



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ
ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ ΟΛΥΜΠΙΑΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ



$$\alpha^2 = \beta^2 + \gamma^2 - 2 \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \cos A$$

$$x_i = x_1 + D_i \cdot \sin z_i \cdot \sin a_{i1}$$

$$y_i = y_1 + D_i \cdot \sin z_i \cdot \cos a_{i1}$$

$$A \cdot x + B \cdot y + C \cdot z + D = 0$$



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΦΑΧΟΥΡΙΔΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ
ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ ΟΛΥΜΠΙΑΚΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΦΑΧΟΥΡΙΔΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2013

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας μου, νιώθοντας ταυτόχρονα μεγάλη χαρά και συγκίνηση, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όσους με στήριξαν και συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην επίτευξη του στόχου μου.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω ένα ειλικρινές ευχαριστώ στους επιβλέποντες καθηγητές μου, που πάνω από όλα είναι δύο εξαιρετικοί άνθρωποι, τον κο **Γιώργο Πανταζή**, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. και την κα **Ευαγγελία Λάμπρου**, Επίκουρο Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π. Τους ευχαριστώ για την κατανόηση, τη στήριξη, την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν, για τη συνεχή καθοδήγηση και την πάντα θετική τους διάθεση να με βοηθήσουν σε οτιδήποτε, καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω τον κο **Νικόλαο Σπηλιωτόπουλο**, ειδικό συνεργάτη της Κολυμβητικής Ομοσπονδίας Ελλάδος, για την πολύτιμη καθοδήγησή του στο αρχικό στάδιο διερεύνησης του θέματος ενασχόλησης, αλλά και για τη συμβολή του στην εύρεση του πεδίου εφαρμογής των μετρήσεων.

Ακόμα, ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στην κα **Ειρήνη Τσαλίμη**, τοπογράφο μηχανικό της εταιρείας JGC, για την ανεκτίμητη βοήθειά της και την ανιδιοτελή προθυμία της να με βοηθήσει κατά την επεξεργασία των δεδομένων μέτρησης με τον laser scanner.

Ακολούθως, θέλω να ευχαριστήσω τις συμφοιτήτριες και πολύ καλές μου φίλες, **Άννα Μαχαίρα**, **Γιώτα Γκούμα**, **Γωγώ Μπαριάμη** και **Κατερίνα Ζομπανάκη**, αρχικά για όλες τις μοναδικές στιγμές που περάσαμε κατά τη διάρκεια των σπουδών μας αλλά κυρίως για την ουσιαστική στήριξή τους και την προθυμία τους να με βοηθήσουν ανά πάσα στιγμή, η κάθε μια με τον τρόπο της, σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής. Οφείλω, ένα ξεχωριστό ευχαριστώ στην **Κατερίνα**, η πρακτική συμβολή της οποίας στη συγγραφή του τεύχους ήταν καταλυτική.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ, επίσης, στους φίλους μου, **Σταυρούλα Τσάφου**, **Κίρκη Τσουκλείδη** και **Γιάννη Μητρόκα**, για την υπομονή και ενθάρρυνση τους σε αυτή την περίεργη περίοδο της ζωής μου.

Ευχαριστώ, τέλος, όλους του συμφοιτητές και φίλους, που με έναν λόγο τους ή μια συμβουλή τους ελάφραιναν την διάθεσή μου.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω σε όλη την οικογένειά μου, κυρίως, στον παππού μου **Γιάννη** και στην γιαγιά μου **Παναγιώτα**, στις αδερφές μου, **Ανθούλα**, **Μυρτώ**, **Άννα-Μαρία**, και στους γονείς μου, **Μιχάλη και Κυριακή**, για την υπομονή, την υποστήριξη και την αγάπη τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	I
Περιεχόμενα.....	III
Σχήματα.....	V
Πίνακες.....	V
Εικόνες.....	VI
Περίληψη.....	VIII
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ

1.1 FINA-Η Διεθνής Ομοσπονδία Κολύμβησης.....	2
1.2 Αναγκαιότητα πιστοποίησης δεξαμενών κολύμβησης	3
1.3 Προδιαγραφές Ολυμπιακών διαστάσεων πισίνων.....	4
1.4 Μέθοδος μέτρησης και πιστοποίησης γεωμετρικών χαρακτηριστικών πισίνας κατά FINA.....	6
1.5 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

2.1 Νόμος συνημιτόνων – Reflectorless εφαρμογή.....	12
2.2 Μέθοδος πολικών συντεταγμένων.....	14
2.3 Μέτρηση με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό.....	15
2.4 Μέτρηση με laser scanner.....	16
2.5 Μέτρηση με ηλεκτρονική μετροταινία.....	17
2.6 A priori εκτίμηση αβεβαιότητας της απόστασης.....	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

3.1 Το πεδίο μετρήσεων.....	25
3.2 Εξοπλισμός.....	27
3.2.1 Ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1201.....	27
3.2.2 Χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Trimble VX.....	28
3.2.3 Σαρωτής Laser Faro Focus ^{3D} της εταιρείας.....	30
3.2.4 Ηλεκτρονική μετροταινία Disto D3 της εταιρείας Leica.....	31
3.3 Μετρήσεις-Υπολογισμοί.....	31
3.3.1 Μέτρηση με την ηλεκτρονική μετροταινία.....	31
3.3.2 Νόμος συνημιτόνων-Reflectorless εφαρμογή.....	32
3.3.3 Μέθοδος πολικών συντεταγμένων.....	34
3.3.4 Αποτύπωση-Σάρωση με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό.....	38
3.3.5 Εφαρμογή με τη χρήση του σαρωτή Faro Focus ^{3D}	43
3.4 Προσαρμογή επιπέδων.....	51
3.4.1 Τα επίπεδα από τις πολικές συντεταγμένες.....	55
3.4.2 Τα επίπεδα από τη σάρωση με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

4.1 Σύγκριση μεθοδολογιών.....	61
4.2 Έλεγχος ικανοποίησης των προδιαγραφών.....	65
4.3 Αξιολόγηση μεθοδολογιών.....	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Συμπεράσματα.....	69
5.2 Προτάσεις.....	71

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	72
-------------------	----

ABSTRACT.....	75
---------------	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	78
----------------	----

Σχήματα

Σχήμα 1.1: Νόμος συνημιτόνων.....	7
Σχήμα 1.2: Εφαρμογή νόμου συνημιτόνων.....	7
Σχήμα 3.1: Υλοποίηση τριγώνου στο πεδίο μετρήσεων.....	33
Σχήμα 3.2: Σκαρίφημα για τη μέθοδο πολικών συντεταγμένων.....	35
Σχήμα 3.3: Κάτοψη πισίνας (τιμές στα 80cm).....	37
Σχήμα 3.4: Αποτύπωση περιοχής μελέτης με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό-απόδοση οριζόντιας και κατακόρυφων τομών (τιμές στα 80cm).....	43
Σχήμα 3.5: Αποτύπωση πισίνας με laser σαρωτή (τιμές στα 80cm).....	50
Σχήμα 3.6: Σκαρίφημα μετασχηματισμού συντεταγμένων.....	53

Πίνακες

Πίνακας 2.1: Αρχική εκτίμηση αβεβαιότητας μήκους από τον νόμο συνημιτόνων και το δεύτερο θεμελιώδες με όργανα διαφορετικής ακρίβειας.....	21
Πίνακας 2.2: Τοπικά μέγιστα και ελάχιστα συνάρτησης σ_x	23
Πίνακας 2.3: Τοπικά μέγιστα και ελάχιστα συνάρτησης σ_y	24
Πίνακας 3.1: Μετρήσεις με ηλεκτρονική μετροταινία.....	32
Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα εφαρμογής νόμου συνημιτόνων.....	34
Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου πολικών συντεταγμένων.....	36
Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα εφαρμογής με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό.....	43
Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα εφαρμογής με laser scanner.....	49

Πίνακας 3.6: Μετασχηματισμός από το σύστημα αναφοράς της πισίνας σε αυτό κάθε τοιχώματος.....	52
Πίνακας 3.7: Πλήθος σημείων για προσαρμογή επιπέδων.....	54
Πίνακας 3.8: Συντελεστές των τεσσάρων επιπέδων από τη μέτρηση με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων-Excel.....	56
Πίνακας 3.9: Συντελεστές των τεσσάρων επιπέδων από τη μέτρηση με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό-Matlab.....	58
Πίνακας 3.10: Σύγκριση αποτελεσμάτων προσαρμογών επιπέδων.....	59
Πίνακας 4.1: Έλεγχος σημαντικότητας διαφοράς απόστασης μεθόδου-μεθόδου πολικών συντεταγμένων.....	62
Πίνακας 4.2: Έλεγχος σημαντικότητας διαφοράς απόστασης κλασικής μεθόδου-μέτρησης με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό.....	63
Πίνακας 4.3: Έλεγχος σημαντικότητας διαφοράς απόστασης κλασικής μεθόδου-μέτρησης με laser scanner.....	64
Πίνακας 4.4: Έλεγχος σημαντικότητας διαφοράς απόστασης κλασικής μεθόδου-μέτρησης με ηλεκτρονική μετροταινία.....	65
Πίνακας 4.5: Έλεγχος αποστάσεων λωρίδων για ικανοποίηση προδιαγραφής απόστασης.....	66

Εικόνες

Εικόνα 1.1: Η περιοχή ενδιαφέροντος και ο πίνακας αφής.....	5
Εικόνα 1.2: Είδη αγωνιστικών πισίνων.....	6
Εικόνα 1.3: Θέσεις κατάφωτου κατά τις μετρήσεις.....	9
Εικόνα 1.4: Μέτρηση με ηλεκτρονική μετροταινία.....	10
Εικόνα 1.5: Διαχωριστικό λωρίδων – Άγκυρα.....	11

Εικόνα 3.1: Αθλητικές Εγκαταστάσεις Αγίου Κοσμά.....	25
Εικόνα 3.2: Συγκρότημα Κολυμβητηρίων – Περιοχή Μελέτης.....	26
Εικόνα 3.3: Σημεία μέτρησης.....	27
Εικόνα 3.4: Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1201.....	28
Εικόνα 3.5: Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Trimble VX.....	29
Εικόνα 3.6: Ο laser scanner FOCUS ^{3D} της εταιρείας FARO.....	30
Εικόνα 3.7: Η ηλεκτρονική μετροταινία Leica Disto D3.....	31
Εικόνα 3.8: Ταυτόχρονες μετρήσεις με χωροεικονογεωδαιτικό και ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό.....	39
Εικόνα 3.9: Τμήμα της προσαρμοσμένης επιφάνειας.....	40
Εικόνα 3.10: Οριζόντιες και κατακόρυφες τομές στο Realworks.....	41
Εικόνα 3.11: Σαρωμένη επιφάνεια πριν και μετά το χρωματισμό.....	45
Εικόνα 3.12: Συνολικό νέφος σημείων και αρχικό σύστημα συντεταγμένων σε τριδιάστατη προβολή.....	46
Εικόνα 3.13: Καθαρό και στραμμένο νέφος σημείων.....	47
Εικόνα 3.14: Δημιουργία τομής στο λογισμικό Scene.....	48

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση σύγχρονων γεωδαιτικών μεθόδων μέτρησης για την πιστοποίηση πισίνων ολυμπιακών διαστάσεων με σκοπό την πρόταση μιας πιο εύχρηστης και ακριβούς μεθοδολογίας. Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε αναπτύσσεται στα παρακάτω κεφάλαια ως εξής:

Στο **πρώτο κεφάλαιο**, αρχικά, παρατίθενται κάποια βασικά στοιχεία που αφορούν την παγκόσμια ομοσπονδία κολύμβησης (FINA), καθώς και το πλαίσιο των κανόνων που τη διέπει. Διαπιστώνεται, ακολούθως, που έγκειται η σημασία της πιστοποίησης των ολυμπιακών διαστάσεων πισίνων και αναφέρονται οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούνται. Τελικά, αναλύονται διεξοδικά οι προτεινόμενες από την ομοσπονδία μεθοδολογίες: η μία βασίζεται στον υπολογισμό της απόστασης με τον νόμο των συνημιτόνων και η άλλη με τη χρήση ηλεκτρονικής μετροταινίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, ορίζεται το θεωρητικό υπόβαθρο εφαρμογής των τεσσάρων εναλλακτικών μεθοδολογιών μέτρησης της πισίνας. Θα εφαρμοστεί ο νόμος των συνημιτόνων με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό με δυνατότητα μέτρησης μήκους χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, ενώ, θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις με τη μέθοδο πολικών συντεταγμένων, με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό και με laser scanner. Τέλος, γίνεται μια πρώτη εκτίμηση των αβεβαιοτήτων της απόστασης που αναμένεται να προκύψουν, από την πρώτη και δεύτερη μεθοδολογία, για διαφορετικής ακρίβειας όργανα, ώστε να διαπιστωθεί τι ακρίβειας όργανο απαιτείται.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, περιγράφεται αναλυτικά η εφαρμογή όλων των προτάσεων. Αναγνωρίζεται, το πεδίο μετρήσεων, που είναι μια ολυμπιακών διαστάσεων πισίνα στις αθλητικές εγκαταστάσεις του Εθνικού Αθλητικού Κέντρου Νεότητας Αγίου Κοσμά. Παρουσιάζεται ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την εφαρμογή των ισχυουσών και προτεινόμενων μεθοδολογιών, και αναπτύσσεται λεπτομερώς για κάθε μια, η διαδικασία των μετρήσεων, της επεξεργασίας στα προβλεπόμενα λογισμικά και της εξαγωγής των ζητούμενων παραγώγων και αποτελεσμάτων με τις αντίστοιχες αβεβαιότητές τους. Τέλος, ακολουθεί η επίλυση προσαρμογής των βέλτιστων επιπέδων στα τοιχώματα της πισίνας, ώστε να ελεγχθεί η καθετότητα και παραλληλία τους.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, συγκρίνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του νόμου των συνημιτόνων με αυτά των προτεινόμενων μεθοδολογιών για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ώστε να διαπιστωθεί αν

τελικά αυτά είναι ίδια. Ελέγχεται αν η συγκεκριμένη πισίνα πληρεί τις προδιαγραφές που ορίζει η ομοσπονδία κολύμβησης, και έπειτα, αξιολογούνται οι μεθοδολογίες με κριτήρια το χρόνο που απαιτείται για την διεξαγωγή και την επεξεργασία των μετρήσεων, την ακρίβεια και την πληρότητα αυτών, τα παράγωγα που προκύπτουν και το κόστος τους.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας, και προτείνεται η βέλτιστη μεθοδολογία πιστοποίησης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια ομοσπονδία κολύμβησης , FINA, είναι η υπεύθυνη εκτελεστική αρχή διεξαγωγής των αγωνισμάτων υγρού στίβου. Στο πνεύμα που υιοθετεί η ομοσπονδία και αφορά στην εξασφάλιση ίσων ανταγωνιστικών όρων για όλους τους αθλητές, όπου και αν αυτοί αγωνίζονται, θέτει το πλαίσιο των σχεδιαστικών κανόνων που πρέπει να υπακούουν οι αθλητικές εγκαταστάσεις που διεξάγονται οι προπονήσεις πρωταθλητών και τα διεθνή κολυμβητικά γεγονότα.

Οι προδιαγραφές, αφορούν κατά κύριο λόγο στην τιμή της απόστασης της πισίνας, που πρέπει να είναι πενήντα μέτρα (50.00m) με ανεκτή απόκλιση μόνο θετική, στα συν τρία εκατοστά (50.03m). Ακόμα, σχετίζονται με το πλάτος της πισίνας και τη γεωμετρία των τοιχωμάτων που πρέπει να είναι παράλληλα και κάθετα προς την πορεία κολύμβησης του αθλητή.

Για τον έλεγχο των παραπάνω προδιαγραφών προτείνει κάποιες συγκεκριμένες μεθοδολογίες μέτρησης και συστήνει την εφαρμογή τους από μηχανικό, ο οποίος μπορεί να αντιληφθεί τη σημασία του σφάλματος, να το ελέγξει και να το αξιολογήσει.

Δεδομένου ότι ο τεχνικός εξοπλισμός που έχει στη διάθεσή του ο τοπογράφος μηχανικός συνεχώς εξελίσσεται, οφείλει από την πλευρά του να συμβαδίζει και να αξιοποιεί τις νέες τεχνολογίες προς εξοικονόμηση χρόνου, κόπου και εξασφάλισης ακριβέστερων αποτελεσμάτων.

Σε αυτό το πλαίσιο δίνεται το έναυσμα, σε αυτή τη διπλωματική εργασία, για τη ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων πιστοποίησης δεξαμενής κολύμβησης ολυμπιακών διαστάσεων με τη χρήση σύγχρονων γεωδαιτικών οργάνων και μεθοδολογιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΚΟΛΥΜΒΗΣΗΣ

1.1 FINA – Η Διεθνής Ομοσπονδία Κολύμβησης

Η FINA (Fédération Internationale de Natation), η Διεθνής Ομοσπονδία Κολύμβησης, αναγνωρισμένη από τη Διεθνή Ολυμπιακή Επιτροπή (IOC) είναι η υπεύθυνη αρχή για τη διεξαγωγή των αγωνισμάτων του υγρού στίβου.

Ιδρύθηκε στο Λονδίνο στις 19 Ιουλίου του 1908 κατά τη διάρκεια των Ολυμπιακών Αγώνων με πρωτοβουλία των κρατών, Γερμανία, Βέλγιο, Δανία, Φιλανδία, Γαλλία, Μεγάλη Βρετανία, Ουγγαρία και Σουηδία, που συμμετείχαν στους αγώνες.

Δημιουργήθηκε με σκοπό την εναρμόνιση στους κανόνες της κολύμβησης και την οργάνωση ενός παγκόσμιου φόρουμ για τη διοργάνωση των διαγωνισμών. Η FINA, έως σήμερα, είναι υπεύθυνη για την επίβλεψη των ακόλουθων έξι αθλημάτων του υγρού στίβου: [<http://en.wikipedia.org/wiki/FINA>]

- κολύμβηση
- κατάδυση
- συγχρονισμένη κολύμβηση
- υδατοσφαίριση
- κολύμβηση ανοιχτής θαλάσσης
- τεχνική κολύμβηση

Η FINA, σήμερα (2013), αποτελείται από 202 κράτη μέλη τα οποία ομαδοποιούνται ανά ήπειρο ως εξής:

- Αφρική (51): Confédération Africaine de Natation (CANA)
- Αμερική (41): Amateur Swimming Union of the Americas (ASUA)
- Ασία (43): Asian Amateur Swimming Federation (AASF)
- Ευρώπη (51): Ligue Européenne de Natation (LEN)
- Ωκεανία (16): Oceania Swimming Association (OSA)

Σύμφωνα με το θεσμικό πλαίσιο που διέπει την ομοσπονδία, οι στόχοι της FINA είναι οι εξής: [http://www.fina.org/H2O/index.php?option=com_content&view=article&id=233:c-5-objectives&catid=79:constitution&Itemid=184]

- Να προωθεί και να ενθαρρύνει την εξέλιξη της Κολύμβησης σε κάθε δυνατή εκδήλωση σε όλο τον κόσμο (κανονισμός C5.1)
- Να διασφαλίζει ένα άθλημα χωρίς αναβολικά (κανονισμός C5.2)

- Να προωθεί και να ενθαρρύνει την ανάπτυξη των διεθνών σχέσεων (κανονισμός C5.3)
- Να θεσπίζει τους αναγκαίους ενιαίους κανόνες και κανονισμούς για τη διοργάνωση αγώνων Κολύμβησης, Καταδύσεων, Συγχρονισμένης Κολύμβησης, Υδατοσφαίρισης και Ανοιχτής Κολύμβησης (κανονισμός C5.4)
- Να οργανώνει Παγκόσμια Πρωταθλήματα και άλλους διαγωνισμούς της FINA (κανονισμός C5.5)
- Να αυξάνει τον αριθμό των παροχών για την Κολύμβηση σε όλο τον κόσμο (κανονισμός C5.6)
- Να πραγματοποιεί κάθε άλλου είδους εκδήλωση που επιθυμεί, για την προώθηση του αθλήματος (κανονισμός C5.7)

Για να πραγματοποιήσει αυτούς τους στόχους της και για να οργανώσει τις 202 Εθνικές Ομοσπονδίες μέλη της, η FINA έχει εφαρμόσει μια δομή που αποτελείται από έξι βασικούς φορείς: το Γενικό Συνέδριο, το Τεχνικό Συνέδριο, το Προεδρείο, την Εκτελεστική Επιτροπή, τις μόνιμες επιτροπές και τις επιμέρους επιτροπές.

Το Γενικό Συνέδριο είναι η ανώτατη αρχή της FINA, καθώς αποφασίζει για κάθε θέμα που προκύπτει στο πλαίσιο της διεθνούς ομοσπονδίας. Το Τεχνικό Συνέδριο επιβλέπει τεχνικά ζητήματα που αφορούν τα πέντε αγωνίσματα υγρού στίβου.

Το Προεδρείο είναι υπεύθυνο για να συζητά και να αποφασίζει για όλα τα ζητήματα που του ανατίθενται από το Γενικό και Τεχνικό Συνέδριο. Τα Συνέδρια συγκαλούνται κάθε τέσσερα χρόνια, συνήθως με την ευκαιρία του Παγκόσμιου Πρωταθλήματος FINA.

1.2 Αναγκαιότητα πιστοποίησης δεξαμενών κολύμβησης

Σημειώνεται πως η ορολογία δεξαμενή κολύμβησης έχει αντικατασταθεί στο ελληνικό λεξιλόγιο με τη λέξη πισίνα, προφανώς για λόγους συντομίας και ευκολίας, έτσι και στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιείται ο όρος πισίνα αντί για τον ορθό, δεξαμενή κολύμβησης.

Η πιστοποίηση των πισίνων αφορά στους σχεδιαστικούς κανόνες-προδιαγραφές που πρέπει να υπακούουν οι αγωνιστικές πισίνες.

Η αναγκαιότητα της πιστοποίησης προκύπτει από την ιδέα που υιοθετεί η ομοσπονδία για την εξασφάλιση ίσων ανταγωνιστικών όρων για όλους τους αθλητές όπου και αν αυτοί αγωνίζονται. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται φαινόμενα ακύρωσης επιδόσεων των αθλητών σε μη πιστοποιημένες πισίνες.

Οι χρόνοι κολύμβησης μετρώνται με ακρίβεια εκατοστού του δευτερολέπτου (0.01 sec). Η κατάταξη κάθε αθλητή και τα προσόντα του για υψηλότερα επίπεδα ανταγωνισμού συχνά καθορίζονται από το 0.01 του δευτερολέπτου.

Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι το ρεκόρ στα 100m ελεύθερης κολύμβησης είναι 47.04sec, το εκατοστό του δευτερολέπτου μεταφράζεται σε 2.1cm. Επομένως μπορεί κανείς να αντιληφθεί το πόσο σημαντική διαφορά είναι η απόκλιση ακόμα και του ενός εκατοστού στις διαστάσεις της πισίνας, ειδικά όσον αφορά στις υψηλότερες των επιδόσεων (record).

1.3 Προδιαγραφές ολυμπιακών διαστάσεων πισίνων

Οι κανόνες εγκαταστάσεις (Facilities Rules) προορίζονται για την παροχή του καλύτερου δυνατού περιβάλλοντος για αγωνιστική χρήση και προπόνηση. Οι κανόνες αυτοί δεν έχουν σκοπό να ρυθμίσουν θέματα που σχετίζονται με το ευρύ κοινό. Είναι ευθύνη του ιδιοκτήτη ή του ελεγκτή της εγκατάστασης να παρέχει εποπτεία των δραστηριοτήτων του κοινού.

Προκειμένου να προστατευθεί η υγεία και η ασφάλεια των προσώπων που χρησιμοποιούν κολυμβητικές εγκαταστάσεις για λόγους αναψυχής, εκπαίδευσης και ανταγωνισμού, οι ιδιοκτήτες δημόσιων πισίνων ή πισίνων που προορίζονται μόνο για εκπαίδευση και ανταγωνισμό πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις που ορίζονται από το νόμο και τις υγειονομικές αρχές της χώρας που βρίσκεται η πισίνα.

Οι πισίνες για Παγκόσμια Πρωταθλήματα και Ολυμπιακούς Αγώνες πρέπει να πληρούν τους κανόνες FR3, FR6, FR8 και FR11 (Facilities Rules) που ορίζει η FINA.

Στους FR6, FR8 και FR11 κανόνες ορίζονται τα χαρακτηριστικά των πισίνων που διεξάγονται αγώνες καταδύσεων, υδατοσφαίρισης και συγχρονισμένης κολύμβησης.

Συγκεκριμένα, οι προδιαγραφές που ορίζονται στον FR3 αφορούν το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, και αναφέρονται αυτές που έχουν να κάνουν με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά πισίνας που διεξάγονται αγώνες κολύμβησης.

[http://www.fina.org/H2O/index.php?option=com_content&view=article&id=366:fr-3-swimming-pools-for-olympic-games-and-world-championships&catid=88:facilities-rules&Itemid=184]

Σύμφωνα με τον FR3 κανόνα, οι προδιαγραφές αυτές είναι οι εξής :

- Απόσταση:

→ Η απόσταση κάθε λωρίδας πρέπει να είναι 50.00 m με απόκλιση +0.03 m / - 0.00 m, για όλα τα σημεία στα 30 cm πάνω και 80 cm κάτω από την επιφάνεια του νερού. Αυτό το εύρος του 1.10 m αντιστοιχεί στο χώρο που κινείται ο αθλητής.

Σημειώνεται ότι η έννοια του σφάλματος για όλες τις αθλητικές εγκαταστάσεις έχει μόνο θετικό πρόσημο (+) και όχι (\pm), όπως γενικότερα ισχύει, ώστε να είναι έγκυρες όλες οι επιδόσεις. Δεν μπορεί καμία αθλητική εγκατάσταση να είναι μικρότερη από την ονομαστική της απόσταση. Έτσι, ουσιαστικά, το σφάλμα εκφράζεται ότι στα 50.015m η απόκλιση είναι $\pm 0.015m$.

→ Η απόσταση των 50 m πρέπει να εξασφαλίζεται ανάμεσα στις οθόνες αφής (touch panels) του αυτόματου συστήματος χρονομέτρησης. Η απόσταση μπορεί να μετρηθεί με ή χωρίς τα touch panels στη θέση τους. Αν η μέτρηση γίνει χωρίς τους πίνακες αφής (εικόνα 1.1), τότε το πάχος τους θα πρέπει να αφαιρεθεί από τη μετρούμενη απόσταση. Η FINA θέτει ένα όριο πάχους στα 10 mm στους κανόνες εγκατάστασής τους.

- Πλάτος: 25.00 m
- Βάθος: 2 m τουλάχιστον, 3 m συνιστώνται
- Τοιχώματα: κατά πλάτος της πισίνας πρέπει να είναι παράλληλα μεταξύ τους και κάθετα προς την πορεία κολύμβησης και την επιφάνεια του νερού.
- Λωρίδες: πρέπει να είναι συνολικά 10 (με αρίθμηση από 0-9), πλάτους 2.5 m η κάθε μια. Στον αγώνα, βέβαια, χρησιμοποιούνται οι οκτώ (1-8) από τις 10 λωρίδες.



Εικόνα 1.1: Η περιοχή ενδιαφέροντος και ο πίνακας αφής

1.4 Μέθοδος μέτρησης και πιστοποίησης γεωμετρικών χαρακτηριστικών πισίνας κατά FINA

Η Διεθνής Ομοσπονδία Κολύμβησης (FINA), και συγκεκριμένα το σώμα που εκπροσωπεί την Αμερική (USA-S), προτείνει μια συγκεκριμένη μεθοδολογία μέτρησης για την πιστοποίηση αγωνιστικών πισίнов, η οποία αναλύεται παρακάτω. Επιπρόσθετα, συνιστά μια μεθοδολογία πιστοποίησης και με τη χρήση ηλεκτρονικής μετροταινίας.

Σημειώνεται ότι οι αγωνιστικές πισίνες είναι δύο ειδών, σταθερής κατασκευής τοιχώματος (εικόνα 1.2α) και κινητού διαφράγματος πισίνες, όπου πραγματοποιούνται ταυτόχρονα διαφορετικά αγωνίσματα (εικόνα 1.2β).



(α)

(β)

Εικόνα 1.2: είδη αγωνιστικών πισίнов

Για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου από τη FINA, ο απαραίτητος γεωδαιτικός εξοπλισμός είναι :

[http://www.usaswimming.org/_Rainbow/Documents/d3e05e6f-d63f-4522-8d85-1bd1407f5b3f/USA%20Swimming%20pool%20measurement%20July%202010.pdf]

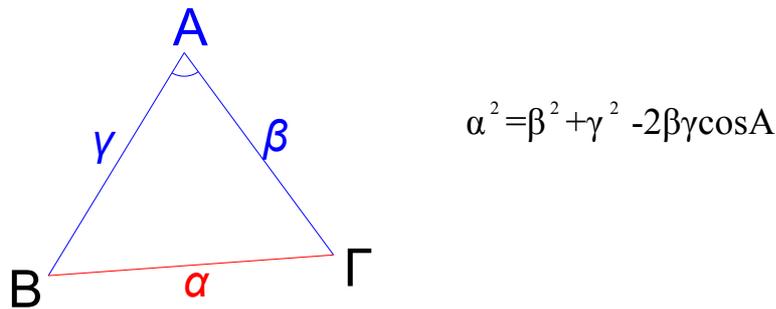
- ένας ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός με ακρίβεια μέτρησης γωνιών $\pm 5''$ και μήκους ± 2 mm στα 50 m
- τρίποδας για το total station
- ένας ανακλαστήρας και ένας στυλεός
- μια αεροστάθμη με ευαισθησία καλύτερη από 10 λεπτά τόξου για 2 χιλιοστά κίνησης της φυσαλίδας, για την κατακορυφότητα του στυλεού κατά τη λήψη των αναγνώσεων
- μια μεταλλική, φαρδιά μετροταινία επανατυλίξεως

- γραφική ύλη / φορητό υπολογιστή και λογισμικό για τη συλλογή και παρουσίαση των δεδομένων

- **Απόσταση λωρίδας**

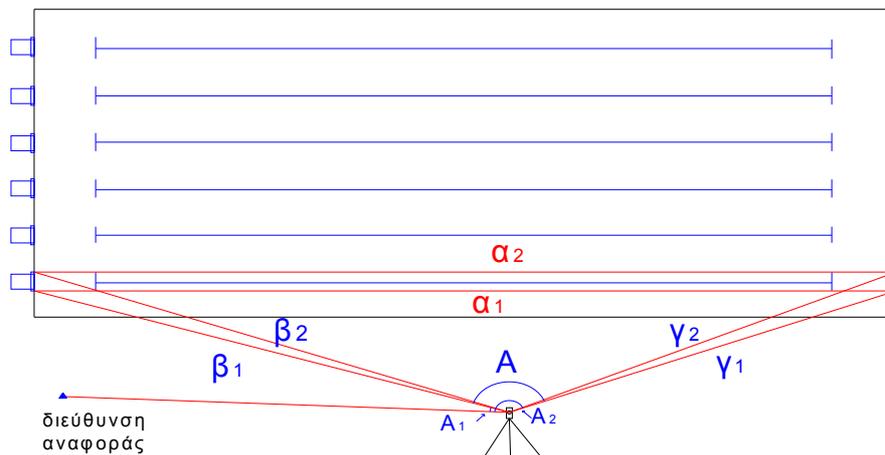
Η προτεινόμενη μεθοδολογία μέτρησης της απόστασης της πισίνας βασίζεται στην εφαρμογή του νόμου των συνημιτόνων.

Σύμφωνα με το νόμο των συνημιτόνων, ο οποίος ισχύει σε κάθε τρίγωνο, μπορεί να υπολογισθεί μια πλευρά αν είναι γνωστές οι άλλες δύο πλευρές και η γωνία που αυτές σχηματίζουν (σχήμα 1.1).



Σχήμα 2.1 : Νόμος συνημιτόνων

Έχοντας ως άγνωστη πλευρά την απόσταση της κάθε λωρίδας ,



Σχήμα 1.2: Εφαρμογή νόμου συνημιτόνων

Η απόσταση της πισίνας προκύπτει από τη σχέση :

$$L = \alpha + p + \delta - n \cdot t \quad (1.1)$$

όπου,

L : η τελική απόσταση της πισίνας με n touch pads τοποθετημένα

α_i : η υπολογισμένη απόσταση κάθε λωρίδας μεταξύ των κέντρων των κατάφωτων, όπως προκύπτει από το νόμο των συνημιτόνων, $\alpha = \sqrt{\beta^2 + \gamma^2 - 2\beta\gamma \cos A}$

β_i : η οριζόντια απόσταση από το total station στο κέντρο του στυλεού στο ένα άκρο

γ_i : η οριζόντια απόσταση από το total station στο κέντρο του στυλεού στο άλλο άκρο

A : η οριζόντια γωνία, που προκύπτει ως διαφορά των οριζόντιων αναγνώσεων $A1$ και $A2$ που μετρούνται άμεσα

p : η διάμετρος του στυλεού

δ : διάφορες απαραίτητες διορθώσεις (όπως το πλάτος ειδικής κατασκευής για την κατακόρυφη τοποθέτηση του στυλεού)

n : ο αριθμός των πινάκων αφής που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς. Το n μπορεί να είναι 0, 1 ή 2. Αν τα touch pads είναι τοποθετημένα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το n ορίζεται ίσο με 0, και σημειώνεται ο αριθμός των τοποθετημένων pads.

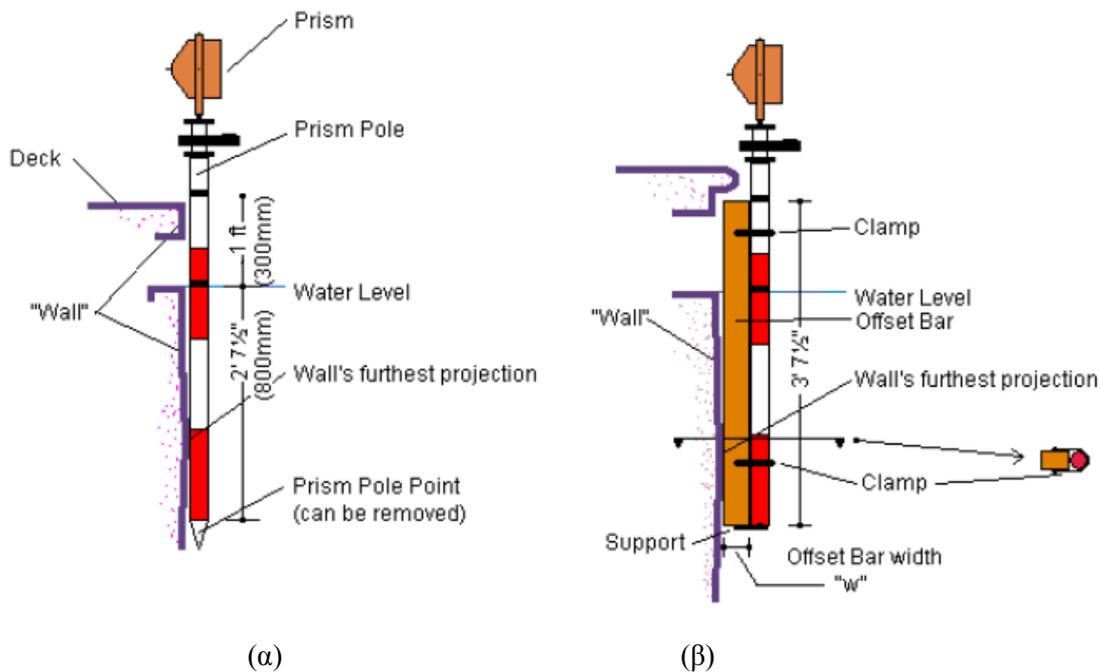
t : το πάχος των πινάκων αφής όταν είναι τοποθετημένοι στους τοίχους κατά πλάτος της πισίνας. Το πάχος των πινάκων σε καλή κατάσταση και τοποθετημένων σωστά κυμαίνεται από 10 έως 15 mm ή 4 έως 6 mm για παχείς ή λεπτούς τύπους πινάκων αντίστοιχα. Η FINA θέτει ένα όριο πάχους στα 10 mm στους κανόνες εγκατάστασης.

Εφαρμογή Μεθόδου

Η μέτρηση κάθε λωρίδας δεν είναι δυνατή σε συνθήκες λειτουργίας. Ωστόσο, η πιστοποίηση ότι η απόσταση δεν είναι λιγότερη από την ελάχιστη απαιτούμενη γίνεται με δειγματοληψία της απόστασης της λωρίδας σε τουλάχιστον δύο θέσεις. Κάποιες από τις θέσεις που προτείνονται, είναι οι άκρες του «Τ» σε κάθε πλευρά του κεντρικού άξονα της λωρίδας. Το κατάφωτο τοποθετείται στην ένδειξη 80 cm και 30cm από τη βάση του.

Αυτό αντιστοιχεί στο πεδίο πάνω και κάτω από την επιφάνεια του νερού που πρέπει να ισχύει ο περιορισμός του μήκους της λωρίδας. Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός τοποθετείται περίπου στη μέση της κατά μήκος απόστασης. Ορίζεται σταθερό σημείο αναφοράς και καταγράφεται η γωνία (A_1), όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2. Η μέτρηση αυτή θα χρειαστεί για επαλήθευση της εγκατάστασης του οργάνου. Το κατάφωτο τοποθετείται ώστε το σημάδι των 80 cm να βρίσκεται στην επιφάνεια του νερού και κατακορυφώνεται (εικόνα 1.3α).

Σε περίπτωση που υπάρχει κάποια προεξοχή στον τοίχο της πισίνας προτείνεται η χρήση μιας επιπρόσθετης επιφάνειας μήκους 1.10m στην οποία μπορεί να στερεωθεί το κατάφωτο ώστε να είναι κατακόρυφο. Το πάχος αυτής της επιφάνειας θα πρέπει να προστίθεται τελικά στο μήκος της λωρίδας (εικόνα 1.3β)



Εικόνα 1.3: Θέσεις κατάφωτου κατά τις μετρήσεις

Αφού το κατάφωτο είναι κατακόρυφο, μετρώνται μήκη, οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες προς όλα τα ζητούμενα σημεία, δεξιά και αριστερά του «Γ» στα 80 cm κάτω και στα 30 cm πάνω από την επιφάνεια του νερού.

Προκειμένου να υπολογισθεί τελικά η απόσταση της πισίνας θα πρέπει να γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί. Σε αυτούς εμπεριέχονται η αναγωγή του μήκους σε απόσταση και ο προσδιορισμός της οριζόντιας

γωνίας. Το μήκος ανάγεται σε απόσταση χρησιμοποιώντας την σχέση 1.2, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$S = D \cdot \sin z \quad (1.2)$$

Όπου,

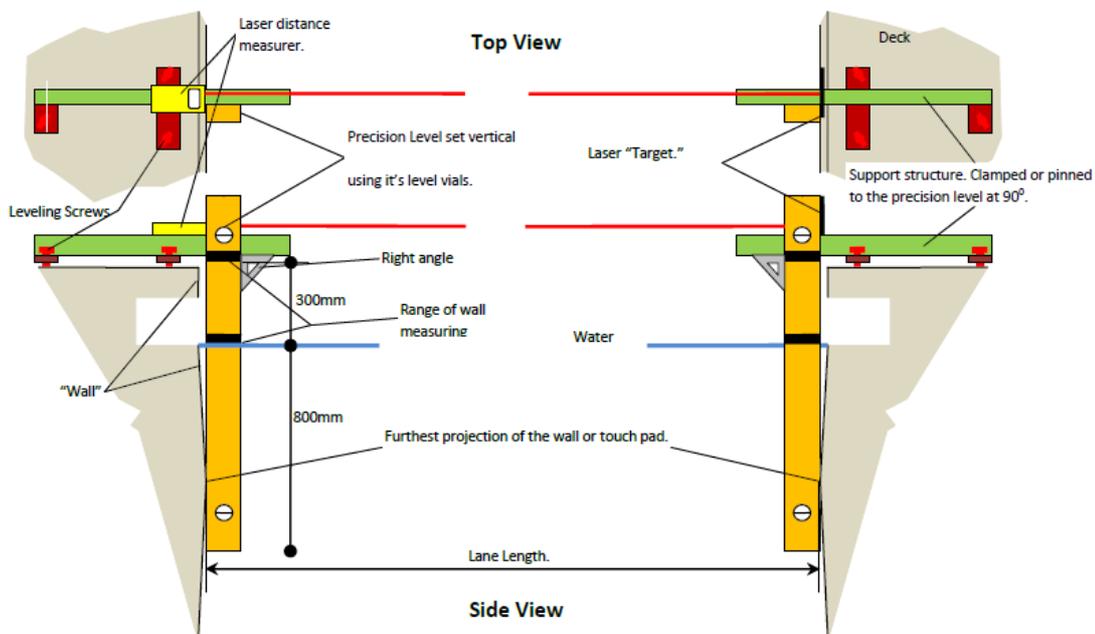
S: οριζόντια απόσταση

D: μήκος

z: κατακόρυφη γωνία

Η οριζόντια γωνία A προσδιορίζεται, όπως φαίνεται και από το σχήμα 1.2, ως διαφορά των δύο οριζόντιων διευθύνσεων A_1 και A_2 . Το τελικό αποτέλεσμα της απόστασης υπολογίζεται από τη σχέση 1.1, αφού προηγουμένως γίνει αντικατάσταση των υπολογισμένων μεγεθών στη σχέση του νόμου των συνημιτόνων.

Όσον αφορά, τη χρήση ηλεκτρονικής μετροταινίας για τη μέτρηση της απόστασης, αναφέρεται ότι το όργανο μέτρησης, προτεινόμενης ακρίβειας $\pm 5\text{mm}$, πρέπει να είναι τοποθετημένο σε ένα σταθερό σημείο αναφοράς, σε μια σταθερή πλατφόρμα που να ακουμπάει σε μια κατακόρυφη συσκευή (straightedge) και να σκοπεύει σε ένα σταθερό στόχο, που ακουμπάει σε μια κατακόρυφη κατασκευή στην άλλη άκρη της πισίνας. Η διάταξη παρουσιάζεται στην εικόνα 1.4.



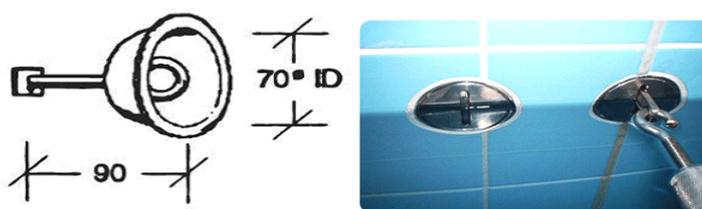
Εικόνα 1.4: Μέτρηση με ηλεκτρονική μετροταινία

▪ Πλάτος και βάθος λωρίδας

Η μέτρηση του πλάτους της λωρίδας γίνεται με μεταλλική μετροταινία. Το πλάτος κάθε λωρίδας μετράτε από «άγκυρα» σε «άγκυρα», και στις δύο άκρες της πισίνας (εικόνα 1.5).

Ομοίως, η μέτρηση του βάθους γίνεται με τη χρήση μεταλλικής μετροταινίας, όταν αυτό είναι λιγότερο από 2 m. Η μέτρηση γίνεται στο 1 και στα 5 m από το τέλος και τη μέση κατά μήκος της κάθε λωρίδας.

Να σημειωθεί ότι στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας το πλάτος και το βάθος της πισίνας προκύπτουν εμμέσως από τα παραγόμενα σχέδια της πισίνας.



Εικόνα 1.5: Διαχωριστικό λωρίδων – Άγκυρα

1.5 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση σύγχρονων μεθόδων για την πιστοποίηση πισίνων ολυμπιακών διαστάσεων. Θα εφαρμοστούν διαφορετικοί μέθοδοι μέτρησης με την χρήση σύγχρονων οργάνων με σκοπό την πρόταση μιας πιο εύχρηστης και ακριβούς μεθοδολογίας.

Συγκεκριμένα, θα διερευνηθεί η διαδικασία πιστοποίησης της πισίνας με τις ακόλουθες διαδικασίες:

- Εφαρμογή νόμου συνημιτόνων με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό με δυνατότητα μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα
- Μέτρηση με την μέθοδο πολικών συντεταγμένων
- Μέτρηση με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό
- Μέτρηση με laser scanner
- Μέτρηση με ηλεκτρονική μετροταινία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

2.1 Νόμος συνημιτόνων – Reflectorless εφαρμογή

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην προτεινόμενη από τη FINA, εφαρμογή του νόμου των συνημιτόνων για πιστοποίηση πισίνας ολυμπιακών διαστάσεων, όπως αυτή περιγράφεται και στην παράγραφο 1.4. Η διαφορά έγκειται, στο ότι για τις απαραίτητες μετρήσεις θα χρησιμοποιηθεί ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός με δυνατότητα μέτρησης μήκους, χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα. Έτσι, δεν είναι απαραίτητος ο στυλός με το πρίσμα, και όλη η κατασκευή για την τοποθέτησή του (εικόνα 1.3).

Προς εφαρμογή του νόμου των συνημιτόνων δημιουργείται ένα «τρίγωνο» που υλοποιείται από τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό, ο οποίος τοποθετείται στη μέση περίπου κατά μήκος της πισίνας, και από τα προς μέτρηση σημεία κάθε λωρίδας, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2. Μετρώνται άμεσα, χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, μήκη, οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες. Στη συνέχεια, τα μήκη των δύο πλευρών του τριγώνου ανάγονται σε αποστάσεις και υπολογίζεται η περιεχόμενη σε αυτές γωνία. Για διευκόλυνση της διαδικασίας υπολογισμού της γωνίας, επιλέγεται ως σημείο μηδενισμού το πρώτο σημείο μέτρησης.

Προκύπτουν, έτσι, οι αποστάσεις κάθε λωρίδας, σε τέσσερα σημεία, στα 30 cm πάνω και στα 80 cm κάτω από την επιφάνεια του νερού, δεξιά και αριστερά των «T», όπως αυτά φαίνονται στην εικόνα 3.3, με χρήση της σχέσης του νόμου των συνημιτόνων.

- Χαρακτηριστικά μετρήσεων χωρίς χρήση ανακλαστήρα

Η αρχή λειτουργίας των οργάνων αυτών βασίζεται στην εκπομπή ορατής κόκκινης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας η οποία προσπίπτοντας σε οποιαδήποτε επιφάνεια, τμήμα αυτής ανακλάται και επιστρέφει στο όργανο.

Η χρήση τέτοιων οργάνων συγκεντρώνει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Είναι δυνατή η αποτύπωση απρόσιτων σημείων.
- Δεν απαιτείται στοχοφόρος για την εκτέλεση των μετρήσεων. Έτσι μειώνεται σημαντικά το ανθρώπινο δυναμικό που απαιτείται για την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

- Μειώνεται ο κόπος και ο χρόνος παραμονής στο πεδίο.
- Η αβεβαιότητα στη μέτρηση του μήκους κυμαίνεται από $\pm 2\text{mm}$ - $\pm 1\text{cm}$, ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό.
- Είναι εύκολη η αναγνώριση και η σήμανση των σημείων που μετρώνται με την ορατή δέσμη λέιζερ. [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

Ορισμένα από τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση των οργάνων αυτών είναι:

- Η περιορισμένη εμβέλειά τους. Τα περισσότερα μετρούν μήκη μέχρι 300-400 m.
- Το υψηλότερο κόστος αγοράς τους σε σχέση με τους απλούς γεωδαιτικούς σταθμούς.
- Η πιθανότητα η μέτρηση του μήκους να περιέχει χονδροειδές σφάλμα, καθώς η δέσμη μπορεί να προσπέσει σε οποιοδήποτε αντικείμενο βρεθεί νωρίτερα ή μακρύτερα στη διαδρομή της.
- Το μέγεθος του αποτυπώματος της δέσμης laser αυξάνει όσο αυξάνει το μήκος. [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ακρίβεια μέτρησης μηκών χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα είναι το χρώμα και το υλικό της επιφάνειας πρόσπτωσης. Όσον αφορά το χρώμα έχει αποδειχτεί πως οι άσπρες και γενικότερα ανοιχτόχρωμες επιφάνειες αποφέρουν μεγάλης έντασης ανακλάσεις, ενώ η ανάκλαση είναι μικρή σε μαύρες ή σκουρόχρωμες επιφάνειες. Οι επιδράσεις των χρωματισμένων επιφανειών εξαρτώνται επίσης από τα φασματικά χαρακτηριστικά του εκπεμπόμενου παλμού.

Όσον αφορά το υλικό, η ένταση του ανακλώμενου παλμού εξαρτάται από φυσικούς και γεωμετρικούς παράγοντες. Στους φυσικούς παράγοντες καταγράφονται, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η μαγνητική διαπερατότητα του υλικού, ενώ στους γεωμετρικούς περιλαμβάνονται η γωνία πρόσπτωσης πάνω στην επιφάνεια και η τραχύτητά της. [Μαυράκης Σ., 2009]

Στην πιστοποίηση της πισίνας, με χρήση οργάνου με δυνατότητα μέτρησης χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα ικανοποιείται η απαιτούμενη ακρίβεια που ορίζει η FINA ίση με $\pm 3\text{ cm}$, εξοικονομείται κόπος και χρόνος καθώς δεν γίνεται χρήση της ιδιόρρυθμης κατασκευής προκειμένου να κατακορυφωθεί το κατάφωτο (εικόνα 1.3) και ευνοείται η όλη διαδικασία, καθώς οι στόχοι είναι μονοσήμαντοι και τα σημεία που πρέπει να μετρηθούν χαρακτηριστικά. Η διάρκεια μέτρησης ογδόντα σημείων εκτιμάται στη μία ώρα.

2.2 Μέθοδος πολικών συντεταγμένων

Χρησιμοποιώντας την κλασική αυτή μέθοδο αποτύπωσης στόχος είναι:

- Να αποδοθεί η βασική γεωμετρία της πισίνας, παίρνοντας την κάτοψή της από το ραπορτάρισμα των σημείων λεπτομέρειας.
- Να προκύψουν οι συντεταγμένες των ταχυμετρικών σημείων στο αυθαίρετο σύστημα αναφοράς που ορίζεται με αρχικό σημείο το κέντρο του γεωδαιτικού σταθμού και τη διεύθυνση μεταξύ της στάσης του οργάνου και του σημείου μηδενισμού.

Η αποτύπωση με χρήση των πολικών συντεταγμένων εφαρμόζεται όταν είναι δυνατή η άμεση μέτρηση μήκους προς το στοχευόμενο σημείο. Οι μετρήσεις θα γίνουν με ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό, με δυνατότητα μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα, ο οποίος θα τοποθετηθεί εσωτερικά, στη μέση, περίπου, της άδειας από νερό πισίνας. Τα πλεονεκτήματα των μετρήσεων χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα αναφέρονται στην παράγραφο 2.1.

Τα σημεία που θα μετρηθούν σε αυτή τη μέθοδο είναι τα σημεία δεξιά και αριστερά του «Γ», στα 30 cm πάνω και στα 80 cm κάτω από την επιφάνεια του νερού, καθώς και σημεία στο ενδιάμεσο, προκειμένου να υπάρχουν περισσότερες παρατηρήσεις για την εύρεση της εξίσωσης του επιπέδου κάθε τοιχώματος. Η διάρκεια των μετρήσεων εκτιμάται στη μια ώρα.

Τα μετρούμενα μεγέθη είναι το μήκος D , η ζενίθια γωνία z και η οριζόντια γωνία H_z . Δεν γίνεται μέτρηση του ύψους οργάνου και του ύψους στόχου, αφού μετρούνται απευθείας τα σημεία ενδιαφέροντος, ούτε κεντρώνεται το όργανο, καθώς το σύστημα αναφοράς ορίζεται αυθαίρετα. Τα μεγέθη που πρέπει να είναι γνωστά είναι οι συντεταγμένες της στάσης (x_1, y_1, H_1) , που ορίζονται αυθαίρετα και του σημείου προσανατολισμού που υπολογίζονται έμμεσα, βάζοντας τον κατακόρυφο δίσκο του οργάνου στα 100° και μετρώντας έτσι την απόσταση.

Καθώς ο ημιάξονας των y ορίζεται παράλληλα με τη διεύθυνση στάση οργάνου-σημείο μηδενισμού, στην ουσία οι γωνίες διεύθυνσης (α_{i1}) , ταυτίζονται με τις οριζόντιες γωνίες (H_z) και έτσι οι συντεταγμένες (x_i, y_i, H_i) κάθε σημείου i προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις (2.1, 2.2, 2.3):

$$x_i = x_1 + D_i * \sin z_i * \sin \alpha_{i1} \quad (2.1)$$

$$y_i = y_1 + D_i * \sin z_i * \cos \alpha_{i1} \quad (2.2)$$

$$H_i = H_1 + D_i * \cos z_i \quad (2.3)$$

Στη μέθοδο αυτή ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά τη σκόπευση, η οποία υποβοηθείται με τη χρήση της ακτίνας ορατού laser. [Πανταζής Γ., 2005]

Από τις συντεταγμένες των σημείων λεπτομέρειας θα προκύψουν:

- με χρήση του δεύτερου θεμελιώδους, οι ζητούμενες αποστάσεις κάθε λωρίδας,
- τα βέλτιστα επίπεδα που προσαρμόζονται στα τοιχώματα της πισίνας με ελαχιστοτετραγωνική επίλυση και θα γίνει έτσι ο έλεγχος για την παραλληλία και την καθετότητά τους.

2.3 Μέτρηση με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό

Η δυνατότητα που παρουσιάζουν τα σύγχρονα αυτά όργανα για ταυτόχρονη συλλογή τόσο συντεταγμένων σημείων με μεγάλη ακρίβεια, όσο και χωρικής πληροφορίας για λεπτομερή απόδοση του αντικειμένου ενδιαφέροντος, οδήγησε στην επιλογή του για την πιστοποίηση πισίνας ολυμπιακών διαστάσεων.

Οι χωροεικονογεωδαιτικοί σταθμοί, εκτός της ψηφιακής κάμερας έχουν ενσωματωμένο στο τηλεσκόπιο τους και έναν σαρωτή, που μπορεί να σαρώνει επιφάνειες με συγκεκριμένο οριζόντιο και κατακόρυφο βήμα και να προβάλλει στην οθόνη του σταθμού ή σε ηλεκτρονικό υπολογιστή την τριδιάστατη απεικόνισή τους. Το μοντέλο αυτό συμπληρώνεται από κατάλληλα ανοιγμένες εικόνες της περιοχής, οι οποίες συλλέγονται από την ενσωματωμένη video camera, παρέχοντας άμεσα και ποιοτική πληροφορία της περιοχής μελέτης. Το τηλεσκόπιο τους στρέφεται και σκοπεύει αυτόματα οποιοδήποτε αντικείμενο επιλέξει ο παρατηρητής στην οθόνη τους. [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός θα τοποθετηθεί στο εσωτερικό της πισίνας. Θα οριστεί μέσω της ψηφιακής οθόνης του οργάνου η επιφάνεια σάρωσης και η πυκνότητα του νέφους με εισαγωγή κατακόρυφου και οριζόντιου βήματος. Ο χρόνος μέτρησης της επιφάνειας εξαρτάται από τις αρχικές ρυθμίσεις σάρωσης, όπως το βήμα, την ακρίβεια σάρωσης και την ανάλυση των φωτογραφιών.

Με το πέρας των μετρήσεων προκύπτει αρχικά ένα νέφος σημείων που επεξεργάζεται κατάλληλα ώστε να παραχθεί το τριδιάστατο μοντέλο και τομές, οριζόντιες και κατακόρυφες, στα σημεία ενδιαφέροντος, προκειμένου να γίνουν μετρήσεις των αποστάσεων κάθε λωρίδας, σε

περιβάλλον CAD. Κατόπιν προκύπτουν οι συντεταγμένες των σημείων (το όργανο τις υπολογίζει αυτόματα με χρήση της μεθόδου πολικών συντεταγμένων) στα τοιχώματα, για τον προσδιορισμό των βέλτιστων επιπέδων και τον έλεγχο της κατακορυφότητας και της παραλληλίας τους, και τέλος αποδίδεται η πιστή ψηφιακή απεικόνιση του χώρου.

2.4 Μέτρηση με laser scanner

Μια άλλη σύγχρονη μεθοδολογία που θα εφαρμοστεί για την πιστοποίηση της πισίνας είναι η σάρωση αυτής με έναν laser scanner. Τα όργανα αυτά έχουν τη δυνατότητα να αποτυπώνουν μια επιφάνεια, σαρώνοντάς την και να αποδίδουν το τριδιάστατο μοντέλο της.

Η λειτουργία τους βασίζεται στην εξής διαδικασία: ορίζονται, αρχικά, τα όρια της προς αποτύπωση επιφάνειας και εισάγεται το βήμα σάρωσης, οριζόντιο και κατακόρυφο. Στην συνέχεια, ο συνδεδεμένος ηλεκτρονικός υπολογιστής, αφού λάβει με τη βοήθεια της κάμερας CCD του σαρωτή, την εικόνα της επιφάνειας και την επεξεργαστεί, ξεκινά την εκπομπή παλμού λέιζερ, που στην ουσία είναι ένα πλήθος μοναδιαίων παλμών, προς αυτή. Ο παλμός αυτός, αφού ανακλαστεί από την επιφάνεια που αποτυπώνεται, επιστρέφει στον σαρωτή, όπου ολοκληρωμένοι οπτικοί κωδικοποιητές αφού μετρήσουν το χρόνο μετάβασης και επιστροφής και τις γωνίες ανάκλασης της δέσμης, μεταφέρουν τις πληροφορίες αυτές, σε πραγματικό χρόνο, στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, που δημιουργεί το τριδιάστατο ανάγλυφο της επιφάνειας. Από το πλήθος των μοναδιαίων παλμών laser, που εκπέμπονται, λαμβάνονται ένα πλήθος μετρήσεων προς σημεία της επιφάνειας, που αποτυπώνεται. Με τον τρόπο αυτό μετρούνται 1000 έως 100000 σημεία ανά δευτερόλεπτο, για το καθένα από τα οποία προσδιορίζονται οι συντεταγμένες του (X, Y, Z) και στις τρεις διαστάσεις, ως προς το σύστημα αναφοράς, που έχει αρχικά οριστεί, δημιουργώντας μια αντίστοιχης ακρίβειας τριδιάστατη εικόνα της επιφάνειας. [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]

Η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων εξαρτάται από:

- τη μέθοδο σάρωσης που κάθε σύστημα χρησιμοποιεί,
- την ταχύτητα σάρωσης,
- την απόσταση από το αντικείμενο και το υλικό της επιφάνειας που μετράται και στην οποία προσπίπτουν οι δέσμες.

Το βεληνεκές μέτρησης των σαρωτών κυμαίνεται από 1.5m έως 1500m και η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων από $\pm 6\text{mm}$ έως $\pm 45\text{mm}$.

Ως μειονεκτήματα των οργάνων αυτών μπορούν να αναφερθούν :

- η μικρή ταχύτητα σάρωσης της επιφάνειας, όταν η επιφάνεια έχει πολλές λεπτομέρειες και το βήμα σάρωσης είναι μικρό,
- το μεγάλο σχετικά βάρος τους, που κυμαίνεται από 10kg έως 30kg, το οποίο αυξάνεται από το βάρος των απαραίτητων παρελκόμενων, (όπως ειδικού τρίποδα, ηλεκτρονικού υπολογιστή, μπαταρίας, κ.ά.), με συνέπεια τη δυσκολία στη μεταφορά και την εγκατάσταση στο σημείο μέτρησης,
- το υψηλό κόστος αγοράς.

2.5 Μέτρηση με ηλεκτρονική μετροταινία

Μια ακόμη εφαρμογή που πραγματοποιείται είναι η άμεση μέτρηση του μήκους της πισίνας με τη χρήση ηλεκτρονικής μετροταινίας.

Η διαδικασία μέτρησης θα γίνει χωρίς τη χρήση των ειδικών κατασκευών που προτείνονται από την ομοσπονδία (εικόνα 1.4), και θα συλλεχθούν στοιχεία όπου αυτό είναι δυνατό, καθώς υπάρχει πρακτική αδυναμία μέτρησης του μήκους στα 80cm κάτω από την επιφάνεια του νερού.

2.6 A priori εκτίμηση της αβεβαιότητας της απόστασης

Έπειτα, από την επιλογή των μεθόδων που θα εφαρμοστούν για τη διερεύνηση της πιστοποίησης της πισίνας ολυμπιακών διαστάσεων, γίνεται μια πρώτη διερεύνηση, ώστε να υπολογιστούν οι αβεβαιότητες που αναμένονται να προκύψουν από τον προσδιορισμό της απόστασης με τον νόμο των συνημιτόνων και με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων, μετρώντας κάθε φορά με όργανα διαφορετικής ακρίβειας.

Αυτός ο έλεγχος πραγματοποιείται προκειμένου να εκτιμηθεί, αφενός, η ακρίβεια προσδιορισμού της απόστασης και αφετέρου να επιλεγεί το κατάλληλο γεωδαιτικό όργανο, από άποψη ακρίβειας, που θα καλύπτει τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εργασίας.

Ο υπολογισμός των αβεβαιοτήτων έγινε, εφαρμόζοντας τον νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση του νόμου των συνημιτόνων και στη σχέση της απόστασης (S) από το δεύτερο θεμελιώδες, θεωρώντας ως δεδομένες τις οριζόντιες αποστάσεις, τις κατακόρυφες και οριζόντιες γωνίες.

▪ Νόμος συνημιτόνων-σφάλμα προσδιορισμού απόστασης πισίνας

Για να υπολογισθεί το σφάλμα προσδιορισμού της απόστασης της πισίνας με τη συγκεκριμένη μέθοδο μέτρησης, εφαρμόστηκε ο νόμος μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση του νόμου των συνημιτόνων.

Αρχικά, με εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση $S=D \sin z$, προκύπτει το σφάλμα προσδιορισμού των οριζόντιων αποστάσεων β , γ , (σχήμα 1.2), όπως φαίνεται στις ακόλουθες σχέσεις:

$$\sigma_{\beta}^2 = \left(\frac{\partial\beta}{\partial\beta'}\right)^2 * \sigma_{\beta'}^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial z}\right)^2 * \sigma_z^2$$

$$\Leftrightarrow \sigma_{\beta} = \pm \sqrt{(\sin z)^2 * \sigma_{\beta'}^2 + (\beta' * \cos z)^2 * \left(\frac{\sigma_z}{\rho^{cc}}\right)^2} \quad (2.4)$$

Όπου:

$\sigma_{\beta'}$: αβεβαιότητα μέτρησης μήκους από τον γεωδαιτικό σταθμό

σ_z : αβεβαιότητα μέτρησης διεύθυνσης που παρέχει ο σταθμός. Το σ_z διαιρείται με ρ^{cc} ώστε να μετατραπεί σε καθαρό αριθμό και το σ_{β} να προκύψει σε m

σ_{β} : σφάλμα προσδιορισμού της απόστασης β

Ομοίως και για τη πλευρά (γ) προκύπτει το σ_{γ} με την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων.

Έπειτα, εφαρμόζεται ο νόμος μετάδοσης σφαλμάτων στο νόμο των συνημιτόνων ώστε να προκύψει το τελικό ζητούμενο, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\sigma_{\alpha} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha}{\partial\beta}\right)^2 * \sigma_{\beta}^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial\gamma}\right)^2 * \sigma_{\gamma}^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial A}\right)^2 * \sigma_A^2} \quad (2.5)$$

Όπου:

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\beta} = \frac{\beta - \gamma * \cos A}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 - 2 * \beta * \gamma * \cos A}} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial\alpha}{\partial\gamma} = \frac{\gamma - \beta * \cos A}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 - 2 * \beta * \gamma * \cos A}} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial\alpha}{\partial A} = \frac{\beta * \gamma * \sin A}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 - 2 * \beta * \gamma * \cos A}} \quad (2.8)$$

▪ Μέθοδος πολικών συντεταγμένων-σφάλμα προσδιορισμού απόστασης

Αρχικά, υπολογίζεται η αβεβαιότητα προσδιορισμού των καρτεσιανών συντεταγμένων x , y των ταχυμετρικών σημείων, εφαρμόζοντας το νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στις σχέσεις του πρώτου θεμελιώδους και προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις 2.9, 2.10.[Λάμπρου Ε.,2008]

$$\sigma_{x_B} = \pm \sqrt{\sigma_{x_A}^2 + (\sin z_{AB} * \sin \alpha_{AB})^2 * \sigma_{D_{AB}}^2 + (D_{AB} * \cos z_{AB} * \sin \alpha_{AB})^2 * \left(\frac{\sigma_z}{\rho^{cc}}\right)^2 + \sqrt{(D_{AB} * \sin z_{AB} * \cos \alpha_{AB})^2 * \left(\frac{\sigma_{\alpha_{AB}}}{\rho^{cc}}\right)^2}} \quad (2.9)$$

$$\sigma_{y_B} = \pm \sqrt{\sigma_{y_A}^2 + (\sin z_{AB} * \cos \alpha_{AB})^2 * \sigma_{D_{AB}}^2 + (D_{AB} * \cos z_{AB} * \cos \alpha_{AB})^2 * \left(\frac{\sigma_z}{\rho^{cc}}\right)^2 + \sqrt{(D_{AB} * \sin z_{AB} * \sin \alpha_{AB})^2 * \left(\frac{\sigma_{\alpha_{AB}}}{\rho^{cc}}\right)^2}} \quad (2.10)$$

Όπου:

z_{AB} : η κατακόρυφη γωνία

D_{AB} : το μετρούμενο μήκος

σ_D : το σφάλμα μέτρησης του μήκους από το γεωδαιτικό σταθμό

$\sigma_{z_{AB}}$: το σφάλμα μέτρησης διευθύνσεων οριζόντιων και κατακόρυφων από το γεωδαιτικό σταθμό

$\sigma_{\alpha_{AB}}$: το σφάλμα της γωνίας διεύθυνσης στάσης οργάνου – ταχυμετρικού σημείου

σ_x, σ_y : τα σφάλματα των συντεταγμένων της στάσης, που στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ίσα με 0

Έπειτα, η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της απόστασης, προκύπτει από την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση της απόστασης (S) από το δεύτερο θεμελιώδες και προκύπτει η σχέση 2.11,

$$\sigma_S = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial x_B}\right)^2 * \sigma_{x_B}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y_B}\right)^2 * \sigma_{y_B}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_A}\right)^2 * \sigma_{x_A}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y_A}\right)^2 * \sigma_{y_A}^2} \quad (2.11)$$

Όπου:

$$\frac{\partial S}{\partial x_B} = \frac{x_B - x_A}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}}$$

$$\frac{\partial S}{\partial y_B} = \frac{y_B - y_A}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}}$$

$$\frac{\partial S}{\partial x_A} = \frac{x_A - x_B}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}}$$

$$\frac{\partial S}{\partial y_A} = \frac{y_A - y_B}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}}$$

Για κάθε μια από τις δύο μεθοδολογίες προέκυψαν τα σφάλματα προσδιορισμού της απόστασης της πισίνας (σ_a), όπως φαίνονται στον πίνακα 2.1, υποθέτοντας ότι οι μετρήσεις γίνονται με όργανα αβεβαιότητας μέτρησης μήκους ($\sigma_{\beta'}$, $\sigma_{\gamma'}$) $\pm 1\text{mm}$, $\pm 2\text{mm}$, $\pm 3\text{mm}$, $\pm 5\text{mm}$ και αντίστοιχης γωνιακής ακρίβειας (σ_z) $\pm 1^{\text{cc}}$, $\pm 3^{\text{cc}}$, $\pm 10^{\text{cc}}$.

Νόμος συνημιτόνων				2 ^ο Θεμελιώδες					
Για	$\sigma_{\beta}' = \pm 1 \text{ mm}$			Για	$\sigma_{\beta}' = \pm 1 \text{ mm}$				
	$\sigma_{\gamma}' = \pm 1 \text{ mm}$				$\sigma_{\gamma}' = \pm 1 \text{ mm}$				
σ_z (cc)	σ_{β} (mm)	σ_{γ} (mm)	σ_{α} (mm)	σ_z (cc)	σ_{χ_B} (mm)	σ_{γ_B} (mm)	$\sigma_{\chi_{\Gamma}}$ (mm)	$\sigma_{\gamma_{\Gamma}}$ (mm)	σ_{α} (mm)
± 1	± 1	± 1	± 1	± 1	± 1	± 0.4	± 1	± 1	± 1
± 3	± 1	± 1	± 1	± 3	± 1	± 0.4	± 1	± 1	± 1
± 10	± 1	± 1	± 1	± 10	± 1	± 0.4	± 1	± 1	± 1
Για	$\sigma_{\beta}' = \pm 2 \text{ mm}$			Για	$\sigma_{\beta}' = \pm 2 \text{ mm}$				
	$\sigma_{\gamma}' = \pm 2 \text{ mm}$				$\sigma_{\gamma}' = \pm 2 \text{ mm}$				
σ_z (cc)	σ_{β} (mm)	σ_{γ} (mm)	σ_{α} (mm)	σ_z (cc)	σ_{χ_B} (mm)	σ_{γ_B} (mm)	$\sigma_{\chi_{\Gamma}}$ (mm)	$\sigma_{\gamma_{\Gamma}}$ (mm)	σ_{α} (mm)
± 1	± 2	± 2	± 2	± 1	± 2	± 1	± 2	± 1	± 2
± 3	± 2	± 2	± 2	± 3	± 2	± 1	± 2	± 1	± 2
± 10	± 2	± 2	± 2	± 10	± 2	± 1	± 2	± 1	± 2
Για	$\sigma_{\beta}' = \pm 3 \text{ mm}$			Για	$\sigma_{\beta}' = \pm 3 \text{ mm}$				
	$\sigma_{\gamma}' = \pm 3 \text{ mm}$				$\sigma_{\gamma}' = \pm 3 \text{ mm}$				
σ_z (cc)	σ_{β} (mm)	σ_{γ} (mm)	σ_{α} (mm)	σ_z (cc)	σ_{χ_B} (mm)	σ_{γ_B} (mm)	$\sigma_{\chi_{\Gamma}}$ (mm)	$\sigma_{\gamma_{\Gamma}}$ (mm)	σ_{α} (mm)
± 1	± 3	± 3	± 4	± 1	± 3	± 1	± 2	± 2	± 4
± 3	± 3	± 3	± 4	± 3	± 3	± 1	± 2	± 2	± 4
± 10	± 3	± 3	± 4	± 10	± 3	± 1	± 2	± 2	± 4
Για	$\sigma_{\beta}' = \pm 5 \text{ mm}$			Για	$\sigma_{\beta}' = \pm 5 \text{ mm}$				
	$\sigma_{\gamma}' = \pm 5 \text{ mm}$				$\sigma_{\gamma}' = \pm 5 \text{ mm}$				
σ_z (cc)	σ_{β} (mm)	σ_{γ} (mm)	σ_{α} (mm)	σ_z (cc)	σ_{χ_B} (mm)	σ_{γ_B} (mm)	$\sigma_{\chi_{\Gamma}}$ (mm)	$\sigma_{\gamma_{\Gamma}}$ (mm)	σ_{α} (mm)
± 1	± 5	± 5	± 6	± 1	± 4	± 2	± 4	± 2	± 6
± 3	± 5	± 5	± 6	± 3	± 4	± 2	± 4	± 2	± 6
± 10	± 5	± 5	± 6	± 10	± 4	± 2	± 4	± 2	± 6

Πίνακας 2.1: Αρχική εκτίμηση αβεβαιότητας μήκους από τον νόμο συνημιτόνων και το δεύτερο θεμελιώδες με όργανα διαφορετικής ακρίβειας

Από τα στοιχεία που προκύπτουν παρατηρούνται τα ακόλουθα:

- Οι δυο μέθοδοι είναι ισοδύναμες
- Το σφάλμα προσδιορισμού της τελικής απόστασης είναι της τάξεως της αβεβαιότητας μέτρησης μήκους του οργάνου

- Η ακρίβεια της τελικής απόστασης είναι ανεξάρτητη της γωνιακής ακρίβειας του οργάνου
- Κύριο κριτήριο επιλογής του οργάνου, η ακρίβειά του στη μέτρηση της απόστασης και όχι στη μέτρηση γωνιών διεύθυνσης
- Η ζητούμενη απόκλιση των +30 mm στα 50 m καλύπτεται από όλα τα όργανα

Στη συνέχεια, δεδομένου ότι η ακρίβεια προσδιορισμού της τελικής απόστασης, από τη σχέση του δεύτερου θεμελιώδους, εξαρτάται από το σφάλμα προσδιορισμού των συντεταγμένων (x,y), όπως φαίνεται στη σχέση (2.11), γίνεται μια διερεύνηση ώστε να εντοπισθεί πότε οι συναρτήσεις (2.9) και (2.10) εμφανίζουν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους.

Στόχος του ελέγχου αυτού, είναι να διαπιστωθεί πότε προκύπτει το μέγιστο και το ελάχιστο σφάλμα προσδιορισμού των συντεταγμένων (x,y), ώστε να αποφεύγονται οι μετρήσεις που οδηγούν σε μεγάλα σφάλματα.

Η εύρεση της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής των συναρτήσεων αυτών, πραγματοποιείται βρίσκοντας την πρώτη παράγωγό τους και θέτοντας αυτή ίση με το μηδέν. Αρχικά, αντικαθιστούνται στη σχέση 2.9, οι ακόλουθες τιμές:

α_{AB} : η κατακόρυφη γωνία, θεωρείται γνωστή ίση περίπου με 120°

D_{AB} : το μετρούμενο μήκος, θεωρείται δεδομένο και ίσο με 25 m

σ_D : το σφάλμα μέτρησης μήκους του γεωδαιτικού σταθμού ίσο με ± 1 mm

σ_Z : το σφάλμα μέτρησης κατακόρυφων και οριζόντιων διευθύνσεων του οργάνου ίσο με $\pm 1''$

$\sigma_{\alpha_{AB}}$: το σφάλμα της γωνίας διεύθυνσης στάσης οργάνου – ταχυμετρικού σημείου ίσο με $\sqrt{2} \cdot \sigma_Z$

σ_{X_A} : το σφάλμα των συντεταγμένων της στάσης A, που σε αυτή την εφαρμογή είναι ίσο με 0

Παραγωγίζοντας την 2.9, σύμφωνα με τους κανόνες του ολοκληρωτικού λογισμού $\sigma = \sqrt{f(x)} \rightarrow \sigma' = \frac{f'(x)}{2\sqrt{f(x)}}$, και αντικαθιστώντας όλες τις γνωστές παραμέτρους, προκύπτει η σχέση (2.12),

$$(\sigma_x)' = \frac{2(\sin 120)^2 \cos \alpha_{AB} \sin \alpha_{AB} + 2(25000 \cdot \cos 120)^2 \cdot (1/636620)^2 \cdot \cos \alpha_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} -}{2\sqrt{(\sin 120 \cdot \sin \alpha_{AB})^2 + (25000 \cdot \cos 120 \cdot \sin \alpha_{AB})^2 \cdot (1/636620)^2 + (25000 \cdot \sin 120 \cdot \cos \alpha_{AB})^2 \cdot (\sqrt{2}/636620)^2}} \quad (2.12)$$

$$\frac{-2(25000 \cdot \sin 120)^2 \cdot (\sqrt{2}/636620)^2 \cdot \cos \alpha_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}}{2\sqrt{(\sin 120 \cdot \sin \alpha_{AB})^2 + (25000 \cdot \cos 120 \cdot \sin \alpha_{AB})^2 \cdot (1/636620)^2 + (25000 \cdot \sin 120 \cdot \cos \alpha_{AB})^2 \cdot (\sqrt{2}/636620)^2}}$$

Στην συνέχεια, θέτοντας, την πρώτη παράγωγο ίση με το μηδέν, ελέγχοντας ουσιαστικά που μηδενίζεται ο αριθμητής και ύστερα από υπολογισμούς, προκύπτει η παρακάτω εξίσωση (2.13), η οποία τελικά θα διερευνηθεί για το που μηδενίζεται, που είναι αύξουσα ή φθίνουσα, ώστε να προκύψει τότε η συνάρτηση (2.9) παρουσιάζει τοπικά μέγιστα και τοπικά ελάχιστα. Είναι γνωστό ότι εκεί που μηδενίζεται η πρώτη παράγωγος η συνάρτηση παρουσιάζει ελάχιστο ή μέγιστο. Ο έλεγχος παρουσιάζεται στον πίνακα 2.2.

$$\sigma'(x) = 0 \Leftrightarrow -2(25000 \cdot \sin 120)^2 \cdot (\sqrt{2}/636620)^2 \cdot \cos \alpha_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} = 0 \Leftrightarrow \sin \alpha_{AB} \cos \alpha_{AB} = 0 \quad (2.13)$$

Παρατηρείται, λοιπόν, ότι η συνάρτηση που δίνει την αβεβαιότητα προσδιορισμού της τετμημένης- x παρουσιάζει τοπικό ελάχιστο, όταν η γωνία διεύθυνσης α_{AB} είναι μηδέν και 200° , και αντίστοιχα τοπικό μέγιστο όταν η γωνία διεύθυνσης α_{AB} είναι 100° και 300° . Επομένως, πρέπει ο άξονας των y , που ως γνωστόν αποτελεί την αφετηρία μέτρησης των γωνιών διεύθυνσης, να επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ως προς το αντικείμενο αποτύπωσης, έτσι ώστε να μην προκύπτουν γωνίες διεύθυνσης κοντά στις τιμές 100° και 300° .

x	0	$\pi/2$	π	$3\pi/2$
$\sigma'(x)$	—	+	—	+
$\sigma(x)$	↘	↗	↘	↗
	T.E	T.M	T.E	T.M

Πίνακας 2.2: Τοπικά μέγιστα και ελάχιστα συνάρτησης σ_x

Με την ίδια λογική, προσδιορίζεται η παράγωγος της συνάρτησης (2.10), δηλαδή της αβεβαιότητας προσδιορισμού της τεταγμένης- y , τίθεται ίση με το μηδέν και εντοπίζεται για ποιες τιμές της γωνίας διεύθυνσης α_{AB} , η συνάρτηση παρουσιάζει τοπικά ελάχιστα και μέγιστα. Όλη η διαδικασία παρουσιάζεται ακολούθως.

$$(\sigma_y)' = \frac{-2(\sin 120)^2 \cos \alpha_{AB} \sin \alpha_{AB} - 2(25000 \cdot \cos 120)^2 \cdot (1/636620)^2 \cdot \cos \alpha_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} +}{2\sqrt{(\sin 120 \cdot \sin \alpha_{AB})^2 + (25000 \cdot \cos 120 \cdot \sin \alpha_{AB})^2 \cdot (1/636620)^2 + (25000 \cdot \sin 120 \cdot \cos \alpha_{AB})^2 \cdot (\sqrt{2}/636620)^2}}$$

$$\frac{+2(25000 \cdot \sin 120)^2 \cdot (\sqrt{2}/636620)^2 \cdot \cos \alpha_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}}{2\sqrt{(\sin 120 \cdot \sin \alpha_{AB})^2 + (25000 \cdot \cos 120 \cdot \sin \alpha_{AB})^2 \cdot (1/636620)^2 + (25000 \cdot \sin 120 \cdot \cos \alpha_{AB})^2 \cdot (\sqrt{2}/636620)^2}}$$

(2.14)

$$(\sigma_y)' = 0 \iff -\sin \alpha_{AB} \cos \alpha_{AB} = 0 \tag{2.15}$$

Η εξίσωση (2.15) μηδενίζεται όταν η τιμή της γωνίας διεύθυνσης ισούται με 0, π/2, π, και 3π/2, ενώ είναι γνησίως αύξουσα στο διάστημα (π/2, π) ∪ (3π/2, 0) και γνησίως φθίνουσα στο διάστημα (0, π/2) ∪ (π, 3π/2). Παρατηρείται, όπως ήταν αναμενόμενο, εκεί που το σ_x μεγιστοποιείται το σ_y είναι ελάχιστο.

y	0	π/2	π	3π/2				
σ'(y)	+	○	-	○	+	-	○	+
σ(y)	↗		↘		↗		↘	
	T.M		T.E		T.M		T.E	

Πίνακας 2.3: Τοπικά μέγιστα και ελάχιστα συνάρτησης σ_y

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

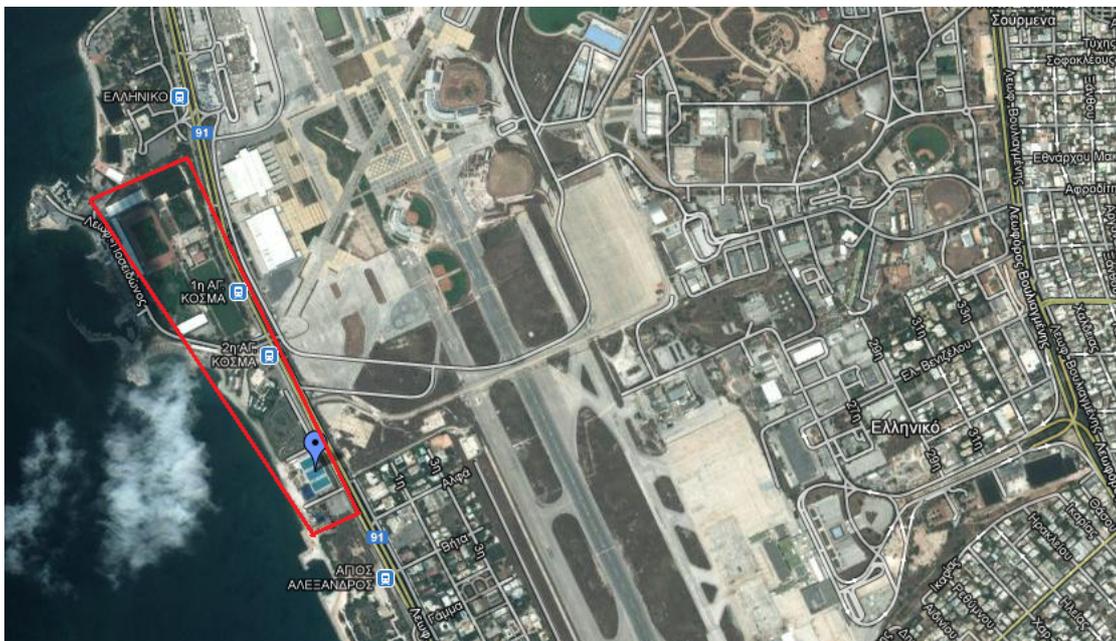
ΕΦΑΡΜΟΓΗ

3.1 Το πεδίο μετρήσεων

Για την εφαρμογή των μεθόδων που αναφέρθηκαν επιλέχθηκε το συγκρότημα κολυμβητηρίων που βρίσκεται στις αθλητικές εγκαταστάσεις του Εθνικού Αθλητικού Κέντρου Νεότητας Αγίου Κοσμά (εικόνα 3.1). Το συγκρότημα των κολυμβητηρίων κατασκευάστηκε από τη Γενική Γραμματεία Αθλητισμού το 1984 και περιλαμβάνει:

- τρεις ανοικτές δεξαμενές κολύμβησης ολυμπιακών διαστάσεων 50X25 m, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για κολύμβηση είτε για υδατοσφαίριση,
- μία δεξαμενή εκμάθησης κολύμβησης για παιδιά μικρής ηλικίας,
- ένα κλειστό καταδυτήριο ολυμπιακών προδιαγραφών, το οποίο κατασκευάστηκε το 2002.

Οι εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα από την Κολυμβητική Ομοσπονδία Ελλάδας για τις προπονήσεις των Εθνικών Ομάδων, παράλληλα όμως μπορεί να διατεθεί σε χρήση και από το κοινό (αθλητικά Σωματεία, ιδιωτικοί φορείς, Ο.Τ.Α. κλπ). Επίσης, διεξάγονται επίσημοι αγώνες κολύμβησης, υδατοσφαίρισης και καταδύσεων καθώς και άλλες αθλητικές διοργανώσεις.



Εικόνα 3.1: Αθλητικές Εγκαταστάσεις Αγίου Κοσμά(πηγή: Google earth)

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μία από τις πισίνες ολυμπιακών διαστάσεων του συγκροτήματος. Τα προπονητήρια υγρού στίβου βρίσκονται στο Νότιο τμήμα των αθλητικών εγκαταστάσεων του Αγίου Κοσμά (εικόνα 3.1), ενώ η πισίνα μελέτης είναι η μεσαία από τις τρεις πισίνες ολυμπιακών διαστάσεων που υπάρχουν στο χώρο, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2. Η συγκεκριμένη πισίνα είναι ανοιχτή και επιλέχθηκε διότι ήταν σχεδόν άδεια από νερό (στάθμη ύδατος 20cm περίπου).

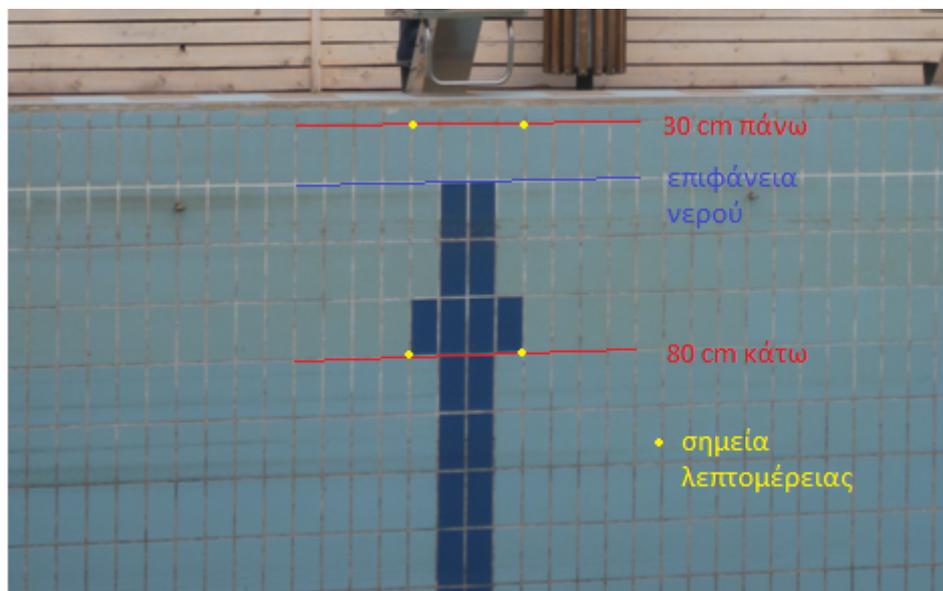


Εικόνα 3.2: Συγκρότημα Κολυμβητηρίων – Περιοχή Μελέτης (πηγή: Google Earth)

Αφού έγινε αναγνώριση του χώρου και συντάχθηκε το σχετικό αυτοσχέδιο (σκαρίφημα), οργανώθηκε η σειρά εφαρμογής των διαφόρων μεθόδων και ορίστηκε ποια σημεία λεπτομερειών θα μετρηθούν προκειμένου να γίνει η συλλογή όλων των απαραίτητων στοιχείων.

Τα κοινά σημεία ενδιαφέροντος για την πρώτη και τη δεύτερη μέθοδο μέτρησης είναι αυτά δεξιά και αριστερά του «Τ», στα 80 cm κάτω και στα 30 cm πάνω από τη στάθμη του νερού και για τις 10 λωρίδες της πισίνας, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3.

Στη δεύτερη μέθοδο, μετρήθηκαν επιπλέον σημεία στους τοίχους κατά μήκος της πισίνας προκειμένου να ελεγχθεί η καθετότητα και η παραλληλία τους. Στην μέθοδο με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό και τον σαρωτή laser, τα σημεία ενδιαφέροντος δεν χρησιμοποιήθηκαν, καθώς έγινε σάρωση όλου του χώρου μελέτης.



Εικόνα 3.3: Σημεία μέτρησης

3.2 Εξοπλισμός

3.2.1 Ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1201

Τα βασικά κριτήρια επιλογής του κατάλληλου γεωδαιτικού σταθμού, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εργασίας στην οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, είναι [Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., 2010]:

- Η αβεβαιότητα μέτρησης των μηκών ($\pm a$ mm $\pm b$ ppm) και μέτρησης των διευθύνσεων ($\pm \alpha^{\circ}$)
- Το βεληνεκές του στη μέτρηση του μήκους
- Η ποιότητα, το είδος και ο αριθμός των ανακλαστήρων που απαιτούνται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση του μήκους
- Η διάρκεια της μοναδιαίας μέτρησης ενός μήκους
- Το βάρος και ο όγκος του
- Η δυνατότητα προσαρμογής άλλων παρελκόμενων
- Ο τρόπος αποθήκευσης και διαχείρισης των μετρήσεων
- Το κόστος του

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής επιλέχθηκε ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός TCRM 1201 της εταιρείας Leica (εικόνα 3.4). Κύριο κριτήριο επιλογής του είναι η διαπίστωση ότι η αβεβαιότητα μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα είναι $\pm 2\text{mm}$, αλλά κυρίως ότι η ορθότητα μέτρησης παραμένει αναλλοίωτη, υπό διάφορες γωνίες πρόσπτωσης, σε διάφορα υλικά και σε διάφορα χρώματα [Ηλιοδρομίτης Α.,2008]. Η γωνιακή αβεβαιότητα του σταθμού υπερκαλύπτει τις ανάγκες της εργασίας όπως αποδείχθηκε στην *a priori* ανάλυση της αβεβαιότητας στην παράγραφο 2.6.

Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά του για μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα είναι:

- Αβεβαιότητα μέτρησης μηκών $\pm 2\text{mm} \pm 2\text{ppm}$
- Απόδοση μέτρησης μήκους 1mm και χρόνος μέτρησης 3-6sec
- Αβεβαιότητα μέτρησης διευθύνσεων $\pm 3''$ και απόδοση $1''$
- Ελάχιστη εστίαση 1.5 m / βεληνεκές έως 400 m
- Μέγεθος κουκίδας λέιζερ στα 30 m είναι 7 mm x 10 mm
- Μέγεθος κουκίδας λέιζερ στα 50 m είναι 8 mm x 20 mm



Εικόνα 3.4: Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1201

3.2.2 Χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Trimble VX

Για την πιστοποίηση της πισίνας, με χρήση σύγχρονων γεωδαιτικών οργάνων, επιλέχθηκε ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός VX της Trimble (εικόνα 3.5). Ο σταθμός αποτελεί μία καινοτομία στη

χωρική απεικόνιση. Πρόκειται για ένα όργανο στο οποίο ενσωματώνονται τρεις τεχνολογίες, η τεχνολογία ενός γεωδαιτικού σταθμού, ενός λέιζερ σαρωτή και μιας ψηφιακής βιντεοκάμερας.

Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός συνδυάζει τυπικής ανάλυσης 3D σαρώσεις, ψηφιακές απεικονίσεις και μεγάλης ακρίβειας τοπογραφικές μετρήσεις, με σκοπό την ολοκληρωμένη καταγραφή και απόδοση της θέσης, του σχήματος, του μεγέθους και της εικόνας του αντικειμένου μελέτης. [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-347910/022543-260C_Spatial_Imaging_BRO_0909_sec.pdf].



Εικόνα 3.5: Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός Trimble VX

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέγεται ώστε να προκύψουν οι συντεταγμένες στα τοιχώματα της πισίνας, οι οποίες προσδιορίζονται αυτόματα με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων στο σύστημα αναφοράς που ορίζει ο χρήστης με την εισαγωγή των συντεταγμένων στάσης οργάνου και του σημείου μηδενισμού. Παράγεται, επίσης, το ψηφιακό μοντέλο της πισίνας για τον εντοπισμό και την αναγνώριση των σημείων ενδιαφέροντος.

Ορισμένα από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου είναι:

- Αβεβαιότητα μέτρησης διευθύνσεων $\pm 3^{\text{cc}}$
- Αβεβαιότητα μέτρησης μηκών χωρίς ανακλαστήρα $\pm 3 \text{ mm} \pm 2 \text{ppm}$
- Χρόνος μέτρησης 1-5 sec
- Ανάλυση εικόνας 2.048x1.536 pixels
- Βεληνεκές 1-250 m ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος
- Ταχύτητα σάρωσης 15 σημεία/sec

- Ελάχιστο διάστημα σημείων 10 mm
- Βάρος 5.25 kg

3.2.3 Σαρωτής Laser Faro Focus^{3D}

Για τη σάρωση του εσωτερικού της πισίνας ολυμπιακών διαστάσεων επιλέχθηκε ο σαρωτής Focus^{3D} της εταιρείας Faro (εικόνα 3.6). Το Focus^{3D} είναι ένας ταχύτατος σαρωτής για λεπτομερείς μετρήσεις και τεκμηριώσεις. Χρησιμοποιεί τη laser τεχνολογία για παραγωγή λεπτομερών τριδιάστατων μοντέλων από σύνθετα περιβάλλοντα και κατασκευές σε λίγα μόλις λεπτά. Έχει ενσωματωμένη οθόνη αφής από την οποία γίνεται ο έλεγχος όλων των λειτουργιών και των παραμέτρων σάρωσης. Η εικόνα που προκύπτει από τη σάρωση είναι ένα σύνολο από εκατομμύρια έγχρωμα τριδιάστατα σημεία μέτρησης, το οποίο αποτελεί μια ακριβή ψηφιακή αναπαραγωγή της υφιστάμενης κατάστασης.

Στα πλεονεκτήματά του σημειώνεται ότι είναι ακριβές, γρήγορο, οικονομικό. Το βασικότερο, ωστόσο, πλεονέκτημα το οποίο οδήγησε στην επιλογή του είναι ότι είναι πολύ ελαφρύ σε σχέση με άλλους σαρωτές, μόλις 5kg, μπορεί να μεταφερθεί και να τοποθετηθεί στο σημείο μέτρησης, ενώ έχει και ενσωματωμένη μπαταρία.

[http://www.jgc.gr/images/stories/products/scanners/faro/focus3d/TECH_SHEET_FOCUS3D_GR.pdf]



Εικόνα 3.6: Ο laser scanner Focus^{3D} της εταιρείας Faro

Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Αβεβαιότητα μέτρησης απόστασης ± 2 mm στα 10 m και 25 m, για 90% και 10% αντανakλαστική επιφάνεια

- Διάμετρος κουκίδας laser κατά την έξοδο 3.8 mm
- Μέγιστη εμβέλεια σάρωσης 153.49 m
- Οπτικό πεδίο Hz/V στις 360°/305°
- 976.000 σημεία/ sec
- Ανάλυση εικόνας έως 70Mpixels, με πληροφορία χρώματος
- Βάρος 5 kg

3.2.4 Ηλεκτρονική Μετροταινία

Για την άμεση μέτρηση του μήκους της πισίνας χρησιμοποιήθηκε η ηλεκτρονική μετροταινία Disto D3 της εταιρείας Leica με τυπική ακρίβεια μέτρησης μήκους ± 1 mm (εικόνα 3.7).



Εικόνα 3.7: Η ηλεκτρονική μετροταινία Leica Disto D3

3.3 Μετρήσεις-Υπολογισμοί

3.3.1 Μέτρηση με την ηλεκτρονική μετροταινία

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χωρίς τη χρήση των διατάξεων που πρότεινε η αμερικάνικη ομοσπονδία κολύμβησης. Επισημαίνεται, το βασικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης διαδικασίας, που είναι η αδυναμία συλλογής στοιχείων στα 80cm κάτω από την επιφάνεια του νερού. Οι μετρήσεις, η τελική μέση απόσταση αφού έχει αφαιρεθεί το πάχος των πινάκων αφής ίσο με 20mm καθώς και η αβεβαιότητα προσδιορισμού παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Η αβεβαιότητα της μέσης απόστασης ($\sigma_{\bar{s}}$) προκύπτει από την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση του μέσου όρου, (σχέση 3.1).

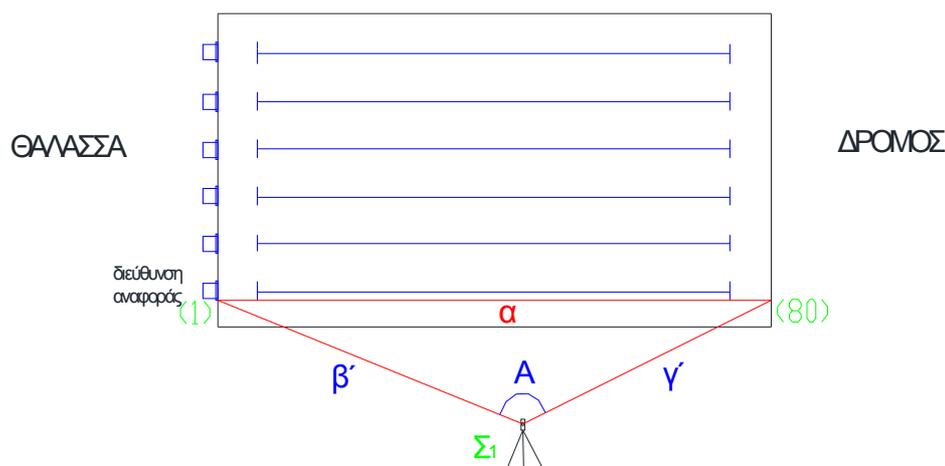
$$\bar{S} = \frac{S_1 + S_2 + S_n}{n} \xrightarrow{N.M.\Sigma} \sigma_{\bar{S}} = \pm \frac{\sqrt{n}}{n} \sigma_S \quad (3.1)$$

	S (m) [30cm πάνω]	σ_s (mm)	$\bar{S} - 0.02$ (m)	$\sigma_{\bar{S}}$ (mm)
0 lane	50.011	± 1	49.991	± 1
1 lane	50.027	± 1	49.997	± 1
	50.012			
	50.012			
2 lane	50.022	± 1	50.009	± 1
	50.024			
	50.041			
3 lane	50.026	± 1	50.003	± 1
	50.015			
	50.028			
4 lane	50.028	± 1	50.008	± 1
	50.030			
	50.027			
5 lane	50.032	± 1	50.012	± 1
	50.029			
	50.036			
6 lane	50.040	± 1	50.025	± 1
	50.05			
7 lane	50.032	± 1	50.011	± 1
	50.030			
	50.031			
8 lane	50.030	± 1	50.010	± 1
	50.029			
9 lane	50.023	± 1	50.003	± 1

Πίνακας 3.1: Μετρήσεις με ηλεκτρονική μετροταινία

3.3.2 Νόμος συνημιτόνων – Reflectorless εφαρμογή

Όπως αναφέρθηκε, για να εφαρμοσθεί ο νόμος των συνημιτόνων, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα τρίγωνο όπου το ζητούμενο θα είναι η απόσταση κάθε λωρίδας. Το τρίγωνο αυτό υλοποιήθηκε τοποθετώντας τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TCRM 1201 στη στάση Σ1, εξωτερικά στη μέση περίπου κατά μήκος της πισίνας, ορίζοντας έτσι τη μία κορυφή, ενώ οι άλλες δύο ορίζονται από τα σημεία λεπτομέρειας στην ανατολική και δυτική πλευρά της πισίνας. Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός οριζοντιώθηκε, δεν κεντρώθηκε, ώστε να αποφευχθούν τα σφάλματα κέντρωσης, ενώ ο μηδενισμός έγινε στο πρώτο σημείο μέτρησης (1), καθώς η εργασία πραγματοποιείται σε ένα τοπικό αυθαίρετο σύστημα αναφοράς (σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1: Υλοποίηση τριγώνου στο πεδίο μετρήσεων

Μετρήθηκαν οριζόντιες, κατακόρυφες γωνίες και μήκη χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, σε μία στάση οργάνου, αρχικά σε ύψος **80 cm** κάτω από τη στάθμη του νερού, σκοπεύοντας τα κάτω σημεία δεξιά και αριστερά του «Γ» κατά πλάτος των δύο πλευρών της πισίνας. Σε κάθε πλευρά μετρήθηκαν τελικά 20 σημεία. Στη δυτική πλευρά τα σημεία από 1 έως 20 και στην ανατολική τα σημεία από 21 έως 40.

Στη συνέχεια, στα **30 cm** πάνω από την επιφάνεια του νερού, μετρήθηκαν στα 20 σημεία κάθε πλευράς οριζόντιες, κατακόρυφες γωνίες και μήκη, ενώ έγινε πάλι μηδενισμός στο σημείο 41 ώστε να προκύπτει πιο εύκολα η περιεχόμενη γωνία για την εφαρμογή του νόμου των συνημιτόνων (δυτικά: 41-60, ανατολικά: 61-80).

Κατά τη σκόπευση από τη μία πλευρά στην άλλη, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε να σκοπεύονται ακριβώς τα ομόλογα σημεία για να προκύψουν οι σωστές αποστάσεις κάθε λωρίδας.

Οι μετρήσεις ολοκληρώθηκαν σε 1h και 15min.

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Ομοσπονδία Κολύμβησης (FINA), αν οι μετρήσεις πιστοποίησης της απόστασης της πισίνας γίνουν χωρίς τους πίνακες αφής (touch pad) τοποθετημένους στα δύο άκρα της πισίνας, τότε στην υπολογισμένη απόσταση κάθε διαδρομής θα πρέπει να αφαιρεθεί το πάχος του πίνακα, προκειμένου να προκύψει η τελική απόσταση. Υπενθυμίζεται ότι η προδιαγραφή να είναι η πισίνα $50.015\text{m} \pm 0.015\text{m}$ αφορά την απόσταση μεταξύ των πινάκων αφής.

Στη συγκεκριμένη εργασία, οι μετρήσεις έγιναν χωρίς τους πίνακες αφής στη θέση τους, επομένως από τις αποστάσεις που υπολογίσθηκαν από το νόμο των συνημιτόνων, θεωρώντας για ασφάλεια τη δυσμενέστερη περίπτωση που σημαίνει το μέγιστο πάχος πίνακα αφής

10mm (περιορισμός FINA) και στα δύο άκρα της πισίνας, αφαιρούνται 20mm.

Τα τελικά αποτελέσματα με τις αβεβαιότητές τους παρουσιάζονται στον πίνακα 3.2. Για κάθε λωρίδα δίνονται δύο τιμές της απόστασης μια αριστερά και μια δεξιά του «T».

	S (m) [80cm κάτω]	σ_s (mm)	S (m) [30cm πάνω]	σ_s (mm)
0 lane	49.997	±3	49.995	±3
	49.996	±3	49.996	±3
1 lane	50.000	±3	50.000	±3
	50.002	±3	50.003	±3
2 lane	50.004	±3	50.007	±3
	50.002	±3	50.006	±3
3 lane	50.006	±3	50.005	±3
	50.007	±3	50.010	±3
4 lane	50.010	±2	50.009	±2
	50.010	±2	50.014	±2
5 lane	50.013	±2	50.016	±2
	50.015	±2	50.014	±2
6 lane	50.016	±2	50.014	±2
	50.015	±2	50.012	±2
7 lane	50.024	±2	50.012	±2
	50.024	±2	50.014	±2
8 lane	50.025	±2	50.016	±2
	50.026	±2	50.014	±2
9 lane	50.020	±2	50.016	±2
	50.023	±2	50.017	±2

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα εφαρμογής νόμου συνημιτόνων

3.3.3 Μέθοδος πολικών συντεταγμένων

Με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων αρχικά θα προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των σημείων (εικόνα 3.3) ώστε να προκύψουν οι αποστάσεις των λωρίδων με χρήση του 2^{ου} θεμελιώδους προβλήματος, και έπειτα θα προκύψει το διάγραμμα της κάτοψης της πισίνας.

Αφού υπολογιστούν οι συντεταγμένες για τα σημεία των τοιχωμάτων, θα γίνει προσαρμογή του βέλτιστου επιπέδου σε αυτά. Κατόπιν θα ελεγχθούν τα επίπεδα που θα προκύψουν για την παραλληλία και την καθετότητά τους.

Όπως έχει αναφερθεί (παράγραφος 2.2) για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου, πρέπει να είναι γνωστά οι συντεταγμένες x,y,z της στάσης του οργάνου και οι συντεταγμένες x,y του σημείου που θεωρείται ως αφετηρία μέτρησης των οριζόντιων γωνιών.

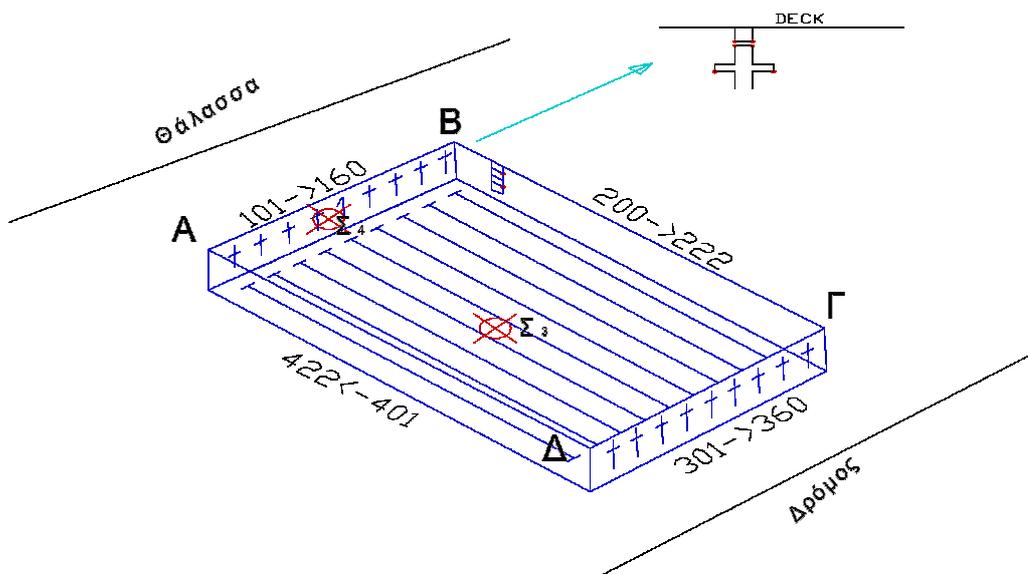
Ο γεωδαιτικός σταθμός τοποθετήθηκε και οριζοντιώθηκε στη μέση περίπου της άδειας πισίνας, στη στάση Σ3 μέσα στην πισίνα (σχήμα 3.2). Ορίστηκε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς με τον άξονα x, σχεδόν παράλληλο στις μικρές πλευρές της πισίνας και τον y σχεδόν παράλληλο στις μεγάλες. Ορίστηκαν, λοιπόν, οι συντεταγμένες της στάσης Σ3 ως (50,50,10) ενώ ο κατακόρυφος δίσκος τοποθετήθηκε στους 100^s, μετρήθηκε η απόσταση $S_{\Sigma 3-\Sigma 4}$ ίση με 28m ώστε να προκύψουν οι συντεταγμένες του σημείου προσανατολισμού Σ4 ίσες με (50,78,10). Πρέπει να σημειωθεί ότι η πλευρά Σ3-Σ4 ορίστηκε ως άξονας y του συστήματος αναφοράς.

Μετρήθηκαν μήκη χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, κατακόρυφες και οριζόντιες γωνίες, σε μία θέση τηλεσκοπίου, σε έξι σημεία κάθε λωρίδας. Δύο σημεία στα 80 cm κάτω από την επιφάνεια του νερού, δύο στα 30 cm πάνω από την επιφάνεια του νερού και δύο εκεί που ορίζεται η στάθμη του νερού.

Τα τελευταία σημεία μετρήθηκαν ώστε να υπάρχουν περισσότερα δεδομένα στη διαδικασία εύρεσης του επιπέδου κάθε τοίχου. Συγκεκριμένα, στην δυτική πλευρά ΑΒ μετρήθηκαν τα σημεία 101 έως 160 και στην ανατολική πλευρά ΓΔ από 301 μέχρι 360 (σχήμα 3.2).

Επίσης, μετρήθηκαν στις κατά μήκος πλευρές της πισίνας ΒΓ και ΑΔ από 20 σημεία σε κάθε πλευρά σε ύψος 30 cm πάνω και 70 cm κάτω από τη στάθμη του νερού. Στην πλευρά ΒΓ μετρήθηκαν τα σημεία 200 έως 222 και στη ΔΑ τα σημεία 401 έως 422.

Η συνολική διάρκεια των μετρήσεων ήταν μία ώρα.



Σχήμα 3.2: Σκαρίφημα για τη μέθοδο πολικών συντεταγμένων

Αφού συλλέχθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία από τις μετρήσεις, οι συντεταγμένες των ταχυμετρικών σημείων (101-422) προέκυψαν από την εφαρμογή του 1^{ου} θεμελιώδους προβλήματος.

Γνωρίζοντας τις συντεταγμένες (x, y, z) των ταχυμετρικών σημείων στις πλευρές AB (101-160) και ΓΔ (301-360) της πισίνας, στα σημεία ενδιαφέροντος, προκύπτει η απόσταση μεταξύ των ομόλογων σημείων από την ακόλουθη σχέση 3.2:

$$S_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad (3.2)$$

Οι τελικές αποστάσεις προκύπτουν αφού αφαιρεθεί το μέγιστο πάχος των πινάκων αφής, όπως ορίζει η FINA (πίνακας 3.2).

Προκύπτουν τελικά, για κάθε λωρίδα οι οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ των ομόλογων σημείων, δεξιά και αριστερά του «T», στα 80 cm κάτω και στα 30 cm πάνω από τη στάθμη του νερού, με τα αντίστοιχα σφάλματα, όπως φαίνονται στον πίνακα 3.3.

	S (m) [80cm κάτω]	σ_s (mm)	S (m) [30cm πάνω]	σ_s (mm)
0 lane	49.998	± 3	49.996	± 3
	49.996	± 3	49.998	± 3
1 lane	49.999	± 3	50.003	± 3
	50.001	± 3	50.006	± 3
2 lane	50.004	± 3	50.008	± 3
	50.002	± 3	50.009	± 3
3 lane	50.005	± 3	50.009	± 3
	50.006	± 3	50.011	± 3
4 lane	50.010	± 3	50.012	± 3
	50.010	± 3	50.016	± 3
5 lane	50.014	± 3	50.018	± 3
	50.014	± 3	50.017	± 3
6 lane	50.015	± 3	50.013	± 3
	50.014	± 3	50.011	± 3
7 lane	50.026	± 3	50.013	± 3
	50.025	± 3	50.016	± 3
8 lane	50.025	± 3	50.016	± 3
	50.024	± 3	50.018	± 3
9 lane	50.021	± 3	50.018	± 3
	50.024	± 3	50.019	± 3

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου πολικών συντεταγμένων

Τα ταχυμετρικά σημεία 101-422 ραπορταρίστηκαν και προέκυψε το τελικό σχέδιο της κάτοψης της πισίνας, (σχήμα 3.3).

Θάλασσα

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
49.998									
	49.999								
		50.004							
			50.002						
			50.005						
				50.010					
					50.014				
						50.014			
							50.014		
								50.025	
									50.024
									50.021
									50.024

Δρόμος

Σχήμα 3.3: Κάτοψη πισίνας (τιμές στα 80cm)

3.3.4 Αποτύπωση-Σάρωση με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό

Με τη μέτρηση της πισίνας με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό Trimble VX θα προκύψουν:

- Οι συντεταγμένες σημείων στους τέσσερις τοίχους της πισίνας, ώστε αφενός να προκύψουν τα βέλτιστα επίπεδα αυτών, μέσα από την ελαχιστοτετραγωνική επίλυση επιπέδου, και αφετέρου να ελεγχθεί τελικά η παραλληλία και η καθετότητά τους.
- Το τριδιάστατο μοντέλο της πισίνας, από το οποίο με κατάλληλη επεξεργασία, θα προκύψουν οριζόντιες και κατακόρυφες τομές προκειμένου να μετρηθούν οι αποστάσεις των λωρίδων σε περιβάλλον CAD.

Ο χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός VX της Trimble τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της πισίνας στη στάση Σ3. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πισίνα είχε 20 cm νερό (εικόνα 3.8).

Οι συντεταγμένες της στάσης ορίστηκαν αυθαίρετα (50, 50, 10). Ο μηδενισμός έγινε στη στάση Σ4, αφού πρώτα είχε τεθεί η κατακόρυφη γωνία του οργάνου στους 100° , ώστε να μετρηθεί η απόσταση $S_{\Sigma 3 \Sigma 4} = 28\text{m}$ και να προκύψουν τελικά οι συντεταγμένες της Σ4 ίσες με (50, 78, 10). Η πλευρά Σ3-Σ4 ορίζει τον άξονα των y .

Αρχικά, ορίστηκε με χειροκίνητη διαδικασία στην οθόνη του σταθμού η επιφάνεια σάρωσης, η ακρίβεια σάρωσης επιλέχθηκε η καλύτερη (high speed), οι συνθήκες μέτρησης (daylight), και η ανάλυση της φωτογραφίας ορίστηκε large με επικάλυψη 10%.

Τέλος, το βήμα σάρωσης ορίστηκε στα 12 cm οριζόντια και 12 cm κατακόρυφα. Στην επιλογή του βήματος σάρωσης οδήγησε το μέγεθος κάθε πλακακιού της πισίνας, διαστάσεων 12x25 cm, έτσι ώστε να συλλεχθούν δεδομένα σε κάθε ένα από αυτά.

Πραγματοποιήθηκαν δύο ανεξάρτητες σαρώσεις. Κατά την πρώτη σάρωση, στις επιφάνειες που είναι αντίστοιχες στις πλευρές ΑΒ και ΒΓ, σαρώθηκαν 14.769 σημεία σε χρόνο 47 min 20 sec, ενώ στη δεύτερη, στις επιφάνειες που αντιστοιχούν στις πλευρές ΓΔ και ΔΑ μετρήθηκαν 22.491 σημεία σε χρόνο 1 h 12 min.

Οι σαρώσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο στάδια, προκειμένου να ελεγχθούν τα αποτελέσματα και να αποφευχθούν λάθη. Κατά τη δεύτερη σάρωση υπήρχαν επικαλύψεις με την πρώτη και για το λόγο αυτό περιλαμβάνει περισσότερα σημεία ενώ διήρκεσε και περισσότερο χρόνο.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις για την εφαρμογή του νόμου των συνημιτόνων και η σάρωση του εσωτερικού της πισίνας με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα προς εξοικονόμηση χρόνου, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.8.



Εικόνα 3.8: Ταυτόχρονες μετρήσεις με χωροεικονογεωδαιτικό και ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό

Για τη επεξεργασία του νέφους σημείων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Realworks της εταιρείας Trimble. Είναι το βασικό λογισμικό που προτείνεται για την επεξεργασία και ανάλυση των ψηφιακών δεδομένων που προκύπτουν από τις εφαρμογές με τους χωροεικονογεωδαιτικούς σταθμούς της εταιρείας Trimble. Συνδυάζει ένα ισχυρό σύνολο αναλυτικών εργαλείων για τη διαχείριση και επεξεργασία μεγάλων αρχείων δεδομένων που περιέχουν εκατομμύρια σημεία, και την απόδοσή τους σε υψηλής ποιότητας παραδοτέα.

Συγκεκριμένα, δίνει τη δυνατότητα για παραγωγή διδιάστατων σχεδίων με δυνατότητα προσθήκης επικαλυπτόμενων εικόνων ή φωτογραφιών από την περιοχή εργασίας, τριδιάστατων μοντέλων επιφανειών, που αποκτούν πρόσθετη αξία με την εισαγωγή των εικόνων, διδιάστατης και τριδιάστατης ανάλυσης παράγωγα με δυνατότητα δημιουργίας τομών, οριζόντιων και κατακόρυφων, και απόδοσής τους σε περιβάλλον CAD, και τέλος, υψηλής πιστότητας τριδιάστατα νέφη σημείων, με εξαγωγή των συντεταγμένων τους στο σύστημα αναφοράς

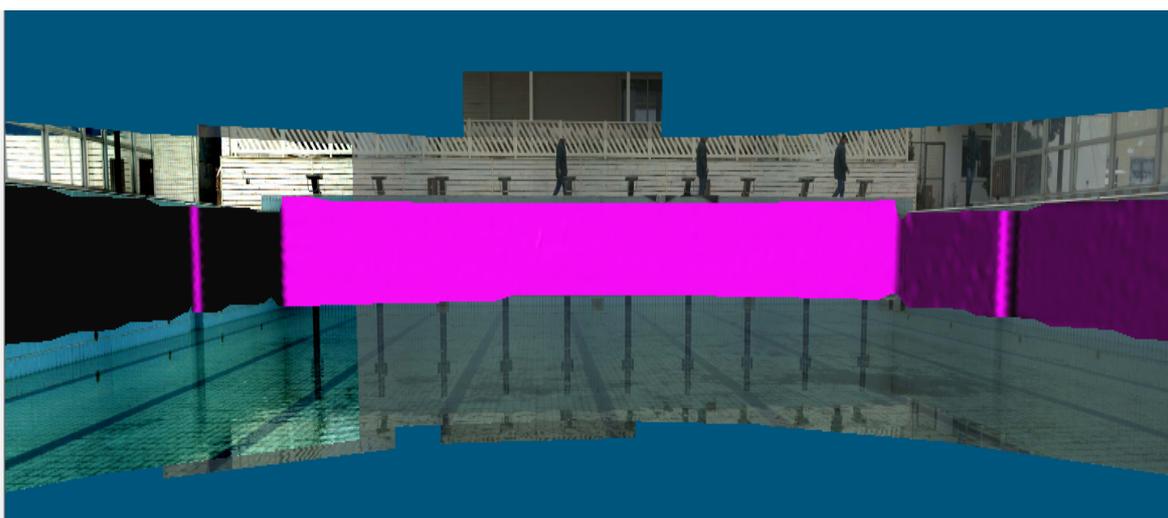
που έχει οριστεί. [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-231132/022543-123F_RealWorks_TN_0110_LR.pdf]

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η επεξεργασία στο λογισμικό Realworks περιλαμβάνει τις ακόλουθες διαδικασίες:

i. Δημιουργία επιφάνειας

Για την αναπαράσταση της επιφάνειας της πισίνας επιλέχθηκε το νέφος των σημείων της σαρωμένης πισίνας και από την εντολή “Tools” με το εργαλείο “Mesh Creation Tools” προκύπτει η επιφάνεια της πισίνας (εικόνα 3.9). Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα βελτίωσης της επιφάνειας που δημιουργείται χρησιμοποιώντας την εντολή της εργαλειοθήκης “Mesh Editing Tools”, της κάλυψης κενών που ενδέχεται να υπάρχουν στην παραγόμενη επιφάνεια αλλά και της απομάκρυνσης περιττών σημείων από το νέφος.

Από την επεξεργασία των δεδομένων, προέκυψε ότι για την ορθότερη αναπαράσταση της επιφάνειας προτείνεται να γίνει αρχικά η διαγραφή των περιττών σημείων και ύστερα η δημιουργία της επιφάνειας.



Εικόνα 3.9: Τμήμα της προσαρμοσμένης επιφάνειας

ii. Τομές και Εξαγωγή Κατόψεων σε περιβάλλον CAD

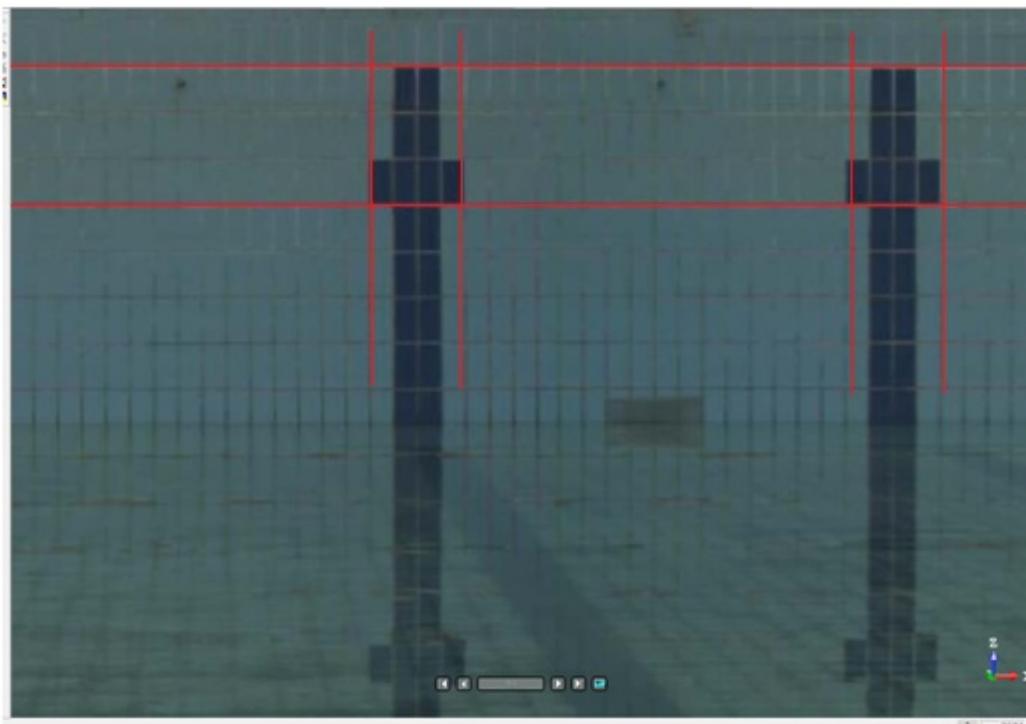
Από το τριδιάστατο μοντέλο της πισίνας, δημιουργούνται δύο οριζόντιες τομές στα 80 cm κάτω από την επιφάνεια του νερού και στα 30 cm πάνω από την επιφάνεια του νερού, και στη συνέχεια είκοσι κατακόρυφες τομές στο «T» κάθε λωρίδας, δεξιά και αριστερά αυτού (εικόνα 3.10).

Οι τομές στο περιβάλλον Realworks, δημιουργούνται ως εξής: επιλέγοντας τη δημιουργημένη επιφάνεια (Mesh Fitted), από την εργαλειοθήκη εκτελείται η εντολή “Cutting Plane Tool”.

Κατά την εφαρμογή της εντολής, ορίζεται ο άξονας στον οποίο η τομή θα είναι κάθετη, επομένως ο z για τη δημιουργία των οριζόντιων και ο x για τη δημιουργία των κατακόρυφων. Επιλέγεται, στην συνέχεια, αν η τομή θα διέρχεται από συγκεκριμένο σημείο (εισαγωγή συντεταγμένων του) ή από συγκεκριμένη διαδρομή (εισαγωγή συντεταγμένων δύο σημείων), καθώς και αν θα είναι μοναδιαία ή θα δημιουργηθούν πολλαπλές με εισαγωγή βήματος.

Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν μοναδιαίες τομές, με τις οριζόντιες να διέρχονται από κάποιο σημείο στα 30cm πάνω και 80cm κάτω από την επιφάνεια του νερού και τις κατακόρυφες από τη διαδρομή που ορίζουν τα ομόλογα σημεία στις δύο πλευρές της πισίνας δεξιά και αριστερά των «T».

Τα σημεία ενδιαφέροντος, εντοπίζονται στο νέφος σημείων έχοντας εμφανισμένη την ψηφιακή απεικόνιση της πισίνας και εξάγονται οι συντεταγμένες τους, όπως αναλύεται παρακάτω στη διαδικασία (iii).



Εικόνα 3.10: Οριζόντιες και κατακόρυφες τομές στο Realworks

Για την εξαγωγή των τομών σε περιβάλλον CAD, αφού επιλεγθούν όλες οι τομές, οριζόντιες και κατακόρυφες, από την εντολή “File” γίνεται εξαγωγή των δεδομένων (Export Selection) ως αρχείο .dxf (σχήμα 3.4).

Από τις τομές που προέκυψαν, έγιναν οι μετρήσεις των αποστάσεων των λωρίδων της πισίνας στο περιβάλλον CAD και προέκυψαν οι αποστάσεις που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, αφού αφαιρέθηκαν από αυτές που είχαν μετρηθεί 20 mm που αντιστοιχούν στο πάχος των πινάκων αφής.

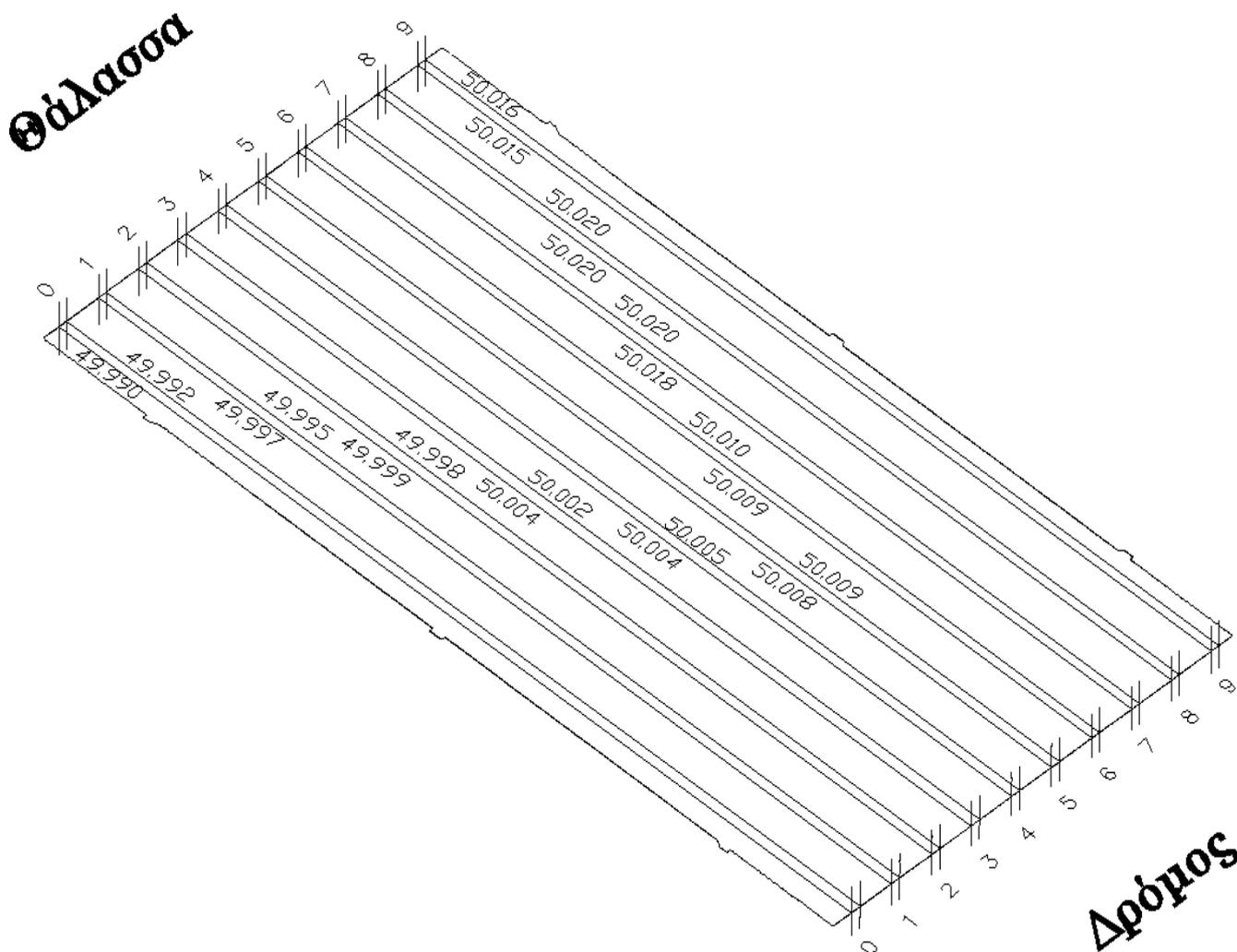
Στο σχήμα 3.4 φαίνονται οι αποστάσεις στα 80cm κάτω από την επιφάνεια και ακολούθως στον πίνακα 3.4 αναγράφονται όλα τα στοιχεία που μετρήθηκαν και οι αβεβαιότητες τους, ίσες με την ακρίβεια μέτρησης μήκους του οργάνου .

	S (m) [80cm κάτω]	σ_s (mm)	S (m) [30cm πάνω]	σ_s (mm)
0 lane	49.990	± 3	49.987	± 3
	49.992		49.991	
1 lane	49.997		49.995	
	49.995		49.995	
2 lane	49.999		50.002	
	49.998		50.001	
3 lane	50.004		50.007	
	50.002		50.003	
4 lane	50.004		50.012	
	50.005		50.008	
5 lane	50.008		50.010	
	50.009		50.010	
6 lane	50.009		50.013	
	50.010		50.009	
7 lane	50.018		50.015	
	50.020		50.016	
8 lane	50.020		50.015	
	50.020		50.010	
9 lane	50.015		50.015	
	50.016		50.015	

Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα εφαρμογής με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό

iii. Εξαγωγή συντεταγμένων νέφους

Οι συντεταγμένες κάθε τοιχώματος ενδιαφέρουν προκειμένου να προσαρμοστεί το βέλτιστο επίπεδο σε αυτές. Από την εργαλειοθήκη, με την εντολή “Segmentation Tools” επιλέγονται τα σημεία κάθε επιπέδου και δημιουργείται ένα επίπεδο (layer) με αυτά τα σημεία. Στη συνέχεια, εξαγονται οι συντεταγμένες τους (file→export selection) ως αρχεία ascii.



Σχήμα 3.4: Αποτύπωση περιοχής μελέτης με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό-απόδοση οριζόντιας και κατακόρυφων τομών (τιμές στα 80cm)

3.3.5 Εφαρμογή με τη χρήση του σαρωτή Faro Focus^{3D}

Ο σαρωτής Focus^{3D} τοποθετήθηκε στον πυθμένα στη μέση της πισίνας. Πριν την έναρξη της σάρωσης ορίστηκαν οι απαραίτητες παράμετροι, προκειμένου τα παράγωγά της να έχουν επαρκή ακρίβεια, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Αρχικά, δημιουργήθηκε αρχείο με το όνομα «Πίσινα» και ορίστηκε σάρωση στο οριζόντιο επίπεδο από 0° έως 360°, ώστε να σαρωθεί περιμετρικά όλη η πισίνα, ενώ στο κατακόρυφο από -62.5° έως +40°,

καθώς ενδιαφέρει η αποτύπωση του εσωτερικού της πισίνας και όχι του περιβάλλοντος χώρου.

Ορίστηκαν παράμετροι σχετικά με το καλιμπράρισμα της μηχανής και την ποιότητα των φωτογραφιών, όπως το φως της ημέρας (daylight). Σημαντικότερο στις παραμέτρους, που συνδέεται άμεσα με το τελικό παράγωγο, ήταν ο ορισμός της ανάλυσης (resolution) και της ποιότητας (quality).

Η ανάλυση, με μια κλίμακα από 1/1 έως 1/32, ορίστηκε στο 1/2 και συνδέεται με το βήμα σάρωσης. Ανάλυση 1/2 σημαίνει ότι στα 10 m απόσταση, η σάρωση γίνεται ανά 3 mm, άρα στα 30 m που απείχε περίπου το όργανο από τις πλευρές της πισίνας, αφού ήταν τοποθετημένο στο κέντρο, σαρώθηκαν σημεία περίπου ανά 1 cm. Η ποιότητα συνδέεται με τις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις που γίνονται σε κάθε σημείο, και επομένως το χρόνο παραμονής της ακτίνας laser σε αυτό. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής επιλέχθηκε το 4x.

Η σάρωση διήρκησε 30 λεπτά.

Η επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων που προέκυψαν από τη σάρωση με το Focus^{3D} έγινε με το λογισμικό Faro Scene. Το λογισμικό Faro Scene είναι ειδικά σχεδιασμένο για το laser scanner της Faro. Επεξεργάζεται και διαχειρίζεται τα δεδομένα της σάρωσης εύκολα και αποτελεσματικά, χρησιμοποιώντας την αυτόματη αναγνώριση αντικειμένων, την ευθυγράμμιση και τη γεωαναφορά των σαρώσεων. Επιπλέον, μπορεί να χρωματίσει τα νέφη των σημείων με το πραγματικό τους χρώμα RGB το οποίο συλλαμβάνεται μέσω της φωτογραφικής μηχανής του Focus^{3D}. Το λογισμικό είναι εξαιρετικά φιλικό προς το χρήστη και παράγει υψηλής ποιότητας δεδομένα σε ελάχιστο χρόνο.

Μόλις το Scene επεξεργαστεί τα δεδομένα της σάρωσης, μπορεί αμέσως να αρχίσει η αξιολόγηση και η περαιτέρω ανάλυση. Παρέχει πλήθος λειτουργιών, από απλές μετρήσεις σε 3D προβολή, μέχρι τη μοντελοποίηση και την εξαγωγή δεδομένων σε διάφορα formats (point cloud και CAD). [<http://www.jgc.gr/en/products/laser-scanners/focus3d/faro-scene.html>]

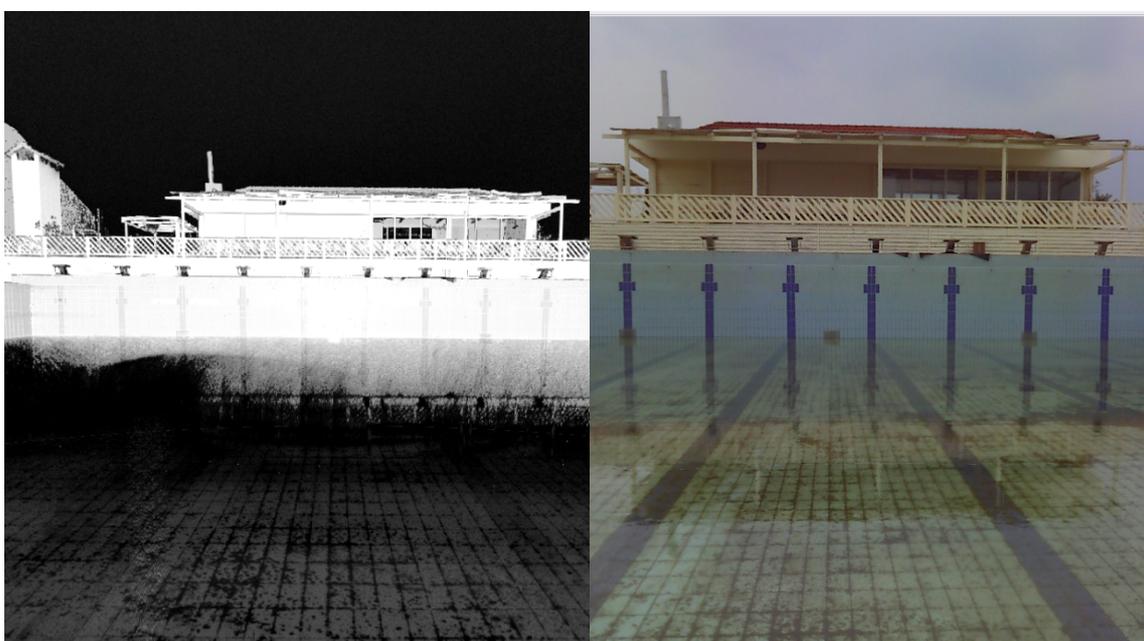
Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, στο Scene πραγματοποιήθηκαν:

- χρωματισμός του τριδιάστατου μοντέλου
- απομάκρυνση των περιττών σημείων
- στροφή του συστήματος συντεταγμένων
- δημιουργία τομών στις περιοχές ενδιαφέροντος, δηλαδή στα 80cm κάτω και 30cm πάνω από την επιφάνεια του νερού και εξαγωγή

αυτών ως αρχεία (.dxf) προκειμένου να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις

i) Χρωματισμός νέφους σημείων

Ο χρωματισμός του νέφους σημείων με πραγματικό χρώμα RGB από τις ψηφιακές φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης της ενσωματωμένης φωτογραφικής μηχανής του Faro δίνει το πλεονέκτημα της άμεσης κατανόησης και αντίληψης του χώρου εργασίας, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.11. Ανοίγοντας το αρχείο pisina.flr στο Scene, και παρουσιάζοντας το μοντέλο σε ταχεία προβολή (quick view) από τις λειτουργίες, εκτελείται η εντολή “color/pictures” → “apply pictures”.

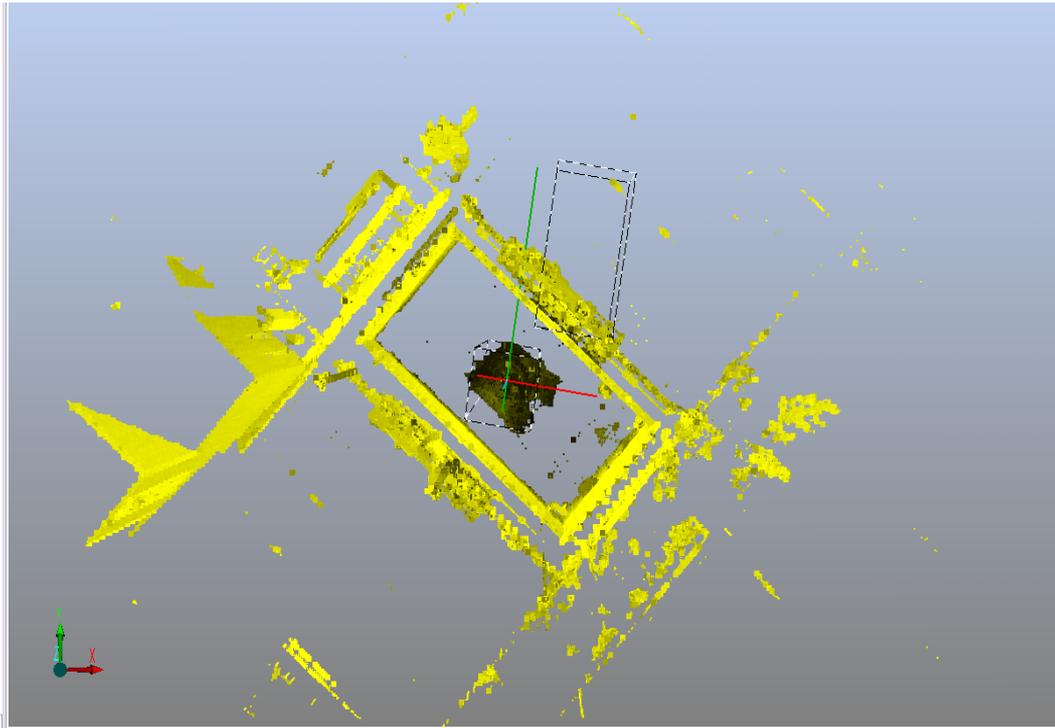


Εικόνα 3.11: Σαρωμένη επιφάνεια πριν και μετά το χρωματισμό

ii) Απομάκρυνση περιττών σημείων

Για την ορθότερη και γρηγορότερη επεξεργασία του νέφους, πρωταρχικό βήμα αποτελεί η διαγραφή των “ανεπιθύμητων” σημείων. Ως ανεπιθύμητα σημεία σε αυτή την εφαρμογή ορίζονται όσα δεν συμμετέχουν στην αποτύπωση του περιγράμματος της πισίνας.

Η διαγραφή των σημείων πραγματοποιείται εμφανίζοντας το νέφος σε τριδιάστατη προβολή (3D view) επιλέγοντας από την εργαλειοθήκη το εργαλείο “Polygon selector”. Όλο το νέφος σημείων σε κάτοψη εμφανίζεται στην εικόνα 3.12.



Εικόνα 3.12: Συνολικό νέφος σημείων και αρχικό σύστημα συντεταγμένων σε τρισδιάστατη προβολή

iii) Στροφή του συστήματος συντεταγμένων

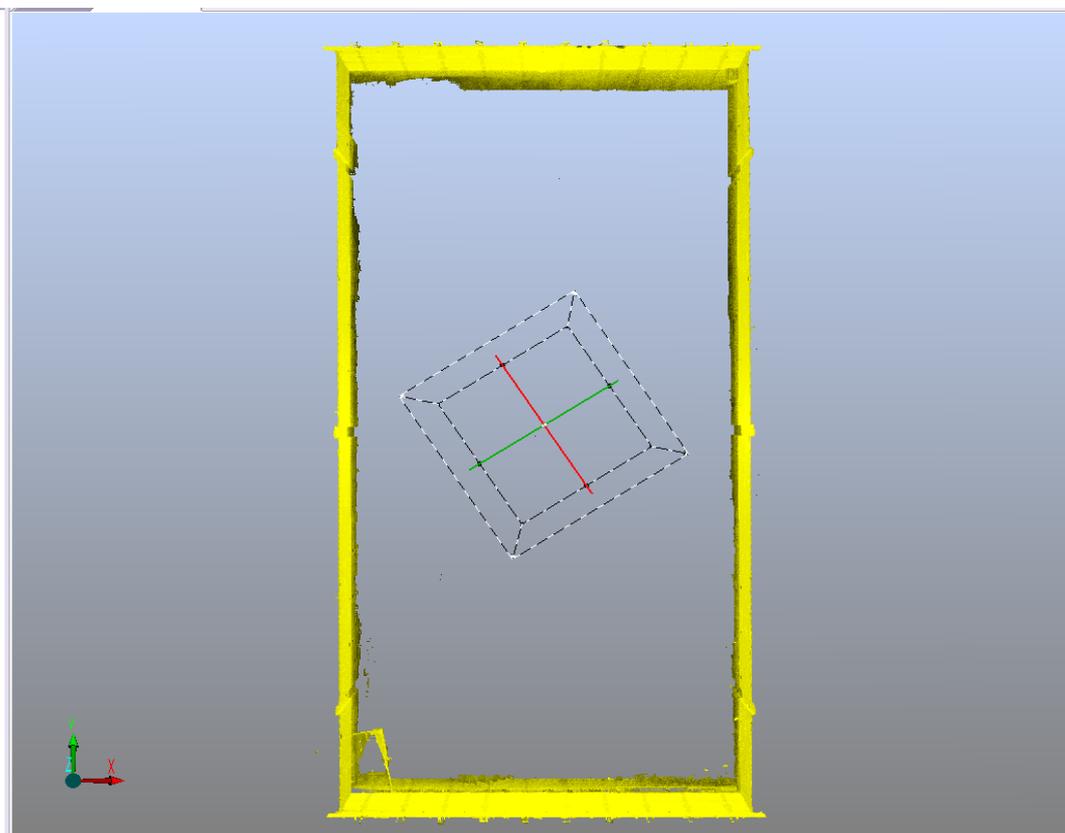
Το αυθαίρετο σύστημα αναφοράς που υλοποιεί ο σαρωτής έχει ως αρχή των αξόνων το κέντρο του οργάνου, το τρισσορθογώνιο σύστημα xyz προσανατολίζεται με τον άξονα των x να έχει κατεύθυνση προς το τυχαίο σημείο έναρξης των μετρήσεων ενώ ο αντισταθμιστής εξασφαλίζει την οριζοντίωση του συστήματος στο περιβάλλον σάρωσης.

Με το λογισμικό αυτό είναι δυνατή η δημιουργία τομών, κατακόρυφων και οριζόντιων, ως προς τους άξονες του συστήματος που ορίζεται. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, δεδομένου ότι το σύστημα συντεταγμένων που ορίζει το όργανο δεν είναι παράλληλο με τις πλευρές της πισίνας, καθώς η σάρωση ξεκίνησε από τυχαίο σημείο (εικόνα 3.12), οι κατακόρυφες τομές τέμνουν λοξά το αντικείμενο μελέτης, επομένως κρίνεται σκόπιμη η στροφή του συστήματος παράλληλα με τις πλευρές της πισίνας πριν την εξαγωγή των τομών. Σημειώνεται, ότι στη δημιουργία της οριζόντιας τομής ο προσανατολισμός του συστήματος αναφοράς δεν επηρεάζει.

Για το μετασχηματισμό του συστήματος συντεταγμένων χρειάζεται το νέφος να εμφανίζεται στην τριδιάστατη προβολή σε κάτοψη. Από τις ιδιότητες (properties) του αντικείμενου, στην επιλογή μετασχηματισμός (transformation) στρέφεται ο άξονας z , προκειμένου να στραφεί όλο το

σύστημα ως προς τον z και να έρθει παράλληλα με τις πλευρές της πισίνας. Η διαδικασία στροφής γίνεται κατά προσέγγιση, αφού η γωνία στροφής για τη μετάβαση από το ένα σύστημα στο άλλο δεν είναι γνωστή.

Το τελικό μοντέλο στραμμένο και καθαρό από περιττά σημεία παρουσιάζεται στην εικόνα 3.13.



Εικόνα 3.13: Καθαρό και στραμμένο νέφος σημείων

iv) Τομή και εξαγωγή δεδομένων σε περιβάλλον CAD

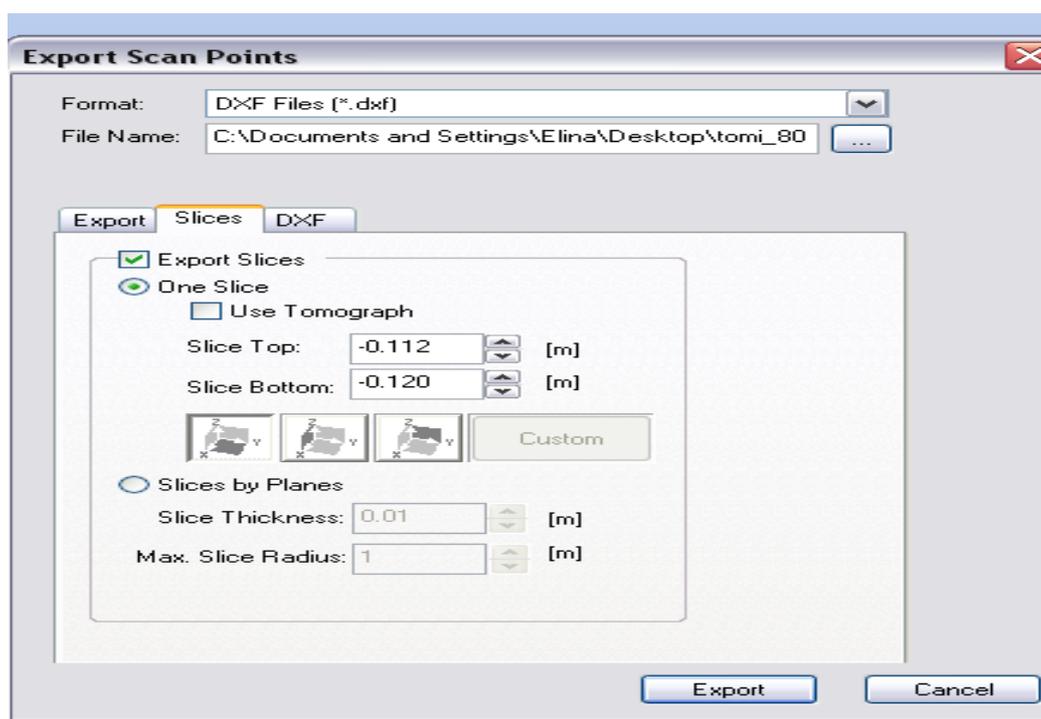
Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας τομής, με εισαγωγή ενός σημείου από το οποίο θα διέρχεται αυτή και ορισμό του άξονα στον οποίο θα είναι κάθετη.

Συγκεκριμένα, δημιουργούνται δυο οριζόντιες τομές, στα 80cm κάτω και στα 30cm πάνω από την επιφάνεια του νερού, και 20 κατακόρυφες, προς τις κατά πλάτος πλευρές της πισίνας, δεξιά και αριστερά του «T» κάθε λωρίδας. Πριν τη δημιουργία των τομών καταγράφονται οι συντεταγμένες των σημείων ενδιαφέροντος, οι οποίες αναγράφονται στο κεντρικό περιβάλλον του λογισμικού επισημαίνοντας τα σημεία χειροκίνητα.

Παρουσιάζοντας, λοιπόν, το αντικείμενο σε τριδιάστατη προβολή στο περιβάλλον του Scene, μέσω της εντολής “export” → “export scan

points”, εισάγεται η z-συντεταγμένη (για την οριζόντια τομή κάθετη στον z) του σημείου διέλευσης της τομής (slice top) ενώ δίνεται και ένα πάχος στην τομή για την εξασφάλιση της ύπαρξης σημείων ορίζοντας και το κάτω μέρος αυτής (slice bottom), όπως φαίνεται στην εικόνα 3.14.

Το πάχος της τομής επιλέγεται βάση κυρίως της ύπαρξης σημείων εκεί όπου τέμνεται η οριζόντια με τις κάθετες τομές. Έπειτα από δοκιμές, επιλέχθηκε πάχος της τάξεως του ενός εκατοστού (εικόνα 3.14). Η τομή εξάγεται άμεσα ως αρχείο dxf. Με την ίδια διαδικασία δημιουργούνται και οι κατακόρυφες τομές εισάγοντας, αντίστοιχα, την y-συντεταγμένη και επιλέγοντας να είναι κάθετη στον άξονα των y.



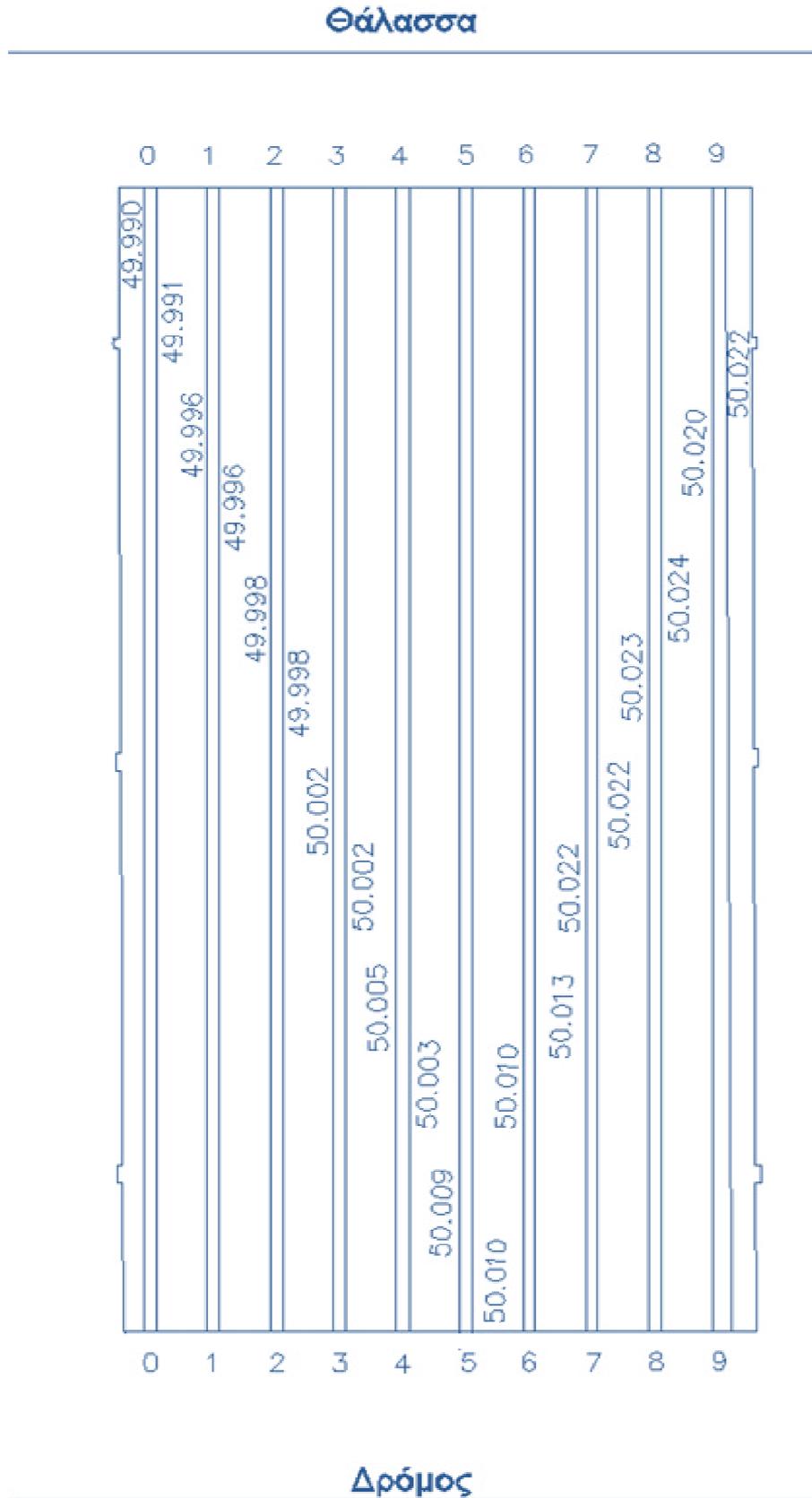
Εικόνα 3.14: Δημιουργία τομής στο λογισμικό Scene

Από τις τομές που προέκυψαν, έγιναν οι μετρήσεις των αποστάσεων των λωρίδων της πισίνας σε περιβάλλον CAD και προέκυψαν οι αποστάσεις, χωρίς το πάχος του πίνακα αφής, με αβεβαιότητες, ίσες με την αβεβαιότητα μέτρησης μήκους του οργάνου (πίνακας 3.5).

	S (m) [80cm κάτω]	σ_s (mm)	S (m) [30cm πάνω]	σ_s (mm)
0 lane	49.990	± 2	49.987	± 2
	49.991		49.989	
1 lane	49.996		49.996	
	49.996		49.999	
2 lane	49.998		50.004	
	49.998		50.001	
3 lane	50.002		50.001	
	50.002		50.007	
4 lane	50.005		50.007	
	50.003		50.008	
5 lane	50.009		50.015	
	50.010		50.014	
6 lane	50.010		50.012	
	50.013		50.010	
7 lane	50.022		50.016	
	50.022		50.014	
8 lane	50.023		50.015	
	50.024		50.019	
9 lane	50.020		50.019	
	50.022		50.020	

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα εφαρμογής με laser σαρωτή

Το περίγραμμα της πισίνας από τα σημεία που προέκυψαν από τη σάρωση, αποδίδεται στο σχήμα 3.4 καθώς και οι αποστάσεις των λωρίδων στα 80cm κάτω από την επιφάνεια του νερού.



Σχήμα 3.5: Οριζόντια τομή πισίνας με laser scanner (τιμές στα 80cm)

3.4 Προσαρμογή επιπέδων

Υπενθυμίζεται ότι σύμφωνα με τους κανόνες εγκατάστασης, που ορίζει η παγκόσμια ομοσπονδία κολύμβησης για τις πισίνες που διεξάγονται ολυμπιακοί αγώνες και παγκόσμια πρωταθλήματα, πρέπει τα τοιχώματα κατά πλάτος αυτής να είναι παράλληλα και κάθετα προς την πορεία κολύμβησης και την επιφάνεια του νερού.

Ο έλεγχος της συγκεκριμένης προδιαγραφής, και με δεδομένο ότι η υπεύθυνη αρχή δεν προτείνει μια μεθοδολογία ελέγχου, προτείνεται να αναχθεί σε ζήτημα της αναλυτικής γεωμετρίας.

Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται προσαρμογή του βέλτιστου επιπέδου, με τη Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων, στα σημεία που έχουν μετρηθεί στα τοιχώματα της πισίνας και έπειτα η διερεύνηση της μεταξύ τους παραλληλίας και καθετότητας, με χρήση των θεωρημάτων των κάθετων και παράλληλων διανυσμάτων.

Σημειώνεται, ότι θα πραγματοποιηθούν δύο προσαρμογές:

- με τα σημεία που μετρήθηκαν κατά τη διαδικασία αποτύπωσης με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων (σχήμα 3.2)
- με τα σημεία που μετρήθηκαν με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό

Αρχικά, παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο κάποιων βασικών στοιχείων της αναλυτικής γεωμετρίας, αναγκαίων για την επίλυση του ζητήματος.

Η γενική μορφή της εξίσωσης του επιπέδου δίνεται από τη σχέση 3.3.

$$ax+by+cz+d=0 \quad (3.3)$$

όπου $\vec{n} = (a, b, c)$, το κάθετο διάνυσμα στο επίπεδο, και $|a|+|b|+|c| \neq 0$

Η οποία μετασχηματίζεται, καθώς συχνά διευκολύνει το επίπεδο να παρουσιάζεται ως μια γραφική παράσταση της μορφής $z=f(x,y)$. Έτσι, διαιρώντας με το συντελεστή (c) προκύπτει η σχέση 3.4.

$$z=f(x,y)=Ax+By+\Gamma \quad (3.4)$$

όπου $\vec{k}=(A, B, 1)=(\frac{a}{c}, \frac{b}{c}, \frac{c}{c})$, αντίστοιχα το κάθετο διάνυσμα στο επίπεδο αφού είναι παράλληλο με το διάνυσμα \vec{n}

Με την εύρεση των εξισώσεων των επιπέδων των τοιχωμάτων, ορίζονται τα κάθετα διανύσματα σε αυτά και εξετάζεται, στη συνέχεια, αν αυτά είναι κάθετα ή παράλληλα μεταξύ τους, οπότε και τα επίπεδα που αναφέρονται.

Υπενθυμίζεται ότι:

- δύο μη μηδενικά διανύσματα είναι κάθετα αν και μόνον αν το εσωτερικό τους γινόμενο ($\vec{\alpha} \cdot \vec{\beta}$) είναι ίσο με μηδέν.
- δύο διανύσματα είναι παράλληλα αν και μόνο αν το εξωτερικό τους γινόμενο ($\vec{\alpha} \times \vec{\beta}$) ισούται με το μηδενικό διάνυσμα.

➤ Αλλαγή συστήματος αναφοράς

Πριν την προσαρμογή, με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων των σημείων από το σύστημα αναφοράς της πισίνας (x, y, z), όπως ορίστηκε στη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων και κατά τη μέτρηση με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό, στο σύστημα αναφοράς κάθε τοιχώματος (x', y', z').

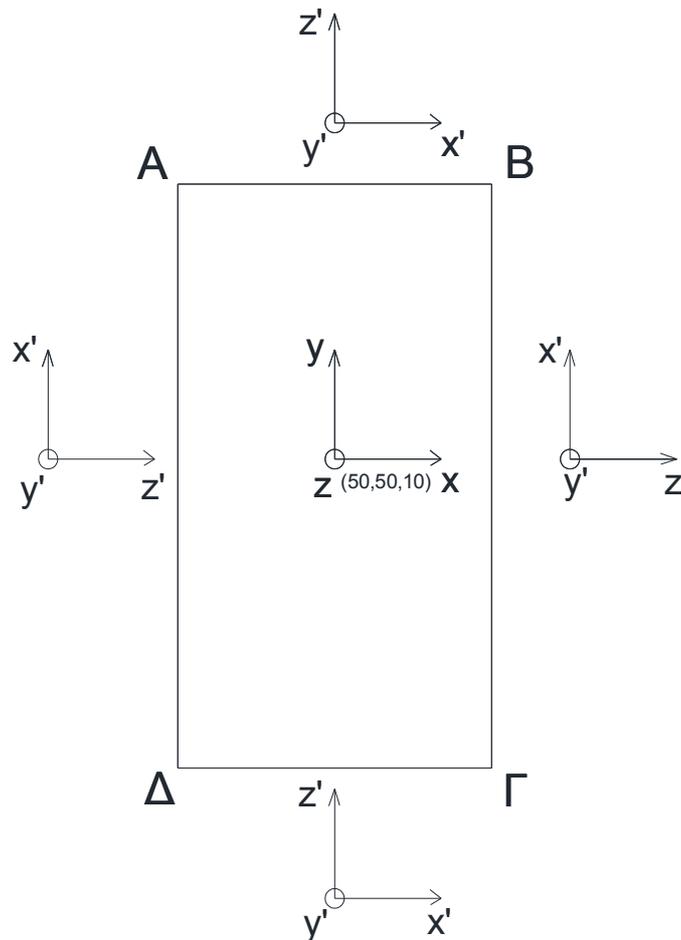
Δηλαδή αυτό που προκύπτει, από την προβολή του τριδιάστατου αρχικού συστήματος αναφοράς σε ένα διδιάστατο σύστημα αναφοράς του κάθε επιπέδου.

Ύστερα, από την απαραίτητη διερεύνηση, οι συντεταγμένες για κάθε πλευρά θα μετασχηματιστούν όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 3.6, ενώ στο σχήμα 3.6 παρουσιάζεται η προβολή των (x, y, z) στα τοιχώματα της πισίνας.

Συγκεκριμένα, το τριδιάστατο (x, y, z) γίνεται διδιάστατο, και επομένως όλα τα z γίνονται y' , τα x ή y γίνονται x' ανάλογα τον άξονα που είναι παράλληλο το αντίστοιχο επίπεδο, ενώ το z' χάνεται όντας κάθετο στο επίπεδο είτε προς τα μέσα είτε προς τα έξω.

<u>Πλευρά ΑΒ</u> : $x'=x$	<u>Πλευρά ΒΓ</u> : $x'=y$
$y'=z$	$y'=z$
$z'=y$	$z'=x$
<u>Πλευρά ΓΔ</u> : $x'=x$	<u>Πλευρά ΔΑ</u> : $x'=y$
$y'=z$	$y'=z$
$z'=y$	$z'=x$

Πίνακας 3.6: Μετασχηματισμός από το σύστημα αναφοράς της πισίνας σε αυτό κάθε τοιχώματος



Σχήμα 3.6: Σκαρίφημα μετασχηματισμού συντεταγμένων

Όταν υπολογισθούν οι βέλτιστες εξισώσεις των τεσσάρων επιπέδων, προσδιορισμένες ως προς διαφορετικά συστήματα αναφοράς η κάθε μια, θα πρέπει για τον έλεγχο της παραλληλίας και της καθετότητας των τοιχωμάτων, αυτές να επαναπροσδιοριστούν ως προς το ενιαίο αρχικό σύστημα αναφοράς της πύσσας \$(x,y,z)\$. Επομένως θα ακολουθηθεί η αντίστροφη διαδικασία.

Συγκεκριμένα, οι τελικές εξισώσεις, σύμφωνα με τον πίνακα 3.6, και τα κάθετα διανύσματά τους προκύπτουν ως εξής:

$$Ax' + By' + \Gamma = z' \xleftrightarrow[\text{πλευρά } AB]{} Ax + Bz + \Gamma = y, \vec{k} = (A, -1, B) \tag{3.5}$$

$$\xleftrightarrow[\text{πλευρά } B\Gamma]{} Ay + Bz + \Gamma = x, \vec{\lambda} = (-1, A, B) \tag{3.6}$$

$$\xleftrightarrow[\text{πλευρά } \Gamma\Delta]{} Ax + Bz + \Gamma = y, \vec{\mu} = (A, -1, B) \tag{3.7}$$

$$\xleftrightarrow[\text{πλευρά } \Delta A]{} Ay + Bz + \Gamma = x, \vec{\nu} = (-1, A, B) \tag{3.8}$$

➤ Προσαρμογή επιπέδων

Για την εύρεση των εξισώσεων των βέλτιστων επιπέδων που προσαρμόζονται στις τέσσερις πλευρές της πισίνας, χρησιμοποιήθηκαν τα σημεία που μετρήθηκαν με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων και τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό.

Η επίλυση, για τα δεδομένα και των δύο μεθοδολογιών, έγινε με τη μέθοδο των εμμέσων παρατηρήσεων. Ωστόσο, επειδή το πλήθος των σημείων είναι διαφορετικό από κάθε μεθοδολογία, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.7, το γεγονός αυτό οδήγησε στην επίλυση με τη χρήση δύο διαφορετικών λογισμικών (excel, matlab).

επίπεδο \ μεθοδολογία	πολικές συντεταγμένες	χωροεικονογεωδαιτικός σταθμός
	πλήθος σημείων	
ΑΒ	60	3.303
ΒΓ	22	11.176
ΓΔ	60	4.696
ΔΑ	22	6.442

Πίνακας 3.7: Πλήθος σημείων για προσαρμογή επιπέδων

Σύμφωνα με τη μέθοδο των εμμέσων παρατηρήσεων ορίζεται, αρχικά, η εξίσωση παρατήρησης, δηλαδή η εξίσωση του επιπέδου, θεωρώντας ως παρατηρήσεις τα υψόμετρα (z), (σχέση 3.9).

Το διάνυσμα $[\hat{x}]$ των αγνώστων είναι οι συντελεστές του επιπέδου $[A, B, \Gamma]$.

Στη συνέχεια, σχηματίζεται ο πίνακας σχεδιασμού $[A]$ με τους συντελεστές των αγνώστων που θα είναι της μορφής $[x \ y \ 1]$, και αφού οι μετρήσεις είναι ισοβαρείς δημιουργείται το κανονικό σύστημα, το οποίο επιλύεται από τη σχέση (3.10).

$$\text{Εξίσωση παρατήρησης : } z_i = Ax_i + By_i + \Gamma \quad (3.9)$$

$$\text{Το διάνυσμα των αγνώστων : } [\hat{x}] = [\hat{A}, \hat{B}, \hat{\Gamma}]$$

$$\text{Κανονικό σύστημα: } \hat{x} = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot \delta l \quad (3.10)$$

Μετά τον προσδιορισμό των καλύτερων τιμών των αγνώστων, υπολογίζονται οι καλύτερες τιμές $[\hat{z}_i]$ των παρατηρήσεων αντικαθιστώντας στη σχέση (3.9). Επίσης, υπολογίζονται:

- το *a posteriori* σφάλμα της μονάδας βάρους ($\hat{\sigma}_0$), το οποίο εκφράζει τη μέση απόσταση των σημείων προσαρμογής από το βέλτιστο επίπεδο, σχέση 3.11. [Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ, 2004]

$$\widehat{\sigma}_0 = \pm \sqrt{\frac{U^T \cdot U}{n-m}} \quad (3.11)$$

Όπου,

$U = Z_i - \hat{Z}_i$: τα υπόλοιπα των παρατηρήσεων που εκφράζουν την απόσταση κάθε σημείου από το βέλτιστο επίπεδο

n, m : το πλήθος των παρατηρήσεων και το πλήθος των αγνώστων, αντίστοιχα

- ο *a posteriori* πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας $[\widehat{V}_{\hat{x}}]$ από τον οποίο θα προκύψουν οι αβεβαιότητες προσδιορισμού των αγνώστων, σχέση (3.12). [Αγατζιά – Μπαλοδήμου Α.Μ, 2004]

$$\widehat{V}_{\hat{x}} = \widehat{\sigma}_0^2 (A^T \cdot A)^{-1} \quad (3.12)$$

Μετά τον υπολογισμό των συντελεστών των επιπέδων θα πρέπει να πραγματοποιηθεί στατιστικός έλεγχος για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ώστε να διαπιστωθεί αν τα μεγέθη που προσδιορίζονται είναι ορθά. Συγκεκριμένα, πρέπει οι τιμές των συντελεστών να είναι μεγαλύτερες από το σφάλμα προσδιορισμού τους πολλαπλασιασμένο με την παράμετρο της κανονικής κατανομής (z) για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, ίση με 1.96, να ικανοποιείται δηλαδή η ακόλουθη συνθήκη,

$$\sigma_{[\hat{x}]} \cdot Z_{95\%} < [\hat{x}] \quad (3.13)$$

3.4.1 Τα επίπεδα από τις πολικές συντεταγμένες

Στον πίνακα 3.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσαρμογής των επιπέδων με τα σημεία που μετρήθηκαν με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων. Οι προσαρμογές πραγματοποιήθηκαν με όλα τα σημεία που είχαν μετρηθεί αφού τα υπόλοιπά τους ήταν 1-2 mm.

Παρατηρώντας, το τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους, κρίνεται πως οι προσαρμογές είναι ικανοποιητικές καθώς τα σημεία που προσαρμόζονται απέχουν κατά μέσο όρο από το βέλτιστο επίπεδο μόλις κάποια χιλιοστά.

Παράλληλα, πραγματοποιείται και ο στατιστικός έλεγχος, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και διαπιστώνεται πως η σχέση 3.13 ικανοποιείται για όλους τους συντελεστές των τεσσάρων επιπέδων.

Επίπεδο	\hat{A}	\hat{B}	$\hat{\Gamma}$ (m)	$\hat{\sigma}_A$	$\hat{\sigma}_B$	$\hat{\sigma}_{\Gamma}$ (mm)	$\hat{\sigma}_o$ (mm)
ΑΒ	-0.0063	-0.0013	78.3660	± 0.000034	± 0.000581	± 6.3	± 2
ΒΓ	0.0035	0.0081	64.8985	± 0.000047	± 0.003063	± 30.7	± 4
ΓΔ	-0.0073	-0.0011	28.3843	± 0.000049	± 0.000833	± 9	± 3
ΔΑ	0.0037	-0.0059	39.6816	± 0.000028	± 0.001915	± 19	± 2

Πίνακας 3.8: Συντελεστές των τεσσάρων επιπέδων από τη μέτρηση με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων-Excel

Τα κάθετα διανύσματα στα επίπεδα υπολογίζονται σύμφωνα με τις σχέσεις (3.5), (3.6), (3.7), (3.8), ώστε τελικά να γίνει ο έλεγχος της παραλληλίας και της καθετότητας στο ενιαίο τριδιάστατο σύστημα αναφοράς της πισίνας. Οπότε, τα διανύσματα είναι:

$$AB: \vec{k} = (-0.0063, -1, -0.0013)$$

$$BG: \vec{\lambda} = (-1, 0.0035, 0.0081)$$

$$GD: \vec{\mu} = (-0.0073, -1, -0.0011)$$

$$DA: \vec{\nu} = (-1, 0.0037, -0.0059)$$

Υπολογίζεται, στη συνέχεια το εξωτερικό και εσωτερικό τους γινόμενο καθώς και η αβεβαιότητα αυτών, με πλήρη εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων, λαμβάνοντας υπόψη και τις συμμεταβλητότητες των συντελεστών.

Κατόπιν, ελέγχεται αν οι τιμές των συντελεστών του διανύσματος, όπως αυτό προκύπτει από το εξωτερικό γινόμενο και, η τιμή του εσωτερικού γινομένου, είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες της αβεβαιότητάς τους για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αν η τιμή είναι μικρότερη του σφάλματός της τότε αυτή μπορεί να θεωρηθεί μηδέν, και επομένως να προκύψει το συμπέρασμα ότι οι πλευρές είναι παράλληλες ή κάθετες.

Εξωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων των πλευρών AB, ΓΔ και ΒΓ, ΔΑ

$$\vec{k} \times \vec{\mu} = \begin{vmatrix} -0.0063 & -1 & -0.0013 \\ -0.0073 & -1 & -0.0011 \end{vmatrix} = (-2 \times 10^{-4})\vec{i} + (2.56 \times 10^{-6})\vec{j} + (-1 \times 10^{-3})\vec{k}$$

$$\vec{\lambda} \times \vec{\nu} = \begin{vmatrix} -1 & 0.0035 & 0.0081 \\ -1 & 0.0037 & -0.0059 \end{vmatrix} = (5.06 \times 10^{-5})\vec{i} + (-0.01)\vec{j} + (-2 \times 10^{-4})\vec{k}$$

Εσωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων ανά δύο πλευρές

$$\vec{k} \cdot \vec{\lambda} = (-0.0063 * (-1)) + (-1 * 0.0035) + (-0.0013 * 0.0081) = 0.003$$

$$\vec{\lambda} \cdot \vec{\mu} = (-1 * -0.0073) + (0.0035 * -1) + (-0.0011 * 0.0081) = 0.004$$

$$\vec{\mu} \cdot \vec{\nu} = (-0.0073 * -1) + (-1 * 0.0037) + (-0.0011 * (-0.0059)) = 0.004$$

$$\vec{\nu} \cdot \vec{k} = (-0.0063 * -1) + (-1 * 0.0037) + (-0.0013 * (-0.0059)) = 0.003$$

Σε κάθε περίπτωση, εξωτερικό και εσωτερικό γινόμενο, οι τιμές είναι μεγαλύτερες από το σφάλμα προσδιορισμού τους και επομένως δεν μπορούν από στατιστικής πλευράς να θεωρηθούν μηδέν. Συμπεραίνεται πως οι πλευρές δεν είναι απόλυτα κάθετες και παράλληλες. Το σε τι βαθμό δεν είναι κάθετα ή παράλληλα τα διανύσματα, και πως αυτό μεταφράζεται τελικά στη γεωμετρία της πισίνας δεν αποτελεί αντικείμενο διερεύνησης της παρούσας διπλωματικής.

3.4.2 Τα επίπεδα από τη σάρωση με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό

Η προσαρμογή πραγματοποιείται σε πρόγραμμα σχεδιασμένο στη γλώσσα προγραμματισμού Matlab, το οποίο ακολουθεί τη μέθοδο των εμμέσων παρατηρήσεων αλλά επιπρόσθετα, ορίζεται ως συνθήκη ελέγχου, να μην κρατούνται τα σημεία που τα υπόλοιπα τους είναι πάνω από ένα εκατοστό, δηλαδή αυτά που απέχουν από το προσαρμοσμένο επίπεδο πάνω από ένα εκατοστό. Η επίλυση επαναλαμβάνεται με τελικό πλήθος σημείων για κάθε τοίχωμα 3.298(ΑΒ), 9.724(ΒΓ), 4.563(ΓΔ), 15.273(ΔΑ).

Τα αποτελέσματα των προσαρμογών παρουσιάζονται στον πίνακα 3.9. Οι προσαρμογές είναι ικανοποιητικές, δεδομένου του μικρού τυπικού σφάλματος της μονάδας βάρους που προκύπτει, ενώ και από τον στατιστικό έλεγχο, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, διαπιστώνεται ότι τα αποτελέσματα είναι ορθά.

Επίπεδο	\hat{A}	\hat{B}	$\hat{r}(m)$	$\hat{\sigma}_A$	$\hat{\sigma}_B$	$\hat{\sigma}_r$ (mm)	$\hat{\sigma}_o$ (mm)
ΑΒ	-0.0066	0.0003	78.3576	± 0.000005	± 0.000058	± 0.6	± 2
ΒΓ	0.0040	0.0087	64.5172	± 0.000003	± 0.000057	± 0.6	± 3
ΓΔ	-0.0079	-0.0025	28.4287	± 0.000006	± 0.000121	± 0.7	± 3
ΔΑ	0.0041	-0.0058	39.6586	± 0.000003	± 0.000056	± 0.6	± 3

Πίνακας 3.9: Συντελεστές των τεσσάρων επιπέδων από τη μέτρηση με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό-Matlab

Επαναλαμβάνεται, ο έλεγχος της καθετότητας και παραλληλίας των κάθετων διανυσμάτων στα επίπεδα, όπως αυτά ορίζονται σύμφωνα με τις σχέσεις (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), και υπολογίζονται ακολούθως το εξωτερικό και εσωτερικό τους γινόμενο:

$$AB: \vec{k} = (-0.0066, -1, 0.0003)$$

$$BG: \vec{\lambda} = (-1, 0.0040, 0.0087)$$

$$GD: \vec{\mu} = (-0.0079, -1, -0.0025)$$

$$DA: \vec{\nu} = (-1, 0.0041, -0.0058)$$

Εξωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων των πλευρών AB, ΓΔ και ΒΓ, ΔΑ

$$\vec{k} \times \vec{\mu} = \begin{vmatrix} -0.0066 & -1 & 0.0003 \\ -0.0079 & -1 & -0.0025 \end{vmatrix} = (2.8 \times 10^{-3})\vec{i} + (-1.88 \times 10^{-5})\vec{j} + (-1.3 \times 10^{-3})\vec{k}$$

$$\vec{\lambda} \times \vec{\nu} = \begin{vmatrix} -1 & 0.0040 & 0.0087 \\ -1 & 0.0041 & -0.0058 \end{vmatrix} = (-5.88 \times 10^{-5})\vec{i} + (-0.014)\vec{j} + (-1 \times 10^{-4})\vec{k}$$

Εσωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων ανά δύο πλευρές

$$\vec{k} \cdot \vec{\lambda} = (-0.0066 * (-1)) + (-1 * 0.0040) + (0.0003 * 0.0087) = 0.003$$

$$\vec{\lambda} \cdot \vec{\mu} = (-1) * (-0.0079) + (0.0040 * (-1)) + (-0.0025 * 0.0087) = 0.004$$

$$\vec{\mu} \cdot \vec{\nu} = (-0.0079 * -1) + (-1 * 0.0041) + (-0.0025) * (-0.0058) = 0.004$$

$$\vec{\nu} \cdot \vec{k} = (-0.0066) * (-1) + (-1 * 0.0041) + (0.0003) * (-0.0058) = 0.003$$

Ύστερα και από τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων των γινομένων, με πλήρη εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων,

προκύπτει πως οι τιμές των γινομένων είναι μεγαλύτερες από το σφάλμα τους και επομένως δε μπορούν να θεωρηθούν μηδέν. Οπότε τα διανύσματα δεν είναι κάθετα και παράλληλα.

- Σύγκριση αποτελεσμάτων προσαρμογών επιπέδων

Με την ίδια λογική, που αναπτύχθηκε παραπάνω, συγκρίνεται αν τα επίπεδα που προέκυψαν από τα δεδομένα μέτρησης με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων και με τη μέτρηση με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Στον πίνακα 3.10 παρουσιάζονται οι διαφορές των συντελεστών των επιπέδων και συγκρίνονται με το τυπικό σφάλμα της διαφοράς πολλαπλασιασμένο με τη μεταβλητή της κανονικής κατανομής $Z_{95\%}$. Η συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται είναι $|\Delta X| < \sigma_{\Delta X} * Z_{95\%}$, ενώ σχολιάζεται με ναι ή όχι.

	1201		VX					
AB								
	x	σ_x	x'	$\sigma'_{x'}$	ΔX	$\sigma_{\Delta X}$	$\sigma_{\Delta X} * Z_{95\%}$	
A	-0.0063	0.000034	-0.0066	0.000005	0.0003	0.000034	0.000067	ΟΧΙ
B	-0.0013	0.000581	0.0003	0.000058	-0.0010	0.000584	0.001144	ΝΑΙ
Γ	78.3660	0.006272	78.3576	0.000613	0.0084	0.006302	0.012352	ΝΑΙ
BΓ								
A	0.0035	0.000047	0.0040	0.000003	-0.0005	0.000047	0.000091	ΟΧΙ
B	0.0081	0.003063	0.0087	0.000057	-0.0006	0.003063	0.006004	ΝΑΙ
Γ	64.5522	0.030744	64.512	0.000581	0.0350	0.030749	0.060269	ΝΑΙ
ΓΔ								
A	-0.0073	0.000049	-0.0079	0.000006	0.0006	0.000049	0.000097	ΟΧΙ
B	-0.0011	0.000833	-0.0025	0.000121	0.0013	0.000841	0.001649	ΝΑΙ
Γ	28.3843	0.009007	28.4287	0.000735	-0.0444	0.009037	0.017713	ΟΧΙ
ΔΑ								
A	0.0037	0.000028	0.0041	0.000003	-0.0004	0.000029	0.000056	ΟΧΙ
B	-0.0059	0.001915	-0.0058	0.000056	-0.0001	0.001916	0.003755	ΝΑΙ
Γ	39.6816	0.019026	39.6586	0.000561	0.0230	0.019034	0.037307	ΝΑΙ

Πίνακας 3.10: Σύγκριση αποτελεσμάτων προσαρμογών επιπέδων

$$\text{Όπου, } \sigma_{\Delta X} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_{x'}^2}$$

x- σ_x : οι συντελεστές (A, B, Γ) από προσαρμογή σημείων μεθόδου πολικών συντεταγμένων και οι αβεβαιότητές τους, αντίστοιχα

x'- $\sigma_{x'}$: οι συντελεστές (A', B', Γ') από προσαρμογή σημείων μέτρησης με εικονογεωδαιτικό σταθμό και οι αβεβαιότητές τους, αντίστοιχα

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου, διαπιστώνεται ότι οι προσαρμογές, που προκύπτουν από τα διαφορετικά δεδομένα, δεν δίνουν ίδια αποτελέσματα, παρόλο, που κάποιοι συντελεστές περνάνε τον έλεγχο με εναλλαγή σε όλα τα επίπεδα.

Αξιοσημείωτο είναι πως το σφάλμα προσδιορισμού (σ_x') των συντελεστών από την προσαρμογή των σημείων του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού, είναι μια τάξη μεγέθους μικρότερο από το σφάλμα προσδιορισμού (σ_x) των συντελεστών της προσαρμογής των σημείων μέτρησης με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων.

Μπορεί, λοιπόν, η καλύτερη προσαρμογή να προκύπτει όταν η πισίνα σαρώνεται με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό, αυτό όμως πιθανόν οφείλεται στο πλήθος των σημείων και ο υπολογισμός του $\widehat{\sigma}_0$ να είναι πλασματικός, αφού η προσαρμογή έχει σφάλματα πολύ μικρότερα από την αβεβαιότητα μέτρησης του σταθμού. Εκτιμάται, τελικά, η προσαρμογή των σημείων από τη μέτρηση με τη μέθοδο των πολικών συντεταγμένων ως πιο ρεαλιστική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ

4.1 Σύγκριση μεθοδολογιών

Με την ολοκλήρωση της εφαρμογής όλων των μεθοδολογιών μέτρησης για την πιστοποίηση της πισίνας και την εξαγωγή των ζητούμενων αποστάσεων, σειρά έχει η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την ισχύουσα μέθοδο με αυτά που υπολογίζονται από τις προτεινόμενες διαδικασίες πιστοποίησης.

Η σύγκριση, αυτή, πραγματοποιείται μέσω του μονοδιάστατου στατιστικού ελέγχου της διαφοράς των αποστάσεων κάθε λωρίδας, υπολογισμένες από δύο διαφορετικές μεθόδους, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Συγκεκριμένα, προσδιορίζεται το διάνυσμα μεταβολής της απόστασης (ΔS), από τη σχέση 4.1, και συγκρίνεται κάθε φορά με το αντίστοιχο τυπικό σφάλμα ($\sigma_{\Delta S}$) πολλαπλασιασμένο με την παράμετρο z της κανονικής κατανομής, για το ζητούμενο επίπεδο εμπιστοσύνης, ίση με 1.96.

$$\Delta S = S - S' \quad (4.1)$$

όπου S : η απόσταση από την ισχύουσα μέθοδο-νόμος συνημιτόνων

S' : η απόσταση από την εκάστοτε προτεινόμενη μεθοδολογία

Η συνθήκη που πρέπει να ικανοποιείται για να μη θεωρηθεί στατιστικά σημαντική η διαφορά αυτή, είναι:

$$\Delta S < \sigma_{\Delta S} * Z_{95\%} \quad (4.2)$$

Υπολογίζεται, αρχικά, η μέση τιμή της απόστασης (S) κάθε λωρίδας, καθώς υπάρχουν δύο μετρήσεις για κάθε μια, δεξιά (S_{δ}) και αριστερά (S_{α}) του «T», από τη σχέση 4.3. Έπειτα, το σφάλμα προσδιορισμού της μέσης τιμής της απόστασης (σ_s), προκύπτει από την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης σφαλμάτων στη σχέση του μέσου όρου (σχέση 4.4). Αντιστοίχως, προκύπτουν τα S' και $\sigma_{S'}$. Τέλος, το σφάλμα της διαφοράς ($\sigma_{\Delta S}$) υπολογίζεται από τη σχέση 4.5, εφαρμόζοντας το νόμο μετάδοσης στη σχέση 4.1.

$$S = \frac{S_{\delta} + S_{\alpha}}{2} \quad (4.3)$$

$$\sigma_S = \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial S_\delta}\right)^2 * \sigma_{S_\delta}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial S_\alpha}\right)^2 * \sigma_{S_\alpha}^2} \Leftrightarrow \sigma_S = \frac{\sqrt{2}}{2} \sigma_{S_\alpha} \quad (4.4)$$

$$\sigma_{\Delta S} = \sqrt{\sigma_S^2 + \sigma_{S'}^2} \quad (4.5)$$

- Νόμος συνημιτόνων – Μέθοδος πολικών συντεταγμένων

Τα αποτελέσματα, όπως προκύπτουν από την εφαρμογή της κλασικής μεθόδου και την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων, στα 80cm κάτω και στα 30cm πάνω από την επιφάνεια του νερού, παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1. Στην τελευταία στήλη σχολιάζεται αν η διαφορά περνά τον έλεγχο σύμφωνα με τη σχέση 4.2. Συμπεραίνεται, ότι οι δύο μέθοδοι είναι ισοδύναμες.

Νόμος συνημιτόνων			Πολικές συντεταγμένες					
80cm								
	S (m)	σ _S (mm)	S' (m)	σ _{S'} (mm)	ΔS (mm)	σ _{ΔS} (mm)	σ _{ΔS} Z _{95%} (mm)	
0 lane	49.996	±2	49.997	±2	-1	±3	±6	NAI
1 lane	50.001	±2	50.000	±2	1	±3	±6	NAI
2 lane	50.003	±2	50.003	±2	0	±3	±6	NAI
3 lane	50.007	±2	50.005	±2	1	±3	±6	NAI
4 lane	50.010	±1	50.010	±2	0	±2	±4	NAI
5 lane	50.014	±1	50.014	±2	0	±2	±4	NAI
6 lane	50.016	±1	50.015	±2	1	±2	±4	NAI
7 lane	50.024	±1	50.025	±2	-1	±2	±4	NAI
8 lane	50.025	±1	50.024	±2	1	±2	±5	NAI
9 lane	50.022	±1	50.023	±2	-1	±2	±4	NAI
30cm								
0 lane	49.996	±2	49.997	±2	-1	±3	±6	NAI
1 lane	50.002	±2	50.004	±2	-3	±3	±6	NAI
2 lane	50.007	±2	50.008	±2	-1	±3	±6	NAI
3 lane	50.008	±2	50.010	±2	-2	±3	±6	NAI
4 lane	50.011	±1	50.014	±2	-3	±2	±4	NAI
5 lane	50.015	±1	50.018	±2	-3	±2	±4	NAI
6 lane	50.013	±1	50.012	±2	1	±2	±4	NAI
7 lane	50.013	±1	50.014	±2	-1	±2	±4	NAI
8 lane	50.015	±1	50.017	±2	-2	±2	±4	NAI
9 lane	50.016	±1	50.019	±2	-2	±2	±4	NAI

Πίνακας 4.1: Έλεγχος σημαντικότητας διαφοράς απόστασης κλασικής μεθόδου-μεθόδου πολικών συντεταγμένων

- Νόμος συνημιτόνων – Μέτρηση με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό

Από τον πίνακα 4.2, παρατηρώντας τα αποτελέσματα της σύγκρισης μεταξύ του νόμου των συνημιτόνων και της μέτρησης με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό, προκύπτει ότι η συνθήκη (4.2) δεν ικανοποιείται για κάποιες λωρίδες για 2 mm, επομένως οι διαφορές των αποστάσεων θεωρούνται οριακά στατιστικά σημαντικές. Μπορούν να θεωρηθούν στον ίδιο βαθμό αξιόπιστες, καθώς παρέχουν δεδομένα ίδιας ακρίβειας και ορθότητας.

Νόμος συνημιτόνων		Μέτρηση με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό						
80cm								
	S (m)	σ_s (mm)	S' (m)	$\sigma_{s'}$ (mm)	ΔS (mm)	$\sigma_{\Delta S}$ (mm)	$\sigma_{\Delta S} Z_{95\%}$ (mm)	
0 lane	49.996	±2	49.991	±2	5	±3	±6	ΝΑΙ
1 lane	50.001	±2	49.996	±2	5	±3	±6	ΝΑΙ
2 lane	50.003	±2	49.999	±2	4	±3	±6	ΝΑΙ
3 lane	50.007	±2	50.003	±2	4	±3	±6	ΝΑΙ
4 lane	50.010	±1	50.005	±2	5	±2	±4	ΟΧΙ
5 lane	50.014	±1	50.009	±2	6	±2	±4	ΟΧΙ
6 lane	50.016	±1	50.010	±2	6	±2	±4	ΟΧΙ
7 lane	50.024	±1	50.019	±2	5	±2	±4	ΟΧΙ
8 lane	50.025	±1	50.020	±2	5	±2	±5	ΝΑΙ
9 lane	50.022	±1	50.016	±2	6	±2	±5	ΟΧΙ
30cm								
0 lane	49.996	±2	49.989	±2	7	±3	±6	ΟΧΙ
1 lane	50.002	±2	49.995	±2	7	±3	±6	ΟΧΙ
2 lane	50.007	±2	50.002	±2	5	±3	±6	ΝΑΙ
3 lane	50.008	±2	50.005	±2	3	±3	±6	ΝΑΙ
4 lane	50.011	±1	50.010	±2	1	±2	±4	ΝΑΙ
5 lane	50.015	±1	50.010	±2	5	±2	±4	ΟΧΙ
6 lane	50.013	±1	50.011	±2	2	±2	±4	ΝΑΙ
7 lane	50.013	±1	50.016	±2	-2	±2	±4	ΝΑΙ
8 lane	50.015	±1	50.013	±2	3	±2	±4	ΝΑΙ
9 lane	50.016	±1	50.015	±2	1	±2	±4	ΝΑΙ

Πίνακας 4.2: Έλεγχος σημαντικότητας διαφοράς απόστασης κλασικής μεθόδου-μέτρησης με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό

- Νόμος συνημιτόνων – Μέτρηση με laser σαρωτή

Στα αποτελέσματα της σύγκρισης, που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3, και αφορούν τις αποστάσεις όπως προκύπτουν από την ισχύουσα μέθοδο και τη μέτρηση με τον σαρωτή, παρατηρείται ότι στα 80cm κάτω από την επιφάνεια του νερού, για τις λωρίδες (4,5,6) που είναι στη μέση

της πισίνας, η διαφορά της απόστασης (ΔS) παρουσιάζει κάποια διαφορά στατιστικά σημαντική καθώς είναι της τάξης των 5mm.

Ενώ, παρατηρείται και στα 30cm πάνω από την επιφάνεια του νερού, μια σημαντική διαφορά των 4 mm στην λωρίδα (0), στην μια άκρη της πισίνας.

Μπορεί να προκύπτουν, λοιπόν, διαφορετικά αποτελέσματα σε κάποια σημεία από τις δύο μεθόδους, ωστόσο η ακρίβεια των αποστάσεων ($\pm 1\text{mm}$) από τη μέτρηση με τον laser σαρωτή είναι εντός των προδιαγραφών που θέτει η FINA ($\pm 3\text{cm}$), άρα είναι μια αποδεκτή μέθοδος για πιστοποίηση πισίνας.

Νόμος συνημιτόνων			Laser scanner					
80cm								
	S (m)	σ_s (mm)	S' (m)	$\sigma_{s'}$ (mm)	ΔS (mm)	$\sigma_{\Delta S}$ (mm)	$\sigma_{\Delta S} Z_{95\%}$ (mm)	
0 lane	49.996	± 2	49.991	± 1	5	± 2	± 5	NAI
1 lane	50.001	± 2	49.996	± 1	5	± 2	± 5	NAI
2 lane	50.003	± 2	49.998	± 1	5	± 2	± 5	NAI
3 lane	50.007	± 2	50.002	± 1	5	± 1	± 5	NAI
4 lane	50.010	± 1	50.004	± 1	6	± 1	± 3	OXI
5 lane	50.014	± 1	50.010	± 1	5	± 1	± 3	OXI
6 lane	50.016	± 1	50.012	± 1	4	± 1	± 3	OXI
7 lane	50.024	± 1	50.022	± 1	2	± 1	± 3	NAI
8 lane	50.025	± 1	50.024	± 1	1	± 2	± 3	NAI
9 lane	50.022	± 1	50.021	± 1	1	± 2	± 3	NAI
30cm								
0 lane	49.996	± 2	49.988	± 1	8	± 2	± 4	OXI
1 lane	50.002	± 2	49.998	± 1	4	± 2	± 4	NAI
2 lane	50.007	± 2	50.003	± 1	4	± 2	± 4	NAI
3 lane	50.008	± 2	50.004	± 1	4	± 2	± 4	NAI
4 lane	50.011	± 1	50.008	± 1	3	± 1	± 3	NAI
5 lane	50.015	± 1	50.015	± 1	0	± 1	± 3	NAI
6 lane	50.013	± 1	50.011	± 1	2	± 1	± 3	NAI
7 lane	50.013	± 1	50.015	± 1	-2	± 1	± 3	NAI
8 lane	50.015	± 1	50.017	± 1	-2	± 1	± 3	NAI
9 lane	50.016	± 1	50.020	± 1	-4	± 1	± 3	OXI

Πίνακας 4.3: Έλεγχος σημαντικότητας διαφοράς απόστασης κλασικής μεθόδου-μέτρησης με laser scanner

- Νόμος συνημιτόνων – μέτρηση με ηλεκτρονική μετροταινία

Η σύγκριση για τις δύο αυτές μεθόδους πραγματοποιείται μόνο για τις αποστάσεις στα 30cm πάνω από την επιφάνεια του νερού, καθώς δεν

είναι δυνατή η συλλογή στοιχείων στα 80cm κάτω από την επιφάνεια με τη μετροταινία.

Παρατηρείται, στον πίνακα 4.4, η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών στις λωρίδες (6), στη μέση της πισίνας, και (9), στην άκρη της, της τάξεως του 1cm, που πιθανόν να οφείλεται στη μη στόχευση του ομόλογου σημείου (χονδροειδές σφάλμα).

Σχολιάζεται, λοιπόν, η μέτρηση με ηλεκτρονική μετροταινία ως όχι τόσο αξιόπιστη, αφού οι αποστάσεις μπορεί να μετρώνται με πολύ μεγάλη ακρίβεια αλλά υπάρχει δυσκολία στη συλλογή ορθών και ολοκληρωμένων στοιχείων.

Νόμος συνημιτόνων	Ηλεκτρονική μετροταινία							
	30cm							
	S (m)	σ_S (mm)	S' (m)	$\sigma_{S'}$ (mm)	ΔS (mm)	$\sigma_{\Delta S}$ (mm)	$\sigma_{\Delta S} Z_{95\%}$ (mm)	
0 lane	49.996	±2	49.991	±1	5	±3	±6	ΝΑΙ
1 lane	50.002	±2	49.997	±1	5	±2	±4	ΟΧΙ
2 lane	50.007	±2	50.009	±1	-2	±2	±4	ΝΑΙ
3 lane	50.008	±2	50.003	±1	5	±2	±4	ΟΧΙ
4 lane	50.011	±1	50.008	±1	3	±1	±3	ΝΑΙ
5 lane	50.015	±1	50.012	±1	3	±1	±3	ΝΑΙ
6 lane	50.013	±1	50.025	±1	-12	±1	±3	ΟΧΙ
7 lane	50.013	±1	50.011	±1	2	±1	±3	ΝΑΙ
8 lane	50.015	±1	50.010	±1	5	±1	±3	ΟΧΙ
9 lane	50.016	±1	50.003	±1	13	±2	±4	ΟΧΙ

Πίνακας 4.4: Έλεγχος σημαντικότητας διαφοράς απόστασης κλασικής μεθόδου-μέτρησης με ηλεκτρονική μετροταινία

4.2 Έλεγχος ικανοποίησης των προδιαγραφών

Ακόμα ένας έλεγχος που πραγματοποιείται σχετίζεται με το αν, τελικά, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πισίνας ολυμπιακών διαστάσεων των αθλητικών εγκαταστάσεων του Αγίου Κοσμά ικανοποιούν τις προδιαγραφές που θέτει η παγκόσμια ομοσπονδία κολύμβησης.

Παρά το γεγονός, ότι οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν ικανοποιούν, από άποψη ακρίβειας, αυτές που ορίζει η FINA (μέτρηση με ακρίβεια ±5mm και τελική αβεβαιότητα απόστασης ±3cm), επιλέγεται οι αποστάσεις που θα ελεγχθούν να είναι αυτές που προκύπτουν από την μέτρηση με τη μεθοδολογία που εγκρίνεται από την ομοσπονδία, δηλαδή τον νόμο των συνημιτόνων.

Υπενθυμίζεται, ότι οι αποστάσεις των λωρίδων πρέπει να είναι 50.015m με σφάλμα $\pm 0.015m$. Επομένως, δεκτές (συμβολίζονται με ν), είναι οι αποστάσεις που ικανοποιούν τη συνθήκη 4.6, ώστε τελικά η τιμή τους να μη ξεπερνά τα 50.03m και να μην είναι μικρότερη από 50.00 m.

$$50.00 \leq S \leq 50.03 \quad (4.6)$$

	S (m) [80cm κάτω]	σ_s (mm)		S (m) [30cm πάνω]	σ_s (mm)	
0 lane	49.996	± 2	x	49.996	± 2	x
1 lane	50.001	± 2	x	50.002	± 2	\checkmark
2 lane	50.003	± 2	\checkmark	50.007	± 2	\checkmark
3 lane	50.007	± 2	\checkmark	50.008	± 2	\checkmark
4 lane	50.010	± 1	\checkmark	50.001	± 1	\checkmark
5 lane	50.014	± 1	\checkmark	50.015	± 1	\checkmark
6 lane	50.016	± 1	\checkmark	50.013	± 1	\checkmark
7 lane	50.024	± 1	\checkmark	50.013	± 1	\checkmark
8 lane	50.025	± 1	\checkmark	50.015	± 1	\checkmark
9 lane	50.022	± 1	\checkmark	50.015	± 1	\checkmark

Πίνακας 4.5: Έλεγχος αποστάσεων λωρίδων για ικανοποίηση προδιαγραφής απόστασης

Οι αποστάσεις των λωρίδων και η αβεβαιότητα προσδιορισμού τους, από το νόμο των συνημιτόνων παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5. Παρατηρείται, ότι στις αρχικές λωρίδες της πισίνας (lane 0) και (lane 1), οι αποστάσεις δεν είναι αποδεκτές (συμβολίζονται με x), σύμφωνα με τις προδιαγραφές, τόσο στα 30cm όσο και στα 80cm κάτω από την επιφάνεια του νερού. Όλες οι υπόλοιπες αποστάσεις είναι εντός προδιαγραφών.

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν και από τις προτεινόμενες μεθοδολογίες (πολικές συντεταγμένες, μέτρηση με χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό, μέτρηση με σαρωτή laser), παρατηρείται ότι η απόσταση της πισίνας αυξάνει από την λωρίδα (lane 0) προς τη λωρίδα (lane 9), όπου καταγράφεται αντίστοιχα η μικρότερη και μεγαλύτερη απόστασή της. Πρόκειται, προφανώς, περί κατασκευαστικού σφάλματος.

Παράλληλα, πρέπει να σημειωθεί, ότι από τις παραπάνω υπολογισμένες αποστάσεις έχει αφαιρεθεί, όπως προβλέπεται, το μέγιστο επιτρεπτό πάχος του πίνακα αφής (ακραία περίπτωση), που χρησιμοποιείται κατά την διεξαγωγή των αγωνισμάτων. Επομένως, αυτό

που προκύπτει είναι ότι με την κατάλληλη επιλογή πίνακα αφής, μια απόσταση που είναι εκτός μπορεί να γίνει εντός προδιαγραφών.

Όσον αφορά τα πλάτη των λωρίδων, όπως αυτά μετρήθηκαν στα σχέδια που παρήχθησαν από τις εφαρμοσμένες μεθοδολογίες, προκύπτει ότι πληρούν τη γενική προδιαγραφή των 2.5 m.

Τέλος, το ζήτημα της καθετότητας και παραλληλίας των τοιχωμάτων της πισίνας, όπως αναπτύχθηκε και αναλύθηκε στην παράγραφο 3.4.

4.3 Αξιολόγηση μεθοδολογιών

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την πιστοποίηση της πισίνας ολυμπιακών διαστάσεων αξιολογούνται θεωρώντας ως κριτήρια:

- το χρόνο που απαιτείται για την διεξαγωγή και την επεξεργασία των μετρήσεων
- την ακρίβεια και την πληρότητα των μετρήσεων
- τα παράγωγα που προκύπτουν
- το κόστος τους

Η κλασική μέθοδος πιστοποίησης, νόμος συνημιτόνων, εφαρμόζεται άμεσα, σε χρονικό διάστημα μιας ώρας, ενώ οι αποστάσεις προκύπτουν εύκολα και με μεγάλη ακρίβεια. Η άμεση και σύντομη εφαρμογή του σχετίζεται με τη χρήση οργάνου με δυνατότητα μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα, μια εξελιγμένη πρόταση, στην πρωτότυπη εφαρμογή που ορίζει η FINA, και δεν απαιτεί τη χρήση ειδικών κατασκευών για την κατακορύφωση του στόχου καθώς και στοχοφόρο.

Ωστόσο, με τη μέθοδο αυτή δεν προκύπτει κάποιο σχέδιο, αλλά ούτε και στοιχεία για τον έλεγχο της καθετότητας και της παραλληλίας των τοιχωμάτων. Το κόστος είναι το αναμενόμενο για τοπογραφικές εφαρμογές.

Η μέτρηση με τη μέθοδο των πολικών συνταταγμένων, φαίνεται να ικανοποιεί στο μέγιστο τα κριτήρια που τίθενται, καθώς πραγματοποιείται σε ανάλογο χρονικό διάστημα με την προαναφερόμενη μέθοδο, τα αποτελέσματα εξάγονται εύκολα, και είναι μεγάλης ακριβείας και το κόστος είναι αποδεκτό.

Το πλεονέκτημα, που εντοπίζεται, είναι ότι το πεδίο μελέτης αποτυπώνεται, και είναι διαθέσιμο για οποιαδήποτε μελλοντική χρήση, ενώ γνωρίζοντας τις συντεταγμένες των σημείων στα τοιχώματα μπορεί να εξεταστεί η παραλληλία και η καθετότητά τους.

Τα θετικά της χρήσης του χωροεικονογεωδαιτικού σταθμού, εντοπίζονται στα παράγωγα που προκύπτουν, όπως το τριδιάστατο

μοντέλο της πισίνας, η πλήρης ψηφιακή απεικόνιση του πεδίου μελέτης, η δυνατότητα εξαγωγής τομών σε συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος, ενώ στα αρνητικά επισημαίνονται το κόστος του εξοπλισμού, ο περισσότερος χρόνος που απαιτείται τόσο στην επεξεργασία των δεδομένων όσο και στην μέτρηση στο πεδίο, περίπου δίωρης διάρκειας.

Ο συγκεκριμένος laser scanner που χρησιμοποιήθηκε, ως όργανο συγκεντρώνει πολλά θετικά σε σχέση με αντίστοιχα όργανα, όπως το βάρος του και η ακρίβεια των μετρήσεων. Επίσης, με μετρήσεις που διήρκεσαν μόλις μισή ώρα, προκύπτουν σημαντικά παράγωγα, δηλαδή το τριδιάστατο μοντέλο της πισίνας σε μεγάλη ανάλυση από το οποίο προκύπτουν οι τομές, κατακόρυφες και οριζόντιες στα σημεία ενδιαφέροντος και από αυτές όλη η ζητούμενη μετρητική πληροφορία.

Το γεγονός ότι οι τομές, εξάγονται με πάχος ώστε να εξασφαλισθεί η ύπαρξη σημείων, δημιουργεί μια δυσκολία στην επεξεργασία και την εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας, καθώς και το ιδιαίτερα υψηλό κόστος του εξοπλισμού επισημαίνονται στα αρνητικά σημεία της εφαρμογής αυτής.

Τέλος, με τη χρήση της ηλεκτρονικής μετροταινίας η απόσταση μετράται άμεσα, με ακρίβεια και γρήγορα. Ωστόσο, τα δεδομένα που συλλέγονται δεν είναι πλήρη, αφού δεν είναι δυνατή η συλλογή πληροφορίας στα 80cm κάτω από την επιφάνεια του νερού και αυτό αποτελεί το βασικό μειονέκτημα της εφαρμογής αυτής. Επίσης, δεν προκύπτει κάποιο παράγωγο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετέπειτα. Το κόστος είναι το μικρότερο σε σχέση με τις άλλες εφαρμογές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Συμπεράσματα

Με το πέρας της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής αυτής εργασίας, και αφορά στην ανάπτυξη διαφορετικών μεθοδολογιών αλλά και την εφαρμογή των προβλεπόμενων, όπως αυτές ορίζονται από την ομοσπονδία κολύμβησης, για την πιστοποίηση πισίνας ολυμπιακών διαστάσεων και έπειτα από την αξιολόγησή τους, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα.

Σχετικά με τις μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν διαπιστώνονται, τα εξής:

- Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμογής του νόμου των συνημιτόνων, έχει νόημα μόνο αν χρησιμοποιείται όργανο με δυνατότητα μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα. Αλλιώς, πέρα από το γεγονός ότι δεν δίνει κάποιο παράγωγο σχέδιο, ούτε προκύπτουν στοιχεία για έλεγχο της καθετότητας και της παραλληλίας των τοιχωμάτων, είναι και αντιοικονομική από άποψη χρόνου και κόπου (διατάξεις κατακορύφωσης του στόχου-στοχοφόρος).
- Η αποτύπωση της πισίνας με την μέθοδο των πολικών συντεταγμένων εξασφαλίζει αποτελέσματα ίδιας ακρίβειας με αυτά της ισχύουσας μεθόδου, μετρήσεις καλύτερης ακρίβειας ($\pm 3\text{mm}$ αντί $\pm 5\text{mm}$), ενώ ταυτόχρονα προκύπτει το σχέδιο της κάτοψης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάποια επαναπιστοποίηση της πισίνας (αυτό συμβαίνει κυρίως σε πισίνες κινητού διαφράγματος), αλλά και για οποιαδήποτε άλλη χρήση. Οι συντεταγμένες των σημείων που μετρώνται μπορεί να αξιοποιηθούν για τον έλεγχο της καθετότητας και παραλληλίας των τοιχωμάτων. Τέλος, ο χρόνος εφαρμογής, ο χρόνος επεξεργασίας των μετρήσεων και το κόστος είναι μεγέθη ίδια σε σχέση με αυτά της υφιστάμενης μεθοδολογίας.
- Η σάρωση με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό παρέχει αποτελέσματα ίδιας αξιοπιστίας με αυτά της εφαρμογής του νόμου των συνημιτόνων. Παρά το γεγονός ότι προκύπτουν σημαντικά παράγωγα όπως το τριδιάστατο μοντέλο της πισίνας, η πλήρης ψηφιακή της απεικόνιση καθώς και συντεταγμένες στα τοιχώματα, χρήσιμες για τον έλεγχο της γεωμετρίας τους, ο χρόνος εφαρμογής στο πεδίο, διπλάσιος σε σχέση με τις παραπάνω μεθόδους (δύο ώρες), ο επιπλέον χρόνος επεξεργασίας των μετρήσεων για την

- εξαγωγή των ζητούμενων αποτελεσμάτων, και το υψηλό κόστος του εξοπλισμού συμβάλλουν στην αρνητική αξιολόγηση της μεθόδου.
- Η σάρωση με τη χρήση laser scanner καλύπτει και αυτή τις ζητούμενες ακρίβειες. Η δυσκολία που παρουσιάζεται κατά την επεξεργασία του νέφους, για μονοσήμαντο εντοπισμό των σημείων ενδιαφέροντος, καθώς και το υψηλό κόστος του εξοπλισμού, κρίνεται για τη συγκεκριμένη εφαρμογή ασύμφορη.
- Η μέτρηση με την μετροταινία, παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα της άμεσης εξαγωγής αποτελέσματος και του μικρού κόστους, ωστόσο οι μετρήσεις δεν είναι πλήρεις λόγω πρακτικής αδυναμίας συλλογής στοιχείων στα ογδόντα εκατοστά κάτω από την επιφάνεια του νερού.

Σχετικά, με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης πισίνας, παρατηρείται ότι:

- Εκτός από τις λωρίδες (lane 0) και (lane 1), που οι αποστάσεις τους είναι μικρότερες από την ελάχιστη αποδεκτή απόσταση των πενήντα μέτρων, οι αποστάσεις των υπόλοιπων είναι εντός προδιαγραφών. Σημειώνεται, βέβαια, πως η λωρίδα μηδέν δεν χρησιμοποιείται κατά τη διεξαγωγή των αγωνισμάτων, ενώ και η λωρίδα 'ένα' μπορεί να τεθεί εντός προδιαγραφών αν χρησιμοποιηθεί κάποιος πίνακας αφής μικρότερου πάχους.
- Από τα αποτελέσματα όλων των μεθοδολογιών, προκύπτει ότι η απόσταση της συγκεκριμένης πισίνας αυξάνει από την (lane 0) στη (lane 9). Πρόκειται περί κατασκευαστικού λάθους. Το αμελητέο αυτό άνοιγμα ίσως μεταφράζεται στο ότι οι γωνίες των κάθετων επιπέδων δεν είναι ακριβώς 100^ε.
- Τα πλάτη λωρίδων είναι στα δύομισι μέτρα όπως προβλέπεται.

Αναφορικά με τις προσαρμογές επιπέδων:

- Σημαντική παρατήρηση όλης της διαδικασίας επίλυσης της προσαρμογής επιπέδων στα τοιχώματα της πισίνας προς έλεγχο της καθετότητας και παραλληλίας τους, αποτελεί η αναγκαιότητα επαναπροσδιορισμού των συντεταγμένων των μετρημένων σημείων από το σύστημα αναφοράς της πισίνας στο σύστημα αναφοράς κάθε τοιχώματος, ώστε να προκύψει καλύτερη γεωμετρία αυτών στο χώρο και τελικά να προσδιοριστούν τα επίπεδα. Για τον τελικό, όμως, έλεγχο της παραλληλίας και καθετότητας αυτών απαιτείται αλλαγή των συντεταγμένων των

επιπέδων πίσω στο αρχικά ορισμένο τριδιάστατο σύστημα αναφοράς της πισίνας.

- Η προσαρμογή επιπέδων στα χιλιάδες σημεία που προκύπτουν από τη σάρωση με τον χωροεικονογεωδαιτικό σταθμό είναι οριακά καλύτερη από την προσαρμογή στα δεκάδες σημεία της μεθόδου των πολικών συντεταγμένων. Η κατάσταση της γεωμετρίας των τοιχωμάτων της πισίνας επαληθεύεται και με τις δύο προσαρμογές.

5.2 Προτάσεις

Για την πιστοποίηση δεξαμενής κολύμβησης (πισίνας) ολυμπιακών διαστάσεων προτείνεται τελικά η μέτρηση αυτής με τη **μέθοδο των πολικών συντεταγμένων**, καθώς κρίνεται ως πιο ακριβής, πλήρης από άποψη παραγών και στοιχείων, εύχρηστη και οικονομική από θέμα χρόνου και κόστους, σε σύγκριση με τις προβλεπόμενες από τη FINA και τις άλλες μεθοδολογίες που διερευνήθηκαν.

Προτείνεται, τέλος, κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, όπως μετρηθούν περισσότερα σημεία, ίσως διπλάσια στον αριθμό, πάνω στα τοιχώματα προκειμένου να βελτιωθεί η προσαρμογή των επιπέδων. Η ενέργεια αυτή λίγο θα επιβαρύνει το χρόνο των εργασιών υπαίθρου (περίπου μισή ώρα) και ελάχιστα το χρόνο υπολογισμών στο γραφείο.

Βιβλιογραφία

1. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ, *Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις I*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2004
2. Αγατζά – Μπαλοδήμου Α.Μ, *Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις II*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2004
3. Ηλιοδρομίτης Α., *Ανάλυση της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα και μελέτη του προσδιορισμού της θέσης σημείων στο χώρο*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, 2008, Μεταπτυχιακή Εργασία
4. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., *Εφαρμοσμένη Γεωδαισία*, εκδόσεις Ζήτη, ISBN 978-960-456-205-3, Αθήνα 2010
5. Λάμπρου Ε., *Εφαρμοσμένα Θέματα Γεωδαισίας*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2008
6. Μαυράκης Σ., *Διερεύνηση της αξιοπιστίας μέτρησης μηκών χωρίς την χρήση ανακλαστήρα με τους σύγχρονους γεωδαιτικούς σταθμούς*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2009, Μεταπτυχιακή Εργασία
7. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., Αραμπατζή Ο., *Γεωδαισία -Δίκτυα- Αποτυπώσεις -Χαράξεις*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2006
8. Πανταζής Γ., *Γεωμετρική τεκμηρίωση τεχνητών και φυσικών κατασκευών σε μεγάλες κλίμακες, Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας*, ΣΑΤΜ, ΕΜΠ, Αθήνα 2005
9. Σουρλάς Δ., *Αναλυτική Γεωμετρία*, Σημειώσεις Μαθήματος Τμήματος Φυσικής Πανεπιστημίου Πάτρας, Πάτρα 2012

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

1. http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-231132/022543-123F_RealWorks_TN_0110_LR.pdf
2. http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-347910/022543-260C_Spatial_Imaging_BRO_0909_sec.pdf

3. http://www.jgc.gr/images/stories/products/scanners/faro/focus3d/TECH_SHEET_FOCUS3D_GR.pdf
4. <http://www.jgc.gr/en/products/laser-scanners/focus3d/faro-scene.html>
5. http://www.jgc.gr/images/stories/products/scanners/faro/faroscene/Faro_Scene_TechSheet_GR.pdf
6. <http://www.math.washington.edu/~king/coursedir/m445w04/notes/vector/equations.html>
7. <http://mathworld.wolfram.com/HessianNormalForm.html>
8. <http://subsurfaceimaging.net>
9. <http://www.livestrong.com/article/350103-measurements-for-an-olympic-size-swimming-pool/>
10. <http://www.dimensionsguide.com/olympic-swimming-pool-dimensions/>
11. <http://www.ideales.gr/piscines-ideales/our-work?gclid=COHafyM0q0CFcYl3godLXbDIQ>
12. <http://www.usaswimming.org/DesktopDefault.aspx?TabId=1756&Alias=Rainbow&Lang=en-US>
13. http://www.usaswimming.org/_Rainbow/Documents/d3e05e6f-d63f-4522-8d85-1bd1407f5b3f/USA%20Swimming%20pool%20measurement%20July%202010.pdf
14. <http://www.splitsecond.com.au/touchpad.htm>
15. <http://www.colotime.com/pdf/Touchpad%20AquaGrip.pdf>

16. http://www.fina.org/H2O/index.php?option=com_content&view=article&id=289:sw-12-world-records&catid=82:swimming-rules&Itemid=184

17. <http://en.wikipedia.org/wiki/FINA>



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING
ENGINEERING
LABORATORY OF GENERAL GEODESY**

**EXPLORATION OF MODERN GEODETIC METHODS
FOR CERTIFYING THE GEOMETRICAL CHARACTERISTICS
OF AN OLYMPIC SIZED SWIMMING POOL**

DIPLOMA THESIS

STYLIANI FACHOURIDI

*SUPERVISOR:
GEORGE PANTAZIS
ASSISTANT PROFESSOR OF NTUA*

ATHENS MARCH 2013

Abstract

The subject of this diploma thesis is to explore modern methods of measuring and certifying competition pools in order to define a more useful and accurate method. The overall work is presented in five chapters:

The first chapter deals with the basic standards and the objectives of the international swimming federation (FINA) supporting the significance of pool certification. The facilities rules referred to the geometric elements of an Olympic sized swimming pool, are analyzed and finally, FINA's proposed methods are presented. The one is based upon measuring length with a laser device and the other one calculates the horizontal distance lane using the cosine rule.

The second chapter sets the theoretical background adjustment of five alternative measuring methods. Particularly, the measurement accomplishment was based, firstly, upon the application of cosine rule using a reflectorless total station, secondly, using the polar coordinate method, then a spatial imaging station, a laser scanner and finally, a handheld laser tape. Furthermore, an a priori estimation of distance accuracy presumably arises from the first and second measuring methodologies by using instruments of different accuracies, leading to the choice of the proper instrument.

The third chapter describes the applications of the above mentioned methods. The competition pool that the measurements carried out is located in the Athletic Youth Center of Agios Kosmas. The required instrumentation is presented for the implementation of the existing and proposed methods. All measurements, the data processing and the final calculations of the lane lengths with their uncertainties are developed in detail. In the end, a least square solution is realized in order to define the optimal planes, in the end walls of the pool, and check if they are parallel and form right angles to the swimming course and to the surface of the water.

In the fourth chapter, comparisons are made between the results of the cosine rule method (FINA's) to those of the proposed methods for confidence level 95%. Additionally, the dimensional standards of the

specific pool are crosschecked and an evaluation of all methods is realized.

The final chapter reveals the conclusions of all thesis research, and the optimal proposal for measuring and certifying competition pools is given. Particularly, after evaluating all methods in criteria associated with the time needed for measuring and processing the data, the accuracy and completeness of measurements, their derivatives and their costs, *the polar coordinate method* is, finally, suggested.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΝΟΜΟΣ ΣΥΝΗΜΙΤΟΝΩΝ

Μήκη→Αποστάσεις $S=D\sin\alpha$

80cm kato	Z (g)	Z (rad)	apostaseis Sβ (m)	σ _β (mm)
ΜΗΚΗ (β')[1-20]				
25,443	105,0937	1,650812	25,362	2
25,534	105,6747	1,659938	25,433	2
25,925	105,5859	1,658543	25,825	2
26,042	105,5634	1,65819	25,943	2
26,613	105,4469	1,65636	26,516	2
26,770	105,4062	1,655721	26,674	2
27,506	105,2657	1,653514	27,412	2
27,705	105,2288	1,652934	27,612	2
28,589	105,0657	1,650372	28,499	2
28,822	105,0219	1,649684	28,732	2
29,847	104,8464	1,646927	29,761	2
30,110	104,8071	1,64631	30,024	2
31,254	104,6331	1,643577	31,171	2
31,544	104,5927	1,642942	31,462	2
32,789	104,4134	1,640126	32,710	2
33,103	104,3765	1,639546	33,025	2
34,439	104,2067	1,636879	34,364	2
34,775	104,1676	1,636265	34,701	2
36,184	104,0041	1,633696	36,112	2
36,523	103,5537	1,626622	36,466	2
ΜΗΚΗ (γ')[21-40]	Z (g)	Z (rad)	Sγ (m)	σ _γ (mm)
36,489	103,563	1,62676	36,432	2
36,148	104,016	1,633882	36,076	2
34,727	104,184	1,636519	34,652	2
34,390	104,223	1,637135	34,314	2
33,039	104,395	1,63984	32,960	2
32,721	104,440	1,64054	32,641	2
31,460	104,618	1,64334	31,377	2
31,166	104,658	1,643974	31,083	2
30,013	104,843	1,646869	29,926	2
29,741	104,886	1,647545	29,653	2
28,700	105,057	1,650242	28,609	2
28,464	105,101	1,650931	28,373	2
27,558	105,279	1,653727	27,463	2
27,356	105,315	1,654285	27,261	2
26,603	105,464	1,656627	26,505	2
26,440	105,500	1,657197	26,341	2
25,855	105,621	1,659092	25,754	2
25,733	105,649	1,659538	25,632	2
25,333	105,748	1,661091	25,230	2
25,238	105,164	1,651918	25,155	2

30cm pano						
MHKH β [41-60]	Z (g)	Z (rad)	S β [41-60]			
25,395	103,2270	1,62149	25,362			2
25,466	103,2189	1,621362	25,433			2
25,856	103,1751	1,620674	25,824			2
25,974	103,1604	1,620444	25,942			2
26,545	103,0882	1,619309	26,514			2
26,705	103,0734	1,619077	26,674			2
27,438	102,9921	1,6178	27,408			2
27,641	102,9651	1,617376	27,611			2
28,525	102,8747	1,615956	28,496			2
28,762	102,8507	1,615579	28,733			2
29,785	102,7490	1,613981	29,757			2
30,050	102,7272	1,613639	30,022			2
31,194	102,6323	1,612148	31,167			2
31,484	102,6054	1,611726	31,458			2
32,734	102,5010	1,610086	32,709			2
33,053	102,4834	1,609809	33,028			2
34,388	102,3838	1,608245	34,364			2
34,720	102,3667	1,607976	34,696			2
36,131	102,2729	1,606503	36,108			2
36,483	102,2541	1,606207	36,460			2
MHKH γ [61-80]	Z (g)	Z (rad)	S γ [61-80]			
36,453	102,2619	1,606330	36,430			2
36,096	102,2849	1,606691	36,073			2
34,673	102,3806	1,608194	34,649			2
34,335	102,4017	1,608526	34,311			2
32,980	102,5027	1,610112	32,955			2
32,662	102,5237	1,610442	32,636			2
31,402	102,6247	1,612029	31,375			2
31,109	102,6503	1,612431	31,082			2
29,955	102,7553	1,614080	29,927			2
29,688	102,7812	1,614487	29,660			2
28,642	102,8734	1,615935	28,613			2
28,401	102,9034	1,616407	28,371			2
27,498	103,0006	1,617933	27,467			2
27,291	103,0224	1,618276	27,260			2
26,542	103,1137	1,619710	26,510			2
26,379	103,1225	1,619848	26,347			2
25,789	103,2012	1,621084	25,756			2
25,667	103,2136	1,621279	25,634			2
25,263	103,2707	1,622176	25,230			2
25,186	103,2810	1,622338	25,153			2

Υπολογισμός οριζόντιων γωνιών

A1 [1-20]	A2 [40-21]	A=A2-A1(g)	A (rad)			
399,9999	182,0735	182,0736	2,860012		$\sigma_A=V2*\sigma_{\alpha 1}$	
1,2156	180,8513	179,6357	2,821718			
6,1173	175,9520	169,8347	2,667763		$\sigma_A=4,2cc$	
7,2841	174,7896	167,5055	2,631176			
11,9614	170,0826	158,1212	2,483768			
13,0650	168,9745	155,9095	2,449026			
17,4542	164,5799	147,1257	2,31105			
18,4901	163,5518	145,0617	2,278629			
22,5709	159,4745	136,9036	2,150482			
23,5228	158,5204	134,9976	2,120542			
27,2914	154,7660	127,4746	2,002371			
28,1637	153,8847	125,7210	1,974825			
31,5995	150,4645	118,8650	1,867131			
32,3993	149,6706	117,2713	1,842098			
35,5179	146,5724	111,0545	1,744444			
36,2415	145,8521	109,6106	1,721763			
39,0874	143,0343	103,9469	1,632798			
39,7409	142,3798	102,6389	1,612252			
42,3143	139,8316	97,5173	1,531802			
42,9024	139,2404	96,3380	1,513277			
A1 [41-60]	A2 [80-61]	A=A2-A1(g)	A (rad)			
0,0005	182,0716	182,0711	2,859973			
1,2100	180,8400	179,6300	2,821628			
6,1147	175,9416	169,8269	2,667641			
7,2789	174,7792	167,5003	2,631095			
11,9577	170,0789	158,1212	2,483768			
13,0615	168,9652	155,9037	2,448935			
17,4432	164,5878	147,1446	2,311347			
18,4908	163,5513	145,0605	2,278610			
22,5649	159,4809	136,9160	2,150677			
23,5215	158,5195	134,9980	2,120549			
27,2880	154,7622	127,4742	2,002365			
28,1630	153,8822	125,7192	1,974797			
31,5913	150,4608	118,8695	1,867202			
32,3907	149,6696	117,2789	1,842217			
35,5246	146,5585	111,0339	1,744121			
36,2547	145,8416	109,5869	1,721391			
39,0909	143,0216	103,9307	1,632543			
39,7438	142,3676	102,6238	1,612015			
42,3062	139,8256	97,5194	1,531835			
42,9027	139,2383	96,3356	1,513240			

Τελικές αποστάσεις

S[1-20]	S[40-21]	A(rad)	S (m)[80cm κάτω]
25,362	25,155	2,860012	50,017
25,433	25,230	2,821718	50,016
25,825	25,632	2,667763	50,020
25,943	25,754	2,631176	50,022
26,516	26,341	2,483768	50,024
26,674	26,505	2,449026	50,022
27,412	27,261	2,31105	50,026
27,612	27,463	2,278629	50,027
28,499	28,373	2,150482	50,030
28,732	28,609	2,120542	50,030
29,761	29,653	2,002371	50,033
30,024	29,926	1,974825	50,035
31,171	31,083	1,867131	50,036
31,462	31,377	1,842098	50,035
32,710	32,641	1,744444	50,044
33,025	32,960	1,721763	50,044
34,364	34,314	1,632798	50,045
34,701	34,652	1,612252	50,046
36,112	36,076	1,531802	50,040
36,466	36,432	1,513277	50,043
S[41-60]	S[80-61]	A(rad)	S (m)[30cm πάνω]
25,362	25,153	2,859973	50,015
25,433	25,230	2,821628	50,016
25,824	25,634	2,667641	50,020
25,942	25,756	2,631095	50,023
26,514	26,347	2,483768	50,027
26,674	26,510	2,448935	50,026
27,408	27,260	2,311347	50,025
27,611	27,467	2,278610	50,030
28,496	28,371	2,150677	50,029
28,733	28,613	2,120549	50,034
29,757	29,660	2,002365	50,036
30,022	29,927	1,974797	50,034
31,167	31,082	1,867202	50,034
31,458	31,375	1,842217	50,032
32,709	32,636	1,744121	50,032
33,028	32,955	1,721391	50,034
34,364	34,311	1,632543	50,036
34,696	34,649	1,612015	50,034
36,108	36,073	1,531835	50,036
36,460	36,430	1,513240	50,037

ΠΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣΣυντεταγμένες ταχυμετρικών

ΜΗΚΗ [101-422] (m)	Z (g)	Z (rad)	α (g)	α (rad)	X	Y	σ_x (mm)	σ_y (mm)
29,530	100,4378	1,577673	380,0498	5,969808	40,897	78,091	0,64	1,90
29,378	100,4434	1,577761	381,0607	5,985687	41,389	78,087	0,62	1,91
29,495	98,8492	1,552720	380,3062	5,973836	41,022	78,090	0,64	1,91
29,420	98,8482	1,552704	380,8010	5,981608	41,263	78,088	0,62	1,91
29,500	98,2928	1,543980	380,3050	5,973817	41,022	78,089	0,64	1,91
29,427	98,2877	1,543900	380,7959	5,981528	41,260	78,088	0,62	1,91
28,843	100,4518	1,577893	385,2986	6,052256	43,399	78,077	0,49	1,95
28,733	100,4510	1,577881	386,3511	6,068789	43,887	78,074	0,46	1,95
28,817	98,8260	1,552355	385,5658	6,056453	43,523	78,075	0,49	1,95
28,764	98,8219	1,552291	386,0808	6,064543	43,762	78,074	0,47	1,95
28,825	98,2545	1,543378	385,5693	6,056508	43,524	78,077	0,49	1,95
28,770	98,2483	1,543281	386,0817	6,064557	43,762	78,075	0,47	1,95
28,363	100,4585	1,577998	390,7588	6,138025	45,897	78,064	0,34	1,98
28,292	100,4555	1,577951	391,8425	6,155048	46,385	78,059	0,32	1,98
28,347	98,8047	1,552021	391,0338	6,142345	46,021	78,061	0,34	1,98
28,314	98,8051	1,552027	391,5652	6,150692	46,260	78,061	0,32	1,98
28,321	98,2230	1,542883	391,5685	6,150744	46,262	78,062	0,32	1,98
28,353	98,2233	1,542888	391,0366	6,142389	46,023	78,062	0,34	1,98
28,094	100,4613	1,578042	396,3465	6,225796	48,389	78,047	0,22	2,00
28,068	100,4645	1,578093	397,4592	6,243275	48,880	78,045	0,20	2,00
28,092	98,7873	1,551747	396,6325	6,230289	48,515	78,048	0,21	2,00
28,079	98,7834	1,551686	397,1732	6,238782	48,754	78,046	0,21	2,00
28,083	98,1990	1,542506	397,1718	6,238760	48,753	78,044	0,21	2,00
28,096	98,2041	1,542586	396,6311	6,230267	48,514	78,046	0,21	2,00
28,045	100,4644	1,578091	2,0071	0,031527	50,884	78,030	0,20	2,00
28,062	100,4632	1,578072	3,1132	0,048902	51,372	78,028	0,21	2,00
28,054	98,7879	1,551757	2,2913	0,035992	51,009	78,031	0,20	2,00
28,061	98,7884	1,551765	2,8339	0,044515	51,248	78,028	0,21	2,00
28,068	98,2036	1,542579	2,8320	0,044485	51,248	78,029	0,21	2,00
28,059	98,1972	1,542478	2,2940	0,036034	51,010	78,030	0,20	2,00
28,220	100,4606	1,578031	7,6535	0,120221	53,384	78,016	0,30	1,99
28,279	100,4594	1,578013	8,7479	0,137412	53,874	78,012	0,33	1,98
28,237	98,7948	1,551865	7,9330	0,124611	53,509	78,013	0,31	1,98
28,266	98,7951	1,551870	8,4670	0,132999	53,748	78,011	0,32	1,98
28,272	98,2170	1,542789	8,4703	0,133051	53,749	78,011	0,32	1,98
28,243	98,2135	1,542734	7,9334	0,124618	53,509	78,013	0,31	1,98
28,613	100,4554	1,577950	13,1825	0,207070	55,882	78,001	0,45	1,96
28,714	100,4550	1,577943	14,2446	0,223754	56,371	77,997	0,48	1,95
28,641	98,8158	1,552195	13,4510	0,211288	56,006	77,999	0,46	1,96
28,690	98,8177	1,552225	13,9676	0,219403	56,243	77,997	0,47	1,95

28,694	98,2415	1,543174	13,9675	0,219401	56,243	77,995	0,47	1,95
28,646	98,2374	1,543109	13,4499	0,211271	56,005	77,998	0,46	1,96
29,215	100,4439	1,577769	18,5164	0,290855	58,378	77,987	0,60	1,92
29,355	100,4437	1,577766	19,5363	0,306875	58,867	77,983	0,63	1,91
29,251	98,8383	1,552548	18,7895	0,295145	58,507	77,982	0,61	1,91
29,322	98,8438	1,552635	19,2910	0,303022	58,748	77,981	0,63	1,91
29,328	98,2814	1,543801	19,2922	0,303041	58,749	77,981	0,63	1,91
29,257	98,2762	1,543719	18,7926	0,295193	58,508	77,981	0,61	1,91
30,009	100,4381	1,577678	23,6208	0,371035	60,880	77,966	0,75	1,87
30,189	100,4364	1,577651	24,5874	0,386218	61,372	77,965	0,78	1,85
30,058	98,8728	1,553090	23,8768	0,375056	61,009	77,964	0,76	1,86
30,146	98,8765	1,553148	24,3467	0,382437	61,248	77,964	0,77	1,86
30,152	98,3311	1,544581	24,3525	0,382528	61,251	77,963	0,77	1,86
30,064	98,3273	1,544522	23,8825	0,375145	61,012	77,964	0,76	1,86
30,988	100,4251	1,577474	28,4281	0,446548	63,382	77,949	0,88	1,81
31,199	100,1285	1,572815	29,3277	0,460678	63,870	77,946	0,91	1,79
31,043	98,9105	1,553683	28,6535	0,450088	63,503	77,947	0,89	1,80
31,148	98,9137	1,553733	29,0952	0,457026	63,743	77,947	0,90	1,80
31,150	98,3851	1,545430	29,0950	0,457023	63,741	77,944	0,90	1,80
31,047	98,3801	1,545351	28,6536	0,450090	63,503	77,946	0,89	1,80
31,078	102,9426	1,617019	28,6679	0,450314	63,512	77,950	0,89	1,80
31,148	105,3835	1,655360	28,6682	0,450319	63,509	77,943	0,89	1,80
28,083	103,3232	1,622997	2,2954	0,036056	51,011	78,027	0,20	2,00
28,098	103,8290	1,630942	2,4790	0,038940	51,092	78,026	0,20	1,99
28,095	103,7361	1,629483	2,4789	0,038938	51,092	78,025	0,20	2,00
31,660	99,4200	1,561686	31,2067	0,490194	64,905	77,931	0,96	1,77
30,165	99,3818	1,561086	32,9007	0,516803	64,904	76,224	1,00	1,74
26,883	99,3100	1,559958	37,3743	0,587074	64,890	72,381	1,12	1,67
23,880	99,2261	1,558640	42,7979	0,672268	64,870	68,683	1,25	1,57
19,971	99,0834	1,556398	53,3889	0,838631	64,851	63,349	1,49	1,34
17,766	98,9654	1,554545	62,9784	0,989262	64,844	59,758	1,67	1,10
15,304	98,8024	1,551984	84,0288	1,319921	64,822	53,799	1,94	0,51
14,918	98,7657	1,551408	92,6074	1,454674	64,815	51,728	1,99	0,25
16,496	98,8971	1,553472	129,2766	2,030672	64,780	42,680	1,79	0,89
18,006	98,9793	1,554763	138,7661	2,179733	64,768	39,702	1,64	1,15
20,359	99,1048	1,556735	148,3711	2,330608	64,758	35,978	1,45	1,38
24,590	99,2602	1,559176	159,0673	2,498623	64,743	30,321	1,21	1,60
26,560	99,3129	1,560003	162,5502	2,553333	64,738	27,906	1,12	1,67
26,559	100,5321	1,579155	162,5626	2,553527	64,733	27,903	1,12	1,67
23,710	100,5946	1,580136	157,2785	2,470525	64,743	31,432	1,25	1,57
20,189	100,6959	1,581727	147,8457	2,322355	64,750	36,216	1,46	1,37
16,499	100,8557	1,584238	129,3148	2,031272	64,779	42,669	1,79	0,89
14,952	100,9344	1,585474	109,0860	1,713519	64,798	47,873	1,98	0,30
15,348	100,9230	1,585295	86,9342	1,365559	65,024	53,128	1,96	0,42
17,892	100,7755	1,582978	62,2583	0,977951	64,838	59,996	1,66	1,12
21,076	100,6569	1,581115	49,7843	0,782010	64,852	64,953	1,41	1,42
26,461	100,5220	1,578996	38,0367	0,597479	64,885	71,876	1,13	1,66
31,661	100,4420	1,577739	31,1962	0,490029	64,901	77,934	0,96	1,77
23,795	100,5756	1,579838	225,3852	3,540342	40,762	28,073	0,79	1,84
23,611	100,5784	1,579882	224,1671	3,521209	41,251	28,071	0,76	1,86
23,752	98,5955	1,548734	225,0749	3,535468	40,887	28,072	0,78	1,85

23,661	98,5877	1,548612	224,4731	3,526015	41,129	28,071	0,76	1,85
23,669	97,8914	1,537675	224,4835	3,526179	41,125	28,072	0,76	1,85
23,758	97,9001	1,537811	225,0800	3,535548	40,886	28,074	0,78	1,85
22,959	100,5892	1,580051	219,0083	3,440174	43,247	28,058	0,61	1,91
22,825	100,5893	1,580053	217,7085	3,419757	43,733	28,053	0,57	1,92
22,931	98,5424	1,547900	218,6689	3,434843	43,373	28,054	0,60	1,91
22,864	98,5427	1,547905	218,0338	3,424867	43,611	28,053	0,58	1,92
22,873	97,8161	1,536492	218,0271	3,424762	43,613	28,051	0,58	1,92
22,938	97,8229	1,536599	218,6627	3,434746	43,375	28,053	0,60	1,91
22,369	100,6063	1,580320	212,1837	3,332974	45,745	28,040	0,41	1,96
22,284	100,6060	1,580315	210,8104	3,311402	46,234	28,038	0,37	1,97
22,358	98,5003	1,547239	211,8177	3,327225	45,875	28,032	0,40	1,97
22,315	98,5002	1,547238	211,1501	3,316738	46,113	28,032	0,38	1,97
22,322	97,7555	1,535540	211,1529	3,316782	46,112	28,033	0,38	1,97
22,364	97,7602	1,535614	211,8214	3,327283	45,874	28,034	0,40	1,96
22,049	100,6136	1,580435	205,0960	3,221640	48,237	28,023	0,22	1,99
22,019	100,6136	1,580435	203,6958	3,199646	48,722	28,019	0,19	2,00
22,052	98,4774	1,546879	204,7395	3,216041	48,360	28,015	0,21	1,99
22,036	98,4774	1,546879	204,0544	3,205279	48,598	28,015	0,19	2,00
22,045	97,7302	1,535142	204,0542	3,205276	48,598	28,014	0,19	1,99
22,058	97,7301	1,535141	204,7438	3,216108	48,359	28,017	0,21	1,99
22,012	100,6046	1,580293	197,8949	3,108526	50,728	28,001	0,16	2,00
22,037	100,5988	1,580202	196,4872	3,086414	51,215	27,998	0,18	2,00
22,028	98,4771	1,546875	197,5387	3,102931	50,851	27,995	0,17	2,00
22,041	98,4729	1,546809	196,8544	3,092182	51,088	27,992	0,18	2,00
22,048	97,7199	1,534981	196,8545	3,092183	51,088	27,993	0,18	2,00
22,033	97,7196	1,534976	197,5452	3,103033	50,849	27,998	0,17	2,00
22,254	100,6046	1,580293	190,7348	2,996055	53,227	27,982	0,33	1,98
22,335	100,6045	1,580292	189,3493	2,974292	53,719	27,978	0,36	1,97
22,282	98,5034	1,547288	190,3738	2,990385	53,355	27,978	0,34	1,98
22,320	98,5046	1,547307	189,7029	2,979846	53,593	27,977	0,35	1,97
22,331	97,7644	1,535680	189,7017	2,979827	53,594	27,974	0,35	1,97
22,293	97,7579	1,535578	190,3790	2,990466	53,354	27,975	0,33	1,98
22,767	100,5864	1,580007	183,8145	2,887351	55,726	27,966	0,52	1,94
22,896	100,5867	1,580012	182,5038	2,866763	56,213	27,964	0,56	1,93
22,809	98,5325	1,547745	183,4786	2,882075	55,852	27,961	0,53	1,93
22,874	98,5370	1,547816	182,8376	2,872006	56,090	27,958	0,55	1,93
22,875	97,8164	1,536496	182,8362	2,871984	56,089	27,964	0,55	1,93
22,812	97,8126	1,536437	183,4754	2,882025	55,852	27,965	0,53	1,93
23,541	100,5721	1,579783	177,2900	2,784865	58,220	27,942	0,71	1,87
23,720	100,5631	1,579641	176,0629	2,765590	58,710	27,938	0,75	1,86
23,587	98,5814	1,548513	176,9678	2,779804	58,346	27,945	0,72	1,87
23,675	98,5856	1,548579	176,3657	2,770346	58,587	27,943	0,74	1,86
23,680	97,8886	1,537631	176,3610	2,770272	58,587	27,946	0,74	1,86
23,591	97,8834	1,537549	176,9630	2,779728	58,347	27,949	0,72	1,87
24,544	100,5475	1,579396	171,2233	2,689569	60,720	27,922	0,89	1,80
24,763	100,5432	1,579329	170,0891	2,671753	61,211	27,921	0,92	1,78
24,602	98,6368	1,549383	170,9169	2,684756	60,850	27,926	0,89	1,80
24,709	98,6498	1,549587	170,3637	2,676067	61,089	27,925	0,91	1,79
24,716	97,9811	1,539084	170,3637	2,676067	61,089	27,925	0,91	1,79
24,608	97,9670	1,538862	170,9101	2,684650	60,852	27,928	0,89	1,80

25,746	100,5211	1,578982	165,6724	2,602376	63,219	27,908	1,04	1,72
26,004	100,5182	1,578936	164,6532	2,586366	63,707	27,903	1,06	1,70
25,812	98,7042	1,550442	165,4018	2,598125	63,345	27,912	1,04	1,71
25,940	98,7078	1,550498	164,9017	2,590270	63,585	27,908	1,06	1,71
25,948	98,0709	1,540494	164,9084	2,590375	63,583	27,905	1,06	1,71
25,822	98,0645	1,540394	165,4044	2,598166	63,346	27,908	1,04	1,71
24,063	99,2519	1,559045	228,0935	3,582884	39,723	28,244	0,87	1,81
21,401	99,1543	1,557512	231,8489	3,641874	39,735	31,223	0,97	1,76
16,373	98,9044	1,553587	243,0358	3,817597	39,757	37,230	1,25	1,56
13,905	98,6966	1,550323	252,6526	3,968658	39,769	40,588	1,47	1,36
11,635	98,4416	1,546317	268,2694	4,213966	39,784	44,440	1,76	0,96
10,273	98,2265	1,542938	292,4659	4,594044	39,803	48,788	1,99	0,25
11,766	98,4310	1,546151	333,4408	5,237676	39,823	55,898	1,73	1,00
16,087	98,8432	1,552625	356,5342	5,600426	39,852	62,479	1,26	1,55
24,368	99,2348	1,558777	372,7522	5,855178	39,887	72,168	0,84	1,82
29,545	99,3682	1,560872	377,8100	5,934626	39,910	77,767	0,71	1,88
29,843	99,3681	1,560870	378,0497	5,938391	39,913	78,085	0,70	1,88
29,849	100,4552	1,577947	378,0437	5,938297	39,909	78,091	0,70	1,88
26,878	100,4824	1,578374	375,4742	5,897935	39,900	74,907	0,77	1,85
12,429	101,1271	1,588501	338,9851	5,324765	39,831	57,143	1,64	1,15
12,017	101,1618	1,589046	335,7383	5,273765	39,829	56,396	1,69	1,07
11,235	101,2657	1,590678	272,5740	4,281582	39,794	45,309	1,82	0,84
12,932	101,1055	1,588161	258,0219	4,052999	39,781	42,079	1,58	1,23
14,685	100,9699	1,586031	249,0754	3,912467	39,769	39,468	1,40	1,44
17,557	100,8253	1,583760	239,6538	3,764473	39,759	35,741	1,17	1,63
20,208	100,7094	1,581940	233,8867	3,673884	39,745	32,589	1,02	1,72
23,386	100,6115	1,580402	228,9406	3,596191	39,732	28,990	0,89	1,80
24,200	100,5937	1,580122	227,9094	3,579992	39,728	28,089	0,86	1,81

2^ο θεμελιώδες

80 cm kato	B X (m)	Y (m)	Γ X (m)	Y (m)	S (m)	σ_{χ^2} (301-355)	σ_{Yr} (mm)	σ_{XB} (mm)	σ_{YB} (mm)	σ_s (mm)
101-301	40,896	78,091	40,762	28,073	50,018	0,79	1,84	0,64	1,90	2,65
107-307	43,399	78,077	43,247	28,058	50,019	0,61	1,91	0,49	1,95	2,73
113-313	45,897	78,064	45,745	28,040	50,024	0,41	1,96	0,34	1,98	2,79
119-319	48,389	78,047	48,237	28,023	50,025	0,22	1,99	0,22	2,00	2,82
125-325	50,884	78,030	50,728	28,001	50,030	0,16	2,00	0,20	2,00	2,83
131-331	53,384	78,016	53,227	27,982	50,034	0,33	1,98	0,30	1,99	2,80
137-337	55,882	78,001	55,726	27,966	50,035	0,52	1,94	0,45	1,96	2,75
143-343	58,378	77,987	58,220	27,942	50,046	0,71	1,87	0,60	1,92	2,68
149-349	60,880	77,966	60,720	27,922	50,045	0,89	1,80	0,75	1,87	2,59
155-355	63,382	77,949	63,219	27,908	50,041	1,04	1,72	0,88	1,81	2,49
102-302	41,389	78,087	41,251	28,071	50,016	0,76	1,86	0,62	1,91	2,67
108-308	43,887	78,074	43,733	28,053	50,021	0,57	1,92	0,46	1,95	2,74

114-314	46,385	78,059	46,234	28,038	50,022	0,37	1,97	0,32	1,98	2,80
120-320	48,880	78,045	48,722	28,019	50,026	0,19	2,00	0,20	2,00	2,82
126-326	51,372	78,028	51,215	27,998	50,030	0,18	2,00	0,21	2,00	2,82
132-332	53,874	78,012	53,719	27,978	50,034	0,36	1,97	0,33	1,98	2,80
138-338	56,371	77,997	56,213	27,964	50,034	0,56	1,93	0,48	1,95	2,74
144-344	58,867	77,983	58,710	27,938	50,045	0,75	1,86	0,63	1,91	2,66
150-350	61,372	77,965	61,211	27,921	50,044	0,92	1,78	0,78	1,85	2,57
156-356	63,870	77,946	63,707	27,903	50,044	1,06	1,70	0,91	1,79	2,47
30 cm pano										
106-306	41,260	78,088	40,886	28,074	50,016	0,78	1,85	0,62	1,91	2,66
112-312	43,762	78,075	43,375	28,053	50,023	0,60	1,91	0,47	1,95	2,73
118-318	46,023	78,062	45,874	28,034	50,028	0,40	1,96	0,34	1,98	2,79
124-324	48,514	78,046	48,359	28,017	50,029	0,21	1,99	0,21	2,00	2,82
130-330	51,010	78,030	50,849	27,998	50,032	0,17	2,00	0,20	2,00	2,82
136-336	53,509	78,013	53,354	27,975	50,038	0,33	1,98	0,31	1,98	2,80
142-342	56,005	77,998	55,852	27,965	50,033	0,53	1,93	0,46	1,96	2,75
148-348	58,508	77,981	58,347	27,949	50,033	0,72	1,87	0,61	1,91	2,68
154-354	61,012	77,964	60,852	27,928	50,036	0,89	1,80	0,76	1,86	2,59
160-360	63,503	77,946	63,346	27,908	50,038	1,04	1,71	0,89	1,80	2,49
105-305	41,022	78,089	41,125	28,072	50,018	0,76	1,85	0,64	1,91	2,66
111-311	43,524	78,077	43,613	28,051	50,026	0,58	1,92	0,49	1,95	2,74
117-317	46,262	78,062	46,112	28,033	50,029	0,38	1,97	0,32	1,98	2,79
123-323	48,753	78,044	48,598	28,014	50,031	0,19	1,99	0,21	2,00	2,82
129-329	51,248	78,029	51,088	27,993	50,036	0,18	2,00	0,21	2,00	2,82
135-335	53,749	78,011	53,594	27,974	50,037	0,35	1,97	0,32	1,98	2,80
141-341	56,243	77,995	56,089	27,964	50,031	0,55	1,93	0,47	1,95	2,74
147-347	58,749	77,981	58,587	27,946	50,036	0,74	1,86	0,63	1,91	2,67
153-353	61,251	77,963	61,089	27,925	50,038	0,91	1,79	0,77	1,86	2,58
159-359	63,741	77,944	63,583	27,905	50,039	1,06	1,71	0,90	1,80	2,48

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

ΑΒ-πολικές συντεταγμένες

	X	Y	1		78,091
	40,897	9,797	1		
	41,389	9,795	1		78,087
	41,022	10,533	1		78,090
	41,263	10,532	1		78,088
	41,022	10,791	1		78,089
	41,260	10,791	1		78,088
	43,399	9,795	1		78,077
A _{60 x 3}	43,887	9,796	1	Δl = z	78,074
	43,523	10,531	1		78,075
	43,762	10,532	1		78,074
	43,524	10,790	1		78,077
	43,762	10,792	1		78,075
	45,897	9,796	1		78,064
	46,385	9,798	1		78,059
	46,021	10,532	1		78,061
	46,260	10,531	1		78,061
	46,262	10,790	1		78,062
	46,023	10,791	1		78,062
	48,389	9,796	1		78,047
	48,880	9,795	1		78,045
	48,515	10,535	1		78,048
	48,754	10,537	1		78,046
	48,753	10,794	1		78,044
	48,514	10,792	1		78,046
	50,884	9,795	1		78,030
	51,372	9,796	1		78,028
	51,009	10,534	1		78,031
	51,248	10,534	1		78,028
	51,248	10,792	1		78,029
	51,010	10,794	1		78,030
	53,384	9,796	1		78,016
	53,874	9,796	1		78,012
	53,509	10,535	1		78,013
	53,748	10,535	1		78,011
	53,749	10,792	1		78,011
	53,509	10,792	1		78,013
	55,882	9,795	1		78,001
	56,371	9,795	1		77,997
	56,006	10,533	1		77,999

	56,243	10,533	1		77,997
	56,243	10,792	1		77,995
	56,005	10,793	1		77,998
	58,378	9,796	1		77,987
	58,867	9,795	1		77,983
	58,507	10,534	1		77,982
	58,748	10,533	1		77,981
	58,749	10,792	1		77,981
	58,508	10,792	1		77,981
	60,880	9,793	1		77,966
$A_{60 \times 3}$	61,372	9,793	1	$\Delta l = z$	77,965
	61,009	10,532	1		77,964
	61,248	10,532	1		77,964
	61,251	10,790	1		77,963
	61,012	10,790	1		77,964
	63,382	9,793	1		77,949
	63,870	9,937	1		77,946
	63,503	10,531	1		77,947
	63,743	10,531	1		77,947
	63,741	10,790	1		77,944
	63,503	10,790	1		77,946

$X=(A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot \Delta l$	
$(A^T \cdot A)_{3 \times 3}$	
167723,4663	32611,6450
32611,4257	6469,8438
3142,9298	622,5436
$(A^T \cdot A)^{-1}_{3 \times 3}$	
0,0003	0,0000
0,0000	0,0948
-0,0165	-0,9817

	$\hat{X}=(A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot \Delta l$	$\hat{\sigma}_0 =$	0.002 (m)		
\hat{A}	-0,0063	$\hat{V}_X =$	0,000000001	-0,000000002	-0,000000059
\hat{B}	-0,0013			0,000000337	-0,000003490
$\hat{\Gamma}$	78,3660				

$\hat{Z} =$	$A \cdot x_i + B \cdot y_i + \Gamma$	$U =$	$Z_i - \hat{Z}_i$
	78,094		-0,003
	78,091		-0,004
	78,092		-0,002
	78,091		-0,003
	78,092		-0,003
	78,090		-0,002
	78,078		-0,002

	78,075		-0,001
	78,076		-0,002
	78,075		-0,001
	78,076		0,001
$\hat{z} =$	78,075	U=	0,000
	78,062		0,002
	78,059		0,000
	78,061		0,001
	78,059		0,002
	78,059		0,003
	78,060		0,001
	78,047		0,000
	78,043		0,001
	78,045		0,003
	78,043		0,003
	78,043		0,001
	78,044		0,001
	78,031		0,000
	78,028		0,000
	78,029		0,002
	78,027		0,001
	78,027		0,002
	78,029		0,001
	78,015		0,001
	78,012		0,000
	78,013		0,000
	78,012		0,000
	78,011		0,000
	78,013		0,000
	77,999		0,002
	77,996		0,001
	77,997		0,002
	77,996		0,002
	77,996		0,000
	77,997		0,001
	77,983		0,004
	77,980		0,003
	77,981		0,000
	77,980		0,001
	77,980		0,002
	77,981		0,000
	77,967		-0,001
	77,964		0,000
	77,966		-0,001
	77,964		0,000
	77,964		-0,001
	77,965		-0,002
	77,952		-0,003
	77,948		-0,002
	77,950		-0,003
	77,948		-0,001

	77,948		-0,004
	77,950		-0,004

ΒΓ-πολικές συντεταγμένες

	X	Y	1		
	77,931	10,288	1		64,905
	76,224	10,293	1		64,904
	72,381	10,291	1		64,890
	68,683	10,290	1		64,870
	63,349	10,288	1		64,851
	59,758	10,289	1		64,844
	53,799	10,288	1		64,822
$A_{22 \times 3}$	51,728	10,289	1	$\Delta l = z$	64,815
	42,680	10,286	1		64,780
	39,702	10,289	1		64,768
	35,978	10,286	1		64,758
	30,321	10,286	1		64,743
	27,906	10,287	1		64,738
	27,903	9,778	1		64,733
	31,432	9,779	1		64,743
	36,216	9,779	1		64,750
	42,669	9,778	1		64,779
	47,873	9,781	1		64,798
	59,996	9,782	1		64,838
	64,953	9,783	1		64,852
	71,876	9,783	1		64,885
	77,934	9,780	1		64,901

		$\hat{x} = (A^T A)^{-1} * A^T * \Delta l$			
			$\hat{\sigma}_0 =$	0,004	(m)
\hat{A}	0,0035		$\hat{V}_x =$	0,0000000022	-0,0000000114
\hat{B}	0,0081		$\sigma^2 * (A^T A)^{-1}$		0,0000093797
\hat{T}	64,5522				0,0009451909
$\hat{Z} =$	$A * x_i + B * y_i + \Gamma$	$U =$		$Z_i - \hat{Z}_i$	
	64,905			-0,001	
	64,900			0,004	
	64,886			0,004	
	64,873			-0,003	
	64,855			-0,003	
	64,842			0,001	
	64,822			0,000	
	64,815			0,000	
	64,783			-0,003	
	64,773			-0,005	

	64,760		-0,002
	64,741		0,002
	64,732		0,005
	64,728		0,005
	64,740		0,003
	64,757		-0,007
	64,779		0,000
	64,797		0,001
	64,839		-0,001
	64,856		-0,005
	64,880		0,005
	64,901		0,000

ΓΔ-πολικές συντεταγμένες

	X	Y	1		
	59,238	9,785	1		71,927
	58,749	9,785	1		71,929
	59,113	10,524	1		71,928
	58,871	10,525	1		71,929
	58,875	10,784	1		71,928
	59,114	10,784	1		71,926
	56,753	9,788	1		71,942
A _{60x3}	56,267	9,789	1	Δl= z	71,947
	56,627	10,525	1		71,946
	56,389	10,523	1		71,947
	56,387	10,784	1		71,949
	56,625	10,784	1		71,947
	54,255	9,787	1		71,960
	53,766	9,788	1		71,962
	54,125	10,527	1		71,968
	53,887	10,526	1		71,968
	53,888	10,787	1		71,967
	54,126	10,787	1		71,966
	51,763	9,787	1		71,977
	51,278	9,788	1		71,981
	51,640	10,527	1		71,985
	51,402	10,527	1		71,985
	51,402	10,786	1		71,986
	51,641	10,786	1		71,983
	49,272	9,791	1		71,999
	48,785	9,793	1		72,002
	49,149	10,527	1		72,005
	48,912	10,529	1		72,008
	48,912	10,789	1		72,007
	49,151	10,789	1		72,002
	46,773	9,789	1		72,018
	46,281	9,788	1		72,022
	46,645	10,524	1		72,022

	46,407	10,524	1		72,023
	46,406	10,784	1		72,026
	46,646	10,785	1		72,025
	44,274	9,790	1		72,034
	43,787	9,789	1		72,036
	44,148	10,526	1		72,039
	43,910	10,526	1		72,042
	43,911	10,784	1		72,036
	44,148	10,784	1		72,035
$A_{60 \times 3}$	41,780	9,788	1	$\Delta l = z$	72,058
	41,290	9,790	1		72,062
	41,654	10,526	1		72,055
	41,413	10,526	1		72,057
	41,413	10,785	1		72,054
	41,653	10,784	1		72,051
	39,280	9,789	1		72,078
	38,789	9,789	1		72,079
	39,150	10,527	1		72,074
	38,911	10,524	1		72,075
	38,911	10,784	1		72,075
	39,148	10,786	1		72,072
	36,781	9,789	1		72,092
	36,293	9,788	1		72,097
	36,655	10,525	1		72,088
	36,415	10,526	1		72,092
	36,417	10,786	1		72,095
	36,654	10,785	1		72,092

	$x = (A^T A)^{-1} * A^T * \Delta l$	$\hat{\sigma}_0 =$	0,003 (m)		
\hat{A}	0,0073	$\hat{V}_x =$	0,00000000240	-0,00000000004	-0,00000012515
\hat{B}	-0,0011		-0,00000000003	0,00000069317	-0,00000718402
$\hat{\Gamma}$	27,6502		-0,00000012519	-0,00000718380	0,00008113306

$\hat{Z} =$	$A * x_i + B * y_i + \Gamma$	$U =$	$Z_i - \hat{Z}_i$
	71,926		0,001
	71,930		-0,001
	71,928		0,000
	71,930		-0,001
	71,930		-0,002
	71,928		-0,002
	71,944		-0,002
	71,948		-0,001
	71,946		0,000
	71,948		-0,001
	71,948		0,001
	71,946		0,000
	71,963		-0,003

	71,966		-0,004
	71,965		0,003
	71,966		0,001
	71,967		0,000
	71,965		0,001
	71,981		-0,004
	71,985		-0,004
	71,983		0,002
	71,985		0,001
	71,985		0,002
	71,983		0,000
	71,999		0,000
	72,003		0,000
	72,001		0,004
	72,003		0,005
	72,003		0,004
	72,001		0,001
	72,018		0,000
	72,021		0,001
	72,019		0,002
	72,021		0,001
	72,021		0,004
	72,020		0,006
	72,036		-0,002
	72,040		-0,004
	72,038		0,002
	72,040		0,002
	72,040		-0,004
	72,038		-0,003
	72,054		0,004
	72,058		0,004
	72,056		-0,001
	72,058		-0,001
	72,058		-0,004
	72,056		-0,005
	72,073		0,005
	72,076		0,003
	72,074		0,000
	72,076		-0,002
	72,077		-0,002
	72,075		-0,003
	72,091		0,001
	72,095		0,002
	72,093		-0,004
	72,095		-0,003
	72,095		0,000
	72,093		-0,001

ΔΑ-πολικές συντεταγμένες

	X	Y	1		
	28,244	10,283	1		39,723
	31,223	10,284	1		39,735
	37,230	10,282	1		39,757
	40,588	10,285	1		39,769
	44,440	10,285	1		39,784
	48,788	10,286	1		39,803
	55,898	10,290	1		39,823
$A_{22 \times 3}$	62,479	10,292	1	$\Delta I = z$	39,852
	72,168	10,293	1		39,887
	77,767	10,293	1		39,910
	78,085	10,296	1		39,913
	78,091	9,787	1		39,909
	74,907	9,796	1		39,900
	57,143	9,780	1		39,831
	56,396	9,781	1		39,829
	45,309	9,777	1		39,794
	42,079	9,775	1		39,781
	39,468	9,776	1		39,769
	35,741	9,772	1		39,759
	32,589	9,775	1		39,745
	28,990	9,775	1		39,732
	28,089	9,774	1		39,728

	$x = (A^T * A)^{-1} * A^T * \Delta I$		$\hat{\sigma}_0 =$	0,002	(m)
\hat{A}	0,0037	$\hat{V}_x =$	0,0000000008	-0,0000000095	0,0000000548
\hat{B}	-0,0059			0,0000036677	-0,0000363275
$\hat{\Gamma}$	39,6816				0,0003619936

$\hat{Z} =$	$A * x_i + B * y_i + \Gamma$	$U =$	$Z_i - \hat{Z}_i$
	39,725		-0,002
	39,736		0,000
	39,758		-0,001
	39,770		-0,002
	39,785		-0,001
	39,801		0,002
	39,827		-0,004
	39,851		0,001
	39,887		0,000
	39,908		0,002
	39,909		0,005
	39,912		-0,003
	39,900		0,000
	39,835		-0,003
	39,832		-0,003
	39,791		0,003

	39,779		0,002
	39,769		0,000
	39,756		0,003
	39,744		0,001
	39,731		0,001
	39,727		0,000