



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**  
**Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των**  
**Υπολογιστών**  
**Ειδίκευση Υλικού και Υπολογιστικών Συστημάτων,**  
**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Δημιουργία σπιρομέτρου με κινητό τηλέφωνο»**

**Απόστολος Α. Σαρημιχαηλίδης**  
**A.M. mcse19022**

**Εισηγητής: Ιωάννης Κουμπούρος**

**(Κενό φύλλο)**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Δημιουργία σπιρομέτρου με κινητό τηλέφωνο**

**Απόστολος Α. Σαρημιχαηλίδης  
Α.Μ. mcse19022**

**Εισηγητής:**

**Ιωάννης Κουμπούρος**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

**Αντώνιος Μπόγρης**

**Βασίλειος Μάμαλης**

**Ημερομηνία εξέτασης 5/7/2021**

**(Κενό φύλλο)**

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σαρημιχαηλίδης Απόστολος του Αναστασίου, με αριθμό μητρώου 19022 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία της Πληροφορικής και των Υπολογιστών» του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

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

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι **5/7/2022** και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών



**(Κενό φύλλο)**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω, πρώτα απ' όλα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κουμπούρο Ιωάννη γιατί μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο, για τη βοήθεια και την υποστήριξη του, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία με στήριξε και μου συμπαραστάθηκε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και ειδικά την σύζυγό μου Μαρία για την παρότρυνση, την υπομονή και την κατανόηση που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

**(Κενό φύλλο)**



## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην σχεδίαση και ανάπτυξη ενός φορητού συστήματος σπιρομετρίας (σπιρομέτρησης) χαμηλού κόστους, που αποτελείται από τη συσκευή σπιρομέτρησης και την εφαρμογή για κινητό τηλέφωνο.

## **ABSTRACT**

This thesis concerns the design and development of a portable low-cost spirometry system, consisting of the spirometer device and the application for mobile phone.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Βιοϊατρική Τεχνολογία  
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: σπιρόμετρο, κινητό τηλέφωνο, κινητή υγεία

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>14</b>
1.1 Περιγραφή του αντικειμένου της διπλωματικής εργασίας .....	14
1.2 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας .....	14
<b>2. ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΙΑ (ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗ) .....</b>	<b>15</b>
2.1 Στοιχεία Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) .....	15
2.2 Τι είναι σπιρομετρία, τι είναι σπιρόμετρο .....	16
2.2.1 Τι μετράει.....	17
2.2.2 Τεχνική .....	19
2.2.3 Ποιότητα.....	21
2.2.4 Διόρθωση body temperature, pressure, water vapor saturated (BTPS). 21	
2.3 Εξοπλισμός (σπιρόμετρα) .....	22
2.3.1 Φορητά σπιρόμετρα που κυκλοφορούν στην αγορά .....	24
2.3.2 Προδιαγραφές .....	24
<b>3. ΚΙΝΗΤΗ ΥΓΕΙΑ (mHealth) .....</b>	<b>26</b>
3.1 Ο ορισμός της κινητής υγείας.....	27
3.2 Η κινητή υγεία σήμερα.....	27
3.3 Τομείς της κινητής υγείας .....	28
3.4 Πιστοποίηση εφαρμογών κινητής υγείας .....	29
<b>4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΛΥΣΗ .....</b>	<b>30</b>
4.1 Θεωρία .....	30
4.2 Υλοποίηση .....	32

4.3	Υλικό .....	33
4.3.1	Διάταξη μέτρησης bypass.....	33
4.3.2	Αγωγός Ροής Αέρα .....	35
4.3.3	Ολοκληρωμένος αισθητήρας μέτρησης διαφορικής πίεσης .....	36
4.3.3.1	Ακολουθίες I <sup>2</sup> C .....	38
4.3.4	Μετατροπέας USB σε I <sup>2</sup> C .....	39
4.3.5	Περιγραφή κυκλώματος.....	41
4.3.6	Κατάλογος υλικών.....	42
4.3.7	Βαθμονόμηση .....	43
4.3.7.1	Βαθμονόμηση με γνωστή ροή .....	43
4.3.7.2	Βαθμονόμηση με γνωστό όγκο .....	47
4.3.8	Προδιαγραφές.....	51
4.3.9	Αποτελέσματα.....	51
4.3.10	Τρόποι βελτίωσης.....	51
4.4	Λογισμικό .....	52
4.4.1	Βάση δεδομένων.....	52
4.4.2	User Interface.....	53
4.4.2.1	Οθόνη Pulmo-Gain:.....	54
4.4.2.2	Οθόνη Spirograph: .....	55
4.4.2.3	Οθόνη Settings:.....	56
4.4.2.4	Οθόνη History:.....	57
4.4.2.5	Αρχείο report.pdf .....	58
<b>5.</b>	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'</b> .....	<b>60</b>
<b>6.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>65</b>

**(Κενό φύλλο)**

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Σύγκριση του δικού μας σπιρομέτρου με κάποια εμπορικά.....	24
Πίνακας 4.1: Κατάλογος Υλικών.....	42
Πίνακας 4.2: Προδιαγραφές.....	51

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Καμπύλη εισπνοής-εκπνοής.....	18
Σχήμα 4.1: Δομικό διάγραμμα.....	32
Σχήμα 4.2: Διάταξη Bypass.....	33
Σχήμα 4.3: Χαρακτηριστική καμπύλη Διαφορικής Πίεσης/Ροής αέρα.....	34
Σχήμα 4.4: Διαστάσεις του αγωγού.....	36
Σχήμα 4.5: Ο “master” στέλνει εντολή 16-bit στον SDP800.....	38
Σχήμα 4.6: Ο “master” λαμβάνει πολλές λέξεις 16bit με CRC byte.....	38
Σχήμα 4.7: Σχηματικό διάγραμμα.....	41
Σχήμα 4.8: Καμπύλη σχέσης ρυθμού ροής και διαφορικής πίεσης.....	44
Σχήμα 4.9: Καμπύλη σχέσης ρυθμού ροής/τετραγωνικής ρίζας διαφορικής πίεσης και η καμπύλη προσέγγισης με κόκκινο χρώμα.....	44
Σχήμα 4.10 Βελτιστοποιημένη βάση δεδομένων.....	53

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Σπιρομετρία. Αρχείο:Spirometry NIH.jpg, Wikipedia, CC.....	20
Εικόνα 2.2 Σπιρόμετρο στροβίλου MIR Smart One [4].....	23
Εικόνα 2.3 Σπιρόμετρο υπερήχων SpiroTube Mobile Edition [5].....	23
Εικόνα 4.1: Σπιρόμετρο σε κινητό τηλέφωνο.....	31

<b>Εικόνα 4.2:</b> Δοκιμαστικοί αγωγοί ροής .....	35
<b>Εικόνα 4.3:</b> Ο αισθητήρας SDP800 .....	37
<b>Εικόνα 4.4:</b> Δοκιμαστικές πλακέτες USB σε I <sup>2</sup> C.....	39
<b>Εικόνα 4.5:</b> Τα Fuses του μικροελεγκτή .....	40
<b>Εικόνα 4.6:</b> Μετρήσεις με βαθμονομημένη σύριγγα 3-L .....	46
<b>Εικόνα 4.7:</b> Καταγραφή μετρήσεων με σύριγγα 2,2 L για τον υπολογισμό του πολυωνύμου .....	48
<b>Εικόνα 4.8:</b> Μετρήσεις με βαθμονομημένη σύριγγα 3-L .....	50
<b>Εικόνα 4.9:</b> Οθόνη Pulmo-Gain .....	54
<b>Εικόνα 4.10:</b> Οθόνη Spirograph .....	55
<b>Εικόνα 4.11:</b> Οθόνη Settings .....	56
<b>Εικόνα 4.12:</b> Οθόνη History .....	57
<b>Εικόνα 4.13:</b> Report.pdf .....	58

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

<b>FEV1</b>	Forced Expiratory Volume in 1 s
<b>FVC</b>	Forced Vital Capacity
<b>VC</b>	Vital Capacity
<b>PEF</b>	Peak Expiratory Flow
<b>IVC</b>	Inspiratory Vital Capacity
<b>BTPS</b>	Body Temperature, Pressure, water vapor Saturated

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### **1.1 Περιγραφή του αντικειμένου της διπλωματικής εργασίας**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εντάσσεται στην προσπάθεια που γίνεται τα τελευταία χρόνια για την ανάπτυξη της κινητής υγείας (mobile health ή mHealth). Αντικείμενό της είναι η δημιουργία σπιρομέτρου με τη χρήση κινητού τηλεφώνου. Κάτι τέτοιο θα προσφέρει την ευκαιρία έγκαιρης εξέτασης ακόμη και σε απομακρυσμένα σημεία. Επίσης, θα καταστήσει τη σπιρομέτρηση οικονομικότερη, άρα πιο προσιτή σε ανθρώπους χαμηλού εισοδήματος.

Η λύση που πραγματεύεται η παρούσα εργασία αφορά τόσο τη συσκευή όσο και την απαραίτητη εφαρμογή.

#### **1.2 Οργάνωση διπλωματικής εργασίας**

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η σπιρομετρία. Τι είναι, πως γίνεται, σε ποιους απευθύνεται, τι εξυπηρετεί.

Στο κεφάλαιο 3 εξετάζεται ο τομέας της κινητής υγείας. Τι είναι, ποιες είναι οι εφαρμογές της, ποιες είναι οι προοπτικές.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η τεχνολογική λύση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΙΑ (ΣΠΙΡΟΜΕΤΡΗΣΗ)

#### 2.1 Στοιχεία Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ)

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας [1]:

Οι χρόνιες αναπνευστικές παθήσεις (Chronic respiratory diseases - CRDs) είναι ασθένειες των αεραγωγών και άλλων δομών του πνεύμονα. Μερικές από τις πιο συχνές είναι η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ), το άσθμα, οι επαγγελματικές ασθένειες των πνευμόνων και η πνευμονική υπέρταση. Εκτός από τον καπνό του τσιγάρου, άλλοι παράγοντες κινδύνου περιλαμβάνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση, τις χημικές ουσίες και σκόνες, καθώς και συχνές λοιμώξεις του κατώτερου αναπνευστικού κατά την παιδική ηλικία. Οι CRDs δεν είναι ιάσιμες, ωστόσο, διάφορες μορφές θεραπείας που βοηθούν στη διάταση των κύριων διόδων του αέρα και στη βελτίωση της δύσπνοιας μπορούν να βοηθήσουν στον έλεγχο των συμπτωμάτων και στην αύξηση της ποιότητας ζωής των ατόμων με την ασθένεια.

Οι θεραπείες για κάθε χρόνια αναπνευστική νόσο ποικίλλουν και η ιδανική λύση είναι η μείωση και η αποφυγή παραγόντων κινδύνου. Ούτε το άσθμα ούτε η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια μπορούν να θεραπευτούν, αλλά οι θεραπείες μπορούν να μειώσουν τα συμπτώματα, να αποτρέψουν την κλιμάκωση και να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής.

Η κατάλληλη διαχείριση του άσθματος μέσω φαρμάκων, όπως τα εισπνεόμενα κορτικοστεροειδή, μπορεί να ελέγξει την εξέλιξη της νόσου και να μειώσει τους θανάτους. Καθημερινά απαιτείται μακροχρόνια φαρμακευτική αγωγή για άτομα με επίμονα συμπτώματα και πρέπει να αποφεύγονται οι συνθήκες ενεργοποίησης.

Η χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια επιβεβαιώνεται από μια δοκιμή σπιρομετρίας, η οποία μετρά πόσο γρήγορα ένα άτομο μπορεί να εκπνέει βίαια αέρα. Τα συμπτώματα



μπορούν να αντιμετωπιστούν με ιατρικές και φυσικές θεραπείες. Ωστόσο, με τη ΧΑΠ σε άτομα που καπνίζουν, η πιο αποτελεσματική διαθέσιμη θεραπεία είναι η διακοπή του καπνίσματος. Αυτό μπορεί να επιβραδύνει την εξέλιξη της νόσου και να μειώσει τους θανάτους που σχετίζονται με τη ΧΑΠ.

---

*235 εκατομμύρια άνθρωποι υποφέρουν από το άσθμα, μια κοινή ασθένεια στα παιδιά. [1]*

*> 90% των θανάτων ΧΑΠ εμφανίζονται σε χώρες χαμηλού εισοδήματος και μεσαίου εισοδήματος. [1]*

*> 3 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν κάθε χρόνο από τη ΧΑΠ, το 6% όλων των θανάτων παγκοσμίως [1]*

---

Είναι προφανές λοιπόν, ότι τόσο η έγκαιρη διάγνωση όσο και η συνεχής παρακολούθηση μέσω έγκαιρων και τακτικών, ανά περίπτωση, σπιρομετριών έχουν τεράστια βαρύτητα.

Εμπόδια όπως η απόσταση από εξειδικευμένα εξεταστικά κέντρα/ιατρούς και το κόστος των συσκευών (σπιρόμετρα) θα πρέπει να αντιμετωπιστούν.

## **2.2 Τι είναι σπιρομετρία, τι είναι σπιρόμετρο**

Σύμφωνα με το European Respiratory Journal [2]:

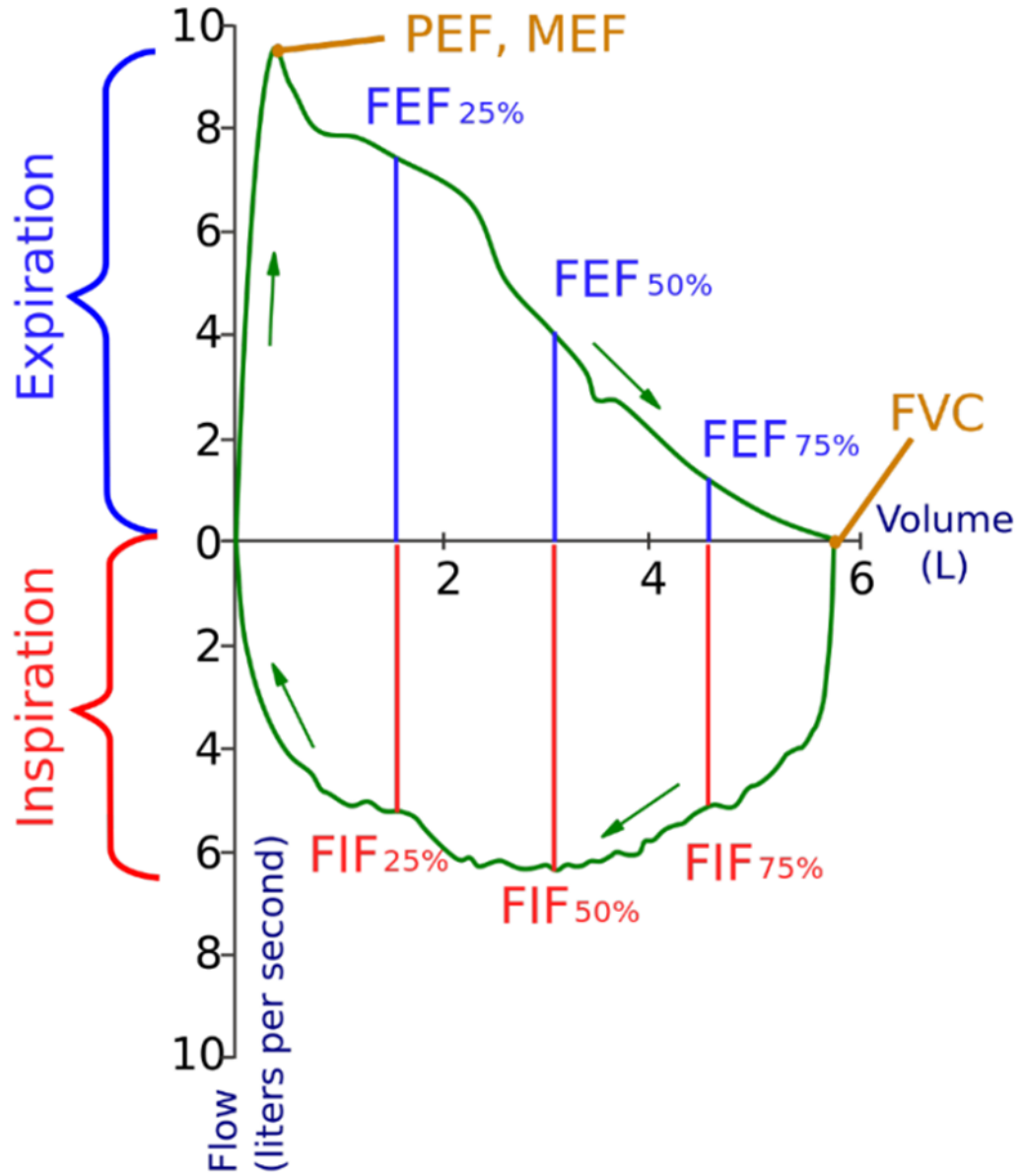
Η σπιρομετρία είναι ο όρος που δίνεται στις βασικές δοκιμασίες πνευμονικής λειτουργίας που μετρούν τον αέρα που εισπνέεται και εκπνέεται. Υπάρχουν τρεις βασικές σχετικές μετρήσεις: όγκος, χρόνος και ροή. Η σπιρομετρία είναι αντικειμενική, μη επεμβατική, ευαίσθητη στις πρώιμες αλλαγές και αναπαραγώγιμη. Με τη διαθεσιμότητα

φορητών μετρητών μπορεί να εκτελεστεί σχεδόν οπουδήποτε και με τη σωστή εκπαίδευση, μπορεί να εκτελεστεί από οποιονδήποτε. Πραγματοποιείται για τον εντοπισμό της παρουσίας ή της απουσίας πνευμονικής νόσου, ποσοτικοποίηση της πνευμονικής ανεπάρκειας, παρακολούθηση των επιπτώσεων των επαγγελματικών / περιβαλλοντικών εκθέσεων και προσδιορισμό των επιδράσεων των φαρμάκων.

### 2.2.1 Τι μετράει

Οι σπιρομετρικές μετρήσεις (Σχήμα 2.1) περιλαμβάνουν τα ακόλουθα [2]:

1. Αναγκαστικός όγκος εκπνοής σε 1 s (Forced expiratory volume in 1 s - FEV1)
2. Αναγκαστική ζωτική χωρητικότητα (Forced vital capacity - FVC): η μέγιστη ποσότητα αέρα που μπορεί να εκπνεύσει όταν φυσάει όσο το δυνατόν γρηγορότερα και δυνατότερα
3. Ζωτική χωρητικότητα (Vital capacity - VC): η μέγιστη ποσότητα αέρα που μπορεί να εκπνεύσει όταν φυσάει σταθερά
4. Αναλογία FEV1 / FVC
5. Μέγιστη εκπνευστική ροή (Peak expiratory flow - PEF): η μέγιστη ροή που μπορεί να εκπνεύσει όταν φυσήξει πολύ δυνατά με σταθερό ρυθμό
6. Αναγκαστική εκπνευστική ροή, επίσης γνωστή ως μέση εκπνευστική ροή. Δίνονται οι τιμές στα 25%, 50% και 75% FVC
7. Εισπνευστική ζωτική ικανότητα (Inspiratory vital capacity - IVC): η μέγιστη ποσότητα αέρα που μπορεί να εισπνευστεί μετά από πλήρη εκπνοή



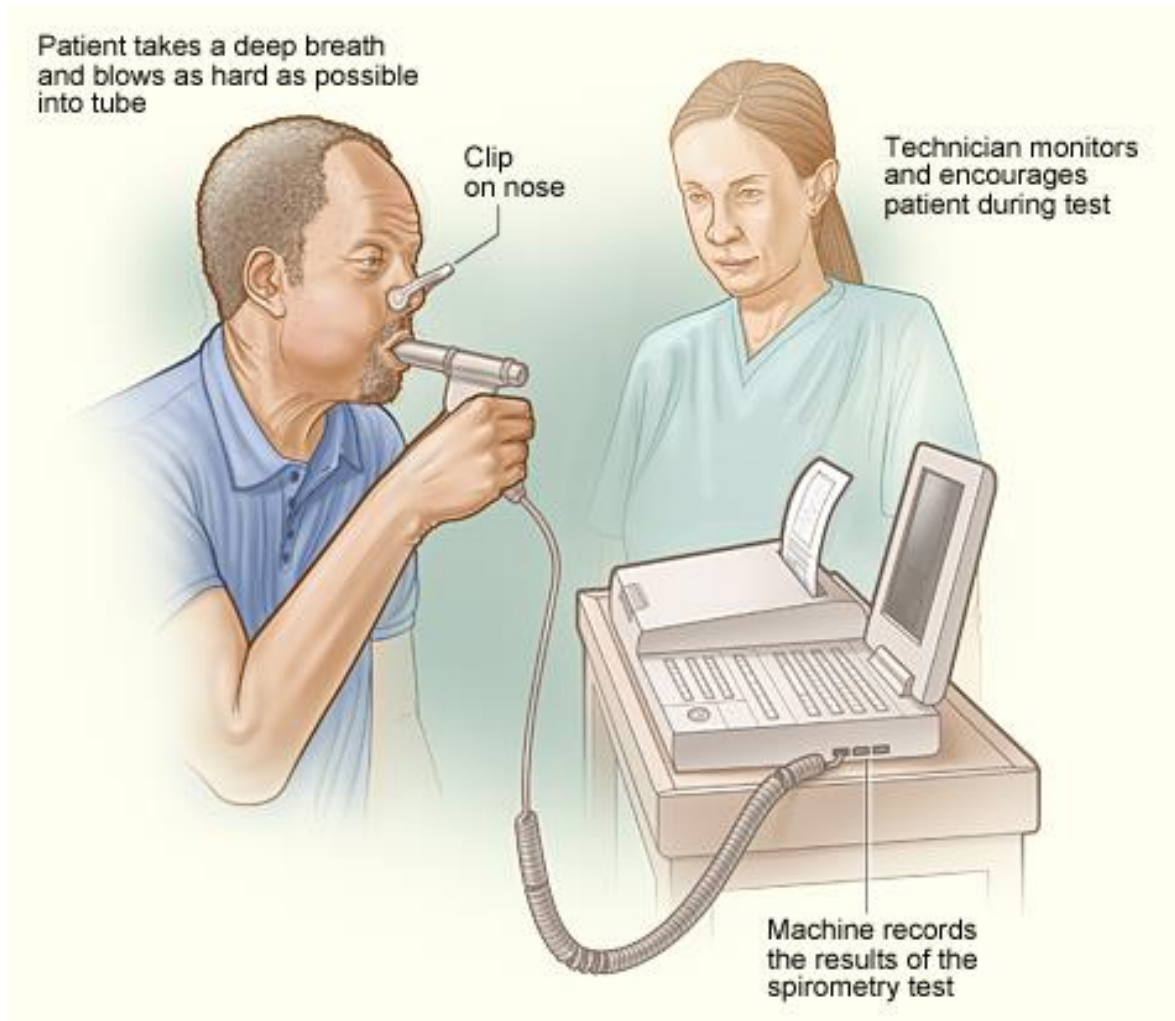
Σχήμα 2.1: Καμπύλη εισπνοής-εκπνοής

### 2.2.2 Τεχνική

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνικές για την εκτέλεση της σπιρομετρίας [2].

- Πριν εκτελέσετε την αναγκαστική εκπνοή, οι παλιρροιακές (κανονικές) αναπνοές μπορούν να ληφθούν πρώτα και μετά να πάρει μια βαθιά αναπνοή ενώ εξακολουθεί να χρησιμοποιεί το επιστόμιο, ακολουθούμενη από μια περαιτέρω γρήγορη, πλήρη έμπνευση.
- Εναλλακτικά, μπορείτε να πάρετε μια βαθιά αναπνοή και στη συνέχεια το στόμα να τοποθετηθεί σφιχτά γύρω από το επιστόμιο πριν από την πλήρη λήξη.
- Ο ασθενής μπορεί να κληθεί να αδειάσει εντελώς τους πνεύμονές του και στη συνέχεια να πάρει μια γρήγορη πλήρη εισπνοή, ακολουθούμενη από μια πλήρη εκπνοή.

Η τελευταία τεχνική μπορεί να είναι χρήσιμη σε ασθενείς που μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερη εισπνοή μετά τη λήξη.



**Εικόνα 2.1:** Σπυρομετρία. Αρχείο:Spirometry NIH.jpg, Wikipedia, CC

Για τα FVC και FEV1, ο ασθενής παίρνει μια βαθιά ανάσα, όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, και φυσάει όσο πιο έντονα και όσο το δυνατόν γρηγορότερα και συνεχίζει μέχρι να μην απομείνει αέρας.

Το PEF λαμβάνεται από την προσπάθεια FEV1 και FVC.

Για το VC, ο ασθενής παίρνει μια βαθιά ανάσα, όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, και φυσάει σταθερά για όσο το δυνατόν περισσότερο μέχρι να μην απομείνει αέρας. Τα κλιπ μύτης είναι απαραίτητα για το VC, καθώς ο αέρας μπορεί να διαρρεύσει λόγω της χαμηλής ροής.

Η προσπάθεια IVC εκτελείται στο τέλος του FVC / VC (ανάλογα με τον τύπο εξοπλισμού που χρησιμοποιείται) λαμβάνοντας μια βαθιά, γρήγορη αναπνοή αφού έχει εκπνεύσει όλο τον αέρα..

### 2.2.3 Ποιότητα

Έχουν δημοσιευτεί ορισμένα κριτήρια για αποδεκτή ποιότητα σπιρομετρίας. Οι κατευθυντήριες γραμμές από την American Thoracic Society (ATS)/European Respiratory Society (ERS) Task Force υποδηλώνουν ότι πρέπει να επιτευχθούν τρεις αποδεκτές προσπάθειες. Η αποδεκτή προσπάθεια ορίζεται ως εξής:

1. Ένα εκρηκτικό ξεκίνημα (χωρίς δισταγμό ή σιγμοειδή καμπύλη) με όγκο πίσω παρέκτασης <150 mL.
2. Ο ελιγμός πραγματοποιήθηκε με μέγιστη εισπνοή και εκπνοή.
3. Κατά τη διάρκεια της προσπάθειας δεν προέκυψε κλείσιμο ή διακοπή της ροής του αέρα (π.χ. δισταγμός ή μπλοκάρισμα του επιστομίου).
4. Κανένας βήχας (ιδιαίτερα κατά το πρώτο δευτερόλεπτο), εισπνοή κατά τη διάρκεια της μέτρησης ή ενδείξεις διαρροών.
5. Η προσπάθεια πρέπει να πληροί τα κριτήρια στο τέλος της δοκιμής (εκπνοή για  $\geq 6$  δευτερόλεπτα με <50 mL να εκπνέεται τα τελευταία 2 δευτερόλεπτα).

### 2.2.4 Διόρθωση body temperature, pressure, water vapor saturated (BTPS)

Οι αρχικές μετρήσεις της σπιρομετρίας πρέπει να διορθωθούν ώστε να λάβουμε υπόψη τη θερμοκρασία του σώματος και την πίεση περιβάλλοντος, κορεσμένη με υδρατμούς (BTPS). Αυτό γίνεται για να διορθωθεί η διαφορά στον όγκο του αέρα στους πνεύμονες (στους 37 ° C) με τον όγκο που μετρείται από το σπιρόμετρο (σε θερμοκρασία αέρα δωματίου). Όπου δεν μπορεί να εισαχθεί βαρομετρική πίεση, το σπιρόμετρο πρέπει να έχει εύρος πίεσης για τον συντελεστή διόρθωσης που χρησιμοποιείται [2].

Η διόρθωση BTPS διαφέρει μεταξύ εισπνοής και εκπνοής:

**Εκπνοή:** Η εκπνευστική ροή είναι κορεσμένη με υδρατμούς και σχεδόν σε θερμοκρασία σώματος. Η μικρή διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της θερμοκρασίας των πνευμόνων και της θερμοκρασίας του αερίου, εντός του αισθητήρα ροής, συνήθως διορθώνεται με σταθερό συντελεστή διόρθωσης BTPS 2%.

**Εισπνοή:** Η εισπνευστική ροή μετράται σε συνθήκες περιβάλλοντος και πρέπει να μετατραπεί σε συνθήκες του πνεύμονα. Οι διορθωτικοί συντελεστές συνήθως κυμαίνονται από 8 έως 12%. [3]

### 2.3 Εξοπλισμός (σπιρόμετρα)

Διάφορα σπιρόμετρα είναι διαθέσιμα, από φορητές συσκευές επιτραπέζιων υπολογιστών έως μεγάλες, λιγότερο φορητές εκδόσεις. Η επιλογή του εξοπλισμού εξαρτάται από τις ανάγκες. Ο μεγαλύτερος εξοπλισμός τείνει να είναι πιο σταθερός, αλλά πλέον υπάρχουν μερικές πολύ χρήσιμες συσκευές χειρός που αποθηκεύουν βρόχους ροής-όγκου, έχουν ενσωματωμένο έλεγχο ποιότητας και μετράνε όλους τους σπιρομετρικούς δείκτες. Ορισμένα από αυτά έχουν επίσης ικανότητα εκτύπωσης, ενώ άλλα χρειάζονται σύνδεση σε υπολογιστή για αυτό. Τελευταία εξέλιξη της σχετικής τεχνολογίας αποτελούν τα σπιρόμετρα με κινητά τηλέφωνα.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται πιο συχνά για τη μέτρηση σε σπιρόμετρα είναι:

**Πνευματικοί ταχογράφοι** (pneumotachograph), οι οποίοι μετρούν τη ροή σύμφωνα με το φαινόμενο Venturi. Το φαινόμενο Venturi συμβαίνει όταν ένα ρευστό υγρό ωθείται μέσω ενός στενού τμήματος ενός σωλήνα και έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της πίεσης και την αύξηση της ταχύτητάς του. Τα σπιρόμετρα μετρούν την πτώση πίεσης όταν ένας ασθενής φυσά στη συσκευή. Υπάρχουν 2 τύποι πνευματικών ταχογράφων: Fleish και Lilly. Ο τύπος Lilly μετρά τη διαφορά στην πίεση πριν και μετά από μια μεμβράνη με γνωστή αντίσταση. Ο τύπος Fleisch χρησιμοποιεί μια σειρά παράλληλων μικροσκοπικών

Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο

σωλήνων και στα άκρα αυτών μετριέται η πτώση πίεσης. Γενικά ο τύπος Fleisch είναι πιο αξιόπιστος από τον τύπο Lilly.

Τα σπιρόμετρα **στροβίλου** χρησιμοποιούν ένα στρόβιλο για τη μέτρηση της ροής. Όσο πιο μεγάλη είναι η ροή, τόσο πιο γρήγορα περιστρέφεται ο στρόβιλος. Αυτές οι περιστροφές μετρώνται συνήθως με πομποδέκτες υπέρυθρης ακτινοβολίας.



**Εικόνα 2.2** Σπιρόμετρο στροβίλου MIR Smart One [4]

Τα σπιρόμετρα που χρησιμοποιούν **υπερήχους** προσδιορίζουν τη ροή από το φαινόμενο Doppler, με τη χρήση υπερήχων.



**Εικόνα 2.3** Σπιρόμετρο υπερήχων SpiroTube Mobile Edition [5]



### 2.3.1 Φορητά σπιρόμετρα που κυκλοφορούν στην αγορά

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά, αρχή λειτουργίας, μέγεθος, βάρος, συσκευή απεικόνισης των αποτελεσμάτων και το κόστος κάποιων εμπορικών φορητών σπιρομέτρων τα οποία συγκρίνονται με το δικό μας σύστημα. Το βασικό πλεονέκτημα του φορητού σπιρομέτρου που έχουμε δημιουργήσει, είναι η καλή ακρίβεια στη μέτρηση και το πολύ χαμηλό κόστος του.

**Πίνακας 2.1:** Σύγκριση του δικού μας σπιρομέτρου με κάποια εμπορικά

	<b>MIR Smart One [4]</b>	<b>SpiroTube Mobile Edition [5]</b>	<b>Το δικό μας</b>
Αρχή λειτουργίας	Συμπαγής στρόβιλος	Υπερηχητική πολλαπλή διαδρομή	Διαφορική πίεση
Μέγεθος (mm)	109x49x21	170x60x27	130x56x25
Βάρος (gr)	60.7	300	59
Βασισμένα σε Κινητό ή Υπολογιστή	Κινητό	Υπολογιστή	Κινητό
Τρόπος επικοινωνίας	Bluetooth	Bluetooth	Ενσύρματος
Κόστος	120 €	850 €	~50 €

### 2.3.2 Προδιαγραφές

Κατά τη διάρκεια της εξέτασης, η ροή του αέρα που εισπνέεται ή εκπνέεται σε έναν ολοκληρωμένο αναπνευστικό κύκλο, μεταβάλλεται συνεχώς και πολύ γρήγορα, οπότε απαιτούνται πολύπλοκες μετρήσεις και υπολογισμοί. Για αυτό, υπάρχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές για ένα σπιρόμετρο [3]:

## Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο

Το σπιρόμετρο πρέπει να είναι ικανό να συσσωρεύει όγκο για 15 δευτερόλεπτα (συνιστώνται μεγαλύτεροι χρόνοι) και να μετράει όγκους  $\geq 8L$  (BTPS) με ακρίβεια τουλάχιστον 3% του διαβάσματος ή 0,050 L, όποιο είναι μεγαλύτερο, με ροές μεταξύ 0 και 14 L/s. Η συνολική αντίσταση στη ροή αέρα στα 14 L/s πρέπει να είναι  $<1,5$  cm H<sub>2</sub>O/L/s.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΚΙΝΗΤΗ ΥΓΕΙΑ (mHealth)

Η χρήση κινητών και ασύρματων τεχνολογιών για την υποστήριξη της επίτευξης των στόχων υγείας (mHealth) έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει το πρόσωπο της παροχής υπηρεσιών υγείας σε όλο τον κόσμο. Ένας ισχυρός συνδυασμός παραγόντων οδηγεί σ' αυτήν την αλλαγή. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι ταχείες εξελίξεις στις τεχνολογίες και τις εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας, η αύξηση νέων ευκαιριών για την ενσωμάτωση της κινητής υγείας στις υπάρχουσες υπηρεσίες ηλεκτρονικής υγείας και η συνεχής ανάπτυξη της κάλυψης των κινητών δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union - ITU), υπάρχουν πλέον περισσότεροι από 5 δισεκατομμύρια συνδρομητές ασύρματου δικτύου. Πάνω από το 70% εξ αυτών διαμένουν σε χώρες με χαμηλό και μεσαίο εισόδημα. Η ένωση GSMA (GSM Association) αναφέρει ότι τα εμπορικά ασύρματα σήματα καλύπτουν πάνω από το 85% του παγκόσμιου πληθυσμού, φτάνοντας πολύ πιο μακριά από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Η άνευ προηγουμένου εξάπλωση των κινητών τεχνολογιών, καθώς και οι εξελίξεις στην καινοτόμο εφαρμογή τους για την αντιμετώπιση των προτεραιοτήτων υγείας έχουν εξελιχθεί σε ένα νέο πεδίο της ηλεκτρονικής υγείας, γνωστό ως mHealth. Η διείσδυση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας σε πολλές χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος ξεπερνά άλλες υποδομές, όπως ασφαλτοστρωμένους δρόμους και ηλεκτρικό ρεύμα, και δεν μπορεί καν να συγκριθεί με τις σταθερές υποδομές Διαδικτύου. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα αυτών των δικτύων - που προσφέρει όλο και υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων μαζί με φθηνότερες και ισχυρότερες συσκευές - μεταμορφώνουν τον τρόπο πρόσβασης, παράδοσης και διαχείρισης των υπηρεσιών υγείας και των πληροφοριών. Με την αυξημένη προσβασιμότητα έρχεται η δυνατότητα μεγαλύτερης εξατομίκευσης και δημόσιας υγείας και ιατρικής περίθαλψης, που εστιάζεται στους πολίτες.

### 3.1 Ο ορισμός της κινητής υγείας

Το Παγκόσμιο Παρατηρητήριο για την ηλεκτρονική υγεία (GOe) καθόρισε την mHealth ή την κινητή υγεία ως την πρακτική ιατρικής και δημόσιας υγείας που υποστηρίζεται από κινητές συσκευές, όπως κινητά τηλέφωνα, συσκευές παρακολούθησης ασθενών, προσωπικοί ψηφιακοί βοηθοί (PDA) και άλλες ασύρματες συσκευές. Το mHealth περιλαμβάνει τη χρήση και αξιοποίηση των κύριων δυνατοτήτων των κινητών τηλεφώνων, όπως φωνητικών και σύντομων μηνυμάτων (SMS), καθώς και πιο σύνθετες λειτουργίες και εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της υπηρεσίας GPRS, της κινητής τηλεφωνίας τρίτης, τέταρτης και πέμπτης γενιάς (συστήματα 3G, 4G και 5G) , το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) και την τεχνολογία Bluetooth.

### 3.2 Η κινητή υγεία σήμερα

Σύμφωνα με το Υπουργείο Υγείας [4]:

Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγνωρίζει τις δυνατότητες της κινητής υγείας και έχει ήδη αναλάβει, και συνεχίζει να αναλαμβάνει, πολλές πρωτοβουλίες σχετικά με αυτόν τον τομέα. Ενδεικτικά, αναφέρονται:

- την Πράσινη Βίβλο για την κινητή υγεία (Green Paper on mobile health) του 2014,
- την δημόσια διαβούλευση για την ανάδειξη εμποδίων στην ανάπτυξη του mHealth σε ευρωπαϊκό επίπεδο,
- το κείμενο εργασίας σχετικά με το υφιστάμενο νομικό πλαίσιο της ΕΕ που ισχύει για εφαρμογές (apps) lifestyle και ευζωίας,
- τη διευκόλυνση ενός Κώδικα Δεοντολογίας (Code of Conduct) για εφαρμογές κινητής υγείας για κινητά, που καλύπτει θέματα ιδιωτικότητας και ασφάλειας,
- την υποομάδα mHealth, η οποία παρουσίασε το 2016 αναφορά για στρατηγικές κρατών μελών και το 2017 αναφορά με προτάσεις για μελλοντικές δράσεις στον τομέα του mHealth,
- το mHealth Hub, ένα πρόγραμμα που χρηματοδοτείται από το «Ορίζοντας 2020», και

- την αναφορά του Working Group on mHealth Assessment Guidelines της ΕΕ με case studies από το χώρο του mHealth.

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, τόσο η ηλεκτρονική υγεία (eHealth) γενικότερα, όσο και η κινητή υγεία ειδικότερα, αποτελούν πλέον έναν πολλά υποσχόμενο τομέα με επισήμως αναγνωρισμένη χρησιμότητα και προοπτική.

### 3.3 Τομείς της κινητής υγείας

Η έκθεση του Ιδρύματος των Ηνωμένων Εθνών του 2009 και του Ιδρύματος Vodafone παρουσιάζει επτά κατηγορίες εφαρμογών στο πεδίο mHealth [5]:

- Εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση
- Γραμμή βοήθειας
- Διαγνωστική υποστήριξη και υποστήριξη θεραπείας
- Επικοινωνία και κατάρτιση των εργαζομένων στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης
- Παρακολούθηση ασθενειών και επιδημιών
- Απομακρυσμένη παρακολούθηση
- Απομακρυσμένη συλλογή δεδομένων

Οι πιο προηγμένες τεχνολογίες κινητών τηλεφώνων επιτρέπουν τη δυνατότητα περαιτέρω παροχής υγειονομικής περίθαλψης. Οι τεχνολογίες smartphone βρίσκονται τώρα στα χέρια μεγάλου αριθμού γιατρών και άλλων εργαζομένων στον τομέα της υγείας καθώς και ασθενών σε χώρες με χαμηλό και μεσαίο εισόδημα. Παρόλο που δεν είναι πανταχού παρόν, η εξάπλωση τεχνολογιών smartphone ανοίγει πόρτες για έργα mHealth, όπως υποστήριξη διάγνωσης με βάση την τεχνολογία, απομακρυσμένη διάγνωση και τηλεϊατρική, προ-προγραμματισμένα καθημερινά μηνύματα αυτοαξιολόγησης, βίντεο ή ηχητικά κλιπ, περιήγηση στο Web, πλοήγηση GPS, πρόσβαση σε διαδικτυακές πληροφορίες για ασθενείς, παρακολούθηση ασθενών μετά

την επίσκεψη και αποκεντρωμένα συστήματα πληροφοριών για την υγεία (Health Management Information Systems - HMIS).

### 3.4 Πιστοποίηση εφαρμογών κινητής υγείας

Εξαιτίας των πιθανών κινδύνων από λανθασμένη κατασκευή ή χρήση των σχετικών εφαρμογών, υπάρχει μεγάλη ανάγκη πιστοποίησής τους.

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία περί ιατροτεχνολογικών προϊόντων (93/42/EEC) προσδιορίζει μια ιατρική συσκευή ως: «οποιοδήποτε όργανο, συσκευή, εξοπλισμό, υλικό ή άλλο είδος, είτε χρησιμοποιείται μόνο του είτε σε συνδυασμό με κάποιο άλλο, συμπεριλαμβανομένου του λογισμικού που απαιτείται για την ορθή λειτουργία του και προορίζεται από τον κατασκευαστή του για διάγνωση, πρόληψη, παρακολούθηση, θεραπεία ή καταπολέμηση νόσου, τραύματος ή αναπηρίας» [6].

Η ίδια οδηγία προβλέπει πληθώρα κανόνων και διαδικασιών που πρέπει να ακολουθούνται για την πιστοποίηση των αντίστοιχων εφαρμογών.

Ειδικά για τα σπιρόμετρα, το ISO 26782:2009 [7] αποτελεί άλλο ένα πρότυπο που συνίσταται να ακολουθείται, ενώ φυσικά υπάρχει και το CE για προϊόντα που κυκλοφορούν στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Επίσης, ο κανονισμός Medical Device Reporting (MDR) [9] περιέχει υποχρεωτικές απαιτήσεις για τους κατασκευαστές, τους εισαγωγείς και τις εγκαταστάσεις συσκευών των χρηστών σχετικά με την αναφορά ορισμένων ανεπιθύμητων συμβάντων και προβλημάτων προϊόντων που σχετίζονται με τη συσκευή.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της δυναμικής του κλάδου της κινητής υγείας, οι ρυθμιστικές αρχές ανταποκρίνονται με νέες οδηγίες και κανονισμούς. Για παράδειγμα, το ευρωπαϊκό κανονιστικό πλαίσιο, το οποίο διασφαλίζει την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των ιατρικών συσκευών και διευκολύνει την πρόσβαση των ασθενών σε συσκευές στην ευρωπαϊκή αγορά: «για να συμβαδίζει με την πρόοδο στην επιστήμη και την τεχνολογία», δύο νέοι κανονισμοί αντικαθιστούν τις τρεις υπάρχουσες οδηγίες τα επόμενα χρόνια (έως το 2022). [10]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΛΥΣΗ

#### 4.1 Θεωρία

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην ανάπτυξη και σχεδίαση ενός φορητού συστήματος σπιρομέτρησης χαμηλού κόστους, που αποτελείται από τη συσκευή σπιρομέτρησης και την εφαρμογή για κινητό τηλέφωνο.

Η συσκευή χρησιμοποιεί έναν αισθητήρα, σε διάταξη Bypass, για τη μέτρηση της διαφοράς πίεσης μεταξύ δύο σημείων ενός αγωγού. Η διαφορά πίεσης αποστέλλεται στην εφαρμογή του κινητού τηλεφώνου για επεξεργασία και εμφάνιση αποτελεσμάτων, μέσω της θύρας USB. Από τη μέτρηση της διαφορικής πίεσης υπολογίζεται ο ρυθμός της ροής του αέρα και ο όγκος του. Η συσκευή τροφοδοτείται από το κινητό τηλέφωνο. Η εφαρμογή που είναι βασισμένη σε JAVA, δημιουργεί ένα γραφικό περιβάλλον για το χρήστη εμφανίζοντας τα δεδομένα ροής και όγκου σε πραγματικό χρόνο. Οι μετρήσεις μπορούν να αποσταλούν σαν αρχείο pdf μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, καθώς και να αποθηκευτούν σε μία τοπική βάση δεδομένων.

Το Σπιρόμετρο που σχεδιάστηκε σε αυτή τη διπλωματική εργασία είναι φτηνό, φορητό και στηρίζεται σε κινητό τηλέφωνο. Το αποτέλεσμα είναι αυτό που φαίνεται στην εικόνα 4.1

## Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο

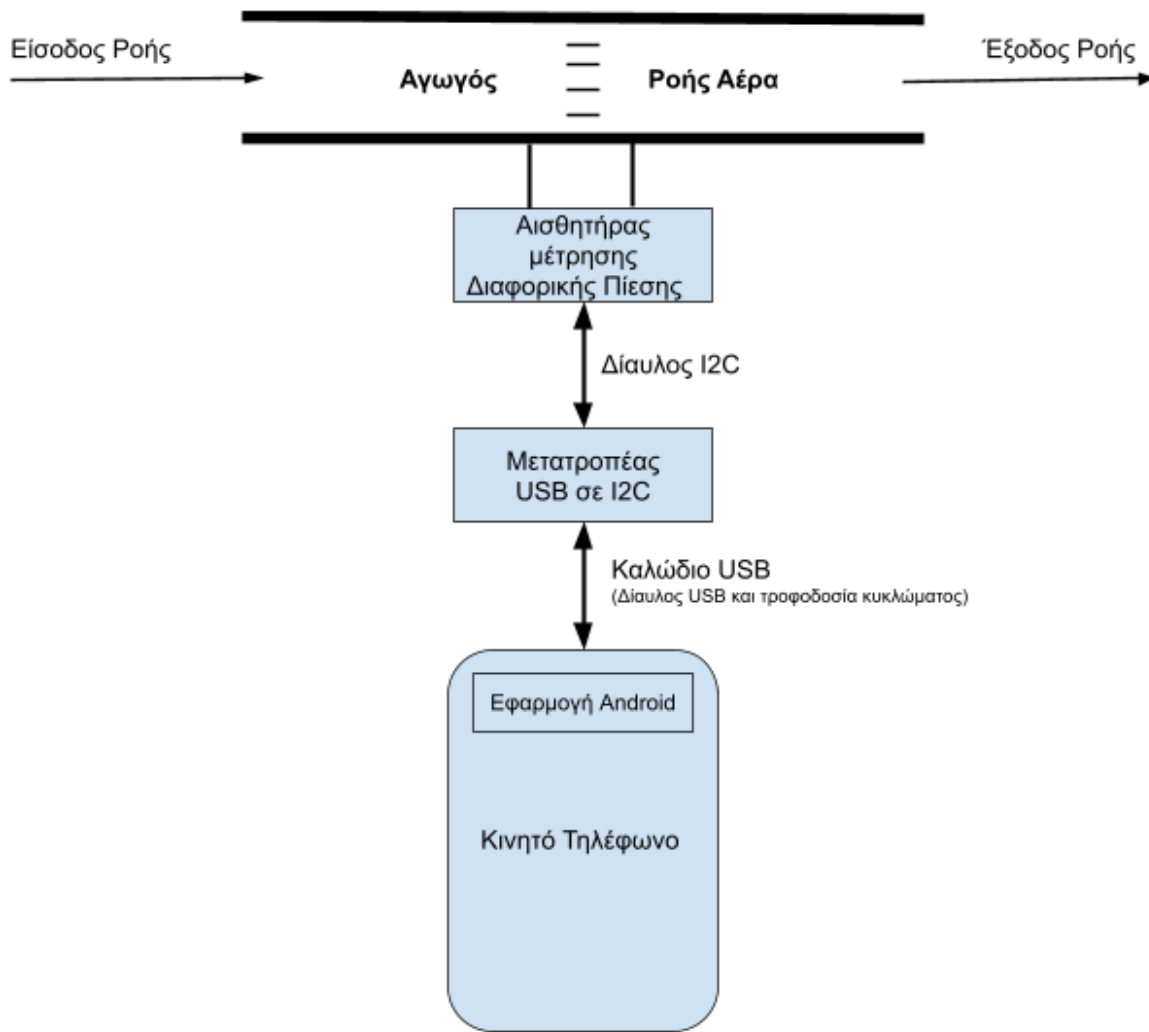


**Εικόνα 4.1:** Σπιρόμετρο σε κινητό τηλέφωνο

Η συσκευή μας αποτελείται από (Σχήμα 4.1) :

- τον αγωγό ροής του αέρα,
- τον ολοκληρωμένο αισθητήρα μέτρησης διαφορικής πίεσης,
- τον μετατροπέα USB σε I<sup>2</sup>C,
- το τροφοδοτικό,
- το καλώδιο USB,
- το κινητό τηλέφωνο,
- την εφαρμογή.





Σχήμα 4.1: Δομικό διάγραμμα

## 4.2 Υλοποίηση

Υλοποιήθηκε η προσέγγιση μέτρησης διαφορικής πίεσης σε αγωγό χωρίς να χρησιμοποιηθεί κάποια έτοιμη λύση αγωγού όπως «Venturi Type» , «Lilly Type» ή «Fleisch Type». Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε είναι ψηφιακός και το δείγμα της μέτρησης της πίεσης μεταξύ δύο σημείων παρουσιάζεται στο δίαυλο I<sup>2</sup>C που διαθέτει, όταν ζητηθεί. Η εφαρμογή του κινητού τηλεφώνου σε σταθερά τακτά χρονικά διαστήματα

«παίρνει» τα δείγματα μέσω της θύρας USB με τη βοήθεια του μετατροπέα USB σε I<sup>2</sup>C. Από τα δείγματα των διαφορικών πιέσεων υπολογίζεται ο ρυθμός της ροής του αέρα καθώς και ο όγκος του. Ο αισθητήρας που μετρά τη διαφορική πίεση είναι διπλής κατεύθυνσης και συνεπώς μπορεί ο ασθενής είτε να εκπνέει είτε να εισπνέει αέρα.

### 4.3 Υλικό

#### 4.3.1 Διάταξη μέτρησης bypass

Όπως έχουμε προαναφέρει χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση μέτρησης διαφορικής πίεσης σε αγωγό με διάταξη bypass. Στη διάταξη αυτή το ολοκληρωμένο κύκλωμα του διαφορικού αισθητήρα τοποθετείται σε παράκαμψη (bypass) για να αποφευχθεί η απευθείας επαφή του με τον αέρα που ρέει στο κύριο κανάλι μέτρησης. Ένας περιοριστής ροής (στοιχείο πτώσης πίεσης) δημιουργεί πτώση πίεσης, η οποία καθοδηγεί ένα μικρό ποσοστό του αέρα μέσω του καναλιού παράκαμψης (Σχήμα 4.2).



**Σχήμα 4.2:** Διάταξη Bypass

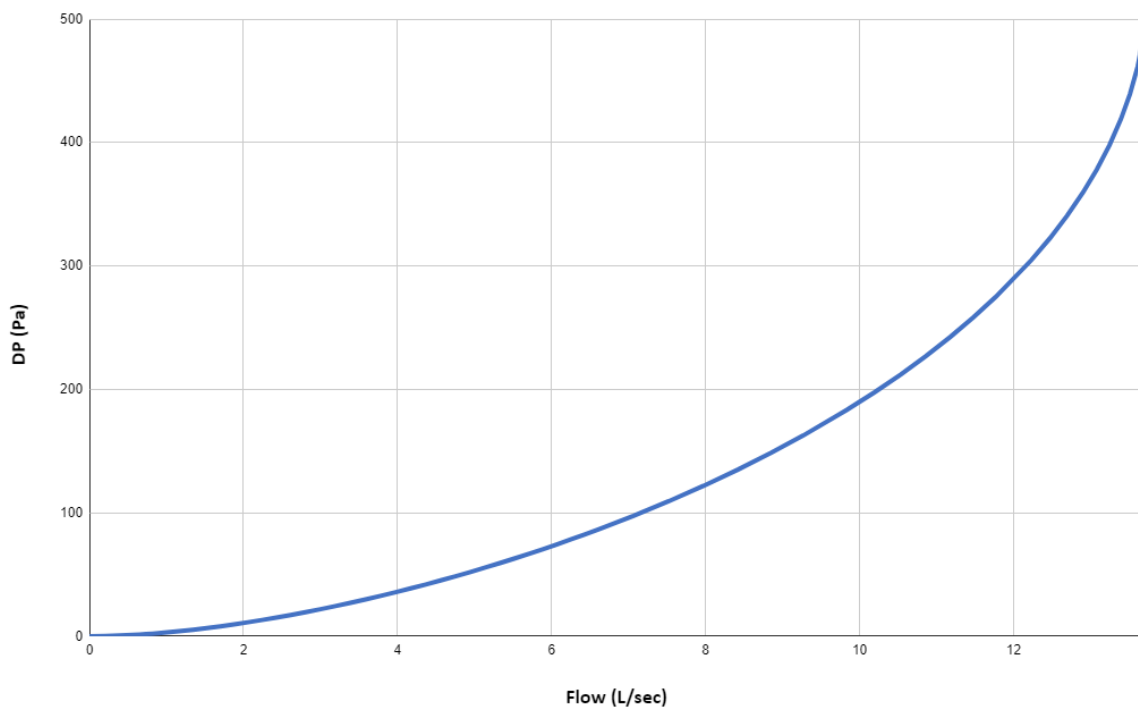
Η χρήση της διάταξης bypass βοηθά επίσης στην απλοποίηση της διαδικασίας κατασκευής. Επιτρέπει την κατασκευή και συναρμολόγηση του στοιχείου ροής (αγωγού) ανεξάρτητα από τον αισθητήρα. Υπό την προϋπόθεση των αυστηρών ανοχών παραγωγής και με την τοποθέτηση του προ-βαθμονομημένου αισθητήρα στο τέλος (ο

αισθητήρας της sensirion έρχεται βαθμονομημένος), είναι συχνά δυνατό να παραλειφθεί η τελική βαθμονόμηση ολόκληρου του συστήματος.

Ο περιοριστής ροής (flow restrictor) χρησιμοποιείται για να αυξήσει ελαφρώς την αντίσταση στη ροή του αέρα και ως αποτέλεσμα να δημιουργήσει διαφορά πίεσης. Αυτό συμβαίνει με δύο τρόπους:

- τριβή μεταξύ της ροής του αέρα και των επιφανειών του περιοριστή (παράλληλες επιφάνειες στη ροή) οδηγεί σε πτώση της πίεσης που αυξάνεται γραμμικά με τη ροή.
- οι κατά μέτωπο άκρες του περιοριστή στην ροή του αέρα δημιουργούν αναταράξεις (turbulence) και συνεπώς μείωση της πίεσης η οποία αυξάνεται με το τετράγωνο της ροής.

Στον περιοριστή ροής συνδυάζονται οι παραπάνω δύο τρόποι και έτσι η χαρακτηριστική καμπύλη πίεσης / ροής είναι συνδυασμός γραμμικής και δευτεροβάθμιας συνάρτησης (Σχήμα 4.3).



**Σχήμα 4.3:** Χαρακτηριστική καμπύλη Διαφορικής Πίεσης/Ροής αέρα

Κατά αναλογία σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, ο υπολογισμός της ροής αέρα είναι ο υπολογισμός του ρεύματος  $I$  σε αγωγό, ο περιοριστής ροής είναι μια αντίσταση  $R$  σε σειρά με τον αγωγό και η μέτρηση της διαφοράς πίεσης είναι η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού  $V$  στα άκρα της αντίστασης. Δηλαδή η ροή προσδιορίζεται από την πτώση της πίεσης στα άκρα του περιοριστή της ροής.

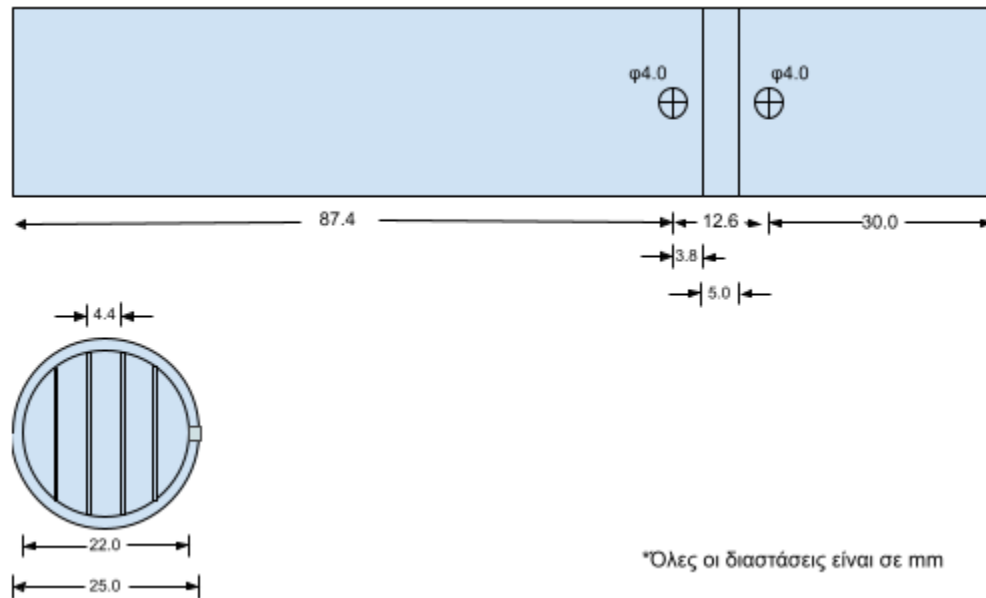
#### 4.3.2 Αγωγός Ροής Αέρα

Στη φάση της σχεδίασης του αγωγού δοκιμάστηκαν διάφορες εκδοχές διατομής, μήκους και περιοριστών ροής (Εικόνα 4.2) για να προκύψει η τελική σχεδίαση. Το μήκος του αγωγού είναι 130 mm, η εξωτερική διάμετρος 25 mm και η εσωτερική 22 mm (Σχήμα 4.4). Διαθέτει τέσσερις λάμες (πάχους 0,5 mm, πλάτους 5 mm), περιορισμού της ροής του αέρα οι οποίες προκαλούν μικρή πτώση πίεσης στα άκρα τους. Στα άκρα του περιοριστή ροής υπάρχουν δύο οπές για την απευθείας σύνδεση του αισθητήρα που μετρά την διαφορά πίεσης σε αυτά τα δύο σημεία, καθώς ο ασθενής φυσά μέσα από τον αγωγό. Από τη μέτρηση αυτή και με τη χρήση ενός πολυωνύμου που προέκυψε από τη βαθμονόμηση της συσκευής υπολογίζεται ο ρυθμός της ροής σε Λίτρα/δευτερόλεπτο (L/sec) ή Λίτρα/λεπτό (L/min).



Εικόνα 4.2: Δοκιμαστικοί αγωγοί ροής

Οι διαστάσεις του αγωγού φαίνονται στο Σχήμα 4.4 και η κατασκευή του έγινε σε τρισδιάστατο εκτυπωτή.



**Σχήμα 4.4:** Διαστάσεις του αγωγού

#### 4.3.3 Ολοκληρωμένος αισθητήρας μέτρησης διαφορικής πίεσης

Ο αισθητήρας είναι ο SDP800-500Pa της εταιρείας SENSIRION (Εικόνα 4.3). Η επιλογή του συγκεκριμένου αισθητήρα έγινε για τους παρακάτω λόγους:

- Χαμηλού κόστους
- Μικρού μεγέθους
- Υψηλής ακρίβειας και επαναληψιμότητας
- Ψηφιακός, σειριακή επικοινωνία I<sup>2</sup>C
- Αντιστάθμιση θερμοκρασίας
- Χαμηλής κατανάλωσης
- Μεγάλο εύρος τάσης λειτουργίας
- Μελλοντική αντικατάστασή του με έναν ακόμη μικρότερου μεγέθους (SDP31-500Pa)

- Υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας
- Αμφίδρομη μέτρηση διαφορικής πίεσης ( $\pm 500$  Pascal)
- Είναι προ-βαθμονομημένος
- Σύνδεση απευθείας πάνω στον αγωγό ροής χωρίς επιπλέον σωληνάκια διασύνδεσης



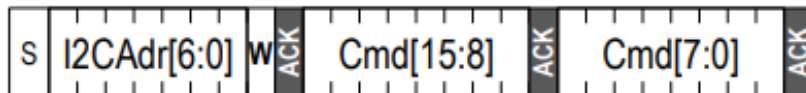
**Εικόνα 4.3:** Ο αισθητήρας SDP800

Ο SDP800 δεν είναι απλά ένας αισθητήρας, αλλά συνδυάζει το στοιχείο αισθητήρα (θερμικό στοιχείο), την επεξεργασία σήματος και την ψηφιακή βαθμονόμηση σε ένα μικρό ολοκληρωμένο κύκλωμα CMOS. Διαθέτει τέσσερις επαφές για τη διασύνδεσή του με το υπόλοιπο ηλεκτρονικό κύκλωμα. Οι δύο επαφές για την τροφοδοσία του και οι άλλες δύο για την υλοποίηση της επικοινωνίας I<sup>2</sup>C. Ο SDP800 στον σειριακό δίαυλο I<sup>2</sup>C λειτουργεί σαν “slave”, ενώ ο μετατροπέας USB σε I<sup>2</sup>C σαν “master”.

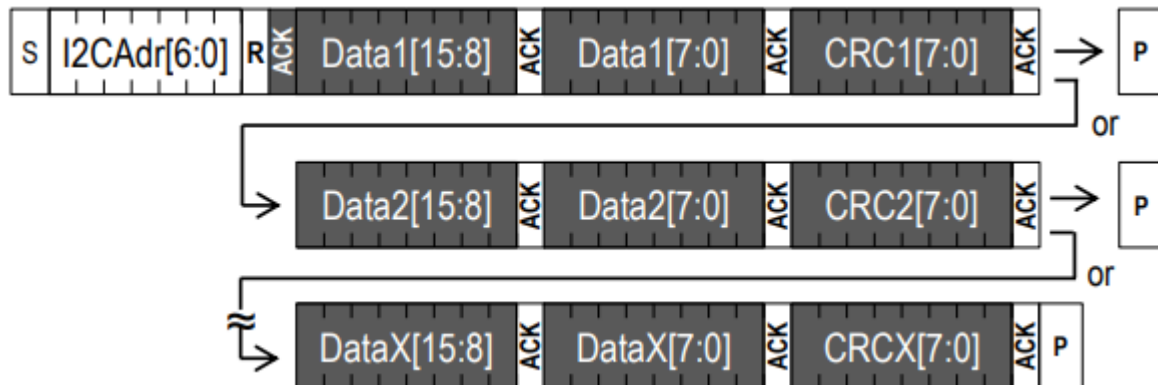
Η εφαρμογή μας αρχικοποιεί τον SDP800 προκειμένου να λειτουργήσει σε “Mass Flow Continuous Measurement” και “Average till read” (Command code=0x3603). Σε αυτό τον τρόπο λειτουργίας ο αισθητήρας μετρά την διαφορά της πίεσης κάθε 0,5msec και αποθηκεύει την μέτρηση σε ένα εσωτερικό ψηφιακό φίλτρο. Η αποθήκευση συνεχίζεται μέχρι να ζητηθεί από την εφαρμογή μας. Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι η εφαρμογή μπορεί να διαβάσει τον αισθητήρα με την ταχύτητα που επιθυμεί, χωρίς να χαθούν πληροφορίες. Το δείγμα μπορεί να διαβαστεί στέλνοντας μια εντολή “read” του πρωτοκόλλου I<sup>2</sup>C στον αισθητήρα. Η βαθμονομημένη τιμή της διαφορικής πίεσης που διαβάζεται από τον αισθητήρα είναι ένας προσημασμένος ακέραιος αριθμός 16-bit (συμπληρώματος ως προς 2). Η ακέραια τιμή μπορεί να μετατραπεί σε φυσική τιμή ( $\pm 500$  Pa) διαιρώντας τη με το 60.

#### 4.3.3.1 Ακολουθίες I<sup>2</sup>C

Οι εντολές είναι 16-bit (Σχήμα 4.5). Τα δεδομένα διαβάζονται από τον αισθητήρα σε πολλαπλάσια των λέξεων 16-bit, το καθένα ακολουθούμενο από ένα byte ελέγχου (CRC) για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία της επικοινωνίας.



Σχήμα 4.5: Ο “master” στέλνει εντολή 16-bit στον SDP800



Σχήμα 4.6: Ο “master” λαμβάνει πολλές λέξεις 16bit με CRC byte

Στο Σχήμα 4.6, ο “master” ελέγχει την γραμμή SDA στέλνοντας τη διεύθυνση του αισθητήρα και ο αισθητήρας απαντά (σκούρες περιοχές) ελέγχοντας τη γραμμή SDA. Οι ακολουθίες απάντησης του αισθητήρα, που αποτελούνται από 9 bytes, μπορούν να ακυρωθούν με μια συνθήκη NACK και STOP. Τα πρώτα δύο bytes με το byte ελέγχου αφορούν τη διαφορική πίεση, τα επόμενα δύο με το byte ελέγχου τη μέτρηση θερμοκρασίας και τα τελευταία δύο bytes με το byte ελέγχου, τον συντελεστή Scale Factor της διαφορικής πίεσης. Η I<sup>2</sup>C διεύθυνση του αισθητήρα SDP800 είναι η 0x25.

#### 4.3.4 Μετατροπéας USB σε I<sup>2</sup>C

Όπως έχουμε προαναφέρει η επικοινωνία με τον αισθητήρα SDP800 γίνεται μέσω του διαύλου I<sup>2</sup>C, ενώ η εφαρμογή μας χρησιμοποιεί τη θύρα USB του κινητού τηλεφώνου προκειμένου να επικοινωνήσει μαζί του. Χρειάζεται λοιπόν κάπιο ολοκληρωμένο κύκλωμα που θα λειτουργεί σαν γέφυρα ανάμεσα στο δίαυλο USB και I<sup>2</sup>C. Ο μετατροπέας (γέφυρα) λοιπόν, USB σε I<sup>2</sup>C, υλοποιεί προσαρμογή του πρωτοκόλλου USB σε I<sup>2</sup>C και αντίστροφα, τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και σε επίπεδο λογισμικού. Χρησιμοποιήθηκαν δύο λύσεις μετατροπéων, τα ολοκληρωμένα CH341A και FT311D, χωρίς επιτυχία (Εικόνα 4.4). Τελικά η λύση βρέθηκε στον προγραμματιζόμενο μικροελεγκτή ATtiny85 με υλικολογισμικό από το GitHub (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α) που υλοποιεί τη μετατροπή.



**Εικόνα 4.4:** Δοκιμαστικές πλακέτες USB σε I<sup>2</sup>C

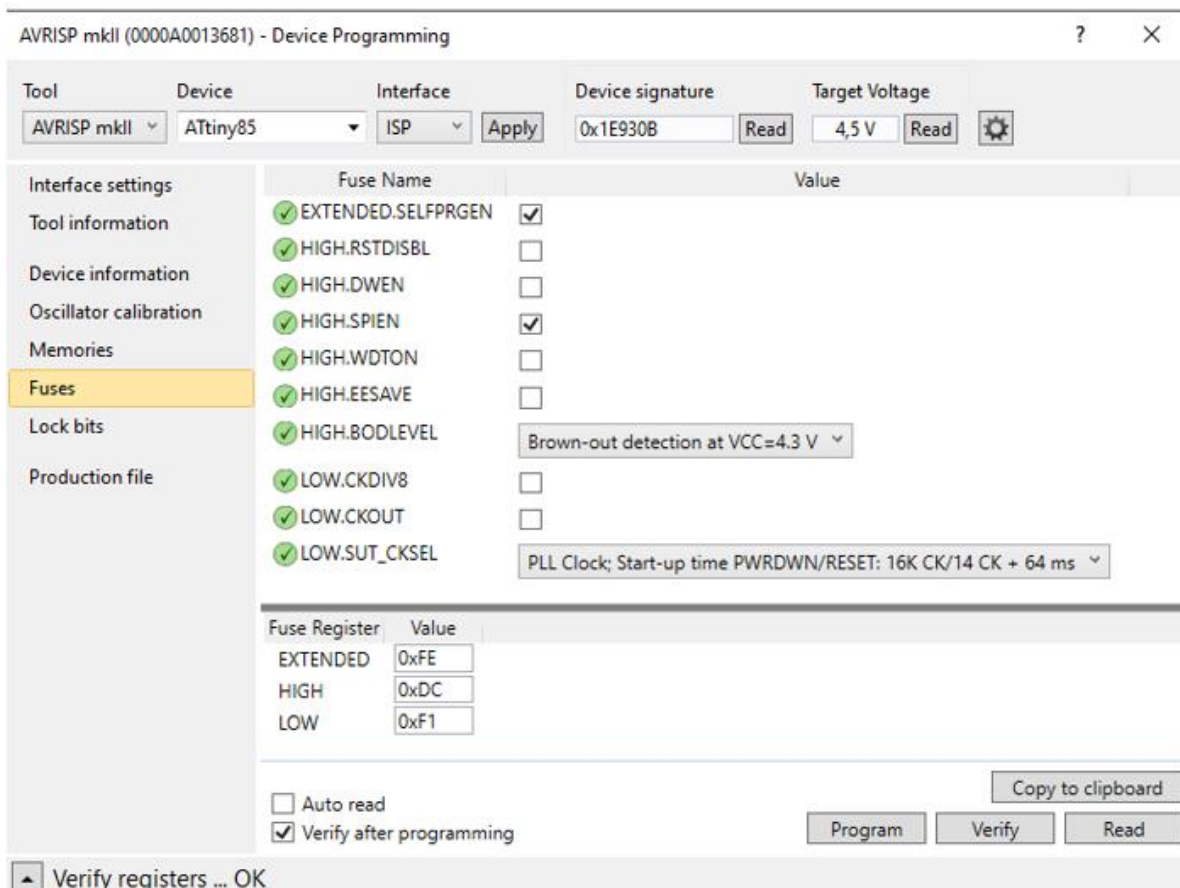
Ο 8-bit μικροελεγκτής ATtiny85 τεχνολογίας RISC είναι χαμηλής ισχύος, συνδυάζει μνήμη Flash 8 KB, 512B EEPROM, 512B SRAM, έξι γραμμές I / O γενικής χρήσης, 32 καταχωρητές γενικής χρήσης, 2 Timers/Counters, περιφερειακή μονάδα I<sup>2</sup>C, εσωτερικό ταλαντωτή στα 16 MHz που επιτυγχάνει απόδοση 16 MIPS. Από το σχηματικό διάγραμμα (Σχήμα 4.7) παρατηρούμε τη γραμμή D+ της θύρας USB να συνδέεται στον ακροδέκτη 3 του μικροελεγκτή μέσω της αντίστασης R2 και τη γραμμή D- στον ακροδέκτη 2 μέσω της αντίστασης R1 αντίστοιχα. Η γραμμή SCK του αισθητήρα SDP800 συνδέεται στον



ακροδέκτη 7 του μικροελεγκτή και η γραμμή SDA στον ακροδέκτη 5 αντίστοιχα. Δεν χρησιμοποιείται εξωτερικός κρύσταλλος αλλά το εσωτερικό ρολόι του μικροελεγκτή στα 16,5MHz με βαθμονόμηση από τον χρονισμό της θύρας USB. Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή γίνεται μέσω του συνδέσμου J3 χρησιμοποιώντας μια συσκευή προγραμματισμού όπως η AVRISP mkII. Το αρχείο προγραμματισμού που είναι ανοιχτού λογισμικού είναι το main.hex και το βρίσκουμε στην παρακάτω διεύθυνση:

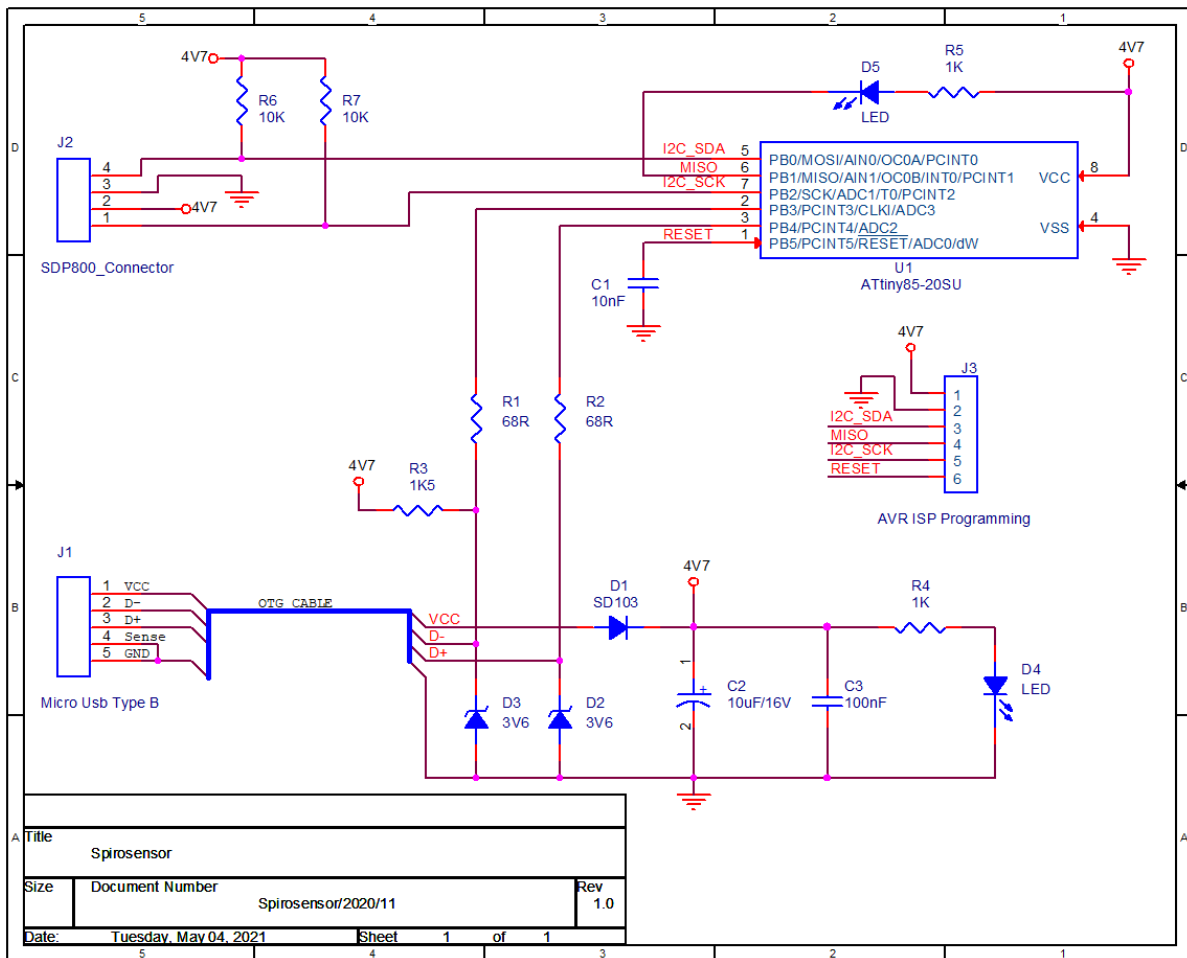
<https://github.com/harbaum/I2C-Tiny-USB/tree/master/digispark>

Εναλλακτικά μπορούμε να το βρούμε στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. Για την κατάσταση και των προγραμματισμό των εσωτερικών ασφαειών (fuses) του μικροελεγκτή δείτε την εικόνα 4.5



Εικόνα 4.5: Τα Fuses του μικροελεγκτή

### 4.3.5 Περιγραφή κυκλώματος



Σχήμα 4.7: Σχηματικό διάγραμμα

Ξεκινώντας από το καλώδιο σύνδεσης (Σχήμα 4.7) με το κινητό τηλέφωνο αυτό θα πρέπει να είναι τύπου OTG, δηλαδή ο ακροδέκτης 4 (sense) του συνδέσμου J1 θα πρέπει να είναι σε δυναμικό γης. Αυτό ενεργοποιεί το κινητό τηλέφωνο να βγάλει στον ακροδέκτη 1 (VCC) τάση 5V. Η τάση 5V περνά μέσα από τη διάοδο schottky D1 και γίνεται 4,7V για την τροφοδοσία όλης της συσκευής. Οι πυκνωτές απόζευξης C2 και C3 κάνουν το απαραίτητο φιλτράρισμα της τάσης αυτής. Η φωτοδίοδος D4 μας πληροφορεί ότι η συσκευή τροφοδοτείται με τάση. Οι αντιστάσεις R1,R2 σε συνδυασμό με τις διόδους zener D2,D3 περιορίζουν τη στάθμη των επιπέδων της τάσης στα 3,6V όπως ορίζει ο δίαυλος USB. Η αντίσταση πρόσδεσης R3 στη γραμμή D- (Data-) ενημερώνει το κινητό

τηλέφωνο ότι η ταχύτητα της θύρας θα είναι χαμηλή δηλαδή 1,5 Mbit/s. Κάθε φορά που η εφαρμογή διαβάζει ένα δείγμα από τον αισθητήρα η φωτοδίοδος D5 φωτοβολεί. Στο δίαυλο I<sup>2</sup>C, οι γραμμές SCK (ρολογιού) και SDA (δεδομένων) είναι τύπου ανοιχτού συλλέκτη, άρα οι αντιστάσεις πρόσδεσης R6, R7 είναι απαραίτητες. Στον σύνδεσμο J2 συνδέεται ο αισθητήρας SDP800 παρέχοντας του τάση τροφοδοσίας και δίαυλο επικοινωνίας.

#### 4.3.6 Κατάλογος υλικών

Στον πίνακα 4.1, παρουσιάζονται τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του σπιρομέτρου καθώς και ένα ενδεικτικό κόστος κατασκευής.

**Πίνακας 4.1:** Κατάλογος Υλικών

A/A	Τεμάχια	Αναφορά	Υλικό	Τιμή
1	1		SDP800-500Pa	19,00 €
2	1	U1	ATtiny85-20SU	1,20 €
3	1	C1	Πυκνωτής κεραμικός (multilayer), 10nF	0,08 €
4	1	C2	Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής, 10μF/16V	0,20 €
5	1	C3	Πυκνωτής κεραμικός (multilayer), 100nF	0,08 €
6	1	D1	1SS389, δίοδος Schottky	0,22 €
7	2	D2,D3	BZT52C3V6, δίοδος zener	0,34 €
8	2	D4,D5	Φωτοδίοδος 0603 SMD Red	0,20 €
9	2	R1,R2	Αντίσταση, 68R/0,125W	0,02 €
10	1	R3	Αντίσταση, 1,5KΩ/0,125W	0,01 €
11	2	R4,R5	Αντίσταση, 1KΩ/0,125W	0,02 €
12	2	R6,R7	Αντίσταση, 10KΩ/0,125W	0,02 €
13	1		Καλώδιο OTG	1,50 €
14	1		Πλακέτα (PCB)	0,70 €

15	1		Αγωγός Ροής Αέρα	1,00 €
<b>Σύνολο</b>				<b>24,59 €</b>

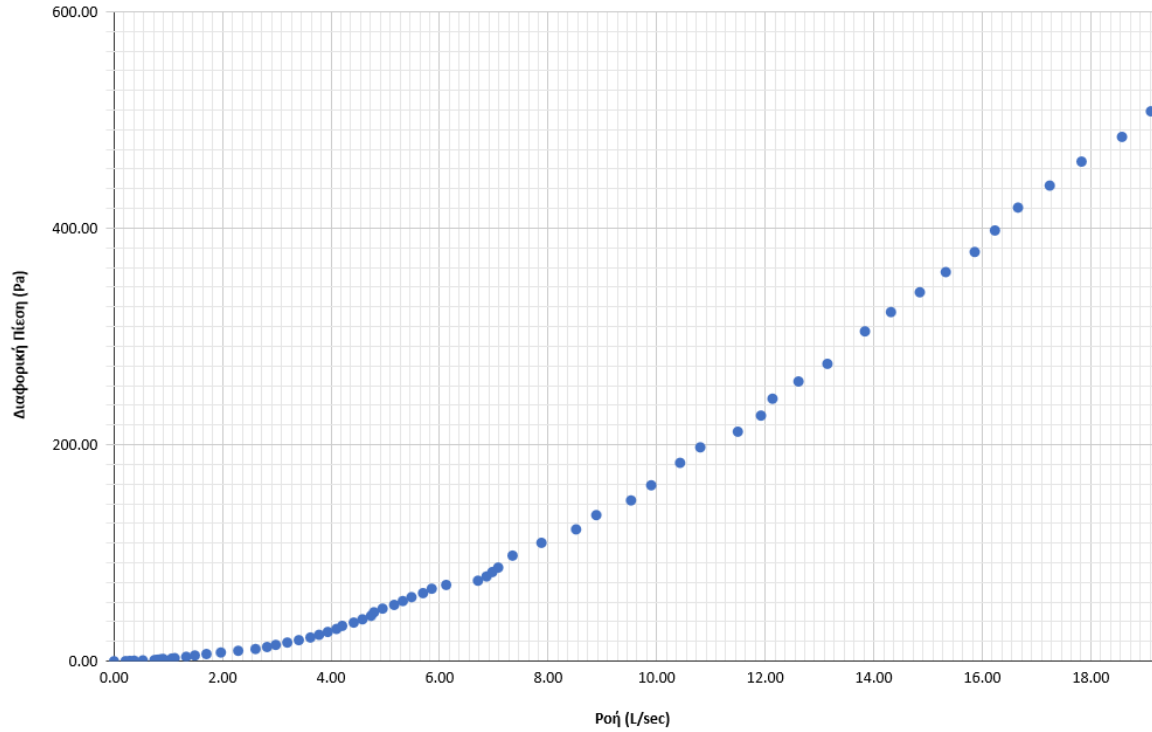
#### 4.3.7 Βαθμονόμηση

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιούμε μετρά τη διαφορική πίεση στα άκρα του περιοριστή ροής σε μονάδες Pascal ( $\pm 500$  Pa). Η βαθμονόμηση αφορά στη σχέση της διαφορικής πίεσης σε Pa και του ρυθμού ροής σε L/sec. Για τη βαθμονόμηση του σπιρομέτρου δοκιμάστηκαν δύο τρόποι.

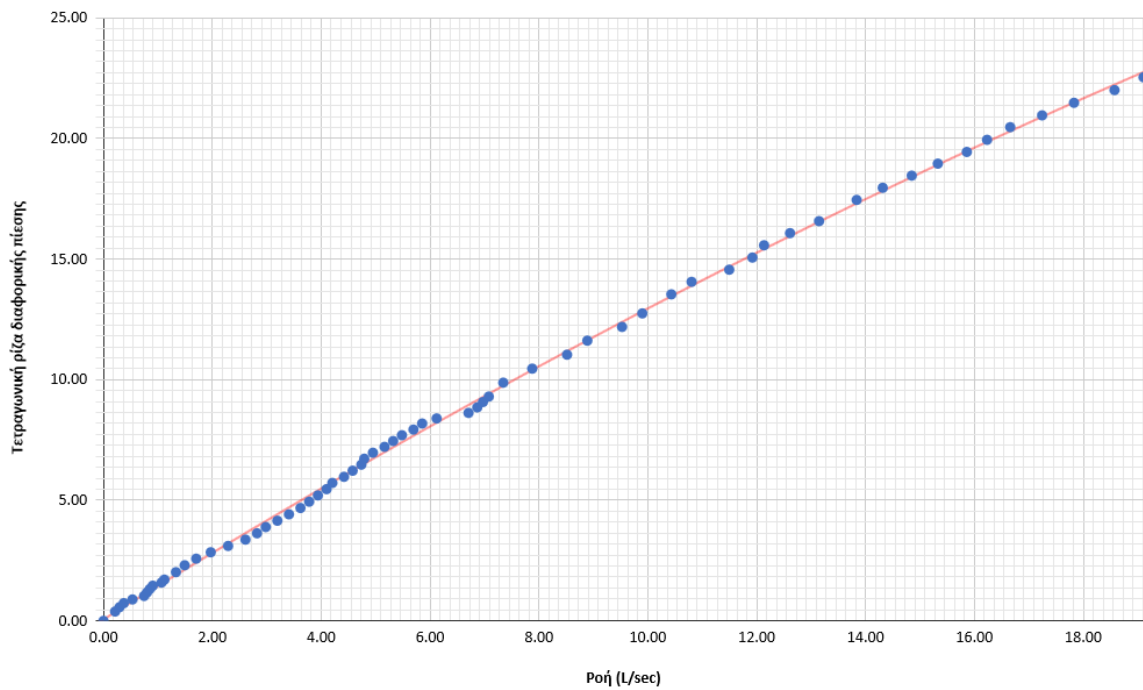
##### 4.3.7.1 Βαθμονόμηση με γνωστή ροή

Χρησιμοποιήθηκε μία γεννήτρια ρυθμιζόμενης ροής αέρα, η συσκευή του σπιρομέτρου που μετρά τη διαφορική πίεση και μια συσκευή μέτρησης ροής αέρα. Και οι τρεις συσκευές ήταν συνδεδεμένες σε σειρά όσων αφορά τη ροή του αέρα. Από τις μετρήσεις δημιουργήθηκαν οι καμπύλες στο Σχήμα 4.8 και Σχήμα 4.9

## Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο



**Σχήμα 4.8:** Καμπύλη σχέσης ρυθμού ροής και διαφορικής πίεσης



**Σχήμα 4.9:** Καμπύλη σχέσης ρυθμού ροής/τετραγωνικής ρίζας διαφορικής πίεσης και η καμπύλη προσέγγισης με κόκκινο χρώμα.

Το πολυώνυμο προσέγγισης 2<sup>ου</sup> βαθμού που προέκυψε από την επεξεργασία των μετρήσεων είναι το ακόλουθο:

$$F = 0.0064p^2 + 0.6897p + 0.003$$

όπου  $p$ , η τετραγωνική ρίζα της διαφορικής πίεσης και  $F$ , ο υπολογισμός του ρυθμού ροής σε L/sec.

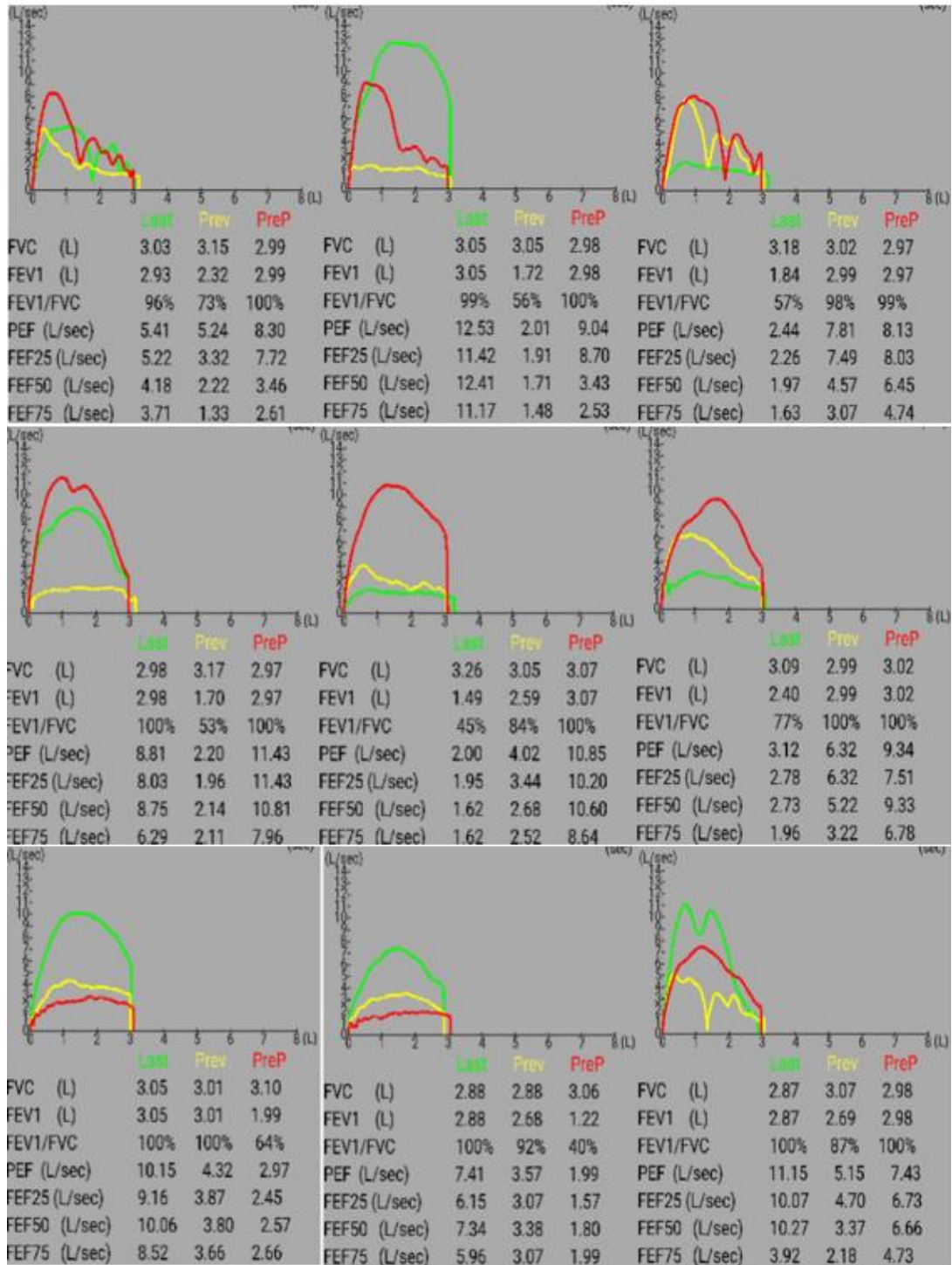
Ο υπολογισμός του όγκου γίνεται από τον τύπο:

$$V = \sum F \frac{1}{100Hz}$$

Όπου  $V$ , είναι ο όγκος του αέρα σε λίτρα και  $F$  είναι η ροή. Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι 100 Hz, δηλαδή ένα δείγμα κάθε 10 msec.

Για την αξιολόγηση του πολυωνύμου που αφορά κυρίως τον όγκο μέτρησης (δείκτης FVC) χρησιμοποιήθηκε βαθμονομημένη σύριγγα 3-L και τα αποτελέσματα για διάφορες ροές παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.6.

## Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο



Εικόνα 4.6: Μετρήσεις με βαθμονομημένη σύριγγα 3-L

#### 4.3.7.2 Βαθμονόμηση με γνωστό όγκο

Σε αυτή τη διαδικασία βαθμονόμησης του σπιρομέτρου χρησιμοποιήθηκε μια σύριγγα γνωστού όγκου 2,2 Λίτρων. Μετά από πολλές εκτόνωσεις της σύριγγας με διαφορετικές ροές, τα δεδομένα πίεσης, που καταγράφηκαν, αποθηκεύτηκαν σε ένα πίνακα σε υπολογιστικό φύλλο (Εικόνα 4.7). Κάθε σειρά περιέχει τις τιμές πίεσης κατά τη διάρκεια μιας εκτόνωσης της σύριγγας. Για την βαθμονόμηση χρησιμοποιήθηκε πολυώνυμο 3<sup>ου</sup> βαθμού, έτσι αν  $p_i$  είναι η τετραγωνική ρίζα της διαφορικής πίεσης στο χρόνο  $i$ , τότε η αντίστοιχη ροή  $F_i$  δίνεται από:

$$F_i = b_3 p_i^3 + b_2 p_i^2 + b_1 p_i$$

όπου  $b_3$ ,  $b_2$  και  $b_1$  είναι οι άγνωστες σταθερές. Αν  $T_s$  είναι το διάστημα μεταξύ των δειγμάτων, τότε ο όγκος του αέρα ( $V$ ) που ρέει μέσα από τον αγωγό του σπιρομέτρου μπορεί να υπολογιστεί όπως παρακάτω:

$$V = T_s \sum (b_3 p_i^3 + b_2 p_i^2 + b_1 p_i) = b_3 T_s \sum p_i^3 + b_2 T_s \sum p_i^2 + b_1 T_s \sum p_i$$

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα πίεσης σε κάθε εκτόνωσή σύριγγας γνωστού όγκου (2,2 Λίτρα), σε διάφορες ταχύτητες, δημιουργούμε ένα σύστημα εξισώσεων με τρεις αγνώστους τα  $b_3$ ,  $b_2$  και  $b_1$ .



Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>Coefficients</b>	<b>p<sup>3</sup></b>	<b>p<sup>2</sup></b>	<b>p</b>	<b>Liters</b>		<b>Error (%)</b>
2	-0.0012724203	26.713	9.828	3.722	2.2	2.21	-0.3
3	0.0328068524	21.429	8.919	3.827	2.2	2.24	-1.6
4	0.5150968615	17.633	8.114	3.944	2.2	2.28	-3.3
5		61.908	14.430	3.456	2.2	2.17	1.2
6		155.213	21.904	3.315	2.2	2.23	-1.3
7		321.450	30.197	3.216	2.2	2.24	-1.7
8		294.794	29.720	3.201	2.2	2.25	-2.2
9		454.346	36.918	3.152	2.2	2.26	-2.5
10		488.893	37.590	3.137	2.2	2.23	-1.2
11		564.027	39.958	3.087	2.2	2.18	0.8
12		225.745	25.850	3.240	2.2	2.23	-1.3
13		82.831	16.425	3.372	2.2	2.17	1.4
14		108.880	17.631	3.390	2.2	2.19	0.6
15		142.338	20.464	3.228	2.2	2.15	2.2
16		25.197	9.432	3.732	2.2	2.20	0.0
17		273.752	28.620	3.176	2.2	2.23	-1.2
18		312.337	29.421	3.195	2.2	2.21	-0.6
19		482.945	37.347	3.157	2.2	2.24	-1.6
20		89.601	15.369	3.418	2.2	2.15	2.3
21		287.873	28.176	3.178	2.2	2.20	0.2
22		16.127	7.849	3.970	2.2	2.28	-3.6
23		213.148	22.893	3.309	2.2	2.18	0.7
24		133.922	19.667	3.308	2.2	2.18	1.0
25		148.804	19.551	3.355	2.2	2.18	0.9
26		339.573	31.005	3.120	2.2	2.19	0.4
27		58.530	13.460	3.462	2.2	2.15	2.3
28		31.399	10.189	3.641	2.2	2.17	1.4
29		47.006	12.261	3.497	2.2	2.14	2.6
30		90.285	15.477	3.443	2.2	2.17	1.6
31		89.261	14.979	3.491	2.2	2.18	1.1
32		597.686	41.298	3.081	2.2	2.18	0.9
33		727.174	45.775	3.205	2.2	2.23	-1.2
34		609.891	41.337	3.121	2.2	2.19	0.6
35		683.691	44.016	3.074	2.2	2.16	2.0
36		722.169	45.842	3.252	2.2	2.26	-2.7
37		640.014	42.343	3.107	2.2	2.18	1.1
38		776.316	46.789	3.063	2.2	2.12	3.5

**Εικόνα 4.7:** Καταγραφή μετρήσεων με σύριγγα 2,2 L για τον υπολογισμό του πολυωνύμου

Με βοήθεια της συνάρτησης:

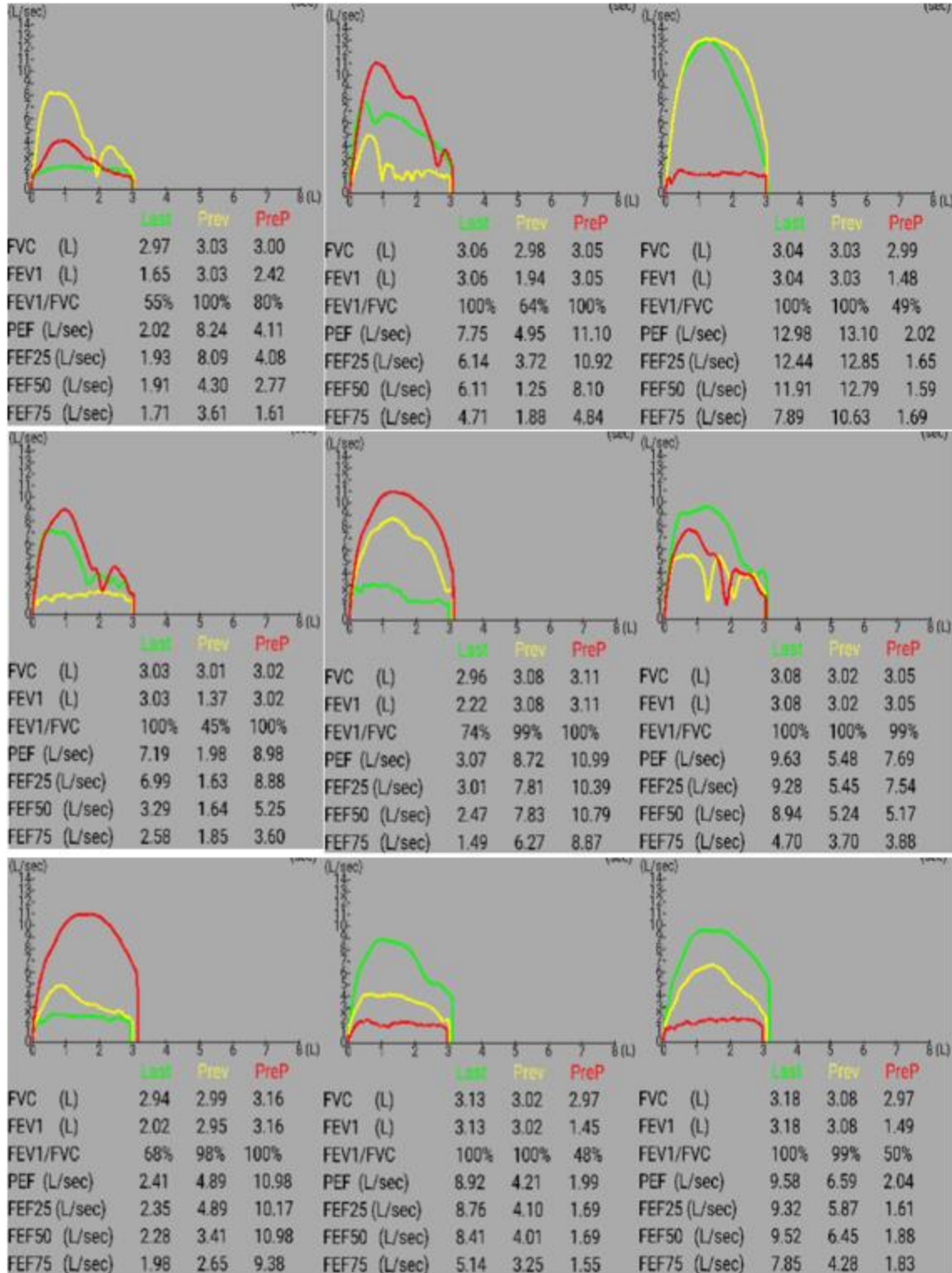
=MMULT((MINVERSE(MMULT(TRANSPOSE(B2:D38),B2:D38))),MMULT(TRANSPOSE(B2:D38),  
E2:E38))

υπολογίζεται το πολυώνυμο :

$$F = -0.00127p^3 + 0.03806p^2 + 0.51509p$$

Για την αξιολόγηση του πολυωνύμου που αφορά κυρίως τον όγκο μέτρησης (δείκτης FVC) χρησιμοποιήθηκε βαθμονομημένη σύριγγα 3-L και τα αποτελέσματα για διάφορες ροές παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.8

Δημιουργία Σπироμέτρου με Κινητό Τηλέφωνο



Εικόνα 4.8: Μετρήσεις με βαθμονομημένη σύριγγα 3-L

Από τις μετρήσεις η ελάχιστη ένδειξη FVC που παρατηρείται είναι 2,94 Λίτρα και η μέγιστη 3,18 Λίτρα δηλαδή σφάλμα  $\pm 4,0\%$ .

#### 4.3.8 Προδιαγραφές

Οι προδιαγραφές του συστήματος που αναπτύχθηκε είναι οι εξής (Πίνακας 4.2):

**Πίνακας 4.2:** Προδιαγραφές

Παράμετροι σπιρομέτρησης	FVC,FEV1,FEV1/FVC,PEF,FEF25,FEF50,FEF75
Μέγιστος όγκος μέτρησης	8 L
Χρονικό παράθυρο μέτρησης	15 sec
Εύρος μέτρησης ροής	$\pm 14$ L/sec
Διακριτική ικανότητα	$\pm 0.08$ L/sec
Ακρίβεια μέτρησης όγκου	$\pm 4.0$ %
Ακρίβεια μέτρησης ροής	to be tested
Τάση τροφοδοσίας	5 V , μέσω της θύρας USB
Ρεύμα κατανάλωσης	35 mA
Μετάδοση δεδομένων	Ενσύρματη, θύρα USB

#### 4.3.9 Αποτελέσματα

Με βάση τα αποτελέσματα των δύο τρόπων βαθμονόμησης και με κριτήριο το μικρότερο σφάλμα μέτρησης του όγκου, επιλέχθηκε το πολυώνυμο 3<sup>ου</sup> βαθμού για τη συσκευή μας.

#### 4.3.10 Τρόποι βελτίωσης

Το σφάλμα μέτρησης του όγκου μπορεί να βελτιωθεί αν χρησιμοποιηθεί για τη βαθμονόμηση του συστήματος μία βαθμονομημένη σύριγγα 3-Λίτρων.

Μελλοντική βελτίωση θα μπορούσε να είναι η χρήση μιας βάσης δεδομένων στο σύννεφο, δηλαδή οι μετρήσεις να μην αποθηκεύονται τοπικά αλλά απομακρυσμένα.

Τέλος, μια ακόμη μελλοντική βελτίωση θα μπορούσε να είναι, η συσκευή του σπιρομέτρου να είναι ανεξάρτητη, δηλαδή να επικοινωνεί με το κινητό τηλέφωνο ασύρματα μέσω Bluetooth και να τροφοδοτείται από επαναφορτιζόμενη μπαταρία.

#### **4.4 Λογισμικό**

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε σε λειτουργικό Android και η γλώσσα που επιλέχθηκε είναι η Java.

Το συγκεκριμένο λειτουργικό επιλέχθηκε έναντι του εναλλακτικού iOS γιατί κατέχει το ηγετικό μερίδιο αγοράς και χρησιμοποιείται και από πολύ φτηνές κινητές συσκευές. Ειδικά το τελευταίο είναι ύψιστης σημασίας αφού στόχος ήταν η δημιουργία ενός φτηνού συστήματος που θα επέτρεπε και στους οικονομικά πιο αδύναμους να το αποκτήσουν.

Από τη στιγμή που επιλέχθηκε το λειτουργικό, η γλώσσα προγραμματισμού θα έπρεπε να είναι η Kotlin ή η Java. Επιλέχθηκε η δεύτερη γιατί την χρησιμοποιούν πολύ περισσότεροι προγραμματιστές αφού είναι πολύ παλιότερη από τη Kotlin.

Η βάση δεδομένων που επιλέχθηκε είναι η SQLite. Η SQLite είναι μια βιβλιοθήκη που υλοποιεί μια αυτοδύναμη, χωρίς διακομιστή και με μηδενική διαμόρφωση βάση δεδομένων SQL. Ο κώδικας της SQLite βρίσκεται στο public domain και επομένως είναι δωρεάν για χρήση για οποιονδήποτε σκοπό, εμπορικό ή ιδιωτικό. Η SQLite είναι η πιο διαδεδομένη βάση δεδομένων στον κόσμο.

Το περιβάλλον ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκε είναι το Android Studio αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και οποιοδήποτε ανάλογο περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών android.

##### **4.4.1 Βάση δεδομένων**

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε είναι η SQLite.

Στα πλαίσια του πρωτότυπου, υλοποιήθηκε η πιο απλή σχεδίαση που ήταν δυνατό. Έτσι, χρησιμοποιείται ένας μοναδικός πίνακας όπου σε κάθε εγγραφή αποθηκεύονται τα εξής στοιχεία:

1. NAME: το όνομα του ασθενούς
2. LAST\_NAME: το επώνυμο του ασθενούς
3. DATE: η ημερομηνία
4. FVC: η μέτρηση FVC
5. FEV1: η μέτρηση FEV1
6. FEV1FVC: η μέτρηση FEV1/ FVC
7. PEF: η μέτρηση PEF

Είναι προφανές ότι η βάση δεν είναι βελτιστοποιημένη, κάτι που πρέπει να γίνει στη φάση παραγωγής. Εντούτοις, ο όγκος δεδομένων των εγγραφών είναι τόσο μικρός που, ακόμη και σε αυτή τη μη-βελτιστοποιημένη μορφή, δεν αποτελεί πρόβλημα για τα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα.

Η βελτιστοποιημένη βάση θα διαμορφώνεται όπως στο σχήμα 4.10, με δύο πίνακες.

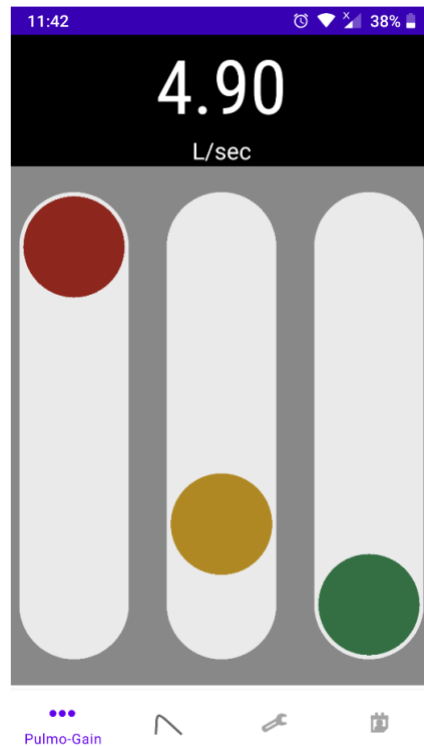


**Σχήμα 4.10** Βελτιστοποιημένη βάση δεδομένων

#### 4.4.2 User Interface

Η εφαρμογή διαθέτει τέσσερις κύριες οθόνες και παράγει αρχείο αποτελεσμάτων σε μορφή pdf.

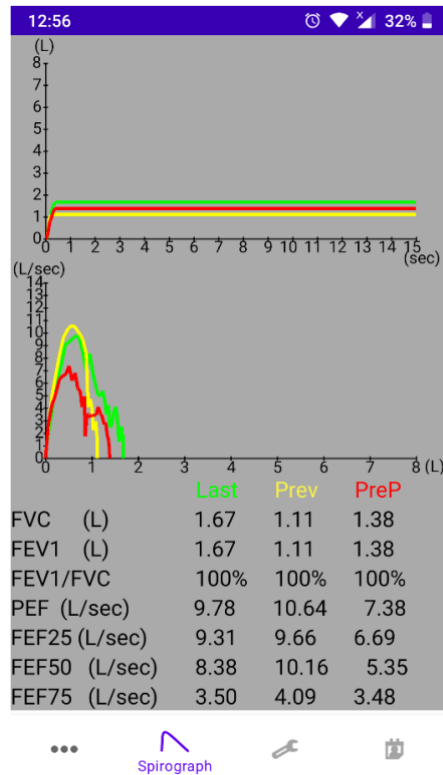
#### 4.4.2.1 Οθόνη Pulmo-Gain:



**Εικόνα 4.9:** Οθόνη Pulmo-Gain

Σε αυτή την επιλογή παίρνονται δείγματα διαφορετικής πίεσης με ταχύτητα 10 δείγματα/δευτερόλεπτο (10Hz). Τα δείγματα μετατρέπονται σε ροή και απεικονίζονται στην οθόνη σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιούνται τρεις εικονικές μπίλιες διαφορετικών χρωμάτων. Ο χρήστης εκπνέει αέρα στον αγωγό και οι μπίλιες ανεβαίνουν ανάλογα με το ρυθμό της ροής, ταυτόχρονα υπάρχει και η ένδειξη για τη ροή σε L/sec ή L/min. Όταν ο χρήστης εισπνέει αέρα πάλι υπάρχει μετακίνηση των μπιλιών και η ένδειξη είναι αρνητική. Η επιλογή αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την εξάσκηση των πνευμόνων του χρήστη.

#### 4.4.2.2 Οθόνη Spirograph:



**Εικόνα 4.10:** Οθόνη Spirograph

Σε αυτή την επιλογή καταγράφονται οι τρεις τελευταίες μετρήσεις σπιρομέτρησης, η τελευταία με πράσινο χρώμα (Last), η προηγούμενη με κίτρινο χρώμα (Prev) και η προπροηγούμενη με κόκκινο χρώμα (PreP). Απεικονίζονται οι καμπύλες όγκου/χρόνου και ροής/όγκου. Από τη μέτρηση υπολογίζονται οι δείκτες σπιρομέτρησης όπως FVC, FEV1, FEV1/FVC, PEF, FEF25, FEF50 και FEF75. Η μέτρηση ξεκινά όταν ανιχνευθεί ροή μεγαλύτερη από 0,50 L/sec και σταματά όταν η ροή πέσει κάτω από 0,10 L/sec, με μέγιστο χρονικό παράθυρο δειγματοληψίας τα 15 sec. Αφού ολοκληρωθούν οι τρεις μετρήσεις ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την οθόνη Settings και να πατήσει το πλήκτρο SEND/STORE για να αποσταλούν και αποθηκευτούν οι μετρήσεις. Τα δείγματα της διαφορικής πίεσης λαμβάνονται κάθε 10msec, δηλαδή η συχνότητα δειγματοληψίας είναι 100Hz. Από τα δείγματα υπολογίζονται οι ροές και από αυτές με ολοκλήρωση ο όγκος.



#### 4.4.2.3 Οθόνη Settings:

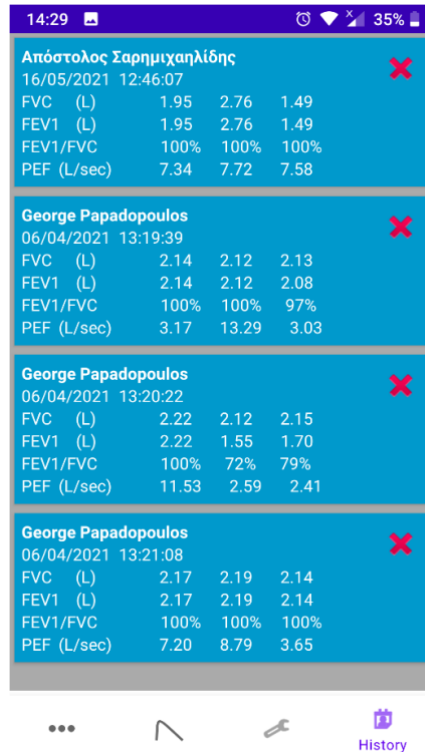
AMKA	21076601300
Name	Απόστολος
Last Name	Σαρημιχαηλίδης
Weight (kg)	84
Height (cm)	175
Gender	<input checked="" type="radio"/> Male <input type="radio"/> Female
Process	<input checked="" type="radio"/> Exhalation <input type="radio"/> Inhalation
Flow Unit	<input type="radio"/> L/min <input checked="" type="radio"/> L/sec
Span Factor	1.0
Email Address	saritolis@gmail.com

SEND/STORE

**Εικόνα 4.11:** Οθόνη Settings

Επιλέγοντας Settings, εισάγονται τα στοιχεία του ασθενούς, όπως το AMKA του, το όνομά του, το επώνυμό του, το βάρος του, το ύψος του και το φύλο του. Στο πεδίο Process επιλέγοντας Inhalation η σπιρομέτρηση μπορεί να γίνει κατά την εισπνοή και να εμφανιστούν τα αντίστοιχα γραφήματα και οι παράμετροι. Στο πεδίο Flow Unit επιλέγουμε την μονάδα μέτρησης της ροής σε Λίτρα/δευτερόλεπτο ή Λίτρα/λεπτό. Επειδή η ροή του αέρα καθώς και ο όγκος του επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η ατμοσφαιρική πίεση, ο χρήστης μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την ένδειξη εισάγοντας τον συντελεστή διόρθωσης Span Factor. Αφού γίνει η σπιρομέτρηση μπορεί να πατηθεί το πλήκτρο SEND/STORE και εφόσον το πεδίο Email Address δεν είναι κενό δημιουργείται ένα αρχείο με τα αποτελέσματα (report.pdf) και αποστέλλετε στην διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που υπάρχει στο πεδίο αυτό. Παράλληλα τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε μια τοπική βάση δεδομένων.

#### 4.4.2.4 Οθόνη History:



The screenshot shows a mobile application interface with a blue header bar displaying the time 14:29, signal strength, Wi-Fi, and 35% battery. Below the header, there are four scrollable entries, each representing a spirometry test. Each entry includes the patient's name, the date and time of the test, and a table of four spirometry parameters: FVC (L), FEV1 (L), FEV1/FVC, and PEF (L/sec). A red 'X' icon is located in the top right corner of each entry, indicating a delete function. At the bottom of the screen, there is a navigation bar with four icons: a three-dot menu, a line graph, a key, and a 'History' icon.

Απόστολος Σαρημχαηλίδης	16/05/2021 12:46:07			
FVC (L)	1.95	2.76	1.49	
FEV1 (L)	1.95	2.76	1.49	
FEV1/FVC	100%	100%	100%	
PEF (L/sec)	7.34	7.72	7.58	

George Papadopoulos	06/04/2021 13:19:39			
FVC (L)	2.14	2.12	2.13	
FEV1 (L)	2.14	2.12	2.08	
FEV1/FVC	100%	100%	97%	
PEF (L/sec)	3.17	13.29	3.03	

George Papadopoulos	06/04/2021 13:20:22			
FVC (L)	2.22	2.12	2.15	
FEV1 (L)	2.22	1.55	1.70	
FEV1/FVC	100%	72%	79%	
PEF (L/sec)	11.53	2.59	2.41	

George Papadopoulos	06/04/2021 13:21:08			
FVC (L)	2.17	2.19	2.14	
FEV1 (L)	2.17	2.19	2.14	
FEV1/FVC	100%	100%	100%	
PEF (L/sec)	7.20	8.79	3.65	

Εικόνα 4.12: Οθόνη History

Επιλέγοντας History μας δίνεται η δυνατότητα να δούμε μετρήσεις που έχουν γίνει στο παρελθόν. Καταγράφονται το ονοματεπώνυμο του ασθενή, η ημερομηνία και ώρα που έγιναν οι τρεις σπιρομετρήσεις καθώς και οι βασικές παράμετροι της σπιρομέτρησης FVC, FEV1, FEV1/FVC και PEF. Η εμφάνιση των μετρήσεων γίνεται με βάση το όνομα και έπειτα με βάση την ημερομηνία και ώρα. Η οθόνη γίνεται scroll προκειμένου να βρούμε την μέτρηση που μας ενδιαφέρει. Αν θέλουμε να διαγράψουμε κάποια μέτρηση πατάμε στο πλήκτρο **X** που εμφανίζεται σε κάθε ετικέτα.

4.4.2.5 Αρχείο report.pdf

### Spirometry Report

Date & Time: 16/05/2021 12:46:07

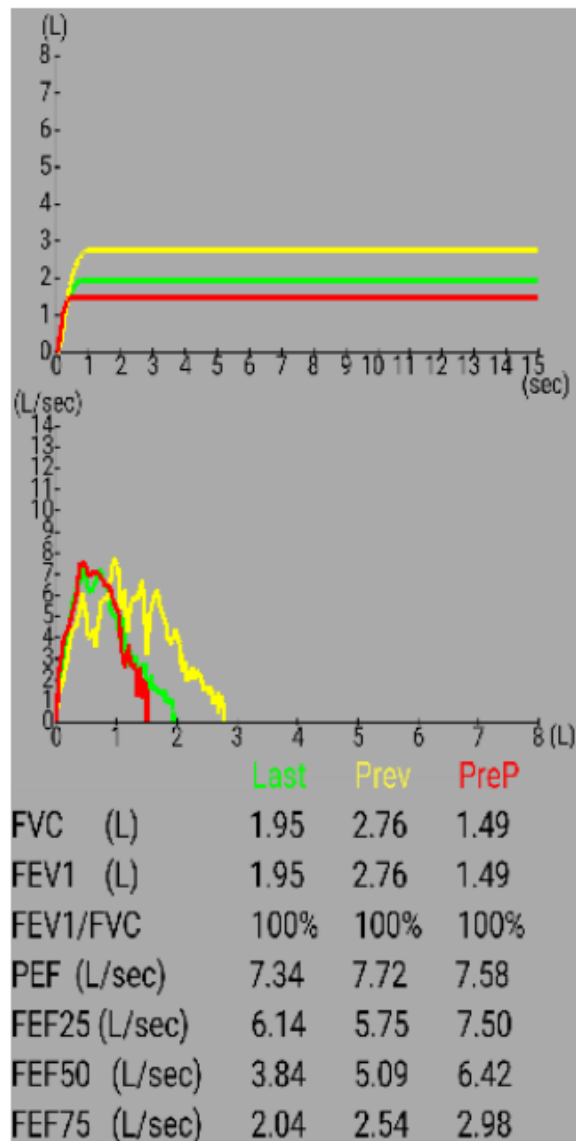
Name : Απόστολος Σαρημιχαηλίδης

AMKA : 21076601300

Weight : 84

Height : 175

Gender : Male



Εικόνα 4.13: Report.pdf

Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο

Πρόκειται για το αρχείο pdf που δημιουργείται κατά την σπιρομέτρηση και αποστέλλεται μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄**

Στο παράρτημα αυτό παρατίθεται το αρχείο HEX που πρέπει να φορτωθεί στον μετατροπέα USB σε I<sup>2</sup>C.

# Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο

spirosensor.hex x	
00000000	3E C0 58 C0 84 C0 56 C0 55 C0 54 C0 53 C0 52 C0 >LxLäLVLULTL5LRL
00000010	51 C0 50 C0 4F C0 4E C0 4D C0 4C C0 4B C0 09 02 QLPLOLNLMLLKL..
00000020	12 00 01 01 00 80 64 09 04 00 00 00 00 00 00 .....Çd.....
00000030	12 01 10 01 FF 00 00 08 03 04 31 C6 01 02 01 02 .... .....1f....
00000040	03 01 1A 03 53 00 70 00 69 00 72 00 6F 00 53 00 ....S.p.i.r.o.S.
00000050	65 00 6E 00 73 00 6F 00 72 00 20 00 1A 03 54 00 e.n.s.o.r. ...T.
00000060	69 00 6C 00 6C 00 20 00 48 00 61 00 72 00 62 00 i.l.l. .H.a.r.b.
00000070	61 00 75 00 6D 00 04 03 09 04 01 00 FF 8E 11 24 a.u.m..... Å.\$
00000080	1F BE CF E5 D2 E0 DE BF CD BF 10 E0 A0 E6 B0 E0 .J±σTαH=γ.αάμ\α
00000090	E2 EE FC E0 02 C0 05 90 0D 92 A0 37 B1 07 D9 F7 Γενα.Λ.É.Αά7.Δ≈
000000A0	20 E0 A0 E7 B0 E0 01 C0 1D 92 A4 3A B2 07 E1 F7 αάτ\α.Λ.Αñ:■.B≈
000000B0	C5 D4 15 C6 A5 CF A8 2F B9 2F 80 E0 90 E0 41 E0 †L.†N±z/†/ÇαΕαΑα
000000C0	50 EA 60 95 30 E0 09 C0 2D 91 82 27 97 95 87 95 ΡΩ'òθα.Λ-αέ'ùòçò
000000D0	10 F0 84 27 95 27 30 5E C8 F3 6F 5F A8 F3 08 95 .≡ä'ò'θ^L±σ_ζ±.ò
000000E0	EA DF 8D 93 9D 93 08 95 A6 E0 88 27 99 27 AA 95 Ω■iòψò.ò²αê'0'-ò
000000F0	69 F0 01 97 E1 F3 B3 99 FC CF B3 9B FE CF 81 E0 i≡.ùβ± 0± ε±ùα
00000100	99 27 A6 B3 01 96 11 F0 A8 71 D9 F7 08 95 CF 93 0'± .ù.≡zq±.ò±ò
00000110	CF B7 CF 93 C3 95 B3 9B E9 F7 B3 9B 0B C0 B3 9B ±η±ò± ε± ε.L ε
00000120	09 C0 B3 9B 07 C0 B3 9B 05 C0 B3 9B 03 C0 B3 9B .L ε.L ε.L ε.L ε
00000130	01 C0 D3 C0 0F 92 DF 93 C0 91 87 00 DD 27 C2 57 .LLL.Α±òLαç.■'γW
00000140	DF 4F 01 2E B3 9B 03 C0 DF 91 0F 90 E6 CF 2F 93 ■O.. ε.Lαα.Éμ±/ò
00000150	0F 93 1F 93 4F 93 2F EF 4F 6F 06 B3 03 FB 20 F9 .ò.ò0ò/π0α. .√·
00000160	5F 93 3F 93 50 E0 3B E0 65 C0 16 B3 01 26 50 29 _ò?òPα;αεL. .&P)
00000170	53 FD C8 95 56 B3 01 27 03 FB 25 F9 2F 73 06 B3 S²LòV .'.√%·/s.
00000180	B1 F0 50 27 10 27 13 FB 26 F9 06 B2 22 30 F0 F0 ≡≡P'.'.√&·.■"θ≡
00000190	00 C0 16 B3 01 27 03 FB 27 F9 01 26 50 29 06 B2 .L .'.√'.&P).■
000001A0	24 30 E8 F5 4F 77 20 68 16 B3 00 00 F6 CF 50 27 \$0è}Ow h. ...±P'
000001B0	4F 7D 20 62 06 B2 10 2F 00 00 00 C0 06 B3 00 26 O} b.■./...L. .&
000001C0	50 29 10 27 13 FB 26 F9 06 B2 E2 CF 4F 7B 06 B3 ).'.√&·.■Γ±O{ .
000001D0	20 64 00 C0 DA CF 01 26 50 29 18 71 06 B2 69 F1 d.Lr±.&P).q.■i±
000001E0	4E 7F 21 60 01 2F 16 B3 28 C0 00 26 50 29 4D 7F Nò!'./. (L.&P)Mò
000001F0	06 B2 22 60 10 2F 29 C0 01 26 50 29 4B 7F 06 B2 .■"'./).L.&P)Kò.■
00000200	24 60 01 2F 2D C0 16 B3 01 26 50 29 47 7F 28 60 \$'./-L. .&P)Gò(
00000210	00 00 06 B2 2E C0 4F 7E 06 B3 20 61 30 C0 42 27 ...■.L0~.  aθLB'
00000220	06 B3 49 93 00 26 50 29 10 27 06 B2 4F EF 13 FB . Iò.&P).'.■0π.√
00000230	20 F9 29 7F 16 B3 79 F2 18 71 59 F1 01 26 50 29 .)Δ. y≥.qY±.&P)
00000240	06 B2 01 27 03 FB 21 F9 23 7F 06 B3 71 F2 00 26 .■.'.√!·#Δ. q≥.&
00000250	50 29 31 50 D0 F0 06 B2 10 27 13 FB 22 F9 27 7E P)1P±≡.■.'.√"·'~
00000260	16 B3 51 F2 01 26 50 29 01 27 03 FB 06 B2 23 F9 . Q≥.&P).'.√.■#·
00000270	2F 7C 49 F2 00 00 06 B3 10 27 13 FB 24 F9 00 26 / I≥... .'.√\$·.&
00000280	50 29 06 B2 2F 79 39 F2 70 CF 10 E2 1A BF 00 27 P).■/y9≥p±.Γ.γ.'
00000290	17 C0 3B 50 31 95 C3 1B D0 40 10 E2 1A BF 08 81 .L;P1ò .L@.Γ.γ.ü
000002A0	03 3C F9 F0 0B 34 E9 F0 20 91 85 00 19 81 11 0F .<·≡.4θ≡ αà..ü..
000002B0	12 13 ED CF 09 36 51 F1 0D 32 11 F0 01 3E 39 F7 ..φ±.6Q±.2.≡.>9≈
000002C0	00 93 8C 00 3F 91 5F 91 4F 91 1F 91 0F 91 2F 91 .òî.?α_x0α.α.α/α
000002D0	DF 91 0F 90 CA B7 C5 FD 1D CF CF 91 CF BF CF 91 ■α.ÉLη†².±L±L±α
000002E0	18 95 20 91 8C 00 22 23 69 F3 10 91 8A 00 11 23 .ò αî."#i±.αè..#
000002F0	21 F5 34 30 22 F1 30 93 8A 00 20 93 86 00 10 91 ! 40"±θòè. òâ..α
00000300	87 00 3B E0 31 1B 30 93 87 00 19 C0 00 91 8A 00 ç.;α1.θòç..L.αè.
00000310	01 30 9C F4 0A E5 30 91 61 00 34 FD 11 C0 00 93 .θE .σθαα.4².L.ò
00000320	61 00 CA E7 D0 E0 10 C0 05 27 10 E0 00 C0 21 C0 a.LLα.L'.α.L L
00000330	05 27 10 E0 C8 95 08 BB 14 C0 3A E5 01 C0 32 ED .'.αLò.η.L:σ.L2φ
00000340	03 2E C0 E0 D0 E0 32 E0 17 B3 18 61 C3 9A 08 B3 ..LαLα2α. .a 0.

Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο

00000350	17 BB 58 E1 20 E8 4F EF 20 FF 05 27 08 BB 27 95	.η XB φ0Π .'.η'ò
00000360	17 95 1C 3F 28 F7 00 00 45 52 B0 F7 20 FF 05 27	.ò.? (≈.ER\≈ .'
00000370	27 95 08 BB 17 95 1C 3F B8 F6 29 91 3A 95 61 F7	'ò.η.ò.?η÷)α:òα≈
00000380	07 7E 10 91 8B 00 11 0F 08 BB C2 50 D0 40 11 F0	.~.ατ...ηηP@.≡
00000390	10 93 85 00 10 E2 1A BF 08 60 17 B3 17 7E 40 2F	.òà..Γ.γ.` .~@/
000003A0	47 7E 54 E0 5A 95 F1 F7 08 BB 17 BB 48 BB 8A CF	G~TαZò±≈.η.ηHηέ±
000003B0	CF 93 DF 93 60 91 8A 00 63 50 67 FD AE C0 80 91	±ò±α`αè.cPg²«LÇα
000003C0	87 00 CC E0 D0 E0 C8 1B D1 09 C2 57 DF 4F 80 91	ç.β-α-αL.τ.τW°OÇα
000003D0	86 00 8D 32 09 F0 90 C0 68 30 09 F0 9C C0 83 EC	à.ι2.≡E Lh0.≡E Lâ∞
000003E0	80 93 7A 00 8A E5 80 93 61 00 10 92 71 00 88 81	Çòz.èσÇòα..Æq.êü
000003F0	80 76 39 F0 CE 01 E7 D1 98 2F 8F 3F 09 F4 6B C0	Çv9≡β.ττÿ/A?.[kL
00000400	71 C0 9A 81 10 92 83 00 89 81 81 11 06 C0 10 92	qL0ü.Æâ.ëüü..L.Æ
00000410	84 00 23 E8 30 E0 92 E0 59 C0 85 30 19 F4 90 93	ä.#φ0αΑΥLà0.[Éò
00000420	8B 00 46 C0 86 30 F1 F5 8B 81 81 30 19 F4 80 E3	τ.FLà0± τüü0.[Çπ
00000430	90 E0 04 C0 82 30 49 F4 8E E1 90 E0 90 93 89 00	Éα.Lé0I[ABÉαÉòë.
00000440	80 93 88 00 80 E4 92 E1 2A C0 83 30 31 F5 91 11	Çòë.ÇΣÆΒ* Lâ01]α.
00000450	09 C0 86 E7 90 E0 90 93 89 00 80 93 88 00 80 E4	.LâτÉαÉòë.Çòë.ÇΣ
00000460	94 E0 1D C0 91 C0 19 F4 8C E5 90 E0 04 C0 92 30	òα.Lα0.[ισÉα.LÆ0
00000470	49 F4 82 E4 90 E0 90 93 89 00 80 93 88 00 80 E4	I[έΣÉαÉòë.Çòë.ÇΣ
00000480	9A E1 0D C0 93 30 49 F4 86 E6 90 E0 90 93 89 00	0B.Lò0I[âμÉαÉòë.
00000490	80 93 88 00 80 E0 9A E0 02 C0 80 E4 90 E0 80 93	Çòë.Çα0α.LÇΣÉαÇò
000004A0	71 00 20 C0 88 30 79 F0 89 30 31 F4 90 93 8D 00	q.Lé0γ≡è01[Éòι.
000004B0	23 E8 30 E0 90 E0 0A C0 91 E0 8A 30 09 F0 90 E0	#φ0αÉα.Lααè0.≡Éα
000004C0	23 E8 30 E0 03 C0 2D E8 30 E0 91 E0 30 93 89 00	#φ0α.L-φ0ααα0òë.
000004D0	20 93 88 00 07 C0 88 81 87 FD 9E 81 80 E8 80 93	òë..Léüç³PüÇφÇò
000004E0	71 00 07 C0 8F 81 81 11 04 C0 8E 81 89 17 08 F4	q..LAüü..LAüë..[
000004F0	98 2F 90 93 60 00 0F C0 80 91 71 00 87 FF 0B C0	ÿ/Éò`.LÇαq.ç.L
00000500	CE 01 27 D1 8F 3F 21 F4 8E E1 80 93 61 00 03 C0	β.τA?![ABÇòα..L
00000510	81 11 10 92 60 00 10 92 8A 00 80 91 61 00 84 FF	ü..Æ`.Æè.Çαα.ä
00000520	56 C0 80 91 60 00 8F 3F 09 F4 51 C0 C8 2F 89 30	vLÇα`.A?.[QLê/è0
00000530	08 F0 C8 E0 8C 1B 80 93 60 00 90 91 7A 00 88 E8	.≡Lαι.Çò`.Éαz.êφ
00000540	89 27 80 93 7A 00 CC 23 89 F1 20 91 71 00 27 FF	ë'Çòz.β#è± αq.'
00000550	08 C0 6C 2F 8B E7 90 E0 BB D0 C8 2F 89 30 88 F5	.L/ιτÉαηLê/è0ê)
00000560	25 C0 80 91 88 00 90 91 89 00 26 FF 0B C0 AB E7	%LÇαè.Éαè.&.L½τ
00000570	B0 E0 FC 01 2C 2F 28 0F 34 91 3D 93 31 96 2E 13	∥αⁿ.,/(.4α=ò1û..
00000580	FB CF 09 C0 DC 01 EB E7 F0 E0 2C 2F 2E 0F 3D 91	√±.L.δτ≡α,/..=α
00000590	31 93 2E 13 FC CF 2F EF 2C 0F 30 E0 2F 5F 3F 4F	1ò..n±/π,0α/_?0
000005A0	82 0F 93 1F 90 93 89 00 80 93 88 00 6C 2F 8B E7	é.ò.Éòë.Çòë.L/ιτ
000005B0	90 E0 96 DD CC 5F CC 30 41 F0 8F EF 80 93 60 00	Éαû)β-β0A=ΑηÇò`.
000005C0	04 C0 8F EF 80 93 60 00 CE E1 C0 93 61 00 84 E1	.LΑηÇò`.βB Lòα.αB
000005D0	96 B3 98 71 31 F4 81 50 D9 F7 10 92 8B 00 10 92	û ÿq1[üP±.Æτ..Æ
000005E0	85 00 C1 E0 81 11 C0 E0 80 91 70 00 8C 17 29 F0	à.±αü.LαÇαp.ι.)≡
000005F0	C1 11 01 C0 97 D1 C0 93 70 00 DF 91 CF 91 08 95	±.LüτLòp.α±α.ò
00000600	AC 9A 8B 87 80 62 8B BF 08 95 E0 91 62 00 F0 91	%0τηÇbτγ.òααb.≡α
00000610	63 00 31 97 F1 F7 88 23 21 F0 BA 98 B2 9B FE CF	c.1ù±è#!≡  ÿç±±
00000620	01 C0 BA 9A 80 91 64 00 90 91 65 00 01 97 F1 F7	.L OÇαed.Éαε..ù±≈
00000630	08 95 B8 98 08 95 B8 9A 81 E0 E7 DF FA CF 0F 93	.òηÿ.òη0üατ.±.ò
00000640	1F 93 CF 93 DF 93 C7 E0 D0 E0 08 2F 10 E0 C8 01	.ò=ò±òβ-αLα./αL.
00000650	0C 2E 02 C0 95 95 87 95 0A 94 E2 F7 80 FF 02 C0	...Lòòçò.òΓ≈Ç.L
00000660	E8 DF 01 C0 B8 9A 81 E0 D0 DF 80 E0 CE DF 21 97	φ. Lη0üαLÇατ!ù
00000670	70 F7 DF DF 81 E0 C9 DF C6 B3 80 E0 C6 DF 8C 2F	p≈üατβ Çατβι/
00000680	80 95 81 70 DF 91 CF 91 1F 91 0F 91 08 95 1F 93	Çòüp≈α.α.α.ò.ò
00000690	CF 93 DF 93 18 2F CD DF 80 E0 B7 DF D8 E0 C0 E0	±ò±ò./=Çατβ±αLα

Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο

000006A0	81 E0 B3 DF CC 0F B0 99	C1 60 80 E0 AE DF D1 50	üα ■ ·.∕∕0 <sup>l</sup> `Çαα■T <sup>P</sup>
000006B0	B9 F7 11 23 11 F0 BD DF	01 C0 B8 9A 81 E0 A5 DF	∕∕∞.#.≡■.L <sub>γ</sub> ÜαN■
000006C0	80 E0 A3 DF B6 DF 8C 2F	DF 91 CF 91 1F 91 08 95	Çαύ■ ■ ■/■æ=æ.α.ò
000006D0	0F 93 1F 93 CF 93 DF 93	08 2F 16 2F 80 91 76 00	.ò.ò <sup>l</sup> ò <sup>l</sup> ò <sup>l</sup> .∕.∕Çαv.
000006E0	46 2F 50 E0 81 30 59 F5	20 91 78 00 30 91 79 00	F/Pαü0Y} æx.0æy.
000006F0	24 17 35 07 08 F4 12 2F	80 2F EC 01 8C 2F 80 1B	\$.5..[.∕Ç/∞.î/Ç.
00000700	81 17 88 F4 20 91 78 00	30 91 79 00 21 50 31 09	ü.ê[ æx.0æy.!P1.
00000710	30 93 79 00 20 93 78 00	81 E0 23 2B 09 F0 80 E0	0ðy. ðx.üα#+.≡Çα
00000720	B6 DF 89 93 EB CF 80 91	77 00 81 FF 0C C0 80 91	■èòδ=Çαω.ü .LÇæ
00000730	78 00 90 91 79 00 89 2B	31 F4 7D DF 04 C0 60 E0	x.Éæy.ë+1[γ]■.L <sup>α</sup>
00000740	70 E0 80 2F AF D2 81 2F	DF 91 CF 91 1F 91 0F 91	pαÇ/»ü/■æ <sup>l</sup> æ.æ.æ
00000750	08 95 0F 93 1F 93 CF 93	DF 93 16 2F 20 91 76 00	.ò.ò.ò <sup>l</sup> ò <sup>l</sup> ò <sup>l</sup> .∕ æv.
00000760	46 2F 50 E0 21 30 31 F5	20 91 78 00 30 91 79 00	F/Pα!01} æx.0æy.
00000770	24 17 35 07 08 F4 12 2F	08 2F EC 01 8C 2F 80 1B	\$.5..[.∕.∕∞.î/Ç.
00000780	81 17 60 F4 80 91 78 00	90 91 79 00 01 97 90 93	ü.`[Çæx.Éæy..üÉò
00000790	79 00 80 93 78 00 89 91	52 DF F0 CF 80 91 77 00	y.Çòx.ëæR■=Çαω.
000007A0	81 FF 0B C0 80 91 78 00	90 91 79 00 89 2B 29 F4	ü .LÇæx.Éæy.(ë+) [
000007B0	42 DF 03 C0 60 E0 70 E0	75 D2 81 2F DF 91 CF 91	B■.L <sup>α</sup> οpουü/■æ <sup>l</sup> æ
000007C0	1F 91 0F 91 08 95 8F 92	9F 92 AF 92 BF 92 CF 92	.æ.æ.òÀÆfÆ»ÆγÆ <sup>l</sup> Æ
000007D0	DF 92 EF 92 FF 92 1F 93	CF 93 DF 93 EC 01 82 E7	■ÆNÆ Æ.ò <sup>l</sup> ò <sup>l</sup> ò <sup>l</sup> .ét
000007E0	90 E0 90 93 89 00 80 93	88 00 99 81 92 30 E9 F0	ÉαÉòé.Çòé.ÜαE00≡
000007F0	70 F4 99 23 91 F0 91 30	09 F0 87 C0 44 E0 50 E0	p[0#æ=æ0.≡Ç <sup>l</sup> DαPα
00000800	6A E7 70 E0 82 E7 90 E0	44 D2 84 E0 7F C0 93 30	jτραέτÉαDγäαΔ <sup>l</sup> ò0
00000810	09 F4 75 C0 98 30 F0 F1	78 C0 8A 81 80 93 72 00	.[uL <sub>γ</sub> ò=±x <sup>l</sup> èüÇòr.
00000820	8B 81 80 93 73 00 82 E0	71 C0 6A 81 7B 81 80 E0	îüÇòs.éαqL <sub>j</sub> ü{üÇα
00000830	90 E0 22 E7 36 E0 40 E0	50 E0 AB D1 49 01 5A 01	Éα"τ6α@αPα∕T <sup>l</sup> .Z.
00000840	C5 01 B4 01 68 5A 7D 4F	8F 4F 9F 4F 20 EB 34 E0	†.†.hZ}0A0f0 54α
00000850	40 E0 50 E0 7A D1 28 30	31 05 38 F4 81 E0 90 E0	@αPαZT(01.8[üαÉα
00000860	90 93 65 00 80 93 64 00	06 C0 27 50 31 09 30 93	Éòe.Çòd..L <sup>l</sup> P1.0ò
00000870	65 00 20 93 64 00 80 91	64 00 90 91 65 00 96 95	e. ðd.Çæd.Éæe.üò
00000880	87 95 00 97 11 F4 81 E0	90 E0 90 93 63 00 80 93	çò.ù.[üαÉαÉòc.Çò
00000890	62 00 3B C0 C1 9A 1C 81	11 0F 8A 81 80 FD 11 60	b.;L <sub>0</sub> .ü..èüÇ <sup>2</sup> .`
000008A0	89 81 80 FD 03 C0 C5 DE	81 E0 AF DE B8 9A 80 E0	ëüÇ <sup>2</sup> .L <sub>†</sub> [üα»H <sub>0</sub> Çα
000008B0	AC DE 81 2F C4 DE 81 11	08 C0 82 E0 80 93 76 00	∕ü/-ü..L <sup>l</sup> éαÇòv.
000008C0	10 92 79 00 10 92 78 00	10 C0 81 E0 80 93 76 00	.Æy..Æx..L <sup>l</sup> üαÇòv.
000008D0	8E 81 9F 81 90 93 79 00	80 93 78 00 29 81 20 93	ÄüfüÉòy.Çòx.)ü ð
000008E0	77 00 21 FF 03 C0 89 2B	09 F4 A5 DE C1 98 81 E0	w.! .L <sup>l</sup> ë+. [N <sup>l</sup> L <sub>γ</sub> üα
000008F0	2E 81 3F 81 23 2B 09 F4	80 E0 81 95 07 C0 80 91	.ü?ü#+. [Çαüò. L <sup>l</sup> Çæ
00000900	76 00 80 93 72 00 81 E0	01 C0 80 E0 DF 91 CF 91	v.Çòr.üα. L <sup>l</sup> Çα <sup>l</sup> æ <sup>l</sup> æ
00000910	1F 91 FF 90 EF 90 DF 90	CF 90 BF 90 AF 90 9F 90	.æ ÉNÉ <sup>l</sup> É <sup>l</sup> ÉγÉ»ÉfÉ
00000920	8F 90 08 95 DF 92 EF 92	FF 92 0F 93 1F 93 CF 93	ΑÉ.ò <sup>l</sup> ÆNÆ Æ.ò.ò <sup>l</sup> ò
00000930	DF 93 08 E0 10 E0 C0 E0	D0 E8 DD 2E DC 0E D1 BE	■ò.α.α <sup>l</sup> α <sup>l</sup> ■■.■.T <sup>l</sup>
00000940	D3 DB 7C 01 84 E3 E8 16	89 E0 F8 06 0C F4 CD 2D	■  .äπΦ.ëα°..[=-
00000950	D6 95 01 50 11 09 89 F7	8F EF 8C 0F 81 BF 0C 2F	πò.P..ë≈Αηî.üγ./
00000960	10 E0 0F 5F 1F 4F 21 B7	30 E0 02 17 13 07 8C F0	.α._.0!γθα...î≡
00000970	BB DB 84 53 99 40 97 FF	03 C0 91 95 81 95 91 09	γ■äS0ù .L <sup>l</sup> æòüæ.
00000980	8E 15 9F 05 14 F4 C1 B7	7C 01 81 B7 8F 5F 81 BF	Ä.f..[L <sub>†</sub> ] .üγÄ_üγ
00000990	EA CF C1 BF 61 B7 80 E0	90 E0 93 D1 00 B6 00 FE	ö <sup>l</sup> L <sub>†</sub> αγÇαÉαòT.†].
000009A0	45 C0 CF B5 D0 E0 60 E3	80 E2 90 E0 8A D1 CE 01	E <sup>l</sup> L <sub>†</sub> α <sup>l</sup> πÇΓÉαèT <sup>l</sup> .
000009B0	64 E6 70 E0 B6 D0 CB 01	0A E0 10 E0 B8 01 B1 D0	dμpα  L <sub>T</sub> .α.αγ.■
000009C0	60 E3 68 0F 81 E2 90 E0	7C D1 CE 01 B8 01 A9 D0	`πh.üΓÉα T <sup>l</sup> .γ.†
000009D0	C8 2F CB 01 B8 01 A5 D0	60 E3 68 0F 82 E2 90 E0	L <sub>T</sub> .γ.N <sup>l</sup> `πh.ÉΓÉα
000009E0	70 D1 60 E3 6C 0F 83 E2	90 E0 6B D1 80 E2 90 E0	pT`πL.äΓÉαkTCTÉα



Δημιουργία Σπιρομέτρου με Κινητό Τηλέφωνο

000009F0	60	D1	90	E0	90	93	69	00	80	93	68	00	81	E2	90	E0
00000A00	58	D1	90	E0	90	93	6B	00	80	93	6A	00	82	E2	90	E0
00000A10	50	D1	90	E0	90	93	6D	00	80	93	6C	00	83	E2	90	E0
00000A20	48	D1	90	E0	90	93	6F	00	80	93	6E	00	DF	91	CF	91
00000A30	1F	91	0F	91	FF	90	EF	90	DF	90	08	95	20	E0	30	E0
00000A40	80	E8	0F	B6	F8	94	86	BD	26	BD	0F	BE	80	E0	90	E0
00000A50	30	D1	8F	3F	09	F0	81	BF	80	E2	90	E0	2A	D1	18	2F
00000A60	81	E2	90	E0	26	D1	D8	2F	82	E2	90	E0	22	D1	C8	2F
00000A70	83	E2	90	E0	1E	D1	10	53	1A	30	08	F0	4F	C0	D0	53
00000A80	DA	30	08	F0	4B	C0	C0	53	CA	30	08	F0	47	C0	80	53
00000A90	8A	30	08	F0	43	C0	80	E2	90	E0	0B	D1	90	E0	90	93
00000AA0	69	00	80	93	68	00	81	E2	90	E0	03	D1	90	E0	90	93
00000AB0	6B	00	80	93	6A	00	82	E2	90	E0	FB	D0	90	E0	90	93
00000AC0	6D	00	80	93	6C	00	83	E2	90	E0	F3	D0	90	E0	90	93
00000AD0	6F	00	80	93	6E	00	B8	98	C0	98	BA	98	C2	98	10	92
00000AE0	79	00	10	92	78	00	BB	9A	84	E1	E2	EB	F1	EF	31	97
00000AF0	F1	F7	00	C0	00	00	81	50	C1	F7	BB	98	9E	E0	88	E1
00000B00	0F	B6	F8	94	A8	95	81	BD	0F	BE	91	BD	79	DD	78	94
00000B10	B9	9A	BD	98	C5	98	A8	95	4B	DC	FD	CF	81	E0	80	BF
00000B20	BA	CF	AA	1B	BB	1B	51	E1	07	C0	AA	1F	BB	1F	A6	17
00000B30	B7	07	10	F0	A6	1B	B7	0B	88	1F	99	1F	5A	95	A9	F7
00000B40	80	95	90	95	BC	01	CD	01	08	95	A1	E2	1A	2E	AA	1B
00000B50	BB	1B	FD	01	0D	C0	AA	1F	BB	1F	EE	1F	FF	1F	A2	17
00000B60	B3	07	E4	07	F5	07	20	F0	A2	1B	B3	0B	E4	0B	F5	0B
00000B70	66	1F	77	1F	88	1F	99	1F	1A	94	69	F7	60	95	70	95
00000B80	80	95	90	95	9B	01	AC	01	BD	01	CF	01	08	95	68	94
00000B90	00	13	E8	94	A0	E0	B0	E0	EF	EC	F5	E0	1D	C0	EF	EF
00000BA0	E7	F9	59	01	6A	01	5E	23	55	0F	EE	08	FE	2C	87	01
00000BB0	9B	01	AC	01	9E	23	99	0F	66	0B	76	2F	CB	01	3B	D0
00000BC0	CD	B7	DE	B7	EA	E0	24	C0	2F	92	3F	92	4F	92	5F	92
00000BD0	6F	92	7F	92	8F	92	9F	92	AF	92	BF	92	CF	92	DF	92
00000BE0	EF	92	FF	92	0F	93	1F	93	CF	93	DF	93	CD	B7	DE	B7
00000BF0	CA	1B	DB	0B	0F	B6	F8	94	DE	BF	0F	BE	CD	BF	09	94
00000C00	2A	88	39	88	48	88	5F	84	6E	84	7D	84	8C	84	9B	84
00000C10	AA	84	B9	84	C8	84	DF	80	EE	80	FD	80	0C	81	1B	81
00000C20	AA	81	B9	81	CE	0F	D1	1D	0F	B6	F8	94	DE	BF	0F	BE
00000C30	CD	BF	ED	01	08	95	DF	93	CF	93	9F	92	A0	E4	9A	2E
00000C40	00	24	D0	01	E0	01	F0	01	16	95	07	95	F7	94	E7	94
00000C50	D7	94	C7	94	B7	94	A7	94	48	F4	10	68	A2	0F	B3	1F
00000C60	C4	1F	D5	1F	E6	1F	F7	1F	08	1E	19	1E	22	0F	33	1F
00000C70	44	1F	55	1F	66	1F	77	1F	88	1F	99	1F	9A	94	21	F7
00000C80	9D	01	AE	01	BF	01	C0	01	11	24	9F	90	CF	91	DF	91
00000C90	08	95	FB	01	DC	01	02	C0	05	90	0D	92	41	50	50	40
00000CA0	D8	F7	08	95	DC	01	01	C0	6D	93	41	50	50	40	E0	F7
00000CB0	08	95	E1	99	FE	CF	9F	BB	8E	BB	E0	9A	99	27	8D	B3
00000CC0	08	95	26	2F	E1	99	FE	CF	1C	BA	9F	BB	8E	BB	2D	BB
00000CD0	0F	B6	F8	94	E2	9A	E1	9A	0F	BE	01	96	08	95	F8	94
00000CE0	FF	CF	FF	5A	03	00	06	00	0A	03	31	00	32	00	33	00
00000CF0	34	00	+													

ἄΕαΕδὶ.ζὸh.ῠΓΕα  
 χἄΕαΕδκ.ζὸj.έΓΕα  
 ΡἄΕαΕδm.ζὸL.άΓΕα  
 ΗἄΕαΕδo.ζὸn.αἄα  
 .α.α ΕΠΕΕ.ὀ αθα  
 ζφ.∥°ὀά∥&∥.∥ζαΕα  
 θἄΑ?.≡ῠηζΓΕα\*ἄ./  
 ῠΓΕα&ἄ/έΓΕα"ἄ∥/  
 άΓΕα.ἄ.S.θ.≡O∥S  
 ἄθ.≡K∥S∥θ.≡G∥ζS  
 èθ.≡C∥ζΓΕα.ἄΕαÉδ  
 ἰ.ζὸh.ῠΓΕα.ἄΕαÉδ  
 k.ζὸj.έΓΕα∥ΕαÉδ  
 m.ζὸL.άΓΕα≡ΕαÉδ  
 o.ζὸn.ἄῠῠῠῠ.Α  
 y..Αx.ῠ0άβΓδ±n∥ú  
 ±∞.L..ῠP∥ῠῠῠῠῠῠῠ  
 .∥°ὀζὀῠ.∥αἄy∥xὀ  
 ∥0∥ῠῠῠῠζὀK.²±ῠαζῠ  
 ∥±ῠ.ῠ.Qβ.L.ῠ.ῠ.ῠ.  
 ῠ..≡ῠ.ῠ.έ.ῠ.Ζὀ-∞  
 ζὀÉὀ∥.=.ῠὀΓ.ῠ.  
 ῠ.²..L.ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.  
 |.Σ.|.≡.∥.Σ.|.  
 f.w.έ.ῠ..ῠῠῠῠῠῠῠῠῠ  
 ζὀÉὀε.∥.∥.ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.  
 ..φὀάα∥∥∥∥∥∥∥∥∥∥  
 τ.Y.j.^#U.ε.ῠ.ῠ.ῠ.  
 ε.∥.P#0.f.v/ῠ.∥;  
 ⇒ῠῠῠῠαζL/Α?ΑΟΑ\_Ε  
 oΑΔΑΑΑfΑ»ΑῠΑἄΑ  
 ΠΑ Α.ὀ.ὀ±ὀῠῠῠῠ  
 ∥.∥.∥°ὀῠῠ.∥ῠ.ῠ.ῠ.  
 \*έ9έHέ\_ānāῠāīācā  
 ῠ-ā∥ā∥αῠζεζῠῠ.ῠ.ῠ.  
 ῠ-ῠῠῠῠῠ.ῠ.∥°ὀῠῠ.∥  
 ⇒ῠφ..ῠῠῠῠῠῠῠῠῠῠ.  
 .ζ∥.α.≡.ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.  
 ∥ῠῠῠῠῠῠῠῠῠῠ.ῠ.ῠ.ῠ.  
 ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.ῠ.  
 D.U.f.w.έ.ῠ.0ὀ!∞  
 ¥.«.ῠ.L..ζfÉἄα  
 .ὀ√.∥..L.Ε.ΑAPP@  
 †∞.ὀ∥..LmὀAPP@α∞  
 .ὀB0.∥fῠΑῠα00'ῠ|  
 .ὀ&/B0.∥.∥fῠΑῠ-ῠ  
 .∥°ὀΓ0B0.∥.ῠ.ῠ.ῠ.  
 ∥ Z.....1.2.3.  
 4.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] World Health Organization, «Chronic respiratory diseases,» Μάιος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://www.who.int/health-topics/chronic-respiratory-diseases#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/chronic-respiratory-diseases#tab=tab_1).
- [2] V. Moore, «Spirometry: step by step,» *European Respiratory Journal*, 2012.
- [3] nnd Medical Technologies, «What is BTPS and how is it used?,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://nndmed.com/pulmonary-support/faq/what-is-btps-and-how-is-it-used>. [Πρόσβαση Μάιος 2021].
- [4] «mirsmartone,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.mirsmartone.com>. [Πρόσβαση Ιούνιος 2021].
- [5] «e-medicalshop,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://e-medicalshop.com/product/spirotube-mobile-edition-bluetooth-spirometer/>. [Πρόσβαση Ιούνιος 2021].
- [6] R. C. a. G. V. V. Brusasco, «Standardisation of spirometry,» 2005. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://erj.ersjournals.com/content/erj/26/2/319.full.pdf>.
- [7] Υπουργείο Υγείας, «mHealth - Υγεία εν Κινήσει,» Μάιος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.moh.gov.gr/articles/ehealth/5688-mhealth>.
- [8] Wikipedia, «mHealth,» Μάιος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/MHealth#Diagnostic\\_support,\\_treatment\\_support,\\_communication\\_and\\_training\\_for\\_healthcare\\_workers](https://en.wikipedia.org/wiki/MHealth#Diagnostic_support,_treatment_support,_communication_and_training_for_healthcare_workers).
- [9] European Council, «31993L0042,» 14 Ιούνιος 1993. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31993L0042>.
- [10] ISO, «ISO 26782:2009 Anaesthetic and respiratory equipment — Spirometers intended for the measurement of time forced expired volumes in humans,» Μάιος 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:26782:ed-1:v1:en>.
- [11] FDA, «Medical Device Reporting (MDR): How to Report Medical Device Problems,» [Ηλεκτρονικό]. [Πρόσβαση Μάιος 2021].
- [12] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «Medical Devices - Sector,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [https://ec.europa.eu/health/md\\_sector/overview\\_en](https://ec.europa.eu/health/md_sector/overview_en). [Πρόσβαση Μάιος 2021].
- [13] T. M. Y. J. B. A. Tang Y, Calibration of pneumotachographs using a calibrated syringe, Calibration of pneumotachographs using a calibrated syringe, 2003.
- [14] harbaum, «GitHub,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://github.com/harbaum/I2C-Tiny-USB/tree/master/digispark>. [Πρόσβαση Μάιος 2021].
- [15] T. U. Rahman, «GitHub,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://github.com/cwtausif/sqlite-tutorial-android-tutorialscache>. [Πρόσβαση Μάιος 2021].
- [16] «stackoverflow,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://stackoverflow.com/questions/60798327/generate-pdf-file-and-attach-to-email>. [Πρόσβαση Μάιος 2021].

- [17] D. Smith, «GitHub,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://github.com/devunwired/accessory-samples/tree/master/ScaleMonitor/src/com/examples/usb/scalemonitor>. [Πρόσβαση Μάιος 2021].