



**Σχολή Ναυτιλίας και Βιομηχανίας**

**Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας**

**ΠΜΣ «Βιομηχανική Διοίκηση και Τεχνολογία»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ  
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ***

**ΙΩΑΝΝΗΣ ΠΟΝΤΙΚΗΣ**

**Αθήνα 18/12/2020**

Σύμβουλος καθηγητής  
[Δρ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΤΣΗΣ]

Αθήνα 2020

**Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Ιωάννη Ποντίκη, [2020]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιά δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη σύγχρονη εποχή η τεχνολογική εξέλιξη αναπτύσσεται με ταχύτατους ρυθμούς· στο σημείο αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό να εξετάσει, να αναλύσει και να αναδείξει την αξία των Digital Twins και των εφαρμογών τους κυρίως σε βιομηχανικό επίπεδο.

Αρχικά, αναφέρεται η έννοια της βιομηχανίας 4.0 η οποία περιλαμβάνει μια τεράστια γκάμα τεχνολογιών και βασίζεται στην εξελιγμένη τεχνολογία συνδέσεων που υπάρχει διαθέσιμη. Τέτοιου είδους συνδέσεις καθιστούν εφικτή τη δημιουργία πολλών τεχνολογιών οι οποίες βοηθούν στην επικοινωνία και στη μεταφορά δεδομένων. Αναφορικά με αυτές τις τεχνολογίες, θα αναλυθεί η έννοια του Internet of Things (IoT), το οποίο είναι μέρος της βιομηχανίας 4.0 και κατ' επέκταση των Cyber-Physical Systems στα οποία εμπεριέχονται τα Digital Twins. Ακολούθως, η παρούσα διπλωματική εργασία θα εμβαθύνει στο Industrial IoT, κάνοντας αναφορά στις εφαρμογές του. Κλείνοντας το πρώτο κεφάλαιο, θα αναλυθεί η οντότητα του Digital Twin και τα οφέλη του.

Στο δεύτερο μέρος θα δούμε της εφαρμογές των Digital Twins σε τέσσερεις μεγάλους τομείς. Στον πρώτο τομέα, τη Βιομηχανία, όπου και συναντώνται οι περισσότερες εφαρμογές, αναλύεται η συνεισφορά του Digital Twin τόσο στην παραγωγική διαδικασία όσο και στα οφέλη που επιφέρει στις επιχειρήσεις. Στον δεύτερο τομέα που αφορά στην Υγεία, θα αναλυθούν τα οφέλη των Digital Twins σε επίπεδο διάγνωσης και χειρουργικής. Ο τρίτος τομέας, ο οποίος ναι μεν αποτελεί μέρος της βιομηχανίας αλλά λόγω έκτασης αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστός τομέας, είναι η Αυτοκινητοβιομηχανία όπου και εδώ τα Digital Twins αποτελούν σπουδαίο εργαλείο για την παραγωγή και την υποστήριξη των προϊόντων του τομέα αυτού. Τέλος, οι Έξυπνες Πόλεις, αποτελούν έναν τομέα όπου οι εφαρμογές των Digital Twins θα καταστήσουν ακόμα πιο εύκολη, ασφαλή και ευφυή την ζωή των κατοίκων, όπως θα αναλυθεί κατωτέρω.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	2
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	5
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	8
1 Βασικές Τεχνολογίες.....	11
1.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων.....	11
1.2 Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων .....	14
1.2.1 Ιστορική εξέλιξη Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων.....	15
1.3 Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων .....	18
1.3.1 Έξυπνη Παραγωγή .....	19
1.3.2 Έξυπνη υγεία .....	24
1.3.3 Έξυπνες πόλεις .....	25
1.4 Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα .....	27
1.4.1 Δομή Κυβερνο-Φυσικών Συστημάτων.....	28
1.4.2 Αναλογία με βιολογικά συστήματα.....	32
1.4.3 Τομείς Κυβερνο-Φυσικών Συστημάτων .....	38
1.4.4 Σύστημα ελέγχου Κυβερνο-Φυσικών Συστημάτων .....	40
2 Συστήματα Ψηφιακών διδύμων .....	45
2.1 Βασική δομή και λειτουργία ψηφιακού διδύμου .....	48
2.2 Εφαρμογή ενός Ψηφιακού Διδύμου .....	55
2.3 Ανάπτυξη ενός Ψηφιακού Διδύμου.....	56
2.3.1 Αξιολόγηση των δυνατοτήτων .....	60

2.4	Οφέλη Ψηφιακών Διδύμων .....	63
2.5	Επιχειρηματική αξία των Ψηφιακών Διδύμων .....	67
2.6	Πεδία Εφαρμογών .....	69
2.7	Διπλώματα Ευρεσιτεχνίας .....	71
2.7.1	Ανάλυση διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας .....	72
2.7.2	Σχετικά Διπλώματα Ευρεσιτεχνίας .....	73
2.7.3	Ταξινόμηση Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας .....	84
3	Εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων .....	86
3.1	Βιομηχανία και Παραγωγική Διαδικασία .....	86
3.2	Τα οφέλη του Digital Twin στην παραγωγή .....	90
3.2.1	Προκλήσεις των Digital Twins στην βιομηχανία .....	92
3.3	Περίπτωση χρήσης των DT στην παραγωγή .....	93
3.3.1	Κατασκευή μιας απλής μεθόδου διαχείρισης στην παραγωγή χρησιμοποιώντας Digital Twin σε SMEs .....	93
3.3.2	Εφαρμογή DT από την General Electric .....	102
3.4	Σύστημα υγείας και υγειονομικών παροχών .....	104
3.4.1	Περιπτώσεις χρήσης και ανάγκης των Digital Twins .....	105
3.4.2	Digital Twin καρδιάς .....	111
3.5	Αυτοκινητοβιομηχανία .....	112
3.5.1	Καινοτομία στα προϊόντα αυτοκινητοβιομηχανίας .....	112
3.5.2	Παραγωγή των αυτοκινητοβιομηχανιών .....	113
3.5.3	Πωλήσεις και υπηρεσίες οχημάτων .....	116
3.6	Έξυπνες πόλεις .....	118
3.6.1	Το πλεονέκτημα του Digital Twin στις έξυπνες πόλεις .....	119
3.6.2	Δημιουργία ευέλικτων εμπειριών .....	119

3.6.3 Ένα Digital Twins της πόλης του Newcastle .....	120
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	121
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	122
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	129
3.7 Πίνακες πατεντών.....	129
3.7.1 Πατέντες ανά χώρα.....	129
3.7.2 Πατέντες ανά χρονιά .....	130

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σύγκριση βιολογικού με CPS. [ <a href="https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004">https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004</a> ].	35
Πίνακας 2: Κατηγορίες επιχειρηματικής αξίας των Digital Twins.....	68
Πίνακας 3: Κορυφαίοι καταθέτες-εφευρέτες και καταγωγή εφευρετών σε εύρος διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. [ <a href="https://worldwide.espacenet.com/">https://worldwide.espacenet.com/</a> ].....	72
Πίνακας 4: Κορυφαίες ταξινομήσεις των Digital Twins.....	84
Πίνακας 5: Γεωγραφική κατανομή διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας DT .....	85

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

AI	Artificial Intelligence
BOM	Bill of materials
CPS	Cyber-Physical System
DF	Digital Factory
DM	Digital Manufacturing
DT	Digital Twin
ERP	Enterprise resource planning
FDA	Food and Drug Administration
HAN	Home area network
HVAC	Heating, ventilation and air conditioning
ICT	Information and communication technology
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things
IP	Internet protocol
IT	Information technology
M2M	Machine to machine
MEMS	Microelectromechanical systems
MES	Manufacturing execution system
NFC	Near Field Communication
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OEM	Original Equipment Manufacturer
OT	Operation Technology



PDCA	Plan-do-check-action
PLM	Product lifecycle management
RFID	Radio-frequency identification
ROI	Return on Investment
SMEs	Small-Medium enterprises
TBM	Time Based Maintenance
TCP	Transmission Control Protocol

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η τέταρτη βιομηχανική Επανάσταση. [ <a href="https://www.shutterstock.com/image-vector/industry-40-infographic-representing-timeline-four-748227862">https://www.shutterstock.com/image-vector/industry-40-infographic-representing-timeline-four-748227862</a> ].....	12
Εικόνα 2: Το καναρίνι στα ορυχεία.[ <a href="https://share.america.gov/english-idiom-canary-coal-mine/">https://share.america.gov/english-idiom-canary-coal-mine/</a> ].....	14
Εικόνα 3: Το καναρίνι του ΙΟΤ.....	14
Εικόνα 4: ΙΙΟΤ Ιστορική πορεία [ <a href="https://info.kepware.com/blog/iiot-timeline">https://info.kepware.com/blog/iiot-timeline</a> ].....	17
Εικόνα 5: Internet of Things για επιχειρήσεις [ <a href="http://zdnet.com">http://zdnet.com</a> ] .....	20
Εικόνα 6: Ψηφιακό νευρικό σύστημα με υπερ-αισθητήρες [ <a href="https://www.slideshare.net/SarwanSingh/internet-of-things-iiot-and-its-applications">https://www.slideshare.net/SarwanSingh/internet-of-things-iiot-and-its-applications</a> ].....	22
Εικόνα 7: Ακουστικός αισθητήρας για παρακολούθηση κατάστασης [ <a href="https://www.micron.com/-/media/client/global/documents/products/case-study/smart_manufacturing_iiot_case_study.pdf?rev=79e777f5f50d4db69f3725a1c07f7678">https://www.micron.com/-/media/client/global/documents/products/case-study/smart_manufacturing_iiot_case_study.pdf?rev=79e777f5f50d4db69f3725a1c07f7678</a> ] .....	23
Εικόνα 8: Αρχιτεκτονική των CPSs [ <a href="https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004">https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004</a> ].....	29
Εικόνα 10: Υποσυστήματα του ανθρώπινου οργανισμού. [ <a href="https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004">https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004</a> ] .....	33
Εικόνα 11: Αρχιτεκτονική του ανθρώπινου συστήματος [ <a href="https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004">https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004</a> ] .....	34
Εικόνα 12: Το ανθρώπινο σύστημα σε σύγκριση με το CPS. [ <a href="https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004">https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004</a> ] .....	36
Εικόνα 13: Κυβερνο-φυσικο-κοινωνικά συστήματα [ <a href="https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004">https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004</a> ] .....	38
Εικόνα 14: Παραγωγική Διαδικασία Digital Twin μοντέλου [ <a href="https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf">https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf</a> ] .....	49

Εικόνα 15: Αρχιτεκτονική του Digital Twin [ <a href="https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf">https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf</a> ] .....	57
Εικόνα 16: Επισκόπηση του Digital Twin [ <a href="https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf">https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf</a> ] .....	61
Εικόνα 17: Digital Twin στα IIoT [ <a href="https://www.technologyrecord.com/Article/how-to-implement-an-industrial-internet-of-things-automation-plan-61582">https://www.technologyrecord.com/Article/how-to-implement-an-industrial-internet-of-things-automation-plan-61582</a> ].....	65
Εικόνα 18: Στατιστικά Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας των Digital Twin [ <a href="https://worldwide.espacenet.com/">https://worldwide.espacenet.com/</a> ].....	71
Εικόνα 19: Ανεμογεννήτρια GE [ <a href="http://santamarta-florez.blogspot.com/2014/11/ge-wind-turbines-for-wind-farm-in.html">http://santamarta-florez.blogspot.com/2014/11/ge-wind-turbines-for-wind-farm-in.html</a> ].....	79
Εικόνα 20: Μηχανή αεροσκάφους GE [ <a href="https://www.nextpng.com/en/search?q=general+Aviation">https://www.nextpng.com/en/search?q=general+Aviation</a> ].....	82
Εικόνα 21: Το Digital Twin στην παραγωγή [ <a href="https://www.plm.automation.siemens.com/global/fr/webinar/digital-twin-in-manufacturing/68561">https://www.plm.automation.siemens.com/global/fr/webinar/digital-twin-in-manufacturing/68561</a> ] .....	87
Εικόνα 22: Μοντέλο διαχείρισης παραγωγής για SMEs [T. Ahram et al. (Eds.): IHSED 2019, AISC 1026, pp. 994–999, 2020. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8_148">https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8_148</a> ].....	97
Εικόνα 23: Μοντέλο Digital Twin αλληλεπίδραση μεταξύ εικονικού χώρου (αριστερά) και φυσικού χώρου (δεξιά) [T. Ahram et al. (Eds.): IHSED 2019, AISC 1026, pp. 994–999, 2020].....	98
Εικόνα 24: Digital Twin στην υγεία. [ <a href="https://www.information-age.com/gartnerdigital-">https://www.information-age.com/gartnerdigital-</a> ....	104
Εικόνα 25: Digital Twin Νοσοκομείου [ <a href="https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-healthcare/">https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-healthcare/</a> ] .....	109
Εικόνα 26: Ψηφιακή ροή βελτιστοποίησης εργασίας [ <a href="https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-healthcare/">https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-healthcare/</a> ] .....	109
Εικόνα 27: Digital Twin στην Αυτοκινητοβιομηχανία [ <a href="https://blog.contus.com/digital-twin-solution/">https://blog.contus.com/digital-twin-solution/</a> ].....	112

Εικόνα 28: Siemens NX Digital Twin. [ <a href="https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-product.html">https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-product.html</a> ] .....	115
Εικόνα 29: Προσομοίωση αυτοκινήτου Siemens NX [ <a href="https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-product.html">https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-product.html</a> ] .....	116
Εικόνα 30: Digital Twin στις έξυπνες πόλεις [ <a href="https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2019/01/08/are-privacy-concerns-halting-smart-cities-indefinitely/#2767b269ba6d">https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2019/01/08/are-privacy-concerns-halting-smart-cities-indefinitely/#2767b269ba6d</a> ] .....	118

# 1 Βασικές Τεχνολογίες

## 1.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Ο φυσικός κόσμος μεταμορφώνεται σε ψηφιακό και πλέον όλα συνδέονται μεταξύ τους. Ένας μεγάλος αριθμός έξυπνων συσκευών και τεχνολογιών επέτρεψε στην ανθρωπότητα να βρίσκεται σε συνεχή επικοινωνία οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Το «Διαδίκτυο των πραγμάτων» (Internet of Things - IoT) είναι ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων όπως συσκευές, όργανα, οχήματα, οικιακές συσκευές, κτίρια και άλλα αντικείμενα ενσωματωμένα με ηλεκτρονικά, κυκλώματα, λογισμικά, αισθητήρες και δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο που επιτρέπει σε αυτά τα αντικείμενα να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν δεδομένα (Bay O., 2013). Το IoT επιτρέπει να ανιχνεύονται και να ελέγχονται από απόσταση αντικείμενα σε υφιστάμενα δίκτυα, δημιουργώντας ευκαιρίες για πιο άμεση ενσωμάτωση του φυσικού κόσμου σε συστήματα που βασίζονται σε υπολογιστές, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η απόδοση και η ακρίβεια τους.

Όλα ξεκίνησαν με την πρώτη βιομηχανική επανάσταση μέσω της χρήσης υδροηλεκτρικής ενέργειας, της αυξημένης χρήσης της ατμοπαραγωγής και της ανάπτυξης εργαλειομηχανών. Η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση έφερε ηλεκτρική ενέργεια και μαζική παραγωγή γραμμών συναρμολόγησης. Ο αυτοματισμός με τη χρήση των ηλεκτρονικών και της τεχνολογίας πληροφοριών περαιτέρω επιταχύνθηκε από την τρίτη βιομηχανική επανάσταση και πρόσφατα αναδύεται και η τέταρτη επανάσταση η οποία οδηγείται μέσω της τεχνολογίας CPS προς την ενσωμάτωση του πραγματικού κόσμου στην εποχή της πληροφορίας με σκοπό τη μελλοντική βιομηχανική πρόοδο. Τα Κυβερνο-φυσικά συστήματα (Cyber Physical Systems - CPS) είναι ένας αναδυόμενος κλάδος που περιλαμβάνει συστήματα πληροφορικής και επικοινωνίας που διασυνδέουν τον φυσικό κόσμο. Το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των πραγμάτων (Industrial Internet of Things – IIoT) οδηγεί στην τέταρτη φάση της βιομηχανικής επανάστασης. Θα επιταχύνει το ταξίδι των βιομηχανιών σε ένα νέο επίπεδο και θα μεταμορφώσει τις οικονομίες, ανοίγοντας μια νέα εποχή ανάπτυξης και ανταγωνιστικότητας ([Εικόνα 1](#)).

Η επέκταση των δυνατοτήτων και των λύσεων του IoT επιτρέπει στα νέα προϊόντα και τις υπηρεσίες να μεταμορφώσουν τον τρόπο που επεξεργαζόμαστε τα πράγματα. Μερικά από τα αναδυόμενα



**Εικόνα 1:** Η τέταρτη βιομηχανική Επανάσταση.

[<https://www.shutterstock.com/image-vector/industry-40-infographic-representing-timeline-four-748227862>]

πεδία στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση περιλαμβάνουν IoT, ρομποτική, μηχανική μάθηση, τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence - AI), νανοτεχνολογία, κβαντική πληροφορική και βιοτεχνολογία. Σε ένα έξυπνο και συνδεδεμένο με τις συσκευές του σπίτι, οι ιδιοκτήτες μπορούν να έχουν απομακρυσμένη πρόσβαση σε συσκευές, συστήματα ασφαλείας και παρακολούθησης και πολλά άλλα μέσω των smartphone τους (Munirathinam S., et al. 2019). Σε έξυπνες και συνδεδεμένες πόλεις σε όλο τον κόσμο, τα IIoT αναπτύσσονται με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, χρησιμοποιώντας περιορισμένους πόρους πιο αποτελεσματικά και μειώνοντας τις εκπομπές άνθρακα για τη δημιουργία ενός πιο πράσινου πλανήτη. Σε έξυπνα και συνδεδεμένα αυτοκίνητα, οι αισθητήρες εφαρμόζονται για την αύξηση της ασφάλειας στον δρόμο αλλά και της ασφάλειας των οδηγών και των επιβατών. Αυτοί οι κανονισμοί ενδέχεται να επιβληθούν σε όλα τα νέα αυτοκίνητα στο μέλλον. Σε όλους σχεδόν τους τομείς της ζωής, το IoT φαίνεται να αλλάζει τον κόσμο μας. Σύμφωνα με παλαιότερες εκτιμήσεις πάνω από 30 δισεκατομμύρια συσκευές στον κόσμο συνδέονται σήμερα με κάποιο τρόπο, δηλαδή 20 δισεκατομμύρια περισσότερες συσκευές από ότι το 2013 (Bay O., et al. 2013).

Το ΠoT συνδέει τον φυσικό κόσμο των αισθητήρων, συσκευών και μηχανών με το Διαδίκτυο και εφαρμόζοντας βαθιά ανάλυση μέσω λογισμικού, μετατρέπει τεράστια δεδομένα σε ισχυρές νέες γνώσεις και νοημοσύνη. Το ΠoT αναφέρεται στην επέκταση και τη χρήση του Internet of Things (IoT) σε βιομηχανικούς τομείς και εφαρμογές. Με ιδιαίτερη έμφαση στην επικοινωνία μεταξύ των μηχανών (M2M), στα δεδομένα μεγάλης κλίμακας (Big Data) αλλά και στη μηχανική εκμάθηση (machine learning), το ΠoT επιτρέπει στις βιομηχανίες και τις επιχειρήσεις να έχουν καλύτερη αποδοτικότητα και αξιοπιστία στις λειτουργίες τους (Munirathinam S., et al. 2019).

Το IoT μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες με βάση τη χρήση και τους πελάτες:

- Το Καταναλωτικό IoT, περιλαμβάνει τις συνδεδεμένες συσκευές, όπως έξυπνα αυτοκίνητα, τηλέφωνα, ρολόγια, φορητούς υπολογιστές, συνδεδεμένες συσκευές και συστήματα ψυχαγωγίας.
- Το εμπορικό IoT, περιλαμβάνει πράγματα όπως ελέγχους αποθέματος, συσκευές παρακολούθησης και συνδεδεμένες ιατρικές συσκευές.
- Το βιομηχανικό IoT καλύπτει πράγματα όπως τους συνδεδεμένους ηλεκτρικούς μετρητές, συστήματα λυμάτων, μετρητές ροής, οθόνες αγωγών, ρομπότ κατασκευής και άλλοι τύποι συνδεδεμένων βιομηχανικών συσκευών και συστημάτων.

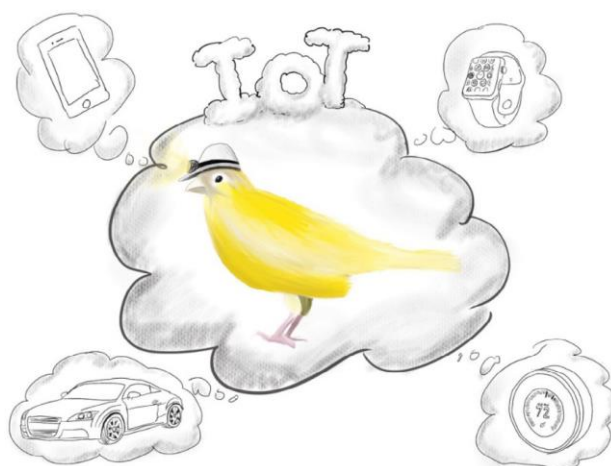
Μπαίνουμε σε μια εποχή βαθύτατου μετασχηματισμού καθώς ο ψηφιακός κόσμος μεγιστοποιεί την αποδοτικότητα των πιο κρίσιμων φυσικών μας στοιχείων. Βιώνουμε απίστευτη καινοτομία στο Διαδίκτυο καθώς επιταχύνει τη σύνδεση αντικειμένων όχι μόνο με τον άνθρωπο αλλά και με άλλα αντικείμενα. Οι εφαρμογές ΠoT υπόσχονται να φέρουν τεράστια αξία στη ζωή μας.

## 1.2 Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Τα παλιά χρόνια, οι ανθρακωρύχοι έβαζαν ένα καναρίνι σε ένα κλουβί και πήγαιναν το καναρίνι κάτω στα ορυχεία. Το καναρίνι ως πιο ευαίσθητο, έχανε τις αισθήσεις του και με αυτόν τον τρόπο χρησίμευε ως ένδειξη ότι κάτι τοξικό υπάρχει στην ατμόσφαιρα και ότι το μέρος δεν ήταν ασφαλές, λέγοντας έτσι στους ανθρακωρύχους να βγουν έξω πριν λιποθυμήσουν όπως το καναρίνι ([Εικόνα 2](#) και [Εικόνα 3](#)).



Εικόνα 2: Το καναρίνι στα ορυχεία. <https://share.america.gov/english-idiom-canary-coal-mine/>



Εικόνα 3: Το καναρίνι του IOT.



Σήμερα, οι αισθητήρες μιμούνται το καναρίνι, καθώς επίσης «ανιχνεύουν» το περιβάλλον και προειδοποιούν ότι κάτι δεν πάει καλά και πως πρέπει να παρθούν προληπτικά μέτρα. Ευτυχώς για την ευημερία των καναρινιών, οι σημερινοί ανθρακωρύχοι χρησιμοποιούν πλέον εξελιγμένους υπέρυθρους και καταλυτικούς αισθητήρες «θερμότητας καύσης» για να ανιχνεύσουν δηλητηριώδη και εύφλεκτα αέρια. Άμα συνδεθούν αυτοί οι αισθητήρες στο Διαδίκτυο μπορεί ένας υπεύθυνος ασφαλείας σε απομακρυσμένη τοποθεσία να παρακολουθεί ακόμη και να προβλέπει πιθανούς κινδύνους προτού έχουν την ευκαιρία να κλιμακωθούν.

Το πρώτο σύστημα τηλεμετρίας κυκλοφόρησε στο Σικάγο το 1912. Λέγεται ότι χρησιμοποίησε τηλεφωνικές γραμμές για την παρακολούθηση δεδομένων από σταθμούς παραγωγής ενέργειας (Zannaro M., et al. 2017). Η τηλεμετρία επεκτάθηκε στην παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών τη δεκαετία του 1930, όταν μία συσκευή γνωστή ως radiosonde χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών από τα μπαλόνια. Το 1957 η Σοβιετική Ένωση ξεκίνησε το πρόγραμμα «Σπούτνικ» και μαζί του τον αγώνα για την κατάκτηση του διαστήματος (Space Race). Αυτή ήταν η είσοδος της τηλεμετρίας στην αεροδιαστημική που δημιούργησε τη βάση των παγκόσμιων δορυφορικών επικοινωνιών μας σήμερα.

Η ευρεία υιοθέτηση της τεχνολογίας M2M ξεκίνησε τη δεκαετία του 1980 με ενσύρματες συνδέσεις με το SCADA (εποπτικός έλεγχος και απόκτηση δεδομένων) σε εργοστάσια και σε συστήματα ασφάλειας σε σπίτια ή σε επιχειρήσεις (Zannaro M., et al. 2017). Τη δεκαετία του 1990, η M2M άρχισε να κινείται προς ασύρματες τεχνολογίες. Η ιδέα ενός δικτύου έξυπνων συσκευών είχε συζητηθεί ήδη από το 1982, όπου με ένα τροποποιημένο μηχάνημα αυτόματου πωλητή αναψυκτικών στο Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon, δημιουργήθηκε η πρώτη συσκευή συνδεδεμένη στο Διαδίκτυο, ικανή να αναφέρει τον κατάλογό της και αν τα πρόσφατα τοποθετημένα ροφήματα ήταν κρύα.

### **1.2.1 Ιστορική εξέλιξη Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων**

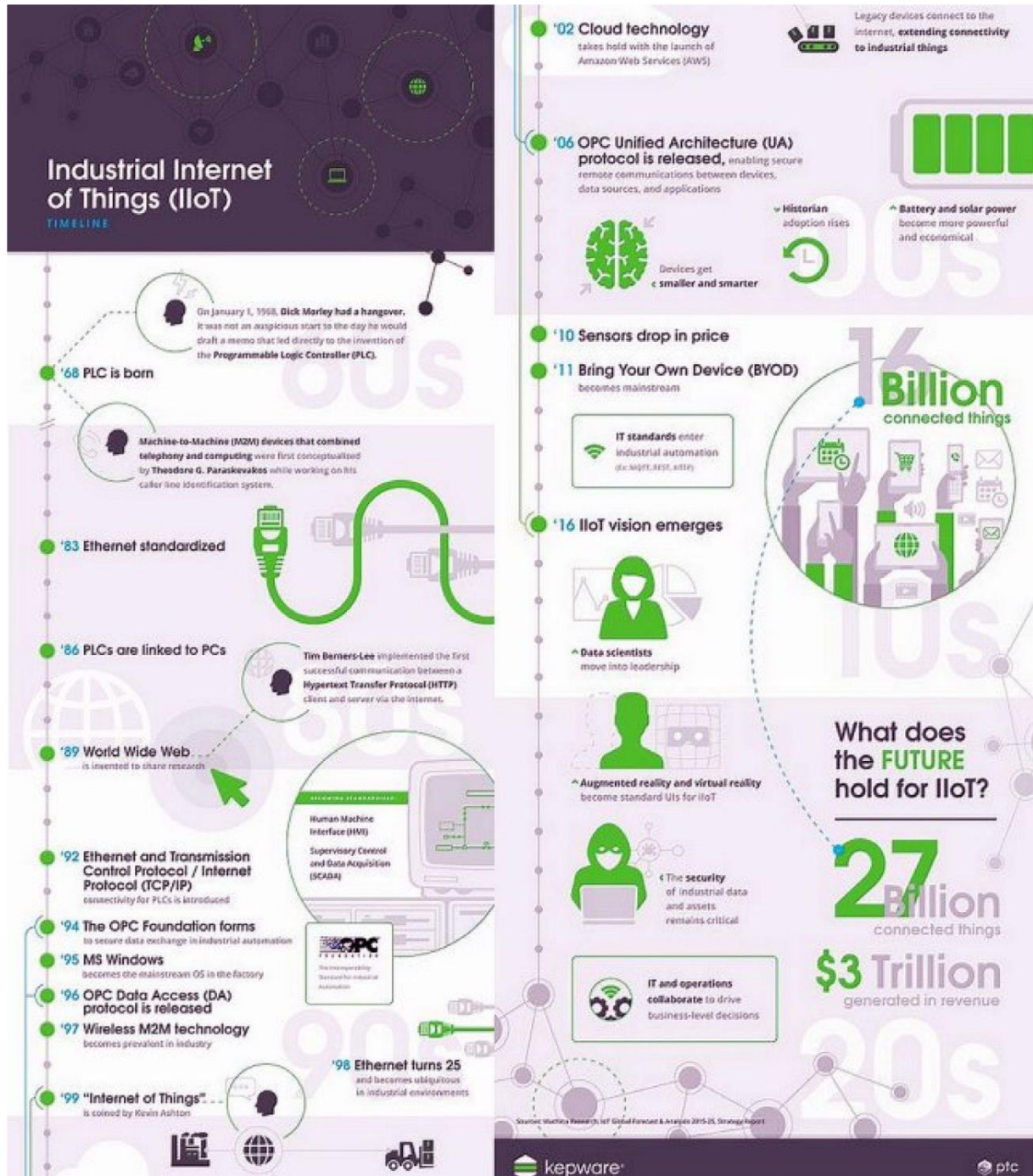
Ο όρος «Το Διαδίκτυο των πραγμάτων» (IoT) επινοήθηκε από τον Kevin Ashton, ο οποίος είναι συνιδρυτής του εργαστηρίου Auto-ID του MIT, σε μια παρουσίαση της Procter & Gamble το 1999. Ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε την τεχνολογία RFID στον τομέα

διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στην πραγματικότητα, ήδη το 1926 διατυπώθηκαν οι πρώτες προβλέψεις ενός IoT (Munirathinam S., et al. 2019). Τότε, ο Νίκολα Τέσλα είπε στο *Colliers Magazine* τα ακόλουθα σε μια συνέντευξή του: «Όταν η ασύρματη εφαρμογή υλοποιηθεί, ολόκληρη η γη θα μετατραπεί σε έναν τεράστιο εγκέφαλο, πράγμα που στην πραγματικότητα σημαίνει πως όλα θα είναι μέρη ενός συνόλου και τα μέσα, μέσω των οποίων θα μπορέσουμε να το κάνουμε αυτό θα είναι εκπληκτικά απλά σε σύγκριση με το παρόν τηλέφωνό μας. Ένας άντρας θα μπορεί να το μεταφέρει στην τσέπη του γιλέκου του.»

Πριν από την ανάπτυξη του Διαδικτύου το 1969, ο Άλαν Τούρινγκ είχε ήδη διατυπώσει το ερώτημα αν οι μηχανές μπορούν να σκεφτούν, στο άρθρο του το 1950, *Computing Machinery και Intelligence*. Εκεί είχε δηλώσει ότι «... Μπορεί επίσης να υποστηριχθεί ότι είναι καλύτερο να παρέχουμε στη μηχανή τα καλύτερα όργανα που μπορούν να αγοραστούν με χρήματα και, στη συνέχεια, να το διδάξουμε να κατανοεί και να μιλάει Αγγλικά. Αυτή η διαδικασία θα μπορούσε να ακολουθήσει την κανονική διδασκαλία ενός παιδιού.» Έτσι, χρόνια πριν από την αποστολή του πρώτου μηνύματος μέσω Διαδικτύου, ο Άλαν Τούρινγκ σκεφτόταν ήδη ότι οι έξυπνες μηχανές θα μπορούσαν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους.

Στον σημερινό ταχύτατο κόσμο της τεχνολογίας, ένα νέο λογισμικό μπορεί να αναμορφώσει τις βιομηχανίες εν μία νυκτί. Όμως, ενώ το IIoT βρίσκεται παντού πλέον, συνδέοντας εκατομμύρια συσκευές, μηχανήματα, αισθητήρες και συστήματα σε όλο τον κόσμο, δεν είναι παρά κάτι παροδικό. Κατά τα τελευταία 50 χρόνια, τα τεχνολογικά ορόσημα είτε μεγάλα είτε μικρά, που διακρίνονται από σημαντικές ανακαλύψεις, οδήγησαν στο σημερινό IIoT και εξακολουθούν να διαγράφουν το αυριανό βιομηχανικό τοπίο (Munirathinam S., et al. 2019).

Στη [Εικόνα 4](#) παρουσιάζεται ένα χρονοδιάγραμμα που δείχνει πώς οι τεχνολογίες εξελίχθηκαν με την πάροδο του χρόνου για να καταστήσουν δυνατή την ύπαρξη του IIoT. Αν και απέχει πολύ από την πραγματικότητα, το παρακάτω χρονοδιάγραμμα παρέχει μια γενική επισκόπηση σχετικά με το από που προήλθε το IIoT και προς τα που θα κατευθύνεται στο μέλλον. Ο δρόμος για τη δημιουργία του IIoT ξεκίνησε το 1968, όταν ο μηχανικός Dick Morley έκανε μια από τις πιο σημαντικές ανακαλύψεις στην ιστορία της παραγωγής. Εκείνη τη χρονιά, ο Morley και μία ομάδα φίλων επινόησαν τον προγραμματιζόμενο ελεγκτή λογικής (PLC), ο οποίος τελικά θα μπορούσε να εγκατασταθεί στην αυτοματοποίηση γραμμών συναρμολόγησης και βιομηχανικών ρομπότ στα εργοστάσια.



Εικόνα 4: IIoT Ιστορική πορεία [<https://info.keppure.com/blog/iiot-timeline>]

### 1.3 Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Οι καταναλωτές είναι ενθουσιώδεις για έξυπνα σπίτια, έξυπνα αυτοκίνητα, έξυπνους κήπους, έξυπνες κουζίνες και έξυπνες συσκευές, είτε αυτή η νοημοσύνη δημιουργείται μέσω της ρομποτικής τεχνητής νοημοσύνης ή του IoT. Οι επιχειρήσεις βρίσκουν νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες από τα exabytes των συσκευών, και τα δεδομένα αυτά μπορούν να οργανωθούν σε απλές και κατανοητές ιδέες μέσω τεχνητής νοημοσύνης.

Σε σύγκριση με το IoT, το Internet of Everything - IoE («Διαδίκτυο των πάντων») είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας, των επιχειρηματικών στρατηγικών και της εμπλοκής ανθρώπου και τεχνολογίας με τρόπους που επαναπροσδιορίζουν τον τρόπο λειτουργίας των οργανισμών (Munirathinam S., et al. 2019). Το IoE περιλαμβάνει τεχνολογικές λύσεις που συνδυάζουν την ασφάλεια, τη δικτύωση που καθορίζεται από λογισμικό, τις ενοποιημένες επικοινωνίες, τα αναλυτικά στοιχεία, τη δικτύωση με γνώμονα τις εφαρμογές, την ομοσπονδία βάσεων δεδομένων και την εμπειρία κινητής τηλεφωνίας. Το IoT είναι ο βασικός παράγοντας που επιτρέπει το IoE, όπως φαίνεται ([Εικόνα 5](#))

Το IoT έχει τεράστιες οικονομικές προοπτικές και ο παγκόσμιος στόχος ορίζεται στις 50 δισεκατομμύρια συνδεδεμένες συσκευές που προσφέρουν μεγαλύτερη απόδοση, παραγωγικότητα, ασφάλεια και άνεση σε κάθε πτυχή της καθημερινής μας ζωής (Munirathinam S., et al. 2019). Από φορητές συσκευές και συνδεδεμένα αυτοκίνητα, έως συνδεδεμένα σπίτια, έξυπνες πόλεις και βιομηχανικές υποδομές, η ισχύς και οι δυνατότητες του IoT δημιουργούν ενθουσιασμό και προωθούν την καινοτομία σε προϊόντα, υπηρεσίες και επιχειρηματικά μοντέλα.

Η δημιουργία αξίας του IoT προέρχεται από τη δυνατότητα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και δεδομένων. Αυτό απαιτεί λήψη δεδομένων, μετάδοση, ανάλυση και αποθήκευση. Οι εφαρμογές συλλογής δεδομένων αποτελούνται από δισεκατομμύρια συνδεδεμένα έξυπνα και ημι-έξυπνα «πράγματα» που απαιτούν συνδεσιμότητα M2M. Επειδή αυτά τα «πράγματα» αναπτύσσονται σε διάφορες τοποθεσίες υποδομής, όπως χώροι στάθμευσης πόλεων, φωτεινοί σηματοδότες, ενεργειακά αγροκτήματα κ.λπ., πρέπει να διαχειρίζονται απομακρυσμένα σε ό,τι αφορά τον προγραμματισμό, την ανάλυση δεδομένων, την ασφάλεια και τις επιχειρηματικές πολιτικές. Η μετάδοση δεδομένων απαιτεί πολλαπλά επίπεδα συνδεσιμότητας και βασίζεται στην ικανότητα σύνδεσης κατανεμημένων συσκευών

IoT σε ένα σύστημα διαχείρισης αποφάσεων. Η ανάλυση δεδομένων απαιτεί περισσότερη υπολογιστική ισχύ και μνήμη - ειδικά για τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Οι ανάγκες αποθήκευσης δεδομένων αυξάνονται επίσης λόγω της ανάπτυξης ψηφιακού περιεχομένου και περιεχομένου που δημιουργείται από μηχανήματα.

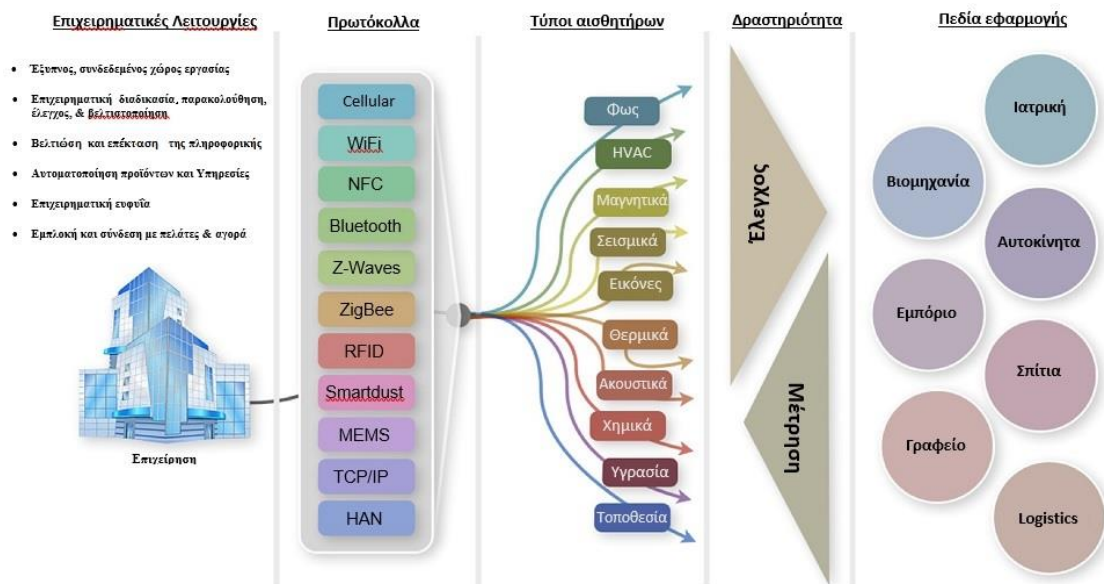
### **1.3.1 Έξυπνη Παραγωγή**

Το IIoT θα φέρει επανάσταση στην βιομηχανία, επιτρέποντας την απόκτηση και την προσβασιμότητα πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων δεδομένων, σε πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες και πολύ πιο αποτελεσματικά από ό,τι πριν. Αρκετές εταιρείες έχουν αρχίσει να εφαρμόζουν το IIoT αξιοποιώντας έξυπνες, συνδεδεμένες συσκευές στα εργοστάσιά τους. Το IIoT ευνοεί την απόκτηση περισσότερων δεδομένων, στην επικοινωνία, στις αναλύσεις σε πραγματικό χρόνο και αποφάσεις βάσει δεδομένων σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών κλάδων. Το IIoT δεν είναι πλέον μια φουτουριστική ιδέα για τις εταιρείες σε όλο τον κόσμο, αλλά είναι πλέον το εργαλείο με το οποίο γίνονται οι εργασίες.

Στα έξυπνα εργοστάσια, οι μηχανές και τα προϊόντα επικοινωνούν μεταξύ τους οδηγώντας συνεργατικά την παραγωγή. Εργοστάσια με μηχανήματα αυτοματισμού υπάρχουν ήδη σήμερα, στο μέλλον ωστόσο αυτά τα μέχρι τώρα αυτόνομα συστήματα θα συνδέονται μεταξύ τους σε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο, όλες οι συσκευές και τα μηχανήματα θα είναι κατάλληλα εξοπλισμένα με αισθητήρες και τεχνολογία για να επικοινωνούν και θα συνδέονται μεταξύ τους.

Η έξυπνη παραγωγή επιτρέπει στους διευθυντές εργοστασίων να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα για να λαμβάνουν καλύτερα ενημερωμένες αποφάσεις και να βελτιστοποιούν την παραγωγή. Η έξυπνη παραγωγή αφορά αποκλειστικά τα δεδομένα, τα οποία υποδεικνύουν «τι να κάνουμε» και «πότε να το κάνουμε» (Munirathinam S., et al. 2019). Είναι μια ισχυρή τάση με τη δυνατότητα αναδιάρθρωσης του τρέχοντος ανταγωνιστικού τοπίου.





Εικόνα 5: Internet of Things για επιχειρήσεις [<http://zdnet.com>]

Ο βιομηχανικός εξοπλισμός συχνά υπόκειται σε φθορά. Επομένως, απαιτούνται διαδικασίες παρακολούθησης και συντήρησης. Ωστόσο, είναι δύσκολο να εφαρμοστούν μεμονωμένα. Δεδομένου ότι πρέπει να παρακολουθείται συνεχώς χωρίς αυτό να επηρεάζει την συνεχή παραγωγή, είναι πρώτο στην λίστα βελτίωσης. Η εφαρμογή αισθητήρων σε βιομηχανικές λειτουργίες αυξάνεται ραγδαία λόγω σημαντικών μειώσεων στο κόστος αισθητήρων, εξελίξεων στην τεχνολογία ανίχνευσης και της εισαγωγής προηγμένων αναλυτικών εφαρμογών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή πληροφοριών σε δεδομένα. Αυτή η αύξηση στη χρήση των αισθητήρων έχει πρόσφατα χαρακτηριστεί ως βασικό χαρακτηριστικό του IIoT.

- Το IIoT ενσωματώνει τη μηχανική εκμάθηση και την τεχνολογία των δεδομένων μεγάλου όγκου, αξιοποιώντας τα δεδομένα αισθητήρων, τις τεχνολογίες επικοινωνίας από μηχανή σε μηχανή καθώς και τεχνολογίες αυτοματισμού που υπάρχουν εδώ και χρόνια σε βιομηχανικές μονάδες.
- Η βασική φιλοσοφία πίσω από το IIoT είναι ότι οι έξυπνες μηχανές είναι καλύτερες από τους ανθρώπους με την ακριβή, συνεχή λήψη και αποστολή δεδομένων.
- Αυτά τα δεδομένα μπορούν να επιτρέψουν στις εταιρείες να αντιμετωπίσουν τις ανεπάρκειες και τα προβλήματα νωρίτερα, εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα και υποστηρίζοντας προσπάθειες επιχειρηματικής βελτίωσης.

- Στην κατασκευή συγκεκριμένα, το ΠoT μπορεί να εφαρμοστεί στις διαδικασίες ελέγχου ποιότητας, να βελτιώσει βιώσιμες και πράσινες πρακτικές, να βελτιώσει την ιχνηλασιμότητα στην αλυσίδα εφοδιασμού και να αυξήσει τη συνολική αποδοτικότητα της αλυσίδας εφοδιασμού.

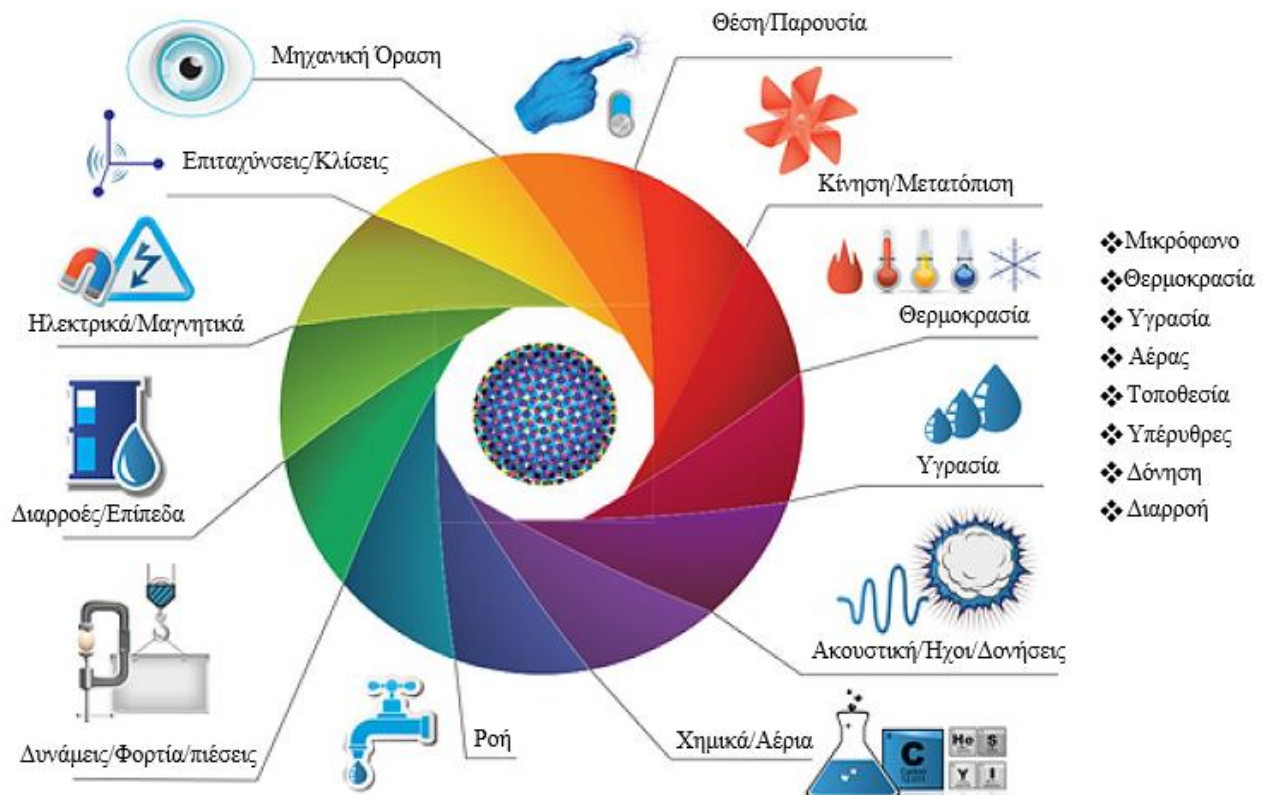
Τα δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες και μηχανήματα αποθηκεύονται στο νέφος (Cloud) μέσω σύνδεσης IoT που εγκαθίσταται στο εργοστάσιο. Αυτά τα δεδομένα αναλύονται και συνδυάζονται με πληροφορίες και στη συνέχεια κοινοποιούνται στους ενδιαφερόμενους.

Η έξυπνη παραγωγή απαιτεί οριζόντια και κάθετη ενσωμάτωση δεδομένων σε όλη την επιχείρηση. Η κάθετη ψηφιοποίηση περιλαμβάνει την ενοποίηση δεδομένων από λειτουργίες της επιχείρησης όπως η παραγωγή, οι προμήθειες, η διαχείριση της αλυσίδα εφοδιασμού, ο σχεδιασμός του κύκλου ζωής των προϊόντων, η διακίνηση και διανομή και ο έλεγχος ποιότητας, όλα ενσωματωμένα για απρόσκοπτη ροή δεδομένων. Η οριζόντια ψηφιοποίηση περιλαμβάνει ενοποίηση δεδομένων με προμηθευτές, πελάτες και βασικούς συνεργάτες. Για την επίτευξη ολοκλήρωσης απαιτεί αναβάθμιση αντικαθιστώντας δίκτυα, διαδικασίες και εξοπλισμό (Munirathinam S., et al. 2019).

Το Harbour Research and Postscapes, περιγράφει το IoT ως ένα ψηφιακό νευρικό σύστημα (Harwood T., et al. 2014) και ολόκληρη την εφαρμογή IoT ως ζωντανό, αναπνέοντα οργανισμό που χρησιμοποιεί τις αισθήσεις του για να δει, να ακούσει και να αισθανθεί το περιβάλλον. Εάν οι πληροφορίες που προέρχονται από ένα δάχτυλο λένε ότι κάτι είναι πολύ ζεστό, χρειάζεται αυτές οι πληροφορίες να παραδοθούν γρήγορα στον εγκέφαλο, έτσι ώστε το χέρι να μπορεί να τραβηχτεί προς τα πίσω. Τα μάτια και τα αυτιά χρησιμοποιούν κάμερες και μικρόφωνα, μαζί με αισθητήρια όργανα που μπορούν να μετρήσουν τα πάντα, από αλλαγές θερμοκρασίας έως πίεσης ([Εικόνα 6](#)).

Ο ήχος είναι το πιο εμφανές σήμα μηχανικής βλάβης. Τα περισσότερα από τα σφάλματα ανακαλύπτονται σε αυτόν τον τομέα λόγω της κίνησης των εξαρτημάτων δημιουργώντας τριβή. Τα μικρόφωνα καταγράφουν ηχητικά σημάδια φθοράς για να εμφανιστούν διαφορές στους θορύβους που προκαλούν οι μηχανές έτσι ώστε η συντήρηση να μπορεί να προγραμματιστεί πριν οτιδήποτε αστοχήσει και προκαλέσει διακοπή λειτουργίας. Η παρατεταμένη διακοπή λειτουργίας, όπως μπορείτε να φανταστείτε, είναι το χειρότερο πράγμα που μπορεί να συμβεί σε μια εγκατάσταση παραγωγής. Στη μελέτη των Singh S., et

al. (2016) αναλύεται μια αντίστοιχη εφαρμογή στην οποία αντί της άμεσης ανάλυσης των κυματομορφών χρονοσειρών, γίνεται έμμεση επεξεργασία των ηχητικών σημάτων μέσω επεξεργασίας φασματογραφημάτων προερχόμενων από αυτά. Ανάλογη με pixel στις εικόνες, η έννοια του



Εικόνα 6: Ψηφιακό νευρικό σύστημα με υπερ-αισθητήρες

<https://www.slideshare.net/SarwanSingh/internet-of-things-iot-and-its-applications>

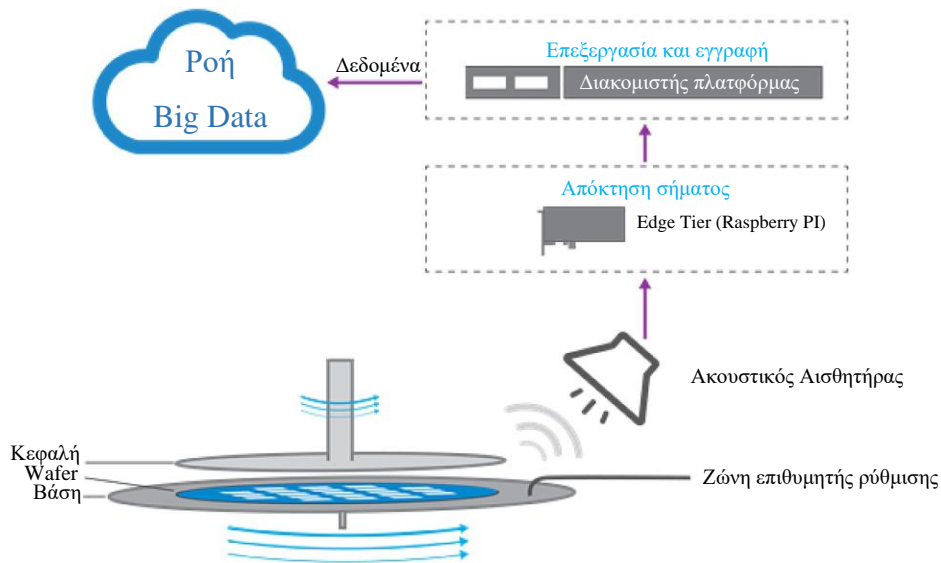
"auxel" χρησιμοποιήθηκε για την αναπαράσταση της τιμής έντασης ενός φασματογράφου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία χρονικής συχνότητας. Αυτή η μορφή δεδομένων που μοιάζει με εικόνα επέτρεψε την αναπαράσταση συμβάντων με ένα διαφορετικό εύρος χωρικών χαρακτηριστικών, όπως τα άκρα. Οι καθορισμένες δυνατότητες που μοιάζουν με τα άκρα (όρια) σε φασματογραφήματα όπως γραμμές υψηλής ενέργειας στον τομέα συχνοτήτων είναι συγκρίσιμες με τις άκρες ενός αντικειμένου σε μια εικόνα.

Μία από τις βασικές έξυπνες εφαρμογές IIoT στην παραγωγή ημιαγωγών αφορά στην παρακολούθηση της κατάστασης («υγείας») του δίσκου πυριτίου (wafer) μέσω της εφαρμογής ακουστικών αισθητήρων σε σχετικά μηχανήματα στίλβωσης (Micron Tech. et al. 2018). Συγκρίνοντας τα βασικά ηχητικά αποτυπώματα από τα ακουστικά σήματα ενός



δίσκου με τα ηχητικά αποτυπώματα που εντοπίστηκαν κατά τη στίλβωση, μπορούμε να αναγνωρίσουμε μη φυσιολογικούς ήχους και να εντοπίσουμε δυνητικά προβληματικές συνθήκες κατεργασίας (**Εικόνα 7**).

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στην παραδοσιακή παραγωγική διαδικασία, όπως η ροπή και η πίεση, δεν είναι ευαίσθητοι σε αυτά του τύπου τα σφάλματα. Το σύστημα ακουστικής παρακολούθησης επιτρέπει να συλλέγονται ακουστικά σήματα αυτόματα στο εργαλείο ημιαγωγών και να εντοπίζονται μη φυσιολογικοί ήχοι. Οι προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας σήματος βοηθούν στην εξαγωγή χαρακτηριστικών και εφαρμόζουν τεχνικές μηχανικής εκμάθησης για τη διαφοροποίηση του προβληματικού αποτυπώματος ήχου από το αρχικό αποτύπωμα.



**Εικόνα 7: Ακουστικός αισθητήρας για παρακολούθηση κατάστασης**

[https://media-www.micron.com/-/media/client/global/documents/products/case-study/smart\\_manufacturing\\_iiot\\_case\\_study.pdf?rev=79e777f5f50d4db69f3725a1c07f7678](https://media-www.micron.com/-/media/client/global/documents/products/case-study/smart_manufacturing_iiot_case_study.pdf?rev=79e777f5f50d4db69f3725a1c07f7678)

Μια άλλη περίπτωση εφαρμογής IIoT στο πεδίο της παραγωγής αφορά στην παρακολούθηση της κατάστασης αντλιών μέσω διαδικτύου χρησιμοποιώντας σύγχρονη τεχνολογία ασύρματων αισθητήρων.

Σε αντλίες πολλαπλών σταδίων απαιτείται παρακολούθηση πιθανών συνθηκών σπηλαιώσης, καθώς η συγκεκριμένη κατάσταση, ακόμη και για μικρό χρονικό διάστημα, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική φθορά. Η συγκεκριμένη βλάβη μπορεί να προληφθεί παρακολουθώντας συνεχώς την πίεση εκφόρτισης της αντλίας για πιθανές διακυμάνσεις μέσω ενός αισθητήρα πίεσης και της ασύρματης μεταφοράς των σχετικών δεδομένων.

Η παρακολούθηση κραδασμών ανιχνεύει πολλές κοινές αιτίες βλάβης της αντλίας. Η υπερβολική δόνηση του κινητήρα και της αντλίας μπορεί να προκληθεί από αστοχία της διάταξης στήριξης (με τσιμέντο ή μεταλλικό σκελετό), εσφαλμένη ευθυγράμμιση άξονα, ζημιά φτερωτής, φθορά αντλίας ή κινητήρα, φθορά ζεύξης ή/και σπηλαιώση. Η αύξηση των κραδασμών συνήθως οδηγεί σε αστοχία στεγανοποίησης και μπορεί να οδηγήσει σε δαπανηρές επισκευές, διακοπή της παραγωγής, μειωμένη απόδοση, πρόστιμα εάν διαρρεύσει επικίνδυνο υλικό και φωτιά εάν το διαρρέον υλικό είναι εύφλεκτο.

Εν κατακλείδι μερικά από τα οφέλη του IIoT είναι τα εξής:

- Αύξηση της αποδοτικότητας
- Ελαχιστοποίηση των προβλημάτων
- Προγνωστική συντήρηση
- Αύξηση της ασφάλειας
- Μείωση του κόστους

### **1.3.2 Έξυπνη υγεία**

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) στην υγειονομική περίθαλψη έχει επικεντρωθεί στη μείωση του κόστους (που είναι πάντα επιθυμητό) και στη βελτίωση των αποτελεσμάτων των ασθενών με τις εξής δυνατότητες: εύρεση προτύπων για βελτιωμένες διαγνώσεις και εντοπισμός νέων θεραπειών. Οι σχετικές εφαρμογές επικεντρώνονται επί του παρόντος στην εφαρμογή αλγορίθμων βαθιάς μάθησης για τον εντοπισμό και την επισήμανση ανωμαλιών στην ιατρική απεικόνιση. Η τεχνητή νοημοσύνη βοηθά επίσης τους ασθενείς μέσω εφαρμογών chatbots να προγραμματίσουν ραντεβού, για λιγότερη χρέωση ή απλώς για να παρέχει βασικές ιατρικές πληροφορίες (Munirathinam S., et al. 2019).

Τεχνικές AI χρησιμοποιούνται επίσης για την εξαγωγή διάγνωση μέσω μηχανών και τον καθορισμό του σχεδίου θεραπείας, την αναγνώριση των σχετικών γονιδιομάτων και την πρόβλεψη της πιθανότητας επιτυχίας της θεραπείας με αποτέλεσμα τη σωστότερη θεραπεία και παρακολούθησή της. Η μέγιστη ακρίβεια απαιτεί αλγόριθμους που εκπαιδεύονται ξεχωριστά για κάθε πάθηση και ασθένεια, μια αρκετά δαπανηρή αλλά απαραίτητη διαδικασία. Ένα μεγάλο μέρος αυτής βρίσκεται σε φάση ανάπτυξης και δεν αναμένεται να

εμπορευματοποιηθεί για τουλάχιστον κάποια χρόνια ακόμα. Η εποπτεία μέσω των σχετικών ρυθμιστικών οργανισμών είναι απαραίτητη και πρέπει να εγκριθούν τέτοια συστήματα ώστε οι γιατροί να τα ενσωματώσουν στις πρακτικές τους.

Σε σχετικό δημοσίευμα του Forbes (Pearl R., et al 2018) αναφέρεται ότι "Το χάσμα ακρίβειας μεταξύ του ανθρώπινου και του ψηφιακού ματιού αναμένεται να διευρυνθεί περαιτέρω και σύντομα." Η τεχνητή νοημοσύνη βοηθά ήδη στην προώθηση των διαγνωστικών στην ακτινολογία, την παθολογία, τη δερματολογία και την οφθαλμολογία (αναλύοντας τις φλέβες στο μάτι). Οι επαγγελματίες του ιατρικού τομέα είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικότερα τον καρκίνο του πνεύμονα, το μελάνωμα, τις καρδιαγγειακές παθήσεις και τις επιπτώσεις του διαβήτη στην όραση.

Η υγεία ακριβείας (precision health) αφορά την παρακολούθηση της υγείας κάθε μέρα, κάθε δευτερόλεπτο, έξω από κέντρα θεραπείας και νοσοκομεία. Αυτές οι εφαρμογές, μόλις αναπτυχθούν, εγκριθούν και χρησιμοποιηθούν στην πράξη, θα δημιουργούν τεράστιες ποσότητες δεδομένων για αποθήκευση και ανάλυση.

Μερικά από τα οφέλη της έξυπνης υγείας είναι:

- Αύξηση της πρόσβασης σε περισσότερες υπηρεσίες υγείας
- Καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών
- Εστίαση στην πρόληψη
- Διαχείριση των ασθενειών και παθήσεων πιο νωρίς
- Μείωση κόστους και αναμονής

### **1.3.3 Έξυπνες πόλεις**

Η ανάπτυξη μιας έξυπνης πόλης είναι πολυδιάστατη. Σε οποιοδήποτε μεγάλο αστικό κέντρο, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις χρήσης και μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το μέγεθος της πόλης και το τοπικό πεδίο ελέγχου. Η ανάπτυξη των εφαρμογών «έξυπνου σπιτιού» είναι ένας τρόπος με τον οποίο το IoT αλλάζει τα πράγματα για την κοινωνία, με συσκευές οι οποίες πλέον επικοινωνούν μεταξύ τους οι δυνατότητες αυξάνονται ραγδαία (για παράδειγμα ένα ψυγείο επικοινωνεί αυτόματα με ένα σούπερ-μάρκετ όταν βασικά είδη όπως το γάλα ή τα αυγά εξαντλούνται ώστε να παραγγελθούν περισσότερα) (Munirathinam S., et al. 2019).

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται σήμερα σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων των παρακάτω:

- Αισθητήρες ενσωματωμένοι σε γέφυρες για να καταγράφουν φαινόμενα όπως η υποβάθμιση και η επίδραση των σεισμικών δυνάμεων στην εργασία.
- Αισθητήρες ενσωματωμένοι σε οδοστρώματα για να καταγράφουν φαινόμενα όπως η καθίζηση και η φθορά, καθώς και η ροή κυκλοφορίας.
- Αισθητήρες ενσωματωμένοι σε κτίρια για τη μέτρηση μεγεθών όπως η δύναμη του ανέμου, και την καταγραφή φαινομένων όπως η καθίζηση των θεμελίων, η σεισμική δραστηριότητα και άλλα.
- Αισθητήρες στο εσωτερικό των κτιρίων για την ανίχνευση της παρουσίας ατόμων μέσα στα δωμάτια, και επομένως τον έλεγχο της χρήσης φωτισμού, θέρμανσης και αέρα και άλλων συστημάτων για τον περιορισμό της ενεργειακής δαπάνης.
- Αισθητήρες στις εισόδους για την αναγνώριση προσώπου με σκοπό την ενίσχυση της ασφάλειας σε χώρους κατοικίας, εμπορικά κτίρια, κυβερνητικά γραφεία και άλλα.

Η δυνατότητα να συνδέονται όλοι αυτοί οι αισθητήρες μεταξύ τους ανοίγει νέους ορίζοντες στη διαχείριση μιας πόλης. Αυτό έχει πάρα πολλά θετικά και μπορεί να ωφελήσει τους πολίτες και την διοίκηση μιας πόλης σε πολλούς τομείς. Για παράδειγμα:

- Πιο αποτελεσματικές αποφάσεις βασισμένες σε περισσότερα δεδομένα
- Περισσότερη αλληλεπίδραση των πολιτών με τους δήμους τους
- Πιο ασφαλής κοινωνίες
- Βελτιωμένες συγκοινωνίες
- Νέες ευκαιρίες για οικονομική ανάπτυξη
- Μείωση ρύπανσης και οικολογικής καταστροφής

## 1.4 Κυβερνο-Φυσικά Συστήματα

Το ανθρώπινο σώμα είναι ένα εξαιρετικό μηχανικό σύστημα από το οποίο πολλά υπολογιστικά συστήματα έχουν εμπνευσθεί. Το ανθρώπινο σώμα είναι ένας συνδυασμός διαδικασιών υπολογισμού, επικοινωνίας και ελέγχου. Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες σε όλο το σώμα παρακολουθούν και ελέγχουν τις φυσικές διεργασίες, με βρόχους ανατροφοδότησης όπου οι φυσικές διαδικασίες επηρεάζουν τις ενέργειες και τις αντιδράσεις και το αντίστροφο. Αυτό το σύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα Κυβερνο-Φυσικό Σύστημα (Cyber-Physical System - CPS (Raj P., et al. 2020).

Έμπνευση για τα CPS αποτελούν τα ανθρώπινα συστήματα. Είναι έξυπνες συσκευές με ενσωματωμένους αισθητήρες, ενεργοποιητές και επεξεργαστές που συνδέονται μεταξύ τους για να αλληλοεπιδρούν με τον φυσικό κόσμο και παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την απόδοση αυτών των συσκευών σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

Τα CPS έχουν μεταμορφώσει τη δομή της εργασίας της βιομηχανίας και του κόσμου στον κυβερνοχώρο, ενσωματώνοντας την ευφυΐα και την προορατική χρήση των διαθέσιμων πόρων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που διαπερνούν έτσι τον τρόπο ζωής του σύγχρονου ανθρώπου. Εν ολίγοις, τα CPS έχουν καταστήσει την κατασκευαστική βιομηχανία πιο ακμάζουσα με μετασχηματιστικά οράματα που επεκτείνονται από τη συνεχή παρακολούθηση των αισθητήρων και ενεργοποιητών που καθίστανται προσβάσιμα και κατανοητά.

Οι αισθητήρες που συνδέονται με συστήματα αντλούν συνεχώς σε πραγματικό χρόνο δεδομένα. Αυτά τα πολύτιμα δεδομένα μετατρέπονται σε πληροφορίες και είναι σημαντικά για την παραγωγή γνώσης. Αυτό το πρότυπο γνώσης αποκρυπτογραφείται για να λαμβάνει ουσιαστικές αποφάσεις. Οι αποφάσεις λαμβάνονται για τον έλεγχο και για να λειτουργούν εξυπνότερα με βάση τα συμπεράσματα.

Το ανθρώπινο σώμα είναι εξαιρετικό για δίδυμο ενός CPS. Υπάρχουν 10 διαφορετικά συστήματα του ανθρώπινου σώματος. Είναι το πεπτικό, καρδιαγγειακό - κυκλοφοριακό, ανοσοποιητικό, ενδοκρινικό, δερματικό, αναπαραγωγικό, νευρικό, μυοσκελετικό σύστημα, αναπνευστικό και ουροποιητικό.

Αυτά τα συστήματα λειτουργούν σε τέλειο συγχρονισμό και μαθαίνουν σταδιακά καθώς μεγαλώνουν για την επίλυση προβλημάτων. Συγκεντρώνουν πολλά δεδομένα και τα χρησιμοποιούν για να λειτουργούν αποτελεσματικά στην καθημερινή ζωή. Τα δεδομένα

αποθηκεύονται κεντρικά στον εγκέφαλο και επίσης στα νεύρα για να βοηθήσουν στη δράση. Το σύστημα λειτουργεί σε τέλειο συγχρονισμό και μετατρέπει τις πληροφορίες σε σοφία για καλύτερη λήψη αποφάσεων. Αυτά τα δεδομένα κοινοποιούνται και αποκτώνται επίσης από άλλους για την ενίσχυση της λειτουργίας του συστήματος. Σπάνια, απαιτείται εξωτερική επίδραση για την επαναφορά του συστήματος χρησιμοποιώντας φάρμακα ή θεραπεία. Αλλά κυρίως, δεδομένου του χρόνου και της ανάπαυσης, τα συστήματα ανακάμπτουν από μόνα τους. Όταν κακοποιούνται, τα συστήματα δεν λειτουργούν σωστά. Τότε χρειάζεται εξωτερική βοήθεια για να επιστρέψει στην κανονική του κατάσταση (Raj P., et al. 2020).

Τα διάφορα συστήματα του σώματος είναι όπως τα CPS. Είναι αλληλοσυνδεδεμένα και εξαρτώνται το ένα από το άλλο. Με την έλευση του IoT, όλες οι συσκευές έγιναν πιο έξυπνες. Καθώς αυτές οι έξυπνες συσκευές που συνδέονται μεταξύ τους συνεργάζονται και δημιουργούν πολλά δεδομένα. Αυτά τα δημιουργημένα δεδομένα αναλύονται χρησιμοποιώντας αλγόριθμους βαθιάς μάθησης. Αυτό οδήγησε στη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων, όπου μεγάλη ποσότητα δεδομένων εκπαιδεύει το σύστημα για να βοηθήσει στην τεκμηρίωση προηγούμενων αδιανόητων αποφάσεων. Τώρα η βιομηχανία 4.0 προσπάθησε να ενσωματώσει αυτό το μοντέλο στη λειτουργία τους για να κάνει τα εργοστάσια πιο έξυπνα (Raj P., et al. 2020). Η διαθεσιμότητα του διαδικτύου άνοιξε το δρόμο για τη σύνδεση όλων των συσκευών. Έτσι, το IoT ενσωματώθηκε στη βιομηχανία για να την κάνει πιο έξυπνη. Ο αριθμός των ατυχημάτων μειώθηκε δραστικά. Το απαιτούμενο ανθρώπινο δυναμικό ήταν μικρότερο και η παραγωγικότητα αυξήθηκε.

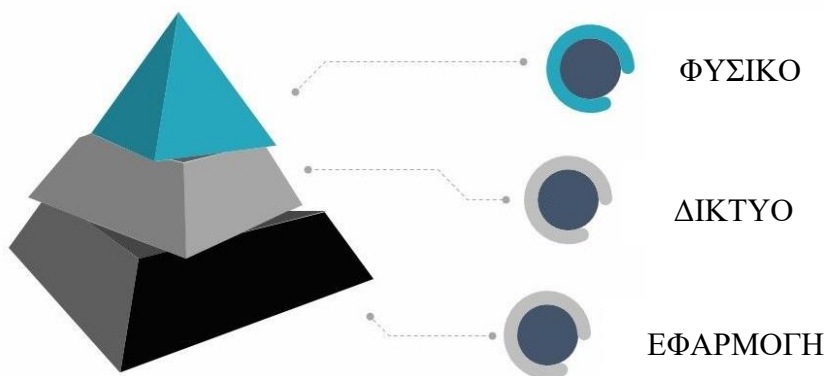
Έτσι, το CPS έχει φέρει επανάσταση στον κόσμο και έκανε εφικτές, τις επικίνδυνες αποστολές που στο παρελθόν ήταν απαγορευτικές, με τη δύναμη της συνδεσιμότητας και των δεδομένων.

#### **1.4.1 Δομή Κυβερνο-Φυσικών Συστημάτων**

Στο CPS, έχουμε στοιχεία υπολογισμού, ελέγχου, ανίχνευσης και δικτύωσης που πρέπει να έχει κάθε σύστημα. Πρόκειται για ένα απόσπασμα του IoT, του IoE, Industry 4.0 (Lee J., et al. 2015), Machine-to-Machine (M2M), TSensors (Trillion Sensors) (Akbar SA., 2019) που δημιούργησαν εργασιακούς χώρους και έξυπνους χώρους με AI, έξυπνες πόλεις, υπολογιστές αιχμής και πολλά άλλα. Επίσης, κάνουν χρήση των έξυπνων αισθητήρων και ευνοούν το επόμενο στάδιο καινοτομίας δλδ. προς ευφυή και αυτόνομα συστήματα.

Είναι ένας συνδυασμός συστημάτων και διαδικασιών που είναι να μεν είναι πολύπλοκες από μόνες τους αλλά εξακολουθούν να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Η αλληλεπίδραση διευκολύνεται από τον υπολογισμό, την επικοινωνία και τον έλεγχο που είναι τα τρία Cs<sup>1</sup> των διαφόρων τεχνολογιών που υποστηρίζονται από μοντέλα βαθιάς μάθησης.

Το CPS διαθέτει αυτά τα τρία σημαντικά στοιχεία που καθορίζουν ολόκληρο το σύστημα σε μια βιομηχανία.



Εικόνα 8: Αρχιτεκτονική των CPSs [<https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004>]

#### 1.4.1.1 Φυσικό επίπεδο

Οι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές, οι επεξεργαστές και οι πομποδέκτες αποτελούν τη βάση στο χαμηλότερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής CPS που χρησιμοποιείται για τη συλλογή δεδομένων. Η συνεχής ροή δεδομένων από αυτό το χαμηλότερο επίπεδο αποθηκεύονται σε cloud ή fog<sup>2</sup> ή edge. Τα δεδομένα είναι πολύτιμες πληροφορίες για την επεξεργασία των επόμενων επιπέδων στην αρχιτεκτονική CPS.

Το τμήμα υπολογισμού χρησιμοποιεί τα δεδομένα για ανάλυση ώστε να συγκεντρώσει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με το σύστημα και να διατηρήσει την υγεία του CPS. Οι έξυπνοι αισθητήρες δεν μεταδίδουν όλα τα δεδομένα, αλλά μόνο εκείνα που χρειάζονται για τη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων.

---

<sup>1</sup> Computation, communication και control.

<sup>2</sup> Fog Computing ή δίκτυο ομίχλης, επίσης γνωστή ως ομίχλη, είναι μια αρχιτεκτονική που χρησιμοποιεί συσκευές αιχμής για την πραγματοποίηση σημαντικού αριθμού υπολογισμού, αποθήκευσης και επικοινωνίας τοπικά και δρομολογήθηκε μέσω του Διαδικτύου

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες ή τους ενεργοποιητές είναι πολύ μεγάλα και ποικίλα. Αυτά τα δεδομένα πρέπει να συγκεντρωθούν και να προεπεξεργαστούν σε ψηφιακές ροές για να επιτρέψουν την επεξεργασία δεδομένων. Για την πραγματοποίηση αυτής της επεξεργασίας δεδομένων, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται ένα σύστημα απόκτησης δεδομένων (Data Acquisition System - DAS<sup>3</sup>). Η απόκτηση δεδομένων είναι η διαδικασία μέτρησης φυσικών συνθηκών πραγματικού κόσμου χρησιμοποιώντας σήματα δειγματοληψίας και μετατροπή των προκύπτοντων δειγμάτων σε ψηφιακές αριθμητικές τιμές που μπορούν να χειριστούν οι υπολογιστές. Τα συστήματα απόκτησης δεδομένων συνήθως μετατρέπουν αναλογικές κυματομορφές σε ψηφιακές τιμές για επεξεργασία. Τα δεδομένα που συλλέγονται ταξινομούνται για να σταλούν στο κέντρο επεξεργασίας δεδομένων έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μάθηση, δημιουργία πληροφοριών και λήψη ενημερωμένων αποφάσεων. Πρέπει να οπτικοποιηθεί για γρήγορη κατανόηση των δεδομένων (Lee J., et al. 2015). Η οπτικοποίηση δεδομένων είναι ένας άλλος τομέας ενδιαφέροντος, καθώς βοηθά στην κατανόηση των Big Data με σαφήνεια και προσπαθεί να βρει μοτίβα και τάσεις σε αυτά. Βοηθά στην απομόνωση των ανωμαλιών εύκολα και βρίσκει συσχετισμούς μεταξύ συνόλων δεδομένων.

#### **1.4.1.2 Επίπεδο δικτύου**

Παλιότερα όλα τα συστήματα ήταν ανεξάρτητα και δεν μπορούσαν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Τα ανθρώπινα όντα διαμόρφωσαν τον τρόπο επικοινωνίας μεταξύ τους. Για παράδειγμα, σκεφτείτε ένα πλυντήριο ρούχων. Παλιότερα είχαμε ημιαυτόματες μηχανές που χρειάζονταν ανθρώπινη παρέμβαση για να βάλουν τα ρούχα στο στεγνωτήριο. Αργότερα, το μηχάνημα ενσωματώθηκε με αισθητήρες και ενεργοποιητές για να χρησιμοποιήσει το ίδιο τύμπανο για πλύσιμο και στέγνωμα. Το σενάριο έχει αλλάξει σε ένα δίκτυο συστημάτων όπου επικοινωνούν μεταξύ τους. Οι επικοινωνίες μεταξύ μηχανών και μηχανών συμβαίνουν σήμερα χωρίς κόπο. Η μηχανή δίνει εντολή σε άλλα μηχανήματα να εργαστούν και να λαμβάνουν αποφάσεις.

---

<sup>3</sup> Data acquisition systems: Η απόκτηση δεδομένων είναι η διαδικασία δειγματοληψίας σημάτων που μετρούν τις πραγματικές φυσικές συνθήκες του κόσμου και μετατρέπουν τα προκύπτοντα δείγματα σε ψηφιακές αριθμητικές τιμές που μπορούν να χειριστούν από έναν υπολογιστή. Τα συστήματα απόκτησης δεδομένων, συντεταγμένα από τους αρχικισμούς DAS, DAQ ή DAU, συνήθως μετατρέπουν αναλογικές κυματομορφές σε ψηφιακές τιμές για επεξεργασία.



Το DAS συνδέεται στο δίκτυο αισθητήρων, συγκεντρώνει εξόδους και εκτελεί την αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή. Η πύλη Διαδικτύου λαμβάνει τα συγκεντρωτικά και ψηφιοποιημένα δεδομένα και τα δρομολογεί τις εργασίες μέσω ενσύρματων ή ασύρματων συνδέσεων, στο επόμενο επίπεδο για περαιτέρω επεξεργασία. Έτσι, αυτό το επίπεδο ασχολείται βασικά με την επικοινωνία μεταξύ έξυπνων συσκευών. Η επικοινωνία είναι ενσύρματη ή ασύρματη ανάλογα με τη συσκευή και την εφαρμογή. Τα σημαντικά ζητήματα σε αυτό το επίπεδο είναι η ασφάλεια, το απόρρητο και η εμπιστοσύνη.

### **1.4.1.3 Επίπεδο εφαρμογής**

Αυτό το επίπεδο ελέγχει τις έξυπνες συσκευές με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται από τα προηγούμενα επίπεδα. Οι αισθητήρες θα λάβουν ανατροφοδότηση με βάση τα δεδομένα νοημοσύνης που δημιουργούνται και θα δημιουργηθούν κατάλληλα σήματα ελέγχου για τον έλεγχο της υγείας των αισθητήρων και των ενεργοποιητών ή θα κάνουν πιθανές αλλαγές στη συμπεριφορά του αισθητήρα ανάλογα με τις αλλαγές στο εξωτερικό περιβάλλον. Επίσης, οι αισθητήρες μπορούν να λειτουργήσουν πιο έξυπνα με βάση τα σχόλια από τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων χρησιμοποιώντας μοντέλα βαθιάς μάθησης.

Η αρχιτεκτονική CPS έχει τα προαναφερθέντα επίπεδα όπως απεικονίζεται στην [Εικόνα 8Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.](#) Το φυσικό επίπεδο μέσω αισθητήρων είναι πολύ πυκνό και πολλά δεδομένα συλλέγονται. Στη συνέχεια αποστέλλεται στο επίπεδο δικτύου όπου αναλύονται και δημιουργούνται μοντέλα. Αυτό χρησιμοποιείται από το επίπεδο εφαρμογής για τη λήψη αποφάσεων. Όλα τα επίπεδα λειτουργούν ανεξάρτητα και συνδέονται συνήθως με δεδομένα μεταξύ τους.

## 1.4.2 Αναλογία με βιολογικά συστήματα

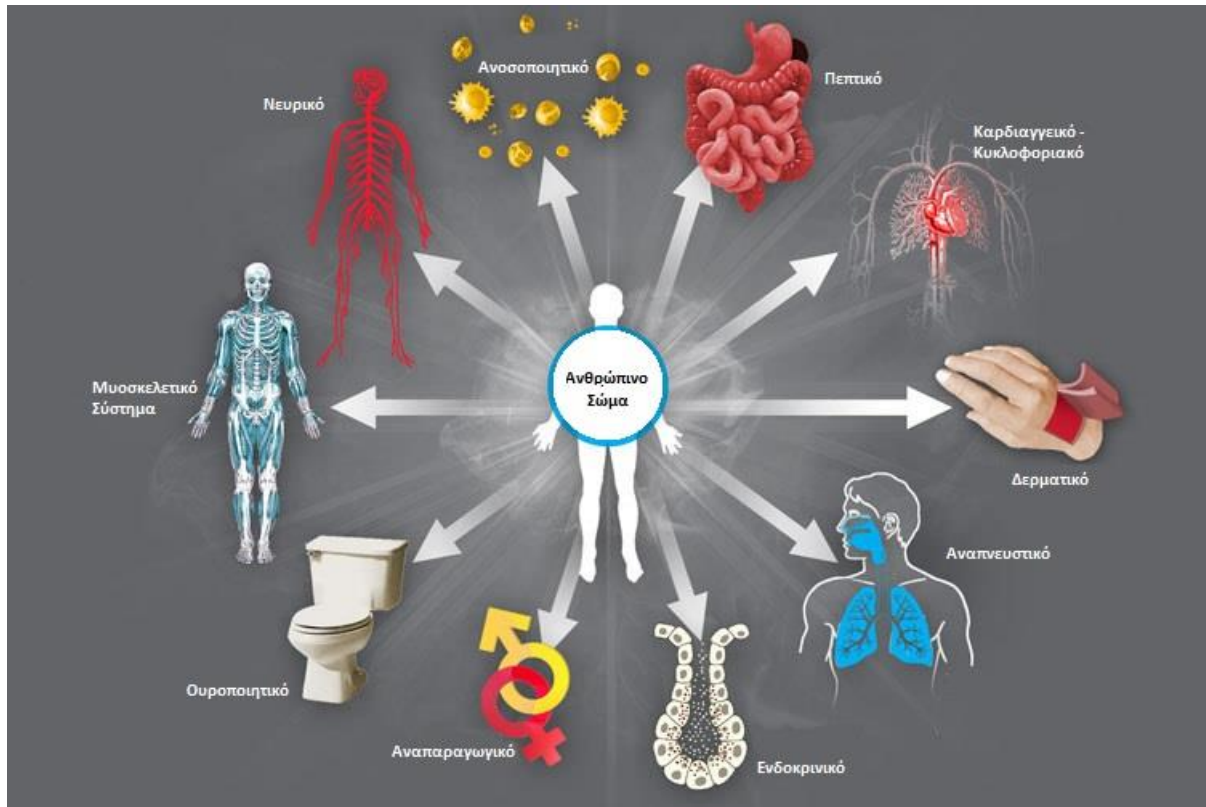
Υπάρχουν 11 συστήματα του ανθρώπινου σώματος. Όλα τα συστήματα λειτουργούν στενά μεταξύ τους. Βιολογικά, είναι αλληλένδετα και αλληλεξαρτώμενα. Τα συστήματα λειτουργούν σε απόλυτη αρμονία μεταξύ τους. Όταν ένα σύστημα είναι αδύναμο, επηρεάζει άλλα μέρη του σώματος. Ένας εκπαιδευμένος γιατρός μπορεί να εντοπίσει σωστά το πρόβλημα στο ανθρώπινο σύστημα καθώς λαμβάνει μια απόφαση βάσει δεδομένων της προηγούμενης γενικής γνώσης του για το ανθρώπινο βιολογικό σύστημα. Συγκρίνει με την παρούσα κατάσταση και εντοπίζει το πρόβλημα.

Όλα τα συστήματα οργάνων έχουν μια μοναδική λειτουργία και κάθε σύστημα οργάνων εξαρτάται επίσης, άμεσα ή έμμεσα, από όλα ή μερικά από τα άλλα συστήματα. Έτσι, όταν ένα σύστημα επηρεάζεται, επηρεάζει έμμεσα τα άλλα συστήματα και έχει ως αποτέλεσμα τον τερματισμό όλων των συστημάτων που σημαίνει θάνατος ενός ανθρώπου.

Υπάρχουν μερικά ζωτικά όργανα όπως η καρδιά, οι πνεύμονες, το συκώτι, τα νεφρά και ο εγκέφαλος. Αυτά αποτελούν το σημαντικό μέρος των διαφόρων συστημάτων ως κινητήρια δύναμη τους. Αυτά τα όργανα κάνουν αυτά τα συστήματα να λειτουργούν, να παρέχουν ανατροφοδότηση και να συλλέγουν δεδομένα.

### 1.4.2.1 Το σύστημα του ανθρώπινου οργανισμού

Ο Ross Toro παρέχει μια ματιά στα διάφορα συστήματα του ανθρώπινου σώματος στο blog του. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν παράλληλα για να βοηθήσουν στην ομαλή λειτουργία του σώματος. Κάθε σύστημα είναι μοναδικό και έχει τους δικούς του κανόνες, ειδικότητα και λειτουργίες. Εκπληκτικά, όλα συνεργάζονται τέλεια για να διατηρήσουν το σύστημα παραγωγικό. Επισκευή, αποκατάσταση, επούλωση, υποστήριξη, αντίδραση σε απάντηση στην άμεση ανάγκη, είναι τα συστήματα που συντελούν το πιο περίπλοκο σημερινό CPS ([Εικόνα 9](#)).



Εικόνα 9: Υποσυστήματα του ανθρώπινου οργανισμού. [<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1885-body-systems>]

Όλα τα παραπάνω συστήματα έχουν διερευνηθεί καλά και λειτουργούν καθημερινά. Οι παραλληλισμοί που αντλούνται από αυτά τα συστήματα θα οδηγήσουν σε ένα βίο-εύλογο κυβερνοσύστημα που μπορεί να δημιουργηθεί με βάση τις γνώσεις που αποκτήθηκαν από αυτήν τη βιολογική δημιουργία (Toro R., 2019).

#### 1.4.2.2 Βίο-λογικά συστήματα στον κυβερνοχώρο

Τα επίπεδα των φυσικών συστημάτων στον κυβερνοχώρο μπορούν να συγκριθούν με τα ανθρώπινα συστήματα που περιεγράφηκαν προηγουμένως. Το φυσικό στρώμα όπου συμβαίνει ο υπολογισμός είναι στον εγκέφαλο, το ενδοκρινικό σύστημα, το ανοσοποιητικό σύστημα. Το στρώμα δικτύου παρέχει επικοινωνία χρησιμοποιώντας το καρδιαγγειακό σύστημα, το κυκλοφορικό σύστημα, το νευρικό σύστημα και το αναπνευστικό σύστημα. Το στρώμα εφαρμογής παρέχει έλεγχο στο νευρικό σύστημα, το αναπαραγωγικό σύστημα, το μυϊκό σύστημα, το σύστημα σκελετού και το ουροποιητικό σύστημα. Η αρχιτεκτονική του ανθρώπινου συστήματος είναι όπως φαίνεται στην [Εικόνα 10](#). Όλα τα συστήματα συνεργάζονται και σχετίζονται μεταξύ τους στις εφαρμογές τους.



**Εικόνα 10: Αρχιτεκτονική του ανθρώπινου συστήματος** [<https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004>]

Το ανθρώπινο σώμα περιλαμβάνει πολλά βιολογικά συστήματα. Παρέχει αυτόματη εντολή και έλεγχο των έξυπνων συστημάτων που είναι ενσωματωμένα από το μηδέν με βάση ορισμένα κωδικοποιημένα γονίδια που ονομάζονται DNA. Το ανθρώπινο σώμα όταν συγκρίνεται με το CPS είναι πολύ πιο περίπλοκο και φτάνει σε υποατομικό επίπεδο. Αν και η τεχνολογία δεν έχει φτάσει στο επίπεδο των βιολογικών αισθητήρων και των ενεργοποιητών, θα εξακολουθήσουμε να μπορούμε να εξορύξουμε πολύτιμες γνώσεις από την ανθρώπινη βιολογία.

Το βίο-εύλογο κυβερνοσύστημα διαφοροποιείται από το κυβερνοσύστημα όπου προσπαθούν να δημιουργήσουν ένα φυσικό σύστημα βίο-κυβερνοχώρου (Fass D., et al. 2015). Ο [Πίνακας 1](#) συγκρίνει τα βιολογικά συστήματα με τα φυσικά συστήματα στον κυβερνοχώρο.

Οι φυσικοί αισθητήρες του ανθρώπινου σώματος είναι τα αισθητήρια όργανα όπως τα μάτια, η μύτη, τα αυτιά, η γλώσσα, οι αδένες, τα νεύρα και το δέρμα. Οι ενεργοποιητές είναι οι μύες, οι αρθρώσεις, οι σύνδεσμοι, οι συνάψεις, οι βαλβίδες στην καρδιά, το λαιμό, τα βλέφαρα, το στομάχι κ.λπ. Οι επεξεργαστές είναι ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός.

Το εξωτερικό ερέθισμα παίζει ζωτικό ρόλο στη ρύθμιση του ανθρώπινου συστήματος. Το ερέθισμα είναι το άγγιγμα ενός καυτού αντικειμένου με το δάχτυλο. Ο αισθητήρας είναι ο υποδοχέας θερμοκρασίας / πόνου στο δάχτυλο που τον ανιχνεύει και τον μεταδίδει στο νευρικό σύστημα (νωτιαίος μυελός και εγκέφαλος), που είναι ο συντονιστής. Ο συντονιστής λαμβάνει την απόφαση για το πώς να αντιδράσει και, στη συνέχεια, δίνει εντολή στους μυς των χεριών (που ενεργούν ως τελεστές) να γυρνούν γρήγορα. Το πλαίσιο μας οδηγεί από το ερέθισμα (άγγιγμα) στην απόκριση (μετακινήστε το χέρι μακριά).

	Βιολογικό	Cyber Physical
Φυσική στρώση	Αισθητήρες και ενεργοποιητές	Αισθητήρες, ενεργοποιητές, επεξεργαστές
Αλληλεπιδράσεις	Μη τοπικές	Τοπικές και μη τοπικές
Συμμετρικός	Όχι	Συμμετρικός
Τοποθεσία	Τοπικό	Τοπικό και Παγκόσμιο
Αριθμός αισθητήρων	Πολλά	Λίγοι
Ταχύτητα επικοινωνίας	Γρηγορότερη	Αργότερη
Ποσοστό απόκρισης	Γρήγορα	Αργά
Επικοινωνία	Σε όλα τα συστήματα	Μέσα σε συστήματα
Αποθήκευση	Ζωντανή αποθήκευση	Αποθήκευση εκτός σύνδεσης και cloud
Μάθηση	Αυτόματη και σταδιακή συνεχής μάθηση και Ευφυής βελτίωση	Αργή μάθηση βάσει δεδομένων
Επεξεργασία δεδομένων	Συνεχής επεξεργασία δεδομένων	Διακριτή επεξεργασία δεδομένων
Ενσωμάτωση	Απρόσκοπτη ενσωμάτωση των συστατικών	Συνδεδεμένα εξαρτήματα
Έλεγχος	Εγκέφαλος	Κεντρική ή αποκεντρωμένη από cloud
Οραματισμός	Σε αισθητήρες με αντιδράσεις	Σε cloud

Πίνακας 1: Σύγκριση βιολογικού με CPS. [<https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004>]

Ένα παρόμοιο ερέθισμα παρέχεται από τον αισθητήρα θερμοκρασίας που είναι τοποθετημένος σε ένα έξυπνο δωμάτιο. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, στέλνει μια ειδοποίηση στη συσκευή άκρης για την ανάλυση των δεδομένων θερμοκρασίας. Καθώς αυξάνεται πάνω από ένα κατώφλι, το σύννεφο στέλνει μια εντολή στη συσκευή άκρης ότι πρέπει να είναι ενεργοποιημένο το κλιματιστικό στο δωμάτιο. Η θερμοκρασία παρακολουθείται συνεχώς περιοδικά για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του κλιματιστικού για εξοικονόμηση ενέργειας ([Εικόνα 11](#)).

Αν και τα δύο συστήματα φαίνονται πολύ παρόμοια, υπάρχουν πολλές διαφορές στα πρότυπα και τη μεθοδολογία εργασίας τους. Το ανθρώπινο σύστημα λειτουργεί σε μικρό επίπεδο ενώ το CPS λειτουργεί σε μακροοικονομικό επίπεδο. Το επίπεδο αλληλεπίδρασης μεταξύ των ανθρώπινων συστημάτων είναι απρόσκοπτο και ασφαλές. Είναι διδακτικό και εκπαιδευτικό. Μπορεί να κατασκευαστεί σταδιακά, ενώ το CPS έχει κατασκευαστεί μία φορά ως ένα πλήρως αναπτυγμένο σύστημα με συγκεκριμένα μακρο-αντικείμενα σε αυτά. Τα επιμέρους συστήματα δημιουργούνται για να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους με ανθρώπινη παρέμβαση ή αυτόματη λήψη αποφάσεων με γνώμονα τα δεδομένα. Ο τρόπος επικοινωνίας είναι ασύρματος καθώς η ενσύρματη επικοινωνία περιορίζει την κίνηση. Η ασύρματη λειτουργία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ευπάθειας του συστήματος καθώς υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα διακοπής και τροποποίησης του μηνύματος με αποτέλεσμα την απώλεια ακεραιότητας και εμπιστευτικότητας των πληροφοριών.



Εικόνα 11: Το ανθρώπινο σύστημα σε σύγκριση με το CPS.

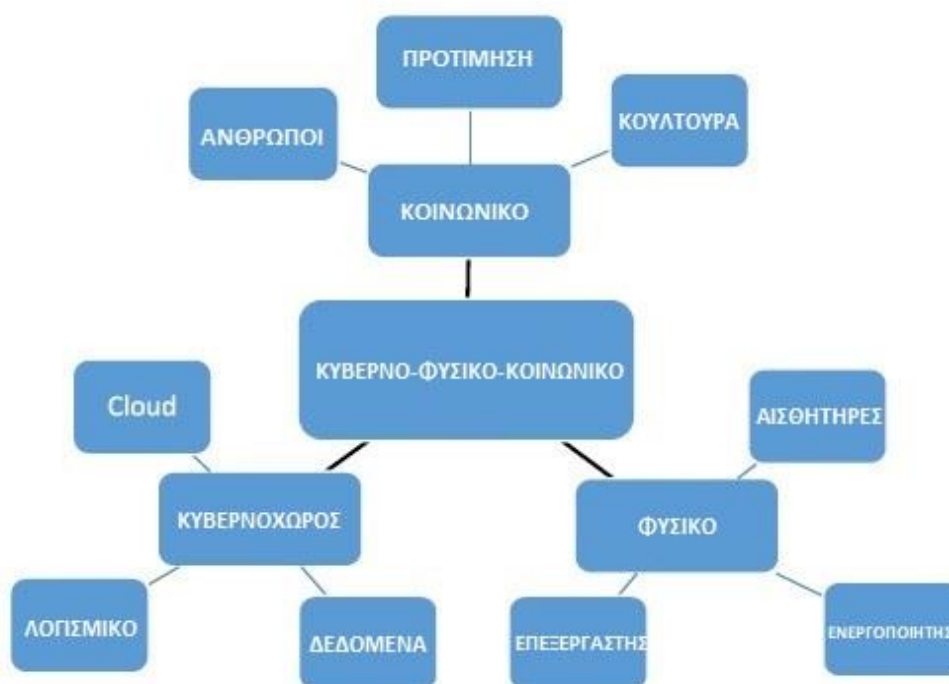
[\[https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004\]](https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004)

Το CPS είναι ένα μοντέλο υπολογιστικής σχέσης της φυσικής οντότητας που σημαίνει ότι μπορεί ουσιαστικά να αναπαράγει τη συμπεριφορά της φυσικής μηχανής και να δώσει μια εικόνα για το πώς θα αντιδράσει το μηχανήμα όταν προτρέπει με διάφορες ενέργειες.

Το CPS μπορεί να διασυνδεθεί ψηφιακά ώστε να παρέχει πλαίσιο για κοινωνικο-σωματικά συστήματα που περιλαμβάνουν έξυπνες πόλεις, εργοστάσια, σχολεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, γεωργία, εξοικονόμηση ενέργειας και πολλά άλλα (Xiong G., et al. 2015). Ό, τι γίνεται με το χέρι μπορεί να αυτοματοποιηθεί με τη βοήθεια του CPS και της τεχνητής νοημοσύνης.

Τα CPS περιλαμβάνουν το ανθρώπινο σύστημα στην αρχιτεκτονική μαζί με το φυσικό, το δίκτυο και το επίπεδο εφαρμογής. Το κοινωνικό στρώμα είναι υπεύθυνο για τη συλλογή πληροφοριών βάσει της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης με το σύστημα.

Για παράδειγμα, το αυτοκίνητο που οδηγεί αυτόματα, το φυσικό στρώμα είναι οι αισθητήρες του αυτοκινήτου που συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Το επίπεδο δικτύου είναι ο διακομιστής ή το cloud όπου τα δεδομένα αποθηκεύονται και επεξεργάζονται για να σχηματίσουν μοτίβα ή να αντλήσουν νόημα. Το επίπεδο εφαρμογής είναι το σημείο όπου λαμβάνονται οι αποφάσεις για την ομαλή λειτουργία του αυτοκινήτου. Αλλά το κοινωνικό στρώμα περιέχει τη φύση του επιβάτη, τις δυνατότητες, τις κακόβουλες προθέσεις, τις προτιμήσεις και τις αντιπάθειες των ατόμων στο αυτοκίνητο. Μερικοί μπορεί να θέλουν ένα σύντομο ταξίδι. Άλλοι μπορεί να θέλουν να δουν την πόλη. Αυτού του είδους οι προτιμήσεις βασίζονται σε άτομα και ονομάζονται κοινωνικά χαρακτηριστικά. Είναι δύσκολο να κωδικοποιηθούν και έχουν μεταβλητό χαρακτήρα. Η [Εικόνα 12](#) δείχνει το κυβερνο-κοινωνικό και φυσικό στρώμα του CPSS (Raj P., et al. 2020).



Εικόνα 12: Κυβερνο-φυσικο-κοινωνικά συστήματα [<https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.09.004>]

### 1.4.3 Τομείς Κυβερνο-Φυσικών Συστημάτων

Οι διάφοροι τομείς ενδιαφέροντος του CPS σε σύγκριση με τα ανθρώπινα συστήματα είναι η εμπιστοσύνη, η ταυτότητα, το απόρρητο, η προστασία, η ασφάλεια.

#### 1.4.3.1 Εμπιστοσύνη

Κάθε ένας από τους αισθητήρες πρέπει να μπορεί να εμπιστεύεται τους άλλους αισθητήρες που συνδέονται εξ αποστάσεως με αυτούς. Στην ανθρώπινη ανατομία, κάθε αισθητήρας του σώματος μπορεί εύκολα να αναγνωρίσει ένα ξένο αντικείμενο από το αποτύπωμα του DNA τους. Έτσι, ένα υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης ενσωματώνεται στους αισθητήρες. Η ταυτότητα κάθε αισθητήρα καθορίζεται. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα πραγματοποιείται καθώς οι έξυπνες συσκευές εξακολουθούν να έχουν προβλήματα εμπιστοσύνης στην ταυτότητα μεταξύ τους σε ένα δίκτυο. Επίσης, ένα μη αξιόπιστο συστατικό όταν εισέρχεται στο ανθρώπινο σώμα προκαλεί πόνο. Αυτός ο τύπος παλινδρόμησης δεν είναι διαθέσιμος στα κυβερνο-συστήματα, καθώς τα συστήματα δεν ζουν και ως εκ τούτου δεν προκαλούν πόνο. Μια Παρακολούθηση Παραμετρικού Σχεδιασμού Οθόνης (πόνου) έχει συζητηθεί σε ερευνητικά έγγραφα, δεδομένης της ανάγκης για ασφάλεια με την ανίχνευση και ανάκτηση πόνου (Weimer J., et al. 2018). Το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται σε πραγματικό χρόνο στην



υγειονομική περίθαλψη είναι ο συνεχής ψευδής συναγερμός που δημιουργείται καθώς το σύστημα είναι πολύ ευαίσθητο σε αλλαγές. Έχει ως αποτέλεσμα το σύστημα να κλείσει ή να αγνοήσει το ίδιο το πρόβλημα.

#### **1.4.3.2 Αναγνώριση**

Τα κύτταρα στο σώμα αναγνωρίζονται από ετικέτες ταυτότητας που ονομάζονται Αντιγόνα. Αυτά ταυτοποιούν τα κύτταρα ως μέρος ιστού ή οργάνου. Βοηθά στον εντοπισμό και την πρόληψη της παράνομης εισόδου εισβολέων και στην προστασία του ανθρώπινου συστήματος.

Έτσι, το CPS πρέπει επίσης να ορίσει μια ετικέτα ταυτότητας για να ασφαλίσει το σύστημα όπου κάθε συσκευή ή αισθητήρας άκρων θα μπορεί να αναγνωρίζει μοναδικά κάθε αισθητήρα που είναι συνδεδεμένος σε αυτήν. Τώρα εκχωρούμε μοναδικούς αισθητήρες στις συσκευές αναγνωρίζοντας έτσι κάθε αισθητήρα. Οι αισθητήρες σε ένα δίκτυο πρέπει να έχουν παρόμοιες ετικέτες ταυτότητας για να αναγνωριστούν ως μέρος του ομότιμου δικτύου.

#### **1.4.3.3 Απόρρητο**

Το απόρρητο είναι ένας τομέας στον οποίο τα δεδομένα διατηρούνται ιδιωτικά για ατομική χρήση, όπου κανένας τρίτος δεν μπορεί να έχει πρόσβαση χωρίς συνειδητή αποκάλυψη. Το ανθρώπινο μυαλό είναι ένα τέλει παράδειγμα προστασίας του απορρήτου των πληροφοριών. Ο εγκέφαλος αποθηκεύει εμπειρίες και τις ανακτά με βάση ένα ερώτημα που του δόθηκε. Εάν εμφανιστεί ένα πρόσωπο, το όνομα του ατόμου και του πάρκου όπου το συναντήσαμε για πρώτη φορά ανακτάται και παρουσιάζεται για να συσχετιστούμε. Έτσι, τα δεδομένα αποθηκεύονται ως μια συλλογή αλληλένδετων εμπειριών από τον εγκέφαλο, διευκολύνοντας την εύκολη ανάκτηση (Karthika N., et al. 2018). Όταν τα δεδομένα είναι αλληλένδετα, οι τεχνικές ομαδοποίησης βοηθούν στην αποθήκευση των δεδομένων καλύτερα και η ανάκτηση καθώς ένα σύμπλεγμα αυξάνει τη σημασιολογική έννοια.

#### **1.4.3.4 Προστασία**

Υπάρχουν φυσικοί, χημικοί, μηχανισμοί προστασίας υλικού και λογισμικού στο ανθρώπινο σώμα. Η φυσική προστασία είναι το δέρμα ορατό έξω από όλο τον κόσμο. Επίσης, το κρανίο προστατεύει τον εγκέφαλο, τα νύχια προστατεύουν τα δάχτυλα. Τα λευκά αιμοσφαίρια προστατεύουν το σώμα από παθογόνα. Τα μαλλιά στη μύτη προστατεύουν από σωματίδια

σκόνης. Τα νύχια προστατεύουν τα δάχτυλα. Έτσι, κάθε όργανο συγκεντρώνεται για να παρέχει ένα σύμπλεγμα αισθητήρων που συνεργάζονται για έναν κοινό σκοπό. Για παράδειγμα, το ευαίσθητο δέρμα της άκρης των δακτύλων χρησιμοποιείται για να αισθάνεται και να κάνει σκληρή δουλειά. Είναι δυνατό καθώς οι αισθητήρες στο δέρμα είναι ενεργοί και συγκεντρωμένοι στην άκρη για σωστή εργασία. Το ανθρώπινο σώμα ρυθμίζει τη ροή του αίματος και παρακολουθεί τη λειτουργία του σώματος για να το καταστήσει παραγωγικό. Οι αλλαγές στις εξωτερικές παραμέτρους επηρεάζουν το σώμα. Έτσι, δίνει εντολή στα πόδια να περπατούν σε ένα δέντρο όταν είναι ηλιόλουστο. Αυτές οι οδηγίες προστατεύουν το σύστημα και το καθιστούν αποτελεσματικό.

Στο CPS, οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές πρέπει να συγκεντρώνονται σε ομάδες και μια ομάδα αισθητήρων πρέπει να αναλύεται για την αποφυγή ψευδών θετικών. Επίσης, η ομαδοποίηση πρέπει να βασίζεται σε αλγόριθμους εμπνευσμένους από τη φύση, όπως η αποικία μυρμηγκιών ή η βελτιστοποίηση κοινωνικών αραχνών για να γίνει όσο το δυνατόν πιο παρόμοια με τον φυσικό μηχανισμό ομαδοποίησης. Το ανθρώπινο σώμα λειτουργεί πάνω σε αυτές τις ομάδες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για να ενισχύσουν μια απόφαση και να δίνουν συνεχώς ανατροφοδότηση στο σύστημα. Τα προβλήματα των CPS είναι επειδή βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στο δίκτυο και τα δεδομένα (Janet B., et al. 2017). Δημιουργούν πολλά προβλήματα καθώς δεν είναι αλληλένδετα και εξαρτώνται το ένα από το άλλο. Οι αρχές λειτουργίας του ανθρώπινου συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση των προβλημάτων CPS.

#### **1.4.4 Σύστημα ελέγχου Κυβερνο-Φυσικών Συστημάτων**

Υπάρχουν διάφοροι μηχανισμοί ελέγχου ενσωματωμένοι για τη ρύθμιση της λειτουργίας των αισθητήρων και των ενεργοποιητών στο συνδεδεμένο δίκτυο. Πρόκειται για παρακολούθηση, έλεγχο, διάγνωση, προειδοποίηση, οπτικοποίηση και αυτοθεραπεία.

##### **1.4.4.1 Παρακολούθηση**

Το ανθρώπινο σύστημα διαθέτει διάφορους μηχανισμούς παρακολούθησης. Η θερμοκρασία του σώματος παρακολουθείται από αδένες ιδρώτα. Εάν είναι πάνω από το φυσιολογικό, υπάρχει ιδρώτας που παράγεται από χιλιάδες αδένες για να κρυώσει το σώμα. Όλα συνδέονται με το ενσωματωμένο σύστημα και συνεργάζονται με το κυκλοφορικό και μυϊκό σύστημα. Υπάρχει άμεση ανατροφοδότηση καθώς ο ιδρώτας μειώνει τη θερμοκρασία του

σώματος. Σε αυτήν την περίπτωση, η παρακολούθηση της θερμοκρασίας του σώματος περιλαμβάνει πολλά συστήματα και εκατομμύρια ιδρωτοποιούς αδένες σε όλο το σώμα. Όλοι οι ιδρωτικοί αδένες συνεργάζονται για την παραγωγή του υγρού. Το δέρμα είναι η συσκευή αισθητήρων και οι ιδρώτες είναι οι ακραίες συσκευές που παρακολουθούν τη θερμοκρασία. Δουλεύουν ανεξάρτητα και συνδέονται έμμεσα με τον εγκέφαλο. Συνδέονται μεταξύ τους με τα συστήματα επικοινωνίας του ανθρώπινου σώματος.

#### **1.4.4.2 Έλεγχος**

Ο εγκέφαλος ελέγχει τη λειτουργία του ανθρώπινου χεριού. Ο έλεγχος δεν είναι πάντα απευθείας από τον εγκέφαλο. Οι τένοντες και οι σύνδεσμοι, τα οστά και οι αρτηρίες, οι μύες και το δέρμα αποτελούν το μοντέλο λειτουργίας. Περιλαμβάνει τέσσερα συστήματα που συνεργάζονται σε συγχρονισμό για να επιτρέψουν την κίνηση του χεριού. Ο εγκέφαλος ελέγχει την κίνηση των μυών. Το σύγχρονο ρομπότ pick and place hand χρησιμοποιείται για τη μίμηση της κίνησης των χεριών. Λειτουργούν σε μία μόνο λειτουργία π.χ. συγκόλληση που είναι προκαθορισμένες λειτουργίες. Εξακολουθούν να εξερευνούνται σε ρομπότ για να γίνουν γενικοί σκοποί όπως τα ανθρώπινα χέρια. Το πλεονέκτημα των ανθρώπινων συστημάτων είναι ότι μαθαίνουν και εξερευνούν μόνοι τους για να καταλάβουν. Αλλά οι μηχανές δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα να σκέφτονται τη δική τους. Ελέγχονται πλήρως από τον δημιουργό του μηχανήματος και δεν μπορούν να μάθουν ή να δράσουν από μόνα τους. Το λογισμικό καθορίζει τη λειτουργία του ρομπότ και είναι πολύ ευάλωτο εάν είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο. Μπορούν να είναι πραγματικά χρήσιμα όταν χρησιμοποιούνται για βρώμικες, επικίνδυνες και θαμπές, επαναλαμβανόμενες εργασίες.

#### **1.4.4.3 Διάγνωση**

Πρόκειται για τον εντοπισμό της αιτίας ή των αναλυτικών στοιχείων πίσω από το φαινόμενο. Ο πονοκέφαλος οφείλεται στην κατακράτηση υγρού μέσα στον κόλπο, το οποίο κανονικά θα εξαντληθεί από μόνο του. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει κάποια λοίμωξη στον κόλπο. Μπορεί επίσης να οφείλεται στο άγχος όπου ο εγκέφαλος και τα μάτια είναι κουρασμένα. Ο ύπνος και η ανάπαυση θεραπεύουν αυτά τα συμπτώματα. Αυτό μπορεί να βρεθεί από έναν εξωτερικό πράκτορα που ονομάζεται γιατρός ή μπορεί να αναλυθεί μόνος του με μεθόδους δοκιμής και σφάλματος. Η διάγνωση γίνεται αμέσως όταν γίνεται αισθητός ο πόνος. Όλο το σώμα ουρλιάζει για ξεκούραση όταν υπάρχει άσχημος πονοκέφαλος.

Το πρόβλημα με το CPS είναι η απουσία πόνου. Η φθορά ή η κατάχρηση ενός συστήματος δεν μπορεί να εντοπιστεί χωρίς υπερβολική παρακολούθηση. Τώρα λοιπόν στην κατασκευή, η ανίχνευση σφαλμάτων, η απομόνωση και η ανάκτηση είναι δυνατή με τη βοήθεια αισθητήρων που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για την παρακολούθηση του επιπέδου λαδιού και της γενικής υγείας των μηχανημάτων για την αποκατάσταση πριν αποτύχει το μηχάνημα. Βρίσκεται η ακριβής τοποθεσία και πραγματοποιείται διαδικασία θεραπείας ανάκτησης για το σύστημα. Αυτό είναι δυνατό με τη βοήθεια αναλυτικών δεδομένων και μοντέλων βαθιάς μάθησης που μπορούν να δημιουργήσουν μοτίβα από μεγάλο όγκο δεδομένων.

#### **1.4.4.4 Προειδοποίηση**

Το ανθρώπινο σώμα έχει δύο κοινά προειδοποιητικά συμπτώματα που όταν οδηγεί δίνει μια προειδοποίηση για πιθανή καταστροφή ή κίνδυνο ή βλάβη. Είναι φόβος και πόνος. Είναι συναισθήματα που παράγονται στο σώμα για την καταπολέμηση του κινδύνου ή της κακής χρήσης. Ο φόβος προκαλεί μια αίσθηση πτήσης ή μάχης. Ο πόνος προκαλεί ανάπαυση και διαδικασία αποκατάστασης.

Το CPS εκπαιδεύεται για να μάθει αυτήν την προειδοποίηση μέσω της ανάλυσης δεδομένων, έτσι ώστε οι αποφάσεις που λαμβάνονται να είναι έξυπνες. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτών των συστημάτων προειδοποίησης. Υπάρχουν ήδη σε δαπανηρά και κρίσιμα συστήματα όπως πυρηνικοί αντιδραστήρες και διαστημικά σκάφη για να αναφέρουμε μερικά.

#### **1.4.4.5 Συλλογή δεδομένων**

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος λέγεται ότι έχει χωρητικότητα αποθήκευσης 2,5 petabytes<sup>4</sup>. Οι περισσότεροι μέσοι άνθρωποι χρησιμοποιούν μόνο το 10% της ικανότητας του εγκεφάλου. Αυτό το μικρό όργανο μπορεί να αποθηκεύσει όλα τα δεδομένα που υπάρχουν στο Διαδίκτυο. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τον εγκέφαλο είναι μέσω των αισθήσεων και αποθηκεύονται. Υπάρχουν επίσης διάφορα επίπεδα αποθήκευσης. Τα προσωρινά δεδομένα μεταφέρονται στην μόνιμη περιοχή αποθήκευσης κατά τη διάρκεια του ύπνου και διατηρούνται. Η ακριβής μέθοδος αποθήκευσης δεδομένων μέσα στην εγκεφαλική σύναψη δεν έχει ακόμη ανακαλυφθεί.

---

<sup>4</sup> <https://www.scientificamerican.com/article/what-is-the-memory-capacity/>

Το CPS έχει μια συνεχή ροή δεδομένων από τους διαφορετικούς αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι σε αυτά. Αυτά τα δεδομένα είναι πολύ τεράστια και δεν μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία στην περιορισμένη μνήμη της συσκευής. Έτσι, τα περισσότερα αναλυτικά στοιχεία συμβαίνουν στο cloud ή στο σύμπλεγμα δεδομένων όπου οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης χρησιμοποιούνται για να βγάλουν σημαντικές πληροφορίες από αυτούς. Αλλά το κύριο μειονέκτημα είναι η έλλειψη σημασιολογίας στην αποθήκευση δεδομένων. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος συσχετίζει αυτόματα δεδομένα και βρίσκει μοτίβα και τα συνδέει μαζί για να σχηματίσει εμπειρίες. Αυτοί οι συσχετισμοί και η σύνδεση των δεδομένων πρέπει να γίνεται με μη αυτόματο τρόπο σε CPSs. Αυτό επιτεύχθηκε σε περιορισμένο βαθμό με τον προγραμματισμό και τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Αλλά έχουμε πολύ δρόμο να διανύσουμε για να επιτύχουμε τις δυνατότητες του εγκεφάλου (Janet B., 2012).

#### **1.4.4.6 Οπτικοποίηση**

Το ανθρώπινο σύστημα έχει έναν εξαιρετικό τρόπο οπτικοποίησης δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στον εγκέφαλο. Υπάρχουν όνειρα που μας βοηθούν να θυμόμαστε τι βιώσαμε κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η ανθρώπινη μνήμη έχει τη δυνατότητα να συσχετίζει δεδομένα και να ανακαλύπτει μοτίβα. Το ονομάζουμε εμπειρία όπου η εκπαίδευση βοηθά ένα άτομο να αποκτήσει σοφία που εφαρμόζεται αυτόματα για τη λήψη αποφάσεων. Η μέθοδος χρήσης των δεδομένων για τη λήψη αποφάσεων έγινε πρόσφατα δυνατή με την έλευση των βιολογικά εύλογων νευρονικά δίκτυα που μπορούν να κάνουν τα βασικά καθήκοντα της ταξινόμησης και της ανίχνευσης παρόμοια με έναν άνθρωπο (Janet B., 2012). Τα Big Data που συγκεντρώθηκαν από τα δίκτυα αισθητήρων βοήθησαν αυτά τα μοντέλα να μάθουν μόνα τους και να χρησιμοποιήσουν τα μοτίβα για σωστές προβλέψεις. Ο κλάδος κινείται προσεκτικά σε αυτόν τον τομέα, καθώς δημιουργείται και δεν τυποποιείται. Ένα άλλο μειονέκτημα των βαθιών νευρικών μοντέλων είναι ότι μερικές φορές τα δεδομένα υπερφορτώνουν ή υποσυνδέονται. Αλλά το μέλλον είναι σίγουρα σε συστήματα μάθησης παρόμοια με την Alexa και τη Siri, τα οποία θα ενσωματωθούν σε όλες τις έξυπνες συσκευές.

#### **1.4.4.7 Αυτοίαση**

Η ικανότητα των συστημάτων ανθρώπινου σώματος να αυτοθεραπευτεί είναι η πιο ενδιαφέρουσα πτυχή που δεν έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε ένα CPS. Η ανοχή σφαλμάτων έχει ερευνηθεί και η προληπτική αποκατάσταση σφαλμάτων ήταν επιτυχής. Αλλά για το

ανθρώπινο σώμα, εάν υπάρχει μια τομή στο δέρμα, το αίμα πήζει και αποτρέπει την απώλεια αίματος. Το δέρμα αντικαθίσταται με ένα νέο στρώμα που μεγαλώνει και μέχρι τότε το πήγμα αίματος προστατεύει την περιοχή της κοπής. Στη συνέχεια, το κάλυμμα πέφτει για να σχηματίσει ένα νέο δέρμα.

Αυτή η αυτοθεραπευτική φύση δεν μπορεί να αναπαραχθεί σε ένα CPS καθώς τα συστήματα δεν αναπτύσσονται αλλά κατασκευάζονται. Ακολουθούν ορισμένες αρχές και κανόνες που προηγουμένως κωδικοποιούνται ή δημιουργούνται από τον αλγόριθμο πληροφοριών.

Αυτοί οι κανόνες δεν μπορούν να σχηματιστούν. Μπορούν να ορίσουν μόνο ό, τι υπάρχει ήδη ή να εξηγήσουν τι δεν υπάρχει. Η τεχνολογία νανοϊατρικής προσπαθεί να εκτελέσει αυτήν την αυτοθεραπεία στα ανθρώπινα συστήματα που χρειάζονται εξωτερική βοήθεια για ανάρρωση χρησιμοποιώντας στοχευμένη ιατρική και θεραπεία.

## 2 Συστήματα Ψηφιακών διδύμων

Το πλήρωμα του Apollo ξεκίνησε το ταξίδι του με το διαστημόπλοιο Apollo 13 και μήνα Απρίλιο του 1970. Αλλά δυστυχώς, ένα από τα δοχεία οξυγόνου που φέρει την επισήμανση νούμερο δύο στη μονάδα επεξεργασίας εξερράγη πριν από την ολοκλήρωση της αποστολής. Ο Jim Lovell, ο John Swigert και ο Fred Haise μάχονταν για τη ζωή τους και ακουγόταν μια κραυγή από το Swigert στο Χιούστον (Ferguson S., et al. 2020). Υπήρξε μια κλήση έκτακτης ανάγκης από 200.000 μίλια μακριά για να προστατευτούν οι διαστημικοί ταξιδιώτες της αποστολής και να τους φέρουν με ασφάλεια πίσω στη γη. Υπήρχε μεγάλο άγχος για να επιστραφούν οι ταξιδιώτες με ασφάλεια στη γη, και η ομάδα ελέγχου λεωφορείων στη NASA στο Χιούστον άρχισε να εργάζεται αμέσως σε αυτήν τη μεγάλη πρόκληση.

Η NASA χειρίστηκε τη δυσλειτουργία του λεωφορείου διατηρώντας το πλαίσιο του Apollo 13 στη βάση ως πραγματικό μοντέλο του λεωφορείου και των μηχανημάτων του. Αυτό βοήθησε τους μηχανικούς στο Χιούστον στο έδαφος να δείξουν και να εξετάσουν πιθανές ρυθμίσεις, ανακατασκευή των ρυθμίσεων σε συνδυασμό με το Apollo 13. Όταν η συσσωρευμένη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στη σεληνιακή μονάδα του λεωφορείου Apollo 13 αυξήθηκε σε επικίνδυνα επίπεδα, οι μηχανικοί της NASA έκαναν έναν προσαρμογέα με ρυθμίσεις καλύτερης ποιότητας χρησιμοποιώντας όλα τα περίεργα και τυχαία μέρη, όπως ένα εξώφυλλο του εγχειρίδιου, μέρη της διαστημικής στολής αλλά μέχρι και κάλτσες. Δίδαξαν στους ταξιδιώτες του διαστήματος πώς να το κατασκευάσουν με πόρους προσιτούς στο διαστημόπλοιο. Ταυτόχρονα, οι μηχανικοί στη βάση του εδάφους διεξήγαγαν μια δοκιμή στο Χιούστον και το Διαστημικό Κέντρο του Κένεντι για να δοκιμάσουν μεθόδους για να επιστρέψουν η ομάδα του Απόλλωνα 13 στη γη με ασφάλεια που αναπόφευκτα να είναι επιτυχημένες, 4 ημέρες μετά το ατύχημα (Ferguson S., et al. 2020).

Αναμφισβήτητα, η σύγχρονη εποχή της καινοτομίας ξεκίνησε από το 1970. Στην περίπτωση της αποστολής Apollo 13, τα απλά μοντέλα έχουν τεράστια επιτυχία με τη μηχανοργάνωση αυτών των μοντέλων, διευκολύνοντας τη NASA να ελέγχει και να αλλάζει τα πλαίσια σε πραγματικό χρόνο με όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια. Αλλά η θεμελιώδης ιδέα είναι η ίδια ακόμη και τώρα. Είναι μια επίδειξη ενός φυσικού αντικειμένου που ονομάζεται «δίδυμο» (twin) το οποίο δίνει τη δυνατότητα σε κάποιον να ελέγξει την κατάστασή του, να αναλύσει

ζητήματα και να ελέγξει τις ρυθμίσεις από απόσταση. Ένα ψηφιακό μοντέλο φυσικής συσκευής ένα «ψηφιακό δίδυμο» (Digital Twin - DT) δίνει τη δυνατότητα σε κάποιον να ελέγχει την κατάστασή του, να αναλύει ζητήματα και να ελέγχει τις λειτουργίες από απόσταση.

Τα ψηφιακά δίδυμα υπάρχουν εδώ και αρκετό καιρό, και ο πρώτος και πιο γνωστός ορισμός δόθηκε το 2002 από τον Michael Grieves στο πλαίσιο μιας παρουσίασης της βιομηχανίας σχετικά με τη διαχείριση του κύκλου ζωής προϊόντων. Σύμφωνα με αυτόν, ως Ψηφιακό Δίδυμο - DT περιγράφεται ως ένα ψηφιακό πληροφοριακό σύστημα που αντιστοιχεί σε ένα φυσικό σύστημα, λειτουργεί ως ανεξάρτητη οντότητα και συνδέεται με το εν λόγω φυσικό σύστημα. Η ψηφιακή αναπαράσταση θα πρέπει, ιδανικά, να περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες σχετικά με το στοιχείο του συστήματος που θα μπορούσαν ενδεχομένως να ληφθούν μέσω ενδεδειγμένης επιθεώρησής του στον πραγματικό κόσμο (Grieves V., et al. 2017).

Ένας πιο λεπτομερής και ευρέως αποδεκτός στον ακαδημαϊκό χώρο ορισμός στον δίνεται από τον Glaessgen, Stargel (2012): «το Digital Twin είναι μια ολοκληρωμένη πολλαπλής κλίμακας και πολλαπλών φυσικών λειτουργιών πιθανολογική προσομοίωση της λειτουργίας ενός σύνθετου προϊόντος η οποία χρησιμοποιεί τα καλύτερα διαθέσιμα φυσικά μοντέλα, τεχνολογία αισθητήρων κ.λπ., για να αντικατοπτρίσει τη λειτουργία του φυσικού προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του» (Tao F., et al. 2017).

Ο όρος “Digital Twin” στην προέλευσή του περιγράφει τον αντικατοπτρισμό ενός προϊόντος, ενώ η τελευταία λέξη της τεχνολογίας επιτρέπει στις διαδικασίες (κατασκευή, παραγωγή ενέργειας κ.λπ.) να αποτελούν επίσης αντικείμενο αναπαραγωγής εικονικού χώρου («αδελφοποίηση») προκειμένου να αποκομιστούν τα ίδια οφέλη. Η πρώτη εφαρμογή εμφανίστηκε στον αεροδιαστημικό κόσμο με το σύστημα NASA Technology Roadmaps (Shafto M., et al. 2010). Μια κεντρική πτυχή του DT είναι η ικανότητα παροχής διαφορετικών πληροφοριών σε σταθερή μορφή. Τα DT είναι κάτι παραπάνω από απλά καθαρά δεδομένα, περιλαμβάνουν αλγόριθμους, οι οποίοι περιγράφουν το πραγματικό τους αντίστοιχο και αποφασίζουν για τη δράση στο σύστημα παραγωγής με βάση αυτά τα επεξεργασμένα δεδομένα.

Όσον αφορά την παραγωγή, χρησιμοποιείται συνήθως ο ακόλουθος ορισμός: «Το DT αποτελείται από μια εικονική αναπαράσταση ενός συστήματος παραγωγής που μπορεί να



εμπεριέχει διαφορετικές λειτουργίες προσομοίωσης, οι οποίες χαρακτηρίζονται από το συγχρονισμό μεταξύ του εικονικού και του πραγματικού συστήματος, χάρη στα αισθητήρια δεδομένα και τις συνδεδεμένες έξυπνες συσκευές, τα μαθηματικά μοντέλα και την επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ο ρόλος του στα συστήματα παραγωγής Industry 4.0 είναι η εκμετάλλευση αυτών των χαρακτηριστικών για την πρόβλεψη και τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του συστήματος παραγωγής σε κάθε φάση του κύκλου ζωής σε πραγματικό χρόνο.» (Negri E., et al 2017) Λόγω των πολλαπλών υφιστάμενων λύσεων και εφαρμογών της μεθοδολογίας DT σε διάφορες βιομηχανίες δεν υπάρχει μια γενικώς αποδεκτή χρήση της έννοιας.

Μέχρι πρόσφατα, ο τεράστιος όγκος δεδομένων που απαιτείται για τη λειτουργία ενός DT καθιστούσε τη συγκεκριμένη τεχνολογία μη εφαρμόσιμη για τις επιχειρήσεις λόγω των περιορισμών στις δυνατότητες ψηφιακής τεχνολογίας καθώς και του απαγορευτικού κόστους επεξεργασίας, αποθήκευσης και δικτυακής υποδομής (bandwidth). Τέτοια εμπόδια, ωστόσο, έχουν μειωθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια (Economist 2015). Το χαμηλότερο κόστος και η βελτιωμένη ισχύς και δυνατότητες έχουν οδηγήσει σε εκθετικές αλλαγές που μπορούν να επιτρέψουν τον συνδυασμό της τεχνολογίας πληροφοριών (Information Technology - IT) και της τεχνολογίας λειτουργιών (Operation Technology - OT) για να επιτρέψουν τη δημιουργία και τη χρήση ενός Digital Twin (Mussomeli A. et al. 2016). Γιατί όμως το DT είναι τόσο χρήσιμα και γιατί πρέπει να το εξετάσουν οι οργανισμοί; Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να επιτρέψει στις εταιρείες να έχουν ένα πλήρες ψηφιακό αποτύπωμα των προϊόντων τους από το σχεδιασμό και την ανάπτυξη μέχρι το τέλος του κύκλου ζωής του προϊόντος. Αυτό, με τη σειρά του, μπορεί να τους επιτρέψει να κατανοήσουν όχι μόνο το προϊόν όπως έχει σχεδιαστεί, αλλά και το σύστημα που δημιουργήσε το προϊόν και πώς χρησιμοποιείται το προϊόν. Με την εφαρμογή DT, οι εταιρείες εκτιμάται ότι μπορούν να βελτιώσουν την ταχύτητα εισόδου νέων προϊόντων στην αγορά, να βελτιώσουν σημαντικές λειτουργίες, να μειώσουν τον αριθμό σφαλμάτων και να εφαρμόσουν αναδυόμενα νέα επιχειρηματικά μοντέλα για την αύξηση των εσόδων (Mussomeli A. et al. 2016).

Η μεθοδολογία DT μπορεί να επιτρέψει στις εταιρείες να επιλύσουν τα φυσικά ζητήματα γρηγορότερα ανιχνεύοντάς τα νωρίτερα, προβλέποντας τα αποτελέσματα αποφάσεων σε πολύ υψηλότερο βαθμό ακρίβειας, σχεδιάζοντας και κατασκευάζοντας καλύτερα προϊόντα και, τελικά, στην καλύτερη εξυπηρέτηση των πελατών τους. Με αυτόν τον τύπο

αρχιτεκτονικής έξυπνου σχεδιασμού, οι εταιρείες μπορούν να συνειδητοποιήσουν την αξία και τα οφέλη γρηγορότερα από ποτέ.

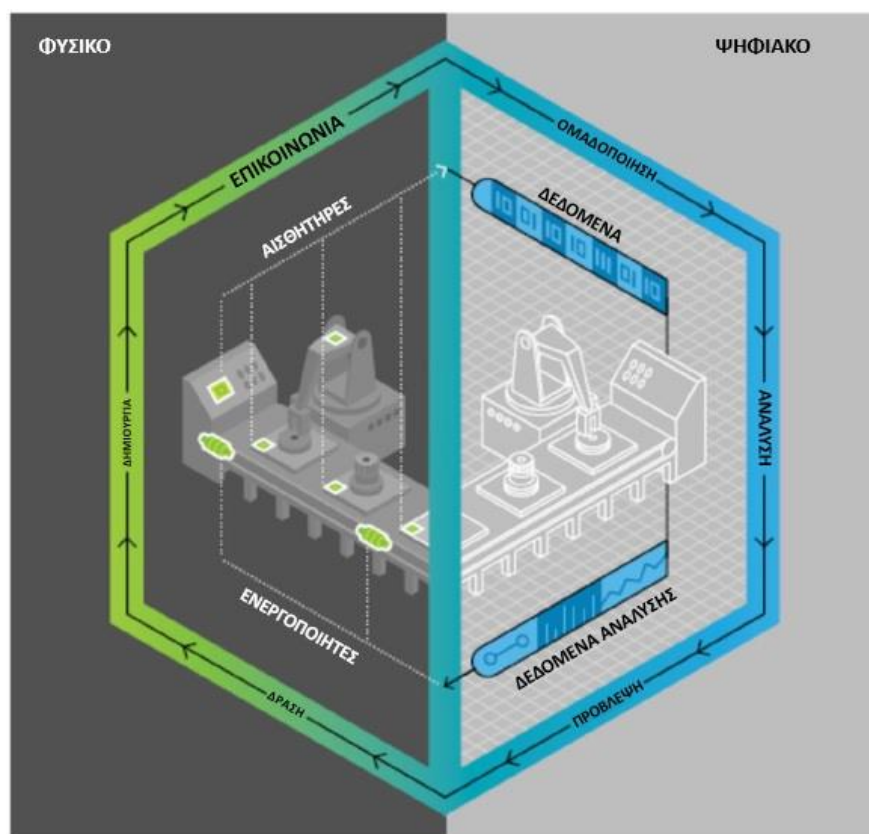
## **2.1 Βασική δομή και λειτουργία ψηφιακού διδύμου**

Η βιομηχανία και η ακαδημαϊκή κοινότητα, όπως προαναφέρθηκε, ορίζουν το ψηφιακό δίδυμο με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ωστόσο, ίσως καμία ομάδα δεν αποτυπώνει σωστά το DT. Για παράδειγμα, σύμφωνα με ορισμένους, ένα DT είναι ένα ολοκληρωμένο μοντέλο ενός ενσωματωμένου προϊόντος που προορίζεται να αντικατοπτρίζει όλα τα κατασκευαστικά ελαττώματα και να ενημερώνεται συνεχώς ώστε να προλαμβάνει τη φθορά που επέρχεται κατά τη χρήση (Reid J. et al. 2016). Άλλοι ευρέως γνωστοί ορισμοί περιγράφουν το Digital Twin ως ψηφιακό μοντέλο ενός φυσικού αντικειμένου, το οποίο διαθέτει δυνατότητα αίσθησης και προσομοιώνει τη λειτουργία του αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο (Grieves M. 2014).

Για καλύτερη κατανόηση, ένα DT μπορεί να οριστεί, ως ένα εξελισσόμενο ψηφιακό προφίλ της ιστορικής και τρέχουσας συμπεριφοράς ενός φυσικού αντικειμένου ή μιας διαδικασίας που βοηθά στη βελτιστοποίηση της επιχειρηματικής απόδοσης. Το DT βασίζεται σε πραγματικές, μεγάλου όγκου, αθροιστικές, πραγματικού χρόνου, μετρήσεις δεδομένων από όλα τα μέρη του φυσικού στοιχείου. Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να δημιουργήσουν ένα εξελισσόμενο προφίλ του αντικειμένου ή της διαδικασίας στον ψηφιακό κόσμο που μπορεί να παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την απόδοση του συστήματος, οδηγώντας σε ενέργειες στον φυσικό κόσμο, όπως αλλαγή στο σχεδιασμό του προϊόντος ή στη διαδικασία κατασκευής. Ένα DT διαφέρει από το παραδοσιακό μοντέλο CAD, και δεν χρησιμεύει ως απλώς μια ακόμα λύση IoT με δυνατότητα ανίχνευσης (Holdowsky J., et al. 2015). Είναι πολλά περισσότερα από αυτά τα δύο. Το μοντέλο CAD ενσωματώνεται πλήρως σε περιβάλλον προσομοίωσης υπολογιστή και έχει επιδείξει μέτρια επιτυχία στη μοντελοποίηση σύνθετων περιβαλλόντων (West T., et al. 2015). Αντίστοιχα, τα πιο απλά συστήματα IoT καταγράφουν δεδομένα που αφορούν π.χ. στη θέση και στις διαγνωστικές λειτουργίες για ένα ολόκληρο στοιχείο, αλλά όχι στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων και των διεργασιών καθ' όλο τον κύκλο ζωής (Holdowsky J., et al. 2015).

Πράγματι, η πραγματική δύναμη ενός DT και γιατί μπορεί να έχει τόσο μεγάλη σημασία είναι ότι μπορεί να παρέχει μια ολοκληρωμένη σύνδεση σχεδόν σε πραγματικό χρόνο μεταξύ

του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Λόγω αυτής της αλληλεπίδρασης μεταξύ του πραγματικού και του ψηφιακού κόσμου του προϊόντος ή της διαδικασίας, τα DT μπορούν να παρέχουν μοντέλα που αποδίδουν πιο ρεαλιστικές και ολιστικές μετρήσεις. Και χάρη στις φθηνότερες και πιο ισχυρές δυνατότητες των υπολογιστών, αυτές οι διαδραστικές μετρήσεις μπορούν να αναλυθούν με σύγχρονες αρχιτεκτονικές μαζικής επεξεργασίας και προηγμένους αλγόριθμους για προγνωστικά αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο και ανάλυση τους σε περιβάλλον εκτός σύνδεσης. Αυτά μπορούν να επιτρέψουν θεμελιώδεις αλλαγές στο σχεδιασμό και στη διαδικασία που σχεδόν σίγουρα δεν θα ήταν εφικτές μέσω των τρεχουσών μεθόδων.



Εικόνα 13: Παραγωγική Διαδικασία Digital Twin μοντέλου

[\[https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26\\_201706/kr\\_insights\\_deloitte-newsletter-26\\_report\\_02\\_en.pdf\]](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf)

Τα DT έχουν σχεδιαστεί για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων στοιχείων ή διαδικασιών που αλληλοεπιδρούν με τα περιβάλλοντά τους, για τα οποία είναι δύσκολο να προβλεφθούν αποτελέσματα σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής τους. Τα DT έχουν πολλές εφαρμογές και μπορούν να δημιουργηθούν για την εξυπηρέτηση διαφορετικών στόχων. Για παράδειγμα, τα DT έχουν χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση σύνθετων προϊόντων, όπως κινητήρες

αεροσκαφών και μεγάλα φορτηγά εξόρυξης, προκειμένου να παρακολουθούν και να αξιολογούν την φθορά και συγκεκριμένα είδη φόρτισης κατά τη διάρκεια λειτουργίας του. DT τέτοιου τύπου μπορεί να αποδώσουν σημαντικές πληροφορίες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τη μελλοντική σχεδίαση προϊόντων. Επίσης ένα DT ενός αιολικού πάρκου μπορεί να αποκαλύψει πληροφορίες σχετικά με δυσλειτουργίες και προβλήματα αποδοτικότητας (Grievens M. 2014). Η χρήση DT στο πλαίσιο της διαδικασίας παραγωγής φαίνεται να αποτελεί μια ιδιαίτερα ισχυρή και συναρπαστική εφαρμογή. Στην [Εικόνα 13](#) παρουσιάζεται το μοντέλο μιας διαδικασίας παραγωγής στον φυσικό κόσμο και το συνοδευτικό του δίδυμο στον ψηφιακό κόσμο. Το DT χρησιμεύει ως εικονικό αντίγραφο αυτού που πραγματικά συμβαίνει στο εργοστάσιο σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Χιλιάδες αισθητήρες που διανέμονται σε όλη τη φυσική διαδικασία παραγωγής λαμβάνουν δεδομένα για ένα ευρύ φάσμα διαστάσεων: από δεδομένα των παραγωγικών μηχανημάτων (όπως: πάχος, ποιότητες χρώματος, σκληρότητα, ροπή, ταχύτητες κοκ.) μέχρι και τις περιβαλλοντικές συνθήκες εντός του ίδιου του εργοστασίου. Αυτά τα δεδομένα συγκεντρώνονται και κοινοποιούνται από το DT που αναλύει συνεχώς τις εισερχόμενες ροές δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο οι αναλύσεις μπορεί να αποκαλύψουν μη αποδεκτές τάσεις στην πραγματική απόδοση της διαδικασίας παραγωγής ως προς μια συγκεκριμένη διάσταση, σε σύγκριση με ένα ιδανικό εύρος ανεκτής απόδοσης. Μια τέτοια παρατήρηση θα μπορούσε να δώσει το έναυσμα για έρευνα σχετικά με πιθανές αλλαγές σε κάποια πτυχή της πραγματικής διαδικασίας παραγωγής. Αυτό είναι το πεδίο αλληλεπίδρασης μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου, το οποίο η [Εικόνα 13](#) προσπαθεί να δείξει. Αυτή η δυνατότητα αλληλεπίδρασης αποτελεί το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός DT: χιλιάδες αισθητήρες που λαμβάνουν συνεχείς, ασυνήθιστες μετρήσεις που μεταδίδονται σε ψηφιακή πλατφόρμα, η οποία, με τη σειρά της, πραγματοποιεί ανάλυση σχεδόν σε πραγματικό χρόνο για τη βελτιστοποίηση μιας επιχειρηματικής διαδικασίας με διαφανή τρόπο. Το σύστημα DT που παρουσιάζεται στην [Εικόνα 13](#) εμπεριέχει τα βασικά στοιχεία που επιτρέπουν την συνεχή ενημέρωση της ψηφιακής εφαρμογής (Holdowsky J., et al. 2015):

- Αισθητήρες: Οι αισθητήρες που διανέμονται σε όλη τη διαδικασία της παραγωγής δημιουργούν σήματα που επιτρέπουν στο δίδυμο να συλλάβει επιχειρησιακά και περιβαλλοντικά δεδομένα που σχετίζονται με τη φυσική διαδικασία στον πραγματικό κόσμο.

- Δεδομένα: Τα πραγματικά και επιχειρησιακά δεδομένα του κόσμου από τους αισθητήρες συγκεντρώνονται και συνδυάζονται με δεδομένα από την επιχείρηση, όπως το Bill of Materials (BOM) (Daecher A., et al. 2016), εταιρικά συστήματα και οι προδιαγραφές σχεδιασμού. Τα δεδομένα μπορεί επίσης να περιέχουν άλλα στοιχεία, όπως σχέδια, συνδέσεις με εξωτερικές ροές δεδομένων και αρχεία παραπόνων πελατών.

Η χρήση των DT εξαπλώνεται και αυξάνεται. Για παράδειγμα, το DT ενός πρωτότυπου αυτοκινήτου είναι μια ψηφιακή και τρισδιάστατη αναπαράσταση κάθε μέρους του οχήματος. Αυτό απλώς αναπαράγει το φυσικό όχημα με ακρίβεια ώστε ένας άνθρωπος να μπορεί να χειρίζεται το αυτοκίνητο ακριβώς όπως θα έκανε στον φυσικό κόσμο και να λάβει αντίστοιχη ανταπόκριση, ψηφιακά προσομοιωμένη. Όχι μόνο τα συστήματα αλλά και οι διαδικασίες διπλασιάζονται ψηφιακά. Καθώς οι διαδικασίες γίνονται πολύπλοκες, η ψηφιακή αναπαράσταση προχωρά στην αναγνώριση τυχόν κενών και την διόρθωσή τους προληπτικά. Για παράδειγμα, ένα εργοστάσιο παραγωγής θα μπορούσε να μοντελοποιηθεί έτσι ώστε να μπορεί να δημιουργηθεί ένα ψηφιακό αντίστοιχο για κάθε κομμάτι εξοπλισμού, λειτουργία κ.λπ. Αυτή η δραστηριότητα συμβάλλει στην βελτιστοποίηση της διαδικασίας για να επιτύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Επίσης τα DT επιτρέπουν έξυπνα συστήματα και υπηρεσίες στις πόλεις, έτσι ώστε ο πληθυσμός τους να μπορεί να απολαύσει έναν αριθμό σύνθετων γνωστικών υπηρεσιών στην καθημερινή ζωή. Η ζωή της πόλης είναι έτοιμη να ενεργοποιηθεί ψηφιακά. Η ευελιξία, η ευρωστία και η ανθεκτικότητα των υπηρεσιών επιτυγχάνονται με τη βοήθεια δυναμικών και ψηφιακών αναπαραστάσεων που έχουν την δυνατότητα να παίρνουν αποφάσεις. Βέβαια υπάρχουν και άλλα σενάρια εφαρμογής αλλά δεν θα αναλυθούν.

Τα φυσικά μηχανήματα είναι γεμάτα με μια ποικιλία από υπερσύγχρονους αισθητήρες (για παράδειγμα, ένας κινητήρας εμπορικού αεροσκάφους μπορεί να εμπεριέχει 800+ αισθητήρες) για την ενσωμάτωση ενός νέου συνόλου λειτουργιών. Τα δεδομένα του αισθητήρα, όταν συλλέγονται και συγκεντρώνονται με λογικό τρόπο, μπορούν να παρέχουν συγκεντρωτικές και ακριβείς λεπτομέρειες σχετικά με την επικρατούσα κατάσταση του φυσικού μηχανήματος. Επιπλέον, τα δεδομένα του αισθητήρα και της κατάστασης μπορούν να συνδυαστούν με τα ιστορικά δεδομένα για να διευκολύνουν την προγνωστική ανάλυση λειτουργικών αλλά και μη λειτουργικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού. Δηλαδή, οι ανθρώπινοι χειριστές έχουν στη διάθεσή τους την απαιτούμενη γνώση ώστε να διασφαλίζουν τη μακροζωία και την παραγωγικότητα του μηχανήματος.

Π.χ. ένας απομακρυσμένος μηχανικός θα μπορούσε να διαγνώσει άμεσα ένα πρόβλημα ενός κινητήρα μέσω του DT και να προτείνει να οδηγηθεί το αυτοκίνητο στο πλησιέστερο συνεργείο ή να οδηγήσει, ο ίδιος, το αυτοκίνητο . Αυτό είναι βολικό για την αποφυγή κάθε είδους χρονοτριβής και ακόμη και επιπρόσθετης βλάβης. Το DT επιτρέπει τη συλλογή ποικίλων πληροφοριών σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του φυσικού στοιχείου και επιτυγχάνει την μεγιστοποίηση των επιχειρηματικών αποτελεσμάτων, βελτιστοποίηση των λειτουργιών και καλύτερη απόδοση της επένδυσης (RoI). Η εικονική αναπαράσταση είναι το ακριβές ψηφιακό αντίγραφο οποιουδήποτε φυσικού αντικειμένου (ABB, et al. 2020).

Πεδία αξιοποίησης των Digital Twins:

- Σχεδιασμός: Η προσομοίωση και οπτικοποίηση κατά τη φάση σχεδιασμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαλήθευση και επιθεώρηση του συνολικού τρισδιάστατου σχεδιασμού του προϊόντος και για να βεβαιωθεί ότι όλα τα μέρη ταιριάζουν μεταξύ τους. Οι ποικίλες προσομοιώσεις είναι μηχανικές, θερμικές και ηλεκτρικές καθώς και αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.
- Ενσωμάτωση συστήματος: Οι τρισδιάστατες απεικονίσεις σε επίπεδο συστήματος μπορούν να επαληθεύσουν περιορισμούς όπως χωρικό αποτύπωμα και φυσικές συνδέσεις. Με τη σύνδεση DT και άλλων στοιχείων, μπορούν να προσομοιωθούν και να ελεγχθούν όλα τα είδη πιθανών αλληλεπιδράσεων. Οι αλληλεπιδράσεις περιλαμβάνουν μεταφορά δεδομένων και λειτουργικότητα ελέγχου, καθώς και μηχανική και ηλεκτρική συμπεριφορά αλλά και σενάρια τύπου ‘what-if’. Τα πλεονεκτήματα είναι πολλά. Ο σχετικός χρόνος διακοπής για τον πελάτη μειώνεται δραματικά.
- Διαγνωστικά: Η παρατήρηση του DT μέσω τρισδιάστατης οπτικοποίησης μπορεί να υποστηρίξει την αντιμετώπιση προβλημάτων. Τα γυαλιά εικονικής πραγματικότητας (VR) μπορούν να παρέχουν στους τεχνικούς πεδίου εικόνα του πραγματικού εξοπλισμού για την απεικόνιση παραμέτρων. Οι προσομοιώσεις μπορούν να αναλύσουν και μη προσβάσιμα δεδομένα, όπως θερμοκρασίες μη προσβάσιμων μερών ή πιέσεις σε διάφορα υλικά.
- Πρόβλεψη: Η προβλεπτική συντήρηση είναι μια δημοφιλής πρακτική σε κάθε κλάδο της βιομηχανίας. Με την αυξανόμενη ωριμότητα και σταθερότητα των αλγορίθμων μηχανικής και βαθιάς μάθησης, οι προγνωστικές πληροφορίες εξάγονται εγκαίρως

και χρησιμοποιούνται για τη μακροζωία του εξοπλισμού, π.χ. εάν ο εξοπλισμός χρειάζεται ανάπαυση ή επισκευή, ποια είναι η κατάσταση υγείας και το επίπεδο απόδοσης κ.λπ. Όλες αυτές οι πληροφορίες είναι διαθέσιμες σε πραγματικό χρόνο λειτουργίας και βοηθούν στο σχεδιασμό ορθολογικών πλάνων συντήρησης και στη μείωση της μη προγραμματισμένης διακοπής λειτουργίας.

- Προηγμένες υπηρεσίες: Το DT σε συνδυασμό με αναλυτικά δεδομένα και αλγόριθμους AI μπορεί να δημιουργήσει πληροφορίες που μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή υψηλής αξίας, πρωτοποριακών υπηρεσιών. Οι συσκευές μπορούν να είναι αυτοδιαχειριζόμενες, να κάνουν διάγνωση, επούλωση, να μαθαίνουν κ.λπ..
- Προσαρμοσμένη υπηρεσία πεδίου: Μπορεί να συνδυάσει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και ιστορικά οποιουδήποτε φυσικού στοιχείου για να παραδώσει οδηγίες εργασίας με βάση τα συγκεκριμένα στοιχεία μέσω εμπειριών επαυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality - AR) ή συνδεδεμένων εφαρμογών για αυξημένη απόδοση του τεχνικού.
- Υπηρεσία πρόβλεψης παρακολούθησης: Το DT μπορεί να παρακολουθεί τα συνδεδεμένα προϊόντα λεπτομερώς για οποιαδήποτε δυσλειτουργία. Με την ικανότητα πρόβλεψης μέσω αναλυτικών στοιχείων, το DT μπορεί να παρέχει ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο για μετάβαση από προβλεπτική σε συντήρηση βάσει συνθηκών.
- Συντήρηση: Ένα DT είναι ικανό να αναλύει δεδομένα απόδοσης που συλλέγονται με την πάροδο του χρόνου και υπό διαφορετικές συνθήκες. Η γνώση που αποκτάται είναι χρήσιμη για τη διατήρηση κάθε προϊόντος. Οι συνδυασμένες αναλύσεις τόσο σε ιστορικά όσο και σε δεδομένα χρόνου εκτέλεσης παρέχουν τις απαιτούμενες πληροφορίες για τον διαχειριστή ή τον χειριστή, εάν οποιοδήποτε στοιχείο ενός συστήματος χρειάζεται κάποια ανάπαυση ή επισκευή. Έτσι, η συλλογή και η βαθύτερη ανάλυση των δεδομένων τελικά δίνουν τη δυνατότητα στους ανθρώπους να λάβουν τη σωστότερη τελική απόφαση σχετικά με τη συντήρηση.

Υπάρχουν πολλές ευκαιρίες να αξιοποιηθούν οι νέες δυνατότητες των DT σε πολλές λειτουργίες της επιχείρησης. Η εισαγωγή αντίστοιχων συστημάτων μπορεί να είναι δύσκολη και η επίτευξη του σχετικού ψηφιακού μετασχηματισμού απαιτεί την ύπαρξη ενοποιημένων

στρατηγικών και πλαισίων που συνδυάζουν πολλαπλές πηγές δεδομένων για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και ξεκλειδώνουν περισσότερες πληροφορίες.

Η τεχνολογία DT μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εργαλείο για την καλύτερη κατανομή των επιμέρους πόρων σε συνάρτηση με τους στόχους της επιχείρησης. Αλλά για να επιτευχθεί αυτό, οι επιχειρήσεις πρέπει να προσδιορίσουν ένα επιχειρηματικό ανώτατο σημείο, να συνθέσουν τις απαιτήσεις και τις γνώσεις από τα διάφορα ενδιαφερόμενα μέρη και να προσδιορίσουν μια ψηφιακή αποστολή για το δίδυμο. Οι οργανισμοί χρειάζονται, επίσης, ισχυρούς συνεργάτες που κατανοούν τις προκλήσεις, όπως η δημιουργία της ομοιομορφίας δεδομένων που απαιτείται για να λειτουργήσει ένα δίδυμο ή τα πολιτιστικά εμπόδια στην υιοθέτηση. Χρειάζονται επίσης να υπάρχουν τεχνολογίες και εξοπλισμός που μειώνουν τους χρόνους επεξεργασίας και παρέχουν τις απαραίτητες δυνατότητες προσομοίωσης και ανάλυσης για την σωστή αξιοποίηση των συστημάτων DT.



## 2.2 Εφαρμογή ενός Ψηφιακού Διδύμου

Οι αισθητήρες μεταδίδουν τα δεδομένα στον ψηφιακό κόσμο μέσω της τεχνολογίας ολοκλήρωσης (που περιλαμβάνει διεπαφές επικοινωνίας και ασφάλεια) μεταξύ του φυσικού κόσμου και του ψηφιακού κόσμου, και αντίστροφα.

### Ανάλυση

Τεχνικές ανάλυσης χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των δεδομένων μέσω αλγοριθμικών προσομοιώσεων και ρουτινών οπτικοποίησης που χρησιμοποιούνται από το DT για την παραγωγή πληροφοριών, δηλαδή το DT ως τεχνολογία για «έξυπνες» λειτουργίες.

### Η οντότητα του Digital twin

Η «ψηφιακή» πλευρά της [Εικόνα 13](#) είναι το ίδιο το DT, δηλαδή μια εφαρμογή που συνδυάζει τα παραπάνω στοιχεία σε ένα ψηφιακό μοντέλο σχεδόν πραγματικού χρόνου του φυσικού κόσμου και της διαδικασίας. Μια απόκλιση που θα εντοπιστεί είναι στόχος βελτιστοποίησης είτε στο δίδυμο που θα έχει ένα σφάλμα στη λογική του, είτε θα έχει εντοπιστεί μια ευκαιρία για εξοικονόμηση κόστους, βελτίωση της ποιότητας ή επίτευξη μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας (Holdowsky J., et al. 2015). Η ευκαιρία που προκύπτει μπορεί να οδηγήσει σε μια ενέργεια πίσω στον φυσικό κόσμο.

### Ενεργοποιητές

Εάν μια πράξη πρέπει να γίνει στον πραγματικό κόσμο, το DT παράγει τη δράση μέσω ενεργοποιητών, με την επιφύλαξη ανθρώπινης παρέμβασης, οι οποίοι ενεργοποιούν τη φυσική διαδικασία (Holdowsky J., et al. 2015). Είναι σαφές ότι τόσο ο φυσικός κόσμος (αυτός μιας φυσικής διαδικασίας ή ενός αντικειμένου) όσο και ο ψηφιακός (αυτός του DT) είναι πολύ πιο περίπλοκοι από ότι μπορεί να απεικονιστεί σε ένα μοντέλο ή πλαίσιο. Και, φυσικά, το μοντέλο της [Εικόνα 13](#) είναι μόνο μια ψηφιακή αναπαράσταση δύο μονάδων που εστιάζει στο κατασκευαστικό τμήμα του κύκλου ζωής του προϊόντος (Cotteleer M., et al. 2016). Το συγκεκριμένο μοντέλο, ωστόσο, αποδίδει την ολοκληρωμένη, ολιστική και δυναμική διάσταση της φυσικής και ψηφιακής σύζευξης. Μέσω αυτού του πρίσματος μπορεί κανείς να ξεκινήσει την πραγματική διαδικασία ανάπτυξης ενός DT.

## 2.3 Ανάπτυξη ενός Ψηφιακού Διδύμου

Γενικά, η ανάπτυξη ενός DT περιλαμβάνει δύο κύριους τομείς:

1. Σχεδιασμός των Digital Twins διεργασιών και απαιτήσεων πληροφόρησης για ολόκληρο τον κύκλο ζωής του φυσικού στοιχείου από το σχεδιασμό του έως την χρήση και συντήρησή του στοιχείου.
2. Η δημιουργία τεχνολογίας για την σύζευξη του φυσικού στοιχείου και του ψηφιακού του αντίστοιχου, που θα επιτρέπει τη ροή δεδομένων από τους αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο και την επεξεργασία λειτουργικών και επιχειρηματικών δεδομένων από τα βασικά συστήματα της εταιρείας, όπως επιτυγχάνεται συνήθως σε μια εννοιολογική αρχιτεκτονική του πλαισίου σύνδεσης.

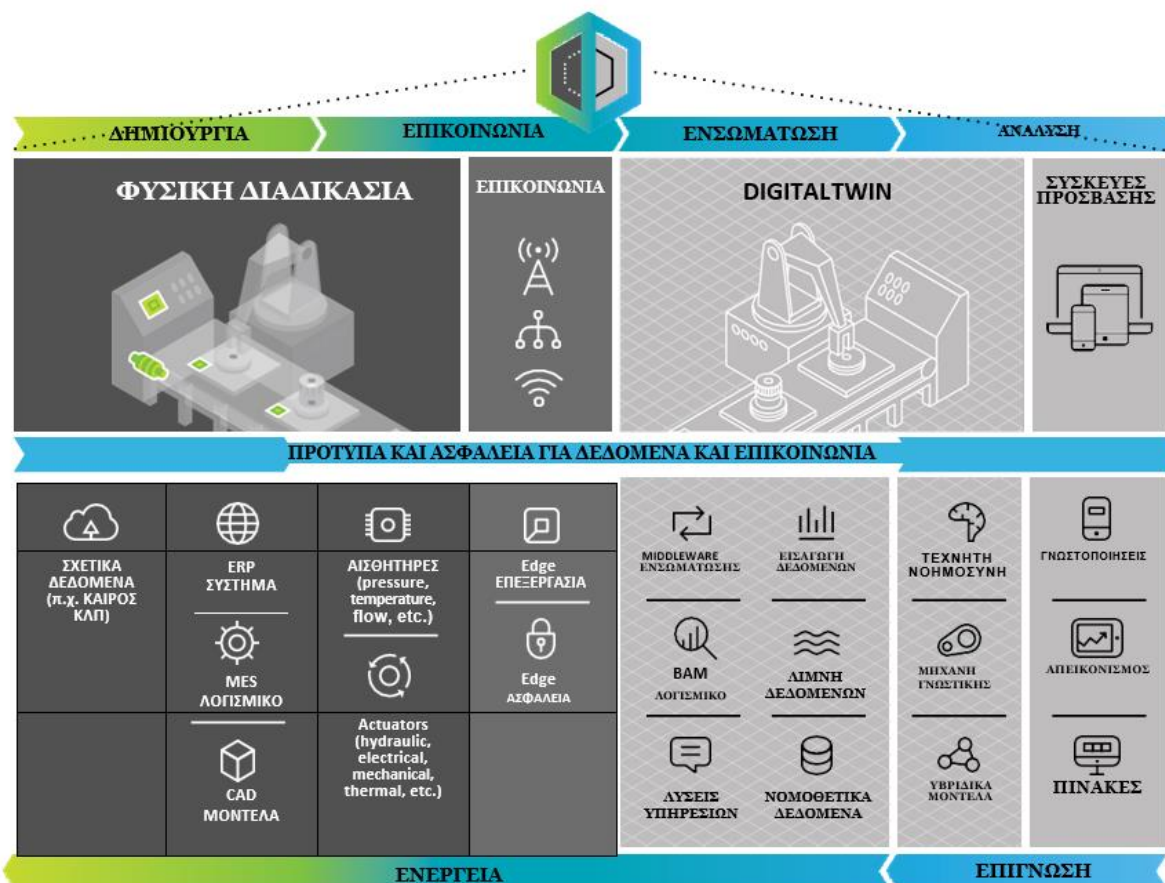
Η δημιουργία ενός DT ξεκινά με το σχεδιασμό της διαδικασίας. Ποιες είναι οι διαδικασίες και τα σημεία ολοκλήρωσης για τα οποία θα γίνει μοντελοποίηση; Οι τυπικές διαδικασίες πρέπει να χρησιμοποιούνται για να δείξουν πώς αλληλοεπιδρούν οι επιχειρησιακές διαδικασίες, οι άνθρωποι που υλοποιούν τις διαδικασίες, οι επιχειρησιακές εφαρμογές, οι πληροφορίες και τα φυσικά στοιχεία. Δημιουργούνται διαγράμματα που συνδέουν τη ροή της διαδικασίας με τις εφαρμογές και τα δεδομένα και πληροφορίες που απαιτούνται για τη δημιουργία του DT (Holdowsky J., et al. 2015).

Ο σχεδιασμός της διαδικασίας ενσωματώνεται έτσι ώστε διάφορα χαρακτηριστικά της, όπως το κόστος, ο χρόνος ή η αποδοτικότητα των στοιχείων να μπορούν να βελτιωθούν. Αυτά συνήθως σχηματίζουν τις βασικές παραδοχές για το επίπεδο λειτουργίας, από τις οποίες πρέπει ξεκινά η διαδικασία συνεχούς βελτίωσης με τη βοήθεια του DT.

Η εννοιολογική αρχιτεκτονική<sup>5</sup> ενός DT ([Εικόνα 14](#)) μπορεί να θεωρηθεί ως μια αναλυτικότερη ή «κάτω από την κουκούλα» οπτική στα στοιχεία που συνθέτουν το DT της [Εικόνα 13](#), αν και ενδέχεται να ισχύουν οι ίδιες βασικές αρχές και στα δύο επίπεδα.

---

<sup>5</sup> Επεξεργασία συνθετικών θεμάτων ειδικού χαρακτήρα, μικρής σχετικά κλίμακας που υποστηρίζονται από θεωρητική προσέγγιση. Παραδειγματικά θέματα αποτελούν χώροι καταστημάτων ή μικρών κοινόχρηστων λειτουργιών. Εναλλακτικά επιχειρείται η διατύπωση και προσδιορισμός ενός συγκεκριμένου εννοιολογικού προβλήματος που αφορά την Αρχιτεκτονική όπως για παράδειγμα η έννοια του κενού και η διερεύνηση του μέσω μικρών ασκήσεων, με έμφαση στη δομή, συγκρότηση και νοηματοδότηση χώρων στην ευρύτερη τους έννοια, πέρα από τον κτιριακό προσδιορισμό τους. [[http://www.arch.ntua.gr/course\\_instance/782](http://www.arch.ntua.gr/course_instance/782)]



Εικόνα 14: Αρχιτεκτονική του Digital Twin

[[https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26\\_201706/kr\\_insights\\_deloitte-newsletter-26\\_report\\_02\\_en.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf)]

Η εννοιολογική αρχιτεκτονική μπορεί να κατανοηθεί καλύτερα ως μια ακολουθία έξι φάσεων:

1. Δημιουργία: Η φάση της δημιουργίας περιλαμβάνει τον εξοπλισμό της φυσικής διαδικασίας με πολλούς αισθητήρες που μετρούν κρίσιμα στοιχεία από τη φυσική διαδικασία. Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες μπορούν γενικά να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: (1) λειτουργικές μετρήσεις που σχετίζονται με τα κριτήρια φυσικής απόδοσης του παραγωγικού στοιχείου (συμπεριλαμβανομένων πολλών σταδίων της διαδικασίας), όπως αντοχή σε εφελκυσμό, μετατόπιση, ροπή και ομοιομορφία χρώματος. (2) περιβαλλοντικά ή εξωτερικά δεδομένα που επηρεάζουν τις λειτουργίες ενός φυσικού στοιχείου, όπως θερμοκρασία περιβάλλοντος, βαρομετρική πίεση και επίπεδο υγρασίας. Οι μετρήσεις μπορούν να μετατραπούν σε ασφαλή ψηφιακά

μηνύματα χρησιμοποιώντας κωδικοποιητές και μετά να μεταδοθούν στο DT. Τα σήματα από τους αισθητήρες μπορεί να συνδυαστούν με πληροφορίες που παρέχονται από άλλα επιχειρησιακά συστήματα, όπως συστήματα παρακολούθησης της παραγωγής, και προγραμματισμού πόρων, συστήματα CAD και συστήματα διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού. Αυτό θα παρέχει στο DT ένα ευρύ φάσμα συνεχώς ενημερώσεων δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν ως είσοδος για τις διεργασίες ανάλυσης.

2. Επικοινωνία: Η φάση της επικοινωνίας αφορά στην απρόσκοπτη, σε πραγματικό χρόνο, αμφίδρομη ολοκλήρωση / συνδεσιμότητα μεταξύ της φυσικής διαδικασίας και της ψηφιακής πλατφόρμας. Η επικοινωνία μέσω δικτύου είναι μια από τις βασικές τεχνολογίες στις οποίες στηρίζεται ένα DT και περιλαμβάνει τρία κύρια συστατικά:

- a. Επεξεργασία στο άκρο (Edge computing)<sup>6</sup>: Η εφαρμογή διεπαφής στο άκρο (φυσικό στοιχείο) συνδέει αισθητήρες και ιστορικά διεργασιών, επεξεργάζεται σήματα και δεδομένα, και μεταδίδει δεδομένα στην πλατφόρμα. Αυτό χρησιμεύει για τη μετάφραση πρωτοκόλλων σε πιο εύκολα επεξεργάσιμες μορφές δεδομένων, καθώς και μειώνει την χρήση του δικτύου. Σημαντικές προόδους σε αυτόν τον τομέα έχουν εξαλείψει πολλά προβλήματα που περιόριζαν τη βιωσιμότητα ενός DT στο παρελθόν.
- b. Διεπαφές επικοινωνίας: Οι διεπαφές επικοινωνίας βοηθούν στη μεταφορά πληροφοριών από τον αισθητήρα στη λειτουργία ολοκλήρωσης. Απαιτούνται πολλές επιλογές σε αυτόν τον τομέα, δεδομένου ότι ο αισθητήρας που παράγει τη πληροφορία μπορεί, θεωρητικά, να τοποθετηθεί σε σχεδόν οποιαδήποτε τοποθεσία, ανάλογα με την υπό εξέταση διαμόρφωση DT: μέσα σε ένα εργοστάσιο, σε ένα σπίτι, σε μια επιχείρηση εξόρυξης ή σε πάρκινγκ και σε χιλιάδες άλλες τοποθεσίες.

---

<sup>6</sup> Το Edge computing είναι μια κατακεντρωμένη, ανοιχτή αρχιτεκτονική πληροφορικής που διαθέτει αποκεντρωμένη ισχύ επεξεργασίας, επιτρέποντας τις φορητές υπολογιστές και τις τεχνολογίες Internet of Things (IoT). Στην υπολογιστική τεχνολογία, τα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία από την ίδια τη συσκευή ή από έναν τοπικό υπολογιστή ή διακομιστή, αντί να μεταδίδονται σε ένα κέντρο δεδομένων [\[https://www.hpe.com/in/en/what-is/edge-computing.html\]](https://www.hpe.com/in/en/what-is/edge-computing.html)

- c. Ασφάλεια στο άκρο: Νέοι αισθητήρες και δυνατότητες επικοινωνίας δημιούργησαν νέα θέματα ασφαλείας, τα οποία αυξάνονται συνεχώς. Οι πιο συνηθισμένες προσεγγίσεις ασφαλείας είναι να υπάρχουν τείχη προστασίας, κλειδιά εφαρμογής, κρυπτογράφηση και πιστοποιητικά συσκευής. Η ανάγκη για νέες λύσεις για την ασφαλή υλοποίηση των DT πιθανότατα θα γίνει πιο πειστική καθώς όλο και περισσότερα στοιχεία ενεργοποιούνται μέσω IP.
3. Συγκεντρωτικό(Aggregate): Στη φάση αυτή καταχωρούνται τα δεδομένα σε ένα κεντρικό αποθετήριο, όπου θα υποβληθούν σε επεξεργασία και θα προετοιμαστεί η εξαγωγή αναλυτικών στοιχείων. Η συγκεντρωτική επεξεργασία δεδομένων μπορεί να γίνει είτε στις εγκαταστάσεις είτε σε κάποιο υπολογιστικό νέφος (cloud). Η τεχνολογία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με τρόπους που επιτρέπουν στους σχεδιαστές να δημιουργήσουν μαζικά επεκτάσιμες αρχιτεκτονικές με μεγαλύτερη ευελιξία και μικρότερο κόστος, συγκριτικά με το παρελθόν.
  4. Ανάλυση: Στο στάδιο της ανάλυσης, τα δεδομένα αναλύονται και απεικονίζονται. Οι επιστήμονες και οι αναλυτές δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιήσουν προηγμένες πλατφόρμες και τεχνολογίες ανάλυσης για να αναπτύξουν επαναληπτικά μοντέλα που δημιουργούν πληροφορίες και προτάσεις και καθοδηγούν τη λήψη αποφάσεων.
  5. Διορατικότητα/Προβλεψιμότητα: Στη φάση της διορατικότητας, οι πληροφορίες από τα αναλυτικά στοιχεία παρουσιάζονται μέσω πινάκων ελέγχου με οπτικοποιήσεις, επισημαίνοντας μη αποδεκτές διαφορές στην απόδοση του DT και του ανάλογου φυσικού στοιχείου σε μία ή περισσότερες διαστάσεις, υποδεικνύοντας περιοχές που ενδεχομένως χρειάζονται έρευνα και αλλαγή.
  6. Επέμβαση: Η φάση της επέμβασης είναι εκείνη στην οποία οι ενεργές πληροφορίες από τα προηγούμενα στάδια μπορούν να τροφοδοτηθούν στο φυσικό στοιχείο. Οι πληροφορίες περνούν από τους αποκωδικοποιητές και στη συνέχεια τροφοδοτούνται στους ενεργοποιητές της διαδικασίας του φυσικού στοιχείου, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για μηχανισμούς κίνησης ή ελέγχου, ή σε συστήματα back-end που ελέγχουν την αλυσίδα εφοδιασμού και την εκτέλεση παραγγελιών από χειριστές. Αυτή η αλληλεπίδραση ολοκληρώνει τη σύνδεση κλειστού βρόχου μεταξύ του φυσικού κόσμου και του DT.

Η ψηφιακή εφαρμογή είναι συνήθως γραμμένη στη βασική γλώσσα συστήματος της επιχείρησης, η οποία έχει βασιστεί στα παραπάνω στάδια για τη μοντελοποίηση του φυσικού στοιχείου και των διαδικασιών. Επιπλέον, καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, μπορεί να εφαρμοστούν πρότυπα και μέτρα ασφαλείας για σκοπούς διαχείρισης δεδομένων και διαλειτουργικής συνδεσιμότητας. Η ισχύς υπολογισμού μηχανών Bid Data, η ευελιξία των τεχνολογιών ανάλυσης, οι τεράστιες και ευέλικτες δυνατότητες αποθήκευσης και η ενσωμάτωση με μοντέλα κανονικότητας<sup>7</sup> (Canonical Models) επιτρέπουν στο DT να διαμορφώσει ένα πολύ πιο πλούσιο σε δεδομένα και λιγότερο απομονωμένο περιβάλλον από ποτέ. Με τη σειρά τους, τέτοιες εξελίξεις μπορεί να οδηγήσουν σε ένα πιο εξελιγμένο και ρεαλιστικό μοντέλο, και όλα αυτά με χαμηλό κόστος σε λογισμικό και εξοπλισμό. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η παραπάνω εννοιολογική αρχιτεκτονική πρέπει να έχει σχεδιαστεί για ευελιξία και δυνατότητα κλιμάκωσης όσον αφορά τα αναλυτικά στοιχεία, την επεξεργασία, τον αριθμό των αισθητήρων, των μηνυμάτων κ.λπ. Αυτό μπορεί να επιτρέψει στην αρχιτεκτονική να εξελίσσεται γρήγορα, προσαρμοζόμενη στις συνεχείς αλλαγές στην αγορά.

### 2.3.1 Αξιολόγηση των δυνατοτήτων

Μια σημαντική πρόκληση για την δημιουργία ενός DT μπορεί να έγκειται στον καθορισμό του βέλτιστου επιπέδου λεπτομέρειας στη δημιουργία ενός DT μοντέλου (Shafto M. Et al. 2010) Ενώ ένα υπερβολικά απλοϊκό μοντέλο μπορεί να μην αποδώσει την αξία που υπόσχεται ένα DT, η δημιουργία μιας πολύ γρήγορης και επιπόλαιας προσέγγισης ενός DT μπορεί να έχει απώλειες από την πολυπλοκότητα εκατομμυρίων αισθητήρων, εκατοντάδων εκατομμυρίων σημάτων που παράγουν οι αισθητήρες και του τεράστιου όγκου τεχνολογίας που θα μπορεί να κατανοήσει το μοντέλο. Επομένως, μια προσέγγιση που είναι είτε πολύ απλοϊκή ή πολύ περίπλοκη θα μπορούσε να δημιουργήσει πρόβλημα στην εξέλιξή του. Η [\(Εικόνα 15\)](#) προσφέρει μια πιθανή προσέγγιση που βρίσκεται κάπου στο μεταξύ.

Το πρώτο βήμα θα ήταν να δημιουργηθεί και να καταγραφεί μια λίστα σεναρίων που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από την ύπαρξη DT (Parrot A., et al. 2017). Το σωστό σενάριο

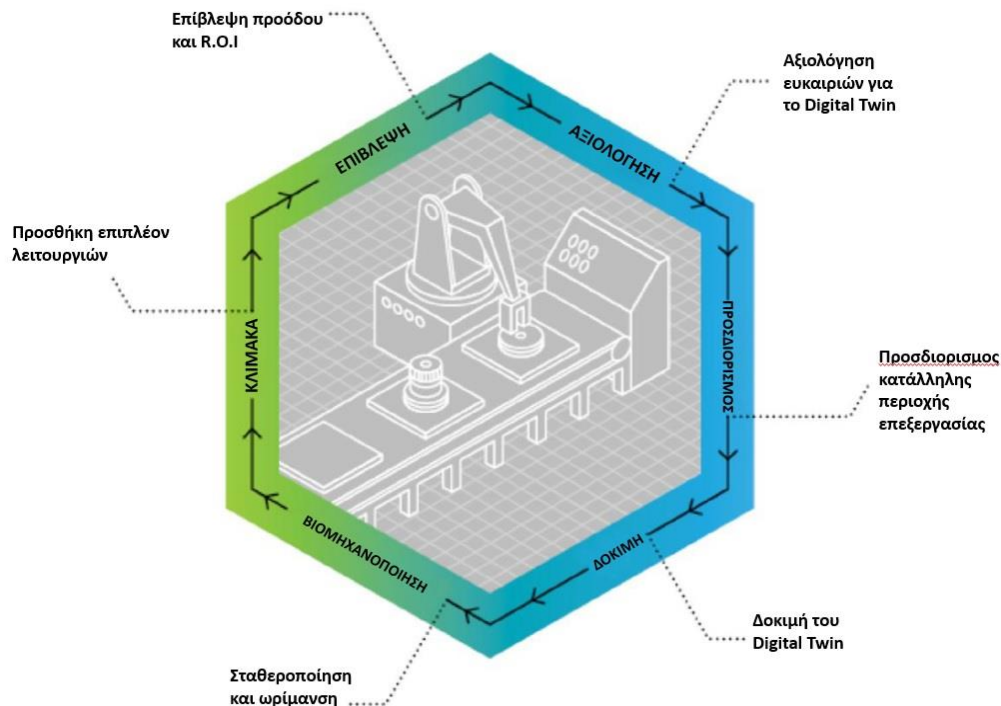
---

<sup>7</sup> Ένα κανονικό μοντέλο είναι ένα πρότυπο που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών μορφών δεδομένων.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Canonical\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Canonical_model)

μπορεί να είναι διαφορετικό για κάθε οργανισμό και περίπτωση, αλλά πιθανότατα θα έχει τα ακόλουθα δύο βασικά χαρακτηριστικά:

1. Το προϊόν ή η διαδικασία κατασκευής που εξετάζεται είναι αρκετά πολύτιμο για την επιχείρηση να επενδύσει στην κατασκευή ενός Digital Twin.
2. Υπάρχουν ανεξήγητα ζητήματα που σχετίζονται με το προϊόν που θα μπορούσαν ενδεχομένως να ξεκλειδώσουν αξία είτε για τους πελάτες είτε για την επιχείρηση.



Εικόνα 15: Επισκόπηση του Digital Twin

[\[https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26\\_201706/kr\\_insights\\_deloitte-newsletter-26\\_report\\_02\\_en.pdf\]](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf)

Μετά τη δημιουργία λίστας σεναρίων, κάθε σενάριο θα αξιολογηθεί για να προσδιορίσει κομμάτια της διαδικασίας που μπορούν να προσφέρουν γρήγορα οφέλη χρησιμοποιώντας ένα DT. Μια εστιασμένη συνεδρία με τα μέλη της επιχειρησιακής, επιχειρηματικής και τεχνικής διοίκησης θα βοηθούσε στην γρήγορη αξιολόγηση τους.

### 2.3.1.1 Προσδιορισμός της διαδικασίας

Το επόμενο βήμα θα ήταν να προσδιοριστεί μια διαμόρφωση του DT που είναι και η καλύτερη δυνατή ώστε να έχει την καλύτερη πιθανότητα επιτυχίας. Εξετάζοντας τους επιχειρησιακούς, επιχειρηματικούς και οργανωτικούς παράγοντες διαχείρισης αλλαγών θα



μπορούσαν να είναι σημαντική παράγοντες στην επιλογή της σωστότερης διαμόρφωσης του DT (Parrot A., et al. 2017). Εστίαση σε περιοχές με δυνατότητα εξέλιξης π.χ. σε εξοπλισμό, ιστότοπους ή τεχνολογίες. Οι εταιρείες ενδέχεται να αντιμετωπίσουν δυσκολίες που πηγαίνουν σε ένα συγκεκριμένο DT ενός πολύ περίπλοκου εξοπλισμού ή διαδικασίας κατασκευής, ενώ η ικανότητα ανάπτυξης ευρέως σε ολόκληρο τον οργανισμό τείνει να επιφέρει την περισσότερη αξία και υποστήριξη.

### **2.3.1.2 Δοκιμή ενός προγράμματος**

Η ενσωμάτωση ενός πιλοτικού προγράμματος θα επιφέρει επαναληπτικούς και ευέλικτους κύκλους για να επιταχυνθεί η μάθηση, να διαχειριστεί προληπτικά ο κίνδυνος και να μεγιστοποιηθεί η απόδοση των αρχικών επενδύσεων. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να είναι ένα υποσύνολο επιχειρηματικών τμημάτων ή προϊόντων για τον περιορισμό του πεδίου εφαρμογής, αλλά με τη δυνατότητα να δώσει αξία στην επιχείρηση. Καθώς προχωράει στο πρόγραμμα, η ομάδα υλοποίησης θα πρέπει να υποστηρίζει την προσαρμοστικότητα και να είναι ανοιχτή σε ιδέες καθ' όλη την διάρκεια, να διατηρεί ένα ανοιχτό οικοσύστημα που θα επιτρέπει την προσαρμοστικότητα και την ενσωμάτωση με νέα δεδομένα (δομημένα και μη δομημένα) και να αξιοποιούν νέες τεχνολογίες ή συνεργάτες. Για να είναι προσαρμοστικοί σε οποιονδήποτε τύπο πηγών δεδομένων (για παράδειγμα, νέοι αισθητήρες και εξωτερικές πηγές δεδομένων), πρέπει επίσης να είναι προσαρμοσμένο ώστε να μπορεί να υποστηρίζει την επέκταση end-to-end (από την ανάπτυξη έως την πώληση). Από την αρχή θα πρέπει να αξιοποιείται οποιαδήποτε ευκαιρία σε όλη τη διαδρομή για καλύτερα αποτελέσματα.

### **2.3.1.3 Βιομηχανοποίηση της διαδικασίας**

Μόλις ολοκληρωθεί με επιτυχία, μπορεί να βιομηχανοποιηθεί η διαδικασία ανάπτυξης των DT χρησιμοποιώντας εργαλεία και τεχνικές. Διαχείριση των προσδοκιών από την πιλοτική ομάδα και άλλα έργα που επιδιώκουν να την υιοθετήσουν. Η σωστή εφαρμογή προϋποθέτει την ενσωμάτωση στην επιχείρηση, εφαρμογή μιας βάσης δεδομένων, βελτιώσεις απόδοσης, βελτιωμένη διακυβέρνηση και πρότυπα δεδομένων και εφαρμογή οργανωτικών αλλαγών για την υποστήριξη του Digital Twin.



#### **2.3.1.4 Εφαρμογή του συστήματος**

Αφού ολοκληρωθούν τα παραπάνω, είναι σημαντικό να εντοπιστούν ευκαιρίες για την πρακτική εφαρμογή του DT. Στόχευση σε παρακείμενες διαδικασίες και διαδικασίες που έχουν διασυνδέσεις (Parrot A., et al. 2017). Αξιοποίηση των μαθημάτων που αντλήθηκαν από τις δοκιμές και τα εργαλεία και τις τεχνικές που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών για γρήγορη κλιμάκωση. Κατά την φάση της εφαρμογής, θα πρέπει να κοινοποιείται η αξία που επιτυγχάνεται μέσω της υιοθέτησης του DT στην επιχείρηση και τους μετόχους.

#### **2.3.1.5 Παρακολούθηση και μέτρηση**

Οι λύσεις πρέπει να παρακολουθούνται για να μετρηθεί αντικειμενικά η αξία που παρέχεται μέσω του DT. Προσδιορισμός εάν υπάρχουν απτά οφέλη στο χρόνο κύκλου, στην απόδοση, στην ποιότητα, στη χρήση, στα συμβάντα και στο κόστος ανά είδος. Πραγματοποιώντας επαναληπτικές αλλαγές στα DT μπορούν να παρατηρηθούν τα αποτελέσματα για να προσδιοριστεί η καλύτερη δυνατή διαμόρφωση. Αυτό δεν είναι κάτι που θα πρέπει να γίνει μόνο μια φορά μόλις εντοπιστεί, εφαρμοστεί και μετρηθεί ένα όφελος. Για πλεονέκτημα στην αγορά, οι εταιρείες θα πρέπει να έχουν χρόνο για δοκιμές σε νέους τομείς της επιχείρησης με την πάροδο του χρόνου. Συνολικά, η πραγματική επιτυχία στην επίτευξη πρώτων ορόσημων σε ένα DT θα βασιστεί πιθανότατα στην ικανότητα ανάπτυξης και διατήρησης της πρωτοβουλίας DT με τρόπο που μπορεί να αποδείξει αυξανόμενη αξία για την επιχείρηση με την πάροδο του χρόνου. Προκειμένου να διασφαλιστεί ένα τέτοιο αποτέλεσμα, μπορεί να χρειαστεί να ενσωματωθούν οι ψηφιακές τεχνολογίες και το DT στην πλήρη οργανωτική δομή, από την “R&D” έως τις πωλήσεις, αξιοποιώντας συνεχώς τις ιδέες των DTs για να αλλάξει ο τρόπος με τον οποίο η εταιρεία δραστηριοποιείται, λαμβάνει αποφάσεις και δημιουργεί νέες ροές εσόδων (Parrot A., et al. 2017)

## **2.4 Οφέλη Ψηφιακών Διδύμων**

Τα σύνθετα και ενοποιημένα συστήματα πρέπει να έχουν τα δικά τους DT για να αυξήσουν τις δυνατότητές τους. Όχι μόνο ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη προϊόντων αλλά και οι λειτουργίες των προϊόντων απλοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό. Το DT ενσωματώνει τα όλα χαρακτηριστικά αλλά και τις λειτουργίες οποιουδήποτε προϊόντος στο οποίο εφαρμόζεται. Το DT είναι η κεντρική πηγή πραγματικής απεικόνισης που δίνει τη

δυνατότητα στους οργανισμούς να υλοποιήσουν την βέλτιστη επικοινωνία μεταξύ διαφόρων ομάδων και τμημάτων σε οποιονδήποτε επίπεδο. Χρησιμεύει επίσης για επιχειρηματικούς εταίρους και πελάτες εκτός του οργανισμού (Raj P. 2019).

Η τεχνολογία DT μπορεί να μειώσει δραστικά τον χρόνο ανάπτυξης και το κόστος ενός προϊόντος (έως και 50%) σύμφωνα με τις εκτιμήσεις παρατηρητών της αγοράς (Raj P. 2019). Μέσω των συνεχών κύκλων ανάπτυξης και της αυξημένης και διορατικής συνεργασίας μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών συνεργατών, οι επιχειρήσεις μπορούν να αλλάξουν αποτελεσματικά το σχεδιασμό, την παραγωγή, τις πωλήσεις και τη συντήρηση σύνθετων προϊόντων.

Οι οργανισμοί μπορούν να έχουν εύκολη πρόσβαση στην επαληθευμένη γνώση των στοιχείων μέσω των DT τους. Αυτή η επιμελημένη γνώση συμβάλλει στον πραγματικό επιχειρηματικό μετασχηματισμό. Η επιχειρηματική στρατηγική, ο σχεδιασμός και η εκτέλεση γίνονται πιο έξυπνα και γρηγορότερα με την συνεισφορά των DT. Ο γρηγορότερος πολλαπλασιασμός των συσκευών IoT σε συνδυασμό με τις λύσεις DT μπορεί, επίσης, να προσφέρει νέες δυνατότητες. Σύμφωνα με την επικρατούσα τάση, οποιαδήποτε εφαρμογή εμπεριέχει χαρακτηριστικά DT και βασίζεται σε αναλυτικά αποτελέσματα θα τύχει μεγαλύτερης εκτίμησης και αναγνώρισης (Raj P. 2019). Με τη συνεχιζόμενη ανάπτυξη, μια εντυπωσιακή σειρά από πρωτότυπες υπηρεσίες μπορεί να αναπτυχθεί και να καταστεί διαθέσιμη σχετικά σύντομα..

Χωρίς αμφιβολία, η πελατοκεντρικότητα αποτελεί ένα καθοριστικό παράγοντα για την επιτυχία μιας επιχείρησης. Η ικανοποίηση των πελατών είναι ο απώτερος στόχος για κάθε πάροχο υπηρεσιών και λύσεων. Η μεθοδολογία DT στηρίζει την πελατοκεντρική λειτουργία μιας επιχείρησης και βοηθά στον προσδιορισμό του βέλτιστου συνόλου ενεργειών που απαιτούνται για τη βελτιστοποίηση ορισμένων από τους βασικούς δείκτες απόδοσης.

Το σημαντικό πλεονέκτημα των DT είναι ότι δεν είναι απαραίτητο να συνδέονται με τους πόρους για συνεχή επικοινωνία πληροφοριών. Σε ένα περιβάλλον IoT μπορεί απλώς να στείλει αιτήματα σε αυτούς τους φυσικούς πόρους σε ασφαλές περιβάλλον cloud, στο οποίο συνυπάρχουν με τα DT ([Εικόνα 16](#)).



Εικόνα 16: Digital Twin στα IIoT [<https://www.technologyrecord.com/Article/how-to-implement-an-industrial-internet-of-things-automation-plan-61582>]

Αυτή η προσέγγιση sandbox<sup>8</sup> μειώνει τις απειλές ασφαλείας καθώς τα δεδομένα δεν μεταφέρονται όταν τα DT δεν το απαιτούν. Έχει παρατηρηθεί ότι τα έξοδα ανάπτυξης τέτοιων εφαρμογών είναι μικρά (Augustine P., 2019). Ως αποτέλεσμα, τα DT σε cloud μπορούν να δώσουν πολλές ευκαιρίες και να αναπτυχθούν ευκολότερα και γρηγορότερα.

Τα DT μπορούν να βοηθήσουν με τους ακόλουθους τρόπους:

a) Πρόβλεψη του μέλλοντος

Δεδομένου ότι οι μαζικές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο που συλλέγονται από τους αισθητήρες μπορούν να εισαχθούν άμεσα στο DT, είναι εύκολο να προβλεφθεί η διάρκεια ζωής των συσκευών, οι συνθήκες εργασίας τους και οι αλλαγές στη λειτουργικότητά τους, λόγω των δεδομένων επίσης από το περιβάλλον.

b) Έμφαση στην ακρίβεια

Πλέον οι επιχειρήσεις μπορούν να επεξεργάζονται μια πληθώρα δεδομένων, όπως στην περίπτωση των big data, καθώς προκύπτουν από πολλές συνδεδεμένες συσκευές

---

<sup>8</sup> Στην ασφάλεια υπολογιστών, ένα sandbox είναι ένας μηχανισμός ασφαλείας για το διαχωρισμό των προγραμμάτων που εκτελούνται, συνήθως σε μια προσπάθεια μετριασμού των βλαβών του συστήματος ή των ευπαθειών λογισμικού από τη διάδοση [[https://en.wikipedia.org/wiki/Sandbox\\_\(computer\\_security\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sandbox_(computer_security))]

και εφαρμογές και είναι ευκολότερο να αποκτηθεί μια καλύτερη εικόνα της πλήρους κατάστασης των βιομηχανικών συσκευών. Η συγχώνευση των αλγορίθμων μηχανικής εκμάθησης μαζί με αυτά τα αλληλοσυνδεδεμένα δεδομένα των μοντέλων συμπεριφοράς των συσκευών μπορεί να βοηθήσει τα DT να κατανοήσουν με ακρίβεια πώς μπορεί να λειτουργήσει μια συσκευή σε ένα συγκεκριμένο σενάριο για να εντοπίσει πιθανές αστοχίες στις συσκευές πριν πραγματοποιηθούν.

c) Περίπλοκα DT

Πράγματι, τα DT υποστηρίζουν την εύκολη σύνδεση με απομακρυσμένες συσκευές σε πραγματικό χρόνο και ανάκτηση δεδομένων από αυτές ή εντολές προς την συσκευή να λειτουργεί με επιθυμητό τρόπο. Ωστόσο, τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ενδέχεται να μην επαρκούν για τον πλήρη έλεγχο των συσκευών, αλλά η συμπεριφορά του παρελθόντος και των μελλοντικών προβλέψεων ενισχύει τον έλεγχο. Ο συνδυασμός των λειτουργικών συμπεριφορών με τα DT σε πραγματικό χρόνο είναι αναμφίβολα το κλειδί για επιτυχία.

d) Μείωση λειτουργικού κόστους

Στις επιχειρήσεις επικρατεί πάντα η έννοια της μείωσης του κόστους και της αύξησης των κερδών. Οι εταιρείες αξιολογούν επίσης τη διαδικασία ανάπτυξης των συσκευών και δοκιμάζουν νέες, ορθολογικές λύσεις για τη μείωση του κόστους και, κατά συνέπεια, την αύξηση των περιθωρίων κερδών. Το DT επιτρέπει στις εταιρείες να το δοκιμάσουν χωρίς να κάνουν περιττά έξοδα σε πραγματικό χρόνο για ένα προϊόν. Σε ευρύτερο επαγγελματικό επίπεδο, τα καταστήματα λιανικής μπορούν να υιοθετήσουν την τεχνολογία DT για να μιμηθούν το κατάστημά τους και χρησιμοποιώντας αισθητήρες, να παρακολουθούν τις δραστηριότητες των καταναλωτών σε σχέση με την αγορά. Στην πραγματικότητα, το DT βοηθά στη διατήρηση μιας στρατηγικής απόστασης από σφάλματα και βοηθά στην επιτυχία.

e) Αποφυγή αποτυχίας

Η αποφυγή αποτυχίας μπορεί να φαίνεται δύσκολο σενάριο στον πραγματικό κόσμο, αλλά οι βιομηχανίες πρέπει να δώσουν μεγάλη αξία για να αποφύγουν δαπανηρές βλάβες ή λάθη. Τα DT δίνουν τη δυνατότητα στους μηχανικούς να ανακαλύψουν πολλές δυνατότητες, ώστε να μπορούν να δώσουν εκτιμήσεις σχετικά με την ανθεκτικότητα ή τη αντοχή ενός στοιχείου με μεγαλύτερο επίπεδο ακρίβειας. Οι

βιομηχανίες που είναι πρόθυμες να εξασφαλίσουν σταθερούς χρόνους στις μηχανές τους και την αύξηση της παραγωγής μπορούν να αξιοποιήσουν τα DT για να το κάνουν πολύ πιο γρήγορα. Προχωρώντας την επίβλεψη ενός μόνο πόρου σε ταυτόχρονη επίβλεψη όλων των πόρων, οι βιομηχανίες μπορούν να ανοίξουν νέους ορίζοντες για να πετύχουν νέα επιτεύγματα. Για παράδειγμα, ένας κινητήρας, ένας μηχανισμός μετάδοσης και ένα σύστημα φρένων μπορεί να έχουν όλα διαφορετικό DT, και πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους όπως και ο πραγματικός μηχανισμός φυσικού κινητήρα, κιβωτίου ταχυτήτων και φρένων για να παρέχουν βαθύτερες αναλύσεις.

## **2.5 Επιχειρηματική αξία των Ψηφιακών Διδύμων**

Με την εμφάνιση ολοένα και πιο ευνοϊκού κόστους αποθήκευσης και υπολογισμού, ο αριθμός των περιπτώσεων χρήσης και των δυνατοτήτων για την ενεργοποίηση ενός DT έχει επεκταθεί σημαντικά, με τη σειρά του οδηγώντας την επιχειρηματική του αξία όλο και πιο ψηλά (Grieves V., et al. 2017). Κατά την εξέταση της επιχειρηματικής αξίας που προσφέρει το DT, οι εταιρείες θα πρέπει να επικεντρωθούν σε ζητήματα DT για «έξυπνη παραγωγή» που σχετίζεται με στρατηγικές επιδόσεις και δυναμική αγοράς, συμπεριλαμβανομένων βελτιωμένων και μακροχρόνιων επιδόσεων προϊόντων, γρηγορότερων κύκλων σχεδιασμού, δυναμικού για νέα έσοδα και καλύτερη διαχείριση κόστους. Αυτά τα στρατηγικά ζητήματα, μεταξύ άλλων, μπορούν να μεταφραστούν σε συγκεκριμένες εφαρμογές που θα μπορούσαν να προσφέρουν ευρεία επιχειρηματική αξία που μπορεί να προσφέρει ένα DT. Εκτός από τους τομείς των επιχειρηματικών αξιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, ένα DT μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση πολλών άλλων βασικών μετρήσεων απόδοσης για μια κατασκευαστική εταιρεία. Συνολικά, το DT μπορεί να προσφέρει πολλές εφαρμογές για να αυξήσει την αξία και να αρχίσει να αλλάζει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο μια εταιρεία δραστηριοποιείται (Hung M., et al. 2017). Αυτό μπορεί να μετρηθεί σε απτά αποτελέσματα που μπορούν να επιστρέψουν ως πληροφορίες κλειδιά για την επιχείρηση.

Ποιότητα	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Βελτίωση συνολικής ποιότητας</li> <li>• Πρόβλεψη και εντοπισμός ελαττωμάτων ποιότητας νωρίτερα</li> <li>• Έλεγχος ποιοτικού σφάλματος και εύρεση λόγου αστοχίας</li> </ul>
Κόστος εγγύησης και υπηρεσιών	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κατανόηση της εγκατάστασης και δυνατότητα βελτιστοποίησης των υπηρεσιών</li> <li>• Μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό ζητημάτων εγγύησης και αξιώσεων με σκοπό τη μείωση του συνολικού κόστους εγγύησης και τη βελτίωση της εμπειρίας των πελατών</li> </ul>
Κόστος λειτουργίας	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Βελτίωση σχεδιασμού προϊόντων και εκτέλεσης αλλαγών</li> <li>• Μείωση των αλλαγών στις λειτουργίες και στις διαδικασίες</li> </ul>
Διατήρηση αρχείων και σειριοποίηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δημιουργία μιας ψηφιακής εγγραφής ανταλλακτικών και πρώτων υλών για καλύτερη διαχείριση των ανακλήσεων και των αξιώσεων εγγύησης και ικανοποίηση των απαιτούμενων απαιτήσεων παρακολούθησης</li> </ul>
Νέα εισαγωγή προϊόντος κόστος και χρόνος παράδοσης	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μείωση χρόνου για την εμπορευματοποίηση νέων προϊόντων</li> <li>• Μείωση συνολικού κόστους παραγωγής νέων προϊόντων</li> <li>• Καλύτερη αναγνώριση υλικών και εισαγωγής τους στην παραγωγική διαδικασία</li> </ul>
Αύξηση των ευκαιριών	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αναγνώριση προϊόντων που είναι έτοιμα για αναβάθμιση</li> <li>• Βελτίωση απόδοσης και κόστους υπηρεσιών</li> </ul>

**Πίνακας 2: Κατηγορίες επιχειρηματικής αξίας των Digital Twins**

## 2.6 Πεδία Εφαρμογών

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες (Hung M. 2017) η τεχνολογία DT αποτελεί ως μία από τις κορυφαίες 10 τάσεις στο πεδίο της τεχνολογικής στρατηγικής. Η έννοια DT παρουσιάζει την εικονική αναπαράσταση ή την ψηφιακή αναπαράσταση του εξοπλισμού, της συσκευής ή του συστήματος του πραγματικού κόσμου, ενώ ο πραγματικός κόσμος και ο εικονικός κόσμος βρίσκονται σε απόλυτο συγχρονισμό. Η ψηφιακή αναπαράσταση του πλήρους κύκλου ζωής ενός προϊόντος από τη φάση σχεδιασμού του έως τη φάση συντήρησης παρέχει τη δυνατότητα πρόβλεψης τυχών προβλημάτων και ενημέρωσης της επιχείρησης. Η πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα στην ανάπτυξη μιας συσκευής που θα δώσει έγκαιρες προειδοποιήσεις, θα μειώσει το χρόνο διακοπής λειτουργίας, θα δημιουργήσει νέες προοπτικές και θα επιτρέψει την ανάπτυξη βελτιωμένων συσκευών με μικρότερο κόστος. Πράγματι, αυτά θα επιτρέψουν την καλύτερη κατανόηση των καταναλωτικών τάσεων και απαιτήσεων (Augustine P., 2020). Οι αναδυόμενες τάσεις όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση, η βαθιά μάθηση, το IoT και τα Big Data που θεωρούνται βασικά στοιχεία για τη «Βιομηχανία 4.0» και έχουν ζωτικό ρόλο στη μεθοδολογία DT, εισάγονται πλέον και στον κόσμο της παραγωγής, του IIoT και της αυτοκινητοβιομηχανίας (Tao F. et al. 2018). Η διείσδυση, η ευρεία κάλυψη και η προώθηση του IoT στον πραγματικό κόσμο έχουν αυξήσει τις προοπτικές της τεχνολογίας DT, η οποία είναι πλέον και πιο οικονομικά προσιτή για τις επιχειρήσεις.

1. Παραγωγή: Η τεχνολογία DT αλλάζουν σταδιακά τον τρόπο λειτουργίας του κατασκευαστικού τομέα, επηρεάζοντας σημαντικά το σχεδιασμό των προϊόντων, την κατασκευή και την συντήρησή τους. Αποτέλεσμα αυτών είναι η παραγωγή να καθίσταται πιο ικανή καθώς παράλληλα μειώνεται ο χρόνος των διαδικασιών.
2. Βιομηχανική παραγωγή και Industrial IoT: Η εφαρμογή τεχνικών DT στη Βιομηχανία θα διευκολύνει δραστηριότητες όπως η παρακολούθηση και ο έλεγχος των βιομηχανικών συστημάτων. Στο πεδίο αυτό, η συνεισφορά της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι τεράστια δεδομένου ότι καταγράφει περιβαλλοντικά δεδομένα όπως τοποθεσία, ρυθμίσεις συσκευών, οικονομικά δεδομένα κ.λπ., εκτός από τα λειτουργικά δεδομένα, τα οποία επιτρέπουν την πρόβλεψη των επικείμενων λειτουργιών και ασυμφωνιών.

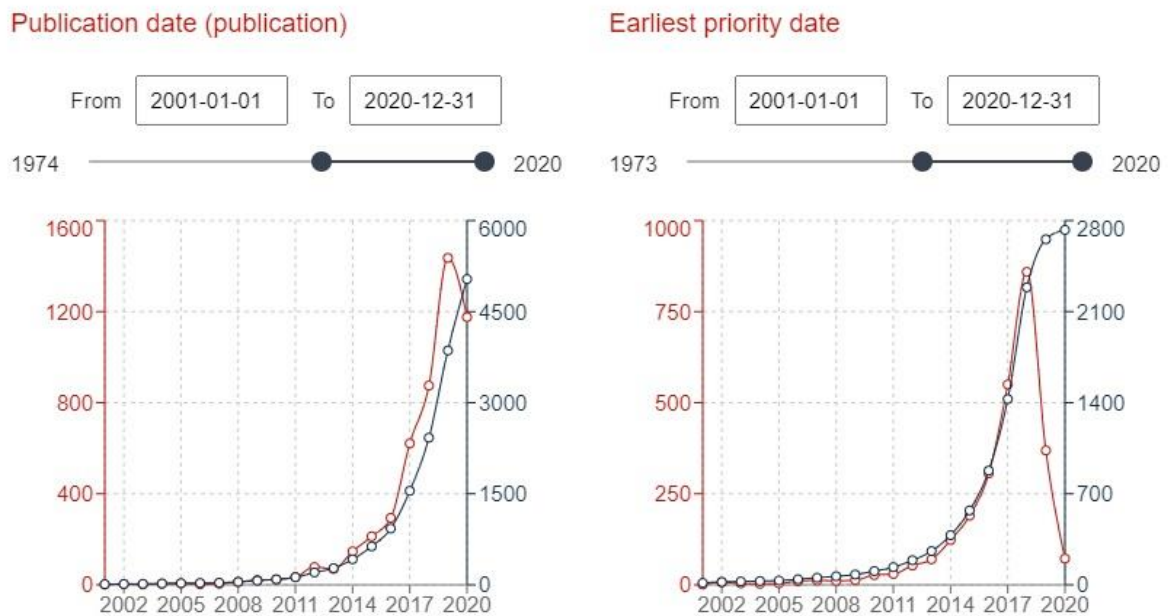
3. Υγειονομική περίθαλψη: Δεδομένου ότι ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης απαιτεί μεγαλύτερη ακρίβεια στη διάγνωση και τη θεραπεία, η τεχνολογία DT μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του κόστους για τον ασθενή, στην έγκαιρη πρόληψη και την αποφυγή επιδείνωσης της υγείας καθώς και στην παροχή ενός προσαρμοσμένου συστήματος υποστήριξης της υγείας. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση του παρεχόμενου επιπέδου υγείας, ειδικά σε αναπτυσσόμενες χώρες.
4. Έξυπνες πόλεις: Το DT σε συνδυασμό με δεδομένα IoT μπορεί να αυξήσει τον αποτελεσματικό σχεδιασμό μιας έξυπνης πόλης και των κτηρίων της ενισχύοντας την οικονομική πρόοδο, βελτιώνοντας την διαχείριση των πόρων, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και αποτυπώνοντας το κόστος ζωής ενός κατοίκου. Η τεχνολογία DT μπορεί να βοηθήσει τις δημοτικές αρχές και τους νομοθέτες στον σχεδιασμό έξυπνων πόλεων, ανακτώντας δεδομένα από πολλά δίκτυα αισθητήρων και έξυπνα συστήματα. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τα συστήματα DT βοηθούν στην επίτευξη πολύπλευρων επιλογών σχετικά με το μέλλον.
5. Οχήματα: Κλάδοι όπως η αυτοκινητοβιομηχανία μπορούν να αποκομίσουν τεράστια οφέλη από την εκμετάλλευση της τεχνολογίας DT όχι μόνο σε ό,τι αφορά στην παραγωγή αλλά και στη λειτουργία των προϊόντων τους. Μέσω DT μπορούν να ανακτηθούν συμπεριφορικές και λειτουργικές πληροφορίες του οχήματος, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά την προσομοίωση της συνολικής απόδοσης του οχήματος, καθώς και των χαρακτηριστικών που συνδέονται με αυτό. Η τεχνολογία DT θα επιτρέψει επίσης την παροχή μιας σωστότερης υποστήριξης και εξυπηρέτησης για τους καταναλωτές.
6. Λιανικό εμπόριο: Η ικανοποίηση των πελατών αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα στον κλάδο του εμπορίου. Η τεχνολογία DT μπορεί να διαδραματίσει βασικό ρόλο στη βελτίωση της εμπειρίας των πελατών λιανικής δημιουργώντας εικονικά δίδυμα για τους πελάτες και μοντελοποίηση μόδας. Η μεθοδολογία DT υποστηρίζει επίσης την καλύτερη διαχείριση αποθεμάτων, βελτιώνει τις διαδικασίες φύλαξης και βοηθά στη διαχείριση ανθρώπινου δυναμικού.



## 2.7 Διπλώματα Ευρεσιτεχνίας

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί ραγδαία ανάπτυξη στην τεχνολογία και τις εφαρμογές των DT και ένας εύκολος τρόπος να επαληθευθεί αυτό είναι μέσω των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Από το 2012 φαίνεται πως οι εταιρείες έχουν δώσει έμφαση στην συγκεκριμένη τεχνολογία και ο βαθμός εξέλιξής πηγαίνει εκθετικά όπως αυτό φαίνεται στην

[Εικόνα 17](#).



Εικόνα 17: Στατιστικά Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας των Digital Twin [<https://worldwide.espacenet.com/>]

### 2.7.1 Ανάλυση διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του espacenet, το οποίο είναι ένα εργαλείο αναζήτησης πατεντών του epo.org, φαίνεται ότι η τάση των DT ανθίζει σε αρκετές εταιρίες της σύγχρονης εποχής. Αυτό δείχνει ότι τα DT έχουν σημαντική αξία στις επιχειρήσεις και γίνονται κατοχυρώσεις διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας δείχνει ότι είναι άμεσα εμπορεύσιμα.

Οι κορυφικοί καταθέτες είναι οι κάτωθι:



Πίνακας 3: Κορυφικοί καταθέτες-εφευρέτες και καταγωγή εφευρετών σε εύρος διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. [<https://worldwide.espacenet.com/>]

## **2.7.2 Σχετικά Διπλώματα Ευρεσιτεχνίας**

### **2.7.2.1 Ψηφιακό Δίδυμο 3D εκτυπωτή**

Στην παρούσα εφεύρεση η Siemens Corp. έχει εφεύρει ένα DT και μία μεθοδολογία ενός κατασκευαστικού συστήματος 3D printer χρησιμοποιώντας διάφορους αισθητήρες IoT (π.χ., ακουστικούς, κραδασμούς, μαγνητικούς ή και αισθητήρες ισχύος). Με βάση αυτά τα σήματα, ένας αλγόριθμος ομαδοποίησης χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μιας βιβλιοθήκης αποτυπωμάτων που αντιπροσωπεύει αποτελεσματικά στη φυσική κατάσταση ή το φυσικό δίδυμο του συστήματος. Το DT χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των ανώμαλων φυσικών εκπομπών που έχουν τη δυνατότητα να οδηγήσουν σε απόκλιση του βασικού δείκτη απόδοσης (KPI). Επιπλέον, ορισμένες υλοποιήσεις της παρούσας εφεύρεσης χρησιμοποιούν έναν αλγόριθμο για την ενημέρωση του DT και την εξαγωγή της απόκλισης KPI. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι ικανή να ενημερώνεται μόνη της, να συμπεράνει απόκλιση του KPI και να εντοπίζει κατασκευαστικές ανωμαλίες στο σύστημα.

(51) International Patent Classification:  
G06K 9/62 (2006.01)

(21) International Application Number:  
PCT/US2018/049132

(22) International Filing Date:  
31 August 2018 (31.08.2018)

(25) Filing Language:  
English

(26) Publication Language:  
English

(30) Priority Data:  
62/668,327 08 May 2018 (08.05.2018) US

(71) Applicants: SIEMENS CORPORATION [US/US]; 170 Wood Avenue South, Iselin, New Jersey 08830 (US). THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALI-

FORNIA [US/US]; 2150 Shattuck Avenue, Berkeley, California 94704-6701 (US).

(72) Inventors: CHHETRI, Sujit Rokka, 6253 Adobe Circle Road South, Irvine, California 92697 (US); AL FARUQUE, Mohammad Abdullah, 5 Kablo Court, Irvine, California 92617 (US); MARTINEZ CANEDO, Arquimedes, 9 Wethersfield Road, Plainsboro, New Jersey 08536 (US).

(74) Agent: RASHIDI-YAZD, Seyed Kaveh E.; Siemens Corporation- Intellectual Property Dept., 3501 Quadrangle Blvd. Ste. 230, Orlando, Florida 32817 (US).

(81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

(54) Title: QUALITY INFERENCE FROM LIVING DIGITAL TWINS IN IOT-ENABLED MANUFACTURING SYSTEMS

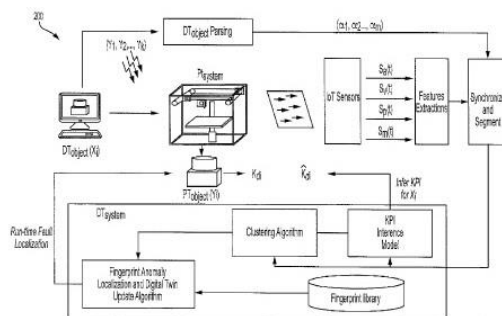


FIG. 2

(57) Abstract: A method for quality inference in an Internet of things (IoT)-enabled manufacturing system includes generating a fingerprint library. Each fingerprint corresponds to a digital twin of a product and comprises (i) stored feature clusters, and (ii) a stored silhouette coefficient for each feature cluster. Sensor values are collected from IoT sensors monitoring a physical twin of the manufacturing system. Feature values are extracted from the sensor values. Parameters defining the digital twin are identified and used to segment the feature values into feature subgroups. Next, feature clusters are estimated for the subgroups using the fingerprint library. A current silhouette coefficient is determined for each feature cluster. If the current silhouette coefficient deviates from a corresponding stored silhouette coefficient, the parameters of the digital twin corresponding to the feature cluster are identified and designated as being potentially anomalous. An alert may then be provided to users identifying the potentially anomalous parameters.

WO 2019/216941 A1

[Continued on next page]

Ένα άλλο παράδειγμα είναι της Intel όπου διευκολύνουν τον έλεγχο διεργασίας CPS χρησιμοποιώντας ένα DT για τη διαχείριση εκδρομών διεργασίας, επιτρέποντας έτσι βελτιωμένη απόκριση στις αλλαγές ελέγχου αποκλίσεων πριν να προκαλέσουν σπατάλη προϊόντος, χρόνους διακοπής κατασκευής ή ακόμα και ζημιά στον εξοπλισμό. Σε μερικές περιπτώσεις η προληπτική συντήρηση δεν μπορεί να αποφύγει την ανεπανόρθωτη ζημιά σε ένα ή περισσότερα εργαλεία του συστήματος. Οι εφαρμογές του DT μπορεί να περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε αυτά, καλούπια (π.χ. καλούπια έγχυσης), περιβλήματα εξώθησης κ.λπ. Σε ακόμη άλλα παραδείγματα, τα εργαλεία ελέγχου διεργασιών περιλαμβάνουν εργαλεία κατασκευής ημιαγωγών (π.χ. πλάσματα χάραξης), χημικά / φαρμακευτικά προϊόντα εργαλεία κατασκευής, εξοπλισμός συνεχούς επεξεργασίας, εργαλεία κατασκευής ανταλλακτικών αυτοκινήτων, εργαλεία σχηματισμού μετάλλων, εργαλεία άλεσης, εργαλεία περιστροφής, εργαλεία μηχανικής κατεργασίας, εργαλεία λείανσης,

εργαλεία χύτευσης (π.χ. εργαλεία χυτηρίου), εργαλεία ταχείας προ τύπωσης, εργαλεία εκτύπωσης 3D, εργαλεία δοκιμών ιατρικών συσκευών, κ.λπ. Καθώς αυτά τα εργαλεία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή προϊόντων, ενδέχεται να προκύψουν παραλλαγές (π.χ. διαστάσεων, υλικών, χημικών, ηλεκτρικών κ.λπ.) στο εργαλείο που προκαλεί μια προκύπτουσα λειτουργία για την παραγωγή ενός προϊόντος/εξαρτήματος που δεν είναι πλέον εντός αποδεκτών μετρήσεων ανοχής. Όπως χρησιμοποιείται εδώ, οι μετρήσεις αναφέρονται σε οποιονδήποτε τύπο παραμέτρου που σχετίζεται με ένα τελικό προϊόν κατασκευής που πρέπει να ελέγχεται με τρόπο ώστε να δημιουργείται επιτυχώς το τελικό προϊόν. Σε αυτές τις εφαρμογές η συγκεκριμένη εφεύρεση μπορεί να παρακολουθεί όλη την παραγωγική διαδικασία και να εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία χωρίς σφάλματα αλλά και την βελτίωση της ποιότητας του εξοπλισμού και του τελικού προϊόντος.



US 20190340843A1

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication** (10) **Pub. No.: US 2019/0340843 A1**

**McCarson et al.**

(43) **Pub. Date:** **Nov. 7, 2019**

(54) **METHODS, SYSTEMS, ARTICLES OF MANUFACTURE AND APPARATUS TO MANAGE PROCESS EXCURSIONS**

*G06N 5/02* (2006.01)

*G06K 9/62* (2006.01)

(52) **U.S. CL**

CPC ..... *G07C 3/146* (2013.01); *G05B 13/04* (2013.01); *G06K 9/6267* (2013.01); *G06N 5/022* (2013.01); *G05B 13/0265* (2013.01)

(71) Applicant: **Intel Corporation**, Santa Clara, CA (US)

(72) Inventors: **Brian McCarson**, Chandler, AZ (US); **Keith Ellis**, Carlow (IE); **Michael McGrath**, Virginia (IE); **Niall Cahill**, Dublin (IE); **Lisa Sherin**, Dublin (IE); **Daire Healy**, Enfield (IE)

(57) **ABSTRACT**

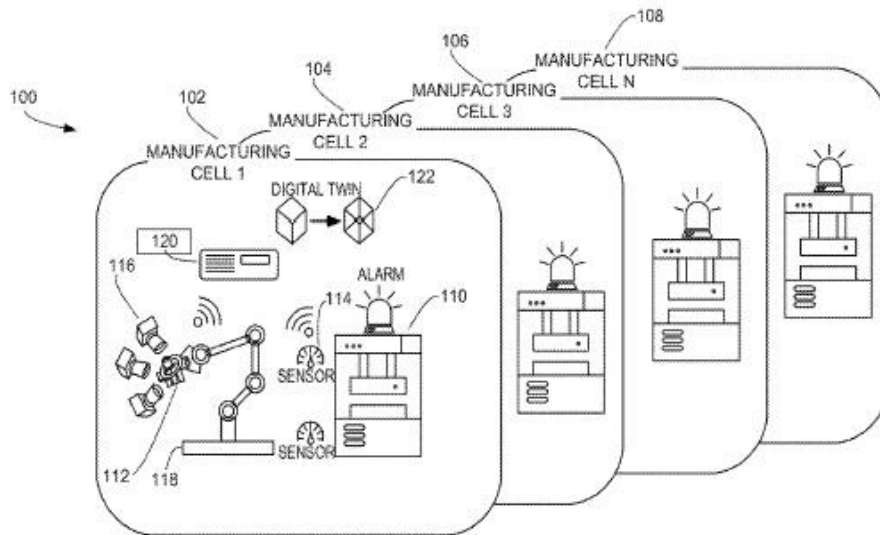
Methods, apparatus, systems and articles of manufacture are disclosed to manage process excursions. An example apparatus includes a digital twin comparer to determine when a product fails to satisfy a tolerance metric of a digital twin, and a fingerprint manager to generate a fingerprint corresponding to a sensor pattern. The example apparatus also includes a node interfacier to determine a number of workstations of a process control system that exhibit the fingerprint, and an excursion statistics calculator to invoke a corrective action for respective ones of the number of workstations, the corrective action based on a threshold count of the number of workstations that exhibit the fingerprint.

(21) Appl. No.: **16/450,123**

(22) Filed: **Jun. 24, 2019**

**Publication Classification**

(51) **Int. Cl.**  
*G07C 3/14* (2006.01)  
*G05B 13/04* (2006.01)  
*G05B 13/02* (2006.01)



### **2.7.2.2 Αιολικό σύστημα παραγωγής ενέργειας και μέθοδος διαχείρισης του**

Η General Electric είναι μία από τις πιο δυνατές εταιρίες στον χώρο των Digital Twins. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί και από τον αριθμό πατεντών που κατέχει στο portfolio της. Αυτή τη στιγμή διαθέτει περίπου 179 πατέντες σχετικές με τα Digital Twins και κατέχει την νούμερο 1 θέση.

Η παρούσα εφεύρεση απευθύνεται σε ένα ψηφιακό σύστημα για τη διαχείριση ενός αιολικού πάρκου που έχει ένα πλήθος ανεμογεννητριών συνδεδεμένων ηλεκτρικά με ένα δίκτυο ισχύος. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα πρώτο δίκτυο επικοινωνίας με βάση το αγρόκτημα που έχει ένα ή περισσότερα μεμονωμένα συστήματα ελέγχου ανεμογεννητριών που συνδέονται με τη μία ή περισσότερες ανεμογεννήτριες και ένα συνολικό σύστημα ελέγχου αιολικής ενέργειας. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης ένα δεύτερο δίκτυο επικοινωνίας που βασίζεται σε Cloud σε συνδυασμό με το πρώτο δίκτυο επικοινωνίας μέσω μιας βιομηχανικής πύλης. Το δεύτερο δίκτυο επικοινωνίας περιλαμβάνει μια ψηφιακή υποδομή που έχει πλήθος ψηφιακών μοντέλων μιας ή περισσότερων ανεμογεννητριών. Έτσι, τα ψηφιακά μοντέλα μιας ή περισσότερων ανεμογεννητριών ενημερώνονται συνεχώς κατά τη λειτουργία του αιολικού πάρκου μέσω δεδομένων που παρέχονται από το πρώτο δίκτυο επικοινωνίας με βάση το αγρόκτημα. Το σύστημα και η μέθοδος της παρούσας εφεύρεσης επεκτείνουν ψηφιακά τα διάφορα υποσυστήματα που υπάρχουν στο αιολικό πάρκο στο Cloud, επιτρέποντας έτσι στο αιολικό πάρκο να ενεργεί και να συμπεριφέρεται ως μία συνεκτική μονάδα. Ως εκ τούτου, το σύστημα παρέχει επικοινωνία από άκρο σε άκρο και επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών και εργαλείων σε όλο το αιολικό πάρκο για αποτελεσματική, βελτιστοποιημένη και κερδοφόρα λειτουργία.



US010132295B2

(12) **United States Patent**  
**Lund et al.**

(10) **Patent No.:** **US 10,132,295 B2**  
(45) **Date of Patent:** **Nov. 20, 2018**

(54) **DIGITAL SYSTEM AND METHOD FOR MANAGING A WIND FARM HAVING PLURALITY OF WIND TURBINES COUPLED TO POWER GRID**

(71) Applicant: **General Electric Company**, Schenectady, NY (US)

(72) Inventors: **Arnold M. Lund**, Oakland, CA (US); **Karl Mochel**, San Francisco, CA (US); **Jeng-Wei Lin**, Danville, CA (US); **Raimundo Onetto**, Walnut Creek, CA (US); **Jayanthi Srinivasan**, San Ramon, CA (US); **Peter Gregg**, Niskayuna, NY (US); **Jeffrey Eric Bergman**, Mechanicville, NY (US); **Kenneth D. Hartling**, Milpitas, CA (US); **Anwar Ahmed**, San Ramon, CA (US); **Sham Chotai**, Woodside, CA (US)

(73) Assignee: **GENERAL ELECTRIC COMPANY**, Schenectady, NY (US)

(\* ) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 192 days.

(21) Appl. No.: **15/075,231**

(22) Filed: **Mar. 21, 2016**

(65) **Prior Publication Data**  
US 2016/0333855 A1 Nov. 17, 2016

**Related U.S. Application Data**  
(63) Continuation-in-part of application No. 14/646,677, filed on May 21, 2015, now Pat. No. 9,569,073.  
(Continued)

(51) **Int. Cl.**  
**F03D 7/04** (2006.01)  
**G05B 13/04** (2006.01)  
(Continued)

(52) **U.S. CL.**  
CPC ..... **F03D 7/048** (2013.01); **F03D 7/043** (2013.01); **F03D 7/045** (2013.01); **F03D 7/047** (2013.01);  
(Continued)

(58) **Field of Classification Search**  
CPC ..... F03D 7/047; F03D 7/048; H02J 3/386; G06F 17/40; G06Q 50/06; G05B 13/021; Y02E 40/76; Y04S 10/545  
See application file for complete search history.

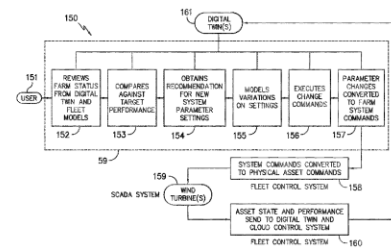
(56) **References Cited**  
**U.S. PATENT DOCUMENTS**  
7,013,203 B2 3/2006 Moore et al.  
7,318,154 B2\* 1/2008 Tehee, Jr. .... F03D 7/028 7/13/155  
(Continued)

**FOREIGN PATENT DOCUMENTS**  
EP 2607690 A1 6/2013

**OTHER PUBLICATIONS**  
Arantxa et al., "Digital Simulation Performance of a Wind Farm", 10th Mediterranean Electrotechnical Conference, vol. No. III, pp. 1153-1156, 2000.  
(Continued)

**Primary Examiner** — Ramesh B Patel  
(74) **Attorney, Agent, or Firm** — GE Global Patent Operation; Nitin Joshi

(57) **ABSTRACT**  
The present disclosure is directed to a digital system for managing a wind farm having a plurality of wind turbines electrically coupled to a power grid. The system includes a farm-based first communication network having one or more individual wind turbine control systems communicatively coupled to the one or more wind turbines and an overall wind farm control system. The system also includes a cloud-based second communication network commu-  
(Continued)





tively coupled to the first communication network via an industrial gateway. The second communication network includes a digital infrastructure having a plurality of digital models of the one or more wind turbines, wherein the plurality of digital models of the one or more wind turbines are continuously updated during operation of the wind farm via data supplied by the farm-based first communication network.

**20 Claims, 11 Drawing Sheets**

**Related U.S. Application Data**

- (60) Provisional application No. 62/162,547, filed on May 15, 2015.
- (51) **Int. Cl.**  
*F03D 9/00* (2016.01)  
*F03D 17/00* (2016.01)  
*F03D 9/25* (2016.01)
- (52) **U.S. Cl.**  
 CPC ..... *F03D 9/257* (2017.02); *F03D 17/00* (2016.05); *G05B 13/041* (2013.01); *F05B 2260/82* (2013.01); *Y02E 10/723* (2013.01); *Y02P 80/22* (2015.11)

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

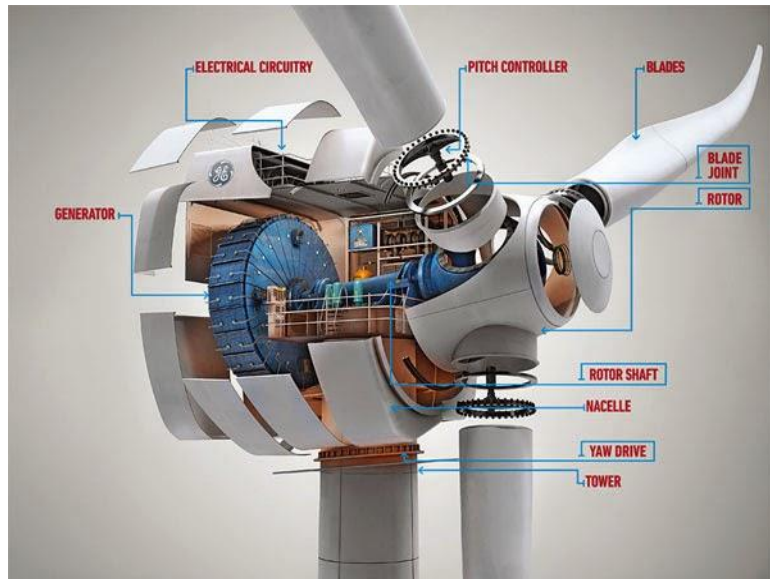
8,295,989	B2	10/2012	Rettger et al.
8,401,709	B2	3/2013	Cherian et al.
8,433,425	B2*	4/2013	Vasudevarao ..... F03D 7/048 290/44

8,503,443	B2	8/2013	Lovmand
8,761,948	B1	6/2014	Ippolito et al.
8,966,117	B1	2/2015	Osburn, III
2002/0029097	A1*	3/2002	Pionzio, Jr. .... F03D 7/047 700/286
2007/0266423	A1*	11/2007	Tehee, Jr. .... F03D 7/028 726/3
2008/0046387	A1*	2/2008	Gopal ..... G01D 4/004 705/412
2008/0234871	A1*	9/2008	Yamada ..... G06Q 50/06 700/286
2009/0281675	A1*	11/2009	Rasmussen ..... F03D 7/047 700/287
2009/0281677	A1*	11/2009	Botich ..... G06Q 10/00 700/295
2011/0054825	A1*	3/2011	Perla ..... G05B 23/0286 702/113
2011/0193423	A1*	8/2011	Stalker ..... H02J 3/14 307/154
2012/0066604	A1*	3/2012	Vasudevarao ..... F03D 7/048 715/735
2014/0176337	A1*	6/2014	Valin ..... H04Q 9/00 340/870.02
2014/0277795	A1*	9/2014	Matsuoka ..... G06Q 30/0202 700/291
2015/0115610	A1	4/2015	Quinlan et al.
2015/0219074	A1	8/2015	Babazadeh et al.
2016/0080902	A1*	3/2016	Du Plessis ..... F03D 17/00 455/456.1
2016/0333854	A1	11/2016	Lund et al.
2017/0328344	A1*	11/2017	Erbacher ..... F03D 7/048

OTHER PUBLICATIONS

Sun et al., "Condition Assessment of Wind Turbine Generators based on Cloud Model", 2013 IEEE International Conference on Solid Dielectrics, pp. 146-151, Jun. 30-Jul. 4, 2013.

\* cited by examiner



Εικόνα 18: Ανεμογεννήτρια GE [<http://santamarta-florez.blogspot.com/2014/11/ge-wind-turbines-for-wind-farm-in.html>]

### **2.7.2.3 Έλεγχος λειτουργίας αεροσκαφών και εξαρτημάτων κινητήρα**

Στελέχη της General Electric έχουν κατοχυρώσει διπλώματα ευρεσιτεχνίας και στο πεδίο της αεροναυπηγικής τεχνολογίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η παρούσα εφαρμογή που αναφέρεται στο πεδίο συντήρησης και λειτουργίας αεροσκαφών και, συγκεκριμένα στο σύστημα ελέγχου για τον υπολογισμό της δυναμικής βελτιστοποίησης του συστήματος κινητήρα του αεροσκάφους για την επίτευξη στόχων ή περιορισμών εκτίμησης της κατάστασης από τον χειριστή ή τον κατασκευαστή. Πιο συγκεκριμένα αναφέρεται σε μία μέθοδο η οποία μέσω ενός DT παρέχει συμβουλές για την βελτιστοποίηση των λειτουργιών βασισμένο στον κύκλο λειτουργίας του. Επίσης πραγματοποιεί αλλαγές σχετικά με πολιτικές και κανονισμούς που υπάρχουν. Τέλος κάνει εκτίμηση ζημιών πότε θα υπάρξουν, του αεροσκάφους, έχοντας όλο τι ιστορικό της συντήρησης.



US010417614B2

(12) **United States Patent**  
**Johnson et al.**

(10) **Patent No.:** **US 10,417,614 B2**  
(45) **Date of Patent:** **Sep. 17, 2019**

(54) **CONTROLLING AIRCRAFT OPERATIONS AND AIRCRAFT ENGINE COMPONENTS ASSIGNMENT**

(58) **Field of Classification Search**  
CPC ..... G06Q 10/00-50/00; G05B 1/00-24/00  
(Continued)

(71) Applicant: **General Electric Company**,  
Schenectady, NY (US)

(56) **References Cited**

(72) Inventors: **Christopher Donald Johnson**,  
Niskayuna, NY (US); **Matthew Christian Nielsen**,  
Scotia, NY (US); **Ilkin Onur Dulgeroglu**,  
Niskayuna, NY (US); **David S. Toledano**,  
Niskayuna, NY (US); **Victor Manuel Perez Zarate**,  
Niskayuna, NY (US); **Chien-Hung Chen**,  
Niskayuna, NY (US)

U.S. PATENT DOCUMENTS

5,455,777 A 10/1995 Fujiyama et al.  
6,134,500 A \* 10/2000 Tang ..... G06Q 10/047  
701/10  
(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

EP 2 056 179 A2 5/2009  
EP 2 628 574 A1 8/2013  
WO WO-2016141138 A1 \* 9/2016 ..... G07C 5/008

OTHER PUBLICATIONS

(73) Assignee: **General Electric Company**,  
Schenectady, NY (US)

(\* ) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 174 days.

Sriram, Chellappan, and Ali Haghani. "An optimization model for aircraft maintenance scheduling and re-assignment." *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 37.1 (2003): 29-48. (Year: 2003).\*

(Continued)

(21) Appl. No.: **15/346,571**

(22) Filed: **Nov. 8, 2016**

*Primary Examiner* — Alan S Miller

(74) *Attorney, Agent, or Firm* — Buckley, Maschoff & Talwalkar LLC

(65) **Prior Publication Data**  
US 2017/0323274 A1 Nov. 9, 2017

(57) **ABSTRACT**

A method of providing a recommendation for optimizing operations of a set of industrial assets is disclosed. Digital twins of the set of industrial assets are generated. The digital twins include data structures representing states of each of a plurality of subsystems of the set of industrial assets over a time period. The states are estimated based on an application of simulations using cumulative damage models. The cumulative damage models model the effects of exogenous factors on the operation of the set of industrial assets over the time period. The digital twins are analyzed with respect to simulated operating performances to determine an optimized control of operations of the industrial assets. The optimized control of operations is calculated to jointly and

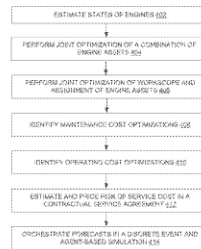
(Continued)

**Related U.S. Application Data**

(60) Provisional application No. 62/333,097, filed on May 6, 2016.

(51) **Int. Cl.**  
**G06Q 10/00** (2012.01)  
**G05B 13/04** (2006.01)  
(Continued)

(52) **U.S. Cl.**  
CPC ..... **G06Q 10/20** (2013.01); **G05B 13/041** (2013.01); **G05B 23/0251** (2013.01);  
(Continued)



severally to increase the specified operating performance criteria in time present and future of the industrial assets or decrease an economic risk associated with the operation of the industrial assets, within a specified probability. The recommendation is presented in a user interface for use in optimizing the operation of the industrial assets or automatically changing operating setpoints pertaining to the industrial assets.

20 Claims, 23 Drawing Sheets

- (51) **Int. Cl.**  
*G06Q 10/06* (2012.01)  
*G05B 23/02* (2006.01)
- (52) **U.S. Cl.**  
CPC ..... *G06Q 10/067* (2013.01); *G06Q 10/0635* (2013.01); *Y02P 90/86* (2015.11)
- (58) **Field of Classification Search**  
USPC ..... 705/7.11–7.42  
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

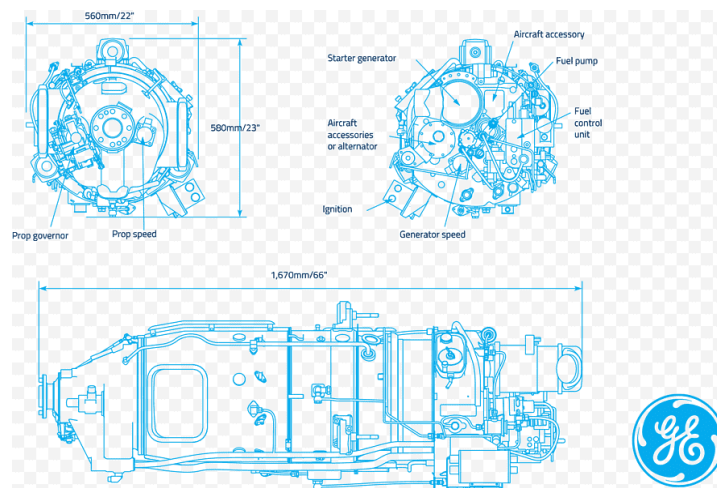
U.S. PATENT DOCUMENTS

6,314,361 B1 \* 11/2001 Yu ..... G06Q 10/02  
701/117  
G01M 15/05  
6,505,106 B1 \* 1/2003 Lawrence ..... 342/357.31  
6,567,729 B2 \* 5/2003 Betters ..... G01C 23/005  
701/31.5  
6,732,027 B2 \* 5/2004 Betters ..... G01C 23/005  
701/29.4  
6,799,154 B1 \* 9/2004 Aragones ..... G06Q 10/06  
703/22  
7,328,128 B2 2/2008 Bonanni et al.  
7,356,383 B2 4/2008 Pechtl et al.  
7,383,239 B2 6/2008 Bonissone et al.  
7,457,786 B2 \* 11/2008 Aragones ..... G06N 3/126  
706/13  
7,650,267 B1 \* 1/2010 Sturrock ..... G06F 9/5027  
703/13  
7,761,200 B2 \* 7/2010 Avery ..... G06Q 10/06  
701/29.3  
7,979,298 B2 \* 7/2011 Cheng ..... G06Q 10/0631  
705/7.28  
7,983,809 B2 \* 7/2011 Kell ..... G06Q 10/0875  
701/29.3  
8,131,656 B2 \* 3/2012 Goldberg ..... G06N 3/126  
706/13  
8,229,791 B2 \* 7/2012 Bradley ..... G06Q 10/06  
705/22  
8,264,196 B2 \* 9/2012 Mera ..... B60L 58/12  
320/104  
8,266,066 B1 \* 9/2012 Wetzter ..... G06Q 10/10  
705/78  
8,340,854 B2 \* 12/2012 Doulatshahi ..... G06Q 10/06  
701/29.1  
8,401,726 B2 \* 3/2013 Bouvier ..... G06Q 10/00  
701/29.1  
8,417,360 B2 4/2013 Sustaeta et al.  
8,509,990 B2 \* 8/2013 Bennett ..... G07C 5/0808  
701/36  
8,560,376 B2 \* 10/2013 Lienhardt ..... G06Q 10/0631  
705/7.38  
8,565,938 B2 \* 10/2013 Coulmeau ..... G05D 1/0005  
701/120  
8,565,943 B2 \* 10/2013 Weinmann ..... G07C 5/008  
244/194  
8,571,911 B1 10/2013 Meyer et al.

8,620,714 B2 \* 12/2013 Williams ..... G06Q 10/08  
705/7.22  
9,424,693 B2 \* 8/2016 Rodrigues ..... G07C 5/0808  
2002/0035495 A1 \* 3/2002 Spira ..... G06Q 10/04  
705/7.36  
2003/0167265 A1 \* 9/2003 Corynen ..... G06Q 10/04  
2006/0112139 A1 \* 5/2006 Maple ..... G06Q 10/0631  
2007/0094162 A1 \* 4/2007 Aragones ..... G06N 3/126  
706/13  
2007/0112487 A1 \* 5/2007 Avery ..... G06Q 10/06  
701/33.4  
2007/0124009 A1 \* 5/2007 Bradley ..... G06Q 10/06  
700/99  
2007/0156496 A1 \* 7/2007 Avery ..... G06Q 10/087  
705/305  
2008/0033786 A1 2/2008 Boaz et al.  
2008/0077290 A1 \* 3/2008 Weinmann ..... G07C 5/008  
701/33.4  
2008/0125933 A1 \* 5/2008 Williams ..... G06Q 10/0637  
701/29.5  
2008/0300738 A1 \* 12/2008 Coulmeau ..... G01C 21/20  
701/3  
2009/0076873 A1 3/2009 Johnson et al.  
2009/0112569 A1 \* 4/2009 Angus ..... H04L 67/12  
703/22  
2010/0332269 A1 12/2010 Russo et al.  
2011/0054965 A1 3/2011 Katagiri et al.  
2012/0053984 A1 \* 3/2012 Mannar ..... G06Q 10/0635  
705/7.28  
2012/0166249 A1 6/2012 Jackson  
2012/0290104 A1 11/2012 Holi et al.  
2013/0282195 A1 10/2013 O'Connor et al.  
2013/0304439 A1 \* 11/2013 Van der Velden .....  
G06F 17/5009  
703/6  
2014/0058534 A1 2/2014 Tiwari et al.  
2014/0257785 A1 \* 9/2014 Wankawala ..... G06F 11/3457  
703/22  
2014/0372289 A1 \* 12/2014 Doom ..... G06Q 10/20  
705/39  
2015/0057783 A1 2/2015 Rossi  
2016/0010628 A1 \* 1/2016 Dhar ..... F03D 17/00  
702/34  
2016/0125518 A1 \* 5/2016 Doom ..... G06Q 10/20  
705/39  
2016/0188675 A1 \* 6/2016 Vossler ..... G06F 16/2465  
707/776  
2016/0231716 A1 \* 8/2016 Johnson ..... G05B 13/041  
2016/0247129 A1 \* 8/2016 Song ..... G06Q 10/20  
2016/0333854 A1 \* 11/2016 Lund ..... F03D 7/047  
2016/0333855 A1 \* 11/2016 Lund ..... F03D 7/048  
2017/0129254 A1 \* 5/2017 Nardiello ..... B41J 3/4073

OTHER PUBLICATIONS

Painter, Michael K., et al. "Using simulation, data mining, and knowledge discovery techniques for optimized aircraft engine fleet management." Proceedings of the 38th conference on Winter simulation. Winter Simulation Conference, 2006. (Year: 2006).  
Bower, Geoffrey, and Ian Kroo. "Multi-objective aircraft optimization for minimum cost and emissions over specific route networks." The 26th Congress of ICAS and 8th AIAA ATIO. 2008. (Year: 2008).  
Rios, José, et al. "Product Avatar as Digital Counterpart of a Physical Individual Product: Literature Review and Implications in an Aircraft." ISPE CE. 2015. (Year: 2015).  
Tiegel, Eric J., et al. "Reengineering aircraft structural life prediction using a digital twin." International Journal of Aerospace Engineering 2011 (2011). (Year: 2011).  
Chen, Cl. Philip, and Ten-Huei Guo. "Design of intelligent acceleration schedules for extending the life of aircraft engines." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews) 37.5 (2007): 1005-1015. (Year: 2007).  
Dekker, Rommen. "Applications of maintenance optimization models: a review and analysis." Reliability engineering & system safety 51.3 (1996): 229-240. (Year: 1996).\*



Εικόνα 19: Μηχανή αεροσκάφους GE [<https://www.nextpng.com/en/search?q=general+Aviation>]

### 2.7.2.4 Σύστημα ψύξης

Η παρούσα εφεύρεση αναφέρεται σε ένα σύστημα ψύξης οχήματος. Με αισθητήρες λαμβάνει δεδομένα συνεχώς ώστε να υπάρχει μια πληθώρα δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημα ενσωματώνει ένα DT το οποίο ελέγχει συνεχώς την υγεία της μηχανής και αλλάζει και προσαρμόζει την ψύξη με βάση τις πραγματικές ανάγκες της.



(12) **United States Patent**  
**Shah et al.**

(10) **Patent No.: US 9,881,430 B1**  
(45) **Date of Patent: Jan. 30, 2018**

---

(54) **DIGITAL TWIN SYSTEM FOR A COOLING SYSTEM**

(71) Applicant: **General Electric Company**, Schenectady, NY (US)

(72) Inventors: **Tapan Shah**, Bangalore (IN); **Suresh Govindappa**, Lawrence Park, PA (US); **Paul Nistler**, Lawrence Park, PA (US); **Babu Narayanan**, Bangalore (IN)

(73) Assignee: **General Electric Company**, Niskayuna, NY (US)

(\*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) Appl. No.: **15/438,866**

(22) Filed: **Feb. 22, 2017**

(51) **Int. Cl.**  
**G07C 5/08** (2006.01)  
**F01P 11/14** (2006.01)  
(Continued)

(52) **U.S. Cl.**  
CPC ..... **G07C 5/0808** (2013.01); **B60H 1/00735** (2013.01); **F01P 11/14** (2013.01); **F01P 11/16** (2013.01); **F01P 11/18** (2013.01); **G01M 15/048** (2013.01); **G01M 15/09** (2013.01); **G05B 17/02** (2013.01); **G06F 17/5009** (2013.01);  
(Continued)

(58) **Field of Classification Search**  
CPC ..... G07C 5/0808; F01P 11/14; F01P 11/16; F01P 11/18; F01P 2025/60; G01M 15/048; G01M 15/09; B60H 1/00735; G05B 17/02; G06F 17/5018; G06F 17/5095; G06F 17/5009; G06F 2217/16  
See application file for complete search history.

(56) **References Cited**  
**U.S. PATENT DOCUMENTS**  
3,694,934 A \* 10/1972 Barton ..... G09B 25/02 434/373  
4,062,231 A 12/1977 Mercik, Jr. et al. (Continued)

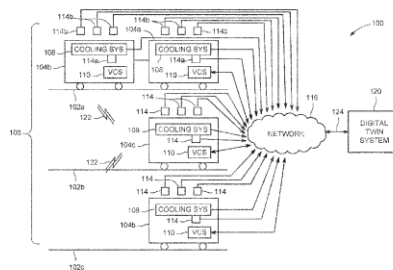
**FOREIGN PATENT DOCUMENTS**  
CN 202690211 U 1/2013  
CN 104791074 A 7/2015

**OTHER PUBLICATIONS**  
Banks et al., "Failure Modes and Predictive Diagnostics Considerations for Diesel Engines", Defense Technical Information Center Compilation Part Notice ADP013484, pp. 93-102, Apr. 2-5, 2001. (Continued)

*Primary Examiner* — Russell Frejd  
(74) *Attorney, Agent, or Firm* — Pabitra K. Chakrabarti

(57) **ABSTRACT**  
A system includes plural, different sensors configured to be operably connected to a first vehicle. The sensors obtain status data indicative of a state of a cooling system of the first vehicle. The system includes a digital twin system having processors configured to modify the status data having sampling rates or resolutions that differ such that the status data that is modified has a common sampling rate resolution as that of other data. The processors create a digital twin matrix of the status data. The digital twin matrix is indicative of the state of the cooling system. The processors also determine a health score of the cooling system or simulate operation of the cooling system based on the digital twin matrix. The digital twin system is configured to change or control actual operation of the cooling system based on the health score or the operation that is simulated.

**20 Claims, 4 Drawing Sheets**

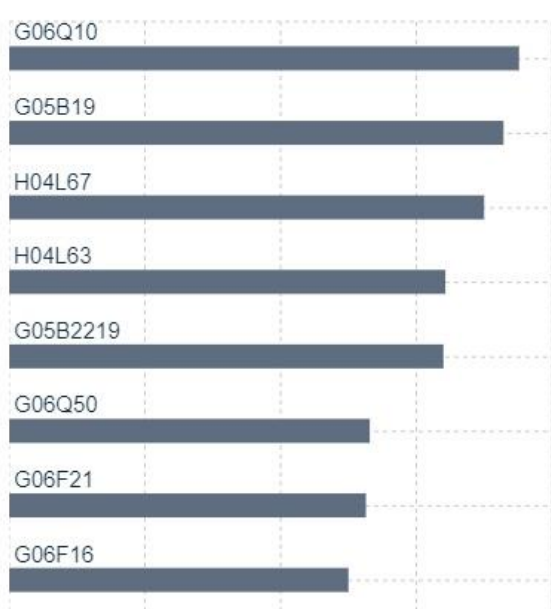


### 2.7.3 Ταξινόμηση Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας

Ο κόσμος των πατεντών χρησιμοποιεί ένα σύστημα ταξινόμησης ώστε κάθε πατέντα που κατοχυρώνεται να έχει μια σχετική ταξινόμηση σύμφωνα με το περιεχόμενό της. Με αυτό το σύστημα είναι εύκολο κάποιος να αναζητήσει πατέντες σε συγκεκριμένους τεχνολογικούς τομείς ή πεδία.

Οι πιο δημοφιλείς ταξινομήσεις στις οποίες οι εταιρείες και οι εφευρέτες κατοχυρώνουν διπλώματα ευρεσιτεχνίας σχετικά των Digital Twins είναι:

CPC main groups



IPC main groups



Πίνακας 4: Κορυφαίες ταξινομήσεις των Digital Twins

<b>G</b>	<b>H ΦΥΣΙΚΗ</b>
	<b>ΟΡΓΑΝΑ</b>
<b>G06</b>	<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ; ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ; ΑΡΙΘΜΗΣΗ</b>
<b>G06Q</b>	<b>ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ Ή ΜΕΘΟΔΟΙ, ΕΙΔΙΚΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΙΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΕΣ, ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ, ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΕΣ, ΕΠΟΠΤΕΙΑ Ή ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΣΤΟΧΟΥΣ . ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Ή ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΥ ΕΙΔΙΚΑ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ ΓΙΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΕΣ, ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ, ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ, ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΕΣ, ΕΠΟΠΤΕΙΑ Ή ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΣΚΟΠΕΣ</b>
<b>G06Q 10/00</b>	<b>Διοίκηση ; Διαχείριση</b>

Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι τα DT σαν ταξινόμηση ακόμα αναφέρονται ως “προγράμματα για διαχείριση”. Οπότε, φαίνεται ότι η συγκεκριμένη ταξινόμηση είναι η πιο

κοντινή στην περιγραφή τους προς το παρόν, αλλά μελλοντικά όσο η τεχνολογία εξελίσσεται και το πεδίο αυξάνεται αναμένουμε να γίνουν τροποποιήσεις και να δούμε νέες ταξινομήσεις πιο σχετικές με την «οντότητα» του DT.

### 2.7.3.1 Γεωγραφική Κατανομή

Και τέλος, οι περιοχές που φαίνεται από τα αποτελέσματα να έχουν καινοτομίες σχετικές με τα digital twins αλλά και διπλώματα ευρεσιτεχνίας είναι:



Πίνακας 5: Γεωγραφική κατανομή διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας DT

Διακρίνεται ότι οι Η.Π.Α κατέχουν την πρώτη θέση με διαφορά και ακολουθεί η Κίνα. Αυτό σημαίνει ότι τα επόμενα χρόνια αυτές οι δύο χώρες θα είναι market leaders και θα έχουν στην κατοχή τους τεράστια τεχνογνωσία σχετικά με τα DT.

## 3 Εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων

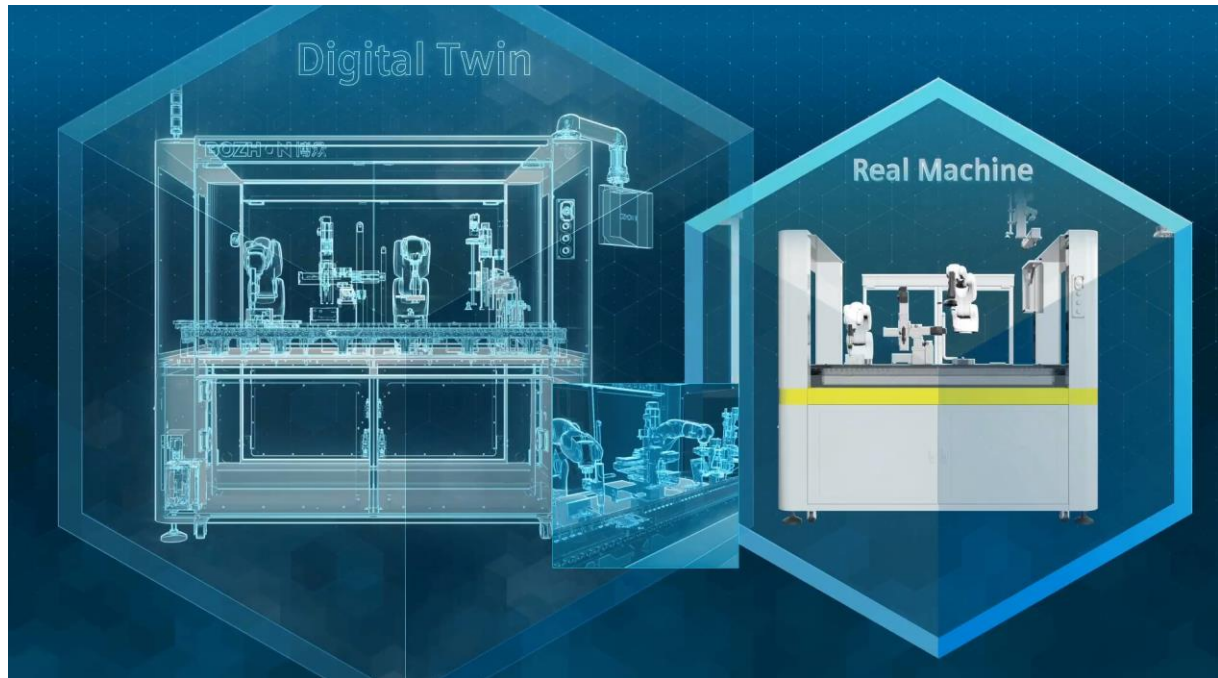
### 3.1 Βιομηχανία και Παραγωγική Διαδικασία

Εν όψει του μετασχηματισμού της παραγωγής και ώστε να επωφεληθούμε από το Industry 4.0, η ψηφιοποίηση του εξοπλισμού, των διαδικασιών και των προϊόντων αποκτά μεγαλύτερη σημασία. Η έννοια του ψηφιακού αντιγράφου ενός φυσικού στοιχείου πρόκειται να εισέλθει σε μια νέα εποχή. Η μείωση του κόστους των αισθητήρων IoT και η πρόοδος στη λειτουργικότητά τους και ο εξοπλισμός σε συνδυασμό με αυτές τις συσκευές IoT για την κατασκευή είναι οι κύριες αιτίες που ελκύνουν τις κατασκευαστικές εταιρίες να χρησιμοποιούν τα DT για προϊόντα καλύτερης ποιότητας, καλύτερη χρήση και καλύτερη διαχείριση των ανθρώπινων πόρων και υλικών (Tao F., et al. 2019).

Το DT έχει κάνει δυναμική εξέλιξη στην παραγωγή επηρεάζοντας τη διαχείριση του κύκλου ζωής του προϊόντος. Τώρα τα εξελισσόμενα χαρακτηριστικά του DT μπορούν να υιοθετηθούν σε διαφορετικές διαδικασίες στην κατασκευή, ειδικά σε σχέση με το στοιχείο και το προϊόν. Στη βιομηχανία όταν εξοπλισμός όπως ένα φυσικό στοιχείο αναπαρίσταται ψηφιακά και συνδέεται με βάση τις λειτουργίες τους, είναι το κλειδί για το έξυπνο εργοστάσιο και την έξυπνη εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτή η έξυπνη ψηφιακή αναπαράσταση μπορεί να δώσει και να λάβει δεδομένα από και προς όλα τα επίπεδα του συνδεδεμένου εξοπλισμού που εμπλέκεται στη διαδικασία κατασκευής. Εν τω μεταξύ, η ψηφιακή αναπαράσταση του εξοπλισμού μπορεί επίσης να διαβαστεί από προμηθευτές που εμπλέκονται στην επιχείρηση, τους χειριστές, τους μηχανικούς συντήρησης και τους ρυθμιστικούς φορείς.

Όταν ένα προϊόν δημιουργείται με DT, υπάρχουν περισσότερα οφέλη όπως ο έλεγχος σε κάθε στιγμή του πλήρους κύκλου ζωής του και εάν προκύψει κάποια ανωμαλία σε σχέση με το προκαθορισμένο μοντέλο, υπάρχει ένας πλήρης έλεγχος για την αλλαγή της διαδικασίας (Tao F., et al. 2019). Η αλήθεια είναι ότι οι εφαρμογές των DT σε βιομηχανίες μικρής κλίμακας μπορεί να αποτελεί επιβάρυνση, όσον αφορά το κόστος υλοποίησης, αλλά πράγματι μακροπρόθεσμα, σίγουρα θα έχει τεράστιο όφελος. ([Εικόνα 20](#)).





Εικόνα 20: Το Digital Twin στην παραγωγή

[\[https://www.plm.automation.siemens.com/global/fr/webinar/digital-twin-in-manufacturing/68561\]](https://www.plm.automation.siemens.com/global/fr/webinar/digital-twin-in-manufacturing/68561)

Στη βιομηχανία 4.0 η έξυπνη παραγωγή είναι απαραίτητη. Υπάρχει μια οικογένεια πρωτοποριακών τεχνολογιών και εργαλείων που αναδύονται για να απλοποιήσουν την πορεία προς τη βιομηχανία 4.0. Το DT είναι ένα από αυτά. Οποιοδήποτε περιβάλλον παραγωγής είναι σήμερα γεμάτο με συσκευές, εξοπλισμό, μηχανήματα, εργαλεία, κίτ εξαρτημάτων, αντλίες κ.λπ. Με πολύπλευρους αισθητήρες και ενεργοποιητές που συνδέονται με αυτά τα μηχανήματα, η συλλογή και η μετάδοση δεδομένων απλοποιούνται. Στη συνέχεια, τα παραγόμενα προϊόντα εμπλουτίζονται μέσω ενός αριθμού αισθητήρων και ενεργοποιητών (Tao F., et al. 2019).

- Διαχείριση ποιότητας: Λεπτομερής και συνεχής παρακολούθηση οποιονδήποτε δεδομένων του προϊόντος που συλλέγονται μέσω των συνδεδεμένων συσκευών IoT (αισθητήρες, ετικέτες, αυτοκόλλητα, φάροι, LED, τσιπ, χειριστήρια και ενεργοποιητές) έχουν σαφή πλεονεκτήματα για τη διαχείριση της ποιότητας παρά της τυχαία επιθεώρησης. Με βάση τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και καθαρίστηκαν, το DT του προϊόντος μπορεί να μοντελοποιήσει κάθε πτυχή της παραγωγής για να εντοπίσει προληπτικά πού μπορεί να προκύψουν ζητήματα ποιότητας. Επιπλέον, το DT συμβάλλει στην προληπτική ανάλυση όλων των συγκεντρωτικών δεδομένων για

να εξακριβώσει εάν μπορεί να υπάρχουν καλύτερα υλικά για τη σύνθεση του προϊόντος. Οι διαδικασίες παραγωγής μπορούν επίσης να ρυθμιστούν ώστε να βελτιστοποιηθούν και να οργανωθούν πιο καλά.

- Καλύτερος σχεδιασμός προϊόντος: Όλα τα είδη ελαττωμάτων του σχεδιασμού μπορούν να διορθωθούν εύκολα μέσω των πληροφοριών που δημιουργούνται από το DT. Μπορεί να γίνει προσπάθεια νεότερου σχεδιασμού βάσει των ενεργών εισόδων του DT. Οι διαδικασίες παραγωγής μπορούν να βελτιστοποιηθούν σε βάθος για να επιτύχουν την απαραίτητη αποδοτικότητα. Η προσαρμογή της παραγωγής, η διαμόρφωση και η σύνθεση μπορούν να επιτευχθούν με ευέλικτο τρόπο με τις συνεχείς συνεισφορές του DT. Η επόμενη έκδοση ή κυκλοφορία του προϊόντος μπορεί να είναι καλύτερη με μεγαλύτερη κατανόηση των εμπειριών και των προσδοκιών των χρηστών.
- Οι προσομοιώσεις είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στην μελέτη νέων προϊόντων και των παραλλαγών τους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το DT είναι ικανό να συνδέει και να συλλέγει χρήσιμα δεδομένα από διάφορα λειτουργικά, αναλυτικά και συστήματα συναλλαγών. Επιχειρήσεις, cloud, mobile και ενσωματωμένες εφαρμογές μπορούν επίσης να ενσωματωθούν στο DT για να λάβουν τα δεδομένα τους προκειμένου να κάνουν ολοκληρωμένες και σε πραγματικό χρόνο αναλύσεις. Το DT λαμβάνει δεδομένα απόδοσης του φυσικού περιβάλλοντος και αυτό ενημερώνεται ώστε τα μοντέλα προσομοίωσης να είναι πιο αποδοτικά στην βελτίωση της ποιότητας και της ακεραιότητας των σχεδίων.
- Προϊόντα υψηλής απόδοσης: Διάφορα χαρακτηριστικά όπως απόδοση, προσαρμοστικότητα, ευελιξία, χρηστικότητα κ.λπ., μπορούν να γίνουν κατανοητά μέσω του DT και μπορούν να ληφθούν κατάλληλα μετρητικά μέσα για την εκπλήρωση των απαιτούμενων δυνατοτήτων χρησιμοποιώντας τη γνώση που ανακαλύφθηκε από το DT. Η ανάλυση των ιστορικών αλλά και των real-time δεδομένων παρόμοιων προϊόντων ρίχνει περισσότερο φως στις διάφορες ιδιότητες του προϊόντος και στην εκπλήρωση των βασικών απαιτήσεων.
- Αποτελεσματική αλυσίδα εφοδιασμού: Το DT μπορεί να βοηθήσει στην βελτιστοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού. Επιτρέπει μια βαθύτερη και αποφασιστική προβολή της χρήσης υλικών και αυτοματοποιεί τη διαδικασία αναπλήρωσης. Η λιτή

(Lean) και έγκαιρη (Just-in-Time) παραγωγή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του DT. Πολλοί κατασκευαστές παρέχουν σήμερα ένα DT για καθένα από τα προϊόντα τους, προκειμένου να διαφημίσουν σωστά και να πουλήσουν περισσότερα. Ως αποτέλεσμα, σήμερα έχουμε DT σε επίπεδο επιμέρους τμημάτων, συστήματος, στοιχείου και ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας. Οι μεγάλης κλίμακας και πολυεθνικές κατασκευαστικές εταιρείες δεν διαχειρίζονται μόνο ένα DT, αλλά κάνουν σύνθετες υλοποιήσεις εκατοντάδων ή χιλιάδων μικρότερων DT. Δηλαδή, υπάρχει ένα λογισμικό διαχείρισης που απαιτείται για να ελέγχει προσεκτικά το οικοσύστημα των DT.

- Ψηφιακή ανιχνευσιμότητα προϊόντων: Το DT παρέχει καθολική πρόσβαση δεδομένων και πληροφοριών σχετικά με το σύστημα του προϊόντος ή του ψηφιακού νήματος, από τις απαιτήσεις έως το σχεδιασμό, τη δοκιμή, την κατασκευή και την ορατότητα στη συμπεριφορά του προϊόντος.
- Απαιτήσεις βάσει χρήσης: Το DT βοηθά στην ανάλυση δεδομένων χρήσης και συνθηκών πραγματικού κόσμου για την ενημέρωση των απαιτήσεων και λειτουργιών. Αυτό βελτιώνει απόλυτα την προσαρμογή στην αγορά και επιτρέπει την προσφορά υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας.
- Συνδεδεμένες λειτουργίες: Το DT μπορεί να συγκεντρώσει και να αναλύσει, δεδομένα από διαφορετικά και κατανεμημένα στοιχεία, προκειμένου να αναλύσει με ενοποιημένη και πραγματική προβολή σε πραγματικό χρόνο, με στόχο την καλύτερη απόδοση και ταχύτερη λήψη αποφάσεων με σαφήνεια και ακρίβεια. Το DT συνδέει τα εργοστασιακά στοιχεία και τα συστήματα ERP / MES για να παρέχει τις κατάλληλες πληροφορίες για την αυξημένη παραγωγικότητα του χειριστή και τη βελτιωμένη ποιότητα παραγωγής.

Η χρησιμότητα, η πανταχού παρουσία και η χρηστικότητα της τεχνολογίας DT αυξάνεται σταθερά με διαφορετικούς επιχειρηματικούς κλάδους που αγκαλιάζουν αυτήν την πρωτοποριακή τεχνολογία. Διάφορες περιπτώσεις χρήσης παρουσιάζονται προκειμένου να ενισχυθεί η εφαρμογή του DT. Μια ποικιλία τεχνικών αναλύσεων, εξόρυξης και εκμάθησης προωθεί το DT στο να βελτιώνεται συνεχώς.

### 3.2 Τα οφέλη του Digital Twin στην παραγωγή

Οι οργανισμοί που είναι επιθυμούν να είναι πρωτοπόροι πρέπει να ακολουθήσουν αυτές τις προτεραιότητες κάτω από επιχειρηματικά μοντέλα, διαδικασίες και μοντέλα εργασίας και να τις διαμορφώσουν αναλόγως (Augustine P., 2020).

- **Σύνδεση τόπων και διεργασιών**  
Στον πραγματικό κόσμο, οι διαδικασίες κατασκευής πραγματοποιούνται σε διαφορετικές τοποθεσίες όπου απαιτείται υψηλός βαθμός φυσικής συνδεσιμότητας συνεχώς. Πράγματι, τα DT αναμφίβολα αποδίδουν στη μείωση των προβλημάτων στη σύνδεση εργατικού δυναμικού διαφορετικών θέσεων στις βιομηχανίες. Το DT της βιομηχανίας μπορεί να βοηθήσει στην επινόηση νέων μοντέλων για την βελτιστοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού και για την αποτελεσματική διαχείριση του χρόνου μεταξύ των αποστάσεων λειτουργίας όπως η προσαρμογή του εργατικού δυναμικού, η κυκλοφορία των ανταλλακτικών και ο επαναπρογραμματισμός της διαδικασίας για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας.
- **Βελτιστοποίηση υπηρεσιών**  
Η συντήρηση παίζει ζωτικό ρόλο σε οποιαδήποτε επιχείρηση όπως και στην βιομηχανία. Από την αρχή, το προϊόν δημιουργείται μέσω διαφόρων διαδικασιών και, ωστόσο, απαιτεί φροντίδα ακόμη και όταν βρίσκεται στα χέρια του πελάτη. Το DT επιτρέπει την βελτίωση σε όλες τις φάσεις όπως στο χρόνο, την τιμολόγηση, την λειτουργική απόδοση, την εξάλειψη του λανθάνοντος χρόνου στη λήψη και παροχή προϊόντων, την καλύτερη εξυπηρέτηση πελατών και στον χειρισμό των εγγυήσεων που μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας το. Αυτό θα βοηθήσει και στη διάδοση επιχειρηματικών ευκαιριών.
- **Ενεργοποιημένο σύστημα expert**  
Όπως στην περίπτωση των Big Data, η δυναμική ανάπτυξη και ανάπτυξη των τεχνολογιών που εμπλέκονται στην κατασκευή DT προκαλούν την παραγωγή τεράστιου όγκου δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και προκαλούν την άμεση απόκριση στις συσκευές, τις διαδικασίες και τα άτομα. Τα DT σε ένα τόσο σύγχρονο σενάριο κατασκευής μπορούν να οδηγήσουν σε ένα εξειδικευμένο σύστημα το οποίο να αναπαράγει ένα αποτελεσματικό σύστημα υποστήριξης αποφάσεων που να ανταποκρίνεται θετικά στο περιβάλλον. Αυτό το

εξειδικευμένο ευφύες σύστημα μπορεί να προτείνει καινοτομικές λύσεις για άμεσο επαναπροσδιορισμό του ανθρώπινου δυναμικού σε διάφορες μονάδες ή αλλαγή στη συμπεριφορά των στοιχείων. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η ζήτηση στην αγορά και οι εξωτερικές παράμετροι που επηρεάζουν τη ζήτηση και την προσφορά μπορούν επίσης να αντιμετωπιστούν από αυτό το σύστημα άμεσης απόκρισης και μπορεί σίγουρα να αυξήσει και την αξία της μετοχής της εταιρείας.

- Διαδικασία τυποποίησης σε τόπους, ανθρώπους και μηχανήματα

Η συγχώνευση διαφόρων ηλεκτρονικών συσκευών που συνδέονται με τον κόσμο του Διαδικτύου απαιτεί τυποποίηση των συσκευών, των προτύπων επικοινωνίας και των μηχανισμών ανταλλαγής δεδομένων. Τα DT που αναπαράγουν τα μηχανήματα που παράγουν δεδομένα και περιλαμβάνουν διαδικασίες και ανθρώπους επίσης δεν εξαιρούνται από αυτήν την τυποποίηση. Είναι ένα πρόσθετο πλεονέκτημα εάν διασφαλιστεί η πρωτότυπη τυποποίηση όσον αφορά τα θέματα διαλειτουργικότητας και ασφάλειας στον κόσμο του Διαδικτύου.

- Feedback και ανασχεδιασμός

Στο τρέχον επιχειρηματικό μοντέλο που βασίζεται στον πελάτη, καθώς ο πελάτης είναι το «αφεντικό», είναι κρίσιμο να υφίστανται μηχανισμοί προσαρμογής, που λειτουργούν προληπτικά ή εκ των υστέρων και βασίζονται στις κριτικές των πελατών και τις έρευνες ικανοποίησης. Είναι πραγματικά μια καλή τεχνική στη βελτίωση της απόδοσης μιας εταιρείας και της χρηματιστηριακής αξίας της στην αγορά και βρίσκει τη σωστή θέση της στον κατασκευαστικό κόσμο. Παλιότερα συμμετοχή των χρηστών υπήρχε μόνο στη φάση του σχεδιασμού, ενώ σήμερα η εμπειρία του χρήστη έχει επίσης συνδυαστεί με αυτό. Δείχνει την ανάγκη για την εμπειρία του χρήστη λαμβάνοντας τα εξουσιοδοτημένα σχόλια και ανταποκρίνεται θετικά υιοθετώντας τις διαδικασίες και το στυλ εργασίας των εργαζομένων ακαριαία. Η βιομηχανία χρησιμοποιεί τα DT ως κατάλληλη επιλογή σε αυτό το σενάριο για τους υψηλά απαιτητικούς πελάτες ώστε να διατηρήσει την αξία της επιχείρησης υιοθετώντας τις αλλαγές και προλαμβάνοντας τα προσδοκώμενα προβλήματα.

- Η εξέλιξη της συντήρησης

Η περιοδική/προγραμματισμένη συντήρηση (Time Based Maintenance - TBM) δεν είναι υπέρ των προληπτικών στρατηγικών βάσει κανόνων. Από αυτήν την άποψη, τα

περισσότερα κοινά σημεία αναφοράς της βιομηχανίας φαίνεται να περιορίζονται ως αποτέλεσμα του μικρού αριθμού πληροφοριών που μπορούν να προετοιμαστούν και της αποτυχίας ανάλυσης ασυνεπειών και βλαβών. Παρά την τήρηση δεσμεύσεων γύρω από προληπτικές προσεγγίσεις, η εμφάνιση φθινών αισθητήρων και πληροφοριών πηγαίνει ένα βήμα παραπέρα: οι πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση υπολογισμών μηχανικής μάθησης, ικανών να αναγνωρίζουν μη φυσιολογικά μοτίβα και να προβλέπουν αστοχίες με περισσότερη ακρίβεια. Αυτό θα αποδώσει κρίσιμα οφέλη για την εγγύηση των στοιχείων και τη βελτιστοποίηση των προσπαθειών για σωστότερη συντήρηση, η οποία βασίζεται ως αναπτυξιακή οργάνωση. Το DT όχι απλά να προτείνει ανταλλακτικά για αντικατάσταση ή επισκευή αλλά θα οργανώσει την εργασία σε αυτό το σημείο και θα κατευθύνει τη σχετική ροή εργασίας.

### **3.2.1 Προκλήσεις των Digital Twins στην βιομηχανία**

Παρόλο που πολλές μεγάλες επιχειρήσεις συμβάλλουν στην αλλαγή, μπορεί να υπάρχουν κίνδυνοι. Κάποιες ανάγκες πρέπει να καλυφθούν για να αποφευχθούν σημαντικοί κίνδυνοι (Augustine P., et al. 2019):

1. Αλλαγή της κοινής άποψης και διαχωρισμός των πλεονεκτημάτων. Αξιοποίηση των λειτουργικών τεχνολογιών (OT) και της τεχνολογίας πληροφορικής (IT) για καινοτομία και ανανέωση.
2. Ορισμός της οργανωτικής δομής που ταιριάζει καλύτερα στο σύνολο δυνατοτήτων του εργατικού δυναμικού και τους συνεργάτες αλλά και της δομής που απεικονίζει με σαφήνεια τις ενότητες, τις απαιτήσεις και τα μοντέλα συνεργασίας.
3. Ανάπτυξη σταδιακά ξεκινώντας με μικρές, αξιόπιστες δοκιμαστικές συνθήκες και, μόλις αποδειχθούν αποτελεσματικές, εφαρμογή και περαιτέρω ανάπτυξή τους.

### **3.3 Περίπτωση χρήσης των DT στην παραγωγή**

Οι χώροι χρήσης των DT είναι σύνθετοι και δεν διατηρούνται σε μια συγκεκριμένη επιχείρηση ή περιοχή. Υπάρχουν DT που απλώς μοντελοποιούν και απεικονίζουν έναν μόνο αισθητήρα μέσα σε ένα στοιχείο. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν DT που αναπαράγουν διάφορα μέρη ενός ολόκληρου χώρου κτιρίων, που περιέχουν ζωτικότητα, αξιοποίηση, τοπολογία και πολλά άλλα (Augustine P., 2019).

Τα DT μπορούν να αναπτυχθούν στον κύκλο του βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων . Για παράδειγμα, ας εννοηθεί μία διαδικασία συναρμολόγησης ως γενικό μοντέλο. Με αισθητήρες, είναι εύκολο να συλλεχθεί μια συλλογή επιχειρησιακών πληροφοριών. Δεν ταυτίζεται απλώς με τη λειτουργία του ίδιου του μηχανήματος, αλλά και με το περιβάλλον του. Χρησιμοποιώντας ένα DT, μπορεί να ελέγχεται εικονικά η διαδικασία παραγωγής. Μετά από λίγο καιρό, εάν οι αποκλίσεις στην εκτέλεση καταστούν μη αποδεκτές, οι μηχανικοί μπορούν να κάνουν μια κίνηση για να βελτιώσουν τις τεχνικές παραγωγής τους.

Υπάρχουν περιπτώσεις χρήσης εκτός παραγωγής και Industry 4.0. Σε μία προσομοίωση του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιείται μία κατασκευή, με βάση καταγεγραμμένες ή σχετικές πληροφορίες, μπορεί να αξιολογήσει τις αλλαγές στο σχέδιο της κατασκευής(Augustine P., 2019).

Σε αυτό το σενάριο, το DT μπορεί να επισημάνει περιοχές που εξαντλούν τους πόρους ή χρησιμοποιούνται μόνο μία φορά.

Η διασφάλιση με βάση τη χρήση είναι μια άλλη πιθανή περίπτωση χρήσης. Αντί να τοποθετηθεί μια μονάδα σε κάθε όχημα νέου πελάτη, η εφαρμογή μπορεί τώρα ουσιαστικά να αναπτυχθεί στο cloud. Το DT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογεί συνεχώς την ατομική οδήγηση του οδηγού.

#### **3.3.1 Κατασκευή μιας απλής μεθόδου διαχείρισης στην παραγωγή χρησιμοποιώντας Digital Twin σε SMEs**

Στη Βιομηχανία 4.0 όλες οι διαδικασίες που σχετίζονται με τη παραγωγή βελτιστοποιούνται με τη χρήση των CPSs. Ωστόσο, απαιτείται μια μεγάλη αρχική επένδυση για να διασφαλιστεί ότι ένα εργοστάσιο συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις. Οι μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις είναι δύσκολο να επωφεληθούν από μια τέτοια επένδυση. Πολλές παράγουν κατά παραγγελία πολυάριθμα μοντέλα σε μικρές ποσότητες, πράγμα που σημαίνει ότι η

βελτιστοποίηση των διαδικασιών είναι δύσκολη. Ένα DT επιτρέπει την υποστήριξη της βελτίωσης της εργασίας δημιουργώντας στοιχεία αναλογικού τύπου, όπως οπτικοποίηση γνωστών ολοκληρωμένων στοιχείων, και συνδυάζοντας ένα πραγματικό εργοστάσιο με το εικονικό του. Στο παράδειγμα αυτό θα αναλυθεί μια αρχιτεκτονική που καθιστά δυνατή την εξεύρεση λύσεων ή απαντήσεων ενσωματώνοντας τεχνολογίες αιχμής στους χώρους παραγωγής και την μεθοδολογία DT για τη συνεχή βελτίωση της παραγωγικής λειτουργίας βάσει του κύκλου του Plan-Do-Check-Act (PDCA) που χρησιμοποιείται ευρέως στην ιαπωνική βιομηχανία.

Στην Ιαπωνία, η βιομηχανία αναπτύσσεται ραγδαία και περίπου το 97% των ιαπωνικών κατασκευαστών είναι μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Επειδή η ικανοποίηση της ζήτησης MONOZUKURI<sup>9</sup> (ή παραγωγή) είναι απαραίτητη, η μέθοδος παραγωγής τους είναι τύπου παραγωγής κατά παραγγελία ή παραγωγή πολυάριθμων μοντέλων επιτυγχάνεται σε μικρές ποσότητες. Αυτό που κατασκευάζεται είναι ένας μικρός αριθμός αντικειμένων, με μικρούς χρόνους παράδοσης, που έχουν σύντομο κύκλο ζωής, που απαιτούν πολλές αλλαγές στο σχεδιασμό ή την παράδοση και άλλες προσαρμογές. Ως εκ τούτου, είναι δύσκολο να βελτιστοποιηθούν οι διαδικασίες για την εξάλειψη της σπατάλης πόρων. Για να επιτευχθεί παραγωγή χωρίς σπατάλη, είναι απαραίτητο να συγκεντρωθούν πληροφορίες σχετικά με τον τόπο παραγωγής και να τροποποιηθεί το σχέδιο παραγωγής όσο το δυνατόν νωρίτερα στη διαδικασία. Με το παρόν σύστημα διαχείρισης παραγωγής δεν είναι δυνατό να υλοποιηθούν τέτοιες αλλαγές εύκολα. Ωστόσο, στην ιαπωνική βιομηχανία, η μέθοδος με την οποία οι εργαζόμενοι επιδιώκουν τους στόχους τους είναι με τη χρήση διαφόρων δικών τους πινάκων διαχείρισης και επαναλαμβάνοντας τον κύκλο PDCA. Ως αποτέλεσμα, τα τμήματα κατασκευής καταφέρνουν να αντιμετωπίσουν τις δύσκολες απαιτήσεις από τα τμήματα σχεδιασμού. Στους χώρους παραγωγής, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται απλοί πίνακες. Ωστόσο, δεν υπάρχουν συστήματα διαχείρισης παραγωγής που να επιτρέπουν την αποτελεσματική υποστήριξη του κύκλου PDCA χρησιμοποιώντας ψηφιακές τεχνικές. Η διαδικασία εξέλιξης του εργοστασίου για να επιτύχει τη συνένωση φυσικών και εικονικών

---

<sup>9</sup> Το Monozukuri, ή εναλλακτικά Monodzukuri, κυριολεκτικά σημαίνει «παραγωγή» ή «παραγωγή πραγμάτων» στα ιαπωνικά και είναι ο ιαπωνικός όρος για «κατασκευή». Το ευρύτερο νόημα περιλαμβάνει μια σύνθεση τεχνολογικής ικανότητας, τεχνογνωσίας και πνεύματος των κατασκευαστικών πρακτικών της Ιαπωνίας. (<https://en.wikipedia.org/wiki/Monozukuri>)



χώρων έχει τέσσερα στάδια. Το DT είναι στο 4ο στάδιο και η παρούσα κατάσταση είναι η 3η, στην οποία οι φυσικοί και εικονικοί χώροι αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Αυτό που είναι απαραίτητο στο 3ο στάδιο είναι η τεχνική υποστήριξη παραγωγής με χρήση 3D CAD, που ονομάζεται ψηφιακή παραγωγή (Digital Manufacturing - DM). Αυτή η μέθοδος αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει τη συντόμευση των περιόδων ανάπτυξης, φορτώνοντας εκ των προτέρων τις δραστηριότητες από την ανάπτυξη προϊόντων μέχρι την προετοιμασία της παραγωγής και την υλοποίηση. Το πρότυπο IEC 62832<sup>10</sup>, του οποίου στόχος είναι η ολοκληρωμένη διαχείριση της εικονικής πραγματικότητας και του πραγματικού κόσμου ψηφιοποιώντας ολόκληρο το εργοστάσιο.

Η ομάδα πανεπιστημίου του Tokyo Metropolitan University με επικεφαλής τον Mahashiro Shibuya ανέπτυξε ένα DT για την υποστήριξη των δραστηριοτήτων συνεχούς βελτίωσης των μικρότερων επιχειρήσεων χρησιμοποιώντας τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών. Δημιουργήθηκε μια δομή που επιτρέπει την εύκολη χρήση ενός πίνακα διαχείρισης ως διεπαφή του DT σε χώρους εργασίας αναλογικού τύπου. Επίσης αναπτύχθηκε η δυνατότητα αλληλεπίδρασης σε κάθε φάση του κύκλου PDCA, έτσι ώστε ο διαχειριστής να μπορεί να αλλάξει το σχέδιο παραγωγής λαμβάνοντας υπόψη τις οπτικοποιημένες διαδικασίες και εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε φάση. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας τις υπάρχουσες ICT, αναπτύχθηκε ένα σύστημα για την μετατροπή του σχεδίου παραγωγής που έγινε στο στάδιο «προγραμματισμός λειτουργίας» σε διάφορα είδη τυποποιημένων πινάκων εργασίας σε μια συγκεκριμένη μορφή χρησιμοποιώντας ψηφιακή τεχνική και στη συνέχεια με βάση τους πίνακες που έχουν μετατραπεί, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο DM. Επιπλέον, εξετάστηκε η δυνατότητα δημιουργίας ενός αυτόνομου συστήματος ελέγχου επαναξιολογώντας το τροποποιημένο μοντέλο χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που ελήφθησαν στο εργοτάξιο.

---

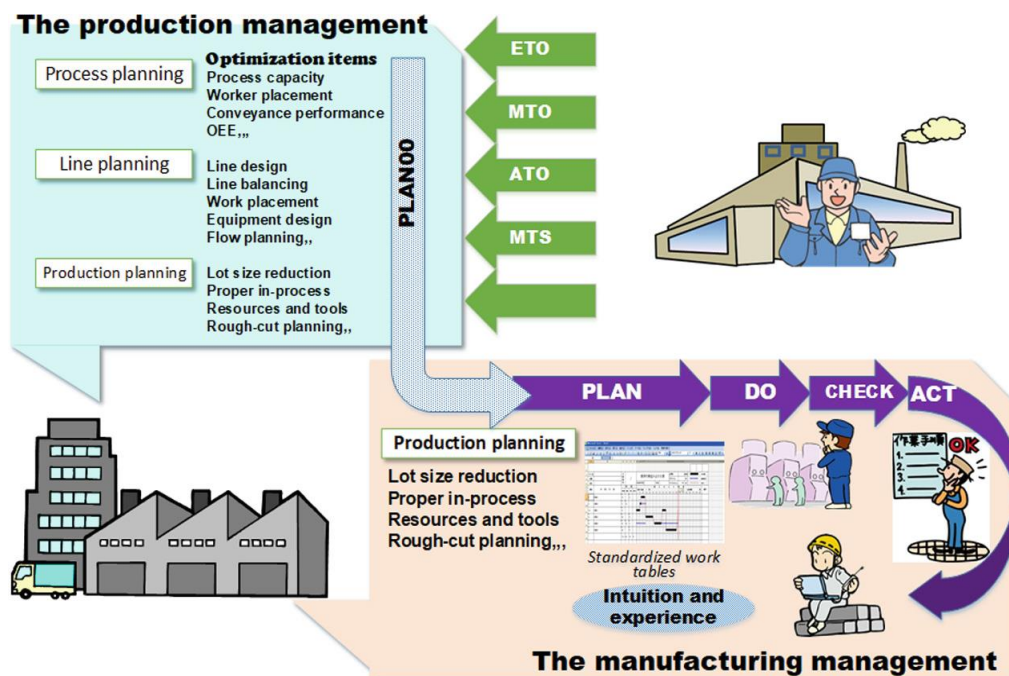
<sup>10</sup> Στο πρότυπο IEC 62832-1: 2016 (E) ορίζονται οι γενικές αρχές του ψηφιακού εργοστασιακού (Digital Factory framework), το οποίο είναι ένα σύνολο στοιχείων μοντέλου (μοντέλο αναφοράς) και κανόνων για τη μοντελοποίηση συστημάτων παραγωγής.

<https://webstore.iec.ch/publication/33023>

## Το μοντέλο του Digital Twin

### Μοντέλο διαχείρισης εργοστασίου

Αρχικά, τα χαρακτηριστικά των SMEs καταγράφονται και στη συνέχεια κατασκευάζεται ένα εικονικό μοντέλο. Οι μικρότεροι κατασκευαστές και εργοστάσια αναγκάζονται να πάρουν «παραγωγή μεταβλητής ποσότητας πολλαπλών προϊόντων» με σύντομους χρόνους παράδοσης για να πραγματοποιήσουν τις αυστηρές απαιτήσεις των μεγάλων επιχειρήσεων. Σε εργοστάσια με συχνές εναλλαγές, δεν έχουν χρόνο να ασκήσουν τον κύκλο PDCA επειδή προχωρούν στην κατασκευή του επόμενου αντικειμένου αμέσως μετά την ολοκλήρωση του πρώτου αντικειμένου. Η [\(Εικόνα 21\)](#) δείχνει ένα μοντέλο διαχείρισης παραγωγής μικρότερων κατασκευαστών, με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας. Σε κάποιες εταιρίες τα γραφεία με το εργοστάσιο είναι σε διαφορετικά μέρη. Για παράδειγμα, ο διευθυντής του εργοστασίου δημιουργεί έναν πίνακα εργασιών και αναλύει τις επιμέρους διαδικασίες παραγωγής. Στη συνέχεια ο διευθυντής τροποποιεί το αρχικό σχέδιο παραγωγής (PLAN00) βάσει εμπειρίας, δημιουργεί τρία είδη τυποποιημένων πινάκων εργασίας και αποφασίζει το χρόνο που απαιτείται. Το εργοστάσιο λειτουργεί με βάση αυτούς τους τυποποιημένους πίνακες εργασίας. Το αποτέλεσμα καταγράφεται ξεχωριστά και χρησιμοποιείται για αξιολόγηση και βελτίωση. Επιπλέον, το κατασκευαστικό περιεχόμενο πολλών επιχειρήσεων, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν τελειώνει με απλή συναρμολόγηση, αλλά ακολουθείται από πιο περίπλοκες διαδικασίες όπως η επεξεργασία υλικών. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι προδιαγραφές του προϊόντος δεν υπάρχουν όπως και πολλές πληροφορίες σχετικές με προηγούμενα στάδια. Αυτό σημαίνει ότι ο σχεδιασμός απαιτήσεων υλικών δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως φαίνεται στο πάνω μέρος του. [\(Εικόνα 21\)](#).



Εικόνα 21: Μοντέλο διαχείρισης παραγωγής για SMEs [T. Ahram et al. (Eds.): IHSED 2019, AISC 1026, pp. 994–999, 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8\\_148](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8_148)]

## Φυσικό μοντέλο

Η [Εικόνα 22](#) δείχνει ένα γενικευμένο μοντέλο του κατασκευαστικού τμήματος της [Εικόνα 21](#). Το χαρακτηριστικό αυτού του μοντέλου είναι ότι τρία είδη τυποποιημένων πινάκων εργασίας χρησιμοποιούνται ως διεπαφές μεταξύ του διευθυντή και των εργαζομένων του. Ένα μειονέκτημα εδώ είναι ότι υπάρχει εργασία μετατροπής από το σχέδιο παραγωγής που γίνεται στο γραφείο σε τυποποιημένους πίνακες εργασίας πριν από την έναρξη της παραγωγής.

Στόχος των μικρότερων επιχειρήσεων είναι:

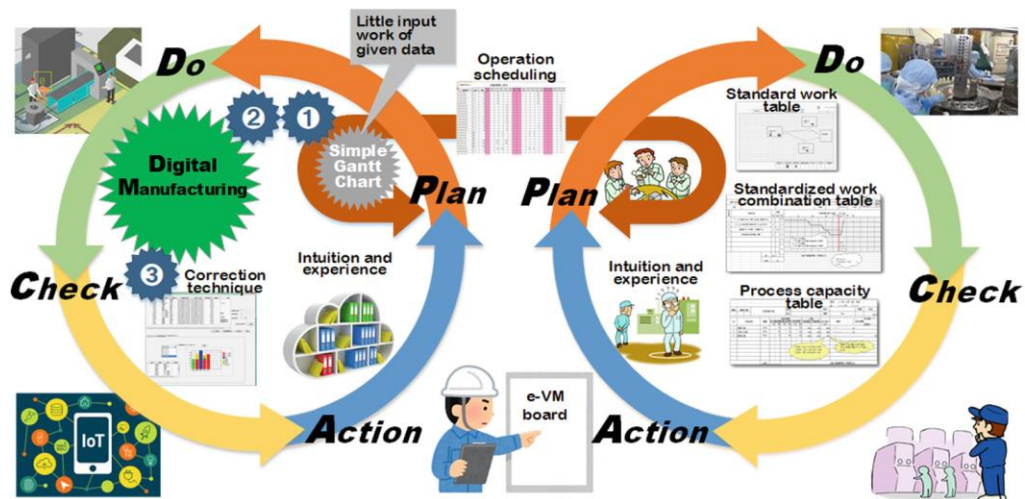
- «Τυποποιημένοι πίνακες συνδυασμού εργασίας» μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο βελτίωσης του χώρου παραγωγής
- Ένα εργαλείο που επιτρέπει την εύκολη επαλήθευση των αποτελεσμάτων παραγωγής γραφικών εισάγοντας τα απαραίτητα αντικείμενα

Κατά την παραλαβή μίας παραγγελιάς, το βάρος πέφτει στον διευθυντή που πρέπει να υλοποιήσει τα σχέδια παραγωγής γρήγορα και αποτελεσματικά. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο στις εγκαταστάσεις παραγωγής με την παραγωγή μεταβλητών μοντέλων σε

μεταβλητές ποσότητες υπάρχει μια φιλοσοφία, το Genbaryoku<sup>11</sup>, δηλαδή, η ικανότητα εύρεσης και επίλυσης προβλημάτων και είναι το κλειδί σε τέτοιες περιπτώσεις, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει άλλη επιλογή εκτός από την επέκταση του Genbaryoku από την κατασκευή έως τον σχεδιασμό παραγωγής.

### Εικονικό Μοντέλο

Η [Εικόνα 22](#) δείχνει το εικονικό μοντέλο κατασκευασμένο από φυσικό μοντέλο χρησιμοποιώντας ICT. Εδώ, τα απαραίτητα αντικείμενα επιλέγονται από το σχέδιο παραγωγής. Στη συνέχεια, ένα άλλο σχέδιο παραγωγής γίνεται με τη χρήση ενός γραφήματος Gantt. Η DM χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση αυτού του σχεδίου παραγωγής. Όταν εισάγεται μια νέα γραμμή, το DM χρησιμοποιείται για την κατασκευή μιας εικονικής γραμμής και την εξέτασή του. Είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο. Ωστόσο, έχει μερικά αδύναμα σημεία. Το DM βασίζεται στη χρήση του «προγραμματισμού λειτουργίας» και δεν χρησιμοποιεί την «λειτουργία παραγωγής». Το DM είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί σωστά και είναι εργαλείο που απαιτεί εξειδίκευση. Όπως φαίνεται, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή εργασιών επεξεργασίας που συσχετίζουν το DM με τυποποιημένους πίνακες εργασίας για τη χρήση του DM στη Φάση «D» του κύκλου PDCA.



Εικόνα 22: Μοντέλο Digital Twin αλληλεπίδραση μεταξύ εικονικού χώρου (αριστερά) και φυσικού χώρου (δεξιά) [T. Ahram et al. (Eds.): IHSED 2019, AISC 1026, pp. 994–999, 2020]

<sup>11</sup> Genbaryoku approach (the pro-active understanding of customers operations) ([https://www.euroshop-tradefair.com/en/Home/News\\_Business\\_Facts/Archive/SATO\\_launches\\_industry-first\\_NX\\_standalone\\_label\\_printer\\_platform](https://www.euroshop-tradefair.com/en/Home/News_Business_Facts/Archive/SATO_launches_industry-first_NX_standalone_label_printer_platform))

## Σχεδιασμός μοντέλου εικονικού χώρου

Για το μοντέλο εικονικού χώρου, χρησιμοποιείται το DM, αλλά έχει κάποια προβλήματα. Τα δεδομένα CAD του τμήματος σχεδιασμού χρησιμοποιούνται για την κατάρτιση του καταλόγου υλικών (Bill of Materials - BOM) και συνδέονται με τις διαδικασίες κατασκευής. Οι συσκευές και διατάξεις που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες κατασκευής συνδέονται ως πόροι. Το DM μπορεί να χρησιμοποιηθεί καλά μόνο όταν έχει συνδεθεί με κάθε στοιχείο (Shibuya M., et al 2020).

Επομένως, είναι απαραίτητο να οριστεί με ακρίβεια κάθε τμήμα. Σε εργοστάσια με την παραγωγή πολυάριθμων μοντέλων σε μικρές ποσότητες, δεν μπορούν βάσει χρόνου να ανταποκριθούν σε αυτό. Επιπλέον, σε εργοστάσια με συχνές αλλαγές στο σχέδιο παραγωγής από εξωτερικές αιτίες, είναι ακόμα πιο δύσκολο. Τέτοιες επιχειρήσεις πρέπει να δημιουργήσουν ένα DT μοντέλο, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι υπάρχει ένα εμπόδιο μεταξύ του εικονικού κόσμου και του πραγματικού κόσμου.

Αυτό το μοντέλο στοχεύει να υποστηρίξει τη διαχείριση της παραγωγής σε κάθε φάση του κύκλου PDCA. Οι απαιτήσεις για την πραγματοποίηση του μοντέλου είναι οι εξής:

- Σχεδιασμός παραγωγής με λίγα δεδομένα για εισαγωγή (αντικείμενα, μηχανήματα, εργασίες σε εξέλιξη, αιτήματα παράδοσης κ.λπ.) και λίγοι παράμετροι προσαρμογής.
- Υποστήριξη για εύκολη προσαρμογή μικρών αλλαγών για την προετοιμασία της παραγωγής και βελτίωση, βάσει πληροφοριών που λαμβάνονται μέσω διαφόρων συσκευών καθώς και παρατήρησης, χρησιμοποιώντας τα τρία είδη τυποποιημένων πινάκων εργασίας.
- Αποτελεσματική χρήση του IoT.
- Χρήση κατάλληλου λογισμικού στο χώρο παραγωγής.

Η εφαρμογή της δομής της Φάσης «P» και της Φάσης «C», είναι έτσι ώστε ο διαχειριστής που δεν είναι εξοικειωμένος με τις ICT να μπορεί να το χρησιμοποιήσει εύκολα. Με τον επανασχεδιασμό ενός σχεδίου παραγωγής που έγινε πιο κατάλληλο για τον τόπο παραγωγής και δημιουργώντας έναν τυποποιημένο πίνακα συνδυασμού εργασίας με βάση τα αποτελέσματα και κατασκευάζοντας μια εικονική γραμμή στο DM χρησιμοποιώντας τρία είδη τυποποιημένων πινάκων εργασίας, αναπτύχθηκε μια δομή που επέτρεψε την αξιολόγηση των σχεδίων παραγωγής χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία.

Διαδικασία της λειτουργίας ανάπτυξης.

1. Διερεύνηση μιας μεθόδου υποστήριξης σχεδιασμού παραγωγής χρησιμοποιώντας τρία είδη τυποποιημένων πινάκων εργασίας
2. Διερεύνηση πως να αλλαχθεί το DM στην φάση του σχεδιασμού
3. Διερεύνηση για την ανάπτυξη ενός εργαλείου που οπτικοποιεί την διαδικασία παραγωγής

Τα αριθμημένα γρανάζια στα αριστερά της [Εικόνα 22](#) δείχνουν τις σχέσεις των παραπάνω 3 λειτουργιών.

### **Αποτελέσματα εφαρμογής**

Το εργοστάσιο που είναι σε σύνδεση με το DT λειτουργεί με τη βοήθεια διαφόρων αισθητήρων και ενσωματώνεται με όλα τα είδη διαθέσιμων δεδομένων από τα συστήματα πληροφορικής του δικτύου παραγωγής. Για την αντιμετώπιση αυτού του είδους των ψηφιοποιημένων εργοστασίων, υπάρχει η ανάγκη στη δημιουργία της «Ψηφιακής Σκιάς», είναι μια ακριβής απεικόνιση της πραγματικότητας. Ωστόσο, οι μικρο-μεσαίες επιχειρήσεις δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να ενσωματώσουν τεχνολογία IoT σε όλα τα μηχανήματά τους λόγω του κόστους. Στο παρόν παράδειγμα αναπτύχθηκε μια λειτουργία ελέγχου που επέτρεψε την εμφάνιση της διαφοράς μεταξύ των πραγματικών τιμών εξόδου και των τιμών-στόχων στη Φάση «Do» ή στη Φάση «Check» μετά την παραγωγή χωρίς χρήση του IoT (Shibuya M., et al 2020).

Εάν η τεχνολογία IoT εισαχθεί στον χώρο εργασίας, η έξοδος της μέσης παραγωγής μιας μηχανής επεξεργασίας μπορεί να ληφθεί από τους αισθητήρες σε διαστήματα που έχουν οριστεί εκ των προτέρων. Ωστόσο, εάν όχι, δεν υπάρχει άλλη επιλογή από τη χρήση δεδομένων στην καθημερινή παραγωγή. Προκειμένου να μιμηθεί την έξοδο ενός μοντέλου γραμμής κατασκευής χωρίς IoT, αναπτύχθηκε μια λειτουργία προσαρμογής για τις τιμές των επιταχύνσεων και άλλων κριτηρίων των μηχανών, μεταφορέων και σχετικού εξοπλισμού κοντά στις πραγματικές τιμές. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα ενός σχεδίου παραγωγής που προσομοιώθηκε όπως είναι με τα αναθεωρημένα αποτελέσματά του με τη χρήση αυτής της λειτουργίας προσαρμογής, εξετάστηκε εάν το σύστημα ήταν χρησιμοποιήσιμο στη Φάση D ή στη Φάση C.

Χρησιμοποιώντας το CAD, δημιουργήθηκαν συσκευές όπως μηχανήματα και μεταφορείς, που τοποθετήθηκαν στο εργοστάσιο και αναπτύχθηκε μια λειτουργία για να στέλνονται τα δεδομένα αναφοράς στις συσκευές και να επανυπολογιστούν. Για την εξέταση χρησιμοποιήθηκε μια καθημερινή αναφορά εργασίας για 1 τεμάχιο σε ένα εργοστάσιο παραγωγής παγωτών. Η διαδικασία παραγωγής παγωτού περιλαμβάνει περίπου 12 διεργασίες και διερευνήθηκαν οι 11 διαδικασίες εκτός από τη διαδικασία "Αποθήκευση". Οι διαδικασίες παραγωγής από «Υλικά ανάμειξης» έως «Διαδικασία πλήρωσης» για την τοποθέτηση κατεψυγμένου παγωτού σε δοχεία παγωτού που ήταν σε υγρή κατάσταση. Έπρεπε να μετατραπεί η ποσότητα σε «μετρήσιμη» για DM. Το παγωτό ποικίλλει σε σχήμα από σκόνη σε υγρό και τέλος σε στερεά ύλη κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Οι συσκευές IoT για τη μέτρηση υγρού εκτός από τη στερεά ύλη είναι πολύ ακριβές για τις μικρο-μεσαίες επιχειρήσεις.

Για την αναπαραγωγή μιας μηχανής πλήρωσης, πάρθηκε η ταχύτητα του μεταφορέα για δοχεία γεμάτα με παγωτό και δημιουργήθηκε ένα εργοστασιακό μοντέλο έτσι ώστε η εργασία τριών εργαζομένων που πραγματοποιούν εργασίες συσκευασίας να μπορούν να προσομοιωθούν ρεαλιστικά. Η εκτιμώμενη ποσότητα παραγωγής που υπολογίστηκε με προσομοίωση βάσει των αποτελεσμάτων προγραμματισμού ήταν πολύ διαφορετικός από αυτόν των τελικών προϊόντων. Στο εργοστάσιο το παγωτό σε δοχεία απορρίφθηκε αντί να σταλεί στον καταψύκτη μέχρι το παγωτό να φτάσει τα πρότυπα ποιότητας. Η διαφορά προκλήθηκε από το γεγονός ότι η ποσότητα παγωτού που αποτελούσε αντικείμενο ως απορριπτό ήταν ασταθής και η απόδοση ποικίλλει.

Για το σφάλμα αυτό ήταν απαραίτητο να προσομοιωθεί εκ νέου η διαδικασία χρησιμοποιώντας πληροφορίες σχετικά με την ανάδευση υλικών, πληροφορίες ιεράρχησης της παραγωγής και ούτω καθεξής, ώστε να αυξηθεί η ακρίβεια κοντά στις πραγματικές τιμές λειτουργίας. Μετά τον εκ νέου υπολογισμό, η γραφική απεικόνιση του κενού μεταξύ του μοντέλου προσομοίωσης και του μοντέλου προσομοίωσης χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές κατέστησε δυνατή την κατανόηση της διαφοράς.

Το αποτέλεσμα ήταν ότι μπορεί να δημιουργηθεί αυτόματα ένα μοντέλο DM από τρία είδη τυποποιημένων πινάκων εργασίας και να εξετάζει τα αποτελέσματα εκτέλεσης χρησιμοποιώντας το εργαλείο οπτικοποίησης (Shibuya M., et al 2020).

### 3.3.2 Εφαρμογή DT από την General Electric

Η μεθοδολογία DT χρησιμοποιείται από την GE για την παρατήρηση και ανάλυση των προκαταρκτικών ασταθών λειτουργιών των συσκευών της. Παρόλο που υπάρχουν ήδη διαθέσιμα πλαίσια ανίχνευσης ανωμαλιών, η δημιουργία τέτοιων πλαισίων με DT μπορεί να συμπληρώσει την πρόβλεψη αυτών των ανώμαλων λειτουργιών νωρίς και να επιτρέψει την επιλογή του κατάλληλου προγράμματος συντήρησης εκ των προτέρων. Οι εισροές δεδομένων από το πρότυπο συμπεριφοράς των στοιχείων, των διαδικασιών, των συστημάτων και της αντίστοιχης πλήρους γνώσης του τομέα μαζί με την ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης συνθέτουν ένα εξειδικευμένο DT. Στην GE, η συνήθης ανίχνευση ανωμαλιών προβλέπει με χρονικό διάστημα 20-30 ημερών αλλά αυτό θα αλλάξει σε 60 ημέρες με το DT (GE Digital Twin, 2016). Αυτό σίγουρα θα βοηθήσει στον προγραμματισμό των διορθωτικών μέτρων εκ των προτέρων με όλες τις πιθανές κατάλληλες πληροφορίες. Το DT χρησιμοποιείται επίσης για την πρόβλεψη της διάρκειας ζωής μιας λεπίδας στροβίλου σε έναν συγκεκριμένο κινητήρα αεροσκαφών με υπερβολική ακρίβεια. Οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις τροποποιούνται με την κατανόηση και πρόβλεψη πιθανών αστοχιών. Η GE δημιούργησε επίσης DTs για τις επιχειρήσεις που προσομοιώνουν ολοκληρωμένες, σύνθετες επικοινωνίες συστημάτων, οι οποίες προσομοιώνουν πολλές περιστάσεις του μέλλοντος και ρυθμίζουν τις καλύτερες δυνατές σημαντικές παραμέτρους απόδοσης για περιστάσεις με μέγιστη ακρίβεια. Αξιοποιώντας τεράστιες πηγές δεδομένων για τον καιρό, την απόδοση και τις λειτουργίες, αυτές οι προσομοιώσεις παρουσιάζουν πιθανές καταστάσεις που μπορεί να επηρεάσουν μια επιχείρηση.

#### Οικοσύστημα των Digital Twins

Καθώς το DT είναι ικανό να έχει πλήρη συνδεσιμότητα 360°, η ομάδα της GE αποτελείται από άτομα όπως εμπειρογνώμονες, σχεδιαστές ενός μοντέλου, αναλυτές δεδομένων και επιστήμονες και επιχειρηματικούς καινοτόμους για την κατασκευή ενός DT. Συνδέει όλους αυτούς τους ανθρώπους της ευρύτερης κοινότητας για να ανακτήσει τη μέγιστη κατανόηση και ιδέες. Δεδομένου ότι το DT της GE έχει χτιστεί στο Predix<sup>12</sup>, το DT γίνεται προσβάσιμο σε όλους τους πελάτες και τους επιχειρηματικούς συνεργάτες της GE. Η βιομηχανία της GE λειτουργεί στην πλατφόρμα Predix, η οποία είναι μια επεκτάσιμη και επικεντρωμένη στα

---

<sup>12</sup> <https://www.ge.com/digital/iiot-platform>



στοιχεία. Το Predix λειτουργεί ως μια ολοκληρωμένη και ασφαλής πλατφόρμα εφαρμογών που βοηθά στην εκτέλεση, κλιμάκωση και επέκταση ψηφιακών βιομηχανικών λύσεων (GE Digital Twin, 2016).

Οι εταίροι της GE είναι μέσα στο οικοσύστημα του DT. Η Infosys<sup>13</sup> είναι ένας από τους συνεργάτες της GE που υιοθέτησε την DT προσέγγιση το 2015. Ο πρωταρχικός στόχος αυτού του πρώιμου σταδίου ήταν να επιτρέψει έγκαιρες προφυλάξεις και προβλέψεις αποτυχίας για διαφορετικά βασικά στοιχεία, όπως η προσγείωση σε μια πτήση, αναπτύσσοντας ένα DT και το πρώτο στον κόσμο για αυτόν τον σκοπό.

Όταν οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τον κινητήρα, το πλαίσιο αέρα και άλλα συστήματα συνδυάζονται με το DT, καθίσταται δυνατή η προσαρμογή ενός ευρύτερου και προηγμένου DT ολόκληρου του αεροσκάφους που βελτιστοποιεί την αποδοτικότητα καυσίμου και μεγιστοποιεί την ασφάλεια. Το πλεονέκτημα του DT οικοσυστήματος προσαρμόζοντας τις διάφορες διαστάσεις είναι ότι μπορεί να βελτιώσει τις βιομηχανικές υπηρεσίες με τεράστια ακρίβεια λόγω της προβλεπτικής του ικανότητας. Από την άλλη πλευρά, τα δίδυμα επικοινωνούν και μαθαίνουν συνεχώς το ένα από το άλλο. Με αυτόν τον τρόπο, τα ψηφιακά πλαίσια λειτουργούν και διαχειρίζονται το μέλλον.

---

<sup>13</sup> <https://www.infosys.com/>

### 3.4 Σύστημα υγείας και υγειονομικών παροχών



Εικόνα 23: Digital Twin στην υγεία. [<https://www.information-age.com/gartnerdigital-twins-123479330/>]

Η ίδια έννοια της αναπαραγωγής του φυσικού μοντέλου με ένα ψηφιακό μοντέλο έχει εφαρμογή και στην προώθηση της υγειονομικής περίθαλψης, όπου οι προμηθευτές υγειονομικής περίθαλψης και οι ασθενείς στηρίζονται στα ακριβή αποτελέσματα μιας συσκευής ακτίνων X και μηχανών σάρωσης όπως ο σαρωτής μαγνητικής τομογραφίας (Εικόνα 23).

Όταν η ψηφιακή αναπαράσταση ενός φυσικού αντικειμένου συνδυάζεται με εξελιγμένες τεχνολογίες, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, είναι ικανή να διακρίνει πιθανά ζητήματα αμέσως όπου προκύπτουν και να ειδοποιούν στην έγκαιρη επισκευή ή αντικατάσταση τους. Για παράδειγμα, μια βαθιά έρευνα των πληροφοριών που μετριοούνται από αισθητήρες σε μια μηχανή πτήσης κατά τη διάρκεια της πτήσης μπορεί να εντοπίσει 15-30 ημέρες νωρίτερα πιθανές αστοχίες. Σε αυτό το σενάριο, είναι προφανές ότι οι λειτουργίες της υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να αποκτήσουν τεράστιο πλεονέκτημα από το ίδιο είδος προγνωστικών (Raj P., et al. 2020).

Η εφαρμογή αυτών των μεθόδων στην υγειονομική περίθαλψη θα προσφέρει πολλά οφέλη. Όπως τη λειτουργία των σαρωτών μαγνητικής τομογραφίας και των διαδικασιών τους αλλά και το σημείο που ένα DT θα είναι σε θέση να κάνει κλινικές δοκιμές και εξατομικευμένες προσομοιώσεις θεραπείας που θα μπορούν να εκτελεστούν και να βγάλουν συμπεράσματα χωρίς να βλάψουν τους ασθενείς.

Με το κόστος της υγειονομικής περίθαλψης να αυξάνεται παγκοσμίως και ο παγκόσμιος πληθυσμός να αυξάνεται, τώρα είναι ο χρόνος να χρησιμοποιήσουμε τους ψηφιακούς ομολόγους μας για να κάνουμε αλλαγές στο σύστημα που θα το επιτρέψουν μια πιο αποτελεσματική λύση τόσο για επαγγελματίες υγείας όσο και για ασθενείς χωρίς προκαλώντας οποιαδήποτε ζημιά.

Μέσω της δημιουργίας πολλών διαφορετικών DT, το ιατρικό προσωπικό θα μπορούσε να λάβει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τη διαχείριση των θαλάμων, του εξοπλισμού και για επιλογές θεραπείας. Όλα αυτά θα βελτιώσουν δραματικά το κόστος, χρόνος αναμονής του ασθενούς και αύξηση της φροντίδας του ασθενούς.

Υλοποίηση ψηφιακών διδύμων σε νοσοκομεία, πολλές οφέλη. Έχει αναφερθεί ότι το DT θα μπορούσε να παρέχει 900% κόστος εξοικονόμησης στο νοσοκομείο και 61% μείωση μπλε<sup>14</sup> κωδικών (Code Blue).

### **3.4.1 Περιπτώσεις χρήσης και ανάγκης των Digital Twins**

Σε καταστάσεις όπως η ακύρωση ή η αναβολή των ιατρικών εξετάσεων που έχουν συνταγογραφηθεί για τους ασθενείς και η απροσδόκητη ροή εργασίας καθώς και διάφορες αστάθειες, είναι βασικά ζητήματα τόσο για τις κλινικές όσο και για τους ασθενείς. Τα συστήματα απεικόνισης πρέπει να είναι καλά προετοιμασμένα και να λειτουργούν όποτε αυτό απαιτείται. Διάφορα προβλήματα μπορούν να προκαλέσουν διακοπή λειτουργίας του εξοπλισμού και όταν είναι πέρα από τον προβλεπόμενο χρόνο αναμονής θα προκαλέσουν ταλαιπωρία, με πιθανή αρνητική επίδραση στα κλινικά αποτελέσματα. Επίσης, δεν είναι τόσο εύκολη η απαιτούμενη υποστήριξη αμέσως σε πραγματικό χρόνο.

---

<sup>14</sup> "Code Blue" Κωδικός Μπλε χρησιμοποιείται για να υποδείξει έναν ασθενή που απαιτεί ανάνηψη ή που χρειάζεται άμεση ιατρική φροντίδα, συχνότερα ως αποτέλεσμα αναπνευστικής ανακοπής ή καρδιακής ανακοπής

Για παράδειγμα, κάποιος πρέπει να αντικαταστήσει τη ζώνη ασφαλείας στο αυτοκίνητο ή την αλυσίδα σε ένα ποδήλατο μετά από εκτεταμένη χρήση είναι η ίδια κατάσταση όπου ορισμένα εξαρτήματα ενός σαρωτή μαγνητικής τομογραφίας υποβαθμίζονται με την πάροδο του χρόνου μέσω τυπικής χρήσης και απαιτεί αντικατάσταση ή επισκευή. Η πρόκληση, σε αυτό το σημείο, είναι να αναγνωριστούν και να προβλεφθούν πιθανά προβλήματα πολύ νωρίτερα πριν εμφανιστούν, οπότε είναι εύκολο να προγραμματιστούν επισκευές ή αλλαγές σε μια στιγμή που η συσκευή δεν χρησιμοποιείται συνήθως τις περισσότερες φορές τη νύχτα.

Εδώ έρχεται η έννοια του DT στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης. Κάθε μέρα, ένας συνηθισμένος σαρωτής μαγνητικής τομογραφίας παράγει κανονικά 800.000 μηνύματα καταγραφής, τα οποία αντικατοπτρίζουν τον τρόπο λειτουργίας του. Είναι υποχρεωτικό να έχουμε προληπτικά προσωπικό απομακρυσμένης παρατήρησης αυτών των αρχείων καταγραφής για να παρακολουθεί και να αναλύει αυτά τα μηνύματα καταγραφής για έγκαιρες προειδοποιητικές ενδείξεις για επικείμενα ζητήματα.

Τα ακόλουθα είναι τα κοινά ερωτήματα που ανακύπτουν σε σχέση με καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

- Εάν ένας ασθενής χρειάζεται νοσηλεία;
- Ποιες είναι οι εναλλακτικές λύσεις εάν ένας ασθενής έχει χειρουργική επέμβαση;
- Τι είδους φροντίδα χρειάζεται ένας ασθενής και πόσες μέρες παραμονής στο νοσοκομείο εάν ο ασθενής χρειάζεται νοσηλεία;
- Πόσο καιρό χρειάζεται να επουλωθεί πλήρως και ποιο είναι το επίπεδο θετικής παρέμβασης των φαρμάκων στα οποία ο ασθενής συνταγογραφήθηκε;
- Ποια είναι η διάρκεια παρακολούθησης του ασθενούς;
- Πόσο καιρό από την άποψη της δοσολογίας φαρμάκου που πρέπει να δοθεί;
- Ποια μπορεί να είναι η διατροφή και η αλλαγή του τρόπου ζωής;
- Ποιες είναι οι παρενέργειες της μετεπεξεργασίας;

Αυτές οι ερωτήσεις μπορούν να απαντηθούν με τη βοήθεια του DT ως αξιόπιστο και αποτελεσματικό σύστημα υποστήριξης σε έναν ιατρό. Το ακόλουθο απλό σενάριο θα βοηθήσει να κατανοηθεί αυτή η ανάγκη.

Θα εξεταστεί ένα παράδειγμα διαβητικού ασθενούς του οποίου τα επίπεδα σακχάρου στο αίμα πρέπει να παρακολουθούνται σε τακτά χρονικά διαστήματα και να γίνει αλλαγή στο φάρμακο σύμφωνα με τα επίπεδα γλυκόζης. Υπάρχουν προηγμένες ψηφιακές συσκευές στην αγορά για συνεχείς μετρήσεις του επιπέδου γλυκόζης στο αίμα με εύκολο τρόπο. Ωστόσο, ο ασθενής απαιτεί την υποστήριξη ενός ιατρού συχνά για να αλλάξει το φάρμακο. Υπάρχουν καταστάσεις όπου ο ασθενής μπορεί να αποφύγει την παρέμβαση ενός γιατρού με την υποστήριξη της τεχνολογίας. Ας υποθέσουμε ότι υπάρχει μια τεχνολογική βοήθεια σε έναν ασθενή με δυνατότητα προσθήκης και αλλαγής της καθημερινής του ρουτίνας, προηγούμενες παρεμβάσεις φαρμάκων κατά τη μεταβολή των επιπέδων γλυκόζης και της διατροφής του ασθενούς με το επίπεδο γλυκόζης στο αίμα. Πράγματι, θα λειτουργεί ως ειδικός ιατρός. Αυτό να επιτευχθεί μέσω της πλατφόρμας DT που χρησιμοποιεί όλες αυτές τις πληροφορίες στο πλαίσιο του ασθενούς και μπορεί να λειτουργήσει ως ένα εξειδικευμένο σύστημα (Augustine P., et al. 2020).

Ακολουθούν μερικά από τα οφέλη των DT στην υγειονομική περίθαλψη.

a) Διαχείριση Ασθενών

Υπάρχουν πιθανότητες για σφάλματα στη χρέωση, όπως η προσθήκη επιπλέον κόστους ή η απώλεια του τι πρέπει να χρεωθεί ή μπέρδεμα του λογαριασμού κάποιου άλλου λόγω ανθρώπινου σφάλματος. Μπορεί να συμβεί λόγω πολυκοσμίας, ανθρώπινης εξάντλησης, βλαβών του συστήματος ή προβλημάτων δικτύου. Η συμπερίληψη του IoT στην υγειονομική περίθαλψη με τα DT μπορεί να διορθώσει όλα αυτά τα ανθρώπινα λάθη σε σχέση με τις προμήθειες, τις υπηρεσίες, τους ανθρώπους και τις διαδικασίες.

b) Βελτιστοποιημένος χρόνος αναμονής για τους ασθενείς

Ένα DT παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη βελτιστοποίηση της καθημερινής απόδοσης. Λόγω αυτής της διευκόλυνσης, η συλλογή δεδομένων, η αποθήκευση δεδομένων και η ανάκτηση δεδομένων μπορεί να συμβούν χωρίς σφάλματα καθώς και με γρήγορους τρόπους που θα μειώσουν σημαντικά τον χρόνο αναμονής των ασθενών. Όταν ένας ασθενής γίνεται δεκτός, η εύρεση των σωστών πηγών όπως οι γιατροί, τα δωμάτια, η διαθεσιμότητα των εξωτερικών πηγών και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να γίνουν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

c) Ακριβής απογραφή

Λόγω του DT, η διαθεσιμότητα δεδομένων της κατανάλωσης σε πραγματικό χρόνο και η αυξανόμενη ανάγκη για οποιαδήποτε νέα φάρμακα μέσω προβλέψεων μπορεί να διατηρήσει το νοσοκομείο συνεχώς ενημερωμένο. Εν τω μεταξύ, η απόρριψη των φαρμάκων που χρησιμοποιούνται μόνο ή δεν χρησιμοποιούνται, μπορούν επίσης να αφαιρεθούν από τον κατάλογο αυτόματα.

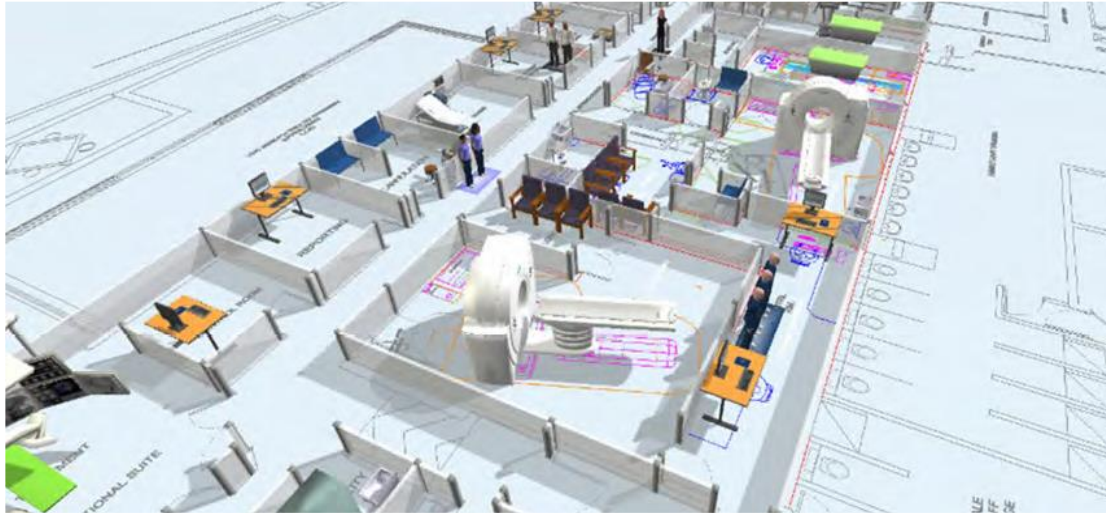
d) Καλύτερο περιβάλλον

Δεδομένου ότι τα νοσοκομεία είναι ευάλωτες περιοχές όπου αναμένεται η περισσότερη καθαριότητα και φροντίδα, θα εκτιμηθεί ιδιαίτερα εάν η διοίκηση λάβει πρόβλεψη μέσω DT για τυχόν επιδημικές ασθένειες με βάση το παρελθόν ώστε τα προληπτικά μέτρα να μπορούν να προσαρμοστούν για την προώθηση ενός υγιούς περιβάλλοντος.

### **Διαχείριση νοσοκομείων DT και βελτιστοποίηση ψηφιακής ροής εργασίας**

Η Siemens έχει αναπτύξει την “προσομοίωση ροής εργασίας” (Workflow Simulation), μια εφαρμογή για την λήψη σωστότερων αποφάσεων. Αυτό είναι εφικτό μέσω του μοντέλου 3D ενός κλινικού περιστατικού, όπως χειρουργείο ή ατύχημα ή ακόμα και μία έκτακτη ανάγκη. Το σύστημα θα μετατρέψει το μοντέλο 3D σε DT μέσω δεδομένων που εισήχθησαν από την καθημερινή εργασία. Δηλαδή με την εισαγωγή του επιχειρησιακών και οικονομικών δεδομένων για την προσομοίωση των πραγματικών καθημερινών ροών εργασίας. Στο Mater, ιδιωτικό νοσοκομείο του Δουβλίνου, στο τμήμα ακτινολογίας επανασχεδιάστηκε η διάταξη αλλά και υποδομές του. Χρησιμοποιώντας δεδομένα RIS για τη δημιουργία μιας εικόνας του τμήματος κοίταξε τη διάταξη του θαλάμου και το DT εφάρμοσε διάφορες βελτιώσεις.

Χρησιμοποιώντας την προσομοίωση ροής εργασίας DT, οι χρόνοι αναμονής για αξονικές τομογραφίες (CT) και μαγνητικές τομογραφίες (MRI) μειώθηκαν κατά μέσο όρο 19 λεπτών, δηλαδή αύξηση 32% στις σαρώσεις MRI και 26% στις σαρώσεις CT. Έδειξε επίσης ότι βοήθησε στη μείωση του κόστους, με μέσο όρο 50 λεπτά λιγότερο από τις υπερωρίες που απαιτούνταν ανά ημέρα, που ισοδυναμεί με 9.500 ευρώ εξοικονόμηση για ένα χρόνο.



Εικόνα 24: Digital Twin Νοσοκομείου

[\[https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-healthcare/\]](https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-healthcare/)



Εικόνα 25: Ψηφιακή ροή βελτιστοποίησης εργασίας

[\[https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-healthcare/\]](https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-healthcare/)

### Ηλεκτρονικά ιατρικά αρχεία

Σε παγκόσμιο επίπεδο, κάθε χώρα διαθέτει εγγραφές ηλεκτρονικής υγείας (HER's) μια ψηφιακή βάση που καταγράφει το πλήρες ιατρικό ιστορικό κάθε ασθενή. Παρέχουν πλήρη υγειονομική περιγραφή σχετικά με το τι συνέβη σε κάθε ασθενή τουλάχιστον για μια περίοδο δύο δεκαετιών και είναι όλα προσβάσιμα μέσα του νέφους. Ο στόχος είναι να υπάρχει μια οπτική αναπαράσταση του ιατρικού ιστορικού.

Η Babylon σε συνεργασία με την Bupa και άλλους συνεργάτες, παρήγαγαν ένα DT τον Ιούλιο 2018, στο πλαίσιο του ελέγχου υγείας των ασθενών τους τμήματος της ψηφιακής υπηρεσίας GP.

Το πρώτο μέρος της διαδικασίας είναι να ολοκληρωθεί ένα ερωτηματολόγιο υγείας για παλιές ασθένειες κ.λπ. ώστε να εμφανιστεί το DT. Εμφανίζεται ως διάφανη ανθρώπινη μορφή, με πολύχρωμα τα εσωτερικά όργανα, όπου σε κάθε μία από τις οποίες μπορεί με ένα απλό κλικ και να δει κανείς την υγεία των οργάνων και τους παράγοντες κινδύνου για μελλοντικές ασθένειες.

Αυτό το κάνει χρησιμοποιώντας μια μεγάλη βάση δεδομένων που τροφοδοτείται από την Babylon «τεχνολογία αιχμής AI» και χρησιμοποιεί ένα βαθύ νευρωνικό δίκτυο, μέσω τεχνολογία βαθιάς μάθησης Deep Learning, που δημιουργήθηκε από εκατομμύρια δείγματα δεδομένων που συλλέχθηκαν και εισήχθησαν από επιστήμονες και ιατρούς. Ωστόσο, το DT παρέχει μόνο πληροφορίες και δεν κάνει διάγνωση, και όλες οι πληροφορίες βασίζονται σε στατιστικά στοιχεία και παράγοντες κινδύνου μέσω των πληροφοριών που παρέχει ο ασθενής. Καλύπτει 20 ασθένειες και θα επεκταθεί στις 80 στο εγγύς μέλλον.

### **Εικονικός Φυσιολογικός Άνθρωπος – Virtual Physiological Human**

Ο Εικονικός Φυσιολογικός Άνθρωπος – Virtual Physiological Human (VPH), που είναι σήμερα υπό κατασκευή στο The Virtual Physiological Human Institute for Integrative Biomedical Research, στο Βέλγιο, είναι: «Μια παγκόσμια κοινότητα που στοχεύει στη δημιουργία μοντέλων in-silico της ανθρώπινης υγείας και ασθένειας μέσω της χρήσης προσομοιώσεις σε υπολογιστή με βάση τη φυσιολογία σε όλες τις πτυχές της πρόληψης, διάγνωσης, προγνωστικής αξιολόγησης και θεραπείας μιας ασθένειας».

Το VPH έχει 3 κύριους στόχους.

1. Ο ψηφιακός ασθενής (VPH για γιατρούς)
2. Σε κλινικές δοκιμές (VPH για τη βιοϊατρική και φαρμακοβιομηχανία)
3. Προσωπική πρόβλεψη υγείας (VPH για το ασθενής / πολίτης).

Και οι 3 στόχοι έχουν εφαρμογή σε όλες τις ειδικότητες για την αποτελεσματική οπτικοποίηση του ασθενή και αποτελέσματα, όχι μόνο φαρμακολογικής φύσεως, αλλά και



όταν οι ασθενείς δεν ανταποκρίνονται σε συμβατικές θεραπείες, τότε θα γίνεται προσομοίωση του αποτελέσματος μιας θεραπείας μέσω κλινικής δοκιμής χωρίς να μπει σε κίνδυνο ο ασθενής. Το VPH μπορεί προς το παρόν να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό προβλημάτων που σχετίζονται με HIV, καρδιαγγειακά προβλήματα και μυοσκελετικά προβλήματα, επομένως σίγουρα έχουν τις παραμέτρους για περαιτέρω εξέλιξη σε άλλους τομείς όπως η ογκολογία.

### **3.4.2 Digital Twin καρδιάς**

Αντί να χρησιμοποιήσει ένα νυστέρι σε ένα χειρουργείο για μια καρδιά, ο Δρ. Benjamin Meder, καρδιολόγος στο Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο της Χαϊδελβέργης στη Γερμανία, χρησιμοποίησε ποντίκι και οθόνη για να τοποθετήσει τα ηλεκτρόδια ενός βηματοδότη με απόλυτη προσοχή. Αυτό έγινε εφικτό με τη βοήθεια του DT σε συνδυασμό με AI. Ο Meder είχε περάσει από τις προσομοιώσεις της καρδιάς του συγκεκριμένου ασθενούς πριν ξεκινήσει τη χειρουργική επέμβαση για να επιβεβαιώσει ότι ο βηματοδότης μπορεί να βοηθήσει τον πάσχοντα που υπέστη συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια.

Η Siemens Healthineers έχει αναπτύξει ένα DT καρδιάς χρησιμοποιώντας την Τεχνητή Νοημοσύνη, είναι το καλύτερο παράδειγμα για το πώς τα DT σε συνδυασμό με ιατρικές συσκευές βοηθούν τους γιατρούς να δημιουργήσουν πιο ακριβείς διαγνώσεις.

Τα αυξανόμενα έξοδα για την υγειονομική περίθαλψη, ειδικά χειρουργικές επεμβάσεις που σχετίζονται με την καρδιά, μπορούν να αποφευχθούν με τη δυνατότητα της τεχνητής νοημοσύνης με DT, βρίσκοντας εάν η χειρουργική επέμβαση είναι περιττή. Μπορεί να εξοικονομήσει αρκετά χρήματα, στην υγεία από ασθενείς πολύ αποτελεσματικά.

Ο Meder λέει από την εμπειρία του ότι θα ήταν δυνατό με τα DT να προβλεφθεί η κατάσταση της υγείας των ασθενών εβδομάδες ή μήνες πριν έχοντας αναλυθεί και κατανοηθεί το επίπεδο ανταπόκρισης του ασθενούς στη συγκεκριμένη θεραπεία μέσω της οποίας εξασφαλίζεται η υγεία του.

### 3.5 Αυτοκινητοβιομηχανία

Η αυτοκινητοβιομηχανία αλλάζει πολύ γρήγορα καθώς το απαιτεί ο χρόνος, αυξάνονται και ποικίλλουν οι καταναλωτικές ανάγκες, και νέοι προμηθευτές μπαίνουν στον επιχειρηματικό χώρο. Η βιομηχανία παραμένει με τον παραδοσιακό κατασκευαστικό εξοπλισμό, αλλά εμπλουτίζεται με αναδυόμενες ψηφιακές υπηρεσίες, που βασίζονται σε αισθητήρες και συσκευές με τεχνητή νοημοσύνη για την παραγωγή των μελλοντικών μέσων μεταφοράς. Παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες, οι προκλήσεις για τη δημιουργία αξίας της επιχείρησης και την αύξηση του κέρδους απαιτεί από τα στελέχη να εντοπίσουν και να εκμεταλλευτούν τους τεχνολογικούς τομείς όπου υπάρχει και το μεγαλύτερο όφελος. Στην αυτοκινητοβιομηχανία η ψηφιοποίηση μπορεί να θεωρηθεί ως αναγκαία για τις επιχειρήσεις (Augustine P., et al. 2020). Η συμμετοχή και η σημασία του DT στη βελτίωση υλικού, κατασκευής και αξίας κύκλου ζωής του οχήματος είναι απίστευτη ([Εικόνα 26](#)).

#### 3.5.1 Καινοτομία στα προϊόντα αυτοκινητοβιομηχανίας

Οι δυνατότητες και η σημασία του DT το έχουν καταστήσει ως βασικό πλαίσιο στην ανάπτυξη ενός οχήματος και επίσης στον κύκλο ζωής του.

Η καινοτομία αυτοκινήτων έχει προχωρήσει πολύ και είναι πιο πολύπλοκη από τη χειροκίνητη δημιουργία. Συνήθως, ένα σύγχρονο μοντέλο αυτοκινήτου χρειάζεται 5-6 χρόνια από τη φάση σχεδιασμού έως τη φάση εκκίνησης.



Εικόνα 26: Digital Twin στην Αυτοκινητοβιομηχανία [<https://blog.contus.com/digital-twin-solution/>]

Αυτή η περίοδος είναι πολύ κρίσιμη διότι από αυτήν εξαρτάται η επιτυχία του μοντέλου και η διάρκεια ζωής του στην αγορά. Εάν ένα μικρό λάθος παραλειφθεί στον σχεδιασμό μπορεί να αποσυντεθεί η καθαρή αξία της εταιρείας στην αγορά και ο κύκλος εργασιών της. Για παράδειγμα, ένας από τους κατασκευαστές παρουσίασε το νέο του προϊόν στις αρχές του 2000 με έξοδα ανάπτυξης 1,5 δισεκατομμύρια δολάρια. Όμως, το μοντέλο απέτυχε σε μια δοκιμή ελιγμού, και γι' αυτό έπρεπε να αποσυρθούν σχεδόν 2500 νέα αυτοκίνητα από την αγορά. Η εταιρεία πρόσθεσε μηχανισμό ελέγχου σταθερότητας στο μοντέλο και αναμόρφωσε την ανάρτηση του αυτοκινήτου με κόστος εφαρμογής περίπου 250 εκατομμύρια δολάρια για να ανακτήσει την αγοραία αξία του (Augustine P., et al. 2020).

Σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ανάπτυξης προϊόντων, οι μηχανικοί σχεδιασμού και η ομάδα μηχανικών προϊόντων αντιμετωπίζουν διάφορα βασικά ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν. Το DT μπορεί να αντιπροσωπεύει το πραγματικό στάδιο και τις βασικές δραστηριότητες που εκτελούνται στο στάδιο για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων.

### **Formula 1 Digital Twin από την McLaren**

Η βρετανική ομάδα αγωνιστικών αυτοκινήτων McLaren έχει εγκαταστήσει πολλούς αισθητήρες στα αγωνιστικά αυτοκίνητα της Formula 1, τα οποία στέλνουν δεδομένα στα κεντρικά της γραφεία όπου χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες για τη δημιουργία ενός ψηφιακού δίδυμου του αγωνιστικού αυτοκινήτου. Εκτός από τα δεδομένα που αποστέλλονται από τους αισθητήρες, το σύστημα χρησιμοποιεί και άλλα διαθέσιμα δεδομένα όπως ο καιρός, η θερμοκρασία, οι συνθήκες εδάφους και το ψηφιακά δημιουργημένο αυτοκίνητο στη συνέχεια προσομοιώνει την πορεία του αυτοκινήτου εντός της πίστας. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη διεξαγωγή προγνωστικών αναλύσεων και ενημερώνει τον οδηγό με πληροφορίες που θα τον βοηθήσουν να αποδώσει καλύτερα στον αγώνα (Rais A. 2019).

### **3.5.2 Παραγωγή των αυτοκινητοβιομηχανιών**

Η συμβολή του Henry Ford στην κατασκευή αυτοκινήτων ήταν εκπληκτική αφού κατάφερε να μειώσει τον χρόνο παραγωγής ενός αυτοκινήτου στις 2 ώρες και 30 λεπτά από 12 ώρες που ήταν πριν. Από τότε, ο κλάδος έχει δει διάφορες εξελίξεις. Σήμερα, κάθε 30 λεπτά, ένα νέο αυτοκίνητο βγαίνει από την ουρά γκαράζ. Η μηχανή εξελίχθηκε σε ένα μηχανικό θαύμα, πολύπλευρο και με λαμπρό πλαίσιο που αποτελείται από μια δέσμη τεχνολογιών, συσκευών και πόρων. Μια γρήγορη και εκλεπτυσμένη υλοποίηση κατασκευής εξαρτάται από τη δύναμη της διαχείρισης διαφόρων πόρων, την πρόταση ανάπτυξης και την παρακολούθηση

της διαδικασίας (Augustine P., et al. 2020). Τα μοντέλα και οι παραλλαγές τους έχουν πολλαπλασιαστεί και οι προσαρμογές των οχημάτων έχουν επίσης αυξηθεί. Η βελτίωση του κύκλου ζωής ολόκληρου του προϊόντος και ο ζήλος για την πρόοδο των χαρακτηριστικών της συνολικής αποδοτικότητάς του όπως το «first time through» έχει αποκτήσει σημαντική θέση στην ψηφιακή μηχανική μεταξύ όλων των παραγωγών οχημάτων σήμερα.

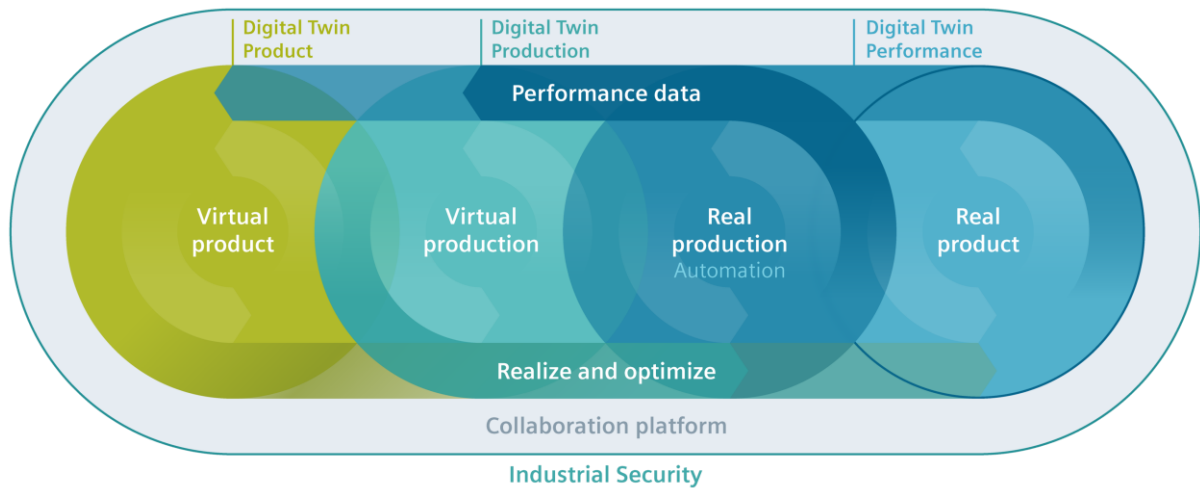
Η καλά σχεδιασμένη και εκτελεσμένη ψηφιακή υιοθέτηση εξελίσσεται πλέον ως κρίσιμη πτυχή επίτευξης για την παραγωγή. Αυτό συμβαίνει με τη συλλογή και διερεύνηση περισσότερων δεδομένων σε ένα εικονικό πλαίσιο που θα δώσει ανώτερες επιλογές και, σε πολλές περιπτώσεις, ακόμη και οι προγνωστικές επιλογές που μπορούν να γίνουν. Το DT αναδεικνύει τις τεράστιες δυνατότητες που έχει και αντιμετωπίζει τις τυπικές προκλήσεις στον κύκλο κατασκευής.

### **3.5.2.1 Siemens NX Cad**

Η ανάπτυξη νέων αυτοκινήτων πραγματοποιείται κυρίως σε εικονικό περιβάλλον. Πολλά οχήματα πολλών εταιριών σχεδιάζονται με το Siemens NX CAD, το οποίο βοηθά να τις αυτοκινητοβιομηχανίες για επιτυχημένα προϊόντα. Οι σχεδιαστές αυτοκινήτων ξεκινούν με ένα απλό εξωτερικό μοντέλο για το αισθητικό κομμάτι και στη συνέχεια οι μηχανικοί αυτοκινήτων χρησιμοποιούν το NX για να μετατρέψουν αυτά σχέδια σε πραγματικά προϊόντα. Το Digital Enterprise επίσης δημιουργεί το DT ενός προϊόντος που επιτρέπει στη συνέχεια ρεαλιστικές προσομοιώσεις για τη βελτιστοποίηση του αυτοκινήτου πριν από την κατασκευή του.

#### **Σχεδιασμός και προσομοίωση σε ένα πλήρως εικονικό περιβάλλον**

Το DT του προϊόντος περιλαμβάνει ολόκληρο το αυτοκίνητο, το λογισμικό του, τα μηχανικά μέρη, τα ηλεκτρικά και τη φυσική συμπεριφορά. Αυτό επιτρέπει την προσομοίωση και την επικύρωση κάθε βήματος της ανάπτυξης προκειμένου να εντοπίζονται προβλήματα και πιθανές αστοχίες πριν από την παραγωγή πραγματικών τεμαχίων. Αυτό είναι εφικτό για τα ηλεκτρονικά αυτοκίνητα καθώς και για τα συμβατικά αυτοκίνητα.



**Εικόνα 27: Siemens NX Digital Twin.**

[\[https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-product.html\]](https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-product.html)

Για παράδειγμα, η φυσική συμπεριφορά μπορεί να προσομοιωθεί χρησιμοποιώντας τα δεδομένα 3D του προϊόντος για τη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς υλικού, της ροής αέρα ή της ανάπτυξης θερμότητας. Η μηχανική, η ηλεκτρονική, το σύστημα on-chip και το ενσωματωμένο λογισμικό του αυτοκινήτου έχουν επίσης σχεδιαστεί και προσομοιωθεί στο εικονικό περιβάλλον.

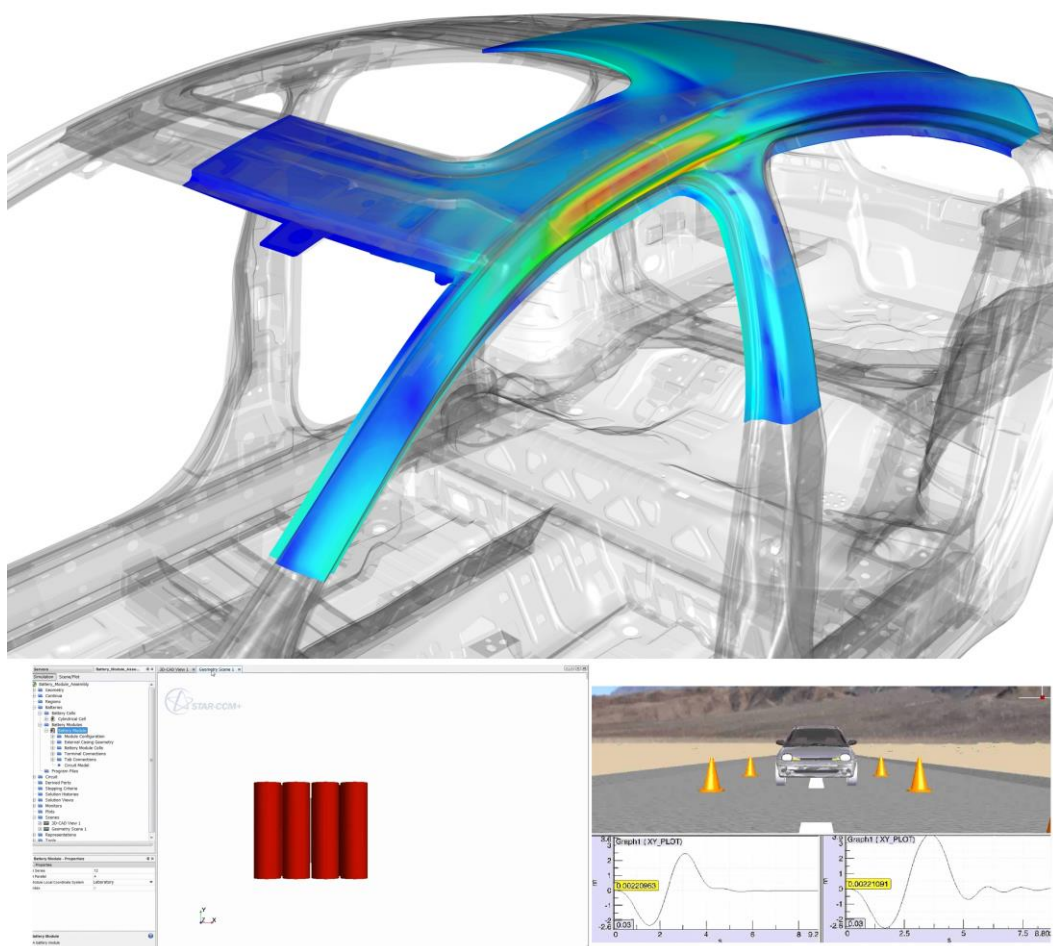
Η ψηφιοποίηση εξοικονομεί χρόνο και χρήμα επειδή ο αριθμός των απαραίτητων πρωτοτύπων μειώνεται δραστικά. Επιπλέον, επιτρέπει σε διαφορετικούς κλάδους να εργάζονται ταυτόχρονα στο ίδιο έργο, απλοποιεί τη διαμόρφωση διαφορετικών εκδόσεων προϊόντων και υποστηρίζει νέες διαδικασίες παραγωγής, όπως η προσθετική κατασκευή.

### **Ρεαλιστική προσομοίωση του αυτοκινήτου και της συμπεριφοράς του**

Το λογισμικό του DT επιτρέπει την προσομοίωση της απόδοσης οδήγησης ενός αυτοκινήτου, συμπεριλαμβανομένου του ηλεκτρονικού λογισμικού σταθερότητας. Οι προσομοιώσεις δείχνουν επίσης τη σχέση μεταξύ του εύρους των ηλεκτρικών οχημάτων και της άνεσης των επιβατών υπό ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος.

Ο εικονικός έλεγχος των αυτόνομων λειτουργιών οδήγησης παίζει όλο και πιο σημαντικό ρόλο, όπως και ο υπολογισμός της απόδοσης των μπαταριών στο θερμικό περιβάλλον και της παραγωγής θερμότητας λόγω ηλεκτρικής φόρτωσης.

Ακόμα πιο πολύπλοκη αλλά ήδη δυνατή, είναι η προσομοίωση ενός ηλεκτροκινητήρα και η ηλεκτρομαγνητική, θερμική, μηχανική και ηχητική-ακουστική συμπεριφορά του.



Εικόνα 28: Προσομοίωση αυτοκινήτου Siemens NX

[\[https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-product.html\]](https://new.siemens.com/global/en/markets/automotive-manufacturing/digital-twin-product.html)

### 3.5.3 Πωλήσεις και υπηρεσίες οχημάτων

Η δυσκολία στον τομέα της έρευνας, της κατασκευής προϊόντων, της ανάπτυξης δικτύων, των διαφημιστικών δραστηριοτήτων είναι αποτέλεσμα αγώνα άνω των 5 ετών για μια νέα εισαγωγή οχήματος στην αγορά για να φέρει το καλύτερο προϊόν στο λιανικό εμπόριο που επιβεβαιώνει αυτές τις επενδύσεις σε εισόδημα για τον Παραγωγό. Τα κέρδη μετά τις πωλήσεις από μεμονωμένα ανταλλακτικά, φωτιστικά και υπηρεσίες συνδέονται επίσης με τις πωλήσεις στην αγορά.

Η τρέχουσα βάση πωλήσεων αυτοκινήτων αντιλαμβάνεται πολλές μετατοπίσεις και αλλαγές μοτίβων με το εξελισσόμενο μοντέλο προσανατολισμένο στις υπηρεσίες, την ανάγκη αγοραστή για υψηλότερη και προσαρμοσμένη εμπειρία χρήστη. Οι παραγωγοί αυτοκινήτων που λειτουργούν σε διεθνή κλίμακα έχουν ακόμη μεγαλύτερη πρόκληση να αντιμετωπίσουν

μακροοικονομικές παραμέτρους και γεωγραφικές ατομικότητες. Οι OEM είναι αρκετά ισχυροί για να εξαγάγουν τις καλύτερες λειτουργικές πληροφορίες από τους καταναλωτές, τους συνεργάτες οχημάτων και δικτύων για να προχωρήσουν ασταμάτητα στην βελτίωση των προϊόντων. Ωστόσο, λόγω διαφόρων περιορισμών και εξωτερικών επιρροών, αυτές οι εκτιμήσεις αποκλίνουν.

Σε αυτό το σενάριο, η ψηφιακή αναπαράσταση που περιλαμβάνει τον πλήρη κύκλο ζωής ενός προϊόντος αυτοκινήτου με την υποστήριξη του DT θα προβλέψει τα κατασκευαστικά ζητήματα, τις αλλαγές τάσεων της αγοράς και τις διακυμάνσεις της ζήτησης των πελατών πολύ νωρίτερα και θα αλλάξει τον τρόπο παραγωγής. Το DT θα βοηθήσει να ξεπεραστούν τα ζητήματα που σχετίζονται με τα όρια, τους συνεργάτες δικτύωσης και τις εδαφικές συμμορφώσεις και θα βοηθήσει το προϊόν να διεισδύσει αποτελεσματικά στην αγορά αυτοκινήτων (Augustine P., et al. 2020).

Η πρόοδος στην ανάλυση, το σχεδιασμό, την οργάνωση χρονοδιαγραμμάτων, τις διαφημιστικές δραστηριότητες επιφέρει μεγάλο πλεονέκτημα στον παραγωγό. Το μεταπωλητικό εισόδημα από ανταλλακτικά και αξεσουάρ είναι αρκετά αποδοτικό, ενώ τα κόστη προσωπικού θα κοστίζουν πολύ λιγότερο. Η σύγχρονη αγορά αυτοκινήτων βλέπει διαφορετικά μοτίβα και αλλαγές παγκόσμιας προβολής με την ανάπτυξη νέων μοντέλων, όπως ένα αίτημα πελάτη για εξατομικευμένη παραγωγή ή συμμετοχή πελατών στο λιανικό εμπόριο και συμμετοχή omnichannel<sup>15</sup> για κάθε αλληλεπίδραση με βάση την αξία, τη διοικητική συμμόρφωση όπως το GDPR κ.λπ.

Οι παραγωγοί αυτοκινήτων που εργάζονται σε παγκόσμια κλίμακα, αντιμετωπίζουν ένα πράγματι μεγαλύτερο καθήκον διαχείρισης με φυσικές μεταβλητές μεγάλης κλίμακας και γεωλογικές ιδιαιτερότητες (Augustine P., et al. 2020). Οι OEMs χρησιμοποιούν τα λειτουργικά κομμάτια άντλησης γνώσης από τους πελάτες, τους συνεργάτες οχημάτων και καναλιών για να βελτιώνουν ασταμάτητα όλες τις διαδικασίες και τα προϊόντα τους.

---

<sup>15</sup> Το λιανικό εμπόριο Omni-channel (ή το εμπόριο παντός καναλιού) είναι μια πολυκαναλική προσέγγιση στις πωλήσεις που εστιάζει στην παροχή απρόσκοπτης εμπειρίας στους πελάτες, είτε ο πελάτης πραγματοποιεί αγορές μέσω Διαδικτύου από μια φορητή συσκευή, έναν φορητό υπολογιστή ή σε ένα κατάστημα από τούβλα [<https://www.bloomreach.com/en/blog/2019/07/omnichannel-commerce-for-business.html>]



### 3.6 Έξυπνες πόλεις

Σήμερα, οι κυβερνήσεις έρχονται με το σχέδιο για έξυπνες πόλεις για να υπάρχουν πλήρεις εγκαταστάσεις στους ανθρώπους χωρίς καθυστέρηση ή διακοπές. Τα DT δημιουργούν τρισδιάστατες εικονικές κατασκευών, υποδομών και άλλων φυσικών στοιχείων που συνδέονται μαζί με υπαρκτά δεδομένα μέσα και γύρω από αυτά. Δεδομένου ότι είναι πρωταρχικό καθήκον κάθε κυβέρνησης να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τους λειτουργικούς τομείς όπως η συντήρηση, η κατανάλωση ενέργειας, η χρήση χώρου, η διαχείριση της κυκλοφορίας και η δημόσια ασφάλεια σε οποιαδήποτε πόλη, ανοίγουν το πεδίο για να χρησιμοποιηθούν τα DT. Πολλές κυβερνήσεις έχουν προχωρήσει στην αξιοποίηση του DT με μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη (AI) για την κατασκευή έξυπνων πόλεων στον κόσμο.

Μια μικρή πόλη στις Ελβετικές Άλπεις έχει εφαρμόσει αυτήν την τεχνολογία. Η ομάδα που εργάζεται για την οικοδόμηση έξυπνων πόλεων για την Ελβετία καθοδηγείται από την Nomoko, η οποία είναι μια νεοσύστατη εταιρεία στη Ζυρίχη και την Swiss Federal Railways, μαζί με τις άλλες εταιρείες όπως η Swisscom, η Swiss Post και η AMAG. Το εγχείρημα εφαρμόζει μια πλατφόρμα εφαρμογών για την κατασκευή τρισδιάστατων μοντέλων μιας πόλης. Αυτό το τρισδιάστατο μοντέλο συμβάλλει στη δημιουργία και αξιολόγηση της επικοινωνίας και της διαχείρισης διαφορετικών δομών της πόλης, όπως η κίνηση, οι επικοινωνίες, τα συστήματα παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας κ.λπ.



Εικόνα 29: Digital Twin στις έξυπνες πόλεις [<https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2019/01/08/arc-privacy-concerns-halting-smart-cities-indefinitely/#2767b269ba6d>]



### **3.6.1 Το πλεονέκτημα του Digital Twin στις έξυπνες πόλεις**

Σε μία πόλη, ένα DT είναι μια μηχανογραφημένη απεικόνιση ενός φυσικού πόρου, ο οποίος συλλέγει δεδομένα μέσω αισθητήρων και άλλων οργάνων IoT και μηχανολογικού IoT και εφαρμόζει βελτιωμένες μεθόδους ανάλυσης, μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης σε πραγματικό χρόνο ώστε να βελτιώσει την σωστή εκτέλεση, τη λειτουργία ή την κερδοφορία του φυσικού στοιχείου. Μια τέτοια καινοτομία φαίνεται να παίζει σταδιακά ζωτικό ρόλο στη δημιουργία έξυπνων πόλεων σε όλο τον κόσμο και σκοπεύει σε θέματα ευεξίας, ασφάλειας και φυσικών ζητημάτων.

Η ένωση φυσικού και ψηφιακού κόσμου προσφέρει υποστήριξη για την καλύτερη λήψη αποφάσεων καθώς μηδενίζει τις αστοχίες και επιπλέον λειτουργεί ως εργαλείο διευκόλυνσης των πολιτών. Η ομάδα της Itron Ideas Labs συνδέεται με τη Microsoft Azure και χρησιμοποιεί τη μικτή πραγματικότητα για να σχηματίσει μια ψηφιακή απεικόνιση των δικτύων μεταξύ των προμηθειών, των θεμελίων και των διαφορετικών ειδών αισθητήρων σε μια γειτονιά στο κέντρο του Los Angeles.

Θα χρησιμοποιήσει ένα ολογραφικό σύστημα Microsoft HoloLens και το DT της εταιρείας για να δείξει πώς οι διοργανωτές και οι ειδικοί της πόλης στο Los Angeles μπορούν ουσιαστικά να εγκαταστήσουν έξυπνους αισθητήρες, να αλλάξουν σχέδια δραστηριοτήτων και να φυτέψουν δέντρα ώστε να δουν τα αποτελέσματα σε μεμονωμένους πολίτες, αυτοκίνητα, σχολεία και κτίρια εντός του προσομοιωμένου περιβάλλοντος.

### **3.6.2 Δημιουργία ευέλικτων εμπειριών**

Η Itron διαθέτει ένα χαρτοφυλάκιο έξυπνων συστημάτων, προγραμμάτων υπολογιστών, διοικήσεων, μετρητών και αισθητήρων για να βοηθήσει τους πελάτες της να επιβλέπουν καλύτερα τα ενεργειακά, αέρια και υδάτινα στοιχεία για τα άτομα που εξυπηρετούν. Μέσα από τα Εργαστήρια Σκέψης, η εταιρεία χρησιμοποιήσει αναπτυσσόμενες καινοτομίες όπως η επαυξημένη πραγματικότητα και η μηχανική μάθηση για να βοηθήσει και να συμβουλευεί σχέδια που βελτιώνουν την ποιότητα ζωής για τη βάση των πελατών της (Itron, 2014).

Η Itron συγκαταλέγεται μεταξύ των πρωταρχικών υιοθετών του DT της Microsoft, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στους μηχανικούς να κατασκευάζουν επαναλαμβανόμενες, προσομοιώσεις από ψηφιακές πηγές και τον φυσικό κόσμο. Οι εξελίξεις στις πόλεις θα

εμφανιστούν μέσα στο προσομοιωμένο περιβάλλον, επιτρέποντας στους χρήστες να δημιουργούν πολύπλευρες επιλογές σε σχέση με τις τεχνολογίες που ενδεχομένως σκέφτονται να εφαρμόσουν.

### **3.6.3 Ένα Digital Twins της πόλης του Newcastle**

Οι μεταπτυχιακοί φοιτητές από το Newcastle College του Ηνωμένου Βασιλείου που συνεργάζονται με το Northumbrian Water, έχουν δημιουργήσει ένα DT της πόλης για να βοηθήσουν την πόλη του Newcastle να ανταποκριθεί καλύτερα σε περιστατικά και καταστροφές. Η εικονική αναπαράσταση επιτρέπει στην εταιρεία ύδατος να εκτελεί προσομοιώσεις περιστατικών που δημιουργούνται από υπολογιστή, όπως διαρροές σωληνώσεων, έντονες βροχοπτώσεις ή σοβαρές πλημμύρες, για να δείξει σε λίγα λεπτά τις κακές επιπτώσεις που μπορεί να έχει στα σπίτια και τις κοινότητες των ανθρώπων για μια περίοδο 24 ωρών (Jones C., et al. 2019).

Το DT δεν θα υποστηρίξει την πόλη να ανταποκριθεί μόνο σε δύσκολες στιγμές σε τόσο περίεργες κλιματικές περιπτώσεις, αλλά και για να εκτιμήσει απεριόριστο αριθμό πιθανών καταστάσεων έκτακτης ανάγκης που αναμένονται στο μέλλον. Σε περιστάσεις όπως απρόσμενες βροχοπτώσεις και καταιγίδες, ένα DT της πόλης θα ήταν εξαιρετικά πολύτιμο. Μας λέει ποια κτίρια θα κατακλυστούν, ποια ιδρύματα θα κλείσουν, κλινικές που μπορεί να επηρεαστούν. Μας δίνει αμέσως μια εικόνα για το ποιοι τομείς της ζωής θα επηρεαστούν.

Οι προγραμματιστές αυτού του έργου καθιστούν σαφές ότι σε περίπτωση που συμβεί ένα συμβάν, το DT μπορεί να συνεργαστεί με άτομα που αντιμετωπίζουν κρίσεις για να εκτελέσουν προσομοιώσεις για οποιαδήποτε περιοχή και να αναγνωρίσουν προβλήματα γρηγορότερα και ευκολότερα με αυτήν την Digital Twined έξυπνη πόλη.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την μελέτη φαίνεται ότι τα ψηφιακά δίδυμα είναι μια σημαντική τεχνολογία στην έννοια του Industry 4.0. Είναι σίγουρο ότι θα μεταμορφώσουν πολλές διαδικασίες. Ένα από τα κύρια οφέλη όπως φάνηκε από την ανάλυση είναι ότι επιτρέπουν στις εταιρείες να εντοπίζουν προβλήματα εκ των προτέρων και να τα επιλύουν πιο γρήγορα. Μπορούν να προειδοποιήσουν για τυχόν μελλοντικές βλάβες, συμβάντα ή ανωμαλίες στη λειτουργία τους και να αλληλοεπιδράσουν απευθείας με τους ανθρώπους ή με άλλες μηχανές ή και ακόμα με άλλα συστήματα παρόμοιου τύπου. Μπορούν ακόμη και να λειτουργούν αυτόνομα με το να αναλύουν μια κατάσταση, να προτείνουν βελτιστοποιημένες λύσεις και να τις θέτουν σε λειτουργία.

Η εφαρμογή ενός DT είναι πάντα ανάλογη με το φυσικό του περιβάλλον. Αναλύθηκαν κάποια θεμελιώδη στοιχεία που οδηγούν προς την δημιουργία ενός DT αλλά κάθε περιβάλλον έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες. Τα οφέλη σε κάθε περίπτωση όμως είναι σχετικά κοινά για οποιαδήποτε εφαρμογή: α) παράταση της διάρκειας ζωής των περιουσιακών στοιχείων και του εξοπλισμού ακόμα και της ανθρώπινης ζωής, β) εύρεση λειτουργικών ανεπαρκειών, γ) βοήθεια στην ανάπτυξη της προληπτικής συντήρησης, δ) μείωση του κόστους συντήρησης και ε) καλύτερη απόκριση σε καταστάσεις που υπάρχει διακοπή λειτουργίας (μηχανών κλπ.). Σε γενικές γραμμές βοηθά στην ολική επίγνωση της κατάστασης του φυσικού κόσμου.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ABB, (2020) Digital Twin applications  
<https://new.abb.com/control-systems/features/digital-twin-applications>
2. Adil R., Omer S., Trond K., (2019) Digital Twin: Values, Challenges and Enablers  
Cornell University  
<https://arxiv.org/abs/1910.01719>
3. Akbar SA., (2019) CEERI
4. Bay O., (2013) ABI research: More Than 30 Billion Devices Will Wirelessly Connect to the Internet of Everything in 2020, ABIresearch.  
<https://www.abiresearch.com/press/more-than-30-billion-devices-will-wirelessly-conne/>
5. Bhat O., Bhat S., Gokhale P., Introduction to IOT (2018) IARJ SET  
DOI: [10.17148/IARJSET.2018.517](https://doi.org/10.17148/IARJSET.2018.517)
6. Boschert S., Rosen, Roland R. (2016). Digital Twin-The Simulation Aspect. Springer International Publishing, pp. 59–74. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-32156-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32156-1_5)
7. Canedo A (2016) Industrial IoT lifecycle via digital twins. In Proceedings of the Eleventh IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis; 2016, p 29. <https://doi.org/10.1145/2968456.2974007>
8. Cisco (2014) The Internet of Things: At a glance. © 2014 Cisco  
[https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/solutions/trends/iot/docs/iot-aag.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/docs/iot-aag.pdf)
9. Copley C., (2018) Medtech firms get personal with digital twins, Science News.  
<https://in.reuters.com/article/us-healthcare-medical-technology-ai-insi/medtechfirms-get-personal-with-digital-twins-idINKCN1LG0S0>
10. Daecher A, Schmid R. (2016) Internet of Things: From Sensing to Doing Deloitte University Press  
<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends/2016/internet-of-things-iot-applications-sensing-to-doing.html>

11. Diaz J. (2014) This is the actual hack that saved the astronauts of the Apollo XIII. GIZMODO <https://gizmodo.com/this-is-the-actual-hack-that-saved-the-astronauts-of-th-1598385593>
12. Economist: The Cheap, Convenient Cloud, 2015: (2015), Economist <https://www.economist.com/business/2015/04/18/the-cheap-convenient-cloud>
13. Fass D, Gechter F (2015) Towards a theory for bio-cyber physical systems modelling. In HCI International Los Angeles, United States. LNCS 9184, LNCS—Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management: Human Modelling (Part I). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21073-5\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21073-5_25).
14. Ferguson S., (2020) Apollo 13: The First Digital Twin. Siemens ® <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/apollo-13-the-first-digital-twin/>
15. Flex. (2019) The trillion-sensor economy is coming. Are you ready? © 2020 FLEX LTD <https://flex.com/insights/live-smarter-blog/trillion-sensor-economy-coming-are-youready>
16. G. Laput, Y. Zhang C. Harrison. (2017) Synthetic sensors: towards general-purpose sensing, CHI '17- Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025773>
17. Garetti M., Rosa P., Terzi S., (2012). Life Cycle Simulation for the design of Product–Service Systems. © 2012 Elsevier. pp. 361–369. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2012.02.007>
18. GE Digital Twin: Analytic Engine for the Digital Power Plant. (2016) Copyright © 2016 General Electric [https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download\\_assets/Digital-Twin-for-the-digital-power-plant-.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/Digital-Twin-for-the-digital-power-plant-.pdf)
19. Glaessgen E, Stargel D (2012) The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA p 1818. <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818>

20. Gordon J., Blaker W., (2013) Functions of the Integumentary System. Anatomy and Physiology. OpenStax  
<https://opentextbc.ca/anatomyandphysiology/chapter/functions-of-the-integumentarysystem/>
21. Grieves M. (2015) Digital Twin: Manufacturing Excellence Through Virtual Factory Replication. Grieves M.  
[https://www.researchgate.net/publication/275211047\\_Digital\\_Twin\\_Manufacturing\\_Excellence\\_through\\_Virtual\\_Factory\\_Replication](https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication)
22. Grieves M., Vickers J., (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. © Springer International  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4)
23. Haag S., Anderl R., (2018) Digital twin: Proof of concept. © 2018 Society of Manufacturing Engineers (SME)  
<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.02.006>
24. Hardwood T. (2014) What Is The "Internet of Things"? , Postscapes  
<https://www.postscapes.com/what-exactly-is-the-internet-of-things-infographic/>
25. Holdowsky J., Mahto M., Raynor E. M., Cotteleer M. (2015) Inside the Internet of Things (IoT): A Primer on the Technologies Building the IoT. Deloitte University Press,  
[https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/iot-primer-iot-technologies-applications/DUP\\_1102\\_InsideTheInternetOfThings.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/iot-primer-iot-technologies-applications/DUP_1102_InsideTheInternetOfThings.pdf)
26. Hung M. (2017) Leading the IoT: Gartner Insights on How to Lead in a Connected World. © 2017 Gartner, Inc  
[https://www.gartner.com/imagesrv/books/iot/iotEbook\\_digital.pdf](https://www.gartner.com/imagesrv/books/iot/iotEbook_digital.pdf).
27. Igor K., Irina Y., Olegas P., (2019) Reliability and statistics in transportation and communication. Springer-Verlag London Ltd  
<https://www.springer.com/gp/book/9783030124496>
28. Moore S. (2014) “Itron Selects Microsoft Azure as Preferred Cloud Platform”, Itron  
<https://investors.itron.com/news-releases/news-release-details/itron-selects-microsoft-azure-preferred-cloud-platform> [Accessed 14/07/2020]
29. Janet B., Kumar RJA, Titus S., (2019) A novel and efficient classifier using spiking neural network, Supercomput. <https://doi.org/10.1007/s11227-019-02881-y>

30. Jeschke S., Brecher C., Meisen T., Ozdemir D., Eschert T., (2014) Industrial internet of things and cyber manufacturing systems. Springer, pp. 3–19.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-42559-7>
31. Jones C., Klisby C., Cherry B., (2019) Managing incidents with the ‘digital twin’, waterindustryjournal.  
<https://www.waterindustryjournal.co.uk/managing-incidents-with-the-digital-twin>  
[Accessed 17/07/2020]
32. Jones E. (2012) Unlock the Processing Power of Wireless Modules, Sierra Wireless.  
<https://source.sierrawireless.com/blog/2012/5/21/unlocking-the-processing-power-of-wireless-modules/#sthash.S0f2l7wF.dpbs>
33. Kai C., David W. R., M. S. Shunmugam, İsmail L. (2017) International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Springer-Verlag London Ltd  
<https://www.springer.com/journal/170>
34. Karthika N., Janet B., (2018) Feature pair index graph for clustering, Intell Syst,  
<https://doi.org/10.1515/jisys-2018-0338>
35. Lee J, Bagheri B, Kao H-A (2015) A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. Copyright © 2014 Society of Manufacturing Engineers (SME) <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
36. Micron Technology, Smart Manufacturing: Micron’s IIoT-Powered Wafer Monitoring System  
<https://www.ciodive.com/news/Micron-smart-manufacturing-iiot-ai-ml/558724/>
37. Mohammadi N, Taylor JE (2017) Smart city digital twins. In 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI) pp.1–5.  
<https://doi.org/10.1109/SSCI.2017.8285439>
38. Mussomeli A, Gish D, Laaper S. (2016). The Rise of the Digital Supply Network, 2016: 2016, Deloitte University Press  
[https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465\\_Digital-supply-network/DUP\\_Digital-supply-network.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3465_Digital-supply-network/DUP_Digital-supply-network.pdf)

39. Negri E., Fumagalli L., Macchi M. (2017). A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems. © 2017 The Author(s). pp. 939–948.  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198>
40. Paolo C., Abdelaziz B., Frédéric N., José R., (2018) Product lifecycle management to support industry 4.0. Springer-Verlag London Ltd  
<https://www.springer.com/gp/book/9783030016135>
41. Parrott A., Warshaw L., (2017) Industry 4.0 and the digital twin. Deloitte Development LLC.  
<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>
42. Pearl R. (2018) Artificial Intelligence In Healthcare: Separating Reality From Hype , Forbes  
<https://www.forbes.com/sites/robertpearl/2018/03/13/artificial-intelligence-in-healthcare/>
43. Pethuru R., Preetha E. (2020) The Digital Twin Paradigm for Smarter Systems and Environments: The Industry Use Cases. Academic Press, 2020  
[https://books.google.gr/books?id=fbHMDwAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.gr/books?id=fbHMDwAAQBAJ&redir_esc=y)
44. Rahman A., Rodrigo J., Bosch C., Bland D., Transforming Healthcare with Digital Twins (2018). Challenge Advisory  
<https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-healthcare/>
45. Rais A. (2019) Digital twin in the automobile industry. Maschinenmarkt International  
<https://www.maschinenmarkt.international/digital-twin-in-the-automobile-industry-a-851549/>
46. Reid J, Rhodes D (2016) Digital system models: an investigation of the non-technical challenges and research needs. Massachusetts Institute of Technology.  
[http://seari.mit.edu/documents/preprints/REID\\_CSER16.pdf](http://seari.mit.edu/documents/preprints/REID_CSER16.pdf)
47. Research B: M2 M Sector Map, 2014. Available:  
<http://www.beechamresearch.com/download.aspx?id=18>.
48. Roland R., Jan F., Stefan B., (2019) Next Generation Digital Twin: An Ecosystem for Mechatronic Systems. 2019, IFAC (International Federation of Automatic Control)



Hosting by Elsevier Ltd

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.685>

49. Saurabh M., Andreas T., (2020) Complexity Challenges in Cyber Physical Systems: Using Modeling and Simulation (M&S) to Support Intelligence, Adaptation and Autonomy. 2020 John Wiley & Sons, Inc  
<https://www.wiley.com/en-us/Complexity+Challenges+in+Cyber+Physical+Systems%3A+Using+Modeling+and+Simulation+%28M%26S%29+to+Support+Intelligence%2C+Adaptation+and+Autonomy-p-9781119552390>
50. Schneider S. (2016) The industrial internet of things (IIoT) John Wiley & Sons, Inc.  
<https://doi.org/10.1002/9781119173601.ch3>.
51. Shafto M., Conroy M., Doyle R., Glaessgen E., Kemp C., LeMoigne J., Wang L. (2010). NASA Modeling, Simulation, Information Technology & Processing. © NASA [https://www.nasa.gov/pdf/501321main\\_TA11-MSITP-DRAFT-Nov2010-A1.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/501321main_TA11-MSITP-DRAFT-Nov2010-A1.pdf)
52. Shibuya M., (2020) Human Systems Engineering and Design II Proceedings of the 2nd International Conference on Human Systems Engineering and Design (IHSED2019) pp 994-999, Springer <https://doi.org/10.1007/978-3-030-27928-8>
53. Singh S., (2016) Draft IoT policy by DeitY  
<https://www.slideshare.net/SarwanSingh/internet-of-things-iiot-and-its-applications>
54. Stephenson D. W., (2018) The Future is Smart: How Your Company Can Capitalize on the Internet of Things and Win in a Connected Economy, AMACOM.
55. Tao F, Zhang M, Nee AYC (2019) Digital Twin Driven Smart Manufacturing, first ed., 2019, Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-02206-9>
56. Tao F, Cheng J., Qi, Q., Zhang M., Zhang, He; Sui, Fangyuan (2017). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data  
<https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
57. Thalamala C., Janet B., Reddy S., (2018) A novel bio-inspired algorithm based on social spiders for improving performance and efficiency of data clustering, Int J Intell Syst <https://doi.org/10.1515/jisys-2017-0178>

58. Toro R., (2019) Human Body Infographics, Livescience  
<https://www.livescience.com/author/ross-toro>
59. Trend Micro Research (2019) Industrial Internet of Things (IIoT). © Trend Micro Inc.  
<https://www.trendmicro.com/vinfo/us/security/definition/industrial-internet-ofthings-iiot>
60. Turing A. (1950) COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE Mind, Volume LIX, Issue 236, Pages 433–460,  
<https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>
61. Watts B. (2018) Digital Twins Virtualizing Hospitals. 2011 - 2018 CHALLENGE ADVISORY LLP  
<https://www.challenge.org/knowledgeitems/digital-twins-virtualizing-hospitals/>
62. Weimer J, Ivanov R, Chen S, Roederer A, Sokolsky O, Lee I (2018) Parameter-invariant monitor design for cyber–physical systems, Proc IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/JPROC.2017.2723847>
63. Werner K., Matthias K., Georg T., Jan H., Wilfried S., (2018) Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. 2016, IFAC (International Federation of Automatic Control) Hosting by Elsevier Ltd  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
64. West T, Pyster A., (2015) Untangling the digital thread: the challenge and promise of modelbased engineering in defense acquisition  
<https://doi.org/10.1002/inst.12022>
65. Xiong G, Zhu F, Liu X, (2015) Cyber-physical-social system in intelligent transportation, IEEE/CAA J Automat. <https://doi.org/10.1109/JAS.2015.7152667>
66. Zennaro M. (2017) Introduction to the Internet of Things. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics Trieste, Italy  
[https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2017/Nov\\_IOT/NBTC%E2%80%93ITU-LoT/Session%201%20IntroIoTMZ-new%20template.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2017/Nov_IOT/NBTC%E2%80%93ITU-LoT/Session%201%20IntroIoTMZ-new%20template.pdf)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### 3.7 Πίνακες πατεντών

#### 3.7.1 Πατέντες ανά χώρα

Countries (publication)	Number of documents
US	2076
CN	1006
WO	901
KR	310
EP	291
JP	166
CA	91
AU	66
DE	53
GB	17
RU	16
SG	11
TW	9
FR	4
NO	4
CZ	3
ES	3
IN	2
IT	2
EA	1
FI	1

### 3.7.2 Πατέντες ανά χρονιά

Table 1: Πατέντες ανά χρονιά (2000-2020)

Publication date (publication)	Number of documents
2000	1
2001	1
2002	3
2003	2
2004	5
2005	6
2006	3
2007	5
2008	13
2009	21
2010	23
2011	34
2012	78
2013	70
2014	147
2015	213
2016	294
2017	621
2018	875
2019	1436
2020	1176