

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΒΛΑΠΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Γ. Καϊσαρλής

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Τομέας Μηχ/κών Κατασκευών & Αυτ. Ελέγχου,  
Κτίριο «Μ», Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 73, Ζωγράφου, Αθήνα  
gkaiss@central.ntua.gr

## Περίληψη:

Σύμφωνα με το ισχύων νομοθετικό πλαίσιο για την Υγιεινή και Ασφάλεια Εργασίας, η ποσοτική εκτίμηση των κινδύνων συνδέεται άμεσα με τη διεξαγωγή μετρήσεων βλαπτικών παραγόντων (π.χ. θόρυβος, θερμοκρασία, δονήσεις, σκόνη, χημικοί παράγοντες) στο εργασιακό περιβάλλον.

Στο πλαίσιο της σύγχρονης μετρολογίας, τους όρους «ακρίβεια» και «σφάλμα» μέτρησης έχει αντικαταστήσει η έννοια της «αβεβαιότητας» των μετρητικών αποτελεσμάτων. Η *αβεβαιότητα* συνιστά μια ποσοτική έκφραση της ποιότητας της μέτρησης. Ο βασικός διαχωρισμός μεταξύ των εννοιών του σφάλματος και της αβεβαιότητας εντοπίζεται στο ότι ως σφάλμα ορίζεται η διαφορά μεταξύ μετρούμενης και «αληθούς» αλλά άγνωστης τιμής ενός μετρούμενου μεγέθους ενώ ως αβεβαιότητα η ποσοτική έκφραση της αμφιβολίας που υπάρχει σχετικά με το αποτέλεσμα της μέτρησης. Επιπλέον, η αβεβαιότητα μέτρησης αποτελεί πλέον βασικό στοιχείο στον καθορισμό της ιχνηλασιμότητας. Ένα αποτέλεσμα μέτρησης θεωρείται ιχνηλάσιμο, μόνο εάν αναφέρεται μαζί με αυτό το διάστημα αβεβαιότητας που καλύπτει την «πραγματική τιμή» του μετρούμενου μεγέθους με μια δεδομένη πιθανότητα (π.χ. 95%). Σε όλους τους τομείς της σύγχρονης μετρολογίας η επιστημονική προσέγγιση εκτίμησης της αβεβαιότητας βασίζεται στον οδηγό ISO-GUM (*Guide for the Uncertainty of Measurement*).

Παρά το γεγονός ότι στα διεθνή κι ευρωπαϊκά πρότυπα (π.χ. ΕΛΟΤ EN 482) επισημαίνεται η αναγκαιότητα εκτίμησης της αβεβαιότητας κατά τη διαδικασία εκτέλεσης μετρήσεων βλαπτικών παραγόντων του εργασιακού περιβάλλοντος, στην εγχώρια πραγματικότητα, κατά κανόνα, οι εν λόγω μετρήσεις σε ελάχιστες περιπτώσεις συνοδεύονται από μια τέτοιου είδους εκτίμηση.

Στην εργασία παρουσιάζονται σύγχρονα εργαλεία και μέθοδοι εκτίμησης αβεβαιότητας κατά τη μέτρηση βλαπτικών παραγόντων σε βιομηχανικό περιβάλλον. Στόχος της εργασίας είναι η συστηματική προσέγγιση της εκτίμησης της αβεβαιότητας κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων που αφορούν ειδικότερα στις μετρήσεις θορύβου, σκόνης και χημικών παραγόντων, με τη χρήση κατανοητών και άμεσα εφαρμόσιμων τεχνικών, σε συμμόρφωση με το πρότυπο ISO GUM. Η πειραματική διερεύνηση και οι προοπτικές της προσέγγισης αυτής παρουσιάζονται μέσα από σχετικές βιομηχανικές εφαρμογές.

## 1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με το ισχύων νομοθετικό πλαίσιο για την Υγιεινή και Ασφάλεια Εργασίας, η ποσοτική εκτίμηση των κινδύνων συνδέεται άμεσα με τη διεξαγωγή μετρήσεων βλαπτικών παραγόντων (π.χ. θόρυβος, θερμοκρασία, δονήσεις, σκόνη, χημικοί παράγοντες) στο εργασιακό περιβάλλον. Οι μετρήσεις αυτές καταγράφονται και αξιολογούνται έτσι ώστε να αποτελέσουν τη βάση για την λήψη μιας σειράς κρίσιμων αποφάσεων που σχετίζονται με την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων προστασίας των εργαζομένων από την έκθεσή τους στους εν λόγω βλαπτικούς παράγοντες [1].

Η Μετρολογία είναι η επιστήμη που έχει ως αντικείμενο τη μέτρηση, τη μελέτη της αξιοπιστίας των μετρήσεων και την εφαρμογή των αρχών της στους τομείς της καθημερινής ζωής, στις συναλλαγές, στη βιομηχανική παραγωγή, στην εργαστηριακή έρευνα, στον έλεγχο ποιότητας, στην ασφάλεια και στην υγεία. Όλες οι μετρήσεις, ανεξάρτητα από το πόσα καλά έχουν σχεδιαστεί και εκτελεστεί, υπόκεινται σε σφάλματα (τυχαία ή συστηματικά), γεγονός που σε μεγάλο βαθμό αποδίδεται στο ότι για την παραγωγή μετρητικών αποτελεσμάτων είναι απαραίτητη η χρήση μετρητικών οργάνων,

διατάξεων ή συσκευών στα οποία αναπόφευκτα υπάρχουν κατασκευαστικές και λειτουργικές ατέλειες. Στην ευρύτερη επιστημονική περιοχή της μετρολογίας η ανάλυση και κατανόηση των θεμελιωδών εννοιών της ορθότητας, της ακρίβειας, του σφάλματος και ειδικότερα της αβεβαιότητας, καθώς και ο υπολογισμός της «συνολικής αβεβαιότητας των μετρήσεων» με βάση τις σύγχρονες αντιλήψεις, «θεμελιώθηκαν» μετά τη δημοσίευση του διεθνούς προτύπου ISO Guide for the Uncertainty of Measurement (GUM) [2]. Η *αβεβαιότητα* συνιστά μια ποσοτική έκφραση της ποιότητας της μέτρησης, στο βαθμό που επιτρέπει την εκτίμηση των ορίων του σφάλματος της πειραματικής παρατήρησης και ο υπολογισμός της, λαμβάνοντας υπ' όψη το σύνολο των παραμέτρων που επηρεάζουν την ποιότητα αυτή, τις αλληλεπιδράσεις και τον συσχετισμό τους, ειδικά για τις μετρήσεις που σχετίζονται με τους βλαπτικούς παράγοντες, αποτελεί ένα σημαντικό ενδιαφέρον για τη βιομηχανική κι εργαστηριακή πρακτική ερευνητικό αντικείμενο. Το έντονο σχετικό ενδιαφέρον τεκμηριώνεται από το πλήθος και την ποιότητα των ερευνητικών εργασιών, προτύπων και οδηγιών που έχουν δημοσιευτεί τα τελευταία χρόνια, π.χ. [3 – 9].

Με τον επιστημονικά και μετρολογικά ορθό όρο αβεβαιότητα αναφερόμαστε, στην εκτίμηση μιας περιοχής τιμών, συνήθως γύρω από την μετρούμενη τιμή, η οποία - με μία πιθανότητα, π.χ. 95%, ή 99% - περιέχει την “αληθινή” τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Η αβεβαιότητα κατά συνέπεια μιας μέτρησης κρίνει την αξιοπιστία της και την εγγύτητα της στην πραγματική, αλλά πάντοτε άγνωστη, τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Αν και η έννοια της αβεβαιότητας είναι σχετικά πρόσφατη στην ιστορία της μετρολογίας, εντούτοις σήμερα είναι διεθνώς αποδεκτό ότι μια ποσοτική δήλωση σχετική με οποιοδήποτε μέγεθος δεν μπορεί να είναι πλήρης εάν δεν περιλαμβάνει, εκτός από το αποτέλεσμα της μέτρησης, μια αναφορά στην αβεβαιότητα που συνοδεύει το αποτέλεσμα αυτό [10]. Το να συμπεριληφθεί η αβεβαιότητα στις πληροφορίες ποσοτικού προσδιορισμού ενός μεγέθους υπακούει σε μια διπλή αναγκαιότητα:

- ο επισημαίνεται στο χρήστη της μέτρησης η πιθανότητα ύπαρξης σφαλμάτων, επιστώντας την προσοχή του στον πεπερασμένο χαρακτήρα της διαθέσιμης γνώσης για τη συγκεκριμένη ποσότητα,
- ο δίνεται μια ποσοτική εκτίμηση του διαστήματος μέσα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή του μετρούμενου μεγέθους, καθώς και της πιθανότητας να βρίσκεται η αληθής αυτή τιμή σε μια συγκεκριμένη περιοχή του διαστήματος τούτου.

Στην εργασία παρουσιάζονται σύγχρονα εργαλεία και μέθοδοι εκτίμησης αβεβαιότητας που μπορούν να εφαρμοστούν κατά τη μέτρηση βλαπτικών παραγόντων σε βιομηχανικό περιβάλλον. Γίνεται σύντομη ανασκόπηση και αναφορά στο ισχύον νομοθετικό πλαίσιο καθώς και στη σύγχρονη επιστημονική προσέγγιση των βασικών εννοιών της μετρολογίας. Στόχος της εργασίας είναι η συστηματική προσέγγιση της εκτίμησης της αβεβαιότητας κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων που αφορούν ειδικότερα στις μετρήσεις θορύβου, σκόνης και χημικών παραγόντων, με τη χρήση κατανοητών και άμεσα εφαρμόσιμων τεχνικών, σε συμμόρφωση με το πρότυπο ISO GUM [2]. Η πειραματική διερεύνηση και οι προοπτικές της προσέγγισης αυτής παρουσιάζονται μέσα από σχετικές βιομηχανικές εφαρμογές.

## **2. Νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τις μετρήσεις βλαπτικών παραγόντων στο εργασιακό περιβάλλον**

Η ισχύουσα εθνική νομοθεσία για την Υγιεινή και Ασφάλεια Εργασίας, σε εναρμόνιση με την αντίστοιχη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθιστά υποχρεωτική τη διενέργεια, τη συστηματική καταγραφή και την αξιολόγηση των μετρήσεων βλαπτικών παραγόντων στους χώρους εργασίας. Ο ρόλος και η αναγκαιότητα της διεξαγωγής μετρήσεων για την ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου που σχετίζεται με την έκθεση σε βλαπτικούς παράγοντες στο εργασιακό περιβάλλον επισημαίνεται και υπαγορεύεται σε μια σειρά από γενικά (π.χ. Ν. 1568/1985) αλλά και ειδικότερα (π.χ. Π.Δ. 85/1991) νομοθετικά κείμενα. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται ενδεικτικά αποσπάσματα από την κείμενη νομοθεσία, καθόσον η πλήρης και αναλυτική παρουσίαση των σχετικών αναφορών ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας.

Η εργοδοτική υποχρέωση του ποσοτικού ελέγχου της έκθεσης σε βλαπτικούς παράγοντες εντοπίζεται στο βασικό νομοθέτημα «Υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων» (Ν. 1568/1985), στα εδάφια (α) και (ε) της παραγράφου 3 του άρθρου 26 «Μέτρα προστασίας των εργαζομένων που εκτίθενται σε παράγοντες», όπου αναφέρονται τα παρακάτω:

«...ο εργοδότης πρέπει να λαμβάνει ... και τα εξής μέτρα:

- ✦ να ελέγχει τη συγκέντρωση ή ένταση των παραγόντων στους χώρους εργασίας και τα επίπεδα έκθεσης των εργαζομένων σ' αυτούς, πριν αρχίσει η λειτουργία μηχανών ή εγκαταστάσεων και σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, καθώς και να αξιολογεί τα αποτελέσματα των ελέγχων αυτών σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα του ιατρικού ελέγχου των εργαζομένων,
- ✦ να τηρεί και να ενημερώνει, σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις και τις οδηγίες της αρμόδιας αρχής, καταλόγους των εργαζομένων που εκτίθενται στους παράγοντες και βιβλία καταχώρησης των αποτελεσμάτων των ελέγχων που γίνονται σύμφωνα με τα προηγούμενα εδάφια.»

Η διεξαγωγή, καταγραφή και αξιολόγηση των μετρήσεων βλαπτικών παραγόντων αναφέρεται ρητά στην παράγραφο 12 του άρθρου 4 «Παροχή υπηρεσιών προστασίας και πρόληψης» του Π.Δ. 17/1996, «Μέτρα για την βελτίωση της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων κατά την εργασία σε συμμόρφωση με τις οδηγίες 89/391/ΕΟΚ και 91/383/ΕΟΚ», στην οποία επισημαίνεται ότι:

«Ο τεχνικός ασφάλειας ή/και ο γιατρός εργασίας στα πλαίσια των υποχρεώσεων τους σύμφωνα με τις κείμενες διατάξεις έχουν υποχρέωση να διενεργούν τις απαραίτητες μετρήσεις, και σε περίπτωση που η επιχείρηση δεν διαθέτει τα κατάλληλα μέσα για τις μετρήσεις αυτές, ο εργοδότης προσφεύγει σε ΕΞΥΠΠ. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών καταγράφουν κατ' εφαρμογή των εδαφίων (α) και (ε) της παραγράφου 3 του άρθρου 26 του ν. 1568/85, αναφέρουν στον εργοδότη οποιαδήποτε παράλειψη των μέτρων υγιεινής και ασφάλειας, προτείνουν μέτρα αντιμετώπισής τους και επιβλέπουν την εφαρμογή τους.»

Η μεθοδολογία, τα χαρακτηριστικά των οργάνων μέτρησης καθώς και ο τρόπος διεξαγωγής των μετρήσεων σε σχέση με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των αντίστοιχων βλαπτικών παραγόντων (π.χ. θόρυβος, σκόνη, χημικοί παράγοντες) εξειδικεύονται και προσδιορίζονται σε μια σειρά από σχετικά νομοθετικά κείμενα. Ενδεικτικά αναφέρεται εδώ το Π.Δ. 85/1991 «Προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που διατρέχουν λόγω της έκθεσής τους στο θόρυβο κατά την εργασία, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 86/188/ΕΟΚ.», το οποίο στην παράγραφο 4 «Ακρίβεια της μέτρησης του θορύβου και του προσδιορισμού της ηχοέκθεσης» του παραρτήματος 1 αναφέρει χαρακτηριστικά:

«Ο τύπος των χρησιμοποιούμενων οργάνων και η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων επηρεάζουν την ακρίβεια της μέτρησης. Κατά τη σύγκριση με μία οριακή τιμή θορύβου, η ακρίβεια της μέτρησης είναι εκείνη που καθορίζει την περιοχή των τιμών των ενδείξεων όταν δεν μπορεί να ληφθεί απόφαση για το αν έχουν ξεπεραστεί οι οριακές τιμές. Αν δεν είναι δυνατό να ληφθεί απόφαση, η μέτρηση πρέπει να επαναληφθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι ακριβέστερες μετρήσεις επιτρέπουν τη λήψη απόφασης σε όλες τις περιπτώσεις.»

Σημειώνεται ότι η έννοια της «οριακής τιμής έκθεσης» έχει ήδη εισαχθεί και προσδιοριστεί σε νομοθετήματα που αφορούν ειδικότερα στους χημικούς και βιολογικούς παράγοντες. Χαρακτηριστικές είναι οι παρακάτω αναφορές του Π.Δ. 77/1993 «Για την Προστασία των εργαζομένων από φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς παράγοντες και τροποποίηση και συμπλήρωση του Π.Δ/τος 307/86 (135/A) σε συμμόρφωση προς την οδηγία του Συμβουλίου 88/642/ΕΟΚ»:

«Ο εργοδότης οφείλει να παίρνει τα μέτρα του άρθρου 26 του Ν. 1568/85 «Υγιεινή και Ασφάλεια των εργαζομένων» ώστε να αποφεύγεται ή να ελαχιστοποιείται η έκθεση των εργαζομένων σε παράγοντες, όσο είναι πρακτικά δυνατόν. Σε κάθε περίπτωση το επίπεδο έκθεσης πρέπει να είναι κατώτερο από εκείνο που ορίζουν οι «οριακές τιμές έκθεσης»» (άρθρο 2, παράγραφος 2),

«Αν από την εκτίμηση ... διαπιστωθεί ότι τηρούνται οι κατά το άρθρο 3 Οριακές τιμές, πρέπει, όποτε είναι αναγκαίο, να διενεργούνται περιοδικές μετρήσεις για να ελέγχεται ο βαθμός έκθεσης των εργαζομένων και η συνέχιση της τήρησης των Οριακών Τιμών. Η συχνότητα των μετρήσεων εξαρτάται από την επικινδυνότητα του χημικού παράγοντα και την τιμή του επιπέδου έκθεσης που διαπιστώθηκε και πρέπει να αυξάνεται όσο πλησιάζει το επίπεδο έκθεσης την ή τις Οριακές Τιμές.

Αντίθετα μπορεί να μειώνεται μετά από σύμφωνη γνώμη των εργαζομένων όταν από τις αρχικές ή τις επόμενες μετρήσεις διαπιστώνεται ότι λόγω της μεθόδου και των συνθηκών εργασίας, ή των μέτρων που έχουν ληφθεί, τηρούνται μακροπρόθεσμα οι Οριακές Τιμές, ή όταν δεν έχει επέλθει ουσιαστική μεταβολή στις συνθήκες εργασίας ικανή να επιφέρει αύξηση του επιπέδου έκθεσης των εργαζομένων.» (Παράρτημα, παράγραφος Α6),

«Πρέπει να χρησιμοποιούνται μέθοδοι που να έχουν δοκιμασθεί επαρκώς υπό συνθήκες πρακτικής εφαρμογής και να εξασφαλίζεται η ακρίβειά τους. Θα εφαρμόζονται οι μέθοδοι που προβλέπονται από τις εκάστοτε εθνικές ή κοινοτικές διατάξεις και, όπου δεν υπάρχουν, οι προτεινόμενες από αναγνωρισμένους διεθνείς οργανισμούς.» (Παράρτημα, παράγραφος Γ7)

Με αφορμή τα παραπάνω αποσπάσματα, επισημαίνεται ότι η αναγκαιότητα της επιστημονικής, συστηματικής αξιολόγησης της ποιότητας των λαμβανόμενων μετρητικών αποτελεσμάτων, με βάση τη σύγχρονη προσέγγιση της επιστήμης της μετρολογίας, δεν έχει, τουλάχιστον μέχρι σήμερα, επαρκώς επισημανθεί και αναδεχθεί στα κείμενα της σχετικής με την Υγιεινή και Ασφάλεια Εργασίας νομοθεσίας. Παρ' όλα αυτά, η προσέγγιση αυτή εντοπίζεται σε πρόσφατα νομοθετήματα που αφορούν στην εκτίμηση της επικινδυνότητας βλαπτικών παραγόντων στο περιβάλλον, όπως π.χ. η Αριθμ. Η.Π. 22306/1075/Ε103 του 2007 «Καθορισμός τιμών – στόχων και ορίων εκτίμησης των συγκεντρώσεων του αρσενικού, του καδμίου, του υδραργύρου, του νικελίου και των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων στον ατμοσφαιρικό αέρα, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2004/107/ΕΚ «Σχετικά με το αρσενικό, το κάδμιο, τον υδράργυρο, το νικέλιο και τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες στον ατμοσφαιρικό αέρα» του Συμβουλίου της 15ης Δεκεμβρίου 2004 των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων», στην οποία αναφέρεται χαρακτηριστικά:

«Η αβεβαιότητα (εκπεφρασμένη ως επίπεδο εμπιστοσύνης 95 %) των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων στον ατμοσφαιρικό αέρα αξιολογείται σύμφωνα με τις αρχές του οδηγού CEN για την έκφραση της αβεβαιότητας στις μετρήσεις (ENV 13005-1999), με τη μεθοδολογία ISO 5725:1994, και τις κατευθυντήριες γραμμές που παρέχονται στην έκθεση του CEN — Ποιότητα του αέρα — προσέγγιση σχετικά με την εκτίμηση του επιπέδου αβεβαιότητας για τις μεθόδους αναφοράς για τη μέτρηση του ατμοσφαιρικού αέρα (CR 14377:2002E). Τα ποσοστά αβεβαιότητας του πίνακα αφορούν τις μεμονωμένες μετρήσεις, ο μέσος όρος των οποίων εξάγεται για την τυπική περίοδο δειγματοληψίας για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Η αβεβαιότητα των μετρήσεων θα πρέπει να θεωρείται ότι αφορά στην περιοχή της σχετικής τιμής στόχου.»

### 3. Διασαφήνιση βασικών όρων της μετρολογίας

Το ουσιαστικό αντικείμενο της Μετρολογίας είναι οι μέθοδοι μέτρησης φυσικών ποσοτήτων. Εάν υποθεθεί ότι υπάρχει μια αληθινή τιμή για κάθε φυσική ποσότητα και η μετρητική διαδικασία είναι μια προσπάθεια προσεγγιστικού χαρακτήρα για την αποκάλυψη της, είναι αναμενόμενο να υπάρχει οπωσδήποτε κάποια διαφορά μεταξύ της αληθινής τιμής και της αντίστοιχης μετρούμενης. Οι όροι *ακρίβεια*, *πιστότητα*, *σφάλμα* και *αβεβαιότητα*, χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν, από διαφορετική πλευρά ο καθένας, την σχέση μεταξύ της μετρούμενης τιμής και της αντίστοιχης αληθινής.

Με την *ακρίβεια* (*accuracy*) μιας μέτρησης καθορίζεται το πόσο κοντά βρίσκεται το αποτέλεσμα της μέτρησης σε σχέση με την αληθινή τιμή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο προσδιορισμός της ακρίβειας ενός αποτελέσματος είναι ιδιαίτερα δύσκολος στο μέτρο που η αληθινή τιμή της μετρούμενης ποσότητας δεν είναι ακόμα γνωστή. Στην ελληνική βιβλιογραφία σαν δόκιμος όρος χρησιμοποιείται αντί της ακρίβειας η λέξη ορθότητα και ορίζεται ως ο βαθμός συμφωνίας μεταξύ της τιμής που μετριέται κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής και της πραγματικής τιμής της μετρούμενης ποσότητας [10]. Η ορθότητα, αν και δίνει την δυνατότητα να εκτιμηθεί το διάστημα στο οποίο περιέχεται η αληθής τιμή του μετρούμενου μεγέθους, δεν παρέχει καμία πληροφορία σχετικά με το ποια είναι η πιθανότητα να βρεθεί η αληθής τιμή σε μια συγκεκριμένη περιοχή του διαστήματος αυτού. Στην πραγματικότητα ο όρος ορθότητα χαρακτηρίζει καταρχήν και κατά κύριο λόγο τη μετρολογική ποιότητα του οργάνου και όχι την ποιότητα μιας συγκεκριμένης μέτρησης, η οποία δίδεται από την αβεβαιότητα της μέτρησης αυτής.

Η *πιστότητα* ή *αξιοπιστία* (*precision*) μιας μέτρησης, αναφέρεται στον αριθμό των σημαντικών ψηφίων που υπάρχουν στο μετρητικό αποτέλεσμα, όπως επίσης και στο βαθμό επαναληψιμότητας των αποτελεσμάτων. Όταν η ίδια πειραματική μέτρηση γίνεται επαναληπτικά αρκετές φορές, η μέση τιμή αυτών των μετρήσεων θεωρείται ως η προσεγγιστικότερη τιμή προς την άγνωστη αληθινή τιμή του μεγέθους. Όσο μικρότερη είναι η διακύμανση των επί μέρους μετρήσεων σε σχέση με τη μέση τιμή τόσο μεγαλύτερη πιστότητα διαθέτει η μέτρηση. Παράλληλα η πιστότητα είναι μια συχνά παρεξηγημένη έννοια, κυρίως εξαιτίας της σύγχυσης που προκαλείται από τη λαθεμένη της συσχέτιση με την ορθότητα μιας μέτρησης. Δεν είναι τυχαίο ότι στο VIM (Διεθνές Λεξικό Βασικών και Γενικών Όρων Μετρολογίας) [11] δεν αναφέρεται το λήμμα "*precision*", πιθανά λόγω των διαφορετικών νοημάτων που έχουν κατά καιρούς αποδοθεί σε αυτήν. Στην πράξη, η πιστότητα αποτελεί κυρίως χαρακτηριστικό ενός οργάνου ή μιας μεθόδου μέτρησης και όχι του αποτελέσματος αυτού καθαυτού.

Η πιστότητα είναι ένας όρος ο οποίος στη γενική του χρήση περιγράφει ποιοτικά και όχι ποσοτικά τη διασπορά των ενδείξεων ενός οργάνου ή των αποτελεσμάτων μιας διαδικασίας μέτρησης για το ίδιο μετρούμενο μέγεθος κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Με άλλα λόγια η πιστότητα περιγράφει τους βαθμούς ελευθερίας μιας διάταξης ή διαδικασίας μέτρησης από τα τυχαία σφάλματα, δηλαδή το πόσο επηρεάζεται το τελικό αποτέλεσμα από τα σφάλματα αυτά. Ένα όργανο υψηλής (ή μεγάλης) πιστότητας θα δώσει για το ίδιο μετρούμενο μέγεθος μικρή διασπορά αποτελεσμάτων σε αντίθεση με ένα όργανο χαμηλής πιστότητας, η χρήση του οποίου θα οδηγήσει σε μεγάλη διασπορά τιμών. Συνοπτικά μπορούμε να ορίσουμε την πιστότητα ως την εγγύτητα μεταξύ των ανεξάρτητων επαναλαμβανόμενων μετρήσεων μιας δοκιμής, που έγιναν υπό ίδιες ή διαφορετικές συνθήκες.

Οι όροι *επαναληψιμότητα* και *αναπαραγωγιμότητα* (*repeatability* και *reproducibility*) έχουν περίπου το ίδιο περιεχόμενο με τον όρο πιστότητα αλλά βρίσκουν εφαρμογή σε συγκεκριμένες συνθήκες όπου, σε αντίθεση με την πιστότητα, περιγράφουν ποσοτικά τη διασπορά των ενδείξεων ενός οργάνου ή των αποτελεσμάτων μιας διαδικασίας μέτρησης. Η επαναληψιμότητα ή πιστότητα επαναληψιμότητας, εκφραζόμενη ως τυπική απόκλιση, περιγράφει την εγγύτητα των αποτελεσμάτων επαναλαμβανόμενων μετρήσεων, όταν εφαρμόζεται για μια σύντομη χρονική περίοδο η ίδια τιμή στην είσοδο του οργάνου (ίδιο μετρούμενο μέγεθος), διατηρώντας ταυτόχρονα σταθερές τις συνθήκες μέτρησης.

Η αναπαραγωγιμότητα ή πιστότητα αναπαραγωγιμότητας, εκφραζόμενη επίσης ως τυπική απόκλιση, περιγράφει την εγγύτητα των ενδείξεων για το ίδιο μετρούμενο μέγεθος, αλλά με διαφορετικά όργανα ή με μεταβολές στις συνθήκες μέτρησης. Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης (ISO) έχει απαγορεύσει διακριτικά την χρήση του όρου "precision" για την περιγραφή μιας μέτρησης λόγω των πολλών συγχύσεων στην έννοια του.

Η έννοια της *αβεβαιότητας* (*uncertainty*) είναι σχετικά πρόσφατη στην ιστορία της μετρολογίας, αντίθετα με την έννοια του σφάλματος η οποία χρησιμοποιήθηκε επί μακρόν για να χαρακτηρίσει την απόκλιση μιας μέτρησης από την αληθή τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Όπως και στην περίπτωση της σύγχυσης γύρω από τις έννοιες της πιστότητας-αξιοπιστίας και της ορθότητας-ακρίβειας, που εξετάστηκαν προηγουμένως, έτσι και η αβεβαιότητα συγχέεται συχνά με το σφάλμα.

Σύμφωνα με τον VIM [11], το σφάλμα ορίζεται ως "...η διαφορά ανάμεσα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης και μια αληθή τιμή του μετρούμενου μεγέθους...". Η αληθής τιμή ορίζεται με τη σειρά της ως μια τιμή σύμφωνη με τον ορισμό του μετρούμενου μεγέθους. Αξίζει να σημειωθεί, ότι με τη λέξη "αληθής" χρησιμοποιείται το αόριστο άρθρο "μία" και όχι "η" για να τονιστεί ότι είναι δυνατόν να υπάρχουν περισσότερες από μία τιμές συμβατές με τον ορισμό του μετρούμενου μεγέθους και ότι δεν μπορούμε να ξέρουμε ποια είναι η αληθής τιμή. Με αυτή τη θεωρητική προσέγγιση, η αληθής τιμή θα μπορούσε να είναι το αποτέλεσμα μόνο μιας τέλει ιδεατής μέτρησης, για πρακτικούς όμως λόγους το αποτέλεσμα μιας μέτρησης χαρακτηριζόμενης από αμελητέα αβεβαιότητα λαμβάνεται συχνά ως η πραγματική τιμή και αναφέρεται ως "συμβατική αληθής τιμή". Εξυπακούεται ότι το πόσο μικρή πρέπει να είναι μια αβεβαιότητα για να θεωρείται αμελητέα εξαρτάται από τις συνθήκες χρήσης.

Γενικά, το σφάλμα είναι μια εξ ορισμού μη προσδιορίσιμη αφηρημένη έννοια που αντιπροσωπεύει τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη και την αληθή αλλά άγνωστη τιμή ενός μεγέθους. Πρέπει επομένως να διαφοροποιείται προσεκτικά από την αβεβαιότητα, η οποία αποτελεί, όπως ήδη αναφέρθηκε στην εισαγωγή της παρούσας εργασίας, ένα ποσοτικό μέτρο της ποιότητας των γνώσεων που διαθέτουμε για το μετρούμενο μέγεθος. Ίσως η σύγχυση οφείλεται στο γεγονός ότι είναι δυνατόν, με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων τεχνικών (για παράδειγμα τη διακρίβωση), να διορθωθεί ένα μέρος του σφάλματος. Το σφάλμα αποτελεί μια αφηρημένη έννοια σχετική με ένα σημείο, ενώ η αβεβαιότητα περιγράφει ένα εύρος τιμών. Στην πραγματικότητα το μόνο σφάλμα που μπορούμε να γνωρίζουμε ποσοτικά είναι αυτό που μπορούμε να διορθώσουμε και το οποίο κατά συνέπεια, μετά τη διόρθωση αυτή, παύει να υπάρχει.

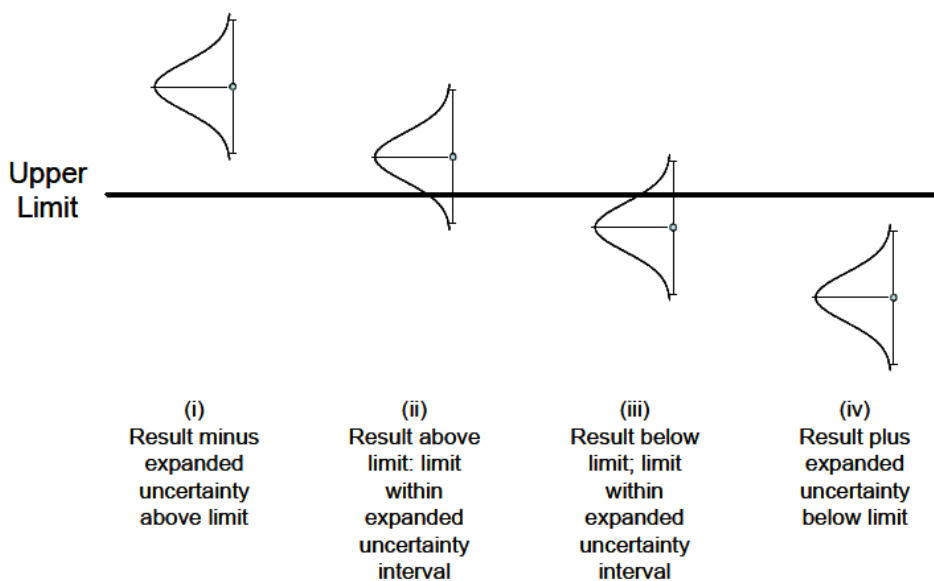
#### **4. Αβεβαιότητα μετρητικών αποτελεσμάτων σύμφωνα με τον οδηγό ISO GUM**

Σε αντιδιαστολή με τον αφηρημένο χαρακτήρα του σφάλματος, η αβεβαιότητα ορίζεται στο ISO GUM [2] πρακτικά και συγκεκριμένα ως:

«παράμετρος συνδεδεμένη με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, η οποία χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσε εύλογα να αποδοθεί στο μετρούμενο μέγεθος», και παρόμοια στο VIM [11] ως:

«παράμετρος που συνδέεται με το αποτέλεσμα μιας μέτρησης, η οποία χαρακτηρίζει τη διασπορά των τιμών που θα μπορούσαν εύλογα να αποδοθούν στο μετρούμενο μέγεθος. Η αβεβαιότητα περιλαμβάνει γενικά πολλά συστατικά που μπορούν να αξιολογηθούν από τις πειραματικές σταθερές αποκλίσεις που βασίζονται στις επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις (αξιολόγηση αβεβαιότητας τύπων A) ή από τις σταθερές αποκλίσεις που αξιολογούνται από τις υποτιθέμενες κατανομές πιθανότητας βασισμένες στην εμπειρία ή άλλες πληροφορίες (αξιολόγηση αβεβαιότητας τύπων B). Η αβεβαιότητα προτιμάται ως όρος από το σφάλμα μέτρησης επειδή αυτό δεν μπορεί να γίνει ποτέ γνωστό.»

Με την παραπάνω θεώρηση αποδίδονται στο αποτέλεσμα της παρατήρησης, στην περίπτωση μας της μέτρησης, στοιχεία εγγενούς μεταβλητότητας, τα οποία ξεφεύγουν από τον έλεγχο του παρατηρητή. Η μετατόπιση από την έννοια του σφάλματος σε αυτήν της αβεβαιότητας, ως βασική θεώρηση για το χαρακτηρισμό της ποιότητας της μέτρησης, συνδέεται έτσι με μια σημαντική αλλαγή στη μεθοδολογική προσέγγιση του ζητήματος αυτού [10]. Η πληροφορία επομένως που διαθέτουμε για το αποτέλεσμα μιας μέτρησης αφορά όχι μόνο στην εκτιμώμενη καλύτερη προσέγγιση της τιμής του μετρούμενου μεγέθους, αλλά και στη διασπορά των πιθανών λογικών τιμών που το μέγεθος αυτό θα μπορούσε έχει, με επίγνωση της αδυναμίας να εντοπιστεί η μία και μοναδική αληθής τιμή. Συμπερασματικά, με τον τρόπο αυτό αποδίδεται μια κάπως θολή αλλά ρεαλιστική εικόνα για την τιμή του μετρούμενου μεγέθους, αξιοποιώντας το σύνολο της διαθέσιμης πληροφόρησης. Αναφερόμαστε στην εκτίμηση μιας περιοχής τιμών, συνήθως γύρω από την μετρούμενη τιμή, η οποία - με μία πιθανότητα, π.χ. 95%, ή 99% - περιέχει την “αληθινή” τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Η αβεβαιότητα κατά συνέπεια μιας μέτρησης κρίνει και την αξιοπιστία αλλά και την εγγύτητα της στην πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους, παρέχοντας ποσοτική αλλά και ποιοτική περιγραφή, και έτσι η έννοια της συμπεριλαμβάνει το νόημα των όρων, αξιοπιστία-πιστότητα και ακρίβεια-ορθότητα. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται διαγραμματικά ο ρόλος της εκτίμησης της αβεβαιότητας μετρητικών αποτελεσμάτων στον καθορισμό της συμμόρφωσης τους με την ανώτατη επιτρεπτή τιμή [8].



**Σχήμα 1.** Ο ρόλος της εκτίμησης της αβεβαιότητας μετρητικών αποτελεσμάτων στον καθορισμό της συμμόρφωσης τους με την ανώτατη επιτρεπτή τιμή [8]

Τα φαινόμενα τα οποία συμβάλλουν στην αβεβαιότητα και κατ' αυτό τον τρόπο στο γεγονός ότι το αποτέλεσμα μίας μέτρησης δεν μπορεί να χαρακτηρισθεί από μία μοναδική τιμή, ονομάζονται πηγές ή παράγοντες αβεβαιότητας. Κατά περίπτωση είναι δυνατός ο εντοπισμός μιας σειράς παραγόντων αβεβαιότητας, όχι κατ' ανάγκη ανεξάρτητων μεταξύ τους, οι οποίοι περιλαμβάνουν π.χ. ατελώς γνωστές επιδράσεις περιβαλλοντικών συνθηκών ή ατελείς μετρήσεις αυτών των επιδράσεων, πεπερασμένη διακριτότητα του μετρητικού οργάνου ή πεπερασμένο κατώφλι διάκρισης, ανακριβείς

τιμές των μετρητικών προτύπων και των υλικών αναφοράς, προσεγγίσεις και παραδοχές οι οποίες ενσωματώνονται στην μετρητική μέθοδο και στην μετρητική διαδικασία κ.α.

Χωρίς να απαντάει σε όλα τα — συχνά πολύπλοκα — προβλήματα μετρολογικής αβεβαιότητας, ο οδηγός GUM θέτει το πλαίσιο και δίνει τα βασικά μεθοδολογικά εργαλεία για τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων. Η αξία του έγκειται κυρίως στο ότι αποτελεί προϊόν σύγκλισης απόψεων σε διεθνές επίπεδο και σήμερα τυγχάνει καθολικής σχεδόν αποδοχής ως κείμενο αναφοράς από μετρολόγους, φορείς διαπίστευσης και εργαστήρια. Η προσέγγιση του οδηγού GUM για την ποσοτική εκτίμηση και την έκφραση της αβεβαιότητας, για λόγους οικονομίας παρουσίασης της εργασίας αυτής, συνοψίζεται στα ακόλουθα βασικά σημεία:

- ✦ Η αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης αποτελείται γενικά από πολλές συνιστώσες, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο είδη ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού τους: οι αβεβαιότητες Τύπου A, που υπολογίζονται με στατιστικές μεθόδους και οι αβεβαιότητες Τύπου B, που υπολογίζονται με άλλα μέσα. Η κατηγοριοποίηση αυτή δεν αντιστοιχεί στη διάκριση μεταξύ "τυχαίων" και "συστηματικών" αβεβαιοτήτων, εννοιών που προκαλούν παρανοήσεις και πρέπει να αποφεύγονται.
- ✦ Οι συνιστώσες Τύπου A προκύπτουν από την (υπολογιζόμενη ή εκτιμούμενη) μεταβλητότητα (*variance*) ή την τυπική απόκλιση και τους βαθμούς ελευθερίας του αποτελέσματος. Η γνώση της συμμεταβλητότητας (*covariance*) είναι επίσης συχνά απαραίτητη και αποτελεί αντικείμενο λεπτομερέστερης και εκτενούς διερεύνησης.
- ✦ Οι συνιστώσες Τύπου B, παρά το ότι δεν προκύπτουν απευθείας από κάποια στατιστική επεξεργασία, οφείλουν να παρουσιάζονται με όρους τυπικής αβεβαιότητας. Για τον υπολογισμό τους αξιοποιούνται πληροφορίες που προέρχονται από πιστοποιητικά διακρίβωσης, χαρακτηριστικά του οργάνου μέτρησης, εμπειρία ή επιστημονική ανάλυση κ.α. Η τυπική αυτή αβεβαιότητα (το τετράγωνο της) μπορεί να θεωρηθεί ως προσέγγιση της αντίστοιχης μεταβλητότητας, η ύπαρξη της οποίας υφίσταται ως υπόθεση.
- ✦ Η τελική συνδυασμένη αβεβαιότητα (*combined uncertainty*) προκύπτει από το συνδυασμό όλων των επιμέρους συνιστωσών, εκφραζόμενων με τη μορφή τυπικών αποκλίσεων.
- ✦ Όταν απαιτείται, για τις ανάγκες συγκεκριμένων εφαρμογών, ο υπολογισμός μιας συνολικής διευρυμένης αβεβαιότητας (*expanded uncertainty*) σε καθορισμένο βαθμό εμπιστοσύνης, η τυπική αβεβαιότητα πολλαπλασιάζεται με ένα σαφώς οριζόμενο συντελεστή.

## 5. Συστηματική προσέγγιση εκτίμησης της αβεβαιότητας κατά ISO GUM στις μετρήσεις βλαπτικών παραγόντων

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας διερευνάται η δυνατότητα συστηματικής προσέγγισης για την εκτίμηση της αβεβαιότητας κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων βλαπτικών παραγόντων (π.χ. θορύβου, σκόνης, χημικών παραγόντων) σε βιομηχανικό περιβάλλον, σε συμμόρφωση με το πρότυπο ISO GUM. Βασικός στόχος της διερεύνησης αυτής είναι ο καθορισμός μιας εύχρηστης και εύκολα εφαρμόσιμης σε βιομηχανικό περιβάλλον μεθοδολογίας που θα μπορεί παράλληλα να παρέχει με επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο την εκτίμηση της αβεβαιότητας. Η εν λόγω προσέγγιση περιλαμβάνει τέσσερα διαδοχικά βήματα:

### i. Εκτίμηση τυπικής αβεβαιότητας Τύπου A

Η μετρητική αβεβαιότητα Τύπου A,  $u_A$ , καθορίζεται από τη στατιστική ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων. Με την κατ' αρχήν παραδοχή της κανονικής κατανομής, η ακόλουθη σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (1)$$

όπου :

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (2)$$

και n ο αριθμός των μετρήσεων.

## ii. Εκτίμηση τυπικής αβεβαιότητας Τύπου B

Η αβεβαιότητα Τύπου B,  $u_B$ , δεν προκύπτει από στατιστική επεξεργασία και εντοπίζεται σε μια σειρά από παράγοντες, οι οποίοι ποικίλλουν σημαντικά σε κάθε μετρητική διαδικασία. Οι παρακάτω παράγοντες μπορούν να θεωρηθούν καταρχήν ως σημαντικοί για την εκτίμηση της αβεβαιότητας Τύπου B:

a) Διακριτική ικανότητα του οργάνου μέτρησης, R. Η αβεβαιότητα που συνδέεται με την διακριτική ικανότητα του οργάνου μέτρησης,  $u_{RES}$ , καθορίζεται σύμφωνα με τον οδηγό GUM από τη σχέση:

$$u_{RES} = \frac{R}{\sqrt{12}} \quad (3)$$

b) Πιστοποιητικό διακρίβωσης του μετρητικού οργάνου. Στο εν λόγω πιστοποιητικό δηλώνεται η αβεβαιότητα της διακρίβωσης,  $U_{CAL}$ , καθώς και ο συντελεστής επικάλυψης k ή το διάστημα εμπιστοσύνης. Η τυπική αβεβαιότητα που οφείλεται στον παράγοντα αυτό,  $u_{CAL}$ , δίνεται από τη σχέση (4):

$$u_{CAL} = \frac{U_{CAL}}{k} \quad (4)$$

c) Προδιαγραφή ακρίβειας του μετρητικού οργάνου σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Με την υπόθεση ότι η αβεβαιότητα που οφείλεται στον παράγοντα αυτό,  $u_{SPEC}$ , ακολουθεί κανονική κατανομή και Ac είναι η τεχνική προδιαγραφή για την επίδοση ακρίβειας του μετρητικού οργάνου όπως καθορίζεται από τον κατασκευαστή

$$u_{SPEC} = \frac{Ac}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

Η συνδυασμένη αβεβαιότητα Τύπου B υπολογίζεται από το σύνολο των παραπάνω παραγόντων με την ακόλουθη σχέση:

$$u_B = \sqrt{u_{RES}^2 + u_{CAL}^2 + u_{SPEC}^2} \quad (6)$$

## iii. Υπολογισμός της συνδυασμένης τυπικής αβεβαιότητας, $u_C$ ,

από τον συνδυασμό των Τύπου A και Τύπου B αβεβαιοτήτων που υπολογίστηκαν στα παραπάνω βήματα (i) και (ii):

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (7)$$

## iv. Υπολογισμός της διευρυμένης αβεβαιότητας

Για τον υπολογισμό της διευρυμένης αβεβαιότητας, U, η συνδυασμένη τυπική αβεβαιότητα πολλαπλασιάζεται με τον κατάλληλο συντελεστή επικάλυψης, k:

$$U_{95} = k_{95} \cdot u_C(l) \quad (8)$$

Για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, η τιμή του συντελεστή k δίνεται από τους πίνακες της στατιστικής t-κατανομής,  $k_{95} = 2$ .

Στον Πίνακα 1, παρουσιάζεται συνοπτικά η εκτίμηση της αβεβαιότητας μετρητικών αποτελεσμάτων που προέκυψε από την πειραματική εφαρμογή της παραπάνω προσέγγισης για την περίπτωση μετρήσεων θορύβου σε βιομηχανικό περιβάλλον με τη χρήση ολοκληρωτικού ηχόμετρου. Για τον υπολογισμό της διευρυμένης αβεβαιότητας χρησιμοποιήθηκαν οι παραπάνω σχέσεις (1) – (8).



Παράγοντας Αβεβαιότητας	Τύπος A/B	Τυπική Αβεβαιότητα
Στατιστική ανάλυση μετρήσεων	A	0.7 db(A)
Διακριτική ικανότητα ηχομέτρου	B	0.03 db(A)
Πιστοποιητικό διακρίβωσης	B	0.045 db(A)
Τεχνική προδιαγραφή για την επίδοση ακρίβειας σύμφωνα με τον κατασκευαστή	B	0.6 db(A)
Συνδυασμένη Τυπική Αβεβαιότητα		0.93 db(A)
Διευρυμένη Αβεβαιότητα (k=2)		1.86 db(A)

**Πίνακας 1.** Εκτίμηση αβεβαιότητας μετρήσεων θορύβου με τη χρήση ολοκληρωτικού ηχομέτρου

## 6. Συμπεράσματα

Η διεξαγωγή μετρήσεων βλαπτικών παραγόντων στο εργασιακό περιβάλλον καθίσταται υποχρεωτική με βάση την ισχύουσα εθνική νομοθεσία για την Υγιεινή και Ασφάλεια Εργασίας, σε εναρμόνιση με αυτή της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η ορθή αξιολόγηση των μετρήσεων αυτών αποτελεί βασικό εργαλείο για την επιτυχή ποσοτική εκτίμηση των εργασιακών κινδύνων και την συναφή λήψη κατάλληλων μέσων προστασίας.

Για την σύγχρονη μετρολογία το «μετρητικό σφάλμα» είναι μια μη προσδιορίσιμη αφηρημένη έννοια που αντιπροσωπεύει τη διαφορά ανάμεσα στη μετρούμενη και την αληθή αλλά άγνωστη τιμή ενός μεγέθους. Αν και η έννοια της αβεβαιότητας είναι σχετικά πρόσφατη, σήμερα είναι διεθνώς αποδεκτό ότι μια ποσοτική δήλωση σχετική με οποιοδήποτε μετρούμενο μέγεθος δεν μπορεί να είναι πλήρης εάν δεν περιλαμβάνει, εκτός από το αποτέλεσμα της μέτρησης, μια αναφορά στην αβεβαιότητα που συνοδεύει το αποτέλεσμα αυτό. Το ότι η αβεβαιότητα σπάνια αναφέρεται μαζί με την ποσοτική έκφραση των μεγεθών που υπεισέρχονται στις καθημερινές συναλλαγές, δεν αναιρεί ούτε την ύπαρξη της ούτε την αναγκαιότητα προσδιορισμού της. Η συστηματική προσέγγιση της εκτίμησης της αβεβαιότητας κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων βλαπτικών παραγόντων, με τη χρήση κατανοητών και άμεσα εφαρμόσιμων τεχνικών, σε συμμόρφωση με το πρότυπο ISO GUM που παρουσιάστηκε στην εργασία θα πρέπει να αποτελέσει αφορμή για περαιτέρω διερεύνηση στο σημαντικό αυτό πεδίο.

## 7. Αναφορές

- [1] Σ. Δρίβας, Κ. Ζορμπά, Θ. Κουκουλάκη *Μεθοδολογικός οδηγός για την εκτίμηση και πρόληψη του επαγγελματικού κινδύνου*, Β' έκδοση, ΕΛΙΝΥΑΕ, Αθήνα 1998
- [2] ISO: *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, (1995), International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- [3] D. Bartley and G. Liden, *Measurement Uncertainty*, Annals of Occupational Hygiene, Vol. 52, No. 6, pp. 413–417, 2008
- [4] J. W. E. van Dijk, *Evaluating the uncertainty in measurement of occupational exposure with personal dosimeters*, Radiation Protection Dosimetry (2007), Vol. 125, No. 1–4, pp. 387–394
- [5] EN 482 (1994) *Workplace atmospheres—general requirements for the performance of procedures for the measurement of chemical agents*. Brussels, Belgium: Comite Europeen de Normalisation.
- [6] EN 482 (2006) *Workplace atmospheres—general requirements for the performance of procedures for the measurement of chemical agents*. Brussels, Belgium: Comite Europeen de Normalisation.

- [7] EURACHEM/CITAC GUIDE. (2007a) *Measurement uncertainty arising from sampling*, 1st edn (<http://www.eurachem.org/>).
- [8] EURACHEM/CITAC GUIDE. (2007b) *Use of uncertainty information in compliance assessment*, 1st edn (<http://www.eurachem.org/>).
- [9] ISO 20988. (2007) *Air quality—guidelines for estimating measurement uncertainty*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- [10] Μ. Ε. Μαθιουλάκης, *Μέτρηση, Ποιότητα Μέτρησης και Αβεβαιότητα*, Έκδοση Ελληνικής Ένωσης Εργαστηρίων, Αθήνα, 2004.
- [11] VIM - International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (1993), International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland