April 2016.
- [41] "WI-PA: IEC 62601 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/23902>.
- [42] "IEC 61131-2:2017 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/31007>.
- [43] Nancy Velásquez Villagrán, Elsa Estevez, Patricia Pesado and Juan De Juanes Marquez, "Standardization: A Key Factor of Industry 4.0," June 2019.
- [44] "IEC 62657-1 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/33125>.
- [45] "IEC White Paper IoT:WSN:2014 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/22377>.
- [46] "EtherCAT: IEC 61158 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/65177>.
- [47] Peter Danielis, Jan Skodzik, Vlado Altmann, Eike Bjoern Schweissguth, Frank Golasowski, Dirk Timmermann, and Joerg Schacht, "Survey on Real-Time Communication Via Ethernet in Industrial Automation Environments," September 2014.
- [48] Irlán Grangel-González, Paul Baptista, Lavdim Halilaj, Steffen Lohmann, Maria-Esther Vidal, Christian Mader and Sören Auer, "The Industry 4.0 Standards Landscape from a Semantic Integration Perspective," September 2017.
- [49] "IEC 61784 Fieldbus Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/68897>.
- [50] "IEC 61784-5-1:2013 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/5890>.
- [51] "IEC 61784-5-13:2013 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/5894>.
- [52] "IEC 61784-5-16:2013 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/5897>.
- [53] "IEC 61784-5-17:2013 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/5898>.
- [54] "IEC 61784-5-19:2013 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/5900>.
- [55] "IEC 61139-2:2022 PRV Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/75607>.
- [56] "IEC 61784-3-18:2011+AMD1:2016+AMD2:2021 CSV Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/68936>.
- [57] "OPC UA: IEC 62541 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/68036>.

- [58] Stephan Weyer, Mathias Schmitt, Moritz Ohmer and Dominic Gorecky, "Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems," August 2015.
- [59] "Field Device Tool (FDT): IEC 62453 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/31394>.
- [60] "IEC 62443-2-1:2010 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/7030>.
- [61] "Field Device Integration (FDI): IEC 61804 Standard," [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/5957>.
- [62] "IEEE 802.1AS-2011 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.1AS/3956/>.
- [63] "IEEE 802.11Qbv-2015 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.1Qbv/6068/>.
- [64] "IEEE 802.11Qcc-2018 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.1Qcc/5784/>.
- [65] "IEEE 802.1Qch-2017 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.1Qch/6072/>.
- [66] "IEEE 802.11Qci-2017 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.1Qci/6159/>.
- [67] "IEEE 802.11a-1999 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11a/1165/>.
- [68] Federico Tramarin, Stefano Vitturi, Michele Luisotto and Andrea Zanella, "On the Use of IEEE 802.11n for Industrial Communications," October 2016.
- [69] "IEEE 61158-2017 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/61158/6201/>.
- [70] "IEEE P802.15.13 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.13/10269/>.
- [71] "IEEE 802.1BA-2011 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.1BA/4396/>.
- [72] "IEEE 802.15.2-2003 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.2/3293/>.
- [73] "IEEE 802.16a-2003 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.16a/3114/>.
- [74] "IEEE 802.3 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.3/7071/>.
- [75] "IEEE 802.11b-1999/Cor 1-2001 Standard," [Online]. Available: [https://standards.ieee.org/ieee/802.11b-1999\\_Cor\\_1/1167/](https://standards.ieee.org/ieee/802.11b-1999_Cor_1/1167/).

- [76] "IEEE 802.10-1998 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.10/1154/>.
- [77] "ZigBee: IEEE 802.15.4-2006 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.4/3582/>.
- [78] "IEEE 802.11n-2009 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11n/3952/>.
- [79] "IEEE 802.15.4c-2009 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.4c/4239/>.
- [80] ZHENGGUO SHENG, BEIJING SHUSEN YANG, YIFAN YU, ATHANASIOS V. VASILAKOS, JULIE A. MCCANN AND KIN K. LEUNG, "SURVEY ON THE IETF PROTOCOL SUITE FOR THE INTERNET OF THINGS: STANDARDS, CHALLENGES, AND OPPORTUNITIES," December 2013.
- [81] "IEEE 802.15.4e-2012 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.4e/5051/>.
- [82] "IEEE 802.15.8-2017 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.8/5444/>.
- [83] "IEEE 488.2-1992 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/488.2/718/>.
- [84] "IEEE 802.11y-2008 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.11y/3915/>.
- [85] "IEEE 802.1Qay-2009 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/802.1Qay/4191/>.
- [86] "IEEE/ISO/IEC 8802-9-1996 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/8802-9/2363/>.
- [87] "IEEE 1904.1-2013 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/1904.1/4768/>.
- [88] "IEEE 1904.1-2017 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/1904.1/6128/>.
- [89] "IEEE 1903.1-2017 Standard," [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/1903.1/5552/>.
- [90] "6LoWPAN Standard," [Online]. Available: <https://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/charter/>.
- [91] "RPL: RFC 6550 Standard," [Online]. Available: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6550>.
- [92] "Coap: RFC 7252 Standard," [Online]. Available: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7252>.
- [93] "RFC 5673 Standard," [Online]. Available: <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc5673/>.
- [94] "RFC 7733 Standard," [Online]. Available: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7733>.
- [95] "RFC 7650 Standard," [Online]. Available: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7650.html>.
- [96] "RFC 7641 Standard," [Online]. Available: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7641.html>.
- [97] "RFC 8613 Standard," [Online]. Available: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc8613.html>.

- [98] "RFC 9175 Standard," [Online]. Available: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9175.html>.
- [99] "ISA100.11a Standard," [Online]. Available: <https://www.isa.org/products/ansi-isa-100-11a-2011-wireless-systems-for-industr>.
- [100] Toshi Hasegawa, Hisanori Hayashi, Tsuyoshi Kitai and Hisashi Sasajima, "Industrial Wireless Standardization - Scope and Implementation of ISA SP100 Standard," September 2011.
- [101] "ISA-TR100.14.01-Part 1-2011 Standard," [Online]. Available: <https://www.isa.org/products/isa-tr100-14-01-part-1-2011-trustworthiness-in-wir>.
- [102] "Mqtt Protocol Standard," [Online]. Available: <https://blog.isa.org/what-is-mqtt-and-how-can-industrial-automation-companies-use-it>.
- [103] P. Marcon, F. Zezulka, I. Vesely, Z. Szabo, Z. Roubal, O. Sajdl, E. Gescheidtova, and P. Dohnal, "Communication Technology for Industry 4.0," May 2017.
- [104] Peter Danielis, Henning Puttnies, Eike Schweissguth and Dirk Timmermann, "Real- Time Capable Internet Technologies for Wired Communication in the Industrial IoT-a Survey," September 2018.
- [105] A. Mazak and C. Huemer, "A Standards Framework for Value Networks in the Context of Industry 4.0," February 2022.
- [106] ISA95, "<https://www.isa.org/intech-home/2021/october-2021/features/beyond-the-pyramid-using-isa95-for-industry-4-0-an>," [Online].
- [107] Paulo Leitao, Armando Walter Colombo and Stamatis Karnouskos, "Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges," August 2015.
- [108] "Profinet Standard," [Online]. Available: <https://www.profibus.com/technology/profinet>.
- [109] "Profibus PA V3.02 Standard," [Online]. Available: <https://www.profibus.com/technology/profibus>.
- [110] "GSM Standard," [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gts/02/0216/05.02.00\\_60/gsmmts\\_0216v050200p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_gts/02/0216/05.02.00_60/gsmmts_0216v050200p.pdf).
- [111] National Intelligent Manufacturing Standard System Construction Guidelines, December 2015.
- [112] "POWERLINK Standard," [Online]. Available: <https://www.ethernet-powerlink.org/powerlink/technology>.
- [113] "Modbus – TCP Standard," [Online]. Available: <https://modbus.org/tech.php>.
- [114] "RS232C Standard," [Online]. Available: <https://w3.ual.es/~vruiz/Docencia/Apuntes/Networking/Technologies/RS-232/index.html>.
- [115] Li Da Xu, Senior Member, IEEE, Wu He, and Shancang Li, "Internet of Things in Industries: A Survey," November 2014.

- [116] ABHISHEK HAZRA, MAINAK ADHIKARI, TARACHAND AMGOTH and SATISH NARAYANA SRIRAMA, "A Comprehensive Survey on Interoperability for IIoT: Taxonomy, Standards, and Future Directions," November 2021.
- [117] Dr.-Ing. Peter Adolphs and Prof. Dr. Ulrich Epple, "Reference Architecture Model Industrie 4.0," July 2015.
- [118] Henning Bantien, Tomoaki Kubo and Reinhold Pichler, "The common strategy on international standardization in field of the Internet of Things/Industrie 4.0," March 2017.
- [119] S. Manoj Kannan, Kunal Suri, Juan Cadavid, Ion Barosan, Mark Van Den Brand, Mauricio Alferez and Sebastien Gerard, "Towards Industry 4.0: Gap Analysis between Current Automotive MES and Industry Standards using Model-Based Requirement Engineering," April 2017.
- [120] Thomas Burns, Dr John Cosgrove and Frank Doyle, "A Review of Interoperability Standards for Industry 4.0.," June 2019.
- [121] Olga Meyer, Greg Rauhoeft, Daniel Schel and Daniel Stock, "Industrial Internet of Things: covering standardization gaps for the next generation of reconfigurable production systems," September 2018.
- [122] Lubna Luxmi Dhirani, Eddie Armstrong and Thomas Newe, "Industrial IoT, Cyber Threats, and Standards Landscape: Evaluation and Roadmap," April 2021.
- [123] A. Sebastian and S. Sivagurunathan, "A Survey on Load Balancing Schemes in RPL based Internet of Things," March 2018.
- [124] "A survey of 5G technologies: regulatory, standardization and industrial perspectives," April 2018.
- [125] Jan García-Morales, M. Carmen Lucas-Estañ, and Javier Gozalvez, "Latency-Based 5G RAN Slicing Descriptor to Support Deterministic Industry 4.0 Applications," September 2019.
- [126] Roberto Morabito and Jaime Jiménez, "IETF Protocol Suite for the Internet of Things: Overview and Recent Advancements," June 2020.
- [127] Yang Lu, "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues," April 2017.
- [128] Christian Mannweiler, Borislava Gajic, Peter Rost, Rakash S. Ganesan, Christian Markwart and Rüdiger Halfmann, "Reliable and Deterministic Mobile Communications for Industry 4.0: Key Challenges and Solutions for the Integration of the 3GPP 5G System with IEEE Time-Sensitive Networking," May 2019.