

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ - ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Χ. Ε. Παπαδόπουλος

SME - Department of Fluid Engineering and Instrumentation, CRANFIELD University, U.K.

Ν. Α. Τσοχατζίδης

Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ) ΑΕ. Συνοριακός Μετρητικός Σταθμός, 62300 Σιδηρόκαστρο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος μέτρησης παροχής Φυσικού Αερίου εξαρτάται από πολλούς και σύνθετους παράγοντες. Στην εργασία αναπτύσσονται όλοι αυτοί οι παράγοντες, οι οποίοι πρέπει να εξετάζονται με ιδιαίτερη προσοχή κατά την φάση επιλογής τέτοιων μετρητικών συστημάτων έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση τους στις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην εξέταση των μετρητών τύπου διαφράγματος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ακριβής μέτρηση της παροχής των διαφόρων ρευστών (υγρών ή αερίων) παρουσιάζει αρκετές ιδιαιτερότητες και δυσκολίες σε σχέση με άλλες μετρήσεις (μήκους, μάζας κτλ). Οι δυσκολίες αυτές προέρχονται από το γεγονός ότι δεν υπάρχει αντίστοιχο "πρωτεύων πρότυπο" παροχής (primary standard). Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια οι μετρήσεις παροχής να παρουσιάζουν υψηλές τιμές αβεβαιότητας σε σχέση με τις μετρήσεις άλλων απλούστερων μεγεθών. Για παράδειγμα στο ξηρό φυσικό αέριο οι ελάχιστες τιμές αβεβαιότητας της μέτρησης παροχής σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι της τάξης 0.3 - 1% της ένδειξης.

Ο όρος "πρότυπο" έχει πολλές έννοιες. Ως πρότυπα χαρακτηρίζονται τα έγγραφα εκείνα που περιέχουν τη διεθνή βάση της σχετικής τεχνικής επικοινωνίας και αφορούν διάφορες συσκευές και διαδικασίες. Όμως, ο όρος πρότυπο χρησιμοποιείται και για να χαρακτηρίσει την "υλοποιημένη μονάδα μέτρησης, ή συσκευή μέτρησης, τα υλικά αναφοράς ή συστήματα μέτρησης, προορισμένα να ορίσουν, να πραγματοποιήσουν, να συντηρήσουν ή να αναπαράγουν μια μονάδα ή μία ή και περισσότερες αξίες ενός μεγέθους για να χρησιμεύσουν ως βάση αναφοράς". Επιπρόσθετα, ως πρωτεύων πρότυπο ορίζεται το "πρότυπο το οποίο έχει καθορισθεί και αναγνωρίζεται ευρέως ότι έχει τις υψηλότερες μετρολογικές ιδιότητες και η τιμή του είναι αποδεκτή χωρίς να γίνεται αναφορά σε άλλα πρότυπα του ίδιου μεγέθους" [1].

Οι μετρητές παροχής γενικά και ειδικότερα αυτοί που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις Φυσικού Αερίου (Φ.Α.) ταξινομούνται σε τρεις (3) κατηγορίες:

1. Μετρητές ορμής
2. Μετρητές όγκου
3. Μετρητές μάζας

Οι μετρητές που χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία Φ.Α. ανήκουν κυρίως στην 1^η και 2^η κατηγορία.

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Η επιλογή του κατάλληλου μετρητή Φ.Α. γίνεται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια και περιορισμούς που ταξινομούνται ως εξής:

1. Περιορισμοί λόγω ειδικών χαρακτηριστικών του μετρούμενου Φ.Α.
2. Περιορισμοί λόγω ειδικών τεχνικών χαρακτηριστικών κατασκευής των μετρητών καθώς και χαρακτηριστικών λειτουργίας τους.

3. Επιδράσεις του περιβάλλοντος στην ομαλή λειτουργία τους.

4. Κόστος.

Κάθε κριτήριο επιλογής περιλαμβάνει ποικίλους παράγοντες οι οποίοι και θα αναφερθούν συνοπτικά για κάθε είδος μετρητή. Στον Πίνακα 1 δίνονται συγκεντρωτικά στοιχεία των συνηθέστερων τύπων μετρητών που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις παροχής Φ. Α.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά λειτουργίας διαφόρων μετρητών παροχής Φυσικού Αερίου.

Τύπος Μετρητή	Αβεβαιότητα Μέτρησης (%)	Διάμετρος Αγωγού (mm)	Θερμοκρ. λειτουργ. (°C)	Αριθμός Reynolds Re	Απώλειες Πίεσης	Ευαισθησία Εγκατάστ.	Αρχικό Κόστος
Orifice	0.5 - 0.8 της URV	50 - 1000	< 540	> 2000	Υψηλές	Υψηλή	Χαμηλό - Μέτριο
Positive Displacement	0.1 - 3 της URV	4 - 1000	< 120	> 1000	Χαμηλές	Χαμηλή	Μέτριο
Turbine	0.5 της μέτρησης	6 - 600	< 260	> 10000	Μέτριες	Υψηλή	Μέτριο
Vortex	0.5 - 1.5 της μέτρησης	12 - 400	< 400	> 10000	Μέτριες	Υψηλή	Μέτριο
Ultrasonic	από 0.8% της μέτρησης έως 5% της URV	> 12	< 260	Χωρίς όριο	Ελάχιστες	Χαμηλή - Μέτρια	Μέτριο

Οι τιμές αβεβαιότητας αναφέρονται σε μετρητές που δεν έχουν διακριβωθεί.

URV - Upper Range Value - Ανώτατη τιμή της κλίμακας λειτουργίας

Εκτός από τους μετρητές του Πίνακα 1, υπάρχουν ασφαλώς και άλλοι τύποι, όπως οι Venturi, Sonic Nozzles, Insertion Meters (pitot tubes), που όμως είναι περιορισμένης χρήσης και δεν θα αναπτυχθούν στην εργασία.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η επιλογή του κατάλληλου μετρητή παροχής Φ.Α. εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σημασία που δίνεται στις συνθήκες μέτρησης. Συγκεκριμένα, αν ένας μετρητής προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε κάποιο σύστημα αυτομάτου ελέγχου (control meter) τότε αποκτά ιδιαίτερη σημασία η επαναληψιμότητα (repeatability) της μέτρησης, ενώ μειώνεται η σημασία της απόλυτης ακρίβειας μέτρησης. Αντίθετα, στους μετρητές που χρησιμοποιούνται για κοστολόγηση του Φ.Α. (fiscal metering) η ακρίβεια της μέτρησης είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας για την επιλογή.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΡΗΤΩΝ

Στη συνέχεια αναλύονται διάφοροι τύποι μετρητών ως προς τα κριτήρια επιλογής και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους.

Οι *Orifice* ανήκουν στην ομάδα των μετρητών που χρησιμοποιούν τη διαφορική πίεση για τη μέτρηση της παροχής εισάγοντας κάποια μεταβολή στην επιφάνεια της ροής. Η επιτάχυνση του αερίου μέχρι το σημείο της μέγιστης ταχύτητας (vena contracta) οδηγεί σε πτώση της πίεσης σύμφωνα με την ενεργειακή εξίσωση Bernoulli. Οι *Orifice* είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενοι μετρητές στη βιομηχανία Φ.Α. σε μετρήσεις υψηλών παροχών αερίου για κοστολόγηση. Ένας σημαντικός συντελεστής που υπεισέρχεται στην εξίσωση υπολογισμού της παροχής των μετρητών αυτών είναι ο συντελεστής παροχής (coefficient of discharge), ο

οποίος είναι ένας διορθωτικός συντελεστής για τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Ο συντελεστής παροχής υπολογίζεται είτε από εμπειρική εξίσωση που έχει προκύψει από εκτεταμένες μετρήσεις σε ιδανικές συνθήκες λειτουργίας (πλήρης ανεπτυγμένη τυρβώδης και σταθερή ροή) [2], είτε προκύπτει κατόπιν διακρίβωσης του κάθε μετρητή. Ασφαλώς όπου είναι τεχνικά δυνατό, η μέθοδος της επί τόπου διακρίβωσης είναι προτιμότερη αφού λαμβάνει υπόψη τις πραγματικές παραμέτρους σχεδιασμού και λειτουργίας του μετρητή και έτσι μειώνει σημαντικά την αβεβαιότητα της μέτρησης.

Τα πλεονεκτήματα των Orifice συνοψίζονται στα εξής [3]:

1. Απλός και με χαμηλό κόστος κατασκευής.
2. Εύκολος στην τοποθέτηση.
3. Διεθνής εμπιστοσύνη (αν και τα τελευταία χρόνια τείνει να υπερκεραστεί από άλλα είδη μετρητών όπως οι Turbine).
4. Υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία που περιγράφει τη λειτουργία του.

Τα μειονεκτήματα των Orifice είναι:

1. Περιορισμένο εύρος λειτουργίας (3 προς 1) λόγω τις μη γραμμικής σχέσης παροχής και διαφορικής πίεσης.
2. Έστω και ελάχιστη διάβρωση στην πλευρά του μετρητή που έχει μέτωπο στη ροή επηρεάζει τη λειτουργία του.
3. Επηρεάζεται αρκετά από οποιαδήποτε παρέκκλιση της ροής από τις ιδανικές συνθήκες (ασύμμετρη ροή, στροβιλισμό, δονήσεις κτλ).
4. Εμφανίζει σημαντικές απώλειες πίεσης.

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του είναι σχετικά χαμηλό και εξαρτάται κυρίως από τον δευτερεύοντα εξοπλισμό που χρησιμοποιείται. Οι μετρητές Orifice χρησιμοποιούνται από τη Δημόσια Επιχείρηση Αερίου Α.Ε. για κοστολόγηση μεγάλων παροχών Φ.Α.

Οι *Θετικού Εκτοπίσματος* (positive displacement) είναι από τους αρχαιότερους μετρητές οι οποίοι χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα. Κάποιοι μετρητές αυτού του τύπου είναι ανάμεσα στους ακριβέστερους που υπάρχουν διαθέσιμοι σήμερα και χρησιμοποιούνται εκτεταμένα σε μετρήσεις κοστολόγησης του Φ.Α. Είναι οι κατεξοχήν χρησιμοποιούμενοι μετρητές Φ.Α. χαμηλής πίεσης (οικιακοί καταναλωτές). Λειτουργούν βάση των διαδοχικών μηχανικών διαιρέσεων του μετρούμενου ρευστού σε ξεχωριστούς και καθορισμένους όγκους. Ο αριθμός των όγκων αυτών δίνει τον συνολικό όγκο του αερίου και η συχνότητα διαδοχής των όγκων δίνει την παροχή. Χωρίζονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες ανάλογα με την κίνηση που εκτελούν κατά τη μέτρηση [4].

- | | |
|-------------------|------------------|
| 1. Παλινδρομικής | 2. Περιστροφικής |
| 3. Ταλαντευόμενης | 4. Γυροσκοπικής |

Οι μετρητές θετικού εκτοπίσματος, παρά τη μηχανική κατασκευή τους, εισάγουν σχετικά χαμηλές απώλειες πίεσης λόγω χαμηλού ιξώδους του Φ.Α. (σε αντίθεση με τη μέτρηση υγρών όπου η πτώση πίεσης είναι υψηλή). Ένα από τα σημαντικά θετικά στοιχεία των μετρητών αυτών είναι ότι δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις συνθήκες ροής κατά τη μέτρηση, αφού δεν επηρεάζονται από το προφίλ της ταχύτητας, τον στροβιλισμό ή οποιαδήποτε άλλη κατάσταση μη ιδανικής ροής, με εξαίρεση την παλλόμενη ροή. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησής τους είναι σχετικά υψηλό.

Οι μετρητές *Turbine* αποτελούνται από περιστρεφόμενο ρότορα, ή έλικα με πτερύγια, του οποίου η ταχύτητα περιστροφής χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της παροχής. Συνήθως ο ρότορας είναι ομοαξονικός με τον αγωγό ροής. Η ροή προκαλεί περιστροφική κίνηση στον ρότορα ανάλογη με την ταχύτητα του αερίου, ενώ αισθητήρες καταγράφουν τους παλμούς από την κίνηση των πτερυγίων. Τα τελευταία χρόνια στις μετρήσεις Φ.Α. χρησιμοποιούνται μετρητές *Turbine* με διπλό ρότορα. Έτσι υπάρχει ο κύριος ρότορας ενώ ακολουθεί ο ρότορας

που δίνει τις ενδείξεις για τη ροή. Αυτού του είδους οι μετρητές έχουν αυξημένες αυτοδιαγνωστικές δυνατότητες όταν συνδυαστούν με σύστημα οπτικών αισθητήρων για την ανίχνευση της ταχύτητας περιστροφής του ρότορα [5]. Κατά την λειτουργία τους εμφανίζουν καλή γραμμικότητα. Το γεγονός ότι το σήμα εξόδου είναι παλμικού τύπου διευκολύνει τη σύνδεση τους με μοντέρνα υπολογιστικά συστήματα. Η λειτουργία τους επηρεάζεται σημαντικά από την πυκνότητα του αερίου, ενώ είναι αρκετά ευαίσθητοι σε μη ιδανικά προφίλ ταχύτητας του αερίου και ιδιαίτερα στον στροβιλισμό, και στην παλλόμενη ροή, όπου λόγω αδράνειας εμφανίζουν θετικό σφάλμα μέτρησης. Το κόστος λειτουργίας τους αυξάνεται σημαντικά σε περιπτώσεις όπου απαιτείται υψηλή απόδοση εξαιτίας της περιοδικής συντήρησης. Άλλος παράγοντας που μπορεί να ανεβάσει το κόστος τους είναι η κατασκευή εγκατάστασης έτσι ώστε να είναι δυνατή η επιτόπου διακρίβωσή τους.

Η λειτουργία των μετρητών *Vortex* βασίζεται στο φαινόμενο της δημιουργίας περιοδικών στροβίλων πίσω από κάποιο ειδικά σχεδιασμένο σώμα το οποίο τοποθετείται κάθετα προς τη ροή του αερίου μέσα στον αγωγό. Διαφόρων τύπων αισθητήρες (θερμικοί, πίεσης, υπερήχων κτλ) μετρούν τη συχνότητα δημιουργίας αυτών των στροβίλων, η οποία εμφανίζει γραμμική σχέση με την ταχύτητα της ροής. Τα κύρια πλεονεκτήματα στη λειτουργία των μετρητών *Vortex* είναι ότι παρουσιάζουν μεγάλης διάρκειας σταθερότητα και δεν επηρεάζονται από παράγοντες όπως το ιξώδες και η πυκνότητα [6]. Τα κύρια μειονεκτήματα τους είναι ότι είναι ευαίσθητοι σε ασταθείς και σε στροβιλώδεις ροές και εισάγουν γενικά υψηλές απώλειες πίεσης. Το κόστος εγκατάστασής τους ποικίλει, ενώ το κόστος συντήρησής του είναι αρκετά χαμηλό.

Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται διαρκώς η χρήση των μετρητών *Υπερήχων (Ultrasonic)* ειδικά σε μετρήσεις κοστολόγησης. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ροής του Φ.Α. είναι ο *multipath transit time*. Αυτός αποτελείται από μία σειρά αισθητήρων υπερήχων που λειτουργούν ως πομπός και δέκτης ταυτόχρονα κατά ζεύγη σαρώνοντας την επιφάνεια ροής. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται οι ευαισθησία τους σε μη ιδανικές συνθήκες ροής. Το κόστος τους είναι υψηλό για μικρής διαμέτρου αγωγούς, ενώ γίνεται λογικό όσο μεγαλώνει η διάμετρος. Όταν χρησιμοποιούνται για μετρήσεις κοστολόγησης και απαιτείται συχνή επαναδιακρίβωσή το κόστος συντήρησης τους γίνεται υψηλό. Ένα σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν σημαντικές διαγνωστικές πληροφορίες πέρα από την καθαυτό μέτρηση, οι οποίες απαιτούνται από διεθνή πρότυπα [7].

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση που παρουσιάζεται στην εργασία φαίνεται ότι η επιλογή του κατάλληλου μετρητή Φ.Α. πρέπει να βασίζεται στη γνώση των χαρακτηριστικών του καθώς και των απαιτήσεων των συνθηκών λειτουργίας. Η επικράτηση ενός τύπου μετρητή σε κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή με παρόμοιες συνθήκες λειτουργίας αποτελεί συνήθως έναν καλό οδηγό για τη σωστή επιλογή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] N. 2231 / 1994.
- [2] ISO Standard 5167-1, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices* (1991).
- [3] Miller R.W., *Flow Measurement Engineering Handbook*, 3rd ed. Mc-Graw Hill, New York (1996).
- [4] BS 7405 *Selection and application of flowmeters for the measurement of fluid flow in closed conduits* (1991).
- [5] Baker R. C., *Flow Meas. Instrum.* 4:123 (1993).
- [6] Miller R.W., Wilkes C. and Jones E., *Mass Flow Meas.*, 17:1 ASME (1984).
- [7] AGA Report 9, draft 5, *Measurement of gas by ultrasonic meters*, AGA (1997).