



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Περιγραφή και ανάπτυξη ψηφιακού συστήματος ελέγχου
φωτοβολταϊκού πάρκου μεγάλης ισχύος**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουτσής Αντώνιος Σωτήριος
Σαλαμός Αστέριος

Επιβλέπων: Γεώργιος Κορρές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Περιγραφή και ανάπτυξη ψηφιακού συστήματος ελέγχου
φωτοβολταϊκού πάρκου μεγάλης ισχύος**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κουτσής Αντώνιος Σωτήριος
Σαλαμός Αστέριος

Επιβλέπων: Γεώργιος Κορρές, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 25/02/2025.

.....

....

Κορρές Γεώργιος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

....

Γεωργιάκης Παύλος
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

....

Νικολαΐδης Βασίλειος
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2025

.....
ΚΟΥΤΣΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ

ΣΑΛΑΜΟΣ ΑΣΤΕΡΙΟΣ

Διπλωματούχοι Ηλεκτρολόγοι Μηχανικοί και Μηχανικοί Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κουτσή Αντώνιος Σωτήριος 2025

Copyright © Σαλαμός Αστέριος 2025

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Τα δεδομένα που αφορούν το Σύστημα Εποπτείας και Ελέγχου ΦΒ πάρκου που περιγράφεται στην παρούσα διπλωματική εργασία παραχωρήθηκαν από την PROTASIS ΑΕ στους συγγραφείς για αποκλειστική χρήση στην παρούσα διπλωματική εργασία. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή τους χωρίς την έγγραφη άδεια της PROTASIS ΑΕ.

Περίληψη

Ο 21ος αιώνας, και συγκεκριμένα η τελευταία δεκαετία, έχει χαρακτηριστεί από έργα προς τη ενεργειακή μετάβαση, περνώντας από την παραγωγή σε συμβατικές μονάδες προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ). Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα παίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτή τη μετάβαση, συμμετέχοντας πλείστα στην παραγωγή «πράσινης» ενέργειας.

Η πλειονότητα των εν εξελίξει προγραμμάτων ενεργειακής μετάβασης επικεντρώνεται περισσότερο στην φωτοβολταϊκή ενέργεια, και αυτό λόγω των πλεονεκτημάτων που την χαρακτηρίζουν, καθώς είναι ανεξάντλητη, δεν εκπέμπει επιβλαβή υποπροϊόντα και είναι υλικά και τεχνικά πιο εύκολα υλοποιήσιμη. Η σημαντική αύξηση στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει επιταχυνθεί λόγω περιβαλλοντικών ανησυχιών, της συνεχώς αυξανόμενης ανάγκης για ενεργειακή απόδοση και ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και των τεχνολογικών καινοτομιών.

Η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι εξαιρετικά ευρεία, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών από μικρά αυτόνομα συστήματα έως μεσαία συστήματα και συστήματα συνδεδεμένα στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Ένα Φ/Β σύστημα είναι μια εγκατάσταση που έχει σχεδιαστεί για να διασφαλίζει τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας αξιοποιώντας βέλτιστα και αξιόπιστα την ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου. Ένα Φ/Β σύστημα μετατρέπει το ακτινοβολούμενο ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Κάθε εξάρτημα που αποτελεί το Φ/Β σύστημα έχει τη δική του σημαντική λειτουργία στην μετατροπή της ενέργειας και εισάγεται σε αυτό με σκοπό την ανάπτυξη ενός βέλτιστου συστήματος.

Στην παρούσα εργασία θα γίνει ανάπτυξη ενός συστήματος SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) για ένα φωτοβολταϊκό πάρκο μεγάλης ισχύος, και θα υπολογιστούν σημαντικές παράμετροι (KPIs) που διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στη λειτουργία μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, καθώς επίσης και μία εφαρμογή που αφορά το Reporting, δηλαδή την επεξεργασία και εξαγωγή δεδομένων που αφορούν το φωτοβολταϊκό πάρκο. Τέλος, στην πλευρά του Υ/Σ στον οποίο συνδέεται το πάρκο, έχει αναπτυχθεί ένα λογισμικό συλλογής γεγονότων από τους ηλεκτρονόμους προστασίας των πυλών δίνοντας τη δυνατότητα τόσο στον παραγωγό όσο και στους συντηρητές του πάρκου τον άμεσο εντοπισμό πιθανών σφαλμάτων.

Λέξεις Κλειδιά:

<< Ψηφιακό Σύστημα Ελέγχου , Φωτοβολταϊκά, Modbus, IEC 61850, Διαχείριση και Αναφορά Δεδομένων, Ηλεκτρονόμοι, Απομακρυσμένη Τερματική Μονάδα >>

Abstract

The 21st century, particularly the last decade, has been characterized by initiatives aimed at energy transition, moving from production in conventional units to renewable energy sources (RES). Photovoltaic (PV) systems play a significant role in this transition, contributing greatly to the production of "green" energy. The majority of ongoing energy transition programs focus more on photovoltaic energy due to its advantages, as it is inexhaustible, does not emit harmful by-products, and is materially and technically more feasible to implement. The significant increase in the installation of photovoltaic systems has been accelerated by environmental concerns, the continuously increasing need for energy efficiency, demand for electrical energy, and technological innovations.

The use of photovoltaic systems is extremely widespread, covering a broad range of applications from small autonomous systems to medium systems and grid-connected systems.

A PV system is an installation designed to ensure maximum energy production by optimally and reliably utilizing solar energy throughout the project's lifecycle. A PV system converts radiated solar light into electrical energy using the photovoltaic effect. Each component of the PV system has its own significant function in the energy conversion process and is introduced into the system to develop an optimal system.

In this paper, a SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system will be developed for a large power photovoltaic park, and significant parameters (KPIs) that play a pivotal role in the operation of a photovoltaic installation will be calculated, as well as an application concerning Reporting, i.e., the processing and extraction of data pertaining to the photovoltaic park. Finally, on the side of the grid to which the park is connected, a software for collecting events from the protection relays of the gates has been developed, providing both the producer and the maintainers of the park the ability to promptly identify potential faults.

Keywords:

<< Scada, PV, Modbus, IEC 61850, Data Reporting, IED, PLC, RTU >>

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας και του προπτυχιακού κύκλου σπουδών, θα θέλαμε να ευχαριστήσου θερμά τους ανθρώπους που συνέβαλαν σε αυτή την προσπάθεια.

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Κορρέ που μας έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθούμε και να αναπτύξουμε το συγκεκριμένο θέμα.

Ακόμη, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την εταιρεία Protasis, και συγκεκριμένα την κα. Βασιλείου, και τον κ. Αρβανίτη, καθώς και το τμήμα SDA, για την πολύτιμη βοήθεια τους κατά τη διάρκεια εκπόνησης του Project.

Οφείλουμε, ακόμη, να ευχαριστήσουμε όλους τους φίλους και συμφοιτητές μας για την έμπρακτη στήριξη, κάνοντας την πολυετή αυτή πορεία πιο ευχάριστη και δημιουργική

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας και τα αδέρφια μας για την συμπαράσταση και την καθοδήγηση τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

Πίνακας περιεχομένων

1. Θεωρητικό υπόβαθρο ψηφιακών συστημάτων εποπτείας	12
1.1 Ιστορική Αναδρομή των Συστημάτων SCADA.....	12
1.1.1 Πρώιμα Συστήματα Τηλεμετρίας (1930-1950).....	12
1.1.2 Ανάπτυξη των πρώτων ανεξάρτητων συστημάτων SCADA (1950-1970).....	12
1.1.3 Εισαγωγή των Μικροεπεξεργαστών και των Ψηφιακών Συστημάτων (1970-1980) ...	13
1.1.4 Ανάπτυξη των Κατανεμημένων Συστημάτων SCADA (1980-1990)	13
1.1.5 Η Έκρηξη της πληροφορικής και του διαδικτύου (1990-2000).....	13
1.1.6 Σύγχρονα συστήματα SCADA και IoT (2000-σήμερα)	14
1.1.7 Εξέλιξη της κυβερνοασφάλειας στα Συστήματα SCADA	14
1.2 Αρχιτεκτονική των Συστημάτων SCADA.....	15
1.2.1 Βασικά Συστατικά της Αρχιτεκτονικής.....	15
1.2.2 Επίπεδα Επικοινωνίας	16
1.2.3 Κατανεμημένη Αρχιτεκτονική (Distributed SCADA)	18
1.2.4 Αρχιτεκτονική Client-Server	19
1.3 Σύγχρονες Τεχνολογίες SCADA	20
1.3.1 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και SCADA	20
1.3.2 Cloud Computing και SCADA.....	21
1.3.3 Κυβερνοασφάλεια στα σύγχρονα συστήματα SCADA	22
2. Επικοινωνίες σε συστήματα SCADA	23
2.1 Βασικές Αρχές Επικοινωνιών	23
2.1.1 Θεμελιώδεις έννοιες.....	23
2.1.2 Δομή και τοπολογία δικτύων.....	23
2.1.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας	25
2.1.4 Απαιτήσεις Επικοινωνιών σε ένα σύστημα SCADA	26
2.2 Πρωτόκολλα επικοινωνίας σε SCADA.....	26
2.2.1 Modbus	26
2.2.2 DNP3 (Distributed Network Protocol)	28
2.2.3 OPC (OLE for Process Control)	30
2.2.4 IEC 60870.....	31

2.2.5 IEC 61850.....	32
2.2.6 Profibus και Profinet	36
2.2.7 Σύγκριση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας	36
2.3 Τεχνολογίες Επικοινωνίας	38
2.3.1 Σειριακή Επικοινωνία.....	38
2.3.2 Ethernet.....	41
2.3.3 Οπτικές ίνες.....	42
2.3.4 Ασύρματες Τεχνολογίες	43
2.3.6 Τεχνολογίες PLC (Power Line Communication)	44
3. Βασικός Εξοπλισμός μια Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης	45
4. Τύποι Φ/Β Συστημάτων	47
4.1. Τύπος Α	47
4.1.1. Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις Τύπου Α.....	47
4.2. Τύπος Β.....	48
4.2.1. Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις Τύπου Β.....	49
4.3. Τύπος C.....	50
4.3.1. Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις Τύπου C.....	50
4.4. Τύπος D	51
5. Παράμετροι ενός Φ/Β Συστήματος τύπου Α	52
5.1. Μετρούμενες Παράμετροι.....	52
5.2. Υπολογιζόμενες Παράμετροι	54
5.3. KPIs' ενός Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	56
5.3.1. Δείκτης διαθεσιμότητας (Availability)	56
5.3.2. Performance Ratio (PR).....	58
5.3.3. Απόδοση Ενέργειας Φωτοβολταϊκού (PV Array Energy Yield - <i>Y_a</i>).....	60
5.3.4. Απώλειες Συστήματος LC , LBOS	61
5.3.5. Ημερήσια Παραγωγή Ενέργειας	63
6. Ανάπτυξη του συστήματος SCADA	65
6.1. Το λογισμικό Zenon.....	65
6.1.1. Engineering Studio	65
6.1.2. Service Engine ή Runtime	72
6.2. Μελέτη Περίπτωσης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 36MW	73

6.2.1. Γενικά στοιχεία του έργου	73
6.3 Η εφαρμογή SCADA για το Φωτοβολταϊκό Πάρκο	73
6.3.1. Αρχική εικόνα – PV Overview	73
6.3.2. Συνολική εποπτεία Φ/Β συστήματος - PV Data.....	75
6.3.3. Μονογραμμικό Διάγραμμα Εγκατάστασης - SLD	79
6.3.4. Δίκτυο Δεδομένων Φ/Β Εγκατάστασης	82
7. Συλλογή και αρχειοθέτηση δεδομένων.....	84
7.1 Διαχείριση δεδομένων στον Zenon.	84
7.2 Παρουσίαση δεδομένων προς μελέτη και επεξεργασία (Reporting)	89
7.3 Υπολογισμός Availability με Time Exclusion	98
8. Ανάπτυξη λογισμικού ανάκτησης συμβάντων από ηλεκτρονόμους σε τερματικούς σταθμούς φωτοβολταϊκών πάρκων και υποσταθμών (Event Retrieval Software).....	102
8.1. Χρήση του λογισμικού ανάκτησης συμβάντων σε συστήματα SCADA.....	102
8.2. Οι κατασκευαστές ηλεκτρονόμων που μελετήθηκαν	102
8.3. Υλοποίηση της εφαρμογής	105
8.3.1. Επικοινωνία με ηλεκτρονόμους	105
8.3.2. Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής (front-end).....	109
Βιβλιογραφία	118
Παράρτημα 1: Τοπολογία Δικτύου Φ/Β Σταθμού	121
Παράρτημα 2: Μονογραμμικό Διάγραμμα Φ/Β Εγκατάστασης	126

Πίνακας Ακρωνυμίων

Φ/Β	Φωτοβολταϊκό
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
Υ/Σ	Υποσταθμός
IoT	Internet of Things
PLC	Programmable Logic Controller
RTU	Remote Terminal Unit
IED	Intelligent Electronic Device
CRC	Cyclic Redundancy Check
HMI	Human-Machine Interface
MTU	Master Terminal Unit
KPI	Key Performance Indicator
VPN	Virtual Private Network
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
IEC	International Electrotechnical Commission
PR	Performance Ratio
SLD	Single Line Diagram
STC	Standard Test Conditions
GOOSE	Generic Object-oriented Substation Event
MMS	Manufacturing Message Specification
POA	Plane of Array (Irradiance)
GHI	Global Horizontal Irradiance
FTP	File Transfer Protocol
IPPM	Independent Power Producer Connection Panels
TM	Transformer Incoming Panels
EM	Energy Meter
PRP	Parallel Redudancy Protocol

1. Θεωρητικό υπόβαθρο ψηφιακών συστημάτων εποπτείας

1.1 Ιστορική Αναδρομή των Συστημάτων SCADA

Τα συστήματα SCADA έχουν εξελιχθεί σημαντικά από την εμφάνισή τους στα μέσα του 20ού αιώνα, όπου αρχικά χρησιμοποιούντο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο βιομηχανικών διεργασιών σε περιορισμένες εφαρμογές. Η εξέλιξη αυτών των συστημάτων συνδέεται άμεσα με τις τεχνολογικές προόδους στους τομείς της αυτοματοποίησης, των υπολογιστών και των επικοινωνιών.

1.1.1 Πρώιμα Συστήματα Τηλεμετρίας (1930-1950)

Η εξέλιξη των συστημάτων SCADA ξεκίνησε τη δεκαετία του 1930 με τα πρώτα συστήματα τηλεμετρίας, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για τη συλλογή δεδομένων από απομακρυσμένες θέσεις. Αυτά τα συστήματα, τα οποία λειτουργούσαν μέσω τηλεγραφικών σημάτων και αργότερα μέσω ραδιοσυχνοτήτων, ήταν πρωτόγονα, αλλά έθεσαν τα θεμέλια για τις μετέπειτα εξελίξεις. Οι πρώτες εφαρμογές επικεντρώθηκαν στον τομέα της διαχείρισης υδάτων και στις βιομηχανίες πετρελαίου, όπου υπήρχε ανάγκη για απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο [1].

1.1.2 Ανάπτυξη των πρώτων ανεξάρτητων συστημάτων SCADA (1950-1970)

Κατά τις δεκαετίες του 1950 και του 1960, οι ανάγκες για έλεγχο και εποπτεία κρίσιμων υποδομών οδήγησαν στην ανάπτυξη των πρώτων ανεξάρτητων συστημάτων SCADA. Αυτά τα συστήματα βασίζονταν σε ηλεκτρομηχανικούς ελεγκτές και βασικά αναλογικά συστήματα επικοινωνίας. Τα πρώτα αυτά συστήματα SCADA χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε σταθμούς ενέργειας και συστήματα διανομής, παρέχοντας τη δυνατότητα για πιο αποτελεσματική διαχείριση της παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας [1].



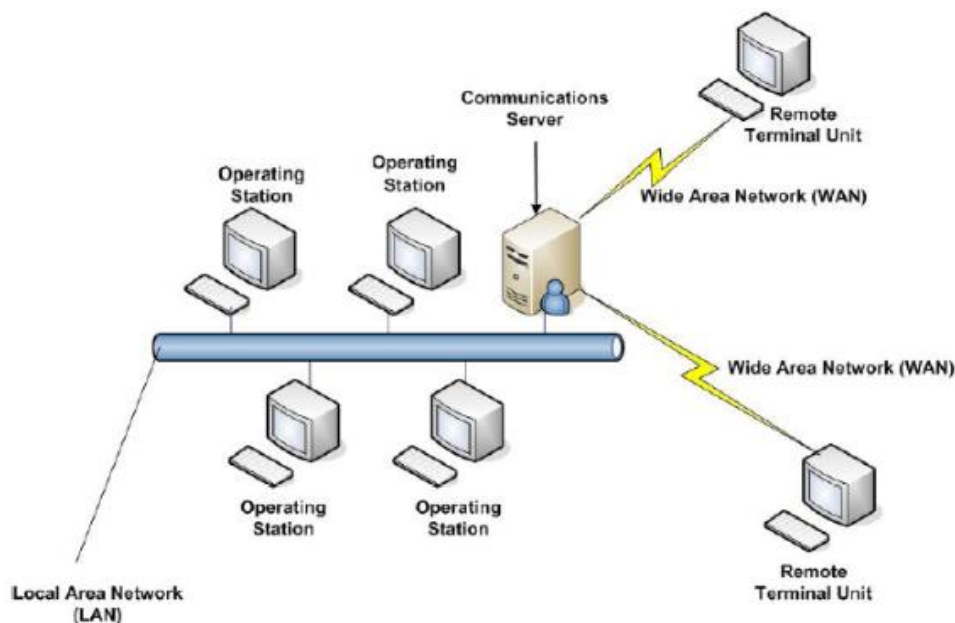
Εικόνα 3.1: Πρώτα συστήματα Scada

1.1.3 Εισαγωγή των Μικροεπεξεργαστών και των Ψηφιακών Συστημάτων (1970-1980)

Η δεκαετία του 1970 ήταν καθοριστική για την εξέλιξη των συστημάτων SCADA, με την εισαγωγή των μικροεπεξεργαστών και των ψηφιακών συστημάτων. Οι μικροεπεξεργαστές επέτρεψαν την ανάπτυξη πιο εξελιγμένων και δυναμικών συστημάτων SCADA, τα οποία ήταν πλέον σε θέση να διαχειρίζονται μεγαλύτερες ποσότητες δεδομένων και να παρέχουν πιο ακριβείς ελέγχους. Τα πρώτα ψηφιακά συστήματα SCADA άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές, με τις δυνατότητές τους να ενισχύονται σημαντικά από την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών πληροφορικής [1].

1.1.4 Ανάπτυξη των Κατανεμημένων Συστημάτων SCADA (1980-1990)

Στη δεκαετία του 1980, τα συστήματα SCADA εξελίχθηκαν περαιτέρω με την ανάπτυξη των κατανεμημένων συστημάτων. Αυτή η προσέγγιση επέτρεψε τη διανομή της επεξεργαστικής ισχύος σε πολλαπλούς απομακρυσμένους κόμβους, οι οποίοι μπορούσαν να λειτουργούν ανεξάρτητα και να συντονίζονται μέσω κεντρικού ελέγχου. Τα κατανεμημένα συστήματα SCADA επέφεραν σημαντικές βελτιώσεις στην αξιοπιστία και την αποδοτικότητα των συστημάτων, ενώ παράλληλα μείωσαν τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης [2].



Εικόνα 3.2: Αρχιτεκτονική δικτύου των κατανεμημένων συστημάτων SCADA (2η γενιάς).

1.1.5 Η Έκρηξη της πληροφορικής και του διαδικτύου (1990-2000)

Κατά τη δεκαετία του 1990, η έκρηξη της πληροφορικής και η εξάπλωση του διαδικτύου επέφεραν ριζικές αλλαγές στα συστήματα SCADA. Η διασύνδεση των συστημάτων SCADA με το διαδίκτυο άνοιξε νέους ορίζοντες για την απομακρυσμένη πρόσβαση και τη διαχείριση σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση δικτύων IP και η ανάπτυξη δικτυακών πρωτοκόλλων επικοινωνίας επέτρεψαν την ταχύτερη και πιο ασφαλή μεταφορά δεδομένων μεταξύ των απομακρυσμένων σταθμών και των κεντρικών ελεγκτικών κέντρων.

1.1.6 Σύγχρονα συστήματα SCADA και IoT (2000-σήμερα)

Από το 2000 και έπειτα, τα συστήματα SCADA ενσωμάτωσαν τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), το cloud computing και την τεχνητή νοημοσύνη. Οι δυνατότητες των σύγχρονων συστημάτων SCADA έχουν επεκταθεί δραματικά, επιτρέποντας την παρακολούθηση και τον έλεγχο εξαιρετικά μεγάλων και σύνθετων δικτύων, όπως τα έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, τα συστήματα διαχείρισης νερού και οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η χρήση τεχνολογιών IoT επιτρέπει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση διαφόρων αισθητήρων και συσκευών, παρέχοντας πιο ακριβή και σε πραγματικό χρόνο δεδομένα. [3], [4]



Εικόνα 3.3: Σύγχρονα συστήματα Scada

1.1.7 Εξέλιξη της κυβερνοασφάλειας στα Συστήματα SCADA

Με την εξέλιξη των συστημάτων SCADA και την ολοένα και μεγαλύτερη διασύνδεση με το διαδίκτυο, αναδύθηκαν σοβαρές προκλήσεις στον τομέα της κυβερνοασφάλειας. Η ανάγκη για προστασία από κυβερνοεπιθέσεις και η ασφάλεια των κρίσιμων υποδομών έγινε κεντρικό ζήτημα. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη εξειδικευμένων πρωτοκόλλων ασφαλείας, όπως η χρήση VPNs, τα firewalls, και οι τεχνικές κρυπτογράφησης, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία των SCADA συστημάτων [2].

1.2 Αρχιτεκτονική των Συστημάτων SCADA

1.2.1 Βασικά Συστατικά της Αρχιτεκτονικής

Η αρχιτεκτονική ενός συστήματος SCADA μπορεί να αναλυθεί σε διάφορα βασικά συστατικά:

- Απομακρυσμένη τερματική μονάδα (Remote Terminal Unit - RTU):

Τα RTUs είναι συσκευές που λειτουργούν ως γέφυρα μεταξύ των φυσικών διεργασιών και του κεντρικού συστήματος ελέγχου, συλλέγοντας δεδομένα από διάφορες πηγές στο πεδίο, όπως αισθητήρες και μετρητές, και αποστέλλοντας τα στο κεντρικό σύστημα για περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία. Τα RTUs είναι εξοπλισμένες με εισόδους και εξόδους που τους επιτρέπουν να δέχονται σήματα από εξοπλισμό στο πεδίο και να εκτελούν εντολές από το κεντρικό σύστημα, όπως ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση διακοπών ή άλλων μηχανισμών.

- Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής (Programmable Logic Controller - PLC):

Τα (PLCs) είναι παρόμοιες συσκευές με τα RTUs, αλλά είναι συνήθως πιο ευέλικτοι και προγραμματιζόμενοι. Τα PLCs χρησιμοποιούνται σε πιο σύνθετες βιομηχανικές εφαρμογές και μπορούν να εκτελούν πολύπλοκες λειτουργίες ελέγχου σε πραγματικό χρόνο.

- Ευφυής Ηλεκτρονική Συσκευή (Intelligent Electronic Device - IED):

Τα IEDs είναι εξελιγμένες συσκευές που συνδυάζουν τη λειτουργικότητα των αισθητήρων, των ελεγκτών και των επικοινωνιών, παρέχοντας πολλαπλές λειτουργίες σε ένα ενιαίο συστατικό. Πιο συγκεκριμένα συλλέγουν δεδομένα από τους αισθητήρες τους, τα ψηφιοποιούν και προχωρούν στην ανάλυσή τους προκειμένου να εκτελέσουν προχωρημένες λειτουργίες όπως διαχείριση φόρτου, προστασία υπερφόρτωσης και άλλες λειτουργίες προστασίας. Αυτό το επιτυγχάνουν καθώς έχουν τη δυνατότητα να στέλνουν σήματα ελέγχου σε άλλες συσκευές, όπως διακόπτες, και να εκτελούν διάφορους αυτοματισμούς. Τα IEDs είναι ζωτικής σημασίας για την αυτοματοποίηση και την εξασφάλιση της συνεχούς και αξιόπιστης λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

- Διεπαφή Ανθρώπου – Μηχανής (Human-Machine Interface - HMI):

Το HMI αποτελεί το σημείο αλληλεπίδρασης μεταξύ των χειριστών και του συστήματος SCADA. Παρέχει γραφικό περιβάλλον χρήστη όπου οι χειριστές μπορούν να παρακολουθούν την κατάσταση του συστήματος σε πραγματικό χρόνο, να αναλύουν δεδομένα και να εκτελούν ενέργειες ελέγχου. Το HMI παρουσιάζει δεδομένα από τα RTUs και τα PLCs με τη μορφή γραφημάτων, διαγραμμάτων, και ειδοποιήσεων.

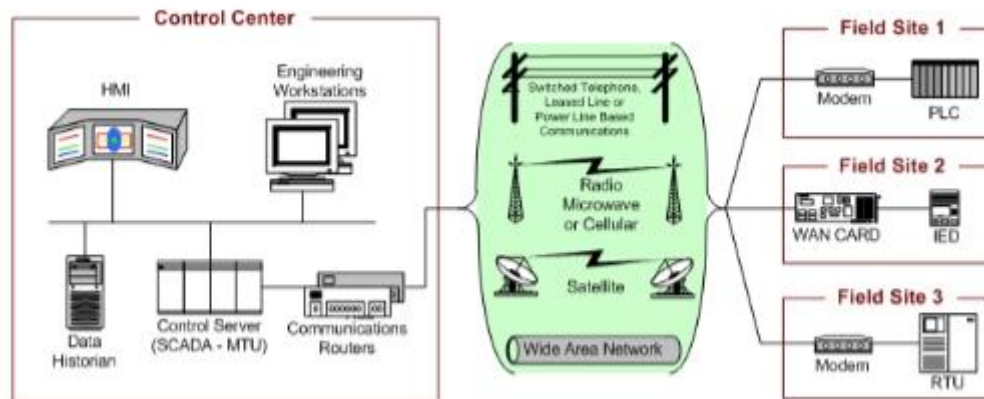
- Κεντρικό Σύστημα Ελέγχου (Master Terminal Unit - MTU):

Το MTU είναι το κεντρικό συστατικό του συστήματος SCADA, το οποίο λαμβάνει και επεξεργάζεται δεδομένα από τα RTUs και PLCs. Το MTU εκτελεί εντολές ελέγχου που στέλνονται από το HMI και ανατροφοδοτεί τα αποτελέσματα πίσω στους χειριστές. Το MTU μπορεί επίσης

να περιλαμβάνει δυνατότητες αποθήκευσης δεδομένων για την καταγραφή και ανάλυση ιστορικών δεδομένων.

- Ιστορικό Αρχείων (Data Historian):

Πρόκειται για μία κεντρική βάση δεδομένων όπου συλλέγονται και αποθηκεύονται δεδομένα από διάφορες πηγές, όπως PLCs, RTUs, και άλλα συστήματα ελέγχου. Παρέχει τη δυνατότητα να ανακαλύπτουν τάσεις και πρότυπα που μπορεί να μην είναι προφανή μόνο με την παρατήρηση των άμεσων δεδομένων λειτουργίας[1], [5], [6], [7].



Εικόνα 3.4: Αρχιτεκτονική συστήματος Scada

1.2.2 Επίπεδα Επικοινωνίας

Τα συστήματα SCADA διαχειρίζονται την επικοινωνία μέσω διαφόρων επιπέδων ή στρωμάτων, που κάθε ένα αναλαμβάνει συγκεκριμένες λειτουργίες στην αρχιτεκτονική του συστήματος. Αυτά τα επίπεδα επιτρέπουν την οργανωμένη και αποδοτική διαχείριση των δεδομένων, τον έλεγχο των διεργασιών, και την οπτική αναπαράσταση των πληροφοριών. Παρακάτω περιγράφονται τα κύρια επίπεδα επικοινωνίας σε ένα σύστημα SCADA:

- **Επίπεδο Πεδίου (Field Level):**

Το επίπεδο πεδίου (Field Level) στα συστήματα SCADA είναι η βάση της αρχιτεκτονικής ελέγχου και επικοινωνίας τους. Αυτό το επίπεδο ασχολείται κυρίως με την απευθείας αλληλεπίδραση με τα φυσικά στοιχεία της εγκατάστασης. Βασικοί τύποι συσκευών που βρίσκονται σε αυτό το πεδίο είναι:

- ❖ **Οι αισθητήρες** που αποτελούν τα “μάτια” και τα “αυτιά” του συστήματος SCADA, παρέχοντας σε πραγματικό χρόνο δεδομένα σχετικά με διάφορες παραμέτρους της εγκατάστασης.
- ❖ **Οι ενεργοποιητές (Actuators)** που λαμβάνουν εντολές από τα PLCs ή τα RTUs και εκτελούν φυσικές ενέργειες, όπως το άνοιγμα ή το κλείσιμο διακοπών, προσαρμογή των ιχνηλατών (trackers) των ηλιακών panel.

- ❖ **PLCs, IEDs και RTUs** συσκευές που λαμβάνουν σήματα από τους αισθητήρες, εκτελούν προγραμματιζόμενες λογικές λειτουργίες βάσει των δεδομένων, και αποστέλλουν εντολές προς τους ενεργοποιητές.

Το επίπεδο πεδίου είναι κρίσιμο για την εγγύηση της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας των βιομηχανικών και υποδομικών διαδικασιών. Η αποτελεσματική συλλογή και διαχείριση των δεδομένων από το επίπεδο πεδίου επιτρέπει την έγκαιρη αναγνώριση προβλημάτων, την αποφυγή διακοπών λειτουργίας, και τη βελτίωση των συνολικών λειτουργιών. Επίσης, εξασφαλίζει την ασφάλεια και τη διατήρηση των πόρων, προσφέροντας τη δυνατότητα για συνεχή παρακολούθηση και ανταπόκριση σε κάθε επίπεδο της εγκατάστασης.

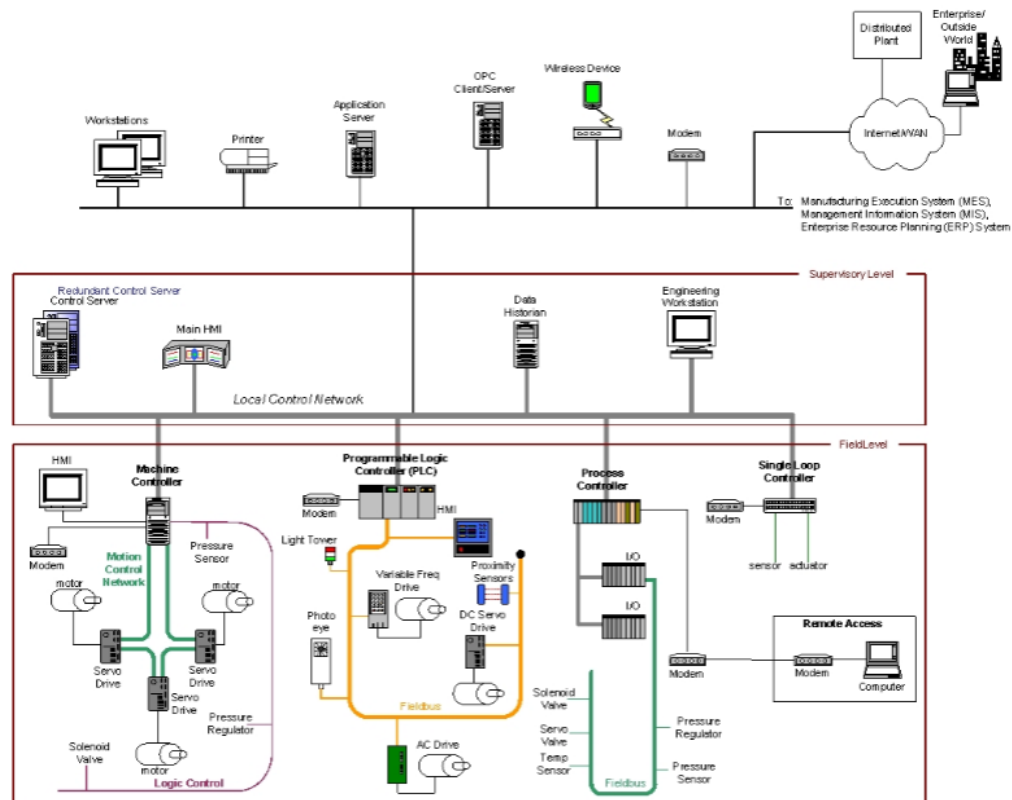
- **Επίπεδο Ελέγχου (Control Level):**

Το επίπεδο ελέγχου (Control Level) σε ένα σύστημα SCADA αποτελεί την “καρδιά” της λειτουργίας του, συνδέοντας το επίπεδο πεδίου με το επίπεδο εποπτείας και διαχείρισης. Σε αυτό το επίπεδο, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το επίπεδο πεδίου επεξεργάζονται, αναλύονται και μετατρέπονται σε χρήσιμες πληροφορίες που υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων. Το λογισμικό SCADA είναι το στοιχείο αυτό που θα εκτελέσει αυτές τις λειτουργίες και που θα αυτοματοποιήσει συγκεκριμένες διαδικασίες με αλγόριθμους που θα εκτελούνται όταν λαμβάνονται συγκεκριμένα δεδομένα. Σε φυσικό επίπεδο αυτό το επίπεδο ελέγχου αποτελείται από τους διακομιστές (servers) όπου είναι εγκατεστημένο το λογισμικό SCADA, καθώς και από ισχυρούς διακομιστές και βάσεις δεδομένων που αποθηκεύουν τα ιστορικά και τα πραγματικά δεδομένα. Όσον αφορά στο δικτυακό κομμάτι, για την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων συσκευών και του κεντρικού λογισμικού SCADA χρησιμοποιούνται δικτυακά πρωτόκολλα όπως Modbus, Profibus, DNP3 ή Ethernet/IP. Αυτά εγγυώνται την ασφάλεια και την αξιοπιστία των επικοινωνιών. Το επίπεδο ελέγχου είναι κρίσιμο για την αποτελεσματική λειτουργία των συστημάτων SCADA, καθώς παρέχει τον απαραίτητο διαχειριστικό έλεγχο που επιτρέπει την ταχεία προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες λειτουργικές συνθήκες και στις διάφορες απαιτήσεις παραγωγής.

- **Επίπεδο εποπτείας (Supervisory Level):**

Το επίπεδο εποπτείας (supervisory level) σε ένα σύστημα SCADA είναι όπου οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν στο επίπεδο ελέγχου μετατρέπονται σε στρατηγική επισκόπηση και εποπτεία για τη διαχείριση των διαδικασιών και των λειτουργιών. Αυτό το επίπεδο αναλαμβάνει την ανώτερη επικοινωνία και τον συντονισμό των δραστηριοτήτων, και αποτελεί τη γέφυρα ανάμεσα στην τεχνική επεξεργασία και τις επιχειρησιακές αποφάσεις. Στο επίπεδο εποπτείας, οι εποπτικές οθόνες (HMI) και τα συστήματα οπτικοποίησης παρέχουν μια συνοπτική και εύκολα κατανοητή εικόνα της κατάστασης των εγκαταστάσεων και των διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο. Στοιχεία από το επίπεδο ελέγχου αξιολογούνται και αναλύονται για να καθοδηγούν τις επιχειρησιακές και στρατηγικές αποφάσεις. Οι αναλύσεις περιλαμβάνουν την αναγνώριση τάσεων, την πρόβλεψη συμπεριφορών και την ανίχνευση ανωμαλιών. Ειδοποιήσεις και συναγερμοί για κρίσιμα γεγονότα ή αποκλίσεις από τις κανονικές

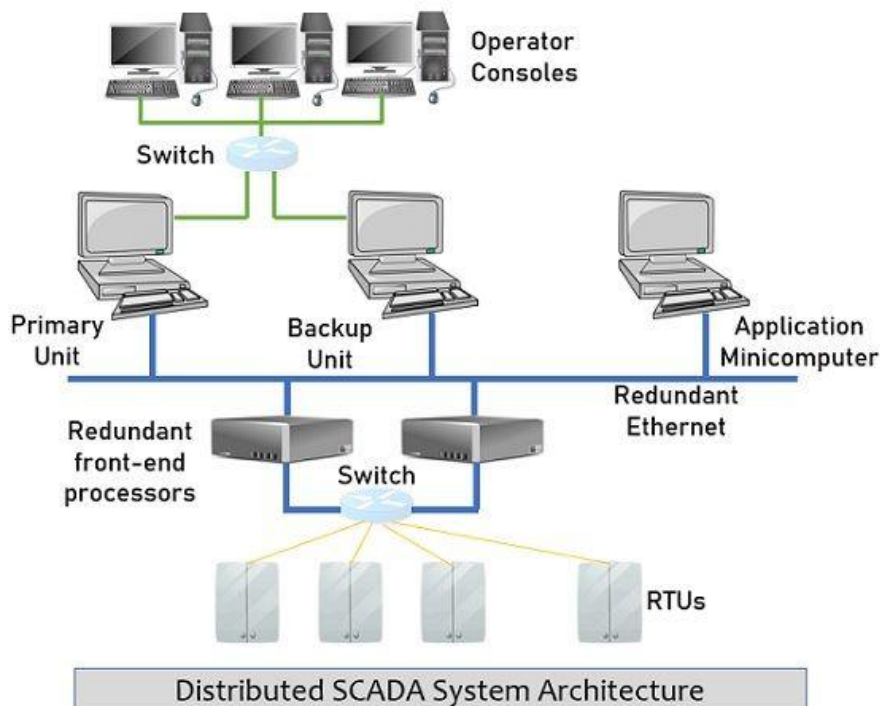
λειτουργίες τυγχάνουν διαχείρισης σε αυτό το επίπεδο, επιτρέποντας τη γρήγορη ανταπόκριση σε προβλήματα[3], [5], [8], [9].



Εικόνα 3.5: Επίπεδα επικοινωνίας συστήματος Scada

1.2.3 Κατανεμημένη Αρχιτεκτονική (Distributed SCADA)

Η κατανεμημένη αρχιτεκτονική επιτρέπει τη διανομή της επεξεργαστικής ισχύος και των λειτουργιών ελέγχου σε πολλαπλούς κόμβους του δικτύου SCADA. Κάθε RTU/PLC/IED μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα, εκτελώντας συγκεκριμένες λειτουργίες, ενώ είναι διασυνδεδεμένα με το κεντρικό MTU για συντονισμό και συνολική εποπτεία.



Εικόνα 3.6: Κατανεμημένη αρχιτεκτονική συστήματος Scada

Οφέλη της Κατανεμημένης Αρχιτεκτονικής:

- **Ευελιξία και επεκτασιμότητα:** Το σύστημα μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί ή να επεκταθεί με την προσθήκη νέων μονάδων χωρίς να διαταραχθεί η λειτουργία των υπολοίπων.
- **Βελτιωμένη ασφάλεια:** Η κατανεμημένη φύση δυσχεραίνει τις επιθέσεις στο σύστημα, καθώς δεν υπάρχει ενιαίο σημείο αποτυχίας.
- **Μειωμένο κόστος υποδομής:** Η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται τοπικοί υπολογιστές ή ελεγκτές μειώνει την ανάγκη για κεντρικά ισχυρά διακομιστήρια.
- **Αυξημένη ανθεκτικότητα:** Η διασπορά του ελέγχου και των δεδομένων σημαίνει ότι τα συστήματα μπορούν να αντέχουν καλύτερα σε φυσικές καταστροφές ή τεχνικές βλάβες.

Παρά τα πολλά οφέλη, η κατανεμημένη αρχιτεκτονική απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό του δικτύου και των πρωτοκόλλων επικοινωνίας, καθώς και συντονισμό της διαχείρισης και της ασφάλειας δεδομένων. Η επίβλεψη και η συντήρηση ενός τέτοιου δικτύου μπορεί να είναι πιο πολύπλοκη και απαιτητική σε πόρους συγκριτικά με πιο κεντρικές αρχιτεκτονικές[16].

1.2.4 Αρχιτεκτονική Client-Server

Σε πολλά σύγχρονα συστήματα SCADA, χρησιμοποιείται η αρχιτεκτονική client-server, όπου οι πελάτες (clients) είναι οι συσκευές HMI ή οι φορητές συσκευές που χρησιμοποιούν οι χειριστές για να συνδεθούν στο σύστημα SCADA, ενώ ο server φιλοξενεί την εφαρμογή SCADA και διαχειρίζεται την επικοινωνία με τα RTUs, IEDs και PLCs. Αυτή η αρχιτεκτονική επιτρέπει την κεντροποιημένη αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων και την εκτέλεση των απαραίτητων εφαρμογών. Ο server ελέγχει την πρόσβαση στα δεδομένα και στις υπηρεσίες, διασφαλίζοντας ότι μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες και συστήματα έχουν πρόσβαση. Αυτό

βοηθά στην αποφυγή ανεπιθύμητων παρεμβάσεων και κυβερνοεπιθέσεων καθώς και στην ορθή εκχώρηση πόρων στους clients βάσει των αναγκών τους, επιτρέποντας την ομαλή λειτουργία πολλών εργασιών και εφαρμογών ταυτόχρονα. Επίσης η αρχιτεκτονική επιτρέπει την εύκολη προσθήκη νέων clients και εφαρμογών χωρίς σημαντικές αλλαγές στην υποδομή. Η επέκταση των δυνατοτήτων του server μπορεί να γίνει απλά με την αναβάθμιση του υλικού ή του λογισμικού.

Οφέλη της αρχιτεκτονικής Client-Server:

- **Κεντρική αποθήκευση δεδομένων:** Διασφαλίζει τη συνέπεια και την ακεραιότητα των δεδομένων.
- **Ευκολία διαχείρισης:** Η κεντρική διαχείριση διευκολύνει την ενημέρωση λογισμικού και πολιτικών ασφαλείας.
- **Οικονομίες κλίμακας:** Οι πόροι του server μπορούν να κλιμακωθούν για να εξυπηρετήσουν πολλαπλούς clients, μειώνοντας το κόστος.

Ωστόσο δεν πρέπει να αμεληθούν και οι προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει ένα τέτοιο σύστημα που οφείλονται κυρίως στο γεγονός της ύπαρξης ενός κεντρικού server από τον οποίο εξαρτώνται πολλοί clients. Η αποτυχία του server θα επηρεάσει όλο το σύστημα και θα αποκόψει την επικοινωνία με όλους τους clients ακαριαία. Επίσης σε συνθήκες λειτουργίας πολλών ταυτόχρονων clients η καθυστέρηση και ο χρόνος απόκρισης μπορεί να αυξηθούν με την αύξηση της κίνησης στο δίκτυο.

Η αρχιτεκτονική client-server παραμένει μια δημοφιλής επιλογή για SCADA λόγω της απλότητας, της ασφάλειας και της οικονομικής αποδοτικότητας που προσφέρει, αν και σύγχρονες προσεγγίσεις, όπως η κατανεμημένη ή η βασισμένη στο νέφος αρχιτεκτονική, προσφέρουν εναλλακτικές με μεγαλύτερη ευελιξία και ανθεκτικότητα [17].

1.3 Σύγχρονες Τεχνολογίες SCADA

Τα σύγχρονα συστήματα SCADA έχουν ενσωματώσει προηγμένες τεχνολογίες για να αυξάνουν την αποδοτικότητα, την ασφάλεια και την επεκτασιμότητα των βιομηχανικών και υποδομικών διαδικασιών. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν μεγαλύτερη διασύνδεση και ευελιξία, παρέχοντας δυνατότητες που ήταν αδιανόητες πριν από μερικές δεκαετίες. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις πιο βασικές σύγχρονες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα SCADA:

1.3.1 Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) και SCADA

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) έχει φέρει επανάσταση στα συστήματα SCADA, ενσωματώνοντας έξυπνες συσκευές και αισθητήρες που μπορούν να συλλέγουν και να μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.

- Ενσωμάτωση IoT σε SCADA:

Η ενσωμάτωση IoT στα συστήματα SCADA επιτρέπει την παρακολούθηση και τον έλεγχο ενός πολύ μεγαλύτερου αριθμού σημείων δεδομένων από ότι στο παρελθόν. Αισθητήρες ή RTUs

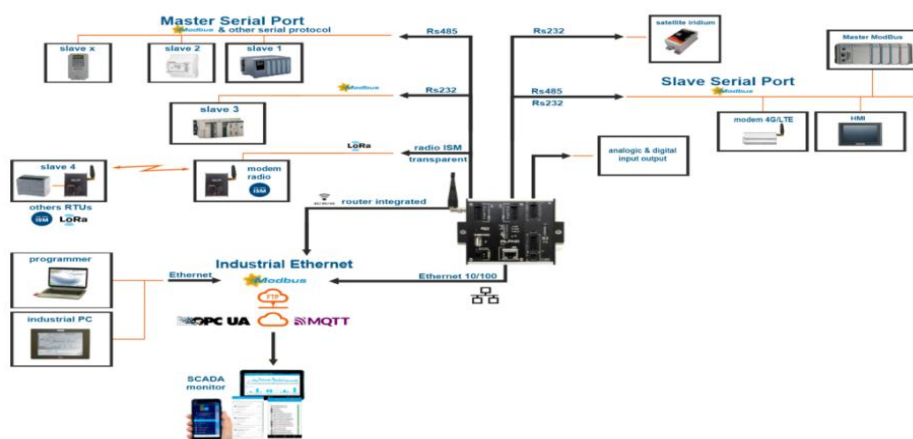
βασισμένες σε IoT controllers μπορούν να ενσωματωθούν σε διάφορα σημεία της υποδομής, παρέχοντας συνεχή ροή δεδομένων σχετικά με την κατάσταση του εξοπλισμού, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, και άλλες κρίσιμες παραμέτρους[4].

- Ασύρματη Επικοινωνία και IoT:

Η χρήση ασύρματων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, όπως το Zigbee, το LoRaWAN, το WiFi, το Bluetooth κ.α. επιτρέπει τη σύνδεση απομακρυσμένων συσκευών IoT με το σύστημα SCADA χωρίς την ανάγκη εκτεταμένων ενσύρματων υποδομών. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις ή σε απομακρυσμένες τοποθεσίες, όπου η εγκατάσταση καλωδιώσεων θα ήταν δαπανηρή ή τεχνικά δύσκολη[20].

- Edge Computing:

Η έννοια του edge computing κερδίζει έδαφος στα σύγχρονα συστήματα SCADA. Με το edge computing, η επεξεργασία δεδομένων πραγματοποιείται κοντά στην πηγή των δεδομένων, δηλαδή στους ίδιους τους αισθητήρες ή στις μονάδες RTU/PLC, αντί να στέλνονται όλα τα δεδομένα στο κεντρικό σύστημα για επεξεργασία. Αυτό μειώνει την καθυστέρηση (latency), επιτρέπει την ταχύτερη λήψη αποφάσεων, και μειώνει τον όγκο των δεδομένων που πρέπει να μεταδοθούν μέσω του δικτύου[19], [20].



Εικόνα 3.7: Ενσωμάτωση συσκευών IoT σε σύστημα SCADA

1.3.2 Cloud Computing και SCADA

Το Cloud Computing έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στον τρόπο διαχείρισης και λειτουργίας των συστημάτων SCADA, προσφέροντας νέες δυνατότητες σε επίπεδο επεξεργασίας δεδομένων, αποθήκευσης και ευελιξίας.

- SCADA ως Υπηρεσία (SCADA as a Service - SCADAaaS):

Οι πλατφόρμες SCADA μπορούν πλέον να φιλοξενηθούν στο cloud, προσφέροντας τις λειτουργίες τους ως υπηρεσία (SCADAaaS). Αυτή η προσέγγιση μειώνει τις απαιτήσεις σε τοπικό εξοπλισμό και υποδομές, επιτρέποντας σε επιχειρήσεις να υιοθετούν και να επεκτείνουν τα SCADA συστήματά τους με μεγαλύτερη ευελιξία και μειωμένο κόστος.

- Αποθήκευση και Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων (Big Data):

Τα συστήματα SCADA στο cloud επιτρέπουν την αποθήκευση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, που συλλέγονται από τις βιομηχανικές διαδικασίες, τα οποία μπορούν να αναλυθούν σε βάθος για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών. Με τις δυνατότητες του Big Data analytics, οι επιχειρήσεις μπορούν να εντοπίζουν τάσεις, να προβλέπουν αστοχίες εξοπλισμού και να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες τους.

- Ασφάλεια στο Cloud:

Η μεταφορά των συστημάτων SCADA στο νέφος (cloud) εγείρει ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια. Ωστόσο, οι σύγχρονες πλατφόρμες cloud προσφέρουν προηγμένα μέτρα ασφαλείας, όπως κρυπτογράφηση δεδομένων, διαχείριση πρόσβασης και συνεχή παρακολούθηση για ανίχνευση απειλών. Επιπλέον, τα συστήματα αυτά μπορούν να επωφελούνται από τις κανονιστικές συμμορφώσεις που εφαρμόζονται από τους παρόχους cloud[21], [22].

1.3.3 Κυβερνοασφάλεια στα σύγχρονα συστήματα SCADA

Με την αυξανόμενη διασύνδεση των συστημάτων SCADA με το διαδίκτυο και τις τεχνολογίες IoT, η κυβερνοασφάλεια έχει γίνει ένας από τους σημαντικότερους τομείς που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή. Τα συστήματα SCADA είναι συχνά στόχος κυβερνοεπιθέσεων, λόγω της κρίσιμης σημασίας τους στη διαχείριση υποδομών όπως η ενέργεια, το νερό και οι μεταφορές. Οι επιθέσεις μπορεί να περιλαμβάνουν προσπάθειες παραβίασης δικτύων, μόλυνση με κακόβουλο λογισμικό (malware), και επιθέσεις άρνησης εξυπηρέτησης (DDoS).

Οι σύγχρονες στρατηγικές ασφαλείας για τα συστήματα SCADA περιλαμβάνουν τη χρήση πυργών ασφαλείας (firewalls), συστημάτων ανίχνευσης εισβολών (IDS), εικονικών ιδιωτικών δικτύων (VPNs), και την εφαρμογή πρωτοκόλλων ασφαλείας όπως το IEC 62443. Επιπλέον, η διαχείριση ταυτότητας και πρόσβασης (Identity and Access Management - IAM) διασφαλίζει ότι μόνο εξουσιοδοτημένο προσωπικό μπορεί να αλληλεπιδρά με το σύστημα.

Τα σύγχρονα συστήματα SCADA χρησιμοποιούν πλατφόρμες ασφαλείας που παρέχουν συνεχή παρακολούθηση για ύποπτη δραστηριότητα, καθώς και δυνατότητες για γρήγορη απόκριση σε συμβάντα ασφαλείας. Αυτές οι πλατφόρμες μπορούν να ενσωματώνουν τεχνητή νοημοσύνη για την ανίχνευση και απόκρουση των απειλών σε πραγματικό χρόνο.

Στο κεφάλαιο 2 αναλύεται εκτενέστερα το θέμα της κυβερνοασφάλειας στα συστήματα SCADA και γίνεται λεπτομερής περιγραφή στις προκλήσεις αλλά και στους τρόπους θωράκισης ενός συστήματος απέναντι σε τέτοιους κινδύνους.

2. Επικοινωνίες σε συστήματα SCADA

2.1 Βασικές Αρχές Επικοινωνιών

2.1.1 Θεμελιώδεις έννοιες

Η επικοινωνία στα συστήματα SCADA είναι απαραίτητη για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των διαφόρων συστατικών του συστήματος, όπως οι αισθητήρες, τα RTUs (Remote Terminal Units), τα IEDs, τα PLCs (Programmable Logic Controllers) και το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Οι βασικές αρχές των επικοινωνιών περιλαμβάνουν:

- Διαμόρφωση Σήματος (Signal Modulation):

Διαμόρφωση σημαίνει την τροποποίηση ενός φορέα σήματος (π.χ. ηλεκτρομαγνητικού κύματος) για να μεταφέρει πληροφορία.

- Μετάδοση Δεδομένων:

Η διαδικασία της μεταφοράς δεδομένων από μια πηγή σε έναν αποδέκτη. Στα συστήματα SCADA, τα δεδομένα μεταδίδονται από τους αισθητήρες προς τα RTUs ή PLCs ή IEDs και τέλος στο κεντρικό σύστημα για επεξεργασία και ανάλυση.

- Αξιοπιστία και Ακεραιότητα Δεδομένων:

Η διασφάλιση ότι τα δεδομένα φτάνουν στον προορισμό τους χωρίς αλλοιώσεις. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση τεχνικών για την ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων, όπως οι κώδικες ελέγχου κυκλικής επανάληψης (CRC - Cyclic Redundancy Check).

- Καθυστέρηση (Latency) και Ρυθμός Μετάδοσης (Throughput):

Η καθυστέρηση αναφέρεται στον χρόνο που χρειάζονται τα δεδομένα να φτάσουν από την πηγή στον προορισμό, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης είναι η ποσότητα των δεδομένων που μπορούν να μεταδοθούν σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Και οι δύο αυτές παράμετροι είναι κρίσιμες στα συστήματα SCADA, ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη ανταπόκριση.

- Ασφάλεια Δικτύου:

Περιλαμβάνει τα μέτρα που λαμβάνονται για την προστασία της επικοινωνίας από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή κυβερνοεπιθέσεις. Η ασφάλεια είναι κρίσιμη σε συστήματα SCADA, καθώς αυτά ελέγχουν κρίσιμες υποδομές όπως δίκτυα ενέργειας, ύδρευσης, και μεταφορών.

2.1.2 Δομή και τοπολογία δικτύων

Η τοπολογία δικτύου αναφέρεται στη διάταξη των συσκευών και των συνδέσεων σε ένα δίκτυο. Στα συστήματα SCADA, η τοπολογία δικτύου καθορίζει το πώς επικοινωνούν τα συστατικά στοιχεία του συστήματος, και παίζει κρίσιμο ρόλο στην αξιοπιστία, απόδοση, και επεκτασιμότητα του δικτύου.

- Σειριακή Τοπολογία (Bus Topology):

Σε αυτήν την τοπολογία, όλες οι συσκευές συνδέονται σε έναν κοινό δίαυλο επικοινωνίας. Τα δεδομένα αποστέλλονται από κάθε συσκευή στο κοινό κανάλι (δίαυλο) και οι υπόλοιπες συσκευές δέχονται αυτά που απευθύνονται σε αυτές. Είναι απλή και οικονομική, αλλά η αποτυχία ενός σημείου στο κοινό δίαυλο μπορεί να επηρεάσει ολόκληρο το σύστημα. Επίσης υπάρχει υψηλός κίνδυνος συμφόρησης του δικτύου.

- Δακτυλιοειδής Τοπολογία (Ring Topology):

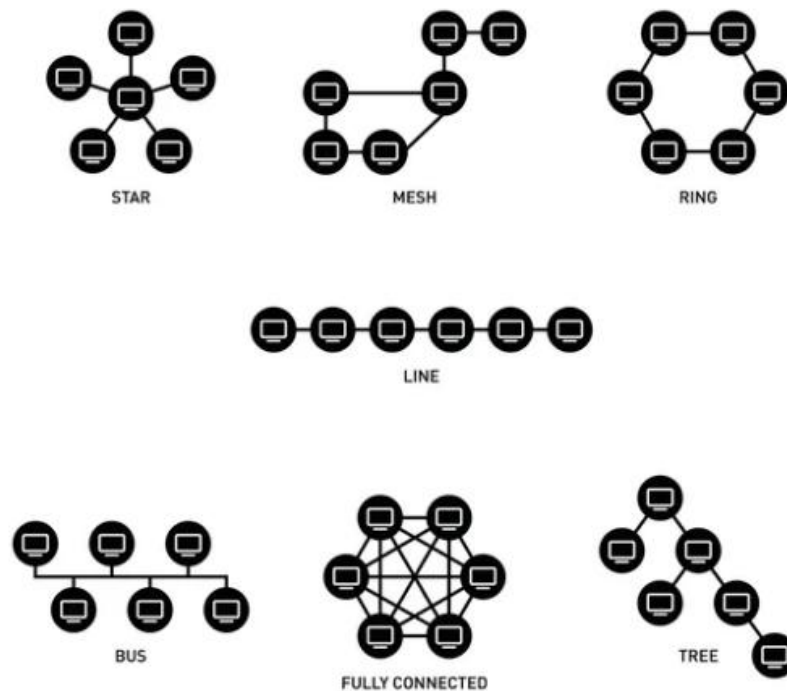
Οι συσκευές συνδέονται σε ένα κλειστό κύκλωμα, όπου κάθε συσκευή είναι συνδεδεμένη με δύο άλλες, σχηματίζοντας έναν δακτύλιο. Αυτό παρέχει αυξημένη ανθεκτικότητα, καθώς η επικοινωνία μπορεί να συνεχιστεί ακόμη και αν υπάρξει αποτυχία σε μία σύνδεση. Ωστόσο αυτή η τοπολογία παρουσιάζει δυσκολίες και κόστος στην επέκταση του δικτύου καθώς κάθε νέα συσκευή που προστίθεται θα πρέπει να δικτυωθεί ενδιάμεσα σε δύο υπάρχοντες.

- Αστέρος (Star Topology):

Κάθε συσκευή συνδέεται με ένα κεντρικό σημείο, συνήθως έναν διανομέα ή έναν διακόπτη. Αυτή η τοπολογία είναι εύκολη στη διαχείριση και την ανίχνευση σφαλμάτων, αλλά η αποτυχία του κεντρικού κόμβου μπορεί να διακόψει ολόκληρο το δίκτυο.

- Πλέγμα (Mesh Topology):

Σε αυτή την τοπολογία, κάθε συσκευή μπορεί να συνδεθεί με πολλές άλλες, δημιουργώντας ένα πλέγμα συνδέσεων. Αυτό προσφέρει τη μέγιστη ανθεκτικότητα και αξιοπιστία, καθώς τα δεδομένα μπορούν να ακολουθήσουν διαφορετικά μονοπάτια σε περίπτωση αποτυχίας ενός σημείου. Όπως είναι προφανές όμως το κόστος πολλαπλασιάζεται σε τέτοιες περιπτώσεις και η διαχείριση του δικτύου καθίσταται δυσκολότερη καθώς το δίκτυο μεγεθύνεται.



Εικόνα 4.1: Οι διάφορες τοπολογίες ενός δικτύου SCADA

Η επιλογή της τοπολογίας εξαρτάται από τις απαιτήσεις του εκάστοτε εγκατεστημένου συστήματος SCADA, την κλίμακα, την ανάγκη για αξιοπιστία, και τον προϋπολογισμό. Η σωστή επιλογή της τοπολογίας και δομής είναι κρίσιμη για τη βέλτιστη λειτουργία και αποδοτικότητα του δικτύου SCADA [23].

2.1.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας καθορίζουν τους κανόνες και τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών σε ένα δίκτυο SCADA. Παρακάτω αναφέρονται τα σημαντικότερα και πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στην σύγχρονη εποχή:

- **Modbus:** Ένα από τα πιο διαδεδομένα πρωτόκολλα στα συστήματα SCADA. Υποστηρίζει τόσο σειριακή επικοινωνία (Modbus RTU) όσο και επικοινωνία μέσω IP (Modbus TCP/IP). Είναι απλό και αποτελεσματικό για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ βιομηχανικών συσκευών.
- **DNP3 (Distributed Network Protocol):** Σχεδιασμένο για χρήση σε υποδομές κοινής ωφελείας, όπως ηλεκτρικά δίκτυα. Προσφέρει υψηλή αξιοπιστία και υποστηρίζει χαρακτηριστικά όπως η αποστολή αναφορών συμβάντων (event reporting) και η συγχρονισμένη μεταφορά δεδομένων.
- **OPC (OLE for Process Control):** Χρησιμοποιείται για την ενοποίηση δεδομένων μεταξύ συστημάτων αυτοματισμού και επιχειρησιακών εφαρμογών. Το OPC UA (Unified Architecture) είναι η πιο σύγχρονη έκδοση, προσφέροντας αυξημένη ασφάλεια και διαλειτουργικότητα.

- **IEC 61850:** Διεθνές πρότυπο που χρησιμοποιείται κυρίως σε υποσταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας. Υποστηρίζει τη διασύνδεση συσκευών προστασίας και ελέγχου και είναι κατάλληλο για εφαρμογές σε έξυπνα δίκτυα (smart grids).

2.1.4 Απαιτήσεις Επικοινωνιών σε ένα σύστημα SCADA

Τα συστήματα SCADA έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις επικοινωνίας που πρέπει να καλυφθούν για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία τους:

- Ταχεία ανταποκρισιμότητα:

Η ανάγκη για γρήγορη ανταπόκριση σε κρίσιμα γεγονότα απαιτεί δίκτυα με χαμηλή καθυστέρηση, ώστε τα δεδομένα να φτάνουν γρήγορα στο κεντρικό σύστημα για επεξεργασία.

- Υψηλή Διαθεσιμότητα και Αξιοπιστία:

Τα δίκτυα SCADA πρέπει να είναι διαθέσιμα και αξιόπιστα ανά πάσα στιγμή, ειδικά σε υποδομές που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση και έλεγχο, όπως τα ηλεκτρικά δίκτυα και οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

- Επεκτασιμότητα:

Η δυνατότητα να προστεθούν νέες συσκευές και να επεκταθεί το δίκτυο, χωρίς να επηρεαστεί η απόδοσή του, είναι πολύ κρίσιμη. Τα συστήματα SCADA πρέπει να είναι ευέλικτα και να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες ανάγκες της επιχείρησης.

- Ασφάλεια:

Τα δεδομένα που μεταδίδονται σε συστήματα SCADA πρέπει να προστατεύονται από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και κυβερνοεπιθέσεις. Αυτό περιλαμβάνει την κρυπτογράφηση των δεδομένων, τη χρήση ασφαλών πρωτοκόλλων, και την εφαρμογή αυστηρών πολιτικών πρόσβασης.

2.2 Πρωτόκολλα επικοινωνίας σε SCADA

2.2.1 Modbus

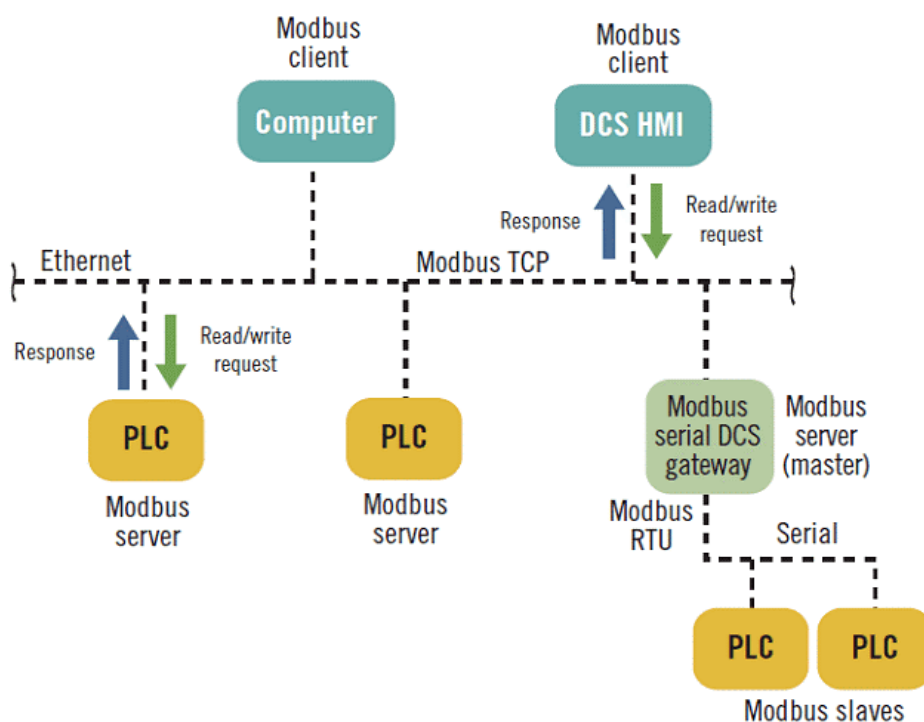
Το Modbus είναι ένα από τα παλαιότερα και ευρέως χρησιμοποιούμενα βιομηχανικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, το οποίο αναπτύχθηκε το 1979 από τη Modicon (τώρα Schneider Electric) για χρήση με τους ελεγκτές λογικής προγραμματισμού (PLC). Το Modbus σχεδιάστηκε για να επιτρέπει την επικοινωνία μέσω σειριακής γραμμής μεταξύ διαφόρων συσκευών με έναν απλό και αποτελεσματικό τρόπο, γεγονός που το έκανε ιδιαίτερα δημοφιλές σε εφαρμογές βιομηχανικού αυτοματισμού.

Το Modbus είναι ένα εύκολο στην εφαρμογή πρωτόκολλο καθώς υιοθετεί μια αρχιτεκτονική **master-slave** ή client-server, όπου ένας master (ή client) συσκευή επικοινωνεί με πολλές slave (ή server) συσκευές. Το πρωτόκολλο υποστηρίζει διαδικασίες όπως η ανάγνωση και η εγγραφή τιμών από απομακρυσμένες συσκευές και είναι ικανό να διαχειρίζεται εντολές για τον έλεγχο της λειτουργίας μηχανών ή άλλων συσκευών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μηνυμάτων που

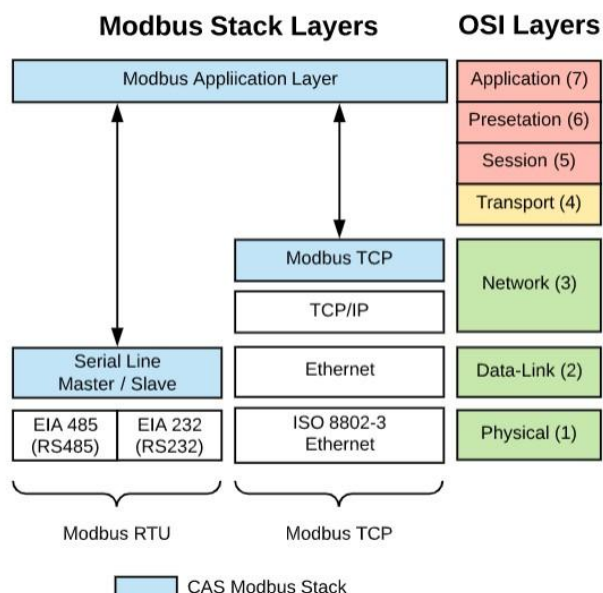
μπορούν να περιέχουν εντολές για ανάγνωση ή εγγραφή μνήμης από τις συνδεδεμένες συσκευές.

Το Modbus διαθέτει δύο βασικές εκδόσεις για σειριακή επικοινωνία: το Modbus RTU και το Modbus ASCII, τα οποία διαφέρουν στον τρόπο μορφοποίησης των δεδομένων στα μηνύματα. Το **Modbus RTU** (Remote Terminal Unit) χρησιμοποιεί δυαδική κωδικοποίηση και είναι πιο αποδοτικό από την άποψη του όγκου δεδομένων που μεταδίδονται. Αντίθετα, το **Modbus ASCII** χρησιμοποιεί ASCII κωδικοποίηση για κάθε byte του μηνύματος, κάτι που το καθιστά πιο αργό αλλά ευκολότερο στην ανάγνωση και διάγνωση από ανθρώπους.

Με την εισαγωγή του **Modbus TCP/IP**, το πρωτόκολλο επεκτάθηκε για χρήση σε δίκτυα TCP/IP, προσφέροντας την ίδια λειτουργικότητα σε μορφή που είναι συμβατή με σύγχρονα δικτυακά περιβάλλοντα, χωρίς την ανάγκη για τη σειριακή επικοινωνία. Το Modbus TCP/IP διασφαλίζει την άμεση συμβατότητα με βιομηχανικά δίκτυα Ethernet και επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση σε σύγχρονα βιομηχανικά ελεγκτικά συστήματα.



Εικόνα 4.2: Το πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus ενός δικτύου SCADA



Εικόνα 4.3: Ανάλυση των πακέτων δεδομένων που διαδίδονται σε Modbus RTU και Modbus TCP/IP

Λόγω της **απλότητάς** του, της **διαλειτουργικότητας** και της **ευρείας υποστήριξης από πολλούς κατασκευαστές** βιομηχανικού εξοπλισμού, το Modbus έχει παραμείνει ένα από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα σε βιομηχανικές και αυτοματοποιημένες εφαρμογές παγκοσμίως.

Παρά την ευρεία αποδοχή και χρήση του Modbus σε βιομηχανικές εφαρμογές, το πρωτόκολλο αυτό φέρει κάποια μειονεκτήματα που περιορίζουν τις δυνατότητες του σε σύγχρονα και πολύπλοκα βιομηχανικά περιβάλλοντα. Πρώτον, το Modbus δεν περιλαμβάνει καθορισμένους μηχανισμούς για ασφάλεια, όπως κρυπτογράφηση ή πιστοποίηση, γεγονός που το καθιστά **ευάλωτο σε κυβερνοεπιθέσεις** και παραβιάσεις ασφαλείας. Δεύτερον, το Modbus είναι ένα αρκετά απλό πρωτόκολλο που **δεν υποστηρίζει προηγμένες λειτουργίες** αυτοματισμού και ελέγχου που απαιτούνται σε περιβάλλοντα με μεγάλη κλίμακα και πολυπλοκότητα, όπως διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων και γρήγορη επεξεργασία. Τέλος, ενώ η εκδοχή Modbus TCP/IP κάλυψε την ανάγκη για υποστήριξη δικτύων TCP/IP, το Modbus στις αρχικές του μορφές ήταν περιορισμένο στη σειριακή επικοινωνία, η οποία δεν προσφέρει την απαραίτητη ταχύτητα και ευελιξία για σύγχρονες εφαρμογές[24], [27].

2.2.2 DNP3 (Distributed Network Protocol)

Το DNP3 (Distributed Network Protocol version 3), γνωστό και ως IEEE Std 1815, είναι ένα από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα πρωτόκολλα επικοινωνίας στα συστήματα SCADA, ιδιαίτερα στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Αναπτύχθηκε αρχικά από την Westronic, Inc. (πλέον GE Harris) το 1993, και στη συνέχεια βελτιώθηκε από το DNP Users Group, το οποίο αποτελείται από εκπροσώπους της βιομηχανίας και χρήστες του πρωτοκόλλου. Στόχος του DNP3 ήταν να δημιουργήσει ένα ανθεκτικό, ευέλικτο και ασφαλές πρωτόκολλο που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες αυτοματισμού και τηλεμετρίας σε **μεγάλες γεωγραφικές αποστάσεις**.

Το DNP3 είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο που χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική **master-slave** ή client-server. Σε αυτό το πλαίσιο, ο "master" (ο ελεγκτής ή το κεντρικό σύστημα) αποστέλλει εντολές στον "slave" (τις τερματικές συσκευές στον τομέα), οι οποίες μεταδίδουν δεδομένα πίσω στον master. Το DNP3 υποστηρίζει λειτουργίες όπως η **αποστολή αναφορών συμβάντων (event reporting) σε πραγματικό χρόνο**, η χρονική σήμανση (timestamping), και η υποστήριξη για **πολυσημειακές συνδέσεις**.

Το πρωτόκολλο DNP3 (Distributed Network Protocol) χρησιμοποιεί ένα σύστημα κλάσεων για την οργάνωση και τη διαχείριση δεδομένων συμβάντων, το οποίο βοηθά στην αποδοτική επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και των κεντρικών συστημάτων ελέγχου. Οι κλάσεις στο DNP3 βοηθούν τα συστήματα SCADA να διαχειρίζονται προτεραιότητες δεδομένων και να βελτιστοποιούν τον όγκο της επικοινωνίας δεδομένων, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η διαθεσιμότητα του δικτύου μπορεί να είναι περιορισμένη ή οι απαιτήσεις απόκρισης είναι κρίσιμες.

Στο πρωτόκολλο DNP3, τα δεδομένα συμβάντων οργανώνονται σε τρεις κλάσεις:

Κλάση 1 (Class 1):

- Περιλαμβάνει συμβάντα με υψηλή προτεραιότητα ή συμβάντα που απαιτούν άμεση αντίδραση από το σύστημα ελέγχου.
- Τα συμβάντα της Κλάσης 1 συνήθως είναι κρίσιμα για τη λειτουργία του δικτύου, όπως διακοπές ρεύματος, σφάλματα εξοπλισμού ή άλλες ανωμαλίες που χρειάζεται να επιλυθούν αμέσως.

Κλάση 2 (Class 2):

- Περιλαμβάνει συμβάντα μεσαίας προτεραιότητας.
- Συνήθως, τα δεδομένα αυτά δεν απαιτούν άμεση ενέργεια αλλά πρέπει να καταγράφονται και να αναλύονται για τη βελτίωση της λειτουργίας του συστήματος και την αποφυγή μελλοντικών προβλημάτων.

Κλάση 3 (Class 3):

- Περιλαμβάνει συμβάντα χαμηλής προτεραιότητας.
- Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει δεδομένα που δεν είναι κρίσιμα και μπορούν να αναλυθούν σε πιο χαλαρά χρονικά διαστήματα χωρίς να επηρεάσουν την απόδοση ή την ασφάλεια του δικτύου.

Το πρωτόκολλο DNP3 διαχειρίζεται αυτές τις κλάσεις δεδομένων συμβάντων με αυτόματο τρόπο, επιτρέποντας στα συστήματα ελέγχου να ορίζουν ποια δεδομένα θα πρέπει να σταλούν πρώτα, βάσει της προτεραιότητάς τους. Αυτό βοηθά στην αποφυγή υπερφόρτωσης του δικτύου με μη κρίσιμες πληροφορίες και εξασφαλίζει ότι τα πιο σημαντικά συμβάντα λαμβάνονται και επεξεργάζονται άμεσα, διατηρώντας την απόδοση και την ασφάλεια του συστήματος.

Το πρωτόκολλο είναι σχεδιασμένο για ανθεκτικότητα σε περιβάλλον με χαμηλή ποιότητα σύνδεσης, καθιστώντας το ιδιαίτερα αξιόπιστο για εφαρμογές με απαιτήσεις υψηλής ασφάλειας όπου η επικοινωνία μπορεί να είναι ασταθής. Ωστόσο το πρωτόκολλο είναι αρκετά πιο περίπλοκο στη διαμόρφωση και τη συντήρησή του από το Modbus ενώ ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι αρκετά περιορισμένος σε σύγκριση με άλλα μεταγενέστερα πρωτόκολλα. [28], [29],[30]

2.2.3 OPC (OLE for Process Control)

Το OPC είναι ένα σύνολο προτύπων που έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν τη διαλειτουργικότητα μεταξύ βιομηχανικών συστημάτων SCADA και άλλων συστημάτων αυτοματισμού.

Το OPC αναπτύχθηκε το 1996 από το OPC Foundation ως μια πρωτοβουλία για να ενοποιήσει την επικοινωνία μεταξύ συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές. Αρχικά βασίστηκε στην τεχνολογία OLE της Microsoft, από όπου πήρε και το όνομά του (OLE for Process Control). Η τεχνολογία OLE (Object Linking and Embedding) είναι μια τεχνολογία της Microsoft που επιτρέπει την ενσωμάτωση και τη διασύνδεση εγγράφων και άλλων αντικειμένων μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών. Εισήχθη με τα Windows 3.0 το 1990 και έκτοτε έχει γίνει ένα πρότυπο χαρακτηριστικό σε πολλές εφαρμογές Windows. Η τεχνολογία OLE χρησιμοποιείται για να δημιουργεί σύνθετα έγγραφα που περιλαμβάνουν διάφορα είδη δεδομένων, όπως κείμενο, εικόνες, ήχο και άλλες μορφές πληροφορίας. Ο πρώτος τύπος του OPC, γνωστός ως OPC Data Access (OPC DA), επέτρεπε την πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε δεδομένα από βιομηχανικές συσκευές. Αργότερα, προστέθηκαν άλλες λειτουργίες πως το OPC Historical Data Access (OPC HDA), για πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα, και το OPC Alarms and Events (OPC A&E), για τη διαχείριση σημάτων και γεγονότων.

Το OPC Unified Architecture (OPC UA) αποτελεί την εξέλιξη του πρωτόκολλου OPC, εισάγοντας ένα σύγχρονο, ασφαλές και ευρέως εφαρμόσιμο πλαίσιο για τη βιομηχανική αυτοματοποίηση. Το OPC UA είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί πάνω σε διάφορα λειτουργικά συστήματα και δικτυακά περιβάλλοντα, προσφέροντας εκτεταμένη διαλειτουργικότητα και ευελιξία. Το πρότυπο αυτό προσφέρει βελτιωμένη ασφάλεια μέσω κρυπτογράφησης, πιστοποίησης και διαχείρισης συνόδων, εγγυώμενο την ασφάλεια των δεδομένων κατά την μετάδοση. Το OPC UA είναι εξαιρετικά ευέλικτο, καθώς υποστηρίζει διάφορους τύπους δεδομένων και προσφέρει πολύπλοκες υπηρεσίες όπως οι εγγραφές ιστορικού, η διαχείριση σημάτων και οι διαδικασίες ελέγχου. Αυτή η δυνατότητα κάνει το OPC UA ιδανικό για τη διαχείριση και επικοινωνία πληροφοριών σε περιβάλλον όπου η αυτοματοποίηση και η αξιοπιστία είναι κρίσιμες, όπως στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και στα έξυπνα δίκτυα. Επιπρόσθετα, το OPC UA διαθέτει ένα εκτενές μοντέλο πληροφοριών που επιτρέπει την αναπαράσταση σύνθετων δομών δεδομένων, καθιστώντας το ικανό να διαχειρίζεται τεράστιο όγκο δεδομένων και να ενσωματώνει διαφορετικά συστήματα ελέγχου και παραγωγής σε μια ολοκληρωμένη λύση για εφαρμογές IoT και cloud computing.

Παρά τις πολλές δυνατότητες και την ευελιξία του OPC Unified Architecture (OPC UA), το πρωτόκολλο αυτό έχει και κάποια μειονεκτήματα. Κυρίως, η υλοποίηση και διαχείρισή του μπορεί να είναι πολύπλοκη και απαιτητική, καθώς απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και ικανότητες που μπορεί να μην είναι διαθέσιμες σε όλες τις επιχειρήσεις. Επιπλέον, παρόλο που το OPC UA προσφέρει αυξημένη ασφάλεια, η υλοποίηση των σχετικών μηχανισμών ασφαλείας μπορεί να αυξήσει την πολυπλοκότητα και το κόστος του συστήματος. Τέλος, η εκτεταμένη λειτουργικότητα και οι προσαρμοστικές δυνατότητες του OPC UA μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένες απαιτήσεις υλικού και πόρων, κάτι που μπορεί να είναι απαγορευτικό για μικρότερες ή λιγότερο τεχνολογικά εξελιγμένες εγκαταστάσεις.

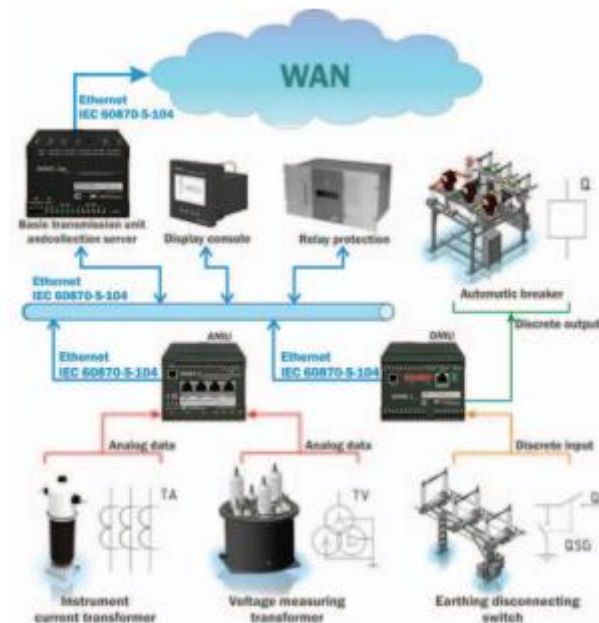
2.2.4 IEC 60870

Το IEC 60870 είναι μια σειρά από διεθνή πρότυπα που αναπτύχθηκαν για την επικοινωνία σε αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου, ιδιαίτερα στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα πρότυπα σχεδιάστηκαν για να καλύπτουν τις ανάγκες της επικοινωνίας ανάμεσα σε διάφορα βιομηχανικά συστήματα, όπως ελεγκτικά κέντρα, σταθμοί διανομής και υποσταθμοί [26].

Το πρωτόκολλο IEC 60870 χωρίζεται σε διάφορα μέρη, με το IEC 60870-5 να εστιάζει στις σειριακές και δικτυακές επικοινωνίες. Το IEC 60870-5 διακρίνεται σε πολλά υποσύνολα, όπως το 60870-5-101 που αφορά κυρίως σειριακές επικοινωνίες και το 60870-5-104 το οποίο είναι από τα πιο σημαντικά για την εφαρμογή του πρωτοκόλλου σε δίκτυα TCP/IP.

Το **IEC 104 (συντ. IEC 60870-5-104)**, ένα πρωτόκολλο που επεκτείνει το IEC 60870-5-101 για τη χρήση σε δίκτυα TCP/IP, επιτρέπει την ασφαλή και αξιόπιστη επικοινωνία δεδομένων σε ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές. Το πρωτόκολλο αυτό υιοθετεί μια αρχιτεκτονική client-server, όπου ο server (συνήθως ο υποσταθμός) αναμένει εντολές από τον client (ελεγκτικό κέντρο). Η επικοινωνία υποστηρίζεται μέσω προκαθορισμένων διαδρομών εντολών και απαντήσεων, με μηχανισμούς για επιβεβαίωση λήψης, διόρθωση σφαλμάτων και ανίχνευση και διαχείριση απωλειών δεδομένων. Βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

1. **Ασφάλεια:** Στον τομέα της ασφάλειας, το IEC 60870-5-104 ενσωματώνει μηχανισμούς όπως κρυπτογραφημένες επικοινωνίες και επιβεβαίωσης ταυτότητας για να προστατεύσει τα δεδομένα που μεταφέρονται μέσω δημόσιων και ιδιωτικών δικτύων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς οι επιθέσεις στα συστήματα SCADA μπορούν να έχουν σοβαρές συνέπειες στην ασφάλεια και την αξιοπιστία των ενεργειακών δικτύων.
2. **Διαλειτουργικότητα:** Σχεδιασμένο να είναι συμβατό με τα άλλα μέρη της σειράς IEC 60870-5 καθώς και με άλλα πρότυπα, όπως το IEC 61850.
3. **Υποστήριξη για ευρύ φάσμα εφαρμογών:** Ιδανικό για χρήση σε πολυάριθμες βιομηχανικές εφαρμογές, όπου απαιτείται αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις και διάφορα δίκτυα.



Εικόνα 4.4: Χρήση του πρωτοκόλλου IEC 60870-5-104 σε συστήματα SCADA

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα, το IEC 60870-5-104 αντιμετωπίζει κάποιες προκλήσεις όπως η ανάγκη για υψηλότερα επίπεδα ασφάλειας καθώς οι κυβερνοεπιθέσεις γίνονται όλο και πιο πολύπλοκες. Επίσης, η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας δικτύωσης και των βιομηχανικών εφαρμογών απαιτεί την τακτική αναθεώρηση και ενημέρωση του προτύπου[25],[30].

2.2.5 IEC 61850

Το πρωτόκολλο IEC 61850 αποτέλεσε απάντηση στην αυξανόμενη ανάγκη για υψηλότερα και πιο βαθιά επίπεδα ελέγχου και αυτοματισμού στα ηλεκτρικά δίκτυα. Με τη σταθερή αύξηση του αριθμού των συσκευών, των τύπων συσκευών και των σημείων δεδομένων, την οποία επιτάχυνε η ψηφιοποίηση, καθώς και η ένταξη νέων, συχνά γεωγραφικά κατανεμημένων και ετερογενών, πηγών παραγωγής, έγινε εμφανές ότι οι μελλοντικές απαιτήσεις δεν θα μπορούσαν να ικανοποιηθούν με τα τεχνολογικά όρια των σειριακών πρωτοκόλλων όπως το Modbus.

Για να εγγυηθεί τη διαλειτουργικότητα μπροστά στην ταχεία τεχνολογική ανάπτυξη και την καινοτομία προϊόντων στη βιομηχανία, το πρότυπο IEC 61850 δεν ορίζει μόνο διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας και διεπαφές, αλλά παρέχει επίσης προδιαγραφές που αφορούν τη μοντελοποίηση υποσταθμών, τη γλώσσα διαμόρφωσης και τα μοντέλα δεδομένων. Γι' αυτόν τον λόγο, το IEC 61850 συχνά αποκαλείται μοντέλο δεδομένων ή πλαίσιο.

Το πεδίο εφαρμογής του προτύπου επιτρέπει την απεικόνιση των τυποποιημένων μοντέλων δεδομένων και υπηρεσιών σε διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας και έτσι τη μεταφορά των δεδομένων μέσω Ethernet, χρησιμοποιώντας διαφορετικά πρωτόκολλα για διάφορες απαιτήσεις και εφαρμογές, όπως για παράδειγμα πρωτόκολλα βασισμένα στο TCP/IP για επικοινωνίες client/server. Γι' αυτόν τον λόγο, παρά την αρχική εστίασή του στον αυτοματισμό υποσταθμών, η ευελιξία του IEC 61850 έχει επεκτείνει τη χρήση του σε άλλες εφαρμογές, όπως η ένταξη των διανεμημένων πηγών ενέργειας (DERs) στο ηλεκτρικό δίκτυο ή η επικοινωνία μεταξύ έξυπνων συσκευών σε Συστήματα Διαχείρισης Κτιρίων (BMS).

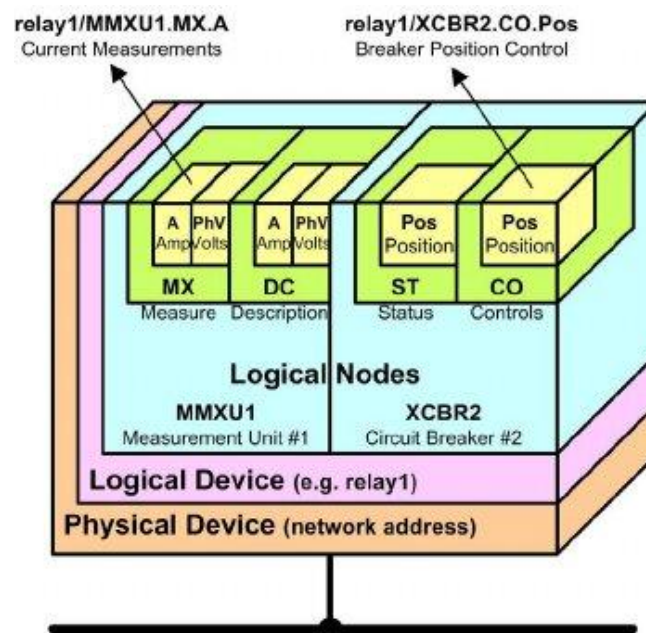
Το πρότυπο IEC 61850 διακρίνεται μέσω των ακόλουθων στοιχείων:

- **Διαχειριστική Διεπαφή Υπηρεσιών Επικοινωνίας (ACSI)**

Το ACSI (ορισμένο στο IEC 61850-7-2) περιγράφει τις λειτουργίες και τις υπηρεσίες για την αλληλεπίδραση μεταξύ των IEDs στο σύστημα. Παραδείγματα υπηρεσιών IEC 61850 περιλαμβάνουν τη μετάδοση αρχείων, την ανάγνωση δεδομένων ή την ανάθεση τιμών. Το ACSI μπορεί να απεικονιστεί σε διάφορα πρωτόκολλα, συμπεριλαμβανομένων των MMS ή των διαδικτυακών υπηρεσιών.

- **Σχεδίαση Συστήματος και Δομή**

Οι λειτουργίες του προτύπου IEC 61850 είναι οι συχνά αναφερόμενοι λογικοί κόμβοι (logical nodes), οι οποίοι μπορεί απλώς να περιέχουν περιγραφές συσκευών αλλά συνήθως αντιπροσωπεύουν μια πραγματική φυσική συσκευή, όπως διακόπτες, αισθητήρες ή IEDs, και το σύνολο των λειτουργιών τους.



Εικόνα 4.5: Δομή δεδομένων στο IEC 61850

- **Σειρά Πρωτοκόλλων IEC 61850**

Υποστηρίζει πρωτόκολλα όπως το GOOSE (Generic Object-Oriented Substation Event) για την ταχεία ανταλλαγή μηνυμάτων, το MMS (Manufacturing Message Specification) για την ασφαλή και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων και το SV (Sampled Values) για άμεση προώθηση αναλογικών και ψηφιακών τιμών δειγματοληψίας από IEDs σε άλλες συσκευές. Πιο αναλυτικά, το πρωτόκολλο **Generic Object-Oriented Substation Event (GOOSE)** είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται συχνά σε ψηφιακούς υποσταθμούς για την ανταλλαγή συμβάντων σε πραγματικό χρόνο. Το πρωτόκολλο σχεδιάστηκε για να επιτρέπει τη γρήγορη και αξιόπιστη επικοινωνία peer-to-peer, πληρώνοντας ταυτόχρονα τις αυστηρές απαιτήσεις ελέγχου και αυτοματισμού των συστημάτων ενέργειας.

Το GOOSE χρησιμοποιεί το μοντέλο (publisher-subscriber) εκδότη-συνδρομητή, το οποίο περιλαμβάνει ένα IED που λειτουργεί ως εκδότης για τη μετάδοση μηνυμάτων συμβάντων (γνωστά ως μηνύματα GOOSE) σε ενδιαφερόμενα IEDs εντός του δικτύου υποσταθμού. Οι συνδρομητές αναφέρονται ως οι δέκτες IEDs.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του GOOSE είναι η ικανότητά του να μεταδίδει πληροφορίες γρήγορα και αξιόπιστα. Το πετυχαίνει αυτό χρησιμοποιώντας επικοινωνία βασισμένη στο multicast, η οποία επιτρέπει την αποτελεσματική μετάδοση ενός μηνύματος GOOSE σε πολλούς συνδρομητές ταυτόχρονα.

Το πρωτόκολλο υλοποιεί επίσης ένα μηχανισμό παράδοσης υψηλής προτεραιότητας και χρονικής κρισιμότητας. Αυτός ο μηχανισμός χρησιμοποιεί τεχνικές συγχρονισμού για να διασφαλίζει την ακριβή και συγχρονισμένη χρονική σήμανση των συμβάντων σε όλο το δίκτυο.

Το πρωτόκολλο **MMS (Manufacturing Message Specification)** διευκολύνει την τυποποιημένη και ασφαλή ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των IEDs και στοιχείων υψηλότερου επιπέδου όπως τα Remote Terminal Units (RTUs) με το μοντέλο client/server. Το τυποποιημένο πλαίσιο που παρέχει το πρωτόκολλο επιτρέπει την ένταξη και τη διαλειτουργικότητα συσκευών διαφόρων κατασκευαστών.

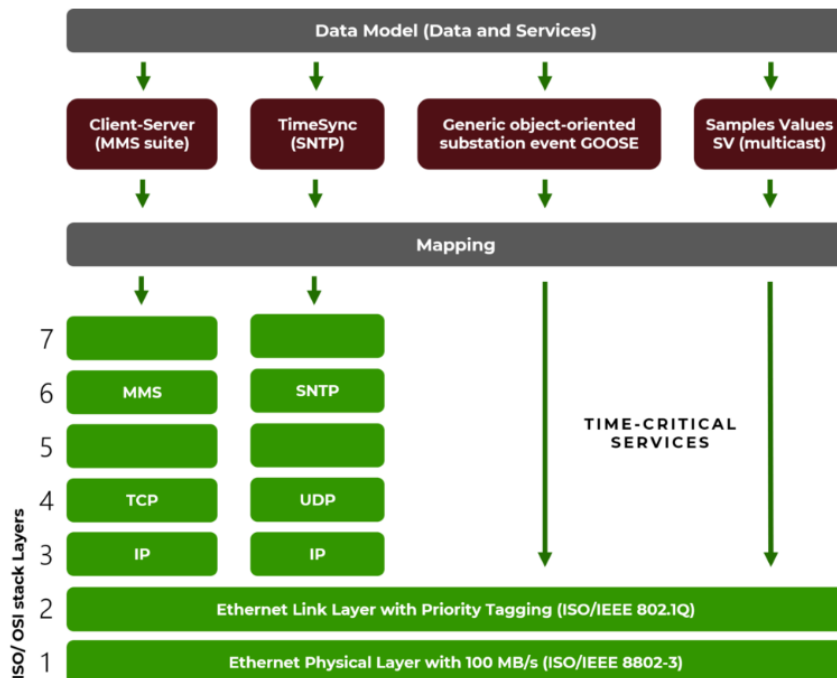
Το MMS χρησιμοποιεί το Common Information Model (CIM) για να ορίσει μια κοινή γλώσσα που θα χρησιμοποιείται στον υποσταθμό για την αναπαράσταση πληροφοριών του συστήματος. Το μοντέλο αποτελείται από ένα σύνολο στοιχείων, συμπεριφορών και χαρακτηριστικών που διευκολύνουν την κοινή κατανόηση των δεδομένων.

Η ασφαλής επικοινωνία είναι μια βασική λειτουργικότητα που προσφέρεται από το MMS. Το πρωτόκολλο υλοποιεί αλγορίθμους κρυπτογράφησης, ψηφιακές υπογραφές και άλλους μηχανισμούς ασφαλείας για να διασφαλίσει ότι τα δεδομένα του υποσταθμού είναι ανθεκτικά σε ανεπιθύμητη πρόσβαση ή παραβίαση.

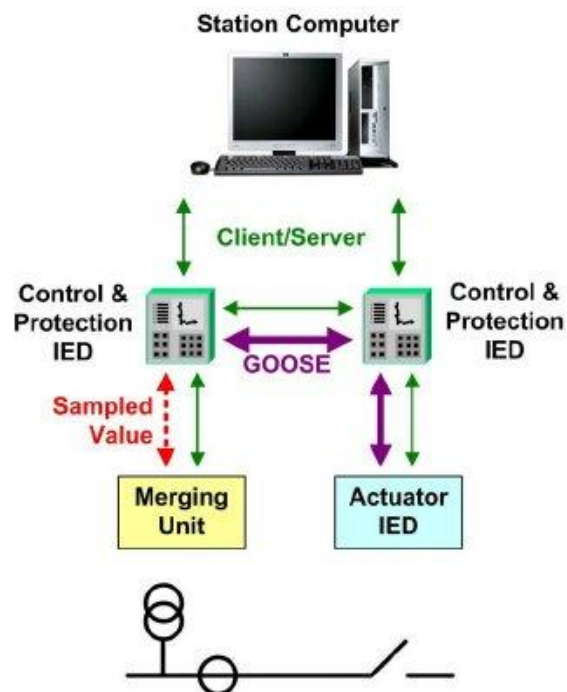
Το πρωτόκολλο **Sampled Values (SV)** είναι ένα κρίσιμο πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται συχνά σε ψηφιακούς υποσταθμούς για την προώθηση, με υψηλή ταχύτητα, αναλογικών και ψηφιακών τιμών δειγματοληψίας πραγματικού χρόνου από IEDs σε άλλες συσκευές εντός του δικτύου υποσταθμού.

Το πρωτόκολλο διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη διατήρηση του συγχρονισμού των δεδομένων σε συσκευές στον υποσταθμό, μεταδίδοντας χρονοσφραγισμένες τιμές δειγματοληψίας. Ο συγχρονισμός διασφαλίζει ότι τα δείγματα μετρήσεων από διαφορετικές συσκευές είναι χρονικά ευθυγραμμισμένα και αντιπροσωπεύουν ακριβώς το ίδιο χρονικό σημείο.

Η υψηλή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων επιτρέπει την γρήγορη ανταλλαγή τιμών δειγματοληψίας, η οποία είναι ουσιαστική για την καταγραφή και ανταπόκριση σε παροδικά γεγονότα ή βλάβες με ελάχιστη καθυστέρηση.



Εικόνα 4.6: Το πρωτόκολλο 61850



Εικόνα 4.7: Το πρωτόκολλο 61850

Παρά τις πολλές καινοτομίες και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το IEC 61850, αντιμετωπίζει ορισμένα μειονεκτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Πρώτον, η πολυπλοκότητα στη διαμόρφωση και τη συντήρηση του προτύπου μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο, καθώς απαιτείται εξειδικευμένη γνώση και συχνές επεμβάσεις από έμπειρους τεχνικούς. Δεύτερον, η ανάγκη για

ειδικά εργαλεία και προγραμματισμό για την ανάπτυξη και διαχείριση συστημάτων βασισμένων στο IEC 61850 ενδέχεται να αυξήσει το κόστος των έργων αυτοματισμού. Τέλος, παρόλο που το IEC 61850 προσφέρει υψηλό επίπεδο διαλειτουργικότητας, οι παλαιότερες συσκευές και τεχνολογίες μπορεί να μην υποστηρίζονται πλήρως, περιορίζοντας έτσι την ομαλή ένταξη σε υφιστάμενα συστήματα.[30],[31]

2.2.6 Profibus και Profinet

Το Profibus και το Profinet είναι δύο πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται ευρέως στις βιομηχανικές εφαρμογές αυτοματισμού και έχουν επίσης εφαρμογές σε συστήματα SCADA.

Το **Profibus** αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1980 στη Γερμανία ως πρωτόκολλο για τη βιομηχανική αυτοματοποίηση. Είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται κυρίως σε PLCs και άλλα συστήματα ελέγχου. Το Profibus υποστηρίζει πολυσημιακές συνδέσεις και μπορεί να λειτουργεί σε χαμηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, συνήθως μέχρι 12 Mbps. Είναι ανθεκτικό σε παρεμβολές και χρησιμοποιείται σε βιομηχανικά περιβάλλοντα όπου απαιτείται υψηλή αξιοπιστία. Το Profibus χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανική παραγωγή, όπου απαιτείται αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ των συσκευών ελέγχου, των αισθητήρων και των ενεργοποιητών. Βασικά του πλεονεκτήματα είναι η αξιοπιστία, η αντοχή σε παρεμβολές και η ευρεία υποστήριξη ενώ από την άλλη μεριά η περιορισμένη ταχύτητα σύνδεσης δημιούργησε το χώρο για την ανάπτυξη του Profinet

Το **Profinet** αναπτύχθηκε ως η εξέλιξη του Profibus για να υποστηρίξει τη μετάδοση δεδομένων μέσω Ethernet. Το Profinet υποστηρίζει υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης (μέχρι 100 Mbps και άνω) και παρέχει δυνατότητες για συγχρονισμένη μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας το κατάλληλο για απαιτητικές βιομηχανικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται γρήγορη και αξιόπιστη επικοινωνία μεταξύ βιομηχανικών συσκευών, ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν συντονισμό και συγχρονισμό σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο η αυξημένη πολυπλοκότητα σε σύγκριση με το Profibus, απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή στην εγκατάσταση και τη συντήρηση[32].

2.2.7 Σύγκριση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας

Πρωτόκολλο	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Modbus	Απλό και καθιερωμένο, ευρεία υποστήριξη από πολλούς κατασκευαστές, οικονομικά αποδοτικό.	Περιορισμένες λειτουργίες ασφαλείας, δεν είναι ιδανικό για πολύπλοκα δίκτυα.
DNP3	Υψηλή ασφάλεια και αξιοπιστία, υποστήριξη για πολύπλοκες εφαρμογές σε ηλεκτρικά δίκτυα.	Απαιτεί πιο περίπλοκη υλοποίηση και διαχείριση σε σχέση με άλλα πρωτόκολλα.
IEC 60870	Ευρεία υποστήριξη για τηλεχειρισμό και τηλεμετρία, καλή ενσωμάτωση με άλλα πρότυπα IEC.	Μπορεί να είναι περίπλοκο στην υλοποίηση και διαχείριση, χρειάζεται ενημερώσεις.
IEC 61850	Εξαιρετική διαλειτουργικότητα, μοντελοποίηση δεδομένων, υποστήριξη για smart grids.	Υψηλό κόστος υλοποίησης, απαιτεί εκτεταμένη εκπαίδευση και προσαρμογή.
OPC	Ενοποίηση δεδομένων από διάφορες πηγές, ευελιξία στην επικοινωνία και πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο.	Απαιτεί περίπλοκη υλοποίηση και μπορεί να είναι ακριβό στη συντήρηση.
Profibus	Καθιερωμένο στη βιομηχανία, αξιόπιστο στις σειριακές επικοινωνίες, καλή διαλειτουργικότητα.	Δεν είναι ιδανικό για πολύ γρήγορες ή μεγάλες ροές δεδομένων.
Profinet	Γρήγορη δεδομένων μετάδοση, προσαρμοστικότητα σε απαιτήσεις της βιομηχανίας 4.0, προηγμένες λειτουργίες.	Απαιτείται υψηλότερο επίπεδο τεχνικής γνώσης και υποδομής για την πλήρη υλοποίησή του.

Πίνακας 4.1: Συγκριτικός πίνακας πρωτοκόλλων επικοινωνίας

Το **Modbus** είναι ιδανικό για βασικούς ελέγχους και παρακολούθηση σε βιομηχανικές εφαρμογές με μη απαιτητικές ανάγκες στην ασφάλεια. Τα **DNP3** και **IEC 104** είναι κατάλληλα για πιο πολύπλοκα συστήματα, όπου η ασφαλής και η αξιόπιστη αναφορά συμβάντων σε μεγάλες αποστάσεις είναι κρίσιμης σημασίας και γ' αυτό κυρίως χρησιμοποιούνται για χειρισμό και έλεγχο στοιχείων από κάποιο απομακρυσμένο κέντρο ελέγχου. Ωστόσο το **DNP3** προτιμάται καθώς δύναται να μεταφέρει μεγαλύτερα και λιγότερα σε αριθμό πακέτα, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας ενώ παράλληλα μπορεί να εκμεταλλευτεί καλύτερα το δεδομένο bandwidth χρησιμοποιώντας τις κλάσεις προτεραιότητας. Το **IEC 61850** προσφέρει

προηγμένες δυνατότητες για αυτοματισμούς υποσταθμών με έμφαση στην υψηλή διαλειτουργικότητα και την προχωρημένη μοντελοποίηση δεδομένων. Το **OPC** είναι πολύ καλό στην ενοποίηση δεδομένων και την αντιμετώπιση πολυπλοκότητας σε διαφορετικές βιομηχανικές εφαρμογές. Τέλος το **Profibus** και **Profinet** προσφέρουν κυρίως βελτιωμένη αξιοπιστία, ευελιξία, και ταχύτητα, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές που είναι κρίσιμες για την παραγωγική διαδικασία και απαιτούν συνεχή λειτουργία υπό σκληρές συνθήκες.

2.3 Τεχνολογίες Επικοινωνίας

2.3.1 Σειριακή Επικοινωνία

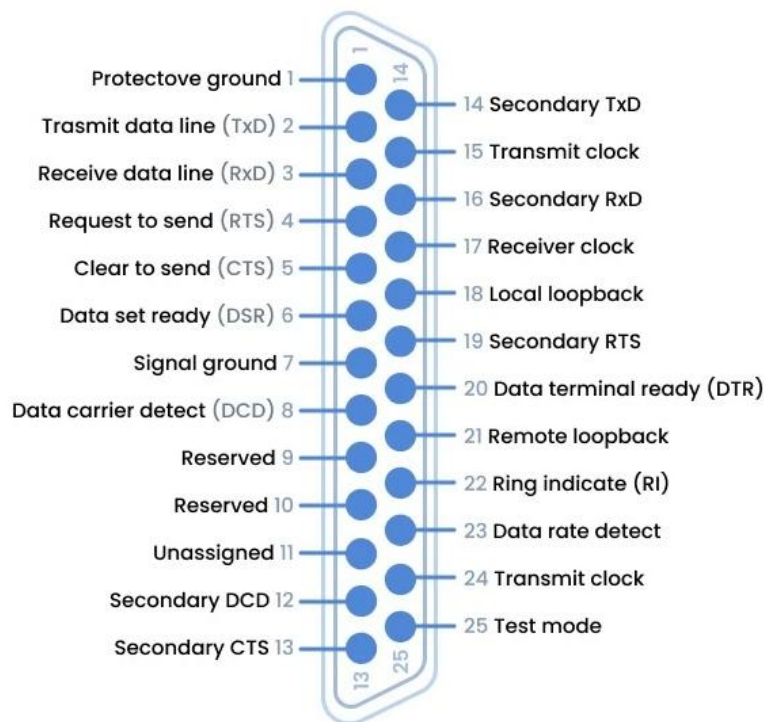
Η σειριακή επικοινωνία είναι μια από τις πιο παλιές και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες στα συστήματα SCADA. Οι δύο βασικοί τύποι σειριακών τεχνολογιών επικοινωνίας είναι το RS-232 και το RS-485

Το **RS-232** είναι ένα από τα πρώτα πρότυπα σειριακής επικοινωνίας, αναπτυγμένο τη δεκαετία του 1960 για να συνδέσει τερματικά και τηλε-τυπογράφους σε modem και είναι ένα από τα παλαιότερα πρότυπα διεπαφών που εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως και σήμερα για τη σύνδεση βιομηχανικών συσκευών με χαμηλές απαιτήσεις απόδοσης.

Η διεπαφή RS-232 ορίζει τόσο τα ηλεκτρικά όσο και τα μηχανικά πρότυπα που διέπουν τη μεταφορά σειριακών δεδομένων. Το RS-232 χρησιμοποιεί σειριακή επικοινωνία όπου τα δεδομένα μεταδίδονται σειριακά, bit προς bit, σε ένα καλώδιο επικοινωνίας. Η τυπική ρύθμιση RS-232 χρησιμοποιεί έναν 9-pin ή 25-pin D-type connector.



Εικόνα 4.8: 9-pin D-type connector



Εικόνα 4.9: 25-pin D-type connector

Το σήμα σε μια γραμμή RS-232 μπορεί να είναι ένα από τα δύο επίπεδα ηλεκτρικής τάσης: ενεργοποιημένο (συνήθως -12V έως -25V) και απενεργοποιημένο (συνήθως +12V έως +25V). Η απόσταση μετάδοσης περιορίζεται συνήθως σε 15 μέτρα, αν και με ειδικό καλώδιο μπορεί να επεκταθεί σημαντικά. Το RS-232 υποστηρίζει σύνδεση σημείο-προς-σημείο (point-to-point) με σχετικά χαμηλές ταχύτητες μετάδοσης, συνήθως μέχρι 20 Kbs.

Στις μέρες μας, παρά την εμφάνιση πιο γρήγορων και πιο ευέλικτων τεχνολογιών όπως USB και Ethernet, το RS-232 συνεχίζει να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν απλή και αξιόπιστη διεπαφή, καθώς επίσης σε κρίσιμες βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της αντοχής του σε δύσκολα περιβάλλοντα. Ωστόσο η ευαισθησία του σε παρεμβολές και ηλεκτρικούς θορύβους το καθιστά μια λιγότερο ελκυστική λύση.

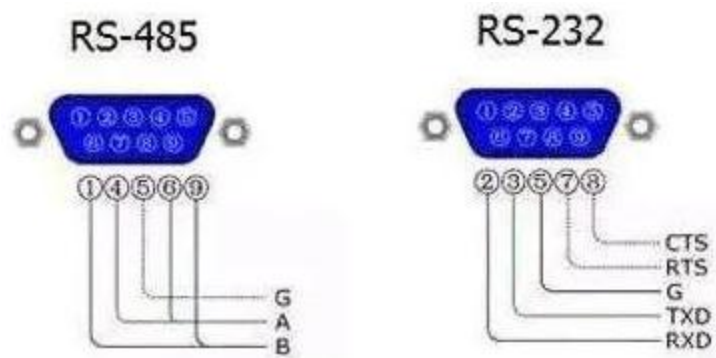
Τα παραπάνω μειονεκτήματα του RS-232 συνέβαλαν στην ανάπτυξη του RS-485, ενός προτύπου για σειριακή επικοινωνία που επιτρέπει την υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις.

Το RS-485 είναι ένα διαφορικό σύστημα, που σημαίνει ότι τα δεδομένα μεταδίδονται χρησιμοποιώντας δύο αντίθετες ηλεκτρικές καταστάσεις ανάμεσα σε δύο αγωγούς, το οποίο του επιτρέπει να αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τον ηλεκτρικό θόρυβο. Υποστηρίζει πολυσημειακές (multi-point) συνδέσεις, επιτρέποντας σε πολλές συσκευές να μοιράζονται το ίδιο δίαυλο

επικοινωνίας. Μπορεί να λειτουργεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις (έως και 1200 μέτρα) και υποστηρίζει υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης, μέχρι 10 Mbps.

Το RS-485 χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανικές εφαρμογές, αυτοματισμούς κτιρίων, συστήματα ελέγχου και άλλες εφαρμογές που απαιτούν σταθερή επικοινωνία σε αποστάσεις μεγαλύτερες από αυτές που υποστηρίζουν τα στάνταρτ RS-232. Η ανθεκτικότητά του στους ηλεκτρικούς θορύβους και η δυνατότητα να υποστηρίζει πολλαπλές συσκευές καθιστούν το RS-485 ιδανικό για σύνθετα δίκτυα εντός βιομηχανικών περιβαλλόντων.

Ωστόσο το RS-485 δεν είναι απαλλαγμένο από περιορισμούς. Η πολυπλοκότητα στη διαμόρφωση του δικτύου μπορεί να αποτελέσει πρόκληση, ιδιαίτερα στην επιλογή τερματισμού αντιστάσεων και στη διαχείριση των αντανakλάσεων σημάτων. Επιπλέον, ενώ υποστηρίζει αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων, οι ταχύτητες μετάδοσης και οι δυνατότητες επεκτασιμότητας μπορεί να μην είναι επαρκείς για ορισμένες υψηλών απαιτήσεων εφαρμογές.



Εικόνα 4.10: Συνδεσμολογίες των δύο σειριακών τεχνολογιών επικοινωνίας

RS-485	RS-232
Διαφορική μετάδοση	Μονοπολική επικοινωνία
Η απόσταση μετάδοσης μπορεί να φτάσει τα 1200 μέτρα	Η απόσταση μετάδοσης δεν υπερβαίνει τα 15 μέτρα
Επικοινωνία με έως 32 συσκευές	Επικοινωνία με 1 συσκευή
(2V έως 6V) σημαίνει λογικό 1, (-2V έως -6V) σημαίνει λογικό 0	(-12 έως -25)V σημαίνει λογικό 1, (12 έως 25)V σημαίνει λογικό 0
3 καλώδια	5 καλώδια
Ρυθμός επικοινωνίας 10Mbps	Ρυθμός επικοινωνίας 20Kbs

Πίνακας 4.2: Συγκριτικός πίνακας τεχνολογιών σειριακής επικοινωνίας

2.3.2 Ethernet

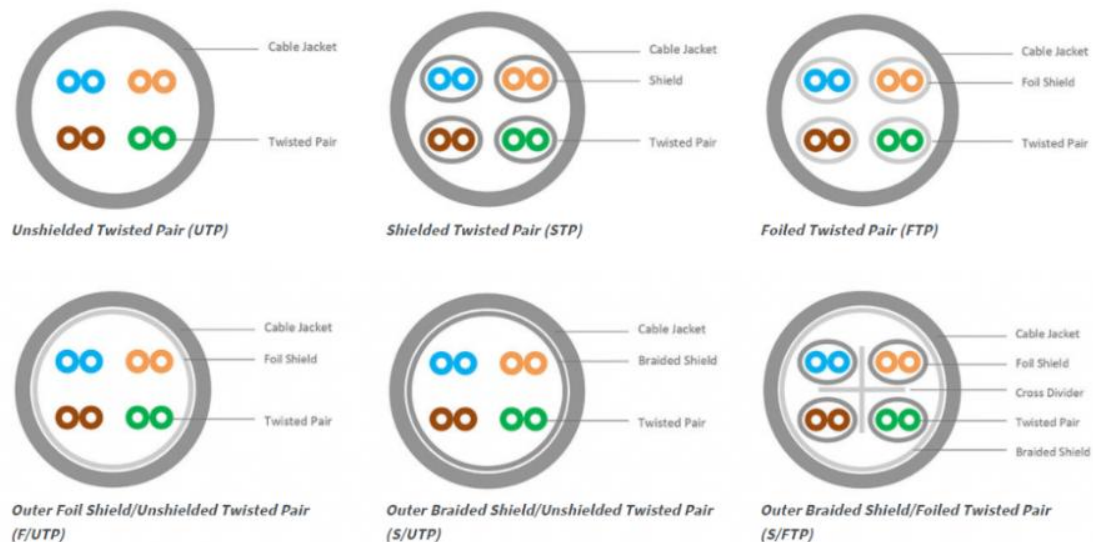
Το Ethernet έχει γίνει η πιο δημοφιλής τεχνολογία επικοινωνίας στις σύγχρονες βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της ταχύτητας, της αξιοπιστίας, και της ευελιξίας του. Το Ethernet αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1970 και αρχικά χρησιμοποιήθηκε σε γραφεία και εμπορικά περιβάλλοντα. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου, προσαρμόστηκε για χρήση σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, οδηγώντας στη δημιουργία του Industrial Ethernet.

Το Ethernet υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων που κυμαίνονται από 10 Mbps έως 100 Gbps. Χρησιμοποιεί πρωτόκολλα όπως το TCP/IP για τη διασφάλιση της αξιόπιστης μεταφοράς δεδομένων και υποστηρίζει επικοινωνία πολλαπλών σημείων μέσω switches και routers. Στο πεδίο του Industrial Ethernet, το πρότυπο έχει προσαρμοστεί για να αντέχει σε συνθήκες υψηλών διακυμάνσεων θερμοκρασίας, υγρασίας και μηχανικών κραδασμών. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν Industrial Ethernet είναι σχεδιασμένα με ισχυρότερα υλικά και πιο ανθεκτικές διαμορφώσεις, προσφέροντας αξιόπιστες λύσεις για τον αυτοματισμό εργοστασίων και τον έλεγχο παραγωγικών διαδικασιών.

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την τεχνολογία επικοινωνίας χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Κατηγορία 5e (Cat 5e): Τα καλώδια Cat 5e είναι τα πιο στοιχειώδη για εφαρμογές Ethernet, υποστηρίζοντας ταχύτητες μέχρι και 1 Gbps σε αποστάσεις μέχρι 100 μέτρα. Είναι κατάλληλα για βιομηχανικά περιβάλλοντα με μέτριες απαιτήσεις.
2. Κατηγορία 6 (Cat 6): Τα καλώδια Cat 6 παρέχουν βελτιωμένες επιδόσεις με μεγαλύτερη ανοχή στον ηλεκτρικό θόρυβο και υψηλότερες ταχύτητες μέχρι 10 Gbps σε αποστάσεις μέχρι 55 μέτρα. Είναι ιδανικά για πιο απαιτητικά βιομηχανικά δίκτυα.
3. Κατηγορία 6a (Cat 6a): Τα καλώδια Cat 6a υποστηρίζουν ταχύτητες μέχρι 10 Gbps σε αποστάσεις μέχρι 100 μέτρα και παρέχουν αυξημένη προστασία από τον ηλεκτρικό θόρυβο, καθιστώντας τα ιδανικά για υψηλής απόδοσης βιομηχανικές εφαρμογές.
4. Κατηγορία 7 (Cat 7): Τα καλώδια Cat 7 είναι κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν πολύ υψηλές ταχύτητες και είναι πλήρως θωρακισμένα, παρέχοντας εξαιρετική προστασία από ηλεκτρικές διαταραχές και θόρυβο.

Επίσης, όσον αφορά το επίπεδο προστασίας και θωράκισης των καλωδίων στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται 6 είδη καλωδίων.



Εικόνα 4.11: Διάφοροι τύποι θωράκισης επικοινωνιακών καλωδίων.

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα του Ethernet είναι η υψηλή ταχύτητα και το εύρος ζώνης που προσφέρει, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη μεταφορά δεδομένων, όπως video streaming, high-performance computing και διαχείριση μεγάλων βάσεων δεδομένων. Ωστόσο, παρά την ευρεία αποδοχή και χρήση του, το Ethernet αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η ανάγκη για συνεχείς αναβαθμίσεις υποδομών για να υποστηρίξει τις αυξανόμενες ταχύτητες και η ευπάθεια σε κυβερνοεπιθέσεις, κάτι που απαιτεί συνεχή επενδύσεις στην κυβερνοασφάλεια.

Το μέλλον του Ethernet φαίνεται να είναι συνδεδεμένο με τις εξελίξεις στα πεδία του Internet of Things (IoT) και του cloud computing, καθώς οι τεχνολογίες αυτές απαιτούν ισχυρή και αξιόπιστη δικτυακή υποστήριξη. Η εξέλιξη του Ethernet σε υψηλότερες ταχύτητες και η ικανότητα να υποστηρίξει περισσότερες συνδέσεις σε ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές θα είναι καθοριστική για την περαιτέρω ανάπτυξη και καινοτομία στην ψηφιακή εποχή.

2.3.3 Οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες αποτελούν μια κρίσιμη τεχνολογία στον τομέα των τηλεπικοινωνιών και των δικτύων δεδομένων, προσφέροντας ένα μέσο με εξαιρετική χωρητικότητα και αξιοπιστία για τη μεταφορά πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται ευρέως για τη μετάδοση φωτός, το οποίο μεταφέρει δεδομένα με ταχύτητες που ξεπερνούν κατά πολύ αυτές των συμβατικών μεταλλικών καλωδίων.

Η οπτική ίνα αποτελείται από έναν πυρήνα, συνήθως φτιαγμένο από πολύ καθαρό γυαλί ή πλαστικό, που περιβάλλεται από ένα εξωτερικό στρώμα γνωστό ως cladding. Το cladding έχει χαμηλότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα, δημιουργώντας έτσι το φαινόμενο της πλήρους

εσωτερικής ανάκλασης. Αυτό επιτρέπει στο φως να διαδίδεται κατά μήκος της ίνας με ελάχιστη απώλεια, ακόμη και σε μεγάλες αποστάσεις.

Παρά τις πολλές τους εφαρμογές, οι οπτικές ίνες αντιμετωπίζουν προκλήσεις, όπως η υψηλή κόστος εγκατάστασης και η ευαισθησία στις φυσικές βλάβες. Μελλοντικές εξελίξεις αναμένεται να επικεντρωθούν στη μείωση του κόστους και στη βελτίωση της ανθεκτικότητας των οπτικών ινών, καθώς και στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που θα επιτρέπουν ακόμα υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης και μεγαλύτερες αποστάσεις.

2.3.4 Ασύρματες Τεχνολογίες

Οι ασύρματες τεχνολογίες αποκτούν συνεχώς μεγαλύτερη σημασία στα συστήματα SCADA, προσφέροντας ευελιξία και εξοικονόμηση κόστους σε περιβάλλοντα όπου η εγκατάσταση καλωδίων είναι δύσκολη ή ανεπιθύμητη.

Το **Wi-Fi** έγινε δημοφιλές στις αρχές του 21ου αιώνα για οικιακές και επιχειρηματικές χρήσεις, και σταδιακά εισήχθη και σε βιομηχανικές εφαρμογές. Το Wi-Fi υποστηρίζει ταχύτητες που κυμαίνονται από μερικά Mbps έως αρκετά Gbps, ανάλογα με την έκδοση (π.χ. Wi-Fi 4, Wi-Fi 5, Wi-Fi 6). Είναι κατάλληλο για μικρές αποστάσεις, με εύρος επικοινωνίας έως 100 μέτρα σε εσωτερικούς χώρους και μεγαλύτερο σε εξωτερικούς χώρους. Παρουσιάζει μεγάλη ευκολία εγκατάστασης και διαμόρφωσης, χωρίς την ανάγκη καλωδίων αλλά θεωρείται ευπαθές σε παρεμβολές και παραβιάσεις

Το **LoRa** αναπτύχθηκε ως μια τεχνολογία χαμηλής κατανάλωσης για εφαρμογές IoT (Internet of Things). Το LoRa είναι σχεδιασμένο για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις (έως και 15 χιλιόμετρα σε εξωτερικούς χώρους) με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, ιδανικό για αισθητήρες και συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες. Επίσης ένα από τα πλεονεκτήματα του είναι η ανθεκτικότητα σε παρεμβολές. Ωστόσο η περιορισμένη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων το καθιστούν όχι τόσο κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν υψηλό εύρος ζώνης.

Οι τεχνολογίες κινητής επικοινωνίας εξελίχθηκαν από το **2G έως το 5G**, με το τελευταίο να προσφέρει υψηλές ταχύτητες και χαμηλή καθυστέρηση. Το 4G προσφέρει ταχύτητες έως και 100 Mbps, ενώ το 5G μπορεί να φτάσει αρκετά Gbps με πολύ χαμηλή καθυστέρηση. Αυτές οι τεχνολογίες είναι κατάλληλες για κινητές εφαρμογές SCADA, όπως η απομακρυσμένη παρακολούθηση και ο έλεγχος κινητών μονάδων. Ωστόσο η απαίτηση σε συνδρομή και η περιορισμένη γεωγραφική κάλυψη αυξάνουν το κόστος σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες.

Η **δορυφορική επικοινωνία** έχει χρησιμοποιηθεί από τη δεκαετία του 1960 για στρατιωτικές και εμπορικές εφαρμογές. Στα συστήματα SCADA, χρησιμοποιείται κυρίως σε υποδομές όπως αγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπου η φυσική σύνδεση μέσω καλωδίων είναι δύσκολη ή αδύνατη. Οι δορυφορικές συνδέσεις προσφέρουν ευρεία κάλυψη και μπορούν να υποστηρίξουν ταχύτητες από μερικά Kbps έως αρκετά Mbps, ανάλογα με τον τύπο του δορυφόρου και τη διαμόρφωση της σύνδεσης. Ωστόσο, η επικοινωνία επηρεάζεται από την καθυστέρηση (latency) λόγω της μεγάλης απόστασης που διανύει το σήμα. Έτσι παρά τα

πλεονεκτήματα, όπως η δυνατότητα κάλυψης απομακρυσμένων περιοχών και η αξιοπιστία σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, το υψηλό κόστος, η μεγάλη καθυστέρηση σήματος (latency) και η περιορισμένη ταχύτητα καθιστούν την δορυφορική επικοινωνία επιλογή μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Συνήθης χρήση της είναι για τον χρονοσυνγχρονισμό ενός συστήματος SCADA μέσω δορυφορικών ρολογιών.

2.3.6 Τεχνολογίες PLC (Power Line Communication)

Οι τεχνολογίες PLC χρησιμοποιούν τις υπάρχουσες γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας για τη μεταφορά δεδομένων, προσφέροντας μια πρακτική λύση για την επικοινωνία σε υπάρχουσες υποδομές. Η επικοινωνία μέσω γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύχθηκε αρχικά για τον έλεγχο των ηλεκτρικών συσκευών, αλλά με την πρόοδο της τεχνολογίας, χρησιμοποιείται πλέον για τη μετάδοση δεδομένων σε βιομηχανικά δίκτυα.

Οι τεχνολογίες PLC επιτρέπουν τη μετάδοση δεδομένων μέσω των ίδιων καλωδίων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας. Η ταχύτητα και η απόσταση μετάδοσης εξαρτώνται από την ποιότητα των γραμμών και το εύρος ζώνης του συστήματος, με τυπικές ταχύτητες που κυμαίνονται από μερικά Kbps έως αρκετά Mbps. Αυτό οδηγεί στην μείωση του κόστους εγκατάστασης και την καθιστούν μια εύκολα υλοποιήσιμη λύση. Ωστόσο επηρεάζεται από θόρυβο και παρεμβολές στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ενώ παρουσιάζει περιορισμένη ταχύτητα σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες.

3. Βασικός Εξοπλισμός μια Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης

Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, και τα υλικά που την απαρτίζουν, έχουν ως βασικό σκοπό την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και την μετατροπή αυτής σε ηλεκτρική. Τα βασικά στοιχεία που αποτελούν μια τέτοια εγκατάσταση είναι:

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών πλαισίων, και κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με το υλικό που έχει χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή τους, έτσι διακρίνουμε:

- ❖ Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου,
- ❖ Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου,
- ❖ Φ/Β στοιχεία λεπτών υμενίων,
- ❖ Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου.

Επίσης, η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών φέρνει στο φως νέα υλικά και παραγωγή πλαισίων που σκοπό έχουν την πλήρη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, π.χ. τα πλαίσια διπλής όψης.

- Μετατροπείς ισχύος (Inverters)

Οι αντιστροφείς των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχουν ως σκοπό την μετατροπή της DC τάσης που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε τάση AC σταθερού πλάτους και σταθερής συχνότητας. Οι αντιστροφείς έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν την έξοδο των φωτοβολταϊκών υποπεδίων ώστε να δημιουργούν συνθήκες μέγιστης απόδοσης.

Οι αντιστροφείς μπορούν να παρεμβληθούν σε διαφορετικές θέσεις στην Φ/Β εγκατάσταση, ώστε ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους να μπορούν να ελέγχουν την παραγόμενη ισχύ από:

- ❖ Ολόκληρο το Φ/Β πεδίο (Central Inverter),
- ❖ Ένα υποπεδίο, δηλαδή παράλληλες συστοιχίες Φ/Β πλαισίων (String Inverter),
- ❖ Το κάθε ένα Φ/Β πλαίσιο ανεξάρτητα (micro-inverter).

- Smart Loggers

Οι Smart Loggers είναι συσκευές που λειτουργούν ως κεντρικό σημείο συλλογής δεδομένων, που αφορούν την καταγραφή και διαχείριση της απόδοσης και της λειτουργίας ενός Φ/Β συστήματος. Η χρήση του Logger συντελεί στην μεγιστοποίηση της απόδοσης της εγκατάστασης καθώς συλλεγεί Real Time δεδομένα αλλά διαθέτει και ιστορικότητα, με αποτέλεσμα να εντοπίζονται πιθανά σφάλματα στην εγκατάσταση.

- Ηλεκτρικά καλώδια και Πίνακες προστασίας

Καλώδια χαλκού με τα οποία συνδέονται όλα τα επιμέρους εξαρτήματα (panel, inverters κ.α.) της εγκατάστασης, και είναι ανθεκτικά να αντέχουν μεγάλες θερμοκρασίες αλλά και σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες. Εν συνεχεία, οι πίνακες προστασίας που έχουν εγκατεστημένους τους Η/Ν προστασίας (συνήθως Η/Ν υπερέντασης στις κυψέλες μέσης τάσης) καθώς επίσης και όλα τα κυκλώματα προστασίας και ελέγχου που είναι σημαντικά για την ασφαλή και απρόσκοπτη λειτουργία της εγκατάστασης.

- Ηλεκτρικά εξαρτήματα

Μετασχηματιστές (Smart Transformer) οι οποίοι μετατρέπουν και προσαρμόζουν την παραγόμενη τάση ώστε αυτή να μπορεί να εγχυθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο.

- Συσκευές παρακολούθησης και ελέγχου

Περιλαμβάνουν συσκευές όπως μετρητές ενέργειας, και διακομιστές (Server) μέσω των οποίων γίνεται η εποπτεία, η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται από το σύστημα.

Τέλος, μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση διακρίνεται, ανάλογα με το επίπεδο τάσης στις εξής περιοχές:

- Επίπεδο αντιστροφέα (στην έξοδό του) - χαμηλή τάση:** Οι έξοδοι των αντιστροφέων συγκεντρώνονται στα LV Panel και στη συνέχεια, μέσω ενός μετασχηματιστή (Smart Transformer) η τάση εξόδου μετασχηματίζεται. Το συγκεκριμένο σημείο της εγκατάστασης, που περιλαμβάνει τους Inverters και τον Smart Transformer συντελούν ένα Power Station.
- Επίπεδο Μέσης Τάσης:** Όλοι οι υποκλάδοι του συστήματος, μετρά τον Smart Transformer, συναντώνται και συνιστούν το Terminal Station, δηλαδή ένα σημείο διεπαφής διαφορετικών επιπέδων τάσης (Χαμηλή – Μέση – Υψηλή τάση). Σε αυτό το σημείο, η κάθε αναχώρηση από τον ζυγό της μέσης τάσης προς το πάρκο συνιστά έναν IPPM (Independent Power Producer panel).
- Επίπεδο Υψηλής Τάσης:** Από τον ζυγό της μέσης τάσης, μέσω του ΜΣ ισχύος μεταβαίνουμε στην υψηλή τάση, όπου και γίνεται η σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Μετά την παρουσίαση του βασικού εξοπλισμού μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, προχωρούμε στην κατηγοριοποίηση των διαφορετικών τύπων Φ/Β συστημάτων. Η κατανόηση των διάφορων τύπων θα βοηθήσει στο να αναλύσουμε πώς οι διαφορετικές αρχιτεκτονικές των συστημάτων επηρεάζουν την απόδοση και τη διαχείριση ενέργειας.

4. Τύποι Φ/Β Συστημάτων

Η γνώση του πρωτεύοντα εξοπλισμού του Φ/Β συστήματος αποτελεί βάση για την κατανόηση των διαφορετικών Φ/Β συστημάτων. Σε αυτό το μέρος θα εξεταστούν τα βασικά χαρακτηριστικά και οι απαιτήσεις κάθε τύπου, εστιάζοντας στις τεχνικές ιδιαιτερότητες που καθορίζουν την απόδοση και επηρεάζουν την διαχείρισή τους.

Σύμφωνα με το πρότυπο **IEC 61724-1-2017**, τα φωτοβολταϊκά συστήματα κατηγοριοποιούνται σε διαφορετικούς τύπους ανάλογα με τα χαρακτηριστικά από τα οποία απαρτίζονται και τις επιδόσεις τους. Κάθε τύπος ενός τέτοιου συστήματος πληροί συγκεκριμένα τεχνικά κριτήρια που συνήθως σχετίζονται με την απόδοση, την αξιοπιστία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες λειτουργούν. Αυτή η κατηγοριοποίηση δίνει τη δυνατότητα επιλογής κατάλληλου εξοπλισμού ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε έργου.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η κατηγοριοποίηση στοχεύει στην αξιολόγηση της απόδοσης και της ποιότητας των συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες τεχνικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους. Έτσι, διακρίνονται τέσσερις τύποι: A, B, C, D. Παρακάτω θα γίνει ανάλυση του κάθε τύπου με βάση τις κύριες παραμέτρους που απαρτίζουν τον εκάστοτε τύπο και τις απαιτήσεις μέτρησης που επιβάλλει ο καθένας.

4.1. Τύπος A

Ο Τύπος A αποτελεί την πλέον αυστηρή κατηγορία, έχοντας θέσει τις πιο υψηλές προδιαγραφές και απαιτήσεις για τη λήψη μετρήσεων και την παρακολούθηση της απόδοσης, γι' αυτό και ο εξοπλισμός που εφαρμόζεται σε ένα σύστημα Τύπου A προσφέρει πολύ υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις. Αυτή η κατηγορία συστημάτων είναι ιδανική για φωτοβολταϊκά συστήματα μεγάλης κλίμακας, ερευνητικές εφαρμογές και γενικά συστήματα στα οποία η ακριβής καταγραφή των περιβαλλοντολογικών και λειτουργικών παραμέτρων είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της απόδοσης και τη βελτιστοποίηση αυτής.

4.1.1. Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις Τύπου A

- **Ηλιακή ακτινοβολία**

Στον Τύπο A χρησιμοποιούνται υψηλής ακρίβειας πυρόμετρα τα οποία είναι ικανά να μετρούν και να καταγράφουν τους διάφορους τύπους ακτινοβολίας (άμεση ακτινοβολία (POA) που αφορά τα πυρανόμετρα που ακολουθούν την θέση των panels, κάθετη ακτινοβολία (GHI) που αφορά τα πυρανόμετρα που είναι τοποθετημένα κάθετα στο έδαφος, με μέγιστη αξιοπιστία. Η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι κρίσιμη καθώς λαμβάνει μέρος στον υπολογισμό των KPIs (Key Performance Indicators), όπως το Performance Ratio (PR) και το Availability, τα οποία συμβάλλουν στην αξιολόγηση της απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Για τον λόγο αυτό τα πυρόμετρα επιβάλλεται να είναι βαθμονομημένα και να εγκαθίστανται σε κατάλληλες θέσεις στο χώρο ώστε οι μετρήσεις που θα λαμβάνουν να είναι όσο το δυνατόν ορθές και αντιπροσωπευτικές για το σύνολο του συστήματος.

- **Θερμοκρασία φωτοβολταϊκών panel**

Η θερμοκρασία τόσο του περιβάλλοντος όσο και των panel, παίζουν ζωτικής σημασίας ρόλο, καθώς επηρεάζουν την λειτουργία των ηλεκτρονικών και ηλεκτρικών συστημάτων που απαρτίζουν μια εγκατάσταση. Έτσι, ειδικοί αισθητήρες θερμοκρασίας είναι τοποθετημένοι στον περιβάλλοντα χώρο ώστε να λαμβάνουν τη γύρω θερμοκρασία, αλλά και απευθείας πάνω στα panel σε διάφορες θέσεις ώστε να γίνονται δειγματοληπτικές καταγραφές σε πολλά σημεία.

- **Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου.**

Ανεμόμετρα και αισθητήρες διεύθυνσης ανέμου είναι εγκατεστημένα σε μια εγκατάσταση ώστε να γίνεται λήψη των συνθηκών του ανέμου στην εκάστοτε περιοχή εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Οι μετρήσεις αυτές αποσκοπούν στην κατανόηση των περιβαλλοντικών συνθηκών στις οποίες υπόκειται το σύστημα και εξυπηρετούν την πρόβλεψη της απόδοσης σε διαφορετικά κλιματικά σενάρια, καθώς ο άνεμος συμβάλλει στην ψύξη των panel, και η απόδοση του συστήματος είναι συνδεδεμένη άμεσα με τη θερμοκρασία λειτουργίας αυτών.

- **Μέτρηση ισχύος και ενέργειας.**

Τα συστήματα που ακολουθούν τον Τύπο Α, διαθέτουν μετρητές ενέργειας και ισχύος (energy & power meters), που καταγράφουν την παραγόμενη και την καταναλισκόμενη ενέργεια καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας και μη του συστήματος. Αποτελούν μετρητές ακριβείας που βοηθούν στην αξιολόγηση της καθαρής παραγωγής, των απωλειών και της συνολικής απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Για τους παραπάνω λόγους, οι συγκεκριμένοι μετρητές, στις περισσότερες περιπτώσεις, αποτελούν μέρος κάποιου συστήματος διαχείρισης ενέργειας, μέσω του οποίου γίνεται ανάλυση των ληφθεισών μετρήσεων.

- **Δειγματοληψία και Ακρίβεια μετρήσεων**

Η συχνότητα δειγματοληψίας σε ένα τέτοιο σύστημα είναι μεγάλη, και λαμβάνονται δεδομένα σε επίπεδα δευτερολέπτου, λεπτού, δεκάλεπτου ανάλογα με την εκάστοτε μέτρηση, και αποβλέπουν στην συνεχή παρακολούθηση των αλλαγών των μετρούμενων μεγεθών που ενδέχεται να επηρεάσουν την απόδοση του συστημάτων, και στη λήψη μέτρων για την διόρθωσή τους. Έτσι, τα μετρητικά που χρησιμοποιούνται ελέγχονται διαρκώς και βαθμονομούνται τακτικά ώστε να αποφεύγονται οποιεσδήποτε ζημιογόνες αποκλίσεις της απόδοσης.

4.2. Τύπος Β

Ο Τύπος Β, αποτελείται από συστήματα που προσφέρουν υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία στις μετρήσεις, ωστόσο δεν είναι τόσο αυστηρός όπως στον Τύπο Α. Αυτή η κατηγορία συστημάτων είναι ιδανική για εμπορικές εγκαταστάσεις, οι οποίες ζητούν παρακολούθηση της απόδοσης, αλλά δεν είναι επιτακτική η χρήση συσκευών υψηλής ακρίβειας. Σύμφωνα με το τελευταίο, γίνεται αντιληπτό ότι η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων έγκειται στο κόστος εγκατάστασης, με τον Τύπο Β να είναι πιο οικονομικός.

4.2.1. Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις Τύπου Β

- **Ηλιακή Ακτινοβολία.**

Στον Τύπο Β η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι εξίσου σημαντική, αλλά τα πυρανόμετρα που χρησιμοποιούνται δεν είναι τόσο ακριβή σε σχέση με αυτά του Τύπου Α. Πρόκειται για μετρητικά πιο οικονομικά, που ικανοποιούν τις απαιτήσεις για την παρακολούθηση της ακτινοβολίας σε εμπορικές εφαρμογές, χωρίς όμως να είναι σημαντική η απόλυτη ακρίβεια των δεδομένων που δίνουν (συνήθως πυρανόμετρα κατηγορίας Β).

- **Θερμοκρασία Φωτοβολταϊκών Panel.**

Η θερμοκρασία και εδώ παίζει σημαντικό ρόλο για τους ιδίους λόγους που έχουν αναφερθεί. Όμως, οι αισθητήρες θερμοκρασίας δεν χρειάζεται να είναι τόσο ακριβείς και ευαίσθητοι αλλά να συνεχίζουν να παρέχουν αξιόπιστες μετρήσεις. Ακόμη, είναι τοποθετημένοι σε λιγότερα σημεία τόσο στο περιβάλλοντα χώρο όσο και στα panel. Οι απαιτούμενες λήψεις μπορούν να γίνουν με μετρητικά μικρότερης τιμής και ακρίβειας.

- **Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου.**

Στον Τύπο Β, η μέτρηση των συνθηκών ανέμου γίνεται συνήθως με απλούστερους ανεμομετρητές που προσφέρουν βασικές μετρήσεις ταχύτητας και διεύθυνσης. Οι ανεμομετρητές αυτοί είναι επαρκείς για να κατανοήσουν οι διαχειριστές πώς οι συνθήκες ανέμου επηρεάζουν την απόδοση, αν και τα δεδομένα μπορεί να μην είναι τόσο λεπτομερή όσο στον Τύπο Α. Η καταγραφή των ανέμων είναι χρήσιμη για την εκτίμηση των ψυκτικών επιδράσεων στα panel και τη διασφάλιση ότι δεν επηρεάζονται αρνητικά από τις συνθήκες ανέμου.

- **Μέτρηση ισχύος και ενέργειας.**

Τα συστήματα που ακολουθούν τον Τύπο Α, διαθέτουν μετρητές ενέργειας και ισχύος (energy & power meters), που καταγράφουν την παραγόμενη και την καταναλισκόμενη ενέργεια με απαιτήσεις ακρίβειας μικρότερες από αυτές του τύπου Α. Οι μετρητές αυτοί είναι αρκετά αξιόπιστοι για την ανάλυση της συνολικής απόδοσης του συστήματος και παρέχουν βασικά δεδομένα για την αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η ανάλυση της απόδοσης γίνεται σε επίπεδο που επιτρέπει στους διαχειριστές να κατανοήσουν τις απώλειες και την καθαρή παραγωγή χωρίς να χρειάζονται δεδομένα υψηλής ακρίβειας όπως στον Τύπο Α

- **Δειγματοληψία και Ακρίβεια μετρήσεων**

Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι πιο αραιή με τα δεδομένα να λαμβάνονται κάθε λίγα λεπτά, σε αντίθεση με τη δειγματοληψία δευτερολέπτου του προηγούμενου τύπου. Η χαμηλότερη συχνότητα δειγματοληψίας είναι επαρκής για την παρακολούθηση της απόδοσης χωρίς να απαιτούνται συνεχείς και λεπτομερείς μετρήσεις. Αυτό μειώνει το κόστος του εξοπλισμού και της συντήρησης, διατηρώντας ωστόσο την αξιοπιστία των μετρήσεων.

4.3. Τύπος C

Ο Τύπος C είναι μια κατηγορία που προσφέρει τη βασική παρακολούθηση της απόδοσης του συστήματος, με λιγότερο αυστηρές απαιτήσεις σε εξοπλισμό και ακρίβεια σε σχέση με τους Τύπους A και B. Ο Τύπος C βρίσκει εφαρμογή σε λύσεις όπου η λεπτομερής καταγραφή των δεδομένων δεν είναι αναγκαία, όπως για μικρές εμπορικές και οικιακές εγκαταστάσεις. Επικεντρώνεται κυρίως σε βασικές παραμέτρους οι οποίες είναι αρκετές για τη γενική εκτίμηση της απόδοσης του συστήματος, διατηρώντας παράλληλα το κόστος σε χαμηλά επίπεδα.

4.3.1. Χαρακτηριστικά και απαιτήσεις Τύπου C

- **Ηλιακή Ακτινοβολία.**

Η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας στον Τύπο C γίνεται με αισθητήρες χαμηλότερης ακρίβειας, όπως φωτόμετρα ή πυρανόμετρα κατηγορίας C. Οι αισθητήρες αυτοί προσφέρουν μόνο μια γενική εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στα panel, η οποία ωστόσο είναι επαρκής για τον υπολογισμό της βασικής απόδοσης του συστήματος. Δεν απαιτείται υψηλή ακρίβεια στη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας, κάτι που μειώνει σημαντικά το κόστος εξοπλισμού.

- **Θερμοκρασία Φωτοβολταϊκών Panel.**

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, ο Τύπος C εφαρμόζεται σε μικρότερες εγκαταστάσεις, οικιακές ή εμπορικές, για τις οποίες η μέτρηση θερμοκρασίας δεν κρίνεται απαραίτητη, καθώς οι αλλαγές στη θερμοκρασία επηρεάζουν πολύ λιγότερο την απόδοση σε σχέση με τις αλλαγές σε ένα μεγαλύτερο σύστημα. Ωστόσο, όταν γίνεται μέτρηση της θερμοκρασίας γίνεται με αισθητήρες που παρέχουν απλές μετρήσεις αυτής.

- **Ταχύτητα και Διεύθυνση ανέμου.**

Η συγκεκριμένη μέτρηση δεν λαμβάνει χώρα στις περισσότερες εγκαταστάσεις αυτού του τύπου, καθώς θεωρείται δευτερεύουσα μέτρηση, και δεν επηρεάζει σημαντικά ένα σύστημα μικρής κλίμακας.

- **Μέτρηση Ισχύος και Ενέργειας.**

Τα συστήματα Τύπου C περιλαμβάνουν απλούς μετρητές ισχύος ή ενέργειας, που καταγράφουν μόνο τη συνολική παραγόμενη ενέργεια σε βασικό επίπεδο. Οι μετρητές αυτοί μπορεί να είναι ενσωματωμένοι στους inverters και δεν χρειάζεται να είναι ιδιαίτερα ακριβείς, αρκεί να παρέχουν βασικά δεδομένα παραγωγής για τον χρήστη. Η παρακολούθηση επικεντρώνεται κυρίως στην καθαρή παραγωγή ενέργειας, χωρίς να απαιτείται λεπτομερής καταγραφή της απόδοσης σε πραγματικό χρόνο.

- **Δειγματοληψία και Ακρίβεια μετρήσεων.**

Η συχνότητα δειγματοληψίας των μετρήσεων είναι αρκετά αραιή, σε ωριαία βάση, και γίνεται για να υπάρχει εκτίμηση της παραγωγής ενέργειας από τον χρήστη.

4.4. Τύπος D

Ο τύπος D είναι ο τύπος με τις λιγότερες απαιτήσεις τόσο σε μετρήσεις, όσο και σε δειγματοληψία, καθώς αναφέρεται σε μικρές εφαρμογές, κυρίως οικιακές, στις οποίες οι απαιτήσεις για εξοπλισμό μέτρησης είναι ελάχιστες. Οι συσκευές που εγκαθίστανται δίνουν τη δυνατότητα απλής παρακολούθησης της παραγωγής, με ελάχιστες έως μηδενικές απαιτήσεις για περιβαλλοντικά δεδομένα.

Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

	Τύπος A	Τύπος B	Τύπος C	Τύπος D
Ηλιακή ακτινοβολία	Πυρανόμετρα υψηλής ακρίβειας.	Πυρανόμετρα μέτριας ακρίβειας.	Φωτόμετρα ή πυρόμετρα χαμηλής ακρίβειας.	Δεν απαιτείται.
Θερμοκρασία panel.	Αισθητήρες υψηλής ακρίβειας.	Αισθητήρες με βασική ακρίβεια.	Αισθητήρες με χαμηλή ακρίβειας ή καθόλου αισθητήρες.	Δεν απαιτείται.
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	Αισθητήρες υψηλής ακρίβειας.	Αισθητήρες με βασική ακρίβεια.	Προαιρετική παρακολούθηση με αισθητήρες χαμηλού κόστους.	Δεν απαιτείται.
Άνεμος	Ανεμομετρητές υψηλής ακρίβειας.	Ανεμομετρητές για βασικές μετρήσεις.	Δεν απαιτείται.	Δεν απαιτείται.
Μετρήσεις ισχύος & ενέργειας.	Μετρητές υψηλής ακρίβειας με δυνατότητα ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο.	Μετρητές με επαρκή ακρίβεια για εμπορική χρήση.	Απλοί μετρητές ενέργειας, ενδεχόμενη ενσωμάτωση στον inverter.	Απλή εκτίμηση παραγωγής μέσω των inverters.
Συχνότητα δειγματοληψίας.	Πολύ υψηλή.	Υψηλή.	Μέτρια (ωριαία)	Χαμηλή (ημερήσια)
Ακρίβεια μετρήσεων.	Πολύ υψηλή.	Υψηλή.	Μέτρια.	Χαμηλή.

Πίνακας 4.1: Τύποι Φ/Β συστημάτων και χαρακτηριστικά αυτών.

Η ανάλυση που θα ακολουθήσει και αφορά την Φ/Β εγκατάσταση, θα επικεντρωθεί σε συστήματα τύπου A που περιγράφηκαν αρχικά, καθώς το σύστημα για το οποίο αναπτύσσεται το ψηφιακό σύστημα εποπτείας και ελέγχου είναι μια Φ/Β εγκατάσταση μεγάλης ισχύος, με απευθείας σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο.

5. Παράμετροι ενός Φ/Β Συστήματος τύπου Α

Η κατανόηση των διαφορετικών τύπων Φ/Β συστημάτων οδηγεί στην ανάλυση των κρίσιμων παραμέτρων που επηρεάζουν την απόδοσή τους. Παρακάτω θα εξεταστούν οι βασικές μετρούμενες και υπολογιζόμενες παράμετροι, καθώς και οι δείκτες απόδοσης, που είναι καθοριστικοί για την παρακολούθηση και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

5.1. Μετρούμενες Παράμετροι

Το πρότυπο IEC 61724-1 ορίζει ποιες μετρήσεις είναι απαραίτητο να ληφθούν από το πεδίο άμεσα μέσω μετρητικών και αισθητήριων, καθώς επίσης και τον ελάχιστο αριθμό αισθητήριων που πρέπει να τοποθετηθούν στο πεδίο για την απόκτηση αυτών των μετρήσεων. Αυτά παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5.2. Στον Πίνακα 5.1 δίνεται ο αριθμός των αισθητήριων ο οποίος εξαρτάται από την ισχύ του συστήματος. Ακόμη, στο πρότυπο περιγράφεται και ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνεται η λήψη της κάθε μέτρησης και τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να είναι τοποθετημένοι οι αισθητήρες, περιγραφή η οποία ξεφεύγει από τον σκοπό της παρούσας εργασίας (παρεμπ. Πρότυπο IEC 61724-1:2017 παρ. 7.2).

Μέγεθος συστήματος	Αριθμός αισθητήρων
$< 5 \text{ MW}$	1
$\geq 5 \text{ MW to } < 40 \text{ MW}$	2
$\geq 40 \text{ MW to } < 100 \text{ MW}$	3
$\geq 100 \text{ MW to } < 200 \text{ MW}$	4
$\geq 200 \text{ MW to } < 300 \text{ MW}$	5
$\geq 300 \text{ MW to } < 500 \text{ MW}$	6
$\geq 500 \text{ MW to } < 750 \text{ MW}$	7
$\geq 750 \text{ MW}$	8

Πίνακας 5.1: Πλήθος αισθητήριων με βάση το μέγεθος του πάρκου.

Παράμετρος	Σύμβολο	Μονάδα Μέτρησης	Σκοπός μέτρησης	No. αισθητηρίων
Ηλιακή Ακτινοβολία (Irradiance)				
POA Irradiance	G_i	W/m^2	Υπολογισμός KPIs	Πίνακας 5.1
GHI Irradiance	GHI		Υπολογισμός KPIs	
Απευθείας Ακτινοβολία.	DNI		Ιστορικά δεδομένα	
Διάχυτη Ακτινοβολία	G_d		Ιστορικά δεδομένα	
Περιβαλλοντικά δεδομένα.				
Θερμ. Πάνελ	T_{mod}	$^{\circ}C$	Μετρήσεις που αφορούν τις απώλειες ενέργειας, την θερμοκρασία των Φωτοβολταϊκών πάνελ.	Πίνακας 5.1
Θερμ. Περιβάλλοντος	T_{amb}			
Ταχύτητα ανέμου		m/s		
Δ/ση ανέμου		$^{\circ}$		
Ρύπανση	SR			
Βροχόπτωση / χιόνι		cm		
Υγρασία				
Ηλεκτρικά Μεγέθη				
Τάση συστοιχίας (DC)	V_A	V	Μετρήσεις για διαγνωστικούς λόγους και εντοπισμό σφάλματος.	Πίνακας 5.1.
Ρεύμα συστοιχίας (DC)	I_A	A		
Ισχύς συστοιχίας (DC)	P_A	kW		
Τάση εξόδου (AC)	V_{out}	V	Μετρήσεις για την έξοδο του συστήματος.	
Ρεύμα εξόδου (AC)	I_{out}	A		
Ισχύς εξόδου (AC)	P_{out}	kW		
Ενέργεια εξόδου (AC)	E_{out}	kWh		
Σ.Ι. εξόδου	λ		Λειτουργία συστήματος	

Πίνακας 5.2: Μετρούμενα μεγέθη σε ένα Φ/Β σύστημα Τύπου Α.

5.2. Υπολογιζόμενες Παράμετροι

Οι υπολογιζόμενες παράμετροι, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61724-1, είναι παράμετροι οι οποίες υπολογίζονται με βάση τις μετρήσεις που έχουμε πάρει από τα αισθητήρια και πρέπει να υπολογίζονται για χρονικά διαστήματα μιας μέρας, ενός μηνά ή διαστήματα μηνών, και χρόνου.

Παράμετρος	Σύμβολο	Μονάδα μέτρησης
Irradiation (η πιο ακριβής μετάφραση είναι «ηλιοφάνεια»)		
POA Irradiation	H_i	kWh/m^2
Ηλεκτρική Ενέργεια		
Παραγόμενη Ενέργεια ΦΒ συστοιχίας (DC)*	E_A	kWh
Παραγόμενη Ενέργεια συστήματος (AC)**	E_{out}	kWh
Αποδόσεις και Απώλειες		
Απόδοση ενέργειας ΦΣ	Y_A	kWh/kW
Τελική απόδοση ΦΣ	Y_f	kWh/kW
Απόδοση αναφοράς	Y_r	kWh/kW
Απώλειες συλλογής ενέργειας	L_C	kWh/kW
Απώλειες Ισορροπίας συστήματος	L_{BOS}	kWh/kW
Αποδοτικότητα		
Αποδοτικότητα ΦΣ	η_A	-
Αποδοτικότητα συστήματος	η_f	-
Αποδ.Ισορροπίας Συστήματος	η_{BOS}	-
Δείκτες απόδοσης (Performance Ratio)		
Performance Ratio	PR	

Πίνακας 5.3: Υπολογιζόμενα μεγέθη σε ένα Φ/Β σύστημα Τύπου Α.

Περαιτέρω περιγραφή των πιο πάνω μεγεθών:

- Irradiation: αποτελεί την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της συνολικής ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο Φ/Β πλαίσιο.
- Παραγόμενη DC ενέργεια Φ/Β συστοιχίας: είναι συνολική ενέργεια που παράγεται από το πλαίσιο πριν από τις απώλειες μετατροπής του Inverter.
- Παραγόμενη AC ενέργεια: είναι η συνολική ενέργεια που αποδίδει το Φ/Β σύστημα, μετρά τη μετατροπή σε AC ρεύμα.
- Απόδοση ενέργειας Φ/Β συστήματος: είναι η συνολική παραγόμενη DC ενέργεια από το Φ/Β σύστημα, κανονικοποιημένη στην ονομαστική ισχύ του συστήματος σε STC συνθήκες.
- Τελική απόδοση συστήματος: η συνολική παραγόμενη AC ενέργεια από το σύστημα, κανονικοποιημένη στην ονομαστική ισχύ του Φ/Β συστήματος.
- Απόδοση αναφοράς: η συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στην επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων κανονικοποιημένη στην κανονική ακτινοβολία (1000 W/m^2).
- Αποδοτικότητα Φ/Β συστήματος: ο λόγος της παραγόμενης DC ενέργειας προς τη συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια.
- Αποδοτικότητα συστήματος: η συνολική απόδοση του συστήματος λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα φωτοβολταϊκά όσο και τον μετατροπέα.
- Συντελεστής απόδοσης (PR): το μέτρο της συνολικής αποδοτικότητας του Φ/Β συστήματος το οποίο δείχνει το ποσοστό της μετατροπής της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Οι πιο πάνω παράμετροι προσφέρουν στον χρήστη ένα πλήρες πλαίσιο αξιολόγησης της απόδοσης των Φ/Β συστημάτων σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας και παρακάτω θα δούμε πως υπολογίζονται στο σύστημα μας.

5.3. KPIs' ενός Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Με το πέρας των χρόνων, και την συνεχή ανάπτυξη και αύξηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, η παρακολούθηση και η ανάλυση βασικών δεικτών απόδοσης (Kia) ενός φωτοβολταϊκού (PV) συστήματος έχει καταστεί αναπόφευκτη και επιτακτική για τους επενδυτές, τους διαχειριστές του συστήματος και τους φορείς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι δείκτες αυτοί βοηθούν να καθοριστεί εάν η παραγωγή ενέργειας και το κόστος της επένδυσης είναι σύμφωνα με τις προσδοκίες της αρχικής επένδυσης. Βοηθούν επίσης στη συγκριτική αξιολόγηση του συστήματος ή στη σύγκριση δύο ή περισσότερων συστημάτων τεχνολογίας φωτοβολταϊκών. Επιπλέον, τα δεδομένα KPI χρησιμοποιούνται για την επίβλεψη της κατάστασης της ενεργειακής απόδοσης ενός συστήματος. Η πραγματική παρακολούθηση των πραγματικών δεδομένων απόδοσης του συστήματος από εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να προσφέρει πληροφορίες και να βοηθήσει στην αξιολόγηση των παραγόντων και των συνθηκών που μπορεί να βελτιστοποιήσουν την απόδοση του συστήματος που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο. Η παρακολούθηση των KPI των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι σημαντική καθώς μπορούν να παρέχουν μια ευρεία απεικόνιση του συστήματος που μπορεί να οδηγήσει στην ανίχνευση πιθανών ανωμαλιών ή υποαπόδοσης της εγκατάστασης. Όταν ένας συγκεκριμένος δείκτης συμπεριφέρεται εκτός αποδεκτών ορίων, μπορεί να είναι απαραίτητη μια βαθύτερη έρευνα για την κατανόηση και τη διάγνωση της βασικής αιτίας αυτής της χαμηλής απόδοσης. Επίσης, πολύ σημαντικό οι δείκτες απόδοσης να είναι ορισμένοι με γενικώς αποδεκτό τρόπο (βάση προτύπου) και να πληρούν τις αναμενόμενες τιμές, ώστε να μην υπάρχει μείωση στην παραγωγή ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Το αντίθετο συνεπάγεται σε μείωση της απόδοσής του τόσο των Φ/Β panel όσο και του μετατροπέα, μειώνοντας έτσι τη συνολική απόδοση του συστήματος. Ως εκ τούτου, ο σωστός υπολογισμός των δεικτών και η σχολαστική παρακολούθηση τους αποτελεί σημαντική πρακτική προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη ενεργειακή παραγωγικότητα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι δείκτες που αφορούν ένα Φ/Β σύστημα.

5.3.1. Δείκτης διαθεσιμότητας (Availability)

Ο δείκτης διαθεσιμότητας υποδηλώνει το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο το σύστημα ή μια συσκευή του συστήματος, ήταν λειτουργικό, δηλαδή το availability του πάρκου, ενός inverter, Smart Logger, tracker (αν το σύστημα διαθέτει) δίνεται από τον παρακάτω θεωρητικό τύπο:

$$Availability = \frac{\text{Χρόνος λειτουργίας}}{\text{Συνολικός διαθέσιμος Χρόνος}}$$

Ο δείκτης διαθεσιμότητας, καθώς και όλοι οι παρακάτω δείκτες, έχει υλοποιηθεί με τον παρακάτω τρόπο σε γλώσσα σύμφωνη με το IEC 61131-1:

1. INV_01_01_AVAILABILITY := SEL(INV_1_1_AV10m_FN(ANY_TO_REAL(INV_01_01_INPUT_POWER)/1000)>
2. INV_NOM_POW_THR_2 AND INV_01_01_IS_ONLINE AND (WS_IRRADIANCE_10MIN_AVERAGE > 100.0), REAL#0, REAL#100);

Θα εξετάσουμε την παραπάνω συνθήκη:

- ❖ INV_1_1_AV10m_FN(ANY_TO_REAL(INV_01_01_INPUT_POWER)/1000)

- Λαμβάνει την τιμή της DC ισχύος όπως αυτή έχει παραχθεί από το panel, την μετατρέπει σε πραγματικό αριθμό, και αυτόν τον αριθμό τον διαιρεί με 1000 ώστε να εκφραστεί σε kW.
- Στη συνέχεια, αυτό το νούμερο συγκρίνεται με την ονομαστική τιμή της ισχύος του inverter.
- ❖ INV_01_01_IS_ONLINE
- Γίνεται έλεγχος για το αν ο αντιστροφes είναι ενεργός ή όχι.
- ❖ WS_IRRADIANCE_10MIN_AVERAGE > 100.0
- Γίνεται έλεγχος αν η μέση ακτινοβολία 10λεπτου είναι μεγαλύτερη από 100W/m²

Εάν, ισχύουν όλες οι παραπάνω συνθήκες, τότε η τιμή του Availability καθορίζεται μέσω της συνάρτησης SEL η οποία επιλέγει μεταξύ δύο τιμών ανάλογα με το αποτέλεσμα μιας λογικής συνθήκης. Συγκεκριμένα, αν η συνθήκη είναι αληθής, το Availability λαμβάνει τιμή **REAL#100**, ενώ αν οποιαδήποτε από τις συνθήκες που ελέγχονται είναι ψευδής, η τιμή του γίνεται **REAL#0**.

Επιπλέον, το Availability υπολογίζεται σε επίπεδο Power Station, με τον υπολογισμό αυτού στον Smart Logger, όπως φαίνεται παρακάτω:

```

1 //Power Station Availability
2 SL_01_AVAILABILITY := (INV_01_01_AVAILABILITY*INV_01_01_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_02_AVAILABILITY*INV_01_02_NOMINAL_POWER_EXC+
3 INV_01_03_AVAILABILITY*INV_01_03_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_04_AVAILABILITY*INV_01_04_NOMINAL_POWER_EXC+
4 INV_01_05_AVAILABILITY*INV_01_05_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_06_AVAILABILITY*INV_01_06_NOMINAL_POWER_EXC+
5 INV_01_07_AVAILABILITY*INV_01_07_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_08_AVAILABILITY*INV_01_08_NOMINAL_POWER_EXC+
6 INV_01_09_AVAILABILITY*INV_01_09_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_10_AVAILABILITY*INV_01_10_NOMINAL_POWER_EXC+
7 INV_01_11_AVAILABILITY*INV_01_11_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_12_AVAILABILITY*INV_01_12_NOMINAL_POWER_EXC+
8 INV_01_13_AVAILABILITY*INV_01_13_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_14_AVAILABILITY*INV_01_14_NOMINAL_POWER_EXC+
9 INV_01_15_AVAILABILITY*INV_01_15_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_16_AVAILABILITY*INV_01_16_NOMINAL_POWER_EXC+
10 INV_01_17_AVAILABILITY*INV_01_17_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_18_AVAILABILITY*INV_01_18_NOMINAL_POWER_EXC+
11 INV_01_19_AVAILABILITY*INV_01_19_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_20_AVAILABILITY*INV_01_20_NOMINAL_POWER_EXC+
12 INV_01_21_AVAILABILITY*INV_01_21_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_22_AVAILABILITY*INV_01_22_NOMINAL_POWER_EXC+
13 INV_01_23_AVAILABILITY*INV_01_23_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_24_AVAILABILITY*INV_01_24_NOMINAL_POWER_EXC+
14 INV_01_25_AVAILABILITY*INV_01_25_NOMINAL_POWER_EXC+INV_01_26_AVAILABILITY*INV_01_26_NOMINAL_POWER_EXC+
15 INV_01_27_AVAILABILITY*INV_01_27_NOMINAL_POWER_EXC
16 +INV_01_28_AVAILABILITY*INV_01_28_NOMINAL_POWER_EXC)/SL1_Nominal_PO;
17

```

Ο υπολογισμός βασίζεται στο ποσοστό της ονομαστικής ισχύος του κάθε Power Station, λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα κάθε Inverter που το αποτελεί. Πιο συγκεκριμένα, το Availability πολλαπλασιάζεται με την πραγματική ισχύ του Inverter, δηλαδή την ισχύ που παράγεται από τις ενεργές εισόδους του. Για παράδειγμα αν ένας Inverter διαθέτει 10 εισόδους αλλά μόνο οι 5 από αυτές είναι ενεργές, η ισχύς υπολογίζεται βάση αυτών των 5 εισόδων.

Αυτός το τρόπος υπολογισμού είναι ακριβέστερος, καθώς βασίζεται στην πραγματική παραγόμενη ενέργεια. Αντίθετα, αν χρησιμοποιούνταν για τον υπολογισμό η συνολική ονομαστική ισχύς του Inverter, χωρίς όμως αυτή να μπορεί πρακτικά να παραχθεί, το Availability τόσο για τον Inverter όσο και για τον Smart Logger θα ήταν χαμηλότερο, μη αντιπροσωπεύοντας έτσι τη ρεαλιστική απόδοση του πάρκου.

Τελικά, αυτή η μεθοδολογία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον εντοπισμό πιθανών σφαλμάτων στον εξοπλισμό, καθώς αξιοποιούνται τα πραγματικά δεδομένα παραγωγής. Με αυτό τον τρόπο η παρακολούθηση και αξιολόγηση της απόδοσης του Φ/Β πάρκου γίνεται πιο αποτελεσματική.

5.3.2. Performance Ratio (PR)

Όπως ήδη αναφέρθηκε το PR είναι μέτρο της συνολικής αποδοτικότητας του Φ/Β συστήματος το οποίο δείχνει το ποσοστό της μετατροπής της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Έτσι, ο θεωρητικός τύπος υπολογισμού του PR είναι ο παρακάτω:

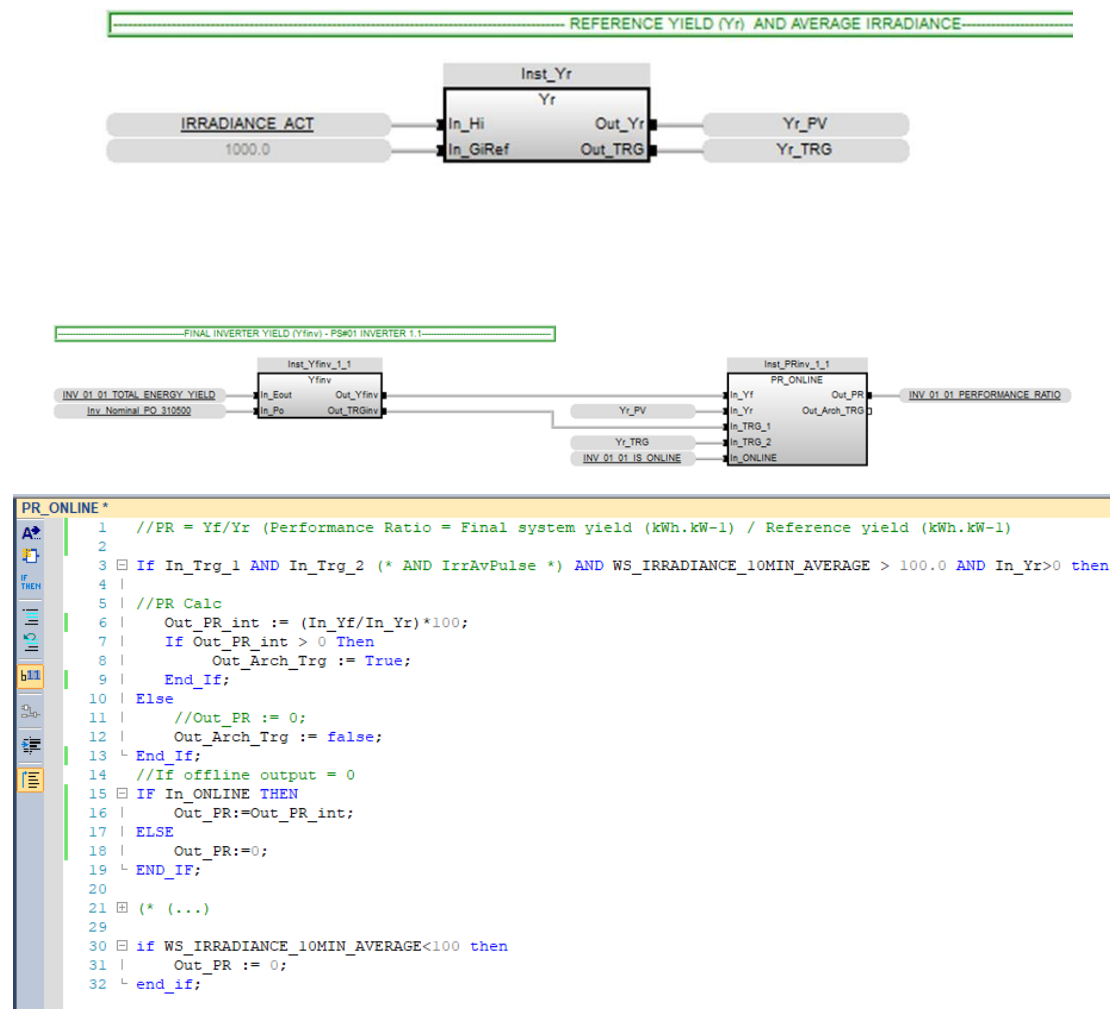
$$PR = \frac{Y_F}{Y_R}$$

Όπου:

Y_F : είναι η τελική απόδοση του συστήματος, και συγκεκριμένα αποτελεί το πηλίκο της παραγόμενης AC ηλεκτρικής ενέργειας και της ονομαστικής ισχύος του Φ/Β συστήματος σε STC συνθήκες.

Y_R : είναι η απόδοση αναφοράς, που ορίζεται ως ο λόγος της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του panel (POA irradiation) και της τυπικής ακτινοβολίας σε συνθήκες STC (1000 W/m^2).

Στο σύστημα μας το Performance Ratio έχει υπολογιστεί ως εξής:



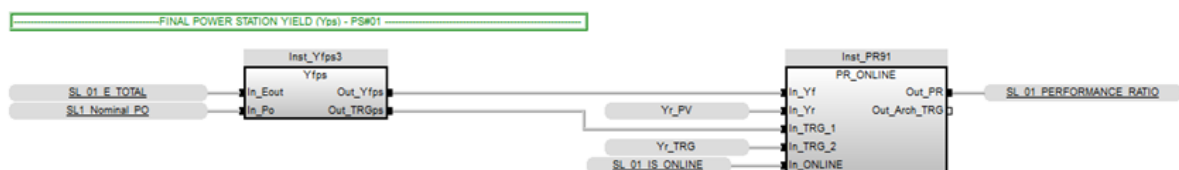
Με βάση τα παραπάνω:

- Αρχικά υπολογίζεται η απόδοση αναφοράς, και παράγεται και ένα trigger σήμα με το οποίο σημαίνεται ότι η τιμή έχει υπολογιστεί,
- Στη συνέχεια, υπολογίζεται η τελική απόδοση του Inverter, διαιρώντας την ενέργεια που παράγει πραγματικά ο Inverter, με την ονομαστική του ισχύ, και παράγεται και ένα trigger σήμα με το οποίο σημαίνεται ότι η τιμή έχει υπολογιστεί,
- Ακολουθεί ο υπολογισμός του PR, όπου η απόδοση του εκάστοτε Inverter διαιρείται με την απόδοση αναφοράς όλου του πάρκου, τα δυο trigger σήματα που παρήχθησαν από προηγούμενα στάδια, και ελέγχεται και αν ο Inverter είναι ενεργός.

Έτσι στο κομμάτι του κώδικα παρακάτω έχουμε:

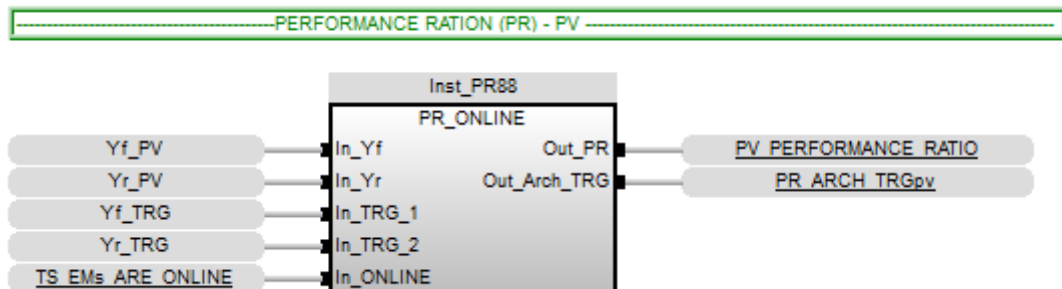
- `If In_Trg_1 AND In_Trg_2 AND WS_IRRADIANCE_10MIN_AVERAGE > 100.0 AND In_Yr>0`
- Έλεγχος αν έχουμε λάβει τα δυο trigger σήματα (έλεγχος αν έχει γίνει ο υπολογισμός των απαιτούμενων τιμών από τα προηγούμενα στάδια), έλεγχος αν η μέση ακτινοβολία 10λεπτου είναι μεγαλύτερη από 100 W/m^2 , και αν η αναφορά του πάρκου είναι θετική.
- Στις επόμενες γραμμές κώδικα γίνεται υπολογισμός του PR, αν η τιμή που προκύπτει είναι μεγαλύτερη του μηδενός τότε η τιμή είναι αληθής και προχωράει στην έξοδο, αν είναι μηδέν τότε η έξοδος είναι μη αληθής, και η έξοδος γίνεται μηδέν, και τέλος αν η μέση ακτινοβολία είναι μικρότερη του 100, τότε το PR εμφανίζεται ξανά μηδέν.

Η ίδια λογική εφαρμόζεται και σε επίπεδο Power Station, με το PR να υπολογίζεται στον Smart logger του κάθε Station:



Όπου η τιμή της ενέργειας που παράγεται από το εκάστοτε Power Station (πραγματική τιμή που λαμβάνεται από τον Smart Logger), διαιρείται με την ονομαστική ισχύ που διαθέτει το εκάστοτε P.S., και ακολουθείται η ίδια πορεία που ακολουθήθηκε και στους Inverter.

Ακόμη, με όμοιο τρόπο υπολογίζεται και το Performance Ratio όλου του πάρκου, όπως φαίνεται παρακάτω:

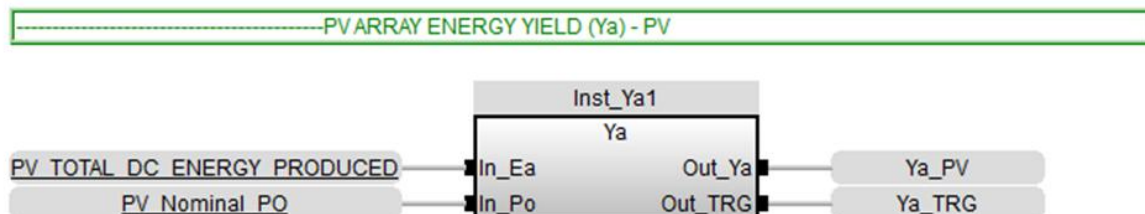


Αρχικά, υπολογίζεται η ενέργεια που παράγει όλο το πάρκο, αθροίζοντας τις τιμές ενέργειας των μετρητικών που υπάρχουν στο Terminal Station, και διαιρώντας το άθροισμα αυτό με την ονομαστική ισχύς του πάρκου λαμβάνουμε την απόδοση αυτού. Στη συνέχεια, και με όμοιο τρόπο υπολογίζουμε το Performance Ratio όλου του πάρκου.

5.3.3. Απόδοση Ενέργειας Φωτοβολταϊκού (PV Array Energy Yield - Y_a)

Η παρούσα τιμή αντιπροσωπεύει την ενέργεια που παρήγαγε το πάρκο μέσα σε μία μέρα. Συγκεκριμένα, αποτελεί το πηλίκο της παραγόμενης DC ενέργειας που παράχθηκε από το πάρκο, προς την ονομαστική ισχύ του πάρκου. Έτσι, έχουμε:

$$Y_a = \frac{PV \text{ array output Energy (DC)}}{Power \text{ rating (DC) of plant}} = \frac{E_a}{P_o}$$



```

//Relative value
Inst_VACO( INT#1, TRG_PLS, T#10s, False, LREAL#0, any_to_Lreal (In_Ea) );
OUTPUT_COUNTER := Inst_VACO.Q;
Out_TRG := Inst_VACO.TA;
OUTPUT_ERR := Inst_VACO.STATUS;

If Out_TRG Then
|   Ea:= OUTPUT_COUNTER;
|
└ End_IF;

//Final system yield every 10 minutes

Out_Ya := Ea/ any_to_Lreal (In_Po);

```

Το block για τον υπολογισμό της Y_a περιλαμβάνει έναν μετρητή, ο οποίος με το πέρας του χρόνου του δίνει σήμα (Out_TRG) ότι ο μετρητής ολοκλήρωσε τον κύκλο του, και τότε υπολογίζεται η τελική απόδοση του συστήματος και αποθηκεύεται στην μεταβλητή Out_Ya .

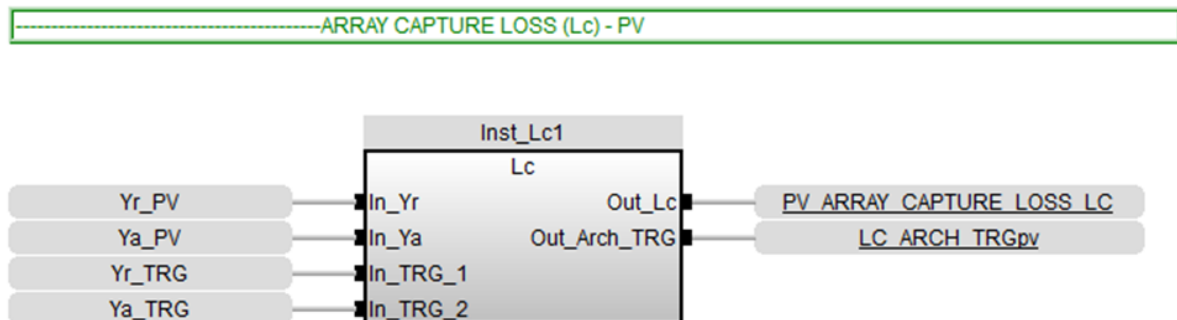
5.3.4. Απώλειες Συστήματος L_C , L_{BOS}

Οι απώλειες ενέργειας σε ένα σύστημα παίζουν καταλυτικό ρόλο, τόσο για την απόδοση του συστήματος, όσο και για την παρακολούθηση της λειτουργίας του εξοπλισμού που αποτελεί το σύστημα, και είναι απαραίτητο να υπολογίζονται.

Έτσι, υπολογίζονται, μεταξύ άλλων, δύο σημαντικές τιμές, αυτή των απωλειών Συλλογής Ενέργειας L_C , και αυτή των απωλειών ισορροπίας τους συστήματος L_{BOS} .

Η πρώτη τιμή περιλαμβάνει απώλειες που σχετίζονται με την απόδοση του πρωτεύοντος εξοπλισμού, δηλαδή των φωτοβολταϊκών panel, που όπως είδαμε μπορεί να οφείλονται σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, στη ρύπανση ή και τη σκίαση. Ο υπολογισμός αυτής της τιμής προκύπτει από τη διαφορά της ενέργειας αναφοράς του πάρκου – έχουμε δείξει πως υπολογίζεται - (Y_{RPV}) με την ενέργεια που παράχθηκε από το πάρκο (Y_a), δηλαδή:

$$L_C = Y_{RPV} - Y_a$$



```

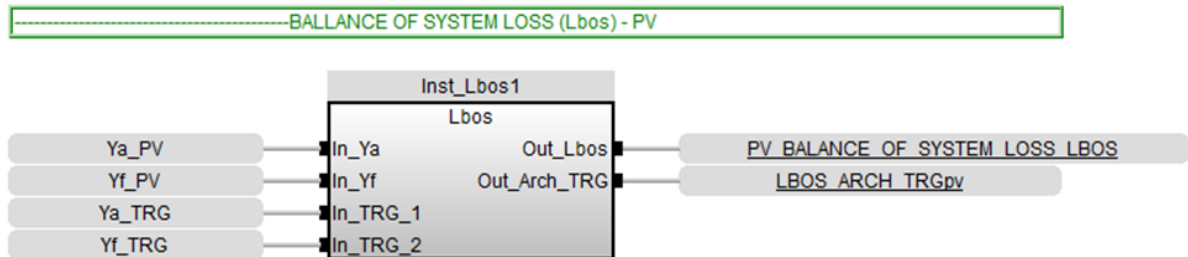
1 //Lc = Yr-Ya (Array capture loss = Reference yield - PV array energy yield)
2
3
4
5 If In_Trg_1 AND In_Trg_2 AND WS_IRRADIANCE_10MIN_AVERAGE > 100 then
6 | Out_Arch_Trg := True;
7 | Out_Lc_Temp := (In_Yr - In_Ya);
8 |   If Out_Lc_Temp < 0 then
9 |     Out_Lc:=0;
10 |   else
11 |     Out_Lc:=Out_Lc_Temp;
12 |   end_if;
13 |
14 End_If;

```

Αρχικά, γίνεται έλεγχος αν έχουμε λάβει τα δυο trigger σήματα (έλεγχος αν έχει γίνει ο υπολογισμός των απαιτούμενων τιμών από τα προηγούμενα στάδια, δηλαδή των τιμών Y_{RPV}, Y_a), έλεγχος αν η μέση ακτινοβολία 10λεπτου είναι μεγαλύτερη από 100 W/m^2 . Έπειτα, υπολογίζεται η τιμή των απωλειών και δίνεται και σήμα για να γραφτεί η τιμή σε archive.

Όσον αφορά τη δεύτερη τιμή, δηλαδή αυτή των απωλειών ισορροπίας, περιλαμβάνει απώλειες που σχετίζονται με την λοιπή εγκατάσταση, και συγκεκριμένα απώλειες του Inverter, των καλωδιώσεων που απαρτίζουν την εγκατάσταση, και γενικές απώλειες μετατροπής. Ο υπολογισμός αυτής της τιμής αποτελεί τη διαφορά της ενέργειας που παράχθηκε από το πάρκο, με την τελική απόδοση του συστήματος:

$$L_{BOS} = Y_a - Y_F$$



```

1 //Lbos = Ya-Yf (Balance of Systems (BOS) loss = PY array energy yield - Reference yield)
2
3 If In_Trg_1 AND In_Trg_2 AND WS_IRRADIANCE_10MIN_AVERAGE > 100.0 then
4 |   Out_Arch_Trg := True;
5 |   Out_Lbos_Temp := (In_Ya - In_Yf);
6 |   If Out_Lbos_Temp < 0 then
7 |     Out_Lbos:=0;
8 |   else
9 |     Out_Lbos:=Out_Lbos_Temp;
10 |   end_if;
11 | //Else
12 | //Out_Arch_Trg := false;
13 | //Out_Lbos := 0;
14 End_If;

```

Αρχικά, γίνεται έλεγχος αν έχουμε λάβει τα δυο trigger σήματα (έλεγχος αν έχει γίνει ο υπολογισμός των απαιτούμενων τιμών από τα προηγούμενα στάδια, δηλαδή των τιμών Y_a, Y_F), έλεγχος αν η μέση ακτινοβολία 10λεπτου είναι μεγαλύτερη από 100 W/m^2 . Έπειτα, υπολογίζεται η τιμή των απωλειών και δίνεται και σήμα για να γραφτεί η τιμή σε archive.

Η τελική απόδοση του συστήματος υπολογίστηκε ως εξής:

```
2 //Yf = Eout/Po (Final system yield = Energy AC (kWh) / Power rating DC of plant (kW)
3
4 IF IRRADIANCE_ACT>100.0 THEN
5 |   STARTVACO:=1;
6 | ELSE
7 |   STARTVACO:=0;
8 | END_IF;
9
10 SCALE_FACTOR := 1;
11
12 Inst_VACO( STARTVACO, TRG_PLS, T#10s, False, LREAL#0, (any_to_Lreal (In_Eout))/SCALE_FACTOR );
13 OUTPUT_COUNTER := Inst_VACO.Q;
14 Out_TRG := Inst_VACO.TA;
15 OUTPUT_ERR := Inst_VACO.STATUS;
16
17 IF Out_TRG Then
18 |   Eout:= OUTPUT_COUNTER;
19 | else
20 | END_IF;
21
22 //Final system yield every 10 minutes
23
24 Out_Yf := Eout/ any_to_Lreal (In_Po);
```

5.3.5. Ημερήσια Παραγωγή Ενέργειας

Με το παρακάτω κομμάτι κώδικα, γίνεται ο υπολογισμός, και η αποθήκευση της ημερήσιας παραγωγής ενέργειας. Αρχικά, λαμβάνεται η τρέχουσα ώρα συστήματος και αποθηκεύεται σε επιμέρους μεταβλητές. Στη συνέχεια, ελέγχεται αν έγινε επανεκκίνηση του συστήματος, δηλαδή αν υπήρξε κάποια διακοπή στη σύνδεση ή εφαρμογή SCADA διεκόπει, αν συνέβη αυτό η τιμή της ενέργειας επαναφέρεται από την αντίστοιχη αποθηκευμένη μεταβλητή. Έπειτα, υπολογίζεται η ημερήσια παραγωγή ενέργειας, η οποία αποτελεί τη διαφορά της ενέργειας που λαμβάνεται από το μετρητικό, με τη ενέργεια στο τέλος της μέρας. Η τιμή αυτή μπορεί, και είναι επιθυμητό, να υπολογιστεί σε διαφορετικά σημεία της εγκατάστασης, όπως σε επίπεδο Terminal Station για το τμήμα της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, αλλά και σε επίπεδο υποσταθμού, και συγκεκριμένα στις κυψέλες Μέσης Τάσης (IPPM, TM). Έτσι, μπορούμε να διασφαλίσουμε την εγκυρότητα της μέτρησης, αλλά και να εντοπίσουμε τυχούσες βλάβες στον εξοπλισμό.

Για την ημερήσια παραγωγή ενέργειας έχουμε:

```
1  //-----DAILY PULSE-TRIGGER FOR ENERGIES-----//
2
3
4  //Get system time
5  Inst_DTCURDATETIME( Local);
6  CurYr := Inst_DTCURDATETIME.Year;
7  CurMo := Inst_DTCURDATETIME.Month;
8  CurDy := Inst_DTCURDATETIME.Day;
9  CurHr := Inst_DTCURDATETIME.Hour;
10 CurMn := Inst_DTCURDATETIME.Min;
11 CurSc := Inst_DTCURDATETIME.Sec;
12
13
14 //Server or logic restart check and variables initialization
15 R_TRIG1( EndOfDay_Energy=0);
16
17 If R_TRIG1.Q then
18 |   EndOfDay_Energy := EndOfDay_Energy_RetIn;
19 |   Prev_Daily_Energy := Prev_Daily_Energy_RetIn;
20 End_if;
21
22
23 //Daily Energy Calculation
24
25 Daily_Energy:=ANY_TO_LREAL(Energy_In) - EndOfDay_Energy;
26
27
28 //End of day
29 TP1((CurHr=23 AND CurMn=50 AND CurSc=0 OR tmpBool_EOD), t#10s);
30
31 R_TRIG2( TP1.Q);
32
33 F_TRIG1( TP1.Q);
34
35 If R_TRIG2.Q then
36 |   Prev_Daily_Energy:=ANY_TO_LREAL(Energy_In) - EndOfDay_Energy;
37 End_if;
38
39 If F_TRIG1.Q then
40 |   EndOfDay_Energy:=ANY_TO_LREAL(Energy_In);
41 |   Daily_Energy:=0;
42 End_if;
43
44
45 //Output Variables
46
47 EndOfDay_Energy_RetOut := EndOfDay_Energy;
48
49 Prev_Daily_Energy_RetOut := Prev_Daily_Energy;
50
51 Act_Daily_Energy_Out:=Daily_Energy;
52
53 Prev_Daily_Energy_Out:= Prev_Daily_Energy;
54
55 EOD_PLS_Out:= TP1.Q;
```

Οι παράμετροι που αναλύθηκαν παραπάνω αποτελούν τη βάση για την αποδοτική λειτουργία του Φ/Β συστήματος. Παρακάτω θα εξεταστεί πως αυτοί οι παράμετροι ενσωματώνονται και παρακολουθούνται μέσω ενός συστήματος SCADA, το οποίο επιτρέπει την αποδοτική εποπτεία και τη διαχείριση της παραγωγής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο

6. Ανάπτυξη του συστήματος SCADA

Βασιζόμενοι στις παραμέτρους που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο θα προχωρήσουμε στην ανάλυση του συστήματος SCADA. Το SCADA αποτελεί έναν κεντρικό μηχανισμό παρακολούθησης και ελέγχου, μέσω του οποίου επιτρέπεται η εποπτεία των δεδομένων και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του Φ/Β συστήματος με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.

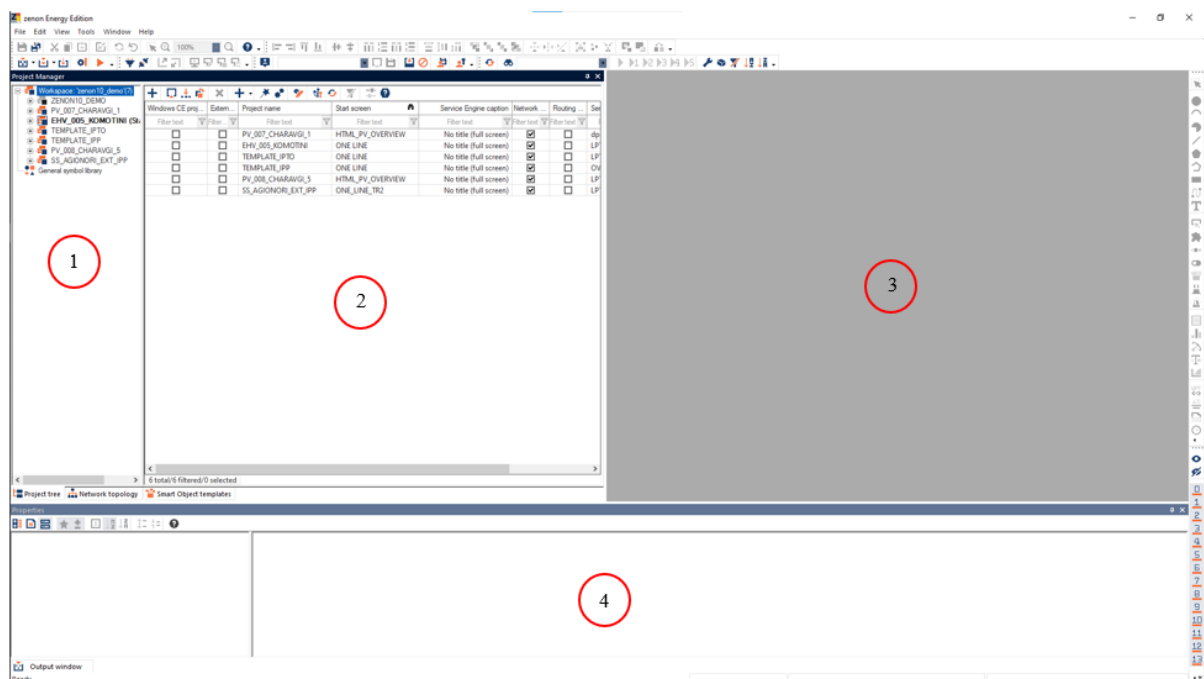
Για την ανάπτυξη του συστήματος SCADA χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Zenon της εταιρίας Cora-Data. Στη συνέχεια θα γίνει παρουσίαση του λογισμικού τόσο στο κομμάτι της επεξεργασίας και ανάπτυξης του συστήματος, αλλά και στο κομμάτι της εφαρμογής.

6.1. Το λογισμικό Zenon

Το λογισμικό Zenon αποτελείται από δύο κύρια συστατικά, το «Engineering Studio» και το «Service Engine». Η ανάπτυξη ενός Ψηφιακού Συστήματος και η επεξεργασία των επιμέρους λειτουργιών του λαμβάνουν χώρα στο «Engineering Studio», ενώ η λειτουργία και η παρακολούθηση του συστήματος που δημιουργήθηκε γίνεται στο «Service Engine».

6.1.1. Engineering Studio

Εδώ ο χρήστης μπορεί να «ανοίξει» και να επεξεργαστεί ένα ή περισσότερα projects ταυτόχρονα. Το περιβάλλον στο οποίο καλούμαστε να εργαστούμε φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6.1: Engineering Studio Workspace

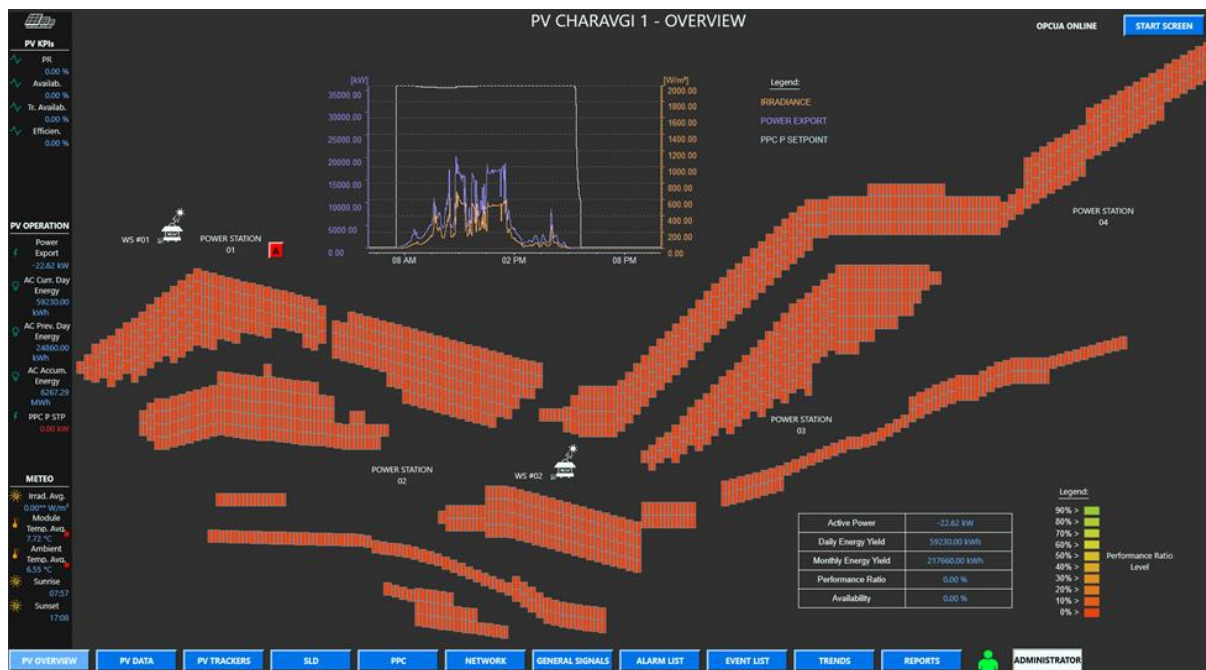
Στην εικόνα διακρίνονται διάφορα πεδία με τα οποία μπορούμε να επεξεργαστούμε ένα project.

- Περιοχή 1: Project Manager. Εδώ βρίσκονται όλα τα project.
- Περιοχή 2: Detail View. Παρέχονται λεπτομέρειες για την ενότητα που έχει επιλεγεί στο πεδίο Project Manager.
- Περιοχή 3: Κύριος χώρος εργασίας. Εδώ γίνεται η επεξεργασία των εικόνων και των reports.
- Περιοχή 4: Output Window, Project's Properties

6.1.1.1. Εικόνες (Screens)

Στο Engineering Studio, γίνεται η δημιουργία των εικόνων (Screens). Οι οθόνες είναι κεντρικά στοιχεία ενός project. Παρουσιάζουν τον διαμορφωμένο εξοπλισμό, ενημερώνουν τον χρήστη για την τοπολογία του διαμορφωμένου συστήματος και μέσω αυτών υπάρχει άμεση «επαφή» του χρήστη με τον εξοπλισμό.

Οι οθόνες αποτελούνται από στατικά ή δυναμικά στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά συνδέονται με μεταβλητές (Variables) και/ή συναρτήσεις (Functions). Το περιεχόμενο μιας οθόνης μπορεί να είναι στοιχεία ελέγχου όπως κουμπιά, εικονίδια που σχετίζονται με τον εξοπλισμό μιας εγκατάστασης όπως ένας διακόπτης ή ένα panel.



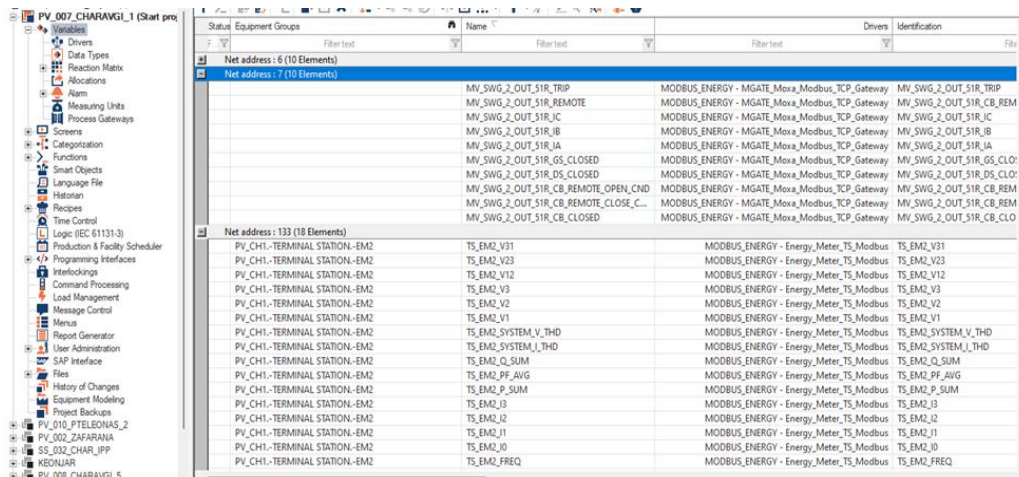
Εικόνα 6.2: Τυπική εικόνα εισόδου SCADA ενός Φωτοβολταϊκού Συστήματος

6.1.1.2. Μεταβλητές (Variables) - Drivers

Οι μεταβλητές, που ονομάζονται επίσης μεταβλητές διεργασίας ή σημεία δεδομένων, είναι η διεπαφή μεταξύ της πηγής δεδομένων (PLC, field bus, κ.λπ.) και του Zenon. Αντιπροσωπεύουν ορισμένες μετρούμενες τιμές ή καταστάσεις του υλικού, συμπεριλαμβανομένων ιδιοτήτων όπως scaling, οριακές τιμές κ.λπ. Οι μεταβλητές ορίζονται στην κεντρική λίστα μεταβλητών ενός project, στην Περιοχή 1, και είναι διαθέσιμες για χρησιμοποιηθούν σε συναρτήσεις, οθόνες, αρχεία.

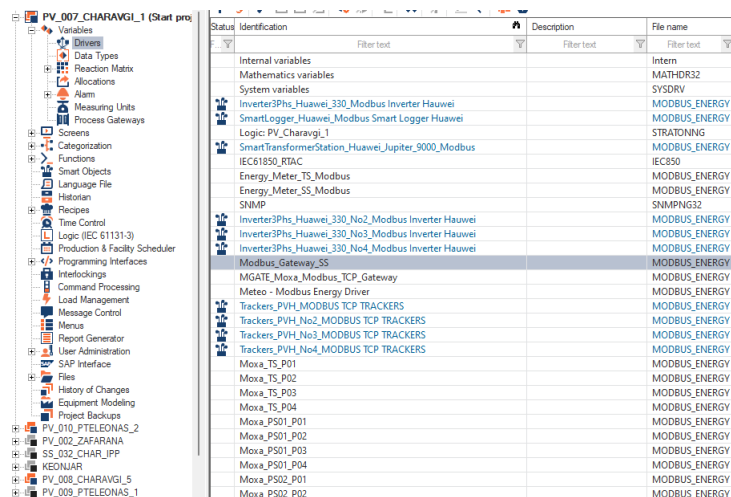
Για να επιτευχθεί επικοινωνία μεταξύ του Zenon και μιας πηγής δεδομένων είναι απαραίτητο να οριστεί ένας driver. Ο driver δημιουργεί τη σύνδεση μεταξύ ενός PLC και του Zenon. Κατά τη δημιουργία μιας νέας μεταβλητής, πρέπει να οριστεί και ο κατάλληλος driver για την μεταβλητή αυτή. Οι drivers του Zenon είναι drivers πρωτοκόλλου και δεν πρέπει να συγχέονται με τα προγράμματα οδήγησης διασύνδεσης ενός λειτουργικού συστήματος (π.χ. drivers για κάρτες LAN).

Συγκεκριμένα, στο project έχουν χρησιμοποιηθεί τα πρωτόκολλα Modbus TCP/IP και IEC-61850, γι' αυτό το λόγω έχουν δημιουργηθεί οι παρακάτω drivers (εικόνα 6.3β).



Status	Equipment Groups	Name	Drivers	Identification
Net address : 6 (10 Elements)				
		MV_SWG_2_OUT_S1R_TRIP	MODBUS_ENERGY - MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MV_SWG_2_OUT_S1R_TRIP
		MV_SWG_2_OUT_S1R_REMOTE	MODBUS_ENERGY - MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MV_SWG_2_OUT_S1R_CB_REM
		MV_SWG_2_OUT_S1R_IC	MODBUS_ENERGY - MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MV_SWG_2_OUT_S1R_IC
		MV_SWG_2_OUT_S1R_IB	MODBUS_ENERGY - MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MV_SWG_2_OUT_S1R_IB
		MV_SWG_2_OUT_S1R_IA	MODBUS_ENERGY - MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MV_SWG_2_OUT_S1R_IA
		MV_SWG_2_OUT_S1R_GS_CLOSED	MODBUS_ENERGY - MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MV_SWG_2_OUT_S1R_GS_CLOSED
		MV_SWG_2_OUT_S1R_DS_CLOSED	MODBUS_ENERGY - MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MV_SWG_2_OUT_S1R_DS_CLOSED
		MV_SWG_2_OUT_S1R_CB_REMOTE_OPEN_CND	MODBUS_ENERGY - MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MV_SWG_2_OUT_S1R_CB_REM
		MV_SWG_2_OUT_S1R_CB_REMOTE_CLOSE_CND	MODBUS_ENERGY - MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MV_SWG_2_OUT_S1R_CB_REM
		MV_SWG_2_OUT_S1R_CB_CLOSED	MODBUS_ENERGY - MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MV_SWG_2_OUT_S1R_CB_CLOSED
Net address : 133 (18 Elements)				
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_V31	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_V31
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_V23	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_V23
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_V12	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_V12
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_V3	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_V3
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_V2	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_V2
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_V1	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_V1
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_SYSTEM_V_THD	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_SYSTEM_V_THD
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_SYSTEM_I_THD	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_SYSTEM_I_THD
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_O_SUM	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_O_SUM
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_P_AVG	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_P_AVG
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_P_SUM	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_P_SUM
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_I3	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_I3
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_I2	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_I2
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_I1	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_I1
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_I0	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_I0
	PV_CH1-TERMINAL STATION-EM2	TS_EM2_FREQ	MODBUS_ENERGY - Energy_Meter_TS_Modbus	TS_EM2_FREQ

Εικόνα 6.3α: Διαμόρφωση Μεταβλητών στο Engineering Studio.

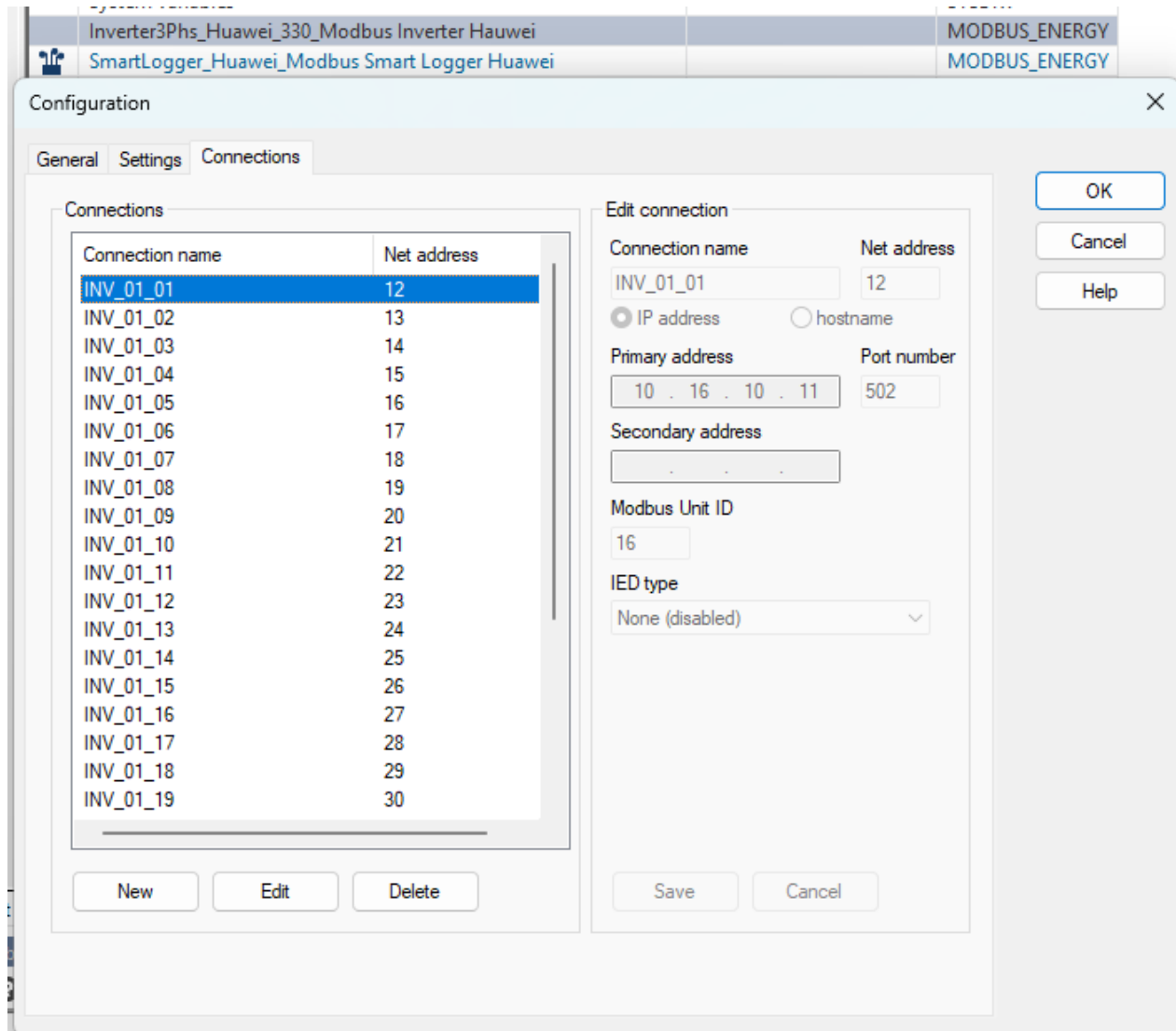


Status	Identification	Description	File name
Internal variables			
		Intern	Intern
Mathematics variables			
		MATHDR32	MATHDR32
System variables			
		SYSDRV	SYSDRV
		Inverter3Phs_Huawei_330_Modbus Inverter Huawei	MODBUS_ENERGY
		SmartLogger_Huawei_Modbus Smart Logger Huawei	MODBUS_ENERGY
		Logic PV_Charavgi_1	STRATONING
		SmartTransformerStation_Huawei_Jupiter_9000_Modbus	MODBUS_ENERGY
		IEC61850_RTAC	IEC61850
		Energy_Meter_TS_Modbus	MODBUS_ENERGY
		Energy_Meter_SS_Modbus	MODBUS_ENERGY
		SNMP	SNMPG32
		Inverter3Phs_Huawei_330_No2_Modbus Inverter Huawei	MODBUS_ENERGY
		Inverter3Phs_Huawei_330_No3_Modbus Inverter Huawei	MODBUS_ENERGY
		Inverter3Phs_Huawei_330_No4_Modbus Inverter Huawei	MODBUS_ENERGY
		Modbus_Gateway_SS	MODBUS_ENERGY
		MGATE_Moxa_Modbus_TCP_Gateway	MODBUS_ENERGY
		Meteo - Modbus Energy Driver	MODBUS_ENERGY
		Trackers_PVH_Modbus TCP TRACKERS	MODBUS_ENERGY
		Trackers_PVH_No2_MODBUS TCP TRACKERS	MODBUS_ENERGY
		Trackers_PVH_No3_MODBUS TCP TRACKERS	MODBUS_ENERGY
		Trackers_PVH_No4_MODBUS TCP TRACKERS	MODBUS_ENERGY
		Moxa_TS_P01	MODBUS_ENERGY
		Moxa_TS_P02	MODBUS_ENERGY
		Moxa_TS_P03	MODBUS_ENERGY
		Moxa_TS_P04	MODBUS_ENERGY
		Moxa_P501_P01	MODBUS_ENERGY
		Moxa_P501_P02	MODBUS_ENERGY
		Moxa_P501_P03	MODBUS_ENERGY
		Moxa_P501_P04	MODBUS_ENERGY
		Moxa_P502_P01	MODBUS_ENERGY
		Moxa_P502_P02	MODBUS_ENERGY

Εικόνα 6.3β: Drivers

Από την πιο πάνω εικόνα βλέπουμε ότι το SCADA επικοινωνεί με τους Inverter, τους Trackers, τους Smart Loggers και τους Smart Transformers μέσω πρωτοκόλλου Modbus, και ο driver για την επίτευξη επικοινωνίας μέσω IEC-61850 με τον ελεγκτή ισχύος.

Ενδεικτικά παρουσιάζεται η διαμόρφωση του driver που αφορά του Inverter του Power Station1,



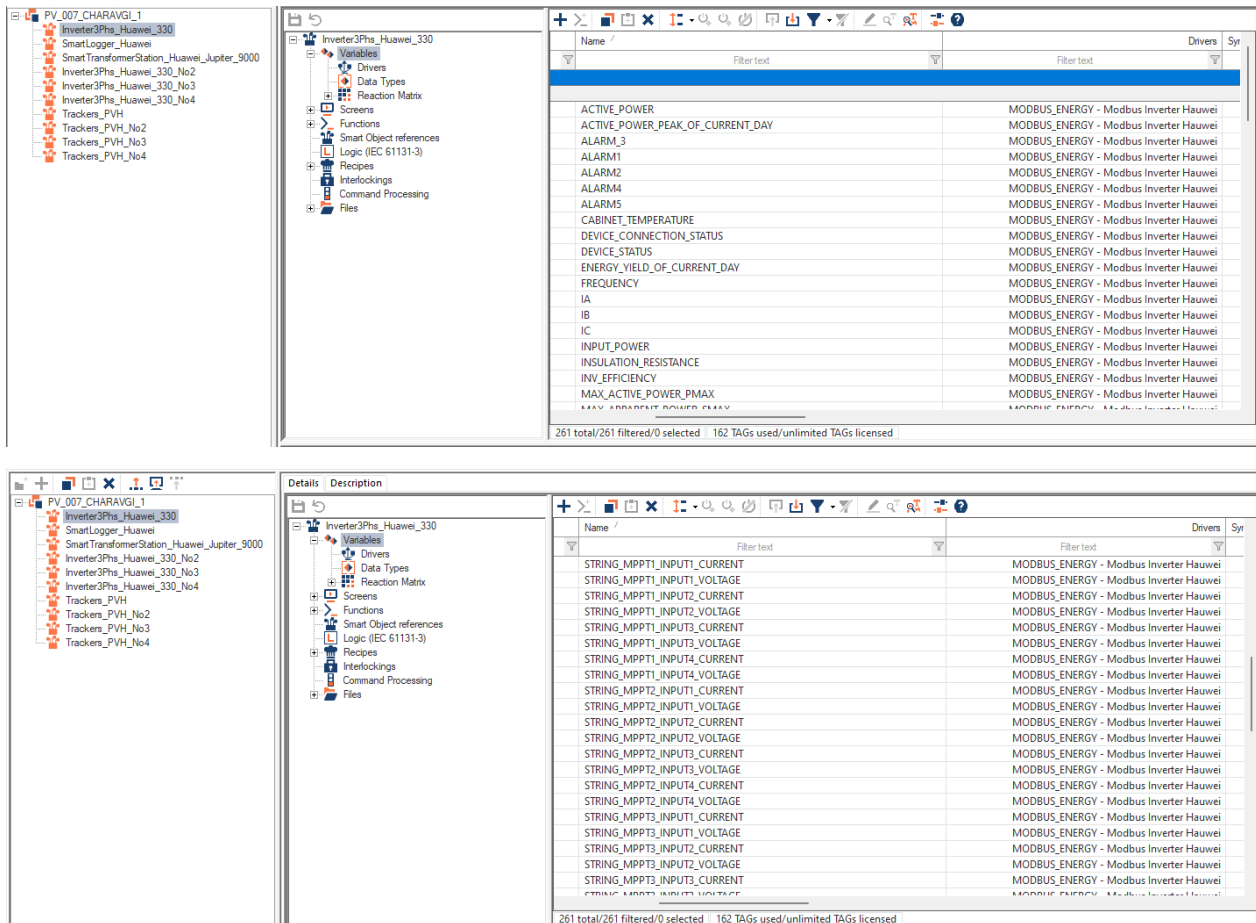
Εικόνα 6.3γ: Modbus Driver για το Power Station 01

Για την επίτευξη επικοινωνίας χρησιμοποιείται το όνομα της συσκευής, μια διεύθυνση IP η οποία χαρακτηρίζει όλες τις συσκευές του Power Station 01, το Net address στο οποίο βρίσκονται όλες οι μεταβλητές που έχουν ορίσει για τη συγκεκριμένη συσκευή και η διαφοροποίηση των συσκευών επιτυγχάνεται με το Modbus Unit ID της κάθε συσκευής (αριθμός ταυτότητα της συσκευής slave που συμμετέχει στην επικοινωνία με το master). Τα Modbus Units ID ορίζονται από τον κατασκευαστή.

Συγκεκριμένα, έχουν δημιουργηθεί τέσσερα διαφορετικά πρότυπα (templates) για τους Inverters, καθώς οι Inverters του πάρκου συγκεντρώνονται σε τέσσερα Power Stations, και

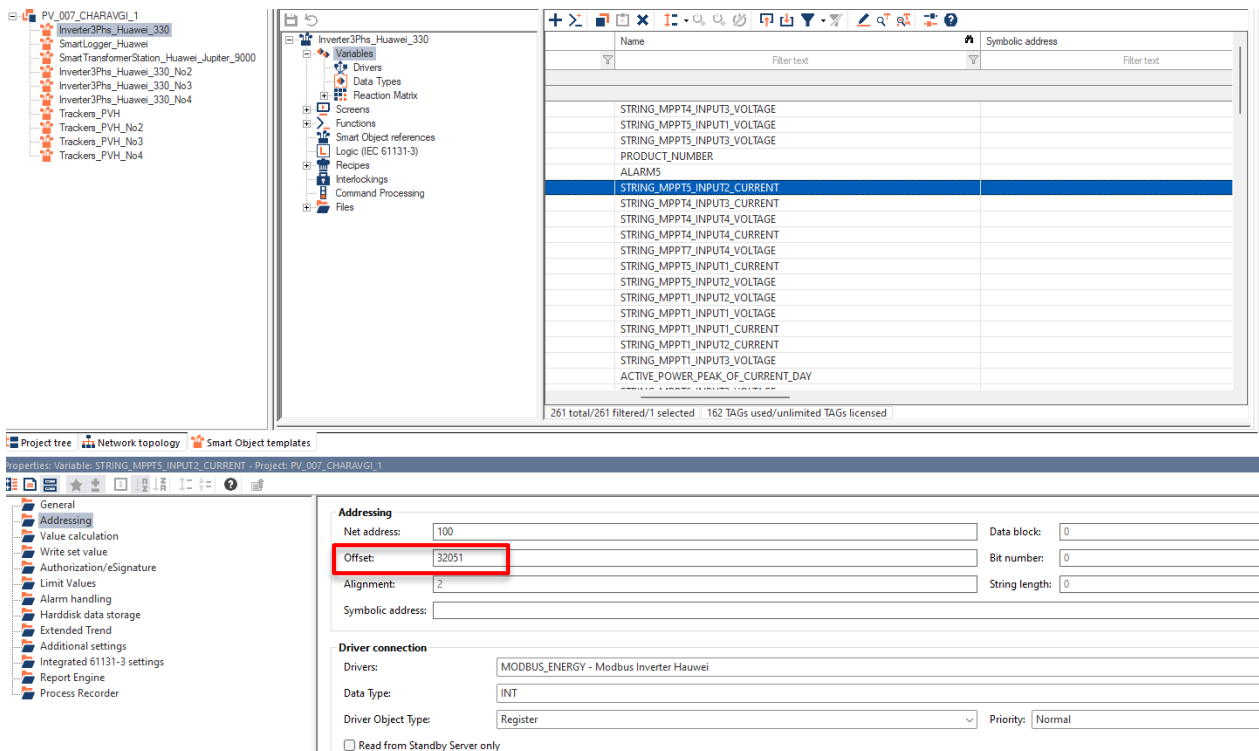
καθένα από αυτά διαθέτει τις ίδιες ιδιότητες. Ακόμη, ένα template για τον Smart Logger και ένα για τον Smart Transformer. Σε αυτά τα templates έχουν ενσωματωθεί όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες που δίνονται από τις συσκευές με τη μορφή μεταβλητών και έχει διαμορφωθεί ένας Modbus driver με σκοπό την επικοινωνία με τις ίδιες της συσκευές ώστε να ληφθούν αυτές οι πληροφορίες μέσω του πρωτοκόλλου Modbus TCP/IP.

Οι μεταβλητές που αφορούν έναν Inverter είναι οι παρακάτω:



Εικόνα 6.5β: Μεταβλητές Inverter

Οι μεταβλητές αυτές αφορούν μετρήσεις όπως παραγόμενη τάση, ρεύμα, μέγιστο ρεύμα και τάση string (δηλαδή, το ρεύμα και την τάση που ο Inverter προσαρμόζει ώστε το string να λειτουργεί στο βέλτιστο σημείο απόδοσης), καθώς επίσης και γενικά χαρακτηριστικά όπως θερμοκρασία λειτουργίας, σημάνσεις της συσκευής (Alarms) και την κατάσταση του Inverter. Κάθε μεταβλητή, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι συνδεδεμένη με έναν Modbus driver, και κάθε μια από αυτές διαθέτει ένα μοναδικό offset, δηλαδή μια διεύθυνση ενός καταχωρητή, μέσω του οποίου λαμβάνεται η τιμή από τον Inverter (τα Modbus offsets ορίζονται από τον εκάστοτε κατασκευαστή).



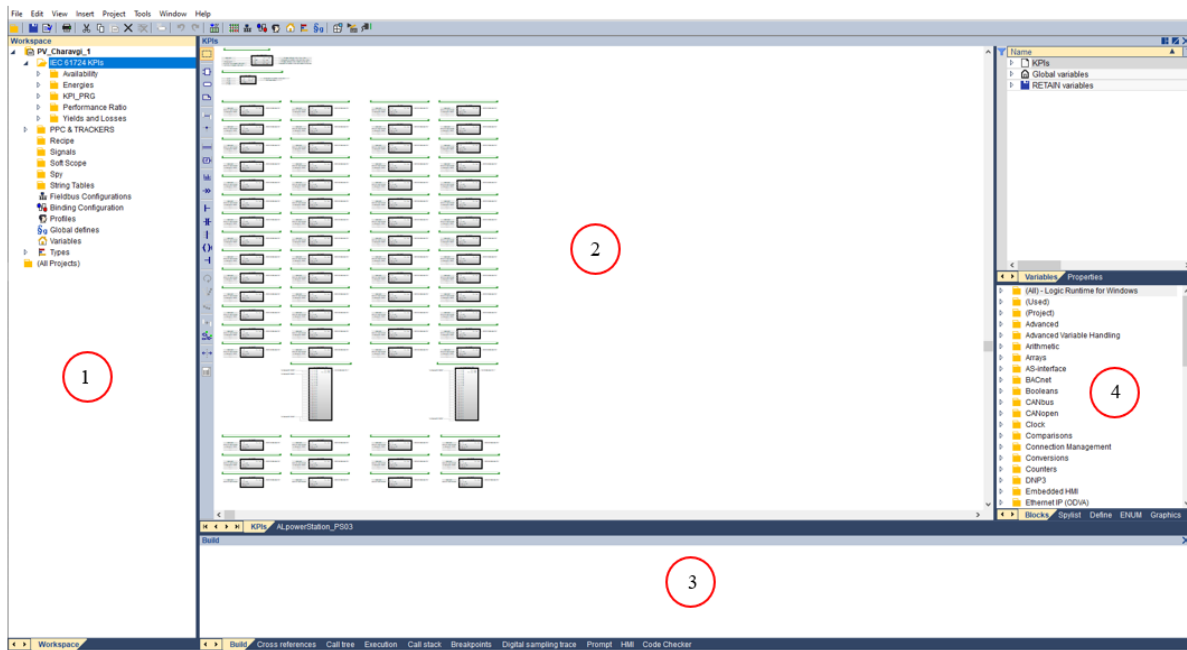
Εικόνα 6.5γ: Διαμόρφωση μεταβλητής για επικοινωνία με τη συσκευή

6.1.1.5. Logic Engine (IEC 61131-3)

Το Logic Studio του Zenon είναι ένα προγραμματιστικό περιβάλλον κατά **IEC 61131-3**. Το συγκεκριμένο περιβάλλον σου δίνει τη δυνατότητα να αναπτύξεις και να προγραμματίσεις ένα Soft-PLC (software PLC) με χρήση των πέντε καθορισμένων γλωσσών που ορίζονται βάση του προτύπου (SFC, ST, FBD, LD, IL), και να γίνουν πολύπλοκοι υπολογισμοί για την εφαρμογή SCADA. Όλες οι μεταβλητές που έχουν δημιουργηθεί και επεξεργαστεί στο Engineering Studio είναι διαθέσιμες στο Logic Engine μέσω μιας απρόσκοπτης επικοινωνίας μεταξύ του IEC 61131-3 soft-PLC με το Zenon Runtime, δηλαδή γίνεται ανταλλαγή πληροφοριών και προς τις δυο κατευθύνσεις Real time. Όλα τα κομμάτια κώδικα που είδαμε παραπάνω αναπτυχθηκαν στο Logic του Zenon.

Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε το περιβάλλον του Logic και διακρίνονται οι ακόλουθες περιοχές:

- Περιοχή 1: Workspace Window. Εδώ δημιουργούνται έγγραφα τα οποία μπορούν να ανοιχτούν και να επεξεργαστούν στην περιοχή 2.
- Περιοχή 2: Main Window. Εδώ γίνεται η επεξεργασία των αρχείων, η ανάπτυξη κώδικα κ.α.
- Περιοχή 3: Output Window. Εδώ σημαίνονται όλα τα διαγνωστικά του Logic Engine.
- Περιοχή 4: Variable Editor Window & Block Window. Εδώ ορίζονται οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν ή χρησιμοποιούνται και γίνεται επιλογή από τις διαθέσιμες συναρτήσεις και blocks που χρησιμεύουν στην επεξεργασία ενός προγράμματος.



Εικόνα 6.6: Logic Studio.

6.1.2. Service Engine ή Runtime

Με το Service Engine οπτικοποιούνται τα γραφικά που δημιούργησε ο χρήστης στο Engineering Studio και έχει επιλογές ελέγχου για διαδικασίες αυτοματισμού.

Πιο συγκεκριμένα μπορεί:

- Να εκτελεί εντολές αυτοματισμού με τον συνδεδεμένο εξοπλισμό
- Να χρησιμοποιεί το ενσωματωμένο soft-PLC που έχει δημιουργήσει στο Zenon Logic
- Να αρχειοθετεί δεδομένα (μέσω του Historian) που συλλέγονται από τις διάφορες διεργασίες που εκτελούνται ή μετρήσεις που λαμβάνονται από τα IED στο πεδίο.

6.2. Μελέτη Περίπτωσης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 36MW

6.2.1. Γενικά στοιχεία του έργου

- Τοποθεσία: Χαραυγή Κοζάνης
- Ισχύς: 36 MW
- Σύνδεση με το Δίκτυο: Συνδεδεμένο με το εθνικό δίκτυο μέσω του υποσταθμού υψηλής τάσης

Στοιχεία που απαρτίζουν το SCADA του έργου:

- Μονάδες Ελέγχου Πυλών (Bay Control Units),
- Ηλεκτρονόμοι Προστασίας (IEDs),
- Σύστημα Διασύνδεσης Απομακρυσμένου Κέντρου Ελέγχου, Σύστημα Λήψης Γενικών Σημάνσεων (GIU),
- Protocol Gateway,
- Σύστημα Δορυφορικού Χρονοσυσγχρονισμού (NTP server),
- Εξοπλισμός Δικτύου Δεδομένων και κεντρικό σύστημα HMI.

6.3 Η εφαρμογή SCADA για το Φωτοβολταϊκό Πάρκο

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη για:

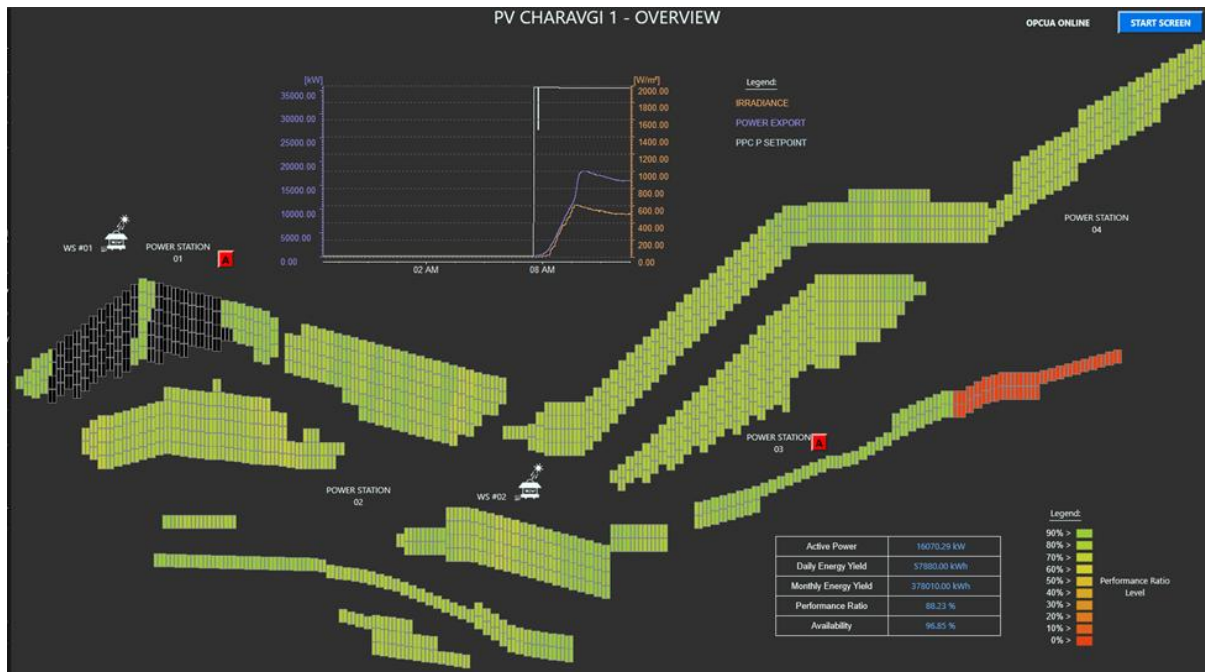
- Παρακολούθηση του συστήματος (μετρήσεις, καταστάσεις, συμβάντα, συναγερμοί κ.λπ.).
- Έλεγχος του συστήματος (λαμβάνοντας υπόψη τα ενεργά interlocks, το επίπεδο ελέγχου κ.λπ.).
- Υπολογισμός και απεικόνιση KPIs.
- Ανάλυση και παρουσίαση των Δεδομένων.
- Εφαρμογή Interlocks, τόσο μέσω καλωδίωσης όσο και μέσω λογισμικού. Τα software interlocks υλοποιούνται τόσο σε επίπεδο BCU όσο και σε επίπεδο SCADA.
- Σύστημα cloud για αποθήκευση δεδομένων σε βάση δεδομένων SQL και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο για απομακρυσμένους χρήστες (WEB Server και HTML).
- Απομακρυσμένη παρακολούθηση του συστήματος μέσω του WEB Server και της λειτουργικότητας HTML.

6.3.1. Αρχική εικόνα – PV Overview

Έχει αναπτυχθεί ένα περιβάλλον πολλαπλών οθονών και παραθύρων το οποίο παρέχει στο χρήστη πολλές αλλά κατανοητές πληροφορίες για το Φ/Β πάρκο. Τα στοιχεία μεταγωγής που υπάρχουν στην εγκατάσταση μπορούν να ελεγχθούν μέσω του HMI. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εκτέλεση του ελέγχου είναι η είσοδος ενός εξουσιοδοτημένου χρήστη στο σύστημα.

Επιπρόσθετα, σε κάθε οθόνη του HMI, υπάρχουν πολλά «αόρατα» κουμπιά. Αυτά τα κουμπιά χρησιμοποιούνται στο Runtime για πλοήγηση από μια οθόνη σε μία άλλη ή σε πιο λεπτομερείς. Η θέση αυτών των αόρατων κουμπιών είναι πάνω από κάθε σύμβολο/στοιχείο στο HMI (διακόπτες κυκλώματος, αποζεύκτες, Inverters, Stings κ.λπ.).

Με την πρώτη σύνδεση ο χρήστης αντικρίζει μια γενική επισκόπηση του πάρκου, δίνοντας του μια γενική εικόνα για την τοπολογία της εγκατάστασης. Αυτή η οθόνη παρέχει στον χειριστή τη συνολική επίβλεψη του Φ/Β απεικονίζοντας μετρήσεις και τάσεις καθώς και με αναδυόμενα παράθυρα, τα οποία εμφανίζονται πιέζοντας το σχετικό σύμβολο.



Εικόνα 6.7: Γενική εικόνα του πάρκου.

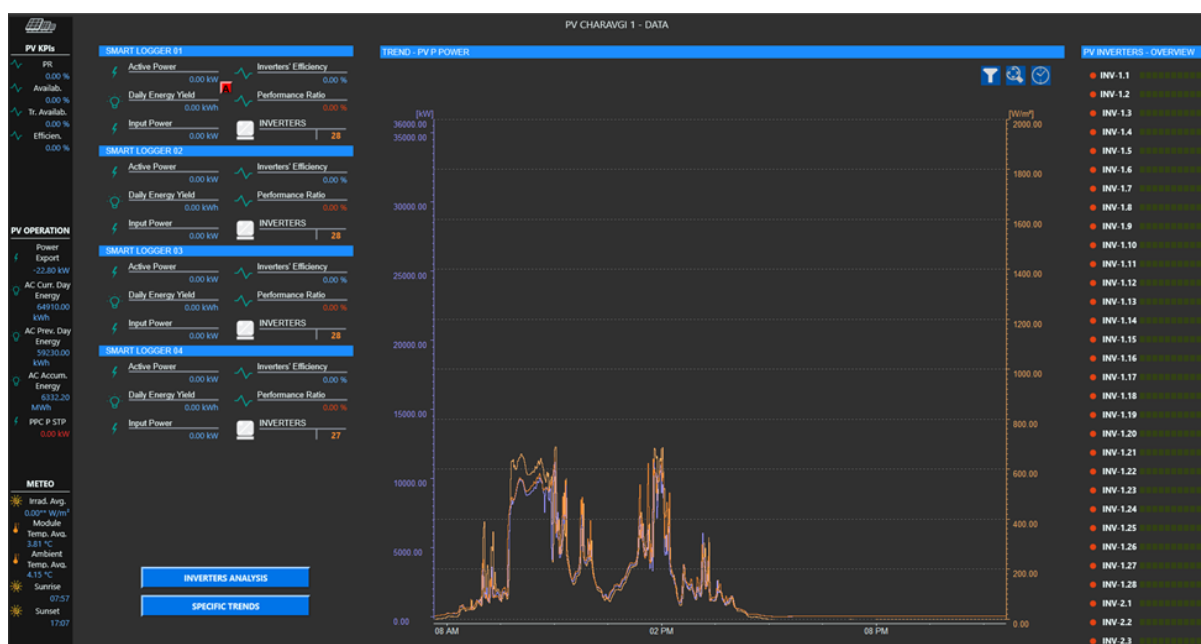
Η επισκόπηση Φ/Β αποτελείται από τρία διαφορετικά μέρη. Κάθε μέρος δίνει ένα διαφορετικό είδος πληροφοριών στον χρήστη. Αρχικά, στο πάνω μέρος υπάρχει ένα γράφημα το οποίο απεικονίζει τις πλέον σημαντικές γραφικές παραστάσεις, και συγκεκριμένα αυτή της ηλιακής ακτινοβολίας και της ισχύος εξόδου του πάρκου. Ο συνδυασμός αυτών των μετρήσεων παρέχει σύντομες πληροφορίες για την απόδοση της παραγωγής της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Επίσης, ένας πίνακας που περιέχει μια περίληψη της συνολικής παραγωγής της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Αναλυτικότερα, φαίνονται η Ισχύς εξόδου του πάρκου, η ημερήσια Απόδοση Ενέργειας, η Μηνιαία Απόδοση Ενέργειας, ο Λόγος Απόδοσης της Φ/Β εγκατάστασης (PR) και Διαθεσιμότητα της Φ/Β εγκατάστασης (Availability). Επιπρόσθετα, υπάρχουν δυο μπάρες, μια στο κάτω μέρος, και μία στα αριστερά της οθόνης. Η μπάρα στο κάτω μέρος παρέχει τη δυνατότητα πλοήγησης σε διάφορες σημαντικές εικόνες του συστήματος και παρέχει πληροφορίες για τον συνδεδεμένο χρήστη. Η αριστερή περιέχει τους πιο σημαντικούς παράγοντες της συνολικής εγκατάστασης:

- I. Φ/Β KPIs: Βασικοί δείκτες απόδοσης PV (KPIs): PR, Availability, Efficiency και Trackers' Availability.

- II. Λειτουργία Φ/Β: Η συνολική παραγόμενη ενέργεια της εγκατάστασης, η AC ενέργεια τρέχουσας ημέρας, η AC ενέργεια προηγούμενης ημέρας, η συσσωρευμένη AC ενέργεια και το σημείο ρύθμισης λειτουργίας ισχύος (PPC Setpoint).
- III. PV Meteo: Μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας των πλαισίων, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της ώρας ανατολής και δύσης ηλίου κάθε ημέρας .

6.3.2. Συνολική εποπτεία Φ/Β συστήματος - PV Data

Αυτή η οθόνη παρέχει στον χρήστη τη συνολική επίβλεψη του Φ/Β απεικονίζοντας ένα γενικό γράφημα καθώς και συνοπτικές μετρήσεις για κάθε Smart Logger και τη λίστα με τις καταστάσεις όλων των μετατροπέων (στα δεξιά της οθόνης). Τα σχετικά αναδυόμενα παράθυρα που αφορούν τους Inverters, τους Smart Loggers, εμφανίζονται κάνοντας αριστερό κλικ στα σχετικά σύμβολα ή στα κουμπιά.

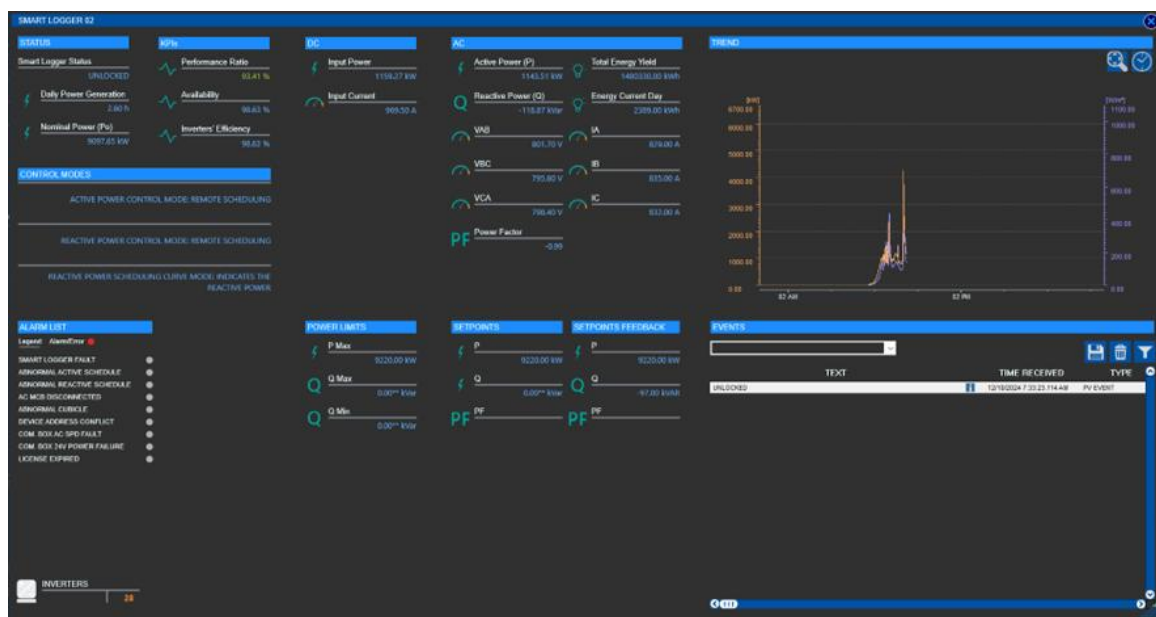


Εικόνα 6.8: Δεδομένα Πάρκου και εξοπλισμός.

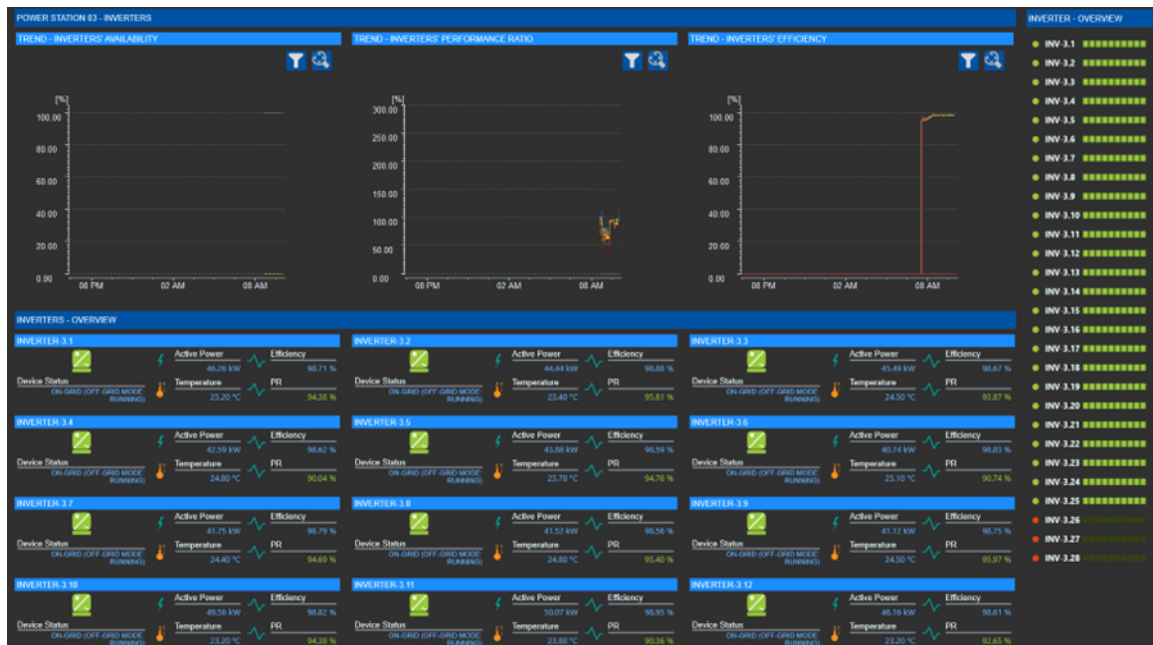
Τα Φ/Β δεδομένα αποτελούνται από τρία διαφορετικά μέρη. Κάθε μέρος δίνει ένα διαφορετικό είδος πληροφοριών στον χρήστη:

1. Τμήμα Smart Loggers': Αυτό το τμήμα δίνει τις βασικές μετρήσεις και τους KPI για τους Smart Loggers του φωτοβολταϊκού που συλλέγουν δεδομένα από τους μετατροπείς. Κάνοντας αριστερό κλικ σε κάθε Smart Logger, ο χειριστής λαμβάνει μια πιο λεπτομερή εικόνα. Όπως βλέπουμε και στην εικόνα που ακολουθεί, το αναδυόμενο παράθυρο παρέχει τις παρακάτω πληροφορίες:
 - Καταστάσεις και συμβάντα του Smart Logger.
 - DC ισχύς εισόδου κάθε Smart Logger.
 - Τα σημεία ρύθμισης ισχύος του Smart Logger, και ρυθμίσεις ισχύος από τον PPC του πάρκου.

- Μετρήσεις εξόδου AC.
- Λειτουργίες ελέγχου του Smart Logger.
- Ενδείξεις σφάλματος.
- Λίστα συμβάντων που περιλαμβάνει γεγονότα από τον εκάστοτε Logger.
- Γράφημα που σχετίζεται με την Ενεργό Ισχύ και τη συνολική Ακτινοβολία.
- Ο συνολικός αριθμός Inverter που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό το Smart Logger, και επιλέγοντας το συγκεκριμένο εικονίδιο ο χρήστης μεταπηδά σε μία οθόνη (εικόνα 6.10) που παρέχει μια επισκόπηση των Inverter που ανήκουν σε ένα Power Station με πληροφορίες όπως περιέχει:
- ❖ Καταστάσεις, KPIs και θερμοκρασία των μετατροπέων.
- ❖ Inverters' KPIs Trend (Availability, Efficiency, PR).
- ❖ Έγχρωμη απεικόνιση της απόδοσης κάθε μετατροπέα στη δεξιά ενότητα.



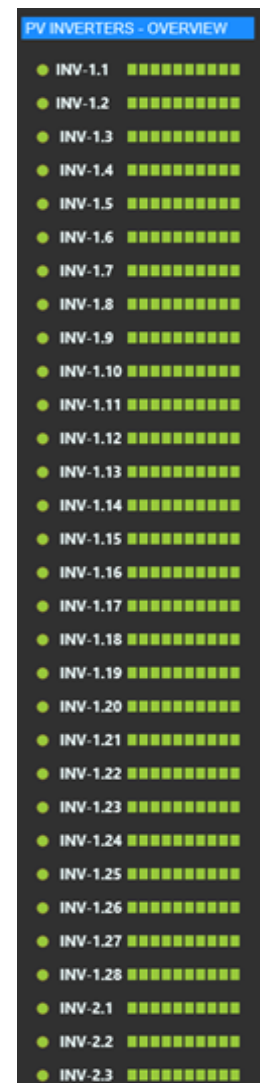
Εικόνα 6.9: Εικόνα δεδομένων Smart Logger.



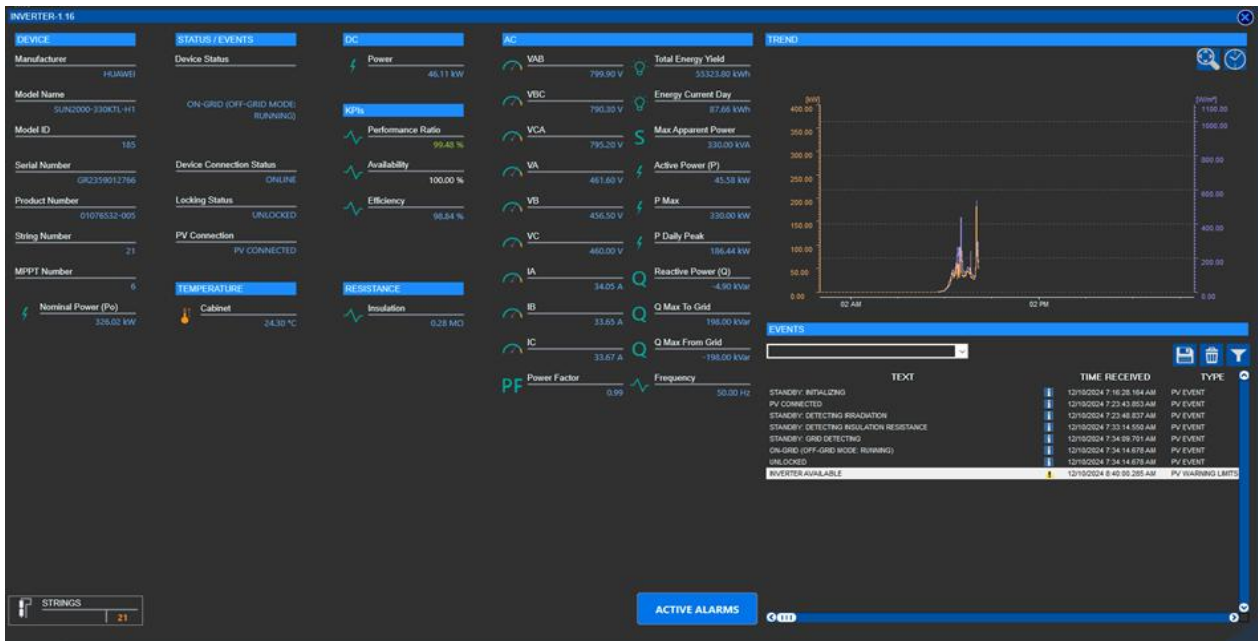
Εικόνα 6.10: Επισκόπηση των Inverter που ανήκουν στον εκάστοτε Smart Logger.

2. Στα δεξιά της οθόνης απεικονίζονται όλοι οι Inverters της Φ/Β εγκατάστασης. Κάθε Inverter συνοδεύεται από μια οριζόντια γραμμή που απεικονίζει την απόδοση κάθε μετατροπέα. Οι οριζόντιες ράβδους είναι χρωματίζεται με πράσινο χρώμα ανάλογα με την απόδοση του Inverter, η κουκίδα μπροστά από την μπάρα υποδηλώνει την κατάσταση του Inverter, με εναλλαγή μεταξύ πράσινου (για κανονική λειτουργία) και κόκκινου (για οποιαδήποτε άλλη κατάσταση). Ακόμη, κάνοντας κλικ σε μια οριζόντια γραμμή, εμφανίζεται ένα αναδυόμενο παράθυρο στην οθόνη με λεπτομερείς πληροφορίες για κάθε Inverter όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω, και περιέχει:

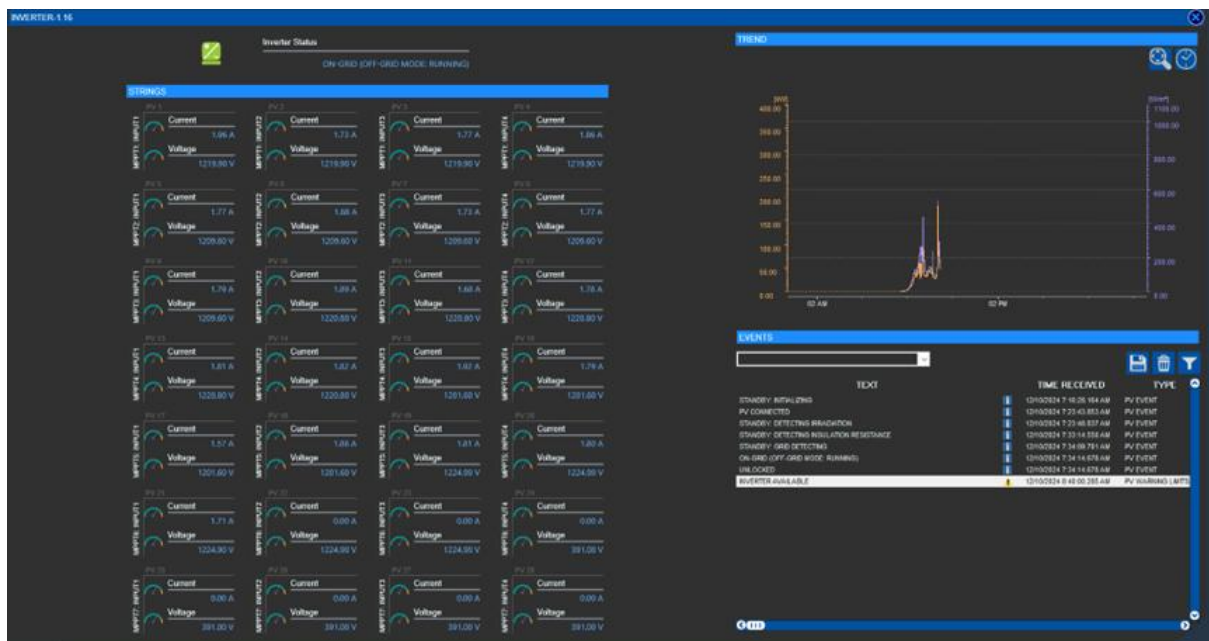
- Καταστάσεις του Inverter.
- Λίστα συμβάντων συμβάντα μόνο για τον επιλεγμένο Inverter.
- DC ισχύς εισόδου στον Inverter.
- Θερμοκρασία και αντίσταση μόνωσης του Inverter.
- Μετρήσεις εξόδου AC.
- Χαρακτηριστικά του Inverter ως συσκευή.
- KPIs του Inverter.
- Alarms που αφορούν τον Inverter.
- Γράφημα που σχετίζεται με την Ενεργό Ισχύ του Inverter και τη συνολική ακτινοβολία.



- Ο συνολικός αριθμός των strings που συνδέονται με αυτόν τον Inverter, και πιέζοντας το αντίστοιχο κουμπί παρέχονται πληροφορίες και για τα string όπως φαίνεται παρακάτω.



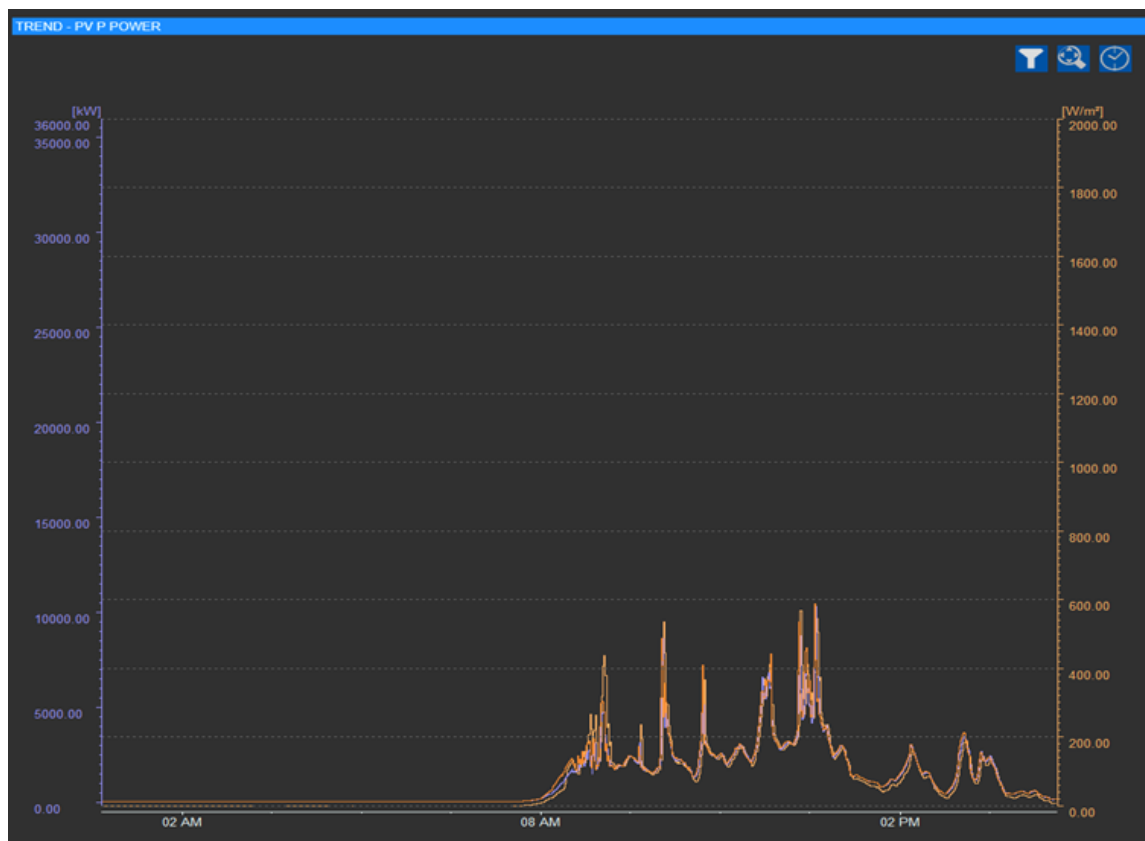
Εικόνα 6.11: Εικόνα Overview των Inverters και λεπτομερής παρουσίαση των δεδομένων του εκάστοτε Inverter.



Εικόνα 6.12: Εικόνα δεδομένων επιμέρους Stings του εκάστοτε Inverter.

- Το κεντρικό γράφημα απεικονίζει την Φ/Β Ακτινοβολία (Irradiance), την Ισχύς Εξόδου του Φ/Β (PV Output Power – παραγόμενη ισχύς) και την Ισχύς Εξόδου από κάθε μετρητή ενέργειας που είναι εγκατεστημένος στο Terminal Station (στη συγκεκριμένη περίπτωση 2

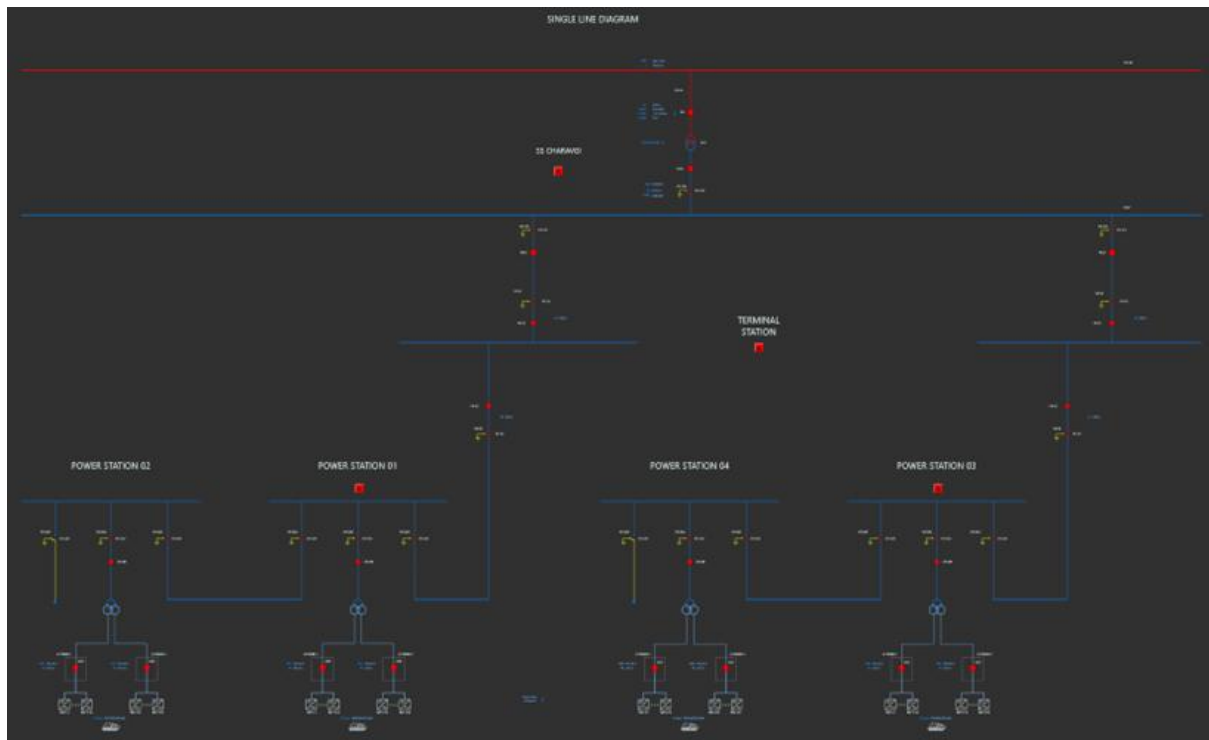
ΕΜ). Ο συνδυασμός αυτών των μετρήσεων παρέχει σύντομες πληροφορίες για την απόδοση παραγωγής της εγκατάστασης.



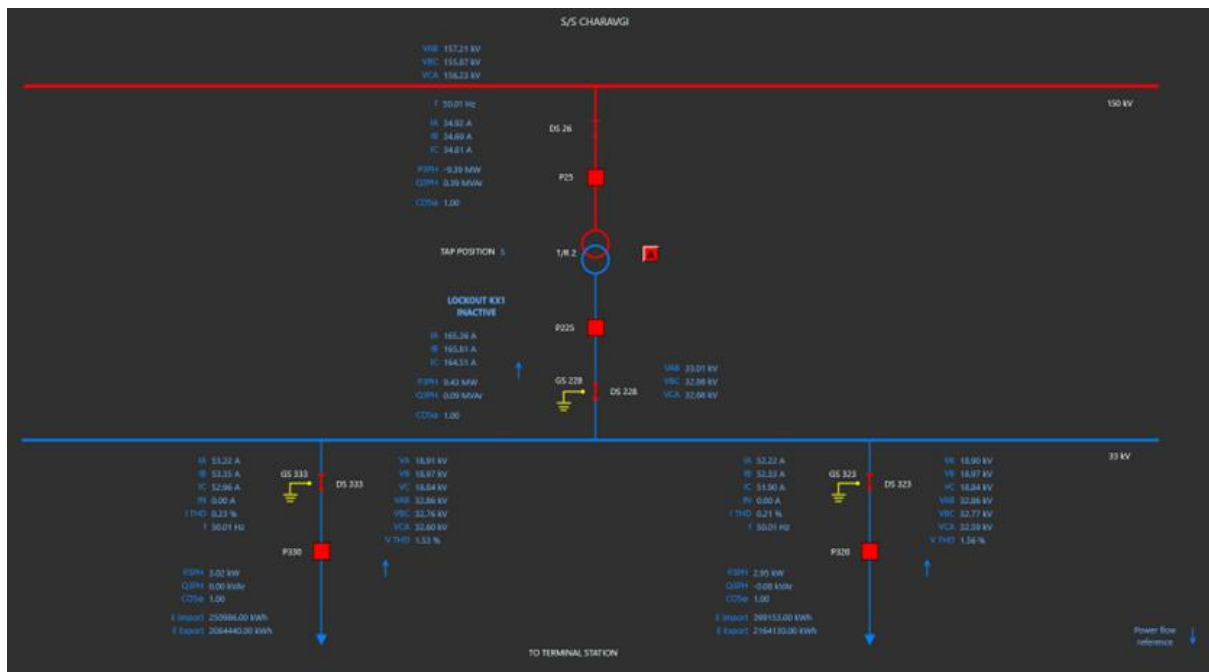
Εικόνα 6.13: Εικόνα γραφήματος παραγωγής - ακτινοβολίας.

6.3.3. Μονογραμμικό Διάγραμμα Εγκατάστασης - SLD

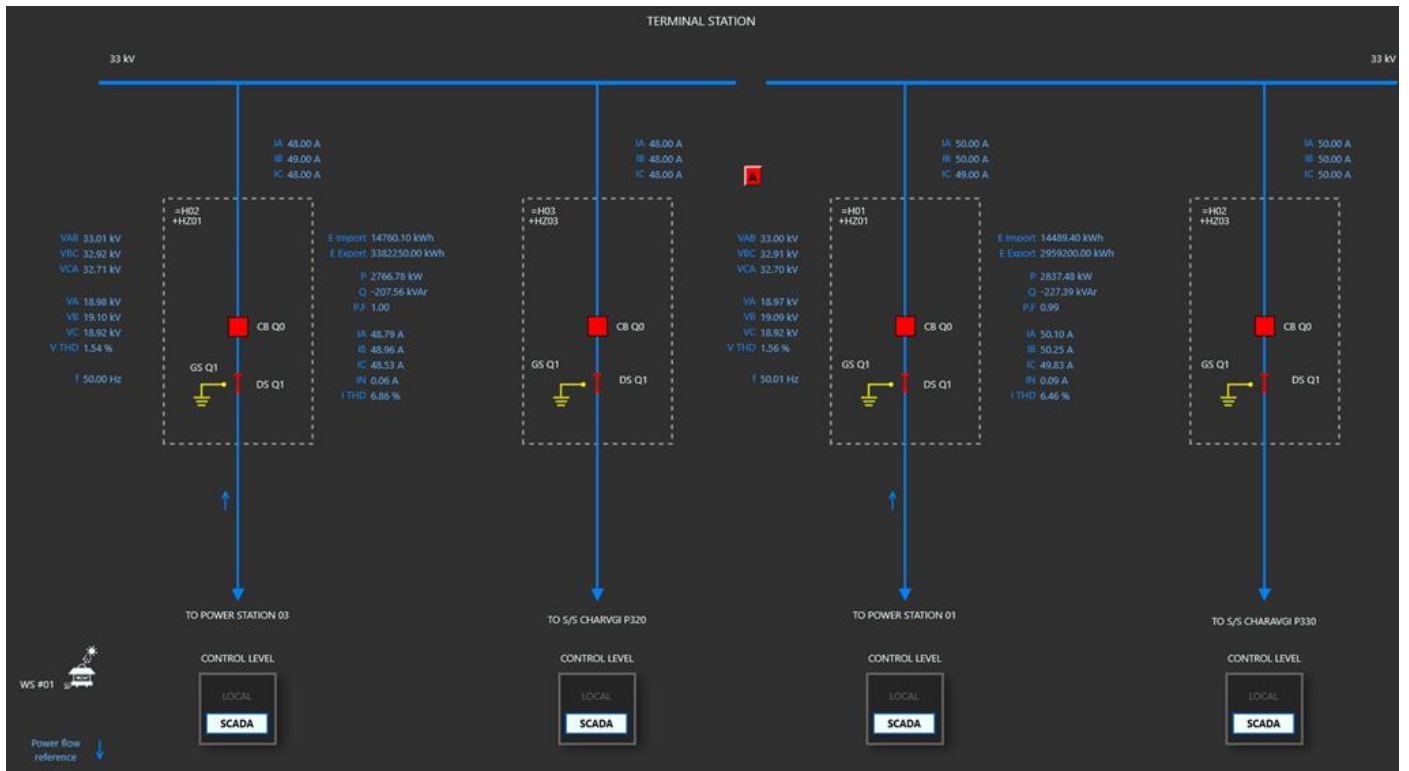
Η μετάβαση σε αυτήν την οθόνη του HMI μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του κουμπιού "SLD" στη κάτω μπάρα κουμπιών. Ο χειριστής μπορεί να κάνει μεγέθυνση και σμίκρυνση σε αυτήν την οθόνη και να πλοηγηθεί σε αυτήν. Ακόμη, μπορεί να δει με λεπτομέρεια κάθε τμήμα του μονογραμμικού πατώντας πάνω του και εμφανίζεται η σχετική οθόνη. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης μπορεί να ανοίξει τις αναλυτικές οθόνες του υποσταθμού, του Terminal Station και του Power Station – Smart Transformers.



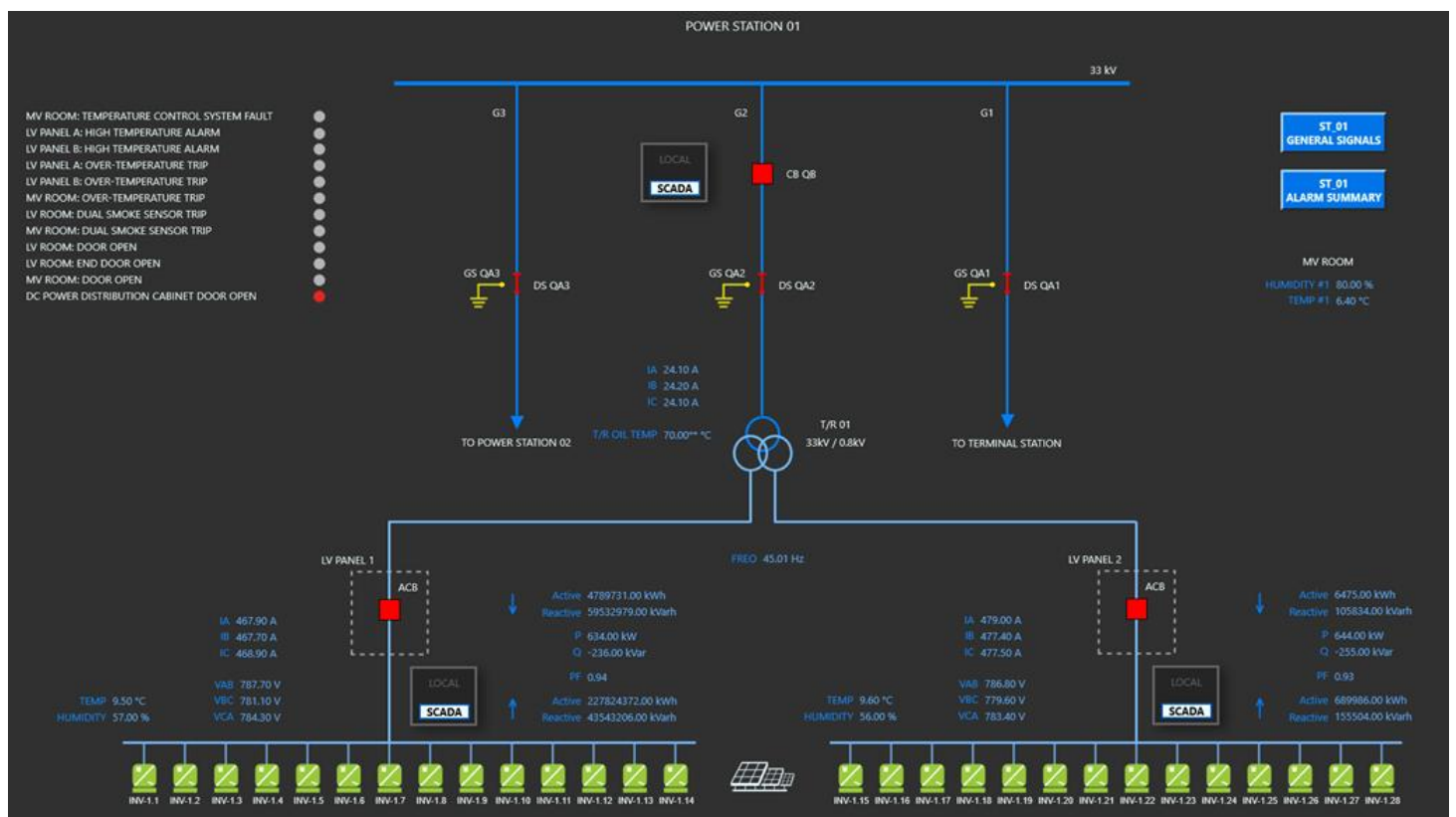
Εικόνα 6.14: Μονογραμμικό Φ/Β Εγκατάστασης.



Εικόνα 6.15: Μονογραμμικό διάγραμμα Υ/Σ.



Εικόνα 6.16: Λεπτομέρεια Terminal Station.



Εικόνα 6.17: Λεπτομέρεια Power Station.

Η λεπτομέρεια του Υ/Σ παρέχει στο χρήστη τη συνολική επίβλεψη του Υ/Σ και παρουσιάζει τις καταστάσεις του πρωτεύοντος εξοπλισμού και μετρήσεις του Φ/Β ηλεκτρικού δικτύου. Επιπλέον, οι μετρήσεις κάθε μετρητή ενέργειας απεικονίζονται κοντά στην IPPM. Ακόμη, στο HMI έχει χρησιμοποιεί λειτουργία του Automatic Line Coloring (ALC) και εμφανίζει αυτόματα την κατάσταση του δικτύου σε πραγματικό χρόνο (π.χ. υπό φορτίο, γειωμένο, απροσδιόριστο).

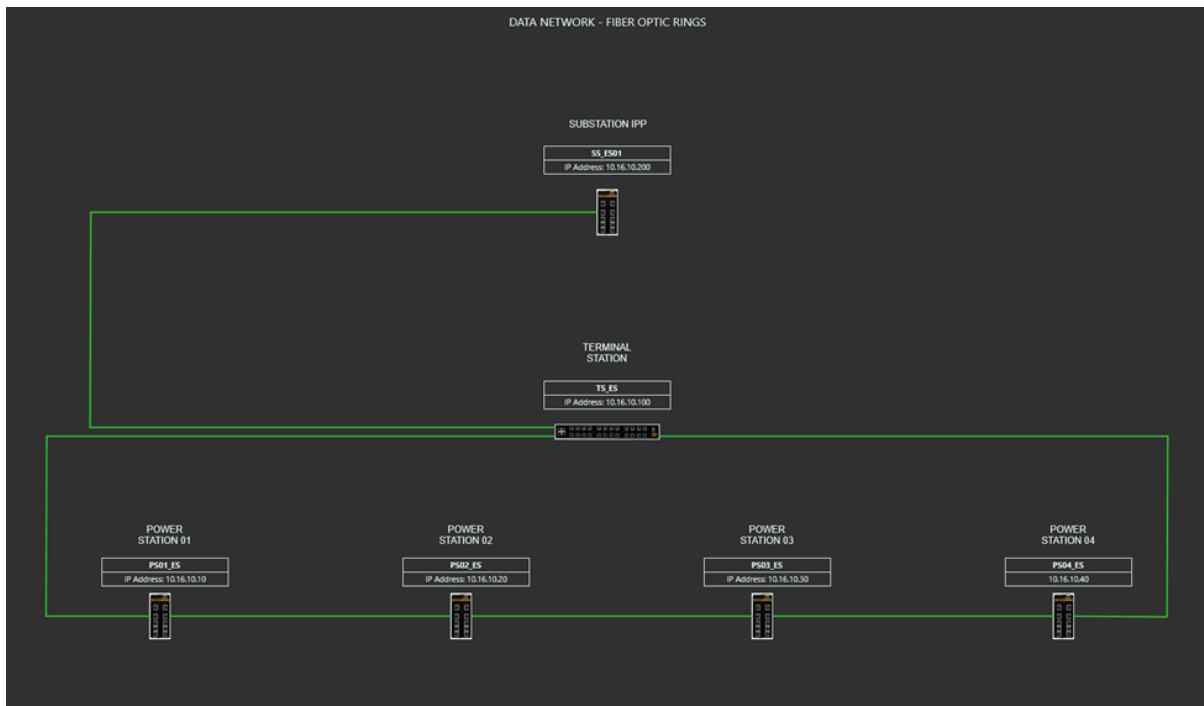
Εν συνεχεία, η οθόνη του Terminal Station δείχνει την κατάσταση του φωτοβολταϊκού δικτύου σε πραγματικό χρόνο (διακόπτες κυκλώματος, αποζεύκτες κ.λπ.), καθώς και ένα πλήρες φάσμα ηλεκτρικών μετρήσεων υψηλής ακρίβειας (τάση, ρεύμα, ενέργεια, ισχύς, συντελεστής ισχύος, συχνότητα). Επιπλέον, αυτή η οθόνη απεικονίζει τα Επίπεδα Ελέγχου για κάθε πύλη. Μέσω αυτής της οθόνης δίνεται η δυνατότητα σε εξουσιοδοτημένο χρήστη να πραγματοποιήσει χειρισμούς στους διακόπτες του κυκλώματος των φωτοβολταϊκών, εφόσον δεν παραβιάζονται οι συνθήκες αλληλασφάλισης και το επίπεδο ελέγχου είναι «SCADA».

Τέλος, στην εικόνα του Power Station δίνεται η απεικόνιση του Smart Transformer, ο οποίος μετασχηματίζει την χαμηλή τάση που παράγεται από τους Inverter σε μέση τάση, η κατάσταση του σταθμού σε πραγματικό χρόνο (διακόπτες κυκλώματος, μετατροπείς κ.λπ.), καθώς και όλες οι απαραίτητες μετρήσεις, που αφορούν τόσο το ηλεκτρικό κομμάτι της εγκατάστασης όσο και τον ίδιο τον μετασχηματιστή. Ακόμη, στα αριστερά υπάρχει μια λίστα από σημαντικά Alarms.

6.3.4. Δίκτυο Δεδομένων Φ/Β Εγκατάστασης

Η αρχιτεκτονική του δικτύου δεδομένων βασίζεται σε μια τοπολογία αστέρα που υλοποιείται μέσω ethernet συνδέσεων μεταξύ Ethernet Switches και των IED της εγκατάστασης. Τα Ethernet Switches συνδέονται μέσω δύο «δακτυλίων» από οπτικές ίνες. Το πρώτο οπτικό «δακτυλίδι» υπάρχει μεταξύ του Switch του Terminal Station και Switch του Υ/Σ. Το δεύτερο οπτικό «δακτυλίδι» υπάρχει μεταξύ του Switch του Terminal Station και των Switches που είναι εγκατεστημένα σε κάθε Power Station. Τα Switches πληρούν το πρότυπο IEEE-1613 και το πρότυπο IEC-61850-3 για αξιοπιστία σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ του PLC που είναι εγκατεστημένο σε κάθε Power Station και του SCADA Server είναι το IEC-61850. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των Smart Logger, των μετρητών ενέργειας, των IO modules και του SCADA Server είναι το πρωτόκολλο MODBUS TCP.



Εικόνα 6.18: Τοπολογία δικτύου της Φ/Β εγκατάστασης.

Η ανάπτυξη του συστήματος SCADA προσφέρει στον χρήστη τη δυνατότητα της εποπτείας και του ελέγχου του συστήματος, και διαδραματίζει εξίσου σημαντικό ρόλο στη συλλογή και αρχειοθέτηση των δεδομένων που λαμβάνονται από το πάρκο. Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε πως τα δεδομένα του πάρκου οργανώνονται και παρουσιάζονται στον χρήστη για περαιτέρω ανάλυση.

7. Συλλογή και αρχειοθέτηση δεδομένων

Ένα σύστημα SCADA συλλέγει, αρχειοθετεί και εμφανίζει διάφορα δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων της παραγωγής ενέργειας, των μετεωρολογικών δεδομένων, της κατάστασης του εξοπλισμού και των σφαλμάτων του συστήματος. Τα δεδομένα που συλλέγονται από ένα σύστημα SCADA μπορούν να χρησιμοποιηθούν για καθημερινή παρακολούθηση καθώς και για μακροπρόθεσμη αξιολόγηση απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Για την καθημερινή παρακολούθηση, τα δεδομένα εμφανίζονται συνήθως σε γραφήματα, πίνακες και αριθμητικές μορφές. Για μακροπρόθεσμη αξιολόγηση απόδοσης, τα δεδομένα αρχειοθετούνται σε μορφή που επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση και εξαγωγή από εφαρμογές τρίτων. Σε ένα σύστημα PV SCADA, η αρχειοθέτηση δεδομένων είναι ένα κρίσιμο στοιχείο. Τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα SCADA αρχειοθετούν δεδομένα σε ιδιόκτητη μορφή, καθιστώντας δύσκολη την πρόσβαση στα δεδομένα εκτός συστήματος. Για να διασφαλιστεί η εύκολη πρόσβαση σε αρχειοθετημένα δεδομένα, μια βάση δεδομένων SQL είναι ενσωματωμένη στο σύστημα PV SCADA.

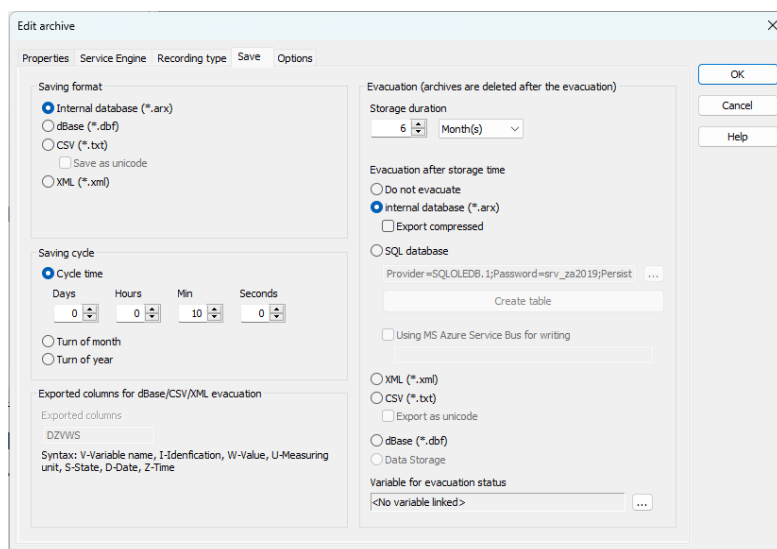
7.1 Διαχείριση δεδομένων στον Zenon.

Το ολικό project αποτελείται από δύο μέρη : το **Local Project** και το **Cloud Project**. Το Local Project βρίσκεται και τρέχει στον τοπικά εγκατεστημένο Server στο πάρκο. Στον Server που τρέχει το Local Project, είναι συνδεδεμένες όλες οι συσκευές που απαρτίζουν το πάρκο μέσω κοινού δικτύου δεδομένων, και εκεί τα δεδομένα συλλέγονται, επεξεργάζονται και απεικονίζονται σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα SCADA, που τρέχει την πλατφόρμα του Zenon, εξάγει περιοδικά αρχεία σε μορφή .arx ή .csv, τα οποία εμπεριέχουν πληροφορίες για το φωτοβολταϊκό σύστημα. Ο χρόνος εξαγωγής αυτών των αρχείων έχει καθοριστεί κατά την ανάπτυξη του συστήματος στο Historian του Zenon, όπως φαίνεται παρακάτω.

Archives	Description	Start, stop	Start	Recording type	Evacuate	Lot variable	Number	estimated size
Historian							42 Archives	97,944,095 K...
1A-CH1_S/S_MEAS	S/S Measurements	With Service ...	1/1/2019 12:0...	Cyclically	Internal database ("an)	<No variable l...	61 Variable(s)	
2A-CH1_PV/KPI-PR	PR calculated in logic every 10 mins	With Service ...	1/1/2021 12:0...	Event-triggered	Internal database ("an)	<No variable l...	116 Variable(s)	
2P-CH1_PS02_SL_INV		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	Internal database ("an)	<No variable l...	2,235 Variable(s)	
3A-CH1_PV/KPI-AL	Availability calculated in logic every 10 mins	With Service ...	1/1/2021 12:0...	Event-triggered	Internal database ("an)	<No variable l...	2,900 Variable(s)	
3P-CH1_PS03_SL_INV		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	Internal database ("an)	<No variable l...	2,235 Variable(s)	
4A-CH1_TS_ST		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	Internal database ("an)	<No variable l...	196 Variable(s)	
4P-CH1_PS04_SL_INV		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	Internal database ("an)	<No variable l...	2,157 Variable(s)	
5L-CH1_KPI/LOS_PV_CSV	Losses calculated in logic every 10 mins	With Service ...	1/1/2021 12:0...	Event-triggered	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	6 Variable(s)	
7A-CH1_METEO	Meteo Measurements	With Service ...	1/1/2021 12:0...	Cyclically	Internal database ("an)	<No variable l...	52 Variable(s)	
9A-CH1_PPC_TUNING		With Service ...	1/1/2021 12:0...	Cyclically	Do not evacuate	<No variable l...	23 Variable(s)	
A1-CH1_S/S_MEAS_CSV	S/S Measurements	With Service ...	1/1/2019 12:0...	Cyclically	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	61 Variable(s)	
A2-CH1_PV/KPI-PR_CSV	PR calculated in logic every 10 mins	With Service ...	1/1/2021 12:0...	Event-triggered	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	116 Variable(s)	
A3-CH1_PV/KPI-AL_CSV	Availability calculated in logic every 10 mins	With Service ...	1/1/2021 12:0...	Event-triggered	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	2,900 Variable(s)	
A4-CH1_TS_ST_CSV		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	196 Variable(s)	
A7-CH1_METEO_CSV	Meteo Measurements	With Service ...	1/1/2021 12:0...	Cyclically	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	52 Variable(s)	
AT-CH1_PV_TRACKERS_CSV		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	1,337 Variable(s)	
CG-CH1_PS01_SL_INV_CSV		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	2,236 Variable(s)	
EN-CH1_ENERGIES	Inverters, Smart Loggers, Energy Meters	With Service ...	1/1/2021 12:0...	Cyclically	Internal database ("an)	<No variable l...	380 Variable(s)	
GC-CH1_PS01_SL_INV		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	Internal database ("an)	<No variable l...	2,236 Variable(s)	
LS-CH1_KPI/LOS_PV	Losses calculated in logic every 10 mins	With Service ...	1/1/2021 12:0...	Event-triggered	Internal database ("an)	<No variable l...	6 Variable(s)	
NE-CH1_ENERGIES_CSV	Inverters, Smart Loggers, Energy Meters	With Service ...	1/1/2021 12:0...	Cyclically	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	398 Variable(s)	
P2-CH1_PS02_SL_INV_CSV		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	2,235 Variable(s)	
P3-CH1_PS03_SL_INV_CSV		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	2,235 Variable(s)	
P4-CH1_PS04_SL_INV_CSV		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	2,157 Variable(s)	
TA-CH1_PV_TRACKERS		With Service ...	1/1/2022 12:0...	Cyclically	Internal database ("an)	<No variable l...	1,337 Variable(s)	
TR-CH1_PV_TRACKERS_ALARMS_CSV		With Service ...	1/1/2023 12:0...	Cyclically	CSV ("txt;"csv")"txt;"csv)	<No variable l...	692 Variable(s)	

Εικόνα 7.1α: Local Project Historian Archives

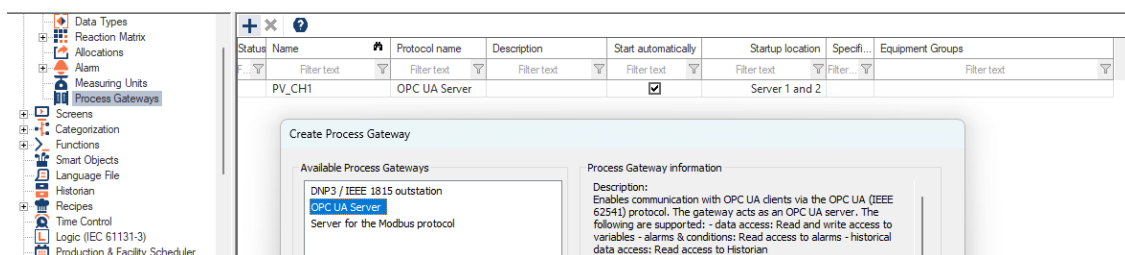
Στην εικόνα βλέπουμε τα Archives που έχουμε δημιουργήσει για την αποθήκευση των δεδομένων του πάρκου. Όπως βλέπουμε τα archive που υπάρχουν είναι διπλά και περιέχουν την ίδια πληροφορία, με μόνη διαφορά τον τρόπο με τον οποίο κάνουν «Evacuate» τα δεδομένα, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο εξάγονται από τον Zenon και αποθηκεύονται.



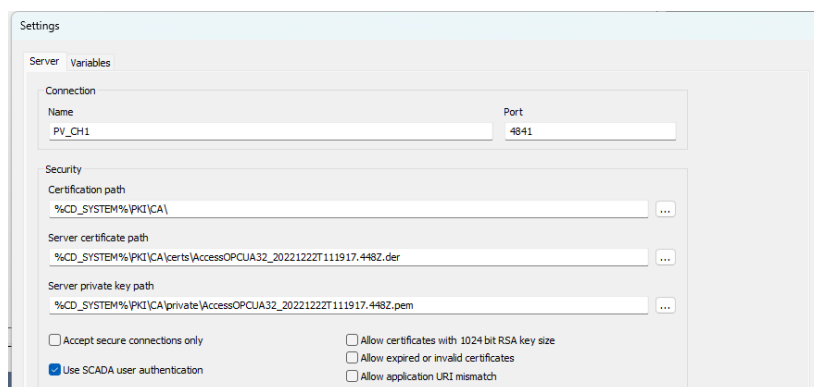
Εικόνα 7.1β: Διαμόρφωση Archive

Τα .arx αρχεία αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται τοπικά, για απεικόνιση των δεδομένων στο Local Project, και τα .csv αρχεία εξάγονται, και με τη βοήθεια script συμπιέζονται και μετακινούνται σε προκαθορισμένο Share φάκελο.

Παράλληλα, στον τοπικό Server, και στο Local Project έχει αναπτυχθεί ένας OPC UA Server μέσω του οποίου αποστέλλονται όλες οι μεταβλητές του Local Project στο Cloud Project για απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο, με σκοπό την απομακρυσμένη παρακολούθηση του συστήματος. Η αποστολή αυτή πραγματοποιείται μέσω Process Gateway (λογισμικό διαμεσολαβητής μεταξύ του Local και του Cloud Project) που παρέχεται από τον Zenon. Το Gateway διαμορφώνεται μέσω του Zenon, όπως φαίνεται παρακάτω.

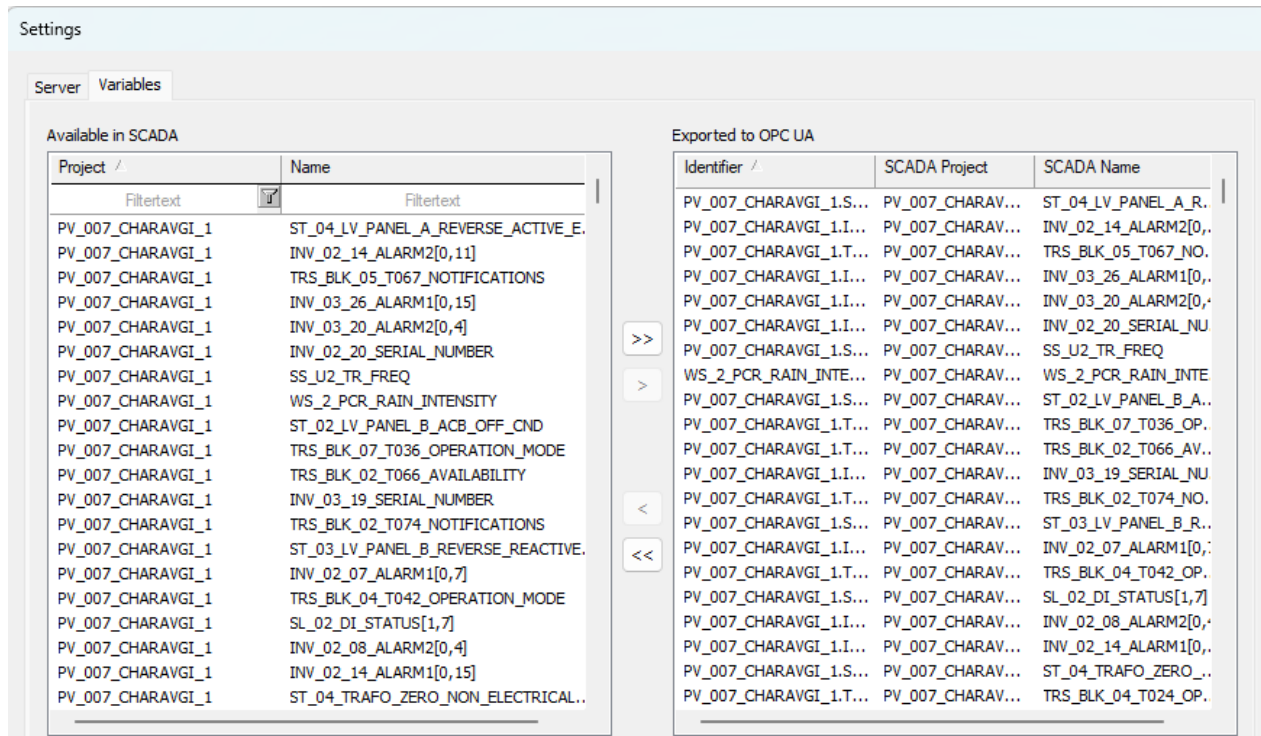


Εικόνα 7.2α: Process Gateway



Εικόνα 7.2β: Ρύθμιση του OPC UA Server.

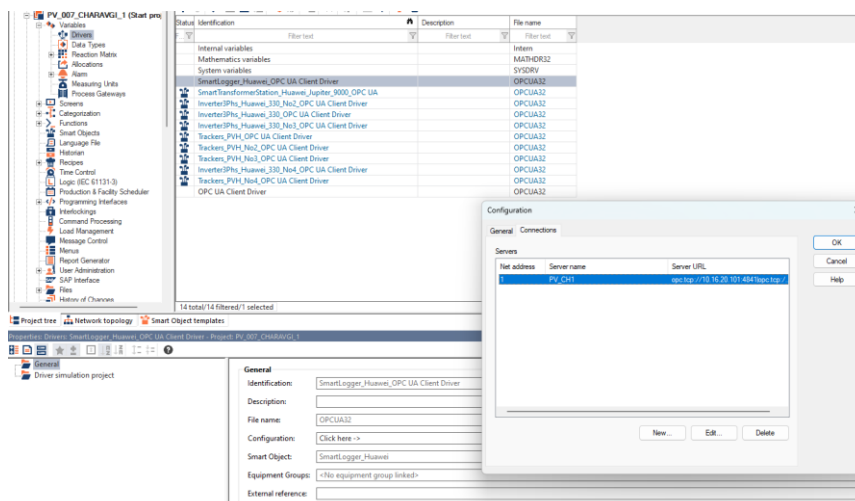
Στη συνέχεια επιλέγονται οι μεταβλητές που θέλουμε να σταλούν μέσω του OPC UA server και να είναι διαθέσιμες στους Clients (ενν. Cloud Project)



Εικόνα 7.2γ: Επιλογή μεταβλητών για αποστολή μέσω OPC UA.

Από την άλλη, το Cloud Project εστιάζει στην απομακρυσμένη παρακολούθηση και στη επιπρόσθετη διαχείριση των δεδομένων. Χρησιμοποιεί τα δεδομένα από τον OPC UA Server για να αναπαραστήσει το σύστημα SCADA του πάρκου, το οποίο επιτρέπει στους απομακρυσμένους (WEB Servers ή χρήστες HTML) να παρακολουθούν τη λειτουργία του συστήματος από οποιοδήποτε μέρος.

Για να είναι δυνατή η επικοινωνία του Cloud Project (OPC UA Client) με τον OPC UA Server, έχουν διαμορφωθεί κατάλληλοι OPC UA drivers στο Cloud Project, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 7.3: OPC UA Drivers στο Cloud Project

Επιλέγεται το όνομα του Server, δηλαδή του OPC UA Server από τον οποίο θα λαμβάνονται τα δεδομένα, καθώς και την IP διεύθυνση του Server που λειτουργεί ο OPC UA Server.

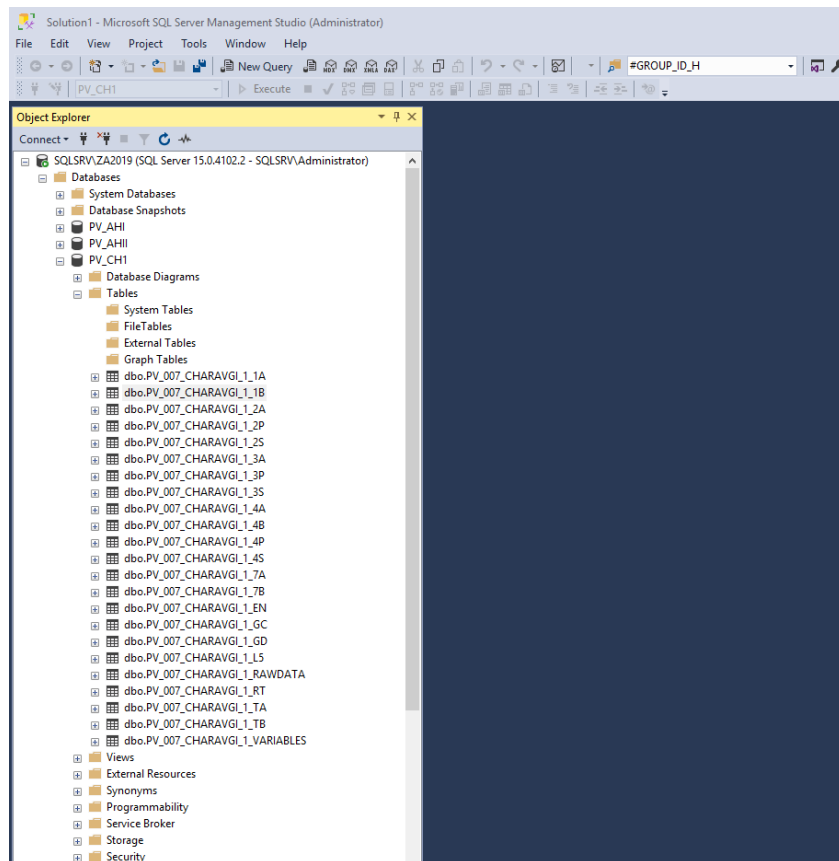
Ακόμη, το σύστημα cloud είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση δεδομένων σε SQL βάση δεδομένων και τη δημιουργία Reports που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση του συστήματος και της λειτουργίας αυτού.

Archives	Description	Start, stop	Start	Recording type	Evacuate	Lot variable	Number	estimated size
Historian							19 Archive(s)	10,265,522 K...
1A - P2_S/S_MEAS	S/S Measurements	User-defined	1/1/2019 12:0...	Cyclically	SQL database	<No variable l...	65 Variable(s)	
1B - P2_S/S_MEAS_10MIN_FOL							65 Variable(s)	
2A - P2_PV/KPI/PR	PR calculated in logic every 10 mins	User-defined	1/1/2021 12:0...	Event-triggered	SQL database	<No variable l...	59 Variable(s)	
2P - P2_PS02_SL_INV		User-defined	1/1/2022 12:0...	Cyclically	SQL database	<No variable l...	2,235 Variable(s)	
3A - P2_PV/KPI/AL	Availability calculated in logic every 10 mins	User-defined	1/1/2021 12:0...	Event-triggered	SQL database	<No variable l...	710 Variable(s)	
4A - P2_TS_ST		User-defined	1/1/2022 12:0...	Cyclically	SQL database	<No variable l...	99 Variable(s)	
7A - P2_METEO	Meteo Measurements	User-defined	1/1/2021 12:0...	Cyclically	SQL database	<No variable l...	48 Variable(s)	
8A - P2_DAILY_ENERGIES_PV		User-defined	1/1/2023 12:0...	Event-triggered	SQL database	<No variable l...	5 Variable(s)	
9A - P2_METEO_NEW_VARS		With Service ...	1/1/2024 12:0...	Cyclically	Do not evacuate	<No variable l...	25 Variable(s)	
EN - P2_ENERGIES	Inverters, Smart Loggers, Energy Meters	User-defined	1/1/2021 12:0...	Cyclically	SQL database	<No variable l...	207 Variable(s)	
GC - P2_PS01_SL_INV		User-defined	1/1/2022 12:0...	Cyclically	SQL database	<No variable l...	2,236 Variable(s)	
L5 - P2_KPI/LOS_PV	Losses calculated in logic every 10 mins	User-defined	1/1/2021 12:0...	Event-triggered	SQL database	<No variable l...	6 Variable(s)	
TA - P2_PV_TRACKERS		User-defined	1/1/2022 12:0...	Cyclically	SQL database	<No variable l...	595 Variable(s)	
TR - P2_PV_TRACKERS_ALARMS		User-defined	1/1/2023 12:0...	Cyclically	SQL database	<No variable l...	306 Variable(s)	

Εικόνα 7.3 Cloud Project Historian Archives

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε τα archives που έχουν δημιουργηθεί στο Cloud Project, και είναι ίδια με αυτά του Local Project (όπως είδαμε και πιο πάνω). Ακόμη, στη VM που τρέχει το Cloud project, με χρήση scripts γίνεται η μεταφορά των συμπιεσμένων αρχείων από τον Shared folder στον τοπικό Server, και στη συνέχεια αποσυμπίεση τους και μεταφορά εισαγωγή τους στην SQL database (για την δημιουργία και επεξεργασία της database έχει χρησιμοποιηθεί το MSSM – Microsoft SQL Server Management Studio -, καθώς μέσω αυτού ο Zenon δημιουργεί τα tables και τα queries για την λειτουργία του) .

Οι σχεσιακές βάσεις δεδομένων αποτελούνται από πίνακες (tables), οι οποίοι περιέχουν γραμμές και στήλες. Κάθε table περιέχει διαφορετικό τύπο δεδομένων που μπορούν να συσχετιστούν με άλλα tables μέσω μοναδικών αναγνωριστικών (πρωτεύοντα κλειδιά – primary keys). Κάθε μεταβλητή, που αντιστοιχεί σε κάποια μέτρηση, έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό, ενώ κάθε τύπος δεδομένων μέτρησης έχει τον μοναδικό του πίνακα, ο οποίος μπορεί επίσης να συμπληρωθεί με άλλες στήλες που μπορεί να είναι είτε στατικές (π.χ. την τοποθεσία του μετεωρολογικού σταθμού) είτε δυναμικές (τιμές μέτρησης). Η προσθήκη νέου table στη βάση δεδομένων δεν επηρεάζει τους προηγούμενους πίνακες. Μια κεντρική βάση δεδομένων SQL επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα από διαφορετικούς ιστότοπους ταυτόχρονα. Υπάρχουν πολλές επιλογές για τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων SQL. Μπορεί να υλοποιηθεί είτε τοπικά είτε σε VM (Virtual Machine - στην παρούσα έχει επιλεγεί η δεύτερη). Η επιλογή του VM επιτρέπει την πρόσβαση στη βάση δεδομένων μέσω του Διαδικτύου από οπουδήποτε στον κόσμο με τα κατάλληλα διαπιστευτήρια, και την επεξεργασία αυτών.



Εικόνα 7.4 SQL tables των Archives του Zenon στο MSSM

Βλέπουμε, επίσης, ότι τα tables που έχουν δημιουργηθεί στη βάση αντιστοιχούν στα archives που έχουμε δημιουργήσει στο Historian. Εκεί βρίσκονται αποθηκευμένα όλα τα δεδομένα που λαμβάνονται από το σύστημα SCADA.

7.2 Παρουσίαση δεδομένων προς μελέτη και επεξεργασία (Reporting)

```
167 ----CREATE GROUP AND FINAL TABLES
168 IF @AggrFn = 'AVG'
169 BEGIN
170     IF @AggrStep= 'HOUR'
171     BEGIN...
199
200     ELSE IF @AggrStep= 'DAY'
201     BEGIN...
229
230     ELSE IF @AggrStep= 'MONTH'
231     BEGIN...
260
261     ELSE IF @AggrStep= 'YEAR'
262     BEGIN...
291 END
292 ELSE IF @AggrFn = 'SUM'
293 BEGIN
294     IF @AggrStep= 'HOUR'
295     BEGIN...
323
324     ELSE IF @AggrStep= 'DAY'
325     BEGIN...
353
354     ELSE IF @AggrStep= 'MONTH'
355     BEGIN...
384
385     ELSE IF @AggrStep= 'YEAR'
386     BEGIN...
415 END
416 ELSE IF @AggrFn = 'MAX'
417 BEGIN
418     IF @AggrStep= 'HOUR'
419     BEGIN...
447
448     ELSE IF @AggrStep= 'DAY'
449     BEGIN...
475
476     ELSE IF @AggrStep= 'MONTH'
477     BEGIN...
504
505     ELSE IF @AggrStep= 'YEAR'
506     BEGIN...
533 END
534 ELSE IF @AggrFn = 'MIN'
535 BEGIN
536     IF @AggrStep= 'HOUR'
537     BEGIN...
565
566     ELSE IF @AggrStep= 'DAY'
567     BEGIN...
595
596     ELSE IF @AggrStep= 'MONTH'
597     BEGIN...
626
627     ELSE IF @AggrStep= 'YEAR'
628     BEGIN...
657 END
658 ELSE
659 BEGIN
```

Εικόνα 7.4 Query SQL.

```

167 ----CREATE GROUP AND FINAL TABLES
168 IF @AggrFn = 'AVG'
169 BEGIN
170     IF @AggrStep= 'HOUR'
171     BEGIN
172         SELECT      [NAME]
173                    ,CASE WHEN ([NAME] LIKE '%ENERGY%' AND (NOT [NAME] LIKE '%SPECIFIC%'))THEN 1 ELSE 0 END AS [ENERGY_VAR]
174                    ,[VALUE]
175                    ,CEILING(DATEDIFF(HOUR,@FROM_LOCAL,
176                                   CONVERT(datetime,DATEADD(S,[TIMESTAMP_S]-600,'1/1/1970') AT TIME ZONE 'UTC' AT TIME ZONE 'GTB Standard Time')
177                                   )/@AggrStepNum) AS [GROUP_ID_H]
178     INTO            #TMP_DATA_H_AVG
179     FROM            #TMP_DATA
180     ORDER BY        [TIMESTAMP_S],[NAME]
181
182     SELECT          CASE WHEN ([GROUP_ID_H]=0)
183                    THEN @FROM_LOCAL
184                    ELSE DATEADD(HOUR, DATEDIFF(HOUR, 0, @FROM_LOCAL)+[GROUP_ID_H]*@AggrStepNum,0)
185                    END AS [TIMESTAMP_FROM] --For listing correct date
186     ,CASE WHEN ([GROUP_ID_H]=(SELECT MAX([GROUP_ID_H]) FROM #TMP_DATA_H_AVG))
187     THEN @TO_LOCAL
188     ELSE DATEADD(HOUR, DATEDIFF(HOUR, 0, @FROM_LOCAL)+([GROUP_ID_H]+1)*@AggrStepNum,0)
189     END AS [TIMESTAMP_TO]
190     ,[NAME]
191     ,CASE WHEN ([ENERGY_VAR] = 1 AND @ENERGY_MAX=1) THEN CAST(MAX([VALUE]) AS DECIMAL(18,3))
192     ELSE CAST(AVG([VALUE]) AS DECIMAL(18,3)) END AS [VALUE]
193     FROM            #TMP_DATA_H_AVG
194     GROUP BY        [ENERGY_VAR], [GROUP_ID_H], [NAME]
195     ORDER BY        [GROUP_ID_H], [NAME]
196
197     DROP TABLE #TMP_DATA_H_AVG
198 END
199
200 ELSE IF @AggrStep= 'DAY'
201 BEGIN
202     SELECT      [NAME]
203                    ,CASE WHEN ([NAME] LIKE '%ENERGY%' AND (NOT [NAME] LIKE '%SPECIFIC%'))THEN 1 ELSE 0 END AS [ENERGY_VAR]
204                    ,[VALUE]
205                    ,CEILING(DATEDIFF(DAY,@FROM_LOCAL,
206                                   CONVERT(datetime,DATEADD(S,[TIMESTAMP_S]-600,'1/1/1970') AT TIME ZONE 'UTC' AT TIME ZONE 'GTB Standard Time')
207                                   )/@AggrStepNum) AS [GROUP_ID_D]
208     INTO            #TMP_DATA_D_AVG
209     FROM            #TMP_DATA
210     ORDER BY        [TIMESTAMP_S],[NAME]
211
212     SELECT          CASE WHEN ([GROUP_ID_D]=0)
213                    THEN @FROM_LOCAL
214                    ELSE DATEADD(DAY, DATEDIFF(DAY, 0, @FROM_LOCAL)+[GROUP_ID_D]*@AggrStepNum,0)
215                    END AS [TIMESTAMP_FROM] --For listing correct date
216     ,CASE WHEN ([GROUP_ID_D]=(SELECT MAX([GROUP_ID_D]) FROM #TMP_DATA_D_AVG))
217     THEN @TO_LOCAL
218     ELSE DATEADD(DAY, DATEDIFF(DAY, 0, @FROM_LOCAL)+([GROUP_ID_D]+1)*@AggrStepNum,0)
219     END AS [TIMESTAMP_TO]
220     ,[NAME]
221     ,CASE WHEN ([ENERGY_VAR] = 1 AND @ENERGY_MAX=1) THEN CAST(MAX([VALUE]) AS DECIMAL(18,3))
222     ELSE CAST(AVG([VALUE]) AS DECIMAL(18,3)) END AS [VALUE]
223     FROM            #TMP_DATA_D_AVG
224     GROUP BY        [ENERGY_VAR], [GROUP_ID_D], [NAME]
225     ORDER BY        [GROUP_ID_D], [NAME]
226
227     DROP TABLE #TMP_DATA_D_AVG
228 END

```

Εικόνα 7.5 Επιμέρους κώδικας για υπολογισμό μέσου όρου για ωριαίο και ημερήσιο χρονικό διάστημα.

```

230 ELSE IF @AggrStep= 'MONTH'
231 BEGIN
232     SELECT      [NAME]
233                ,CASE WHEN ([NAME] LIKE '%ENERGY%' AND (NOT [NAME] LIKE '%SPECIFIC%'))THEN 1 ELSE 0 END AS [ENERGY_VAR]
234                ,[VALUE]
235                ,CEILING(DATEDIFF(MONTH,@FROM_LOCAL,
236                               CONVERT(datetime,DATEADD(S,[TIMESTAMP_S]-600,'1/1/1970') AT TIME ZONE 'UTC' AT TIME ZONE 'GTB Standard Time')
237                               )/@AggrStepNum) AS [GROUP_ID_M]
238     INTO        #TMP_DATA_M_AVG
239     FROM        #TMP_DATA
240     ORDER BY    [TIMESTAMP_S],[NAME]
241
242
243     SELECT      CASE WHEN ([GROUP_ID_M]=0)
244                THEN @FROM_LOCAL
245                ELSE DATEADD(MONTH, DATEDIFF(MONTH, 0, @FROM_LOCAL)+[GROUP_ID_M]*@AggrStepNum,0)
246                END AS [TIMESTAMP_FROM] --For listing correct date
247     ,CASE WHEN ([GROUP_ID_M]=(SELECT MAX([GROUP_ID_M]) FROM #TMP_DATA_M_AVG))
248                THEN @TO_LOCAL
249                ELSE DATEADD(MONTH, DATEDIFF(MONTH, 0, @FROM_LOCAL)+([GROUP_ID_M]+1)*@AggrStepNum,0)
250                END AS [TIMESTAMP_TO] --For listing correct date
251     ,[NAME]
252     ,CASE WHEN ([ENERGY_VAR] = 1 AND @ENERGY_MAX=1) THEN CAST(MAX([VALUE]) AS DECIMAL(18,3))
253                ELSE CAST(AVG([VALUE]) AS DECIMAL(18,3)) END AS [VALUE]
254     FROM        #TMP_DATA_M_AVG
255     GROUP BY    [ENERGY_VAR], [GROUP_ID_M], [NAME]
256     ORDER BY    [GROUP_ID_M], [NAME]
257
258     DROP TABLE #TMP_DATA_M_AVG
259 END
260
261 ELSE IF @AggrStep= 'YEAR'
262 BEGIN
263     SELECT      [NAME]
264                ,CASE WHEN ([NAME] LIKE '%ENERGY%' AND (NOT [NAME] LIKE '%SPECIFIC%'))THEN 1 ELSE 0 END AS [ENERGY_VAR]
265                ,[VALUE]
266                ,CEILING(DATEDIFF(YEAR,@FROM_LOCAL,
267                               CONVERT(datetime,DATEADD(S,[TIMESTAMP_S]-600,'1/1/1970') AT TIME ZONE 'UTC' AT TIME ZONE 'GTB Standard Time')
268                               )/@AggrStepNum) AS [GROUP_ID_Y]
269     INTO        #TMP_DATA_Y_AVG
270     FROM        #TMP_DATA
271     ORDER BY    [TIMESTAMP_S],[NAME]
272
273
274     SELECT      CASE WHEN ([GROUP_ID_Y]=0)
275                THEN @FROM_LOCAL
276                ELSE DATEADD(YEAR, DATEDIFF(YEAR, 0, @FROM_LOCAL)+[GROUP_ID_Y]*@AggrStepNum,0)
277                END AS [TIMESTAMP_FROM] --For listing correct date
278     ,CASE WHEN ([GROUP_ID_Y]=(SELECT MAX([GROUP_ID_Y]) FROM #TMP_DATA_Y_AVG))
279                THEN @TO_LOCAL
280                ELSE DATEADD(YEAR, DATEDIFF(YEAR, 0, @FROM_LOCAL)+([GROUP_ID_Y]+1)*@AggrStepNum,0)
281                END AS [TIMESTAMP_TO] --For listing correct date
282     ,[NAME]
283     ,CASE WHEN ([ENERGY_VAR] = 1 AND @ENERGY_MAX=1) THEN CAST(MAX([VALUE]) AS DECIMAL(18,3))
284                ELSE CAST(AVG([VALUE]) AS DECIMAL(18,3)) END AS [VALUE]
285     FROM        #TMP_DATA_Y_AVG
286     GROUP BY    [ENERGY_VAR], [GROUP_ID_Y], [NAME]
287     ORDER BY    [GROUP_ID_Y], [NAME]
288
289     DROP TABLE #TMP_DATA_Y_AVG
290 END
291 END

```

Εικόνα 7.6 Επιμέρους κώδικας για υπολογισμό μέσου όρου για μηνιαίο και αιτήσιο χρονικό διάστημα.

Το συγκεκριμένο κομμάτι από το query SQL έχει ως στόχο τη συλλογή, επεξεργασία, ομαδοποίηση και παρουσίαση δεδομένων για διαφορετικές χρονικές κλίμακες (π.χ. ώρες, ημέρες, μηνιαία και ετήσια), με βάση την επιθυμητή συγκέντρωση και επεξεργασία δεδομένων, δηλαδή υπολογισμό μέσων όρων, μέγιστων, ελαχίστων και αθροισμάτων . Η λειτουργία του

βασίζεται στη χρήση δυναμικών χρονικών παραμέτρων και προσωρινών πινάκων για την αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα παρακάτω γίνεται ανάλυση της περίπτωσης για τον υπολογισμό της **μέσου όρου**(Average) των τιμών διαφόρων μετρήσεων και KPIs για τα διάφορα χρονικά διαστήματα επεξεργασίας, και με παρόμοιο τρόπο αναπτύσσεται ο κώδικας και για τους υπόλοιπους υπολογισμούς.

Αρχικά, ο κώδικας ελέγχει αν η μεταβλητή **@AggrFn** ισούται με **'AVG'**. Αν η συνθήκη είναι αληθής, προχωρά στη λογική συγκέντρωσης. Στη συνέχεια, γίνεται έλεγχος της μεταβλητής **@AggrStep** ώστε να προσδιοριστεί με βάση ποιο χρονικό διάστημα θα γίνει η συγκέντρωση και επεξεργασία των δεδομένων.

Ωριαίο χρονικό διάστημα : το @AggrStep είναι "HOUR"

1. Προσωρινός Πίνακας #TMP_DATA_H_AVG

- Τα επεξεργασμένα δεδομένα εισάγονται σε έναν προσωρινό πίνακα (#TMP_DATA_H_AVG) για περαιτέρω επεξεργασία.
- Τα δεδομένα ταξινομούνται με βάση το TIMESTAMP_S και το NAME για καλύτερη απόδοση.

2. Αρχική Επεξεργασία Δεδομένων

- Η εντολή SELECT επιλέγει δεδομένα από ένα άλλο προσωρινό πίνακα **#TMP_DATA**, ο οποίος έχει δημιουργηθεί με την ένωση όλων των πινάκων που εμπεριέχουν τα δεδομένα του πάρκου (ενν. τα tables που δημιουργήθηκαν με βάση τα Archives στο Historian).
- Επιλέγεται η στήλη "NAME" και αν στο όνομα εμπεριέχεται ο όρος "ENERGY" δημιουργείται μία νέα στήλη "ENERGY_VAR".
- Υπολογίζεται μια νέα στήλη "GROUP_ID_H" που ομαδοποιεί τα δεδομένα σε ωριαία διαστήματα. Αυτό γίνεται ως εξής:
- Το timestamp της μεταβλητής μετατρέπεται από τη μορφή UNIX που έχει (epoch time – δευτερόλεπτα από την 1/1/1970) σε μορφή ημερομηνίας και προσαρμόζεται στη ζώνη ώρας «GTB Standard Time»
- Με τη χρήση της "DATEDIFF" υπολογίζεται η διαφορά ωρών από την "@FROM_LOCAL" έως την προσαρμοσμένη χρονική στιγμή και στη συνέχεια διαιρείται με το "@AggrStepNum", το οποίο αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ωρών σε κάθε βήμα συγκέντρωσης. Ακόμη, η συνάρτηση "CEILING" χρησιμοποιείται για τη στρογγυλοποίηση του αποτελέσματος στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό ομαδοποιώντας τα δεδομένα σε ωριαία διαστήματα.

3. Υπολογισμός Αποτελεσμάτων

- Η δεύτερη SELECT χρησιμοποιεί τον προσωρινό πίνακα για να υπολογίσει τις τελικές τιμές:
- Υπολογίζει τις "TIMESTAMP_FROM" και "TIMESTAMP_TO" για κάθε ομάδα:
- Το "TIMESTAMP_FROM" ορίζεται στο πεδίο "@FROM_LOCAL" εάν το "GROUP_ID_H" είναι 0, διαφορετικά υπολογίζει την έναρξη της ώρας με βάση το group ID.

- Το “TIMESTAMP_TO” έχει οριστεί στο πεδίο “@TO_LOCAL” εάν το “GROUP_ID_H” είναι το μέγιστο group ID, διαφορετικά υπολογίζει το τέλος της ώρας με βάση το αναγνωριστικό ομάδας.
- Επιλέγει τη στήλη [NAME].
- Υπολογίζει το [VALUE]:
- Εάν το “ENERGY_VAR” είναι 1 και το “@ENERGY_MAX” είναι 1, παίρνει τη μέγιστη τιμή [VALUE] για αυτήν την ομάδα (αυτό συμβαίνει διότι θέλουμε τις μέγιστες τιμές ενέργειας που παράγει για παράδειγμα ένας Inverter και όχι τον μέσο όρο παραγωγής).
- Διαφορετικά, υπολογίζει τον μέσο όρο του [VALUE].
- Τα αποτελέσματα ομαδοποιούνται ως εξής: “[ENERGY_VAR]”, “[GROUP_ID_H]” (αντιπροσωπεύει την ώρα) και “[NAME]”, και ταξινομούνται κατά “[GROUP_ID_H]” και “[NAME]”.

4. Διαγραφή Προσωρινών Πινάκων

- Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας, ο προσωρινός πίνακας διαγράφεται με τη χρήση της εντολής DROP TABLE για την αποδέσμευση των πόρων του συστήματος.

Όμοια διαδικασία ακολουθείται και για τα υπόλοιπα χρονικά διαστήματα. Οπότε παρακάτω συνοψίζεται η διαδικασία:

1. Προσωρινοί Πίνακες:

- Δημιουργούνται προσωρινοί πίνακες για κάθε χρονικό διάστημα (#TMP_DATA_H_AVG, #TMP_DATA_D_AVG, #TMP_DATA_M_AVG, #TMP_DATA_Y_AVG), όπου αποθηκεύονται τα επεξεργασμένα δεδομένα κάθε φορά.
- Τα δεδομένα ταξινομούνται για καλύτερη απόδοση με βάση το “TIMESTAMP_S” και το “NAME” της κάθε μεταβλητής.

2. Αρχική Επεξεργασία Δεδομένων:

- Τα δεδομένα προέρχονται από τον αρχικό προσωρινό πίνακα #TMP_DATA, ο οποίος περιέχει όλες τις εγγραφές του πάρκου, δηλαδή όλες τις μετρήσεις και υπολογισμούς που αφορούν το πάρκο και έχει δημιουργηθεί με την ένωση όλων των πινάκων που εμπεριέχουν τα δεδομένα του πάρκου (ενν. τα tables που δημιουργήθηκαν με βάση τα Archives στο Historian).
- Δημιουργείται η στήλη “ENERGY_VAR” εάν το “NAME”, δηλαδή η μεταβλητή ενδιαφέροντος περιέχει τον όρο “ENERGY”.
- Υπολογίζεται το “GROUP_ID”, το οποίο περιέχει ομαδοποιημένα τα δεδομένα:
 - Για **ωριαία** διαστήματα: DATEDIFF(HOUR, ...).
 - Για **ημερήσια** διαστήματα: DATEDIFF(DAY, ...).

- Για **μηνιαία** διαστήματα: DATEDIFF(MONTH, ...).
- Για **ετήσια** διαστήματα: DATEDIFF(YEAR, ...).
- Χρησιμοποιείται η “CEILING” για τη στρογγυλοποίηση, ώστε να δημιουργηθούν συγκεκριμένες ομάδες ανά χρονικό διάστημα.

3. Υπολογισμός των εκάστοτε ζητούμενων Αποτελεσμάτων:

- Υπολογίζονται οι χρονικές στιγμές:
 - “TIMESTAMP_FROM”: Έναρξη χρονικού διαστήματος.
 - “TIMESTAMP_TO”: Λήξη χρονικού διαστήματος.
- Εάν “ENERGY_VAR = 1”, δηλαδή υπάρχει μεταβλητή που αφορά ενέργεια, και “@ENERGY_MAX = 1”, υπολογίζεται η **μέγιστη τιμή** “VALUE” της ενέργειας για τη μεταβλητή που έχει επιλεγεί (για παράδειγμα για inverters), αυτό συμβαίνει διότι θέλουμε τις μέγιστες τιμές ενέργειας που παράγει για παράδειγμα ένας Inverter και όχι τον μέσο όρο παραγωγής.
- Διαφορετικά, υπολογίζεται ο **μέσος όρος** “VALUE”.
- Τα αποτελέσματα ομαδοποιούνται με βάση το “ENERGY_VAR”, το “GROUP_ID” και το “NAME”, ενώ ταξινομούνται ανά “GROUP_ID” και “NAME”.

4. Διαγραφή Προσωρινού Πίνακα:

- Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας, κάθε προσωρινός πίνακας διαγράφεται (-DROP TABLE).

Οι κύριες διαφορές ανά Χρονικό Διάστημα υπολογισμού είναι:

1. Ωριαίο Διάστημα (@AggrStep = "HOUR"):

- Χρησιμοποιείται “DATEDIFF(HOUR, @FROM_LOCAL, ...)” για τη δημιουργία “GROUP_ID_H”.
- Τα δεδομένα ομαδοποιούνται σε ωριαία διαστήματα.

2. Ημερήσιο Διάστημα (@AggrStep = "DAY"):

- Χρησιμοποιείται “DATEDIFF(DAY, @FROM_LOCAL, ...)” για τη δημιουργία “GROUP_ID_D”.
- Τα δεδομένα ομαδοποιούνται σε ημερήσια διαστήματα.

3. Μηνιαίο Διάστημα (@AggrStep = "MONTH"):

- Χρησιμοποιείται “DATEDIFF(MONTH, @FROM_LOCAL, ...)” για τη δημιουργία “GROUP_ID_M”.
- Τα δεδομένα ομαδοποιούνται σε μηνιαία διαστήματα.

4. Ετήσιο Διάστημα (@AggrStep = "YEAR"):

- Χρησιμοποιείται “DATEDIFF(YEAR, @FROM_LOCAL, ...)” για τη δημιουργία “GROUP_ID_Y”.
- Τα δεδομένα ομαδοποιούνται σε ετήσια διαστήματα.

Τα κύρια υπολογιστικά βήματα που λαμβάνουν χώρα στο παραπάνω query είναι, αρχικά, ο υπολογισμός “TIMESTAMP_FROM” και “TIMESTAMP_TO” για κάθε χρονική ομάδα. Εν συνεχεία, ο υπολογισμός του “VALUE” ως εξής:

- Μέγιστη τιμή για ενεργειακές μεταβλητές (ENERGY_VAR = 1).
- Μέσος όρος για υπόλοιπες μεταβλητές.

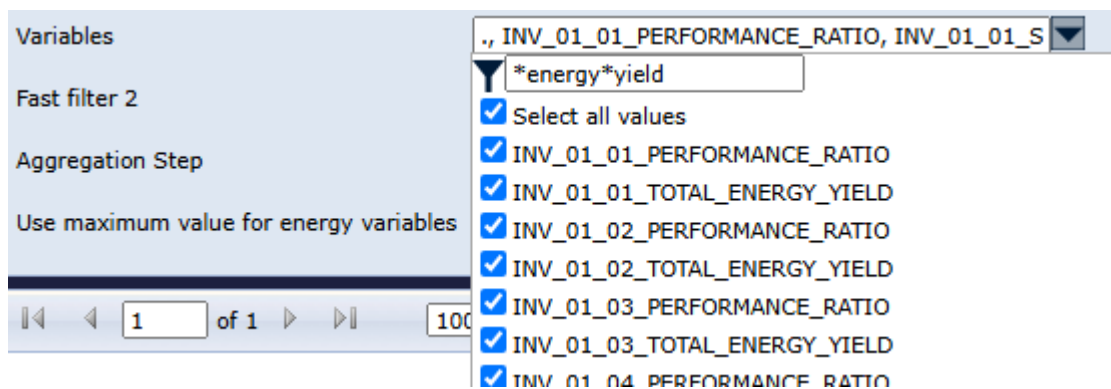
Ακολουθούν παραδείγματα χρήσης του συγκεκριμένου Report για τα διάφορα χρονικά διαστήματα.

Αρχικά, επιλέγουμε το χρονικό διάστημα:



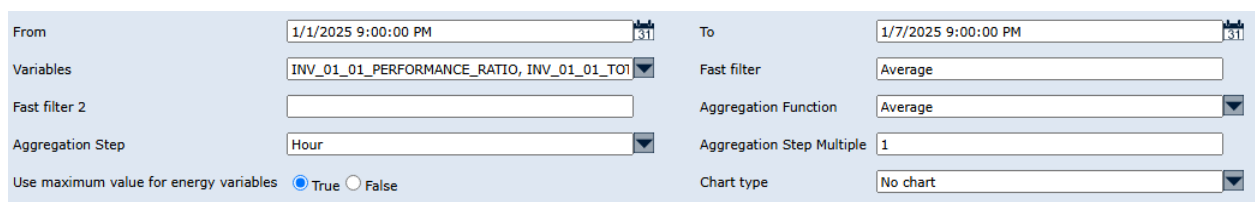
Εικόνα 7.6 Επιλογή χρονικού διαστήματος για την εξαγωγή του Report.

Στη συνέχεια, επιλέγουμε τις μεταβλητές που θέλουμε να επεξεργαστούμε και να παρουσιάσουμε στο Report, παραδείγματος χάρη τα Performance Ratio όλων των συσκευών του πάρκου, καθώς επίσης και τα Total Energy των Inverter.



Εικόνα 7.7 Επιλογή επιθυμητών μεταβλητών για την εξαγωγή του Report.

Επιλέγουμε το **Aggregation Function = Average**, το **Aggregation Step = Hour**, όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 7.8 Επιλογή Aggregation function και Step για την εξαγωγή του Report.

Δηλαδή ένα Report από την 1/1/2025 στις 9πμ έως 7/1/2025 στις 9πμ, για τα Performance Ratio όλων των συσκευών του πάρκου, και τα Total Energy Yield των Inverter, με υπολογισμό ωριαίου μέσου όρου, και με max τιμές στις μεταβλητές της ενέργειας.

Οπότε, έχουμε το παρακάτω Report:

From	To	INV_01_01_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_02_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_03_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_04_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_05_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_06_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh
01/01/2025 9:00:00 PM	01/01/2025 10:00:00 PM	55728.710	63940.390	72762.600	70930.650	76559.630	81844.160
01/01/2025 10:00:00 PM	01/01/2025 11:00:00 PM	55728.710	63940.390	72762.600	70930.650	76559.630	81844.160
01/01/2025 11:00:00 PM	02/01/2025 12:00:00 AM	55728.710	63940.390	72762.600	70930.650	76559.630	81844.160
02/01/2025 12:00:00 AM	02/01/2025 1:00:00 AM	55728.710	63940.390	72762.600	70930.650	76559.630	81844.160
02/01/2025 1:00:00 AM	02/01/2025 2:00:00 AM	55728.710	63940.390	72762.600	70930.650	76559.630	81844.160
02/01/2025 2:00:00 AM	02/01/2025 3:00:00 AM	55728.710	63940.390	72762.600	70930.650	76559.630	81844.160
02/01/2025 3:00:00 AM	02/01/2025 4:00:00 AM	55728.710	63940.390	72762.600	70930.650	76559.630	81844.160
02/01/2025 4:00:00 AM	02/01/2025 5:00:00 AM	55728.710	63940.390	72762.600	70930.650	76559.630	81844.160
02/01/2025 5:00:00 AM	02/01/2025 6:00:00 AM	55728.710	63940.390	72762.600	70930.650	76559.630	81844.160
02/01/2025 6:00:00 AM	02/01/2025 7:00:00 AM	55728.710	63940.390	72762.600	70930.650	76559.630	81844.160
02/01/2025 7:00:00 AM	02/01/2025 8:00:00 AM	55728.880	63940.680	72763.030	70930.900	76560.000	81844.550
02/01/2025 8:00:00 AM	02/01/2025 9:00:00 AM	55755.410	63976.910	72789.650	70962.960	76583.190	81877.940
02/01/2025 9:00:00 AM	02/01/2025 10:00:00 AM	55871.260	64102.520	72905.040	71069.780	76692.770	82011.240
02/01/2025 10:00:00 AM	02/01/2025 11:00:00 AM	56037.790	64270.860	73079.940	71246.650	76869.580	82169.800
02/01/2025 11:00:00 AM	02/01/2025 12:00:00 PM	56195.630	64430.010	73248.350	71415.900	77039.080	82361.260
02/01/2025 12:00:00 PM	02/01/2025 1:00:00 PM	56342.290	64586.270	73412.910	71581.630	77205.720	82530.630
02/01/2025 1:00:00 PM	02/01/2025 2:00:00 PM	56484.070	64749.750	73586.520	71756.770	77381.530	82707.850
02/01/2025 2:00:00 PM	02/01/2025 3:00:00 PM	56621.240	64916.160	73769.710	71941.910	77567.650	82894.590
02/01/2025 3:00:00 PM	02/01/2025 4:00:00 PM	56715.270	65032.510	73926.070	72100.290	77734.300	83059.360
02/01/2025 4:00:00 PM	02/01/2025 5:00:00 PM	56736.410	65071.660	73973.250	72153.960	77795.720	83121.570
02/01/2025 5:00:00 PM	02/01/2025 6:00:00 PM	56737.340	65062.790	73974.640	72154.950	77797.200	83123.310
02/01/2025 6:00:00 PM	02/01/2025 7:00:00 PM	56737.340	65062.790	73974.640	72154.950	77797.200	83123.310
02/01/2025 7:00:00 PM	02/01/2025 8:00:00 PM	56737.340	65062.790	73974.640	72154.950	77797.200	83123.310
02/01/2025 8:00:00 PM	02/01/2025 9:00:00 PM	56737.340	65062.790	73974.640	72154.950	77797.200	83123.310

Εικόνα 7.8 Τελικό Report 1.

[illegible]

Εικόνα 7.9 Τελικό Report 2.

Για τις ίδιες μεταβλητές επιλέγουμε το **Aggregation Function = Average**, και το **Aggregation Step = DAY**, όπως φαίνεται παρακάτω:

Home > PV_CHARAVGI_1 > Custom Report

From

11/8/2024 9:00:00 AM

31

To

12/11/2024 12:00:00 AM

31

Variables

., INV_01_01_PERFORMANCE_RATIO, INV_01_01_T

Fast filter

Fast filter 2

Aggregation Function

Average

Aggregation Step

Day

Aggregation Step Multiple

1

Use maximum value for energy variables

☒ True ☐ False

Chart type

No chart

View Report

Εικόνα 7.10 Επιλογή χρονικού διαστήματος, και Aggregation Step = Day για την εξαγωγή του Report.

From	To	INV_01_01_PERFORMANCE_RATIO %	INV_01_01_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_02_PERFORMANCE_RATIO %	INV_01_02_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_03_PERFORMANCE_RATIO %	INV_01_03_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh
09/11/2024 9:00:00 AM	09/11/2024 12:00:00 AM	53.666	25289.790	56.940	30581.100	71.245	35904.640
09/11/2024 12:00:00 AM	10/11/2024 12:00:00 AM	44.167	26024.690	42.733	31286.020	54.673	36837.690
10/11/2024 12:00:00 AM	11/11/2024 12:00:00 AM	74.510	26599.900	69.046	31909.670	80.236	37493.320
11/11/2024 12:00:00 AM	12/11/2024 12:00:00 AM	90.627	26626.290	91.131	32022.630	89.559	37728.540
12/11/2024 12:00:00 AM	13/11/2024 12:00:00 AM	65.686	26964.360	94.932	32153.510	67.379	37873.790
13/11/2024 12:00:00 AM	14/11/2024 12:00:00 AM	89.939	27185.950	95.274	32365.390	90.978	38109.980
14/11/2024 12:00:00 AM	15/11/2024 12:00:00 AM	77.598	27349.230	87.793	32526.900	82.169	38293.080
15/11/2024 12:00:00 AM	16/11/2024 12:00:00 AM	96.841	27524.210	96.607	32702.300	104.239	38406.510
16/11/2024 12:00:00 AM	17/11/2024 12:00:00 AM	84.638	27881.770	107.676	33162.000	111.834	38997.610
17/11/2024 12:00:00 AM	18/11/2024 12:00:00 AM	70.624	28210.090	86.626	33643.680	89.328	39421.300
18/11/2024 12:00:00 AM	19/11/2024 12:00:00 AM	62.706	28835.230	69.027	34243.330	79.088	40236.510
19/11/2024 12:00:00 AM	20/11/2024 12:00:00 AM	71.320	29762.800	62.136	35066.610	84.622	41334.610
20/11/2024 12:00:00 AM	21/11/2024 12:00:00 AM	85.618	30354.290	80.916	35680.780	90.400	42061.440
21/11/2024 12:00:00 AM	22/11/2024 12:00:00 AM	79.511	30922.410	85.813	36320.800	91.964	42799.170
22/11/2024 12:00:00 AM	23/11/2024 12:00:00 AM	74.369	31275.730	82.728	36716.450	86.293	43233.900
23/11/2024 12:00:00 AM	24/11/2024 12:00:00 AM	31.048	31536.910	35.911	37016.690	37.623	43573.160
24/11/2024 12:00:00 AM	25/11/2024 12:00:00 AM	35.628	32005.670	41.457	37545.150	47.031	44161.180
25/11/2024 12:00:00 AM	26/11/2024 12:00:00 AM	78.135	33115.420	86.295	38760.170	88.991	45487.160
26/11/2024 12:00:00 AM	27/11/2024 12:00:00 AM	75.571	34190.580	83.549	39640.440	86.632	46763.560
27/11/2024 12:00:00 AM	28/11/2024 12:00:00 AM	75.479	35117.120	74.886	40045.310	87.632	47884.780
28/11/2024 12:00:00 AM	29/11/2024 12:00:00 AM	79.653	36873.970	87.482	41889.710	90.223	49013.060
29/11/2024 12:00:00 AM	30/11/2024 12:00:00 AM	82.150	36359.330	94.006	42180.990	93.699	49320.080
30/11/2024 12:00:00 AM	01/12/2024 12:00:00 AM		36439.450		42262.970		49408.180
01/12/2024 12:00:00 AM	02/12/2024 12:00:00 AM	85.884	36562.860	86.393	42388.640	87.018	49642.700
02/12/2024 12:00:00 AM	03/12/2024 12:00:00 AM	100.355	36836.060	101.336	42664.970	101.837	49635.430
03/12/2024 12:00:00 AM	04/12/2024 12:00:00 AM	95.849	37143.210	95.935	42974.620	96.693	50163.850
04/12/2024 12:00:00 AM	05/12/2024 12:00:00 AM	99.613	37336.510	100.123	43172.410	100.782	50373.400
05/12/2024 12:00:00 AM	06/12/2024 12:00:00 AM		37457.940		43292.620		50501.310
06/12/2024 12:00:00 AM	07/12/2024 12:00:00 AM	104.490	37682.230	104.862	43435.620	105.446	50653.880
07/12/2024 12:00:00 AM	08/12/2024 12:00:00 AM	89.205	37821.630	91.185	43659.430	93.353	50894.610
08/12/2024 12:00:00 AM	09/12/2024 12:00:00 AM	84.893	38323.940	98.362	44242.170	86.974	51442.320
09/12/2024 12:00:00 AM	10/12/2024 12:00:00 AM	92.896	38897.820	99.655	44872.780	99.951	52105.550

Εικόνα 7.11 Τελικό Report 3.

Για **Aggregation Function = Average**, και **Aggregation Step = MONTH**:

Home > PV_CHARAVGI_1 > Custom Report

From
To

Variables
Fast filter

Fast filter 2
Aggregation Function

Aggregation Step
Aggregation Step Multiple

Use maximum value for energy variables
☒ True ☐ False
Chart type

View Report

Εικόνα 7.12 Επιλογή χρονικού διαστήματος, και Aggregation Step = Month για την εξαγωγή του Report.

From	To	INV_01_01_PERFORMANCE_RATIO %	INV_01_01_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_02_PERFORMANCE_RATIO %	INV_01_02_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_03_PERFORMANCE_RATIO %	INV_01_03_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh
01/10/2024 9:00:00 AM	01/11/2024 12:00:00 AM	72.475	18321.270	76.784	23480.680	87.745	28744.750
01/11/2024 12:00:00 AM	01/12/2024 12:00:00 AM	65.313	36439.450	66.411	42262.970	77.558	49408.180
01/12/2024 12:00:00 AM	11/12/2024 12:00:00 AM	93.261	39236.530	97.785	45223.660	96.298	52471.440

Εικόνα 7.13 Τελικό Report 4.

Για **Aggregation Function = Average**, και **Aggregation Step = YEAR**:

Home > PV_CHARAVGI_1 > Custom Report

From
To

Variables
Fast filter

Fast filter 2
Aggregation Function

Aggregation Step
Aggregation Step Multiple

Use maximum value for energy variables
☒ True ☐ False
Chart type

View Report

Εικόνα 7.14 Επιλογή χρονικού διαστήματος, και Aggregation Step = Year για την εξαγωγή του Report.

From	To	INV_01_01_PERFORMANCE_RATIO %	INV_01_01_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_02_PERFORMANCE_RATIO %	INV_01_02_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_03_PERFORMANCE_RATIO %	INV_01_03_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh
01/09/2024 9:00:00 AM	31/12/2024 12:00:00 AM	72.776	53686.720	78.754	61686.810	84.662	70317.890

Εικόνα 7.15 Τελικό Report 5.

Για τις ίδιες μεταβλητές έχει ενδιαφέρον να παραχθεί και το παρακάτω Report, για **Aggregation Function = Average**, και **Aggregation Step = MONTH**, από 1/1/2024 έως 31/12/2024:

Home > PV_CHARAVGI_1 > Custom Report

From: 1/1/2024 9:00:00 AM To: 12/31/2024 12:00:00 AM

Variables: ,, INV_01_01_PERFORMANCE_RATIO, INV_01_01_T

Fast filter 2:

Aggregation Step: Month

Use maximum value for energy variables: ☒ True ☐ False

Fast filter:

Aggregation Function: Average

Aggregation Step Multiple: 1

Chart type: No chart

View Report

Εικόνα 7.16 Aggregation Step = Month και χρονικό διάστημα έτους για την εξαγωγή του Report.

From	To	INV_01_01_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_02_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_03_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_04_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	INV_01_05_TOTAL_ENERGY_YIELD kWh	PV_PERFORMANCE_RATIO %
01/09/2024 12:00:00 AM	01/10/2024 12:00:00 AM	633.310	600.580	643.350	55.630	645.710	
01/10/2024 12:00:00 AM	01/11/2024 12:00:00 AM	18321.270	23400.680	26744.750	26866.350	29002.580	77.505
01/11/2024 12:00:00 AM	01/12/2024 12:00:00 AM	36438.450	42262.970	49408.180	48208.190	52776.890	77.593
01/12/2024 12:00:00 AM	31/12/2024 12:00:00 AM	53686.720	61686.810	70317.890	68459.280	74067.010	84.740

Εικόνα 7.17 Τελικό Report 7.

Παρατηρούμε ότι τα δεδομένα μας έρχονται από 1/9/2024 και μετά και αυτό είναι αναμενόμενο διότι το πάρκο τέθηκε σε λειτουργία τον Σεπτέμβριο του 2024.

7.3 Υπολογισμός Availability με Time Exclusion

```

40 SELECT DATEADD(S, (a.[TIMESTAMP_S]-DATEPART(S, DATEADD(S, a.[TIMESTAMP_S], '1/1/1970'))), '1/1/1970') AS [TIMESTAMP_S] --Remove seconds from timestamp
41 ,REPLACE([NAME], 'AVAILABILITY', 'DATA') AS [NameUnit]
42 ,CAST([VALUE] AS DECIMAL(18,3)) AS [VALUE]
43 ,CASE WHEN ([VALUE]<>0 AND [NAME] LIKE 'XAVAILX') THEN
44     CAST(LEAD([VALUE]) OVER (ORDER BY [TIMESTAMP_S],[NAME]) AS DECIMAL(18,3)) END AS [PNOM_COR] --Adds NULL when availability = 0, to fix average value
45 ,CASE WHEN ([NAME] LIKE 'WS_IRRADIANCE_AVERAGE') THEN 10 ELSE 0 END AS [T_USEFUL] --For union to work dummy column
46 ,CASE WHEN ([NAME] LIKE 'XAVAILX' AND [VALUE]=0) THEN 10 ELSE 0 END AS [T_DOWN]
47 INTO
48 FROM [PV_CHI].[dbo].[PV_007_CHARAVGI_1_3A] a LEFT OUTER JOIN
49 [PV_CHI].[dbo].[PV_007_CHARAVGI_1_VARIABLES] b ON a.VARIABLE = b.VARIABLE
50 WHERE NAME LIKE 'XINVX' AND a.TIMESTAMP_S >= DATETIME(S, '1/1/1970', @FROM)+600 AND a.TIMESTAMP_S <=DATETIME(S, '1/1/1970', @TO)+30
51
52 UNION ALL
53
54 SELECT DATEADD(S, (a.[TIMESTAMP_S]-DATEPART(S, DATEADD(S, a.[TIMESTAMP_S], '1/1/1970'))), '1/1/1970') AS [TIMESTAMP_S] --Remove seconds from timestamp
55 ,b.[NAME] + CHAR(10) + CASE WHEN ([NAME] LIKE 'XIRRADX')THEN 'W/m²' ELSE '' END AS [NameUnit]
56 ,CAST([VALUE] AS DECIMAL(18,3)) AS [VALUE]
57 ,CASE WHEN ([VALUE]<>0 AND [NAME] LIKE 'XNOMINALX') THEN CAST([VALUE] AS DECIMAL(18,3)) END AS [PNOM_COR]
58 ,CASE WHEN ([NAME] LIKE 'WS_IRRADIANCE_AVERAGE') THEN 10 ELSE 0 END AS [T_USEFUL]
59 ,CASE WHEN ([NAME] LIKE 'XAVAILX' AND [VALUE]=0) THEN 10 ELSE 0 END AS [T_DOWN] --For union to work dummy column
60 FROM [PV_CHI].[dbo].[PV_007_CHARAVGI_1_7B] a LEFT OUTER JOIN
61 [PV_CHI].[dbo].[PV_007_CHARAVGI_1_VARIABLES] b ON a.VARIABLE = b.VARIABLE
62 WHERE (b.[NAME] LIKE 'WS_IRRADIANCE_AVERAGE') AND a.TIMESTAMP_S IN (SELECT [TIMESTAMP_S]-DATEPART(S, DATEADD(S, [TIMESTAMP_S], '1/1/1970'))
63 FROM [PV_CHI].[dbo].[PV_007_CHARAVGI_1_3A])
64 AND a.TIMESTAMP_S >= DATETIME(S, '1/1/1970', @FROM)+600 AND a.TIMESTAMP_S <=DATETIME(S, '1/1/1970', @TO)+30

```

```

74 SELECT      @FROM AS [FROM]
75             ,@TO AS [TO]
76             ,[NameUnit]
77             ,AVG([VALUE]) AS [AVG_VALUE]
78             ,AVG([PNOM_COR]) AS [AVG_PNOM_COR]
79             ,CASE WHEN ([NameUnit] LIKE 'XDATA%') THEN @T_USEFUL END AS [T_USEFUL]
80             ,CASE WHEN ([NameUnit] LIKE 'XDATA%') THEN SUM([T_DOWN]) END AS [T_DOWN]
81             ,CASE WHEN ([NameUnit] LIKE 'XDATA%') THEN
82                 (CASE WHEN ([NameUnit] LIKE REPLACE(@EXC11, '*', '%')) THEN @EXC12*60
83                     WHEN ([NameUnit] LIKE REPLACE(@EXC21, '*', '%')) THEN @EXC22*60
84                     WHEN ([NameUnit] LIKE REPLACE(@EXC31, '*', '%')) THEN @EXC32*60
85                     WHEN ([NameUnit] LIKE REPLACE(@EXC41, '*', '%')) THEN @EXC42*60
86                     WHEN ([NameUnit] LIKE REPLACE(@EXC51, '*', '%')) THEN @EXC52*60
87                     WHEN ([NameUnit] LIKE REPLACE(@EXC61, '*', '%')) THEN @EXC62*60
88                     WHEN ([NameUnit] LIKE REPLACE(@EXC71, '*', '%')) THEN @EXC72*60
89                     WHEN ([NameUnit] LIKE REPLACE(@EXC81, '*', '%')) THEN @EXC82*60
90                     WHEN ([NameUnit] LIKE REPLACE(@EXC91, '*', '%')) THEN @EXC92*60
91                     WHEN ([NameUnit] LIKE REPLACE(@EXC101, '*', '%')) THEN @EXC102*60
92                     ELSE 0 END) END AS [T_EXCL]
93 INTO         #FINAL_TABLE
94 FROM         #UNION_TMP
95 GROUP BY    [NameUnit]
96 ORDER BY    [NameUnit]
97 DROP TABLE #UNION_TMP
98
99 ALTER TABLE #FINAL_TABLE
100 ADD         [CALC_AVAIL] DECIMAL(18,3),
101            [PRODUCT] DECIMAL(18,3);
102
103 UPDATE      #FINAL_TABLE
104 SET         [CALC_AVAIL] = ([T_USEFUL] - [T_DOWN] + (CASE WHEN ([T_EXCL]<=[T_DOWN]) THEN [T_EXCL] ELSE [T_DOWN] END))*100.0/[T_USEFUL]
105 FROM        #FINAL_TABLE;
106
107 UPDATE      #FINAL_TABLE
108 SET         [PRODUCT] = [CALC_AVAIL]*[AVG_PNOM_COR]
109 FROM        #FINAL_TABLE;
110
111 SET         @SYS_AVAIL = (SELECT SUM([PRODUCT])/35999.60 FROM #FINAL_TABLE)
112
113 SELECT      [FROM]
114            ,[TO]
115            ,[NameUnit]
116            ,CAST([AVG_VALUE] AS DECIMAL(18,3)) AS [AVG_VALUE]
117            ,CAST([AVG_PNOM_COR] AS DECIMAL(18,3)) AS [AVG_PNOM_COR]
118            ,[T_USEFUL]
119            ,[T_DOWN]
120            ,CASE WHEN ([T_EXCL]<=[T_DOWN]) THEN [T_EXCL] ELSE [T_DOWN] END AS [T_EXCL] --For avoiding AV values >100%
121            ,[CALC_AVAIL]
122            ,CASE WHEN ([NameUnit] LIKE 'XDATA%') THEN @SYS_AVAIL END AS [SYS_AVAIL]
123 FROM        #FINAL_TABLE
124 ORDER BY    [NameUnit]
125 DROP TABLE #FINAL_TABLE
126
127

```

Εικόνα 7.18 SQL query για την εξαγωγή Report των Availability.

Πηγή Δεδομένων για αυτό το query αποτελεί το Historian το οποίο αποθηκεύει τα KPIs του πάρκου (επιμέρους συσκευές και ολικά), τα οποία έχουμε δείξει παραπάνω με ποιο τρόπο υπολογίζονται. Ο πίνακας “#UNION_TMP” περιέχει δεδομένα που φιλτράρονται ως προς την πληροφορία που φέρουν και συγκεντρώνονται.

- **Υπολογισμοί:**

- “AVG_VALUE” και “AVG_PNOM_COR”: Υπολογίζονται μέσοι όροι για κάθε NameUnit το οποίο επιθυμούμε (στο NameUnit ορίζουμε τη συσκευή την οποία θέλουμε να μελετήσουμε για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα).
- “T_USEFUL” και “T_DOWN”: Υπολογίζονται τα χρονικά διαστήματα για τα οποία μια συσκευή «δούλεψε», δηλαδή παρήγαγε ενέργεια (π.χ. ένας Inverter), και ο χρόνος που η ίδια συσκευή για οποιοδήποτε λόγο δεν έδινε παραγωγή. Ορίζονται υπό προϋποθέσεις, μόνο αν το NameUnit περιέχει το string "DATA".
- “T_EXCL”: Χρονικό διάστημα που θέλουμε να μην συμπεριληφθούν τιμές για τις οποίες η συσκευή (είτε αυτή βρισκόταν σε λειτουργία είτε όχι). Υπολογίζεται με βάση σύνολο CASE δηλώσεων για εξαιρέσεις, πολλαπλασιάζοντας κάθε χρονική εξαίρεση με 60 (ενν. λεπτά).

- **Συγκέντρωση:** Τα δεδομένα ομαδοποιούνται (“GROUP BY”) και ταξινομούνται (“ORDER BY”) ανά NameUnit.

Προσθήκη επιπλέον Στηλών στον πίνακα για τον υπολογισμό:

- “CALC_AVAIL”: υπολογισμός του Availability.
- “PRODUCT”: υπολογισμό της συνολικής παραγωγής.

Το Availability (“CALC_AVAIL”) υπολογίζεται για το Report ως εξής:

```
UPDATE          #FINAL_TABLE

SET              [CALC_AVAIL] =([T_USEFUL] - [T_DOWN] + (CASE WHEN
([T_EXCL]<=[T_DOWN]) THEN [T_EXCL] ELSE [T_DOWN] END))*100.0/[T_USEFUL]

FROM            #FINAL_TABLE;
```

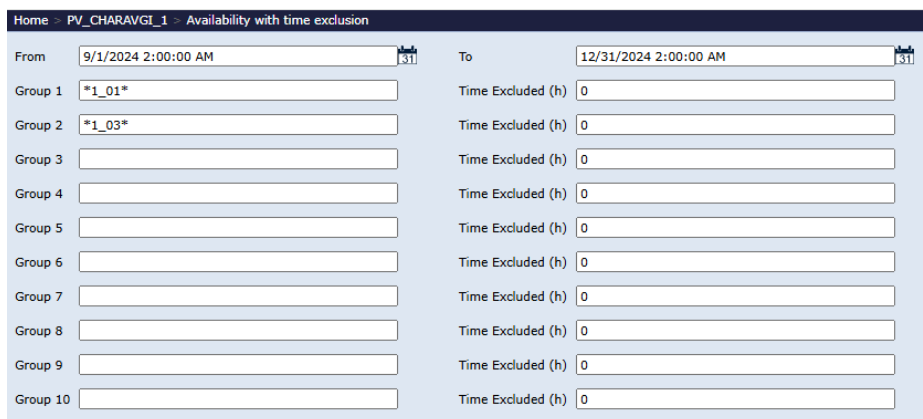
Με βάση το παραπάνω λαμβάνεται υπόψη το πότε η συσκευή λειτουργούσε κανονικά, και πότε βρισκόταν εκτός λειτουργίας. Σε αλγεβρική μορφή έχουμε:

$$CALC_{AVAIL} = T_{USEFUL} - T_{DOWN} + \min(T_{EXCL}, T_{DOWN}) \times \frac{100}{T_{USEFUL}}$$

Αυτή η συνθήκη λαμβάνεται για να αποφευχθεί Availability μεγαλύτερο του 100%.

Η παραγωγή συνδυάζεται με το εκάστοτε υπολογιζόμενο Availability, και την ονομαστική ισχύ τις εκάστοτε συσκευής. Στη συνέχεια το αποτέλεσμα διαιρείται με την μέγιστη θεωρητική ισχύ παραγωγής του πάρκου ώστε να ληφθεί η συνολική διαθεσιμότητα του συστήματος.

Ακολουθεί παράδειγμα εφαρμογής του παραπάνω query.



Εικόνα 7.19 Επιλογή χρονικού διαστήματος και συσκευών χωρίς Time Exclusion.

From	TO	INV_01_01_DATA	INV_01_02_DATA	INV_01_03_DATA	INV_01_04_DATA	INV_01_05_DATA
01/09/2024 2:00:00 AM	31/12/2024 2:00:00 AM	95.177	95.223	95.811	95.222	95.223
		Inverter Availability % with time exclusion	95.177	95.222	95.811	95.222
		Inverter average DC P nominal connected (kWp)	295.979	303.496	320.917	323.535
		Time Useful (m)	21869	21869	21869	21869
		Time Down (m)	180	179	260	179
		Time Excluded (m)	0	0	0	0
Plant Availability %		95.114				

Εικόνα 7.20 Αποτέλεσμα Report 8.

Βλέπουμε ότι το Availability των inverter υπολογίζεται με βάση όλο το χρονικό διάστημα που ορίσαμε, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το χρονικό διάστημα κατά το οποίο η συσκευή δεν λειτουργούσε.

Τώρα ορίζουμε Time Exclusion, δηλαδή το χρόνο που δεν θα ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό του Availability.

Home > PV_CHARAVGI_1 > Availability with time exclusion

From: 9/1/2024 2:00:00 AM To: 12/31/2024 2:00:00 AM

Group 1	*1_01*	Time Excluded (h)	3
Group 2	*1_03*	Time Excluded (h)	4.333
Group 3		Time Excluded (h)	0
Group 4		Time Excluded (h)	0
Group 5		Time Excluded (h)	0
Group 6		Time Excluded (h)	0
Group 7		Time Excluded (h)	0
Group 8		Time Excluded (h)	0
Group 9		Time Excluded (h)	0
Group 10		Time Excluded (h)	0

View Report

Εικόνα 7.21 Επιλογή χρονικού διαστήματος και συσκευών Time Exclusion ίσο με αυτό που η συσκευή δεν βρισκόταν σε λειτουργία.

From	TO	INV_01_01_DATA	INV_01_02_DATA	INV_01_03_DATA	INV_01_04_DATA	INV_01_05_DATA
01/09/2024 2:00:00 AM	31/12/2024 2:00:00 AM	99.177	99.223	99.811	99.223	99.223
Inverter Availability %		100.000	99.223	100.000	99.223	99.223
Inverter Availability % with time exclusion		100.000	99.223	100.000	99.223	99.223
Inverter average DC P nominal connected (kWp)		295.970	303.496	320.917	321.196	323.535
Time Useful (m)		21860	21860	21860	21860	21860
Time Down (m)		180	179	269	179	179
Time Excluded (m)		180	0	269	0	0
Plant Availability %	96.131					

Εικόνα 7.22 Αποτέλεσμα Report 9

Παρατηρούμε ότι για τους δύο Inverter στους οποίους αφαιρέσαμε το Down Time ως Time Exclusion, το Availability έγινε 100%. Με αυτό το Report ο χρήστης μπορεί να αντλήσει στοιχεία για την παραγωγή του πάρκου, καθώς και για την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο εξοπλισμός του πάρκου, διότι μεγάλα Down Time συνεπάγονται σε μικρά Availability, γεγονός που άμεσα αποδεικνύει την ύπαρξη σφάλματος, και έμμεσα απώλειες στην παραγωγή.

8. Ανάπτυξη λογισμικού ανάκτησης συμβάντων από ηλεκτρονόμους σε τερματικούς σταθμούς φωτοβολταϊκών πάρκων και υποσταθμών (Event Retrieval Software).

8.1. Χρήση του λογισμικού ανάκτησης συμβάντων σε συστήματα SCADA

Στα πλαίσια ενός συστήματος SCADA συμπεριλαμβάνεται η ανάκτηση και ανάλυση δεδομένων και κυματομορφών από τους ηλεκτρονόμους που χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο και προστασία του συστήματος. Έτσι η χρήση ενός λογισμικού που έχει την δυνατότητα να συλλέγει αυτόματα αυτά τα δεδομένα από τους ηλεκτρονόμους και να παρέχει δυνατότητα στον χρήστη για ανάλυση και επεξεργασία αναδεικνύεται ως ένα απαραίτητο εργαλείο μέσα στην υποδομή των SCADA συστημάτων για τους εξής λόγους:

1. Βελτίωση της Ανταπόκρισης σε Συμβάντα

Στην διαχείριση και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, τα συμβάντα όπως απρογραμματίστες διακοπές λειτουργίας ή σφάλματα ασφαλείας (trip) μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις. Το Event Retrieval Software αυτοματοποιεί την ανάκτηση των σχετικών δεδομένων, επιτρέποντας τη γρήγορη ανάλυση και την άμεση ανταπόκριση στα προβλήματα, μειώνοντας τον χρόνο αποκατάστασης και βελτιώνοντας την συνολική απόδοση του συστήματος.

2. Προληπτική Συντήρηση και Διάγνωση

Αναλύοντας τα δεδομένα από τα συμβάντα που συλλέγονται, οι μηχανικοί μπορούν να προβλέψουν πιθανά μελλοντικά ζητήματα πριν αυτά εκδηλωθούν. Η δυνατότητα ανίχνευσης τάσεων και συχνότητας επαναλαμβανόμενων σφαλμάτων βοηθά στην εφαρμογή προληπτικών στρατηγικών συντήρησης, αυξάνοντας την αξιοπιστία και μειώνοντας το κόστος λειτουργίας.

3. Ενίσχυση της Ασφάλειας

Τα συστήματα SCADA είναι συχνά στόχοι κυβερνοεπιθέσεων λόγω της σημασίας τους στις υποδομές. Το Event Retrieval Software καταγράφει όλες τις διαδικασίες και τις αλλαγές που πραγματοποιούνται, παρέχοντας ένα ιστορικό δεδομένων που μπορεί να αναλυθεί για να εντοπιστούν ανωμαλίες ή παραβιάσεις ασφαλείας, ενισχύοντας έτσι τη συνολική κυβερνοασφάλεια.

4. Συμμόρφωση και Αναφορά

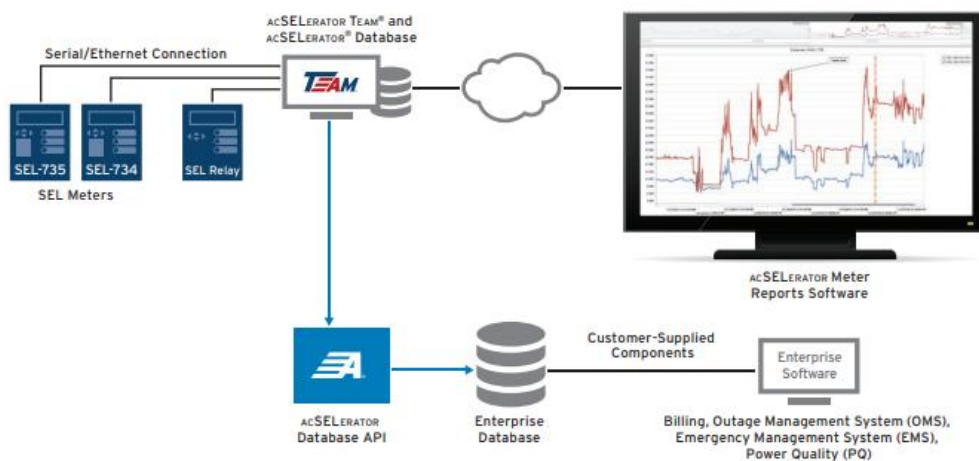
Η ικανότητα της ακριβούς και αυτόματης καταγραφής συμβάντων καθιστά το Event Retrieval Software εξαιρετικά χρήσιμο για τη συμμόρφωση με κανονισμούς και για τη διασφάλιση ότι όλες οι λειτουργίες και οι ενέργειες είναι καταγεγραμμένες και ελεγχμένες.

8.2. Οι κατασκευαστές ηλεκτρονόμων που μελετήθηκαν

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και αναζητώντας έναν αυτοματοποιημένο τρόπο που να γίνεται η διαδικασία ανάκτησης συμβάντων από ηλεκτρονόμους διαπιστώθηκε ότι κάποιες

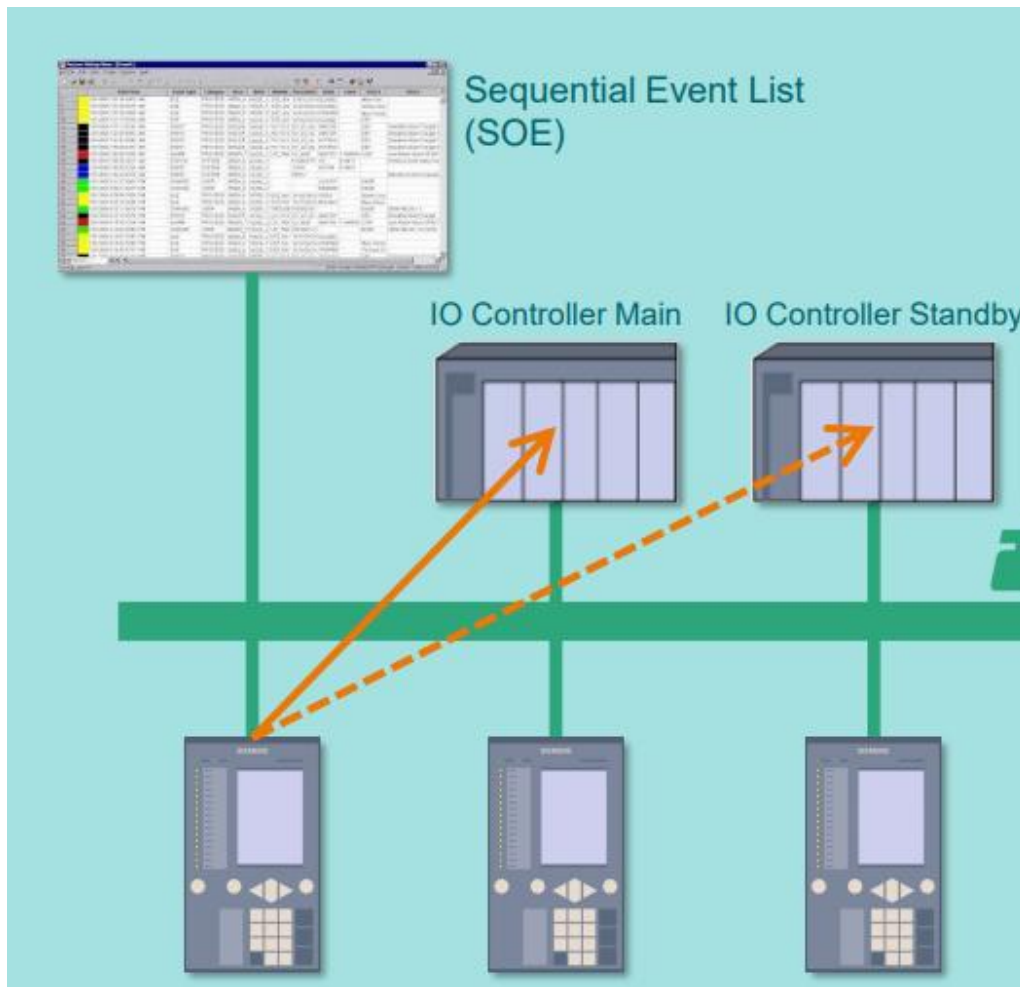
εταιρείες, όπως η SEL, παρείχαν παρόμοιες εμπορικές λύσεις που αφορούσαν όμως αποκλειστικά τα δικά τους προϊόντα. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν 3 εταιρείες στις οποίες υπήρχε πρόσβαση στους ηλεκτρονόμους τους.

Η εταιρεία **Schweitzer Engineering Laboratories (SEL)** είχε εμπορικά διαθέσιμο το *SEL-5045 acSELerator Team Software* το οποίο μπορούσε να συνδέεται ταυτόχρονα με τους διάφορους ηλεκτρονόμους της εταιρείας και να ανακτά τα παλμογραφήματα των συμβάντων που είχαν αποθηκευτεί στην τοπική μνήμη των ηλεκτρονόμων. Τα δεδομένα αυτά εξάγονταν σε ένα φάκελο στο workstation του συστήματος SCADA και ήταν διαθέσιμα για περαιτέρω ανάλυση και μελέτη. Πλέον αυτή η λύση δεν είναι εμπορικά διαθέσιμη από την εταιρεία.



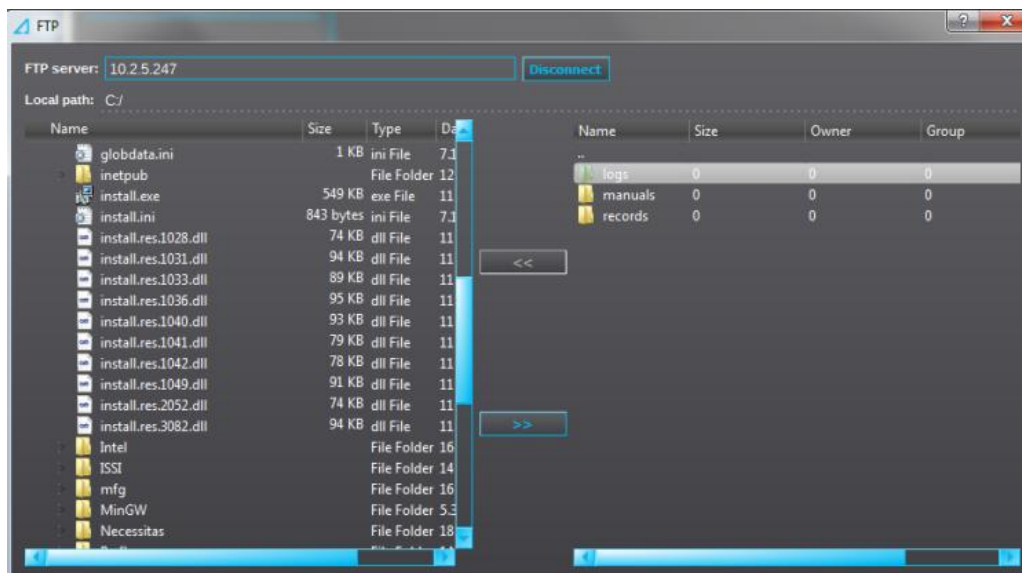
Εικόνα 8.1: Παρουσίαση του SEL-5045 acSELerator Team Software.

Στην εταιρεία **SIEMENS** δεν βρέθηκε κάποιο εμπορικό λογισμικό με το οποίο θα ήταν δυνατή η αυτόματη ανάκτηση και αποθήκευση των συμβάντων των ηλεκτρονόμων της. Για τους ηλεκτρονόμους αυτής της εταιρείας χρησιμοποιείται το λογισμικό *DIGSI*, το οποίο παραμετροποιεί τις ρυθμίσεις και λειτουργίες των ηλεκτρονόμων και δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να παρακολουθεί και να αποθηκεύει χειροκίνητα τα απαραίτητα δεδομένα στον τοπικό δίσκο του υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος. Αυτό το λογισμικό διαθέτει επίσης web interface στο οποίο ο χρήστης μπορεί να συνδέεται από οποιονδήποτε υπολογιστή βρίσκεται συνδεδεμένος στο δίκτυο των ηλεκτρονόμων και έχει πρόσβαση σε αυτές τις πληροφορίες.



Εικόνα 8.2: Λίστα γεγονότων του DIGSI για Siemens Relay

Τέλος η εταιρεία **ARCTEQ** ομοίως με την SIEMENS δεν παρείχε κάποιο software για αυτόματη ανάκτηση και αποθήκευση των συμβάντων των ηλεκτρονόμων της. Ωστόσο και πάλι μέσω του λογισμικού παραμετροποίησης AQTIVATE των ηλεκτρονόμων της εταιρείας δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εντοπίζει και να αποθηκεύει τα επιθυμητά δεδομένα των συμβάντων.



Εικόνα 8.3: Λίστα συμβάντων ενός ηλεκτρονόμου ARCTEQ

8.3. Υλοποίηση της εφαρμογής

Έτσι βρέθηκε πρόσφορο έδαφος για ανάπτυξη λογισμικού που θα δύναται να ανακτά και να αποθηκεύει τα συμβάντα των ηλεκτρονόμων αλλά και να μπορεί να εφαρμοστεί για όλους τους κατασκευαστές. Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε αποτελείται από δύο μέρη, το γραφικό μέρος (front-end) που απεικονίζει το δίκτυο των ηλεκτρονόμων και τις επιλογές που παρέχονται στο χρήστη για καθέ ένα ηλεκτρονόμο ξεχωριστά και το προγραμματιστικό κομμάτι για τις συνδέσεις με τους ηλεκτρονόμους (back-end). Παρακάτω θα αναπτυχθούν το καθένα ξεχωριστά.

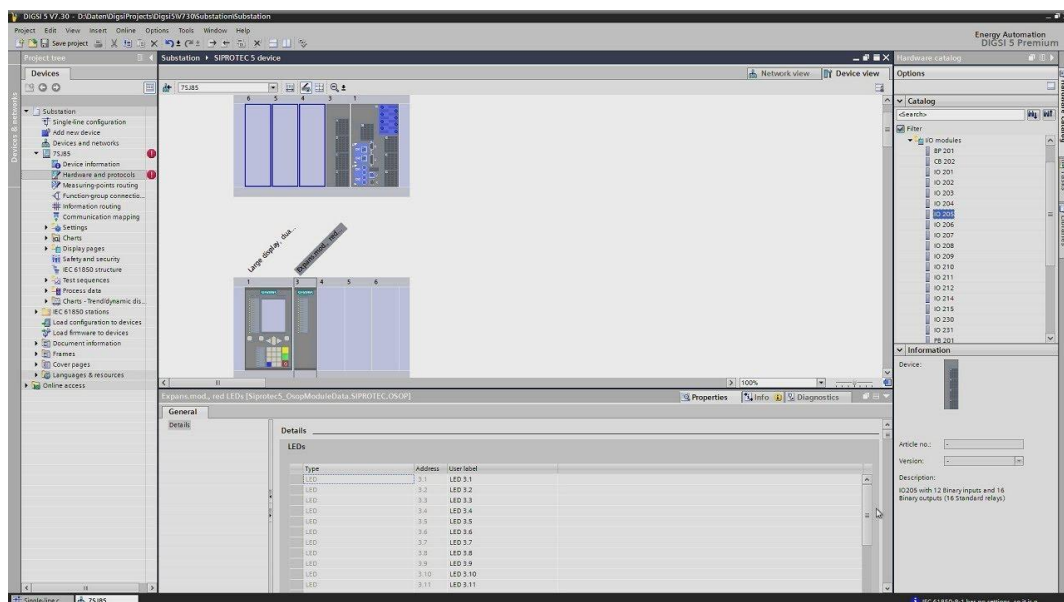
8.3.1. Επικοινωνία με ηλεκτρονόμους

Από τους ηλεκτρονόμους που μελετήθηκαν διαπιστώθηκε ότι οι κατασκευαστές SEL και ARCTEQ είχαν εφοδιάσει τους ηλεκτρονόμους τους με την δυνατότητα να χρησιμοποιούν το FTP (File Transfer Protocol) πρωτόκολλο για να μεταφέρουν τα επιθυμητά αρχεία.

Το FTP είναι ένα πρωτόκολλο δικτύου που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά αρχείων ανάμεσα σε έναν client και έναν server σε ένα δίκτυο TCP/IP, και είναι ευρέως διαδεδομένο στον τομέα των ηλεκτρονόμων για την ανταλλαγή δεδομένων και λογισμικού. Σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, το FTP επιτρέπει την ταχεία αποστολή και λήψη λογισμικού ενημερώσεων, διαμορφώσεων συστημάτων και δεδομένων μέτρησης από απομακρυσμένα ή τοπικά IEDs (Intelligent Electronic Devices) στο κεντρικό σύστημα ελέγχου.

Έτσι κάνοντας χρήση του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου τα επιθυμητά αρχεία μεταφέρονται και αποθηκεύονται στον υπολογιστή που χρησιμοποιεί ο χρήστης για περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία.

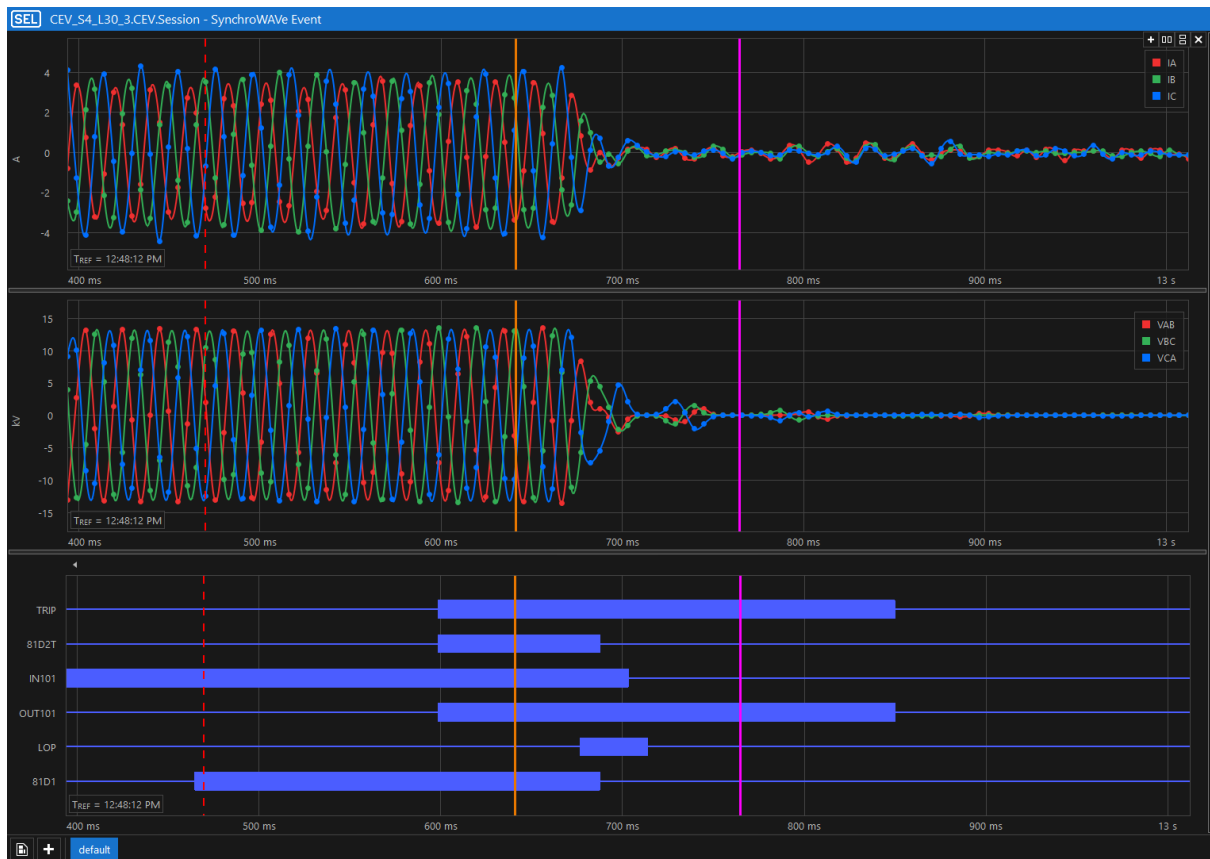
Όσον αφορά στους ηλεκτρονόμους που δεν έχουν την δυνατότητα για μεταφορά αρχείων μέσω πρωτοκόλλου FTP η λήψη των συμβάντων έπρεπε να πραγματοποιηθεί με απευθείας σύνδεση στους ηλεκτρονόμους και με χρήση του λογισμικού που παρέχει ο κατασκευαστής. Ένα τέτοιο παράδειγμα ηλεκτρονόμου που μελετήθηκε ήταν οι ηλεκτρονόμοι της σειράς Siprotec της Siemens.



Εικόνα 8.4: Λογισμικό DIGSI για Siprotec Relay

Έτσι επιλέγοντας τα επιθυμητά αρχεία συμβάντων μπορεί να τα κατεβάσει στον υπολογιστή που τρέχει το πρόγραμμα εκείνη την στιγμή. Αυτή η διαδικασία γίνεται αυτοματοποιημένα.

Οι ηλεκτρονόμοι της εταιρείας SEL αποθηκεύουν αρχεία .CEV τα οποία μπορούν να προβληθούν χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό της εταιρείας. Τα αρχεία που αφορούν κυματομορφές μεγεθών όπως τάσεων και ρευμάτων έχουν την παρακάτω μορφή.



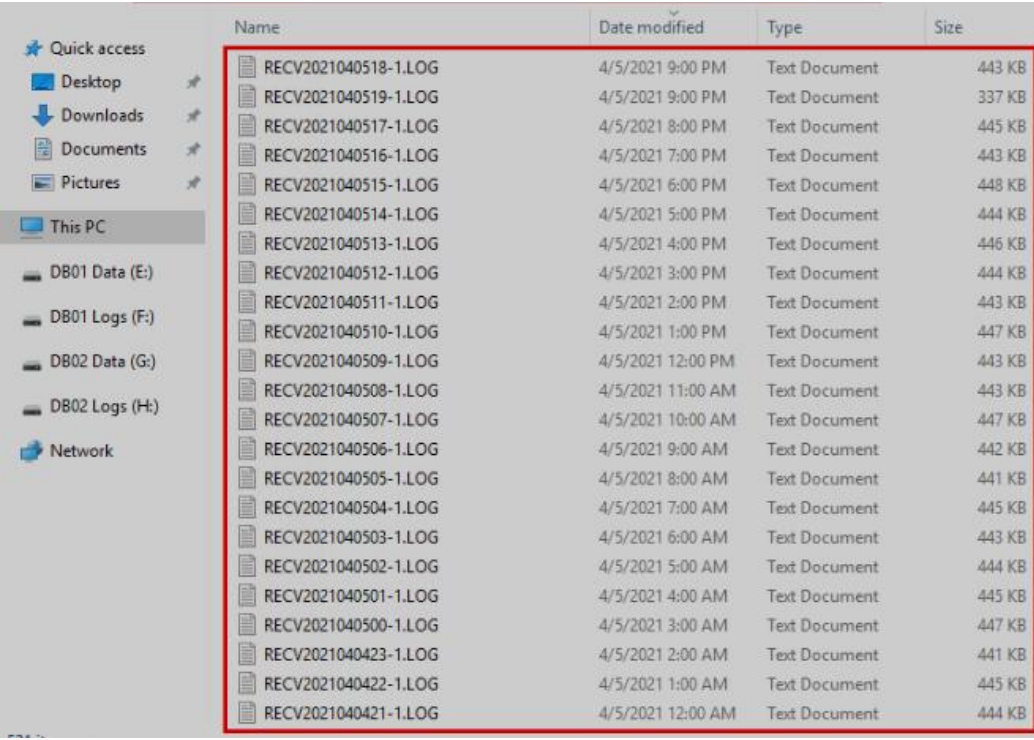
Εικόνα 8.5: Παλμογραφήματα ανακτημένα από ηλεκτρονόμους

Αντίστοιχα και οι δύο άλλες εταιρείες Siemens και Arcteq εξάγουν αρχεία της μορφής .dat τα οποία περιέχουν τις επιθυμητές πληροφορίες και μπορούν να προβληθούν με ίδιο λογισμικό ή με παρόμοιο.

Εκτός από τις κυματομορφές οι ηλεκτρονόμοι αποθηκεύουν και αρχεία καταγραφών log files. Τα αρχεία αυτά περιέχουν πληροφορίες κρίσιμης σημασίας για τη λειτουργία και την επιτήρηση ηλεκτρικών δικτύων και συστημάτων. Αυτά τα αρχεία παίζουν βασικό ρόλο στη διαχείριση, την ανάλυση και την αποκατάσταση των συστημάτων. Ειδικότερα, περιλαμβάνουν τα εξής στοιχεία:

- **Ημερομηνία και ώρα:** Κάθε καταχώρηση σε ένα log file έχει στάμπα χρόνου που δείχνει πότε συνέβη κάποιο γεγονός ή πότε καταγράφηκε η συγκεκριμένη δραστηριότητα.
- **Συμβάντα και σφάλματα:** Περιγραφές τυχόν σφαλμάτων ή εξαιρέσεων που συνέβησαν κατά τη λειτουργία του συστήματος. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αποτυχία εξοπλισμού, λάθη στην επικοινωνία, υπερφορτώσεις και άλλα τεχνικά ζητήματα.
- **Αλλαγές κατάστασης:** Οποιοσδήποτε αλλαγές στην κατάσταση των συσκευών ή των συστημάτων, όπως ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση συσκευών, ενεργοποιήσεις προστασιών και διακοπές λειτουργίας.

- **Διαχειριστικές ενέργειες:** Πληροφορίες για ρυθμίσεις ή παραμετροποιήσεις που έγιναν από τεχνικούς ή διαχειριστές του συστήματος.
- **Μετρήσεις και στατιστικά:** Καταγραφή δεδομένων από μετρητικά όργανα και αισθητήρες, που μπορεί να περιλαμβάνει τάσεις, ρεύματα, ισχύες, συχνότητες και άλλες ηλεκτρικές μετρήσεις.
- **Ασφάλεια και πρόσβαση:** Στοιχεία σχετικά με προσπάθειες πρόσβασης στο σύστημα, ειδοποιήσεις ασφαλείας και άλλα συμβάντα που αφορούν την ασφάλεια του δικτύου.
- **Πληροφορίες προστασίας:** Καταγραφές σχετικά με την ενεργοποίηση προστατευτικών μηχανισμών, όπως ασφάλειες ή διακόπτες, που είναι κρίσιμες για την προστασία του συστήματος.



Name	Date modified	Type	Size
RECV2021040518-1.LOG	4/5/2021 9:00 PM	Text Document	443 KB
RECV2021040519-1.LOG	4/5/2021 9:00 PM	Text Document	337 KB
RECV2021040517-1.LOG	4/5/2021 8:00 PM	Text Document	445 KB
RECV2021040516-1.LOG	4/5/2021 7:00 PM	Text Document	443 KB
RECV2021040515-1.LOG	4/5/2021 6:00 PM	Text Document	448 KB
RECV2021040514-1.LOG	4/5/2021 5:00 PM	Text Document	444 KB
RECV2021040513-1.LOG	4/5/2021 4:00 PM	Text Document	446 KB
RECV2021040512-1.LOG	4/5/2021 3:00 PM	Text Document	444 KB
RECV2021040511-1.LOG	4/5/2021 2:00 PM	Text Document	443 KB
RECV2021040510-1.LOG	4/5/2021 1:00 PM	Text Document	447 KB
RECV2021040509-1.LOG	4/5/2021 12:00 PM	Text Document	443 KB
RECV2021040508-1.LOG	4/5/2021 11:00 AM	Text Document	443 KB
RECV2021040507-1.LOG	4/5/2021 10:00 AM	Text Document	447 KB
RECV2021040506-1.LOG	4/5/2021 9:00 AM	Text Document	442 KB
RECV2021040505-1.LOG	4/5/2021 8:00 AM	Text Document	441 KB
RECV2021040504-1.LOG	4/5/2021 7:00 AM	Text Document	445 KB
RECV2021040503-1.LOG	4/5/2021 6:00 AM	Text Document	443 KB
RECV2021040502-1.LOG	4/5/2021 5:00 AM	Text Document	444 KB
RECV2021040501-1.LOG	4/5/2021 4:00 AM	Text Document	445 KB
RECV2021040500-1.LOG	4/5/2021 3:00 AM	Text Document	447 KB
RECV2021040423-1.LOG	4/5/2021 2:00 AM	Text Document	441 KB
RECV2021040422-1.LOG	4/5/2021 1:00 AM	Text Document	445 KB
RECV2021040421-1.LOG	4/5/2021 12:00 AM	Text Document	444 KB

Εικόνα 8.6: Αρχεία καταγραφών ανακτημένα από ηλεκτρονόμους

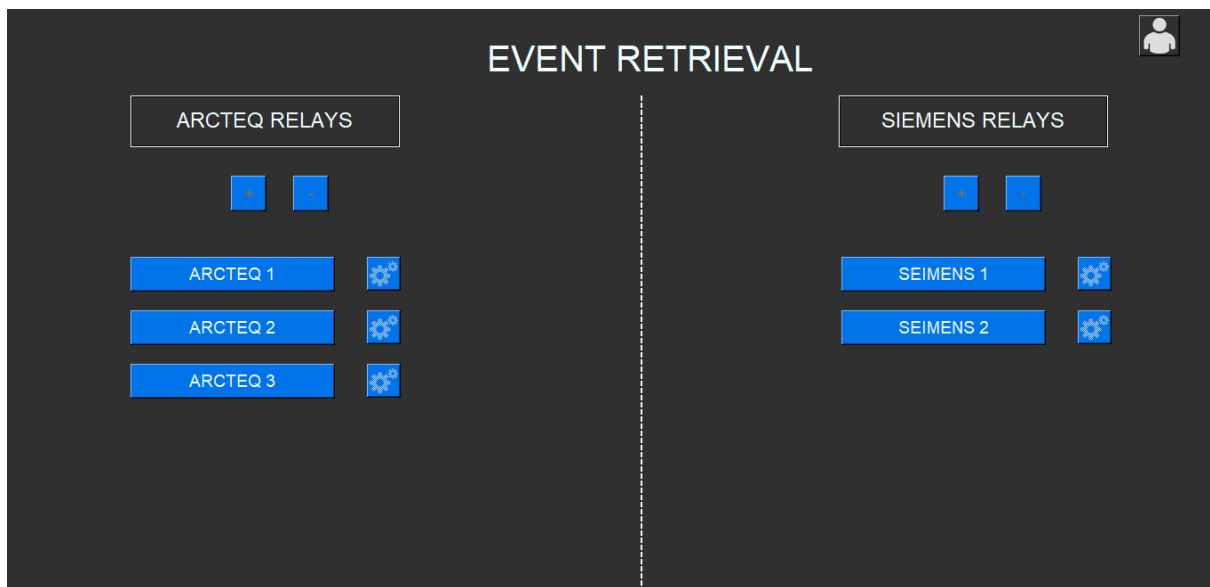
Event Number	Date/Time	Cause	Data
112	Feb 21 2016 17:48:11.472437	NEG SEQ IOC1 PKP	
111	Feb 21 2016 17:48:11.392363	AR1 DISABLED	
110	Feb 21 2016 17:48:11.392363	AR1 LO	
109	Feb 21 2016 17:48:11.382352	Close CB On	
108	Feb 21 2016 17:48:11.382352	AR Reclaim T On	
107	Feb 21 2016 17:48:11.382352	AR Block On	
106	Feb 21 2016 17:48:11.382352	CB332 Close On	
105	Feb 21 2016 17:48:11.382352	AR1 SHOT CNT=1	
104	Feb 21 2016 17:48:11.382352	AR1 CLOSE	
103	Feb 21 2016 17:48:06.576260	Prot Trip Off	
102	Feb 21 2016 17:48:06.576260	Prot Trip Off	
101	Feb 21 2016 17:48:06.576260	Prot Trip Off	
100	Feb 21 2016 17:48:06.576260	Prot Trip Off	
99	Feb 21 2016 17:48:06.408768	GROUND TOC1 DPO	
98	Feb 21 2016 17:48:06.398758	NEG SEQ IOC1 DPO	
97	Feb 21 2016 17:48:06.393754	GROUND IOC1 DPO	
96	Feb 21 2016 17:48:06.388750	PHASE TOC2 DPO A	
95	Feb 21 2016 17:48:06.388750	PHASE TOC1 DPO A	
94	Feb 21 2016 17:48:06.376238	AR Initiate Off	
93	Feb 21 2016 17:48:06.376238	PHASE IOC1 DPO A	
92	Feb 21 2016 17:48:06.328696	AR1 RIP	
91	Feb 21 2016 17:48:06.326193	Prot Trip On	
90	Feb 21 2016 17:48:06.326193	Prot Trip On	
89	Feb 21 2016 17:48:06.326193	OSCILLOGRAPHY TRIGD	
88	Feb 21 2016 17:48:06.326193	AR Initiate On	
87	Feb 21 2016 17:48:06.326193	Prot Trip On	
86	Feb 21 2016 17:48:06.326193	Prot Trip On	
85	Feb 21 2016 17:48:06.326193	PHASE IOC1 OPA	
84	Feb 21 2016 17:48:06.268643	PHASE TOC2 OPA	
83	Feb 21 2016 17:48:06.028392	PHASE TOC2 PKP A	
82	Feb 21 2016 17:48:06.028392	PHASE TOC1 PKP A	
81	Feb 21 2016 17:48:06.025891	PHASE IOC1 PKP A	
80	Feb 21 2016 17:48:06.018390	GROUND TOC1 PKP	
79	Feb 21 2016 17:48:06.018390	NEG SEQ IOC1 PKP	
78	Feb 21 2016 17:48:06.013387	GROUND IOC1 PKP	
77	Dec 07 2015 06:32:39 213711	RESET OPI/PUSHBUTTON	

Εικόνα 8.7: Παράδειγμα αρχείου καταγραφών ανακτημένα από ηλεκτρονόμους

8.3.2. Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής (front-end)

Τέλος η υλοποίηση της εφαρμογής απαιτούσε και την ανάπτυξη ενός γραφικού περιβάλλοντος όπου ο χρήστης θα έχει την δυνατότητα να επεξεργάζεται τις ρυθμίσεις της εφαρμογής. Το παρακάτω γραφικό περιβάλλον έχει αναπτυχθεί αποκλειστικά με χρήση κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού python.

Η πρώτη εικόνα που θα εμφανιστεί στον χρήστη κατά το πρώτη εκτέλεση της εφαρμογής είναι ένα κενό πλαίσιο με τις κατηγορίες των κατασκευαστών των ηλεκτρονόμων όπου θα μπορέσει να προσθέσει τους επιθυμητούς ηλεκτρονόμους. Η διαδικασία προσθήκης νέων ηλεκτρονόμων στο γραφικό περιβάλλον περιγράφεται στην συνέχεια. Όταν λοιπόν ολοκληρωθεί η πρώτη παραμετροποίηση της εφαρμογής θα εμφανιστεί μία εικόνα όπως η παρακάτω.



Εικόνα 8.8: Αρχική οθόνη της εφαρμογής

Για να συνδεθεί ο χρήστης πατάει το εικονίδιο  (πάνω δεξιά). Στην συνέχεια του εμφανίζεται το παρακάτω tab:

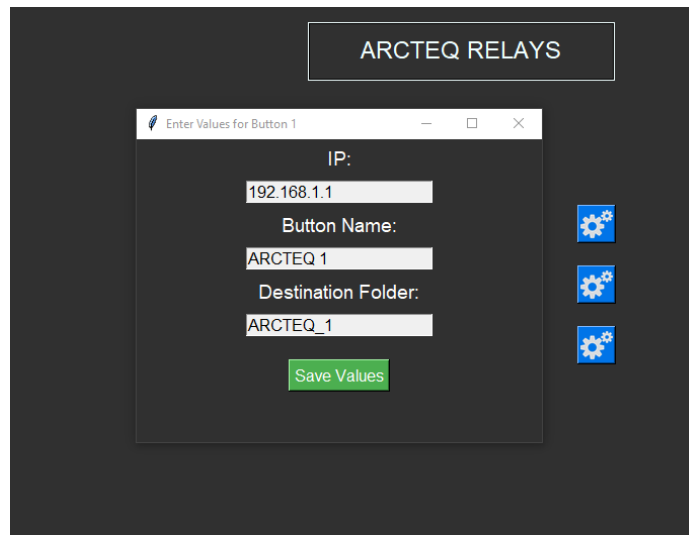
Εικόνα 8.9: Παράθυρο σύνδεσης χρήστη

και πρέπει να πληκτρολογήσει τον κατάλληλο όνομα χρήστη και κωδικό.

Μόλις συνδεθεί ο χρήστης δύναται να πατήσει επιπλέον τα παρακάτω κουμπιά:



- Πατώντας αυτό το κουμπί εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο της εικόνας 8.11 όπου ο χρήστης θα δύναται να ορίσει ή να αλλάξει κάποιο από τα παρακάτω πεδία



Εικόνα 8.10: Παράθυρο παραμετροποίησης ηλεκτρονόμου

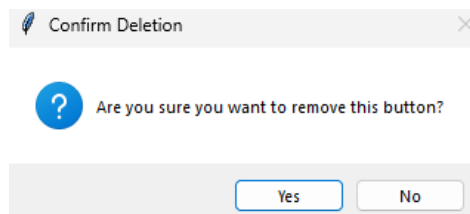


- Πατώντας αυτό το κουμπί προστίθεται ένα επιπλέον σετ κουμπιών στο κάτω μέρος της στήλης που βρίσκεται το κουμπί αυτό. Έπειτα ο χρήστης μπορεί να το παραμετροποιήσει όπως περιγράφηκε παραπάνω πατώντας το κουμπί με το γρανάζι.



- Πατώντας αυτό το κουμπί αφαιρείται το τελευταίο σετ κουμπιών που απεικονίζεται στην στήλη. Αυτή λειτουργία έχει διπλή επιβεβαίωση (εικόνα 8.12) ώστε να αποφεύγονται μη ηθελημένες διαγραφές.

•



Εικόνα 8.11: Παράθυρο επιβεβαίωσης διαγραφής στοιχείου

Όταν ο χρήστης επιθυμεί να αποσυνδεθεί, αρκεί να πατήσει πάνω στο πράσινο εικονίδιο  (πάνω δεξιά). Τα κουμπιά των εντολών απενεργοποιούνται. Συστήνεται ο χρήστης να αποσυνδέεται μετά από κάθε χειρισμό.

Τα αρχεία που θα ανακτηθούν από τους ηλεκτρονόμους αποθηκεύονται σε ένα φάκελο στον δίσκο C με όνομα RELAY_EVENTS. Μέσα σε αυτόν το φάκελο έχουν δημιουργηθεί υποφάκελοι με το όνομα του ηλεκτρονόμου όπως το ορίσαμε στο παράθυρο παραμετροποίησης (εικόνα 8.11). Από εκεί ο χρήστης δύναται να συλλέξει τις καταγραφές των συμβάντων όλων των ηλεκτρονόμων και να τις διαχειριστεί όπως αυτός επιθυμεί.

Παρακάτω παρατίθενται τα αποσπάσματα κώδικα από τις πιο σημαντικές συναρτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση της εφαρμογής.

```
def login():
    login_window = tk.Toplevel(root)
    login_window.title("Login")
    login_window.geometry("400x300")
    login_window.configure(bg="#303030")

    def authenticate():
        username = username_entry.get()
        password = password_entry.get()

        if username == "user" and password == "****": # Προσαρμόστε με τα διαπιστευτήρια που επιθυμείτε
            print("Login successful!")
            unlock_buttons_only_gear() # Ξεκλείδωμα κουμπιών
            login_window.destroy() # Κλείσιμο του παραθύρου login
            global main_login_button # Χρησιμοποιούμε την αναφορά του κύριου login button
            main_login_button.place_forget() # Κρύβει το κουμπί Login από το κύριο παράθυρο
            logout_button.place(x=1520, y=10) # Εμφανίζει το κουμπί Logout στη θέση του
            refresh_button_names() # Άνανεώνει τα ονόματα των κουμπιών μετά την επιτυχή είσοδο
        else:
            error_label.config(text="Incorrect username or password", fg="red")

    tk.Label(login_window, text="Username:", bg="#303030", fg="white", font=("Arial", 14)).pack(pady=5)
    username_entry = tk.Entry(login_window, font=("Arial", 12), bg="#f0f0f0")
    username_entry.pack(pady=3)

    tk.Label(login_window, text="Password:", bg="#303030", fg="white", font=("Arial", 14)).pack(pady=5)
    password_entry = tk.Entry(login_window, font=("Arial", 12), bg="#f0f0f0", show="*")
    password_entry.pack(pady=3)

    error_label = tk.Label(login_window, text="", bg="#303030", fg="white", font=("Arial", 12))
    error_label.pack(pady=3)

    login_button = tk.Button(login_window, text="Login", command=authenticate, bg="#4CAF50", fg="white", font=("Arial", 12), width=15, height=1)
    login_button.pack(pady=5)

# Αρχικός ορισμός της συνάρτησης logout πριν την κλήση της στο κουμπί
def logout():
    # Εδώ γράψτε τον κώδικα για το logout
    for button in gear_buttons:
        button.config(state=tk.DISABLED) # Κλείδωμα κουμπιών γραναζιού
    logout_button.place_forget() # Απόκρυψη του κουμπιού Logout
    main_login_button.place(x=1520, y=10) # Εμφάνιση κουμπιού Login

    # Κλείδωμα και ενημέρωση
    lock_buttons_only_gear()
    print("Logged out")

# Συνάρτηση για την ενημέρωση της ημερομηνίας και της ώρας
def update_time():
    current_time = time.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
    datetime_label.config(text=current_time)
    root.after(1000, update_time)
```

Τα παραπάνω κομμάτια κώδικα αναπτύσσουν μια διεπαφή για την είσοδο και την έξοδο χρήστη από μια εφαρμογή με χρήση της βιβλιοθήκης Tkinter στη Python. Συγκεκριμένα, ο κώδικας περιλαμβάνει δύο βασικές συναρτήσεις: login και logout.

Η συνάρτηση login δημιουργεί ένα νέο παράθυρο (Toplevel) στο οποίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα στοιχεία του (username και password) για να πραγματοποιήσει είσοδο στην εφαρμογή. Η αναγνώριση γίνεται με την αντιστοίχιση των εισαγόμενων δεδομένων με σταθερά καθορισμένα διαπιστευτήρια. Εάν τα δεδομένα είναι σωστά, πραγματοποιείται είσοδος και ενεργοποιούνται διάφορες λειτουργίες όπως το ξεκλείδωμα και η μετονομασία των κουμπιών. Αν τα δεδομένα είναι λανθασμένα, εμφανίζεται μήνυμα σφάλματος.

Η συνάρτηση logout απενεργοποιεί τα κουμπιά και αλλάζει τις εμφανίσεις των κουμπιών για login και logout, επιστρέφοντας την εφαρμογή σε μια κατάσταση όπου ο χρήστης δεν έχει επιβεβαιωμένη ταυτότητα.

```
# Συνάρτηση για προσθήκη νέου σετ κουμπιών σε μία από τις δύο στήλες
def add_button_set(column, button_id=None, skip_file_check=False):
    if column == 1:
        if button_id is None:
            button_id = sel_button_counter[0] + 1
            sel_button_counter[0] += 1
            button_name = f"ARCTEQ {button_id}"
            script_name = "ARCTEQ_script.bat"
            x_position = 500
        else:
            if button_id is None:
                button_id = siemens_button_counter[0] + 1
                siemens_button_counter[0] += 1
                button_name = f"SIEMENS {button_id}"
                script_name = "siemens_script.pyw"
                x_position = 1300

    # Ορισμός του ονόματος του αρχείου για το νέο κουμπί
    filename = os.path.join(SAVE_FOLDER, f'retain_values_button_{column}_{button_id}.txt')

    # Αν δεν καλούμε τη συνάρτηση από 'load_buttons_from_files', ελέγχουμε για ύπαρξη αρχείου
    if not skip_file_check and os.path.exists(filename):
        return # Εξέρχεται από τη συνάρτηση αν το κουμπί υπάρχει

    # Διαβάζουμε τις αποθηκευμένες πληροφορίες αν υπάρχουν
    _, button_name, _ = read_button_values(button_id, column)

    # Δημιουργία κουμπιού εκτέλεσης
    button = tk.Button(root, text=button_name, command=lambda: run_script(script_name, button_id, column),
        bg='#0074E8', fg='#FFFFFF', width=20, height=1, font=("Arial", 14))
    execution_buttons.append(button)
    canvas.create_window(x_position, 300 + (60 * (button_id - 1)), anchor="center", window=button)
    #button.grid(row=button_id-1, column=column*2-2, pady=10, padx=20)

    # Αποθήκευση πληροφοριών κουμπιού στο metadata
    button_metadata.append({'button_id': button_id, 'column': column, 'button': button})

    # Δημιουργία κουμπιού γραναζιού
    gear_button = tk.Button(root, image=gear_photo, command=lambda: open_input_window(button_id, column), bg='#0074E8')
    gear_button.image = gear_photo
    gear_buttons.append(gear_button)
    #gear_button.grid(row=button_id-1, column=column*2-1, pady=10, padx=200)
    canvas.create_window(x_position + 170, 300 + (60 * (button_id - 1)), anchor="center", window=gear_button)

    # Δημιουργία του αρχείου .txt για αποθήκευση των τιμών του κουμπιού
    if not skip_file_check:
        with open(filename, 'w') as file:
            file.write(f"IP: \nButton Name: {button_name}\nDestination Folder: ")
```

```

# Συνάρτηση για αφαίρεση τελευταίου σετ κουμπιών από μία στήλη με διπλή επιβεβαίωση
def remove_button_set(column):
    if column == 1 and sel_button_counter[0] > 0:
        button_id = sel_button_counter[0]
        sel_button_counter[0] -= 1
    elif column == 2 and siemens_button_counter[0] > 0:
        button_id = siemens_button_counter[0]
        siemens_button_counter[0] -= 1
    else:
        return

    # Διπλή επιβεβαίωση πριν τη διαγραφή
    first_confirmation = messagebox.askyesno("Confirm Deletion", "Are you sure you want to remove this button?")
    if not first_confirmation:
        return

    # Εντοπισμός του αντίστοιχου κουμπιού στο metadata
    indices = [i for i, info in enumerate(button_metadata) if info['button_id'] == button_id and info['column'] == column]

    if indices:
        index = indices[-1] # Παίρνουμε το τελευταίο index για τη συγκεκριμένη στήλη

        # Διαγραφή του αντίστοιχου κουμπιού και γραναζιού
        execution_button = execution_buttons.pop(index)
        gear_button = gear_buttons.pop(index)
        execution_button.destroy()
        gear_button.destroy()

        # Αφαίρεση των μεταδεδομένων κουμπιού
        button_metadata.pop(index)

        # Διαγραφή του αντίστοιχου αρχείου .txt
        filename = os.path.join(SAVE_FOLDER, f'retain_values_button_{column}_{button_id}.txt')
        if os.path.exists(filename):
            os.remove(filename)
            print(f"Διαγράφηκε το αρχείο: {filename}")
        else:
            print(f"Το αρχείο δεν βρέθηκε: {filename}")

```

Ο κώδικας που παρουσιάζεται παραπάνω αφορά στη διαχείριση δυναμικών κουμπιών. Περιλαμβάνει δύο βασικές λειτουργίες: τη δημιουργία και την αφαίρεση σετ κουμπιών από την αρχική οθόνη της εφαρμογής.

- Δημιουργία Κουμπιού (add_button_set):** Η συνάρτηση add_button_set είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία νέων κουμπιών. Τα κουμπιά αυτά μπορεί να προστεθούν σε δύο διαφορετικές στήλες, ανάλογα με την επιλογή του χρήστη. Κάθε κουμπί συνοδεύεται από ένα αναγνωριστικό και ένα όνομα, τα οποία προσδιορίζονται αυτόματα ανάλογα με τη στήλη και το αν έχει ήδη δοθεί ένα ID. Κάθε κουμπί διαθέτει επίσης ένα συνδεδεμένο σενάριο εκτέλεσης. Εάν το κουμπί υπάρχει ήδη (βάσει ελέγχου αρχείου), η διαδικασία διακόπτεται.
- Αφαίρεση Κουμπιού (remove_button_set):** Η συνάρτηση remove_button_set επιτρέπει την αφαίρεση του τελευταίου κουμπιού που προστέθηκε σε κάθε στήλη. Η διαδικασία ξεκινά με έναν έλεγχο για την ύπαρξη κουμπιών στην εν λόγω στήλη και συνεχίζεται με μια διπλή επιβεβαίωση από τον χρήστη, προκειμένου να αποφευχθούν ακούσιες διαγραφές. Εάν ο χρήστης επιβεβαιώσει την ενέργεια, το κουμπί και τα σχετικά με αυτό δεδομένα αφαιρούνται από την οθόνη και το αρχείο που σχετίζεται με αυτό διαγράφεται.

```

def run_script(script_name, button_id, column):
    def run():
        lock_buttons() # Κλείδωμα κουμπιών

        try:
            if script_name == "sel_script.bat":

                # Εκτέλεση του .bat script με τις παραμέτρους και την κωδικοποίηση utf-8
                result = subprocess.run(
                    [script_name, str(button_id), str(column)],
                    shell=True,
                    text=True,
                    capture_output=True,
                    encoding="utf-8" # Χρήση utf-8 για να αποφύγουμε UnicodeDecodeError
                )
                # Έλεγχος αν η έξοδος περιλαμβάνει συγκεκριμένο κείμενο λάθους
                if "Connection Failed." in result.stdout or "Connection Failed." in result.stderr:
                    messagebox.showerror("Error", "Connection Problem")
                else:
                    messagebox.showinfo("Info", "Success.")
            elif script_name == "ARCTEQ_script.bat":
                result = subprocess.run(
                    [script_name, str(button_id), str(column)],
                    shell=True,
                    text=True,
                    capture_output=True,
                    encoding="utf-8" # Χρήση utf-8 για να αποφύγουμε UnicodeDecodeError
                )
                # Έλεγχος αν η έξοδος περιλαμβάνει συγκεκριμένο κείμενο λάθους
                if "Connection Failed." in result.stdout or "Connection Failed." in result.stderr:
                    messagebox.showerror("Error", "Connection Problem")
                else:
                    messagebox.showinfo("Info", "Success.")
            else:
                # Εκτέλεση ενός Python script με τις παραμέτρους χωρίς κονσόλα
                result = subprocess.run(
                    ["pythonw", script_name, str(button_id), str(column)],
                    text=True,
                    capture_output=True,
                    encoding="utf-8",
                    creationflags=subprocess.CREATE_NO_WINDOW
                )
                print("STDOUT:", result.stdout)
                print("STDERR:", result.stderr)
                # Έλεγχος αν η έξοδος περιλαμβάνει συγκεκριμένο κείμενο λάθους
                if "Connection Failed." in result.stdout or "Connection Failed." in result.stderr:
                    messagebox.showerror("Error", "Connection Problem")
                else:
                    messagebox.showinfo("Info", "Success.")
        finally:
            unlock_buttons() # Ξεκλείδωμα κουμπιών μετά την ολοκλήρωση του script

    # Εκτέλεση του script σε νέο νήμα
    threading.Thread(target=run).start()

```

Ο κώδικας που παρουσιάζεται παραπάνω αναφέρεται στην εκτέλεση συγκεκριμένων σεναρίων (scripts) μέσω της γραφικής διεπαφής του προγράμματος. Η λειτουργία αυτή ενσωματώνεται σε κουμπιά που ο χρήστης μπορεί να πατήσει, με κάθε κουμπί να συνδέεται με διαφορετικό script ανάλογα με τις παραμέτρους που δίνει ο χρήστης και τη στήλη στην οποία βρίσκεται το κουμπί.

Η διαδικασία ξεκινά με τη συνάρτηση `run_script`, η οποία παίρνει ως είσοδο το όνομα του script, το αναγνωριστικό του κουμπιού και τη στήλη όπου αυτό βρίσκεται. Στη συνέχεια, η εσωτερική συνάρτηση `run` εκτελεί το σενάριο χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη `subprocess`. Αυτή η εκτέλεση γίνεται σε νέο νήμα για να αποφευχθεί η διακοπή της γραφικής διεπαφής.

Εάν το script είναι τύπου `.bat`, εκτελείται με την εντολή `subprocess.run`, με παραμέτρους που περιλαμβάνουν την κωδικοποίηση `utf-8` για την αποφυγή σφαλμάτων στην ανάγνωση και ανάλυση των εξόδων. Η εκτέλεση Python scripts γίνεται επίσης με `subprocess.run`, αλλά χρησιμοποιεί το `pythonw` για την εκτέλεση χωρίς κονσόλα, με τις εξόδους να καταγράφονται και να ελέγχονται για σφάλματα σύνδεσης.

Τέλος, η εκτέλεση κάθε script ακολουθείται από το κλείδωμα και το ξεκλείδωμα των κουμπιών της διεπαφής, διασφαλίζοντας ότι ο χρήστης δεν θα προκαλέσει σφάλματα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης κρίσιμων λειτουργιών.

```
# Συνάρτηση για να ανοίξει το νέο παράθυρο εισαγωγής τιμών
def open_input_window(button_id, column):
    ip_value, button_name, dest_folder = read_button_values(button_id, column)
    input_window = tk.Toplevel(root, bg="#303030")
    input_window.title(f"Enter Values for Button {button_id}")
    input_window.geometry("400x300")

    def save_values():
        ip = entry1.get()
        button_name = entry2.get()
        dest_folder = entry3.get()
        print(f"Αποθηκευμένες τιμές για Button {button_id}: \nIP: {ip} \nButton: {button_name} \nFolder: {dest_folder}")

        filename = os.path.join(SAVE_FOLDER, f'retain_values_button_{column}_{button_id}.txt')

        try:
            with open(filename, 'r') as file:
                lines = file.readlines()

            # Ενημέρωση των γραμμών με τις νέες τιμές
            for i in range(len(lines)):
                if lines[i].startswith("IP:"):
                    lines[i] = f"IP: {ip}\n"
                elif lines[i].startswith("Button Name:"):
                    lines[i] = f"Button Name: {button_name}\n"
                elif lines[i].startswith("Destination Folder:"):
                    lines[i] = f"Destination Folder: {dest_folder}\n"

            # Γράψιμο των ενημερωμένων τιμών στο αρχείο
            with open(filename, 'w') as file:
                file.writelines(lines)

        except FileNotFoundError:
            # Αν το αρχείο δεν υπάρχει, δημιουργούμε νέο αρχείο με τις τρέχουσες τιμές
            with open(filename, 'w') as file:
                file.write(f"IP: {ip} \nButton Name: {button_name} \nDestination Folder: {dest_folder}")

        input_window.destroy()
        refresh_button_names() # Ανανανεώνει τα ονόματα των κουμπιών μετά την αποθήκευση νέων τιμών

    # Ρύθμιση για να εμποδίζει την εισαγωγή κενού (space)
    validation = input_window.register(no_space)

    # Δημιουργία πεδίων εισαγωγής και ετικετών με προεπιλεγμένες τιμές
    tk.Label(input_window, text="IP:", bg="#303030", fg="white", font=("Arial", 14)).pack(pady=5)
    entry1 = tk.Entry(input_window, font=("Arial", 12), bg="#f0f0f0", validate="key", validatecommand=(validation, '%S'))
    entry1.insert(0, ip_value)
    entry1.pack(pady=3)

    tk.Label(input_window, text="Button Name:", bg="#303030", fg="white", font=("Arial", 14)).pack(pady=5)
    entry2 = tk.Entry(input_window, font=("Arial", 12), bg="#f0f0f0")
    entry2.insert(0, button_name)
    entry2.pack(pady=3)
```

Ο κώδικας αναφέρεται στη διαχείριση παραμέτρων των στοιχείων των ηλεκτρονόμενων στην γραφική διεπαφή. Περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός νέου παραθύρου που επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει ή να επεξεργαστεί τις τιμές για ένα κουμπί, όπως τη διεύθυνση IP, το όνομα του κουμπιού και τον φάκελο προορισμού. Αυτό γίνεται μέσω της συνάρτησης `open_input_window`.

1. **Ανοίγματα νέου παραθύρου:** Η συνάρτηση ανοίγει ένα νέο παράθυρο (Toplevel) όπου ο χρήστης μπορεί να εισάγει ή να τροποποιήσει τις τιμές. Οι προεπιλεγμένες τιμές φορτώνονται από τα υπάρχοντα δεδομένα του κουμπιού χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `read_button_values`.

2. **Εισαγωγή και Επεξεργασία Δεδομένων:** Στο παράθυρο, υπάρχουν τρία πεδία εισαγωγής για την IP, το όνομα του κουμπιού, και τον φάκελο προορισμού. Κάθε πεδίο προ-συμπληρώνεται με τις τρέχουσες τιμές και υποστηρίζει την τροποποίηση αυτών των τιμών.
3. **Αποθήκευση των τροποποιημένων τιμών:** Ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει τις νέες τιμές μέσω της συνάρτησης `save_values`, η οποία ενημερώνει τις αποθηκευμένες τιμές σε ένα αρχείο κειμένου. Εάν το αρχείο δεν υπάρχει, δημιουργείται ένα νέο. Η ενημέρωση των τιμών γίνεται με ανάγνωση, τροποποίηση και επανεγγραφή των γραμμών του αρχείου.
4. **Κλείσιμο του παραθύρου και ενημέρωση της διεπαφής:** Μετά την αποθήκευση των τιμών, το παράθυρο κλείνει και οι ονομασίες των κουμπιών στην κύρια διεπαφή ανανεώνονται, αντανakλώντας τυχόν αλλαγές.

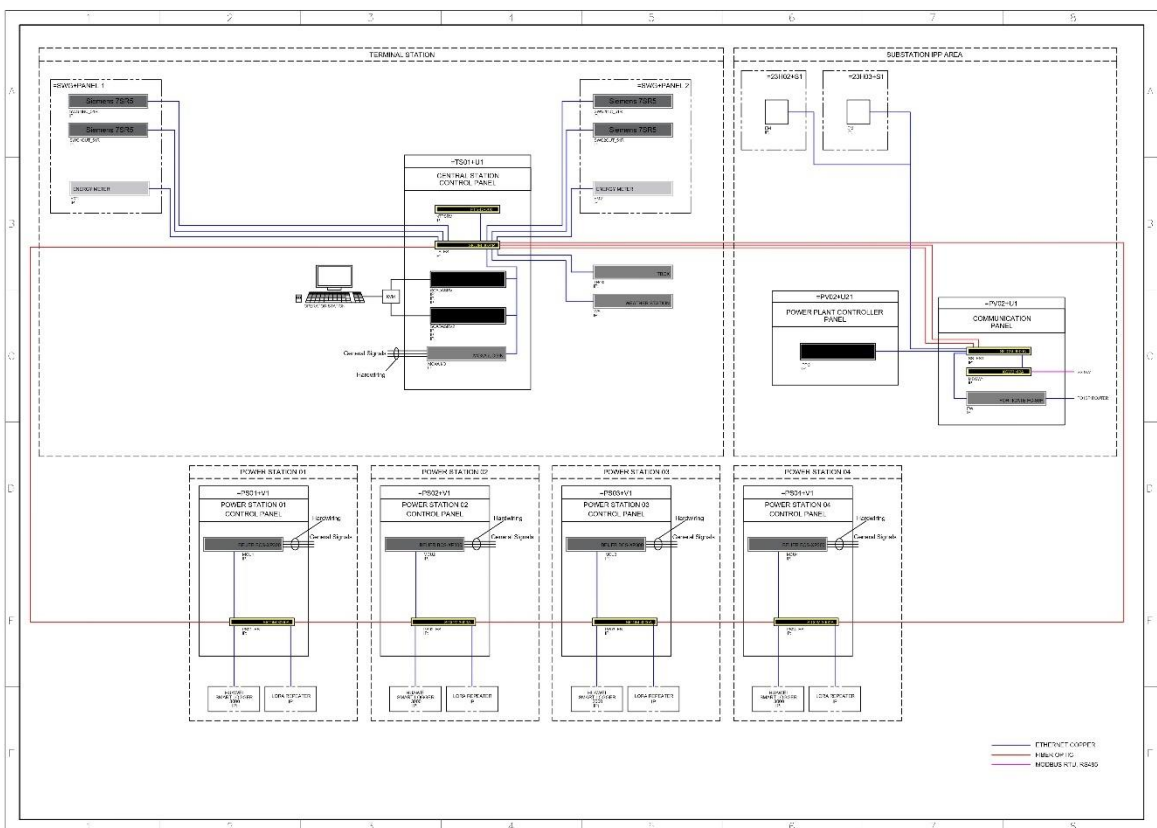
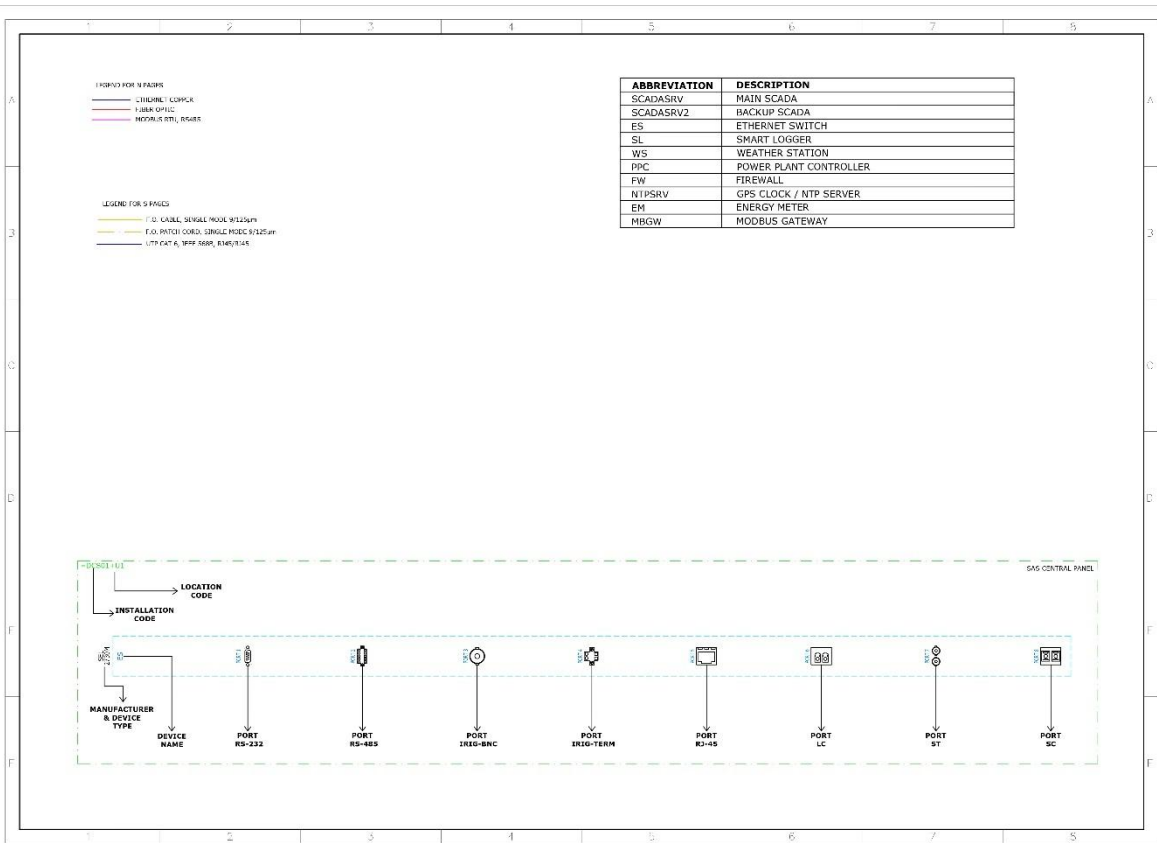
Βιβλιογραφία

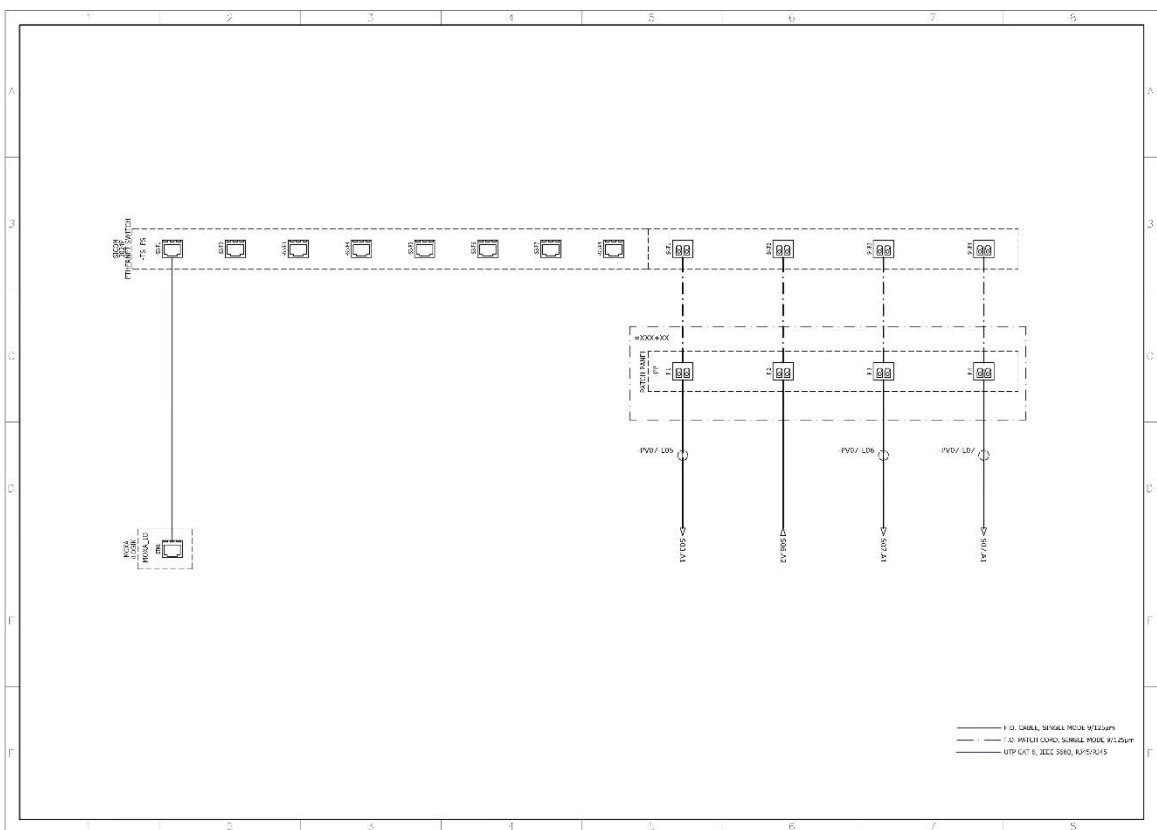
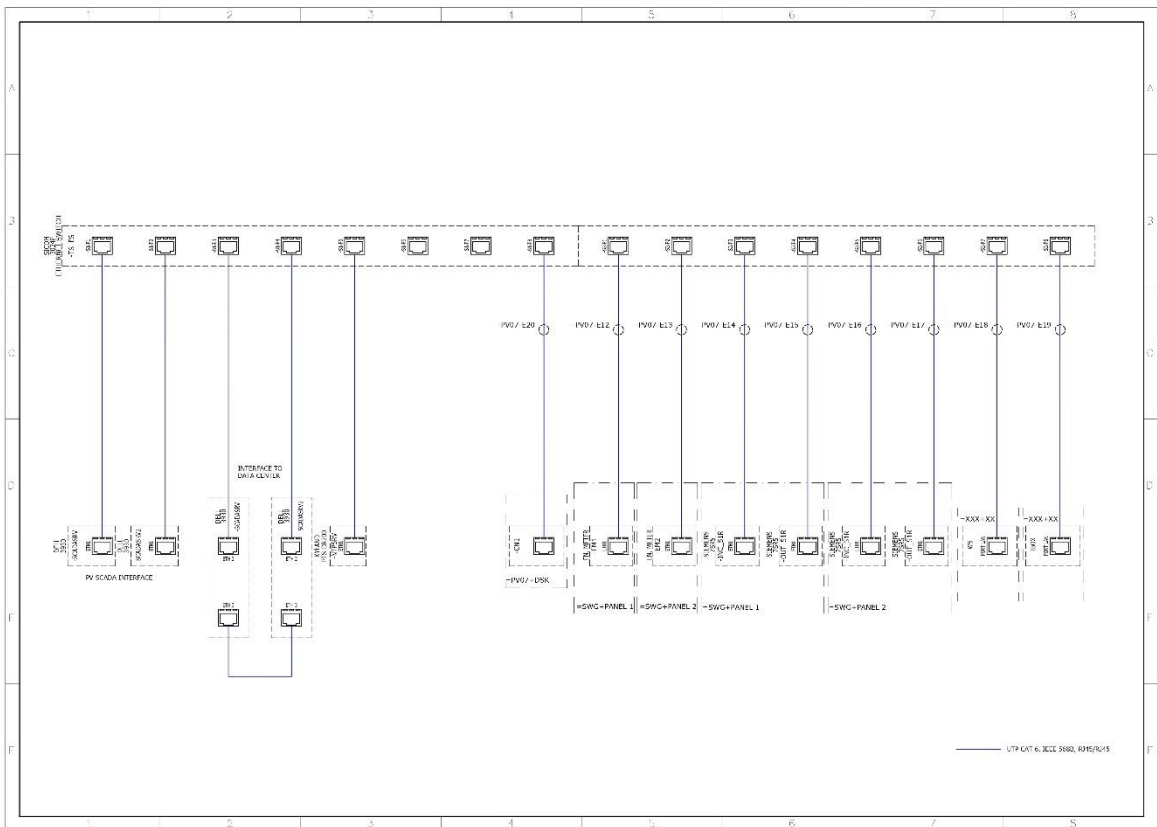
- [1] Mark Peterson, "History, Evolution, and Future of SCADA", 2020
- [2] Hosny A. Abbas, "Future SCADA challenges and the promising solution: the agent-based SCADA", International Journal of Critical Infrastructures , Vol. 10, Nos. 3/4, 307-333, 2014
- [3] Brendan Galloway, Gerhard P. Hancke, "Introduction to Industrial Control Networks", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 15, No. 2, 860-880, 2013
- [4] Li Da Xu, Senior Member, IEEE, Wu He, and Shancang Li, "Internet of Things in Industries: A Survey", IEEE Transactions on Industrial Informatics , Vol. 10, No. 4, 2233-2243, 2014
- [5] Keith Stouffer, Joseph Falco, Karen Kent, "Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and Industrial Control Systems Security", National Institute of Standards and Technology, Special Publication 800-02, 2006
- [6] Matthew N. O. Sadiku, Y. Wang, S. Cui; Sarhan M. Musa, "SCADA IN POWER SYSTEMS", International Journal of Software & Hardware Research in Engineering, Vol. 6, No. 2, 23-27, 2018
- [7] Khairy Sayed, and Hossam A. Gabbar, "SCADA and Smart Energy Grid ControlAutomation", Smart Energy Grid Engineering, Vol. 18, 481-514, 2016
- [8] A. Daneels, "WHAT IS SCADA?" CERN, Geneva, Switzerland W.Salter, CERN, Geneva, Switzerland, International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, 339-343, Italy, 1999
- [9] Mohamed Endi, Y. Z. Elhalwagy, Attalla hashad, "Three-Layer PLC/SCADA System Architecture in Process Automation and Data Monitoring", The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE), Vol. 2, 774-779, Singapore, 2010
- [10] Rajeev Kumar Chauhan, Mohan Lal Dewal, Kalpana Chauhan, "Utility of SCADA in Power Generation and Distribution System", Rajeev Kumar Chauhan, Mohan Lal Dewal, Kalpana Chauhan, 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, Vol. 16474, 648-652, China, 2010
- [11] George N. Korres, Nikolaos M. Manousakis, "State estimation and bad data processing for systems including PMU and SCADA measurements", Electric Power Systems Research, Vol. 81, No. 7, 1514-1524, 2010
- [12] Ahmed M. T. Ibraheem Al-Naib, Majeed Ismae, "DESIGN OF A SCADA SYSTEM FOR A SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANT", NTU Journal of Engineering and Technology, Vol.2, No.2, 55-62 , 2023
- [13] Jian Wu, Yong Cheng, and Noel N. Schulz, "Overview of Real-Time Database Management System Design for Power System SCADA System", Proceedings of the IEEE SoutheastCon, 62-66, 2006
- [14] Erdal IRMAK, Ismail Erkek, "An Overview of Cyber-Attack Vectors on SCADA System", 6th International Symposium on Digital Forensic and Security (ISDFS), Turkey, 2018

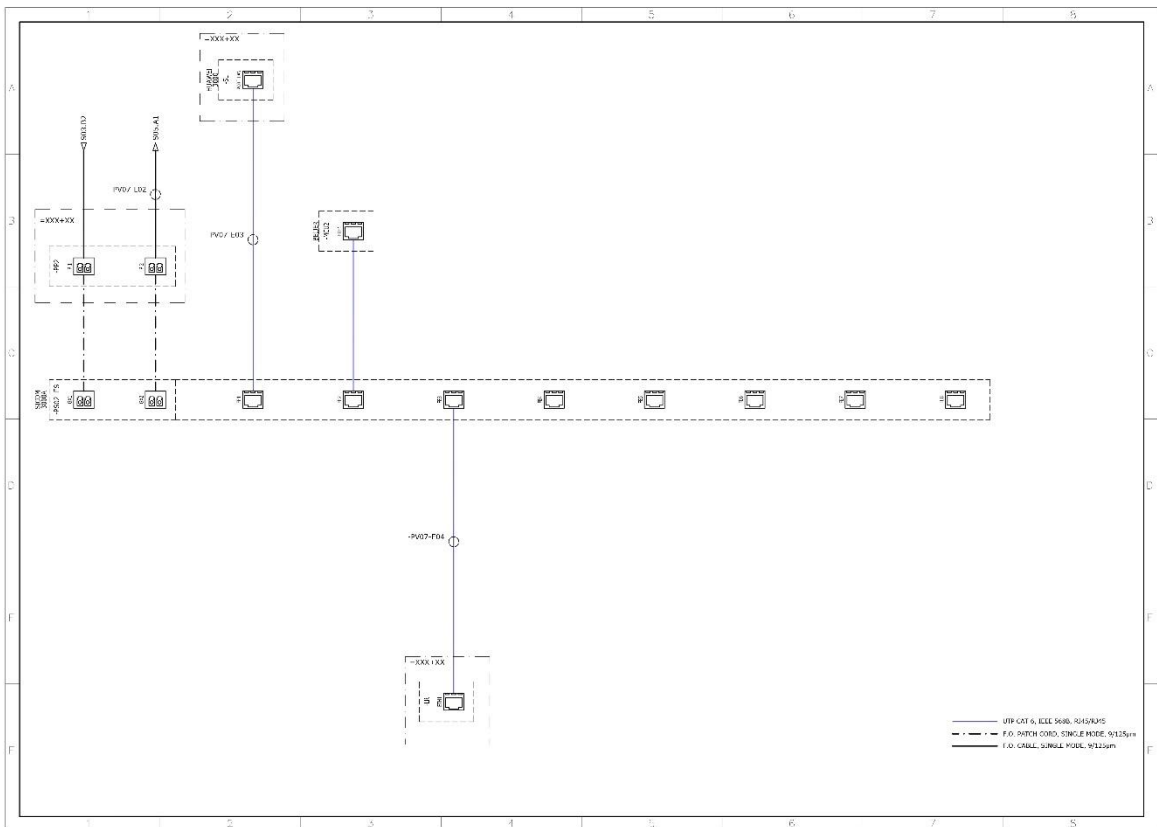
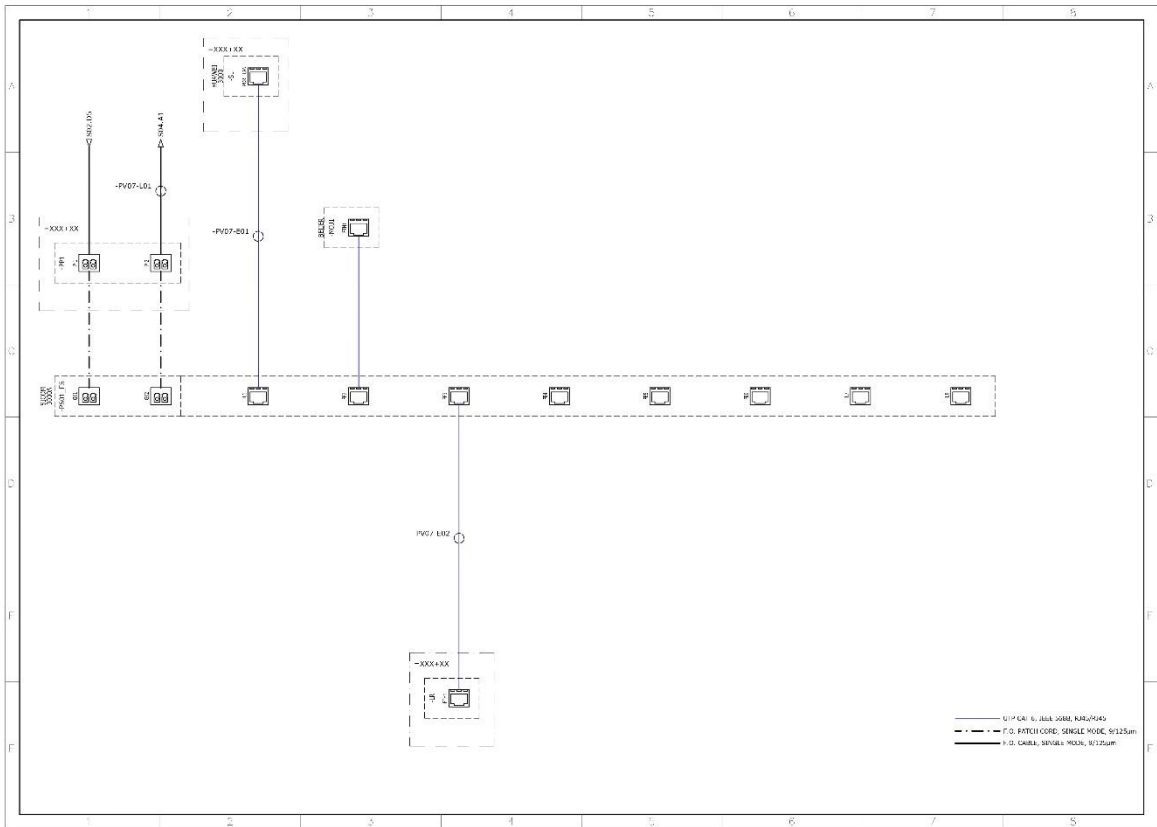
- [15] THOMAS P. HUGHES, "NETWORKS OF POWER", 1880-1930
- [16] Mihaly Sagi, Branislav Atlagic, Dejan Milinkov, Bojan Bogovac, Stanko Culaja, "High-Performance Distributed SCADA System Architecture", Electrotechnical Conference (MELECON), 152-155, 2012
- [17] Branislav Atlagiü, Mihalj Šagi, "Proposal of a modern SCADA system architecture", 19th Telecommunications Forum (TELFOR) Proceedings of Papers, 1430-1433, 2011
- [18] FATIMAH F. ALSHEHRY, ARWA M. WALI, "Analysis of Security Challenges in Cloud-Based SCADA Systems: A Survey", 2022
- [19] Raman Dugyala, N Hanuman Reddy, Shrawan Kuma, Implementation of SCADA Through Cloud Based IoT Devices – Initial Design Steps, 2019 Fifth International Conference on Image Information Processing (ICIIP), 367-372, 2019
- [20] Karens Medrano, Denis Altuve, Kelman Belloso, Carlos Bran, "Development of SCADA using a RTU based on IoT controller", 2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA), 1-6, 2018
- [21] Van Hoa Nguyen, Quoc Tuan Tran, Hervé Buttin, Mouloud Guemri, "Implementation of a coordinated voltage control algorithm for a microgrid via SCADA-as-a-service approach", Electrical Engineering, Vol. 104, No. 1, 1-11, 2022
- [22] Van Hoa Nguyen, Quoc Tuan Tran, Yvon Besanger "SCADA as a service approach for interoperability of micro-grid platforms", Sustainable Energy Grids and Networks 8, 2016
- [23] Kaveh Zarei, "SCADA Networking Protocols and Basics", 2020
- [24] John Luswata, Pavol Zavarsky, Bobby Swar, Davison Zvabva, "Analysis of SCADA Security using Penetration Testing: A case study on Modbus TCP Protocol", 29th Biennial Symposium on Communications (BSC), 2018
- [25] C. Bualek, W. Khunpeng, N. Eua-Anant, and T. Paukatong, "Protocol Modification between Substation and Control Center with IEC 60870-5-104 ", 2011
- [26] Belousov A.V, Bashkatov I.V., Koshlich Y.A., Grebenik A.G, "Investigation of Communication Standard IEC 60870", 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2017
- [27] SimplyModbus
- [28] DNP official site
- [29] DNP3 and COPA DATA
- [30] Communication Protocols, www.igrid-td.com
- [31] S. Mohagheghi, J. Stoupis, Z. Wang, "Communication Protocols and Networks for Power Systems-Current Status and Future Trends", Power & Energy Society General Meeting, 2009

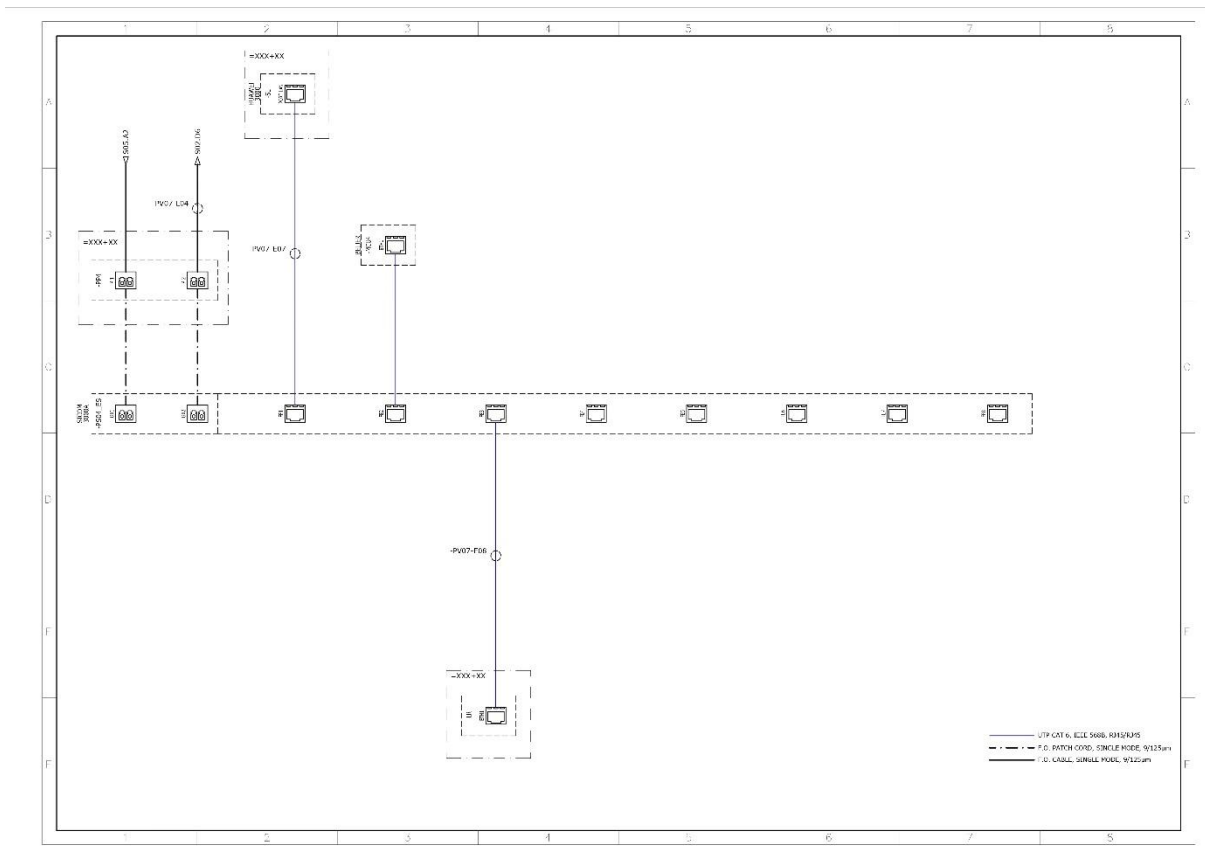
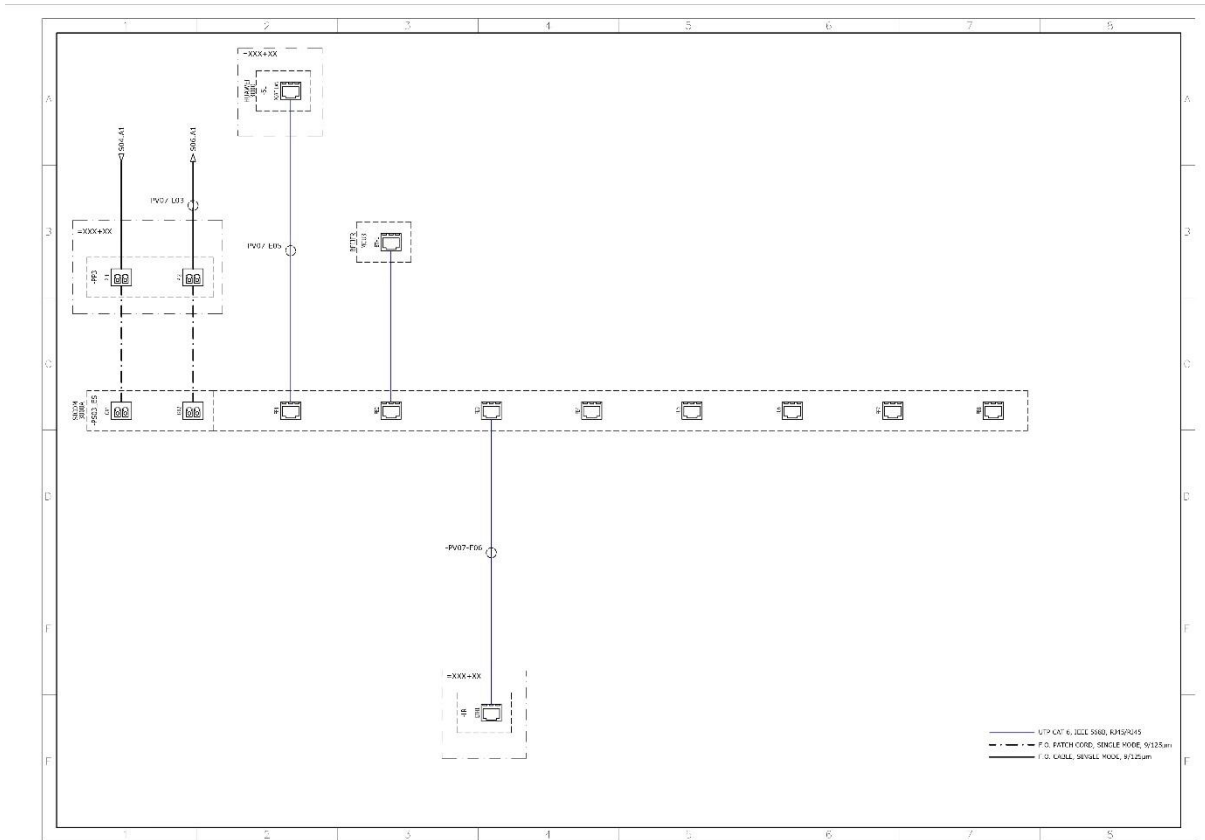
- [32] S. Motoyoshi, "PROFIBUS and PROFINet technology and standardization activity", Proceedings of the 41st SICE Annual Conference, 2002
- [33] MV Dambhare, B Butey... - Journal of Physics ..., 2021 - iopscience.iop.org. Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends.
- [34] Standard IEC 61724-1-2017
- [35] Κ.Θ. ΔΕΡΒΟΣ, «ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ»
- [36] Copa-Data Zenon Manuals.
- [37] M Libra, T Petřík, V Poulek, II Tyukhov... - ... of Photovoltaics, 2021 - ieeexplore.ieee.org. Changes in the efficiency of photovoltaic energy conversion in temperature range with extreme limits.
- [38] Marinagi, C., Reklitis, P., Trivellas, P., & Sakas, D. (2023). The impact of industry 4.0 technologies on key performance indicators for a resilient supply chain 4.0. Sustainability.

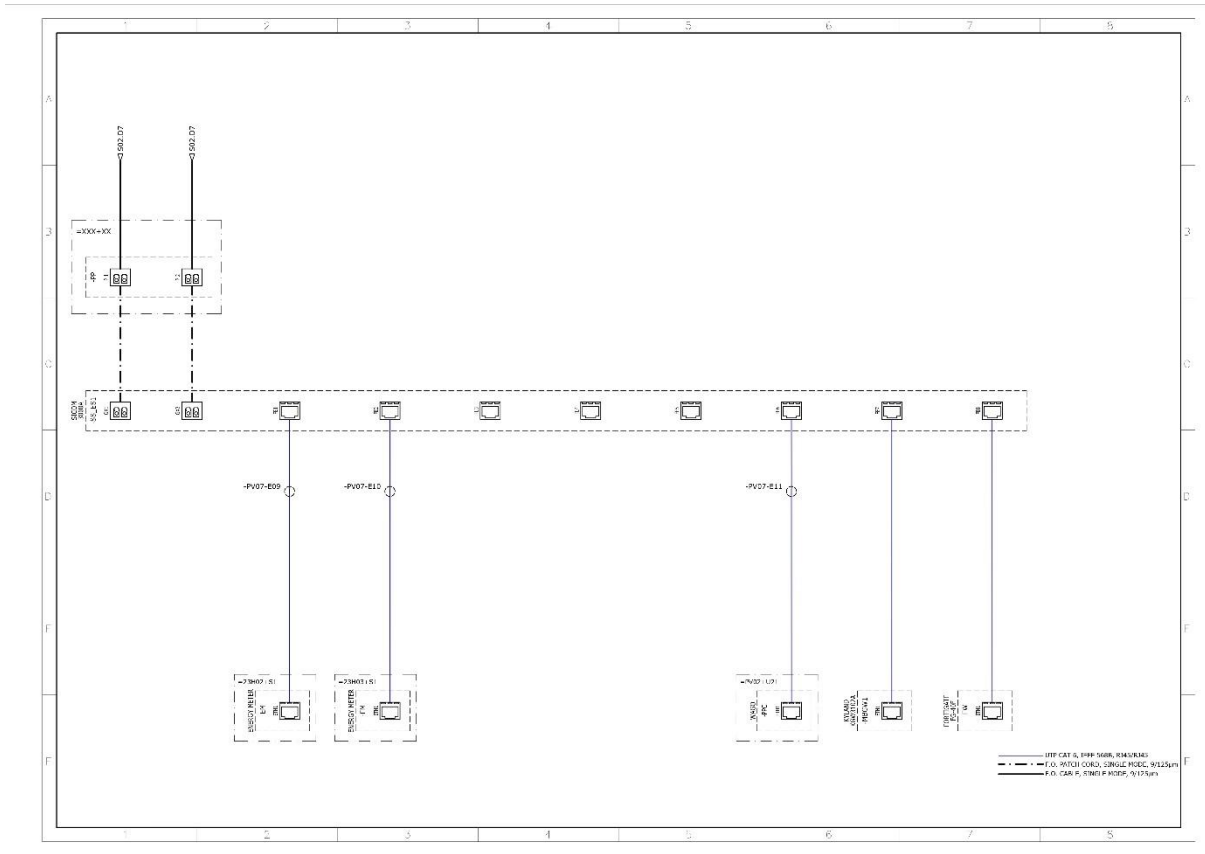
Παράρτημα 1: Τοπολογία Δικτύου Φ/Β Σταθμού











Παράρτημα 2: Μονογραμμικό Διάγραμμα Φ/Β Εγκατάστασης

