

# Χρήση των ασύρματων αισθητήρων MEMS σε πειράματα διδασκαλίας της Φυσικής

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια πρόταση για χρήση των ασύρματων αισθητήρων MEMS (Μικρο-Ηλεκτρο-Μηχανικά-Συστήματα), για την εκτέλεση εκπαιδευτικών πειραμάτων Φυσικής. Τονίζονται οι μεγάλες δυνατότητες αυτών των αισθητήρων στην εκτέλεση πειραμάτων με τη βοήθεια ασύρματων δικτύων. Τέλος δίνεται ένα παράδειγμα εφαρμογής.

## Abstract

This paper presents a proposal for use of wireless MEMS sensors (Micro-Electro-Mechanical-Systems), to perform physics experiments for educational purposes. The great potential of these sensors is highlighted to perform experiments using wireless networks. Finally is given an example of this application in practice of such type of experiments.

## 1. Εισαγωγή

Οι ασύρματοι αισθητήρες MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems – Μικρο-Ηλεκτρο-Μηχανικά Συστήματα – MEMS) είναι μια τεχνολογία εξαιρετικά μικρού μεγέθους (από μμ έως mm), η οποία αποτελείται από ένα μηχανικό μέρος στην μεταβολή του οποίου παράγεται ηλεκτρικό σήμα. Είναι ουσιαστικά ένας *χωρητικός αισθητήρας πίεσης* (*Capacitive Pressure Sensor – CPS*) και αποτελείται από μία μεμβράνη η οποία μετατοπίζεται ανάλογα με την άσκηση πίεσης επάνω της. Η μεμβράνη σχηματίζει παράλληλο πυκνωτή με το υπόστρωμα πυριτίου και την κοιλότητα κενού που δημιουργείται στο εσωτερικό, παράγοντας μία τιμή χωρητικότητας που εξαρτάται από την ασκούμενη πίεση. Οι αισθητήρες MEMS έχουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα χρήσης, όπως χαμηλό κόστος, μικρό μέγεθος και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Συναντώνται σε πληθώρα εφαρμογών τελευταίας τεχνολογίας, όπως κινητά τηλέφωνα, συστήματα αεροσκαφών, αυτοκίνητα κλπ. Χαρακτηριστικές χρήσεις των MEMS αισθητήρων είναι ως: α) επιταχυνσιόμετρα σε εφαρμογές παιχνιδιών στα κινητά τηλέφωνα, ανιχνεύοντας τη δύναμη της βαρύτητας που ασκείται στα μηχανικά τους μέρη και που είναι ανάλογη της εκάστοτε κλίσης που φέρει η κινητή συσκευή. β) επιταχυνσιόμετρα σε αυτοκίνητα, όπου η ανίχνευση της δόνησης που προκαλείται από την πρόσκρουση του αυτοκινήτου ενεργοποιεί τους αερόσακους του αυτοκινήτου, γ) επιταχυνσιόμετρα σε συνδυασμό με μαγνητόμετρα και γυροσκοπία χρησιμοποιούνται σε συστήματα αεροσκαφών μετρώντας την ταχύτητα, τον προσανατολισμό και τις δυνάμεις βαρύτητας που ασκούνται στο αεροσκάφος, δ) αισθητήρες πίεσης σε ρεζερβουάρ καυσίμων για τον υπολογισμό

αυτονομίας οχημάτων, πλοίων, και πολλές άλλες εφαρμογές. Οι MEMΣ αισθητήρες έχουν κεντρίσει το ενδιαφέρον και της επιστημονικής κοινότητας, όπου σε πολλές περιπτώσεις διερευνάται η δυνατότητα χρήσης σε συστήματα πλοήγησης (Morrison et al, 2012) ή και ακόμη σε ηλεκτρονικά συστήματα αεροσκαφών (Tang & Tsai, 2005).

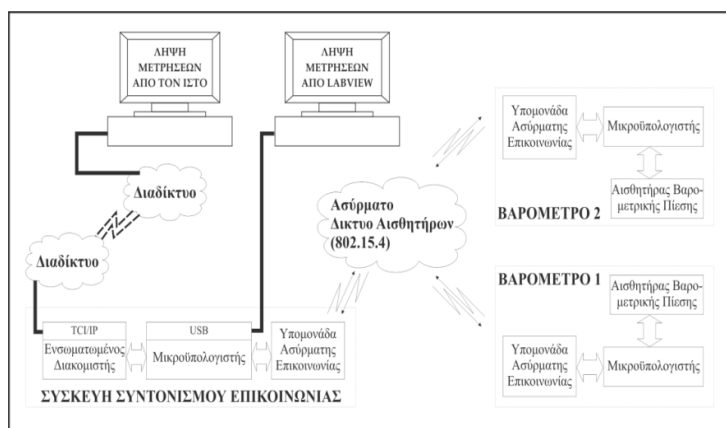
Η αξία του πειράματος ως μέρος της διδακτικής μεθοδολογίας και πρακτικής, είναι ιδιαίτερη σημαντική όσον αφορά την οικοδόμηση αντίληψης των διδασκομένων για τη βαθύτερη κατανόηση των φυσικών εννοιών (Στύλος κ.α. 2014, Koronen & Mäntylä 2006, Trumper κ.α. 2003, Etkina κ.α. 2002). Στην εποχή μας η ραγδαία εξελισσόμενη ψηφιακή τεχνολογία και η διάδοση αυτής στο χώρο της εκπαίδευσης, έχει επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην ανάπτυξη και διεξαγωγή εργαστηρίων Φυσικής, με προτάσεις που αφορούν, λόγου χάρη, πειράματα απομακρυσμένης πρόσβασης (Harms, 2000; Kocijancic, 2002; Schauer et al, 2008;).

Στην εργασία αυτή προτείνεται και εφαρμόζεται η χρήση των ασυρμάτων αισθητήρων MEMΣ για την εκτέλεση εκπαιδευτικών πειραμάτων Φυσικής για φοιτητές ή μαθητές Λυκείου.

## 2. Θεωρητικό υπόβαθρο

Είναι γνωστό ότι η μάζα των ατόμων (78% Άζωτο (N<sub>2</sub>), 21% Οξυγόνο (O<sub>2</sub>) και 1% άλλα αέρια) του αέρα έλκεται από τη Γη και συνεπώς, το βάρος του αέρα ασκεί δύναμη  $F$  σε κάθε επιφάνεια  $A$  που βρίσκεται σε επαφή με τον αέρα. Η δύναμη αυτή δημιουργεί ατμοσφαιρική (βαρομετρική) πίεση  $p$  (όπου  $p=F/A$ ) και η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης εξαρτάται από το υψόμετρο σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας.

**Σχήμα 1.** Αρχιτεκτονική του εξοπλισμού



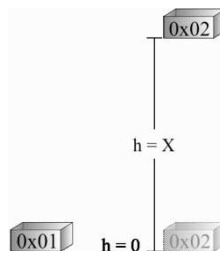
Όσο αυξάνεται το υψόμετρο τόσο μειώνεται η ποσότητα του αέρα και συνεπώς, μειώνεται η μετρούμενη ατμοσφαιρική πίεση. Τα όργανα που μετρούν την ατμοσφαιρική πίεση είναι τα βαρομετρα και τα όργανα που αναγάγουν την τιμή ατμοσφαιρικής πίεσης σε υψόμετρο ονομάζονται υψομετρικά όργανα (altimeters).

Η ιδέα είναι οι αισθητήρες MEMΣ να χρησιμοποιηθούν ως όργανα μέτρησης της βαρομετρικής πίεσης με ασύμμετρη επικοινωνία (Bolanakis et al, 2015a) και να συνδεθεί είτε η ατμοσφαιρική πίεση ή το υψόμετρο με έννοιες και φαινόμενα της Φυσικής για την εκτέλεση εκπαιδευτικών πειραμάτων της Φυσικής. Τέτοιο σύστημα έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Εκπαίδευσης και Διδασκαλίας της Φυσικής του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης (Π.Τ.Δ.Ε.) του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και πραγματοποιήθηκαν εκπαιδευτικά πειράματα είτε στη βαρομετρική υψομετρία, είτε στη μέτρηση θερμοκρασίας (Bolanakis et al, 2015b). Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική αυτού του πρωτότυπου εξοπλισμού.

### 3. Μέτρηση υψομετρικής διαφοράς

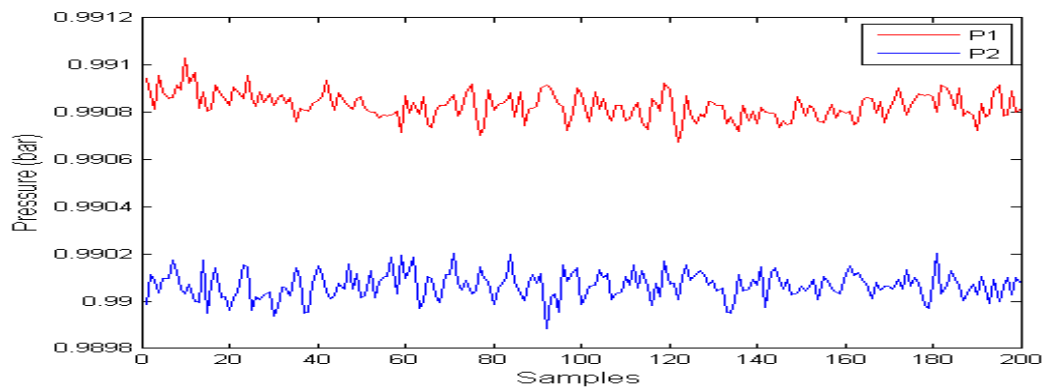
Ως δοκιμαστική εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες για τη μέτρηση και τον υπολογισμό του ύψους ενός κτιρίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Στην περίπτωση αυτή οι δύο αισθητήρες A και B (0x01 και 0x02) έχουν τοποθετηθεί στην αρχή στο ίδιο ύψος ( $h=0$  μέτρα). Η λήψη μετρήσεων υλοποιήθηκε μέσω LabView ώστε να είναι δυνατή η επίδειξη του συστήματος από το διδάσκοντα κατά τη ανάλυση των θεωρητικών εννοιών που συσχετίζονται με τα πειράματα.

Σχήμα 2. Διάγραμμα των θέσεων των αισθητήρων MEMS



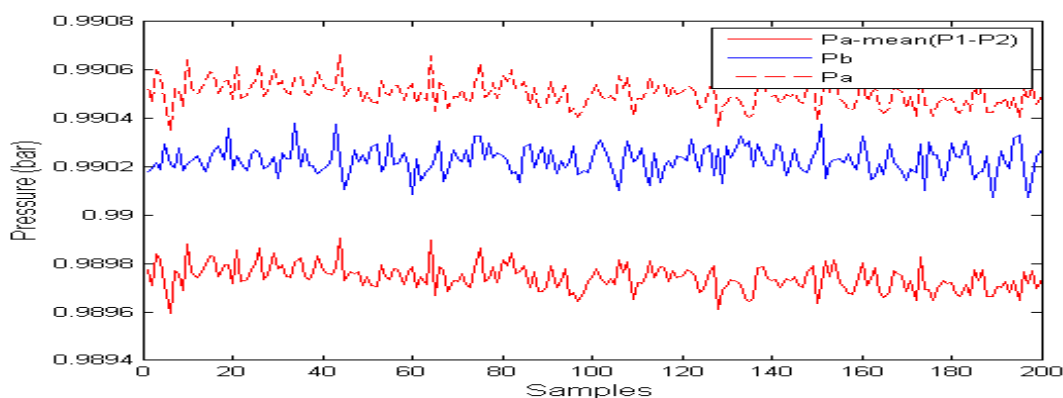
Αξίζει να σημειωθεί ότι αναπτύχθηκαν και προγράμματα σε Matlab, τα οποία πραγματοποιούν αυτόματη ανάλυση των μετρήσεων ατμοσφαιρικής πίεσης με γραφικές αναπαραστάσεις των δεδομένων, για την υποστήριξη της θεωρητικής εισαγωγής στο αντικείμενο που πρόκειται να πειραματιστούν οι διδασκόμενοι. Οι δύο πανομοιότυποι αισθητήρες εμφανίζουν απόκλιση στο σήμα εξόδου ακόμα και όταν μετράνε την ίδια τιμή ατμοσφαιρικής πίεσης. Η διαφορά αυτή έχει να κάνει με την ίδια την κατασκευή του αισθητήρα, και παρουσιάζεται στο σχήμα 3, όπου και οι δύο αισθητήρες βρίσκονται στο ίδιο ύψος ( $x=0m$ ) και παρατηρείται απόκλιση στην μετρούμενη ένδειξη της πίεσης.

Σχήμα 3. Διάγραμμα των μετρήσεων των δύο αισθητήρων στο ίδιο σημείο ( $x=0m$ ).



Για τον λόγο αυτό χρειάζεται βαθμονόμηση των υψομετρικών οργάνων για τον υπολογισμό της απόκλισης. Στο σχήμα 4 φαίνονται οι μετρήσεις, από δοκιμαστική εφαρμογή, των δύο αισθητήρων μετά από την βαθμολόγησή τους για ύψος 4.7m, δηλαδή την απόσταση πατώματος και οροφής ενός κτιρίου. Η κόκκινη γραμμή αναφέρεται στον αισθητήρα του πατώματος, η μπλε γραμμή στον αισθητήρα της οροφής (4.7m) και η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή στην μέτρηση που προκύπτει μετά από τη βαθμολόγηση (ουσιαστικά αφαίρεση του μέσου όρου των ενδείξεων των δύο αισθητήρων για το σημείο  $x=0m$ ). Η αναγωγή των μετρήσεων σε ύψος δίνει μια μέση τιμή  $x=4.1$  m, δηλαδή μια ικανοποιητική τιμή που αποκλίνει από την πραγματική κατά 12.7%.

**Σχήμα 4.** Οι καμπύλες από τις μετρήσεις των αισθητήρων MEMS.



#### 4. Επίλογος

Η προτεινόμενη πειραματική διάταξη με τους αισθητήρες MEMS και τα πειράματα που μπορούν να γίνουν με αυτήν, αποτελεί έναν εξοπλισμό πολύ χαμηλού κόστους και μπορεί να απευθυνθεί τόσο σε φοιτητές από απόσταση, όσο και σε φοιτητές που έχουν κινητικά προβλήματα (Μπολανάκης & Κώτσης, 2016).

#### 5. Βιβλιογραφία

- Bolanakis, D.E., Kotsis, K.T., & Laopoulos, T. (2015a). A prototype wireless sensor network system for a comparative evaluation of differential and absolute barometric altimetry. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 30(11), 20-28.
- Bolanakis, D.E., Kotsis, K.T., & Laopoulos, T. (2015b). Temperature influence on differential barometric altitude measurements. *The 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2015)*, (pp. 120-124), Poland.
- Etkina, E., Heuvelen, A., Brookes, D.T., & Mills, D. (2002). Role of experiments in physics instruction – a process approach. *The Physics Teacher*, 40(6), 351-355.
- Harms, U. (2000). Virtual and remote labs in physics education. *2nd European Conference on Physics Teaching in Engineering Education*, (pp. 1-6), Budapest.
- Kocijancic, S. (2002). Online experiments in physics and technology teaching. *IEEE Transactions on Education*, 45, 26-32.
- Koponen, I.T., & Mäntylä, T. (2006). Generative role of experiments in physics and in teaching physics: A suggestion for epistemological reconstruction. *Science & Education*, 15(1), 31-54.
- Morrison, A., Renaudin, V., Bancroft, J.B., & Lachapelle, G. (2012). Design and testing of a multi-sensor pedestrian location and navigation platform. *Sensors*, 12, 3720-3738.
- Schauer, F., Ozvoldova, M., & Lustig, F. (2008). Real remote physics experiments across internet – inherent part of integrated e-learning. *International Journal of Online Engineering*, 4, 52-55.
- Tang, W., & Tsai, Y-H (2005). Barometric altimeter short-term accuracy analysis. *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, 20, 24-26
- Trumper, R. (2003). The physics laboratory – a historical overview and future perspectives. *Science & Education*, 12(7), 645-670.
- Μπολανάκης Ε. Δ. και Κώτσης Θ. Κ., (2016), Πείραμα για τη μέτρηση υψομετρικής διαφοράς: μία πρόταση για άτομα με κινητική αναπηρία, στο *Κουμαράς Π. (Επιμ.) Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου «Διδακτικές προσεγγίσεις και πειραματική διδασκαλία στις Φυσικές Επιστήμες», Θεσσαλονίκη, σελ. 205-213.*
- Στόλος, Γ., Κώτσης, Κ.Θ., & Εμβαλωτής Α. (2014). Πρακτικές εκπαιδευτικών Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης στη διδασκαλία της Φυσικής (Α' Μέρος). *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση*, 5, 7-15.