



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Συγκριτική Μελέτη Μεθόδων Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων Διεργαστηριακών Μετρήσεων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τιμολέων Κ. Καζάκος

Καθηγητής: Ιωάννης Φ. Γκόνος

Επιβλέπουσα: Ελένη Π. Νικολοπούλου

Αθήνα, Απρίλιος 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Συγκριτική Μελέτη Μεθόδων Αξιολόγησης Αποτελεσμάτων Διεργαστηριακών Μετρήσεων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τιμολέων Κ. Καζάκος

Καθηγητής: Ιωάννης Φ. Γκόνος

Επιβλέπουσα: Ελένη Π. Νικολοπούλου

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Απριλίου 2022.

.....
Ι. Γκόνος
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Φ. Τόπαλης
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ε. Χριστοφόρου
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Απρίλιος 2022

.....
Τιμολέων Κ. Καζάκος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Τιμολέων Κ. Καζάκος, 2022.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η συμμετοχή ενός εργαστηρίου σε ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας αποσκοπεί στην αξιολόγηση της επάρκειάς του και τη βελτίωση της επίδοσής του σε ένα συγκεκριμένο πεδίο μετρήσεων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται αρχικά οι αρχές που διέπουν ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας και οι κανόνες για την ανάλυση των αποτελεσμάτων του. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές από τις μεθόδους αξιολόγησης των αποτελεσμάτων σχημάτων διεργαστηριακών μετρήσεων, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα. Τέλος, παρατίθεται συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων αυτών βάσει των μετρήσεων χαμηλόσυχνων πεδίων που έλαβαν μέρος στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του ΕΜΠ κατά τη διάρκεια των Σχημάτων Δοκιμών Ικανότητας του 2013 και 2016. Στο Παράρτημα Α' παρέχεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των εκτιμητριών τιμών.

Λέξεις Κλειδιά

Σχήματα δοκιμών ικανότητας, Διεργαστηριακές μετρήσεις, Βαθμός z, Ανθεκτικές στατιστικές μέθοδοι, αλγόριθμος A, Μέθοδος Q/Hampel, Εκτιμήτριες M, Απόμακρη τιμή, Μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες, Χαμηλόσυχνα πεδία, Αξιολόγηση επίδοσης

Abstract

The participation of a laboratory in a proficiency testing scheme aims to assess its adequacy and improve its performance in a particular field of measurements. This diploma thesis presents at first the basic principles of a proficiency testing scheme and the rules for the analysis of the results. Some of the techniques of evaluating the results of interlaboratory comparison schemes in accordance with international standards, are then introduced. Finally, a comparative evaluation of those techniques is carried out based on the measurements of extremely low frequency fields that took place at the High Voltage Lab of NTUA during the Proficiency Testing Schemes of 2013 and 2016. In Appendix A', the code used for the calculation of the assigned values is provided.

KeyWords

Proficiency testing schemes, Interlaboratory comparisons, z score, Robust statistical techniques, Algorithm A, Q/Hampel method, M estimators, Outlier, Non-ionizing radiation, Extremely low frequency fields, Proficiency assessment

Περιεχόμενα

1	ΣΧΗΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	1
1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	1
1.2	ΣΚΟΠΟΣ/ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΣΤΟΧΟΙ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ	2
1.3	ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΣΔΙ	5
2	ΠΡΟΤΥΠΑ	7
2.1	ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	7
2.2	ΟΡΙΣΜΟΙ	7
2.3	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ: ISO 13528	9
2.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: ISO 5725-2	14
2.4.1	Παρουσίαση – Ομαδοποίηση δεδομένων	14
2.4.2	Προκαταρκτική επεξεργασία	15
2.4.3	Εξέταση δεδομένων για εύρεση απόμακρων τιμών	15
2.4.3.1	Γραφικός έλεγχος των δεδομένων	15
2.4.3.2	Αριθμητικές μέθοδοι εύρεσης απομακρυσμένων τιμών	18
2.4.4	Τελική επεξεργασία	23
2.4.4.1	Εξάρτηση της διασποράς από τη μέση τιμή	23
3	ΧΑΜΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	25
3.1	ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	25
3.2	ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	26
4	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ	30
4.1	ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	30
4.2	ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΤΙΜΗΤΡΙΩΝ	31
4.2.1	ISO 5725-2	31
4.2.2	ISO 13528 (Annex C.2.3 nIQR)	32
4.2.3	ISO 13528 (Annex C.3 Algorithm A)	33

4.2.4	ISO 13528 (Annex C.5 Q/Hampel method)	36
4.2.4.1	Μέθοδος Qn	36
4.2.4.2	Μέθοδος Q	37
4.2.4.3	Εκτιμήτρια Hampel	39
4.2.5	M-estimators	41
4.2.5.1	Εκτιμήτρια M θέσης (location)	41
4.2.5.2	Εκτιμήτρια M κλίμακας (scale)	42
4.3	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΣΤΑ- ΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΚΤΙΜΗΤΡΙΩΝ	43
4.4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	45
4.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ - ΕΡΜΗΝΕΙΑ Z SCORES	46
5	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΣΔΙ ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΩΝ ΠΕ- ΔΙΩΝ	49
5.1	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	49
5.1.1	Πειραματική Διαδικασία	50
5.2	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	60
5.3	ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ	61
5.4	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΗ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ	63
6	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ	65
6.1	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙ- ΔΟΣΗΣ	65
6.2	ΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΔΙ 2013/2016	68
6.2.1	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (BOX PLOTS)	69
6.2.2	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ (NORMAL PROBABILITY PLOTS)	72
6.2.3	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ h ΤΟΥ MANDEL (MANDEL'S h PLOTS)	75
6.3	ΕΥΡΕΣΗ ΑΠΟΜΑΚΡΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΔΙ 2013/2016	78
6.3.1	Grubb's test	78
6.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ ΕΚΤΙΜΗΤΡΙΩΝ ΣΔΙ 2013/2016	86
A'	ΚΩΔΙΚΑΣ ΡΥΘΜΩΝ	102
B'	ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΡΥΘΜΩΝ	115
	Βιβλιογραφία	119

Κεφάλαιο 1

ΣΧΗΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Η ποιότητα αποτελεί τον κύριο παράγοντα αξιοπιστίας κάθε εργαστηρίου που εκτελεί δοκιμές, αναλύσεις ή διακριβώσεις. Η πιστοποίηση της αξιοπιστίας του εργαστηρίου γίνεται συνήθως από διεθνής ή εθνικούς οργανισμούς που ελέγχουν αν τηρούνται οι προϋποθέσεις ικανότητας, αμεροληψίας και συνεπούς λειτουργίας. Οι γενικές απαιτήσεις αυτές προδιαγράφονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025 [1]. Ακολουθώντας τις παραπάνω προδιαγραφές, τα εργαστήρια είναι υποχρεωμένα να διενεργούν ορισμένους "ελέγχους ποιότητας" (quality controls).

Βασικό ζητούμενο ενός ελέγχου ποιότητας είναι η διασφάλιση της ιδιότητας της συγκρισιμότητας για τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Η έννοια της συγκρισιμότητας υλοποιείται μέσω της ιχνηλασιμότητας. Η ιχνηλασιμότητα καθιστά δυνατές τις απευθείας συγκρίσεις μεταξύ των διαφόρων μετρήσεων και επιτυγχάνει μέσω της διακρίβωσης και της βαθμονόμησης την αναγνώριση της συγκρισιμότητας μιας μέτρησης. Σύμφωνα με τον ILAC, στοιχεία για την επιβεβαίωση μετρολογικής ιχνηλασιμότητας είναι τα εξής: μια συνεχής αλυσίδα μετρολογικής ιχνηλασιμότητας σε ένα διεθνές ή εθνικό πρότυπο μέτρησης, μία τεκμηριωμένη αβεβαιότητα μέτρησης, μία τεκμηριωμένη μέθοδος μέτρησης, διαπιστευμένη τεχνική ικανότητα, μετρολογική ιχνηλασιμότητα στο SI και διαστήματα βαθμονόμησης /διακρίβωσης (calibration intervals).

Με δεδομένη την αντικειμενική δυσκολία διασφάλισης της ποιότητας του απο-

τελέσματος μέσω της ιχνηλασιμότητας και την αυξανόμενη ζήτηση για ακρίβεια στα αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια νέες μέθοδοι ελέγχου της επάρκειας και της αξιοπιστίας των εργαστηρίων. Η δοκιμή ικανότητας (ΔΙ) όπως ορίζεται στο ISO/IEC 17043:2010 [2] αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για την επίδειξη της επάρκειας αυτής, ενώ η συμμετοχή σε σχήματα δοκιμών ικανότητας θεωρείται από τις πλέον αποδεκτές αυτές μεθόδους. Με την εισαγωγή του ISO 17025 το 1999, αυτή η μέθοδος ελέγχου ποιότητας, έχει γίνει πιο ευρέως διαδεδομένη, ενώ στην αντίστοιχη ρήτρα 7.7.1 και 7.7.2 της τελευταίας έκδοσης του ISO 17025 [1] η συμμετοχή σε διεργαστηριακές δοκιμές συγκαταλέγεται στις προτεινόμενες εναλλακτικές μεθόδους τεκμηρίωσης της επάρκειας ενός εργαστηρίου και διασφάλισης της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων.

Η σχετικά πρόσφατη διάδοση των Σχημάτων Δοκιμής Ικανότητας (ΣΔΙ) ως μέθοδος εκτίμησης της απόδοσης των εργαστηρίων, η έλλειψη πληροφοριών για υπάρχουσες ανάγκες και η ύπαρξη διαφορετικών μεθόδων σε διάφορες χώρες οδήγησε στην ανάπτυξη της βάσης δεδομένων EPTIS [3] (European Proficiency Testing Information System), με σκοπό τη συστηματοποίηση των πληροφοριών σχετικά με ΣΔΙ στην Ευρώπη. Η πρωτοβουλία αυτή χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα SMT (contract SMT4-CT98-8002), υποστηρίχθηκε από τους οργανισμούς EA, EUROLAB, EURACHEM και αναπτύχθηκε ως συγκεντρωμένη ενέργεια από εθνικούς συντονιστές ΣΔΙ 16 Ευρωπαϊκών χωρών, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας.

Με τον όρο δοκιμή ικανότητας εννοούμε την αξιολόγηση της επίδοσης ενός εργαστηρίου ως προς ένα συγκεκριμένο πεδίο μετρήσεων. Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιείται μέσω των διεργαστηριακών συγκρίσεων, δηλαδή τη συμμετοχή στην από κοινού οργάνωση, εκτέλεση και αξιολόγηση ομοειδών μετρήσεων από δύο ή περισσότερα εργαστήρια. Είναι προφανές ότι ο κύριος στόχος της δοκιμής ικανότητας έχει σημαντικά εκπαιδευτικά στοιχεία. Δοκιμές ικανότητας επιτρέπουν επίσης στα εργαστήρια την παρακολούθηση των δοκιμών τους σε βάθος χρόνου. Επομένως μακροχρόνιες τάσεις μπορούν να αναγνωριστούν και αναγκαίες διορθωτικές ενέργειες να εκτιμηθούν.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ/ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΣΤΟΧΟΙ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ

Τα σχήματα διεργαστηριακών συγκρίσεων (ΔΣ) παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον όχι μόνο για τα ίδια τα εργαστήρια που λαμβάνουν μέρος, αλλά και για άλλους φορείς, όπως οι αρχές διαπίστευσης, οι οργανωτές-συντονιστές των ΔΣ και ΔΙ, οι κατασκευαστές υλικών αναφοράς, οι φορείς που ασχολούνται με τα

πρότυπα, φορείς του επιχειρηματικού τομέα και βέβαια οι άμεσοι πελάτες των εργαστηρίων. Όσον αφορά στους διοργανωτές, μπορούν να αντλήσουν στοιχεία για την αποτελεσματικότητα του σχήματος και τις πιθανές τροποποιήσεις και βελτιώσεις του, ενώ οι επίσημες αρχές για την αναγνώριση των εργαστηρίων εξετάζουν κυρίως τις μη ικανοποιητικές επιδόσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνήθεις στόχοι της συμμετοχής σε σχήματα διεργαστηριακών συγκρίσεων για τα εργαστήρια:

α) Ταυτοποίηση προβλημάτων μέτρησης και ελέγχου

Εντοπισμός πηγών συστηματικών σφαλμάτων (biases) που εισάγουν ακρίβεια στις μετρήσεις και ανάληψη των απαραίτητων διορθωτικών μέτρων.

β) Σύγκριση πειραματικών διαδικασιών

Το εργαστήριο έχει τη δυνατότητα να εξετάσει την επίδοσή του σε νέες μεθόδους και να τη συγκρίνει με τα αποτελέσματα που λαμβάνει εφαρμόζοντας τις συνήθεις μεθόδους του.

γ) Αξιολόγηση της επίδοσης του εργαστηρίου σε συγκεκριμένη μέθοδο

Το εργαστήριο μπορεί να ταυτοποιήσει προβλήματα κατά την εφαρμογή μιας ορισμένης μεθόδου και να εντοπίσει τα απαραίτητα διορθωτικά βήματα.

δ) Αξιολόγηση της επίδοσης του εργαστηρίου σε συγκεκριμένο πρότυπο

Εκτιμάται η ακρίβεια με την οποία θέτει ένα εργαστήριο σε εφαρμογή κάποιο πρότυπο. Το σημείο αυτό αναφέρεται κυρίως στον έλεγχο εθνικών ινστιτούτων μετρολογίας που τηρούν τα εθνικά πρότυπα.

ε) Επικύρωση μεθόδων

Προσδιορισμός της ακρίβειας και της αξιοπιστίας πειραματικών διαδικασιών μέσω του υπολογισμού χαρακτηριστικών επίδοσης τους όπως η ορθότητα, η επαναληψιμότητα, η αναπαραγωγιμότητα, η ευστάθεια, η εκτίμηση της αβεβαιότητας κλπ.

στ) Έλεγχος δυνατοτήτων εξοπλισμού

Το εργαστήριο μπορεί να εξάγει συμπεράσματα για την ακρίβεια και την απόδοση του εξοπλισμού του και έτσι να βελτιώσει την εκτίμηση της αβεβαιότητας που εισάγει στις μετρήσεις ή ακόμη και να αποφασίσει την αναβάθμιση/αλλαγή του προβληματικού τμήματος του εξοπλισμού.

ζ) Χαρακτηρισμός υλικών αναφοράς

Προσδιορίζεται η πιστοποιημένη αληθής τιμή μιας συγκεκριμένης ιδιότητας ενός υλικού με την αντίστοιχη αβεβαιότητα.

η) Αύξηση της αξιοπιστίας του εργαστηρίου

Μέσω της συμμετοχής σε ΣΔΙ αυξάνεται ο βαθμός εμπιστοσύνης προς το εργαστήριο από τους φορείς που ζητούν τις υπηρεσίες του και βελτιώνεται η εικόνα του προς τις επίσημες αρχές, οι οποίες καταρτίζουν τις λίστες με τα κοινοποιημένα εργαστήρια χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των συγκριτικών μετρήσεων ως μέσο αξιολόγησης.

θ) Εκπαίδευση προσωπικού

Μία από τις παραμέτρους των ΣΔΙ είναι η παροχή πληροφοριών στο προσωπικό των εργαστηρίων σχετικά με την εφαρμογή των μεθοδολογιών, την ερμηνεία των δεδομένων, τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων κλπ.

ι) Διαχείριση κινδύνου

Η συμμετοχή σε ΣΔΙ μπορεί να θεωρηθεί εργαλείο διαχείρισης ρίσκου, διότι με την ανίχνευση πηγών σφαλμάτων και τις κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες αποτρέπονται τόσο η δυσφήμιση του εργαστηρίου λόγω συστηματικής παροχής λανθασμένων αποτελεσμάτων όσο και οι πιθανές νομικές ή άλλου είδους κυρώσεις από τους εξωτερικούς του χρήστες ή τις ρυθμιστικές αρχές.

ια) Πληροφόρηση για την επίδοση και άλλων ομότιμων εργαστηρίων

Δίνεται η δυνατότητα στο εργαστήριο να συγκρίνει τα αποτελέσματά του με άλλα ομότιμα όχι μόνο σε εθνικό, αλλά και σε διακρατικό επίπεδο εργαστήρια κι έτσι να έχει μια γενική εικόνα για το επίπεδο των φορέων, με τους οποίους συνυπάρχει στον τομέα της παροχής μετρήσεων.

Δοκιμές ικανοτήτων συνήθως δεν χρησιμοποιούνται για τις εφαρμογές β), ε) και ζ) γιατί προϋποθέτουν την ικανότητα των εργαστηρίων, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανεξάρτητη επίδειξη εργαστηριακής ικανότητας.

Στόχος κάθε εργαστηρίου δεν είναι απλά μία μεμονωμένη επιτυχής συμμετοχή σε ένα πρόγραμμα συγκριτικών δοκιμών που θα πιστοποιεί την επάρκειά του μόνο για ένα περιορισμένο χρονικό διάστημα, αλλά η συνεχής επιβεβαίωση της αξιοπιστίας του. Εφόσον αυτό είναι εφικτό, κάθε εργαστήριο συμμετέχει σε προγράμματα δοκιμών ικανότητας κάθε τετραετία (ΕΣΥΔ ΠΔΙ/01/05/17-10-2007). Έτσι υπάρχει η δυνατότητα για παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης της επίδοσης του εργαστηρίου, πράγμα που σημαίνει ότι το κάθε εργαστήριο θα πρέπει να συγκρίνει την παρούσα επίδοση με τις προηγούμενες.

Τα αποτελέσματα από δοκιμές ικανοτήτων είναι χρήσιμα και για τους συμμετέχοντες και τις αρχές διακρίβωσης. Υπάρχουν, όμως, περιορισμοί στη χρήση τέτοιων αποτελεσμάτων για τον καθορισμό ικανότητας. Επιτυχής επίδοση ενός εργαστηρίου σε ένα συγκεκριμένο ΣΔΙ μπορεί να αποτελεί απόδειξη ικανότητας

για τη συγκεκριμένη άσκηση, αλλά να μην είναι αντιπροσωπευτικό της συνέχειας και συνέπειας της ικανότητας του. Ομοίως, ανεπιτυχής επίδοση μπορεί απλά να είναι μια τυχαία απόκλιση από τον κανονικό βαθμό ικανότητας ενός συμμετέχοντος. Αυτοί είναι και οι λόγοι που ΣΔΙ δεν μπορούν να αποτελούν τα μόνα εργαλεία από αρχές διαπίστευσης στην διεργασία απόδοσης διαπιστευτηρίων.

1.3 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΣΔΙ

Η βασική αρχή λειτουργίας των συγκριτικών μετρήσεων είναι η αξιολόγηση των εργαστηρίων μέσω ενός αριθμητικού δείκτη της ικανότητάς τους (δείκτης επίδοσης). Ο δείκτης αυτός δηλώνει την απόκλιση της μέτρησης του εκάστοτε εργαστηρίου από την εκτιμήτρια τιμή του μετρούμενου μεγέθους, εκφρασμένη σε πολλαπλάσιο της τυπικής απόκλισης των μετρήσεων.

Για λόγους απόδειξης ικανότητας, επαλήθευσης διορθωτικής ενέργειας ή συμφωνίας αμοιβαίας αναγνώρισης το ΕΣΥΔ μπορεί να θέσει τη συμμετοχή σε σχήματα διεργαστηριακών δοκιμών ενός ή παραπάνω εργαστηρίων ως υποχρεωτική. Τα διαπιστευμένα και υπό διαπίστευση εργαστήρια είναι υποχρεωμένα να παράγουν τετραετές πλάνο συμμετοχής σε διεργαστηριακές συγκρίσεις με συχνότητα ανάλογη των διαπιστευτηρίων τους. Τα αποτελέσματα από δοκιμές ικανοτήτων υπολογίζονται και κατά τη διάρκεια της φάσης αξιολόγησης και κατά τη διάρκεια της σύστασης για αρχική διαπίστευση / επέκταση του πεδίου των δραστηριοτήτων / διατήρηση διαπίστευσης. Το κάθε ενδιαφερόμενο εργαστήριο πρέπει να εξετάσει, εάν στα προγράμματα των αρμόδιων εθνικών φορέων (π.χ. Ε.ΣΥ.Δ) ή αντίστοιχων φορέων του εξωτερικού (π.χ. EPTIS) βρίσκονται σε εξέλιξη διεργαστηριακές μετρήσεις στο πεδίο δοκιμών της διαπίστευσής του και να απευθυνθεί στο διοργανωτή του προγράμματος προκειμένου να δηλώσει τη συμμετοχή του. Η ευθύνη για την εύρεση κατάλληλων δοκιμών ικανότητας ανήκει στο διαπιστευμένο και υπό διαπίστευση εργαστήριο. Σύμφωνα με το ΕΣΥΔ (ΕΣΥΔ ΠΔΙ/02/02/16-1-2014) [4] ο διοργανωτής του προγράμματος πρέπει να είναι διαπιστευμένος ή εν γένει να πληρεί τις απαιτήσεις του προτύπου ISO/IEC 17043:2011 [2]. Στις περιπτώσεις που ένα εργαστήριο πρέπει να συμμετάσχει σε διεργαστηριακή σύγκριση από μη διαπιστευμένο οργανωτή, ο οργανωτής πρέπει να κάνει τις απαραίτητες πληροφορίες της διεργαστηριακής σύγκρισης προσβάσιμες για την αξιολόγηση της.

Ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας απαρτίζεται σε γενικές γραμμές από τα παρακάτω στάδια:

- Ο συντονιστής καθορίζει όλες τις παραμέτρους της πειραματικής διαδικασίας -η οποία πρέπει να διεξαχθεί σε όλα τα εργαστήρια υπό προσυμφωνημένες συνθήκες- και οργανώνει την παρασκευή, δοκιμή ομοιογένειας και επικύρωση των αντικειμένων δοκιμής.

- Τα συμμετέχοντα εργαστήρια εκτελούν τις μετρήσεις (αναλύουν τα δείγματα που έχουν λάβει από το συντονιστή, εάν πρόκειται για χημικούς, βιολογικούς ελέγχους κλπ) και επιστρέφουν εντός προκαθορισμένου χρόνου τα αποτελέσματα στο συντονιστή, καταγεγραμμένα σε ειδικές φόρμες, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του συντονιστή.
- Τα αποτελέσματα υποβάλλονται σε στατιστική ανάλυση και αξιολογείται η επίδοση των εργαστηρίων.
- Ο συντονιστής αποστέλλει στους συμμετέχοντες μία έκθεση με όλα τα αποτελέσματα, όπου τα εργαστήρια αναφέρονται με κωδικούς, τηρώντας τους κανόνες εμπιστευτικότητας.
- Ακολουθεί ερμηνεία και εκτίμηση των αποτελεσμάτων της έκθεσης από το κάθε εργαστήριο για την επίλυση των προβλημάτων που αντιμετωπίζει.

Τέλος, κατά τη διεξαγωγή ΣΔΙ θα πρέπει να τηρούνται ορισμένοι κανόνες προκειμένου να διασφαλίζεται η αξιοπιστία της διαδικασίας:

- Το ΣΔΙ πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερο προς τη συνήθη, καθημερινή λειτουργία του εργαστηρίου αναφορικά με το χειρισμό των δοκιμίων, τη διεξαγωγή της μέτρησης και τις συνθήκες. Οποιοσδήποτε διαφορές θα πρέπει να καταγράφονται και να αξιολογούνται.
- Κατά την εκτέλεση των συγκριτικών μετρήσεων είναι αναγκαίος ο συνεχής έλεγχος των δοκιμίων, της μεθόδου δοκιμής και του εξοπλισμού, ώστε το αποτέλεσμα να υποδηλώνει τη μεταβλητότητα του εργαστηρίου (δηλαδή την επίδραση του συστήματος λειτουργίας του εργαστηρίου στην αβεβαιότητα του αποτελέσματος) χωρίς την επίδραση αυτών των παραγόντων.
- Ο συντονιστής πρέπει να εξασφαλίζει τέτοιες διαδικασίες που να αποκλείουν τη συνεννόηση μεταξύ των εργαστηρίων και την παραποίηση των αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 2

ΠΡΟΤΥΠΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Οι κατευθυντήριες γραμμές για την οργάνωση και τη λειτουργία των σχημάτων δοκιμών ικανότητας τίθενται στον οδηγό ILAC Guide G13 "Guidelines for the Requirements for the Competence of Providers of Proficiency Testing Schemes" [5] , ενώ αναλυτικότερη περιγραφή τους γίνεται στον οδηγό ISO/IEC 17043 "Conformity assessment — General requirements for proficiency testing" [2] ο οποίος ακυρώνει και αντικαθιστά τους οδηγούς ISO 43 - Part 1 και Part 2.

2.2 ΟΡΙΣΜΟΙ

Ακολουθούν οι ορισμοί μερικών από τις βασικότερες έννοιες που θα χρησιμοποιηθούν, όπως δίνονται στο OIML V 2-200 "International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)" [6] και συμπληρωματικά στα πρότυπα ISO 17043 [2] και ISO 13528 [7]:

- **Ακρίβεια μέτρησης** (measurement accuracy)

Εγγύτητα συμφωνίας μεταξύ μετρούμενης τιμής και πραγματικής/αληθούς τιμής ενός δοκιμίου

- **Αληθότητα μέτρησης** (measurement trueness) Εγγύτητα συμφωνίας μεταξύ του μέσου όρου ενός απείρου αριθμού επαναληπτικών μετρούμενων τιμών και μιας τιμής αναφοράς.

- **Πιστότητα μέτρησης** (measurement precision)

Εγγύτητα συμφωνίας μεταξύ ενδείξεων ή μετρούμενων τιμών που λήφθηκαν από επαναληπτικές μετρήσεις στο ίδιο ή όμοιο αντικείμενο υπό προκαθορισμένες συνθήκες.

- **Συστηματικό σφάλμα μέτρησης** (systematic measurement error)
Στοιχείο του σφάλματος μέτρησης που σε επαναληπτικές μετρήσεις παραμένει σταθερό ή μεταβάλλεται με προβλέψιμο τρόπο.
- **Μεροληψία μέτρησης** (measurement bias)
Εκτίμηση του συστηματικού σφάλματος.
- **Συνθήκη επαναληψιμότητας μέτρησης** (repeatability condition of measurement)
Συνθήκη μέτρησης, από σύνολο συνθηκών που συμπεριλαμβάνουν την ίδια διαδικασία μέτρησης, τους ίδιους χειριστές, το ίδιο σύστημα μέτρησης, ίδιες λειτουργικές συνθήκες και ίδια τοποθεσία, και επαναληπτικές μετρήσεις στο ίδιο ή όμοιο αντικείμενο μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα.
- **Επαναληψιμότητα μέτρησης** (measurement repeatability)
Πιστότητα μέτρησης υπό σύνολο συνθηκών επαναληψιμότητας μέτρησης
- **Συνθήκη αναπαραγωγιμότητας μέτρησης** (reproducibility condition of measurement)
Συνθήκη μέτρησης, από σύνολο συνθηκών που περιλαμβάνουν διαφορετικές τοποθεσίες, χειριστές, συστήματα μέτρησης, και επαναληπτικές μετρήσεις στα ίδια ή όμοια αντικείμενα.
- **Αναπαραγωγιμότητα μέτρησης** (measurement reproducibility)
Πιστότητα μέτρησης υπό συνθήκες αναπαραγωγιμότητας μέτρησης.
- **Δοκιμή ικανότητας** (laboratory proficiency testing)
Έλεγχος της επίδοσης των εργαστηρίων σε δοκιμές μέσω διεργαστηριακών συγκρίσεων.
- **Διεργαστηριακές συγκρίσεις** (interlaboratory comparisons)
Η οργάνωση, εκτέλεση και αξιολόγηση μετρήσεων πάνω στο ίδιο ή παρόμοιο δοκίμιο από δύο ή περισσότερα εργαστήρια σύμφωνα με προκαθορισμένες συνθήκες.
- **Εκτιμήτρια τιμή** (assigned value)
Είναι η τιμή που αποδίδεται σε μία συγκεκριμένη ποσότητα και γίνεται αποδεκτή, συχνά κατόπιν σύμβασης, διότι έχει αβεβαιότητα κατάλληλη για ένα συγκεκριμένο σκοπό. Ουσιαστικά είναι η τιμή που χρησιμοποιείται αντί της αληθούς τιμής του μετρούμενου μεγέθους κατά τη στατιστική

επεξεργασία των αποτελεσμάτων, καθώς αποτελεί την καλύτερη διαθέσιμη εκτίμηση της πραγματικής τιμής του μετρούμενου.

- **Τυπική απόκλιση για την αξιολόγηση της επίδοσης** (standard deviation for proficiency assessment)

Μέτρο της διασποράς που χρησιμοποιείται στην εκτίμηση της ικανότητας των εργαστηρίων και μπορεί είτε να καθοριστεί προκαταβολικά ως τιμή στόχος (target value) είτε να προκύψει με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία.

- **Απόμακρη τιμή** (outlier)

Το αποτέλεσμα δοκιμής του οποίου η τιμή είναι τόσο μακράν των υπολοίπων ώστε να θεωρείται με πιθανότητα 99% ότι ανήκει σε διαφορετικό πληθυσμό ή ότι είναι το αποτέλεσμα λανθασμένης μέτρησης.

- **Πλανώμενη τιμή** (straggler)

Το αποτέλεσμα δοκιμής του οποίου η τιμή είναι τόσο μακράν των υπολοίπων ώστε να θεωρείται με πιθανότητα 95% ότι ανήκει σε διαφορετικό πληθυσμό ή ότι είναι το αποτέλεσμα λανθασμένης μέτρησης.

- **Ακραία αποτελέσματα** (extreme results)

Αποτελέσματα που αποκλίνουν σημαντικά από τις υπόλοιπες τιμές του συνόλου των μετρήσεων και μπορούν να επηρεάσουν έντονα στατιστικά μεγέθη όπως η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση.

- **Ανθεκτικές στατιστικές μέθοδοι** (robust statistical techniques)

Τεχνικές για την ελαχιστοποίηση της επίδρασης που έχουν ακραία αποτελέσματα στις εκτιμήσεις της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης.

- **Αβεβαιότητα μέτρησης** (uncertainty of measurement)

Παράμετρος που σχετίζεται με τα αποτελέσματα μιας μέτρησης και χαρακτηρίζει το εύρος των τιμών που θα μπορούσαν να αποδοθούν στο μετρητέο μέγεθος.

2.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ: ISO 13528

Η παρουσίαση των στατιστικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται στις διεργαστηριακές συγκρίσεις γίνεται - σε συνέχεια του οδηγού ISO 17043 - στο πρότυπο ISO 13528 "Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons" [7], όπου αναπτύσσονται λεπτομερώς τα μαθηματικά εργαλεία για

την αξιολόγηση της επίδοσης των εργαστηρίων. Σύμφωνα με το εν λόγω πρότυπο η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων αποτελείται από τα εξής στάδια:

- Έλεγχος της μεθόδου προετοιμασίας των δειγμάτων
Πρόκειται για ελέγχους της ομοιογένειας και της σταθερότητας των δειγμάτων προκειμένου να γίνει επικύρωση των υπό εξέταση υλικών σε περιπτώσεις, όπου η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει μετρήσεις επί συγκεκριμένων αντικειμένων δοκιμής.
- Απόρριψη οφθαλμοφανών σφαλμάτων
Οφθαλμοφανή σφάλματα όπως έκθεση αποτελεσμάτων σε λανθασμένες μονάδες μέτρησης, ή ανάμειξη αποτελεσμάτων από διαφορετικά δοκίμια των δοκιμών ικανοτήτων μπορεί να έχουν αρνητική επίδραση στη μετέπειτα στατιστική μέθοδο.
- Οπτική επισκόπηση των δεδομένων
Σαν πρώτο βήμα σε κάθε ανάλυση δεδομένων ο διοργανωτής θα πρέπει να κανονίσει την οπτική επισκόπηση των δεδομένων από εμπειρογνώμονες με την κατάλληλη τεχνική και στατιστική τεχνογνωσία. Αυτός ο έλεγχος έχει ως σκοπό την αναγνώριση της αναμενόμενης κατανομής των αποτελεσμάτων και πιθανών ανωμαλιών ή απρόβλεπτων πηγών απόκλισης.
- Αρχικό στάδιο επεξεργασίας δεδομένων
Όπως παρουσιάζεται παρακάτω στο κεφάλαιο 2.4.
- Καθορισμός της εκτιμήτριας τιμής (assigned value)
Στο σημείο αυτό πρέπει να ληφθεί η απόφαση, εάν η εκτιμήτρια τιμή μαζί με την αβεβαιότητά της θα προσδιορισθούν πριν τη διεξαγωγή των μετρήσεων με μία από τις παρακάτω μεθόδους:
 - Διαμόρφωση (Formulation)
Στη μέθοδο αυτή γίνεται προσθήκη γνωστής ποσότητας ή συγκέντρωσης του υπό ανάλυση συστατικού σε ένα βασικό υλικό που δεν το περιέχει
 - Απευθείας σύγκριση με πιστοποιημένα υλικά αναφοράς (Certified reference materials-CRMs)
Το δοκίμιο αναλύεται σε αντιπαραβολή με CRMs κάτω από συνθήκες επαναληψιμότητας με αποτέλεσμα η πιστοποιημένη τιμή αναφοράς που προκύπτει να εξασφαλίζει άμεση ιχνηλασιμότητα στα υλικά αυτά.

- Σύγκριση με υλικά αναφοράς (Reference materials-RMs)
Μέρος των δειγμάτων αναλύεται παράλληλα με CRMs και το αποτέλεσμα ανάγεται στην αντίστοιχη τιμή του CRM ώστε να προκύψει η τιμή αναφοράς.
- Αποτελέσματα από ένα εργαστήριο
Η εκτιμήτρια τιμή μπορεί να καθοριστεί από μόνο ένα εργαστήριο χρησιμοποιώντας μέθοδο αναφοράς, η οποία θα πρέπει να περιγράφεται πλήρως και θα συνοδεύεται με πλήρη δήλωση αβεβαιότητας και καταγεγραμμένη μετρολογική ιχνηλασιμότητα για το συγκεκριμένο ΣΔΙ.
- Τιμή συμφωνίας (consensus value) από ειδικά εργαστήρια
Τα δείγματα αναλύονται σε ειδικά εργαστήρια με μεθόδους αναφοράς. ή εάν θα προκύψουν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ως:
- Τιμή συμφωνίας των συμμετεχόντων εργαστηρίων
Με την προσέγγιση αυτή υπάρχουν οι εξής εναλλακτικές για τον υπολογισμό της εκτιμήτριας τιμής:
 1. Μέση τιμή (average) των αποτελεσμάτων των εργαστηρίων
 2. Απλές ανθεκτικές εκτιμήτριες ως προς τις απόμακρες τιμές όπως η Διάμεση τιμή (median).
 3. Ανθεκτική μέση τιμή (robust average) όπως προκύπτει από ανθεκτικούς αλγορίθμους. *Με τον όρο ανθεκτική τιμή εννοούμε τιμή που προκύπτει από ανθεκτική ανάλυση/αλγόριθμο.*

- Καθορισμός της τυπικής απόκλισης

Η τυπική απόκλιση, βάσει της οποίας γίνεται ουσιαστικά η εκτίμηση της επάρκειας των εργαστηρίων, μπορεί να προδιαγραφεί ως τιμή στόχος πριν τη διεξαγωγή των μετρήσεων με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Από διαίσθηση (αντίληψη) ειδημόνων στο συγκεκριμένο τεχνικό πλαίσιο.
- Κατόπιν απαιτήσεως ώστε να πληρούνται συγκεκριμένα όρια ακρίβειας
- Από εμπειρία προηγούμενων κύκλων ΣΔΙ.
- Με αναφορά σε γενικευμένο μοντέλο που συνδέει το επίπεδο της δοκιμής με την αναπαραγωγικότητα.
- Με αναφορά σε επικυρωμένες μεθόδους και συγκεκριμένα από την τυπική απόκλιση προτυποποιημένων διαδικασιών με γνωστή επαναληψιμότητα και αναπαραγωγικότητα. ή να προκύψει κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ως:

- Τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων των εργαστηρίων (standard deviation)
 - Απλές ανθεκτικές εκτιμήτριες ως προς τις απόμακρες τιμές όπως η κλιμακούμενη διάμεση απόλυτη απόκλιση MADe, και το κανονικοποιημένο εύρος ενδοτεταρτημορίου nIQR.
 - Ανθεκτική τυπική απόκλιση (robust standard deviation) όπως προκύπτει από ανθεκτικούς αλγορίθμους.
- Έλεγχος για τον περιορισμό της αβεβαιότητας της εκτιμήτριας τιμής
Αν το κριτήριο $u(x_{pt}) < 0,3\sigma_{pt}$ (§9.2.1 του ISO 13528:2015) ισχύει, τότε η αβεβαιότητα της εκτιμήτριας τιμής μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα και δε χρειάζεται να συμπεριληφθεί στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων του κύκλου ΣΔΙ.
 - Έλεγχος για τον αριθμό των επαναληπτικών δοκιμών που εκτελεί κάθε εργαστήριο σε κάθε επίπεδο
 - Υπολογισμός των στατιστικών δεικτών επίδοσης
Μετά τη συλλογή των αποτελεσμάτων και τον υπολογισμό της εκτιμήτριας τιμής και της τυπικής απόκλισης με έναν από τους τρόπους που προαναφέρθηκαν γίνεται η ποσοτικοποίηση της επίδοσης του κάθε εργαστηρίου με έναν από τους παρακάτω δείκτες:
 - Εκτίμηση του σφάλματος μέτρησης:
Ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της μέτρησης x_i του συμμετέχοντος και της εκτιμήτριας x_{pt} :

$$D_i = x_i - x_{pt} \quad (2.1)$$

- Επί τοις εκατό διαφορά:

$$D_i\% = 100 (x_i - x_{pt}) / x_{pt}\% \quad (2.2)$$

- Βαθμοί z (z scores)

Πρόκειται για το δείκτη επίδοσης που χρησιμοποιείται στα περισσότερα σχήματα δοκιμών ικανότητας και συγκρίνει την εκτίμηση του σφάλματος μέτρησης με την τιμή στόχο για την τυπική απόκλιση:

$$z_i = \frac{(x_i - x_{pt})}{\sigma_{pt}} \quad (2.3)$$

όπου σ_{pt} η τυπική απόκλιση για εκτίμηση ικανότητας

– Βαθμοί ζ (ζ scores)

Οι συγκεκριμένοι δείκτες είναι χρήσιμοι όταν ένας από τους σκοπούς του ΣΔΙ είναι η εκτίμηση της ικανότητας του συμμετέχοντος να έχει αποτελέσματα κοντά στην εκτιμήτρια τιμή μέσα στην ισχυριζόμενη αβεβαιότητά του. Υπολογίζονται από τη σχέση

$$\zeta_i = \frac{x_i - x_{pt}}{\sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{pt})}} \quad (2.4)$$

όπου:

$u(x_i)$ η τυπική αβεβαιότητα της μέτρησης x_i του εργαστηρίου

$u(x_{pt})$ η τυπική αβεβαιότητα της εκτιμήτριας x_{pt}

– Βαθμοί z'(z'scores)

Όταν υπάρχει ανησυχία για την αβεβαιότητα της εκτιμήτριας τιμής, τότε η αβεβαιότητα μπορεί συμπεριληφθεί στο αποτέλεσμα επεκτείνοντας τον παρονομαστή του δείκτη επίδοσης. Υπολογίζονται από τη σχέση

$$z'_i = \frac{x_i - x_{pt}}{\sqrt{\sigma_{pt}^2 + u^2(x_{pt})}} \quad (2.5)$$

– Βαθμοί En (En scores)

Οι δείκτες αυτοί μπορεί να φανούν χρήσιμοι όταν ένας από τους στόχους του ΣΔΙ είναι η είναι η εκτίμηση της ικανότητας του συμμετέχοντος να έχει αποτελέσματα κοντά στην εκτιμήτρια τιμή μέσα στην ισχυριζόμενη διευρυμένη αβεβαιότητά του. Υπολογίζονται από τη σχέση

$$(E_n)_i = \frac{x_i - x_{pt}}{\sqrt{U^2(x_i) + U^2(x_{pt})}} \quad (2.6)$$

όπου:

$U(x_i)$ η διευρυμένη αβεβαιότητα της μέτρησης x_i του εργαστηρίου

$U(x_{pt})$ η διευρυμένη αβεβαιότητα της εκτιμήτριας x_{pt}

• Γραφική παρουσίαση των στατιστικών επίδοσης

Οι δείκτες επίδοσης αναπαριστώνται με έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω τρόπους:

– Ιστόγραμμα των στατιστικών επίδοσης

– Διάγραμμα πυκνότητας πυρήνα (Kernel density plot)

– Ραβδόγραμμα των κανονικοποιημένων δεικτών επίδοσης.

Σε περιπτώσεις όπου τα εργαστήρια εκτελούν επαναληπτικές δοκιμές σε κάθε επίπεδο μπορούν να γίνουν τα παρακάτω γραφήματα:

- Ραβδόγραμμα των κανονικοποιημένων μετρήσεων επαναληψιμότητας
- Διάγραμμα Youden

Πρόκειται για την xy αναπαράσταση των αποτελεσμάτων του δείγματος I ως προς τα αποτελέσματα του δείγματος II σε σχήματα, όπου εξετάζονται δύο διαιρεμένα δείγματα.

- Διάγραμμα των τυπικών αποκλίσεων επαναληψιμότητας

Η γραφική αναπαράσταση μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο στα αποτελέσματα των στατιστικών επίδοσης ενός μεμονωμένου επιπέδου δοκιμής, αλλά και στο σύνολο των αποτελεσμάτων σε όλες τις διαφορετικές δοκιμές που εκτελούν τα εργαστήρια εντός ενός κύκλου ελέγχου.

- Συνδυασμός των αποτελεσμάτων του εργαστηρίου σε διάφορους κύκλους δοκιμών

Όταν είναι διαθέσιμα τα επιμέρους ή συνολικά αποτελέσματα του εργαστηρίου σε έναν αριθμό κύκλων των δοκιμών ικανότητας, μπορεί να γίνει γραφική αναπαράσταση των τιμών των στατιστικών επίδοσης (Shewhart control chart for z-scores) ή του αθροίσματός τους (cusum control chart for z-scores) συναρτήσει του χρόνου.

2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: ISO 5725-2

Στο πρότυπο ISO 5725 "Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method" [8], καθώς και στη συμπληρωματική του τεχνική έκθεση ISO/TR 22971 [9] δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο αρχικό στάδιο οργάνωσης και αξιολόγησης των δεδομένων από τα οποία θα υπολογιστούν στη συνέχεια οι δείκτες επίδοσης των συμμετεχόντων εργαστηρίων.

2.4.1 Παρουσίαση – Ομαδοποίηση δεδομένων

Για την ευκολότερη επεξεργασία των δεδομένων το πρότυπο συνιστά τη συγκέντρωση όλων των αποτελεσμάτων σε έναν πίνακα, όπου κάθε συνδυασμός εργαστηρίου και επιπέδου δοκιμής καλείται "κελί". Στο σημείο αυτό να τονίσουμε ότι ως "εργαστήριο" ορίζεται από το πρότυπο ο συνδυασμός εξοπλισμού, χειριστή και φορέα που διενεργεί τη μέτρηση. Επομένως, από ένα εργαστήριο

(με τη συμβατική έννοια του όρου) μπορούν να προέλθουν περισσότερες από μία ανεξάρτητες ομάδες, κάθε μία από τις οποίες αποτελεί σε ένα σχήμα δοκιμών ικανότητας ένα ξεχωριστό "εργαστήριο".

Στην ιδανική περίπτωση τα αποτελέσματα του πειράματος με p εργαστήρια σε q επίπεδα σχηματίζουν έναν πίνακα με pq κελιά, όπου κάθε κελί περιλαμβάνει n επαναληπτικές μετρήσεις. Στην πράξη, ωστόσο, η εικόνα αυτή δεν επιτυγχάνεται πάντα, λόγω έλλειψης μετρήσεων ή μη αποδεκτών μετρήσεων που πρέπει να απορριφθούν.

2.4.2 Προκαταρκτική επεξεργασία

Κατά την πρώτη φάση της επεξεργασίας των δεδομένων από τον αρχικό πίνακα σχηματίζονται δύο νέοι πίνακες χρησιμοποιώντας τους παρακάτω συμβολισμούς:

n_{ij} : το πλήθος των μετρήσεων στο κελί για το εργαστήριο i στο επίπεδο j

y_{ijk} : μία από τους μετρήσεις στο κελί ij ($k = 1, 2, \dots, n_{ij}$)

p_i το πλήθος των εργαστηρίων που δίνουν τουλάχιστον μία τιμή στο επίπεδο j

Ο πρώτος πίνακας περιέχει τους μέσους όρους των κελιών

$$\bar{y}_{ij} = \frac{1}{n_{ij}} \sum_{k=1}^{n_{ij}} y_{ijk} \quad (2.7)$$

και ο δεύτερος πίνακας τις τυπικές αποκλίσεις των κελιών

$$S_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n_{ij} - 1} \sum_{k=1}^{n_{ij}} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2} \quad (2.8)$$

2.4.3 Εξέταση δεδομένων για εύρεση απόμακρων τιμών

Πριν την τελική επεξεργασία των δεδομένων είναι απαραίτητη η ανάλυσή τους, ώστε να εξακριβωθεί αν ασυνήθως μεγάλες ή μικρές τιμές που αποκλίνουν από την πλειοψηφία των μετρήσεων πρέπει να απομονωθούν.

2.4.3.1 Γραφικός έλεγχος των δεδομένων

Ο έλεγχος δεδομένων μπορεί να ξεκινήσει με μια απλή οπτική επιθεώρηση του συνόλου δεδομένων. Απλές γραφικές παραστάσεις δεδομένων, όπως διάγραμμα σημείων (dot plot), διάγραμμα διασποράς (scatter diagram), ιστόγραμμα

(histogram), διάγραμμα στελέχους και φύλλου (stem-and-leaf plot), διάγραμμα πιθανοτήτων (probability plot), διάγραμμα πλαισίου (box plot), διάγραμμα χρονοσειράς (time series plot) ή γραφική διάταξη δεδομένων σε μη φθίνουσα τάξη μεγέθους, μπορούν να αποκαλύψουν απρόβλεπτες πηγές μεταβλητότητας και ακραία/απομακρυσμένα σημεία δεδομένων. Για τον εντοπισμό ακραίων/απομακρυσμένων σημείων δεδομένων συνιστώνται διαγράμματα πιθανοτήτων και διαγράμματα πλαισίου. Αυτές οι πιθανές ακραίες τιμές μπορούν στη συνέχεια να διερευνηθούν περαιτέρω χρησιμοποιώντας τις μεθόδους που δίνονται στο υποκεφάλαιο 2.4.3.2. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικότερα τα γραφήματα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία.

Διάγραμμα Πλαισίου (Box plot)

Η γραφική παράσταση πλαισίου είναι ένα από τα πιο δημοφιλή γραφικά εργαλεία για την εξερεύνηση δεδομένων. Είναι χρήσιμο για την εμφάνιση της κεντρικής θέσης, της εξάπλωσης και του σχήματος κατανομής ενός συνόλου δεδομένων. Τα κάτω και τα άνω φράγματα του πλαισίου ορίζονται ως:

$$\begin{aligned} \text{κάτω φράγμα} &= Q_1 - k(Q_3 - Q_1) \\ \text{άνω φράγμα} &= Q_3 + k(Q_3 - Q_1) \end{aligned} \quad (2.9)$$

όπου Q_1 και Q_3 είναι το πρώτο και το τρίτο τεταρτημόριο του συνόλου δεδομένων και το k είναι μια σταθερή τιμή.

Ένα τροποποιημένο γράφημα πλαισίου που προτείνεται για την εύρεση απόμακρων τιμών δίνεται στο ISO 16269-4 [20].

Για τη σχεδίαση του γραφήματος πλαισίου χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία το πακέτο matplotlib της Python.

Διάγραμμα Πιθανοτήτων Κανονικής Κατανομής (Normal probability plot)

Μια γραφική παράσταση πιθανοτήτων δεν παρέχει μόνο μια γραφική δοκιμή για το εάν οι παρατηρήσεις ή η πλειοψηφία των παρατηρήσεων, μπορούν να θεωρηθούν ότι ακολουθούν μια υποθετική κατανομή· αποκαλύπτει επίσης απομακρυσμένες παρατηρήσεις στο σύνολο δεδομένων.

Η γραφική παράσταση κανονικής πιθανότητας είναι μια γραφική τεχνική για την αξιολόγηση του εάν ένα σύνολο δεδομένων είναι περίπου κανονικά κατανομημένο ή όχι. Τα δεδομένα σχεδιάζονται με βάση μια θεωρητική κανονική κατανομή με τέτοιο τρόπο ώστε τα σημεία να σχηματίζουν μια κατά προσέγγιση ευθεία γραμμή. Οι αποκλίσεις από αυτή την ευθεία υποδηλώνουν αποκλίσεις από την κανονικότητα. Η κανονική γραφική παράσταση πιθανότητας είναι μια ειδική περίπτωση της γραφικής παράστασης πιθανότητας. Η γραφική παράσταση κανονικής πιθανότητας είναι μια ειδική περίπτωση της γραφικής παράστασης

πιθανότητας Q–Q (Quantile-Quantile) για μια κανονική κατανομή. Τα θεωρητικά ποσοστά επιλέγονται για να προσεγγίσουν είτε τον μέσο όρο είτε τη διάμεσο των αντίστοιχων κατανομών.

Για τη σχεδίαση του γραφήματος πιθανότητας κανονικής κατανομής χρησιμοποιούμε το πακέτο `scipy` της Python.

Διαγράμματα h και k του Mandel

Για τον έλεγχο συνέπειας δεδομένων, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε δύο γραφικά στατιστικά, τα h και k του Mandel [8]. Τα στατιστικά αυτά εκτός της δυνατότητας να περιγράψουν τη μεταβλητότητα της μεθόδου μέτρησης μπορούν να βοηθήσουν στην εκτίμηση των εργαστηρίων.

Για τον υπολογισμό του στατιστικού h, διαιρούμε την απόκλιση κάθε κελιού (μέση τιμή κελιού μείον τη συνολική μέση τιμή της μέτρησης) με την τυπική απόκλιση μεταξύ των μέσων τιμών των κελιών:

$$h_{ij} = \frac{\bar{y}_{ij} - \bar{\bar{y}}_j}{\sqrt{\frac{1}{p_j-1} \sum_{i=0}^{p+j} (\bar{y}_{ij} - \bar{\bar{y}}_j)^2}} \quad (2.10)$$

όπου \bar{y}_{ij} δίνεται από την εξίσωση (2.7) και $\bar{\bar{y}}_j$ δίνεται από την εξίσωση (2.27).

Σχεδιάζουμε τις τιμές h_{ij} για κάθε κελί, ανά επίπεδο.

Για τον υπολογισμό του στατιστικού ενδοεργαστηριακής συνέπειας, k, υπολογίζουμε πρώτα τη συγκεντρωμένη ενδοκελιακή τυπική απόκλιση

$$\sqrt{\frac{\sum s_{ij}^2}{p_j}} \quad (2.11)$$

για κάθε επίπεδο, και στη συνέχεια υπολογίζουμε

$$k_{ij} = \frac{s_{ij} \sqrt{p_j}}{\sqrt{\sum s_{ij}^2}} \quad (2.12)$$

για κάθε εργαστήριο σε κάθε επίπεδο. Σχεδιάζουμε τις τιμές k_{ij} για κάθε κελί, ανά επίπεδο και ξεχωριστά για τα διάφορα επίπεδα στα οποία συμμετείχε το κάθε εργαστήριο.

Εξέταση των h και k γραφημάτων μπορεί να υποδείξει ότι συγκεκριμένα εργαστήρια εμφανίζουν αποτελέσματα αρκετά διαφορετικά από τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα, εργαστήρια μπορεί να εμφανίσουν σταθερά υψηλές ή χαμηλές ενδοκελιακές διακυμάνσεις και/ή ακραίες μέσες τιμές κελιών σε πολλά επίπεδα. Αν αυτό συμβεί, πρέπει να εξεταστεί η αιτία για την αποκλίνουσα αυτή συμπεριφορά,

και βάση των αποτελεσμάτων να αποφασιστεί αν θα χρησιμοποιηθούν ή όχι τα δεδομένα ή αν είναι δυνατόν να επαναληφθούν οι εν λόγω μετρήσεις.

Διάφορα μοτίβα μπορεί να παρουσιαστούν στα γραφήματα h . Όλα τα εργαστήρια μπορεί να έχουν θετικές και αρνητικές h τιμές σε διαφορετικά επίπεδα του πειράματος. Μεμονωμένα εργαστήρια μπορεί να έχουν την τάση να δίνουν μόνο θετικές ή μόνο αρνητικές τιμές h , και ο αριθμός των εργαστηρίων που δίνει αρνητικές τιμές είναι περίπου ίδιος με εκείνον που δίνουν θετικές τιμές. Κανένα από αυτά τα μοτίβα δεν είναι ασυνήθιστο ή χρειάζει περαιτέρω έρευνας, αν και το δεύτερο από τα παραπάνω μοτίβα μπορεί να προτείνει ότι υπάρχει κοινή πηγή μεροληψίας στο εργαστήριο. Στην περίπτωση, όμως, που όλες οι h τιμές για ένα εργαστήριο έχουν αντίθετο πρόσημο από όλα τα υπόλοιπα εργαστήρια, η αιτία πρέπει να εξετασθεί. Ομοίως, εάν οι h τιμές για ένα εργαστήριο είναι ακραίες και εμφανίζονται να εξαρτώνται από το πειραματικό επίπεδο με κάποιο συστηματικό τρόπο, τότε η αιτία πρέπει να εξετασθεί. Γραμμές σχεδιάζονται στα διαγράμματα h που αντιστοιχούν στους δείκτες που δίνονται από τους πίνακες 7 και 8 του προτύπου ISO 5725-2 [8]. Αυτές οι ενδεικτικές γραμμές χρησιμεύουν ως οδηγοί όταν εξετάζουμε τα δεδομένα για μοτίβα.

Όταν ένα εργαστήριο ξεχωρίζει στο διάγραμμα k για τις πολύ μεγάλες τιμές του, τότε η αιτία θα πρέπει να εξετασθεί. Αυτό συνήθως υποδεικνύει ότι έχει πιο χαμηλή επαναληψιμότητα από τα άλλα εργαστήρια. Ένα εργαστήριο μπορεί δημιουργεί σταθερά μικρές τιμές k λόγω παραγόντων όπως η υπερβολική στρογγυλοποίηση των δεδομένων του ή μια μη ευαίσθητη κλίμακα μέτρησης. Γραμμές σχεδιάζονται στα k διαγράμματα που αντιστοιχούν στους δείκτες που δίνονται από τους πίνακες 7 και 8 του προτύπου ISO 5725-2 [8]. Αυτές οι ενδεικτικές γραμμές χρησιμεύουν ως οδηγοί όταν εξετάζουμε τα δεδομένα για μοτίβα.

Όταν το διάγραμμα h ή k ανα εργαστήριο, υποδεικνύει ότι ένα εργαστήριο έχει μερικές h ή k τιμές κοντά στην ενδεικτική γραμμή, το αντίστοιχο διάγραμμα επιπέδου πρέπει να εξετασθεί. Συχνά μία τιμή που φαίνεται μεγάλη σε διάγραμμα ανά εργαστήριο, αποδεικνύεται να είναι αρκετά συνεπής με τα υπόλοιπα εργαστήρια στο ίδιο επίπεδο. Εάν είναι αρκετά διαφορετική από τις τιμές των υπολοίπων εργαστηρίων, τότε η αιτία πρέπει να εξετασθεί.

2.4.3.2 Αριθμητικές μέθοδοι εύρεσης απομακρυσμένων τιμών

Υπάρχει μεγάλο πλήθος δοκιμών για απόμακρες τιμές. Το ISO 5725-2 [8] παρέχει τα τεστ του Grubbs και Cochran για την αναγνώριση "απόμακρων" εργαστηρίων που δίνουν ανεξήγητα μη φυσιολογικά αποτελέσματα δοκιμών. Το τεστ του Grubbs είναι εφαρμόσιμο σε μεμονωμένες παρατηρήσεις ή στις μέσες τιμές των συνόλων δεδομένων που λαμβάνονται από κανονικές κατανομές, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την ανίχνευση έως και των δύο μεγαλύτερων

ή/και μικρότερων παρατηρήσεων ως ακραίων τιμών στο σύνολο δεδομένων. Μία πιο γενική διαδικασία δοκιμής, η οποία μπορεί να ανιχνεύσει πολλαπλές ακραίες τιμές από μεμονωμένες παρατηρήσεις ή μέσες τιμές των συνόλων δεδομένων που λαμβάνονται από μία κανονική κατανομή, είναι η *generalized extreme studentized deviate (GESD) many-outlier procedure*, η οποία δίνεται στο ISO 16269-4 [20].

Για την ταυτοποίηση των μετρήσεων υπό μορφή απόμακρων ή πλανώμενων τιμών στα στατιστικά τεστ των Cochran και Grubbs, ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

- Εάν η σταθερά του τεστ είναι μικρότερη ή ίση από το 5% της κρίσιμης τιμής της, η ομάδα τιμών που εξετάζεται γίνεται αποδεκτή ως σωστή.
- Εάν η σταθερά του τεστ είναι μεγαλύτερη από το 5% της κρίσιμης τιμής της και μικρότερη ή ίση από το 1% της κρίσιμης τιμής της, η ομάδα τιμών που εξετάζεται χαρακτηρίζεται ως πλανώμενη (*straggler*) και συμβολίζεται με έναν αστερίσκο.
- Εάν η σταθερά του τεστ είναι μεγαλύτερη από το 1% της κρίσιμης τιμής της, η ομάδα τιμών που εξετάζεται χαρακτηρίζεται ως στατιστική απόμακρη (*outlier*) και συμβολίζεται με δύο αστερίσκους.

Τεστ του Cochran

Το συγκεκριμένο τεστ αφορά στην εντός των εργαστηρίων διακύμανση και θα πρέπει να εφαρμόζεται πρώτο, ενώ προτού ληφθεί οποιαδήποτε δράση θα πρέπει να γίνουν επαναληπτικά τεστ. Για μια ομάδα p εργαστηρίων από τα οποία προκύπτουν p τυπικές αποκλίσεις s_i για τον ίδιο αριθμό n αποτελεσμάτων (στο ίδιο επίπεδο δοκιμής) η σταθερά του τεστ υπολογίζεται ως εξής:

$$C = \frac{s_{max}^2}{\sum_{i=1}^p s_i^2} \quad (2.13)$$

όπου s_{max} η μεγαλύτερη τυπική απόκλιση της ομάδας.

Οι τιμές στις οποίες εφαρμόζεται το τεστ του Cochran είναι οι διασπορές των κελιών s_{ij} , δηλαδή οι διασπορές επαναληψιμότητας των εργαστηρίων σε κάθε επίπεδο.

Τεστ του Grubbs

Αυτό το τεστ σχετίζεται πρωτίστως με διεργαστηριακές διακυμάνσεις, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί του πρώτου (εάν $n > 2$), όπου το τεστ του

Cochran εγείρει υπόνοιες ότι μόνο μία από τις τιμές προκαλεί τη μεγάλη διακύμανση. Για μια ομάδα δεδομένων x_i για $i = 1, 2, \dots, p$ σε αύξουσα σειρά, όταν θέλουμε να προσδιορίσουμε εάν η μεγαλύτερη τιμή είναι αποκλίνουσα, η σταθερά του τεστ υπολογίζεται ως εξής:

$$G_p = \frac{x_p - \bar{x}}{s} \quad (2.14)$$

όπου

$$\bar{x} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_i \quad (2.15)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.16)$$

αντίστοιχα για τη μικρότερη τιμή:

$$G_p = \frac{\bar{x} - x_1}{s} \quad (2.17)$$

Για να ελέγξουμε εάν οι δύο μεγαλύτερες παρατηρήσεις είναι απόμακρες η σταθερά του τεστ υπολογίζεται ως εξής:

$$G_p = \frac{s_{p-1,p}^2}{s_0^2} \quad (2.18)$$

Όπου

$$s_0^2 = \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.19)$$

$$s_{p-1,p}^2 = \sum_{i=1}^{p-2} (x_i - \bar{x}_{p-1,p})^2 \quad (2.20)$$

$$\bar{x}_{p-1,p} = \frac{1}{p-2} \sum_{i=1}^{p-2} x_i \quad (2.21)$$

αντίστοιχα για τις δύο μικρότερες τιμές:

$$G_p = \frac{s_{1,2}^2}{s_0^2} \quad (2.22)$$

Όπου

$$s_{1,2}^2 = \sum_{i=3}^p (x_i - \bar{x}_{1,2})^2 \quad (2.23)$$

$$\bar{x}_{1,2} = \frac{1}{p-2} \sum_{i=3}^p x_i \quad (2.24)$$

Οι τιμές της οποίες εφαρμόζεται το τεστ του Grubbs είναι οι μέσες τιμές \bar{y}_i των κελιών.

Εάν ένα αποτέλεσμα εργαστηρίου χαρακτηριστεί απόμακρο με απλό Grubbs τεστ, απορρίπτεται και επαναλαμβάνεται το τεστ για το επόμενο απομακρυσμένο αποτέλεσμα (εάν π.χ. έχει απορριφθεί ως outlier η υψηλότερη παρατήρηση, το τεστ εφαρμόζεται για τη μικρότερη παρατήρηση). Εάν με το απλό τεστ Grubbs δεν αναδεικνύεται κάποιο απόμακρο, τότε χρησιμοποιείται το διπλό τεστ Grubbs. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να μην προκύπτουν άλλες απόμακρες τιμές ή να έχει απορριφθεί το 22% των συμμετεχόντων εργαστηρίων. Οι κρίσιμες τιμές για τα δύο τεστ δίνονται σε ειδικούς πίνακες. Το τεστ του Grubbs όπως και άλλα τεστ εύρεσης απόμακρων τιμών απαιτούν προκαθορισμένο αριθμό πιθανών απόμακρων τιμών και μπορεί να αποτύχουν όταν ο αριθμός αυτός είναι αρκετά μεγάλος.

GESD

Μία ή περισσότερες ακραίες τιμές σε κάθε πλευρά ενός συνόλου δεδομένων με κανονική κατανομή μπορούν να ανιχνευθούν χρησιμοποιώντας μία διαδικασία γνωστή ως extreme studentized deviate (GESD) many-outlier procedure [20]. Η διαδικασία GESD είναι ικανή να ελεγξει σφάλματα Τύπου I (εσφαλμένη απόρριψη μιας πραγματικής μηδενικής υπόθεσης) ανίχνευσης περισσότερων από l ακραίων τιμών σε επίπεδο σημαντικότητας α όταν υπάρχουν l ακραίες τιμές στο σύνολο δεδομένων ($1 \leq l < m$), όπου m ένας καθορισμένος μέγιστος αριθμός ακραίων τιμών.

Πριν ακολουθήσουμε αυτή τη μέθοδο ανίχνευσης ακραίων τιμών, θα πρέπει να επαληθευτεί ότι η πλειοψηφία των δεδομένων του δείγματος ακολουθούν περίπου την κανονική κατανομή. Για τον έλεγχο της εγκυρότητας της υπόθεσης κανονικότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κανονικό γράφημα πιθανοτήτων (normal probability plot) όπως περιγράφεται στο 2.4.3.1.

Βήματα για τη χρήση της διαδικασίας GESD

1. Σχεδιάζουμε το κανονικό γράφημα πιθανοτήτων (normal probability plot) και μετράμε τον αριθμό των σημείων που φαίνονται να αποκλίνουν σημαντικά από την ευθεία γραμμή που 'ταιριάζει' στα υπόλοιπα σημεία δεδομένων. Αυτός είναι ο αριθμός απόμακρων τιμών που υποπτευόμαστε.
2. Επιλέγουμε μία στατιστική σημαντικότητα άλφα (α) και ορίζουμε τον αριθμό των απόμακρων τιμών m να είναι μεγαλύτερος ή ίσος με τον

αριθμό απόμακρων τιμών που υποπτευόμαστε από το βήμα 1. Ξεκινάμε τα παρακάτω βήματα με $l = 0$.

3. Υπολογίζουμε το στατιστικό δοκιμής

$$R_l = \frac{\max_{x_i \in I_l} |x - \bar{x}(I_l)|}{s(I_l)} \quad (2.25)$$

όπου

I_0 το αρχικό σύνολο δεδομένων δείγματος,

I_l το μειωμένο δείγμα μεγέθους $n - l$ που προκύπτει αφαιρώντας το σημείο x^{l-1} στο I_{l-1} που δίνει την τιμή R_{l-1} ,

$\bar{x}(I_l)$ η μέση τιμή του δείγματος I_l ,

$s(I_l)$ η τυπική απόκλιση του δείγματος I_l .

4. Υπολογίζουμε την κρίσιμη τιμή(critical value)

$$\lambda_l = \frac{(n - l - 1)t_{p;n-l-2}}{\sqrt{(n - l - 2 + t_{p;n-l-2}^2)(n - l)}} \quad (2.26)$$

όπου $p = (1 - \alpha/2)^{1/(n-l)}$ και $t_{p;\nu}$ αντιπροσωπεύει το $100p^\circ$ εκατοστημόριο μιας t -κατανομής με ν βαθμούς ελευθερίας. Στην περίπτωση που έχουμε πρόσθετες πληροφορίες ότι οι ακραίες τιμές εμφανίζονται μόνο σε οποιοδήποτε από τα άνω ή κάτω άκρα, αντικαθιστούμε το α με $\alpha/2$ στην εξίσωση.

5. Θέτουμε $l = l + 1$.

6. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα από 2 έως 4 μέχρι $l = m$.

7. Εάν $R_l \leq \lambda_l$ για όλα τα $l = 0, 1, 2, \dots, m$, τότε δεν έχουμε ακραίες τιμές. Στην αντίθετη περίπτωση, οι n_{out} πιο ακραίες παρατηρήσεις $x^{(0)}, x^{(1)}, \dots, x^{(n_{out}-1)}$ στα διαδοχικά μειωμένα δείγματα δηλώνονται ως απόμακρες τιμές όταν $n_{out} = 1 + \max_{0 \leq l \leq m} \{l : R_l > \lambda_l\}$

Ο αλγόριθμος για την παραπάνω διαδικασία υλοποιείται στο βοηθητικό πρόγραμμα που δίνεται στο Παράρτημα Β'.

2.4.4 Τελική επεξεργασία

Μετά την απόρριψη των απόμακρων τιμών που έχουν προσδιοριστεί κατά την εξέταση των δεδομένων με τα στατιστικά τεστ που προαναφέρθηκαν υπολογίζονται με τα εναπομείναντα στοιχεία οι εκτιμήσεις της μέσης τιμής και της διασποράς για κάθε επίπεδο:

Μέση τιμή:

$$\hat{m}_j = \bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^p n_{ij} \bar{y}_{ij}}{\sum_{i=1}^p n_{ij}} \quad (2.27)$$

Διασπορά επαναληψιμότητας:

$$s_{rj}^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1) s_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1)} \quad (2.28)$$

Διεργαστηριακή διασπορά:

$$s_{Lj}^2 = \frac{s_{dj}^2 - s_{rj}^2}{\bar{n}_j} \quad (2.29)$$

όπου

$$s_{dj}^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p n_{ij} (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_j)^2 \quad (2.30)$$

και

$$\bar{n}_j = \frac{1}{p-1} \left[\sum_{i=1}^p n_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^p n_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p n_{ij}} \right] \quad (2.31)$$

Διασπορά αναπαραγωγιμότητας:

$$s_{Rj}^2 = s_{rj}^2 + s_{ij}^2 \quad (2.32)$$

2.4.4.1 Εξάρτηση της διασποράς από τη μέση τιμή

Ένα περαιτέρω βήμα στην ανάλυση των δεδομένων είναι η διερεύνηση για την ύπαρξη κάποιας σχέσης ανάμεσα στο επίπεδο της μέσης τιμής και τη διασπορά αναπαραγωγιμότητας ή/και τη διασπορά επαναληψιμότητας. Οι συνηθέστεροι τύποι μαθηματικών σχέσεων που μπορεί να εντοπισθούν είναι:

Γραμμική σχέση της μορφής:

$$s = bm \quad (2.33)$$

$$s = a + bm \quad (2.34)$$

Εκθετική σχέση:

$$s = Cm^d (d \leq 1) \Rightarrow \lg s = c + d \lg m \quad (2.35)$$

Δεν είναι πάντοτε δεδομένο ότι θα υπάρχει μια τέτοιου είδους σχέση, γι'αυτό θα πρέπει να γίνεται το διάγραμμα (m,s) ή το διάγραμμα $(\lg m, \lg s)$, ώστε να διαπιστωθεί εάν το σύνολο των σημείων μπορεί να προσεγγισθεί από κάποια ευθεία. Για τον ακριβή προσδιορισμό της ευθείας μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης ή μια απλοποιημένη παραλλαγή της που παρουσιάζεται στην παράγραφο 7.5.6 του προτύπου ISO 5725-2 [8].

Κεφάλαιο 3

ΧΑΜΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ

3.1 ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Με τον όρο χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία εννοούμε τα πεδία που δημιουργούνται από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όπως οι γραμμές και οι υποσταθμοί υψηλής τάσης και το δίκτυο μέσης και χαμηλής τάσης που χρησιμοποιείται για τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, από τις καλωδιώσεις των κτηρίων, τις οικιακές συσκευές και γενικά οποιοσδήποτε διατάξεις ή εγκαταστάσεις των 50 ή 60 Hz.

Τα ηλεκτρικά πεδία που παράγονται από τις διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας οφείλονται στην τάση των ρευματοφόρων αγωγών και εξαρτώνται από το μέγεθος της τάσης, τη γεωμετρία της διάταξης και την απόσταση. Βασικό γνώρισμα του ηλεκτρικού πεδίου είναι το γεγονός ότι παραμορφώνεται από την παρουσία αγωγίμων διατάξεων όπως και το ανθρώπινο σώμα, ενώ παράλληλα θωρακίζεται από οικοδομικά υλικά, δέντρα, φράχτες κλπ. Για το λόγο αυτό τα ηλεκτρικά πεδία που δημιουργούνται από γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολύ μικρότερα στο εσωτερικό των κτιρίων από ότι στο εσωτερικό.

Η δημιουργία του μαγνητικού πεδίου οφείλεται στις εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν ρευματοφόρους αγωγούς και εξαρτάται από το μέγεθος της έντασης του ρεύματος, τη γεωμετρία της διάταξης και την απόσταση. Σε αντίθεση με το ηλεκτρικό πεδίο, το μαγνητικό πεδίο επηρεάζεται ελάχιστα από την παρουσία δέντρων, φραχτών και οικοδομικών υλικών. Ως αποτέλεσμα, τα μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας στο εξωτερικό των κτηρίων μπορεί να διαπερνά τους τοίχους και τις οροφές.

Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από μεταβαλλόμενες πηγές ενέργειας, όπως οι διατάξεις μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες, στην πλειονότητά τους, χρησιμοποιούν εναλλασσόμενες τάσεις και ρεύματα, είναι

ως εκ τούτου, επίσης, μεταβαλλόμενα με αντίστοιχη συχνότητα. Σε αντίθεση, τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από στατικές πηγές ενέργειας, όπως τα πεδία που αναπτύσσονται στη φύση και οι ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με συνεχές ρεύμα, είναι στατικά.

Τα μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία με συχνότητες από 3Hz έως 3kHz όπως εκείνα που δημιουργούνται από τις διατάξεις ηλεκτρικής ενέργειας, ονομάζονται πεδία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας (ELF-Extremely Low Frequency) και συνθέτουν μαζί με τα ραδιοκύματα, την υπέρυθη, την ορατή και την υπεριώδη ακτινοβολία τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες. Σε αντίθεση με τις ιοντίζουσες ακτινοβολίες (ακτίνες X, γ κλπ.), οι ακτινοβολίες αυτές δεν μπορούν να διασπάσουν χημικούς δεσμούς, να αποσπάσουν ηλεκτρόνια από άτομα ή μόρια προκαλώντας έτσι ιοντισμό της ύλης.

Λόγω της αγωγιμότητας του ανθρώπινου σώματος, ακόμα και υπό την παρουσία ELF πεδίων επάγονται ρεύματα στο εσωτερικό του σώματος. Αν τα ρεύματα που επάγονται στο εσωτερικό του σώματος από τα πεδία είναι πολύ ισχυρά, επιφέρουν τα ίδια αποτελέσματα στον άνθρωπο με αυτά που δημιουργούνται όταν τα ρεύματα εισέρχονται στο σώμα από την επαφή αγωγών υπό τάση (ηλεκτροπληξία). Ιδιαίτερα σημαντική μπορεί να είναι η αλληλεπίδραση των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων με τη λειτουργία εμφυτευμένων καρδιακών βηματοδοτών ή με άλλα εμφυτεύματα στο ανθρώπινο σώμα.

Το 2002, η Διεθνής Επιτροπή Έρευνας για τον καρκίνο (IARC), εξέδωσε μονογραφίες πάνω στην εκτίμηση της καρκινογεννητικότητας των στατικών και εξαιρετικά χαμηλών συχνοτήτων (ELF) ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στους ανθρώπους (IARC, 2002) [10]. Τα ELF μαγνητικά πεδία κατατάχθηκαν στην κατηγορία "2B" ("ενδεχομένως καρκινογενή στους ανθρώπους"). Αυτό το συμπέρασμα στηρίχθηκε κυρίως σε επιδημιολογικές μελέτες που υποδεικνύουν ότι έκθεση σε ELF πεδία μπορεί να αποτελεί αιτία παιδικής λευχαιμίας. Σύμφωνα με επιδημιολογικές μελέτες που αφορούν τους υπόλοιπους καρκίνους δεν εμφανίζεται στατιστικά σημαντική αύξηση κινδύνου.

3.2 ΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Λόγω των παραπάνω επιδράσεων στον άνθρωπο έχει προκύψει η ανάγκη για την επιβολή ορίων για την ασφαλή έκθεση σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP) εξέδωσε το 2010 κατευθυντήριες γραμμές για την έκθεση των ανθρώπων σε χαμηλόσυχνα πεδία από 1Hz έως 100kHz [11], αντικαθιστώντας τις κατευθυντήριες οδηγίες του 1998 (ICNIRP 1998), οι οποίες βασίστηκαν κυρίως σε εξακριβωμένες ενδείξεις σχετικά με οξείες/ έντονες επιπτώσεις και όχι επιδημιολογικά και βιολογικά δεδομένα σχετικά με μακροχρόνιες επιπτώσεις. Τις κατευθυντήριες, αυτές,

γραμμές υιοθέτησε και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τη Σύσταση «Σχετικά με τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία 0 Hz - 300 GHz» [12].

Οι βασικοί περιορισμοί σχετίζονται με το επαγόμενο ρεύμα στο εσωτερικό του ανθρώπου και προκύπτουν από τις τιμές κατωφλίου που προκαλούν δυσμενείς βιολογικές επιδράσεις όπως διαταραχές στις λειτουργίες του νευρικού συστήματος. Τα επίπεδα αναφοράς είναι ουσιαστικά τα επιτρεπόμενα όρια για τις μετρούμενες τιμές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου και έχουν υπολογιστεί εφαρμόζοντας τους βασικούς περιορισμούς υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες σύζευξης με το ανθρώπινο σώμα. Επομένως, τόσο οι βασικοί περιορισμοί όσο και τα επίπεδα αναφοράς εμπεριέχουν μεγάλο συντελεστή ασφαλείας ώστε να λαμβάνονται υπόψιν οι αβεβαιότητες που υπάρχουν όσον αφορά την ατομική ευαισθησία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και τις διαφορές όσον αφορά την ηλικία και την κατάσταση υγείας του κοινού.

Η εναρμόνιση της Ελληνικής Νομοθεσίας με τα προτεινόμενα από την ICNIRP και την Ευρωπαϊκή Ένωση όρια έγινε με την Κοινή Υπουργική Απόφαση με αριθμό 3060 (ΦΟΡ) 238 [13] των Υπουργείων Ανάπτυξης, Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και Υγείας και Πρόνοιας με θέμα: «τα μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων». Στην προαναφερθείσα Κ.Υ.Α τίθενται τα επίπεδα αναφοράς και οι βασικοί περιορισμοί για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο για συχνότητες έως 150kHz. Μία επισκόπηση των διεθνών πολιτικών πάνω στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία δίνεται στο Comparison of international policies on electromagnetic fields [14].

Ζώνη Συχνότητας	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (V/m)	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (A/m)	Μαγνητική Επαγωγή (μΤ)
0–1Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4
1–8Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
8–25Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$
0,025–0,8kHz	$250 / f^1$	$4 / f$	$5 / f$
0.8–3kHz	$250 / f$	5	6,25
3–150kHz	87	5	6,25

Πίνακας 3.1: Επίπεδα αναφοράς της Ελληνικής Νομοθεσίας για ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων [13]

Με την Οδηγία 2013/35/ΕΕ [15] της Ευρωπαϊκής Ένωσης ορίζονται και οι

¹f είναι η συχνότητα σε Hz

Ζώνη συχνοτήτων	Μαγνητική επαγωγή (mT)	Πυκνότητα ρεύματος(mA/m ²)(rms)
0 Hz	40	-
>0-1 Hz	-	8
1-4 Hz	-	8/f
4-1000 Hz	-	2
1000 Hz	-	-
100 kHz	-	f/500

Πίνακας 3.2: Βασικοί περιορισμοί της Ελληνικής Νομοθεσίας για ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων [13]

ελάχιστες απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία.

Από τον Πίνακα 3.1 προκύπτει ότι, για τη συχνότητα των 50 Hz, τα όρια για το γενικό πληθυσμό είναι 5 kV/m για το ηλεκτρικό πεδίο και 100 μ T για το μαγνητικό. Όσον αφορά στο ελληνικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με το τμήμα του δικτύου αλλάζει και η «επιβάρυνση» του περιβάλλοντος χώρου από τα παραγόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία:

- Στο δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης είναι πολύ μικρά τα ηλεκτρικά πεδία λόγω του χαμηλού επιπέδου της τάσης, ενώ και τα μαγνητικά πεδία εξασθενούν σε πολύ μικρή απόσταση από τη γραμμή. Η πιθανή ασυμμετρία όμως στα ρεύματα των αγωγών μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη ρευμάτων επιστροφής δημιουργώντας μαγνητικά πεδία που εξασθενούν σχετικά αργά με την απόσταση από τη γραμμή.
- Στο δίκτυο διανομής μέσης τάσης τα πεδία οφείλονται στις γραμμές μέσης τάσης (20kV), οι οποίες μπορεί να είναι εναέριες ή υπόγεια καλώδια. Οι εναέριες γραμμές δημιουργούν τόσο ηλεκτρικά όσο και μαγνητικά πεδία, ενώ τα υπόγεια καλώδια δημιουργούν μόνο μαγνητικό πεδίο. Λόγω της ηλεκτρικής συνδεσμολογίας τους, οι γραμμές αυτές δεν εμφανίζουν τις ασυμμετρίες στα ρεύματα που αναφέρθηκαν παραπάνω.
- Στους υποσταθμούς διανομής τα πεδία οφείλονται στις γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης που συνδέονται σε αυτούς.
- Στις εναέριες γραμμές μεταφοράς υψηλής/υπερυψηλής τάσης οι μέγιστες τιμές των πεδίων εμφανίζονται ακριβώς κάτω από τους αγωγούς. Τα ιδιαίτερα τεχνικά χαρακτηριστικά της κατασκευής της γραμμής, όπως η

απόσταση των αγωγών από τη γη, η απόσταση μεταξύ των ρευματοφόρων αγωγών της γραμμής και η διάταξη των φάσεων σε γραμμές διπλού κυκλώματος όπως και η μεταφερόμενη ενέργεια ανάλογα των απαιτήσεων του δικτύου είναι παράγοντες που επηρεάζουν τα μεγέθη των παραγόμενων πεδίων.

- Τα υπόγεια καλώδια υψηλής τάσης δεν παράγουν ηλεκτρικά πεδία στις θέσεις που βρίσκονται άνθρωποι, αλλά παράγουν ισχυρά μαγνητικά πεδία στα σημεία που βρίσκονται ακριβώς πάνω τους.
- Στο εξωτερικό των υποσταθμών υψηλής τάσης και των κέντρων υπερυψηλής τάσης (ΚΥΤ) τα πεδία δημιουργούνται μόνο από τις γραμμές που συνδέονται σε αυτούς και όχι από τον εξοπλισμό τους.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, πρέπει να πληρούνται οι απαιτήσεις για την ασφαλή έκθεση σε χαμηλόσυχνα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, ειδικά σε κρίσιμες περιοχές ή εγκαταστάσεις (κατοικημένες περιοχές, σχολεία, δημόσιες υπηρεσίες, αθλητικούς χώρους), δεδομένου ότι στην ακτινοβολία εκτίθεται κατά κύριο λόγο ο γενικός πληθυσμός, στον οποίο ανήκουν και ευαίσθητες ομάδες, όπως ηλικιωμένοι, μικρά παιδιά, πάσχοντες από ασθένειες κλπ.

Είναι συνεπώς επιτακτική η ανάγκη να πραγματοποιούνται αξιόπιστες μετρήσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, προκειμένου να διαπιστωθεί η συμμόρφωση με τα επίπεδα αναφοράς αλλά και η πιο έγκυρη εξαγωγή αποτελεσμάτων για μελέτες πάνω στις επιπτώσεις έκθεσης ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Ένας από τους πλέον ενδεδειγμένους και αποτελεσματικούς τρόπους για την αξιολόγηση των πολυάριθμων φορέων που δραστηριοποιούνται στις συγκεκριμένες μετρήσεις είναι η συμμετοχή σε σχήματα συγκριτικών δοκιμών.

Κεφάλαιο 4

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται όλα τα στάδια της μαθηματικής επεξεργασίας που εφαρμόστηκε στα αποτελέσματα των διεργαστηριακών πειραμάτων που θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια. Οι μέθοδοι υπολογισμού που προτείνονται στα διεθνή πρότυπα έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα στις δοκιμές ικανότητας που πραγματοποιήθηκαν, καθώς τα βήματα της ανάλυσης έχουν επιλεγεί με βάση τη μορφή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

4.1 ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

- Οι εκτιμήτριες τιμές $\hat{\mu}$ και $\hat{\sigma}$ θα προσδιοριστούν βάσει των μετρήσεων. Στην περίπτωση της μέτρησης της συχνότητας στο κέντρο του πηνίου, η συχνότητα της γεννήτριας χρησιμοποιήθηκε ως τιμή αναφοράς.
- Σε κάθε επίπεδο δοκιμής έγινε μόνο μία μέτρηση ($n_{ij} = 1$) από κάθε εργαστήριο. Εφόσον λοιπόν δεν έγιναν επαναληπτικές δοκιμές, δεν υφίστανται οι πίνακες με τις μέσες τιμές και τις διασπορές επαναληψιμότητας σε κάθε κελί. Τα δεδομένα που θα εισαχθούν στον αλγόριθμο για τον υπολογισμό των εκτιμητριών είναι απευθείας τα αποτελέσματα των μετρήσεων, χωρίς να υποβληθούν σε προκαταρκτική επεξεργασία.
- Ο δείκτης που έχει επιλεγεί για την αξιολόγηση της επίδοσης των εργαστηρίων είναι ο βαθμός z (z score). Οι δείκτες ζ , z' , E_n και E_z εμπεριέχουν τιμές αβεβαιότητων, ενώ παράλληλα (με εξαίρεση τους βαθμούς E_z) δεν είναι εφαρμόσιμοι, όταν οι εκτιμήτριες υπολογίζονται βάσει των μετρήσεων. Στη μέτρηση στο κέντρο του πηνίου, χρησιμοποιήθηκε, εκτός του βαθμού z ,

ο δείκτης E_n ως συμπληρωματική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έναντι της ισχυριζόμενης αβεβαιότητας.

4.2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΤΙΜΗΤΡΙΩΝ

Τα πρότυπα προσφέρουν για τον υπολογισμό των εκτιμητριών τιμών διάφορες εναλλακτικές διαδικασίες. Στο Παράρτημα Α' δίνεται κώδικας για τον υπολογισμό μερικών από αυτές τις διαδικασίες.

4.2.1 ISO 5725-2

- Η εκτιμήτρια τιμή X είναι η μέση τιμή:

$$\text{με } n_{ij} = 1 \Rightarrow \hat{m}_j = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p y_{ij} \quad (4.1)$$

- Η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης $\hat{\sigma}$ για την αξιολόγηση των εργαστηρίων είναι η διασπορά αναπαραγωγιμότητας, η οποία στο συγκεκριμένο σχήμα δοκιμών ταυτίζεται με τη διεργαστηριακή διασπορά:

$$s_{ij} = 0 \Rightarrow s_{Rj}^2 = s_{Lj}^2 \quad (4.2)$$

όπου

$$s_{Lj}^2 = \frac{s_{dj}^2}{\bar{n}_j} = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (y_{ij} - \hat{m}_j)^2 \quad (4.3)$$

$$s_{dj}^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (y_{ij} - \hat{m}_j)^2 \quad (4.4)$$

$$\bar{n}_j = 1 \quad (4.5)$$

- Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση αποτελούν παραμετρικά στατιστικά, καθώς είναι ευαίσθητα σε αποκλίνοντα αποτελέσματα. Αυτό σημαίνει, ότι εάν επιλεγούν ως εκτιμήτριες τιμές, θα πρέπει οπωσδήποτε να έχουν προηγηθεί στατιστικά τεστ (Grubbs', Cochran's) για τον εντοπισμό των απόμακρων και των πλανώμενων τιμών.

Ιδιότητες- Προϋποθέσεις εφαρμογής

Η εφαρμογή αυτών των τεστ στηρίζεται στην παραδοχή ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων ακολουθούν την κανονική κατανομή. Εάν η παραδοχή αυτή δεν ισχύει, τα τεστ εντοπισμού απόμακρων τιμών (Grubbs' , Cochran's) χάνουν την ακρίβειά τους. Επομένως, πριν την εφαρμογή οποιουδήποτε τεστ, ειδικά σε μεγάλο αριθμό δεδομένων, απαιτείται έλεγχος για την ισχύ της κανονικής κατανομής.

Τα συγκεκριμένα τεστ διέπονται από ορισμένους θεωρητικούς περιορισμούς, της απαίτησης σε όλα τα επίπεδα δοκιμών να έχουν γίνει μετρήσεις από τον ίδιο αριθμό εργαστηρίων και η απαίτηση σε κάθε επιμέρους επίπεδο δοκιμής όλα τα εργαστήρια να έχουν πραγματοποιήσει μετρήσεις υπό απόλυτα ταυτόσημες συνθήκες. Στην πράξη οι απαιτήσεις αυτές συνήθως δεν ικανοποιούνται.

Ένα ακόμη σημείο στο οποίο πρέπει να δοθεί προσοχή είναι το πώς θα χειριστεί κανείς της πλανώμενες και της απόμακρες τιμές που έχουν εντοπισθεί. Μετά την εφαρμογή των τεστ θα πρέπει να διερευνηθεί αν υπάρχει κάποια πιθανή τεχνική εξήγηση για τις τιμές αυτές. Σε περίπτωση που επικυρωθεί μια τέτοια εξήγηση, τόσο οι πλανώμενες όσο και οι απόμακρες τιμές διορθώνονται ή απορρίπτονται ανάλογα με το αν είναι δυνατή ή όχι η διόρθωσή της (π.χ. με επανάληψη των μετρήσεων). Θα πρέπει της να ληφθεί υπόψη εάν υπάρχουν ισχυρές υπόνοιες για εργαστήρια με συνολική αποκλίνουσα συμπεριφορά, οπότε και θα πρέπει να απορριφθεί μέρος ή το σύνολο των μετρήσεών τους. Εάν απομένουν πλανώμενες ή/και απόμακρες τιμές που δεν έχουν εξηγηθεί ή αποδοθεί σε μη αποδεκτό εργαστήριο, τότε οι απόμακρες τιμές απορρίπτονται, όπως είναι αναμενόμενο, αλλά οι πλανώμενες τιμές διατηρούνται.

4.2.2 ISO 13528 (Annex C.2.3 nIQR)

Μία ανθεκτική εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης, με σχετικά απλό τρόπο υπολογισμού, είναι το Κανονικοποιημένο ενδοτεταρτημοριακό εύρος (Normalized interquartile range) nIQR. Προκύπτει από τη διαφορά του 75ου εκατοστημόριου (ή 3ου τεταρτημόριου) και του 25ου εκατοστημόριου(ή 1ου τεταρτημόριου) των αποτελεσμάτων των συμμετεχόντων, και δίνεται από την εξίσωση:

$$nIQR(x) = 0,7413(Q_3(x) - Q_1(x)) \quad (4.6)$$

όπου $Q_1(x)$ ορίζεται το 25^ο εκατοστημόριο του $x_i (i = 1, 2, \dots, p)$

$Q_3(x)$ ορίζεται το 75^ο εκατοστημόριο του $x_i (i = 1, 2, \dots, p)$

Στην περίπτωση που το 75ο και 25ο εκατοστημόριο είναι ισότιμα, τότε η nIQR (όπως και η MADe) θα ισούται με μηδέν. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να επιλεχθεί διαφορετική μέθοδος για τον υπολογισμό της εκτιμήτριας της τυπικής απόκλισης. Η nIQR έχει σημείο αποτυχίας 25%, και επομένως έχει

σχετικά χαμηλές ανοχές σε απόμακρες τιμές. Για $p < 30$, η nIQR (όπως και η MADe) δείχνει αισθητή αρνητική μεροληψία με αποτέλεσμα να επηρεάσει αρνητικά τα στατιστικά επίδοσης.

4.2.3 ISO 13528 (Annex C.3 Algorithm A)

Ο αλγόριθμος A είναι ένας από τους ανθεκτικούς αλγόριθμους (robust algorithm) που προτείνονται για την παραγωγή της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης των δεδομένων στα οποία εφαρμόζεται. Η πιο συνηθισμένη εκτίμηση της μέσης τιμής είναι η διάμεση τιμή, δηλαδή η μεσαία τιμή των διατεταγμένων σε σειρά αποτελεσμάτων. Για την εκτίμηση της τυπικής απόκλισης χρησιμοποιείται η διάμεση τιμή των απόλυτων αποκλίσεων όλων των μετρήσεων από τη διάμεσό της. Η τιμή αυτή είναι γνωστή ως διάμεση απόλυτη απόκλιση (MAD) και προκειμένου να καταστεί ισοδύναμη με την τυπική απόκλιση της κανονικής κατανομής πρέπει να πολλαπλασιαστεί με 1.483 (MADe). Βασικό στοιχείο της μεθόδου είναι ότι δεν προσδιορίζεται μία μόνο τιμή για της εκτιμήτριες, αλλά ένα σύνολο τιμών, καθώς ο αλγόριθμος εκτελείται επαναληπτικά. Για ένα σύνολο p μετρήσεων x_1, x_2, \dots, x_p (προαιρετικά τοποθετημένων σε αύξουσα σειρά) η διαδικασία έχει ως εξής:

- Βήμα 1: Υπολογίζονται οι αρχικές τιμές της ανθεκτικής μέσης τιμής (robust average) x^* και της ανθεκτικής τυπικής απόκλισης (robust standard deviation) s^*

$$\begin{aligned} x^* &= \text{διάμεσος των } x_i \ (i = 1, 2, \dots, p) \\ s^* &= 1,483 \text{ διάμεσος των } |x_i - x^*| \ (i = 1, 2, \dots, p) \end{aligned}$$

Σε μερικές περιπτώσεις περισσότερα από τα μισά αποτελέσματα θα είναι ίδια. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αρχική τιμή του s^ θα είναι μηδέν και η ανθεκτική διαδικασία δε θα μπορεί να λειτουργήσει σωστά. Όταν το αρχικό $s^* = 0$, είναι αποδεκτό να αντικαταστήσουμε την τυπική απόκλιση δείγματος, αφού γίνει έλεγχος για ακραία απόμακρα σημεία που μπορεί να καταστήσουν την τυπική απόκλιση παράλογα μεγάλη. Αυτή η αντικατάσταση γίνεται μόνο για το αρχικό s^* , και στη συνέχεια ο επαναληπτικός αλγόριθμος μπορεί να συνεχίσει όπως περιγράφεται.*

- Βήμα 2: Υπολογίζεται η τιμή $\delta = 1.5s^*$
- Βήμα 3: Για κάθε μέτρηση x_i υπολογίζεται η νέα τιμή x_i^*

$$x_i^* = \begin{cases} x^* - \delta & \text{όταν } x_i < x^* - \delta \\ x^* + \delta & \text{όταν } x_i > x^* + \delta \\ x_i & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad (4.7)$$

- Βήμα 4: Ενημερώνονται οι τιμές των x^* και s^* . Οι νέες τιμές προκύπτουν ως εξής

$$x^* = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_i^* \quad (4.8)$$

$$s^* = 1.134 \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (x_i^* - x^*)^2} \quad (4.9)$$

- Τα βήματα 2, 3 και 4 επαναλαμβάνονται μέχρι η διαδικασία να συγκλίνει. Στο συγκεκριμένο πρότυπο προτείνεται ως κριτήριο σύγκλισης όταν από τη μία επανάληψη στην άλλη δεν αλλάζει το τρίτο σημαντικό ψηφίο της ανθεκτικής μέσης τιμής και της ανθεκτικής τυπικής απόκλισης. Εναλλακτικά κριτήρια σύγκλισης μπορούν να οριστούν ανάλογα με το σχεδιασμό και τις απαιτήσεις του ΣΔΙ.

Υλοποίηση σε πρόγραμμα Η/Υ

Ο παραπάνω αλγόριθμος μπορεί να υλοποιηθεί πολύ εύκολα σε υπολογιστικό φύλλο, όπως περιγράφεται ακολούθως:

- i Τα δεδομένα εισάγονται σε μία στήλη (iteration 0). Υπολογίζεται η μέση τιμή (average) και η τυπική τους απόκλιση (SD). Υπολογίζεται η αρχική ανθεκτική μέση τιμή (new x^*).
- ii Στη διπλανή στήλη υπολογίζονται οι ποσότητες $|x_i - x^*|$, η τυπική τους απόκλιση και η διάμεση τιμή τους.
- iii Επιστρέφουμε στη στήλη (iteration 0), όπου υπολογίζεται η αρχική ανθεκτική τυπική απόκλιση (new s^*).
- iv Δημιουργούμε τη στήλη για την 1η επανάληψη του αλγορίθμου (iteration 1). Χρησιμοποιούνται οι αρχικές τιμές x^* και s^* (της στήλης iteration 0) για τον υπολογισμό του $\delta = 1.5s^*$ και των τιμών αποκοπής $x^* - \delta$ και $x^* + \delta$.
- v Τα αποτελέσματα των μετρήσεων (iteration 0) συγκρίνονται με τις τιμές αποκοπής για να προκύψουν οι νέες τιμές x_i^* . Τα δεδομένα εντός των τιμών αποκοπής παραμένουν ίδια, ενώ όσα βρίσκονται εκτός των τιμών αποκοπής αντικαθίστανται από αυτές.
- vi Υπολογίζεται η μέση τιμή (average) και η τυπική απόκλιση (SD) των στοιχείων της στήλης iteration 1. Η ανθεκτική μέση τιμή (new x^*) ταυτίζεται με τη μέση τιμή, ενώ για την ανθεκτική τυπική απόκλιση (new s^*) πολλαπλασιάζουμε την τυπική απόκλιση επί 1.134 ($1.134 * SD$).

- vii Δημιουργούμε τη στήλη για τη 2η επανάληψη του αλγορίθμου (iteration 2). Χρησιμοποιούνται οι τιμές new x^* και new s^* της στήλης iteration 1 για τον υπολογισμό του $\delta = 1.5s^*$ και των τιμών αποκοπής $x^* - \delta$ και $x^* + \delta$.
- viii Τα αποτελέσματα των μετρήσεων (iteration 0) συγκρίνονται με τις νέες τιμές αποκοπής για να προκύψουν οι νέες τιμές x_i^* . Τα δεδομένα εντός των τιμών αποκοπής παραμένουν ίδια, ενώ όσα βρίσκονται εκτός των τιμών αποκοπής αντικαθίστανται από αυτές.
- ix Υπολογίζεται η μέση τιμή (average) και η τυπική απόκλιση (SD) των στοιχείων της στήλης iteration 2. Η ανθεκτική μέση τιμή (new x^*) ταυτίζεται με τη μέση τιμή, ενώ για την ανθεκτική τυπική απόκλιση (new s^*) πολλαπλασιάζουμε την τυπική απόκλιση επί 1.134 ($1.134 * SD$).
- x Με τον ίδιο τρόπο δημιουργούνται στήλες για περαιτέρω επαναλήψεις του αλγορίθμου συγκρίνοντας κάθε φορά τα τρία πρώτα σημαντικά ψηφία των τιμών new x^* και new s^* κάθε στήλης με τα αντίστοιχα των τιμών της προηγούμενης στήλης.
- xi Οι επαναλήψεις σταματούν την πρώτη φορά που δε θα υπάρξει αλλαγή στα τρία πρώτα σημαντικά ψηφία. Οι τελικές εκτιμήσεις είναι οι τιμές new x^* και new s^* της τελευταίας επανάληψης. Σε όλους αυτούς τους υπολογισμούς κρατάμε τόσα δεκαδικά ψηφία ώστε το μέγεθος να έχει τον απαραίτητο για την επίτευξη σύγκλισης αριθμό σημαντικών ψηφίων.

Ιδιότητες- προϋποθέσεις εφαρμογής

Οι εκτιμήσεις x^* και s^* αποτελούν μη παραμετρικά στατιστικά. Αυτό σημαίνει ότι δεν επηρεάζονται αισθητά από την παρουσία πλανώμενων ή απόμακρων τιμών. Άλλωστε, η ίδια η έννοια της ανθεκτικότητας συνίσταται στην ομαλή συμπεριφορά μιας μεθόδου υπό την παρουσία ακραίων αποτελεσμάτων που οφείλονται σε αποκλίσεις από τις παραδοχές. Εάν οι θεωρητικές προϋποθέσεις πληρούνται μόνο κατά προσέγγιση, οι ανθεκτικές εκτιμήτριες παραμένουν αποτελεσματικές και με μικρό συστηματικό σφάλμα. Παραλλαγές του παραπάνω αλγορίθμου προτείνονται στις περιπτώσεις που ο αριθμός των απόμακρων τιμών ξεπερνούν το 20% ή όταν η αρχική τιμή s^* επηρεάζεται υπερβολικά από ακραίες απόμακρες τιμές.

Επομένως, για την εφαρμογή του παραπάνω αλγορίθμου δεν απαιτούνται τεχνικές εντοπισμού των πλανώμενων και των απόμακρων τιμών, οι οποίες μάλιστα μπορούν να οδηγήσουν μερικές φορές σε παραπλανητικά συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, οι απόμακρες τιμές συχνά αλληλεπιδρούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτουν η μία την άλλη. Για παράδειγμα, εάν συνυπάρχει μία πολύ ισχυρή

απόμακρη τιμή με μία λιγότερο αποκλίνουσα τιμή, η αυξημένη τυπική απόκλιση θα οφείλεται κυρίως στο μεγάλο απόμακρο με αποτέλεσμα η άλλη τιμή να εμφανίζεται σχετικά φυσιολογική. Μόλις απορριφθεί η μεγάλη απόμακρη τιμή, η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης αυτομάτως μειώνεται και το μέτριο απόμακρο αξιολογείται ως ακραίο αποτέλεσμα.

Εκτιμήτριες τιμές που προκύπτουν από μικρό αριθμό συμμετεχόντων πρέπει, όταν είναι εφικτό, να πληρούν το κριτήριο

4.2.4 ISO 13528 (Annex C.5 Q/Hampel method)

4.2.4.1 Μέθοδος Q_n

Η μέθοδος Q_n παράγει μία έντονα υπολογιστικά ανθεκτική εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης, με υψηλό σημείο αποτυχίας και υψηλή απόδοση, η οποία είναι αμερόληπτη για δεδομένα που ακολουθούν κανονική κατανομή (υπό την παραδοχή ότι δεν υπάρχουν απόμακρες τιμές). Ο υπολογισμός της βασίζεται στη χρήση διαφοράς ζευγαριών των δεδομένων και επομένως δε βασίζεται σε εκτιμήτριες μέσης τιμής ή διαμέσου. Στην παρακάτω υλοποίηση της μεθόδου περιέχει διορθώσεις ώστε η εκτιμήτρια να είναι αμερόληπτη για όλα τα πρακτικά μεγέθη δεδομένων. Για ένα σύνολο (x_1, x_2, \dots, x_p) μετρήσεων από p διαφορετικά εργαστήρια η διαδικασία υπολογισμού έχει ως εξής:

i Υπολογίζουμε τις $p(p-1)/2$ απόλυτες διαφορές

$$d_{ij} = |x_i - x_j| \text{ για } i = 1, 2, \dots, p-1 \text{ και } j = i+1, i+2, \dots, p \quad (4.10)$$

ii Ορίζουμε τις ταξινομημένες διαφορές d_{ij} ως

$$d_{\{1\}}, d_{\{2\}}, \dots, d_{\{p(p-1)/2\}} \quad (4.11)$$

iii Υπολογίζουμε τον αριθμό k των μοναδικών ζευγαριών από h αντικείμενα:

$$k = \frac{h(h-1)}{2} \quad (4.12)$$

όπου

$$h = \begin{cases} p/2 & p \text{ ζυγός} \\ (p-1)/2 & p \text{ μονός} \end{cases} \quad (4.13)$$

iv Υπολογίζουμε τη Q_n ως:

$$Q_n = 2,2219d_{\{k\}}b_p \quad (4.14)$$

όπου το b_p δίνεται από τον πίνακα C.2 του ISO 13528 [7] για ένα συγκεκριμένο αριθμό p από σημεία δεδομένων ή, για $p > 12$, υπολογίζεται από:

$$b_p = \frac{1}{r_p + 1} \quad (4.15)$$

όπου

$$r_p = \begin{cases} \frac{1}{p} \left[1,6019 + \frac{1}{p} \left(-2,128 - \frac{5,172}{p} \right) \right] & p \text{ μονός} \\ \frac{1}{p} \left[3,6756 + \frac{1}{p} \left(1,965 + \frac{1}{p} \left(6,987 - \frac{77}{p} \right) \right) \right] & p \text{ ζυγός} \end{cases} \quad (4.16)$$

Ο απλός αλγόριθμος που παρουσιάστηκε παραπάνω μπορεί εύκολα να υλοποιηθεί σε πρόγραμμα υπολογιστή, ένα παράδειγμα του οποίου μπορεί να βρεθεί και στο παράρτημα Α'. Ο συγκεκριμένος αυτός αλγόριθμος όμως, έχει το μειονέκτημα ότι απαιτεί πολλούς υπολογιστικούς πόρους, καθιστώντας τον ακατάλληλο για πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων.

4.2.4.2 Μέθοδος Q

Η μέθοδος Q παράγει μία έντονα υπολογιστικά ανθεκτική εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης των αποτελεσμάτων του ΣΔΙ που προέρχονται από διαφορετικά εργαστήρια. Για ένα σύνολο n μετρήσεων από p διαφορετικά εργαστήρια η διαδικασία υπολογισμού έχει ως εξής:

για:

$$\underbrace{y_{11}, \dots, y_{1n_1}}_{\text{Lab1}}, \underbrace{y_{21}, \dots, y_{2n_2}}_{\text{Lab2}}, \dots, \underbrace{y_{p1}, \dots, y_{pn_p}}_{\text{Lab p}}$$

- Υπολογίζουμε την αθροιστική συνάρτηση κατανομής όλων των απόλυτων διεργαστηριακών διαφορών:

$$H_1(x) = \frac{2}{p(p-1)} \sum_{1 \leq i \leq j \leq p} \frac{1}{n_i n_j} \sum_{k=1}^{n_i} \sum_{m=1}^{n_j} \mathbf{I}\{|y_{ik} - y_{mj}| \leq x\} \quad (4.17)$$

όπου

$$\mathbf{I}\{|y_{ik} - y_m| \leq x\} = \begin{cases} 1 & \text{εάν } |y_{ik} - y_m| \leq x \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

δηλώνουμε τη λειτουργία δείκτη.

- Δηλώνουμε τα σημεία ασυνέχειας της $H_1(x)$ ως:

$$x_1, \dots, x_n \text{ όπου } x_1 < x_2 < \dots < x_r$$

- Υπολογίζουμε για όλα τα θετικά σημεία ασυνέχειας x_1, \dots, x_r :

$$G_1(x) = \begin{cases} 0,5(H_1(x_i) + H_1(x_i - 1)) & \text{εάν } i \geq 2 \\ 0,5H_1(x_1) & \text{εάν } i = 1; x_1 > 0 \end{cases} \quad (4.18)$$

με $G_1(0) = 0$.

- Υπολογίζουμε τη συνάρτηση $G_1(x)$ για όλα τα x στο διάστημα $[0, x_r]$ με γραμμική παρεμβολή μεταξύ των σημείων ασυνέχειας $0 \leq x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_r$
- Υπολογίζουμε την ανθεκτική τυπική απόκλιση s^* των αποτελεσμάτων δοκιμών των διαφορετικών εργαστηρίων ως εξής:

$$s^* = \frac{G_1^{-1}((0, 25) + 0, 75H_1(0))}{\sqrt{2}\Phi^{-1}(0, 625 + 0, 375H_1(0))} \quad (4.19)$$

όπου $H_1(0)$ υπολογίζεται από την (4.17) και είναι ίσο με μηδέν εκτός εάν υπάρχουν ακριβώς ίδιες τιμές στο σύνολο των δεδομένων, και $\Phi^{-1}(q)$ είναι το q ποσοστημόριο της τυπικής κανονικής κατανομής.

Στη δική μας περίπτωση όπου κάθε εργαστήριο κάνει μόνο μία μέτρηση δηλαδή $n_i = 1$ και $n_j = 1$ η εξίσωση (4.17) απλοποιείται στην παρακάτω:

$$H_1(x) = \frac{2}{p(p-1)} \sum_{1 \leq i < j \leq p} \mathbf{I}\{|y_i - y_j| \leq x\} \quad (4.20)$$

Μπορούμε επίσης, λόγω του είδους της μέτρησης να υποθέσουμε ή ελέγχοντας εκ των προτέρων τις μετρήσεις να είμαστε σίγουροι ότι καμία μέτρηση δε είναι ακριβώς ίδια με μία άλλη επομένως μπορούμε να απλοποιήσουμε την (4.19) ως εξής:

$$s^* = \frac{G_1^{-1}(0, 25)}{\sqrt{2}\Phi^{-1}(0, 625)} \quad (4.21)$$

Υλοποίηση σε πρόγραμμα Η/Υ

Ο παραπάνω αλγόριθμος μπορεί να υλοποιηθεί σε υπολογιστικό φύλλο όπως περιγράφεται ακολούθως:

- i Υπολογίζουμε όλα τα $|y_i - y_j|$ με $j > i > 0$ και τα τοποθετούμε σε μία στήλη
- ii Ταξινομούμε τις παραπάνω τιμές ως x_1, \dots, x_n όπου $x_1 < x_2 < \dots < x_r$

- iii Σε μία νέα στήλη υπολογίζουμε το $G_1(x)$ των τιμών της προηγούμενης στήλης βάσει της εξίσωσης (4.18) και $G_1(0) = 0$.
- iv Υπολογίζουμε την τιμή $0,25 + 0,75H_1(0)$.
- v Εάν δεν υπάρχει αυτή η τιμή στη στήλη των G_1 βρίσκουμε τις δύο τιμές ανάμεσα στις οποίες βρίσκεται και με γραμμική παρεμβολή

$$\left(\frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \right)$$

στη στήλη των x υπολογίζουμε το $G_1^{-1}((0,25) + 0,75H_1(0))$

- vi Υπολογίζουμε την τιμή $0,625 + 0,375H_1(0)$.
- vii Χρησιμοποιώντας την αντίστροφο της τυπικής κανονικής κατανομής υπολογίζουμε

$$\Phi^{-1}(0,625 + 0,375H_1(0)) = NORMSINV(((0,625 + 0,375H_1(0)) + 1)/2)$$
- viii Με το διαρέτη και διαιρετέο της εξίσωσης (4.19) υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση s^*

Ιδιότητες - προϋποθέσεις εφαρμογής

Η μέθοδος Q είναι ανθεκτική όχι μόνο απέναντι σε απόμακρες τιμές αλλά και σε περιπτώσεις όπου πολλά από τα αποτελέσματα δοκιμών είναι ίσα. Η μέθοδος Q έχει το επιπλέον πλεονέκτημα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις όπου έχουμε παραπάνω αποτελέσματα ή επαναληπτικές μετρήσεις ανά συμμετέχοντα.

Ο υπολογισμός βασίζεται σε διαφορές ζεύγους τιμών και επομένως δεν εξαρτιέται από εκτιμήσεις της μέσης ή διάμεσης τιμής.

4.2.4.3 Εκτιμήτρια Hampel

Η εκτιμήτρια Hampel είναι υψηλής ανθεκτικότητας και απόδοσης εκτίμηση της μέσης τιμής όλων των αποτελεσμάτων όλων των εργαστηρίων. Στο ISO 13528 [7] παρουσιάζονται δύο τρόποι για τον υπολογισμό της εκτιμήτριας Hampel. Παρακάτω παρουσιάζεται ο επαναληπτικός αλγόριθμος, ενώ ο υπολογιστικός αλγόριθμος παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α. Η συνδυαστική εφαρμογή της μεθόδου Q για τον υπολογισμό της τυπικής σπόκλισης και της εκτιμήτριας Hampel για τη μέση τιμή ονομάζεται μέθοδος Q/Hampel. Τα βήματα του επαναληπτικού αλγόριθμου για την εκτιμήτρια Hampel είναι τα εξής:

1. Δηλώνουμε τα δεδομένα ως x_1, x_2, \dots, x_p
2. Θέτουμε x^* ίσο με τη διάμεσο των x
3. Θέτουμε s^* ίσο με μία κατάλληλη αναθεκτική εκτίμηση της τυπικής απόκλισης, για παράδειγμα MADe ή από τη μέθοδο Q (αν πρόκειται για εφαρμογή της Q/Hampel μεθόδου).
4. Για κάθε x_i υπολογίζουμε τα q_i από

$$q_i = \left| \left(\frac{x_i - x^*}{s^*} \right) \right| \quad (4.22)$$

5. Υπολογίζουμε τα βάρη w_i ως εξής:

$$w_i = \begin{cases} 0 & \text{εάν } |q| > 4,5 \\ (4,5 - q)/q & \text{εάν } 3 < |q| \leq 4,5 \\ 1,5/q & \text{εάν } 1,5 < |q| \leq 3 \\ 1 & \text{εάν } |q| \leq 1,5 \end{cases} \quad (4.23)$$

6. Επανυπολογίζουμε το x^* ως

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^p w_i x_i}{\sum_{i=1}^p w_i} \quad (4.24)$$

7. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 4 με 6 μέχρι το x^* να συγκλίνει. Σύγκλιση μπορούμε να υποθέσουμε ότι έχει επιτευχθεί όταν η διαφορά του x^* από τη μία επανάληψη στην άλλη είναι μικρότερη από $0,01s^*/\sqrt{p}$ που αντιπροσωπεύει το 1% του τυπικού σφάλματος του x^* .

Ιδιότητες - προϋποθέσεις εφαρμογής

Αυτή η υλοποίηση της εκτιμήτριας Hampel δεν είναι εγγυημένο ότι θα έχει μοναδική λύση ή ότι θα καταλήξει στη βέλτιστη λύση γιατί μία κακή επιλογή της αρχικής θέσης x^* και/ή s^* μπορεί να αποκλείσει σημαντικά κομμάτια του συνόλου δεδομένων. Για αυτό το λόγο, ο υπεύθυνος της Δοκιμής Ικανότητας θα πρέπει να λάβει μέτρα ώστε να ελέγξει την πιθανότητα κακής λύσης. Ο πιο συνηθισμένος κανόνας για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο, είναι η επιλογή της λύσης που βρίσκεται πιο κοντά στη διάμεσο. Έλεγχος ώστε να μην υπάρχει μεγάλο ποσοστό των δεδομένων έξω από το διάστημα $|q| > 4,5$, μπορεί να βοηθήσει στην επιβεβαίωση βιώσιμης λύσης.

4.2.5 M-estimators

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χρήση ανθεκτικών στατιστικών μεθόδων συνιστάται για πληθυσμούς με απόμακρες τιμές, ενώ δε συνιστάται, συνήθως, για πολύ μικρό σύνολο δεδομένων. Ένα τυπικό κάτω όριο για πολλούς ανθεκτικούς αλγορίθμους είναι $p \geq 15$, ενώ για τη μέθοδο Grubbs $p \geq 10$. Μία από τις μεθόδους για πολύ μικρό σύνολο δεδομένων που προτείνεται στο ISO 13528 [7] είναι οι εκτιμήτριες M (M-estimators), τις οποίες μπορούμε να τις υπολογίσουμε σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο [17]. Η εκτιμήτρια M θέσης (location) παρέχει την εκτιμήτρια x^* και αντίστοιχα η εκτιμήτρια M κλίμακας (scale) παρέχει την εκτιμήτρια s^* .

4.2.5.1 Εκτιμήτρια M θέσης (location)

Για τον υπολογισμό της εκτιμήτριας αυτής θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε μία ανθεκτική εκτιμήτρια κλίμακας. Επειδή δεν μπορούμε να υπολογίσουμε με ανθεκτικές μεθόδους κλίμακα για $n \leq 3$, η μέθοδος αυτή θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για $n \geq 4$. Στην περίπτωση μας η εκτιμήτρια κλίμακας θα είναι η $S_n = MADe$:

$$MADe(x) = 1,483med(d) \quad (4.25)$$

όπου:

$$d_i = |x_i - med(x)| \quad \text{για } i = 1 \text{ έως } p \quad (4.26)$$

Η εκτιμήτρια θέσης T_n ορίζεται ως η λύση της εξίσωσης:

$$\text{ave}_{i=1}^n \psi \left(\frac{x_i - T_n}{S_n} \right) = 0 \quad (4.27)$$

Μπορούμε να υπολογίσουμε την T_n με τον αλγόριθμο Newton-Raphson, ξεκινώντας από την αρχική θέση $T_n^{(0)} = med_n(X)$. Από κάθε $T_n^{(k-1)}$ μπορούμε να υπολογίσουμε το επόμενο $T_n^{(k)}$ με:

$$T_n^{(k)} = T_n^{(k-1)} + S_n \frac{\text{ave}_{i=1}^n \psi((x_i - T_n^{(k-1)})/S_n)}{\text{ave}_{i=1}^n \psi'((x_i - T_n^{(k-1)})/S_n)} \quad (4.28)$$

όπου για ψ χρησιμοποιούμε την:

$$\psi_{log} = \frac{e^x - 1}{e^x + 1} \quad (4.29)$$

η οποία μας δίνει σημείο αποτυχίας 50% και μπορεί να γραφτεί: $\psi_{log} = 2F(x) - 1$ όπου $F(x) = \text{expit}(x) = 1/(1 + e^{-x})$ είναι η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της λογιστικής κατανομής (logistic distribution).

Επομένως μπορούμε να ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα για τον υπολογισμό της εκτιμήτριας θέσης T_n :

1. Υπολογίζουμε την τιμή της MADe από την εξίσωση (4.25)
2. Υπολογίζουμε τις τιμές $m_{temp} = (x_i - T_n^{(0)})/S_n$ για όλα τα x_i από $i=1$ έως n .
3. Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω τιμές υπολογίζουμε όλα τα $\psi_i(m_{temp}) = 2 \expit(m_{temp}) - 1$ και $\psi'_i = 2 e^{-m_{temp}} / ((1 + e^{-m_{temp}})^2)$.
4. Παίρνοντας τη μέση τιμή των τιμών που μόλις υπολογίσαμε έχουμε τον αριθμητή και παρονομαστή της (4.28). Μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε την νέα τιμή $T_n^{(k)}$.
5. Επαναλαμβάνουμε τα παραπάνω βήματα αντικαθιστώντας τη νέα τιμή $T_n^{(k)}$ που βρήκαμε μέχρι να έχουμε σύγκλιση.

4.2.5.2 Εκτιμήτρια M κλίμακας (scale)

Για τον υπολογισμό της εκτιμήτριας M κλίμακας θα χρειαστούμε πρώτα μία βοηθητική εκτιμήτρια θέσης $T_n(x_1, \dots, x_n)$. Στην περίπτωση μας θα χρησιμοποιήσουμε τη διάμεσο $T_n(X) = med_n(X)$ η οποία δίνεται από:

$$med_n(X) = med_{i=1}^n x_i = \begin{cases} x_{\frac{n+1}{2}:n} & \text{όταν } n \text{ είναι μονός,} \\ \frac{1}{2}(x_{\frac{n}{2}:n} + x_{\frac{n}{2}+1:n}) & \text{όταν } n \text{ είναι ζυγός,} \end{cases} \quad (4.30)$$

όπου $x_{1:n} \leq x_{2:n} \leq \dots \leq x_{n:n}$.

Η εκτιμήτρια M κλίμακας ορίζεται ως η λύση της:

$$\mathop{ave}_{i=1}^n \rho \left(\frac{x_i - T_n}{S_n} \right) = \beta \quad (4.31)$$

όπου $\rho(0) = 0$, $\rho(-x) = \rho(x)$, $\rho(x)$ είναι μονότονη για $x \geq 0$, είναι φραγμένη και η σταθερά β είναι ίση με $\int \rho(u) d\phi(u)$. Στην περίπτωση μας για $\rho(x)$ θα χρησιμοποιήσουμε την:

$$\rho_{log}(x) = \psi_{log}^2 \left(\frac{x}{0.379} \right) \quad (4.32)$$

όπου ψ_{log} όπως στην (4.29). Για να υπολογίσουμε την εκτιμήτρια S_n ξεκινούμε με μία αρχική εκτίμηση $S_n^{(0)} = MADe(X)$ και για κάθε $S_n^{(k-1)}$ μπορούμε να υπολογίσουμε το επόμενο $S_n^{(k)}$ με βάση την εξίσωση:

$$S_n^{(k)} = S_n^{(k-1)} \sqrt{2 \mathop{ave}_{i=1}^n \rho_{log} \left((x_i - T_n) / S_n^{(k-1)} \right)} \quad (4.33)$$

Επομένως μπορούμε να ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα για τον υπολογισμό της εκτιμήτριας κλίμακας S_n :

1. Υπολογίζουμε την τιμή της διαμέσου από την εξίσωση (4.30)
2. Υπολογίζουμε τις τιμές $s_{temp} = ((x_i - T_n^{(0)})/S_n)/0.3739$ για όλα τα x_i από $i=1$ έως n .
3. Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω τιμές υπολογίζουμε όλα τα $\rho_{log}(x_i) = (2 \expit(s_{temp}) - 1)^2$.
4. Παίρνοντας τη μέση τιμή των τιμών που μόλις υπολογίσαμε μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε την νέα τιμή $S_n^{(k)}$ από την εξίσωση (4.33).
5. Επαναλαμβάνουμε τα παραπάνω βήματα αντικαθιστώντας τη νέα τιμή $S_n^{(k)}$ που βρήκαμε μέχρι να έχουμε σύγκλιση.

4.3 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΑ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΚΤΙΜΗΤΡΙΩΝ

Οι διαφορετικές στατιστικές εκτιμήτριες (π.χ. ανθεκτικές μέθοδοι) μπορούν να συγκριθούν σε τρία διαφορετικά χαρακτηριστικά:

Σημείο αποτυχίας (breakdown point) – η αναλογία των τιμών στο σύνολο δεδομένων που μπορεί να αντικατασταθεί από αυθαίρετες μεγάλες τιμές χωρίς να γίνεται και η εκτίμηση αυθαίρετα μεγάλη.

Το σημείο αποτυχίας είναι ένα μέτρο ανθεκτικότητας σε απόμακρες τιμές. Υψηλό σημείο αποτυχίας συνιστά ανθεκτικότητα σε μεγάλο ποσοστό απόμακρων τιμών.

Βαθμός αποδοτικότητας (efficiency) – το ποσοστό διασποράς της εκτιμήτριας τιμής ως προς μια εκτιμήτρια ελάχιστης διασποράς για την εν λόγω κατανομή.

Η μέση τιμή και τυπική απόκλιση δείγματος αποτελούν τις εκτιμήτριες ελάχιστης διασποράς και επομένως έχουν 100% αποδοτικότητα. Οι ανθεκτικές εκτιμήτριες τροποποιούν τα αποτελέσματα που είναι πολύ μακριά από το μέσο της κατανομής, βασισμένες σε θεωρητικές υποθέσεις, και επομένως έχουν μεγαλύτερη διασπορά από τις εκτιμήτριες ελάχιστης διασποράς, στην περίπτωση που το σύνολο των δεδομένων ακολουθεί κανονική κατανομή.

Αντίσταση σε ελάσσωνες τρόπους (Resistance to minor modes) – η ικανότητα μιας εκτιμήτριας να αντιστέκεται στη μεροληψία μέτρησης (bias) που προκαλείται από μειονότητα ασύμφωνων αποτελεσμάτων (συνήθως μικρότερη από 20% του συνόλου δεδομένων).

Στατιστική εκτιμήτρια	Πληθυσμιακή παράμετρος που εκτιμήθηκε	Σημείο αποτυχίας	Αντίσταση σε ελάσσωνες τρόπους
Μέση τιμή δείγμ.	Μέση τιμή	0%	Χαμηλή
Τυπ. απόκλ. δείγ.	Τυπική απόκλ.	0%	Χαμηλή
Διάμεσος δείγ.	Μέση τιμή	50%	Καλή
nIQR	Τυπική απόκλ.	25%	Μέτρια
MADe	Τυπική απόκλ.	50%	Μέτρια-Καλή
Αλγόριθμος A	Μέση τιμή και τυπ. απόκλ.	25%	Μέτρια
Qn και Q/Hampel	Μέση τιμή και τυπ. απόκλ.	50%	Μέτρια (Πολύ Καλή για ελάσσωνες τρόπους πιο απόμακρους από $6s^*$)

Πίνακας 4.1: Σημεία αποτυχίας εκτιμητριών μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης (ποσοστό απόμακρων τιμών που μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία της εκτιμήτριας) [7]

Στους παρακάτω πίνακες 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά μερικών από τις διαφορετικές στατιστικές εκτιμήτριες.

Η μέση τιμή και τυπική απόκλιση δείγματος, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.1, μπορεί να αποτύχουν με μόνο μία απόμακρη τιμή, σε αντίθεση με τις ανθεκτικές μεθόδους που μπορούν να έχουν ανοχή σε μεγάλο αριθμό απόμακρων τιμών. Σε κάθε περίπτωση όταν το ποσοστό των απόμακρων τιμών ξεπερνά το 20% οποιαδήποτε συμβατική ή ανθεκτική μέθοδος μπορεί να παράγει παράλογες εκτιμήτριες θέσης και διασποράς, και προσοχή πρέπει να δοθεί στην ερμηνεία τέτοιων τιμών. Από τους παραπάνω πίνακες μπορούμε να συμπεράνουμε ότι δεν υπάρχει στατιστική μέθοδος που είναι τέλεια για όλες τις περιπτώσεις. Η μέση τιμή και τυπική απόκλιση δείγματος είναι ιδανικές στην περίπτωση κανονικής κατανομής αλλά αποτυγχάνουν σε περιπτώσεις απόμακρων τιμών. Απλές ανθεκτικές μέθοδοι όπως η διάμεσος, η MADe και η nIQR έχουν συγκριτικά χαμηλή επίδοση για δεδομένα που ακολουθούν κανονική κατανομή αλλά μπορεί να γίνουν αρκετά αποτελεσματικές στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν απόμακρες τιμές ή το σύνολο δεδομένων είναι μικρό.

Στατιστική εκτιμήτρια	Μέση τιμή, n=50	Μέση τιμή, n=500	SD (τυπ. απόκλ.), n=50	SD, n=500
Μέση τιμή και τυπ. απόκλ. δείγμ.	100%	100%	100%	100%
Διάμεσος και nIQR	66%	65%	38%	37%
Διάμεσος και MADe	66%	65%	37%	37%
Αλγόριθμος A	97%	97%	74%	73%
Qn και Q/Hampel	96%	96%	73%	81%

Πίνακας 4.2: Σχετική αποδοτικότητα ανθεκτικών εκτιμητριών για τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση του πληθυσμού, για κανονικά κατανομημένα σύνολα τιμών με $n=50$ ή $n=500$ συμμετέχοντες [7]

4.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Οι παρακάτω παράγοντες που σχετίζονται όχι μόνο με τις ιδιότητες των ίδιων των αλγορίθμων, αλλά και με τις συνθήκες εκτέλεσης των δοκιμών οδήγησαν στην επιλογή ανθεκτικού αλγορίθμου A του προτύπου ISO 13528 στα σχήματα που έχουν πραγματοποιηθεί:

- Η εκτέλεση του Grubbs τεστ που προϋποθέτει το πρότυπο ISO 5725-2 εισάγει -ειδικά όταν είναι μεγάλος ο όγκος των δεδομένων, όπως συμβαίνει στο δεύτερο πείραμα- μεγάλη πολυπλοκότητα στους υπολογισμούς, λόγω των αποφάσεων που θα πρέπει να λαμβάνονται κάθε φορά κατά περίπτωση για την ανάλυση των ακραίων τιμών. Αντιθέτως, ο ανθεκτικός αλγόριθμος, αν και παράγει μεγαλύτερο πλήθος τιμών, είναι μια απόλυτα αυτοματοποιημένη διαδικασία.
- Οι συνθήκες υπό τις οποίες διεξήχθησαν οι μετρήσεις δεν είναι πανομοιότυπες και άρα δε θα ήταν δυνατή παντού η εύρεση αμιγώς τεχνικών εξηγήσεων για τα ακραία αποτελέσματα. Επίσης, δε θα ήταν δυνατή η επανάληψη των μετρήσεων για τη διόρθωση ορισμένων τιμών, με αποτέλεσμα να πρέπει να απορριφθούν τιμές που θα μπορούσαν ενδεχομένως να αναθεωρηθούν.
- Ο αριθμός των εργαστηρίων που έδωσαν μετρήσεις διαφέρει αισθητά από το ένα επίπεδο δοκιμής στο άλλο (στο δεύτερο πείραμα), ενώ και η υπόθεση της ισχύος της κανονικής κατανομής θα ήταν αυθαίρετη.
- Τέλος, με εφαρμογή του πρώτου αλγορίθμου τα εργαστήρια που εμφανίζουν απορριπτές τιμές απλά ενημερώνονται για τον αποκλεισμό των

συγκεκριμένων δεδομένων τους από τη διαδικασία αξιολόγησης και οι τελικοί δείκτες της επίδοσής τους στο σύνολο των δοκιμών του κύκλου διαμορφώνονται μόνο από εκείνες τις μετρήσεις τους που έγιναν αποδεκτές. Ο ανθεκτικός αλγόριθμος πλεονεκτεί σ' αυτό το σημείο, διότι επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της απόκλισης που προκαλούν οι απόμακρες τιμές και τις εισάγει ως παράμετρο της συνολικής επίδοσης του εργαστηρίου χωρίς να αλλοιώνεται η αξιολόγηση των υπόλοιπων συμμετεχόντων.

4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ - ΕΡΜΗΝΕΙΑ Z SCORES

Σε κάθε επίπεδο δοκιμής υπολογίζεται το στατιστικό επίδοσης των εργαστηρίων:

- Από τις τελικές τιμές x^* και s^* που έχουν προκύψει με χρήση του επαναληπτικού robust αλγορίθμου υπολογίζεται για κάθε εργαστήριο βάσει της σχέσης (2.3) το z score:

$$z_i = \frac{x_i - X}{\hat{\sigma}} = \frac{x_i - x^*}{s^*} \quad (4.34)$$

- Οι τιμές των z scores σε συνδυασμό με τον κωδικό του αντίστοιχου εργαστηρίου διατάσσονται σε αύξουσα σειρά, ώστε να αναδεικνύονται άμεσα τα εργαστήρια που έχουν σημειώσει τις πιο ακραίες επιδόσεις.
- Τα παραπάνω ταξινομημένα αποτελέσματα απεικονίζονται σε ραβδόγραμμα.

Η ερμηνεία των z scores στηρίζεται στους εξής κανόνες:

- Όταν $|z| \leq 2$, η επίδοση του εργαστηρίου κρίνεται ικανοποιητική.
- Όταν $2 < |z| < 3$, η ορθότητα της μέτρησης κρίνεται αμφισβητήσιμη και ο δείκτης επίδοσης αποτελεί "προειδοποιητικό σήμα" (warning signal).
- Όταν $|z| \geq 3$, η επίδοση του εργαστηρίου κρίνεται μη ικανοποιητική και ο δείκτης επίδοσης αποτελεί "σήμα δράσης" (action signal).

Η σύγκριση των βαθμών z με τις τιμές 2 και 3 στηρίζεται και αυτή στην παραδοχή Gaussian κατανομής, καθώς αντιστοιχούν σε επίπεδα εμπιστοσύνης 95% και 99% αντίστοιχα (οι πραγματικές τιμές για Gaussian κατανομή είναι τότε 1,96 και 2,58), επομένως η επιλογή των αριθμών αυτών στην περίπτωση μη κανονικής κατανομής πρέπει να επανεξεταστεί.

Κάθε μεμονωμένο "σήμα δράσης" χρήζει έρευνας για την εύρεση των πηγών του σφάλματος που υπεισέρχονται στη μέτρηση, ενώ ένα "προειδοποιητικό σήμα"

θεωρείται ένδειξη προβληματικής συμπεριφοράς του εργαστηρίου, όταν εμφανίζεται σε διάφορα επίπεδα δοκιμών (ή και σε διαδοχικούς κύκλους εκτέλεσης). Επομένως, για την αξιολόγηση των επιμέρους αποτελεσμάτων είναι αναγκαία πολλές φορές η παρακολούθηση της συνολικής επίδοσης του εργαστηρίου. Γι' αυτόν ακριβώς το σκοπό, αλλά και προκειμένου οι συμμετέχοντες να έχουν μια απλή γενική εικόνα της επίδοσής τους, που να αποδίδει την εμφάνισή τους σε όλες τις δοκιμές, μπορεί να προχωρήσει κανείς στο συνδυασμό όλων των αποτελεσμάτων ενός εργαστηρίου εντός ενός κύκλου δοκιμών.

- Όταν είναι μικρός ο αριθμός των συμμετεχόντων εργαστηρίων (π.χ. λιγότερα από 10 εργαστήρια), είναι πιθανό να μην προκύψει κανένα action ή warning signal. Στην περίπτωση αυτή είναι προτιμότερη η από κοινού αναπαράσταση σε ένα ραβδόγραμμα όλων των επιμέρους z scores όλων των εργαστηρίων στον κύκλο δοκιμών. Έτσι είναι δυνατή για κάθε εργαστήριο η άμεση σύγκριση των z scores στα διάφορα επίπεδα δοκιμών και η ανίχνευση τάσεων, όπως για παράδειγμα εάν τα z scores ενός εργαστηρίου εμφανίζουν πάντα το ίδιο πρόσημο.
- Όταν είναι μεγάλος ο αριθμός των συμμετεχόντων εργαστηρίων ή των επιμέρους επιπέδων δοκιμής, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός συγκεντρωτικών τιμών για τα z scores. Εάν οι μετρήσεις x_i ακολουθούν την κανονική κατανομή και οι τιμές x^* και s^* είναι καλές εκτιμήσεις της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης, τότε το z score, όπως αυτό προκύπτει από τη σχέση (4.34) ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 1. Εφόσον ο βαθμός z είναι τυποποιημένος, δηλαδή ακολουθεί την ίδια κατανομή ανεξαρτήτως μετρούμενου μεγέθους, μεθόδου μέτρησης και επιπέδου δοκιμής, οι τιμές του στις διάφορες επιμέρους δοκιμές είναι συγκρίσιμες και μπορούν να συνδυασθούν σε ένα σύνθετο βαθμό για ολόκληρο τον κύκλο της δοκιμής ικανότητας. Τα παρακάτω μεγέθη ενδείκνυνται για το συνδυασμό των z:

– Άθροισμα των z : $Sz = \sum z$

– Άθροισμα των απόλυτων τιμών των z : $\sum AZ = \sum |z|$

– Άθροισμα των τετραγώνων των z : $SSZ = \sum z^2$

Οι μεταβλητές $\sum AZ$ και SSZ δεν παρουσιάζουν το μειονέκτημα της μεταβλητής Sz να ακυρώνει το πρόσημο αντίθετων τιμών του z, οι οποίες μπορεί κατ' απόλυτη τιμή να είναι μεγάλες. Η χρησιμότητά τους φαίνεται, όταν υπάρχουν ιδιαίτερα ακραία απόμακρα σημεία ή αρκετά εργαστήρια είναι απόμακρα, καθώς δίνουν πραγματικές πληροφορίες για το μέγεθος των z.

– Αριθμός επιμέρους δοκιμών, όπου το εργαστήριο έχει $|z| > 2$ Ένα μέγεθος που ακολουθεί την κανονική κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$ βρίσκεται με πιθανότητα 68% στο διάστημα $\mu \pm \sigma$, με πιθανότητα 95% στο διάστημα $\mu \pm 2\sigma$ και με πιθανότητα 99,7% στο διάστημα $\mu \pm 3\sigma$. Συνεπώς, για ένα "καλώς συμπεριφερόμενο" εργαστήριο οι δείκτες z -που ακολουθούν την κατανομή $(0, 1)$ - αναμένεται να βρίσκονται εκτός του διαστήματος ± 2 στο 5% των περιπτώσεων και εκτός του διαστήματος ± 3 μόνο για το 0,3% των περιπτώσεων. Υπολογίζοντας για κάθε εργαστήριο το πλήθος των επιπέδων δοκιμής, όπου έχει βαθμολογηθεί με $|z| > 2$, ως επί τοις εκατό ποσοστό του συνολικού αριθμού των δοκιμών, στις οποίες έχει δώσει αποτελέσματα είναι δυνατή η συνολική αξιολόγηση του εργαστηρίου:

- * εάν το ποσοστό αυτό υπερβαίνει το 5%, η συνολική επίδοση του εργαστηρίου είναι μη ικανοποιητική
- * εάν το ποσοστό αυτό δεν υπερβαίνει το 5%, η συνολική επίδοση του εργαστηρίου είναι ικανοποιητική.

Κεφάλαιο 5

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΣΔΙ ΧΑΜΗΛΟΣΥΧΝΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Ο τέταρτος κύκλος διεργαστηριακών μετρήσεων, ο οποίος είχε προγραμματιστεί για το 2021, κατέστη αδύνατον να πραγματοποιηθεί λόγω της πανδημίας από τον κορωνοϊό (covid-19) και τα μετέπειτα μέτρα από την κυβέρνηση για την αντιμετώπιση του. Η διεξαγωγή των κύκλων ΣΔΙ του 2010, 2013 και 2016, όμως, επιτρέπει έναν συνολικό απολογισμό του συγκεκριμένου σχήματος δοκιμών ικανότητας, ώστε να διαπιστωθεί η εμπειρία που έχει αποκτηθεί, αλλά και το περιθώριο για περαιτέρω μελλοντική βελτίωση.

5.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι ομοιότητες των συνθηκών μέτρησης, όπως αυτές έχουν διαμορφωθεί από τους οργανωτές του σχήματος, διευκολύνουν τη σύγκριση μεταξύ των κύκλων των διεργαστηριακών μετρήσεων. Η χρήση του εξοπλισμού του Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων του Ε.Μ.Π. για την παραγωγή των υπό μέτρηση ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων και των εγκαταστάσεων του Εργαστηρίου για τη διεξαγωγή των μετρήσεων, αλλά και η ίδια η διαδικασία μέτρησης που περιλαμβάνει μέτρηση ηλεκτρικού πεδίου παραγόμενου από γραμμή μεταφοράς και μαγνητικού πεδίου παραγόμενου από καλώδιο μέσης τάσης είναι στοιχεία που έχουν διατηρηθεί κοινά σε όλους τους κύκλους του σχήματος.

Οι κύριες αλλαγές ως προς τη διαδικασία μέτρησης εμφανίζονται μεταξύ πρώτου και δεύτερου κύκλου, όπου και δόθηκε έμφαση στη διατήρηση της σταθερότητας των προς μέτρηση πεδίων. Πιο συγκεκριμένα, η μέτρηση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου στον πρώτο κύκλο έγινε σε μία συγκεκριμένη θέση

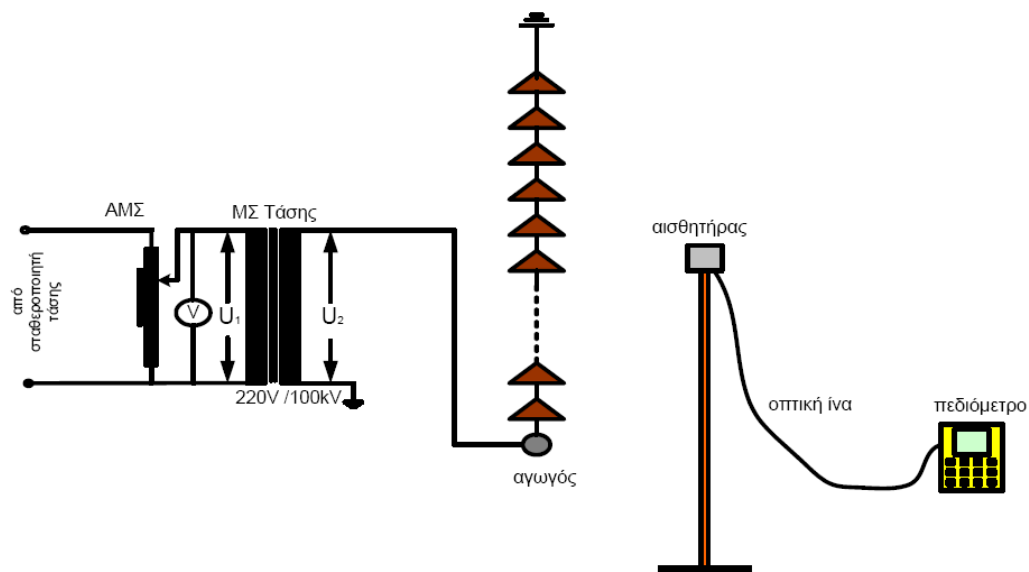
για διαφορετικά επίπεδα τάσης/ρεύματος, ενώ στο δεύτερο κύκλο οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές αποστάσεις διατηρώντας όμως σταθερό το μέγεθος των παραγόμενων πεδίων, προκειμένου να μην απαιτείται εκ νέου ρύθμιση της τάσης/ του ρεύματος και να αποφευχθούν οι έστω και μικρές αποκλίσεις του ηλεκτρικού/ μαγνητικού πεδίου μεταξύ των συμμετεχόντων. Στον πρώτο κύκλο οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να παραδώσουν σε κάθε σενάριο μέτρησης ευρυζωνικές μετρήσεις σε όλο το εύρος του πεδιομέτρου (broadband), αλλά και συχνοεπιλεκτικές μόνο σε μία ζώνη συχνοτήτων του πεδιομέτρου γύρω από τη βασική συχνότητα των 50Hz (band pass). Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν κοινά και για τις δύο κατηγορίες μετρήσεων, με αποτέλεσμα στο δεύτερο κύκλο η ρύθμιση του εύρους ζώνης της μέτρησης να εναπόκειται στην επιλογή του κάθε εργαστηρίου. Μια σημαντική διαφοροποίηση της διαδικασίας είναι η προσθήκη της μέτρησης της συχνότητας στο κέντρο ενός τετραγωνικού πηνίου στο δεύτερο κύκλο.

Μεταξύ δεύτερου και τρίτου κύκλου οι αλλαγές περιορίζονται σε πολύ μικρές μεταβολές στις θέσεις μέτρησης και τα επίπεδα παραγόμενου πεδίου, με σκοπό να μην είναι εκ των προτέρων γνωστά στους συμμετέχοντες τα μετρούμενα μεγέθη, διατηρώντας ωστόσο τις ίδιες τάξεις μεγέθους και κλίμακες μέτρησης. Σε όλους τους κύκλους του σχήματος η διατήρηση της σταθερότητας των προς μέτρηση πεδίων κατέστη δυνατή για κάθε μία από τις τρεις φάσεις μέτρησης, με τη χρήση ενός σταθεροποιητή τάσης, μιας αμπεροτσιμπίδας σε συνδυασμό με ένα ψηφιακό βολτόμετρο για τη διαρκή παρακολούθηση της έντασης του ρεύματος. Από το δεύτερο κύκλο και μετά προστέθηκε και κατάλληλο λογισμικό για την αυτόματη προσαρμογή του ρεύματος στο πηνίο.

Λόγω των μικρών, μεταξύ τους, αλλαγών και του μεγαλύτερου, σχετικά, αριθμού συμμετεχόντων, επικεντρώσαμε την ανάλυσή μας στο 2^ο και 3^ο κύκλο διεργαστηριακών μετρήσεων. Την ίδια διάταξη, με αλλαγές παρόμοιας κλίμακας, θα ακολουθούσε και ο 4^{ος} κύκλος διεργαστηριακών μετρήσεων. Παρακάτω ακολουθεί πιο αναλυτικά η περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας του σχήματος δοκιμών ικανότητας του 2013 καθώς και οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν για το ΣΔΙ του 2016.

5.1.1 Πειραματική Διαδικασία

Ο δεύτερος κύκλος δοκιμών ικανότητας διεξήχθη στις 22 Φεβρουαρίου 2013 στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Υ.Τ. Ε.Μ.Π.), στον οποίο τα εργαστήρια κλήθηκαν να μετρήσουν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο που προέκυπταν από συγκεκριμένες διατάξεις. Για το σκοπό των μετρήσεων του ηλεκτρικού πεδίου (Σχήμα 5.1), ένα προσομοίωμα γραμμής μεταφοράς στο Ε.Υ.Τ. Ε.Μ.Π. τέθηκε σε τάση 35 kV . Για την παραγωγή της υψηλής τάσης χρησιμοποιήθηκε ένας μετασχηματιστής δοκιμών με λόγο μετα-



Σχήμα 5.1: Διάταξη μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου

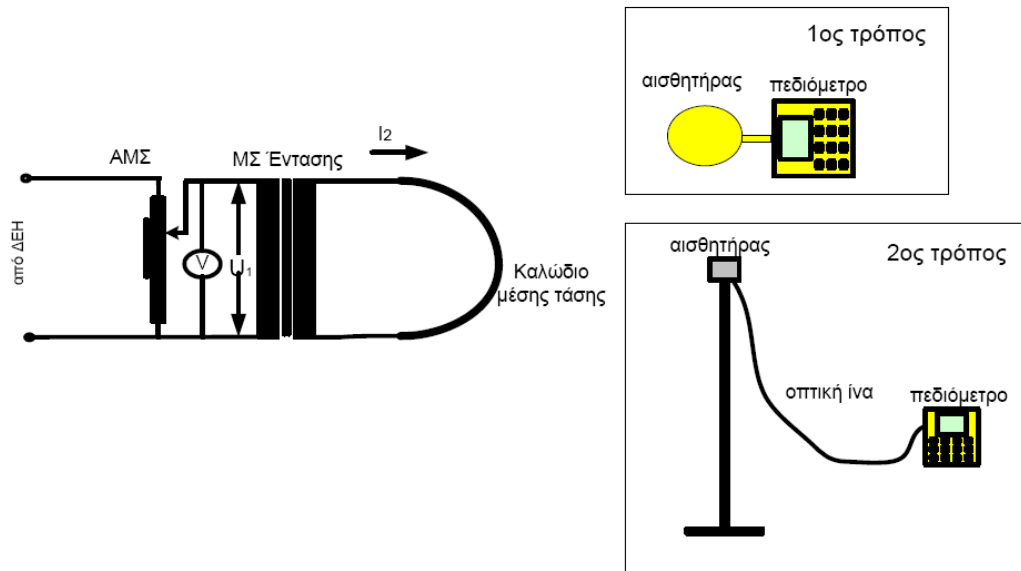
σχηματισμού 70V/35kV. Ανάμεσα στο δίκτυο χαμηλής τάσεως της ΔΕΗ, από το οποίο τροφοδοτείται ο μετασχηματιστής και στο πρωτεύον του μετασχηματιστή παρεμβάλλεται κατάλληλος σταθεροποιητής, ώστε οι αυξομειώσεις της τάσης του δικτύου να μην περνάνε στην επιβαλλόμενη τάση και αυτομετασχηματιστής για τη μεταβολή της επιβαλλόμενης τάσης (Εικόνα 5.5). Η μέτρηση του επιπέδου της επιβαλλόμενης τάσης πραγματοποιείται στην πλευρά χαμηλής τάσης (U_1) μέσω κατάλληλου διακριβωμένου βολτομέτρου.

Οι ομάδες μετρήσεων κατέγραψαν το ηλεκτρικό πεδίο σε ύψος 1 m σε τρία προκαθορισμένα σημεία που απείχαν συγκεκριμένες αποστάσεις από τη γραμμή μεταφοράς (Εικόνα 5.6), των οποίων οι αποστάσεις φαίνονται στον Πίνακα 5.1.

Θέση	Απόσταση θέσης - γραμμής μεταφοράς (cm)
1	114
2	224
3	444

Πίνακας 5.1: Αποστάσεις θέσεων μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου από γραμμή μεταφοράς

Οι πλειοψηφία των ομάδων πήραν μετρήσεις με ένα αισθητήρα, που ήταν συνδεδεμένος με ένα πεδίομετρο μέσω οπτικής ίνας. Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε



Σχήμα 5.2: Διάταξη μέτρησης μαγνητικού πεδίου από ρευματοφόρο αγωγό

1ος τρόπος: Ο αισθητήρας συνδέεται απ'ευθείας στο πεδιόμετρο

2ος τρόπος: Ο αισθητήρας συνδέεται μέσω οπτικής ίνας στο πεδιόμετρο

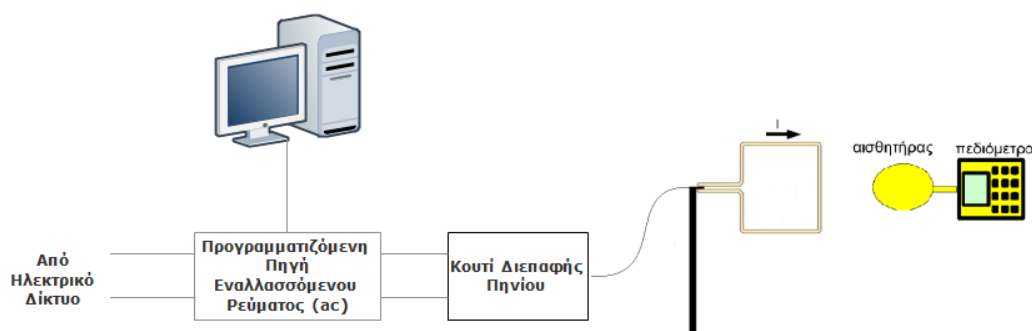
σε απόσταση 10m από το πεδιόμετρο για να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις από την παρουσία των χειριστών.

Για την αξιολόγηση των εργαστηρίων σε μετρήσεις μαγνητικού πεδίου, τροφοδοτήθηκε ένα ρευματοφόρο καλώδιο (Σχήμα 5.2). Το καλώδιο συνδέθηκε με το δευτερεύον ενός μετασχηματιστή έντασης (0-6000 A), ο οποίος παρείχε ρεύμα 500 A. Η τροφοδοσία του μετασχηματιστή έντασης έγινε από το δίκτυο χαμηλής τάσης της ΔΕΗ μέσω αυτομετασχηματιστή. Η κάθε ομάδα έλαβε τρεις μετρήσεις σε τρία διαφορετικά σημεία (Εικόνα 5.7, Εικόνα 5.8), οι αποστάσεις των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 5.2. Οι μετρήσεις έγιναν σε ύψος 1m και πάλι μέσω αισθητήρα και πεδιομέτρου. Αυτή τη φορά ο αισθητήρας ήταν συνδεδεμένος στο πεδιόμετρο είτε μέσω οπτικής ίνας είτε κατευθείαν, ανάλογα με τον τύπο του πεδιομέτρου. Όπως έχει προαναφερθεί, σε αντίθεση με το ηλεκτρικό πεδίο, η παρουσία ανθρώπων δεν επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο, γι' αυτό και η απευθείας σύνδεση του πεδιομέτρου με τον αισθητήρα δεν αλλοιώνει το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Για το μαγνητικό πεδίο τα εργαστήρια έλαβαν ακόμα μια επιπλέον μέτρηση στο κέντρο ενός τετραγωνικού πηνίου 1m × 1m (Θέση 4) που διαρρεόταν από ρεύμα (Εικόνα 5.9). Το πηνίο ήταν συνδεδεμένο με μια πηγή εναλλασσόμενου

Θέση	Απόσταση θέσης - γραμμής μεταφοράς (cm)
1	64
2	333
3	652

Πίνακας 5.2: Αποστάσεις θέσεων μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου από γραμμή μεταφοράς

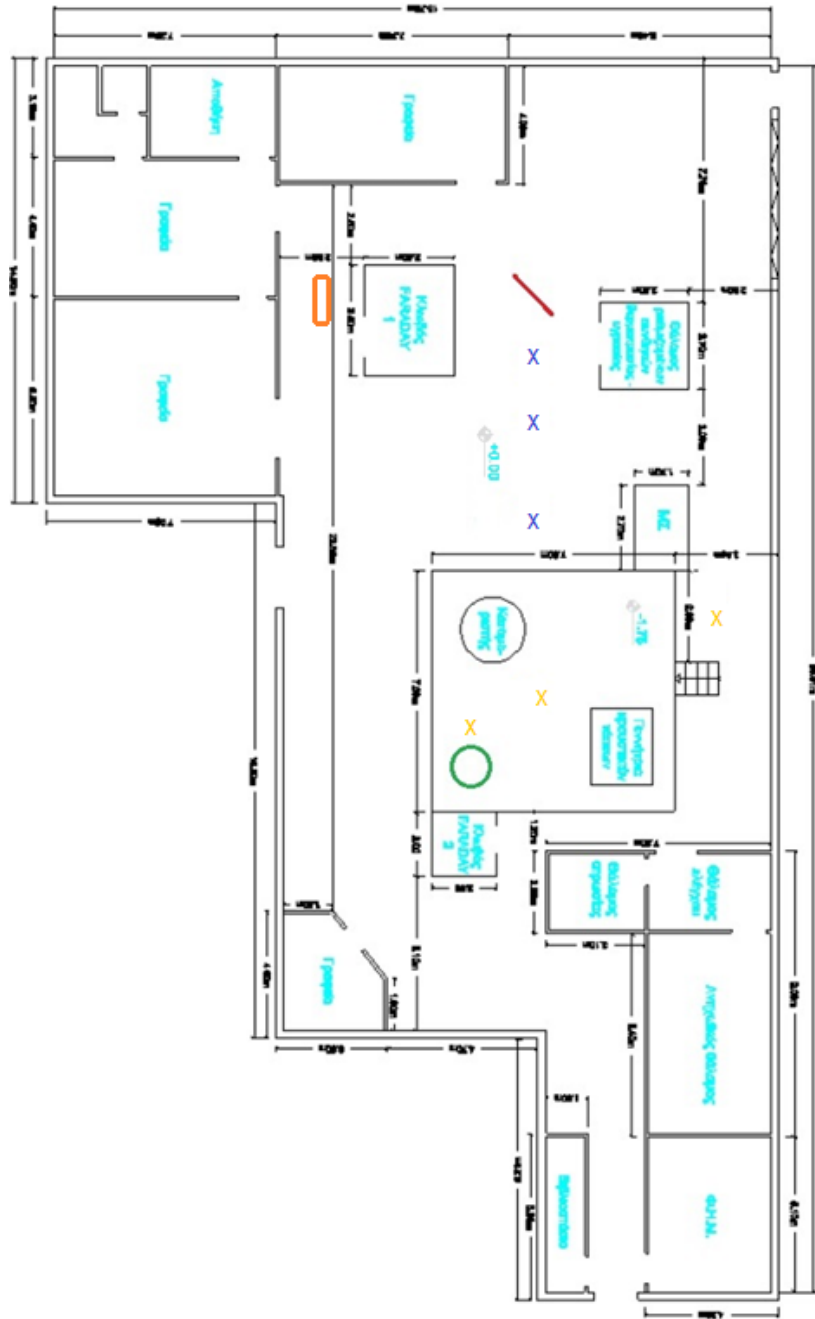


Σχήμα 5.3: Διάταξη μέτρησης μαγνητικού και συχνότητας από το κέντρο πηνίου

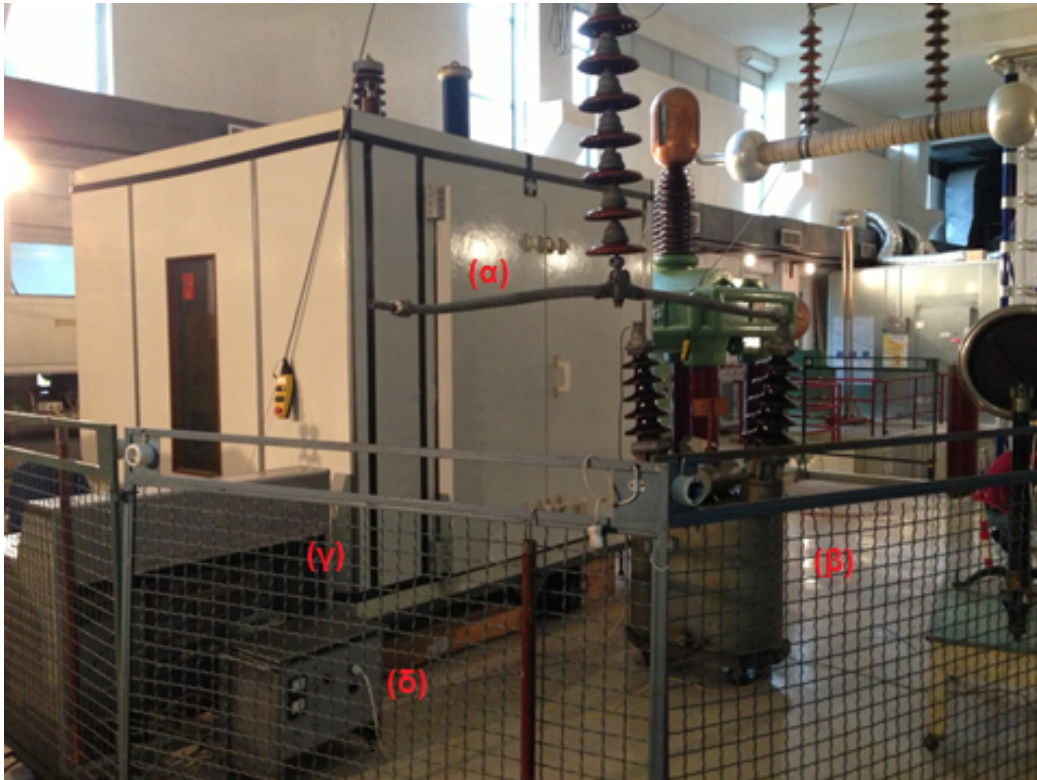
ρεύματος μέσω μιας διεπαφής. Η πηγή αυτή ήταν το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και τροφοδοτούσε το πηνίο με το χωρίς αρμονικές συνιστώσες απαιτούμενο ρεύμα. Η διαδικασία ελεγχόταν μέσω κατάλληλου λογισμικού που έδινε τη δυνατότητα ελέγχου της έντασης και της συχνότητας του πεδίου (Σχήμα 5.3). Επίσης, μέσω του λογισμικού αυτού εξασφαλιζόταν η ομοιομορφία και η σταθερότητα του πεδίου καθώς υπήρχε διαρκής αυτόματος έλεγχος και προσαρμογή του ρεύματος που διέρρηε το πηνίο. Στο κέντρο του πηνίου μετρήθηκε η συχνότητα του ρεύματος που το διέρρηε, η οποία ήταν ίση με 127 Hz. Τα εργαστήρια όταν λάμβαναν την μέτρηση της συχνότητας δεν γνώριζαν την τιμή αυτή.

Στο Σχήμα 5.4 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η κάτοψη του Ε.Υ.Τ. Ε.Μ.Π.. Σε αυτό φαίνονται με κόκκινο η γραμμή μεταφοράς που τροφοδοτήθηκε με τάση 35 kV, με μπλε τα σημεία μέτρησης του ηλεκτρικού πεδίου, με πράσινο ο ρευματοφόρος αγωγός 500 A και με κίτρινο τα σημεία μέτρησης του μαγνητικού πεδίου. Επίσης με πορτοκαλί φαίνεται η θέση του πηνίου στο κέντρο του οποίου μετρήθηκε το μαγνητικό πεδίο και η συχνότητα.

Το τρίτο σχήμα δοκιμών ικανότητας διεξήχθη στις 29 Ιανουαρίου 2016 στο Εργαστήριο Υψηλών Τάσεων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Υ.Τ. / Ε.Μ.Π.). Η διαδικασία μέτρησης, όπως και η συνδεσμολογία των διατάξεων παραγωγής του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, παρέμειναν ίδιες με αυτές



Σχήμα 5.4: Κάτοψη Εργαστηρίου Υψηλών Τάσεων Ε.Μ.Π.



Εικόνα 5.5: (α) Ομοίωμα γραμμής μεταφοράς συνδεδεμένο με (β) μετασχηματιστή 100V/50kV. Αριστερά φαίνεται (γ) η τράπεζα χειρισμού της τάσης τροφοδότησης που περιλαμβάνει τον αυτομετασχηματιστή και (δ) ο σταθεροποιητής της χαμηλής τάσης του δικτύου.



Εικόνα 5.6: Θέσεις μέτρησης 1, 2 και 3 του ηλεκτρικού πεδίου. Στο βάθος φαίνεται το ομοίωμα της γραμμή μεταφοράς συνδεδεμένο με τον μετασχηματιστή.



Εικόνα 5.7: Θέσεις μέτρησης 1 και 2 του μαγνητικού πεδίου. Πίσω αριστερά φαίνεται ο ρευματοφόρος αγωγός.



Εικόνα 5.8: Θέση μέτρησης 3 του μαγνητικού πεδίου. Κάτω στο βάθος φαίνεται ο ρευματοφόρος αγωγός.



Εικόνα 5.9: Πηγίο στο κέντρο του οποίου μετρήθηκε το μαγνητικό πεδίο και η συχνότητά του.

του δεύτερου κύκλου.

Συγκεκριμένα, για το σκοπό των μετρήσεων της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, ένα προσομοίωμα γραμμής μεταφοράς στο Ε.Υ.Τ. Ε.Μ.Π. τέθηκε σε τάση 33 kV, μέσω ενός μετασχηματιστή δοκιμών με λόγο 110V/55kV. Το κάθε εργαστήριο έλαβε μετρήσεις στις ίδιες τρεις προκαθορισμένες θέσεις με τον δεύτερο κύκλο, αυτή τη φορά όμως σε ύψος 1,5 m από το έδαφος. Για την αξιολόγηση των εργαστηρίων σε μετρήσεις μαγνητικής επαγωγής, το καλώδιο αυτή τη φορά τροφοδοτήθηκε με ρεύμα 515 A. Η κάθε ομάδα κατέγραψε την τιμή του μαγνητικού πεδίου σε τρία σημεία σε ύψος 80 cm από το έδαφος, ελαφρώς μετατοπισμένα σε σχέση με το δεύτερο κύκλο. Οι αποστάσεις των θέσεων μέτρησης από το ρευματοφόρο αγωγό φαίνονται στον Πίνακα 5.3. Στο τρίτο στάδιο η μόνη αλλαγή ήταν η τιμή του ρεύματος που διέρρεε το πηνίο, καθώς και η συχνότητα του παραγόμενου πεδίου.

Θέση	Απόσταση θέσης - γραμμής μεταφοράς(cm)
1	50
2	224
3	444

Πίνακας 5.3: Αποστάσεις θέσεων μέτρησης ηλεκτρικού πεδίου από γραμμή μεταφοράς

5.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Ο δείκτης που έχει επιλεγεί για την αξιολόγηση της επίδοσης των εργαστηρίων και στους τρεις κύκλους είναι ο βαθμός z , η διαδικασία υπολογισμού του οποίου γίνεται με τον αλγόριθμο A (Robust Analysis) που δίνεται στο Annex C του ISO 13528 [7], ο οποίος δεν επηρεάζεται αισθητά από την παρουσία πλανώμενων ή απόμακρων τιμών μετρήσεων. Η καταλληλότητα του παραπάνω αλγόριθμου γίνεται ιδιαίτερα εμφανής στο δεύτερο και τρίτο κύκλο, όπου ο υπολογισμός των βαθμών z γίνεται και με τις απλές εκτιμήτριες μ , σ , οι οποίες αποτυγχάνουν να εντοπίσουν ορισμένα από τα προειδοποιητικά σήματα και σήματα δράσης τα οποία έχει αναδείξει ο επαναληπτικός αλγόριθμος.

Με την προσθήκη της μέτρησης στο κέντρο του τετραγωνικού πηνίου στο δεύτερο κύκλο του ΣΔΙ, η εξαγωγή των z -scores σε κάποιες από τις μετρήσεις της συχνότητας του μαγνητικού πεδίου δεν είναι πλέον δυνατή. Η αρχική εκτίμηση της ανθεκτικής τυπικής απόκλισης που ορίζεται ως η διάμεσος των $|x_i - x^*|$, καθώς και οι μετέπειτα τιμές της τυπικής απόκλισης προκύπτει μηδενική, λόγω

του ότι η πλειοψηφία των εργαστηρίων προσδιορίζει ακριβώς την συχνότητα-στόχο που έχει τεθεί από τον οργανωτή. Κατά συνέπεια, ο παρονομαστής της σχέσης υπολογισμού των z score (4.34)

$$z_i = \frac{x_i - \hat{m}}{\hat{\sigma}} = \frac{x_i - x^*}{s^*}$$

είναι μηδενικός και είναι αδύνατος ο υπολογισμός του συγκεκριμένου δείκτη επίδοσης.

Σύμφωνα με το ISO 13528 [7], στις περιπτώσεις αυτές, όπου $s^* = 0$, είναι αποδεκτό να υποκαταστήσουμε την τυπική απόκλιση δείγματος, αφού ελέγξουμε τυχόν ακραίες τιμές που θα μπορούσαν να κάνουν την τυπική απόκλιση δείγματος υπερβολικά μεγάλη. Αυτή η υποκατάσταση γίνεται μόνο για την αρχική εκτιμήτρια και μετά από αυτό ο επαναληπτικός αλγόριθμος μπορεί να προχωρήσει, όπως περιγράφεται. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη ότι η τιμή της συχνότητας ήταν γνωστή και ίση με 127Hz για το 2^ο κύκλο και 321Hz για τον 3^ο κύκλο, οι αποδεκτές τιμές μέτρησης τέθηκαν από τον οργανωτή στο εύρος τιμών από 126 Hz μέχρι 128Hz και από 320Hz μέχρι 322Hz, αντίστοιχα. Έτσι ως ανθεκτική τυπική απόκλιση ορίστηκε και στους δύο κύκλους του ΣΔΙ:

$$s_f = \frac{322 - 320}{\sqrt{2}} = \frac{128 - 126}{\sqrt{2}} = 1,414$$

Στον τρίτο κύκλο του ΣΔΙ, στο τρίτο στάδιο μέτρησης, στο κέντρο του τετραγωνικού πηνίου, εκτός των βαθμών z, έγινε εφαρμογή των βαθμών E_n . Οι βαθμοί E_n παρέχουν συμπεράσματα και για τον τρόπο υπολογισμού της αβεβαιότητας, ως εκ τούτου, με τη συνδυασμένη ερμηνεία των z-scores με τα E_n είναι εφικτό να εξακριβωθεί κατά πόσο είναι μειωμένη η ακρίβεια της ίδιας της μέτρησης ή της αβεβαιότητας που τη συνοδεύει.

5.3 ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ

Στον Πίνακα 5.4 φαίνονται συγκεντρωτικά τα συμμετέχοντα Εργαστήρια στους τρεις κύκλους του σχήματος.

Η αποτελεσματικότητα του ΣΔΙ που διαπιστώθηκε στον πρώτο κύκλο, οδήγησε σε σημαντική αύξηση του αριθμού των συμμετεχόντων στο δεύτερο και στον τρίτο κύκλο. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι 3 από τα 4 εργαστήρια του πρώτου κύκλου επανήλθαν και σε όλους τους υπόλοιπους κύκλους, ενώ όλοι οι συμμετέχοντες του τρίτου κύκλου προέρχονται από τον δεύτερο, με εξαίρεση ένα εργαστήριο. Με τη διαρκή επικοινωνία με τα συμμετέχοντα εργαστήρια, ώστε, όπου είναι εφικτό, να επιλύονται ζητήματα που δυσχεραίνουν τη συμμετοχή τους στις μετρήσεις είναι εφικτή η διατήρηση υψηλού αριθμού συμμετοχών,

Εργαστήρια	1ος κύκλος	2ος κύκλος	3ος κύκλος
ΕΕΑΕ	2 ομάδες	4 ομάδες	1 ομάδα
EMC ΕΛΛΑΣ	1 ομάδα	1 ομάδα	1 ομάδα
FASMETRICS	1 ομάδα	1 ομάδα	
Υψηλών Τάσεων ΕΜΠ	1 ομάδα	2 ομάδες	1 ομάδα
ΑΔΜΗΕ		1 ομάδα	1 ομάδα
Αριστοτέλειο Παν. Θεσ/νίκης (Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής)		1 ομάδα	1 ομάδα
ΓΕΣ/ΔΕΜΑ (401) ΤΙΠΔ		1 ομάδα	1 ομάδα
Πανεπιστήμιο Πάτρας Πολεμική Αεροπορία (Εργοστάσιο		1 ομάδα	2 ομάδες
Τηλεπικοινωνιακών – Ηλεκτρονικών Μέσων/ ΤΑΠΕΝΗΜΑ)		1 ομάδα	1 ομάδα
ΤΕΙ Κρήτης (Εργαστήριο Μη Ιοντίζουσων Ακτινοβολιών)		1 ομάδα	
ΤΕΙ Πάτρας (Εργαστήριο Υγειο-Φυσικής και Υπολογιστικής Νοημοσύνης)		1 ομάδα	
Sigint Solutions Ltd		1 ομάδα	
FRIGOGLASS A.B.E.E.			1 ομάδα
Σύνολο Εργαστηρίων	4	12	9
Σύνολο Ομάδων Μέτρησης	5	16	10

Πίνακας 5.4: Συμμετέχοντες ΣΔΙ

ώστε προοδευτικά να βελτιώνεται το ΣΔΙ και να αποκτηθεί μεγαλύτερη εμπειρία έτσι ώστε να είναι δυνατή η επέκταση του σχήματος χωρίς την είσοδο επιπλέον σφαλμάτων.

5.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΗ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Ως μία μέτρηση χαμηλόσυχνων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων νοείται ο μοναδικός συνδυασμός προσωπικού που χειρίζεται τα όργανα, εξοπλισμού μέτρησης και διαδικασίας μέτρησης που καταλήγουν στην συγκέντρωση όλων των απαραίτητων πρωτογενών στοιχείων σε κάθε θέση μέτρησης. Επομένως δεν μπορεί να γίνει άμεση σύγκριση των μετρήσεων των εργαστηρίων μεταξύ των τριών κύκλων, μια και οι ομάδες αλλά και η διαδικασία μέτρησης δεν ταυτίζονται, ιδιαίτερα μεταξύ του πρώτου κύκλου με τους υπόλοιπους. Μπορεί όμως να γίνει μια γενική αξιολόγηση των επιδόσεων των εργαστηρίων μεταξύ των κύκλων. Για την αξιολόγηση της επίδοσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο το ποσοστό των μετρήσεων που έχουν βαθμολογηθεί με $|z| > 2$ εντός κάθε κύκλου δοκιμών. Η μέθοδος αυτή δεν επηρεάζεται από τυχόν αλλαγές στη δομή του σχήματος δοκιμών, ενώ παρέχει σημαντική δυνατότητα σύγκρισης της επίδοσης ακόμα και σε πολύ μικρό αριθμό κύκλων του σχήματος.

Η πλειοψηφία των συμμετεχόντων του πρώτου κύκλου, όπου δεν είχε προκύψει κανένα $|z| > 2$, έλαβαν «προειδοποιητικό σήμα» ή «σήμα δράσης» στο δεύτερο κύκλο. Μεταξύ δεύτερου και τρίτου κύκλου, εφόσον η δομή του σχήματος διατηρήθηκε ακριβώς ίδια με τον προηγούμενο κύκλο, μπορεί να γίνει μια πιο άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις ομάδες που ήταν παρούσες και στους δύο κύκλους, προκειμένου να διερευνηθεί η εξέλιξη της επίδοσής τους. Διαπιστώνεται μια σταθερή συμπεριφορά στην επίδοση των εργαστηρίων, καθώς 6 εργαστήρια που δεν παρουσίασαν μέτρηση με $|z| > 2$ στο δεύτερο κύκλο διατήρησαν την ικανοποιητική τους επίδοση στον τρίτο κύκλο, ενώ το εργαστήριο του δεύτερου κύκλου για το οποίο διαπιστώθηκε ακαταλληλότητα του οργάνου μέτρησης επανέλαβε τη μη ικανοποιητική του επίδοση. Υπήρχε επίσης ένα εργαστήριο με σημαντική βελτίωση. Οι παραπάνω συγκρίσεις αφορούν σε ομάδες οι οποίες διατήρησαν τον εξοπλισμό τους από κύκλο σε κύκλο.

Και στους τρεις προηγούμενους κύκλους, τα εργαστήρια εμφανίζουν ικανοποιητικές επιδόσεις με πιο συνεπή συμπεριφορά κατά τη μέτρηση του μαγνητικού πεδίου. Προβληματικές μέθοδοι μέτρησης, λανθασμένη ρύθμιση του εξοπλισμού και ελλιπής διακρίβωση, είτε σε νέα, είτε σε παλαιότερα όργανα, αναδείχθηκαν σε όλους τους κύκλους ως κοινοί παράγοντες που υποβαθμίζουν την ακρίβεια μιας μέτρησης.

Επαναλαμβανόμενα ομόσημα z scores αποτελούν ένδειξη της συμπεριφοράς του οργάνου (όπως η φασματική απόκριση) ή ενός συστηματικού παράγοντα της μεθόδου μέτρησης (όπως οι παράμετροι της διακρίβωσης του οργάνου). Εάν τα συγκεκριμένα z scores υπερβαίνουν το όριο $|z| > 2$, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι πρόκειται για κάποιο συστηματικό σφάλμα (bias) που εισάγει το όργανο. Ένα τέτοιο σφάλμα επαναλαμβάνεται στο δεύτερο και τρίτο κύκλο, όπου η λήψη της μέτρησης από το όργανο που χρησιμοποιούσε ένα συγκεκριμένο εργαστήριο, απαιτούσε κοντινή παρουσία του χειριστή, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την αλλοίωση του ηλεκτρικού πεδίου. Μία επίσης επαναλαμβανόμενη συμπεριφορά εντοπίστηκε μεταξύ δύο εργαστηρίων που χρησιμοποίησαν το ίδιο όργανο μέτρησης αλλά διαφορετικής διαμέτρου αισθητήρα, με το εργαστήριο με τον αισθητήρα μικρότερης διαμέτρου να λαμβάνει προειδοποιητικό σήμα. Συνεπώς, η ακαταλληλότητα του οργάνου μπορεί να προστεθεί στους παράγοντες μη ικανοποιητικής επίδοσης.

Η αποτελεσματικότητα και η συνέπεια των διεργασηριακών μετρήσεων στον εντοπισμό εσφαλμένων μεθόδων μέτρησης, που είναι εκ των προτέρων αναμενόμενο ότι θα οδηγήσουν σε μετρήσεις μειωμένης ακρίβειας, αποδεικνύουν την ικανοποιητική λειτουργία του ΣΔΙ.

Στο δεύτερο και τρίτο κύκλο, το ένα τρίτο, περίπου, των συμμετεχόντων εμφάνισε $|z| > 2$, ενισχύοντας την αναγκαιότητα του Σχήματος Δοκιμών Ικανότητας, για τη συνεχή παρακολούθηση των εργαστηρίων που παίρνουν μέρος στον τομέα των εν λόγω μετρήσεων και την κατάρτισή τους.

Κεφάλαιο 6

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

6.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Σύμφωνα με το ISO 13528 [7] οι τιμές z-score, όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω, παρέχουν τον πιο άμεσο και απλό τρόπο για την αξιολόγηση της επίδοσης του εργαστηρίου. Η αβεβαιότητα των εργαστηρίων δεν έχει άμεση σχέση και για αυτό το λόγο παραλείπεται. Συχνά, όμως, οι απαιτήσεις για την αξιολόγηση των εργαστηρίων είναι διαφορετικές, καθιστώντας ένα μόνο στατιστικό επίδοσης ανεπαρκές. Σε περιπτώσεις όπου για παράδειγμα μας ενδιαφέρει η συνέπεια των αποτελεσμάτων με την δηλωθείσα αβεβαιότητα των εργαστηρίων οι τιμές ζ-score και E_n είναι πιο κατάλληλες.

Τα πλεονεκτήματα των ζ-score και E_n είναι ότι

- i λαμβάνεται σαφώς υπόψη η δηλωθείσα αβεβαιότητα των εργαστηρίων και
- ii παρέχει αξιολόγηση όχι μόνο των αποτελεσμάτων των εργαστηρίων αλλά και των διαδικασιών εκτίμησης αβεβαιότητας.

Τα κύρια μειονεκτήματα είναι ότι

- i δε σχετίζεται άμεσα με ανεξάρτητο κριτήριο καταλληλότητας για προοριζόμενη χρήση,
- ii απαισιόδοξες εκτιμήσεις αβεβαιότητας οδηγούν σε καλά ζ-score ανεξαρτήτως της καταλληλότητάς τους για συγκεκριμένη χρήση και

iii ο πάροχος ΣΔΙ δεν έχει κανένα τρόπο να ελέγξει αν οι δηλωθείσες αβεβαιότητες είναι ίδιες με εκείνες που δίνονται στους πελάτες, αν και οι πελάτες και τα σώματα πιστοποίησης έχουν τη δυνατότητα να κάνουν το σχετικό έλεγχο αν είναι απαραίτητο.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, πριν τον υπολογισμό των στατιστικών δεικτών επίδοσης, είναι απαραίτητος ο περιορισμός της αβεβαιότητας της εκτιμήτριας τιμής. Εάν η τυπική αβεβαιότητα $u(x_{pt})$ της εκτιμήτριας τιμής είναι μεγάλη σε σχέση με το κριτήριο αξιολόγησης επίδοσης, υπάρχει κίνδυνος ότι μερικοί συμμετέχοντες θα λάβουν σήματα κινδύνου και δράσης, λόγω του ανακριβή προσδιορισμού της εκτιμήτριας τιμής, και όχι από δική τους υπαιτιότητα. Αν το κριτήριο:

$$u(x_{pt}) < 0,3\sigma_{pt} \quad (6.1)$$

πληρούται, τότε η αβεβαιότητα της εκτιμήτριας τιμής θεωρείται αμελητέα και δε χρειάζεται να συμπεριληφθεί στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων του κύκλου ΣΔΙ. Όταν όμως το παραπάνω κριτήριο δεν πληρούται ο πάροχος του ΣΔΙ πρέπει να λάβει υπόψη του τα εξής:

1. Επιλογή κατάλληλης μεθόδου καθορισμού της εκτιμήτριας, της οποίας η αβεβαιότητα πληρεί το παραπάνω κριτήριο.
2. Χρήση της αβεβαιότητας της εκτιμήτριας στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων του ΣΔΙ, όπως τα z'-scores, τα ζ-scores και τα E_n -scores.
3. Αν η εκτιμήτρια προέρχεται από τα αποτελέσματα των συμμετεχόντων, και η μεγάλη τιμή της αβεβαιότητας προέρχεται από διαφορές μεταξύ αναγνωρίσιμων υποπληθυσμών συμμετεχόντων, τότε γίνονται ξεχωριστές αναφορές αποτελεσμάτων και αβεβαιότητας για κάθε υποπληθυσμό (για παράδειγμα, συμμετέχοντες που χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους μέτρησης).
4. Ενημέρωση των συμμετεχόντων ότι η αβεβαιότητα της εκτιμήτριας δεν είναι αμελητέα, και οι αξιολογήσεις μπορεί να επηρεαστούν. Αν κανένα από τα 1 – 4 δεν ισχύει, τότε οι συμμετέχοντες πρέπει να ενημερωθούν ότι καμία αξιόπιστη εκτιμήτρια τιμή δεν μπορεί να καθοριστεί και επομένως δεν μπορούν να παρασχεθούν δείκτες απόδοσης.

Όταν η εκτιμήτρια τιμή προέρχεται από τους ανθεκτικούς αλγόριθμους του παραρτήματος C.2, C.3, ή C.5 του ISO 13528 [7], η τυπική αβεβαιότητα της εκτιμήτριας τιμής χρι μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$u(x_{pt}) = 1,25 \times \left(\frac{s^*}{\sqrt{p}} \right) \quad (6.2)$$

όπου s^* είναι η ανθεκτική τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων.

Ο παράγοντας 1,25 είναι βασισμένος στην τυπική απόκλιση της διαμέσου, ή της αποδοτικότητας της διαμέσου ως εκτιμήτρια της μέσης τιμής, σε μεγάλο σύνολο αποτελεσμάτων που προέρχονται από κανονική κατανομή. Η αποδοτικότητα πιο εξεζητημένων ανθεκτικών μεθόδων μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της διαμέσου, δικαιολογώντας παράγοντα μικρότερο του 1,25. Ο παράγοντας αυτός όμως προτείνεται γιατί τα αποτελέσματα ΣΔΙ συνήθως δεν ακολουθούν αυστηρά την κανονική κατανομή, και περιέχουν άγνωστα ποσοστά αποτελεσμάτων διαφορετικών κατανομών ('μολυσμένα' αποτελέσματα). Ο παράγοντας 1,25 θεωρείται μετριοπαθής (υψηλή) εκτίμηση, για την πρόληψη των 'μολυσμένων' αποτελεσμάτων. Οι πάροχοι ΣΔΙ μπορούν να δικαιολογήσουν χρήση μικρότερου παράγοντα, ή διαφορετικής εξίσωσης, βάσει της ανθεκτικής μεθόδου που χρησιμοποιείται και εμπειρίας.

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση με το μετριοπαθή παράγοντα, και την υπολογισμένη ανθεκτική εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης ως τυπική απόκλιση για αξιολόγηση ικανοτήτων ($s^* = \sigma_{pt}$) παρατηρούμε πως για να πληρούμε το κριτήριο αμελητέας αβεβαιότητας πρέπει $1,25 \times \left(\frac{1}{\sqrt{p}}\right) < 0,3$ δηλαδή $p > 17$.

Είναι προφανές πως όταν ο αριθμός των συμμετεχόντων είναι πολύ μικρός, ανάλογα με τη μέθοδο που θα επιλεγεί για την αξιολόγηση ικανοτήτων τα αποτελέσματα μπορεί να είναι αναξιόπιστα. Ιδανικά όταν ο αριθμός των συμμετεχόντων είναι μικρός, η εκτιμήτρια τιμή θα πρέπει να καθορίζεται από μετρολογικά έγκυρη διαδικασία, ανεξάρτητη των συμμετεχόντων, όπως για παράδειγμα από εργαστήριο αναφοράς. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να γίνει ΣΔΙ και μόνο με ένα συμμετέχοντα. Όταν οι ιδανικές αυτές συνθήκες δεν πληρούνται, και οι εκτιμήτριες θέσης ή/και διασποράς προκύπτουν από τα αποτελέσματα των συμμετεχόντων είναι σημαντικό να υπολογίσουμε αν χρειάζεται να θέσουμε ελάχιστο αριθμό συμμετεχόντων.

Με τη χρήση της απλής μέσης τιμής ως εκτιμήτριας τιμής και της τυπικής απόκλισης ως τυπική απόκλιση για αξιολόγηση ικανοτήτων, το κριτήριο (6.1) δεν πληρούται για κανονική κατανομή με $p \leq 12$, μετά από αφαίρεση απόμακρων τιμών. Η χρήση της διαμέσου ως εκτιμήτριας (θεωρώντας την αποδοτικότητα ως 0,64), δεν πληρεί το κριτήριο (6.1) για $p \leq 18$. Άλλες ανθεκτικές εκτιμήτριες όπως ο Αλγόριθμος A, που έχουν ενδιάμεση αποδοτικότητα μπορεί να ικανοποιούν το κριτήριο (6.1) για $p > 12$ αν πληρούν τις προϋποθέσεις του παράγοντα της (6.2) όπως αναφέραμε πιο πάνω. Η αποδοτικότητα της Q/Hampel είναι αρκετά κοντά με εκείνη του Αλγορίθμου A ώστε να πληρεί το κριτήριο (6.1) για το ίδιο πλήθος συμμετεχόντων. Γενικά λίγες υπολογιστικά ενδεδειγμένες ανθεκτικές εκτιμήτριες για τη μέση τιμή συνίστανται για μικρά σύνολα δεδομένων, με τυπικό κάτω όριο $p \geq 15$.

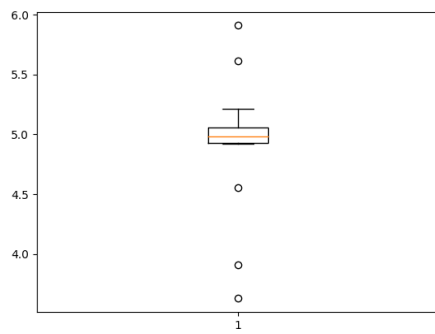
Χρήση κριτηρίων αξιολόγησης βασισμένα στη διασπορά των αποτελεσμάτων των συμμετεχόντων δε συνίσταται για μικρά σύνολα δεδομένων λόγω της μεταβλητότητας τους. Για παράδειγμα, για $p=30$, εκτιμήσεις της τυπικής απόκλισης για δεδομένα κανονικής κατανομής αναμένονται να διαφέρουν κατά περίπου 25% από οποιαδήποτε μεριά της πραγματικής τιμής (βασισμένο σε 95% βαθμό εμπιστοσύνης). Καμία άλλη εκτιμήτρια δεν έχει καλύτερη συμπεριφορά για δεδομένα με κανονική κατανομή. Όταν οι εκτιμήτριες διασποράς χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς ή όταν το ΣΔΙ μπορεί να ανεχθεί υψηλή μεταβλητότητα των εκτιμητριών διασποράς, πρέπει να επιλέγονται οι εκτιμήτριες με την υψηλότερη αποδοτικότητα για μικρά σύνολα δεδομένων.

Πρέπει να επισημάνουμε, επίσης, όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 4, ότι σε περιπτώσεις με μεγάλο ποσοστό απόμακρων τιμών (>20%), κάθε συμβατική ή ανθεκτική διαδικασία μπορεί να παράγει παράλογες εκτιμήτριες θέσης και διασποράς, και προσοχή πρέπει να δοθεί στην ερμηνεία τέτοιων τιμών.

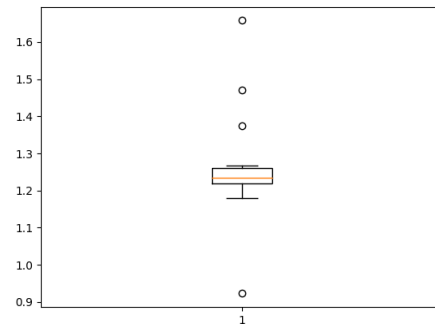
6.2 ΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΔΙ 2013/2016

Παρακάτω παρατέθονται τα διαγράμματα πλαισίου, κανονικής πιθανότητας και h του Mandel για τα ΣΔΙ 2013/2016. Όπως ήταν αναμενόμενο, έχουμε μεγαλύτερη πιθανότητα απόμακρων τιμών στις μετρήσεις ηλεκτρικού πεδίου από μαγνητικού πεδίου. Η κατανομή του δείγματος του κάθε επιπέδου φαίνεται να πλησιάζει την κανονική, με κύρια απόκλιση στις μετρήσεις συχνότητας. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι περισσότερες μετρήσεις, εκτός από μία ή δύο, είναι σχεδόν πανομοιότυπες με αποτέλεσμα να αποκλίνει από την κανονική κατανομή. Μία πρώτη αξιολόγηση συνέπειας και πιθανών ακραίων τιμών μπορεί να γίνει εύκολα όπως έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 2.4.3.1.

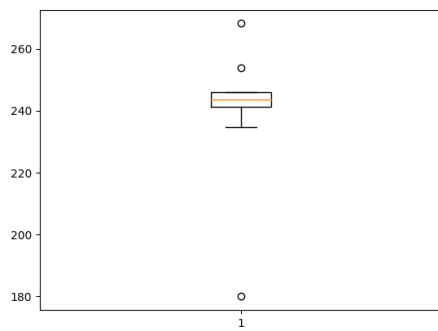
6.2.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (BOX PLOTS)



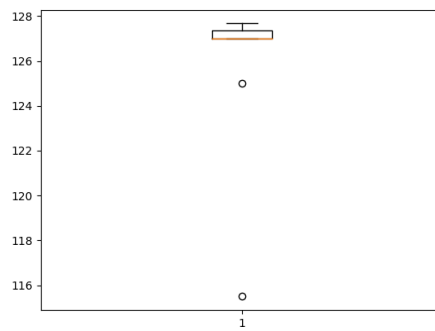
box plot E1 2013



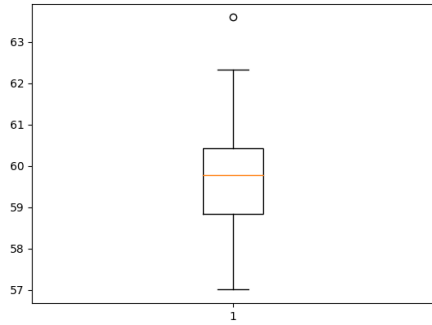
box plot E2 2013



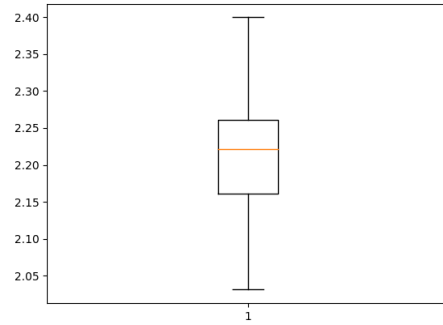
box plot E3 2013



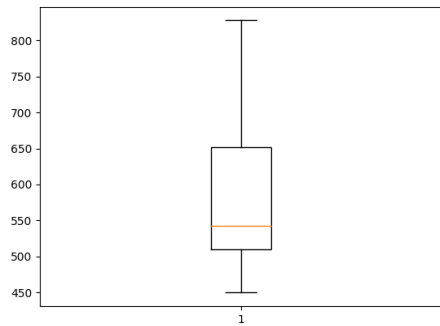
box plot F 2013



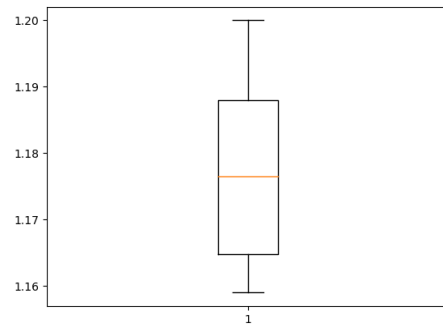
box plot B1 2013



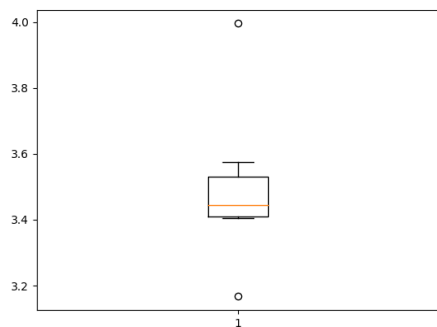
box plot B2 2013



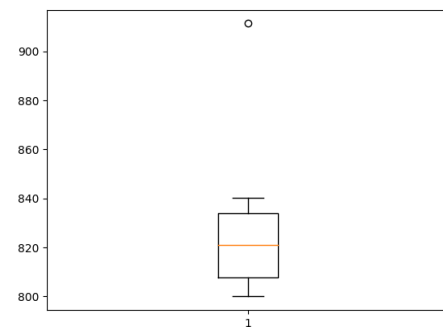
box plot B3 2013



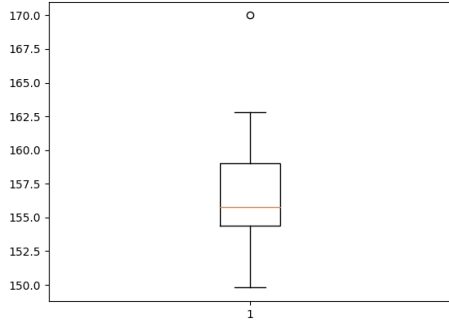
box plot B4 2013



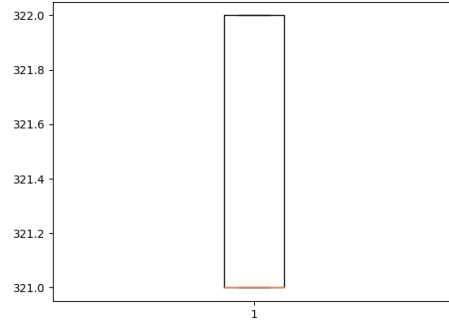
box plot E1 2016



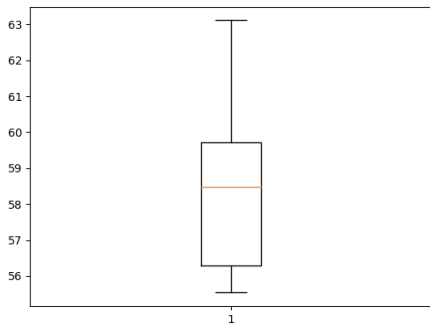
box plot E2 2016



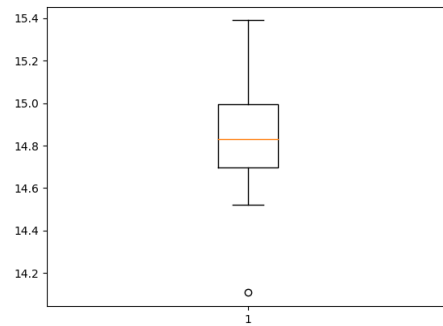
box plot E3 2016



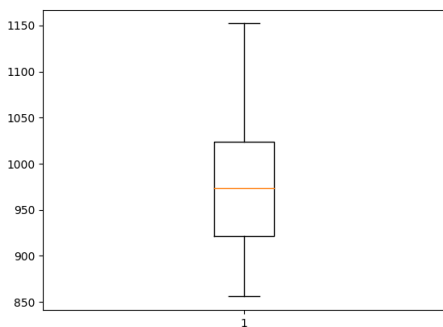
box plot F 2016



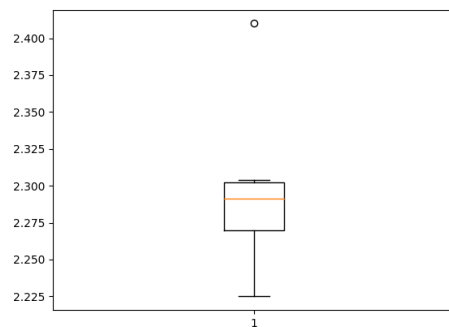
box plot B1 2016



box plot B2 2016

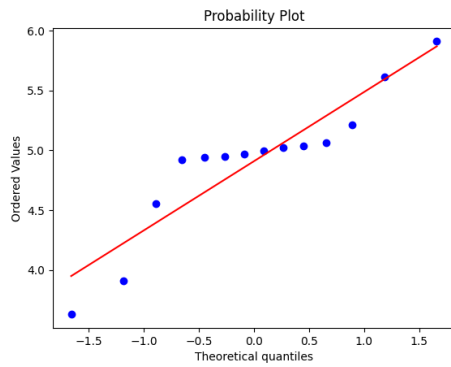


box plot B3 2016

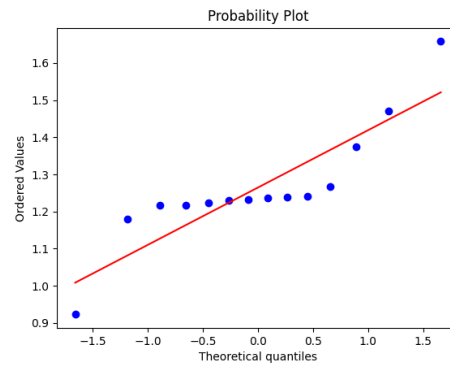


box plot B4 2016

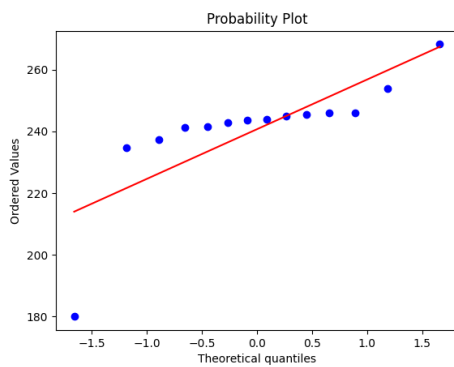
6.2.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ (NORMAL PROBABILITY PLOTS)



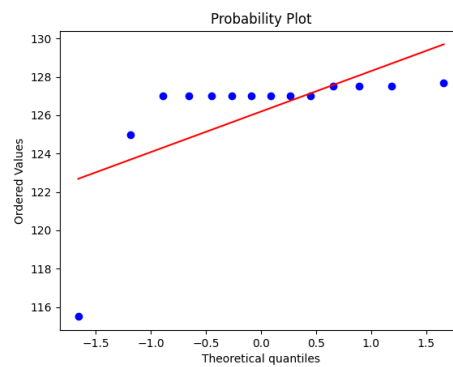
normal probability plot E1 2013



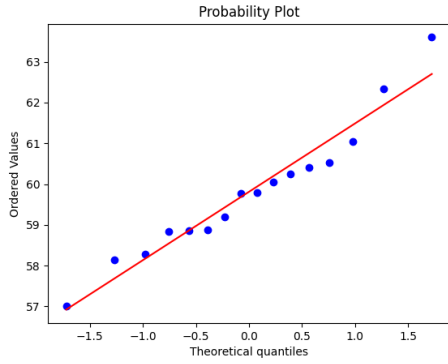
normal probability plot E2 2013



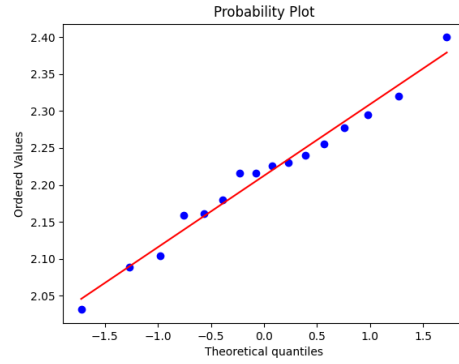
normal probability plot E3 2013



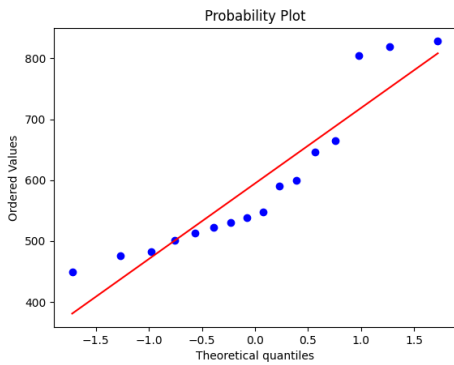
normal probability plot F 2013



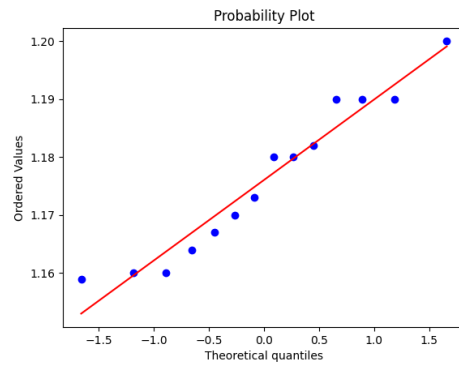
normal probability plot B1 2013



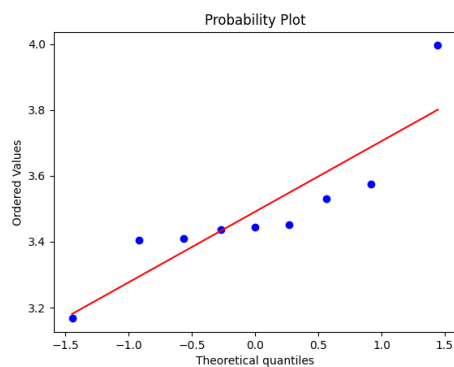
normal probability plot B2 2013



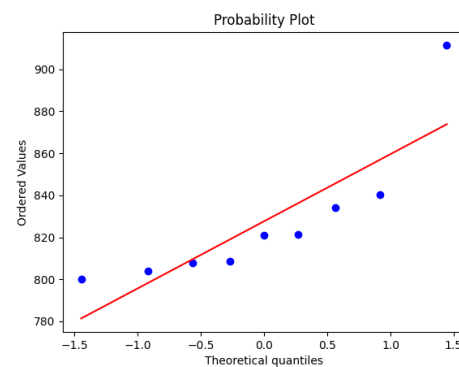
normal probability plot B3 2013



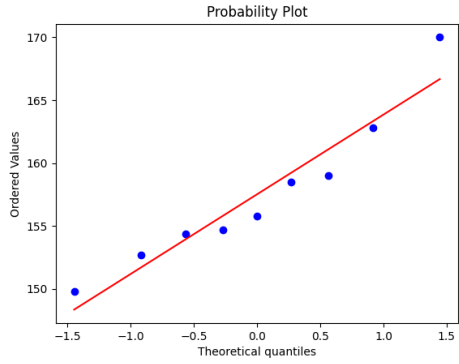
normal probability plot B4 2013



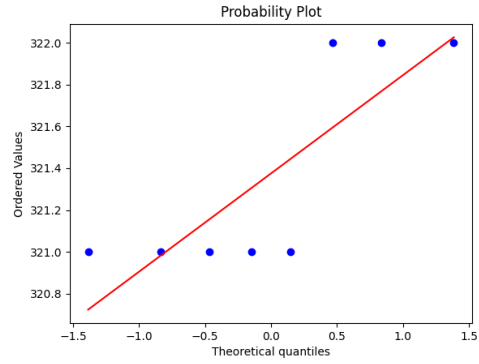
normal probability plot E1 2016



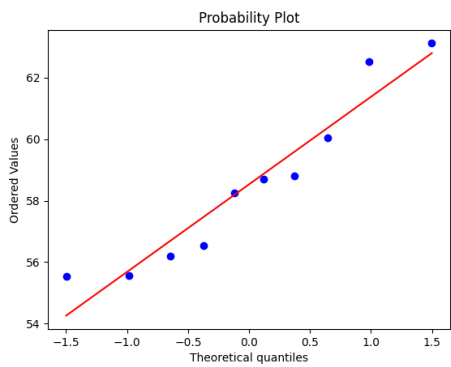
normal probability plot E2 2016



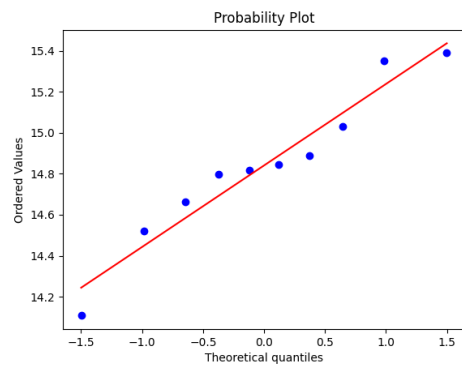
normal probability plot E3 2016



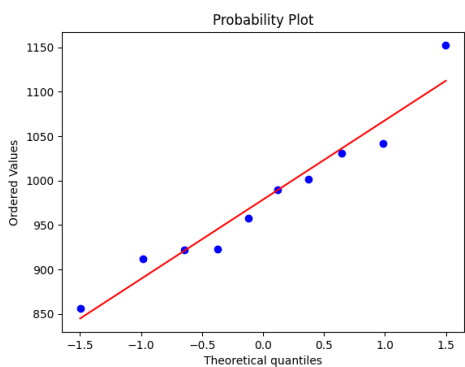
normal probability plot F 2016



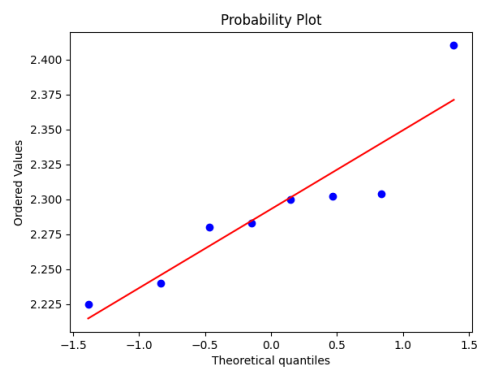
normal probability plot B1 2016



normal probability plot B2 2016

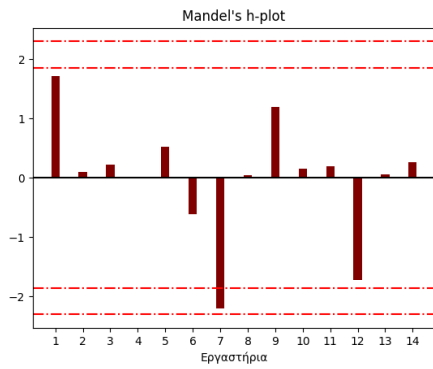


normal probability plot B3 2016

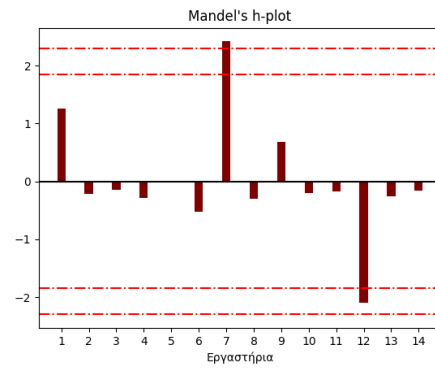


normal probability plot B4 2016

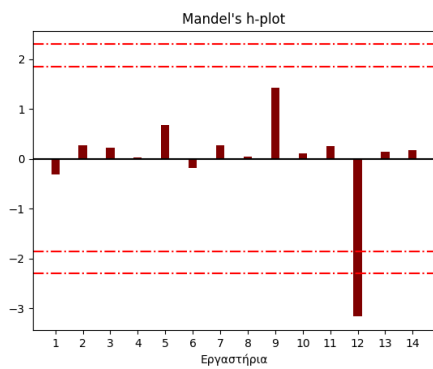
6.2.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ h ΤΟΥ MANDEL (MANDEL'S h PLOTS)



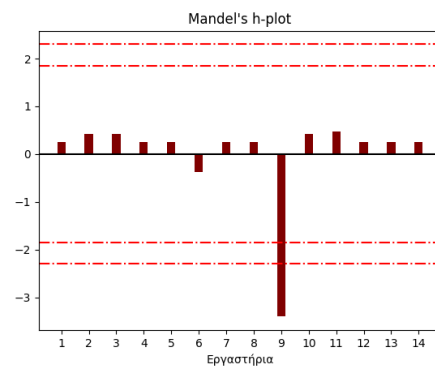
mandel's h plot E1 2013



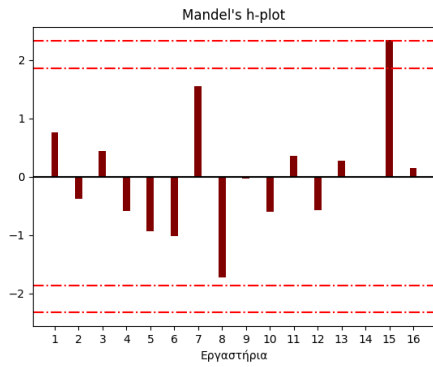
mandel's h plot E2 2013



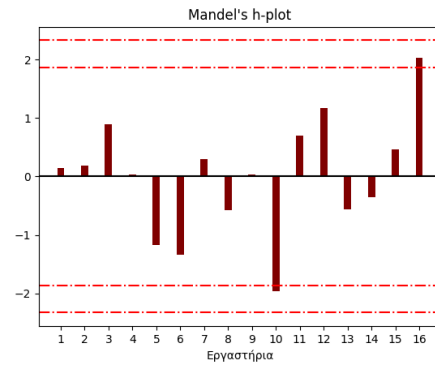
mandel's h plot E3 2013



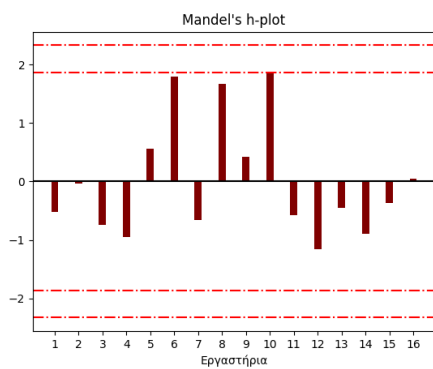
mandel's h plot F 2013



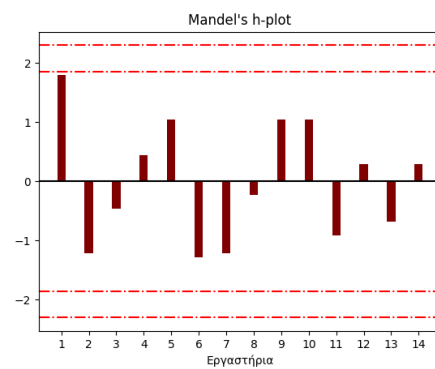
mandel's h plot B1 2013



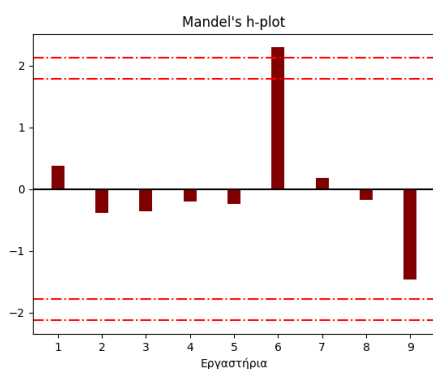
mandel's h plot B2 2013



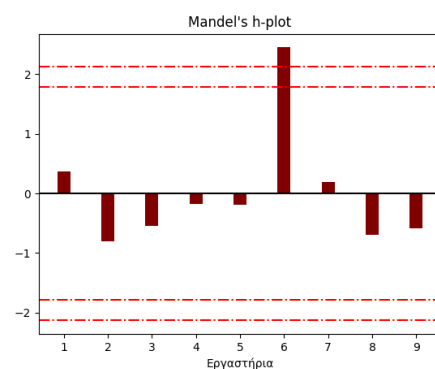
mandel's h plot B3 2013



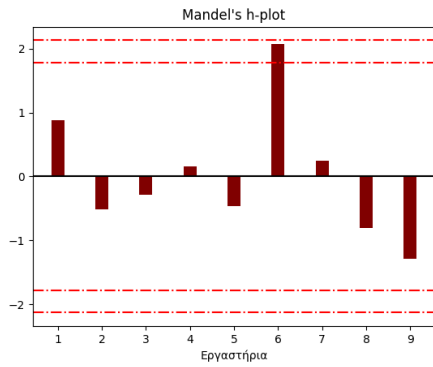
mandel's h plot B4 2013



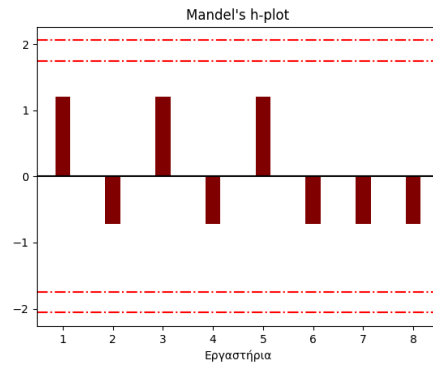
mandel's h plot E1 2016



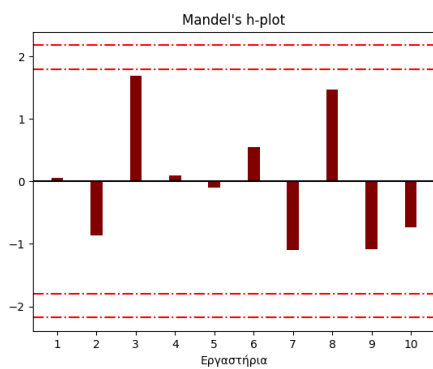
mandel's h plot E2 2016



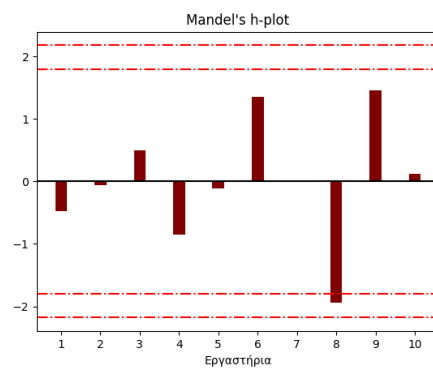
mandel's h plot E3 2016



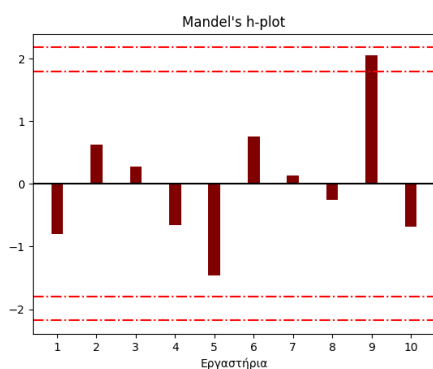
mandel's h plot F 2016



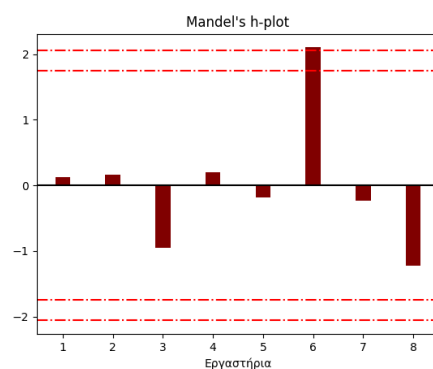
mandel's h plot B1 2016



mandel's h plot B2 2016



mandel's h plot B3 2016



mandel's h plot B4 2016

6.3 ΕΥΡΕΣΗ ΑΠΟΜΑΚΡΩΝ ΤΙΜΩΝ ΣΔΙ 2013/2016

Για τις μετρήσεις που έλαβαν τα συμμετέχοντα εργαστήρια κατά τη διάρκεια των ΣΔΙ 2013/2016, η κάθε μέτρηση έγινε μόνο μία φορά ανά εργαστήριο ανά επίπεδο επομένως δε χρειάζεται να εφαρμόσουμε τη μέθοδο Cochran για ενδοεργαστηριακή απόκλιση και ακραίες τιμές. Για την εύρεση απόμακρων τιμών χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο Grubbs χρησιμοποιώντας το βοηθητικό πρόγραμμα που δίνεται στο Παράρτημα Β'. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

6.3.1 Grubb's test

Σύμφωνα με τη μέθοδο Grubbs, παρουσιάζονται ακραίες τιμές στις μετρήσεις E3 και F του 2013 και στις μετρήσεις E1 και E2 του 2016. Στην περίπτωση της E2 επιλέξαμε να απορρίψουμε μόνο μία τιμή η οποία είναι απόμακρη από το να απορρίψουμε δύο, οι οποίες είναι πλανώμενες. Από τη στιγμή βέβαια που επαναλαμβάνουμε τη μέθοδο στο μειωμένο δείγμα δεν θα έχει μεγάλη διαφορά.

2013	μονή χαμηλή	μονή υψηλή	διπλή χαμηλή	διπλή υψηλή
E1	2.196	1.7155	0.907	0.6078
E2	2.10	2.2418	0.596	0.341
E3	3.1645	1.434	0.977	0.777
F	3.403	0.471	1.104	0.965
B4	1.283	1.798	0.798	0.615
Πλανώμενες	2.507	2.507	0.3112	0.3112
Απόμακρες	2.755	2.755	0.228	0.228

Πίνακας 6.1: Grubb's test 2013

2013	μονή χαμηλή	μονή υψηλή	διπλή χαμηλή	διπλή υψηλή
B1	1.729	2.338	0.613	0.402
B2	1.9696	2.036	0.786	0.584
B3	1.158	1.868	0.647	0.488
Πλανώμενες	2.585	2.585	0.3603	0.3603
Απόμακρες	2.852	2.852	0.2767	0.2767

Πίνακας 6.2: Grubb's test 2013

2016	μονή χαμηλή	μονή υψηλή	διπλή χαμηλή	διπλή υψηλή
E1	1.469	2.291	0.564	0.198
E2	0.807	2.4475	0.425	0.0928
E3	1.282	2.072	0.664	0.212
Πλανώμενες	2.215	2.215	0.149	0.149
Απόμακρες	2.387	2.387	0.0851	0.0851

Πίνακας 6.3: Grubb's test 2016

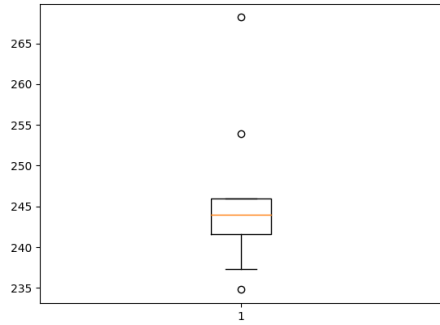
2016	μονή χαμηλή	μονή υψηλή	διπλή χαμηλή	διπλή υψηλή
B1	1.101	1.688	0.702	0.305
B2	1.947	1.461	0.887	0.448
B3	1.456	2.06	0.712	0.356
Πλανώμενες	2.29	2.29	0.1864	0.1864
Απόμακρες	2.482	2.482	0.115	0.115

Πίνακας 6.4: Grubb's test 2016

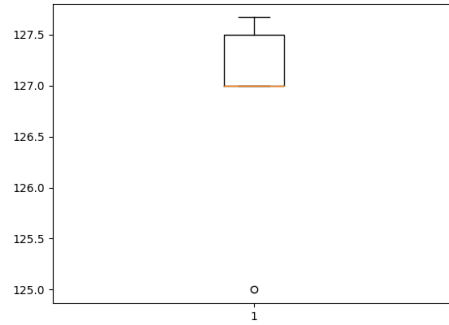
2016	μονή χαμηλή	μονή υψηλή	διπλή χαμηλή	διπλή υψηλή
F	0.725	1.208	0.8	0.444
B4	1.223	2.104	0.713	0.236
Πλανώμενες	2.126	2.126	0.1101	0.1101
Απόμακρες	2.274	2.274	0.0563	0.0563

Πίνακας 6.5: Grubb's test 2016

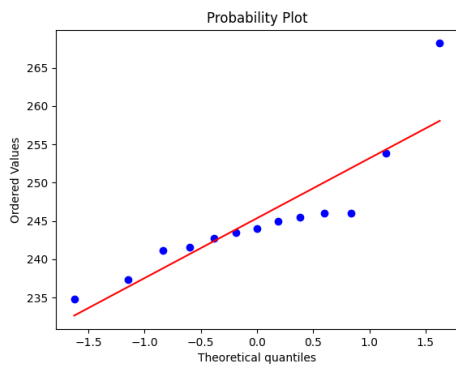
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα πλαισίου και κανονικής πιθανότητας για τα μειωμένα δείγματα E3 2013', F 2013', E1 2016', E2 2016' μετά την αφαίρεση των απόμακρων τιμών.



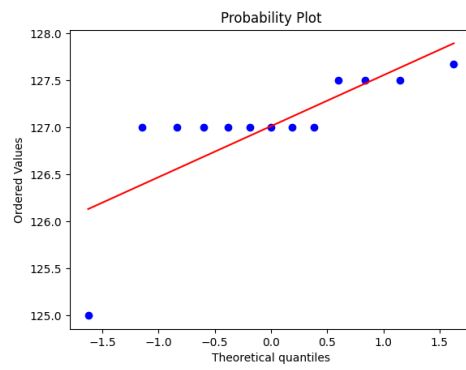
box plot E3 2013'



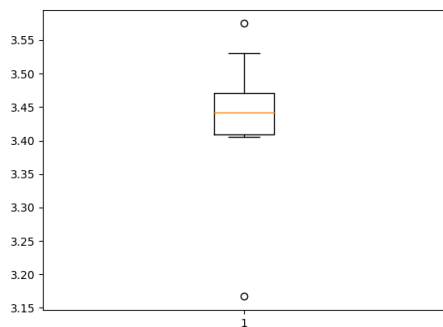
box plot F 2013'



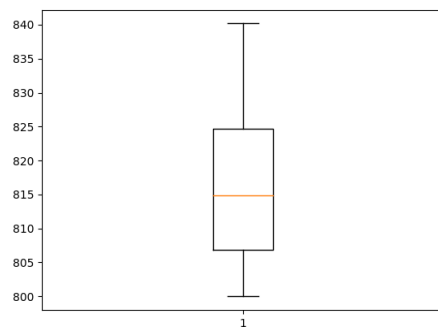
normal probability plot E3 2013'



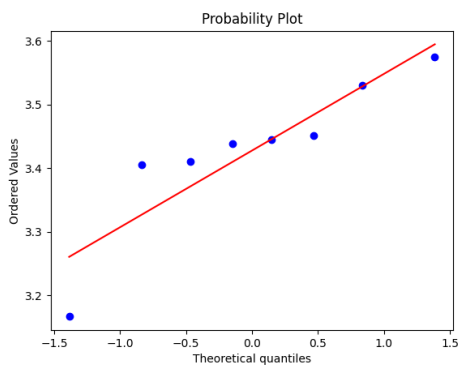
normal probability plot F 2013'



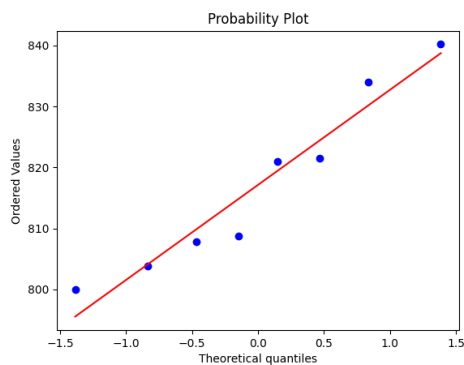
box plot E1 2016'



box plot E2 2016'



normal probability plot E1 2016'



normal probability plot E2 2016'

Χρησιμοποιώντας εκ νέου τη μέθοδο Grubbs στα μειωμένα δείγματα προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες.

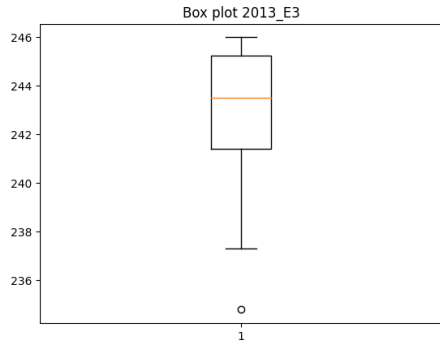
2013'	μονή χαμηλή	μονή υψηλή	διπλή χαμηλή	διπλή υψηλή
E3	1.282	2.77	0.44	0.162
F	3.059	0.998	1.024	0.848
Πλανώμενες	2.462	2.462	0.2836	0.2836
Απόμακρες	2.699	2.699	0.2016	0.2016

Πίνακας 6.6: Δεύτερο Grubb's test έχοντας αφαιρέσει απόμακρες τιμές από το αρχικό σύνολο δεδομένων του 2013

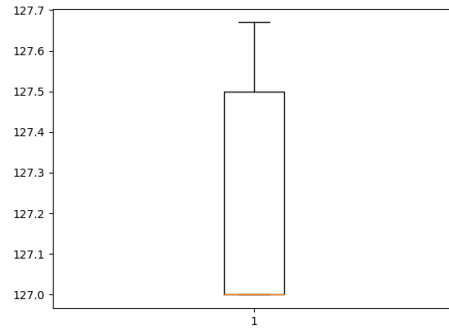
2016'	μονή χαμηλή	μονή υψηλή	διπλή χαμηλή	διπλή υψηλή
E1	2.1616	1.221	1.046	0.583
E2	1.181	1.587	0.826	0.268
Πλανώμενες	2.126	2.126	0.1101	0.1101
Απόμακρες	2.274	2.274	0.0563	0.0563

Πίνακας 6.7: Δεύτερο Grubb's test έχοντας αφαιρέσει απόμακρες τιμές από το αρχικό σύνολο δεδομένων του 2016

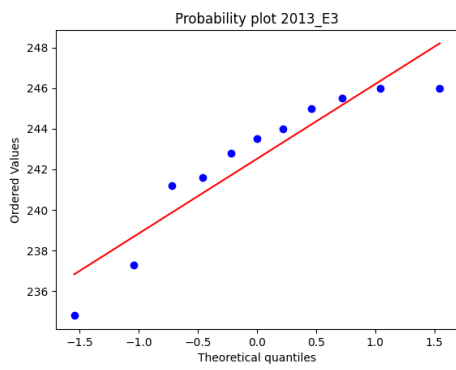
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα πλαισίου και κανονικής πιθανότητας για τα μειωμένα δείγματα E3 2013", F 2013", E1 2016" μετά την αφαίρεση των απόμακρων τιμών για δεύτερη φορά. Φαίνεται καθαρά η βελτίωση της γραμμικότητας του διαγράμματος κανονικής πιθανότητας, με εξαίρεση βέβαια του επιπέδου μέτρησης συχνότητας για τους λόγους που αναφέραμε προηγουμένως.



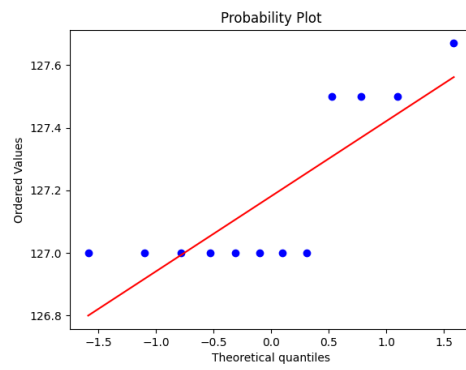
box plot E3 2013"



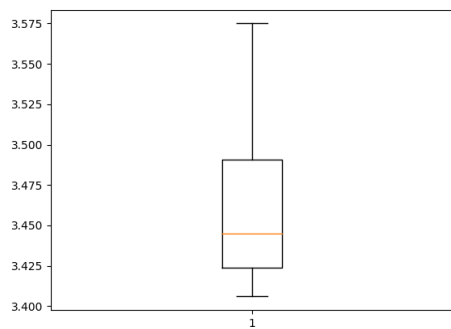
box plot F 2013"



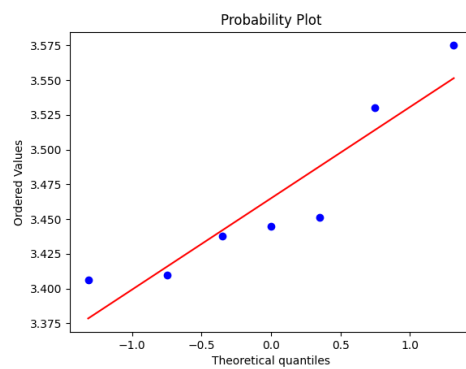
normal probability plot E3 2013"



normal probability plot F 2013"



box plot E1 2016"



normal probability plot E1 2016"

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Grubbs στα εκ νέου μειωμένα δείγματα παρατηρούμε ότι δεν εμφανίζονται απόμακρες ή πλανώμενες τιμές. Οι πίνακες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται παρακάτω.

2013"	μονή χαμηλή	μονή υψηλή	διπλή χαμηλή	διπλή υψηλή
F	0.668	1.807	0.666	0.496
Πλανώμενες	2.412	2.412	0.2537	0.2537
Απόμακρες	2.636	2.636	0.1738	0.1738

Πίνακας 6.8: Τρίτο Grubb's test έχοντας αφαιρέσει απόμακρες τιμές από το μειωμένο σύνολο δεδομένων του 2013

2013"	μονή χαμηλή	μονή υψηλή	διπλή χαμηλή	διπλή υψηλή
E3	2.125	0.959	1.109	0.775
Πλανώμενες	2.355	2.355	0.2213	0.2213
Απόμακρες	2.564	2.564	0.1448	0.1448

Πίνακας 6.9: Τρίτο Grubb's test έχοντας αφαιρέσει απόμακρες τιμές από το μειωμένο σύνολο δεδομένων του 2013

2016"	μονή χαμηλή	μονή υψηλή	διπλή χαμηλή	διπλή υψηλή
E1	0.9299	1.734	0.762	0.071
Πλανώμενες	2.02	2.02	0.0708	0.0708
Απόμακρες	2.139	2.139	0.0308	0.0308

Πίνακας 6.10: Τρίτο Grubb's test έχοντας αφαιρέσει απόμακρες τιμές από το μειωμένο σύνολο δεδομένων του 2016

Χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση των μειωμένων δειγμάτων μπορούμε να εξάγουμε τα z-score για το σύνολο των εργαστηρίων. Τα z-score με βάση τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση για τα επίπεδα στα οποία δεν είχαμε απόμακρες τιμές παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6.4.

Εργαστήρια	SD/mean
Lab 1	-2,125 0
Lab 2	0,958 6
Lab 3	0,683 3
Lab 4	-0,362 9
Lab 5	3,133 7
Lab 6	-1,436 7
Lab 7	0,958 6
Lab 8	-0,252 8
Lab 9	7,070 9
Lab 10	0,077 6
Lab 11	0,821 0
Lab 12	-17,213 0
Lab 13	0,270 3
Lab 14	0,408 0

Πίνακας 6.11: ΣΔΙ 2013, z-scores μετρήσεων Ε3 μετά από Grubbs

Εργαστήρια	SD/mean
Lab 1	-0,667 8
Lab 2	1,178 7
Lab 3	1,178 7
Lab 4	-0,667 8
Lab 5	-0,667 8
Lab 6	-8,054 1
Lab 7	-0,667 8
Lab 8	-0,667 8
Lab 9	-43,139 0
Lab 10	1,178 7
Lab 11	1,806 6
Lab 13	-0,667 8
Lab 14	-0,667 8
Lab 15	-0,667 8

Πίνακας 6.12: ΣΔΙ 2013, z-scores μετρήσεων F μετά από Grubbs

Εργαστήρια	SD/mean
Lab 1	1,733 6
Lab 2	-0,929 9
Lab 3	-0,866 8
Lab 4	-0,315 2
Lab 5	-0,425 5
Lab 6	8,368 7
Lab 7	1,024 4
Lab 8	-0,220 6
Lab 9	-4,696 6

Πίνακας 6.13: ΣΔΙ 2016, z-scores μετρήσεων E1 μετά από Grubbs

Εργαστήρια	SD/mean
Lab 1	1,586 9
Lab 2	-1,181 4
Lab 3	-0,575 6
Lab 4	0,304 2
Lab 5	0,260 9
Lab 6	6,488 2
Lab 7	1,161 0
Lab 8	-0,911 6
Lab 9	-0,644 4

Πίνακας 6.14: ΣΔΙ 2016, z-scores μετρήσεων E2 μετά από Grubbs

Τα z-score που παίρνουμε μετά την αφαίρεση των απόμακρων τιμών είναι αρκετά συνεπή με τα z-score που παίρνουμε από ανθεκτικές μεθόδους. Αυτό βέβαια ισχύει μόνο στις περιπτώσεις όπου η μέθοδος Grubbs αναγνώρισε ακραίες τιμές. Εάν και μπορεί να γίνει επαναληπτική χρήση της μεθόδου Grubbs, δε συνίσταται. Για πολλαπλές ακραίες τιμές μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος GECD η οποία παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2.4.3.2. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα αποτελέσματα δε διαφέρουν πολύ από τη μέθοδο Grubbs που ακολουθήθηκε, και στις περιπτώσεις όπου είχαμε διαφορετικές ακραίες τιμές τα προκύπτοντα z-score των μειωμένων δειγμάτων δε διαφέραν πολύ από τα z-score των αρχικών δειγμάτων.

6.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΩΝ ΕΚΤΙΜΗΤΡΙΩΝ ΣΔΙ 2013/2016

Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες των z-scores και z'-scores, του δεύτερου και τρίτου κύκλου στους οποίους οι συνθήκες των μετρήσεων είναι σχεδόν πανομοιότυπες. Τα προειδοποιητικά σήματα (warning signals) είναι επισημασμένα με κίτρινο και τα σήματα δράσης (action signals) είναι επισημασμένα με πορτοκαλί. Σαν σημείο αναφοράς χρησιμοποιούμε τον Αλγόριθμο Α, του οποίου τα προειδοποιητικά σήματα και σήματα δράσης διερευνήθηκαν και συνδέθηκαν με υπαρκτές πηγές σφάλματος (προβληματική μέθοδο μέτρησης, ακατάλληλο εξοπλισμό, ανεπαρκές/παλιό πιστοποιητικό διακρίβωσης).

Θα πρέπει να τονισθεί πως τα δεδομένα από τα δύο ΣΔΙ που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι σχετικά λίγα για να εξάγουμε κάποιο πόρισμα αλλά μπορούμε να κάνουμε μια αρχική συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων υπολογισμού στατιστικών επίδοσης.

Στις μετρήσεις συχνοτήτων λόγω των πολύ μικρών αποκλίσεων μεταξύ των μετρήσεων των εργαστηρίων τα MADe και Q_n είναι 0, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των στατιστικών επίδοσης. Οι εκτιμήτριες M επηρεάζονται με τη σειρά τους από την τιμή MADe κάτι που φαίνεται στους πίνακες 6.21,6.22,6.37,6.38.

Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας των εκτιμητριών τιμών χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (6.1), η οποία όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μας δίνει μία μετριοπαθή εκτίμηση. Αν και για μερικές από τις μεθόδους θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε μικρότερο παράγοντα από τον 1,25 (6.2) για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 6.1, παρατηρούμε ωστόσο ότι οι διαφορές στους βαθμούς επίδοσης μεταξύ z-score και z'-score είναι αρκετά μικρές. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο παράγοντας που προσθέτει η αβεβαιότητα στο βαθμό επίδοσης, είναι αρκετά μικρός ώστε να μην κάνει καμία διαφορά. Στις περιπτώσεις που έχουμε ξεκάθαρα σήματα, σύμφωνα με την κάθε μέθοδο, η υιοθέτηση των z-score ή z'-score ως στατιστικών επίδοσης δεν έχει καμία διαφορά, η διαφορά φαίνεται μόνο στις οριακές περιπτώσεις όπου οι τιμές των z-score βρίσκονται κοντά στο 2 και 3.

Ο Αλγόριθμος Α έχει δώσει σήματα σε όλες τις μετρήσεις τα οποία επαναλαμβάνονται σχεδόν σε όλες τις μεθόδους (με εξαίρεση την SD/mean και σε ορισμένες περιπτώσεις την Q/Hampel), και σε συνάρτηση με τη συνδεση τους με πραγματικές πηγές σφαλμάτων, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι δε μας έχει δώσει παράλογα αποτελέσματα. Στους πίνακες 6.15, 6.16, 6.17 και 6.18 παρατηρούμε πως ο αλγόριθμος Α σε αντίθεση με τη μέθοδο Q/Hampel και τις εκτιμήτριες M μας δίνει λιγότερα σήματα, κάτι που μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι ο αλγόριθμος Α έχει χαμηλότερο σημείο αποτυχίας και οι συγκεκριμένες μετρήσεις

είχαν αρκετά υψηλό αριθμό απόμακρων τιμών.

Σε όλες σχεδόν τις μετρήσεις, οι εκτιμήτριες τυπικής απόκλισης που δίνονται από τα MADe και nIQR είναι μικρότερες από τις άλλες μεθόδους, με αποτέλεσμα να έχουμε περισσότερα σήματα από άλλες μεθόδους, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην αρνητική μεροληψία που εμφανίζουν οι συγκεκριμένες μέθοδοι σε μικρό αριθμό δεδομένων. Πολύ μικρή, και πολλές φορές μικρότερη από όλες τις υπόλοιπες, εμφανίζεται να είναι και η εκτιμήτρια Qn. Μία εξήγηση μπορεί να είναι, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4.2.4.1, ότι η αμεροληψία της συγκεκριμένης μεθόδου βασίζεται στην παραδοχή ότι δεν υπάρχουν απόμακρες τιμές, επομένως στην περίπτωση που υπάρχουν απόμακρες τιμές θα έχουμε το αντίθετο αποτέλεσμα.

Σε κάθε περίπτωση, αν και δεν παρατηρούμε παράλογα αποτελέσματα μεταξύ των μεθόδων, ο βαθμός αποδοτικότητας των MADe και nIQR (Πίνακας 4.2) είναι συγκριτικά χαμηλός με αποτέλεσμα στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν πολλές απόμακρες τιμές ή/και τα δείγματα ακολουθούν κανονική κατανομή, να μην παρουσιάζουν καλή επίδοση. Προφανές πόρισμα των πινάκων είναι ότι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση ως εκτιμήτριες είναι τελείως αναποτελεσματικές, το οποίο προκύπτει εύκολα από το γεγονός ότι έχουν 0% σημείο αποτυχίας.

Μία κεντρική συνεισφορά της παρούσας εργασίας είναι ο κώδικας για τον υπολογισμό των εκτιμητριών τιμών, ο οποίος παρέχεται ανοιχτός στο Παράρτημα Α'. Δίνεται η δυνατότητα σε οποιοδήποτε οργανωτή διεργαστηριακών συγκρίσεων όπου ως εκτιμήτριες τιμές έχουν επιλεγεί οι τιμές συμφωνίας των συμμετεχόντων εργαστηρίων, να χρησιμοποιήσει, με καμία σχεδόν αλλαγή, τον παρεχόμενο κώδικα για τον υπολογισμό των ανθεκτικών εκτιμητριών όπως παρουσιάζονται στο ανανεωμένο ISO 13528:2015 [7].

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	2,123 4	3,960 6	5,878 7	1,715 5	9,049 4	5,501 3	9,721 1
Lab 2	0,009 8	-0,254 2	-0,086 8	0,103 5	-0,136 8	-0,353 1	-0,147 0
Lab 3	0,167 2	0,059 6	0,357 4	0,223 5	0,547 3	0,082 8	0,587 9
Lab 4	-0,093 6	-0,460 5	-0,378 7	0,024 6	-0,586 4	-0,639 6	-0,629 9
Lab 5	0,558 5	0,839 8	1,461 7	0,521 9	2,247 7	1,166 5	2,414 5
Lab 6	-0,918 8	-2,106 1	-2,707 8	-0,604 7	-4,172 9	-2,925 3	-4,482 6
Lab 7	-3,005 5	-6,267 0	-8,597 2	-2,196 1	-13,241 9	-8,705 0	-14,224 7
Lab 8	-0,057 6	-0,388 8	-0,277 2	0,052 1	-0,430 0	-0,540 0	-0,461 9
Lab 9	1,451 1	2,619 9	3,981 2	1,202 7	6,127 4	3,639 1	6,582 2
Lab 10	0,072 8	-0,128 7	0,090 9	0,151 5	0,136 8	-0,178 8	0,147 0
Lab 11	0,135 7	-0,003 1	0,268 6	0,199 5	0,410 4	-0,004 4	0,440 9
Lab 12	-2,378 1	-5,016 1	-6,826 6	-1,717 7	-10,515 3	-6,967 4	-11,295 8
Lab 13	-0,044 1	-0,361 8	-0,239 1	0,062 3	-0,371 4	-0,502 6	-0,398 9
Lab 14	0,216 7	0,158 3	0,497 1	0,261 3	0,762 3	0,219 8	0,818 8

Πίνακας 6.15: ΣΔΙ 2013, z-scores μετρήσεων ΕΙ

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	2,014 0	3,756 5	5,575 8	1,627 1	8,583 1	5,217 8	9,149 7
Lab 2	0,009 3	-0,241 1	-0,082 3	0,098 2	-0,129 8	-0,334 9	-0,138 3
Lab 3	0,158 6	0,056 6	0,339 0	0,212 0	0,519 1	0,078 6	0,553 3
Lab 4	-0,088 8	-0,436 8	-0,359 2	0,023 4	-0,556 1	-0,606 7	-0,592 9
Lab 5	0,529 7	0,796 5	1,386 4	0,495 0	2,131 9	1,106 4	2,272 6
Lab 6	-0,871 5	-1,997 5	-2,568 3	-0,573 6	-3,957 9	-2,774 6	-4,219 1
Lab 7	-2,850 6	-5,944 1	-8,154 2	-2,083 0	-12,559 5	-8,256 4	-13,388 6
Lab 8	-0,054 7	-0,368 7	-0,262 9	0,049 4	-0,407 8	-0,512 2	-0,434 8
Lab 9	1,376 4	2,484 9	3,776 0	1,140 8	5,811 7	3,451 5	6,195 3
Lab 10	0,069 0	-0,122 1	0,086 2	0,143 7	0,129 8	-0,169 5	0,138 3
Lab 11	0,128 7	-0,003 0	0,254 7	0,189 3	0,389 3	-0,004 1	0,415 0
Lab 12	-2,255 6	-4,757 6	-6,474 8	-1,629 2	-9,973 5	-6,608 3	-10,631 8
Lab 13	-0,041 9	-0,343 2	-0,226 8	0,059 1	-0,352 2	-0,476 7	-0,375 5
Lab 14	0,205 5	0,150 1	0,471 4	0,247 8	0,723 0	0,208 5	0,770 7

Πίνακας 6.16: ΣΔΙ 2013, z'-scores μετρήσεων ΕΙ

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	2,501 8	5,544 7	8,252 6	1,262 1	8,803 5	7,983 4	7,732 0
Lab 2	-0,267 7	-0,073 4	-0,384 2	-0,213 9	-0,187 3	-0,105 7	-0,164 5
Lab 3	-0,152 3	0,160 7	-0,024 3	-0,152 4	0,187 3	0,231 3	0,164 5
Lab 4	-0,406 2	-0,354 3	-0,816 0	-0,287 7	-0,636 8	-0,510 2	-0,559 3
Lab 5	0,159 3	0,792 7	0,947 3	0,013 6	1,198 8	1,141 3	1,052 9
Lab 6	-0,856 2	-1,267 3	-2,219 5	-0,527 6	-2,097 8	-1,824 7	-1,842 5
Lab 7	4,671 2	9,945 6	15,018 1	2,418 3	15,846 3	14,319 9	13,917 5
Lab 8	-0,429 3	-0,401 2	-0,888 0	-0,300 0	-0,711 8	-0,577 6	-0,625 1
Lab 9	1,405 5	3,320 9	4,833 9	0,677 8	5,244 6	4,781 5	4,606 3
Lab 10	-0,233 1	-0,003 2	-0,276 2	-0,195 5	-0,074 9	-0,004 6	-0,065 8
Lab 11	-0,186 9	0,090 4	-0,132 3	-0,170 9	0,074 9	0,130 2	0,065 8
Lab 12	-3,810 3	-7,260 0	-11,432 1	-2,102 0	-11,688 0	-10,453 1	-10,265 4
Lab 13	-0,348 5	-0,237 3	-0,636 1	-0,257 0	-0,449 5	-0,341 7	-0,394 8
Lab 14	-0,175 4	0,113 8	-0,096 3	-0,164 7	0,112 4	0,163 9	0,098 7

Πίνακας 6.17: ΣΔΙ 2013, z-scores μετρήσεων Ε2

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	2,372 8	5,259 0	7,827 4	1,197 1	8,349 8	7,572 1	7,333 6
Lab 2	-0,253 9	-0,069 7	-0,364 4	-0,202 9	-0,177 7	-0,100 3	-0,156 0
Lab 3	-0,144 5	0,152 4	-0,023 1	-0,144 6	0,177 7	0,219 4	0,156 0
Lab 4	-0,385 2	-0,336 1	-0,774 0	-0,272 9	-0,604 0	-0,483 9	-0,530 5
Lab 5	0,151 1	0,751 9	0,898 5	0,012 9	1,137 0	1,082 5	0,998 6
Lab 6	-0,812 1	-1,202 0	-2,105 1	-0,500 4	-1,989 8	-1,730 7	-1,747 6
Lab 7	4,430 5	9,433 2	14,244 3	2,293 7	15,029 7	13,582 1	13,200 4
Lab 8	-0,407 1	-0,380 5	-0,842 2	-0,284 6	-0,675 1	-0,547 8	-0,592 9
Lab 9	1,333 1	3,149 8	4,584 8	0,642 9	4,974 4	4,535 1	4,368 9
Lab 10	-0,221 1	-0,003 0	-0,262 0	-0,185 4	-0,071 1	-0,004 4	-0,062 4
Lab 11	-0,177 3	0,085 8	-0,125 5	-0,162 1	0,071 1	0,123 5	0,062 4
Lab 12	-3,614 0	-6,885 9	-10,843 0	-1,993 7	-11,085 8	-9,914 5	-9,736 5
Lab 13	-0,330 5	-0,225 1	-0,603 3	-0,243 7	-0,426 4	-0,324 1	-0,374 5
Lab 14	-0,166 3	0,108 0	-0,091 3	-0,156 2	0,106 6	0,155 5	0,093 6

Πίνακας 6.18: ΣΔΙ 2013, z'-scores μετρήσεων Ε2

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	-1,330 1	-1,582 6	-2,072 7	-0,307 6	-2,682 3	-2,115 1	-2,639 0
Lab 2	0,402 2	0,505 2	0,615 4	0,276 3	0,674 3	0,675 1	0,663 4
Lab 3	0,247 5	0,318 8	0,375 4	0,224 2	0,374 6	0,426 0	0,368 6
Lab 4	-0,340 2	-0,389 6	-0,536 6	0,026 1	-0,764 2	-0,520 7	-0,751 9
Lab 5	1,624 0	1,977 8	2,511 5	0,688 2	3,041 9	2,643 2	2,992 8
Lab 6	-0,943 4	-1,116 6	-1,472 7	-0,177 3	-1,933 0	-1,492 2	-1,901 8
Lab 7	0,402 2	0,505 2	0,615 4	0,276 3	0,674 3	0,675 1	0,663 4
Lab 8	-0,278 4	-0,315 0	-0,440 6	0,046 9	-0,644 3	-0,421 0	-0,633 9
Lab 9	3,835 7	4,643 4	5,943 7	1,433 6	7,327 5	6,205 7	7,209 3
Lab 10	-0,092 8	-0,091 3	-0,152 6	0,109 5	-0,284 7	-0,122 1	-0,280 1
Lab 11	0,324 8	0,412 0	0,495 4	0,250 2	0,524 5	0,550 6	0,516 0
Lab 12	-9,805 7	-11,797 8	-15,225 4	-3,164 5	-19,105 4	-15,767 0	-18,797 3
Lab 13	0,015 5	0,039 1	0,015 4	0,146 0	-0,074 9	0,052 3	-0,073 7
Lab 14	0,092 8	0,132 3	0,135 4	0,172 0	0,074 9	0,176 9	0,073 7

Πίνακας 6.19: ΣΔΙ 2013, z-scores μετρήσεων Ε3

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	-1,261 5	-1,501 1	-1,965 9	-0,291 7	-2,544 0	-2,006 1	-2,503 0
Lab 2	0,381 4	0,479 1	0,583 7	0,262 1	0,639 6	0,650 5	0,629 2
Lab 3	0,234 7	0,302 3	0,356 1	0,212 6	0,355 3	0,410 5	0,349 6
Lab 4	-0,322 7	-0,369 5	-0,509 0	0,024 7	-0,724 8	-0,501 7	-0,713 1
Lab 5	1,540 3	1,875 9	2,382 1	0,652 7	2,885 1	2,546 8	2,838 6
Lab 6	-0,894 8	-1,059 0	-1,396 8	-0,168 1	-1,833 4	-1,437 8	-1,803 8
Lab 7	0,381 4	0,479 1	0,583 7	0,262 1	0,639 6	0,650 5	0,629 2
Lab 8	-0,264 0	-0,298 8	-0,417 9	0,044 5	-0,611 1	-0,405 7	-0,601 3
Lab 9	3,638 1	4,404 2	5,637 4	1,359 8	6,949 9	5,979 4	6,837 8
Lab 10	-0,088 0	-0,086 6	-0,144 7	0,103 8	-0,270 0	-0,117 6	-0,265 7
Lab 11	0,308 1	0,390 7	0,469 9	0,237 3	0,497 4	0,530 5	0,489 4
Lab 12	-9,300 4	-11,189 8	-14,440 8	-3,001 4	-18,120 9	-15,192 1	-17,828 7
Lab 13	0,014 7	0,037 1	0,014 6	0,138 4	-0,071 1	0,050 4	-0,069 9
Lab 14	0,088 0	0,125 5	0,128 4	0,163 2	0,071 1	0,170 4	0,069 9

Πίνακας 6.20: ΣΔΙ 2013, z'-scores μετρήσεων Ε3

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	nIQR/median
Lab 1	-0,192 4	-0,323 4	0,393 3	0,257 6	0,000 0
Lab 2	1,032 2	0,642 7	49,681 0	0,416 8	1,798 6
Lab 3	1,032 2	0,642 7	49,681 0	0,416 8	1,798 6
Lab 4	-0,192 4	-0,323 4	0,393 3	0,257 6	0,000 0
Lab 5	-0,192 4	-0,323 4	0,393 3	0,257 6	0,000 0
Lab 6	-5,091 0	-4,188 0	-196,757 5	-0,379 1	-7,194 6
Lab 7	-0,192 4	-0,323 4	0,393 3	0,257 6	0,000 0
Lab 8	-0,192 4	-0,323 4	0,393 3	0,257 6	0,000 0
Lab 9	-28,359 5	-22,544 5	-1 133,223 8	-3,403 3	-41,368 8
Lab 10	1,032 2	0,642 7	49,681 0	0,416 8	1,798 6
Lab 11	1,448 6	0,971 2	66,438 9	0,470 9	2,410 2
Lab 13	-0,192 4	-0,323 4	0,393 3	0,257 6	0,000 0
Lab 14	-0,192 4	-0,323 4	0,393 3	0,257 6	0,000 0
Lab 15	-0,192 4	-0,323 4	0,393 3	0,257 6	0,000 0

Πίνακας 6.21: ΣΔΙ 2013, z-scores μετρήσεων f

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	nIQR/median
Lab 1	-0,182 5	-0,306 7	0,373 1	0,244 4	0,000 0
Lab 2	0,979 0	0,609 6	47,121 1	0,395 3	1,706 0
Lab 3	0,979 0	0,609 6	47,121 1	0,395 3	1,706 0
Lab 4	-0,182 5	-0,306 7	0,373 1	0,244 4	0,000 0
Lab 5	-0,182 5	-0,306 7	0,373 1	0,244 4	0,000 0
Lab 6	-4,828 7	-3,972 2	-186,618 9	-0,359 5	-6,823 8
Lab 7	-0,182 5	-0,306 7	0,373 1	0,244 4	0,000 0
Lab 8	-0,182 5	-0,306 7	0,373 1	0,244 4	0,000 0
Lab 9	-26,898 2	-21,382 8	-1 074,830 6	-3,227 9	-39,237 1
Lab 10	0,979 0	0,609 6	47,121 1	0,395 3	1,706 0
Lab 11	1,374 0	0,921 2	63,015 4	0,446 7	2,286 0
Lab 13	-0,182 5	-0,306 7	0,373 1	0,244 4	0,000 0
Lab 14	-0,182 5	-0,306 7	0,373 1	0,244 4	0,000 0
Lab 15	-0,182 5	-0,306 7	0,373 1	0,244 4	0,000 0

Πίνακας 6.22: ΣΔΙ 2013, z'-scores μετρήσεων f

Εργαστήρια	Algorith A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,929 1	0,815 8	0,945 4	0,764 5	0,935 9	1,082 8	1,080 9
Lab 2	-0,351 8	-0,326 2	-0,391 5	-0,377 2	-0,427 4	-0,433 0	-0,493 6
Lab 3	0,562 1	0,488 6	0,562 4	0,437 4	0,545 3	0,648 5	0,629 8
Lab 4	-0,594 2	-0,542 3	-0,644 5	-0,593 2	-0,685 4	-0,719 8	-0,791 5
Lab 5	-0,981 9	-0,888 0	-1,049 2	-0,938 8	-1,098 1	-1,178 6	-1,268 1
Lab 6	-1,078 8	-0,974 4	-1,150 4	-1,025 2	-1,201 2	-1,293 3	-1,387 3
Lab 7	1,815 3	1,605 9	1,870 5	1,554 4	1,879 2	2,131 5	2,170 3
Lab 8	-1,868 1	-1,678 1	-1,974 2	-1,728 7	-2,041 4	-2,227 3	-2,357 5
Lab 9	0,042 8	0,025 6	0,020 4	-0,025 5	-0,007 4	0,034 0	-0,008 5
Lab 10	-0,608 0	-0,554 6	-0,658 9	-0,605 5	-0,700 1	-0,736 1	-0,808 5
Lab 11	0,479 0	0,414 5	0,475 7	0,363 3	0,456 9	0,550 2	0,527 7
Lab 12	-0,573 4	-0,523 7	-0,622 8	-0,574 7	-0,663 3	-0,695 2	-0,766 0
Lab 13	0,375 2	0,321 9	0,367 3	0,270 8	0,346 4	0,427 3	0,400 0
Lab 14	0,056 7	0,038 0	0,034 9	-0,013 1	0,007 4	0,050 4	0,008 5
Lab 15	2,694 7	2,389 9	2,788 3	2,338 1	2,815 1	3,172 1	3,251 2
Lab 16	0,243 6	0,204 7	0,230 0	0,153 5	0,206 3	0,271 6	0,238 3

Πίνακας 6.23: ΣΔΙ 2013, z-scores μετρήσεων ΒΙ

Εργαστήρια	Algorith A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,886 8	0,778 6	0,902 4	0,729 7	0,893 3	1,033 5	1,031 7
Lab 2	-0,335 8	-0,311 4	-0,373 7	-0,360 0	-0,408 0	-0,413 3	-0,471 2
Lab 3	0,536 5	0,466 4	0,536 8	0,417 5	0,520 5	0,619 0	0,601 1
Lab 4	-0,567 1	-0,517 6	-0,615 1	-0,566 2	-0,654 2	-0,687 0	-0,755 5
Lab 5	-0,937 2	-0,847 5	-1,001 4	-0,896 1	-1,048 1	-1,124 9	-1,210 4
Lab 6	-1,029 7	-0,930 0	-1,098 0	-0,978 5	-1,146 5	-1,234 4	-1,324 1
Lab 7	1,732 7	1,532 8	1,785 3	1,483 6	1,793 7	2,034 5	2,071 5
Lab 8	-1,783 1	-1,601 7	-1,884 4	-1,650 0	-1,948 4	-2,125 9	-2,250 2
Lab 9	0,040 9	0,024 5	0,019 5	-0,024 3	-0,007 0	0,032 5	-0,008 1
Lab 10	-0,580 3	-0,529 4	-0,628 9	-0,578 0	-0,668 2	-0,702 6	-0,771 7
Lab 11	0,457 2	0,395 7	0,454 0	0,346 8	0,436 1	0,525 2	0,503 7
Lab 12	-0,547 3	-0,499 9	-0,594 4	-0,548 5	-0,633 1	-0,663 5	-0,731 1
Lab 13	0,358 1	0,307 3	0,350 6	0,258 4	0,330 6	0,407 9	0,381 8
Lab 14	0,054 1	0,036 3	0,033 3	-0,012 5	0,007 0	0,048 1	0,008 1
Lab 15	2,572 0	2,281 1	2,661 4	2,231 7	2,687 0	3,027 7	3,103 2
Lab 16	0,232 5	0,195 3	0,219 5	0,146 5	0,197 0	0,259 3	0,227 5

Πίνακας 6.24: ΣΔΙ 2013, z'-scores μετρήσεων ΒΙ

Εργαστήρια	Algorith A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,154 3	0,124 5	0,163 4	0,147 2	0,058 1	0,169 6	0,067 4
Lab 2	0,198 5	0,160 0	0,213 8	0,190 6	0,104 6	0,218 0	0,121 4
Lab 3	0,916 1	0,737 9	1,032 4	0,896 2	0,860 3	1,005 3	0,998 2
Lab 4	0,043 9	0,035 6	0,037 5	0,038 7	-0,058 1	0,048 4	-0,067 4
Lab 5	-1,192 6	-0,960 1	-1,373 0	-1,177 1	-1,360 2	-1,308 1	-1,578 3
Lab 6	-1,358 2	-1,093 5	-1,561 9	-1,340 0	-1,534 6	-1,489 8	-1,780 7
Lab 7	0,308 9	0,248 9	0,339 7	0,299 2	0,220 9	0,339 1	0,256 3
Lab 8	-0,585 3	-0,471 2	-0,680 4	-0,580 1	-0,720 8	-0,641 9	-0,836 4
Lab 9	0,043 9	0,035 6	0,037 5	0,038 7	-0,058 1	0,048 4	-0,067 4
Lab 10	-1,998 5	-1,609 1	-2,292 3	-1,969 6	-2,208 9	-2,192 3	-2,563 1
Lab 11	0,717 4	0,577 9	0,805 7	0,700 9	0,651 1	0,787 3	0,755 4
Lab 12	1,192 1	0,960 1	1,347 2	1,167 6	1,151 0	1,308 1	1,335 5
Lab 13	-0,563 3	-0,453 4	-0,655 2	-0,558 4	-0,697 6	-0,617 7	-0,809 4
Lab 14	-0,353 5	-0,284 5	-0,415 9	-0,352 1	-0,476 7	-0,387 6	-0,553 1
Lab 15	0,474 5	0,382 3	0,528 6	0,462 0	0,395 3	0,520 8	0,458 7
Lab 16	2,075 3	1,671 4	2,354 7	2,036 1	2,081 1	2,277 0	2,414 7

Πίνακας 6.25: ΣΔΙ 2013, z-scores μετρήσεων Β2

Εργαστήρια	Algorith A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,147 3	0,118 8	0,156 0	0,140 5	0,055 5	0,161 8	0,064 4
Lab 2	0,189 5	0,152 7	0,204 1	0,182 0	0,099 9	0,208 1	0,115 9
Lab 3	0,874 4	0,704 3	0,985 4	0,855 5	0,821 2	0,959 5	0,952 8
Lab 4	0,041 9	0,033 9	0,035 8	0,036 9	-0,055 5	0,046 2	-0,064 4
Lab 5	-1,138 3	-0,916 4	-1,310 5	-1,123 5	-1,298 3	-1,248 5	-1,506 5
Lab 6	-1,296 3	-1,043 7	-1,490 8	-1,279 0	-1,464 8	-1,422 0	-1,699 6
Lab 7	0,294 8	0,237 6	0,324 3	0,285 6	0,210 8	0,323 7	0,244 6
Lab 8	-0,558 7	-0,449 7	-0,649 4	-0,553 7	-0,688 0	-0,612 7	-0,798 3
Lab 9	0,041 9	0,033 9	0,035 8	0,036 9	-0,055 5	0,046 2	-0,064 4
Lab 10	-1,907 5	-1,535 9	-2,188 0	-1,879 9	-2,108 4	-2,092 5	-2,446 4
Lab 11	0,684 7	0,551 6	0,769 0	0,668 9	0,621 4	0,751 4	0,721 0
Lab 12	1,137 8	0,916 4	1,285 9	1,114 5	1,098 6	1,248 5	1,274 7
Lab 13	-0,537 6	-0,432 8	-0,625 3	-0,533 0	-0,665 8	-0,589 6	-0,772 5
Lab 14	-0,337 4	-0,271 5	-0,397 0	-0,336 1	-0,455 0	-0,369 9	-0,527 9
Lab 15	0,452 9	0,364 9	0,504 6	0,441 0	0,377 3	0,497 1	0,437 8
Lab 16	1,980 8	1,595 3	2,247 5	1,943 4	1,986 3	2,173 4	2,304 8

Πίνακας 6.26: ΣΔΙ 2013, z'-scores μετρήσεων Β2

Εργαστήρια	Algorith A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	-0,454 0	-0,474 3	-0,571 5	-0,517 4	-0,149 8	-0,653 4	-0,124 2
Lab 2	0,032 2	0,103 4	0,089 1	-0,036 7	0,541 8	0,142 5	0,449 0
Lab 3	-0,689 0	-0,753 5	-0,890 7	-0,749 7	-0,484 1	-1,038 1	-0,401 3
Lab 4	-0,892 3	-0,995 2	-1,167 0	-0,950 8	-0,773 4	-1,371 1	-0,641 1
Lab 5	0,639 9	0,825 6	0,914 7	0,564 1	1,406 3	1,137 4	1,165 6
Lab 6	1,886 1	2,306 5	2,607 8	1,796 1	3,179 0	3,177 6	2,634 9
Lab 7	-0,591 7	-0,638 0	-0,758 6	-0,653 6	-0,345 8	-0,878 9	-0,286 6
Lab 8	1,764 6	2,162 1	2,442 7	1,676 0	3,006 1	2,978 7	2,491 6
Lab 9	0,490 8	0,648 4	0,712 2	0,416 7	1,194 2	0,893 3	0,989 8
Lab 10	1,959 0	2,393 1	2,706 9	1,868 2	3,282 8	3,297 0	2,720 9
Lab 11	-0,514 8	-0,546 5	-0,654 0	-0,577 5	-0,236 3	-0,752 9	-0,195 9
Lab 12	-1,102 2	-1,244 6	-1,452 1	-1,158 3	-1,072 0	-1,714 7	-0,888 5
Lab 13	-0,389 2	-0,397 3	-0,483 4	-0,453 3	-0,057 6	-0,547 3	-0,047 8
Lab 14	-0,834 8	-0,926 8	-1,088 9	-0,893 9	-0,691 6	-1,276 9	-0,573 2
Lab 15	-0,308 1	-0,301 0	-0,373 3	-0,373 2	0,057 6	-0,414 7	0,047 8
Lab 16	0,113 2	0,199 7	0,199 2	0,043 4	0,657 0	0,275 2	0,544 6

Πίνακας 6.27: ΣΔΙ 2013, z-scores μετρήσεων Β3

Εργαστήρια	Algorith A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	-0,433 3	-0,452 7	-0,545 4	-0,493 8	-0,143 0	-0,623 7	-0,118 5
Lab 2	0,030 7	0,098 7	0,085 0	-0,035 1	0,517 1	0,136 0	0,428 6
Lab 3	-0,657 6	-0,719 2	-0,850 2	-0,715 6	-0,462 1	-0,990 9	-0,383 0
Lab 4	-0,851 7	-0,949 9	-1,113 9	-0,907 5	-0,738 2	-1,308 7	-0,611 9
Lab 5	0,610 8	0,788 0	0,873 1	0,538 4	1,342 2	1,085 6	1,112 5
Lab 6	1,800 3	2,201 5	2,489 1	1,714 4	3,034 3	3,033 0	2,515 0
Lab 7	-0,564 8	-0,608 9	-0,724 1	-0,623 8	-0,330 1	-0,838 9	-0,273 6
Lab 8	1,684 2	2,063 6	2,331 5	1,599 7	2,869 3	2,843 1	2,378 2
Lab 9	0,468 5	0,618 9	0,679 7	0,397 7	1,139 8	0,852 7	0,944 7
Lab 10	1,869 9	2,284 2	2,583 7	1,783 2	3,133 4	3,146 9	2,597 0
Lab 11	-0,491 3	-0,521 6	-0,624 2	-0,551 2	-0,225 5	-0,718 6	-0,186 9
Lab 12	-1,052 0	-1,187 9	-1,386 0	-1,105 5	-1,023 2	-1,636 6	-0,848 0
Lab 13	-0,371 4	-0,379 2	-0,461 4	-0,432 7	-0,055 0	-0,522 4	-0,045 6
Lab 14	-0,796 8	-0,884 6	-1,039 3	-0,853 2	-0,660 1	-1,218 8	-0,547 1
Lab 15	-0,294 1	-0,287 3	-0,356 3	-0,356 2	0,055 0	-0,395 8	0,045 6
Lab 16	0,108 1	0,190 6	0,190 1	0,041 4	0,627 1	0,262 6	0,519 8

Πίνακας 6.28: ΣΔΙ 2013, z'-scores μετρήσεων Β3

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	1,6209	1,4043	1,4655	1,7978	1,2189	1,9587	1,3635
Lab 2	-1,0752	-0,9432	-0,9755	-1,2075	-0,8559	-1,3155	-0,9573
Lab 3	-0,4011	-0,3563	-0,3653	-0,4562	-0,3372	-0,4970	-0,3771
Lab 4	0,4077	0,3479	0,3671	0,4454	0,2853	0,4853	0,3191
Lab 5	0,9469	0,8174	0,8553	1,0465	0,7002	1,1401	0,7833
Lab 6	-1,1426	-1,0019	-1,0365	-1,2826	-0,9077	-1,3974	-1,0154
Lab 7	-1,0752	-0,9432	-0,9755	-1,2075	-0,8559	-1,3155	-0,9573
Lab 8	-0,1989	-0,1803	-0,1822	-0,2308	-0,1815	-0,2514	-0,2031
Lab 9	0,9469	0,8174	0,8553	1,0465	0,7002	1,1401	0,7833
Lab 10	0,9469	0,8174	0,8553	1,0465	0,7002	1,1401	0,7833
Lab 11	-0,8056	-0,7084	-0,7314	-0,9070	-0,6484	-0,9881	-0,7253
Lab 13	0,2729	0,2306	0,2450	0,2952	0,1815	0,3216	0,2031
Lab 14	-0,6034	-0,5324	-0,5483	-0,6816	-0,4928	-0,7425	-0,5512
Lab 15	0,2729	0,2306	0,2450	0,2952	0,1815	0,3216	0,2031

Πίνακας 6.29: ΣΔΙ 2013, z-scores μετρήσεων Β4

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	1,5374	1,3319	1,3900	1,7052	1,1561	1,8577	1,2932
Lab 2	-1,0198	-0,8946	-0,9252	-1,1453	-0,8118	-1,2477	-0,9080
Lab 3	-0,3805	-0,3380	-0,3464	-0,4327	-0,3198	-0,4714	-0,3577
Lab 4	0,3867	0,3300	0,3481	0,4225	0,2706	0,4603	0,3027
Lab 5	0,8981	0,7753	0,8112	0,9926	0,6642	1,0814	0,7429
Lab 6	-1,0837	-0,9502	-0,9831	-1,2165	-0,8609	-1,3254	-0,9630
Lab 7	-1,0198	-0,8946	-0,9252	-1,1453	-0,8118	-1,2477	-0,9080
Lab 8	-0,1887	-0,1710	-0,1728	-0,2189	-0,1722	-0,2385	-0,1926
Lab 9	0,8981	0,7753	0,8112	0,9926	0,6642	1,0814	0,7429
Lab 10	0,8981	0,7753	0,8112	0,9926	0,6642	1,0814	0,7429
Lab 11	-0,7640	-0,6719	-0,6937	-0,8602	-0,6150	-0,9372	-0,6879
Lab 13	0,2588	0,2187	0,2324	0,2800	0,1722	0,3050	0,1926
Lab 14	-0,5723	-0,5049	-0,5201	-0,6464	-0,4674	-0,7043	-0,5228
Lab 15	0,2588	0,2187	0,2324	0,2800	0,1722	0,3050	0,1926

Πίνακας 6.30: ΣΔΙ 2013, z'-scores μετρήσεων Β4

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,941 1	1,367 0	1,579 2	0,381 5	2,247 7	2,100 6	1,461 4
Lab 2	-0,504 8	-0,404 0	-0,772 4	-0,385 0	-0,674 3	-0,620 8	-0,438 4
Lab 3	-0,470 5	-0,362 1	-0,716 7	-0,366 9	-0,605 1	-0,556 4	-0,393 5
Lab 4	-0,171 1	0,004 7	-0,229 7	-0,208 1	0,000 0	0,007 2	0,000 0
Lab 5	-0,231 0	-0,068 7	-0,327 1	-0,239 9	-0,121 0	-0,105 5	-0,078 7
Lab 6	4,542 8	5,779 0	7,437 3	2,291 0	9,526 8	8,880 1	6,194 1
Lab 7	0,556 1	0,895 5	0,953 0	0,177 4	1,469 6	1,376 0	0,955 5
Lab 8	-0,119 8	0,067 6	-0,146 2	-0,180 9	0,103 7	0,103 8	0,067 4
Lab 9	-2,549 5	-2,908 6	-4,098 0	-1,469 0	-4,806 6	-4,469 5	-3,125 1

Πίνακας 6.31: ΣΔΙ 2016, z-scores μετρήσεων Ε1

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,860 8	1,250 4	1,444 4	0,348 9	2,055 9	1,921 4	1,336 7
Lab 2	-0,461 7	-0,369 5	-0,706 5	-0,352 2	-0,616 8	-0,567 8	-0,401 0
Lab 3	-0,430 4	-0,331 2	-0,655 6	-0,335 6	-0,553 5	-0,508 9	-0,359 9
Lab 4	-0,156 5	0,004 3	-0,210 1	-0,190 4	0,000 0	0,006 6	0,000 0
Lab 5	-0,211 3	-0,062 8	-0,299 2	-0,219 4	-0,110 7	-0,096 5	-0,072 0
Lab 6	4,155 1	5,285 8	6,802 6	2,095 5	8,713 8	8,122 2	5,665 5
Lab 7	0,508 6	0,819 0	0,871 7	0,162 3	1,344 2	1,258 6	0,874 0
Lab 8	-0,109 6	0,061 8	-0,133 7	-0,165 5	0,094 9	0,095 0	0,061 7
Lab 9	-2,331 9	-2,660 4	-3,748 3	-1,343 7	-4,396 4	-4,088 1	-2,858 4

Πίνακας 6.32: ΣΔΙ 2016, z'-scores μετρήσεων Ε1

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,964 7	0,695 1	0,863 1	0,367 5	0,987 7	1,580 0	0,990 8
Lab 2	-1,045 2	-0,778 3	-1,076 6	-0,807 3	-1,074 3	-1,769 1	-1,077 7
Lab 3	-0,605 4	-0,455 9	-0,652 1	-0,550 2	-0,623 1	-1,036 3	-0,625 1
Lab 4	0,033 4	0,012 4	-0,035 7	-0,176 8	0,032 3	0,028 2	0,032 4
Lab 5	0,001 9	-0,010 7	-0,066 0	-0,195 2	0,000 0	-0,024 2	0,000 0
Lab 6	4,523 2	3,303 8	4,297 3	2,447 5	4,638 4	7,509 6	4,653 1
Lab 7	0,655 4	0,468 4	0,564 7	0,186 8	0,670 4	1,064 7	0,672 5
Lab 8	-0,849 3	-0,634 7	-0,887 5	-0,692 8	-0,873 3	-1,442 7	-0,876 1
Lab 9	-0,655 4	-0,492 5	-0,700 3	-0,579 4	-0,674 3	-1,119 5	-0,676 4

Πίνακας 6.33: ΣΔΙ 2016, z-scores μετρήσεων Ε2

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,882 3	0,635 8	0,789 4	0,336 2	0,903 4	1,445 1	0,906 2
Lab 2	-0,956 0	-0,711 9	-0,984 7	-0,738 4	-0,982 6	-1,618 1	-0,985 7
Lab 3	-0,553 8	-0,417 0	-0,596 5	-0,503 3	-0,569 9	-0,947 8	-0,571 7
Lab 4	0,030 5	0,011 3	-0,032 6	-0,161 8	0,029 5	0,025 8	0,029 6
Lab 5	0,001 8	-0,009 8	-0,060 4	-0,178 6	0,000 0	-0,022 2	0,000 0
Lab 6	4,137 2	3,021 8	3,930 6	2,238 7	4,242 5	6,868 7	4,256 0
Lab 7	0,599 5	0,428 4	0,516 5	0,170 8	0,613 2	0,973 8	0,615 1
Lab 8	-0,776 9	-0,580 5	-0,811 8	-0,633 7	-0,798 8	-1,319 6	-0,801 3
Lab 9	-0,599 4	-0,450 5	-0,640 6	-0,530 0	-0,616 8	-1,023 9	-0,618 7

Πίνακας 6.34: ΣΔΙ 2016, z'-scores μετρήσεων Ε2

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	1,036 8	0,790 6	1,221 3	0,876 2	1,522 6	1,424 0	2,052 8
Lab 2	-0,467 3	-0,411 0	-0,580 6	-0,518 3	-0,304 5	-0,740 3	-0,410 6
Lab 3	-0,216 6	-0,210 7	-0,280 3	-0,285 9	0,000 0	-0,379 6	0,000 0
Lab 4	0,266 9	0,175 5	0,298 9	0,162 3	0,587 3	0,316 1	0,791 8
Lab 5	-0,413 5	-0,368 1	-0,516 2	-0,468 5	-0,239 3	-0,663 0	-0,322 6
Lab 6	2,326 0	1,820 6	2,765 8	2,071 5	3,088 8	3,279 1	4,164 2
Lab 7	0,356 4	0,247 0	0,406 2	0,245 3	0,696 1	0,444 9	0,938 4
Lab 8	-0,771 7	-0,654 2	-0,945 3	-0,800 6	-0,674 3	-1,178 3	-0,909 1
Lab 9	-1,290 9	-1,069 1	-1,567 3	-1,282 0	-1,305 1	-1,925 5	-1,759 5

Πίνακας 6.35: ΣΔΙ 2016, z'-scores μετρήσεων Ε3

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,957 1	0,729 8	1,127 4	0,808 8	1,405 5	1,314 5	1,894 9
Lab 2	-0,431 3	-0,379 4	-0,535 9	-0,478 5	-0,281 1	-0,683 3	-0,379 0
Lab 3	-0,199 9	-0,194 5	-0,258 7	-0,263 9	0,000 0	-0,350 4	0,000 0
Lab 4	0,246 3	0,162 0	0,275 9	0,149 8	0,542 1	0,291 8	0,730 9
Lab 5	-0,381 7	-0,339 8	-0,476 5	-0,432 5	-0,220 9	-0,612 0	-0,297 8
Lab 6	2,147 1	1,680 6	2,553 0	1,912 2	2,851 2	3,026 8	3,843 9
Lab 7	0,329 0	0,228 0	0,374 9	0,226 5	0,642 5	0,410 7	0,866 2
Lab 8	-0,712 3	-0,603 9	-0,872 5	-0,739 0	-0,622 4	-1,087 6	-0,839 2
Lab 9	-1,191 6	-0,986 8	-1,446 8	-1,183 4	-1,204 7	-1,777 4	-1,624 2

Πίνακας 6.36: ΣΔΙ 2016, z'-scores μετρήσεων Ε3

Εργαστήρια	Algorith A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	nIQR/median
Lab 1	1,064 9	0,741 1	148,071 4	1,207 6	1,349 0
Lab 2	-0,638 9	-0,444 6	-87,918 3	-0,724 6	0,000 0
Lab 3	1,064 9	0,741 1	148,071 4	1,207 6	1,349 0
Lab 4	-0,638 9	-0,444 6	-87,918 3	-0,724 6	0,000 0
Lab 5	1,064 9	0,741 1	148,071 4	1,207 6	1,349 0
Lab 6	-0,638 9	-0,444 6	-87,918 3	-0,724 6	0,000 0
Lab 7	-0,638 9	-0,444 6	-87,918 3	-0,724 6	0,000 0
Lab 8	-0,638 9	-0,444 6	-87,918 3	-0,724 6	0,000 0

Πίνακας 6.37: ΣΔΙ 2016, z-scores μετρήσεων f

Εργαστήρια	Algorith A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	nIQR/median
Lab 1	0,974 0	0,677 8	135,434 9	1,104 6	1,233 9
Lab 2	-0,584 4	-0,406 7	-80,415 2	-0,662 7	0,000 0
Lab 3	0,974 0	0,677 8	135,434 9	1,104 6	1,233 9
Lab 4	-0,584 4	-0,406 7	-80,415 2	-0,662 7	0,000 0
Lab 5	0,974 0	0,677 8	135,434 9	1,104 6	1,233 9
Lab 6	-0,584 4	-0,406 7	-80,415 2	-0,662 7	0,000 0
Lab 7	-0,584 4	-0,406 7	-80,415 2	-0,662 7	0,000 0
Lab 8	-0,584 4	-0,406 7	-80,415 2	-0,662 7	0,000 0

Πίνακας 6.38: ΣΔΙ 2016, z'-scores μετρήσεων f

Εργαστήρια	Algorith A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,054 2	0,065 7	0,083 4	0,061 5	0,069 7	0,118 4	0,085 3
Lab 2	-0,756 6	-0,792 1	-0,797 9	-0,858 0	-0,730 6	-1,426 8	-0,894 2
Lab 3	1,488 9	1,583 4	1,642 6	1,688 4	1,485 6	2,852 3	1,818 3
Lab 4	0,088 3	0,101 8	0,120 4	0,100 2	0,103 4	0,183 3	0,126 5
Lab 5	-0,087 0	-0,083 7	-0,070 2	-0,098 7	-0,069 7	-0,150 8	-0,085 3
Lab 6	0,488 7	0,525 4	0,555 6	0,554 2	0,498 5	0,946 3	0,610 2
Lab 7	-0,970 6	-1,018 5	-1,030 5	-1,100 7	-0,941 8	-1,834 6	-1,152 7
Lab 8	1,295 4	1,378 7	1,432 3	1,469 0	1,294 6	2,483 5	1,584 5
Lab 9	-0,958 6	-1,005 8	-1,017 4	-1,087 1	-0,929 9	-1,811 7	-1,138 1
Lab 10	-0,642 7	-0,671 5	-0,674 0	-0,728 8	-0,618 1	-1,209 6	-0,756 5

Πίνακας 6.39: ΣΔΙ 2016, z-scores μετρήσεων B1

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,050 4	0,061 1	0,077 5	0,057 2	0,064 8	0,110 1	0,079 3
Lab 2	-0,703 7	-0,736 6	-0,742 0	-0,798 0	-0,679 4	-1,326 9	-0,831 5
Lab 3	1,384 7	1,472 6	1,527 6	1,570 2	1,381 6	2,652 6	1,691 0
Lab 4	0,082 1	0,094 7	0,112 0	0,093 2	0,096 1	0,170 5	0,117 6
Lab 5	-0,080 9	-0,077 9	-0,065 2	-0,091 8	-0,064 8	-0,140 3	-0,079 3
Lab 6	0,454 5	0,488 6	0,516 7	0,515 4	0,463 6	0,880 1	0,567 4
Lab 7	-0,902 7	-0,947 2	-0,958 3	-1,023 6	-0,875 8	-1,706 2	-1,071 9
Lab 8	1,204 7	1,282 1	1,332 0	1,366 1	1,204 0	2,309 6	1,473 6
Lab 9	-0,891 5	-0,935 3	-0,946 2	-1,011 0	-0,864 8	-1,684 9	-1,058 5
Lab 10	-0,597 7	-0,624 5	-0,626 8	-0,677 7	-0,574 8	-1,124 9	-0,703 5

Πίνακας 6.40: ΣΔΙ 2016, z'-scores μετρήσεων Β1

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	-0,503 6	-0,500 4	-0,695 5	-0,474 4	-0,621 0	-0,857 7	-0,765 0
Lab 2	-0,101 2	-0,099 8	-0,107 0	-0,059 6	-0,047 8	-0,171 1	-0,058 8
Lab 3	0,443 1	0,442 0	0,688 9	0,501 5	0,727 6	0,757 6	0,896 3
Lab 4	-0,869 9	-0,865 0	-1,231 2	-0,852 0	-1,142 8	-1,482 7	-1,407 8
Lab 5	-0,157 9	-0,156 3	-0,190 0	-0,118 1	-0,128 6	-0,267 9	-0,158 4
Lab 6	1,271 1	1,266 2	1,899 9	1,355 1	1,907 2	2,170 5	2,349 4
Lab 7	-0,034 1	-0,033 0	-0,009 0	0,009 6	0,047 8	-0,056 6	0,058 8
Lab 8	-1,932 6	-1,922 8	-2,785 4	-1,947 5	-2,656 8	-3,296 1	-3,272 9
Lab 9	1,374 3	1,368 9	2,050 8	1,461 4	2,054 2	2,346 5	2,530 5
Lab 10	0,076 8	0,077 4	0,153 3	0,123 9	0,205 8	0,132 6	0,253 5

Πίνακας 6.41: ΣΔΙ 2016, z-scores μετρήσεων Β2

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	-0,468 3	-0,465 3	-0,646 8	-0,441 2	-0,577 5	-0,797 6	-0,711 5
Lab 2	-0,094 1	-0,092 8	-0,099 5	-0,055 4	-0,044 4	-0,159 1	-0,054 7
Lab 3	0,412 1	0,411 0	0,640 7	0,466 4	0,676 6	0,704 6	0,833 5
Lab 4	-0,809 0	-0,804 4	-1,145 0	-0,792 3	-1,062 8	-1,378 9	-1,309 3
Lab 5	-0,146 9	-0,145 3	-0,176 7	-0,109 8	-0,119 6	-0,249 1	-0,147 3
Lab 6	1,182 1	1,177 5	1,766 8	1,260 2	1,773 6	2,018 5	2,184 9
Lab 7	-0,031 7	-0,030 7	-0,008 3	0,008 9	0,044 4	-0,052 7	0,054 7
Lab 8	-1,797 3	-1,788 2	-2,590 4	-1,811 1	-2,470 8	-3,065 3	-3,043 7
Lab 9	1,278 0	1,273 1	1,907 2	1,359 1	1,910 3	2,182 2	2,353 3
Lab 10	0,071 4	0,072 0	0,142 5	0,115 2	0,191 4	0,123 3	0,235 8

Πίνακας 6.42: ΣΔΙ 2016, z'-scores μετρήσεων Β2

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	-0,7475	-0,6587	-0,7961	-0,7957	-0,7631	-0,9962	-0,8205
Lab 2	0,7050	0,5718	0,6841	0,6216	0,7088	0,8648	0,7621
Lab 3	0,3510	0,2719	0,3234	0,2762	0,3501	0,4112	0,3764
Lab 4	-0,6088	-0,5412	-0,6547	-0,6603	-0,6225	-0,8185	-0,6694
Lab 5	-1,4238	-1,2317	-1,4853	-1,4556	-1,4485	-1,8628	-1,5574
Lab 6	0,8388	0,6852	0,8205	0,7522	0,8444	1,0362	0,9079
Lab 7	0,2014	0,1451	0,1709	0,1302	0,1985	0,2195	0,2134
Lab 8	-0,1903	-0,1867	-0,2283	-0,2520	-0,1985	-0,2824	-0,2134
Lab 9	2,1793	1,8209	2,1866	2,0603	2,2029	2,7538	2,3686
Lab 10	-0,6258	-0,5557	-0,6721	-0,6770	-0,6398	-0,8403	-0,6879

Πίνακας 6.43: ΣΔΙ 2016, z-scores μετρήσεων Β3

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	-0,6951	-0,6126	-0,7403	-0,7399	-0,7096	-0,9265	-0,7630
Lab 2	0,6556	0,5318	0,6362	0,5781	0,6592	0,8042	0,7088
Lab 3	0,3264	0,2529	0,3007	0,2569	0,3256	0,3824	0,3501
Lab 4	-0,5662	-0,5033	-0,6089	-0,6141	-0,5789	-0,7612	-0,6225
Lab 5	-1,3241	-1,1455	-1,3813	-1,3537	-1,3470	-1,7324	-1,4484
Lab 6	0,7801	0,6372	0,7630	0,6995	0,7853	0,9637	0,8444
Lab 7	0,1873	0,1350	0,1589	0,1211	0,1846	0,2041	0,1985
Lab 8	-0,1770	-0,1736	-0,2123	-0,2344	-0,1846	-0,2626	-0,1985
Lab 9	2,0267	1,6934	2,0335	1,9160	2,0487	2,5610	2,2027
Lab 10	-0,5820	-0,5167	-0,6250	-0,6296	-0,5950	-0,7815	-0,6397

Πίνακας 6.44: ΣΔΙ 2016, z'-scores μετρήσεων Β3

Εργαστήρια	Algorithm A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,3104	0,3337	0,4686	0,1259	0,4776	0,5707	0,3528
Lab 2	0,3545	0,3799	0,5440	0,1619	0,5900	0,4150	0,4358
Lab 3	-1,0125	-1,0528	-1,7925	-0,9532	-2,8939	-2,0353	-2,1376
Lab 4	0,3986	0,4262	0,6194	0,1978	0,7024	0,4940	0,5188
Lab 5	-0,0644	-0,0591	-0,1720	-0,1798	-0,4776	-0,3359	-0,3528
Lab 6	2,7358	2,8757	4,6141	2,1042	6,6588	4,6831	4,9186
Lab 7	-0,1306	-0,1285	-0,2851	-0,2338	-0,6462	-0,4545	-0,4773
Lab 8	-1,3433	-1,3994	-2,3578	-1,2230	-3,7368	-2,6281	-2,7602

Πίνακας 6.45: ΣΔΙ 2016, z-scores μετρήσεων Β4

Εργαστήρια	Algorith A	Q/Hampel	M-estim.	SD/mean	MADe/median	Qn/Hampel	nIQR/median
Lab 1	0,283 9	0,305 2	0,428 6	0,115 1	0,436 9	0,522 0	0,322 7
Lab 2	0,324 3	0,347 5	0,497 6	0,148 0	0,539 7	0,396 3	0,398 6
Lab 3	-0,926 1	-0,963 0	-1,639 6	-0,871 8	-2,646 9	-1,943 6	-1,955 2
Lab 4	0,364 6	0,389 8	0,566 5	0,180 9	0,642 5	0,471 7	0,474 6
Lab 5	-0,058 9	-0,054 1	-0,157 3	-0,164 5	-0,436 9	-0,320 8	-0,322 7
Lab 6	2,502 3	2,630 3	4,220 3	1,924 6	6,090 5	4,472 1	4,498 8
Lab 7	-0,119 4	-0,117 5	-0,260 8	-0,213 8	-0,591 1	-0,434 0	-0,436 6
Lab 8	-1,228 6	-1,280 0	-2,156 6	-1,118 6	-3,417 9	-2,509 6	-2,524 7

Πίνακας 6.46: ΣΔΙ 2016, z'-scores μετρήσεων Β4

Παράρτημα Α΄

ΚΩΔΙΚΑΣ ΡΥΘΜΟΝ

Σε αυτό το Παράρτημα παρουσιάζεται ο κώδικας Python για τον υπολογισμό μερικών από τις εκτιμήτριες που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό των στατιστικών επίδοσης. Ο κώδικας δέχεται ως είσοδο αρχείο .csv και δίνει σαν έξοδο ένα αρχείο .csv με τα δεδομένα της εισόδου και επιλέγον τις τιμές των εκτιμητριών: median, mean, SD, nIQR, MADe, Qn, Q, Hampel(iterative), hampel(finite), Algorithm A m και s, M θέσης και M κλίμακας.

Κώδικας Python

```
# python 3.9.2

import numpy as np
import pandas as pd
from scipy.special import erfinv
from scipy.special import expit
import argparse

def set_pandas_display_options() -> None:
    """Set pandas display options."""
    display = pd.options.display

    display.max_columns = 1000
    display.max_rows = 1000
    display.max_colwidth = 199
    display.width = None
    display.precision = 12 # set as needed
```

```

def statistical(data, datalength,results,column):
    median = data.median()
    print("median = ",median)

    mean = data.mean()
    print("mean = ",mean)

    std = data.std()
    print("std = ",std)

    nIQR = 0.7413*(data.quantile(q=0.75)- \
                  data.quantile(q=0.25))
    print("nIQR = ",nIQR)

```

Το πακέτο pandas όπως και το numpy της python, έχουν έτοιμες ρουτίνες για τον υπολογισμό της μέσης τιμής, διαμέσου και τυπικής απόκλισης. Για τον υπολογισμό του nIQR χρησιμοποιούμε τη ρουτίνα που μας παρέχει η python για τον υπολογισμό του 75ου και 25ου εκατοστημορίου και χρησιμοποιούμε την εξίσωση (4.6).

Κώδικας Python

```

#-----MADe(Scaled median absolute deviation MADe)-----

xi_median = np.zeros(datalength)
for x in range(0,datalength):
    xi_median[x] = abs(data[x]-median)
MADe = np.median(xi_median)*1.483
print("MADe = ",MADe)

```

Για τον υπολογισμό της MADe, με τη χρήση ενός βρόχου παίρνουμε τον πίνακα d_i όπως δίνεται από την Εξίσωση (4.26) και στη συνέχεια παίρνουμε τη διάμεσο του παραπάνω πίνακα και αντικαθιστούμε στην Εξίσωση (4.25).

Κώδικας Python

```

#-----Mean absolute deviation-----
# not used in output file

std_est = np.sum(xi_median)/(0.798*datalength)
print("std_est = ", std_est)

```

Παραπάνω παρουσιάζεται εκτιμήτρια της τυπικής απόκλισης από την απόλυτη απόσταση από τη διάμεσο όπως προτείνεται στο D.1.4 του ISO 13528 [7],

εκτιμήτρια την οποία δε χρησιμοποιούμε στην ανάλυση μας και για αυτό το λόγο δεν περιέχεται στο αρχείο εξόδου, τυπώνεται όμως στο output stream στην κονσόλα μας.

Κώδικας Python

```
#-----Qn (no bias no outliers assumption)-----  
  
i=0  
mid_array=[]  
for x in range(0,datalength):  
    for y in range(x+1,datalength):  
        mid_array.insert(i,abs(data[x] - data[y]))  
        i+=1  
mid_array.sort()  
bp = 0  
if (datalength % 2 == 1) :  
    rp = (1.6019+(-2.128-5.172/datalength)/ \  
          datalength)/datalength  
    h = (datalength-1)/2  
else :  
    rp = (3.6756+(1.965+(6.987-77/datalength)/ \  
          datalength)/datalength)/datalength  
    h = datalength/2  
k = int(h*(h-1)/2)  
  
def bp(i): # from table C.2 ISO13528  
    switcher = {  
        2: 0.9937,  
        3: 0.9937,  
        4: 0.5132,  
        5: 0.8440,  
        6: 0.6122,  
        7: 0.8588,  
        8: 0.6699,  
        9: 0.8734,  
        10: 0.7201,  
        11: 0.8891,  
        12: 0.7574,  
    }  
    return switcher.get(i, 1/(1+rp))
```



```

Qn = 2.2219*bp(datalength)*mid_array[k-1]
print("Qn = ",Qn)

```

Για τον υπολογισμό του Q_n , ακολουθούμε τα βήματα που έχουν παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 4.2.4.1. Για τον υπολογισμό του b_p έχουμε συμπεριλάβει τις τιμές που δίνονται από τον πίνακα C.2 του ISO 13528 [7] όπως επίσης και την Εξίσωση (4.15).

Κώδικας Python

```

#-----Q-----

i = 0
mid_array=[]
h1_0 = 0
for x in range(0,datalength-1):
    for y in range(x+1,datalength):
        mid_array.insert(i,abs(data[x] - data[y]))
        if (data[x]-data[y] == 0): h1_0 += 1
        i+=1
mid_array.sort()
mid_array_l=len(mid_array)
# print(mid_array_l)
finv=[0,]
for x in range(1,mid_array_l+1):
    finv.insert(x,(0.5*(1/mid_array_l)*(x+x-1)))
i=0

h1_0 *=2/(datalength*(datalength-1))

while finv[i]<0.25+0.75*h1_0:
    i+=1

ginv = mid_array[i-2]+(0.25+0.75*h1_0-finv[i-1])* \
        ((mid_array[i-1]-mid_array[i-2])/ \
         (finv[i]-finv[i-1]))
normsinv = np.sqrt(2)*erfinv(2*(0.625+0.375*h1_0)-1)
q = ginv/(np.sqrt(2)*normsinv)
print("q = ",q )

```

Για τον υπολογισμό της εκτιμήτριας Q , παρουσιάζεται αναλυτικά η υλοποίηση του αλγόριθμου στο Κεφάλαιο 4.2.4.2. Για να υπολογίσουμε την αντίστροφο της τυπικής κανονικής κατανομής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω

εξίσωση, η οποία χρησιμοποιεί την αντίστροφο της συνάρτησης σφάλματος.

$$\Phi^{-1}(p) = \sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(2p - 1), \quad p \in (0, 1) \quad (\text{A'.1})$$

Κώδικας Python

```
#-----Hampel(iterative)-----

sample_m = median
sample_stdev = q
# more precise convergence criteria may be used
convergence = 0.01 * sample_stdev / np.sqrt(datalength)
hampel = []
wi = []
xiwi = []
mhampel = sample_m

while True:
    mhampel_old = mhampel
    for x in range(0, datalength):
        hampel.insert(x, abs(data[x] - mhampel) / \
            sample_stdev)
        # weight function can be changed for
        # greater resistance to outliers
        if abs(hampel[x]) > 4.5:
            wi.insert(x, 0)
        elif abs(hampel[x]) > 3:
            wi.insert(x, (4.5 - hampel[x]) / hampel[x])
        elif abs(hampel[x]) > 1.5:
            wi.insert(x, 1.5 / hampel[x])
        else:
            wi.insert(x, 1)
        xiwi.insert(x, data[x] * wi[x])

    mhampel = sum(xiwi) / sum(wi)

    if (abs(mhampel - mhampel_old) < convergence):
        break
    print("mhampel(iterative) = " , mhampel)
```

Τα βήματα για τον επαναληπτικό αλγόριθμο Hampel παρουσιάζονται αρκετά αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4.2.4.3.

Κώδικας Python

```
#-----Hampel(finite step)-----

sample_m = median
sample_stdev = q
mhampel_f = 0.0

interpolation = []
for x in range(0,datalength):
    interpolation.insert(x, data[x]-4.5*sample_stdev)
    interpolation.insert(x+datalength, \
                        data[x]-3*sample_stdev)
    interpolation.insert(x+2*datalength, \
                        data[x]-1.5*sample_stdev)
    interpolation.insert(x+3*datalength, \
                        data[x]+1.5*sample_stdev)
    interpolation.insert(x+4*datalength, \
                        data[x]+3*sample_stdev)
    interpolation.insert(x+5*datalength, \
                        data[x]+4.5*sample_stdev)
interpolation_length = len(interpolation)
interpolation.sort()

pi = []
for x in range(0,interpolation_length-1):
    psi_i = []
    for y in range(0,datalength):
        q_temp = (data[y]-interpolation[x])/sample_stdev
        if q_temp > 4.5: psi_i.insert(y, 0)
        elif q_temp > 3: psi_i.insert(y, 4.5-q_temp)
        elif q_temp > 1.5: psi_i.insert(y, 1.5)
        elif q_temp > -1.5: psi_i.insert(y, q_temp)
        elif q_temp > -3: psi_i.insert(y, -1.5)
        elif q_temp > -4.5: psi_i.insert(y, -4.5 - q_temp)
        else : psi_i.insert(y, 0)
    pi.insert(x, sum(psi_i))

solutions = []
solutions_index = 0
for x in range(0,interpolation_length-2):
    if pi[x] == 0 :
        solutions.insert(solutions_index, \
```

```

                                interpolation[x])
    solutions_index += 1
    if pi[x]*pi[x+1]<0 :
        solutions.insert(solutions_index, \
            interpolation[x]-(pi[x]*\
                (interpolation[x+1]-interpolation[x]) \
                /(pi[x+1]-pi[x])))
        solutions_index += 1
    if pi[interpolation_length-2]==0:
        solutions.insert(solutions_index, \
            interpolation[interpolation_length-2])

    if (len(solutions)>0):
        mhampel_f = solutions[0]
        median_distance = abs(solutions[0] - median)
        if (len(solutions)>1):
            for x in solutions:
                if abs(x-median)<median_distance:
                    median_distance = abs(x-median)
                    mhampel_f = x

        print("mhampel(finite) = ",mhampel_f)
    else:
        print("No mhampel_f solution")

```

Όπως αναφέρεται και στο C.5.3.3 του ISO 13528 [7], υπάρχει και αλγόριθμος υπολογισμού της εκτιμήτριας Hampel πεπερασμένων βημάτων ο οποίος προκύπτει από την επίλυση της εξίσωσης:

$$\sum_{i=0}^p \Psi \left(\frac{y_i - x^*}{s^*} \right) = 0 \quad (\text{A'.2})$$

όπου

$$\Psi(q) = \begin{cases} 0 & q \leq -4,5 \\ -4,5 - q & -4,5 < q \leq -3 \\ -1,5 & -3 < q \leq -1,5 \\ q & -1,5 < q \leq 1,5 \\ 1,5 & 1,5 < q \leq 3 \\ 4,5 - q & 3 < q \leq 4,5 \\ 0 & q > 4,5 \end{cases} \quad (\text{A'.3})$$

Υπολογίζουμε όλους τους κόμβους παρεμβολής της αριστερής μεριάς της Εξίσωσης (Α'.2), βασιζόμενοι στο γεγονός ότι η εξίσωση αυτή ως προς το x είναι μερικώς γραμμική. Για τον πρώτο κόμβο:

$$d_1 = y_1 - 4,5 \cdot s^*, d_2 = y_1 - 3 \cdot s^*, d_3 = y_1 - 1,5 \cdot s^*, \\ d_4 = y_1 + 1,5 \cdot s^*, d_5 = y_1 + 3 \cdot s^*, d_6 = y_1 + 4,5 \cdot s^*$$

Για το δεύτερο κόμβο:

$$d_7 = y_2 - 4,5 \cdot s^*, d_8 = y_2 - 3 \cdot s^*, d_9 = y_2 - 1,5 \cdot s^*, \\ d_{10} = y_2 + 1,5 \cdot s^*, d_{11} = y_2 + 3 \cdot s^*, d_{12} = y_2 + 4,5 \cdot s^*$$

και για τις υπόλοιπες τιμές y_3, \dots, y_p .

Ταξινομούμε τις παραπάνω τιμές κατά αύξουσα σειρά $d_{\{1\}}, d_{\{2\}}, d_{\{3\}}, \dots, d_{\{6p\}}$. Στη συνέχεια υπολογίζουμε για κάθε $m = 1, \dots, (6 \cdot p - 1)$:

$$p_m = \sum_{i=0}^p \Psi \left(\frac{y_i - d_{\{m\}}}{s^*} \right)$$

Για τις παρακάτω περιπτώσεις έχουμε τις αντίστοιχες λύσεις για την Εξίσωση (Α'.2).

$$(i) \quad p_m = 0, \quad d_{\{m\}} \\ (ii) \quad p_{m+1} = 0, \quad d_{\{m+1\}} \\ (iii) \quad p_m \cdot p_{m+1} < 0, \quad x_m = d_{\{m\}} - \frac{p_m}{\frac{p_{m+1} - p_m}{d_{\{m+1\}} - d_{\{m\}}}}$$

Από το παραπάνω σύνολο λύσεων επιλέγουμε ως εκτιμήτρια τη λύση η οποία απέχει λιγότερο από τη διάμεσο. Εάν δεν έχουμε καμία λύση ή έχουμε δύο λύσεις που ισαπέχουν από τη διάμεσο, χρησιμοποιούμε τη διάμεσο σαν εκτιμήτρια.

Κώδικας Python

```
#-----Algorithm A-----
convergence_A = 1000

mid_array_A = xi_median
x_star = median
s_star = MADe
if (MADe == 0):
    print("WARNING MADe == 0 using 1.414")
```

```

# replace with alternative estimator in case MADe == 0
s_star = 1.414
iteration = 0

while True:
    iteration += 1
    delta = 1.5*s_star
    uplimit = x_star + delta
    lowlimit = x_star - delta
    for x in range(0,datalength):
        if data[x] < lowlimit:
            mid_array_A[x] = lowlimit
        elif data[x] > uplimit:
            mid_array_A[x] = uplimit
        else :
            mid_array_A[x] = data[x]

    new_x_star = mid_array_A.mean()
    new_s_star = 1.134*np.std(mid_array_A, ddof=1)

    # Alternative convergence criteria can be determined
    if (abs(int(new_x_star*convergence_A)- \
                int(x_star*convergence_A)) == 0) and \
        (abs(int(new_s_star*convergence_A) - \
                int(s_star*convergence_A)) == 0):
        break
    x_star = new_x_star
    s_star = new_s_star

print("AlgorithmA x = ", new_x_star)
print("AlgorithmA s = ", new_s_star)
print("iterations = ", iteration)

```

Ο Αλγόριθμος Α παρουσιάζεται εκτενώς στο Κεφάλαιο 4.2.3.

Κώδικας Python

```

#-----Algorithm A mod-----
# not used in output file

convergence_A = 1000

mid_array_A = xi_median
mid_array_B = np.ndarray(datalength)

```

```

x_star_mod = median
s_star_mod = MADe
if (MADe == 0):
    print("WARNING MADe == 0 using 1.414")
    # replace with alternative estimator in case MADe == 0
    s_star_mod = 1.414
iteration = 0

while True:
    iteration += 1
    delta = 1.5*s_star
    uplimit_mod = x_star + delta
    lowlimit_mod = x_star - delta
    for x in range(0,datalength):
        if data[x] < lowlimit:
            mid_array_A[x] = lowlimit
        elif data[x] > uplimit:
            mid_array_A[x] = uplimit
        else :
            mid_array_A[x] = data[x]

    new_x_star_mod = median
    for x in range(0,datalength):
        mid_array_B[x] = (mid_array_A[x]-new_x_star_mod)**2
    new_s_star_mod = 1.134*np.sqrt(np.sum(mid_array_B) \
        /(datalength-1))

    # Alternative convergence criteria can be determined
    if (abs(int(new_s_star_mod*convergence_A) - \
        int(s_star_mod*convergence_A)) == 0):

        break
    x_star_mod = new_x_star_mod
    s_star_mod = new_s_star_mod

print("AlgorithmA x mod = ", new_x_star_mod)
print("AlgorithmA s mod = ", new_s_star_mod)
print("iterations = ", iteration)

```

Μία παραδοχή του Αλγορίθμου Α, χωρίς την επαναληπτική αλλαγή της θέσης, με χρήση ως εκτιμήτρια θέσης τη διάμεσο, που αναφέρεται στο ISO 16528 [7] και η οποία δεν περιέχεται στο αρχείο εξόδου αλλά τυπώνεται στο output stream στην κονσόλα μας.

Κώδικας Python

```

#-----Location M-estimator-----

Tn = median
Tn_new = median
Sn = MADe
if (MADe == 0):
    print("Warning MADe == 0")
    Sn = q
mid_array_Ma = np.ndarray(datalength)
mid_array_Mb = np.ndarray(datalength)
temp = 0

while True:
    for x in range(0,datalength):
        m_temp = (data[x]-Tn)/Sn
        mid_array_Ma[x] = 2*expit(m_temp) - 1
        mid_array_Mb[x] = 2*np.exp(-1*m_temp)/ \
            ((1+np.exp(-1*m_temp))**2)
    Tn_new = Tn + Sn * (np.average(mid_array_Ma)/ \
        np.average(mid_array_Mb))
    if (abs(int(Tn_new*1000)-int(Tn*1000)) == 0):
        break
    Tn = Tn_new
print("M estimator location = ", Tn_new)

#-----Scale M-estimator-----

Sn_new = MADe
Tn = median
mid_array_S = np.ndarray(datalength)
s_temp = 0

while True:
    for x in range(0,datalength):
        s_temp = ((data[x]-Tn)/Sn)/0.3739
        mid_array_S[x] = (2*expit(s_temp) - 1)**2
    Sn_new = Sn * np.sqrt(2*np.average(mid_array_S ))
    if (abs(int(Sn_new*1000)-int(Sn*1000)) == 0):
        break
    Sn = Sn_new

```



```
print("M estimator scale = ", Sn_new)
```

Οι αλγόριθμοι για τον υπολογισμό των εκτιμητριών M, θέσης και κλίμακας αντίστοιχα, περιγράφονται στο Κεφάλαιο 4.2.5.

Κώδικας Python

```
#-----

results[0][column] = median
results[1][column] = mean
results[2][column] = std
results[3][column] = nlQR
results[4][column] = MADe
results[5][column] = Qn
results[6][column] = q
results[7][column] = mhampel
results[8][column] = mhampel_f
results[9][column] = new_x_star
results[10][column] = new_s_star
results[11][column] = Tn_new
results[12][column] = Sn_new

def main():
    parser = argparse.ArgumentParser()
    parser.add_argument("--input", "-i", type = str, required = True)
    parser.add_argument("--output", "-o", type = str, required = True)
    args = parser.parse_args()

    set_pandas_display_options()

    input_file = args.input
    test = pd.read_csv(input_file, index_col = 0)
    datalength = test.shape[0]
    results = [[0 for i in range(test.shape[1])] for j in range(13)]
    print(test)
    print(test.shape[0], " + ", test.shape[1])

    for x in range(0,test.shape[1]):
        data = test.iloc[:,x]
        print(data)
        statistical(data,datalength,results,x)

ndat = pd.DataFrame(results,index = ['median','mean','SD','nlQR',\
```

```

'MADe','Qn','Q','hampel(iter)','hampel(finite)', \
'AlgorithmA m','AlgorithmA s','M-location','M-scale'])

new_cols = {x: y for x, y in zip(ndat.columns, test.columns)}
test = test.append(ndat.rename(columns=new_cols))

test.to_csv(args.output)

if __name__ == "__main__":
    main()

```

Το παραπάνω πρόγραμμα παίρνει ως είσοδο αρχείο τύπου .csv με την πρώτη στήλη τα ονόματα των εργαστηρίων και την πρώτη σειρά τα ονόματα των μετρήσεων. Ομοίως δίνει έξοδο αρχείο .csv, το οποίο περιέχει όλες τις εκτιμήτριες μαζί με τα αρχικά δεδομένα. Τα αρχεία εισόδου και εξόδου προσδιορίζονται ως παράμετροι κατά την κλήση του προγράμματος.

Παράρτημα Β΄

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΡΥΘΗΘΝ

Σε αυτό το Παράρτημα παρουσιάζεται ο βοηθητικός κώδικας Python για τη σχεδίαση των γραφημάτων: γράφημα κανονικής κατανομής πιθανοτήτων (normal probability plot), box-whisker plot και Mandel's h plot, καθώς και την υλοποίηση της μεθόδου Grubbs και GESD για την εύρεση απόμακρων τιμών.

Κώδικας Python

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from scipy import stats
from scipy.stats import t

rel_path = "2013/"      # input file's relative path
input_file = '2013_E3'  # input file, must be of type .csv
out_rel_path = "grafimamod2/" # output file's relative path
data = np.genfromtxt(rel_path+input_file+'.csv',delimiter=',',skip_header=1,usecols=1)

# removal of outliers i case we want to rerun
# the Grubbs method on the reduced set
# data = np.delete(data,np.where(data==min(data)))
# data = np.delete(data,np.where(data==max(data)))

plt.boxplot(data)
plt.title("Box plot "+input_file)
plt.savefig(out_rel_path+"boxplot_"+input_file+".png")
plt.clf()

res = stats.probplot(data, plot=plt)
plt.title("Probability plot "+input_file)
```

```
plt.savefig(out_rel_path+"probplot_"+input_file+".png")
plt.clf()
```

Πρέπει να ορίσουμε τις μεταβλητές `rel_path`, `input_file`, και `out_rel_path` με τις κατάλληλες τιμές της σχετικής θέσης του αρχείου εισόδου και εξόδου. Για τη σχεδίαση των γραφημάτων `box plot` και `normal probability plot`, χρησιμοποιούμε τις έτοιμες ρουτίνες που μας παρέχουν τα πακέτα `matplotlib` και `scipy` αντίστοιχα.

Κώδικας Python

```
length = len(data)
xmean = np.mean(data)
stdev = np.std(data,ddof=1)
# print(f"mean: {xmean}, std: {stdev}")

## =====Mandel's h =====
h1 = 2.06 # critical calues given in table 7 of ISO 5725-2
h5 = 1.75 # critical calues given in table 8 of ISO 5725-2
hij = [((x-xmean)/stdev) for x in data]
labs = ["1","2","3","4","5","6","7"]
plt.axhline(h1,0, 1, color='r', linestyle= '-.')
plt.axhline(h5,0, 1, color='r', linestyle= '-.')
plt.axhline(-h1,0, 1, color='r', linestyle= '-.')
plt.axhline(-h5,0, 1, color='r', linestyle= '-.')
plt.bar(labs,hij,color='maroon',width=0.3)
plt.xlabel("Εργαστήρια")
plt.title("Mandel's h-plot")
plt.axhline(0, color='black')
plt.show()
plt.savefig(out_rel_path+"hplot_"+input_file+".png")
```

Ανάλογα με τον αριθμό των εργαστηρίων, ανατρέχουμε τους πίνακες 7 και 8 του ΙΣΟ 5725-2 [8] για τις ενδεικτικές τιμές και ορίζουμε κατάλληλα τις μεταβλητές `h1` και `h5`. Για τη σχεδίαση του γραφήματος Mandel's `h`, ακολουθούμε τη διαδικασία όπως δίνεται στο 2.4.3.1.

Κώδικας Python

```
## =====GESD=====
posout = []
RI = []
lambdal = []
ll = np.asarray(data)
```

```

l = 0
m = 6 # maximum number of outliers we expect
a = 0.01
while (l!=m):
    n = ll.size
    std = np.std(ll,ddof=1)
    mean = np.mean(ll)
    temp = [abs(x - mean) for x in ll]
    maxtemp = max(temp)
    posout.append(ll[temp.index(maxtemp)])
    Rl.append(maxtemp/std)
    p = (1-a/2)**(1/(n-1))
    percentl = t.ppf(p,n-l-2)
    lambdal.append((n-l-1)*percentl/np.sqrt((n-l-2+percentl**2)*(n-l)))
    ll = np.delete(ll,temp.index(maxtemp))
    l = l+1
l = 0
while (l!=m):
    if (Rl[l]>lambdal[l]):
        print(f"outlier {posout[l]}")
    l = l+1
print(Rl)
print(lambdal)
print(posout)

```

Για τον υπολογισμό της μεθόδου GECD ακολουθούμε τα βήματα όπως παρουσιάζονται στο 2.4.3.2, θέτωντας στη μεταβλητή m την κατάλληλη τιμή αναμενόμενων απόμακρων από την αρχική μας γραφική διερεύνηση.

Κώδικας Python

```

## =====GRUBBS=====

data_sorted = list(data)
data_sorted.sort()
Gp = (data_sorted[length-1]-xmean)/stdev
G0 = (xmean - data_sorted[0])/stdev
print(f" Gp= {Gp}, G0 = {G0}")
s02 = sum([(x-xmean)**2 for x in data_sorted])
x2p = sum([data_sorted[i] for i in range(0,length-2)])/(length-2)
s2pm = sum([(data_sorted[i]-x2p)**2 for i in range(0,length-2)])
G2p = s2pm/s02
x12 = sum([data_sorted[i] for i in range(2,length)])/(length-2)
s12 = sum([(data_sorted[i]-x12)**2 for i in range(0,length-2)])

```

```
G12 = s12/s02
```

```
print(f"G2p = {G2p}, G20 = {G12}")
```

Για τον υπολογισμό της μεθόδου Grubbs ακολουθούμε τα βήματα όπως παρουσιάζονται στο 2.4.3.2

Βιβλιογραφία

- [1] ΕΛΟΤ EN ISO/IEC 17025:2017, Γενικές απαιτήσεις για την ικανότητα των εργαστηρίων δοκιμών και διακριβώσεων
- [2] ISO/IEC 17043:2010, Conformity assessment — General requirements for proficiency testing
- [3] A.M.F Nogueira, C.A Nieto de Castro, Leopoldo Cortez, EPTIS: The new European database of proficiency testing schemes for analytical laboratories, TrAC Trends in Analytical Chemistry, Volume 20, Issue 9, 2001, Pages 457-461, ISSN 0165-9936, [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(01\)00091-7](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(01)00091-7).
- [4] ESYD PDI/02/02/16-1-2014, ESYD Policy relevant to participation in Proficiency Testing Schemes and Interlaboratory Comparisons
- [5] ILAC-G13:08/2007, ILAC Guidelines for the Requirements for the Competence of Providers of Proficiency Testing Schemes
- [6] OIML V 2-200:2012(E/F), International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)
- [7] ISO 13528:2015(E), Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison
- [8] ISO 5725-2:2019, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method
- [9] ISO/TR 22971:2005, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Practical guidance for the use of ISO 5725-2:1994 in designing, implementing and statistically analysing interlaboratory repeatability and reproducibility results
- [10] IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (2002:Lyon,France), Non-Ionizing Radiation,Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields, IARC monographs on the

evaluation of carcinogenic risks to humans, Volume 80, 2002,ISSN 1017-1606

- [11] ICNIRP, Guidelines for limiting exposure to time-varying Electric and Magnetic Fields (1Hz-100kHz),Health Physics, 99, Number 6, 2010, Pages 818-836, DOI 10.1097/HP.0b013e3181f06c86
- [12] European Commission (EC), Council Recommendation 1999/519/EC of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) ,Official Journal of the European Union, L 199, 59, 30 July 1999
- [13] Κοινή Υπουργική Απόφαση υπ'αριθμ. 3060(ΦΟΡ) 238, Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων, Φ.Ε.Κ. 512, Τεύχος Δεύτερο, 25 Απριλίου 2002
- [14] Rianne Stam, Comparison of international policies on electromanetic fields (power frequency and radiofrequency fields), National Institute for Public Health and Environment,RIVM, 2017
- [15] European Parliament, Council of the European Union, Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)(20th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC) and repealing Directive 2004/40/EC, Official Journal of the European Union, L 179, 1, 29 June 2013
- [16] Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ), Χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, 2005, http://www.eeae.gr/gr/docs/president/_xamilosixna.pdf
- [17] P.J. Rousseeuw,S. Verboven, Robust estimation in very small samples, Computational Statistics & Data Analysis, 40, 2002, pages 741-758
- [18] ISO 5725-6:1994, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 6: Use in practice of accuracy values
- [19] Rob G. Visser, Interpretation of interlaboratory comparison results to evaluate laboratory proficiency, Accred Qual Assur, 10, 2006, pages 521-526, DOI 10.1007/s00769-005-0051-2
- [20] ISO 16269-4:2010, Statistical Interpretation of data — Part 4: Detection and treatment of outliers