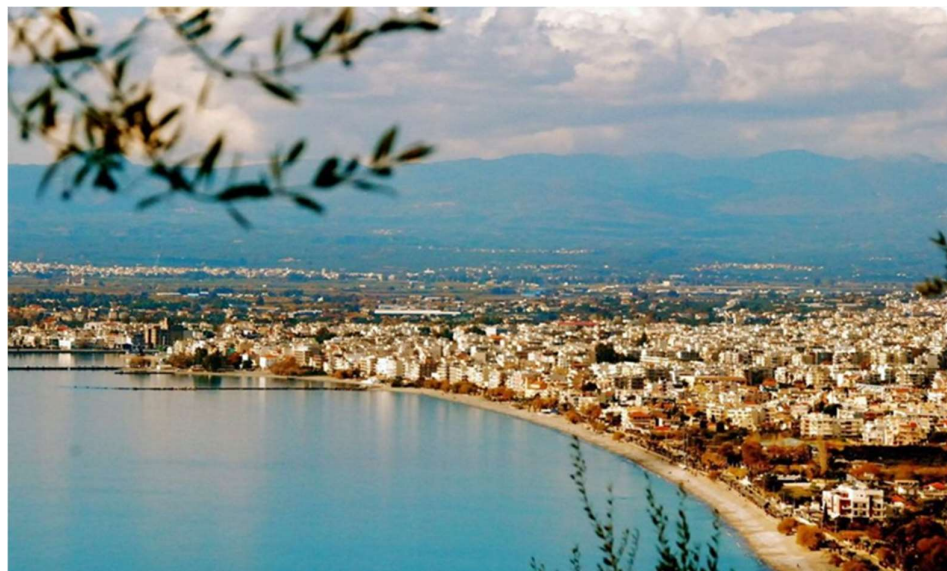


Έξυπνο, εξειδικευμένο περιβαλλοντικό παρατηρητήριο στην Μεσσηνία

Παραδοτέο 2.1

**Καταγραφή καινοτόμων τεχνολογιών αποτύπωσης περιβαλλοντικών
παραμέτρων, επιλογή, σχεδιασμός και υλοποίηση δικτύου μετρήσεων**



Αθήνα, Αύγουστος 2021

Περιεχόμενα:

- I. Εισαγωγή
- II. Καταγραφή σύγχρονων και καινοτόμων τεχνολογιών αποτύπωσης περιβαλλοντικών παραμέτρων
- III. Επιλογή εξοπλισμού και σχεδιασμός δικτύου μετρήσεων ISEO

I. Εισαγωγή

Για την υλοποίηση του προγράμματος και την διεξαγωγή της πειραματικής μελέτης εκτίμησης έκθεσης πολιτών σε σωματιδιακούς και αέριους ρύπους, επιλέχθηκε ο κατάλληλος μετρητικός εξοπλισμός. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε σχετική έρευνα περιλαμβάνοντας την καταγραφή των σύγχρονων και καινοτόμων τεχνολογιών αποτύπωσης των υπό εξέταση περιβαλλοντικών παραμέτρων. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν οι κατάλληλες συσκευές και έγινε σχεδιασμός για την υλοποίηση του δικτύου μετρήσεων.

II. Καταγραφή σύγχρονων και καινοτόμων τεχνολογιών αποτύπωσης περιβαλλοντικών παραμέτρων

Σύμφωνα με την σύγχρονη βιβλιογραφία, για την παρακολούθηση της προσωπικής έκθεσης στην αέρια ρύπανση και την εκτίμηση των επιπτώσεων στην υγεία χρησιμοποιούνται μεγάλης κλίμακας δεδομένα τα οποία συλλέγονται από τις μετρήσεις των υπό εξέταση παραμέτρων σε αντιπροσωπευτικό δείγμα του πληθυσμού. Για τις μετρήσεις αυτές γίνεται χρήση των σύγχρονων επιτευγμάτων της τεχνολογίας και της πληροφορικής. Αισθητήρες μέτρησης ρύπων και περιβαλλοντικών παραμέτρων, ποικιλία ασύρματων συσκευών, λογισμικά για πλατφόρμες συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, εφαρμογές για smartphone, επιτρέπουν εύκολα την μέτρηση περιβαλλοντικών παραγόντων σε πυκνή χρονική και χωρική κλίμακα. Η ταυτόχρονη παρακολούθηση της τοποθεσίας, του χρόνου και της έκθεσης ενός ανθρώπου σε περιβαλλοντικούς ρύπους, παρέχει αξιόπιστη πληροφορία για την προσωπική του έκθεση μετατοπίζοντας την μελέτη από πληθυσμιακό σε ατομικό επίπεδο. Παρόλα αυτά, η αγορά είναι γεμάτη με μία ποικιλία τέτοιων συσκευών και η διαδικασία επιλογής, όπως και τα κριτήρια για την επιλογή συσκευής δεν είναι πάντα σαφή και εύκολα. Στόχος της παρούσας έκθεσης είναι η συγκριτική καταγραφή αισθητήρων μέτρησης αέριων ρύπων καθώς και εξοπλισμού μέτρησης βιομετρικών παραμέτρων και στίγματος ώστε να υποστηριχθεί η ορθότητα της επιλογής του κατάλληλου εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί από τους εθελοντές που θα συμμετέχουν στο δίκτυο του ISEO. Η έκθεση περιλαμβάνει την βιβλιογραφική ανασκόπηση για τους αισθητήρες νέας τεχνολογίας καθώς και πληροφορίες σχετικά με την φορητότητα, τη φιλικότητα προς τον χρήστη, το κόστος, τα πρωτόκολλα συλλογής και μεταφοράς δεδομένων, την εγκυρότητα/αξιοπιστία των συλλεγόμενων δεδομένων.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Χαρακτηριστικά αισθητήρων

Λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις του προγράμματος ISEO, ακολουθεί μία λίστα από προδιαγραφές-κριτήρια για την επιλογή κατάλληλου μετρητικού εξοπλισμού για την πραγματοποίηση της πειραματικής εκστρατείας.

Αισθητήρας ποιότητας αέρα

- ✓ **Μέτρηση παραμέτρων:** εάν μπορεί να μετρηθεί ένας ή περισσότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι από μία συσκευή. Διαθεσιμότητα πρόσθετων παραμέτρων όπως η θερμοκρασία (Τ) και η σχετική υγρασία (RH), που πιθανώς επηρεάζουν την απόδοση των αισθητήρων AQ (ποιότητας αέρα-air quality)
- ✓ **Φορητότητα:** εάν η συσκευή είναι σχεδιασμένη για να παρακολουθείται η προσωπική έκθεση (είτε μεταφέρεται είτε φοριέται από το άτομο κατά τη διάρκεια της ημέρας) ή χρησιμοποιείται ως στατική συσκευή σε εσωτερικό χώρο.
- ✓ **Φιλικότητα προς το χρήστη:** σημαντική παράμετρος για άτομα τα οποία δεν διαθέτουν ανάλογη επιστημονική κατάρτιση ή εμπειρία. Πρόκειται για την δυνατότητα χρήσης της συσκευής από τα ίδια τα άτομα. Αυτό εξαρτάται από τον σχεδιασμό της συσκευής (μέγεθος, σχήμα, βάρος, τροφοδοτικό) και κυρίως από την ευκολία χρήσης της. Για παράδειγμα, μία ογκώδης εγκατάσταση ειδικά στην περίπτωση πολλαπλών αισθητήρων και η περίπλοκη χρήση της, μπορεί να καταστήσει τους συμμετέχοντες μη ικανούς για την χρήση των συσκευών αυτών.
- ✓ **Χαμηλό κόστος:** παράμετρος που επιτρέπει την ευρεία χρήση και δημιουργία δικτύου αισθητήρων, λαμβάνοντας υπόψη τον συνολικό αριθμό εθελοντών/κατοικιών του έργου.
- ✓ **Πρωτόκολλα συλλογής και μεταφοράς δεδομένων:** δυνατότητα συλλογής, αποθήκευσης, μετάδοσης δεδομένων υψηλής ανάλυσης, συνδεσιμότητα με το διαδίκτυο και απομακρυσμένη προσβασιμότητα. Διαθεσιμότητα εφαρμογών smartphone και διαδικτυακής πλατφόρμας παρακολούθησης ανά κοινότητα.
- ✓ **Εγκυρότητα/Αξιοπιστία συλλεγμένων δεδομένων:** εάν αξιολογήθηκε η απόδοση του αισθητήρα και εάν έχει αναφερθεί από τον κατασκευαστή και προηγούμενους χρήστες.

Αισθητήρας προσωπικής δραστηριότητας

- Διερεύνηση ικανότητας παρακολούθησης των παραμέτρων των βημάτων, των ενεργών λεπτών, των θερμίδων/ενέργειας, του ύπνου, της αναπνοής, του καρδιακού παλμού, του σφυγμού, της οξυμετρίας και του στίγματος (χρήση gps).

Προδιαγραφές αισθητήρων χαμηλού κόστους

Αισθητήρες Ποιότητας Αέρα (Air Quality – AQ)



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
Ευρωπαϊκό Ταμείο
Περιφερειακής Ανάπτυξης

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ 2014-2020»



Λαμβάνοντας υπόψη το σκοπό και την τεχνολογική ανάπτυξη μεμονωμένων αισθητήρων, οι συσκευές χαμηλού κόστους για παρακολούθηση αέριων ρύπων μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές ομάδες. Σχετικά με την φορητότητα, οι αισθητήρες AQ μπορούν να διαχωριστούν σε σταθερούς και φορητούς. Τυπικά, οι σταθεροί αισθητήρες AQ έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε εσωτερικό χώρο ή εξωτερικά σε σταθερό και προστατευμένο από τις καιρικές συνθήκες σημείο, ενώ μεταξύ των φορητών υπάρχει μία υποομάδα και αναφέρονται ως αισθητήρες σχεδιασμένοι ειδικά για να φοριούνται από τα συμμετέχοντα άτομα κατά τις δραστηριότητές τους.

Ως προς την τεχνολογική ανάπτυξη, η πρώτη ομάδα των έτοιμων προς χρήση μονάδων περιλαμβάνει τις συσκευές με δικό τους σύστημα συλλογής, αποθήκευσης και απεικόνισης δεδομένων. Στην δεύτερη ομάδα, έχουμε τους αυτόνομους αισθητήρες όπου απαιτείται ενσωμάτωση σε κατάλληλο σύστημα λήψης και αποθήκευσης δεδομένων.

Στους πίνακες που ακολουθούν, περιλαμβάνονται περιληπτικά τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων. Για κάθε αισθητήρα που εξετάστηκε, αναφέρονται τα γενικά χαρακτηριστικά (μέγεθος, βάρος, παροχή ρεύματος), το κόστος, το πρωτόκολλο απόκτησης και μεταφοράς δεδομένων, οι συνθήκες περιβάλλοντος και οι πληροφορίες για την απόδοσή του.

I. Συσκευές που φοριούνται



ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ 2014-2020»



Μοντέλο αισθητήρα:	Airbeam			
Αέριοι ρύποι:	PM2.5			
Παράμετροι:	T, RH, GPS			
Μέγεθος(cm):	10.5x10x4.6 200 3.7V Li-μπαταρία 250	Πρωτόκολλο Δεδομένων:	Bluetooth, εφαρμογή κινητού	
Βάρος(g):		Φορητότητα:	φοριέται	
Παροχή ρεύματος:		T εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστή: -αισθητήρας σωματιδίων: Shinyei PPD60PV, εύρος συγκέντρωσης: έως 400 μg/m³ -σύγκριση με το όργανο pDR-1500: R²=0,98 για τιμές <24 μg/m³, R²>0,94 για τιμές <100 μg/m³, μη γραμμικότητα άνω των 100μg /m³ Ανεξάρτητες αξιολογήσεις: -r=0,65-0,66 έναντι MetOne BAM 1020 FEM PM2.5 (Jiao et al., 2016)			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>TZOA</u>			
Αέριοι ρύποι:	PM2.5, PM10			
Παράμετροι:	T, RH, πίεση, UV, φως			
Μέγεθος (cm):		Πρωτόκολλο δεδομένων:	USB,SD,Bluetooth, smart phone app	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	φοριέται	

Παροχή ρεύματος:	Micro- USB	Τ εύρος(°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστή: -TZOA-Consumer και TZOA-Research διαθέσιμες εκδόσεις, σχεδιασμένες για πιο ανθεκτικά περιβάλλοντα και πιο μεγάλες καμπάνιες μέτρησης, -αλληλεπιδρά με το TZOA App, - Crowdsourced χάρτες, -R ² =0,89 έναντι DustTrack (0,4 mg/m ³)			

Μοντέλο αισθητήρα:	RTI MicroPEM			
Αέριοι ρύποι:	PM2.5, PM10			
Παράμετροι:	δεδομένα από επιταχυνσιόμετρο			
Μέγεθος(cm):	<240g	Πρωτόκολλο δεδομένων:	WI-FI	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	φοριέται	
Παροχή ρεύματος:		Τ εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
	3 AA μπαταρίες		<90	
	2.000			

Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -ανίχνευση σωματιδίων με νεφελόμετρο, δεδομένα συγκέντρωσης σε διαστήματα 1 δευτερολέπτου, -δυναμικό εύρος από 1 mg/m³ έως 10.000 mg/m³, ακρίβεια >90% Ανεξάρτητες αξιολογήσεις: -R²= 0,64-0,84 έναντι Grimm Model EDM180 PM2.5, χωρίς αποτέλεσμα T, χωρίς αποτέλεσμα RH <90% (Williams et al., 2014a)
----------------------------	--

Μοντέλο αισθητήρα:	CairClip			
Αέριοι ρύποι:				
Παράμετροι:				
Μέγεθος(cm):	3.2x6.2 55 επαναφορτιζόμενη μπαταρία κατόπιν αιτήματος	Πρωτόκολλο δεδομένων:	USB, UART	
Βάρος(g):		Φορητότητα:	φοριέται	
Παροχή ρεύματος:		Τ εύρος (°C):		
Κόστος(\$):		RH εύρος (%):		
			-20 – 40	
		10 - 90		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -LOD: 20 ppb, εύρος συγκέντρωσης: 0-250ppb Ανεξάρτητες αξιολογήσεις: - Όζον: r=0,82 - 0,94 έναντι Thermo Fisher Scientific FEM 49I O3 (Jiao et al., 216), - NO2: r=0,42 - 0,76 έναντι Thermo Fisher Scientific FEM 42C NO2 (Jiao et al., 2) -Όζον: Εξαιρετική γραμμικότητα κατά την πλήρη λειτουργία (R²>0,99), LOD: ≤11 ppb, εξαιρετική ακρίβεια που παρατηρείται σε συνθήκες υψηλής και χαμηλής πρόκλησης (≤4 ppb), εργαστηριακό πείραμα (Williams et al, 2014b).			

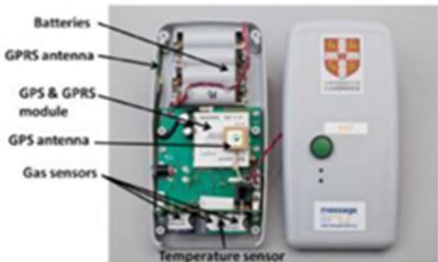
Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Everyware SensorBox</u>			
Αέριοι ρύποι:	CO, NO ₂ , O ₃ , VOC			
Παράμετροι:	T, RH			
Μέγεθος(cm):	Mini USB	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Bluetooth, εφαρμογή κινητού	
Βάρος(g):		Φορητότητα:	Φοριέται	
Παροχή ρεύματος:		T εύρος(°C):	-30-85	
Κόστος (\$):		RH εύρος (%):	5-95	
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -εξαρτήματα: Alphasense CO-BF, αισθητήρας CO. E2V MiCS-5521, αισθητήρας CO και MiCS-2710, αισθητήρας NO ₂ . Figaro 2201, αισθητήρας βενζίνης και ντίζελ. E2V MiCS-2610, αισθητήρας όζοντος. Εφαρμοσμένοι αισθητήρες AS-MLV, αισθητήρας VOC -επικοινωνία με την εφαρμογή για κινητά AirProbe			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>M-pod</u>			
Αέριοι ρύποι:	CO, CO2, NO2, VOC			
Παράμετροι:	T, RH			
Μέγεθος(cm):	cca. 15x10	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Bluetooth, εφαρμογή κινητού	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	Φοριέται	

Παροχή ρεύματος:	Li-battery	Τ εύρος(°C):	-30-85 5-95	
Κόστος (\$):		RH εύρος (%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -εξαρτήματα: E2V MICS-5525, αισθητήρας CO, ELT S100, αισθητήρας CO ₂ , E2V MICS-5526, αισθητήρας CO και VOC, E2V MICS-4514, αισθητήρας CO, VOC, NO ₂ Ανεξάρτητη αξιολόγηση: -κατά τις βαθμονομήσεις συγκατάταξης, τα διάμεση τυπικά σφάλματα κυμαίνονταν μεταξύ 4,0–6,1 ppb για το O ₃ , 6,4–8,4 ppb, για το NO ₂ , 0,28–0,44 ppm, για το CO και 16,8 ppm, για το CO ₂ (Piedrahita et al., 2014)			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>CommonSense Handheld Device</u>			
Αέριοι ρύποι:	CO, O ₃ , NO _x			
Παράμετροι:	T, RH			
Μέγεθος (cm):		Πρωτόκολλο δεδομένων:	Bluetooth,εφαρμογή κινητού	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	φοριέται	
Παροχή ρεύματος:		T εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	NA			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Little Environmental Observatory</u>			
Αέριοι ρύποι:	NO, NO ₂ , O ₃			
Παράμετροι:				
	T, RH			
Μέγεθος(cm):	USB, Li- μπαταρία	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Bluetooth, εφαρμογή κινητού	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	φοριέται	
Παροχή ρεύματος:		T εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -αισθητήρες Alphasense: NO-A4, NO2-A42F, OX-A421, -επικοινωνεί με εφαρμογή Android που συνδέεται με τη μονάδα αισθητήρα, διαβάζει και ανεβάζει δεδομένα σε διακομιστή (ExproApp), -οι επιδόσεις που αξιολογήθηκαν στο πλαίσιο του έργου CITI-SENSE (έκθεση αξιολόγησης): κακές συσχετίσεις με οθόνες αναφοράς κατά τη διάρκεια επιτόπιων αξιολογήσεων			

Μοντέλο αισθητήρα:	Cambridge Personal Sensor (CamPerS)			
Αέριοι ρύποι:	CO, NO, NO ₂			
Παράμετροι:	T, GPS			
Μέγεθος(cm):	18.5x9x3	Πρωτόκολλο δεδομένων:	GPRS	
Βάρος (g):	450	Φορητότητα:		

Παροχή ρεύματος:	μπαταρία	<i>Τ εύρος (°C):</i>	φορητό	
Κόστος (\$):		<i>RH εύρος(%):</i>		
	<600			
Εκτίμηση επιδόσεων:	-Οι αισθητήρες EC της Alphasense ενσωματώνουν CO, NO, NO₂ Ανεξάρτητη αξιολόγηση: (Jerret et al., 2017), -μέτριες έως υψηλές συσχετίσεις με κρατικούς επιτηρητές, -r ~ 0,38–0,8 για NO, CO, r~ 0,04–0,67 για NO₂ - οι συσχετίσεις μεταξύ των προσωπικών αισθητήρων και των ακριβότερων ερευνητικών οργάνων ήταν υψηλότερες απ' ότι με τις κρατικές οθόνες, -ικανός να ανιχνεύει υψηλά και χαμηλά επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε συμφωνία με τις προσδοκίες (π.χ. υψηλά επίπεδα ή κοντά σε πολυσύχναστους δρόμους και χαμηλότερα επίπεδα σε κατοικημένες περιοχές και πάρκα)			

Μοντέλο αισθητήρα:	Flow 2 (Plume labs)			
Αέριοι ρύποι:	PM1, PM2.5, PM10, NO ₂ , VOCs			
Παράμετροι:				
Μέγεθος (cm):	70gr	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Bluetooth, εφαρμογή κινητού φοριέται	
Βάρος (g):		Φορητότητα:		
Παροχή ρεύματος:		Τ εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
	199€			
Εκτίμηση επιδόσεων:	NA			

Φορητές συσκευές

Μοντέλο αισθητήρα:	MetOne - Aerocet 831			
Αέριοι ρύποι:	PM1, PM2.5, PM4, PM7, PM10, TSP			
Παράμετροι:				
Μέγεθος(cm):	15.9x10.2x5x4 900 7.4V Li-μπαταρία 3.000	Πρωτόκολλο δεδομένων:	RS-232, USB	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	φορητό	
Παροχή ρεύματος:		Τ εύρος (°C):	0-50	
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -εύρος συγκέντρωσης: 0-1000 µg/m³, χρόνος δειγματοληψίας 1 λεπτό, ακρίβεια: ± 10%, ευαισθησία: 0,5µm Ανεξάρτητες αξιολογήσεις: -οθόνη R²=0,77 έναντι Grimm Model EDM180 PM2.5 (για το κανάλι PM1), χωρίς συσχέτιση με T αλλά σημαντική συσχέτιση με RH (Williams et al, 2014a). -r=0,32-0,41 έναντι MetOne BAM 1020 FEM PM2.5 (Jiao et al., 2016)			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Aeroqual Series 500 - PM</u>			
Αέριοι ρύποι:	PM10/PM2.5			
Παράμετροι:				
Μέγεθος(cm):	19.5x12.2x5x4	Πρωτόκολλο δεδομένων:	USB	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	φορητό	
Παροχή ρεύματος:		Τεύρος (°C):	0-40	
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):	10-90	
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -εύρος συγκέντρωσης: 0,000-1,000 mg /m ³ , LOD: 0,001 mg/m ³ , ακρίβεια εργοστασιακής βαθμονόμησης: ± (0,002 mg/m ³ + 15 % της ένδειξης), ανάλυση: 0,001 mg/m ³			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Dylos1100/1700</u>			
Αέριοι ρύποι:	PM			
Παράμετροι:				
Μέγεθος(cm):	12.5×0.9×18.5	Πρωτόκολλο δεδομένων:	USB/RS232	
Βάρος (g):	544	Φορητότητα:	φορητό	

Παροχή ρεύματος:	120V 60Hz - 9VDC 500mA	Τεύρος (°C):	-	
Κόστος (\$):	425	RH εύρος(%):	-	
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -εύρος μεγεθών: 500 nm και άνω των 2,5μm, -LOD<1 ug/m ³ , R ² =0,4-0,9 (Rai et al, 2017 και αναφορές σε αυτό) (Dylos μοντέλα 1100 Pro και 1700), -Dylos DC1100, ανάλυση χρόνου: 1 – λεπτό, Dylos έναντι Grimm R ² = 0,81 (AQ-SPEC, 2017)			

Μοντέλο αισθητήρα:	Global LoRaWAN			
Αέριοι ρύποι:	CO ₂ , CO, PM2.5			
Παράμετροι:	T, RH			
Μέγεθος (cm):	11.3 x0.8 x0.28 101 5V cca. 222	Πρωτόκολλο δεδομένων:	USB φορητό -10 – 60 0 - 85%	
Βάρος (g):		Φορητότητα:		
Παροχή ρεύματος:		Τ εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -CO ₂ : ακρίβεια (στους 25°C): ±50 ppm (±3 ένδειξη *3%), θερμοκρασία ±, ευαισθησία: -132 dBm@980 bps -CO: ακρίβεια: ±5% ή ±20 ppm, εύρος: 0-500 ppm -PM2,5: εύρος: 0-500 μg/m3			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Condensation particle counter 3007</u>			
Αέριοι ρύποι:	PM			
Παράμετροι:				
Μέγεθος(cm) :	-	Πρωτόκολλο δεδομένων:	LCD, RS-232 serial data port	
Βάρος (g):	1723	Φορητότητα:	φορητό	
Παροχή ρεύματος:	μπαταρία	Τ εύρος (°C):	-	
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):	-	
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -εύρος μεγέθους σωματιδίων 0,01 έως >1,0μm, - εύρος συγκέντρωσης 0-100.000 σωματίδια/cm ³			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Aerasene NanoTracer</u>			
Αέριοι ρύποι:	Υπέρλεπτα νανοσωματίδια			
Παράμετροι:				
Μέγεθος (cm):	16.5 x 9.5	Πρωτόκολλο δεδομένων:	USB cable	
Βάρος (g):		Φορητότητα:		

Παροχή ρεύματος:	750 μπαταρία -	Τ εύρος (°C):	φορητό 0-35 0-90%	
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:		Προδιαγραφές κατασκευαστών: -ανιχνεύει αερομεταφερόμενα υπέρλεπτα και νανοσωματίδια, 10-300nm.		

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Aerasene NanoTracer</u>			
Αέριοι ρύποι:	Υπέρλεπτα επίπεδα σωματιδίων			
Παράμετροι:				
Μέγεθος (cm):	6AA μπαταρία	Πρωτόκολλο δεδομένων:	TrakPro software	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	φορητό/εσωτερικό	
Παροχή ρεύματος:		Τ εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
	-			
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -υπέρλεπτα σωματίδια με διάμετρο <0,1 μm (ή 100 nm)			



Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Aethalometer AE51 (Magee Scientific)</u>	
Αέριοι ρύποι:	BC (Μαύρος άνθρακας)	

Παράμετροι:				
Μέγεθος (cm):	11.7×0.7×0.16	Πρωτόκολλο δεδομένων:	USB PC with microAethCOM	
Βάρος (g):	280	Φορητότητα:	φορητό	
Παροχή ρεύματος:	Li-μπαταρία	Τεύρος (°C):	0-40	
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -εύρος μέτρησης: 0-1 mg BC/m ³ , ο χρόνος ζωής του φίλτρου εξαρτάται από τη συγκέντρωση και τη ρύθμιση της ροής: -ανάλυση μέτρησης: 0,001μg BC/m ³ -ακρίβεια μέτρησης: ±0,1μg BC/m ³ , 1 λεπτό μέσος όρος, 150 ml/min ταχύτητα ροής -καλή συσχέτιση (0,79<R ² <0,94) με πιο ακριβά όργανα BC/EC, (AQ-SPEC, 2017)			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Aeroqual Series 500</u> – αέρια			
Αέριοι ρύποι:	NO ₂ , O ₃ ή VOC			
Παράμετροι:				
Μέγεθος (cm):	19.5x12.2x5x4	Πρωτόκολλο δεδομένων:	USB	
Βάρος (g):	<460	Φορητότητα:	φορητό	
Παροχή ρεύματος:	Li-μπαταρία	Τ εύρος (°C):	0-40	
Κόστος (\$):	κατόπιν αιτήματος	RH εύρος(%):	10-90	
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -διατίθενται διαφορετικοί αισθητήρες για διάφορα εύρη συγκέντρωσης (https://www.aeroqual.com/product/series-500-portable-indoor-monitor)			

	Ανεξάρτητες αξιολογήσεις: -NO₂: R²= 0,05-0,90 έναντι οργάνων αναφοράς, LOD: 0-60 ug/m³ (Rai et al., 2017) -O₃: R²=0,80-0,95 έναντι οργάνων αναφοράς (Rai et al., 2017) -R²=0,83-0,86 έναντι οργάνων SCAQMD FRM (AQ-SPEC, 2017)
--	--

Μοντέλο αισθητήρα:	IAQ – CALC Indoor Air Quality Meter (IAQ-CALC™), TSI (Trust Science Innovation), Model 7545 (other models: 7515, 7525, 7535, 7545)			
Αέριοι ρύποι:	CO ₂ , CO			
Παράμετροι:	Υγρασία, Θερμοκρασία			
Μέγεθος (cm):	8.4 x17.8 x4.4cm	Πρωτόκολλο δεδομένων:	USB, AC adapter φορητό/εσωτερικό	
Βάρος (g):	270	Φορητότητα:	5-45	
Παροχή ρεύματος:	4 μέγεθος μπαταρίας AA	Τ εύρος (°C):	5%-95%	
Κόστος (\$):	2000	RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -CO ₂ : ακρίβεια: ±3,0% ανάγνωσης ή ±50ppm, ανάλυση: 1ppm, χρόνος απόκρισης: 20 δευτερόλεπτα -CO (μόνο μοντέλο 7545): τύπος αισθητήρα: ηλεκτροχημικός, εύρος: 0-500ppm, ακρίβεια: ±3,0% ανάγνωσης ή ±3ppm, όποιο είναι μεγαλύτερο, ανάλυση: 0,1ppm, χρόνος απόκρισης: <60 δευτερόλεπτα έως 90% αλλαγή βήματος			

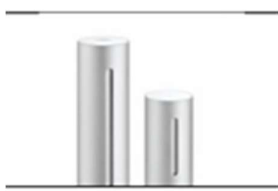
Μοντέλο αισθητήρα:	CM-0018, CO2Meter Inc.	
Αέριοι ρύποι:	CO ₂	

Παράμετροι:	T, RH			 CM-0212 CM-0018AA
Μέγεθος (cm):	14.6×9.1×3.3	Πρωτόκολλο δεδομένων:	USB/Wall Adapter φορητό	
Βάρος (g):		Φορητότητα:		
Παροχή ρεύματος:		Τ εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
	Li-μπαταρία			
	400			
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές ανά κατασκευαστών: -αρχή μέτρησης: μη-διασποράς υπέρυθρου (NDIR): -εύρος μέτρησης: 0–10.000ppm (0-1%) -καταγραφή δεδομένων: διάστημα δειγματοληψίας από 30 δευτερόλεπτα έως 10 ημέρες -ακρίβεια: ± 30ppm ± 3% της μετρούμενης τιμής			

Στατικές συσκευές/εσωτερικού χώρου

Μοντέλο αισθητήρα:	Air Quality Egg			
Αέριοι ρύποι:	CO2, NO2/CO, O3/SO2, PM2.5 ή VOC			
Παράμετροι:	T, RH			
Μέγεθος (cm):	14x14x85	Πρωτόκολλο δεδομένων:	WI-FI, εφαρμογή κινητού	
Βάρος (g):	200g	Φορητότητα:	στατική/εσωτερικού	
Παροχή ρεύματος:	5V micro USB	Τ εύρος (°C):	0-40(PM),(-20-40)gas	
Κόστος (\$):	280	RH εύρος(%):	0-95(PM),(0-100)gas	
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -ανιχνεύει μεγέθη PM: 0,5-10μm με χρήση αισθητήρα Shinyei PPD 60, ηλεκτροχημικούς αισθητήρες προδιαγραφών που χρησιμοποιούνται για αέρια, μέγιστος χρόνος απόκρισης αισθητήρα: 30 δευτερόλεπτα Ανεξάρτητες αξιολογήσεις: -PM: r=-0,06-0,4 έναντι MetOne BAM 1020 FEM PM2.5 (Jiao et al., 2016) -NO2: r=-0,25-0,22 έναντι Thermo Fisher Scientific FEM 42C (Jiao et al., 2016) -CO: R ² ~0,0 με τα αντίστοιχα δεδομένα FRM (AQ-SPEC, 2017)			

	-O₃: R²<0,20 με αντίστοιχα δεδομένα FRM (AQ-SPEC, 2017) -PM2.5 έναντι FEM GRIMM PM2.5 R²> 0.82 (AQ SPEC, 2017), τα δεδομένα PM συσχετίζονται καλά με τα δεδομένα FEM PM2.5 τόσο από το GRIMM όσο και από το BAM, φαίνεται να ακολουθεί την ημερήσια διακύμανση PM2.5 προερχόμενα από τα όργανα FEM (AQ SPEC, 2017)
--	---

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Netatmo Weather Station</u>			
Αέριοι ρύποι:	CO T, RH, θόρυβος, GPS			
Παράμετροι:				
Μέγεθος (cm):	4.5x4.5x15.5 / 4.5x4.5x10.5	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Wi-Fi	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	στατικό/εσωτερικού	
Παροχή ρεύματος:		T εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
	170			
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -αναλυτική πρόγνωση καιρού 7 ημερών -φωτεινή ένδειξη για άμεση ένδειξη CO ₂ -συνδεσιμότητα με πολλές συσκευές, εφαρμογή Smartphone			

Μοντέλο αισθητήρα:	Foobot			
Αέριοι ρύποι:	CO ₂ , VOCs, PM, RH			
Παράμετροι:				
	Θερμοκρασία			
Μέγεθος (cm):	17.2x7.1	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Wi-fi	στάσιμο/εσωτερικού
Βάρος (g):	475	Φορητότητα:		
Παροχή ρεύματος:	USB power adaptor	Τ εύρος (°C):	15-45	
Κόστος (\$):	200	RH εύρος(%):	30-85	

Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -Ο οπτικός αισθητήρας της Foobot ανιχνεύει σωματίδια στον αέρα 0,003-2,5μg -Ευαισθησία: μέγεθος σωματιδίων 0,3-2,5μm (PM 2,5) - Εύρος 0-1 300μg/m³ ; Ακρίβεια ±4μg ή ±20% Συνδεσιμότητα: -Δεδομένα ιστορικού κάθε 5 λεπτά στο cloud, στιγμιαίες μετρήσεις κατ' απαίτηση Ανεξάρτητες αξιολογήσεις: -μέτρια συσχέτιση ($R^2 \sim 0,55$) με το όργανο FEM και υπερεκτίμησε μέτρια τα δεδομένα μέτρησης FEM (BAM) (AQ-SPEC, 2017)
---------------------	--

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>CUBE</u>			
Αέριοι ρύποι:	VOCs, PM, RH,			
Παράμετροι:				
	Θερμοκρασία, φως, θόρυβος			
Μέγεθος (cm):	5x5x5 70 Micro USB 160	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Bluetooth χαμηλή ενέργεια, ZigBee	στατικό/εσωτερικού
Βάρος (g):		Φορητότητα:		
Παροχή ρεύματος:		Τ εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		

Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -αισθητήρες PM για τη σκόνη και τον καπνό του τσιγάρου -αισθητήρες πτητικών οργανικών ενώσεων (αλκοόλες, αλδεΐδες, αλειφατικοί υδρογονάνθρακες, αμίνες, αρωματικοί υδρογονάνθρακες, CO, CH₄, LPG, κετόνες και οργανικά οξέα), που μετατρέπονται σε ισοδύναμο CO₂ ppm -εφαρμογή smartphone
---------------------	--

Μοντέλο αισθητήρα:	Smart Citizen Kit			
Αέριοι ρύποι:	CO, NO ₂			
Παράμετροι:				
	T, RH, φως, θόρυβος			
Μέγεθος (cm):	Cca.15x15x5 3.7V Li-μπαταρία ~220	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Wi-Fi, εφαρμογή κινητού στατικό/εσωτερικό ύ	
Βάρος (g):		Φορητότητα:		
Παροχή ρεύματος:		Τ εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -χρησιμοποιούνται αισθητήρες MOC MiCS-4514 (https://github.com/fablabbcn/Smart-Citizen-Kit/wiki/Datasheets/MiCS-4514_CO_NO2.pdf) -εύρος συγκέντρωσης: CO: 1-1000ppm, NO ₂ : 0,05-5ppm Ανεξάρτητη αξιολόγηση: -CO: R ² =0,45-0,84 έναντι οργάνων SCAQMD FRM, μη αξιόπιστες συγκεντρώσεις NO ₂ (AQ SPEC, 2017)			

Μοντέλο αισθητήρα:	Speck	
Αέριοι ρύποι:		

Παράμετροι:	PM2.5 T, Speck 2.0, RH			
Μέγεθος (cm):	11.4x8x9.4	Πρωτόκολλο δεδομένων:	WI-FI, εφαρμογή κινητού	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	στατικό/εσωτερικού	
Παροχή ρεύματος:		T εύρος (°C):	-10 - 65	
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):	<95	
	150			
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -εύρος μεγεθών ανιχνευόμενων σωματιδίων 0,5 – 3μικρά, με χρήση ανεξάρτητων αξιολογήσεων με αισθητήρα σκόνης DSM501A: -R²<0,1 κατά τη σύγκριση της οθόνης Speck vz2 έναντι του Grimm Model EDM180 PM2.5, παρατηρήθηκε επίδραση της T και της RH (Williams et al., 2016)			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>Aretas Sensor Network</u>			
Αέριοι ρύποι:	CO, CO ₂ , NO ₂ , O ₃ , VOC, PM (0.3, 0.5, 1, 2.5, 5, 10 um)			
Παράμετροι:	T, RH, θόρυβος, GPS			
Μέγεθος (cm):	6xAA/5V	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Wi-Fi, εφαρμογή κινητού	
Βάρος (g):		Φορητότητα:	στατικό/εσωτερικού	
Παροχή ρεύματος:		Τεύρος (°C):		

Κόστος (\$):	miniUSB	RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -CO₂: 0 –10.000ppm, Ανάλυση: 1ppm; Ευαισθησία: ±20ppm, Ακρίβεια: ±30ppm -NO₂: 0-20ppm, Ανάλυση: 0,1ppm, Ακρίβεια βαθμονόμησης: <0,9 ppm, -O₃: 20-200ppb, Χρόνος απόκρισης: 30 δευτερόλεπτα , Ακρίβεια: < ±2% της ένδειξης -VOC: Εύρος T: -20 έως +40 °C, Εύρος RH: 0-90%, Εύρος μέτρησης: έως 10.000ppm, Χρόνος απόκρισης: < 5 δευτερόλεπτα Ελάχιστη ανιχνεύσιμη ποσότητα: έως και 1ppb -PM: Μέτρηση αισθητήρα: 0,3, 0,5, 1, 2,5, 5, 10um, Ακρίβεια μέτρησης σωματιδίων: 50% @ 0,3um, 98% @ >0,5um, Χρόνος απόκρισης αισθητήρα: <10 δευτερόλεπτα			

Μοντέλο αισθητήρα:	Airthinx			
Αέριοι ρύποι:	CO ₂ , VOC, CH ₂ O, PM 1, PM 2.5, PM 10			
Παράμετροι:	T, RH, πίεση			
Μέγεθος (cm):	11x7x3 180 5V micro- USB	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Wi-Fi, Bluetooth, Mesh, Cell., εφαρμογή κινητού, στατικό/εσωτερικού	
Βάρος (g):		Φορητότητα:		
Παροχή ρεύματος:		T εύρος (°C):		
Κόστος (\$):		RH εύρος(%):		
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: -CO ₂ : -0~3000 ppm, Ανάλυση - 1 ppm, Σφάλμα μέγιστης συνέπειας - ±50ppm+5%FS, Χρόνος μίας απόκρισης - <3 δευτερόλεπτα, Συνολικός χρόνος απόκρισης - ≤ 25 sec. -TVOC: - 1~30ppm of EtOH, Ευαισθησία - 0,15~ 0,5Rs (10ppm EtOH)/ Rs (αέρας) -PM: Αποτελεσματικό εύρος 0~500 µg/m ³ , Ανάλυση 1 µg/m ³ , Απόδοση 98%>=0,5µm , Σφάλμα μέγιστης συνέπειας ±10% @100~500µg/m ³			

Μοντέλο αισθητήρα:	AIRASSURE PM2.5			
Αέριοι ρύποι:	PM2.5			
Παράμετροι:				
Μέγεθος (cm):	16.2x8.5x3.3	Πρωτόκολλο δεδομένων:	Ethernet	
Βάρος (g):	200	Φορητότητα:	στατικό/εσωτερικού	
Παροχή ρεύματος:	24V (AC ή DC)	Τ εύρος (°C):	10-30	
Κόστος (\$):	~1000	RH εύρος(%):	<65	
Εκτίμηση επιδόσεων:	Προδιαγραφές κατασκευαστών: - R²=0,95 έναντι TEOM PM2,5 - R²>0,81 Air Assure PM2,5 έναντι δεδομένων FEM GRIMM (AQ-SPEC, 2017)			

Μοντέλο αισθητήρα:	<u>uHoo Smart Air Monitor</u>			
Αέριοι ρύποι:	PM2.5, NO ₂ , VOCs, CO ₂ , CO, Ozone, Virus Index			
Παράμετροι:	T, RH, Air Pressure			
Μέγεθος (cm):		Πρωτόκολλο δεδομένων:	Bluetooth, εφαρμογή κινητού	
Βάρος (g):		Φορητότητα:		

Παροχή ρεύματος:	900mW (κανονική λειτουργία) and 1.5W (μεταφορά δεδομένων)	T εύρος (°C):	Στατικό -10-50°C	
Κόστος (\$):	\$399.00	RH εύρος(%):	0-100%	
Εκτίμηση επιδόσεων:	NA			

Αυτόνομοι αισθητήρες

Στον παρακάτω πίνακα, συνοψίζονται οι πιο συνηθισμένοι μικροαισθητήρες που χρησιμοποιούνται στις προαναφερόμενες έτοιμες προς χρήση συσκευές. Η περιήληψη βασίζεται σε πρόσφατη ανασκόπηση των αισθητήρων από τους Rai et al. (2017) και επικεντρώθηκε σε επιτόπιες αξιολογήσεις αισθητήρων.

Ρύπος	Μοντέλο	Τύπος αισθητήρα	LOD (μg/m ³ for PM, ppb for O ₃ , μg/m ³ for NO ₂)*	R ² εύρος
PM	Alphasense OPC-N2	οπτικό	NA	0.83-0.95
	Plantower PMS 1003	οπτικό	0.721-10.5	0.08-0.45
	Plantower PMS 3003	οπτικό	4.28-11.4	0-0.98
	Samyoung DSM501A	οπτικό	10	0.44-0.46
	Sharp DN7C3CA006	οπτικό	NA	
	Sharp GP2Y1010AU0F	οπτικό	26.1-26.9	
	Shinyei PPD42NS	οπτικό	4.59-6.44	
	Shinyei PPD60PV	οπτικό	NA	
	SPEC Sensors, LLC 968-001	οπτικό		
NO ₂	NO2_3E50	EC	**	0.01-0.90
	NO2-B4	EC	**	0.05-0.9
	NO2-A1	EC	**	0.88-0.92
	NO2 ANA	EC	**	

	<u>MICS-4514</u>	MOS	**	0.02-0.9
	MICS-2710	MOS	**	0.2-0.8
O₃	<u>Aeroqual SM50</u>	MOS	NA	0.80-0.95
	<u>SGX MICS OZ-47</u>	MOS	1.5	0.80-0.82
	<u>SGX MICS 2610</u>	MOS	0.5	0.11-12
	<u>SGX MICS 2611</u>	MOS	5.1-11.7	
	FIS SP-61	MOS	NA	
	<u>Alphasense O3B4</u>	MOS	6.8	0.13-0.70
	<u>Citytech O3 3E1F</u>	EC	2.7	0.85-0.9
	<u>Alphasense OX-B421</u>	EC)	1.8	0.01-0.7
CO	<u>TSG-5042</u>	EC		0.19-0.30
	<u>CO-B4</u>	EC		0.55-0.95
	<u>MICS-4514</u>	MOS		0.78-0.8
	<u>MICS-5525</u>	MOS		0.01-0.19
	<u>MQ-7</u>	MOS		
	<u>SPEC Sensors, LLC 968-001</u>			

NA-μη διαθέσιμο. EC—ηλεκτροχημικός αισθητήρας, MOS-αισθητήρας ημιαγωγού οξειδίου μετάλλου, * Με βάση τις αναφορές στο Rai et al. (2017), ** Εύρος LOD για EC: 0-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, εύρος LOD για MOS: 2-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (εκτιμάται με βάση το Σχήμα 2 στο Rai et al., 2017), *** σύγκριση με όργανα αναφοράς κατά τη διάρκεια δοκιμών πεδίου με βάση τους Rai et al. (2017) και παραπομπές σε αυτό.

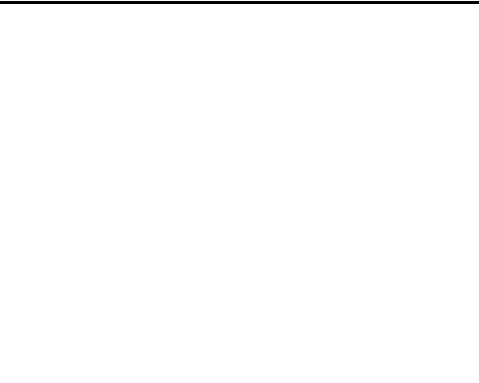
3.2.2 Αισθητήρες προσωπικής δραστηριότητας

Μοντέλο αισθητήρα	FitBit Flex			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	80			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός		
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια		GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	FitBit Charge 2			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	90			

Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια		GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	FitBit Surge			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	200			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS	X	
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή		Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	Garmin Vivosmart HR+			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	140			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια		GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία	X	
Αναπνοή	X	Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	Garmin νίνοactive			

Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	220			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία	X	
Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		

Μοντέλο αισθητήρα	Samsung Gear Fit 2			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	130			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία	X	
Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		

Μοντέλο αισθητήρα	Huawei Fit			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	130			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	Jawbone UP3			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	40			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	Withings Pulse			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	100			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	

Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία	X	
Θερμίδες/ενέργεια		GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή		Φως		

Μοντέλο αισθητήρα	Misfit Ray			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	80			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS		
Ύπνος		Θερμοκρασία		
Αναπνοή		Φως		

Μοντέλο αισθητήρα	Misfit Shine 2			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	80			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		

Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS		
Ύπνος		Θερμοκρασία		
Αναπνοή		Φως		
			X	

Μοντέλο αισθητήρα	TomTom Fitness Tracker			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	80			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια		GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		

Μοντέλο αισθητήρα	TomTom Runner 3			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	170			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία	X	
Θερμίδες/ενέργεια		GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		

Μοντέλο αισθητήρα	Apple Watch			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	450			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή		Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	Moov Now			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	50			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός		
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια		GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή		Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	Actiwatch 2 - Philips Respironics			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)				
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός		
Λεπτά άσκησης		Οξυμετρία		

Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS	X	
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	Actigraph wGT3X-BT Monitor			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)				
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης		Οξυμετρία	X	
Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS	X	
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	Mimobaby Tracker			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	200			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός		
Λεπτά άσκησης		Οξυμετρία		

Θερμίδες/ενέργεια		GPS	X	
Ύπνος	X	Θερμοκρασία	X	
Αναπνοή	X	Φως		

Μοντέλο αισθητήρα	iDEEA system			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)				
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης		Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	Basis Peak*			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	100			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης		Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια	X	GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή		Φως		

	X			
Μοντέλο αισθητήρα	Microsoft Band*			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	150			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια		GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή	X	Φως		
Μοντέλο αισθητήρα	Zephyr Pebble Watch +			
Τύπος	Φυσική δραστηριότητα			
Κόστος (\$)	650			
Βήματα	X	Καρδιακός παλμός	X	
Λεπτά άσκησης	X	Οξυμετρία		
Θερμίδες/ενέργεια		GPS		
Ύπνος	X	Θερμοκρασία		
Αναπνοή		Φως		

III. Επιλογή εξοπλισμού και σχεδιασμός δικτύου μετρήσεων ISEO

Βάσει της ανασκόπησης των προδιαγραφών των αισθητήρων που δίνονται στην προηγούμενη ενότητα και λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους του ISEO, έγιναν οι ακόλουθες παρατηρήσεις σχετικά με τα γενικά χαρακτηριστικά των διαθέσιμων αισθητήρων.

- Οι περισσότεροι αισθητήρες AQ που είναι διαθέσιμοι στην αγορά, έχουν σχεδιαστεί για τη μέτρηση διαφόρων κλασμάτων αιωρούμενων σωματιδίων (PM) και των κύριων αέριων ρύπων: NO₂, O₃ και CO. Τα PM μετρούνται με μεθόδους που βασίζονται στην σκέδαση του φωτός, ενώ οι αέριοι ρύποι μετρούνται είτε με ηλεκτροχημικούς αισθητήρες είτε με αισθητήρες οξειδίων μετάλλων.
- Η πλειονότητα των έτοιμων προς χρήση συσκευών, επιτρέπει και την καταγραφή των περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Αναφέρεται ότι οι αισθητήρες λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών, συνήθως 0-40°C και 20-90% αντίστοιχα.
- Οι περισσότερες από τις έτοιμες προς χρήση μονάδες, μετρούν τουλάχιστον δύο ατμοσφαιρικούς ρύπους.
- Πρωτόκολλα λήψης και μεταφοράς δεδομένων: ανάλογα με το σχεδιασμό του αισθητήρα, η συλλογή δεδομένων ποικίλει από απλά ενσωματωμένα καταγραφικά δεδομένων και μεταφορά μέσω USB, σε πραγματικό χρόνο μέσω διασύνδεσης Wi-Fi και Bluetooth. Προηγμένα συστήματα όπως οι ειδικές web πύλες, επιτρέπουν στους χρήστες όχι μόνο να κατεβάσουν ακατέργαστα δεδομένα αισθητήρων, αλλά και να μεταδίδουν πληροφορίες για τη ρύπανση σε πραγματικό χρόνο, να οπτικοποιούν αυτά τα δεδομένα σε εύκολα κατανοητό πλαίσιο (π.χ. χάρτες, πλατφόρμες), και να συλλέγουν στατιστικές πληροφορίες για τους ρύπους αναφορικά με μία συγκεκριμένη χωροχρονική περιοχή (Hedgcock et al., 2012)
- Οι αισθητήρες που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να φοριούνται, μπορούν να επικοινωνούν μέσω Wi-Fi ή Bluetooth διασύνδεση με εφαρμογές για smartphone, και με αυτόν τον τρόπο επιτρέπουν τη συλλογή και την παρουσίαση σε δεδομένα υψηλής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο, καθώς επίσης και την on-line μεταφορά και αποθήκευση δεδομένων. Αυτές οι συσκευές επίσης, παρακολουθούν την τοποθεσία είτε μέσω GPS που είναι ενσωματωμένο στη συσκευή είτε από το συνοδευτικό smartphone.
- Οι φορητές συσκευές είναι συνήθως σχεδιασμένες με τρόπο φιλικό προς το χρήστη, με όλα τα απαραίτητα αξεσουάρ. Πολλές έτοιμες προς χρήση μονάδες έχουν σχεδιαστεί και είναι διαθέσιμες ως σταθερές συσκευές για το εσωτερικό περιβάλλον του σπιτιού. Αυτές οι συσκευές είναι συνήθως

συνδεδεμένες με το δίκτυο Wi-Fi του νοικοκυριού και συγχρονίζονται με τον διαδικτυακό λογαριασμό.

- Εκμετάλλευση της επιστήμης των πολιτών: ορισμένες από τις συσκευές ανίχνευσης (π.χ. Everyaware SensorBox, Air Quality egg, NetAtmo κ.λπ.) λειτουργούν με βάση τις αρχές της crowdsourced παρακολούθησης πολιτών και είναι συνδεδεμένες μέσω αποκλειστικών εφαρμογών web και πυλών, όπου η κοινότητα των χρηστών μπορεί να μοιραστεί και να αποκτήσει πρόσβαση στα συγκεντρωμένα δεδομένα.
- Αυτόνομοι αισθητήρες: αριθμός διάφορων εξαρτημάτων μικρο-αισθητήρων που μπορούν να ενσωματωθούν σε προσαρμοσμένο σύστημα απόκτησης και αποθήκευσης δεδομένων. Αρκετοί από αυτούς, είναι (τουλάχιστον μερικώς) δοκιμασμένοι σε πραγματικές συνθήκες πεδίου (field study).
- Υπάρχουν πολλοί τύποι αισθητήρων φυσικής δραστηριότητας χαμηλού κόστους διαθέσιμοι που επιτρέπουν την μέτρηση ή εκτίμηση διάφορων συνδυασμών των παραμέτρων, όπως τη τοποθεσία, τον αριθμό βημάτων, τα λεπτά δραστηριότητας, τις θερμίδες/ενέργεια, τον ύπνο, την αναπνοή, τον καρδιακό παλμό, κ.λπ. Οι περισσότερες από αυτές τις διαθέσιμες στην αγορά συσκευές, επικοινωνούν μέσω Bluetooth ή Wi-Fi διασύνδεσης με εφαρμογές smartphone.

Βάσει των απαιτήσεων για την βέλτιστη απόδοση των στόχων του προγράμματος ISEO, η επιλογή του εξοπλισμού για τις μετρήσεις προσωπικής έκθεσης στην αέρια ρύπανση πραγματοποιήθηκε ικανοποιώντας ταυτόχρονα τα παρακάτω κριτήρια:

1. **Μετρούμενοι ρύποι και περιβαλλοντικές παράμετροι:** κατά προτεραιότητα οι PM10, PM2.5, PM1, CO2, NO2, O3, θερμοκρασία, σχετική υγρασία.
2. **Αξιοπιστία των δεδομένων:** να έχει πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση βάσει πρωτοκόλλου από τον κατασκευαστή ή προηγούμενες μελέτες με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα
3. **Χρήση πλατφόρμας συλλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων**
4. **Κόστος:** να είναι τέτοιο ανά συσκευή ώστε να επιτρέπει την αγορά/συντήρηση μεγάλου και ικανοποιητικού αριθμού συσκευών ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της πειραματικής εκστρατείας (συνολικά 100 εθελοντές και περίπου 40-50 κατοικίες).
5. **Φορητότητα και διάρκεια αυτονομίας έπειτα από την φόρτιση:** κρίσιμες παράμετροι για τις μετρήσεις προσωπικής έκθεσης σε εθελοντές-πολίτες.
6. **Ευκολία στην χρήση/πιθανή όχληση:** απαίτηση για μηδενικό ή ελάχιστο θόρυβο, ευκολία στην μεταφορά (για τις φορητές συσκευές και συσκευές που φοριούνται)
7. **Ανατροφοδότηση προς τον χρήστη:** δυνατότητα παρακολούθησης των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο από τον χρήστη-εθελοντή (π.χ. μέσω smartphone), παρακίνησή του για συμμετοχή και αλλαγή περιβαλλοντικής συμπεριφοράς.

Βάσει των παραπάνω κριτηρίων, επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση των μετρήσεων προσωπικής έκθεσης στο πλαίσιο του προγράμματος ISEO, οι παρακάτω συσκευές:

Μετρητικός εξοπλισμός:	Ποσότητα:	Σκοπός:
------------------------	-----------	---------

FLOW II (PlumeLabs)	35	Μετρήσεις προσωπικής έκθεσης σε αέριους ρύπους (100 συμμετέχοντες ανά ομάδες)
AIRTHINX IAQ	10	Μετρήσεις ποιότητας αέρα στο εσωτερικό των κατοικιών των εθελοντών
UHOO	10	Μετρήσεις ποιότητας αέρα στο εσωτερικό κατοικιών των εθελοντών
GARMIN	25	Μετρήσεις βιομετρικών παραμέτρων σε κάθε εθελοντή

Βιβλιογραφία

AQ-SPEC, 2017. Field Evaluation of Low-Cost Air Quality Sensors, <http://www.aqmd.gov/aq-spec/evaluations/field>

Jiao, W., Hagler, G., Williams, R., Sharpe, R., Brown, R., Garver, D., Judge, R., Caudill, M., Rickard, J., Davis, M., 2016. Community Air Sensor Network (CAIRSENSE) project: evaluation of low-cost sensor performance in a suburban environment in the southeastern United States. Atmos. Meas. Tech. 9, 5281–5292.

Proceedings of the 50th annual association for computing machinery southeast conference, ACM-SE'12. (2012). Paper presented at the Proceedings of the Annual Southeast Conference, Retrieved from www.scopus.com

Rai, A. C., Kumar, P., Pilla, F., Skouloudis, A. N., Di Sabatino, S., Ratti, C., Yasar, A., Rickerby, D. 2017, End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring. Science of the total environment 607-608, 691-705.

Williams, R., A. Kaufman, T. Hanley, J. Rice, AND S. Garvey. Evaluation of Field-deployed Low Cost PM Sensors. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-14/464 (NTIS PB 2015-102104), 2014a.

Williams, R., R. Long, M. Beaver, A. Kaufman, F. Zeiger, M. Heimbinder, I. Hang, R. Yap, B. Acharya, B.

Ginwald, K. Kupcho, S. Robinson, O. Zaouak, B. Aubert, M. Hannigan, R. Piedrahita, N. Masson, B. Moran, M. Rook, P. Heppner, C. Cogar, N. Nikzad, AND W. Griswold. Sensor Evaluation Report. U.S Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-14/143 (NTIS PB2015-100611), 2014b.

Xie, M., Piedrahita, R., Dutton, S., Milford, J., Hemann, J., & Peel, J. et al. (2013). Positive matrix factorization of a 32-month series of daily PM2.5 speciation data with incorporation of temperature stratification. Atmospheric Environment, 65. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.09.034