



**ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΛΕΟΝΤΑΡΙΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
71446433**

DIGITAL TWINS

2023

DIGITAL TWINS

ΛΕΟΝΤΑΡΙΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡΗΓΟΡΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΟΥ ΣΟΥΛΤΑΝΑ

ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΓΡΗΓΟΡΗΣ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.

Λεονταρίδης Β.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν πόνημα μελετά την εφαρμογή των Ψηφιακών Διδύμων σε διάφορους τομείς.

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός των ψηφιακών διδύμων. Επιπλέον, περιγράφονται η δομή, η λειτουργία, οι εφαρμογές τους και η ανάπτυξή τους. Ακόμη, γίνεται λόγος για τα οφέλη που μπορεί κανείς αποκομίσει από την αξιοποίηση των ψηφιακών διδύμων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στον βιομηχανικό τομέα. Πρώτα αναλύονται οι τρόποι εφαρμογής τους στον συγκεκριμένο τομέα, ενώ στη συνέχεια αναλύεται η εφαρμογή τους στη βιομηχανία, την αεροναυπηγική και τις εξορύξεις. Επίσης, απαριθμούνται τα οφέλη των ψηφιακών διδύμων στην παραγωγή και οι μελλοντικές προκλήσεις σχετικά με τη χρήση των ψηφιακών διδύμων.

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά την αξιοποίηση των ψηφιακών διδύμων στον τομέα της υγείας. Παρουσιάζεται η χρήση και η αναγκαιότητα της συγκεκριμένης τεχνολογίας στην ιατρική και τη φαρμακοβιομηχανία. Επιπλέον, αναλύεται η μακροπρόθεσμη συμβολή των ψηφιακών διδύμων στον τομέα της υγείας και της περίθαλψης.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στην αξιοποίηση των ψηφιακών διδύμων στην αυτοκινητοβιομηχανία. Αφού γίνει μια περιγραφή των μέσων εφαρμογής τους στον τομέα αυτό, απαριθμούνται οι καινοτομίες που έχουν λάβει χώρα, αλλά και η συμβολή των ψηφιακών διδύμων στην παραγωγή, την πώληση και τις υπηρεσίες των οχημάτων.

Το πέμπτο κεφάλαιο αφορά τις έξυπνες πόλεις. Δίνεται ο ορισμός των έξυπνων πόλεων και αναλύεται η συμβολή των ψηφιακών διδύμων σε αυτές. Επιπλέον απαριθμούνται οι καινοτομίες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι στιγμής στον τομέα αυτόν και παρουσιάζεται το παράδειγμα μίας έξυπνης πόλης, στην οποία αξιοποιείται η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων.

Ακολούθως, γίνεται λόγος σχετικά με το μέλλον των ψηφιακών διδύμων.

Τέλος, ακολουθεί ο επίλογος και η εξαγωγή συμπερασμάτων .

Λέξεις- Κλειδιά: ψηφιακά δίδυμα, βιομηχανία, περίθαλψη, αυτοκινητοβιομηχανία, έξυπνες πόλεις

ABSTRACT

This thesis studies the application of Digital Twins in various fields.

The first chapter gives the definition of Digital Twins. In addition, their structure, function, applications and development are described. There is also talk about the benefits that one can obtain from the use of digital twins.

The second chapter describes the application of digital twins in the industrial sector. First, their application methods in the specific sector are analyzed, while their application in industry, aeronautics and mining is then analyzed. Also there are listed the benefits of digital twins in manufacturing and future challenges related to the use of digital twins.

The third chapter concerns the utilization of digital twins in the health sector. The use and necessity of the specific technology in medicine and the pharmaceutical industry is presented. In addition, the long-term contribution of digital twins to health and care is analyzed.

The fourth chapter refers to the exploitation of digital twins in the automotive industry. After describing how they are applied in this area, the innovations that have taken place are listed, as well as the contribution of digital twins to the production, sale and services of vehicles.

The fifth chapter deals with smart cities. The definition of smart cities is given and the contribution of digital twins to them is analyzed. In addition, the innovations that have been carried out so far in this field are listed and the example of a smart city, in which the application of digital twins is exploited, is presented.

Next, there is talk about the future of digital twins.

Finally, the epilogue and conclusions follow.

Keywords: digital twins, industry, healthcare, automotive, smart cities

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο - ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ DIGITAL TWIN (ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ)	10
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ.....	10
1.2 Η ΔΟΜΗ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ.....	13
1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	16
1.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ	17
1.5 ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ	19
1.6 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ DIGITAL TWINS ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	22
2.1. ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	22
2.1.1 ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ «ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ 4.0».....	22
2.2. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑρο	24
2.3 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΗ	25
2.4 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΩΝ ΕΞΟΡΥΞΕΩΝ	27
2.5 ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	29
2.6 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΤΟΜΕΑ	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο - ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ	31
3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΓΙΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ	32
3.2 Η ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΟΝ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΟ ΚΑΡΚΙΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ	34
3.3 ΈΝΑ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗ ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΤΟΥ ΚΑΡΚΙΝΟΥ	36
3.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ.....	37
3.5 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο – ΕΦΑΡΜΟΓΗ DT ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	40
4.1. ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	40
4.2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ.....	42
4.3. ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	43
4.4. ΦΟΡΜΟΥΛΑ 1 ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ	44
4.4.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΟΣ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ ΜΕ DIGITAL TWIN	44

4.4.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	45
4.4.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ.....	49
5.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ.....	49
5.1 ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ DT.....	50
5.3 ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΠΟΛΕΙΣ	52
5.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ	53
5.3.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	55
5.3.3 IoT & 5G.....	56
5.3.4 BLOCKCHAIN.....	58
5.3.5 ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ.....	59
5.3.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
5.4 ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗ	60
5.4.1 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	61
5.4.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ “ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗΣ”	61
5.4.3 ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΜΕΝΑ ΜΕΛΗ	62
5.4.4 ΠΙΘΑΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ “ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗΣ”	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο -ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ DT	67
ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69
ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.....	77
ΕΙΚΟΝΕΣ.....	77

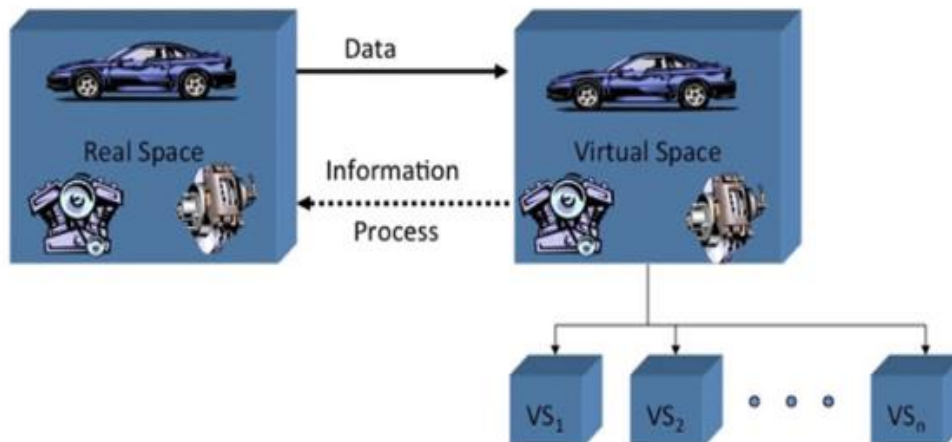
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύγχρονη εποχή έχει χαρακτηριστεί ως η «*Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση*», εξαιτίας της ραγδαίας τεχνολογικής και επιστημονικής εξέλιξης. Μία από τις τεχνολογίες που δημιουργήθηκαν τα τελευταία χρόνια είναι τα «*Ψηφιακά Δίδυμα*» ή αλλιώς «*Digital Twin*». Πρόκειται για μία καινοτομία η οποία αξιοποιείται σε πολλούς τομείς, όπως επί παραδείγματι την βιομηχανία, την ιατρική, την κατασκευαστική και την επιστήμη δεδομένων. Ουσιαστικά, είναι εργαλεία προσομοίωσης, τα οποία χρησιμοποιούνται σε πραγματικό χρόνο. Όπως θα αναφερθεί και εκτενέστερα στη συνέχεια, το ψηφιακό δίδυμο αποτελεί μία ολοκληρωμένη πιθανολογική προσομοίωση μίας μηχανής ή ενός συστήματος, το οποίο αντικατοπτρίζει τη λειτουργία του διδύμου του (Mourtsis, 2019).

Για πρώτη φορά δημιουργήθηκαν ψηφιακά δίδυμα από τη NASA το 1970. Πρόκειται για ένα εικονικό σύστημα, μιας προσομοίωσης, που χρησιμοποιήθηκε για να παρακολουθούνται απρόσιτοι φυσικοί χώροι, όπως είναι για παράδειγμα ένα διαστημόπλοιο που βρίσκεται σε αποστολή στο διάστημα. Τότε δημιουργήθηκε η προσομοίωση του APOLLO 13, η οποία έμεινε στη Γη και μέσω αυτής οι μηχανικοί είχαν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται τις εντολές που επρόκειτο να στείλουν στο APOLLO 13, πριν τις στείλουν (Valtis, 2018).

Ωστόσο, η έννοια «Ψηφιακό Δίδυμο» εμφανίζεται για πρώτη φορά το 2003 από τον Gr. Grieves. Σε μία ομιλία του στο πανεπιστήμιο του Michigan ο Gr. Grieves παρουσίασε ένα μοντέλο διαχείρισης του κύκλου ζωής των προϊόντων. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο μοντέλο κάθε σύστημα συγκροτείται από δύο διαφορετικά συστήματα: το «*φυσικό σύστημα*» και το «*εικονικό σύστημα*», το οποίο είναι πανομοιότυπο με το φυσικό και συνδέεται με αυτό, συγχρονίζονται και περιλαμβάνουν τα ίδια δεδομένα (Grieves, 2003 ; Wang, 2020).

Το μοντέλο που περιέγραψε ο Grieves είναι αυτό που ονομάστηκε το 2010 «*ψηφιακό δίδυμο*» από τη NASA. Τρία χρόνια αργότερα, το 2013, προτείνεται από τους Tuegel et al. ένα μοντέλο σχετικά με τον τρόπο που τα ψηφιακά δίδυμα θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για να προβλεφθεί ο χρόνος ζωής ενός αεροσκάφους, αλλά και η ποιότητά του.



Εικόνα 1: Το μοντέλο του Grieves

Επομένως, τα ψηφιακά δίδυμα πέρασαν από τρία στάδια, ώσπου να γίνουν πραγματικότητα. Αρχικά, έγιναν κάποιες γενικές αναφορές από τον Grieves και τη NASA, αλλά όσα ειπώθηκαν ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν, εξαιτίας της τεχνολογίας που υπήρχε το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Στο πέρασμα των χρόνων και λόγω της ταχύτατης τεχνολογικής εξέλιξης, το 2010 η NASA επανεξέτασε την θεωρία για τα ψηφιακά δίδυμα και προσπάθησε να την αναλύσει. Έπειτα, στις μέρες μας τα ψηφιακά δίδυμα έχουν γίνει πραγματικότητα και αναπτύσσονται συνεχώς (Ταο, 2019).

Πλέον, σήμερα τα ψηφιακά δίδυμα βρίσκονται στην πρώτη γραμμή της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης και η χρήση τους διευκολύνεται και μπορεί να διευρυνθεί σε ποικίλους τομείς, εξαιτίας των προηγμένων αναλύσεων δεδομένων και του «Διαδικτύου των Πραγμάτων» (*«Internet of Things»* ή *«IoT»*). Χάρη στο IoT έχει αυξηθεί ο όγκος δεδομένων που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τομείς, όπως την βιομηχανική παραγωγή, την ιατρική, κ.α. (Fuller et al, 2020).

Το παρόν πόνημα πρόκειται να ασχοληθεί με το θέμα των Ψηφιακών Διδύμων. Αφού αναλυθεί η έννοια και ο τρόπος λειτουργίας τους, πρόκειται να παρουσιαστούν αναλυτικά οι εφαρμογές τους σε διάφορους τομείς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ DIGITAL TWIN (ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ)

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ

Η έννοια των Ψηφιακών Διδύμων έχει απασχολήσει πολύ τους μελετητές κι έχει αποδοθεί με πολλούς και διαφορετικούς ορισμούς. Φυσικά, για πρώτη φορά η έννοια ορίστηκε το 2010, οπότε και αναφέρθηκε για πρώτη φορά. Έκτοτε, έχουν παρουσιαστεί πολλοί ορισμοί σχετικά με τα ψηφιακά δίδυμα και την εξέλιξή τους. Πρόκειται για μία καινοτόμα και πρόσφατη τεχνολογία, η οποία μπήκε στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, καθώς αναζητούνται νέοι τρόποι και τομείς στους οποίους θα μπορούσε να αξιοποιηθεί.

Οι Shafto et al. (2010, 2012) επιχείρησαν να ορίσουν για πρώτη φορά την έννοια των ψηφιακών διδύμων. Σύμφωνα με αυτούς πρόκειται για προσομοίωση πιθανοτήτων ενός οχήματος, η οποία έχει δημιουργηθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να προσομοιώνει ακριβώς το φυσικό σύστημα, διαθέτει το σύνολο των δεδομένων του και είναι δυνατό να προβλέπει τις λειτουργίες του και το χρόνο ζωής του. Έχει μεγάλη σημασία ότι το εικονικό σύστημα μπορεί να προβλέψει την μελλοντική λειτουργία του φυσικού συστήματος.

Την ίδια περίοδο, οι Glaessgen & Stargel (2012) ορίζουν τα ψηφιακά δίδυμα ως «*Μία πολυφασική, πολυκλιματική, πιθανοτική προσομοίωση ενός «as-built» οχήματος ή συστήματος που χρησιμοποιεί τα καλύτερα διαθέσιμα φυσικά μοντέλα, δεδομένα αισθητήρων, ιστορικό στόλου κτλ. για να αντικατοπτρίσει τη ζωή του αντίστοιχου διδύμου.*». Σύμφωνα με τους ίδιους, η δυνατότητα των ψηφιακών διδύμων να προβλέψουν την μελλοντική λειτουργία του διδύμου τους μπορεί να αλλάξει τον τρόπο σχεδιασμού ενός συστήματος ή μηχανήματος. Θεωρούν ότι τα DT μπορούν να αλλάξουν τον τρόπο πιστοποίησης ενός οχήματος, διότι ένα όχημα μπορεί να περάσει από εικονικό έλεγχο και δοκιμές.

Τον επόμενο χρόνο, οι Lee et al (2013) συνδέουν την αξιοποίηση των ψηφιακών διδύμων με συστήματα παραγωγής. Για αυτούς τα DT αποτελούν ένα «*συνδυαστικό μοντέλο της πραγματικής μηχανής, που λειτουργεί σε πλατφόρμα δεδομένων και προσομοιώνει την κατάσταση της υγείας με μία εφαρμοσμένη γνώση, τόσο από αναλυτικούς αλγορίθμους, όσο και από άλλες διαθέσιμες φυσικές γνώσεις.*». Το εικονικό σύστημα μπορεί να σχεδιάσει τα προϊόντα και να δώσει μία εικόνα για την λειτουργία και την κατάσταση που βρίσκεται το φυσικό σύστημα.

Ακόμη, οι Cerrone et al. (2014) υποστήριξαν ότι τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να αξιοποιηθούν για να προβλεφθεί η εξέλιξη των ρωγμών ενός κτηρίου, να ληφθούν δοκιμαστικά δείγματα για μη τυποποιημένα υλικά, χρησιμοποιώντας μη πεπερασμένα στοιχεία. Βέβαια, είναι ανάγκη το εικονικό μέρος να μπορεί να αποθηκεύσει πληροφορίες που αφορούν τις ιδιότητες του προϊόντος, για να μπορεί να προβλέψει την εξέλιξη ρωγμών (Cerrone et al. , 2014).

Την ίδια χρονιά, ο Grieves (2014) μελετά τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών διδύμων στη βιομηχανία. Για τον Grieves τα DT παρουσιάζουν εικονικά όσα έχουν παραχθεί. Για αυτόν, τα DT αποτελούνται από τρία μέρη:

α) *«φυσικά προϊόντα σε πραγματικό χωροχρόνο»*

β) *«εικονικά προϊόντα σε εικονικό περιβάλλον»*

γ) *«συνδέσεις δεδομένων και πληροφοριών που συνδέουν τα πραγματικά με τα εικονικά προϊόντα.»*

Η σύνδεση των φυσικών και των εικονικών προϊόντων μπορεί να επιτευχθεί με το Unified Repository (UR), που εμπεριέχει πληροφορίες και δεδομένα του φυσικού προϊόντος. Έτσι, με την αποστολή των πληροφοριών αυτών στην προσομοίωση, μπορεί να παρουσιαστεί η εργοστασιακή κατάσταση του συστήματος παραγωγής. Επιπλέον, είναι δυνατόν να συγκριθεί το κατασκευασμένο προϊόν με το προϊόν που επιθυμούσε ο κατασκευαστής να φτιάξει (Grieves, 2014).

Στη συνέχεια, ασχολούμενοι με το ίδιο θέμα οι Rosen et al. (2015) υποστήριξαν ότι τα DT είναι *«ένα πολύ ρεαλιστικό μοντέλο της τρέχουσας κατάστασης της διαδικασίας και της συμπεριφοράς, σε αλληλεπίδραση με το περιβάλλον στον πραγματικό κόσμο.»* Επιπλέον, θεωρούν ότι τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να αξιοποιηθούν παράλληλα με το φυσικό μέρος σε όλη τη διάρκεια της ζωής του κι όχι μονάχα κατά τη διαδικασία σχεδίασης του. Συμβάλλουν στην παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση ενός συστήματος.

Στην ίδια κατεύθυνση οι Rios et al. (2015), Schluse & Rossman (2016) και ο Camedo (2016) θεωρούν ότι το ψηφιακό δίδυμο είναι ένα πιστό ψηφιακό αντίγραφο του πρωτότυπου, που μπορεί να συμβάλλει στην καλύτερη και ασφαλέστερη λειτουργία του.

Αργότερα, οι Schleich et al. (2017) υποστηρίζουν ότι τα DT αποτελούν μία αμφίδρομη σχέση ενός εικονικού κι ενός φυσικού μέρους. Μέσω της σχέσης αυτής είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικός σχεδιασμός ενός προϊόντος, της παραγωγής μίας βιομηχανίας, αλλά και άλλων δραστηριοτήτων.

Επανερχόμενοι στο θέμα, οι Grieves & Vickers (2017) υποστηρίζουν ότι *«Το ψηφιακό δίδυμο είναι ένα σύνολο εικονικών κατασκευαστικών πληροφοριών, που περιγράφουν πλήρως ένα δυνητικό ή πραγματικό φυσικό προϊόν, από το μικροατομικό επίπεδο έως το μάκρο γεωμετρικό επίπεδο. Ιδεατά, οποιαδήποτε πληροφορία που θα μπορούσε να ληφθεί από τον έλεγχο ενός φυσικού αντικειμένου, θα μπορούσε να ληφθεί και από το ψηφιακό δίδυμο.»*

Στην ίδια κατεύθυνση, οι Tao et al. (2018) στην προσπάθειά τους να ορίσουν την έννοια του ψηφιακού διδύμου, υποστηρίζουν ότι πρόκειται για μία προσομοίωση που αντικατοπτρίζει ψηφιακά την ζωή του συστήματος. Για αυτούς τα ψηφιακά δίδυμα έχουν τις εξής ιδιότητες:

- Αντικατοπτρίζουν το φυσικό σύστημα.
- Συνδέουν δεδομένα από όλη τη ζωή του προϊόντος.
- Ενημερώνουν συνεχώς το εικονικό μέρος.

Μέσω του ψηφιακού διδύμου είναι δυνατό να βελτιωθεί ο σχεδιασμός ενός προϊόντος, καθώς μπορεί να συνδυάσει δεδομένα παλαιότερων γενεών και προσομοιώσεων. Κατά την κατασκευή ενός προϊόντος, τα DT συμβάλλουν στη διαχείριση πόρων και την παρακολούθηση της διαδικασίας. Κατά τη λειτουργία του, με το DT αποκτά κανείς τις ακόλουθες δυνατότητες (Tao et al. , 2018):

- Μπορεί να παρακολουθεί την κατάσταση ενός προϊόντος.
- Μπορεί να αναλύει και να προβλέπει την κατανάλωση ενέργειας και μελλοντικές αστοχίες.
- Μπορεί να αναλύει και να διαχειρίζεται τη συμπεριφορά και τη λειτουργία του προϊόντος.
- Μπορεί να βελτιώσει την λειτουργία του και τη συντήρησή του.
- Μπορεί να πραγματοποιήσει οποιαδήποτε εργασία συντήρησης ή λειτουργίας πρώτα στο εικονικό και μετά στο φυσικό μέρος.

Εξελίσσοντας το ψηφιακό δίδυμο και τη λειτουργία του οι Stark & Dameru (2019) το ορίζουν ως «*μια ψηφιακή αναπαράσταση ενός ενεργού μοναδικού προϊόντος, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται πραγματικές συσκευές, αντικείμενα, μηχανές, ή μοναδικό σύστημα υπηρεσιών (ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από ένα προϊόν και μία σχετική υπηρεσία) που περιλαμβάνει τα επιλεγμένα χαρακτηριστικά, ιδιότητες, συνθήκες και συμπεριφορές μέσω μοντέλων, πληροφοριών και δεδομένων σε μία ή ακόμη και σε πολλαπλές φάσεις κύκλου ζωής.*».

Ένας πιο πρόσφατος ορισμός είναι αυτός των Pan & Zhang (2021). Σύμφωνα με αυτούς πρόκειται για ένα φυσικό σύστημα οπτικοποίησης, μοντελοποίησης, προσομοίωσης, ανάλυσης, πρόβλεψης και βελτιστοποίησης. Οπτικοποίηση εννοούν την αναπαράσταση των δεδομένων με γραφικά και αφορά αποκλειστικά δεδομένα. Με τον όρο «προσομοίωση» εννοούν την αναπαράσταση ενός συστήματος με τη χρήση μεταβλητών ενός ολοκληρωμένου μοντέλου. Μοντελοποίηση είναι η κατασκευή ενός μοντέλου με βάση ένα σύστημα.

Από όσα προαναφέρθηκαν γίνεται φανερό ότι δεν είναι εύκολο να οριστεί η έννοια του ψηφιακού διδύμου, καθώς κάθε ψηφιακό δίδυμο είναι διαφορετικό, ανάλογα με το πεδίο στο οποίο εφαρμόζεται. Για το λόγο αυτό, ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής δίνεται κι ένας διαφορετικός ορισμός για τα ψηφιακά δίδυμα. Παρατηρείται, ωστόσο, μία ομοιότητα μεταξύ όλων των ορισμών. Για όλους τους μελετητές το ψηφιακό δίδυμο αποτελείται από ένα φυσικό κι ένα εικονικό μέρος τα οποία συνδέονται και ανταλλάσσουν δεδομένα και πληροφορίες.

1.2 Η ΔΟΜΗ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Η κύρια δομή των ψηφιακών διδύμων έχει δοθεί από τον Grieves (2014). Εκείνος αναφέρει ότι ένα Digital Twin συγκροτείται από τρία μέρη:

- Το «*φυσικό μέρος*»,
- Το «*εικονικό μέρος*»
- Το μέρος της «*διασύνδεσης*».

Μέσω της διασύνδεσης επιτυγχάνεται η σύνδεση των δύο άλλων μερών και διευκολύνεται η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τους. Το συγκεκριμένο μοντέλο επέκτειναν οι

Tao & Zhang (2017), προσθέτοντας επιπλέον δύο διαστάσεις και δημιουργώντας το «μοντέλο των πέντε διαστάσεων». Το μοντέλο αυτό αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

- «Φυσικό μέρος»,
- «Εικονικό μέρος»,
- «Σύνδεση»,
- «Δεδομένα»
- «Υπηρεσίες».

Βασικό χαρακτηριστικό των ψηφιακών διδύμων είναι η αμφίδρομη σχέση που υπάρχει μεταξύ του εικονικού και του φυσικού μέρους, τα οποία συνδέονται και ανταλλάσσουν ποικίλα δεδομένα. Σε αυτή τη διαδικασία συμμετέχουν τα τέσσερα πρώτα μέρη του ψηφιακού διδύμου. Το πέμπτο μέρος είναι οι υπηρεσίες που προσφέρει στους χρήστες του, οι οποίες είναι απαραίτητο να είναι ποιοτικές (Tao & Zhang, ; Qi et al, 2019).

Κάθε ψηφιακό δίδυμο μπορεί να είναι διαφορετικό, ανάλογα με τον τομέα για τον οποίο είναι φτιαγμένο. Υπάρχουν, λοιπόν, πολλά και διαφορετικά μοντέλα ψηφιακών διδύμων που χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνολογίες και εργαλεία. Ωστόσο, σε γενικές γραμμές η δομή όλων των ψηφιακών διδύμων έχει πολλές ομοιότητες και αποτελείται από τα ακόλουθα επίπεδα (Boje et al., 2020; Zhang et al., 2019):

- Φυσικό σύστημα,
- Μοντελοποίηση,
- Δεδομένα,
- Υπηρεσίες,
- Σύνδεση.

Το επίπεδο του φυσικού συστήματος αποτελεί όλων των απαραίτητων πόρων για την συλλογή και την μετάδοση πληροφοριών. Στο επίπεδο αυτό, λοιπόν, γίνεται η συλλογή των αισθητήρων, του εξοπλισμού δικτύου, των υλικών, των προϊόντων, των ατόμων που θα χειριστούν το σύστημα, αλλά και η επιλογή του περιβάλλοντος (Zhang et al., 2019).

Το δεύτερο επίπεδο, η μοντελοποίηση, συγκροτείται από το σύνολο των μοντέλων που αντιπροσωπεύουν στο φυσικό σύστημα στο εικονικό. Η μοντελοποίηση έχει σχέση τόσο με το

φυσικό σύστημα, όσο και με το εικονικό και αποσκοπεί στην αναπαράσταση του φυσικού συστήματος στο εικονικό. Για τον σκοπό αυτό γίνεται η χρήση μοντέλων πόρων, δηλαδή συγκεντρώνονται μοντέλα που αναπαριστούν διαφορετικές όψεις του φυσικού συστήματος στο εικονικό.

Υπάρχουν τρία μοντέλα πόρων: το γεωμετρικό, το φυσικό και το μοντέλο συμπεριφοράς. Το πρώτο, αφορά την εξωτερική εμφάνιση του συστήματος, και αφορά τις πληροφορίες που σχετίζονται με τη γεωμετρία του (σχήμα, μέγεθος, εμβαδόν επιφανειών, κτλ.). Το φυσικό μοντέλο αφορά πληροφορίες σχετικές με τα υλικά που αξιοποιούνται για την κατασκευή και την απόδοση αυτών. Τέλος, το μοντέλο συμπεριφοράς αποτυπώνει τη συμπεριφορά του φυσικού συστήματος, αλλά και των μερών από τα οποία αυτό αποτελείται (Qi et al., 2019).

Το τρίτο επίπεδο, είναι το επίπεδο δεδομένων, το οποίο είναι κύριο μέρος για ένα ψηφιακό δίδυμο. Σε αυτό πραγματοποιείται η συλλογή, η αποθήκευση, η επεξεργασία, η ενσωμάτωση και η οπτικοποίηση των δεδομένων. Ουσιαστικά, σε αυτό το επίπεδο συνδέονται μεταξύ τους το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο μοντελοποίησης και το επίπεδο υπηρεσίας (Tao et al., 2018). Οι πηγές συλλογής των δεδομένων ποικίλουν και σχετίζονται με το υλικό, το λογισμικό και το δίκτυο (Qi et al., 2019).

Στο επίπεδο υπηρεσιών γίνεται η παρουσίαση των υπηρεσιών που μπορεί να παρέχει ένα DT. Στο επίπεδο αυτό πραγματοποιείται η συστηματική παρακολούθηση του διδύμου με την συλλογή, την ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων. Επιπλέον, σε αυτό το επίπεδο πραγματοποιείται η προσομοίωση, κατά την οποία το εικονικό σύστημα μιμείται το φυσικό, με σκοπό να γίνει φανερός ο τρόπος λειτουργίας του φυσικού συστήματος. Έτσι, σε αυτό το επίπεδο γίνεται και η διάγνωση τυχόν σφαλμάτων, αλλά και η πραγματοποίηση προβλέψεων με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα, ώστε η συντήρηση του συστήματος να είναι έγκαιρη (Qi et al., 2019).

Τέλος, ακολουθεί το επίπεδο σύνδεσης, κατά το οποίο γίνεται η σύνδεση όλων των δομικών μερών του διδύμου μεταξύ τους. στο επίπεδο αυτό γίνεται φανερό το αν γίνεται τα δύο συστήματα να συνδεθούν μεταξύ τους και να λειτουργούν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο. Τα δεδομένα είναι απαραίτητο να μπορούν να ερμηνευτούν από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αυτό καθίσταται εφικτό με τις δομές δεδομένων (Ferrarra et al., 2011; Qi et al., 2019).

1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Αρχικά, όταν εμφανίστηκαν τα ψηφιακά δίδυμα δεν εφαρμόστηκαν σε πολλούς τομείς, εξαιτίας του μεγάλου όγκου δεδομένων που χρειάζεται για να λειτουργήσει ένα ψηφιακό δίδυμο. Την περίοδο που εμφανίστηκαν οι τεχνολογίες ψηφιοποίησης ήταν περιορισμένες και το κόστος για την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη δικτυακή υποδομή ήταν απαγορευτικό. Πλέον, τα εμπόδια αυτά έχουν ξεπεραστεί και τα ψηφιακά δίδυμα εφαρμόζονται σε διάφορους τομείς (Economist, 2015).

Τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται σε όλους τους επιστημονικούς και τεχνολογικούς τομείς. Αποτελούν ένα εργαλείο για κάθε οργανισμό ή επιχείρηση, μέσω του οποίου μπορούν να επιτύχουν τους στόχους τους. Οι εφαρμογές των Digital Twin είναι πολλές. Στη συνέχεια, γίνεται μία προσπάθεια να αναφερθούν όλες.

Μία από τις κυριότερες εφαρμογές των DT είναι η δοκιμή καινούριων συστημάτων πριν από την κατασκευή τους. Με τη χρήση των DT δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν και να δοκιμαστούν νέα συστήματα, κατασκευές, ιδέες εξοπλισμού και μοντέλα υπηρεσιών, πριν γίνει η δημιουργία τους. Στις περιπτώσεις που τα μοντέλα φαίνονται να είναι αποτελεσματικά, υπάρχει δυνατότητα η φυσική κατασκευή να διασυνδεθεί με το ψηφιακό του δίδυμο, ώστε αυτή να παρακολουθείται (Tao et al., 2018; Valtzis, 2018).

Ακόμη, μία άλλη εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων είναι η βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της παραγωγικότητας μίας κατασκευής ή ενός συστήματος. Κάθε επιχείρηση ή οργανισμός μπορεί με την αξιοποίηση των DT να κατανοήσει καλύτερα το πεδίο στο οποίο δραστηριοποιείται και να βελτιωθεί, καθώς μπορεί να κερδίσει χρόνο αφού τα DT προσφέρουν προγνωστική συντήρηση του συστήματος (Tao et al., 2018; Valtzis, 2018).

Επίσης, τα DT δίνουν τη δυνατότητα σε μία επιχείρηση ή έναν οργανισμό που τα χρησιμοποιεί να παρακολουθούν τις καθημερινές εργασίες και υποχρεώσεις τους, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την φθορά των μηχανημάτων που διαθέτουν, ενώ παράλληλα μπορούν να ενημερωθούν για πιθανές μεταβολές, εξοικονομώντας έτσι χρήματα και χρόνο. Η διαχείριση των πόρων της επιχείρησης είναι καλύτερη και η άμεση συντήρηση των μηχανημάτων μπορεί να επιφέρει όχι μόνο κέρδος, αλλά και βελτιωμένη παραγωγικότητα (Tao et al., 2018; Valtzis, 2018).

Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα συμβάλλουν στην βέλτιστη εξυπηρέτηση των πελατών μίας εταιρείας, καθώς μέσω αυτών μπορούν να δημιουργηθούν εφαρμογές για το σκοπό αυτό. Επί παραδείγματι, μία τέτοιου είδους εφαρμογή μπορεί να βοηθήσει, ώστε να επιλυθούν προβλήματα χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία κάποιου τεχνικού. Ο τεχνικός έχει τη δυνατότητα να καθοδηγήσει τον πελάτη ώστε να επιλυθεί μία βλάβη που μπορεί να προκύψει. Σημαντικό είναι, επίσης, ότι μπορούν να συλλεχθούν πληροφορίες μέσω των οποίων είναι δυνατό να σχεδιαστούν στο μέλλον νέα και βελτιωμένα προϊόντα (Tao et al., 2018; Valtzis, 2018).

Εν κατακλείδι, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να αποτελέσουν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για κάθε οργανισμό, καθώς με τη χρήση τους μπορεί να βελτιωθεί η παραγωγικότητα, το κέρδος και η ποιότητα των προϊόντων, ενώ παράλληλα μπορεί να δημιουργηθούν νέα προϊόντα.

1.4 ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η ανάπτυξη ενός ψηφιακού διδύμου πραγματοποιείται με τον σχεδιασμό τους και τη δημιουργία τους. Αρχικά, σχεδιάζεται η διαδικασία που θα ακολουθηθεί με σκοπό να προβλεφθούν, αλλά και να βελτιωθούν, το κόστος, ο χρόνος που θα χρειαστεί και η απόδοση του συστήματος (Holdowsky J. Et al., 2015).

Η ανάπτυξη ενός ψηφιακού διδύμου περνά από έξι φάσεις:

- **Η φάση της δημιουργίας:** Στην συγκεκριμένη φάση εξοπλίζεται η φυσική διαδικασία με ποικιλία αισθητήρων, οι οποίοι πραγματοποιούν διάφορες μετρήσεις του φυσικού περιβάλλοντος. Οι μετρήσεις αυτές είναι λειτουργικές και εξωτερικές. Οι λειτουργικές μετρήσεις έχουν σχέση με την απόδοση του συστήματος, ενώ οι εξωτερικές μετρήσεις έχουν σχέση με το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται το σύστημα, καθώς μετρούν για παράδειγμα τη θερμοκρασία, την υγρασία, κ.α. Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι δυνατόν να μετατραπούν σε ψηφιακά μηνύματα μέσω κωδικοποιητών και να μεταφερθούν στο ψηφιακό δίδυμο. Σε πολλές περιπτώσεις, τα δεδομένα των αισθητήρων

συνδυάζονται με δεδομένα άλλων συστημάτων, για την καλύτερη και αποτελεσματικότερη πληροφόρηση του διδύμου.

- **Η φάση της επικοινωνίας:** Πρόκειται για την επικοινωνία των δύο μερών του διδύμου σε πραγματικό χρόνο. Αποτελεί μία από τις κύριες λειτουργίες ενός DT και αποτελείται από τρία μέρη: την επεξεργασία στο άκρο, τις διεπαφές επικοινωνίας και την ασφάλεια στο άκρο. Η επεξεργασία στο άκρο σχετίζεται με την σύνδεση των δύο συστημάτων με αισθητήρες. Μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή τα δεδομένα που μεταδίδονται επεξεργάζονται και μεταφράζονται. Οι διεπαφές επικοινωνίας συμβάλλουν στη μεταφορά δεδομένων από τους αισθητήρες, ενώ η ασφάλεια στο άκρο αφορά τα τείχη προστασίας που χρησιμοποιούνται, προκειμένου να επιλυθούν ζητήματα ασφαλείας που προκύπτουν από τη συνεχή εξέλιξη του εξοπλισμού.
- **Η φάση του συγκεντρωτικού:** Κατά τη συγκεκριμένη φάση το σύνολο των δεδομένων που έχει συλλεχθεί καταχωρείται σε ένα κεντρικό αποθετήριο, προκειμένου να επεξεργαστούν και να εξαχθούν αναλυτικά στοιχεία. Πλέον, η επεξεργασία δεδομένων μπορεί να γίνει πολύ εύκολα, γρήγορα και με μικρό κόστος.
- **Η φάση της ανάλυσης:** Στη φάση αυτή γίνεται η ανάλυση και η απεικόνιση των δεδομένων, από εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο χρησιμοποιεί πλατφόρμες και τεχνολογίες ανάλυσης με σκοπό να αναπτυχθούν μοντέλα τα οποία δίνουν νέες πληροφορίες, προτάσεις και συμβάλλουν στη λήψη αποφάσεων.
- **Η φάση της διορατικότητας:** σε αυτή τη φάση τα δεδομένα που έχουν αναλυθεί οπτικοποιούνται και παρουσιάζονται με πίνακες ελέγχου. Μέσα από αυτή τη διαδικασία γίνονται φανερά τα σημεία του ψηφιακού διδύμου που είναι απαραίτητο να μελετηθούν περισσότερο ή/ και να μεταβληθούν.
- **Η φάση της επέμβασης:** Σε αυτό το στάδιο όσα έχουν πραγματοποιηθεί στα προηγούμενα και το σύνολο των πληροφοριών περνούν στο φυσικό σύστημα.

Η γλώσσα που χρησιμοποιείται για την ψηφιακή εφαρμογή ενός ψηφιακού διδύμου και για όλα τα παραπάνω στάδια εξαρτάται από τη γλώσσα που χρησιμοποιεί η επιχείρηση. Πλέον, λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να δώσουν πολύ περισσότερες πληροφορίες και να οδηγήσουν σε πολύ πιο εξελιγμένα και ρεαλιστικά μοντέλα, χωρίς να απαιτούνται ακριβά λογισμικά και εξοπλισμοί.

1.5 ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ

Γενικότερα, ένα ψηφιακό δίδυμο μπορεί να επιφέρει πολλαπλά οφέλη, ανεξάρτητα από το είδος και τον τομέα που θα αξιοποιηθεί. Τα οφέλη αυτά θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Αρχικά, οι αισθητήρες συλλέγουν μαζικά πληροφορίες, οι οποίες εισάγονται άμεσα στο ψηφιακό δίδυμο. Έτσι, είναι εύκολο να προβλέψει κανείς τη διάρκεια ζωής ενός έργου, τον τρόπο με τον οποίο αυτό λειτουργεί και τον τρόπο κατά τον οποίο μεταβάλλεται η λειτουργία του με το πέρασμα του χρόνου.

Οι πληροφορίες αυτές είναι δυνατό να συλλεχθούν από πληθώρα συνδεδεμένων συσκευών και εφαρμογών, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο μία σφαιρική εικόνα για την εγκατάσταση όλων των μερών ενός έργου. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης συμβάλλουν στην καλύτερη επεξεργασία των πληροφοριών και την ακριβέστερη παρακολούθηση και κατανόηση της λειτουργίας ενός έργου σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα να εντοπιστούν άμεσα και έγκαιρα οποιαδήποτε προβλήματα ή αστοχίες και να αποφευχθούν.

Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα δίνουν την δυνατότητα σύνδεσης και ανταλλαγής δεδομένων απομακρυσμένων συσκευών γρήγορα και σε πραγματικό χρόνο. Σε περίπτωση που τα δεδομένα του παρόντος δεν επαρκούν ώστε να ελεγχθεί πλήρως το έργο, συνδυάζονται οι πληροφορίες που υπάρχουν από το παρελθόν και οι μελλοντικές προβλέψεις, προκειμένου ο έλεγχος να είναι όσο πληρέστερος γίνεται.

Ακόμη, μέσω των ψηφιακών διδύμων μπορεί να επιτευχθεί μείωση του κόστους ενός έργου, καθώς δίνουν τη δυνατότητα σε μία επιχείρηση να δοκιμάσει τη λειτουργία ενός έργου, χωρίς να χρειαστεί να το πραγματοποιήσει πρώτα. Με αυτόν τον τρόπο, η επιχείρηση κερδίζει χρόνο και χρήματα, ενώ παράλληλα μπορεί να αποφύγει να κάνει κάποιο λάθος ή να πραγματοποιήσει ένα μη κερδοφόρο έργο.

Βέβαια, είναι αδύνατον να αποφευχθεί οποιαδήποτε αστοχία ή αποτυχία για μία επιχείρηση. Με την αξιοποίηση των ψηφιακών διδύμων σκοπός είναι να μην γίνει κάποια αστοχία ή ένα λάθος κοστοβόρο για την επιχείρηση. Δίνεται, λοιπόν, έμφαση στην πρόβλεψη και την επίλυση ζητημάτων που μπορεί να κοστίσουν στην επιχείρηση ακριβά.

Εν κατακλείδι, μπορεί κανείς με ευκολία να καταλάβει ότι τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να ωφελήσουν σημαντικά μία επιχείρηση. Συμβάλλουν σημαντικά στην ορθή και επικερδή της λειτουργία, αποτρέποντας σφάλματα και δυσλειτουργίες που μπορεί να επιφέρουν σημαντικό κόστος.

1.6 ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

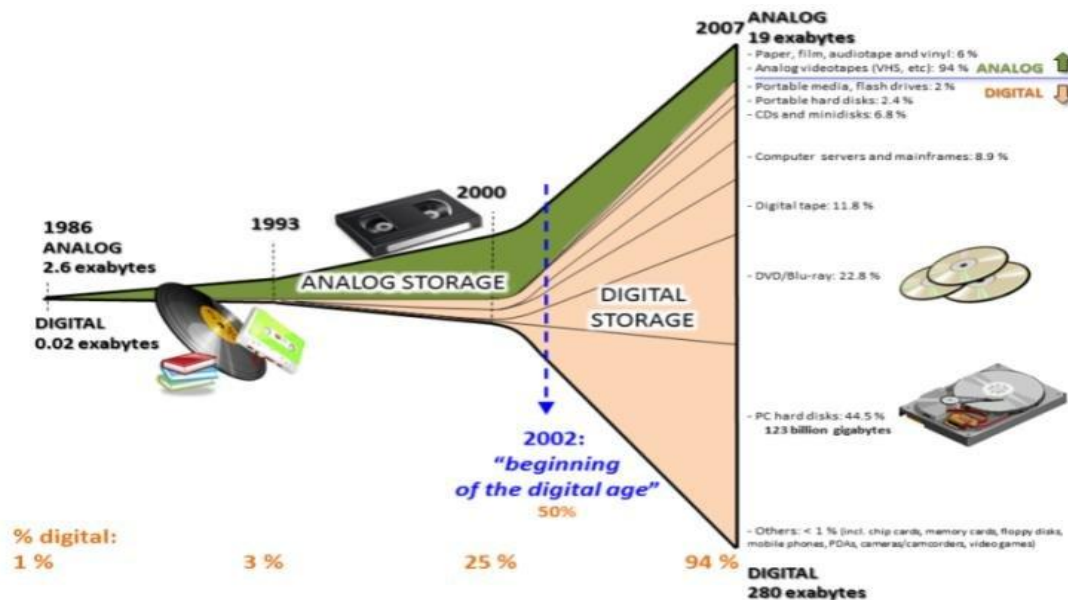
Όπως έχει αναφερθεί και σε άλλο σημείο της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης, τα ψηφιακά δίδυμα για να λειτουργήσουν χρειάζονται πολλές συμπληρωματικές τεχνολογίες, με τις οποίες πραγματοποιούν τη συλλογή, την επεξεργασία και την οπτικοποίηση των δεδομένων. Η πλειονότητα των οργανισμών, στις μέρες μας, διαθέτει συστήματα που παρέχουν υποστήριξη σε ψηφιακά δίδυμα. Μέσα από την αξιοποίηση άλλων τεχνολογιών, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να φτάσουν στο απόγειο των δυνατοτήτων τους και να καλύψουν ακόμη και ολόκληρο οικοσύστημα.

Μία από αυτές τις τεχνολογίες είναι το «*Διαδίκτυο των πραγμάτων*» ή “*Internet of Things*” (IoT). Μέσω των αισθητήρων και των πλατφορμών IoT μπορεί να γίνει η συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων που χρειάζονται για την ορθή πληροφόρηση των οργανισμών. Ένα ψηφιακό δίδυμο μπορεί να είναι πραγματικό δίδυμο ενός φυσικού συστήματος, μονάχα αν διασφαλιστεί η συνεχής ροή και μεταφορά δεδομένων από το φυσικό σύστημα. Έχει εξέχουσα σημασία η έγκαιρη και πλήρης πληροφόρηση του συστήματος, προκειμένου αυτό να καταστεί αποτελεσματικό και ακριβές (Jeschke et al., 2014).

Άλλη μία τεχνολογία που συμβάλλει στη αποτελεσματικότητα και την ταχύτητα των ψηφιακών διδύμων είναι τα «*ασύρματα συστήματα 5^{ης} γενιάς*» ή «5G». Πρόκειται για βελτιωμένα ασύρματα δίκτυα που επιτρέπουν πολύ γρήγορες ταχύτητες και υποστήριξη υψηλών πυκνοτήτων σε συσκευές. Η τεχνολογική εξέλιξη στον συγκεκριμένο τομέα είναι ραγδαία, με αποτέλεσμα να αναμένουμε τα ασύρματα συστήματα 6^{ης} γενιάς τα επόμενα χρόνια (Rappaport, 2020; Li et al, 2017).

Επίσης, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και τα «*Μεγάλα Δεδομένα*» ή “*Big Data*” επιτρέπουν την επεξεργασία ενός τεράστιου όγκου δεδομένων, κάνοντας τη λειτουργία των ψηφιακών

διδύμων πολύ πιο εύκολη, γρήγορη και ακριβής. Επιπλέον, με τη χρήση αυτών, μπορούν να συνδεθούν οι αισθητήρες με περισσότερα από ένα συστήματα και οι πληροφορίες να μεταφέρονται άμεσα και σε πραγματικό χρόνο (Munirathinam, 2019).



Εικόνα 2: Απεικόνιση της αύξησης της ψηφιακής ικανότητας αποθήκευσης τα έτη 1986-2007 (Hilbert & Lopez, 2011).

Ένα, ακόμη, τεχνολογικό επίτευγμα που επιτρέπει την αξιοποίηση των ψηφιακών διδύμων σε μεγάλα εγχειρήματα, όπως αυτό των έξυπνων πόλεων, είναι τα ποικίλα εργαλεία οπτικοποίησης. Αυτά επιτρέπουν την παρακολούθηση του φυσικού μέρους σε πραγματικό χρόνο, μέσω βίντεο και εργαλείων τρισδιάστατης αναπαραγωγής, τα οποία απεικονίζουν το φυσικό μέρος και κάνουν το ψηφιακό δίδυμο περισσότερο ακριβές και αποτελεσματικό (Munirathinam, 2019).

Τέλος, η αξιοποίηση της ψηφιακής πλατφόρμας συνδυαστικά με τα ψηφιακά δίδυμα μπορεί να επιφέρει πολύ καλά αποτελέσματα, καθώς μέσω της πλατφόρμας μπορούν να εκτελεστούν όλες οι ανωτέρω λειτουργίες, αλλά και να μην χρειάζονται αποθηκευτικοί χώροι σε μία πόλη ή μία παραγωγική μονάδα, εφόσον δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης της τροφοδοσίας και της παραγωγής. Επιπροσθέτως, μέσω της πλατφόρμας υπάρχει η δυνατότητα να διασυνδεθούν οργανισμοί (Munirathinam, 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ DIGITAL TWINS ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

2.1. ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

2.1.1 ΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ «ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ 4.0»

Με τον όρο Industry 4.0 εννοείται ένας σημαντικός μετασχηματισμός ο οποίος συντελείται στην παρούσα ιστορική συνθήκη για την ανθρωπότητα και η οποία σχετίζεται με τον τρόπο τον οποίο παράγονται τα προϊόντα χάρη στην ψηφιοποίηση της διαδικασίας της παραγωγής. Εναλλακτικά, Industry 4.0 ονομάζεται και 4^η βιομηχανική επανάσταση. Η μετάβαση αυτή είναι περισσότερο από επιτακτική και προκειμένου οι βιομηχανίες να μπορέσουν να ανταποκριθούν στις νέες προκλήσεις θα πρέπει να εισάγουν καινοτόμες μεθόδους σε όλη την αλυσίδα παραγωγής των προϊόντων τους. Από την πρώτη βιομηχανική επανάσταση (μηχανοποίηση μέσω του νερού και της ατμοκίνησης) έως τις γραμμές μαζικής παραγωγής και συναρμολόγησης που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια στη δεύτερη, η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση στην ουσία αποτελεί τη συνέχεια της τρίτης βιομηχανικής επανάστασης που ξεκίνησε με τη χρήση των υπολογιστών και του αυτοματισμού και θα ενισχύσει με εφαρμογές όπως αυτή των ψηφιακών διδύμων και άλλων αυτόνομων συστημάτων.

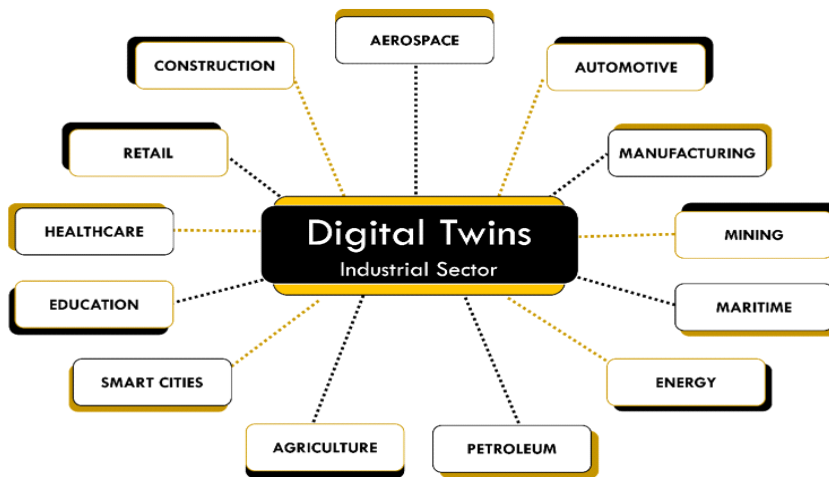
Στη σημερινή εποχή ο ρόλος των ψηφιακών διδύμων στον πλαίσιο της Industry 4.0 και των έξυπνων εργοστασίων, έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών. Τα ψηφιακά δίδυμα όπως ήδη αναφέρθηκε, αποτελούν μιας μορφής τεχνολογία γενικότερης εφαρμογής της Industry 4.0, η οποία συνδέει το πραγματικό φυσικό σύστημα με το αντίστοιχο εικονικό σύστημα. Ενώ την ίδια στιγμή αποτελεί μια αναπαράσταση με τη βοήθεια της χρήσης μοντέλων αισθητήρων, δεδομένων και λογισμικού προκειμένου οι τεχνολόγοι να είναι σε θέση να αναλύουν τα δεδομένα.

Τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας. Το εύρος της εφαρμογής τους είναι τεράστιο και κυμαίνεται από τη χρήση τους στο λιανικό εμπόριο έως και την αεροναυπηγική αλλά και τις βιομηχανίες που προωθούν την πράσινη ανάπτυξη, ως απάντηση στην κλιματική αλλαγή. Όπως εξηγούν οι Singh et al (2022) τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν πλέον σημαντικό εργαλείο μέσα στο πλαίσιο του βιομηχανικού τομέα. Και αυτό μεταφράζεται σε ψηφιοποίηση όλων των διαδικασιών παραγωγής. Η τάση αυτή, ωθεί τι

βιομηχανίες όλων των τομέων να διεξάγουν έναν αγώνα προκειμένου να εντάξουν - ενσωματώσουν τα ψηφιακά δίδυμα στην παραγωγική τους διαδικασία.

Οι τρόποι εφαρμογής των ψηφιακών διδύμων ποικίλλουν ανάλογα με τις ανάγκες και το είδος παραγωγής. Σύμφωνα με τα όσα αναφέρουν οι Shao & Helu (2020) η μεταποιητική βιομηχανία ηγείται των κλάδων της βιομηχανίας οι οποίες χρησιμοποιούν τα ψηφιακά δίδυμα στη διαδικασία παραγωγής τους. Μετά την μεταποιητική βιομηχανία ακολουθούν ο κλάδος της ενέργειας, των κατασκευών της εκπαίδευσης, της αυτοκινητοβιομηχανίας και πρόσφατα ο κλάδος της αεροδιαστημικής. Παράλληλα, η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων σε κλάδους όπως το λιανικό εμπόριο και η γεωργία είναι σχετικά νέοι σε σχέση με τους προηγούμενους. Το εύρος των κλάδων της βιομηχανίας στους οποίους εφαρμόζονται τα ψηφιακά δίδυμα απεικονίζονται ακολούθως στην εικόνα (3).

Όπως τονίζουν οι Parrott & Warshaw (2017) μέχρι πρόσφατα, τα ψηφιακά δίδυμα εξ αιτίας του μεγάλου, έως και απαγορευτικού κόστους τους, δεν υιοθετούνταν εύκολα από τις επιχειρήσεις. Εντούτοις τέτοια εμπόδια έχουν μειωθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια. Στην παρούσα φάση το σημαντικά χαμηλό τους κόστος και οι βελτιωμένες δυνατότητές τους, έχουν οδηγήσει σε δομικές αλλαγές στη σύστασή τους. Αυτό επιτρέπει στις βιομηχανίες να συνδυάσουν την τεχνολογία των πληροφοριών (IT) και τεχνολογία των λειτουργιών (OT) με αποτέλεσμα οι εταιρείες να μπορούν να αποκομίσουν σημαντικά κέρδη παρουσιάζοντας ένα νέο προϊόν, με βελτιωμένες λειτουργίες και μειωμένα ελαττώματα.



Εικόνα 3: Κλάδοι της βιομηχανίας που χρησιμοποιούν τα ψηφιακά δίδυμα

2.2. Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Τα ψηφιακά δίδυμα βοηθούν στο να επιταχυνθούν οι καινοτομίες δοκιμάζοντας ψηφιακά νέα προϊόντα, μηχανήματα, εγκαταστάσεις και τρόπους παραγωγής οι οποίοι περιορίζονται μόνο από την ανθρώπινη φαντασία. Τα ψηφιακά δίδυμα διασφαλίζουν πως οι ανάγκες τόσο των καταναλωτών όσο και των παραγωγών είναι καλυμμένες και οι λειτουργίες της παραγωγικής διαδικασίας είναι αποδοτικές και ασφαλείς.

Οι εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων όπως ήδη τονίστηκε χρησιμοποιούνται ευρύτερα στη μεταποιητική βιομηχανία. Σε αυτή την περίπτωση η κατασκευή βασίζεται σε εξοπλισμό υψηλού κόστους ο οποίος βοηθά στο να παράγεται μεγάλος όγκος δεδομένων, που διευκολύνει τη δημιουργία ψηφιακών διδύμων.

Οι ψηφιακές δίδυμες εφαρμογές στον κλάδο της βιομηχανίας είναι οι ακόλουθες (jama software, 2022):

Ανάπτυξη προϊόντων

Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν τους μηχανικούς να δοκιμάσουν την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα των υπό κατασκευή προϊόντων πριν ακόμα αυτά κυκλοφορήσουν. Κατόπιν, και σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών, οι μηχανικοί αρχίζουν να παράγουν το εν λόγω προϊόν ή να μετατοπίζουν το ενδιαφέρον τους τους στη δημιουργία ενός άλλου πιο εργονομικού προϊόντος.

Προσαρμογή σχεδιασμού

Μέσω της χρήσης των ψηφιακών διδύμων, οι κατασκευαστές είναι σε θέση να σχεδιάσουν διάφορες παραλλαγές του ίδιου προϊόντος έτσι ώστε να μπορούν να προσφέρουν εξατομικευμένα προϊόντα και υπηρεσίες στους πελάτες τους.

Βελτίωση απόδοσης

Τα ψηφιακά δίδυμα στον χώρο της μεταποιητικής βιομηχανίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να προκειμένου οι κατασκευαστές να παρακολουθούν και να αναλύουν τα τελικά προϊόντα προκειμένου να διαπιστώσουν ποια από αυτά είναι ελαττωματικά ή ποια από αυτά έχουν χαμηλότερη απόδοση από αυτή που είχε αρχικά προβλεφθεί.

Προγνωστική συντήρηση

Οι κατασκευαστές αξιοποιούν τα ψηφιακά δίδυμα προκειμένου να προβλέψουν πιθανούς χρόνους διακοπής λειτουργίας των μηχανημάτων, έτσι ώστε οι επιχειρήσεις να ελαχιστοποιούν τις δραστηριότητες συντήρησης των μηχανημάτων, χωρίς προστιθέμενη αξία και να βελτιώνουν τη συνολική απόδοση των μηχανημάτων. Έτσι, οι τεχνικοί μπορούν να αναλάβουν δράση πριν συμβεί κάποια βλάβη στα μηχανήματα. Εντούτοις, η συγκεκριμένη λειτουργία των ψηφιακών διδύμων – αυτή της προληπτικής συντήρησης - δεν αποτελεί μια λειτουργία η οποία μπορεί να επεκταθεί καθώς ένα εικονικό αντίγραφο είναι φτιαγμένο για μια συγκεκριμένη μηχανή. Αυτό σημαίνει πως η δημιουργία ενός εικονικού αντιγράφου είναι μια κοστοβόρα διαδικασία, ενώ απαιτείται μεγάλη προσοχή για την κατασκευή και τη συντήρηση των διδύμων στη συγκεκριμένη περίπτωση.

2.3 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΗΝ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΙΚΗ

Στο πλαίσιο της αεροναυπηγικής βιομηχανίας πριν από τη χρήση των ψηφιακών διδύμων, χρησιμοποιούνταν τα φυσικά δίδυμα. Όπως εξηγούν οι Li et al (2016) ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα εδώ είναι το πρόγραμμα Apollo 13 στη δεκαετία του 1970. Στην περίπτωση του Apollo 13, οι επιστήμονες της NASA στη γη μπόρεσαν να προσομοιώσουν την κατάσταση του αεροσκάφους και να βρουν απαντήσεις όταν προέκυψαν κρίσιμα ζητήματα. Η ιδέα των ψηφιακών διδύμων στη βιομηχανία της αεροναυπηγικής εισάγεται μόλις το 2002 από τον John Vickers κορυφαίο στέλεχος της NASA. Σήμερα, τα ψηφιακά δίδυμα στην αεροδιαστημική βιομηχανία, αναγνωρίζονται ως πολύ σημαντικά για την εξέλιξη και την ανάπτυξη του κλάδου αυτού. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρουν οι Li et al (2016) το 75% των στελεχών της πολεμικής αεροπορίας έχουν δώσει ψήφο εμπιστοσύνης στα ψηφιακά δίδυμα, σύμφωνα με την έρευνα που διεξήγαγε το Business Wire.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, ο κλάδος αεροδιαστημικής/αεροναυπηγικής ήταν ο πρωτοπόρος τομέας όπου τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιήθηκαν αρχικά από τη NASA και αργότερα από την πολεμική αεροπορία των ΗΠΑ. Κύριες λειτουργίες των ψηφιακών διδύμων στον κλάδο της αεροναυπηγικής, με μια πρώτη ματιά, είναι η βελτιστοποίηση της απόδοσης του αεροσκάφους και η διασφάλιση της αξιοπιστίας του. Επίσης, η χρήση των ψηφιακών διδύμων συμβάλλει στην

πρόβλεψη και επίλυση πιθανόν προβλημάτων τα οποία μπορεί να προκύψουν σχετικά με τη συντήρηση. Εν κατακλείδι, η χρήση των ψηφιακών διδύμων στην αεροναυπηγική συμβάλλει και εξασφαλίζει ασφαλέστερες συνθήκες για την αποστολή του πληρώματος στο διάστημα. Πιο συγκεκριμένα, η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων σε αυτόν τον κλάδο άρχισε με την πρόθεση των επιστημόνων του κλάδου να βελτιστοποιήσουν την απόδοση και την αξιοπιστία του διαστημικού οχήματος/αεροσκάφους (Li et al ,2016).

Με βάση τον τεχνολογικό χάρτη πορείας του 2010 από τη NASA, οι σημαντικότερες εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων ήταν οι ακόλουθες:

- 1) Η προσομοίωση της πτήσης πριν την εκτόξευση του αληθινού αεροσκάφους προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η επιτυχία αποστολής.
- 2) Η συνεχής απεικόνιση της πραγματικής πτήσης καθώς και η επικαιροποίηση των συνθηκών όπως το πραγματικό φορτίο, η θερμοκρασία και άλλοι παρόμοιοι περιβαλλοντικοί παράγοντες. Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στην πρόβλεψη παρόμοιων μελλοντικών καταστάσεων.
- 3) Η διάγνωση διάφορων ζημιών οι οποίες έχουν προκληθεί στο αεροσκάφος.
- 4) Η χρήση ψηφιακών διδύμων βοηθούν στην μελέτη των επιπτώσεων οι οποίες πιθανά προκαλούνται από παραμέτρους οι οποίες δεν είχαν ληφθεί υπόψη από τους τεχνικούς κατά τη διάρκεια της φάσης του σχεδιασμού του αεροσκάφους (Melesse et al, 2020).

Όπως αναφέρουν οι Shafto et al (2012) κατά την περίοδο από το 2010 έως και το 2014 η επώαση των ψηφιακών διδύμων στην αεροναυπηγική βιομηχανία έχει ολοκληρωθεί και με την ωριμότητα αυτή τα ψηφιακά δίδυμα είναι πλέον έτοιμα να εφαρμοστούν στην πράξη. Ως εκ τούτου η NASA καθώς και η πολεμική αεροπορία των ΗΠΑ επένδυσαν υπέρογκα ποσά για την εισαγωγή των ψηφιακών διδύμων στην αεροδιαστημική. Όπως συνεχίζει η Lamb (2018) η NASA το 2010 ορίζει για πρώτη φορά ψηφιακά δίδυμα στο πλαίσιο της αεροδιαστημικής. Ενώ παράλληλα χαράσσει έναν χάρτη πορείας για την περαιτέρω ανάπτυξη των ψηφιακών διδύμων. Τόσο η NASA όσο και η πολεμική αεροπορία των ΗΠΑ έθεσαν ως στόχο την πλήρη ένταξη των ψηφιακών διδύμων στην αεροναυπηγική προκειμένου να εξασφαλιστούν ασφαλέστερες αποστολές στο διάστημα, έως το 2035. Από την άλλη πλευρά η πολιτική αεροπορία των ΗΠΑ υιοθέτησε τη χρήση των ψηφιακών διδύμων προκειμένου να αναπτύξει και να εξελίξει τον

τομέα των αερομεταφορών. Μεγάλες εταιρίες όπως η Boeing, η Airbus και η GE Company, άρχισαν να αναπτύσσουν τα δικά τους ψηφιακά δίδυμα προγράμματα.

Οι παγκοσμίως κορυφαίοι κατασκευαστές αεροσκαφών περιμένουν πως τα ψηφιακά δίδυμα μπορεί να βελτιστοποιήσουν δυναμικά τις διαδικασίες κατασκευής σχεδιασμού ενώ παράλληλα θα συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας και της αξιοπιστίας των προϊόντων. Παράλληλα, η χρήση των ψηφιακών διδύμων θα συμβάλλει στη μείωση του κόστους παραγωγής το εναέριων μέσων, και την ίδια στιγμή θα προσφέρουν σημαντικά και στην εξοικονόμηση του χρόνου κατασκευής των αεροσκαφών. Τέλος από το 2015 και πέρα, η έρευνα σχετικά με τα οφέλη των ψηφιακών διδύμων έχει ενταθεί. Όπως αναφέρουν οι Melesse et al (2020) τα δημοσιευμένα άρθρα με θέμα την εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην αεροναυπηγική έχουν αυξηθεί σε περισσότερα από 10 ετησίως. Στην αεροδιαστημική βιομηχανία, η ψηφιακή τεχνολογία και κατά συνέπεια τα ψηφιακά δίδυμα έχουν εφαρμοστεί ευρέως στην επιστήμη του διαστήματος. Άλλοι κλάδοι στους οποίους έχουν εφαρμοστεί είναι η ασφάλεια η άμυνα, τα εμπορικά αεροσκάφη και η αεροδιαστημική κατασκευή, όπως ήδη αναφέρθηκε, από το σχεδιασμό έως την κυκλοφορία του προϊόντος (αεροσκάφους).

2.4 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΟΝ ΚΛΑΔΟ ΤΩΝ ΕΞΟΡΥΞΕΩΝ

Ο τομέας της εξόρυξης, ο οποίος είναι αφιερωμένος στον εντοπισμό και την εξόρυξη αποθεμάτων μετάλλων και ορυκτών από την επιφάνεια της γης, θεωρείται μια από τις παλαιότερες καθιερωμένες βιομηχανίες. Όπως ακριβώς και για τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, τα ψηφιακά δίδυμα είναι ένα τέλειο εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας/λειτουργίας στις περιοχές εξόρυξης. Η Ernst and Young προσδιόρισε τα ψηφιακά δίδυμα ως μία από τις βασικές τεχνολογίες που θα επιτρέψουν την ψηφιοποίηση της εξορυκτικής βιομηχανίας. Στην έκθεσή τους, παρουσίασαν τέσσερις τομείς στους οποίους οι DT συμβάλλουν στην εξόρυξη: (i) Λειτουργίες εξόρυξης: η προγνωστική συντήρηση βελτιώνει την αξιοπιστία των περιουσιακών στοιχείων και μειώνει τους μη προγραμματισμένους χρόνους διακοπής λειτουργίας, (ii) Επεξεργασία: η βελτιστοποίηση των σημείων ρύθμισης των εγκαταστάσεων βελτιώνει την αποδοτικότητα των διαδικασιών και την ποιότητα του προϊόντος και μειώνει τη συμφόρηση, (iii) Μεταφορές: η πρόβλεψη και η βελτιστοποίηση του δικτύου μεταφορών

βελτιώνει την αξιοπιστία των μεταφορών, και (iv) End-to-End: η προσομοίωση και η ανάλυση διαφορετικών σεναρίων σε όλη την αλυσίδα αξίας καθορίζει τα βέλτιστα σχέδια και χρονοδιαγράμματα. Επιπλέον, τα DT βοηθούν τους μεταλλωρύχους στη δοκιμή νέων διαδικασιών ή μηχανημάτων πριν από τη χρήση των πραγματικών στο εργοτάξιο και επίσης εκπαιδεύουν νέους μεταλλωρύχους, ιδίως για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, εκπαιδεύοντάς τους σχετικά με τη σωστή διαδικασία και εκπαιδεύοντάς τους εξ αποστάσεως σε ένα περιβάλλον χωρίς κινδύνους και άγχος.

Η PETRA DataScience, πάροχος ψηφιακού λογισμικού για τη βελτιστοποίηση της αλυσίδας αξίας από το ορυχείο έως το μύλο, δημιούργησε το πρώτο παγκοσμίως ψηφιακό δίδυμο για τη βελτιστοποίηση της αλυσίδας αξίας του ορυχείου. Με την βοήθεια μηχανικής μάθησης χρησιμοποιεί ιστορικά δεδομένα δύο ετών για να προσομοιώσει "επιλογές σχεδιασμού ορυχείων, ανατινάξεων, μεταλλουργίας και ελέγχου διεργασιών". Το ορυχείο χρυσού-αργύρου Ban Houayxai στο Λάος χρησιμοποίησε το ψηφιακό του δίδυμο, το οποίο, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα σχετικά με τους τύπους των πετρωμάτων, βελτιστοποίησε την αποτελεσματικότητα της θραύσης κατά τη διάρκεια της διάτρησης και της ανατίναξης, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό ανάκτησης του μετάλλου από το ορυχείο.

Η Anglo American plc, μια πολυεθνική εταιρεία εξόρυξης, χρησιμοποιεί το ψηφιακό δίδυμο στις περιοχές εξόρυξης στη Χιλή και τη Βραζιλία για να μειώσει την κατανάλωση καυσίμων των φορητών της, βελτιστοποιώντας έτσι τον στόλο εξόρυξης. Παρακολουθώντας την απόδοση του στόλου των μεταφορικών μέσων, μπορούν να αναλύσουν τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της απόδοσης του εξοπλισμού, την παρακολούθηση της κατάστασης και την προληπτική συντήρηση. Σχεδιάζουν επίσης να εφαρμόσουν την ίδια τακτική για τους αγωγούς, τα χυτήρια και τα διυλιστήρια τους, ώστε να κάνουν τη διαδικασία πιο αποτελεσματική και αποδοτική. Η Rio Tinto, η δεύτερη μεγαλύτερη εταιρεία μετάλλων και εξόρυξης στον κόσμο, χρησιμοποιεί επίσης το εργαλείο των ψηφιακών διδύμων στο ορυχείο Gudai-Darri (Koodaideri), δοκιμάζοντας με ασφάλεια νέους τρόπους για τη βελτίωση της παραγωγικότητάς τους χωρίς να καταστρέφουν εξαρτήματα ή να σταματούν οποιαδήποτε διαδικασία εντός του εργοστασίου.

Η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων έχει τη δυνατότητα να προσθέσει νέα αξία στην εξορυκτική βιομηχανία, από την αύξηση της αποδοτικότητας έως την παροχή ενός

ασφαλέστερου περιβάλλοντος. Η International Data Corporation (IDC), ένας παγκόσμιος πάροχος πληροφοριών αγοράς και συμβουλευτικών υπηρεσιών, προέβλεψε ότι το 70% των εταιρειών εξόρυξης θα επενδύσουν στην τεχνολογία DT τα επόμενα δύο χρόνια. Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα έχουν προσελκύσει το εθνικό ενδιαφέρον για την "αναζωογόνηση της εγχώριας ανάπτυξης πόρων".

2.5 ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Στην εποχή της Industry 4.0, αρκετές βιομηχανίες διανύουν μια μεταβατική περίοδο πορευμένες προς τη νέα ψηφιακή εποχή. Στο πλαίσιο αυτό τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν το κλειδί για την απόκτηση ενός ανταγωνιστικού και οικονομικού πλεονεκτήματος των βιομηχανιών απέναντι στους ανταγωνιστές τους. Τα ψηφιακά δίδυμα ξεκίνησαν να εφαρμόζονται στην αεροδιαστημική βιομηχανία και συνεχώς κερδίζουν έδαφος, καθώς ήδη έχουν εισχωρήσει στο μεγαλύτερο κομμάτι της βιομηχανίας. Οι κύριες εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στον τομέα της βιομηχανίας εντοπίζονται σε διάφορους τομείς όπως ο σχεδιασμός, ο προγραμματισμός, η βελτιστοποίηση, η συντήρηση, η ασφάλεια, η λήψη αποφάσεων κ. ο .κ. Γίνεται λοιπόν σαφές ότι, η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων, μπορεί να αποτελέσει ένα εξαιρετικό εργαλείο για τις εταιρείες, προκειμένου αυτές να αυξήσουν την ανταγωνιστικότητα, την παραγωγικότητα και την αποτελεσματικότητά τους.

Όπως εξηγούν οι Singh et al (2022) οι εταιρίες και οργανισμοί οι οποίοι έχουν υιοθετήσει στην παραγωγική τους διαδικασία τα ψηφιακά δίδυμα έχουν δει, κατά μέσο όρο, βελτίωση της τάξεως του 15% σε σημαντικούς τομείς όπως οι πωλήσεις, ο χρόνος παράδοσης και η λειτουργική αποδοτικότητα. Παράλληλα οι ίδιες εταιρίες έχουν σημειώσει βελτίωση άνω του 25% στην αποδοτικότητα και την παραγωγή τους. Συγκεκριμένα, όπως εξηγούν οι Singh et al (2022) πάνω από το ένα τρίτο των οργανισμών που συμμετείχαν στην έρευνα ανέφεραν ότι, έχουν ήδη εφαρμόσει ψηφιακά δίδυμα, προκειμένου να είναι σε θέση να κατανοήσουν και να προβλέψουν την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές των ρύπων τους. Ο κλάδος της βιομηχανίας που δραστηριοποιείται στον χώρο της ενέργειας καθώς και οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας αλλά και η βιομηχανία καταναλωτικών προϊόντων πρωτοστατούν σε αυτήν την

περίπτωση χρήσης ψηφιακών διδύμων, με περίπου τις μισές από αυτές να χρησιμοποιούν τα ψηφιακά δίδυμα για να ωφελήσουν τη βιωσιμότητα και την αύξηση της παραγωγής τους.

2.6 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

Όπως φαίνεται στις προηγούμενες ενότητες, η εξαγωγή πληροφοριών από τα ψηφιακά δίδυμα καθιστούν την μηχανική επεξεργασία ενός προϊόντος να βρίσκεται σε πλεονεκτική θέση. Αναμένεται ότι η ολιστική χρήση από μοντέλα ψηφιακών διδύμων για την ανάπτυξη και παραγωγή προϊόντων θα κυριαρχήσουν στις μελλοντικές γενιές, διότι επιτρέπουν τη δημιουργία προϊόντων υψηλής απόδοσης ανταγωνιστικά.

Σύμφωνα με τον Miskinis (2019) μελλοντικές προκλήσεις σχετικά με τη χρήση των ψηφιακών διδύμων είναι οι ακόλουθες:

- 1) Ο κίνδυνος ανακριβούς αναπαράστασης ενός αντικειμένου χρησιμοποιώντας ψηφιακό δίδυμο

Η μεγαλύτερη ανησυχία την οποία έχουν οι περισσότεροι επιχειρηματίες, αναφορικά με την υιοθέτηση της εφαρμογής των ψηφιακών διδύμων στην επιχείρησή τους, είναι ο κίνδυνος της παραποίησης του προϊόντος ή του συστήματος που θέλουν να αναπαράγουν χρησιμοποιώντας τα ψηφιακά δίδυμα. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι δεν υπάρχουν πολλές πληροφορίες σχετικά με το πόσο ακριβές είναι το δίδυμο σε σύγκριση με το φυσικό του αντίστοιχο.

- 2) Η ακρίβεια της προσομοίωσης μελλοντικών σεναρίων μέσω της χρήσης των ψηφιακών διδύμων.

Η ακρίβεια της προσομοίωσης μελλοντικών σεναρίων με τη χρήση ψηφιακού δίδυμου, αποτελεί μια ακόμα σημαντική ανησυχία που προβληματίζει τους περισσότερους ιδιοκτήτες εταιρειών, οι οποίοι επιθυμούν να δοκιμάσουν ψηφιακό δίδυμο. Συγκεκριμένα η κύρια ανησυχία τους εστιάζει στην αμφιβολία αναφορικά με τη συνολική ακρίβεια της προσομοίωσης την οποία θα δημιουργήσει η τεχνολογία.

- 3) Το ζήτημα της οικονομικής προσιτότητας της ψηφιακής δίδυμης τεχνολογίας για τις μικρές επιχειρήσεις

Προκειμένου η εικονική δίδυμη τεχνολογία να γίνει διαδεδομένη σε όλες τις βιομηχανίες, το κόστος υιοθέτησης και εγκατάστασης της τεχνολογίας πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ή πρέπει να παρουσιαστούν διαφορετικές επιλογές προκειμένου η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων να είναι προσιτή από όποια εταιρία την επιλέξει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ

Η κλινική διάγνωση και θεραπεία είναι μια διαδικασία πολλαπλών σταδίων που αποτελείται από διάφορα στοιχεία όπου η εισαγωγή των ψηφιακών διδύμων έχει συμβάλει στην αντιμετώπιση ορισμένων από αυτούς τους περιορισμούς και στην βελτίωση του σχεδιασμού της

θεραπείας ,καθώς έχει τη δυνατότητα να διαδραματίσει πολύτιμο ρόλο στο πλαίσιο της περίθαλψης του καρκίνου και της ιατρικής ακριβείας ευρύτερα.

3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΓΙΑ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ

Τα ψηφιακά δίδυμα που χρησιμοποιούνται εκτενέστερα στον χώρο της υγειονομικής περίθαλψης είναι τα εξής:

- Ψηφιακά δίδυμα Grey Box
- Ψηφιακά δίδυμα Surrogate
- Ψηφιακά δίδυμα Black Box

Οι ονομασίες “Grey Box”, “Surrogate” και “Black Box” είναι εμπνευσμένες από την ορολογία που χρησιμοποιείται σε συστήματα και μαθηματική θεωρία μοντελοποίησης . Οι έννοιές τους, στο πλαίσιο των ψηφιακών διδύμων, έχουν ως στόχο να αντικατοπτρίζουν σε γενικές γραμμές την τυπική τους έννοια που δίνεται στη θεωρία συστημάτων και μοντελοποίησης. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά ή τις ιδιότητες του υποκείμενου μοντέλου, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να θεωρηθούν είτε ως μοντέλα Grey Box, Surrogate ή Black Box.

1) Ψηφιακά δίδυμα Grey Box

Ένα ψηφιακό δίδυμο Grey Box που περιγράφει μια οντότητα του πραγματικού κόσμου ή ένα φαινόμενο, θα έχει συνήθως κάποιο υποκείμενο θεωρητικό μοντέλο που είναι καλά μελετημένο και συνήθως βασίζεται σε κάποια θεμελιώδη επιστήμη-φυσική. Για να είναι ένα τέτοιο μοντέλο πλήρες και να εξυπηρετεί τον επιδιωκόμενο σκοπό, θα πρέπει να βαθμονομηθεί ώστε να αντικατοπτρίζει μια συγκεκριμένη περίπτωση της οντότητας ή του φαινομένου του πραγματικού κόσμου. Όταν εφαρμόζεται στην υγειονομική περίθαλψη, τέτοια σενάρια μπορούν να εξεταστούν μέσω ενός παραδείγματος ως εξής: Έστω ότι υπάρχει ένα ψηφιακά υλοποιήσιμο γενικό μοντέλο της ανθρώπινης καρδιάς με αιμοφόρα αγγεία που έχει μελετηθεί και επικυρωθεί - αυτό είναι ένα μοντέλο Grey Box. Όμως, αν το μοντέλο αυτό πρόκειται να μιμηθεί την καρδιά και τα αγγεία ενός συγκεκριμένου ανθρώπου, τότε ένα τέτοιο μοντέλο θα πρέπει να

βαθμονομηθεί (ή να ρυθμιστεί) ώστε να ταιριάζει με τον συγκεκριμένο άνθρωπο. Αυτή η βαθμονόμηση μπορεί να περιλαμβάνει κάποια ρύθμιση παραμέτρων, κάποια εκτίμηση, κάποια μέτρηση, κάποια διασύνδεση δεδομένων και ίσως κάποια διασύνδεση ανθρώπου-υπολογιστή. Με τον τρόπο αυτό, εάν το γενικό μοντέλο συνεχίσει να μιμείται τη συμπεριφορά της καρδιάς και των αγγείων του συγκεκριμένου ανθρώπου, τότε το μοντέλο αυτό γίνεται ψηφιακός δίδυμος της καρδιάς του συγκεκριμένου ανθρώπου.

2) Ψηφιακά δίδυμα Surrogate

Τα ψηφιακά δίδυμα Surrogate, στο πλαίσιο των εφαρμογών υγειονομικής περίθαλψης, μπορούν να θεωρηθούν εκείνα που είναι αντιπροσωπευτικά των συνολικών διαδικασιών ή των ροών διαδικασιών σε εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης. Αυτά τα μοντέλα θα ορίζονταν για πολύ συγκεκριμένες απαιτήσεις - για παράδειγμα, μια ένδειξη στην οθόνη ενός υπολογιστή που δείχνει σε πραγματικό χρόνο τη θέση ενός ασθενοφόρου και την κλινική κατάσταση του ασθενούς του στην εγκατάσταση υποδοχής τραυματιών. Αυτός ο δείκτης αποτελεί μέρος ενός ψηφιακού δίδυμου που αντιπροσωπεύει τη διαδικασία διαχείρισης του τραύματος, βοηθώντας ένα κέντρο υγείας να συντονίσει τη φροντίδα του ασθενοφόρου και τη φροντίδα του τραυματία. Τέτοια ψηφιακά δίδυμα που μπορεί να μην βασίζονται σε κάποια θεωρία, αλλά κατασκευάζονται για να είναι αντιπροσωπευτικά των ροών της διαδικασίας.

3) Ψηφιακά δίδυμα Black Box

Στο πλαίσιο της υγειονομικής περίθαλψης, οι εν λόγω ψηφιακοί δίδυμοι προκύπτουν από δεδομένα στο πλαίσιο ενός προτύπου χωρίς μοντέλα ή ενός προτύπου με λιγότερη έμφαση στα μοντέλα. Οι αρχές της πιθανολογικής και στατιστικής μάθησης θα μπορούσαν να διαδραματίσουν βασικό ρόλο στην κατασκευή αυτών των ψηφιακών διδύμων. Σε αυτό το πλαίσιο, οι εν λόγω δίδυμοι θα βασίζονται σε εκτενή αρχεία ιατρικών φακέλων παλαιότερων ασθενών. Για παράδειγμα όταν θα παρουσιάζεται ένας νέος ασθενής, ένας ψηφιακός δίδυμος που ταιριάζει καλύτερα στον ασθενή θα μπορεί να εντοπιστεί από τα διαθέσιμα σύνολα δεδομένων προηγούμενων ασθενών. Αυτή η προσέγγιση της ανακάλυψης με βάση τα δεδομένα μπορεί να οραματιστεί ως ένας τρόπος δημιουργίας ψηφιακών διδύμων για την ενίσχυση της εξατομικευμένης θεραπείας που σχετίζεται με τον εξατομικευμένο σχεδιασμό της θεραπείας του καρκίνου. Σε περίπτωση που πρέπει να ενσωματωθούν μεγάλα σύνολα δεδομένων, όπως

γονιδιωματικά δεδομένα η χρήση των μεθόδων Black Box σε συνεργασία με τις εξελίξεις στη μηχανική μάθηση μπορεί να είναι ένας κατάλληλος τρόπος προώθησης. Θεωρείτε ότι αυτή η προσέγγιση είναι ένας βιώσιμος τρόπος για την εισαγωγή ψηφιακών διδύμων για την υποστήριξη του εξατομικευμένου σχεδιασμού της θεραπείας του καρκίνου.

3.2 Η ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΣΤΟΝ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΟ ΚΑΡΚΙΝΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

Για να γίνει κατανοητό γιατί η χρήση των ψηφιακών διδύμων του Black Box για τον εξατομικευμένο σχεδιασμό της θεραπείας του καρκίνου, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε πρώτα βασικά ζητήματα που αφορούν τη φροντίδα του καρκίνου σήμερα.

Ο συμβατικός σχεδιασμός διάγνωσης και θεραπείας, ιδίως σε σχέση με τη φροντίδα του καρκίνου, περιλαμβάνει μια σειρά από βασικές κλινικές διαδικασίες. Αυτές οι κλινικές διεργασίες εξελίχθηκαν σιγά-σιγά με την πάροδο πολλών ετών για να διαχειριστούν και να καθοδηγήσουν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα για τη φροντίδα του καρκίνου σε ένα όλο και πιο πολύπλοκο και ποικίλο πεδίο γνώσης. Οι διαδικασίες αυτές περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- 1) Σαφής οριοθέτηση της ανατομικής θέσης της νόσου, του ιστοπαθολογικού τύπου και της έκτασης ή του σταδίου της νόσου, η οποία περιλαμβάνει την καταγραφή δημογραφικών δεδομένων καθώς και δεδομένων σχετικά με τη σχετική αδυναμία και τις συννοσηρότητες των ασθενών.
- 2) Ο θεράπων ιατρός να είναι εξοικειωμένος με τις τελευταίες γνώσεις απευθείας από την ιατρική και επιστημονική βιβλιογραφία.
- 3) Τις τελευταίες εκδόσεις των κατευθυντήριων οδηγιών κλινικής πρακτικής που δημοσιεύονται από εξειδικευμένες εταιρείες σχετικές με τον τύπο του καρκίνου
- 4) Στοιχεία από δεδομένα του πραγματικού κόσμου, π.χ. μητρώα καρκίνου.
- 5) Ενσωμάτωση της εμπειρίας των κλινικών ιατρών, της εμπειρογνομοσύνης και της ανάκλησης συγκεκριμένων ασθενών από την προηγούμενη εμπειρία τους, οι οποίοι μπορεί να είναι παρόμοιοι με τον υπό περίθαλψη ασθενή.

6) Συμβολή στη διατύπωση συστάσεων θεραπείας από όλους τους σχετικούς ειδικούς στο πλαίσιο μιας διεπιστημονικής συνεδρίασης σχεδιασμού της φροντίδας.

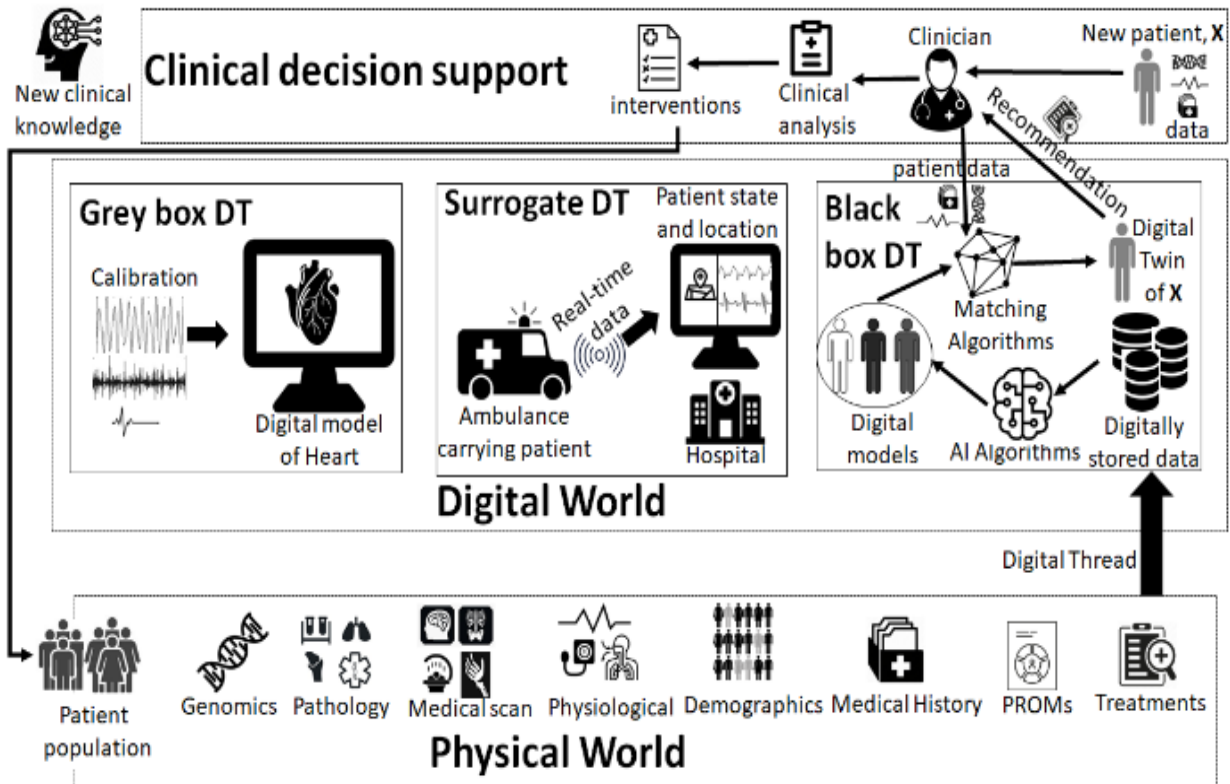
7) Λήψη συγκατάθεσης του ασθενούς μετά από ενημέρωση σχετικά με μια θεραπευτική επιλογή, συμπεριλαμβανομένης της εκμείωσης των προτιμήσεων του ασθενούς σε σχέση με την ποιότητα έναντι της ποσότητας ζωής.

Είναι χρήσιμο να σημειωθεί ότι αυτά τα επτά βήματα περιορίζονται από τα τρέχοντα διαγνωστικά μέσα και τις διαδικασίες. Οι εν λόγω περιορισμοί χρησιμεύουν για να τονίσουν ότι οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι τρέχουσες πρακτικές για τη θεραπεία του καρκίνου αφορούν κυρίως τον καλύτερο δυνατό τρόπο επεξεργασίας μεγάλων, πολυφασματικών και συχνά ανομοιογενών δεδομένων κατάλληλα για ένα συγκεκριμένο πλαίσιο. Ο προσδιορισμός στρατηγικών για την αντιμετώπιση αυτών των πρόκλησεων, με την ενσωμάτωση λύσεων ψηφιακής υγείας για την ενεργοποίηση και τη διευκόλυνση της ανώτερης υποστήριξης αποφάσεων για τους κλινικούς ιατρούς, αποτελεί βασική ανάγκη και ένα σημερινό κενό, για το οποίο υποστηρίζετε ότι η εισαγωγή των ψηφιακών διδύμων Black Box θα μπορούσε να έχει τη δυνατότητα να έχει έναν προκαταρκτικό αλλά άμεσο θετικό αντίκτυπο στη βελτίωση και την εξατομίκευση της θεραπείας του καρκίνου.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτό αντιπροσωπεύει την επανάσταση της κλινικής εμπειρίας, η οποία έχει υποβαθμιστεί για τους προφανείς λόγους του ότι η εμπειρία ενός μεμονωμένου κλινικού ιατρού είναι περιορισμένη σε σύγκριση με το σύνολο της διαθέσιμης πραγματικής εμπειρίας, των αποδείξεων και των δεδομένων. Η έννοια του ψηφιακού δίδυμου επεκτείνει και επισημοποιεί κατά κάποιο τρόπο την έννοια της κλινικής εμπειρίας με την ακριβέστερη αντιστοίχιση του τρέχοντος ασθενούς με προηγούμενους ασθενείς και με την τεράστια επέκταση του αριθμού των προφίλ ασθενών και των θεραπευτικών σχημάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη φροντίδα του τρέχοντος ασθενούς.

3.3 ΈΝΑ ΠΛΑΪΣΙΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΔΥΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΤΟΜΙΚΕΥΜΕΝΗ ΦΡΟΝΤΙΔΑ ΤΟΥ ΚΑΡΚΙΝΟΥ

Η Εικόνα 4, που παρουσιάζεται παρακάτω, παρέχει ένα γενικό πλαίσιο για την ανάπτυξη ψηφιακών διδύμων (DT) στην υγειονομική περίθαλψη. Απεικονίζει τρία κύρια στοιχεία, δηλαδή: - τον φυσικό κόσμο, τον ψηφιακό κόσμο και το ψηφιακό νήμα. Η Εικόνα 4 δείχνει επίσης τις τρεις αντιπροσωπευτικές κατηγορίες DT (Grey Box, Surrogate και Black Box) και τον τρόπο με τον οποίο τα DT που αναπτύσσονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην υποστήριξη κλινικών αποφάσεων. Το πλαίσιο προτείνεται ως αποδεκτό για την ανάπτυξη λύσεων βασισμένων σε ψηφιακές δίδυμες σε περιβάλλοντα υγειονομικής περίθαλψης. Για να παραδειγματιστεί πώς το πλαίσιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ενός Black Box DT για την παροχή εξατομικευμένης φροντίδας για τον καρκίνο, εξετάζουμε την περίπτωση χρήσης του καρκίνου του ενδομητρίου της μήτρας. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες επιρροής στη θεραπεία του καρκίνου που προέρχονται από κλινικά, φυσιολογικά και δημογραφικά σημεία δεδομένων. Οι παράγοντες αυτοί συλλαμβάνονται σύμφωνα με έρευνες και τις γνώσεις των κλινικών ιατρών από διάφορες πηγές δεδομένων, όπως τα δημογραφικά στοιχεία των ασθενών, τα αποτελέσματα της παθολογίας, το ιατρικό ιστορικό, η γονιδιωματική, οι φυσιολογικές πληροφορίες, οι ιατρικές σαρώσεις, τα πρωτόκολλα θεραπείας και τα PROMs. Οι ψηφιακές πληροφορίες από τον φυσικό κόσμο συσσωρεύονται για την ανάπτυξη ψηφιακών μοντέλων για τα ψηφιακά δίδυμα στον ψηφιακό κόσμο. Για τη δημιουργία αντιπροσωπευτικών ψηφιακών μοντέλων εφαρμόζονται αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης (π.χ. ομαδοποίηση, γραμμική παλινδρόμηση, νευρωνικό δίκτυο, μάθηση με επίβλεψη). Η ψηφιακή αναπαράσταση αποτελείται επίσης από χρήσιμους προγνωστικούς και προβλεπτικούς παράγοντες οι οποίοι κατατάσσονται και σταθμίζονται με βάση στοιχεία όπως η γνώση των ειδικών του τομέα, οι κλινικές αναφορές και οι παράμετροι για τους αλγορίθμους. Στην πράξη, μια λύση υποστήριξης του κλινικού ιατρού με βάση το DT μπορεί να εντοπίσει ,μέσα στον μεγάλο πληθυσμό ψηφιακών διδύμων ασθενείς που ταιριάζουν, καλύτερα τον τρέχοντα ασθενή του οποίου η θεραπεία εξετάζεται με όσο το δυνατόν περισσότερους από τους γνωστούς βιοδείκτες για τον συγκεκριμένο τύπο καρκίνου, και οι κλινικοί ιατροί μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν ενδεχομένως αυτές τις πληροφορίες σχετικά με τον ψηφιακό δίδυμο και τις εντοπισμένες αποκρίσεις στη θεραπεία για να ενημερώσουν τις θεραπευτικές επιλογές για τον τρέχοντα ασθενή που εξετάζεται.



Εικόνα 4. Ένα γενικό πλαίσιο για τα ψηφιακά δίδυμα στην υγειονομική περίθαλψη που περιγράφει τις συνιστώσες και τις κατηγορίες (Wickramasinghe, N., Jayaraman, P. P., Zelcer, J., Forkan, A. R. M., Ulapane, N., Kaul, R., & Vaughan, S., 2021)

3.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Μερικές ακόμα περιπτώσεις εφαρμογής ή διερεύνησης ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη :

- Το 2019 δημιουργήθηκε ένα μοντέλο δονήσεων ροής αίματος στο κεφάλι. Ο σκοπός είναι η ανίχνευση της σοβαρότητας της καρωτιδικής στένωσης. Το μοντέλο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία δεδομένων κραδασμών της κεφαλής για διαφορετικούς βαθμούς απόφραξης, το σύνολο δεδομένων με την καλύτερη προσαρμογή συνδυάζεται με μιά αναπαράσταση ανθρώπινου προσώπου, επομένως ανιχνεύεται η προσεγγιστική σοβαρότητα των στενώσεων της καρωτίδας.
- Το 2019 συστήθηκε ένα μοντέλο καρδιάς δύο θαλάμων με αιμοδυναμικές εξισώσεις και έλεγχο της πίεσης με βάση το baroreflex. Ο σκοπός ήταν η δημιουργία δεδομένων

συνθετικών σημάτων PPG. Το μοντέλο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία συνθετικών σημάτων PPG για υγιή και αθηροσκληρώση- μπορεί να προσομοιώσει συγκεκριμένα σενάρια "τι θα γινόταν αν"- μπορεί να παράγει συνθετικά δεδομένα με παθοφυσιολογική ερμηνευσιμότητα- ωφέλιμο για την εκπαίδευση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

- Το 2019 δημιουργήθηκαν μοντέλα καρδιάς, αγγειακού συστήματος και μια νέα συσκευή υποβοήθησης της κοιλιακής λειτουργίας (VAD). Σαν σκοπό είχε τον σχεδιασμό θεραπείας, την διαστασιολόγηση νέων τεχνολογιών και μελλοντικών στρατηγικών θεραπείας στην καρδιακή ανεπάρκεια. Το μοντέλο χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση των πειραματικών δεδομένων εντός του ζωντανού οργανισμού, την πρόβλεψη της υγιούς και της παθολογικής κοιλιακής λειτουργίας και την αξιολόγηση του ευεργετικού αντίκτυπου της νέας έννοιας VAD.
- Το 2020 παρουσιάστηκαν μοντέλα υψηλής ανάλυσης μεμονωμένων ασθενών.Ως σκοπό είχε τον προγραμματισμό θεραπείας και τον προσδιορισμό των καλύτερων φαρμακευτικών αγωγών για μεμονωμένους ασθενείς. Τα μοντέλα που ταιριάζουν καλύτερα στους ασθενείς, προσδιορίζονται από σύνολα γονιδιωματικών δεδομένων προηγούμενων ασθενών. Διάφορες φαρμακευτικές θεραπείες προσομοιώνονται σε ταυτοποιημένους ψηφιακούς διδύμους και προσδιορίζονται τα καταλληλότερα σχήματα με βάση τα δεδομένα.
- Το 2020 θεσπίστηκε μοντέλο βασισμένο σε ολόκληρη την διαδικασία περίθαλψης τραύματος. Σαν σκοπό είχε την καλύτερη διαχείριση διαδικασιών και παροχής φροντίδας τραύματος. Το μοντέλο χρησιμοποιείται για να δώσει τη δυνατότητα σε έναν τραυματιοφορέα να παρακολουθεί συνεχώς την πλήρη κατάσταση ενός τραύματος (συμπεριλαμβανομένων των προ-νοσοκομειακών και χειρουργικών φάσεων, του ασθενούς και της ομάδας περίθαλψης). Ο τραυματιοφορέας μπορεί να έχει μια ολοκληρωμένη γενική εικόνα ενός τρέχοντος τραύματος για τη λήψη καλύτερων αποφάσεων.

3.5 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

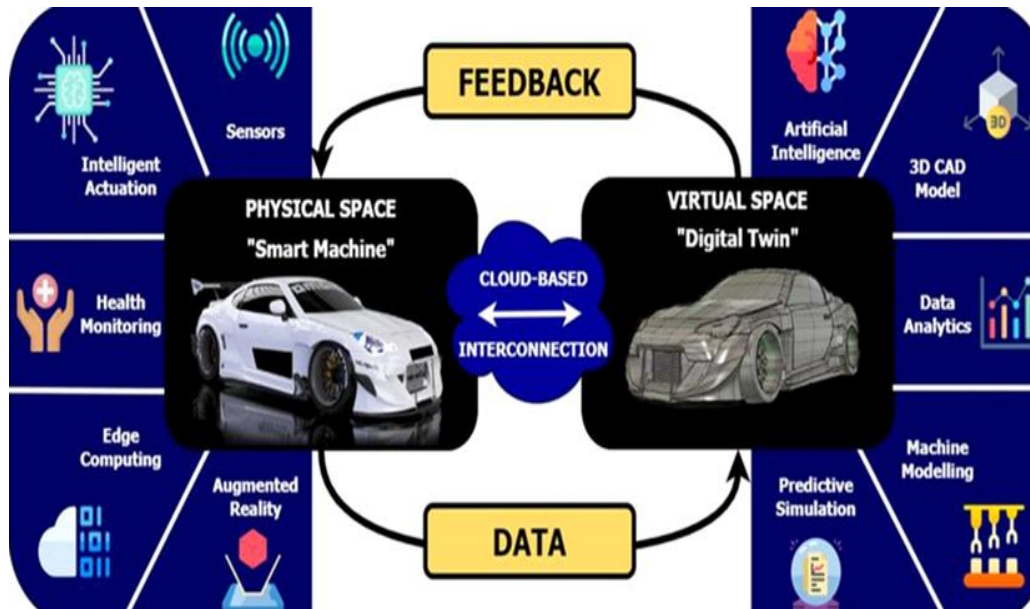
Όπως συμβαίνει με κάθε τεχνολογική εξέλιξη, η εισαγωγή των ψηφιακών διδύμων στην υγειονομική περίθαλψη συνοδεύεται από το δικό της σύνολο ζητημάτων, κινδύνων και προκλήσεων. Κρίσιμα ζητήματα που προκύπτουν μπορούν να απαριθμηθούν ως εξής: Διασφάλιση υψηλών προτύπων απόδοσης και καταλληλότητας της τεχνολογίας για τους προβλεπόμενους σκοπούς - Κίνδυνοι λαθών και λογοδοσία όταν συμβαίνουν λάθη - Σκεπτικισμός σχετικά με τους υπολογισμούς "Black Box", ιδίως μεταξύ της ιατρικής κοινότητας, και η απαίτηση για εξηγήσιμη τεχνητή νοημοσύνη - Ηθικές επιπτώσεις- Ασφάλεια δεδομένων και προστασία της ιδιωτικής ζωής - Νομοθετικές προκλήσεις και αργή υιοθέτηση ψηφιακών λύσεων στην υγειονομική περίθαλψη - και καπιταλισμός επιτήρησης . Ως εκ τούτου, υπάρχει η ευκαιρία για τους τεχνολόγους, τους κλινικούς ιατρούς, τους ερευνητές, τους ηθικολόγους, τους γραφειοκράτες, τους νομοθέτες και τους χρηματοδότες να γνωρίζουν τα κρίσιμα ζητήματα και να συνεργαστούν για να συνδιαμορφώσουν λύσεις και περιβάλλοντα αδειοδότησης που εξασφαλίζουν την καλύτερη δυνατή ποιότητα παροχής υγειονομικής περίθαλψης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΤ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

4.1. ΤΡΟΠΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Στο πλαίσιο της βιομηχανίας των αυτοκινήτων παρόλο που έχει αυξηθεί η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων το μεγαλύτερο μέρος της εφαρμογής τους επικεντρώνεται σε διαδικασίες που σχετίζονται με την κατασκευή των αυτοκινήτων και τις δοκιμές πάνω σε πρότυπα. Σύμφωνα με τα όσα ισχυρίζονται οι Singh et al (2022) τα βασικότερα οφέλη από τη χρήση των ψηφιακών διδύμων στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι η μειωμένη πολυπλοκότητα κατά τη διαδικασία κατασκευής, η εξοικονόμηση χρόνου, το μειωμένο κόστος, και η βελτιωμένη ποιότητα του τελικού προϊόντος. Συμπληρωματικά, οι Singh et al (2022) αναφέρουν ότι τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη και τη βελτιστοποίηση νέων και υφιστάμενων προϊόντων μέσω της λήψης πληροφοριών οι οποίες δεν είναι άμεσα διαθέσιμες στο πραγματικό περιβάλλον (εικ.6).

Στον αυτοκινητοβιομηχανικό κλάδο, όπως ήδη αναφέρθηκε η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων- κατά μεγάλο μέρος - επικεντρώνεται στη διαδικασία κατασκευής των οχημάτων. Επίσης, η χρήση του επικεντρώνεται και στο κομμάτι της προληπτικής συντήρησης διαφόρων μερών του οχήματος όπως και σε δοκιμές πάνω στα ήδη κατασκευασμένα οχήματα. Σύμφωνα με τους Singh et al (2022) τα σημαντικά πλεονεκτήματα που αποκομίζει η αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιώντας ψηφιακά δίδυμα είναι η εξοικονόμηση χρόνου, το μειωμένο κόστος παραγωγής και η βελτίωση της ποιότητας παραγωγής. Αλλά και η βελτίωση των ήδη υπάρχοντων οχημάτων. Παραδείγματα της εφαρμογής των ψηφιακών διδύμων στο πλαίσιο της αυτοκινητοβιομηχανίας παρουσιάζουν οι Rajesh et al (2019).



Εικόνα 5: Παράδειγμα εφαρμογής DT σε όχημα (Piromalis & Kantaros, 2022)

Όπως αναφέρουν οι ίδιοι μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στην αυτοκινητοβιομηχανία είναι αυτή της προληπτικής συντήρησης. Ένα παράδειγμα εδώ είναι ο τρόπος με τον οποίο, μέσω των ψηφιακών διδύμων πραγματοποιείται η προληπτική συντήρηση για τα τακάκια των φρένων. Προκειμένου να γίνει αυτό, αρχικά συλλέγονται και συγκρίνονται τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από τα τακάκια των φρένων, μέσω της προσομοίωσής τους με την εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων. Η ομοιότητα στα δεδομένα και από τις δύο πηγές καταδεικνύει ότι η προληπτική συντήρηση των τακακίων των φρένων είναι δυνατή, όπως και η συλλογή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Επιπλέον, η αυτοκινητοβιομηχανία εκμεταλλεύεται την τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων, προκειμένου να είναι σε θέση να παρέχει περισσότερο εξατομικευμένες υπηρεσίες προς τους πελάτες της αποτυπώνοντας και αναλύοντας συμπεριφορές και δεδομένα λειτουργίας του οχήματος.

4.2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Ως προς το κομμάτι της παραγωγής ένα τρανό παράδειγμα για την χρήση των ψηφιακών διδύμων μπορεί να θεωρηθεί αυτό της BMW, η οποία είναι ένας από τους κολοσσούς της αυτοκινητοβιομηχανίας, η οποία προωθεί και χρησιμοποιεί την εικονική λειτουργία του αύριο. Εντούτοις, η BMW προκειμένου να το καταφέρει αυτό λαμβάνει στήριξη από μεγάλες εταιρίες τεχνολογίας οι οποίες είναι υπεύθυνες για την εφαρμογή του λογισμικού. Στην περίπτωση της γερμανικής αυτής μάρκας αυτοκινήτων, ο συγκεκριμένος συνεργάτης της είναι η εταιρεία μικροεπεξεργαστών, Nvidia. Η Nvidia χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο το ιδιόκτητο σύστημα Omniverse, το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα προσομοίωσης ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας, λαμβάνοντας υπόψη ακόμη και φυσικούς παράγοντες όπως η βαρύτητα. Όπως εξηγούν οι Kozlowski & Wiśniewski (2022) γίνεται σαφές ότι όλη η παραπάνω διαδικασία θα πρέπει να διεξάγεται στο πλαίσιο της φωτορεαλιστικής λεπτομέρειας. Το πολύπλοκο αυτό εικονικό περιβάλλον δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν διαφορετικά μοντέλα. Επίσης, σε αυτό το πλαίσιο της παραγωγής σημειώνεται μια καινοτομία. Η καινοτομία είναι πως το πρότυπο ανοιχτού αρχείου της Omniverse είναι συμβατό με πολλά πακέτα σχεδίασης με τη βοήθεια υπολογιστή. Τα ψηφιακά δίδυμα δίνουν στους κατασκευαστές την ευκαιρία να διατηρήσουν την παραγωγικότητά και παράλληλα να καταπολεμήσουν τις οικονομικές απώλειες.

Συμφωνώντας με τα παραπάνω οι Faisal et al (2019) αναφέρουν ότι η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην παραγωγή αφορά στη δημιουργία και στη διατήρηση ενός ελεγχόμενου περιβάλλοντος το οποίο καλύπτει όλο το φάσμα της παραγωγής. Συγκεκριμένα τους υπαλλήλους, τα μηχανήματα και στην εν γένει βελτίωση του σχεδιασμού της παραγωγικής διαδικασίας. Εν κατακλείδι, η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στην παραγωγική διαδικασία των αυτοκινήτων μεταφράζεται σε καλύτερη εκτίμηση του κόστους επέκτασης της γραμμής παραγωγής, ευκολότερη ανάλυση κάθε σταδίου της παραγωγικής διαδικασίας για τα λεγόμενα «σημεία συμφόρησης», ταχύτερη και πιο διαδραστική επικοινωνία μεταξύ σχεδιαστών οχημάτων, συνεργασία όλων των ενδιαφερόμενων μερών και των τελικών πελατών.

4.3. ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Το στάδιο των πωλήσεων αποτελεί το σημαντικότερο μέρος της αυτοκινητοβιομηχανίας ενώ αποτελεί το τελευταίο βήμα. Το βήμα αυτό καθορίζει τον όγκο των πωλήσεων και κατά επέκταση τα κέρδη της επιχείρησης. Η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων και η τεχνολογία της προσομοίωσης εξυπηρετεί στην εξάλειψη όσο το δυνατόν περισσότερο πιθανών τριβών και λαθών και σε αυτή τη διαδικασία. Ένα παράδειγμα σχετικά με τα παραπάνω είναι αυτό το οποίο αναφέρει ο Pandey (2021). Ο ίδιος εξηγεί πως οι τοπικές αντιπροσωπείες αυτοκινήτων τείνουν να συμφωνήσουν πως το να αγοράζει κάποιος ένα αυτοκίνητο αποτελεί μεταξύ άλλων και μια έντονα συναισθηματική διαδικασία για πολλούς πελάτες. Μεγάλος αριθμός πελατών επιθυμεί να αποκτήσει ένα προσωπικό όχημα και έχει ήδη στο μυαλό του μια συγκεκριμένη εικόνα σχετικά με το είδος του αυτοκινήτου που αναζητά.

Εντούτοις οι αντιπροσωπείες αυτοκινήτων συχνά δημιουργούν ένα πλαίσιο όπου οι υποψήφιοι έρχονται αντιμέτωποι με πολλές παραλλαγές και αποφάσεις. Σε αυτό το σημείο αναδεικνύεται η σημασία και η προσφορά των ψηφιακών διδύμων. Συγκεκριμένα, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση της εμπειρίας κατασκευάζοντας μια προσομοίωση που θα μπορούσε να αναπαραστήσει με ακρίβεια τον τρόπο, κατά τον οποίο ένα συγκεκριμένο μοντέλο αυτοκινήτου θα συμβαδίσει με την καθημερινότητα ενός ατόμου. Επί παραδείγματι, η ανάπτυξη ενός εικονικού δίδυμου μοντέλου αυτοκινήτου και η τοποθέτηση του σε μια εικονική αναπαράσταση της ιδιοκτησίας ενός ατόμου (π.χ. του γκαράζ) θα μπορούσε να τον βοηθήσει να ζωντανέψει το όραμά του για το συγκεκριμένο μοντέλο αυτοκινήτου. Ένα άλλο παράδειγμα για τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν τα ψηφιακά δίδυμα στην αγορά ενός αυτοκινήτου είναι μέσω της προσομοίωσης ενός εικονικού δρόμου, του μοντέλου του αυτοκινήτου που θέλει να επιλέξει ο ίδιος ο πελάτης. Στην παρούσα φάση τα ψηφιακά δίδυμα θα συμβάλλουν στην οπτικοποίηση του τρόπου με τον οποίο ο πελάτης θα χειριστεί και θα οδηγήσει το αυτοκίνητο, καθώς και με ποια ταχύτητα.

Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων, και με βάση την εικονική πραγματικότητα ο πελάτης μπορεί να βιώσει τον τρόπο με τον οποίο θα αισθάνεται όταν θα βρίσκεται μέσα στο αυτοκίνητό του. Εντούτοις όπως αναφέρει ο Pandey (2021) έως και την παρούσα στιγμή, οι αντιπροσωπείες των αυτοκινήτων στο μεγαλύτερο μέρος τους το μόνο που μπορούν να προσφέρουν στους πελάτες είναι το να δοκιμάζουν, οδηγώντας ένα όχημα λίγο πριν

την αγορά του. Με τον τρόπο αυτό όμως, οι πελάτες δεν είναι σε θέση να αποκτήσουν εξατομικευμένη άποψη για κάθε αυτοκίνητο και μοντέλο που θα ήθελαν να δοκιμάσουν. Έτσι γίνεται σαφές ότι τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν στον καταναλωτή να βιώσει τη μέγιστη προσωπική εμπειρία όχι μόνο για ένα μοντέλο αυτοκινήτου αλλά για εκατοντάδες μοντέλα, σε λίγα λεπτά, μέσα από τη διαδικασία της προσομοίωσης.

4.4. ΦΟΡΜΟΥΛΑ 1 ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ

Η Φόρμουλα 1 (F1) είναι ένα άθλημα δισεκατομμυρίων λιρών που συνδυάζει την ψυχαγωγία (σόου) με τον ανταγωνισμό. Είναι αναμφισβήτητα το πιο προηγμένο, υψηλής τεχνολογίας άθλημα στον κόσμο. Με την βοήθεια της τεχνολογίας των ψηφιακών διδύμων μπορούμε να παράγουμε ένα πολύ καλό αγωνιστικό αυτοκίνητο και παράλληλα να καταστήσουμε την νικητήρια ομάδα επιδέξια και αποτελεσματική στην λειτουργία της.

4.4.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΟΣ ΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΟΘΕΣΙΟΥ ΜΕ DIGITAL TWIN

Ο στόχος των μηχανικών της F1 είναι να σχεδιάσουν ένα μονοθέσιο F1 που να είναι κολλημένο στην άσφαλο, ώστε η ταχύτητα στροφής να είναι πολύ γρήγορη. Ωστόσο, πρέπει επίσης να είναι αποδοτικό, ώστε να μην είναι δυσκίνητο στις ευθείες. Αυτές οι απαιτήσεις καθιστούν την αεροδυναμική μια κρίσιμη πτυχή της απόδοσης του μονοθεσίου. Με τόσα πολλά μέρη του μονοθεσίου που μπορούν να έχουν αντίκτυπο στη συνολική απόδοση, η ομάδα αναπτύσσει ένα ψηφιακό δίδυμο του μονοθεσίου της, χρησιμοποιώντας τον τεράστιο όγκο δεδομένων από δοκιμές και από πραγματικούς αγώνες. Η αρχική έκδοση του ψηφιακού δίδυμου μπορεί να μην είναι τέλεια, αλλά η συσχέτιση μεταξύ των πραγματικών αγώνων και της απόδοσης του ψηφιακού αυτοκινήτου θα βοηθήσει τελικά την ομάδα να τελειοποιήσει τον ψηφιακό δίδυμο και στη συνέχεια να βελτιώσει τον πραγματικό σχεδιασμό του αυτοκινήτου της. Κάθε αγωνιστικό αυτοκίνητο μπορεί να έχει περίπου 150-200 αισθητήρες για να συλλέγει και να τροφοδοτεί ζωντανά δεδομένα τηλεμετρίας κάθε 0,001s από τις αγωνιστικές πίστες πίσω στα τεχνολογικά τους κέντρα. Σε αυτό το σημείο το ψηφιακό τους δίδυμο μπορεί να βοηθήσει

σημαντικά στη λήψη της σωστής απόφασης στρατηγικής σε κλάσματα του δευτερολέπτου.

Οι οπτικοί αισθητήρες ολίσθησης χρησιμοποιούνται πολύ γύρω από τα αυτοκίνητα λόγω της υψηλής ακρίβειας και της χαμηλής καθυστέρησης. Χρησιμοποιούνται στο εσωτερικό των ελαστικών για τη μέτρηση: της παραμόρφωσης του πλευρικού τοιχώματος, της παραμόρφωσης του πέλματος, της πίεσης επαφής του αποτυπώματος και του μήκους του αποτυπώματος. Αυτές οι μετρήσεις μεταδίδονται και συνδυάζονται με τις πιέσεις των ελαστικών, τις θερμοκρασίες του σκελετού, της επιφάνειας, του περιβάλλοντος και της πίστας. Σε περιόδους εξάσκησης και δοκιμών, οι κάμερες IR τοποθετούνται πάνω από τα πλευρικά καλύμματα για τη μέτρηση των εξωτερικών θερμοκρασιών του σκελετού των ελαστικών. Η συσχέτιση αυτών των δεδομένων οδηγεί σε ένα προβλεπόμενο ποσοστό φθοράς.

4.4.2 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στους κανονισμούς του 2021, όλα τα αυτοκίνητα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με σύστημα τηλεμετρίας το οποίο έχει κατασκευαστεί από τον καθορισμένο από τη FIA προμηθευτή σύμφωνα με προδιαγραφές που καθορίζονται από τη FIA. Απαγορεύεται η τηλεμετρία από το pit-to-car- ως εκ τούτου, όλα τα δεδομένα πρέπει πρώτα να περάσουν από τους διακομιστές της FIA. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται μέσω RF με κάποιες αναφορές για ταχύτητες 60GHz στην ευθεία εκκίνησης/τερματισμού.

Η συλλογή δεδομένων υψηλής ανάλυσης είναι το κλειδί για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το μονοθέσιο αλλάζει κατά τη διάρκεια ενός αγώνα και για την πρόβλεψη του τι θα συμβεί στο μονοθέσιο σε μελλοντικούς αγώνες. Μέχρι και 3GB δεδομένων μεταδίδονται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου προπόνησης, ενώ σε έναν αγώνα μεταδίδονται έως και 3TB δεδομένων, με την ECU να λαμβάνει και να στέλνει πάνω από 750 εκατομμύρια σημεία δεδομένων.

Οι ομάδες χρησιμοποιούν ένα ευρύ φάσμα αισθητήρων για να τις ενημερώνουν για κάθε πτυχή του αυτοκινήτου σε πραγματικό χρόνο, ώστε να μπορούν να παρακολουθούν την απόδοσή του σε συγκεκριμένες στροφές και ευθείες. Οι βάνες πίεσης αέρα στην μπροστινή πτέρυγα και σε όλο το αμάξωμα επιτρέπουν στους αεροδυναμικούς της ομάδας να μετρήσουν την αεροδυναμική πίεση και το φορτίο. Τα ευρήματά τους στην πίστα μεταφέρονται στο

εργοστάσιο, όπου η ομάδα αεροδυναμικής αναπτύσσει και κατασκευάζει βελτιωμένα εξαρτήματα με βάση τη σύγκριση μεταξύ των αναμενόμενων και των συλλεχθέντων δεδομένων. Ιδιαίτερη φροντίδα και προσοχή δίνεται στην υποβάθμιση και τη φθορά των ελαστικών καθ' όλη τη διάρκεια του αγώνα. Οι πιέσεις λειτουργίας και οι θερμοκρασίες πρέπει να ελέγχονται και να παρακολουθούνται για βέλτιστη απόδοση, καθώς ακόμη και ελάχιστες αλλαγές σε αυτές τις ενδείξεις μπορούν να υποδείξουν πιθανά προβλήματα ή την ανάγκη αλλαγής ελαστικών. Η ανταπόκριση σε πραγματικό χρόνο σε απρόβλεπτα γεγονότα είναι κρίσιμη σε περίπτωση πιθανών βλαβών.

Το πεντάλ του γκαζιού είναι ένα κομμάτι της τεχνολογίας fly-by-wire- η χρήση του μετράται από έναν αισθητήρα εντός του γκαράζ, ο οποίος εξάγει ένα ποσοστό με βάση το ποσό της πίεσης του πεντάλ από τον οδηγό, όπου το 100% είναι πλήρως πατημένο. Ο οδηγός μπορεί να ρυθμίσει την παροχή ισχύος μέσω του εύρους του πεντάλ ώστε να ταιριάζει καλύτερα στο στυλ οδήγησής του και αυτά τα δεδομένα του πεντάλ χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν στην ενημέρωση αυτής της απόφασης. Οι δίσκοι φρένων από ανθρακονήματα λειτουργούν σε απίστευτα υψηλές θερμοκρασίες, πάνω από 1000°C. Τα φρένα παρακολουθούνται συνεχώς για να διασφαλίζεται ότι δεν υπερθερμαίνονται και οι αισθητήρες πίεσης των φρένων χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή των προκαθορισμένων ρυθμίσεων προκατάληψης των φρένων που έχει στη διάθεσή του ο οδηγός, μοναδικές για κάθε πίστα. Κάθε τροχός είναι εφοδιασμένος με έναν εξελιγμένο, αεροδυναμικό αγωγό φρένων που φιλτράρει τον αέρα ψύξης προς τα φρένα.

Πίσω στο εργοστάσιο, τα ψηφιακά δίδυμα επικυρώνονται με αυτά τα πραγματικά δεδομένα και παρατηρήσεις, κάθε αυτοκίνητο μεταδίδει 100.000 σημεία δεδομένων το δευτερόλεπτο, περίπου 100GB δεδομένων σε κάθε αγώνα και πάνω από ένα δισεκατομμύριο αριθμούς σε έναν δίωρο αγώνα. Τα ψηφιακά δίδυμα, τα οποία προσθέτουν εικονικές αισθήσεις στο μείγμα, αυξάνουν τον όγκο των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σε περίπου 5 δισεκατομμύρια αριθμούς σε κάθε αγώνα ή 11,8 δισεκατομμύρια σημεία δεδομένων κάθε χρόνο. Για την αντιμετώπιση αυτού του παράλογου όγκου δεδομένων που παράγονται από το αυτοκίνητο, η McLaren χρησιμοποιεί ένα πλαίσιο υλοποίησης ενός διαύλου λογισμικού που χρησιμοποιεί επεξεργασία ροής και ονομάζεται Apache Kafka. Παρέχει μια ενοποιημένη

πλατφόρμα υψηλής απόδοσης και χαμηλής καθυστέρησης για τον χειρισμό τροφοδοσίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με τρισεκατομμύρια γεγονότα την ημέρα, καθιστώντας την ιδανική για τη χρήση ψηφιακών διδύμων στην F1. Οι μηχανικοί δίπλα στην πίστα βρίσκονται σε συνεχή σύνδεση με μια ομάδα μηχανικών και στρατηγικών στο εργοστάσιο, οι οποίοι αναλύουν τα δεδομένα καθώς εισέρχονται και εκτελούν προσομοιώσεις. Συγκεκριμένα κανάλια ήχου παραμένουν αποκλειστικά για την επικοινωνία εκτός πίστας, ώστε να διασφαλίζονται ασφαλείς γραμμές επικοινωνίας.

4.4.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ

Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν την ομάδα να προετοιμαστεί και να βελτιστοποιήσει τις λειτουργίες της: Οι οδηγοί μπορούν να εξασκούνται στην οδήγηση και να μαθαίνουν πράγματα σε έναν προσομοιωτή αυτοκινήτου (digital twin) πριν καν βγουν στις πίστες. Καθώς ο χρόνος δοκιμών είναι περιορισμένος στις μέρες μας για εξοικονόμηση κόστους, οι οδηγοί βασίζονται περισσότερο στην ψηφιακή έκδοση του αυτοκινήτου και της πίστας. Όσο πιο ακριβής είναι ο προσομοιωτής τους, τόσο καλύτερα μπορούν να προετοιμαστούν οι δύτες κάνοντας εξάσκηση. Όλη η ομάδα βασίζεται στον ψηφιακό της δίδυμο για να προβλέψει και να εκτελέσει εκατοντάδες διαφορετικά σενάρια κατά τη διάρκεια του αγώνα, και να είναι έτοιμη για κάθε απροσδόκητο γεγονός.

Για να εντοπίσουν πότε υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο αυτοκίνητο, υπάρχουν τρεις κύριες πηγές πληροφοριών: pitwall + κάμερες γύρω από την πίστα, επίγνωση του οδηγού και αισθητηριακά δεδομένα από αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι στο αυτοκίνητο. Τα αισθητηριακά δεδομένα που τροφοδοτούνται σε ένα ψηφιακό δίδυμο θα δώσουν τη μεγαλύτερη εικόνα ενός προβλήματος και συνήθως μπορούν να προβλέψουν την υποβάθμιση ενός εξαρτήματος πριν από την αποτυχία, ωστόσο, αποτυχίες εξακολουθούν να συμβαίνουν. Μερικές φορές το πρόβλημα είναι άγνωστο ή είναι μεταξύ των αισθητήρων. Οι ομάδες που είναι πιο κοντά σε ένα "τέλειο" ψηφιακό δίδυμο θα έχουν το πιο αξιόπιστο αυτοκίνητο.

Κάθε εξάρτημα του αυτοκινήτου έχει ένα ψηφιακό δίδυμο, στο οποίο εκτελούνται προσομοιώσεις πριν από την παραγωγή του φυσικού μέρους. Αυτό επιτρέπει στην ομάδα να

σχεδιάζει νέα εξαρτήματα που δεν ήταν σε θέση να σχεδιάσει πριν από 5 χρόνια και να εκτελεί δοκιμές απόδοσης και αξιοπιστίας σε εξαρτήματα σε προσομοίωση πριν τοποθετηθούν στο μονοθέσιο. Αυτές οι προσομοιώσεις μπορούν να δώσουν στους μηχανικούς μια ιδέα για τη διάρκεια ζωής ενός συγκεκριμένου εξαρτήματος και για το τι μπορεί να προκαλεί τη μεγαλύτερη καταπόνηση σε αυτό, παρέχοντας τομείς για βελτίωση. Ένα από αυτά τα εξαρτήματα είναι τα παξιμάδια των τροχών, που είναι ένα απαραίτητο αλλά πολύπλοκο κομμάτι από μηχανικά επεξεργασμένο κράμα. Πρέπει να είναι στιβαρά και ασφαλή, αλλά βελτιώνονται συνεχώς κατά τη διάρκεια της σεζόν, καθώς οι μηχανικοί προσπαθούν να τα κάνουν πιο γρήγορα στην αφαίρεση και την αντικατάστασή τους, ώστε να μειωθεί ο χρόνος των pit stop. Πλέον μπορεί να εξηγηθεί γιατί οι ομάδες μπορούν να παράγουν μονοθέσια με εξαιρετικό ρεκόρ αξιοπιστίας παρά το γεγονός ότι ο χρόνος δοκιμών είναι περιορισμένος στο ελάχιστο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - ΕΞΥΠΝΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

5.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ

«*Εξυπνη πόλη*» είναι μία πόλη η οποία αξιοποιεί τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών με σκοπό να λειτουργεί αποτελεσματικά. Η έννοια διαφοροποιείται ανάλογα τους ανθρώπους και την πόλη στην οποία αναφέρεται κάποιος σε κάθε περίπτωση. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρόκειται για «*μια πόλη όπου η αποτελεσματικότητα των παραδοσιακών υπηρεσιών αυξάνεται με τη χρήση ψηφιακών και τηλεπικοινωνιακών τεχνολογιών προς όφελος των κατοίκων*» (Ristvej et al., 2020). Μάλιστα, είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί ότι σκοπός της αξιοποίησης των πληροφοριών και των επικοινωνιακών τεχνολογιών είναι η πόλη να διαχειρίζεται καλύτερα και αποτελεσματικότερα τους διαθέσιμους πόρους, να μειώνει όσο είναι δυνατό τις εκπομπές ρύπων και να εφαρμόζει μία βιώσιμη ανάπτυξη. Για αυτούς τους λόγους, οι έξυπνες πόλεις διαθέτουν καινοτόμα δίκτυα μεταφοράς, αποδοτικές εγκαταστάσεις φωτισμού και θέρμανσης, καλύτερα συστήματα για τη διανομή νερού και αναβαθμισμένες εγκαταστάσεις αποβλήτων. Κάθε έξυπνη πόλη σκοπό έχει να καινοτομεί και να παρέχει αστικές υπηρεσίες αποτελεσματικότερα, αυξάνοντας την βιωσιμότητα (Fialova et al., 2021; Singh et al., 2022).

Επιπροσθέτως, σκοπός μίας έξυπνης πόλης είναι να καλύπτονται οι ανάγκες των πολιτών της, να παρέχεται σε αυτούς ασφάλεια στους δημόσιους χώρους και να διοικείται αποτελεσματικά. Κάθε σύγχρονη πόλη πλέον, αποσκοπεί στο να γίνει έξυπνη και να αναβαθμιστεί σε ποικίλους τομείς, όπως η παραγωγή, η οικονομία, οι εμπορικές δραστηριότητες, η προστασία του περιβάλλοντος, κ.α. (Peroni & Morgano, 2020; Su, Li & Fu, 2011).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν είναι όλες οι έξυπνες πόλεις όμοιες. Παρουσιάζουν διαφορές ανάλογα με την χώρα στην οποία βρίσκονται, εξαιτίας γεωγραφικών και πολιτικών κυρίως λόγων. Σε κάθε περίπτωση, βασική επιδίωξη είναι να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις της αστικοποίησης. Επομένως, σκοπός των έξυπνων πόλεων είναι να βελτιωθεί η ζωή μέσα σε αυτές και να μειώσουν το περιβαλλοντολογικό τους αποτύπωμα, υιοθετώντας νέες πρακτικές φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο (Fialová et al., 2021; Peroni & Morgano, 2020).

Σε γενικές γραμμές, τα βασικότερα «έξυπνα» χαρακτηριστικά των έξυπνων πόλεων είναι τα ακόλουθα:

- Υποδομές, κτήρια
- Συγκοινωνίες
- Αξιοποίηση ενέργειας
- Σύστημα και παροχές υγειονομικής περίθαλψης
- Νέες τεχνολογίες
- Διοίκηση
- Ασφάλεια
- Εκπαιδευτικό σύστημα και εκπαιδευτική διαδικασία
- Οικονομία
- Περιβάλλον, (Mohanty et al., 2016).



Εικόνα 6: Τα βασικά χαρακτηριστικά της έξυπνης πόλης (Καραμπίνη, 2017)

5.1 ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ DT

Οι αισθητήρες και οι δυνατότητα διασύνδεσής τους, καθώς και η άμεση επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων μπορεί να επιφέρουν πολλά οφέλη σε μία πόλη. Τα οφέλη από την

εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων σε μία έξυπνη πόλη ποικίλουν και αφορούν πολλούς και διαφορετικούς τομείς.

Κατ' αρχάς, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να προσφέρουν πολλά σε επίπεδο διοίκησης μίας πόλης και στη λήψη αποφάσεων, καθώς δίνουν τη δυνατότητα να συγκεντρώνονται και να αναλύονται βασικές πληροφορίες, όπως περιουσιακά στοιχεία, οι διαθέσιμοι πόροι, οι εγκαταστάσεις, κ.α. Έτσι, είναι εύκολο όσοι διοικούν την πόλη να σχηματίσουν μία ολιστική εικόνα της και να λάβουν ευκολότερα αποφάσεις, οι οποίες θα συμβάλλουν στην αντιμετώπιση των αναγκών της πόλης και την ανάπτυξή της.

Επίσης, η αξιοποίηση της τεχνολογίας των ψηφιακών διδύμων δίνει τη δυνατότητα της πλήρους παρακολούθησης της πόλης και της αποφυγής κινδύνων. Όλες οι λειτουργίες της πόλης είναι δυνατόν να παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο, είτε αυτό αφορά τη λειτουργία σηματοδοτών που είναι κάτι απλό, είτε την παρακολούθηση της συγκομιδής, της διαχείρισης και του όγκου των απορριμμάτων. Με αυτόν τον τρόπο, οι ομάδες διαχείρισης της πόλης είναι σε θέση να προβλέψουν ενδεχόμενα προβλήματα και να αποφύγουν κινδύνους, προσφέροντας ασφάλεια στους πολίτες και κερδίζοντας χρόνο και χρήματα (O'Dwyer et al., 2020).

Ακόμη, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στον καλύτερο σχεδιασμό του πολεοδομικού συστήματος μίας πόλης, η οποία είναι μία πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία. Η αξιοποίηση των ψηφιακών διδύμων μπορεί να βοηθήσει στο να δημιουργηθούν και να αναπτυχθούν νέες ιδέες στην πολεοδομία, καθώς στο αρχικό ακόμη στάδιο των νέων ιδεών, τα ψηφιακά δίδυμα παρέχουν τη δυνατότητα ταχείας επιλογής, προσομοίωσης, αλλά και δοκιμής τους (O'Dwyer et al., 2020).

Επιπροσθέτως, με την αξιοποίηση των DT κάθε έξυπνη πόλη μπορεί να μειώσει το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα, προστατεύοντας έτσι το περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα εξοικονομεί χρήματα. Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να προβλέψει τυχόν προβλήματα στη λειτουργία της πόλης, τα οποία ενδεχομένως να επέφεραν σπατάλη των διαθέσιμων πόρων. Επιπλέον, μέσω των ψηφιακών διδύμων μπορούν να ανευρεθούν λύσεις σε κάθε τομέα της πόλης, οι οποίες θα είναι οικονομικότερες και πιο φιλικές για το περιβάλλον (O'Dwyer et al., 2020).

Φυσικά, οι πληροφορίες που μπορούν να συλλεχθούν και να επεξεργαστούν μέσω των ψηφιακών διδύμων παρέχουν τη δυνατότητα αξιολογήσεων από τις ομάδες διαχείρισης μίας έξυπνης πόλης. Επί παραδείγματι, μπορεί να εντοπιστεί κάποιο σημείο της πόλης στο οποίο πραγματοποιούνται συχνά τροχαία ατυχήματα και να ενημερωθούν οι πολίτες σχετικά με αυτό, ώστε να είναι περισσότερο προσεκτικοί ή, ακόμη, να πραγματοποιηθούν βελτιώσεις στο συγκεκριμένο σημείο, οι οποίες θα το καταστήσουν πιο ασφαλές. Επιπλέον, μέσω αυτών των πληροφοριών είναι δυνατό να παρακολουθηθούν οι κινήσεις των πολιτών και η αγοραστική τους συμπεριφορά, γεγονός το οποίο μπορεί να επιφέρει πολλά κέρδη στην πόλη, η οποία μπορεί να επενδύσει στην προώθηση προϊόντων που σημειώνουν εμπορική κίνηση ή την αγοροπωλησία ακινήτων σε περιοχές όπου η ζήτηση είναι υψηλή (O'Dwyer et al., 2020).

Σε γενικές γραμμές, τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν μία τεχνολογία που μπορεί να βελτιώσει σημαντικά το σύνολο των λειτουργιών κάθε πόλης, καθώς, όπως φαίνεται από όσα προαναφέρθηκαν, τα οφέλη από την αξιοποίησή τους ποικίλουν. Η παρακολούθηση της πόλης σε πραγματικό χρόνο δίνει τη δυνατότητα άμεσης ανταπόκρισης σε περιπτώσεις που υπάρχει έκτακτη ανάγκη, συμβάλλει στην καλύτερη κυκλοφορία μέσα στην πόλη και τη μείωση του ενεργειακού της αποτυπώματος (O'Dwyer et al., 2020)..

Όλα αυτά τα θετικά αποτελέσματα της χρήσης των ψηφιακών διδύμων για τη δημιουργία έξυπνων πόλεων, ωθούν όλο και περισσότερες πόλεις να επενδύσουν σε αυτά. Μάλιστα, μία σχετικά πρόσφατη μελέτη της Juniper Research αναδεικνύει σημαντική αύξηση των δαπανών των πόλεων διεθνώς προς αυτή την κατεύθυνση τα τελευταία χρόνια. Επίσης, προβλέπεται ότι τα επόμενα τέσσερα χρόνια θα σημειωθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας εξαιτίας των συγκεκριμένων επενδύσεων στον τομέα αυτό, γεγονός το οποίο είναι πολύ σημαντικό αυτή τη στιγμή που ο πλανήτης βιώνει ενεργειακή κρίση (Juniper Research, 2022).

5.3 ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΠΟΛΕΙΣ

Οι DTC (Digital twins cities) στοχεύουν στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της βιωσιμότητας των logistics, της κατανάλωσης ενέργειας, των επικοινωνιών, του αστικού σχεδιασμού, των καταστροφών, της κατασκευής κτιρίων και των μεταφορών. Σε αυτή την

ενότητα, παραθέτουμε διάφορες βασικές τεχνολογίες στις DTCs: τεχνολογία τοπογραφίας και χαρτογράφησης, τεχνολογία μοντελοποίησης πληροφοριών κτιρίου (BIM), IoT, 5G, συνεργατική υπολογιστική, blockchain και προσομοίωση.

Οι προαναφερθείσες τεχνολογίες διαδραματίζουν διαφορετικό ρόλο στις DTCs. Η τεχνολογία τοπογραφίας και χαρτογράφησης αποτελεί τη βάση για τη συλλογή των στατικών δεδομένων των κτιρίων στις πόλεις. Η τεχνολογία BIM αποτελεί τη βάση για τη διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων και των υποδομών των πόλεων. Το IoT και το 5G είναι οι βάσεις για τη συλλογή δυναμικών δεδομένων και την αποτελεσματική ανατροφοδότηση. Η τεχνολογία blockchain είναι η βάση για τον μηχανισμό εμπιστοσύνης των συναλλαγών, της εφοδιαστικής και της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Η συνεργατική υπολογιστική με το 5G είναι η βάση για αποτελεσματικές απαντήσεις σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογία προσομοίωσης είναι η βάση για την υποστήριξη της πολιτικής, τον σχεδιασμό και τους μηχανισμούς έγκαιρης προειδοποίησης.

5.3.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

Οι DTC επικεντρώνεται στην αμεσότητα και την ακρίβεια, γεγονός που απαιτεί εξαιρετικά αυτοματοποιημένη τεχνολογία χαρτογράφησης και τοπογραφίας. Η τοπογράφιση και η χαρτογράφηση σε μία DTC είναι οι θεμελιώδεις τεχνολογίες που καθιστούν δυνατή την παροχή ολοκληρωμένων ολογραφικών αποτελεσμάτων δεδομένων (2D/3D, υπέργεια/υπόγεια και εσωτερική/εξωτερική) σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογία τοπογραφίας και χαρτογράφησης στις πόλεις έχει δύο τμήματα: την τοπογραφία, το περιβάλλον και τη χωρική δομή της πόλης και τη χαρτογράφηση αυτών των πληροφοριών σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα που βασίζεται στο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Στο κομμάτι της τοπογραφίας, εξετάζονται τέσσερις τεχνολογίες: η φωτογραφία κλίσης, το μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UAV), η τρισδιάστατη σάρωση με λέιζερ και το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS). Στο μέρος της χαρτογράφησης, εξετάζονται δύο τεχνολογίες: τεχνολογία ανακατασκευής 3D σε πραγματικό κόσμο και τεχνολογία επεξεργασίας γεωγραφικών δεδομένων πολλαπλών πηγών.

Τα τελευταία χρόνια, με την ωρίμανση της φωτογραφίας κλίσης και της τεχνολογίας UAV, η σε πραγματικό χρόνο και ακριβής, απόκτηση τοπικών δεδομένων ορθοφωτογραφίας,

κλίσης ή νέφους σημείων Lidar στις πόλεις, μπορεί να μειώσει σημαντικά τον φόρτο εργασίας της χαρτογράφησης πεδίου. Αυτές οι μη επανδρωμένες εγκαταστάσεις αξιοποιούν πλήρως τα αντίστοιχα πλεονεκτήματά τους για την πραγματοποίηση ολοκληρωμένων μετρήσεων αστικών οντοτήτων από το έδαφος, τον ουρανό, τα ποτάμια και τον υπόγειο χώρο, ενώ παράλληλα εφαρμόζουν επαναληπτικές ενημερώσεις δεδομένων. Οι Gao κ.ά. (2017) μελέτησαν την ταχεία απόκτηση και μέθοδο επεξεργασίας δεδομένων τοπογραφικών χαρτών μεγάλης κλίμακας, η οποία βασίζεται στο σύστημα εναέριας φωτογραμμετρίας χαμηλού ύψους UAV. Οι Meouche, Hijazi, Poncet, Abunemeh και Rezoug (2016) χρησιμοποίησαν ένα UAV και άλλα κλασικά όργανα τοπογραφίας για να διερευνήσουν τη δυνατότητα αξιοποίησης και πιστοποίησής του. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι η ακρίβεια είναι ικανοποιητική, με μέγιστο σφάλμα 1,0 cm στα σημεία ελέγχου του εδάφους και 4 cm για το υπόλοιπο μοντέλο. Η τοπογραφική τεχνολογία νέας γενιάς, η οποία επικεντρώνεται στη χρήση UAV, είναι πλέον ευρέως διαδεδομένη και λειτουργική για πολλές εφαρμογές. Οι Yao, Qin και Chen (2019) παρείχαν μια σύντομη περίληψη των υφιστάμενων παραδειγμάτων RS με βάση UAV σε γεωργικές, περιβαλλοντικές, αστικές εφαρμογές, εφαρμογές εκτίμησης κινδύνων κ.λπ. Σε σύγκριση με την παραδοσιακή τοπογραφία, η εναέρια φωτογραμμετρία παρέχει ταχύτερη απόκτηση και επεξεργασία δεδομένων και παράγει αρκετά προϊόντα υψηλής ποιότητας, με εντυπωσιακό επίπεδο λεπτομέρειας στα αποτελέσματα με χαμηλότερο κόστος (Beretta et al., 2018).

Η τεχνολογία τρισδιάστατης σάρωσης με λέιζερ είναι μια τεχνολογία χαμηλού κόστους που χρησιμοποιεί μια μέθοδο μέτρησης υψηλής ταχύτητας σάρωσης με λέιζερ και την αρχή της απόστασης λέιζερ για τη συσσώρευση πυκνών σημειακών νεφών δεδομένων (point cloud data) μεγάλης έκτασης. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν τρισδιάστατες συντεταγμένες, ανάκλαση και υφή στην επιφάνεια του μετρούμενου αντικειμένου. Με τον αλγόριθμο επεξεργασίας, αυτή η τεχνολογία θα δημιουργήσει αμέσως ένα τρισδιάστατο μοντέλο του μετρούμενου αντικειμένου, καθώς και διάφορα δεδομένα χάρτη, όπως γραμμές, περιοχές και όγκους. Με την ταχεία πρόοδο στον αστικό σχεδιασμό, το κόστος της ελαφριάς τεχνολογίας 3D σάρωσης με λέιζερ έχει μειωθεί απότομα, προωθώντας έτσι τη χρήση των UAV. Οι Li κ.ά. (2019) κατασκεύασαν ένα σύστημα μέτρησης για την απόκτηση παγκόσμιων δεδομένων νέφους σημείων συντεταγμένων συνδυάζοντας 3D σάρωσης με λέιζερ και GPS, η ακρίβεια θέσης στα δεδομένα παγκόσμιων συντεταγμένων ήταν καλύτερη από 10 mm.

Η τεχνολογία τρισδιάστατης ανακατασκευής του πραγματικού κόσμου είναι το κλειδί για τη χαρτογράφηση, με βάση τα αποτελέσματα της τηλεπισκόπησης και τη συγχώνευση δεδομένων πολλαπλών πηγών. Σε μια πόλη, η τεχνολογία αυτή αποκτά τρισδιάστατα νέφη σημείων, τρισδιάστατα μοντέλα και πραγματικές εικόνες μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών. Η εξαιρετική ακρίβεια θέσης και η γεωμετρική ακρίβεια διαχωρίζουν αυτή την τεχνολογία από τις άλλες. Οι Nikoohemat, Diakite, Zlatanova και Vosselman (2020) εισήγαγαν μια πλήρη ροή εργασίας που επιτρέπει τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων από σημειακά νέφη κτιρίων και την εξαγωγή δικτύων πλοήγησης εσωτερικών χώρων από τα εν λόγω μοντέλα για την υποστήριξη προηγμένου σχεδιασμού διαδρομών για τη διαχείριση καταστροφών. Οι Zhou, Wang, Love, Ding και Zhou (2019) πρότειναν μια μέθοδο για τη βελτίωση του αποτελέσματος ανακατασκευής μιας τρισδιάστατης δομής και της οπτικοποίησης του μοντέλου. Οι Ma και Liu (2018) συνόψισαν τα σύγχρονα επιτεύγματα και τις προκλήσεις για τις εφαρμογές των τεχνικών τρισδιάστατης ανακατασκευής στην πολιτική μηχανική και πρότειναν βασικές μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν στον τομέα. Η τεχνολογία τρισδιάστατης κατασκευής νέφους σημείων λείζερ θα αντανakλά τα πλεονεκτήματα της αυτόματης κατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων στο DTC και έχει μια πολύ πραγματική,

5.3.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Έχουν διεξαχθεί πολλές μελέτες για τη δημιουργία της BIM (Building Information Modeling) ή της μοντελοποίησης πληροφοριών πόλης ως ψηφιακής υποδομής για την υποστήριξη διαφόρων προγραμμάτων έξυπνων πόλεων (Chen et al., 2018). Σε μία DTC, η τεχνολογία ψηφιακών διδύμων χαρτογραφεί τη φυσική πόλη σε μια πόλη-καθρέφτη που μπορεί να αποσυναρμολογηθεί, να αντιγραφεί, να μεταφερθεί, να τροποποιηθεί, να διαγραφεί και να λειτουργήσει επανειλημμένα.

Η τεχνολογία ταυτότητας είναι η βάση των λειτουργιών και της συντήρησης της DTC, η οποία δίνει "πληροφορίες ταυτότητας" στα φυσικά αντικείμενα στον ψηφιακό κόσμο. Η τεχνολογία ταυτότητας θα πιστοποιεί τη μοναδική ταυτοποίηση κάθε οντότητας στην πόλη και η "ψηφιακή της ταυτοποίηση" είναι η μόνη ταυτοποίηση στο σύστημα BIM. Μετά τις διαδικασίες ταυτότητας, η εύρεση, η τοποθέτηση και η φόρτωση σχετικών πληροφοριών των αντικειμένων στη βάση δεδομένων περιουσιακών στοιχείων καθίστανται γρήγορα δυνατές. Με την τεχνολογία

ταυτότητας, το σύστημα BIM μπορεί να αναγνωρίσει κάθε οντότητα χρησιμοποιώντας διάφορες προσεγγίσεις, όπως η τεχνολογία τοπογραφίας και χαρτογράφησης. Ένα σύστημα μοντελοποίησης πληροφοριών παρέχει όλα τα απαιτούμενα εργαλεία και την αυτοματοποίηση για την επίτευξη επικοινωνίας από άκρο σε άκρο, την ανταλλαγή δεδομένων και την πληροφόρηση μεταξύ των αναγνωρισμένων συνεργατών. Οι Xue, Chen κ.ά. (2018) προσπάθησαν να κατανοήσουν την υφιστάμενη κατάσταση και την πορεία ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων BIM με χρήση RFID και, τέλος, παρείχαν κατευθυντήριες γραμμές πέντε βημάτων για τη σύνδεση του RFID με το BIM. Σύμφωνα με αυτά, τα εικονικά τρισδιάστατα μοντέλα, που δημιουργούνται μέσω της διαδικασίας BIM, παραδίδονται ως φυσικά περιουσιακά στοιχεία, παρακολουθούνται σε πραγματικό χρόνο και διαχειρίζονται με τη χρήση συστημάτων διαχείρισης κτιρίων, και μπορούν να υιοθετήσουν σχέδια και υπηρεσίες IoT.

5.3.3 IoT & 5G

Η τεχνολογία IoT, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου απόκτησης και της διαδικασίας αντίληψης, αποτελεί τη βάση για τη συλλογή δυναμικών δεδομένων και την ανατροφοδότηση. Από τη μία πλευρά, οι τεχνολογίες απόκτησης καθιστούν την επικοινωνία μεταξύ της υποδομής IoT και των οντοτήτων μέσω του δικτύου αισθητήρων. Από την άλλη πλευρά, οι τεχνολογίες αντίληψης διαβάζουν τα αρχικά δεδομένα και τα μεταφέρουν σε έκδοση αναγνώσιμη από μηχανήματα. Ωστόσο, και οι δύο τεχνολογίες βασίζονται στην υποδομή IoT.

Ο αισθητήρας είναι το βασικό μέρος του IoT, το οποίο μετράει κάποια ιδιότητα του περιβάλλοντος και μετατρέπει την είσοδο σε ηλεκτρικό σήμα. Για να πραγματοποιηθεί η αναπαράσταση σε επίπεδο συστήματος ενός σύνθετου περιουσιακού στοιχείου, όπου η φυσική οντότητα έχει μια δυναμικά συνδεδεμένη αναπαράσταση στον ψηφιακό κόσμο, είναι απαραίτητη η βελτίωση των τεχνολογιών αισθητήρων πραγματικού χρόνου.

Τα τελευταία χρόνια, το IoT κατέστησε δυνατή την παρακολούθηση και διαχείριση των αστικών υπηρεσιών κοινής χρήσης ποδηλάτων και δημόσιων χώρων στάθμευσης, καθώς και της κατανάλωσης νερού, της ρύπανσης του αέρα και του θορύβου και της κυκλοφορίας (Vojnovic, 2014). Ο Bibri (2018) προτείνει ότι οι αισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το είδος της ενέργειας που ανιχνεύουν ως σήματα: αισθητήρες θέσης (π.χ. GPS, ενεργά σήματα),

αισθητήρες οπτικής/όρασης (π.χ. φωτοδιόδοι, αισθητήρες χρώματος, υπέρυθρης και υπεριώδους ακτινοβολίας), αισθητήρες φωτός (π.χ. φωτοκύτταρα, φωτοδιόδοι), αισθητήρες εικόνας (π.χ. κάμερα στερεοφωνικού τύπου, υπέρυθρες), αισθητήρες ήχου (π.χ. μικρόφωνα), αισθητήρες θερμοκρασίας (π.χ. θερμόμετρα), αισθητήρες θερμότητας (π.χ. βολόμετρο), ηλεκτρικοί αισθητήρες (π.χ. γαλβανόμετρο), αισθητήρες πίεσης (π.χ. βαρόμετρο, μανόμετρα), αισθητήρες κίνησης (π.χ. ραντάρ, ταχύμετρο, διακόπτες υδραργύρου, στροφόμετρο), αισθητήρες προσανατολισμού (π.χ. γυροσκόπιο), αισθητήρες φυσικής κίνησης (π.χ. επιταχυνσιόμετρα), βιοαισθητήρες (π.χ. μέτρηση παλμού, γαλβανική απόκριση δέρματος), συσκευές επεξεργασίας ζωτικών σημείων(καρδιακός ρυθμός, θερμοκρασία), αισθητήρες που φοριούνται (π.χ. επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια, μαγνητόμετρα) και αισθητήρες αναγνώρισης και ιχνηλασιμότητας (π.χ. RFID, NFC).

Δημιουργούν επιχειρηματικές ευκαιρίες για εταιρείες ή επιχειρηματίες που αναπτύσσουν υπηρεσίες για τους πολίτες ή τις δημόσιες αρχές μέσω μιας κοινής πλατφόρμας (Grimaldi and Fernandez, 2019). Η εμφάνιση του ψηφιακού δίδυμου προσφέρει μια ματιά στις δυνατότητες των επιχειρήσεων που υποστηρίζονται από το IoT. Η τεχνολογία IoT στον ψηφιακό δίδυμο δεν είναι απλώς μια στατική ψηφιακή αναπαράσταση του φυσικού αντικειμένου, αλλά μια δυναμική ψηφιακή αναπαράσταση του αντικειμένου κατά τη χρήση. Είναι σημαντικό να δημιουργηθεί ένας ψηφιακός κόσμος στον εικονικό χώρο που χαρτογραφεί και αλληλεπιδρά με τον φυσικό κόσμο. Ως εκ τούτου, η δημιουργία ενός παγκόσμιου, πλήρους απασχόλησης συστήματος αντίληψης IoT με πολυδιάστατη και πολυεπίπεδη ακρίβεια αποτελεί κρίσιμο θεμέλιο για το DTC. Με την ανάθεση μοναδικών ψηφιακών ταυτοτήτων σε διάφορες αστικές οντότητες, η υποδομή αντίληψης του IoT θα είναι σε θέση να ταιριάζει εύκολα με τον κόσμο των αδελφοποιήσεων ένα προς ένα.

Οι DTC χρειάζονται μια μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη πολυλειτουργικών εγκαταστάσεων πληροφοριών και ευφώνων πυλών που υποστηρίζουν διάφορα πρότυπα πρωτοκόλλου επικοινωνίας από απόσταση. Με το IoT, οι τρέχουσες λύσεις ελέγχου ταυτότητας και πρόσβασης μπορεί να προκαλέσουν πολύ υψηλό φορτίο στο κεντρικό δίκτυο και να προκαλέσουν αποτυχίες του δικτύου (Behrad et al., 2020). Οι Behrad et al. (2020) υποστηρίζουν ότι το 5G αναμένεται να υποστηρίξει ένα σύνολο πολλών απαιτήσεων και περιπτώσεων χρήσης, όπως ο χειρισμός της συνδεσιμότητας για έναν τεράστιο αριθμό συσκευών IoT. Εν συνεχεία, οι

εγκαταστάσεις IoT που βασίζονται στο 5G συγκεντρώνουν και επεξεργάζονται τις πληροφορίες που συλλέγονται από τους αισθητήρες και ανεβάζουν στην πανταχού παρούσα πλατφόρμα ανίχνευσης και ευφυούς διαχείρισης εγκαταστάσεων.

5.3.4 BLOCKCHAIN

Η αλυσίδα μπλοκ είναι ένας αυξανόμενος κατάλογος εγγραφών που συνδέονται με κρυπτογραφία. Κάθε μπλοκ περιέχει έναν κρυπτογραφικό κατακερματισμό του προηγούμενου μπλοκ, μια χρονοσφραγίδα και δεδομένα συναλλαγών, τα οποία μοιράζονται μεταξύ των μελών ενός δικτύου (Christidis and Devetsikiotis, 2016). Οι εφαρμογές της αλυσίδας μπλοκ καλύπτουν τους τομείς της χρηματοδότησης, της ασφάλισης, της εφοδιαστικής, της ενέργειας, της αρχιτεκτονικής, της κατασκευής και της μεταφοράς. Αρκετοί ανώτεροι ερευνητές έχουν διερευνήσει τις πρωταρχικές εφαρμογές της έννοιας της αλυσίδας μπλοκ. Οι Perera et al. (2020) μελέτησαν τις εκθετικές χρήσεις της αλυσίδας μπλοκ και διάφορα έργα εκκίνησης που συμβάλλουν στη βιομηχανία 4.0 και διαπίστωσαν ότι η blockchain έχει ένα αξιόπιστο δυναμικό στις κατασκευές. Οι Asadi Bagloee et al. (2019) διατύπωσαν μια εμπορεύσιμη άδεια κινητικότητας για να καταπολέμησει της κυκλοφοριακής συμφόρησης και συζήτησαν το μέλλον των εφαρμογών που βασίζονται στην αλυσίδα μπλοκ, όπως η δυναμική τιμολόγηση διοδίων, η προτεραιότητα για οχήματα έκτακτης ανάγκης, η διμοιρία βαρέων φορτηγών και τα συνδεδεμένα οχήματα.

Για τις DTC, είναι σημαντικό να επικεντρωθούμε στην απόκτηση δεδομένων και στην ανατροφοδότηση πληροφοριών μέσω συσκευών αισθητήρων IoT που βασίζονται στο 5G, όταν τη σύλληψη έξυπνων πόλεων. Ωστόσο, ο όγκος των δεδομένων που παράγονται σε πραγματικό χρόνο έχει γίνει αστρονομικός καθώς ο αριθμός και οι τύποι αισθητήρων αυξάνονται. Επιπλέον, το σημερινό μοντέλο κεντρικής επικοινωνίας, όπως η λειτουργία πελάτη-εξυπηρετητή, δυσχεραίνει την ταχύτερη αυτοματοποιημένη επικοινωνία μεταξύ των συσκευών IoT, όπου η αλυσίδα μπλοκ αποδεικνύεται ότι είναι μία αποτελεσματική λύση για συστήματα διαχείρισης δεδομένων μεγάλης κλίμακας (Mistry et al., 2020). Ο ψηφιακός δίδυμος χαρτογραφεί τις οντότητες στο φυσικό κόσμο στον ψηφιακό κόσμο μέσω ψηφιακών μέσων για να σχηματίσει μια εικονική οντότητα που αντιστοιχεί στη φυσική οντότητα. Μέσω του 5G σε συσκευές IoT, ο

φυσικός κόσμος παρέχει δεδομένα αντίληψης, ενώ ο ψηφιακός κόσμος ανατροφοδοτεί δεδομένα υπηρεσιών. Η Blockchain τεχνολογία καταγράφει τις πληροφορίες συμπεριφοράς μεταξύ των ψηφιακών διδύμων, διασφαλίζοντας την αξία, την ασφάλεια, το δικαίωμα και την κυριότητα των δεδομένων. Ο ψηφιακός δίδυμος της αλυσίδας μπλοκ και του IoT με βάση το 5G θα πραγματοποιήσει τη σύνδεση, την ενδυνάμωση και την κοινή χρήση, με αποτέλεσμα προωθώντας τη διασύνδεση όλων των φυσικών οντοτήτων στο μέλλον. Τόσο οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων όσο και οι πολίτες θα απολαμβάνουν την υπηρεσίες του IoT που βασίζεται στο 5G, καθώς και την ενσωμάτωση της αλυσίδας μπλοκ με συσκευές IoT που βασίζονται στο 5G στις ψηφιακές πόλεις-δίδυμους.

5.3.5 ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Με τις προκλήσεις που επιβάλλει το ταχέως αναπτυσσόμενο οικοσύστημα IoT που βασίζεται στο 5G, τεράστιες ποσότητες δεδομένων θα δημιουργηθούν, τα οποία υπερβαίνουν κατά πολύ τη χωρητικότητα του κεντρικού υπολογιστικού νέφους (Xu, 2012). Το βιομηχανικό διαδίκτυο, η αυτόνομη οδήγηση, η βιντεοεπιτήρηση κ.λπ. έχουν εξαιρετικά υψηλές απαιτήσεις για λειτουργία και συντήρηση σε πραγματικό χρόνο. Ως εκ τούτου, η συνεργατική υπολογιστική με το συνδυασμό κέντρων υπολογιστικού νέφους μεγάλης κλίμακας και κόμβων ακμής μικρής κλίμακας για ελαφριά επεξεργασία έχει γίνει ένα νέο πρότυπο για μια αποτελεσματική ανταπόκριση. Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί αρκετές μελέτες για τον συνεργατικό υπολογισμό, ενώ το υπολογιστικό νέφος, το οποίο παρέχει υπηρεσίες υπολογισμού κατά παραγγελία, κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερη δημοτικότητα (Zhao et al., 2020). Ο Xu (2012) όρισε την "υπολογιστική άκρη" ως κάθε υπολογιστικό και δικτυακό πόρο κατά μήκος της διαδρομής μεταξύ των πηγών δεδομένων και του διακομιστή νέφους. Η υπολογιστική ακμής κληρονομεί τις λειτουργίες της πλατφόρμας IoT μέχρι το χείλος του χρήστη δικτύου για την παροχή υπηρεσιών/υποστήριξης επικοινωνιών χωρίς καθυστερήσεις (Kavitha et al., 2020). Οι Alamgir Hossain κ.ά. (2018) τόνισαν την ανάπτυξη του πλαισίου υπολογισμού άκρων για την επεξεργασία δεδομένων IoT και ο υπολογισμός άκρων παρέχει ανταγωνιστικό πλεονέκτημα όσον αφορά την καθυστέρηση. Με τη χρήση υπηρεσιών υπολογισμού άκρων, τα δεδομένα που μεταφέρονται στον απομακρυσμένο διακομιστή μειώνονται σημαντικά. Η

μέθοδος αυτή έχει τρία βασικά πλεονεκτήματα: μπορεί να λειτουργήσει με μεγάλα μεγέθη δεδομένων, εγγυάται χαμηλή καθυστέρηση και εστιάζει στην επίγνωση της τοποθεσίας.

5.3.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ως ένα νέο μοντέλο για την οικοδόμηση έξυπνων πόλεων, οι DTC θα αναδιαμορφώσουν τις δομές και τους κανόνες διακυβέρνησης των πόλεων και θα δίνουν μια συνεχή ώθηση στην ανάπτυξη και τον μετασχηματισμό των πόλεων. Πολλές από τις σημαντικές πόλεις σε όλο τον κόσμο έχουν δρομολογήσει σχέδια για την οικοδόμηση ψηφιακών δίδυμων πόλεων. Η ταχεία ανάπτυξη των τεχνολογιών ψηφιακών δίδυμων έχει επίσης καταστήσει δυνατή την κατασκευή ψηφιακών δίδυμων πόλεων. Μια αυτοαντιλαμβανόμενη, αυτοκαθοριζόμενη, αυτοοργανωμένη, αυτοεκτελούμενη και προσαρμοστική πλατφόρμα για τη λειτουργία και τη συντήρηση των πόλεων κατασκευάζεται μέσω της τεχνολογίας τοπογραφίας και χαρτογράφησης, της αντίληψης IoT, του συνεργατικού υπολογισμού, της προσομοίωσης και της βαθιάς μάθησης. Η ανάπτυξη των DTCs θα δημιουργήσει ένα νέο πρότυπο διαχείρισης που μπορεί να ανιχνεύσει τα γεγονότα του παρελθόντος και να διερευνήσει τις συνοριακές κατευθύνσεις, το οποίο θα αποτελέσει τάση για τη μελλοντική έρευνα σχετικά με τα DTCs.

5.4 ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗ

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” είναι ένα δυναμικό τρισδιάστατο (3D) μοντέλο πόλης και μια πλατφόρμα συνεργατικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των 3D χαρτών της Σιγκαπούρης. Όταν ολοκληρωθεί, η “Εικονική Σιγκαπούρη” θα είναι η έγκυρη τρισδιάστατη ψηφιακή πλατφόρμα που προορίζεται για χρήση από τον δημόσιο, τον ιδιωτικό, και τον ερευνητικό τομέα. Θα δώσει τη δυνατότητα στους χρήστες από διαφορετικούς τομείς να αναπτύξουν εξελιγμένα εργαλεία και εφαρμογές για τη δοκιμή εννοιών και υπηρεσιών, τον σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων, καθώς και την έρευνα σε τεχνολογίες για την επίλυση αναδυόμενων και πολύπλοκων προκλήσεων για τη Σιγκαπούρη.

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” είναι ένα πρόγραμμα που ξεκίνησε από το NRF με κόστος 73 εκατ. δολάρια για την ανάπτυξη της πλατφόρμας, καθώς και για την έρευνα των τελευταίων τεχνολογιών και των προηγμένων εργαλείων σε μια περίοδο πέντε ετών. Στόχος είναι η πλατφόρμα να είναι έτοιμη έως το 2018 και θα αναπτυχθεί σταδιακά. Υπάρχουν συνεχείς συνεργασίες με κυβερνητικές υπηρεσίες, πανεπιστήμια και εταιρείες για την αξιοποίηση της “Εικονικής Σιγκαπούρης” για τις ανάγκες μοντελοποίησης και προσομοίωσης.

5.4.1 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” περιλαμβάνει σημασιολογική τρισδιάστατη μοντελοποίηση, η οποία περιλαμβάνει λεπτομερείς πληροφορίες όπως η υφή, η αναπαράσταση υλικών γεωμετρικών αντικειμένων, τα χαρακτηριστικά εδάφους, για παράδειγμα υδάτινα σώματα, βλάστηση, υποδομές μεταφορών κ.λπ. Στα μοντέλα κτιρίων κωδικοποιείται η γεωμετρία καθώς και τα συστατικά στοιχεία μιας εγκατάστασης, όπως τοίχους, δάπεδα και οροφές, μέχρι και τις μικρές λεπτομέρειες, όπως στη σύνθεση του γρανίτη, της άμμου και της πέτρας σε ένα δομικό υλικό.

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” θα αναπτυχθεί με βάση τα γεωμετρικά δεδομένα και τα δεδομένα εικόνας που συλλέγονται από διάφορες δημόσιες υπηρεσίες και θα ενσωματώσει διαφορετικές πηγές δεδομένων για να περιγράψει την πόλη με την απαραίτητη δυναμική οντολογία δεδομένων. Τα δισδιάστατα δεδομένα και οι πληροφορίες που συντονίζονται μέσω των υφιστάμενων γεωχωρικών και μη γεωχωρικών πλατφορμών, όπως το OneMap, το People Hub, το Business Hub κ.λπ. θα εμπλουτίσουν το τρισδιάστατο μοντέλο πόλης της Σιγκαπούρης. Η προηγμένη τεχνολογία πληροφοριών και μοντελοποίησης θα επιτρέψει στην “Εικονική Σιγκαπούρη” να εμπλουτιστεί με διάφορες πηγές στατικών, δυναμικών και σε πραγματικό χρόνο δεδομένων και πληροφοριών για την πόλη, π.χ. δημογραφικά στοιχεία, κίνηση, κλίμα.

5.4.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ “ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗΣ”

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” προσφέρει τέσσερις κύριες δυνατότητες, συγκεκριμένα :

1. Εικονικός πειραματισμός

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εικονικές δοκιμές ή πειραματισμούς. Για παράδειγμα, η “Εικονική Σιγκαπούρη” μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξέταση των περιοχών κάλυψης των δικτύων 3G/4G, να παρέχει ρεαλιστική απεικόνιση των περιοχών ανεπαρκούς κάλυψης και να επισημάνει τις περιοχές που μπορούν να βελτιωθούν στο τρισδιάστατο μοντέλο πόλης.

2. Εικονική δοκιμαστική τοποθέτηση

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλατφόρμα δοκιμών για την επικύρωση της παροχής υπηρεσιών. Για παράδειγμα, το τρισδιάστατο μοντέλο του νέου αθλητικού κόμβου με σημασιολογικές πληροφορίες εντός της “Εικονικής Σιγκαπούρης” θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση και προσομοίωση της διασποράς του πλήθους για τον καθορισμό διαδικασιών εκκένωσης κατά τη διάρκεια μιας έκτακτης ανάγκης.

3. Σχεδιασμός και λήψη αποφάσεων

Με ένα πλούσιο περιβάλλον δεδομένων, η “Εικονική Σιγκαπούρη” αποτελεί μια ολιστική και ολοκληρωμένη πλατφόρμα για την ανάπτυξη αναλυτικών εφαρμογών (π.χ. Apps). Για παράδειγμα, θα μπορούσε να αναπτυχθεί μια εφαρμογή για την ανάλυση των ροών των μεταφορών και των προτύπων κίνησης των πεζών. Τέτοιες εφαρμογές θα ήταν χρήσιμες σε μη συνεχόμενα αστικά δίκτυα, όπως τα πάρκα μας και οι σύνδεσμοι πάρκων στο Punggol.

4. Έρευνα και ανάπτυξη

Το πλούσιο περιβάλλον δεδομένων της “Εικονικής Σιγκαπούρης” , όταν διατίθεται στην ερευνητική κοινότητα με τα απαραίτητα δικαιώματα πρόσβασης, μπορεί να επιτρέψει στους ερευνητές να καινοτομήσουν και να αναπτύξουν νέες τεχνολογίες ή δυνατότητες. Το τρισδιάστατο μοντέλο πόλης με σημασιολογικές πληροφορίες παρέχει άφθονες ευκαιρίες στους ερευνητές να αναπτύξουν προηγμένα τρισδιάστατα εργαλεία.

5.4.3 ΟΦΕΛΗ ΓΙΑ ΤΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΜΕΝΑ ΜΕΛΗ

Με τις κατάλληλες εγγυήσεις ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής, η “Εικονική Σιγκαπούρη” θα επιτρέψει στις δημόσιες υπηρεσίες, στην ακαδημαϊκή και ερευνητική κοινότητα, στον ιδιωτικό τομέα, αλλά και στην κοινότητα να χρησιμοποιούν τις δυνατότητες των πληροφοριών και του συστήματος για την ανάλυση πολιτικών και επιχειρήσεων, τη λήψη αποφάσεων, τη δοκιμή ιδεών, τη συνεργασία με την κοινότητα και άλλες δραστηριότητες που απαιτούν πληροφορίες:

1. Κυβέρνηση

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που θα ενισχύσει διάφορες πρωτοβουλίες του WOG (έξυπνο έθνος, δημοτικές υπηρεσίες, εθνικό δίκτυο αισθητήρων, GeoSpace, OneMap κ.λπ.)

2. Πολίτες και κάτοικοι της Σιγκαπούρης

Μέσω της “Εικονικής Σιγκαπούρης”, η παροχή γεωεικόνας, αναλυτικών εργαλείων και τρισδιάστατων πληροφοριών θα παρέχει στους πολίτες μια εικονική αλλά ρεαλιστική πλατφόρμα για να συνδεθούν και να δημιουργήσουν ευαισθητοποίηση και υπηρεσίες που εμπλουτίζουν την κοινότητά τους.

3. Επιχειρήσεις

Οι επιχειρήσεις μπορούν να αξιοποιήσουν τον πλούτο των δεδομένων και των πληροφοριών εντός της “Εικονικής Σιγκαπούρης” για επιχειρηματική ανάλυση, σχεδιασμό και διαχείριση πόρων και εξειδικευμένες υπηρεσίες.

4. Ερευνητική κοινότητα

Οι δυνατότητες της “Εικονικής Σιγκαπούρης” επιτρέπουν τη δημιουργία νέων καινοτομιών και τεχνολογιών για συνεργασίες δημόσιου και ιδιωτικού τομέα με στόχο τη δημιουργία αξίας για τη Σιγκαπούρη. Μεταξύ άλλων νέων ερευνητικών τομέων, η σημασιολογική τρισδιάστατη

μοντελοποίηση είναι ένας αναδυόμενος τομέας, όπου απαιτείται έρευνα και ανάπτυξη για την ανάπτυξη εξελιγμένων εργαλείων για συνεργασία πολλών μερών, σύνθετη ανάλυση και δοκιμή.

5.4.4 ΠΙΘΑΝΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ “ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΣΙΓΚΑΠΟΥΡΗΣ”

Αξιοποιώντας τα μεγάλα δεδομένα και συγκεντρώνοντας πληροφορίες από τον δημόσιο και τον ιδιωτικό τομέα, οι πιθανές χρήσεις της “Εικονικής Σιγκαπούρης” για την αντιμετώπιση ζητημάτων βιωσιμότητας είναι απεριόριστες. Ορισμένες από αυτές τις χρήσεις και τις εφαρμογές τους παρουσιάζονται παρακάτω.

Συνεργασία και λήψη αποφάσεων

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” ενσωματώνει διάφορες πηγές δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων δεδομένων από κυβερνητικές υπηρεσίες, τρισδιάστατων μοντέλων, πληροφοριών από το Διαδίκτυο και δυναμικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από συσκευές του Διαδικτύου των πραγμάτων. Η πλατφόρμα επιτρέπει στις διάφορες υπηρεσίες να μοιράζονται και να εξετάζουν τα σχέδια και τους σχεδιασμούς των διαφόρων έργων στην ίδια περιοχή.

Για παράδειγμα, η “Εικονική Σιγκαπούρη” καθιστά δυνατή την απεικόνιση του υφιστάμενου τοπίου σε σχέση με τα τρέχοντα/μελλοντικά έργα αναβάθμισης ή ανακαίνισης, γεγονός που θα επιτρέψει στις υπηρεσίες να συνεργαστούν για την εναρμόνιση των αντίστοιχων έργων τους και τη βελτιστοποίηση του συνολικού σχεδιασμού και της υλοποίησης. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να κατασκευαστούν μονοπάτια γύρω από τις νέες ανέσεις για την ανακατεύθυνση της ανθρώπινης και κυκλοφοριακής ροής κατά τη διάρκεια της αναβάθμισης, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ταλαιπωρία των πολιτών.

Στην “Εικονική Υuhua”, οι σχεδιαστές μπορούσαν να απεικονίσουν τις διάφορες επιλογές σχεδιασμού μιας εναέριας γέφυρας για πεζούς και πώς θα μπορούσε να ενσωματωθεί απρόσκοπτα στο πάρκο της γειτονιάς που ανακαινίζεται στο πλαίσιο του προγράμματος αναβάθμισης της γειτονιάς.

Επικοινωνία και οπτικοποίηση

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” χρησιμεύει ως μια βολική πλατφόρμα για τους πολίτες ώστε να οπτικοποιούν τις αναβαθμίσεις του οικισμού τους και τους επιτρέπει να παρέχουν έγκαιρη ανατροφοδότηση στις αρμόδιες υπηρεσίες. Για παράδειγμα, το συγκρότημα Yuhua αποτελεί δοκιμαστικό χώρο για την πρωτοβουλία Greenprint του Housing & Development Board, η οποία διαθέτει βιώσιμα και πράσινα χαρακτηριστικά, όπως ηλιακούς συλλέκτες, φώτα LED, πνευματικό σύστημα μεταφοράς αποβλήτων, βελτιωμένα δίκτυα πεζών και εκτεταμένα δίκτυα ποδηλάτων. Με την ολοκλήρωση του Virtual Yuhua, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παρουσίαση των δυνατοτήτων και των πλεονεκτημάτων της πρωτοβουλίας HDB Greenprint σε άλλους οικισμούς.

Βελτιωμένη προσβασιμότητα

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” περιλαμβάνει χαρακτηριστικά εδάφους, για παράδειγμα, υδάτινα σώματα, βλάστηση και υποδομές μεταφορών. Αυτό διαφέρει από τους συμβατικούς δισδιάστατους χάρτες που δεν μπορούν να δείξουν το έδαφος, τα κράσπεδα, τις σκάλες ή την κλίση μιας πλαγιάς.

Ως ακριβής αναπαράσταση του φυσικού τοπίου, η “Εικονική Σιγκαπούρη” μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό και την απεικόνιση διαδρομών χωρίς εμπόδια για άτομα με αναπηρία και ηλικιωμένους. Μπορούν εύκολα να βρουν την πιο προσβάσιμη και βολική διαδρομή, ακόμη και προστατευμένα μονοπάτια, προς τη στάση του λεωφορείου ή το σταθμό MRT. Το κοινό μπορεί επίσης να χρησιμοποιήσει την “Εικονική Σιγκαπούρη” για να απεικονίσει τους συνδέσμους των πάρκων και να σχεδιάσει τις ποδηλατικές του διαδρομές.

Αστικός σχεδιασμός

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” μπορεί να δώσει πληροφορίες για το πώς η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και το ηλιακό φως ποικίλλουν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι πολεοδόμοι μπορούν να απεικονίσουν τις επιπτώσεις της κατασκευής νέων κτιρίων ή εγκαταστάσεων, για παράδειγμα πράσινες στέγες στο συγκρότημα Yuhua, στη θερμοκρασία και την ένταση του φωτός στο συγκρότημα. Οι πολεοδόμοι και οι μηχανικοί μπορούν επίσης να επικαλύψουν χάρτες θερμότητας και θορύβου στο Virtual Singapore για προσομοίωση και μοντελοποίηση.

Αυτά μπορούν να βοηθήσουν τους σχεδιαστές να δημιουργήσουν ένα πιο άνετο και δροσερό περιβάλλον διαβίωσης για τους κατοίκους.

Η “Εικονική Σιγκαπούρη” υποστηρίζει επίσης μια ημι-αυτοματοποιημένη διαδικασία σχεδιασμού, όπου οι σχεδιαστές μπορούν να φιλτράρουν γρήγορα τα κτίρια ενδιαφέροντος με βάση προκαθορισμένες παραμέτρους. Για παράδειγμα, κατά τον εντοπισμό οικοδομικών τετραγώνων HDB κατάλληλων για την εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας HDB Greenprint, οι πολεοδόμοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν το Virtual Singapore για να φιλτράρουν γρήγορα τα κατάλληλα οικοδομικά τετράγωνα σύμφωνα με καθορισμένα κριτήρια, όπως ο αριθμός των ορόφων και ο τύπος της στέγης.

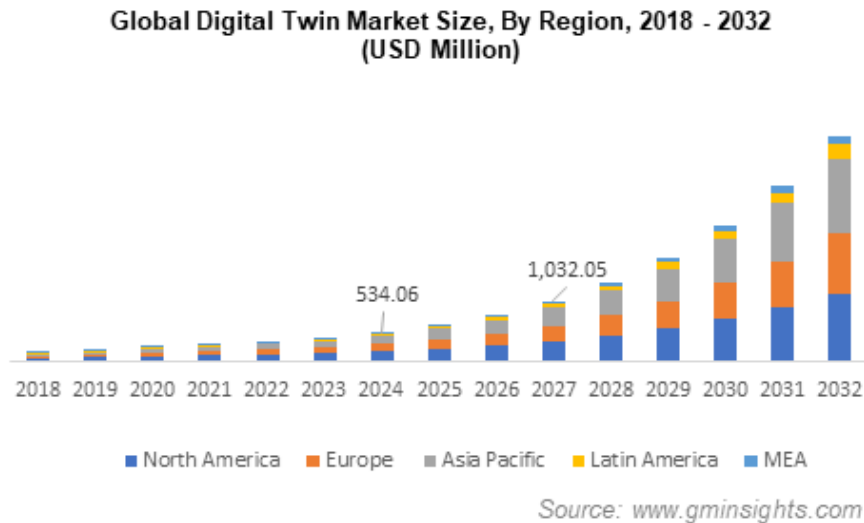
Ανάλυση των δυνατοτήτων παραγωγής ηλιακής ενέργειας

Δεδομένα όπως το ύψος των κτιρίων, η επιφάνεια των στεγών και η ποσότητα του ηλιακού φωτός είναι διαθέσιμα στο Virtual Singapore. Αυτό επιτρέπει στους πολεοδόμους να αναλύσουν ποια κτίρια έχουν υψηλότερο δυναμικό για παραγωγή ηλιακής ενέργειας και, ως εκ τούτου, είναι πιο κατάλληλα για την εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών.

Περαιτέρω ανάλυση μπορεί να επιτρέψει στους σχεδιαστές να εκτιμήσουν πόση ηλιακή ενέργεια μπορεί να παραχθεί σε μια τυπική ημέρα, καθώς και την εξοικονόμηση ενέργειας και κόστους. Η Virtual Yuhua απέδειξε ότι με τη διασταύρωση με τα ιστορικά δεδομένα που συλλέγονται από γειτονικά κτίρια, η ανάλυση αυτή μπορεί να επικυρωθεί και να προσαρμοστεί εποχικά ώστε να αντικατοπτρίζει μια ακόμη πιο ακριβή και λεπτομερή πρόβλεψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο -ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ DT

Τα ψηφιακά δίδυμα αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία, η οποία μπορεί να υποσχεθεί και να δώσει στην ανθρωπότητα πολλές δυνατότητες στο μέλλον.



Εικόνα 7: Διαγραμματική παρουσίαση για τη χρήση των ψηφιακών διδύμων στο μέλλον (Kerckhove & Saracco)

Κατ'αρχάς, πολύ πιθανόν μελλοντικά τα ψηφιακά δίδυμα να συλλέγουν και να επεξεργάζονται δεδομένα προκειμένου να προλαμβάνει προβλήματα. Αυτό μπορεί να καταστεί δυνατόν, εφόσον οι αισθητήρες συλλέγουν και καταγράφουν συγκεκριμένα δεδομένα, προσαρμοσμένα στα ζητούμενα του συστήματος (Kerckhove & Saracco, χ.χ.).

Ακόμη, η αλληλεπίδραση του φυσικού και του ψηφιακού μέρους μπορεί να γίνει ακόμη πιο εξελιγμένη και ουσιαστική, ίσως το ψηφιακό μέρος να μπορεί να επέμβει στο φυσικό, μέσω ενεργοποιητών ή και να δράσουν παράλληλα, αν υπάρξει ανάγκη. Μέσω της τεχνητής νοημοσύνης, το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να αποκτήσει τη δυνατότητα να αποκτά γνώσεις από το περιβάλλον του και να είναι σε θέση να τις αυτοαξιολογήσει, δίχως να απαιτείται ο ανθρώπινος παράγοντας (Kerckhove & Saracco, χ.χ.).

Αναφορικά με τη συλλογή δεδομένων, τα ψηφιακά δίδυμα μελλοντικά μπορεί να αξιοποιηθούν ως χώροι αποθήκευσης δεδομένων, ακόμη και συνεργατικά ανάμεσα σε κράτη. Η

εξέλιξη του δικτύου και η δημιουργία του 6G θα συμβάλλει σε αυτή τη διακρατική ή και παγκόσμια συνεργασία και επικοινωνία σε σημαντικό βαθμό (Kerckhove & Saracco, χ.χ.).

Επιπρόσθετα, έχει ήδη αρχίσει να δημιουργείται το “Meta Digital Twin”. Πρόκειται για ένα ψηφιακό δίδυμο το οποίο συγκροτείται από πολλά άλλα μικρότερα ψηφιακά δίδυμα. Παραδείγματος χάρη, το ψηφιακό δίδυμο της πόλης της Σιγκαπούρης που αναφέρθηκε νωρίτερα, αποτελείται από πολλά μικρότερα ψηφιακά δίδυμα. Μελλοντικά, αναμένουμε τη δημιουργία ψηφιακού διδύμου ολόκληρων χωρών ή/ και ηπείρων (Kerckhove & Saracco, χ.χ.).

Επίσης, τα ψηφιακά δίδυμα δίνουν τη δυνατότητα στον άνθρωπο να δει και να παρατηρήσει τον κυβερνοχώρο. Πιθανότατα να μπορέσει να μειωθεί ο όγκος πληροφοριών και οι πληροφορίες που δίνονται σε κάθε περίπτωση να είναι περισσότερο στοχευμένες, καθώς ένα ψηφιακό δίδυμο έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο και να αξιολογεί τις καταστάσεις. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση τίθεται θέμα αντικειμενικότητας (Kerckhove & Saracco, χ.χ.).

Ακόμη, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο σχετικό με την ιατρική κεφάλαιο, μελλοντικά αναμένουμε την δημιουργία ανθρώπινων ψηφιακών διδύμων, τα οποία θα μπορούν να παρακολουθούν την υγεία του ατόμου και να προλαμβάνουν προβλήματα. Επιπλέον, στο μέλλον τα εμβόλια θα δημιουργούνται με τη συμβολή των ψηφιακών διδύμων, προκειμένου να αποφεύγονται σοβαρές παρενέργειες στους ανθρώπους (Kerckhove & Saracco, χ.χ.).

Ένα άλλο είδος ψηφιακού διδύμου που πρόκειται να δημιουργηθεί μελλοντικά είναι το “Cognitive Digital Twin”, που θα αναπαριστά ψηφιακά τη γνώση, είτε σε ατομικό είτε σε συλλογικό επίπεδο. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για εκπαιδευτικούς σκοπούς, για το σχεδιασμό προγραμμάτων διδασκαλίας και εκπαιδευτικού υλικού, προκειμένου να καλυφθούν μαθησιακά κενά ενός ατόμου ή μιας ομάδας ατόμων.

Στο μέλλον, λοιπόν, προβλέπεται πως ο ψηφιακός και ο πραγματικός κόσμος θα αναμειχθούν ακόμη περισσότερο και οι δυνατότητες που θα παρέχει η τεχνολογία στην ανθρωπότητα σήμερα φαντάζουν επιστημονική φαντασία.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση μελέτησε την τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων και αναλύθηκε η αξιοποίησή τους σε συγκεκριμένους τομείς. Έγινε φανερό, ότι τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά τη ζωή των ανθρώπων, την οικονομία, το περιβάλλον, ενώ παράλληλα προσφέρουν άπειρες δυνατότητες σε αυτούς.

Βασικό πλεονέκτημα των ψηφιακών διδύμων φαίνεται να είναι το γεγονός ότι μπορούν να εντοπίσουν έγκαιρα προβλήματα που υπάρχουν στο φυσικό μέρος τους, αλλά και να προβλέψουν ζητήματα που ενδεχομένως να προκύψουν. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύ σημαντική, διότι μπορεί να εξοικονομηθεί χρόνος, αλλά και χρήματα.

Ανάλογα, πάντα, με τον τομέα που χρησιμοποιούνται, τα ψηφιακά δίδυμα συμβάλλουν στην εξέλιξή του και στη διευκόλυνση του ανθρώπου. Μερικά από τα κυριότερα προτερήματα των ψηφιακών διδύμων είναι τα ακόλουθα:

- Έχουν τη δυνατότητα να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής του φυσικού τους μέρους, είτε αυτό είναι μηχάνημα, είτε άνθρωπος.
- Εντοπίζουν και επιλύουν προβλήματα και δυσλειτουργίες.
- Η χρήση τους εξοικονομεί χρόνο και χρήματα.

Στο μέλλον η χρήση τους προβλέπεται να διευρυνθεί και να εξελιχθεί διευκολύνοντας και εξελίσσοντας ταυτόχρονα και την ανθρωπότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Miskinis, C. How Ore Mining Will Be Improved Using Digital Twin Simulations. 2018. Available online: <https://www.challenge.org/insights/digital-twin-in-mining/>

Collins, B. Anglo using ‘Digital Twins’, Robotics to Boost Mining: Q&A. Bloomberg New Energy Finance. 2018. Available online: <https://about.bnef.com/blog/anglo-using-digital-twins-robotics-boost-mining-qa/> (accessed on 20 December 2021).

Deng, T., Zhang, K., & Shen, Z.-J. (Max). (2021). A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. *Journal of Management Science and Engineering*, 6(2), 125–134. doi:10.1016/j.jmse.2021.03.003

Ditton, E.; Holmes, C.; Burian, J. IDC FutureScape: Worldwide Mining 2020 Predictions. 2019. Available online: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US44328319> (accessed on 20 December 2021).

Faisal, A, Kamruzzaman, M, Yigitca, T, Currie, G. (2019). Understanding autonomous vehicles:A systematic literature re-view on capability, impact, planning and policy. Ανακτήθηκε από: https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/209218/JTLU_vol-12_pp45-72.pdf?sequence=1

Ferrara, A., Nikolov, A., Scharffe, F. (2011). Data linking for the semantic web. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, 7(3), 46-76. doi: 10.4018/jswis.2011070103

Fialová, J., Bamwesigye, D., Łukaszkiwicz, J., & Fortuna-Antoszkiewicz, B. (2021). Smart Cities Landscape and Urban Planning for Sustainability in Brno City. *Land*, 10(8), 870.

Fuller, A., Fan, Z., Day, C. (2020). Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. *IEEEAccess*. Ανακτήθηκε από <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9103025>.

Gahlot, S., Reddy, S. R. N. and Kumar, D. (2019). “Review of smart health monitoring approaches with survey analysis and proposed framework,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 2, pp. 2116–2127, Apr. 2019.

Glaessgen, E. & Stargel, D. (2012). The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 23-26 April 2012. Reston, Virginia. doi: 10.2514/6.2012-1818. ISBN 978-1-60086-937-2

Grieves, M. & Vickers, J. (2017). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches*. Springer, Chamber, 85-113. doi: 10.1007/978-3-319-38756-7_4

Grieves, M. (2014). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication, 1-7. Ανακτήθηκε από:
https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication

[Hilbert, Martin, Lopez, Priscila \(2011\). "The World's Technological Capacity to Store, Communicate and Compute Information".](#) *Science*, 332 (6025):60-65. Ανακτήθηκε από :
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1200970> .

Jama software, (2022). *15 Digital Twin Applications and Use Cases by Industry in 2022*. Ανακτήθηκε από: <https://www.jamasoftware.com/blog/15-digital-twin-applications-and-use-cases-by-industry-in-2022>

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>

Juniper Research, (2022). *Smart Cities: Key technologies, Environmental impact & market forecast 2022-2026*. Ανακτήθηκε από:
<https://www.juniperresearch.com/researchstore/key-vertical-markets/smart-cities-research-report>

Kas, K. (2021). *The tipping point for digital twins in healthcare*. Ανακτήθηκε από
<https://www.healthskouts.com/2021/12/20/the-tipping-point-for-digital-twins-in-healthcare/>

Kerchove, D., Saracco, R. (x.x.) *The future of Digital Twins*, IEEE Digital Reality.

Laubenbacher, R., Sluka, J.P., Glazier, J.A. (2021) Using digital twins in viral infection. Personalized computer simulations of infection could allow more effective treatments, *Science*, Vol. 371, pp. 1105-1106. Ανακτήθηκε από: <https://doi.org/10.1126/science.abf3370>

Lee, J., E., Bagheri, B. Kao, H. (2013). Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manufacturing Letters*. Society of

Manufacturing Engineers (SME), 1(1), 38-41. doi: 10.1016/j.mfglet.2013.09.005. ISSN 2213-8463

Li, L. Aslam, L, Wileman,A, PERINPANAYAGAM, S (2016). Digital Twin in Aerospace Industry:

A Gentle Introduction. Ανακτήθηκε από:

[file:///C:/Users/ioann/Desktop/Digital Twin in Aerospace Industry A Gentle Introd.pdf](file:///C:/Users/ioann/Desktop/Digital%20Twin%20in%20Aerospace%20Industry%20A%20Gentle%20Introd.pdf)

Li, R., Zhao, Z., Zhou, X., et al. (2017). Intelligent 5G: when cellular networks meet artificial intelligence. *IEEE Wireless Communications*, PP(5), 2–10.

Melesse, Y, Valentina Di Pasquale, Stefano Riemma. (2020) Digital twin models in industrial operations: a systematic literature review.

Procedia Manufacturing. Ανακτήθηκε από:

https://www.researchgate.net/publication/340455863_Digital_Twin_Models_in_Industrial_Operations_A_Systematic_Literature_Review

Mike Shafto, Mike Conroy, Rich Doyle, Ed Glaessgen, Chris Kemp, Jacqueline LeMoigne, and Lui Wang. Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. National Aeronautics and Space Administration, 32:1–38, 2012

Miskinis, C (2019). The hazards of digital twin technology and what dangers it may pose. Ανακτήθηκε από: <https://www.challenge.org/insights/digital-twin-risks/>

Mohanty, S. P., Choppali, U., & Kougianos, E. (2016). Everything you wanted to know about smart cities: The internet of things is the backbone. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(3), 60-70.

Mourtzis, Dimitris. (2019). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trends. *International Journal of Production Research*. 1-23. 10.1080/00207543.2019.1636321.

Munirathinam S., (2019). Industrial internet oh things. In: *Advances in Computers*, vol. 117, pp. 129 -164. Elsevier

O'Dwyer, E., Pan, I., Charlesworth, R., et al. (2020). Integration of an energy management tool and digital twin for coordination and control of multivector smart energy systems. *Sustainable Cities and Society*.

Pan Y., Zhang L. (2021), "A BIM-DATA mining integrated dt framework for advanced projectmanagement". *Automation in Construction*, vol.124

Pandey, V (2021) How Digital Twin is disrupting Automotive Industry in Real World. Ανακτήθηκε από: <https://www.linkedin.com/pulse/how-digital-twin-disrupting-automotive-industry-real-world-pandey->

Parrott, A & Warshaw, L (2017) Industry 4.0 and the digital twin. Ανακτήθηκε από: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/3833_Industry4-0_digital-twin-technology/DUP_Industry-4.0_digital-twin-technology.pdf

Peponi, A., & Morgado, P. (2020). Smart and regenerative urban growth: A literature network analysis. *International journal of environmental research and public health*, 17(7), 2463.

Persson, A. The Digital Twin—Unsung Hero in F1 and in the Smart City. 2020. Ανακτήθηκε από: <https://sensative.com/thedigital-twin-unsung-hero-in-f1-and-in-the-smart-city/>

Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Answer, N., Liu, A., Wei, Y., Nee, A.Y.C. (2019). Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*. 58(B), 3-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001>

Piromalis, D., Kantaros, A. (2022) Digital Twins in Automotive Industry. Ανακτήθηκε από : <https://encyclopedia.pub/entry/25054>

Rajesh, P.; Manikandan, N.; Ramshankar, C.; Vishwanathan, T.; Sathishkumar, C. (2019) Digital Twin of an Automotive Brake Pad for Predictive Maintenance. Ανακτήθηκε από: <https://trid.trb.org/view/1690924>

Rappaport, S.T. (2020) “Thinking 5G is exciting? Just wait for 6G”. Ανακτήθηκε από: <https://edition.cnn.com/2020/02/10/perspectives/6g-future-communications/index.html> .

Rassolkin, A.; Rjabtšikov, V.; Vaimann, T.; Kallaste, A.; Kuts, V.; Demidova, G.L. (2020) Digital Twin Data Handling for Propulsion Drive System of Autonomous Electric Vehicle: Case Study. In Proceedings of the 2020 IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON).

Ristvej, J., Lacinák, M., & Ondrejka, R. (2020). On smart city and safe city concepts. *Mobile Networks and Applications*, 25(3), 836-845.

Ross, D. (2010). “Digital twinning [information technology virtual reality],” *Eng. Technol.*, vol. 11, pp. 44–45, May 2016

Saddik, A. El. (2018) “Digital twins: The convergence of multimedia technologies,” *IEEE MultimediaMag.*, vol. 25, no. 2, pp. 87–92, Apr. 2018

Sleich, B., Answer, N., Mathieu, L. Wartzack, S. (2017). Shaping the digital twin for design and production engineering. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. CIRP, 66(1), 141-144. doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.040

Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E. (2010). DRAFT Modeling, Simulation, information Technology & Processing Roadmap. Technology Area 11. Ανακτήθηκε από: https://www.nasa.gov/pdf/501321main_TA11-MSITP-DRAFT-Nov2010-A1.pdf

Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E. (2012). Modeling, Simulation, information Technology & Processing Roadmap. TechnologyArea 11. Ανακτήθηκε από: https://www.nasa.gov/sites/default/files/501321main_TA11-ID_rev4_NRC-wTASR.pdf

Shao, G.; Helu, M. (2020) Framework for a Digital Twin in Manufacturing: Scope and requirements.

Singh, M.; Srivastava, R.; Fuenmayor, E.; Kuts, V.; Qiao, Y.; Murray, N.; Devine, D. (2022) Applications of Digital Twin across Industries: A Review. Ανακτήθηκε από: <https://research.thea.ie/handle/20.500.12065/4025>

Σκιτζί, Γ. (2021). *Ψηφιακά Δίδυμα: Η νέα τάση στην ικανότητα καταπολέμησης ασθενειών γνωστών και αγνώστων*. Ανακτήθηκε από

<https://www.healthweb.gr/perissotera/tehnologia/psifiaka-didyma-i-nea-tasi-stin-ikanotita-katapolemisis-astheneion-gnoston-kai-agnoston>

Stark, R. & Dameru, T. (2019). Digital Twin. CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Springer Berlin Heidelberg 2019, 1-8. doi: [≤https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16870-1≥](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16870-1)

Su, K.; Li, J.; Fu, H. Smart city and the applications. In Proceedings of the 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), Ningbo, China, 9–11 September 2011; pp. 1028–1031.

Deng, T., Zhang, K., & Shen, Z.-J. (Max). (2021). A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. Journal of Management Science and Engineering, 6(2), 125–134. doi:10.1016/j.jmse.2021.03.003

Tao, F., Sui, F., Liu, A., Qi, Q., Zhang, M., Song, B., Guo, Z., C.-Y. Lu, S., Nee, A. Y. C. (2018). Digital twin-driven product design framework. International Journal of Production Research, 57(12), 3935-3953. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229>

Tao, F., Zhang, H., Liu, A., Nee, A.Y.C. (2019). Digital twin in Industry: State-of-the-Art. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15(4), 2405-2415. doi: 10.1109/TII.2018.2873186

Tuegel E. The Airframe Digital Twin: Some Challenges to Realization. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 14th AIAA, Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2012-1812>

Valtzis, Stelios. (2018). *"Τα ψηφιακά δίδυμα στη Υπηρεσία της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης"*,. 9 June 2018 .

Wang, Zongyan. (2020). Digital Twin Technology. 18 March 2020. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.80974> .

Watts, J. (χ.χ.). Shanghai gets a Digital Twin. Ανακτήθηκε από:
<https://www.amcouncil.com.au/membership/special-interest-group/data-in-asset-management/100001-shanghai-gets-a-digital-twin.html> .

What in the World Do Mining and Rocket Science have in Common? Available online:
<https://www.riotinto.com/news/stories/mining-rocket-science-common> (accessed on 20 December 2021).

Weir-McCal, D. (2020). 51World creates digital twin of the entire city of Shanghai. Ανακτήθηκε από : <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/51world-creates-digital-twin-of-the-entire-city-of-shanghai> .

Wickramasinghe, N., Jayaraman, P. P., Zelcer, J., Forkan, A. R. M., Ulapane, N., Kaul, R., & Vaughan, S. (2021). *A Vision for Leveraging the Concept of Digital Twins to Support the Provision of Personalised Cancer Care. IEEE Internet Computing, 1–1*

B. Bjornsson, C. Borrebaeck, N. Elander, T. Gasslander, D. R. Gawel, M. Gustafsson, R. Jornsten, E. J. Lee, X. Li, S. Lilja et al., “Digital twins to personalize medicine,” *Genome Medicine*, vol. 12, no. 1, pp. 1–4, 2020

N. K. Chakshu, J. Carson, I. Sazonov, and P. Nithiarasu, “A semi-active human digital twin model for detecting severity of carotid stenoses from head vibration - A coupled computational mechanics and computer vision method,” *International journal for numerical methods in biomedical engineering*, vol. 35, no. 5, p. e3180, 2019.

O. Mazumder, D. Roy, S. Bhattacharya, A. Sinha, and A. Pal, “Synthetic ppg generation from haemodynamic model with baroreflex autoregulation: a digital twin of cardiovascular system,” in *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE*, 2019, pp. 5024– 5029.

Croatti, M. Gabellini, S. Montagna, and A. Ricci, “On the integration of agents and digital twins in healthcare,” *Journal of Medical Systems*, vol. 44, no. 9, pp. 1–8, 2020

M. Hirschvogel, L. Jagschies, A. Maier, S. M. Wildhirt, and M. W. Gee, “An in silico twin for epicardial augmentation of the failing heart,” *International journal for numerical methods in biomedical engineering*, vol. 35, no. 10, p. e3233, 2019.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

Καραμπίνη, Τ. (2017) *Πώς θα μπει η Αθήνα στο κλαμπ των «έξυπνων» πόλεων*. Ανακτήθηκε από: <https://www.fortunegreece.com/article/bori-i-athina-na-gini-mia-exipni-poli/>

"*The cheap, convenient cloud*", Economist (2015), Ανάκτηση από: <https://www.economist.com/business/2015/04/18/the-cheap-convenient-cloud>

«Ψηφιακά Δίδυμα: Έρευνα για τα μακροχρόνια συμπτώματα από την Covid». Ot.gr (2021). Ανακτήθηκε από : <https://www.ot.gr/2021/05/07/tecnologia/psifiaka-didyma-ereyna-gia-ta-makroxronia-symptomata-apo-tin-covid/>

Virtual twin experiences in Manufacturing Industries.(χ.χ.) Ανακτήθηκε από: <https://www.3ds.com/virtual-twin/manufacturing-industries>

“Virtual Singapore”, National Research Foundation, Ανακτήθηκε από: <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1. Grieves, M., & Vickers, J. (2016). *Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, 85–113. doi:10.1007/978-3-319-38756-7_4

Εικόνα 2. https://www.researchgate.net/figure/A-diagram-of-worlds-global-information-storage-capacity-from-1986-to-2007-15_fig4_322347519

Εικόνα 3. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/11/5727>

Εικόνα 5. <https://encyclopedia.pub/entry/25054>

Εικόνα 6. <https://www.fortunegreece.com/article/bori-i-athina-na-gini-mia-exipni-poli/>

Εικόνα 7. <https://www.gminsights.com/pressrelease/digital-twin-market>