# The Challenge

The company has about 150 machines equipped with PLC/PAC or CNC controllers that can provide data. About 30 machines will be connected, as the company is still growing. New production lines are installed successively. Machines, using pneumatic actuators, move, apply, transfer components, and then the finished product is assembled step by step, i.e. a DC 12V motor.

The company’s challenge is downtime, which is caused by machines that repeatedly jam and move. Support from maintenance technicians is very much needed here. It is up to the technicians to a large extent to determine how much a given machine will be in the downtime phase. It should be noted here that every minute of downtime is a loss to the company. Detection of early signs of machine failure would avoid longer downtimes. A faster response of employees to machine errors could also affect machine downtime.

\_\_\_\_

## Main Requirements

* Reduced machine downtime.

\_\_\_\_

## Other Requirements

N/A

\_\_\_\_

## Key Performance Indicators

N/A

**Industry Sector:**  
Automotive industry

**Challenge classification:**

Detection of early signs of machine failure would avoid longer downtimes. A faster response of employees to machine errors could also affect machine downtime.

**Time for Project Completion:**

15 months

\_\_\_\_

## Other informations

Number of machines to be connected:

About 30

Machines are equipped with PLC/PAC or CNC controllers and can provide data?

About 150

# Research Phase

\_\_\_\_

## Research questions:

1. Πόσο καιρό πριν θα ήταν εφικτό και ωφέλιμο να πάρουμε ιστορικό βλαβών έτσι ώστε το μοντέλο μας να έχει πλήρη επίγνωση των βασικών βλαβών που συμβαίνουν στα ήδη υπάρχοντα μηχανήματα;
2. Ποιοι τύποι βλαβών ή σφαλμάτων προκαλούν μεγαλύτερο downtime;
3. Ποιες μορφές ειδοποίησης και οπτικοποίησης θα διευκολύνουν περισσότερο το τμήμα συντήρησης;
4. Ποια είναι η ικανότητα και η υποδομή του υπάρχοντος δικτύου ώστε να υποστηρίξει συνεχή ροή δεδομένων των μηχανών χωρίς να υπάρξει συμφόρηση;
5. Ποιος είναι ο στόχος μείωσης του χρόνου αδράνειας ώστε να θεωρηθεί επιτυχημένο το έργο; (Σε χρήματα ή και χρόνο)

\_\_\_\_

## Used Technologies:

1. Machine Learning (Random Forest, SVM)
2. Modbus Communication Protocol
3. Real-Time Dashboards (Grafana, Power BI)
4. Edge Computing Devices (e.g., NVIDIA Jetson)
5. Cloud Infrastructure (e.g., Azure IoT Hub, AWS Greengrass)

\_\_\_\_

## Sources of those technologies that best suit the challenge:

1. Bajic, Bojana & Ignjatić, Jelena & Suzic, Nikola & Stevanov, Branislav & Rikalovic, Aleksandar. (2017). Predictive Manufacturing Systems in Industry 4.0: Trends, Benefits and Challenges. 0796-0802. 10.2507/28th.daaam.proceedings.112.
2. Jay Lee, Edzel Lapira, Behrad Bagheri, Hung‑an Kao. «Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment». Manufacturing Letters, 1 (1), 2013, 38‑41. DOI:10.1016/j.mfglet.2013.09.005.
3. Srini Chari. (2015). Fast and Reliable Systems for Highly Accurate Predictive Maintenance and Quality (PMQ). IBM Corporation. https://cabotpartners.com/wp-content/uploads/2018/07/Predictive-Maintenance-and-Quality.pdf?utm\_source=chatgpt.com
4. IBM (2017). Predictive Maintenance and Quality Solution Guide (Version 2.6.3). IBM Corporation. https://www.ibm.com/docs/en/SSTNNL\_2.6.3/com.ibm.pmq.doc/m\_admin\_pmq\_ibmbook.pdf

\_\_\_\_

## Answers:

1. Ιδανικά, απαιτείται ιστορικό βλαβών τουλάχιστον 6-12 μηνών ώστε να αναγνωριστούν επαναλαμβανόμενα μοτίβα που πρoκαλoύν τα πιο συχνά λάθη.
2. Οι μηχανικές βλάβες σε κινούμενα μέρη και σφάλματα αισθητήρων προκαλούν τα πιο εκτεταμένα downtime.
3. Οπτικοποίηση σε πραγματικό χρόνο με dashboards αλλά και με ειδοποιήσεις σε κινητές συσκευές των αρμόδιων εφόσον χρειαστεί να παρέμβουν στην βλάβη.
4. Το υπάρχον δίκτυο επαρκεί για βασική ροή δεδομένων, όμως για σταθερή και συνεχή παρακολούθηση χωρίς διακοπές απαιτείται ενίσχυση. Απαιτείται ενίσχυση με switches, edge processing (αν δεν θέλουμε να φορτώσουμε το cloud) και τοπικά buffer για αποφυγή συμφόρησης.
5. Ένα ρεαλιστικό KPI είναι μείωση του downtime κατά 30% εφόσον πετύχουμε τον στόχο να προλαμβάνουμε βλάβες ή να ειδοποιούμε έγκαιρα.

\_\_\_\_

## Comparison:

Η ανάγκη για μείωση του χρόνου αδράνειας των μηχανών υπολογίζοντας τον υπολειπόμενο χρόνο ζωής (RUL Estimation) τους, οδηγεί στη χρήση τεχνολογιών προγνωστικής συντήρησης και real-time παρακολούθησης. Με βάση τις απαιτήσεις του έργου και τις διαθέσιμες τεχνολογικές επιλογές, εξετάζονται δύο κύριες αρχιτεκτονικές υλοποίησης: η Cloud/Remote Server και η Local Embedded υλοποίηση.

Στην υβριδική Cloud-Edge υλοποίηση, τα δεδομένα που συλλέγονται από τις μηχανές αρχικά επεξεργάζονται τοπικά από edge συσκευές. Εκεί πραγματοποιούνται βασικές διεργασίες όπως φιλτράρισμα, προσωρινή αποθήκευση και ανίχνευση ανωμαλιών. Στη συνέχεια, τα δεδομένα αποστέλλονται προς μία πλατφόρμα στο cloud, όπως για παράδειγμα το Azure, όπου πραγματοποιείται περαιτέρω ανάλυση και εκπαίδευση μοντέλων μέσω εργαλείων μηχανικής μάθησης. Η φάση της πρόβλεψης μπορεί να γίνει είτε στο cloud είτε στο edge, ανάλογα με τις ανάγκες για γρήγορη απόκριση ή την επιθυμία μείωσης του φόρτου της υποδομής. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει σημαντική υπολογιστική ισχύ χάρη στους πόρους του cloud, επιτρέπει την εύκολη συντήρηση και αναβάθμιση των μοντέλων, ενώ παράλληλα διευκολύνει την ενσωμάτωση εργαλείων οπτικοποίησης, όπως το Power BI. Ωστόσο, απαιτεί σταθερή και ασφαλή συνδεσιμότητα για να λειτουργήσει αξιόπιστα, ενώ η μεταφορά ευαίσθητων δεδομένων προς το cloud ενδέχεται να αποφερει ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και το απόρρητο του συστήματος. Επιπλέον, σημαντική πληροφορία αποτελεί ότι η συνεχής χρήση cloud υπηρεσιών συνεπάγεται επαναλαμβανόμενο λειτουργικό κόστος.

Αντίθετα, η δεύτερη υλοποίηση που βασίζεται στην παραμονή όλων των δεδομένων και υπολογιστικών διαδικασιών εντός του εργοστασίου. Ένας ισχυρός server, φιλοξενεί το σύστημα εκπαίδευσης και πρόβλεψης των μοντέλων. Η σύνδεση με τις μηχανές επιτυγχάνεται μέσω πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως το Modbus. Η παρακολούθηση της κατάστασης και η αποστολή ειδοποιήσεων πραγματοποιούνται με τη χρήση εργαλείων οπτικοποίησης που φιλοξενούνται τοπικά, όπως το Grafana. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει απόλυτο έλεγχο στα δεδομένα και στις διαδικασίες, μηδενίζει την εξάρτηση από εξωτερικά δίκτυα και είναι ιδανική για οργανισμούς που εφαρμόζουν αυστηρές πολιτικές ασφάλειας. Παρ’ όλα αυτά, απαιτεί σημαντική αρχική επένδυση σε εξοπλισμό και εγκατάσταση, έχει περιορισμένες δυνατότητες κλιμάκωσης και προϋποθέτει την ύπαρξη εξειδικευμένου τεχνικού προσωπικού για τη συνεχή λειτουργία και συντήρηση του συστήματος.

\_\_\_\_

## Comparative Matrix:

| **Χαρακτηριστικό** | **Cloud/Remote Server** | **Local Embedded Device** |
| --- | --- | --- |
| **Υπολογιστική Ισχύς** | Υψηλή | Υψηλή |
| **Απαιτήσεις Συνδεσιμότητας** | Υψηλές | Χαμηλές (τοπική επεξεργασία μόνο) |
| **Ασφάλεια Δεδομένων** | Μέτρια έως Υψηλή | Πολύ Υψηλή (τα δεδομένα δεν φεύγουν από το εργοστάσιο) |
| **Κόστος Υλοποίησης** | Μέτριο προς Υψηλό (συνεχές λειτουργικό κόστος) | Υψηλό αρχικό κόστος, χαμηλότερο λειτουργικό |
| **Συντήρηση/Ενημέρωση Μοντέλων** | Εύκολη, αυτοματοποιημένη | Χειροκίνητη, απαιτεί τεχνική κατάρτιση |
| **Χρόνος Απόκρισης** | Μέτριος (εξαρτάται από latency & processing queue) | Πολύ Γρήγορος (real-time τοπικά) |
| **Ανάγκη Εξειδικευμένου Προσωπικού** | Μέτρια | Υψηλή |

\_\_\_\_

## Conclusions:

Στην παρούσα φάση η εταιρεία χρησιμοποιεί όπως προαναφέρθηκε 150 μηχανές με δυνατότητα παροχής δεδομένων μέσω PLC/PAC ή CNC controllers, ενώ περίπου 30 μηχανές πρόκειται να συνδεθούν στο δίκτυο στο άμεσο μέλλον, καθώς επεκτείνονται οι γραμμές παραγωγής. Η συγκεκριμένη φάση αποτελεί ιδανική ευκαιρία για την εταιρεία να ενεργοποιήσει το σύστημα παρακολούθησης και πρόβλεψης σφαλμάτων, καθώς θα δημιουργηθεί ένα ενιαίο σύστημα χωρίς να χρειάζεται μελλοντική αναδιάρθρωση.

Λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές λειτουργικές συνθήκες του εργοστασιακού περιβάλλοντος, τις απαιτήσεις για real-time ανταπόκριση, καθώς και τη διαπίστωση ότι το υπάρχον δίκτυο επαρκεί μόνο για βασική ροή δεδομένων και όχι για συνεχή σύνδεση με cloud υπηρεσίες, η επιλογή της τοπικής επεξεργασίας μέσω embedded συστημάτων θεωρείται ως η βέλτιστη λύση. Μια τέτοια προσέγγιση επιτρέπει στην επιχείρηση να λειτουργήσει άμεσα, αξιόπιστα και με μικρή εξάρτηση από εξωτερικές υποδομές, ενώ παράλληλα δημιουργεί τις βάσεις για σταδιακή αναβάθμιση και επέκταση στο μέλλον. Με την ενεργή παρακολούθηση των κρίσιμων μηχανών και την έγκαιρη ειδοποίηση των τεχνικών, αναμένεται ουσιαστική βελτίωση στη ροή της παραγωγής και μείωση του downtime. Το έργο αυτό, αν υλοποιηθεί σωστά, θα συμβάλει σημαντικά στην ενίσχυση της παραγωγικής απόδοσης και της συνολικής ανταγωνιστικότητας της εταιρείας.

# Proposed Architecture and Solution Design

\_\_\_\_

## Solution Description

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική επιτρέπει την τοποθέτηση edge υπολογιστικών μονάδων κοντά στην κάθε μηχανή παραγωγής. Όλες αυτές οι υπολογιστικές μονάδες θα επικοινωνούν με έναν κεντρικό τοπικό server μέσω του πρωτοκόλλου Modbus, ενός από τα πιο διαδεδομένα και αξιόπιστα πρότυπα στη βιομηχανία για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών αυτοματισμού. Η επιλογή αυτής της προσέγγισης επιτρέπει τη σταθερή και συνεχή λειτουργία του συστήματος, ακόμη και σε περιόδους περιορισμένης ή μη διαθέσιμης συνδεσιμότητας με εξωτερικά δίκτυα. Κάθε edge συσκευή συλλέγει σε πραγματικό χρόνο δεδομένα από αισθητήρες της αντίστοιχης μηχανής, όπως θερμοκρασία, πίεση, κραδασμούς, τάση ή ρεύμα. Τα δεδομένα αυτά φιλτράρονται και προεπεξεργάζονται τοπικά, ώστε να εντοπιστούν πρώιμα σημάδια δυσλειτουργίας (π.χ. ανωμαλίες στην κατανάλωση ρεύματος ή ξαφνικές αυξήσεις θερμοκρασίας). Τα ιστορικά δεδομένα αποθηκεύονται προσωρινά σε buffers και συγχρονίζονται με τον server, εξασφαλίζοντας ότι δεν χάνονται ακόμα και σε περίπτωση προσωρινής αστοχίας σύνδεσης. Στον τοπικό server εκτελούνται μοντέλα μηχανικής μάθησης όπως Random Forest ή SVM, τα οποία έχουν εκπαιδευτεί σε ιστορικά δεδομένα βλαβών με στόχο την προγνωστική διάγνωση. Με βάση αυτά τα μοντέλα, το σύστημα αξιολογεί την πιθανότητα επικείμενης αστοχίας σε κάθε μηχανή και, όταν εντοπιστεί υψηλός κίνδυνος, αποστέλλεται ειδοποίηση στους τεχνικούς συντήρησης μέσω κινητών συσκευών ή μέσω dashboard. Η οπτικοποίηση της κατάστασης κάθε μηχανής υλοποιείται μέσω εργαλείων όπως το Grafana, που αντλούν δεδομένα απευθείας από τη βάση δεδομένων του server με την χρήση κάποιου exporter όπως το Prometheus και επιτρέπουν στους χειριστές να βλέπουν σε πραγματικό χρόνο κρίσιμες ενδείξεις ή ιστορικά μοτίβα λειτουργίας. Έτσι, το τεχνικό προσωπικό μπορεί να προχωρήσει σε στοχευμένες παρεμβάσεις προτού εξελιχθεί μια δυσλειτουργία σε σοβαρή βλάβη, μειώνοντας αισθητά τον χρόνο αδράνειας και αυξάνοντας τη διαθεσιμότητα των γραμμών παραγωγής. Η λύση αυτή υποστηρίζει την αυτόνομη λειτουργία του εργοστασίου με ελάχιστη εξάρτηση από εξωτερικές υποδομές, ενώ παραμένει επεκτάσιμη, επιτρέποντας μελλοντικά τη διασύνδεση με cloud πλατφόρμες για πιο προηγμένη ανάλυση και μακροχρόνιο αποθηκευτικό σχεδιασμό.

A diagram of a computer system

AI-generated content may be incorrect.

\_\_\_\_

## Implementation and Technical Considerations

**Development Phases**

* Φάση 1: Εγκατάσταση και ρύθμιση των ενσωματωμένων συστημάτων πάνω στην κάθε μηχανή ώστε να συλλέγουν τα δεδομένα από τους αισθητήρες.
* Φάση 2: Ρύθμιση επικοινωνίας των ενσωματωμένων συστημάτων με τον κεντρικό server με την χρήση του πρωτοκόλλου Modbus.
* Φάση 3: Ανάπτυξη των μοντέλων μηχανικής μάθησης στον server έτσι ώστε να επεξεργάζονται τα εισερχόμενα δεδομένα για την έγκαιρη ανίχνευση σημάτων αστοχίας.
* Φάση 4: Ενσωμάτωση και παραμετροποίηση του συστήματος οπτικοποίησης (κατά προτίμηση Grafana) με τον exporter έτσι ώστε να εμφανίζει τα δεδομένα από τον server σε πραγματικό χρόνο.
* Φάση 5: Δημιουργία interrupts όταν ανιχνεύεται (πριν συμβεί ή εκείνη την στιγμή) κάποια ανωμαλία ώστε να αποσταλεί απευθείας μήνυμα στους τεχνικούς.
* Φάση 6: Συνεχής συλλογή δεδομένων τοπικά για την αναβάθμιση των μοντέλων μηχανικής μάθησης, ενσωματώνοντας την εμπειρία και τα σχόλια του τεχνικού προσωπικού για τη βελτίωση της ακρίβειας πρόβλεψης.

**Technical Limitations and Mitigations**

Κατά την υλοποίηση της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής ενδέχεται να προκύψουν τεχνικές δυσκολίες, οι οποίες μπορούν να προβλεφθούν και να αντιμετωπιστούν μέσα από κατάλληλο σχεδιασμό και τεχνολογικές παρεμβάσεις.

* Αν και τα δεδομένα δεν φεύγουν από το εργοστάσιο, είναι σημαντικό να τηρούνται αντίγραφα ασφαλείας και να υπάρχει περιορισμένη πρόσβαση μόνο από εξουσιοδοτημένους χρήστες, ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία και η συνέχεια της λειτουργίας.
* Η εκπαίδευση των τεχνικών στη χρήση και παρακολούθηση του νέου συστήματος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας. Απαιτείται απλή και φιλική διεπαφή, καθώς και βασική εκπαίδευση στο dashboard, ώστε οι παρεμβάσεις να γίνονται άμεσα.
* Η εκτίμηση του υπολειπόμενου χρόνου ζωής (RUL) εξαρτάται από την ποιότητα και το βάθος των ιστορικών δεδομένων. Συνεχής συλλογή και επισημείωση βλαβών είναι απαραίτητες για τη βελτίωση των μοντέλων μηχανικής μάθησης.
* Ο τοπικός server πρέπει να διαθέτει επαρκή επεξεργαστική ισχύ, ώστε να υποστηρίζει την ταυτόχρονη εκτέλεση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και τη διαχείριση δεδομένων από πολλαπλές μηχανές. Η σωστή επιλογή hardware (π.χ. επεξεργαστής, μνήμη, GPU) είναι κρίσιμη για την αποφυγή καθυστερήσεων και τη σταθερή λειτουργία του συστήματος.