



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με  
Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT**

**Φοιτητής: Μπούσουλας Παύλος Αλέξανδρος**

**ΑΜ: 71444985**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Πυρομάλης Δημήτριος**

**Επίκουρος Καθηγητής**

**ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2021**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΠΥΡΟΜΑΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Επίκουρος καθηγητής	ΛΑΣΚΑΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ Επίκουρος καθηγητής	ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ ΕΔΙΠ

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Μπούσουλας Παύλος Αλέξανδρος,  
Σεπτέμβριος, 2021**

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Μπούσουλας Παύλος Αλέξανδρος του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 71444985 φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ,

**δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

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

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Ο Δηλών

Μπούσουλας Παύλος Αλέξανδρος



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω θερμά τις ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου και με βοήθησαν με ενέπνευσαν κατά τη διάρκεια της εκπόνηση της.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ. Δημήτριο Πυρομάλη, για την καθοδήγηση του και την εμπιστοσύνη που έδειξε σε εμένα.

## **Περίληψη**

Χρήση NB-IoT για την συλλογή δεδομένων ποιότητας αέρα με δημιουργία διαδικτυακής πλατφόρμας για την απεικόνιση των δεδομένων. Τα οποία θα συλλέγονται από σύστημα σχεδιασμένο και προγραμματισμένο στο πλαίσιο της εργασίας. Τέλος θα σχεδιαστεί και θα υλοποιηθεί το τυπωμένο κύκλωμα του κόμβου συλλογής δεδομένων.

## **Περιεχόμενα**

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>9</b>
Industry 4.0	10
Internet of Things (IoT)	10
Cloud computing	10
Big data and analytics	11
Cyber-physical systems	11
Artificial intelligence (AI)	12
<b>ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ</b>	<b>13</b>
<b>ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ</b>	<b>25</b>
<b>OPENAIRINTERFACE ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ 4G ΚΑΙ 5G</b>	<b>35</b>
Λειτουργίες αναμεταδότη (gNB)	39
SDR	42
<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ</b>	<b>44</b>
<b>ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ</b>	<b>47</b>
Βοηθητικά προγράμματα	49
Άλλες πλατφόρμες	50
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>52</b>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Mike Vidales May 16, 2017 802.15.4 Wireless for Internet of Things Developers <a href="https://blog.helium.com/802-15-4-wireless-for-internet-of-things-developers-1948fc313b2e">https://blog.helium.com/802-15-4-wireless-for-internet-of-things-developers-1948fc313b2e</a>	15
Πίνακας 2 Κομμάτια από τον πίνακα Table 1: Regulatory parameters του Annex 1 από την οδηγία ERC Recommendation 70-03	16
Πίνακας 3 Εκδόσεις του 3GPP <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/3GPP">https://en.wikipedia.org/wiki/3GPP</a>	21
Πίνακας 4 Δεδομένα του NB-IoT Master Information Block	24
Πίνακας 5 Επιδράσεις της ρύπανσης αέρα <a href="https://www.cfp.ca/content/57/8/881.full">https://www.cfp.ca/content/57/8/881.full</a>	27
Πίνακας 6 Πίνακας μεταφρασμένος από το διαλέξεις με θέμα την ποιότητα αέρα στο El Salvador «Air Quality Index (AQI) , Air Quality Communication Workshop San Salvador, El Salvador April 16-17, 2012»	28
Πίνακας 7 Πίνακας τυποποίησης της μέτρησης και τρόπος μέτρησης κάθε χημικού στοιχείου με βάση την τροποποίηση της οδηγίας 2008/50/EC (EU 2015/1480)- ANNEX VI.	29
Πίνακας 8 Ανώτατα όρια έκθεσης σε ρύπανση αέρα με βάση την οδηγία 2008/50/EU – ANNEX XI και ANNEX VII	30
Πίνακας 9 AQI Breakpoints από την υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος των ΗΠΑ. United States Environmental Protection Agency <a href="https://aqs.epa.gov/aqsweb/documents/codetables/aqi_breakpoints.html">https://aqs.epa.gov/aqsweb/documents/codetables/aqi_breakpoints.html</a>	31
Πίνακας 10 Από την δημοσίευση JRC116534 “Shortlist of sensor systems showing good agreement with reference systems ( $R^2 > 0.85$ ; $0.8 < slope < 1.2$ ) for 1hour time averaged data.”	33
Πίνακας 11 Διαμοιρασμός λειτουργιών αναμεταδότη πέμπτης γενιάς	42

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Αλληλοκάλυψη επικοινωνιών 2.4GHz	18
Εικόνα 2 Λειτουργία αισθητήρων μικροσωματιδίων με Laser δίοδο	34
Εικόνα 3 Λειτουργίες Open Air Interface <a href="https://openairinterface.org/oai-5g-core-network-project/">https://openairinterface.org/oai-5g-core-network-project/</a>	36
Εικόνα 4 Λειτουργίες gNB <a href="https://openairinterface.org/oai-5g-ran-project/">https://openairinterface.org/oai-5g-ran-project/</a>	40
Εικόνα 5 Μπλοκ διαγραμμα λειτουργίας SDR <a href="https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/software-defined-radio">https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/software-defined-radio</a>	43
Εικόνα 6 Μπλοκ διάγραμμα Λειτουργιών Mbed <a href="https://developer.pelion.com/docs/device-management/v1.5/introduction/images/cloud_intro.png">https://developer.pelion.com/docs/device-management/v1.5/introduction/images/cloud_intro.png</a>	45
Εικόνα 7 Διάγραμμα λειτουργίας μοντελου MVC <a href="https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a0/MVC-Process.svg/200px-MVC-Process.svg.png">https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a0/MVC-Process.svg/200px-MVC-Process.svg.png</a>	48
Εικόνα 8 Φωτογραφία απο το διαδραστικό χάρτη της πλατφόρμας	49
Εικόνα 9 Φωτογραφία από τα δεδομένα του κόμβου της πλατφόρμας	50
Εικόνα 10 Χάρτης Πλατφορμας Wagi <a href="https://waqi.info/#/c/37.979/23.73/12.5z">https://waqi.info/#/c/37.979/23.73/12.5z</a>	52
Εικόνα 11 Κομβος GAIA <a href="https://aqicn.org/gaia/">https://aqicn.org/gaia/</a>	52



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ποιότητα αέρα έχει μεγάλο αντίκτυπο στην υγεία των ανθρώπων και όχι μόνο, για αυτό είναι πολύ σημαντικό να την βελτιώσουμε. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει αρχικά να την μετρήσουμε ώστε να δούμε ποιες χημικές ενώσεις παρουσιάζονται σε κάθε μέρος. Αυτή η εργασία έχει στόχο την ανάπτυξη συστήματος χαμηλού κόστους για την μέτρηση της ποιότητας αέρα κάνοντας χρήση δικτύου NB-IoT. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούν να λαμβάνονται μετρήσεις σχεδόν σε κάθε περιοχή όπου μέχρι τώρα αυτό δεν εφαρμόζεται και αυτό έρχεται να αλλάξει με την διαθεσιμότητα που υπάρχει με την σύγχρονη τεχνολογία όπου παρέχεται από την σύγχρονη βιομηχανική επανάσταση.

Ένας μεγάλος αριθμός θετικών αλλαγών στην ζωή των ανθρώπων, προσέφεραν οι βιομηχανικές επαναστάσεις, οι αλλαγές αυτές βρίσκονται σε πολλούς τομείς. Με την μείωση της χειρωνακτικής δουλειάς, όπου οι επαναστάσεις έχουν προσφέρει αύξηση στην ασφάλεια του χώρου εργασίας, στην ποιότητα ζωής, όπως και στην αντικατάσταση επαναλαμβανόμενων εργασιών από τα μηχανήματα. Η κατάσταση αυτή, έχει κλείσει αρκετές χειρωνακτικές δουλειές σε εργοστάσια, ταυτόχρονα όμως έχει δημιουργήσει πολλές θέσεις εργασίας, σε διαφορετικούς τομείς, ανάλογα με την βιομηχανική επανάσταση. Ιστορικά έχουν υπάρξει τρεις τέτοιες επαναστάσεις και τώρα ζούμε την τέταρτη. Η πρώτη βιομηχανική επανάσταση ξεκίνησε το 1765 με την δημιουργία τον ατμομηχανών, όπου παρείχαν μηχανική ενέργεια για την λειτουργία μηχανοποίητων εργοστασίων, αυτές οι μηχανές μπορούσαν να παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες από τους εργάτες με λιγότερο κόστος.

Η δεύτερη βιομηχανική επανάσταση, από το 1870 μέχρι τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, μας έφερε πολλές νέες ανακαλύψεις στον τομέα τον υλικών, οι οποίες ήταν βάση για δημιουργία εφευρέσεων και κατασκευών σε ακόμα περισσότερους τομείς. Η ανάγκη για μεταλλικά εξαρτήματα μηχανών, δημιούργησε τον τομέα της μηχανουργίας, που υπάρχει έως σήμερα. Επίσης, η ηλεκτροδότηση των εργοστασίων πρόσφερε την μαζική παραγωγή και την γραμμή παραγωγής. Οι βελτιώσεις στην παραγωγή του ατσαλιού, το οποίο αυξήθηκε σε διαθεσιμότητα, μείωσε το κόστος του σιδηροδρομικού δικτύου, όπως και αύξησε την ποσότητα που μπορούσε να μεταφέρει με αποτέλεσμα την μείωση κόστους στη μεταφορά των προϊόντων σε μεγάλες αποστάσεις και ποσότητες. Η βιομηχανία του πετρελαίου δημιουργήθηκε παρέχοντας καύσιμο με πολύ καλύτερη απόδοση από τις προηγούμενες μορφές, δίνοντας έναυσμα για την έρευνα των κινητήρων εσωτερικής καύσης και την κατασκευή αυτοκινήτων και αεροπλάνων.

Η επανάσταση που έχει κυριαρχήσει την δική μας καθημερινότητα, είναι η τρίτη βιομηχανική επανάσταση ή ψηφιακή επανάσταση, που ξεκινάει το 1969. Αυτή η επανάσταση μας πήγε από την αναλογική εποχή στην ψηφιακή με τα ηλεκτρονικά, όπου γνωρίζουμε και χρησιμοποιούμε όλοι μας.

Το αντίκτυπο αυτής της επανάστασης στα εργοστάσια είναι η παρουσία ρομποτικών βραχιόνων και μη-επενδυόμενων οχημάτων, τα οποία βοηθούν ή αντικαθιστούν σε επαναλαμβανόμενες διεργασίες τους εργαζομένους. Οι γραμμές παραγωγής, που παρουσιάστηκαν πιο παλιά εξελίχθηκαν με την χρήση των PLC (προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών), δίνοντάς τους την δυνατότητα να εκτελούν πιο περίπλοκες διεργασίες σε μικρότερο χώρο, με μεγαλύτερη ταχύτητα και με καλύτερη ακρίβεια. Η δημιουργία των υπολογιστών έφερε πιο γρήγορη επεξεργασία δεδομένων, έκανε πιο εύκολη την πρόσβαση στις πληροφορίες και παγκοσμιοποίησε πλήρως την αγορά των προϊόντων και τις επαφές των ανθρώπων μέσω του διαδικτύου.

## **Industry 4.0**

Όμως το διαδίκτυο πια δεν είναι μόνο για τους ανθρώπους αλλά θα κατακτηθεί από τις άπειρες συσκευές που θα ανταλλάζουν δεδομένα μεταξύ τους. Αυτές οι άπειρες συσκευές στο διαδίκτυο και άλλες τεχνολογίες θα μας φέρνουν την τέταρτη βιομηχανική επανάσταση αλλιώς γνωστή παγκόσμια ως Industry 4.0 αυτές οι τεχνολογίες είναι:

- Internet of Things (IoT)
- Cloud computing
- Big data and Analytics
- Cyber-physical systems
- Artificial intelligence (AI)

## **Internet of Things (IoT)**

Αυτή η διασύνδεση των συσκευών ονομάζεται διαδίκτυο των αντικειμένων δίνει τη δυνατότητα σε συσκευές να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους παρέχοντας άπειρες δυνατότητες στην εξυπηρέτηση των ανθρώπων αυτές οι συσκευές είναι τοποθετημένες σε μηχανήματα με στόχο την παρακολούθηση των διεργασιών που εκτελούν είτε σε συσκευές οικιακής χρήσης για την διευκόλυνση της καθημερινότητας των ανθρώπων.

## **Cloud computing**

Το Cloud computing είναι η δυνατότητα της αγοράς ή ενοικίασης υπολογιστικής ισχύς σε κάποιον πάροχο τέτοιας υπηρεσίας αυτό δίνει την ευελιξία στους δημιουργούς εφαρμογών να αυξάνουν και να μειώνουν τους πόρους της εφαρμογής ανάλογα με την ζήτηση σε μικρό χρονικό διάστημα όπως επίσης δεν χρειάζεται να αγοράσουν την υπολογιστική ισχύ και να την συντηρούν. Αυτές οι υπηρεσίες είναι ευρέως διαθέσιμες από αρκετούς παρόδους όπως Google, Amazon, IBM, Microsoft κλπ. και χωρίζονται σε 3 κατηγορίες ανάλογος τις ανάγκες της εφαρμογής.

- **Software as a Service (SaaS)** είναι η παροχή εφαρμογής οπου τρέχει στο σύννεφο και ο χρήστης συνδέεται με κάποιο πρόγραμμα από την συσκευή του οπου του δίνει πρόσβαση στην εφαρμογή και χρεώνεται με συνδρομή κάθε μήνα ή χρόνο. Η εφαρμογές που τρέχουν με τέτοια νοοτροπία υπάρχουν πολλά από κάθε πιθανή κατηγορία πχ. σχεδιαστικά προγράμματα, προγράμματα διαχείρισης, ERP , E-mail, development και αυξάνονται κάθε μέρα.
- **Platform as a Service (PaaS)** παρέχει εργαλεία για την δημιουργία της εφαρμογής προσφέροντας ευκολία και πιο γρήγορη ανάπτυξη της όπως και την υποδομή για να λειτουργεί όταν είναι στο τελικό στάδιο.
- **Infrastructure as a Service (IaaS)** σε αυτή την υπηρεσία παρέχετε μόνο η υπολογιστική ισχύς και ο αποθηκευτικός χώρος, η εφαρμογές που τρέχουν πρέπει να δημιουργηθούν ή να εγκατασταθούν από τον χρήστη οπου ο ίδιος κάνει και την διαχείριση του συστήματος.

### **Big data and analytics**

Όλοι οι διασυνδεδεμένοι αισθητήρες παρέχουν αφθονία στα δεδομένα που καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο και να συλλέγονται στους server για αποθήκευση και επεξεργασία. Με την διαθεσιμότητα αυτών των δεδομένων οι εταιρίες μπορούν να πάρουν καλύτερες αποφάσεις για τα προϊόντα τους όπως και για τις υπηρεσίες που προσφέρουν. Πολλές επιχειρήσεις θέλουν να χρησιμοποιήσουν αυτά τα δεδομένα ώστε να κατηγοριοποιήσουν τους πελάτες και να παρέχουν προσφορές στις υπηρεσίες ανάλογος το προφίλ και τις συνήθειες του εκάστοτε πελάτη. Από την πλευρά τον μηχανικών που κάνουν την ανάπτυξη και την συντήρηση του προϊόντος παρέχει ένα τρόπο εντοπισμού και αποφυγής βλαβών στις συσκευές όπως επίσης στοιχεία για τις ανάγκες των πελατών. Με τη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες θα μπορούν να δημιουργηθούν ψηφιακά δίδυμα ώστε να προσομοιάζεται κάποια παραγωγική διαδικασία με σκοπό την καλύτερη απόδοση της ή εάν το ψηφιακό δίδυμο εφαρμοστεί σε κάποιο μηχάνημα να δίνεται η δυνατότητα εκτέλεσης προγνωστικών συντηρήσεων.

### **Cyber-physical systems**

Τα κυβερνοφυσικά συστήματα δημιουργούνται από την συνεργασία διαφόρων υπολογιστικών συστημάτων όπου έχουν αισθητήρες που μετρούν το φυσικό τους περιβάλλον και δρουν ανάλογα με τα μοντέλα που εξομοιώνουν ή τις παραμέτρους που έχουν προγραμματιστεί να κρατούν. Αυτή η συνεργασία έχει έναν κοινό κόμβο που παίρνονται οι αποφάσεις και παρέχει επικοινωνία με τον χρήστη όπως επίσης τον κόσμο του διαδικτύου. Με την πληθώρα τον δεδομένων τα κυβερνοφυσικά συστήματα τείνουν να παίρνουν τις αποφάσεις με βάση το ψηφιακό δίδυμο. Το ψηφιακό δίδυμο είναι ένα μοντέλο του συστήματος που θέλουμε να ελέγξουμε, βάζοντας τις παραμέτρους που μετράμε από τους αισθητήρες μπορούμε να εξομοιώσουμε το αποτέλεσμα και

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT την κατάσταση του συστήματος είτε σε άμεσο μέλλον όπως και σε πιο βάθη, για αυτό το λόγο προσφέρουν δυνατότητα πρόβλεψης βλαβών με απόξεσμα την πιο αποδοτικότερη λειτουργία.

### **Artificial intelligence (AI)**

Η τεχνητή νοημοσύνη προσπαθεί να εξομοίωση τον τρόπο επεξεργασίας δεδομένων και τρόπο λήψεων αποφάσεων στα υπολογιστικά συστήματα ώστε να παρομοιάζουν τον ανθρώπινο εγκέφαλο ικανό να βελτιστοποιείται με τον χρόνο και να προσαρμόζεται στα καινούργια δεδομένα, τα δεδομένα μπορούν να είναι μετρήσεις από αισθητήρες είτε εικόνες ,video και κείμενο.Αυτός ο νέος τρόπος σκέψης προγραμμάτων δίνει λύση σε προβλήματα όπου συμβατικός προγραμματισμός δεν επιτρέπει στη διεξαγωγή μιας αποδοτικής λύσης στο πρόβλημα. Αυτό έγινε εφικτό με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύς όπου διαθέτουμε στα σύγχρονα ηλεκτρονικά.

## ΣΥΝΔΕΣΙΜΟΤΗΤΑ

Οι συσκευές χρησιμοποιούν διάφορους μεθόδους δικτύωσης τους για να μεταφέρουν τα δεδομένα και να επικοινωνήσουν με την εφαρμογή αυτές μπορεί να είναι ασύρματα είτε και ενσύρματα. Η ενσύρματη επικοινωνία με το διαδίκτυο γίνεται με την χρήση ethernet, χρησιμοποιείται για την διασύνδεση διαφορών υπολογιστικών συστημάτων είτε σε οικιακή χρήση όπως και για επαγγελματική. Κυκλοφόρησε στην αγορά το 1980 και το πρώτο πρότυπο έγινε το 1983 με την ονομασία IEEE 802.3 οι ταχύτητες αρχικά ήταν μικρές για τα σημερινά δεδομένα (2.94Mbit/s) αλλά με την αύξηση την ποσότητας των δεδομένων η ταχύτητα αυξήθηκε και το πρότυπο εξελίχθηκε στο 802.3.3cu- οπού τυποποιεί τα δίκτυα 100Gbit/s και 400Gbit/s , με ημερομηνία τυποποίησης το Φεβρουάριο 2021. Υπάρχει δυνατότητα τροφοδοσίας της συσκευής μέσω της ενσύρματης σύνδεσης με χρήση του Power over Ethernet (PoE) που παρέχει 15.4W στην συσκευή με βάση το πρότυπο IEEE 802.3af-2003 και η τελευταία έκδοση του προτύπου IEEE802.3bt-2018 τυποποιεί την δυνατότητα παροχής έως 71.3W ισχύς στην συσκευή με τάση 41.1-57V στην συσκευή που τροφοδοτούμε και μέγιστο ρεύμα ανά ζευγάρι 960mA με δυνατότητα χρήσης 2 ζευγαριών τροφοδοσίας.

Η ασύρματη επικοινωνία μπορεί να γίνει με πολλές τεχνολογίες διότι το RF φάσμα μας παρέχει διάφορες συχνότητες με διαφορετικές ιδιότητες η κάθε μια, με την αύξηση της συχνότητας αυξάνεται η ταχύτητα των δεδομένων αλλά μειώνεται η απόσταση που μπορεί να διανύσει το πακέτο χωρίς να παρουσιάζονται προβλήματα στην επικοινωνία. Άλλη μία ιδιότητα όπου εξαρτάται από την συχνότητα είναι τα υλικά όπου μπορεί να περάσει το σήμα από μέσα τους και ο ρυθμός απορρόφησης του σήματος μέσα από αυτά, ενώ το σήμα μπορεί να αντανακλάται από κάποια επιφάνεια εάν η συχνότητα δεν μπορεί να διεισδύσει μέσα από το υλικό.

Technology	Frequency	Data Rate	Range	Power Usage	Cost
2G/3G	Cellular Bands	10 Mbps	Several Miles	High	High
Bluetooth/BLE	2.4Ghz	1, 2, 3 Mbps	~300 feet	Low	Low
802.15.4	subGhz, 2.4GHz	40, 250 kbps	> 100 square miles	Low	Low
LoRa	subGhz	< 50 kbps	1-3 miles	Low	Medium
LTE Cat 0/1	Cellular Bands	1-10 Mbps	Several Miles	Medium	High
NB-IoT	Cellular Bands	0.1-1 Mbps	Several Miles	Medium	High
SigFox	subGhz	< 1 kbps	Several Miles	Low	Medium
Weightless	subGhz	0.1-24 Mbps	Several Miles	Low	Low
Wi-Fi	subGhz, 2.4Ghz, 5Ghz	0.1-54 Mbps	< 300 feet	Medium	Low
WirelessHART	2.4Ghz	250 kbps	~300 feet	Medium	Medium
ZigBee	2.4Ghz	250 kbps	~300 feet	Low	Medium
Z-Wave	subGhz	40 kbps	~100 feet	Low	Medium

Πίνακας 1 Mike Vidales May 16, 2017 802.15.4 Wireless for Internet of Things Developers  
<https://blog.helium.com/802-15-4-wireless-for-internet-of-things-developers-1948fc313b2e>

Η εκπομπή σε κάποιες συχνότητες χρειάζεται άδεια για αυτό μερικές τεχνολογίες εκπέμπουν στις ελεύθερες συχνότητες γνωστές ως ISM band όπου μπορεί κάποιος να τις χρησιμοποιήσει μέχρι κάποια μέγιστη ισχύς και να έχει ένα χρονικό διάστημα ανάμεσα στις εκπομπές πληροφορίας που κάνει, ISM band είναι οι συχνότητες 433 MHz , 868 MHz (Ευρώπη), 915 MHz (Αμερική), 2.4GHz, 5GHz και η χρήση τους περιγράφεται από την απόφαση 399/34 της Εθνικής επιτροπής τηλεπικοινωνιών και ταχυδρομείων (ΕΕΤΤ) βασισμένη στην οδηγία ERC/REC 70-03 του Electronic Communications Committee της CEPT. Στην οδηγία προτείνουν οι συσκευές που λειτουργούν για τηλεμετρία , τηλεχειρισμό, συναγερμούς και την απόκτηση δεδομένων να χρησιμοποιούν το annex 1 , παρακάτω αναφέρονται μερικές από τις συχνότητες που αναφέρει:

Frequency Band	Power / Magnetic Field	Spectrum access and mitigation requirements	Modulation maximum occupied bandwidth	ECC/ERC Deliverable	Notes
G1	433.05-434.79 MHz	10 mW e.i.r.p.	$\leq 10\%$ duty cycle	Not specified	
G2		1 mW e.i.r.p.	No requirement (note 3)	Not specified	Power density limited to -13 dBm/10 kHz for wideband modulation with a bandwidth greater than 250 kHz
H1.2	863-870 MHz (note 2)	25 mW e.i.r.p.	$\leq 0.1\%$ duty cycle (note 1)	$\leq 100$ kHz for 47 or more hop channels	FHSS. Parts of the frequency band are also identified in Annexes 2, 3, 10 and 11
I	2400-2483.5 MHz	10 mW e.i.r.p.	No requirement	Not specified	The frequency band is also identified in Annexes 3 and 6

Πίνακας 2 Κομμάτια από τον πίνακα Table 1: Regulatory parameters του Annex 1 από την οδηγία ERC Recommendation 70-03

Note 2: Frequency bands for alarms (see Annex 7) are excluded.

Note 3: Voice applications are allowed with a maximum bandwidth of 25 kHz, with a spectrum access technique such as LBT or equivalent and a maximum transmit period of 1 minute for each transmission. Other audio/ video applications are excluded.

Η άδεια χρήσης των συχνοτήτων της κινητής επικοινωνίας παρέχετε μαζί με την αγορά του ολοκληρωμένου όππου κάνει την επικοινωνία εξίσου η χρήση τους είναι πιο ακριβή και περιέχει πάγια έξοδα για την χρήση τους.

## Bluetooth

Εφευρέθηκε από την Ericsson το 1994 με άλλες 4 εκδόσεις για την αναβάθμιση των επιδόσεων για την παροχή πιο γρήγορων ταχυτήτων όπως και περισσότερων λειτουργιών. Χρησιμοποιεί 79 κανάλια στα 2.4GHz με GFSK διαμόρφωση και εύρος καναλιού 1 MHz και 2 MHz για το Bluetooth Low energy όπου έχει 40 κανάλια, αυτά χωρίζονται σε 3 λειτουργίες για την αποστολή δεδομένων, πρωτεύων και δευτερεύων κανάλι διαφήμισης. Για την αποφυγή εξασθένισης, την καταπολέμηση παρεμβολών και την αποφυγή συγκρούσεων των πακέτων η αποστολή των πακέτων αυτών ισομοιράζεται στα κανάλια αποστρώνοντας ένα πακέτο σε διαφορετικό κανάλι 1600 φορές το δευτερόλεπτο και καθορίζεται από την μεθοδολογία Adaptive frequency hopping spread spectrum (AFH) σε ποιο κανάλι θα σταλεί, ένα παράδειγμα παρεμβολών είναι τα γειτονικά δίκτυα Wi-Fi όπου συνυπάρχουν σε αυτό το εύρος συχνοτήτων με αποτέλεσμα η συσκευή Bluetooth να μην έχει στην διάθεση της μερικά από τα κανάλια σε αυτή την περίπτωση οι συσκευές δεν στέλνουν σε αυτά τα κανάλια και προχωράνε την αποστολή του πακέτου στο επόμενο διαθέσιμο κανάλι.

Υπάρχουν 2 το Low energy (LE) και το Mesh, το BLE παρέχει συνδεσιμότητα σε συσκευές όπου δεν χρειάζονται μεγάλα πακέτα και με τον τρόπο λειτουργίας του πομποδέκτη όπου κρατείται σε Sleep mode τον περισσότερο χρόνο με αποτέλεσμα την χρήση λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας για

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT την επικοινωνία. Από το Bluetooth 4.0 οι συσκευές που κάνουν χρήση του Bluetooth low energy μπορούν να συνδέουν σε ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο δίκτυο όπου οι συσκευές μπορούν να στείλουν τα δεδομένα τους μέσα από άλλες συσκευές συνδεδεμένες στο ίδιο δίκτυο εάν δεν έχουν την εμβέλεια να το κάνουν οι ίδιες, αυτή η μορφή της σύνδεσης ονομάζεται Bluetooth mesh μπορεί να έχει θεωρητικά 32000 συσκευές σε ένα δίκτυο αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη διότι υπάρχει περιορισμός των 40 καναλιών και αρκετά κανάλια έχουν παρεμβολές από άλλες συνδεσιμότητες οπότε δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το Bluetooth.

## **Wi-Fi**

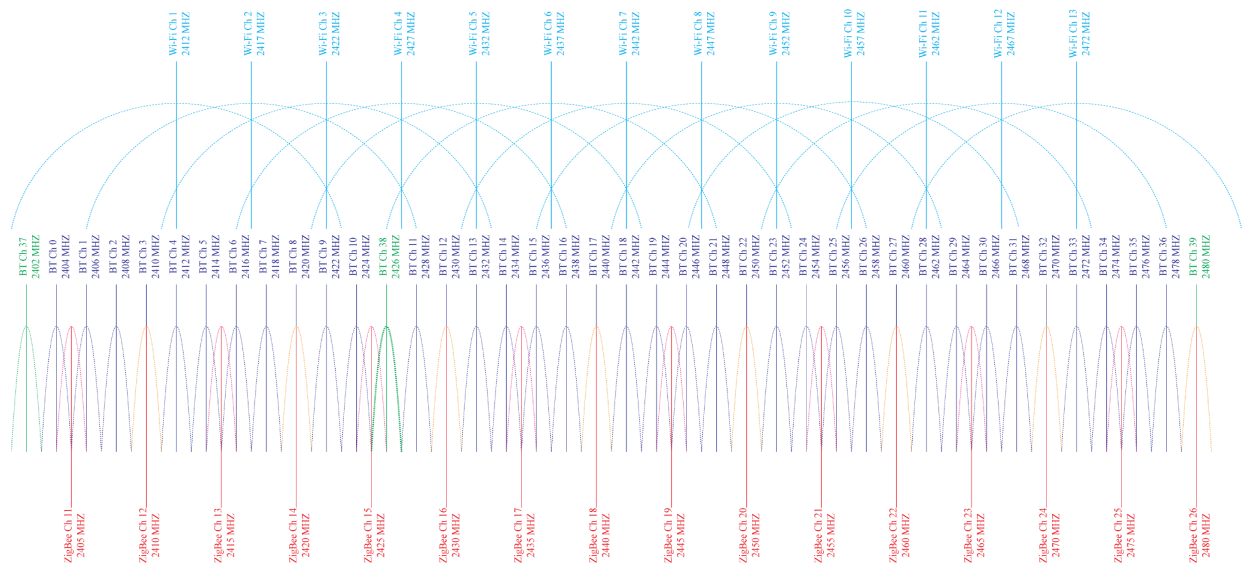
Ένα ευρέος διαδεδομένο δίκτυο όπου κάνει χρήση τα 2.4GHz έχει 14 κανάλια αλλά δεν είναι όλα διαθέσιμα για χρήση, η πιο καινούργια έκδοση κάνει χρήση των 5GHz με 48 κανάλια με διαφορετικό εύρος συχνοτήτων. Η ευρωπαϊκή ένωση έχει περιορίσει μερικές συχνότητες για εσωτερικούς χώρους και άλλες για εξωτερικούς όπως και τον τύπο της συσκευής. Το Wi-Fi είναι βασισμένο το πρότυπο IEEE 802.11 όπου προσδιορίζει το φυσικό επίπεδο όμως για η δρομολόγηση των πακέτων γίνεται με την χρήση TCP/IP και με την μεγάλη ταχύτητα που παρέχει είναι κατάλληλο για εφαρμογές με μεγάλο όγκο δεδομένων αλλά με μεγαλύτερη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.

## **ZigBee**

Επικοινωνία σχεδιασμένη ειδικά για δίκτυα αισθητήρων με μικρό κόστος , μικρή κατανάλωση ενέργειας όπως και μικρό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, έχει 16 κανάλια στα 2.4 GHz με εύρος συχνοτήτων 2MHz, 27 κανάλια στα 915MHz ,63 στα 868MHz και τοπολογίας δικτύου mesh, το πρότυπο δίκτυο που ακολουθεί είναι το 802.15.4 όπου καθορίζει το φυσικό επίπεδο όπως και το medium access control (MAC). Η μικρή του εμβέλεια έως 100 μέτρα το καθιστά καλό για αυτοματισμούς κτιρίων όπου οι αποστάσεις είναι μικρές και με θεωρητικό μέγιστο αριθμό συσκευών συνδεδεμένων στο δίκτυο ανέρχεται στις 64000 συσκευές.



## 2.4 GHz Channel Allocation



Εικόνα 1 Αλληλοκάλυψη επικοινωνιών 2.4GHz

Στην εικόνα βλέπουμε όλα τα κανάλια που εκπέμπουν οι παραπάνω τεχνολογίες που βασίζονται στα 2.4 GHz και πως αλληλοκαλύπτονται με αποτέλεσμα σε μία περιοχή όπου υπάρχουν πολλές τέτοιες επικοινωνίες δημιουργείται μία συμφόρηση και πρόβλημα παρεμβολών μεταξύ των συσκευών. Για παράδειγμα στα δίκτυα όπου χρησιμοποιείται το WiFi ένας κόμβος στέλνει τα δεδομένα του αφού πρώτα έχει δει αν κάποιος άλλος στέλνει δεδομένα στο κανάλι που έχει οριστεί στο δίκτυο, Εάν είναι ελεύθερο τότε ξεκινάει την αποστολή του πακέτου εάν όμως βρίσκεται εκτός εμβέλειας από κάποιον άλλον κόμβο που στέλνει δεδομένα εκείνη τη στιγμή δεν θα λάβει τα δεδομένα του άλλου κόμβου και θα ξεκινήσει την αποστολή δημιουργώντας παρεμβολές καθιστώντας το πακέτο αλλού κόμβου πλήρως κατεστραμμένο εάν ο δέκτης του πακέτου είναι στην εμβέλεια. Με τον ίδιο τρόπο λειτουργίας γίνεται η αποφυγή συγκρούσεων και στην επικοινωνία zigbee όπου εκεί επίσης υπάρχει δυνατότητα ανταλλαγής πακέτων για την ετοιμότητα του δέκτη για την αποδοχή δεδομένων. Αρχικά Η συσκευή που θέλει να στείλει δεδομένα στέλνει πακέτο Request to Send (RTS) και εκεί η συσκευή που έχει αναλάβει τα δεδομένα απαντάει με το πακέτο Clear to Send (CTS) και έπειτα ξεκινάει η αποστολή των δεδομένων.

## LoRa

Το LoRa (Long Range) είναι ιδιοκτήτη και πατενταρισμένη τεχνική διαμόρφωσης της Semtech βασισμένη στη διαμόρφωση Chirp spread spectrum, χρησιμοποιεί της ISM bands κάτω του 1 GHz (169MHz, 433MHz, 868MHz Ευρώπη και 915MHz Αμερική) ,η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται παρέχει ευαισθησία στην λήψη δεδομένων με μικρή κατανάλωση και την μεγάλη εμβέλεια αλλά με μειωμένη ταχύτητα επικοινωνίας αυτό επιτυγχάνεται με την αποστολή των σημάτων σε μορφή πακέτων που μεταβάλλουν την συχνότητα γραμμικά εντός του καναλιού που εκπέμπουν κατά την διάρκεια της αποστολής, αυτή η μεταβολή ονομάζεται chirp. Το εύρος συχνοτήτων που

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT μεταβάλλεται το σήμα γραμμικά ονομάζεται bandwidth, είναι περιορισμένο σε 125 KHz , 250 KHz στην Ευρώπη άλλες περιοχές μπορούν να έχουν 500 KHz. Spreading Factor (SF) λέγεται ο αριθμός των bit που υπάρχουν σε ένα σύμβολο που στέλνεται και είναι 7 έως 12 bit. Ο ρυθμός που μεταβάλλεται η συχνότητα λέγεται chirp rate και υπολογίζεται ως:

$$\frac{Bandwidth}{2^{Spreading Factor}}$$

Όσο πιο μικρός ο ρυθμός μεταβολής τόσο πιο γρήγορα γίνεται η μεταβολή οπότε αυτή μας δίνει μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων με κόστος την απόσταση που μπορεί να φτάσει το πακέτο. Στην αρχή κάθε εκπομπής αποστέλλονται μερικά crisps που δεν περιέχουν κάποια δεδομένα και βοηθούν τους πομπούς να κλειδώσουν στην μετάδοση αυτό το κομμάτι της μεταδόσεως ονομάζεται preamble και το τέλος αυτού του σταδίου της αποστολής συμβολίζεται με crisps προς την αντίστροφη κατεύθυνση και ονομάζεται sync message ,συμβολίζει την έναρξη της αποστολής δεδομένων. Η δυνατότητα που δίνεται στους δέκτες να κλειδώσουν στο σήμα πριν την αποστολή των δεδομένων και η γραμμική μεταβολή της συχνότητας τους καθιστά να μην χρειάζονται ακριβά ηλεκτρονικά με απαιτητικά χαρακτηριστικά και αυτό τους καθιστά αρκετά φτηνούς με δυνατότητα να δέχονται πακέτα οπότε η δύναμη του σήματος πακέτου είναι λιγότερη από την δύναμη παρεμβολών.

LoRa ονομάζεται το φυσικό επίπεδο ενώ το επόμενο στάδιο του OSI όπου είναι το MAC ονομάζεται LoRaWAN. Η δομή του δικτύου είναι τοπολογίας αστέρα, ο κεντρικός κόμβος (gateway) συλλέγει τα πακέτα από την περιοχή του που στέλνονται με μορφή που προσδιορίζει το LoRaWAN και τα προωθεί σε έναν κεντρικό διακομιστή στο διαδίκτυο (Network server). Εκεί γίνεται η επεξεργασία των πακέτων, εάν η συσκευή είναι του δικτύου που διαχειρίζεται ο Server και ελέγχει εάν δεν είναι κακόβουλο πακέτο. Η επεξεργασία σε ένα κεντρικό σημείο επιτρέπει τα να υπάρχουν παραπάνω από ένα gateway όπου συλλέγουν πακέτα από συσκευές διότι εάν το πακέτο είναι σε εμβέλεια πολλών κεντρικών κόμβων ο network server θα λάβει πολλά ίδια μηνύματα και θα αναγνώριση την ταυτοποίηση των περιεχομένων οπότε στην εφαρμογή θα προωθηθούν μια φορά τα δεδομένα της συσκευής.

Οι συσκευές χωρίζονται σε 3 κατηγορίες οπότε στην προδιαγραφή ονομάζονται κλάσεις (Class), αυτός ο διαχωρισμός γίνεται γιατί το δίκτυο είναι φτιαγμένο να χρησιμοποιείται από αισθητήρες και συσκευές μικρής ηλεκτρικής κατανάλωσης για να επιτευχθούν αυτές συχνά θέτονται σε κατάσταση Sleep mode όπου δεν λειτουργούν και περιμένουν εξωτερικές αιτίες ή τον χρόνο που έχει οριστεί κατά την διάρκεια του προγραμματισμού να ενεργοποιηθούν και να λειτουργήσουν. Οι συσκευές της Class A υποστηρίζουν την αποστολή δεδομένων από τον κεντρικό διακομιστή στην συσκευή μόνο σε 2 χρονικά πλαίσια μετά από την ολοκλήρωση αποστολής δεδομένων από την συσκευή στο δίκτυο. Η Class b εκτός από τα 2 χρονικά πλαίσια όπου έχει η προηγούμενη κατηγορία παρέχει επιπλέον χρονικά πλαίσια όπου συγχρονίζονται από τον κόμβο που συλλέγει τα δεδομένα

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT και τα στέλνει στον κεντρικό διακομιστή, και Class C είναι οι συσκευές που είναι μόνιμα ενεργοποιημένες και μπορούν να δεχτούν μόνιμα πακέτα από το δίκτυο.

## **Ασύρματη τηλεφωνία**

Η ασύρματη τηλεφωνία αλλάζει εκδόσεις για να καλύψει τις ανάγκες που δημιουργούνται με την αύξηση των δεδομένων που μεταφέρονται, πρώτη γενιά (1G) ξεκίνησε για την Ευρώπη το 1981 στις βόρειες χώρες (Νορβηγία , Φινλανδία, Νορβηγία και Δανία) μετέφερε μόνο φωνή σε αναλογική μορφή , έκανε χρήση διαφόρων συχνοτήτων 150 MHz, 450 MHz και εν τέλη τα 900 MHz το 1986. Οι σημερινές τεχνολογίες που λειτουργούν κάνουν χρήση τις συχνότητες 900MHz, 1800MHz, 2100MHz για την Ευρώπη και 900MHz, 1900MHz , 2100MHz στην Αμερική όπως, με την 5 γενιά να αλλάζει ριζικά τις συχνότητες που λειτουργεί. Αυτές οι συχνότητες για να εκπέμψει κάποιος πρέπει να έχει άδεια και για αυτό δεν μπορεί ο καθένας να κάνει δικό του δίκτυο κινητής τηλεφωνίας, για να αποκτήσει κάποιος άδεια την αγοράζει εάν κάποια συχνότητα γίνει διαθέσιμη και συνήθως οι τιμές είναι κάποιες εκατοντάδες εκατομμύρια. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γενεών καθορίζονται από το 3GPP όπου εκεί καθορίζεται η ταχύτητα και οι ανάγκες που πρέπει να καλύπτονται από το δίκτυο, έπειτα για την Ευρωπαϊκή Ένωση το ETSI καθορίζει τα πρότυπα που πρέπει να ακολουθούνται. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που έχουν βγει είναι 16 και 7 ακόμα όπου ήταν στις αρχικές φάσεις όπου ξεκίνησε οργανισμός και δεν δημοσιεύθηκαν επίσημα.

Όνομα	Ημερομηνία κυκλοφορίας	
Release 1999	1999-12-17	Specified the first UMTS 3G networks, incorporating a CDMA air interface.
Release 4	2001-06-21	Originally called the Release 2000 – added features including an all-IP Core Network.
Release 5	2002-09-12	Introduced IMS and HSDPA.
Release 6	2005-09-28	Integrated operation with Wireless LAN networks and adds HSUPA, MBMS, enhancements to IMS such as Push to Talk over Cellular (PoC). GAN.
Release 7	2008-03-13	Focuses on decreasing latency, improvements to QoS and real-time applications such as VoIP. This specification also focus on HSPA+ (High Speed Packet Access Evolution), SIM high-speed protocol and contactless front-end interface (Near Field Communication enabling operators to deliver contactless services like Mobile Payments), EDGE Evolution.
Release 8	2009-03-12	First LTE release. All-IP Network (SAE). New OFDMA, FDE and MIMO based radio interface, not backwards compatible with previous CDMA interfaces. Dual-Cell HSDPA. UMTS HNB.
Release 9	2010-03-25	SAES Enhancements, WIMAX and LTE/UMTS Interoperability. Dual-Cell HSDPA with MIMO, Dual-Cell HSUPA. LTE HeNB.
Release 10	2011-06-08	LTE Advanced fulfilling IMT Advanced 4G requirements. Backwards compatible with release 8 (LTE). Multi-Cell HSDPA (4 carriers).
Release 11	2013-03-06	Advanced IP Interconnection of Services. Service layer interconnection between national operators/carriers as well as third party application providers. Heterogeneous networks (HetNet) improvements, Coordinated Multi-Point operation (CoMP). In-device Co-existence (IDC).
Release 12	2015-03-13	Enhanced Small Cells (higher order modulation, dual connectivity, cell discovery, self configuration), Carrier aggregation (2 uplink carriers, 3 downlink carriers, FDD/TDD carrier aggregation), MIMO (3D channel modeling, elevation beamforming, massive MIMO), New and Enhanced Services (cost and range of MTC, D2D communication, eMBMS enhancements).
Release 13	2016-03-11	LTE in unlicensed, LTE enhancements for Machine-Type Communication. Elevation Beamforming / Full-Dimension MIMO, Indoor positioning. LTE-Advanced Pro.
Release 14	2017-06-09	Energy Efficiency, Location Services (LCS), Mission Critical Data over LTE, Mission Critical Video over LTE, Flexible Mobile Service Steering (FMSS), Multimedia Broadcast Supplement for Public Warning System (MBSP), enhancement for TV service, massive Internet of Things, Cell Broadcast Service (CBS).
Release 15	2019-06-07	First NR ("New Radio") release. Support for 5G Vehicle-to-x service, IP Multimedia Core Network Subsystem (IMS), Future Railway Mobile Communication System.
Release 16	2020-07-03	The 5G System - Phase 2: 5G enhancements, NR-based access to unlicensed spectrum (NR-U), Satellite access.
Release 17	2022-06-10	TSG RAN: Several features that continue to be important for overall efficiency and performance of 5G NR: MIMO, Spectrum Sharing enhancements, UE Power Saving and Coverage Enhancements. RAN1 will also undertake the necessary study and specification work to enhance the physical layer to support frequency bands beyond 52.6GHz, all the way up until 71 GHz.  TSG SA groups focused on further enhancements to the 5G system and enablers for new features and services:  Enhanced support of: non-public networks, Industrial Internet of Things, edge computing in 5GC, access traffic steering, switch and splitting support, network automation for 5G, network slicing, advanced V2X service, devices having multiple USIMs, proximity-based services in 5GS, 5G multicast-broadcast services, Unmanned Aerial Systems (UAS), satellite access in 5G, 5GC location services, Multimedia Priority Service.
Release 18		Τέλος του 2021 αναμένονται λεπτομέρειες

Πίνακας 3 Εκδόσεις του 3GPP <https://en.wikipedia.org/wiki/3GPP>

## **2G/3G**

Το 2G είναι η πρώτη γενιά που έκανε την ανταλλαγή δεδομένων με το δίκτυο κάνοντας χρήση ψηφιακής διαμόρφωσης, η αρχική του έκδοση ονομαζόταν Global System for Mobile Communication (GSM) βελτιώνει την ποιότητα της φωνής επιπλέον έδινε την δυνατότητα αποστολής SMS και πρόσβασης σε δεδομένα με ταχύτητα 9.6 Kbps από μερικούς παρόχους, η πρώτη του αναβάθμιση ονομάζεται GPRS(General Packet Radio Service) πρόσθεσε την αποστολή MMS όπου επέτρεπε τους χρήστες να ανταλλάζουν video, φωτογραφίες, ήχους όπως επίσης επέτρεψε τους χρήστες να προηγηθούν σε ιστοσελίδες κατάλληλα διαμορφωμένες για την πρόσβαση από κινητές συσκευές με ταχύτητες έως 171 Kbps. Το Enhanced Data Rate for Global Evolution (EDGE) ήταν η τελευταία έκδοση του 2G παρέχοντας ταχύτητες δεδομένων στα 384 Kbps.

Η τρίτη γενιά (3G) εισήγαγε την δυνατότητα βιντεοκλήσης και ταχύτητα από 144 Kbps έως 2 Mbps, η πρώτη αναβάθμιση του 3G το HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) παρέχοντας 8 με 10 Mbps. Έπειτα ακολούθησε το HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) με μικρότερη καθυστέρηση στην ανταπόκριση του δικτύου όπως και ταχύτητες αποστολής από την συσκευή προς το δίκτυο στα 5.8 Mbps.

## **4G**

Η τέταρτη γενιά της επικοινωνίας με στόχο την αύξηση τον όγκο δεδομένων όπου μπορεί να ανταλλάξει με τον χρήστη για να του παρέχει πρόσβαση στο υψηλής ευκρίνειας υλικό που υπήρχε στο διαδίκτυο όπως HD Streaming, mobile TV, για αυτό αυξήθηκε η ταχύτητα στα 500Mbps αποστολής και 1000 Mbps λήψης. Το LTE που θεωρείτε όπως είναι η 4 γενιά δεν καλύπτει τις παραπάνω προϋποθέσεις γιατί οι ταχύτητες που παρέχει είναι 20Mbps αποστολής και 100Mbps λήψης, έτσι δημιουργήθηκε το LTE-Advanced όπου παρέχει ταχύτητες της τέταρτης γενιάς.

## **LTE-M**

Υπήρξαν πολλές προδιαγραφές στην τέταρτη γενιά που στοχεύουν τις συσκευές αλλά μία που ξεχωρίζει είναι το LTE-M με μικρότερο bandwidth στα 1.4 MHz με αποτέλεσμα να παρέχει ταχύτητες αρχικά 1 Mbps αποστολή και λήψη και έπειτα 7 Mbps αποστολής και 4Mbps λήψης όπως και επιτρέπει τη συσκευή να κάνει χρήση του VoLTE όπου είναι η δυνατότητα των φωνητικών κλήσεων.

## **NB-IoT**

Οι προδιαγραφές του ξεκίνησαν ταυτόχρονα με το LTE-M αλλά αυτή η προδιαγραφή στοχεύει μεγαλύτερη απόσταση στην αποστολή δεδομένων με ακόμα πιο μικρές ταχύτητες, 66 Kbps αποστολής και 26 Kbps λήψης έπειτα έγινε αύξηση της ταχύτητας στα 159 Kbps αποστολής και

127 Kbps λήψης. Αλλά ο οργανισμός αποφάσισε να πάει ένα βήμα παραπέρα ώστε να βελτιωθεί η ενεργειακή κατανάλωση των συσκευών με το εύρος συχνοτήτων στα 180 kHz το καθιστά πολλές φορές μικρότερο από το κανονικό εύρος συχνοτήτων του LTE αλλά συγκράτησε πολλά ίδια χαρακτηριστικά μαζί του όπως η χρήση του OFDM όπου είναι ο τρόπος αποστολής ψηφιακών δεδομένων εντός του εύρους συχνοτήτων σε πολλά διαφορά παράλληλα κανάλια ανα 15 kHz και την ίδια νοοτροπία με τα πλαίσια ραδιοεκπομπής που κρατάνε 10ms και χωρίζονται σε άλλα δέκα υποπλασία του 1ms . Επίσης πολλές λειτουργίες του δικτύου παραμένουν όπως ήταν για παράδειγμα RLC, RRC ,MAC και η ταυτοποίηση των καρτών SIM Παρά το γεγονός ότι πολλές συσκευές μπορεί να χρησιμοποιούν τις eSIM όπου είναι ίδιες με τις κανονικές κολλημένες πάνω στην πλακέτα.

Μία διαφοροποίηση που έχει το NB-IoT είναι η έλλειψη της μέτρησης για την ποιότητα της σύνδεσής,αυτή η λειτουργία αφαιρέθηκε διότι οι συσκευές είναι σχεδιασμένες για την αποστολή ή λήψη μικρών πακέτων δεδομένων με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται η ενέργεια διότι δεν χρειάζεται η συσκευή να στέλνει δεδομένα στον αναμεταδότη για τον έλεγχο της ποιότητας της σύνδεσής.

Το NB-IoT όταν εγκατασταθεί στον χώρο οι υπόλοιπες συσκευές LTE όπου είναι σχεδιασμένες για τα 20 MHz ευρους ζώνης κανάλια το βλέπουν σαν θόρυβο και το αγνοούν, Αυτό μας δίνει διαφορετικούς τρόπους για την εγκατάσταση του μπορεί να έχουμε ένα ή περισσότερα κανάλια NB-IoT σε ένα μεγαλύτερο κανάλι LTE, Η επόμενη επιλογή είναι να το βάλουμε στη ζώνη φύλαξης ενός LTE καναλιού Ή εναλλακτικά Μπορεί να αντικαταστήσει ένα ολόκληρο 180 kHz GSM κανάλι. Τα LTE κανάλια κανάλια που υποστηρίζουν NB-IoT στην Ευρώπη είναι το 3 (1710 - 1785 MHz Uplink, 1805 - 1880 MHz Downlink) ,8 (880 - 915 MHz Uplink, 925 - 960 MHz Downlink) και 20 (832 - 862 MHz Uplink, 791 - 821 MHz Downlink).

Στα πλαίσια της εκπομπής υπάρχουν κάποια κομμάτια όπου είναι λειτουργικά για τη διεξαγωγή της σύνδεσης,έχουμε 3 κανάλια για την διεξαγωγή της ληψης το NPBCH,NPDCCH και το NPDSCH. Το NPBCH κανάλι χρησιμοποιείται για την αποστολή του NB-IoT Master Information Block (MIB) όπου είναι αναγκαίο πακέτο ώστε η συσκευή μπορεί να λειτουργήσει εντός του δικτύου του παρόχου, αυτό περιέχει εξής δεδομένα:

MB or SIB	Description
MIB-NB	<p>Following informations are decoded from MIB-NB by the device.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Operation mode (stand-alone, in-band, guard-band)</li> <li>• In case of in-band and guard-band, the frequency raster offset (2.5, 7.5 kHz)</li> <li>• Four MSBs of the SFN</li> <li>• Two LSBs of the H-SFN</li> <li>• Information about SIB1-NB scheduling</li> <li>• SI value tag, which is essentially a version number of the SI. It is common for all SIBs except for System Information Block Type 14 (SIB14-NB) and System Information Block Type 16 (SIB16-NB)</li> <li>• Access barring (AB) information</li> </ul>
SIB1-NB	Hyperframe information, network information such as PLMN, tracking area and cell identities, access barring status, thresholds for evaluating cell suitability, valid subframe bitmap and scheduling information regarding other System Information Blocks.
SIB2-NB	Radio resource configuration (RRC) information for all physical channels that is common for all devices.
SIB3-NB	Cell reselection information that is common for intrafrequency and interfrequency cell reselection. It further provides additional information specific to intrafrequency cell reselection such as cell suitability related information.
SIB4-NB	Neighboring cell-related information, e.g., cell identities, relevant only for intrafrequency cell reselection.
SIB5-NB	Neighboring cell-related information, e.g., cell identities and cell suitability-related information, relevant only for interfrequency cell reselection.
SIB14-NB	Access class barring information per PLMN. Contains a specific flag for barring of a specific access class, it also indicates barring of exception reporting.
SIB16-NB	Information related to GPS time and Coordinated Universal Time (UTC).

Πίνακας 4 Δεδομένα του NB-IoT Master Information Block

Το κανάλι NPDSCH περιέχει τα δεδομένα του χρήστη όπως και πληροφορίες για το δίκτυο ενώ το NPDCCH κανάλι χρησιμοποιείται για την δημιουργία της σύνδεσης όταν υπάρχει κάποιο πακέτο για την συσκευή, αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την παροχή χρόνου και το πλαίσιο όπου θα γίνει η μετάδοση, παρέχει την έγκριση ως τη συσκευή με στείλει δεδομένα ή ζητύνει τη συσκευή όταν το RRC είναι σε αδράνεια. Για αποστολές σε αυτό το κανάλι επαναλαμβάνονται κάποιες φορές στα τυφλά χωρίς την αναμονή για την επιβεβαίωση της λήψης ώστε να μπορεί να γίνει αντιληπτό από την συσκευή λόγο της ποιότητας της σύνδεσής. Η αποστολή των γίνεται με δύο κανάλια το NPRACH όπου χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό της σύνδεσης και το NPUSCH το οποίο περιέχει τα δεδομένα και πληροφορίες ελέγχου.

Άλλος ένας τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας όπου χρησιμοποιείται από το NB-IoT είναι η Extended Discontinuous Reception (eDRX) λειτουργία, Αυτήν τη δυνατότητα στη συσκευή να κλείνει το κομμάτι του δέκτη ώστε να εξοικονομήσει ενέργεια στο κανονικό lte αυτή η λειτουργία είναι μόνο για κάποια δέκατα του δευτερολέπτου εδώ όμως αυξήθηκε ο χρόνος σημαντικά διότι οι συσκευές δεν χρειάζεται να είναι όλη την ώρα ενέργειες στο δίκτυο. τα χρονικά πλαίσια όπου δίνονται τώρα είναι από 20.48 δευτερόλεπτα έως 175 λεπτά.

## **5G**

Η τελευταία γενιά όπου ξεκινάει να μπαίνει στη ζωή μας από το 2020 με στόχο να αυξήσει την ταχύτητα σε δεκάδες Gbps όπως και την αύξηση της πυκνότητας των συσκευών που εξυπηρετεί σε ένα δεδομένο χώρο, αυτή θα να καλύψει τις μελλοντικές ανάγκες του industry 4 όπου σχεδόν κάθε συσκευή θα είναι συνδεδεμένη στο διαδίκτυο με κάποιο τρόπο. Στοχεύει να εισάγει καινούργια πεδία εφαρμογών όπου χρειάζονται υψηλή αξιοπιστία ή χαμηλό χρόνο ανταπόκρισης όπως την επικοινωνία μεταξύ αυτόνομων οχημάτων, επαυξημένη πραγματικότητα κτλ. Και οι δεκάδες GPS θα εξυπηρετούν το κοινό παρέχοντας το με άφθονο υλικό πολυμέσων στην καλύτερη πιθανή ποιότητα.



## **ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ**

Η προστασία του περιβάλλοντος είναι πολύ σημαντική διότι αυτό επιδρά άμεσα την ζωή των οργανισμών στην γη και έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες με στόχο την επιρροή της ρύπανσης του αέρα στην υγεία του ανθρώπου, στις μέρες μας ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού βρίσκεται στις πόλεις, τα οχήματα παρέχουν ευκολότερη μετακίνηση αλλά είναι ο κύριος τρόπος ρύπανσης αέρα στις πόλεις, με βάση στατιστικών του διεθνή οργανισμού κατασκευαστών αυτοκινήτων (OICA - International Organization of Motor Vehicle Manufacturers) το 2015 η Ελλάδα είχε 566 ανά 1000 κατοίκους και το ευρωπαϊκό μέσο όρο ήταν 471. Αυτές οι επιπτώσεις της ρύπανσης επηρεάζουν όλα τα ζωντανά στον πλανήτη από το πιο μικρό μέχρι και το πιο μεγάλο, αρχικά η ποιότητα του αέρα επιδρά στα φυτά επιβραδύνοντας την ανάπτυξή τους προκαλώντας ζημιά στο πιο χαμηλό σκαλοπάτι της τροφικής αλυσίδας και με αυτό τον τρόπο επηρεάζουν τα πιο ψηλά σκαλοπάτια της τροφικής αλυσίδας είτε επηρεάζοντας έμμεσα από τη πηγή του φαγητού είτε δρώντας απευθείας με από τον αέρα που αναπνέουν. Η βραχυπρόθεσμη έκθεση στην ρύπανση αυτή επιδεινώνει ήδη υπάρχοντα προβλήματα υγείας και η μακροπρόθεσμη έκθεση στην ρύπανση του αέρα έχει πολύ μεγάλη επίδραση στην υγεία για όλες τις ηλικίες και προκαλεί πολλές παθήσεις με αποτέλεσμα την αυξημένη θνησιμότητα.

Exposure	System affected	Health effects	Study
Short term	Cardiovascular	Increased rates of myocardial infarction and ischemia in those at risk	Bhaskaran 2009, Pope 2006 Szyszkowicz 2009, Brook 2010
		Exacerbation of cardiac failure	Brook 2008, Goldberg 2009 Medina-Ramón 2008, Pope 2008
		Increased incidence of arrhythmia	Pope 2004
		Increased incidence of deep vein thrombosis	Pope 2009, Baccarelli 2009
		Increased incidence of stroke	Lokken 2009
	Respiratory	Increased wheeze	Clark 1 2010
		Exacerbation of asthma	Delfino 2009, Holguin 2008 O'Connor 2008, McCreanor 2007
		Exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease	Halonen 2008, Sint 2008 Zanobetti 2008
		Bronchiolitis and other respiratory infections	Karr 2009, Ségala 2008
		Increased emergency department visits	Stieb 2009
Long term	General	Increased mortality	Krewski 2009, Pope 2009
	Cardiovascular	Increased myocardial infarction	Rosenlund 2009, Tonne 2009
		Accelerated development of atherosclerosis	Brook 2010, HEI Panel on the Health Effects of Traffic Related Air Pollution 2010
		Increased blood coagulability	Pope 2009, Liu 2009
		Increase in systemic inflammatory markers	Simkhovich 2008
	Respiratory	Increased incidence of pneumonia	Neupane 2010
		Increased incidence of lung cancer	Laden 2006
Impaired lung development in children		Gauderman 2004	
	Reproductive	Development of new asthma	Clark 2010, Jerrett 2008, Kunzi 2009, Lindgren 2009, Dell 2008
		Increased incidence of preterm birth	Wu 2009, Stillerman 2008 Brauer 2008
		Increased incidence of low birth weight	Salam, 43 2008

Πίνακας 5 Επιδράσεις της ρύπανσης αέρα <https://www.cfp.ca/content/57/8/881.full>

Η ποιότητα του αέρα όπου είναι ο στόχος αυτής της εργασίας, εξετάζει την παρουσία και ποσότητα κάποιων χημικών στοιχείων με στόχο τον υπολογισμό του δείκτη ποιότητας αέρα (AQI), οι τιμές που λαμβάνει είναι μεταξύ 0-500 όπου όσο πιο μεγάλη τιμή τόσο περισσότερη ρύπανση υπάρχει όπως και χωρίζεται σε χρώματα για καλύτερη κατανόηση από το ευρύ κοινό.

Χρώμα	Επίπεδο επικινδυνότητας	Τιμές του δείκτη	Προειδοποίηση για την υγεία	
Πράσινο	#00e400	Καλό	0-50	Καμία
Κίτρινο	#ffff00	Μεσαίο	51-100	Οι ασυνήθιστα ευαίσθητοι άνθρωποι πρέπει να μειώσουν την παρατεταμένη ή έντονη άσκηση
Πορτοκαλί	#ff7e00	Ανθυγιεινό για ευαίσθητες ομάδες	101-150	Οι ευαίσθητες ομάδες πρέπει να μειώσουν την παρατεταμένη ή έντονη άσκηση
Κόκκινο	#ff0000	Ανθυγιεινό	151-200	Οι ευαίσθητες ομάδες πρέπει να αποφεύγουν την παρατεταμένη ή έντονη άσκηση, το ευρύ κοινό πρέπει μειώσει την παρατεταμένη ή έντονη άσκηση
Μοβ	#8f3f97	Πολύ ανθυγιεινό	201-300	Οι ευαίσθητες ομάδες πρέπει να αποφεύγουν κάθε φυσική κατάσταση δραστηριότητα σε εξωτερικούς χώρους, το ευρύ κοινό πρέπει αποφύγει την παρατεταμένη ή έντονη άσκηση
Καφέ	#7e0023	Επικίνδυνο	301+	Όλοι πρέπει να αποφεύγουν κάθε σωματική δραστηριότητα σε εξωτερικό χώρο

Πίνακας 6 Πίνακας μεταφρασμένος από το διαλόξεις με θέμα την ποιότητα αέρα στο El Salvador «Air Quality Index (AQI) , Air Quality Communication Workshop San Salvador, El Salvador April 16-17, 2012»

Τα χημικά στοιχεία όπου μετριοούνται είναι το όζον ( $O_3$ ), διοξείδιο του αζώτου ( $NO_2$ ), διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ), πτητικές οργανικές ενώσεις (VOC), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), βενζόλιο ( $C_6H_6$ ) και σωματιδιακή ύλη (PM) όπου χωρίζεται σε 2 κατηγορίες ανάλογος την διάμετρο του σωματιδίου. Στην πρώτη ομάδα των σωματιδίων αυτά έχουν διάμετρο έως 2.5μm και αντιπροσωπεύουν σωματίδια όπου παράγονται στην διαδικασία της καύσης ή είναι σωματίδια οργανικών ουσιών και στην δεύτερη ομάδα έχουμε τα σωματίδια έως 10 μm όπου είναι η σκόνη, ρύπανση στις αστικές περιοχές προέρχεται κυρίως από οχήματα όπου από την καύση παράγουν τα περισσότερα χημικά στοιχεία εκτός του διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης παρέχει οδηγίες για την ακρίβεια και την μέθοδο των μετρήσεων αυτών των χημικών στοιχείων με στόχο την ποιότητα των δεδομένων για την συγκίνηση και την τήρηση της οδηγίας για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (2008/50/EC) και την τροποποίηση της οδηγίας (EU 2015/1480).

Χημικό στοιχείο	Τυποποίηση μέτρησης	Τρόπος μέτρησης
Οζόν (O <sub>3</sub> )	EN 14625:2012	υπεριώδης φωτομετρία
Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> )	EN 14211:2012	Χημειοφωταύγεια
Οξειδία του αζώτου (NO <sub>x</sub> )	EN 14211:2012	Χημειοφωταύγεια
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	EN 14212:2012	Υπεριώδης φθορισμός
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	EN 14626:2012	Απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας
Βενζόλιο(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	EN 14662:2005	
PM <sub>10</sub>	EN12341:2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tapered Element Oscillating Microbalance</li> <li>• Beta Attenuation monitor</li> <li>• Gravimetric monitor</li> <li>• Filter Dynamics Measurement System (FDMS)</li> <li>• Optical light scattering</li> <li>• Fine Dust Analysis System (FIDAS)</li> </ul>
PM <sub>2,5</sub>	EN12341:2014	

Πίνακας 7 Πίνακας τυποποίησης της μέτρησης και τρόπος μέτρησης κάθε χημικού στοιχείου με βάση την τροποποίηση της οδηγίας 2008/50/EC (EU 2015/1480)- ANNEX VI.

Επίσης η οδηγία αυτή παρέχει στις χώρες το ανώτατο όριο έκθεσης των πολιτών στα διαφορά χημικά στοιχεία όπου συμβάλουν στην ρύπανση του αέρα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα των κρατών μελών είναι η ρύπανση από το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) όπου προέρχεται από τα οχήματα και από τα σωματίδια διαμέτρου έως 10μm. Από την έναρξη την οδηγίας 6 χώρες μέλη της ευρωπαϊκής ένωσης ξεπέρασαν τα όρια με αποτέλεσμα να επιβληθούν χρηματικές ποινές σε κάποιες, τα όρια βασίζονται στο μέσο ορό έκθεσης σε ένα χρονικό πλαίσιο ανάλογα το χημικό στοιχείο.

Χημικό στοιχείο	Μέγιστη Συγκέντρωση	Μέγιστη Συγκέντρωση για την υγεία του ανθρώπου	Χρονικό πλαίσιο	Επιτρεπόμενες υπερβάσεις κάθε χρόνο
Οζόν (O3)	120 µg/m <sup>3</sup>		Μέγιστη ημερήσια μέση τιμή 8 ωρών	Κατά μέσο όρο 25 ημέρες για 3 χρόνια
Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> )	200 µg/m <sup>3</sup>	140 µg/m <sup>3</sup>	1 hour	18
	40 µg/m <sup>3</sup>	32 µg/m <sup>3</sup>	1 year	--
Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )	350 µg/m <sup>3</sup>		1 hour	24
	125 µg/m <sup>3</sup>	75 µg/m <sup>3</sup>	24 hours	3
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	10 mg/m <sup>3</sup>	7 mg/m <sup>3</sup>	Μέγιστη ημερήσια μέση τιμή 8 ωρών	--
Βενζόλιο(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	5 µg/m <sup>3</sup>	3,5 µg/m <sup>3</sup>	1 year	--
PM <sub>10</sub>	50 µg/m <sup>3</sup>	35 µg/m <sup>3</sup>	24 hours	35
	40 µg/m <sup>3</sup>	28 µg/m <sup>3</sup>	1 year	--
PM <sub>2,5</sub>	25 µg/m <sup>3</sup>	17 µg/m <sup>3</sup>	1 year	--

Πίνακας 8 Ανώτατα όρια έκθεσης σε ρύπανση αέρα με βάση την οδηγία 2008/50/EU – ANNEX XI και ANNEX VII

Ο δείκτης ποιότητας αέρα υπολογίζεται επιμέρους για κάθε χημικό στοιχείο ξεχωριστά και επιλέγεται το μεγαλύτερο αποτέλεσμα για να αντιπροσωπεύει την ρύπανση αέρα της περιοχής, για να είναι αποδεκτή η ρύπανση σε ένα σημείο πρέπει να μετριοούνται τουλάχιστον 3 από τα χημικά στοιχεία και ένα από αυτά πρέπει να είναι κάποια από τις 2 ομάδες σωματιδίων (PM<sub>2.5</sub> ή PM<sub>10</sub>). Ο τύπος υπολογισμού του δείκτη είναι ο εξής:

$$AQI = \frac{AQI_{Hi} - AQI_{Lo}}{Con_{Hi} - Con_{Lo}} * [(Con_{Ci} - Con_{Lo}) + Con_{Lo}]$$

Όπου το  $Con_{Ci}$  είναι η τιμή που μετρήσαμε,  $Con_{Hi}$  και  $Con_{Lo}$  είναι τιμές που επιλέγουμε από τους παρακάτω πίνακες ανάλογος για ποιο χημικό στοιχείο θέλουμε να υπολογίσουμε, το  $Con_{Lo}$  πρέπει να είναι μικρότερο από την τιμή που μετρήσαμε και το  $Con_{Hi}$  μεγαλύτερο δηλαδή :  $Con_{Hi} \geq Con_{Ci} \geq Con_{Lo}$ , αντίστοιχα τα  $AQI_{Hi}$  και  $AQI_{Lo}$  είναι τιμές από την ίδια γραμμή του πίνακα.

AQI Category	AQILo	AQHi	ConLo	ConHi	AQILo	AQHi	ConLo	ConHi
	PM2.5 (µg/m <sup>3</sup> )				PM10 (µg/m <sup>3</sup> )			
GOOD	0	50	0	12	0	50	0	54
MODERATE	51	100	12.1	35.4	51	100	55	154
UNHEALTHY FOR SENSITIVE	101	150	35.5	55.4	101	150	155	254
UNHEALTHY	151	200	55.5	150.4	151	200	255	354
VERY UNHEALTHY	201	300	150.5	250.4	201	300	355	424
HAZARDOUS	301	400	250.5	350.4	301	400	425	504
HAZARDOUS	401	500	350.5	500.4	401	500	505	604
HAZARDOUS	501	999	500.5	99999.9	501	999	605	99999
	Μονοξείδιο του άνθρακα (CO) (µg/m <sup>3</sup> )				Διοξείδιο του αζώτου (NO <sub>2</sub> ) (µg/m <sup>3</sup> )			
GOOD	0	50	0	4.4	0	50	0	53
MODERATE	51	100	4.5	9.4	51	100	54	100
UNHEALTHY FOR SENSITIVE	101	150	9.5	12.4	101	150	101	360
UNHEALTHY	151	200	12.5	15.4	151	200	361	649
VERY UNHEALTHY	201	300	15.5	30.4	201	300	650	1249
HAZARDOUS	301	400	30.5	40.4	301	400	1250	1649
HAZARDOUS	401	500	40.5	50.4	401	500	1650	2049
HAZARDOUS	501	999	50.5	99999	501	999	2050	99999
	Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> ) (µg/m <sup>3</sup> )				Όζον (O <sub>3</sub> ) (µg/m <sup>3</sup> )			
GOOD	0	50	0	35	-1	-1	0	0.124
MODERATE	51	100	36	75	101	150	0.125	0.164
UNHEALTHY FOR SENSITIVE	101	150	76	185	151	200	0.165	0.204
UNHEALTHY	151	200	186	304	201	300	0.205	0.404
VERY UNHEALTHY	200	200	305	99999	301	400	0.405	0.504
HAZARDOUS	0	50	0	35	401	500	0.505	0.604
HAZARDOUS					501	999	0.605	99999
HAZARDOUS					-1	-1	0	0.124

Πίνακας 9 AQI Breakpoints από την υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος των ΗΠΑ. United States Environmental Protection Agency [https://aqs.epa.gov/aqsweb/documents/codetables/aqi\\_breakpoints.html](https://aqs.epa.gov/aqsweb/documents/codetables/aqi_breakpoints.html)

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία (2008/50/EC) για την μέτρηση μικροκλίματος έχουν τεθεί κάποιες συστάσεις με σκοπό πιο αντιπροσωπευτικών μετρήσεων, η είσοδος αέρα στην συσκευή όπου γίνονται οι μετρήσεις συμβουλεύεται να είναι 1.5m απο το έδαφος έως 4m για να αντιπροσωπεύει τον αέρα οπου εισέρχεται στο σώμα ή μπορεί να είναι έως 8m για μετρήσεις μεγαλύτερης περιοχής, πρέπει να είναι απεριόριστη σε τουλάχιστον τόξο 270 μοιρών και μακριά από εμπόδια που περιορίζουν την ροή του αέρα όπως κτίρια, φυτά, μπαλκόνια κλπ. όπως επίσης να είναι μακριά από πηγές ρύπανσης για να αποφευχθεί η λήψη των εκπομπών άμεσα στον αισθητήρα. Η έξοδος του αέρα οπου παίρνονται οι μετρήσεις πρέπει να είναι τοποθετημένη με τρόπο ώστε να μην μπορούν να εισέρχονται ξανά στον αισθητήρα τα καυσαέρια οπου μετρήθηκαν ήδη, οι αισθητήρες που έχουν στόχο την μέτρηση της ρύπανσης που δημιουργείται από τα

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT οχήματα πρέπει να είναι τουλάχιστον 25m μακριά από την άκρη κυριών διασταυρώσεων αλλά και να είναι λιγότερο από 10m από το κράσπεδο.

## Αισθητήρες

Στις μέρες μας υπάρχουν πολλοί αισθητήρες για την μέτρηση ποιότητας αέρα που κοστίζουν από κάποια ευρώ έως κάποιες χιλιάδες ευρώ. Οι φτηνοί αισθητήρες συχνά παρέχουν αμφισβητήσιμα δεδομένα διότι επηρεάζονται από πολλές συνθήκες όπως οι ατμοσφαιρικές και η συγκέντρωση ρύπων που μετράνε αλλά το χαμηλό τους κόστος τους καθιστά ιδανικούς για την χρήση τους σε μετρήσεις απομακρυσμένων περιοχών όπως επίσης σε δημιουργία δικτύου αισθητήρων μέτρησης μικροκλίματος σε πόλεις. Στο JRC (Joint Research Center) με την JRC 116534 δημοσίευση αναφέρεται για τους αισθητήρες χαμηλού κόστους (έως 3 χιλιάδες ευρώ) για να προσδιορίσει τις ακρίβειες που παρέχουν και την βαρύτητα της σωστής βαθμονόμησης τους ώστε να υπάρχει αξιοπιστία στις μετρήσεις για τα έγκαιρα περιβαλλοντικά δεδομένα και να γίνεται σωστή ανατροφοδότηση στις αποφάσεις ή νομοθεσίες όπου παίρνονται. Οι αισθητήρες εξετάστηκαν με βάση τον συντελεστή αποφασιστικότητας ( $R^2$ ) συγκρίνοντας τις μετρήσεις από τους αισθητήρες με τον εργαστηριακό αισθητήρα που έδινε τις τιμές αναφοράς διότι παρείχε μεγάλη ακρίβεια. Ο συντελεστής αποφασιστικότητας είναι ένας πραγματικός αριθμός όπου κυμαίνεται μεταξύ 0 και 1, η μέγιστη τιμή του παρουσιάζει την απόλυτη ταυτοποίηση των μετρήσεων ,υπολογίζεται ως εξής :

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \left[ \frac{N \cdot \sum x_i \cdot y_i - \sum x_i \cdot \sum y_i}{\sqrt{[N \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2] \cdot [N \cdot \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \right]^2$$

Η δημοσίευση ενδεικτικά παρέχει στον παρακάτω πίνακα με αισθητήρες που συντελεστή αποφασιστικότητας πάνω από 0,85 για μία ώρα διαδοχικών μετρήσεων.

Model	pollutant	mean R2	mean slope	mean intercept	open/close	living	commercial	price (EUR)
AirNut	PM2.5	0.86	0.88	8.6	black box	Y	commercial	132
PA-I	PM1	0.95	0.92	0.52	black box	N	commercial	132
PA-II	PM1	0.99	0.82	1.8	black box	Y	commercial	176
Egg (2018)	PM1	0.87	0.85	0.095	black box	Y	commercial	219
PATS+	PM2.5	0.96	0.92	0.05	black box	Y	commercial	440
S-500	NO2, O3	0.87	1	0.27	black box	Y	commercial	440
CairClip O3/NO2	O3	0.88	0.88	12	black box	Y	commercial	600
Portable AS-LUNG	PM1	0.89	0.87	1	black box	Y	non commercial	880
AirSensEUR (v.2)	NO2, O3, CO, NO	0.91	0.98	5.7	open source	Y	commercial	1600
Met One (NM)	PM2.5	0.86	1.1	2.8	black box	Y	commercial	1672
Air Quality Station	PM1	0.88	0.9	0.85	black box	Y	non commercial	1760
AQY v0.5	PM2.5	0.87	0.97	4	black box	updated	commercial	2640
Vaisala AQT410 v.1.15	CO	0.87	0.97	0.23	black box	Y	commercial	3256
2B Tech. (POM)	O3	1	1	0.74	black box	Y	commercial	3960
AQMesh v.3.0	NO	0.87	0.88	0.76	black box	N	commercial	8800

Πίνακας 10 Από την δημοσίευση JRC116534 "Shortlist of sensor systems showing good agreement with reference systems ( $R^2 > 0.85$ ;  $0.8 < slope < 1.2$ ) for 1hour time averaged data."

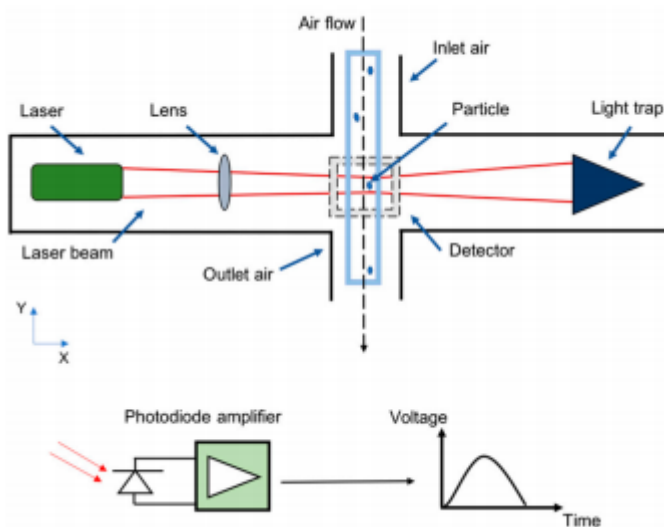
Η Ευρωπαϊκή Ένωση για να παρέχονται ποιοτικές μετρήσεις έχει προβλέψει την Ευρωπαϊκή οδηγία (2008/50/EC) να παρέχει σαφείς οδηγίες για το ποσοστό των δεδομένων που πρέπει να καταγραφούν ανά χρονικό περιθώριο όπως και τη αβεβαιότητα που μπορούν να έχουν. Η αβεβαιότητα για τα σωματίδια πρέπει να είναι 25% όπως και για το βενζόλιο ενώ το όζον το διοξείδιο του αζώτου, το μονοξείδιο του αζώτου και το διοξείδιο του θείου πρέπει να έχουν 15%. Η πληρότητα των δεδομένων πρέπει να είναι τουλάχιστον 90% ενώ το όζον το μονοξείδιο του αζώτου και το διοξείδιο του αζώτου πρέπει να έχουν το 75% τουλάχιστον το καλοκαίρι ενώ το χειμώνα 90%. Υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος των ΗΠΑ καθορίζει τις ακρίβειες των μετρήσεων σαν συγκεκριμένες τιμές για τις μικρές συγκεντρώσεις και όχι σαν ποσοστό. Τα μικροσωματίδια PM10 οι μετρήσεις πρέπει να έχουν αβεβαιότητα 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  για μετρήσεις κάτω των 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και για τις υπόλοιπες μετρήσεις 7%.

Οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή την εργασία θα είναι ο αισθητήρας της Panasonic SN-GCJA5 όπου μετράει μικροσωματίδια και των τριών κατηγοριών δηλαδή PM1.0, PM2.5 όπως επίσης PM10 Χρησιμοποιεί οπτική μέθοδο για τη μέτρηση των σωματιδίων 10% σε όλο το φάσμα των συγκεντρώσεων και επικοινωνεί με πρωτόκολλο I2C και UART. Ο επεξεργαστής όπου



παρέχεται μέσα στον αισθητήρα παρέχει λειτουργία αυτόματου καλιμπραρίσματος για να παρέχει τη μέγιστη ακρίβεια σε όλη τη διάρκεια της ζωής του αισθητήρα όπου υπολογίζεται το 5 χρόνια αδιάκοπης χρήσης. Ένας άλλος αισθητήρας όπου θα χρησιμοποιηθεί είναι ο ZMODO 4510 της Renesas, κάνει μέτρηση όζοντος και οξειδίων του αζώτου με ακρίβεια 15%. Η μόνη επικοινωνία όπου παρέχει αυτός ο αισθητήρας είναι I2C όμως συμπεριλαμβάνει μία εσωτερική μνήμη την αποθήκευση καλιμπραρίσματος όπως επίσης περιέχει αλγόριθμο για υπολογισμό της ποιότητας του αέρα που μετράει.

Ο αισθητήρας μικροσωματιδίων κάνει χρήση φωτός για την καταμέτρηση των σωματιδίων όπου περνάνε εντός του αισθητήρα αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την θεωρία σκέδασης φωτός ,είναι το πρώτο μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει πως διασκορπίζεται το φως όταν αυτό χτυπήσει κάποιο σωματίδιο .Τη συμπεριφορά του φωτός διαφέρει αναλόγως την διάμετρο του σωματιδίου και το μήκος κύματος του φωτός εάν αυτά ισάξια το φως το διαπερνά και διαχέεται από πίσω ενώ αν το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο κατά πολύ της διαμέτρου τότε το φως διασκορπίζεται σε όλες τις κατευθύνσεις. Οπότε οι αισθητήρες αυτής της μορφής έχουμε μία δίοδο laser κάθετα προς την ροή του αέρα να χτυπάει μία φωτοδίοδο όπως διέρχονται τα μικροσωματίδια μαζί με τη ροή του αέρα τα χτυπάει η δέσμη φωτός και η φωτοδίοδος μετράει την δύναμη της διάθλασης όπου γίνεται Και ο επεξεργαστής που υπάρχει στον αισθητήρα παίρνει την τάση που παράγει η φωτοδίοδος και την συγκρίνει για να δει το μέγεθος του μικροσωματιδίου που πέρασε.



Εικόνα 2 Λειτουργία αισθητήρων μικροσωματιδίων με Laser δίοδο

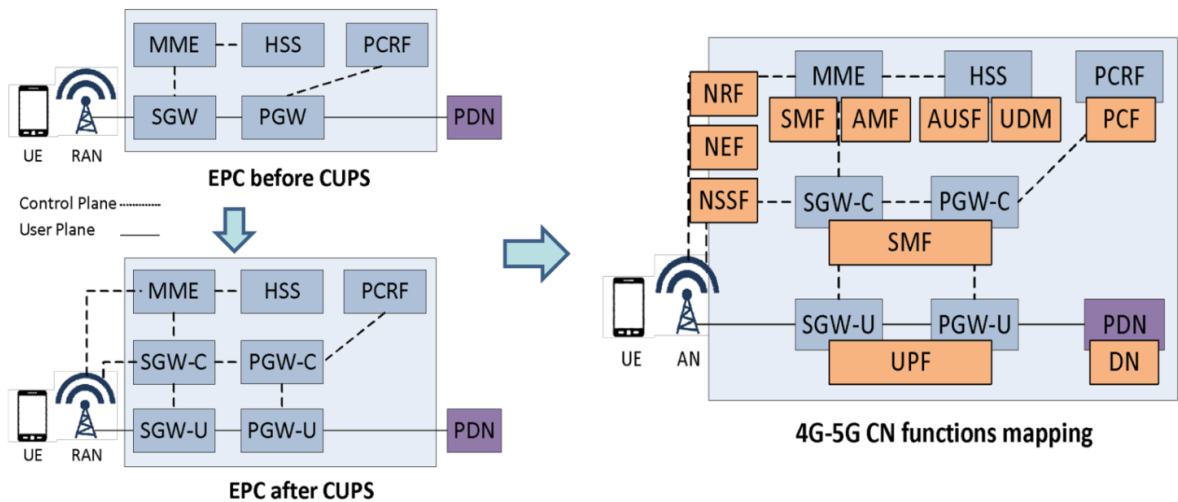
Αντιθέτως ο αισθητήρας ZMODO 4510 κάνει χρήση ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου για τις μετρήσεις και ενός θερμικού όπου η δουλειά του είναι να ζεστάνει το άλλο στοιχείο στην κατάλληλη θερμοκρασία για την βέλτιστη λειτουργία του. Η μέτρηση γίνεται με βάση την μεταβολή της αντίστασης από την κατάσταση ηρεμίας και την κατάσταση όπου ο αισθητήρας έχει εκτεθεί στο χημικό στοιχείο που θέλουμε να μετρήσουμε, για την μέτρηση διοξειδίου του αζώτου το

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT  
ηλεκτροχημικό στοιχείο περιέχει τριοξείδιο του Βολφραμίου ( $WO_3$ ). Στον αισθητήρα επίσης περιέχεται ένα CMOS ολοκληρωμένο για την μέτρηση της αντίστασης και την επεξεργασία των μετρήσεων ώστε να μας επιστρέφει έτοιμα τα δεδομένα χωρίς την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας.

## **OPENAIRINTERFACE ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ 4G ΚΑΙ 5G**

Το openairinterface είναι μία πλατφόρμα όπου δημιουργήθηκε με τη συνεργασία πολλών οργανισμών για τη δημιουργία ανοιχτού λογισμικού με στόχο την υλοποίηση δικτύων ασύρματης τηλεπικοινωνίας αρχικά τετάρτης και τώρα πέμπτης γενιάς, Έτσι δίνεται η δυνατότητα για δημιουργία τέτοιων δικτύων για σκοπούς ανάπτυξης ή έρευνας χωρίς κάποιο μεγάλο πάγιο κόστος σε ελεγχόμενο μέρος χωρίς παρεμβολές. Η πλατφόρμα περιέχει όλο το αναγκαίο λογισμικό όπου χρειάζεται κάποιος να δημιουργήσει το δικό του δίκτυο, από τη μεριά του υλικού χρειάζεται δύο υπολογιστές και ένα SDR (Software defined radio). Ο ένας υπολογιστής τρέχει το λογισμικό του κεντρικού δικτύου (5G Core Network) όπου αναμεταδίδει τα πακέτα ανάμεσα στους κόμβους μετάδοσης όπως και επίσης περιέχει τις ανάγκες λειτουργίας για το δίκτυο όπως και τις πληροφορίες για τους χρήστες. Ο υπολογιστής με το SDR εκτελεί τη λειτουργία του αναμεταδότη και κάνει την διαδικασία της κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης των σημάτων Και στην πλατφόρμα το λογισμικό που εκτελεί αυτή τη λειτουργία ονομάζεται Radio Access Network Project (RAN).

Η πλατφόρμα εξελίσσεται συνεχώς αρχικά υποστήριζα πιο παλιές γενιές τηλεπικοινωνίας και τώρα παρέχει λογισμικό που υποστηρίζει και την πέμπτη γενιά. Το πακέτο που υποστηρίζει την δικτύωση αποτελείται από πολλά διάφορα κομμάτια όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα όπου επίσης φαίνεται η σταδιακή εξέλιξη του πακέτου από την τετάρτη γενιά όπου απεικονίζεται με τα μπλε κουτάκια και της λειτουργίας όπου απαιτούνται για την πέμπτη γενιά με τα πορτοκαλί κελιά.



Εικόνα 3 Λειτουργίες Open Air Interface <https://openairinterface.org/oai-5g-core-network-project/>

## 4G - LTE Λειτουργίες Core Network

### 1. SGW: Serving Gateway

Το Serving Gateway δρομολογεί και προωθεί πακέτα για τον χρήστη ενώ Επίσης δουλεύει σαν συνδετικός κρίκος τις προηγούμενες γενιές τηλεφωνίας. και σε περίπτωση όπου η συσκευή τηλεφωνίας είναι ανενεργή τερματίζει την κατεχόμενη ζεύξη και εάν υπάρξει κάποιο πακέτο για την συσκευή την ξαναενεργοποιεί επίσης διαχειρίζεται και αποθηκεύει παραμέτρους Και επιτρέπει την αναπαραγωγή των κινήσεων όπου κάνει ο χρήστης σε περίπτωση νόμιμης παρακολούθησης

### 2. MME: Mobility Management Entity

Αυτή η λειτουργία είναι υπεύθυνη για την ενεργοποίηση εξοπλισμό χρήστη όταν αυτός είναι σε κατάσταση αναμονής όπως επίσης όταν ο εξοπλισμός συνδέεται στο δίκτυο κάνει την επιλογή του Serving Gateway όπου θα εξυπηρετεί τη συσκευή και αναλαμβάνει τον έλεγχο της ταυτότητάς του χρήστη αλληλεπιδρώντας με το Home Subscriber Server. Το Non Access Stratum (NAS) τερματίζεται σε αυτή τη λειτουργία και διαχειρίζεται τη συνεχή σύνδεση των ενεργών συνδέσεων ενώ οι συσκευές κινούνται ,την διεξαγωγή των κλήσεων κατανομή προσωρινών ταυτοτήτων επίσης γίνεται η διαχείριση των κλειδιών ασφαλείας για την κρυπτογράφηση και προστασία της ακεραιότητας του Non Access Stratum. Το MME παρέχει τη λειτουργία επίπεδου ελέγχου για τις προηγούμενες γενιές τηλεπικοινωνιών και τερματίζεται η διασύνδεση S3 όπως ή διασύνδεση S6a για το roaming και επιτρέπει την νόμιμη παρακολούθηση.

### 3. HSS: Home Subscriber Server

Το Home Subscriber Server (Διακομιστής συνδρομητών) είναι η κεντρική βάση δεδομένων όπου συγκρατεί πληροφορίες για τους χρήστες και για τις συνδρομές, Οι λειτουργίες που παρέχει είναι η διαχείριση κινητικότητας των συσκευών, υποστήριξη για την έναρξη κλήσεων , τον έλεγχο

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT ταυτότητας χρηστών και την διαχείριση της πρόσβασης. Αυτή η λειτουργία βασίζεται Σε προηγούμενες διατάξεις όπως το Home Location Register και Authentication Center.

#### 4. PCRF: Policy and Charging Rules Function

Το Policy and Charging Rules Function (PCRF) είναι κόμβος λογισμικού όπου καθορίζει κανόνες πολιτικής σε πραγματικό χρόνο για ένα δίκτυο πολυμέσων, Αυτό παίζει έναν σημαντικό ρόλο στα δίκτυα της επόμενης γενιάς αντιθέτως με τις προηγούμενες γενιές αυτή η λειτουργία για τους κανόνες της πολιτικής είναι ενσωματωμένη στο πυρήνα του δικτύου και έχει πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων συνδρομητών και σε πιο εξειδικευμένες λειτουργίες. Επειδή η λειτουργία αυτή γίνεται σε πραγματικό χρόνο παρέχει μία στρατηγική σημασία και δημοτικό ρόλο από τα προηγούμενα συστήματα πολιτικής. Αυτό το λογισμικό τοποθετείται στην αρχιτεκτονική του δικτύου για να συγκεντρώνει πληροφορίες όπου χρειάζονται για να γίνει δημιουργία και λήψη αυτόματων αποφάσεων και κάθε χρήστη του δικτύου. Αυτή η λειτουργία Μπορεί να ενσωματωθεί με άλλες λειτουργίες όπως χρέωση και την βάση δεδομένων ή να είναι μία αυτόνομη οντότητα, για το Voice over LTE αν κάνει το ρόλο του διαμεσολαβητή πόρων για το δίκτυο Συστημάτων IP πολυμέσων στόχο την έναρξη των κλήσεων και την κατανομή του εύρους ζώνης για τον φορέα κλήσεων, όπως και αναδιάταξη των προτεραιοτήτων στις κλήσεις για παράδειγμα όπως αυτές που γίνονται σε αριθμούς έκτακτης ανάγκης.

#### 5. PGW: PDN Gateway

Το Packet Data Network Gateway (PDN Gateway, ή PGW) Παρέχει την διασύνδεση μεταξύ των συσκευών σε εξωτερικά δίκτυα δεδομένων παρέχοντας ένα σημείο όπου διεξάγεται όλη αυτή η κίνηση εντός και εκτός του δικτύου, Εφαρμόζει την πολιτική του δικτύου, φιλτράρει τα πακέτα κάθε χρήστη, κάνει την μέτρηση για την χρέωση του χρήστη και παρέχει νόμιμη παρακολούθηση εάν χρειάζεται. Η συσκευή μπορεί να έχει ταυτόχρονη σύνδεση σε πολλές τέτοιες πύλες ώστε να έχει πρόσβαση σε διάφορα δίκτυα πακέτων δεδομένων.

## 5G Λειτουργίες Core Network

### 1. AMF: Access and Mobility Management Function

Είναι ο τερματικός σταθμός της σηματοδότησης NAS Όπου την κρυπτογραφεί και προστατεύει την ακεραιότητα της επίσης διαχειρίζεται τις συσκευές όταν διαγράφονται στο δίκτυο και μετακινούνται στο χώρο όπου χρειάζεται η διαχείριση της σύνδεσης ώστε να επιτρέπει την αλλαγή του κόμβου που λαμβάνει το σήμα άλλη μία λειτουργία που εκτελεί είναι ο έλεγχος ταυτότητας.

2. NEF: Network Exposure Function

Αυτή η λειτουργία παρέχει ασφαλής διασύνδεση μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού του 3GPP δικτύου εκθέτοντας δυνατότητες και μεταβιβάζοντας πληροφορίες.

3. SMF: Session Management Function

Η διαχείριση των συνεδρίων γίνεται εντός αυτής της λειτουργίας, η διαχείριση περιλαμβάνει έναρξη τροποποίηση η απελευθέρωση της συνεδρίας, επίσης αναλαμβάνει την διαχείριση της IP διευθύνσεις των συσκευών , τερματίζει οτιδήποτε είναι σχετικό με τις συνεδρίες για την σηματοδότηση NAS και παρέχει τις σωστές ρυθμίσεις για να γίνει σωστή δρομολόγηση των δεδομένων.

4. NRF: NF Repository Function

Υποστηρίζει την εύρεση υπηρεσιών και διαχειρίζεται το προφίλ των διαθέσιμων λειτουργιών του δικτύου (NF) όπως και την διαθεσιμότητα τους

5. UPF: User Plane Function

Αυτή η λειτουργία υποστηρίζει την προώθηση , επιθεώρηση και δρομολόγηση πακέτων, παρέχει σημείο για την διασύνδεση με το δίκτυο δεδομένων Και τέλος διαχειρίζεται τις μετρήσεις που γίνονται για την ποιότητα του σήματος ώστε να γίνεται σωστή η μεταγωγή του σήματος σε άλλο αναμεταδότη

6. PCF: Policy Control Function

Το PCF κάνει πλήρη υποστήριξη της πολιτικής του δικτύου παρέχοντας κανόνες και λειτουργίες για την σωστή διαχείριση των συνδρομών όπως επίσης παρέχει πρόσβαση σε πληροφορίες συνδρομών για την διεξαγωγή αποφάσεων για την πολιτική του δικτύου στο UDR

7. AUSF: Authentication Server Function

Λειτουργεί ως διακομιστής ελέγχου ταυτοτήτων

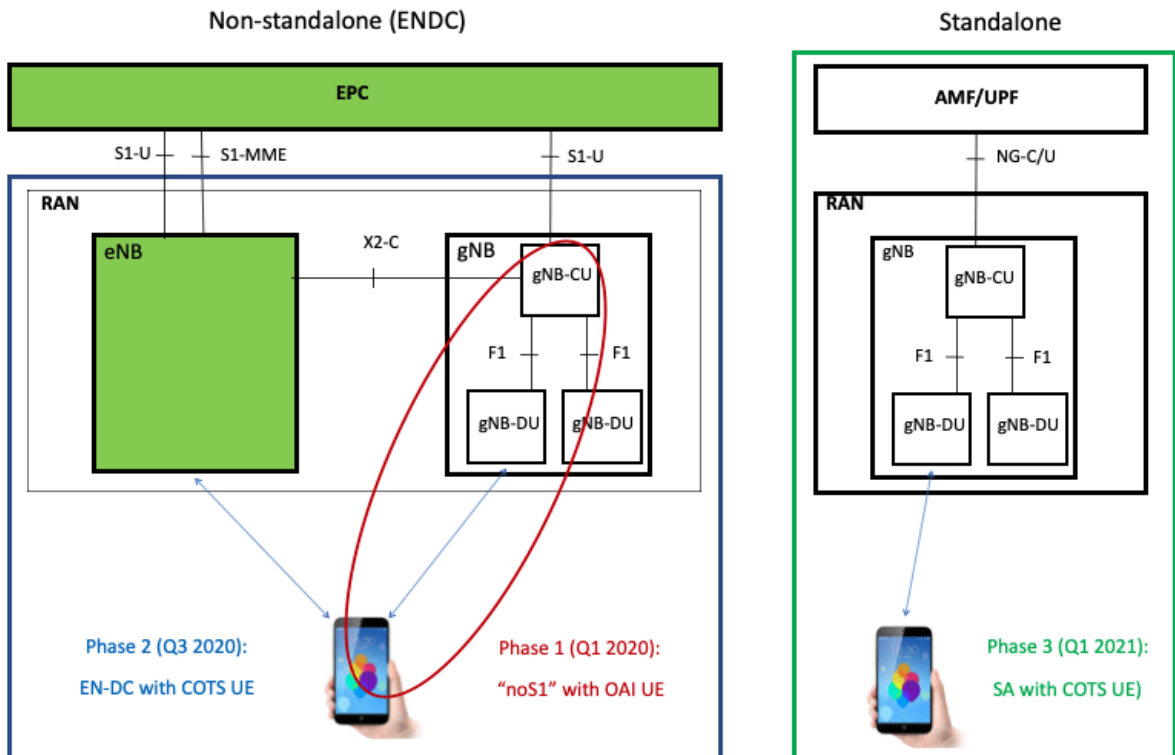
8. UDM: Unified Data Management

Υποστηρίζει την δημιουργία κλειδίων Και πιστοποιητικών για Την εξουσιοδότηση πρόσβασης των συνδρομητών όπως και τον έλεγχο της ταυτότητας τους

9. NSSF: Network Slice Selection Function

Επειδή το δίκτυο μπορεί έχει πολλές λειτουργίες η καθεμία προσδιορίζεται σαν ένα δίκτυο όπου δημιουργείται δυναμικά και αυτή ονομάζεται Network Slice Και αυτή η λειτουργία προσδιορίζει το ανάλογο NS όπου εξυπηρετεί καλύτερα την συσκευή.

## Λειτουργίες αναμεταδότη (gNB)



Εικόνα 4 Λειτουργίες gNB <https://openairinterface.org/oai-5g-ran-project/>

Ο αναμεταδότης ονομάζεται Next Generation base station (gNB) και αποτελείται από ένα gNB-Control Unit (CU) όπου παρέχει λειτουργίες τοποθεσίας, διαχείριση των συνεδρίων και αποστολή των πληροφοριών του χρήστη. Στον αναμεταδότη επίσης περιέχεται τουλάχιστον ένα gNB-Distributed Unit (DU) όπου ελέγχεται από το CU και οι λειτουργίες που εκτελεί είναι ανάλογες τον διαμοιρασμό που γίνεται,<sup>3</sup> λειτουργίες όπου είναι ιδιαίτερες και μερικές προήλθαν από την προηγούμενες γενιές και συνεχίζουν στην πέμπτη είναι οι εξής:

### 1. RRC Radio Resource Control

Εκτελεί το τρίτο επίπεδο στο Osi Μοντέλο όπου είναι το network layer μεταξύ των συσκευών πώς συνδέονται και του αναμεταδότη είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία, τερματισμό και ρύθμιση συνδέσεων.

### 2. PDCP Packet Data Convergence Protocol

Παρέχει συσκευή όπως και υπηρεσίες για τα υψηλότερα επίπεδα όπως για τη μεταφορά δεδομένων χρήστη, συμπίεση κεφαλίδων από πακέτα, κρυπτογράφηση και ανίχνευση σφαλμάτων.

### 3. RLC Radio Link Control

Αποστολή η λήψη πακέτων σε τρεις διαφορετικές λειτουργίες, την αποστολή χωρίς επιβεβαίωση, με επιβεβαίωση και χωρίς καμία επεξεργασία.

Το control unit και το Distributed unit Μπορούν να χωρίσουν τις υποχρεώσεις τους με 8 διαφορετικούς τρόπους ανάλογα την επιλογή μας, με αυτό τον τρόπο μοιράζουν το φόρτο εργασίας μεταξύ τους ώστε να παρέχουν καλύτερη υπηρεσία στις συσκευές αυτοί οι τρόποι είναι οι εξής:

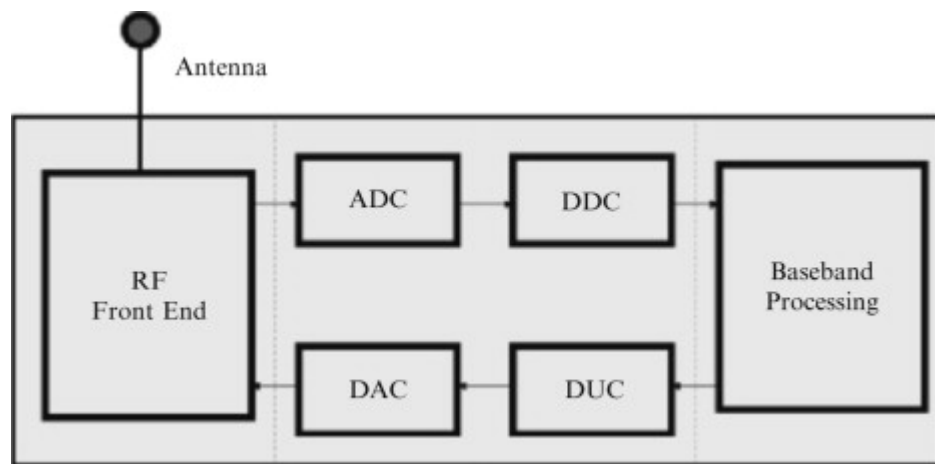


Διαμοιρασμός	CU	DU	
1	RRC	PDCP, RLC, MAC, RF, Physical layer, UPF	
2.1	RRC, PDCP	RLC, MAC, physical layer, RF	
2.2	RRC, PDCP Με διαχωρισμό του PDCP σε δύο λειτουργίες το PD και CP με στόχο την εκτέλεση κάθε λειτουργίας ξεχωριστά σε άλλο CU	RLC, MAC, physical layer, RF	
3.1	RRC, PDCP, High RLC	Low RLC, MAC, physical layer, RF	Low RLC may be composed of segmentation functions High RLC may be composed of ARQ and other RLC functions
3.2	RRC, PDCP, High RLC	Low RLC, MAC, physical layer, RF	Low RLC may be composed of transmitting TM RLC entity, transmitting UM RLC entity, a transmitting side of AM and the routing function of a receiving side of AM, which are related to downlink transmission. High RLC may be composed of receiving TM RLC entity, receiving UM RLC entity and a receiving side of AM except for the routing function and reception of RLC status reports,
4	RRC, PDCP, RLC	MAC, physical layer, RF	
5	RRC, PDCP, RLC, High MAC	Low MAC, physical layer, RF	In High-MAC sublayer the centralized scheduling in the High-MAC sublayer will be in charge of the control of multiple Low-MAC sublayers. It takes high-level centralized scheduling decision. The inter-cell interference coordination in the High-MAC sublayer will be in charge of interference coordination methods such as JP/CS CoMP.  In Low-MAC sublayer the time-critical functions in the Low-MAC sublayer include the functions with stringent delay requirements (e.g., HARQ) or the functions where performance is proportional to latency (e.g., radio channel and signal measurements from PHY, random access control). It reduces the delay requirements on the fronthaul interface. Radio specific functions in the Low-MAC sublayer can for perform scheduling-related information processing and be reporting. It can also measure/estimate the activities on the configured operations or the served UE's statistics and report periodically or as requested to the High-MAC sublayer.
6	RRC, PDCP, RLC, MAC	physical layer, RF	The interface between the CU and DUs carries data, configuration, and scheduling-related information (e.g., MCS, Layer Mapping, Beamforming, Antenna Configuration, resource block allocation, etc.) and measurements.
7.1	PHY functions	UL, FFT, CP removal and possibly PRACH filtering functions	
7.2	rest of PHY functions	UL, FFT, CP removal, resource de-mapping and possibly pre-filtering functions	
7.3 Only for DL	encoder	rest of PHY	
8			This option allows to separate the RF and the PHY layer. This split permit centralization of processes at all protocol layer levels, resulting in very tight coordination of the RAN. This allows efficient support of functions such as CoMP, MIMO, load balancing, mobility.

Πίνακας 11 Διαμοιρασμός λειτουργιών αναμεταδότη πέμπτης γενιάς

## SDR

Τα SDR παρέχουν μία ευέλικτη και φθηνή λύση για την δημιουργία πομποδεκτών βασισμένους πάνω σε λογισμικό και όχι σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα, Η ευελιξία τους δεν είναι μόνο για την εύκολη χρήση τους αλλά παρέχουν μία πλατφόρμα όπου μπορεί να αναδιοργανωθεί για άλλες λειτουργίες όπως και επίσης να προστεθούν διάφορες λειτουργίες στο ήδη υπάρχον πομποδέκτη. Η βασική Αρχή λειτουργίας του το χωρίζει σε πέντε ξεχωριστά εξαρτήματα την κεραία κατάλληλη για τις συχνότητες που θέλουμε να λάβουμε/εκπέμπουμε. Περιέχεται ένα κύκλωμα για τις ραδιοσυχνότητες όπου με χρήση μικτών και άλλων ηλεκτρονικών μετακινείτε το σήμα σε μία ενδιάμεση συχνότητα όπου γίνεται να αξιοποιηθεί από από τα υπόλοιπα υποσυστήματα. για παράδειγμα εάν μιλάμε για λήψη η ενδιάμεση συχνότητα είναι πολύ μικρή ώστε να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε φτηνό ADC για την μετατροπή του σήματος σε ψηφιακή, Ενώ κατά την αποστολή γίνεται το αντίθετο το DAC βγάζει την ενδιάμεση συχνότητα όπου πρέπει να μετακινηθεί προς τα πάνω.



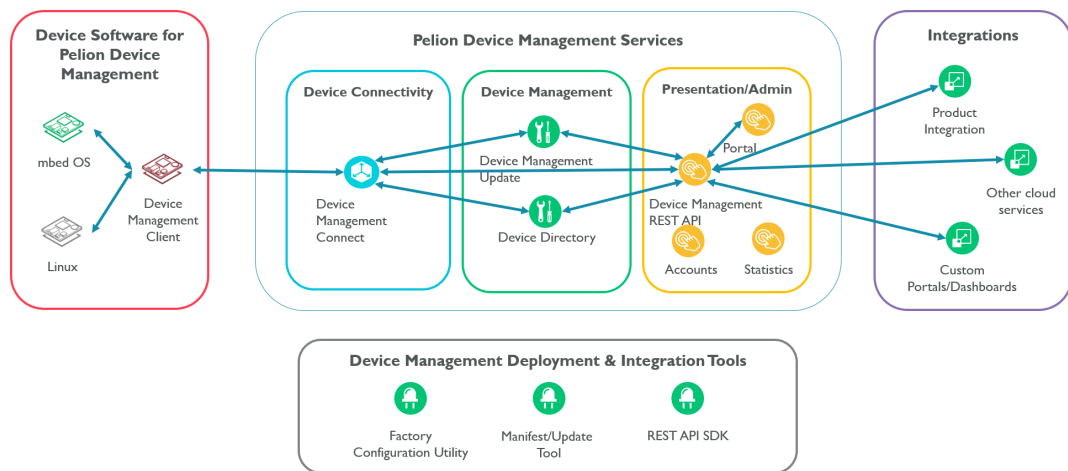
Εικόνα 5 Μπλοκ διαγραμμα λειτουργίας SDR <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/software-defined-radio>

Υπάρχουν ηλεκτρονικά όπου ενσωματώνουν το adc και το dac σε ένα ολοκληρωμένο για παράδειγμα ένα φθηνό και διαδομένο τέτοιο ολοκληρωμένο είναι το AD9363 Όπου περιέχεται στο Adam pluto Και χαρακτηρίζεται για τα δύο κανάλια αποστολής και λήψης το εύρος που μπορεί να συντονιστεί όπου είναι μεταξύ 325MHz εως 3.8GHz και τα 20 MHz bandwidth μπορεί να έχει. Μετά το ADC και το DAC έχουμε την ψηφιακή επεξεργασία του σήματος όπου μεταβάλλει πάλι την συχνότητα αλλά αυτή τη φορά κάνοντας χρήση ψηφιακών μεικτών γνωστή ως baseband frequency καθιστώντας την πολύ πιο εύκολη για επεξεργασία και διαχείριση στο τελευταίο στάδιο όπου είναι η ψηφιακή επεξεργασία. Εκεί γίνεται η αποκωδικοποίηση και κωδικοποίηση των σημάτων, διαμορφωση/ αποδιαμορφωση, παρεμβολή/αποδιαχώρηση. Η κωδικοποίηση χρησιμοποιείται για την διόρθωση σφαλμάτων, περιέχοντας πλεονάζον δεδομένα ώστε ο δέκτης μπορεί να ανακατασκευάσει το αρχικό σήμα αυτό λανθασμένο που έλαβε. Το πιο βαρύ κομμάτι της επεξεργασίας σημάτων είναι η αποκωδικοποίηση διότι έχει πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT μεταφέρει. Το δεύτερο πιο απαιτητικό πράγμα είναι στη φάση της διαμόρφωσης ο υπολογισμός του FFT και IFFT. Όταν το σήμα έχει κωδικοποιηθεί σε ψηφιακή μορφή τότε μπορούμε να το επεξεργαστούμε στον υπολογιστή, επίσης παρέχονται συχνά ολοκληρωμένα FPGA μέσα στη συσκευή του SDR για την χρήση τους ως επιταχύτητες κάποιων επεξεργασιών πάνω στο σήμα ώστε αυτές να γίνονται πιο γρήγορα.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Ο επεξεργαστής που επιλέχθηκε για το κύκλωμα είναι ο STM32L4R5ZUI από την STMicroelectronics, Η επιλογή έγινε με βάση τη μνήμη ο που παρέχει διότι κάνοντας χρήση του NB-IoT θα μπορούμε να αναβαθμίσουμε τις συσκευές απομακρυσμένα ενώ είναι εγκατεστημένες μέσω του δικτύου. Αυτή η λειτουργία ονομάζεται Over-The-Air (OTA) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις απομακρυσμένες αναβαθμίσεις του λογισμικού αλλά και για την παροχή διαφόρων παραμέτρων για τη λειτουργία της συσκευής και τη σύνδεση της στο Server. Μία τέτοια πλατφόρμα για την διεξαγωγή του OTA είναι το Pelion και παρέχεται από την arm μαζί με το λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου MBED που θα τρέχει ο επεξεργαστής.



Εικόνα 6 Μπλοκ διάγραμμα Λειτουργιών Mbed

[https://developer.pelion.com/docs/device-management/v1.5/introduction/images/cloud\\_intro.png](https://developer.pelion.com/docs/device-management/v1.5/introduction/images/cloud_intro.png)

Το Pelion για να κατορθώσει αυτή την ολοκληρωμένη λύση παρέχει υπηρεσίες cloud που υπάρχει η διαχείριση των συσκευών όπως επίσης βιβλιοθήκες για τις συσκευές χωρισμένες σε τρεις λειτουργίες, τη διασύνδεση τους με το σύννεφο υποστηρίζοντας όλες τις δραστηριότητες διαχείρισης και συνδεσιμότητας, την λειτουργία για την εγκατάσταση και διαχείριση ενημερώσεων του λογισμικού και τέλος η λειτουργία για την ταυτοποίηση της συσκευής. Στην πλατφόρμα παρέχεται επίσης τρόπος για ασφαλή επικοινωνία με την συσκευή όπου δίνει την δυνατότητα να εξετάζονται οι πόροι της συσκευής όπως και να αποστέλλονται ειδοποιήσεις από αυτήν, Αυτά τα δεδομένα αποθηκεύονται μαζί μας στατιστικά για την συσκευή όπως είναι ο τύπος και η έκδοση του λογισμικού ημερομηνία όπου συνδέθηκε πρώτη φορά πότε έγιναν οι αναβαθμίσεις όπως και άλλα χαρακτηριστικά όπου θέτουμε εμείς.

Το λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου mbed στοχεύει κυρίως συσκευές για iot λειτουργίες παρέχοντας έτοιμες βιβλιοθήκες διαφόρων περιφερειακών όπου μπορεί να χρειαστεί κάποιο προϊόν με αποτέλεσμα την γρήγορη και εύκολη ανάπτυξη του προϊόντος. Υποστήριξη του

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT λογισμικού γίνεται από εκατοντάδες μικροελεγκτές κυρίως τις STMicroelectronics και της NXP semiconductors και χιλιάδες περιφερειακά διαφόρων κατασκευαστών εναλλακτικά παρέχονται βιβλιοθήκες για γενική χρήση των περιφερειακών όπου υπάρχουν εντός του επεξεργαστή όπως για παράδειγμα των διαφόρων επικοινωνιών που μπορεί να έχει (I2C, SPI κα) δίνοντας μία πολύ καλή βάση για την δημιουργία δικιάς μας βιβλιοθήκης για κάποια περιφερειακό όπου δεν υποστηρίζεται αυτή τη στιγμή. Παρέχονται κώδικες όχι μόνο για τα περιφερειακά όπου μπορεί να έχει η πλακέτα αλλά και για άλλες λειτουργίες όπου είναι καθαρά λογισμικό που θα πρέπει να τρέχει ο επεξεργαστής. Το Mbed παρέχεται σε δύο εκδόσεις την πλήρη έκδοση όπου είναι ένα λογισμικού πραγματικού χρόνου υποστηρίζοντας multithreaded real-time εκτέλεση κώδικα επιτρέποντας στις εφαρμογές και στις βιβλιοθήκες περιφερειακών να βασίζονται στα thread και άλλες λειτουργίες χαρακτηριστικές των RTOS. Η άλλη έκδοση ονομάζεται bare metal ,δεν είναι λογισμικό πραγματικού χρόνου και σχεδιασμένο για εφαρμογές που δεν είναι αναγκαίο η χρήση σύνθετων προγραμμάτων. Στοχεύει τις συσκευές με περιορισμένους πόρους οπότε παρέχει βιβλιοθήκες όσο πιο δυνατόν πιο μικρές με την δυνατότητα να προστατευτούν εάν χρειάζονται.

Άλλα χαρακτηριστικά που παρέχει αυτός επεξεργαστής είναι ο m4 cortex πυρήνας με μέγιστη ταχύτητα 120 MHz, εσωτερικό κρύσταλλο 4 έως 48 MHz, επιταχυντή Chrom-ART για τη γρηγόρη δημιουργία γραφικών ώστε κάνοντας χρήση του ενσωματωμένου LCD-TFT controller να γίνονται εύκολες ,διαδραστικές και σε πραγματικό χρόνο διεπαφές ανθρώπου-μηχανής βασισμένες σε οθόνες. Λόγω του μεγέθους που έχει περιέχει 136 pin όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδο-έξοδοι με αντοχή οι περισσότερες έως τα 5 volt, άλλα περιφερειακά που περιέχονται είναι ο 12 bit adc ,οι 2 DAC των 12 bit και οι 20 διεπαφες επικοινωνίας διαφόρων πρωτοκόλλων.

Για την επικοινωνία του NB-IoT χρησιμοποιήθηκε SARA-N210 κάνει χρήση του 20 καναλιού GSM και στοχεύει εφαρμογές με υψηλό όγκο συσκευών που απαιτούν χαμηλό κόστος όπως επίσης πολύ χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση και κατά την εκπομπή και κατά την αναμονή, Η ονομασία SARA υποδηλώνει το μέγεθος και το σχήμα του ηλεκτρονικού ώστε γίνεται η επιλογή εναλλακτικών με το ίδιο σχήμα. Για παράδειγμα για την μελλοντική αντικατάσταση του ολοκληρωμένου με το N3 δεν είναι τίποτα παρά μόνο η αγορά του, σε επίπεδο λογισμικού και ηλεκτρονικών δεν απαιτείται να γίνει καμία αλλαγή. Τα Άλλα μοντέλα του N2 εξυπηρετούν διαφορετικά κανάλια (5 , 8 , 28) ή συνδυασμό δύο καναλιών 8 και 20. Η σειρά αυτή ακολουθεί την 13 έκδοση του 3GPP που επιτρέπει συσκευή όταν λάβει μήνυμα από το δίκτυο να ζητήσει RRC σύνδεση όπως και βελτιώνει την ποιότητα της επικοινωνίας κατά 20 db. Άλλες λειτουργίες όπου περιέχονται σε αυτή την έκδοση είναι το Power Saving Mode (PSM) που δίνει τη δυνατότητα συσκευή να μεγιστοποιήσει το χρόνο όπου αυτή βρίσκεται σε αδράνεια, το Extended mode DRX αυξάνει το χρόνο μεταξύ της επικοινωνίας με το αναμεταδότη περαιτέρω μειώνοντας την ενεργειακή κατανάλωση.

Περιέχει εσωτερικά της κάποια πρωτόκολλα ώστε να είναι πιο αποδοτική η χρήση του, Υλοποιεί UDP/IP πρωτόκολλο για ενσωματωμένα συστήματα αυτό τον τρόπο παρέχει υποστήριξη για UDP

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT συνδέσεις. Άλλο πρωτόκολλο που υλοποιεί είναι το Constrained Application Protocol (CoAP) σχεδιασμένο για εφαρμογές όπου πρέπει να ανταλλάξουν λίγα δεδομένα χωρίς μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση όπως επίσης πολλά δεδομένα όπου πρέπει να περιέχονται αναγκαστικά λόγω του πρωτοκόλλου, επειδή παρομοιάζει αρκετά το HTTP το ολοκληρωμένο υποστηρίζει και αυτό, παρέχοντας τις GET, PUT, DELETE, POST μεθόδους και στο HTTP και στο CoAP.

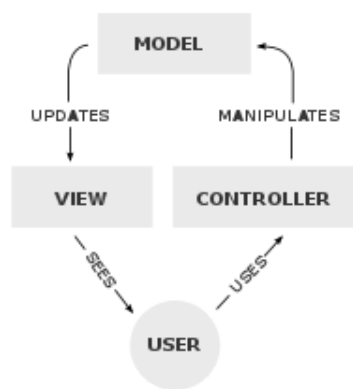
Για να θεωρηθεί έγκυρη μία μέτρηση ποιότητας αέρας επιβάλλεται η μέτρηση των μικροσωματιδίων είτε PM 2.5 είτε PM10 Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε ο αισθητήρας SN-GCJA5 Της Panasonic όπου μετράει και τα δύο και επιπλέον μετράει PM1.Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιεί ένα laser για την εκπομπή φωτός και μία φωτό διοδο για τη λήψη του σήματος, ανάλογα με τη διάθλαση που μετράει η φωτοδίοδος ένας μικροεπεξεργαστής που περιέχεται εντός του αισθητήρα επεξεργάζεται το σήμα και με βάση αλγόριθμο συσχετίζει το σήμα με το μέγεθος των μικροσωματιδίων, και τέλος μας μετατρέπει τη μέτρηση σε μάζας-πυκνότητας ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) μικροσωματιδίων και μας το παρέχει είτε με I2C είτε με UART. Το λέιζερ, η φωτοδίοδος και ο ανεμιστήρας που φυσάει για να περνάει ο αέρας μέσα από τον αισθητήρα σε βάθος χρόνου χάνουν την αποδοτικότητα τους για αυτό το λόγο εντός του μικροεπεξεργαστή περιέχεται αλγόριθμος για Auto Calibration ώστε να παρέχεται συνεχώς η ίδια αξιοπιστία των μετρήσεων για περισσότερο καιρό αυτή η ρουτίνα εκτελείται όταν ο μικροεπεξεργαστής ελέγξει την απόδοση και δεν είναι ικανοποιητική.

Ο δεύτερος αισθητήρας για τη μέτρηση της ποιότητας του αέρα είναι ο ZMOD4510 της Renesas όπου μας κάνει μέτρηση συγκεντρώσεων οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) όπως και του όζοντος ( $\text{O}_3$ ) Επειδή στοχεύει της μέτρησης εξωτερικού χώρου περιέχει αλγόριθμος όπως και υποστηρίζει διεθνή πρότυπα όπως αυτά της υπηρεσίας Environmental Protection Agency (EPA) των ΗΠΑ. Επειδή μέτρησης μας είναι ο αισθητήρας έχουν μονάδα μέτρησης  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  πρέπει να μετατραπεί σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ώστε να γίνει δυνατή η χρήση αυτών των δεδομένων στη μέτρηση της ποιότητας του αέρα, η επικοινωνία με τον κεντρικό επεξεργαστή γίνεται με I2C.

Οι δύο αισθητήρες θα επικοινωνούν με τον επεξεργαστή κάνοντας χρήση του I2C Επειδή έχουν την ίδια διεύθυνση συσκευής (0x33), πρέπει με κάποιο τρόπο να ξεχωρίζουμε τους δύο αισθητήρες ώστε όταν ανταλλάζουμε δεδομένα με τον έναν να μην Απαντάει Και συμμετέχει στην επικοινωνία ο άλλος. Μία λύση θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρονικά διακόπτικα τα στοιχεία ώστε να κάνουν μεταγωγή του σήματος από τον έναν αισθητήρα στον άλλον αναλόγως με ποιον θέλουμε να επικοινωνήσουμε, η λύση που γίνεται στα πλαίσια αυτής της εργασίας είναι πιο απλή Χρησιμοποιεί το πλεόνασμα που έχουμε στους πόρους του επεξεργαστή και κάνει χρήση δύο διαφορετικών καναλιών I2C ώστε να μιλάει ανεξάρτητα και ταυτόχρονα στους δύο αισθητήρες. Στο κύκλωμα θα μπορούσε να προστεθεί ένας δέκτης GPS ώστε να παρέχει τις συντεταγμένες σε πραγματικό χρόνο χωρίς να χρειάζεται να τις εισάγουμε προγραμματιστικά.

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ

Για τη δημιουργία της διαδικτυακής πλατφόρμας χρησιμοποιήθηκε το framework Laravel, είναι ένα δωρεάν ανοικτού κώδικα framework βασισμένο σε php όπου ακολουθεί τη ευρέως διαδεδομένο μοντέλο αρχιτεκτονικής model-view-controller (MVC) όπου χρησιμοποιείται κυρίως για χρήση γραφικών διεπαφών χρήστη. Όπου χωρίζει εφαρμογή σε τρία κομμάτια το πρώτο κομμάτια, το controller δέχεται ενέργειες από το χρήστη στέλνει εντολές στο μοντέλο ώστε να εκτελεστούν κάποιες λειτουργίες, το μοντέλο περιέχει τα δεδομένα και ενημερώνει το controller και το view για τις αλλαγές τους, το view περιέχει τον τρόπο όπου τα δεδομένα θα παρουσιαστούν γραφικά στο χρήστη.



Εικόνα 7 Διάγραμμα λειτουργίας μοντελου MVC

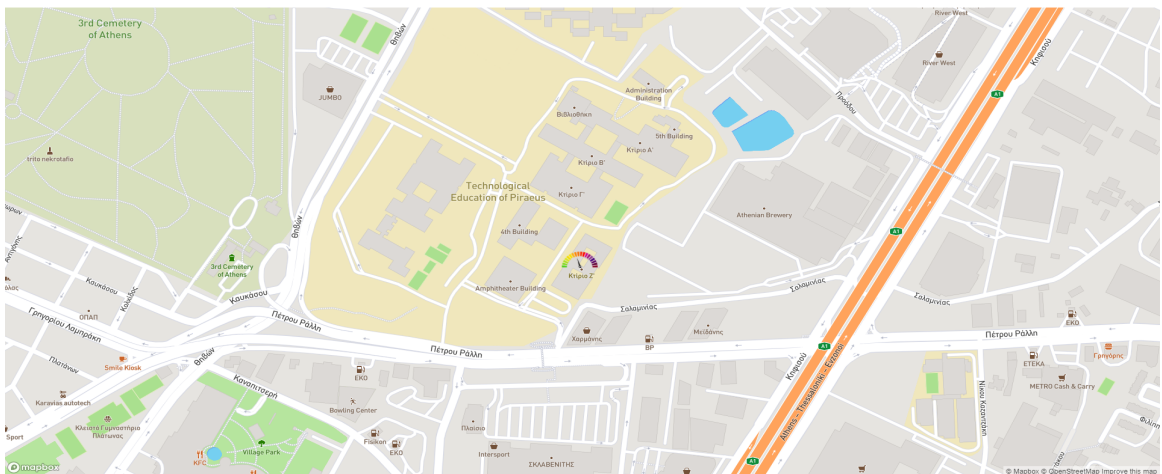
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a0/MVC-Process.svg/200px-MVC-Process.svg.png>

Τα δεδομένα λαμβάνονται από την πλατφόρμα σε μορφή JavaScript Object Notation (Json) είναι μία ευρέως διαδεδομένη μορφή αποστολής και αποθήκευσης δεδομένων ελαφριά και ευανάγνωστη από τον άνθρωπο, Αυτά μπορεί να περιέχονται σε δύο μορφές είτε σε μορφή πίνακα όπως είναι και σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού είτε ως συλλογή όπου υπάρχουν ζευγάρια ονομασιών και τιμών. Η εφαρμογή λαμβάνει τα δεδομένα στη διεύθυνση "/postdata" Όπου εκεί περιμένει Json με την εξής μορφή:

```
{"UUID":"aa872e0c-48e5-4f32-8765-e2d6a7eae299",
"GPSX":"37.977459","GPSY":"23.673335","data":{"CO": "45"}}
```

Το uuid είναι ο ξεχωριστός κωδικός για κάθε συσκευή όπου παράγεται κατά την εγγραφή της στην πλατφόρμα, το GPSX και GPSY είναι οι συντεταγμένες όπου βρίσκεται η συσκευή και μπορούν να

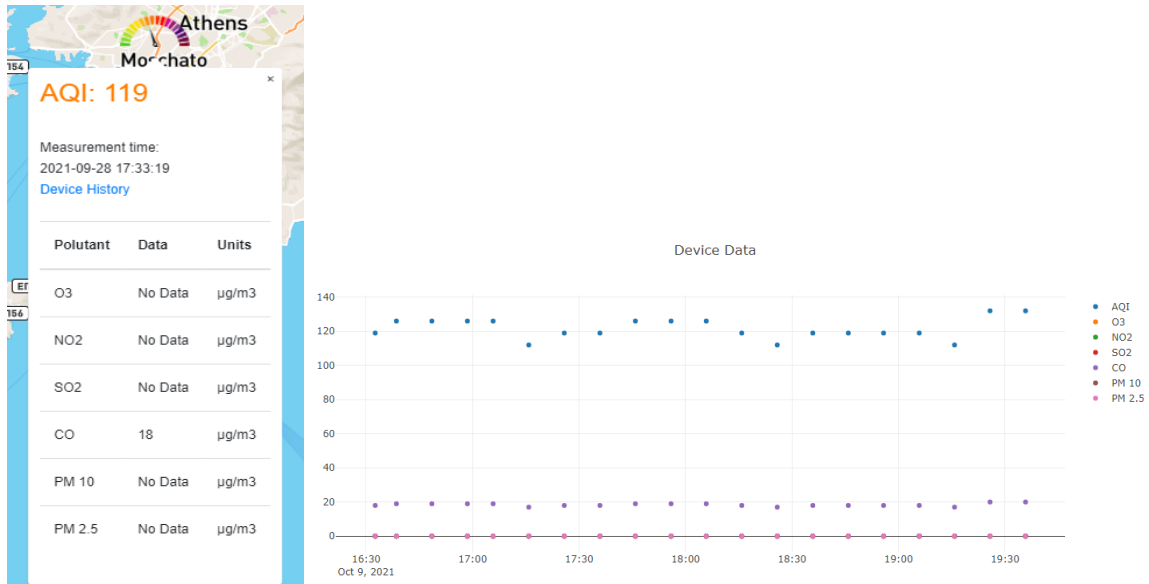
Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT οριστούν στη συσκευή ως μεταβλητές κατά τον προγραμματισμό της η μπορεί να τοποθετηθεί σε αυτήν ένας πομποδέκτης GPS για να παρέχει σε πραγματικό χρόνο την τοποθεσία της, έπειτα έχουμε το πεδίο data με περιεχόμενο τις μετρήσεις των αισθητήρων και υποστηρίζει τις μετρήσεις του όζοντος (O3), το διοξείδιο του αζώτου (NO2), διοξείδιο του θείου (SO2), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και μικροσωματίδια (PM10 και PM2.5). Το πακέτο με αυτή τη μορφή δεν είναι αναγκαίο να σταλεί μέσω δικτύου NB-IoT η εφαρμογή δέχεται οτιδήποτε html post με το σωστό Json format στην διεύθυνση είτε αυτό προέρχεται από NB-IoT, WiFi, Ethernet ή κάποιο πρόγραμμα που μεσολαβεί και κάνει την μεταγλώττιση όπως αυτό που αναπτύχθηκε στα βοηθητικά προγράμματα.



Εικόνα 8 Φωτογραφία απο το διαδραστικό χάρτη της πλατφόρμας

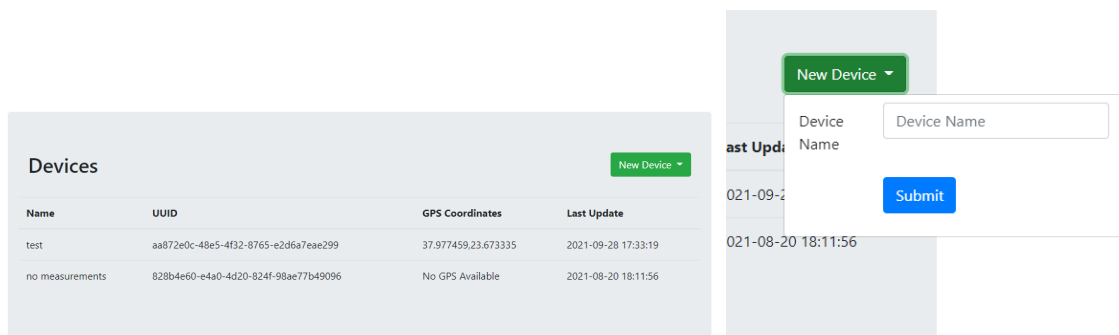
Αρχικά όταν ένας χρήστης εισέρχεται στην πλατφόρμα βλέπει τον διαδραστικό πίνακα όπου ενεργά αναβαθμίζονται και ενημερώνονται οι συσκευές, για να προβληθούν σε αυτό το χάρτη οι συσκευές θα πρέπει να έχουν στείλει ορθά δεδομένα το τελευταίο εικοσιτετράωρο. Ο χάρτης αυτός είναι διαδραστικός και ο χρήστης μπορεί πλοηγηθεί στην τοποθεσία που θέλει και έπειτα να μεγεθύνει καλύτερα σε αυτό το σημείο. Εάν κάποιος Κόμβος τον ενδιαφέρει τότε μπορεί να τον επιλέξει κάνοντας αριστερό κλικ πάνω του και να δει τις πρόσφατες μετρήσεις του κόμβου και αν θέλει να δει επιπλέον πληροφορίες δίνεται η δυνατότητα πατώντας στο device history να δει το ιστορικό του.





Εικόνα 9 Φωτογραφία από τα δεδομένα του κόμβου της πλατφόρμας

Υπάρχει δυνατότητα εγγραφής στην πλατφόρμα όπου ένας χρήστης όταν εισέλθει μπορεί να μπει στο dashboard για να δημιουργήσει κι άλλες συσκευές ενώ επίσης μπορεί δει τις συσκευές του μαζί με την τοποθεσία ,την τελευταία ώρα οπου η συσκευή έστειλε δεδομένα και το uuid όπου της όρισε η πλατφόρμα.



Εικόνα 11 Φωτογραφία από το Dashboard

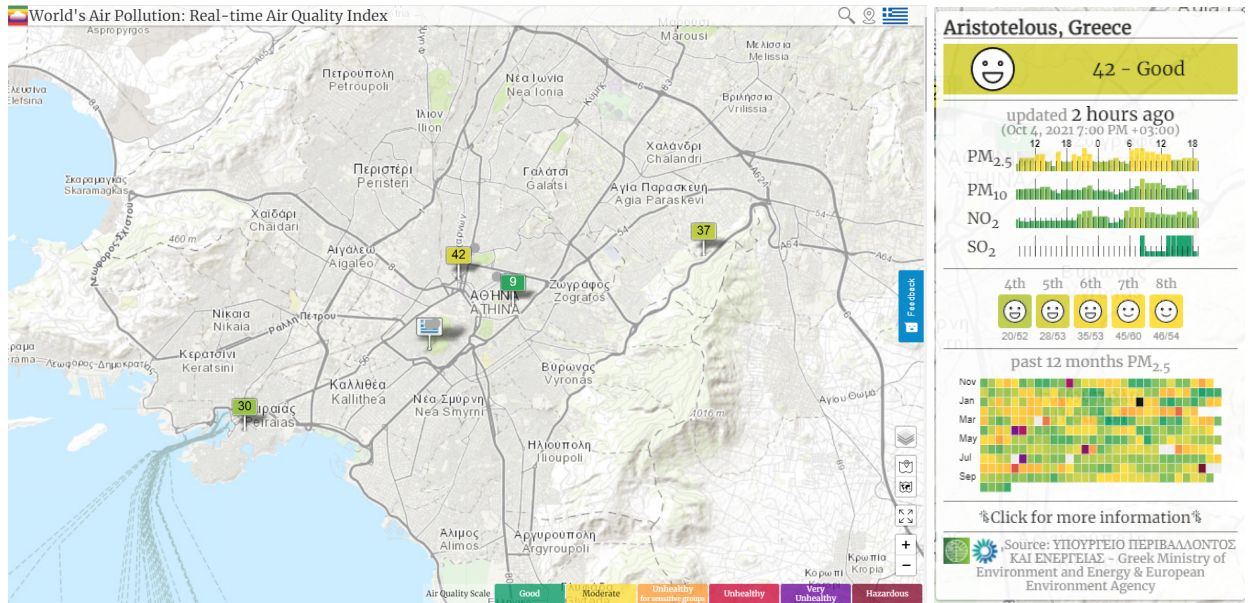
### Βοηθητικά προγράμματα

Για την διεξαγωγή της ανάπτυξης δημιουργήθηκαν μερικά προγράμματα για την υποστήριξη της, η γλώσσα που χρησιμοποιήθηκε ήταν Pythοn όπου χαρακτηρίζεται από το υψηλό επίπεδο προγραμματισμού που παρέχει και την ευκολία χρήσης. Στα αρχικά στάδια της πλατφόρμας με χρήση της γινόταν η αποστολή ψεύτικων δεδομένων στην πλατφόρμα για δοκιμαστικούς λόγους, έπειτα για την υποστήριξη κάποιων δοκιμαστικών συσκευών αναπτύχθηκε πρόγραμμα που λαμβάνει δεδομένα από συσκευές με χρήση του πρωτοκολλου MQTT και τα προωθεί στην

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT πλατφόρμα. Το MQTT είναι ένα ελαφρύ πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών, ο διακομιστής ονομάζεται message broker και οι συσκευές clients. Ο κάθε client δηλώνει στο διακομιστή ποια topic θέλει να ακούει, αυτά έχουν τη λειτουργία ως διαφορετικά κανάλια και με αυτόν τον τρόπο ξέρει ποιιά δεδομένα να δρομολογήσει σε ποια συσκευή.

### **Άλλες πλατφόρμες**

Υπάρχουν και άλλες πλατφόρμες μέτρησης ποιότητας όπου εκτός από την διαδικτυακή πύλη που παρέχουν στα δεδομένα μερικές έχουν και τον εξοπλισμό. Η πιο ολοκληρωμένη λύση δίνεται από την GAIA όπου διαθέτει τις συσκευές προς ενοικίαση ανά μήνα ή ανά έτος και η πλατφόρμα προβολής των δεδομένων βρίσκεται στο <https://waqi.info/>. Εκεί προβάλλονται οι διαθέσιμοι κόμβοι μετα δεδομένα για τον τελευταίο χρόνο μαζί με τα δεδομένα που μέτρησε το τελευταίο εικοσιτετράωρο και την ποιότητα αέρα όπου έχει το σημείο, η πλατφόρμα επίσης συλλέγει δεδομένα από άλλες αξιόπιστες υπηρεσίες.



Εικόνα 10 Χάρτης Πλατφορμας Wagı <https://waqi.info/#/c/37.979/23.73/12.5z>

Οι κόμβοι όπου δίνονται προς ενοικίαση περιέχουμε τρεις αισθητήρες μικροσωματιδίων και έναν αισθητήρα είτε όζοντος είτε διοξειδίου του άνθρακα με στόχο να παρέχουν ελάχιστα δεδομένα που χρειάζονται για την μέτρηση της ποιότητας αέρα, συνδέονται με wi-fi στο διαδίκτυο με αποτέλεσμα την ανάγκη για ένα δίκτυο κοντά. Η τροφοδοσία γίνεται με 5 volt και όλη η συσκευή θωρακίζεται σε πλαστικό κουτί ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες.



Εικόνα 11 Κόμβος GAIA <https://aqicn.org/gaia/>

Επειδή η συσκευή παρέχεται με τη μορφή “hardware-as-a-service” Είναι νοικιάζουμε η ανά χρόνο ήταν ένα μήνα η τιμή του μήνα είναι περίπου 8 με 10 ευρώ ενώ το έτος είναι 90 με 120 αναλόγως

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT τον τύπο που θα πάρουμε. Αυτή η ενοικίαση μας παρέχει μία καινούργια συσκευή κάθε 2 χρόνια δωρεάν για την καλύτερη ποιότητα των δεδομένων που μετράνε οι αισθητήρες.

Ένας άλλος τρόπος απόκτησης δεδομένων για την ποιότητα του αέρα είναι η απόκτηση τους από την Ευρωπαϊκή πλατφόρμα Copernicus, σε αυτή μπορούμε να βρούμε εκτός από δεδομένα για την ποιότητα αέρα μπορούμε να βρούμε πληθώρα μετρήσεων διαφόρων παραμέτρων του περιβάλλοντος για παράδειγμα αέρια που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την ισχύ του ήλιου που φτάνει στη γη κ.α. Τα δεδομένα που παρέχονται είναι για όλο τον πλανήτη και διατίθενται δωρεάν σε ημερήσια βάση με μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία, συλλέγονται από δορυφόρους χρηματοδοτημένους από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτό το πρόγραμμα έχει τεθεί σε πλήρη λειτουργία από το 2014 σταδιακά από τότε τίθενται σε λειτουργία παραπάνω δορυφόροι με την δυνατότητα μέτρησης πιο εξειδικευμένων παραμέτρων.

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Μία τέτοια συσκευή χαμηλού κόστους λύση μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη σωστή διαχείριση των βλαβερών ουσιών που εκπέμπουμε στο περιβάλλον διότι θα μπορεί να τοποθετηθεί ανά περιοχή ή και πιο πυκνά διότι το κόστος μιας τέτοιας συσκευής ανέρχεται περίπου στα 150 ευρώ. Αυτό θα δώσει τη δυνατότητα μέτρησης της αποδοτικότητας των ενεργειών για την μείωση των ρύπων που έχουν γίνει σε άμεσο χρόνο σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και σε “μικροσκοπικό” επίπεδο δηλαδή ανά τετράγωνο εάν έχουν εγκατασταθεί αρκετές τέτοιες συσκευές. Δεν χρειάζεται συσκευές να είναι εγκατεστημένες ένα τετράγωνο αλλά θα μπορεί να εφαρμοστεί τεχνολογία τεχνητής νοημοσύνης ώστε να δημιουργεί και να συμπληρώνει δεδομένα ενδιάμεσα από τους κόμβους. Η πλατφόρμα που δημιουργήθηκε επιτρέπει την χρήση και άλλων τρόπων επικοινωνίας για την συλλογή των δεδομένων από τους κόμβους, διότι βασίζεται σε διαδικτυακή εφαρμογή χωρίς κάποιες τροποποιήσεις η αποστολή μπορεί να γίνει είτε από WiFi είτε Ethernet.

## Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- 5G NETWORKS (2020). *5G NR gNodeB Functional Split : CU DU split*. [online] 5G Networks. Available at: <https://www.5g-networks.net/5g-technology/gnodeb-gnb-cu-du-split/>.
- Abelsohn, A. and Stieb, D.M. (2011). Health effects of outdoor air pollution: Approach to counseling patients using the Air Quality Health Index. *Canadian Family Physician*, [online] 57(8), pp.881–887. Available at: <https://www.cfp.ca/content/57/8/881.full> [Accessed 17 Oct. 2021].
- AirNow (n.d.). *AQI Basic | AirNow.gov*. [online] [www.airnow.gov](http://www.airnow.gov). Available at: <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>.
- Akeela, R. and Dezfouli, B. (2018). Software-defined Radios: Architecture, state-of-the-art, and challenges. *Computer Communications*, 128, pp.106–125.
- Alfano, B., Barretta, L., Del Giudice, A., De Vito, S., Di Francia, G., Esposito, E., Formisano, F., Massera, E., Miglietta, M.L. and Polichetti, T. (2020). A Review of Low-Cost Particulate Matter Sensors from the Developers' Perspectives. *Sensors (Basel, Switzerland)*, [online] 20(23), p.6819. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7730878/> [Accessed 17 Oct. 2021].
- Arm Ltd (n.d.). *404-123 – Arm®*. [online] Arm | The Architecture for the Digital World. Available at: [https://www.arm.com/-/media/global/products/iot/Pelion%20IoT%20Platform/Arm\\_Pelion\\_Product\\_Overview.pdf?revision=72f1038c-1992-45d2-ac19-f52b93bc4593](https://www.arm.com/-/media/global/products/iot/Pelion%20IoT%20Platform/Arm_Pelion_Product_Overview.pdf?revision=72f1038c-1992-45d2-ac19-f52b93bc4593) [Accessed 22 Oct. 2021].
- BehrTech. (2018). *6 Leading Types of IoT Wireless Technologies | BehrTech Blog*. [online] Available at: <https://behrtech.com/blog/6-leading-types-of-iot-wireless-tech-and-their-best-use-cases/>.
- Bertenyi, B., Burbidge, R., Masini, G., Sirotkin, S. and Gao, Y. (2018). NG Radio Access Network (NG-RAN). *Journal of ICT Standardization*, 6(1), pp.59–76.
- Bloomenthal, A. (2019). *How the Coefficient of Determination Works*. [online] Investopedia. Available at: <https://www.investopedia.com/terms/c/coefficient-of-determination.asp>.
- BLUETOOTH (2016). *Covered Core Package Version: 5.0 Public a t i o n D a t e : Dec 06 2016 Specification of the Bluetooth System Core System Package [Low Energy Controller volume]*. [online] Available at: [https://inst.eecs.berkeley.edu/~ee290c/sp18/note/BLE\\_Vol6.pdf](https://inst.eecs.berkeley.edu/~ee290c/sp18/note/BLE_Vol6.pdf) [Accessed 17 Oct. 2021].
- Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A. and Zorzi, M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), pp.60–67.
- Collins, T., Getz, R., Pu, D. and Wyglinski, A. (2018). *Software-Defined Radio for Engineers*. [online] Analog Devices. Available at: <https://www.analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/Software-Defined-Radio-for-Engineers-2018/SDR4Engineers.pdf>.
- Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) (2019). *Homepage | Copernicus*. [online] Copernicus.eu. Available at: <https://atmosphere.copernicus.eu/>.

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT

Davies, R. (2015). *Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth*. [online] Available at:  
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS\\_BRI\(2015\)568337\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf).

Department for Environment, F. and R.A. (Defra) [webmaster@defra.gsi.gov.uk](mailto:webmaster@defra.gsi.gov.uk) (n.d.). *EU Standard Methods for monitoring and UK Approach- Defra, UK*. [online] [uk-air.defra.gov.uk](http://uk-air.defra.gov.uk). Available at:  
<https://uk-air.defra.gov.uk/networks/monitoring-methods?view=eu-standards>.

Dryjanski, M. (2018). *5G Core Network Functions*. [online] Grandmetric. Available at:  
<https://www.grandmetric.com/2018/03/02/5g-core-network-functions/> [Accessed 17 Oct. 2021].

Eged, B. and Babják, B. (n.d.). *Universal Software Defined Radio Development Platform*. [online] Available at:  
<https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Meeting%20Proceedings/RTO-MP-IST-062/MP-IST-062-11.pdf> [Accessed 22 Oct. 2021].

Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) (2020). *THE EUROPEAN TABLE OF FREQUENCY ALLOCATIONS AND APPLICATIONS IN THE FREQUENCY RANGE 8.3 kHz to 3000 GHz (ECA TABLE)*. [online] Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT). Available at:  
<https://docdb.cept.org/download/2ca5fcbd-4090/ERCReport025.pdf> [Accessed 17 Oct. 2021].

Elshabrawy, T. and Robert, J. (2019). Interleaved Chirp Spreading LoRa-Based Modulation. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), pp.3855–3863.

ETSI (2017). *Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1 000 MHz; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement*. [online] Etsi. Available at:  
[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/300200\\_300299/30022001/03.01.01\\_60/en\\_30022001v030101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300200_300299/30022001/03.01.01_60/en_30022001v030101p.pdf) [Accessed 17 Oct. 2021].

ETSI (2018). *5G; System Architecture for the 5G System (3GPP TS 23.501 version 15.2.0 Release 15)*. [online] Available at:  
[https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/123500\\_123599/123501/15.02.00\\_60/ts\\_123501v150200p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123500_123599/123501/15.02.00_60/ts_123501v150200p.pdf).

European Commission (2010). *Standards - Air Quality - Environment - European Commission*. [online] Europa.eu. Available at:  
<https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>.

European Commission - European Commission. (2017). *Press corner*. [online] Available at:  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_17\\_238](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_17_238).

Frankenfield, J. (2021). *Artificial Intelligence (AI)*. [online] Investopedia. Available at:  
<https://www.investopedia.com/terms/a/artificial-intelligence-ai.asp>.

Fujino, N., Ogawa, K. and Minowa, M. (2016). Wireless Network Technologies to Support the Age of IoT. *FUJITSU Sci. Tech. J*, [online] 52(4), pp.68–76. Available at:  
<https://www.fujitsu.com/global/documents/about/resources/publications/fstj/archives/vol52-4/paper10.pdf> [Accessed 17 Oct. 2021].

Ghosh, A., Ratasuk, R., Mondal, B., Mangalvedhe, N. and Thomas, T. (2010). LTE-advanced: next-generation wireless broadband technology [Invited Paper. *IEEE Wireless Communications*, 17(3), pp.10–22.

- Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT
- Gislason, D. (2008). *Zigbee Wireless Networking* | *ScienceDirect*. [online] [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Available at: <https://www.sciencedirect.com/book/9780750685979/zigbee-wireless-networking?via=ihub> [Accessed 17 Oct. 2021].
- GSMA (2020). *Industry's first security microcontrollers with Trusted Firmware-M, Arm Mbed OS and Pelion IoT platform for a complete IoT lifecycle management solution*. [online] Membership. Available at: <https://www.gsma.com/membership/resources/industrys-first-security-microcontrollers-with-trusted-firmware-m-arm-mbed-os-and-pelion-iot-platform-for-a-complete-iot-lifecycle-management-solution/> [Accessed 22 Oct. 2021].
- Gulia, S., Prasad, P., Goyal, S.K. and Kumar, R. (2020). Sensor-based Wireless Air Quality Monitoring Network (SWAQMN) - A smart tool for urban air quality management. *Atmospheric Pollution Research*, 11(9), pp.1588–1597.
- Gupta, R. (2015). (PDF) *A Comparative Study of Various Generations in Mobile Technology*. [online] ResearchGate. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/288903833\\_A\\_Comparative\\_Study\\_of\\_Various\\_Generations\\_in\\_Mobile\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/288903833_A_Comparative_Study_of_Various_Generations_in_Mobile_Technology).
- Health Effects Institute (2010). *Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects*. [online] Health Effects Institute. Available at: <https://www.healtheffects.org/publication/traffic-related-air-pollution-critical-review-literature-emissions-exposure-and-health>.
- Heydon, R. (n.d.). *Bluetooth Low Energy*. [online] Available at: <https://www.cl.cam.ac.uk/teaching/1819/MobSensSys/mobile-10.pdf> [Accessed 17 Oct. 2021].
- Holma, H. and Toskala, A. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. [online] *Google Books*. John Wiley & Sons. Available at: [https://books.google.gr/books?id=uhr3KwSww2kC&pg=PA19&dq=LTE-advanced&hl=sv&cd=1&redir\\_esc=y#v=onepage&q=LTE-advanced&f=false](https://books.google.gr/books?id=uhr3KwSww2kC&pg=PA19&dq=LTE-advanced&hl=sv&cd=1&redir_esc=y#v=onepage&q=LTE-advanced&f=false) [Accessed 17 Oct. 2021].
- I-Scoop (2015). *Industry 4.0: the Fourth Industrial Revolution - Guide to Industrie 4.0*. [online] i-SCOOP. Available at: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>.
- i-SCOOP (n.d.). *NB-IoT explained: a complete guide to Narrowband-IoT*. [online] i-SCOOP. Available at: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/lpwan/nb-iot-narrowband-iot/>.
- Iota Communications, Inc. (2020). *Four Types Of IoT Wireless Networks» Iota Communications, Inc.* [online] Available at: <https://www.iotacommunications.com/blog/types-of-iot-networks/>.
- Kagermann, H., Wahlster, W. and Helbig, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. [online] Available at: [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/Final\\_report\\_\\_Industrie\\_4.0\\_accessible.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf).
- kaggle.com. (n.d.). *Calculating AQI (Air Quality Index) Tutorial*. [online] Available at: <https://www.kaggle.com/rohanrao/calculating-aqi-air-quality-index-tutorial> [Accessed 17 Oct. 2021].
- Kaltenberger, F. (2019). *OpenAirInterface 5G Overview, Installation, Usage Unleashing the potential of open-source in the 5G arena*. [online] Available at: [https://www.openairinterface.org/docs/workshop/8\\_Fall2019Workshop-Beijing/Training/2019-12-03-KALTENBERGER-1.pdf](https://www.openairinterface.org/docs/workshop/8_Fall2019Workshop-Beijing/Training/2019-12-03-KALTENBERGER-1.pdf) [Accessed 17 Oct. 2021].

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT

Kim, S., Lee, H. and Jeon, S. (2020). An Adaptive Spreading Factor Selection Scheme for a Single Channel LoRa Modem. *Sensors (Basel, Switzerland)*, [online] 20(4), p.1008. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7070984/> [Accessed 17 Oct. 2021].

Kumar, N.V.R., Praveen, B.S.B., Reddy, A.V.S. and Sam, B.B. (2017). *Study on IOT with reference of M2M and WiFi*. [online] IEEE Xplore. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8070754> [Accessed 17 Oct. 2021].

Lee, J., Bagheri, B. and Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, [online] 3(1), pp.18–23. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384631400025X>.

Lethaby, N. (2017). *Wireless connectivity for the Internet of Things: One size does not fit all*. [online] Texas Instruments. Available at: [https://www.ti.com/lit/wp/swry010a/swry010a.pdf?ts=1615952923051&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.co.in%252F](https://www.ti.com/lit/wp/swry010a/swry010a.pdf?ts=1615952923051&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.co.in%252F) [Accessed 17 Oct. 2021].

LoRa Alliance (2020). *LoRa and LoRaWAN: Technical overview | DEVELOPER PORTAL*. [online] Semtech.com. Available at: <https://loro-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/loro-and-lorawan/>.

Marcel, J. (2020). *How Bluetooth Technology Uses Adaptive Frequency Hopping to Overcome Packet Interference*. [online] Bluetooth® Technology Website. Available at: <https://www.bluetooth.com/blog/how-bluetooth-technology-uses-adaptive-frequency-hopping-to-overcome-packet-interference/>.

Mathworks (n.d.). *Downlink Physical Channels - MATLAB & Simulink*. [online] www.mathworks.com. Available at: <https://www.mathworks.com/help/lte/downlink-physical-channels.html> [Accessed 17 Oct. 2021].

Mathworks (n.d.). *Uplink Physical Channels - MATLAB & Simulink*. [online] www.mathworks.com. Available at: <https://www.mathworks.com/help/lte/uplink-physical-channels.html> [Accessed 17 Oct. 2021].

Mbed (n.d.). *Free open source IoT OS and development tools from Arm | Mbed*. [online] os.mbed.com. Available at: <https://os.mbed.com/> [Accessed 22 Oct. 2021].

Microsoft (n.d.). *ASP.NET MVC Pattern | .NET*. [online] Microsoft. Available at: <https://dotnet.microsoft.com/apps/aspnet/mvc#:~:text=MVC%20is%20a%20design%20pattern> [Accessed 22 Oct. 2021].

Microsoft.com. (2019). *What is PaaS? Platform as a Service | Microsoft Azure*. [online] Available at: <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-paas/>.

Mohan, V. (2018). *10 Things About LoRaWAN & NB-IoT: An IoT Comparison*. [online] blog.semtech.com. Available at: <https://blog.semtech.com/title-10-things-about-lorawan-nb-iot> [Accessed 17 Oct. 2021].

Monostori, L. (2018). Cyber-Physical Systems. *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*, [online] pp.1–8. Available at: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-35950-7\\_16790-1](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-35950-7_16790-1) [Accessed 22 Jul. 2020].

Morgan, J. (2014). *A Simple Explanation Of “The Internet Of Things.”* [online] Forbes. Available at: <https://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2014/05/13/simple-explanation-internet-things-that-anyone-can-understand/?sh=60ead7d41d09> [Accessed 17 Oct. 2021].



- Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT  
Mozilla (n.d.). *MVC*. [online] MDN Web Docs. Available at: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Glossary/MVC>.
- Mozilla (n.d.). *Working with JSON*. [online] MDN Web Docs. Available at:  
<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/JavaScript/Objects/JSON>.
- MQTT (n.d.). *MQTT - The Standard for IoT Messaging*. [online] mqtt.org. Available at: <https://mqtt.org/>.
- Neog, P. and Bera, R. (2017). *Multi-standard radio for 2G to 5G*. [online] IEEE Xplore. Available at:  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8343496> [Accessed 17 Oct. 2021].
- Oracle (n.d.). *What is big data? | Oracle*. [online] www.oracle.com. Available at: <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/>.
- Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (2005). *WORLD VEHICLES IN USE -ALL VEHICLES*. [online]  
Available at: <https://www.oica.net/wp-content/uploads/total-inuse-2013.pdf>.
- Otwell, T. (2015). *Laravel - The PHP Framework For Web Artisans*. [online] Laravel.com. Available at: <https://laravel.com/>.
- Panasonic (2021). *SN-GCJA5 Particulate Matter Laser Sensor*. [online] Mouser. Available at:  
[https://gr.mouser.com/datasheet/2/315/panasonic\\_08262019\\_Sensor\\_Laser\\_Part particulate\\_Matter-1628325.pdf](https://gr.mouser.com/datasheet/2/315/panasonic_08262019_Sensor_Laser_Part particulate_Matter-1628325.pdf).
- Paper, W. (2014). *NetWorld 2020 ETP Expert Working Group on Next Generation of Wireless Networks Chair: Emilio Calvanese Strinati, CEA-LETI*. [online] Available at:  
<https://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/5/317105/080/deliverables/001-D15Annex6NextGenerationofWirelessNetworksWhitePaper.pdf> [Accessed 17 Oct. 2021].
- Pelion (n.d.). *Home*. [online] Pelion. Available at: <https://pelion.com/> [Accessed 22 Oct. 2021].
- Petajajarvi, J., Mikhaylov, K., Roivainen, A., Hanninen, T. and Pettissalo, M. (2015). *On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology*. [online] IEEE Xplore. Available at:  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7377400> [Accessed 17 Oct. 2021].
- Postscapes. (2019). *IoT Standards & Protocols Guide | 2019 Comparisons on Network, Wireless Comms, Security, Industrial*. [online] Available at: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-protocols/>.
- railways, U.-I. union of (2021). *GSM-R*. [online] UIC - International union of railways. Available at:  
<https://uic.org/rail-system/gsm-r/> [Accessed 17 Oct. 2021].
- Rawat, A.S., Rajendran, J., Ramiah, H. and Rana, A. (2020). *LoRa (Long Range) and LoRaWAN Technology for IoT Applications in COVID-19 Pandemic*. [online] IEEE Xplore. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9213067> [Accessed 31 Mar. 2021].
- Ray, B. (2018). *What Is LoRa? A Technical Breakdown*. [online] www.link-labs.com. Available at:  
<https://www.link-labs.com/blog/what-is-lora>.
- Renesas Electronics Corporation (2021). *Gas Sensor Module for OAQ targeting NO2 & O3 ZMOD4510 Datasheet*. [online]  
Available at: <https://www.renesas.com/us/en/document/dst/zmod4510-datasheet> [Accessed 22 Oct. 2021].

- Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT RF Wireless World (n.d.). *MIB SIB Information Blocks in LTE-NB or NB-IoT*. [online] www.rfwireless-world.com. Available at: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/MIB-SIB-information-Blocks-in-LTE-NB-IoT.html> [Accessed 17 Oct. 2021].
- Rohde & Schwarz (2016). *Bluetooth Adaptive Frequency Hopping on a R&S CMW Application Note*. [online] Available at: [https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1c108/1C108\\_0e\\_Bluetooth\\_BR\\_EDR\\_AFH.pdf](https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1c108/1C108_0e_Bluetooth_BR_EDR_AFH.pdf) [Accessed 17 Oct. 2021].
- Roth, G. (2013). *Bluetooth Wireless Technology*. [online] Stanford.edu. Available at: <http://large.stanford.edu/courses/2012/ph250/roth1/>.
- Salvador, S. and Salvador, E. (2012). *Air Quality Index (AQI) Air Quality Communication Workshop*. [online] Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/zell-aqi.pdf>.
- Seller, O.B.A. and Sornin, N. (2013). *Low power long range transmitter*. [online] Google patents. Available at: <https://patents.google.com/patent/EP2763321A1/en> [Accessed 17 Oct. 2021].
- Sensirion (2021). *Datasheet SPS30 Particulate Matter Sensor for Air Quality Monitoring and Control*. [online] Available at: [https://www.sensirion.com/fileadmin/user\\_upload/customers/sensirion/Dokumente/9.6\\_Part particulate\\_Matter/Datasheets/Sensirion\\_PM\\_Sensors\\_Datasheet\\_SPS30.pdf](https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/9.6_Part particulate_Matter/Datasheets/Sensirion_PM_Sensors_Datasheet_SPS30.pdf).
- Shuaib, K., Boulmal, M., Sallabi, F. and Lakas, A. (2006). *Co-existence of Zigbee and WLAN - a performance study*. [online] IEEE Xplore. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1666534> [Accessed 17 Oct. 2021].
- Smith, K. (2019). *Arm Announces Pelion IoT Platform, Combining Mbed Device Management with Data Management - News*. [online] www.allaboutcircuits.com. Available at: <https://www.allaboutcircuits.com/news/arm-announces-pelion-iot-platform-mbed-device-management-data-management/> [Accessed 22 Oct. 2021].
- STMicroelectronics (n.d.). *STM32L4R5/S5 - STMicroelectronics*. [online] www.st.com. Available at: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32l4r5-s5.html> [Accessed 22 Oct. 2021].
- Taha, W.M., Taha, A.-E.M. and Thunberg, J. (2020). What is a Cyber-Physical System? *Cyber-Physical Systems: A Model-Based Approach*, pp.3–18.
- Techplayon (2019). *5G NR gNB Higher Layer Split (HLS) - Techplayon*. [online] www.techplayon.com. Available at: <https://www.techplayon.com/5g-nr-gnb-higher-layer-split-hls/> [Accessed 17 Oct. 2021].
- techplayon (2018). *NB-IOT - Physical Broadcast Channel (NPBCH) - Techplayon*. [online] www.techplayon.com. Available at: <https://www.techplayon.com/narrow-band-physical-broadcast-channel-npbch/> [Accessed 17 Oct. 2021].
- THE COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2005). *COMMISSION COMMISSION DECISION of 11 July 2005 on the harmonised use of radio spectrum in the 5 GHz frequency band for the implementation of wireless access systems including radio local area networks (WAS/RLANs) (notified under document number C(2005) 2467) (Text with EEA relevance)*. [online] Available at: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:187:0022:0024:EN:PDF> [Accessed 17 Oct. 2021].

Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT

THE COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2007). *COMMISSION COMMISSION DECISION of 12 February 2007 amending Decision 2005/513/EC on the harmonised use of radio spectrum in the 5 GHz frequency band for the implementation of Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks (WAS/RLANs) (notified under document number C(2007) 269) (Text with EEA relevance)*. [online] Available at:  
<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:041:0010:0010:EN:PDF> [Accessed 17 Oct. 2021].

Ublox (2016). *SARA-N2 series*. [online] u-blox. Available at: <https://www.u-blox.com/en/product/sara-n2-series> [Accessed 22 Oct. 2021].

Ud Din Arshad, Q.K., Kashif, A.U. and Quershi, I.M. (2019). *A Review on the Evolution of Cellular Technologies*. [online] IEEE Xplore. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8667173> [Accessed 4 Aug. 2021].

United States Environmental Protection Agency (2021). *AQI Breakpoints | Air Quality System | US EPA*. [online] aqs.epa.gov. Available at: [https://aqs.epa.gov/aqsweb/documents/codetables/aqi\\_breakpoints.html](https://aqs.epa.gov/aqsweb/documents/codetables/aqi_breakpoints.html).

W3Schools (2019). *JSON Introduction*. [online] W3schools.com. Available at: [https://www.w3schools.com/js/js\\_json\\_intro.asp](https://www.w3schools.com/js/js_json_intro.asp).

What is Platform-as-a-Service (PaaS)? | Cloudflare. (n.d.). *Cloudflare*. [online] Available at:  
<https://www.cloudflare.com/learning/serverless/glossary/platform-as-a-service-paas/>.

Wikipedia Contributors (2019a). *Artificial intelligence*. [online] Wikipedia. Available at:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial\\_intelligence](https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence).

Wikipedia Contributors (2019b). *Cloud computing*. [online] Wikipedia. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud\\_computing](https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud_computing).

Wikipedia Contributors (2019c). *Coefficient of determination*. [online] Wikipedia. Available at:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient\\_of\\_determination](https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_determination).

Wikipedia Contributors (2019d). *Ethernet*. [online] Wikipedia. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet>.

Wikipedia Contributors (2019e). *IEEE 802.3*. [online] Wikipedia. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.3](https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.3).

Wikipedia Contributors (2019f). *Model–view–controller*. [online] Wikipedia. Available at:  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Model%E2%80%93view%E2%80%93controller>.

Wikipedia Contributors (2019g). *MQTT*. [online] Wikipedia. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/MQTT>.

Wikipedia Contributors (2019h). *Python (programming language)*. [online] Wikipedia. Available at:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Python\\_\(programming\\_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language)).

Wikipedia Contributors (2019i). *Software-defined radio*. [online] Wikipedia. Available at:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined\\_radio](https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_radio).

Wikipedia Contributors (2021). *System Architecture Evolution*. [online] Wikipedia. Available at:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/System\\_Architecture\\_Evolution](https://en.wikipedia.org/wiki/System_Architecture_Evolution).

www.json.org. (n.d.). *JSON*. [online] Available at: <https://www.json.org/json-en.html>.

- Σχεδίαση και Ανάπτυξη Συστήματος Δικτύου Μέτρησης Ποιότητας Αέρα με Χρήση Τεχνολογίας Ασύρματης Διασύνδεσης NB-IoT  
www.sciencedirect.com. (n.d.). *Cyber Physical Systems - an overview | ScienceDirect Topics*. [online] Available at:  
<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/cyber-physical-systems>.
- www.sciencedirect.com. (n.d.). *Cyber-Physical Systems - an overview | ScienceDirect Topics*. [online] Available at:  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cyber-physical-systems>.
- www.sciencedirect.com. (n.d.). *Software Defined Radio - an overview | ScienceDirect Topics*. [online] Available at:  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/software-defined-radio>.
- Xu, L.D., Xu, E.L. and Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), pp.2941–2962.
- Zhong, R.Y., Xu, X., Klotz, E. and Newman, S.T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, [online] 3(5), pp.616–630. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917307130>.
- Zigbee (2019). *Zigbee - Zigbee Alliance*. [online] Zigbee Alliance. Available at: <https://zigbeealliance.org/solution/zigbee/>.