



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins
για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των
επιχειρησιακών διεργασιών**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εμμανουήλ Ι. Δημητριάδης

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

**Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins
για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των
επιχειρησιακών διεργασιών**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εμμανουήλ Ι. Δημητριάδης

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 27 Φεβρουαρίου 2024.

.....
Ι. Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δ. Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ε. Μαρινάκης
Επικουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024

.....
Εμμανουήλ Ι. Δημητριάδης
Διπλωματούχος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών Ε.Κ.Π.Α.

Copyright © Εμμανουήλ Ι. Δημητριάδης, 2024.
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Στο πλαίσιο της σύγχρονης επιχειρηματικότητας, είναι ολοένα και πιο επιτακτική η ανάγκη ενσωμάτωσης ψηφιακών τεχνολογιών στο σύνολο της λειτουργίας ενός οργανισμού. Μια τέτοιου είδους μετάβαση παρέχει στις επιχειρήσεις την δυνατότητα κλιμάκωσης, καθώς και ενισχύει την ανταγωνιστικότητά τους προς ανταπόκριση στην μεταβλητότητα των αγορών και στις αυξανόμενες ανάγκες των πελατών τους. Μέρος του μετασχηματισμού αποτελεί η ψηφιακή αναπαράσταση της επιχειρησιακής δομής και των διεργασιών που εκτελούνται κατά την εταιρική δραστηριότητα, με στόχο την πλήρη παρακολούθηση και ανάλυσή τους, την εισαγωγή αυτοματοποίησης και την διαρκή βελτιστοποίησή τους. Η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) συμβάλει καθοριστικά στον τομέα αυτό, αναβαθμίζοντας ή αντικαθιστώντας τις παραδοσιακές εργαλειοθήκες και μεθοδολογίες στον χώρο της διαχείρισης διεργασιών, αυξάνοντας σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα των υλοποιήσεων στο συγκεκριμένο πεδίο. Μέρος της παρούσας βιβλιογραφικής έρευνας αποτελεί ο ορισμός των Ψηφιακών Διδύμων, ενώ παράλληλα επισημαίνεται η διαφοροποίησή τους από παρεμφερείς έννοιες, όπως τα ψηφιακά μοντέλα και οι ψηφιακές σκιές. Η κάλυψη των διαφορετικών πτυχών της τεχνολογίας των Ψηφιακών Διδύμων ολοκληρώνεται με την παράθεση των κύριων πεδίων εφαρμογής, σε συνδυασμό με τα προσφερόμενα πλεονεκτήματα από την χρήση στο εκάστοτε πεδίο. Ακολουθως η έρευνα επικεντρώνεται στον τομέα της διαχείρισης των επιχειρηματικών διεργασιών, εστιάζοντας στις συμβατικές μεθοδολογίες, καθώς και στις προκλήσεις που προκύπτουν κατά την χρήση τους για την κάλυψη των σύγχρονων επιχειρησιακών αναγκών. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω προκλήσεων και την ανάπτυξη σύγχρονων εργαλείων για την βέλτιστη διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών, παρουσιάζονται οι κυριότερες προτάσεις αξιοποίησης της τεχνολογίας των Digital Twins (DTs) στο τομέα του επιχειρησιακού μετασχηματισμού, αναλύεται κατά περίπτωση ο τρόπος συμβολής και τα συγκριτικά πλεονεκτήματά τους έναντι των κλασικών προσεγγίσεων, καθώς και προβάλλονται συγκεκριμένες

μεθοδολογίες υλοποίησης και σχετικές περιπτώσεις χρήσης. Η έρευνα επιπροσθέτως παρουσιάζει τους περιορισμούς και τις προκλήσεις που συναντώνται κατά την προσπάθεια αναρμόνισης της τεχνολογίας των DTs με τις υπάρχουσες επιχειρησιακές δομές, καθώς και αναφέρεται σε πιθανές μελλοντικές προεκτάσεις, όσων αφορά την χρήση της εν λόγω τεχνολογίας στον επιχειρησιακό χώρο.

Λέξεις κλειδιά: ψηφιακά δίδυμα, διαχείριση επιχειρησιακών διεργασιών, ψηφιακός μετασχηματισμός, μοντελοποίηση, προσομοίωση, αυτοματοποίηση, βελτιστοποίηση διεργασιών, προβλεπτικά μοντέλα, εξόρυξη δεδομένων

Abstract

In the context of modern entrepreneurship, the need for organizations to integrate digital technologies in all business operations has become imperative. Such a transition provides businesses with the ability to scale and enhance their competitiveness in response to market volatility and growing customer needs. Part of the transformation is the digital representation of the business structure and the processes carried out during the corporate activities, to achieve detailed monitoring and analysis, as well as introduce automation and optimization. Digital Twins (DTs) technology can play a significant role in this area, by upgrading or replacing the traditional toolkits and methodologies in the field of business process management, while significantly increasing the effectiveness and efficiency of implementations in this field. Part of this literature research is the definition of DTs, while highlighting the differentiation from similar concepts such as digital models and digital shadows. The analysis of the different aspects of DTs technology is completed by listing the main fields of application, together with the advantages offered by the use cases in each field. Subsequently, the research focuses on the field of business process management, analyzing the conventional methodologies, as well as the challenges that arise from their use in the modern business landscape. To address these challenges and develop modern

tools for the optimal management of business processes, the main proposals for utilizing the technology of DTs in the field of business transformation are presented, along with their contribution and comparative advantages against the classical approaches, as well as specific implementation methodologies and relevant use cases. The research additionally presents the limitations and challenges encountered when trying to harmonize the technology of DTs with the existing business structures. In addition, it refers to possible future extensions, regarding the use of this technology in the field of business operations.

Keywords: digital twins, business process management, digital transformation, modeling, simulation, automation, process optimization, prediction models, data mining

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή.....	9
1.1	Πρόλογος.....	9
1.2	Σκοπός και Συμβολή της Εργασίας.....	11
1.3	Μεθοδολογία.....	11
1.4	Δομή.....	14
2.	Εννοιολογικός προσδιορισμός, κύριες εφαρμογές και πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των Digital Twins.....	15
2.1	Ορισμοί.....	15
2.1.1	Γενικοί ορισμοί, ανάπτυξη της έννοιας στον χρόνο.....	15
2.1.2	Παρεμφερείς έννοιες.....	20
2.1.2.1	Ψηφιακό Μοντέλο (Digital Model).....	20
2.1.2.2	Ψηφιακή Σκιά (Digital Shadow).....	21
2.2	Μοντέλα ψηφιακών διδύμων.....	23
2.3	Κύρια πεδία εφαρμογής και πλεονεκτήματα.....	24
2.3.1	Βιομηχανία.....	24
2.3.2	Έξυπνες Πόλεις.....	26
2.3.3	Υγειονομικός Τομέας.....	26
3.	Συμβατικές προσεγγίσεις διαχείρισης επιχειρησιακών διεργασιών.....	27
3.1	Γενικό Πλαίσιο.....	28

Εμμανουήλ Δημητριάδης 7

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

3.2	Οι φάσεις του BPM.....	29
3.3	Η δομή του BPM.....	31
3.4	Προκλήσεις σχετικά με τις κλασσικές προσεγγίσεις BPM.....	33
4.	Ερευνητικό έργο σε σχέση με την αξιοποίηση της τεχνολογίας των Digital Twins σε επιχειρησιακό επίπεδο	38
4.1	Συνοπτική παρουσίαση.....	38
4.2	Αναλυτική παρουσίαση σε επίπεδο έρευνας και προτεινόμενων εφαρμογών.....	40
4.2.1	Αυτοματοποιημένη μοντελοποίηση διεργασιών με την χρήση DTs	40
4.2.1.1	Προτεινόμενο μοντέλο.....	40
4.2.1.2	Μελέτη Περίπτωσης	42
4.2.2	Μοντελοποίηση του επιχειρησιακού ψηφιακού διδύμου	45
4.2.2.1	Προδιαγραφές.....	45
4.2.2.2	Σχεδιασμός του Digital Twin.....	46
4.2.2.3	Μοντελοποίηση του Digital Twin	48
4.2.2.4	Μελέτη Περίπτωσης	49
4.2.3	Αξιοποίηση των DTs στον τομέα των υπηρεσιών.....	51
4.2.3.1	Μέθοδοι και λειτουργικά πλαίσια.....	51
4.2.3.2	Περίπτωση χρήσης.....	54
4.2.4	Σχεδιασμός και ανάπτυξη DTs διεργασιών στον τομέα της υλικοτεχνικής υποστήριξης.....	56
4.2.4.1	Η συμβολή της τεχνολογίας των Digital Twins.....	56
4.2.4.2	Γενικό πλαίσιο (framework)	57
4.2.5	Χρήση σημασιολογικών δικτύων και προσεγγίσεων εταιρικής αρχιτεκτονικής για την δημιουργία επιχειρησιακών DTs	62
4.2.5.1	Προκλήσεις.....	62
4.2.5.2	Προτεινόμενη μεθοδολογία	63
4.2.5.3	Εναλλακτικές προσεγγίσεις	69
4.2.6	Ανάπτυξη και υποστήριξη DTs διεργασιών	71
4.2.6.1	Μεθοδολογία	71
4.2.6.2	Περίπτωση χρήσης.....	74
4.2.7	Χρήση στοχαστικών δικτύων για την δημιουργία DTs διεργασιών.....	76
4.2.7.1	Γενική μεθοδολογία.....	76
4.2.7.2	Μεθοδολογία ανάπτυξης πρωτοτύπου.....	79
4.2.8	Υλοποίηση επιχειρησιακών DTs με την χρήση παρεμβατικού Process Mining	80
4.2.8.1	Μεθοδολογία	81

4.2.8.2	Υλοποίηση / Πρακτική εφαρμογή	84
4.2.9	Λοιπές αναφορές και ερευνητικό έργο	85
5.	Περιορισμοί και προκλήσεις στην εναρμόνιση με τις υπάρχουσες επιχειρησιακές δομές ...	87
5.1	Μορφή και επίπεδο ανάλυσης των μοντέλων.....	87
5.2	Συμβατότητα με το επιχειρησιακό οικοσύστημα.....	88
5.3	Δομή και ποιότητα των δεδομένων.....	89
5.4	Απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους και επεκτασιμότητα.....	90
6.	Συμπεράσματα και μελλοντικές προεκτάσεις	91
6.1	Συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα	91
6.2	Μελλοντικές προεκτάσεις της χρήσης των Digital Twins στο επιχειρησιακό πεδίο ...	94
	Βιβλιογραφικές αναφορές	96

1. Εισαγωγή

1.1 Πρόλογος

Η τεχνολογία των Digital Twins (DTs), μέσω της οποίας δημιουργούνται δυναμικά ψηφιακά αντίγραφα φυσικών πόρων, διαδικασιών ή συστημάτων τα οποία προσομοιάζουν την δομή και την συμπεριφορά των αντίστοιχων οντοτήτων στον πραγματικό κόσμο, χρησιμοποιείται στην πρόβλεψη ζητημάτων/αστοχιών τα οποία ενδέχεται να προκύψουν στους αντίστοιχους φυσικούς πόρους, καθώς και στην πρόβλεψη της αποδοτικότητας συστημάτων και διαδικασιών. Μέσω της συνεχούς πρόσληψης δεδομένων από τον φυσικό κόσμο, κατόπιν της πρόβλεψης, παρέχονται τρόποι αντιμετώπισης των ζητημάτων, μέσω αυτοματοποιημένης παρέμβασης στις παραμέτρους του εκάστοτε συστήματος ή διαδικασίας.

Η εν λόγω τεχνολογία αποτελεί αναπτυσσόμενο τομέα ο οποίος έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των ειδημόνων στον χώρο του Business Process Management. Όλο και περισσότεροι φορείς και οργανισμοί αναγνωρίζουν σε αυτήν σημαντικά πλεονεκτήματα και καινοτομίες.

Η δημιουργία DTs στο επίπεδο των επιχειρησιακών διεργασιών, αποτελεί περισσότερο μια διαφορετική προσέγγιση προς την βέλτιστη επίλυση παραδοσιακών προβλημάτων αποδοτικότερης χρήσης πόρων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους, παρά απλά μια τεχνολογική εργαλειοθήκη. Οι υλοποιήσεις μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το πλήθος των οντοτήτων, την πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων ή την φύση των διεργασιών, με κοινό τόπο την ενοποίηση και την υψηλή διασύνδεση των εμπλεκόμενων μερών, καθώς και την διαφάνεια σε όλα τα βήματα εκτέλεσης.

Η παρούσα διπλωματική εστιάζει στην προστιθέμενη αξία που προσφέρει η χρήση της τεχνολογίας των DTs στην μοντελοποίηση και την βελτιστοποίηση των επιχειρησιακών διεργασιών, μέσω μετατροπής ή αντικατάστασης των υπάρχοντων υλοποιήσεων. Επιπροσθέτως συγκεντρώνει πληροφορία σχετικά με τις πρωτοβουλίες που έχουν ληφθεί και τις εφαρμογές της εν λόγω τεχνολογίας στον τομέα του επιχειρησιακού μετασχηματισμού, με έμφαση στις προσφερόμενες λύσεις καθώς και στις προκλήσεις προς αντιμετώπιση.

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, αναλύονται διαφορετικές προσεγγίσεις και μεθοδολογίες εφαρμογής με βάση την βιβλιογραφία, καθώς και αναδεικνύεται η συμβολή τους στην γενικότερη εξέλιξη του υπό εξέταση τεχνολογικού κλάδου. Μέσω της συγκεκριμένης αποτύπωσης και ανάλυσης σχηματίζεται μια ολιστική εικόνα σχετικά με την εξελικτική πορεία και τα επιτεύγματα στους διαφόρους τομείς εφαρμογής, ενώ ταυτόχρονα παρέχεται συγκεντρωτική πληροφόρηση για τις τρέχουσες κατακτήσεις, προτάσεις και προκλήσεις, η οποία θα αποτελέσει βάση για την διεύρυνση της ερευνητικής δραστηριότητας προς την βελτιστοποίηση του θεωρητικού μοντέλου καθώς και των μεθόδων εφαρμογής των ψηφιακών διδύμων στον τομέα των επιχειρησιακών διεργασιών. Η συνέχιση της αναζήτησης, σε επιστημονικό επίπεδο, αποδοτικότερων μοντέλων και τρόπων αξιοποίησης των DTs όσον αφορά τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την λειτουργική αρτιότητα μιας εταιρικής οντότητας ή ενός Οργανισμού, θα διευρύνει τον βαθμό υιοθέτησης και θα συμβάλει στην μετάβαση του σύγχρονου επιχειρείν προς πιο ανταγωνιστικές και μακροπρόθεσμα βιώσιμες δομές και δραστηριότητες.

1.2 Σκοπός και Συμβολή της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανασκόπηση και παράθεση, κατόπιν συστηματικής έρευνας και μελέτης της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, των προτάσεων/προσεγγίσεων σχετικά με τους τρόπους χρήσης και βέλτιστης αξιοποίησης της τεχνολογίας των Ψηφιακών Διδύμων, στον τομέα του επιχειρησιακού μετασχηματισμού και της διαχείρισης των επιχειρησιακών διεργασιών. Η εργασία αυτή θα μπορούσε αφενός να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός για άντληση πληροφοριών προς μελλοντικές υλοποιήσεις, κατόπιν αξιολόγησης των μεθοδολογιών που παρουσιάζονται, καθώς και να αποτελέσει εργαλείο, θέτοντας τις βάσεις για περαιτέρω έρευνα και ανάληψη πρωτοβουλιών σε σχέση με το συγκεκριμένο αντικείμενο. Επιπροσθέτως, μέσω μελέτης των περιπτώσεων χρήσης που αναλύονται, είναι δυνατή η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τα προ απαιτούμενα, την πολυπλοκότητα και το κόστος εφαρμογής της κάθε μεθόδου σε πραγματικές συνθήκες, καθώς και του προσδοκώμενου οφέλους κατά περίπτωση, συμβάλλοντας στον προσδιορισμό της καταλληλότητας και στην εκτίμηση της αποδοτικότητας του κάθε λειτουργικού πλαισίου, βάση του πεδίου εφαρμογής και των συνθηκών κάτω από τις οποίες αυτή θα λάβει χώρα. Καθώς το εύρος εφαρμογής και αξιοποίησης της τεχνολογίας των Ψηφιακών Διδύμων στον επιχειρηματικό τομέα βρίσκεται ακόμα σε χαμηλά επίπεδα, η παρούσα εργασία θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί ως βάση για μετεξέλιξη και μελλοντική επέκταση των προτάσεων που παρουσιάζονται, ενδεχομένως με την ενσωμάτωση και νέων τεχνολογιών αιχμής όπως η μηχανική μάθηση, για περαιτέρω αυτοματοποίηση στους τομείς της βελτιστοποίησης των διεργασιών και της λήψης των αποφάσεων σχετικά με την κατανομή και χρήση των κρίσιμων πόρων.

1.3 Μεθοδολογία

Καθ' όλα τα στάδια της έρευνας αναζητηθήκαν εργασίες / άρθρα / επιστημονικές δημοσιεύσεις μέσω των ψηφιακών βιβλιοθηκών Scopus¹ και Google Scholar². Στις αναζητήσεις χρησιμοποιήθηκαν λέξεις «κλειδιά» όπως «Digital Twin», «Digital Process Twin», «DTO», «BPM», «Process Simulation», «Process Modeling». Από την διενέργεια των αναζητήσεων συγκεντρώθηκαν 92 δημοσιεύσεις, από τις οποίες 31 απορρίφθηκαν λόγω διπλοεγγραφών, ελλιπούς περιεχομένου και διαφορετικής γλώσσας από την Αγγλική. Ακολούθησε φιλτράρισμα των εναπομεινανσών δημοσιεύσεων, με κριτήρια την μεγαλύτερη συνάφεια με την προς έρευνα θεματολογία, την χρονολογία δημοσίευσης, τον αριθμό των παραπομπών, καθώς και την εγκυρότητα του μέσου δημοσίευσης/του επιστημονικού περιοδικού στο οποίο φιλοξενήθηκαν ή την σπουδαιότητα της εκδήλωσης στην οποία παρουσιάστηκαν.

Αναλυτικότερα, για τον έλεγχο της ποιότητας των επιστημονικών περιοδικών, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω κριτήρια:

- Καταχώρηση σε αναγνωρισμένους διεθνής καταλόγους όπως οι, International Scientific Indexing (ISI), Journals Directory, Copernicus Journals Master List (ICI), Directory of Open Access Journals (DOAJ).
- Πρόσβαση μέσω διαδεδομένων, αναγνωρισμένης ποιότητας βάσεων δεδομένων (πχ. Scopus, PubMed).
- Ο εκδότης, του οποίου το όνομα και τα στοιχεία επικοινωνίας αναφέρονται, είναι μέλος αναγνωρισμένων ενώσεων του κλάδου όπως οι, Committee on Publication Ethics (COPE), Open Access Scholarly Publishers' Association (OASPA).
- Ύπαρξη ιστοσελίδας όπου παρουσιάζονται τα στάνταρτς και οι μεθοδολογίες που ακολουθούνται (ημερομηνίες "received", "revised", "accepted" που υποδεικνύουν εγκυρότητα αξιολόγησης, ύπαρξη ψηφιακής πολιτικής διατήρησης, ύπαρξη πολιτικής

¹ <https://www.scopus.com/>

² <https://scholar.google.com/>

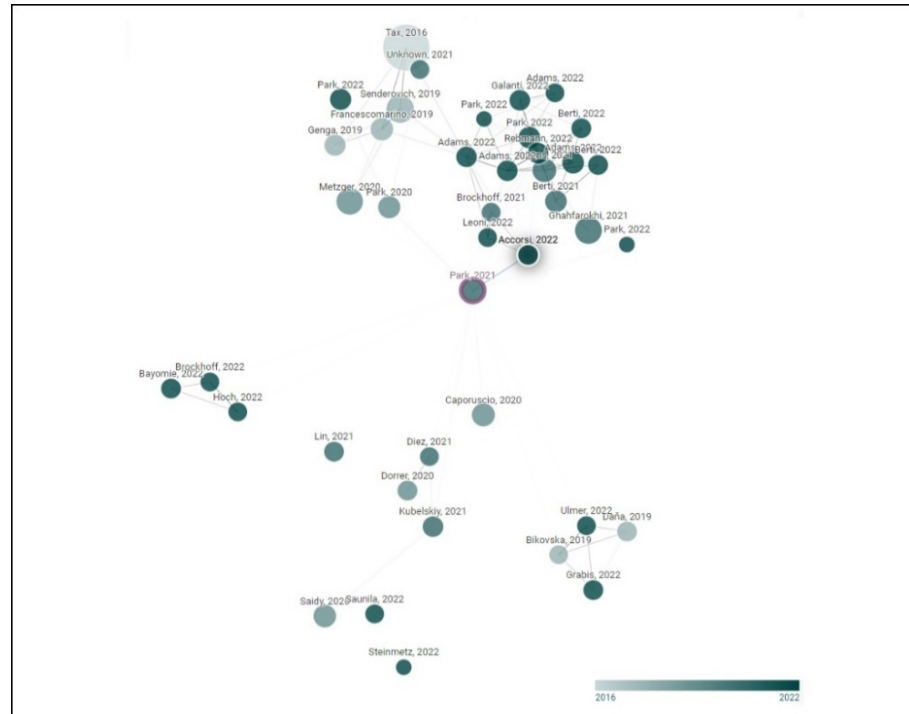
ανάκλησης, παρουσίαση των μεθοδολογιών που ακολουθούν οι συγγραφείς, διαθέσιμο ιστορικό εκδόσεων κλπ.).

- Ύπαρξη έγκυρων αναγνωριστικών DOI (digital object identifier) και ISSN.

Κατά την παραπάνω φάση διαλογής απορρίφθηκαν 23 επιπλέον δημοσιεύσεις, διαμορφώνοντας τον τελικό αριθμό σε 38. Μαζί με τις παραπομπές σε τεχνολογικά εργαλεία και πρότυπα, καθώς και τις αναφορές σε έρευνες και άρθρα αναρτημένα σε διαδικτυακά μέσα ενημέρωσης, ο συνολικός αριθμός των παραπομπών στην παρούσα μελέτη ανέρχεται σε 45.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα απεικόνισης της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, μέσω της χρήσης του διαδικτυακού εργαλείου Connected Papers [1]. Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνεται η βαρύτητα και η συσχέτιση μεταξύ συναφών άρθρων / δημοσιεύσεων κλπ., με επιλογή ως κεντρικό κόμβο δημοσίευση που αφορά την δημιουργία του ψηφιακού διδύμου ενός Οργανισμού, μέσω της άμεσης άντλησης δεδομένων από τις ενεργές επιχειρησιακές του διεργασίες. Μέσω της έντασης του ίχνους γραμμής μεταξύ των κόμβων αποτυπώνεται ο βαθμός συσχέτισης, το μέγεθος του κάθε κόμβου δηλώνει το πλήθος των βιβλιογραφικών παραπομπών και η ένταση του χρώματος σχετίζεται με την ημερομηνία δημοσίευσης (σκούρο χρώμα για τις πιο πρόσφατες δημοσιεύσεις).

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών



Αναλυτικότερα για την διαδικασία επιλογής ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

- Συγκέντρωση δημοσιεύσεων σχετικών με το θέμα της παρούσας έρευνας από ψηφιακές βάσεις δεδομένων
- Αφαίρεση δημοσιεύσεων με ελλείψεις, μη επιστημονικά αποδεκτές ή μη επαρκώς τεκμηριωμένες πληροφορίες
- Αφαίρεση δημοσιεύσεων που δεν είχαν την επιθυμητή συνάφεια με το θέμα
- Διαλογή με βάση τα κριτήρια της χρονολογίας, των παραπομπών και της εγκυρότητας, όπως περιεγράφηκε παραπάνω.

1.4 Δομή

Η παρούσα εργασία έχει δομηθεί ως εξής:

- Στο εισαγωγικό 1^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σκοπός και η συμβολή της εργασίας, η δομή της και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε.
- Στο 2^ο κεφάλαιο δίνονται ορισμοί για την τεχνολογία των DTs, καθώς και παρουσιάζονται οι κύριοι τομείς εφαρμογής της σε συνδυασμό με τα βασικά πλεονεκτήματα που προσφέρει έναντι των παραδοσιακών προσεγγίσεων.
- Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται οι συμβατικές προσεγγίσεις σχετικά με την μοντελοποίηση και την βελτιστοποίηση των επιχειρησιακών διεργασιών, με έμφαση στην ανάδειξη των μειονεκτημάτων τους και των σημείων που χρήζουν βελτίωσης.
- Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση των εν' εξελίξει πρωτοβουλιών και προσεγγίσεων σχετικά με την χρήση της τεχνολογίας των DTs στον τομέα του επιχειρησιακού μετασχηματισμού και της λειτουργικής αρτιότητας. Παρουσιάζονται προτεινόμενες μεθοδολογίες και τα πλεονεκτημά τους στα αντίστοιχα πεδία εφαρμογής, εστιάζοντας στις προσφερόμενες καινοτόμες λύσεις, στα σημεία όπου υστερούν οι παραδοσιακές προσεγγίσεις.
- Στο 5^ο κεφάλαιο αναδεικνύονται οι περιορισμοί και οι προκλήσεις σχετικά με την εναρμόνιση της τεχνολογίας των DTs με τις υπάρχουσες επιχειρησιακές δομές.
- Στο κεφάλαιο 6 παρατίθενται τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν από την διενέργεια της παρούσας μελέτης και αναζητούνται κατευθυντήριες προς νέα πεδία έρευνας, καθώς και νέοι τομείς και μεθοδολογίες εφαρμογής.

2. Εννοιολογικός προσδιορισμός, κύριες εφαρμογές και πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των Digital Twins

2.1 Ορισμοί

2.1.1 Γενικοί ορισμοί, ανάπτυξη της έννοιας στον χρόνο

Παρόλο που η τεχνολογία των DTs έχει κερδίσει σε δημοφιλία και ευρεία υιοθέτηση τα τελευταία χρόνια, το σχετικό εννοιολογικό πλαίσιο δεν είναι σύγχρονο. Οι ορισμοί γύρω από την συγκεκριμένη τεχνολογία εξελίσσονται διαρκώς στην πάροδο του χρόνου, παράλληλα με την ανάπτυξη πεδίων εκμετάλλευσης αυτής (πχ. τεχνολογίες αισθητήρων, τεχνολογίες μοντελοποίησης, μέθοδοι διαχείρισης δεδομένων, τεχνολογίες επικοινωνίας κ.α.).

Μια ολιστική πρόωμη εφαρμογή της τεχνολογίας των DTs έλαβε χώρα όταν μηχανικοί της NASA χρησιμοποίησαν έναν προσομοιωτή, ένα δίδυμο του θαλάμου διακυβέρνησης και ένα ξεχωριστό αντίγραφο του ηλεκτρικού συστήματος της μονάδας, αναζητώντας λύση προς την ασφαλή επιστροφή της αποστολής Apollo 13 στην Γη το 1970. Οι μηχανικοί της NASA ολοκλήρωσαν την διαδικασία σε λιγότερο από δύο ώρες και έσωσαν τις ζωές των τριών μελών του πληρώματος της αποστολής. Πρόκειται για ένα ασυνήθιστο παράδειγμα πολύ πρόωμης χρήσης της συγκεκριμένης τεχνολογίας, η τουλάχιστον μια απόπειρα που προσεγγίζει αυτό που ορίζουμε σήμερα ως ψηφιακό δίδυμο, τόσο σε επίπεδο φυσικό πόρων (θάλαμος διακυβέρνησης, ηλεκτρικά κυκλώματα) όσο και σε επίπεδο διαδικασίας (ανάκτηση ασφαλούς τροχιάς, προσγείωση). Σήμερα η NASA χρησιμοποιεί DTs για την ανάπτυξη αεροσκαφών επόμενης γενιάς, επεκτείνοντας τα θεωρητικά μοντέλα και καινοτομώντας στον συγκεκριμένο χώρο. [2]

Η έννοια των ψηφιακών διδύμων, στην σύγχρονη εκδοχή της, γεννήθηκε για πρώτη φορά κατά την διάρκεια μιας σειράς μαθημάτων σχετικά με την διαχείριση του κύκλου ζωής προϊόντων, το 2002 στο Πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν από τον Michael Grieves. Το προτεινόμενο μοντέλο είχε τρία δομικά συστατικά: τον φυσικό χώρο, τον ψηφιακό χώρο και τον μηχανισμό διασύνδεσης των δύο, για την αμφίπλευρη μεταφορά πληροφορίας και δεδομένων μεταξύ τους. Αναφορές στην συγκεκριμένη έννοια γίνονταν τότε ως «Το μοντέλο καθρέφτισης των χώρων (φυσικού/ψηφιακού)». [3]

Ακολουθούν διάφοροι ορισμοί της τεχνολογίας των DTs, σε συνδυασμό με την σχετική βιβλιογραφική αναφορά και το πεδίο εφαρμογής, σε χρονολογική σειρά. Από την σχετική καταγραφή εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

- Τα βασικά δομικά συστατικά ενός ψηφιακού διδύμου, συμπεριλαμβανομένης της φυσικής οντότητας, της ψηφιακής οντότητας και της διασύνδεσης μεταξύ τους, περιλαμβάνονται στον ορισμό άμεσα ή έμμεσα.
- Σε κάθε ορισμό τονίζονται συγκεκριμένες πτυχές της τεχνολογίας, οι οποίες αναδεικνύονται από διαφορετικούς ανθρώπους σε συγκεκριμένα πλαίσια / πεδία εφαρμογής. [4]

2012 - Μηχανική Αεροσκαφών - [5]

Παρά την πρώτη απόπειρα ορισμού και εισαγωγής της έννοιας των ψηφιακών διδύμων από τον Grieves, επήλθε στασιμότητα στην ανάπτυξη του χώρου έως το 2012, όταν η NASA επαναπροσδιόρισε τα DTs ως μία ολοκληρωμένη πολυεπίπεδη πιθανολογική προσομοίωση ενός φυσικού αεροσκάφους ή ενός επιμέρους / βοηθητικού συστήματος αυτού, η οποία συνδυάζει τα καλύτερα δυνατά φυσικά μοντέλα, πληροφορίες αισθητήρων, ιστορικά δεδομένα κλπ., ώστε να αποτυπώσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την φύση και την λειτουργικότητα του αντίστοιχου φυσικού πόρου.

2017 - Internet των Πραγμάτων (IoT) - [6]

Στην μηχανική του internet των πραγμάτων (IoT), τα ψηφιακά δίδυμα ορίζονται ως ένα εξελισσόμενο ψηφιακό προφίλ της ιστορικής και τρέχουσας συμπεριφοράς ενός φυσικού αντικειμένου ή μιας διαδικασίας, το οποίο βοηθά στην βελτιστοποίηση της επιχειρησιακής απόδοσης.

2019 - Μηχανική Σχεδιασμού - [7]

Με την πρόταση εφαρμογής της ιδέας στην ανάπτυξη των προϊόντων, ο ορισμός και τα πεδία εφαρμογής της τεχνολογίας των DTs διευρύνθηκαν σημαντικά. Συγκεκριμένα το ψηφιακό δίδυμο ορίστηκε σε πολλά βιομηχανικά πεδία ως μια πραγματική απεικόνιση όλων των φάσεων στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, με την χρήση δεδομένων από τον φυσικό κόσμο, δεδομένων από τον ψηφιακό κόσμο και δεδομένων αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο.

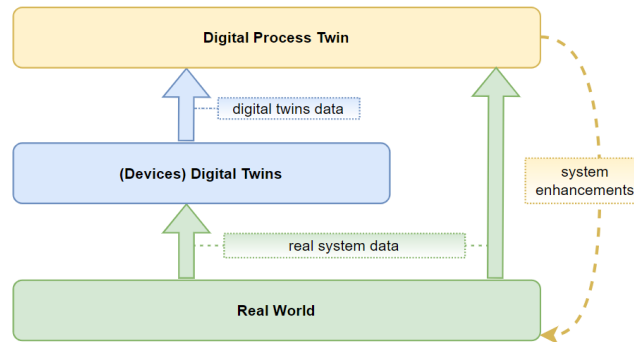
2019 - Μηχανική Παραγωγής - [8]

Κατά την μηχανική παραγωγής, ένα ψηφιακό δίδυμο είναι μία αναπαράσταση ενός μοναδικού ενεργού προϊόντος (φυσικό αντικείμενο, συσκευή, μηχανή, υπηρεσία ή άυλος πόρος) ή ενός μοναδικού συστήματος προϊόντος-υπηρεσίας (ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από ένα προϊόν και μια σχετιζόμενη υπηρεσία) το οποίο εμπεριέχει επιλεγμένα χαρακτηριστικά του πραγματικού πόρου, ιδιότητες, συνθήκες, μοντελοποιημένες συμπεριφορές, πληροφορίες και δεδομένα στα πλαίσια ενός ή και περισσότερων κύκλων ζωής του.

2022 - Διαχείριση Επιχειρησιακών Διεργασιών, Ψηφιακός Μετασχηματισμός - [9]

Μέσω της ανάγκης για αναπαράσταση, απεικόνιση και προσομοίωση της συμπεριφοράς ενός συστήματος καθώς και αυτής μιας ομάδας συστημάτων που συνεργάζονται υπό το πρίσμα εκτέλεσης μια συγκεκριμένης ροής εργασίας, γεννήθηκε η έννοια του Digital Process Twin [10]. Πιο συγκεκριμένα, το digital process twin συγκεντρώνει τις πληροφορίες που αντλούνται από όλες τις συσκευές ενός συστήματος (είτε πρόκειται για αυτές καθαυτές τις φυσικές οντότητες είτε για τα ψηφιακά δίδυμα αυτών) και από την ροή εργασίας στην οποία αυτές συμμετέχουν, ώστε να δημιουργήσει ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό αντίγραφο της συμπεριφοράς του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπει στους προγραμματιστές και στους τελικούς χρήστες να ερμηνεύσουν την συμπεριφορά των αισθητήρων (IoT), των ρομποτικών συσκευών, των αυτοματισμών σε επίπεδο ενέργειας / απόφασης κλπ. που λαμβάνουν μέρος στην εκτέλεση των συστημικών διεργασιών. Συνεπώς γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα digital process twins δεν χρησιμεύουν μόνο κατά την φάση του σχεδιασμού ενός συστήματος, αλλά και στην ερμηνεία / ανάλυση των δεδομένων, όπως και στην διερεύνηση διαφορετικών εναλλακτικών σε λειτουργικό ή σχεδιαστικό επίπεδο [11], οι οποίες σχετίζονται με την συνολική συστημική συμπεριφορά.

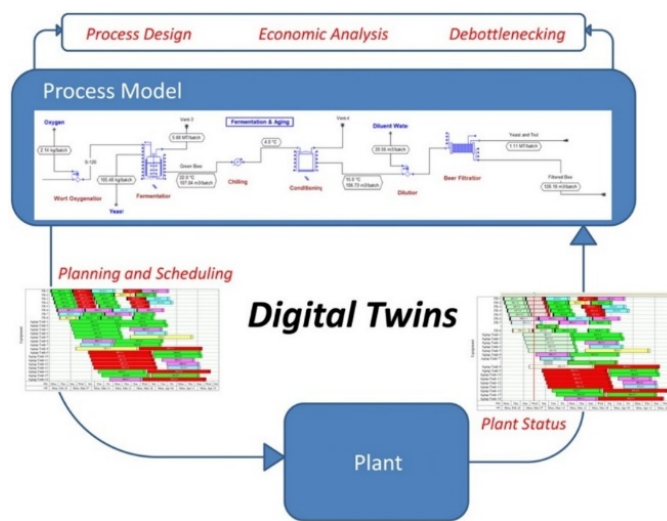
Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών



Σχήμα 1. Το γενικό πλαίσιο του digital process twin. [9]

Γενικεύοντας τον παραπάνω ορισμό με επίκεντρο τα άυλα συστήματα, όπως η λειτουργικότητα φορέων (εταιρείες, οργανισμοί) σε επίπεδο επιχειρησιακής διαδικασίας / διεργασίας, ένα ψηφιακό δίδυμο αποτελεί μια αναπαράσταση μιας φυσικής ροής εργασίας (με την έννοια ότι κατά την εκτέλεσή της υπάρχει συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα, παρά το γεγονός ότι η πλειοψηφία των ενεργειών εκτελείται μέσω ψηφιακών συστημάτων και τηλεπικοινωνιακής διασύνδεσης αυτών) η οποία λαμβάνει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από τον φυσικό κόσμο και μέσω ανάλυσης αυτών αφενός διατηρείται συνεπής μορφολογικά και λειτουργικά σε σχέση με το φυσικό αντίγραφο και αφετέρου μέσω δυνατοτήτων υπολογιστικής και συνδυασμού των δεδομένων με αυτά που λαμβάνει και από άλλα φυσικά ή ψηφιακά συστήματα, παράγει χρήσιμα συμπεράσματα με τα οποία ανατροφοδοτεί το φυσικό αντίγραφο, βελτιστοποιώντας και επεκτείνοντας σε όλα τα επίπεδα την εκτέλεση της φυσικής ροής.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών



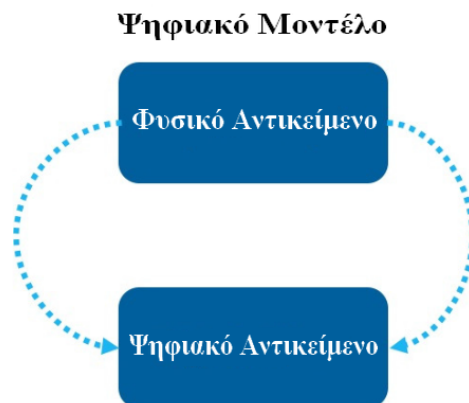
Σχήμα 2. Παράδειγμα σχηματικής αποτύπωσης του παραπάνω ορισμού, σχετικά με τα ψηφιακά δίδυμα επιχειρησιακών διεργασιών. [12]

Τα τελευταία χρόνια, η εκμετάλλευση των DTs έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό και η δημοφιλία τους έχει ανέβει κατακόρυφα. Παράδειγμα η συμπερίληψη από την Gartner στην λίστα με τα κορυφαία τεχνολογικά trends το 2017 και οι προβλέψεις της για μαζική υιοθέτηση στην βιομηχανία και στις διεργασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ως αποτέλεσμα, η αγορά των DTs είχε αποτίμηση 6,9 δισεκατομμυρίων δολαρίων το 2022 και αναμένεται να φτάσει τα 73,5 δισεκατομμύρια έως το 2027, ένας ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης που ξεπερνά το 60%. Προστιθέμενη αξία θα προσδώσει και ο συνδυασμός με άλλες σύγχρονες τεχνολογίες όπως αναγνώριση φωνής, επαυξημένη πραγματικότητα, το internet των πραγμάτων (IoT) και τεχνητή νοημοσύνη (AI). [13] [14]

2.1.2 Παρεμφερείς έννοιες

2.1.2.1 Ψηφιακό Μοντέλο (Digital Model)

Το ψηφιακό μοντέλο ορίζεται ως μία ψηφιακή εκδοχή ενός υαρκτού αντικειμένου, το οποίο έχει φυσική υπόσταση και προϋπάρχει χρονικά του ψηφιακού αντιγράφου. Αντίστοιχα μπορεί να οριστεί ως η ψηφιακή εκδοχή μιας διεργασίας / διαδικασίας που εκτελείται στον φυσικό κόσμο. Μεταξύ των δύο δεν υπάρχει κάποιος διάυλος αυτόματης επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων, καθώς και η μορφολογία και η λειτουργικότητα του ψηφιακού μοντέλου δεν μεταβάλλεται δυναμικά ως αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης. Συνεπώς μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας ενός ψηφιακού μοντέλου, η οποιαδήποτε μεταβολή του φυσικού αντικειμένου ή της διεργασίας στον φυσικό κόσμο, δεν επιφέρει την οποιαδήποτε αλλαγή στην αντίστοιχη ψηφιακή εκδοχή. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.) απεικονίζεται ένα ψηφιακό μοντέλο. Παραδείγματα ψηφιακών μοντέλων μπορούμε να βρούμε στον σχεδιασμό κτηρίων, στην σχεδίαση και ανάπτυξη προϊόντων και αλλού. [15] [16]

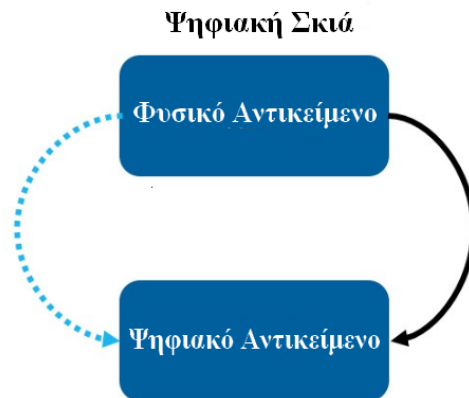


Σχήμα 3. Παράδειγμα ψηφιακού μοντέλου, όπου με μπλε διακεκομμένη γραμμή αποτυπώνεται η μη αυτόματη ροή δεδομένων.

2.1.2.2 Ψηφιακή Σκιά (Digital Shadow)

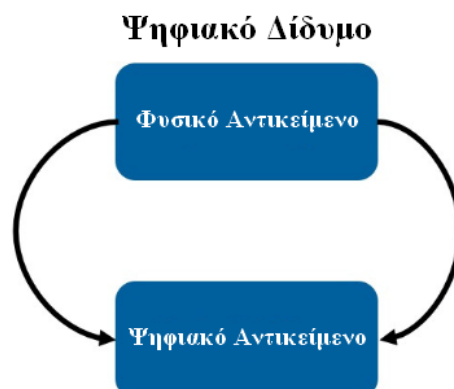
Ως Ψηφιακή σκιά ορίζεται η ψηφιακή αναπαράσταση ενός αντικειμένου ή μίας διεργασίας στον φυσικό κόσμο, σε συνδυασμό με ένα κανάλι μονόδρομης επικοινωνίας από το φυσικό προς το ψηφιακό αντίγραφο. Στην περίπτωση της ψηφιακής σκιάς, η

οποιαδήποτε μεταβολή στην κατάσταση ή στις λειτουργικές προδιαγραφές του φυσικού αντικείμενου ή της διεργασίας, επιφέρει αντίστοιχες μεταβολές στο ψηφιακό αντίγραφο, αλλά όχι το αντίθετο. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.) απεικονίζεται μία ψηφιακή σκιά. [15]



Σχήμα 4. Παράδειγμα ψηφιακής σκιάς, όπου με μπλε διακεκομμένη γραμμή αποτυπώνεται η μη αυτόματη ροή δεδομένων και με μαύρη η αυτόματη ροή δεδομένων.

Ο βασικός τομέας διαφοροποίησης ενός ψηφιακού δίδυμου είναι η διεύρυνση του στατικού μοντέλου σε ένα δυναμικό μοντέλο, το οποίο αλληλοεπιδρά συνεχώς, αμφίδρομα και σε πραγματικό χρόνο με τον φυσικό κόσμο.



Σχήμα 5. Παράδειγμα ψηφιακού διδύμου, όπου με μαύρη γραμμή αποτυπώνεται η αυτόματη ροή δεδομένων.

2.2 Μοντέλα ψηφιακών διδύμων

Σχετιζόμενα με τους ποικίλους ορισμούς, διαφορετικά μοντέλα (πλαίσια) για τα DTs έχουν τεθεί σε διάφορους επιστημονικούς τομείς. [4]

Το πρώτο μοντέλο που προτάθηκε από τον Grieves το 2014, αποτελείται από τρία κύρια μέρη: τον πόρο στον φυσικό κόσμο, τον πόρο στον ψηφιακό κόσμο και την διασύνδεση και αμφίδρομη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τους. Στο ψηφιακό αντίγραφο δεν αποτυπώνονται μόνο μορφολογικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά από το αντίστοιχο φυσικό, αλλά επιπροσθέτως συμπεριφορικά χαρακτηριστικά τα οποία κάνουν εμφανή την λειτουργικότητα και την απόδοση του φυσικού πόρου, ως αποτέλεσμα παραμετροποίησης και απόκρισης στα εξωτερικά ερεθίσματα.

Το ερευνητικό εργαστήριο της NASA και της πολεμικής αεροπορίας των Η.Π.Α. εφαρμόζει ειδικό πλαίσιο ψηφιακών διδύμων στα αεροσκάφη για πιο αποδοτικό σχεδιασμό, καλύτερη πτητική ικανότητα, περιορισμό στις βλάβες και στις αστοχίες υλικών / συστημάτων και βελτιστοποίηση των διαδικασιών επιθεώρησης και συντήρησης.

Για την παραμετροποίηση και την ανάπτυξη προβλεπτικής ικανότητας στις εγκαταστάσεις παραγωγής, εφαρμόζονται τα μοντέλα ψηφιακών διδύμων DTS [17] και RDT [18]. Όσον αφορά το πρώτο, πρόκειται για ένα μοντέλο ψηφιακών διδύμων πέντε διαστάσεων, το οποίο περιλαμβάνει τις φυσικές οντότητες, τα ψηφιακά μοντέλα, τις υπηρεσίες, τα δεδομένα και τις διασυνδέσεις μεταξύ φυσικών και ψηφιακών συστημάτων. Στο δεύτερο μοντέλο αναδιαμορφώσιμου ψηφιακού διδύμου, περιλαμβάνονται η γεωμετρία, η μορφολογία, οι ικανότητες, η συμπεριφορά και οι κανόνες που διέπουν τους φυσικούς πόρους και μεταφέρονται κατ' αναλογία στα αντίστοιχα ψηφιακά αντίγραφα.

Στον τομέα της διαχείρισης των επιχειρησιακών διεργασιών στα πλαίσια μιας εταιρικής οντότητας ή ενός Οργανισμού, έχει αναπτυχθεί το μοντέλο του DTO [19]. Βάση

αυτού τα ψηφιακά δίδυμα όχι μόνο μοντελοποιούν τις επιχειρησιακές διεργασίες, αλλά επιτρέπουν στους διαχειριστές τους την δοκιμή νέων μεθόδων, παραμέτρων και λοιπών μεταβλητών προς βελτιστοποίηση της απόδοσης των διεργασιών. Με την ευρεία εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνολογίας στα πλαίσια ενός Οργανισμού, το DTO είναι σε θέση να εξετάσει τον αντίκτυπο της κάθε μεταβολής σε επίπεδο μεμονωμένης διεργασίας ή ομάδας διεργασιών, στο σύνολο του οικοσυστήματος.

Στην αντίστοιχη βιβλιογραφία αναφέρονται και άλλα μοντέλα ψηφιακών διδύμων, όπως αυτό για την διαχείριση αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (WEEE) [20], το μοντέλο διάγνωσης ελαττωμάτων / βλαβών μέσω της χρήσης ψηφιακού διδύμου [21] και το τροφοδοτούμενο από ψηφιακό δίδυμο μοντέλο σχεδιασμού προϊόντων (DTPD) [22].

2.3 Κύρια πεδία εφαρμογής και πλεονεκτήματα

Η εξέλιξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για μετάβαση σε πλήρως ψηφιακά οικοσυστήματα προς εκμετάλλευση των νέων δυνατοτήτων και των συνοδευτικών πλεονεκτημάτων, έχουν καθορίσει σε μεγάλο βαθμό τους κύριους τομείς ενδιαφέροντος για την αξιοποίηση της τεχνολογίας των ψηφιακών διδύμων. Πρόκειται για την βιομηχανία, τις έξυπνες πόλεις και τον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης.

2.3.1 Βιομηχανία

Στις βιομηχανικές εφαρμογές το σύνηθες ζητούμενο είναι η εξοικονόμηση χρόνου και κόστους κατά τις διαδικασίες της παραγωγής, καθώς και καθ' όλο το μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η δυνατότητα ελέγχου και παρακολούθησης των προϊόντων, η διασύνδεση των ροών εργασίας μεταξύ των διαφόρων παραγωγικών σταδίων, ο συντονισμός των μηχανών και των συστημάτων παραγωγής και η δυνατότητα

βελτιστοποίησης των διαδικασιών και αντιμετώπισης πιθανών σημείων συμφόρησης, προκρίνει την αξιοποίηση των DTs έναντι άλλων εναλλακτικών. Σε απόλυτη αρμονία με τα πρότυπα της Βιομηχανίας 4.0, τα ψηφιακά δίδυμα προσφέρουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα για την κατάσταση και την απόδοση των μηχανών, όπως και συνολικές αναφορές για τις γραμμές παραγωγής, κάτι που βοηθά στην ταχεία αντιμετώπιση προβλημάτων και στην γενικότερη βελτίωση της αξιοπιστίας και της απόδοσης. Σε συνδυασμό με αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης παρέχεται η δυνατότητα για μεγαλύτερη ακρίβεια, καθώς και προβλεπτική ικανότητα για την αποφυγή σπατάλης κρίσιμων πόρων.

Θέτοντας στο επίκεντρο επιμέρους βιομηχανικούς κλάδους, στην αυτοκινητοβιομηχανία η αξιοποίηση ενός ψηφιακού δίδυμου ενός κινητήρα ή κάποιου άλλου κρίσιμου εξαρτήματος, παρέχει την δυνατότητα δοκιμών, ελέγχου και λήψης αποφάσεων, μέσω της εκτέλεσης προσομοιώσεων και ανάλυσης δεδομένων. Επιπροσθέτως με την χρήση τεχνητής νοημοσύνης βελτιστοποιείται η ακρίβεια των ελέγχων σχετικά με την απόδοση και την αντοχή υλικών και εξαρτημάτων, μέσω πρόσβασης σε πληθώρα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Στον κατασκευαστικό κλάδο, η εφαρμογή της τεχνολογίας των DTs μπορεί να αποδειχτεί επωφελής κατά την φάση ανάπτυξης ενός κτηρίου ή μεγαλύτερου οικοδομήματος. Εκτός από την προφανή χρήση για την λήψη σχεδιαστικών αποφάσεων και ελέγχου δομικών επιλογών κατά την φάση της ανάπτυξης, το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να αποτελέσει σε βάθος χρόνου ένα εργαλείο διαρκούς εποπτείας και ελέγχου της εκάστοτε κατασκευής. Επίσης προσφέρει στις κατασκευαστικές ομάδες μεγαλύτερη ακρίβεια κατά την εκτέλεση προσομοιώσεων, καθώς οι εκάστοτε επιλογές / διαδικασίες μπορούν να εφαρμοστούν σε πρώτη φάση στο ψηφιακό δίδυμο και κατόπιν επαλήθευσης του επιθυμητού αποτελέσματος στο φυσικό οικοδόμημα.

Γενικότερα γίνεται αντιληπτό ότι ένας κοινός στόχος μέσω της χρήσης της τεχνολογίας των DTs στην βιομηχανία είναι η εκτέλεση προσομοιώσεων μεγάλης πιστότητας σε πραγματικό χρόνο, παράγοντας που διαφοροποιεί την εν λόγω τεχνολογία από παραδοσιακές προσεγγίσεις με χρήση στατικών, αφαιρετικών μοντέλων /

Εμμανουήλ Δημητριάδης

σχεδιαγραμμάτων. Η χρησιμότητα των τελευταίων σαφώς δεν ακυρώνεται, όμως η αδυναμία τους στην χρήση δεδομένων και παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο, περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις προβλεπτικές και εξελικτικές τους δυνατότητες.

2.3.2 Έξυπνες Πόλεις

Χάρη στις ραγδαίες εξελίξεις στην διασυνδεσιμότητα μέσω του Internet των πραγμάτων (IoT), η προοπτική για εξόχως αποδοτική χρήση των ψηφιακών διδύμων στον τομέα των έξυπνων πόλεων αυξήθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Με έναν διαρκώς αυξανόμενο αριθμό έξυπνων πόλεων στην φάση της ανάπτυξης, όσο περισσότερο διασυνδεδεμένες είναι οι κοινωνίες, τόσο περισσότερο έδαφος κερδίζουν οι υλοποιήσεις με την χρήση των ψηφιακών διδύμων. Μέσω των υλοποιήσεων αυτών αξιοποιούνται τα δεδομένα που συλλέγονται από τους IoT αισθητήρες οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στις βασικές υποδομές και υπηρεσίες που παρέχονται εντός μιας πόλης και σε συνδυασμό με ανεπτυγμένους αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης συμβάλουν στον έλεγχο, την συντήρηση, την πρόβλεψη και αντιμετώπιση δυσλειτουργιών, καθώς και στην διαρκή εξέλιξη του υπάρχοντος σχεδιασμού και μοντέλου λειτουργίας. Όσον αφορά την εξελικτική πορεία, μέσω των ψηφιακών διδύμων παρέχεται η δυνατότητα εκτέλεσης δοκιμαστικών σεναρίων με μεγάλη ακρίβεια και με υποπολλαπλάσιο κόστος σε σχέση με την εκτέλεσή τους σε φυσικά μοντέλα, με ταυτόχρονη αξιοποίηση της γνώσης από την συνεχή συλλογή και ανάλυση δεδομένων που προέρχονται από τις υπάρχουσες, εν λειτουργία, υποδομές. Σε αυτό το πλαίσιο, η συγκεκριμένη τεχνολογία γίνεται ολοένα και πιο απαραίτητη όσο αυξάνεται η διασυνδεσιμότητα κατά την ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων, καθώς και τα διαθέσιμα δεδομένα προς αξιοποίηση.

2.3.3 Υγειονομικός Τομέας

Ομοίως με τις εξελίξεις στην φύση και στον τρόπο λειτουργίας των σύγχρονων πόλεων, η σύγχρονη τεχνολογία διεισδύει ολοένα και περισσότερο στον τομέα της υγείας, παρέχοντας πληθώρα νέων δυνατοτήτων, μειώνοντας ταυτόχρονα την πολυπλοκότητα και το κόστος των υλοποιήσεων. Ως αποτέλεσμα της αυξημένης διασυνδεσιμότητας και της πληθώρας δεδομένων από την παρακολούθηση της υγείας μέσω συσκευών IoT, είναι πιθανή μελλοντικά η ανάπτυξη του ψηφιακού διδύμου ενός ανθρώπου, για τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο των ζωτικών λειτουργιών του και την προληπτική αντιμετώπιση ασθενειών. Επί του παρόντος, ένας τομέας στον οποίο τα DTs βρίσκουν εφαρμογή, είναι η προσομοίωση της επίδρασης (συμβολή στην αντιμετώπιση ασθενειών και πιθανές παρενέργειες) συγκεκριμένων φαρμάκων. Μια άλλη εφαρμογή αποτελεί η χρήση τους στον σχεδιασμό και στην εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων. Γενικεύοντας τις χρήσεις αυτές, τα ψηφιακά δίδυμα δίνουν στους ερευνητές, στους γιατρούς, στα υγειονομικά ιδρύματα και στους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης την δυνατότητα να προσομοιώνουν συνθήκες και περιβάλλοντα με βάση τις ανάγκες τους, είτε για ανάλυση και χρήση σε πραγματικό χρόνο, είτε στα πλαίσια της μελλοντικής ανάπτυξης της γνώσης και των υπηρεσιών που προσφέρουν. Επιπροσθέτως, πέρα από την άμεση συσχέτιση με αμιγώς υγειονομικά θέματα, υπάρχει έντονη η ανάγκη σωστής αξιοποίησης / διαχείρισης των πόρων, όπως για παράδειγμα οι κλίνες εντατικής θεραπείας σε ένα νοσοκομείο ή οι χειρουργικές αίθουσες. Η εξασφάλιση της μέγιστης διαθεσιμότητάς τους και η σωστή κατανομή τους στα επείγοντα περιστατικά που χρίζουν άμεσης φροντίδας, μέσω της αξιοποίησης ενός ψηφιακού διδύμου σε συνδυασμό με την ανάλυση ιστορικών και τρεχόντων δεδομένων, μπορεί να κάνει την διαφορά ανάμεσα στην ζωή και στον θάνατο. Τέλος, στο ευρύτερο σκέλος της διαχείρισης πόρων, η χρήση των ψηφιακών διδύμων επεκτείνεται στην συντήρηση και στην διαρκή ανάγκη για διενέργεια επισκευών στον ιατρικό εξοπλισμό.

3. Συμβατικές προσεγγίσεις διαχείρισης επιχειρησιακών διεργασιών

3.1 Γενικό Πλαίσιο

Με τον όρο διαχείριση επιχειρησιακών διεργασιών (διεθνώς γνωστός ως Business Process Management ή με τα αρχικά BPM) αναφερόμαστε σε μια δομημένη προσπάθεια βελτιστοποίησης των ροών εργασίας στα πλαίσια της λειτουργίας μίας εταιρικής οντότητας ή Οργανισμού, μέσω των οποίων εξυπηρετεί τους πελάτες του ή γενικότερα παράγει αξία. Μία διεργασία είναι μια επαναλαμβανόμενη δραστηριότητα ή ένα σύνολο δραστηριοτήτων, οι οποίες αποσκοπούν στην επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου όπως αυτός έχει τεθεί βάση της επιχειρησιακής στρατηγικής.

Στα πλαίσια του BPM, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι προς βελτιστοποίηση των διεργασιών, μέσω ανάλυσης της ροής των οντοτήτων και των ενεργειών που λαμβάνουν μέρος σε αυτές, μοντελοποιώντας τον τρόπο εκτέλεσης καθόλα τα διαφορετικά πιθανά σενάρια, υλοποιώντας τροποποιήσεις επί της διαδικασίας όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο και παρακολουθώντας τα αποτελέσματα προς την επίτευξη του τελικού στόχου με την καλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων.

Το BPM είναι ένας ευρύς και δυναμικός κλάδος, καθώς εξ' ορισμού οι ρόλοι, οι κανόνες, οι τακτικές και τα επιχειρησιακά ζητούμενα ενός Οργανισμού μεταβάλλονται συνεχώς, κάτι που έχει άμεσο αντίκτυπο στις επιχειρησιακές διεργασίες του και στον τρόπο εκτέλεσης αυτών. Στο πέρασμα των χρόνων έχουν αναπτυχθεί πολλές μεθοδολογίες στα πλαίσια της βελτιστοποίησης των διεργασιών, με βάση την φύση τους, τις τεχνολογικές δυνατότητες, τα ζητούμενα, καθώς και το περιβάλλον μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα η εκτέλεσή αυτών.

Όσο μεγαλώνει το πλήθος των πόρων που απαιτούνται και η πολυπλοκότητα μιας διεργασίας, για να επιτευχθεί η διαχείριση είναι απαραίτητη η συνδρομή εργαλείων αυτοματισμού, όπως εξειδικευμένα λογισμικά, αισθητήρες καταγραφής κ.α. Μέσω της εξέλιξης αυτών των επικουρικών εργαλείων, όπως για παράδειγμα η αξιοποίηση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και η χρήση τεχνητής νοημοσύνης, παρέχονται νέες

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

δυνατότητες καταγραφής / κατανόησης, σχεδιασμού, παρακολούθησης, βελτίωσης και αυτοματοποίησης των ροών εργασιών που απαρτίζουν τις διεργασίες.

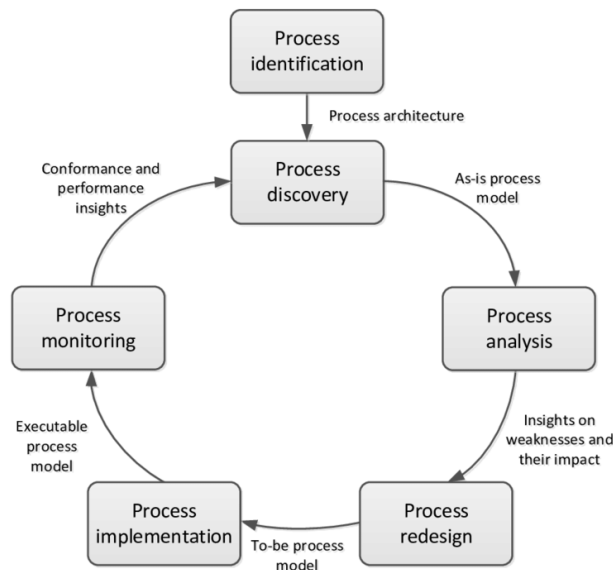
Με την άνοδο του ψηφιακού επιχειρείν και την ανάγκη ψηφιακής μετάβασης και μετασχηματισμού των παραδοσιακών εταιρικών δομών προς διατήρηση της ανταγωνιστικότητάς τους, σταδιακά η στόχευση του BPM διευρύνεται από τα στενά πλαίσια της βελτιστοποίησης των εσωτερικών διαδικασιών προς την συμπερίληψη του συνόλου των λειτουργιών ενός Οργανισμού, εντός του ευρύτερου περιβάλλοντος μέσα στο οποίο αυτός δραστηριοποιείται.

3.2 Οι φάσεις του BPM

Η εξέχουσα προσέγγιση δόμησης του κλάδου του BPM χρησιμοποιεί τα μοντέλα κύκλου ζωής και τις σχετικές μεθοδολογίες που ακολουθούνται σε κάθε φάση της διαχείρισης των επιχειρησιακών διεργασιών. Εξ' ορισμού μία διεργασία είναι μία επαναλαμβανόμενη δραστηριότητα, συνεπώς το διαχειριστικό σκέλος ακολουθεί τον κάθε κύκλο εκτέλεσης, με απώτερο στόχο την συνεχή βελτιστοποίηση της διεργασίας όσον αφορά την ορθότητα εκτέλεσης, την αποδοτικότητα και την διαμόρφωση του επιθυμητού αποτελέσματος.

Ο κύκλος ζωής του BPM μπορεί να χωριστεί σε έξι φάσεις όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. [23]

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών



Σχήμα 6. Ο κύκλος ζωής του BPM. [24]

Η φάση της αναγνώρισης (Process identification) είναι αυτή κατά την οποία τίθεται το επιχειρησιακό πρόβλημα. Οι διεργασίες οι οποίες σχετίζονται με το πρόβλημα αυτό αναγνωρίζονται, οροθετούνται και συσχετίζονται. Το αποτέλεσμα αυτής της φάσης είναι μια νέα ή ενημερωμένη αρχιτεκτονική διεργασιών, η οποία προσφέρει μια συνολική εικόνα των διεργασιών εντός του Οργανισμού, καθώς και των σχέσεων μεταξύ τους. Η αρχιτεκτονική αυτή χρησιμοποιείται στην συνέχεια στον προσδιορισμό των διεργασιών προς διαχείριση, στις εναπομείνουσες φάσεις του κύκλου. Κατά κανόνα η φάση αυτή λαμβάνει χώρα παράλληλα με τον ορισμό δεικτών μέτρησης της απόδοσης για τις εμπλεκόμενες διεργασίες.

Ακολουθεί η φάση της μοντελοποίησης, με βάση την τρέχουσα εικόνα των διεργασιών (Process discovery / as-is Process modelling). Κατά την διάρκειά της πραγματοποιείται η λεπτομερής καταγραφή των εμπλεκόμενων διεργασιών με βάση την παρούσα εικόνα τους, χωρίς βελτιωτικές παρεμβάσεις, με την μορφή ενός ή περισσότερων μοντέλων.

Κατά το στάδιο της ανάλυσης (Process analysis), εντοπίζονται και καταγράφονται θέματα / φάσεις της εκτέλεσης που σχετίζονται με την τρέχουσα εικόνα των διεργασιών

και χρήζουν βελτίωσης, καθώς και όπου αυτό είναι εφικτό ποσοτικοποιούνται με την χρήση δεικτών απόδοσης. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μια δομημένη συλλογή θεμάτων, στην οποία εφαρμόζεται προτεραιοποίηση με βάση την επίδραση στην συνολική απόδοση των διεργασιών και τον βαθμό ευκολίας σε σχέση με την αντιμετώπισή τους.

Στην φάση του επανασχεδιασμού (Process redesign), η οποία ονομάζεται και φάση βελτιστοποίησης, στόχος είναι ο προσδιορισμός των τροποποιήσεων που θα συμβάλουν στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που εντοπίστηκαν κατά την προηγούμενη φάση. Για την επιλογή των κατάλληλων παρεμβάσεων, εκτελούνται σχετικές αναλύσεις και μετρήσεις ώστε να προσεγγιστούν οι στόχοι απόδοσης που έχουν τεθεί. Τελικά διατηρούνται οι βέλτιστες παρεμβάσεις και ενσωματώνονται στον επανασχεδιασμό, παράγοντας νέα μοντέλα διεργασιών.

Κατά την υλοποίηση (Process implementation), γίνεται η προετοιμασία και η επί του πρακτέου εφαρμογή των βελτιστοποιήσεων. Στην διάρκεια της φάσης αυτής καλύπτονται τα παρακάτω σκέλη: διαχείριση των αλλαγών σε επιχειρησιακό επίπεδο και εφαρμογή τους σε τεχνικό επίπεδο. Το πρώτο αναφέρεται στο σύνολο των δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την εφαρμογή των αλλαγών στην καθημερινή εργασία όλων όσων εμπλέκονται στην εκτέλεση των επανασχεδιασμένων διεργασιών και το δεύτερο στην ανάπτυξη και ενσωμάτωση των συστημάτων και εφαρμογών πληροφορικής που απαιτούνται, στην παρούσα υποδομή του Οργανισμού.

Το στάδιο της παρακολούθησης (Process monitoring) είναι μια συνεχή διαδικασία κατά την οποία συλλέγονται και αναλύονται δεδομένα που προκύπτουν από διαφορετικούς κύκλους εκτέλεσης των διεργασιών, ώστε να προσδιοριστεί η απόδοσή τους. Εκτελείται εντοπισμός για πιθανά σφάλματα, καθυστερήσεις και αποκλίσεις από το προκαθορισμένο αποτέλεσμα και λαμβάνουν χώρα οι απαιτούμενες διορθωτικές ενέργειες.

Καθώς πιθανότατα συνεχώς προκύπτουν νέα θέματα και σημεία που χρήζουν βελτίωσης, ο παραπάνω κύκλος επαναλαμβάνεται διαρκώς, σε μια προσπάθεια προσέγγισης του ιδεατού. [24]

3.3 Η δομή του BPM

Για την συστηματική και επιτυχή ανάπτυξη του BPM εντός ενός Οργανισμού, πρέπει να ληφθούν υπόψιν έξι κρίσιμοι παράγοντες: (1) Ευθυγράμμιση με τους στόχους σε στρατηγικό επίπεδο, (2) Διακυβέρνηση, (3) Μεθοδολογίες, (4) Τεχνολογική υποδομή / τεχνογνωσία, (5) Ανθρώπινο δυναμικό, (6) Κουλτούρα. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τους έξι αυτούς παράγοντες και τις επιμέρους συνιστώσες τους. [23]

Strategic Alignment	Governance	Methods	Information Technology	People	Culture	Factors
Strategy-driven BPM project planning	BPM decision making	Process identification and discovery	Process identification and discovery	Process knowledge	Responsiveness to process change	Capability areas
Strategy and process capability linkage	BPM roles and responsibilities	Process analysis and redesign	Process analysis and redesign	BPM knowledge	Embedding of process values and beliefs	
Enterprise process architecture	Performance measurement system	Process implementation and execution	Process implementation and execution	BPM and process training	Adherence to process design	
Process performance measures	BPM standards, conventions and guidelines	Process monitoring	Process monitoring	Process collaboration & communication	Leadership attention to BPM	
Process customers and stakeholders	BPM quality controls	BPM project and program management	BPM project and program management	Propensity to lead BPM	BPM social networks	

Σχήμα 7. Το μοντέλο ωρίμανσης του BPM. [24]

Στο στρατηγικό επίπεδο, μετράτε ο ρόλος και η επίδραση που έχει η επιχειρησιακή στρατηγική στο BPM, όπως και το αντίστροφο. Με γνώμονα την γενικότερη στρατηγική του Οργανισμού, αποφασίζεται ποιες μεθοδολογίες και εργαλεία θα χρησιμοποιηθούν στις διάφορες φάσεις του κύκλου ζωής του BPM.

Σε επίπεδο διακυβέρνησης, καθορίζονται με διαφάνεια τα όρια ευθύνης σε σχέση με τους ρόλους και τις υποχρεώσεις στις διάφορες φάσεις του BPM. Επιπροσθέτως, σχεδιάζονται οι διαδικασίες λήψης των αποφάσεων σε όλα τα στάδια, οδηγώντας σε δομή ενεργειών βάση ορισμού και πλάνου.

Το σκέλος των μεθοδολογιών και της τεχνολογικής υποδομής καλύφθηκε σε μεγάλο βαθμό στην προηγούμενη ενότητα σχετικά με τις φάσεις του BPM. Αναλύοντας τους συγκεκριμένους παράγοντες και την συμβολή τους, πρέπει να προστεθεί αναφορά σχετικά με την πλευρά της διαχείρισης έργου, ως μέσο συνολικού συντονισμού και εποπτείας κατά την εκτέλεση της διαχείρισης για κάποια συγκεκριμένη διεργασία.

Ο παράγοντας του ανθρώπινου δυναμικού σχετίζεται με τα άτομα ή τις ομάδες ατόμων που λαμβάνουν μέρος στην εκτέλεση των βημάτων ελέγχου και βελτιστοποίησης των διεργασιών στα πλαίσια του BPM, καθώς και με τα άτομα των οποίων τα εργασιακά καθήκοντα επηρεάζεται από την εκτέλεση των ενεργειών αυτών. Για να επέλθει βελτίωση σε οποιαδήποτε διεργασία, είναι κρίσιμο να προσδιοριστεί το επίπεδο στο οποίο οι συμμετέχοντες έχουν πρόσβαση στην πληροφορία, καθώς και ο ακριβής τρόπος διάδρασης μεταξύ τους.

Τέλος μέσω του παράγοντα της κουλτούρας, ποσοτικοποιείται ο βαθμός υποστήριξης της εταιρίας ή του Οργανισμού απέναντι στο BPM. Η εταιρική κουλτούρα έχει άμεση σχέση με την ταχύτητα ανταπόκρισης στις αλλαγές επί των διεργασιών εντός του Οργανισμού, την συμπίεση με τις αξίες και τα ιδανικά τους, την αφοσίωση στην εκτέλεση των εργασιών βάση των προκαθορισμένων μοντέλων και το ενδιαφέρον της διοίκησης σχετικά με την εφαρμογή του BPM. [24]

3.4 Προκλήσεις σχετικά με τις κλασσικές προσεγγίσεις BPM

Βασική πρόκληση κατά την διαχείριση διεργασιών με την χρήση παραδοσιακών προσεγγίσεων, αποτελεί το ευδιάκριτο χάσμα ανάμεσα στην αποτύπωση μιας διεργασίας βάση σχεδιασμού και στην πραγματική εκτέλεσή της εντός της εργασιακής ροής. Αρκετά συχνά τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται εξειδικεύονται σε διαφορετικούς τομείς του κύκλου ζωής του BPM και λόγω έλλειψης ή ασυμφωνίας στην χρήση προτύπων, δραστηριότητες που ολοκληρώνονται σε κάποια φάση του κύκλου με την χρήση εργαλείων ενός τύπου, δεν οδηγούνται σωστά στις επόμενες φάσεις όπου υπάρχει

περίπτωση να χρησιμοποιούνται διαφορετικά εργαλεία. Αυτό είναι περισσότερο εμφανές ανάμεσα στην φάση του σχεδιασμού (ορισμός των παραμέτρων και των προϋποθέσεων) και στην φάση της εκτέλεσης. Το παραπάνω φαινόμενο δημιουργεί έναν μεγάλο όγκο πρόσθετης δουλειάς, ενώ συγχρόνως υπάρχει ο κίνδυνος απώλειας πληροφορίας κατά την γεφύρωση των φάσεων μέσω αναδιαμόρφωσης και μεταφοράς των δεδομένων. [25]

Ένα ακόμα σημείο υστέρησης είναι η έλλειψη οπτικής απεικόνισης των διεργασιών κατά την εκτέλεσή τους, κάτι που συχνά καλύπτεται μέσω μοντελοποίησης. Η δημιουργία μοντέλων είναι μια προσέγγιση οπτικής αναπαράστασης σχετικά με τον τρόπο που οι Οργανισμοί διενεργούν τις επιχειρησιακές τους δραστηριότητες, μέσω ορισμού των οντοτήτων, των ενεργειών, των θέσεων εργασίας που λαμβάνουν μέρος και των ευρύτερων σχέσεων κατά μήκος των εργασιακών ροών. Χρησιμοποιείται ευρέως για την ενίσχυση της επίγνωσης γύρω από τις επιχειρησιακές διεργασίες και για την αποδόμηση της οργανωσιακής πολυπλοκότητας. Η οπτικοποίηση, ως μέρος της διαδικασίας μοντελοποίησης, έχει εξελιχθεί σε δημοφιλή και σημαντικό παράγοντα, η συμβολή του οποίου είναι καθοριστική στην επιτυχή αξιοποίηση των μοντέλων. Η έλλειψη ενός τέτοιου τρόπου απεικόνισης, σε διάφορα επίπεδα ανάλυσης, στερεί τη δυνατότητα πλήρους κατανόησης και εποπτείας των διεργασιών. Ειδικότερα όταν αναφερόμαστε σε περιπτώσεις διεργασιών μεγάλης κλίμακας, τα «τερατώδη» διαγράμματα που προκύπτουν ως μια προσπάθεια απεικόνισης των διεργασιών δεν βοηθούν στον έλεγχο της ροής, ούτε στον εντοπισμό των σημείων προς ανασχεδιασμό και βελτιστοποίηση. [25]

Μία ακόμα πρόκληση σχετίζεται με την πρόοδο και τις καινοτομίες στον τομέα της ψηφιακής μετάβασης και την ολοένα και αυξανόμενη χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών ως αναπόσπαστο τμήμα των επιχειρησιακών διεργασιών. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα που προκύπτουν σε κάθε φάση εκτέλεσης μιας διεργασίας είναι δυνατόν πλέον να συλλεχθούν και να αναλυθούν με αυτοματοποιημένο τρόπο, παρέχοντας πληθώρα πληροφοριών σε σχέση με την κατάσταση της διεργασίας και την αποδοτικότητά της, προσφέροντας ταυτόχρονα εναλλακτικές βελτιστοποίησης σε όλα τα επίπεδα (αλλαγές στον σχεδιασμό, διαφορετική κατανομή πόρων, παρεμβάσεις στον χρονοπρογραμματισμό των επιμέρους φάσεων κλπ.). Η αξία που προκύπτει από την αφθονία των δεδομένων σε

Εμμανουήλ Δημητριάδης

συνδυασμό με την ταχεία και αποδοτική αξιοποίησή τους από τα διαθέσιμα τεχνολογικά μέσα, αλλάζει εντελώς τον τρόπο με τον οποίο καθορίζεται η στρατηγική και οι δραστηριότητες των σύγχρονων επιχειρήσεων και Οργανισμών, κάτι που με την σειρά του επιβάλλει σημαντικές αλλαγές στον τρόπο διαχείρισης των επιχειρησιακών διεργασιών. Η προσπάθεια μετάβασης σε δεδομενοστρεφείς προσεγγίσεις τόσο τεχνολογικά όσο και σε επίπεδο εταιρικής κουλτούρας, αναδεικνύει όλο και περισσότερο τα εμπόδια για την δημιουργία αξίας από την αξιοποίηση των δεδομένων και των νέων τεχνολογικών δυνατοτήτων και εργαλείων γενικότερα.

Ένα δεύτερο προβληματικό σημείο είναι η επεκτασιμότητα του κλασσικού BPM. Παρά την μεγάλη επένδυση στον τομέα της διαχείρισης διεργασιών κατά το πέρας των προηγούμενων δεκαετιών, οι Οργανισμοί παραμένουν σε μια λογική απομόνωσης και κατακερματισμού στην αντιμετώπιση και διαχείριση των διεργασιών, παρά σε μια ολιστική προσέγγιση αυτών ως μια ενιαία λειτουργική οντότητα, με σεβασμό στις συσχετίσεις και αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν, τόσο σε επίπεδο πόρων όσο και σε επίπεδο διαδικασίας. Αυτό κατέστη περισσότερο εμφανές κατά την περίοδο της πανδημίας COVID-19, όπου οι Οργανισμοί βρέθηκαν αντιμέτωποι με μια πληθώρα αναγκαίων κατ' εξαίρεση αλλαγών στις διεργασίες τους, οι οποίες στην πλειοψηφία τους έγιναν χωρίς συντονισμό, δεδομένης της πίεσης για άμεση προσαρμογή στην νέα πραγματικότητα. Οι προσεγγίσεις με επίκεντρο μεμονωμένες διεργασίες έχουν μικρές πιθανότητες να αντιμετωπίσουν «ευρύτερες διεργασίες», όπως αυτές που εκτείνονται σε μεγαλύτερο εύρος εντός ενός Οργανισμού (σύνολα πολλών μικρών διεργασιών ή διεργασίες που αλληλοεπιδρούν προς ένα ενιαίο αποτέλεσμα ή στόχο) ή αυτές που ξεπερνούν τα όρια του Οργανισμού, καθώς επηρεάζονται από πολλούς και διαφορετικούς τομείς διαχείρισης.

Ένα ακόμα σημείο προς βελτίωση, είναι αυτό του αυτοματοποιημένου (επανα-)σχεδιασμού. Οδηγούμενοι από την συνεχή τάση για υπεραυτοματισμό και την ευρεία υιοθέτηση πληροφοριακών συστημάτων τα οποία παραμετροποιούνται για την εκτέλεση διεργασιών και τις υποστηρίζουν τόσο όσον αφορά την μοντελοποίηση αλλά και όσον αφορά την εκτέλεση, οι Οργανισμοί και οι εταιρείες προσπαθούν όλο και περισσότερο να αξιοποιήσουν την προοπτικές της αυτοματοποίησης στο τομέα της

εκτέλεσης των ροών εργασίας τους. Παρά τις προσπάθειες για αυτοματοποίηση, ο (επανα)σχεδιασμός των διεργασιών έχει παραμείνει στο μεγαλύτερο βαθμό του μια χειροκίνητη, απαιτητική σε γνωσιακό επίπεδο, χρονοβόρα, επίπονη και επιρρεπής στα σφάλματα διαδικασία. Τα πολυπληθή και ποικιλόμορφα χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα των διεργασιών αποτρέπουν ή στην καλύτερη περίπτωση περιπλέκουν την αυτοματοποίηση, όπως για παράδειγμα η δημιουργικότητα που απαιτείται, η κοινωνικοτεχνική φύση των διεργασιών και σε πολλές περιπτώσεις το πολύπλοκο ευρύτερο πλαίσιο και οι συνθήκες γύρω από την εκτέλεσή τους.

Ιδιαίτερη προσοχή και χειρισμός απαιτείται όσον αφορά την αντιμετώπιση της έλλειψης αντικειμενικότητας που πολλές φορές συναντάται στις περιγραφές των διεργασιών. Τα ευρέως διαδεδομένα μοντέλα προσφέρουν μια δομή και βάση για τις περισσότερες δραστηριότητες που σχετίζονται με την διαχείριση των διεργασιών, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού, της τεκμηρίωσης, της ανάλυσης και του αυτοματισμού αυτών. Παρέχουν επιτυχώς μεθόδους, εργαλεία και σημειολογικούς τρόπους δημιουργίας πρωτοτύπων και καταγραφής όψεων που σχετίζονται με την λειτουργική, συμπεριφοριακή, οργανωσιακή και πληροφοριακή οπτική των διεργασιών. Παρόλα αυτά αποτυγχάνουν στην παροχή καθοδήγησης σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο η σημασιολογία μιας διεργασίας μπορεί να εκφραστεί με την χρήση ενός συνεπούς λεξιλογίου, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να διατηρηθεί ένα συνεπές επίπεδο ανάλυσης / λεπτομέρειας δια μήκους μιας διεργασίας. Το συγκεκριμένο πρόβλημα βεβαίως δεν αφορά μόνο την χειροκίνητη καταγραφή και προτυποποίηση μιας διεργασίας, αλλά επεκτείνεται και στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται ειδικοί αλγόριθμοι αυτόματης ανίχνευσης (process discovery algorithms). Συνεπώς η παραπάνω διαδικασία ξεφεύγει από τα στενά επιστημονικά όρια και οι αποκλίσεις πλήττουν σε μεγάλο βαθμό την αποδοτική αξιοποίηση των προεπιλεγμένων μοντέλων. Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα καταγραφής διεργασιών αποτελούν συνοπτικές, επιλεκτικές και αδιαμφισβήτητα υποκειμενικές αποτυπώσεις, υπό την απουσία αντικειμενικότητας σε σχέση με την ορολογία, την οπτική και τον βαθμό ανάλυσης.

Ο βαθμός εμβάθυνσης, αποτύπωσης λεπτομέρειας, κατά την μοντελοποίηση μιας διεργασίας, σχετίζεται και με μία ακόμα πρόκληση όσον αφορά την διατήρηση σταθερού επιπέδου ανάλυσης. Καθώς οι τεχνικές άντλησης δεδομένων κατά την εκτέλεση των διεργασιών δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές απέναντι στα υπεραναλυτικά δεδομένα, τα τυπικά αρχεία καταγραφής δραστηριοτήτων δημιουργούνται με επεξεργασία της πρωτογενούς πληροφορίας με αφαιρετικό τρόπο, καταλήγοντας σε συνοπτικές εγγραφές. Παρόλα αυτά, ο προσδιορισμός του κατάλληλου επιπέδου ανάλυσης προς εφαρμογή κατά την διάρκεια της προεπεξεργασίας είναι δύσκολος, καθώς σε κάθε βήμα της διεργασίας ενδέχεται να απαιτείται διαφορετικός βαθμός ανάλυσης, βάση του σχεδιασμού και του σκοπού της. Συνεπώς οι αναλυτές υποχρεούνται, συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω, να καταλήξουν στο ενδεδειγμένο επίπεδο ανάλυσης, το οποίο παρόλα αυτά όντας ένα, είναι δεσμευτικό και περιορίζει τις δυνατότητες παρατήρησης και ελέγχου.

Ο ρόλος του ανθρώπινου παράγοντα, είτε ως αναλυτής είτε ως ειδικός, είναι επίσης εμφανής κατά την προσπάθεια εμπλουτισμού των αντληθέντων δεδομένων με βάση την κοινή λογική, την γνώση και την εμπειρία πάνω σε ένα συγκεκριμένο πεδίο. Οι αυτοματοποιημένες καταγραφές είναι συχνά μέτριες σε ποιότητα, καθώς ενδέχεται να λείπουν από αυτές δεδομένα ή αυτά που υπάρχουν να είναι λανθασμένα ή περιττά. Ακόμα και στις περιπτώσεις όπου η ποιότητά τους μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητική, ενδέχεται να υστερούν όσον αφορά την σαφήνεια στην αποτύπωση της πληροφορίας που απαιτείται για την εκάστοτε ανάλυση. Ειδικοί με γνώσεις στο συγκεκριμένο πεδίο είναι σε θέση να εμπλουτίσουν και να αναβαθμίσουν την αξία των εκάστοτε μετρήσεων και καταγραφών, όμως τέτοιου είδους γνώση δεν μπορεί να μεταφερθεί στους αλγορίθμους άντλησης δεδομένων ή στην καλύτερη περίπτωση ενσωματώνεται σε μεμονωμένα και ειδικού σκοπού τμήματα κώδικα, ο οποίος εκτελείται κατά την φάση της προεπεξεργασίας.

Μία ακόμα πρόκληση σχετίζεται με το φαινόμενο της εργατοκεντρικής προσέγγισης του BPM. Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία, διαχειρίζονται τα καθήκοντα που αναλογούν στην εκάστοτε θέση εργασίας επιβάλλοντας διαφορετικούς βαθμούς διαβάθμισης της πληροφορίας, ενώ ταυτόχρονα παρακολουθούν τις εκτελούμενες ενέργειες και διασφαλίζουν την ιχνηλασιμότητά τους. Όσο μεγαλώνει η διείσδυση τέτοιου

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

τύπου εργαλείων στην εργασιακή καθημερινότητα, δυναμικές ή ειδικές εργασίες οδηγούνται συχνά προς εξωσυστημική εκτέλεση, πράγμα που όχι μόνο οδηγεί σε αποτυχία καταγραφής τους, αλλά ενδέχεται να προσθέσει και εργασιακό φόρτο, αναγκάζοντας τους εργαζομένους να επαναλάβουν τις σχετικές ενέργειες εντός του περιβάλλοντος εποπτείας και καταγραφής. [26]

4. Ερευνητικό έργο σε σχέση με την αξιοποίηση της τεχνολογίας των Digital Twins σε επιχειρησιακό επίπεδο

4.1 Συνοπτική παρουσίαση

Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 1.) περιλαμβάνει τις κυριότερες ερευνητικές προσεγγίσεις όσον αφορά την βέλτιστη αξιοποίηση της τεχνολογίας των DTs στα πλαίσια του επιχειρησιακού μετασχηματισμού και της διαχείρισης των διεργασιών που αποτελούν τον λειτουργικό κορμό ενός εταιρικού σχήματος ή Οργανισμού. Το ερευνητικό έργο που παρουσιάζεται κατηγοριοποιείται και αναλύεται βάση του ευρύτερου πεδίου εφαρμογής, των μεθοδολογιών που προτείνονται και των βασικών πλεονεκτημάτων της κάθε προσέγγισης.

Πίνακας 1. Παράθεση του κυριότερου ερευνητικού έργου σε σχέση με την αξιοποίηση της τεχνολογίας των DTs τον τομέα των επιχειρησιακών διεργασιών

Παραπομπή	Ενότητα	Τίτλος	Πεδίο Εφαρμογής	Προσέγγιση / Μεθοδολογία	Βασικά Πλεονεκτήματα
[27]	4.2.1	Αυτοματοποιημένη μοντελοποίηση διεργασιών με την χρήση DTs	Επιχειρησιακές Διεργασίες	Αυτοματοποιημένη μοντελοποίηση διεργασιών	Διαχείριση πολυπλοκότητας / Λεπτομερής προσομοίωση και ανάδραση

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

[28]	4.2.2	Μοντελοποίηση του επιχειρησιακού ψηφιακού διδύμου	Επιχειρησιακός Μετασχηματισμός	Πλαίσιο σχεδιασμού και ανάπτυξης ενός επιχειρησιακού ψηφιακού διδύμου	Ολιστική πληροφόρηση / Υποστήριξη στην λήψη αποφάσεων
[29]	4.2.3	Αξιοποίηση των DTs στον τομέα των υπηρεσιών	Παροχή Υπηρεσιών	Πλαίσιο αξιοποίησης ψηφιακών διδύμων στην παροχή υπηρεσιών	Διαρκής παρακολούθηση και λήψη ανάδρασης / Διαχείριση ποιότητας
[30]	4.2.4	Σχεδιασμός και ανάπτυξη DTs διεργασιών στον τομέα της υλικοτεχνικής υποστήριξης	Διαχείριση Επιχειρησιακών Πόρων	Ενσωμάτωση υπηρεσιών διαχείρισης σε δυναμικά μοντέλα διεργασιών	Αυτοματοποίηση ελέγχου / Πρόληψη ελλείψεων / Προτάσεις βελτιστοποίησης
[31]	4.2.5	Χρήση σημασιολογικών δικτύων και προσεγγίσεων εταιρικής αρχιτεκτονικής για την δημιουργία επιχειρησιακών DTs	Επιχειρησιακός Μετασχηματισμός	Μοντελοποίηση των επιχειρησιακών λειτουργιών με την χρήση οντολογιών και γράφων γνώσης	Σύνθεση γνώσης από διαφορετικούς τομείς / Αξιοποίηση ανάλυσης δικτύων και graph analytics
[9]	4.2.6	Ανάπτυξη και υποστήριξη DTs διεργασιών	Επιχειρησιακές Διεργασίες	Οπτικοποίηση και συμπεριφορική αναπαράσταση των διεργασιών	Εντοπισμός προβλημάτων σε επίπεδο σχεδιασμού και εκτέλεσης
[32]	4.2.7	Χρήση στοχαστικών δικτύων για την δημιουργία DTs διεργασιών	Επιχειρησιακές Διεργασίες	Μοντελοποίηση διεργασιών βάση BPMN, με χρήση στοχαστικών δικτύων GERT	Προβλεπτική ικανότητα επί της αξιοποίησης των κρίσιμων πόρων
[33]	4.2.8	Υλοποίηση επιχειρησιακών DTs με την χρήση παρεμβατικού Process Mining	Επιχειρησιακός Μετασχηματισμός	Μοντελοποίηση διεργασιών με χρήση δικτύων Petri / Παρεμβατικό process mining	Εποπτεία / Αυτοματοποίηση στην λήψη αποφάσεων

4.2 Αναλυτική παρουσίαση σε επίπεδο έρευνας και προτεινόμενων εφαρμογών

Στην συνέχεια ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση του εν λόγω ερευνητικού έργου, ως βάση για τον ορισμό ενός γενικότερου πλαισίου χρήσης των DTs στον τομέα των επιχειρησιακών διεργασιών και του μετασχηματισμού των σύγχρονων επιχειρήσεων και Οργανισμών, καθώς και για περαιτέρω διερεύνηση μελλοντικά, προς διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής και αποτελεσματικότερη αξιοποίηση της εν λόγω τεχνολογίας.

4.2.1 Αυτοματοποιημένη μοντελοποίηση διεργασιών με την χρήση DTs

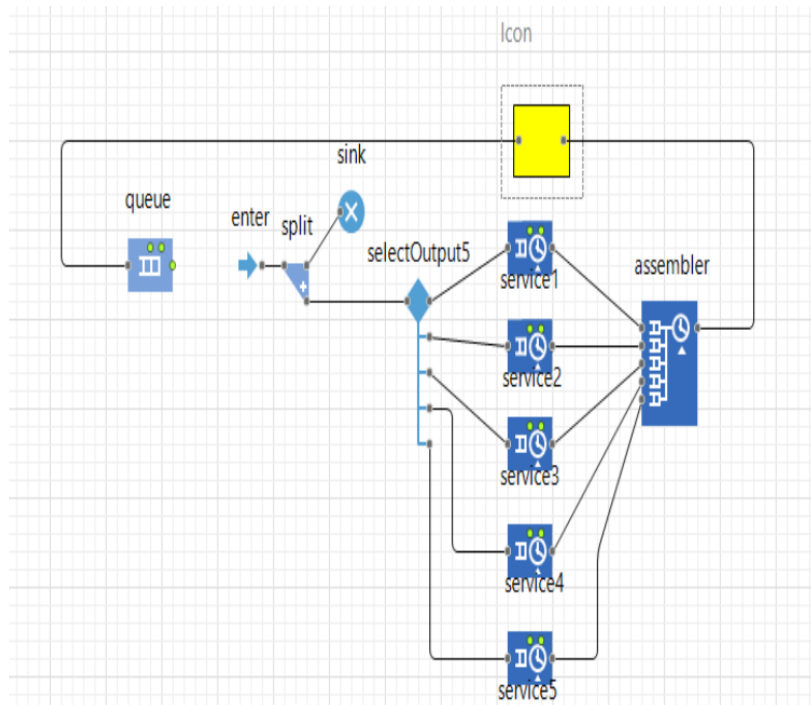
Στην συγκεκριμένη μελέτη προτείνεται η δημιουργία ψηφιακών δίδυμων διεργασιών, με τον ταυτόχρονο διαχωρισμό της κάθε διεργασίας σε πολλά αυτόνομα μέρη μικρότερου εύρους και πολυπλοκότητας μέσω ειδικού λογισμικού, τα οποία εκτελούνται παράλληλα και κατά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης της τελευταίας υποδιεργασίας, το παραχθέν ωφέλιμο έργο συγκεντρώνεται σε ένα ενιαίο αποτέλεσμα.

4.2.1.1 Προτεινόμενο μοντέλο

Μέσω της έρευνας εισάγεται μια νέα γενική μέθοδος η οποία στοχεύει στον ταχύ ανασχεδιασμό διεργασιών και παράλληλα στην εύκολη μετάβαση από ένα κλασσικό σημειογραφικό μοντέλο σε ένα μοντέλο προσομοίωσης, μέσω της δημιουργίας ενός πιστού αντιγράφου του πρώτου με την χρήση της τεχνολογίας των DTs. Μέσω της νέας αυτής προσέγγισης, στόχος είναι η επιτάχυνση του ανασχεδιασμού των διεργασιών και η αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν με την χρήση κλασσικών εργαλειοθηκών, κατά την εκτέλεση της εν λόγω διαδικασίας. Η προσομοίωση διεργασιών σε ατομικό επίπεδο μέσω ενός τυπικού λογισμικού BPMN (Business Process Model and Notation), δεν καλύπτει τις ανάγκες ενός σύγχρονου οργανισμού, όπου παρατηρείται συχνά διασύνδεση διαφορετικών διεργασιών, καθώς και δεν επιτρέπει την

Εμμανουήλ Δημητριάδης 40

επαναχρησιμοποίηση κοινών δομικών στοιχείων, τα οποία ενδέχεται να συναντώνται σε πληθώρα διεργασιών. Πιο συγκεκριμένα, μέσω αυτής της έρευνας προτείνεται η δημιουργία ενός block, ικανού να διασπάσει μια διεργασία σε πολλές παράλληλες υποδιεργασίες, όπου με την ολοκλήρωση της τελευταίας εξ αυτών, λαμβάνει χώρα η εκ νέου ομαδοποίησή τους για την παραγωγή ενός ενοποιημένου αποτελέσματος. Μέσω του block γίνεται ευκολότερη η αναπαράσταση περίπλοκων δραστηριοτήτων, δίνοντας την δυνατότητα απλούστευσης της περιγραφής ενός σύνθετου συστήματος, ενώ παράλληλα μέσω των μικρών μονάδων σε επίπεδο εκτέλεσης, επιτυγχάνεται λεπτομερής προσομοίωση με την απαίτηση της ελάχιστης δυνατής, πλην όμως ουσιώδους, πληροφορίας. Ως άμεση συνέπεια εξοικονομείται κόστος κατά την συλλογή πληροφορίας, καθώς και ελαχιστοποιείται η πιθανότητα λαθών κατά την συλλογή αυτής. Το προτεινόμενο block ακολουθεί μια προσέγγιση προσομοίωσης διακριτών γεγονότων και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 7.).



Σχήμα 7. Μοντελοποίηση του προτεινόμενου block. [27]

Όπως απεικονίζεται στο σχήμα, μία διεργασία διασπάται σε πέντε νέες μέσω της μονάδας “split”. Εν συνεχεία, χάρη στην μονάδα “SelectOutput5”, κάθε μία από αυτές ανατίθεται σε μια μονάδα “Service#”, στην οποία ορίζονται παραμετρικά πόροι και χρόνος εκτέλεσης. Όταν παρέλθει ο συγκεκριμένος χρόνος εκτέλεσης, η παραγόμενη έξοδος συλλέγεται από την μονάδα “Assembler”. Με την ολοκλήρωση και των πέντε υποδιεργασιών, το block παράγει μια ενιαία έξοδο. Επιπροσθέτως, το παραπάνω μοντέλο μπορεί να εξαχθεί με την μορφή βιβλιοθήκης και συνεπώς γίνεται εύκολη η επαναχρησιμοποίησή του σε άλλα μοντέλα παρόμοιας λογικής.

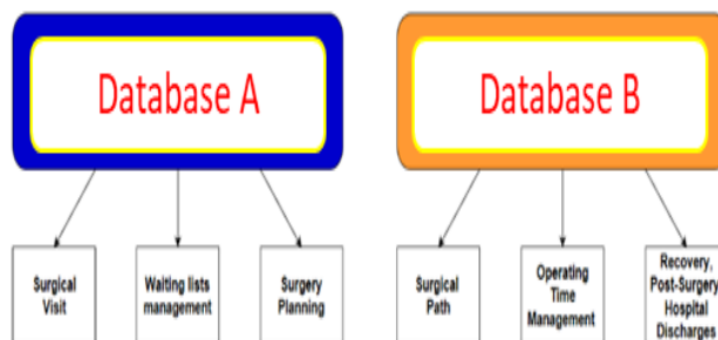
Στο πλαίσιο της έρευνας παρουσιάζονται και δύο μελέτες περίπτωσης, όπου εφαρμόζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία επί διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε εντελώς διαφορετικά εργασιακά περιβάλλοντα, με επιπρόσθετο σημείο διαφοροποίησης στον τρόπο λήψης των δεδομένων εισόδου, καθώς στην μία περίπτωση γίνεται μέσω συμπλήρωσης ερωτηματολογίου, ενώ στην άλλη μέσω χρήσης τεχνικών Data Mining. Ακολούθως αναλύεται η εφαρμογή της μεθόδου επί της διεργασίας προετοιμασίας και εκτέλεσης μιας χειρουργικής επέμβασης εντός ενός νοσοκομείου και παρουσιάζεται ο τρόπος χρήσης του DT καθώς και τα απορρέοντα πλεονεκτήματα.

4.2.1.2 Μελέτη Περίπτωσης

Η εφαρμογή της μεθόδου χωρίζεται σε δύο φάσεις, την φάση συλλογής των δεδομένων και την φάση δημιουργίας του DT:

A) Συλλογή Δεδομένων. Για λόγους βέλτιστης διαχείρισης και διαφάνειας, το νοσοκομείο χρησιμοποιεί ηλεκτρονική λίστα αναμονής για την κάλυψη της διαδικασίας ανάθεσης προτεραιότητας. Το σύστημα αυτό ονομάζεται Database A και διαμοιράζει σε πραγματικό χρόνο σε όλα τα μέλη της ιατρικής ομάδας (πχ. χειρουργούς, αναισθησιολόγους, νοσοκόμες), όλη την απαιτούμενη πληροφορία σχετικά με το πλάνο φροντίδας των ασθενών. Ο χειρουργός, κατά την πρώτη επίσκεψη στον ασθενή, αφού εκτιμήσει την κατάστασή του, ορίζει έναν μέγιστο χρόνο αναμονής, μέσω του οποίου ο ασθενής λαμβάνει κατάταξη στην λίστα προτεραιότητας προς επέμβαση. Η ληφθείσα

προτεραιότητα ανανεώνεται καθημερινά βάση επανεκτίμησης. Ταυτόχρονα ο χειρουργός εκτιμά την πιθανή διάρκεια της κάθε επέμβασης. Το σύνολο αυτών των πληροφοριών διατηρείται στην Database A. Από την έναρξη της κάθε επέμβασης, η διεργασία περνά σε ένα δεύτερο σύστημα, Database B, μέσω του οποίου πραγματοποιείται η διαχείριση των χειρουργείων και καταγράφονται όλες οι ενέργειες που λαμβάνουν χώρα κατά την διενέργεια των επεμβάσεων. Έστω ότι οι χρόνοι εκτέλεσης των ενεργειών εντός του συστήματος Database B έχουν ως ακολούθως: T0 - Ο ασθενής εισέρχεται στο block των χειρουργικών αιθουσών (BOR), T1 - Ο ασθενής εισέρχεται στην χειρουργική αίθουσα, T2 – Εγχέεται η αναισθησία, T3 - Πραγματοποιείται η τομή, T4 – Συρράβεται η τομή, T5 – Ολοκληρώνεται η αναισθησία, T6 - Ο ασθενής εξέρχεται της χειρουργικής αίθουσας, T7 - Ο ασθενής εξέρχεται από το BOR, T8 – Η χειρουργική αίθουσα είναι διαθέσιμη για την επόμενη επέμβαση. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 8.) παρουσιάζονται οι κύριες εφαρμογές των προαναφερθέντων συστημάτων.



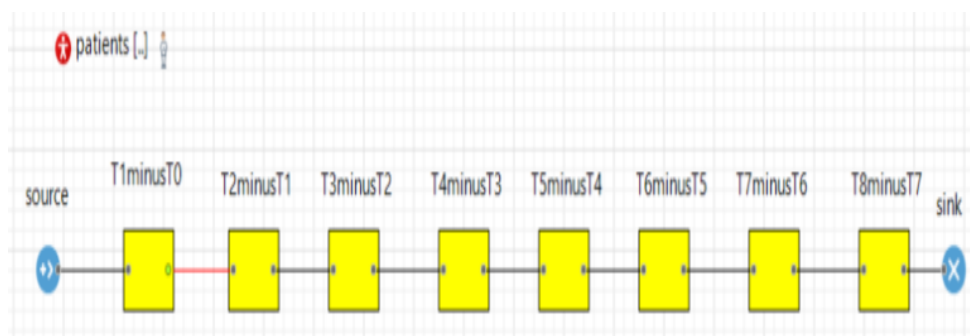
Σχήμα 8. Αντιπαράβολή των συστημάτων Database A και B. [27]

Καθ' όλα τα στάδια της διεργασίας, τα παραγόμενα δεδομένα αποθηκεύονται εντός των παραπάνω συστημάτων. Κάθε καταγραφή αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο ασθενή, ο οποίος θα/έχει υποβληθεί σε χειρουργική επέμβαση ορισμένου τύπου, που προσδιορίζεται από αντίστοιχο κωδικό. Κατά την διαδικασία του Data Mining, τα δεδομένα εξάγονται, αναλύονται και λαμβάνει χώρα η αναδιοργάνωσή τους, ώστε να είναι διαχειρίσιμα και να

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

έχουν την απαιτούμενη μορφή. Για την τροφοδότηση του DT, το οποίο θα περιγραφεί στην συνέχεια, χρησιμοποιούνται δεδομένα από το σύστημα Database B. Στην ουσία τα κύρια δεδομένα που απαιτούνται είναι οι διάρκειες των επιμέρους φάσεων της επέμβασης, οι οποίες υπολογίζονται από τις διαφορές μεταξύ των χρονοσφραγίδων που έχουν καταγραφεί κατά την ροή αυτής. Στην συνέχεια τα δεδομένα ομογενοποιούνται σε κλάσεις με βάση το είδος της επέμβασης και για κάθε κλάση υπολογίζεται η αντίστοιχη κατανομή πιθανοτήτων, με την χρήση του κατάλληλου λογισμικού προσομοίωσης.

B) Δημιουργία DT. Το μοντέλο που προτείνεται στοχεύει στην περιγραφή της διεργασίας που μελετάτε, με την χρήση μιας προσέγγισης διακριτών γεγονότων, όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 9.).



Σχήμα 9. Το ψηφιακό δίδυμο της χειρουργικής διεργασίας. [27]

Κάθε ένα από τα κίτρινα blocks του σχήματος, αναλύεται όπως επεξηγήθηκε στην ενότητα 3.2.1.1. (Σχήμα 7.). Χάρη σε αυτήν την προσέγγιση, είναι δυνατή η ταυτόχρονη παρακολούθηση και η αναλυτική καταγραφή των χρόνων μεταξύ πολλών στιγμιότυπων της διεργασίας, τόσο σε υψηλό επίπεδο όσο και σε επίπεδο υποδιεργασίας. Για παράδειγμα, όταν μία εκτέλεση της διεργασίας φτάσει στο block της επέμβασης (T4-T3), λαμβάνει χώρα ο διαχωρισμός σε παράλληλες υποδιεργασίες, για κάθε μία από τις οποίες είναι υπεύθυνο ένα μέλος του ιατρικού προσωπικού (ο χειρουργός, ο αναισθησιολόγος, ο νοσοκόμος κλπ.). Συνεπώς υπάρχει πλήρης ανάλυση του χρόνου κατά τον οποίο

απασχολείται το κάθε μέλος του προσωπικό και παρέχεται στο νοσοκομείο η δυνατότητα βέλτιστης αξιοποίησης του ανθρώπινου δυναμικού του.

Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εφαρμογής στον υγειονομικό τομέα και με την χρήση του DT όπως περιεγράφηκε παραπάνω, το προτεινόμενο μοντέλο προσέφερε την δυνατότητα προσθήκης ενός επιπλέον επιπέδου ακρίβειας στην παρακολούθηση των χειρουργικών πράξεων και έδωσε την δυνατότητα για αποτελεσματικότερη διαχείριση των πόρων από την πλευρά του παρόχου περίθαλψης, συμβάλλοντας παράλληλα σε μειώσεις στους χρόνους αναμονής, στους χρόνους παραμονής στο νοσοκομείο και στο ρίσκο έκθεσης σε κινδύνους που σχετίζονται με την μη εξασφάλιση της ενδεδειγμένης περίθαλψης, από την πλευρά των ασθενών.

4.2.2 Μοντελοποίηση του επιχειρησιακού ψηφιακού διδύμου

Για την βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας τους και για την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητάς τους, οι σύγχρονες επιχειρήσεις και οργανισμοί στρέφονται ολοένα και περισσότερο στα πιθανά πλεονεκτήματα μίας λειτουργικής ψηφιακής αναπαράστασης της επιχειρησιακής δομής τους, αξιοποιώντας την τεχνολογία των DTs. Η επιτυχία επαφίεται στην χρήση δυναμικών δεδομένων σε επίπεδο λειτουργίας, εν αντιθέσει με τα πιο αργά μεταβαλλόμενα δεδομένα στο παραδοσιακό επιχειρείν. Η συγκεκριμένη μελέτη αναζητά απάντηση στο ερώτημα πως μπορεί να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί ένα DT το οποίο να λαμβάνει υπόψιν του τα δεδομένα και τις διαδικασίες που εκτελούνται εντός των πληροφοριακών συστημάτων ενός Οργανισμού και παρουσιάζει μια μελέτη περίπτωσης που φανερώνει τον υποστηρικτικό ρόλο της εν λόγω υλοποίησης στην διαδικασία λήψης των επιχειρησιακών αποφάσεων.

4.2.2.1 Προδιαγραφές

Ουσιώδες χαρακτηριστικό ενός DT μιας εταιρείας/οργανισμού, αποτελεί η ικανότητα πιστής αναπαράστασης όλων των οντοτήτων και των διασυνδέσεων εντός του οργανισμού

με την χρήση εικονικών μοντέλων, μέσω της διαρκούς προσομοίωσης και ανάλυσης των οποίων θα επιτευχθεί η συνεχής αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της εκάστοτε επιχειρησιακής λειτουργίας. Η ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ του DT και του πραγματικού συστήματος θα πρέπει να είναι αμφίδρομη και διαρκής. Επιπροσθέτως το ψηφιακό αντίγραφο θα πρέπει να έχει πρόσβαση σε ιστορικά εταιρικά δεδομένα. Όσον αφορά την άντληση της πληροφορίας από το DT, απαιτείται προσοχή στον χρόνο που δαπανάται, τόσο σε επίπεδο διεπαφών όσο και για τις ανάγκες προετοιμασίας/προεπεξεργασίας των δεδομένων. Αυτά είτε πρόκειται για μετρήσεις, έγγραφα, επιχειρησιακά αντικείμενα ή γεγονότα, θα πρέπει να μοντελοποιηθούν κατάλληλα και να διασυνδεθούν με την αντίστοιχη ψηφιακή διαδικασία, η οποία θα προσομοιάζει την πραγματική, με χρήση όλης της γνώσης που προέρχεται τόσο από το έμψυχο δυναμικό του οργανισμού, όσο και από τις συστημικές υποδομές που υποστηρίζουν την καθημερινή λειτουργία του. Σημαντικό είναι επίσης το DT να είναι αγνωστικιστικό όσον αφορά τα εργαλεία και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση, καθώς και όσον αφορά το εκάστοτε use-case που μοντελοποιείται.

4.2.2.2 Σχεδιασμός του Digital Twin

Με βάση τις προδιαγραφές που ορίστηκαν, ο σχεδιασμός του ψηφιακού διδύμου προχωρά με την χρήση των κατάλληλων σχεδιαστικών αρχών και την κάλυψη των απαραίτητων προϋποθέσεων για την ορθή αποτύπωση των οντοτήτων και των αλληλεπιδράσεων του πραγματικού κόσμου, ώστε η χρήση της εν λόγω τεχνολογίας να προσφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Όσον αφορά την ορθή και ολοκληρωμένη αποτύπωση των φυσικών μοντέλων στα αντίστοιχα ψηφιακά, θα πρέπει κατά την διαδικασία της αναπαράστασης να ληφθούν υπόψιν τόσο τα δεδομένα όσο και οι διεργασίες, σε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης, ώστε μέσω του DT να μπορέσουν να καλυφθούν διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης. Για παράδειγμα η διαδικασία θα μπορούσε να λάβει χώρα σε επίπεδο εκτέλεσης/στιγμιότυπου

και σε επίπεδο μοντέλου διεργασίας. Στην μία περίπτωση θα ήταν δυνατή η εξέταση μοναδικών εκτελέσεων μιας διεργασίας όσον αφορά πχ. την συμμόρφωση με κάποιους κανόνες, ενώ στην άλλη μέσω αντιπαραβολής διαφορετικών εκτελέσεων θα μπορούσαν να εξαχθούν συμπεράσματα σε διαχειριστικό επίπεδο, όπως πχ. υπολογισμός δεικτών απόδοσης.

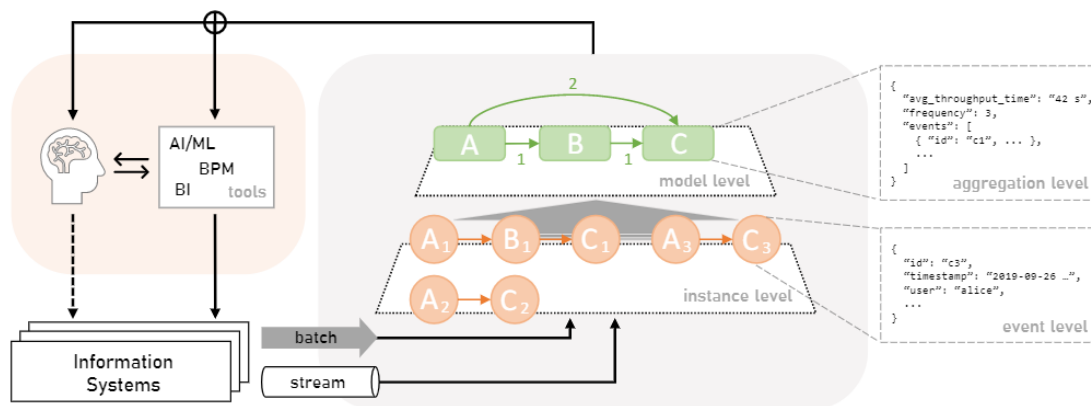
Στο σκέλος της αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των διδύμων, απαιτείται συνεχής ανταλλαγή πληροφορίας μέσω διεπαφών που υποστηρίζουν τόσο την μεταφορά δεδομένων σε ομάδες (batches) κυρίως όσον αφορά την άντληση των ιστορικών δεδομένων, όσο και την μεταφορά με συνεχή τρόπο, για την διατήρηση του συγχρονισμού μεταξύ αναλογικού και ψηφιακού συστήματος.

Για την αυτοματοποίηση της λήψης των αποφάσεων όπου αυτό είναι εφικτό, διατηρώντας συγχρόνως την δυνατότητα αξιοποίησης της ανθρώπινης γνώσης και εμπειρίας σε κρίσιμα σκέλη, προτείνεται υβριδικός σχεδιασμός. Οι εμπειρογνώμονες λαμβάνουν μέρος στην διαδικασία λήψης των αποφάσεων και συγχρόνως εκπαιδεύουν το ψηφιακό δίδυμο, ενώ παράλληλα ορίζονται σημεία επί των διαδικασιών όπου αποφάσεις μπορούν να ληφθούν συστημικά μέσω αυτόματης επιλογής, ενδεχομένως από μια γκάμα προορισμένων τιμών ή σεναρίων.

Ένα αγνωστικιστικό DT απέναντι στις μεθόδους και τα συγκεκριμένα εργαλεία που χρησιμοποιούνται, μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που συναντώνται στο επίπεδο του σχεδιασμού, θα πρέπει κατ' ελάχιστο να παρέχει πρόσβαση σε γενικού τύπου διεπαφές, ώστε τα εκάστοτε εργαλεία να είναι σε θέση να επωφεληθούν από τα δεδομένα και τις διεργασίες που εκτελούνται εντός του ψηφιακού διδύμου. Παρόλα αυτά, η συνεχής ανάπτυξη ειδικών διεπαφών με εξατομίκευση στα αντίστοιχα εργαλεία που χρησιμοποιούνται, θα μπορούσε σε πολλές περιπτώσεις να παράξει καλύτερα αποτελέσματα.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 10.), παρουσιάζονται οι αρχές και οι απαιτήσεις, κατά την φάση του σχεδιασμού του DT.



Σχήμα 10. Το επιχειρησιακό Digital Twin. [28]

4.2.2.3 Μοντελοποίηση του Digital Twin

Βάση των παραπάνω σχεδιαστικών αρχών, στην συνέχεια παρατίθεται μια υψηλού επιπέδου αρχιτεκτονική του DT. Αποτελείται κυρίως από τρία μέρη: (1) το ίδιο το DT, (2) ο ρόλος του ανθρώπινου παράγοντα μέσω της αλληλεπίδρασης με τεχνολογικά εργαλεία, (3) τα πληροφοριακά συστήματα που αντιπροσωπεύουν τον οργανισμό. Όπως περιγράφηκε κατά την φάση του σχεδιασμού, εντός του DT πρέπει να υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης για την εξυπηρέτηση διαφορετικών αναγκών. Οι παρελθοντικές εκτελέσεις διεργασιών αποθηκεύονται στο επίπεδο στιγμιότυπων, συνοδευόμενες από ένα πλήθος γεγονότων που περιέχουν αναλυτικές πληροφορίες, πχ. ένα έγγραφο το οποίο φέρει ένα μοναδικό αναγνωριστικό ταυτοποίησης, το όνομα του υπεύθυνου χρήση κλπ. Εν συνεχεία, εκτελείται συνάθροιση (επίπεδο μοντέλου διεργασίας) επί συγκεκριμένων μετρικών στα στιγμιότυπα των διεργασιών και παράγονται χρήσιμα συμπεράσματα προς αξιοποίηση σε διοικητικό επίπεδο, όπως για παράδειγμα ο

ρυθμός εκτέλεσης συγκεκριμένου τύπου διεργασιών ή ο μέσος χρόνος διεκπεραίωσης αυτών.

Το DT τροφοδοτείται με δεδομένα από τα εταιρικά πληροφοριακά συστήματα. Αυτό είναι εφικτό μέσω μεγάλων μεταφορών δεδομένων (batches) ή/και με συνεχής ροές δεδομένων κατά την ώρα δημιουργίας τους. Στο παραπάνω σχήμα, αυτό απεικονίζεται μέσω δύο παράλληλων καναλιών επεξεργασίας, από τα πληροφοριακά συστήματα προς το DT. Η ροή της πληροφορίας προς την αντίθετη κατεύθυνση, επιτυγχάνεται μέσω της συνδυαστικής αλληλεπίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα με την τεχνολογική εργαλειοθήκη που διαθέτει και αξιοποιεί ο οργανισμός. Όσον αφορά την λήψη των αποφάσεων, πέραν των όποιων αυτοματισμών μπορούν να εγκατασταθούν στο DT, ενδείκνυται η ανάθεσή τους σε εξειδικευμένα εργαλεία που έχουν σχεδιαστεί για αυτόν τον σκοπό, σε συνδυασμό με την συμβολή του ανθρώπινου παράγοντα όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο και επωφελές. Σε κάθε περίπτωση, η αρχιτεκτονική επιτρέπει την επιλογή ανάμεσα στην ανθρώπινη παρέμβαση μέσω μιας διεπαφής χρήστη στο εκάστοτε πληροφοριακό σύστημα και στην εξ ολοκλήρου ανάθεση της απόφασης στην μηχανή/εργαλείο, καθώς και το εύρος της πρώτης σε περιπτώσεις όπου κρίνεται απαραίτητη η χρήση υβριδικού μοντέλου.

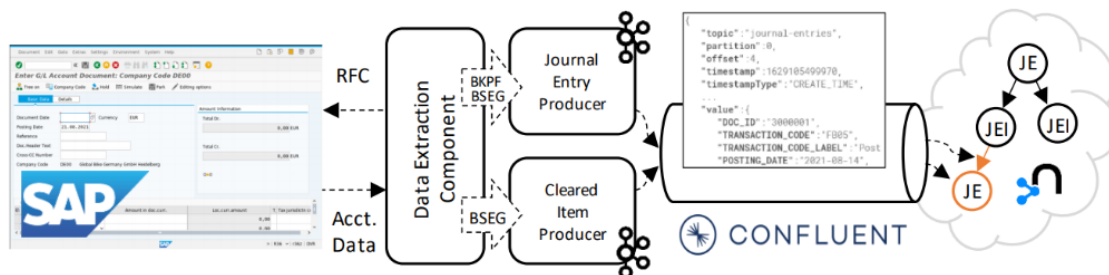
4.2.2.4 Μελέτη Περίπτωσης

Ο σκοπός της μελέτης περίπτωσης είναι η έμπρακτη εφαρμογή των σχεδιαστικών αρχών και της αρχιτεκτονικής που αναλύθηκε στο πλαίσιο της έρευνας, ως βάση για την κατασκευή ενός προτύπου συστήματος αναφοράς. Το σύστημα χρησιμοποιείται στον εντοπισμό διπλών πληρωμών σε εταιρικά περιβάλλοντα (διενέργεια πληρωμής περισσότερες από μία φορές για την λήψη του ίδιου αγαθού ή υπηρεσίας). Ως λογιστικό σύστημα πάνω στο οποίο διενεργούνται οι έλεγχοι, ορίζεται το SAP S/4HANA. Για την άντληση των δεδομένων έχει αναπτυχθεί ειδικό Java-based component, το οποίο υποστηρίζεται από τον SAP Java Connector, μέσω διεπαφής που επιτρέπει σε εφαρμογές Java να επικοινωνήσουν με τα συστήματα της SAP, με χρήση του πρωτοκόλλου RFC

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

(Remote Function Call). Για την συνεχή ροή δεδομένων χρησιμοποιείται ο Apache Kafka και η πλατφόρμα Confluent. Η Neo4j χρησιμοποιείται ως βάση αποθήκευσης για τα στιγμιότυπα των διεργασιών. Η άντληση των ιστορικών δεδομένων συντελείται μέσω του Neo4j Bulk Importer. Η συνάθροιση των αποτελεσμάτων σε επίπεδο διεργασίας εκτελείται μέσω ενός Java-based εργαλείου, το οποίο παρακολουθεί απευθείας την ροή εκτέλεσης των διεργασιών και παρέχει API για την εξαγωγή τόσο επιχειρησιακών δεδομένων (πχ. εγγράφων), όσο και δεδομένων επί της εκάστοτε εκτέλεσης (event log). Τα BKPF και BSEG είναι τα ονόματα των πινάκων εντός του συστήματος SAP, όπου φυλάσσονται οι καταγραφές που σχετίζονται με τις πληρωμές και τον χρόνο εκτέλεσής τους. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 11.) απεικονίζεται η πορεία της άντλησης των δεδομένων από το SAP προς τα στιγμιότυπα της διαδικασίας στο Neo4j.

Σχήμα 11. Μέρος της πρότυπης υλοποίησης. [28]



Για τον εντοπισμό πιθανών διπλών πληρωμών, χρησιμοποιείται ένα εξωτερικό εργαλείο AI. Το συγκεκριμένο εργαλείο συντάσσει μια λίστα με υποψήφιες εγγραφές οι οποίες ενδέχεται να ανήκουν στην κατηγορία της διπλής πληρωμής, ταξινομώντας τις με βάση την πιθανότητα επαλήθευσης. Την σκυτάλη αναλαμβάνει ο χρήστης, όπου με βάση την εμπειρία του αξιολογεί την λίστα και διαχειρίζεται τις περιπτώσεις διπλής πληρωμής, ενώ παράλληλα εκπαιδεύει το λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης και βελτιώνει την αποτελεσματικότητά του. Κατόπιν του εντοπισμού διπλών πληρωμών, λόγω της διαβαθμισμένης πρόσβασης που απαιτείται, εκκινεί χειροκίνητα η διαδικασία αίτησης ακύρωσης της επιπλέον πληρωμής προς τον προμηθευτή.

Η συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, αποδεικνύει ότι μια εφαρμογή βασισμένη στην φιλοσοφία και στις σχεδιαστικές αρχές ενός επιχειρησιακού DT όπως προτείνεται βάση της παρούσας έρευνας, είναι εφικτή και πρακτικά εφαρμόσιμη.

4.2.3 Αξιοποίηση των DTs στον τομέα των υπηρεσιών

Καθώς οι επιχειρησιακοί στόχοι στρέφονται ολοένα και περισσότερο προς την υπηρεσιοποίηση όσον αφορά τις προτάσεις προς την αγορά, ο ρόλος της υπηρεσίας αναβαθμίζεται στην απόκτηση ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Κάτω από αυτό το πρίσμα, η χρήση ενός DT μπορεί να επεκταθεί από την παραγωγή προϊόντων στον έλεγχο και την βελτιστοποίηση των υπηρεσιών, καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής τους. Μια τέτοιου είδους χρήση μπορεί να προσφέρει υποστήριξη στο σκέλος της λήψης των αποφάσεων, να βοηθήσει στην ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και να βελτιώσει τις τρέχουσες πρακτικές στον χώρο των υπηρεσιών. Στην παρούσα έρευνα αναλύεται το ευρύτερο πλαίσιο της χρήσης των DTs στον τομέα των υπηρεσιών και παρουσιάζεται μια αντίστοιχη μελέτη περίπτωσης.

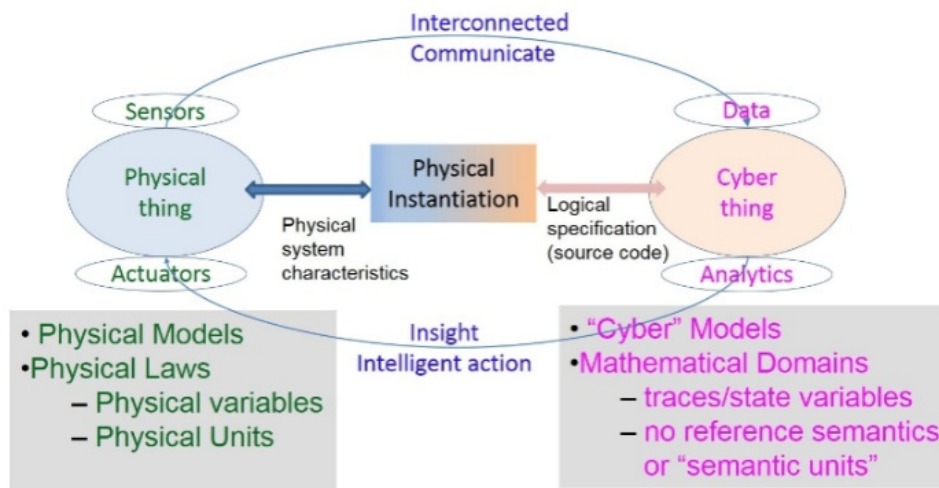
4.2.3.1 Μέθοδοι και λειτουργικά πλαίσια

Βάση της προσέγγισης, τα πάντα ως υπηρεσία (XaaS), οι υπηρεσίες θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν στο έπακρο τις δυνατότητες της τεχνολογίας των DTs. Μέσω υπηρεσιών, κάθε τμήμα του DT μπορεί να αποτελέσει κοινόχρηστο πόρο και να χρησιμοποιείται μέσω ενός μοντέλου πληρωμής ανάλογα με την χρήση (pay-as-you-go).

Με την ταχεία ανάπτυξη της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, των δικτύων και των τεχνολογιών αισθητήρων, αυξήθηκε κατακόρυφα η ζήτηση για «έξυπνα συστήματα» στην βιομηχανία και στο τομέα των επιχειρησιακών διεργασιών. Με την κατάλληλη αξιοποίηση, ένα «έξυπνο σύστημα» μπορεί να αυξήσει την παραγωγικότητα, την ποιότητα της προσφερόμενης υπηρεσίας, να εξασφαλίσει την απρόσκοπτη λειτουργία, ενώ παράλληλα να μειώσει τα κόστη και την σπατάλη σε επίπεδο πόρων. Μέσω ενός

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

διαφανούς δικτύου παρέχεται επίσης καλύτερη ορατότητα επί της εκτέλεσης των διεργασιών και λαμβάνονται ορθότερες αποφάσεις βασισμένες στην συνεχή παρακολούθηση και στις ενημερώσεις / ειδοποιήσεις που λαμβάνονται από το σύστημα. Επιπροσθέτως, οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι πρόληψης είναι σε θέση να προειδοποιήσουν έγκαιρα για την εμφάνιση ανωμαλιών, καθώς και για θέματα ποιότητας, ασφάλειας και συντήρησης, ενώ παράλληλα το σύστημα προσαρμόζεται δυναμικά όταν προκύψουν αλλαγές στον χρονοπρογραμματισμό ή στην ροή των παρεχόμενων υπηρεσιών. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 12.) παρουσιάζεται μία τυπική αρχιτεκτονική DT, βάση της παραπάνω λειτουργικής περιγραφής.



Σχήμα 12. Η αρχιτεκτονική του DT. [29]

Η υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος στα πλαίσια ενός «έξυπνου εργοστασίου», βασίζεται στην επικοινωνία και μεταφορά πληροφορίας από την φυσική διαδικασία προς τις ψηφιακές πλατφόρμες μέσω χρήσης αισθητήρων, στην οπτικοποίηση / ανάλυση των διεργασιών, στην συνάθροιση των δεδομένων και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, καθώς και στην απαιτούμενη ανάδραση από τα ψηφιακά συστήματα προς τον πραγματικό κόσμο. Μέσω μιας τέτοιου είδους υλοποίησης, μπορεί αν καλυφθεί ένα ευρύ φάσμα διεργασιών ή λειτουργικοτήτων.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

Βάση ορισμού, το DT είναι μια δυναμική ψηφιακή αναπαράσταση ενός φυσικού αντικειμένου ή συστήματος, καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του. Έχει την δυνατότητα να διασυνδέσει το IoT και το IoS (Internet of Service) με τα φυσικά συστήματα παραγωγής και προσφοράς υπηρεσιών. Το IoT συμβάλει με την καταγραφή δεδομένων μέσω πλειάδας αισθητήρων κατά μήκος της εκτέλεσης της εκάστοτε διεργασίας και την μεταφορά αυτών μέσω ασύρματων δικτύων. Η χρήση του συναντάται κυρίως σε διεργασίες οι οποίες απαιτούν υλικούς πόρους (hardware). Το IoS συμβάλει μέσω της διασύνδεσης με συστήματα ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System), SCM (Supply Chain Management), QMS (Quality Management System) και παραγωγής αναλύσεων. Στο σύνολό τους απαρτίζουν έναν μηχανισμό που επιτρέπει στα παραδοσιακά συστήματα να λειτουργήσουν χωρίς εξάρτηση από τους φυσικούς πόρους και να παρακολουθήσουν και να διαχειριστούν τις παραγωγικές διεργασίες [34].

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.) παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ ενός προϊόντοκεντρικού συστήματος και ενός συστήματος με υπηρεσιακό προσανατολισμό.

Πίνακας 2. Αντιπαραβολή των δύο ειδών συστημάτων

	<u>Προϊόντοκεντρικό</u>	<u>Υπηρεσιοκεντρικό</u>
Πληροφοριακή στόχευση	Αντικειμενικά δεδομένα	Συμπεριφορικά δεδομένα
Πλαίσιο	Τεχνολογικό Υποστήριξη προϊόντος Έμφαση στην αποδοτικότητα	Ανθρωποκεντρικό Υποστήριξη του πελάτη Έμφαση στην εμπειρία χρήσης
Μεθοδολογία σχεδιασμού	Πραγματολογικός	Συναισθηματικός
Ενοποίηση/Ολοκλήρωση	Διαχωρισμός παραγωγής/ κατανάλωσης	Συνδυασμός παραγωγής/ κατανάλωσης
Παράγοντας κόστους	Η υπηρεσία παράγει κόστος	Η υπηρεσία παράγει αξία
Δομή	Πολύπλοκη δομή	Απλή δομή

Υπό το πρίσμα της υπηρεσιοποίησης, μέσω των απαιτούμενων αλλαγών και την υιοθέτηση των αντίστοιχων κατευθυντηρίων στους παραπάνω τομείς, είναι δυνατή η μετάβαση στην βιομηχανία, με την χρήση «έξυπνων υπηρεσιοκεντρικών συστημάτων», προς το Service-Oriented Manufacturing (SOM), το Cloud Manufacturing και το Advanced Manufacturing. Για την επίτευξη αυτής, πρέπει να λάβει χώρα ενθυσιαστική των υπηρεσιών, δηλαδή μετατροπή των φυσικών συστημικών πόρων σε ψηφιακές συστημικές υπηρεσίες.

4.2.3.2 Περίπτωση χρήσης

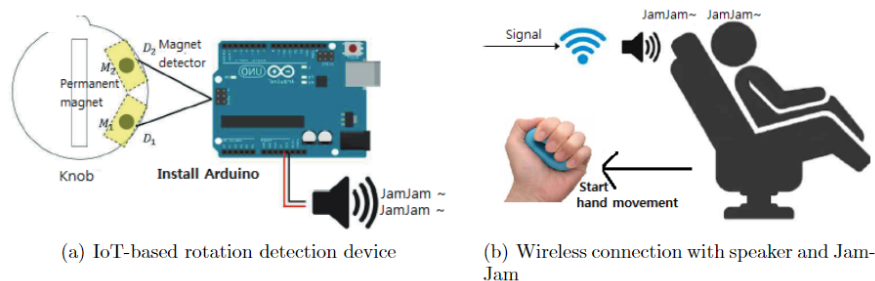
Στην ακόλουθη μελέτη περίπτωσης της χρήσης των DTs στο τομέα των υπηρεσιών, έχει επιλεγεί μια διαδικασία αιμοδοσίας, ως μια κρίσιμη διεργασία του υγειονομικού τομέα. Υπάρχουν δύο τύποι αιμοδοσίας, η πλήρης και η μερική. Κατά την πρώτη, λαμβάνονται και διατηρούνται όλα τα συστατικά του αίματος του δότη, ενώ κατά την δεύτερη λαμβάνονται μόνο ορισμένα από αυτά και τα υπόλοιπα επιστρέφονται στον δότη.

Παρά το γεγονός ότι η προσφορά αίματος είναι μείζονος σημασίας, η σχετική διαδικασία είναι χρονοβόρα και πληκτική. Διαρκεί περίπου 30 με 50 λεπτά, κατά τα οποία ο δότης πρέπει να καθίσει και να εκτελεί περιοδικά σύσφιξη της παλάμης του. Η κίνηση αυτή αφενός βελτιώνει την ροή του αίματος και αφετέρου συμβάλει στην μείωση του χρόνου της διαδικασίας. Για να μπορέσει να επέλθει συντονισμός και η κίνηση της παλάμης να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, ο δότης είτε κοιτάζει διαρκώς την οθόνη του εξοπλισμού, είτε προσπαθεί να αναγνωρίσει την εναλλαγή στους ήχους κατά την λειτουργία του μηχανισμού άντλησης, είτε προσπαθεί να αναγνωρίσει την αλλαγή στην πίεση διαμέσου των ρούχων στο επάνω μέρος του χεριού.

Εν γένει η επίτευξη του συντονισμού δεν είναι εύκολη, ειδικότερα όταν ο δότης στρεσάρετε λόγω της φύσης της διαδικασίας. Για την αναγνώριση της εναλλαγής στους ήχους κατά την λειτουργία του μηχανισμού άντλησης, στα πλαίσια της παρούσας έρευνας, υιοθετείται μια ψηφιακή μέθοδος, με την χρήση μαγνητικών αισθητήρων. Για τον προσδιορισμό του χρόνου κατά τον οποίο πρέπει να εκτελεστεί η σύσφιξη στην παλάμη,

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

χρησιμοποιείται μια συσκευή IOT όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 13.). Η συσκευή αποτελείται από έναν μόνιμο μαγνήτη, έναν μαγνητικό ανιχνευτή και ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, το οποίο μπορεί να εκτελέσει υπολογισμούς μικρής κλίμακας. Ο μόνιμος μαγνήτης συνδέεται στον διακόπτη του ολοκληρωμένου κυκλώματος, ενώ σε κοντινή απόσταση τοποθετείται και ο μαγνητικός ανιχνευτής. Το κύκλωμα μπορεί να επεξεργαστεί τα σήματα που λαμβάνονται από τον ανιχνευτή και όταν επέλθει ο χρόνος κατά τον οποίο απαιτείται σύσφιξη, το κατάλληλο σήμα μεταβιβάζεται στον δότη ασύρματα.



Σχήμα 13. Προτεινόμενη πρότυπη συσκευή για την ενεργοποίηση της κίνησης του χεριού. [29]

Η παραπάνω συσκευή αποτελεί μια απλή περίπτωση χρήσης ενός DT στον τομέα των υπηρεσιών. Κατά την διάρκεια εκτέλεσης της φυσικής διαδικασίας αιμοδοσίας, έχουμε την παράλληλη εκτέλεση μια ψηφιακής διαδικασίας για την αναγνώριση της εναλλαγής στους ήχους που παράγει ο μηχανισμός άντλησης.

Σε γενικές γραμμές, για την διαχείριση μιας διεργασίας σε όλο το εύρος της, το DT ενημερώνει συνεχώς την κατάσταση του συστήματος ώστε αυτή να ανταποκρίνεται στην εκάστοτε τρέχουσα εικόνα της διεργασίας στον πραγματικό κόσμο, με την χρήση δεδομένων από αισθητήρες, με την διενέργεια ελέγχων και επιθεωρήσεων, μέσω προβλεπόμενων ενεργειών συντήρησης κλπ.

4.2.4 Σχεδιασμός και ανάπτυξη DTs διεργασιών στον τομέα της υλικοτεχνικής υποστήριξης

Καθώς η σπουδαιότητα των διεργασιών εσωτερικής διοικητικής μέριμνας (internal logistics) έχει αυξηθεί, ομοίως και η πολυπλοκότητά τους, είναι επιβεβλημένη η αναζήτηση λύσεων για την βέλτιστη διαχείρισή τους. Η χρήση της τεχνολογίας των DTs στον τομέα αυτό, μπορεί να προσφέρει ευελιξία, απλοποίηση και να καταστήσει αποδοτικότερη την εκτέλεση των διεργασιών αυτών. Η παρούσα έρευνα παρουσιάζει ένα πλαίσιο για την υποστήριξη μιας τέτοιου είδους υλοποίησης, μέσω ανάλυσης σε διαφορετικά επίπεδα και χρήση υπηρεσιών. Τα ανεξάρτητα μέρη του συστήματος ανατίθενται σε υπηρεσίες και ταυτόχρονα οι σχέσεις μεταξύ των μερών περιγράφονται λεπτομερώς. Η χρήση του σχετικού πλαισίου έχει ήδη δοκιμαστεί στο σκέλος της οργάνωσης και του προγραμματισμού, καθώς και έχει αξιολογηθεί μέσω αντίστοιχων υλοποιήσεων όσον αφορά την βελτιστοποίηση στο σκέλος της έγκαιρης παράδοσης. Το βασικό πλεονέκτημα της πρότασης είναι η καθοδήγηση κατά την εκτέλεση του προγραμματισμού, μέσω γενικής εποπτείας όλων των μερών που συμβάλουν στην εκτέλεση των εν λόγω διεργασιών.

4.2.4.1 Η συμβολή της τεχνολογίας των Digital Twins

Ο τομέας των internal logistics αντιμετωπίζει ένα μεγάλο αριθμό προκλήσεων. Αυτές σχετίζονται κυρίως με τον αυξανόμενο αριθμό στις παραλλαγές των προϊόντων, την αυξημένη ζήτηση διαθεσιμότητας και τους φθίνοντες χρόνους παράδοσης. Τα παραπάνω συμβάλουν καταλυτικά στην αύξηση της πολυπλοκότητας των σχετικών διεργασιών και συνεπώς απαιτείται διαφάνεια, ευελιξία και αυστηρός έλεγχος σε επίπεδο λειτουργίας. Τα DTs προσφέρουν προστιθέμενη αξία στο σκέλος της λεπτομερούς παρακολούθησης και του ελέγχου, με την συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Με την βοήθειά τους οι διεργασίες μπορούν να χαρτογραφηθούν σε λειτουργικό επίπεδο, να λάβει χώρα η οπτικοποίησή τους σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα και να λάβουν

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

ενημερώσεις σε περίπτωση αλλαγής των παραμέτρων ή των συνθηκών. Επιπροσθέτως, ποικίλες υπηρεσιακές λειτουργίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των διεργασιών, στα πλαίσια της αξιοποίησης της τεχνολογία των DTs.

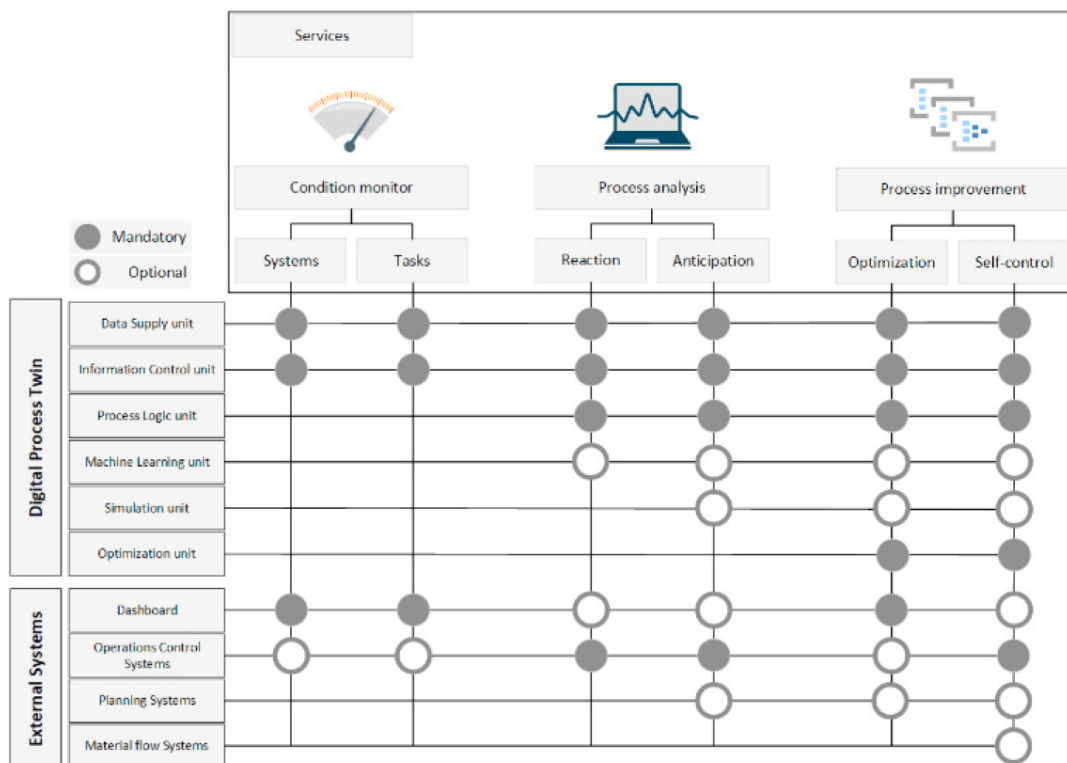
4.2.4.2 Γενικό πλαίσιο (framework)

Παρά το γεγονός ότι τα DTs μπορούν να αναπαραστήσουν μια πλειάδα συστημάτων, στην προκειμένη περίπτωση εστιάζουμε στις διεργασίες και για τον λόγο αυτό το προτεινόμενο πλαίσιο αφορά ένα ψηφιακό δίδυμο διεργασίας. Απαρτίζεται από τρία διακριτά groups, τις υπηρεσίες, το Digital Process Twin και τις διασυνδέσεις με τα πραγματικά συστήματα, είτε πρόκειται για την φυσική διεργασία, είτε για εξωτερικά συστήματα. Τα μέρη του DT χωρίζονται σε βασικά (χρησιμοποιούνται από όλες τις υπηρεσίες) και ειδικά (χρησιμοποιούνται από συγκεκριμένες υπηρεσίες). Όσον αφορά τις υπηρεσίες, γενικά η υπηρεσία της ανάλυσης καθώς και αυτή της βελτιστοποίησης είναι προαιρετικές. Στην περίπτωση όμως που επιλεγούν, ενεργοποιούνται τα αντίστοιχα μέρη

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

του DT. Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται αναλυτικά στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 14.).

Σχήμα 14. Απεικόνιση των σχέσεων μεταξύ των υπηρεσιών και των μερών του Digital Process Twin. [30]



Οι υπηρεσίες εμφανίζονται στο πάνω μέρος του σχήματος, τα μέρη του DT παρατίθενται στην αριστερή πλευρά, καθώς απεικονίζονται και τα δεδομένα/πληροφορίες. Όλα τα μέρη ενώνονται μέσω μιας δομής με την μορφή πλέγματος, όπου κάθε κόμβος συμβολίζει μια συσχέτιση μεταξύ αντικειμένων, υποχρεωτική ή προαιρετική.

Όσον αφορά τις υπηρεσίες, μέσω του condition monitoring ελέγχεται η διαθεσιμότητα σε πόρους υλικού και λογισμικού. Αυτό επιτυγχάνεται, στην περίπτωση του υλικού, με την χρήση αισθητήρων, οι οποίοι στέλνουν ειδοποιήσεις για χειροκίνητη παρέμβαση σε περίπτωση προβλήματος/έλλειψης. Στην περίπτωση του λογισμικού,

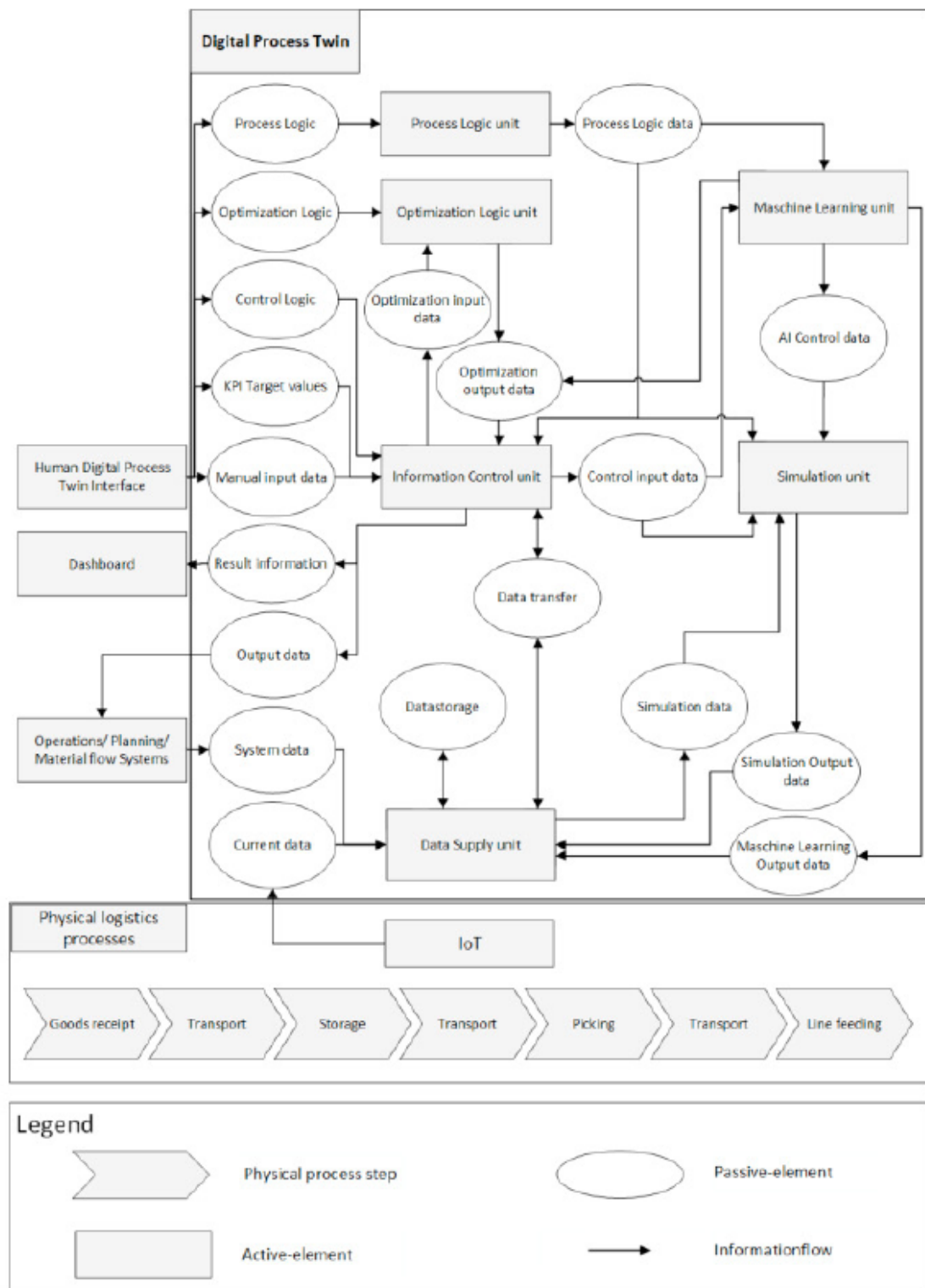
δίνεται έμφαση στην εύρυθμη λειτουργία των επικοινωνιών και των διασυνδέσεων με τις βάσεις δεδομένων. Κατά τον εντοπισμό μικροπροβλημάτων λαμβάνουν χώρα αυτόματες ενέργειες διόρθωσης, ενώ για μεγαλύτερα προβλήματα απαιτείται χειροκίνητη παρέμβαση. Επιπροσθέτως, η συγκεκριμένη υπηρεσία ελέγχει υπό-διεργασίες όπως πχ. αποθήκευση, φόρτωση κλπ., μέσω παρακολούθησης της διαθεσιμότητας, της θέσης και του τύπου εργασίας, των πόρων που τις εκτελούν.

Η υπηρεσία του process analysis είναι υπεύθυνη για την έκδοση ειδοποιήσεων κατά τον εντοπισμό αδύναμων σημείων στις διεργασίες. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της τροφοδότησής της με δείκτες στόχους, καθώς και με τα τρέχοντα δεδομένα εκτέλεσης. Σκοπός της είναι ο ταχύς εντοπισμός των προβλημάτων και η παροχή ενός εύκολου τρόπου παρέμβασης στον χρήστη. Επιπροσθέτως, συγκρίνοντας τα τρέχοντα δεδομένα με δεδομένα αναφοράς, η υπηρεσία μπορεί να λειτουργήσει προληπτικά και να υποδείξει την πιθανότητα εμφάνισης μελλοντικών ανωμαλιών.

Μέσω της υπηρεσίας του process improvement, προσφέρονται τα κατάλληλα εργαλεία, όπως προσομοιωτές, αλγόριθμοι βασισμένοι σε κανόνες, συναρτήσεις τεχνητής νοημοσύνης κλπ. προς βελτιστοποίηση των διεργασιών. Η βελτιστοποίηση μπορεί να λάβει χώρα ανεξάρτητα ή βασισμένη στα αποτελέσματα της υπηρεσίας ανάλυσης και πρόβλεψης. Επιπροσθέτως, σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται να δοθεί στην υπηρεσία η δυνατότητα αυτόματης λήψης αποφάσεων, με απευθείας τροφοδότηση προς τα συστήματα προγραμματισμού και εκτέλεσης των διεργασιών.

Το λειτουργικό Digital Process Twin που προτείνεται, είναι υπεύθυνο για την διασύνδεση των φυσικών διεργασιών με τις παρεχόμενες υπηρεσίες που αναλύθηκαν παραπάνω και παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 15.).

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών



Σχήμα 15. Προτεινόμενο Digital Process Twin. [30]

Βάση του διαγράμματος υπάρχουν τέσσερις διασυνδέσεις με το εξωτερικό περιβάλλον. Με την φυσική διεργασία για συλλογή δεδομένων, με τα συστήματα σχεδιασμού/εκτέλεσης/ροής υλικών, με το ειδικό interface για την διαχείριση της αλληλεπίδρασης των χρηστών και με το dashboard το οποίο είναι υπεύθυνο για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων/δεδομένων εξόδου.

Βασικά μέρη του DT αποτελούν οι αμφίδρομα συνδεδεμένες μονάδες του data supply, υπεύθυνη για την εισερχόμενη πληροφορία τόσο από την φυσική διεργασία όσο και από τα εξωτερικά συστήματα και του information control, υπεύθυνη για τον γενικότερο έλεγχο του DT με την χρήση παραμέτρων που εισάγουν οι χρήστες, τιμών στόχων και προορισμένων δεικτών απόδοσης. Τα υπόλοιπα μέρη που απεικονίζονται, δύναται να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με την περίπτωση.

Κύρια προαιρετική μονάδα είναι αυτή του process logic, η οποία αποτελεί σημείο αναφοράς ανάμεσα στην φυσική ροή και τις ιδιότητες της διεργασίας. Η συγκεκριμένη μονάδα χρησιμοποιείται ως τροφοδότης δεδομένων εισόδου τόσο προς την μονάδα του simulation, η οποία εκτελεί προσομοιώσεις και συμβάλει στον έλεγχο κατά την εκτέλεση της διεργασίας, όσο και προς τις μονάδες του machine learning και του information control. Η μονάδα του machine learning τροφοδοτεί με δεδομένα την μονάδα του simulation και επίσης υποστηρίζει την μονάδα του information control, μέσω μείωσης των αναγκών σε υπολογιστική ισχύ. Επιπροσθέτως, υπάρχει και η μονάδα του optimization logic, για την κάλυψη των αναγκών βελτιστοποίησης, είτε μέσω αυτοματισμού, είτε μέσω της χρήσης του Dashboard και μεταφορά των επιλογών του χρήστη προς τα συστήματα σχεδιασμού/εκτέλεσης/ροής υλικών. Τέλος, η μονάδα του control logic ελέγχει τα τρέχοντα δεδομένα μέσω αλγορίθμου, για τον προσδιορισμό σχετικής και επίκαιρης πληροφορίας.

Το παρόν framework αναλύει τις δοκιμές διαδικασίες και τις τεχνολογικές μονάδες που χρησιμοποιούνται σε υψηλό επίπεδο. Γίνεται αναφορά στις διαθέσιμες υπηρεσίες και στις προδιαγραφές τους, καθώς και παρουσιάζονται τα απαιτούμενα κανάλια ανταλλαγής

δεδομένων. Μέσω των φυσικών διαδικασιών σε συνδυασμό με τις επιλεγμένες υπηρεσίες, ορίζονται τα όρια του συστήματος και κατ' επέκταση το πεδίο εφαρμογής. Οι χρήστες του framework μπορούν να εκτιμήσουν τις συνολικές προδιαγραφές, τον σχεδιασμό, την προσπάθεια που απαιτείται για την εκάστοτε υλοποίηση και ενσωμάτωση στην υπάρχουσα επιχειρησιακή λειτουργία, καθώς και τα διαθέσιμα και μη δεδομένα.

Καθώς η περίπτωση χρήσης του προτεινόμενου framework είναι αρκετά αναλυτική σε τεχνικό επίπεδο και κατ' επέκταση εκτός του σκοπού της παρούσας βιβλιογραφικής έρευνας, παρατίθεται απλά η σχετική παραπομπή στην βιβλιογραφία [30] (σελ. 4).

4.2.5 Χρήση σημασιολογικών δικτύων και προσεγγίσεων εταιρικής αρχιτεκτονικής για την δημιουργία επιχειρησιακών DTs

Η δημιουργία ενός DT για την διαχείριση της επιχειρησιακής δραστηριότητας μιας εταιρείας/Οργανισμού, αποκτά όλα και μεγαλύτερη σχετικότητα στα πλαίσια του ψηφιακού μετασχηματισμού. Το βασικό θέμα της παρούσας έρευνας είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την δημιουργία ενός τέτοιου DT, η οποία να βασίζεται σε οντολογίες, γράφους γνώσης και επιχειρησιακή αρχιτεκτονική. Μέσω της τελευταίας έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι που περιγράφουν την δομή και τις δραστηριότητες ενός Οργανισμού, τόσο με επιχειρησιακούς όσο και τεχνικούς όρους, με την χρήση μοντέλων, τα οποία όμως από την φύση τους είναι στατικά, δεν παρέχουν την απαιτούμενη ακρίβεια, είναι πολύπλοκα στην κατασκευή και στην χρήση και απαιτούν συνεχώς αναβαθμίσεις. Η παρουσίαση διάφορων μοντέλων αρχιτεκτονικής με την μορφή σημασιολογικών δικτύων (semantic networks) σε συνδυασμό με μια δομή δεδομένων με την μορφή γράφων, επιτρέπει την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την δημιουργία ενός επιχειρησιακού DT, η οποία προσφέρει ενοποίηση σε επίπεδο δεδομένων, συνεχή ανάλυση της πληροφορίας και υποστήριξη των διοικητικών αποφάσεων.

4.2.5.1 Προκλήσεις

Σε αντίθεση με ένα φυσικό αντικείμενο, μια επιχείρηση δεν έχει σταθερή δομή και αποτελεί ένα σύνθετο, δυναμικά μεταβαλλόμενο κοινωνικοτεχνικό σύστημα. Πολλά από τα στοιχεία του και οι σχέσεις ανάμεσά τους διαφέρουν από την συνήθη περιγραφή, σε αντίθεση για παράδειγμα με τα καθαρά τεχνικά συστήματα.

Επίσης, ένα σημαντικό μέρος των εννοιών που χρησιμοποιούνται στην επιχειρησιακή διαχείριση, δεν έχουν ξεκάθαρο πεδίο ορισμού ή μπορείς να οριστούν με διαφορετικούς τρόπους, κάτι το οποίο ενισχύει τον βαθμό δυσκολίας στην κατασκευή ενός αυστηρά ορισμένου επιχειρησιακού μοντέλου.

Σε επίπεδο δεδομένων, οι πληροφορίες που τροφοδοτούν το εκάστοτε μοντέλο έχουν διαφορετική φύση (ποσοτικά δεδομένα, ποιοτικά δεδομένα, πολυμέσα), ετερογενή δομή και προέρχονται από πολλές διαφορετικές πηγές. Η ποικιλομορφία αυτή κάνει δυσκολότερη την διαχείριση και δημιουργεί μια συνεχή ανάγκη αναβαθμίσεων, προς κάλυψη του συνόλου των αναγκών.

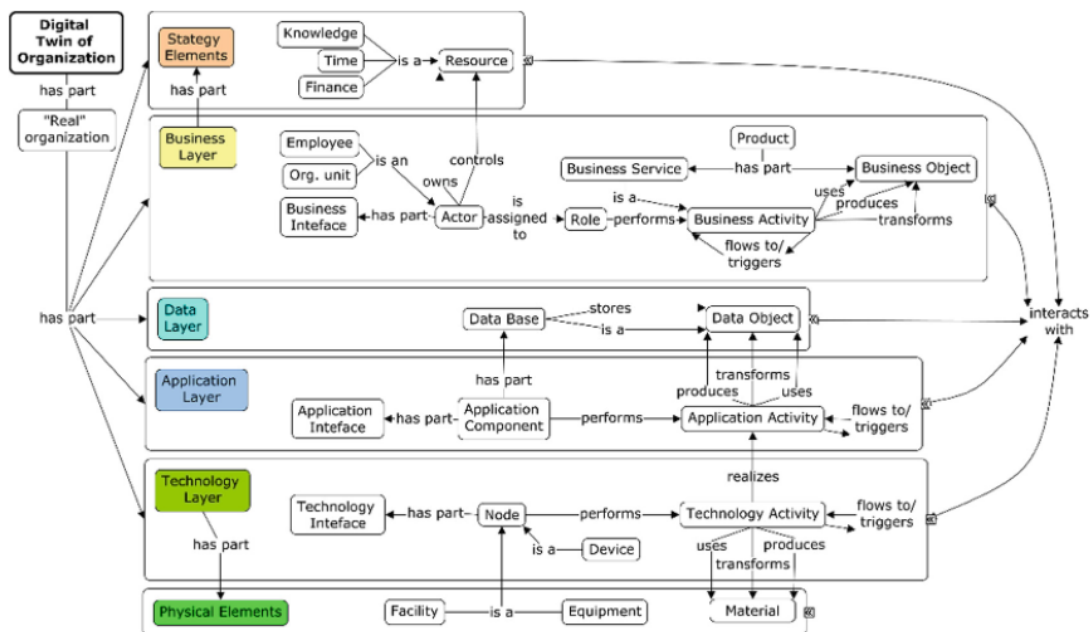
4.2.5.2 Προτεινόμενη μεθοδολογία

Ως πρώτο βήμα για την αναπαράσταση της λειτουργίας μιας επιχείρησης/Οργανισμού στον ψηφιακό χώρο, είναι η περιγραφή των οντοτήτων που την απαρτίζουν, των ιδιοτήτων τους και των σχέσεων ανάμεσά τους, μέσω μιας οντολογικής προσέγγισης. Μέσω αυτής καθίσταται δυνατή η επαναχρησιμοποίηση οντολογιών, καθώς και κατ' επέκταση η προσαρμογή τους με την εκάστοτε ανάγκη, σε συνδυασμό με την δυνατότητα διαφοροποίησης στον βαθμό φορμαλισμού του μοντέλου.

Η ύπαρξη του παραπάνω μοντέλου επιτρέπει την σύγκριση των διαθέσιμων δεδομένων, με τις οντότητες της πραγματικής επιχείρησης (ανθρώπινο δυναμικό, πληροφοριακά συστήματα, εξοπλισμός, διεργασίες κλπ.) για την διενέργεια της μοντελοποίησης και της χαρτογράφησης. Συνεπώς είναι σημαντικό να οριστούν οι βασικές κλάσεις οντοτήτων, οι ιδιότητές τους και οι σχέσεις μεταξύ τους, τα οποία συνολικά αποτελούν την επιχείρηση.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

Καθώς η πλειοψηφία αυτών που ασχολούνται σε πρακτικό επίπεδο με την μοντελοποίηση εντός επιχειρησιακών σχημάτων δεν είναι εξοικειωμένη με τα οντολογικά μοντέλα που είναι διαθέσιμα στην ακαδημαϊκή κοινότητα, είτε τα αποφεύγει λόγω πολυπλοκότητας ή λόγω της ανάγκης για διαρκή επικαιροποίηση, συνήθως συναντάται η χρήση της γλώσσας μοντελοποίησης ArchiMate [35], η οποία θεωρείται το στάνταρντ όσον αφορά την μεθοδολογία TOGAF (The Open Group Architecture Framework) [36]. Η ArchiMate έχει πλούσια σημειογραφία με περίπου 60 τύπους αντικειμένων και 11 τύπους σχέσεων, το οποίο επιτρέπει την περιγραφή διαφόρων όψεων μιας επιχείρησης με την απαιτούμενη ακρίβεια. Επιπροσθέτως περιέχει κλάσεις αντικειμένων που σχετίζονται με τις φυσικές υποδομές (πχ. εξοπλισμός, εγκαταστάσεις, υλικά), απαραίτητες για την περιγραφή ενός πλήρως λειτουργικού επιχειρησιακού DT. Μια σύμπτυξη των δηλώσεων των μοντέλων που χρησιμοποιούνται μέσω της ArchiMate, παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 16.).

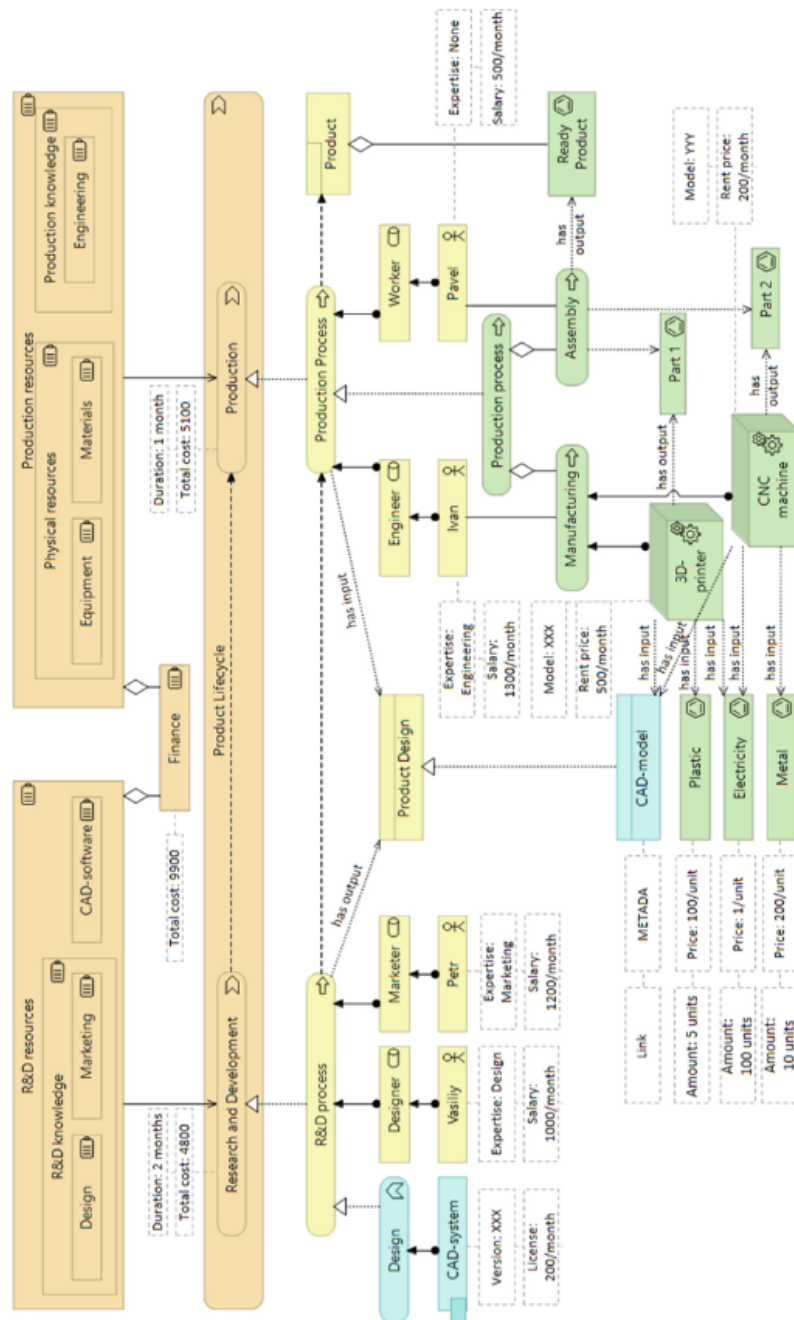


Σχήμα 16. Συνοπτική περιγραφή του μεταμοντέλου της ArchiMate. [31]

Βάση της μεθοδολογίας TOGAF, κάθε Οργανισμός μπορεί να περιγραφεί ως ένας συνδυασμός τριών διαστρωματώσεων, κάθε μία από τις οποίες σχετίζεται με συγκεκριμένα είδη αντικειμένων, το οποίο αποτυπώνεται με την χρήση της ArchiMate. Πρόκειται για το επιχειρησιακό επίπεδο (business layer), το επίπεδο εφαρμογών (application layer) και το επίπεδο τεχνολογίας (technology layer). Σε ορισμένες περιπτώσεις συναντάται και ένα τέταρτο επίπεδο για την περιγραφή της υπηρεσιακής αρχιτεκτονικής, το οποίο σχετίζεται με την αρχιτεκτονική των δεδομένων, σημαντική παράμετρο για την δημιουργία του επιχειρησιακού DT. Εμφανίζεται στο παραπάνω σχήμα ως επίπεδο δεδομένων (data layer).

Η ArchiMate επιτρέπει την περιγραφή διάφορων δραστηριοτήτων εντός και εκτός μιας επιχείρησης με την μορφή διεργασιών, λειτουργιών ή υπηρεσιών. Οι δραστηριότητες αυτές αποτελούν τα ενεργά δομικά στοιχεία του επιχειρησιακού DT και η αναπαράστασή τους γίνεται με την χρήση συμπεριφορικών αντικειμένων. Αντίστοιχα, οι οντότητες που δεν εκτελούν κάποια δραστηριότητα, αλλά παράγονται ή μετασχηματίζονται κατά την διάρκεια κάποιας δραστηριότητας, αποτελούν τα παθητικά δομικά στοιχεία της υλοποίησης. Οι ιδιοτήτων των αντικειμένων ορίζονται με την δημιουργία προδιαγραφών. Βάση των προδιαγραφών τους, τα αντικείμενα κατηγοριοποιούνται σε κλάσεις, από τις οποίες κληρονομούν τις ιδιότητές τους. Η παρούσα προσέγγιση επιδεικνύεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 17.), μέσω της δημιουργίας ενός αρχιτεκτονικού μοντέλου, το οποίο βασίζεται στην υποθετική περίπτωση μιας κατασκευαστικής εταιρείας.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών



Σχήμα 17. Παράδειγμα αρχιτεκτονικού μοντέλου. [31]

Στο πάνω μέρος του σχήματος έχουμε τους διαθέσιμους πόρους (χρηματοδότηση, τεχνογνωσία, πληροφοριακά συστήματα κ.λπ.), η αξία των οποίων κατά τον κύκλο ζωής
Εμμανουήλ Δημητριάδης

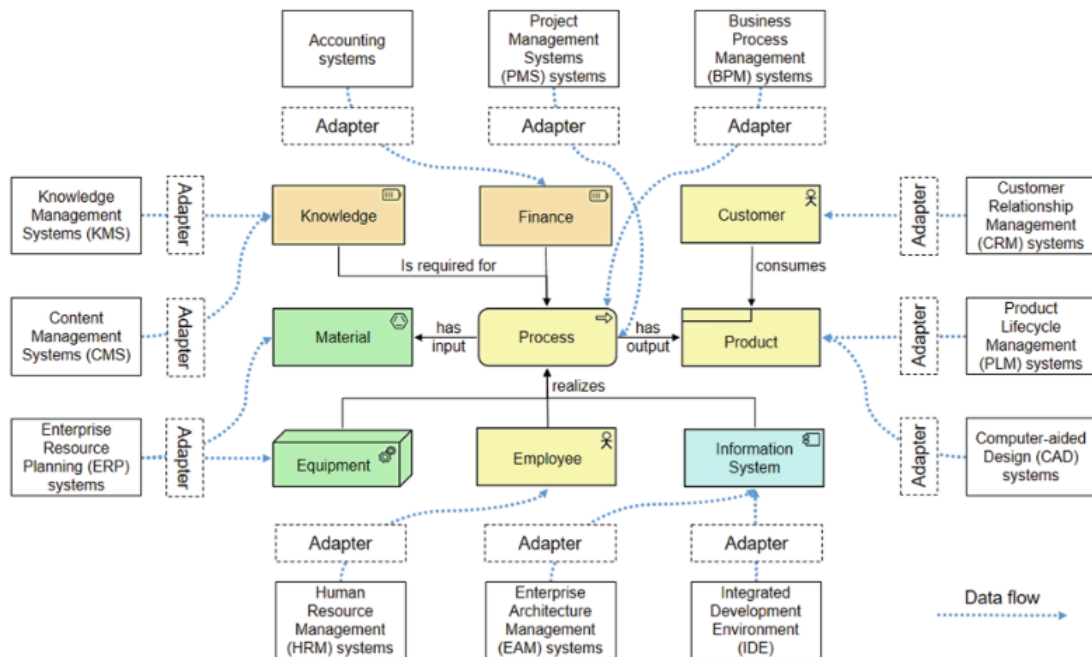
των προϊόντων μετασχηματίζεται σε παραγωγή έρευνας και ανάπτυξης, καθώς και σε παραγωγή προϊόντων.

Για την υλοποίηση της πρώτης φάσης του κύκλου ζωής των προϊόντων, απαιτείται η υλοποίηση μιας R&D διεργασίας, την οποία αναλαμβάνουν να εκτελέσουν σχεδιαστές και ειδικοί στο marketing, με την χρήση πληροφοριακών συστημάτων. Το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι ένα μοντέλο προϊόντος, το οποίο κατόπιν έγκρισης μεταφέρεται στην διεργασία παραγωγής, η οποία εκτελείται από μηχανικούς και εργάτες. Τμήματα της διεργασίας παραγωγής αποτελούν η κατασκευαστική διαδικασία και η συναρμολόγηση, για την διεκπεραίωση των οποίων χρησιμοποιείται ειδικός εξοπλισμός και τα κατάλληλα υλικά, βάση των προδιαγραφών του προϊόντικού μοντέλου, προς την παραγωγή του τελικού προϊόντος.

Βάση του παραδείγματος μοντελοποίησης, παρατηρούμε στοιχεία που σχετίζονται με κλάσεις, όπως για παράδειγμα οι ρόλοι, καθώς και συγκεκριμένα αντικείμενα που ανήκουν σε κλάσεις, όπως για παράδειγμα συγκεκριμένα μέλη του προσωπικού, με γνωρίσματα όπως εξειδίκευση και μηνιαίος μισθός. Σε αυτήν την περίπτωση το εν λόγω αρχιτεκτονικό μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ένας οντολογικός γράφος γνώσης, που περιγράφει ένα μέρος της επιχειρησιακής λειτουργίας. Για την παρουσίαση του μοντέλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν οντολογικά formats (OWL, RDF) και η αποθήκευσή του μπορεί να γίνει σε βάση δεδομένων που υποστηρίζει τις αντίστοιχες δομές (graph type DB).

Η τροφοδότηση των οντοτήτων του μοντέλου με δεδομένα, για την ολοκλήρωση ενός λειτουργικού επιχειρησιακού DT, πραγματοποιείται με την χρήση ειδικών διεπαφών, μέσω της άντλησης δεδομένων από τα πληροφοριακά συστήματα της εταιρείας/Οργανισμού, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 18.).

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών



Σχήμα 18. Διαδικασία τροφοδότησης δεδομένων. [31]

Στην συνέχεια περιγράφεται η μεθοδολογία για την δημιουργία ενός επιχειρησιακού DT με την χρήση του οντολογικού μοντέλου.

Κύριο στοιχείο αποτελούν τα δεδομένα, τα οποία ενδέχεται να υπάρχουν τόσο σε ψηφιακή όσο και σε φυσική μορφή. Για την επιτυχία της υλοποίησης απαιτείται τα δεδομένα να αποθηκεύονται στην κατάλληλη μορφή και να χρησιμοποιούνται εντός των πληροφοριακών συστημάτων του Οργανισμού, ώστε να είναι δυνατή η διαρκής τροφοδότηση του DT. Σε διαφορετική περίπτωση πρέπει να προηγηθούν διαδικασίες ψηφιοποίησης, κάτι ιδιαίτερα περίπλοκο και χρονοβόρο.

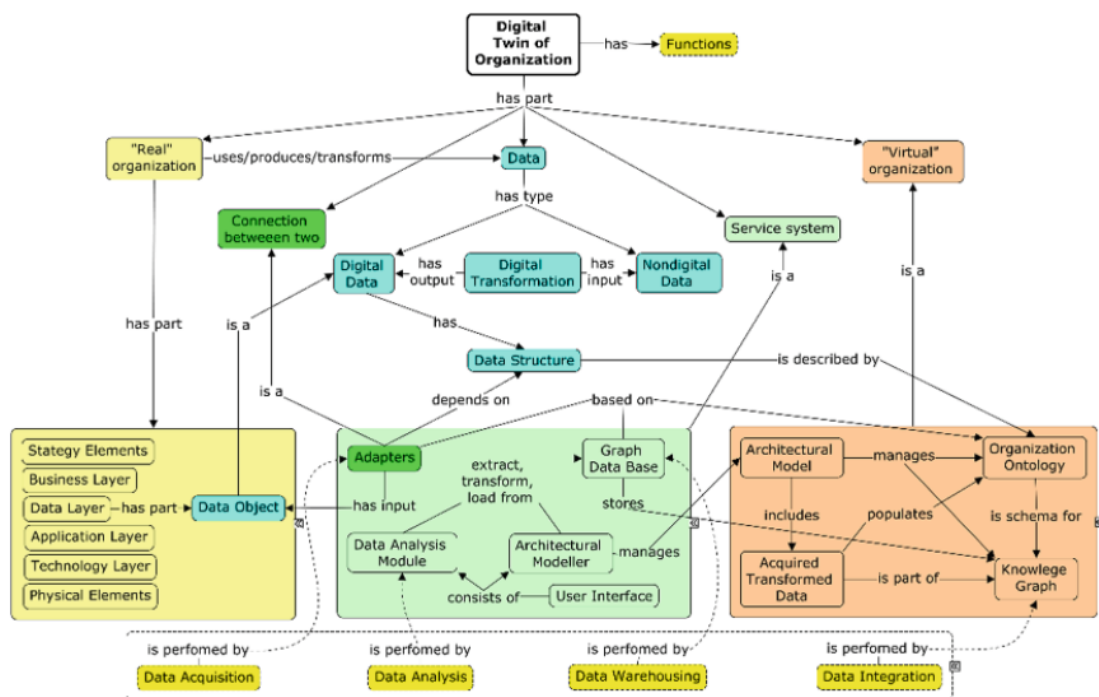
Το ψηφιακό δίδυμο υλοποιείται με την δημιουργία μιας επιχειρησιακής οντολογίας, η διαχείριση της οποίας γίνεται μέσω των κατάλληλων τροποποιήσεων στο επιχειρησιακό αρχιτεκτονικό μοντέλο που έχει χρησιμοποιηθεί. Μέσω της οντολογίας περιγράφεται πλήρως η δομή του πραγματικού Οργανισμού, ενώ ταυτόχρονα λειτουργεί

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

ως μήτρα για την δημιουργία του εταιρικού γράφου γνώσης, με την ενσωμάτωση των εταιρικών δεδομένων σε αυτήν.

Η διάδραση με το DT λαμβάνει χώρα μέσω user interface, το οποίο περιλαμβάνει τα κατάλληλα εργαλεία μοντελοποίησης για τον σχεδιασμό και την επικαιροποίηση των μοντέλων βάση των αναγκών, καθώς και τις απαιτούμενες μονάδες ανάλυσης και παρουσίασης των δεδομένων. Μέσω των δεύτερων, δίνεται η δυνατότητα εφαρμογής διάφορων μεθόδων υποστήριξης αποφάσεων, σε επίπεδο διοίκησης.

Τα κύρια σημεία της μεθοδολογίας για την δημιουργία ενός επιχειρησιακού DT ενσωματώνονται στο εννοιολογικό μοντέλο του παρακάτω σχήματος (Σχήμα 19.).



Σχήμα 19. Εννοιολογικό μοντέλο που παρουσιάζει την μεθοδολογία δημιουργίας ενός επιχειρησιακού DT [31]

4.2.5.3 Εναλλακτικές προσεγγίσεις

Μία εναλλακτική προσέγγιση για την δημιουργία ενός επιχειρησιακού DT με την χρήση σημασιολογικών μοντέλων, παρουσιάζεται στα πλαίσια της έρευνας “Semantic digital twins for organizational development” [37]. Μέσω της συγκεκριμένης μελέτης ενισχύεται η πεποίθηση ότι για την κάλυψη του συνόλου των επιχειρησιακών λειτουργιών ενός σύγχρονου Οργανισμού απαιτούνται πολύπλοκες και εξελικτικές λύσεις, οι οποίες δεν παρέχονται μέσω των παραδοσιακών εργαλειοθηκών και εφαρμογών λογισμικού. Η ψηφιοποίηση, ο ψηφιακός μετασχηματισμός και τα επιχειρησιακά DTs είναι συνυφασμένες έννοιες οι οποίες μας φέρνουν αντιμέτωπους με την πρόκληση της ανάπτυξης ενιαίων πλατφορμών, διαμορφωμένων με την χρήση σημασιολογικής μοντελοποίησης για την πλήρη ψηφιακή απεικόνιση πολύπτυχων επιχειρησιακών δομών. Οι πλατφόρμες αυτές δεν αποτελούν μία ακόμα εφαρμογή η οποία έρχεται να προστεθεί στις ήδη υπάρχουσες, αλλά μια κλάση μετά-εφαρμογών η οποία μπορεί να αποτυπώσει διαφορετικές οπτικές της πραγματικότητας και να εξελιχθεί με ταχείς ρυθμούς, μέσω της αλληλεπίδρασης με πραγματικά αντικείμενα, ανθρώπους και τεχνολογίες. Μια τέτοιου είδους επικοινωνία μεταξύ ενός DT και του φυσικού συστήματος είναι διαλεκτική, με την κάθε πλευρά να επιφέρει αλλαγές στην άλλη, στην αναζήτηση της ιδανικής ισορροπίας προς όφελος των επιχειρησιακών λειτουργιών.

Μία ακόμα προσπάθεια για τον ορισμό του επιχειρησιακού DT με την χρήση σημασιολογικής μοντελοποίησης, αποτυπώνεται στα πλαίσια της έρευνας “Digital Twins of an Organization for Enterprise Modeling” [38]. Για την δημιουργία του DT μιας επιχείρησης/Οργανισμού προτείνεται η αυτοματοποιημένη άντληση γνώσης από τα υπάρχοντα διαγραμματικά επιχειρησιακά μοντέλα. Για την επίτευξη κάλυψης διαφορετικών σεναρίων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και για την ευρύτερη εφαρμογή επί του συνόλου των επιχειρησιακών αναγκών, το ψηφιακό δίδυμο καλείται να αξιοποιήσει τις υπάρχουσες σημασιολογικές δομές. Ο στόχος μιας τέτοιας υλοποίησης είναι ο συνδυασμός της επιχειρησιακής μοντελοποίησης με τις διαρκώς μεταβαλλόμενες επιχειρησιακές λειτουργικές ανάγκες, προς ενίσχυση της ευελιξίας και της ανταγωνιστικότητας της επιχείρησης.

4.2.6 Ανάπτυξη και υποστήριξη DTs διεργασιών

Τα αυτόνομα IoT και ρομποτικά συστήματα υιοθετούνται ολοένα και περισσότερο σε διάφορους επιχειρησιακούς τομείς. Μέσω της χρήσης τους αυξάνεται η παραγωγικότητα λόγω αυτοματοποίησης, βελτιώνεται η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών μέσω της εξάλειψης του παράγοντα του ανθρώπινου λάθους και διευρύνονται εν γένει τα επίπεδα ψηφιοποίησης των εργασιακών δραστηριοτήτων. Η ανάλυση και ερμηνεία της συμπεριφοράς αυτόνομων συστημάτων στα οποία λαμβάνουν χώρα πολύπλοκες διεργασίες με την συμμετοχή πολλαπλών οντοτήτων (μηχανήματα/συσκευές, πληροφοριακά συστήματα κ.α.), όπως επίσης και η παρακολούθηση της κατάστασης λειτουργίας τους, αποδεικνύεται ιδιαίτερα δύσκολη και δε καλύπτεται από τις παραδοσιακές πρακτικές στο τομέα της προσομοίωσης. Για την λύση του παραπάνω προβλήματος, προτείνεται μια νέα προσέγγιση που συνδυάζει την προσομοίωση με την ψηφιακή οπτικοποίηση και αναπαράσταση της συστημικής συμπεριφοράς στα πλαίσια μιας υλοποίησης Digital Process Twin (DPT), το οποίο λαμβάνει δεδομένα από τον πραγματικό κόσμο και παρέχει υψηλή εποπτεία και δυνατότητες διαχείρισης καθ' όλα τα στάδια εκτέλεσης της εκάστοτε διεργασίας, καθώς και μέσω καταγραφής και ανάλυσης της πληροφορίας που προκύπτει κατά τις φάσεις εκτέλεσης, είναι σε θέση να προτείνει βελτιστοποιήσεις επί των υπαρχόντων μοντέλων. Τα οφέλη της προσέγγισης αυτής επιδεικνύονται μέσω εφαρμογής σε ένα αυτόνομο ρομποτικό σύστημα.

4.2.6.1 Μεθοδολογία

Η παρούσα έρευνα προτείνει μία καινοτόμο προσέγγιση ως προς την υλοποίηση και χρήση ψηφιακών διδύμων διεργασιών αυτόνομων συστημάτων, βασιζόμενη σε τρία εργαλεία: α) Διαγράμματα BPMN (Business Process Model and Notation), β) Το λογισμικό MIDA (Multiple Instances and Data Animator) και γ) Το εργαλείο προσομοίωσης Gazebo. Οι λειτουργικότητες των τριών αυτών εργαλείων ενοποιούνται σε ένα κοινό interface για την προσομοίωση και διαχείριση της συμπεριφοράς των αυτόνομων

συστημάτων. Ως σημείο αναφοράς λαμβάνεται το πιο διαδεδομένο framework για την ανάπτυξη αυτόνομων συστημάτων ROS (Robot Operation System) [39], ως ένα πλήρως υλοποιημένο σύστημα σε λειτουργία.

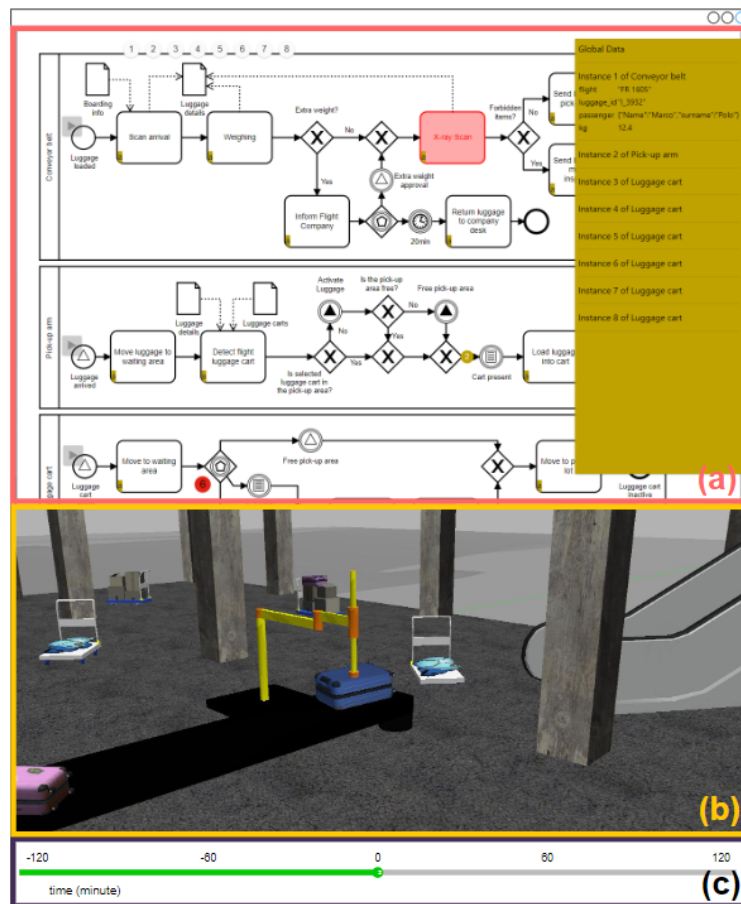
Για την αναπαράσταση του D.P.T. χρησιμοποιούνται τα collaboration diagrams του BPMN. Το BPMN είναι ένα σημειογραφικό στάνταρ διαχείρισης αντικειμένων, το οποίο παρέχει διαφόρων ειδών διαγράμματα για την μοντελοποίηση των επιχειρησιακών διεργασιών. Ένα από τα είδη αυτά, τα collaboration diagrams, αναπαριστούν σε ένα ενιαίο μοντέλο διαφορετικές οπτικές ενός συστήματος, όπως η διαχείριση ροής, η επικοινωνία και η διαχείριση των δεδομένων. Η σημειογραφία εκτέλεσης μιας διεργασίας με την χρήση του BPMN, βασίζεται στην ιδέα μιας μάρκας (token) η οποία διατρέχει την διεργασία από τον κόμβο εκκίνησης προς τον κόμβο πέρατος, όπου και καταργείται κατά την ολοκλήρωση, ενεργοποιώντας την εκτέλεση των μερών της διεργασίας στους κόμβους που επισκέπτεται.

Το μέρος της προσομοίωσης καλύπτεται με την χρήση του λογισμικού MIDA, το οποίο επιδεικνύει την κατάσταση εκτέλεσης μιας διεργασίας πάνω στα διαγράμματα BPMN, παρέχοντας ακριβή κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος. Η εξελικτική πορεία αποτυπώνεται μέσω της ροής της μάρκας, των τιμών που λαμβάνουν οι επιμέρους παράμετροι κατά τις φάσεις εκτέλεσης και των παραγόμενων μηνυμάτων. Τα δεδομένα της προσομοίωσης επαυξάνουν την κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος, ελέγχουν τα πιθανά αποτελέσματά των διεργασιών και βοηθούν στον αυτόματο εντοπισμό λαθών κατά την μοντελοποίηση, τα οποία επηρεάζουν την απόδοση.

Για την ολοκληρωμένη απεικόνιση του συστήματος χρησιμοποιείται ο προσομοιωτής Gazebo, ο οποίος είναι το εργαλείο αναφοράς για τα αυτόνομα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί βάση του ROS. Επιτρέπει την ταχεία οπτικοποίηση δοκιμαστικών εκτελέσεων, σε ένα ρεαλιστικό και ασφαλές περιβάλλον. Σε συνδυασμό με την προσομοίωση που εκτελείται μέσω του MIDA, ολοκληρώνει την παρεχόμενη εικόνα όσον αφορά την γενικότερη συστημική συμπεριφορά και συγχρόνως οπτικοποιεί τις ενδιάμεσες καταστάσεις των εμπλεκόμενων μηχανημάτων/συσκευών.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των εργαλείων και του τρόπου με τον οποίο συνδυάζονται για την υλοποίηση του ψηφιακού διδύμου σε επίπεδο διεργασίας που εκτελείται εντός αυτόνομων συστημάτων, ορίζεται ένα στιγμιότυπο κατά την διάρκεια εκτέλεσης μιας διεργασίας και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 20.).



Σχήμα 20. Απεικόνιση στιγμιότυπου αναφοράς. [9]

Στο πάνω μέρος (a) παρατηρείται η αναπαράσταση της διεργασίας συνολικά και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων όπως έχουν προκύψει από το MIDA. Το αποτέλεσμα προκύπτει λαμβάνοντας το διάγραμμα BPMN όπως προκύπτει από την μοντελοποίηση της διεργασίας και αναπαράγοντας γραφικά πάνω σε αυτό τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ελεγχθεί η λειτουργική

κατάσταση και να καταγραφούν οι αποφάσεις σε συνδυασμό με τις συνθήκες κατά τις οποίες ελήφθησαν. Το κεντρικό μέρος (b) περιλαμβάνει ένα στιγμιότυπο οθόνης από το Gazebo, το οποίο απεικονίζει μια ρεαλιστική αναπαράσταση των μηχανημάτων/συσκευών εν δράση, δίνοντας έμφαση στην φυσική λειτουργία τους. Τέλος, στο κάτω μέρος (c) υπάρχει μία μπάρα η οποία επιτρέπει στον χρήστη να μετακινηθεί χρονικά εντός των προσομοιώσεων.

4.2.6.2 Περίπτωση χρήσης

Η περίπτωση χρήσης που μελετάτε αφορά ένα αυτόνομο σύστημα που διακινεί τις αποσκευές εντός ενός αεροδρομίου. Σε αυτό συμμετέχουν τριών ειδών αυτόνομες συσκευές. Ένας ιμάντας μεταφοράς, ένας βραχίονας περισυλλογής και κάποια καλάθια αποσκευών. Ακολουθώντας την προτεινόμενη μεθοδολογία, η αναπαράσταση βασίζεται σε ένα BPMN collaboration diagram, το οποίο απεικονίζεται στο πάνω μέρος του σχήματος 20. Βάση της διαδικασίας, η λειτουργία του ιμάντα μεταφοράς εκκινεί κατά την άφιξη των αποσκευών, με το σάρωση αυτών για την λήψη των απαιτούμενων πληροφοριών και το ζύγισμά τους. Σε περίπτωση υπέρβαρου, ειδοποιείται η αεροπορική εταιρία και καλείται να αποφασίσει εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος, για την έγκριση ή όχι του επιπλέον βάρους. Ανάλογα με την απόφαση, η αποσκευή παραμένει στον ιμάντα ή μεταφέρεται στα γραφεία της αεροπορικής εταιρίας. Στην συνέχεια ο ιμάντας σαρώνει τις αποσκευές ελέγχοντας για απαγορευμένα αντικείμενα. Σε περίπτωση συμμόρφωσης η αποσκευή προωθείται προς τον ειδικό βραχίονα ο οποίος λαμβάνει ενημέρωση προς περισυλλογή, διαφορετικά προωθείται προς επιθεώρηση από το προσωπικό. Κατόπιν ενεργοποίησης, ο βραχίονας είναι μετακινεί την αποσκευή στον χώρο αναμονής, προχωρώντας στον εντοπισμό του κατάλληλου καλαθιού προς φόρτωση της αποσκευής. Εάν το καλάθι είναι ήδη στο χώρο περισυλλογής, η αποσκευή φορτώνεται απευθείας, διαφορετικά ο βραχίονας ελέγχει αν ο χώρος περισυλλογής είναι ελεύθερος και ζητά από το καλάθι να τον προσεγγίσει. Το εκάστοτε καλάθι παραμένει στον χώρο περισυλλογής είτε μέχρι να γεμίσει βάση των προδιαγραφών, είτε μέχρι να φτάσει ο χρόνος

κατά τον οποίο έχει προγραμματιστεί η επιβίβαση των αποσκευών, είτε μέχρι ο βραχίονας να του ζητήσει να ελευθερώσει τον χώρο περισυλλογής.

Ανάλογα με τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν κατά την διάρκεια εκτέλεσης μια τέτοιας διεργασίας, η συμπεριφορά του συστήματος διαφέρει, καθιστώντας πολύπλοκη την εξαγωγή συμπερασμάτων για την έκβαση της εκάστοτε εκτέλεσης, όπως επίσης και τον εντοπισμό των γενεσιουργών αιτιών της τρέχουσας κατάστασης.

Στο πάνω μέρος τους σχήματος (a) παρατηρούνται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που έχουν προκύψει μέσω του MIDA με την χρήση μαρκών, οι κίτρινοι κύκλοι, οι οποίες διατρέχουν το μοντέλο ακολουθώντας την εκτέλεση της διεργασίας. Στην δεδομένη εκτέλεση λαμβάνουν μέρος ένας ιμάντας, ένας βραχίονας και έξι καλάθια αποσκευών. Στο δεξί πάνελ αποτυπώνονται οι τιμές που έχουν καταγράψει οι εν λειτουργία συσκευές, πχ. το όνομα του επιβάτη, ο αριθμός της πτήσης, το βάρος της αποσκευής κλπ. Μία επιπλέον λειτουργία του εργαλείου προσομοίωσης, είναι αυτή της αποσφαλμάτωσης σε επίπεδο εκτέλεσης. Κατά την προσομοίωση, τα προβληματικά σημεία σημαίνονται με κόκκινο, προς ανάλυση και αντιμετώπιση της εκάστοτε δυσλειτουργίας (πχ. στο σχήμα παρατηρείται ότι ο βραχίονας περισυλλογής αντιμετώπισε πρόβλημα κατά την πρώτη ανάθεση).

Στο κεντρικό μέρος του σχήματος (b) έχουμε την οπτικοποίηση μέσω του προσομοιωτή Gazebo, όπου κάθε μέρος του συστήματος έχει αποδοθεί όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά. Εκτός από την οπτική αναπαράσταση της τρέχουσας κατάστασης, η οπτικοποίηση δείχνει επίσης με ποιον τρόπο οι ρομποτικές συσκευές αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα η διεργασία. Το γεγονός αυτό επιτρέπει να αναγνωριστούν πιθανά προβλήματα κατά την φυσική ανάπτυξη του συστήματος.

Τέλος, η διαχείριση του χρόνου εκτέλεσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση της μπάρας στο κάτω μέρος του σχήματος (c). Μέσω αυτής είναι δυνατή η ανάλυση της κατάστασης του συστήματος πριν από την εμφάνιση κάποιου σφάλματος, όπως επίσης παρέχεται και η δυνατότητα μετάβασης σε μελλοντικό χρόνο, για την μελέτη των αποτελεσμάτων σε ορισμένα σενάρια προσομοίωσης.

4.2.7 Χρήση στοχαστικών δικτύων για την δημιουργία DTs διεργασιών

Σκοπός της μελέτης είναι η εξεύρεση λύσης στο πρόβλημα της διαχείρισης επιχειρησιακών δομών μεγάλης κλίμακας, με την χρήση μοντέλων προσομοίωσης υψηλής ακρίβειας, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για την πρόβλεψη κρίσιμων παραμέτρων που σχετίζονται με τις επιχειρησιακές διεργασίες, όπως η διάρκεια εκτέλεσης, οι πόροι που απαιτούνται, η ένταση κατανάλωσης πόρων κ.α.. Η προτεινόμενη αντιμετώπιση, περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός πρωτοτύπου DT σε επίπεδο επιχειρησιακής διεργασίας, για την υλοποίηση του οποίου χρησιμοποιείται η τεχνική πλατφόρμα BPMS ELMA. Για την πρόβλεψη των κρίσιμων δεικτών επί των διεργασιών, γίνεται χρήση της δομής και της αλγοριθμικής προσέγγισης των στοχαστικών δικτύων GERT. Κάθε ακμή στο δίκτυο σχετίζεται με μία φάση εκτέλεσης της διεργασίας και κάθε κόμβος με ένα γεγονός, μία δραστηριότητα ή μία αλληλεπίδραση με το εξωτερικό περιβάλλον. Για τον μετασχηματισμό του μοντέλου μιας διεργασίας στο ισοδύναμο δίκτυο GERT, καθώς και για τον υπολογισμό των τύπων κατανομών για τις κρίσιμες παραμέτρους, χρησιμοποιείται ειδικός αλγόριθμος. Η παραπάνω διάταξη υλοποιείται μέσα στην μονάδα μοντελοποίησης του DT και προσφέρει την δυνατότητα πρόβλεψης χωρίς την χρήση στατιστικών μοντέλων προσομοίωσης. Η διαρκής επικαιροποίηση του δικτύου GERT, του τύπου των κατανομών και των πιθανολογικών τιμών των παραμέτρων βάση των αλλαγών που προκύπτουν σε επίπεδο διεργασίας και βάση των δεδομένων που συλλέγονται από το DT, συμβάλουν στην υλοποίηση ενός προβλεπτικού μοντέλου μεγάλης ακρίβειας εντός του επιχειρησιακού ψηφιακού διδύμου.

4.2.7.1 Γενική μεθοδολογία

Η επιλογή χρήσης της τεχνικής GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) έναντι άλλων εναλλακτικών, πχ. PERT / CPM, έγκειται στο γεγονός ότι η χρήση της GERT ενδείκνυται για την ανάλυση επαναλαμβανόμενων δραστηριοτήτων,

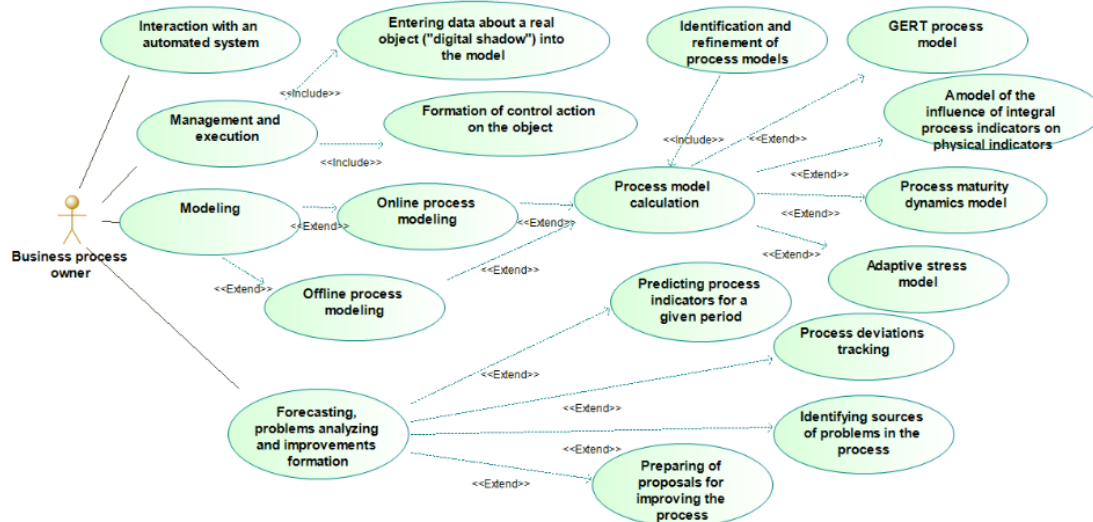
κάτι που συνάδει με την φύση των επιχειρησιακών διεργασιών. Η δυσκολία που συναντάται ακολουθώντας αυτήν την προσέγγιση, πηγάζει από την πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση ενός συστήματος μέσω GERT, ειδικότερα όταν πρόκειται για ένα ευρύ και πολυσύνθετο σύστημα.

Η προτεινόμενη προσέγγιση προσφέρει αυτόματη μεταφορά δεδομένων από τα σημεία καταχώρησης προς το επιχειρησιακό DT, καθώς και online αυτόματη αναπροσαρμογή των παραμέτρων της στοχαστικής προσομοίωσης των διεργασιών, μέσω GERT. Οι στόχοι προς επίτευξη είναι οι εξής:

- Online παρακολούθηση και διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών, εντοπισμός των παρεκκλίσεων στις παραμέτρους και του βαθμού επιφόρτισης ως προς την προσαρμογή σε νέες συνθήκες.
- Εντοπισμός αστοχιών και προβλημάτων σε επίπεδο business και ανάλυση των αιτιών τους.
- Ορισμός ενεργειών σε επίπεδο διοίκησης για την βελτιστοποίηση των διεργασιών (εξάλειψη παρεκκλίσεων, αντιμετώπιση κρίσεων, επένδυση πόρων για την αύξηση του επιπέδου ωριμότητας).
- Ορισμός προτάσεων για την ενίσχυση της διαφάνειας και την εξάλειψη του επιχειρησιακού ρίσκου που προκύπτει από αστοχίες κατά την εκτέλεση των διεργασιών.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

Οι λειτουργικές προδιαγραφές που προτείνονται, παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 21).



Σχήμα 21. Μοντέλο λειτουργικών προδιαγραφών για το DT μιας επιχειρησιακής διεργασίας (περίπτωση χρήσης σε SysML). [32]

Η πορεία που ακολουθείται ξεκινά από την τροφοδότηση του μοντέλου με δεδομένα από τα πραγματικά αντικείμενα και συστήματα. Στην συνέχεια λαμβάνει χώρα ο πλήρης ορισμός του μοντέλου με βάση τους επιχειρησιακούς όρους και την ωριμότητα που έχει επέλθει σε επίπεδο διεργασιών, με τελικό στάδιο την δυνατότητα πρόβλεψης καθοριστικών δεικτών για μια δεδομένη χρονική περίοδο, βάση ενός ισοδύναμου με την διεργασία στοχαστικού δικτύου GERT.

Στα πλαίσια της έρευνας ορίζεται ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να υλοποιηθούν όλες οι παραπάνω λειτουργίες (conceptual class models) εντός ενός επιχειρησιακού DT, καθώς και η δομή και η εσωτερική αρχιτεκτονική των βασικών λειτουργικών υποσυστημάτων αυτού (input, simulation, control and execution, executive interface).

Όσον αφορά την μοντελοποίηση των διεργασιών εντός του σχεδιαστικού εργαλείου ELMA, γίνεται χρήση των προτύπων του BPMN (Business Process Model and Notation). Ένα μοντέλο σε επίπεδο διεργασίας, αποτελεί τον αλγόριθμο μέσω του οποίου γίνεται η εκτέλεση αυτής. Στην διαγραμματική αναπαράσταση μιας διεργασίας λαμβάνουν χώρα γεγονότα/ενέργειες, οντότητες που εκτελούν τις ενέργειες αυτές, καθώς και ροές υλικών, εγγράφων ή άλλων αντικειμένων.

Όσον αφορά την χρήση της GERT, το δίκτυο που υλοποιείται αποτελεί ένα πιθανολογικό μοντέλο ενός συστήματος διακριτών γεγονότων, το οποίο με την καταγραφή των αποκλίσεων στις παραμέτρους κατά τον χρόνο εκτέλεσης, λειτουργεί προβλεπτικά σε σχέση με την έκβαση των διεργασιών. Η περιγραφή του δικτύου έχει την μορφή κατευθυνόμενου γράφου με βάρη. Οι καταστάσεις του συστήματος αποτυπώνονται ως κόμβοι και οι μεταβάσεις από την μία κατάσταση στην άλλη κατά την εκτέλεση, αποτυπώνονται ως κλαδιά (ακμές). Κατά την μετάβαση από ένα κόμβο σε κάποιον επόμενο, η ενεργοποίηση του κάθε κλαδιού λαμβάνει χώρα με συγκεκριμένη πιθανότητα. Αναπαριστώντας ένα μοντέλο διακριτών γεγονότων, οι μεταβάσεις αντιστοιχούν στην εκτέλεση συγκεκριμένων λειτουργιών, κάθε μία από τις οποίες συνοδεύεται από την αντίστοιχη πιθανότητα πραγματοποίησης.

4.2.7.2 Μεθοδολογία ανάπτυξης πρωτοτύπου

Η ανάπτυξη του πρωτοτύπου επιχειρησιακού DT βασίζεται στην μοντελοποίηση που έχει λάβει χώρα μέσω του ELMA. Η τοπολογία του μοντέλου σχετίζεται με την σημειογραφία της διαδικασίας βάση BPMN. Για την δημιουργία της ψηφιακής απεικόνισης, χρησιμοποιούνται ιστορικά στοιχεία και δεδομένα διαχείρισης που αφορούν τις διεργασίες και βρίσκονται αποθηκευμένα εντός του εργαλείου ELMA. Βάση αυτών των δεδομένων, καθίσταται δυνατό να υπολογιστούν στατιστικά όσον αφορά τους επιμέρους χρόνους των φάσεων καθώς και του συνολικού χρόνου εκτέλεσης των διεργασιών, όπως επίσης και στατιστικά όσον αφορά τις κρίσιμες παραμέτρους στις λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα (κόστος, απαιτούμενοι πόροι κλπ.).

Η συλλογή των στατιστικών στοιχείων, σε συνδυασμό με τα δεδομένα που προκύπτουν από το DT κατά τις τρέχουσες εκτελέσεις, βοηθούν στην συνεχή τροφοδότηση μοντέλων πρόβλεψης, η δημιουργία των οποίων βασίζεται στην GERT. Στην ακόλουθη παραπομπή αναλύεται ο αλγόριθμος μέσω του οποίου γίνεται ο μετασχηματισμός από ένα μοντέλο διακριτών γεγονότων που αποτυπώνει μια επιχειρησιακή διεργασία, στο ισοδύναμο δικτυακό μοντέλο GERT [40].

Μέσω των παραπάνω προβλεπτικών μοντέλων, εκτελούνται οι υπολογισμοί των πιθανοτήτων μεταξύ των διαφορετικών καταστάσεων στις οποίες μπορεί να περιέλθει το σύστημα κατά τις μελλοντικές εκτελέσεις διεργασιών, καθώς επίσης και προσδιορίζονται οι κατανομές πυκνότητας πιθανότητας σε σχέση με την στόχευση στους κρίσιμους δείκτες (διάρκεια, κόστος, ένταση κατανάλωσης πόρων).

4.2.8 Υλοποίηση επιχειρησιακών DTs με την χρήση παρεμβατικού Process Mining

Ένα ψηφιακό δίδυμο σε επίπεδο Οργανισμού (DTO), αποτελεί μια πιστή ψηφιακή αναπαράσταση των δομών και των λειτουργιών ενός Οργανισμού. Μια τέτοια υλοποίηση έχει ως κύριο στόχο την βελτιστοποίηση των επιχειρησιακών διεργασιών, μέσω της προσφοράς πλήρους εποπτείας κατά τον χρόνο εκτέλεσης και δυνατοτήτων αυτόματης παρέμβασης για την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων/ανωμαλιών.

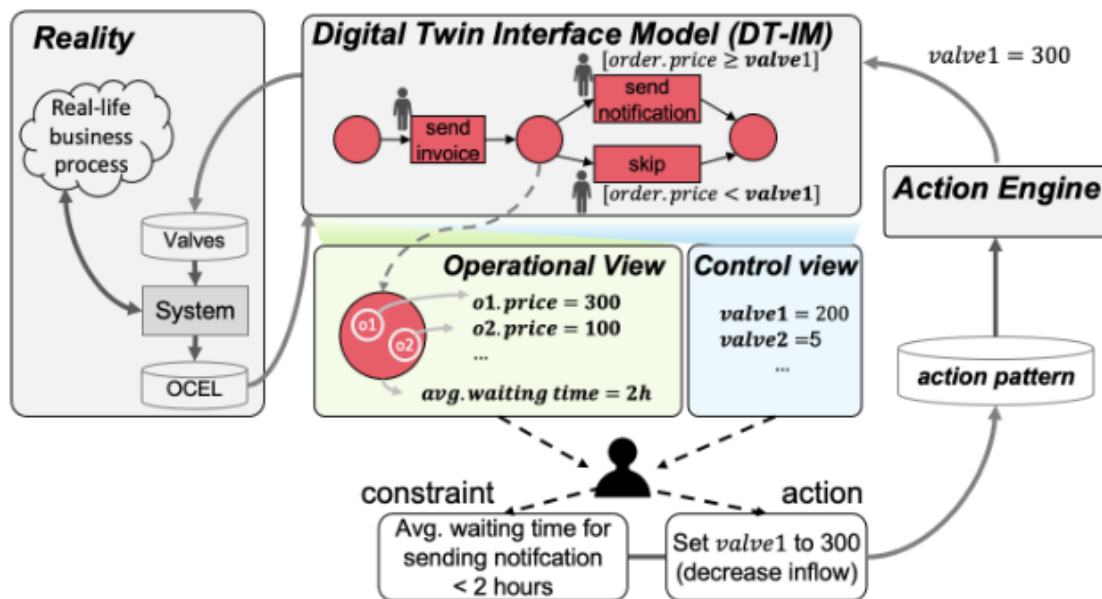
Η παρούσα έρευνα στοχεύει στην πραγμάτωση ενός τέτοιου συστήματος, με την χρήση μιας συλλογής παρεμβατικών τεχνικών process mining (άντληση δεδομένων σε επίπεδο εκτέλεσης διεργασίας, με στόχο τον έλεγχο και την βελτιστοποίησή της), μέσω των οποίων μπορούν να αξιολογηθούν οι αποκλίσεις από τα ιδεατά μοντέλα και οι παραβιάσεις σε επίπεδο περιορισμών, με ταυτόχρονη εφαρμογή των κατάλληλων δράσεων. Προς αυτήν την κατεύθυνση, προτείνεται ένα μοντέλο DTO το οποίο περιγράφει πλήρως την τρέχουσα εικόνα των επιχειρησιακών διεργασιών εντός ενός Οργανισμού, σε συνδυασμό με τα πληροφοριακά συστήματα που έχουν παραμετροποιηθεί κατάλληλα και

Βιβλιογραφική ανασκόπηση της τεχνολογίας των Digital Twins για τον επιχειρησιακό μετασχηματισμό και την διαχείριση των επιχειρησιακών διεργασιών

λαμβάνουν μέρος στην εκτέλεσή τους. Μέσω της αλληλεπίδρασης με ένα τέτοιο μοντέλο, οι αναλυτές του Οργανισμού θα έχουν την δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης και ελέγχου, όπως επίσης θα μπορούν να θέσουν σε λειτουργία αυτόματους παρεμβατικούς μηχανισμούς, οι οποίοι θα ενεργοποιούνται βάση κανόνων και θα λαμβάνουν τις απαιτούμενες διαχειριστικές αποφάσεις, τροποποιώντας καταλλήλως τις παραμέτρους στα συμμετέχοντα συστήματα.

4.2.8.1 Μεθοδολογία

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 22.), περιγράφεται με περισσότερη λεπτομέρεια η αρχιτεκτονική και ο τρόπος λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος.



Σχήμα 22. Γενική εικόνα της προσέγγισης του προτεινόμενου συστήματος. [33]

Για την φορμαλιστική αναπαράσταση των οντοτήτων και των μεταξύ τους σχέσεων στα πλαίσια της μοντελοποίησης του DT, χρησιμοποιούνται αντικειμενοκεντρικά

Εμμανουήλ Δημητριάδης 81

δίκτυα Petri. Τα δεδομένα που καταγράφονται κατά την εκτέλεση των διεργασιών στον πραγματικό κόσμο αποθηκεύονται σε κατάλληλα repositories (OCEL: Object-Centric Service Log) και τροφοδοτούν το DT εντός του οποίου υπάρχουν οι ψηφιακές αναπαραστάσεις των διεργασιών. Μια προβολή σε επίπεδο λειτουργίας (operational view) περιγράφει την τρέχουσα κατάσταση της διεργασίας, τις καταστάσεις στις οποίες βρίσκονται τα αντικείμενα και διαγνωστικά δεδομένα που αφορούν την συγκεκριμένη φάση εκτέλεσης. Η προβολή αυτή διατηρείται συνεχώς ενημερωμένη μέσω ροής δεδομένων από το DT. Συγχρόνως, μια προβολή ελέγχου (control view) περιγράφει την τρέχουσα παραμετροποίηση του συστήματος. Με βάση τις προβολές αυτές, αναπτύσσονται μοτίβα παρέμβασης από τους αναλυτές των διεργασιών, τα οποία ενεργοποιούν συγκεκριμένες δράσεις κατά την παρέκκλιση ορισμένων δεικτών από τα επιτρεπτά όρια. Αποτέλεσμα των δράσεων αυτών, είναι η ενημέρωση της παραμετροποίησης στο DT όπως απαιτείται. Οι όποιες αλλαγές, αφού εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης, διαβιβάζονται και στα πληροφοριακά συστήματα του Οργανισμού. Ακολουθεί αναλυτικότερη περιγραφή των μερών και του τρόπου λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος.

Βάση ορισμού και εφαρμογής στην συγκεκριμένη προσέγγιση, το δίκτυο Petri αποτελεί έναν κατευθυνόμενο γράφο με ενέργειες και μεταβάσεις ως κόμβους, με την ροή να αποτυπώνεται μέσω ακμών. Για να επεξηγηθεί η σημασιολογία του δικτύου, χρησιμοποιείται η έννοια της δέσμευσης (binding). Μέσω αυτής περιγράφεται η εκτέλεση μιας μετάβασης καταναλώνοντας πόρους από το σημείο ή τα σημεία εκκίνησης και παράγοντας πόρους για τα σημεία πέρατός της. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα αντικειμενοκεντρικά δίκτυα Petri μπορούν να αναζητηθούν μέσω της παραπομπής [41].

Μέσω του μοντέλου διεπαφής του DT, λαμβάνει χώρα η συμπεριφορική αναπαράσταση των διεργασιών με την χρήση των δικτύων Petri. Επιπροσθέτως, περιγράφονται οι κανόνες δρομολόγησης και κατανομής πόρων, με την χρήση ειδικών διακοπών οι οποίοι επεκτείνουν την σημασιολογική προσέγγιση των δικτύων Petri, επιτρέποντας ή όχι την μετάβαση μεταξύ καταστάσεων βάση επαλήθευσης ορισμένων συνθηκών. Η παραμετροποίηση στην οποία βασίζεται η λειτουργία των διακοπών

προέρχεται από τα πληροφοριακά συστήματα του Οργανισμού και μπορεί να αποτυπωθεί ως αριθμητικές τιμές, εύρη τιμών, λογικές συνθήκες, καθώς και ως συνδυασμοί, διαζεύξεις ή αρνήσεις των παραπάνω.

Με δεδομένη την μοντελοποίηση των διεργασιών στα πλαίσια του DT, γεννάται η ανάγκη για αποτύπωση της εκάστοτε τρέχουσας κατάστασης κατά την λειτουργία του συστήματος. Ο τρόπος για να επιτευχθεί αυτό, είναι μέσω σημάνσεων που καταδεικνύουν τα αντικείμενα που σχετίζονται με το μέρος της διαδικασίας που βρίσκεται σε ενεργή φάση εκτέλεσης, σε συνδυασμό με διαγνωστικά που περιγράφουν τις επιδόσεις της διεργασίας σε επίπεδο απόδοσης ή συμμόρφωσης, σε σχέση με προορισμένους δείκτες αναφοράς. Τα διαγνωστικά υπολογίζονται με την χρήση ανάλυσης δεδομένων, αντλώντας στατιστικά στοιχεία από παρελθοντικές εκτελέσεις διεργασιών, σε συνδυασμό με την διενέργεια αναλύσεων σε επίπεδο μοντέλων. Οι αλλαγές στην όψη της τρέχουσας κατάστασης, επέρχονται με βάση την συντελούμενη πρόοδο. Η εξέλιξη σε επίπεδο εκτέλεσης διεργασίας, λαμβάνει αρχικά χώρα στον πραγματικό κόσμο, σημαίνεται μέσω γεγονότων και μεταβιβάζεται στο μοντέλο διεπαφής του DT, το οποίο με την σειρά του ενεργοποιεί τις αντίστοιχες μεταβάσεις και ενημερώνει τις παραμέτρους που απεικονίζονται στην όψη της τρέχουσας κατάστασης.

Το μοντέλο διεπαφής του DT χρησιμοποιείται επίσης για την περιγραφή και αποτύπωση των ενεργών παραμέτρων / κανόνων λειτουργίας που σχετίζονται με την εκτέλεση της εκάστοτε διεργασίας. Μέσω της όψης ελέγχου παρουσιάζονται οι δείκτες που αφορούν το ενεργό μέρος της διεργασίας και σημαίνονται οι αποκλίσεις από την προεπιλεγμένη παραμετροποίηση, χωρίς να επιβάλλονται περιορισμοί σε λειτουργικό επίπεδο, καθώς η ύπαρξη αποκλίσεων είναι συχνό φαινόμενο σε ένα πραγματικό επιχειρησιακό περιβάλλον.

Με την αξιοποίηση των παραπάνω δύο τύπων διεπαφών, οι αναλυτές εντός του Οργανισμού είναι σε θέση να ορίσουν μοτίβα δράσεων για κάθε πιθανή παρέκκλιση από την προκαθορισμένη συμπεριφορά. Αυτά περιγράφουν την αυτοματοποιημένη εφαρμογή τροποποιήσεων, ως απάντηση σε επαναλαμβανόμενα προβλήματα κατά την εκτέλεση των

διεργασιών. Κάθε μοτίβο αποτελείται από έναν περιορισμό που ορίζει μια ανεπιθύμητη εξέλιξη επί της διεργασίας και μία αντίστοιχη ενέργεια προς διευθέτηση της κατάστασης.

Κάθε περιορισμός ορίζεται επί συγκεκριμένων διαγνωστικών, με την χρήση σχεσιακών ή/και λογικών τελεστών. Οι περιορισμοί κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον προσανατολισμό τους σε περιορισμούς συμμόρφωσης και απόδοσης. Οι πρώτοι αναφέρονται σε παράβαση συγκεκριμένων κανόνων κατά την εκτέλεση των διεργασιών, ενώ οι δεύτεροι αφορούν μη επιθυμητή απόδοση σε κάποιο σκέλος της διεργασίας, το οποίο καταγράφεται με την χρήση διάφορων μετρικών. Οι περιορισμοί συμμόρφωσης ενδέχεται να αναφέρονται σε δραστηριότητες που δεν έπρεπε να λάβουν χώρα στα πλαίσια εκτέλεσης μιας διεργασίας, είτε στην παράληψη δραστηριοτήτων που ήταν απαραίτητο να εκτελεστούν. Οι δε περιορισμοί απόδοσης ενδέχεται να αφορούν χρονισμούς κατά τα στάδια εκτέλεσης μιας διεργασίας, κατ' απόλυτο ή σχετικό τρόπο, είτε να μην σχετίζονται με χρονικές παραμέτρους. Οι περιορισμοί στο σύνολό τους ενδέχεται να είναι εφαρμοστέοι σε μια μεμονωμένη δραστηριότητα, είτε σε ένα σύνολο δραστηριοτήτων, πχ. στα πλαίσια μίας υποδιαδικασίας.

Όσον αφορά τις αυτοματοποιημένες διαχειριστικές παρεμβάσεις, συντελείται διαχωρισμός στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει την εφαρμογή ελέγχων σε συγκεκριμένες δραστηριότητες εντός των διεργασιών και επιτρέπει ή μπλοκάρει την εκτέλεσή τους. Η δεύτερη σχετίζεται με την δρομολόγηση των αντικειμένων και είτε εκτρέπει ορισμένα από την προκαθορισμένη πορεία, σε περίπτωση που στην διεργασία υπάρχουν παράλληλες εκτελεστικές οδοί, είτε ορίζει την εκτέλεση επιπρόσθετων δραστηριοτήτων για κάποια από τα αντικείμενα, ή την παράλειψη κάποιων από τις προκαθορισμένες αντίστοιχα. Η τρίτη ελέγχει και μεταβάλλει την κατανομή των πόρων, με βάση την κατηγοριοποίηση και τα γνωρίσματα της κάθε δραστηριότητας εντός των διεργασιών και τέλος η τέταρτη ελέγχει τον όγκο διεκπεραίωσης σε επίπεδο διεργασίας, αυξομειώνοντας τον αριθμό των στιγμιότυπων της διεργασίας που μπορούν να εκτελούνται ταυτόχρονα.

4.2.8.2 Υλοποίηση / Πρακτική εφαρμογή

Για την υποστήριξη του μοντέλου διεπαφής του DT καθώς και του μηχανισμού εφαρμογής των βελτιωτικών παρεμβάσεων, έχει αναπτυχθεί εξειδικευμένο cloud-based web service. Η υλοποίηση αποτελείται από τέσσερα κύρια δομικά στοιχεία: 1) Την κατασκευή των μοντέλων διεπαφών του DT, 2) Την δημιουργία μηχανισμού για την ενημέρωση κατάστασης επί των διεπαφών, 3) Την οπτικοποίηση των διεπαφών και 4) Την δημιουργία μηχανισμού για την αξιολόγηση των μοτίβων δράσης. Όλα τα μέρη της υπηρεσίας έχουν αναπτυχθεί με την μορφή πακέτων Python και στην συνέχεια ομαδοποιούνται σε έναν ενιαίο docker container. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η συμβατότητα του συγκεκριμένου framework με οποιαδήποτε πλατφόρμα. Στην βιβλιογραφία παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα παραπάνω, καθώς και παρατίθενται ο πηγαίος κώδικας και τα σχετικά συνοδευτικά εγχειρίδια. [42]

Για να αξιολογηθεί η εφαρμοσιμότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας, διενεργήθηκε μια μελέτη περίπτωσης με χρήση ενός τεχνητού πληροφοριακού συστήματος το οποίο υποστηρίζει μια διεργασία διαχείρισης παραγγελιοληψίας. Βάση των αποτελεσμάτων της μελέτης, το προτεινόμενο framework ήταν σε θέση να διατηρήσει την τιμή του προς παρακολούθηση κρίσιμου διαγνωστικού σε ένα εύρος αποδεκτών τιμών, συμβάλλοντας τα μέγιστα στην ομαλή εκτέλεση της διεργασίας κατ' επανάληψη, μέσα στο διάστημα κατά το οποίο έλαβε χώρα η μελέτη.

4.2.9 Λοιπές αναφορές και ερευνητικό έργο

Σε μία προσπάθεια τεκμηρίωσης των πλεονεκτημάτων της χρήσης της τεχνολογίας των DTs στην διαχείριση μεγάλων και σύνθετων μηχανικών, ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων, στο βιβλίο “Mechatronic Futures” και συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 5 με τίτλο “Digital twin-the simulation aspect” [43], η χρήση των ψηφιακών διδύμων παρουσιάζεται ως το επόμενο βήμα στην προσπάθεια διεύρυνσης της εφαρμογής και της αποτελεσματικότητας των παραδοσιακών μεθόδων προσομοίωσης. Καθώς η χρήση λογισμικού και κυρίως η δικτυακή επικοινωνία ωθεί προς την διασύνδεση των

συστημάτων και την ενοποίηση των διεπαφών τους, απαιτείται πολυεπίπεδη και σε πολλαπλούς τομείς προσομοίωση για τον σχεδιασμό και την επαλήθευσή ενός σύνθετου συστήματος. Επιπροσθέτως, τέτοιου είδους προσεγγίσεις απαιτείται να ενσωματωθούν στις φάσεις κατασκευής και ανάπτυξης των συστημάτων, ώστε να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίησή τους και κατά τις επόμενες φάσεις του κύκλου ζωής τους. Βάση λοιπόν των δύο αυτών αξόνων, αξιοποίηση σε βάθος χρόνου και ανάλυση σε πολλαπλά επίπεδα, η ύπαρξη ενός ενιαίου DT συμβάλει στην ταχύτερη έξοδο των προϊόντων ή των υπηρεσιών στην αγορά, προσφέρει μια κοινή διεπαφή για την πρόσβαση στα δεδομένα που προκύπτουν από διαφορετικά μοντέλα διατηρώντας τα συνεπή, συμβάλει στην βελτιστοποίηση σε επίπεδο λειτουργίας χωρίς να απαιτείται επανασχεδιασμός και διασυνδέει διαφορετικές αλυσίδες αξίας.

Στο ίδιο μήκος κύματος, μέσω της ακαδημαϊκής μελέτης “ Simulation in digital enterprises” [44], διερευνάτε η αξιοποίηση της τεχνολογίας των DTs στο επιχειρησιακό πεδίο, ως μέσο ολιστικής ψηφιακής αναπαράστασης της αλυσίδας αξίας. Η προσέγγιση βασίζεται στην πολυπλοκότητα και την διαφορετικότητα των σύγχρονων συστημάτων, σε επίπεδο διάταξης, παραμέτρων, διεργασιών και μηχανισμών ελέγχου, σε συνδυασμό με την ανάγκη συνυπολογισμού όλων των παραπάνω σε όλο το εύρος μιας αλυσίδας αξίας, για την λήψη των βέλτιστων επιχειρησιακών αποφάσεων. Απαιτούνται σύγχρονοι τρόποι επωφελούς χρησιμοποίησης των δεδομένων και των τεχνικών προσομοίωσης, σε όλες τις φάσεις και σε διαφορετικά επίπεδα σχεδιασμού και λειτουργίας, κάτι το οποίο μπορεί να καλυφθεί μέσω του concept των DTs, με χρήση της κατάλληλης αρχιτεκτονικής, παραμετροποίησης και χειρισμού, βάση των αναγκών του κλάδου εφαρμογής.

Εστιάζοντας στον βιομηχανικό κλάδο, η μελέτη “A digital twin based framework for detection, diagnosis, and improvement of throughput bottlenecks” [45], επικεντρώνεται στον εντοπισμό σημείων συμφόρησης και εξέτασης εναλλακτικών, μέσω της χρήσης ενός DT framework. Στα σύνθετα βιομηχανικά συστήματα, λόγω της αλληλεπίδρασης και αλληλεξάρτησης μεταξύ των κρίσιμων πόρων, για τον έγκαιρο εντοπισμό και την επίλυση θεμάτων διαθεσιμότητας σε επίπεδο πόρων και σωστού χρονοπρογραμματισμού, δεν αρκούν οι παραδοσιακές τεχνικές process mining και διαγνωστικού ελέγχου. Απαιτείται η

Εμμανουήλ Δημητριάδης 86

αξιοποίηση επιχειρησιακών δεδομένων πολλών επιπέδων, όπως από τον σχεδιασμό παραγωγής, την εκτέλεση των διεργασιών και την παρακολούθηση των πόρων. Τα δεδομένα αυτά, σε συνδυασμό με ένα ψηφιακό λειτουργικό αντίγραφο του ευρύτερου βιομηχανικού συστήματος, είναι σε θέση να παράξουν πολύτιμη πληροφορία σχετικά με τα προβληματικά σημεία στον κύκλο ζωής του συστήματος, καθώς και μέσω προσομοίωσης να προκύψουν εναλλακτικές για την επίλυση των προβλημάτων και την βελτιστοποίηση των διεργασιών.

5. Περιορισμοί και προκλήσεις στην εναρμόνιση με τις υπάρχουσες επιχειρησιακές δομές

5.1 Μορφή και επίπεδο ανάλυσης των μοντέλων

Η αναπαράσταση/μοντελοποίηση της ροής, των επιμέρους ενεργειών σε συνδυασμό με τις οντότητες που τις εκτελούν και του γενικότερου χρονισμού των επιμέρους φάσεων, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι κάθε προσέγγισης στον τομέα της διαχείρισης των επιχειρησιακών διεργασιών. Τα υπάρχοντα μοντέλα, που έχουν αναπτυχθεί είτε χειροκίνητα είτε με την χρήση εξειδικευμένων λογισμικών ανάλογα με το μέγεθος του κάθε Οργανισμού, την πολυπλοκότητα στην επιχειρησιακή του καθημερινότητα και τον βαθμό υιοθέτησης νέων εργαλειοθηκών και τεχνολογιών, υστερούν στην πλειοψηφία των περιπτώσεων σε δυνατότητες οπτικοποίησης της τρέχουσας κατάστασης κατά την εκτέλεση των διεργασιών, στην παραγωγή χωρικών δεδομένων και εξαγωγή συμπερασμάτων βάση αυτών, καθώς επίσης και στον συνδυασμό και την αξιοποίηση πληροφοριών από διαφορετικές διεργασίες, στην περίπτωση που συναντάται σημαντικός βαθμός συσχέτισης σε δύο ή περισσότερες από αυτές.

Η μετάβαση στην τεχνολογία των DTs απαιτεί αναπαράσταση των διεργασιών με την χρήση περισσότερων διαστάσεων, διαφορετικών επιπέδων ανάλυσης και υψηλότερο βαθμό ακρίβειας, προσφέροντας ρεαλιστική οπτικοποίηση κατά την διάρκεια όλων των φάσεων εκτέλεσης, όπως επίσης και μεγαλύτερη πιστότητα κατά την προσομοίωση. Για

τον λόγω αυτό, απαιτείται σημαντική προσπάθεια και χρήση πόρων, τόσο σε επίπεδο ανθρώπινου δυναμικού όσο και σε επίπεδο τεχνογνωσίας και συστημάτων, ώστε τα υπάρχοντα μοντέλα να μετασχηματιστούν σε ισοδύναμα, βάση των αναγκαίων χαρακτηριστικών που περιγράφει η εκάστοτε μεθοδολογία υλοποίησης ψηφιακών διδύμων. Κατά την μετάβαση σε επίπεδο μοντελοποίησης, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στην κατανόηση των χωρικών διαστάσεων και του τρόπου που αυτές επηρεάζουν την εκτέλεση της εκάστοτε διεργασίας, όπως επίσης και στην ορθότητα της οπτικής αναπαράστασης κατά την διάρκεια του κάθε σταδίου εκτέλεσης.

Για την αντιμετώπιση της σχετικής πρόκλησης και την μετάβαση στα απαιτούμενα μοντέλα προς αξιοποίηση από την τεχνολογία των DTs, ενδείκνυται η χρήση εργαλείων που μπορούν να παράξουν ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα και formats τα οποία έχουν την δυνατότητα αποθήκευσης χωρικών δεδομένων, όπως για παράδειγμα τα αρχεία CAD (Computer-Aided Design). Με τον τρόπο αυτό όχι μόνο θα εξασφαλιστούν οι απαιτούμενες προδιαγραφές, αλλά συγχρόνως θα απλοποιηθεί και θα επισπευσθεί σημαντικά η όλη διαδικασία.

5.2 Συμβατότητα με το επιχειρησιακό οικοσύστημα

Για την ενσωμάτωση μιας νέας τεχνολογίας, όπως αυτής των ψηφιακών διδύμων σε επίπεδο διεργασιών, στους κόλπους ενός δομημένου και λειτουργικού επιχειρησιακού οργανισμού, απαιτείται η εγκατάσταση νέων πλατφορμών και συστημάτων στην υπάρχουσα υλικοτεχνική υποδομή αυτού. Οι προσθήκες αυτές συνοδεύονται από συγκεκριμένες προδιαγραφές που προσδιορίζουν το περιβάλλον και τις μεθοδολογίες που πρέπει να ακολουθηθούν για την ορθή χρήση τους, ενώ ταυτόχρονα είναι απαραίτητο να ενσωματωθούν στην υπάρχουσα διάταξη. Το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η ομαλή ένταξή τους και η αρμονική συνεργασίας με τους λοιπούς διαθέσιμους πόρους (υλικούς, άυλους, ανθρώπινο δυναμικό), ενώ παράλληλα θα πρέπει να διασφαλιστεί η αδιάκοπη συνέχιση της λειτουργίας της επιχείρησης κατά την φάση της μετάβασης. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το παραπάνω είναι ιδιαίτερα δαπανηρό, τόσο σε χρόνο όσο και σε κόστος.

Προς αντιμετώπιση των προκλήσεων κατά την διαδικασία ενσωμάτωσης σε ένα περιβάλλον με μεγάλο πλήθος δεδομένων, συστημάτων και διεπαφών, ενδείκνυται σε πρώτη φάση η διασύνδεση του DT με το ERP του Οργανισμού, προς την επίτευξη ενός ομαλού διαμοιρασμού δεδομένων μεταξύ αυτού και των υπάρχοντων εταιρικών συστημάτων. Αυτό διασφαλίζει ότι η πληροφορία που συγκεντρώνεται και αναλύεται από το DT, αποτυπώνεται αυτόματα στο σύστημα ERP και αντίστροφα. Μέσω αυτής της ροής, το ψηφιακό δίδυμο αλληλοεπιδρά ευκολότερα με τις επιχειρησιακές διεργασίες, διατηρείται η ενότητα και η ακεραιότητα των εταιρικών δεδομένων και επιτυγχάνεται εξοικονόμηση σε χρόνο και πόρους.

5.3 Δομή και ποιότητα των δεδομένων

Για την αποτελεσματική αξιοποίηση ενός ψηφιακού διδύμου στον έλεγχο και στην βελτιστοποίηση των διεργασιών που εκτελούνται στα πλαίσια της λειτουργίας μίας επιχειρησιακής οντότητας, απαιτείται αφενός η ορθή και λεπτομερής μοντελοποίηση των διεργασιών με βάση την ροή, τα στάδια και τις επιμέρους ενέργειες που λαμβάνουν χώρα κατά την εκτέλεση τους στον πραγματικό κόσμο και αφετέρου η διαρκής διατήρηση της τρέχουσας εικόνας εκτέλεσης εντός του DT, μέσω της τροφοδότησής του με δεδομένα στην απαιτούμενη μορφή.

Στην ιδανική περίπτωση τα δεδομένα αυτά συλλέγονται αυτόματα και σε πραγματικό χρόνο από τα πληροφοριακά συστήματα που λαμβάνουν μέρος στην εκάστοτε διεργασία. Στην περίπτωση όμως όπου σε έναν Οργανισμό συναντάται χαμηλό επίπεδο ψηφιακού μετασχηματισμού, ενδέχεται μέρος των δεδομένων να μην μπορεί να αντληθεί αυτόματα και να απαιτείται είτε η χειροκίνητη καταχώρησή τους, είτε η ανάπτυξη νέων ειδικών διεπαφών για να επιτευχθεί η μεταφορά προς το DT. Όσον αφορά την χειροκίνητη καταχώρηση, το κόστος είναι αρκετά μεγάλο καθώς απαιτείται η ενασχόληση μέρους του ανθρώπινου δυναμικού της επιχείρησης, υπάρχει ο κίνδυνος εμφάνισης λαθών, κάτι που θα επηρεάσει την πιστότητα και τα αποτελέσματα της ψηφιακής διεργασίας, όπως επίσης παρατηρούνται και αντικειμενικές δυσκολίες στην διατήρηση του συγχρονισμού μεταξύ

φυσικής και ψηφιακής εκτέλεσης, λόγω καθυστερήσεων. Ακόμα όμως και όταν κάτι τέτοιο μπορεί να αποφευχθεί, το κόστος και οι απαιτήσεις για την δημιουργία ειδικών διεπαφών ως γέφυρες από και προς τα παραδοσιακά συστήματα, δυσχεραίνουν την υιοθέτηση των DTs και εισάγουν προαπαιτούμενα για την επίτευξη του μέγιστου δυνατού οφέλους από την χρήση τους.

Πέρα από την ύπαρξη των δεδομένων σε ψηφιακή μορφή και την δυνατότητα μεταφοράς τους προς το DT με αυτοματοποιημένο τρόπο, σημαντικό ρόλο παίζει η φύση και η μορφή της πρωτογενούς πληροφορίας. Ο βαθμός συμβολής της ψηφιακής μοντελοποίησης και εκτέλεσης των διεργασιών είναι ανάλογος με τον βαθμό ακρίβειας που θα επιτευχθεί κατά την προσομοίωση και συνεπώς απαιτούνται δεδομένα από διάφορα επίπεδα ανάλυσης, μορφοποιημένα κατάλληλα ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν άμεσα από τους μηχανισμούς εντός του DT.

Η διασφάλιση της ροής και της αξιοποίησης των δεδομένων προς την αντίστροφη κατεύθυνση είναι εξίσου σημαντική. Τα πληροφοριακά συστήματα πρέπει να παραμετροποιηθούν κατάλληλα ώστε να είναι σε θέση να λαμβάνουν σε πραγματικό χρόνο και να χρησιμοποιούν τα δεδομένα που τους αποστέλλονται από το DT. Σε πολλές περιπτώσεις μια τέτοια διαδικασία μπορεί να αποβεί αρκετά περίπλοκη, λόγω της ύπαρξης «κλειστών» συστημάτων, της ανάγκης υλοποίησης πρόσθετων μηχανισμών και διεπαφών, καθώς και νέων λειτουργικοτήτων για την ομαλή ενσωμάτωση των δεδομένων που προκύπτουν από την ψηφιακή προσομοίωση στις υπάρχουσες υποδομές και την αξιοποίησή τους στην βέλτιστη διαχείριση των διεργασιών.

5.4 Απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους και επεκτασιμότητα

Η υλοποίηση ενός DT για την ψηφιακή αναπαράσταση του συνόλου της επιχειρησιακής δομής και όλων των διεργασιών που εκτελούνται στα πλαίσια της λειτουργίας ενός Οργανισμού, προϋποθέτει την χρησιμοποίηση υπολογιστικών πόρων κατά κύριο λόγο σε αναλογία με το μέγεθος της επιχείρησης και την πολυπλοκότητα των δραστηριοτήτων της. Μέσων των πόρων αυτών επιτυγχάνεται η ψηφιακή προσομοίωση

και η διαρκής εκτέλεση των διεργασιών, διατηρούνται τα δεδομένα καθώς και δημιουργούνται διεπαφές για την ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ του ψηφιακού διδύμου και των πληροφοριακών συστημάτων του Οργανισμού, υλοποιούνται οι υπηρεσίες που προσφέρονται μέσω του DT όπως ανάλυση, αυτοματοποίηση, βελτιστοποίηση κ.α. Αφενός λοιπόν για την κάλυψη των αναγκών απαιτείται διαρκής διάθεση σημαντικής υπολογιστικής ισχύος και αφετέρου μια πιθανή επέκταση της εταιρείας που θα επιφέρει περισσότερες και ενδεχομένως πιο πολύπλοκες διεργασίες, καθώς και μεγαλύτερους όγκους δεδομένων και ανάγκες επικοινωνίας και διαμοιρασμού αυτών, θα οδηγήσει σε μεγάλα κόστη για την αναβάθμιση, υποστήριξη και διαχείριση του υπάρχοντος DT.

Μια πιθανή λύση στο πρόβλημα της κλιμάκωσης είναι η χρήση υπηρεσιών νέφους (cloud services), προσφέροντας ευκολία και ευελιξία στην χρήση των απαιτούμενων υπολογιστικών πόρων. Μέσω της αξιοποίησης τέτοιου είδους υπηρεσιών και υποδομών, η ανταπόκριση του συστήματος στις όποιες αλλαγές μεγέθους είναι άμεση, καθώς και αποφεύγεται η αγορά και συντήρηση επιπρόσθετου εξοπλισμού. Επίσης, οι υπηρεσίες νέφους συνοδεύονται από τα κατάλληλα εργαλεία για την αυτόματη παρακολούθηση και διαχείριση των χρησιμοποιούμενων πόρων, ώστε να διασφαλιστεί η σταθερότητα και η αποδοτικότητα του συστήματος στην περίπτωση αύξησης των αναγκών.

6. Συμπεράσματα και μελλοντικές προεκτάσεις

6.1 Συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα

Στην παρούσα βιβλιογραφική έρευνα έλαβε χώρα εκτενής ανάλυση της έννοιας των Ψηφιακών Διδύμων, αναζητήθηκαν οι τομείς εφαρμογής της εν λόγω τεχνολογίας, τα σημεία υπεροχής της και η προστιθέμενη αξία που προκύπτει από την χρήση της, καθώς και παρουσιάστηκαν προτεινόμενες μεθοδολογίες για την αξιοποίησή της στο πεδίο του επιχειρησιακού μετασχηματισμού και της παρακολούθησης/βελτιστοποίησης των διεργασιών που εκτελούνται στα πλαίσια της δραστηριότητας ενός Οργανισμού. Επιπροσθέτως έγινε αναφορά στις προκλήσεις που ενδέχεται να προκύψουν κατά την

προσπάθεια ενσωμάτωσής της στις υπάρχουσες επιχειρησιακές δομές και σε πιθανούς τρόπους αντιμετώπισης αυτών.

Βάσει της έρευνας στον τομέα της αποτύπωσης των δομών και της διαχείρισης των διεργασιών ενός Οργανισμού, η τεχνολογία των DTs αποτελεί μια μετεξέλιξη των παραδοσιακών τεχνικών και μεθοδολογιών μοντελοποίησης, σε συνδυασμό με την αξιοποίηση τεχνικών προσομοίωσης για την επαλήθευση της ευρυθμίας και της αποδοτικότητας των επιχειρησιακών ροών, σε συνθήκες όσο το δυνατόν πιο κοντά στο πραγματικό περιβάλλον δραστηριοποίησης.

Μέσω της ολιστικής προσέγγισης που προσφέρουν τα DTs, αποτυπώνονται καλύτερα τα αποτελέσματα από την διάδραση μεταξύ των διαφορετικών οντοτήτων σε επίπεδο Οργανισμού και όχι μόνο σε επίπεδο διεργασίας. Η διαχείριση της κατανομής των κρίσιμων πόρων πραγματοποιείται κεντρικά και η ροή καθώς και τα αποθέματα αυτών παρακολουθούνται και ελέγχονται στο σύνολό τους. Βάση των παραπάνω, τα δεδομένα που προκύπτουν μπορούν να οδηγήσουν με ταχύτερο και πιο ασφαλή τρόπο στην λήψη των απαιτούμενων αποφάσεων για την βελτιστοποίηση του συνόλου της επιχειρησιακής λειτουργίας.

Όσον αφορά τις μεταβολές που έχουν επέλθει στην φύση των διεργασιών, καθώς η πολυπλοκότητά τους αυξάνεται για να καλυφθούν οι στόχοι ανταγωνιστικότητας και αποδοτικότητας που τίθενται σε επιχειρησιακό επίπεδο, τα κλασσικά διαγραμματικά μοντέλα αδυνατούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις, όντας στατικά και με περιορισμένες δυνατότητες επεκτασιμότητας. Τα DTs είναι σε θέση να αναπαραστήσουν και να διαχειριστούν δυναμικά, σε ψηφιακό επίπεδο, τους πόρους, τις διαδικασίες και τα συστήματα που καλύπτουν τις εταιρικές δραστηριότητες στον πραγματικό κόσμο, συμβάλλοντας καταλυτικά στην αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας των διεργασιών και στην ικανότητα προσαρμογής ενός Οργανισμού σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, μέσω ανάλυσης των παραγόμενων δεδομένων και επικούρηση στην λήψη των αποφάσεων. Επιπροσθέτως, όπως παρατηρήθηκε σε ορισμένες περιπτώσεις χρήσεις που αναλύθηκαν, η χρήση ψηφιακών διδύμων στην αναπαράσταση διεργασιών προσφέρει καλύτερη κατανόηση των χωρικών διαστάσεων και του τρόπου που αυτές επηρεάζουν την

Εμμανουήλ Δημητριάδης

εκτέλεση της εκάστοτε διεργασίας. Η οπτική αναπαράσταση που προσφέρεται προσθέτει ένα επιπλέον επίπεδο ελέγχου στην ορθότητα του σχεδιασμού και βοηθά στον εντοπισμό ανωμαλιών κατά την αλληλεπίδραση των διάφορων οντοτήτων που συμμετέχουν στο σύστημα.

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι και το κομμάτι της διάδρασης/ανταλλαγής πληροφορίας μεταξύ των δυναμικών μοντέλων που υλοποιούνται μέσω της χρήσης Ψηφιακών Διδύμων και των πληροφοριακών συστημάτων που υποστηρίζουν τις επιχειρησιακές λειτουργίες. Μέσω της ανταλλαγής πληροφορίας σε πραγματικό χρόνο κατά την διάρκεια εκτέλεσης των διεργασιών, αφενός αξιοποιούνται τα ιστορικά δεδομένα από παρελθοντικές εκτελέσεις και εστιάζουν την προσοχή σε σημεία όπου απαιτείται πιο λεπτομερής έλεγχος και ενδέχεται να απαιτηθούν παρεμβάσεις και αφετέρου διατηρούν τα δίδυμα, φυσική εκτέλεση διεργασίας-ψηφιακή εκτέλεση διεργασίας, σε απόλυτο συγχρονισμό. Βάση αυτής της ιδιότητας, αναβαθμίζεται η πιστότητα και η αποτελεσματικότητα της ψηφιακή προσομοίωσης η οποία προσαρμόζεται άμεσα στις συνθήκες και στα δεδομένα που προκύπτουν από την φυσική εκτέλεση μιας διεργασίας, ενώ συγχρόνως το ψηφιακό δίδυμο είναι σε θέση να προσφέρει υποβοήθηση στην λήψη των αποφάσεων ή ακόμα και πλήρη αυτοματοποίηση, όπως προτείνεται στην μέθοδο που αναλύεται στην ενότητα 3.2.8.

Μέσω των μεθοδολογιών και των περιπτώσεων χρήσης που αναλύθηκαν, προκύπτει ότι η υιοθέτηση της τεχνολογίας των DTs ως μέρος της διαχείρισης των λειτουργιών ενός Οργανισμού, πέρα από την άμεση συμβολή της στην βελτιστοποίηση των διεργασιών και στην λήψη των αποφάσεων, μπορεί να συνεισφέρει και σε άλλους τομείς που σχετίζονται με την επιχειρησιακή δραστηριότητα. Τα DTs προσφέρουν ένα διαδραστικό, εικονικό περιβάλλον όπου το σύνολο του ανθρώπινου δυναμικού μιας επιχείρησης μπορεί να δουλέψει ομαδικά και απρόσκοπτα. Αποτελούν μια πλατφόρμα που ευνοεί τον διαμοιρασμό και την ανάπτυξη σε επίπεδο σχεδιασμού, ιδεών και γνώσης, σε πραγματικό χρόνο. Τα ψηφιακά μοντέλα παρέχουν άμεση και συνεχή πρόσβαση στην διαθέσιμη πληροφορία, κάτι που μειώνει την ανάγκη για εκτέλεση επιπρόσθετων μη αυτόματων ενεργειών και συμβάλει στην μείωση του εργασιακού φόρτου των στελεχών. Η ξεχωριστή ιδιότητα που έχουν στην διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων πληροφορίας σε

Εμμανουήλ Δημητριάδης 93

όλη την έκταση των δραστηριοτήτων, προσφέρει γνώση για τον τρόπο λειτουργίας του συνολικού οικοσυστήματος, καταδεικνύει κρίσιμα ζητήματα και δίνει την δυνατότητα προληπτικής αντιμετώπισης στο σύνολο των χρηστών/εργαζομένων, δημιουργώντας ένα περιβάλλον συνεργασίας καθ' υπέρβαση των παραδοσιακών ορίων. Σε κάποιες περιπτώσεις μάλιστα η σχετική κάλυψη μπορεί να γίνει ακόμα πιο ευρεία, όταν ένα ψηφιακό δίδυμο χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση της λειτουργίας του συνόλου της αλυσίδας αξίας σε σχέση με ένα προϊόν ή μία υπηρεσία. Μέσω μιας τέτοιας εφαρμογής επιτυγχάνεται ο βέλτιστος δυνατός συντονισμός στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ μιας επιχείρησης και του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο δραστηριοποιείται (προμηθευτές, συνεργάτες, πελάτες κλπ.), με επιπρόσθετη συμβολή στην αποδοτικότητα και την κερδοφορία της.

6.2 Μελλοντικές προεκτάσεις της χρήσης των Digital Twins στο επιχειρησιακό πεδίο

Η ιδιότητα των Ψηφιακών Διδύμων να λαμβάνουν και να αναλύουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο κατά την εκτέλεση των διεργασιών, σε συνδυασμό με την πρόσβαση σε αντίστοιχα δεδομένα παρελθοντικών εκτελέσεων μέσω της διασύνδεσης με τα πληροφοριακά συστήματα και τις βάσεις δεδομένων που υποστηρίζουν την δραστηριότητα ενός Οργανισμού, συμβάλει καθοριστικά στην λήψη των αποφάσεων. Όπως είδαμε στα πλαίσια της έρευνας, στο συγκεκριμένο σκέλος προτείνονται μηχανισμοί αυτοματοποίησης, για την επιτάχυνση των διαδικασιών και την διασφάλιση της ορθότητας των αποφάσεων, με μία προσέγγιση που στηρίζεται κατά κύριο λόγο στην ανάλυση δεδομένων. Βάση αυτής της λογικής, η διαλειτουργικότητα μιας υλοποίησης DT με ένα LLM (large language model) θα μπορούσε να πολλαπλασιάσει τις δυνατότητες ανάλυσης, τον βαθμό αυτοματοποίησης, όπως και τα οφέλη στον τομέα της λήψης των κρίσιμων αποφάσεων που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την έκβαση και την απόδοση των επιχειρησιακών λειτουργιών. Οι κατάλληλοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης θα

μπορούσαν είτε να ενσωματωθούν μέσα στο ίδιο το DT και να αξιοποιούνται από αυτό με την μορφή υπηρεσίας κατ' απαίτηση, είτε να αποτελέσουν μέρος ενός ξεχωριστού συστήματος, το οποίο θα τροφοδοτεί το DT με τις κατάλληλα δεδομένα, όταν και όπου αυτό απαιτείται. Για να μπορέσει ένα τέτοιο σύστημα μηχανικής μάθησης να αποδώσει, θα πρέπει να έχει πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα που προκύπτουν κατά την ψηφιακή εκτέλεση των διεργασιών σε πραγματικό χρόνο, όπως επίσης και στα ιστορικά δεδομένα από παρελθοντικές εκτελέσεις και στις παραμέτρους βάση των οποίων αυτές έχουν πραγματοποιηθεί. Απαιτείται συνεπώς η άρρηκτη διασύνδεσή του με το DT (στην περίπτωση που δεν αποτελεί μέρος αυτού) και η ύπαρξη των κατάλληλων διεπαφών αμφίδρομης επικοινωνίας και ανταλλαγής πληροφορίας, όπως επίσης και οι αντίστοιχες υποδομές για επικοινωνία με τα λοιπά πληροφοριακά συστήματα και τις βάσεις δεδομένων. Με την προσθήκη αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, τα DTs αποκτούν την δυνατότητα να αναλύουν μεγαλύτερο όγκο πιο σύνθετων δεδομένων και να προσφέρουν ταχύτερα και ακριβέστερα αποτελέσματα, ακόμα και σε πολύ μεγάλη κλίμακα. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται σημαντικά ο βαθμός αυτοματοποίησης κατά την εκτέλεση των διεργασιών όπως και η αποδοτικότητά τους και επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό εξοικονόμηση σε ανθρώπινους πόρους.

Στην μετεξέλιξη και διεύρυνση του πεδίου εφαρμογής της τεχνολογίας των DTs συμβάλλουν πρωτοβουλίες που προάγουν την διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών υλοποιήσεων Ψηφιακών Διδύμων, επιτρέποντας την συνεργασία και την κάλυψη διεταιρικών διεργασιών μέσα σε ένα ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον προσομοίωσης. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται μέσω συμφωνίας των διαφόρων προμηθευτών συστημάτων DTs στην χρήση κοινών προτύπων και στην συνέχεια μέσω σύναψης συμφώνου συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών Οργανισμών για την από κοινού χρήση του ενιαίου συστήματος που προκύπτει από την διασύνδεση των διαφορετικών υλοποιήσεων. Μία εφαρμογή με βάση αυτές τις προδιαγραφές έχει εξόχως ευεργετικά αποτελέσματα σε περιπτώσεις όπου ο συντονισμός και ο σωστός χρονοπρογραμματισμός παίζουν κύριο ρόλο στην επιτυχή ολοκλήρωση μιας διεργασίας ή μιας αλυσίδας διεργασιών με κοινή αφετηρία και στόχευση. Για παράδειγμα, η ψηφιακή αποτύπωση και η διαχείριση του συνόλου των

Εμμανουήλ Δημητριάδης

δραστηριοτήτων που εκτελούνται κατά μήκος μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με την χρήση ενός κυκλώματος ψηφιακών διδύμων, μέσω του οποίου παρακολουθούνται και ελέγχονται σε πραγματικό χρόνο όλες οι ενέργειες που λαμβάνουν χώρα στον φυσικό κόσμο. Σε ένα τυπικό και απλουστευμένο σενάριο κατασκευής και διάθεσης προϊόντων μέσω λιανικής πώλησης, η χρήση ενός κυκλώματος από D.T διασφαλίζει ότι οι πρώτες ύλες θα φτάσουν από τους προμηθευτές στην εταιρεία μεταποίησης ακριβώς την ώρα που πρόκειται να γίνει η χρήση τους, χωρίς να υπάρχουν ελλείψεις ή να απαιτείται η αποθήκευση πλεονάζοντος αποθέματος, όπως επίσης και ότι η διανομή των τελικών προϊόντων προς τα καταστήματα πώλησης θα πραγματοποιείται με αντίστοιχο τρόπο. Συνεπώς τα πλεονεκτήματα και η προστιθέμενη αξία από την αξιοποίηση της τεχνολογίας των DTs υπερβαίνουν τα στενά όρια ενός Οργανισμού και αναβαθμίζουν την αποτελεσματικότητα των διεργασιών σε όλο το εύρος μιας αλυσίδας αξίας.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- [1] Eddie Smolyansky, “Announcing Connected Papers — a visual tool for researchers to find and explore academic papers | by Eddie Smolyansky | Connected Papers | Medium.” Available: <https://medium.com/connectedpapers/announcing-connected-papers-a-visual-tool-for-researchers-to-find-and-explore-academic-papers-89146a54c7d4>
- [2] M. Attaran and B. G. Celik, “Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities,” *Decision Analytics Journal*, vol. 6, p. 100165, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.DAJOUR.2023.100165.
- [3] M. Singh, E. Fuenmayor, E. Hinchy, Y. Qiao, N. Murray, and D. Devine, “Digital Twin: Origin to Future,” *Applied System Innovation*, vol. 4, no. 2, p. 36, May 2021, doi: 10.3390/asi4020036.
- [4] W. Hu, T. Zhang, X. Deng, Z. Liu, and J. Tan, “Digital twin: a state-of-the-art review of its enabling technologies, applications and challenges,” *Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment*, vol. 2, no. 1, pp. 1–34, 2021, doi: 10.1108/JIMSE-12-2020-010.
- [5] E. Glaessgen and D. Stargel, “The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles,” in *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, Apr. 2012. doi: 10.2514/6.2012-1818.
- [6] Parrott Aaron and Warshaw Lane, “Industry 4.0 and the digital twin technology | Deloitte Insights,” *Deloitte University Press*. Available: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>
- [7] Song, Boyang, Tao, Fei, Sui, Fangyuan, Liu, Ang, Qi, Qinglin, Zhang, Meng, Guo, Zirong, C-Y Lu, Stephen, C Nee, A Y, “Digital twin-driven product design framework,” *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 12, pp. 3935–3953, 2019, doi: 10.1080/00207543.2018.1443229.
- [8] R. Stark and T. Damerau, “Digital Twin,” *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1007/978-3-642-35950-7_16870-1.

- [9] F. Corradini, S. Pettinari, B. Re, L. Rossi, and F. Tiezzi, “An Approach to Support Digital Process Twin,” in Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, International Conference on Pervasive Intelligence and Computing, International Conference on Cloud and Big Data Computing, International Conference on Cy, 2022. doi: 10.1109/DASC/PiCom/CBDCCom/Cy55231.2022.9927841.
- [10] B. Caesar, A. Hänel, E. Wenkler, C. Corinth, S. Ihlenfeldt, and A. Fay, “Information Model of a Digital Process Twin for Machining Processes,” IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, vol. 2020-September, pp. 1765–1772, Sep. 2020, doi: 10.1109/ETFA46521.2020.9212085.
- [11] F. Bordeleau, B. Combemale, R. Eramo, M. van den Brand, and M. Wimmer, “Towards Model-Driven Digital Twin Engineering: Current Opportunities and Future Challenges,” Communications in Computer and Information Science, vol. 1262 CCIS, pp. 43–54, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-58167-1_4/COVER.
- [12] Alexandros Koulouris, Nikiforos Misailidis, and Demetri Petrides, “Applications of process and digital twin models for production simulation and scheduling in the manufacturing of food ingredients and products,” Food and Bioproducts Processing, vol. 126, pp. 317–333, 2021, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308521000183>
- [13] “Gartners Top 10 Technology Trends 2017,” Conference Report. Available: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017>
- [14] “Digital Twin Market Size & Forecast to 2027,” Market Research Report. Available: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html>
- [15] A. Fuller, S. Member, Z. Fan, C. Day, and C. Barlow, “Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research,” IEEE Access, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2998358.
- [16] L. Wright and S. Davidson, “How to tell the difference between a model and a digital twin,” Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences vol. 7, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s40323-020-00147-4.
- [17] F. Tao and M. Zhang, “Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing,” IEEE Access, vol. 5, pp. 20418–20427, Sep. 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2756069.
- [18] C. Zhang, W. Xu, J. Liu, Z. Liu, Z. Zhou, and D. T. Pham, “A Reconfigurable Modeling Approach for Digital Twin-based Manufacturing System,” Procedia CIRP, vol. 83, pp. 118–125, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.PROCIR.2019.03.141.
- [19] R. Parmar, A. Leiponen, and L. D. W. Thomas, “Building an organizational digital twin,” Bus Horiz, vol. 63, no. 6, pp. 725–736, 2020, doi: 10.1016/j.bushor.2020.08.001.
- [20] J. Wang, L. Ye, R. X. Gao, C. Li, and L. Zhang, “Digital Twin for rotating machinery fault diagnosis in smart manufacturing,” International Journal of Production Research, vol. 57, no. 12, pp. 3920–3934, Jun. 2019, doi: 10.1080/00207543.2018.1552032.
- [21] F. Tao, M. Zhang, Y. Liu, and A. Y. C. Nee, “Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment,” 2018, doi: 10.1016/j.cirp.2018.04.055.
- [22] Song, Boyang, Tao, Fei, Sui, Fangyuan, Liu, Ang, Qi, Qinglin, Zhang, Meng, Guo, Zirong, C-Y Lu, Stephen, C Nee, A Y, “Digital twin-driven product design framework,” International Journal of Production Research, 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1443229.
- [23] M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, and H. A. Reijers, Fundamentals of business process management: Second Edition. 2018. doi: 10.1007/978-3-662-56509-4.
- [24] J. Mendling, M. Dumas, M. La Rosa, and H. A. Reijers, Structuring Business Process Management. 2019. doi: 10.1007/978-3-030-06234-7_19.
- [25] W. Bandara, M. Indulska, S. Chong, and S. Sadiq, “Major issues in business process management: An expert perspective,” in Proceedings of the 15th European Conference on Information Systems, ECIS 2007, 2007, pp. 1240–1251.
- [26] I. Beerepoot et al., “The biggest business process management problems to solve before we die,” Computers in Industry, vol. 146, 2023, doi: 10.1016/j.compind.2022.103837.

- [27] G. Galli, C. Patrone, A. C. Bellam, N. R. Annapareddy, and R. Revetria, “Improving process using digital twin: A methodology for the automatic creation of models,” in *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 2019, pp. 396–400.
- [28] M. Frerichs and M. Nüttgens, “Modeling the Enterprise Digital Twin: Towards an Open Platform for Analytics and Compliance Operations,” in *Lecture Notes in Informatics (LNI), Proceedings - Series of the Gesellschaft für Informatik (GI)*, 2022, pp. 65–75. doi: 10.18420/modellierung2022-008.
- [29] C. S. Ko, H. Lee, H. B. Kim, and T. Kim, “Digital twin usage for services,” *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, vol. 12, no. 3, pp. 269–274, 2021, doi: 10.24507/icicelb.12.03.269.
- [30] P. Zuhr, L. Rissmann, and S. Meißner, “Framework for planning and implementation of Digital Process Twins in the field of internal logistics,” in *IFAC-PapersOnLine*, 2022, pp. 2221–2227. doi: 10.1016/j.ifacol.2022.10.038.
- [31] M. Kubelskiy, *Application of Semantic Networks and Enterprise Architecture Approaches for Creation of Digital Twins of Organizations*, vol. 181. 2021. doi: 10.1007/978-3-030-64877-0_10.
- [32] M. G. Dorrer, “The digital twin of the business process model,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1679, no. 3, p. 032096, Nov. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1679/3/032096.
- [33] G. Park and W. M. P. Van Der Aalst, “Realizing A Digital Twin of An Organization Using Action-oriented Process Mining,” in *Proceedings - 2021 3rd International Conference on Process Mining, ICPM 2021*, 2021, pp. 104–111. doi: 10.1109/ICPM53251.2021.9576846.
- [34] H. Lee and T. Kim, “Smart Factory Use Case Model Based on Digital Twin,” *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, vol. 9, no. 9, pp. 931–936, 2018.
- [35] “Introduction: ArchiMate® 3.2 Specification.” Available: <https://pubs.opengroup.org/architecture/archimate32-doc/>
- [36] “TOGAF | opengroup.org.” Available: <https://www.opengroup.org/togaf>
- [37] A. Diéz and J. De Lara, “Semantic digital twins for organizational development,” in *CEUR Workshop Proceedings*, 2021.
- [38] U. V. Riss, H. Maus, S. Javaid, and C. Jilek, *Digital Twins of an Organization for Enterprise Modeling*, vol. 400. 2020. doi: 10.1007/978-3-030-63479-7_3.
- [39] Y. Maruyama, S. Kato, and T. Azumi, “Exploring the performance of ROS2,” *Proceedings of the 13th International Conference on Embedded Software, EMSOFT 2016*, Oct. 2016, doi: 10.1145/2968478.2968502.
- [40] J. Barjis and J. L. G. Dietz, “Business Process Modeling and Analysis Using Gert Networks,” *Enterprise Information Systems*, pp. 71–80, 2000, doi: 10.1007/978-94-015-9518-6_6.
- [41] W. M. van der Aalst Alessandro Berti, “Discovering Object-Centric Petri Nets,” pp. 1001–1040, 2001, doi: 10.3233/FI-2016-0000.
- [42] “GitHub - gyunamister/Tool manual - DTWEEN.” Available: <https://github.com/gyunamister/dtween>
- [43] S. Boschert and R. Rosen, *Digital twin-the simulation aspect*. 2016. doi: 10.1007/978-3-319-32156-1_5.
- [44] W. Kuehn, “Simulation in digital enterprises,” in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2019, pp. 55–59. doi: 10.1145/3307363.3307370.
- [45] M. Kumbhar, A. H. C. Ng, and S. Bandaru, “A digital twin based framework for detection, diagnosis, and improvement of throughput bottlenecks,” *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 66, pp. 92–106, 2023, doi: 10.1016/j.jmsy.2022.11.016.