



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

«Μελέτη φορητού σκληρομέτρου. Εργαστηριακή άσκηση Φυσικής»

Συγγραφέας

Λιονάκης Δημήτριος

Αριθμός μητρώου

222017068

Επιβλέπων

Γκανέτσος Θεόδωρος

Καθηγητής Α βαθμίδας

Αθήνα, Οκτώβριος 2024



UNIVERSITY OF WESTERN ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

**DEPARTMENT OF ENGINEERING INDUSTRIAL DESIGN AND
PRODUCTION**

«Study of portable sclerometer. Laboratory exercise of physics»

Author

Dimitrios Lionakis

Registration Number

222017068

Supervisor

Ganetsos Theodoros

Full Professor

Athens, October 2024

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος, Λιονάκης Δημήτριος με αριθμό μητρώου 222017068, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο Δηλών



Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

α/α	Όνομα / Επώνυμο	Ψηφιακή Υπογραφή
1	<i>ΓΚΑΝΕΤΣΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ</i> <i>Καθηγητής</i>	
2	ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΛΑΣΚΑΡΗΣ Επίκουρος Καθηγητής	
3	ΧΡΗΣΤΟΣ ΔΡΟΣΟΣ Επίκουρος Καθηγητής	

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Γκανέτσο Θεόδωρο, για την καθοδήγησή του και τις ουσιαστικές του συμβουλές, οι οποίες ήταν καθοριστικές για την επιτυχή ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να δηλώσω την βαθιά μου ευχαριστία προς την οικογένειά μου, η οποία μου προσέφερε συνεχή υποστήριξη και ήταν πηγή εμπύχωσης σε κάθε δυσκολία, συμβάλλοντας σημαντικά σε όλες τις ακαδημαϊκές και προσωπικές μου προσπάθειες. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που έδειξαν κατανόηση στις ψυχολογικές μου δυσκολίες, με στήριξαν να ξεπεράσω το άγχος και με ενθάρρυναν να επιμείνω για να πετύχω τους στόχους μου.

Περίληψη

Το ηλεκτρονικό φορητό σκληρόμετρο είναι σχεδιασμένο για γρήγορη & μη καταστροφική δοκιμή σκληρότητας διαφόρων αντικειμένων. Η λειτουργία του σκληρομέτρου είναι τυποποιημένη σύμφωνα με την ASTM A596.

Το σκληρόμετρο διαθέτει ένα εξωτερικό αισθητήρα και έτσι επιτρέπει στον χειριστή να διεξάγει τις μετρήσεις σκληρότητας πολύ εύκολα. Επίσης, στην μεγάλη ψηφιακή οθόνη φαίνονται άμεσα όλα τα αποτελέσματα της σκληρομέτρησης.

Ακόμα, υπάρχει και η δυνατότητα αποστολής των δεδομένων άμεσα σε προαιρετικό ασύρματο εκτυπωτή.

Προετοιμασία εργαστηριακής Φυσικής με πρότυπες μετρήσεις.

Abstract

The electronic portable hardness tester is designed for quick & non-destructive hardness testing of various objects. The operation of the sclerometer is standardized according to ASTM A596.

The hardness tester has an external sensor and thus allows the operator to carry out hardness measurements very easily. Also, all the results of the hardness measurement are immediately visible on the large digital screen.

Furthermore, there is also the possibility of sending the data directly to an optional wireless printer.

Preparation of laboratory Physics with standard measurements.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	9
1.1 Φορητά σκληρόμετρα.....	9
1.2 Κατηγορίες φορητών σκληρομέτρων	11
1.3 Φορητά Σκληρόμετρα Αναπήδησης (Leeb).....	12
1.4 Φορητά Σκληρόμετρα Υπερήχων (UCI)	16
1.5 Φορητά Σκληρόμετρα Rockwell	11
1.6 Φορητά Σκληρόμετρα Webster	12
1.7 Φορητά Σκληρόμετρα Barcol.....	16
Κεφάλαιο 2: Συγκριτική παρουσίαση τεχνολογίας σκληρομέτρων	30
2.1 Επιλογή του κατάλληλου σκληρομέτρου	30
2.2 Τρόπος επιλογής μεθόδου σκληρομέτρησης.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Κεφάλαιο 3: Πρότυπη εργαστηριακή μέτρηση	33
3.1 Πρότυπη εργαστηριακή μέτρηση με Φορητό Σκληρόμετρο Rockwell.....	33
3.2 Πίνακας αντιστοίχισης τιμών	36
Κεφάλαιο 4: Προετοιμασία εργαστηριακής άσκησης.....	41
4.1 Φύλλο εργασίας για την εργαστηριακή άσκηση Γενικής Φυσικής.....	41
4.2 Περιγραφή Διεργασίας εργαστηριακής άσκησης Γενικής Φυσικής. Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.	
Βιβλιογραφία.....	48

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Φορητά σκληρόμετρα

Σκληρόμετρα-Γενικές Πληροφορίες

Το σκληρόμετρο είναι ένα όργανο μέτρησης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ακαμψίας ή της αντοχής ενός υλικού. Σε γενικές γραμμές, η φιλοσοφία λειτουργίας είναι ο προσδιορισμός της αντίστασης ενός υλικού στην παραμόρφωση, μέσω ενός σκληρότερου εργαλείου.

Τα σκληρόμετρα μπορεί να είναι είτε φορητά είτε επιτραπέζια/σταθερά.

Φορητά Σκληρόμετρα, Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Τα φορητά σκληρόμετρα είναι μικρές, συμπαγείς και εύχρηστες ηλεκτρονικές συσκευές οι οποίες έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιούν μέτρηση της σκληρότητας σε αρκετές κλίμακες σκληρότητας. Αν συγκριθούν με τα σταθερά σκληρόμετρα τότε τα πλεονεκτήματά τους και τα μειονεκτήματά τους θα είναι:

Πλεονεκτήματα

Τα φορητά σκληρόμετρα διαθέτουν ένα πλήθος από πλεονεκτήματά και για αυτό τον λόγο και έχουν κατακτήσει την βιομηχανία των μετάλλων:

- ✓ Οικονομικές λύσεις

Μετρούν την σκληρότητα σε όλες τις διαδεδομένες κλίμακες (HV, HB, HS, HRC, HRB, N/mm²)

- ✓ Η ένδειξη της σκληρότητας εμφανίζεται απευθείας στην οθόνη

Ο χειριστής μπορεί να πραγματοποιήσει επιτόπου μετρήσεις (in situ), χωρίς να χρειαστεί να μεταφερθεί το δοκίμιο στο εργαστήριο

Υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς και επεξεργασίας των δεδομένων στον Η/Υ

Μειονεκτήματα

Υπάρχει ένα ουσιαστικό μειονέκτημα σε όλα τα φορητά σκληρόμετρα ανεξαρτήτως τεχνολογίας και αυτό είναι η έλλειψη ακρίβειας σε σχέση με αυτή που προσφέρουν τα σταθερά σκληρόμετρα.

1.2 Κατηγορίες φορητών σκληρομέτρων

Τα φορητά σκληρόμετρα κατηγοριοποιούνται αναλόγως της τεχνολογίας που φέρουν.

Έτσι, υπάρχουν πέντε (5) κατηγορίες φορητών σκληρομέτρων:

1) Φορητά Σκληρόμετρα Αναπήδησης (Leeb)

2) Φορητά Σκληρόμετρα Υπερήχων (UCI)

2.1 Φορητά Σκληρόμετρα που συνδυάζουν αμφότερες τις τεχνολογίες Leeb & UCI

3) Φορητά Σκληρόμετρα Rockwell

3.1 Φορητά Σκληρόμετρα που συνδυάζουν τις τεχνολογίες Leeb & UCI & Rockwell

4) Φορητά Σκληρόμετρα Webster

5) Φορητά Σκληρόμετρα Barcol

Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι μέτρησης της σκληρότητας με φορητά όργανα. Αυτός ο οδηγός θα παρουσιάσει τις τεχνολογίες φορητών σκληρομέτρων με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

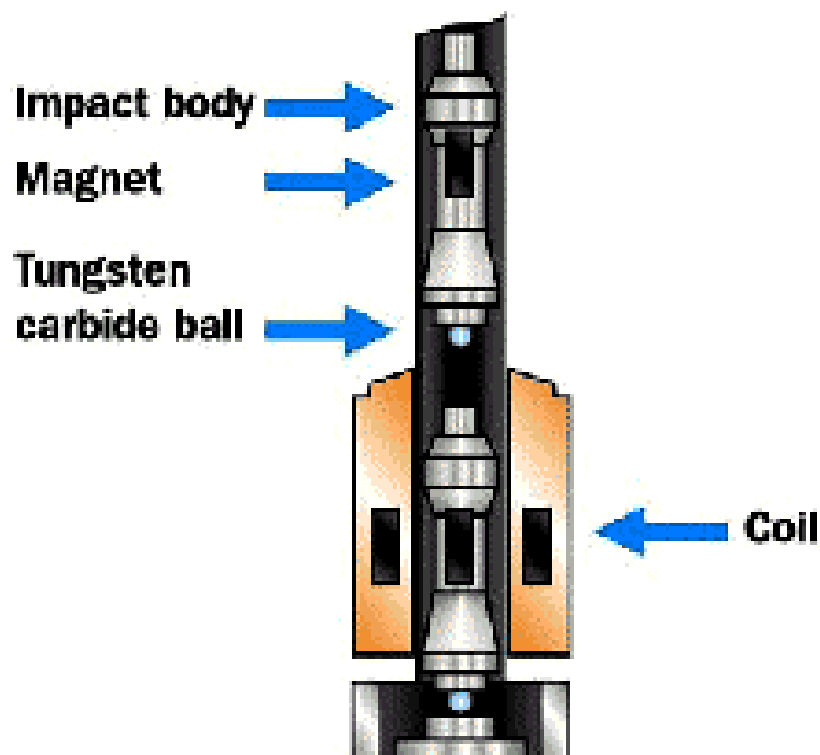
1.3 Φορητά Σκληρόμετρα Αναπήδησης (Leeb)

Τα φορητά σκληρόμετρα αναπήδησης είναι τα πιο διαδεδομένα φορητά σκληρόμετρα παγκοσμίως. Χρησιμοποιούν την μέθοδο Leeb, η οποία συμμορφώνεται με τα πρότυπα ISO 16859 και ASTM A956.

Αρχή Λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας των σκληρομέτρων αναπήδησης έγκειται στο ότι ένα σώμα με συγκεκριμένο βάρος, προσκρούει με συγκεκριμένη ταχύτητα πάνω στην επιφάνεια προς σκληρομέτρηση. Στην συνέχεια, ένας εσωτερικός αισθητήρας μετράει την ταχύτητα του σώματος πρόσκρουσης πριν και μετά την κρούση. Η σκληρότητα υπολογίζεται από το κλάσμα της ταχύτητας αναπήδησης ($V1$) προς την ταχύτητα κρούσης ($V0$). Το φορητό σκληρόμετρο μετατρέπει το κλάσμα της ταχύτητας σε σκληρότητα σύμφωνα με τον μαθηματικό τύπο: $HL=1000* V1/V0$.

Όσο σκληρότερο είναι το υλικό, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ταχύτητα αναπήδησης.



Σχήμα 1. Φορητό Σκληρόμετρο Αναπήδησης (Leeb)

Πλεονεκτήματα

- ✓ *Οικονομική λύση*

Τα φορητά σκληρόμετρα αναπήδησης-Leeb, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεθόδους σκληρομέτρησης, αποτελούν την πιο οικονομική λύση

- ✓ *Μετατροπή της σκληρότητας σε άλλες κλίμακες*

Τα φορητά σκληρόμετρα αναπήδησης μετράνε στην κλίμακα Leeb (HL) και έχουν την δυνατότητα αναγωγής του αποτελέσματος σε όλες τις διαδοσόμενες κλίμακες (HV, HB, HS, HRC, HRB, N/mm²)

- ✓ *Δυνατότητα σκληρομέτρησης σε κυρτές ή κοίλες επιφάνειες*

Με την χρήση ειδικών συστημάτων στήριξης

- ✓ *Πλήθος επιλογών αισθητηρίων*

Τα φορητά σκληρόμετρα αναπήδησης συνηθέστερα φέρουν αισθητήριο τύπου D, ωστόσο αναλόγως εφαρμογής μπορούν να φέρουν και άλλους τύπους DL, DC, S, E, C, G. (υπάρχει πίνακας επιλογής αισθητηρίου αναλόγως εφαρμογής στο τέλος του οδηγού)

Μειονεκτήματα

Περιορισμοί από το πάχος και το βάρος του δοκιμίου

Τα φορητά σκληρόμετρα αναπήδησης αδυνατούν να σκληρομετρήσουν δοκίμια μικρότερης μάζας από 5 kg και λεπτότερα από 25 mm (με μερικές εξαιρέσεις από 10 mm), λόγω της κάμψης που θα προκαλέσουν στο δοκίμιο. Υπάρχει μία μέθοδος για την επιτυχία των παραπάνω σκληρομετρήσεων που ονομάζεται μέθοδος σύζευξης ή “coupling method”, δηλαδή την τοποθέτηση του δοκιμίου πάνω σε μία στιβαρή επιφάνεια για μεγαλύτερη ακαμψία και την τοποθέτηση ενός υλικού ζεύξης ανάμεσα . Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν συνίσταται για μετρήσεις ακριβείας

Μειωμένη ακρίβεια μετρήσεων

Τα φορητά σκληρόμετρα αναπήδησης δεν μετράνε απευθείας στις γνωστές κλίμακες Rockwell, Brinell Vickers, αλλά στην κλίμακα HL. Στην συνέχεια, ανάγουν την ένδειξη HL, σε άλλες κλίμακες (HV, HRC κ.ά) οπότε είναι λογικό λόγω της μετατροπής, να υπάρξει μία μικρή απόκλιση των μετρήσεων από τις πραγματικές τιμές αν αυτές είχαν μετρηθεί με σταθερά σκληρόμετρα Rockwell, Brinell ή Vickers.

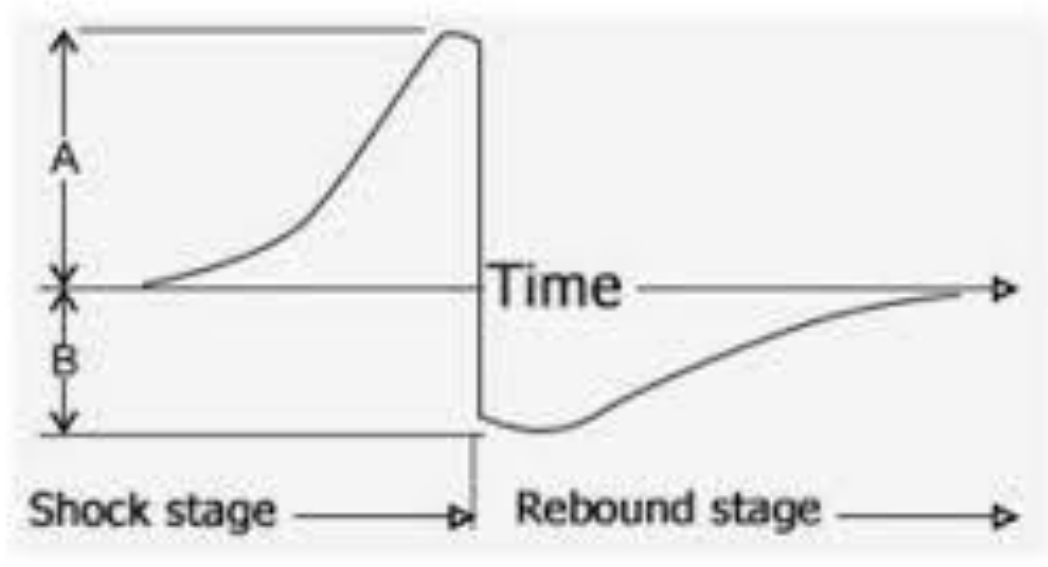
Σχετικώς καταστρεπτική μέθοδος-Αποτύπωμα κατά την κρούση

Η μέθοδος της αναπήδησης αφήνει εμφανές αποτύπωμα στην επιφάνεια του δοκιμίου

Απαίτηση μεγάλης προσοχής στον χειρισμό

Η μέτρηση πρέπει να πραγματοποιείται πάντα με το αισθητήριο να βρίσκεται σε θέση 90° σε σχέση με το δοκίμιο. Σε περίπτωση όπου ο χειριστής σκληρομετρήσει με διαφορετική γωνία θα πάρει λανθασμένα αποτελέσματα. Για να διασφαλιστεί η καθετότητα του αισθητήρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν δαχτυλίδια στήριξης.

Οι γνωστοί οίκοι PROCEQ Ελβετίας, INNOVATEST Ολλανδίας και KERN Γερμανίας προσφέρουν κορυφαίας ποιότητας κατασκευής και αξιοπιστίας, εύχρηστα φορητά σκληρόμετρα αναπήδησης για όλες τις δυνητικές εφαρμογές.



Leeb hardness measurement principle

Σχήμα 2. Αρχή λειτουργίας της μέτρησης σκληρότητας σε Σκληρόμετρο Αναπήδησης (Leeb)

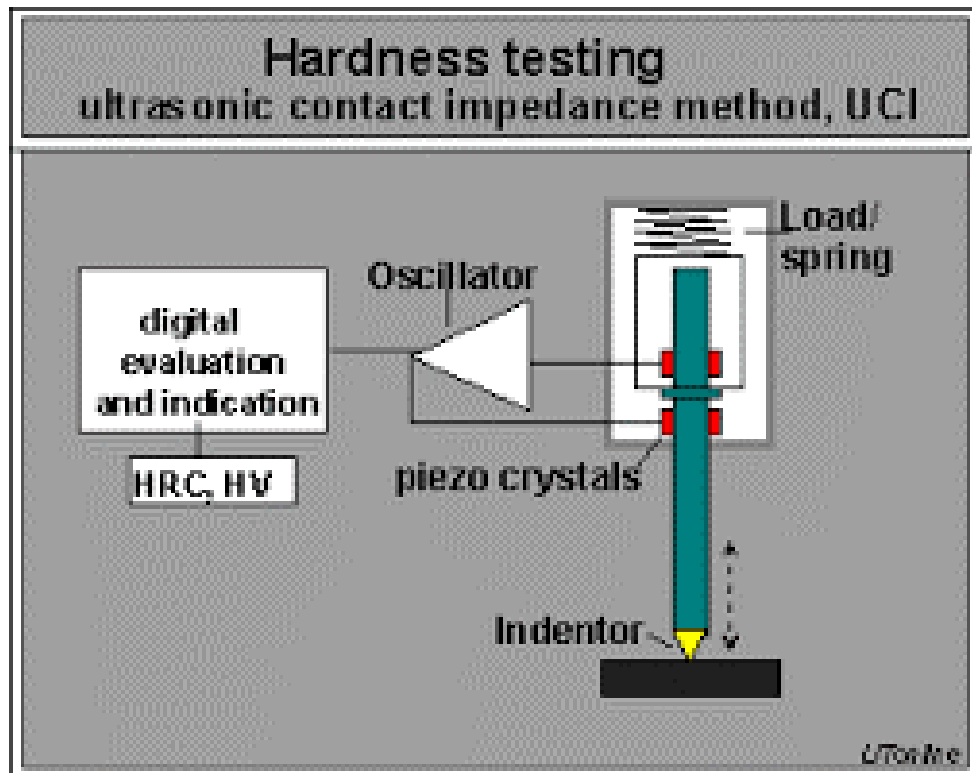
1.4 Φορητά Σκληρόμετρα Υπερήχων (UCI)

Τα φορητά σκληρόμετρα υπερήχων χρησιμοποιούνται επιτυχώς για πάνω από 50 χρόνια για πλήθος εφαρμογών. Τα σκληρόμετρα υπερήχων χρησιμοποιούν την τεχνολογία της μεθόδου UCI (Ultrasonic Contact Impedance). Παλαιότερα, τα φορητά σκληρόμετρα υπερήχων, χρησιμοποιούνταν για βαριά ή μη κινητά δοκίμια όπου οι παραδοσιακές τεχνολογίες σκληρομέτρησης αδυνατούσαν να δώσουν λύση. Ωστόσο, πλέον, χάρις την αξιοπιστία των μετρήσεων, την ταχύτητα που προσφέρουν και την απλότητα χρήσης, καθίστανται ιδανικά για πλήθος εφαρμογών.

Αρχή Λειτουργίας

Η μέθοδος UCI χρησιμοποιεί την μέτρηση της μετατόπισης της συχνότητας υπερήχων μιας δονούμενης ράβδου. Η ράβδος βρίσκεται εντός του αισθητηρίου και αποτελείται από έναν μεταλλικό άξονα στο οποίο στο άνω μέρος υπάρχει τοποθετημένο ένα ελατήριο (load spring), ενώ στο κάτω μέρος ένας διεισδυτής (indenter) από διαμάντι.

Η μέτρηση πραγματοποιείται μέσω της διείσδυσης του διαμαντιού στο δοκίμιο υπό συγκεκριμένο φορτίο που εφαρμόζει το ελατήριο. Η εφαρμογή του φορτίου στην επιφάνεια προκαλεί μεταβολή/μετατόπιση της συχνότητας της δονούμενης ράβδου. Όσο περισσότερο διεισδύει το διαμάντι στην επιφάνεια, τόσο μεταβάλλεται η συχνότητα.



Σχήμα 3. Αρχή λειτουργίας της μέτρησης Φορητού Σκληρόμετρου Υπερήχων (UCI)

Πλεονεκτήματα

- ✓ *Μέτρηση σκληρότητας στην περιοχή συγκόλλησης*

Τα φορητά σκληρόμετρα υπερήχων είναι τα πλέον ενδεδειγμένα για να πραγματοποιήσουν σκληρομετρήσεις συγκολλήσεων στην Ζώνη Επηρεασμού Θερμότητας (Heat-affected Zone H.A.Z)

- ✓ *Δυνατότητα μέτρησης λεπτότοιχων και ελαφριών δοκιμίων*

Τα φορητά σκληρόμετρα υπερήχων είναι ικανά να μετρήσουν οτιδήποτε έχει μεγαλύτερη μάζα από 0,3 kg και είναι παχύτερο από 5 mm

- ✓ *Μετρήσεις σε δυσπρόσιτα σημεία και δύσκολων γεωμετριών*

Τα φορητά σκληρόμετρα υπερήχων μπορούν να πραγματοποιήσουν σκληρομετρήσεις σε δυσπρόσιτα σημεία και σε εξαρτήματα δύσκολων γεωμετριών όπως, επί παραδείγματι, στην βάση μιας οδόντωσης ενός γραναζιού

- ✓ *Υψηλή ακρίβεια μετρήσεων*

Μέτρηση απευθείας στην κλίμακα HV Vickers

- ✓ *Υψηλή επαναληψιμότητα μετρήσεων*

Η επαναληψιμότητα είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας επιτυχών μετρήσεων. Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στο φορητό σκληρόμετρο «state of the art» Sonodur 3 του οίκου NEWSONIC Γερμανίας. Το συγκεκριμένο σκληρόμετρο UCI διαθέτει απaráμιλλη επαναληψιμότητα μετρήσεων, που οφείλεται στην υψηλής ακρίβειας μέτρηση του συντονισμού της παραγόμενης συχνότητας

- ✓ Δυνατότητα ενσωμάτωσης σε γραμμή παραγωγής για on-line μετρήσεις

Το Sonodur 3 του οίκου NEWSONIC Γερμανίας είναι κατάλληλο για την ενσωμάτωσή του σε γραμμή παραγωγής, αφού μέσω ενός απομονωμένου, ψηφιακού I/O καθιστά δυνατό τον απευθείας έλεγχο των μηχανισμών ενεργοποίησης, ενώ παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα για επεξεργασία των δεδομένων

- ✓ Λιγότερο καταστρεπτική μέθοδος

Το αποτύπωμα της διαδικασίας σκληρομέτρησης με σκληρόμετρα υπερήχων είναι το μικρότερο δυνατό εν συγκρίσει με όλες τις υπόλοιπες μεθόδους



Σχήμα 4. Διαδικασία μέτρησης με χρήση του Φορητού Σκληρόμετρου Υπερήχων (UCI)

Μειονεκτήματα

✚ *Μη οικονομική λύση*

Το κόστος κτήσης είναι μεγαλύτερο από ένα φορητό σκληρόμετρο αναπήδησης

✚ *Ανάγκη για βαθμονόμηση του οργάνου*

Στα περισσότερα σκληρόμετρα υπερήχων οι περισσότερες καμπύλες μετατόπισης συχνότητας δεν είναι προεγκατεστημένες. Αυτό πρακτικά σημαίνει, ότι ο χειριστής πρέπει να προμηθευτεί πρότυπα πλακίδια σκληρότητας, παρεμφερούς υλικού και σκληρότητας με το δοκίμιο που θέλει να μετρήσει.

Το Sonodur 3 έχει προεγκατεστημένες όλες τις μετατοπίσεις συχνοτήτων, οπότε ο χειριστής δεν χρειάζεται να προμηθευτεί κανένα πρότυπο πλακίδιο για την βαθμονόμηση του σκληρομέτρου.

Τα σκληρόμετρα υπερήχων διατίθενται με αισθητήρια που ποικίλουν από HV1-HV10 (10-100N) για την κάλυψη όλων των δυνατικών εφαρμογών.

Αισθητήριο	Εφαρμογές
10 N	Welds, thermally cut edges DIN EN 1090-2, goods income (tensile strength), cast iron, cast aluminium, induction heating
50 N	Induction heating, case hardening, tools, aluminium
100 N	Surface hardness, plasma nitriding, small complex formed parts, aluminium

Πίνακας 1. Πίνακας επιλογής αισθητηρίου UCI αναλόγως επιθυμητής εφαρμογής

1.5 Φορητά Σκληρόμετρα Rockwell

Η τεχνολογία σκληρομέτρησης κατά Rockwell απαντάται κατά κύριο λόγο σε σταθερά σκληρόμετρα.

Η PROCEQ Ελβετίας είναι ο κορυφαίος και πρωτοπόρος κατασκευαστής φορητών σκληρομέτρων Rockwell και δραστηριοποιείται στον χώρο από το 1954 και κατάφερε να μεταφέρει αυτή την τεχνολογία σε φορητά σκληρόμετρα. Η μακροχρόνια υψηλή τεχνογνωσία της Proceq την έχει οδηγήσει στο να θεωρείται ένας εκ των κορυφαίων οίκων κατασκευής φορητών σκληρομέτρων παγκοσμίως.

Η PROCEQ Ελβετίας διαθέτει στην αγορά το αισθητήριο Rockwell 50N Equostat για την σύνδεση με H/Y για αυτονομία, λειτουργώντας σαν φορητό σκληρόμετρο Rockwell.

Το συγκεκριμένο φορητό σκληρόμετρο Rockwell προσφέρει:

Μετρήσεις υψηλής ακρίβειας και επαναληψιμότητας

Δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων μέσω του “friendly user” λογισμικού

Αναγωγή των μετρήσεων και σε άλλες κλίμακες (HV, HB κ.ά)

Το αισθητήριο μπορεί να προσαρμοστεί σε «ειδική αρπάγη» για μέγιστη σταθερότητα κατά την μέτρηση μικρών τεμαχίων όπως πύροι, κύλινδροι κ.α

Το αισθητήριο μπορεί να προσαρμοστεί σε πλήθος βάσεων ώστε να επιτυγχάνεται η μέτρηση και σε κοίλες, κυλινδρικές κ.ά επιφάνειες.

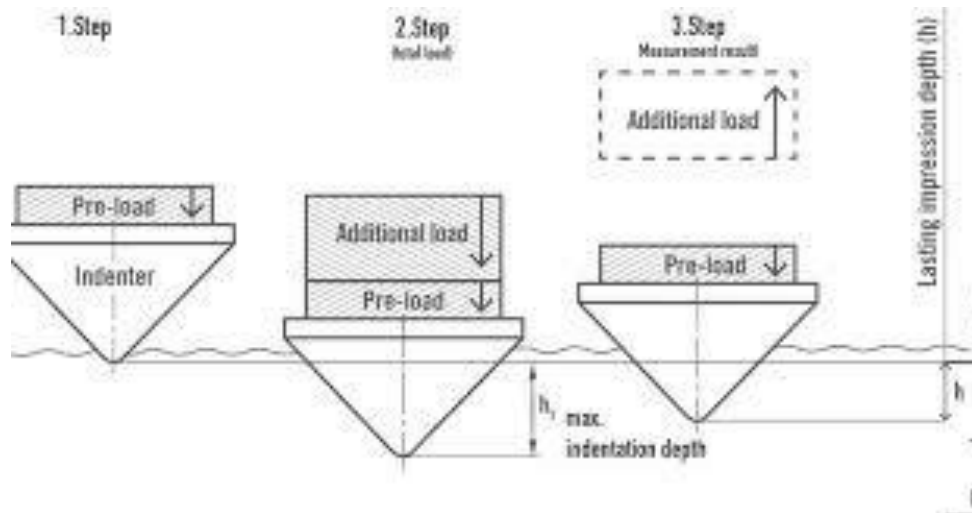


Σχήμα 5. Φορητά Σκληρόμετρα Rockwell

Αρχή Λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας των σκληρομέτρων Rockwell έγκειται στην διείσδυση της μύτης του σκληρομέτρου στο δοκίμιο. Η μύτη του σκληρομέτρου μπορεί να είναι κωνική ή σφαιρική. Μία αρχική δύναμη F_0 θα εφαρμοστεί στο δείγμα από τον διεισδυτή και στην συνέχεια μία επιπλέον δύναμη F_1 . Η επονομαζόμενη αυτή κύρια δύναμη F_0+F_1 θα παραμείνει για ορισμένο χρονικό διάστημα μέχρι η F_1 να σταματήσει και να παραμείνει μόνο η αρχική F_0 .

Η διαφορά του βάθους διείσδυσης H_1 της κύριας δύναμης F_0+F_1 με το βάθος διείσδυσης H_0 της αρχικής F_0 , δίνει το αποτέλεσμα της σκληρομέτρησης. Άρα, τα φορητά σκληρόμετρα Rockwell, όπως και τα σταθερά σκληρόμετρα Rockwell ανάγουν το βάθος διείσδυσης σε σκληρότητα.



Σχήμα 6 Αρχή λειτουργίας του Φορητού Σκληρόμετρου Rockwell

Πλεονεκτήματα

- ✓ Δυνατότητα μέτρησης ιδιαίτερα λεπτότοιχων και ελαφριών δοκιμίων όπως και λαμαρίνων

Αναφορικά με τον περιορισμό που αντιμετωπίζουν πολλά σκληρόμετρα σχετικά με το βάρος-πάχος, τα φορητά σκληρόμετρα Rockwell μπορούν να μετρήσουν δοκίμια που έχουν πάχος από 1 mm και μάζα μικρότερη από 0,1 kg

- ✓ Μετρήσεις σκληρότητας ανεξάρτητες λάθους του χειριστή

Τα φορητά σκληρόμετρα Rockwell, διαθέτουν ένα πλήθος από παρελκόμενα που διασφαλίζουν τις τιμές της σκληρομέτρησης ανεξάρτητα από λάθη χειρισμού

- ✓ Υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα μετρήσεων

Το σκληρόμετρο μετράει απευθείας σε κλίμακες Rockwell

- ✓ Μετρήσεις σε σημεία δύσκολων γεωμετριών

Το φορητό σκληρόμετρο Rockwell έχει την δυνατότητα να μετρήσει και σε κυλινδρικά ή άλλα δοκίμια με την χρησιμοποίηση των κατάλληλων παρελκομένων π.χ αρπάγη

- ✓ Μετατροπή της ένδειξης στις πιο διαδεδομένες κλίμακες σκληρότητας

Τα φορητά σκληρόμετρα Rockwell μπορεί να μετράνε σε HRA, HRB κ.ά αλλά μπορεί ο χρήστης να βλέπει τις ενδείξεις και σε άλλες κλίμακες (HV,HV,MPa κ.ά)

Μειονεκτήματα

- ✚ Μη οικονομική λύση

Το κόστος κτήσης είναι μεγαλύτερο από ένα φορητό σκληρόμετρο αναπήδησης

- ✚ Καταστρεπτική μέθοδος

Το αποτύπωμα που αφήνει ο διεισδυτής στο δοκίμιο είναι εμφανές

Τα φορητά σκληρόμετρα Rockwell χρησιμοποιούν τις πιο διαδεδομένες κλίμακες Rockwell και η επιλογή γίνεται αναλόγως την εφαρμογή, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Κλίμακα	Εφαρμογές
HRA	Cemented carbides, thin steel and shallow case-hardened steel
HRB	Copper alloys, soft steel, aluminium alloys, malleable iron etc.
HRC	Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep cased hardened steel
HRD	Thin steel and medium case-hardened steel and pearlitic malleable iron
HRE	Cast iron, aluminium and magnesium alloys, bearing metal
HRF	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals
HRG	Phosphor bronze, beryllium copper, malleable irons
HRH	Aluminium, zinc, lead
HRK	Bearing metals and other soft or thin materials including plastics
HRL, HRM, HRP, HRR, HRS, HRV	Bearing metals and other very soft or thin materials including plastics

Πίνακας 2. Πίνακας επιλογής κλίμακας Rockwell αναλόγως εφαρμογής

1.6 Φορητά Σκληρόμετρα Webster

Τα φορητά σκληρόμετρα Webster ενδείκνυνται για μία γρήγορη μέτρηση σκληρότητας στα παρακάτω υλικά:

Αλουμίνιο

Ορείχαλκο

Χαλκό

Μαλακό Χάλυβα

Τα φορητά σκληρόμετρα Webster βρίσκουν κυρίως εφαρμογή σε δοκίμια που προέρχονται από διέλαση αλουμινίου.



Σχήμα 6 Φορητά Σκληρόμετρα Webster

Η αρχή λειτουργίας τους είναι απλή και συμμορφώνεται με το αμερικανικό πρότυπο ASTM B647. Το προς μέτρηση δοκίμιο τοποθετείται ανάμεσα στον άκμονα και τον διεισδυτή. Στην συνέχεια ασκείται πίεση στις λαβές από τον χειριστή και έτσι

πραγματοποιείται η διείσδυση του διεισδυτή στο δοκίμιο. Ο χειριστής μπορεί να αναγνώσει την ένδειξη της σκληρότητας στο ρολόι του σκληρομέτρου.

Η INNOVATEST Ολλανδίας προσφέρει μία μεγάλη γκάμα από φορητά σκληρόμετρα Webster για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αναλόγως υλικού.

Μοντέλο Σκληρομέτρου Webster	Υλικό	Εύρος Μέτρησης	Πάχος Υλικού (mm)
WH100	Aluminium Alloy	25-110 HRE, 58-131 HV	6-10
WH110	Aluminium Alloy	25-110 HRE, 58-131 HV	10-13
WH120	Aluminium Alloy	25-110 HRE, 58-131 HV	6-8
WH130	Brass in hard half hard state super-hand, aluminium alloy	63-105 HRF	6-10
WH140	Brass in hard half hard state super-hand, aluminium alloy	63-105 HRF	6-8
WH150	Software brass pure copper	18-100 HRE	6-10
WH160	Software brass pure copper	18-100 HRE	6-8
WH170	Cold rolled steel sheet stainless steel	48-100 HRB	6-8

Πίνακας 3. Πίνακας επιλογής μοντέλου Σκληρομέτρου Webster INNOVATEST Ολλανδίας

1.7 Φορητά Σκληρόμετρα Barcol

Τα σκληρόμετρα τεχνολογίας Barcol χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της σκληρότητας σύνθετων υλικών ενισχυμένων με ίνες (FRP), όπως και σύνθετων υλικών ενισχυμένων με γυαλί (GRP). Επίσης, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της σταδιακής σκλήρυνσης μίας ρητίνης ή ενός πλαστικού υλικού, ως έμμεσο μέτρο δηλαδή, του βαθμού σκλήρυνσης ενός σύνθετου υλικού. Ακόμα, τα φορητά σκληρόμετρα Barcol χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της σκληρότητας μαλακών μεταλλικών υλικών όπως χαλκού, μόλυβδου, καθαρού αλουμινίου, μαλακού αλουμινίου, χυτών και σφυρηλάτων υλικών. Η τεχνολογία είναι απλή και σύμφωνα με αυτή το δείγμα τοποθετείται κάτω από τον διεισδυτή του σκληρομέτρου Barcol και εφαρμόζεται από τον χρήστη ομοιόμορφη πίεση στο δείγμα έως ότου η ένδειξη επιλογής φτάσει στο μέγιστο. Το βάθος της διείσδυσης μετατρέπεται σε μέτρηση στην κλίμακα Barcol.

Εκτός από τις μονάδες σκληρότητας Barcol (HBA), το σκληρόμετρο δίνει μετρήσεις σκληρότητας στις μονάδες σκληρότητας Brinell (HB), Vickers (HV), Webster (HW) και Rockwell (HRB/HRE/HRF/HRH).

Ο γερμανικός οίκος PCE διαθέτει ένα πλήθος από αξιόπιστα σκληρόμετρα Barcol.



Σχήμα 6 Φορητά Σκληρόμετρα Webster

Κεφάλαιο 2: Συγκριτική παρουσίαση τεχνολογίας σκληρομέτρων

2.1 Επιλογή του κατάλληλου σκληρομέτρου

Έχοντας περιγράψει αναλυτικά 5 διαφορετικούς τύπους σκληρομέτρων και ειδικότερα:

1. Φορητά Σκληρόμετρα Αναπήδησης (Leeb)
2. Φορητά Σκληρόμετρα Υπερήχων (UCI)
3. Φορητά Σκληρόμετρα Rockwell
4. Σκληρόμετρα Webster
5. Σκληρόμετρα Barcol

θα προχωρήσουμε σε μία σύγκριση υπό μορφή πίνακα των τεχνολογιών.

Μέθοδος Σκληρομέτρησης / Αισθητήριο	Αναπήδηση							Υπερήχων	Rockwell
	D	DC	DL	S	E	C	G	10-100N	50N
Λεπτά δοκίμια								▲	▲
Ελαφριά δοκίμια						▲		▲	▲
Δοκίμια όπου υπάρχει περιορισμένη πρόσβαση		▲	▲					▲	
Δοκίμια με γυαλισμένη επιφάνεια						▲		▲	▲
Μικρά κυκλικά δοκίμια						▲		▲	▲
Μεσαίου μεγέθους δοκίμια	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲
Σωλήνες με πάχος τοιχώματος >20mm	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲
Σωλήνες με πάχος τοιχώματος <20mm						▲		▲	▲
Περιοχή συγκόλλησης HAZ								▲	
Πολύ σκληρά δοκίμια				▲	▲				▲
Μεγάλα δοκίμια	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Μεγάλα χυτά δοκίμια							▲		

Πίνακας 2. Συγκριτικός πίνακας επιλογής τεχνολογίας σκληρομέτρησης

2.2 Τρόπος επιλογής μεθόδου σκληρομέτρησης

Έχοντας περιγράψει αναλυτικά 5 διαφορετικούς τύπους σκληρομέτρων και ειδικότερα:

1. Φορητά Σκληρόμετρα Αναπήδησης (Leeb)
2. Φορητά Σκληρόμετρα Υπερήχων (UCI)
3. Φορητά Σκληρόμετρα Rockwell
4. Σκληρόμετρα Webster
5. Σκληρόμετρα Barcol

θα προχωρήσουμε σε ένα ερωτηματολόγιο που βοηθά στην επιλογή μεθόδου σκληρομέτρησης.

Ερώτηση	Προσδιορισμός	Τεχνολογία Σκληρομέτρησης		
		Αναπήδηση	Υπερήχων	Rockwell
No.1 Πάχος Δείγματος;	< 3 mm	✗	✗	✓ (1 mm όριο)
	< 5 mm	✗	✗	✓
	< 25 mm	✓ (με την μέθοδο σύζευξης)	✓	✓ (αρκεί το πάχος να είναι μεγαλύτερο από 5 mm)
	> 25 mm	✓	✓	✓
No.2 Μάζα Δείγματος;	< 0,1 kg	✓ (με την μέθοδο σύζευξης)	✗	✓
	< 0,3 kg	✓ (με την μέθοδο σύζευξης)	✓ (με την μέθοδο σύζευξης)	✓
	< 2 kg	✓ (με την μέθοδο σύζευξης)	✓ (αρκεί το βάρος να είναι μεγαλύτερο από 0,3 kg)	✓
	>5 kg	✓	✓	✓
No.3 Σκλήρυνση επιφάνειας;	< 0,2 mm	✗	✗	✓
	0,2-0,8 mm	✓ (με αισθητήριο τύπου C)	✓	✓
	>0,8 mm	✓ (εκτός από αισθητήρα τύπου G)	✓	✓
No.4 Κλίμακα μέτρησης και εύρος σκληρότητας;	Ποια είναι η επιθυμητή κλίμακα για αναφορές και ποιο το μένιστο εύρος;	Η δυνατότητα μετατροπής της κλίμακας HL σε άλλη κλίμακα εξαρτάται από το υλικό	Μέγιστο 70 HRC	950 HV από μετατροπή. 2000 HV από μέτρηση
No.5 Υλικό προς μέτρηση σκληρότητας	Τι είδους υλικά είναι προς μέτρηση σκληρότητας;	Εξαρτάται από την κλίμακα μέτρησης που χρησιμοποιείται	Το σκληρόμετρο πρέπει να βαθμονομηθεί πριν από κάθε υλικό προς μέτρηση	Εξαρτάται από την κλίμακα μέτρησης που χρησιμοποιείται
No.6 Τραχύτητα επιφάνειας;	Ποια είναι η επιτρεπτή τιμή τραχύτητας (Ra);	Ra < 1,6 μm	Ra < 2 μm	Ra < 12,5 μm

Πίνακας 3. Ερωτηματολόγιο επιλογής μεθόδου σκληρομέτρησης

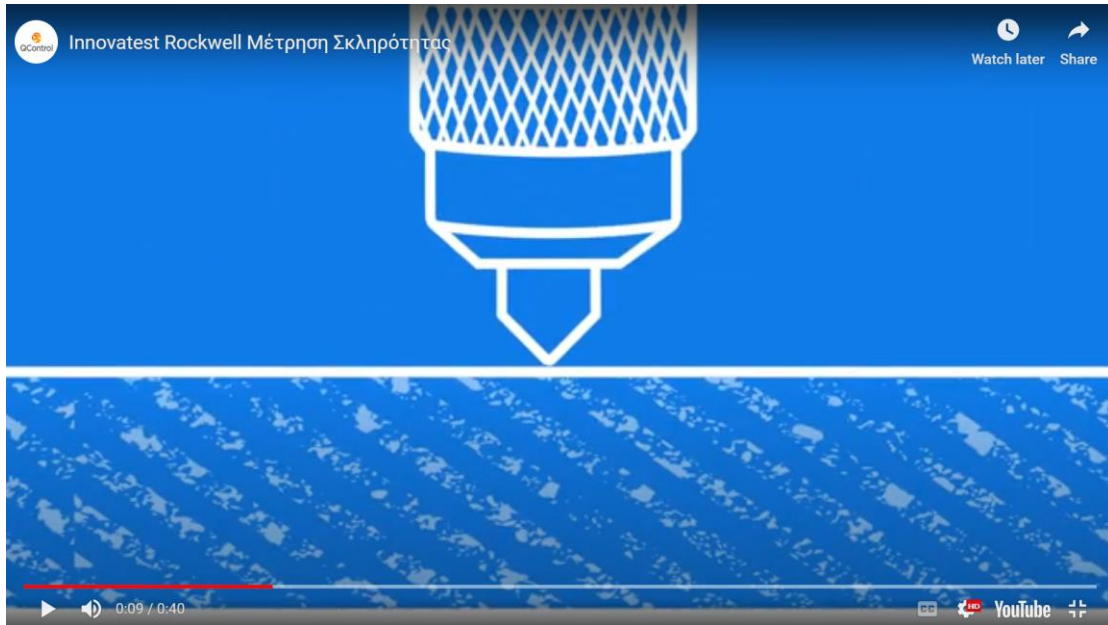
Κεφάλαιο 3: Πρότυπη εργαστηριακή μέτρηση

3.1 Πρότυπη εργαστηριακή μέτρηση με Φορητό Σκληρόμετρο Rockwell

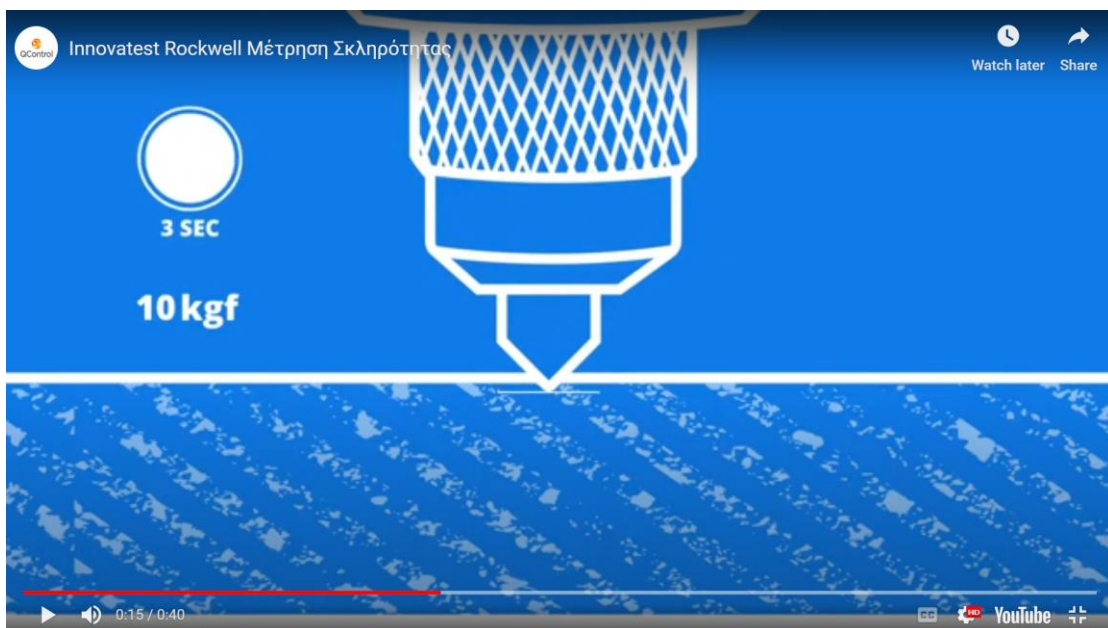
Με χρήση του φορητού σκληρόμετρου Rockwell λήφθηκαν πρότυπες εργαστηριακές μετρήσεις.

Μέτρηση Σκληρότητα

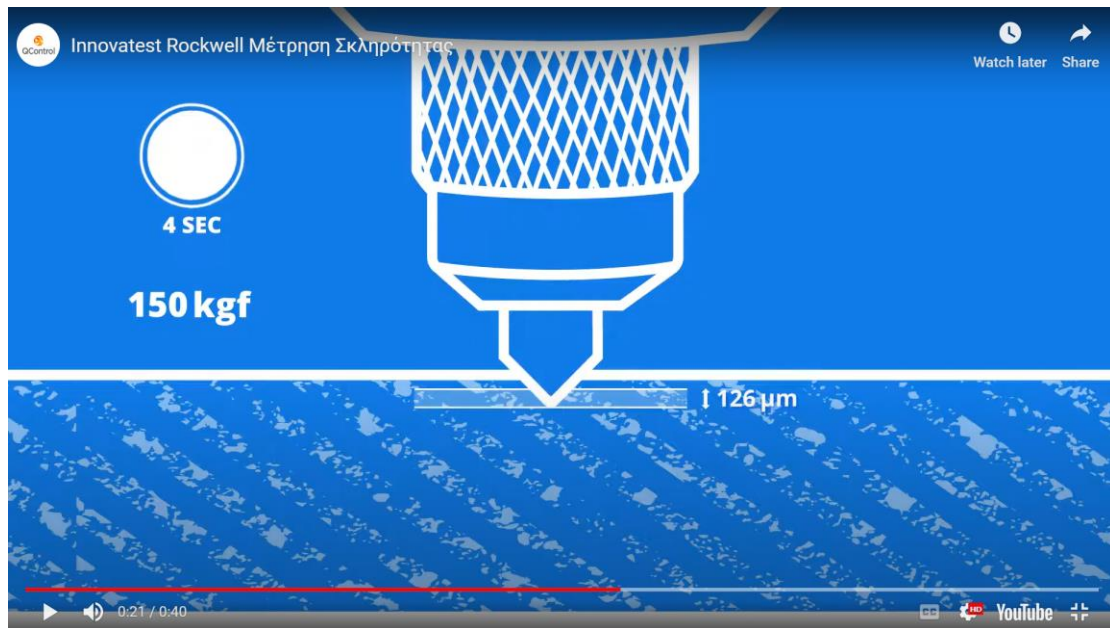




Τοποθέτηση και επαφή

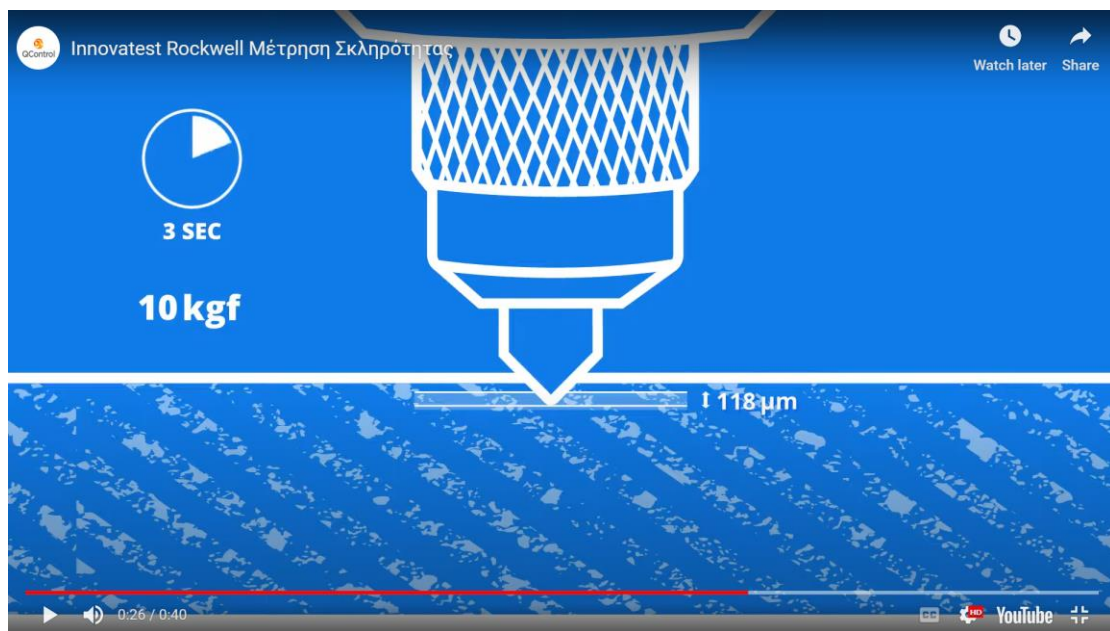


Μέτρηση 10kgf



Μέτρηση 150kgf

Πάχος 126μm



Μέτρηση 10kgf

Πάχος 118μm

3.2 Πίνακας αντιστοίχισης τιμών

Συμπληρωματικά στις εργαστηριακές ασκήσεις επισυνάπτουμε πίνακες αντιστοίχισης τιμών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Η αντιστοίχιση των τιμών HB, HRC, HRB και HV κατά ASTM E140

Brinell Hardness HB	Rockwell HRC	Rockwell HRB	Vickers HV	N/mm²
800	72			
780	71			
760	70			
752	69			
745	68			
746	67			
735	66			
711	65			
695	64			
681	63			
658	62			

642	61			
627	60			
613	59			
601	58		746	
592	57		727	
572	56		694	
552	55		649	
534	54	120	589	
513	53	119	567	
504	52	118	549	
486	51	118	531	
469	50	117	505	
468	49	117	497	
456	48	116	490	1569
445	47	115	474	1520
430	46	115	458	1471
419	45	114	448	1447
415	44	114	438	1422
402	43	114	424	1390
388	42	113	406	1363
375	41	112	393	1314
373	40	111	388	1265

360	39	111	376	1236
348	38	110	361	1187
341	37	109	351	1157
331	36	109	342	1118
322	35	108	332	1089
314	34	108	320	1049
308	33	107	311	1035
300	32	107	303	1020
290	31	106	292	990
277	30	105	285	971
271	29	104	277	941
264	28	103	271	892
262	27	103	262	880
255	26	102	258	870
250	25	101	255	853
245	24	100	252	838
240	23	100	247	824
233	22	99	241	794
229	21	98	235	775
223	20	97	227	755
216	19	96	222	716
212	18	95	218	706

208	17	95	210	696
203	16	94	201	680
199	15	93	199	667
191	14	92	197	657
190	13	92	186	648
186	12	91	184	637
183	11	90	183	617
180	10	89	180	608
175	9	88	178	685
170	7	87	175	559
167	6	86	172	555
166	5	86	168	549
163	4	85	162	539
160	3	84	160	535
156	2	83	158	530
154	1	82	152	515
149		81	149	500
147		80	147	490
143		79	146	482
141		78	144	481
139		77	142	480
137		76	140	475

135	75	137	467
131	74	134	461
127	72	129	451
121	70	127	431
116	68	124	422
114	67	121	412
111	66	118	402
107	64	115	382
105	62	112	378
103	61	108	373
95	56	104	
90	52	95	
81	41	85	
76	37	80	

Brinell	Rockwell	Rockwell	Vickers	N/mm²
HB	HRC	HRB	HV	
3000kg	150kg	100kg	Diamond	Tensile strength
10mm Ball	Brale	1/16" Ball	Pyramid	(A
			120kg	

Κεφάλαιο 4: Προετοιμασία εργαστηριακής άσκησης

4.1 Φύλλο εργασίας για την εργαστηριακή άσκηση Γενικής Φυσικής

Προτείνεται η χρήση του πιο κάτω υποδείγματος φύλλου εργασίας.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ «ΓΕΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ» Α' ΕΞΑΜΗΝΟΥ, ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2024-2025 ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	
ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ:	
ΤΜΗΜΑ:	ΟΜΑΔΑ:

ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΣΚΗΣΗΣ: π.χ. A1
ΤΙΤΛΟΣ ΑΣΚΗΣΗΣ:
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ:

Βαθμός Αξιολόγησης:

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

α) Σκοπός Εργασίας - Συνοπτική Θεωρία - Νόμοι Φυσικής

β) Πειραματική Διαδικασία & Μετρήσεις

γ) Σχολιασμός Αποτελεσμάτων & Συμπεράσματα

4.2 Περιγραφή Διεργασίας εργαστηριακής άσκησης Γενικής Φυσικής

Διεξαγωγή των ασκήσεων

Πριν γίνει οποιαδήποτε σύνδεση των οργάνων, θα πρέπει οι φοιτητές να αναγνωρίσουν όλες τις συσκευές και να καταλάβουν τον τρόπο λειτουργίας τους.

Η συνδεσμολογία του κυκλώματος γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στην εκτέλεση του πειράματος και με τους κανόνες ασφαλείας που αναφέρονται πιο κάτω.

Πριν από τη σύνδεση των συσκευών με τα 220 V, το κύκλωμα πρέπει να ελεγχθεί από τον επιβλέποντα της άσκησης.

Πάρτε τις απαραίτητες μετρήσεις ακολουθώντας τα στάδια με τη σειρά τους και καταχωρήστε τα αποτελέσματά σας συστηματικά και τακτικά στους αντίστοιχους Πίνακες.

Για τον τρόπο καταχώρησης των αποτελεσμάτων, καθώς και των αντίστοιχων σφαλμάτων, συμβουλευτείτε παρακάτω το Κεφάλαιο Γ' «Ανάλυση και Παρουσίαση των Πειραματικών Αποτελεσμάτων». Για οποιαδήποτε απορία να απευθύνεστε στον επιβλέποντα της άσκησης.

Όταν τελειώσετε τις μετρήσεις και πριν αποσυνδέσετε τα κυκλώματα, συμβουλευτείτε τον επιβλέποντα για να εξακριβώσετε αν οι πειραματικές σας τιμές βρίσκονται μέσα στα λογικά όρια και ότι δεν έχετε κάποιο λάθος στις μετρήσεις. Οι σελίδες με τα αποτελέσματα των μετρήσεων πρέπει να υπογράφονται από τον επιβλέποντα της άσκησης και να συνοποβάλλονται με την εργαστηριακή σας έκθεση.

Σβήστε τις συσκευές και αποσυνδέστε το κύκλωμα, τοποθετώντας τα καλώδια και όλα τα εξαρτήματα του κυκλώματος στις θέσεις τους.

Τέλος, πριν φύγετε, βεβαιωθείτε ότι έχετε καταλάβει καλά την διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσετε στην επεξεργασία των μετρήσεων.

A.3. Σύνταξη, παράδοση και διόρθωση της έκθεσης

Οι εργαστηριακές εκθέσεις θα πρέπει να γράφονται σε σελίδες A4 ως εξής:

Στην κορυφή της πρώτης σελίδας θα πρέπει οπωσδήποτε να αναγράφονται:

- Το ονοματεπώνυμο του φοιτητή, η Σχολή και το τμήμα του.
- Ο αριθμός και ο τίτλος της άσκησης.
- Ο αριθμός καταλόγου του φοιτητή στην κατανομή των ασκήσεων.
- Το όνομα των συνεργατών του στην άσκηση.
- Το όνομα του υπεύθυνου της άσκησης.
- Η ημερομηνία διεξαγωγής της άσκησης.

Θα ακολουθούν 30-40 περίπου γραμμές, στις οποίες θα περιγράφεται συνοπτικά και σε περίληψη ο σκοπός της άσκησης, το θέμα, η μέθοδος, η πειραματική διάταξη και η διαδικασία που ακολουθήθηκε. Μέρη του κειμένου που αντιγράφονται από το εργαστηριακό βιβλίο δεν λαμβάνονται υπόψη και είναι απορριπτέα.

Προχωρήστε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων ακολουθώντας διαδοχικά τα στάδια που αναφέρονται στην «επεξεργασία των μετρήσεων» και με τη βοήθεια του Κεφαλαίου «Ανάλυση και παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων». Προσπαθήστε να απαντήσετε στις ερωτήσεις σύμφωνα με τη δική σας κρίση.

Οι εργαστηριακές σας εκθέσεις θα παραδίνονται συμπληρωμένες στον αντίστοιχο επιβλέποντα της άσκησης, στην αμέσως επόμενη άσκηση του ίδιου τμήματος. Θα διορθώνονται από τον επιβλέποντα και θα επιστρέφονται διορθωμένες και βαθμολογημένες στους φοιτητές την επόμενη φορά. Σε περίπτωση που αντί για βαθμό αναγράφεται η λέξη «Διόρθωση», η άσκηση θα πρέπει να διορθωθεί σύμφωνα με τις οδηγίες που αναφέρονται και να παραδοθεί την επόμενη φορά, ώστε να βαθμολογηθεί.

B. Κανόνες Ασφαλείας

Για λόγους ασφαλείας, δικής σας, των συναδέλφων σας και των συσκευών του εργαστηρίου, ακολουθείτε πάντα τους παρακάτω κανόνες:

- Μην βάζετε ποτέ αντικείμενα, μεταλλικά ή μονωτικά, μέσα στις ηλεκτρικές υποδοχές του πίνακα τροφοδοσίας και των συσκευών.
- Μην βραχυκυκλώνετε ποτέ μπαταρίες, πηγές συνεχών τάσεων ή γεννήτριες.

Συνδέστε πρώτα όλα τα όργανα του κυκλώματος μεταξύ τους και μετά με την ηλεκτρική πηγή των 220 V. Η σύνδεση με τα 220 V γίνεται πάντα τελευταία, εφόσον πρώτα το κύκλωμα ελεγχθεί από τον επιβλέποντα.

Αναφέρετε οποιαδήποτε βλάβη ή ανωμαλία στη λειτουργία των οργάνων, μόλις την παρατηρήσετε.

Ποτέ μην αποσυνδέετε ή τροποποιείτε ένα κύκλωμα με την ηλεκτρική πηγή αναμμένη.

Συνηθίστε να πιάνετε τα καλώδια από το μονωμένο βύσμα και ποτέ από το μεταλλικό άκρο.

Πριν σβήσετε μια πηγή, κατεβάζετε πρώτα βαθμιαία την τάση εξόδου της στο μηδέν.

Όταν βγάζετε τις πρίζες ή τα καλώδια από τις υποδοχές, να τα τραβάτε από την ίδια την πρίζα ή το βύσμα και ποτέ από το καλώδιο. Κινδυνεύει να σας μείνει στο χέρι.

Γ. Ανάλυση και παρουσίαση πειραματικών αποτελεσμάτων

Γ.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέτρηση συνίσταται στον καθορισμό του μεγέθους ή μέτρου μιας φυσικής ποσότητας σε σχέση με μια ορισμένη μετρική μονάδα. Το αποτέλεσμα επομένως της μέτρησης μιας φυσικής ποσότητας εκφράζεται με έναν αριθμό (που δίνει τη σχέση μεταξύ του μεγέθους που μετρήθηκε και εκείνου που λαμβάνεται ως μονάδα) και με την αντίστοιχη μονάδα.

Επιπλέον, στην περίπτωση διανυσματικού μεγέθους (π.χ. ταχύτητα, δύναμη, ένταση πεδίου), η μέτρηση ορίζει και τη διεύθυνση και φορά του μετρούμενου μεγέθους.

Το αποτέλεσμα της μέτρησης δεν αναμένεται, εν γένει, να συμπίπτει με την πραγματική τιμή του μεγέθους, η οποία είναι άγνωστη. Εξάλλου, η επανάληψη της μέτρησης οδηγεί γενικά σε διαφορετικά μεταξύ τους αποτελέσματα. Είναι επομένως εξίσου σημαντικό να βρεθεί και να δοθεί ένα μέτρο αξιοπιστίας του αποτελέσματος.

Η διαφορά μεταξύ του αποτελέσματος μιας μέτρησης και της πραγματικής τιμής του

μετρούμενου μεγέθους ονομάζεται σφάλμα της μέτρησης. Η θεωρία των σφαλμάτων δίνει τους κανόνες υπολογισμού του σφάλματος μιας μέτρησης, τόσο για άμεσα μετρούμενα μεγέθη όσο και για μεγέθη που υπολογίζονται έμμεσα από τα αποτελέσματα μετρήσεων άλλων μεγεθών.

Είναι, τέλος, πολύ σημαντική η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τρόπο που να περιέχει και να μεταδίδει όλες τις πληροφορίες που προκύπτουν από τις μετρήσεις.

Οι βασικές αρχές της ανάλυσης και παρουσίασης πειραματικών αποτελεσμάτων δίνονται αμέσως πιο κάτω.

Γ.2. ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Τα σφάλματα των μετρήσεων διακρίνονται, ανάλογα με την προέλευση τους, σε δύο κατηγορίες, τα συστηματικά και τα τυχαία ή στατιστικά σφάλματα.

Γ.2.1. Συστηματικά σφάλματα

Συστηματικά είναι τα σφάλματα που παραμένουν αμετάβλητα σε διαδοχικές μετρήσεις ή που μεταβάλλονται με κάποιο συστηματικό τρόπο με τον χρόνο ή κάποιαν άλλη παράμετρο.

Μπορεί να οφείλονται σε ατέλειες του οργάνου, στη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε ή και στον ίδιο τον παρατηρητή. Μερικά παραδείγματα είναι τα ακόλουθα:

- Το «σφάλμα μηδενός» είναι ένα πολύ κοινό συστηματικό σφάλμα. Αν, για παράδειγμα, ο δείκτης ενός οργάνου έχει μετατοπιστεί σε σχέση με την κλίμακα του, τότε οι ενδείξεις του θα διαφέρουν από τις σωστές κατά μια σταθερή ποσότητα.
- Αν μετράμε μήκη με έναν «χάρακα του ενός μέτρου» που έχει πραγματικό μήκος 99,9 cm, τα αποτελέσματα που θα προκύπτουν θα είναι συστηματικά μεγαλύτερα των πραγματικών κατά 0,1%.
- Ένα όργανο που χρειάζεται ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για να φτάσει σε μια κατάσταση ισορροπίας (π.χ. θερμικής), ενδέχεται να δίνει συστηματικά λανθασμένες ενδείξεις στη διάρκεια της μεταβατικής περιόδου.

□ Οι συνήθειες των διάφορων παρατηρητών διαφέρουν και έχει τεκμηριωθεί επαρκώς, κυρίως από αστρονομικές παρατηρήσεις, ότι κάποια συστηματικά σφάλματα είναι χαρακτηριστικά του παρατηρητή.

□ Αν στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιηθεί μια λανθασμένη σταθερά ή και μια προσεγγιστική θεωρητική σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεγεθών, τότε θα προκύψουν συστηματικά σφάλματα στα εξαγόμενα αποτελέσματα.

Τα συστηματικά σφάλματα είναι δύσκολο να ανιχνευτούν και συχνά είναι τα σημαντικότερα σφάλματα. Η πείρα του παρατηρητή είναι ο κυριότερος παράγοντας για την αποφυγή και τη διόρθωση τους. Ο πιο κοινός τρόπος ανίχνευσης των συστηματικών σφαλμάτων είναι η διακρίβωση των οργάνων της πειραματικής διάταξης, δηλαδή η σύγκριση των οργάνων ή και ολόκληρου του συστήματος μέτρησης με άλλα που έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και που είναι διαπιστωμένο ότι έχουν αμελητέα συστηματικά σφάλματα.

Γ.2.2. Τυχαία ή στατιστικά σφάλματα

Τυχαία ή στατιστικά είναι τα σφάλματα που οφείλονται σε πολλούς απρόβλεπτους παράγοντες, μεταβάλλονται με τον χρόνο κατά ακανόνιστο τρόπο και είναι εξίσου πιθανό να είναι θετικά ή αρνητικά. Η επίδραση των παραγόντων αυτών προκαλούν μικρές ή μεγάλες τυχαίες διακυμάνσεις του μετρούμενου μεγέθους γύρω από μια μέση τιμή.

Σε μετρήσεις όπου οι τυχαίες διακυμάνσεις του μεγέθους είναι αμελητέες, όπως είναι η μέτρηση του μήκους ή της καλά σταθεροποιημένης συνεχούς τάσης, η μέτρηση γίνεται μόνο μία φορά, ενώ για σφάλμα μέτρησης λαμβάνεται το σφάλμα του οργάνου, το οποίο στα αναλογικά όργανα είναι όσο η τιμή της ελάχιστης υποδιαίρεσης της κλίμακας του, ενώ στα ψηφιακά δίνεται συνήθως σε ποσοστιαία μορφή

Κλασικό παράδειγμα τυχαίων σφαλμάτων είναι αυτό των σφαλμάτων που οφείλονται στον ηλεκτρικό θόρυβο των ηλεκτρονικών οργάνων, όταν γίνεται μέτρηση μιας σχετικά μικρής τάσης. Ο θόρυβος αυτός προέρχεται από την τυχαία θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα σε αντιστάσεις και σε άλλα ενεργά στοιχεία του οργάνου, η οποία προκαλεί εμφάνιση μικρών διαφορών δυναμικού στα άκρα τους. Τα ηλεκτρικά αυτά σήματα, αφού υποστούν την επεξεργασία στην οποία τα υποβάλλει το ίδιο το

όργανο, εμφανίζονται στην έξοδό του ως τυχαίες αυξομειώσεις της τάσης στην ένδειξη του οργάνου.

Υπάρχουν βεβαίως τρόποι ελαχιστοποίησης αυτού του θορύβου, είναι όμως πρακτικά και θεωρητικά αδύνατο να μηδενιστεί.

Η βασική ιδιότητα των τυχαίων σφαλμάτων να είναι με ίσες πιθανότητες θετικά ή αρνητικά, καθώς και το γεγονός ότι μικρές αποκλίσεις από την πραγματική τιμή είναι πιο πιθανές από τις μεγάλες, κάνουν δυνατό τον περιορισμό της αβεβαιότητας στον προσδιορισμό ενός μεγέθους με την επανάληψη της μέτρησης πολλές φορές, ώστε κατά μέσον όρο τα τυχαία σφάλματα να αλληλοαναιρούνται σε κάποιον βαθμό.

Στην πράξη είναι δύσκολο να γίνει διαχωρισμός των συστηματικών σφαλμάτων από τα τυχαία. Εξάλλου, σε πολλά πειράματα τα σφάλματα είναι συνδυασμός των δύο τύπων.

Υπάρχουν όμως και καταστάσεις όπου ο ένας από τους δύο τύπους είναι αμελητέος.

Η σύντομη περίληψη της θεωρίας των σφαλμάτων που θα ακολουθήσει αναφέρεται μόνο σε τυχαία σφάλματα. Δεν πρέπει όμως να ξεχνάμε ότι οι μετρήσεις ενδεχομένως να περιέχουν συστηματικά σφάλματα.

Βιβλιογραφία

1. fib Bulletin 38/2007, “Fire design for concrete structures – materials, structures and modelling. State-of-artreport”, International Federation for Structural Concrete (fib), p. 97, 2007.2.
2. V. R. Kodur, “Properties of concrete at elevated temperature”, ISRN Civil Engineering 2014: 1-15, 2014.DOI: 10.1155/2014/4685103.
3. R. Kowalski, “Mechanical properties of concrete subjected to high temperature”, Architecture Civil EngineeringEnvironment 3(2): 61-70, 2010.4.
4. R. Kowalski, “The effects of the cooling rate on the residual properties of heated-up concrete”, StructuralConcrete. Journal of the fib 8(1): 11-15, 2007. DOI: 10.1680/stco.2007.8.1.115.
5. M. Abramowicz, R. Kowalski, “The Influence of Short Time Water Cooling on the Mechanical Properties of Concrete Heated up to High Temperature”, Journal of Civil Engineering and Management 11(2): 85-90, 2005.DOI: 10.1080/13923730.2005.96363366.
6. W. Jackiewicz-Rek, T. Drzymała, A. Kuś, M. Tomaszewski, “Durability of High Performance Concrete (HPC) Subject to Fire Temperature Impact”. Archives of Civil Engineering, 62(4): 73-94, 2016.DOI: 10.1515/ace-2015-01097.
7. K. Kordina, “Design of concrete buildings for fire resistance”, Chapter 6 in: Structural Concrete. Textbook onbehaviour, design and performance. Second edition. Vol. 4. fib Bulletin 54: 1-36, 2010.8.
8. R. Kowalski, P. Król, “Experimental Examination of Residual Load Bearing Capacity of RC Beams Heated upto High Temperature”, Sixth International Conference Structures in Fire, Michigan State University, EastLansing, Michigan, USA, Proceedings edited by
9. V. K. R. Kodur and J. M. Fransen, DEStech Publications Inc.,pp 254-261, 2010.9.
10. R. Kowalski, “Temperature distribution in R/C cross-section subjected to heating and then freely cooled downin air”, Chapter 9 in: Benchmark Studies.

Experimental Validation of Numerical Models in Fire Engineering,CTU
Publishing House, Czech Technical University in Prague, pp 107-122, 2014