



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ &  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

## ΠΤΥΧΙΑΚΉ ΕΡΓΑΣΊΑ

---

Μετεωρολογικό Μπαλόνι: Αισθητήρια και  
Τηλεμετρία με Arduino & AX.25

---

Ρέντης Αθανάσιος

A.M.: HN07610

Επιβλέπων: Βανδίκας Ιωάννης, Ε.ΔΙ.Π.

*(Υπογραφή)*

.....

**ΡΕΝΤΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Τ.Ε., ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

© 2022 – All rights reserved

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η δημιουργία ενός μετεωρολογικού μπαλονιού το οποίο καταγράφει τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που το περιβάλλουν, πέρα από τις κλασσικές μετεωρολογικές μετρήσεις, γίνεται η προσπάθεια ενσωμάτωσης αισθητήριων μέτρησης ατμοσφαιρικών ρύπων χαμηλού κόστους, ώστε να επιτρέπει την ανάλυση της περιεκτικότητας του μετρούμενου ατμοσφαιρικού αέρα σε μολυσματικά αέρια, καθώς και του τοπικού δείκτη υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι προσθήκες αυτές αυξάνουν το πλήθος των δεδομένων που μπορούν να εξαχθούν από κάθε αποστολή, ενώ ταυτόχρονα το περιβαλλοντικό αντίκτυπο της αναλωσιμότητας της κατασκευής, διατηρείται στο ίδιο περίπου επίπεδο, παράλληλα γίνεται προσπάθεια μείωσης της απαιτούμενης ισχύς της κατασκευής, και ως επακόλουθο, του απαιτούμενου όγκου της μπαταρίας που χρειάζεται να φέρει. Όλα τα δεδομένα συλλέγονται με τη χρήση ενός Arduino nano, και αποστέλλονται με τη βοήθεια ενός δεύτερου σε μορφή πακέτων AX.25 διαμορφωμένα ως AFSK στη ταχύτητα των 1200 Baud χρησιμοποιώντας συχνότητες του Bell 202, μέσω του FSK modem του SX1278.

**Λέξεις Κλειδιά:** Μετεωρολογία, Μπαλόκι, Ατμόσφαιρα, Ρύπανση, Υπεριώδης, Ακτινοβολία, Μέτρηση



## ABSTRACT

The purpose of this thesis is to create a weather balloon that records the surrounding atmospheric conditions, in addition to the classic meteorological measurements, an effort was made to integrate low cost sensors for measuring atmospheric pollutants as well, to allow the analysis of concentrations of the most common polluting gases, as well as the local UV index. These additions increase the data that can be extracted from each single release, while at the same time the environmental impact of the expendability of the apparatus is kept at about the same level, at the same time an effort is made to reduce apparatus' power consumption, and as a consequence, the required battery volume needed to be carried. All data is collected using an Arduino nano, and sent for transmission, using a second one, in the form of AX.25 packets formatted as AFSK at 1200 Baud using tones similar to the Bell 202, using the SX1278's FSK modem.

**Keywords:** Meteorology, Sounding, Balloon, Atmosphere, Pollution, Ultraviolet, Radiation, Measurements



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου, στους φίλους μου, και στον επιβλέποντα καθηγητή μου, που με βοήθησαν και με στήριξαν κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας.





# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	i
Abstract.....	iii
Ευχαριστίες.....	v
Πίνακας Περιεχομένων.....	vii
Πίνακας Εικόνων.....	ix
Κατάλογος Πινάκων.....	xi
Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1: Μετεωρολογία.....	2
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	2
1.1.1 Οι πρώτες συστηματικές παρατηρήσεις.....	2
1.1.2 Η εξέλιξη της μετεωρολογίας.....	2
1.2 Οι σύγχρονες τεχνολογίες.....	3
1.3 Η συνεισφορά της στη καθημερινότητα.....	3
Κεφάλαιο 2: Η Ατμόσφαιρα.....	4
2.1 Η σύνθεση της ατμόσφαιρας.....	4
2.1.1 Φυσική σύνθεση.....	4
2.1.2 Τα ατμοσφαιρικά στρώματα.....	4
2.2 Η ατμοσφαιρική ρύπανση.....	5
2.2.1 Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης.....	6
2.2.2 Φυσικές πηγές ρύπανσης.....	6
Κεφάλαιο 3: Μετεωρολογικά Μπαλόνια.....	7
3.1 Τα μετεωρολογικά μπαλόνια.....	7
3.1.1 Η χρήση τους στις μέρες μας.....	7
3.1.2 Ειδικοί τύποι μπαλονιών.....	8
3.2 Υλικά και εξοπλισμός.....	8
3.2.1 Μπαλόνια.....	8
3.2.2 Η ραδιοβολίδα.....	8
3.2.3 Λοιπά υλικά.....	9
3.3 Τα δεδομένα που καταγράφονται.....	9
Κεφάλαιο 4: Το Πρωτόκολλο APRS.....	10
4.1 Τι είναι το APRS.....	10
4.1.1 Ποιες δυνατότητες προσφέρει.....	10
4.2 Οι δυνατότητες που προσφέρει εν προκειμένω.....	11
Κεφάλαιο 5: Η Πλακέτα Arduino.....	12
5.1 Τι είναι το Arduino.....	12
5.2 Το Arduino nano.....	12
5.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	13
Κεφάλαιο 6: Η κατασκευή μου.....	14
6.1 Τα υλικά.....	14
6.1.1 Το σώμα της συσκευής.....	14
6.1.2 Η υλοποίηση και ενσωμάτωση του κυκλώματος.....	16
6.2 Η τροφοδοσία της συσκευής.....	21
6.3 Τα αισθητήρια.....	22
6.4 Τεχνικές προδιαγραφές-χαρακτηριστικά των αισθητήρων.....	23
6.4.1 BME280.....	23
6.4.2 VEML6075.....	24

6.4.3 MQ-7.....	25
6.4.4 GP2Y1014AU0F.....	26
6.5 Η συλλογή των δεδομένων.....	27
6.5.1 Προσδιορισμός της θέσης.....	27
6.5.2 Η ροή των δεδομένων.....	28
6.6 Η αποστολή των δεδομένων.....	29
6.6.1 Το Ra-02 SX1278.....	29
6.6.2 Η κεραία .....	29
6.6.3 Η συμβατότητα με το APRS.....	30
6.7 Το κύκλωμα της κατασκευής.....	30
Κεφάλαιο 7: Ο Κώδικας .....	32
7.1 Ο κώδικας του Master.....	32
7.2 Ο κώδικας του Slave.....	39
7.3 Ο κώδικας επικοινωνίας μεταξύ Master και Slave.....	45
Κεφάλαιο 8: Αξιολόγηση Μετρήσεων Και Συμπεράσματα.....	47
8.1 Σύγκριση των μετρήσεων με γειτονικούς σταθμούς.....	47
8.2 Συμπεράσματα .....	51
Βιβλιογραφία.....	52
Παράρτημα Α: Η Κατασκευή.....	54
Παράρτημα Β: Τεχνικά Φυλλάδια Αισθητήρων.....	58

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Το ανεμόμετρο του Robinson, 1899 (Πηγή: <a href="http://www.photolib.noaa.gov/htmls/wea00920.htm">http://www.photolib.noaa.gov/htmls/wea00920.htm</a> ).....	2
Εικόνα 2: Μοντέλο του δορυφόρου Vanguard 2 στο Goddard Space Flight Center (Πηγή: <a href="https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog%3Fsc%3D1959-001A_NSSDC_Master_Catalog&amp;action=edit&amp;redlink=1">https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog%3Fsc%3D1959-001A_NSSDC_Master_Catalog&amp;action=edit&amp;redlink=1</a> ).....	3
Εικόνα 3: Σκιτσο του δορυφόρου TIROS-1 (Πηγή: <a href="https://www.nesdis.noaa.gov/content/celebrating-world's-first-meteorological-satellite-tiros-1">https://www.nesdis.noaa.gov/content/celebrating-world's-first-meteorological-satellite-tiros-1</a> ).....	3
Εικόνα 4: Το ατμοσφαιρικό πρότυπο των ΗΠΑ (1976) (Πηγή: <a href="https://ntrs.nasa.gov">https://ntrs.nasa.gov</a> ).....	4
Εικόνα 5: Τοποθεσίες τακτικών εκτοξεύσεων ανά τον κόσμο (Πηγή: <a href="http://www.radiopassioni.it">http://www.radiopassioni.it</a> ).....	7
Εικόνα 6: Ενδεικτική συστοιχία ραδιοβόλισης (Πηγή: <a href="http://www.radiopassioni.it">http://www.radiopassioni.it</a> ).....	8
Εικόνα 7: Μια σύγχρονη ραδιοβολίδα (Πηγή: <a href="https://campus.plymouth.edu/asc/facilities-and-equipment/radiosonde/">https://campus.plymouth.edu/asc/facilities-and-equipment/radiosonde/</a> ).....	9
Εικόνα 8: Μία από τις πρώτες ραδιοβολίδες (1898) (Πηγή: US Weather Bureau).....	9
Εικόνα 9: Το διάγραμμα των ακροδεκτών του Arduino nano (Πηγή: <a href="https://store.arduino.cc/products/arduino-nano">https://store.arduino.cc/products/arduino-nano</a> ).....	13
Εικόνα 10: Χωροταξική κατανομή των στοιχείων.....	14
Εικόνα 11: Η προετοιμασία του εξωτερικού της κατασκευής.....	15
Εικόνα 12: Το εσωτερικό της κατασκευής κατά την υλοποίηση.....	17
Εικόνα 13: Η κατασκευή ολοκληρωμένη.....	18
Εικόνα 14: Η κατασκευή ολοκληρωμένη.....	19
Εικόνα 15: Ο ανακλαστήρας της κατασκευής.....	20
Εικόνα 16: Διάγραμμα Ροής Ισχύος.....	21
Εικόνα 17: Η πλακέτα του BME280 (Πηγή: <a href="http://www.aliexpress.com">www.aliexpress.com</a> ).....	23
Εικόνα 18: Το κύκλωμα της πλακέτας του BME280 (Πηγή: <a href="https://www.adafruit.com">https://www.adafruit.com</a> ).....	23
Εικόνα 19: Η πλακέτα του VEML6075.....	24
Εικόνα 20: Φασματική απόκριση του VEML6075 (Πηγή: <a href="http://www.vishay.com">www.vishay.com</a> ).....	24
Εικόνα 21: Απόκριση του αισθητήρα σε σχέση με τη γωνία πρόσπτωσης (Πηγή: <a href="http://www.vishay.com">www.vishay.com</a> ).....	24
Εικόνα 22: Ο αισθητήρας MQ-7 (Πηγή: <a href="https://www.waveshare.com/wiki/MQ-7_Gas_Sensor">https://www.waveshare.com/wiki/MQ-7_Gas_Sensor</a> ).....	25
Εικόνα 23: Το βοηθητικό κύκλωμα του MQ-7 (Πηγή: <a href="https://forum.arduino.cc/t/mq-7-flying-fish-heating-cycle/611495">https://forum.arduino.cc/t/mq-7-flying-fish-heating-cycle/611495</a> ).....	25
Εικόνα 24: Ευαισθησία του MQ-7 σε σχέση με τη θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος (Πηγή: <a href="https://www.waveshare.com/wiki/">https://www.waveshare.com/wiki/</a> ).....	26
Εικόνα 25: Χαρακτηριστικά ευαισθησίας του MQ-7 (Πηγή: <a href="https://www.waveshare.com/wiki/">https://www.waveshare.com/wiki/</a> ).....	26
Εικόνα 26: Ενδεικτική συνδεσμολογία του αισθητήρα GP2Y1014AU0F (Πηγή: <a href="https://create.arduino.cc/projecthub/mircemk/diy-air-quality-monitor-with-sharp-gp2y1014au0f-sensor-7b0262">https://create.arduino.cc/projecthub/mircemk/diy-air-quality-monitor-with-sharp-gp2y1014au0f-sensor-7b0262</a> ).....	26

Εικόνα 27: Ο αισθητήρας GP2Y1014AU0F (Πηγή: <a href="https://www.smart-prototyping.com/PM2-5-Sensor-GP2Y1014AU">https://www.smart-prototyping.com/PM2-5-Sensor-GP2Y1014AU</a> ).....	26
Εικόνα 28: Τάση εξόδου σε σχέση με τη περιεκτικότητα σε σκόνη (Πηγή: <a href="https://www.global.sharp/">https://www.global.sharp/</a> ).....	27
Εικόνα 29: Το Ublox Neo 6M GPS Module.....	27
Εικόνα 30: Διάγραμμα Ροής Δεδομένων.....	28
Εικόνα 31: Η μονάδα Ra-02 SX128 (Πηγή: <a href="https://grobotronics.com/lora-module-433mhz-sx1278.html">https://grobotronics.com/lora-module-433mhz-sx1278.html</a> ).....	29
Εικόνα 32: Η κεραία της κατασκευής (Πηγή: <a href="https://grobotronics.com/antenna-rf-434mhz-2dbi-63.6mm-u.fl.html">https://grobotronics.com/antenna-rf-434mhz-2dbi-63.6mm-u.fl.html</a> ).....	29
Εικόνα 33: Το Κύκλωμα της Κατασκευής.....	31
Εικόνα 34: Συγκριση μετρήσεων με ζωντανά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών (Πηγή: <a href="https://www.meteo.gr/Gmap.cfm">https://www.meteo.gr/Gmap.cfm</a> ).....	48
Εικόνα 35: Συγκριση μετρήσεων με ζωντανά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών (Πηγή: <a href="https://www.meteo.gr/Gmap.cfm">https://www.meteo.gr/Gmap.cfm</a> ).....	49
Εικόνα 36: Συγκριση μετρήσεων με ζωντανά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών (Πηγή: <a href="https://www.meteo.gr/Gmap.cfm">https://www.meteo.gr/Gmap.cfm</a> ).....	50
Εικόνα 37: Η κατασκευή εξωτερικά.....	54
Εικόνα 38: Ο αισθητήρας BME280 και η κεραία .....	55
Εικόνα 39: Το εσωτερικό της κατασκευής.....	55
Εικόνα 40: BME280 και VEML6075.....	56
Εικόνα 41: Ο ανακλαστήρας.....	57
Εικόνα 42: Μέρος του κυκλώματος στο ράστερ, κατά τη διαδικασία της πρωτοτυποποίησης .....	57

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ποσοστά του αστικού πληθυσμού εκτεθειμένα σε επίπεδα ρύπων που υπερβαίνουν τα όρια της Ε.Ε. (Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος ( <a href="https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2020-country-fact-sheets/greece">https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2020-country-fact-sheets/greece</a> ))	5
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Arduino nano (Πηγή: <a href="https://store.arduino.cc/products/arduino-nano">https://store.arduino.cc/products/arduino-nano</a> )	13
Πίνακας 3: Θεωρητικές Τάσεις, Εντάσεις, και Ισχύς Στοιχείων (κατά προσέγγιση)	21
Πίνακας 4: Αισθητήρια	22
Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά BME280 (Πηγή: <a href="https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Barometer_Sensor-BME280/">https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Barometer_Sensor-BME280/</a> )	23
Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά	24
Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά του MQ-7 (Πηγή: <a href="https://www.waveshare.com/wiki/">https://www.waveshare.com/wiki/</a> )	25
Πίνακας 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά του	27
Πίνακας 9: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Ra-02 SX1278	29
Πίνακας 10: Τεχνικά χαρακτηριστικά της κεραίας	29

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στις απαρχές της επιστήμης της μετεωρολογίας, και μια ιστορική αναδρομή με διάφορα σημαντικά γεγονότα τα οποία έθεσαν τις βάσεις για την εξέλιξή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται κάποια στοιχεία για την ατμόσφαιρα του πλανήτη καθώς και για τη ρύπανση της, και γίνεται μια σύντομη περιγραφή των επικρατούντων ατμοσφαιρικών συνθηκών.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η βασική λειτουργία των μετεωρολογικών, και όχι μόνο, μπαλονιών και ραδιοβολίδων, και γίνεται αναφορά και ανάλυση στους διάφορους τύπους ατμοσφαιρικών μπαλονιών και στα βοηθητικά τους στοιχεία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το δίκτυο APRS και οι δυνατότητες του, τόσο γενικά, όσο και πιο συγκεκριμένα, το τι μπορεί δηλαδή να προσφέρει στον χώρο των ατμοσφαιρικών μπαλονιών και ραδιοβολίδων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην πλατφόρμα Arduino και στη πλακέτα μικροελεγκτή Arduino nano, και τις δυνατότητές της, η οποία δίνει ζωή στην κατασκευή της εργασίας.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατασκευή μέσα από εικόνες και περιγραφές σε διάφορα στάδια της υλοποίησής της.

Στο έβδομο κεφάλαιο υπάρχει ο κώδικας που “τρέχουν” τα δυο Arduino nano.

Και τέλος στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση των μετρήσεων της κατασκευής, με αυτές γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών, και αναφέρονται τα συμπεράσματά μου.

Ακολουθούν δυο παραρτήματα, το ένα με κάποιες φωτογραφίες από την διαδικασία της κατασκευής και της προτυποποίησης, και το άλλο με τα τεχνικά φύλλα των κατασκευαστών των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και αισθητήρων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ

## 1.1 *Ιστορική αναδρομή*

Η παρατήρηση των μετεωρολογικών φαινομένων από τους ανθρώπους, και η αξιοποίηση αυτών των παρατηρήσεων φαίνεται να έχει ρίζες τόσο βαθιές στο παρελθόν, όσο και η αξιοποίηση της γεωργίας και η δημιουργία των πρώτων οργανωμένων και μόνιμων οικισμών.

### 1.1.1 *Οι πρώτες συστηματικές παρατηρήσεις*

Πολλοί πολιτισμοί στο βάθος των αιώνων όπως οι Ινδοί, Αιγύπτιοι, Βαβυλώνιοι, κ.λπ. επιχείρησαν να καταγράψουν συστηματικά τα μετεωρολογικά συμβάντα, να τα ερμηνεύσουν, ακόμα και να τα προβλέψουν. Μια από τις σημαντικότερες συνεισφορές στην ιστορία της μετεωρολογίας θεωρείται η συγγραφή Των Μετεωρολογικών το 350π.χ. στο οποίο φαίνεται να περιγράφεται για πρώτη φορά στην ιστορία, ο κύκλος του νερού, από τον αρχαίο Έλληνα φιλόσοφο Αριστοτέλη ο οποίος θεωρείται και το πατέρας της μετεωρολογίας. Ο μαθητής του, ο Θεόφραστος συνέγραψε ένα βιβλίο στο οποίο κατέγραφε τα “σημεία” βάσει των οποίων κάποιος μπορούσε να κάνει προβλέψεις για διάφορα μετεωρολογικά συμβάντα, ακόμα και σε ετήσια βάση. Πάνω σε αυτά τα συγγράμματα βασίστηκε η πρόγνωση του καιρού για αρκετούς αιώνες.

### 1.1.2 *Η εξέλιξη της μετεωρολογίας*

Πολλές σημαντικές εξελίξεις στον χώρο, έλαβαν χώρα κατά τον μεσαίωνα, όποτε κατασκευάστηκαν τα πρώτα μετεωρολογικά εργαλεία. Το 1441 κατασκευάζεται ο πρώτος μετρητής βροχόπτωσης στη Κορέα, το 1450 το πρώτο ανεμόμετρο, το 1607 το πρώτο θερμοσκόπιο, το 1643 το πρώτο βαρόμετρο, το 1714 το πρώτο θερμόμετρο υδραργύρου και το 1783 το πρώτο υγρόμετρο. Παράλληλα επινοούνται και προτείνονται διάφορα συστήματα τυποποίησης των μετεωρολογικών μετρήσεων, όπως, η κλίμακα θερμοκρασίας “Κελσίου” από τον Anders Celsius το 1742 και το σύστημα



THE ROBINSON ANEMOMETER.

Ει

κόνα 1: Το ανεμόμετρο του Robinson, 1899 (Πηγή: <http://www.photolib.noaa.gov>)

Beaufort του Francis Beaufort το 1806 για την κατηγοριοποίηση των ανέμων βάσει της ταχύτητάς τους.

### 1.2 Οι σύγχρονες τεχνολογίες

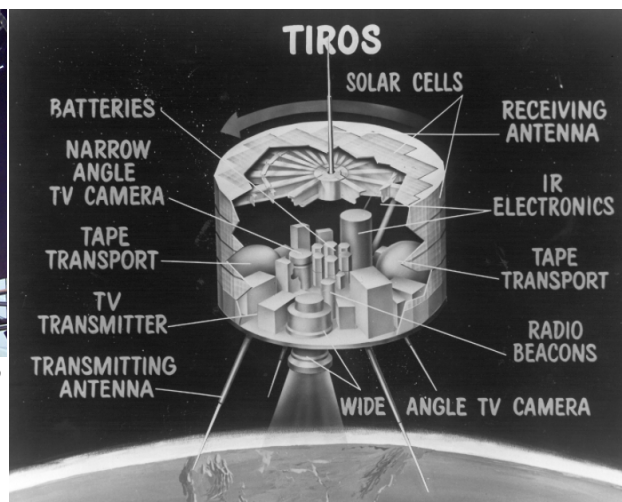
Τον Φεβρουάριο του 1959 λαμβάνει χώρα η πρώτη επιτυχημένη απόπειρα ανύψωσης ενός μετεωρολογικού δορυφόρου σε τροχιά γύρω από τη Γη και εκτοξεύεται ο δορυφόρος Vanguard 2 (E), ο πρώτος μετεωρολογικός δορυφόρος της ανθρωπότητας που καταφέρνει να μπει σε τροχιά, σε αντίθεση με τους προδρόμους του (A, B, C, D), λόγω της λανθασμένης γωνίας του άξονα περιστροφής του όμως, αποτυγχάνει να συλλέξει τα προσδοκούμενα δεδομένα. Την 1η Απριλίου του 1960 εκτοξεύεται με επιτυχία ο TIROS-1, του οποίου η εκτόξευση θεωρείται η πρώτη επιτυχημένη εκτόξευση μετεωρολογικού δορυφόρου στην ιστορία, η οποία σηματοδοτεί την έναρξη των μετεωρολογικών παρατηρήσεων σε παγκόσμια κλίμακα.

### 1.3 Η συνεισφορά της στη καθημερινότητα

Η επιστήμη της μετεωρολογίας μέσω των εφαρμογών της, συμβάλει άμεσα, στη βελτίωση πολλών επαγγελματικών κλάδων και πτυχών της καθημερινότητας. Η γρήγορη και έγκυρη πρόγνωση του καιρού καθώς και η μοντελοποίηση του, έχουν τεράστιο αντίκτυπο σε τομείς όπως η γεωργία και η κτηνοτροφία, η ναυτιλία, η αεροπορία, στη μελέτη της περιβαλλοντικής ρύπανσης και της διασποράς της, καθώς και στη βιομηχανία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Εικόνα 2: Μοντέλο του δορυφόρου Vanguard 2 στο Goddard Space Flight Center (Πηγή: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog%3Fsc%3D1959-001A\\_NSSDC\\_Master\\_Catalog&action=edit&redlink=1](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=Http://nssdc.gsfc.nasa.gov/database/MasterCatalog%3Fsc%3D1959-001A_NSSDC_Master_Catalog&action=edit&redlink=1))



Εικόνα 3: Σκίτσο του δορυφόρου TIROS-1 (Πηγή: <https://www.nesdis.noaa.gov/content/celebrating-world's-first-meteorological-satellite-tiros-1>)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

### 2.1 Η σύνθεση της ατμόσφαιρας

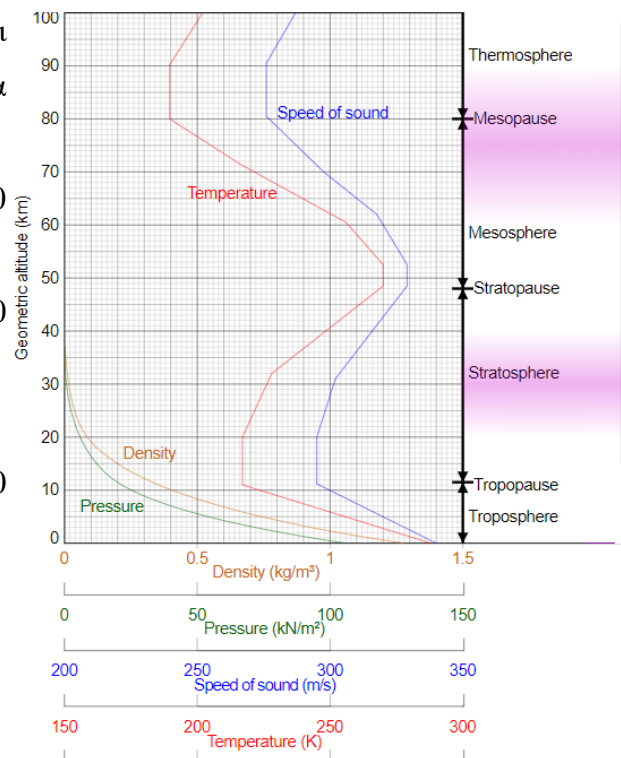
#### 2.1.1 Φυσική σύνθεση

Τα συστατικά αέρια της ατμόσφαιρας της Γης, κατ' όγκο, είναι τα εξής: 78,08% άζωτο, 20,95% οξυγόνο, 0,93% αργό, 0.04% διοξείδιο του άνθρακα καθώς και άλλα αέρια σε αμελητέα ποσοστά. Με την άνοδο της βιομηχανίας τους τελευταίους αιώνες, την ραγδαία αύξηση του διεθνούς εμπορίου, και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος του ανθρώπου αυτές οι αναλογίες τείνουν να αλλάξουν, όλο και συχνότερα παρατηρούνται αξιοσημείωτες αλλαγές, από τις πιο μικρές, μέχρι και τις πιο δραματικές, σε λίγα χρόνια αν δεν παρθούν τα ανάλογα μέτρα, για τις οποίες προειδοποιούν επιστημονικοί φορείς και οργανισμοί ανά τον κόσμο.

#### 2.1.2 Τα ατμοσφαιρικά στρώματα

Καθώς αυξάνει το υψόμετρο, η ατμοσφαιρική πίεση και η πυκνότητα της ατμόσφαιρας μειώνονται, η θερμοκρασία ακολουθεί όμως ένα ανεξάρτητο αλλά σταθερό μοτίβο, βάσει του οποίου η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε 5 διακριτά στρώματα, με το καθένα από αυτά να διακατέχεται από διαφορετικές συνθήκες και να παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες. Τα στρώματα αυτά και οι εκτάσεις τους είναι:

- Η Εξώσφαιρα μεταξύ 700 και 10,000 χλμ.
- Η Θερμόσφαιρα μεταξύ 80 και 700 χλμ.
- Η Μεσόσφαιρα μεταξύ 50 και 80 χλμ.
- Η Στρατόσφαιρα μεταξύ 12 και 50 χλμ.
- Η Τροπόσφαιρα μεταξύ 0 και 12 χλμ.



Ε  
ικόνα 4: Το ατμοσφαιρικό πρότυπο των ΗΠΑ (1976) (Πηγή: <https://ntrs.nasa.gov>)

## 2.2 Η ατμοσφαιρική ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ένα σύγχρονο πρόβλημα που απασχολεί τις περισσότερες χώρες του πλανήτη. Οι διάφοροι παράγοντες της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είτε αυτοί έχουν ανθρωπογενή προέλευση, είτε προέρχονται από φυσικές πηγές, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την υγεία όσων εκτίθενται σε αυτούς για σημαντικά χρονικά διαστήματα, αλλά και να προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία με τη σειρά τους να επιδεινώσουν περαιτέρω τη κατάσταση. Ο ευρωπαϊκός οργανισμός περιβάλλοντος εκτιμά ότι το περίπου το 90% των Ευρωπαίων εκτίθεται καθημερινά σε επίπεδα ρύπων που κρίνεται ότι υπερβαίνουν τα όρια πέρα από τα οποία είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα ποσοστά του αστικού πληθυσμού στην Ελλάδα, που ήταν εκτεθειμένα στους αντίστοιχους ρύπους για τα έτη 2014 έως 2018. Οι ρύποι του πίνακα είναι οι: βενζοπυρένιο, διοξείδιο του αζώτου, τροποσφαιρικό όζον, σωματίδια διαμέτρου έως 2.5 και 10 μικρόμετρα.

	2014	2015	2016	2017	2018
<b>BaP</b> annual mean				0.0	
<b>NO2</b> annual mean	2.4	3.0	2.4	2.7	3.2
<b>O3</b> percentile 93.15	47.9	96.9	72.5	96.8	95.8
<b>PM2.5</b> annual mean		0.0	0.0	0.0	0.0
<b>PM10</b> percentile 90.41	2.3	4.2	28.6	26.8	3.1

**Πίνακας 1: Ποσοστά του αστικού πληθυσμού εκτεθειμένα σε επίπεδα ρύπων που υπερβαίνουν τα όρια της Ε.Ε. (Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (<https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2020-country-fact-sheets/greece>))**

### *2.2.1 Ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης*

Οι κυριότερες πηγές ρύπανσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι:

- ◆ Η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας
- ◆ Οι καλλιέργειες και η κτηνοτροφία
- ◆ Το εμπόριο και οι μεταφορές
- ◆ Η βιομηχανική παραγωγή
- ◆ Η χρήση χημικών ουσιών
- ◆ Η βιομηχανία κατεργασίας πετρελαίου και η παραγωγή καυσίμων και
- ◆ Η διαχείριση των αποβλήτων

### *2.2.2 Φυσικές πηγές ρύπανσης*

Στις φυσικές πηγές ρύπανσης μπορούν να συμπεριληφθούν:

- ◆ Εκρήξεις ηφαιστείων
- ◆ Αέρια που απελευθερώνονται από το υπέδαφος ή
- ◆ αποδεσμεύονται από το λιώσιμο των πάγων
- ◆ Οργανική ύλη σε αποσύνθεση

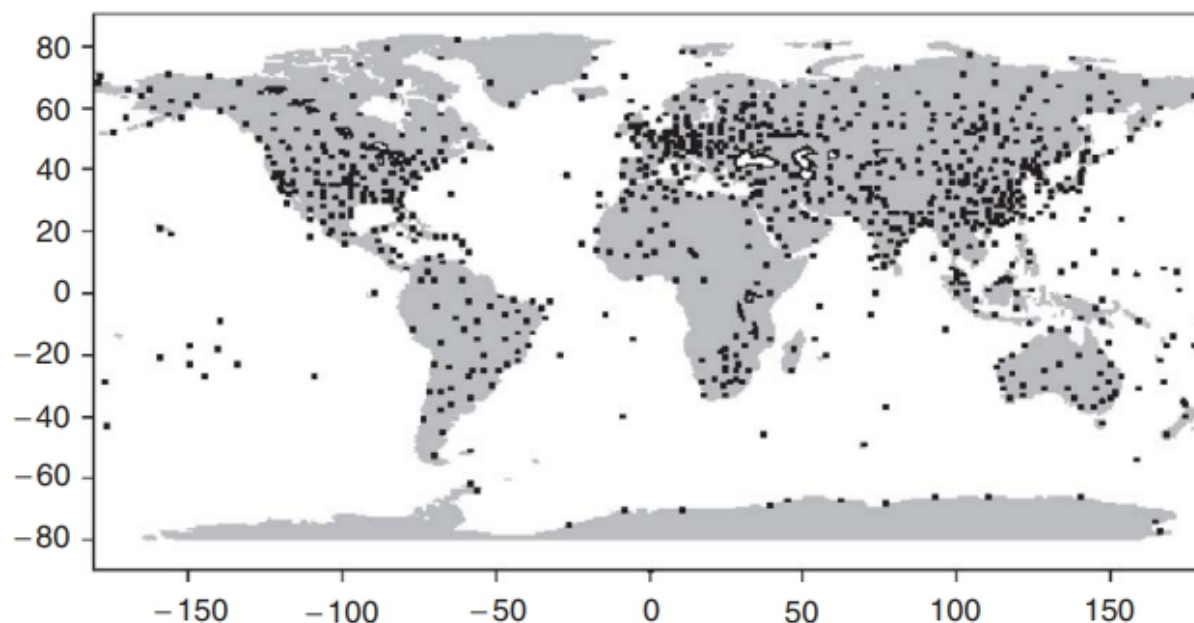
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΠΑΛΟΝΙΑ

### 3.1 Τα μετεωρολογικά μπαλόνια

Τα μετεωρολογικά μπαλόνια ή μπαλόνια ραδιοβόλισης είναι μπαλόνια τύπου υψηλού υψόμετρου τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκτόξευση μετεωρολογικών οργάνων σε υψηλά υψόμετρα με σκοπό την παρατήρηση της κατακόρυφης δομής της τροπόσφαιρας. Πέρα από τα κλασσικά μπαλόνια, υπάρχουν και άλλοι σπανιότερα χρησιμοποιούμενοι τύποι μπαλονιών οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις.

#### 3.1.1 Η χρήση τους στις μέρες μας

Αυτή τη στιγμή, σε πάνω από 1000 τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο, πραγματοποιούνται τακτικές προγραμματισμένες εκτοξεύσεις μπαλονιών από κρατικούς και ιδιωτικούς φορείς, μετεωρολογικές υπηρεσίες, επιστημονικούς οργανισμούς, από τον στρατό, καθώς και πανεπιστήμια σε καθημερινή βάση. Οι εκτοξεύσεις αυτές πραγματοποιούνται συνήθως στις 00:00 και 12:00 ώρα Greenwich για την καλύτερη σύγκριση των δεδομένων, ενώ εάν κριθεί σκόπιμο δύναται να διενεργηθούν και περισσότερες εκτοξεύσεις ανά ημέρα. Πολλά από αυτά τα δεδομένα δημοσιεύονται για ελεύθερη χρήση από οποιονδήποτε.



Εικόνα 5: Τοποθεσίες τακτικών εκτοξεύσεων ανά τον κόσμο (Πηγή: <http://www.radiopassioni.it>)

### 3.1.2 Ειδικοί τύποι μπαλονιών

Στους ειδικούς τύπους μπαλονιών, περιλαμβάνονται τα λεγόμενα “ceiling balloons” ή “pilot balloons” τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ύψους της βάσης των νεφώσεων, σε σχέση με το έδαφος. Επιτυγχάνοντας την κατάλληλη πίεση εντός του μπαλονιού, επομένως και τον επιθυμητό ρυθμό ανόδου, το ύψος των νεφώσεων υπολογίζεται βάσει του χρόνου που θα περάσει από την εκτόξευση, μέχρι το μπαλόνι να αρχίσει να καλύπτεται από την βάση της νέφωσης.

Άλλες ειδικές περιπτώσεις χρήσης μετεωρολογικών μπαλονιών ή μπαλονιών τέτοιου τύπου γενικότερα περιλαμβάνουν συλλογή άλλων δεδομένων προς όφελος διάφορων εταιριών, για την παρατήρηση και καταγραφή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αλλά και για την λήψη οπτικού υλικού (φωτογραφιών και βίντεο) για διάφορους σκοπούς.

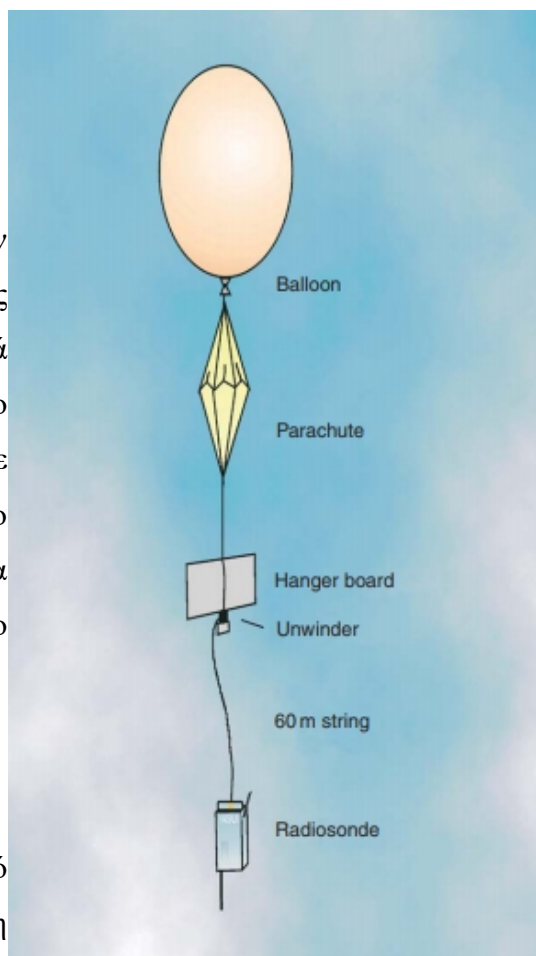
## 3.2 Υλικά και εξοπλισμός

### 3.2.1 Μπαλόνια

Τα μπαλόνια που χρησιμοποιούνται είναι επί των πλείστων κατασκευασμένα από υψηλής αντοχής latex, αν και χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά όπως το χλωροπρένιο. Γεμίζονται με υδρογόνο τις περισσότερες φορές, και σπανιότερα με ήλιον, το μέγιστο ύψος καθορίζεται από το μέγεθος του μπαλονιού και φτάνει συνήθως τα 25 με 40 χιλιόμετρα, στο μέγιστο ύψος το μπαλόνι σκάει και η ραδιοβολίδα πέφτει.

### 3.2.2 Η ραδιοβολίδα

Η ραδιοβολίδα βρίσκεται κρεμασμένη κάτω από το μπαλόνι και είναι η συσκευή που φέρει τη μπαταρία, τα όργανα μέτρησης, καταγραφής και επικοινωνίας που ευθύνονται για την καταγραφή



Εικόνα 6: Ενδεικτική συστοιχία ραδιοβόλισης (Πηγή: <http://www.radiopassioni.it>)

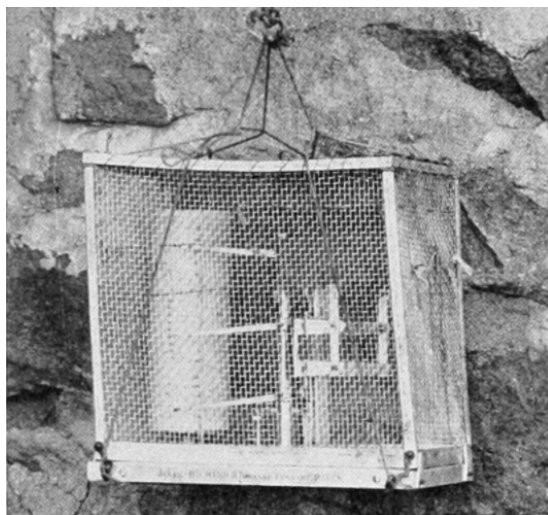
και την αποστολή των δεδομένων πίσω στο έδαφος, είναι συνήθως αναλώσιμη συσκευή καθώς πολλές φορές είναι αδύνατη η ανάκτησή της.

### 3.2.3 Λοιπά υλικά

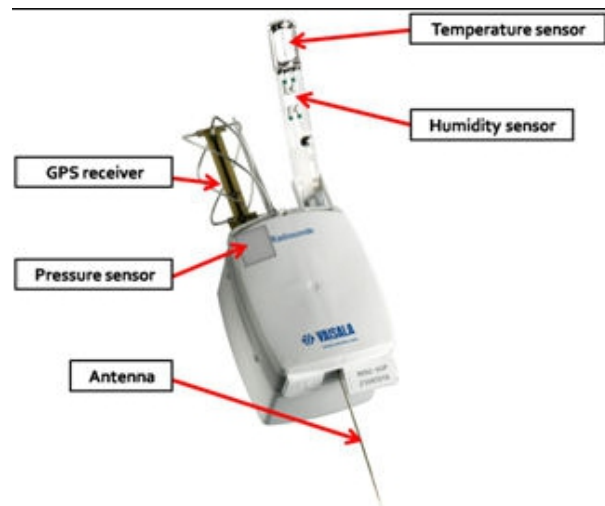
Η συστοιχία μπορεί να περιλαμβάνει επίσης κάποιο αλεξίπτωτο για την ομαλότερη και ασφαλέστερη κάθοδο της ραδιοβολίδας, πληροφορίες για την εύρεση του ιδιοκτήτη σε περίπτωση που βρεθεί από κάποιον τρίτο, φωτεινές ενδείξεις, καθώς και ανακλαστήρα RADAR ώστε να καθίσταται πιο ανιχνεύσιμη.

### 3.3 Τα δεδομένα που καταγράφονται

Τα συνηθέστερα δεδομένα που καταγράφονται μέσω των αισθητήρων της ραδιοβολίδας είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ατμοσφαιρικού αέρα, η ατμοσφαιρική πίεση και η σχετική υγρασία. Για την εύρεση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου, οι παλαιότερης τεχνολογίας ραδιοβολίδες παρακολουθούνταν μέσω RADAR, η με τη χρήση άλλων τεχνικών ραδιοεντοπισμού, πλέον χρησιμοποιείται το Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης γνωστό ως GPS. Κάποιες ραδιοβολίδες καταγράφουν επίσης το ποσοστό του όζοντος (οζονοβολίδες) στην ατμόσφαιρα, την περιεκτικότητα σε ατμό και τα στερεά σωματίδια ανά μονάδα όγκου. Κάποιες ραδιοβολίδες ενδέχεται να φέρουν κάμερες για την παρατήρηση του εδάφους, η και κάμερες υπέρυθρης ακτινοβολίας για την καταγραφή και παρακολούθηση ορισμένων αέριων ρύπων.



Εικόνα 8: Μία από τις πρώτες ραδιοβολίδες (1898)  
(Πηγή: US Weather Bureau)



Εικόνα 7: Μια σύγχρονη ραδιοβολίδα (Πηγή:  
<https://campus.plymouth.edu/asc/facilities-and-equipment/radiosonde/>)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ APRS

### *4.1 Τι είναι το APRS*

Το APRS είναι ένα πρωτόκολλο ψηφιακής επικοινωνίας, που επιτρέπει την αποστολή, λήψη και γενικότερα την διάδοση πληροφοριών, ανάμεσα σε ένα πλήθος χρηστών σε τοπικό επίπεδο, σε πραγματικό χρόνο.

Το APRS είναι βασισμένο στο πρωτόκολλο AX.25 (ραδιοεπικοινωνία πακετομεταγωγής), επιπρόσθετα όμως παρέχει την δυνατότητα του να απεικονίζονται οι πληροφορίες γραφικά και να εμφανίζονται οργανωμένα με διάφορους τρόπους, οι πληροφορίες διαδίδονται σε πραγματικό χρόνο ανάμεσα στους χρήστες, και τέλος με τη δυνατότητα διασύνδεσης του με το Internet δημιουργείται ένα παγκόσμιο δίκτυο, διασυνδέοντας όλους τους χρήστες ανεξαρτήτως τοποθεσίας η τοπικού δικτύου.

#### *4.1.1 Ποιες δυνατότητες προσφέρει*

Με λίγα λόγια, το APRS, προσδίδει στις ραδιοεπικοινωνίες πακετομεταγωγής δυνατότητες συστημάτων τηλεμετρίας, γεωεντοπισμού, αποστολής μηνυμάτων - κατάστασης, μετάδοσης καιρικών συνθηκών, και άλλων πληροφοριών. Αναλυτικότερα, σε ένα πακέτο μπορεί να περιέχεται η θέση του αντικειμένου (γεωγραφικές συντεταγμένες), κάποιο αντιπροσωπευτικό σύμβολο με το οποίο το εκάστοτε αντικείμενο (π.χ. σταθμός, tracker) θα εμφανίζεται στον χάρτη, επιπρόσθετα μπορεί να εμπεριέχονται πληροφορίες για το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται, την ταχύτητα και τη πορεία του, πληροφορίες σχετικά με τα μέσα μετάδοσης όπως η ισχύς της κεραίας και το ύψος της, και τη συχνότητα εκπομπής. Οι κινητοί σταθμοί αναφέρουν την τοποθεσία τους βάσει των πληροφοριών που λαμβάνουν από τα συστήματα γεωεντοπισμού τους (π.χ. GPS), σε αντίθεση με τους σταθερούς οι οποίοι έχουν προκαθορισμένη θέση, την οποία και αναφέρουν, και δεν απαιτείται κάτι ανάλογο.

#### **4.2      *Οι δυνατότητες που προσφέρει εν προκειμένω***

Ένα μετεωρολογικό μπαλόνι συμβατό με APRS, μπορεί να εκτοξευτεί οπουδήποτε υπάρχει κάλυψη από κάποιο τοπικό δίκτυο, και να αποστέλλει την τηλεμετρία και τα δεδομένα του, χωρίς να απαιτείται κάποιος επίγειος δέκτης ή κάποιο εκτενές δίκτυο συγκεκριμένα για αυτόν το σκοπό. Μπορεί να παρακολουθείται και να εμφανίζεται η θέση του, η πορεία και η διαδρομή που έχει διανύσει πάνω στον χάρτη, σε πραγματικό χρόνο, και τα δεδομένα που εκπέμπει να είναι προσβάσιμα on-line και ζωντανά από οπουδήποτε.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Η ΠΛΑΚΕΤΑ ARDUINO

### 5.1 *Τι είναι το Arduino*

Το Arduino είναι μια πλατφόρμα ηλεκτρονικής/μικροελεγκτών ανοιχτού κώδικα, η οποία δίνει τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε ανεξαρτήτου επιπέδου, εμπειρίας και ενασχόλησης να ασχοληθεί και να πραγματοποιεί εφαρμογές μικροελεγκτών σε κατασκευές, projects και γενικά να υλοποιεί τις ιδέες του χωρίς να απαιτείται αυτός να έχει κάποια πρότερη εμπειρία ή κάποιες ιδιαίτερες ή εξειδικευμένες γνώσεις. Η γκάμα των διαθέσιμων προϊόντων αυτή τη στιγμή είναι προσαρμοσμένη να προσφέρει αφενός την ευκολία, την απλότητα και το χαμηλό κόστος στους αρχάριους, σε μαθητές, φοιτητές και χομπίστες, και αφετέρου τα πιο σύνθετα και εξειδικευμένα προϊόντα μπορούν να σταθούν και να υποστηρίξουν μέχρι και τις πιο σύνθετες και απαιτητικές εφαρμογές. Οι πλακέτες Arduino προγραμματίζονται με την χρήση της γλώσσας C++ με κάποιες ενσωματωμένες προσθήκες και λειτουργίες, ενώ παράλληλα υπάρχουν ελεύθερα διαθέσιμα αμέτρητα εργαλεία, δημιουργημένα από την κοινότητα που μπορούν να κάνουν τον προγραμματισμό ευκολότερο και ταχύτερο.

### 5.2 *Το Arduino nano*

Το Arduino nano, είναι μια ολοκληρωμένη πλακέτα μικροελεγκτή βασισμένη στον μικροελεγκτή Atmega328 της Atmel. Είναι έτοιμη προς χρήση και μπορεί να τροφοδοτηθεί και να προγραμματιστεί απευθείας, καθώς διαθέτει ό,τι χρειάζεται για την λειτουργία του μικροελεγκτή, είναι από της μικρότερες πλακέτες της “οικογένειας” Arduino και αυτό την καθιστά ιδανική για χρήση σε εφαρμογές με περιορισμένο χώρο, και σε συνδυασμό με την χαμηλή ισχύ λειτουργίας της είναι από τις πλέον κατάλληλες για χρήση σε εφαρμογές με περιορισμένη διαθέσιμη ισχύ όπως η συγκεκριμένη κατασκευή.

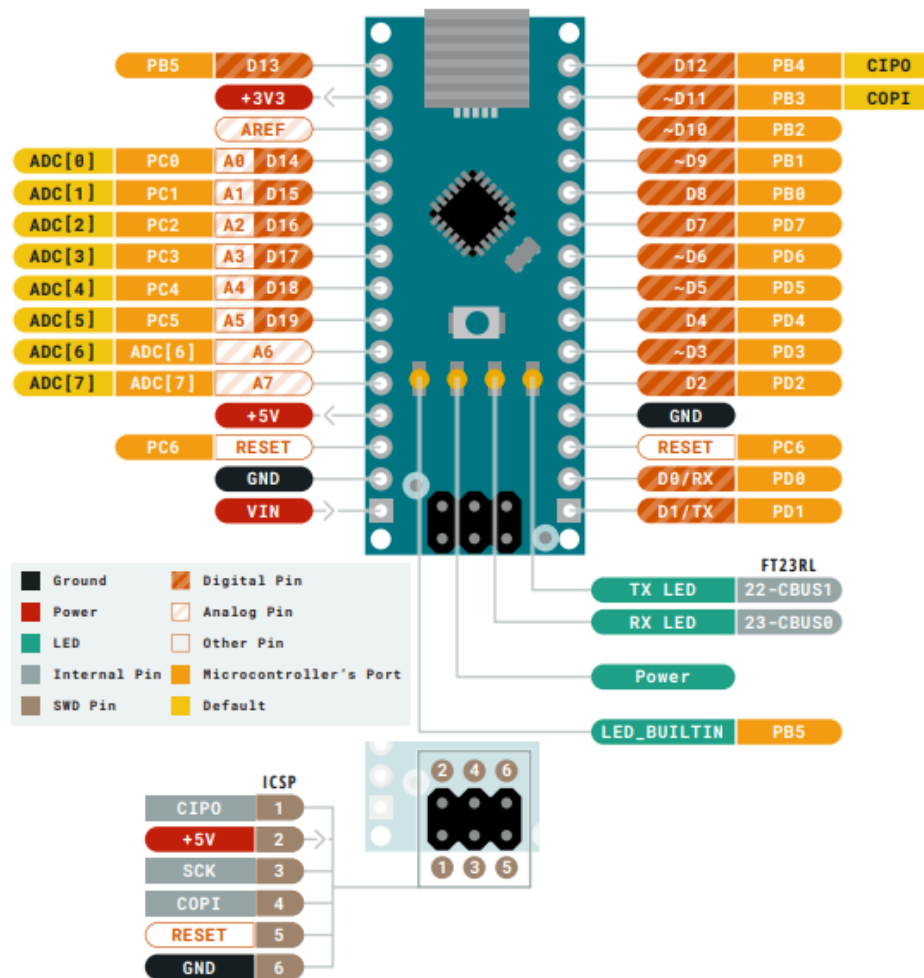
Συγκεκριμένα χρησιμοποιώ την πλακέτα Arduino Nano Rev3.0 η οποία είναι μια εξελιγμένη έκδοση του προκάτοχου της Nano Rev2.X, οι παλαιότερες εκδόσεις έφεραν chip Atmega 168, η πλακέτα τους ήταν τεσσάρων στρώσεων σε αντίθεση με των 2 στρώσεων της τρίτης έκδοσης και είχαν κάποιες διαφορές στην τοποθέτηση των στοιχείων πάνω τους όπως τα ενδεικτικά led και η ανεστραμμένη σειρά των αναλογικών ακροδεκτών.

### 5.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πλακέτας Arduino nano.

Μικροελεγκτής	ATmega328	Sram	2KB
Αρχιτεκτονική	AVR	Συχνότητα λειτουργίας	16MHz
Τάση λειτουργίας	5V	Αναλογικές εισοδοι	8
Μέγεθος μνήμης Flash	32KB	Μνήμη EEPROM	1KB
Μέγιστο ρεύμα ανα I/O pin	40mA	Εύρος τάσης τροφοδοσίας	
Ψηφιακά I/O pins	22 (τα 6 PWM)	Κατανάλωση ρεύματος	19mA

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Arduino nano (Πηγή: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>)



Εικόνα 9: Το διάγραμμα των ακροδεκτών του Arduino nano (Πηγή: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΥ

### 6.1 Τα υλικά

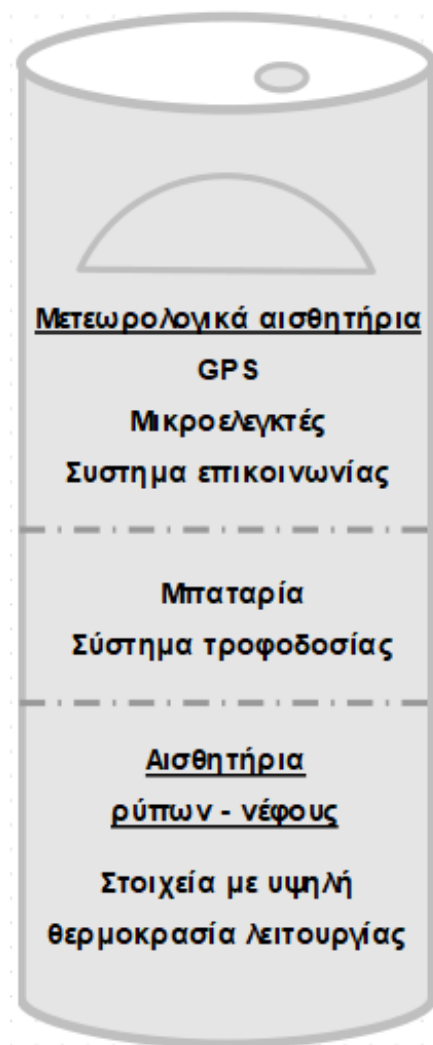
Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η κατασκευή από τη δομή και τα υλικά της εξωτερικής συσκευασίας, μέχρι και τον τρόπο συλλογής και διαχείρισης των δεδομένων.

#### 6.1.1 Το σώμα της συσκευής

Το εξωτερικό περίβλημα της συσκευής αποτελείται από πλαστικό (PVC), το εσωτερικό της χωρίζεται σε τρία μέρη κατά μήκος του κάθετου άξονα με χωρίσματα φτιαγμένα από ακρυλικό, τα χωρίσματα συνδέονται μεταξύ τους με μεταλλικά στοιχεία τα οποία παίζουν και τον ρόλο της “γείωσης” του κυκλώματος. Τα χωρίσματα μαζί με όλα τα στοιχεία του κυκλώματος έχουν τη δυνατότητα να αποσπώνται από το εξωτερικό περίβλημα. Η κατασκευή είναι φτιαγμένη έτσι ώστε να προστατεύεται το εσωτερικό της από τη βροχή και η χωροταξική κατανομή των στοιχείων λαμβάνει υπόψιν την θερμότητα που εκπέμπεται από τα επιμέρους στοιχεία ώστε αυτή να μην επηρεάζει τις μετρήσεις. Παρακάτω βλέπουμε κάποιες φωτογραφίες κατά την υλοποίηση της κατασκευής όπου διακρίνονται και τα αισθητήρια.

Αρχικά βλέπουμε την προετοιμασία του εξωτερικού της κατασκευής, το κάτω μέρος στο οποίο θα τοποθετηθούν το κύκλωμα τροφοδοσίας και τα στοιχεία που παράγουν την περισσότερη θερμότητα

είναι διάτρητο και αεριζόμενο ώστε η θερμότητα αυτή να μπορεί να αποβάλλεται, ενώ η κατασκευή εξωτερικά βάφεται λευκή για να αποφευχθεί η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.



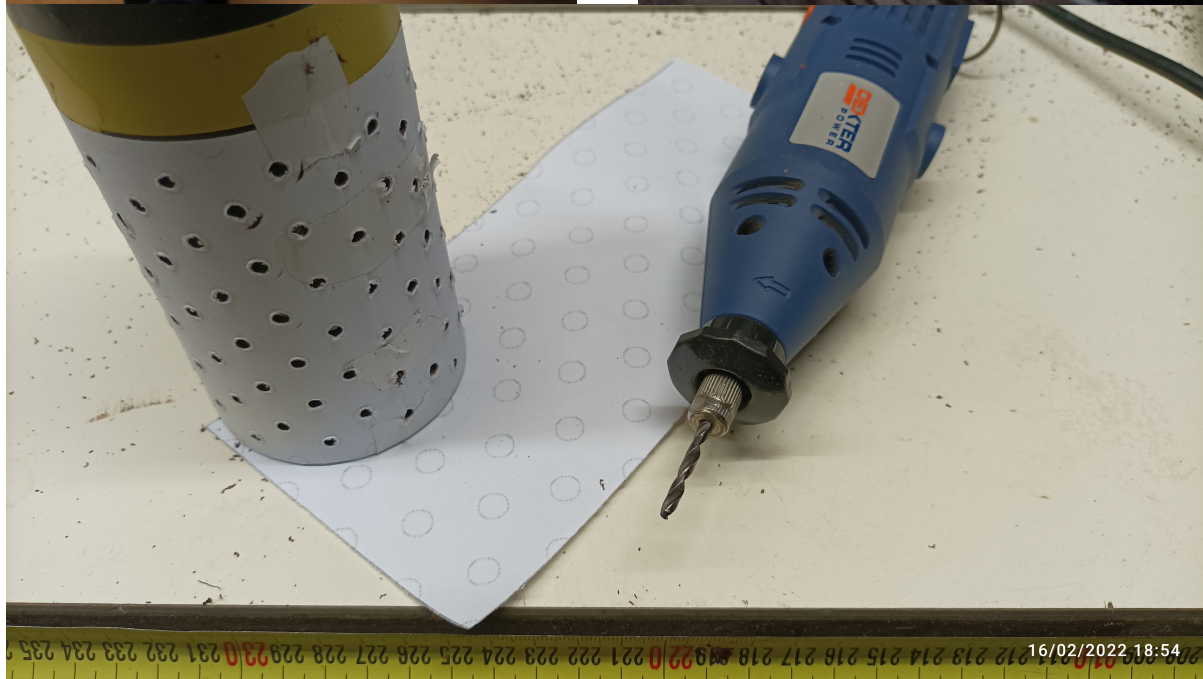
Εικόνα 10: Χωροταξική κατανομή των στοιχείων



12/02/2022 17:06



16/02/2022 19:22



16/02/2022 18:54

Εικόνα 11: Η προετοιμασία του εξωτερικού της κατασκευής

### **6.1.2 Η υλοποίηση και ενσωμάτωση του κυκλώματος**

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η υλοποίηση του εσωτερικού της κατασκευής σε στάδιο κοντά στο τελικό, έχουν προστεθεί τα περισσότερα στοιχεία και έχουν τακτοποιηθεί στις θέσεις τους, αναμένουν κάποιες από τις συνδέσεις τους και γίνεται η μελέτη για το που και πως θα τοποθετηθούν τα υπόλοιπα, αλλάζουν στη πορεία κάποια πράγματα τα οποία θα φανούν παρακάτω.

Πιο συγκεκριμένα στις εικόνες διακρίνονται τα δυο Arduino nano, το κουμπί επανεκκίνησης τους ανάμεσά τους και ο πομποδέκτης SX1278, στο πάνω μέρος τοποθετημένα πάνω στη κεντρική πλακέτα της κατασκευής, πίσω από την πλακέτα στηρίζεται με αποστάτες η μονάδα του GPS και κολλητά η κεραία του, ο αισθητήρας BME280 πάνω στη μεταλλική ανάρτηση που τον οδηγεί και τον συγκρατεί στην θέση του κάτω από το εξωτερικό κάλυμμα, πιο κάτω φαίνεται ο αισθητήρας VEML6075 στο πάνω μέρος της κατασκευής και δίπλα το κύκλωμα ρύθμισης τάσεων το οποίο περιλαμβάνει τους δυο ρυθμιστές και τους απαιτούμενους για τη σωστή λειτουργία τους πυκνωτές.

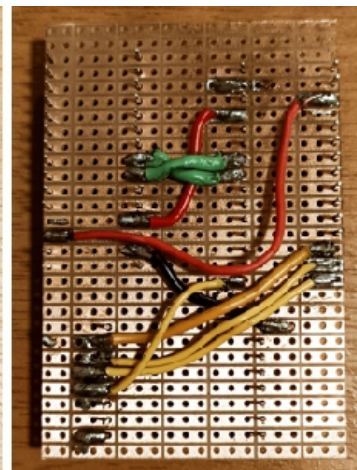
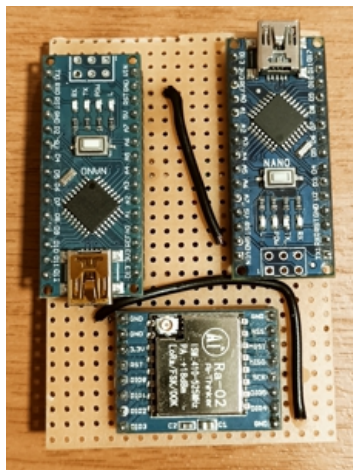
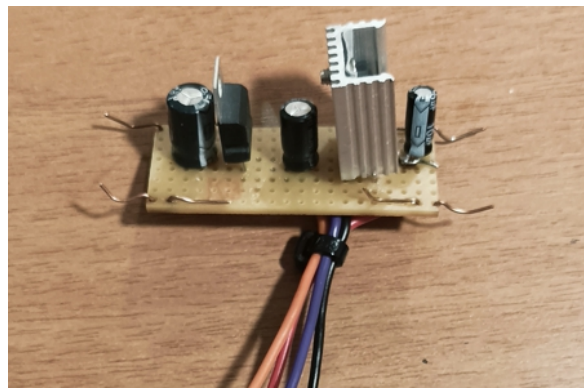
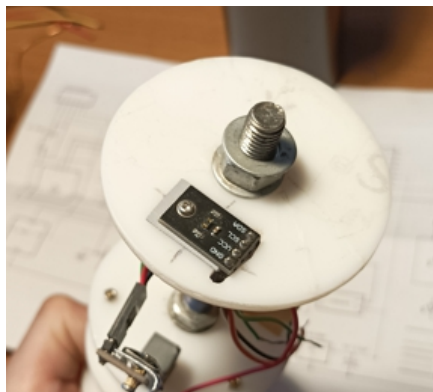
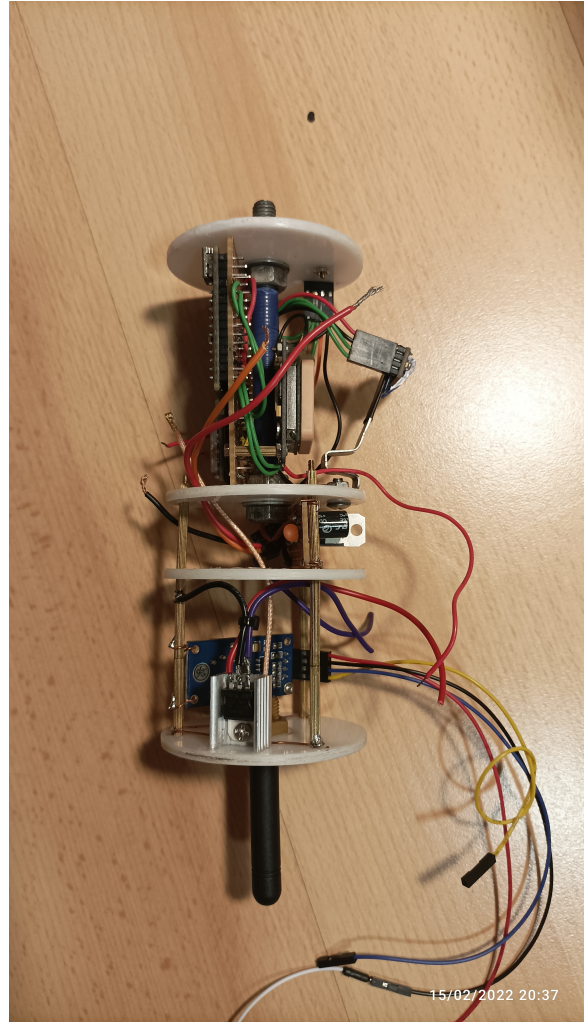
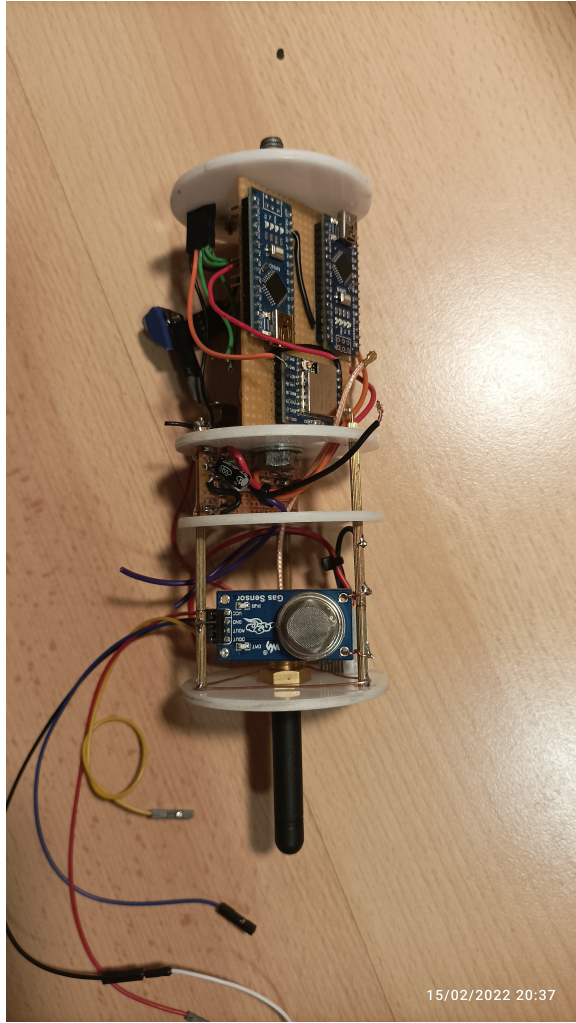
Η τελική θέση του ρυθμιστή των 5 VDC αλλάζει και τοποθετείται στο κάτω μέρος προς αποφυγήν ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών κοντά στον αισθητήρα θερμοκρασίας όπως φαίνεται στις πάνω εικόνες.

Πιο κάτω στη σελίδα φαίνεται καλύτερα η κεντρική πλακέτα με τις συγκολλήσεις των πρώτων αγωγών.

Παρακάτω βλέπουμε το βοηθητικό κύκλωμα του αισθητήρα GP2Y1014AU0F να είναι τοποθετημένο στο μεσαίο τμήμα της κατασκευής μαζί με τη πλακέτα των ρυθμιστών τάσης, ενώ ο αισθητήρας στο κατώτερο τμήμα μαζί με τον MQ-7.

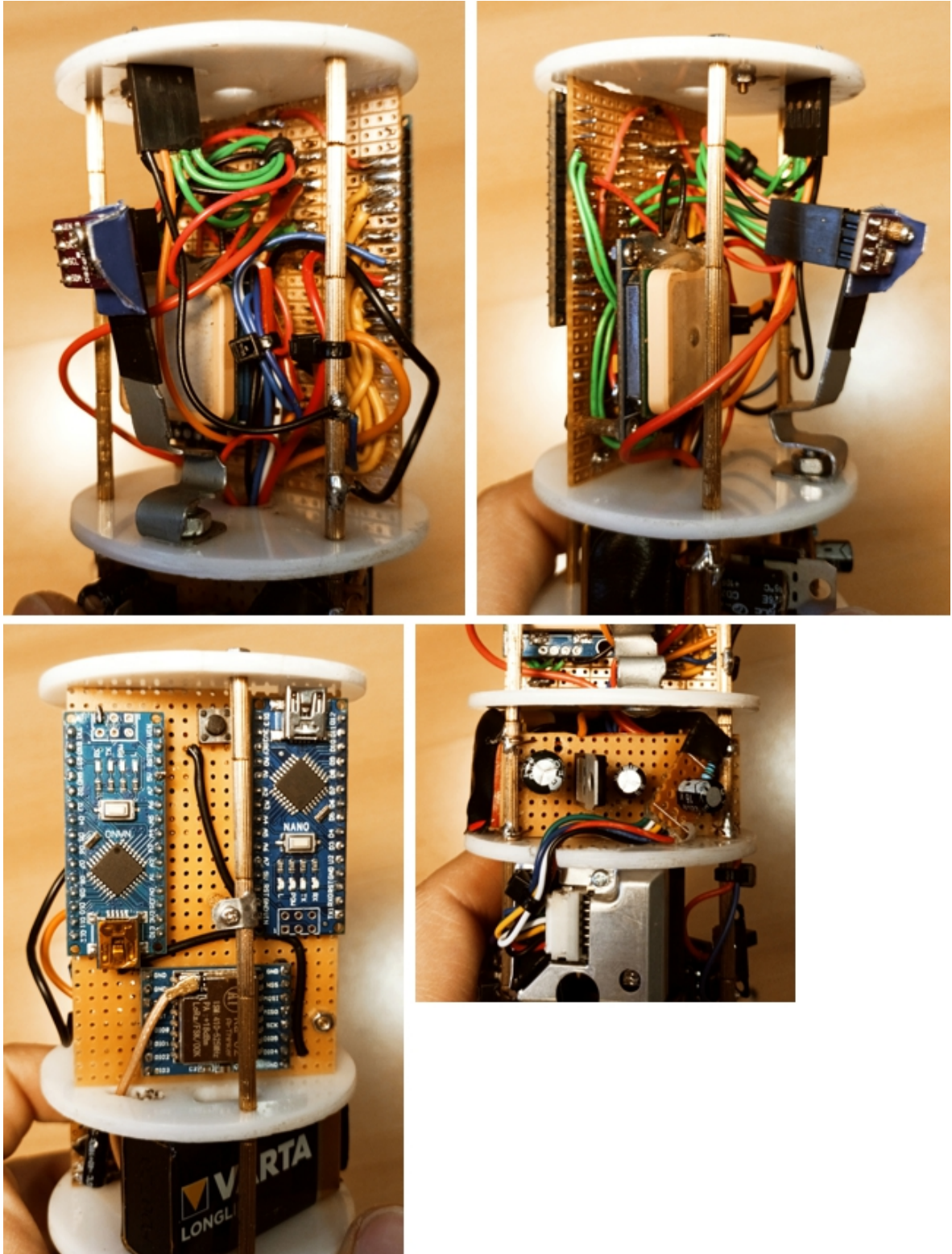
Στο κάτω μέρος της κατασκευής φαίνεται η κεραία, ο διακόπτης λειτουργίας (I – O), καθώς και ο επιλογέας από όπου επιλέγουμε το πώς θα διαχειριστεί ο SLAVE τα δεδομένα, το εάν θα τα αποστείλει μέσω του SX1278 (S) ή εάν θα τα αποστείλει μέσω της σειριακής εξόδου του για εμφάνιση στο serial monitor (P).

Στο κάτω μέρος διακρίνονται επίσης τα καλώδια που τροφοδοτούν τα LEDs που βρίσκονται προσαρμοσμένα πάνω στον ανακλαστήρα, πιο κάτω φαίνεται και ο ανακλαστήρας με τα LEDs και ο διαιρέτης τάσης τους κολλημένος πάνω του.

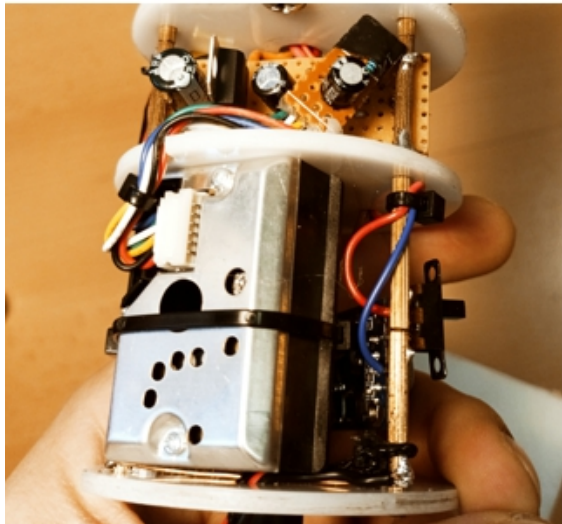
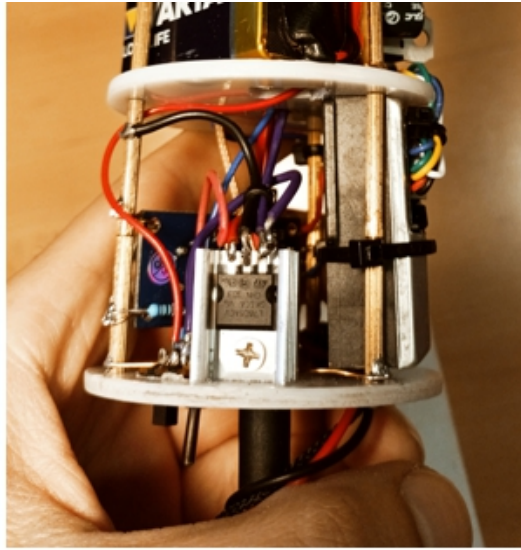
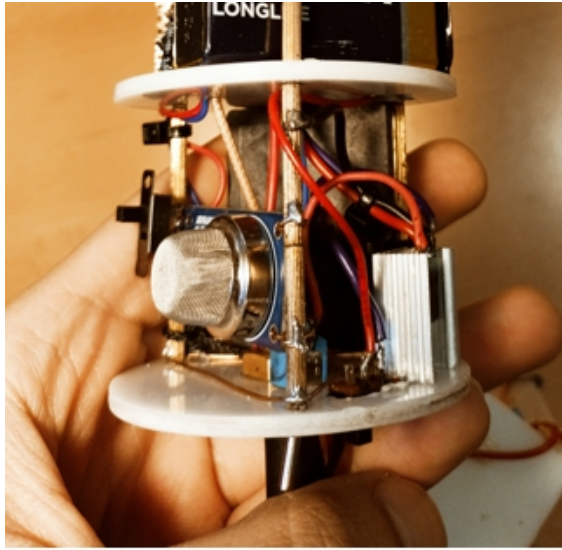


Εικόνα 12: Το εσωτερικό της κατασκευής κατά την υλοποίηση

Παρακάτω βλέπουμε εικόνες από την τελική μορφή της κατασκευής, αφού έχει ολοκληρωθεί το ηλεκτρονικό κύκλωμα, έχουν τοποθετηθεί όλα τα στοιχεία στις τελικές τους θέσεις, και ο ανακλαστήρας έχει προσαρτηθεί στο κάτω μέρος της κατασκευής.

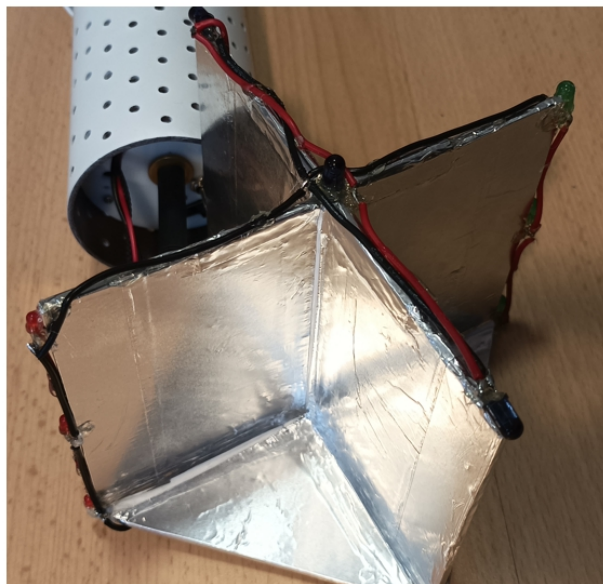
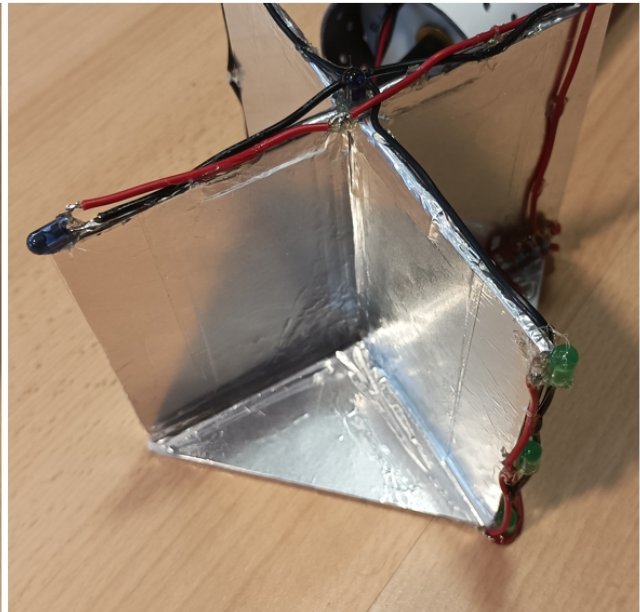
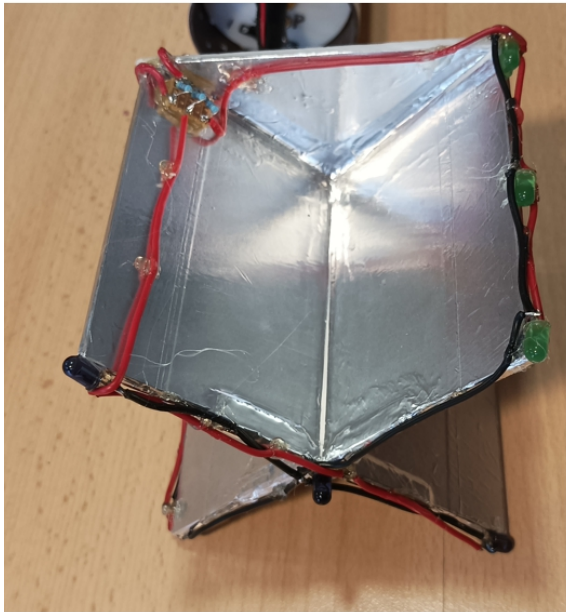
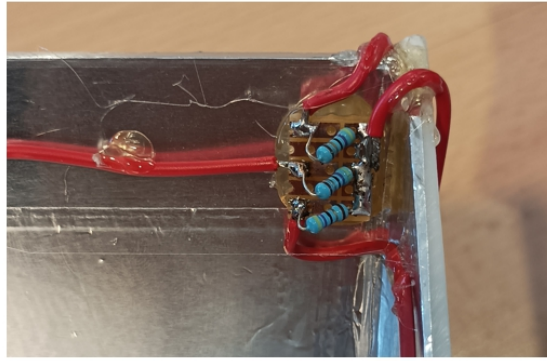


Εικόνα 13: Η κατασκευή ολοκληρωμένη



*Εικόνα 14: Η κατασκευή ολοκληρωμένη*





Εικόνα 15: Ο ανακλαστήρας της κατασκευής

## 6.2 Η τροφοδοσία της συσκευής

Η συσκευή τροφοδοτείται από μία αλκαλική μπαταρία 9 Volt. Με τη χρήση δύο ρυθμιστών τάσης, του L7805ACV και του LF33ABV παράγονται οι απαιτούμενες τάσεις, 5 Volt και 3.3 Volt αντίστοιχα, για την τροφοδοσία των επιμέρους στοιχείων.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τάσεις λειτουργίας, οι μέγιστες εντάσεις, και οι μέγιστες ισχύες των στοιχείων, καθώς και η μέγιστη συνολική ένταση και ισχύς της συσκευής.

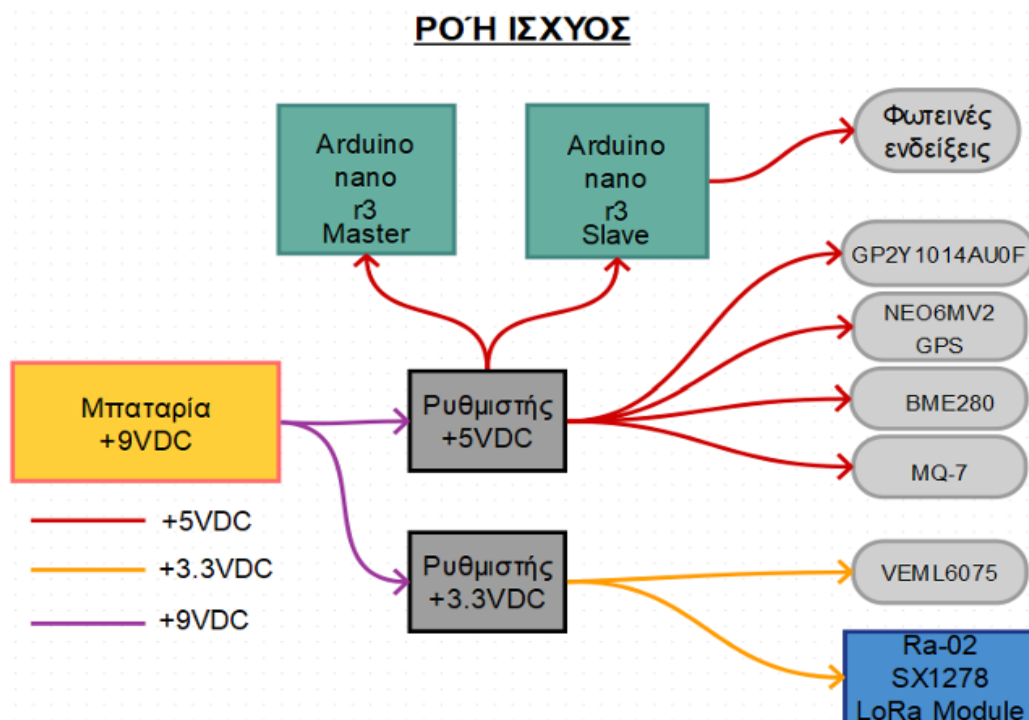
Εξάρτημα	Ταση λειτουργίας	Ονομαστική ένταση (MAX)	Ονομαστική Ισχύς (MAX)
Arduino nano	+5VDC	0.05A (2*~0.2A)	0.25W
BME280	+5VDC	0.001A	0.005W
VEML6075	+3.3VDC	0.001A	0.0033W
Lo-Ra02 sx1278	+3.3VDC	0.120A	0.396W
MQ-7	+5VDC	0.150A	0.75W
SHARP GP2Y	+5VDC	0.02A	0.1W
GY-GPSM6V2	+5VDC	0.045A	0.225W
LED			
Κοκκινα	+2.2VDC	0.06A (3*~0.02A)	0.132W
Πρασина	+2.2VDC	0.06A (3*~0.02A)	0.132W
Υπερυθρα	+2.2VDC	0.06A (3*~0.02A)	0.132W

$\Sigma = 0.53 \text{ A}$

$\Sigma = 2.13 \text{ W}$

**Πίνακας 3: Θεωρητικές Τάσεις, Εντάσεις, και Ισχύς Στοιχείων (κατά προσέγγιση)**

Στο παρακάτω διάγραμμα παρίσταται γραφικά η ροή της ηλεκτρικής ισχύος εντός της κατασκευής και διακρίνονται οι τάσεις λειτουργίας των στοιχείων.



Εικόνα 16: Διάγραμμα Ροής Ισχύος

Τα δύο Arduino nano της κατασκευής και τα υπόλοιπα στοιχεία τροφοδοτούνται μέσω των δύο ρυθμιστών τάσης, με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών εντός του χώρου όπου βρίσκονται τα αισθητήρια των οποίων οι μετρήσεις μπορεί να επηρεαστούν από την παραγόμενη θερμότητα των ρυθμιστών τάσης των Arduino nano. Αφαιρώντας εντελώς λοιπόν τους ρυθμιστές των πλακετών, και τροφοδοτώντας τις μέσω αποδοτικότερων ρυθμιστών, μειώνεται η παραγόμενη θερμότητα από την ρύθμιση της τάσης και μεταφέρεται σε ξεχωριστό χώρο, μειώνοντας σαν επακόλουθο και τις λανθασμένες μετρήσεις θερμοκρασίας κυρίως.

### **6.3 Τα αισθητήρια**

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα αισθητήρια που χρησιμοποιεί η συσκευή για την καταγραφή των συνθηκών, η λειτουργία τους και τα χαρακτηριστικά τους περιγράφονται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

Θερμοκρασία	BME280
Υγρασία	BME280
Ατμοσφαιρική Πίεση	BME280
Μονοξείδιο του Άνθρακα	MQ-7
UVA-UVB Ακτινοβολία	VEML6075
Σωματίδια PM2.5	GP2Y1014AU0F

**Πίνακας 4: Αισθητήρια**

## 6.4 Τεχνικές προδιαγραφές-χαρακτηριστικά των αισθητήρων

### 6.4.1 BME280

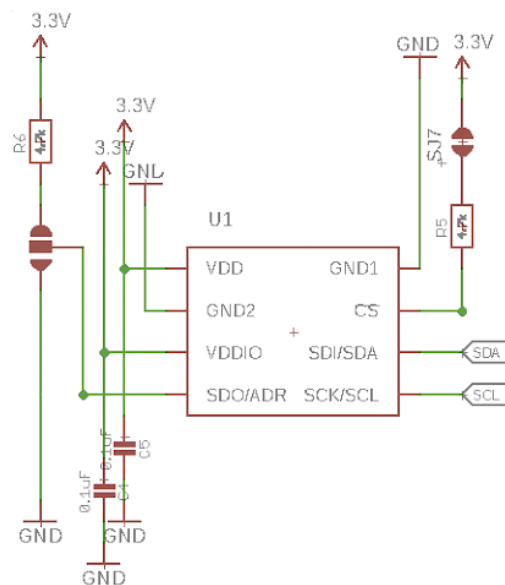
Ο αισθητήρας BME280 είναι υπεύθυνος για την μέτρηση της θερμοκρασίας, της ατμοσφαιρικής πίεσης και της σχετικής υγρασίας. Επιπλέον με την χρήση της βιβλιοθήκης “BlueDot BME280 Library” δύναται να υπολογιστεί και το υψόμετρο βάσει της πίεσης και των αρχικών ρυθμίσεων του αισθητήρα, μπορεί επίσης να ρυθμιστεί ο ρυθμός δειγματοληψίας του αισθητήρα καθώς και η κατανάλωση ενέργειας (π.χ. sleep mode).



Εικόνα 17: Η πλακέτα του BME280 (Πηγή: [www.aliexpress.com](http://www.aliexpress.com))

Ονομαστική Τάση	3.3V-5V
Ονομαστικό Ρεύμα	0.4mA
Θερμοκρασία Λειτουργίας	-40 – 80 °C
Εύρος Μέτρησης Πίεσης	300-1100hPa (±1hPa)
Εύρος Μέτρησης Θερμοκρασίας	-40 – 80 °C (±1°C)
Εύρος Μέτρησης Σχετικής Υγρασίας	0-100% (±3%)
Διεύθυνση I <sup>2</sup> C	0x76(Προκαθ.)

Πίνακας 5: Τεχνικά χαρακτηριστικά BME280 (Πηγή: [Barometer\\_Sensor-BME280/](#))



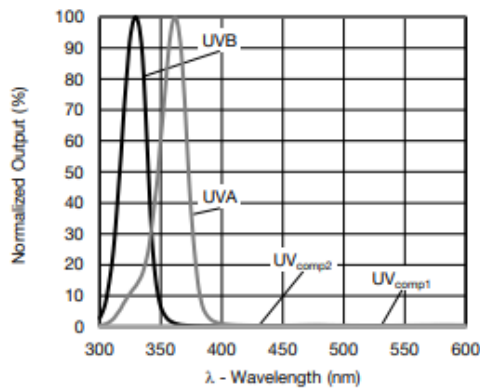
Εικόνα 18: Το κύκλωμα της πλακέτας του BME280 (Πηγή: [Barometer\\_Sensor-BME280/](#))

### 6.4.2 VEML6075

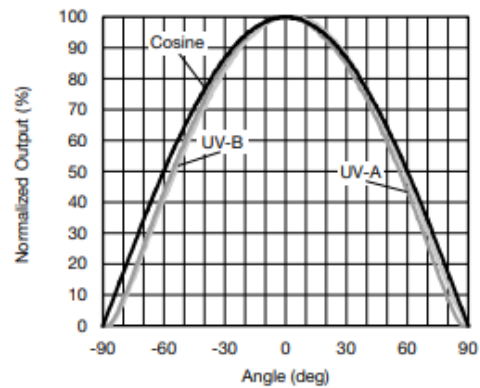
Ο αισθητήρας VEML6075 είναι υπεύθυνος για τη μέτρηση της τοπικής UVA και UVB ακτινοβολίας και με τη χρήση της βιβλιοθήκης “SparkFun VEML6075 Arduino Library” δύναται να υπολογιστεί και ο δείκτης UV βάσει των μετρήσεων.



Εικόνα 19: Η πλακέτα VEML6075



Εικόνα 20: Φασματική απόκριση του VEML6075 (Πηγή: [www.vishay.com](http://www.vishay.com))



Εικόνα 21: Απόκριση του αισθητήρα σε σχέση με τη γωνία πρόσπτωσης (Πηγή: [www.vishay.com](http://www.vishay.com))

Ονομαστική Τάση	1.7V – 3.6V
Ονομαστικό Ρεύμα	0.48 mA
Θερμοκρασία Λειτουργίας	-40 – 80 °C
Ανάλυση UVA	0.93 counts/μW/cm <sup>2</sup>
Ανάλυση UVB	2.1 counts/μW/cm <sup>2</sup>
Διεύθυνση I <sup>2</sup> C	0x10

**Πίνακας 6: Τεχνικά χαρακτηριστικά VEML6075 (Πηγή: [www.vishay.com](http://www.vishay.com))**

### 6.4.3 MQ-7

Ο αισθητήρας MQ-7 είναι υπεύθυνος για την μέτρηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, με τη χρήση της βιβλιοθήκης MQ-7.h ο αισθητήρας καταμετρά τη συγκέντρωση και μας την εμφανίζει μέσω του προγράμματος την τιμή της σε σωματίδια ανά κυβικό μέτρο.

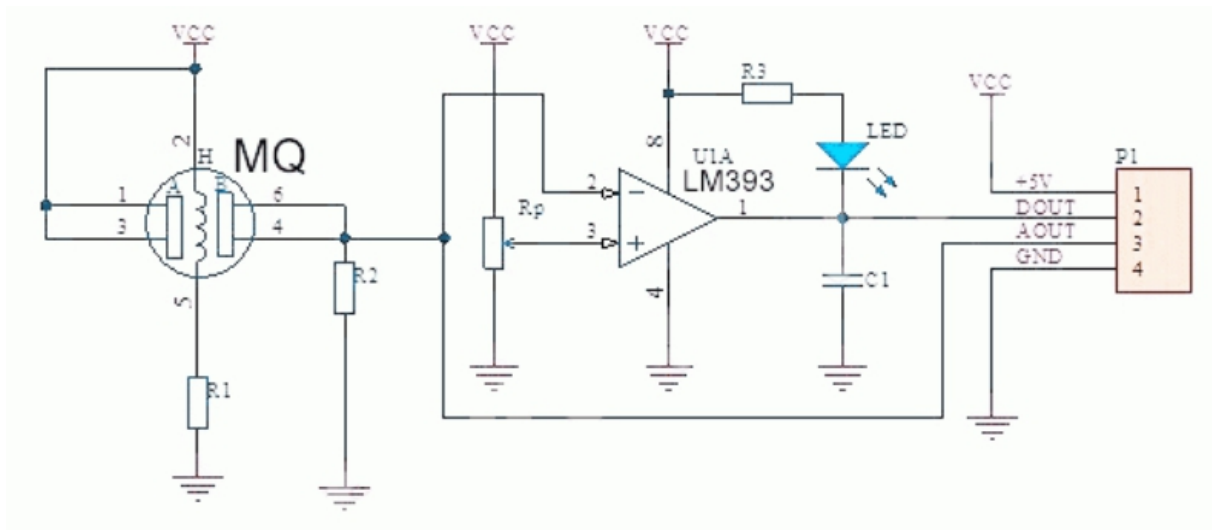


Εικόνα 22: Ο αισθητήρας MQ-7 (Πηγή: [https://www.waveshare.com/wiki/MQ-7 Gas Sensor](https://www.waveshare.com/wiki/MQ-7_Gas_Sensor))

Τάση λειτουργίας	5V
Τάση προθέρμανσης	5V
Χρόνος προθέρμανσης	60±1 δευτερόλεπτα
Αντίσταση θέρμανσης	33Ω±5%
Θερμοκρασία λειτουργίας	-20-50°C
Έυρος μέτρησης	20-2000 σωματίδια/κυβικό μέτρο

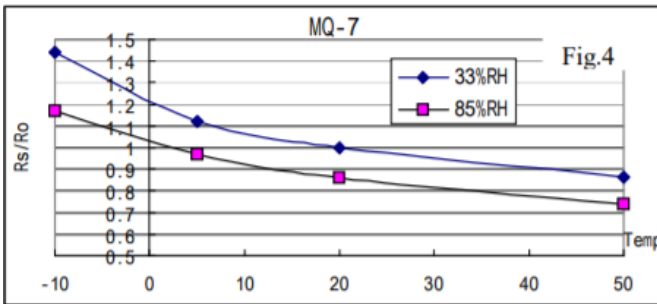
Πίνακας 7: Τεχνικά χαρακτηριστικά του MQ-7 (Πηγή: <https://www.waveshare.com/wiki/>)

Παρακάτω βλέπουμε το κύκλωμα που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του MQ-7



Εικόνα 23: Το βοηθητικό κύκλωμα του MQ-7 (Πηγή: <https://forum.arduino.cc/t/mq-7-flying-fish-heating-wire/611405>)

Στα παρακάτω γραφήματα φαίνεται η ευαισθησία του MQ-7 σε διάφορες ουσίες καθώς και το πως επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες.

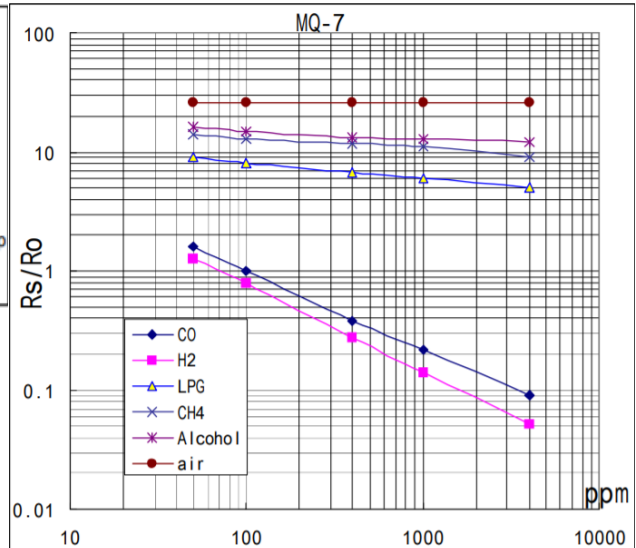


Εικόνα 24: Ευαισθησία του MQ-7 σε σχέση με τη θερμοκρασία και υγρασία περιβάλλοντος (Πηγή: <https://www.wanwekang.com/wiki/>)

Όπου:

$R_o$ : η αντίσταση του αισθητήρα στα 100ppm CO και καθαρό αέρα.

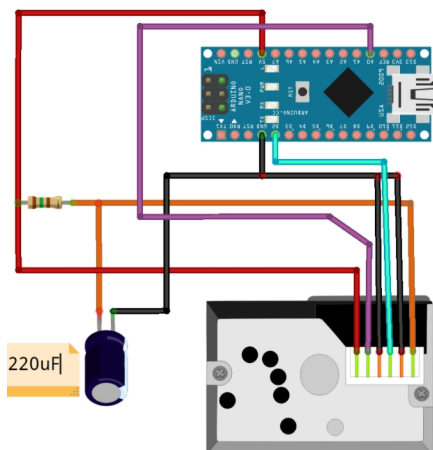
$R_s$ : η αντίσταση του αισθητήρα σε συγκεντρώσεις διαφόρων αερίων.



Εικόνα 25: Χαρακτηριστικά ευαισθησίας του MQ-7 (Πηγή: <https://www.wanwekang.com/wiki/>)

#### 6.4.4 GP2Y1014AU0F

Με τον αισθητήρα GP2Y1014AU0F, μετράται η περιεκτικότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε καπνό (νέφος), και σωματίδια PM2.5. Με τη χρήση της βιβλιοθήκης GP2YDustSensor.h και ενός βοηθητικού κυκλώματος παίρνουμε την τιμή μετρούμενη σε μικρογραμμάρια φερτής ύλης ανα κυβικό μέτρο.



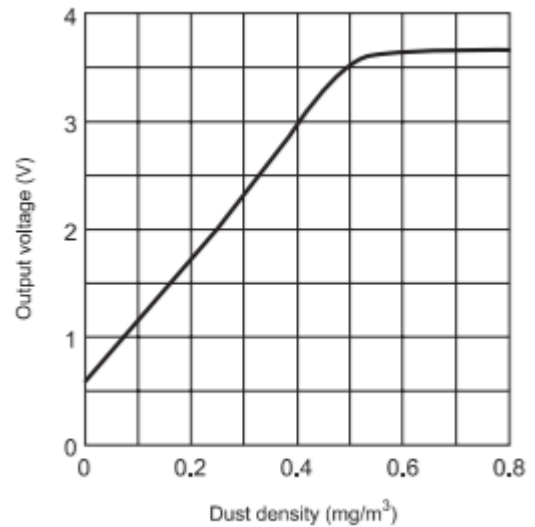
Εικόνα 26: Ενδεικτική συνδεσμολογία του αισθητήρα GP2Y1014AU0F (Πηγή: <https://create.arduino.cc/projecthub/mircemk/diy-air-quality-sensor-using-gp2y1014au0f>)



Εικόνα 27: Ο αισθητήρας GP2Y1014AU0F (Πηγή: <https://www.smart-robotics.com/DOC/5-Sensor-Module-GP2Y1014AU0F.pdf>)

Τάση λειτουργίας	-0.7-7V
Μέγιστο ρεύμα	20mA
Θερμοκρασία λειτουργίας	-10-65°C
Ευαισθησία (Ανάλογα το προς μέτρηση μίγμα)	0.35-0.65V/ (0.1mg/m <sup>3</sup> )

**Πίνακας 8: Τεχνικά χαρακτηριστικά του GP2Y1014AU0F (Πηγή: <https://www.global.sharp/>)**



*Εικόνα 28: Τάση εξόδου σε σχέση με τη περιεκτικότητα σε σκόνη (Πηγή: <https://www.global.sharp/>)*

## 6.5 Η συλλογή των δεδομένων

### 6.5.1 Προσδιορισμός της θέσης

Ο προσδιορισμός της θέσης της συσκευής γίνεται μέσω GPS, με τη χρήση του ublox NEO-6M. Η επικοινωνία μεταξύ του GPS και του arduino nano γίνεται μέσω της βιβλιοθήκης "AltSoftSerial.h", ενώ μέσω του NMEA parser NeoGPS αποκωδικοποιούνται τα δεδομένα τα δεδομένα ενώ παράλληλα υπολογίζεται και η ταχύτητα της συσκευής.

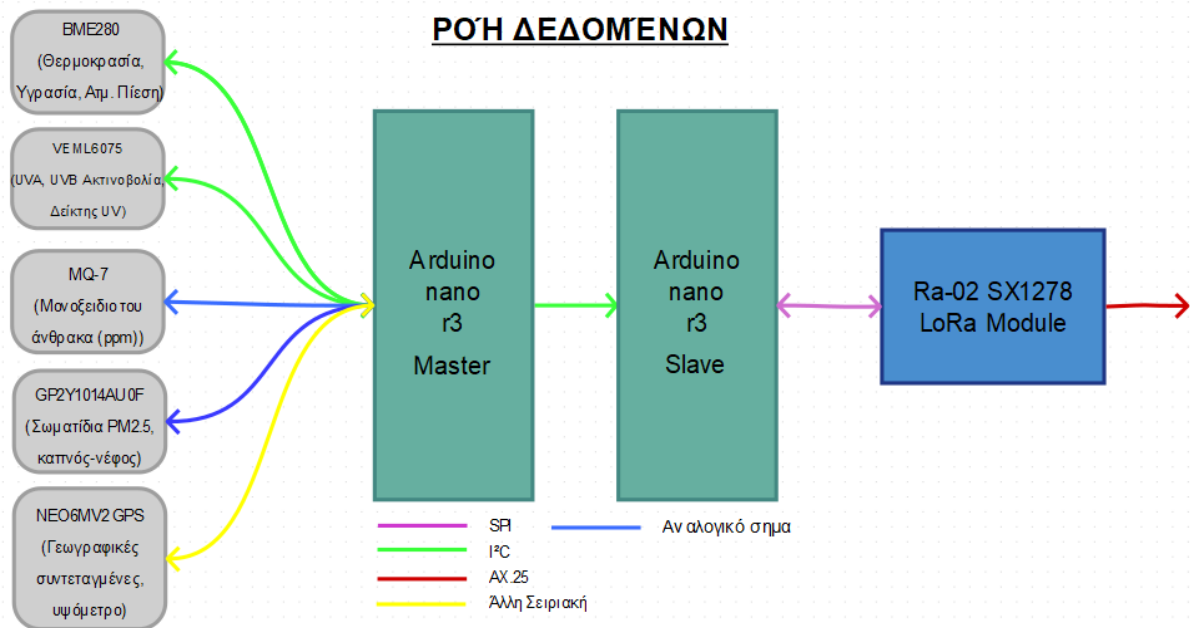


*Εικόνα 29: Το Ublox Neo 6M GPS Module*



### 6.5.2 Η ροή των δεδομένων

Όλα τα δεδομένα των μετρήσεων συλλέγονται από το MASTER arduino nano και έπειτα αποστέλλονται στον SLAVE, μόλις ολοκληρωθεί η μεταφορά των δεδομένων ο SLAVE ανάλογα με την κατάσταση που βρίσκεται ο επιλογέας που υπάρχει πάνω στη κατασκευή είτε θα εμφανίσει τα δεδομένα στη σειριακή οθόνη ή θα τα αποστείλει ασύρματα μέσω SX1278 με τη χρήση της βιβλιοθήκης "Radiolib", σε κάθε περίπτωση αφού αποσταλούν τα δεδομένα τα ενδεικτικά LED της συσκευής αναβοσβήνουν κατά τη προγραμματισμένη ακολουθία σε περίπτωση που κάτι πάει στραβά σχετικά με την μετάδοση, εμφανίζεται μήνυμα με τον κωδικό σφάλματος. Στο παρακάτω διάγραμμα παρίσταται γραφικά η ροή των δεδομένων εντός της κατασκευής, από την καταγραφή τους έως και την αποστολή, διακρίνονται τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούν τα επιμέρους στοιχεία.



Εικόνα 30: Διάγραμμα Ροής Δεδομένων

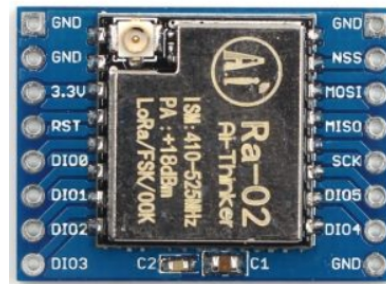
## 6.6 Η αποστολή των δεδομένων

Η αποστολή των δεδομένων γίνεται μέσω του Ra-02 SX1278 και της βιβλιοθήκης "Radiolib.h".

### 6.6.1 Το Ra-02 SX1278

Το Ra-02 SX1278 είναι μια μονάδα ραδιοεπικοινωνίας βασισμένη στον πομποδέκτη SX1278 της SEMTECH. Εφαρμόζει τεχνολογία ευρέος φάσματος LoRa και η εμβέλειά του μπορεί και φτάνει τα 10 χιλιόμετρα, διατηρώντας παράλληλα τη κατανάλωση σε χαμηλά επίπεδα.

Τάση λειτουργίας	1.8-3.7V
Μέγιστο ρεύμα	150mA
Απόσταση επικοινωνίας	<15km
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40-80°C
Συχνότητα επικοινωνίας	433MHz
Ευαισθησία	Μεχρι και -148dBm
Ταχύτητα	Μεχρι και 300kbps



Εικόνα

31: Η μονάδα Ra-02 SX1278 (Πηγή: <https://grobotronics.com/lora-module-433mhz-sx1278.html>)

Πίνακας 9: Τεχνικά χαρακτηριστικά του Ra-02 SX1278

(Πηγή: <https://grobotronics.com/lora-module-433mhz-sx1278.html>)

### 6.6.2 Η κεραία

Η κεραία της κατασκευής είναι μια κεραία ραδιοσυχνοτήτων εύρους 433,050-434,790MHz και κέρδους 2dBi.

Συχνότητα	433,050-434,790MHz
Κέρδος	2dBi
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40-85°C
Αντίδραση	50Ω

Πίνακας 10: Τεχνικά χαρακτηριστικά της κεραίας

(Πηγή: τεχνικό φύλλο της κεραίας)



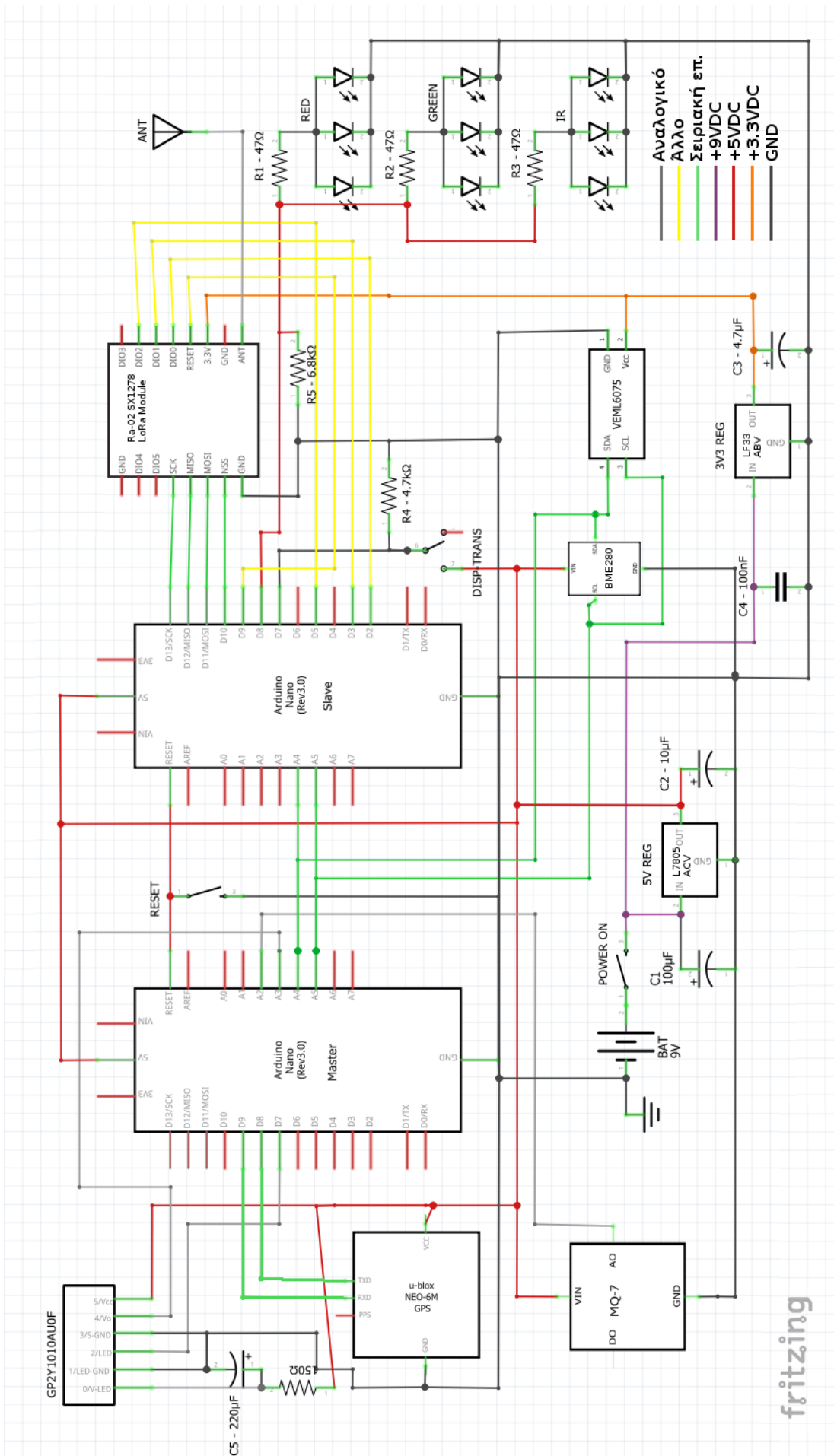
<https://grobotronics.com/antenna-rf-434mhz-2dbi-63.6mm-u.fl.html>

### **6.6.3 Η συμβατότητα με το APRS**

Η βιβλιοθήκη "Radiolib.h" είναι μια γενική βιβλιοθήκη ραδιοεπικοινωνιών που υποστηρίζει πολλά πρωτόκολλα επικοινωνίας, είναι συμβατή με πολλές μονάδες ραδιοεπικοινωνίας και με πολλές πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένου του arduino nano και της μονάδας Ra-02 SX1278. Αυτό που κάνει στη προκειμένη περίπτωση είναι το να δημιουργεί πακέτα AX.25 με τα δεδομένα και έπειτα να εκπέμπει μέσω του FSK μόντεμ της μονάδας. Το μόντεμ είναι τεχνολογίας FSK direct mode, έτσι μπορεί να παραχθεί σήμα AFSK στα 1200bit/s (όμοιο με το μόντεμ Bell 202) ελέγχοντας το μέσω του ακροδέκτη DIO2 της μονάδας με έναν ακροδέκτη του arduino nano που υποστηρίζει PWM. Το σήμα έπειτα μπορεί να αποκωδικοποιηθεί σαν FM.

### **6.7 Το κύκλωμα της κατασκευής**

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα της κατασκευής.



Εικόνα 33: Το Κύκλωμα της Κατασκευής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Ο ΚΩΔΙΚΑΣ

### 7.1 Ο κώδικας του Master

```
#include <Wire.h>
#include <SparkFun_VEML6075_Arduino_Library.h>
#include "BlueDot_BME280.h"
#include <NMEAGPS.h>
#include <AltSoftSerial.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include "MQ7.h"
#include <GP2YDustSensor.h>
#include "I2C_Anything.h"

//PM2.5 SETTINGS=====
const uint8_t SHARP_LED_PIN = 7; // Ακροδεκτης σύνδεσης του εσωτερικου Led του
αισθητηρα
const uint8_t SHARP_VO_PIN = A3; // Ακροδεκτης συνδεσης της αναλογικης εξοδου
GP2YDustSensor dustSensor(GP2YDustSensorType::GP2Y1010AU0F, SHARP_LED_PIN,
SHARP_VO_PIN);
float PM25, PM25avg; //Δηλωση μεταβλητών που θα χρησιμοποιούνται

//MQ-7 Settings=====
#define A_PIN 2
#define VOLTAGE 5
MQ7 mq7(A_PIN, VOLTAGE);
float PPM; //Δηλωση μεταβλητης αισθητηρα

//VEML6075 SETTINGS=====
VEML6075 uv; //creating VEML6075 object
float UVA, UVB, UVI; //Δηλωση μεταβλητων αισθητηρα
```

```

//BME280 SETTINGS=====
BlueDot_BME280 bme2; //Object for Sensor
int bme2Detected = 0; //Έλεγχος διαθεσιμότητας αισθητήρα
float TEMP, HUM, PRESS, ALT; //Δήλωση μεταβλητών αισθητήρα

//GPS SETTINGS=====
NMEAGPS gps;
AltSoftSerial gpsPort; // ακροδεκτης 8 - GPS TX, ακροδεκτης 9 - GPS RX
float LAT, LONG, SPEED; //Δήλωση μεταβλητών GPS

//=====

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Εκκίνηση και δήλωση ταχύτητας σειριακής επικοινωνίας (serial)
  Wire.begin(); //Εκκίνηση σειριακής επικοινωνίας (I²C)

  //GPS SETUP=====
  gpsPort.begin(9600); //Δήλωση ταχύτητας επικοινωνίας GPS
  Serial.println( F("GPS Start") ); //εμφάνιση: GPS Start

  //VEML6075 Setup=====
  if (uv.begin() == false) //Έλεγχος διαθεσιμότητας αισθητήρα
  {
    Serial.println("Unable to communicate with VEML6075.");
    while (1);
  }
  Serial.println("VEML6075 is up and running.");

  //SHARP PM2.5 Setup=====
  //ΠΥΘΜΙΣΕΙΣ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ PM2.5
  //dustSensor.setBaseline(0.4); //Ρυθμιση τάσης μηδενικής μέτρησης
  //dustSensor.setCalibrationFactor(1.1); //Ρυθμιση με οργανο ακριβείας
  dustSensor.begin();

```

```
Serial.println("PM2.5 sensor is up."); //Εμφανιση μνηματος: PM2.5 sensor is up.
```

```
//BME280 Setup=====
```

```
//Παράμετροι λειτουργίας αισθητηρα BME280
```

```
bme2.parameter.communication = 0; //0 = επικοινωνια μεσω I2C
```

```
bme2.parameter.I2CAddress = 0x76; //Διευθυνση I2C
```

```
bme2.parameter.sensorMode = 0b11; //0b11 = normal mode
```

```
bme2.parameter.IIRfilter = 0b100; //0b100 = IIR Filter value
```

```
bme2.parameter.humidOversampling = 0b101; //Ρυθμός δειγματοληψίας υγρασίας
```

```
bme2.parameter.tempOversampling = 0b101; //Ρυθμός δειγματοληψίας θερμοκρασίας
```

```
bme2.parameter.pressOversampling = 0b101; //Ρυθμός δειγματοληψίας πίεσης
```

```
//ΠΥΘΜΙΣΗ ΑΡΧΙΚΩΝ
```

```
ΣΥΝΘΗΚΩΝ=====
```

```
bme2.parameter.pressureSeaLevel = 1013.25; //Τιμή ατμοσφαιρικης πίεσης σε μηδενικο  
υψομετρο = 1013.25 hPa
```

```
bme2.parameter.tempOutsideCelsius = 15; //Θερμοκρασια περιβαλλοντος (προκαθ.)
```

```
if (bme2.init() != 0x60) { //ελεγχος διαθεσιμοτητας αισθητηρα
```

```
Serial.println(F("BME280 Sensor not found!"));
```

```
bme2Detected = 0;
```

```
}
```

```
else {
```

```
Serial.println(F("BME280 Sensor detected."));
```

```
bme2Detected = 1;
```

```
}
```

```
//MQ-7 setup=====
```

```
while (!Serial) {
```

```
    ;// Αναμονη για επικοινωνια
```

```
}
```

```
Serial.println("Calibrating MQ7");
```

```
mq7.calibrate(); // υπολογισμος R0
```

```
Serial.println("Calibration done!");
```

```

Serial.println(F("-----"));

}

void loop() { //ακολουθια εκτέλεσης ρουτινων οργανων - εποκοινωνιας
  GPSTF ();
  BME280 ();
  VEML_6075 ();
  ParticulateMatter ();
  MQ_7 ();
  //----- ρουτίνες μεταφορας μεταβλητων στον SLAVE
  Transmit0 (); //Ρουτίνα μεταφορας των 6 πρωτων
  Transmit1 (); //Μεταφορα των υπολοιπων 7
  Serial.println("-----");
  delay(5000); //αναμονη 5 δευτερολεπτων
}

void ParticulateMatter () //PM2.5 Function
{
  Serial.print("Dust density: ");
  unsigned int PM25i = dustSensor.getDustDensity(); //Εκχωριση μετρησης στη βοηθ.
  μεταβλητη
  PM25 = (float)PM25i; //μετατροπη σε float για τη μεταφορα
  Serial.print(PM25); //εμφανιση τιμης στη σειριακη
  Serial.print(" ug/m3, Running average: ");
  unsigned int PM25avg_i = dustSensor.getRunningAverage(); //Εκχωριση μετρησης στη βοηθ.
  μεταβλητη
  PM25avg = (float)PM25avg_i; //μετατροπη σε float για τη μεταφορα
  Serial.print(PM25avg); //εμφανιση τιμης στη σειριακη
  Serial.println(" ug/m3");
  Serial.println();
}

```



```

void BME280 () //BME280 Function
{
  if (bme2Detected)
  { // Εκχώριση μετρήσεων στις μεταβλητές και εμφάνιση αυτών
    Serial.print(F("Temperature [°C]:\t\t"));
    TEMP = bme2.readTempC();
    Serial.println(TEMP);
    Serial.print(F("Humidity [%]:\t\t\t"));
    HUM = bme2.readHumidity();
    Serial.println(HUM);
    Serial.print(F("Pressure [hPa]:\t\t\t"));
    PRESS = bme2.readPressure();
    Serial.println(PRESS);
    Serial.print(F("Altitude [m]:\t\t\t"));
    ALT = bme2.readAltitudeMeter();
    Serial.println(ALT);
    Serial.println();
  }
  else
  {
    Serial.print(F("BME280 Fault")); //Εμφάνιση μνημματος σφαλματος
  }
}

void GPSF () //GPS Function
{
  while(gps.available( gpsPort )) //Έλεγχος ύπαρξης δεδομένων στο GPS
  {
    gps_fix fix = gps.read(); // get a complete fix structure when its available
  }
}

```

```
Serial.print( F("Latitude:") ); //Εκχώριση στη μεταβλητή και εμφάνιση γεωγραφικού  
πλατους (με ακρίβεια 6 δεκαδικών)
```

```
if (fix.valid.location)  
    LAT = fix.latitude();  
    Serial.print(LAT, 6);
```

```
Serial.print( F(", Longitude:") ); //Εκχώριση στη μεταβλητή και εμφάνιση γεωγραφικού  
μήκους (με ακρίβεια 6 δεκαδικών)
```

```
if (fix.valid.location)  
    LONG = fix.longitude();  
    Serial.print(LONG, 6);
```

```
Serial.print( F(", Speed (Km/h):") ); //Εκχώριση στη μεταβλητή και εμφάνιση ταχύτητας
```

```
if (fix.valid.speed)  
    SPEED = fix.speed_kph();  
    Serial.print( SPEED );
```

```
Serial.println();
```

```
Serial.println();
```

```
}
```

```
}
```

```
void MQ_7 () //MQ-7 Sensor Function
```

```
{
```

```
Serial.print("Carbon Monoxide (PPM) = "); //Εκχώριση τιμής στη μεταβλητή και εμφάνιση  
της
```

```
PPM = mq7.readPpm();
```

```
Serial.println(PPM);
```

```
Serial.println();
```

```
}
```

```
void VEML_6075 () //VEML6075 Function
```

```
{
```

```

String UVAs = String(uv.uva()); //Εκχώριση τιμών σε βοηθητικά strings
String UVBs = String(uv.uvb());
String UVIs = String(uv.index());
UVA = UVAs.toFloat(); //μετατροπή τιμών σε float για τη μεταφορά
UVB = UVBs.toFloat();
UVI = UVIs.toFloat();
Serial.print("UVA: "); //εμφάνιση τιμών
Serial.print(UVA);
Serial.print(", UVB: ");
Serial.print(UVB);
Serial.print(", UVindex: ");
Serial.print(UVI);
Serial.println();
Serial.println();
}

//===Ρουτίνες μεταφοράς δεδομένων απο τον MASTER στον SLAVE=====

void Transmit0 ()
{
Wire.beginTransmission(2); //Αποστολή των πρώτων 6 μεταβλητών στον SLAVE
I2C_writeAnything(UVA);
I2C_writeAnything(UVB);
I2C_writeAnything(UVI);
I2C_writeAnything(LAT);
I2C_writeAnything(LONG);
I2C_writeAnything(SPEED);
Wire.endTransmission();
delay(100);
}

void Transmit1 () {
Wire.beginTransmission(2); //Αποστολή των υπόλοιπων 7 μεταβλητών
I2C_writeAnything(TEMP);

```

```
I2C_writeAnything(HUM);
I2C_writeAnything(PRESS);
I2C_writeAnything(ALT);
I2C_writeAnything(PM25);
I2C_writeAnything(PM25avg);
I2C_writeAnything(PPM);
Wire.endTransmission();
delay(100);
}
```

## 7.2 *Ο κώδικας του Slave*

/\*

RadioLib AX.25 Transmit AFSK Code

This code sends AX.25 messages using SX1278's FSK modem. The data is modulated as AFSK at 1200 baud using Bell 202 tones.

Other modules that can be used for AX.25 with AFSK modulation:

- SX127x/RFM9x
- RF69
- SX1231
- CC1101
- nRF24
- Si443x/RFM2x

For default module settings, see the wiki page <https://github.com/jgromes/RadioLib/wiki/Default-configuration>

For full API reference, see the GitHub Pages

```

https://jgromes.github.io/RadioLib/
*/

#include <Wire.h>
#include <RadioLib.h>
#include "I2C_Anything.h"

double UVA, UVB, UVI, PM25, PM25avg, LAT, LONG, SPEED, TEMP, HUM, PRESS,
ALT, PPM;
int transmission = 0, dataprint = 7, LEDpin = 8, printState;
boolean haveData = false;

/* SX1278 connections:
NSS pin: 10
DIO0 pin: 2
RESET pin: 9
DIO1 pin: 3 */
SX1278 radio = new Module(10, 2, 9, 3);

// create AFSK client instance using the FSK module
// pin 5 is connected to SX1278 DIO2
AFSKClient audio(&radio, 5);

// create AX.25 client instance using the AFSK instance
AX25Client ax25(&audio);

void setup() {
  Wire.begin(2);          // Ανάθεση μιας τυχαίας I2C διεύθυνσης (αντιστοιχη στον
MASTER)
  Wire.onReceive(receiveEvent); // register event
  Serial.begin(9600);     // start serial

```

```

pinMode(dataprint, INPUT); //
pinMode(8, OUTPUT); //
digitalWrite(8, LOW); //

// Εκκίνηση του SX1278=====
Serial.print(F("[SX1278] Initializing ... "));
int state = radio.beginFSK();

if(state == ERR_NONE) { //έλεγχος του SX1278 για σφάλματα
  Serial.println(F("success!"));
} else {
  Serial.print(F("failed, code "));
  Serial.println(state);
  while(true);
}

// initialize AX.25 client=====
Serial.print(F("[AX.25] Initializing ... "));
//=====!!ΕΔΩ ΕΙΣΑΓΕΤΑΙ ΤΟ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟ ΤΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΕΑ ΓΙΑ ΤΟ
APRS!!=====√
state = ax25.begin("==!!ΔΙΑΚΡΗΤΙΚΟ ΑΠΟΣΤΟΛΕΑ!!==");
if(state == ERR_NONE) {
  Serial.println(F("success!"));
} else {
  Serial.print(F("failed, code "));
  Serial.println(state);
}
}

void loop()
{
  printState = digitalRead(dataprint); //Checks what to do

```

```
if (haveData) //Ελεγχος ύπαρξης δεδομένων προς χρήση
{
  if (printState == 1) //Ελεγχος θέσης επιλογέα (1 = εμφάνιση στη σειριακή)
  {
    Serial.print("Latitude:");
    Serial.print(LAT, 6);
    Serial.print(", Longitude:");
    Serial.print(LONG, 6);
    Serial.print(", Speed (Km/h):");
    Serial.println(SPEED);
    Serial.println();
    Serial.print("Temperature [°C]:\t");
    Serial.println(TEMP);
    Serial.print("Humidity [%]:\t\t");
    Serial.println(HUM);
    Serial.print("Pressure [hPa]:\t\t");
    Serial.println(PRESS);
    Serial.print("Altitude [m]:\t\t");
    Serial.println(ALT);
    Serial.println();
    Serial.print("UVA: ");
    Serial.print(UVA);
    Serial.print(", UVB: ");
    Serial.print(UVB);
    Serial.print(", UVindex: ");
    Serial.println(UVI);
    Serial.println();
    Serial.print("Dust density: ");
    Serial.print(PM25);
    Serial.print(" ug/m3, Running average: ");
    Serial.print(PM25avg);
    Serial.println(" ug/m3");
    Serial.println();
```

```

Serial.print("Carbon Monoxide (PPM) = ");
Serial.println(PPM);
Serial.println();
Serial.println("-----");
flash (); //αναπαραγωγή ρουτινας φωτεινων ενδείξεων
flash ();
}
else if (printState == 0) //Έλεγχος θεσης επιλογεα (0 = αποστολή)
{
Serial.println("Starting transmission");
AX25Transmit (LAT);
AX25Transmit (LONG);
AX25Transmit (SPEED);
AX25Transmit (TEMP);
AX25Transmit (HUM);
AX25Transmit (PRESS);
AX25Transmit (ALT);
AX25Transmit (UVA);
AX25Transmit (UVB);
AX25Transmit (UVI);
AX25Transmit (PM25);
AX25Transmit (PM25avg);
AX25Transmit (PPM);
flash (); //αναπαραγωγή ρουτινας φωτεινων ενδείξεων
flash ();
}
haveData = false; //ενημερωση διαθεσιμοτητας δεδομενων
}
}

void receiveEvent() //Ρουτίνα λήψης δεδομένων
{
if (transmission == 0) //έλεγχος καταστασης ληψης (0 = 6 πρωτες)

```



```

{
    //και καταχωρηση των τιμων στις αντιστοιχες μεταβλητες
    I2C_readAnything (UVA);
    I2C_readAnything (UVB);
    I2C_readAnything (UVI);
    I2C_readAnything (LAT);
    I2C_readAnything (LONG);
    I2C_readAnything (SPEED);
    transmission = 1;    //ενημερωση καταστασης λήψης
}
else if (transmission == 1) //ελεγχος καταστασης λήψης (1 = 7 εναπομενουσες)
{
    //και καταχωρηση των τιμων στις αντιστοιχες μεταβλητες
    I2C_readAnything (TEMP);
    I2C_readAnything (HUM);
    I2C_readAnything (PRESS);
    I2C_readAnything (ALT);
    I2C_readAnything (PM25);
    I2C_readAnything (PM25avg);
    I2C_readAnything (PPM);
    transmission = 0;    //ενημερωση κατασταση ληψης
    haveData = true;    //ενημερωση διαθεσιμοτητας δεδομενων
}
}

```

```

void flash() //Ρουτινα φωτεινων ενδείξεων

```

```

{
    digitalWrite(LEDpin, HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(LEDpin, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(LEDpin, HIGH);
    delay(200);
    digitalWrite(LEDpin, LOW);
    delay(400);
}

```

```

digitalWrite(LEDpin, HIGH);
delay(200);
digitalWrite(LEDpin, LOW);
delay(100);
digitalWrite(LEDpin, HIGH);
delay(200);
digitalWrite(LEDpin, LOW);
delay(400);
}

void AX25Transmit (double DATA)
{
  // send AX.25 unnumbered information frame
  Serial.print(F("[AX.25] Sending UI frame ... "));
  //=====!!ΕΔΩ ΕΙΣΑΓΕΤΑΙ ΤΟ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ ΣΤΟ APRS!!
  =====∨
  int state = ax25.transmit(DATA, "!!ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ!!");
  if (state == ERR_NONE) {
    //Έλεγχος για σφάλματα κατα την αποστολη
    Serial.println(F("success!"));

  } else {
    //Εμφάνιση μνηματος σφάλματος
    Serial.print(F("failed, code "));
    Serial.println(state);
  }
}
}

```

### 7.3 *Ο κώδικας επικοινωνίας μεταξύ Master και Slave*

```

// Written by Nick Gammon
// May 2012

```

```

#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>

template <typename T> int I2C_writeAnything (const T& value)
{
    const byte * p = (const byte*) &value;
    unsigned int i;
    for (i = 0; i < sizeof value; i++)
        Wire.write(*p++);
    return i;
} // end of I2C_writeAnything

```

```

template <typename T> int I2C_readAnything(T& value)
{
    byte * p = (byte*) &value;
    unsigned int i;
    for (i = 0; i < sizeof value; i++)
        *p++ = Wire.read();
    return i;
} // end of I2C_readAnything

```

```

template <typename T> int I2C_singleWriteAnything (const T& value) {
    int size = sizeof value;
    byte vals[size];
    const byte* p = (const byte*) &value;
    unsigned int i;
    for (i = 0; i < sizeof value; i++) {
        vals[i] = *p++;
    }

    Wire.write(vals, size);
    return i;
}

```

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### *8.1 Σύγκριση των μετρήσεων με γειτονικούς σταθμούς*

Όλες οι μετρήσεις λαμβάνουν χώρα στην ίδια τοποθεσία διαφορετικές ώρες της ημέρας, με διαφορετικές συνθήκες. Τα δεδομένα των μετρήσεων αξιολογούνται σε σύγκριση με δεδομένα από ζωντανές μετρήσεις γειτονικών μετεωρολογικών σταθμών. Σαν πίεση αναφοράς (στα 0m) για τη βαθμονόμηση του αισθητήρα BME280 χρησιμοποιείται η πίεση του μετεωρολογικού σταθμού που βρίσκεται στο χαμηλότερο υψόμετρο (στα 16m).

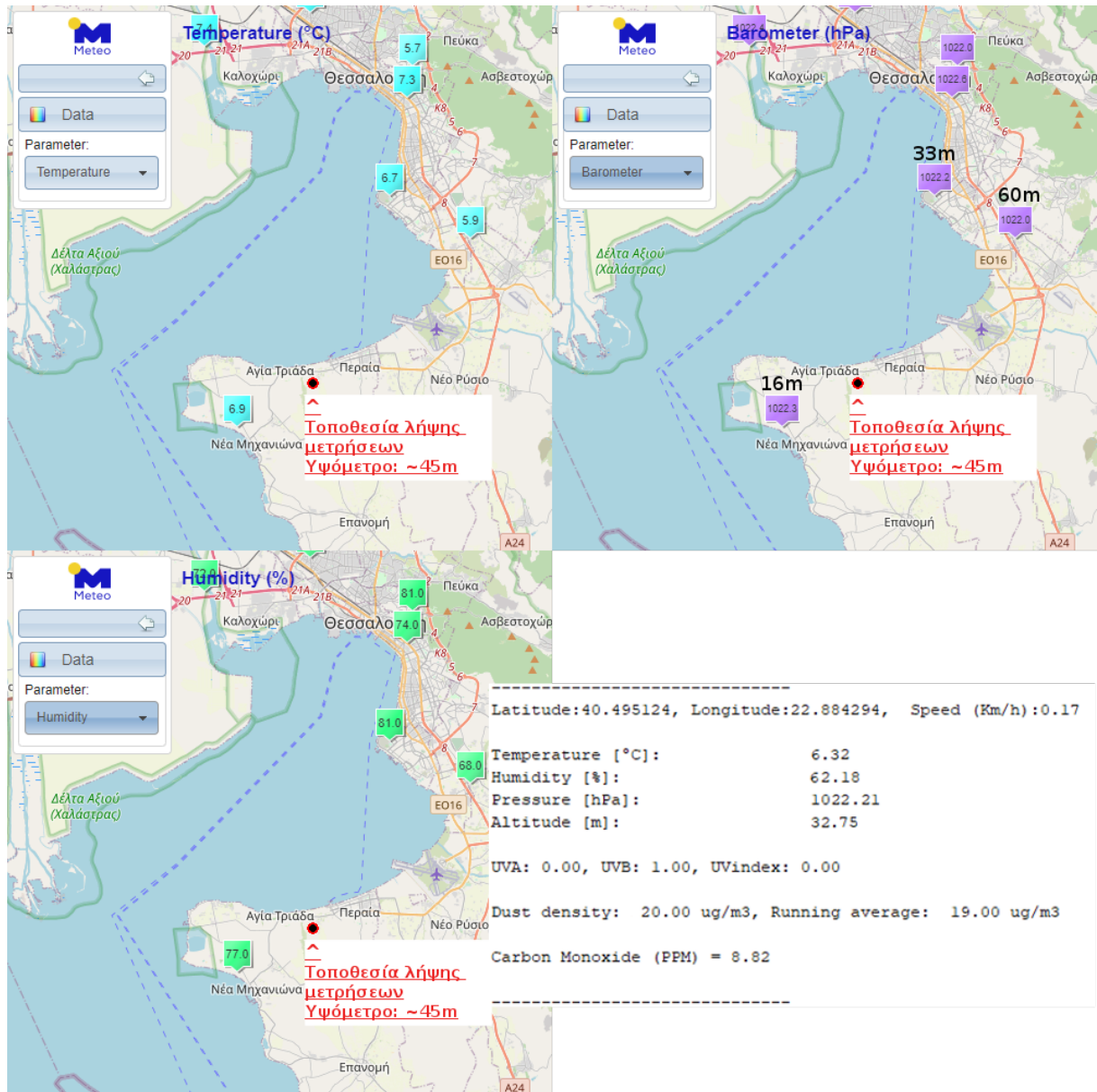
Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται οι τοποθεσίες και οι μετρήσεις των γειτονικών σταθμών πάνω στον χάρτη, καθώς και η τοποθεσία και οι μετρήσεις της κατασκευής μου (κάτω αριστερά σε κάθε εικόνα).

Οι μετρήσεις συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα είναι αποδεκτές δεδομένου του ότι στην περιοχή πολλά σπίτια χρησιμοποιούν ως μέσο θέρμανσης τζάκια και ξυλόσομπες.

Οι μετρήσεις συγκέντρωσης σωματιδίων και σκόνης είναι πολύ χαμηλές δεδομένου ότι η περιοχή βρίσκεται εκτός πόλης και αστικού ιστού, επομένως τα αποτελέσματα ενδέχεται να επηρεάζονται από τον "θόρυβο" και την απόκλιση του αισθητήρα.

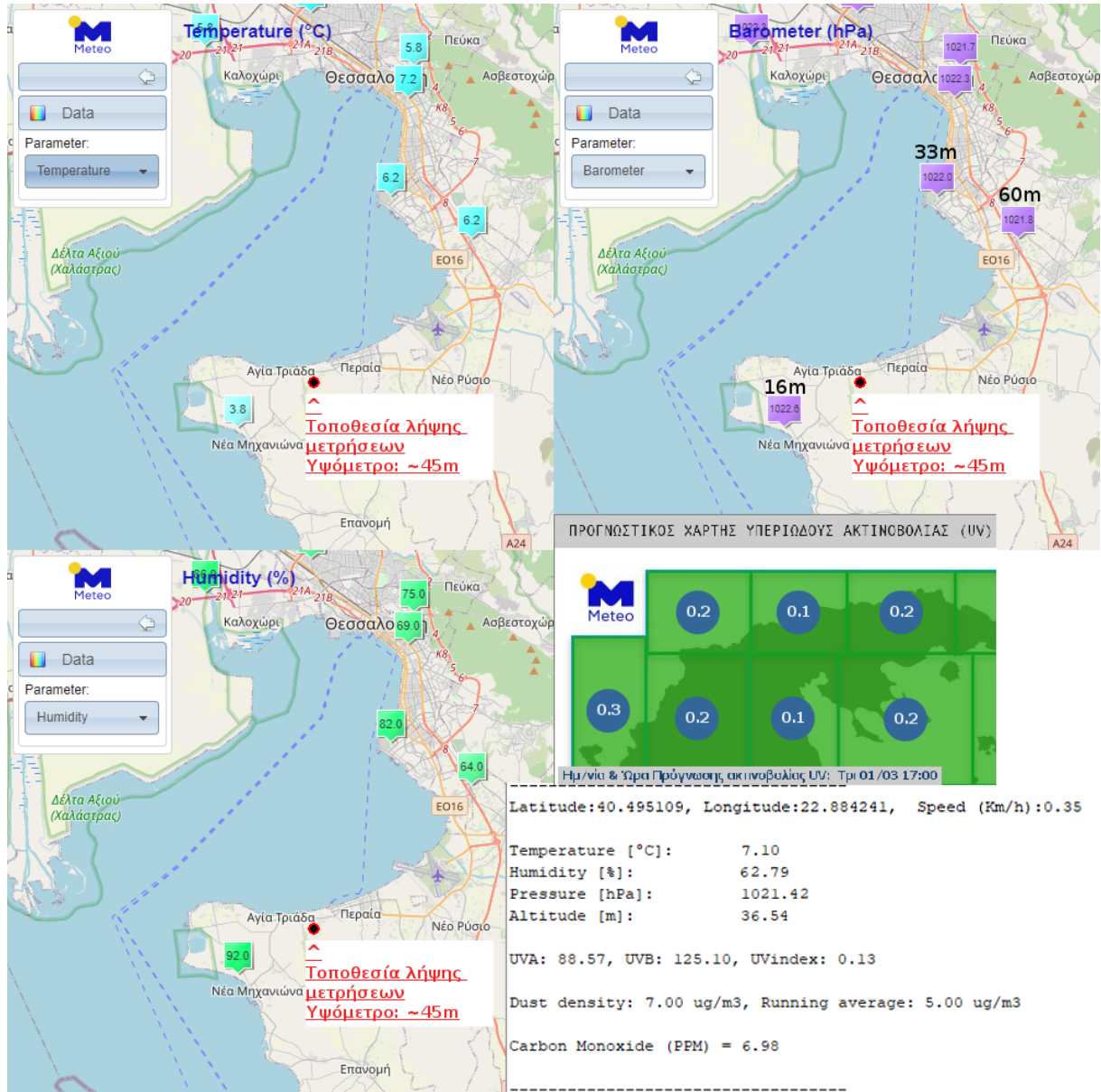
Στις μετρήσεις της δευτέρας δεν υπάρχει σύγκριση μέτρησης δείκτη UV καθώς είναι νύχτα και δεν υπάρχει ηλιακό φως.

### 8.1.1 Νυχτερινή μέτρηση Δευτέρα, 28/2/2022 ώρα 20:00



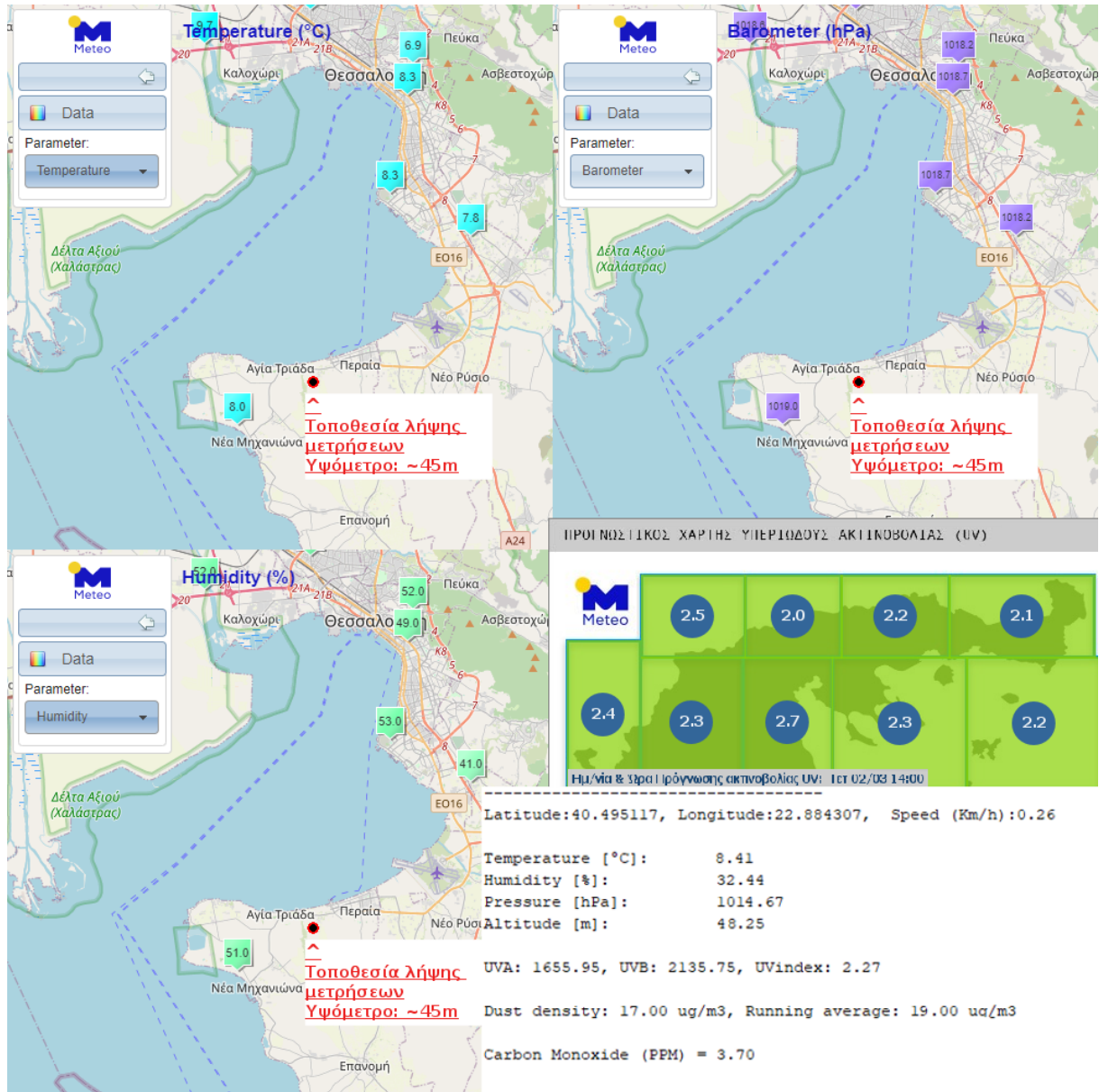
Εικόνα 34: Σύγκριση μετρήσεων με ζωντανά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών (Πηγή: <https://www.meteo.gr/Gmap.cfm>)

### 8.1.2 Απογευματινή μέτρηση, Τρίτη 1/3/2022 ώρα 15:30



Εικόνα 35: Συγκριση μετρήσεων με ζωντανά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών (Πηγή: <https://www.meteo.gr/Gmap.cfm>)

### 8.1.3 Μεσημεριανή μέτρηση, Τετάρτη 2/3/2022 ώρα 13:30



Εικόνα 36: Συγκριση μετρήσεων με ζωντανά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών (Πηγή: <https://www.meteo.gr/Gmap.cfm>)

## 8.2 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι τα μετεωρολογικά μπαλόνια, αξιοποιώντας υλικά και τεχνικές χαμηλού κόστους, μπορούν να αποτελέσουν σημαντικά εργαλεία για τη συλλογή χρήσιμων ατμοσφαιρικών δεδομένων, όχι μόνο μετεωρολογικού χαρακτήρα.

Με τις κατάλληλες βελτιώσεις και συντομευμένες προσθήκες μπορούν να μας προσφέρουν πληθώρα πληροφοριών και μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα, βοηθώντας μας έτσι να εξάγουμε πολύτιμα συμπεράσματα βάσει των οποίων μπορούμε να βελτιώσουμε καταστάσεις σε διάφορες πτυχές της καθημερινότητας, από την παραγωγή τροφίμων και τις μετακινήσεις μέχρι και τη καθημερινότητα του απλού ανθρώπου.

Η ευελιξία που μας προσφέρουν αυτές οι κατασκευές σε συνδυασμό με το εύρος κάλυψης του δικτύου APRS επιτρέπουν τη χρήση τους οπουδήποτε αυτό είναι αναγκαίο ή επιθυμητό και από οποιονδήποτε, χωρίς να απαιτούνται μόνιμες, δαπανηρές και εξειδικευμένες υποδομές για την εκτόξευση των ραδιοβολίδων και τη λήψη των καταγεγραμμένων δεδομένων.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. W F Dabberdt and R Shellhorn, Vaisala Inc., Boulder, CO, USA H Cole, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA A Paukkunen, J'o'rhammer and V Antikainen, Vaisala Oyj, Helsinki, Finland, "Radiosonde", 2003 <http://www.radiopassioni.it/pdf/materialirsonde/Radiosondes.pdf>
2. Osborne, James. "Infrared Cameras Reveal Hidden Air Pollution From Oil And Gas Drilling". *Houston Chronicle*, 2016, <https://www.houstonchronicle.com/business/energy/article/Infrared-cameras-reveal-hidden-air-pollution-from-7181258.php>. Accessed 9 Oct 2021.
3. P. Sankar and S. R. Norman, "Embedded system for monitoring atmospheric weather conditions using weather balloon," *2009 International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation*, 2009
4. [www.ham.gr](http://www.ham.gr)
5. [www.ax25.net](http://www.ax25.net)
6. [www.informationisbeautiful.net](http://www.informationisbeautiful.net)
7. Kenneth W. Finnegan, "Examining Ambiguities in the Automatic Packet Reporting System", Faculty of California Polytechnic State University, December 2014, <https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=2449&context=theses>
8. Ariadni Gavriil, "Στατιστική επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων για την ανάκτηση παραμέτρων των νεφών με συνέργεια τεχνικών τηλεπισκόπησης lidar και δεδομένων ραδιοβόλισης", Φεβρουάριος 2007, Αθίνα [https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/44902/THESIS\\_ARIADNI\\_GAVRIIL.pdf?sequence=1](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/44902/THESIS_ARIADNI_GAVRIIL.pdf?sequence=1)

9. <https://hellenicweather.com/ta-meteorologika-mpalonia-kai-i-radiovolisi/>
10. <https://digitalmodegr.wordpress.com/aprsmenu/intro/>
11. Janice Hill (1991). *Weather From Above: America's Meteorological Satellites*. Smithsonian Institution. ISBN 978-0-87474-394-4.
12. <https://history.nasa.gov/SP-4202/chap12.html>
13. R. Dean Straw, N6BV, ed. (2006). *The ARRL handbook for radio communications*. Newington, CT. p. 9.22. ISBN 978-0872599482.
14. "Getting Started with the Arduino Nano", <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano>. February 05, 2018
15. Brenner, Martin (2009-11-25). "Pilot Weather Balloon (Pibal) Optical Theodolites". *Martin Brenner's Pilot Balloon Resources*. California State University, Long Beach. Retrieved 2014-07-25.
16. European Enviromental Agency 23-11-2020 "Ατμοσφαιρική ρύπανση" <https://www.eea.europa.eu/el/themes/air/intro>
17. <https://inst.eecs.berkeley.edu/~ee123/sp15/lab/lab6/Lab6-Part-A-Audio-Frequency-Shift-Keying.html>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

◆ Η κατασκευή εξωτερικά.

Στις παρακάτω φωτογραφίες βλέπουμε το εξωτερικό της κατασκευής κατά τη διάρκεια της υλοποίησης, στην κάτω δεξιά εικόνα διακρίνεται το αισθητήρας VEML6075.



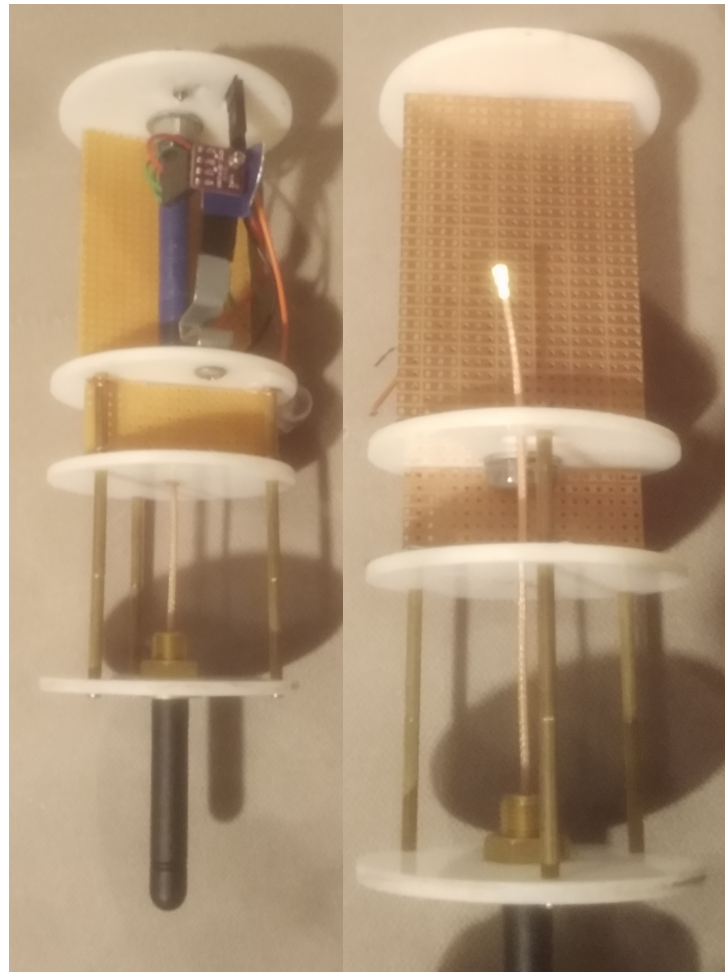
Εικόνα 27: Η κατασκευή εξωτερικά

Στις παρακάτω φωτογραφίες διακρίνονται ο αισθητήρας BME280 κάτω από το προστατευτικό κάλυμμα και η κεραία στο κάτω μέρος της κατασκευής.



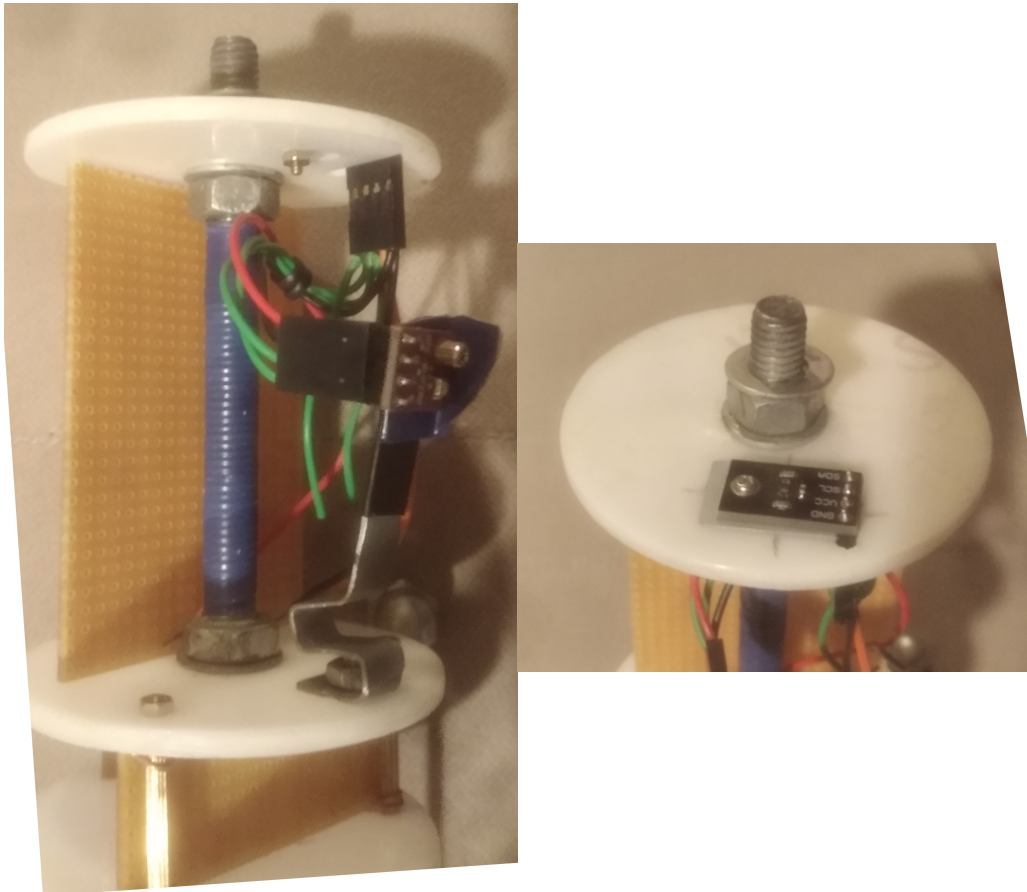
*Εικόνα 38: Ο αισθητήρας BME280 και η κεραία*

Οι παρακάτω φωτογραφίες δείχνουν τον σκελετό και την εσωτερική δομή της κατασκευής.

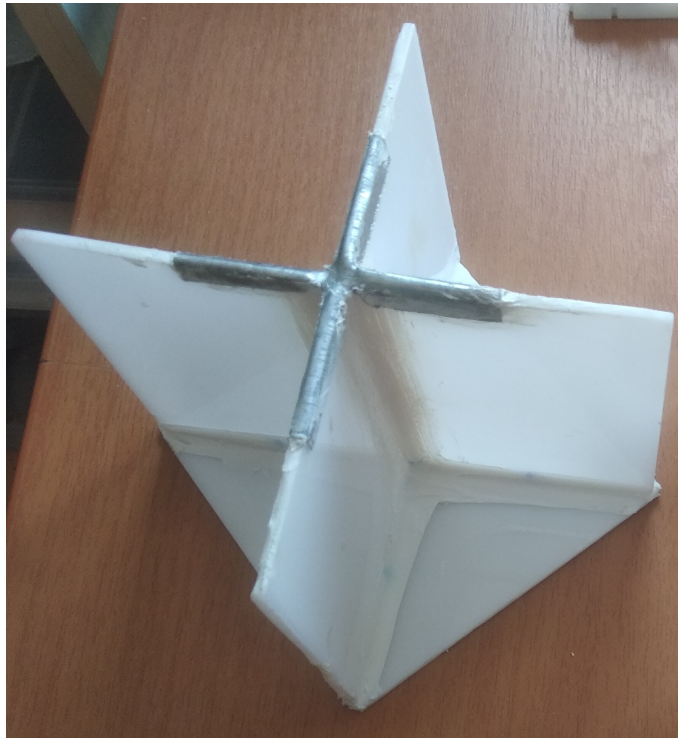


*Εικόνα 39: Το εσωτερικό της κατασκευής*

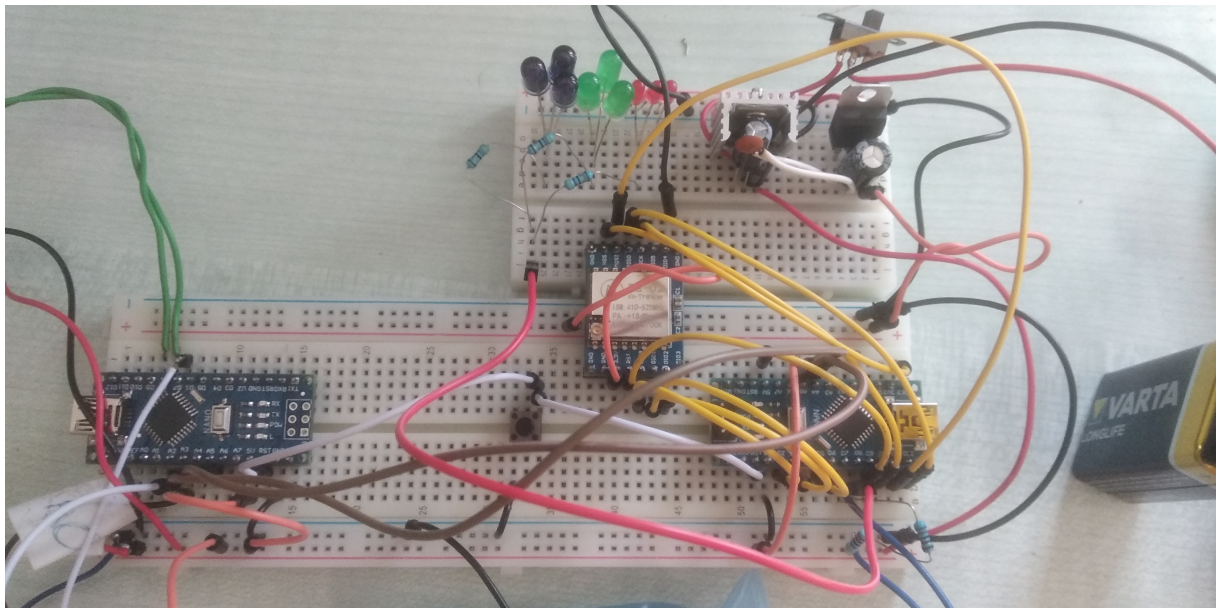
Στις παρακάτω φωτογραφίες φαίνεται το πως είναι τοποθετημένοι οι αισθητήρες BME280 και VEML6075 αντίστοιχα.



Ο ανακλαστήρας που θα βρίσκεται πάνω από τη ραδιοβολίδα στο αρχικό στάδιο κατασκευής.



*Εικόνα 41: Ο ανακλαστήρας*



*Εικόνα 42: Μέρος του κυκλώματος στο ράστερ, κατά τη διαδικασία της πρωτοτυποποίησης*

## BME280 Digital humidity, pressure and temperature sensor

### Key features

- Package 2.5 mm x 2.5 mm x 0.93 mm metal lid LGA
- Digital interface I<sup>2</sup>C (up to 3.4 MHz) and SPI (3 and 4 wire, up to 10 MHz)
- Supply voltage V<sub>DD</sub> main supply voltage range: 1.71 V to 3.6 V  
V<sub>DDIO</sub> interface voltage range: 1.2 V to 3.6 V
- Current consumption 1.8  $\mu$ A @ 1 Hz humidity and temperature  
2.8  $\mu$ A @ 1 Hz pressure and temperature  
3.6  $\mu$ A @ 1 Hz humidity, pressure and temperature  
0.1  $\mu$ A in sleep mode
- Operating range -40...+85 °C, 0...100 % rel. humidity, 300...1100 hPa
- Humidity sensor and pressure sensor can be independently enabled / disabled
- Register and performance compatible to Bosch Sensortec BMP280 digital pressure sensor
- RoHS compliant, halogen-free, MSL1

### Key parameters for humidity sensor

- Response time ( $\tau_{63\%}$ ) 1 s
- Accuracy tolerance  $\pm 3$  % relative humidity
- Hysteresis  $\pm 1$  % relative humidity

### Key parameters for pressure sensor

- RMS Noise 0.2 Pa, equiv. to 1.7 cm
- Offset temperature coefficient  $\pm 1.5$  Pa/K, equiv. to  $\pm 12.6$  cm at 1 °C temperature change

### Typical application

- Context awareness, e.g. skin detection, room change detection
- Fitness monitoring / well-being
  - Warning regarding dryness or high temperatures
  - Measurement of volume and air flow
- Home automation control
  - control heating, venting, air conditioning (HVAC)
- Internet of things
- GPS enhancement (e.g. time-to-first-fix improvement, dead reckoning, slope detection)
- Indoor navigation (change of floor detection, elevator detection)
- Outdoor navigation, leisure and sports applications
- Weather forecast
- Vertical velocity indication (rise/sink speed)

### Target devices

- Handsets such as mobile phones, tablet PCs, GPS devices
- Navigation systems
- Gaming, e.g. flying toys
- Camera (DSC, video)
- Home weather stations
- Flying toys
- Watches

## General Description

The BME280 is a combined digital humidity, pressure and temperature sensor based on proven sensing principles. The sensor module is housed in an extremely compact metal-lid LGA package with a footprint of only  $2.5 \times 2.5 \text{ mm}^2$  with a height of 0.93 mm. Its small dimensions and its low power consumption allow the implementation in battery driven devices such as handsets, GPS modules or watches. The BME280 is register and performance compatible to the Bosch Sensortec BMP280 digital pressure sensor (see chapter 5.2 for details).

The BME280 achieves high performance in all applications requiring humidity and pressure measurement. These emerging applications of home automation control, in-door navigation, fitness as well as GPS refinement require a high accuracy and a low TCO at the same time.

The humidity sensor provides an extremely fast response time for fast context awareness applications and high overall accuracy over a wide temperature range.

The pressure sensor is an absolute barometric pressure sensor with extremely high accuracy and resolution and drastically lower noise than the Bosch Sensortec BMP180.

The integrated temperature sensor has been optimized for lowest noise and highest resolution. Its output is used for temperature compensation of the pressure and humidity sensors and can also be used for estimation of the ambient temperature.

The sensor provides both SPI and I<sup>2</sup>C interfaces and can be supplied using 1.71 to 3.6 V for the sensor supply  $V_{DD}$  and 1.2 to 3.6 V for the interface supply  $V_{DDIO}$ . Measurements can be triggered by the host or performed in regular intervals. When the sensor is disabled, current consumption drops to 0.1  $\mu\text{A}$ .

BME280 can be operated in three power modes (see chapter 3.3):

- sleep mode
- normal mode
- forced mode

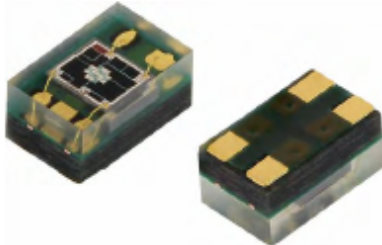
In order to tailor data rate, noise, response time and current consumption to the needs of the user, a variety of oversampling modes, filter modes and data rates can be selected.

Please contact your regional Bosch Sensortec partner for more information about software packages.





### UVA and UVB Light Sensor with I<sup>2</sup>C Interface



#### DESCRIPTION

The VEML6075 senses UVA and UVB light and incorporates photodiode, amplifiers, and analog / digital circuits into a single chip using a CMOS process. When the UV sensor is applied, it is able to detect UVA and UVB intensity to provide a measure of the signal strength as well as allowing for UVI measurement.

The VEML6075 provides excellent temperature compensation capability for keeping the output stable under changing temperature. VEML6075's functionality is easily operated via the simple command format of I<sup>2</sup>C (SMBus compatible) interface protocol. VEML6075's operating voltage ranges from 1.7 V to 3.6 V. VEML6075 is packaged in a lead (Pb)-free 4 pin OPLGA package which offers the best market-proven reliability.

#### FEATURES

- Package type: surface-mount
- Dimensions (L x W x H in mm): 2.0 x 1.25 x 1.0
- Integrated modules: ultraviolet sensor (UV), and signal conditioning IC
- Converts solar UV light intensity to digital data
- Excellent UVA and UVB sensitivity
- Reliable performance of UV radiation measurement under long time solar UV exposure
- 16-bit resolution per channel
- UVA and UVB individual channel solution
- Low power consumption I<sup>2</sup>C protocol (SMBus compatible) interface
- Package: OPLGA
- Temperature compensation: -40 °C to +85 °C
- Output type: I<sup>2</sup>C bus
- Operation voltage: 1.7 V to 3.6 V
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)



#### APPLICATIONS

- Handheld device
- Notebook
- Consumer device
- Industrial and medical application

PRODUCT SUMMARY					
PART NUMBER	OPERATING VOLTAGE RANGE (V)	I <sup>2</sup> C BUS VOLTAGE RANGE (V)	PEAK SENSITIVITY UVA, UVB (nm)	RANGE OF SPECTRAL BANDWIDTH λ <sub>0.5</sub> (nm)	OUTPUT CODE
VEML6075	1.7 to 3.6	1.7 to 3.6	365, 330	± 10	16 bit, I <sup>2</sup> C

Note  
(1) Adjustable through I<sup>2</sup>C interface

ORDERING INFORMATION			
ORDERING CODE	PACKAGING	VOLUME (1)	REMARKS
VEML6075	Tape and reel	MOQ: 2500 pcs	2.0 mm x 1.25 mm x 1.0 mm

Note  
(1) MOQ: minimum order quantity

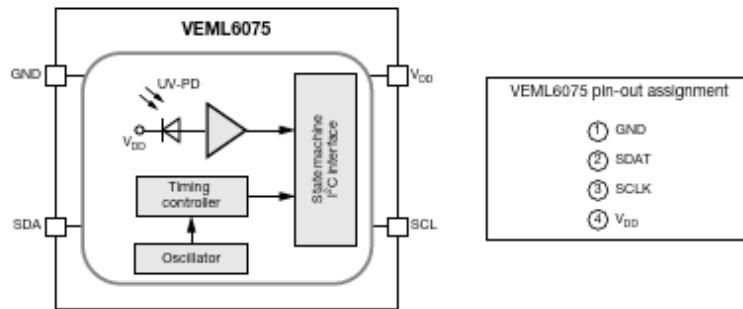


ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T <sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified)					
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	MAX.	UNIT
Supply voltage		V <sub>DD</sub>	0	3.6	V
Operation temperature range		T <sub>amb</sub>	-40	+85	°C
Storage temperature range		T <sub>stg</sub>	-40	+85	°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS (T <sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified)					
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	MAX.	UNIT
Supply voltage		V <sub>DD</sub>	1.7	3.6	V
Operation temperature range		T <sub>amb</sub>	-40	+85	°C
I <sup>2</sup> C bus operating frequency		f <sub>(I<sup>2</sup>CCLK)</sub>	10	400	KHZ

PIN DESCRIPTIONS			
PIN ASSIGNMENT	SYMBOL	TYPE	FUNCTION
1	GND	I	Ground
2	SDAT	I/O (open drain)	I <sup>2</sup> C data bus data input / output
3	SCLK	I	I <sup>2</sup> C digital bus clock input
4	V <sub>DD</sub>	I	Power supply input

**BLOCK DIAGRAM**



BASIC CHARACTERISTICS (T <sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply operation voltage		V <sub>DD</sub>	1.7	-	3.6	V
Supply current	V <sub>DD</sub> = 1.8 V	I <sub>DD</sub>	-	480	-	μA
I <sup>2</sup> C signal input	Logic high	V <sub>H</sub>	1.5	-	-	V
	Logic low	V <sub>L</sub>	-	-	0.8	V
I <sup>2</sup> C signal input	Logic high	V <sub>H</sub>	1.4	-	-	V
	Logic low	V <sub>L</sub>	-	-	0.6	V
Operating temperature		T <sub>amb</sub>	-40	-	+85	°C
Shutdown current	Light condition = dark; V <sub>DD</sub> = 1.8 V, T <sub>amb</sub> = 25 °C	I <sub>DD</sub> (SD)	-	800	-	nA
UVA responsivity	t <sub>r</sub> = 50 ms <sup>(1)</sup>		-	0.93	-	counts/μW/cm <sup>2</sup>
UVB responsivity	t <sub>r</sub> = 50 ms <sup>(2)</sup>		-	2.1	-	counts/μW/cm <sup>2</sup>
Visible / Infrared response	W-LED / IRED (940 nm)		-	0.5	< 1	%

**Notes**

<sup>(1)</sup> Nichia NCSU033X (365 nm)  
<sup>(2)</sup> UVTOP310TO39HS (315 nm)

**TECHNICAL DATA****MQ-7 GAS SENSOR****FEATURES**

- \* High sensitivity to carbon monoxide
- \* Stable and long life

**APPLICATION**

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

**SPECIFICATIONS**

## A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V±0.1	Ac or Dc
VH (H)	Heating voltage (high)	5V±0.1	Ac or Dc
VH (L)	Heating voltage (low)	1.4V±0.1	Ac or Dc
RL	Load resistance	Can adjust	
RH	Heating resistance	33 Ω ±5%	Room temperature
TH (H)	Heating time (high)	60±1 seconds	
TH (L)	Heating time (low)	90±1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

## b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20℃-50℃	
Tas	Storage temperature	-20℃-50℃	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

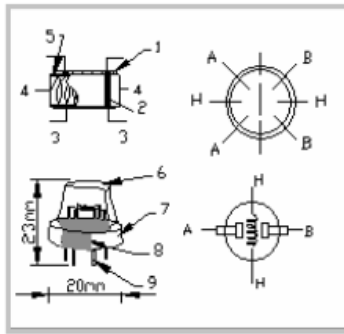
## c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
Rs	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	Rs (300ppm)/Rs(100ppm)
Standard working condition	Temperature -20℃ ±2℃	relative humidity 65% ±5%	RL:10K Ω ±5%
	Vc:5V±0.1V	VH:5V±0.1V	VH:1.4V±0.1V
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

## D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube, Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.



Parts	Materials
1 Gas sensing layer	SnO <sub>2</sub>
2 Electrode	Au
3 Electrode line	Pt
4 Heater coil	Ni-Cr alloy
5 Tubular ceramic	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
6 Anti-explosion network	Stainless steel gauze (SUS316 100-mesh)
7 Clamp ring	Copper plating Ni
8 Resin base	Bakelite
9 Tube Pin	Copper plating Ni

Fig.1

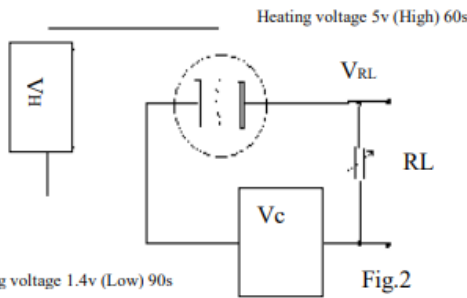
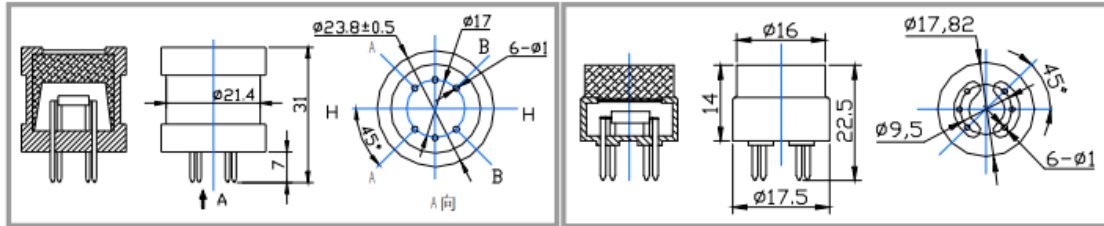


Fig.2

**Standard circuit:**

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly ). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

**E. Sensitivity characteristic curve**

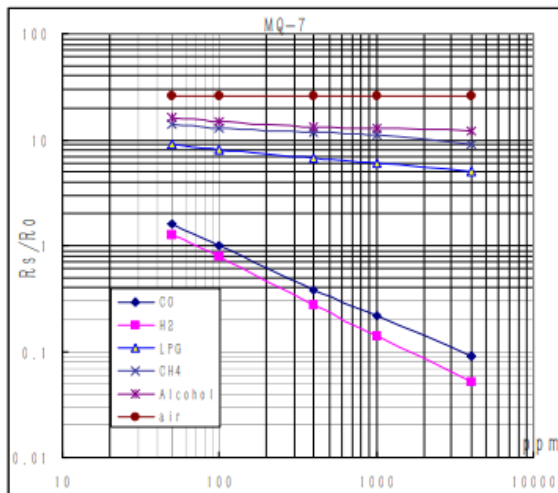


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases.

in their: Temp: 20℃、  
Humidity: 65%、  
O<sub>2</sub> concentration 21%  
RL=10k Ω

Ro: sensor resistance at 100ppm CO in the clean air.

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

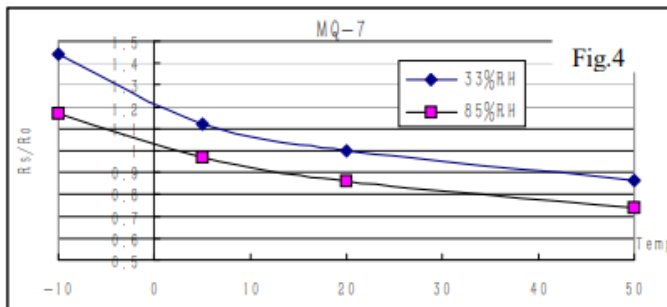


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.

Ro: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.

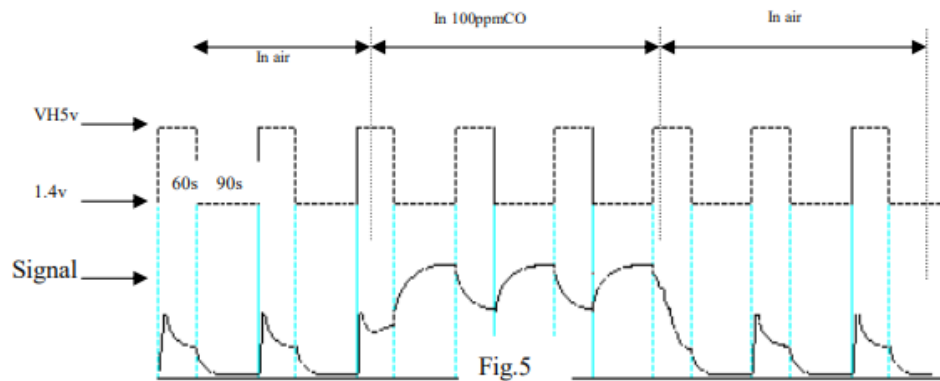
Rs: sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

### OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor  $R_s$  is obtained through effected voltage signal output of the load resistance  $R_L$  which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s \setminus R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alterable situation of  $R_L$  signal output measured by using Fig. 2 circuit output



signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO), output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-7 gas sensitive components is made of  $\text{SnO}_2$  with stability, So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

### SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-7 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm CO in air and use value of Load resistance that(  $R_L$ ) about  $10 \text{ K } \Omega$  ( $5 \text{ K } \Omega$  to  $47 \text{ K } \Omega$ ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence. The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.
- Adjust the load resistance  $R_L$  until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance  $R_L$  until you get a signal value which is respond to a CO concentration at the end point of 60 seconds.

[Supplying special IC solutions, More detailed technical information, please contact us.](#)

### ■ Absolute Maximum Ratings

(T<sub>a</sub>=25°C)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V <sub>CC</sub>	-0.3 to +7	V
*1 Input terminal voltage	V <sub>LED</sub>	-0.3 to V <sub>CC</sub>	V
Operating temperature	T <sub>opr</sub>	-10 to +65	°C
Soldering temperature	T <sub>sol</sub>	-20 to +80	°C

\*1 Open drain drive input

### ■ Electro-optical Characteristics

(T<sub>a</sub>=25°C, V<sub>CC</sub>=5V)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Sensitivity	K	*1 *2 *3	0.35	0.5	0.65	V/(0.1mg/m <sup>3</sup> )
Output voltage at no dust	V <sub>OC</sub>	*2 *3	0	0.9	1.5	V
Output voltage range	V <sub>OH</sub>	*2 *3 R <sub>L</sub> =4.7kΩ	3.4	-	-	V
LED terminal current	I <sub>LED</sub>	*2 LED terminal voltage = 0	-	10	20	mA
Consumption current	I <sub>CC</sub>	*2 R <sub>L</sub> =∞	-	11	20	mA

\*1 Sensitivity is specified by the amount of output voltage change when dust density changes by 0.1 mg/m<sup>3</sup>.  
And the dust density for detection is a value of the density of cigarette (MILD SEVEN®) smoke measured by the digital dust monitor (P-5L2: manufactured by SHIBATA SCIENTIFIC TECHNOLOGY LTD.).

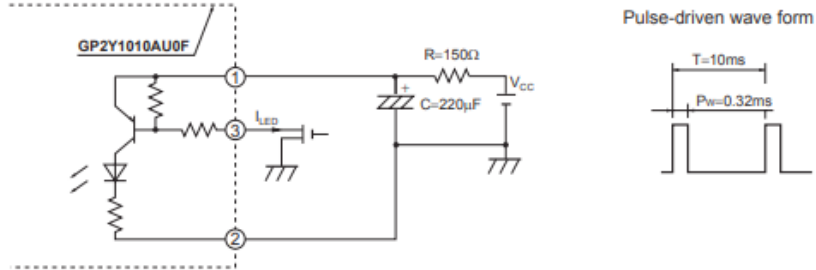
\*2 Input condition is shown in Fig. 1

\*3 Output sampling timing is shown in Fig. 2

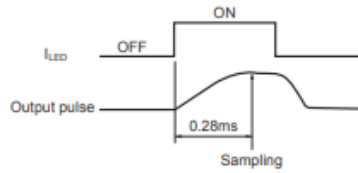
### ■ Recommended input condition for LED input terminal

Parameter	Symbol	Value	Unit
Pulse Cycle	T	10 ± 1	ms
Pulse Width	P <sub>W</sub>	0.32 ± 0.02	ms
Operating Supply voltage	V <sub>CC</sub>	5 ± 0.5	V

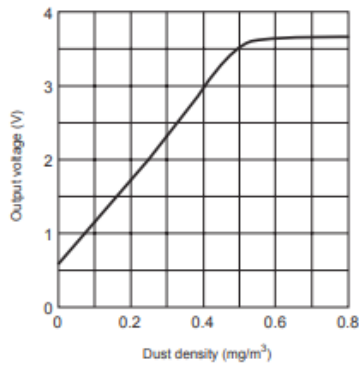
**Fig. 1 Input Condition for LED Input Terminal**



**Fig. 2 Sampling Timing of Output Pulse**



**Fig. 3 Output Voltage vs. Dust Density**



Remarks : Please be aware that all data in the graph are just for reference and are not for guarantee.

## 2 Pin Definition

### 2.1 Pin assignment

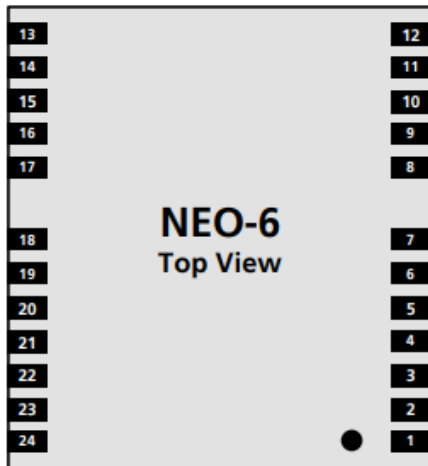


Figure 2 Pin Assignment

No	Module	Name	I/O	Description
1	All	Reserved	I	Reserved
2	All	SS_N	I	SPI Slave Select
3	All	TIMEPULSE	O	Timepulse (1PPS)
4	All	EXTINT0	I	External Interrupt Pin
5	All	USB_DM	I/O	USB Data
6	All	USB_DP	I/O	USB Data
7	All	VDDUSB	I	USB Supply
8	All	Reserved		See Hardware Integration Manual Pin 8 and 9 must be connected together.
9	All	VCC_RF	O	Output Voltage RF section Pin 8 and 9 must be connected together.
10	All	GND	I	Ground
11	All	RF_IN	I	GPS signal input
12	All	GND	I	Ground
13	All	GND	I	Ground
14	All	MOSI/CFG_COM0	O/I	SPI MOSI / Configuration Pin. Leave open if not used.
15	All	MISO/CFG_COM1	I	SPI MISO / Configuration Pin. Leave open if not used.
16	All	CFG_GPS0/SCK	I	Power Mode Configuration Pin / SPI Clock. Leave open if not used.
17	All	Reserved	I	Reserved
18	All	SDA2	I/O	DDC Data
19	All	SCL2	I/O	DDC Clock
20	All	TxD1	O	Serial Port 1
21	All	RxD1	I	Serial Port 1
22	All	V_BCKP	I	Backup voltage supply
23	All	VCC	I	Supply voltage
24	All	GND	I	Ground

Table 8: Pinout



## 3 Electrical specifications

### 3.1 Absolute maximum ratings

Parameter	Symbol	Module	Min	Max	Units	Condition
Power supply voltage	VCC	NEO-6G	-0.5	2.0	V	
		NEO-6Q, 6M, 6P, 6V, 6T	-0.5	3.6	V	
Backup battery voltage	V_BCKP	All	-0.5	3.6	V	
USB supply voltage	VDDUSB	All	-0.5	3.6	V	
Input pin voltage	Vin	All	-0.5	3.6	V	
	Vin_usb	All	-0.5	VDDU 5B	V	
DC current through any digital I/O pin (except supplies)	Ipin			10	mA	
VCC_RF output current	ICC_RF	All		100	mA	
Input power at RF_IN	Prfin	NEO-6Q, 6M, 6G, 6V, 6T		15	dBm	source impedance = 50Ω, continuous wave
		NEO-6P		-5	dBm	
Storage temperature	Tstg	All	-40	85	°C	

**Table 9: Absolute maximum ratings**



GPS receivers are Electrostatic Sensitive Devices (ESD) and require special precautions when handling. For more information see chapter 6.4.



Stressing the device beyond the "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage. These are stress ratings only. The product is not protected against overvoltage or reversed voltages. If necessary, voltage spikes exceeding the power supply voltage specification, given in table above, must be limited to values within the specified boundaries by using appropriate protection diodes. For more information see the *LEA-6/NEO-6/MAX-6 Hardware Integration Manual* [1].

## 3.2 Operating conditions



All specifications are at an ambient temperature of 25°C.

Parameter	Symbol	Module	Min	Typ	Max	Units	Condition
Power supply voltage	VCC	NEO-6G	1.75	1.8	1.95	V	
		NEO-6Q/M	2.7	3.0	3.6	V	
		NEO-6P/V/T					
Supply voltage USB	VDDUSB	All	3.0	3.3	3.6	V	
Backup battery voltage	V_BCKP	All	1.4		3.6	V	
Backup battery current	I_BCKP	All		22		µA	V_BCKP = 1.8 V, VCC = 0V
Input pin voltage range	Vin	All	0		VCC	V	
Digital IO Pin Low level input voltage	Vil	All	0		0.2*VCC	V	
Digital IO Pin High level input voltage	Vih	All	0.7*VCC		VCC	V	
Digital IO Pin Low level output voltage	Vol	All			0.4	V	Iol=4mA
Digital IO Pin High level output voltage	Voh	All	VCC -0.4			V	Ioh=4mA
USB_DM, USB_DP	VinU	All	Compatible with USB with 22 Ohms series resistance				
VCC_RF voltage	VCC_RF	All		VCC-0.1		V	
VCC_RF output current	ICC_RF	All			50	mA	
Antenna gain	Gant	All			50	dB	
Receiver Chain Noise Figure	NFtot	All		3.0		dB	
Operating temperature	Topr	All	-40		85	°C	

**Table 10: Operating conditions**



Operation beyond the specified operating conditions can affect device reliability.

## 3.3 Indicative power requirements

Table 11 lists examples of the total system supply current for a possible application.

Parameter	Symbol	Module	Min	Typ	Max	Units	Condition
Max. supply current <sup>15</sup>	Iccp	All			67	mA	VCC = 3.6 V <sup>16</sup> / 1.95 V <sup>17</sup>
		Icc Acquisition	All	47 <sup>19</sup>		mA	
		Icc Tracking (Max Performance mode)	NEO-6G/Q/T	40 <sup>20</sup>		mA	
Average supply current <sup>18</sup>	Icc Tracking (Eco mode)	NEO-6M/P/V	39 <sup>20</sup>		mA		VCC = 3.0 V <sup>16</sup> / 1.8 V <sup>17</sup>
		NEO-6G/Q/T	38 <sup>20</sup>		mA		
		NEO-6M/P/V	37 <sup>20</sup>		mA		
		NEO-6G/Q	12 <sup>20</sup>		mA		
Icc Tracking (Power Save mode / 1 Hz)	NEO-6M	11 <sup>20</sup>		mA			

**Table 11: Indicative power requirements**



Values in Table 11 are provided for customer information only as an example of typical power requirements. Values are characterized on samples, actual power requirements can vary depending on FW version used, external circuitry, number of SVs tracked, signal strength, type of start as well as time, duration and conditions of test.

<sup>15</sup> Use this figure to dimension maximum current capability of power supply. Measurement of this parameter with 1 Hz bandwidth.

<sup>16</sup> NEO-6Q, NEO-6M, NEO-6P, NEO-6V, NEO-6T

<sup>17</sup> NEO-6G

<sup>18</sup> Use this figure to determine required battery capacity.

<sup>19</sup> >8 SVs in view, CNo >40 dBHz, current average of 30 sec after cold start.

<sup>20</sup> With strong signals, all orbits available. For Cold Starts typical 12 min after first fix. For Hot Starts typical 15 s after first fix.

### 3.4 SPI timing diagrams

In order to avoid a faulty usage of the SPI, the user needs to comply with certain timing conditions. The following signals need to be considered for timing constraints:

Symbol	Description
SS_N	Slave Select signal
SCK	Slave Clock signal

Table 12: Symbol description

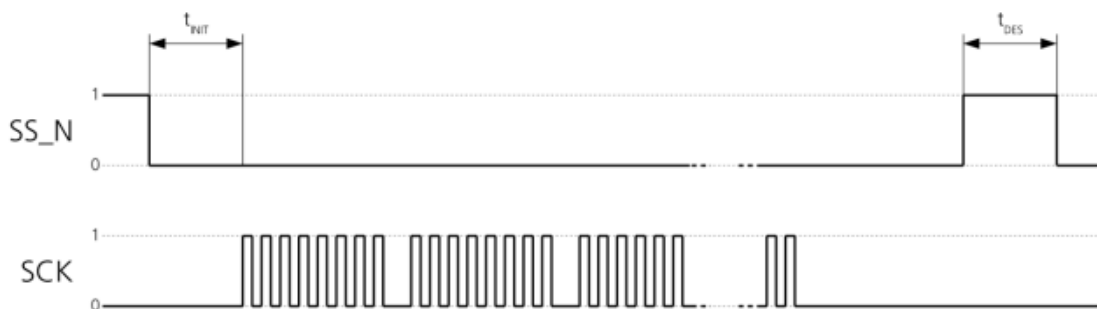


Figure 3: SPI timing diagram

#### 3.4.1 Timing recommendations

Parameter	Description	Recommendation
$t_{\text{INIT}}$	Initialization Time	500 $\mu\text{s}$
$t_{\text{DES}}$	Deselect Time	1 ms
Bitrate		100 kbit/s

Table 13: SPI timing recommendations

The values in the above table result from the requirement of an error-free transmission. By allowing just a few errors, the byte rate could be increased considerably. These timings – and therefore the byte rate – could also be improved by disabling other interfaces, e.g. the UART.

The maximum bandwidth is 100 kbit/s<sup>21</sup>.

## 1. General Description

The SX1276/77/78/79 incorporates the LoRa spread spectrum modem which is capable of achieving significantly longer range than existing systems based on FSK or OOK modulation. At maximum data rates of LoRa the sensitivity is 8dB better than FSK, but using a low cost bill of materials with a 20ppm XTAL LoRa can improve receiver sensitivity by more than 20dB compared to FSK. LoRa also provides significant advances in selectivity and blocking performance, further improving communication reliability. For maximum flexibility the user may decide on the spread spectrum modulation bandwidth (BW), spreading factor (SF) and error correction rate (CR). Another benefit of the spread modulation is that each spreading factor is orthogonal - thus multiple transmitted signals can occupy the same channel without interfering. This also permits simple coexistence with existing FSK based systems. Standard GFSK, FSK, OOK, and GMSK modulation is also provided to allow compatibility with existing systems or standards such as wireless MBUS and IEEE 802.15.4g.

The SX1276 and SX1279 offer bandwidth options ranging from 7.8 kHz to 500 kHz with spreading factors ranging from 6 to 12, and covering all available frequency bands. The SX1277 offers the same bandwidth and frequency band options with spreading factors from 6 to 9. The SX1278 offers bandwidths and spreading factor options, but only covers the lower UHF bands.

### 1.1. Simplified Block Diagram

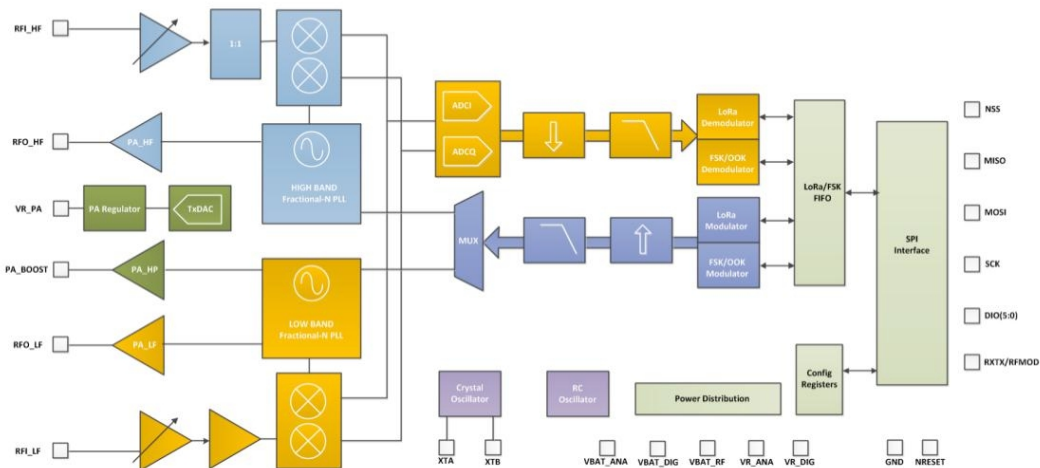


Figure 1. Block Diagram

### 1.2. Product Versions

The features of the four product variants are detailed in the following table.

Table 1 SX1276/77/78/79 Device Variants and Key Parameters

Part Number	Frequency Range	Spreading Factor	Bandwidth	Effective Bitrate	Est. Sensitivity
SX1276	137 - 1020 MHz	6 - 12	7.8 - 500 kHz	.018 - 37.5 kbps	-111 to -148 dBm
SX1277	137 - 1020 MHz	6 - 9	7.8 - 500 kHz	0.11 - 37.5 kbps	-111 to -139 dBm
SX1278	137 - 525 MHz	6- 12	7.8 - 500 kHz	.018 - 37.5 kbps	-111 to -148 dBm
SX1279	137 - 960MHz	6- 12	7.8 - 500 kHz	.018 - 37.5 kbps	-111 to -148 dBm

### 1.3. Pin Diagram

The following diagram shows the pin arrangement of the QFN package, top view.

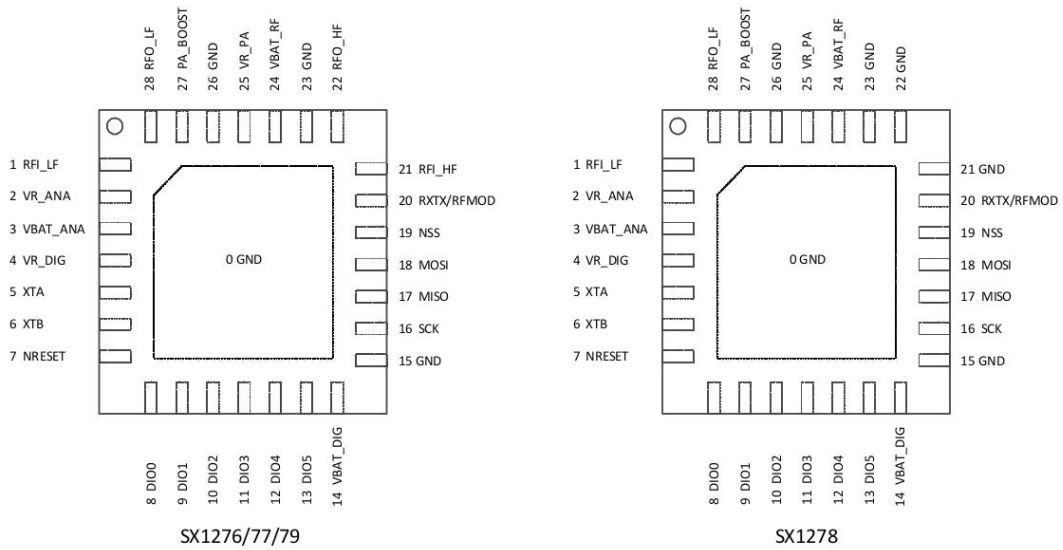


Figure 2. Pin Diagrams

**1.4. Pin Description**
*Table 2 Pin Description*

Number	Name	Type	Description
	SX1276/77/79/(78)	SX1276/77/79/(78)	SX1276/77/79/(78)
0	GROUND	-	Exposed ground pad
1	RFL_LF	I	RF input for bands 2&3
2	VR_ANA	-	Regulated supply voltage for analogue circuitry
3	VBAT_ANA	-	Supply voltage for analogue circuitry
4	VR_DIG	-	Regulated supply voltage for digital blocks
5	XTA	I/O	XTAL connection or TCXO input
6	XTB	I/O	XTAL connection
7	NRESET	I/O	Reset trigger input
8	DIO0	I/O	Digital I/O, software configured
9	DIO1/DCLK	I/O	Digital I/O, software configured
10	DIO2/DATA	I/O	Digital I/O, software configured
11	DIO3	I/O	Digital I/O, software configured
12	DIO4	I/O	Digital I/O, software configured
13	DIO5	I/O	Digital I/O, software configured
14	VBAT_DIG	-	Supply voltage for digital blocks
15	GND	-	Ground
16	SCK	I	SPI Clock input
17	MISO	O	SPI Data output
18	MOSI	I	SPI Data input
19	NSS	I	SPI Chip select input
20	RXTX/RF_MOD	O	Rx/Tx switch control: high in Tx
21	RFL_HF (GND)	I (-)	RF input for band 1 (Ground)
22	RFO_HF (GND)	O (-)	RF output for band 1 (Ground)
23	GND	-	Ground
24	VBAT_RF	-	Supply voltage for RF blocks
25	VR_PA	-	Regulated supply for the PA
26	GND	-	Ground
27	PA_BOOST	O	Optional high-power PA output, all frequency bands
28	RFO_LF	O	RF output for bands 2&3

## 2. Electrical Characteristics

### 2.1. ESD Notice

The SX1276/77/78/79 is a high performance radio frequency device. It satisfies:

- ◆ Class 2 of the JEDEC standard JESD22-A114 (Human Body Model) on all pins.
- ◆ Class III of the JEDEC standard JESD22-C101 (Charged Device Model) on all pins



It should thus be handled with all the necessary ESD precautions to avoid any permanent damage.

### 2.2. Absolute Maximum Ratings

Stresses above the values listed below may cause permanent device failure. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods may affect device reliability.

Table 3 Absolute Maximum Ratings

Symbol	Description	Min	Max	Unit
VDDmr	Supply Voltage	-0.5	3.9	V
Tmr	Temperature	-55	+115	° C
Tj	Junction temperature	-	+125	° C
Pmr	RF Input Level	-	+10	dBm

Note Specific ratings apply to +20 dBm operation (see Section 3.4.3).

### 2.3. Operating Range

Table 4 Operating Range

Symbol	Description	Min	Max	Unit
VDDop	Supply voltage	1.8	3.7	V
Top	Operational temperature range	-40	+85	°C
Clop	Load capacitance on digital ports	-	25	pF
ML	RF Input Level	-	+10	dBm

Note A specific supply voltage range applies to +20 dBm operation (see Section 3.4.3).

### 2.4. Thermal Properties

Table 5 Thermal Properties

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
THETA_JA	Package $\theta_{ja}$ (Junction to ambient)	-	22.185	-	°C/W
THETA_JC	Package $\theta_{jc}$ (Junction to case ground paddle)	-	0.757	-	°C/W

## 2.5. Chip Specification

The tables below give the electrical specifications of the transceiver under the following conditions: Supply voltage VDD=3.3 V, temperature = 25 °C, FXOSC = 32 MHz,  $F_{RF}$  = 169/434/868/915 MHz (see specific indication), Pout = +13dBm, 2-level FSK modulation without pre-filtering, FDA = 5 kHz, Bit Rate = 4.8 kb/s and terminated in a matched 50 Ohm impedance, shared Rx and Tx path matching, unless otherwise specified.

*Note* Specification whose symbol is appended with “\_LF” corresponds to the performance in Band 2 and/or Band 3, as described in section 3.3.3. “\_HF” refers to the upper Band 1

### 2.5.1. Power Consumption

Table 6 Power Consumption Specification

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
IDDSL	Supply current in Sleep mode		-	0.2	1	uA
IDDIDLE	Supply current in Idle mode	RC oscillator enabled	-	1.5	-	uA
IDDST	Supply current in Standby mode	Crystal oscillator enabled	-	1.6	1.8	mA
IDDFS	Supply current in Synthesizer mode	FSRx	-	5.8	-	mA
IDDR	Supply current in Receive mode	LnaBoost Off, band 1	-	10.8	-	mA
		LnaBoost On, band 1	-	11.5	-	
		Bands 2&3	-	12.0	-	
IDDT	Supply current in Transmit mode with impedance matching	RFOP = +20 dBm, on PA_BOOST	-	120	-	mA
		RFOP = +17 dBm, on PA_BOOST	-	87	-	mA
		RFOP = +13 dBm, on RFO_LF/HF pin	-	29	-	mA
		RFOP = + 7 dBm, on RFO_LF/HF pin	-	20	-	mA

### 2.5.2. Frequency Synthesis

Table 7 Frequency Synthesizer Specification

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
FR	Synthesizer frequency range	Band 3	137	-	175 (*160)	MHz
		Band 2	410	-	525 (*480)	
		Band 1	862 (*779)	-	1020 (*960)	
FXOSC	Crystal oscillator frequency		-	32	-	MHz
TS_OSC	Crystal oscillator wake-up time		-	250	-	us
TS_FS	Frequency synthesizer wake-up time to PLLock signal	From Standby mode	-	60	-	us



TS_HOP	Frequency synthesizer hop time at most 10 kHz away from the target frequency	200 kHz step	-	20	-	us
		1 MHz step	-	20	-	us
		5 MHz step	-	50	-	us
		7 MHz step	-	50	-	us
		12 MHz step	-	50	-	us
		20 MHz step	-	50	-	us
		25 MHz step	-	50	-	us
FSTEP	Frequency synthesizer step	$FSTEP = FXOSC/2^{19}$	-	61.0	-	Hz
FRC	RC Oscillator frequency	After calibration	-	62.5	-	kHz
BRF	Bit rate, FSK	Programmable values (1)	1.2	-	300	kbps
BRA	Bit rate Accuracy, FSK	ABS(wanted BR - available BR)	-	-	250	ppm
BRO	Bit rate, OOK	Programmable	1.2	-	32.768	kbps
BR_L	Bit rate, LoRa Mode	From SF6, BW=500kHz to SF12, BW=7.8kHz	0.018	-	37.5	kbps
FDA	Frequency deviation, FSK (1)	Programmable $FDA + BRF/2 \leq 250$ kHz	0.6	-	200	kHz

Note: For Maximum Bit rate, the maximum modulation index is 0.5.

**2.5.3. FSK/OOK Mode Receiver**

All receiver tests are performed with RxBw = 10 kHz (Single Side Bandwidth) as programmed in *RegRxBw*, receiving a PN15 sequence. Sensitivities are reported for a 0.1% BER (with Bit Synchronizer enabled), unless otherwise specified. Blocking tests are performed with an unmodulated interferer. The wanted signal power for the Blocking Immunity, ACR, IIP2, IIP3 and AMR tests is set 3 dB above the receiver sensitivity level.

*Table 8 FSK/OOK Receiver Specification*

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
RFS_F_LF	Direct tie of RFI and RFO pins, shared Rx, Tx paths FSK sensitivity, highest LNA gain. Bands 2&3	FDA = 5 kHz, BR = 1.2 kb/s FDA = 5 kHz, BR = 4.8 kb/s FDA = 40 kHz, BR = 38.4 kb/s* FDA = 20 kHz, BR = 38.4 kb/s** FDA = 62.5 kHz, BR = 250 kb/s***	- - - - -	-121 -117 -107 -108 -95	- - - - -	dBm dBm dBm dBm dBm
	Split RF paths, the RF switch insertion loss is not accounted for. Bands 2&3	FDA = 5 kHz, BR = 1.2 kb/s FDA = 5 kHz, BR = 4.8 kb/s FDA = 40 kHz, BR = 38.4 kb/s* FDA = 20 kHz, BR = 38.4 kb/s** FDA = 62.5 kHz, BR = 250 kb/s***	- - - - -	-123 -119 -109 -110 -97	- - - - -	dBm dBm dBm dBm dBm
RFS_F_HF	Direct tie of RFI and RFO pins, shared Rx, Tx paths FSK sensitivity, highest LNA gain. Band 1	FDA = 5 kHz, BR = 1.2 kb/s FDA = 5 kHz, BR = 4.8 kb/s FDA = 40 kHz, BR = 38.4 kb/s* FDA = 20 kHz, BR = 38.4 kb/s** FDA = 62.5 kHz, BR = 250 kb/s***	- - - - -	-119 -115 -105 -105 -92	- - - - -	dBm dBm dBm dBm dBm
	Split RF paths, <i>LnaBoost</i> is turned on, the RF switch insertion loss is not accounted for. Band 1	FDA = 5 kHz, BR = 1.2 kb/s FDA = 5 kHz, BR = 4.8 kb/s FDA = 40 kHz, BR = 38.4 kb/s* FDA = 20 kHz, BR = 38.4 kb/s** FDA = 62.5 kHz, BR = 250 kb/s***	- - - - -	-123 -119 -109 -109 -96	- - - - -	dBm dBm dBm dBm dBm
RFS_O	OOK sensitivity, highest LNA gain shared Rx, Tx paths	BR = 4.8 kb/s BR = 32 kb/s	- -	-117 -108	- -	dBm dBm
CCR	Co-Channel Rejection, FSK		-	-9	-	dB
ACR	Adjacent Channel Rejection	FDA = 5 kHz, BR=4.8kb/s Offset = +/- 25 kHz or +/- 50kHz Band 1 Band 2 Band 3	- - -	50 56 60	- - -	dB dB dB
BI_HF	Blocking Immunity, Band 1	Offset = +/- 1 MHz Offset = +/- 2 MHz Offset = +/- 10 MHz	- - -	71 76 84	- - -	dB dB dB
BI_LF	Blocking Immunity, Bands 2&3	Offset = +/- 1 MHz Offset = +/- 2 MHz Offset = +/- 10 MHz	- - -	71 72 78	- - -	dB dB dB

IIP2	2nd order Input Intercept Point Unwanted tones are 20 MHz above the LO	Highest LNA gain	-	+55	-	dBm	
IIP3_HF	3rd order Input Intercept point Unwanted tones are 1MHz and 1.995 MHz above the LO	Band 1 Highest LNA gain G1	-	-11	-	dBm	
		LNA gain G2, 5dB sensitivity hit	-	-6	-	dBm	
IIP3_LF	3rd order Input Intercept point Unwanted tones are 1MHz and 1.995 MHz above the LO	Band 2 Highest LNA gain G1	-	-22	-	dBm	
		LNA gain G2, 2.5dB sensitivity hit	-	-15	-	dBm	
		Band 3 Highest LNA gain G1	-	-15	-	dBm	
		LNA gain G2, 2.5dB sensitivity hit	-	-11	-	dBm	
BW_SSB	Single Side channel filter BW	Programmable	2.7	-	250	kHz	
IMR	Image Rejection	Wanted signal 3dB over sensitivity BER=0.1%	-	50	-	dB	
IMA	Image Attenuation		-	57	-	dB	
DR_RSSI	RSSI Dynamic Range	AGC enabled	Min	-	-127	-	dBm
			Max	-	0	-	dBm

\*  $RxBw = 83 \text{ kHz}$  (Single Side Bandwidth)

\*\*  $RxBw = 50 \text{ kHz}$  (Single Side Bandwidth)

\*\*\*  $RxBw = 250 \text{ kHz}$  (Single Side Bandwidth)

#### 2.5.4. FSK/OOK Mode Transmitter

Table 9 Transmitter Specification

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
RF_OP	RF output power in 50 ohms on RFO pin (High efficiency PA).	Programmable with steps	Max	-	+14	-	dBm
			Min	-	-1	-	dBm
$\Delta RF_{OP\_V}$	RF output power stability on RFO pin versus voltage supply.	VDD = 2.5 V to 3.3 V VDD = 1.8 V to 3.7 V	-	3	-	dB	
			-	8	-	dB	
RF_OPH	RF output power in 50 ohms, on PA_BOOST pin (Regulated PA).	Programmable with 1dB steps	Max	-	+17	-	dBm
			Min	-	+2	-	dBm
RF_OPH_MAX	Max RF output power, on PA_BOOST pin	High power mode	-	+20	-	dBm	
$\Delta RF_{OPH\_V}$	RF output power stability on PA_BOOST pin versus voltage supply.	VDD = 2.4 V to 3.7 V	-	+/-1	-	dB	
$\Delta RF_T$	RF output power stability versus temperature on PA_BOOST pin.	From T = -40 °C to +85 °C	-	+/-1	-	dB	

PHN	Transmitter Phase Noise	169 MHz, Band 3	10kHz Offset	-	-118	-	dBc/ Hz	
			50kHz Offset	-	-118	-		
			400kHz Offset	-	-128	-		
			1MHz Offset	-	-134	-		
			433 MHz, Band 2	10kHz Offset	-	-110	-	dBc/ Hz
			50kHz Offset	-	-110	-		
			400kHz Offset	-	-122	-		
			1MHz Offset	-	-129	-		
			868/915 MHz, Band 1	10kHz Offset	-	-103	-	dBc/ Hz
	50kHz Offset	-	-103	-				
	400kHz Offset	-	-115	-				
	1MHz Offset	-	-122	-				
ACP	Transmitter adjacent channel power (measured at 25 kHz offset)	BT=1. Measurement conditions as defined by EN 300 220-1 V2.3.1	-	-	-37	dBm		
TS_TR	Transmitter wake up time, to the first rising edge of DCLK	Frequency Synthesizer enabled, <i>PaR-amp</i> = 10us, BR = 4.8 kb/s	-	120	-	us		