



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Φορητά συστήματα αισθητήρων χαμηλού κόστους με τροφοδοσία από
φωτοβολταϊκά για ποιότητα αέρα και ατμοσφαιρικές μετρήσεις σε ασύρματο
δίκτυο - Επεξεργασία δεδομένων - Διακρίβωση – Ανάπτυξη

Όνοματεπώνυμο φοιτήτριας: Ζωή Θώδου

Α.Μ.: 46942

Επιβλέπων καθηγητής: Νικόλαος Λάσκαρης

Αθήνα, Οκτώβριος 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION

ENGINEERING

Portable low cost sensor systems with photovoltaic power supply for air quality
and atmospheric measurements in wireless network – Data processing –
Calibration – Development

First and last name of student: Zoi Thodou

Registration Number: 46942

Supervising professor's first and last name: Nikolaos Laskaris

Athens, October 2023

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

No	Όνοματεπώνυμο και Ιδιότητα	Ψηφιακή Υπογραφή
1	Νικόλαος Λάσκαρης Επίκουρος Καθηγητής	
2	Ευάγγελος Παπακίτσος ΕΔΙΠ Α΄	
3		

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ζωή Θώδου με αριθμό μητρώου 71446942 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, **δηλώνω υπεύθυνα** ότι:

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

Date 20/11/2023

Η Δηλούσα

Ζωή Θώδου
Α.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών (ΕΚΕΦΕ) Δημόκριτος και πιο συγκεκριμένα στο εργαστήριο Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος & Τεχνολογίας Αερολύματος για ατμοσφαιρικές και Κλιματικές επιπτώσεις (Ε.Ρ.Π.Τ.Α.Κ.) , κατά το έτος 2022-2023.

Πρώτο από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή και συνάδελφο μου κ. Πρόδρομο Φετφατζή. Η ολοκλήρωση της εργασίας μου θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη και βοήθεια του. Στα πλαίσια της εκπόνησης της εργασίας διέθετε καθημερινά πολύτιμο χρόνο για να μου δίνει στοιχεία και εξηγήσεις επί του θέματος. Χρωστάω , επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υπεύθυνο καθηγητή μου κ. Νικόλαο Λάσκαρη για την υποστήριξη που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Πολλά ευχαριστώ αξίζουν και οι συνάδελφοι μου Πάνος Καρκαβίτσας και Χριστόφορος Τούντας με τους οποίους δουλεύουμε πάνω στο σύστημα που παρουσιάζεται στην εργασία. Επιπλέον, ευχαριστώ τον υπεύθυνο εργαστηρίου κ. Κώστα Ελευθεριάδη καθώς και τον πρόεδρο της εταιρείας mSensis κ. Γιώργο Σαρηγιαννίδη μαζί με όλους τους ανθρώπους που δουλεύουν στο εργαστήριο και στην εταιρεία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που βρίσκονται πάντα ως στήριγμα δίπλα μου σε οποιαδήποτε χαρά ή πρόκληση συναντήσω στην ζωή μου. Χωρίς την αγάπη τους θα αδυνατούσα να τελειώσω αυτήν την εργασία.

Αθήνα, Οκτώβριος 2023

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία προέκυψε μέσω της εργασίας μου στην εταιρεία mSensis. Ο χώρος που εργάζομαι είναι το εργαστήριο Ραδιενέργειας και Περιβάλλοντος (ΕΡΙΠΤΑΚ) στο ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος. Στο εργαστήριο αναπτύσσονται τα συστήματα AirSensis.

Το παρουσιαζόμενο σύστημα AirSensis λαμβάνει περιβαλλοντικές μετρήσεις. Το σύστημα συνδέεται ασύρματα σε διαθέσιμο δίκτυο τηλεπικοινωνιών. Τα δεδομένα των μετρήσεων του συστήματος αποστέλλονται ανά ένα λεπτό σε βάσεις δεδομένων. Το σύστημα είναι ηλεκτρικά αυτόνομο και μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε υπάρχει κάλυψη σήματος δικτύου κινητής τηλεφωνίας (2G, 3G, 4G, 5G) και επαρκής ηλιοφάνεια.

Στα πρώτα κεφάλαια θα παρουσιαστούν θεωρητικές έννοιες σχετιζόμενες με το σύστημα. Έπειτα, θα παρουσιαστεί το σύστημα AirSensis και ό,τι σχετίζεται με την λειτουργία, τον τρόπο αποστολής και επεξεργασίας - βαθμονόμησης των μετρήσεων του. Τέλος, θα παρουσιαστούν αποτελέσματα από τις μετρήσεις του και κάποιες από τις προοπτικές που παρουσιάζει το σύστημα.

Λέξεις - Κλειδιά : Σύστημα με αισθητήρες χαμηλού κόστους, Δίκτυο τηλεπικοινωνιών, Φωτοβολταϊκά συστήματα, Περιβαλλοντικές μετρήσεις, Ατμοσφαιρική ρύπανση, Ποιότητα του αέρα

Abstract

This thesis topic emerged through my work at the mSensis company. The place I'm working is the laboratory of Irradiance and Environment (INRASTES) in NCSR Demokritos. AirSensis systems are being developed in the lab.

The presented system measures environmental parameters. The system connects remotely to available mobile broadband networks. Data measurements are sent to databases every minute. The system is electrically autonomous and can be placed anywhere there is mobile network signal coverage (2G, 3G, 4G, 5G) and sufficient sunlight. In the first chapters, theoretical concepts related to the system will be presented. Then, the AirSensis system will be introduced, along with its operation, the method of data transmission and processing, and calibration of measurements. Finally, results from the measurements and some of the system's prospects will be presented.

Keywords: Low-cost sensors system, Mobile broadband network, Photovoltaic systems, Environmental parameters, Atmospheric pollution, Air quality

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη	6
Abstract.....	7
Κατάλογος εικόνων	10
Εισαγωγή	13
Κεφάλαιο 1.....	15
1.1. Αερολύματα	15
1.2. Αέριοι ρύποι.....	18
1.3. Η ποιότητα του αέρα.....	19
1.4. Αισθητήρες χαμηλού κόστους.....	22
1.4.1 Αρχές λειτουργίας αισθητήρων χαμηλού κόστους	23
1.4.2. Χαρακτηριστικά αισθητήρων χαμηλού κόστους	24
1.4.3. Διακρίβωση των μετρήσεων αισθητήρων χαμηλού κόστους	25
1.4.4. Αισθητήρες ποιότητας αέρα χαμηλού κόστους	27
Κεφάλαιο 2.....	32
2.1. Φωτοβολταϊκά συστήματα (PV Systems).....	32
2.2. Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες συστημάτων	34
Κεφάλαιο 3.....	36
3.1. Τεχνολογίες αισθητήρων χαμηλού κόστους και οι αισθητήρες του AirSensis	36
3.1.1. Τεχνολογία MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems).....	36
3.1.2. Τεχνολογία NDIR (Non-Dispersive InfraRed)	37
3.1.3. Τεχνολογία σκέδασης φωτός λείζερ (LST - Light Scattering Technology)	38
3.1.4. Οι αισθητήρες AirSensis και το PCB (η Τυπωμένη Πλακέτα Ηλεκτρικού Κυκλώματος) του.....	39
3.2. Έλεγχος αισθητήρων AirSensis	40
Κεφάλαιο 4.....	43
4.1. Ανάπτυξη συστήματος ηλεκτρικής αυτονομίας με φωτοβολταϊκό σύστημα	43
4.2. Ανάπτυξη μοντέλου PVGIS για το σύστημα AirSensis	49
4.3. Η μπαταρία στο σύστημα AirSensis.....	54
Κεφάλαιο 5.....	57
5.1. Διακρίβωση μετρήσεων αισθητήρων	57

5.2. Διακρίβωση - Αερολύματα και αέρια.....	60
5.3. Διακρίβωση - Υγρασία RH και θερμοκρασία T.....	61
Κεφάλαιο 6.....	65
6.1. Web πλατφόρμες AirSensis και επεξεργασία δεδομένων.....	65
6.2. Δομή αποστολής δεδομένων AirSensis και web πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	69
Κεφάλαιο 7.....	72
7.1. Σύντομη ιστορική αναδρομή του συστήματος AirSensis.....	72
7.2. Μετρήσεις AirSensis.....	73
Κεφάλαιο 8.....	85
8.1. Συμπεράσματα και προοπτικές του συστήματος AirSensis.....	85
Αναφορές.....	86

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1:Κατηγορίες (modes)συγκεντρώσεων σωματιδίων.....	16
Εικόνα 3: Αναπαράσταση σκέδασης σωματιδίων	16
Εικόνα 5: Μετρήσεις σκόνης από το πρόγραμμα SKYRON του πανεπιστημίου ΕΚΠΑ	17
Εικόνα 6: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	18
Εικόνα 7: Αύξηση θερμοκρασίας και συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα 1950 - 2020.....	19
Εικόνα 8: Η ανθρώπινη εισπνοή και οι ουσίες της.....	20
Εικόνα 9: Ευρωπαϊκοί δείκτες μετρήσεων ατμοσφαιρικών ρύπων	21
Εικόνα 10: Γενική γραφική αναπαράσταση λειτουργίας αναλογικού αισθητήρα.....	23
Εικόνα 11: Διαθέσιμη βιβλιοθήκη κωδικά του αισθητήρα χαμηλού κόστους SDS011 στο Github	27
Εικόνα 12: Διαθέσιμη βιβλιοθήκη κώδικα του αισθητήρα χαμηλού κόστους SDS011 στο Arduino ..	27
Εικόνα 13: Ο αισθητήρας Nona PM sensor SDS011 και το USB σε TTL εξάρτημά του	28
Εικόνα 14: Δίκτυο με σταθμούς με αισθητήρες ποιότητας του αέρα του site waqi.info.....	29
Εικόνα 15: Δίκτυο με σταθμούς με αισθητήρες ποιότητας του αέρα του site hackair.eu	29
Εικόνα 16: Δίκτυο με σταθμούς με αισθητήρες ποιότητας του αέρα του site map.purpleair.com.....	30
Εικόνα 17: Σταθμός μέτρησης ποιότητας του αέρα "PurpleAir Flex Air Quality Monitor"	31
Εικόνα 18: Ηλιακός ρυθμιστής φόρτισης	32
Εικόνα 19: Δομή φωτοβολταϊκού κυττάρου.....	33
Εικόνα 20: Απόδοση φωτοβολταϊκών κυττάρων ανά τα χρόνια	34
Εικόνα 21: Εξίσωση απόδοσης φωτοβολταϊκού πάνελ	34
Εικόνα 22: Ο αισθητήρας BME280 και ο θάλαμος του	37
Εικόνα 23: Το διάγραμμα μπλοκ του αισθητήρα BME280.....	37
Εικόνα 24: Σχέδιο του εσωτερικού αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα.....	38
Εικόνα 25: Σχέδιο του εσωτερικού αισθητήρα σωματιδίων με λείζερ.....	38
Εικόνα 26: Το κύριο σύστημα AirSensis με τον ηλιακό ρυθμιστή φόρτισης.....	39
Εικόνα 27: Η εξωτερική ασπίδα (sensor shield) του εξωτερικού αισθητήρα θερμοκρασίας - υγρασίας	40
Εικόνα 28: Παράδειγμα κώδικα τεστ για τον εξωτερικό αισθητήρα θερμοκρασίας - υγρασίας AirSensis.....	41
Εικόνα 29: Διεπιφάνεια προγράμματος SAM	43
Εικόνα 30: Διεπιφάνεια προγράμματος PVGIS.....	44
Εικόνα 31: Χάρτης τοποθέτησης στίγματος Φ/Β συστήματος προς πρόβλεψη στο πρόγραμμα PVGIS	45
Εικόνα 32: Φόρμα συμπλήρωσης στοιχείων του προγράμματος PVGIS	46
Εικόνα 33: Η γεωγραφική κάλυψη της βάσης δεδομένων PVGIS-SARAH2 του προγράμματος PVGIS	47
Εικόνα 34: Χάρτης πρόβλεψης ακτινοβολίας στην Ελλάδα από το πρόγραμμα PVGIS	48
Εικόνα 35: Διεπιφάνεια φόρμας συμπλήρωσης προγράμματος PVGIS	50
Εικόνα 36: Μετρήσεις μέσου όρου κατανάλωσης βατώραν ανά ώρα	50
Εικόνα 37: Μοντελοποίηση PVGIS συστήματος (1)	51
Εικόνα 38: Μοντελοποίηση PVGIS συστήματος (2)	52
Εικόνα 39: Πρόβλεψη PVGIS επίδοσης μπαταρίας για έναν χρόνο	53
Εικόνα 40: Πρόβλεψη PVGIS κατάστασης φόρτισης μπαταρίας για έναν χρόνο.....	53
Εικόνα 41: Πρόβλεψη PVGIS παραγωγής ισχύος από το Φ/Β σύστημα	54

Εικόνα 42: Φωτοβολταϊκά πάνελ δύο συστημάτων AirSensis στον σταθμό DEM.....	56
Εικόνα 43: Η μπαταρία τροφοδοσίας ενός συστήματος AirSensis	56
Εικόνα 44: Ο σταθμός έρευνας αερολυμάτων DEM.....	57
Εικόνα 2: Μετρήσεις οργάνου SMPS.....	58
Εικόνα 4: Γραφική αναπαράσταση του νεφελόμετρου στον σταθμό έρευνας αερολυμάτων DEM....	59
Εικόνα 45: Μετρήσεις PM των AirSensis και του οργάνου αναφοράς Grimm OPC 107.....	60
Εικόνα 46: Μετρήσεις PM των AirSensis 7 και 10 και του οργάνου αναφοράς AirSensis 2	60
Εικόνα 47:Θάλαμος βαθμονόμησης PM του εργαστηρίου Ραδιενέργειας και Περιβάλλοντος	61
Εικόνα 48: Θάλαμος εκτέλεσης πειραμάτων βαθμονόμησης αισθητήρων AirSensis.....	62
Εικόνα 49: Θάλαμος εκτέλεσης πειραμάτων βαθμονόμησης αισθητήρων θερμοκρασίας AirSensis ..	62
Εικόνα 50: Βαθμονόμηση αισθητήρα υγρασίας AirSensis 24.....	63
Εικόνα 51: Βαθμονόμηση αισθητήρα θερμοκρασίας AirSensis 13	63
Εικόνα 52: Η ιστοσελίδα AirSensis.....	65
Εικόνα 53: Η ιστοσελίδα του Frost Defend project.....	66
Εικόνα 54: Η ιστοσελίδα του συστήματος AirSensis στην Μόσχα.....	66
Εικόνα 55: Η ιστοσελίδα των συστημάτων AirSensis στο συνέδριο IAC2022.....	67
Εικόνα 56: Η νέα ιστοσελίδα AirSensis για τις νέες εκδοχές AirSensis	67
Εικόνα 57: Γραφική αναπαράσταση PM 2,5 του AirSensis 24 (περίοδος: 9 -12 Οκτωβρίου 2023)...	68
Εικόνα 58: Τμήμα αρχείου excel με δεδομένα μετρήσεων PM 2,5.....	69
Εικόνα 59: Σχηματική αναπαράσταση μορφής πρωτοκόλλου JSON.....	70
Εικόνα 60: Τμήμα αρχείου καταγραφής περιόδου δειγματοληψίας του AirSensis 2.....	71
Εικόνα 61: Πρώιμη εκδοχή του συστήματος AirSensis στα χωράφια.....	72
Εικόνα 62: Ένα από τα πρώτα συστήματα AirSensis υπ' αριθμόν 2	72
Εικόνα 63: Μεταγενέστερη εκδοχή AirSensis στα χωράφια στην ευρύτερη περιοχή του Αιγίου	73
Εικόνα 64: Η πιο καινούργια εκδοχή AirSensis (καλοκαίρι 2023)	73
Εικόνα 65: Δορυφορική εικόνα που αποτυπώνει την έκταση του καπνού της πυρκαγιάς του Έβρου. 74	
Εικόνα 66:Μετρήσεις στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής (σταθμός έρευνας αερολυμάτων DEM) 74	
Εικόνα 67: Μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του Αιγίου (αγροτικά περιβάλλοντα).....	74
Εικόνα 68: Μετρήσεις στην περιοχή του Πειραιά (σταθμός μέτρησης ποιότητας αέρα ΥΠΕΚΑ).....	75
Εικόνα 69: Μετρήσεις στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής (σταθμός DEM)	75
Εικόνα 70: Μετρήσεις στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής (σταθμός DEM)	76
Εικόνα 71: Μετρήσεις στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής (σταθμός DEM)	76
Εικόνα 72: Μετρήσεις στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής (σταθμός DEM)	77
Εικόνα 73: Μετρήσεις στην περιοχή του Πειραιά (σταθμός ΥΠΕΚΑ).....	77
Εικόνα 74: Το σύστημα AirSensis στο Κρατικό Πανεπιστήμιο Μόσχας.....	78
Εικόνα 75: Οι μετρήσεις θερμοκρασίας τον μήνα Ιανουάριο σύμφωνα με το website AccuWeather. 78	
Εικόνα 76: Οι μετρήσεις θερμοκρασίας τον μήνα Ιανουάριο σύμφωνα με το σύστημα AirSensis	79
Εικόνα 77: Το γεωγραφικό στίγμα AirSensis στην Μόσχα.....	79
Εικόνα 78: Οι μετρήσεις PM 2,5 της περιόδου Ιανουάριος - Μάρτιος 2023 στο Κρατικό Πανεπιστήμιο Μόσχας.....	80
Εικόνα 79: Το σύστημα AirSensis 6 στην Τέμενη, νομός Αχαΐας	80
Εικόνα 80: Το σύστημα AirSensis 11 στα Βαλιμίτικα, νομός Αχαΐας	81
Εικόνα 81: Το σύστημα AirSensis 16 στην Κούνινα, νομός Αχαΐας.....	81
Εικόνα 82: Μετρήσεις PM 2,5 του AirSensis 16 στην Κούνινα, νομός Αχαΐας.....	82
Εικόνα 83: Μετρήσεις PM 2,5 του AirSensis 11 στα Βαλιμίτικα, νομός Αχαΐας	82
Εικόνα 84: Το σύστημα AirSensis 14 στην Γαλλία.....	83
Εικόνα 85: Η τοποθεσία του συστήματος AirSensis 14 στην Γαλλία	83
Εικόνα 86: Μετρήσεις PM 2,5 στην Γαλλία την περίοδο 30/09/2023 - 04/10/2023	84

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια οι τεχνολογίες συστημάτων με αισθητήρες χαμηλού κόστους έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. Οι διάφοροι παράγοντες μόλυνσης και φαινόμενα όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου εντείνουν την ανάγκη απόκτησης περισσότερων δεδομένων σχετικών με την ατμόσφαιρα.

Για την λήψη ατμοσφαιρικών δεδομένων υπάρχουν ήδη φορητοί και μη σταθμοί λήψης μετρήσεων. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των σταθερών σταθμών είναι η δυνατότητα τους να παρέχουν δεδομένα για μια μεγάλη γεωγραφικά περιοχή. Αυτό βοηθάει στην δημιουργία ασφαλών συμπερασμάτων για την γενική εικόνα της ποιότητας του αέρα της περιοχής. Ωστόσο, θα μπορούσαμε να πούμε πως αυτό είναι και το μειονέκτημα τους. Η αδυναμία ευελιξίας λήψης μετρήσεων για μια συγκεκριμένη περιοχή είναι και το μειονέκτημα το οποίο ξεπερνάει η χρήση φορητών συστημάτων μέτρησης. Ίσως, ο μόνος τρόπος που θα μπορούσε να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα των σταθερών σταθμών θα ήταν η τοποθέτηση φορητών συστημάτων που θα λειτουργούν σαν βοηθήματα των σταθερών συστημάτων μετρήσεων για μια πιο εξειδικευμένη εξαγωγή συμπερασμάτων.

Γενικά, τα φορητά συστήματα αισθητήρων συνιστούν βιώσιμες λύσεις και για λήψη μετρήσεων σε μια μεγάλη γεωγραφικά περιοχή όταν τοποθετηθούν κατά έναν τρόπο ώστε να σχηματιστεί ένα δίκτυο σταθμών μετρήσεων. Ένα δίκτυο σταθμών μετρήσεων απαιτεί το κάθε σύστημα - σταθμός να επικοινωνεί με μια κοινή βάση δεδομένων. Αυτό συμβαίνει διότι σε ένα δίκτυο με πολλά συστήματα απαιτείται ένα είδος ασύρματης επικοινωνίας των συστημάτων με το ίδιο κεντρικό σημείο λήψης του συνόλου των δεδομένων. Ως συνέπεια αυτού, τα σημεία τοποθέτησης των συστημάτων θα πρέπει να διαθέτουν ένα σημείο αυτόνομης ηλεκτρικής τροφοδοσίας (π.χ. επαναφορτιζόμενη μπαταρία με Φ/Β πάνελ) ή μη αυτόνομης ηλεκτρικής τροφοδοσίας (π.χ. δίκτυο της ΔΕΗ) και ένα σημείο παροχής επικοινωνίας όπως ένα δίκτυο WiFi ή ένα δίκτυο τηλεπικοινωνιών (π.χ. δίκτυο 2G, 4G κ.λπ.).

Το σύστημα υπό παρουσίαση ονομάζεται AirSensis και διαθέτει όλα τα παραπάνω απαραίτητα στοιχεία. Διαθέτει μια διαδικτυακή βάση δεδομένων, ένα αυτόνομο σύστημα ηλεκτρικής τροφοδοσίας και έναν κατάλληλο σχεδιασμό για αξιόπιστες ατμοσφαιρικές μετρήσεις. Λόγω των ιδιοτήτων του, αυτό το φορητό σύστημα έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί μετρήσεις τόσο σε αστικά όσο και σε φυσικά περιβάλλοντα. Είναι ένα σύστημα με αισθητήρες χαμηλού κόστους οι οποίοι είναι ελεγμένοι και βαθμονομημένοι στο εργαστήριο του Δημόκριτου. Το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος είναι η ευελιξία του και η δυνατότητα προσαρμογής του σε διάφορα περιβάλλοντα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα εξεταστούν τα συστήματα AirSensis που έχουν τοποθετηθεί σε αγροτικά περιβάλλοντα. Είναι σημαντικό για οποιοδήποτε σύστημα - σταθμό να ελέγχεται σε διαφορετικούς χώρους και περιβάλλοντα για να εξεταστεί η λειτουργία των εφαρμογών του και η γενική επίδοση του.

Στις θεωρητικές έννοιες της εργασίας θα γίνει μια εκτενέστερη εισαγωγή στα συστήματα αισθητήρων χαμηλού κόστους και στα χαρακτηριστικά τους, θα επεξηγηθούν οι γενικές αρχές λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των επαναφορτιζόμενων μπαταριών και θα αναλυθούν οι έννοιες της βαθμονόμησης και διακρίβωσης μετρήσεων από αισθητήρες.

Στα πρακτικά μέρη θα παρουσιαστεί το σύστημα και τα υποσυστήματα του, μεθοδολογίες βαθμονόμησης των αισθητήρων του και συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί από την επεξεργασία του συνόλου των μετρήσεων του.

Η ιστοσελίδα και η βάση δεδομένων των συστημάτων αναπτύχθηκε από την εταιρεία mSensis S.A. για αυτό και στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν θα γίνει καμία αναφορά ως προς τον τρόπο που αναπτύχθηκαν.

Κεφάλαιο 1

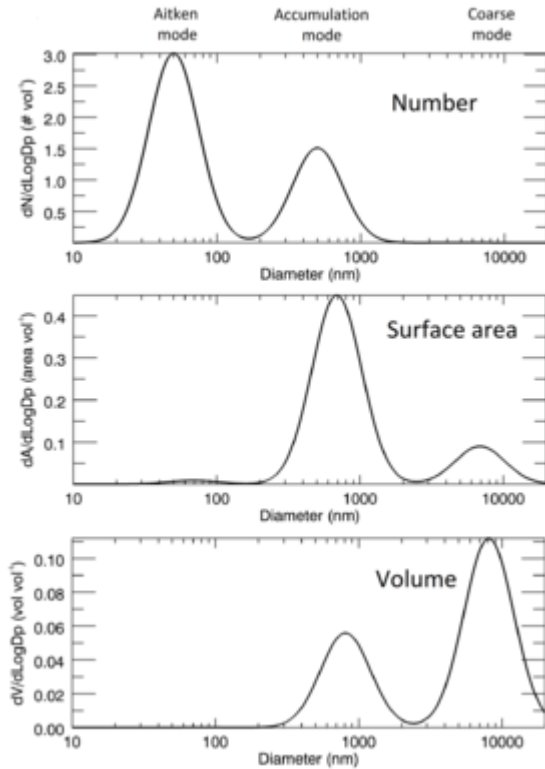
1.1. Αερολύματα

Η σύσταση της ατμόσφαιρας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος και στις διάφορες φυσικο-χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτήν. Έτσι, η επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος με πολυάριθμους ανθρωπογενείς ρύπους παίζει πλέον ενεργό ρόλο στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή (Παπαγιάννης, 2005).

Τα αερολύματα στην ατμόσφαιρα είτε προέρχονται από ανθρωπογενείς είτε από φυσικούς παράγοντες επηρεάζουν το κλίμα. Ένας τρόπος που τα ατμοσφαιρικά αερολύματα επηρεάζουν το κλίμα είναι άμεσα μέσω των διεργασιών της ανάκλασης και απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, στην τροπόσφαιρα και στη στρατόσφαιρα. Η ανάκλαση πραγματοποιείται μέσω της σκέδασης του φωτός. Με την σκέδαση του φωτός από τα αερολύματα μερική ηλιακή ακτινοβολία σκεδάζεται πίσω στο διάστημα. Τα αερολύματα έμμεσα επηρεάζουν τα νέφη στην τροπόσφαιρα, καθώς ο αριθμός των υδροσταγόνων ενός νέφους εξαρτάται, μέσω πολύπλοκων μηχανισμών, από τον αριθμό των πυρήνων συμπύκνωσης ο οποίος εξαρτάται από τη συγκέντρωση των αερολυμάτων.

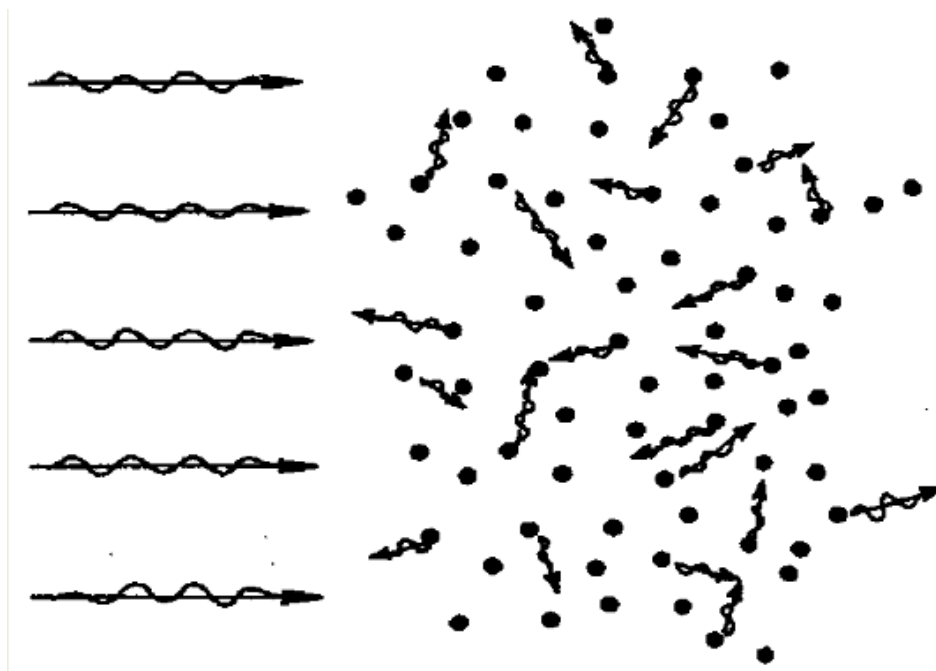
Τα αερολύματα εκτός του κλίματος επηρεάζουν θετικά ή αρνητικά και την ανθρώπινη υγεία. Υπάρχουν τα σκευαζόμενα αερολύματα, δηλαδή τα φαρμακευτικά αερολύματα που εισπνέονται από τον άνθρωπο και βοηθούν την αντιμετώπιση προβλημάτων υγείας. Υπάρχουν αερολύματα με επιβλαβή σωματίδια που εισέρχονται στην ροή του αίματος και μπλοκάρουν αγγεία προκαλώντας έτσι καρδιαγγειακές νόσους. Ένα αερόλυμα της καθημερινότητας με επιβλαβείς επιπτώσεις είναι η σκόνη από τα αυτοκίνητα που σε μεγάλη συγκέντρωση στον αέρα προκαλεί άμεσα δυσφορία και βήχα στον άνθρωπο. Το νέφος από τα τζάκια το χειμώνα περιέχει σωματίδια PM 2,5 (Particulate Matter - Σωματιδιακή Μάζα) τα οποία περιλαμβάνουν ποικίλα χημικά στοιχεία. Όταν προέρχονται από καύσεις μπορεί να περιέχουν πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες οι οποίοι υδρογονάνθρακες έχουν ενοχοποιηθεί για την ανάπτυξη διαφόρων τύπων καρκίνου στον άνθρωπο. Για αυτό και έχει κριθεί ιδιαίτερα απαραίτητη η μελέτη των φυσικοχημικών παραμέτρων των σωματιδίων PM 2,5 (2,5 μικρογραμμάρια ή 2.500 νανόμετρα).

Γενικά, τα αερολύματα είναι μικρά σωματίδια ή υγρά σταγονίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Η διάμετρος τους φτάνει από 1 νανόμετρο έως 10.000 νανόμετρα.



Εικόνα 1: Κατηγορίες (modes) συγκεντρώσεων σωματιδίων (researchgate)

(scattering) είναι η διασκόρπιση (εκτροπή) της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από σωματίδια αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα ή από μεγάλα μόρια των ατμοσφαιρικών αερίων. Με την σκέδαση αντανακλάται και διαχέεται το ηλιακό φως.



Εικόνα 2: Αναπαράσταση σκέδασης σωματιδίων (Ατομική Δομή)

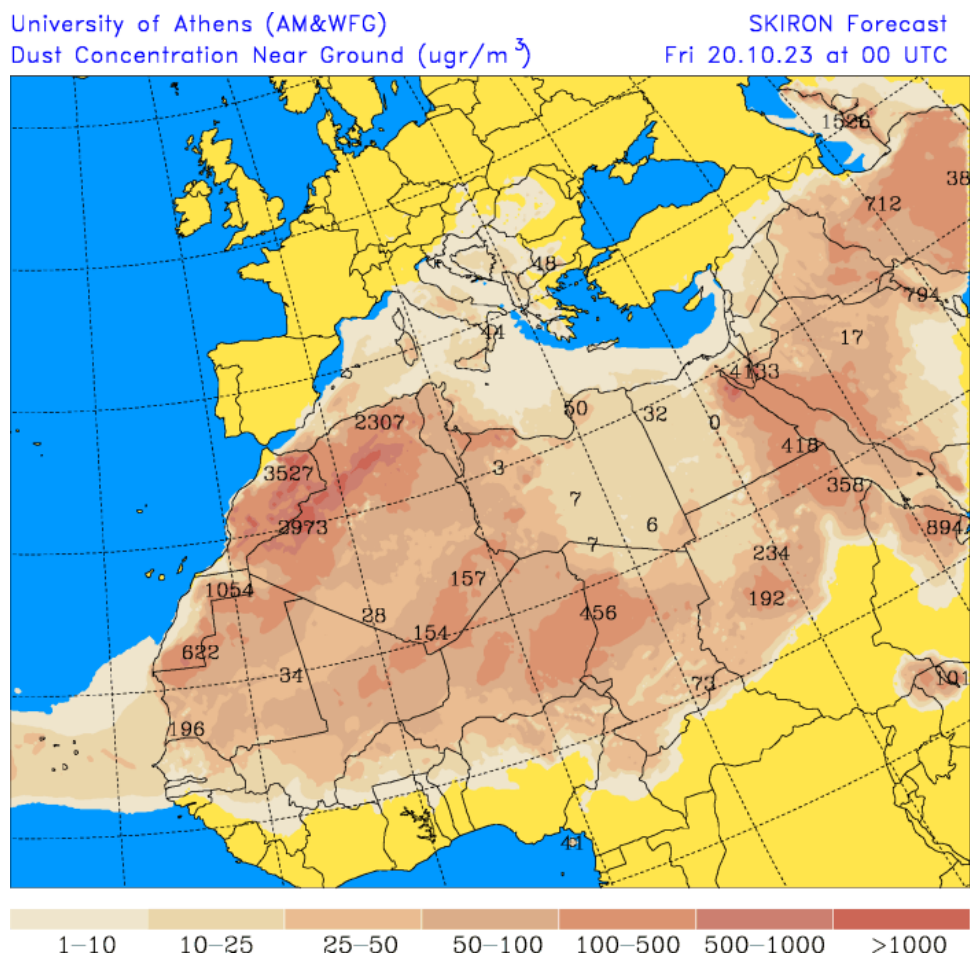
Στην εικόνα παρατηρούνται τρεις κατηγορίες (modes) που έχουν να κάνουν με την διάμετρο των σωματιδίων. Το Aitken mode αφορά τα σωματίδια 10 – 100 νανομέτρων (nm), το accumulation (συγκέντρωση) mode αφορά σωματίδια 100 – 1.000 νανομέτρων (nm) και το coarse mode αφορά σωματίδια από 1.000 έως 10.000 νανόμετρα (nm). Ο αριθμός των σωματιδίων στο Aitken και accumulation mode παρατηρείται υψηλός, ωστόσο ο όγκος τους είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με τα σωματίδια στο coarse mode. Στα ελληνικά τα σωματίδια στο Aitken και accumulation mode ονομάζονται λεπτόκοκκα σωματίδια και στο coarse mode ονομάζονται χονδρόκοκκα σωματίδια. Οι επιστήμονες για να μελετήσουν τις φυσικοχημικές παραμέτρους στα σωματίδια των αερολυμάτων υποθέτουν πως το σχήμα τους είναι σφαιρικό.

Τα σωματίδια μες τα αερολύματα σκεδάζουν το φως. Γενικά, σκέδαση

Είναι σημαντικό να μελετάται η σκέδαση του φωτός για την επίτευξη καλύτερης κατανόησης της συμπεριφοράς των σωματιδίων και άρα των αερολυμάτων.

Λόγω της μελέτης και της έρευνας των αερολυμάτων έχουν αναπτυχθεί μηχανήματα για να μετρήσουν όλα τα γνωστά φαινόμενα που προκύπτουν από τα αερολύματα και όλες τις γνωστές τους ιδιότητες. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει η τάση να παράγονται μοντέλα προβλέψεων μέσω αλγορίθμων εκμάθησης δηλαδή μέσω της τεχνητής νοημοσύνης.

Ένα πρόγραμμα το οποίο μελετάει τα αερολύματα είναι το πρόγραμμα SKYRON του Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (ΕΚΠΑ). Το πρόγραμμα SKYRON είναι ένα μοντέλο πρόβλεψης. Στην παρακάτω εικόνα παρατηρείται ένα μοντέλο πρόβλεψης κατανομής σωματιδιακής σκόνης ανά περιοχή στην Ευρώπη, την Μέση Ανατολή και την βόρεια Αφρική την ημέρα Παρασκευή 20 Οκτωβρίου 2023.



Εικόνα 3: Μετρήσεις σκόνης από το πρόγραμμα SKYRON του πανεπιστημίου ΕΚΠΑ (National and Kapodistrian University of Athens, n.d.)

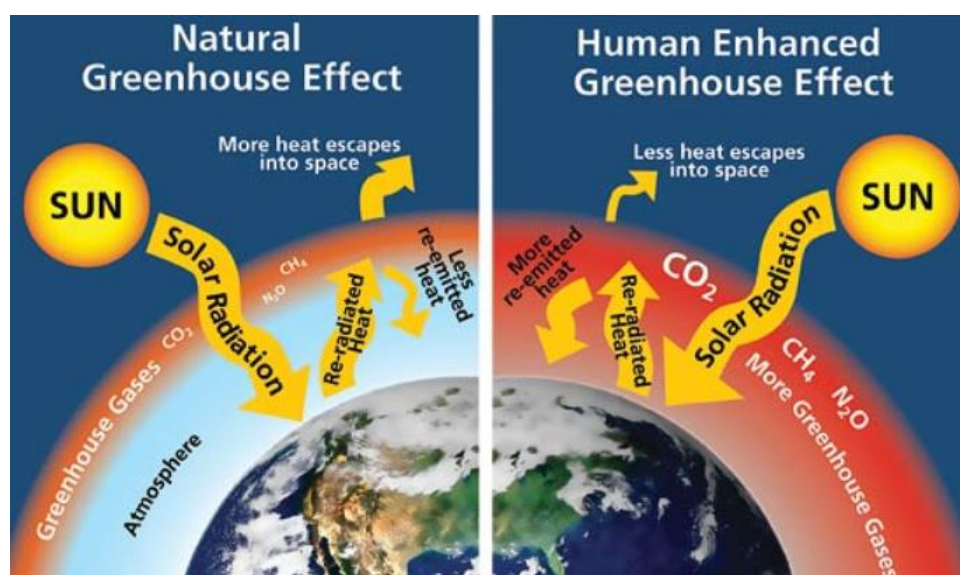
Σαφώς και παρατηρείται μια πρόβλεψη μεγαλύτερης συγκέντρωσης σκόνης στις περιοχές που βρίσκονται κοντά ή πάνω στην έρημο Σαχάρα. Το μοντέλο πρόβλεψης έχει προκύψει από έρευνες δεκαετιών, είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο και παρουσιάζει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον. Ακόμα και σήμερα συνεχίζει να αναπτύσσεται και να προσπαθεί να ενσωματώσει νέες τεχνολογίες όπως φαίνεται και στην ιστοσελίδα του προγράμματος στις ευκαιρίες εργασίας αλλά και στις πιο πρόσφατες δημοσιεύσεις του.

1.2. Αέριοι ρύποι

Εκτός των αερολυμάτων, η ατμόσφαιρα αποτελείται κυρίως από ξηρό αέρα και αέρια σταθερής και μεταβλητής περιεκτικότητας. Μεγάλες συγκεντρώσεις αερίων μπορούν να προκαλέσουν ανισορροπίες στην ατμόσφαιρα και έτσι να αποτελούν ρύπο. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις επιβλαβών για την ανθρώπινη υγεία αερίων στα αστικά περιβάλλοντα είναι εξορισμού ρυπογόνες.

Γενικότερα, αέριοι ρύποι ονομάζονται τα αέρια που έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Βασικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το διοξείδιο του θείου (SO₂), οξείδια του αζώτου (NO_x), το όζον (O₃) και οργανικές πτητικές ενώσεις (VOCs). Οι αέριοι ρύποι επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα του αέρα.

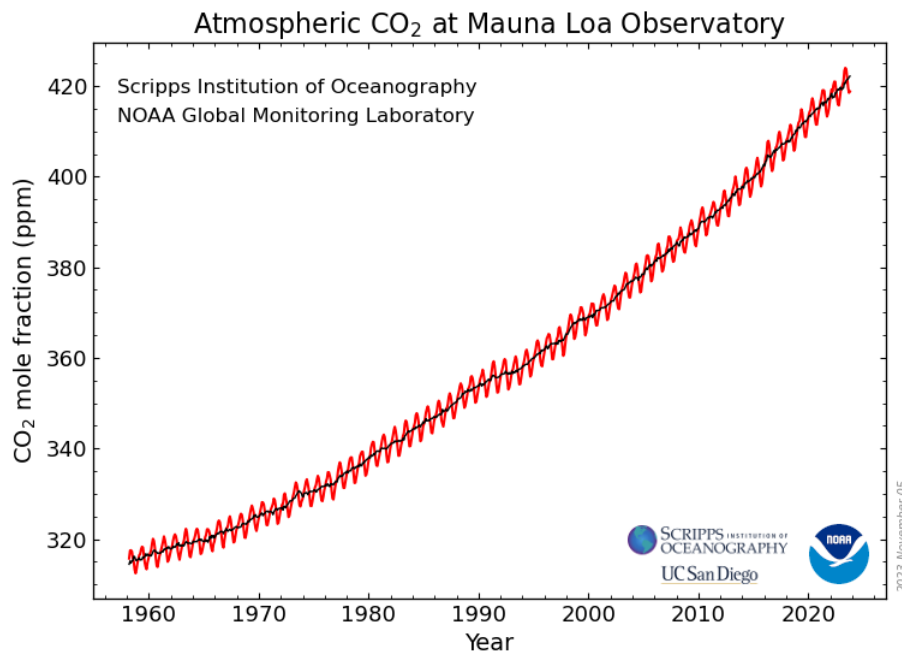
Μια μεγάλη συγκέντρωση αερίου διοξειδίου του άνθρακα σε ένα χώρο μπορεί να προκαλέσει ζάλη, δυσφορία και στρες λόγω της κακής οξυγόνωσης του σώματος. Επιπλέον, το όζον είναι ωφέλιμο στην στρατόσφαιρα, ωστόσο στο έδαφος προκαλεί ζημιά στα φυτά και αναπνευστικά προβλήματα.



Εικόνα 4: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Greenhouse Effect)

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως οι καύσεις ορυκτών καυσίμων ολοένα και αυξάνουν τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του αζώτου και μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Κατά αυτόν τον τρόπο, όλο και περισσότερα αέρια μαζεύονται στα ανώτερα επίπεδα της. Αυτή η σταδιακή αύξηση των συγκεκριμένων συγκεντρώσεων προκαλεί την θέρμανση της ατμόσφαιρας και άρα την σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Αυτό γίνεται διότι αέρια όπως τα προαναφερθέντα έχουν την δυνατότητα συγκράτησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά αυτόν τον τρόπο, η σκεδαζόμενη προς το διάστημα ηλιακή ακτινοβολία είναι λιγότερη σε σχέση με παλιότερα. Αυτό το φαινόμενο της παράλληλης σταδιακής αύξησης των συγκεκριμένων αερίων και της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα ονομάζεται φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το συγκεκριμένο φαινόμενο παρατηρήθηκε πολλές δεκαετίες πριν στο σταθμό παρακολούθησης Mauna Loa που βρίσκεται στην Χαβάη.



Εικόνα 5: Αύξηση θερμοκρασίας και συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα 1950 - 2020 (Mauna Loa Baseline Observatory, n.d.)

Με την αρχή συλλογής μετρήσεων από τον Ντέιβιντ Κίλινγκ το 1958 και από τον συγκεκριμένο σταθμό το 1978 παρατηρήθηκε μια παρόμοια τάση στις μετρήσεις. Κατά αυτόν τον τρόπο, αποκτήθηκε μια σαφής εικόνα για το παρατηρηθέν φαινόμενο που δεν έχει σταματήσει να μελετάται και δεν θα σταματήσει να μελετάται στις επόμενες δεκαετίες.

Είναι σαφές από την εικόνα το πόσο μεγάλη αύξηση ανά τα χρόνια προκύπτει στις συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα και στην θερμοκρασία.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, πως αέρια που βρίσκονται σε αφθονία στην ατμόσφαιρα όταν βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις αποτελούν ρύπο και επηρεάζουν αρνητικά το κλίμα.

1.3. Η ποιότητα του αέρα

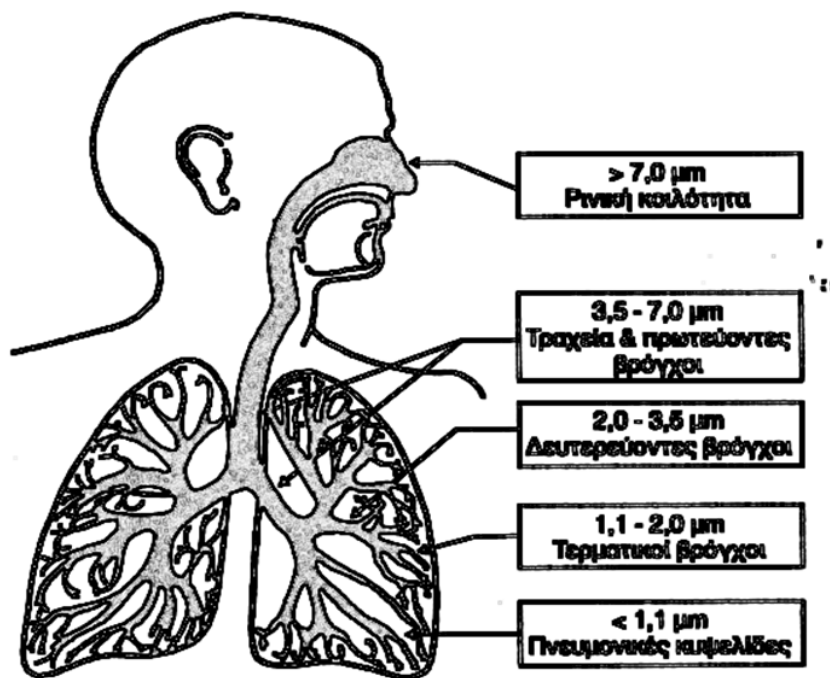
Όταν αναφερόμαστε στην ποιότητα του αέρα αναφερόμαστε στην κατάσταση του αέρα που αναπνέουμε η οποία επηρεάζει την υγεία μας και γενικότερα το περιβάλλον. Η παρουσία διάφορων ατμοσφαιρικών ρύπων και επιβλαβών ουσιών που μπορεί να προέρχονται από βιολογικές, χημικές ή φυσικές πηγές είναι βασικοί παράγοντες επηρεασμού της ποιότητας του.

Οι αισθητήρες αέρα παίζουν σημαντικό ρόλο στην παρακολούθηση και την μέτρηση της ποιότητας του αέρα. Αυτοί οι αισθητήρες ανιχνεύουν και μετρούν τη συγκέντρωση

ρύπων στον αέρα, όπως τα σωματίδια (Particulate Matter), τα αέρια ρύπανσης (όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του αζώτου, τα οξείδια του θείου κ.λπ.) και άλλες επιβλαβείς ουσίες.

Η σημασία της μελέτης της ποιότητας του αέρα της ατμόσφαιρας είναι προαπαιτούμενη για τον προσδιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε ένα περιβάλλον (π.χ. σε μια πόλη). Για να προσδιοριστεί η ποιότητα του αέρα σε ένα ανοιχτό ή κλειστό χώρο χρησιμοποιείται ο δείκτης μέτρησης ποιότητας του αέρα.

Ανάλογα με τον χώρο που προσδιορίζεται η ποιότητα του αέρα προσδιορίζονται και οι ανάγκες παρακολούθησης των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Σε έναν χώρο εργοστασίου που γίνονται συγκολλήσεις και κοπές μετάλλων μπορούν να συσσωρευτούν τοξικά αέρια. Η χρόνια έκθεση ενός ανθρώπου σε κακής ποιότητας αέρα αυξάνει το κίνδυνο εμφάνισης αναπνευστικών και καρδιαγγειακών νόσων. Αυτό συμβαίνει διότι όσο αυξάνονται οι συγκεντρώσεις ρύπων τόσο αυξάνεται και η πιθανότητα εισροής των επιβλαβών ουσιών στον άνθρωπο.



Διείσδυση σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα.

Εικόνα 6: Η ανθρώπινη εισπνοή και οι ουσίες της

Κατά την εισπνοή ο αέρας εισέρχεται στο ανθρώπινο σώμα και μεταφέρει ζωτικά για την επιβίωση αέρια. Ο αέρας περνάει πρώτα από τον φάρυγγα και έπειτα στην τραχεία, από την τραχεία καταλήγει στα πνευμόνια τα οποία πνευμόνια έχουν εκατομμύρια κύστες, τα αλβεόλια, στα οποία πραγματοποιείται η μεταφορά των αερίων στην ροή του αίματος.

Με την εισπνοή εισέρχονται εκτός των ζωτικών αερίων και επιβλαβή αέρια και σωματίδια. Σωματίδια με διάμετρο μάζας 10 μικρογραμμάρων μένουν στην τραχεία και όταν βρίσκονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλούν βήχα. Μη επιβλαβή και επιβλαβή σωματίδια με διάμετρο μάζας 2,5 μικρογραμμάρων μπορούν να περάσουν στην ροή του αίματος. Αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλούν ζάλη

και δυσφορία επειδή εμποδίζουν την καλή οξυγόνωση του σώματος λόγω της ανισορροπίας στις συγκεντρώσεις του αέρα. Επιπλέον, η συγκέντρωση αέριου διοξειδίου του θείου ερεθίζει το βλεννογόνο των πνευμόνων και δυσχεραίνει άμεσα νόσους όπως το άσθμα.

Με βάση τα παραπάνω, ανάλογα με τον χώρο και την παρουσία αυτών των βασικών ρύπων στην ατμόσφαιρα προσδιορίζεται η ποιότητα του αέρα και κανονισμοί και συστάσεις σχετικά με την εργασία και το δημόσιο συμφέρον αναπτύσσονται και δημιουργούνται.

Ο δείκτης ποιότητας του αέρα μιας πόλης ονομάζεται ο δείκτης που προσδιορίζει το πόσο μολυσμένος είναι ο αέρας στην πόλη. Με βάση τα ευρωπαϊκά δεδομένα ο δείκτης ποιότητας του αέρα υπολογίζεται με βάση τις μετρήσεις πέντε βασικών ρύπων. Οι ρύποι αυτοί είναι τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2,5} και PM₁₀), το τροποσφαιρικό όζον (O₃), το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και το διοξείδιο του θείου (SO₂).

Pollutant	Index level (based on pollutant concentrations in µg/m ³)					
	Good	Fair	Moderate	Poor	Very poor	Extremely poor
Particles less than 2.5 µm (PM _{2.5})	0-10	10-20	20-25	25-50	50-75	75-800
Particles less than 10 µm (PM ₁₀)	0-20	20-40	40-50	50-100	100-150	150-1200
Nitrogen dioxide (NO ₂)	0-40	40-90	90-120	120-230	230-340	340-1000
Ozone (O ₃)	0-50	50-100	100-130	130-240	240-380	380-800
Sulphur dioxide (SO ₂)	0-100	100-200	200-350	350-500	500-750	750-1250

Εικόνα 7: Ευρωπαϊκοί δείκτες μετρήσεων ατμοσφαιρικών ρύπων (European Environmental Agency, n.d.)

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούνται οι αποδεκτές και μη αποδεκτές τιμές για τους προαναφερόμενους βασικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους. Στην πρώτη στήλη παρουσιάζονται οι καλύτερες τιμές και στην τελευταία οι χειρότερες τιμές για την ποιότητα του αέρα. Με βάση

αυτές τις τιμές προκύπτει ο δείκτης ποιότητας του αέρα. Ωστόσο και με λιγότερες παραμέτρους μπορεί να προκύψει ο συγκεκριμένος δείκτης.

Οι παραπάνω τιμές προέρχονται από την νέα υπηρεσία που λέγεται “ ευρωπαϊκός δείκτης ποιότητας του αέρα”. Η υπηρεσία δημιουργήθηκε από τον ΕΟΠ και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Η Ε.Ε. διαθέτει δύο χιλιάδες σταθμούς παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα. Από αυτούς τους σταθμούς προκύπτουν και οι ευρωπαϊκοί δείκτες. Σκοπός της υπηρεσίας είναι η ενημέρωση του κοινού και των κυβερνήσεων για την ποιότητα του αέρα. Είναι σημαντικό να υπάρχουν δείκτες ποιότητας του αέρα σε όλες τις ευρωπαϊκές πόλεις, καθώς σύμφωνα με στοιχεία της Ε.Ε. 40 χιλιάδες θάνατοι στην Ε.Ε. προέρχονταν από την ατμοσφαιρική ρύπανση το έτος 2014. Συνεπώς, ο ευρωπαίος πολίτης με αυτήν την υπηρεσία μπορεί να ενημερώνεται πότε είναι ασφαλές να χρησιμοποιεί μέσα προστασίας όπως η μάσκα όταν βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο και πότε είναι ωφέλιμο να απαιτεί από την κυβέρνηση του την λήψη μέτρων βελτίωσης της ποιότητας του αέρα στην πόλη όπου διαμένει.

1.4. Αισθητήρες χαμηλού κόστους

Οι αισθητήρες χαμηλού κόστους χαρακτηρίζονται από το μικρό τους μέγεθος και την δυνατότητα τους να παρέχουν άμεσα μετρήσεις. Είναι οικονομικά προσιτοί και ευρέως διαθέσιμοι στην αγορά. Χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές όπως ο τομέας του Internet of Things (IoT) , στην επιστημονική έρευνα και σε μεγάλες βιομηχανίες όπως είναι αυτή της αυτοκινητοβιομηχανίας.

Κύριο πλεονέκτημα των αισθητήρων χαμηλού κόστους είναι η προσιτή τιμή τους. Επιπλέον, το μικρό μέγεθος τους τους παρέχει ευελιξία και παρά την απλή τους λειτουργία και σχεδιασμό είναι ιδανικοί για την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων και απλών διαδικασιών. Για παράδειγμα μια διαδικασία που αφορά τα αυτοκίνητα είναι η παρακολούθηση της ταχύτητας περιστροφής των τροχών κατά την πέδηση. Είναι ευρέως γνωστό πως άμα δεν χρησιμοποιούταν ο αισθητήρας ABS (Anti-lock Braking System) στα αυτοκίνητα τότε δεν θα υπήρχε ανίχνευση της ταχύτητας περιστροφής των τροχών και θα ήταν έντονος και υπαρκτός ο κίνδυνος απώλειας ελέγχου του αυτοκινήτου λόγω της μη αυτόματης ρύθμισης του συστήματος των φρένων του.

Βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης κατηγορίας αισθητήρων αποτελεί η ευκολία στην εγκατάσταση, ρύθμιση και τελικά στην ενσωμάτωση τους σε διαφορετικά είδη συστημάτων. Λόγω της σχετικά απλής τους τεχνολογίας διαθέτουν σπάντα πρωτόκολλα επικοινωνίας και διεπαφές.

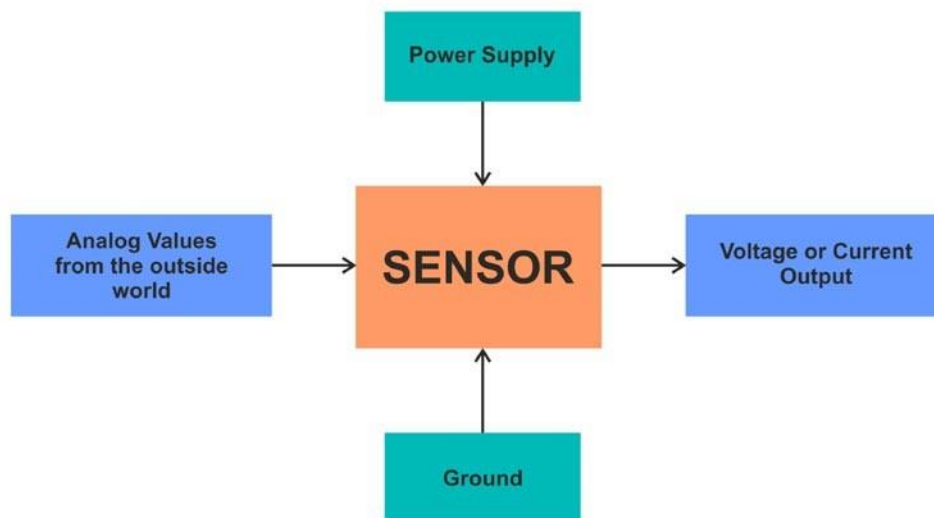
Οι αισθητήρες χαμηλού κόστους είναι ευρέως διαθέσιμοι και μέχρι στιγμής δεν έχει παρατηρηθεί έλλειψη αισθητήρων στην αγορά λόγω της αναγκαστικής χρήσης και ενσωμάτωσης τους σχεδόν σε όλες τις τεχνολογικές εφαρμογές της καθημερινότητας. Λόγω αυτής της ανάγκης και της συνεχούς τεχνολογικής προόδου χρόνο με τον χρόνο παρέχουν πιο αξιόπιστες μετρήσεις και λειτουργούν αποδοτικότερα. Η χρήση αλγορίθμων για την διακρίβωση και επεξεργασία των μετρήσεων τους μειώνει τα σφάλματα που μπορεί να προκύπτουν σε σημείο που σε κάποιους αισθητήρες αυτά τα σφάλματα μπορούμε να πούμε

πως έχουν εξαλειφθεί. Η συνεχής εφαρμογή βελτιώσεων δεν αναμένεται να σταματήσει μέσα στα επόμενα χρόνια.

1.4.1 Αρχές λειτουργίας αισθητήρων χαμηλού κόστους

Η λειτουργία των αισθητήρων χαμηλού κόστους μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την εφαρμογή και τον τύπο του αισθητήρα (π.χ. αναλογικός αισθητήρας θερμοκρασίας, ψηφιακός αισθητήρας θερμοκρασίας κ.ά.). Ωστόσο έχουν ως κοινή συνισταμένη το γεγονός ότι ο βασικός σκοπός τους είναι να ανιχνεύουν και να μετρούν διάφορες φυσικές παραμέτρους.

Παρακάτω παρατηρούμε μια εικόνα που περιγράφει συνοπτικά την αρχή λειτουργίας ενός αναλογικού αισθητήρα. Το “Power Supply” είναι η τάση εισόδου, το “Ground” η γείωση του, το “Voltage or Current Output” η απόκριση - έξοδος του και το “Analog Values from the outside world” τα ερεθίσματα που λαμβάνει από το εξωτερικό κόσμο για την είσοδο του.



Εικόνα 8: Γενική γραφική αναπαράσταση λειτουργίας αναλογικού αισθητήρα

Με λίγα λόγια, ο παραπάνω αναλογικός αισθητήρας αντιδρά με το περιβάλλον που βρίσκεται και παράγει μια έξοδο.

Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η παραπάνω αρχή λειτουργίας θα μπορούσε κανείς να πάρει ως παράδειγμα έναν αναλογικό αισθητήρα χαμηλού κόστους του εμπορίου.

Ένας από αυτούς είναι ο αναλογικός αισθητήρας θερμοκρασίας LTM86 της εταιρείας Texas Instruments (TI) .

Ο αναλογικός αισθητήρας LTM86 είναι ένας αισθητήρας θερμοκρασίας που λειτουργεί με βάση την αρχή της μεταβολής της ηλεκτρικής αντίστασης με την αλλαγή της

θερμοκρασίας. Είναι γνωστός και ως θερμοαντίσταση (thermoresistor) ή αντίσταση θερμοκρασίας (temperature-dependent resistor).

Ο αναλογικός αισθητήρας LTM86 χρησιμοποιεί ένα υλικό με αντίσταση που μεταβάλλεται ανάλογα την θερμοκρασία χώρου. Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, η αντίσταση του υλικού αυξάνεται επίσης, και όταν η θερμοκρασία μειώνεται, η αντίσταση μειώνεται. Αυτή η αλλαγή στην αντίσταση παρέχει ένα αναλογικό ηλεκτρικό σήμα που αντιπροσωπεύει την τιμή της θερμοκρασίας του χώρου που βρίσκεται ο αισθητήρας.

Για να ληφθεί η παραπάνω τιμή σε μια “κατανοητή” μορφή από έναν μικροελεγκτή ή μικροεπεξεργαστή, το αναλογικό σήμα εξόδου του αισθητήρα μετατρέπεται σε ψηφιακό από τον αναλογικό μετατροπέα (analog-to-digital converter) ή τον αναλογικό ενισχυτή (analog amplifier) που είναι διασυνδεδεμένος μαζί του. Όπως και οι περισσότεροι αναλογικοί αισθητήρες ο αισθητήρας LTM86 διαθέτει σχετικά γρήγορη ανταπόκριση στις αλλαγές του περιβάλλοντος αλλά επηρεάζεται η ακρίβεια του πιο εύκολα από παράγοντες όπως η αντίσταση των καλωδίων σύνδεσης και οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις του ηλεκτρικού κυκλώματος που μπορεί να βρίσκεται ενσωματωμένος.

1.4.2. Χαρακτηριστικά αισθητήρων χαμηλού κόστους

Οι αισθητήρες χαρακτηρίζονται ανάλογα με τις τιμές ορισμένων σημαντικών παραμέτρων του.

Ένας βαθμονομημένος ψηφιακός αισθητήρας σχετικής υγρασίας συνήθως έχει ως χαρακτηριστικά του τα παρακάτω :

- Συνάρτηση μεταφοράς (Transfer Function) : Δηλαδή το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των σημάτων εισόδων του.
- Εύρος μέτρησης υγρασίας: Ένας αισθητήρας υγρασίας συνήθως μπορεί να λάβει τιμές εύρους από 0% έως 100% .
- Ακρίβεια μέτρησης: Την κατά μέσο όρο απόκλιση της ληφθείσας τιμής του αισθητήρα από το περιβάλλον σε σχέση με την πραγματική τιμή του περιβάλλοντος (π.χ. $\pm 2\%$) .
- Κατανάλωση ενέργειας : Την τάση εισόδου τροφοδοσίας του αισθητήρα (π.χ. 3.3 Volts) .
- Πρωτόκολλο επικοινωνίας: Δηλαδή το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων από τον αισθητήρα σε έναν μικροελεγκτή (π.χ. στον μικροελεγκτή ATmega328P) .
- Υστέρηση: Η φθορά που μπορεί να παρουσιάσει το υλικό του αισθητήρα με τα χρόνια και η επακόλουθη μείωση της αξιοπιστίας της ακρίβειας των μετρήσεων του.
- Σημείο κορεσμού: Υπάρχει ένα σημείο όπου η έξοδος του αισθητήρα δεν ανταποκρίνεται όπως απαιτείται σε μια σειρά ερεθισμάτων εισόδου, και αυτό το συγκεκριμένο σημείο ονομάζεται σημείο κορεσμού ή σημείο ορίου.
- Ζώνη αδράνειας: Είναι μια περιοχή όπου η ευαισθησία ενός αισθητήρα δεν έχει καμία επίδραση. Σε αυτές τις συνθήκες η έξοδος μπορεί και να παραμείνει σχεδόν μηδέν σε ολόκληρη τη ζώνη αδράνειας χωρίς να παρατηρείται καμία αλλαγή στην τιμή της μέτρησης.

- **Αξιοπιστία:** Είναι η ικανότητά του αισθητήρα να λειτουργεί σωστά και απρόσκοπτα υπό οποιοσδήποτε συνθήκες για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Η αξιοπιστία μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας στατιστικά μεγέθη όπως για παράδειγμα η πιθανότητα να λειτουργήσει συνεχώς και σωστά εντός ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος ο αισθητήρας υπό εξέταση.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τα παραπάνω χαρακτηριστικά ενός οποιοδήποτε αισθητήρα αρκεί να ρίξουμε μια ματιά στο φύλλο δεδομένων του. Όλοι οι αισθητήρες του εμπορίου οφείλουν να έχουν ένα φύλλο δεδομένων που να περιγράφει την λειτουργία, τα χαρακτηριστικά τους και τις εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθούν. Σε ένα επεξηγηματικό φύλλο δεδομένων μπορεί να περιέχονται και οι οδηγίες χρήσης και εγκατάστασης τους με παραδείγματα. Γενικώς, οι ενότητες και το πόσο επεξηγηματικό και λεπτομερές είναι ένα φύλλο δεδομένων εξαρτάται από τον κατασκευαστή.

1.4.3. Διακρίβωση των μετρήσεων αισθητήρων χαμηλού κόστους

Για να μπορέσουν να επεξεργαστούν οι μετρήσεις ενός αισθητήρα ή ενός συστήματος αισθητήρων είναι απαραίτητο ο κάθε αισθητήρας να βαθμονομηθεί.

Η βαθμονόμηση ενός συστήματος προκύπτει ως φυσικό επακόλουθο της αναγκαιότητας διακρίβωσης των τιμών των μετρήσεων. Άμα οι τιμές των μετρήσεων έχουν σημασία σε ένα σύστημα, τότε αναπόφευκτα το σύστημα οφείλει να βαθμονομηθεί για την διακρίβωση των μετρήσεων του. Η σημασία της βαθμονόμησης των τιμών είναι μεγάλη για την διακρίβωση τους. Τι είναι όμως η βαθμονόμηση και πως πραγματοποιείται σε ένα σύστημα αισθητήρων;

Βαθμονόμηση είναι η διαδικασία σύγκρισης της ιδανικής τιμής με την πραγματική τιμή (την ληφθείσα τιμή) .

Όταν γίνεται προσπάθεια βαθμονόμησης ενός συστήματος προσδιορίζονται οι αποκλίσεις ίδιων τιμών. Οι αποκλίσεις χαρακτηρίζονται ως σφάλματα. Σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ένα σύστημα μπορεί να λειτουργεί ιδανικά με μικρές αποκλίσεις στις τιμές του. Μπορεί δηλαδή να μην απαιτείται η συνεχής βαθμονόμηση του. Ωστόσο, πρέπει να γίνει σαφής προσδιορισμός στις αποκλίσεις που είναι αποδεκτές και οφείλει παρά όλη την καλή λειτουργία του να διαθέτει ένα μηχανισμό βαθμονόμησης. Αυτή η ανάγκη προκύπτει από την ίδια αρχή λειτουργίας ενός συστήματος αισθητήρων.

Η βαθμονόμηση ενός αισθητήρα εξαρτάται από τον τύπο του και το είδος της μέτρησης που παρέχει. Υπάρχουν διάφορες διαδικασίες βαθμονόμησης που ακολουθούνται στους αισθητήρες χαμηλού κόστους. Το πιο σημαντικό στην διαδικασία βαθμονόμησης ενός αισθητήρα είναι η διαμόρφωση των σωστών συνθηκών βαθμονόμησης.

Ο αισθητήρας πρέπει να είναι σωστά συνδεδεμένος στο σύστημα μέτρησης και πρέπει να έχει υπάρξει ένας έλεγχος για τυχόν παρεμβολές ή θόρυβο που μπορεί να επηρεάσουν τις μετρήσεις του κατά την διάρκεια της διαδικασίας.

Πολλοί αισθητήρες απαιτούν τη βαθμονόμηση της μηδενικής τιμής, που αντιστοιχεί στις μετρήσεις του αισθητήρα όταν υπάρχει απουσία του φυσικού μεγέθους που μετρά. Αυτό μπορεί να γίνει με την αναγνώριση και τη ρύθμιση του μηδενικού επιπέδου του αισθητήρα.

Σαφώς, για να αναγνωριστεί και να ρυθμιστεί αυτό το επίπεδο πρέπει να εκτελεστεί ένα πείραμα που έχει ακριβώς αυτό το σκοπό. Για παράδειγμα, άμα θέλουμε να προσδιορίσουμε το σημείο μηδέν σε έναν αισθητήρα υγρασίας μπορούμε να τον βάλουμε σε έναν κλειστό χώρο ο οποίος διαθέτει ένα σύστημα συνεχούς παροχής αερίου που ξηραίνει τον αέρα και τελικά “εξαφανίζει” την υγρασία του συγκεκριμένου χώρου.

Υπάρχουν αισθητήρες που η ακρίβεια τους μπορεί να εξαρτάται από την κλίση ή τη γωνία τοποθέτησής τους. Συνεπώς, μπορεί να απαιτείται η βαθμονόμηση της κλίσης τους για να διορθωθούν οι αναγνώσεις τους ανάλογα με τη γωνία τοποθέτησης.

Ένα παράδειγμα αισθητήρα που μπορεί να επηρεαστεί από την κλίση τοποθέτησης του είναι ένας αισθητήρας επιτάχυνσης (accelerometer). Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της επιτάχυνσης ενός αντικειμένου και τοποθετείται με κλίση σε ένα σύστημα, όπως ένα αυτοκίνητο ή ένα κινητό τηλέφωνο.

Η κλίση του αισθητήρα επηρεάζει τις μετρήσεις του επιταχυνσιομέτρου, καθώς η γραμμή βάσης του αλλάζει. Όταν ο αισθητήρας τοποθετείται με κλίση, μετρά την επιτάχυνση που αντιστοιχεί στην επιτάχυνση της βαρύτητας σε συνδυασμό με την επιτάχυνση που προκαλείται από την κλίση του συστήματος.

Για παράδειγμα, σε ένα αυτοκίνητο, ο αισθητήρας επιτάχυνσης μπορεί να τοποθετηθεί με κλίση έτσι ώστε να αντιλαμβάνεται την κλίση του οχήματος. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση κατακλίσεων, καμπυλών ή αλλαγών στην πορεία του αυτοκινήτου.

Γενικότερα, ανάλογα με τις παραμέτρους του κάθε συστήματος απαιτείται και διαφορετικό είδος βαθμονόμησης. Επιγραμματικά, οι βασικότερες και συχνότερες διαδικασίες βαθμονόμησης θα μπορούσαμε να πούμε πως είναι η βαθμονόμηση του εύρους των μετρήσεων του αισθητήρα, η βαθμονόμηση της μηδενικής τιμής (που αναφέρθηκε και παραπάνω), η βαθμονόμηση με αναφορά προτύπου (η σύγκριση των μετρήσεων του προς βαθμονόμηση αισθητήρα με έναν ίδιο πιστοποιημένο αισθητήρα) και η βαθμονόμηση με χρήση γνωστών μαθηματικών μοντέλων που βασίζονται σε γνωστές σχέσεις μεταξύ των μετρήσεων και των παραμέτρων που επηρεάζουν τον αισθητήρα, όπως η θερμοκρασία ή η υγρασία.

Σκοπός της βαθμονόμησης στο σύστημα AirSensis είναι η εύρεση ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο μπορεί να χρησιμοποιείται είτε από το ίδιο το σύστημα είτε από το σύνολο των συστημάτων για την αυτόματη βαθμονόμηση των τιμών τους. Όπως και θα παρουσιαστεί στο πρακτικό μέρος της εργασίας η βαθμονόμηση των αισθητήρων του συστήματος AirSensis έγινε με την χρήση αναφορικών προτύπων.

Με την εκτέλεση των πειραμάτων και την ολοκλήρωση των διαδικασιών βαθμονόμησης (στον κάθε αισθητήρα) προέκυψε και μια μαθηματική σχέση αυτοβαθμονόμησης του συνολικού συστήματος.

1.4.4. Αισθητήρες ποιότητας αέρα χαμηλού κόστους

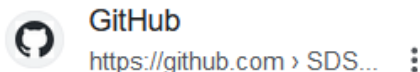
Τα τελευταία χρόνια με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την δημιουργία στάνταρ σχετικά με την ποιότητα του αέρα άρχισαν να γίνονται περισσότερο προσβάσιμοι στο ευρύ κοινό οι αισθητήρες ποιότητας του αέρα χαμηλού κόστους. Παλαιότερα, η μέτρηση ποιότητας του αέρα πραγματοποιούνταν αποκλειστικά και μόνο από σταθμούς παρακολούθησης ποιότητας του αέρα. Με την διάθεση ελεύθερου λογισμικού από τις εταιρείες και την μείωση του κόστους αγοράς αισθητήρων δόθηκε μια ώθηση στην κατασκευή δικτύων με αισθητήρες ποιότητας του αέρα στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.

Οι αισθητήρες ποιότητας του αέρα ανάλογα με τον τύπο τους μετράνε ξεχωριστά ή και ταυτόχρονα

1. Σωματίδια PM2.5 και PM10
2. Οξείδιο του αζώτου (NO₂)
3. Οξείδιο του θείου (SO₂)
4. Οξείδιο του άνθρακα (CO)
5. Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
6. Υγρασία
7. Θερμοκρασία

Η κάθε μέτρηση έχει σημασία για τον προσδιορισμό της ποιότητας του αέρα και του δείκτη άνεσης του ανθρώπου σε έναν χώρο. Για παράδειγμα, όταν υπάρχει μεγάλη υγρασία σε έναν χώρο οι άνθρωποι εντός του χώρου παρουσιάζουν συχνά δυσφορία και δυσκολία στην αναπνοή.

Διαδικτυακές πλατφόρμες όπως το Github και το Arduino διαθέτουν ελεύθερα αποθετήρια κώδικα για να χρησιμοποιηθούν από τον οποιοδήποτε χρήστη τους.



Arduino library for SDS011 dust sensor

SDS011. Arduino library for dust Sensor **SDS011** (Nova Fitness Co.,Ltd)

Εικόνα 9: Διαθέσιμη βιβλιοθήκη κωδικά του αισθητήρα χαμηλού κόστους SDS011 στο (Github, n.d.)



Εικόνα 10: Διαθέσιμη βιβλιοθήκη κώδικα του αισθητήρα χαμηλού κόστους SDS011 στο (Arduino)

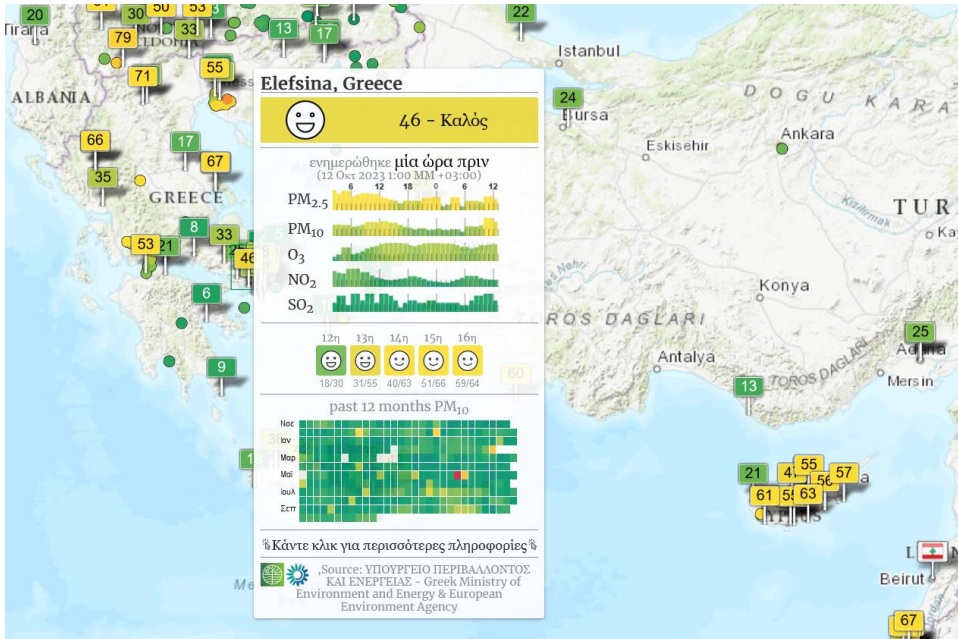
Οι κατασκευαστές του αισθητήρα ποιότητας του αέρα SDS011 διαθέτουν ελεύθερα τον κώδικα προγραμματισμού του στις παραπάνω πλατφόρμες. Ο προγραμματισμός του είναι απλός. Εντός της βιβλιοθήκης υπάρχουν οδηγίες και παραδείγματα για τον έλεγχο λειτουργίας του προϊόντος που πουλιέται. Ο αγοραστής του αισθητήρα μπορεί να συνδέσει τον αισθητήρα με οποιοδήποτε μικροελεγκτή υποστηρίζει το πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας (serial communication). Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να κατεβάσει ένα

πρόγραμμα λειτουργίας του αισθητήρα στον υπολογιστή του. Έτσι, μπορεί να συνδέσει τον αισθητήρα με ένα USB (USB σε TTL) και να θέσει σε λειτουργία τον αισθητήρα χωρίς να προγραμματίσει κανένα μικροελεγκτή. Το USB που θα συνδέσει στον υπολογιστή του συνδέει την διεπιφάνεια TTL του μικροελεγκτή του αισθητήρα με το πρόγραμμα στον υπολογιστή (TTL - Transistor Transistor Logic, δηλαδή σειριακή επικοινωνία που συναντάται σε πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως το UART – Universally Asynchronous Receiver Transmitter).

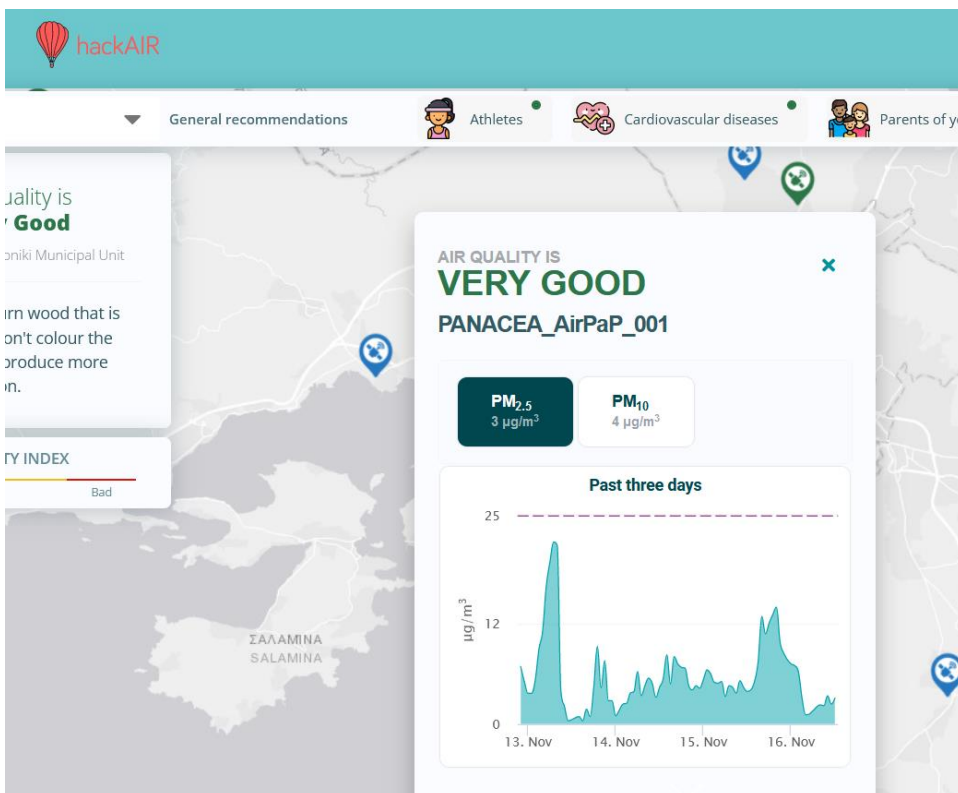


Εικόνα 11: Ο αισθητήρας Nova PM sensor SDS011 και το USB σε TTL εξάρτημά του (Nova PM Sensor Image, n.d.)

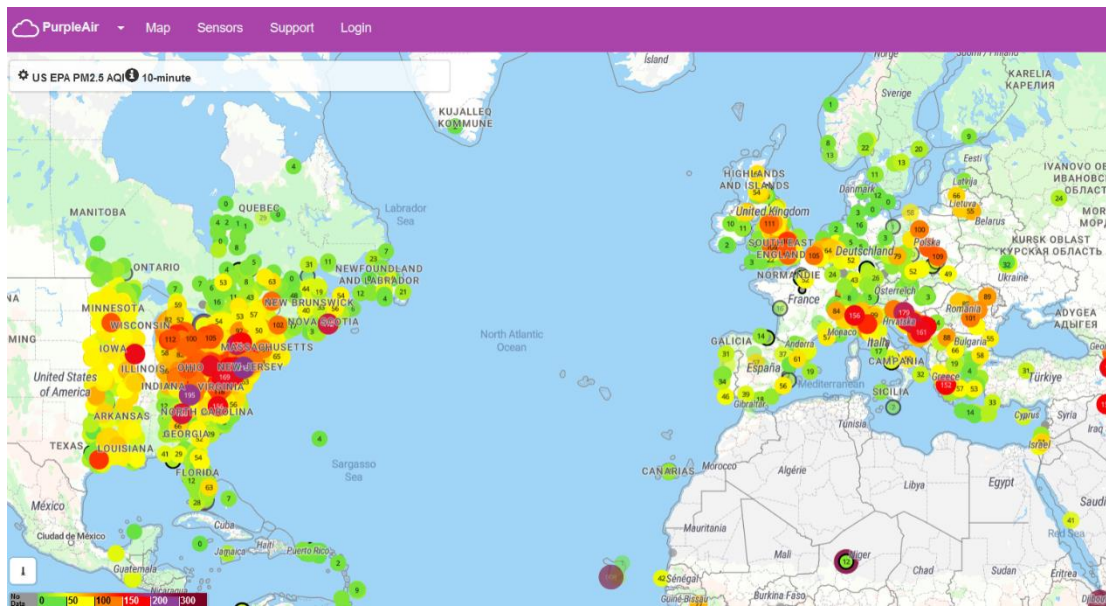
Στις παρακάτω εικόνες θα παρατηρηθούν δίκτυα με αισθητήρες ποιότητας του αέρα ανά τον κόσμο και την Ελλάδα.



Εικόνα 12: Δίκτυο με σταθμούς με αισθητήρες ποιότητας του αέρα του site waqi.info (waqi, n.d.)



Εικόνα 13: Δίκτυο με σταθμούς με αισθητήρες ποιότητας του αέρα του site hackair.eu (hackAIR, n.d.)



Εικόνα 14: Δίκτυο με σταθμούς με αισθητήρες ποιότητας του αέρα του site map.purpleair.com (PurpleAir, n.d.)

Από τις εικόνες φαίνονται δίκτυα αισθητήρων ποιότητας του αέρα με αισθητήρες χαμηλού κόστους. Οι σταθμοί μετρήσεων ποιότητας του αέρα με αισθητήρες χαμηλού κόστους μπορεί να είναι όσο απλοί είναι δύο αισθητήρες Nova PM sensor SDS011 μέχρι πιο σύνθετοι όπως το σύστημα μας το AirSensis.



Εικόνα 15: Σταθμός μέτρησης ποιότητας του αέρα "PurpleAir Flex Air Quality Monitor"

Τα δίκτυα με αισθητήρες χαμηλού κόστους συμπληρώνουν και επιβεβαιώνουν πολλές φορές τις μετρήσεις των πιστοποιημένων σταθμών μετρήσεων παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα. Μπορούν οι χαμηλού κόστους σταθμοί μετρήσεων να τοποθετηθούν σε απομακρυσμένα και δύσβατα μέρη όταν είναι ηλεκτρικά αυτόνομοι και διαθέτουν δυνατότητα απομακρυσμένης σύνδεσης σε διαδικτυακές βάσεις δεδομένων. Η ταχύτητα επικοινωνίας και η γενικότερη εξέλιξη του τομέα του IoT αισθητήρων βελτιώνει χρόνο με τον χρόνο όλο και περισσότερο την παροχή και μετάδοση των δεδομένων των μετρήσεων.

Σε επόμενο κεφάλαιο, στην παρουσίαση των ιστοσελίδων AirSensis θα παρουσιαστεί το δίκτυο με τους σταθμούς μετρήσεων AirSensis οι οποίοι καλύπτουν τις τελευταίες τεχνολογίας ανάγκες της αγοράς των IoT αισθητήρων.

Κεφάλαιο 2

2.1. Φωτοβολταϊκά συστήματα (PV Systems)

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι συγκριτικά φιλικότερη προς το περιβάλλον από άλλες μορφές παραγωγής. Όταν λειτουργούν δεν εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου και δεν έχουν τις απαιτήσεις χρήσης νερού που έχουν άλλες πηγές παραγωγής. Με την δημιουργία φωτοβολταϊκών πάρκων αξιοποιείται γη που δεν είναι καλλιεργήσιμη και ενισχύεται η τοπική οικονομία. Επιπλέον, προσφέρει ηλεκτρική αυτονομία σε διάφορους τεχνολογικούς τομείς.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Τα πρώτα είναι τα διασυνδεδεμένα σε ηλεκτρικό δίκτυο και τα δεύτερα είναι τα αυτόνομα συστήματα που συνδέονται σε ανεξάρτητες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα που συνδέονται σε ηλεκτρικό δίκτυο ενισχύουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της εταιρείας που εκμεταλλεύεται την παραγωγή τους και τα συστήματα που συνδέονται με ανεξάρτητες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας φορτίζουν τις συγκεκριμένες πηγές και έτσι χαρίζουν ηλεκτρική αυτονομία.

Συνήθως, στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα υπάρχει σαν ανεξάρτητη πηγή ενέργειας μια μπαταρία. Για την σωστή φόρτιση της μπαταρίας και την σωστή λειτουργία της χρησιμοποιείται ένας ηλιακός ρυθμιστής φόρτισης. Με τον ηλιακό ρυθμιστή φόρτισης ρυθμίζονται οι τάσεις από το πάνελ στην μπαταρία και από την μπαταρία σε ένα σύστημα που απαιτεί συνεχή ηλεκτρική τροφοδοσία για την λειτουργία του.



Εικόνα 16: Ηλιακός ρυθμιστής φόρτισης (n.d.)

Ο παραπάνω ηλιακός ρυθμιστής φόρτισης είναι αρκετά φθηνός, βρίσκεται σε αφθονία στο εμπόριο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από καταναλωτές που δεν ασχολούνται επαγγελματικά με τον κλάδο των Φ/Β συστημάτων. Στην μία είσοδο του συνδέονται τα καλώδια τάσης - γείωσης του πάνελ, στην δεύτερη είσοδο του συνδέονται τα καλώδια τάσης - γείωσης της φόρτισης της μπαταρίας και στην τρίτη είσοδο του συνδέονται τα καλώδια τάσης - γείωσης της τροφοδοσίας εξόδου. Διαθέτει ένα μενού επιλογής τύπου μπαταρίας και παροχής τάσης. Πιο ακριβοί και αποδοτικότεροι ηλιακοί ρυθμιστές φόρτισης έχουν πρόγραμμα που ρυθμίζεται αυτόματα ανάλογα με τις ανάγκες της μπαταρίας που συνδέονται. Επιπλέον, οι ηλιακοί ρυθμιστές φορτιστές χωρίζονται σε MPPT και PWM. Οι

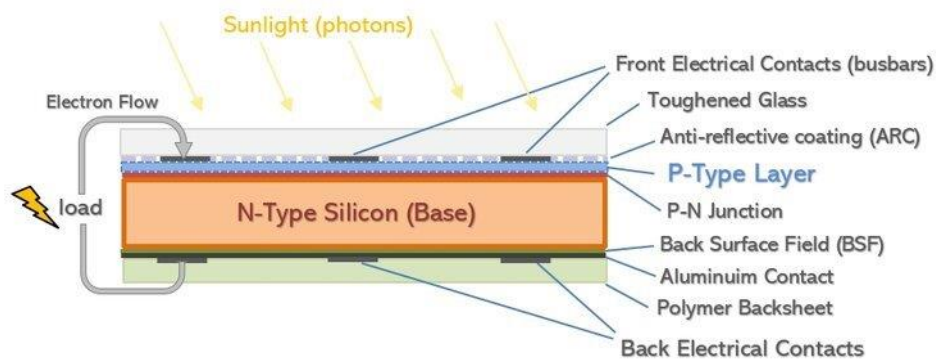
MPPT είναι νεότερης τεχνολογίας και συνήθως προτιμώνται για την αποδοτικότητα τους, όχι όμως και για το κόστος τους.

Ανάλογα τις ανάγκες της τροφοδοσίας ενός συστήματος επιλέγεται η μπαταρία, το Φ/Β πάνελ και ο ηλιακός ρυθμιστής φόρτισης. Σε ιστοσελίδες που πουλάνε ηλιακούς ρυθμιστές φόρτισης αρκετές φορές πουλάνε μαζί με τον φορτιστή και το Φ/Β πάνελ που έχει ελεγχθεί πως δουλεύει με τον ρυθμιστή φόρτισης.

Η αξιοπιστία σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα προσδιορίζεται από τον χρόνο διάρκειας λειτουργίας του σε συνδυασμό με την απόδοση του.

Το φωτοβολταϊκό κύτταρο

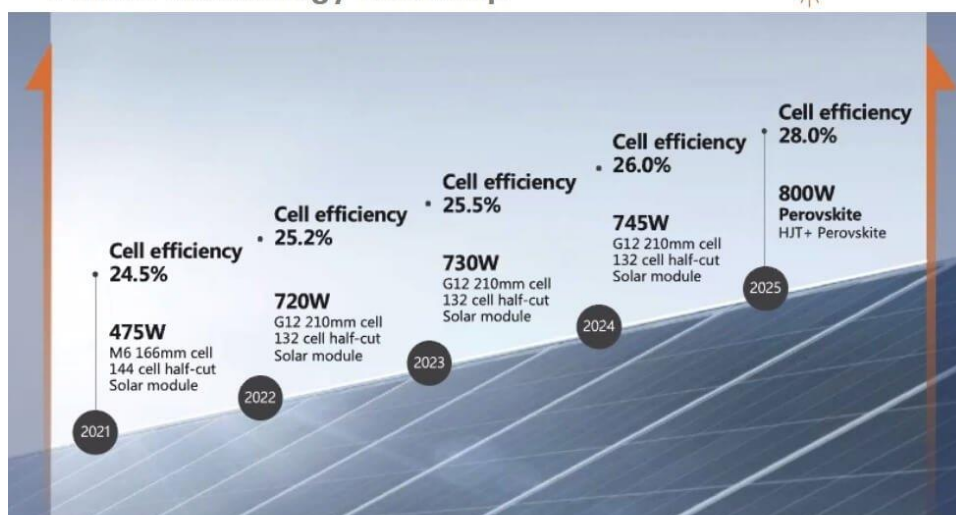
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από φωτοβολταϊκά κύτταρα. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι υπεύθυνα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Εικόνα 17: Δομή φωτοβολταϊκού κυττάρου (cleanenergyreviews, n.d.)

Για την δημιουργία του φωτοβολταϊκού φαινομένου υπεύθυνο είναι το υλικό του φωτοβολταϊκού κυττάρου. Με το ημιαγωγικό υλικό του κυττάρου δημιουργείται ένα πεδίο το οποίο απελευθερώνει τους ελεύθερους ηλεκτρικούς φορείς οι οποίοι διεγείρονται από το ηλιακό φως. Κατά αυτόν τον τρόπο, οι ελεύθεροι ηλεκτρικοί φορείς ρέουν προς το κύκλωμα και προκύπτει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό κύτταρο. Ανάλογα με το μέγεθος της επιφάνειάς του φωτοβολταϊκού πάνελ και του επιλεγμένου ημιαγωγικού υλικού του κυττάρου, καθώς και της διάταξης των κυττάρων στο πάνελ προκύπτει και η πραγματική απόδοση του κάθε κυττάρου.

Ανά τα χρόνια η απόδοση και η παραγωγή ολοένα και περισσότερων φωτοβολταϊκών συστημάτων αυξάνεται.



www.cleanenergyreviews.info

Εικόνα 18: Απόδοση φωτοβολταϊκών κυττάρων ανά τα χρόνια (cleanenergyreviews, n.d.)

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρείται πως το έτος 2025 θα έχει φτάσει η απόδοση των φωτοβολταϊκών κυττάρων μέχρι και στο 28% δηλαδή στα 800 W (Watt). Σε σχέση με σήμερα, το έτος 2023, η αλλαγή κρίνεται εξαιρετικά σημαντική και δείχνει αυτό το τεράστιο άλμα που προβλέπεται να υπάρξει σε αυτόν τον τεχνολογικό κλάδο.

Γενικά, η απόδοση ορίζεται ως η ικανότητα ενός Φ/Β κυττάρου να παράγει ηλεκτρική ενέργεια ανάλογα με την επιφάνεια του.

Solar panel efficiency % *

$$\text{Efficiency (\%)} = \frac{P_{\max}}{(\text{Area} \times 1000\text{W/m}^2)} \times 100$$

* at STC = Irradiance 1000W/m²

- P_{max} = Max panel power (W)
- Area = Panel area (m²)

Εικόνα 19: Εξίσωση απόδοσης φωτοβολταϊκού πάνελ (cleanenergyreviews, n.d.)

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πάνελ ισούται με την μέγιστη ιδανική απόδοση προς την επιφάνεια του πάνελ επί τοις εκατό.

Παράγοντες επηρεασμού της απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου και κατά επέκταση ενός συστήματος είναι η φθορά που προέρχεται από το περιβάλλον και τον χρόνο καθώς και η ετήσια ένταση ηλιακής ακτινοβολίας που καταφέρνει να προσπίψει πάνω στην επιφάνεια του.

2.2. Επαναφορτιζόμενες μπαταρίες συστημάτων

Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες χαρίζουν ηλεκτρική αυτονομία σε ηλεκτρονικά συστήματα όταν συνδέονται σε μία πηγή παροχής τάσης. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η νεότερη εκδοχή του AirSensis είναι ηλεκτρικά αυτόνομη. Λειτουργεί δηλαδή με την

ηλεκτρική ενέργεια που του παρέχεται από μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία η οποία φορτίζεται συνεχώς από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ.

Γενικά, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες είναι είδη μπαταριών που μπορούν να επαναφορτιστούν πολλές φορές, καθιστώντας τις οικονομικά πιο ευνοϊκές και φιλικές προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τις μπαταρίες μίας χρήσης.

Ανάλογα με τον τύπο τους χρησιμοποιούνται σε συστήματα όπως οι φορητές συσκευές (π.χ. τα κινητά, φωτογραφικές μηχανές κ.ά.).

Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες έχουν έναν κύκλο ζωής. Ο κύκλος ζωής τους ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας και τη χρήση της.

Έχουν περιορισμένο αριθμό κύκλων φόρτισης / αποφόρτισης. Είναι σημαντικό να επαναφορτίζονται από έναν κατάλληλο για αυτές φορτιστή. Σε περίπτωση φόρτισης από μη κατάλληλο φορτιστή η μπαταρία μπορεί να υπερφορτιστεί και τελικώς να καεί, μπορεί να μειώσει την απόδοση και άρα την διάρκεια της ζωής της και μπορεί με μια ασταθή φόρτιση να προκληθούν προβλήματα στο σύστημα που η μπαταρία τροφοδοτεί.

Κάποιοι τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών είναι:

1. Μπαταρίες πολυμερούς λιθίου (Li-ion, Li-Po): Χρησιμοποιούνται σε πολλές φορητές συσκευές όπως κινητά τηλέφωνα και φορητούς υπολογιστές. Είναι ελαφριές και παρέχουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα.
2. Μπαταρίες νικελίου - Υδριδίου (NiMH): Χρησιμοποιούνται σε πολλές φορητές συσκευές, όπως φωτογραφικές μηχανές, φορητά ραδιόφωνα και παιχνίδια. Έχουν καλή απόδοση και παρέχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα από τις αλκαλικές μπαταρίες.
3. Μπαταρίες νικελίου - Καδμίου (NiCd): Είναι λιγότερο συνηθισμένες λόγω της περιορισμένης χωρητικότητας τους. Η περιεκτικότητά τους σε κάδμιο δεν τις καθιστά περιβαλλοντικά φιλικές.

Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες υπάρχουν σε μεγάλους αριθμούς στο εμπόριο και όπως και με άλλους κλάδους τεχνολογίας έτσι και σε αυτόν χρόνο με τον χρόνο εξελίσσεται. Μια καλή επαναφορτιζόμενη μπαταρία είναι μια μπαταρία με σωστή, συνεχή, σταθερή έξοδο τάσης και μακροζωία.

Είναι μια αξιόπιστη λύση για πολλά συστήματα. Είτε χρησιμοποιούνται ως ρεζέρβες (backup) είτε ως κύριες πηγές τροφοδοσίας συστημάτων.

Κεφάλαιο 3

3.1. Τεχνολογίες αισθητήρων χαμηλού κόστους και οι αισθητήρες του AirSensis

Ανάλογα με την ανάγκη επίλυσης διαφόρων προβλημάτων της καθημερινότητας χρησιμοποιούνται και διαφορετικά εργαλεία και συσκευές. Όσο πιο “έξυπνη” είναι μια συσκευή τόσο πιο εύχρηστη και αποτελεσματική είναι. Για να λειτουργήσει “έξυπνα” μια ηλεκτρική συσκευή, εκτός του κυκλώματος της, πρέπει να έχει έναν μηχανισμό ελέγχου ανάλογο με τις λειτουργίες που επιτελεί. Ο έλεγχος και η αυτοματοποίηση διαδικασιών συνήθως επιτελείται με τους αισθητήρες της συσκευής. Οι αισθητήρες αποστέλλουν κατάλληλα για την συσκευή ηλεκτρικά σήματα και οι πληροφορίες προκαλούν γεγονότα (events). Ένα γεγονός είναι το κλείσιμο μιας συσκευής σε περίπτωση εντοπισμού υπερθέρμανσης της.

Μια τεχνολογία αισθητήρα παρουσιάζει διαφορές με μια άλλη. Άλλη τεχνολογία εφαρμόζεται σε έναν πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα και άλλη τεχνολογία εφαρμόζεται σε ένα θερμικό ζεύγος (thermistor).

Οι αισθητήρες AirSensis είναι κατασκευασμένοι με βάση τις παρακάτω τεχνολογίες.

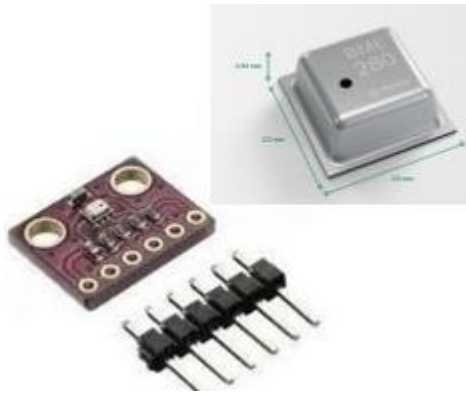
3.1.1. Τεχνολογία MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)

Η βασική αρχή λειτουργίας που χρησιμοποιείται στους AirSensis αισθητήρες θερμοκρασίας - υγρασίας είναι η τεχνολογία MEMS.

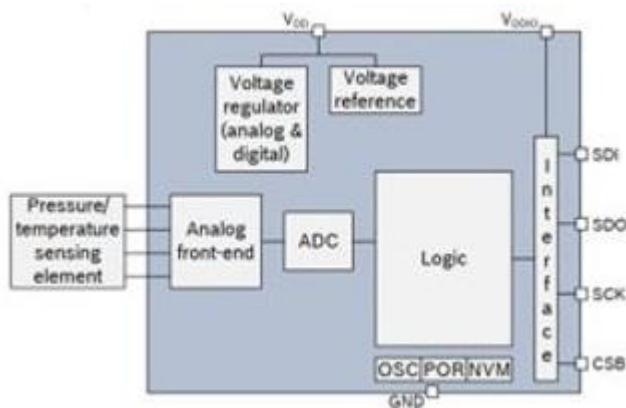
Η τεχνολογία MEMS συνδυάζει γνώσεις από την μηχανική, ηλεκτρονική και άλλους κλάδους της μηχανικής για την δημιουργία μικροσκοπικών συστημάτων.

Ψηφιακός αισθητήρας MEMS υγρασίας, πίεσης και θερμοκρασίας είναι ο BME280. Χρησιμοποιεί αποδεδειγμένες αρχές ανίχνευσης φυσικών μεγεθών και χρησιμοποιείται κυρίως για περιβαλλοντικές μετρήσεις.

Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία αρχής ανίχνευσης στον αισθητήρα πίεσης-αντίστασης (Piezoresistive Sensors) είναι η τοποθέτηση τέσσερων αντιστάσεων σε ένα διάφραγμα πυριτίου προκειμένου να μετρηθεί το αποτέλεσμα της καταπόνησης ή της φυσικής πίεσης που ασκείται πάνω τους. Αυτό συμβαίνει σε μικροσκοπική κλίμακα και οποιαδήποτε αισθητή αλλαγή στην αντίσταση μετατρέπεται, μέσω ενός κυκλώματος γέφυρας Wheatstone σε τάση εξόδου. Το ηλεκτρικό σήμα της τάσης εξόδου μεταφέρεται στο τσιπ του BME280 που διαθέτει τον συγκεκριμένο αισθητήρα εντός του θαλάμου του. Παρακάτω, φαίνεται ο μικρός του θάλαμος και το διάγραμμα μπλοκ λειτουργίας του.



Εικόνα 20: Ο αισθητήρας BME280 και ο θάλαμος του (BME280 datasheet, n.d.)



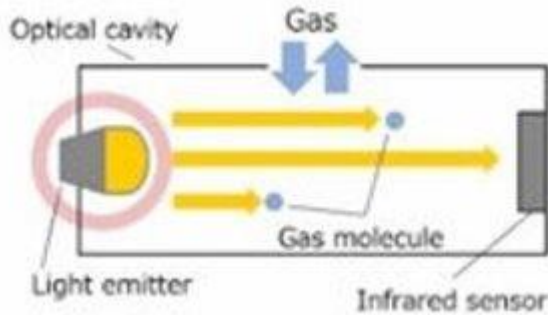
Εικόνα 21: Το διάγραμμα μπλοκ του αισθητήρα BME280 (BME280 datasheet, n.d.)

3.1.2. Τεχνολογία NDIR (Non-Dispersive InfraRed)

Η βασικά αρχή λειτουργίας που χρησιμοποιείται στον AirSensis αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα βασίζεται στην τεχνολογία απορρόφησης υπέρυθρου φωτός (NDIR).

Η τεχνολογία NDIR βασίζεται στην αρχή ότι ορισμένα αέρια απορροφούν το υπέρυθρο φως σε συγκεκριμένα μήκη κυμάτων, γεγονός που επηρεάζει την ποσότητα του φωτός που φτάνει σε έναν αισθητήρα.

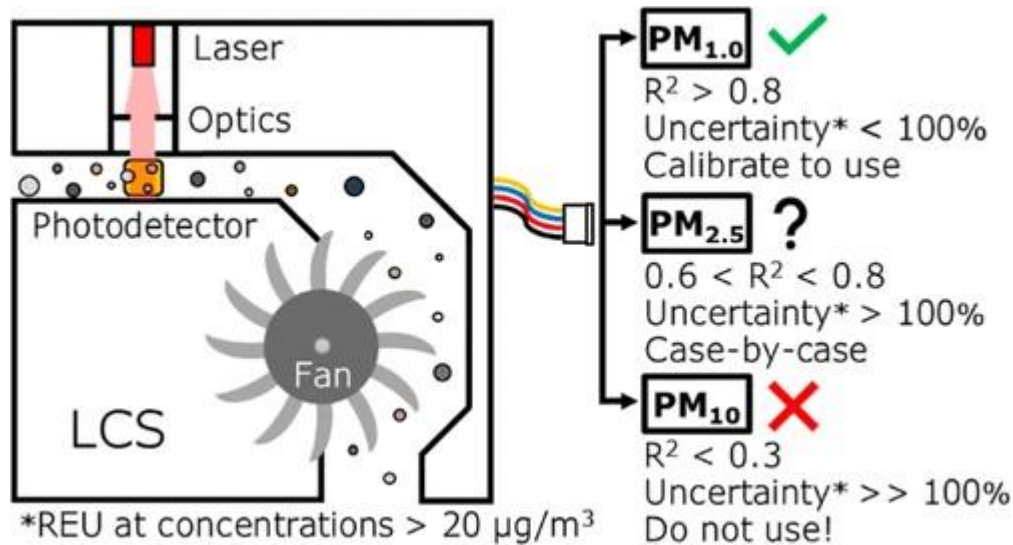
Δηλαδή όσο περισσότερη συγκέντρωση αερίου διοξειδίου του άνθρακα εισέρχεται στον αισθητήρα τόσο περισσότερο υπέρυθρο φως απορροφάται από τον ενσωματωμένο αισθητήρα υπέρυθρου φωτός. Για να γίνει πιο κατανοητή η περιγραφή παρακάτω δίνεται οπτικά η πληροφορία.



Εικόνα 22: Σχέδιο του εσωτερικού αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα (akm, n.d.)

3.1.3. Τεχνολογία σκέδασης φωτός λέιζερ (LST - Light Scattering Technology)

Η βασική αρχή λειτουργίας του AirSensis αισθητήρα σωματιδίων βασίζεται στην τεχνολογία σκέδασης του φωτός. Ανάλογα το δείγμα αερολύματος εντός του αισθητήρα σκεδάζεται διαφορετικά το φως του λέιζερ που βρίσκεται εντός του αισθητήρα. Ως αποτέλεσμα αυτού η ενσωματωμένη φωτοδιόδος αποστέλλει διαφορετικά ηλεκτρικά σήματα στην έξοδο της. Τα ηλεκτρικά σήματα εξόδου της φωτοδιόδου λαμβάνονται από έναν μικροελεγκτή ή υπολογιστή ανάλογα με τον τύπο του αισθητήρα.



Εικόνα 23: Σχέδιο του εσωτερικού αισθητήρα σωματιδίων με λέιζερ (briangwilliams)

Οι χαμηλού κόστους αισθητήρες σωματιδίων (PM – Particulate Matter) διαφέρουν ως προς την ακρίβεια, την ευαισθησία και την ικανότητά τους να διαφοροποιούν τα διαφορετικά μεγέθη σωματιδίων.

3.1.4. Οι αισθητήρες AirSensis και το PCB (η Τυπωμένη Πλακέτα Ηλεκτρικού Κυκλώματος) του.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το σύστημα χρησιμοποιεί αισθητήρες χαμηλού κόστους. Αυτοί οι αισθητήρες συνδέονται μέσω μιας πλακέτας PCB (Printed Circuit Board/Εκτυπωμένη Πλακέτα Ηλεκτρικού Κυκλώματος) με τον μικροελεγκτή ESP32 . Ο μικροελεγκτής συλλέγει όλα τα δεδομένα τους και τα επεξεργάζεται. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων αποστέλλει όσα δεδομένα του έχουμε ορίσει μέσω του τσιπ με την ονομασία SIM7XXX στον server του δικτύου AirSensis. Στο τσιπ SIM7XXX υπάρχει εγκατεστημένη μια κάρτα SIM του δικτύου τηλεπικοινωνιών. Εγγεγραμμένοι χρήστες του site του δικτύου AirSensis μπορούν να παρακολουθήσουν και να κατεβάσουν τα δεδομένα του κάθε συστήματος ξεχωριστά. Τα δεδομένα εμφανίζονται στο site σε πραγματικό χρόνο ανά περίπου ένα λεπτό και σε συγκεκριμένη ζώνη ώρας.

Το AirSensis βρίσκεται εντός ενός κουτιού συγκεκριμένων διαστάσεων μαζί με τον ηλιακό ρυθμιστή φόρτισης (Solar Charger Controller). Πάνω στο PCB (πλακέτα) του AirSensis υπάρχει ένας θάλαμος ο οποίος περιέχει :

1. Τον αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας.
2. Τον αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα.
3. Τον αισθητήρα αέριων σωματιδίων.
4. Τον αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας της θέρμανσης του θαλάμου.

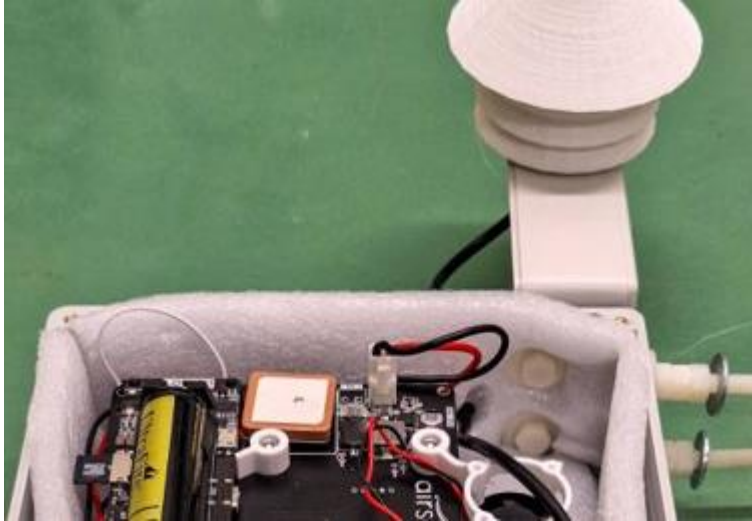
Παρακάτω, φαίνεται το εσωτερικό του κουτιού του AirSensis 24. Ο θάλαμος με τους αισθητήρες βρίσκεται στην κάτω μεριά του PCB (Τυπωμένης Ηλεκτρικής Πλακέτας).



Εικόνα 24: Το κύριο σύστημα AirSensis με τον ηλιακό ρυθμιστή φόρτισης

Εξωτερικά του συστήματος βρίσκεται ένας αισθητήρας θερμοκρασίας - υγρασίας ο οποίος βρίσκεται εντός μίας προστατευτικής ασπίδας (sensor shield) την οποία και εκτυπώσαμε με 3D εκτυπωτή.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η ασπίδα (sensor shield) του εξωτερικού αισθητήρα.



Εικόνα 25: Η εξωτερική ασπίδα (sensor shield) του εξωτερικού αισθητήρα θερμοκρασίας - υγρασίας

Στο κάτω μέρος του κουτιού υπάρχει είσοδος και έξοδος του θαλάμου με τους αισθητήρες.

3.2. Έλεγχος αισθητήρων AirSensis

Το λογισμικό AirSensis αναπτύχθηκε από την αρχή με σκοπό την σωστή δειγματοληψία από τους αισθητήρες. Όλα τα μηχανήματα αποστέλλουν τιμές σε βάση δεδομένων (server) ανά περίοδο ενός λεπτού. Οι αισθητήρες είναι βαθμονομημένοι. Ο αλγόριθμος περνάει την κάθε τιμή των αισθητήρων από ελέγχους πριν θεωρηθεί σωστή για να σταλθεί. Για την σωστή ανάπτυξη του λογισμικού χρησιμοποιούνται απλές διαδικασίες βήμα - βήμα.

Πρώτα, πραγματοποιούνται ατομικά τεστ στον μικροελεγκτή για να παρατηρηθεί άμα είναι σωστή η λειτουργία των δυνατοτήτων του όπως για παράδειγμα είναι η αποστολή δεδομένων.

Έπειτα, ελέγχονται ατομικά οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν για την λήψη των μετρήσεων. Στο παρακάτω παράδειγμα παρουσιάζεται ένα δικό μου κομμάτι κώδικα που χρησιμοποιώ για τον αισθητήρα εξωτερικής θερμοκρασίας - υγρασίας.


```

unsigned int dataI2C[6];
float calcT = 0.0;
float calcHum = 0.0;
// Start I2C Transmission
Wire.beginTransmission(0x44);
// Send measurement command
Wire.write(0x2C);
Wire.write(0x06);
// Stop I2C transmission
Wire.endTransmission();
delay(1000);

// Request 6 bytes of data
Wire.requestFrom(0x44, 6);

if (Wire.available() == 6) {
  dataI2C[0] = Wire.read();
  dataI2C[1] = Wire.read();
  dataI2C[2] = Wire.read();
  dataI2C[3] = Wire.read();
  dataI2C[4] = Wire.read();
  dataI2C[5] = Wire.read();
}
calcT = ((((((dataI2C[0] * 256.0) + dataI2C[1]) * 175) / 65535.0)) - 45;
// float fTemp = (cTemp * 1.8) + 32; //Farhenheit
calcHum = (((dataI2C[3] * 256.0) + dataI2C[4]) * 100) / 65535.0);
Serial.print("Temp\t");
Serial.println(calcT);
Serial.print("RHum\t");
Serial.println(calcHum);

```

Εικόνα 26: Παράδειγμα κώδικα test για τον εξωτερικό αισθητήρα θερμοκρασίας - υγρασίας AirSensis

Με αυτό το παράδειγμα ελέγχο την λειτουργία του κάθε εξωτερικού αισθητήρα θερμοκρασίας - υγρασίας ξεχωριστά. Ο αισθητήρας επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή του συστήματος (το ESP32) με το πρωτόκολλο μεταφοράς δεδομένων I2C (Integrated Circuit - Ενσωματωμένο Κύκλωμα). Έπειτα, τα αποτελέσματα των μετρήσεων του εμφανίζονται στο σειριακό μόνιτορ (serial monitor) του Arduino IDE (Arduino, 2023) ή σε ένα οποιοδήποτε τερματικό παρακολούθησης (terminal) υποστηρίζει σειριακό ρυθμό μετάδοσης bit (baudrate). Ένα τέτοιο τερματικό που διατίθεται δωρεάν προς εγκατάσταση είναι το πρόγραμμα YAT (Yet Another Terminal) (YAT, 2023).

Αξίζει να αναφερθεί πως το λογισμικό στον μικροελεγκτή (τον ESP32) μπορεί να πραγματοποιηθεί και αλλιώς, στην προκειμένη περίπτωση όμως προτιμάται ένα από τα πιο απλά IDEs που είναι το Arduino (IDE) για λόγους επίδειξης των test που πραγματοποιούνται στην συσκευή με τον πιο απλό τρόπο. Το ESP32 διαθέτει και native (δικιά του) πλατφόρμα ανάπτυξης λογισμικού και όχι μόνο την εργαλειοθήκη arduino-esp32 που χρησιμοποιείται στο Arduino IDE. Η πλατφόρμα (framework) έχει την ονομασία ESP-IDF. Το ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) (Espressif, n.d.) διαθέτει ένα σύνολο εργαλείων ανάπτυξης και βιβλιοθηκών με σκοπό την κατασκευή εφαρμογών στο ESP32 και τη σειρά ESP32-S. Το ESP-IDF υποστηρίζει τις γλώσσες προγραμματισμού C και C++. Είναι πολυπλοκότερο αλλά native σύνολο εργαλείων για τα τσιπ ESP32. Το ESP - IDF μπορεί να εγκατασταθεί στο Visual Studio Code και στο Eclipse (σε IDEs) σαν επέκταση

(extension). Επίσης, άμα έχει εγκατασταθεί το ESP – IDF σαν αυτόνομο (standalone) πρόγραμμα σε υπολογιστή μπορεί να γραφτεί κώδικας σε απλούς επεξεργαστές κειμένου (text editors) και με τις κατάλληλες εντολές από ένα τερματικό (terminal) να περαστεί το λογισμικό (firmware) στα ESP32 τσιπ (chips).

Τελικά για τον συνολικό έλεγχο λειτουργίας του κώδικα (firmware) στο σύστημα AirSensis μεταφέρεται το τελικό πρόγραμμα στον κεντρικό επεξεργαστή ενός συστήματος AirSensis που υπάρχει για δοκιμές (ή και σε παραπάνω συστήματα). Άμα λειτουργήσουν όλα αμέσως σωστά (και όπως πρέπει) ελέγχεται η λειτουργία των δοκιμαστικών συστημάτων για τουλάχιστον μία εβδομάδα.

Εκτός της λειτουργίας του συστήματος ελέγχονται και οι τιμές του κάθε αισθητήρα και ο χρόνος απόκρισης του συστήματος. Είναι σημαντικό να τηρείται ο χρόνος αποστολής του ενός λεπτού ακόμα και όταν δεν υπάρχει διασύνδεση της συσκευής με την βάση δεδομένων (server). Το τι αποστέλλει η συσκευή και το τι δέχεται ο server επίσης ελέγχεται ενδελεχώς. Το κάθε σύστημα πρέπει να λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με τα υπόλοιπα συστήματα και να υπάρχει σωστή αναπαράσταση των δεδομένων του στις ιστοσελίδες που φιλοξενούν τις χρονοσειρές των μετρήσεων του.

Μόνο με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να πούμε με σιγουριά πως ο κώδικας του λογισμικού AirSensis λειτουργεί απρόσκοπτα και σωστά.

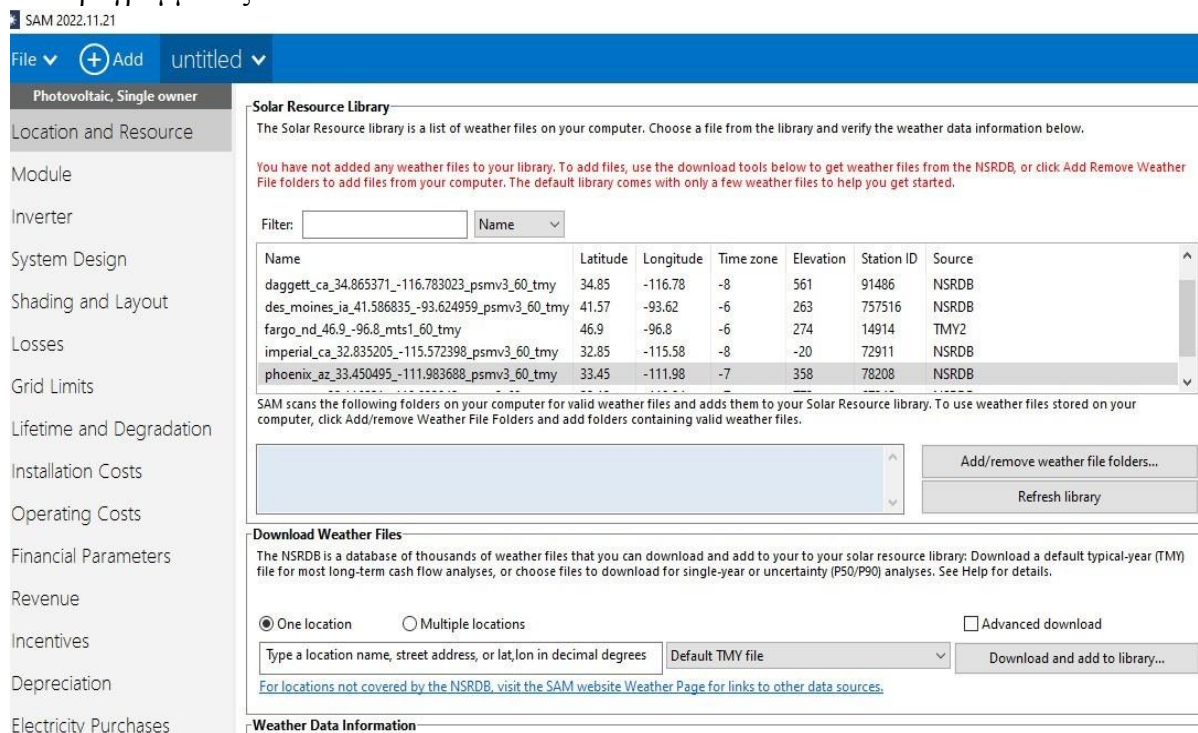
Επιπλέον, ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε project δημιουργούνται νέες εκδόσεις (versions) του λογισμικού AirSensis. Επί της ουσίας, γίνονται προσθαφαιρέσεις σε δοκιμασμένο λογισμικό (firmware), δηλαδή γίνονται αλλαγές πάνω σε έναν κώδικα που ήδη δουλεύει σωστά και έχει ελεγχθεί η λειτουργία του μέσα στην πάροδο του χρόνου.

Κεφάλαιο 4

4.1. Ανάπτυξη συστήματος ηλεκτρικής αυτονομίας με φωτοβολταϊκό σύστημα

Η ανάπτυξη συστήματος ηλεκτρικής αυτονομίας προϋποθέτει την παραγωγή σεναρίων σχετικών με τον διαθέσιμο εξοπλισμό ηλεκτρικής τροφοδότησης. Αυτό επιτυγχάνεται με την μοντελοποίηση του συστήματος. Η μοντελοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να γίνει με ειδικά προγράμματα. Σκοπός της μοντελοποίησης ενός Φ/Β συστήματος είναι η πρόβλεψη της βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης απόδοσης του. Με μια κατά προσέγγιση σωστή πρόβλεψη κάποιες παράμετροι που μπορούν να προβλεφθούν είναι το κόστος και το κέρδος ενός Φ/Β πάρκου και το πόσο χωρητικότητα πρέπει να διαθέτει μια μπαταρία που τροφοδοτεί ένα οποιοδήποτε σύστημα, ώστε να επαναφορτίζεται επαρκώς από ένα Φ/Β πάνελ.

Για τους σκοπούς της μοντελοποίησης υπάρχουν προγράμματα ελεύθερου λογισμικού στο διαδίκτυο όπως το SAM (System Advisor Model) (*National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S. Department of Energy, 2023*) και το PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) (*European Commission, 2023*). Το πρόγραμμα SAM είναι ένα πρόγραμμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από επιχειρήσεις μέχρι και ιδιοκτήτες Φ/Β πάρκων. Είναι ένα ευρέως διαδεδομένο πρόγραμμα που χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ. Διαθέτει βάσεις δεδομένων από όλη την χώρα των ΗΠΑ. Το λογισμικό δημιουργήθηκε από το αμερικανικό υπουργείο ενέργειας. Παρακάτω, φαίνεται ένα παράθυρο ενός απλού project του προγράμματος SAM.

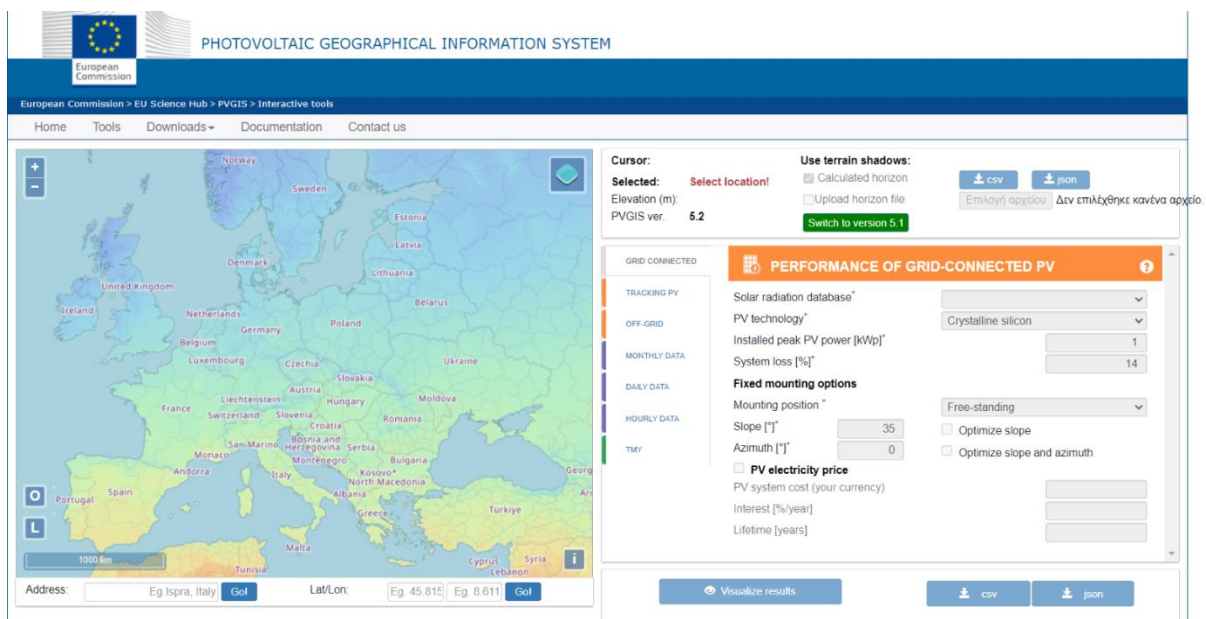


Εικόνα 27: Διεπιφάνεια προγράμματος SAM

Αυτό το παράθυρο του προγράμματος είναι ένα παράθυρο project ιδιώτη (Photovoltaic, single owner). Παρατηρούμε ότι μπορεί να προβλέψει ο ιδιοκτήτης ενός Φ/Β πάρκου από την αποδοτικότητα μέχρι και το κέρδος που θα έχει από τα Φ/Β πάνελ του πάρκου.

Είναι φανερό πως οι δυνατότητες μοντελοποίησης είναι πάρα πολλές και το εργαλείο SAM καλύπτει όλες τις πιθανές παραμέτρους που χρειάζεται μια επιχείρηση για να προβλέψει την απόδοση των Φ/Β της πάρκων.

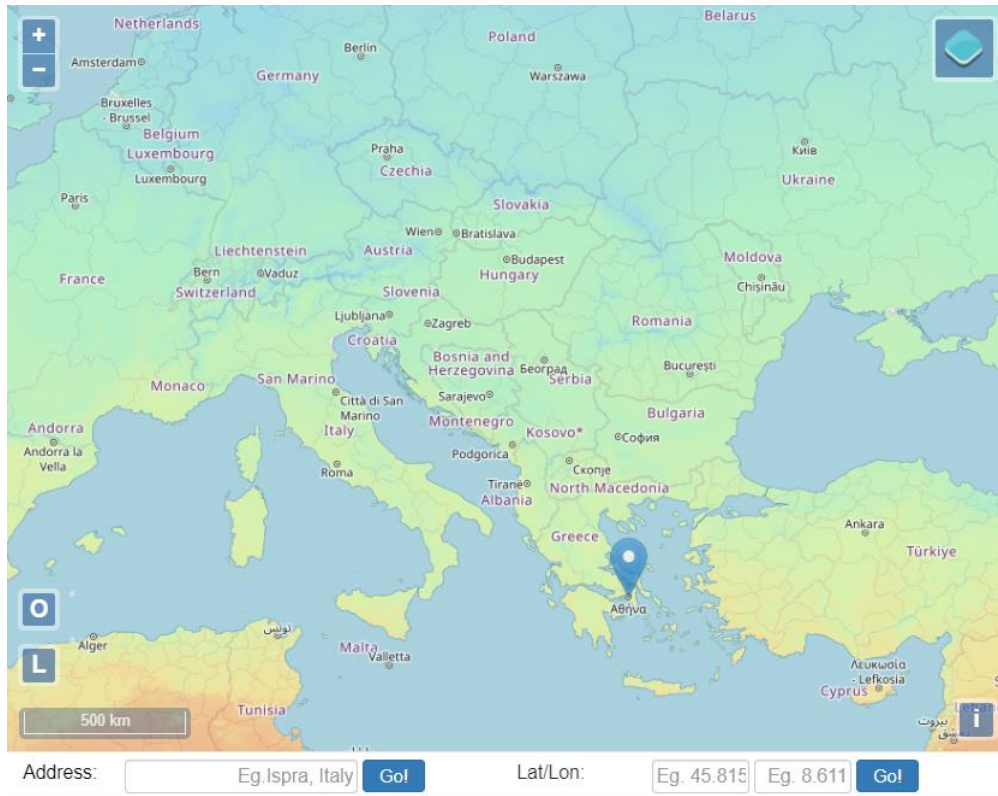
Ίσως, ένα πιο εύχρηστο αλλά εξίσου περίπλοκο και εξελιγμένο λογισμικό είναι το προαναφερθέν PVGIS. Το πρόγραμμα PVGIS είναι ένα πρόγραμμα ελεύθερου λογισμικού που διατίθεται στο ευρύ κοινό μέσω της ιστοσελίδας με τίτλο “ Photovoltaic Geographical Information System ” υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Αποτελεί έργο δουλειάς και έρευνας αρκετών δεκαετιών από φορείς της Ε.Ε. και διαθέτει μια τεράστια βάση δεδομένων σχετική με τα Φ/Β συστήματα. Πολλαπλές δημοσιεύσεις σχετικές με το πρόγραμμα έχουν δημοσιευτεί και δημοσιεύονται. Στον ιστότοπο του προγράμματος μπορεί κάποιος να διαβάσει όλη την ιστορία του προγράμματος και να μελετήσει το ερευνητικό υπόβαθρο του. Το εργαλείο είναι διαθέσιμο σε πέντε γλώσσες (αγγλικά, γαλλικά, γερμανικά, ιταλικά και ισπανικά). Επί της ουσίας είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμα το οποίο δίνει την δυνατότητα στον χρήστη του να υπολογίζει δωρεάν την αποδοτικότητα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Είναι παρόμοιο με το SAM, ωστόσο δεν απαιτεί από τον χρήστη να εισάγει μετεωρολογικά δεδομένα για να το χρησιμοποιήσει. Παρακάτω φαίνεται η διεπιφάνεια του:



Εικόνα 28: Διεπιφάνεια προγράμματος PVGIS (European Commission, 2023)

Όπως φαίνεται παρουσιάζεται ένας χάρτης (1) και μια φόρμα συμπλήρωσης πληροφοριών (2) στην λογική μιας οποιαδήποτε διαδικτυακής φόρμας συμπλήρωσης στοιχείων.

(1)



Εικόνα 29: Χάρτης τοποθέτησης στίγματος Φ/Β συστήματος προς πρόβλεψη στο πρόγραμμα PVGIS (European Commission, 2023)

(2)

Cursor:

Selected: 37.930, 23.730

Elevation (m): 70

PVGIS ver. 5.2

Use terrain shadows:

Calculated horizon

Upload horizon file

Switch to version 5.1

[↓ csv](#) [↓ json](#)

Επιλογή αρχείου Δεν επιλέχθηκε κανένα αρχείο.

GRID CONNECTED

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV
?

Solar radiation database* PVGIS-SARAH2

PV technology* Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]* 1

System loss [%]* 14

Fixed mounting options

Mounting position* Free-standing

Slope [°]* 35 Optimize slope

Azimuth [°]* 0 Optimize slope and azimuth

PV electricity price

PV system cost (your currency)

Interest [%/year]

Lifetime [years]

👁 Visualize results

↓ csv

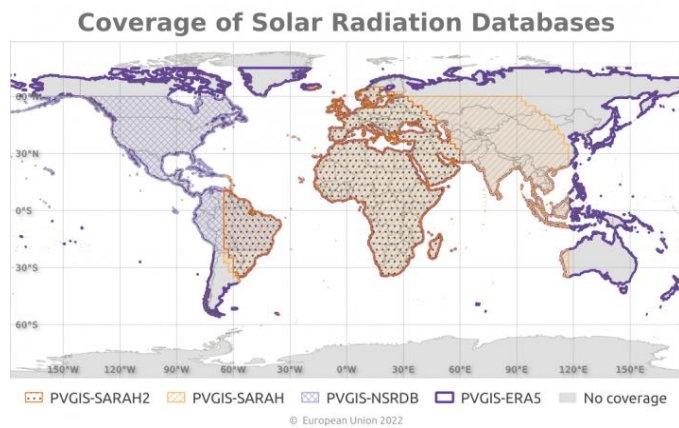
↓ json

Εικόνα 30: Φόρμα συμπλήρωσης στοιχείων του προγράμματος PVGIS (European Commission, 2023)

Στην παραπάνω εικόνα της φόρμας συμπλήρωσης των χαρακτηριστικών του Φ/Β συστήματος προς εξέταση παρατηρούμε διάφορες επιλογές. Ανάλογα με το είδος του Φ/Β συστήματος ο χρήστης θα επιλέξει είτε το

1. Φωτοβολταϊκό σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο (GRID CONNECTED).
2. Φωτοβολταϊκό σύστημα που ανιχνεύει την θέση του ήλιου και προσαρμόζει την γωνία κλίσης και την κατεύθυνση του με σκοπό την μέγιστη δυνατή λήψη ηλιακής ενέργειας (TRACKING PV).
3. Φωτοβολταϊκό σύστημα εκτός δικτύου που λειτουργεί με αυτόνομη ηλεκτρική τροφοδοσία όπως είναι και το σύστημα AirSensis (OFF-GRID).

Το πρόγραμμα PVGIS δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να κάνει θεωρητικές προβλέψεις βάση των δικών του δεδομένων αλλά και πραγματικών δεδομένων τα οποία ανασύρονται από τις βάσεις δεδομένων (Solar radiation database). Η μεγαλύτερη βάση δεδομένων είναι η PVGIS-SARAH2. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η κάλυψη της γεωγραφικής περιοχής της κάθε βάσης δεδομένων.



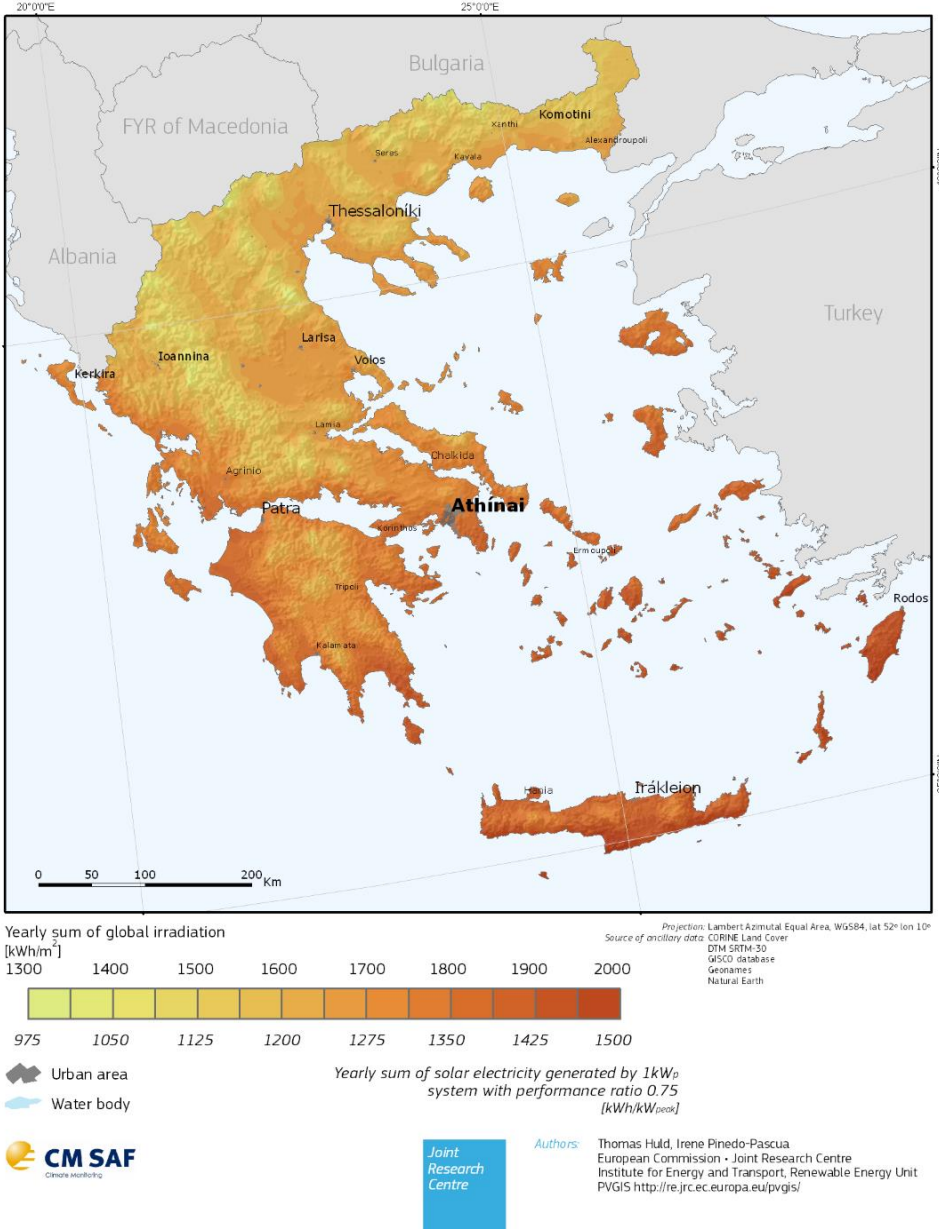
Εικόνα 31: Η γεωγραφική κάλυψη της βάσης δεδομένων PVGIS-SARAH2 του προγράμματος PVGIS (European Commission, 2023)

Με βάση αυτές τις βάσεις δεδομένων ενδιαφέρον έχει να παρατηρήσουμε τους χάρτες που έχουν παραχθεί για την χώρα μας. Παρακάτω φαίνεται ένας χάρτης με τίτλο “Παγκόσμια ακτινοβολία και δυναμικό ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας”.



Global irradiation and solar electricity potential Horizontally mounted photovoltaic modules

GREECE / ΕΛΛΑΔΑ



Εικόνα 32: Χάρτης πρόβλεψης ακτινοβολίας στην Ελλάδα από το πρόγραμμα PVGIS (European Commission, 2023)

Στο κάτω μέρος, στο ραβδόγραμμα φαίνεται η ισχύς ανά τετραγωνικό μέτρο. Με βάση αυτό έχει χρωματιστεί ο χάρτης της Ελλάδας. Παρουσιάζεται δηλαδή η προοπτική παραγωγής ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας ανά περιοχή. Όσο πιο έντονο είναι το πορτοκαλί χρώμα τόσο πιο μεγάλη είναι η προοπτική.

4.2. Ανάπτυξη μοντέλου PVGIS για το σύστημα AirSensis

Οι νεότερες εκδοχές του συστήματος AirSensis είναι ηλεκτρικά αυτόνομες. Τοποθετούνται σε απομακρυσμένα, μη αστικά περιβάλλοντα και έχουν σχεδιαστεί με την προοπτική να λειτουργούν όλον τον χρόνο απρόσκοπτα. Για τον σχεδιασμό της ηλεκτρικής αυτονομίας τους εκτός των υπολογισμών με βάση τα χαρακτηριστικά των μπαταριών και των πάνελ, χρησιμοποιήθηκε σαν βοήθημα και το πρόγραμμα πρόβλεψης PVGIS. Λόγω της δυνατότητας του προγράμματος PVGIS να παράγει προβλέψεις χωρίς την εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων αλλά και της μεγάλης ευρωπαϊκής βάσης δεδομένων που διαθέτει αποτέλεσε ιδανικό εργαλείο πρόβλεψης και για αυτό και χρησιμοποιήθηκε και προτιμήθηκε για το σύστημα AirSensis αυτό το συγκεκριμένο πρόγραμμα.

Με την πρόβλεψη της απόδοσης των Φ/Β πάνελ που είναι εγκατεστημένα στα AirSensis μπορεί να προβλεφθεί το κατά πόσο φορτισμένη είναι η μπαταρία που παράσχει την τροφοδοσία στο κύριο σύστημα.

Στην παρακάτω φόρμα συμπλήρωσης στοιχείων (της PVGIS πλατφόρμας) για να γίνει η πρόβλεψη οι πιο σημαντικοί παράμετροι είναι:

- ο υπολογισμός της κατανάλωσης μπαταρίας ανά ημέρα καθώς και
- η δυνατότητα φόρτισης της από το Φ/Β πάνελ.

Δευτερεύοντες αλλά εξίσου σημαντικοί παράμετροι είναι:

- το ελάχιστο ποσοστό επιπέδου τάσης που μπορεί να έχει η μπαταρία για να θεωρείται λειτουργική (Discharge cutoff limit [%]).
- Η κλίση του Φ/Β πάνελ. Άμα η κλίση είναι 0 τότε το πάνελ βρίσκεται οριζόντια πάνω σε ένα επίπεδο.
- Και η γωνία αζίμουθ (ή αζιμούθια γωνία) δηλαδή η γωνία που χρησιμοποιείται στα Φ/Β συστήματα για να προσδιορίσει την κατεύθυνση ή τον προσανατολισμό των πάνελ σε σχέση με τον ήλιο. Η ιδανική γωνία αζίμουθ είναι η γωνία που το πάνελ λαμβάνει την μέγιστη δυνατή ηλιακή ενέργεια.

GRID CONNECTED

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

PERFORMANCE OF OFF-GRID PV SYSTEMS
?

Solar radiation database* PVGIS-SARAH2 ▼

Installed peak PV power [Wp] * 50

Battery capacity [Wh]* 600

Discharge cutoff limit [%] * 40

Consumption per day [Wh] * 300

Upload consumption data Περιήγηση... Δεν επιλέχθηκε αρχείο.

Slope [°] * 35

Azimuth [°] * 0

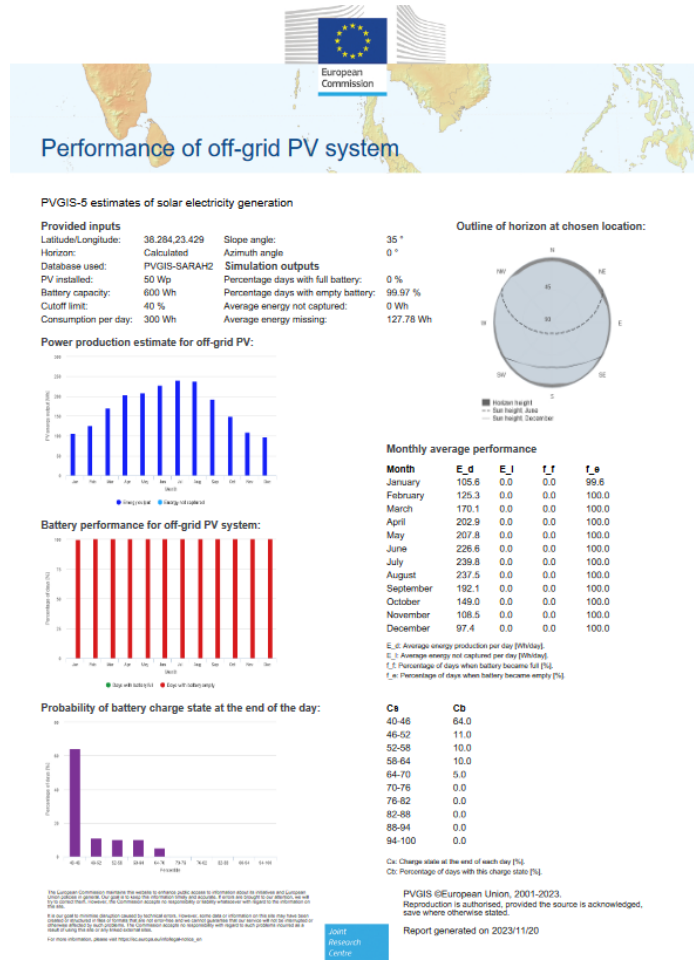
Εικόνα 33: Διεπιφάνεια φόρμας συμπλήρωσης προγράμματος PVGIS (European Commission, 2023)

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε και την επιλογή να ανεβάσει ο χρήστης δικά του δεδομένα για την κατανάλωση ενέργειας μπαταρίας ανά ημέρα. Σε περίπτωση που ο χρήστης δεν ανεβάσει δικά του δεδομένα, η πλατφόρμα θα πραγματοποιήσει προβλέψεις με βάση το παρακάτω προεγκατεστημένο πινακάκι. Στο παρακάτω πινακάκι θα παρατηρηθεί ένας μέσος όρος κατανάλωσης ενέργειας ανά ώρα. Θα παρατηρηθεί πως η μεγαλύτερη κατανάλωση κατά μέσο όρο συμβαίνει από το απόγευμα και μετά.

Ώρες	Κατανάλωση [Wh]
1	0.0505
2	0.035
3	0.027
4	0.025
5	0.0245
6	0.0265
7	0.0345
8	0.0295
9	0.023
10	0.018
11	0.018
12	0.0205
13	0.0265
14	0.035
15	0.0415
16	0.0505
17	0.0455
18	0.034
19	0.025
20	0.03
21	0.065
22	0.1095
23	0.1175
24	0.088

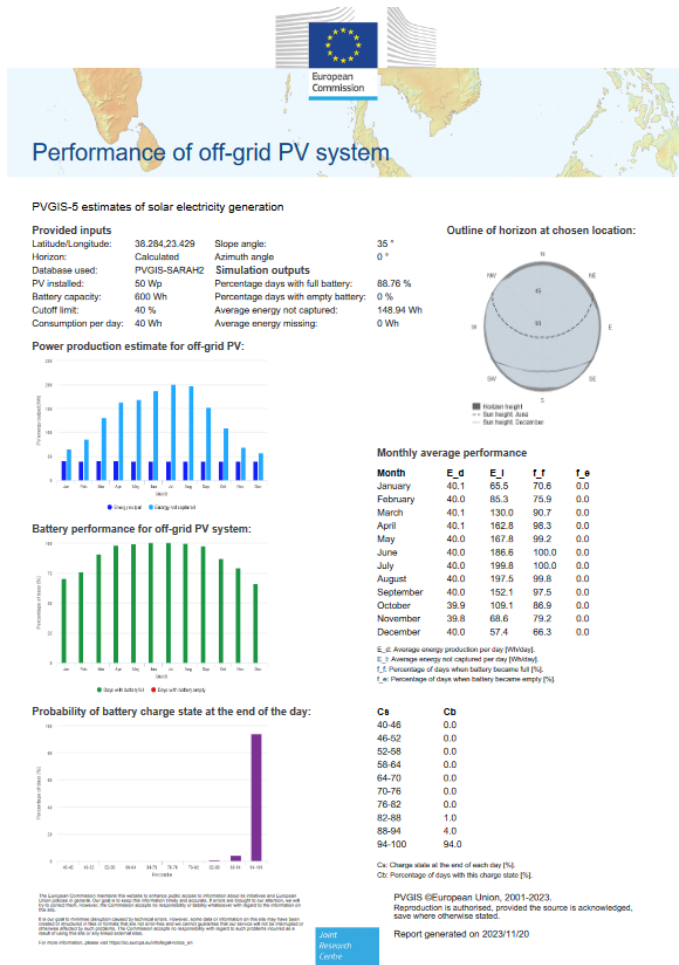
Εικόνα 34: Μετρήσεις μέσου όρου κατανάλωσης βατώραν ανά ώρα

Με βάση τα παραπάνω και με βάση την ηλιοφάνεια του τόπου που βρίσκεται εγκατεστημένο το σύστημα και των τεχνικών χαρακτηριστικών των πάνελ δημιουργήθηκαν σενάρια προβλέψεων PVGIS. Στην πρώτη εικόνα παρατηρούμε ένα σενάριο με πρόβλεψη μηδενικού ποσοστού ημερών που είναι φορτισμένη η μπαταρία. Η πιο σημαντική πληροφορία στο γράφημα είναι η καθημερινή κατανάλωση ενέργειας της μπαταρίας. Στο πρώτο σενάριο η μπαταρία καταναλώνει το 50% της χωρητικότητας της κάθε μέρα.



Εικόνα 35: Μοντελοποίηση PVGIS συστήματος (1)

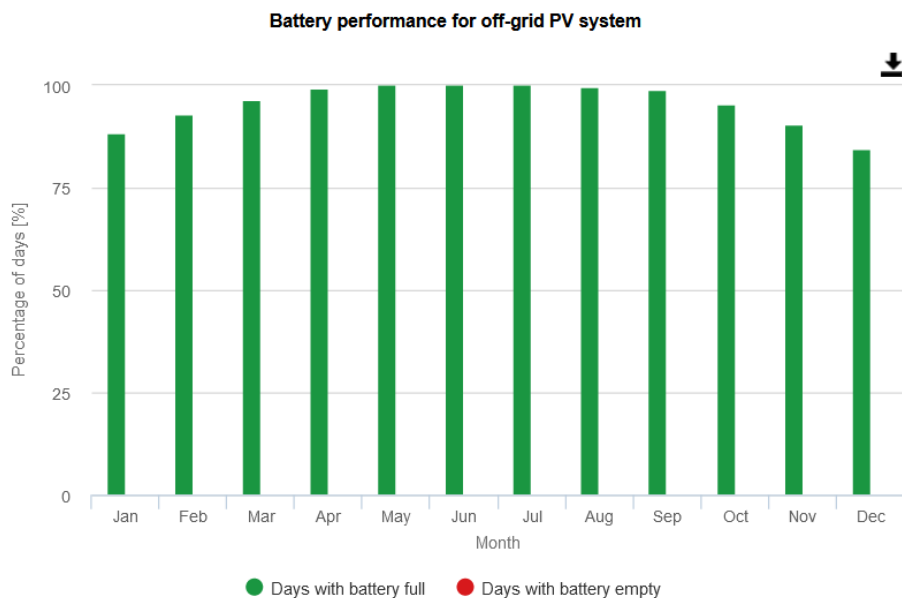
Στην δεύτερη εικόνα παρατηρούμε ένα σενάριο με πρόβλεψη 94.17% ποσοστού ημερών που είναι πλήρως φορτισμένη η μπαταρία. Σε αυτό το σενάριο η μπαταρία καταναλώνει 40 Wh ανά ημέρα.



Εικόνα 36: Μοντελοποίηση PVGIS συστήματος (2)

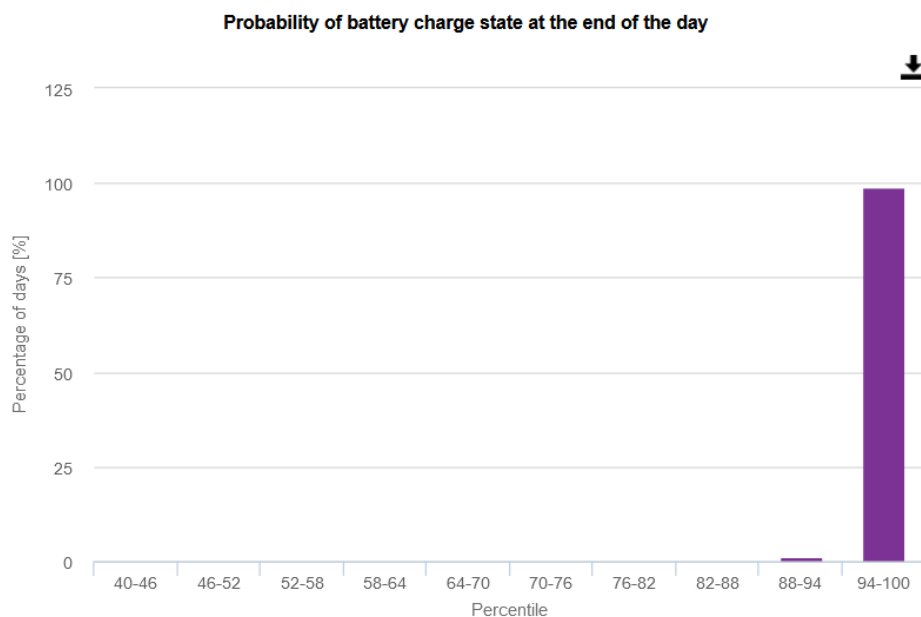
Είναι σαφές ότι το πρώτο σενάριο πρόβλεψης είναι και το καταστροφικότερο για την χρησιμοποιούμενη μπαταρία και πρέπει αναμφίβολα να αποφευχθεί η υλοποίηση του. Στην περίπτωση του πρώτου σεναρίου πρέπει να χρησιμοποιείται Φ/Β πάνελ με μεγαλύτερη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μπαταρία πολύ μεγαλύτερης χωρητικότητας.

Το δεύτερο μοντέλο πρόβλεψης είναι και ιδανικό καθώς δεν παρατηρείται καμία ημέρα μη τροφοδοσίας ρεύματος στο σύστημα. Με το δεύτερο μοντέλο προβλέπεται η εξασφάλιση παροχής τροφοδοσίας στο σύστημα AirSensis όλες τις ημέρες του χρόνου.



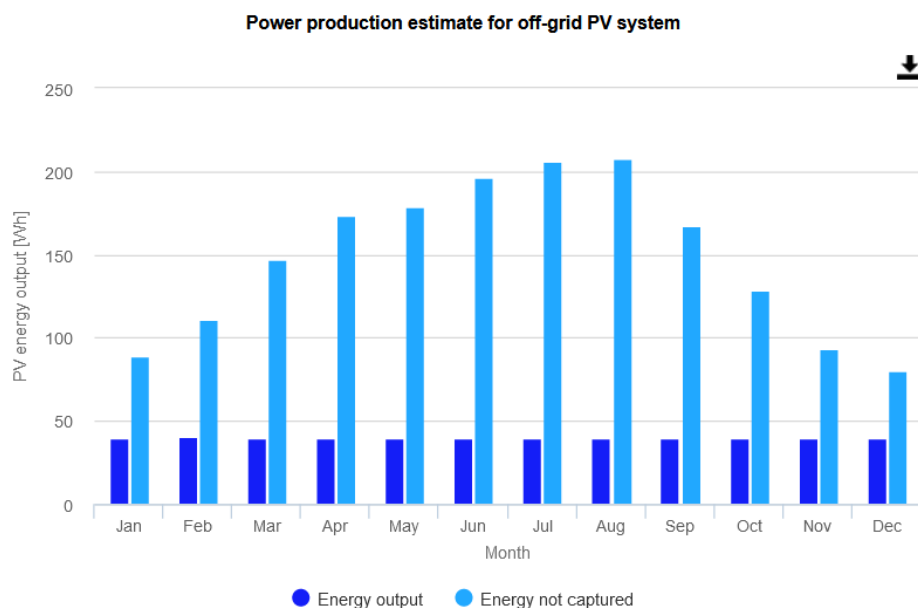
Εικόνα 37: Πρόβλεψη PVGIS επίδοσης μπαταρίας για έναν χρόνο

Πιο συγκεκριμένα, σε καμία μέρα του χρόνου η μπαταρία δεν προβλέπεται να κατεβεί κάτω από το επίπεδο φόρτισης 75 %.



Εικόνα 38: Πρόβλεψη PVGIS κατάστασης φόρτισης μπαταρίας για έναν χρόνο

Σε καμία μέρα του χρόνου η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας δεν προβλέπεται να κατεβεί κάτω από το 88 % ποσοστό φόρτισης.



Εικόνα 39: Πρόβλεψη PVGIS παραγωγής ισχύος από το Φ/Β σύστημα

Επίσης, η παραγωγή ισχύος είναι σε όλους τους μήνες πάνω από 50 Wh. Κατά αυτόν τον τρόπο, η μετρημένη κατανάλωση ενέργειας του συστήματος που είναι 40 Wh καλύπτεται και με το παραπάνω.

Από αυτά τα σενάρια προβλέψεων γίνεται κατανοητό πως μπορούμε να παράγουμε προβλέψεις για όλο τον χρόνο για το σύστημα AirSensis εξασφαλίζοντας μια εύρυθμη ηλεκτρικά αυτόνομη λειτουργία λόγω των επακόλουθων συμπερασμάτων που εξάγονται από την κάθε πρόβλεψη.

Τα σενάρια προβλέψεων δεν μπορούν να είναι σωστά άμα δεν έχουν υπολογιστεί οι ανάγκες της καθημερινής κατανάλωσης ισχύος σε βατώρες (Wh) όλου του συνόλου του συστήματος. Ο υπολογισμός κατανάλωσης ισχύος από το σύστημα AirSensis έγινε μετά από σειρά πειραμάτων σε συστήματα. Δηλαδή με βάση τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας (όπως ο ρυθμός αποφόρτισης της μπαταρίας) και τις ακατέργαστες μετρήσεις των τεστ υπολογίστηκε και θεωρητικά και πρακτικά ο χρόνος αποφόρτισης της μπαταρίας και οι ανάγκες τροφοδοσίας των συστημάτων.

4.3. Η μπαταρία στο σύστημα AirSensis

Η επιλογή μπαταρίας για την ηλεκτρική τροφοδοσία ενός συστήματος έχει μεγάλη σημασία για την λειτουργία του. Εκτός της ενεργοποίησης του συστήματος, πρέπει να εξασφαλίζεται και η αποφυγή βλαβών που προέρχονται από την τροφοδοσία του. Για την επιλογή της μπαταρίας του συστήματος AirSensis λήφθηκαν υπόψιν οι δυνατότητες φόρτισης της μπαταρίας από τα χαρακτηριστικά των Φ/Β πάνελ που χρησιμοποιούνται στα συστήματα και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας όλου του συστήματος.

Για αυτόν τον λόγο επιλέχθηκε μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου-ιόν (Li-ion) με ελάχιστο όριο αποφόρτισης το 40 %. Γενικά, το λίθιο σαν υλικό έχει την τάση να χάνει τα

περισσότερα ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα να παράγει την μεγαλύτερη τάση. Για τα χαρακτηριστικά της μπαταρίας και τον υπολογισμό της διάρκειας ζωής της χρησιμοποιούνται οι μονάδες μέτρησης Wh (Watt – hours). Τα Wh (Watt-hour) είναι μονάδες μέτρησης ισχύος και μεταφράζονται στα ελληνικά ως βατώρες από το Watt (Bat) και την ώρα.

Μια Wh (βατώρα) είναι μια μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής ενέργειας και αντιπροσωπεύει την ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται ή καταναλώνεται όταν μια μονάδα ισχύος (Watt) διατηρείται για μία ώρα.

Για παράδειγμα, μια μπαταρία με χωρητικότητα 100 Watthours (βατώρες) μπορεί να τροφοδοτήσει μια συσκευή που λειτουργεί με 10 Watt για 10 ώρες. Σε αυτήν την περίπτωση δηλαδή η μπαταρία θα αποφορτιστεί τελείως σε 10 ώρες.

Για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος η μπαταρία πρέπει να εξασφαλιστεί πως θα έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και θα παράσχει ανεμπόδιστη ηλεκτρική τροφοδοσία. Για να επιτευχθεί αυτό σημαντικό είναι να μην αποφορτίζεται εντελώς. Για αυτό και τίθεται το προτεινόμενο όριο αποφόρτισης της μπαταρίας από τον ρυθμιστή ηλεκτρικής τροφοδοσίας της.

Σε περίπτωση πλήρους αποφόρτισης μιας μπαταρίας η μπαταρία θα πρέπει να φορτιστεί από την αρχή. Αυτό μπορεί να προκαλέσει πλήθος προβλημάτων. Ένα από αυτά είναι η αύξηση της αντίστασης της μπαταρίας εσωτερικά. Με την αύξηση της αντίστασης δημιουργείται αυξημένη θερμότητα και επακόλουθα μείωση της απόδοσης της μπαταρίας. Επιπλέον, η πλήρης αποφόρτιση της μπαταρίας μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στον ρυθμιστή ηλιακής φόρτισης που είναι συνεχώς συνδεδεμένος με την μπαταρία. Πολλές φορές η ζημιά που προκαλείται από την πλήρη αποφόρτιση μιας μπαταρίας μπορεί να είναι μη αναστρέψιμη. Απαιτείται, λοιπόν, επιπλέον προσοχή στην εγκατάσταση του εξοπλισμού ηλεκτρικής τροφοδοσίας. Δεν αρκεί μόνο να προσέχει ο εγκαταστάτης μην προκαλέσει βραχυκύκλωμα μπερδεύοντας την τάση με την γείωση. Πρέπει να μετρήσει την τάση της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, να βεβαιωθεί πως είναι σωστές οι ρυθμίσεις στον ηλιακό ρυθμιστή φόρτισης και πως χρησιμοποιείται όντως το σωστό φωτοβολταϊκό πάνελ για την εύρυθμη φόρτιση της μπαταρίας και την εξασφάλιση επαρκούς φόρτισης της.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται και στο περιβάλλον που τοποθετείται ο εξοπλισμός. Σε περίπτωση που αφηθεί μερικώς έκθετη η μπαταρία σε εξωτερικό χώρο μπορεί να βραχυκυκλώσει από μια νεροποντή. Όσο αυτονόητο και αν είναι αυτό σαν ιδέα πολλές φορές ένα κλειστό κουτί ή χώρος έχει διαρροές και αυτό το σενάριο γίνεται πραγματικότητα. Το ηλεκτρικά αυτόνομο σύστημα AirSensis διαθέτει έναν έξυπνο σχεδιασμό για την εγκατάσταση του σε απομακρυσμένα περιβάλλοντα και την αποφυγή τέτοιων θεμάτων. Παρά το βάρος του πάνελ και της μπαταρίας η μπαταρία και το σύστημα προστατεύονται επαρκώς απέναντι σε όλες τις καιρικές συνθήκες που εκτίθεται το σύστημα. Αυτό συμβαίνει διότι η μπαταρία του συστήματος τοποθετείται εντός του στύλου που στηρίζεται το φωτοβολταϊκό πάνελ και το κουτί που περιέχει το σύστημα τοποθετείται ακριβώς κάτω από την σκιά του πάνελ. Κατά αυτόν τον τρόπο, το σύστημα δεν έρχεται σε άμεση επαφή με την βροχή και δεν έχει βραχυκυκλώσει ποτέ μέχρι στιγμής.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα χρησιμοποιούμενα πάνελ και η μπαταρία που επαναφορτίζεται από το πάνελ διαμέσου του ηλιακού ρυθμιστή φόρτισης.



Εικόνα 40: Φωτοβολταϊκά πάνελ δύο συστημάτων AirSensis στον σταθμό DEM



Εικόνα 41: Η μπαταρία τροφοδοσίας ενός συστήματος AirSensis

Για να λειτουργήσει το AirSensis στην ηλεκτρικά αυτόνομη εκδοχή του στηρίχθηκε στις γνώσεις των προηγούμενων εκδοχών του. Η προηγούμενη εκδοχή του προορίζεται κυρίως για μετρήσεις εντός εσωτερικών χώρων και η τροφοδοσία του εξασφαλίζεται από πηγή συνεχούς παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η επικοινωνία αυτής της εκδοχής πραγματοποιείται μέσω της σύνδεσης της συσκευής με ένα δίκτυο WiFi .

Κεφάλαιο 5

5.1. Διακρίβωση μετρήσεων αισθητήρων

Η διακρίβωση των μετρήσεων των AirSensis αισθητήρων πραγματοποιούνται στο εργαστήριο Ραδιενέργειας και Περιβάλλοντος στο Δημόκριτο.

Κύριο αντικείμενο μελέτης και έρευνας του εργαστηρίου είναι τα αερολύματα. Το εργαστήριο διαθέτει δύο ερευνητικούς σταθμούς. Ο ένας σταθμός βρίσκεται εντός του Δημόκριτου και ο δεύτερος σταθμός σε ορεινή κορυφή του Χελμού, στον νομό Αχαΐας. Και οι δύο σταθμοί διαθέτουν μια μεγάλη ερευνητική υποδομή που συντηρείται και επαυξάνεται με τον καιρό. Ο σταθμός στον Δημόκριτο ή αλλιώς ο σταθμός DEM λειτουργεί από το 2007 και διαθέτει πιστοποιημένα όργανα παρακολούθησης και έρευνας των ατμοσφαιρικών παραμέτρων. Είναι μέλος του GAW (Global Atmospheric Watch - Παγκόσμια Παρακολούθηση Ατμόσφαιρας) και καταθέτει δεδομένα στην παγκόσμια βάση δεδομένων στο GAW-EBAS (ηλεκτρονικός σύνδεσμος GAW-EBAS: ebas.nilu.no).



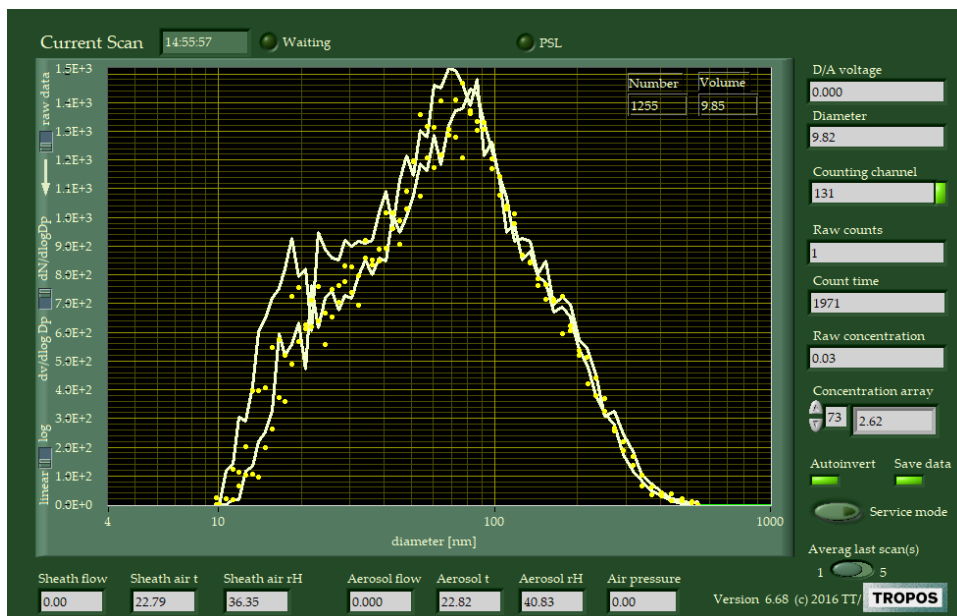
Εικόνα 42: Ο σταθμός έρευνας αερολυμάτων DEM (INRASTES, NCSR Demokritos, 2023)

Ο σταθμός δίνει μια εικόνα των αστικών αερολυμάτων στα προάστια των Αθηνών. Επιτελεί σημαντικό έργο καθώς δίνεται μια επιστημονική εικόνα σχετικά με τα σωματίδια τα οποία εισπνέουν οι κάτοικοι στο λεκανοπέδιο καθημερινά. Το εργαστήριο κάνει δημοσιεύσεις σχετικές με τα ατμοσφαιρικά αέρια και σωματίδια οι οποίες παρουσιάζουν έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον. Στην ιστοσελίδα του ινστιτούτου ΙΠΡΕΤΕΑ μπορεί ο καθένας να διαβάσει τις δημοσιεύσεις και να ενημερωθεί για το έργο του ινστιτούτου και πιο ειδικά του εργαστηρίου.

Εντός του εργαστηρίου εκτελούνται πειράματα βαθμονόμησης των αισθητήρων και αναπτύσσονται οι διαδικασίες διακρίβωσής των μετρήσεων των συστημάτων AirSensis. Τα πειράματα και οι διακρίβωσεις που γίνονται προκύπτουν με την βοήθεια του ερευνητικού εξοπλισμού του εργαστηρίου. Στο εργαστήριο υπάρχουν πιστοποιημένα όργανα μετρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως όργανα αναφοράς για πειράματα βαθμονόμησης. Επιπρόσθετα, υπάρχουν θάλαμοι που μπορούν να διαμορφωθούν σε κατάλληλες συνθήκες για την καλύτερη δυνατή εκτέλεση των πειραμάτων.

Ο καθένας μπορεί να παρατηρήσει μετρήσεις των μετρητικών πιστοποιημένων οργάνων του σταθμού DEM από τον ιστότοπο του. Παρακάτω θα παρουσιαστούν εικόνες με γραφικές παραστάσεις πραγματικών μετρήσεων που ελήφθησαν από τον ιστότοπο του σταθμού DEM.

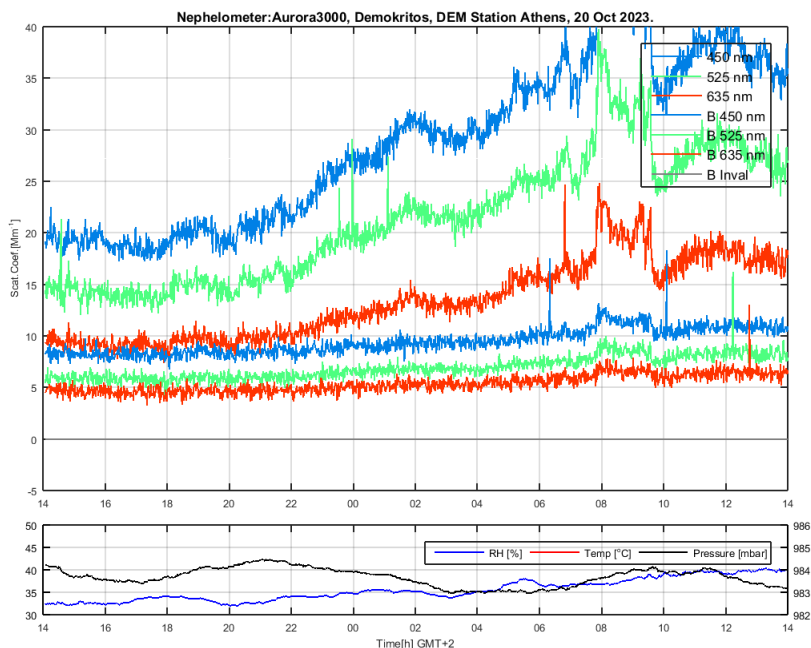
Η παρακάτω εικόνα είναι μια εικόνα από πραγματικές μετρήσεις του οργάνου SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) που βρίσκεται στον σταθμό DEM.



Εικόνα 43: Μετρήσεις οργάνου SMPS (INRASTES, NCSR Demokritos, 2023)

Οι παρατηρηθείσες μετρήσεις αποτελούν την κατανομή μεγέθους σωματιδίων την ημέρα Παρασκευή 20 Οκτωβρίου 2023. Ανάλογα με τις συγκεντρώσεις και το μέγεθος των σωματιδίων προκύπτουν διάφορα φαινόμενα στην ατμόσφαιρα (όπως π.χ. το νέφος στις μεγάλες πόλεις) και έτσι επηρεάζεται άμεσα η ποιότητα του αέρα και το κλίμα στο οποίο βρίσκονται.

Στην παρακάτω εικόνα παρατηρείται η σκέδαση του φωτός σε διαφορετικά χρώματα από το μετρητικό όργανο, το νεφελόμετρο, που βρίσκεται στον σταθμό έρευνας αερολυμάτων DEM την ημέρα Παρασκευή 20 Οκτωβρίου 2023.



Εικόνα 44: Γραφική αναπαράσταση του νεφελόμετρου στον σταθμό έρευνας αερολυμάτων DEM (INRASTES, NCSR Demokritos, 2023)

Η έρευνα πάνω στην σκέδαση του φωτός ενισχύει τις γνώσεις που αφορούν την σκέδαση του φωτός από τα σωματίδια.

Από τα παραπάνω όργανα αλλά και από άλλα εξάγονται συμπεράσματα και παρατηρήσεις και για τα συστήματα AirSensis.

Τα ολοκληρωμένα συστήματα AirSensis τοποθετούνται στον σταθμό DEM. Ο κάθε αισθητήρας AirSensis έχει μια ιδιότητα η οποία επηρεάζεται και έτσι αλλάζει τις τιμές του ανάλογα με την φυσική ποσότητα που μετράει. Όσο πιο γρήγορα αποκρίνεται και όσο πιο σωστές είναι οι τιμές του ανά τον χρόνο, τόσο πιο αξιόπιστες είναι οι μετρήσεις του αισθητήρα.

Ωστόσο, παρά την αξιοπιστία οποιουδήποτε αισθητήρα (συμπεριλαμβανομένων και των AirSensis αισθητήρων) συχνά παρατηρούνται μικρές διαφορές στις μετρήσεις ίδιων αισθητήρων σε ίδια περιβάλλοντα δειγματοληψίας. Για αυτόν τον σημαντικό λόγο δεν χρησιμοποιούνται οι ίδιοι συντελεστές βαθμονόμησης για κάθε ίδιο αισθητήρα AirSensis. Για τον κάθε AirSensis αισθητήρα ξεχωριστά πραγματοποιούνται παρόμοια πειράματα βαθμονόμησης και διαδικασίες διακρίβωσης των μετρήσεων του.

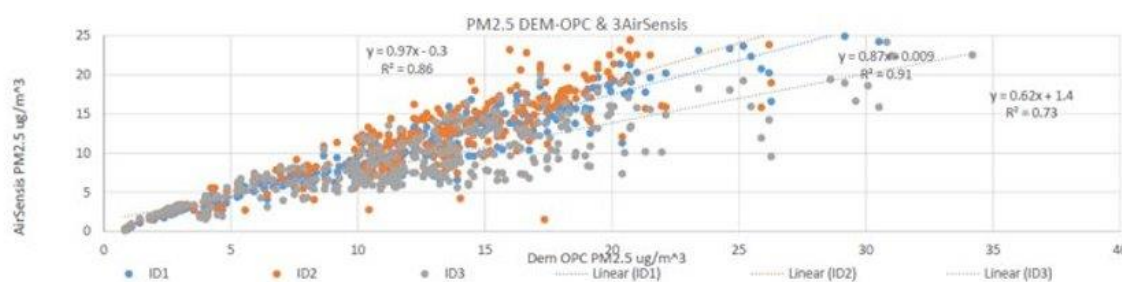
Επιγραμματικά :

- Οι AirSensis αισθητήρες θερμοκρασίας - υγρασίας τοποθετούνται σε θαλάμους αύξησης ή μείωσης της θερμοκρασίας και της υγρασίας.
- Οι τιμές των AirSensis αισθητήρων διοξειδίου του άνθρακα συγκρίνονται με όργανα αναφοράς της ερευνητικής υποδομής του εργαστηρίου.
- Οι τιμές των AirSensis αισθητήρων σωματιδίων συγκρίνονται με όργανα αναφοράς της ερευνητικής υποδομής του εργαστηρίου.

5.2. Διακρίβωση - Αερολύματα και αέρια

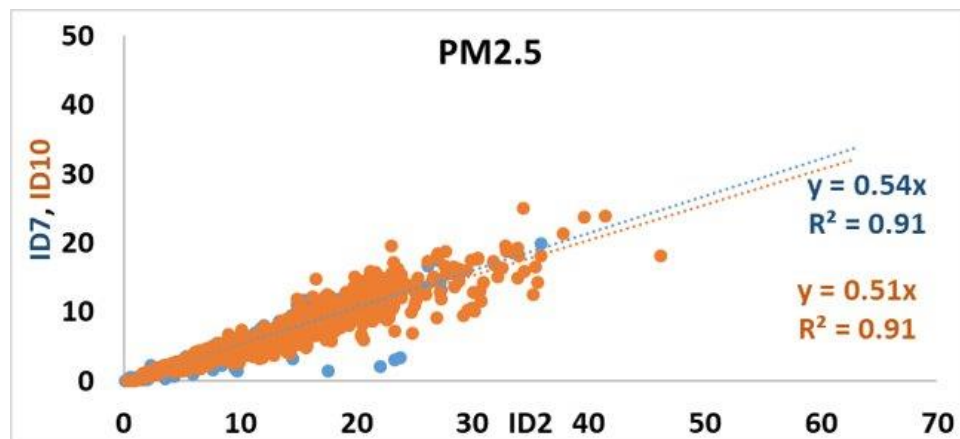
Όλα τα συστήματα AirSensis διαθέτουν αισθητήρα μέτρησης σωματιδιακής μάζας (PM) - καταμετρήσεων σωματιδίων και αισθητήρα συγκέντρωσης αερίου διοξειδίου του άνθρακα. Για την διακρίβωση των μετρήσεων των συγκεντρώσεων PM έγινε σύγκριση των τιμών των AirSensis αισθητήρων σωματιδίων με όργανα αναφοράς και με βαθμονομημένους αισθητήρες AirSensis. Το εργαστήριο διαθέτει θάλαμο βαθμονόμησης σωματιδίων PM (Particulate Matter). Επίσης, υπάρχουν όργανα αναφοράς στο εργαστήριο για τον αισθητήρα σωματιδίων.

Στην παρακάτω γραφική παράσταση συγκρίνονται οι τιμές των αισθητήρων σωματιδίων τριών συστημάτων AirSensis με τις τιμές του οργάνου αναφοράς Grimm OPC 107. Με βάση τις τιμές αναφοράς γίνεται η βαθμονόμηση των αισθητήρων PM των συστημάτων AirSensis. Για την βαθμονόμηση των συγκεκριμένων αισθητήρων όλα τα συστήματα βρίσκονταν στον σταθμό έρευνας αερολυμάτων DEM.



Εικόνα 45: Μετρήσεις PM των AirSensis και του οργάνου αναφοράς Grimm OPC 107

Στην παρακάτω γραφική παράσταση φαίνεται η σύγκριση των τιμών των αισθητήρων σωματιδίων των συστημάτων AirSensis 2, 7 και 10. Οι τιμές του AirSensis 2 είναι οι τιμές που χρησιμοποιούνται ως τιμές αναφοράς για τα συστήματα AirSensis 7 και 10. Πάλι, για την βαθμονόμηση των συγκεκριμένων αισθητήρων όλα τα συστήματα βρίσκονταν στον σταθμό έρευνας αερολυμάτων DEM.



Εικόνα 46: Μετρήσεις PM των AirSensis 7 και 10 και του οργάνου αναφοράς AirSensis 2

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο θάλαμος στο εργαστήριο για την εκτέλεση πειραμάτων βαθμονόμησης σωματιδίων PM (Particulate Mass).



Εικόνα 47: Θάλαμος βαθμονόμησης PM του εργαστηρίου Ραδιενέργειας και Περιβάλλοντος

5.3. Διακρίβωση - Υγρασία RH και θερμοκρασία T

Για την βαθμονόμηση των αισθητήρων θερμοκρασίας - υγρασίας χρησιμοποιήθηκε σαν όργανο αναφοράς ένα υδραργυρικό θερμόμετρο. Τα πειράματα έγιναν στο εργαστήριο σε θαλάμους αύξησης και μείωσης της θερμοκρασίας. Στις παρακάτω εικόνες θα φανούν οι χώροι που εκτελέστηκαν τα πειράματα βαθμονόμησης.

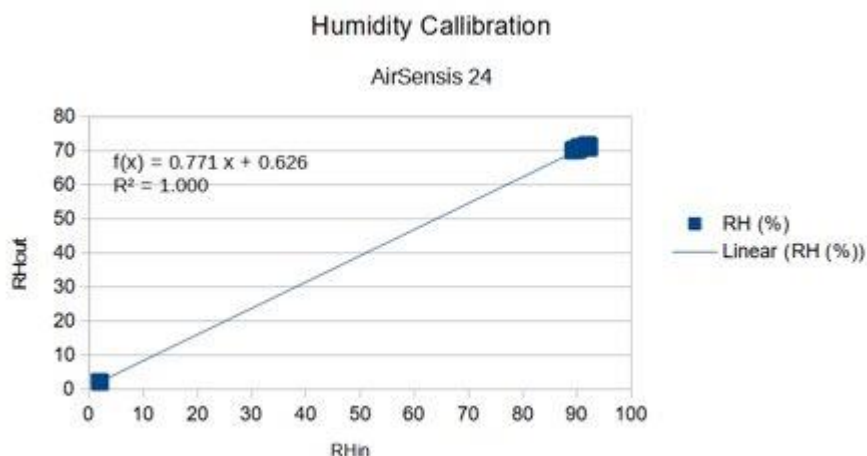


Εικόνα 48: Θάλαμος εκτέλεσης πειραμάτων βαθμονόμησης αισθητήρων AirSensis

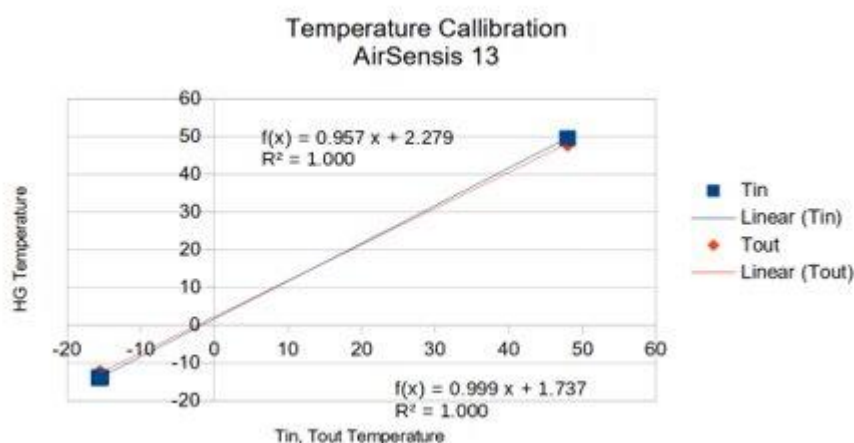


Εικόνα 49: Θάλαμος εκτέλεσης πειραμάτων βαθμονόμησης αισθητήρων θερμοκρασίας AirSensis

Στις παρακάτω εικόνες θα φανούν τα αποτελέσματα, δηλαδή οι γραφικές παραστάσεις με την εξίσωση βαθμονόμησης του κάθε AirSensis αισθητήρα.



Εικόνα 50: Βαθμονόμηση αισθητήρα υγρασίας AirSensis 24



Εικόνα 51: Βαθμονόμηση αισθητήρας θερμοκρασίας AirSensis 13

Για την επίτευξη γραμμικής βαθμονόμησης ενός οργάνου, μια απλή γραμμική εξίσωση μπορεί να είναι επαρκής. Για πιο περίπλοκες καμπύλες, μπορεί να απαιτηθούν άλλες εξισώσεις. Με την παρακάτω εξίσωση έγινε η βαθμονόμηση της θερμοκρασίας - υγρασίας.

$$y = ax + \beta$$

y: είναι η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής.

x: είναι η τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής.

a: είναι η κλίση της ευθείας, που δείχνει πόσο αυξάνεται ή μειώνεται η εξαρτημένη μεταβλητή για κάθε μονάδα αύξησης της ανεξάρτητης μεταβλητής.

b: είναι η τομή της ευθείας με τον άξονα όταν η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι μηδέν. Αυτή η τιμή καθορίζει το σημείο όπου η ευθεία τέμνει τον άξονα.

Στις γραφικές παραστάσεις η γραμμική παλινδρομηση (R) αναφέρεται στο συντελεστή συσχέτισης Pearson (Pearson correlation coefficient) ή αλλιώς γνωστό ως συντελεστής συσχέτισης Pearson's R. Ο συντελεστής Pearson R λαμβάνει τιμές από -1 έως 1:

- Αν ο R είναι κοντά στο 1, αυτό υποδηλώνει μια θετική γραμμική σχέση, όπου όσο αυξάνει η μία μεταβλητή, αυξάνει και η άλλη.
- Αν ο R είναι κοντά στο -1, αυτό υποδηλώνει μια αρνητική γραμμική σχέση, όπου όσο αυξάνει η μία μεταβλητή, μειώνεται η άλλη.
- Αν ο R είναι κοντά στο 0, αυτό υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών.

Ο συντελεστής Pearson R είναι χρήσιμος για την αξιολόγηση της κατεύθυνσης της σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών και χρησιμοποιείται ευρέως στα πεδία της στατιστικής, της επιστήμης των δεδομένων, της επιστήμης της ψυχολογίας και άλλων εφαρμογών για να μελετηθεί η συσχέτιση μεταξύ μεταβλητών.

Στα πειράματα βαθμονόμησης ο συντελεστής Pearson R είναι χρήσιμος για την παρατήρηση της πιθανότητας σύγκλισης (ή απόκλισης) των τιμών του οργάνου αναφοράς και των τιμών του αισθητήρα προς βαθμονόμηση.

Τα τελικά αποτελέσματα της βαθμονόμησης των αισθητήρων προκύπτουν από την συλλογή των πειραματικών δεδομένων και την καταγραφή τους σε αρχεία excel. Σε αυτά τα αρχεία επεξεργάστηκαν τα πειραματικά δεδομένα και κατά αυτόν τον τρόπο προέκυψαν οι γραφικές παραστάσεις βαθμονόμησης.

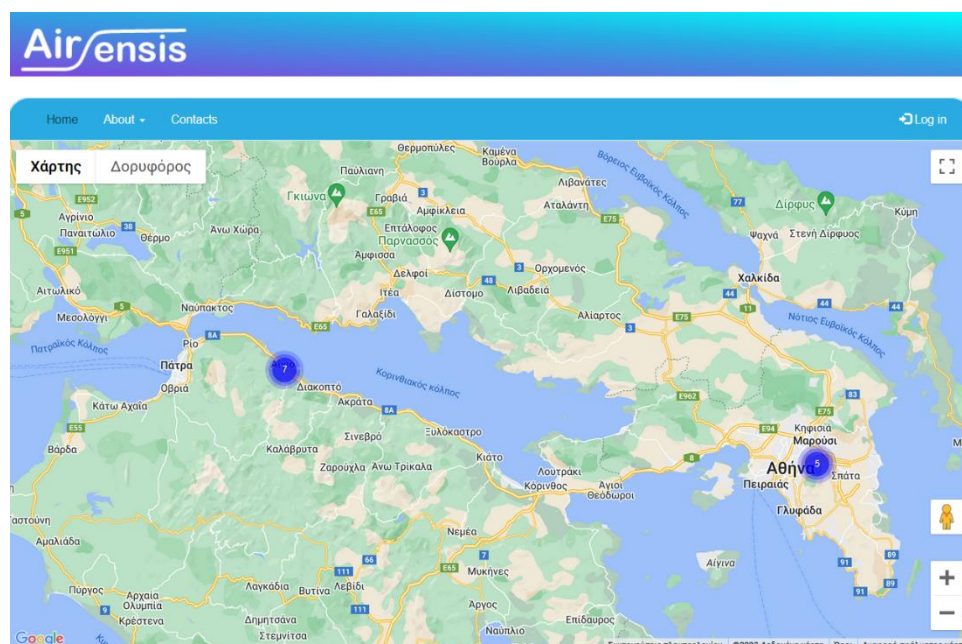
Κεφάλαιο 6

6.1. Web πλατφόρμες AirSensis και επεξεργασία δεδομένων

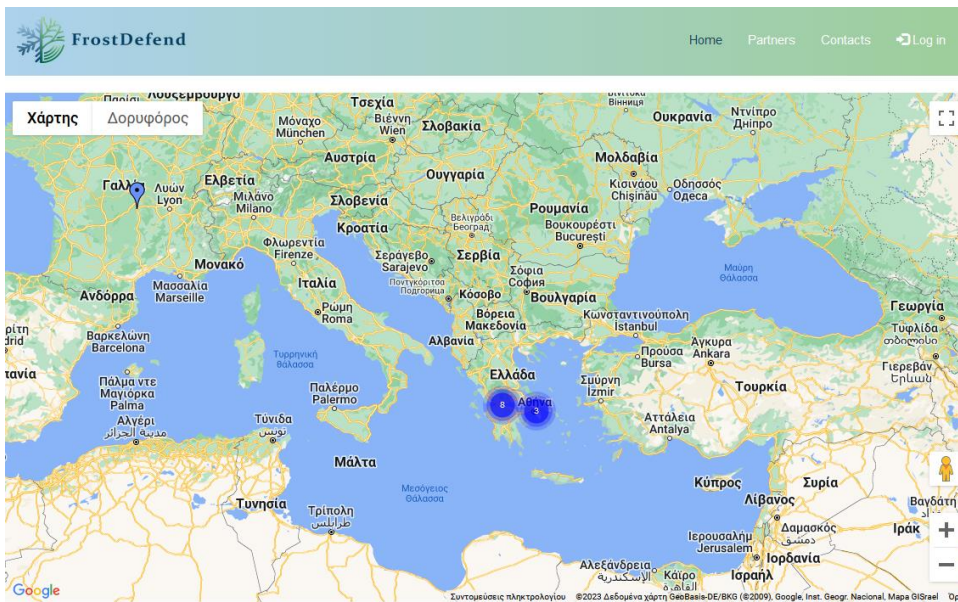
Στα πλαίσια ανάπτυξης των συστημάτων AirSensis η εταιρεία mSensis S.A. αναπτύσσει και διαθέτει μια υποδομή web για τα συστήματα AirSensis. Η εταιρεία mSensis S.A. είναι μια εταιρεία πληροφορικής με γραφεία στην Αθήνα και την Θεσσαλονίκη. Μέσω της εταιρείας mSensis S.A. προέκυψε η εργασία μου πάνω στην ανάπτυξη των συστημάτων AirSensis. Στην εταιρεία έχω την χαρά να συνεργάζομαι με ανθρώπους που ασχολούνται με εφαρμογές web, με τεχνητή νοημοσύνη και άλλες τεχνολογίες. Η εταιρεία ασχολείται και με ερευνητικά και με εμπορικά projects. Το AirSensis είναι ένα από τα αποτελέσματα των ερευνητικών project.

Η εταιρεία ανάλογα με τις απαιτήσεις του project που συμμετέχουν τα συστήματα αναπτύσσει νέες ιστοσελίδες με σκοπό την καλύτερη δυνατή παρουσίαση των δεδομένων που αποστέλλονται από τα συστήματα και τον διαχωρισμό τους σε νέα δίκτυα μετρήσεων.

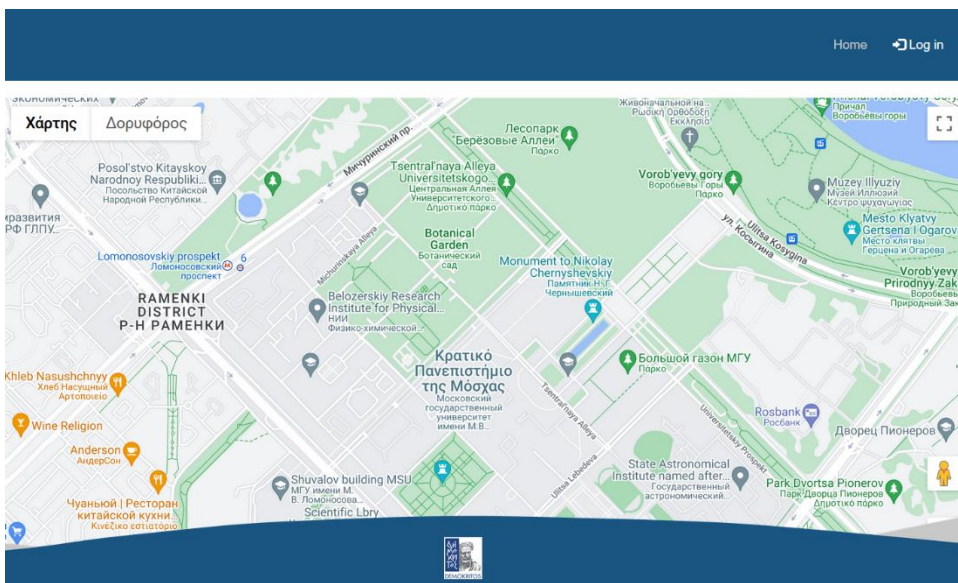
Γενικά, για να ελεγχθεί η λειτουργία του συστήματος AirSensis από έναν εγγεγραμμένο χρήστη ελέγχονται τα αποσταλμένα δεδομένα του συστήματος στις ιστοσελίδες των projects. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν δεδομένα για το συγκεκριμένο σύστημα τότε υπάρχει η πιθανότητα να μην λειτουργεί το σύστημα ή να μην μπορεί να υπάρξει επικοινωνία της συσκευής με την βάση δεδομένων (server).



Εικόνα 52: Η ιστοσελίδα AirSensis (mSensis S.A., 2023)



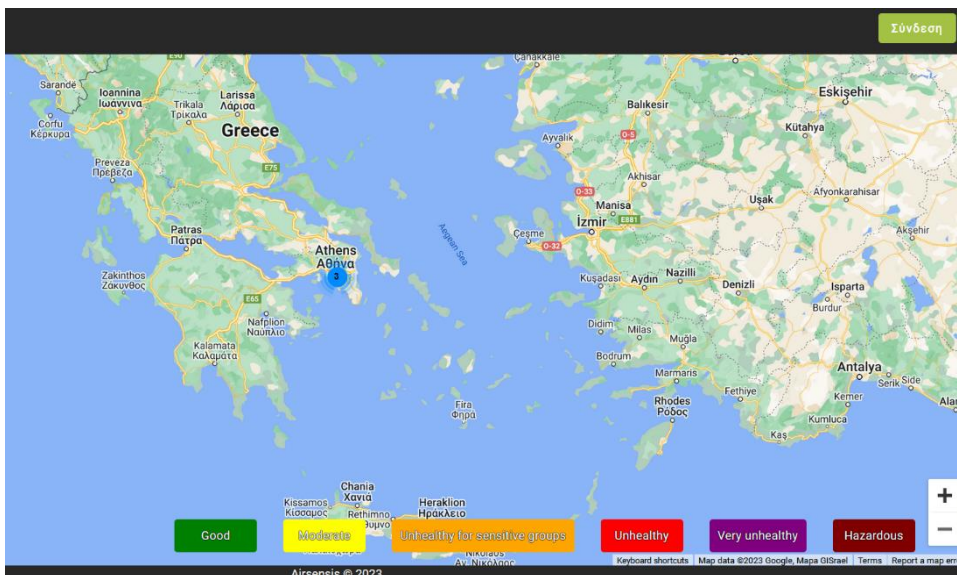
Εικόνα 53: Η ιστοσελίδα του Frost Defend (mSensis S.A., n.d.) project



Εικόνα 54: Η ιστοσελίδα του συστήματος AirSensis (mSensis S.A., 2023) στην Μόσχα



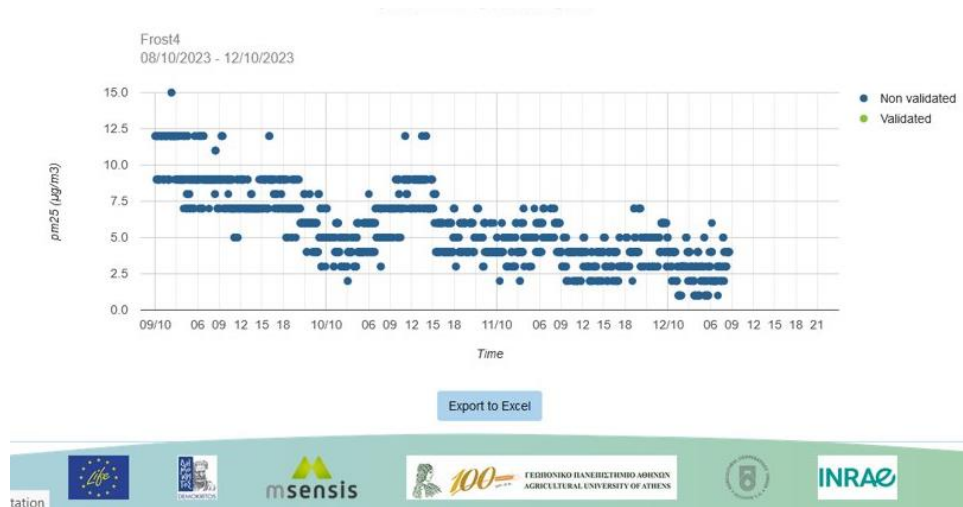
Εικόνα 55: Η ιστοσελίδα των συστημάτων AirSensis στο συνέδριο IAC2022 (IAC2022, 2022)



Εικόνα 56: Η νέα ιστοσελίδα AirSensis για τις νέες εκδόσεις AirSensis (mSensis S.A., 2023)

Όπως φαίνεται και στις παραπάνω εικόνες τα συστήματα AirSensis ανάλογα με το project σχηματίζουν μικρά δίκτυα σταθμών - συστημάτων μετρήσεων. Τα δεδομένα που αποστέλλονται μπορούν να διατεθούν σε εγγεγραμμένους χρήστες των ιστοσελίδων. Ο εγγεγραμμένος χρήστης πραγματοποιεί σύνδεση σε μια ιστοσελίδα από τα projects και επιλέγει όποιον σταθμό μέτρησης AirSensis υπάρχει στο δίκτυο. Έτσι, παρατηρεί ή κάνει λήψη χρονοσειρών δεδομένων του σταθμού ή και άλλων σταθμών που επιλέγει. Τα δεδομένα όλων των σταθμών AirSensis κατεβαίνουν σε μορφή αρχείου excel και μπορεί ο χρήστης που κατέβασε τα αρχεία να επεξεργαστεί όπως εκείνος επιθυμεί τα δεδομένα στον προσωπικό του υπολογιστή. Επιπλέον, μπορεί να εξάγει δικά του συμπεράσματα και να κάνει δικές του παρατηρήσεις χωρίς να κατεβάσει κάποια δεδομένα με το να παρατηρήσει απλά τις γραφικές αναπαραστάσεις των δεδομένων στο site. Παρακάτω, παρουσιάζεται μια γραφική αναπαράσταση μετρήσεων συγκέντρωσης σωματιδιακής μάζας PM_{2,5} του σταθμού

μέτρησης AirSensis υπ' αριθμόν 24 που συμμετέχει στο δίκτυο συστημάτων AirSensis του Frost Defend project.



Εικόνα 57: Γραφική αναπαράσταση PM 2,5 του AirSensis 24 (περίοδος: 9 -12 Οκτωβρίου 2023)

Όπως φαίνεται στην εικόνα υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης και λήψης της παρουσιαζόμενης χρονοσειράς της συγκέντρωσης σωματιδιακής μάζας PM 2,5 για την επιλεγμένη (από τον χρήστη) περίοδο διάρκειας τεσσάρων ημέρων (9 – 12 Οκτωβρίου 2023).

Τα δεδομένα φαίνονται στο αρχείο excel όπως ακριβώς φαίνονται και στην παρακάτω εικόνα.

	A	B
1	Timestamp	pm25 (µg/m3)
2	2023-11-03 00:00:03	2.5
3	2023-11-03 00:01:03	3.2
4	2023-11-03 00:02:03	2
5	2023-11-03 00:03:03	3
6	2023-11-03 00:04:03	2.4
7	2023-11-03 00:05:03	2.9
8	2023-11-03 00:06:03	2.4
9	2023-11-03 00:07:03	3
10	2023-11-03 00:08:03	2.9
11	2023-11-03 00:09:03	3.4
12	2023-11-03 00:10:03	2.5
13	2023-11-03 00:11:03	2
14	2023-11-03 00:12:03	2.4
15	2023-11-03 00:13:03	2.8
16	2023-11-03 00:14:03	2

Εικόνα 58: Τμήμα αρχείου excel με δεδομένα μετρήσεων PM 2,5

Στην πρώτη στήλη του αρχείου είναι η ώρα μέτρησης (Timestamp) και στην δεύτερη στήλη είναι η μέτρηση PM 2,5 (μικρογραμμάρια προς τετραγωνικά μέτρα). Η ζώνη ώρας είναι UTC (δηλαδή μηδέν).

6.2. Δομή αποστολής δεδομένων AirSensis και web πρωτόκολλα επικοινωνίας

Η αποστολή δεδομένων στην βάση δεδομένων πραγματοποιείται από το σύστημα κατόπιν “αιτήματος” από τον κύριο επεξεργαστή του συστήματος AirSensis. Το αίτημα HTTP POST είναι μια εντολή αποθήκευσης των δεδομένων του πελάτη (client) προς την βάση δεδομένων (server).

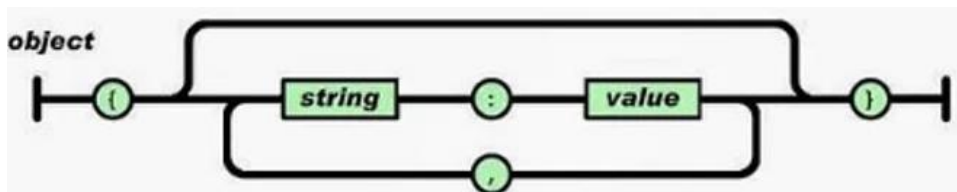
Το πρωτόκολλο HTTP (Hypertext Transfer Protocol) είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στο World Wide Web για τη μεταφορά δεδομένων από έναν διακομιστή (server) προς έναν πελάτη (client) και αντίστροφα. Αποτελεί τη βάση του περιβάλλοντος του WWW και επιτρέπει τη μεταφορά και τον χειρισμό δεδομένων όπως κείμενο, εικόνες, βίντεο, ήχο και άλλους τύπους αρχείων.

Για την επικοινωνία μεταξύ του server και του client χρησιμοποιούνται δικτυακές πόρτες για την σύνδεση και την μεταφορά δεδομένων.

Η χρήση διαφορετικών πορτών επιτρέπει τη διαχείριση πολλαπλών υπηρεσιών σε έναν server. Η πόρτα 80 είναι η προεπιλεγμένη πόρτα για τη μη κρυπτογραφημένη επικοινωνία HTTP (docs). Η πόρτα 443 είναι η προεπιλεγμένη πόρτα για το HTTPS, που παρέχει ασφαλή μεταφορά δεδομένων με τη χρήση SSL/TLS. Το SSL (Secure Sockets Layer) και το TLS (Transport Layer Security) είναι web πρωτόκολλα ασφαλείας.

Όταν αναφερόμαστε σε web δίκτυα, οι πόρτες αναφέρονται σε αριθμημένες διασυνδέσεις στο επίπεδο των διευθύνσεων IP. Άλλες συχνά χρησιμοποιούμενες πόρτες (που δεν σχετίζονται με το ίντερνετ) στους μικροελεγκτές είναι οι πόρτες επικοινωνίας (communication ports) δηλαδή οι προεπιλεγμένες πόρτες του μικροελεγκτή για την επίτευξη σειριακών πρωτοκόλλων μετάδοσης δεδομένων (π.χ. σειριακή μετάδοση δεδομένων μετρήσεων από έναν αισθητήρα σε έναν μικροελεγκτή).

Τα δεδομένα μεταφέρονται σε μορφή JSON. Το JSON (JavaScript Object Notation) (json.org, n.d.) είναι ένα πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ένα μεγάλο εύρος γλωσσών προγραμματισμού (γλώσσα C,C++,Python,Go,Pearl,Erlang,SQL,PHP και άλλες). Το JSON format (μορφή JSON) τηρεί κάποια στάνταρ.



Εικόνα 59: Σχηματική αναπαράσταση μορφής πρωτοκόλλου JSON (json.org, n.d.)

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται μια σχηματική αναπαράσταση του φορμαρίσματος δεδομένων με το πρωτόκολλο ανταλλαγής δεδομένων JSON. Η κάθε μέτρηση έχει ένα όνομα (string) και μια τιμή (value), η κάθε μέτρηση διαχωρίζεται με ένα κόμμα από την επόμενη. Έτσι αποστέλλονται εμφωλευμένες όλες οι μετρήσεις του συστήματος AirSensis στην παραπάνω μορφή πρωτοκόλλου JSON με το HTTP POST αίτημα αποστολής δεδομένων.

Εκτός της αποθήκευσης δεδομένων AirSensis στην web υποδομή των συστημάτων, τα δεδομένα αποθηκεύονται και διατηρούνται στους υπολογιστές του εργαστηρίου και της εταιρείας. Για την σωστή οργάνωση των δεδομένων διατηρούνται αρχεία μορφής excel που σημειώνεται η τοποθεσία και ο χρόνος παραμονής του κάθε συστήματος σε κάθε τοποθεσία. Αυτό συμβαίνει διότι ανά περιοχή υπάρχουν διαφορετικές συνθήκες δειγματοληψίας των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

12	ID2	date UTC+2	start day or stop day	location
13	ID2	1/1/2022	start day	DEM
14	ID2	1/26/2023	stop day	DEM
15	ID2	3/9/2023	start day	γρεκα
16	ID2	4/4/2023	stop day	γρεκα
17	ID2	4/5/2023	start day	protodikio
18	ID2	4/6/2023	stop day	protodikio
19	ID2	5/25/2023	start day	DEM

Εικόνα 60: Τμήμα αρχείου καταγραφής περιόδου δειγματοληψίας του AirSensis 2

Κεφάλαιο 7

7.1. Σύντομη ιστορική αναδρομή του συστήματος AirSensis

Το σύστημα αισθητήρων χαμηλού κόστους AirSensis άρχισε να αναπτύσσεται στα πλαίσια της συνεργασίας της εταιρείας που εργάζομαι την mSensis S.A. (mSensis S.A., 2023) και του εργαστηρίου ΕΡΠΤΑΚ (Ραδιενέργειας και Περιβάλλοντος) του ινστιτούτου ΙΠΡΕΤΕΑ (Ινστιτούτο Πυρηνικών και Ραδιολογικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Ενέργειας και Ασφάλειας) του ΕΚΕΦΕ (Εθνικού Κέντρου Έρευνας Φυσικών Επιστημών) Δημόκριτος (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, 2023). Στο εργαστήριο που αναπτύσσονται τα συστήματα AirSensis εργάζομαι κυρίως στην ανάπτυξη του λογισμικού (firmware) των συστημάτων. Οι παρακάτω φωτογραφίες έχουν τραβηχτεί είτε από εμένα είτε από τους συναδέλφους μου στο εργαστήριο και για αυτό τους ευχαριστώ θερμά.



Εικόνα 61: Πρώιμη εκδοχή του συστήματος AirSensis στα χωράφια



Εικόνα 62: Ένα από τα πρώτα συστήματα AirSensis υπ' αριθμόν 2

Το σύστημα AirSensis έχει συμμετάσχει σε αρκετές εκθέσεις στην Ελλάδα και το εξωτερικό από την αρχή της ανάπτυξης του. Πρώιμες εκδοχές του αποστέλλουν τα δεδομένα που λαμβάνουν μέσω WiFi ρούτερ και λαμβάνουν τροφοδοσία απευθείας από μια ηλεκτρική πρίζα. Μεταγενέστερες εκδοχές του διαθέτουν μερική ηλεκτρική αυτονομία μιας ημέρας (ή και λίγο παραπάνω). Οι πιο πρόσφατες εκδοχές AirSensis (2022 - σήμερα) είναι όλες ηλεκτρικά αυτόνομες.



Εικόνα 63: Μεταγενέστερη εκδοχή AirSensis στα χωράφια στην ευρύτερη περιοχή του Αιγίου



Εικόνα 64: Η πιο καινούργια εκδοχή AirSensis (καλοκαίρι 2023)

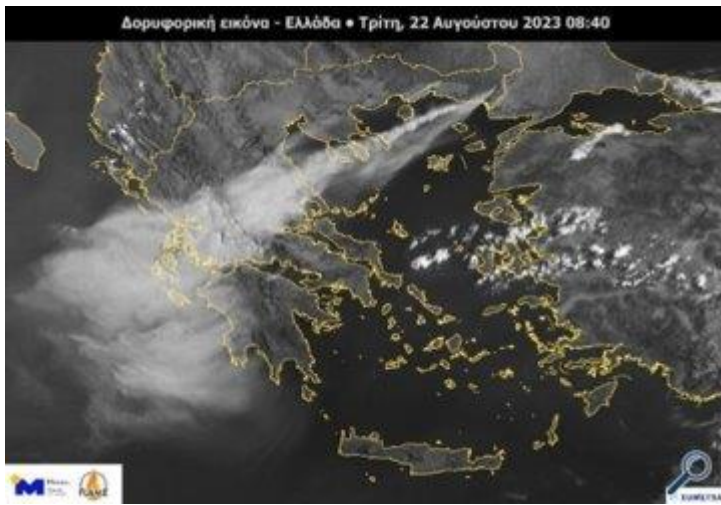
Οι εκδοχές AirSensis έχουν προκύψει κυρίως από τις ανάγκες των projects που έχει συμμετάσχει το σύστημα. Στα πλαίσια του project Frost Defend χρειάστηκε να αναπτυχθεί ένα πλήρως αυτόνομο ηλεκτρικό σύστημα. Αυτό επιτεύχθηκε με ένα κατάλληλα επιλεγμένο φωτοβολταϊκό πάνελ και μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία.

Στο επόμενο υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν πρόσφατες μετρήσεις και τοποθεσίες των συστημάτων AirSensis.

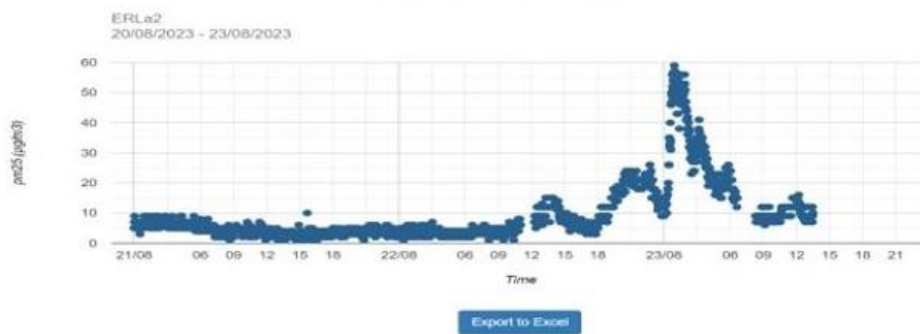
7.2. Μετρήσεις AirSensis

Από τις μετρήσεις των συστημάτων AirSensis προκύπτουν παρατηρήσεις και συμπεράσματα σχετικά με τις μετρούμενες περιβαλλοντικές παραμέτρους της περιοχής που τοποθετούνται. Όταν προκύπτουν φυσικά ή ανθρωπογενή φαινόμενα τα συστήματα AirSensis εντοπίζουν τις αλλαγές στον περιβάλλοντα χώρο τους. Στις παρακάτω εικόνες θα παρουσιαστούν γραφικές παραστάσεις που παρουσιάζουν ενδιαφέρον και επιβεβαιώνουν την εύρυθμη λειτουργία των συστημάτων εντός και εκτός Ελλάδας. Στις πρώτες εικόνες θα παρατηρηθούν από τρία διαφορετικά συστήματα σε τρεις διαφορετικές περιοχές οι αλλαγές στις μετρήσεις κατανομής σωματιδιακής μάζας PM 2,5 στην ατμόσφαιρα όπως και προέκυψαν από τον καπνό της πυρκαγιάς στον Έβρο την περίοδο 21 – 23 Αυγούστου 2023.

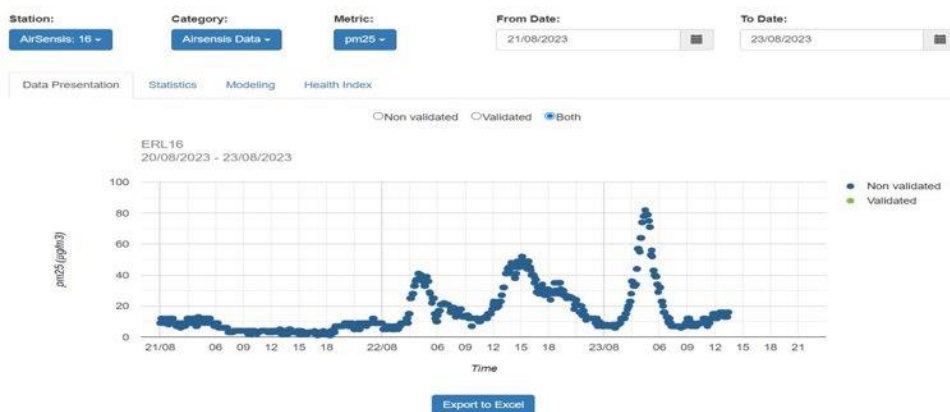
Ανάλογα με την κατεύθυνση του ανέμου παρατηρούνται αλλαγές στις μετρήσεις των συγκεντρώσεων.



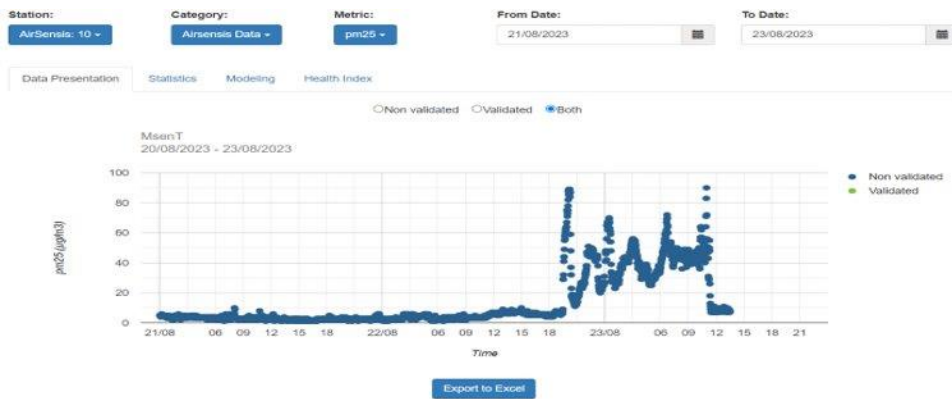
Εικόνα 65: Δορυφορική εικόνα που αποτυπώνει την έκταση του καπνού της πυρκαγιάς του Έβρου (Meteo, 2023)



Εικόνα 66: Μετρήσεις στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής (σταθμός έρευνας αερολυμάτων DEM)



Εικόνα 67: Μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του Αιγίου (αγροτικά περιβάλλοντα)



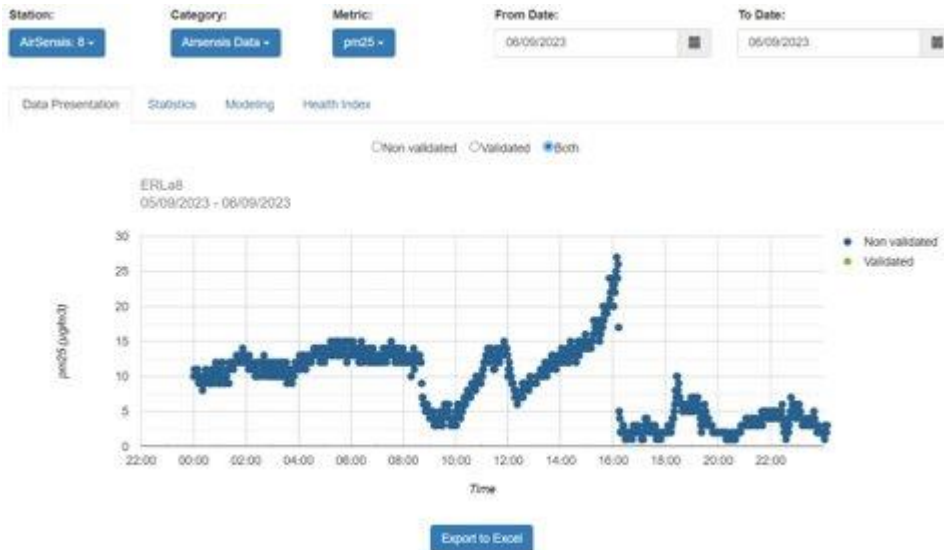
Εικόνα 68: Μετρήσεις στην περιοχή του Πειραιά (σταθμός μέτρησης ποιότητας αέρα ΥΠΕΚΑ)

Συμπερασματικά, οι αισθητήρες σωματιδίων των συστημάτων εντοπίζουν τις μεγάλες συγκεντρώσεις PM 2,5 του καπνού.

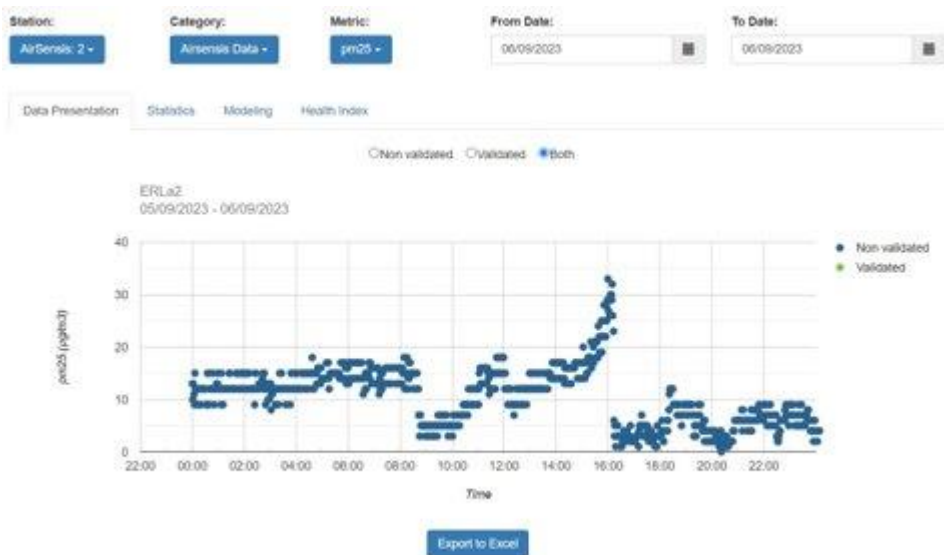
Στις παρακάτω εικόνες θα παρατηρηθούν οι μετρήσεις των αισθητήρων σωματιδίων AirSensis στις 6 Σεπτεμβρίου 2023 όταν έβρεξε στον νομό Αττικής.



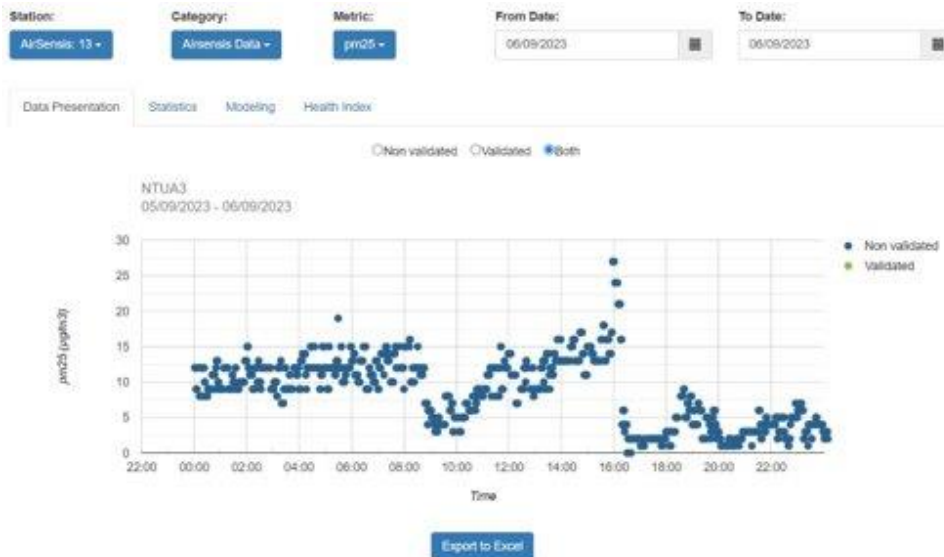
Εικόνα 69: Μετρήσεις στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής (σταθμός DEM)



Εικόνα 70: Μετρήσεις στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής (σταθμός DEM)



Εικόνα 71: Μετρήσεις στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής (σταθμός DEM)



Εικόνα 72: Μετρήσεις στην περιοχή της Αγίας Παρασκευής (σταθμός DEM)



Εικόνα 73: Μετρήσεις στην περιοχή του Πειραιά (σταθμός ΥΠΕΚΑ)

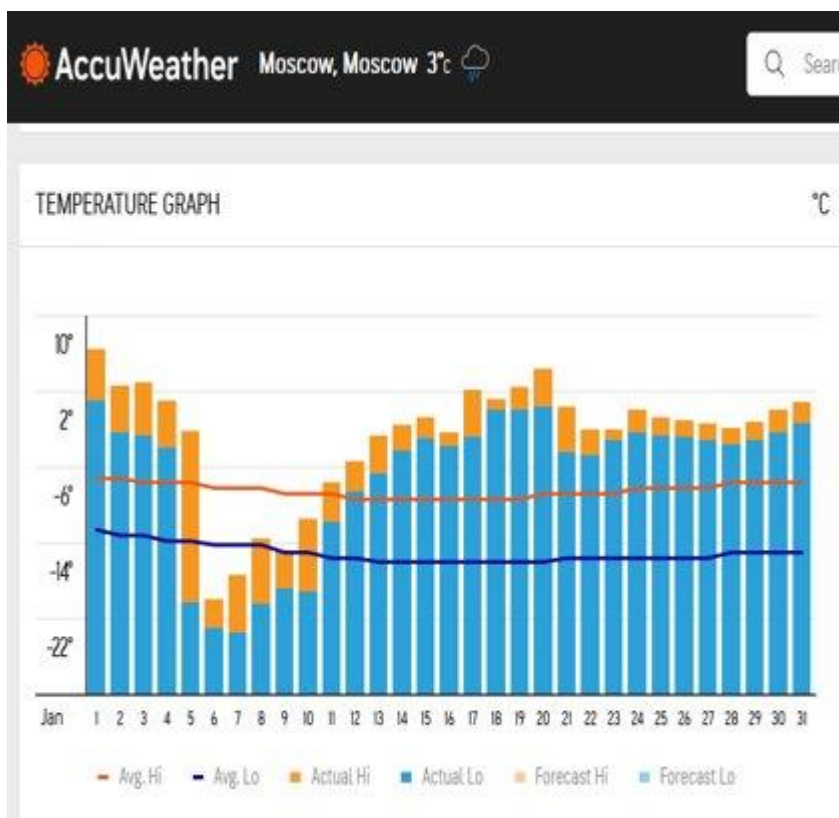
Η ατμόσφαιρα έχει καθαριστεί από την βροχή, έτσι παρουσιάζονται μικρά νούμερα στις μετρήσεις των αισθητήρων σωματιδίων.

Τα συστήματα AirSensis έχουν τοποθετηθεί για μεγάλες χρονικές περιόδους και στο εξωτερικό και πιο συγκεκριμένα στο Κρατικό Πανεπιστήμιο της Μόσχας στην Ρωσία. Το AirSensis τοποθετήθηκε στα πλαίσια σύγκρισης των μετρήσεων του με όργανα περιβαλλοντικών μετρήσεων του εργαστηρίου στην Μόσχα.

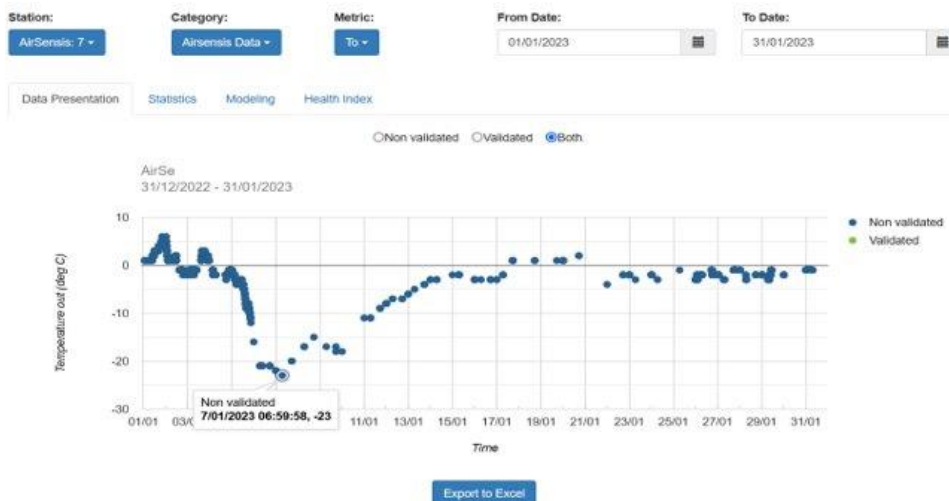


Εικόνα 74: Το σύστημα AirSensis στο Κρατικό Πανεπιστήμιο Μόσχας

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μετρήσεις θερμοκρασίας του συστήματος σε σύγκριση με τις τιμές θερμοκρασίας που διατίθενται στο site AccuWeather . Στις δύο εικόνες πιο κάτω θα παρατηρηθεί μια σχεδόν πανομοιότυπη γραφική παράσταση της χρονοσειράς των μετρήσεων θερμοκρασίας για τον μήνα Ιανουάριο 2023.

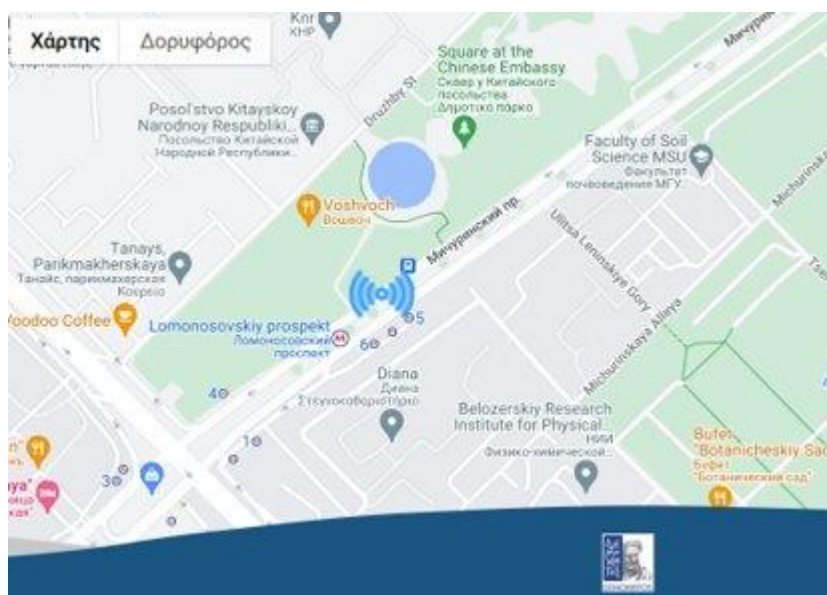


Εικόνα 75: Οι μετρήσεις θερμοκρασίας τον μήνα Ιανουάριο σύμφωνα με το website AccuWeather (AccuWeather, n.d.)



Εικόνα 76: Οι μετρήσεις θερμοκρασίας τον μήνα Ιανουάριο σύμφωνα με το σύστημα AirSensis

Στις επόμενες δύο εικόνες θα παρατηρηθεί το γεωγραφικό στίγμα του συστήματος στην Ρωσία και μια χρονοσειρά μετρήσεων του αισθητήρα σωματιδίων για τους μήνες Ιανουάριο, Φλεβάρη και Μάρτιο 2023.



Εικόνα 77: Το γεωγραφικό στίγμα AirSensis στην Μόσχα



Εικόνα 78: Οι μετρήσεις PM 2,5 της περιόδου Ιανουάριος - Μάρτιος 2023 στο Κρατικό Πανεπιστήμιο Μόσχας

Στα πλαίσια του Frost Defend project έχουν τοποθετηθεί συστήματα AirSensis σε χωράφια στην ευρύτερη περιοχή του Αγίου στον νομό Αχαΐας. Σκοπός του Frost Defend project είναι η λήψη μετρήσεων σε χωράφια, ώστε να παραχθεί ένα μοντέλο πρόβλεψης παγετού στις αγροτικές καλλιέργειες. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι περιοχές, τα συστήματα και οι γραφικές αναπαραστάσεις των PM2,5 μετρήσεων τους.



Εικόνα 79: Το σύστημα AirSensis 6 στην Τέμενη, νομός Αχαΐας



Εικόνα 80: Το σύστημα AirSensis 11 στα Βαλιμίτικα, νομός Αχαΐας



Εικόνα 81: Το σύστημα AirSensis 16 στην Κούνινα, νομός Αχαΐας



Εικόνα 82: Μετρήσεις PM 2,5 του AirSensis 16 στην Κούνινα, νομός Αχαΐας



Εικόνα 83: Μετρήσεις PM 2,5 του AirSensis 11 στα Βαλιμίτικα, νομός Αχαΐας

Το παρακάτω σύστημα AirSensis 14 έχει τοποθετηθεί από τον Σεπτέμβριο 2023 στο ινστιτούτο ερευνών (INRAE, n.d.) στην περιοχή Κλερμόν Φεράν στην Γαλλία στα πλαίσια συνεργασίας του ινστιτούτου με το εργαστήριο, την εταιρεία και το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών στο Frost Defend project.



Εικόνα 84: Το σύστημα AirSensis 14 στην Γαλλία



Εικόνα 85: Η τοποθεσία του συστήματος AirSensis 14 στην Γαλλία (Location)

Το σύστημα έχει τοποθετηθεί σε εξωτερικό χώρο και έχει αποστείλει τις γεωγραφικές συντεταγμένες της τοποθεσίας του με το ενσωματωμένο (στο σύστημα) GPS. Κάποιες από τις μετρήσεις PM 2,5 που αποστέλλει φαίνονται στην γραφική αναπαράσταση παρακάτω.



Εικόνα 86: Μετρήσεις PM 2,5 στην Γαλλία την περίοδο 30/09/2023 - 04/10/2023

Κεφάλαιο 8

8.1. Συμπεράσματα και προοπτικές του συστήματος AirSensis

Το σύστημα AirSensis αποτελεί ένα αξιόπιστο σύστημα με αισθητήρες χαμηλού κόστους ποιότητας του αέρα. Έχει δημιουργηθεί με βάση τις τελευταίες IoT τεχνολογίες. Αποτελεί αποτέλεσμα δουλειάς αρκετών ετών από το εργαστήριο Ραδιενέργειας και Περιβάλλοντος (του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος) και της εταιρείας mSensis S.A.. Αναπτύσσεται συνεχώς και ελέγχεται επί του πεδίου. Έχει δοκιμαστεί και σε αστικά περιβάλλοντα και σε χωράφια. Μπορεί να λάβει μετρήσεις σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους. Τα δεδομένα των μετρήσεων των συστημάτων AirSensis διατίθενται σε αρχεία μορφής excel σε εγγεγραμμένους χρήστες των ιστοσελίδων AirSensis για περαιτέρω επεξεργασία και αποθήκευση. Επιπλέον, τα δεδομένα αναπαρίστανται σε γραφικές παραστάσεις στις ιστοσελίδες.

Οι νεότερες εκδοχές του συστήματος AirSensis είναι ηλεκτρικά αυτόνομες. Τα ηλεκτρικά αυτόνομα συστήματα AirSensis χρησιμοποιούνται στο Frost Defend project για την λήψη μετρήσεων σε αγροτικά περιβάλλοντα.

Για την επίτευξη συνεχούς και αξιόπιστης αυτόνομης ηλεκτρικής λειτουργίας έχει δημιουργηθεί μοντέλο προβλέψεων ηλεκτρικής τροφοδοσίας με την βοήθεια του προγράμματος PVGIS.

Για την διακρίβωση και αξιοπιστία των περιβαλλοντικών μετρήσεων των συστημάτων έχουν πραγματοποιηθεί σειρά πειραμάτων βαθμονόμησης των αισθητήρων και έχουν επεξεργαστεί οι μετρήσεις από διάφορες τοποθεσίες και για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Στο σύστημα AirSensis προβλέπεται να υπάρξει βελτίωση της βιομηχανικής του σχεδίασης με στόχο την μαζικότερη παραγωγή συστημάτων. Επιπλέον, σύντομα θα υπάρξει νέο φορητό σύστημα AirSensis και μία εφαρμογή κινητού.

Αναφορές

- AccuWeather. (n.d.). *Moscow, Moscow, Russia Weather Forecast*. Ανάκτηση από <https://www.accuweather.com/en/ru/moscow/294021/weather-forecast/294021>
- akm. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.akm.com/kr/ko/products/co2-sensor/tutorial/what-is-ndir/>
- Arduino. (2023). *Arduino IDE*. Ανάκτηση από <https://www.arduino.cc/en/software>
- BME280 datasheet. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.mouser.com/datasheet/2/783/BST-BME280-DS002-1509607.pdf>
- briangwilliams. (n.d.). *PM κατανομή*. Ανάκτηση από <https://www.briangwilliams.us/atmospheric-chemistry/ambient-aerosol-size-distributions.html>
- cleanenergyreviews. (n.d.). *Most efficient solar panels 2023*. Ανάκτηση από <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>
- Diapouli, E. &. (2022). PM2.5 Source Apportionment and Implications for Particle Hygroscopicity at an Urban Background Site in Athens. *Atmosphere*.
- docs, m. w. (n.d.). Ανάκτηση από <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP>
- Eclipse. (n.d.). *Eclipse IDE*. Ανάκτηση από <https://www.eclipse.org/ide/>
- Espressif. (n.d.). Ανάκτηση από ESP-IDF Programming Guide: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/>
- European Commision. (2023). *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM* . Ανάκτηση από https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- European Enviroment Agency. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.eea.europa.eu/en>
- European Enviroment Agency. (n.d.). *AQI*. Ανάκτηση από https://www.eea.europa.eu/en/advanced-search?q=AQI&size=n_10_n&filters%5B0%5D%5Bfield%5D=readingTime&filters%5B0%5D%5Btype%5D=any&filters%5B0%5D%5Bvalues%5D%5B0%5D%5Bname%5D=All&filters%5B0%5D%5Bvalues%5D%5B0%5D%5BrangeType%5D=fixed&filters%5B1%5D%5Bfield
- European Enviromental Agency. (n.d.). *European Air Quality Index*. Ανάκτηση από <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>
- Github. (n.d.). Ανάκτηση από <https://github.com/>
- Google Maps. (n.d.). *Location*. Ανάκτηση από <https://www.google.com/maps>
- Greenhouse Effect*. (n.d.). Ανάκτηση από <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-middle-school-earth-science-flexbook-2.0/section/10.14/primary/lesson/greenhouse-effect-ms-es/>
- hackAIR. (n.d.). Ανάκτηση από <https://platform.hackair.eu/>
- IAC2022. (2022, September). Ανάκτηση από https://iac2022.gr/wp-content/uploads/2022/09/IAC-2022_FINAL-Program-New.pdf
- INRAE. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.inrae.fr/en>

INRASTES, NCSR Demokritos. (2023). Ανάκτηση από The DEM-Athens Urban background Monitoring station for Aerosol properties: <http://www2.ipta.demokritos.gr/DEM-ATH/DEMstation.html>

INRASTES, NCSR Demokritos. (2023, October). Ανάκτηση από http://www2.ipta.demokritos.gr/dem-ath/smeps/last_SMPS.png

INRASTES, NCSR Demokritos. (2023, October). Ανάκτηση από <http://www2.ipta.demokritos.gr/dem-ath/Neph/Nephelometer.html>

json.org. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.json.org/json-en.html>

json.org. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.json.org>: <https://www.json.org/img/array.png>

Laser Scattering Technology (LST). (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.sensortips.com/featured/has-interest-in-particulate-matter-sensing-increased/>

Mauna Loa Baseline Observatory. (n.d.). Ανάκτηση από <https://gml.noaa.gov/obop/mlo/>

Meteo. (2023, Αύγουστος). *Meteo*. Ανάκτηση από <https://meteo.gr/>

mSensis S.A. (2023). Ανάκτηση από <https://app.airsensis.com/stations>

mSensis S.A. (2023). Ανάκτηση από <https://id7.airsensis.com/>

mSensis S.A. (2023). *AirSensis*. Ανάκτηση από AirSensis: <http://airsensis.com/>

mSensis S.A. (2023). *Αρχική Σελίδα*. Ανάκτηση από <https://msensis.com/el/>

mSensis S.A. (n.d.). *AirSensis Plus*. Ανάκτηση από <https://airsensisplus.gr/el/>

mSensis S.A. (n.d.). *Frost Defend*. Ανάκτηση από <https://frostdefend.eu/en/>

National and Kapodistrian University of Athens. (n.d.). *SKYRON Forecast*. Ανάκτηση από <https://forecast.uoa.gr/el/forecast-maps/skiron>

National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S. Department of Energy. (2023). Ανάκτηση από <https://sam.nrel.gov/>

NDIR Technology. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.akm.com/eu/en/products/co2-sensor/tutorial/what-is-ndir/>

Nova PM Sensor Image. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.amazon.com/SDS011-Quality-Detection-Conditioning-Monitor/dp/B07FSDMRR5>

P. Fetfatzis, O. P. (2023, September 2-8). Outdoor aerosol calibration control at cold conditions for the low cost sensor AirSensis. *European Aerosol Science Conference 2023*. Malaga, Spain.

PurpleAir. (n.d.). Ανάκτηση από <https://map.purpleair.com/>

researchgate. (2023, November 26). Modalities of PM10 and PM2.5 Quantification in Environmental Air Using the Standardized Method - Scientific Figure on ResearchGate. Ανάκτηση από https://www.researchgate.net/figure/An-idealized-distribution-of-ambient-particulate-matter-showing-fine-mode-particles-and_fig1_262615132

waqi. (n.d.). *World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index*. Ανάκτηση από <http://waqi.info/>

YAT. (2023). Ανάκτηση από <https://sourceforge.net/projects/y-a-terminal/>

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www2.aua.gr/el>

ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος. (2023). Ανάκτηση από <https://www.demokritos.gr/el/>

Κρατικό Πανεπιστήμιο της Μόσχας. (n.d.). Ανάκτηση από <https://www.msu.ru/en/>

Παπαγιάννης. (2005). *ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΗΙΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ*. Αθήνα.

Ρυθμιστής Φόρτισης PWM 24V 20A. (n.d.). Ανάκτηση από skroutz:
<https://www.skroutz.gr/s/12638476/Rythmistis-Fortisis-PWM-24V-20A.html>

Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ. (n.d.). Ατομική Δομή. Ανάκτηση από
https://www.physics.auth.gr/uploads/attachment/translation/local_file/10095/a69a0db3-6011-4c98-bb59-8d561477a018.pdf

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (n.d.). *ΥΠΕΚΑ*. Ανάκτηση από <http://astikalimata.ypeka.gr/>