

**Ελλάδα 2.0 ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΑΝΑΚΑΜΨΗΣ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

**ΔΡΑΣΗ «Εμβληματικές δράσεις σε διαθεματικές επιστημονικές περιοχές με ειδικό ενδιαφέρον για την σύνδεση με τον παραγωγικό ιστό»**

**Δίκτυο Αριστείας για την Ανάπτυξη, Διάδοση και Εφαρμογή Τεχνολογιών Ψηφιακού Μετασχηματισμού στην Ελληνική Μεταποιητική Βιομηχανία  
Network of Excellence for the Development, Dissemination and Application of Digital Transformation Technologies in the Greek Manufacturing Industry  
GREECE4.0**

[ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΡΓΟΥ: TAEDR-0535864]

**Παραδοτέο:**

Π1.2

Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων

*Σεπτέμβριος 2024*

**Ιστορικό αναθεωρήσεων του κειμένου**

| Κωδ. | Ημ/νία     | Περιγραφή                   |
|------|------------|-----------------------------|
| 0.1  | 10/01/2024 | Δημιουργία δομής παραδοτέου |
| 1.0  | 16/04/2024 | Πρώτη έκδοση                |
| 2.0  | 20/05/2024 | Τελική έκδοση               |

### Περίληψη - Ελληνικά

Το παραδοτέο P1.2 αφορά την αρχική αρχιτεκτονική και τον σχεδιασμό των λύσεων που θα υλοποιηθούν στο πλαίσιο του έργου "Greece4.0". Οι προτεινόμενες αρχιτεκτονικές υψηλού επιπέδου που αναλύονται σε αυτό το παραδοτέο θα αποτελέσουν τη βάση για την ανάπτυξη της κάθε λύσης. Κάθε λύση εξετάζεται διεξοδικά, καλύπτοντας την αρχιτεκτονική της, τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οφέλη και πλεονεκτήματα της, καθώς και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει. Επιπλέον, το παραδοτέο περιλαμβάνει σενάρια εφαρμογής και εκτίμηση του βιομηχανικού αντίκτυπου για κάθε λύση, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα του τρόπου με τον οποίο οι προτεινόμενες τεχνολογίες μπορούν να μετασχηματίσουν τη βιομηχανία. Το έγγραφο περιγράφει διάφορες εφαρμογές, όπως αυτόνομα ρομποτικά συστήματα για τη διαχείριση αποθηκών, ψηφιακά δίδυμα για βιομηχανικά ρομπότ, λογισμικό για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας προσθετικής κατασκευής και συστήματα λήψης αποφάσεων με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης. Κάθε εφαρμογή περιγράφεται λεπτομερώς αποδεικνύοντας την ικανότητά τους να ενισχύσουν την παραγωγικότητα, την ευελιξία και την αποδοτικότητα στη βιομηχανία της Ελλάδας. Οι λύσεις αυτές αξιοποιούν τεχνολογίες της Βιομηχανίας 4.0, όπως ανάλυση μεγάλων δεδομένων, αυτόνομα ρομπότ, ψηφιακά δίδυμα, τεχνητή νοημοσύνη και το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT), για να προωθήσουν τον ψηφιακό μετασχηματισμό και την καινοτομία στη βιομηχανία. Αυτή η προσέγγιση δίνει έμφαση στη βελτίωση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας των βιομηχανικών διεργασιών, καθώς και στην προώθηση της βιωσιμότητας και της ανταγωνιστικότητας της ελληνικής βιομηχανίας. Μέσα από την υλοποίηση των προτεινόμενων λύσεων, το έργο "Greece 4.0" στοχεύει να θέσει τις βάσεις για έναν πλήρη ψηφιακό μετασχηματισμό, ο οποίος θα συμβάλει στην ανάπτυξη και την πρόοδο της βιομηχανίας στη χώρα, ενισχύοντας την θέση της Ελλάδας στην παγκόσμια αγορά μέσω της καινοτομίας και της τεχνολογικής εξέλιξης.

### Περίληψη - Αγγλικά

The deliverable D1.2 focuses on the initial architecture and design of the solutions to be implemented in the "Greece4.0" project. The proposed high-level architectures analyzed in this deliverable will serve as the foundation for the development of each solution. Each solution is thoroughly examined, covering its architecture, technical characteristics, benefits and advantages, as well as the challenges it faces. Additionally, the deliverable includes application scenarios and an assessment of the industrial impact for each solution, providing a comprehensive view of how the proposed technologies can transform the industry. The document describes various applications, such as autonomous robotic systems for warehouse management, digital twins for industrial robots, software for optimizing the additive manufacturing process, and decision-making systems using artificial intelligence. Each application is described in detail, demonstrating their ability to enhance productivity, flexibility, and efficiency in the Greek industry. These solutions leverage Industry 4.0 technologies such as big data analysis, autonomous robots, digital twins, artificial intelligence, and the Industrial Internet of Things (IIoT) to promote digital transformation and innovation in the industry. This approach emphasizes improving productivity and efficiency in industrial processes, as well as promoting the sustainability and competitiveness of the Greek industry. Through the implementation of the proposed solutions, the "Greece 4.0" project aims to lay the foundations for a complete digital transformation, contributing to the development and progress of the industry in the country, enhancing Greece's position in the global market through innovation and technological advancement.

## Περιεχόμενα

|  |    |
|--|----|
| Ιστορικό αναθεωρήσεων του κειμένου .....   | 2  |
| Περίληψη - Ελληνικά .....  | 3  |
| Περίληψη - Αγγλικά .....   | 3  |
| Περιεχόμενα .....  | 4  |
| Κατάλογος Εικόνων .....  | 8  |
| 1. Εισαγωγή .....  | 10 |
| 1.1 Σκοπός και Στόχος του Παραδοτέου .....   | 10 |
| 1.2 Σχεδίαση και Ανάπτυξη .....  | 10 |
| 2. Αρχιτεκτονικές των Εφαρμογών του έργου Greece4.0.....   | 12 |
| 2.1 Αυτοκινούμενα ρομποτικά συστήματα για διαχείριση αποθήκης και εργασιών γραμμής παραγωγής .....                                       | 13 |
| 2.1.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης .....   | 13 |
| 2.1.2 Εισαγωγή .....   | 13 |
| 2.1.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....  | 13 |
| 2.1.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....  | 14 |
| 2.1.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....  | 15 |
| 2.2 Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin) για ευέλικτη πλατφόρμα συνεργατικών βιομηχανικών ρομπότ με χρήση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης ..... | 17 |
| 2.2.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης .....   | 17 |
| 2.2.2 Εισαγωγή .....   | 17 |
| 2.2.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....  | 18 |
| 2.2.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....  | 18 |
| 2.2.5 1.5. Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....   | 19 |
| 2.3 Λογισμικό για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας προσθετικής κατασκευής με την χρήση υβριδικών μεθόδων.....                          | 21 |
| 2.3.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης .....   | 21 |
| 2.3.2 Εισαγωγή .....   | 21 |
| 2.3.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....  | 22 |
| 2.3.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....  | 23 |
| 2.3.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....  | 25 |
| 2.4 Λογισμικό για την δημιουργία συνθετικών για την εκπαίδευση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης .....                                      | 26 |
| 2.4.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης .....   | 26 |
| 2.4.2 Εισαγωγή .....   | 26 |
| 2.4.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....  | 27 |

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων

|  |    |
|--|----|
| 2.4.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....  | 29 |
| 2.4.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....  | 30 |
| 2.5.α Αλγόριθμοι Προσομοίωσης για Ψηφιακά Δίδυμα Εξοπλισμού στην Βιομηχανία 4.0 .....  | 32 |
| 2.5.α.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....  | 32 |
| 2.5.α.2 Εισαγωγή .....   | 32 |
| 2.5.α.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....  | 33 |
| 2.5.α.4 Ροή της πληροφορίας .....  | 34 |
| 2.5.α.5 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....  | 35 |
| 2.5.β Αλγόριθμοι Προσομοίωσης για Ψηφιακά Δίδυμα Διαδικασιών στην Βιομηχανία 4.0 .....   | 37 |
| 2.5.β.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....  | 37 |
| 2.5.β.2 Εισαγωγή .....   | 37 |
| 2.5.β.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....  | 38 |
| 2.5.β.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....  | 39 |
| 2.6 Πλατφόρμα Ανάλυσης και Διαχείρισης Δεδομένων από το Βιομηχανικό Δίκτυο των<br>Πραγμάτων (Industrial Internet of Things) .....                | 41 |
| 2.6.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....  | 41 |
| 2.6.2 Εισαγωγή .....   | 41 |
| 2.6.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....  | 41 |
| 2.6.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....  | 43 |
| 2.6.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....  | 45 |
| 2.7 Ολογράμματα βασισμένα σε Ψηφιακά Δίδυμα για μεταφορά γνώσης και εκπαίδευση<br>εργαζομένων-χειριστών στο περιβάλλον της Βιομηχανίας 4.0 ..... | 46 |
| 2.7.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....  | 46 |
| 2.7.2 Εισαγωγή .....   | 46 |
| 2.7.3 Αρχιτεκτονικής Λύσης .....   | 47 |
| 2.7.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....  | 50 |
| 2.7.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....  | 51 |
| 2.8 Εργαλειοθήκη προγραμματισμού ευέλικτης/ανθεκτικής παραγωγής και διαχείρισης<br>προϊόντων με μικρό κύκλο ζωής .....                           | 52 |
| 2.8.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....  | 52 |
| 2.8.2 Εισαγωγή .....   | 52 |
| 2.8.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....  | 54 |
| 2.8.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....  | 55 |
| 2.8.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....  | 56 |
| 2.9 Κυκλικές αλυσίδες αξίας μέσω διαχείρισης και παρακολούθησης δευτερογενών υλικών με<br>χρήση ψηφιακών διδύμων και διαβατηρίων προϊόντων ..... | 57 |

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων

|  |    |
|--|----|
| 2.9.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....  | 57 |
| 2.9.2 Εισαγωγή .....   | 57 |
| 2.9.3 Αρχιτεκτονικής Λύσης.....  | 57 |
| 2.9.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....  | 60 |
| 2.9.5 Βιομηχανικός Αντίκτυπος και Εφαρμογές.....   | 65 |
| 2.10.a Μέθοδοι λήψης αποφάσεων στην παραγωγική διαδικασία – Σύστημα προβλεπτικής αναλυτικής δεδομένων .....                | 66 |
| 2.10.a.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....   | 66 |
| 2.10.a.2 Εισαγωγή .....  | 66 |
| 2.10.a.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....   | 66 |
| 2.10.a.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης.....  | 67 |
| 2.10.a.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές.....  | 69 |
| 2.10.b Μέθοδοι λήψης αποφάσεων στην παραγωγική διαδικασία - Σύστημα προβλεπτικού ελέγχου .....                             | 70 |
| 2.10.b.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....   | 70 |
| 2.10.b.2 Εισαγωγή .....  | 70 |
| 2.10.b.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....   | 71 |
| 2.10.b.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης.....  | 73 |
| 2.10.b.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές.....  | 76 |
| 2.11 Μοντελοποίηση και προσομοίωση δικτύων εφοδιασμού και διανομής.....  | 77 |
| 2.11.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....   | 77 |
| 2.11.2 Εισαγωγή .....  | 77 |
| 2.11.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....   | 78 |
| 2.11.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης.....  | 78 |
| 2.11.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές.....  | 81 |
| 2.12 Βιομηχανικό μετασύμπαν με την χρήση επεξηγηματικής τεχνητής νοημοσύνης για εφαρμογές επιχειρηματικής νοημοσύνης ..... | 82 |
| 2.12.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....   | 82 |
| 2.12.2 Εισαγωγή .....  | 82 |
| 2.12.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....   | 82 |
| 2.12.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης.....  | 84 |
| 2.12.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές.....  | 85 |
| 2.13 Φορητή πλατφόρμα καταμέτρησης αποθεμάτων σε αποθήκες .....  | 87 |
| 2.13.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης .....   | 87 |
| 2.13.2 Εισαγωγή .....  | 87 |
| 2.13.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....   | 88 |

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων

|  |     |
|--|-----|
| 2.13.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....                     | 89  |
| 2.13.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....                             | 90  |
| 2.14 Μηχανισμοί Προστασίας Δεδομένων στον Κόμβο Αιχμής .....                   | 91  |
| 2.14.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης .....  | 91  |
| 2.14.2 Εισαγωγή .....  | 91  |
| 2.14.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....   | 92  |
| 2.14.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....                     | 94  |
| 2.14.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....                             | 95  |
| 2.15 Σύστημα ανάλυσης κακόβουλου λογισμικού για βιομηχανικά περιβάλλοντα ..... | 97  |
| 2.15.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης .....  | 97  |
| 2.15.2 Εισαγωγή .....  | 97  |
| 2.15.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....   | 97  |
| 2.15.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....                     | 98  |
| 2.15.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....                             | 99  |
| 2.16 Ασφαλής αλληλεπίδραση ανθρώπου-ρομπότ .....                               | 100 |
| 2.16.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης .....  | 100 |
| 2.16.2 Εισαγωγή .....  | 100 |
| 2.16.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....   | 102 |
| 2.16.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....                     | 103 |
| 2.16.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....                             | 103 |
| 2.17 Κατανόηση σκηνής με βάση οπτική πληροφορία .....                          | 104 |
| 2.17.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης .....  | 104 |
| 2.17.2 Εισαγωγή .....  | 104 |
| 2.17.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....   | 104 |
| 2.17.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....                     | 106 |
| 2.17.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....                             | 108 |
| 2.18 Έξυπνη, οπτική επιθεώρηση διαδικασιών και αξιολόγησης πρωτοκόλλων .....   | 110 |
| 2.18.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης .....  | 110 |
| 2.18.2 Εισαγωγή .....  | 110 |
| 2.18.3 Αρχιτεκτονική Λύσης .....   | 110 |
| 2.18.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης .....                     | 111 |
| 2.18.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές .....                             | 113 |
| 3. Συμπεράσματα .....  | 114 |
| Αναφορές .....   | 115 |

## Κατάλογος Εικόνων

|  |    |
|--|----|
| <b>Εικόνα 1:</b> Αρχιτεκτονική λύσης .....   | 14 |
| <b>Εικόνα 2</b> Περιγραφή εικόνας .....  | 18 |
| <b>Εικόνα 3:</b> Γενική αρχιτεκτονική λύσης και εγκατάστασης.....  | 22 |
| <b>Εικόνα 4:</b> Τεχνική περιγραφή λύσης.....  | 23 |
| <b>Εικόνα 5:</b> Αρχιτεκτονική Νευρωνικών Μοντέλων Βαθιάς Μάθησης .....  | 24 |
| <b>Εικόνα 6</b> Αρχιτεκτονική λύσης .....  | 27 |
| <b>Εικόνα 7</b> Αρχιτεκτονική πλατφόρμας.....  | 29 |
| <b>Εικόνα 8</b> Αρχιτεκτονική Λύσης 5α.....  | 34 |
| <b>Εικόνα 9</b> Ροή Πληροφορίας Λύσης 5.α .....  | 35 |
| Εικόνα 10 Εννοιολογική Αρχιτεκτονική Ψηφιακών Διδύμων Βιομηχανικών Διαδικασιών.....  | 38 |
| Εικόνα 11: Αρχιτεκτονική Ψηφιακών Διδύμων Βιομηχανικών Διαδικασιών .....   | 39 |
| <b>Εικόνα 12</b> Τυπική Αρχιτεκτονική IIOT .....   | 42 |
| <b>Εικόνα 13</b> Η Αρχιτεκτονική του συστήματος .....  | 43 |
| <b>Εικόνα 14</b> Η διασύνδεση του συστήματος και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας.....   | 44 |
| <b>Εικόνα 15</b> Ανάλυση επιπέδων αρχιτεκτονικής .....   | 47 |
| <b>Εικόνα 16</b> Αρχιτεκτονική Συστήματος Ανάπτυξης και Αναπαραγωγή Εικονικών Σεναρίων Βασισμένα σε Ψηφιακά Δίδυμα .....         | 49 |
| <b>Εικόνα 17</b> Μοντελοποίηση Διαχείρισης Παραγωγής .....   | 53 |
| <b>Εικόνα 18</b> Επίπεδα Αρχιτεκτονικής της Λύσης .....  | 54 |
| <b>Εικόνα 19</b> Βασικά Στοιχεία Εργαλείων Λογισμικού για Επίλυση Προβλημάτων Προγραμματισμού Παραγωγής .....                    | 55 |
| <b>Εικόνα 20</b> Επίπεδα Αρχιτεκτονικής της Λύσης .....  | 58 |
| <b>Εικόνα 21</b> Απεικόνιση του Εργαλείου Προσομοίωσης PSM.....  | 59 |
| Εικόνα 22: Model-Based Digital Twin Engine – PSM Tool.....   | 61 |
| Εικόνα 23: Κύριο περιβάλλον διεπαφής API (εικόνα αριστερά) και API υπηρεσίες (εικόνα δεξιά) ....                                 | 61 |
| Εικόνα 24: Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης και της μοντελοποίησης των βιομηχανικών διεργασιών στο εργαλείο PSM ..... | 62 |
| Εικόνα 25: Πλαίσιο και Βήματα Υλοποίησης των Sustainability Balanced Scorecards.....   | 63 |
| Εικόνα 26: Διάγραμμα διεργασιών για τη δημιουργία του Sustainability Balanced Scorecard (SBSC) .....                             | 64 |
| <b>Εικόνα 27</b> Αρχιτεκτονική Συστήματος Προβλεπτικής Αναλυτικής Δεδομένων .....  | 67 |
| <b>Εικόνα 28</b> Τεχνική Αρχιτεκτονική Συστήματος Προβλεπτικής Αναλυτικής Δεδομένων.....   | 68 |
| <b>Εικόνα 29</b> Αρχιτεκτονική της Πλατφόρμας Συστήματος Ελέγχου .....   | 71 |
| <b>Εικόνα 30</b> Διεπαφή με την Πλατφόρμα Προσομοίωσης Κλειστού Βρόχου .....   | 73 |
| <b>Εικόνα 31</b> Τεχνικά Χαρακτηριστικά της Πλατφόρμας .....   | 74 |
| <b>Εικόνα 32</b> Εργαστηριακό Περιβάλλον Προσομοίωσης Φυσικού Συστήματος.....  | 76 |
| <b>Εικόνα 33</b> Αρχιτεκτονική Τεχνολογικής Λύσης .....  | 78 |
| <b>Εικόνα 34</b> Αρχιτεκτονική Ψηφιακού Διδύμου .....  | 79 |
| Εικόνα 35: Αρχιτεκτονική Διαδικτυακής Πλατφόρμας Ανάλυσης & Οπτικοποίησης Δεδομένων .....  | 80 |
| <b>Εικόνα 36</b> Αρχιτεκτονική του Συστήματος για την Εκπαίδευση του Προσωπικού σε Βιομηχανικό Μετά-Σύμπαν.....                  | 83 |
| <b>Εικόνα 37</b> Η Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική της Εφαρμογής .....  | 88 |
| <b>Εικόνα 38</b> Το Περιβάλλον Προσομοίωσης και Ανάπτυξης της Εφαρμογής .....  | 89 |
| Εικόνα 39: Η αρχιτεκτονική των Μηχανισμών Συλλογής και Προστασίας Δεδομένων σε Κόμβο αιχμής .....                                | 93 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Εικόνα 40</b> Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας .....  | 98  |
| <b>Εικόνα 41</b> Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αρχιτεκτονικής .....   | 98  |
| <b>Εικόνα 42</b> Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική για Ασφαλή Συνεργασία Ανθρώπου Ρομπότ .....  | 100 |
| <b>Εικόνα 43</b> Δίκτυο για την Ανίχνευση Ανθρώπων .....   | 102 |
| <b>Εικόνα 44</b> Δίκτυα για την από κοινού εκτίμηση των αρθρώσεων .....  | 102 |
| <b>Εικόνα 45</b> Η Αρχιτεκτονική της Πλατφόρμας / Λύσης Μαζί με την Συνδεσιμότητα και τα Διάφορα Πρωτόκολλα Επικοινωνίας που Εμπλέκονται .....   | 105 |
| <b>Εικόνα 46:</b> Επισκόπηση της ροής δεδομένων από μια εικόνα χρώματος μέχρι την τρισδιάστατη ψηφιοποιημένη έξοδο που συμπεριλαμβάνει την αντίστροφη κινηματική του ανθρώπινου σκελετού από το νευρωνικό δίκτυο MocapNET. Αναλυτική περιγραφή της μεθόδου στις δημοσιεύσεις [1-5].<br>..... | 106 |
| <b>Εικόνα 47</b> Αποτελέσματα της Μεθόδου MocapNET σε Δοκιμαστικά Δεδομένα σε Πραγματική Αλυσίδα Παραγωγής, Ενδεικτικά Αποτελέσματα της Ακρίβειας της Λύσης που σκοπεύουμε να Αναπτύξουμε .....  | 107 |
| <b>Εικόνα 48</b> Η γενική αρχιτεκτονική της προτεινόμενης λύσης .....  | 111 |
| <b>Εικόνα 49:</b> Η λεπτομερής αρχιτεκτονική της προτεινόμενης λύσης, με απεικόνιση των διακριτών σταδίων του οπτικού συστήματος που θα αναπτυχθεί.....  | 111 |

## 1. Εισαγωγή

Η παρούσα αναφορά παραθέτει την αρχιτεκτονική των υπό ανάπτυξη λύσεων του έργου Greece4.0 όπως αυτές προέκυψαν από τις συστάσεις και την ανατροφοδότηση της βιομηχανίας στα πλαίσια της Ενότητας Εργασίας 1.

### 1.1 Σκοπός και Στόχος του Παραδοτέου

Ο σκοπός της συγκεκριμένης ενότητας εργασίας **EE1 «Διαβούλευση με την βιομηχανία, αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των λύσεων»** είναι να αποτελέσει την τεχνολογική βάση του έργου Greece4.0 καθώς και να διαμορφώσει το κοινό πλαίσιο τεχνολογικής συνεργασίας των εταίρων σε μια εποχή όπου η τεχνολογία εξελίσσεται με ταχύτατους ρυθμούς. Σε δεύτερο στάδιο, η Ενότητα Εργασίας 1 δύναται να υλοποιήσει τις επιθυμίες και ανάγκες της βιομηχανίας και να της μεταφράσει σε καινοτόμες τεχνολογικές λύσεις που θα βασίζονται στην Βιομηχανία 4.0 και θα έχουν ως στόχο την θωράκιση της ελληνικής βιομηχανίας στο διεθνές στερέωμα

Κάθε εταίρος έχει γνώση των τεχνολογικών λύσεων και των εφαρμογών τους μέσα από την Βιομηχανία 4.0 συνεισφέροντας έτσι σε καινοτόμες τεχνολογίες, υπηρεσίες και εργαλεία που θα αναπτυχθούν στο έργο. Όλοι οι εταίροι πρέπει μέσα από την ψηφιακή και τεχνολογική ωριμότητα τους να μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του έργου όπως την απόδοση, την αξιοπιστία, την ασφάλεια, τη συμμόρφωση και την ευελιξία με σαφήνεια και ακρίβεια. Επιπλέον όλοι οι εταίροι για τις απαιτήσεις του έργου πρέπει μέσα από την κοινή αντίληψη και συνεργασία να υλοποιήσουν λύσεις που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της αγοράς. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω έχουν υιοθετηθεί στην πορεία διάφορες προσεγγίσεις:

- Κοινές πρακτικές όπου συμπεριλαμβάνονται μεθοδολογίες και εργαλεία που χρησιμοποιούνται από όλους τους εταίρους.
- Συνεχής εκπαίδευση και κατάρτιση ώστε να γίνει επίδειξη των τεχνολογιών που εντάσσονται στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0.
- Μια κοινή ορολογία ως απαραίτητο εργαλείο προκειμένου οι εταίροι να κατανοούν μεταξύ τους τις ιδιότητες και τις λειτουργίες των τεχνολογιών και των λύσεων που χρησιμοποιούνται, καθώς και τις απαιτήσεις και τις προκλήσεις που προκύπτουν.

Στην EE1 έχουν γίνει όλες οι ενέργειες για την υλοποίηση της ενιαίας αρχιτεκτονικής του συστήματος και την συμμόρφωση με τα πρότυπα καθώς και έχουν τεθεί τα κοινά μοντέλα ανταλλαγής δεδομένων. Τέλος, έχουν αναλυθεί οι απαιτήσεις και έχουν δημιουργηθεί τα σενάρια χρήσης, ώστε να εισαχθούν στις διάφορες δραστηριότητες της ενότητας καθώς και στις υπόλοιπες ενότητες εργασίας του έργου.

### 1.2 Σχεδίαση και Ανάπτυξη

Η ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής κάθε εφαρμογής που θα αναπτυχθεί στα πλαίσια του έργου Greece4.0 απαιτήσε και απαιτεί από τους εταίρους μια συνεχή διαδικασία που συνδυάζει την έρευνα, την ανάλυση, τη σχεδίαση, την υλοποίηση και την επαναλαμβανόμενη βελτίωση. Σημαντικός στόχος των λύσεων του έργου είναι η ύπαρξη διαλειτουργικότητας και συνεργασίας μεταξύ των λύσεων ώστε να συνεισφέρουν σε μια λύση ευρύτερης κλίμακας και πολλαπλών χρήσεων. Ο σχεδιασμός στηρίζεται στα αποτελέσματα της EE1 και της διαβούλευσης με την βιομηχανία. Αναλυτικότερα:

- Οι προδιαγραφές της εκάστοτε λύσης που αναφέρονται στο παραδοτέο 1.1, τηρούνται και λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τον κάτωθι σχεδιασμό των λύσεων. Ο σχεδιασμός των λύσεων είναι

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων

επίσης ανάλογος των ποσοτικών KPIs (Δεικτών Επίδοσης) που τέθηκαν στο παραδοτέο 1.1, καθώς και των κύριων λειτουργιών και χαρακτηριστικών που αναμένεται να έχει η εκάστοτε λύση

- Τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου που αναφέρονται στο παραδοτέο 1.1 λαμβάνονται υπ' όψιν με στόχο τον σχεδιασμό λύσεων που θα προσαρμόζονται στις συνήθεις διαδικασίες και εγκαταστάσεις (δικτυακές, λογισμικού ή μηχανολογικές) που ακολουθεί η πλειοψηφία των ενδιαφερόμενων βιομηχανικών φορέων. Η επίδραση της βιομηχανίας στον σχεδιασμό των λύσεων αντικατοπτρίζεται τόσο σε επίπεδο εξοπλισμού (συσκευές που εκμεταλλεύονται οι λύσεις του έργου), επικοινωνίας (πρωτόκολλα επικοινωνίας και ασφάλειας), εργαλείων (βιβλιοθήκες και λογισμικό), εξατομίκευσης (ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που απαιτεί η ενσωμάτωση στο εργοτάξιο), οπτικοποίησης (dashboarding και interfacing των λύσεων) και λειτουργιών (οφέλη και λειτουργίες λύσης)

## 2. Αρχιτεκτονικές των Εφαρμογών του έργου Greece4.0

Οι προσφερόμενες τεχνολογικές λύσεις του έργου Greece 4.0 για βελτιστοποίηση των Cyber-Physical-Systems μπορούν να βοηθήσουν τις βιομηχανίες και τις παραγωγικές μονάδες να μετασχηματίσουν την ψηφιακή εφοδιαστική αλυσίδα τους – επινοώντας εκ νέου την παραγωγή, εστιάζοντας στους πελάτες και συνδέοντας ολόκληρο τον οργανισμό τους. Οι λύσεις αξιοποιούν τις βασικές τεχνολογίες Industry4.0, όπως, Ανάλυση Μεγάλου Όγκου Δεδομένων (Big Data and Analytics – BD), Αυτόνομα Ρομπότ (Autonomous Robots), Προσομοίωση και Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin – DT), Ενοποίηση Συστημάτων (Horizontal And Vertical System Integration – HVSI), Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Industrial Internet Of Things – IIoT), Εικονική/Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented/Virtual Reality – AR/VR), Προσθετική Κατασκευή/Τρισδιάστατη Εκτύπωση (Additive Manufacturing/3D Printing – AM), Κυβερνο-ασφάλεια (Cybersecurity), Υπολογιστικό Νέφος – ΥΝ (Cloud Computing), κα.

Οι συγκεκριμένες τεχνολογικές λύσεις αναμένεται να προσφέρουν τα εξής αποτελέσματα: α) Ριζικές βελτιώσεις στην παραγωγικότητα και την αυτοματοποίηση, β) Ανθεκτικότητα και ευελιξία ανεξάρτητα από τις τάσεις ή τροχοπέδη της αγοράς, γ) Εμπιστοσύνη για τη διερεύνηση νέων επιχειρηματικών μοντέλων και την ταχεία αξιοποίηση ευκαιριών, και δ) Πράσινες και βιώσιμες λύσεις χωρίς να θυσιάζουν την κερδοφορία.

Η παρουσίαση των εκάστοτε λύσεων του έργου θα διαχωριστεί στα κάτωθι υποκεφάλαια συνοδευόμενα από ανάλογους διακριτούς στόχους. Αναλυτικότερα:

1. Λύση 1
  - 1.1. Σύνομη περιγραφή λύσης
  - 1.2. Εισαγωγή
  - 1.3. Αρχιτεκτονική λύσης
  - 1.4. Ανάλυση και τεχνικά χαρακτηριστικά υλοποίησης
  - 1.5. Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις για την κάθε μία εφαρμογή που θα αναπτυχθεί στα πλαίσια του έργου Greece4.0.

## 2.1 Αυτοκινούμενα ρομποτικά συστήματα για διαχείριση αποθήκης και εργασιών γραμμής παραγωγής

### 2.1.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης

Η λύση αυτή αφορά τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση ενός αυτοκινούμενου ρομποτικού συστήματος για την μεταφορά υλικού αλλά και την εκτέλεση διεργασιών που απαιτούνται κατά τη παραγωγή προϊόντων. Για το σκοπό αυτό, το ρομποτικό σύστημα θα αποτελείται από μια κινητή πλατφόρμα η οποία θα φέρει έναν ή περισσότερους ρομποτικού βραχίονες και θα μπορεί να πλοηγείται στο χώρο κάνοντας χρήση έξυπνων συστήματα συλλογής δεδομένων από τον περιβάλλον προκειμένου να ανατροφοδοτείται το σύστημα σχετικά με τη κατάσταση του χώρου που κινείται όπως εμπόδια, ύπαρξη εργαζομένων, ανίχνευση σημείων παραλαβής και παράδοσης των υλικών.

### 2.1.2 Εισαγωγή

Στη σύγχρονη βιομηχανική παραγωγή, η ανάγκη για αυξημένη ευελιξία, αποδοτικότητα και ασφάλεια στη μεταχείριση υλικών και την εκτέλεση παραγωγικών διαδικασιών είναι σημαντικότερη από ποτέ. Ταυτόχρονα, η συνεργασία μεταξύ ανθρώπων και μηχανών και η ομαλή ενσωμάτωση των τεχνολογικών συστημάτων στο παραγωγικό περιβάλλον παρουσιάζουν μοναδικές προκλήσεις.

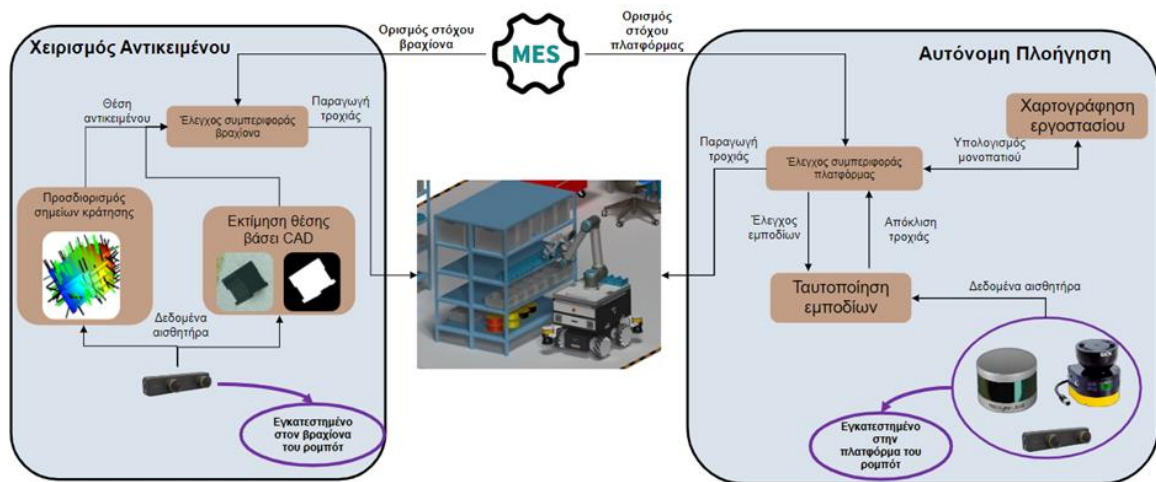
Η προτεινόμενη τεχνολογική λύση απαντά σε αυτές τις ανάγκες μέσω της ανάπτυξης και εγκατάστασης ενός αυτοκινούμενου ρομποτικού συστήματος που συνδυάζει μια κινητή πλατφόρμα με έναν ή περισσότερους ρομποτικούς βραχίονες. Αυτό το σύστημα υποστηρίζεται από έξυπνα συστήματα συλλογής δεδομένων που επιτρέπουν την αυτόνομη πλοήγηση και την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον παραγωγής, ενώ παράλληλα προσφέρει ευελιξία στη διαδικασία παραγωγής μέσω της δυνατότητας εύκολης προσαρμογής σε διαφορετικές εργασίες και απαιτήσεις.

Η ενσωμάτωση αυτής της τεχνολογίας μέσω ενός συστήματος προγραμματισμού και ελέγχου που χρησιμοποιεί τεχνικές τρισδιάστατης προσομοίωσης, επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση του ρομποτικού συστήματος και την επίτευξη υψηλών επιδόσεων στην παραγωγή. Επιπλέον, η δυνατότητα επέκτασης του συστήματος με τη χρήση πολλαπλών ρομποτικών μονάδων και η συνεργασία με άλλα συστήματα, παρέχουν μια ολοκληρωμένη λύση που ανταποκρίνεται στις σύνθετες απαιτήσεις της σύγχρονης βιομηχανικής παραγωγής. Η λύση αυτή εξασφαλίζει όχι μόνο την αύξηση της παραγωγικότητας και της ευελιξίας αλλά και τη βελτίωση των συνθηκών ασφαλείας, μέσω της ελαχιστοποίησης της ανάγκης για στατικά συστήματα ασφαλείας και της ενθάρρυνσης της συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και ρομπότ.

### 2.1.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 1), η ολική λειτουργία του συστήματος χωρίζεται σε δύο επιμέρους μέρη τα οποία εξασφαλίζουν την αποτελεσματική εκτέλεση των διεργασιών. Αρχικά υπάρχει η δυνατότητα αυτόνομης πλοήγησης της ρομποτικής πλατφόρμας στον διαθέσιμο περιβάλλοντα χώρο. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση διαφόρων αισθητήρων, όπως οι κάμερες ή οι αισθητήρες βάθους οι οποίοι προσφέρουν μια δυναμική αναπαράσταση του χώρου δίνοντας έτσι στην ρομποτική πλατφόρμα την απαραίτητη πληροφορία που χρειάζεται για την επιτυχή πλοήγηση και αποφυγή εμποδίων. Για να επιτευχθεί αυτό αρχικά, προηγείται μια διαδικασία κατά την οποία η πλατφόρμα μετακινείται στο χώρο εργασίας και κάνει μια χαρτογράφηση του εργοστασίου. Αυτή η πληροφορία αποθηκεύεται σε μία βάση προκειμένου να γίνεται ανάκτηση της κάθε φορά που χρειάζεται το ρομπότ να μετακινηθεί.

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων



Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική λύσης

Στο δεύτερο μέρος αναφέρεται ο έλεγχος του ρομποτικού βραχίονα ο οποίος είναι υπεύθυνος για τις λειτουργίες της παραλαβής των διαφόρων αντικειμένων. Για να επιτευχθεί αυτό γίνεται η χρήση δύο τεχνικών μηχανικής όρασης οι οποίες στοχεύουν στην εύρεση της θέσης των αντικειμένων στο χώρο καθώς και στην δημιουργία σημείων προσάρτησης του βραχίονα στα επιμέρους αντικείμενα για τον χειρισμό τους.

### 2.1.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Η παραπάνω αρχιτεκτονική έχει υλοποιηθεί με χρήση του ROS2 και τα τεχνικά της χαρακτηριστικά είναι τα ακόλουθα:

#### 2.1.4.1 Έλεγχος ρομποτικού βραχίονα με το πακέτο ROS2 Moveit2

Το συγκεκριμένο στοιχείο έχει ως στόχο να αναλαμβάνει τον έλεγχο του ρομποτικού βραχίονα μέσω του ROS2. Για τον σκοπό αυτό, θα αξιοποιηθεί η ανοικτού κώδικα βιβλιοθήκη Moveit2, η οποία περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τον εύκολο και αποτελεσματικό έλεγχο της κίνησης του βραχίονα. Ένας εξατομικευμένος wrapper θα αναλαμβάνει την αρχικοποίηση και τη διαχείριση του ρομπότ, παρέχοντας στον χρήστη τη δυνατότητα δημιουργίας και εκτέλεσης μονοπατιών κίνησης. Μερικές από τις βασικές λειτουργίες περιλαμβάνουν τη μετακίνηση σε μια επιθυμητή πόζα, τη μετάβαση σε μια συγκεκριμένη κατάσταση αρθρώσεων και την ευθύγραμμη κίνηση του τελικού στοιχείου. Επιπλέον, όλες οι κινηματικές διαδρομές σχεδιάζονται με γνώμονα την αποφυγή εμποδίων στον χώρο, εξασφαλίζοντας έτσι την ασφάλεια και την απρόσκοπτη λειτουργία του ρομποτικού συστήματος.

#### 2.1.4.2 Έλεγχος βάσης ρομπότ με το πακέτο ROS2 Navigation2

Αυτό το στοιχείο επωμίζεται τον έλεγχο της ρομποτικής βάσης όσον αφορά τη μετακίνηση μέσα στο εργοστασιακό περιβάλλον. Για να το πετύχει αυτό, αξιοποιεί το πακέτο Nav2, το οποίο είναι συμβατό με το ROS2 και παρέχει εύκολη χρήση. Η ρομποτική πλατφόρμα διαθέτει δύο laser scanners, η πληροφορία των οποίων είναι καθοριστικής σημασίας για τη λειτουργία του πακέτου. Αρχικά, γίνεται χαρτογράφηση του περιβάλλοντος και η αποθήκευση της πληροφορίας για μελλοντική χρήση. Στη συνέχεια, κατά την κανονική λειτουργία, οι αισθητήρες καθορίζουν την ακριβή θέση του ρομπότ στον χάρτη με χρήση προηγμένων αλγορίθμων. Το πακέτο επιτρέπει στον χρήστη να ορίζει τοποθεσίες στόχους στον χάρτη, δημιουργώντας μονοπάτια που αποφεύγουν τυχόν εμπόδια, τόσο

σταθερά όσο και δυναμικά. Τέλος, το σύστημα αυτό χρειάζεται την κατάλληλη διασύνδεση λογισμικού για να μεταφράσει τις εντολές του πακέτου σε αληθινή κίνηση.

#### *2.1.4.3 Προηγμένες λειτουργίες βαθιάς μάθησης για την εκτίμηση θέσεων τμημάτων*

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι υπεύθυνη για την αναγνώριση των αντικειμένων καθώς και για την εκτίμηση της θέσης τους στο χώρο σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων του αισθητήρα όρασης ο οποίος βρίσκεται πάνω στον ρομποτικό βραχίονα. Αυτό θα επιτευχθεί με την χρήση μοντέλων βαθιάς μάθησης τα οποία είναι σε θέση να διαχειρίζονται εικόνες και δεδομένα βάρους με κατάλληλα υπό-δίκτυα τα οποία μετά από διαδικασία εκτενούς εκπαίδευσης θα είναι ικανά να εντοπίζουν τα επιθυμητά αντικείμενα. Για αυτή τη λειτουργία τα τρισδιάστατα σχεδιαστικά μοντέλα των αντικειμένων (CAD αρχεία) θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία συνθετικών, καθώς εάν χρειαστεί, και πραγματικών δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά θα δοθούν για την διαδικασία της εκπαίδευσης των προτεινόμενων νευρωνικών δικτύων. Για την διασύνδεση των αναπτυγμένων νευρωνικών δικτύων με το ρομποτικό σύστημα θα αναπτυχθούν κατάλληλες διεπαφές και διακοσμητές εντός του ROS2 περιβάλλοντος.

#### *2.1.4.4 Τεχνητή νοημοσύνη για την επιλογή σημείων λαβής βασισμένη σε μοντέλα CAD*

Το συγκεκριμένο στοιχείο σε συνδυασμό με το προαναφερθέν σύστημα όρασης είναι υπεύθυνο για να δημιουργεί τις κατάλληλες προϋποθέσεις για αυτοματοποιημένο χειρισμό των επιθυμητών αντικειμένων βάση των μοντέλων CAD. Συγκεκριμένα, στόχος είναι η εύρεση διαφορετικών σημείων προσάρτησης, του εργαλείου του ρομποτικού βραχίονα, στις επιφάνειες των αντικειμένων. Για να επιτευχθεί αυτό αρχικά στοχεύεται η επεξεργασία των 3D CAD μοντέλων προκειμένου να οριστούν εκείνα τα σημεία που επιτρέπουν αποτελεσματική προσάρτηση του ρομποτικού εργαλείου. Εν συνεχεία, θα δημιουργηθεί ένα σύνολο δεδομένων με ενσωματωμένη την παραπάνω πληροφορία το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την εκπαίδευση ενός νευρωνικού δικτύου κατάλληλο για να εντοπίζει τα επιθυμητά σημεία. Τέλος, το νευρωνικό αυτό δίκτυο θα χρησιμοποιείται μέσω του ROS2 για να επικοινωνεί με το ρομποτικό βραχίονα και να του παρέχει την επιθυμητή πληροφορία.

#### *2.1.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές*

Η εφαρμογή της προτεινόμενης τεχνολογικής λύσης επιφέρει σημαντικά οφέλη στην αποδοτικότητα και ευελιξία της βιομηχανικής παραγωγής. Η δυνατότητα του συστήματος να μειώνει τον χρόνο αναδιαμόρφωσης λειτουργιών αντανακλά την εξαιρετική του προσαρμοστικότητα, επιτρέποντας την ταχεία εναλλαγή μεταξύ διαφορετικών παραγωγικών διεργασιών χωρίς σημαντική καθυστέρηση. Η ικανότητά του να εκτελεί τουλάχιστον τρεις διαφορετικές εργασίες επισημαίνει τη μοναδική του πολυλειτουργικότητα, μειώνοντας την ανάγκη για επιπλέον εξοπλισμό και ενισχύοντας την ευελιξία της παραγωγικής γραμμής. Αυτή η ευελιξία συμβάλλει στην αύξηση του όγκου παραγωγής καθώς το ρομποτικό σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί και να παράγει πιο αποδοτικά και με ελάχιστα περιθώρια λάθους ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Η προτεινόμενη τεχνολογική λύση ενσωματώνεται άριστα σε μια ποικιλία βιομηχανικών εφαρμογών, προσφέροντας εξαιρετική ευελιξία και αύξηση της αποδοτικότητας. Στον τομέα της λογιστικής, για παράδειγμα, το σύστημα μπορεί να αναλάβει την αυτόματη καταμέτρηση και καταγραφή αποθεμάτων, εξοικονομώντας χρόνο και μειώνοντας τα περιθώρια λάθους στη διαχείριση υλικών.

Πέρα από τις λογιστικές εφαρμογές, το ρομποτικό σύστημα ενσωματώνεται αποτελεσματικά σε διαδικασίες συναρμολόγησης, ενισχύοντας τη συνεχή ροή παραγωγής με την ομαλή μετάβαση

εξαρτημάτων μεταξύ διαφορετικών σταθμών εργασίας. Η ικανότητά του να διαχειρίζεται πολλαπλές εργασίες αποδεικνύεται ακόμα πιο πολύτιμη σε διαδικασίες όπως η επιθεώρηση ή η κόλληση σε μεγάλα εξαρτήματα, όπου η ακρίβεια και η αξιοπιστία είναι καθοριστικής σημασίας. Η εξοπλισμένη με αισθητήρες και συστήματα τρισδιάστατης όρασης ρομποτική πλατφόρμα μπορεί να εκτελέσει αυτές τις εργασίες με εκπληκτική ακρίβεια, εξασφαλίζοντας υψηλή ποιότητα στο τελικό προϊόν.

Η αξία του συστήματος διαπιστώνεται επίσης στην αυτοματοποιημένη μεταφορά πρώτων υλών ή ημιτελών εξαρτημάτων καθώς και στη φόρτωση και εκφόρτωση μηχανημάτων σε εργαστήρια μηχανουργίας. Ενσωματώνοντας αυτή την τεχνολογική λύση, οι επιχειρήσεις εξασφαλίζουν την έγκαιρη παράδοση υλικών στους απαιτούμενους σταθμούς εργασίας, βελτιστοποιώντας τον χρόνο παραγωγής και μειώνοντας τις αναμονές.

Μέσα από αυτές τις εφαρμογές, το αυτοκινούμενο ρομποτικό σύστημα αποδεικνύεται ως ένα απαραίτητο εργαλείο για την επίτευξη υψηλότερων προδιαγραφών παραγωγής και αποδοτικότητας, ενισχύοντας την ποιότητα και την αξιοπιστία των βιομηχανικών διεργασιών.

## 2.2 Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin) για ευέλικτη πλατφόρμα συνεργατικών βιομηχανικών ρομπότ με χρήση τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης

### 2.2.1 Σύνοψη Περιγραφή Λύσης

Το Ψηφιακό Δίδυμο για συνεργασία ανθρώπου και ρομπότ θα περιλαμβάνει ένα σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων από τα επιμέρους συστήματα ελέγχου του βραχίονα και του βοηθητικού εξοπλισμού (συστήματα όρασης, συστήματα ασφαλείας κτλ.) καθώς και ένα τρισδιάστατο περιβάλλον αναπαράστασης αυτών σε πραγματικό χρόνο με σκοπό την καλύτερη οπτικοποίηση τους από τον χρήστη. Επιπρόσθετα, θα ενσωματωθούν αλγόριθμοι οι οποίοι θα χρησιμοποιούν τα δεδομένα που αναπαρίστανται στο Ψηφιακό Δίδυμο και θα εφαρμόζουν μεθόδους λήψης αποφάσεων για την εύρεση του βέλτιστου τρόπου αναπροσαρμογής του ρομποτικού συστήματος σε περίπτωση παραγωγής ενός νέου προϊόντος ή την αντιμετώπιση δυναμικών καταστάσεων που προέρχονται είτε από τη διαδικασία παραγωγής είτε από τους ανθρώπους που δραστηριοποιούνται σε αυτή. Η χρήση του ψηφιακού διδύμου σε συνδυασμό με τεχνικές ανάλυσης δεδομένων, θα δώσει τη δυνατότητα σε εργαζομένους να συνεργάζονται με το ρομποτικό σύστημα με ασφάλεια. Επιπρόσθετα, η ενσωμάτωση χρήση Τεχνητής Νοημοσύνης θα συνεισφέρουν επιπλέον δυνατότητες στο ρομποτικό σύστημα όπως η πρόγνωση πιθανών σφαλμάτων, η ανίχνευση αιτιών για πιθανές βλάβες και την αυτοματοποιημένη λήψη αποφάσεων.

### 2.2.2 Εισαγωγή

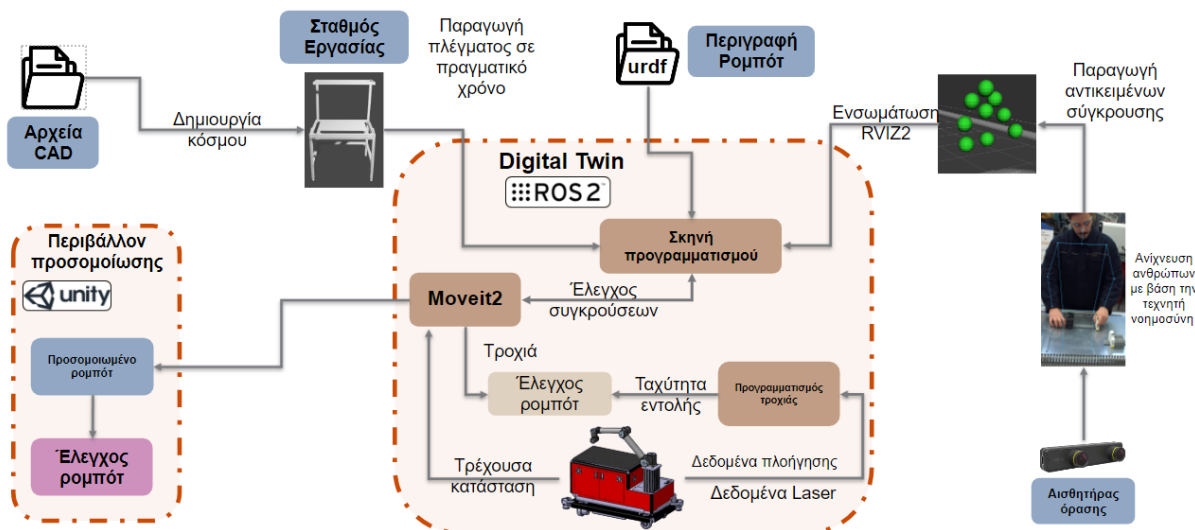
Στην εποχή της ψηφιακής μετάβασης, οι βιομηχανικές ανάγκες για αυξημένη ευελιξία, αποδοτικότητα και ασφάλεια στις διαδικασίες παραγωγής γίνονται ολοένα και πιο επιτακτικές. Η πρόκληση της επίτευξης αυτών των στόχων καλείται να αντιμετωπιστεί μέσω της εφαρμογής καινοτόμων τεχνολογικών λύσεων, όπως αυτή της δημιουργίας ενός Ψηφιακού Διδύμου για ένα ευέλικτο ρομποτικό σύστημα. Αυτή η προηγμένη τεχνολογική προσέγγιση συνδυάζει την ακρίβεια ενός ρομποτικού βραχίονα με την ευρύτητα των περιφερειακών εξοπλισμών και αισθητήρων, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη λύση για διεργασίες συναρμολόγησης.

Ο εγκέφαλος της προτεινόμενης τεχνολογίας είναι ένα σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης δεδομένων, που επιτρέπει την τρισδιάστατη αναπαράσταση σε πραγματικό χρόνο της κατάστασης του ρομποτικού συστήματος, καθιστώντας δυνατή την άριστη οπτικοποίηση και κατανόηση των διεργασιών από τον χρήστη. Η ενσωμάτωση αλγορίθμων λήψης αποφάσεων μετατρέπει τα συλλεγόμενα δεδομένα σε πολύτιμες πληροφορίες, επιτρέποντας την εύρεση του βέλτιστου τρόπου αναπροσαρμογής του συστήματος για νέα προϊόντα ή αντιμετώπιση απροσδόκητων συνθηκών.

Το Ψηφιακό Δίδυμο, υποστηριζόμενο από τεχνικές ανάλυσης δεδομένων και Τεχνητή Νοημοσύνη, παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα. Εκτός από τη δυνατότητα ομαλής συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και ρομπότ, προσφέρει προηγμένες δυνατότητες πρόγνωσης πιθανών σφαλμάτων, ανίχνευσης αιτιών για πιθανές βλάβες και αυτοματοποιημένης λήψης αποφάσεων. Η εφαρμογή της λύσης αυτής επιτρέπει την εξαιρετικά αποδοτική διαχείριση των παραγωγικών διεργασιών, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για επαναπρογραμματισμό και παρεμβάσεις, και καθιστώντας την παραγωγή πιο ευέλικτη και προσαρμόσιμη στις συνεχώς μεταβαλλόμενες αγοραστικές ανάγκες.

### 2.2.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Η αρχιτεκτονική του ψηφιακού διδύμου (Εικόνα 2) βασίζεται στην αποθήκευση και ανταλλαγή δεδομένων των διάφορων στοιχείων, με σκοπό την αναπαράσταση σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η αρχιτεκτονική, που βασίζεται στο ROS2, περιλαμβάνει αρκετά επιμέρους στοιχεία, των οποίων η λειτουργία καθώς και οι διασυνδέσεις μεταξύ τους αναλύονται παρακάτω. Αρχικά ο σταθμός εργασίας στο ψηφιακό περιβάλλον φορτώνεται με χρήση των αρχείων CAD. Αντίστοιχα, το ακριβές μοντέλο του ρομπότ ενσωματώνεται στο ίδιο περιβάλλον με χρήση της περιγραφής του η οποία δίνεται μέσω συγκεκριμένων xml αρχείων τα οποία ονομάζονται URDF. Για την επίτευξη του ελέγχου του ρομποτικού βραχίονα σε περιβάλλον στο οποίο υπάρχει και άνθρωπος χρησιμοποιείται παράλληλα το στοιχείο ανίχνευσης ανθρωπίνου σώματος το οποίο παράγει σημεία που γίνονται εμπόδια στην σκηνή προγραμματισμού του βραχίονα. Εφόσον λειτουργεί το περιβάλλον προσομοίωσης τότε παρέχει την κατάλληλη πληροφορία σχετικά με τις θέσεις των αρθρώσεων του ρομπότ όπως και τα δεδομένα των αισθητήρων. Όταν αποσταλεί εντολή για την κίνηση του βραχίονα, το στοιχείο Moveit2 παράγει ένα μονοπάτι το οποίο το ρομπότ ακολουθεί. Σε περίπτωση που υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης με τον άνθρωπο, το ρομπότ προσαρμόζει την συμπεριφορά του κατάλληλα και αναζητά εναλλακτικό μονοπάτι για την ολοκλήρωση της κίνησής του. Τέλος, το στοιχείο Nav2 αναλαμβάνει την πλοήγησή του ρομπότ στο ψηφιακό περιβάλλον χρησιμοποιώντας τα προσομοιωμένα δεδομένα των αισθητήρων.



Εικόνα 2 Περιγραφή εικόνας

### 2.2.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική συμπεριλαμβάνει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά:

#### 2.2.4.1 Δημιουργία εικονικού περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο

Για την ορθή λειτουργία του συστήματος είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός δυναμικού ψηφιακού διδύμου. Αυτό προϋποθέτει εκτός από την ενσωμάτωση της πληροφορίας του ρομπότ καθώς και του σταθμού εργασίας την δυνατότητα δυναμικής ενημέρωσης δεδομένης της πληροφορίας του περιβάλλοντος την προκειμένη χρονική στιγμή. Για να επιτευχθεί αυτό θα χρησιμοποιηθούν διάφοροι αισθητήρες βάθους και κάμερες οι οποίοι θα είναι σε θέση να ελέγχουν το περιβάλλον και να ανανεώνουν το ψηφιακό κόσμο κατάλληλα. Αυτή η δυνατότητα, θα επιτυγχάνει την αποτελεσματικότερη λειτουργία του ρομπότ καθώς θα είναι σε θέση να κινείται ευέλικτα στον ελεύθερο χώρο χωρίς τον κίνδυνο συγκρούσεων με δυναμικά αντικείμενα.

#### 2.2.4.2 Προσομοίωση

Το εν λόγω στοιχείο αφορά τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος προσομοίωσης για τη δοκιμή των λειτουργιών του ρομπότ το οποίο θα βασιστεί στην πλατφόρμα Unity. Η επιλογή αυτή οφείλεται τόσο στην άριστη δυνατότητα ανάπτυξης ρεαλιστικών γραφικών όσο και στην ευελιξία που παρέχει στον προγραμματισμό. Συγκεκριμένα, θα δημιουργηθεί ένα ψηφιακό περιβάλλον που αποτελεί αντιστοίχιση μίας αποθήκης, με πληθώρα εμποδίων τα οποία το ρομπότ πρέπει να αποφύγει. Εντός του περιβάλλοντος προσομοίωσης, το ρομπότ θα εκτελεί τις ίδιες λειτουργίες και κινείται με τα ίδια χαρακτηριστικά όπως και στην πραγματικότητα, διασφαλίζοντας έτσι την ακρίβεια των κινήσεών του. Σκοπός αυτού του στοιχείου είναι η διευκόλυνση της εκτέλεσης δοκιμών, εξαλείφοντας τον κίνδυνο ατυχημάτων και ζημίας τόσο για το ανθρώπινο δυναμικό όσο και για το υλικό.

#### 2.2.4.3 Ανίχνευση ανθρώπινου σώματος

Το συγκεκριμένο στοιχείο αφορά την παρακολούθηση των ανθρώπων γύρω από τον χώρο λειτουργίας του ρομπότ. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτείται η χρήση μιας κάμερας με δυνατότητα προσδιορισμού βάθους, η οποία τοποθετείται σε ένα σημείο με καλή γωνία θέασης για να μπορεί να επιβλέπει το ανθρώπινο δυναμικό. Μέσω ενός αλγορίθμου εκτίμησης της θέσης θα πραγματοποιηθεί η ανίχνευση των ανθρώπινων σωμάτων και η αποθήκευση των σημείων των αρθρώσεων των σκελετών στον χώρο. Παράλληλα, τα σημεία φιλτράρονται ως προς τον αριθμό και την απόστασή τους σχετικά με το ρομπότ, προκειμένου να αυξηθεί η ταχύτητα του προγράμματος. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι κρίσιμης σημασίας για τη λειτουργία του ρομπότ, καθώς παρέχει συνεχή γνώση της θέσης των ανθρώπων στον χώρο, επιτρέποντας έτσι την αποφυγή ενδεχόμενων κινδύνων και την αποτελεσματική διαχείριση των κινήσεων του ρομπότ.

#### 2.2.4.4 Έλεγχος τροχιάς ρομπότ βασισμένος στις ενέργειες/προθέσεις του ανθρώπου

Η εν λόγω μέθοδος είναι υπεύθυνη για την δημιουργία ενός συστήματος το οποίο θα αναλαμβάνει την αποφυγή σύγκρουσης του βραχίονα με τον άνθρωπο. Από την πληροφορία του ανθρώπινου σκελετού που έρχεται από το προηγούμενο στοιχείο θα δημιουργηθούν ορισμένα δυναμικά αντικείμενα σύγκρουσης στην σκηνή κίνησης και ελέγχου του βραχίονα. Παράλληλα, ένα πρόγραμμα θα ελέγχει διαρκώς τη θέση του τρέχοντος μονοπατιού σε σχέση με την θέση των σημείων αυτών. Σε περίπτωση, κινδύνου σύγκρουσης, το ρομπότ θα μπορεί είτε να περιμένει τον άνθρωπο, είτε να αλλάξει το μονοπάτι του. Έτσι θα μπορεί να επιτευχθεί παράλληλη συνεργασία χωρίς κινδύνους ατυχημάτων για τον χειριστή.

#### 2.2.5 1.5. Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η υιοθέτηση αυτής της τεχνολογικής λύσης αποτελεί σημαντική κίνηση προς τη βελτίωση της βιομηχανικής παραγωγής, προσφέροντας σημαντικά οφέλη σε επίπεδο αποδοτικότητας, ευελιξίας, και ανταπόκρισης σε απροβλέπτους παράγοντες. Η χρήση ενός Ψηφιακού Διδύμου επιτρέπει την άμεση και ακριβή αναπαράσταση της κατάστασης του ρομποτικού συστήματος και του περιφερειακού εξοπλισμού, όπως αισθητήρες και συστήματα όρασης. Αυτό σημαίνει ότι οι εργαζόμενοι μπορούν να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται τις διαδικασίες πιο αποτελεσματικά, ενισχύοντας την ασφάλεια και την αποδοτικότητα.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση αλγορίθμων που χρησιμοποιούν τα δεδομένα από το Ψηφιακό Δίδυμο για τη λήψη αποφάσεων και την εύρεση του βέλτιστου τρόπου αναπροσαρμογής του συστήματος προσφέρει μια δυναμική προσαρμοστικότητα στις μεταβαλλόμενες ανάγκες της παραγωγής. Η χρήση τεχνητής νοημοσύνης προσθέτει επίσης ένα επίπεδο προηγμένης ανάλυσης, επιτρέποντας την πρόγνωση και την πρόληψη πιθανών σφαλμάτων, καθώς και την

αυτοματοποιημένη λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπιση δυναμικών καταστάσεων. Τέλος, με τη μείωση του χρόνου για την αναδιαμόρφωση λειτουργίας του ρομποτικού συστήματος οι βιομηχανικοί φορείς έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται γρηγορότερα σε νέες παραγωγικές απαιτήσεις.

Η προσφερόμενη λύση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην εκτέλεση μια ευρείας γκάμας διαδικασιών. Σενάρια εφαρμογής όπως οι εργασίες συναρμολόγησης, οι λειτουργίες παλετοποίησης και ταξινόμησης, καθώς και οι εργασίες επιθεώρησης ή συγκόλλησης, μπορούν να επωφεληθούν σημαντικά από τις δυνατότητες που προσφέρει αυτή η καινοτόμα λύση.

Μέσω του Ψηφιακού Διδύμου, οι διαδικασίες συναρμολόγησης γίνονται πιο ευέλικτες και προσαρμοστικές, με την δυνατότητα να προσομοιώνονται και να βελτιστοποιούνται σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τον χρόνο και το κόστος παραγωγής. Στις λειτουργίες παλετοποίησης και ταξινόμησης, η ακρίβεια και η αποδοτικότητα ενισχύονται, καθώς το σύστημα μπορεί να προσαρμόζεται αυτόματα σε διαφορετικά μεγέθη και τύπους φορτίων, εξασφαλίζοντας ομαλή λειτουργία χωρίς στάσεις. Όσον αφορά τις εργασίες επιθεώρησης ή συγκόλλησης, η ακρίβεια της προσομοίωσης και η δυνατότητα λεπτομερούς ελέγχου μέσω του Ψηφιακού Διδύμου εξασφαλίζουν υψηλότερη ποιότητα τελικού προϊόντος.

Επιπρόσθετα, η λογιστική και άλλες εφαρμογές που απαιτούν συγκέντρωση και ανάλυση δεδομένων μπορούν να εκμεταλλευτούν την αποδοτική διαχείριση πληροφοριών που προσφέρει το Ψηφιακό Δίδυμο, βελτιώνοντας την ακρίβεια των λογιστικών εκτιμήσεων και της αποφασιστικής διαδικασίας. Η δυνατότητα συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και ρομποτικών συστημάτων ανοίγει τον δρόμο για μια νέα εποχή στην βιομηχανική παραγωγή, όπου η αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής γίνεται πιο φυσική, ασφαλής και αποδοτική.

Τέλος, το Ψηφιακό Δίδυμο και η ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη αναμένεται να έχουν μεγάλο βιομηχανικό αντίκτυπο, επιτρέποντας την επίτευξη υψηλότερων επιπέδων παραγωγικότητας, μειώνοντας το κόστος και αυξάνοντας την ποιότητα των προϊόντων, οδηγώντας σε βιώσιμη ανάπτυξη και ανταγωνιστικότητα στη σύγχρονη βιομηχανία.

## 2.3 Λογισμικό για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας προσθετικής κατασκευής με την χρήση υβριδικών μεθόδων

### 2.3.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

Οι διαδικασίες προσθετικής κατασκευής εν γένει παρουσιάζουν προκλήσεις σχετικές με την ποιότητά της, τόσο στο δομικό κομμάτι (παρουσία εγκλεισμάτων, πόρων και μικρορωγμών), όσο και γεωμετρικά. Προκειμένου να εντοπιστούν, και στο μέτρο του δυνατού, να εξαλειφθούν οι εν λόγω προκλήσεις, θα αναπτυχθούν κατάλληλοι αλγόριθμοι και εργαλεία λογισμικού.

### 2.3.2 Εισαγωγή

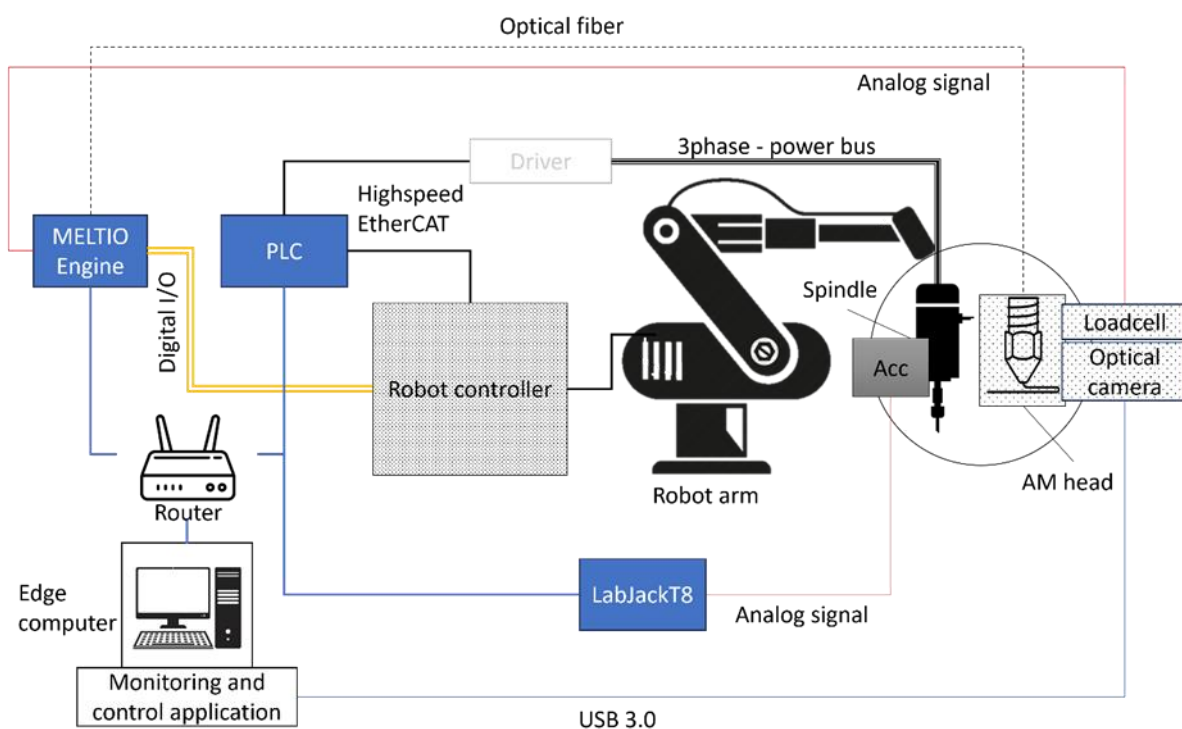
Η προσθετική μηχανική (AM) μετάλλων είναι μια τεχνολογία που ενσωματώνει πολύπλοκα φαινόμενα που αφορούν κυρίως την ψύξη και θέρμανση του υλικού και λαμβάνουν χώρα σε διαφορετικά σημεία του αναπτυσσόμενου τεμαχίου. Είναι βιβλιογραφικά τεκμηριωμένο [1] ότι η ισορροπία αυτών των φαινομένων είναι δύσκολο να προβλεφθεί, να εντοπιστεί και να ακόμα περισσότερο να αντιμετωπιστεί με τις κατάλληλες διορθωτικές κινήσεις. Οι κρίσιμες παράμετροι της διεργασίας είναι η ισχύς της δέσμης LASER, ο ρυθμός παροχής υλικού αλλά και η ταχύτητα κίνησης της κεφαλής εναπόθεσης υλικού. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν μοντέλα βασισμένα στη φυσική που να οδηγούν στην επιλογή των τιμών για τις παραπάνω παραμέτρους της διεργασίας μέσω συσχέτισης της επίδρασης των παραμέτρων στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λίκνης τηγμένου υλικού και εν γένει στην ποιότητα της διεργασίας, επιλέγονται πειραματικές διαδικασίες προκειμένου να μελετηθεί η συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων της διεργασίας και της σταθερότητας αυτής. Επιπλέον, η ισορροπία αυτή είναι μεταβαλλόμενη κατά την διάρκεια ανάπτυξης του ζητούμενου τεμαχίου καθώς η επίδραση που έχει η διαφορετική μετάδοση θερμότητας κατά το ύψος και πλάτος του τεμαχίου επηρεάζεται από την απόσταση με το υπόστρωμα αλλά και λόγω της κινηματικής συμπεριφοράς της κεφαλής που στιγμιαία οδηγεί σε υπερ-εναπόθεση υλικού και αυξημένη γραμμική ενεργειακή πυκνότητα. Συνέπεια των πολύπλοκων φαινομένων είναι τα ενδογενή κατασκευαστικά σφάλματα που σχετίζονται με πορώδης γεωμετρίες και ρωγμές αλλά και οι διαστασιολογική απόκλιση από τις επιθυμητές τιμές. Ταυτόχρονα, τα μεταβαλλόμενα φαινόμενα επηρεάζουν και τον φυσικό μηχανισμό της διεργασίας καθώς αλλάζει η απόσταση της κεφαλής από το τεμάχιο με συνέπεια σφάλματα όπως είναι η σύγκρουση του στερεού σύρματος με το τεμάχιο αλλά και σταγονίδια υλικού που υποδηλώνουν μια μη σταθερή διεργασία.

Η εμφάνιση αυτών των φαινομένων απαιτεί την τροποποίηση των κρίσιμων παραμέτρων ώστε να διασφαλιστεί η σταθερότητα της διεργασίας. Οι διορθωτικές κινήσεις βασίζονται αρχικά στον εντοπισμό μιας κρίσιμης κατάστασης μέσω συσκευών και συστημάτων παρακολούθησης της διεργασίας που επικεντρώνονται στην κατανόηση των κρίσιμων δεικτών που επιδεικνύουν την κατάσταση στην οποία βρίσκεται μια διεργασία.

Για να γίνει η παρακολούθηση και ο εντοπισμός των παραπάνω, είναι απαραίτητη η ύπαρξη εξοπλισμού παρατήρησης της διεργασίας όπως για παράδειγμα οπτική η θερμική κάμερα, πυρόμετρα, δέσμη laser για ανίχνευση γεωμετρικών ασυνεχειών, δυναμοκυψέλες για τον εντοπισμό φορτίων επαφής ανάμεσα στο σύρμα και το κομμάτι αλλά και θερμοζεύγη. Παρατηρούμε ότι τα περισσότερα από τα μετρητικά εστιάζουν στην αποτύπωση των διαστασιολογικών χαρακτηριστικών της ζώνης τηγμένου υλικού αλλά και στην αποτύπωση του θερμοκρασιακού πεδίου του υπό ανάπτυξη τεμαχίου. Αυτό υποδεικνύει και την σημαντικότητα των παραπάνω όσων αφορά την ποιότητα της διεργασίας αλλά και την μετέπειτα ποιότητα του τεμαχίου. Είναι σημαντική η συσχέτιση των παραπάνω ώστε να μπορούν να γίνουν διορθωτικές κινήσεις κατά την διάρκεια της διεργασίας

είτε μέσω του χειριστή είτε μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών που βασίζονται σε αλγορίθμους μηχανικής μάθησης και μοντέλα καθοδηγούμενα από δεδομένα.

### 2.3.3 Αρχιτεκτονική Λύσης



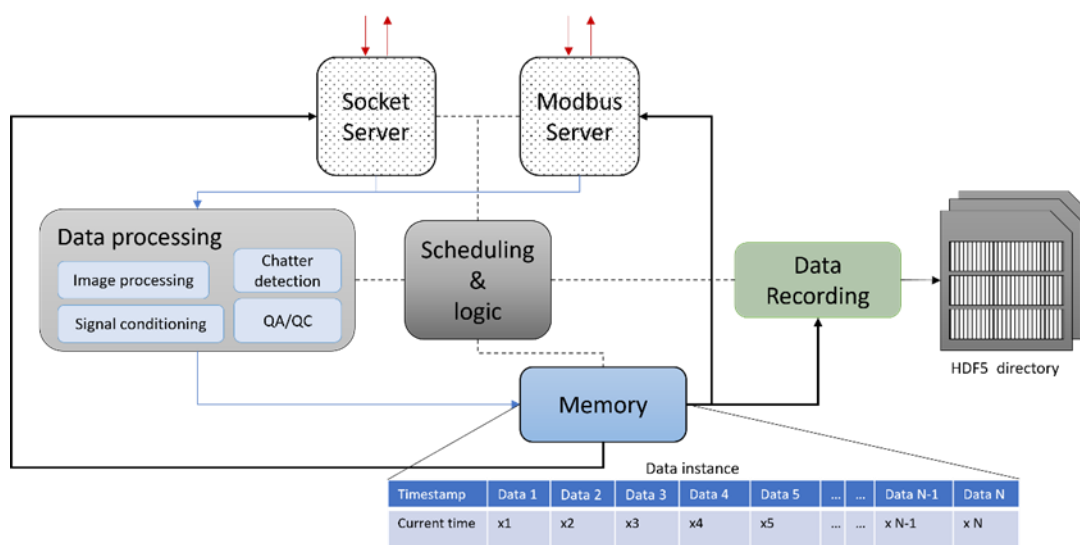
Εικόνα 3: Γενική αρχιτεκτονική λύσης και εγκατάστασης

Η σύνθεση του συστήματος, όπως απεικονίζεται στην παραπάνω εικόνα, περιλαμβάνει έξι (6) βασικά συστήματα: τον (i) ρομποτικό βραχίονα (robot), (ii) το σύστημα ελέγχου του ρομποτικού βραχίονα (Robot controller), την κεφαλή φρεζαρίσματος (milling head), (iii) την κεφαλή τρισδιάστατης εκτύπωσης (AM head), (iv) το σύστημα ελέγχου του milling head (PLC), (v) το σύστημα ελέγχου του AM head (MELTIO Engine) και τέλος (vi) ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο φιλοξενεί την εφαρμογή καταγραφής και διαχείρισης δεδομένων. Πρέπει να σημειωθεί ότι το AM head είναι εφοδιασμένο με μια κάμερα (Camera) η οποία καταγράφει τις εκπομπές της περιοχής του τηγμένου υλικού κατά την διάρκεια της διεργασίας Additive Manufacturing (AM) καθώς και ένα αισθητήρα φορτίου (Loadcell) ο οποίος καταγράφει τις μηχανικές τάσεις τις οποίες δέχεται το σύρμα, το οποίο τροφοδοτείται από το AM head προς το κομμάτι το οποίο κατασκευάζεται. Επίσης, το ρομπότ είναι εφοδιασμένο με αισθητήρες για την μέτρηση της θέσης των αρθρώσεων (position encoders) και μέτρησης της ροπής (torque sensors) που εφαρμόζουν. Τέλος, το milling head, έχει εγκατεστημένο ένα επιταχυνσιόμετρο (Acc) 3 αξόνων, το οποίο μετρά τις ταλαντώσεις της κεφαλής κατά την κατεργασία αφαίρεσης υλικού. Το αναλογικό σήμα καταγράφεται και ψηφιοποιείται από ένα εξωτερικό σύστημα (LabJackT8).

### 2.3.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Τα υπό-συστήματα τα οποία αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο επικοινωνούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας διαφορετικά μέσα μετάδοσης και πρωτόκολλα επικοινωνίας. Εκείνες οι συνδέσεις οι οποίες σχετίζονται με την παρούσα εφαρμογή αναφέρονται παρακάτω:

- Σύνδεση Robot controller – PLC: Μέσω της χρήσης του πρωτοκόλλου EtherCAT τα δύο συστήματα υλοποιούν επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο με πολύ χαμηλούς χρόνους ανανέωσης (μικρότερους των 100μs).
- Σύνδεση MELTIO Engine – Robot Controller: Η επικοινωνία μεταξύ των δύο συστημάτων πραγματοποιείται με την χρήση 8 παράλληλων ψηφιακών εισόδων/εξόδων (I/O) εξασφαλίζοντας την άμεση απόκριση τους.
- Σύνδεση Loadcell – MELTIO Engine: Ο αισθητήρας φορτίου δημιουργεί ένα αναλογικό σήμα το οποίο ψηφιοποιείται και καταγράφεται από δεύτερο σύστημα μέσω ενός DAQ σε πραγματικό χρόνο.
- Σύνδεση Optical camera – Edge computer: Η κάμερα επικοινωνεί και στέλνει σε πραγματικό χρόνο τα καρέ τα οποία καταγράφει μέσω μιας διεπαφής USB 3.0.
- Τοπικό δίκτυο MELTIO Engine – PLC – LabJackT8 – Edge Computer: Με την χρήση ενός router ένα δίκτυο τύπου LAN δημιουργείται και παρέχει την δυνατότητα για επικοινωνία μεταξύ των τεσσάρων συστημάτων. Η επικοινωνία μεταξύ MELTIO Engine – Edge Computer πραγματοποιείται μέσω το πρωτοκόλλου TCP/IP Socket με το δεύτερο να αναλαμβάνει τον ρόλο του διακομιστή και το πρώτο τον ρόλο του πελάτη. Αντίστοιχα η επικοινωνία μεταξύ PLC - Edge Computer και LabJackT8 – Edge Computer πραγματοποιείται μέσω του πρωτοκόλλου Modbus. Όπως και προηγουμένως το δεύτερο σύστημα αναλαμβάνει τον ρόλο του διακομιστή και το πρώτο τον ρόλο του πελάτη.



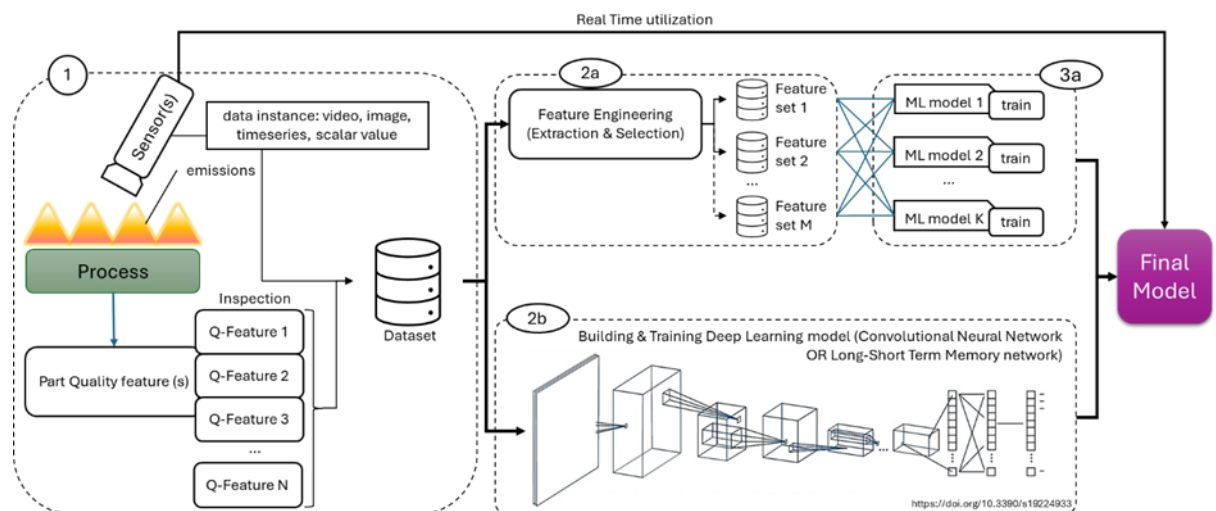
Εικόνα 4: Τεχνική περιγραφή λύσης

Μία εφαρμογή δημιουργείται για την καταγραφή και διαχείριση των σημάτων και των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η εφαρμογή αναπτύσσεται με την χρήση της γλώσσας Python, η οποία ως μια διερμηνευόμενη (interpreted) γλώσσα δίνει την δυνατότητα για την χρήση της εφαρμογής σε διαφορετικά λειτουργικά συστήματα. Εξωτερικές βιβλιοθήκες λογισμικού χρησιμοποιούνται για να καταστήσουν δυνατή την δημιουργία διακομιστών Socket και Modbus, καθώς και για την οδήγηση της κάμερας (pylon). Επίσης εξωτερικές βιβλιοθήκες για τις υπολογιστικές

ανάγκες (OpenCV, NumPy) και την καταγραφή των δεδομένων (HDF5) χρησιμοποιούνται. Η δομή και η λειτουργία της εφαρμογής παρουσιάζεται στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 4).

Οι διακομιστές (Socket/Modbus Server) αναλαμβάνουν την αποστολή και λήψη των δεδομένων από και προς την εφαρμογή. Τα δεδομένα τα οποία λαμβάνονται επεξεργάζονται (Data processing). Αναλόγως με τον τύπο των δεδομένων, αυτά διαχειρίζονται από τον εκάστοτε αλγόριθμο. Για τα δεδομένα τα οποία προέρχονται από την κάμερα, οι αλγόριθμοι μηχανικής όρασης (Image processing) αναλαμβάνουν την προ επεξεργασία τους των εικόνων και την εξαγωγή ενός αριθμού βαθμωτών και διανυσματικών τιμών η αλλιώς χαρακτηριστικών (features). Για τα δεδομένα τα οποία προέρχονται από το MELTIO Engine, το PLC και το LabJackT8 οι τιμές τους ελέγχονται και φιλτράρονται από αντίστοιχους αλγόριθμους (Signal conditioning) και κατά αναντιστοιχία ένας αριθμός βαθμωτών και διανυσματικών τιμών προκύπτει ως έξοδος. Οι τιμές του επιταχυνσιομέτρου (Acc) όπως λαμβάνονται από το LabJackT8 φιλτράρονται καταλλήλως και επεξεργάζονται από τον αλγόριθμο ανίχνευσης chatter, εξαγοντας ένα αριθμό βαθμωτών τιμών. Τέλος ένα μέρος των παραπάνω τιμών καταλήγει στον αλγόριθμο αξιολόγησης ποιότητας και ελέγχου της διεργασίας (QA/QC) ο οποίος έχει ως έξοδο με την σειρά του έναν αριθμό βαθμωτών τιμών οι οποίες είτε αφορούν τιμές ελέγχου (control values) είτε είναι ετικέτες ποιότητας (quality labels). Όλες οι παραπάνω τιμές αλλά και τα καρέ της κάμερας διατάσσονται σε ένα «διάνυσμα γραμμής» (Data instance) μαζί την αντίστοιχη χρονική σήμανση στην προσωρινή μνήμη της εφαρμογής (Memory). Από αυτό το σημείο είτε καταγράφονται σε κάποιο αρχείο (Data Recording) είτε προωθούνται στους διακομιστές για αποστολή στα αντίστοιχα συστήματα. Ο συγχρονισμός μεταξύ των διαφόρων εσωτερικών λειτουργιών της εφαρμογής αλλά και οι λογικοί κανόνες που διέπουν την εκτέλεση τους πραγματοποιούνται από μια κεντρική μονάδα ελέγχου (Scheduling & logic).

Ο αλγόριθμος QA/QC όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αφορά τόσο την διεργασία AM όσο και την κατεργασία αφαίρεσης υλικού. Και στις δύο περιπτώσεις η ανάπτυξη των μοντέλων μηχανικής μάθησης για την αξιολόγηση της ποιότητας κάνοντας χρήση των εκάστοτε αισθητήρων πραγματοποιείται μέσω αλγορίθμων επιβλεπόμενης μάθησης (Supervised Learning). Η εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 5) αποτυπώνει αναλυτικά την ροή των εργασιών κατά την εφαρμογή της επιβλεπόμενης μάθησης για την ανάπτυξη ενός μοντέλου.



Εικόνα 5: Αρχιτεκτονική Νευρικών Μοντέλων Βαθιάς Μάθησης

Στην περίπτωση συμβατικών μοντέλων μηχανικής μάθησης η πρώτη ροή ορίζεται από τα στάδια 1, 2a & 3a, ενώ στην περίπτωση ανάπτυξης μοντέλων βαθιάς μάθησης τα στάδια 1 & 2b

ορίζουν την δεύτερη ροή. Ανάλογα με την φύση των δεδομένων στην περίπτωση την πρώτης ροής το στάδιο 2a αφορά είτε το image process είτε το signal conditioning.

Με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά να είναι γνωστά μέσω των μοντέλων μηχανικής μάθησης κατά την διάρκεια της διεργασίας/κατεργασίας ένας Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός ελεγκτής παραμετροποιείται ώστε να ρυθμίζει σε πραγματικό χρόνο τις μεταβλητές της διεργασίας. Έχοντας ένα σημείο αναφοράς και μια μετρούμενη τιμή (πρόγνωση του μοντέλου ή/και μέτρηση από αισθητήρα) το σφάλμα μεταξύ αυτών χρησιμοποιείται ώστε ο ελεγκτής να διορθώσει την μεταβλητή εισόδου του ενεργοποιητή (π.χ. ισχύς του LASER, ταχύτητα περιστροφής κοπτικού εργαλείου).

Ένα γραφικό περιβάλλον επιτρέπει στο χρήστη να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα τα οποία καταγράφονται από τους αισθητήρες αλλά και το αποτέλεσμα αξιολόγηση των μοντέλων μηχανικής μάθησης. Επιπλέον επιτρέπει την ενεργοποίηση του συστήματος αυτόματου ελέγχου την διεργασίας/κατεργασίας ο οποίος πραγματοποιείται βάσει του προκαθορισμένου ελεγκτή κλειστού βρόχου. Επιπλέον ο χρήστης μπορεί να ανακαλέσει και να αναπαράγει ιστορικά δεδομένα μέσω μια διαφορετικής οθόνης.

### 2.3.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Τα οφέλη της τεχνολογικής λύσης είναι αφενός η πρόβλεψη της ποιότητας των παραγόμενων τεμαχίων σε πραγματικό χρόνο το οποίο επιτρέπει την διαχείριση τους σε πραγματικό χρόνο εντός ενός παραγωγικού συστήματος, αλλά και αφετέρου η ελαχιστοποίηση η ακόμα και την εκμηδένιση της ανάγκης καταστροφικών ελέγχων ποιότητας. Εκτός αυτών η δυνατότητα ελέγχου των κατεργασιών/διεργασιών σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει την αποφυγή σφαλμάτων αλλά και γενικότερα την μείωσή τους.

Η τεχνολογική λύση δύναται να εφαρμοσθεί και για άλλες κατεργασίες, όπως την συγκόλληση μετάλλων και κοπή με την χρήση LASER η άλλων πηγών θερμικής ενέργειας. Ωστόσο κάτι τέτοιο απαιτεί φυσικά την συλλογή δεδομένων από την εκάστοτε διεργασία και την επανεκπαίδευση των σχετικών μοντέλων μηχανικής μάθησης.

## 2.4 Λογισμικό για την δημιουργία συνθετικών για την εκπαίδευση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης

### 2.4.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

Η παρούσα λύση προσφέρει ένα πλαίσιο δημιουργίας συνόλων δεδομένων μέσω μιας αλυσίδας εργαλείων προσομοίωσης. Το πλαίσιο χρησιμοποιείται για την δημιουργία συνθετικών εικόνων όπως π.χ. κατεργασμένων κομματιών. Καταστάσεις των αντικειμένων όπως η περιστροφή τους γύρω από έναν άξονα πρέπει να αναγνωριστούν από ένα σύστημα CV το οποίο υποστηρίζει μια μηχανουργική διαδικασία.

### 2.4.2 Εισαγωγή

Η συλλογή και μεταφορά δεδομένων έχει γίνει μια εδραιωμένη πτυχή των σύγχρονων εργοστασίων παραγωγής σύμφωνα με τις εντολές της Βιομηχανίας 4.0, με τα δεδομένα που συλλέγονται να αφορούν κυρίως τα χαρακτηριστικά των προϊόντων, των μηχανών, της γραμμής παραγωγής και των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στις παραγωγικές διαδικασίες. Συνήθως, μόνο ελάχιστα από αυτά τα δεδομένα είναι άμεσα κατάλληλα για Μηχανική Μάθηση και ειδικότερα για εργασίες Υπολογιστικής Όρασης, καθώς τα διαθέσιμα δεδομένα συνήθως είτε υπολείπονται κατηγοριοποίησης (ετικέτες) είτε δεν είναι κατάλληλα για την αντιμετώπιση του προβλήματος όρασης παραγωγής που αντιμετωπίζει η βιομηχανία. Επιπλέον, τα θέματα απορρήτου και προσβασιμότητας των δεδομένων εμποδίζουν συχνά τη συλλογή δεδομένων για εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης, καθιστώντας τη δημιουργία συνθετικών δεδομένων αναγκαία. Με τα συνθετικά δεδομένα να εδραιώνονται σταδιακά έναντι των παραδοσιακών δεδομένων in-vitro που απαιτούν ακριβό εξοπλισμό, ανθρώπινους πόρους, αρκετό χρόνο παρακολούθησης και χειροκίνητη επισήμανση, τα συνθετικά δεδομένα τείνουν να βελτιστοποιήσουν τις τρέχουσες πρακτικές στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης, και ειδικότερα, στον τομέα της Μηχανικής Όρασης.

Επιτρέποντας στους υπολογιστές να εξάγουν πληροφορίες από εικόνες ή βίντεο ως εναλλακτική λύση ή ως συμπλήρωμα στην ανθρώπινη όραση, η Μηχανική Όραση βελτιώνει την ποιότητα των προϊόντων, μειώνει τον χρόνο συντήρησης, ενισχύει την αποτελεσματικότητα παραγωγής ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί πρόσθετα οφέλη σε θέματα ασφάλειας και λειτουργικότητας με τη μείωση της ανθρώπινης εμπλοκής στις βιομηχανικές διαδικασίες. Αξιοποιώντας το χαμηλό κόστος, την εύκολη πρόσβαση, τον γρήγορο χρόνο παραγωγής και την αυτόματη επισήμανση/κατηγοριοποίηση των συνθετικών δεδομένων και τα λειτουργικά οφέλη της Μηχανικής Όρασης, το έργο αποφάσισε να εφαρμόσει αυτήν την λύση με στόχο την ανάπτυξη μιας λειτουργικής και αυτοματοποιημένης πλατφόρμας παραγωγής συνθετικών δεδομένων και εκπαίδευσης αυτών.

Στόχος της παραγόμενης λύσης είναι μια πλήρως αυτοματοποιημένη πλατφόρμα κατάλληλη για ειδικούς στον τομέα της Τεχνητής Νοημοσύνης αλλά και ανειδίκευτους μηχανικούς που επιθυμούν να αναπτύξουν την πρώτη τους λύση οπτικής αναγνώρισης. Για να εξυπηρετήσει και τις δύο κατηγορίες πελατών, η πλατφόρμα θα προσφερθεί σε τρία εμπορικά πακέτα:

- Μία δωρεάν έκδοση της web πλατφόρμας με περιορισμένη χρηστικότητα άλλα πλήρως λειτουργική ώστε να αντιπροσωπεύει πλήρως τις ικανότητες της full-scale πλατφόρμας και των πλεονεκτημάτων των συνθετικών δεδομένων και της TN για βιομηχανικά περιβάλλοντα.
- Μία έκδοση επί πληρωμή όπου οι χρήστες θα έχουν πλήρη πρόσβαση στην πλατφόρμα δημιουργίας συνθετικών δεδομένων και εκπαίδευσης αυτών καθώς και μια ευρύτερη ποικιλία υλικών, τρισδιάστατων σκηνών και μοντέλων TN.

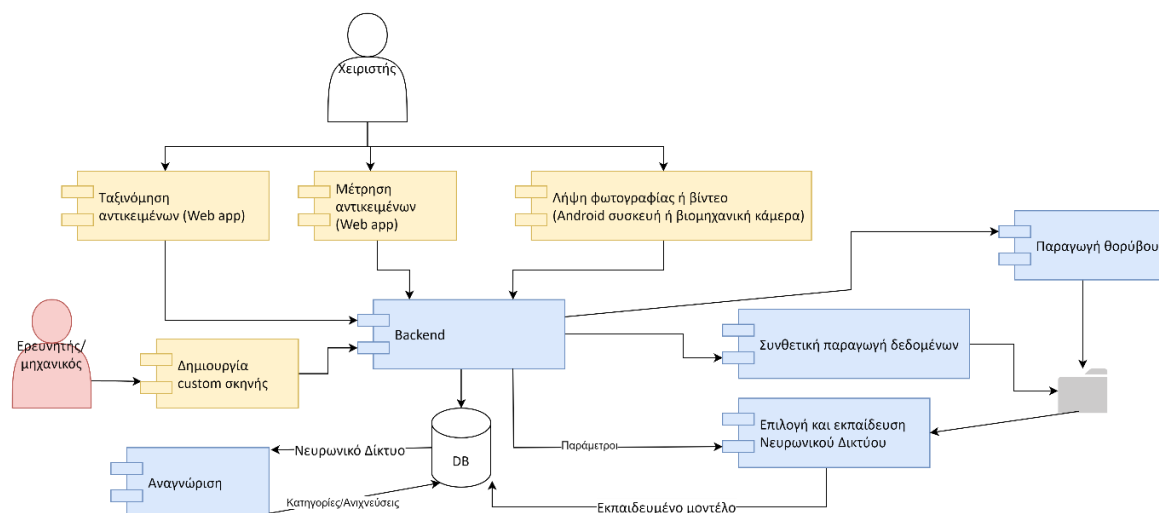
## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων

- Μία έκδοση επί πληρωμή η οποία θα περιλαμβάνει την προαναφερθείσα πλήρη έκδοση παραγωγής δεδομένων καθώς και ένα operator’s interface με κατάλληλες διεπαφές για την σύνδεση με βιομηχανικό εξοπλισμό παρακολούθησης (κάμερες) και την αναγνώριση αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο και πραγματικές βιομηχανικές συνθήκες κατά την καθημερινή λειτουργία ενός εργοστασίου. Η παρούσα έκδοση θα συμπεριλαμβάνει και υποστήριξη εγκατάστασης εξοπλισμού, συντήρησης, ανάπτυξης λύσεων και πρόσθετων αναγκών.

### 2.4.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Η πλατφόρμα δημιουργίας συνθετικών δεδομένων και εκπαίδευσης μοντέλων TN ακολουθεί μια απλή και αποτελεσματική αρχιτεκτονική, η οποία λαμβάνει υπ’ όψιν όλες τις σύγχρονες μεθόδους ανάπτυξης λογισμικού όπως ορίζει το Industry 4.0. Όπως απεικονίζεται στην κάτωθι εικόνα, η πλατφόρμα αποτελείται από αρκετά επιμέρους στοιχεία των οποίων θα αναλύσουμε την επιμέρους λειτουργία και τις μεταξύ τους διασυνδέσεις και διεπαφές.

- Web user interface
- Συνθετική παραγωγή δεδομένων και παραγωγή θορύβου
- Επιλογή και εκπαίδευση νευρωνικού μοντέλου TN
- Βάση δεδομένων και αποθηκευτικός χώρος
- API σύστημα
- Αισθητήρια και περιφερειακά



Εικόνα 6 Αρχιτεκτονική λύσης

#### 2.4.3.1 Web user interface

Αυτό το στοιχείο αποτελεί το κεντρικό σημείο αλληλεπίδρασης με τον χρήστη και χωρίζεται σε δύο κύρια περιβάλλοντα: το developer’s interface και το operator’s interface. Μέσω του πρώτου περιβάλλοντος, ο χρήστης θα έχει την δυνατότητα: α) να δημιουργήσει τον λογαριασμό του και να εγγραφεί στην πλατφόρμα, β) να επιλέξει το εμπορικό πακέτο της πλατφόρμας που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει, γ) να ανεβάσει σχεδιαστικά αρχεία των προϊόντων που θέλει να αναγνωρίσει, δ) να παράγει συνθετικές εικόνες εφαρμόζοντας μια πληθώρα από παραμέτρους παραγωγής όπως (φόντο, υλικό, θέση αντικειμένων, αριθμός αντικειμένων, στοίχιση κλπ.), ε) να ρυθμίσει και να εκπαιδεύσει

μοντέλα TN εφαρμόζοντας μια πληθώρα από παραμέτρους εκπαίδευσης, στ) να αποθηκεύσει τα παραγόμενα δεδομένα και μοντέλα TN.

Μέσω του δεύτερου περιβάλλοντος (operator's interface), ο χρήστης δύναται να παρακολουθήσει και να πραγματοποιήσει την αναγνώριση αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο και πραγματικές βιομηχανικές συνθήκες κατά την καθημερινή λειτουργία ενός εργοστασίου ύστερα από την ενσωμάτωση βιομηχανικών καμερών ή άλλου είδους οπτικών αισθητηρίων.

#### 2.4.3.2 Συνθετική παραγωγή δεδομένων και παραγωγή θορύβου

Αυτό το στοιχείο είναι υπεύθυνο για την πλήρη παραγωγή συνθετικών δεδομένων και τον εμπλουτισμό τους κατά ποσοστό με θόρυβο. Η εφαρμογή αυτή θα επικοινωνεί με την κεντρική πλατφόρμα και την βάση δεδομένων. Οι πληροφορίες που θα εισάγει ο χρήστης μέσω του κεντρικού user interface θα μεταφέρονται στην παρούσα, παραμετροποιημένη εφαρμογή, η οποία είναι υπεύθυνη για την δημιουργία μιας συνθετικής σκηνής, την προσθήκη αντικειμένων, την τοποθέτηση τους στις ζητούμενες θέσεις, την επιβολή υλικού και φόντου, την κατηγοριοποίηση/επισήμανση τους για να είναι δυνατή η εκπαίδευση οπτικής αναγνώρισης και τέλος την εξαγωγή των εικόνων και των αντίστοιχων αρχείων επισήμανσης. Μετ' έπειτα, μέρος των παραγόμενων εικόνων θα οδηγείται σε ένα υποστοιχείο επιβολής θορύβου κατά το οποίο μέρος του συνόλου δεδομένων δέχεται φίλτρα θορύβου για την πιο ανθεκτική εκπαίδευση των νευρωνικών μοντέλων και την αποφυγή του φαινομένου overfitting.

#### 2.4.3.3 Επιλογή και εκπαίδευση μοντέλου TN

Το παρόν στοιχείο είναι υπεύθυνο για την αξιοποίηση των παραγόμενων συνόλων δεδομένων και την ανάλογη εκπαίδευση τους για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εργασίες οπτικής αναγνώρισης. Η δημιουργία νευρωνικών δικτύων TN ρυθμίζεται μέσω της κεντρικής πλατφόρμας από τον χρήστη, εισάγοντας τις απαιτούμενες παραμέτρους εκπαίδευσης και στέλνοντας τις στην παρούσα εφαρμογή μέσω ενός διακομιστή. Η εφαρμογή μετ' έπειτα, έχοντας πρόσβαση στα σύνολα δεδομένων που έχει δημιουργήσει ο χρήστης, επιτρέπει την εκπαίδευση των μοντέλων. Προϊόν αυτής της διαδικασίας είναι τα έτοιμα μοντέλα TN τα οποία αποθηκεύονται σε τοπική μορφή λόγω μεγάλου όγκου. Κατά την επιλογή και εκπαίδευση μοντέλου, ο χρήστης θα έχει πρόσβαση σε μια πληθώρα μοντέλων που προσφέρονται από τις προαναφερθείσες βιβλιοθήκες, τα οποία θα μπορεί να εκπαιδεύσει κατάλληλα.

#### 2.3.4.4 API σύστημα

Η εφαρμογή του API ουσιαστικά λειτουργεί ως την κρυφή κεντρική εφαρμογή της πλατφόρμας, η οποία είναι υπεύθυνη για τον εσωτερικό διαμοιρασμό αρχείων και πληροφοριών μεταξύ των υπολοίπων εργαλείων. Ως εκ τούτου, το API element λαμβάνει ορίσματα από τις επιλογές του χρήστη μέσω του κεντρικού περιβάλλοντος εργασίας και τα επικοινωνεί στα εκάστοτε, λοιπά στοιχεία συμπεριλαμβανομένης και της βάσης δεδομένων.

#### 2.3.4.5 Βάση δεδομένων και αποθηκευτικός χώρος

Λειτουργία της βάσης δεδομένων αποτελεί η αποθήκευση παραμέτρων και αποτελεσμάτων. Εν αντιθέσει, η αποθήκευση των συνόλων δεδομένων και των νευρωνικών δικτύων οφείλει να γίνει με παραδοσιακές μεθόδους αποθήκευσης λόγω μεγάλου απαιτούμενου χώρου και αποθήκευσης και μη επιτρεπτού τύπου.

### 2.3.4.6 Αισθητήρια και περιφερειακά

Σε αυτό το στοιχείο συμπεριλαμβάνονται τα φυσικά αντικείμενα παρακολούθησης της παραγωγής, οι διεπαφές τους και οι αλγόριθμοι λειτουργίας τους. Σε αυτό το υποσύνολο στοιχείων αναφέρονται αισθητήρια όπως βιομηχανικές κάμερες, μηχανισμοί στήριξης, στοιχεία σύνδεσης, δίκτυα σύνδεσης και εφαρμογές λήψης και βελτιστοποίησης οπτικού υλικού.

### 2.4.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Η πλατφόρμα δημιουργίας συνθετικών δεδομένων και εκπαίδευσης μοντέλων TN χωρίζεται ιεραρχικά σε 4 κύρια στάδια όπως απεικονίζεται παρακάτω: α) η βάση δεδομένων, β) οι αλγόριθμοι συνθετικής παραγωγής δεδομένων και εκπαίδευσης μοντέλων TN, γ) το API σύστημα και δ) το περιβάλλον χρήστη. Η επικοινωνία μεταξύ των εκάστοτε στοιχείων επιτυγχάνεται ως εκ τούτου με τη χρήση των MQTT και HTTPS πρωτόκολλων.



Εικόνα 7 Αρχιτεκτονική πλατφόρμας

#### 2.4.4.1 Web user interface

Στόχος είναι η παραγωγή μιας web πλατφόρμας με την εφαρμογή γλωσσών ανοιχτού κώδικα όπως Javascript, CSS και HTML. Η πλατφόρμα αυτή θα εξυπηρετείται μέσω ενός server και θα επικοινωνεί με όλα τα επιμέρους στοιχεία της λύσης συμπεριλαμβανομένου και του αποθηκευτικού στοιχείου (βάση δεδομένων).

#### 2.4.4.2 Συνθετική παραγωγή δεδομένων και παραγωγή θορύβου

Ακρογωνιαίος λίθος της εφαρμογής θα είναι η το λογισμικό ανοιχτού κώδικα Blender3D, η οποία είναι μια μηχανή γραφικών με δυνατότητα παραγωγής άκρως ρεαλιστικών εικόνων και βίντεο. Η αυτοματοποίηση παραγωγής δεδομένων και η επιβολή θορύβου θα επιτευχθεί μέσω εφαρμογών στηριζόμενες στην γλώσσα ανοιχτού κώδικα Python.

#### 2.4.4.3 Επιλογή και εκπαίδευση μοντέλου TN

Οδηγός για την ανάπτυξη αυτής της εφαρμογής είναι κατά κύριο λόγο η γλώσσα ανοικτού κώδικα Pythοn και συγκεκριμένα, βιβλιοθήκες Ανάπτυξης Μοντέλων Τεχνητής Νοημοσύνης όπως η Tensorflow και η Pytorch.

#### 2.4.4.4 Βάση δεδομένων και αποθηκευτικός χώρος

Για την αποθήκευση δεδομένων και πληροφοριών, η πλατφόρμα συνθετικής παραγωγής δεδομένων υιοθετεί μία ανοικτού κώδικα βάση δεδομένων και συγκεκριμένα αυτή της MySQL.

#### 2.4.4.5 API σύστημα

Το API σύστημα της πλατφόρμας θα αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού ανοικτού κώδικα Java, και θα είναι υπεύθυνο για τον εσωτερικό διαμοιρασμό αρχείων και πληροφοριών μεταξύ των υπολοίπων εργαλείων του συστήματος. Αυτή η κρίσιμη λειτουργία διευκολύνει την ομαλή συνεργασία και επικοινωνία μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων της λύσης, ενώ διασφαλίζει την αποδοτική διαχείριση δεδομένων.

#### 2.4.4.6 Αισθητήρια και περιφερειακά

Οδηγός για την ανάπτυξη αυτής της εφαρμογής είναι κατά κύριο λόγο η γλώσσα ανοικτού κώδικα Pythοn και η απομακρυσμένη, δικτυακή σύνδεση αντικειμένων.

### 2.4.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η εν λόγω λύση προσφέρει μια πρωτοποριακή προσέγγιση στη συνθετική παραγωγή δεδομένων και την ανάπτυξη εφαρμογών, χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες και γλώσσες ανοικτού κώδικα. Χάρη στην προσβάσιμη και φιλική προς τον χρήστη web πλατφόρμα, ο χρήστης αποκτά τη δυνατότητα δημιουργίας ρεαλιστικών, συνθετικών εικόνων έχοντας ταυτόχρονα την επιλογή να προσαρμόσει την διαδικασία παραγωγής εικόνων με βάση τις προτιμήσεις του. Παράλληλα, παράγονται αυτόματα οι ετικέτες που αντιστοιχούν σε κάθε εικόνα, επιτρέποντας έτσι την εύκολη εκπαίδευση ενός νευρωνικού δικτύου με την απλή ενέργεια ενός κλικ. Σε γενικότερο πλαίσιο, η χρήση συνθετικών δεδομένων έναντι πραγματικών ωφελεί του χρήστης της προσφέροντας υψηλότερους ρυθμούς εκπαίδευσης δεδομένων, ισορροπημένη εκπαίδευση ανάμεσα σε πολλές κατηγορίες αντικειμένων, χαμηλότερο κόστος εκπαίδευσης και παραγωγής μοντέλων TN. Αυτά τα σενάρια θα εξεταστούν και από τους εργαστηριακούς πιλότους που θα εκτελέσει και παρουσιάσει η δραστηριότητα σε επόμενα παραδοτέα.

Οι γραμμές μαζικής παραγωγής όπως εκείνες των μετάλλων (χάλυβας, αλουμίνιο, χαλκός) και αυτές των πολυμερών και της συσκευασίας αγαθών αντιμετωπίζουν καθημερινά μεγάλες παρτίδες παραγωγής με πολλούς και διαφορετικούς κωδικούς προϊόντων. Μετά την παραγωγή τους, τα προϊόντα κάθε παρτίδας οφείλουν να αποθηκευτούν και να καταγραφούν ψηφιακά, συμβάλλοντας συχνά σε μια πολύ εργοβόρα διαδικασία η οποία αποτελεί bottleneck για την παραγωγική διαδικασία ενός εργοστασίου. Η μέτρηση και η αναγνώριση ενός τόσο μεγάλου αριθμού αντικειμένων είναι δύσκολη, χρονοβόρα και κουραστική, ενώ η αβεβαιότητα της χειροκίνητης μέτρησης σε τέτοια πυκνά και μη δομημένα περιβάλλοντα αποτελεί εμπόδιο για την επίτευξη ακριβούς καταγραφής των προϊόντων. Συνεπώς, η οπτική αναγνώριση παρουσιάζεται ως μια πολύ ελκυστική μέθοδος για την αναγνώριση αντικειμένων, καθώς παρέχει κατάλληλο εντοπισμό των αντικειμένων και ταξινόμηση τους. Συγκεκριμένες εφαρμογές τέτοιου είδους οπτικής αναγνώρισης αφορούν:

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων

- Την κατηγοριοποίηση προϊόντων
- Την ανίχνευση θέσης προϊόντων
- Την μέτρηση και καταγραφή προϊόντων
- Τον ποιοτικό έλεγχο προϊόντων έπειτα από αναγνώριση ελαττωμάτων

Σημαντικά βιομηχανικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη που μπορούν να λάβουν οι χρήστες της πλατφόρμας ύστερα από την συνθετική παραγωγή δεδομένων, την εκπαίδευση μοντέλων TN και την παρακολούθηση της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο μέσω οπτικών αισθητηρίων περιλαμβάνουν:

- Μείωση σε σπατάλες αποθέματος
- Βελτίωση της απόδοσης ενός σταθμού παραγωγής
- Μείωση του χρόνου προετοιμασίας προϊόντων προς την αγορά
- Εξισορρόπηση φυλετικών διακρίσεων και
- Εξοικείωση εργαζομένων με προηγμένες βιομηχανικές τεχνολογίες όπως η TN.

## 2.5.α Αλγόριθμοι Προσομοίωσης για Ψηφιακά Δίδυμα Εξοπλισμού στην Βιομηχανία 4.0

### 2.5.α.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

Η παρούσα τεχνολογική λύση προσφέρει μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα Ψηφιακού Διδύμου με δυνατότητες όπως απεικόνιση 3D μοντέλων εξοπλισμού, διασύνδεση με ιστορικά δεδομένα και δεδομένα πραγματικού χρόνου καθώς και την ενσωμάτωση εξελιγμένων τεχνικών (βαθιάς) μηχανικής μάθησης για την υποστήριξη καινοτόμων υπηρεσιών όπως έγκαιρη διάγνωση βλαβών, προληπτική συντήρηση κ.α. Επιπλέον, οι αλγόριθμοι αυτοί σε συνδυασμό με τις λειτουργίες μοντελοποίησης του Ψηφιακού Διδύμου θα επιτρέψουν τη δημιουργία ενός δυναμικού περιβάλλοντος προσομοίωσης μίας γραμμής παραγωγής ή μιας μηχανής σε μία παραγωγική μονάδα. Στο περιβάλλον αυτό θα είναι δυνατή η πρόβλεψη τυχόν αστοχιών ή βλαβών, η παρακολούθηση μέσω ψηφιακής απεικόνισης των συνθηκών λειτουργίας των μηχανημάτων παραγωγής καθώς σε μεταγενέστερο στάδιο θα είναι δυνατή και η διασύνδεση τους με διαδικασίες όπως η εφοδιαστική αλυσίδα, ο ποιοτικός έλεγχος κ.α.

### 2.5.α.2 Εισαγωγή

Η έννοια της Βιομηχανίας 4.0, ή της «Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης», αποτελεί πλέον κυρίαρχο θέμα στις συζητήσεις που αφορούν τον μετασχηματισμό του βιομηχανικού τομέα. Η Βιομηχανία 4.0 είναι ένα πλαίσιο που συνδυάζει σύγχρονες τεχνολογίες και διαδικασίες ανάλυσης δεδομένων, προκειμένου να διευκολυνθεί η έγκαιρη και έγκυρη λήψη αποφάσεων. Αυτό το πλαίσιο βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT) και τα κυβερνο-φυσικά συστήματα, τα οποία είναι έξυπνα και αυτόνομα, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους βασισμένους σε υπολογιστές για την παρακολούθηση και τον έλεγχο φυσικών αντικειμένων, όπως μηχανήματα και ρομπότ.

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων (Digital Twins) παίζει κεντρικό ρόλο. Ως ψηφιακό δίδυμο ορίζεται η εικονική αναπαράσταση ενός φυσικού αντικειμένου, συστήματος ή διαδικασίας, περιλαμβάνοντας την ψηφιακή τους αντιγραφή και την μεταξύ τους σύνδεση. Τα ψηφιακά δίδυμα χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων, καθιστώντας δυνατή την ακριβή πρόβλεψη των αποτελεσμάτων και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών. Η χρήση των ψηφιακών διδύμων προσφέρει ποικίλα πλεονεκτήματα, όπως:

- Κατανόηση των φυσικών αντικειμένων: Η ψηφιακή απεικόνιση επιτρέπει την βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας και της αλληλεπίδρασης των εξαρτημάτων.
- Βελτίωση σχεδιασμού: Διευκολύνεται ο σχεδιασμός νέων αντικειμένων και η αναβάθμιση των υφιστάμενων.
- Αναβάθμιση μοντελοποίησης και βελτιστοποίησης: Η διαδικασία μοντελοποίησης γίνεται πιο αποτελεσματική, επιτρέποντας την βελτιστοποίηση των διαδικασιών.
- Λεπτομερής καταγραφή δεδομένων: Σε πραγματικό χρόνο καταγράφονται και αρχειοθετούνται δεδομένα και πληροφορίες λειτουργίας, επιτρέποντας την ακριβή χρονική ιχνηλάτηση και τη διαγνωστική λειτουργία.
- Πρόγνωση και πρόβλεψη: Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να προβλέπουν μελλοντικές καταστάσεις και να παρέχουν δεδομένα που βελτιώνουν την απόδοση του συστήματος.

Τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει της ανάλυσης της ψηφιοποίησης που προσφέρουν:

- Δίδυμα μερών: Ψηφιοποίηση μεμονωμένων εξαρτημάτων μέσα σε ένα σύστημα.

- Δίδυμα πόρου: Απεικόνιση που αναδεικνύει τη συνεργασία των μερών ως σύνολο.
- Δίδυμα συστήματος: Σύνθεση όλων των μερών και πόρων σε ένα ολοκληρωμένο σύνολο.
- Δίδυμα διαδικασίας: Αναπαράσταση της λειτουργικής διαδικασίας με χρήση των εξαρτημάτων και των συστημάτων.

Η ανάπτυξη αλγορίθμων προσομοίωσης για τα ψηφιακά δίδυμα εξοπλισμού στην Βιομηχανία 4.0 είναι ζωτικής σημασίας. Οι αλγόριθμοι αυτοί επιτρέπουν την αποτελεσματική επικοινωνία πολλαπλών υποσυστημάτων, τη δυναμική τροφοδότηση του ψηφιακού διδύμου με δεδομένα και την ακριβή πρόβλεψη και διαχείριση των βιομηχανικών διεργασιών.

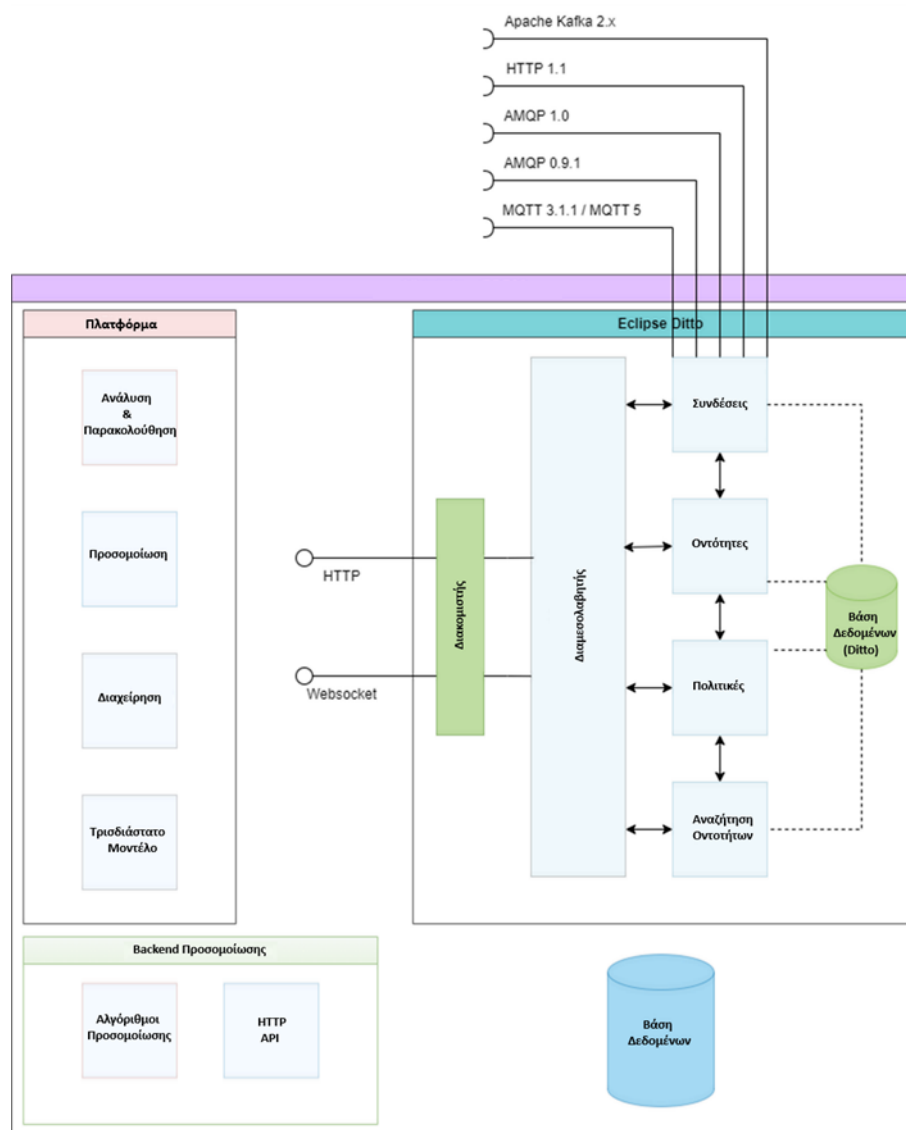
Οι αλγόριθμοι προσομοίωσης δίνουν τη δυνατότητα στους χειριστές να απαντήσουν σε κρίσιμα ερωτήματα σε πραγματικό χρόνο, όπως «τι θα γινόταν αν;» και «γιατί;», βελτιώνοντας την απόδοση και την καταγραφή της κατάστασης του συστήματος. Επιπλέον, διασφαλίζουν την προστασία του συστήματος και επιτρέπουν τη δυναμική εμπλουτισμό του σχεδιασμένου συστήματος, καθιστώντας δυνατή την παρακολούθηση ολόκληρου του κύκλου εργασιών και την εκτέλεση σεναρίων που είναι χρονοβόρα, ακριβά ή πολύ επικίνδυνα για το περιβάλλον.

Οι αλγόριθμοι προσομοίωσης για τα ψηφιακά δίδυμα εξοπλισμού στην Βιομηχανία 4.0 δεν είναι μόνο ένα εργαλείο για τη βελτιστοποίηση και την πρόβλεψη αλλά και μια αναγκαιότητα για τον σύγχρονο βιομηχανικό μετασχηματισμό. Παρέχουν τη βάση για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου και ασφαλούς περιβάλλοντος, όπου οι βιομηχανικές διαδικασίες μπορούν να παρακολουθούνται και να βελτιώνονται συνεχώς, οδηγώντας σε μια νέα εποχή βιομηχανικής παραγωγής.

### 2.5.α.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας βασίζεται σε μια δομή που περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στοιχεία, καθένα από τα οποία επιτελεί ένα εξειδικευμένο ρόλο στην ολοκληρωμένη διαχείριση και χρήση δεδομένων.

1. **Backend - Eclipse Ditto:** Το Eclipse Ditto αποτελεί την κεντρική πλατφόρμα διαχείρισης ψηφιακών διδύμων (Digital Twins), η οποία είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση και την οργάνωση σύνθετων δεδομένων από αισθητήρες και συστήματα SCADA. Το Ditto αναλαμβάνει τη συλλογή και την αποθήκευση δεδομένων, επιτρέποντας την ανάλυση και την επεξεργασία τους σε πραγματικό χρόνο και ιστορικά σενάρια.
2. **Frontend:** Η διεπαφή χρήστη της πλατφόρμας παρέχει έναν διαδραστικό πίνακα ελέγχου που επιτρέπει στους χρήστες να οπτικοποιούν και να ερμηνεύουν τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί και επεξεργαστεί από το backend. Ο πίνακας ελέγχου είναι σχεδιασμένος για να προσφέρει μια ολοκληρωμένη εμπειρία χρήσης με έμφαση στη διαδραστικότητα και την ευκολία χρήσης.
3. **Simulation AI Backend:** Η υποδομή αυτή είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση προσομοιώσεων και την ενσωμάτωση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (machine learning). Το Simulation AI Backend συνεργάζεται στενά με το backend του Ditto, προσφέροντας δυνατότητες για προηγμένες αναλύσεις και προβλέψεις βασισμένες σε δεδομένα πραγματικού χρόνου και ιστορικά δεδομένα.
4. **Elasticsearch Database:** Η βάση δεδομένων Elasticsearch χρησιμεύει ως αποθετήριο για δεδομένα χρονοσειρών, διασφαλίζοντας την αποδοτική αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων. Παρέχει προηγμένες δυνατότητες αναζήτησης και ανάλυσης, υποστηρίζοντας την ανίχνευση τάσεων και μοτίβων στα δεδομένα.



Εικόνα 8 Αρχιτεκτονική Λύσης 5α

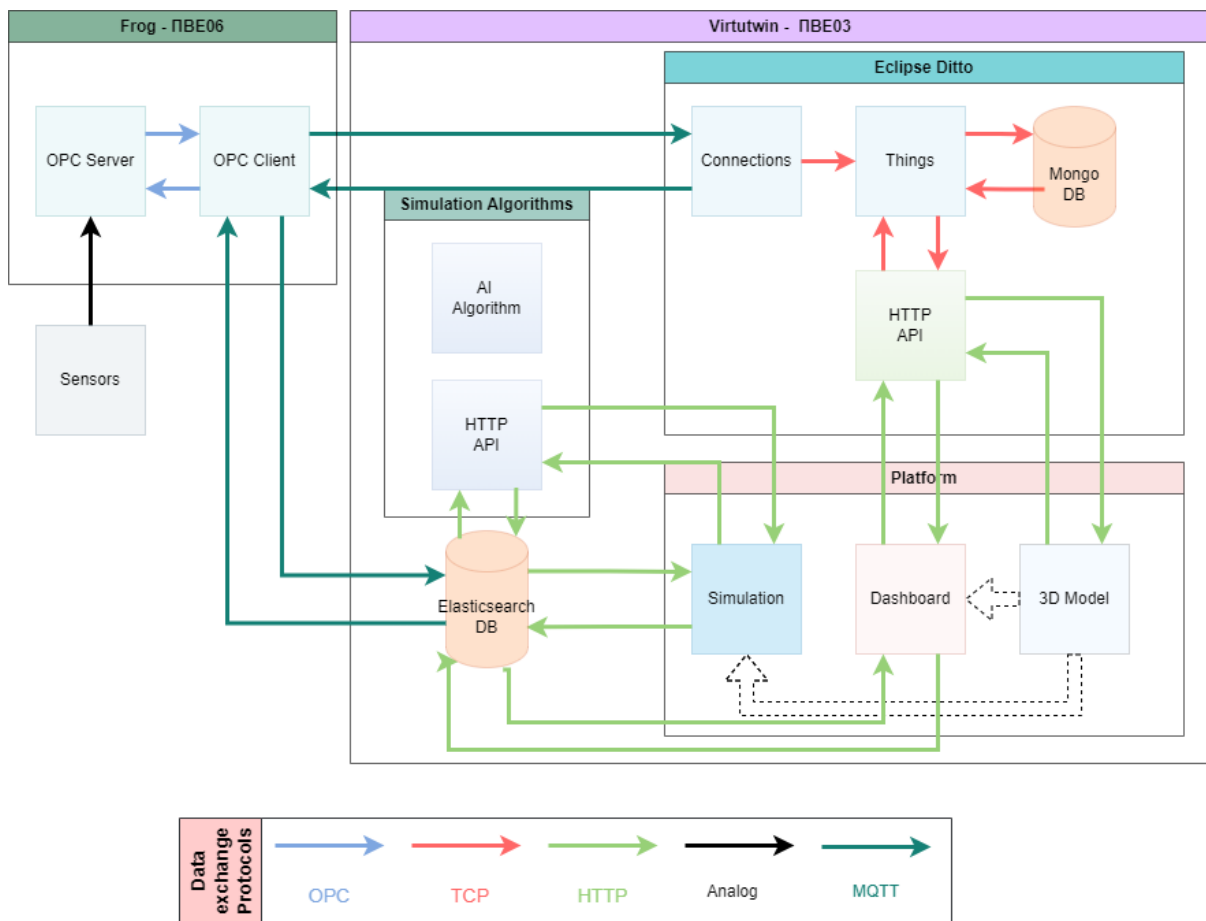
Η ολοκληρωμένη αυτή αρχιτεκτονική επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση δεδομένων, την εκτέλεση προσομοιώσεων και την υποστήριξη προγνωστικής ανάλυσης, προσφέροντας στους χρήστες προηγμένες δυνατότητες για την παρακολούθηση και βελτίωση των διαδικασιών παραγωγής.

#### 2.5.α.4 Ροή της πληροφορίας

Η ροή πληροφορίας της πλατφόρμας διαμορφώνεται για να υποστηρίξει την απόκτηση, επεξεργασία και οπτικοποίηση δεδομένων από διάφορες πηγές, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων και των συστημάτων SCADA.

1. **Υποδομή Επικοινωνίας:** Η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και των servers γίνεται μέσω πρωτοκόλλων OPC UA και MQTT, εξασφαλίζοντας ένα ασφαλές και αξιόπιστο κανάλι μεταφοράς δεδομένων. Αυτή η υποδομή επικοινωνίας επιτρέπει την απρόσκοπτη μεταφορά δεδομένων από τις συσκευές στους servers.

2. **Ενοποίηση Δεδομένων:** Τα δεδομένα που συλλέγονται ενσωματώνονται στο backend του Eclipse Ditto, το οποίο λειτουργεί ως κεντρική πλατφόρμα ψηφιακών διδύμων. Το Ditto επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση και οργάνωση των δεδομένων, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα και τη συνέπεια τους.
3. **Βάση Δεδομένων:** Η Elasticsearch χρησιμοποιείται ως η κύρια λύση βάσης δεδομένων, εκμεταλλεύομενη τις δυνατότητές της στη διαχείριση δεδομένων χρονοσειρών. Η Elasticsearch υποστηρίζει την αποδοτική αποθήκευση, ανάκτηση και ανάλυση δεδομένων, επιτρέποντας την αναγνώριση προτύπων και την εκτέλεση σύνθετων αναζητήσεων.
4. **Αλγόριθμοι Επεξεργασίας Δεδομένων:** Το σύστημα ενσωματώνει αλγορίθμους επεξεργασίας δεδομένων για τη βελτίωση και τη μετατροπή των συλλεγόμενων πληροφοριών. Αυτοί οι αλγόριθμοι επιτρέπουν την ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων.
5. **Διεπαφή Χρήστη:** Ο πίνακας ελέγχου αποτελεί το τελικό σημείο του συστήματος, προσφέροντας μια διαισθητική διεπαφή για την οπτικοποίηση των επεξεργασμένων δεδομένων. Οι χρήστες μπορούν να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τις συνθήκες λειτουργίας των μηχανημάτων και να εκτελούν προγνωστικές αναλύσεις και ανίχνευση ανωμαλιών χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μηχανικής μάθησης.



Εικόνα 9 Ροή Πληροφορίας Λύσης 5.α

### 2.5.α.5 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η πλατφόρμα αποτελείται από 4 υποσυστήματα-στοιχεία. Το βασικό στοιχείο είναι το Eclipse Ditto το οποίο παρέχει την βασική υποδομή για την περιγραφή και διαχείριση του Ψηφιακού Διδύμου. Στην καρδιά του Ditto βρίσκεται η ικανότητα διαχείρισης των

"Things", οι οποίες μπορεί να είναι από φυσικά αντικείμενα όπως αισθητήρες και μηχανές μέχρι εικονικές ενότητες όπως διεργασίες ή πληροφοριακά συστήματα. Κάθε "Thing" στο Ditto χαρακτηρίζεται από τα "Features" του, που είναι τα χαρακτηριστικά ή οι λειτουργίες που προσφέρει. Επίσης, το Ditto επιτρέπει την λεπτομερή διαμόρφωση των πολιτικών πρόσβασης (policies) για κάθε "Thing", καθορίζοντας ποιοι χρήστες ή συστήματα έχουν την δυνατότητα να προσπελάσουν ή να τροποποιήσουν τα δεδομένα. Τέλος η πλατφόρμα παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο ενορχήστρωσης δεδομένων, που συνδέει δεδομένα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές, επεξεργάζεται και οργανώνει αυτά τα δεδομένα για να παρέχουν μια συνεκτική και ολοκληρωμένη εικόνα των λειτουργικών διαδικασιών.

Στο πλαίσιο της λύσης, το Eclipse Ditto χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει, να διαχειριστεί και να επεξεργαστεί τα ψηφιακά δίδυμα των βιομηχανικών μονάδων και διεργασιών. Μέσω της ισχυρής του δυνατότητας στην ενορχήστρωση και ανάλυση των δεδομένων, το Ditto παρέχει τη βάση για προηγμένες λειτουργίες όπως η προληπτική συντήρηση και η έγκαιρη διάγνωση βλαβών, βελτιστοποιώντας την απόδοση και την ασφάλεια των βιομηχανικών συστημάτων.

Για τη διαδραστικότητα με τον χρήστη θα χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες όπως Angular και PrimeNG, προσφέροντας ένα πλούσιο γραφικό περιβάλλον με δυναμικά εργαλεία διαχείρισης και ανάλυσης. Τα στοιχεία HTML και CSS προσφέρουν την δομή και τον σχεδιασμό της διεπαφής, βελτιστοποιώντας την εμπειρία χρήστη και την παρουσίαση των δεδομένων.

Εκτός από τις βασικές πλατφόρμες, το σύστημα ενσωματώνει και τεχνολογίες όπως MongoDB για διαχείριση δεδομένων και Elasticsearch για αναζήτηση και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αποθηκεύονται και επεξεργάζονται με σκοπό την έγκαιρη ανίχνευση ανωμαλιών και την υποστήριξη σεναρίων προληπτικής συντήρησης.

Τέλος το Simulation AI Backend είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των δεδομένων και την εκτέλεση προσομοιώσεων, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες αιχμής και αλγορίθμους μηχανικής μάθησης.

- **Επίπεδο ενσωμάτωσης δεδομένων:** Συγχώνευση ιστορικών δεδομένων από αισθητήρες και προσομοιώσεις.
- **Επίπεδο εκτέλεσης προσομοίωσης:** Διαχείριση της ροής δεδομένων κατά την εκτέλεση προσομοιώσεων.
- **Βάση δεδομένων ιστορικού προσομοίωσης:** Αποθήκευση και διαχείριση του ιστορικού των προσομοιώσεων χρησιμοποιώντας το Elasticsearch.
- **Γλώσσα προγραμματισμού Python και βιβλιοθήκες FLASK, NumPy, SciPy, scikit-learn, TensorFlow:** Χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης και την επεξεργασία των δεδομένων.

## 2.5.β Αλγόριθμοι Προσομοίωσης για Ψηφιακά Δίδυμα Διαδικασιών στην Βιομηχανία 4.0

### 2.5.β.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

Η προσφερόμενη τεχνολογική λύση παρέχει ένα εργαλείο στις βιομηχανικές παραγωγικές μονάδες για την δημιουργία ψηφιακών αντιγράφων της γραμμής παραγωγής αποτυπώνοντας την λειτουργία και αλληλεπίδραση των βιομηχανικών συστημάτων με τη χρήση της γλώσσας μοντελοποίησης AutomationML, η οποία είναι συμβατή με τα πρότυπα για την IEC 62424:2016 (CAEX) [2] και IEC 62714-1:2018 (AML) [3] για την καταγραφή και διαμοιρασμό ψηφιακής πληροφορίας σε βιομηχανικούς αυτοματισμούς [4]. Η προσφερόμενη λύση θα παρέχει τα εξής:

- Μοντελοποίηση γραμμής παραγωγής με χρήση της γλώσσας Μοντελοποίηση AutomationML.
- Δημιουργία λειτουργικού τρισδιάστατου ψηφιακού αντιγράφου της μοντελοποιημένης γραμμής παραγωγής.
- Εκτέλεση προσομοίωσης με δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τρίτα συστήματα μέσω βιομηχανικών προτύπων ελέγχου.
- Δυνατότητες υποστήριξης προγραμματιστών μέσω ενός αριθμού προτύπων κώδικα για τη δημιουργία απλών οπτικοποιήσεων στον εικονικό χώρο για βιομηχανικά περιβάλλοντα.

### 2.5.β.2 Εισαγωγή

Οι βιομηχανικές διαδικασίες στα περιβάλλοντα παραγωγής αποτελούν ένα καίριο σημείο της ομαλής λειτουργίας της γραμμής παραγωγής, καθώς ορίζουν και εκτελούν αυστηρά συγκεκριμένες διεργασίες που εμπλέκουν κυβερνοφυσικά συστήματα και ανθρώπινες λειτουργίες σε ένα ευαίσθητο περιβάλλον. Ο έλεγχος και η σωστή λειτουργία μια βιομηχανικής διαδικασίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως την ροή της διαδικασίας, τον προγραμματισμό των μονάδων ελέγχου της παραγωγής, την χωροθέτηση της γραμμής παραγωγής, τα υλικά που απαιτούνται για την παραγωγή και προφανώς το είδος των παραγόμενων προϊόντων. Σημαντικό χαρακτηριστικό του βιομηχανικού περιβάλλοντος αποτελεί το ότι οι τυχόν αλλαγές και αναπροσαρμογές των βιομηχανικών διαδικασιών είναι πολύ δύσκολο να γίνουν σε πραγματικό χρόνο πάνω στο πραγματικό βιομηχανικό περιβάλλον, γιατί αυτό θα σήμαινε διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας. Με τη χρήση των ψηφιακών διδύμων παρέχεται η δυνατότητα μοντελοποίησης του βιομηχανικού περιβάλλοντος και των βιομηχανικών διαδικασιών σε ένα ψηφιακό περιβάλλον στο οποίο μπορούν να εφαρμοστούν αλγόριθμοι προσομοιώσεων και προβλέψεων για τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, χωρίς να επηρεάζεται η κανονική λειτουργία της παραγωγής στον πραγματικό κόσμο.

Η προσφερόμενη λύση επιτρέπει στους μηχανικούς παραγωγής, μέσω εργαλείων ανοικτού κώδικα, να μοντελοποιήσουν τα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου, τις λειτουργίες των μηχανών και των υπόλοιπων βιομηχανικών συστημάτων και εξοπλισμού, και τις βιομηχανικές διαδικασίες παραγωγής. Επιπρόσθετα για κάθε αντικείμενο στη γραμμή παραγωγής καθιστούν δυνατό τον ορισμό πληροφορίας τοπολογίας και τοποθέτησης στον τρισδιάστατο χώρο, καθώς και την τρισδιάστατη απεικόνισή του αξιοποιώντας προκατασκευασμένα τρισδιάστατα μοντέλα. Σε περίπτωση που δεν προϋπάρχουν τα μοντέλα των μηχανών, το σύστημα υποστηρίζει την εισαγωγή νέων τρισδιάστατων μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί σε ευρέως χρησιμοποιούμενα λογισμικά τρισδιάστατης μοντελοποίησης (3DS Max, Blender3D, κτλ.). Το εξαγόμενο μοντέλο υπόκειται σε επεξεργασία από την κεντρική μηχανή της εφαρμογής και αυτόματα δημιουργείται το τρισδιάστατο ψηφιακό αντίγραφο της γραμμής παραγωγής. Το τρισδιάστατο ψηφιακό αντίγραφο παρέχει τις κατάλληλες διεπαφές με εικονικούς προγραμματιζόμενους ελεγκτές (PLCs) οι οποίοι ελέγχουν την εικονική γραμμή παραγωγής [5]. Οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το τρισδιάστατο

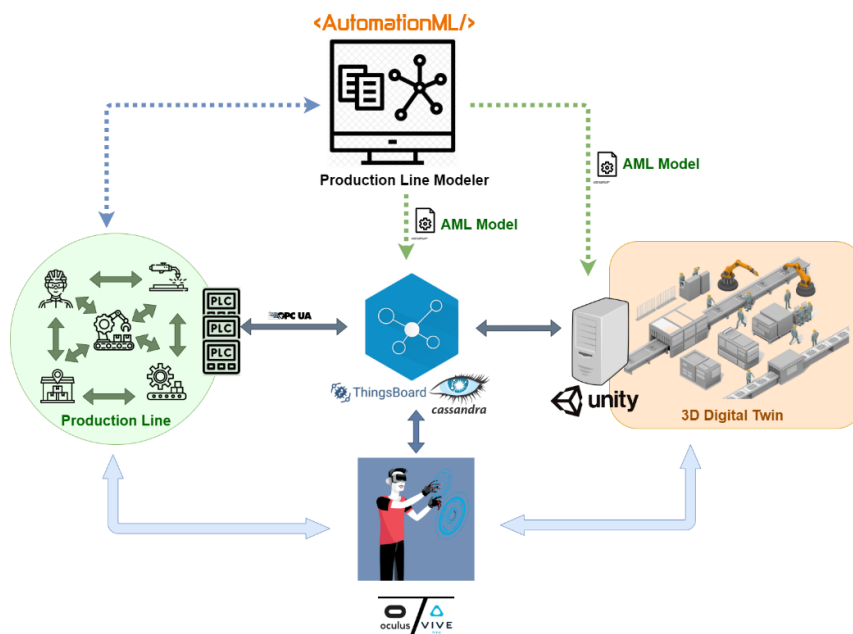
ψηφιακό περιβάλλον μέσω κλασικών βιομηχανικών πρωτοκόλλων ελέγχου χρησιμοποιώντας ήδη διαθέσιμα τρίτα συστήματα (π.χ. SCADA).

Παράλληλα, θα προσφερθεί ένα πλήθος από στοιχειώδη πρότυπα (templates) για τη δημιουργία βασικών τρισδιάστατων οπτικοποιήσεων για βιομηχανικά περιβάλλοντα σε εικονική και επαυξημένη πραγματικότητα (Virtual και Augmented Reality), με τη μορφή ανοικτού κώδικα [6]. Τα πρότυπα αυτά θα παρέχουν υποδείγματα διεπαφών με σχετικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές σε βιομηχανικά περιβάλλοντα (όπως π.χ., ROS και MQTT), προκειμένου να διευκολύνεται η οπτικοποίηση δεδομένων στον εικονικό χώρο. Η υλοποίηση βασίζεται στην τεχνολογική πλατφόρμα Unity, η οποία είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη στο χώρο της εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας και υποστηρίζει πλήθος συσκευών τελικού χρήστη: από κινητά τηλέφωνα και τάμπλετ, έως συσκευές για Virtual Reality, όπως το HTC VIVE και το Oculus Quest.

### 2.5.β.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Η εννοιολογική αρχιτεκτονική της προτεινόμενης λύσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 10. Η λύση βασίζεται σε τέσσερα βασικά δομικά μέρη:

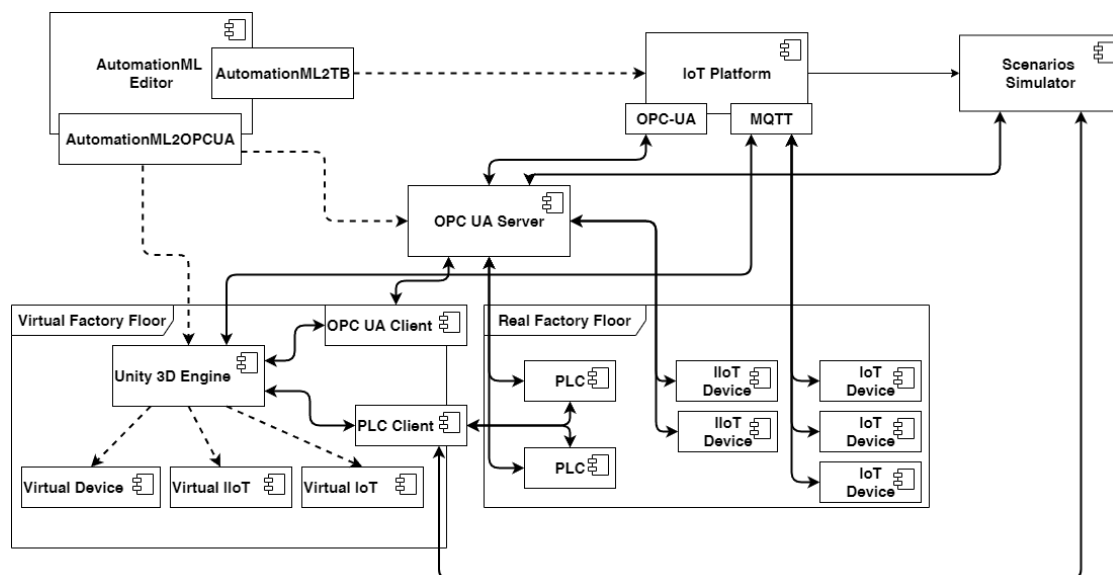
- Την μοντελοποίηση του πραγματικού κόσμου, δηλαδή των μηχανών και των βιομηχανικών διαδικασιών του παραγωγικού περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας το εννοιολογικό πρότυπο και γλώσσα περιγραφής AutomationML.
- Την αυτόματη δημιουργία του ψηφιακού διδύμου (Digital twin) σύμφωνα με το μοντέλο AutomationML σε 3D πλατφόρμα Unity βάσει 3D μοντέλων που έχουν ήδη οριστεί.
- Την αυτόματη παραμετροποίηση μιας πλατφόρμας συγκέντρωσης δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο βασισμένης στην ανοικτού κώδικα IoT πλατφόρμα Thingsboard.
- Δυνητική οπτικοποίηση στον εικονικό χώρο (AR/VR)



Εικόνα 10 Εννοιολογική Αρχιτεκτονική Ψηφιακών Διδύμων Βιομηχανικών Διαδικασιών

### 2.5.β.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Τα δομικά στοιχεία της προτεινόμενης λύσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 11. Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των στοιχείων παρουσιάζεται με βέλη. Τα βέλη με διακεκομμένη γραμμή δείχνουν την ανταλλαγή δεδομένων κατά τη φάση διαμόρφωσης της παραγωγής (configuration), ενώ τα βέλη με συνεχή γραμμή αντιπροσωπεύουν την επικοινωνία κατά τη φάση εκτέλεσης των παραγωγικών διαδικασιών.



Εικόνα 11: Αρχιτεκτονική Ψηφιακών Διδύμων Βιομηχανικών Διαδικασιών

Η **πλατφόρμα IoT** είναι το βασικό συστατικό του συστήματος. Περιέχει το μητρώο όλων των δεδομένων που σχετίζονται με τον εξοπλισμό και την παραγωγή. Συλλέγει δεδομένα τόσο από τα βιομηχανικά εξαρτήματα όσο και από τις συσκευές IoT, ενώ είναι επίσης υπεύθυνη για την ανταλλαγή δεδομένων και εντολών μεταξύ των συστημάτων στα ανώτερα στρώματα με τα συστήματα ελέγχου στον χώρο παραγωγής. Για τη συνεργασία με τον βιομηχανικό εξοπλισμό χρησιμοποιείται μια διεπαφή OPC UA. Η πλατφόρμα θα βασιστεί στο λογισμικό ανοικτού κώδικα ThingsBoard.

Το **Simulation Scenario** είναι μια διεπαφή για την δημιουργία διαφορετικών σεναρίων προσομοίωσης διαδικασιών παραγωγής για την εκτέλεση τους στο ψηφιακό δίδυμο.

Το **AutomatioML Editor** παρέχει μια γραφική διεπαφή στους μηχανικούς προκειμένου να κατασκευάσουν το μοντέλο του βιομηχανικού περιβάλλοντος παραγωγής. Επιπλέον, διαθέτει δύο πρόσθετες διεπαφές. Η πρώτη είναι η AutomationML2Tb, η οποία μετατρέπει το σχήμα AutomationML σε μοντέλο που είναι κατανοητό από την πλατφόρμα IoT (ThingsBoard) και ρυθμίζει το τελευταίο μέσω του API διαμόρφωσης. Η δεύτερη, με την ονομασία AutomationML2OPCUA, μεταφράζει το AutomationML σε XML για την περιγραφή OPC UA. Αυτή η περιγραφή αποστέλλεται στον διακομιστή OPC UA και στο εικονικό περιβάλλον ως αρχείο διαμόρφωσης.

Ο **διακομιστής OPC UA** λειτουργεί ως πύλη επικοινωνίας μεταξύ όλου του βιομηχανικού εξοπλισμού, πραγματικού και εικονικού, και της πλατφόρμας IoT. Πρόκειται για έναν κλασικό διακομιστή OPC UA, ο οποίος έχει διαμορφωθεί ώστε να λειτουργεί σύμφωνα με το μοντέλο που περιγράφεται από το AutomationML, θεωρώντας ότι αυτό το μοντέλο αντιπροσωπεύει το

περιβάλλον παραγωγής. Ο OPC UA Server χρησιμοποιείται επίσης ως αφαίρεση για τη σύνδεση παλαιών συστημάτων (κυρίως PLC), επιτρέποντας την ενσωμάτωσή τους στο συνολικό σύστημα.

Η **Unity 3D Engine** είναι το βασικό σύστημα του εικονικού περιβάλλοντος παραγωγής. Κατά τη φάση διαμόρφωσης είναι υπεύθυνο για την κατασκευή του τρισδιάστατου εικονικού περιβάλλοντος σύμφωνα με το μοντέλο AutomationML. Επιπλέον, δημιουργεί εικονικές διεπαφές με τη διεπαφή MQTT της πλατφόρμας IoT, καθώς και με ένα PLC λογισμικού, προσομοιώνοντας την επικοινωνία της πλατφόρμας IoT με τον βιομηχανικό εξοπλισμό και τον εξοπλισμό IoT.

## 2.6 Πλατφόρμα Ανάλυσης και Διαχείρισης Δεδομένων από το Βιομηχανικό Δίκτυο των Πραγμάτων (Industrial Internet of Things)

### 2.6.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

Η IIoT πλατφόρμα χρησιμεύει στη διαχείριση και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων από πολλές πηγές ενός βιομηχανικού περιβάλλοντος, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλα πλαίσια. Υποστηρίζει αρχιτεκτονικές δικτύου που βασίζονται σε IoT, υφιστάμενους και νέους αισθητήρες με αμφίδρομη συνδεσιμότητα και ενσωματωμένη νοημοσύνη για τη δημιουργία μιας διαλειτουργικής πλατφόρμας ικανής να ενσωματώνει διαφορετικές τεχνολογίες ανίχνευσης και πηγές δεδομένων. Αποτελείται από τα πάνελ οπτικοποίησης που αντιστοιχούν σε ακατέργαστα δεδομένα εργοστασίων και σε δεδομένα εξόδου διαφόρων υπηρεσιών. Το στοιχείο παρέχει επίσης πρόσβαση σε μια διεπαφή χρήστη ενιαίας μεταφόρτωσης, η οποία επιτρέπει στους τελικούς χρήστες να παρέχουν χειροκίνητη εισαγωγή δεδομένων για τους σχετικούς αλγορίθμους. Η οπτικοποίηση που παρέχεται από αυτές τις διεπαφές χρήστη βασίζεται στο πλαίσιο Angular 8, το οποίο φαίνεται να έχει περισσότερες δυνατότητες από το Grafana, που είχε χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενα έργα. Αυτές οι διεπαφές χρήστη υποστηρίζουν πρωτόκολλα REST, MQTT και Websocket, αλλά αυτό μπορεί επίσης να προσαρμοστεί στις διεπαφές των αλληλοεπιδρώντων αρχιτεκτονικών εργαλείων.

### 2.6.2 Εισαγωγή

Το Βιομηχανικό Δίκτυο των Πραγμάτων (IIoT) αντιπροσωπεύει μια επαναστατική εξέλιξη στον κόσμο της βιομηχανίας, ενσωματώνοντας την προηγμένη τεχνολογία σε βιομηχανικές διαδικασίες για βελτίωση της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας. Η ανάλυση και η διαχείριση των πληθώρας δεδομένων που προκύπτουν από αυτό το σύστημα αποτελούν κρίσιμο στάδιο για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων. Σε αυτό το πλαίσιο, αναπτύσσεται μια Πλατφόρμα Ανάλυσης και Διαχείρισης Δεδομένων στο Βιομηχανικό Δίκτυο των Πραγμάτων.

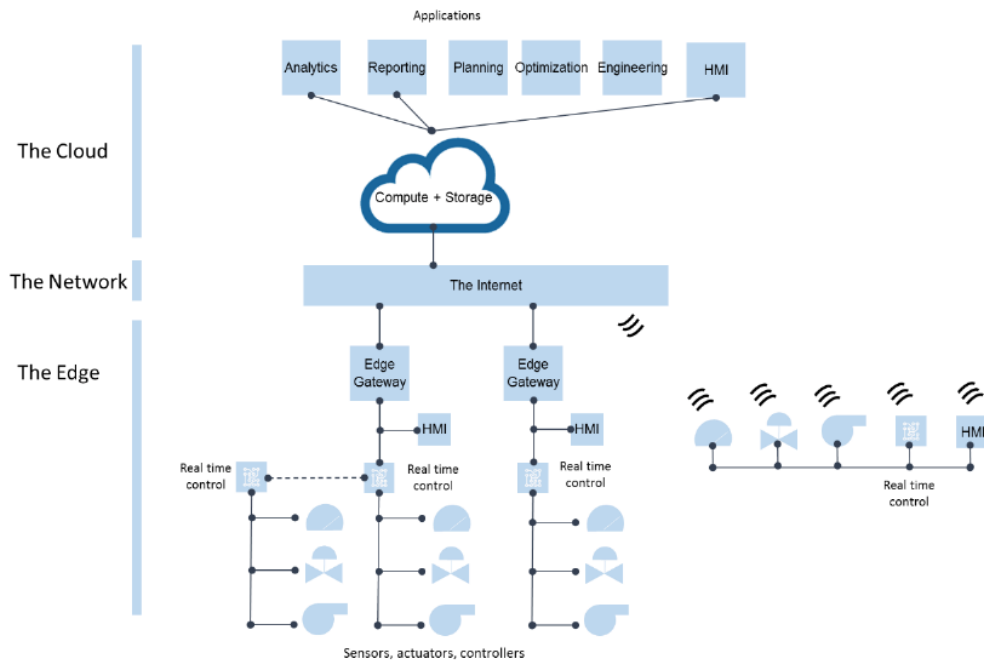
Το IIoT έχει εισαγάγει νέες προκλήσεις και ευκαιρίες στον κόσμο της βιομηχανίας. Η ανάγκη για αποτελεσματική ανάλυση και διαχείριση των δεδομένων που παράγονται από αισθητήρες, συσκευές και μηχανήματα σε πραγματικό χρόνο αποτελεί βασικό στοιχείο για τη βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας και της απόδοσης.

### 2.6.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

#### 2.6.3.1 Σχεδίαση Πλατφόρμας

Η πλατφόρμα ανάλυσης και διαχείρισης δεδομένων για το IIoT σχεδιάζεται με έμφαση στην επεξεργασία μεγάλων όγκων ποικίλων δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές. Η πλατφόρμα υιοθετεί αρχιτεκτονική μικροπηρεσιών (microservices architecture) για να είναι ευέλικτη και επεκτάσιμη. Κάθε υπηρεσία αναλαμβάνει ένα συγκεκριμένο καθήκον, επιτρέποντας τον ευκολότερο σχεδιασμό, ανάπτυξη και συντήρηση.

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων



Εικόνα 12 Τυπική Αρχιτεκτονική IIOT

### 2.6.3.2 Συλλογή Δεδομένων

Η πλατφόρμα σχεδιάζεται να συλλέγει δεδομένα από διάφορες συσκευές, αισθητήρες και μηχανές που συνδέονται στο IIoT. Η χρήση προηγμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας επιτρέπει τη συνεχή ροή δεδομένων στην πλατφόρμα. Αισθητήρες και παρατηρητές τοποθετούνται στον εξοπλισμό και τις συσκευές για τη συλλογή πραγματικού χρόνου δεδομένων. Ενσωματωμένες συσκευές Industrial IoT παρέχουν ευελιξία και αξιοπιστία στη συλλογή πληροφοριών.

### 2.6.3.3 Συγκέντρωση Δεδομένων

Τα δεδομένα από τους αισθητήρες συγκεντρώνονται σε κεντρικούς κόμβους επεξεργασίας. Στους κόμβους, πραγματοποιείται το πρώτο στάδιο επεξεργασίας και διαχείριση των δεδομένων.

### 2.6.3.4 Ανάλυση Δεδομένων

Οι υπηρεσίες ανάλυσης εφαρμόζουν προηγμένες τεχνικές μηχανικής μάθησης, εξόρυξης δεδομένων και αναλυτικών μεθόδων για την ανάγνωση μοτίβων, την πρόβλεψη συμπεριφορών και την ανίχνευση ανωμαλιών. Προχωρημένοι αλγόριθμοι και μοντέλα μηχανικής μάθησης εφαρμόζονται για την ανάλυση των δεδομένων. Αναγνώριση προτύπων, η πρόβλεψη βλαβών, και η βελτιστοποίηση διαδικασιών είναι κρίσιμες λειτουργίες.

### 2.6.3.5 Διαχείριση Δεδομένων

Η πλατφόρμα διαθέτει ισχυρά εργαλεία διαχείρισης δεδομένων που επιτρέπουν την οργάνωση, την αποθήκευση και την ανάκτηση των δεδομένων με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρέχονται σε εφαρμογές διαχείρισης για τη λήψη αποφάσεων. Συστήματα παρακολούθησης και ειδοποίησης ενεργοποιούνται για άμεση ανταπόκριση σε έκτακτες καταστάσεις.

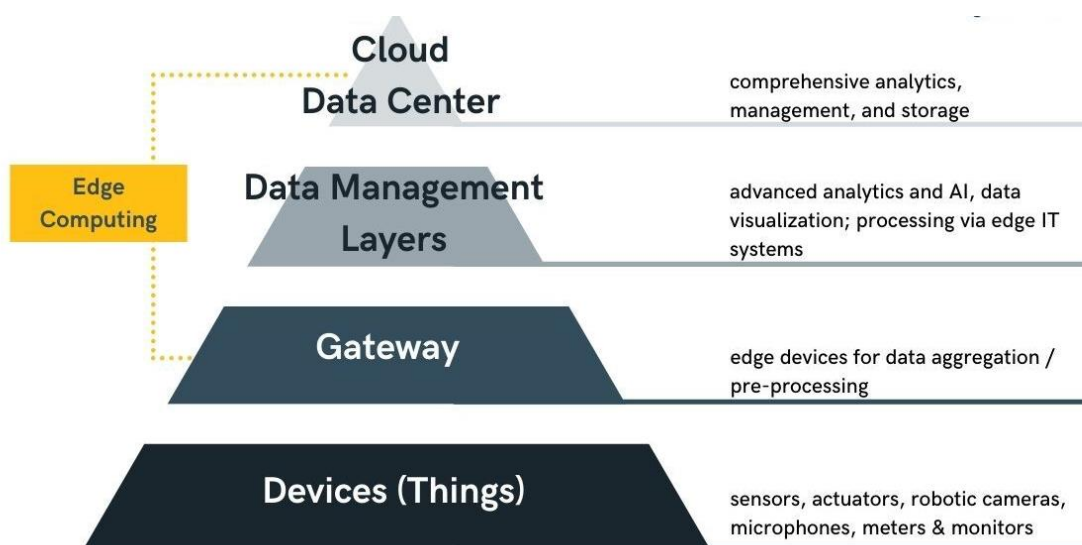
### 2.6.3.6 Οπτικοποίηση και Παρουσίαση Δεδομένων

Για να διευκολυνθεί η κατανόηση των αποτελεσμάτων, η πλατφόρμα παρέχει εργαλεία οπτικοποίησης και παρουσίασης δεδομένων. Γραφήματα, διαγράμματα και επισκόπηση πεπερασμένων επιδόσεων επιτρέπουν στους χρήστες να λαμβάνουν γρήγορες και ενδεδειγμένες εικόνες της κατάστασης.

### 2.6.3.7 Ολοκληρωμένη Συνδεσιμότητα

Η πλατφόρμα είναι συμβατή με πρότυπα βιομηχανικής συνδεσιμότητας, όπως το OPC UA, IO-Link κ.α., επιτρέποντας την ομαλή επικοινωνία με άλλα συστήματα.

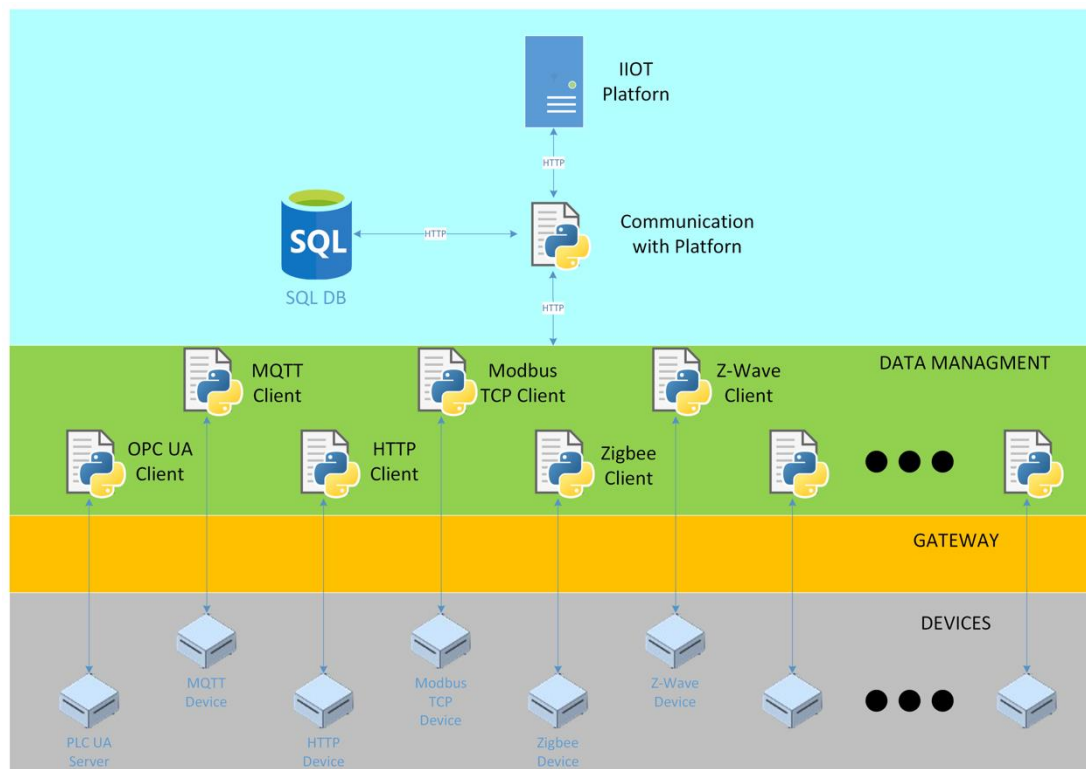
### 2.6.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης



Εικόνα 13 Η Αρχιτεκτονική του συστήματος

Στην **Εικόνα 13** φαίνεται ο σχεδιασμός της αρχιτεκτονικής. Το σύστημά θα χωρίζεται στους παρακάτω τομείς:

- Οι συσκευές (πράγματα) στο δίκτυο μπορούν να είναι αισθητήρες, ενεργοποιητές, ελεγκτές, ρομποτικές κάμερες, μικρόφωνα, μετρητικά όργανα, οθόνες κ.α. όπου συνδέονται με τα παραπάνω πρωτοκολλά στο δίκτυο.
- Οι πύλες είναι οι συσκευές στις οποίες συνδέονται τα παραπάνω προκειμένου να συγκεντρώσουν τα δεδομένα και να κάνουν την προεπεξεργασία τους έτσι ώστε να μειωθούν οι απαιτήσεις του δικτύου και να αποσυμφορηθεί η κεντρική μονάδα επεξεργασίας του συστήματος.
- Τα συστήματα διαχείρισης δεδομένων είναι προηγμένα αναλυτικά εργαλεία με χρήση τεχνητής νοημοσύνης με την δυνατότητα της οπτικοποίησης τους και την επεξεργασία του με την χρήση πληροφορικών συστημάτων.
- Τέλος μέσω του κεντρικού κόμβου η πληροφορία που προκύπτει στέλνεται στην κεντρική πλατφόρμα IIOT και σε διακομιστή SQL με την δυνατότητα χρήσης και cloud.



*Εικόνα 14 Η διασύνδεση του συστήματος και τα πρωτόκολλα επικοινωνίας*

Η πλατφόρμα σχεδιάζεται να συλλέγει δεδομένα από διάφορες συσκευές, αισθητήρες και μηχανές που συνδέονται στο IIoT. Η χρήση προηγμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας επιτρέπει τη συνεχή ροή δεδομένων στην πλατφόρμα. Για κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας θα αναπτυχθεί συγκεκριμένος αλγόριθμος Client σε γλώσσα Python ο οποίος θα συλλέγει τα δεδομένα από τις αντίστοιχες συσκευές. Έπειτα μέσω πρωτοκόλλου HTTP τα δεδομένα θα στέλνονται στον κεντρικό κόμβο της πλατφόρμας και σε ένα SQL Server.

Οι παραπάνω συσκευές θα επικοινωνούν με διάφορα πρωτόκολλα και για αυτό θα δημιουργηθεί μια ενιαία «πύλη» η οποία θα τα συλλέγει και θα τα επεξεργάζεται. Η συγκεκριμένη θα αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα εκ των οποίων τα παρακάτω θα υποστηριχτούν άμεσα ενώ υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης με την μορφή plug-in ώστε να υποστηριστούν και περισσότερα όπως τα LoRA WAN, BacNer, EnOcean, Zigbee, Z-Wave, FTP, Ethernet IP, ProfiNET EtherCAT κ.α.:

- Βάση Δεδομένων MySQL
- Λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων και επικοινωνίας με IIoT Πλατφόρμα
- Λογισμικό συλλογής δεδομένων από πρωτόκολλο OPC UA
- Λογισμικό συλλογής δεδομένων από πρωτόκολλο MQTT
- Λογισμικό συλλογής δεδομένων από πρωτόκολλο HTTP
- Λογισμικό συλλογής δεδομένων από πρωτόκολλο Modbus TCP
- Λογισμικό συλλογής δεδομένων από πρωτόκολλο Zigbee
- Λογισμικό συλλογής δεδομένων από πρωτόκολλο Z-Wave

### 2.6.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Οι παραπάνω σχεδιαστικές αρχές συνθέτουν μια εκλεπτυσμένη αρχιτεκτονική για την ανάλυση και τη διαχείριση δεδομένων στο Βιομηχανικό Δίκτυο των Πραγμάτων. Η συνολική αποτελεσματικότητα και η δυνατότητα λήψης έγκυρων αποφάσεων ενισχύονται, επιτρέποντας στις βιομηχανίες να εκμεταλλεύονται πλήρως τα πλεονεκτήματα του IIoT για τη μετατροπή των δεδομένων σε στρατηγική προσαρμοστικότητα και ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

Η πλατφόρμα ανάλυσης και διαχείρισης δεδομένων για το IIoT συνδυάζει προηγμένες τεχνολογίες για την αποτελεσματική εκμετάλλευση των πληροφοριών που παράγονται από το βιομηχανικό περιβάλλον. Η εξέλιξη της πλατφόρμας γίνεται συνεχώς, προσφέροντας έτσι μια ευέλικτη λύση για την αντιμετώπιση των μελλοντικών προκλήσεων του IIoT.

## 2.7 Ολογράμματα βασισμένα σε Ψηφιακά Δίδυμα για μεταφορά γνώσης και εκπαίδευση εργαζομένων-χειριστών στο περιβάλλον της Βιομηχανίας 4.0

### 2.7.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης

Η λύση αυτή στοχεύει να παρέχει οπτικοποίηση Επαυξημένης Πραγματικότητας των ψηφιακών διδύμων κτιρίων (BIM) και γραμμών παραγωγής κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους απευθείας πάνω από τον πραγματικό χώρο χρησιμοποιώντας το HoloLens AR HMD. Χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό αρχικής καταχώρισης βάσει εικόνας και δυνατοτήτων χωρικής χαρτογράφησης του HoloLens, το εργαλείο θα είναι σε θέση να χαρτογραφήσει στοιχεία εξοπλισμού όπως μηχανήματα παραγωγής, υδραυλικές και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κ.λπ. απευθείας πάνω από τον υπάρχοντα χώρο, έτσι ώστε ο υπεύθυνος παραγωγής να μπορεί να διενεργεί ελέγχους λειτουργίας των γραμμών παραγωγής με παράλληλη οπτικοποίηση τιμών και παραμέτρων λειτουργίας σε πραγματικό χρόνο μέσω συστήματος αισθητήρων ενώ ο εργαζόμενος να μπορεί να ανακτά οδηγίες χρήσης, λειτουργίας, εργασίας ή επισκευής. Αυτή η λειτουργικότητα συνδυάζεται με τη δυνατότητα να σχολιάζει απευθείας τα στοιχεία στον τρισδιάστατο χώρο, προκειμένου να παρέχει ανατροφοδότηση σχετικά με τη λειτουργία, ζητήματα βλαβών ή σφαλμάτων, τροποποιήσεις στα δεδομένα λειτουργίας κ.λπ.

### 2.7.2 Εισαγωγή

Η χρήση των τεχνολογιών εκτεταμένης πραγματικότητας (XR), η οποία περιλαμβάνει τις επιμέρους τεχνολογίες της επαυξημένης πραγματικότητας (AR) και εικονικής πραγματικότητας (VR), στη βιομηχανία έχει επανασχεδιάσει τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά γνώσης και η εκπαίδευση των εργαζομένων. Βασιζόμενες στην δημιουργία ολογραμμάτων στο τρισδιάστατο χώρο, αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν εκπαιδευτικές εμπειρίες που είναι πιο ρεαλιστικές, αλληλεπιδραστικές και αποτελεσματικές. Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών AR και VR στην βιομηχανία μπορεί να γίνει σε πολλές επιμέρους διαδικασίες. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω:

#### 2.7.2.1 Εκπαίδευση και Κατάρτιση Προσωπικού:

Συνήθως, η εκπαίδευση και η κατάρτιση προσωπικού στη βιομηχανία γίνονται μέσω μεθόδων, όπως διαλέξεις, εκπαιδευτικά υλικά και εκπαιδευτικές επισκέψεις. Οι εργαζόμενοι συχνά αντιμετωπίζουν προκλήσεις όσον αφορά την αντίληψη και την εφαρμογή των δεξιοτήτων τους σε πραγματικό περιβάλλον εργασίας. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας XR μπορεί να επιτρέψει στους εργαζομένους να εκπαιδεύονται με πιο πραγματικές και αληθοφανείς προσομοιώσεις, βελτιώνοντας την κατανόηση και την εφαρμογή των δεξιοτήτων τους.

#### 2.7.2.2 Σχεδιασμός και Κατασκευή:

Στον τομέα του σχεδιασμού και της κατασκευής, οι επαγγελματίες επικεντρώνονται σε σχέδια, μοντέλα και προσομοιώσεις με χρήση εργαλείων τρισδιάστατης προβολής σε δισδιάστατες οθόνες. Οι μέθοδοι αυτοί επιτρέπουν στους χρήστες να αλληλεπιδράσουν με τα μοντέλα αλλά η δισδιάστατη προβολή τους συχνά μειώνει την αντίληψή τους. Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας XR μπορεί να επιτρέψει στους σχεδιαστές και τους μηχανικούς να δουν εικονικά τα αντικείμενα τους σε πραγματικό χρόνο και σε πραγματικές διαστάσεις, βελτιώνοντας την ακρίβεια του σχεδιασμού και την αποτελεσματικότητα της κατασκευής.

#### 2.7.2.3 Συντήρηση και Επισκευή:

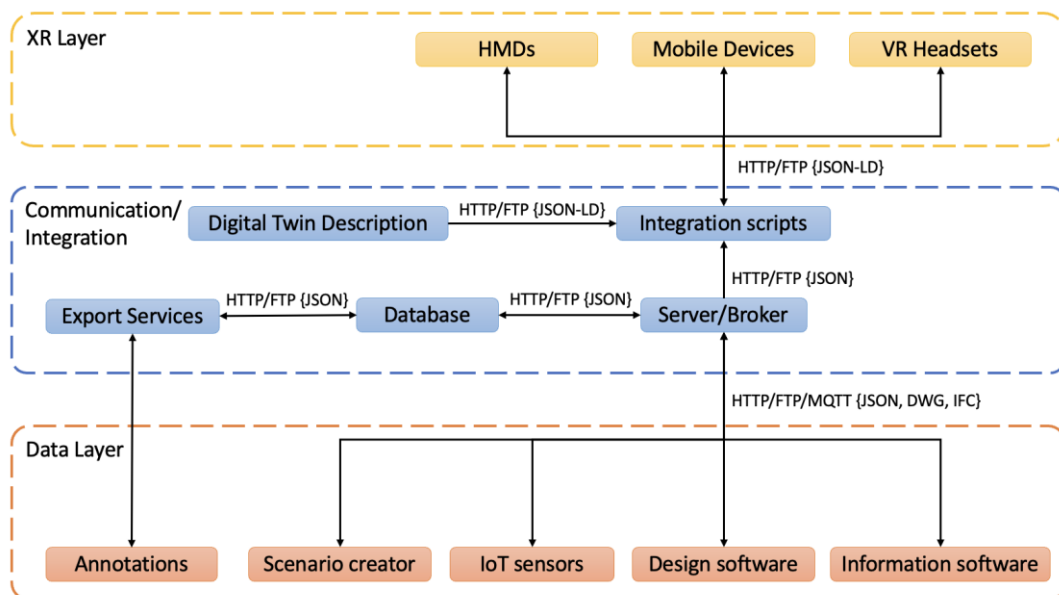
Οι εργασίες συντήρησης και επισκευής στη βιομηχανία περιλαμβάνουν συνήθως τη χρήση εγχειριδίων. Τα εγχειρίδια είναι είτε σε έντυπη είτε σε ψηφιακή μορφή και καθοδηγούν τον εργαζόμενο σε μία σειρά από βήματα για την εκτέλεση της εργασίας. Τα βήματα συχνά κάνουν χρήση

τριδιάστατων μοντέλων για την οπτικοποίηση της πληροφορίας, αυτό όμως δεν είναι αρκετό καθώς γίνεται σε δύο διαστάσεις και έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της αντίληψης του χρήστη. Με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας XR, οι τεχνικοί μπορούν να λαμβάνουν οδηγίες συντήρησης και επισκευής σε πραγματικό χρόνο, ενώ βλέπουν πληροφορία για τα εξαρτήματα και τα προβλήματα. Αυτό βελτιώνει την ταχύτητα και την ακρίβεια των εργασιών.

### 2.7.3 Αρχιτεκτονικής Λύσης

Προκειμένου το σύστημα του ψηφιακού διδύμου να αλληλοεπιδράσει και να ανταλλάξει πληροφορίες με την εφαρμογή εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας πρέπει να γίνει συλλογή και ομογενοποίηση της πληροφορίας. Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης λύσης χωρίζεται σε 3 επίπεδα:

1. Επίπεδο Εικονικής και Επαυξημένης πραγματικότητας (XR Layer)
2. Επίπεδο Επικοινωνίας και Ενσωμάτωσης (Communication/Integration Layer)
3. Επίπεδο Δεδομένων (Data Layer)



Εικόνα 15 Ανάλυση επιπέδων αρχιτεκτονικής

Παρακάτω αναλύονται τα 3 επίπεδα, ξεκινώντας από το επίπεδο δεδομένων και καταλήγοντας στο επίπεδο εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας με σκοπό την διευκόλυνση της κατανόησης. Το επίπεδο δεδομένων περιέχει όλες τα στοιχεία που παράγουν πληροφορίες και δεδομένα. Υπάρχουν τέσσερα ήδη στοιχεία που μπορούν να παράγουν πληροφορίες και δεδομένα.

#### 2.7.3.1 Δημιουργός σεναρίου

Τα στοιχεία αυτά παράγουν πληροφορίες σχετικά με κάποιο σενάριο που περιγράφει κάποια συγκεκριμένη διαδικασία/εργασία που αφορά τις εγκαταστάσεις όπως διαδικασία εκπαίδευση, συντήρησης μηχανημάτων, έλεγχο μηχανημάτων κλπ. Στην δημιουργία του σεναρίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα, ήχοι και αρχεία κειμένου και να περιγραφούν οι μεταξύ τους σχέσεις και αλληλεπιδράσεις. Τα στοιχεία αυτά έχουν ως έξοδο ένα αρχείο τύπου JSON το οποίο το στέλνουν σε έναν κεντρικό server ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αποθήκευση και τον διαμοιρασμό του.

### 2.7.3.2 Αισθητήρια IoT

Πρόκειται για στοιχεία που παράγουν δεδομένα από μετρήσεις. Σε αυτή την κατηγορία περιέχονται όλοι οι τύποι αισθητήριων ανεξάρτητα από το πρωτόκολλο επικοινωνίας και τον τύπο αρχείου που έχουν ως έξοδο. Τα δεδομένα αποστέλλονται απευθείας στον κεντρικό server, αν αυτό υποστηρίζεται από το στοιχεία ή μέσω broker αν το στοιχεία χρησιμοποιεί πρωτόκολλο που το απαιτεί π.χ. MQTT

### 2.7.3.3 Λογισμικό σχεδίασης

Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν όλα τα λογισμικά σχεδίασης, είτε τρισδιάστατα είτε δισδιάστατα, τα οποία μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για το σύστημα. Στην βιομηχανία τα πιο συχνά είναι τα λογισμικά σχεδίασης CAD τα οποία παράγουν τρισδιάστατα μοντέλα. Τα δεδομένα από τα λογισμικά σχεδίασης αποστέλλονται στον κεντρικό server μέσω FTP πρωτοκόλλου καθώς το μέγεθος των παραγόμενων αρχείων είναι μεγάλο.

### 2.7.3.4 Λογισμικό Επισημειώσεων

Αφορά λογισμικό που συνθέτει σημασιολογικές επισημειώσεις, για την εντοπισμένη περιγραφή τμημάτων, περιοχών ενδιαφέροντος ή και του συνόλου του 3D ψηφιακού αντίγραφου. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν σημειώσεις επάνω στην 3D γεωμετρία είτε ως εικονίδια-ετικέτες (από ένα σετ εικονιδίων με κωδικοποιημένη σημασία), είτε ως πτυσσόμενα πλαίσια (με rich text προδιαγραφές). Οι επισημειώσεις (ως σημεία ενδιαφέροντος - points of interest) προσφέρουν πληροφορία όπως οδηγίες για τη σημασία κάθε στοιχείου/εξαρτήματος, καθώς και τον ρόλο του σε συγκεκριμένες ενέργειες/εργασίες, (από)συναρμολόγησης, συντήρησης και διάγνωσης. Μέσα από τη διαδικασία της επισημείωσης μεταπληροφορίας, η ανάλυση και η αντίληψη των τρισδιάστατων δεδομένων είναι πιο αποτελεσματικές και πλήρεις, προσφέροντας ένα εμπλουτισμένο πλαίσιο κατανόησης και αξιολόγησης. Η χωρικά προσδιορισμένες επισημείωσης είναι ουσιώδης σε εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια και αξιοπιστία στην αναπαράσταση της 3D γεωμετρίας και των χαρακτηριστικών των εκάστοτε αντικειμένων.

### 2.7.3.5 Λογισμικό πληροφοριών

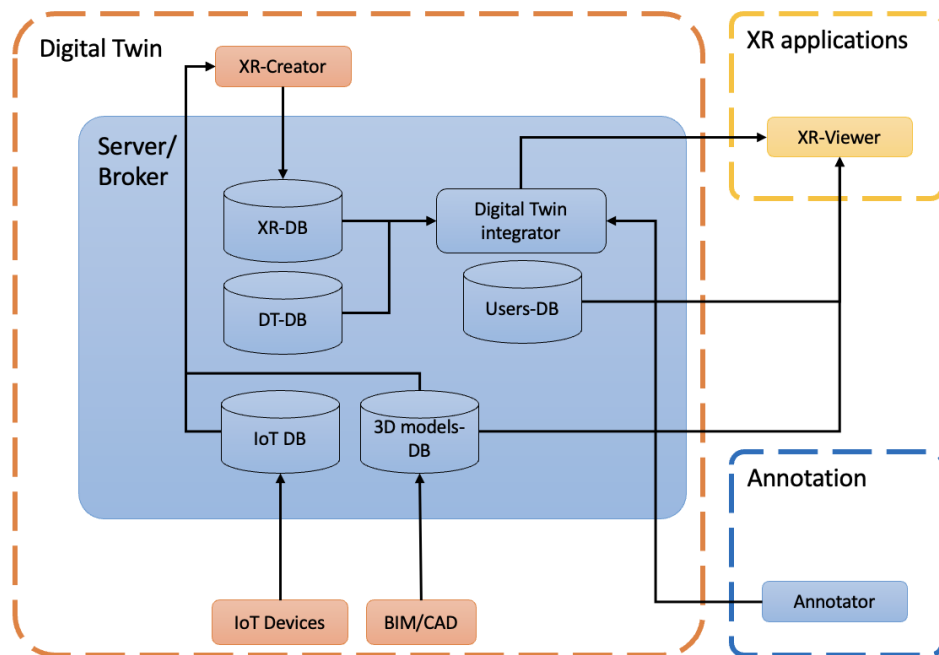
Πρόκειται για λογισμικά που παράγουν χρήσιμες πληροφορίες όπως τα λογισμικά BIM. Τα λογισμικά αυτά χρησιμοποιούνται συχνά στην βιομηχανία και παρέχουν πολλά χρήσιμα δεδομένα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Τα δεδομένα από αυτού του τύπου τα στοιχεία επίσης στέλνονται στον κεντρικό server μέσω FTP λόγω του όγκου των αρχείων.

Το επίπεδο επικοινωνίας και ενσωμάτωσης περιέχει τα στοιχεία που είναι υπεύθυνα για την ανταλλαγή, αποθήκευση και μετατροπή/μετάφραση της πληροφορίας με σκοπό την ομογενοποίησή της. Πιο συγκεκριμένα, τα στοιχεία είναι τα εξής:

- Server/Broker: Πρόκειται για την υποδομή που επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των στοιχείων. Τόσο ο server όσο και ο Broker μπορούν να ανταλλάξουν πληροφορίες με τα υπόλοιπα συστήματα μέσω πρωτοκόλλων όπως HTTP, FTP και MQTT, τα οποία χρησιμοποιούνται συχνά στη βιομηχανία
- Βάση δεδομένων: Στις βάσεις δεδομένων αποθηκεύονται όλα τα δεδομένα για την μετέπειτα χρήση τους. Επίσης οι βάσεις βοηθούν και στην οργάνωση των δεδομένων καθώς μπορούν να δημιουργηθούν πολλές διαφορετικές βάσεις για την αποθήκευση πληροφοριών από διαφορετικά στοιχεία

- Περιγραφή ψηφιακού διδύμου: Πρόκειται για αρχεία τα οποία περιγράφουν τις εγκαταστάσεις, τις διαδικασίες, τον εξοπλισμό και τις μεταξύ τους σχέσεις βασισμένα σε κάποιο πρότυπο περιγραφής. Τις περιγραφές αυτές τις χρησιμοποιούν άλλα στοιχεία με σκοπό την ομογενοποίηση της πληροφορίας
- Αλγόριθμοι ενσωμάτωσης: Τα στοιχεία αυτά αποτελούν κυρίως αλγόριθμους που εκτελούνται πριν ή κατά την ανταλλαγή δεδομένων με σκοπό την ομογενοποίηση της πληροφορίας. Χρησιμοποιούν δεδομένα και πληροφορίες από τα στοιχεία του server και τα στοιχεία της περιγραφής ψηφιακού διδύμου και παράγουν ομογενοποιημένη πληροφορία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πολλαπλά λογισμικά.
- Υπηρεσίες Εξαγωγής Επισημειώσεων: Μηχανισμοί και υπηρεσίες για την εξαγωγή και λήψη όλων των επισημειώσεων που οπτικοποιεί, διαχειρίζεται και παράγει το σχετικό εργαλείο. Ανάπτυξη μεθόδου για την ακριβή χαρτογράφηση της θέσης και του προσανατολισμού κάθε επισημείωσης στο 3D μοντέλο, ώστε να διασφαλίζεται η συνέπεια όταν εισάγονται και αξιοποιούνται από άλλα συστήματα. Υποστήριξη με κατάλληλο API, για την εύκολη και άμεση αναζήτηση επισημειώσεων για συγκεκριμένο 3D ψηφιακό αντίγραφο. Ενσωμάτωση μηχανισμών επανεξέτασης και ενημέρωσης των επισημειώσεων, λαμβάνοντας υπόψη τυχόν αλλαγές από την παρεχόμενη πληροφορία αν αυτή έχει τη μορφή ροής δεδομένων. Προώθηση προτύπων ανοικτού κώδικα και διεπαφής που θα επιτρέπουν την ανταλλαγή και αποτελεσματική διαχείριση και εκμετάλλευση των επισημειώσεων σε άλλα σημεία του συστήματος.

Τέλος, το επίπεδο εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας περιέχει όλα τα στοιχεία που οπτικοποιούν τις πληροφορίες του συστήματος σε περιβάλλοντα εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να είναι είτε συσκευές προβολής ολογραμμάτων (Head Mounted Displays) είτε κινητά τηλέφωνα είτε συσκευές εικονικής πραγματικότητας (VR headsets). Τα στοιχεία αυτά δέχονται τις πληροφορίες των σεναρίων που δημιουργούνται από του δημιουργούς σεναρίων του επιπέδου δεδομένων, αφού όμως αυτά ομογενοποιηθούν από τους αλγόριθμους ενσωμάτωσης, και είναι σε θέση να τις διαβάσουν και να δημιουργήσουν το αντίστοιχο σενάριο.



Εικόνα 16 Αρχιτεκτονική Συστήματος Ανάπτυξης και Αναπαραγωγή Εικονικών Σεναρίων Βασισμένα σε Ψηφιακά Δίδυμα

#### 2.7.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Η αρχιτεκτονική της λύσης χωρίζεται σε 2 υποσυστήματα όπως φαίνεται στην **Εικόνα 16**. Το πρώτο σύστημα περιέχει την αρχιτεκτονική του Ψηφιακού Διδύμου το οποίο υλοποιεί τα επίπεδα δεδομένων και επικοινωνίας και ενσωμάτωσης. Το δεύτερο περιέχει την εφαρμογή για την προβολή των ολογραμμάτων μέσω εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας και υλοποιεί το αντίστοιχο επίπεδο.

##### 2.7.4.1 Επίπεδο δεδομένων

Το επίπεδο δεδομένων περιέχει 3 στοιχεία:

- Το πρώτο στοιχείο είναι ένα σύστημα βιομηχανικού διαδικτύου των πραγμάτων (industrial Internet of Things - IIoT) που είναι υπεύθυνο για την καταγραφή δεδομένων από τα αισθητήρια που είναι εγκατεστημένα στις εγκαταστάσεις. Πρόκειται για στοιχεία τύπου Αισθητήρων IoT τα οποία στέλνουν τα δεδομένα μέσω πρωτοκόλλων IIoT όπως MQTT και OPC-UA.
- Το δεύτερο στοιχείο αφορά την συλλογή δεδομένων από λογισμικά της βιομηχανίας όπως τα BIM (Building Information Modeling) και λογισμικά τρισδιάστατης σχεδίασης CAD (Computer Aided Design) και πρόκειται για στοιχεία τύπου λογισμικού σχεδίασης. Αυτά τα λογισμικά χρησιμοποιούν τύπους αρχείων όπως IFC (Industry Foundation Classes) και DWG (από την αγγλική λέξη drawing) για την αποθήκευση της πληροφορίας. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, λόγω του μεγάλου όγκου αυτών των αρχείων επιλέχθηκε η χρήση του FTP (File transfer protocol) για την αποστολή τους.
- Το τρίτο στοιχείο είναι μία εφαρμογή για την δημιουργία των σεναρίων εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Πρόκειται για την διαδικτυακή εφαρμογή που ονομάζεται XR-Creator. Η εφαρμογή δέχεται δεδομένα από τις βάσεις των μοντέλων και των δεδομένων του IoT και επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει σενάρια που περιγράφουν διαδικασίες των εγκαταστάσεων. Σε αυτό το εργαλείο, οι δημιουργοί μπορούν να αναλύσουν τη διαδικασία που θέλουν να επιδείξουν σε λειτουργίες και ενέργειες. Η όλη διαδικασία αποτελείται από μία ή πολλαπλές λειτουργίες και οι λειτουργίες αποτελούνται από μία ή πολλαπλές ενέργειες. Οι λειτουργίες μιας διαδικασίας χρησιμοποιούνται μόνο για τους λόγους της οργάνωσης, προκειμένου να βοηθήσουν τον εκπαιδευόμενο στην κατανόηση της διαδικασίας ευκολότερα.

##### 2.7.4.2 Επίπεδο επικοινωνίας και ενσωμάτωσης

Το Επίπεδο επικοινωνίας και ενσωμάτωσης περιέχει 7 στοιχεία:

Το πρώτο στοιχείο είναι ο server/broker ο οποίος είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία των στοιχείων. Το συγκεκριμένο στοιχείο περιέχει τα υπόλοιπα στοιχεία του συγκεκριμένου επιπέδου. Ο server παρέχει την δυνατότητα επικοινωνία μέσω HTTP και FTP μέσω RESTful APIs. Παράλληλα ο Broker επιτρέπει την διασύνδεση με πρωτόκολλα MQTT για την ανταλλαγή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο.

Υπάρχουν 5 στοιχεία βάσεων δεδομένων τα οποία αποθηκεύουν διάφορες πληροφορίες. Ονομαστικά υπάρχουν, βάση δεδομένων σεναρίων (XR-DB), βάση δεδομένων περιγραφής ψηφιακών διδύμων (DT-DB), βάση δεδομένων χρηστών (Users-DB), βάση δεδομένων πληροφοριών IoT (IoT DB), βάση δεδομένων τρισδιάστατων μοντέλων (3D models-DB).

Τέλος υπάρχει ένα στοιχεία περιγραφής ψηφιακού διδύμου. Πρόκειται για ένα σύνολο αλγορίθμων οι οποίοι χρησιμοποιούν δεδομένα και πληροφορίες από τις βάσεις δεδομένων XR-DB και DT-DB και έχουν ως έξοδο ένα ομογενοποιημένο αρχείο το οποίο περιέχει πληροφορίες για το

εκάστοτε σενάριο ενώ παράλληλα περιγράφει την σχέση κάθε λειτουργίας και ενέργειας (επίπεδο δεδομένων, στοιχείο 3) με τις πραγματικές εγκαταστάσεις. Για την ομογενοποίηση αυτή χρησιμοποιείται το πρότυπο του Asset Administration Shell το οποίο είναι ένα από τα κορυφαία πρότυπα περιγραφής ψηφιακών διδύμων.

#### 2.7.4.3 Επίπεδο επισημείωσης ψηφιακού αντιγράφου

Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει τη χρήση ενός διαδικτυακού εργαλείου βασισμένου σε τεχνολογίες ιστού, το οποίο προσφέρει τη δομημένη αναπαράσταση της γεωμετρίας του 3D ψηφιακού αντιγράφου. Το 3D μοντέλο είναι αποθηκευμένο σε κατάλληλη (octree) μορφή που επιτρέπει την απρόσκοπτη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων γεωμετρίας από τη διαδικτυακή εφαρμογή. Προσφέρονται στο χρήστη ένα σύνολο παραμέτρων και ρυθμίσεων, για την προσαρμογή του τρόπου οπτικοποίησης του 3D ψηφιακού αντιγράφου και της πληροφορία που το συνοδεύει (επισημειώσεις). Κάθε επισημείωση που δημιουργείται με το εργαλείο, εμπλουτίζει την 3D αναπαράσταση με περιγραφική πληροφορία που περιλαμβάνει κείμενο, εικόνες και βίντεο, και είναι άμεσα συνδεδεμένη με εκπαιδευτικούς στόχους συγκεκριμένων σεναρίων κατάρτισης του χρήστη. Μία επισημείωση αφορά σημείο ή περιοχή του αντικειμένου η οποία και προσδιορίζεται από τον ίδιο τον χρήστη μέσα από τα εργαλεία που προσφέρει το εργαλείο.

#### 2.7.4.4 Επίπεδο εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας

Το επίπεδο εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας αποτελείται από ένα στοιχείο, την εφαρμογή XR-Viewer. Η εφαρμογή επιτρέπει την αναπαραγωγή των σεναρίων που δημιουργούνται από την εφαρμογή XR-Creator του ψηφιακού διδύμου. Ο XR-Viewer επικοινωνεί με τις κατάλληλες βάσεις και δέχεται πληροφορίες τόσο για το σενάριο όσο και για τα μοντέλα. Στην συνέχεια αναλύοντας το αρχείο που του παρέχει ο αλγόριθμος της περιγραφής του ψηφιακού διδύμου αναπαράγει το σενάριο στο περιβάλλον της εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας. Ο χρήστης μπορεί να λάβει αναλυτικές οδηγίες για την εκτέλεση κάποιας εργασίας ενώ παράλληλα μπορεί να επιβλέπει τις εγκαταστάσεις μέσω των δεδομένων από το σύστημα IIoT.

#### 2.7.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η αρχιτεκτονική της συγκεκριμένης λύσης προσφέρει μία συνολική λύση για την επικοινωνία ψηφιακών διδύμων με εφαρμογές εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Η χρήση της εφαρμογής XR-Creator δρα ως δίαυλος διασύνδεσης των δύο τεχνολογιών, μετατρέποντας τόσο τα δεδομένα όσο και τις πληροφορίες για την διεκπεραίωση εργασιών στις εγκαταστάσεις, σε αρχεία JSON τα οποία μπορούν να μετατραπούν σε εμπειρίες XR. Με την χρήση αυτής της αρχιτεκτονικής η τεχνολογία του XR μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα και με λίγους πόρους στις ήδη υπάρχουσες υποδομές της βιομηχανίας. Έτσι οι βιομηχανίες μπορούν να χρησιμοποιούν εμπειρίες XR για την εκπαίδευση των εργαζομένων μέσω ρεαλιστικών προσομοιώσεων περιβαλλόντων εργασίας.

Αυτές οι προσομοιώσεις επιτρέπουν στους εργαζόμενους να εκπαιδεύονται σε ασφαλείς συνθήκες και να αντιμετωπίζουν πραγματικές προκλήσεις που μπορεί να αντιμετωπίσουν στον πραγματικό κόσμο. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η απόδοση της εκπαίδευσης ενώ παράλληλα μειώνεται ο κίνδυνος και το κόστος της διαδικασίας.

## 2.8 Εργαλειοθήκη προγραμματισμού ευέλικτης/ανθεκτικής παραγωγής και διαχείρισης προϊόντων με μικρό κύκλο ζωής

### 2.8.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

Η παρούσα τεχνολογική λύση εστιάζει στην ανάπτυξη εργαλειοθήκης/λογισμικού με στόχο την αυτοματοποιημένη και ταχεία επίλυση προβλημάτων προγραμματισμού παραγωγής που απορρέουν από τις σύγχρονες συνθήκες έντονων μεταβολών, όπως της διαθεσιμότητας πρώτων υλών, της ζήτησης τελικών προϊόντων, του βαθμού χρησιμοποίησης εξοπλισμού λόγω αστοχιών, των ποικίλων απρόβλεπτων καθυστερήσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα κ.α.. Πέραν των παραμέτρων της ροής παραγωγής, στο εργαλείο δύναται να ενσωματώνονται και να αξιολογούνται δεδομένα κατάστασης/χρήσης εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο που λαμβάνονται από έξυπνους αισθητήρες, δημιουργώντας έτσι ένα ολοκληρωμένο και πολύπλευρο σύστημα ανάλυσης ετερογενών δεδομένων και παροχής κρίσιμης πληροφορίας για τη λήψη αποφάσεων (μέσω προτάσεων αναδιάταξης/αναδρομολόγησης ροών), με εστίαση στη διαχείριση προϊόντων με μικρό κύκλο ζωής. Ένα ακόμα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της τρέχουσας τεχνολογικής λύσης είναι η δυνατότητα προσαρμογής σε περιβάλλοντα παραγωγής και διανομής προϊόντων οποιασδήποτε μορφολογίας, καθώς στο εκάστοτε βιομηχανικό πεδίο εφαρμογής καταγράφονται οι βασικές δομικές μονάδες επεξεργασίας και διανομής (από τις οποίες λαμβάνεται η «πληροφορία εισόδου» του αλγορίθμου προγραμματισμού παραγωγής): Εν σειρά (γραμμή παραγωγής/διανομής), συγκλίνουσα (συναρμολόγηση/κόμβος συγκέντρωσης), αποκλίνουσα (αποσυναρμολόγηση/κόμβος διανομής). Η έξοδος-αποτέλεσμα του λογισμικού είναι ο υπολογισμός του βέλτιστου ρυθμού παραγωγής, καθώς και η οπτικοποίηση δομικών στοιχείων, δεδομένων κι αποτελεσμάτων σε ένα απλό και φιλικό γραφικό περιβάλλον χρήστη. Η επεξεργασία των παραμέτρων παραγωγής βασίζεται σε μεθοδολογίες υπολογιστικής νοημοσύνης με έμφαση στην ανατροφοδότηση (feedback) και τον επανυπολογισμό του βέλτιστου ρυθμού παραγωγής και αποθεμάτων, καθιστώντας την εργαλειοθήκη δυναμική και προσαρμόσιμη σε μεταβαλλόμενες συνθήκες κι απρόβλεπτες αλλαγές.

### 2.8.2 Εισαγωγή

Οι συνεχείς αλλαγές στο περιβάλλον παραγωγής δημιουργούν νέες προκλήσεις, τις οποίες οι βιομηχανικές επιχειρήσεις πρέπει να αντιμετωπίζουν κάθε φορά άμεσα κι αποτελεσματικά ώστε να συμβαδίζουν με τις τρέχουσες εξελίξεις και να προσαρμόζονται στα νέα δεδομένα. Μία από τις βασικές απαιτήσεις για επιβίωση είναι η ικανότητα μιας εταιρείας να προσαρμόζει την δομή παραγωγής της σύμφωνα με τις ταχέως μεταβαλλόμενες ανάγκες της παγκόσμιας αγοράς. Η διαχείριση παραγωγής είναι μια δυναμική, πολυσύνθετη και πολυπαραμετρική διαδικασία, στην οποία ενσωματώνεται διαφορετικού τύπου πληροφορία, η οποία (ανα)τροφοδοτεί μια μονάδα ελέγχου για το μετασχηματισμό των δεδομένων εισόδου στην επιθυμητή έξοδο-αποτέλεσμα. Τα βασικά χαρακτηριστικά της διαχείρισης παραγωγής συνοψίζονται σχηματικά στην **Εικόνα 17**.

Οι σύγχρονες τεχνολογίες παραγωγής αναγνωρίζουν ότι η ταχεία και έγκαιρη ανταπόκριση στις αλλαγές της αγοράς συνδέονται άμεσα με σύντομους κύκλους ζωής (cycle times) και χαμηλά επίπεδα ενδοεπιχειρησιακού αποθέματος (WIP, Work-in-Process), χαρακτηριστικά τα οποία αποτελούν σημαντικό πεδίο έρευνας κι ενδιαφέροντος επαγγελματιών.



Εικόνα 17 Μοντελοποίηση Διαχείρισης Παραγωγής

Το ενδοεπιχειρησιακό απόθεμα υπολογίζεται μέσω του αριθμού των στοιχείων/αντικειμένων σε κάθε ρυθμιστή-ενδιάμεσο χώρο (buffer) και πρέπει να παραμένει μικρό για τους εξής λόγους:

- κεφάλαιο (capital) που επενδύεται σε αποθέματα (inventory) για όσο διάστημα παραμένουν στο εργοστάσιο ή στην αποθήκη δεν προσφέρει κέρδος.
- υψηλό ενδοεπιχειρησιακό απόθεμα αυξάνει τον κύκλο ζωής και μειώνει την ανταπόκριση (responsiveness) στους πελάτες.
- υψηλό ενδοεπιχειρησιακό απόθεμα απαιτεί περισσότερο χώρο αποθήκευσης και ακριβό εξοπλισμό διαχείρισης υλικών, γεγονός που αυξάνει το επενδυμένο κεφάλαιο.
- η ποιότητα του αποθέματος μειώνεται καθώς τα ημιτελή είδη παραμένουν στο εργοστάσιο επειδή είναι ευάλωτα σε ζημιές/φθορές.

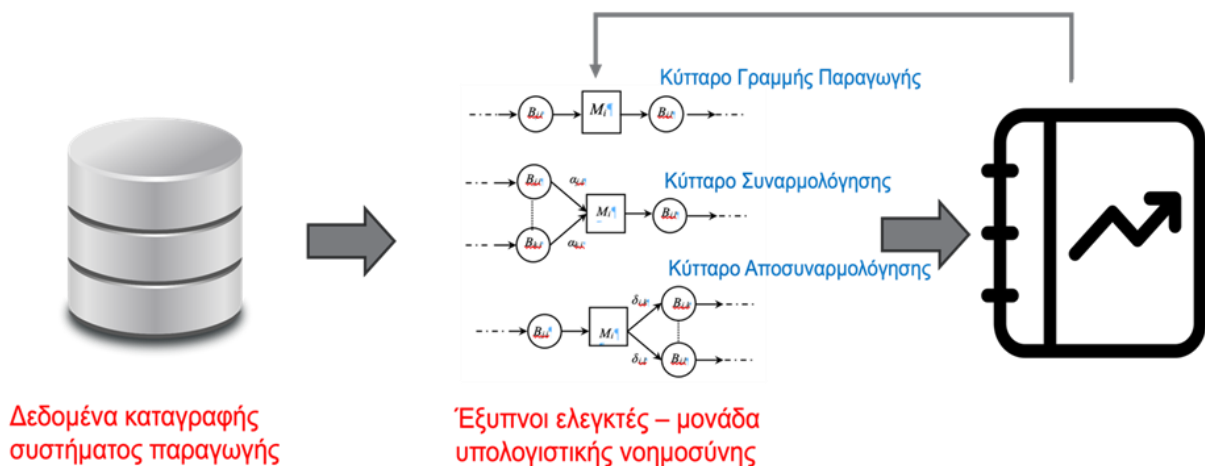
Στις περισσότερες επιστημονικές/ερευνητικές προσεγγίσεις, το ενδοεπιχειρησιακό απόθεμα σχετίζεται με ενσωματωμένες (built-in) παραμέτρους του συστήματος, όπως για παράδειγμα, τον αριθμό των σταθμών εργασίας (workstations), τον ρυθμό επεξεργασίας τους, τη χωρητικότητα του διασταθμικού χώρου αποθήκευσης (interstation buffer) και τις υποθέσεις σχετικά με το ρυθμό αστοχίας και επισκευής κάθε μηχανής. Είναι επίσης κοινή πεποίθηση πως το μεγάλο μέγεθος των βιομηχανικών συστημάτων παραγωγής στην πράξη σε συνδυασμό με την επίδραση που επιφέρουν αστοχίες που συμβαίνουν σε τέτοια συστήματα, δεν επιτρέπουν την αναλυτική διαχείριση και ελαχιστοποίηση του ενδοεπιχειρησιακού αποθέματος. Από τη στιγμή λοιπόν που οι αναλυτικές (analytical) λύσεις δεν είναι εφικτές, προτείνονται ευρετικές (heuristic) πολιτικές για τον έλεγχο (control) της ροής εργασιών στα συστήματα παραγωγής, οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν από τη θεωρία ασαφών συνόλων (fuzzy set theory).

Στα πλαίσια της τρέχουσας τεχνολογικής λύσης, αξιοποιούνται τεχνικές ασαφούς λογικής ώστε να υπολογίζεται ο βέλτιστος ρυθμός παραγωγής που ταυτόχρονα διατηρεί τα ενδοεπιχειρησιακά αποθέματα σε επίπεδο που: 1) δεν υπάρχει εσωτερική συσσώρευση, 2) οι απρόβλεπτες αλλαγές δεν προκαλούν δαπανηρές παύσεις των ροών παραγωγής/διανομής.

### 2.8.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Ένα σύστημα παραγωγής μπορεί να θεωρηθεί ως ένα δίκτυο μηχανών/σταθμών εργασίας και ενδιάμεσων χώρων αποθήκευσης (buffers). Τα στοιχεία/αντικείμενα/υλικά/προϊόντα υπόκεινται σε μια λειτουργία σε κάθε μηχανήμα/σταθμό και περιμένουν την επόμενη λειτουργία σε έναν αποθηκευτικό χώρο πεπερασμένης χωρητικότητας. Τυχαίες βλάβες μηχανών διαταράσσουν την παραγωγική διαδικασία και φαινόμενα όπως η εξάντληση πόρων (starvation) ή αποκλεισμού (blocking) μπορούν να προκύψουν. Λόγω αποτυχίας μηχανήματος με λειτουργικούς γείτονες, το επίπεδο του κατάντη (downstream) αποθηκευτικού χώρου μειώνεται, ενώ αντίθετα το επίπεδο του ανάντη (upstream) αποθηκευτικού χώρου αυξάνεται. Αν ο χρόνος επισκευής είναι αρκετά μεγάλος, τότε το μηχανήμα με βλάβη είτε θα μπλοκάρει τον επόμενο σταθμό ή θα στερήσει από πόρους τον προηγούμενο, διοχετεύοντας όλη αυτή την αρνητική κατάσταση σε όλο το σύστημα.

Τα συμβάντα που μπορούν να παρατηρηθούν σε ένα δίκτυο παραγωγής είναι οι αλλαγές στην κατάσταση των buffers και αλλαγές στις καταστάσεις των μηχανών, οπότε μπορούμε να έχουμε τη δυαδική κατάσταση οι αποθηκευτικοί χώροι να είναι «γεμάτοι» ή «κενοί» και τα μηχανήματα να είναι «επάνω» (λειτουργούν) ή «κάτω» (υπό επισκευή). Όταν ένα μηχανήμα είναι σε λειτουργία μπορεί να ξεμείνει από πόρους (starve) εάν ένας από τους προηγούμενους «τροφοδότες» του (buffers) είναι άδειος, οπότε σε αυτή την περίπτωση το μηχανήμα αναγκάζεται να παράγει με τον ρυθμό που το μηχανήμα τροφοδοτεί τον άδειο αποθηκευτικό χώρο. Αντίστοιχα, αν ένας σταθμός παραγωγής είναι λειτουργικός («επάνω») τότε μπορεί να μπλοκαριστεί εάν κάποιος από τους ακόλουθους αποθηκευτικούς χώρους είναι γεμάτος. Όταν μια μηχανή χαλάσει τότε οι προηγούμενες μηχανές-κόμβοι παραμένουν σε λειτουργία μέχρις ότου ένας από τους κατάντη αποθηκευτικούς χώρους γεμίσει. Ομοίως, οι επόμενες στην παραγωγική γραμμή μηχανές συνεχίζουν την επεξεργασία έως ότου οι ανάντη buffers αδειάσουν. Η συντριπτική πλειοψηφία των συστημάτων παραγωγής μπορεί να αποσυντεθεί σε βασικές ενότητες ή υποσυστήματα, στην θεώρηση της τρέχουσας λύσης διακρίνουμε τρεις μονάδες ελέγχου: γραμμής μεταφοράς (transfer line), δικτύου συναρμολόγησης (assembly) και αποσυναρμολόγησης (disassembly). Η βασική αρχιτεκτονική του συστήματος προγραμματισμού ευέλικτης/ανθεκτικής παραγωγής παρουσιάζεται σχηματικά στην **Εικόνα 18**, περιλαμβάνοντας την είσοδο, την μονάδα ελέγχου και την έξοδο του μοντέλου ανάλυσης δεδομένων.



Εικόνα 18 Επίπεδα Αρχιτεκτονικής της Λύσης

Το υποσύστημα γραμμής μεταφοράς περιλαμβάνει ένα μηχανήμα  $M_i$  το οποίο λαμβάνει ημιτελή αντικείμενα από έναν ανάντη αποθηκευτικό χώρο (buffer)  $B_{j,i}$  και μετά την επεξεργασία, τα στέλνει σε ένα κατάντη buffer  $B_{i,j}$ . Κατά τη λειτουργία συναρμολόγησης, ένα μηχανήμα  $M_i$  αποκτά

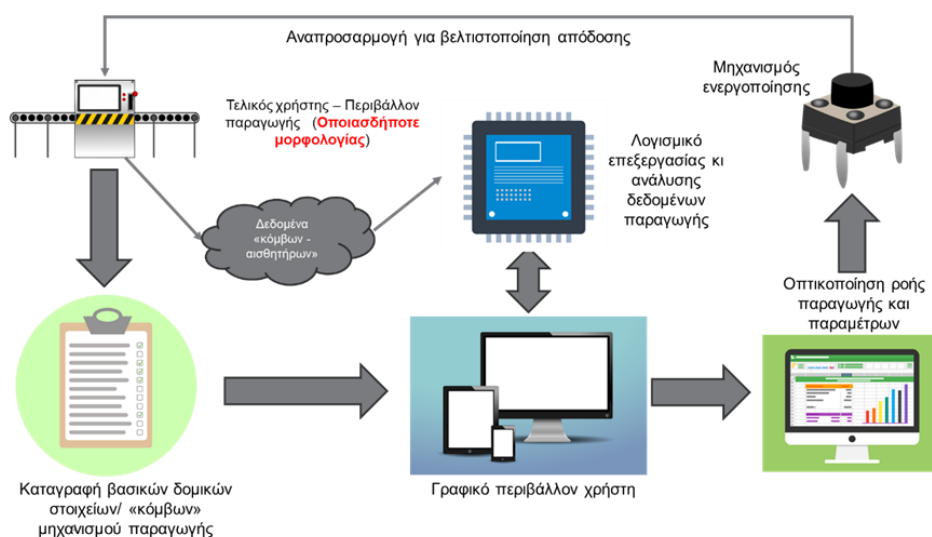
δύο ή περισσότερα εξαρτήματα ή υποσυστήματα, ακολουθώντας ένα συντελεστής συναρμολόγησης  $d_{j,i}$  από περισσότερους από έναν ανάντη buffers  $B_{j,i}$ , τα φέρνει μαζί για να σχηματίσουν μια ενιαία μονάδα, η οποία αποστέλλεται σε έναν κατάντη buffer  $B_{i,j}$ . Η λειτουργία αποσυναρμολόγησης περιλαμβάνει ένα μηχάνημα  $M_i$  που λαμβάνει ημιτελείς μεμονωμένες μονάδες από έναν ανάντη buffer  $B_{j,i}$ , τις χωρίζει σε δύο ή περισσότερα εξαρτήματα ή υποσυστήματα υπό έναν παράγοντα αποσυναρμολόγησης  $d_{i,j}$ , και τα στέλνει προς τους κατάντη buffers  $B_{i,k}$ . Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της συγκεκριμένη διάταξης έγκειται στο γεγονός πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μοντελοποίηση και έλεγχο δικτύων παραγωγής τυχαίας γεωμετρίας εάν αυτά τα υποσυστήματα συνδεθούν κατάλληλα μεταξύ τους.

#### 2.8.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Από τεχνικής φύσεως, η παρούσα λύση μπορεί να περιγράψει συνοπτικά στη σχηματική αναπαράσταση της **Εικόνα 19**. Περιλαμβάνει τα εξής βασικά στάδια:

1. Καταγραφή μηχανισμού παραγωγής (μέσω δεδομένων αισθητήρων, αρχείων καταγραφής (log files) ή άλλη περιγραφή), κατά την οποία συλλέγονται τα απαραίτητα στοιχεία για την τοπολογία και τα δομικά στοιχεία του μηχανισμού παραγωγής στην υπό εξέταση βιομηχανική μονάδα ώστε να μοντελοποιηθεί το δίκτυο παραγωγής συνδυάζοντας τους 3 βασικούς τύπου ελεγκτή (γραμμής μεταφοράς, συναρμολόγησης κι αποσυναρμολόγησης)
2. Δυναμική διαχείριση κι αναπροσαρμογή των υπομονάδων και των κόμβων με βάση τις ανάγκες/αλλαγές που προκύπτουν αλλά και τυχόν δεδομένα αισθητήρων παρακολούθησης καταστάσεων μηχανών και παραμέτρων ενδιαφέροντος εντός του χώρου της βιομηχανικής εγκατάστασης
3. Οπτικοποίηση διαδικασιών μέσω απλού περιβάλλοντος χρήστη για αξιοποίηση σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων μέσω ενδεδειγμένου μηχανισμού ενεργοποίησης

Τα στάδια 1 και 3 εξαρτώνται από την εκάστοτε εφαρμογή και τις απαιτήσεις του εκάστοτε τελικού χρήστη, καθώς και από τη διαθέσιμη υποδομή της βιομηχανικής μονάδας στην οποία γίνεται η δοκιμή και η αξιοποίηση της λύσης. Για αυτό είναι πολύ σημαντική η λεπτομερής καταγραφή κάθε κρίσιμης παραμέτρου που μπορεί να επηρεάσει την εξέλιξη της παραγωγικής διαδικασίας.



**Εικόνα 19** Βασικά Στοιχεία Εργαλείων Λογισμικού για Επίλυση Προβλημάτων Προγραμματισμού Παραγωγής

Αναφορικά με τα είδη των έξυπνων ελεγκτών συστημάτων παραγωγής που λειτουργούν αποδοτικά σε κάθε σενάριο εφαρμογής, εξετάζονται και συγκρίνονται 3 βασικές κατευθύνσεις: α) υλοποίηση κατανεμημένου (distributed) συστήματος, β) αναβάθμιση σε επιβλεπτικό (supervisory) ελεγκτή (χρησιμοποιώντας μακροσκοπικά δεδομένα υψηλότερης ιεραρχίας για τη ρύθμιση του συστήματος στην επιθυμητή συμπεριφορά θεωρώντας γνωστή τη ζήτηση και την αθροιστική παραγωγή) και γ) βελτιστοποίηση υπό ειδικές αβεβαιότητες σε εξελικτικά ρυθμιζόμενο (evolutionary tuned) σύστημα ελέγχου παραγωγής (το σύστημα αρχίζει και μαθαίνει/εκπαιδεύεται μόνο του από τα δεδομένα ώστε να καθορίζει τους κανόνες ασαφούς λογικής). Επομένως, η επεξεργασία των ετερογενών δεδομένων γίνεται μέσω μεθόδων μηχανικής μάθησης και υπολογιστικής νοημοσύνης με έμφαση στην αναδρομολόγηση και τον επανυπολογισμό βέλτιστων ρυθμών παραγωγής και αποθεμάτων ημι-έτοιμων προϊόντων.

Για τη βιωσιμότητα, φορητότητα και συμβατότητα της τρέχουσας λύσης στόχευση είναι να χρησιμοποιηθούν εργαλεία ανοιχτού λογισμικού, ενώ η ανάπτυξη της εργαλειοθήκης βασίζεται στην προγραμματιστική πλατφόρμα Python Community, η οποία παρέχει μια ευρεία γκάμα βιβλιοθηκών διαχείρισης και ανάλυσης δεδομένων, συνεχή και λεπτομερή υποστήριξη μέσω επίσημων fora συζητήσεων για την ανάπτυξη αλγορίθμων, πρόσθετων (add-ons) και προσθηκών (plugins) συμβατών με πληθώρα συσκευών και συστημάτων. Η διαθέσιμη εργαλειοθήκη προγραμματισμού για την επίλυση προβλημάτων παραγωγής, πέραν των δεδομένων προσομοίωσης και πριν την καταγραφή νέων δεδομένων κατά τις πιλοτικές δοκιμές είναι επιθυμητό να δοκιμαστεί και σε ιστορικά δεδομένα που δύναται να διαθέσουν οι επιλεγόμενοι/ενδιαφερόμενοι τελικοί χρήστες, μέσω κατάλληλα διαμορφωμένου και συμφωνημένου πλαισίου χρήσης που θα καθοριστεί στα πλαίσια του έργου.

#### 2.8.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η τρέχουσα λύση για τη δρομολόγηση ροών και την επίλυση προβλημάτων παραγωγής αξιοποιεί συστήματα ελέγχου υπολογιστικής νοημοσύνης (βασισμένα σε τεχνικές ασαφούς λογικής) με το πλεονέκτημα να διατηρεί την παραγωγή κοντά στη ζήτηση και τα αποθέματα WIP (Work-in-process) σε χαμηλά επίπεδα, μεταβάλλοντας τον ρυθμό επεξεργασίας κάθε μηχανής. Το προτεινόμενο σύστημα ελέγχου αποτελείται από τρεις ανεξάρτητες ενότητες (modules) και μπορεί να εφαρμοστεί σε δίκτυα παραγωγής γενικής τοπολογίας συνδυάζοντας κατάλληλα τις διατάξεις ελεγκτών γραμμής μεταφοράς, συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης. Το δομικό πλεονέκτημα της προσέγγισης που παρουσιάζεται σε αυτή την ενότητα είναι ότι επιτρέπει μια δυναμική αναπαράσταση και συλλογισμό γνώσης που προσομοιάζει τον χειριστή γραμμής παραγωγής και λαμβάνει υπόψη βασικές παραμέτρους της διαδικασίας παραγωγής, οι οποίες δύναται να μεταβάλλονται ακόμα κι υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Η καλή απόδοση του ελεγκτή σχετίζεται με χαμηλό ενδοεπιχειρησιακό απόθεμα, υψηλότερο βαθμό χρήσης/αξιοποίησης συστήματος και μικρότερο κύκλο ζωής προϊόντος. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η δυνατότητα που προσφέρει το σύστημα ελέγχου για ανατροφοδότηση και αναδρομολόγηση, καθώς επίσης και για εφαρμογή σε πολύπλοκα πρότυπα ζήτησης αλλά και συστήματα επανεισόδου (reentrance), στα οποία τα αντικείμενα/υλικά/προϊόντα ενδέχεται να «περνούν» από ορισμένα μηχανήματα-κόμβους περισσότερες από μία φορές. Εξίσου σημαντική είναι και η αναμενόμενη διατήρηση της καλής απόδοσης του συστήματος ελέγχου παραγωγής ανεξάρτητα από τις αλλαγές που μπορεί να λαμβάνουν χώρα σε σημαντικές παραμέτρου του δικτύου παραγωγής, όπως αλλαγές στην χωρητικότητα των buffers και τη συχνότητα βλαβών.

## 2.9 Κυκλικές αλυσίδες αξίας μέσω διαχείρισης και παρακολούθησης δευτερογενών υλικών με χρήση ψηφιακών διδύμων και διαβατηρίων προϊόντων

### 2.9.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

Οι κυκλικές αλυσίδες αξίας (circular value chains), ακολουθώντας τις αρχές της κυκλικότητας και της μετατροπής της παραγωγικής διαδικασίας από γραμμικό σε κυκλικό μοντέλο, ενισχύονται στην παρούσα τεχνολογική λύση μέσω της ενσωμάτωσης ψηφιακών τεχνολογιών και εργαλείων, με στόχο την ιχνηλασιμότητα και την αποτελεσματική διαχείριση και αξιοποίηση δευτερογενών υλών (Secondary Raw Materials - SRMs). Υπό αυτό το πλαίσιο, οι παραγωγικές διαδικασίες και οι αλυσίδες εφοδιασμού, μοντελοποιούνται ως δίκτυα επιμέρους ψηφιακών διδύμων (Digital Twins), εστιάζοντας στην ιχνηλασιμότητα (Traceability) και την αποτελεσματική διαχείριση δευτερογενών υλών και προϊόντων της αλυσίδας. Τα ψηφιακά διαβατήρια προϊόντων (Digital Product Passports - DPPs), αξιοποιούνται και αναπτύσσονται ως ψηφιακό εργαλείο ενίσχυσης της κυκλικότητας σε βιομηχανικές διεργασίες, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των καρτών ισορροπημένης βιωσιμότητας (Circular Sustainability Balanced Scorecard), για τη δυναμική αξιολόγηση των κυκλικών αλυσίδων, βάσει των πληροφοριών και αποτελεσμάτων από τα DPPs.

### 2.9.2 Εισαγωγή

Οι κυκλικές, βιώσιμες και καινοτόμες αλυσίδες αξίας έχουν συνδεθεί άρρηκτα με τη βιώσιμη ανάπτυξη, όπως αυτό έχει υπογραμμιστεί στο πρόσφατα επικαιροποιημένο [Εθνικό Σχέδιο Δράσης](#) και την [Εθνική Στρατηγική για την Κυκλική Οικονομία](#), ακολουθώντας την Ευρωπαϊκή ατζέντα για την βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα, όπως αποτυπώνεται στην [Πράσινη Ευρωπαϊκή Συμφωνία](#). Υπό αυτό το πλαίσιο, η ανάλυση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, ξεκινώντας από το σχεδιασμό και τις μεταποιητικές διεργασίες, και προχωρώντας στην κατανάλωση ενέργειας, την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση πόρων και υλών, έχει επαναπροσδιοριστεί, ώστε να οδηγηθεί από το γραμμικό μοντέλο “take-make-use-dispose”, σε ένα περισσότερο αποδοτικό και κλιματικά ουδέτερο μοντέλο, με στόχο «να κλείσει ο κύκλος», για να επιτευχθεί η κυκλικότητα.

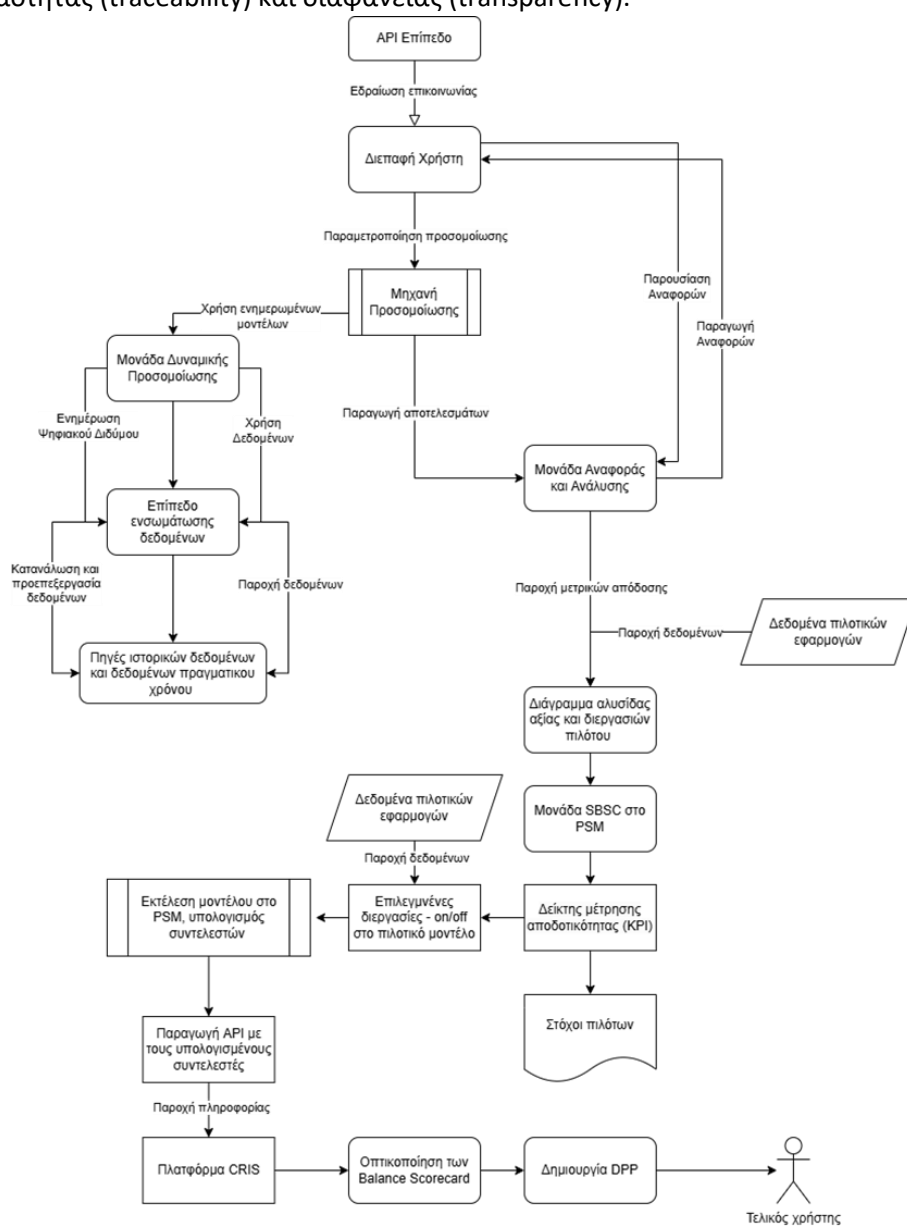
Η πράσινη μετάβαση (green transition), συνασπίζεται με την ψηφιακή (digital transition), αποσκοπώντας στην κλιματική ουδετερότητα, αποκτώντας διπλό χαρακτήρα: τον περιβαλλοντικό, μέσω της επίδρασης στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, και τον τεχνολογικό, αξιοποιώντας ισχυρά εργαλεία, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, τα Ψηφιακά Δίδυμα, Ανάλυση Δεδομένων και Προσομοιώσεις, και πολλά άλλα. Η παρούσα τεχνολογική λύση, στοχεύει στη βιώσιμη διαχείριση των κυκλικών αλυσίδων αξίας (circular value chains) βιομηχανικών μονάδων, και στην παρακολούθηση και αξιολόγησή τους, με χρήση καινοτόμων ψηφιακών εργαλείων όπως τα Ψηφιακά Διαβατήρια Προϊόντων, εργαλείων διαχείρισης και αξιολόγησης όπως τα Sustainability Balanced Scorecards, με έμφαση στην κυκλικότητα, αλλά και αυτόνομων ψηφιακών εργαλείων που προσφέρουν εξατομικευμένη μοντελοποίηση, όπως το Process Simulation Tool. Στόχος αυτής της λύσης είναι η αποτελεσματική οργάνωση των κυκλικών αλυσίδων αξίας, ενσωματώνοντας στρατηγικές ιχνηλασιμότητας (traceability) και διαφάνειας (transparency), αποδίδοντας στις βιομηχανίες ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και προστιθέμενη αξία στους τομείς της βιωσιμότητας (περιβάλλον, οικονομία και κοινωνία), της κυκλικότητας και τις ανθεκτικότητας.

### 2.9.3 Αρχιτεκτονικής Λύσης

Στοχεύοντας στον μετασχηματισμό της βιομηχανίας, υπό το πρίσμα των αρχών που άπτονται στην Βιομηχανία 4.0, η παρούσα λύση περιλαμβάνει χρήση προηγμένων τεχνολογιών όπως οι μοντελοποιήσεις των αλυσίδων αξίας και η δημιουργία ψηφιακών διδύμων, με βάση τη διάταξη και τα δεδομένα υπό τις οποίες δομείται και λειτουργεί το φυσικό σύστημα (βιομηχανικές μονάδες),

αλλά και εργαλεία προηγμένης διαχείρισης και αξιολόγησης της λειτουργίας των αλυσίδων με γνώμονα τη βιωσιμότητα και την κυκλικότητα, αναπτύσσοντας τα αντίστοιχα πλαίσια εφαρμογής. Η παρούσα Τεχνολογική Λύση αποτελείται από τρία βασικά επίπεδα αρχιτεκτονικής, όπως διακρίνονται στην εικόνα στην **Εικόνα 20**:

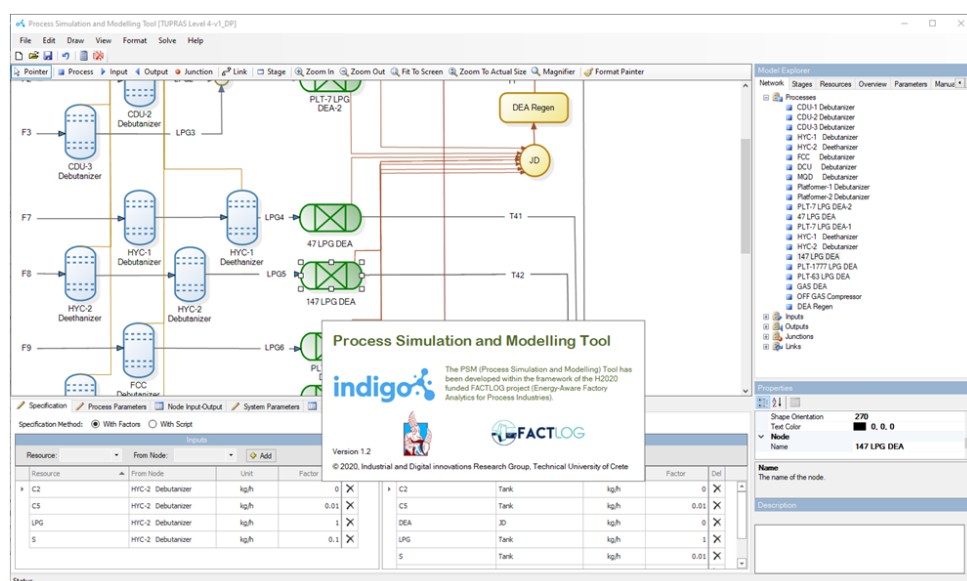
1. Μοντελοποίηση αλυσίδων αξίας σε βιομηχανικές μονάδες και προσομοίωση των επιμέρους διεργασιών για τη δημιουργία ψηφιακού διδύμου της γραμμής παραγωγής με χρήση του εργαλείου PSM-Process Simulation Modelling,
2. Δημιουργία και χρήση του Sustainability Balanced Scorecard module, ένα ενσωματωμένο στο PSM εργαλείο, για τη διευκόλυνση και υποστήριξη των βιομηχανιών να σχεδιάσουν και να χαράξουν στρατηγικές δραστηριότητες, να θέσουν και επιτύχουν στόχους για τη βιώσιμη λειτουργία και την κυκλικότητα στις βιομηχανίες, και,
3. Ανάπτυξη του Ψηφιακού Διαβατηρίου Προϊόντος (Digital Product Passport) για το τελικό προϊόν της αλυσίδας, με στόχο την ενίσχυση της κυκλικότητας μέσω των προσεγγίσεων της ιχνηλασιμότητας (traceability) και διαφάνειας (transparency).



Εικόνα 20 Επίπεδα Αρχιτεκτονικής της Λύσης

### 2.9.3.1 Μοντελοποίηση της αλυσίδας αξίας και προσομοίωση των επιμέρους βιομηχανικών διεργασιών

Οι παραγωγικές διαδικασίες και οι αλυσίδες εφοδιασμού, θα μοντελοποιηθούν ως δίκτυα επιμέρους ψηφιακών διδύμων (digital twins). Τα model-based ψηφιακά δίδυμα θα δημιουργηθούν με τη χρήση του εργαλείου Process Simulation Modelling (PSM), το οποίο έχει αναπτυχθεί από την ομάδα indigo του Πολυτεχνείου Κρήτης στα πλαίσια ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων. Το εν λόγω εργαλείο επιτρέπει τη δημιουργία μοντέλων σύνθετων βιομηχανικών μονάδων αποτελούμενων από πλήθος διεργασιών και την προσομοίωση της λειτουργίας τους (**Εικόνα 21**). Το PSM συνδυάζει αρχές και μεθοδολογίες στο πλαίσιο των Material Flow Networks και Petri Nets για τον χειρισμό τόσο συνεχών (continuous process industries) όσο και διακριτών βιομηχανικών διεργασιών (discrete manufacturing).



**Εικόνα 21** Απεικόνιση του Εργαλείου Προσομοίωσης PSM

### 2.9.3.2 Δημιουργία Sustainability Balanced Scorecards

Οι Κάρτες Ισορροπημένης Βιωσιμότητας, ή αλλιώς Sustainability Balanced Scorecards, δημιουργήθηκαν αρχικά ως εργαλείο διαχείρισης (management tool), το οποίο είχε ως στόχο να διευκολύνει τις βιομηχανίες ως προς το σχεδιασμό και τη χάραξη στρατηγικών ενεργειών. Τα SBSCs βασίζονται στην καταγραφή 4 βασικών πυλώνων μιας βιομηχανίας: τα οικονομικά, τους καταναλωτές, τις εσωτερικές διεργασίες και την ανάπτυξη και εκπαίδευση (financial, customer, internal processes, learning and growth). Ξεκινώντας από την ανάδειξη του βασικού στόχου/οράματος της βιομηχανίας, και χτίζοντας επάνω στους στόχους των 4 βασικών πυλώνων, μία στοχευμένη, βήμα προς βήμα μεθοδολογία υλοποίησης αναπτύσσεται, για τη δημιουργία του SBSC μιας βιομηχανίας. Το SBSC, λαμβάνοντας δεδομένα τόσο από την μοντελοποίηση/προσομοίωση των επιμέρους διεργασιών που έχει προηγηθεί μέσω του PSM, όσο και της πορείας του προϊόντος που αποτυπώνεται μέσω των DPPs, αξιολογεί την συνολική απόδοση της βιομηχανίας ως προς τους τομείς της βιωσιμότητας (περιβάλλον, οικονομία, κοινωνία), αλλά και των εσωτερικών διαδικασιών και εκπαίδευσης, ενσωματώνοντας τους κατάλληλους δείκτες μέτρησης απόδοσης, Key Performance Indicators – KPIs.

### 2.9.3.3 Δημιουργία Ψηφιακών Διαβατηρίων Προϊόντων για την Κυκλικότητα

Τα Ψηφιακά Διαβατήρια Προϊόντων, στοχεύουν στην ενίσχυση της κυκλικότητας, βασιζόμενα στις αρχές της στρατηγικής για την Ψηφιακή Ευρώπη, όπως έχουν εισαχθεί και παρουσιαστεί στον Κανονισμό του Οικολογικού Σχεδιασμού για τα Βιώσιμα Προϊόντα (Eco-Design for Sustainable Products Regulation). Η δημιουργία των Digital Product Passports χτίζει επάνω σε στρατηγικές ιχνηλασιμότητας, έχοντας ως στόχο να καλύψει όλα τα βήματα που σχετίζονται με την προμήθεια υλικών, την παραγωγή, την αλυσίδα εφοδιασμού, από την παραγωγή του προϊόντος, έως το τέλος του κύκλου ζωής του. Η λεπτομερής αυτή απεικόνιση της πορείας του προϊόντος και των επιμέρους τμημάτων/συστατικών του, θα επιτρέψει σε καταναλωτές, κατασκευαστές, συνεργάτες και άλλα πιθανά ενδιαφερόμενα μέρη να έχουν μία ολοκληρωμένη εικόνα για το συγκεκριμένο προϊόν. Τα DPPs μπορούν να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την προέλευση, τη σύνθεση, την επισκευή, την αποσυναρμολόγηση ή/και επανασυναρμολόγηση ενός προϊόντος, καθώς και πληροφορίες σχετικά με την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των συστατικών του. Η δημιουργία και ανάπτυξη ψηφιακών διαβατηρίων για ένα προϊόν, στοχεύει στη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ των διαφορετικών μερών (actors) στις αλυσίδες αξίας και στην προώθηση της λήψης αποφάσεων και γνώσης των καταναλωτών, δημιουργώντας ένα νέο επίπεδο διαφάνειας και πρόσβασης σε πληροφορίες. Η διασφάλιση της ποιότητας των υλικών και συνολικά η διασφάλιση της ποιότητας σε όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, είναι εφικτή μέσω των DPPs, ειδικά σε τομείς κρίσιμους για την ανθρώπινη ευημερία όπως η βιομηχανία τροφίμων.

### 2.9.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

#### 2.9.4.1 Μοντελοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών και αλυσίδων εφοδιασμού ως δίκτυα ψηφιακών διδύμων μέσω του Process Simulation Tool.

Τα διασυνδεδεμένα μοντέλα των επιμέρους διεργασιών μοντελοποιούν τις βιομηχανικές γραμμές παραγωγής, ενσωματώνοντας μοντέλα μηχανικής μάθησης (machine learning/data driven models), όσο και φυσικών αρχών (first principles models). Το εργαλείο PSM βασίζεται στις αρχές των Δικτύων Ροής Υλικών (MFN – Material Flow Networks), τα οποία μοντελοποιούν τις ορές υλικών και ενέργειας στις αλυσίδες παραγωγής. Η μεθοδολογία ανάπτυξης ενός μοντέλου στο PSM, περιλαμβάνει πέντε βασικά βήματα, όπως αντικατοπτρίζεται στην **Εικόνα 21**:

1. Δημιουργία Μοντέλου
2. Εγγραφή στο σύστημα
3. Ορισμός ενός στιγμιότυπου στο συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο
4. Ευελιξία στον καθορισμό τιμών παραμέτρων
5. Υπολογισμός KPIs ή αντικειμενικών συναρτήσεων

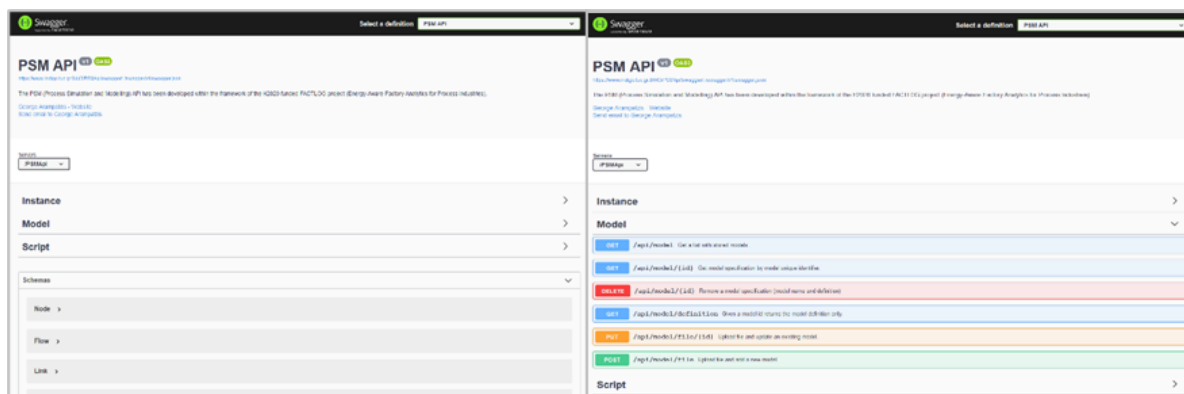
Ως αυτόνομο εργαλείο, το PSM δεν εκθέτει καμία από τις λειτουργίες του εγγενώς. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος έχει δημιουργηθεί μια Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών (Application Programming Interface - API). Ένα API είναι ένα ενδιάμεσο λογισμικό που επιτρέπει σε δύο εφαρμογές να επικοινωνούν μεταξύ τους.

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων



Εικόνα 22: Model-Based Digital Twin Engine – PSM Tool

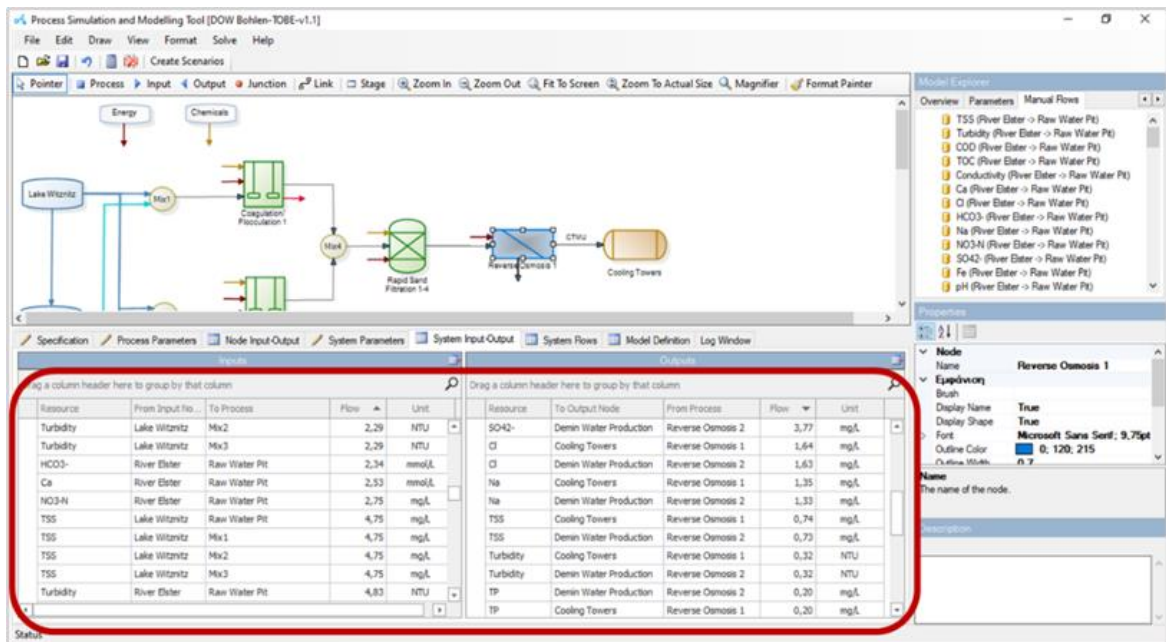
Οι κύριες ομάδες υπηρεσιών που προσφέρει το API PSM σχετίζονται με: τη Δημιουργία Μοντέλου (Model Building), τον Καθορισμό Παραμέτρων (Parameter Specifying), την Συμπλήρωση Παραμέτρων (Parameter Specifying), Συμπλήρωση Παραμέτρων (Parameter Filling), Προσομοίωση Σεναρίου (Scenario Simulation), και Ενημέρωση Μοντέλου (Model Update), προσφέροντας τις αντίστοιχες υπηρεσίες (services): model management, model instance, system parameters, process parameters, calculations and flows services.



Εικόνα 23: Κύριο περιβάλλον διεπαφής API (εικόνα αριστερά) και API υπηρεσίες (εικόνα δεξιά)

Τα δεδομένα εισόδου και εξόδου σε κάθε στάδιο/διεργασία είναι απαραίτητα για τη δημιουργία ενός αξιόπιστου μοντέλου, εισάγοντας παραμέτρους λειτουργίας των διεργασιών από αισθητήρες μέσω API ή χειροκίνητα, ενώ η εξαγωγή περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μέσω API σε μορφή JSON, τα οποία οπτικοποιούνται παράλληλα μέσω της αυτόνομης εφαρμογής του PSM (Εικόνα 23).

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων



Εικόνα 24: Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης και της μοντελοποίησης των βιομηχανικών διεργασιών στο εργαλείο PSM

Η διαδικασία λήψης δεδομένων (data ingestion) ξεκινά με τη λήψη δεδομένων πραγματικού χρόνου από αισθητήρες IoT και ιστορικών δεδομένων από βάσεις δεδομένων στο Επίπεδο Ενοποίησης Δεδομένων (Data Integration Layer), όπου αυτά μορφοποιούνται και προ-επεξεργάζονται. Στη συνέχεια, τα προ-επεξεργασμένα δεδομένα τροφοδοτούνται στη Μονάδα Δυναμικής Μοντελοποίησης (Dynamic Modelling Module), η οποία ενημερώνει τα Ψηφιακά Δίδυμα (Digital Twins) για να αντικατοπτρίζουν την τρέχουσα κατάσταση του φυσικού συστήματος.

Οι χρήστες διαμορφώνουν τις παραμέτρους προσομοίωσης μέσω του Περιβάλλοντος Χρήστη (User Interface), και ο Μηχανισμός Προσομοίωσης (Simulation Engine) χρησιμοποιεί αυτές τις παραμέτρους και τα ενημερωμένα μοντέλα από τη Μονάδα Δυναμικής Μοντελοποίησης για να εκτελέσει προσομοιώσεις. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μεταβιβάζονται στη Μονάδα Ανάλυσης και Αναφοράς (Analysis and Reporting Module), η οποία παράγει μετρικές απόδοσης, βαθμολογίες βιωσιμότητας και συστάσεις βελτιστοποίησης. Αυτές οι αναφορές και οπτικοποιήσεις γίνονται διαθέσιμες μέσω του Περιβάλλοντος Χρήστη.

Τέλος, το Επίπεδο API (API Layer) διαχειρίζεται τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του εργαλείου PSM και της πλατφόρμας/λογισμικού/εφαρμογής που θα οπτικοποιεί/παρουσιάζει/μεταδίδει την πληροφορία, διασφαλίζοντας την απρόσκοπτη ανταλλαγή δεδομένων και την ενοποίηση με άλλα εξωτερικά συστήματα και εργαλεία. Αυτή η συνεκτική αλληλεπίδραση μεταξύ των εσωτερικών στοιχείων επιτρέπει στο εργαλείο PSM να παρέχει αποτελεσματικά τις λειτουργίες του (Εικόνα 24).

### 2.9.4.2 Δημιουργία του Sustainability Balanced Scorecard για δυναμική Αξιολόγηση των αλυσίδων αξίας ενσωματώνοντας τις αρχές της ιχνηλασιμότητας και της διαφάνειας.

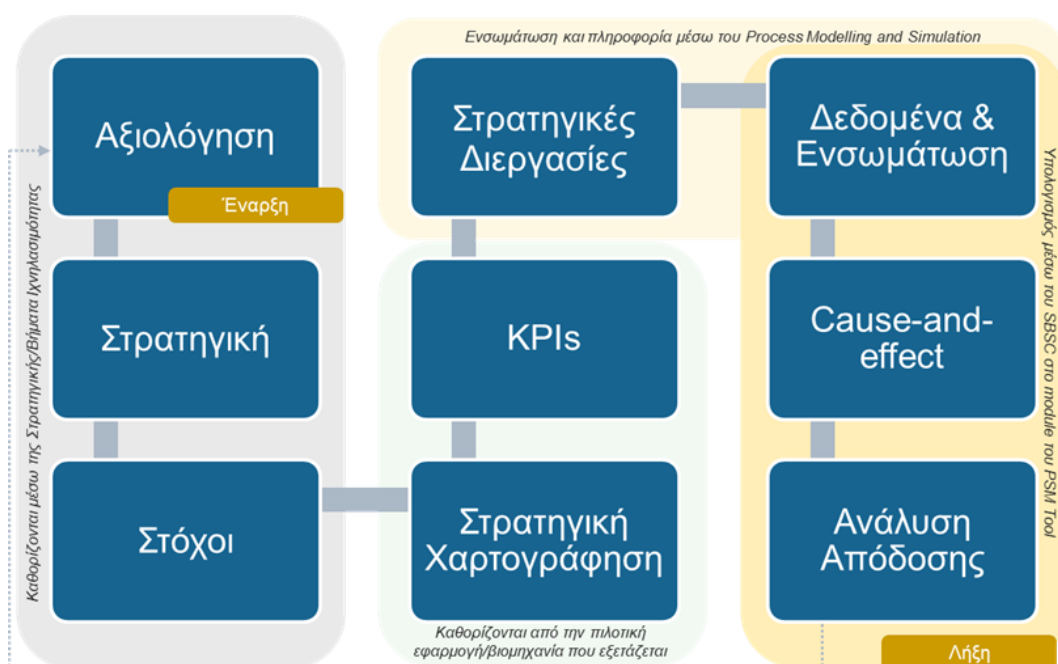
Οι διαδικασίες επαναχρησιμοποίησης, ανακατασκευής και ανακύκλωσης, συγκαταλέγονται μεταξύ των βασικών ενεργειών για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η ιχνηλασιμότητα παρέχει στις εταιρείες τη δυνατότητα να εντοπίζουν ευκαιρίες στρατηγικής αλυσίδας αξίας, να καινοτομούν, να ελαχιστοποιούν τον αντίκτυπο των εσωτερικών και εξωτερικών

διαταραχών και να πιστοποιούν βιώσιμες διαδικασίες ή/και προϊόντα ικανοποιώντας τα πρότυπα και τις απαιτήσεις πιστοποίησης (standardization & certification). Με αυτό τον τρόπο, διασφαλίζονται οι αρχές της ηθικής και της αξιοπιστίας στις αλυσίδες αξίας, αλλά και των σχετιζόμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Το πλαίσιο ιχνηλασιμότητας (traceability framework) ενσωματώνει τους επιθυμητούς στόχους της βιομηχανίας, τις διαθέσιμες λύσεις ιχνηλασιμότητας και τα βασικά τμήματα που θα διαδραματίσουν το ρόλο των ενεργοποιητών. Το πλαίσιο ιχνηλασιμότητας περιλαμβάνει πρακτικές και ενέργειες που περιλαμβάνονται σε τέσσερα κρίσιμα βήματα, στοχεύοντας στην εξασφάλιση της επιτυχίας κατά την εφαρμογή του:

- I. Σύνδεση της ιχνηλασιμότητας με τους επιχειρηματικούς στόχους της βιωσιμότητας
- II. Δημιουργία ενός οικοσυστήματος συνεργασίας σε όλη την αλυσίδα αξίας
- III. Κατανόηση και ανάπτυξη των κλειδιών ιχνηλασιμότητας
- IV. Μετάβαση από τον πειραματισμό στον μετασχηματισμό πραγματοποιώντας μια προσέγγιση ταχείας δοκιμής και μάθησης

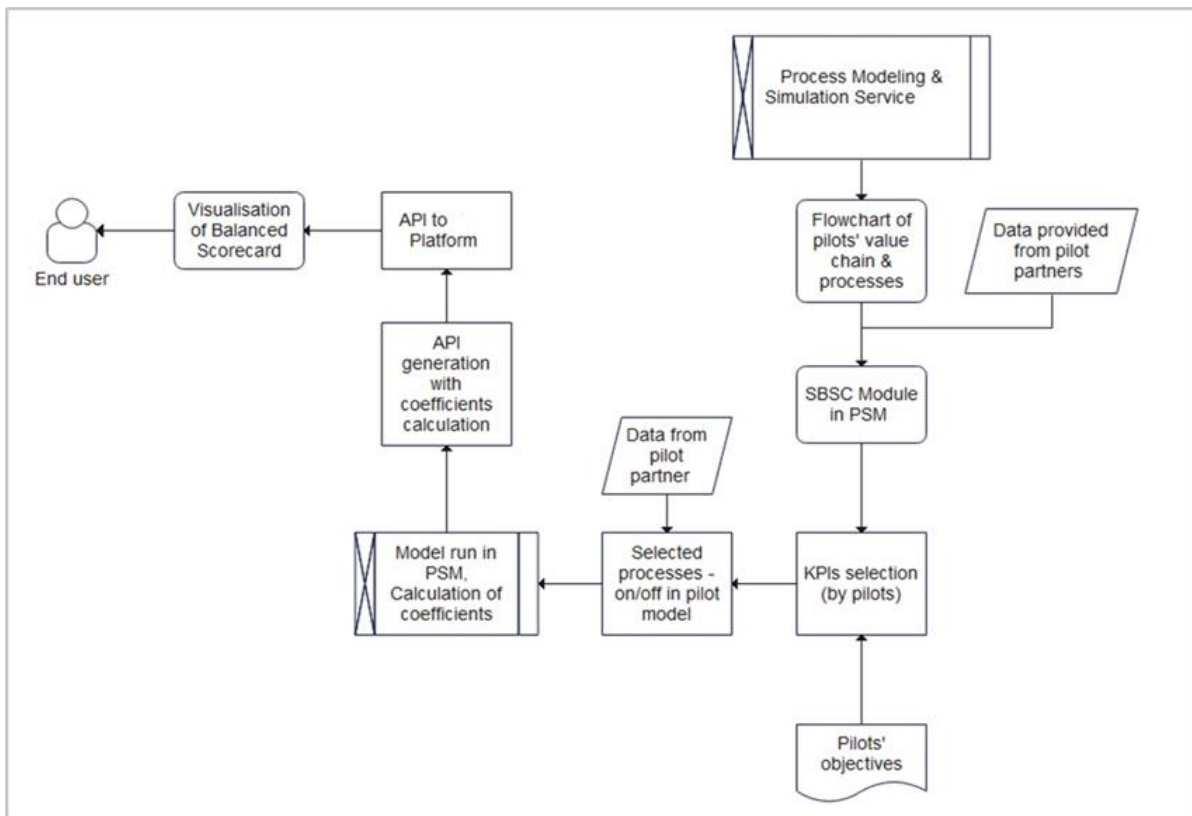
Στο πλαίσιο της ιχνηλασιμότητας, βασικό ρόλο διαδραματίζουν οι «επαναδιαδικασίες/re-processes», μία ομάδα διαδικασιών που ενισχύει την κυκλικότητα και βιωσιμότητα κατά μήκος όλης της αλυσίδας και περιλαμβάνει: μείωση της χρήσης πρώτων υλών (virgin raw materials), επαναχρησιμοποίηση υλικών/προϊόντων, ανακατασκευή ανακυκλωμένων υλικών που επανεισέρχονται στην αλυσίδα, καθώς και ανακυκλώσιμα προϊόντα ή/και απόβλητα, που επανεισέρχονται στις βιομηχανικές διαδικασίες ως πρώτη ύλη.

Το πλαίσιο του Sustainability Balanced Scorecard, ενσωματώνει το πλαίσιο και τις αρχές της ιχνηλασιμότητας, δημιουργώντας ένα στρατηγικό πλάνο για την επίτευξη της βιωσιμότητας και ανθεκτικότητας της βιομηχανίας. Η υλοποίηση αυτού του ενιαίου πλαισίου περιλαμβάνει μία σειρά από βήματα, τα οποία ξεκινούν από τον καθορισμό των βασικών στόχων ενός βιομηχανίας για τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα, αξιολογώντας απόδοση μίας παραγωγικής διαδικασίας ως προς το περιβάλλον, την κοινωνία, την οικονομία, την ανάλυση κύκλου ζωής των προϊόντων, αλλά και συγκεκριμένων μετρήσιμων στόχων (KPIs) που δύναται να καθορίσει η βιομηχανία (Εικόνα 25).



Εικόνα 25: Πλαίσιο και Βήματα Υλοποίησης των Sustainability Balanced Scorecards

Τα βήματα υλοποίησης συμπεριλαμβάνουν τον καθορισμό των τιμών/ορίων/κατωφλίων, ενός αυτά προκύπτουν από την ανασκόπηση ενός βιβλιογραφίας, ιστορικά δεδομένα ενός βιομηχανίας για σύγκριση με την τρέχουσα κατάσταση, νομοθετικά όρια, πρότυπα πιστοποιήσεων (ISOs,) και λοιπούς στόχους που θέτει η βιομηχανία κατά την έναρξη του πλαισίου ιχνηλασιμότητας και ενός υλοποίησης του SBSC. Η οπτικοποίηση του SBSC μέσω του σχεδιασμού ενός προτύπου που θα ενσωματώνει όλα τα στοιχεία, πληροφορίες και αποτελέσματα από τα βήματα της υλοποίησης, θα ολοκληρώσει την ανάπτυξη του SBSC για τη βιομηχανία. Το SBSC αναπτύσσεται ως ένα ενσωματωμένο module στο PSM Tool, υιοθετώντας τα επιμέρους στοιχεία που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 2.9.4.1. για την αρχιτεκτονική του PSM. Στην παρακάτω Εικόνα 26 παρουσιάζεται το διάγραμμα των εργασιών που λαμβάνουν χώρα.



Εικόνα 26: Διάγραμμα διεργασιών για τη δημιουργία του Sustainability Balanced Scorecard (SBSC)

### 2.9.4.3 Αποτύπωση και παρουσίαση της διαδρομής των υλών και προϊόντων στην αλυσίδα μέσω δημιουργίας Ψηφιακών Διαβατηρίων.

Η δημιουργία ενός Ψηφιακού Διαβατηρίου για ένα προϊόν ή υπηρεσία, ενσωματώνει τα βήματα που παρουσιάστηκαν στο Πλαίσιο Ιχνηλασιμότητας, συμπληρώνοντας στοιχεία και δεδομένα σχετικά το προϊόν, τα επιμέρους υλικά του, και την πορεία τους μέχρι την εισαγωγή τους στην αλυσίδα αξίας. Στη συνέχεια ενσωματώνονται πληροφορίες σχετικά με τη χρήση ή τη συντήρηση, αλλά και επιλογές που σχετίζονται με τη διαχείρισή του, μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής. Αυτές δύναται να περιλαμβάνουν τις επιλογές της ανακύκλωσης, επαναχρησιμοποίησης, ή άλλες μεθόδους διάθεσης που θα ελαχιστοποιήσουν τον περιβαλλοντικό του αντίκτυπο (όπως αυτός θα μετρηθεί και αξιολογηθεί μέσω των Sustainability Balanced Scorecards).

Τα στάδια ανάπτυξης του Ψηφιακού Διαβατηρίου περιλαμβάνουν:

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων

- a) Ενσωμάτωση βασικών αρχών και στόχων, όπως καθορίστηκαν στο Πλαίσιο Ιχνηλασιμότητας.
- b) Συλλογή δεδομένων, γραμμής διεργασιών και δραστηριοτήτων τυποποίησης που ακολουθούνται στην υπό εξέταση βιομηχανία.
- c) Χαρτογράφηση και εμπλοκή ενδιαφερόμενων μερών, παικτών και συνεργατών, που έχουν άμεση σύνδεση/εμπλοκή/συνέργεια/συνεργασία με την αλυσίδα αξίας.
- d) Επιλογή τεχνολογικών που θα υλοποιήσουν τα DPPs, όπως τα blockchains ή cloud-based databases.
- e) Σχεδιασμός του User Interface του Ψηφιακού Διαβατηρίου, με τρόπο προσιτό στο χρήστη, κατανοητό και άμεσο.
- f) Εισαγωγή δεδομένων και ενσωμάτωση, έλεγχος και δημιουργία του πρώτου demo.
- g) Συνεχής έλεγχος και αξιολόγηση του DPP, και των αποτελεσμάτων/απεικονίσεων.
- h) Διασφάλιση της συμμόρφωσης με το νομοθετικό πλαίσιο και τα πρότυπα πιστοποίησης.

### 2.9.5 Βιομηχανικός Αντίκτυπος και Εφαρμογές

Η εφαρμογή της συγκεκριμένης λύσης στοχεύει στην ενίσχυση της κυκλικότητας βιομηχανικών διεργασιών, ακολουθώντας στρατηγικές και τεχνολογικές λύσεις με στόχο την ιχνηλασιμότητα, βιωσιμότητα και κυκλικότητα διεργασιών. Η αποτύπωση της πλήρους πορείας/προέλευσης/σύνθεσης των προϊόντων ή/και των δευτερευόντων υλών, και η απεικόνιση αυτών των πληροφοριών μέσω των ψηφιακών διαβατηρίων προϊόντων, παρέχει άμεσα και με διαφάνεια, όλες τις σχετικές με το προϊόν πληροφορίες, στις οποίες μπορούν να έχουν άμεσα πρόσβαση οι καταναλωτές-πολίτες, δυνητικά εμπλεκόμενα ενδιαφερόμενα μέρη και πιθανοί συνεργάτες, καθώς και αρχές αρμόδιες για νομοθετικό έλεγχο και παρακολούθηση της τήρησης των κανονισμών.

Συνακόλουθα, η ανάπτυξη των circular sustainability balanced scorecards ως εργαλείο εκτίμησης επιπτώσεων και αξιολόγησης του προϊόντος και των επιμέρους διεργασιών της αλυσίδας αξίας, ως προς την περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική τους απόδοση, αξιολογούν το προϊόν/υπηρεσία ως προς τη βιωσιμότητα (sustainability) και κυκλικότητά του (circularity), δίνοντας μία συνολική εικόνα των παραγόμενων προϊόντων, σε καταναλωτές, πιθανούς συνεργάτες και επενδυτές.

## 2.10.a Μέθοδοι λήψης αποφάσεων στην παραγωγική διαδικασία – Σύστημα προβλεπτικής αναλυτικής δεδομένων

### 2.10.a.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

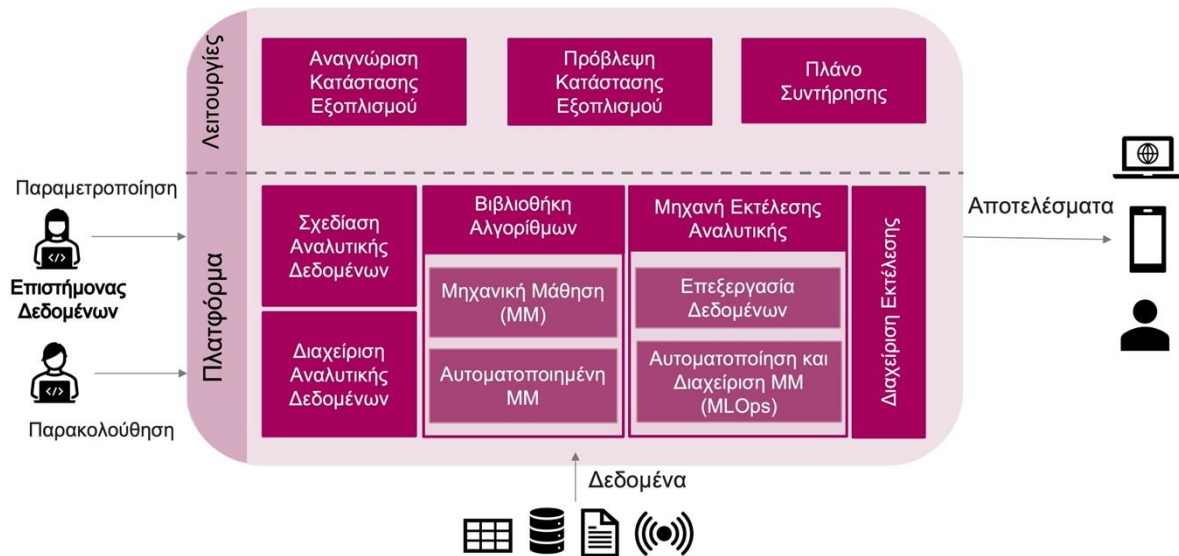
Η εφαρμογή αποτελεί μια πλατφόρμα Υπηρεσιών Αναλυτικής Δεδομένων (Analytics as a Service) που απλοποιεί την ανάπτυξη εφαρμογών που βασίζονται στα δεδομένα με την αυτοματοποίηση του σχεδιασμού, της διαμόρφωσης, της εκτέλεσης και της ανάπτυξης διαδικασιών αναλυτικής δεδομένων. Η πλατφόρμα επιτρέπει στους χρήστες να ορίζουν προηγμένες και προσαρμοστικές αναλύσεις χρησιμοποιώντας ένα διαλειτουργικό περιβάλλον, να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται αλγορίθμους και μοντέλα, να επεξεργάζονται διάφορες πηγές δεδομένων από διαφορετικά συστήματα και να παράγουν αποτελέσματα ανάλυσης σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, τα οποία μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε διάφορες εφαρμογές λογισμικού. Μέσω αυτής της πλατφόρμας μπορούν να κατασκευαστούν λύσεις προβλεπτικής αναλυτικής που αξιοποιούν αλγορίθμους μηχανικής μάθησης καθώς και τεχνικές αυτοματοποιημένης τεχνικής μάθησης που μπορούν να επιλύσουν προβλήματα ποικίλων επιστημονικών ειδικοτήτων. Η εφαρμογή και η προσαρμοστικότητα της πλατφόρμας έχει επιβεβαιωθεί με την ανάπτυξή της σε πέντε διακριτές περιπτώσεις χρήσης με διάφορες πηγές δεδομένων, διεπαφές, αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και διεπαφές χρήστη. Η υλοποίηση βασίζεται σε τεχνολογίες Python, αξιοποιεί βιβλιοθήκες αναλυτικής δεδομένων και μηχανικής μάθησης, ενώ μέσω της δυναμικής αρχιτεκτονικής της προσφέρει τη δυνατότητα επέκτασης με επιπρόσθετους αλγορίθμους κατά περίπτωση. Στο πλαίσιο της προβλεπτικής συντήρησης, η πλατφόρμα Υπηρεσιών Αναλυτικής Δεδομένων είναι ικανή να παρέχει απαντήσεις σε προβλήματα αναλυτικής δεδομένων που εστιάζουν στην αναγνώριση, αξιολόγηση και πρόβλεψη της κατάστασης του εξοπλισμού και να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων συντήρησης βασισμένες στις παραγόμενες προβλέψεις.

### 2.10.a.2 Εισαγωγή

Η κυριαρχία των δεδομένων που είναι εμφανής στην παρούσα εποχή τεχνολογικής εξέλιξης οδηγεί τις επιχειρήσεις να βασίζονται όλο και περισσότερο στην αναλυτική δεδομένων για να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις και να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες τους. Τα τελευταία χρόνια, η ανάλυση έχει εξελιχθεί περνώντας από τα εργαλεία επιχειρηματικής νοημοσύνης και διαχείρισης δεδομένων στις τεχνολογίες μεγάλων δεδομένων, καταλήγοντας σε πλήθος προσεγγίσεων αναλυτικής δεδομένων βασισμένων στην τεχνητή νοημοσύνη. Η συνεισφορά της τεχνητής νοημοσύνης στην εξέλιξη της αναλυτικής δεδομένων βασίζεται στο γεγονός ότι διευκολύνει την υλοποίηση τεχνολογιών επεξεργασίας μεγάλων δεδομένων οδηγώντας στην ευκολότερη και αποδοτικότερη αναλυτική δεδομένων.

### 2.10.a.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Η υλοποίηση της πλατφόρμας βασίζεται στην αρχιτεκτονική που παρουσιάζεται στην **Εικόνα 27**.

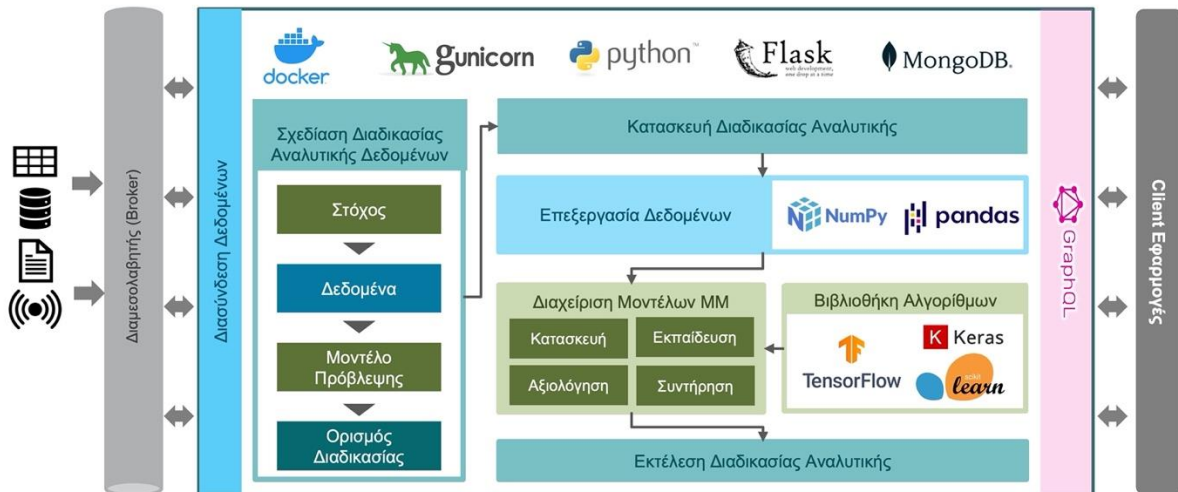


Εικόνα 27 Αρχιτεκτονική Συστήματος Προβλεπτικής Αναλυτικής Δεδομένων

Ο πυρήνας της αρχιτεκτονικής αποτελείται από πέντε υποσυστήματα, την Σχεδίαση Αναλυτικής Δεδομένων, τη Διαχείριση Αναλυτικής, την Βιβλιοθήκη Αλγορίθμων, την Μηχανή Εκτέλεσης Αναλυτικής και την Διαχείριση Εκτέλεσης Αναλύσεων. Η Σχεδίαση Αναλυτικής Δεδομένων δίνει τη δυνατότητα στον αναλυτή δεδομένων να σχεδιάσει και να διαμορφώσει την ανάλυση την οποία στοχεύει να υλοποιήσει για την επίλυση κάποιου προβλήματος αναλυτικής δεδομένων, παρέχοντας του όλα τα απαιτούμενα εργαλεία και καθοδηγώντας τον για την σωστή εννοχρήστρωση τους. Μέσω της Διαχείρισης Αναλυτικής Δεδομένων, ο αναλυτής μπορεί να προσθέσει νέες αναλύσεις και να επεξεργαστεί τις αναλύσεις που έχουν καταχωρηθεί στην πλατφόρμα. Οι αναλύσεις που υποστηρίζονται μπορούν να αξιοποιούν αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, οι υλοποιήσεις των οποίων είναι διαθέσιμες από την πλατφόρμα καθώς και την τεχνολογία της Αυτοματοποιημένης Μηχανικής Μάθησης η οποία διατίθεται με σκοπό την βελτιστοποίηση και διευκόλυνση της διαδικασίας επιλογής μοντέλων μηχανικής μάθησης. Ακολουθώντας τον ορισμό της εκάστοτε ανάλυσης, η Μηχανή Εκτέλεσης Αναλυτικής αναλαμβάνει την αυτοματοποίηση της επεξεργασίας δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, κατασκευάζει την παραμετροποιημένη ανάλυση, υλοποιώντας τα απαραίτητα βήματα της επεξεργασίας δεδομένων, της κατασκευής μοντέλων μηχανικής μάθησης, καθώς και όλα τα βήματα που απαιτούνται πριν την εκτέλεση της δεδομένης ανάλυσης, και στη συνέχεια προχωράει στην εκτέλεση της ανάλυσης σύμφωνα με τις προτιμήσεις εκτέλεσης που έχει καθορίσει ο αναλυτής δεδομένων. Εστιάζοντας στον τομέα της προβλεπτικής συντήρησης, η πλατφόρμα Υπηρεσιών Αναλυτικής Δεδομένων με τους κατάλληλους υλοποιημένους αλγορίθμους είναι ικανή να παρέχει απαντήσεις σε προβλήματα αναλυτικής δεδομένων που εστιάζουν στην αναγνώριση, αξιολόγηση και πρόβλεψη της κατάστασης του εξοπλισμού και να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων συντήρησης βασισμένες στις παραγόμενες προβλέψεις.

#### 2.10.a.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Η πλατφόρμα έχει υλοποιηθεί με τη μορφή μιας web εφαρμογής Python βασισμένης στο πλαίσιο Flask. Η υλοποίηση έχει ενσωματωθεί σε ανεξάρτητο εργαλείο εκτέλεσης βασισμένο στο Docker και έχει αποτελεσματικά αναπτυχθεί ως υπηρεσία του docker-compose. Η **Εικόνα 28** απεικονίζει την τεχνική αρχιτεκτονική της πλατφόρμας.



Εικόνα 28 Τεχνική Αρχιτεκτονική Συστήματος Προβλεπτικής Αναλυτικής Δεδομένων

Ακολουθώντας την αρχιτεκτονική που περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο, το σύστημα Σχεδίασης Διαδικασίας Αναλυτικής Δεδομένων υλοποιεί την διαδικασία παραμετροποίησης που επιτρέπει την κατασκευή αναλύσεων, διευκολύνοντας την ρύθμιση και διαχείριση των διαθέσιμων οντοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των καθορισμένων αναλύσεων, μοντέλων, συνόλων δεδομένων και των απαιτούμενων αναλυτικών διαδικασιών. Στην τεχνική αρχιτεκτονική, η Μηχανή Εκτέλεσης Αναλυτικής αναλαμβάνει την κατασκευή της επιλεγμένης διαδικασίας αναλυτικής, προχωρά στην Επεξεργασία Δεδομένων, ενώ παράλληλα μέσω του υποσυστήματος Διαχείρισης Μοντέλων MM, παρέχει την υλοποίηση που αναλαμβάνει την κατασκευή την εκπαίδευση, την αξιολόγηση και τη συντήρηση των μοντέλων μηχανικής μάθησης, βασιζόμενη στις κατάλληλες Βιβλιοθήκες Αλγορίθμων. Μετά την ολοκλήρωση αυτών των βημάτων, η Μηχανή Εκτέλεσης Αναλυτικής, εκτελεί την ανεπτυγμένη Διαδικασία Αναλυτικής, ακολουθώντας το πρόγραμμα εκτέλεσης που έχει επιλέξει ο υπεύθυνος ανάπτυξης.

Η υλοποίηση της πλατφόρμα βασίζεται σε πολλές βιβλιοθήκες αναλύσεων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, των pandas, numpy και scikit-learn. Οι δυνατότητες Μηχανικής Μάθησης της υλοποίησης ενεργοποιούνται με την χρήση των βιβλιοθηκών Tensorflow και Keras. Τέλος, το επίπεδο Δεδομένων της αρχιτεκτονικής το οποίο αποθηκεύει και διαχειρίζεται τα δεδομένα των αναλύσεων υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το MongoDB με τη βοήθεια των βιβλιοθηκών της Python, Mongoengine και pymongo.

Η κύρια διεπαφή αυτής της υλοποίησης είναι ένα GraphQL API που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον αναλυτή δεδομένων για τη δημιουργία, τη διαμόρφωση και την παρακολούθηση της αυτόματης εκτέλεσης των αναλύσεων που έχει δημιουργήσει. Επιπλέον, η διεπαφή GraphQL συνδέει τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της ανάλυσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιαδήποτε εφαρμογή πελάτη που επιθυμεί να καταναλώσει αυτά τα δεδομένα ως υπηρεσίες, χωρίς να εμπλακεί σε όλη τη διαμόρφωση, εκτέλεση και αυτοματοποίηση των διαδικασιών αναλύσεων που έχουν υλοποιηθεί από την προτεινόμενη προσέγγιση.

Η εφαρμογή της πλατφόρμας σε παραγωγικά συστήματα γίνεται μέσω του Gunicorn ('Green Unicorn') που αποτελεί έναν Python WSGI HTTP Server για UNIX συστήματα και υποστηρίζει αρκετές παράλληλες εκτελέσεις.

#### 2.10.a.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η πλατφόρμα παρέχει ένα ευέλικτο και εξελισσόμενο περιβάλλον για την ανάπτυξη και την εκτέλεση διαφορετικών αναλύσεων δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση και την αποτελεσματική χρήση των αποτελεσμάτων από εφαρμογές πελατών, ενισχύοντας έτσι την αποτελεσματικότητα και την αξία της αναλυτικής διαδικασίας. Επιπλέον, η χρήση του GraphQL API ως κύριας διεπαφής δίνει στον αναλυτή δεδομένων έναν εύκολο τρόπο για τη δημιουργία, τη διαμόρφωση και την παρακολούθηση των ανεπτυγμένων αναλύσεων, ενώ ταυτόχρονα διευκολύνει την αποδοτική και επαναχρησιμοποίησή τους. Τέλος, η υλοποίηση της αρχιτεκτονικής με χρήση εργαλείων για τη μεγάλης κλίμακας επεξεργασία δεδομένων και τις βιβλιοθήκες Μηχανικής Μάθησης, ενισχύει την ικανότητα της πλατφόρμας να ανταποκριθεί σε ποικίλες αναλυτικές ανάγκες και να παρέχει αξιόπιστα και έγκαιρα αποτελέσματα. Επομένως, η πλατφόρμα αντιπροσωπεύει ένα προηγμένο εργαλείο για την αυτοματοποίηση και την εξέλιξη της ανάλυσης δεδομένων, καθώς ελαχιστοποιεί την ανθρώπινη παρέμβαση, παρέχοντας παράλληλα ευελιξία και αποτελεσματικότητα στη διαχείριση των αναλυτικών διαδικασιών. Κατά συνέπεια, η πλατφόρμα αυτή αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την επίτευξη των αναλυτικών στόχων των επιχειρήσεων σε μια εποχή όπου η ανάλυση δεδομένων και η εκμετάλλευση της πληροφορίας έχουν κεντρική σημασία.

## 2.10.b Μέθοδοι λήψης αποφάσεων στην παραγωγική διαδικασία - Σύστημα προβλεπτικού ελέγχου

### 2.10.b.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

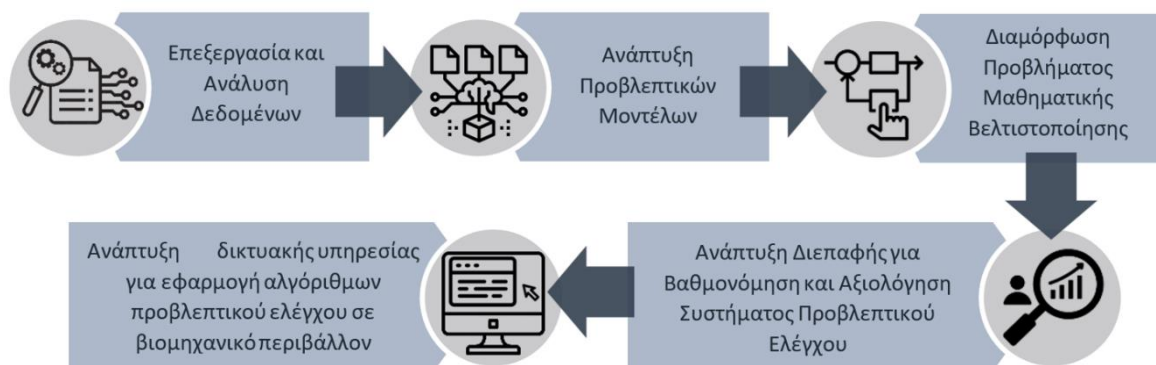
Η τεχνολογική λύση αποσκοπεί στην ανάπτυξη εργαλειοθήκης που θα υλοποιεί τη ροή εργασιών με τελικό στόχο το σχεδιασμό συστημάτων ελέγχου που βασίζονται στη τεχνολογία του προβλεπτικού ελέγχου (Model Predictive Control, MPC) και την εφαρμογή τους σε βιομηχανικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, η εργαλειοθήκη υποστηρίζει την ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από βιομηχανικές διεργασίες και την ανάπτυξη δυναμικών προβλεπτικών μοντέλων διακριτού χρόνου μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Στη συνέχεια το προβλεπτικό μοντέλο ενσωματώνεται στη διαμόρφωση ενός προβλήματος μαθηματικής βελτιστοποίησης που επιλύεται σε πραγματικό χρόνο και υπολογίζει τη βέλτιστη αλληλουχία ρυθμιστικών δράσεων, που υλοποιούνται από τους ενεργοποιητές. Ο τελικός χρήστης μέσω κατάλληλης διεπαφής μπορεί να τροποποιεί τις παραμέτρους που περιγράφουν το εκάστοτε σύστημα ελέγχου, όπως τα όρια που καθορίζουν τους λειτουργικούς περιορισμούς, τις επιθυμητές τιμές των μεταβλητών ελέγχου και τα βάρη των επιμέρους όρων που διαμορφώνουν την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος βελτιστοποίησης. Τα αποτελέσματα οπτικοποιούνται με τη μορφή γραφικών παραστάσεων των μεταβλητών ως συναρτήσεις του χρόνου που σε συνδυασμό με τον υπολογισμό δεικτών αξιολόγησης επιτρέπει στο χρήστη να έχει αναλυτική εικόνα της απόδοσης του συστήματος ελέγχου. Τέλος, ο προβλεπτικός ελεγκτής υλοποιείται σε μορφή άμεσης εφαρμογής σε βιομηχανικό περιβάλλον υποστηρίζοντας πρωτόκολλα επικοινωνίας με τους αισθητήρες και επενεργητές του πεδίου.

### 2.10.b.2 Εισαγωγή

Ο αυτόματος έλεγχος είναι μια λειτουργία του αυτοματισμού βιομηχανικών συστημάτων και διεργασιών και παίζει σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, την αύξηση της παραγωγικότητας και τη μείωση του κόστους παραγωγής. Η τεχνολογία του προβλεπτικού ελέγχου (Model Predictive Control, MPC) είναι μια προηγμένη μεθοδολογία λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο στην παραγωγική διαδικασία που έχει τύχει εκτεταμένης εφαρμογής στη βιομηχανία λόγω της δυνατότητας που έχει να διαχειρίζεται πολύ-μεταβλητά συστήματα και να λαμβάνει υπόψη ποικίλους λειτουργικούς περιορισμούς όπως το εύρος λειτουργίας των επενεργητών και τα όρια ασφάλειας των βιομηχανικών συστημάτων. Η τεχνολογία MPC βασίζεται στην ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου διακριτού χρόνου για την πρόβλεψη της μελλοντικής συμπεριφοράς διεργασιών ή συστημάτων και τη διαμόρφωση και επίλυση σε πραγματικό χρόνο ενός προβλήματος μαθηματικής αριστοποίησης για τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων στην παραγωγική διαδικασία. Στην εποχή της 4<sup>ης</sup> βιομηχανικής επανάστασης η τεχνολογία MPC έχει βρει σημαντικό ρόλο καθώς μπορεί να αξιοποιήσει τα δεδομένα που συλλέγονται από πηγές όπως αισθητήρες και συσκευές Industrial Internet of Things (IIoT) για την περαιτέρω αριστοποίηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Επίσης η ανάπτυξη και ενσωμάτωση πληροφοριών από προηγμένους αισθητήρες, όπως βίο-αισθητήρες, επιτρέπει την επέκταση των στόχων των συστημάτων ελέγχου στην κατεύθυνση της παραγωγής ασφαλών και βιώσιμων προϊόντων. Ακόμη, η ενσωμάτωση στο πρόβλημα της αριστοποίησης οικονομικών κριτηρίων έχει ενισχύσει περαιτέρω την ευελιξία της συγκεκριμένης τεχνολογίας με την ανάπτυξη αλγόριθμων Οικονομικού Προβλεπτικού Ελέγχου (Economic MPC). Στο πλαίσιο αυτό, αναδεικνύεται η χρησιμότητα της ανάπτυξης μιας εργαλειοθήκης που διασυνδέει την συλλογή και ανάλυση δεδομένων με τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό ενός άμεσα εφαρμόσιμου συστήματος ελέγχου, προσαρμοσμένο στις ανάγκες της εκάστοτε βιομηχανικής διαδικασίας παραγωγής.

### 2.10.b.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας φαίνεται σχηματικά στην **Εικόνα 29**.



*Εικόνα 29 Αρχιτεκτονική της Πλατφόρμας Συστήματος Ελέγχου*

Τα επιμέρους βήματα αναλύονται στη συνέχεια:

#### 2.10.b.3.1 Επεξεργασία και Ανάλυση Δεδομένων

Σε πρώτο στάδιο υποστηρίζεται η επεξεργασία και ανάλυση δυναμικών δεδομένων που προέρχονται από το βιομηχανικό σύστημα με στόχο τη διαχείριση του θορύβου, την απομάκρυνση πιθανών outliers, και την κανονικοποίηση για εξάλειψη πιθανών ανισοροπιών στο εύρος διακύμανσης των μεταβλητών.

#### 2.10.b.3.2 Ανάπτυξη Προβλεπτικών Μοντέλων

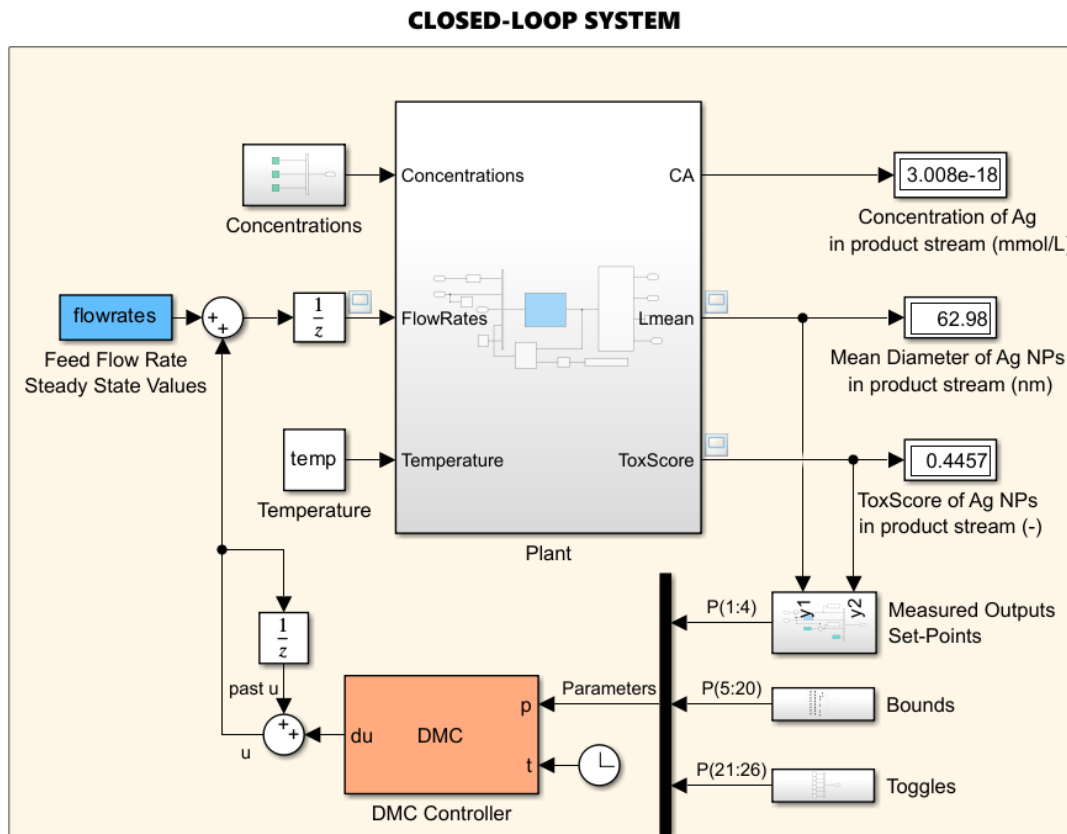
Η ανάπτυξη προβλεπτικών μοντέλων αποτελεί κρίσιμο βήμα και αναπόσπαστο κομμάτι της τεχνολογίας προβλεπτικού ελέγχου. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των δυναμικών συσχετίσεων μεταξύ των μεταβλητών εισόδου και των μεταβλητών ελέγχου του συστήματος. Προσφέρεται η δυνατότητα ανάπτυξης μοντέλων βηματικής και παλμικής επιβολής και η εκπαίδευση μοντέλων με αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, όπως νευρωνικών δικτύων.

#### 2.10.b.3.3 Διαμόρφωση Προβλήματος Μαθηματικής Βελτιστοποίησης

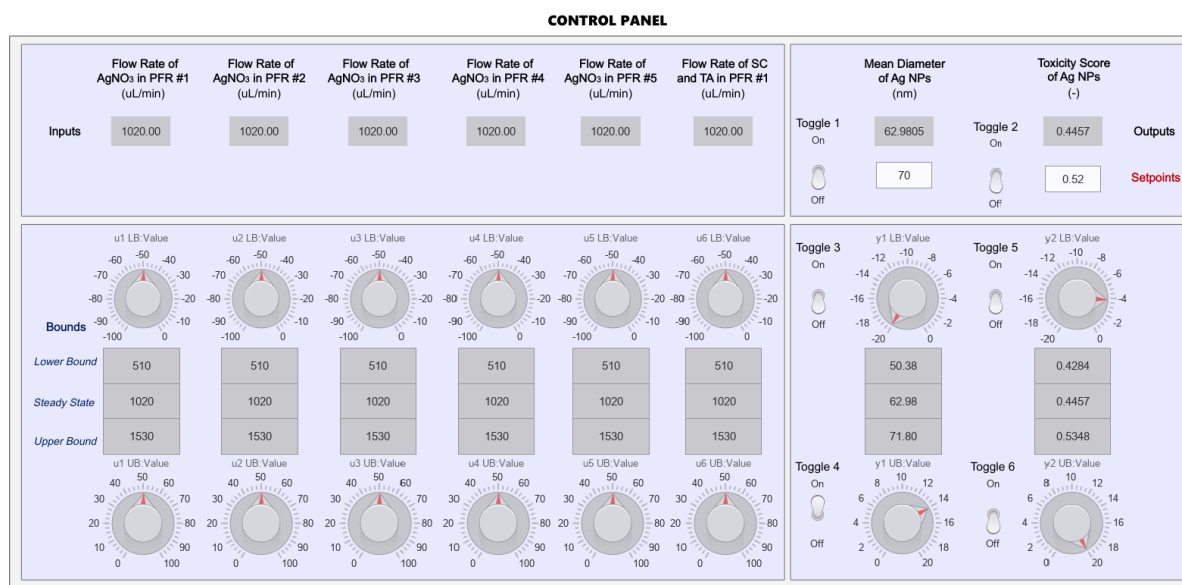
Το δυναμικό μοντέλο ενσωματώνεται στο σύστημα προβλεπτικού ελέγχου για την πρόβλεψη της μελλοντικής συμπεριφοράς των μεταβλητών ελέγχου με βάση τη λήψη αποφάσεων για τις μεταβλητές εκ χειρισμού. Διαμορφώνεται η αντικειμενική συνάρτηση κόστους που ανάλογα με την εφαρμογή περιλαμβάνει τις αποκλίσεις των μεταβλητών ελέγχου από τις επιθυμητές τιμές, οικονομικά κριτήρια λειτουργία της εγκατάστασης (όπως ενεργειακή κατανάλωση, κατανάλωση πρώτων υλών) και ποινές για τυχόν παραβιάσεις των περιορισμών. Ορίζεται επίσης με τη μορφή περιορισμών το εύρος λειτουργίας κάθε μεταβλητής όπως προκύπτει από τα όρια λειτουργίας του φυσικού συστήματος. Το συνολικό πρόβλημα μαθηματικής βελτιστοποίησης υλοποιείται σε περιβάλλον Matlab με βάση το λογισμικό ανοικτού κώδικα CasADi και επιλύεται με κατάλληλους solvers ανάλογα με τον τύπο του προβλήματος μαθηματικού προγραμματισμού που διαμορφώνεται (Gurobi για προβλήματα τετραγωνικού προγραμματισμού, IPOPT για προβλήματα μη γραμμικού προγραμματισμού).

2.10.b.3.4 Ανάπτυξη Διεπαφής για τη Βαθμονόμηση και την Αξιολόγηση του Συστήματος Προβλεπτικού Ελέγχου

Οι στόχοι του βιομηχανικού ελέγχου περιλαμβάνουν την επίτευξη επιθυμητών τιμών-στόχων, την απόρριψη διαταραχών, την τήρηση των περιορισμών και τη βελτιστοποίηση λειτουργίας της παραγωγικής διαδικασίας. Για την εκπαίδευση των χρηστών και τη βαθμονόμηση των συστημάτων προβλεπτικού μοντέλου αναπτύσσεται κατάλληλη διεπαφή σε περιβάλλον Simulink που δίνει τη δυνατότητα παρέμβασης του χρήστη στην κατάλληλη επιλογή των βαρών της αντικειμενικής συνάρτησης, του μήκους των οριζόντων πρόβλεψης και ρύθμισης, και στον καθορισμό των περιορισμών. Ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει σενάρια λειτουργίας και ελέγχου που περιλαμβάνουν την ενεργοποίηση και τον καθορισμό των επιθυμητών τιμών για τις μεταβλητές ελέγχου, καθώς και την ενεργοποίηση των περιορισμών και τον καθορισμό των άνω και κάτω ορίων των μεταβλητών. Η διαδικασία αυτή γίνεται με φιλικό προς το χρήστη τρόπο μέσω κατάλληλων κομβίων, διακοπών και πλαισίων εισαγωγής τιμών όπως ενδεικτικά φαίνεται στην **Εικόνα 30**. Μέσω κατάλληλων εργαλείων οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων με τη μορφή γραφικών παραστάσεων, οι χρήστες μπορούν να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος προβλεπτικού ελέγχου και να αποφασίσουν αν απαιτούνται τροποποιήσεις στη βαθμονόμηση του συστήματος.



## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων



(β) Πίνακας Ελέγχου Πλατφόρμας Προσομοίωσης

Εικόνα 30 Διεπαφή με την Πλατφόρμα Προσομοίωσης Κλειστού Βρόχου

### 2.10.b.3.5 Ανάπτυξη υπηρεσίας για την εφαρμογή των αλγόριθμων προβλεπτικού ελέγχου σε βιομηχανικό περιβάλλον

Ο αλγόριθμος προβλεπτικού μοντέλου θα προσφέρεται μέσω εφαρμογής που θα επικοινωνεί με το βιομηχανικό πεδίο χρησιμοποιώντας πρότυπα βιομηχανικής συνδεσιμότητας.

### 2.10.b.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Η πλατφόρμα απαρτίζεται από επιμέρους συστήματα τα οποία αλληλοεπιδρούν και συνεργάζονται με στόχο την ανάλυση και προώθηση της πληροφορίας από το ένα σύστημα στο άλλο. Η γενική αρχιτεκτονική του συστήματος φαίνεται στην **Εικόνα 31** όπου εντοπίζουμε τα επιμέρους υποσυστήματα αυτά είναι:

1. Δικτυακός εξυπηρετητής για την επικοινωνία με συσκευές πεδίου & την εφαρμογή εποπτικού ελέγχου HMI.
2. Εφαρμογή του προβλεπτικού ελεγκτή (MPC)
3. Εφαρμογή εποπτικού ελέγχου HMI

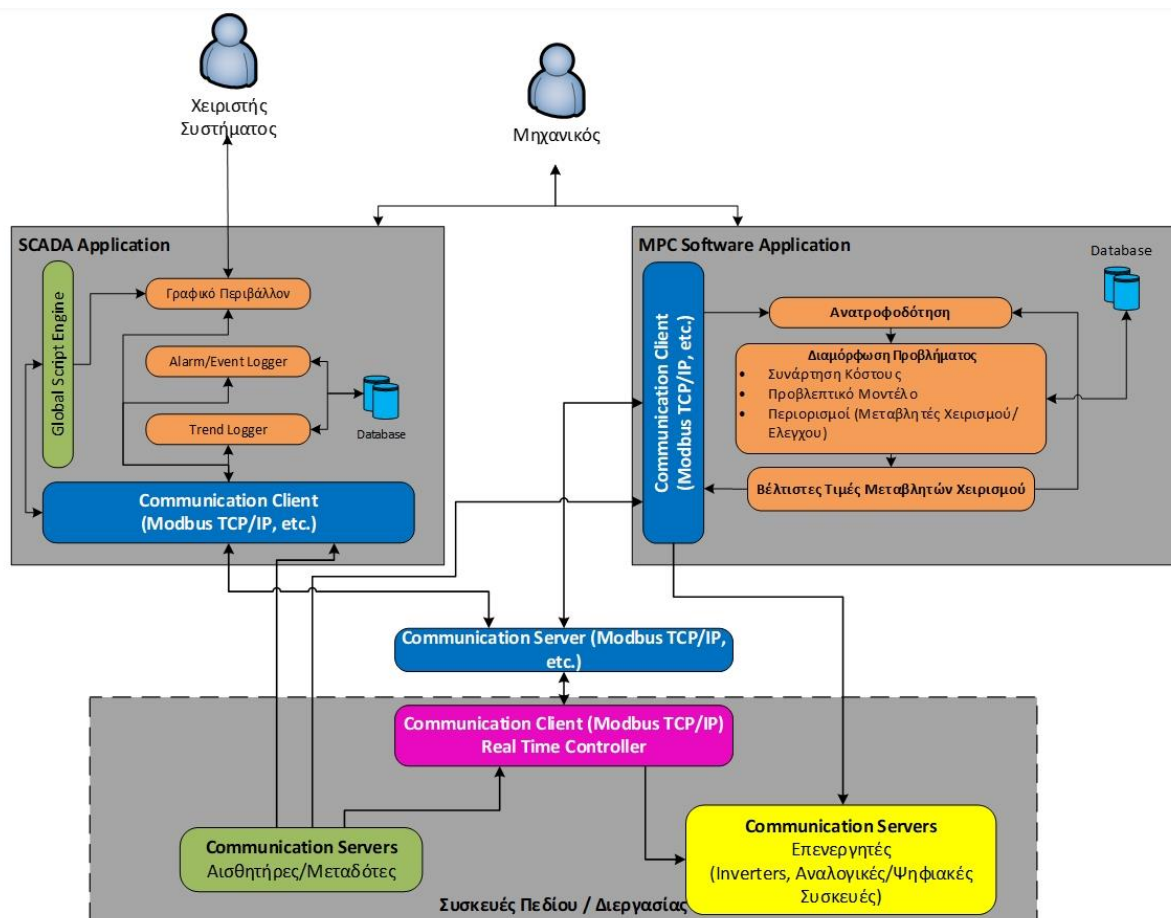
#### 2.10.b.4.1 Δικτυακός εξυπηρετητής - Communication Server

Για την ομαλή λειτουργία του συστήματος ελέγχου απαιτείται να υπάρχει διαρκής και απρόσκοπτη επικοινωνία του προβλεπτικού ελεγκτή καταρχήν με τις συσκευές του πεδίου όπως είναι οι αισθητήρες/μεταδότες, τελικοί επενεργητές του συστήματος ελέγχου αλλά και με τους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC) της υφιστάμενης υποδομής ελέγχου.

Για τον λόγο αυτό θα αναπτυχθεί εφαρμογή η οποία θα βρίσκεται ενδιάμεσα από τα επιμέρους υποσυστήματα και η οποία θα εξυπηρετεί τα πιο ευρέως διαδεδομένα βιομηχανικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως Modbus TCP/IP, OPC UA και MQTT. Υπάρχει όμως η δυνατότητα, αναλόγως της περίπτωσης, να προστεθούν και άλλα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως BacNet, Profinet, Ethernet IP, HTTP, κ.α.

Όλα τα υποσυστήματα έχουν δυνατότητες εγγραφής και ανάγνωσης επάνω στον δικτυακό εξυπηρετητή και με αυτόν τον τρόπο μπορούν να ανταλλάσσουν τις απαραίτητες πληροφορίες

μεταξύ τους. Στη βασική του δομή το σύστημα εξυπηρετεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας ModBus TCP/IP, καθώς αποτελεί το πλέον διαδεδομένο στο χώρο της βιομηχανίας και του αυτοματισμού. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ωστόσο, μπορεί να υποστηρίξει και επιπλέον πρωτόκολλα επικοινωνίας.



Εικόνα 31 Τεχνικά Χαρακτηριστικά της Πλατφόρμας

#### 2.10.b.4.2 Εφαρμογή προβλεπτικού ελεγκτή MPC

Στη βασική του μορφή ο προβλεπτικός ελεγκτής θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να αποτελεί έναν Modbus TCP/IP Client ο οποίος διαθέτει δικαιώματα εγγραφής και ανάγνωσης σε άλλους Modbus TCP/IP servers, παρέχοντας ωστόσο τη δυνατότητα υποστήριξης επιπλέον πρωτοκόλλων επικοινωνίας.

Ο προγραμματισμός του προβλεπτικού ελεγκτή θα αναπτυχθεί σε γλώσσα προγραμματισμού PYTHON® και θα προγραμματιστεί στη λογική ενός διαγράμματος καταστάσεων. Με αυτό τον τρόπο σε κάθε διακριτή χρονική στιγμή ο προβλεπτικός ελεγκτής βρίσκεται σε μία και μόνο κατάσταση (State) και για να μεταπηδήσει σε μία επόμενη θα πρέπει να καλυφθούν συγκεκριμένες προϋποθέσεις, αλλιώς παραμένει εκεί.

Επειδή δεν παρέχεται με άλλο τρόπο η δυνατότητα της αποθήκευσης των παραμέτρων του προβλήματος έτσι ώστε να είναι διαθέσιμα σε περίπτωση που γίνει επανεκκίνηση της εφαρμογής θα αναπτυχθεί βάση δεδομένων (SQLite3) στην οποία θα καταγράφονται οι παράμετροι του προβλήματος κάθε φορά που αυτές αλλάζουν μέσω της εφαρμογής HMI.

Σε κάθε κύκλο της η εφαρμογή διαβάζει από τον δικτυακό εξυπηρετητή τις μετρήσεις από τους αισθητήρες/μεταδότες, στην συνέχεια διαμορφώνει και επιλύει το πρόγραμμα βελτιστοποίησης σε πραγματικό χρόνο, και εν τέλει καταγράφει στον δικτυακό εξυπηρετητή τις εξόδους προς τους τελικούς επενεργητές του συστήματος. Μόλις ολοκληρωθεί η εγγραφή ο προβλεπτικός ελεγκτής μεταβαίνει στην κατάσταση όπου παραμένει αδρανοποιημένος μέχρι να φτάσει η χρονική στιγμή να μεταβεί στην κατάσταση ανανέωσης των τιμών των μεταβλητών ελέγχου προκειμένου να επαναλάβει την ίδια διαδικασία.

#### *2.10.b.4.3 Εφαρμογή εποπτικού ελέγχου HMI*

Αναπόσπαστο κομμάτι του συστήματος του προβλεπτικού ελεγκτή είναι και η εφαρμογή εποπτικού ελέγχου HMI. Μέσω της εφαρμογής αυτής παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη του συστήματος να αλληλεπιδράσει τόσο με τον ίδιο τον προβλεπτικό ελεγκτή όσο και με τις συσκευές του πεδίου.

Η αλληλεπίδραση αυτή θα γίνεται μέσω εικονικών κομβίων (virtual push buttons) αλλά και πεδίων εισαγωγής τιμών (data entry fields).

Η εφαρμογή αυτή αποτελεί ακόμη έναν Modbus TCP/IP Client του συστήματος, ο οποίος διαθέτει δικαιώματα εγγραφής και ανάγνωσης στον δικτυακό εξυπηρετητή. Οι βασικές λειτουργίες της εφαρμογής HMI είναι:

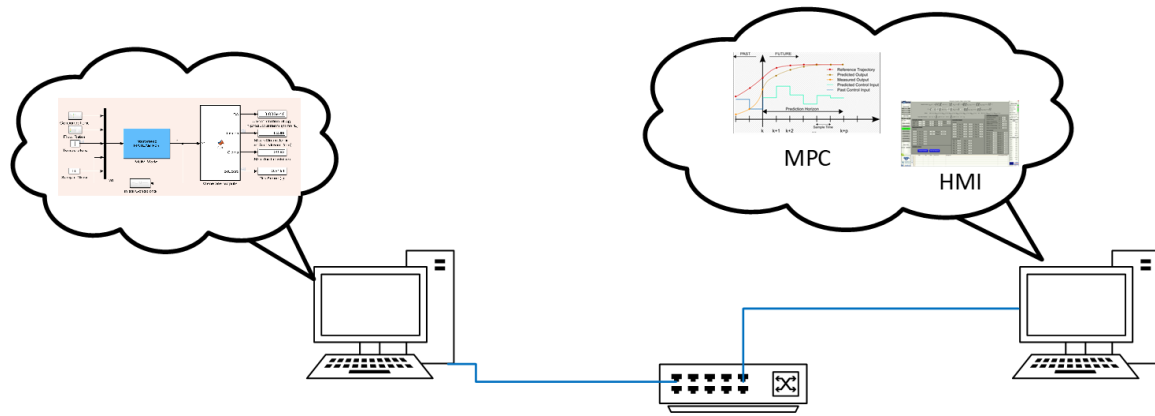
- Γραφική απεικόνιση του υπό έλεγχο συστήματος μέσω γραφικών παραθύρων.
- Δυνατότητα χειρισμού του υπό έλεγχο συστήματος μέσω εικονικών κομβίων και πεδίων εισαγωγής τιμών.
- Καταγραφή συναγερμών/συμβάντων που σχετίζονται με την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος
- Καταγραφή σε βάση δεδομένων όλων των μεταβλητών ενδιαφέροντος όπως μεταβλητές ελέγχου και χειρισμού.
- Εξαγωγή των καταγραφών σε μορφές αρχείων που μπορούν να ανοίξουν μέσω κοινών εφαρμογών όπως Microsoft Excel, Adobe Acrobat Reader, κ.α.

#### *2.10.b.4.4 Δημιουργία εργαστηριακού περιβάλλοντος προσομοίωσης του συστήματος*

Στα πλαίσια του παρόντος έργου θα αναπτυχθεί ένα περιβάλλον εργαστηριακής προσομοίωσης του συστήματος ελέγχου που περιεγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους, σχηματική αναπαράσταση του οποίου φαίνεται στην **Εικόνα 32**.

Σε αυτό το περιβάλλον εργαστηριακής προσομοίωσης το ρόλο των συσκευών του πεδίου θα διαδραματίσει ένα σύστημα προσομοίωσης μίας πραγματικής διεργασίας το οποίο θα εκτελείται σε έναν υπολογιστή (είτε PC είτε εικονική μηχανή) που θα είναι μέρος ενός τοπικού δικτύου.

Σε έναν άλλον ηλεκτρονικό υπολογιστή θα εγκατασταθεί η εφαρμογή του προβλεπτικού ελεγκτή, ενώ στο ίδιο φυσικό μηχάνημα θα εγκατασταθεί και αναπτυχθεί η εφαρμογή εποπτικού ελέγχου. Με αυτόν τον τρόπο θα δημιουργηθεί ένα ρεαλιστικό περιβάλλον προσομοίωσης του φυσικού συστήματος ελέγχου.



*Εικόνα 32 Εργαστηριακό Περιβάλλον Προσομοίωσης Φυσικού Συστήματος*

#### 2.10.b.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η τεχνολογία MPC είναι μια ευέλικτη μεθοδολογία ελέγχου που προσαρμόζεται στις ιδιαίτερες συνθήκες και ανάγκες που διαμορφώνονται από τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις μεταβαλλόμενες ανάγκες και τον ανταγωνισμό της αγοράς και τα αυστηρά νομοθετικά και περιβαλλοντικά πλαίσια που διέπουν τις παραγωγικές διαδικασίες. Η ανάπτυξη και εφαρμογή της προτεινόμενης τεχνολογικής λύσης μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της παραγωγικότητας της Ελληνικής βιομηχανίας. Μπορεί ακόμη να συμβάλει στην εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε μια εποχή αυξημένων περιβαλλοντικών απαιτήσεων και ενεργειακού κόστους.

## 2.11 Μοντελοποίηση και προσομοίωση δικτύων εφοδιασμού και διανομής

### 2.11.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

Η προσφερόμενη τεχνολογική λύση έρχεται να υποστηρίξει τις ανάγκες λήψης αποφάσεων και αναφοροδοσίας κέντρων διανομής που χρησιμοποιούν σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης αποθηκών (Warehouse Management Systems) σε συνδυασμό με τη λειτουργία αυτοματισμών για την υποστήριξη των intralogistics, δηλαδή τη διακίνηση και την αποθήκευση υλικών (material handling & storage) εντός εγκατάστασης αλλά και στον περιβάλλοντα χώρο της (yard management). Σε αντίθεση με τα WMS συστήματα που αποτελούν μια σχετικά ώριμη τεχνολογία στον χώρο των intralogistics, η χρήση σύγχρονων αυτοματισμών, όπως αυτόματα συστήματα μεταφοράς παλετών, δυναμικά συστήματα αποθήκευσης, μη επανδρωμένα ανυψωτικά μηχανήματα, συστήματα αποθήκευσης τύπου carousel κ.τλ. βρίσκεται ακόμα, στην Ελλάδα, σε εμβρυακό στάδιο, παρουσιάζοντας ταυτόχρονα μεγάλη δυναμική ανάπτυξης. Σε αυτή ακριβώς την περιοχή εστιάζεται η τεχνολογική λύση του έργου, που συνδυάζει την παροχή τεχνολογίας αλλά και των απαραίτητων εξειδικευμένων υπηρεσιών για την παραμετροποίηση, εγκατάσταση και αρχική υποστήριξη της λειτουργίας του προσφερόμενου τεχνολογικού συστήματος. Ειδικότερα, η λύση περιλαμβάνει:

- Την καταγραφή, αποτύπωση και σχεδιασμό της μελετώμενης αποθηκευτικής διάταξης με έμφαση στις ροές υλικών και στην καταγραφή των αισθητήρων που αυτή χρησιμοποιεί και των δεδομένων (τύπος, μέγεθος, χρήση, αποθήκευση) που αυτοί παράγουν.
- Μοντελοποίηση της διάταξης με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού προσομοίωσης.
- Ανάπτυξη διασυνδέσεων για τη ψηφιακή διδυμοποίηση ηλεκτρονικού και φυσικού συστήματος και θέση σε πιλοτική λειτουργία.
- Ανάπτυξη διαδικτυακής πλατφόρμας ανάλυσης και οπτικοποίησης των δεδομένων που παράγει το εγκατεστημένο WMS σύστημα και οι αισθητήρες των αυτοματισμών. Σε πρώτη φάση, βαρύτητα θα δοθεί στα σφάλματα που παράγουν οι αυτοματισμοί και στη διαχείριση των μηνυμάτων τους (alerts, business logic, maintenance actions), ενώ σε δεύτερο στάδιο η ανάπτυξη θα επικεντρωθεί στην απόδοση της διαδικασίας συλλογής εντός του αποθηκευτικού κέντρου και στη συλλογή δεδομένων λειτουργίας από τους αισθητήρες του συστήματος.

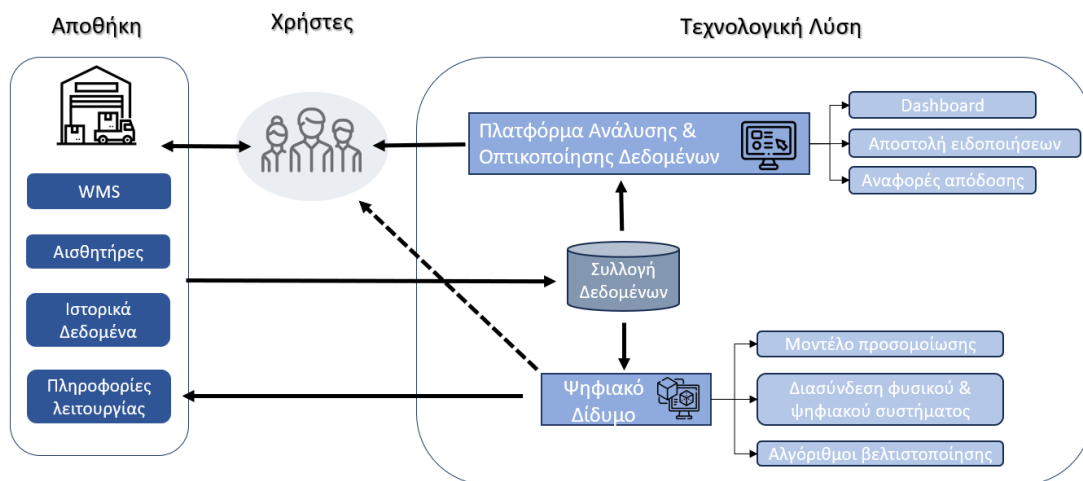
### 2.11.2 Εισαγωγή

Τα κέντρα διανομής αλλά και ευρύτερα η εφοδιαστική αλυσίδα αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις. Καθώς το ηλεκτρονικό εμπόριο συνεχίζει να αυξάνεται και η δυνατότητα για παράδοση την ίδια ή την επόμενη μέρα αρχίζει να εδραιώνεται, ασκείται πρόσθετη πίεση στις αποθήκες για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις αυτές. Για να το αντιμετωπίσουν αυτό, οι εταιρείες χρειάζεται να υιοθετήσουν νέες τεχνολογίες που θα αυξήσουν την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα τους. Προς αυτή την κατεύθυνση κινείται και η συγκεκριμένη λύση, αναπτύσσοντας το ψηφιακό δίδυμο αυτοματισμών αποθήκης και τη διαδικτυακή πλατφόρμα ανάλυσης και οπτικοποίησης των δεδομένων. Το ψηφιακό δίδυμο παρέχει μια δυναμική εικονική αναπαράσταση των προϊόντων, του εξοπλισμού, των διαδικασιών και των πληροφοριών που εμπλέκονται στις λειτουργίες των αυτοματισμών της αποθήκης, ενώ η πλατφόρμα προσφέρει διαδραστικά χρήσιμες πληροφορίες, που αφορούν συνολικά την αποθήκη. Ο συνδυασμός των παραπάνω συστημάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αποφάσεων που θα συμβάλουν στη βελτιστοποίηση λειτουργίας της αποθήκης.

### 2.11.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Η τεχνολογική λύση αποτελείται από δύο σκέλη, όπως αναφέρεται και παραπάνω. Το πρώτο σκέλος είναι το ψηφιακό δίδυμο που αποτελείται από ένα μοντέλο προσομοίωσης διακριτών γεγονότων (Discrete Event Simulation), το οποίο μιμείται τη λειτουργία αυτοματισμού της αποθήκης, τις κατάλληλες διασυνδέσεις για την ψηφιακή διδυμοποίηση του μοντέλου με το φυσικό σύστημα, καθώς και αλγορίθμους βελτιστοποίησης, που θα είναι σε θέση να παίρνουν αποφάσεις για την λειτουργία του αυτοματισμού. Η διαδικτυακή πλατφόρμα ανάλυσης και οπτικοποίησης δεδομένων είναι το δεύτερο σκέλος της λύσης και σχεδιάζεται για να διαχειρίζεται δυο κατηγορίες δεδομένων. Η πρώτη κατηγορία είναι τα δεδομένα σφαλμάτων, τα οποία παράγονται από τους αυτοματισμούς της αποθήκης. Τα δεδομένα αυτά οπτικοποιούνται και αξιοποιούνται για τη δημιουργία και αποστολή κατάλληλων ειδοποιήσεων εμφάνισης σφαλμάτων σε πραγματικό χρόνο. Οι υπεύθυνοι βάρδιας ενημερώνονται άμεσα για το περιεχόμενο των σφαλμάτων, αλλά και τις προτεινόμενες ενέργειες για την επίλυσή τους. Η δεύτερη κατηγορία αφορά τα δεδομένα απόδοσης χειροκίνητων διαδικασιών, όπως η συλλογή παραγγελιών, εντός του αποθηκευτικού κέντρου και της λειτουργίας των αυτοματισμών. Τα δεδομένα απόδοσης επεξεργάζονται, αναλύονται και αποτυπώνονται σε δυναμικά διαγράμματα (Dashboard), όπου με χρήση φίλτρων τα στελέχη της εταιρείας θα είναι σε θέση να λαμβάνουν εύκολα και γρήγορα μια ολοκληρωμένη εικόνα της λειτουργίας της αποθήκης.

Για την ανάπτυξη και τη λειτουργία των παραπάνω συστημάτων είναι απαραίτητη η συλλογή πληθώρας δεδομένων από την αποθήκη. Σε πρώτη φάση, τα δεδομένα προέχονται από το WMS και τα συστήματα διαχείρισης αυτοματισμών της αποθήκης, από μελέτη εργασίας της υφιστάμενης εγκατάστασης, καθώς και από εγχειρίδια διαδικασιών. Σε δεύτερη φάση ανάπτυξης, θα πραγματοποιείται και τροφοδότηση δεδομένων από αισθητήρες. Τα δεδομένα αυτά θα υποβάλλονται σε κατάλληλη επεξεργασία και θα τροφοδοτούν την πλατφόρμα και το ψηφιακό δίδυμο. Η πλατφόρμα θα παρέχει διεπαφή προσαρμοσμένη στους διαφορετικούς τελικούς χρήστες της λύσης, δηλαδή τα στελέχη της αποθήκης, τους υπεύθυνους βάρδιας και τους τεχνικούς των αυτοματισμών, οι οποίοι θα λαμβάνουν χρήσιμες πληροφορίες με βάση τις ανάγκες και τις απαιτήσεις τους.



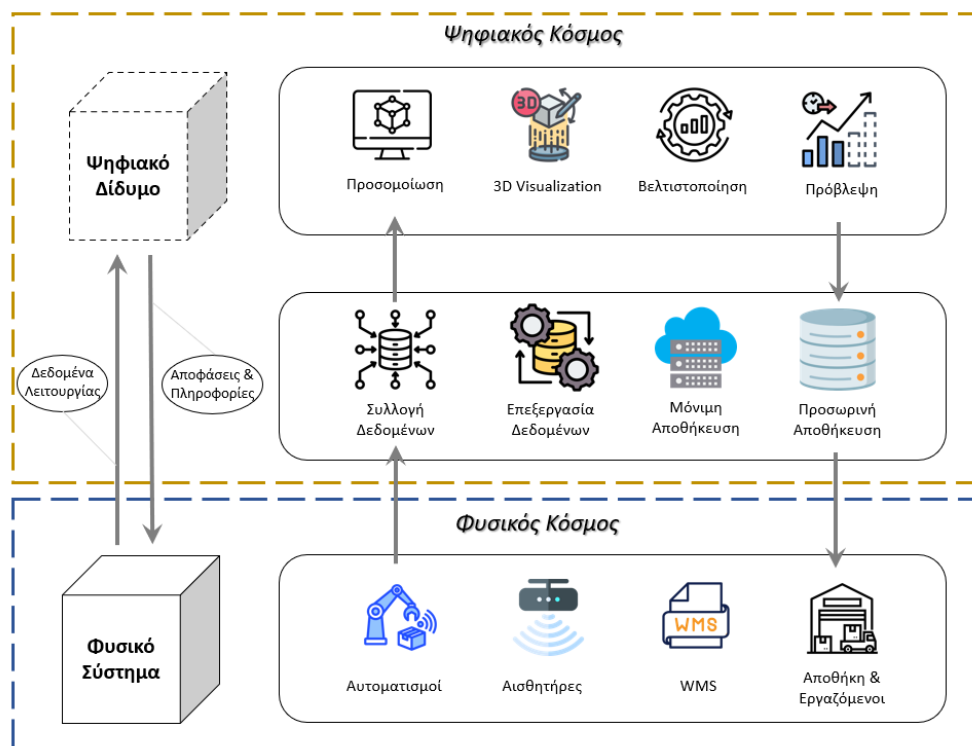
Εικόνα 33 Αρχιτεκτονική Τεχνολογικής Λύσης

### 2.11.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Στην συνέχεια αναλύονται περαιτέρω τα δύο συστήματα της λύσης:

### 2.11.4.1 Ψηφιακό Δίδυμο Αυτοματισμού Αποθήκης

Η ανάπτυξη ενός Ψηφιακού Διδύμου αυτοματισμού αποθήκης, προϋποθέτει τον καθορισμό και τη μελέτη του φυσικού συστήματος. Ειδικότερα, απαιτείται η λεπτομερής καταγραφή και αποτύπωση της αποθηκευτικής διάταξης με έμφαση στις ροές υλικών, στους αισθητήρες που χρησιμοποιεί, καθώς και τα δεδομένα που παράγει. Επόμενο στάδιο αποτελεί η μοντελοποίηση του αυτοματισμού με χρήση λογισμικού προσομοίωσης. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή της λύσης χρησιμοποιείται το λογισμικό προσομοίωσης διακριτών γεγονότων FlexSim. Η δημιουργία ενός Ψηφιακού Διδύμου ισοδυναμεί με αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του φυσικού συστήματος με το ψηφιακό μοντέλο του. Το Ψηφιακό δίδυμο αναπτύσσεται ώστε να δέχεται δεδομένα λειτουργίας του αυτοματισμού σε πραγματικό χρόνο, και με χρήση της προσομοίωσης και αλγορίθμων βελτιστοποίησης ή/και μηχανικής μάθησης να είναι σε θέση να παίρνει αποφάσεις για παραμέτρους λειτουργίας του. Για να επιτευχθεί αυτό σχεδιάζεται κατάλληλος μηχανισμός διασύνδεσης, που περιλαμβάνει την συλλογή, την επεξεργασία και την αποθήκευση των δεδομένων.



Εικόνα 34 Αρχιτεκτονική Ψηφιακού Διδύμου

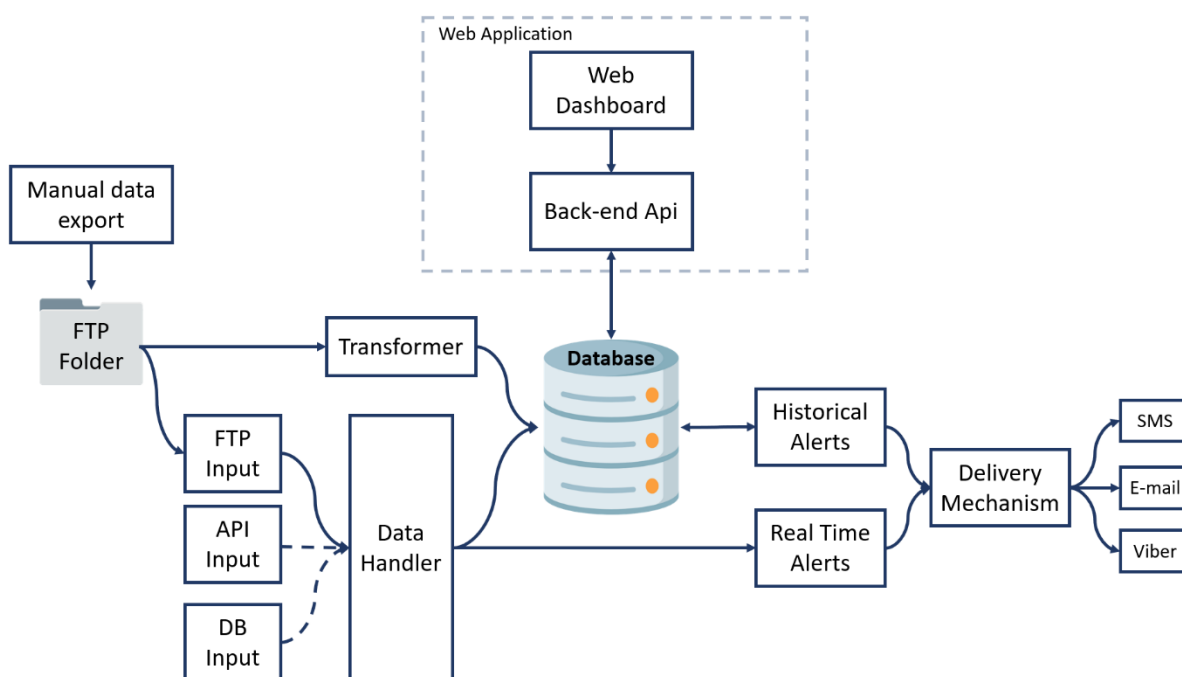
### 2.11.4.2 Διαδικτυακή Πλατφόρμα Ανάλυσης & Οπτικοποίησης Δεδομένων

Η διαδικτυακή πλατφόρμα αποτελείται από τα εξής μέρη:

- **Είσοδος Δεδομένων:** Στο πρώτο στάδιο υλοποίησης, η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιείται με τη μεταφόρτωση αρχείων CSV και xlsx στην πλατφόρμα μέσω πρωτοκόλλου HTTP. Στο δεύτερο στάδιο, θα αναπτυχθεί RESTful API που θα επιτρέπει την επικοινωνία με το εγκατεστημένο σύστημα WMS (Warehouse Management System) και τα συστήματα διαχείρισης αυτοματισμών, επιτρέποντας την αυτοματοποιημένη και ασφαλή λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, θα υλοποιηθεί ένα client side application το οποίο θα συλλέγει δεδομένα από το WMS είτε με πρόσβαση στην τοπική βάση δεδομένων είτε από κάποιο REST API ή κάποιο άλλο streaming procedure που θα παρέχει το WMS. Στη συνέχεια, το application θα στέλνει τα δεδομένα

στην πλατφόρμα είτε μέσω UDP TCP protocol είτε μέσω κάποιου messaging queuing protocol, όπως Kafka ή Rabbitmq.

- **Επεξεργασία Δεδομένων:** Τα δεδομένα που λαμβάνονται από το WMS και τα συστήματα αυτοματισμών υποβάλλονται σε ETL (Extract, Transform, Load) διαδικασίες. Οι μετασχηματισμοί περιλαμβάνουν τον καθαρισμό, την κανονικοποίηση και τον εμπλουτισμό των δεδομένων για να είναι συμβατά με τα επόμενα στάδια επεξεργασίας.
- **Αποστολή Ειδοποίησης:** Σε περίπτωση που απαιτείται ειδοποίηση, τα μηνύματα αποστέλλονται μέσω κατάλληλων καναλιών επικοινωνίας, όπως την πλατφόρμα ειδοποιήσεων (notification platform) Courier.
- **Έλεγχος Δεδομένων:** Πριν την αποθήκευση, εφαρμόζεται μηχανισμός ανίχνευσης και εξάλειψης διπλότυπων δεδομένων με χρήση τεχνικών hashing για τον έλεγχο της ακεραιότητας των δεδομένων.
- **Αποθήκευση Δεδομένων:** Ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων PostgreSQL αποθηκεύει τα επεξεργασμένα δεδομένα. Η βάση δεδομένων σχεδιάζεται με έμφαση στην επεκτασιμότητα, χρησιμοποιώντας κανονικοποιημένα σχήματα και πρακτικές βελτιστοποίησης απόδοσης, καθώς και μηχανισμούς ασφάλειας.
- **Οπτικοποίηση Δεδομένων:** Τα αποτελέσματα της ανάλυσης απεικονίζονται σε Web UI βασισμένο σε ReactJS και Material UI μέσω διαδραστικών γραφημάτων που υλοποιούνται με τη βιβλιοθήκη highcharts, συμβάλλοντας στην καλύτερη κατανόηση των δεδομένων από τους χρήστες. Οι πληροφορίες των γραφημάτων αλλάζουν δυναμικά μέσω φίλτρων και παραμετροποίησης που παρέχονται μέσω API που είναι υλοποιημένα σε NodeJS, ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη.



Εικόνα 35: Αρχιτεκτονική Διαδικτυακής Πλατφόρμας Ανάλυσης & Οπτικοποίησης Δεδομένων

#### 2.11.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η προτεινόμενη λύση θα επιχειρήσει να εισαγάγει την έννοια των ψηφιακών διδύμων στον χώρο των intralogistics, για τον οποίο -από όσο η ερευνητική ομάδα είναι σε θέση να γνωρίζει- δεν υπάρχουν καταγεγραμμένες προσπάθειες με πραγματική εφαρμογή στη ελληνική βιομηχανία. Ο συνδυασμός δε, των ψηφιακών διδύμων με μια υποστηρικτική πλατφόρμα στο νέφος για την επεξεργασία, ανάλυση και οπτικοποίηση των δεδομένων λειτουργίας του συστήματος, κρίνεται ιδιαίτερα καινοτομικός και μπορεί να αποτελέσει μια συνεκτική, προσιτή, ευπροσάρμοστη και ευέλικτη λύση για το πλήθος των ΜΜΕ ελληνικών επιχειρήσεων που αναμένεται να προβούν σε δράσεις ψηφιακού μετασχηματισμού τα επόμενα δέκα χρόνια.

## 2.12 Βιομηχανικό μετασύμπαν με την χρήση επεξηγηματικής τεχνητής νοημοσύνης για εφαρμογές επιχειρηματικής νοημοσύνης

### 2.12.1 Σύντομη Περιγραφή Λύσης

Το προτεινόμενο μετασύμπαν θα είναι ένα επεκτατικό και διαδραστικό ψηφιακό οικοσύστημα που θα επιτρέπει στις επιχειρήσεις να συλλέγουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, να ενημερώνουν τον στρατηγικό σχεδιασμό τους, να εξορθολογήσουν τις λειτουργίες τους και να ενισχύουν την καινοτομία. Διαμέσου μιας αρχιτεκτονικής πολλαπλών επιπέδων που περιλαμβάνει ενοποίηση δεδομένων, μοντελοποίηση τεχνητής νοημοσύνης, εικονική διεπαφή και επεξεργασία φυσικής γλώσσας για την χρήση επεξηγηματικής και υλοποιήσιμης τεχνητής νοημοσύνης.

### 2.12.2 Εισαγωγή

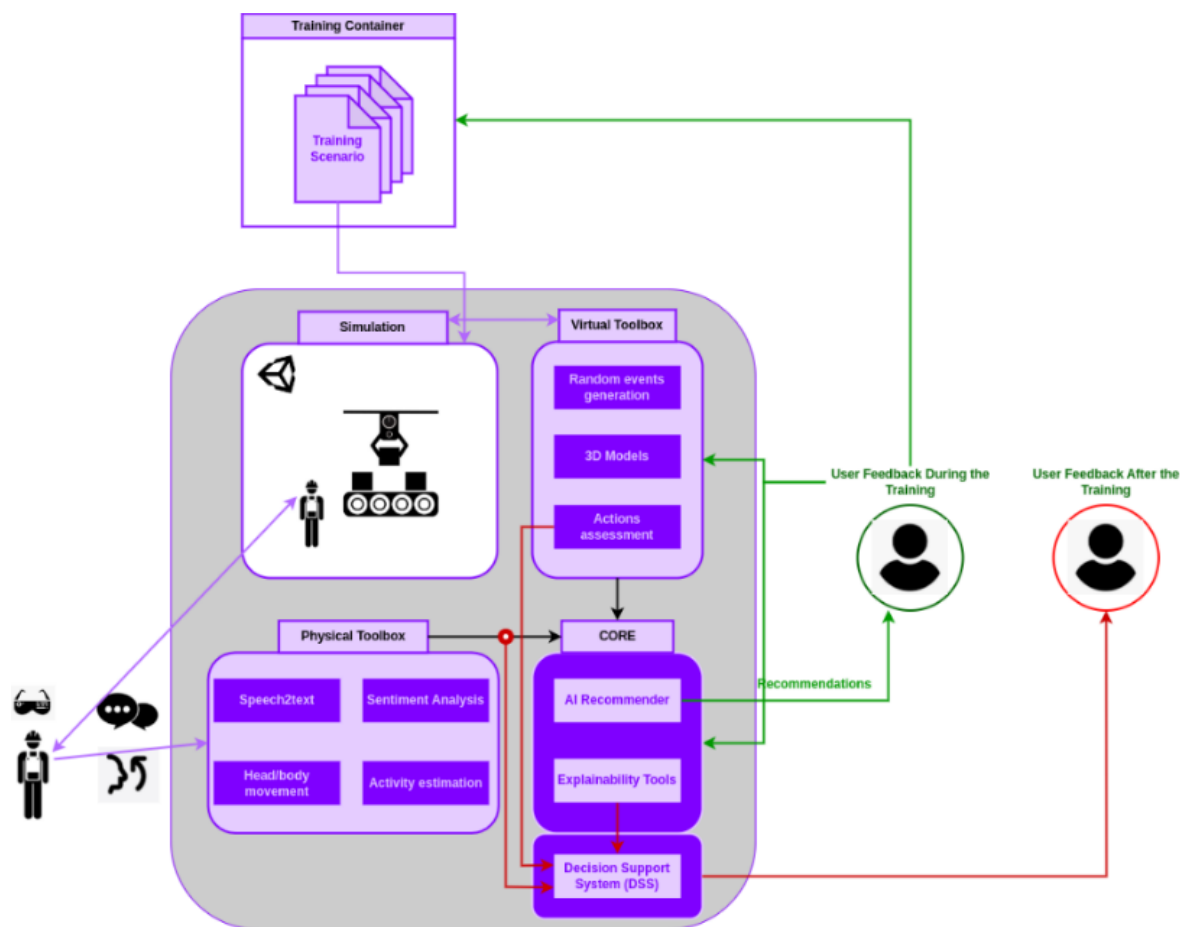
Στο πλαίσιο της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, οι νέες τεχνολογικές τάσεις αλλάζουν την παγκόσμια αγορά εργασίας και σε συνδυασμό με διάφορες αλλαγές στο εσωτερικό και εξωτερικό περιβάλλον των επιχειρήσεων κρίνεται η εκπαίδευση και η επανεκπαίδευση των εργαζομένων αναγκαία [7]. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ 75 έως 375 εκατομμύρια άνθρωποι μπορούν να αλλάξουν θέση εργασίας μέχρι το 2030 ενώ η ψηφιοποίηση θα δημιουργήσει 6 εκατομμύρια θέσεις εργασίας μέχρι το 2025 προκαλώντας ανάγκη για 54% ανανέωση των δεξιοτήτων [8]. Το μετά-σύμπαν αναφέρεται σε έναν εικονικό κοινόχρηστο χώρο, που δημιουργείται από τη σύγκλιση εικονικής ενίσχυσης της φυσικής πραγματικότητας και της φυσικά διατεθειμένης εικονικής πραγματικότητας. Είναι ένας χώρος όπου οι χρήστες μπορούν να αλληλοεπιδρούν με ένα υπολογιστικά τεχνητό περιβάλλον καθώς και με άλλους χρήστες. Ο όρος "μετά-σύμπαν" συχνά χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια μελλοντική εκδοχή του διαδικτύου που είναι πολύ πιο εμπλουσμένη, διασυνδεδεμένη και εκτεταμένη από αυτό που βιώνουμε σήμερα. Περιλαμβάνει μια ευρεία γκάμα ψηφιακών περιβαλλόντων, συμπεριλαμβανομένων της εικονικής πραγματικότητας, της επαυξημένης πραγματικότητας και των διαδικτυακών κόσμων παιχνιδιών, όπου οι χρήστες μπορούν να κοινωνικοποιούνται, να εργάζονται, να παίζουν και να δημιουργούν.

Στόχος της πρωτοβουλίας εκπαίδευσης είναι η παροχή καθοδήγησης και πρακτικής έκθεσης σε πρόσφατα προσληφθέντες υπαλλήλους ή στο ήδη υπάρχον προσωπικό, με στόχο να τους δοθεί η δυνατότητα να επιτύχουν γρήγορα, οικονομικά και αποδοτικά το απαραίτητο επίπεδο επάρκειας στους αντίστοιχους ρόλους τους [9]. Προηγούμενες έρευνες υποστηρίζουν ότι η αναγνώριση της σημασίας της εκπαίδευσης οφείλεται στο πλέον ανταγωνιστικό περιβάλλον. Οι εργοδότες συνειδητοποίησαν ότι η επιτυχία βασίζεται στις δεξιότητες και τις ικανότητες των εργαζομένων τους, συνεπώς και στη συνεχή επένδυση στην εκπαίδευση. Οι βελτιωμένες ικανότητες, γνώσεις και δεξιότητες του εργατικού δυναμικού αποδεικνύονται σημαντική πηγή ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος [10]. Το αναπτυσσόμενο σύστημα VR αλλά και κάθε παρόμοια μέθοδος, μπορεί να εκπαιδεύσει εργαζομένους που δραστηριοποιούνται και συνδέονται με την έννοια της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης. Ο άνθρωπος συνεχίζει να κατέχει σημαντικό ρόλο στην παραγωγική διαδικασία γι' αυτό και εξαρτώνται πολλά από την προετοιμασία και την εκπαίδευση του. Η προτεινόμενη λύση που χρησιμοποιεί τεχνικές όπως το VR (γυαλιά εικονικής πραγματικότητας) θεωρείται από τις πλέον καταλληλότερες λύσεις για τη διεξαγωγή της εκπαίδευσης των εργαζομένων καθώς μπορεί να ενσωματωθεί στη παραγωγική διαδικασία [11].

### 2.12.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Η αρχιτεκτονική του συστήματος, όπως αυτή παρουσιάζεται στην **Εικόνα 36**, αποτελεί μια διαδικασία ψηφιακής εκπαίδευσης του προσωπικού, εφαρμόζοντας γυαλιά ψηφιακής πραγματικότητας (Virtual Reality - VR) και αποτελείται από τα ακόλουθα 4 τμήματα: Το περιβάλλον προσομοίωσης

(Simulation), την ψηφιακή και φυσική εργαλειοθήκες (Virtual & Physical Toolboxes) και τον πυρήνα (Core). Στο περιβάλλον προσομοίωσης θα αποτυπώνεται το σενάριο εκπαίδευσης (Training Container) το οποίο θα παρέχεται από κάποια βιομηχανία και θα παρέχει τις κατάλληλες πληροφορίες για τους χώρους και τα πόστα εργασίας. Ο χρήστης θα αλληλοεπιδρά σε αυτό μέσω των γυαλιών και των χειριστηρίων. Η προσομοίωση θα περιέχει τα κατάλληλα τρισδιάστατα (3D) μοντέλα και μηχανισμούς τα οποία θα αποτυπώνουν τη διαδικασία της εκπαίδευσης και θα ολοκληρώνουν τη ψηφιακή εργαλειοθήκη. Επιπλέον, οι ενέργειες του χρήστη στο ψηφιακό κόσμο θα επεξεργάζονται κατάλληλα ώστε να αναγνωρίζεται από το σύστημα η δραστηριότητα που πραγματοποιείται και το κατά πόσο αυτή διαφέρει από την ενέργεια που θα έπρεπε να έχει υλοποιηθεί, σύμφωνα με το σενάριο εκπαίδευσης.



Εικόνα 36 Αρχιτεκτονική του Συστήματος για την Εκπαίδευση του Προσωπικού σε Βιομηχανικό Μετά-Σύμπαν

Αντίστοιχα, οι εισοδοί της φυσικής εργαλειοθήκης θα προέρχονται από τον φυσικό κόσμο του εκπαιδευόμενου, όπως είναι οι κινήσεις και ο ήχος, που θα λαμβάνονται από τους αισθητήρες κίνησης (π.χ. επιταχυνσιόμετρο και γυροσκόπιο) και ήχου (μικρόφωνο), αντίστοιχα, που υπάρχουν στο υλικό (Hardware) των γυαλιών. Τέλος, ο πυρήνας θα λαμβάνει τις εξόδους από τις δύο εργαλειοθήκες και με την κατάλληλη επεξεργασία θα μπορεί να δείχνει, σε πραγματικό χρόνο, στον χρήστη την απόδοση (Performance) του, όπως δείχνει η πράσινη έξοδος του πυρήνα στην **Εικόνα 36**. Επίσης, με την ολοκλήρωση της διαδικασίας θα παρέχεται μία τελική αναφορά ανατροφοδότησης, που παρουσιάζεται από την κόκκινη έξοδο του συστήματος (βλ. **Εικόνα 36**) ως προς την

αποτελεσματικότητα του χρήστη αλλά και ερμηνείες για τις αποφάσεις που προέκυψαν από το σύστημα σχετικά με την απόδοση του εκπαιδευόμενου.

#### 2.12.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

**Training Container:** Αποτελεί το σενάριο εκπαίδευσης, ή μετεκπαίδευσης, προσωπικού το οποίο παρέχεται από την εκάστοτε βιομηχανία σύμφωνα με τις αναγκαίες και τα ενδιαφέροντα της. Το σενάριο αυτό μπορεί να ποικίλει ανάλογα με το είδος και τα πόστα εργασίας κάθε βιομηχανίας. Δεν αποτελεί κάποιο μεμονωμένο μηχανισμό της παραπάνω αρχιτεκτονικής αλλά ορίζει τα φύση και τη μορφή των 3D μοντέλων και των μηχανισμών εκπαίδευσης που θα υλοποιηθούν στη πλατφόρμα προσομοίωσης.

**Simulation:** Η προσομοίωση αποτελεί το βασικό κομμάτι της εφαρμογής και ουσιαστικά απαρτίζεται από κάποια πλατφόρμα κατασκευής γραφικού περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο όπως η Unity Engine, η Unreal Engine, η Godot Engine και το Nvidia Omniverse και τη σύνδεση της με τα γυαλιά VR. Μέσα στη πλατφόρμα θα υλοποιηθούν όλα τα τρισδιάστατα μοντέλα και οι απαραίτητοι μηχανισμοί που θα ορίζονται από το σενάριο εκπαίδευσης. Επιπλέον η τελική εφαρμογή θα παραχθεί από τη πλατφόρμα της Unity και άρα όλα τα επιμέρους κομμάτια που παρουσιάζονται στη αρχιτεκτονική θα ενσωματωθούν στη πλατφόρμα. Τέλος η προσομοίωση θα παράγει και επιπλέον δεδομένα για την απόδοση του χρήστη κατά την εκπαίδευση.

**Virtual Toolbox:** Η ψηφιακή εργαλειοθήκη θα αποτελείται από τους μηχανισμούς και τα 3D μοντέλα τα οποία θα ορίζονται από το σενάριο εκπαίδευσης. Η βιβλιοθήκη αυτή θα είναι ενσωματωμένη στο περιβάλλον προσομοίωσης. Οι μηχανισμοί και τα 3D μοντέλα θα ποικίλουν ανάλογα τα επιμέρους στάδια και τις ανάγκες της εκπαίδευσης. Τέλος οι μηχανισμοί μπορεί να είναι είτε μεμονωμένες διαδικασίες είτε συνδυασμός αυτών. Επιπλέον, στη συγκεκριμένη εργαλειοθήκη υλοποιείται και η διαδικασία αξιολόγησης των ενεργειών (Actions assessment) που πραγματοποιούνται από τον χρήστη στο ψηφιακό περιβάλλον. Η αξιολόγηση αυτή αναφέρεται στο κατά πόσο οι ενέργειες του εκπαιδευόμενου αποκλίνουν από τις επιθυμητές και θα προσμετράτε με την εφαρμογή του κατάλληλου λογισμικού, όπως για παράδειγμα αλγόριθμοι ομοιότητας και δέντρα απόφασης.

**Physical Toolbox:** Η φυσική εργαλειοθήκη είναι αυτή που θα λαμβάνει ως είσοδο τα φυσικά δεδομένα όπως είναι η ομιλία, μέσω μικροφώνου των γυαλιών, καθώς και τα δεδομένα επιτάχυνσης από τους αισθητήρες των χειριστηρίων και των γυαλιών. Ο ήχος θα μετατρέπεται σε ψηφιακό κείμενο, εφαρμόζοντας τεχνικές βαθιάς μάθησης, όπως μετασχηματιστές (Transformers) και αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα (Recurrent Neural Networks - RNN). Ενδεικτικά αναφέρεται το μοντέλο wav2vec 2.0 [12] της Facebook. Στη συνέχεια, το παραγόμενο κείμενο θα αποτελεί είσοδο ενός δεύτερου μοντέλου βαθιάς μάθησης, όπως για παράδειγμα το BERT [13], το οποίο θα πραγματοποιεί ανάλυση συναισθήματος, έτσι ώστε να αναγνωρίζεται από το σύστημα η διάθεση που έχει ο χρήστης ως προς τη συγκεκριμένη διαδικασία εκπαίδευσης. Επιπλέον, τα δεδομένα επιτάχυνσης θα επεξεργάζονται από το σύστημα ώστε να αναγνωρίζεται, με τεχνικές μηχανικής μάθησης (Machine Learning) ή ευρετικούς αλγορίθμους (Heuristic Algorithms), ο τύπος της ενέργεια που πραγματοποιείται από τον χρήστη καθώς και η ένταση των κινήσεων του.

**Core:** Ο πυρήνας είναι αυτός που θα συλλέγει το σύνολο των πληροφοριών από το περιβάλλον προσομοίωσης και τους μηχανισμούς της φυσικής βιβλιοθήκης, και μπορεί να διακριθεί σε δύο μέρη, όπως αυτά παρουσιάζονται στο διάγραμμα της **Εικόνα 36**. Το πρώτο τμήμα αποτελεί το κομμάτι της “τοπικής” ανατροφοδότησης του χρήστη κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης και απαρτίζεται από το σύστημα των συστάσεων (Recommender) το οποίο θα παρέχει, οπτικά μέσω των γυαλιών VR, και σε

πραγματικό χρόνο, πληροφορία σχετικά με την πρόοδό του χρήστη στην διαδικασία της εκπαίδευσης, καθώς και κατευθύνσεις για την ολοκλήρωση της. Επιπλέον, στο ίδιο πεδίο περιλαμβάνονται τα εργαλεία επεξήγησης (Explainability Tools), τα οποία θα ερμηνεύουν και θα εξηγούν τον λόγο, ή τους λόγους, που το σύστημα συμπέρανε ότι ο χρήστης ήταν αποδοτικός, ή όχι, κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης.

Το δεύτερο μέρος του πυρήνα, που ονομάζεται σύστημα στήριξης απόφασης (Decision Support System) αποτελεί το τελικό στάδιο της αρχιτεκτονικής. Σε αυτό το στάδιο συλλέγονται τα δεδομένα από το περιβάλλον προσομοίωσης, τη ψηφιακή βιβλιοθήκη και το τμήμα της επεξήγησης. Ανάλυση και επεξεργασία των προαναφερθέντων δεδομένων του συγκεκριμένου τμήματος παράγει την τελική αναφορά, στον χρήστη, που θα περιέχει την απόδοσή του κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης, το συναίσθημα που είχε για τη συγκεκριμένη διαδικασία και μία ανάλυση η οποία θα εξηγήσει και θα υποστηρίζει τις προηγούμενες αποφάσεις- προβλέψεις.

#### 2.12.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η εκπαίδευση αποτελεί το πιο αποτελεσματικό εργαλείο για τη ανάπτυξη της απόδοσης των εργαζομένων στον κλάδο των βιομηχανιών. Γεγονός είναι ότι οι καλά εκπαιδευμένοι εργαζόμενοι θα συμβάλλουν στην αύξηση της παραγωγικότητας και της κερδοφορίας των εταιριών. Σύμφωνα με την έρευνα που διεξήγαγε η IBM (International Business Machines Corporation), παρατηρείται ότι κάθε δολάριο που δαπανάται στην εκπαίδευση των εργαζομένων αποφέρει επί τριάντα στο κέρδος του οργανισμού [14]. Με την επένδυση στην εκπαίδευση του υπάρχοντος προσωπικού οι εταιρίες θα δεσμεύουν τους εργασιακά ικανοποιημένους εργαζομένους και επομένως θα διατηρήσουν τα ταλέντα βελτιώνοντας τα κίνητρα τους. Αυτό το κίνητρο και η δέσμευση θα οδηγήσουν μετέπειτα στη δημιουργικότητα και στην καινοτομία.

Η εκπαίδευση συμβάλλει στην ατομική εξέλιξη κάθε εργαζόμενου και στην επίτευξη των οργανωτικών στόχων βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων, ελαττώνοντας το χάσμα μεταξύ των υποκειμενικών και των αντικειμενικών προσόντων του ατόμου και προετοιμάζοντας τους ώστε να αναλάβουν αυξημένες και υψηλότερες ευθύνες στο μέλλον. Οι εργαζόμενοι πιστεύουν ότι η εκάστοτε εταιρία τους προσφέρει ευκαιρίες κατάρτισης και εξέλιξης, νιώθουν το αίσθημα της υποστήριξης και έτσι είναι λιγότερο πιθανό να θέλουν να εγκαταλείψουν τη θέση εργασίας τους. Επιπλέον, λόγω της συνεχής τεχνολογικής πρόοδου, τα εκπαιδευτικά προγράμματα καθίστανται αναγκαία καθώς βοηθούν τους εργαζομένους να εξοικειωθούν με τα νέα τεχνολογικά εργαλεία, αποκτώντας πλήρη γνώση των ικανοτήτων και δεξιοτήτων που απαιτούνται για την εκπλήρωση των καθηκόντων τους μειώνοντας σε μεγάλο βαθμό τα λάθη. Αποδεδειγμένα, η εκπαίδευση βοηθά στη μείωση του χρόνου μάθησης των εργαζομένων που ξεκινούν σε νέες θέσεις εργασίας ή παίρνουν κάποια μετάθεση/προαγωγή και διασφαλίζει την επίτευξη των στόχων του κάθε ρόλου.

Το μετασύμπαν που θα δημιουργηθεί, δηλαδή ένα επεκτατικό και διαδραστικό ψηφιακό οικοσύστημα, που θα επιτρέπει στις επιχειρήσεις να συλλέγουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, να ενημερώνουν τον στρατηγικό σχεδιασμό τους, να εξορθολογήσουν τις λειτουργίες και να ενισχύσουν την καινοτομία. Η δοκιμή των χρηστών και η ανατροφοδότηση των σχολίων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας θα διασφαλίσει τη σωστή λειτουργία του μετασύμπαντος στις επιχειρηματικές δραστηριότητες και συνεπώς στη διαχείριση των αλλαγών στη βιομηχανία. Μέσω της εκπαίδευσης με τη χρήση της εικονικής πραγματικότητας, οι εκπαιδευόμενοι εξοικειώνονται από την αρχή με το περιβάλλον εργασίας τους και τις αρμοδιότητές τους, με αποτέλεσμα η παραγωγή να λειτουργεί αποδοτικότερα, απαιτώντας λιγότερους πόρους. Μέσα από αυτήν τη διαδικασία

προσομοίωσης, οι εργαζόμενοι αποκτούν ένα ευρύτερο και ουσιαστικότερο σύνολο δεξιοτήτων, όπως προσοχή στη λεπτομέρεια, αποφυγή σπαταλών ή επίλυση βλαβών. Επιπλέον, μέσω της εικονικής πραγματικότητας, οι εργαζόμενοι λαμβάνουν μία ολοκληρωμένη, κοινή εκπαίδευση, έναν κοινό κώδικα επικοινωνίας, οπότε συνεργάζονται αποτελεσματικά σε οποιαδήποτε συνθήκη.

Η εφαρμογή της λύσης θα προσφέρει μια συνολική ευκαιρία σε βιομηχανίες με ανάγκη εκπαίδευσης και μετεκπαίδευσης προσωπικού. Συγκεκριμένα, βιομηχανίες που χρησιμοποιούν εξοπλισμό υψηλού κόστους ή έχουν συχνή ανάγκη για μεταφορά εργαζομένων από μια θέση εργασίας σε άλλη, θα είναι και αυτές που θα αποκομίσουν το μέγιστο των δυνατοτήτων της παραπάνω αρχιτεκτονικής. Ουσιαστικά αφορά μια εφαρμογή όπου ο εργαζόμενος θα εκπαιδεύεται και παράλληλα θα δέχεται ανατροφοδότηση κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης του, θα προσφέρει τη μέγιστη δυνατή εμπειρία σε αυτόν. Η χρήση των κατάλληλων μοντέλων και μηχανισμών αξιολόγησης τόσο της συναισθηματικής του κατάστασης όσο και του βαθμού επιτυχίας του, θα προσφέρουν στην εταιρία μεγάλη ευελιξία τόσο στη απορρόφηση νέων εργαζομένων πιο γρήγορα αλλά και μεγαλύτερη ασφάλεια του προσωπικού και του εξοπλισμού, όσο και γρηγορότερη και πιο ομαλή μετεκπαίδευση του ήδη υπάρχοντος προσωπικού. Τελικά, όλα τα παραπάνω, συμβάλουν στη διαμόρφωση μίας ευέλικτης επιχείρησης, η οποία μπορεί να προσαρμόζεται και να ικανοποιεί τις ανάγκες της αγοράς, επιτυγχάνοντας έτσι τους στρατηγικούς της στόχους.

## 2.13 Φορητή πλατφόρμα καταμέτρησης αποθεμάτων σε αποθήκες

### 2.13.1 Σύνοψη Περιγραφή Λύσης

Θα αναπτυχθεί ένα σύστημα καταμέτρησης αποθεμάτων που αξιοποιεί τη δύναμη της τεχνητής νοημοσύνης και των τεχνολογιών σημασιολογικής εφοδιαστικής. Παρέχοντας μια εξυπνότερη και πιο αποτελεσματική προσέγγιση για την καταμέτρηση των αποθεμάτων, το προτεινόμενο σύστημα θα συμβάλει στην αποτελεσματικότητα και την παραγωγικότητα ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Καθώς οι αποθήκες και τα κέντρα διανομής κινούνται προς την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών, αυτό το σύστημα προσφέρει μια καινοτόμο λύση για την επίτευξη των στόχων του Warehouse 4.0. Ο πρωταρχικός στόχος του προτεινόμενου συστήματος είναι η επίτευξη σωστής καταμέτρησης αποθεμάτων και η αξιολόγηση της ύπαρξης αποθηκευμένων προϊόντων. Βελτιώνοντας την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της καταμέτρησης των αποθεμάτων, το σύστημα αναμένεται να συμβάλει στη συνολική αποτελεσματικότητα ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού.

### 2.13.2 Εισαγωγή

Αδιαμφισβήτητα η καταμέτρηση αποθέματος σε αποθήκες είναι από τις διαδικασίες που απασχολούν ιδιαίτερους πόρους τόσο ανθρώπινους όσο και υλικό, ενώ ανάλογα το μέγεθος της αποθήκης, η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναλαμβάνεται μηνιαία, εβδομαδιαία, ή και συνεχώς. Τα τελευταία χρόνια στο πλαίσιο της 4ης βιομηχανικής επανάστασης και του διαδικτύου των πραγμάτων και της αυτοματοποίησης, πολλές λύσεις έρχονται να πλαισιώσουν αυτή την διαδικασία, η κάθε μία με τα δικά της οφέλη, πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Αφενός, η εκ των ων ουκ άνευ παραδοσιακή διαδικασία καταμέτρησης αποθέματος δεν μπορεί να εκλείπει, ιδίως από νεοσύστατες ή αναπτυσσόμενες τεχνολογικά αποθήκες. Ωστόσο, η παγκόσμια τάση εκσυγχρονισμού επιβάλλει την υιοθέτηση νεόδμητων και περισσότερο αποδοτικών λύσεων καταμέτρησης αποθέματος.

Η παρούσα εφαρμογή βασίζεται στον σχεδιασμό και την πειραματική ανάπτυξη μίας φορητής πλατφόρμας καταμέτρησης αποθεμάτων σε αποθήκες. Η εν λόγω εφαρμογή στο πρώτο πρωτότυπό της, θα μπορούσε να εφαρμοστεί είτε με την χρήση ενός έξυπνου κινητού τηλεφώνου, που πληροί τις προϋποθέσεις (ευκρινής φακός, φλας, σύνδεση στο διαδίκτυο), είτε στο πλαίσιο ενός ενσωματωμένου συστήματος (Embedded System) σε μία αυτόνομη (μερικώς ή πλήρως) εναέρια ή επίγεια ρομποτική πλατφόρμα (φερ' ειπείν ένα επίγειο ρομπότ, ή ένα ιπτάμενο μη επανδρωμένο όχημα).

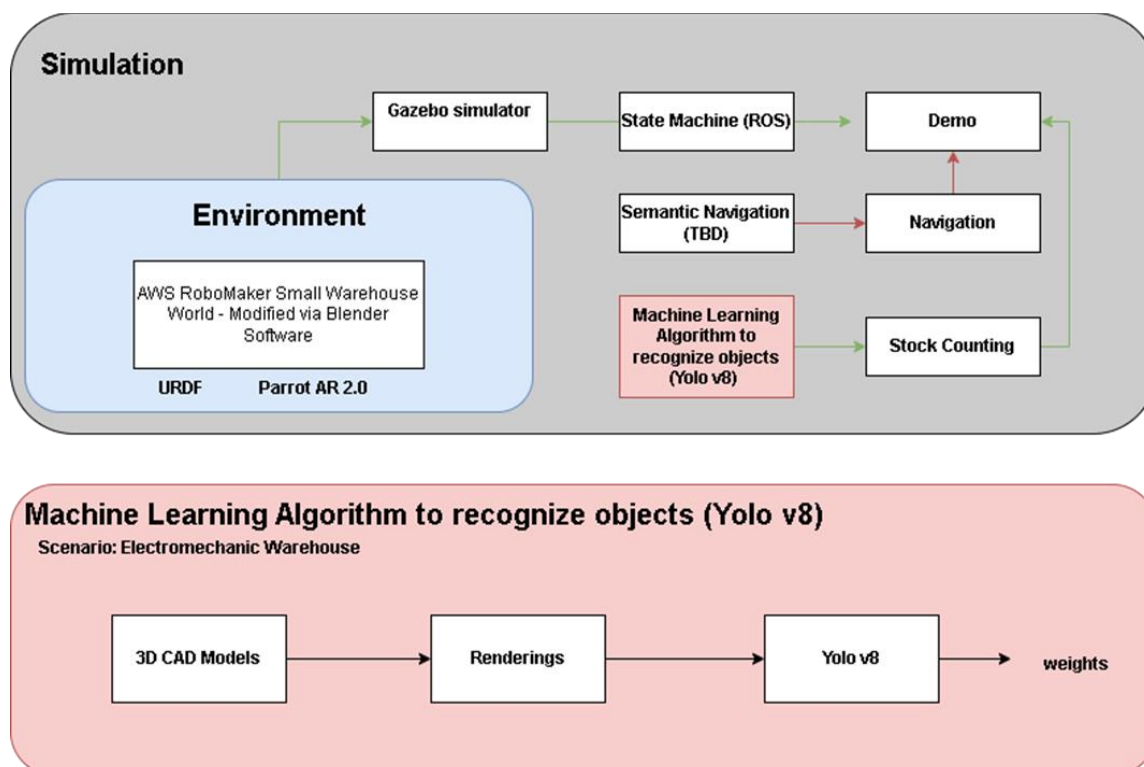
Ο παράγοντας του ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού, της αποδοτικότητας στην καταμέτρηση και της ασφαλούς αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής αποτελούν ζητήματα υψίστης προτεραιότητας για την ανάπτυξη της παρούσας εφαρμογής. Αφενός ο ανθρωποκεντρικός σχεδιασμός θα πρέπει να διασφαλιστεί διότι τίθεται το ουσιώδες ζήτημα για την απασχόληση του υπάρχοντος ανθρώπινου δυναμικού, αφού ποιοτικές έρευνες στον τομέα έχουν αναδείξει τους προβληματισμούς για τον παραγκωνισμό και την αντικατάσταση του προσωπικού καταγραφής αποθηκών, αφετέρου η αυτοματοποίηση των διαδικασιών αναδεικνύει την πτωτική τάση του ανθρώπινου σφάλματος. Η παρούσα εφαρμογή δεν προβλέπει την αντικατάσταση του ανθρώπινου δυναμικού αλλά την παροχή ενός ισχυρού εργαλείου υποβοήθησης του προσωπικού καταμέτρησης αποθήκης.

Τέλος, σε μία αποθήκη η οποία είναι δραστήρια, η διάδραση μηχανής-ανθρώπου, σε περίπτωση ανάπτυξης εναέριας ή επίγεια πλατφόρμας, είναι υψίστης σημασίας, αφού θα πρέπει

να παρθούν όλα τα κατάλληλα μέτρα για την ασφαλή διάδραση σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον, και φυσικά να υπάρχει η κατάλληλη συμβατότητα με την νομοθεσία (Κατά βάση Ελληνικής & Ευρωπαϊκής).

Η εφαρμογή στο πρώιμο στάδιο της ανάπτυξής της, αποσκοπεί στον σχεδιασμό του περιβάλλοντος προσομοίωσης ενός ολοκληρωμένου συστήματος φορητής καταμέτρησης αποθέματος, προθάλαμο για να θέσει ισχυρές βάσεις για μία ολιστική προσέγγιση ανάπτυξης φυσικού πρωτοτύπου, το οποίο θα μπορεί να «δοκιμαστεί» σε πραγματικές συνθήκες αργότερα.

### 2.13.3 Αρχιτεκτονική Λύσης



Εικόνα 37 Η Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική της Εφαρμογής

Λόγω της πειραματικής φύσης της εφαρμογής, η παραπάνω προτεινόμενη διάταξη ενδέχεται να μορφοποιηθεί κατάλληλα, ώστε να εξυπηρετηθούν οι σκοποί και οι προϋποθέσεις της εφαρμογής. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική χωρίζεται σε δύο μέρη:

1. Η προσομοίωση (Simulation): Πρόκειται για την ενσωμάτωση της φορητής πλατφόρμας σε ένα εικονικό περιβάλλον προσομοίωσης αποθήκης, όπου εκεί θα ενσωματωθεί ο αλγόριθμος καταμέτρησης αποθεμάτων.
2. Αλγόριθμος μηχανικής μάθησης καταμέτρησης αποθέματος: Για την καταμέτρηση αποθεμάτων προς το παρόν προγραμματίζεται να χρησιμοποιηθεί ο Yolo v8, ωστόσο για λόγους σύγκρισης ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν κι άλλοι όπως ο MVCNN ή ο RetinaNet.

#### 2.13.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

##### 2.13.4.1 Η προσομοίωση (Simulation)

###### Περιβάλλον προσομοίωσης:

Το περιβάλλον της προσομοίωσης της εφαρμογής βασίζεται σε ένα συνονθύλευμα ανοιχτού λογισμικού (Open Source) κατάλληλα διαμορφωμένου να εξυπηρετεί τις ανάγκες της εφαρμογής. Το περιβάλλον βασίζεται σε μία παραμετροποιημένη εκδοχή του χάρτη (Map) AWS RoboMaker Warehouse World.

Το περιβάλλον έχει διαμορφωθεί πάνω στο σενάριο της αποθήκης η οποία εμπεριέχει ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού Blender, έτσι ώστε να σχεδιαστούν ράφια τα οποία φέρουν τρισδιάστατα μοντέλα σχετικού εξοπλισμού (π.χ. ηλεκτροβάνες και ηλεκτροκινητήρες). Τέλος με την χρήση του Blender αντιστοιχήθηκαν οι κατάλληλες υφές (Materials) στα μοντέλα για να προσεγγίζουν τις πραγματικές συνθήκες.



*Εικόνα 38 Το Περιβάλλον Προσομοίωσης και Ανάπτυξης της Εφαρμογής*

###### Προσομοιωτής (Simulator):

Για την προσομοίωση, χρησιμοποιείται το Gazebo Simulator, στο οποίο προσομοιώνονται βασικοί παράμετροι περιβάλλοντος όπως η βαρύτητα, και τα φυσικά όρια των αντικειμένων (collision bounding boxes).

###### Μοντέλο φορητής πλατφόρμας:

Για την φορητή πλατφόρμα έχει επιλεγεί να προσομοιωθεί το μοντέλο Parrot AR Drone 2.0, καθώς υπερκαλύπτει τις προδιαγραφές της φορητής πλατφόρμας, και λόγω της διαθεσιμότητας του ως φυσικό μοντέλο για μετέπειτα εξέλιξη εκτός περιβάλλοντος προσομοίωσης.

### **Λογισμικό ενορχήστρωσης (State Machine):**

Για την ολοκλήρωση των επιμέρους υποσυστημάτων χρησιμοποιείται το Robot Operating System (ROS). Χάρη σε αυτό ολοκληρώνεται ο καταμετρητής αποθέματος και η πλοήγηση της φορητής πλατφόρμας.

### **Υποσύστημα πλοήγησης (Navigation):**

Παρότι είναι κάτι το οποίο αναμένεται να οριστεί πλήρως στο επόμενο χρονικό σημείο (Milestone), η πρώιμη σκέψη είναι η χρήση σημασιολογικής (Semantic) πλοήγησης, διότι πρόκειται για χώρο κεκλεισμένο, και η πλοήγηση με παραδοσιακές μεθόδους καθίσταται δύσκολη (π.χ. λόγω αδυναμίας GPS σε κλειστούς χώρους).

#### *2.13.4.2 Αλγόριθμος μηχανικής μάθησης καταμέτρησης αποθέματος:*

Για την καταμέτρηση του αποθέματος θα χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος Yolo v8. Ενδεχομένως κατά την εξέλιξη της εφαρμογής να χρησιμοποιηθούν και άλλοι αλγόριθμοι προκειμένου να εξαχθούν συγκριτικά αποτελέσματα (Benchmarking). Ωστόσο ο Yolo v8 λόγω της ευρείας χρήσης του, καθίσταται ιδανικός για καταμέτρηση αποθέματος. Για να χρησιμοποιηθεί, θα χρειαστεί να γίνει εκπαίδευση σε σχετικό σετ δεδομένων (Warehouse Dataset), όπου σε περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιο διαθέσιμο «ανοιχτό», προβλέπεται η εκπαίδευση σε εικόνες που θα προκύψουν από φωτορεαλιστικά δεδομένα (Renderings) σε μοντέλα σχετικά με το προαναφερθέν σενάριο.

Τέλος μετά από παραμετροποιήσεις τα κατάλληλα βάρη (Weights) θα επιλεγθούν για την πρακτική εφαρμογή της καταμέτρησης. Θα πραγματοποιηθούν δοκιμές ως προς την ακρίβεια εντοπισμού και ταξινόμησης των αποθεμάτων, την υπολογιστική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου σε επίπεδο αλγοριθμικό και χρονικής διάρκειας επεξεργασίας, καθώς και την φορητότητα και επεκτασιμότητά του.

#### *2.13.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές*

Τα πραγματικά οφέλη και πλεονεκτήματα θα προκύψουν μετά από τον έλεγχο και την αξιολόγηση της παρούσας εφαρμογής στο στάδιο των δοκιμών. Οι αναμενόμενοι δείκτες εστιάζουν στην αύξηση του ποσοστού ακρίβειας ορθών καταγεγραμμένων αποθεμάτων σε συνθήκες καλού φωτισμού, καθώς επίσης και στην σημαντική βελτίωση αυτού του ποσοστού ακρίβειας ορθών καταγεγραμμένων αποθεμάτων σε σκοτεινά περιβάλλοντα. Το παραπάνω θα πραγματοποιηθεί με την εφαρμογή και αξιολόγηση τουλάχιστον δύο αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για τον εντοπισμό και την καταμέτρηση των αποθεμάτων σε διαφορετικές συνθήκες. Επιπλέον, μέσα από τη χρήση της πλατφόρμας αναμένεται η επίτευξη μειωμένου χρόνου καταγραφής αποθεμάτων ανά λειτουργικό κύκλο καταγραφής.

Συνεπώς, πέρα από τα αποτελέσματα κατά την ανάπτυξη και την τελική δοκιμή του συστήματος, η γενική εικόνα για τα οφέλη σε σύγκριση με την παραδοσιακή καταγραφή, απεικονίζεται παραπάνω. Το σημαντικότερο όφελος με βάση το περιβάλλον προσομοίωσης, θα είναι η αποδοτικότητα (χρονικά) στην καταγραφή του αποθέματος, αλλά ταυτόχρονα και η ακρίβεια που μπορεί συγκριτικά με την παραδοσιακή καταγραφή να μειώνεται λόγω ανθρώπινου λάθους.

## 2.14 Μηχανισμοί Προστασίας Δεδομένων στον Κόμβο Αιχμής

### 2.14.1 Σύνοψη Περιγραφή Λύσης

Για την προστασία των δεδομένων που συλλέγονται σε ένα κόμβο αιχμής στο έργο παρέχονται μηχανισμοί για την ασφαλή συλλογή/προεπεξεργασία δεδομένων και την υλοποίηση μιας μονάδας ασφαλείας υλικού με δυνατότητα αντίστασης έναντι επιθέσεων κβαντικών υπολογιστών (Quantum Resistant, QR, Hardware Security Module, HSM) που επεκτείνει σημαντικά τις δυνατότητες ενός τυπικού στοιχείου ασφαλείας. Οι μηχανισμοί υλοποίησης του QR-HSM προσφέρουν εξαιρετικά γρήγορες υπηρεσίες ασφαλείας, και οδηγούν σε ένα ευέλικτο HSM, αναδιαμορφώσιμο τόσο ως προς τις προσφερόμενες δυνατότητες υλικού όσο και ως προς τις δυνατότητες λογισμικού που μπορεί να υποστηρίξει. Πρόκειται για μια εξαιρετικά παραμετροποιήσιμη λύση ασφαλείας που μπορεί να υποστηρίξει κβαντικά ανθεκτικές (QR) επικοινωνίες και QR αποθήκευση δεδομένων ώστε να αντέχει σε οποιαδήποτε παραδοσιακή κρυπτανάλυση καθώς και σε επιθέσεις κβαντικών υπολογιστών. Μπορεί ακόμη και να λειτουργήσει ως QR Trust Anchor σε ένα σύστημα και να παράγει/διαχειρίζεται πιστοποιητικά ασφαλείας QR λειτουργώντας ως QR αρχή πιστοποίησης (certificate authority). Το QR HSM μέσω των παρεχόμενων μηχανισμών είναι ικανό να αυτοπροστατεύεται από επιθέσεις κυβερνοασφάλειας και επίσης να αναφέρει τις προσπάθειες επίθεσης που δέχεται το ίδιο ή ανιχνεύει στο σύστημα πάνω στο οποίο είναι συνδεδεμένο σε εργαλεία τρίτων, όπως SIEM ή IDS.

### 2.14.2 Εισαγωγή

Εντός του βιομηχανικού χώρου υπάρχει μια πληθώρα αισθητήρων που συλλέγουν δεδομένα ώστε να βοηθήσουν τον διαχειριστή ή αρχιτέκτονα ενός βιομηχανικού συστήματος να πάρει σωστές αποφάσεις (καλά πληροφορημένες αποφάσεις). Οι αισθητήρες αυτοί επικοινωνούν με μια πληθώρα από διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία πρέπει να οδηγούν σε συλλογή δεδομένων (από τους εργοστασιακούς αισθητήρες) με ένα ενιαίο τρόπο. Συνήθως, τα συλλεγόμενα δεδομένα υπόκειται σε επεξεργασία ώστε να εξαχθούν χρήσιμες για τον διαχειριστή βιομηχανικού συστήματος πληροφορίες. Παρότι είναι σύνηθες αυτό να γίνεται κεντροποιημένα σε κάποιο υπολογιστικό σύστημα διακομιστή εντός ή εκτός εργοστασίου (στο υπολογιστικό νέφος) κάτι τέτοιο δεν αποτελεί βέλτιστη λύση αφού τα δεδομένα (τα οποία είναι συνήθως μεγάλου όγκου) πρέπει να μεταφερθούν σε κάποιο απομακρυσμένο υπολογιστικό κόμβο (π.χ στο διαδίκτυο) για να επεξεργαστούν ενώ ιδανικά η επεξεργασία αυτή θα μπορούσε να γίνει τοπικά και μόνο η χρήσιμη πληροφορία να μεταφερθεί στον κόμβο αυτό. Η περιγραφόμενη προσέγγιση αποτελεί το κύριο στόχο του υπολογισμού αιχμής ο οποίος πρεσβεύει ότι ένα μεγάλος όγκος υπολογισμών μπορεί να γίνει σε κόμβους αιχμής και όχι σε κεντροποιημένους διακομιστές στο υπολογιστικό νέφος. Το παράδειγμα του υπολογισμού αιχμής έχει μεγάλη συνάφεια με το βιομηχανικό περιβάλλον αφού μεγάλο μέρος των δεδομένων και της εξαγόμενης πληροφορίας εξ αυτών πρέπει να είναι διαθέσιμη άμεσα (και όχι αφού μεταφερθεί και επεξεργαστεί στο υπολογιστικό νέφος με ότι καθυστερήσεις αυτό επιφέρει), πρέπει σε αρκετές περιπτώσεις να παραμένει εντός του εργοστασίου για λόγους ασφαλείας (δεν μπορεί να μεταφερθεί σε υπολογιστικό νέφος εκτός του εργοστασιακού υπολογιστικού δικτύου) ενώ πρέπει να είναι διαθέσιμη μέσα στον εργοστασιακό χώρο και προσβάσιμη στους χειριστές των διαφόρων βιομηχανικών διεργασιών (και όχι σε απομακρυσμένο κεντροποιημένο σύστημα).

Από τη σκοπιά της ασφάλειας δεδομένων και υπολογιστών, είναι σύνηθες το βιομηχανικό σύστημα να έχει κάποιους γενικού σκοπού μηχανισμούς ασφαλείας στο κεντροποιημένο πληροφοριακό του σύστημα π.χ. στους προσωπικούς υπολογιστές εργασίας του προσωπικού, στους διακομιστές και τις βάσεις δεδομένων κτλ παρέχοντας κατά βάση προστασία από εξωτερικούς κακόβουλους χρήστες και γενικά από το διαδίκτυο. Στην πράξη όμως υπάρχουν ελάχιστοι έως καθόλου μηχανισμοί προστασίας

του βιομηχανικού συστήματος εντός του χώρου κατασκευής (ή του βιομηχανικού χώρου) αφού εκεί κυριαρχούν μόνο πρωτόκολλα και μηχανισμοί εστιασμένοι στην ασφάλεια (safety) του προσωπικού και στην επικοινωνία πραγματικού χρόνου. Κατά συνέπεια, κόμβοι αιχμής που συλλέγουν και επεξεργάζονται δεδομένα εντός του εργοστασίου πρέπει να παρέχουν μια γκάμα από μηχανισμούς ασφάλειας υπολογιστών καλύπτοντας έτσι τα κενά που το ίδιο το σύστημα έχει.

Στο πλαίσιο αυτό υπάρχουν στην αγορά κάποιες λύσεις ασφάλειας υπολογιστών για το βιομηχανικό περιβάλλον (που μπορούν να τοποθετηθούν εντός του εργοστασιακού χώρου παραγωγής) τύπου Στοιχείου Ασφάλειας Υλικού που παρέχουν τυπικές υπηρεσίες ασφαλείας χρησιμοποιώντας γνωστούς, παραδοσιακούς κρυπτογραφικούς μηχανισμούς ασφάλειας (πολλές φορές μάλιστα κάπως παρωχημένους). Τέτοιοι μηχανισμοί όμως στερούνται ευελιξίας και προηγμένων χαρακτηριστικών ασφαλείας όπως μηχανισμών αυτοπροστασίας έναντι αγνώστων κακόβουλων ενεργειών ή μηχανισμών ενημέρωσης για συμβάντα ασφαλείας. Μάλιστα, δεν υποστηρίζουν τα επόμενη γενιάς πρότυπα για μετακβαντική κρυπτογραφία δηλαδή για προστασία έναντι απειλών από κβαντικούς υπολογιστές. Ειδικότερα το τελευταίο χαρακτηριστικό επιτρέπει ασφάλεια σε μεγάλο βάθος χρόνου αφού προετοιμάζει το βιομηχανικό σύστημα άμεσα ώστε να αντιμετωπίσει θέματα ασφαλείας που μπορεί να εμφανιστούν σε περίοδο 20ετίας από σήμερα.

Στα πλαίσια του παρόντος έργου, παρέχουμε ασφαλείς μηχανισμούς συλλογής και προεπεξεργασίας βιομηχανικών δεδομένων για μια πλήρη πλατφόρμα κόμβου αιχμής που δίνει την δυνατότητα της συλλογής δεδομένων από πολλαπλούς και διαφορετικού τύπου αισθητήρες με ενιαίο τρόπο ώστε να επεξεργαστούν τοπικά (στο edge). Επίσης εμπλουτίζουμε την πλατφόρμα αυτή με μηχανισμούς προστασίας των δεδομένων αυτών που μπορούν να ενσωματωθούν σε μονάδα ασφαλείας υλικού με δυνατότητα αντίστασης έναντι επιθέσεων κβαντικών υπολογιστών (Quantum Resistant, QR, Hardware Security Module, HSM). Οι μηχανισμοί αυτοί παρέχουν προηγμένες δυνατότητες ασφάλειας υπολογιστών εντός του χώρου παραγωγής ενός βιομηχανικού περιβάλλοντος και προετοιμάζουν την βιομηχανία για την μετακβαντική εποχή και τα νέα και επερχόμενα πρότυπα κρυπτογραφίας/ασφάλειας που πρέπει να εφαρμοστούν στην εποχή αυτή.

### 2.14.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Οι παρεχόμενοι μηχανισμοί ασφαλούς συλλογής και ανάλυσης δεδομένων στον κόμβο αιχμής καθώς και οι μηχανισμοί για την παροχή ασφάλειας παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα. Στο σχήμα αυτό διαφαίνεται και πως αυτοί οι μηχανισμοί μπορούν να ενσωματωθούν στον κόμβο αιχμής.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από 3 τμήματα. Το Περιβάλλον Εκτέλεσης Εφαρμογών, το Υποσύστημα Στοιχείων Ασφάλειας με Υποστήριξη Υλικού το οποίο υλοποιεί και υποστηρίζει την ασφάλεια του κόμβου αιχμής και το υποσύστημα Διαχείρισης Εφαρμογών και Ασφάλειας, το οποίο περιλαμβάνει τις από άκρο σε άκρο διαδικασίες διαχείρισης του κόμβου και των υποσυστημάτων του.



#### 2.14.3.1 Στοιχεία Ασφάλειας με Υποστήριξη Υλικού

Το υποσύστημα Στοιχείων Ασφάλειας με Υποστήριξη Υλικό περιλαμβάνει όλους τους μηχανισμούς που χρειάζονται ώστε τα συλλεγόμενα δεδομένα αλλά και ο ίδιος ο κόμβος αιχμής να παραμένουν ασφαλείς ακόμα και από τις πιο δυνατές κρυπτογραφικές επιθέσεις (με χρήση κβαντικών υπολογιστών). Το υποσύστημα αυτό περιλαμβάνει ένα μηχανισμό αισθητήρων ασφαλείας που παρακολουθούν πως έρχονται τα δεδομένα ώστε να διαπιστώσουν προβλήματα ακεραιότητας και αυθεντικότητας καθώς και ένα ειδικού σκοπού αισθητήρα ασφαλείας που από τα επεξεργαστικά και δικτυακά χαρακτηριστικά του κόμβου αιχμής διαπιστώνει αποκλίνουσες κακόβουλες συμπεριφορές που σηματοδοτούν κάποια επίθεση. Το υποσύστημα παρέχει μηχανισμούς ασφαλούς αποθήκευσης ευαίσθητων δεδομένων όπως κρυπτογραφικά κλειδιά και πιστοποιητικά και μια στοίβα κρυπτογραφικών πρωτογενών στοιχείων που υποστηρίζουν τα προς πιστοποίηση πρότυπα μετακβαντικής κρυπτογραφίας για προστασία έναντι επιθέσεων κβαντικών υπολογιστών. Το στοιχείο ασφαλείας με υλικό είναι επεκτάσιμο και παρέχει μια σειρά από υπηρεσίες ασφαλείας (περιγράφονται στο επόμενο υποκεφάλαιο) η οποία είναι επεκτάσιμη και επαναπρογραμματίσιμη μέσω ενός command line interface του Υποσυστήματος Διαχείρισης.

#### 2.14.3.2 Υποσύστημα Διαχείρισης

Το Υποσύστημα Διαχείρισης περιλαμβάνει τις από άκρο σε άκρο διαδικασίες διαχείρισης του κόμβου και των υποσυστημάτων του, συμπεριλαμβανομένης της αρχικοποίησής του και του επαναπρογραμματισμού του. Το υποσύστημα παρέχει επίσης ένα μηχανισμό καταγραφής και ενημέρωσης συμβάντων/γεγονότων ασφαλείας που υποστηρίζεται από τους διαθέσιμους αισθητήρες ασφαλείας. Τέλος το υποσύστημα παρέχει και ένα γραφικό περιβάλλον (Dashboard) όπου κάποιος χρήστης με κατάλληλη αυθεντικοποίηση μπορεί να δει σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα που συλλέγονται ή έχουν επεξεργαστεί καθώς και πληροφορίες για την ασφάλεια του κόμβου αιχμής και τα σχετικά events.

#### 2.14.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Τυπικά ένας κόμβος αιχμής ή μια πύλη συλλογής δεδομένων είναι ένα ενσωματωμένο σύστημα μέτριας προς υψηλής υπολογιστικής ισχύος που είναι εγκατεστημένο εντός του εργοστασιακού χώρου και έχει αναλάβει την συλλογή δεδομένων κάποιας ομάδας αισθητήρων του συνολικού εργοστασίου. Πέραν των αισθητήρων από τους οποίους λαμβάνει δεδομένα περιλαμβάνει και σύνδεση με κάποιο κεντρικό σύστημα στο οποίο αποστέλλει περιοδικά επεξεργασμένα ή αρχικά δεδομένα.

Οι αναπτυγμένοι μηχανισμοί που περιγράφονται στην Εικόνα 39 αποτελούν εκτελέσιμο κώδικα προγραμματισμένο σε γλώσσα C/C++, Python και Javascript και σε κάποιες περιπτώσεις κάποια HDL γλώσσα. Στοιχεία τους έχουν δοκιμαστεί για ARM cortex A class επεξεργαστές με περιβάλλον Linux.

Η στοίβα κρυπτογραφικών πρωτογενών στοιχείων και πρωτοκόλλων είναι βασισμένη στην ανοιχτού κώδικα βιβλιοθήκη WolfSSL και Wolfcrypt οι οποίες επεκτείνονται ώστε να υποστηρίζουν πληθώρα από μετακβαντικούς κρυπτοαλγορίθμους υποστηρίζοντας έτσι την έννοια της κρυπτοευελιξίας. Η στοίβα βασίζεται σε κβαντικά ασφαλείς υλοποιήσεις αλγορίθμων που (κατά περίπτωση) επιταχύνονται μέσω υλικού (σε αναλογία με τις δυνατότητες υποστήριξης υλικού που παρέχει το ενσωματωμένο σύστημα δοκιμής). Πάνω σε αυτές τις υλοποιήσεις και πάνω σε κβαντικά ασφαλείς κρυπτογραφικές πρωτογενείς λειτουργίες χτίζουμε μια σειρά από κβαντικά ασφαλείς εκδόσεις δημοφιλών πρωτοκόλλων ασφαλείας όπως το TLS 1.3 αλλά και ειδικού σκοπού βιομηχανικά

συμβατά πρωτόκολλα ασφαλούς επικοινωνίας για το βιομηχανικό διαδίκτυο των πραγμάτων όπως το EDHOC πρωτόκολλο.

Πέραν από αυτά η στοίβα παρέχει και μια σειρά από κβαντικά ασφαλείς υπηρεσίες ασφαλείας λειτουργώντας σαν μια κβαντικά ασφαλής Υποδομή Δημοσίου Κλειδιού (Public Key Infrastructure) με αρχή πιστοποίησης που διαχειρίζεται κβαντικά ασφαλή X509 πιστοποιητικά.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται επικαιροποιημένα τα σημαντικότερα προσφερόμενα χαρακτηριστικά των παρεχόμενων μηχανισμών

Σχήματα κρυπτογραφίας συμμετρικού κλειδιού:

- AES 128/256 CCM/GCM

Σχήματα κρυπτογραφίας δημόσιου κλειδιού

- Παραγωγή κλειδιού/ψηφιακή υπογραφή RSA (έως 4096 bit κλειδί)
- Σχήματα κρυπτογραφίας ελλειπτικών καμπυλών με επιτάχυνση υλικού
- ECDSA 233 bits

Σχήματα μετα-κβαντικής κρυπτογραφίας (όλα τα σχήματα των προτύπων NIST και BSI):

- Σχήματα ενθυλάκωσης κλειδιών: Kyber, FrodoKEM
- Ψηφιακές υπογραφές: Dilithium, Falcon

– Ασφαλής επικοινωνία QR με βάση το TLS 1.3 (επεκτάσιμη σε άλλα πρωτόκολλα ασφαλείας όπως SSH κ.λπ.)

– Ανίχνευση επιθέσεων στον κυβερνοχώρο/κακόβουλου λογισμικού: MITRE: ταξινόμηση exploits με βάση την τεχνητή νοημοσύνη.

– Ασφαλής αποθήκευση QR για κλειδιά ασφαλείας, διαπιστευτήρια, κωδικούς πρόσβασης και ευαίσθητες πληροφορίες

– QR Certificate Authority με συμπιεσμένα πιστοποιητικά X509

– Καταγραφή και αναφορά συμβάντων ασφαλείας με βάση το Syslog ως μηνύματα JSON

– Ανοικτή πλατφόρμα, επεκτάσιμη προσέγγιση

– Ειδική διεπαφή γραμμής εντολών για υπηρεσίες ασφαλείας

– Υποστήριξη σεναρίων ασφαλείας για αυτοματοποίηση λειτουργιών ασφαλείας

– Υποδομή αισθητήρων ασφαλείας για την ανίχνευση επιθέσεων κυβερνοασφάλειας

#### 2.14.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Τα κύρια καινοτόμα στοιχεία των παρεχόμενων μηχανισμών είναι τα παρακάτω

- Κβαντικά ασφαλής λύση χρησιμοποιώντας μετακβαντική κρυπτογραφία
- Υψηλή Ταχύτητα υπολογισμών και επικοινωνιών
- Ανίχνευση ανωμαλιών/κυβερνοεπιθέσεων με χρήση τεχνητής νοημοσύνης και κατάλληλων αισθητήρων ασφαλείας και δημιουργία αναλυτικών logs και συμβάντων προς περαιτέρω ανάλυση.

Τα χαρακτηριστικά αυτά αποτελούν μοναδική πρόταση στην βιομηχανική αγορά και καθιστούν τους παρεχόμενους μηχανισμούς μοναδικούς στον χώρο. Η βιομηχανία που υιοθετεί τους μηχανισμούς αυτούς καθίσταται κβαντικά ασφαλής άμεσα με μικρή επιβάρυνση στην απαιτούμενη ανάγκη για πραγματικού χρόνου απόκριση ενώ παράλληλα ενστερνίζεται ένα ενιαίο μηχανισμό συλλογής δεδομένων ανεξαρτήτως του τύπου του αισθητήρα που δημιούργησε τα δεδομένα και του πρωτοκόλλου επικοινωνίας του. Δεδομένου ότι σε πανευρωπαϊκό (και παγκόσμιο επίπεδο) υλοποιούνται νέες προδιαγραφές και οδηγίες για μετάβαση στην μετακβαντική κρυπτογραφία άμεσα οι παρεχόμενοι μηχανισμοί δίνουν λύσεις με σημαντικό αντίκτυπο στο μέλλον δεδομένου ότι

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων

η βιομηχανία έχει παραδοσιακά αργή απόκριση σε τεχνολογίες Πληροφοριακών Συστημάτων και Ασφάλειας.

Πέραν των παραπάνω, οι παρεχόμενοι μηχανισμοί του κόμβου αιχμής παρέχουν προηγμένα χαρακτηριστικά ανίχνευσης εισβολών/αυτοπροστασίας οι οποίοι είναι επεκτάσιμοι (πχ. Χρησιμοποιώντας νέα μοντέλα Βαθιάς Μάθησης).

## 2.15 Σύστημα ανάλυσης κακόβουλου λογισμικού για βιομηχανικά περιβάλλοντα

### 2.15.1 Σύνομη Περιγραφή Λύσης

Το σύστημα ανάλυσης κακόβουλου λογισμικού και πληροφοριών για απειλές στον κυβερνοχώρο για συνδεδεμένα βιομηχανικά κυβερνοφυσικά συστήματα επιτελεί τρεις βασικές λειτουργίες. Συλλέγει και συσχετίζει πληροφορίες σχετικές με τις διαθέσιμες συσκευές ενός οργανισμού και τα πιθανά συμβάντα κυβερνοασφάλειας στην υποδομή του οργανισμού. Παρέχει προηγμένους μηχανισμούς επίγνωσης της κατάστασης και απόκρισης συμβάντων που εμφανίζονται σε καθένα από τα τελικά σημεία μιας οργανωτικής δομής ή/και απομακρυσμένων τοποθεσιών. Παρέχει εργαλεία για την στατική και δυναμική ανάλυση των δειγμάτων κακόβουλου λογισμικού που είναι μέρος μιας κυβερνοεπίθεσης.

### 2.15.2 Εισαγωγή

Το προφίλ ενός μεσαίου ή μεγάλου οργανισμού που διαθέτει βιομηχανικά συστήματα, είναι πλέον, στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα πλήρως διασυνδεδεμένο οικοσύστημα συσκευών και υπηρεσιών που λειτουργούν επάνω στην πληροφοριακή υποδομή του οργανισμού. Συσκευές που παραδοσιακά ήταν εκτός της πληροφοριακής υποδομής και λειτουργούσαν αυτόνομα, πλέον παρέχουν δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου και βαθύτερη διασύνδεση όχι μόνο με της εφαρμογές ελέγχου (SCADA) αλλά και το ευρύτερο πληροφοριακό σύστημα του οργανισμού.

Ως εκ τούτου, οι απειλές και οι κυβερνοεπιθέσεις που ως επί το πλείστον επηρέαζαν οργανισμούς σε τομείς τεχνολογίας, είναι πλέον καθημερινότητα και για την βιομηχανία. Η αντιμετώπιση τέτοιου είδους προβλημάτων απαιτεί εξειδικευμένη υποδομή ασφάλειας πληροφοριακών συστημάτων και συσκευών όπως και καταρτισμένο ανθρώπινο δυναμικό που να μπορεί να αναλύσει και να ανταποκριθεί σε τυχόν συμβάντα στην υποδομή του οργανισμού. Η εν λόγω λύση παρέχει μια σειρά από εργαλεία κατάλληλα διαμορφωμένα (configured, deployed and orchestrated) που μπορούν να βοηθήσουν στην ανάλυση και ανταπόκριση σε τέτοιες επιθέσεις όπως και στην ανάλυση των δειγμάτων κακόβουλου λογισμικού που χρησιμοποιούνται ως όπλα.

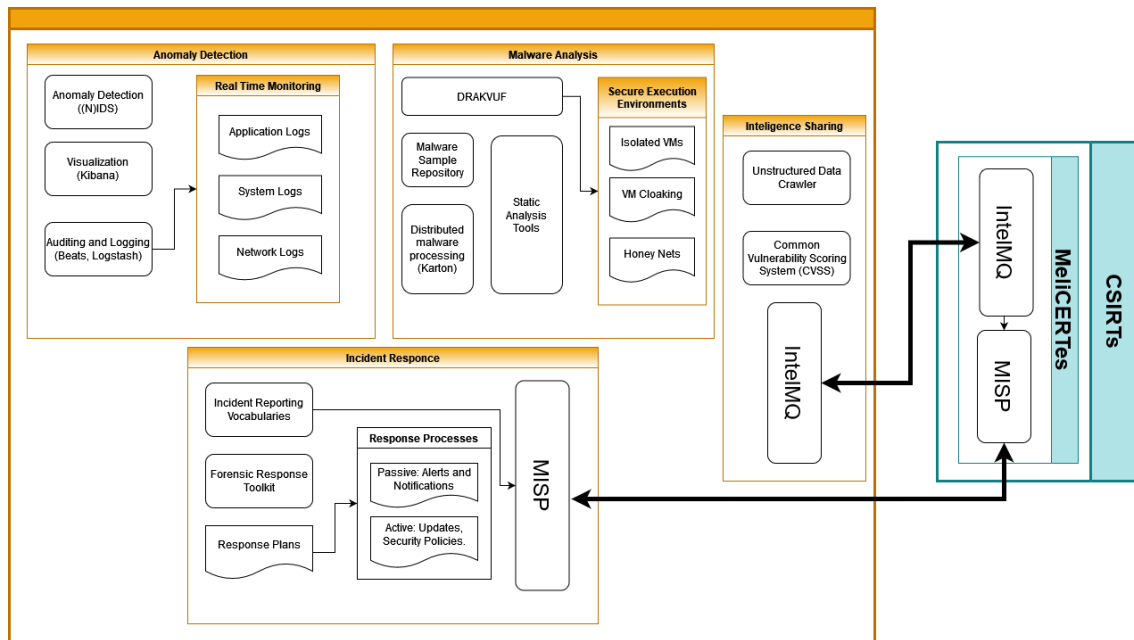
### 2.15.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας σε επίπεδο υποσυστημάτων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Τα κύρια υποσυστήματα είναι:

1. Το υποσύστημα στατικής και δυναμικής ανάλυσης κακόβουλου λογισμικού
2. Το υποσύστημα cyber threat intelligence και καταγραφής και αναγνώρισης ανωμαλιών
3. Το υποσύστημα ανάλυσης και αντιμετώπισης συμβάντων σε συνδυασμό με το υποσύστημα διαμοιρασμού πληροφοριών

Τα υποσυστήματα αυτά παρέχουν τη δυνατότητα αυτοματοποιημένης ανάλυσης και αντιμετώπισης συμβάντων κυβερνοασφάλειας και του διαμοιρασμού των αποτελεσμάτων της ανάλυσης με εξωτερικούς οργανισμούς όπως οι εθνικοί CSIRTs (Computer Security Incident Response Teams).

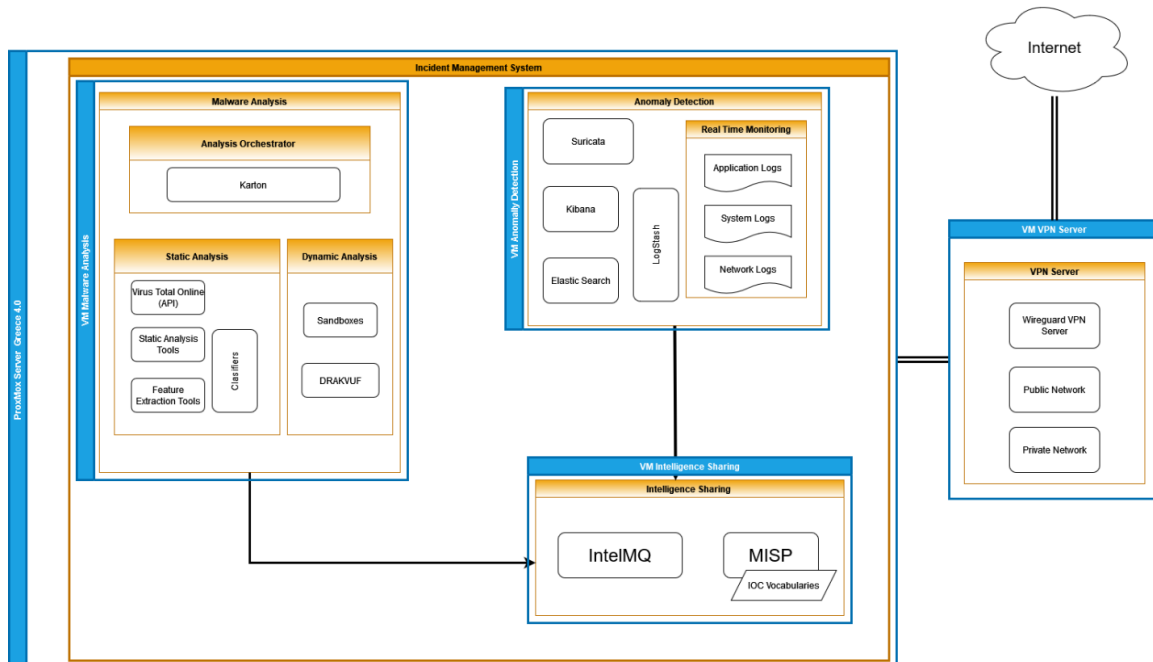
## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων



Εικόνα 40 Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας

### 2.15.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας σε επίπεδο εργαλείων και εγκατάστασης (deployment) φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 41 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αρχιτεκτονικής

Η πλατφόρμα αποτελείται από ένα αρθρωτό και επεκτάσιμο σύνολο εργαλείων για ανάλυση κακόβουλου λογισμικού εξιδεικευμένο στα βιομηχανικά περιβάλλοντα (δίκτυα, πρωτόκολλα επικοινωνίας, συσκευές, λειτουργικά συστήματα). Το υποσύστημα παρέχει ασφαλές περιβάλλον εκτέλεσης (DrakVuf) για την δυναμική ανάλυση δειγμάτων κακόβουλου λογισμικού με τη μορφή

virtual machines τα οποία είναι δομημένα έτσι ώστε να μην γίνονται ορατά στο κακόβουλο λογισμικό (VMCloak). Επίσης παρέχει ένα σετ από εργαλεία στατικής ανάλυσης (PyREBox, SSMA, bamfdetect, Mal Tindex) σε συνδυασμό με classifiers που αποφασίζουν για το αν ένα λογισμικό φαίνεται να συμπεριφέρεται κακόβουλο ή όχι. Αυτά τα εργαλεία είναι είτε εγκατεστημένα είτε παρέχονται ως εξωτερικές υπηρεσίες (Virus Total). Η αυτόματη λειτουργία των εργαλείων στο υποσύστημα αυτό ελέγχεται από ένα καταναμημένο ενορχηστρωτή (Karton) που παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας pipelines για την σειριακή λειτουργία των εργαλείων ανάλυσης.

Το δεύτερο υποσύστημα της πλατφόρμας καταγράφει και αναλύει ανωμαλίες στην λειτουργία και συμπεριφορά των συσκευών και του δικτύου του οργανισμού. Αποτελείται από μια σειρά agents που είναι εγκατεστημένοι στα endpoints της υποδομής όπως και στις ίδιες τις βιομηχανικές συσκευές οι οποίοι συλλέγουν και διαμοιράζουν αρχεία καταγραφής λειτουργίας των endpoints και των συσκευών. Η συλλογή των καταγραφών γίνεται με τα εργαλεία LogStash και Beats.

Τα αρχεία καταγραφής περνάνε από το εργαλείο αναγνώρισης επιθέσεων (και ανωμαλιών) (Suricata) το οποίο είναι διαμορφωμένο να αναγνωρίζει γνωστά πρότυπα συμπεριφοράς κακόβουλο λογισμικού και στο επίπεδο δικτυακής κίνησης αλλά και στο επίπεδο συμπεριφοράς συσκευών και παράγει ειδοποιήσεις σε περίπτωση αναγνώρισης ύποπτης συμπεριφοράς. Οι ειδοποιήσεις αυτές μαζί με τα timeseries των αρχείων καταγραφής καταχωρούνται σε μια βάση δεδομένων (Elastic Search) και δημιουργούνται απεικονίσεις αυτών με το εργαλείο Kibana.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δύο παραπάνω υποσυστημάτων τροφοδοτούνται στο υποσύστημα καταγραφής και ανάλυσης συμβάντων όπου με τη βοήθεια του εργαλείου MISP γίνεται δομημένη καταγραφή του εκάστοτε συμβάντος μαζί με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που το συνοδεύουν. Μερικά παραδείγματα αυτών των πληροφοριών είναι τα χαρακτηριστικά των malware που συμμετέχουν, οι ειδοποιήσεις του NIDS όπως και οι αποφάσεις των classifiers. Η καταγραφή των συμβάντων εμπλουτίζεται με πληροφορίες παρόμοιων συμβάντων και επιθέσεων που συλλέγονται από εξωτερικές πηγές με τη βοήθεια του cyber threat intelligence εργαλείου IntelMQ.

Η τελική ανάλυση είναι δομημένη με βάση standardized λεξιλογίου που παρέχεται ως βιβλιοθήκη του εργαλείου MISP (και χρησιμοποιείται από όλους του Ευρωπαϊκούς CSIRTs) και μπορεί να διαμοιραστεί στους εξωτερικούς CSIRTs χρησιμοποιώντας τις υπηρεσίες διαμοιρασμού που έχουν αναπτυχθεί στην Ευρωπαϊκή πλατφόρμα MeliCERTes μέσω, πάλι, του εργαλείου MISP.

#### 2.15.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η εν λόγω πλατφόρμα παρέχει τα εξής οφέλη σε ένα βιομηχανικό οργανισμό:

- Δωρεάν state of the art εργαλεία ανάλυσης και αντιμετώπισης συμβάντων κυβερνοεπίθεσης τα οποία είναι ενορχηστρωμένα για την αυτοματοποιημένη λειτουργία της όλης διαδικασίας. Η εμπλοκή έμπειρου αναλυτή ασφάλειας είναι μεν επιβεβλημένη χωρίς όμως να είναι απαραίτητη η εκ βαθέως γνώση της κάθε πτυχής ανάλυσης.
- Αυτοματοποιημένος και standardized τρόπος διαμοιρασμού των αποτελεσμάτων της ανάλυσης με εξωτερικούς CSIRTs που μπορούν να συνδράμουν στην από κοινού αντιμετώπιση συμβάντων, ειδικά για επιθέσεις που πλήττουν παρόμοιους οργανισμούς του ίδιου τομέα.
- Αναλυτική απεικόνιση της κατάστασης της πληροφοριακής υποδομής του οργανισμού με εμφάνιση ειδοποιήσεων στην περίπτωση σοβαρών συμβάντων κυβερνοασφάλειας.
- Δωρεάν και state of the art εργαλεία εκ βαθέως ανάλυσης κακόβουλο λογισμικού και συμβάντων κυβερνοασφάλειας όταν αυτό επιβάλλεται από την σοβαρότητα του συμβάντος.

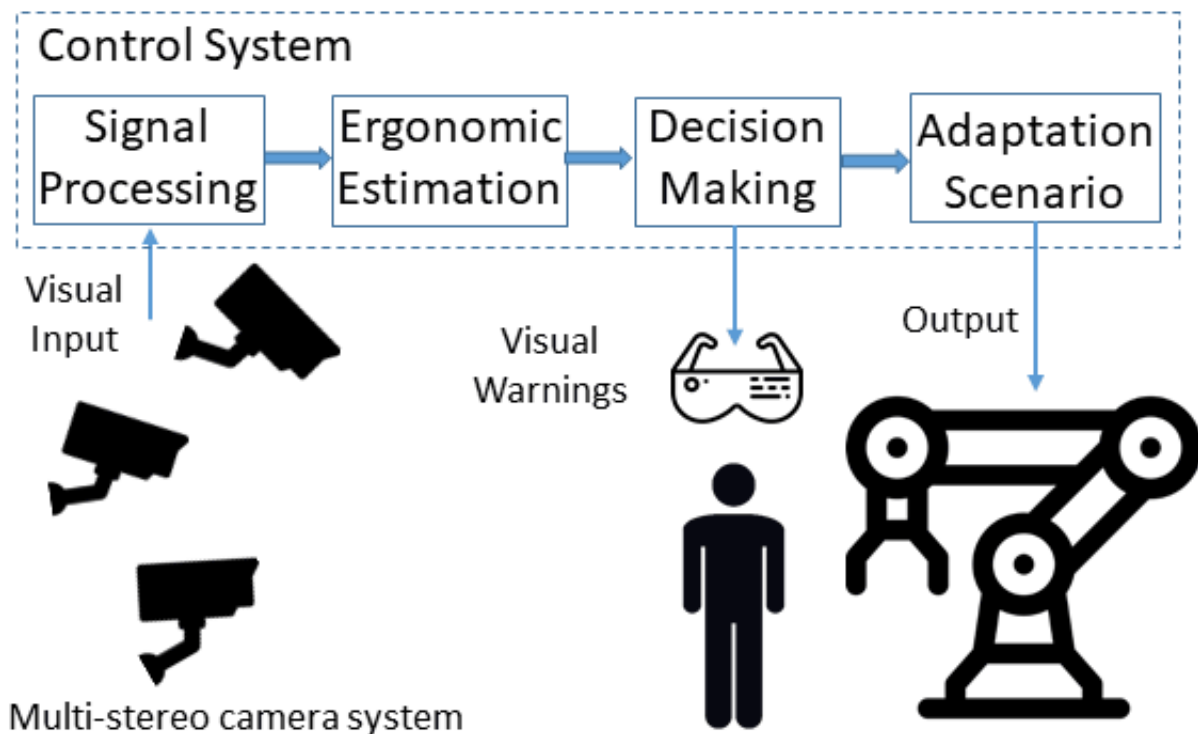
## 2.16 Ασφαλής αλληλεπίδραση ανθρώπου-ρομπότ

### 2.16.1 Σύνοψη Περιγραφή Λύσης

Αξιοποίηση ενός ανθεκτικού και διασυνδεδεμένου δικτύου αισθητήρων και συστημάτων για την ασφαλή συνεργασία ανθρώπου – ρομπότ για την ανάπτυξη και βελτίωση αλγορίθμων που παρέχουν: α) αναγνώριση της κατάστασης κούρασης και ζάλης του χειριστή, βελτιώνοντας την ασφαλή αλληλεπίδραση, β) δυναμική ανθρωπομετρική και εργονομική ταξινόμηση για προειδοποίηση/δημιουργία συμβουλών εργονομίας και προσαρμογή της θέσης λειτουργίας του ρομπότ σύμφωνα με τα ανθρωπομετρικά στοιχεία του χειριστή.

### 2.16.2 Εισαγωγή

Στην προτεινόμενη αρχιτεκτονική (**Εικόνα 42**), χρησιμοποιούνται N κάμερες για να καλύψουν την πιο ορατή περιοχή του χώρου εργασίας και να αυξήσουν την ακρίβεια εντοπισμού της στάσης του χειριστή, ενώ κινείται σε διαφορετικές κατευθύνσεις στο χώρο. Κάθε στερεοσκοπική κάμερα χρησιμοποιείται για την εξαγωγή ορόσημων και της 3D πόζας του χειριστή για την εκτίμηση ύψους και για τον υπολογισμό της τρέχουσας ανθρωπομετρικής κατάστασης (με βάση τη βαθμολογία RULA), σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον η τεχνολογική λύση χρησιμοποιεί δεδομένα από πλήθος καμερών για την εύρωστη παρακολούθηση των ενεργειών του ανθρώπου. Πιο συγκεκριμένα, η λύση βασίζεται σε συνεργατικές τεχνικές εκτίμησης στάσης και εξαγωγής των 3D ορόσημων στάσης που χρησιμοποιούνται.



Εικόνα 42 Προτεινόμενη Αρχιτεκτονική για Ασφαλή Συνεργασία Ανθρώπου Ρομπότ

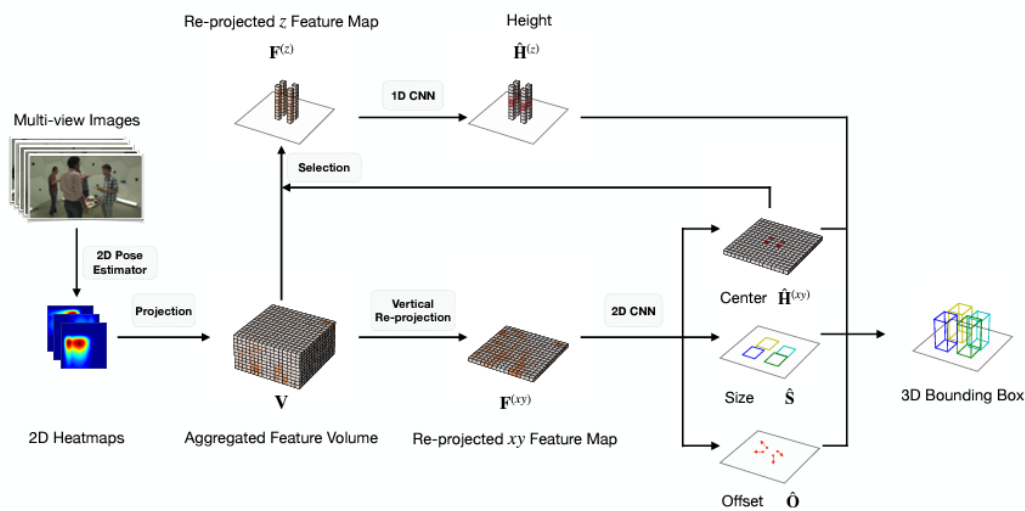
Με βάση τις εργονομικές πληροφορίες, ένα καινοτόμο σύστημα λήψης αποφάσεων βρίσκει το σωστό σύνολο ενεργειών προκειμένου να ελαχιστοποιήσει την καταπόνηση και τους εργονομικούς παράγοντες κινδύνου. Τέλος, ο έλεγχος ρομπότ θα λαμβάνει τις πληροφορίες ελέγχου ότι εκτελείται το επιθυμητό σύνολο ενεργειών. Συνολικά θα χρησιμοποιηθούν τρεις διαφορετικές κατηγορίες με βάση το ύψος του χειριστή, οδηγώντας σε τρεις προσαρμοσμένες αποκρίσεις ρομπότ (σενάρια προσαρμογής) που επιτρέπουν στον άνθρωπο να εργάζεται σε μια βέλτιστη εργονομική κατάσταση. Το σύστημα λήψης αποφάσεων προσδιορίζει την κλάση του χειριστή, με βάση το ύψος του, και το αντίστοιχο επιλεγμένο σενάριο διαμορφώνει τις παραμέτρους κίνησης του συνεργαζόμενου ρομπότ ώστε να προσαρμοστεί στο περιβάλλον με έναν εργονομικά πιο άνετο τρόπο για τον χρήστη που αλληλοεπιδρά. Υποθέτουμε την ύπαρξη τριών διαφορετικών κατηγοριών με βάση το ύψος του χειριστή. Πιο συγκεκριμένα, η κλάση 1 αποτελείται από τελεστές με ύψος < 175 cm, στην κατηγορία 2 το ύψος του χειριστή είναι μεταξύ 175 και 185 cm και τέλος στην κατηγορία 3 οι χειριστές έχουν ύψος μεγαλύτερο από 185 cm. Επιπλέον, εκτελείται μια εκτίμηση γωνίας άρθρωσης σε πραγματικό χρόνο για να εκτιμηθεί η βαθμολογία RULA. Με βάση αυτή την τιμή, αποστέλλονται τα κατάλληλα προειδοποιητικά μηνύματα στους χειριστές, που τους ενημερώνουν εάν η θέση εργασίας τους είναι εργονομικά σωστή ή όχι. Προσομοιώσεις σε εικονικό περιβάλλον χρησιμοποιήθηκαν επίσης για περαιτέρω εργονομική ανάλυση προκειμένου να βελτιστοποιηθεί ο σταθμός εργασίας, ώστε να ληφθεί μια τροχιά του ρομπότ, σε πραγματικό περιβάλλον, όσο το δυνατόν περισσότερο προσαρμοσμένη στον άνθρωπο.

Για την αξιόπιστη εκτίμηση ύψους του χειριστή, πρέπει να επιλέξουμε την καλύτερη δυνατή διαμόρφωση ορόσημων από τις εμπλεκόμενες κάμερες. Λόγω της διαφορετικής οπτικής γωνίας της κάμερας και της κίνησης του χειριστή, αναμένεται ότι τα ορόσημα, που ανιχνεύονται από διαφορετικές κάμερες, δεν θα είναι τα ίδια, όπως και η ακρίβειά τους. Για το σκοπό αυτό, θα σχεδιαστεί μια προσέγγιση σύντηξης που συνδέει το σύστημα πολλαπλών καμερών ώστε να παρέχει ως έξοδο την τελική ομάδα ανθρωπομετρικών ορόσημων του χειριστή.

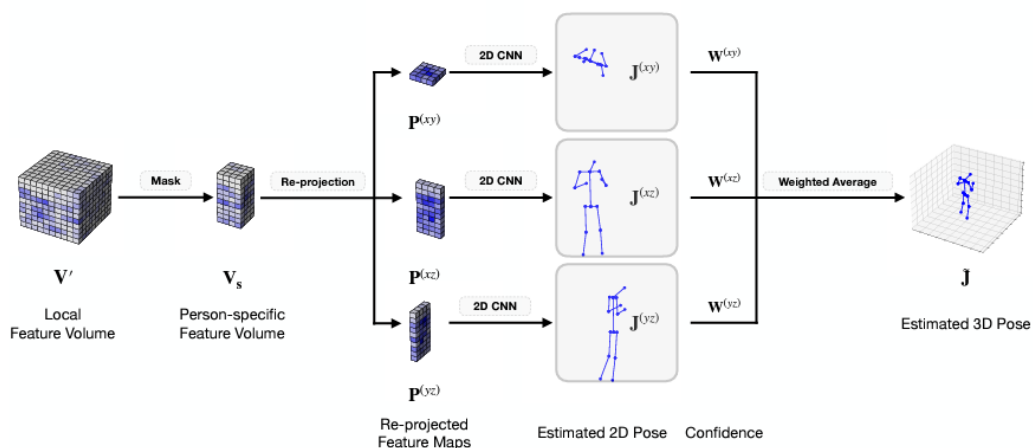
Για την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των στοιχείων και των αλγορίθμων που περιγράφονται παραπάνω, επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε το Robotic Operating System (ROS). Το ROS είναι ένα πλαίσιο ανοιχτού κώδικα που περιέχει ένα σύνολο εργαλείων και βιβλιοθηκών για την ανάπτυξη κατανεμημένων εφαρμογών. Τα προγράμματα εκτελούνται σε απομονωμένους κόμβους που μπορούν να επικοινωνούν χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο δημοσίευσης-συνδρομής. Έχουμε αναπτύξει έναν κόμβο ROS για κάθε κάμερα που θα χρησιμοποιηθεί στο πείραμα. Κάθε κόμβος καταγράφει ένα καρέ της κάμερας με συχνότητα 10 Hz, εξάγει και επεξεργάζεται τα ορόσημα και τελικά τα δημοσιεύει σε ένα σχετικό θέμα ROS. Η αποκεντρωμένη προσέγγιση του ROS μας δίνει τη δυνατότητα να συνδέσουμε τις κάμερες σε διαφορετικά φυσικά μηχανήματα, όπως η ενσωματωμένη συσκευή Jetson TX2. Ένας διαφορετικός κόμβος εγγράφεται στα θέματα που δημοσιεύονται από τις κάμερες και εξάγει ένα βέλτιστο σύνολο ορόσημων που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για τον υπολογισμό της στάσης του χειριστή.

### 2.16.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Στην **Εικόνα 43** και **Εικόνα 44** παρουσιάζονται τα δύο βασικά τεχνικά διαγράμματα της προτεινόμενης λύσης [15]. Αρχικά, στην **Εικόνα 43** παρουσιάζεται το δίκτυο για την ανίχνευση ανθρώπων, το οποίο εκτιμά ένα 3D bounding box για κάθε ξεχωριστό άτομο. Πιο συγκεκριμένα, το συνολικό feature volume, προβάλλεται στο επίπεδο  $xy$ . Έπειτα, εφαρμόζεται ένα 2D CNN για τον εντοπισμό των ατόμων στο 2D επίπεδο. Στη συνέχεια, για κάθε 2D bounding box εφαρμόζεται ένα 1D CNN για την εκτίμηση του κεντροειδούς του bounding box. Στην **Εικόνα 44** παρουσιάζεται το δίκτυο για την από κοινού εκτίμηση των αρθρώσεων. Αρχικά, φιλτράρονται όσα χαρακτηριστικά του volume βρίσκονται εκτός των 3D bounding boxes, έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε person specific feature volume. Το φιλτραρισμένο feature volume προβάλλεται στα  $xy$ ,  $yz$  και  $xz$  επίπεδα, για την εκτίμηση των 3D συντεταγμένων των αρθρώσεων. Τέλος, χρησιμοποιείται ένα δίκτυο σύντηξης έτσι ώστε να σταθμίσει αντιστοίχως κάθε πρόβλεψη συντεταγμένης, και να λάβουμε την τελική 3D στάση του χειριστή.



**Εικόνα 43** Δίκτυο για την Ανίχνευση Ανθρώπων



**Εικόνα 44** Δίκτυα για την από κοινού εκτίμηση των αρθρώσεων

#### 2.16.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

Στο δίκτυο της ανίχνευσης ανθρώπων (**Εικόνα 43**), κατασκευάζεται αρχικά το feature volume  $V$  από τις εικόνες διαφορετικής λήψης. Στη συνέχεια, προβάλλεται στο επίπεδο  $xy$  και λαμβάνουμε τον feature map  $F^{(xy)}$ . Εφαρμόζοντας στο  $F^{(xy)}$  ένα 2D CNN, εκτιμώνται τρεις feature maps που κωδικοποιούν για κάθε άτομο την θέση του κεντροειδούς, το μέγεθος του bounding box και την μετατόπιση του. Τέλος, μέσω ενός 1D CNN που εκτιμά τον heatmap του ατόμου, κατασκευάζεται το τελικό 3D bounding box. Στο δίκτυο για την από κοινού εκτίμηση των αρθρώσεων (**Εικόνα 44**), κατασκευάζεται αρχικά για κάθε άτομο το τοπικό feature volume  $V'$ . Το person specific feature volume  $V_s$  προκύπτει από το φιλτράρισμα του  $V'$  με το αντίστοιχο 3D bounding box. Το  $V_s$  προβάλλεται στα τρία επίπεδα και λαμβάνουμε τους αντίστοιχους 2D feature maps  $P^{(xy)}$ ,  $P^{(xz)}$  και  $P^{(yz)}$ . Έπειτα, για κάθε επίπεδο εκτιμώνται οι 2D θέσεις  $J^{(xy)}$ ,  $J^{(xz)}$  και  $J^{(yz)}$  των αρθρώσεων. Τέλος, η 3D στάση του χειριστή προκύπτει από την στάθμιση των 2D θέσεων με τα αντίστοιχα βάρη  $W$  που μαθαίνει το δίκτυο.

#### 2.16.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η προτεινόμενη λύση επιτρέπει την κατασκευή του 3D σκελετού πολλών χειριστών σε περιβάλλον εργασίας, με τελικό στόχο τον δυναμικό υπολογισμό ανθρωπομετρικών και εργονομικών χαρακτηριστικών κατάλληλων για ασφαλή αλληλεπίδραση ανθρώπου-ρομπότ. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται  $N$  κάμερες για την εξαγωγή του σκελετού από διαφορετικές γωνίες λήψης, έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί η δυσκολία του occlusion στην περίπτωση πολλών χειριστών. Συνεπώς, η προτεινόμενη λύση επιτρέπει την αποδοτική εκτίμηση μέσω  $N$  καμερών του 3D σκελετού πολλών χειριστών ταυτόχρονα, χωρίς να επηρεάζεται από τις επικαλύψεις των χειριστών στο πεδίο της 2D εικόνας. Επιπλέον, λόγω της ανάπτυξης της λύσης και σε περιβάλλον προσομοιωτή, είναι εφικτή η αποτελεσματική κατασκευή ενός περιβάλλοντος εκπαίδευσης και ελέγχου ορθής λειτουργίας αυτών των λύσεων για την ασφαλή συνεργασία ανθρώπου και ρομπότ σε συνθήκες εργασίας που προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τις πραγματικές. Παράλληλα, ακριβώς λόγω της χρήσης του αντίστοιχου προσομοιωτή, είναι εφικτή η αξιοποίηση διεπαφών εικονικής/επαυξημένης πραγματικότητας που θα ενημερώνουν τον χειριστή και το ρομπότ για τα εργονομικά χαρακτηριστικά και την καταπόνηση του αντίστοιχου χειριστή.

## 2.17 Κατανόηση σκηνής με βάση οπτική πληροφορία

### 2.17.1 Σύνοψη Περιγραφή Λύσης

Ανάπτυξη μη επεμβατικών συστημάτων που βασίζονται σε οπτική πληροφορία και θα είναι σε θέση να παρατηρούν μια συγκεκριμένη σκηνή, να επεξεργάζονται, να μετρούν/αναγνωρίζουν γεγονότα και να οργανώνουν τις εξαγόμενες πληροφορίες με ουσιαστικό τρόπο για να υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων. Ανάπτυξη έξυπνων συστήματα που βασίζονται σε κάμερες που μπορούν να παρακολουθούν μια σκηνή ή/και μια διαδικασία και να εξάγουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξή της. Η εξαγωγή, η οργάνωση και η παρουσίαση πληροφοριών υψηλού επιπέδου με ολοκληρωμένο και ελκυστικό τρόπο μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη για την ανάπτυξη αξιόπιστων αναφορών, οι οποίες, με τη σειρά τους, μπορούν να βοηθήσουν τους οργανισμούς στη βελτίωση των αποφάσεων που λαμβάνουν.

### 2.17.2 Εισαγωγή

Η συσσώρευση επιστημονικής και τεχνολογικής προόδου έχει οδηγήσει σε μεγάλη βελτίωση της ποιότητας ζωής τις τελευταίες δεκαετίες. Στις μέρες μας, η ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης αναμένεται να επιτρέψει την ανάπτυξη βιομηχανικών και οικιακών ρομπότ γενικής χρήσης, που θα μπορέσουν σε μεγάλο βαθμό να μας απαλλάξουν από επικίνδυνες και επαναλαμβανόμενες εργασίες.

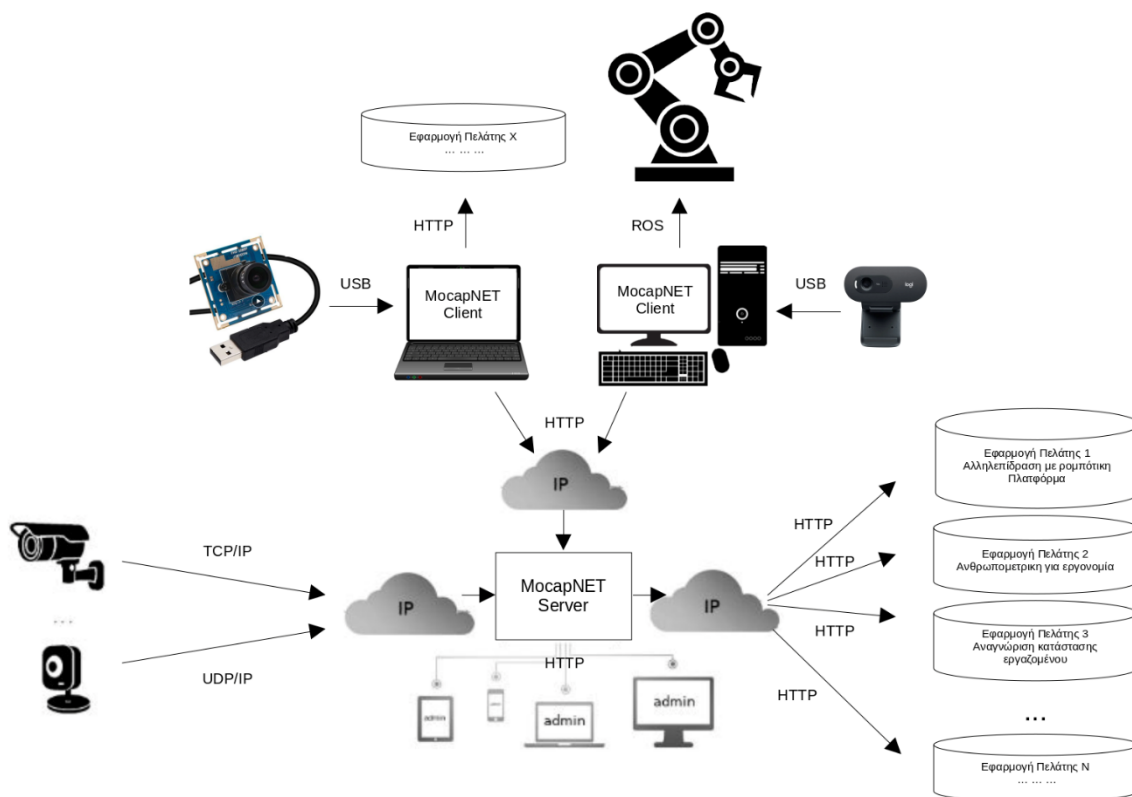
Ο απώτερος στόχος της λύσης 2.18 είναι το να παρέχει τη δυνατότητα αντίληψης της ανθρώπινης παρουσίας για χρήση σε “έξυπνες” βιομηχανίες. Ο άνθρωπος είναι το κέντρο όλων των δραστηριοτήτων οπότε η ψηφιοποίηση της παρουσίας του αποτελεί και θα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την βιομηχανία του μέλλοντος. Αναμένουμε πως η εφαρμογή θα έχει θετικό αντίκτυπο στην Ελληνική κοινωνία και οικονομία.

Στόχος μας είναι να διερευνήσουμε και να αναπτύξουμε μια γρήγορη, επεκτάσιμη, και λύση ακριβείας, που υλοποιείται με λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης. Η προς ανάπτυξη λύση θα λαμβάνει εικόνες χρώματος (RGB) από συμβατικές κάμερες και θα μπορεί να εκτιμά την τρισδιάστατη διαμόρφωση του σώματος του εικονιζόμενου ατόμου. Η τρισδιάστατη εκτίμηση της ανθρώπινης παρουσίας μπορεί πρωτίστως να συμβάλλει στην αποτίμηση της εργονομίας, κούρασης και ζάλης των εργαζομένων, αλλά και την πιθανή προσαρμογή της θέσης λειτουργίας ρομπότ. Δημιουργώντας μια σταθερή αρχιτεκτονικά λύση στην συνέχεια τα ίδια δεδομένα θα μπορούν στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν σε συσκευές όπως AR/VR, κινητά τηλέφωνα, άλλες έξυπνες συσκευές και να υποστηρίξουν την κατανόηση της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Η κατανόηση μιας σκηνής με καταγραφή της ανθρώπινης πόζας και συμπεριφοράς γίνεται καλύτερα ολιστικά και, επομένως το ψηφιακά ανακτηθέν σώμα περιλαμβάνει όχι μόνο δισδιάστατες ή τρισδιάστατες θέσεις σημείων κλειδιών του σώματος, αλλά την πλήρη κινηματική του σκελετού.

### 2.17.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

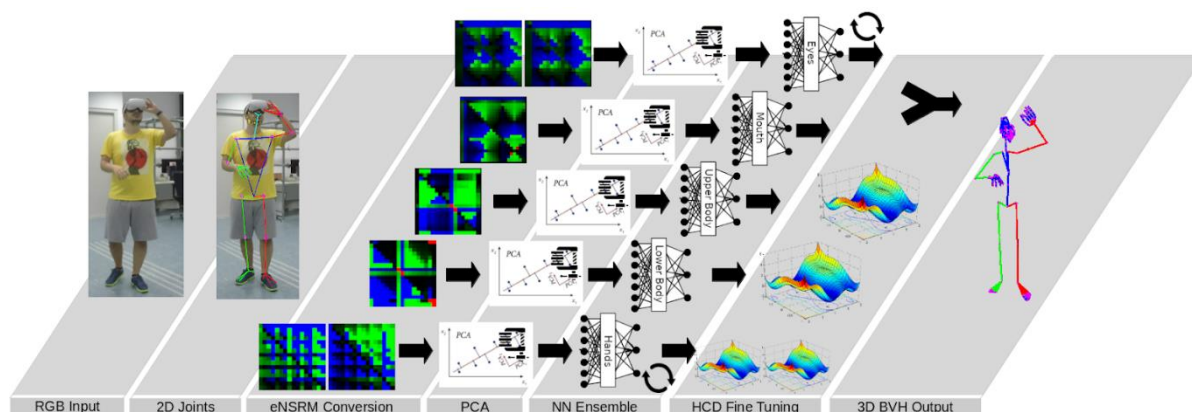
Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας που προτείνουμε έχει ως κύρια χαρακτηριστικά την συνθεσιμότητα, την επεκτασιμότητα και την συμβατότητα με υπάρχοντα ανοικτά και ώριμα πρωτόκολλα επικοινωνίας. Η γενική αρχιτεκτονική της φαίνεται στην **Εικόνα 45** και βασίζεται σε δύο πακέτα λογισμικού που θα υλοποιήσουμε, τα οποία μπορούν να συνδεθούν σε διάφορες συνδεσμολογίες ανάλογα με τις ανάγκες της επιχείρησης. Το πρώτο πακέτο είναι ο “MocapNET Server” ο οποίος είναι ο κεντρικός διακομιστής του συστήματος και ο οποίος μπορεί αυτοτελώς να δειγματοληπτεί από πηγές εικόνες που βρίσκονται στο ίδιο δίκτυο (IP Cameras με μετάδοση εικόνες

με HTTP RTSP πρωτόκολλα ενθυλακωμένα σε TCP/UDP IP), ή απευθείας από αρχεία εικόνας (JPG,PNG) ή video (MP4,WEBM) που του υποβάλλονται μέσω HTTP ή από ροές σκελετών που του μεταδίδονται από άλλους κόμβους του συστήματος που τρέχουν τον “MocapNET client”.



*Εικόνα 45 Η Αρχιτεκτονική της Πλατφόρμας / Λύσης Μαζί με την Συνδεσιμότητα και τα Διάφορα Πρωτόκολλα Επικοινωνίας που Εμπλέκονται*

Ο MocapNET client με την σειρά του μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος είναι αυτόνομα, παρέχοντας τοπική εξαγωγή τρισδιάστατων σκελετών από τοπικά συνδεδεμένες συσκευές (USB) στην περίπτωση χρήσης από μια επιχείρηση που δεν διαθέτει πόρους για κάποιο κεντρικό διακομιστή, με εφαρμογές που χρησιμοποιούν απευθείας τα εξαγόμενα δεδομένα του client. Ο δεύτερος είναι να αναμεταδώσει τα δεδομένα στο ROS (Robot Operating System) σε μορφή TF2 tree ή σαν 3D points/Angles σε μορφή ROS messages. Ο τρίτος, σε περίπτωση ύπαρξης MocapNET Server, είναι να προωθεί τα δεδομένα μέσω HTTP στον κεντρικό διακομιστή ο οποίος θα αναλαμβάνει την διαμεσολάβηση με τις εφαρμογές ή οποία επίσης θα γίνεται μέσω HTTP API. Ο κεντρικός διακομιστής θα διαθέτει επίσης διεπαφή Web η οποία μέσω HTTP πρωτοκόλλου θα είναι δυνατόν τόσο από Tablet, Κινητά, Laptops, Υπολογιστές, Smart TVs και γενικότερα από οποιαδήποτε συσκευή διαθέτει Web Browser, να δει/μεταβάλει την κατάσταση του συστήματος στον βαθμό που του επιτρέπεται από τα διαπιστευτήρια του.



**Εικόνα 46:** Επισκόπηση της ροής δεδομένων από μια εικόνα χρώματος μέχρι την τρισδιάστατη ψηφιοποιημένη έξοδο που συμπεριλαμβάνει την αντίστροφη κινηματική του ανθρώπινου σκελετού από το νευρωνικό δίκτυο MocapNET. Αναλυτική περιγραφή της μεθόδου στις δημοσιεύσεις [1-5].

Ο εσωτερικός σχεδιασμός της λύσης τεχνητής νοημοσύνης “MocapNET” που έχουμε αναπτύξει φαίνεται στην Εικόνα 41. Η αναλυτική του αρχιτεκτονική δεν είναι αντικείμενο αυτού του παραδοτέου, ωστόσο είναι καταγεγραμμένη με μεγάλη λεπτομέρεια στις επιστημονικές δημοσιεύσεις [16-20] που παραθέτουμε στο τέλος αυτού του κεφαλαίου. Εν ολίγοις, οι εικόνες χρώματος που λαμβάνονται από τις κάμερες υφίστανται διαδοχική επεξεργασία μέσω βαθέων συνελκτικών δικτύων μέχρι την εξαγωγή της τρισδιάστατης κινηματικής του ανθρώπου

Χρησιμοποιώντας το πρότυπο BVH (Bio Vision Hierarchy). Αρχικά, η εικόνα χρώματος μετασχηματίζεται σε δισδιάστατα σημεία ενδιαφέροντος. Τα σημεία αυτά κωδικοποιούνται σε πίνακες eNSRM [18] (enhanced Normalized Signed Rotation Matrix), προαιρετικά υφίστανται μείωση διαστασιμότητας μέσω PCA [19] (Principal Component Analysis) σε περίπτωση χρήσης από συσκευές με πολύ περιορισμένες υπολογιστικές δυνατότητες, και παραδίδονται σε ένα σύνολο κωδικοποιητών νευρωνικών δικτύων που μαζί με τον αλγόριθμο Ιεραρχικής Καθόδου Συντεταγμένων [17] (HCD) εξάγουν την τελική έξοδο, έναν τρισδιάστατο σκελετό που συμπεριλαμβάνει την αντίστροφη κινηματική του για κάθε είσοδο.

#### 2.17.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης

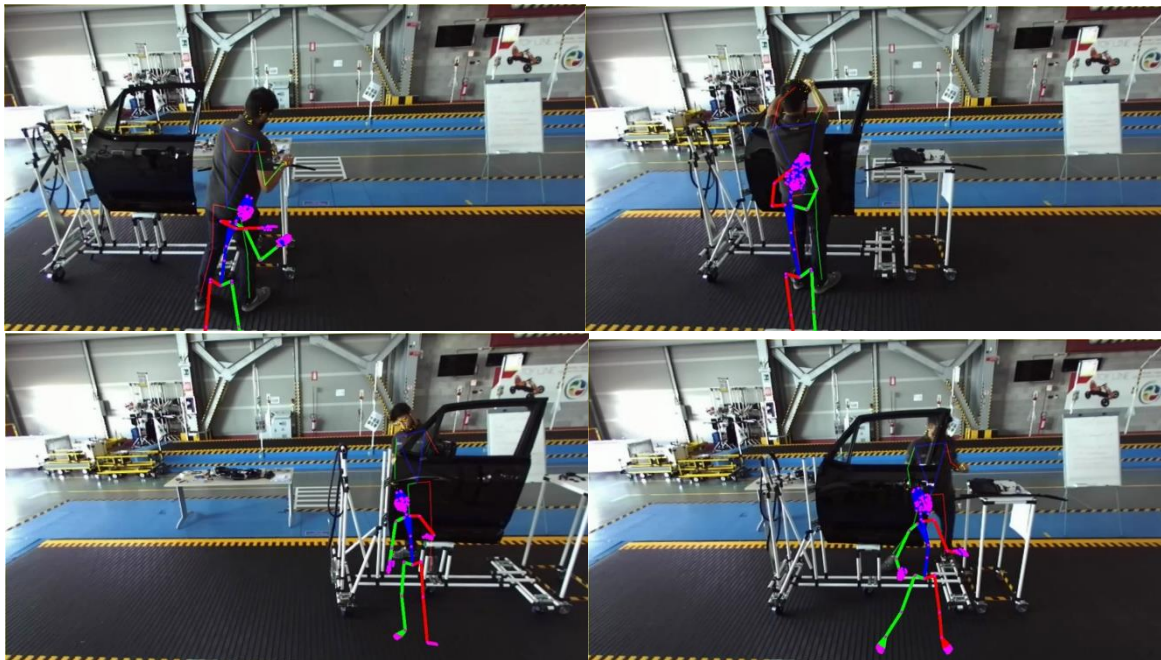
Οι οπτικοί αισθητήρες μετατρέπουν τις πραγματικές σκηνές σε ψηφιακά δεδομένα χρησιμοποιώντας μια ποικιλία τεχνικών, με την πλειονότητα να βασίζεται σε συσκευές Charged-Couple Devices (CCD) ή Active Pixel Sensors (CMOS). Η ανάλυση ενός αισθητήρα, που καθορίζεται από τον αριθμό των στοιχείων της εικόνας (pixel), υπαγορεύει την πιστότητα της ανακατασκευασμένης εικόνας. Οι τυπικές συσκευές βίντεο καταγράφουν εικόνες σε ανάλυση Full-HD (1920x1080 pixel ή 2,1MP), παρέχοντας υψηλή λεπτομέρεια. Για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλότερη πιστότητα, χρησιμοποιείται συνήθως ανάλυση VGA (640x480 pixel ή 0,3MP). Η υψηλότερη ανάλυση συνεπάγεται την επεξεργασία μεγαλύτερου όγκου δεδομένων, η οποία αυξάνει τον αποθηκευτικό χώρο που απαιτείται ενώ παράλληλα αυξάνει τον χρόνο υπολογισμού και επηρεάζει την ταχύτητα με την οποία γίνεται η λήψη εικόνας.

Μια άλλη σημαντική πτυχή είναι ο τρόπος με τον οποίο οι μετρήσεις ψηφιοποιούνται σε διακριτά διαστήματα, με τυπικά βάθη bit 8 bit/pixel. Για μια ροή χρώματος που περιλαμβάνει στοιχεία Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε (RGB), μια εικόνα Full HD (1920x1080 pixel) έχει ως αποτέλεσμα μέγεθος αρχείου περίπου 6,2 MB, ενώ μια εικόνα VGA (640x480 pixel) ανέρχεται σε περίπου 0,9 MB.

Ο χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά και την επεξεργασία αυτών των εικόνων σχετίζεται άμεσα με τα μεγέθη τους, καθώς κάθε ρικελ πρέπει να υποβάλλεται σε επεξεργασία από συστήματα σχεδιασμένα να ελαχιστοποιούν το χρόνο λήψης.

Στη χρονική πλευρά, οι ρυθμοί ανανέωσης της κάμερας υποδεικνύουν τη συχνότητα με την οποία οι αισθητήρες μπορούν να καταγράφουν νέα δεδομένα και συνήθως κυμαίνονται γύρω στα 23 Hz. Για μια ροή Full-HD, αυτό μεταφράζεται σε διαρκή ροή δεδομένων από 144 MB/sec έως 372 MB/sec. Για να μετριαστούν οι προκλήσεις της υψηλής απόδοσης δεδομένων, πολλοί αισθητήρες κάμερας ενσωματώνουν κωδικοποίηση MJPEG ή μειωμένου ρυθμού bit YUV. Ωστόσο, αυτές οι τεχνικές συμπίεσης, ενώ είναι αποτελεσματικές στη μείωση των μεγεθών αρχείων, έχουν ως αποτέλεσμα τη συμπίεση με απώλειες που μπορεί να υποβαθμίσει την ποιότητα της εικόνας. Στην ιδανική περίπτωση, η μετάδοση RAW, μη επεξεργασμένων εικόνων θα διατηρούσε τη μέγιστη λεπτομέρεια, αλλά αυτή η προσέγγιση αυξάνει σημαντικά το εύρος ζώνης που απαιτείται για τη μεταφορά και την επεξεργασία των εικόνων.

Η επιλογή της τεχνολογίας μεταφοράς για δεδομένα εικόνας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το απαιτούμενο εύρος ζώνης δεδομένων. Οι κάμερες IP είναι ιδιαίτερα εύκολες στην ενσωμάτωση σε υπάρχοντα δίκτυα, κατάλληλες για σενάρια που απαιτούν τη σύνδεση πολλαπλών καμερών σε έναν κεντρικό διακομιστή. Η συμβατότητα με τα τυπικά καλώδια Ethernet όχι μόνο διευκολύνει τη διαδικασία εγκατάστασης αλλά βοηθά και στη μείωση του κόστους. Ωστόσο, οι περιορισμοί εύρους ζώνης της IP μπορούν να είναι περιοριστικοί σε περιπτώσεις χρήσης που απαιτούν εικόνες εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης ή εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς καρέ.



*Εικόνα 47 Αποτελέσματα της Μεθόδου MocapNET σε Δοκιμαστικά Δεδομένα σε Πραγματική Αλυσίδα Παραγωγής, Ενδεικτικά Αποτελέσματα της Ακρίβειας της Λύσης που σκοπεύουμε να Αναπτύξουμε*

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πηγών που παράγουν τις εικόνες σε μεγάλο βαθμό καθορίζουν την ποιότητα και πιστότητα της εξαγόμενης πληροφορίας από την κάθε κάμερα. Όπως είναι εύκολα κατανοητό μια κάμερα πολύ μικρής ανάλυσης με φακούς που δημιουργούν μεγάλες παραμορφώσεις

και παρατηρούν μια σκηνή με χαμηλούς ρυθμούς ανανέωσης από πολύ μεγάλη απόσταση δεν θα προσφέρουν επαρκή δεδομένα σε σχέση με μια ταχεία κάμερα υψηλότερης ανάλυσης και ευκρίνειας που παρατηρεί την ίδια σκηνή. Καθώς οι διαφορετικές επιχειρήσεις μπορεί να έχουν διαφορετικού είδους εξοπλισμό στοχεύουμε σε μια λύση η οποία να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος ήδη υπάρχοντος εξοπλισμού στις Ελληνικές επιχειρήσεις χωρίς επιπλέον κόστος. Λόγω του πλήθους των πιθανών αισθητήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την λύση μας για την εξαγωγή ακριβών μετρικών ακριβείας σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα τυποποιημένο set δεδομένων, όπως το Human 3.6M dataset το οποίο αποτελεί το standard στην ανάκτηση τρισδιάστατων δεδομένων ανθρώπινου σώματος πετυχαίνοντας μέση ακρίβεια 10cm δοθείσης μιας σχετικά καθαρής ροής εικόνας ανάλυσης 720p.

Αντίστοιχα με την χρήση της εφαρμογής με διαφορετικές πηγές εικόνων που παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά η εκτέλεση της λύσης μας (MocapNET client/server) επίσης μπορεί να γίνει από υπολογιστικά συστήματα που έχουν διαφορετικό υλισμικό και άρα μπορούν να αφιερώσουν διαφορετικό ποσό υπολογιστικών πόρων για την εξαγωγή της τρισδιάστατης πόζας. Ο στόχος μας είναι επεξεργασία μιας ροής εικόνων σε πραγματικό χρόνο με ρυθμό >5Hz από ένα τυπικό υπολογιστικό σύστημα (laptop, desktop) της αγοράς, ενώ σε καινούργια υπολογιστικά συστήματα τελευταίας τεχνολογίας με αυτοτελείς κάρτες γραφικών κατάλληλης τεχνολογίας ευελπιστούμε να μπορούμε να φτάσουμε και ακριβώς τον ρυθμό καταγραφής εικόνων της κάμερας (21Hz). Αντίστοιχα για τον κεντρικό διακομιστή ανάλογα με το πλήθος πηγών εικόνας και από το σε πόσες από αυτές υπάρχει ανθρώπινη παρουσία και ανάλογα με το πόσους πόρους έχουμε διαθέσιμους για παραλληλισμό να ξεπεράσουμε αντίστοιχα έναν ρυθμό > 5Hz.

Οι μοντέρνοι πολυπύρηντοι επεξεργαστές και επιταχυντές γραφικών και AI δίνουν την δυνατότητα παραλληλισμού επιτρέποντας ταυτόχρονη επεξεργασία πολλών πηγών δεδομένων. Σαν ένα θεωρητικό παράδειγμα, θεωρώντας μια επιχείρηση η οποία διαθέτει 5 IP κάμερες στο χώρο της θα πρέπει ο κεντρικός εξυπηρετητής ο οποίος λαμβάνει τις εικόνες να έχει επαρκείς πόρους για την επεξεργασία των εισερχόμενων δεδομένων.

Το σύστημα που αναπτύσσουμε θα χρησιμοποιεί το περιβάλλον Tensorflow / TF-Lite / ONNX για το νευρωνικό δίκτυο, θα έχει τμήματα τα οποία θα είναι υλοποιημένα σε Python και άλλα τμήματα σε C/C++. Θα κάνει χρήση της βιβλιοθήκης OpenCV και Numpy για την επεξεργασία των τανυστών εισόδου και εξόδου του νευρωνικού δικτύου. Το λειτουργικό σύστημα το οποίο στοχεύουμε θα είναι Linux ενώ interoperation για εκτέλεση του MocapNET client σε μηχανήματα windows θα γίνεται μέσω του WSL. Το νευρωνικό δίκτυο MocapNET (Εικόνα 42) χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική 2 σταδίων. Έτσι η μετατροπή της εικόνας εισόδου από εικόνα χρώματος RGB σε έναν 3D σκελετό γίνεται σε πρώτα από RGB σε διδιάστατα σημεία και κατόπιν από 2D σε 3D BVH. Αυτή η αρχιτεκτονική μας επιτρέπει να αξιοποιήσουμε διαφορετικές πηγές 2D σημείων (OpenPose, MediaPipe, HR-NET, η του RGB σε 2D νευρωνικού δικτύου δικής μας κατασκευής) ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε επιχείρησης.

#### 2.17.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Η λύση που παρουσιάζουμε σκοπεύουμε να μπορεί να δρα σαν ένας κεντρικός μηχανισμός που παρατηρεί την δραστηριότητα των εργαζομένων της επιχείρησης ψηφιοποιώντας την θέση και την κίνηση τους, παρέχοντας μια πλούσια πηγή δεδομένων. Τα οφέλη και πλεονεκτήματα που θα παρέχουν τα εξαγόμενα δεδομένα της εφαρμογής που προτείνουμε είναι πολλαπλά:

**Διατήρηση απορρήτου:** Το σύστημα διαθέτει αρχιτεκτονική 2 σταδίων, αυτό σημαίνει ότι οι εικόνες μετατρέπονται σε 2D σημεία από τα οποία στη συνέχεια το νευρωνικό δίκτυο καταλήγει στον 3D

σκελετό χωρίς να περιέχονται δεδομένα εμφάνισης (ρούχα, πρόσωπο, φύλο κτλ). Επομένως, διατηρείται η ιδιωτικότητα και δεν γίνεται προσωποποιημένη καταγραφή των παρατηρούμενων ατόμων. Με αυτό τον τρόπο η “metadata” πληροφορία για την 3D θέση ατόμων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανώνυμα χωρίς να παραβιάζεται η νομοθεσία του GDPR.

**Εργονομική ανάλυση:** Το σύστημα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καταγραφεί και να αναλυθεί η στάση των εργαζομένων κατά τη διάρκεια διαφόρων εργασιών και να εντοπιστούν εργονομικοί κίνδυνοι και να σχεδιαστούν παρεμβάσεις για την πρόληψη μυοσκελετικών τραυματισμών.

**Εκτίμηση ασφάλειας:** Ψηφιοποίηση των κινήσεων εργαζομένων σε πραγματικό χρόνο για εντοπισμό δυνητικά επικίνδυνων ενεργειών ή καταστάσεων, όπως πρόσβαση σε επικίνδυνες περιοχές και παροχή άμεσης ανατροφοδότησης ή προειδοποιήσεις.

**Εκπαίδευση και αξιολόγηση δεξιοτήτων:** Χρήση του συστήματος για δημιουργία διαδραστικών ενοτήτων εκπαίδευσης όπου οι εργαζόμενοι να μπορούν να ψηφιοποιήσουν τις σωστές κινήσεις του σώματος και να μάθουν κατάλληλες τεχνικές για το χειρισμό του εξοπλισμού ή την εκτέλεση εργασιών με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα.

**Ποιοτικός έλεγχος:** Διασφάλιση της συνέπειας στις διαδικασίες συναρμολόγησης, επαληθεύοντας ότι οι εργαζόμενοι ακολουθούν με ακρίβεια τις προβλεπόμενες κινήσεις και διαδικασίες, μειώνοντας έτσι τα σφάλματα και βελτιώνοντας την ποιότητα του προϊόντος.

**Βελτιστοποίηση ροής εργασιών:** Τα δεδομένα θέσης και κίνησης των εργαζομένων θα μπορούν δυνητικά να χρησιμοποιηθούν μαζί με άλλα δεδομένα εξόδου από διαφορετικούς σταθμούς εργασίας ή γραμμών παραγωγής παρακολουθώντας τις κινήσεις των εργαζομένων και εντοπίζοντας σημεία συμφόρησης ή περιοχές για βελτίωση της διάταξης ή του σχεδιασμού της διαδικασίας για βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας της .

**Πρόληψη τραυματισμών:** Τα δεδομένα θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστούν επαναλαμβανόμενες ή επίπονες κινήσεις που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε τραυματισμούς στο χώρο εργασίας με την πάροδο του χρόνου, επιτρέποντας την εφαρμογή προληπτικών μέτρων, όπως η εναλλαγή εργασίας ή ο επανασχεδιασμός των θέσεων εργασίας.

**Συνεργασία ανθρώπου-ρομπότ:** Τα δεδομένα του συστήματος θα μπορούν να δοθούν σε συνδεδεμένα ρομποτικά συστήματα για να επιτρέψουν συνεργατικές εργασίες όπου τα ρομπότ μπορούν να προσαρμόσουν τις κινήσεις τους με βάση τη θέση και τις ενέργειες των εργαζομένων, διασφαλίζοντας ασφαλή αλληλεπίδραση και μεγιστοποιώντας την παραγωγικότητα.

**Αυτοματοποίηση εργασιών:** Τα δεδομένα που συλλέγονται, πιθανόν να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη τεχνικών για την αυτοματοποίηση επαναλαμβανόμενων εργασιών που απαιτούν ακριβείς ανθρώπινες κινήσεις, απελευθερώνοντας τους υπαλλήλους να επικεντρωθούν σε πιο σύνθετες δραστηριότητες ή δραστηριότητες με μεγαλύτερη προστιθέμενη αξία.

**Προσομοίωση ροής εργασιών και βελτιστοποίηση:** Τα δεδομένα ιστορικού πόζας θα μπορούν να συλλεχθούν και, δοθέντων αρκετών δεδομένων, να χρησιμοποιηθούν για να προσομοιώσουν διαφορετικά σενάρια με στόχο τη βελτιστοποίηση των ροών εργασιών και την κατανομή πόρων για τη βελτίωση της συνολικής παραγωγικότητας και αποδοτικότητας στο βιομηχανικό περιβάλλον.

## 2.18 Έξυπνη, οπτική επιθεώρηση διαδικασιών και αξιολόγησης πρωτοκόλλων

### 2.18.1 Σύνοτμη Περιγραφή Λύσης

Αρκετές καθημερινές λειτουργίες διέπονται από καλά καθορισμένα πρωτόκολλα. Η τήρηση αυτών των πρωτοκόλλων εγγυάται την επιτυχή ολοκλήρωση της λειτουργίας, την ποιότητα των επιτευχθέντων αποτελεσμάτων, καθώς και την ασφάλεια του εμπλεκόμενου προσωπικού και των υποδομών. Στόχος της λύσης 2.19 είναι η ανάπτυξη μη επεμβατικών συστημάτων που βασίζονται σε κάμερα που θα είναι σε θέση (α) να παρατηρούν μια συγκεκριμένη διαδικασία ή/και λειτουργία, (β) να ανιχνεύουν πιθανές αποκλίσεις από το πρωτόκολλο που διέπει την παρατηρούμενη διαδικασία, (γ) να προειδοποιούν για τέτοιες αποκλίσεις παρέχοντας σχετικές εξηγήσεις και (δ) να προτείνουν διορθωτικές ενέργειες.

### 2.18.2 Εισαγωγή

Οι τεχνολογικές εξελίξεις παρέχουν νέες δυνατότητες για τη βελτίωση των διαδικασιών, την αύξηση της παραγωγικότητας και της ασφάλειας των εργαζομένων. Μέσα από την ενσωμάτωση της τεχνολογίας της τεχνητής νοημοσύνης και της όρασης υπολογιστών, δημιουργείται η δυνατότητα για την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων παρακολούθησης και αναγνώρισης ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Σε αυτό το πλαίσιο, παρουσιάζουμε ένα σύστημα που ανταποκρίνεται στις ανάγκες αξιολόγησης και παρακολούθησης δραστηριοτήτων σε εργασιακά περιβάλλοντα με βάση την οπτική αναγνώριση και την τεχνητή νοημοσύνη.

Η ανάπτυξη ενός συστήματος που αναγνωρίζει, παρακολουθεί και αξιολογεί τις δραστηριότητες των εργαζομένων σε πραγματικό χρόνο, προσφέρει ένα εργαλείο που ενισχύει την ασφάλεια και την αποδοτικότητα στον εργασιακό χώρο. Η ενσωμάτωση του στη βιομηχανία μπορεί να γίνει σε πολλές επιμέρους διαδικασίες. Ενδεικτικά αναφέρονται τα παρακάτω:

- **Συναρμολόγηση Προϊόντων:** Η παρακολούθηση και αναγνώριση των βημάτων συναρμολόγησης προϊόντων μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια στη γραμμή παραγωγής, καθώς και να προσφέρει ενημέρωση σε κεντρικό επίπεδο για το στάδιο στο οποίο βρίσκεται η διαδικασία.
- **Παρακολούθηση Διαδικασιών Παραγωγής:** Η επίβλεψη των διαδικασιών παραγωγής μπορεί να βοηθήσει στην εντόπιση πιθανών προβλημάτων ή κινδύνων και στη λήψη άμεσων μέτρων πρόληψης. Σε επίπεδο εργαζομένων η παρακολούθηση των κινήσεων μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση και την αξιολόγηση κινδύνων εργασίας που σχετίζονται με εργονομικά ζητήματα, όπως οι κακές στάσεις και οι επαναλαμβανόμενες κινήσεις.
- **Υποστήριξη Εργαζομένων:** Η παρακολούθηση της δραστηριότητας των εργαζομένων μπορεί να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την εκπαίδευσή τους και τη βελτίωση της απόδοσής τους, διδάσκοντας τους ορθές εργασιακές τεχνικές και τις βέλτιστες πρακτικές εργονομίας.

### 2.18.3 Αρχιτεκτονική Λύσης

Η αρχιτεκτονική της πλατφόρμας του συστήματος της προτεινόμενης λύσης με σκοπό την υποστήριξη μιας ή και περισσότερων από τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως, απεικονίζεται στην εικόνα 1. Η αρχιτεκτονική του συστήματος χωρίζεται σε 3 επίπεδα:

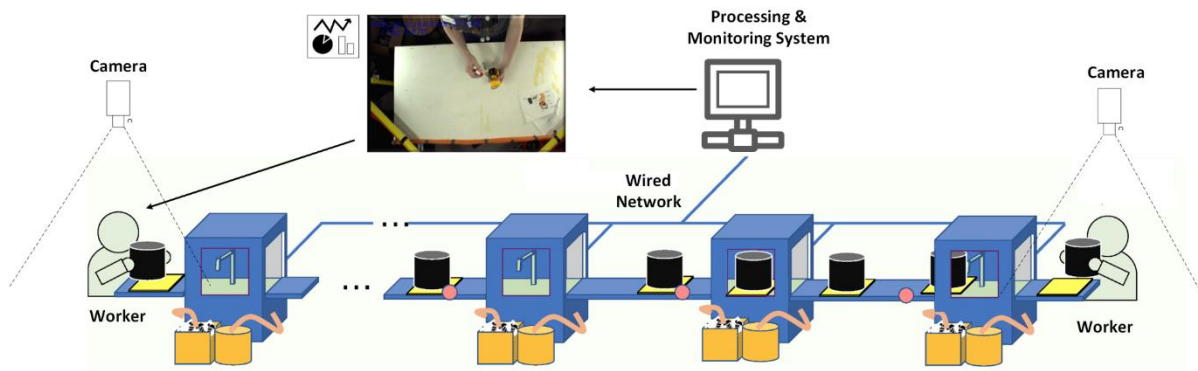
**Συλλογή Δεδομένων:** Οπτικοί αισθητήρες (κάμερες) τοποθετούνται σε επιλεγμένες θέσεις στον εργασιακό χώρο για την καταγραφή των ανθρώπινων δράσεων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα

## Π1.2 – Αρχική αρχιτεκτονική και σχεδιασμός των προς υλοποίηση λύσεων

προωθούνται σε υπολογιστικές μονάδες αποθήκευσης και προεπεξεργασίας για την προετοιμασία τους σε μορφή που απαιτείται από το μοντέλο επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων.

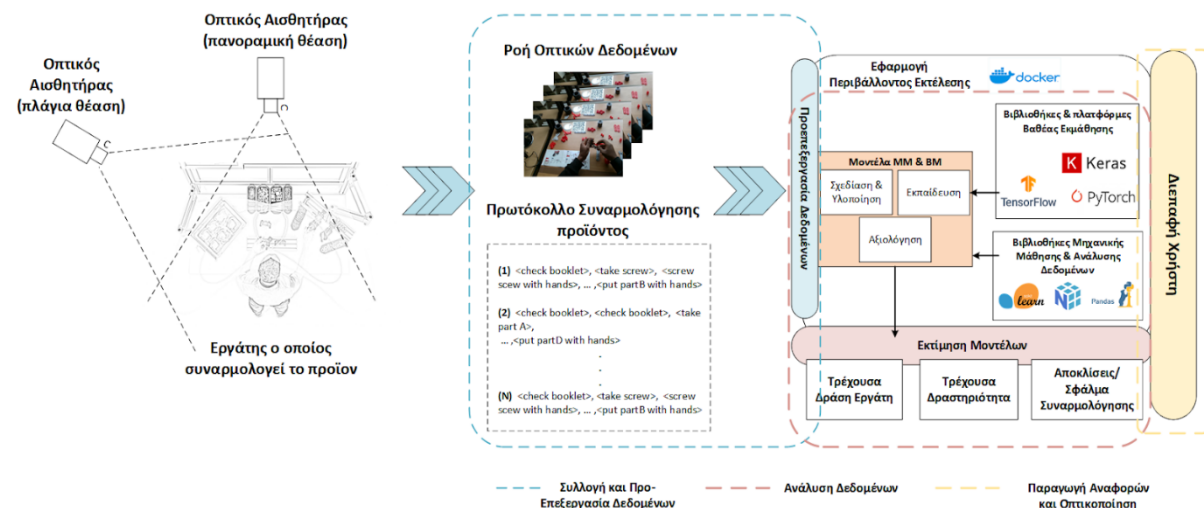
**Ανάλυση Δεδομένων:** Η πλατφόρμα του συστήματος διαθέτει αλγοριθμικές διαδικασίες προσαρμοσμένες στο εκάστοτε κατασκευαστικό σενάριο οι οποίες επιτρέπουν την αναγνώριση της τρέχουσας δράσης που εκτελείται, και την εκτίμηση της συνολικής δραστηριότητας των εργαζομένων. Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιείται με χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης και βαθιάς μάθησης. Με βάση τις ακόλουθες εκτιμήσεις και την αξιοποίηση πληροφορίας για τα πρωτόκολλα εκτέλεσης, η πλατφόρμα δύναται να προσφέρει δυνατότητα ανίχνευσης σφαλμάτων/ αποκλίσεων.

**Παραγωγή Αναφορών και Οπτικοποίηση:** Η πλατφόρμα θα παρέχει εργαλεία οπτικοποίησης και παρουσίασης δεδομένων. Δημιουργία αναφορών ως προς την επιτυχία επίτευξης συγκεκριμένων σταδίων εκτέλεσης των δραστηριοτήτων (π.χ. Στάδιο 1: επιτυχής συναρμολόγηση του μέρους Α του προϊόντος), καθώς οπτική παρουσίαση των εκτιμήσεων των μοντέλων για κάθε χρονική στιγμή εκτέλεσης βημάτων του εργαζόμενου.



Εικόνα 48 Η γενική αρχιτεκτονική της προτεινόμενης λύσης

### 2.18.4 Ανάλυση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υλοποίησης



Εικόνα 49: Η λεπτομερής αρχιτεκτονική της προτεινόμενης λύσης, με απεικόνιση των διακριτών σταδίων του οπτικού συστήματος που θα αναπτυχθεί.

#### 2.18.4.1 Συλλογή Δεδομένων- Οπτικοί Αισθητήρες

Η θέση και οι προδιαγραφές (ανάλυση, συχνότητα λήψης) των οπτικών αισθητήρων επηρεάζει σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια του συστήματος. Ανάλογα με τη θέση και την κάλυψη τους, οι αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύουν διαφορετικές πτυχές της εξέλιξης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, επιτρέποντας έτσι την ενδεχομένως πληρέστερη καταγραφή των ενεργειών τους. Επιπλέον, η σωστή τοποθέτηση των αισθητήρων μπορεί να εξασφαλίσει την κάλυψη όλου του χώρου εργασίας και να μειώσει τον αριθμό των απαραίτητων αισθητήρων για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Η ανάλυση των αισθητήρων και η συχνότητα λήψης των οπτικών δεδομένων επηρεάζουν την ποιότητα και την ακρίβεια της ανίχνευσης και καταγραφής των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Η υψηλή ανάλυση επιτρέπει την λεπτομερή παρακολούθηση των κινήσεων και την ακριβή αναγνώριση των δράσεων, ενώ η υψηλή συχνότητα λήψης ελαχιστοποιεί την πιθανότητα απώλειας σημαντικών πληροφοριών. Η απόφαση για τις ενδεικτικές τιμές αυτών των δύο παραμέτρων εξαρτάται από την πολυπλοκότητα του σεναρίου (πλήθος και ομοιότητα αντικειμένων και βημάτων (δράσεων), και από την ταχύτητα εκπόνησης της δραστηριότητας). Ως ελάχιστη ενδεικτική τιμή ανάλυσης των αισθητήρων θεωρούμε το 720p.

Όπως φαίνεται στην εικόνα 2, ως προς την θέση προκρίνεται ως ελάχιστη προδιαγραφή η τοποθέτηση οπτικού αισθητήρα σε πανοραμική θέση θέασης του πάγκου εργασίας του εργαζόμενου. Αναφορικά με την κωδικοποίηση των δεδομένων, προκρίνουμε την μορφή MP4. Η συγκεκριμένη κωδικοποίηση προσφέρει συμβατότητα σε διάφορες συσκευές και πλατφόρμες, αποτελεσματική συμπίεση, και ταυτόχρονα διατηρεί υψηλή ποιότητα εικόνας -ήχου, και υποστηρίζει τη ροή βίντεο και τη διαχείριση μεταδεδομένων.

Αναφορικά με την ταχύτητα απόκρισης του συστήματος, οι παράγοντες που την καθορίζουν είναι (α) η τεχνολογία μεταφοράς των δεδομένων από τους οπτικούς αισθητήρες στην επεξεργαστική μονάδα και (β) η ταχύτητα εκτέλεσης των αλγορίθμων. Ως προς την επιλογή της τεχνολογίας μεταφοράς για τα δεδομένα εικόνας, ουσιαστικά οι προδιαγραφές ταχύτητας επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το απαιτούμενο εύρος ζώνης δεδομένων (ο ρυθμός μεταφοράς των δεδομένων από την πηγή στον προορισμό). Σε περιπτώσεις που απαιτείται υψηλός ρυθμός μεταφοράς λόγω μεγάλου όγκου δεδομένων, όπως στη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων εικόνας σε πραγματικό χρόνο, επιλογές όπως οι δίκτυα Gigabit Ethernet ή ακόμη και η χρήση τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας μπορεί να εξεταστούν. Ωστόσο, στο πλαίσιο της παρούσας φάσης υλοποίησης της προτεινόμενης λύσης, η μεταφορά των δεδομένων προς τις υπολογιστικές μονάδες θα πραγματοποιηθεί μέσω USB, αντί για το πρωτόκολλο IP (Internet Protocol). Αυτή η επιλογή μπορεί να συμβάλει στην απλότητα της υλοποίησης και στην εξοικονόμηση πόρων, καθώς η σύνδεση μέσω USB είναι ευρέως διαδεδομένη και προσφέρει αρκετά υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων για τις ανάγκες της προτεινόμενης λύσης. Η επιλογή αυτή θα μεταβληθεί ανάλογα με τις προδιαγραφές του περιβάλλοντος εφαρμογής της λύσης και την πολυπλοκότητα των σεναρίων που αφορούν στο εκάστοτε σενάριο χρήσης της λύσης.

#### 2.18.4.2 Ανάλυση Δεδομένων – Αλγόριθμοι

Για την μοντελοποίηση των ανθρώπινων δράσεων και δραστηριοτήτων από τα δεδομένα βίντεο, θα χρησιμοποιηθούν τεχνικές μηχανικής και βαθιάς μάθησης, συνδυάζοντας συνελκτικά και αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα με αλγορίθμους εποπτευόμενης εκπαίδευσης χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα εκτέλεσης του εκάστοτε σεναρίου και τις αντίστοιχες οπτικές αναπαραστάσεις των

βημάτων. Η κυρίως ανάλυση θα βασιστεί σε δεδομένα εικόνας σε μορφή RGB, ενώ θα χρησιμοποιηθούν επίσης παράγωγα αναπαραστάσεων όπως η εκτίμηση 2Δ/3Δ σκελετικών δεδομένων των ατόμων που εκτελούν την εκάστοτε δραστηριότητα και ενδεχομένως η παραγόμενη οπτική ροή (μοτίβα κίνησης). Η ανάπτυξη του συστήματος θα βασίζεται σε δημοφιλείς πλατφόρμες βαθιάς μάθησης όπως το TensorFlow, το Keras και το PyTorch, αξιοποιώντας παράλληλα και διαδεδομένες βιβλιοθήκες μηχανικής μάθησης για τη προεπεξεργασία και αρχική ανάλυση των δεδομένων, με κύρια προγραμματιστική γλώσσα υλοποίησης των μεθόδων την Python.

Τα μοντέλα που θα αναπτυχθούν θα αποτελούν συνδυασμό μοντέλων τόσο εσωτερικής ανάπτυξης (εξ ολοκλήρου ανεπτυγμένα και προσαρμοσμένα για το εκάστοτε σενάριο [24-26]) καθώς και εξωτερικής ανάπτυξης (third-party), με τα δεύτερα να αξιοποιούνται κυρίως για την εξαγωγή των παράγωγων αναπαραστάσεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως [21-23]. Ως προς την απόδοση των μοντέλων που θα επιλεγούν/αναπτυχθούν θα διερευνηθεί προσεκτικά η επιλογή ενός ορίου ακρίβειας, το οποίο θα επιτρέπει την ανάπτυξη ενός συστήματος που θα επιδιώκει την παροχή λειτουργιών ικανοποιητικής ακρίβειας προσεγγίζοντας παράλληλα ταχύτητα εκτέλεσης όσο το δυνατόν εγγύτερα στον πραγματικό χρόνο εκτέλεσης της δράσης/δραστηριότητας.

Ως προς το περιβάλλον εργασίας για το προτεινόμενο σύστημα, αυτό θα προσφέρεται σε μορφή Docker container, επιτρέποντας την εύκολη διαχείριση και αναπαραγωγή του περιβάλλοντος εργασίας σε διάφορες πλατφόρμες (εξυπηρετητές, επιτραπέζιοι υπολογιστές (desktops), ή ακόμη και εικονικά περιβάλλοντα ανεξαρτήτως λειτουργικού συστήματος), διατηρώντας συγχρόνως και την ασφάλεια τους μέσω της απομόνωσης του περιβάλλοντος εκτέλεσης της εφαρμογής από το κυρίως λειτουργικό σύστημα της πλατφόρμας εργασίας.

#### 2.18.5 Βιομηχανικός αντίκτυπος και εφαρμογές

Το προτεινόμενο σύστημα αναγνώρισης δράσεων αποτελεί έναν μη-παρεμβατικό τρόπο παρακολούθησης των εργαζομένων σε βιομηχανικό/εργασιακό περιβάλλον. Ένα από τα κύρια οφέλη του είναι η βελτίωση της παραγωγικότητας μέσω της ανάλυσης και βελτίωσης των διαδικασιών εργασίας, ενώ παρέχει επίσης προσωποποιημένη αναδρομή στους εργαζομένους για την ανάπτυξη των δεξιοτήτων τους και τη βελτίωση της απόδοσής τους. Με την αυτόματη αναγνώριση των δράσεων και δραστηριοτήτων μέσω του συστήματος, μειώνεται επίσης ο χρόνος ανάλυσης και επίλυσης προβλημάτων (αποκλίσεων/σφαλμάτων κατά την παραγωγική διαδικασία), εξοικονομώντας χρόνο και πόρους. Αν και η εγκατάσταση του συστήματος μπορεί να απαιτήσει αρχική επένδυση (κόστος οπτικών αισθητήρων και υπολογιστικών μονάδων), τα οφέλη του σε θέματα ασφάλειας, παραγωγικότητας και ανάλυσης διαδικασιών αναμένεται ότι αποτελούν μακροπρόθεσμα μια οικονομικά αποδοτική επιλογή.

Τέλος, είναι σημαντικό να τονίσουμε πως η ανάπτυξη ενός τέτοιου οπτικού συστήματος είναι υψηλής προτεραιότητας λόγω της έλλειψης προηγούμενων συστημάτων οπτικής αναγνώρισης δράσεων και δραστηριοτήτων και παρακολούθησης τήρησης πρωτοκόλλων στο πεδίο. Επομένως, η προτεινόμενη λύση έρχεται ως μια αρχική προσέγγιση στην ανάγκη ανάπτυξης μεθόδων και τεχνολογιών για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων στον τομέα της ασφάλειας και της μη παρεμβατικής παρακολούθησης δράσεων των εργαζομένων μέσα σε μια παραγωγική διαδικασία.

### 3. Συμπεράσματα

Με βάση όλες τις πληροφορίες και τις αναλύσεις που έχουν γίνει μέχρι τώρα, είναι φανερό ότι κλειδί για την επιτυχία του έργου Greece4.0 αποτελεί η ανάπτυξη της ισχυρής και ευέλικτης αρχιτεκτονικής των εκάστοτε λύσεων που παρουσιάζεται σε αυτό το παραδοτέο. Ο εν λόγω σχεδιασμός επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση και εξέλιξη των λύσεων, υπηρεσιών και προϊόντων των εταιρών μέσα από τη συνέργεια και την ανταλλαγή γνώσεων και εμπειριών, ενώ ταυτόχρονα διασφαλίζει τη δια-λειτουργικότητα.

Η επιτυχημένη εφαρμογή της αρχιτεκτονικής και του σχεδιασμού θα προσφέρει τη δυνατότητα επιμέρους και ενοποιημένης εμπορικής αξιοποίησης των υπαρχόντων λύσεων καθώς και μια ισχυρή βάση για την περαιτέρω εξέλιξη και καινοτομία σε επίπεδο έργου αυξάνοντας έτσι την αξία και την αποδοτικότητα για όλους τους εταίρους του έργου Greece4.0. Επιπλέον, η ευελιξία των λύσεων και η ικανότητα της του να ενσωματώνει νέες τεχνολογίες και χαρακτηριστικά επιτρέπει από την μία την προσαρμογή σε διάφορα σενάρια χρήσης και υποστηρίζει τη διασύνδεση διαφόρων συσκευών, διευκολύνοντας έτσι την ολοκληρωμένη διαχείριση και παρακολούθηση των συστημάτων, ενώ από την άλλη ανοίγει τον δρόμο για περαιτέρω καινοτομία και βελτίωση στις εξελισσόμενες ανάγκες της αγοράς.

Το έργο αγγίζει τον ψηφιακό μετασχηματισμό της βιομηχανίας, αξιοποιώντας την πληθώρα των τεχνολογιών αιχμής του Industry 4.0. Συνοπτικά το έργο αγγίζει επτά (7) κύριες τεχνολογίες όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

| Τεχνολογική ομάδα                        | Λύση Greec4.0  |
|--|--|
| Ρομποτικά συστήματα                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Αυτοκινούμενα ρομποτικά συστήματα για διαχείριση αποθήκης</li> <li>• Ασφαλής αλληλεπίδραση ανθρώπου-ρομπότ</li> <li>• Φορητή πλατφόρμα καταμέτρησης αποθεμάτων σε αποθήκες</li> </ul>   |
| Τεχνητή νοημοσύνη                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Δημιουργία συνθετικών δεδομένων και εκπαίδευση συστημάτων TN</li> <li>• Κατανόηση σκηνής με βάση οπτική πληροφορία</li> <li>• Έξυπνη, οπτική επιθεώρηση διαδικασιών και αξιολόγησης πρωτοκόλλων</li> <li>• Βιομηχανικό μετασύμπαν με επεξηγηματική TN</li> <li>• Σύστημα προβλεπτικής αναλυτικής δεδομένων</li> <li>• Σύστημα προβλεπτικού ελέγχου</li> </ul> |
| Κυβερνοασφάλεια                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Μηχανισμοί Προστασίας Δεδομένων στον Κόμβο Αιχμής</li> <li>• Σύστημα ανάλυσης κακόβουλου λογισμικού για βιομηχανικά περιβάλλοντα</li> </ul>   |
| Ψηφιακά δίδυμα                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ψηφιακό δίδυμο για ευέλικτη πλατφόρμα συνεργατικών βιομηχανικών ρομπότ</li> <li>• Αλγόριθμοι Προσομοίωσης για Ψηφιακά Δίδυμα στη Βιομηχανία 4.0 (a) και (b)</li> </ul>  |
| AR/VR                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ολογράμματα βασισμένα σε Ψηφιακά Δίδυμα για μεταφορά γνώσης και εκπαίδευση εργαζομένων-χειριστών στο περιβάλλον της Βιομηχανίας 4.0</li> </ul>  |
| Κυκλικές αλυσίδες αξίας                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Μοντελοποίηση και προσομοίωση δικτύων εφοδιασμού και διανομής</li> <li>• Κυκλικές αλυσίδες αξίας με χρήση ψηφιακών διδύμων και διαβατηρίων προϊόντων</li> </ul>   |
| Ευέλικτη, ακριβής και ανθεκτική παραγωγή | <ul style="list-style-type: none"> <li>• IIoT Πλατφόρμα Ανάλυσης και Διαχείρισης Δεδομένων</li> <li>• Ανάπτυξη λογισμικού για την βελτιστοποίηση της προσθετικής κατασκευής</li> <li>• Εργαλειοθήκη ευέλικτης/ανθεκτικής παραγωγής</li> </ul>  |

Η υλοποίηση του σχεδιασμού και η ανάπτυξη των λύσεων θα αναφερθεί στα παραδοτέα 2.1 και 2.2 που ακολουθούν και ανήκουν στην Ενότητα Εργασίας 2 με τίτλο «Υλοποίηση εφαρμογών βελτιστοποίησης των διαδικασιών παραγωγής με CPS». Σε επόμενο στάδιο και παραδοτέο (Π2.1), η υλοποίηση των λύσεων θα συγκριθεί με τον αρχικό, αναλυτικό σχεδιασμό και την αρχιτεκτονική που

παρουσιάστηκε στο παρόν παραδοτέο με στόχο την διαφύλαξη της υψηλής ποιότητας και χρηστικότητας των λύσεων και την έγκαιρη αντιμετώπιση τυχόν παρεκκλίσεων.

### Αναφορές

1. Bikas, H., Stavropoulos, P., & Chryssolouris, G. (2016). Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83, 389-405.
2. IEC 62424:2016 - Representation of process control engineering
3. IEC 62714-1:2018 - Engineering data exchange format for use in industrial automation systems engineering - Automation Markup Language
4. Christos Alexakos, Andreas Komninos, Christos Anagnostopoulos, George Kalogeras and Athanasios Kalogeras, IoT Integration in the Manufacturing Environment Towards Industry 4.0 Applications, 18th IEEE International Conference on Industrial Informatics (2020 IEEE INDIN)
5. Georgios Kalogeras, Christos Anagnostopoulos, Christos Alexakos, Georgios Mylonas, Athanasios Kalogeras, Cyber Physical Systems for Smarter Society: a use case in the manufacturing sector, IEEE International Conference on Smart Internet of Things (IEEE SmartIoT 2021) C. Anagnostopoulos, G. Mylonas, A. P. Fournaris, C.
6. Koulamas, "A Design Approach and Prototype Implementation for Factory Monitoring Based on Virtual and Augmented Reality at the Edge of Industry 4.0". 21st IEEE International Conference on Industrial Informatics, INDIN'23, 2023
7. Mihova, T., Anguelov, K., & Ferdov, A. (2018, May). Specificity of Training of Employees in High-technological Enterprises. In *2018 IX National Conference with International Participation (ELECTRONICA)* (pp. 1-4). IEEE.
8. Pontes, J., Geraldies, C. A., Fernandes, F. P., Sakurada, L., Rasmussen, A. L., Christiansen, L., ... & Leitão, P. (2021, March). Relationship between trends, job profiles, skills and training programs in the factory of the future. In *2021 22nd IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)* (Vol. 1, pp. 1240-1245). IEEE.
9. E. Esha, «A study on effectiveness of training and development programs,» *International Journal of Business, Economics and Management*, Vol. 2, No. 1, pp. 11-17, 2019.
10. Elnaga, A., & Imran, A. (2013). The effect of training on employee performance. *European journal of Business and Management*, 5(4), 137-147.
11. Przemysław Zawadzki, «Employee training in an intelligent factory using virtual reality,» *IEEE Access*, Vol. 8, No. 1, pp. 135110-135117, 2020.
12. Conneau, A., Baevski, A., Collobert, R., Mohamed, A., & Auli, M. (2020). Unsupervised cross-lingual representation learning for speech recognition. *arXiv preprint arXiv:2006.13979*.
13. Devlin, J. (2018). Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. *arXiv preprint arXiv:1810.04805*.
14. Tziner, A. Fisher, M. Senior, T. & Weisberg, J. (2007), "Effects of trainee characteristics on training effectiveness", *International Journal of Selection and Assessment*, Vol. 15, No. 2, pp. 167-174.
15. Hang Ye, Wentao Zhu, Chunyu Wang, Rujie Wu, and Yizhou Wang. 2022. Faster VoxelPose: Real-time 3D Human Pose Estimation by Orthographic Projection. In *Computer Vision – ECCV 2022: 17th European Conference, Tel Aviv, Israel, October 23–27, 2022, Proceedings, Part VI*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 142–159. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20068-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20068-7_9)

16. A. Qammaz and A.A. Argyros, "MocapNET: Ensemble of SNN Encoders for 3D Human Pose Estimation in RGB Images", In British Machine Vision Conference (BMVC 2019), BMVA, Cardiff, UK, September 2019.
17. A. Qammaz and A.A. Argyros, "Occlusion-tolerant and personalized 3D human pose estimation in RGB images", In IEEE International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2020), pp. 6904-6911, January 2021.
18. A. Qammaz and A.A. Argyros, "Towards Holistic Real-time Human 3D Pose Estimation using MocapNETs", In British Machine Vision Conference (BMVC 2021), BMVA, Virtual, UK, November 2021.
19. A. Qammaz and A. Argyros, "Compacting MocapNET-based 3D Human Pose Estimation via Dimensionality Reduction", In PETRA 2023, ACM, Corfu, Greece, July 2023.
20. A. Qammaz and A. Argyros, "A Unified Approach for Occlusion Tolerant 3D Facial Pose Capture and Gaze Estimation using MocapNETs", In International Conference on Computer Vision Workshops (AMFG 2023 - ICCVW 2023), IEEE, Paris, France, October 2023.
21. Lugesani, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., ... & Grundmann, M. (2019, June). Mediapipe: A framework for perceiving and processing reality. In Third workshop on computer vision for AR/VR at IEEE computer vision and pattern recognition (CVPR) (Vol. 2019).
22. Zachary Teed and Jia Deng. 2020. RAFT: Recurrent All-Pairs Field Transforms for Optical Flow. In Computer Vision – ECCV 2020: 16th European Conference, Glasgow, UK, August 23–28, 2020, Proceedings, Part II. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 402–419. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58536-5\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58536-5_24)
23. A. Qammaz and A.A. Argyros, "MocapNET: Ensemble of SNN Encoders for 3D Human Pose Estimation in RGB Images", In British Machine Vision Conference (BMVC 2019), BMVA, Cardiff, UK, September 2019.
24. Manousaki, V., Bacharidis, K., Papoutsakis, K., & Argyros, A. (2023). VLMAH: Visual-Linguistic Modeling of Action History for Effective Action Anticipation. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (pp. 1917-1927).
25. K. Bacharidis and A. Argyros, "Improving Deep Learning Approaches for Human Activity Recognition based on Natural Language Processing of Action Labels," 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Glasgow, UK, 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/IJCNN48605.2020.9207397.
26. Bacharidis, K., & Argyros, A. (2023). Repetition-aware Image Sequence Sampling for Recognizing Repetitive Human Actions. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (pp. 1878-1887).