



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

## **ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΗΚΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ**



Διπλωματική Εργασία  
**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΡΑΪΣΚΟΣ**

Επιβλέπουσα: Λάμπρου Ευαγγελία

Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2014





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

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ**  
**ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΗΚΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ**

Διπλωματική Εργασία

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΡΑΪΣΚΟΣ**

Επιβλέπουσα:

Λάμπρου Ευαγγελία

Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Τριμελής Επιτροπή Αξιολόγησης:

Λάμπρου Ε.

Πανταζής Γ.

Τσακίρη Μ.

ΑΘΗΝΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2014

© 2014 Κ. Καραϊσκος (Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος)

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή του υλικού του κειμένου, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτού, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλω να ευχαριστήσω την Επίκουρο Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών κα *Ευαγγελία Λάμπρου*, επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και τον Επίκουρο Καθηγητή *κο Γεώργιο Πανταζή*, οι οποίοι σήκωσαν το βάρος της επίβλεψης και καθοδήγησης μου. Οργανωτικοί και τυπικοί, αφοσιωμένοι σε ευρύ φάσμα της Γεωδαισίας και πολυάσχολοι, με ενέπνευσαν να δουλέψω με πάθος για την αποπεράτωση της εργασίας αυτής.

Θέλω να ευχαριστήσω γενικότερα όλους τους καθηγητές της Σχολής με τους οποίους είχαμε εποικοδομητική συνεργασία και συζητήσεις που υπερέβαιναν το στενό ακαδημαϊκό πλαίσιο.

Η έμπνευση και η γνώση που μου έδωσαν, όχι απλά δικαίωσαν την απόφασή μου να επιδιώξω τις σπουδές του Τοπογράφου στην ηλικία των 23 ετών ως δεύτερο πτυχίο, αλλά επιπροσθέτως είχαν ως αποτέλεσμα η συνολική εμπειρία να είναι ανώτερη ακόμα και από τις αρχικές προσδοκίες μου.

Θέλω να ευχαριστήσω τους μηχανικούς Αρβανιτάκη Ιωάννη, Τζανετάκο Δημήτρη και Βογιατζή Φίλιππο με τους οποίους εργάζομαι part – time, διότι με έφεραν σε επαφή με την αγορά εργασίας, στηρίζοντάς με. Υπήρξαν πολλές στιγμές άγχους και κούρασης αλλά κυρίως υπήρξαν στιγμές γέλιου που δεν θα ξεχάσω ποτέ.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους φίλους μου σε αυτή την Σχολή. Οι μέρες που περάσαμε στην Νίσυρο το καλοκαίρι του 2010 ήταν από τις καλύτερες της ζωής μου, όπως και τα χρόνια που ακολούθησαν, γεμάτα βόλτες και οινοποσίες.

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου Κώστα και Ζέτα για την στήριξη που μου παρείχαν.



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από τεχνολογικές εξελίξεις, η ταχύτητα των οποίων είναι τόσο μεγάλη που ακόμα και η ίδια η επιστημονική κοινότητα μετά βίας ακολουθεί, ώστε να την αξιοποιεί σε κάθε βήμα της ερευνητικής διαδικασίας. Η διεπιστημονικότητα των γνωστικών αντικειμένων και η ένταση της εμβάθυνσης και εξειδίκευσης των ερευνητών παγκοσμίως καθιστά την εναρμόνιση με τις νέες τεχνολογικές ανακαλύψεις ως μία εκ των ων ουκ άνευ πραγματικότητα.

Η τεχνολογία αιχμής αδιαμφισβήτητα χαρακτηρίζει πλήρως την σύγχρονη επιστήμη της γεωδαισίας. Οι δορυφορικές και επίγειες μετρήσεις, η φωτογραμμετρία, η τηλεπισκόπηση και τα εξελιγμένα λογισμικά που χρησιμοποιούνται προς εξυπηρέτηση του αντικειμένου του τοπογράφου μηχανικού είναι παραδείγματα αυτής της διαμορφωμένης πλέον κατάστασης. Είναι χαρακτηριστικό ότι πλέον οι σπουδές στο αντικείμενο αυτό σε διεθνές επίπεδο μετασχηματίζονται σε προγράμματα Γεωπληροφορικής (*Geoinformatics*), ώστε οι φοιτητές να αντιλαμβάνονται άμεσα τον χαρακτήρα της επιστήμης αυτής.

Είναι αναπόφευκτο λοιπόν οι εξελίξεις αυτές να επιδρούν και στην τεχνολογία μετρήσεων και ειδικότερα στην μέτρηση μηκών χωρίς ανακλαστήρα, με ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς. Η διαδικασία αυτή είναι πλέον μέρος της καθημερινότητας των εργαζομένων στο ύπαιθρο τοπογράφων είτε σε υποστήριξη εργοταξίων, είτε σε εφαρμογές βιομηχανικής γεωδαισίας είτε ακόμα και στην σύνταξη ενός απλού τοπογραφικού διαγράμματος. Η ακρίβεια όμως αυτής της μεθοδολογίας μέτρησης είναι προς το παρόν υποδεέστερη της αντίστοιχης ακρίβειας που επιτυγχάνεται με χρήση ανακλαστήρα, ενώ η ορθότητα της μέτρησης τίθεται πολλές φορές υπό αμφισβήτηση.

Ευχής έργον λοιπόν είναι η βελτίωση αυτής της ακρίβειας και η ορθότερη εκτίμησή της, ώστε η μέτρηση μηκών χωρίς ανακλαστήρα να λάβει την θέση που της αξίζει και να τύχει άμεσης αναγνώρισης από όλους σε ότι αφορά την ορθότητά της και την ευκολία στην χρήση.





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	I
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	V
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	VII
ΠΙΝΑΚΕΣ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	IX
ΕΙΚΟΝΕΣ.....	XV
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	XIX
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ .....	XXI
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ

1.1 Ιστορική αναδρομή.....	3
1.2 Περί LASER .....	5
1.2.1 Κατηγορίες LASER.....	6
1.2.2 Σχήμα και μέγεθος δέσμης Laser .....	7
1.3. Πλεονεκτήματα της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα.....	8
1.4. Μέθοδοι μέτρησης.....	9
1.5. Παράγοντες που επιδρούν στις μετρήσεις μήκους χωρίς ανακλαστήρα .....	14
1.6 Αντικείμενο της εργασίας.....	17

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

#### Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ

2.1 Γενικά .....	23
2.2 Σύγκριση κοινών πειραματικών δεδομένων διαφορετικού χρόνου.....	23
2.3 Η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης laser .....	27
2.3.1 Μήκος 15m .....	29
2.3.2 Μήκος 50m .....	35
2.3.3 Μήκος στο όριο της εμβέλειας.....	70
2.4 Η επίδραση του μεγέθους του μήκους.....	74

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

3.1 Γενικά .....	107
3.2 Λογισμικό και αρχές λειτουργίας.....	107
3.3 Τύποι συναρτήσεων καμπυλών παραμετροποίησης .....	108
3.4 Προσαρμογή συναρτήσεων ανά όργανο και ανά υλικό .....	111

3.5 Συμπεράσματα σχετικά με την προσαρμογή συναρτήσεων ανά υλικό .....	128
3.6 Προσαρμογή γενικής συνάρτησης ανά όργανο .....	133

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

##### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

4.1 Συμπεράσματα .....	139
4.1.1 Η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης.....	139
4.1.2 Η επίδραση του μεγέθους του μετρούμενου μήκους .....	142
4.1.3 Προσαρμογή εξισώσεων διόρθωσης ανά όργανο και υλικό .....	143
4.1.4 Προσαρμογή γενικής εξίσωσης διόρθωσης για κάθε όργανο .....	144
4.2 Προτάσεις .....	145

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	147
---------------------------	-----

<b>ABSTRACT</b> .....	149
-----------------------	-----

## ΠΙΝΑΚΕΣ

<i>Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά των μεθόδων των παλμών και της διαφοράς φάσης.....</i>	<i>11</i>
<i>Πίνακας 1.2: Οι κατηγορίες των μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν.....</i>	<i>18</i>
<i>Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά των γεωδαιτικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν.....</i>	<i>19</i>
<i>Πίνακας 1.4: Συγκεντρωτικός πίνακας των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα.....</i>	<i>20</i>
<i>Πίνακας 2.1: Συγκριτικός πίνακας των ομοειδών μετρήσεων εσωτερικού χώρου με τον Ολοκληρωμένο Γεωδαιτικό Σταθμό Topcon GPT 3003LN στα 50 μέτρα.....</i>	<i>25</i>
<i>Πίνακας 2.2: Συγκριτικός πίνακας των ομοειδών μετρήσεων εσωτερικού χώρου με τον Ολοκληρωμένο Γεωδαιτικό Σταθμό Leica TCRM1201<sup>+</sup> στα 15 και στα 50 μέτρα.....</i>	<i>26</i>
<i>Πίνακας 2.3: Παράδειγμα επεξεργασίας ώστε να προκύψει η τιμή του <math>\Delta D</math> από τις 0 μοίρες.....</i>	<i>28</i>
<i>Πίνακας 2.4: Ονομαστική ακρίβεια μέτρησης μηκών των ΟΓΣ.....</i>	<i>102</i>
<i>Πίνακας 2.5: Στατιστικά αναμενόμενες τιμές για το <math>\Delta D</math> ανά απόσταση και ανά γεωδαιτικό σταθμό.....</i>	<i>103</i>
<i>Πίνακας 3.1: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του <math>\Delta D</math> από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TCR 303 σε απόσταση 50 μέτρων.....</i>	<i>113</i>
<i>Πίνακας 3.2: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του <math>\Delta D</math> από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Trimble 5605 DR<sup>+</sup> σε απόσταση 50 μέτρων.....</i>	<i>115</i>

*Πίνακας 3.3: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του  $\Delta D$  από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TCR 405 σε απόσταση 50 μέτρων.....117*

*Πίνακας 3.4: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του  $\Delta D$  από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TCRM 1201<sup>+</sup> σε απόσταση 50 μέτρων.....119*

*Πίνακας 3.5: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του  $\Delta D$  από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Topcon GPT 3003LN σε απόσταση 50 μέτρων.....121*

*Πίνακας 3.6: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του  $\Delta D$  από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Topcon GPT 3105N σε απόσταση 50 μέτρων.....123*

*Πίνακας 3.7: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του  $\Delta D$  από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Topcon GPT 7003i σε απόσταση 50 μέτρων.....125*

*Πίνακας 3.8: Συγκριτικός πίνακας RMSE στις προσαρμογές συναρτήσεων μίας μεταβλητής για τον ΟΓΣ Topcon GPT3003LN.....131*

*Πίνακας 3.9: Συγκριτικός πίνακας απαιτούμενων διορθώσεων μήκους στις προσαρμογές συναρτήσεων μίας μεταβλητής για τον ΟΓΣ Topcon GPT3003LN.....132*

*Πίνακας 3.10: Δεδομένα προσαρμογής παραβολικής συνάρτησης μίας παραμέτρου για κάθε ΟΓΣ.....134*

*Πίνακας 4.1: Ποσοστό υλικών ανά ΟΓΣ και ανά απόσταση που απέδωσαν τιμή  $\Delta D$  στο εύρος  $\pm 3mm$ .....141*

*Πίνακας 4.2: Δεδομένα προσαρμογής παραβολικής συνάρτησης μίας παραμέτρου για κάθε ΟΓΣ.....144*

## ΠΙΝΑΚΕΣ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.1: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Leica TCR 405 στα 15m.....</i>	<i>30</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.2: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup> στα 15m.....</i>	<i>31</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.3: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Topcon GPT 3003LN στα 15m.....</i>	<i>32</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.4: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Topcon GPT 3105N στα 15m.....</i>	<i>33</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.5: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Topcon GPT 7003i στα 15m.....</i>	<i>34</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.6: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Leica TCR 303 στα 50m.....</i>	<i>36</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.7: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Trimble 5605DR<sup>+</sup> στα 50m.....</i>	<i>37</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.8: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Leica TCR 405 στα 50m.....</i>	<i>38</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.9: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup> στα 50m.....</i>	<i>39</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.10: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Topcon GPT 3003LN στα 50m.....</i>	<i>40</i>

<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.11: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Torcon GPT 3105N στα 50m.....</i>	<i>41</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.12: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Torcon GPT 7003i στα 50m.....</i>	<i>42</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.13: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Kodak Grey στα 50m.....</i>	<i>43</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.14: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Kodak White στα 50m.....</i>	<i>44</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.15: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Αυτοκόλλητο Ανακλαστικό Στόχο στα 50m.....</i>	<i>45</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.16: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Αυτοκόλλητο Στόχο Αλουμινίου στα 50m.....</i>	<i>46</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.17: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Στόχο Sokkia στα 50m.....</i>	<i>47</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.18: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Τσιμέντο Λευκό στα 50m.....</i>	<i>48</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.19: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Τσιμέντο Γκρι στα 50m.....</i>	<i>49</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.20: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Χαρτόνι Γκρι στα 50m.....</i>	<i>50</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.21: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Χαρτόνι Μαύρο στα 50m.....</i>	<i>51</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.22: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Πλαστικό Λευκό στα 50m.....</i>	<i>52</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.23: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Πλαστικό Κόκκινο στα 50m.....</i>	<i>53</i>

<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.24: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Πλακάκι Γκρι στα 50m.....</i>	<i>54</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.25: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Πλακάκι Μπεζ στα 50m.....</i>	<i>55</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.26: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Αφρολέξ Καφέ στα 50m.....</i>	<i>56</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.27: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Αφρολέξ Λευκό στα 50m.....</i>	<i>57</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.28: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Μάρμαρο στα 50m.....</i>	<i>58</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.29: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Σίδηρο στα 50m.....</i>	<i>59</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.30: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Κεραμίδι στα 50m.....</i>	<i>60</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.31: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Άσφαλτο στα 50m.....</i>	<i>61</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.32: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Ξύλο στα 50m.....</i>	<i>62</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.33: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Βράχο στα 50m.....</i>	<i>63</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.34: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Νοβοπάν στα 50m.....</i>	<i>64</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.35: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Μελαμίνη στα 50m.....</i>	<i>65</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.36: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Νίκελο στα 50m.....</i>	<i>66</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.37: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Πάγο στα 50m.....</i>	<i>67</i>

<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.38: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Χρυσό στα 50m.....</i>	<i>68</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.39: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Γυαλί στα 50m.....</i>	<i>69</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.40: Αποκλίσεις εξωτερικών μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Leica TCR 303 στα 77m.....</i>	<i>71</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.41: Αποκλίσεις εξωτερικών μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Trimble 5605DR<sup>+</sup> στα 422m.....</i>	<i>72</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.42: Αποκλίσεις εξωτερικών μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Topcon GPT 3003LN στα 638m.....</i>	<i>73</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.43: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism από το μήκος που μετράται με πρίσμα για διάφορες αποστάσεις με τον ΟΓΣ Leica TCR 405.....</i>	<i>75</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.44: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις με τον ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup>.....</i>	<i>76</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.45: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις με τον ΟΓΣ Topcon GPT 3003LN.....</i>	<i>77</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.46: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις με τον ΟΓΣ Topcon GPT 3105N.....</i>	<i>78</i>
<i>Πίνακας – Διάγραμμα 2.47: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις με τον ΟΓΣ Topcon GPT 7003i.....</i>	<i>79</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.48: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Kodak White από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>80</i>



<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.49: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Kodak Gray από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>81</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.50: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Αυτοκόλλητο ανακλαστικό στόχο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>82</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.51: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Τσιμέντο Λευκό από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>83</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.52: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Τσιμέντο Γκρι από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>84</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.53: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Χαρτόνι Γκρι από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>85</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.54: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Χαρτόνι Μαύρο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>86</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.55: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Πλαστικό Λευκό από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>87</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.56: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Πλαστικό Κόκκινο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>88</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.57: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Πλακάκι Γκρι από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>89</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.58: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Πλακάκι Μπεζ από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>90</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.59: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Αφρολέξ Λευκό από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>91</i>

<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.60: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Αφρολέζ Καφέ από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>92</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.61: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Μάρμαρο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>93</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.62: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Ξύλο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>94</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.63: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Νοβοπάν από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>95</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.64: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Μελαμίνη από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>96</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.65: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Κεραμίδι από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>97</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.66: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Άσφαλτο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>98</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.67: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Βράχο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις.....</i>	<i>99</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.68: Ποσοστό υλικών ανά ΟΓΣ και ανά απόσταση που απέδωσαν τιμή <math>\Delta D</math> εντός της στατιστικά αναμενόμενης τιμής.....</i>	<i>104</i>
<i>Πίνακας - Διάγραμμα 2.69: Ποσοστό υλικών ανά ΟΓΣ και ανά απόσταση που απέδωσαν τιμή <math>\Delta D</math> στο εύρος <math>\pm 3mm</math>.....</i>	<i>105</i>

## EΙΚΟΝΕΣ

<i>Εικόνα 1.1: Σύστημα RADAR κατά την διάρκεια του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου Πολέμου.....</i>	<i>4</i>
<i>Εικόνα 1.2: Το αποστασιόμετρο Wild DIOR 3002S. Η πρώτη διάταξη με δυνατότητα μέτρησης χωρίς ανακλαστήρα .....</i>	<i>5</i>
<i>Εικόνα 1.3: Κόκκινο (635nm), πράσινο(532nm) και μπλε (445nm) Laser.....</i>	<i>6</i>
<i>Εικόνα 1.4: Μέτρηση μήκους με την μέθοδο διαφοράς φάσης.....</i>	<i>10</i>
<i>Εικόνα 1.5: Ο δίσκος 3 θέσεων του System Analyser.....</i>	<i>12</i>
<i>Εικόνα 1.6: Η διασπορά των μετρήσεων με System Analyser (πράσινο χρώμα) έναντι των μετρήσεων με τις παραδοσιακές μεθόδους.....</i>	<i>13</i>
<i>Εικόνα 1.7: Ανακλαστικότητα καθρέφτη.....</i>	<i>15</i>
<i>Εικόνα 1.8: Διαχεόμενη ανακλαστικότητα.....</i>	<i>15</i>
<i>Εικόνα 1.9: Αυτοανακλαστικότητα.....</i>	<i>16</i>
<i>Εικόνα 1.10: Οι Γεωδαιτικοί Σταθμοί Leica TCR303, Trimble 5605DR<sup>+</sup>, Topcon GPT3003LN, Leica TCRM1201<sup>+</sup>, Leica TCR405, Topcon GPT3105N, Topcon GPT7003i.....</i>	<i>19</i>
<i>Εικόνα 1.11: Η ειδικά κατασκευασμένη βάση στήριξης που χρησιμοποιήθηκε για την τοποθέτηση των δοκιμίων.....</i>	<i>21</i>
<i>Εικόνα 3.1: Περιβάλλον εργασίας MatLAB – Curve Fitting tool.....</i>	<i>109</i>
<i>Εικόνα 3.2: Μορφή εξισώσεων <math>y=x^2</math> (αριστερά) και <math>y=e^x</math> (δεξιά).....</i>	<i>111</i>
<i>Εικόνα 3.3: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του <math>\Delta D</math> στο Kodak White για τον ΟΓΣ Leica TCR303.....</i>	<i>114</i>
<i>Εικόνα 3.4: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του <math>\Delta D</math> στο λευκό αφρολέξ για τον ΟΓΣ Leica TCR303.....</i>	<i>114</i>

<i>Εικόνα 3.5: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο ξύλο για τον ΟΓΣ Leica TCR303.....</i>	<i>114</i>
<i>Εικόνα 3.6: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο Kodak Gray για τον ΟΓΣ Trimble 5605 DR<sup>+</sup>.....</i>	<i>116</i>
<i>Εικόνα 3.7: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο μαύρο χαρτόνι για τον ΟΓΣ Trimble 5605 DR<sup>+</sup>.....</i>	<i>116</i>
<i>Εικόνα 3.8: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο καφέ αφρολέξ για τον ΟΓΣ Trimble 5605 DR<sup>+</sup>.....</i>	<i>116</i>
<i>Εικόνα 3.9: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο Kodak White για τον ΟΓΣ Leica TCR405.....</i>	<i>118</i>
<i>Εικόνα 3.10: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο Kodak Gray για τον ΟΓΣ Leica TCR405.....</i>	<i>118</i>
<i>Εικόνα 3.11: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο λευκό τσιμέντο για τον ΟΓΣ Leica TCR405.....</i>	<i>118</i>
<i>Εικόνα 3.12: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο Kodak Gray για τον ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup>.....</i>	<i>120</i>
<i>Εικόνα 3.13: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο τσιμέντο γκρι για τον ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup>.....</i>	<i>120</i>
<i>Εικόνα 3.14: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο ξύλο για τον ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup>.....</i>	<i>120</i>
<i>Εικόνα 3.15: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο Kodak White για τον ΟΓΣ Topcon GPT3003LN.....</i>	<i>122</i>
<i>Εικόνα 3.16: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο γκρι χαρτόνι για τον ΟΓΣ Topcon GPT3003LN.....</i>	<i>122</i>
<i>Εικόνα 3.17: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο λευκό αφρολέξ για τον ΟΓΣ Topcon GPT3003LN.....</i>	<i>122</i>
<i>Εικόνα 3.18: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο Kodak White για τον ΟΓΣ Topcon GPT3105N.....</i>	<i>124</i>

<i>Εικόνα 3.19: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο γκρι τσιμέντο για τον ΟΓΣ Topcon GPT3105N.....</i>	<i>124</i>
<i>Εικόνα 3.20: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο λευκό αφρολέξ για τον ΟΓΣ Topcon GPT3105N.....</i>	<i>124</i>
<i>Εικόνα 3.21: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο Kodak Gray για τον ΟΓΣ Topcon GPT7003i.....</i>	<i>126</i>
<i>Εικόνα 3.22: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο λευκό αφρολέξ για τον ΟΓΣ Topcon GPT7003i.....</i>	<i>126</i>
<i>Εικόνα 3.23: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του ΔD στο γκρι χαρτόνι για τον ΟΓΣ Topcon GPT7003i.....</i>	<i>126</i>
<i>Εικόνα 3.24: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης και ευθείας σε δεδομένα που προέκυψαν με τον ΟΓΣ Leica TCR405 σε Kodak gray....</i>	<i>128</i>
<i>Εικόνα 3.25: Εναλλακτικές προσαρμογές εκθετικής και παραβολικής συνάρτησης (ΟΓΣ Topcon GPT3003LN σε πλακάκι μπεζ).....</i>	<i>130</i>
<i>Εικόνα 3.26: Εναλλακτικές προσαρμογές παραβολικής συνάρτησης με δύο παραμέτρους (άνω) και με μία παράμετρο (κάτω) (ΟΓΣ Leica TCR303 σε πλακάκι γκρι).....</i>	<i>131</i>
<i>Εικόνα 3.27: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Leica TCR303.....</i>	<i>134</i>
<i>Εικόνα 3.28: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Trimble 5605DR<sup>+</sup>.....</i>	<i>134</i>
<i>Εικόνα 3.29: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Leica TCR405.....</i>	<i>135</i>
<i>Εικόνα 3.30: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Leica TCRM1201<sup>+</sup>.....</i>	<i>135</i>
<i>Εικόνα 3.31: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Topcon GPT3003LN.....</i>	<i>135</i>
<i>Εικόνα 3.32: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Topcon GPT3105N.....</i>	<i>136</i>

*Εικόνα 3.33: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του  
ΟΓΣ Torcon GPT7003i.....136*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η μοντελοποίηση της απόκλισης της μέτρησης μήκους χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, μέσω ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Η εργασία αυτή αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ιστορικά στοιχεία της τεχνολογίας μετρήσεων μήκους και περιγράφεται η ιστορική αναδρομή που καταλήγει στην σημερινή εποχή των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών με την ενσωματωμένη λειτουργία μέτρησης χωρίς ανακλαστήρα. Επίσης, περιγράφονται συνοπτικά λεπτομέρειες της τεχνολογίας των laser καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στο αντικείμενο και στην μεθοδολογία της παρούσας εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι ομαδοποίησης και επεξεργασίας των δεδομένων και παρουσιάζονται συγκεντρωτικοί πίνακες αυτών με κατηγοριοποίηση ανά όργανο και ανά υλικό. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από προηγούμενες προπτυχιακές και μεταπτυχιακές εργασίες των τελευταίων ετών.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία μοντελοποίησης και προσαρμογής συναρτήσεων στα πειραματικά δεδομένα με την χρήση κατάλληλου λογισμικού, ενώ παρουσιάζονται σε πίνακες οι παράμετροι και το είδος των καμπυλών που προέκυψαν.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται τα συμπεράσματα που εξάγονται ενώ γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και πειραματισμό.

Τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας επιβεβαιώνουν τον μεγάλο αριθμό των παραγόντων που επιδρούν στην ακρίβεια της μέτρησης χωρίς ανακλαστήρα.

Για μετρήσεις μήκους της τάξης των 15 μέτρων, οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που αξιολογήθηκαν παρέχουν γενικά αξιόπιστες μετρήσεις μήκους χωρίς ανακλαστήρα, κάτι που δεν συμβαίνει για μετρήσεις μεγαλύτερων μηκών.

Συγκεκριμένα, η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης και το μέγεθος του μετρούμενου μήκους μπορούν να μεταβάλλουν το αποτέλεσμα της μέτρησης σε βαθμό που υπερβαίνει την ονομαστική ακρίβεια των γεωδαιτικών σταθμών.

Η εφαρμογή εξισώσεων διόρθωσης στα μετρούμενα μήκη ανάλογα με το υλικό της μετρούμενης επιφάνειας και την γωνία πρόσπτωσης της δέσμης μπορεί να οδηγήσει σε ακριβέστερα τελικά αποτελέσματα.

Συγκεκριμένα, η προσαρμογή εκθετικής ή πολυωνυμικής συνάρτησης δύο παραμέτρων στα δεδομένα αποδίδει μέσο τετραγωνικό σφάλμα μικρότερο του χιλιοστού, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Η

διόρθωση όμως του μήκους αναλόγως του υλικού της μετρούμενης επιφάνειας παρουσιάζει τεχνικές δυσκολίες.

Αντιθέτως, ο προσδιορισμός μίας εξίσωσης διόρθωσης ξεχωριστά για κάθε ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό που να αφορά στο σύνολο των μετρούμενων υλικών, είναι εφικτός και χωρίς ιδιαίτερες πρακτικές δυσκολίες.

Η προσαρμογή της πολυωνυμικής συνάρτησης 2<sup>ου</sup> βαθμού  $y=ax^2$ , ως γενική συνάρτηση διόρθωσης για κάθε γεωδαιτικό σταθμό που να αφορά στο σύνολο των υλικών, οδήγησε σε μικρότερο, έως και υποδιπλάσιο, μέσο τετραγωνικό σφάλμα σε σχέση με την κατάσταση πριν την διόρθωση.

Η διόρθωση αυτή ανάγει την μέτρηση για γωνία πρόσπτωσης κάθετη στην επιφάνεια του υλικού, ενώ η τιμή της παραμέτρου  $a$  αποτελεί έναν δείκτη αξιοπιστίας του γεωδαιτικού σταθμού, σε ότι αφορά την συμπεριφορά του κατά την αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης.

Ο εργαστηριακός έλεγχος των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών και η εξαγωγή της τιμής αυτής μπορεί να αποτελέσει μία μεθοδολογία ελέγχου της αξιοπιστίας τους, σε ότι αφορά την ορθή λειτουργία του EDM για μεταβαλλόμενη γωνία πρόσπτωσης της δέσμης.



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

EDM	Electromagnetic Distance Measurement
D	Μετρούμενο μήκος
c	Ταχύτητα του φωτός στην ατμόσφαιρα
t	Χρόνος
I	Ένταση φωτεινής ακτίνας
Kd	Συντελεστή διάχυτης ανάκλασης
ΟΓΣ	Ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός
$D_{κατ}$	Μετρημένο μήκος με χρήση ανακλαστήρα
$D_{RL}$	Μετρημένο μήκος χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα
$\Delta D$	Διαφορά $D_{κατ} - D_{RL}$
$\Delta D$ από $0^{\circ}$	Ανηγγεμένη τιμή $\Delta D$ για συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης από την αντίστοιχη τιμή των $0^{\circ}$
Reflectorless	Μεθοδολογία μέτρησης μήκους χωρίς την χρήση ανακλαστήρα. Χρησιμοποιείται επίσης και ο όρος non – prism.
RMSE	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα
$R^2$	Συντελεστής Συσχέτισης



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συμπεριφορά των γεωδαιτικών σταθμών στην μέτρηση μήκους χωρίς την χρήση ανακλαστήρα, αδιαμφισβήτητα εξαρτάται από παράγοντες που δεν είναι εύκολο να προβλεφθούν ή να ποσοτικοποιηθούν a priori.

Από πειράματα που έχουν διεξαχθεί γίνεται αντιληπτό ότι η επίδραση του χρώματος και της υφής του στόχου, της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης, της υπάρχουσας φωτεινότητας, της ανακλαστικότητας κ.α. στο αποτέλεσμα της μέτρησης του μήκους είναι μεγάλη, σε βαθμό που προκύπτουν διαφορές που δεν δικαιολογούνται από την ονομαστική, παρεχόμενη από τον κατασκευαστή, ακρίβεια των οργάνων.

Πέραν της ερμηνείας του φαινομένου αυτού με καθαρά πειραματική ή μαθηματική σκέψη, υπεισέρχεται ένα ερώτημα σχετικά με τον τρόπο προσδιορισμού αυτής της ονομαστικής ακρίβειας του οργάνου από πλευράς κατασκευαστή. Είναι πάντως προφανές πως η ραγδαία αύξηση της ακρίβειας των μετρήσεων χωρίς ανακλαστήρα και η αναζήτηση στο εμπόριο γεωδαιτικών σταθμών που θα πληρούν την απαιτούμενη ακρίβεια μέτρησης, προϋποθέτει έναν αντικειμενικό τρόπο προσδιορισμού της ορθότητας της μέτρησης αυτής υπό την επίδραση και των παραγόντων που προαναφέρθηκαν.

Προς το παρόν, για τον προσδιορισμό της εμβέλειας και της ακρίβειας ενός γεωδαιτικού σταθμού στην μέτρηση χωρίς ανακλαστήρα χρησιμοποιούνται τα φύλλα Kodak White και Kodak Gray Card, που είναι διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα στην επαγγελματική φωτογραφία [Μαυράκης Σ., 2008].

Με αυτή την πρακτική όμως είναι αδύνατη η προεκτίμηση της συμπεριφοράς του οργάνου σε άλλα υλικά, σε διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης, σε διαφορετική φωτεινότητα κλπ. Η πολυπλοκότητα των παραγόντων αυτών μάλιστα χαρακτηρίζει τις συνήθεις συνθήκες μέτρησης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται προσπάθεια ομαδοποίησης πειραματικών δεδομένων καθώς και μοντελοποίησης της επίδρασης των παραπάνω απρόβλεπτων και πολλές φορές τυχαίων παραγόντων, ώστε να εξαχθούν εξισώσεις διόρθωσης του μετρούμενου μήκους.

Με τον τρόπο αυτό μπορούν να προκύψουν κάποια συμπεράσματα για πιθανούς τρόπους βελτίωσης αυτής της ακρίβειας στο μέλλον και να περιγραφούν πρότυπα για τον ορθότερο προσδιορισμό αυτής.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Η ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΧΩΡΙΣ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΑ

### 1.1 Ιστορική αναδρομή

Η μέτρηση του μήκους απασχολεί την ανθρωπότητα από αρχαιοτάτων χρόνων. Είναι χαρακτηριστικό ότι, σύμφωνα με τον Ηρόδοτο, η προσπάθεια ανάπτυξης αντίστοιχων μεθοδολογιών χρονολογείται από το 3.000 π.Χ. Τότε, στην Αρχαία Αίγυπτο και στην Μεσοποταμία, επινοήθηκαν μέθοδοι μέτρησης μήκους μέσω σχοινιών που περιείχαν κόμπους. Με τον τρόπο αυτό η ανάκτηση των ορίων των οικοπέδων ήταν δυνατή έπειτα από πλημμύρες των ποταμών Νείλου, Τίγρη και Ευφράτη [Μπιλλήρης Χ., 2007].

Η μετέπειτα εξέλιξη του ανθρώπου καθώς και οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες του για ακριβή προσδιορισμό της θέσης οδήγησαν στους ξύλινους μετρητικούς κανόνες του 18<sup>ου</sup> αιώνα, στα σύρματα και τις σταδίες invar του επόμενου αιώνα καθώς και στα οπτικομηχανικά θεοδόλιχα του 20<sup>ου</sup> αιώνα.

Η θεμελίωση όμως των σύγχρονων μεθοδολογιών μέτρησης μήκους πρέπει να αποδοθεί στους φυσικούς Maxwell και Hertz, που προετοίμασαν το έδαφος για την ηλεκτρομαγνητική μέτρηση του μήκους (Electromagnetic Distance Measurement – EDM) [Μπαντέλας Α. Γ. κ.α., 2008].

Κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου οι αντιμαχόμενες πλευρές προσπαθούσαν να αποκτήσουν η κάθε μία συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι της άλλης με αποτέλεσμα την ανάπτυξη των οργάνων RADAR (Εικόνα 1.1), τα οποία μέχρι και σήμερα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό απόστασης και διεύθυνσης (positioning and navigation). Παρουσιάστηκαν λοιπόν πολλά συστήματα αυτής της τεχνολογίας που είχαν εφαρμογή σε αποστάσεις άνω των 100 Km και με ακρίβεια προσδιορισμού του μήκους χειρότερη του ενός μέτρου.

Το ιστορικό σημείο καμπής όμως σε ότι αφορά την ηλεκτρομαγνητική μέτρηση μηκών ήταν η εμφάνιση των οργάνων EDM που μετρούν μήκη με ικανοποιητική ακρίβεια. Τα όργανα αυτά μέχρι την δεκαετία του 1960 προσαρμόζονταν επάνω σε θεοδόλιχα, με αποτέλεσμα να απαιτούνται αναγωγές των μετρημένων μηκών.



*Εικόνα 1.1: Σύστημα RADAR κατά την διάρκεια του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου Πολέμου [<http://www.loc.gov/rr/scitech/trs/trsosrd.html>]*

Όμως, από την δεκαετία του 1970 εμφανίστηκε η πρώτη γενιά οργάνων που λειτουργούσαν παράλληλα ως θεοδόλιχα και ως EDM. Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1980 μάλιστα, εμφανίστηκαν και οι πρώτοι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί με καταγραφικό σύστημα και ψηφιακό θεοδόλιχο. Οι διατάξεις αυτές πλεονεκτούσαν στο γεγονός ότι απέτρεπαν τα χονδροειδή λάθη καταγραφής των μετρήσεων, καθώς πλέον αυτή γινόταν αυτόματα.

Οι πρώτοι αυτοί γεωδαιτικοί σταθμοί μετρούν μήκη με χρήση ανακλαστήρα, ο οποίος τοποθετείται στο σημείο της μέτρησης, δέχεται την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και την ανακλά πίσω στο όργανο, έτσι ώστε να προκύψει έμμεσα το μήκος μέσω της μέτρησης του χρόνου μετάβασης και επιστροφής του κύματος.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990 η τεχνολογία εξελίχθηκε περαιτέρω με αποτέλεσμα την εμφάνιση της πρώτης διάταξης EDM που έδινε την δυνατότητα μέτρησης μηκών χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα. Πρόκειται για το αποστασιόμετρο DIOR 3002S της Leica (Εικόνα 1.2), το οποίο προσαρμοζόταν επιβατηγά σε θεοδόλιχο και η σκόπευση των επιφανειών λάμβανε χώρα σε άξονα παράλληλο του σκοπευτικού άξονα του θεοδολίχου, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η γεωμετρική αναγωγή των μετρημένων μηκών, όπως συνέβαινε και με τα πρώτα EDM που προσαρμοζόντουσαν στα θεοδόλιχα. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασιζόταν στην εκπομπή ορατής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας laser, η οποία προσέπιπτε στην μετρούμενη επιφάνεια και επέστρεφε στο όργανο. Η εμβέλεια του οργάνου άγγιζε τα 60 μέτρα.



*Εικόνα 1.2: Το αποστασιόμετρο Wild DIOR 3002S. Η πρώτη διάταξη με δυνατότητα μέτρησης χωρίς ανακλαστήρα [http://www.bujorel.com/id2.html]*

Σήμερα, με τους σύγχρονους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι δυνατή η μέτρηση μηκών χωρίς ανακλαστήρα έως και 2000 μέτρα. Η ονομαστική ακρίβεια των μετρήσεων αυτών είναι της τάξης των  $\pm 3\text{mm} \pm 3\text{ppm}$ , ακρίβεια η οποία στην πραγματικότητα κάποιες φορές είναι υποδεέστερη. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας, μελλοντικά αναμένεται η σημαντική βελτίωση της ποιότητας και ακρίβειας των μετρήσεων μήκους χωρίς ανακλαστήρα.

## 1.2 Περί LASER

Ο όρος LASER προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας). Πρόκειται δηλαδή για μία διάταξη ενισχυτή φωτός στο ορατό συνήθως φάσμα, αν και πλέον ο όρος περιλαμβάνει και φάσματα πέραν του ορατού [Wikipedia.org].

Η φωτεινή ακτινοβολία που εκπέμπεται από μία συσκευή LASER χαρακτηρίζεται από μεγάλη συνεκτικότητα, καθώς τα φωτόνια εκπέμπονται σε φάση και έχουν όλα το ίδιο μήκος κύματος και την ίδια διεύθυνση διάδοσης. Έτσι, οι ακτίνες LASER χαρακτηρίζονται από μεγάλη κατευθυντικότητα, πράγμα που σημαίνει ότι η απόκλιση της δέσμης περιορίζεται σε μερικά μόνο δευτερόλεπτα της μοίρας. Αυτό μεταφράζεται σε πολύ μεγάλη συγκέντρωση ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας. Οι ακτίνες LASER επίσης χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό μονοχρωματικότητας, καθώς το φως που εκπέμπεται έχει συγκεκριμένη συχνότητα (Εικόνα 1.3).



Εικόνα 1.3: Κόκκινο (635nm), πράσινο(532nm) και μπλε (445nm) laser [<http://en.wikipedia.org/wiki/Laser>]

### 1.2.1 Κατηγορίες LASER

Η δέσμη Laser που εκπέμπεται από τις διάφορες διατάξεις ταξινομείται διεθνώς με βάση την επικινδυνότητά της στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Class 1:** Αόρατο laser μέγιστης ασφάλειας (ισχύς  $<1\text{mW}$ ). Η έκθεση σε αυτό δεν δύναται να ξεπεράσει ποτέ το όριο της μέγιστης επιτρεπόμενης έκθεσης.
- **Class 1M:** Ασφαλές laser υπό τον όρο να μην διέλθει εντός μικροσκοπίων, τηλεσκοπίων και άλλων παρόμοιων διατάξεων (ισχύς  $<1\text{mW}$ ).
- **Class 2:** Ορατό αλλά ασφαλές laser που χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Η ασφάλειά του έγκειται στο ότι το αντανακλαστικό κλείσιμο του ανθρώπινου ματιού θα το προστατέψει από την ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η έκθεση σε λιγότερο από 0.25 sec (ισχύς  $<1\text{mW}$ ).
- **Class 2M:** Τα laser αυτής της κατηγορίας μπορούν να γίνουν επικίνδυνα για το μάτι σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν άλλα μέσα εστίασης της ακτινοβολίας (ισχύς  $<1\text{mW}$ ).
- **Class 3R:** Ασφαλές laser (ισχύς  $<5\text{mW}$ ) με την προϋπόθεση ότι γίνονται προσεκτικοί χειρισμοί, με περιορισμένη έκθεση στην ακτινοβολία. Για την κατηγορία αυτή, η οποία επίσης χρησιμοποιείται για την μέτρηση μηκών χωρίς ανακλαστήρα, η



υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης έκθεσης συνεπάγεται χαμηλό κίνδυνο τραυματισμού.

- **Class 3B:** Επικίνδυνο laser (ισχύς  $<500\text{mW}$ ) αν το μάτι εκτεθεί άμεσα στην ακτινοβολία, αλλά διάχυτες ανακλάσεις, όπως από ένα χαρτί ή άλλη ματ επιφάνεια δεν είναι επικίνδυνες. Απαιτούνται προστατευτικά μέτρα όπως ειδικά γυαλιά κατά τη χρήση τους.
- **Class 4:** Laser υψηλής ισχύος (ισχύς  $>500\text{mW}$ ), τα οποία είναι καταστροφικά κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες (άμεσα ή μέσω ανάκλασης). Εκτός του σημαντικού κινδύνου για τα μάτια, με ενδεχόμενη καταστροφική και μόνιμη βλάβη των ματιών, μπορεί να κόψουν ή να κάψουν το δέρμα, ενώ είναι δυνατό να προκαλέσουν ανάφλεξη σε εύφλεκτα υλικά, με κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς.

Οι περισσότεροι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί χρησιμοποιούν laser κατηγορίας 1, 2 και 3R για τη μέτρηση μήκους.

### 1.2.2 Σχήμα και μέγεθος δέσμης Laser

Η ορατή δέσμη laser που παράγεται από έναν γεωδαιτικό σταθμό, παρά την υψηλή κατευθυντικότητα της ακτινοβολίας, όσο μεγαλώνει η απόσταση αρχίζει να διαχέεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός αποτυπώματος (ίχνους) της δέσμης laser επάνω σε κάθε μετρούμενη επιφάνεια. Το αποτύπωμα αυτό για ορισμένους γεωδαιτικούς σταθμούς έχει σχήμα κυκλικό, για άλλους ελλειπτικό, ενώ για άλλους τραπεζοειδές.

Το γεγονός αυτό έχει άμεση επίπτωση στην αβεβαιότητα μέτρησης του μήκους. Όπως είναι φανερό, όταν το ίχνος της δέσμης laser καταλαμβάνει μία ευρύτερη επιφάνεια από το επιθυμητό σημείο μέτρησης υπάρχει μια αβεβαιότητα σχετικά με το ποιο σημείο αυτής της επιφάνειας αποδίδει το τελικό μήκος. Για παράδειγμα, όταν η ακτινοβολία προσπίπτει υπό γωνία σε μία επιφάνεια, με το άνοιγμα της δέσμης υπάρχουν σημεία αυτής που βρίσκονται πιο κοντά στον γεωδαιτικό σταθμό σε σχέση με άλλα.

Τίθεται λοιπόν το ερώτημα για την ποιότητα και την αξιοπιστία του τελικού αποτελέσματος.

Η απάντηση, όπως έχει αποδειχθεί από αντίστοιχα πειράματα [Μαυράκης Σ. 2008, Μαρκολέφα Α. 2010], εξαρτάται από τον ενσωματωμένο αλγόριθμο υπολογισμού μήκους κάθε γεωδαιτικού σταθμού. Σε ορισμένα όργανα υπολογίζεται η πρώτη επιστροφή ακτινοβολίας, που προέρχεται από τα εγγύτερα σημεία της επιφάνειας, σε άλλα όμως ισχύει το αντίθετο.

Το βέβαιο είναι ότι το άνοιγμα της δέσμης του laser έχει επίπτωση στην ακρίβεια της σήμανσης των σημείων κατά τη μέτρηση χωρίς ανακλαστήρα. Έτσι, ακμές τοίχων ή επιφάνειες με κάθετο διάνυσμα που σχηματίζει μεγάλη γωνία με τον άξονα σκόπευσης του οργάνου αποτελούν περιπτώσεις που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, καθώς η ανάκλαση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας λαμβάνει χώρα σε επιφάνειες μεγαλύτερου από το επιθυμητό εμβαδόν.

### **1.3. Πλεονεκτήματα της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα**

Το EDM στην ουσία χρησιμοποιείται για την έμμεση μέτρηση μηκών, καθώς το ζητούμενο μήκος προκύπτει από την μέτρηση ενός άλλου μεγέθους.

Οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί, όταν συνδυάζονται με τη χρήση ανακλαστήρα μπορούν να μετρήσουν ακόμα και μήκη άνω των τεσσάρων χιλιομέτρων. Αντιθέτως, όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, η εμβέλεια μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα είναι σημαντικά μικρότερη. Και για τους δύο αυτούς τρόπους μέτρησης χρησιμοποιείται παρόμοια διαδικασία.

Όμως, στην μέτρηση μηκών χωρίς ανακλαστήρα χρησιμοποιούνται laser διαφορετικής τάξης επικινδυνότητας, διαφορετικού μήκους κύματος και μεγαλύτερης έντασης ακτινοβολίας ώστε να υπερκαλύπτονται οι απώλειες που παρατηρούνται.

Τα πλεονεκτήματα της μέτρησης μήκους με αυτή τη διαδικασία είναι αρκετά, κάτι που επέφερε την βαθμιαία εισαγωγή αυτής της νέας δυνατότητας στην καθημερινότητα των τοπογράφων.

Συγκεκριμένα, η μεθοδολογία αυτή:

- Παρέχει ευκολία στην μέτρηση δυσπρόσιτων σημείων για τα οποία η προσπέλαση είναι είτε αδύνατη, είτε επικίνδυνη για την σωματική ακεραιότητα του στοχοφόρου, είτε προβληματική σε ότι αφορά την διενέργεια μίας τοπογραφικής εργασίας (πχ. είσοδος στοχοφόρου εντός ιδιοκτησιών που πρέπει να αποτυπωθούν)
- Προσφέρει την απευθείας δυνατότητα μέτρησης σε επιφάνειες, χωρίς την απαίτηση χρήσης ανακλαστήρα που έχει κάποιο σημαντικό πάχος
- Παρέχει την δυνατότητα μέτρησης σε επιφάνειες μνημείων χωρίς επαφή με αποτέλεσμα την αποφυγή των φθορών σε αυτά
- Απαιτεί σε ορισμένες περιπτώσεις λιγότερο προσωπικό και λιγότερο χρόνο, με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους κάποιων εργασιών

- Αποτελεί την κυρίαρχη μεθοδολογία των ρομποτικών γεωδαιτικών σταθμών καθώς και των επίγειων σαρωτών laser που σαρώνουν επιφάνειες με συγκεκριμένο βήμα σε ελάχιστο χρόνο

Πέραν βέβαια των πλεονεκτημάτων αυτών, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα όπως η υποδεέστερη ακρίβεια, η αβεβαιότητα για το πραγματικό σημείο λήψης της μέτρησης μήκους και κυρίως η αδυναμία επιτυχημένης μέτρησης οδεύσεων, καθώς οι υλοποιημένες στο έδαφος στάσεις δεν μπορούν συνήθως να σκοπευθούν απευθείας από τον γεωδαιτικό σταθμό.

#### **1.4. Μέθοδοι μέτρησης**

Η μέτρηση του μήκους γίνεται με την αξιοποίηση των παρακάτω μεθόδων:

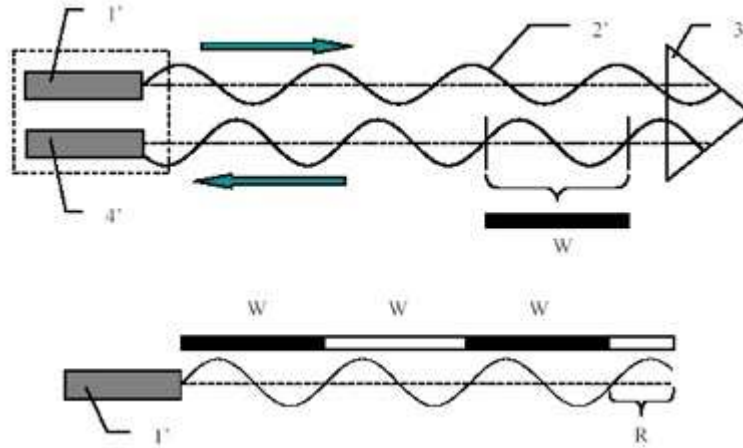
- Με την μέθοδο μέτρησης της διαφοράς φάσης μεταξύ του σήματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται και λαμβάνεται
- Με την μέθοδο μέτρησης του χρόνου διαδρομής μετάβασης και επιστροφής ενός παλμού

Πέραν αυτών, τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μία νέα μέθοδος υπολογισμού του μήκους με την ονομασία «System Analyser», η οποία χρησιμοποιεί και συνδυάζει τις δύο αυτές μεθόδους έτσι ώστε να παραχθούν αποτελέσματα αυξημένης αξιοπιστίας.

#### **Μέθοδος μέτρησης διαφοράς φάσης (Phase shift)**

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην σύγκριση της φάσης μεταξύ εκπεμπόμενης και προσλαμβανόμενης ακτινοβολίας. Η συσκευή EDM διαβιβάζει ένα συνεχές κύμα laser, το οποίο ανακλάται από την μετρούμενη επιφάνεια και επιστρέφει στο όργανο.

Το μετρούμενο μήκος αποτελείται από έναν συγκεκριμένο αριθμό ακέραιων μηκών κύματος (W) και ένα υπόλοιπο (R) μέσα σε ένα μήκος κύματος (ακέραιο κύκλο). Αρχικά, μπορεί να υπολογιστεί μόνο το μήκος που αντιστοιχεί στο υπόλοιπο R (διαφορά φάσης). Όμως, ο ακέραιος αριθμός μηκών κύματος υπολογίζεται με την χρήση περισσοτέρων της μίας ακτινοβολιών (συνήθως 2 έως 5) με πολλαπλάσια μήκη κύματος (Εικόνα 1.4).



Εικόνα 1.4: Μέτρηση μήκους με την μέθοδο διαφοράς φάσης

Πρέπει να τονιστεί ότι το μικρότερο μήκος κύματος, το οποίο συμπίπτει με την υψηλότερη συχνότητα, είναι το "κύριο" μήκος κύματος που χρησιμοποιείται για την ακριβή μέτρηση των μηκών. Η ακρίβεια ενός οργάνου εξαρτάται από την επιλογή του κύριου μήκους κύματος λόγω της λεπτομερέστερης εκτίμησης της διαφοράς φάσης δλ.

### Μέθοδος των παλμών (Time of Flight)

Τα όργανα που χρησιμοποιούν αυτή την μεθοδολογία υπολογίζουν τη διαφορά χρόνου μεταξύ του εκπεμπόμενου και του λαμβανόμενου παλμού. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκπομπή πολλών υπέρυθρων ή laser παλμών μικρής διάρκειας και σταθερής συχνότητας, μέσω ενός συστήματος φακών.

Όταν οι παλμοί επιστρέφουν στον γεωδαιτικό σταθμό, καταγράφεται ο χρόνος εισόδου τους στον δέκτη και συγκρίνεται με τον χρόνο της αρχικής εκπομπής τους. Από την επεξεργασία των δύο χρόνων υπολογίζεται το μετρούμενο μήκος  $D$  σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$D = 0.5 \cdot c \cdot \Delta t \quad (1.1)$$

όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός στην ατμόσφαιρα και  $\Delta t$  η χρονική διαφορά μεταξύ της στιγμής εκπομπής και λήψης του παλμού.

Όπως είναι λογικό, αν απαιτείται ακρίβεια της τάξης των  $\pm 3\text{mm}$  στον προσδιορισμό μήκους, ο χρόνος μετάβασης και επιστροφής της ακτινοβολίας θα πρέπει να υπολογίζεται με ακρίβεια  $\pm 10\text{psec}$  ( $10^{-11}$  sec).

Κάθε δευτερόλεπτο εκπέμπονται περίπου 20000 παλμοί, κάθε ένας από τους οποίους αποδίδει και μία τιμή μήκους μεταξύ οργάνου και στόχου που καταγράφεται στην μονάδα του οργάνου. Συνήθως εξάγεται

ως τελικό αποτέλεσμα η μέση τιμή όλων αυτών των μετρήσεων, αν και κάποιοι γεωδαιτικοί σταθμοί έχουν διαφορετικούς αλγόριθμους υπολογισμού της τελικής τιμής του μήκους. Υπάρχουν επίσης διαδικασίες κατά τις οποίες εξαιρούνται ακραίες τιμές και δεν λαμβάνονται υπόψη για την εξαγωγή του τελικού μέσου όρου (πχ μέτρηση σε ενδιάμεσο εμπόδιο μικρού μεγέθους).

## Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Οι παλμοί που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο του χρόνου πτήσης είναι ισχυρότεροι από την ακτινοβολία των οργάνων που χρησιμοποιούν την μέθοδο της διαφοράς φάσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα όργανα της πρώτης κατηγορίας να έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια στο μετρούμενο μήκος, πολλές φορές πολλαπλάσια της εμβέλειας που παρέχει η μέθοδος της δεύτερης κατηγορίας. Η ταχύτητα επίσης της μεθόδου του χρόνου πτήσης είναι μεγαλύτερη.

Σε ότι αφορά την ακρίβεια του μετρούμενου μήκους, η μέθοδος της διαφοράς φάσης είναι ακριβέστερη, πράγμα που την καθιστά πολύ χρήσιμη σε εφαρμογές ακριβείας.

Η απόκλιση της δέσμης της ακτινοβολίας σε μεγάλες αποστάσεις είναι μικρότερη στην μέθοδο της διαφοράς φάσης, κάτι που μεταφράζεται σε ακριβέστερες σκοπεύσεις αντικειμένων και κατ' επέκταση σε μετρήσεις καλύτερης ακρίβειας.

Στον πίνακα 1.1 παρατίθενται συγκεντρωτικά τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο αυτών μεθοδολογιών.

Μέθοδος Παλμών (Time of Flight)	Μέθοδος Διαφοράς Φάσης (Phase Shift)
Μικρότερη ακρίβεια	Μεγαλύτερη Ακρίβεια
Μεγαλύτερη εμβέλεια	Μικρότερη εμβέλεια
Μεγαλύτερο μέγεθος δέσμης	Μικρότερο μέγεθος δέσμης
Μεγαλύτερη ταχύτητα	Μικρότερη ταχύτητα
Ανοχή στα ενδιάμεσα εμπόδια	

*Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικά των μεθόδων των παλμών και της διαφοράς φάσης*

## Μέθοδος System Analyser

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και ο ολοένα αυξανόμενος ανταγωνισμός μεταξύ των εταιριών κατασκευής γεωδαιτικών σταθμών, οδήγησε την εταιρία Leica στην ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας υπολογισμού του

μήκους που αξιοποιεί συνδυαστικά τα πλεονεκτήματα των δύο παραπάνω μεθόδων.

Πρόκειται για την μέθοδο “System Analyser”, η οποία βασίζεται στην αξιολόγηση της συνολικής πληροφορίας του σήματος και όχι απλά στην μέτρηση της διαφοράς φάσης ή του χρόνου μεταξύ εκπομπής και λήψης της ακτινοβολίας. Η πληροφορία του σήματος περιλαμβάνει όλο το ιστορικό του στο χρονικό διάστημα εκπομπής – λήψης, όλες τις χρησιμοποιούμενες συχνότητες, πληροφορίες για την ενίσχυση και εξασθένηση του σήματος καθώς και για τον θόρυβο. Όλα τα στοιχεία αυτά συνυπολογίζονται για την ακριβή εκτίμηση του τελικού μήκους.

Πέραν του ιδιαίτερου λογισμικού που απαιτεί η μεθοδολογία αυτή, υπάρχουν καινοτομίες και στα μηχανικά μέρη. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις με και χωρίς ανακλαστήρα πραγματοποιούνται από κοινή δίοδο εκπομπής ακτινοβολίας laser. Για να επιτευχθεί αυτό, υπάρχει ένας περιστρεφόμενος δίσκος τριών θέσεων τοποθετημένος κάθετα στην πορεία της εκπεμπόμενης ακτίνας (Εικόνα 1.5). Η δεύτερη και η τρίτη θέση του δίσκου εξυπηρετούν τις μετρήσεις με και χωρίς ανακλαστήρα, αντίστοιχα. Στην πρώτη θέση, πραγματοποιείται αυτοβαθμονόμηση του οργάνου έτσι ώστε αυτό να προσαρμόζεται με επιτυχία στις εκάστοτε συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατούν στο πεδίο.



*Εικόνα 1.5: Ο δίσκος 3 θέσεων του System Analyser  
[Leica TPS 1200<sup>+</sup> White Paper]*

Η χρήση μίας και μόνο δίοδου εκπομπής αυξάνει την λειτουργικότητα της συσκευής και την σταθερότητα της δέσμης που παράγεται. Έτσι, η απόκλισή της είναι μικρότερη και εξασφαλίζεται η μονοαξονικότητα θεοδολίχου και EDM. Επιπροσθέτως, το αποτύπωμα της δέσμης laser είναι μικρότερο, με βέλτιστη κατανομή φωτός και πιο ευκρινές.

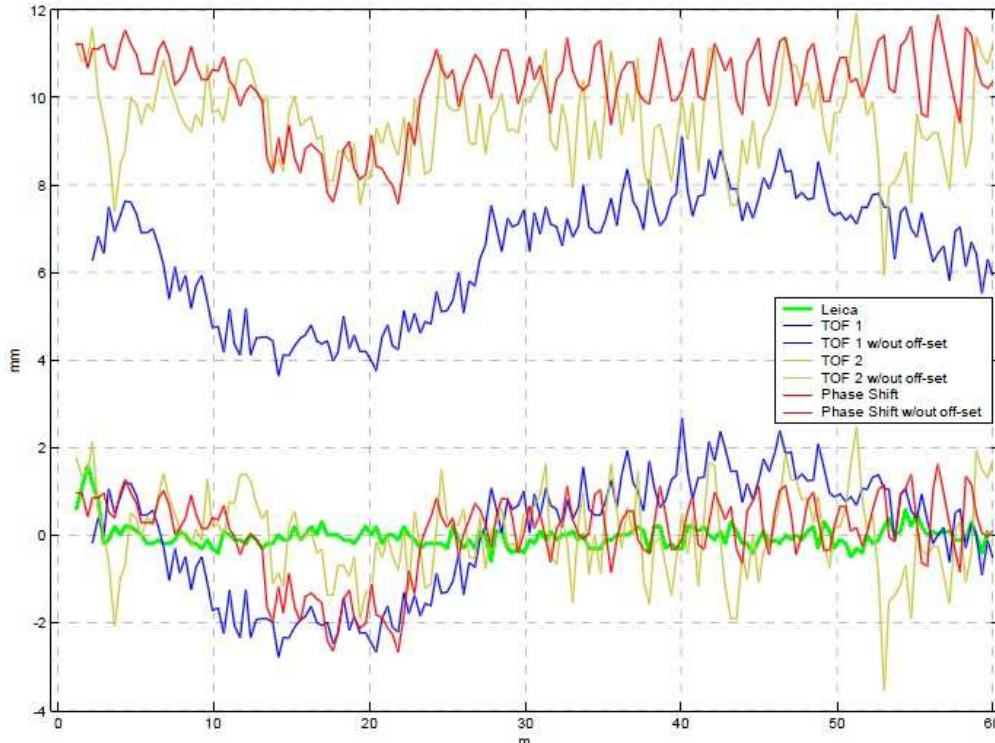
Σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας της μεθόδου System Analyser, παρατίθενται τα ακόλουθα βασικά της χαρακτηριστικά.

- Χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και η μέθοδος των παλμών και η μέθοδος της διαφοράς φάσης.
- Με την πρώτη μέθοδο, που είναι ταχύτερη, γίνεται ένας πρώτος προσεγγιστικός προσδιορισμός του μήκους.

- Κατόπιν, ακολουθεί ο προσδιορισμός της διαφοράς φάσης, με χρήση υψηλών συχνοτήτων, από 100MHz έως 1 GHz. (Το μήκος κύματος κυμαίνεται από 30cm έως 3m).
- Χρησιμοποιούνται και αναλύονται 4 συχνότητες για επιστρεφόμενο σήμα υψηλής ισχύος ή μέχρι και 10 συχνότητες για ασθενές επιστρεφόμενο σήμα, προκειμένου να προσδιοριστεί το μήκος με την απαιτούμενη ακρίβεια.
- Οι πληροφορίες της διαφοράς φάσης, του εύρους του κύματος από όλες τις συχνότητες, αλλά και του χρόνου υπεισέρχονται σε μια πολυπαραμετρική εξίσωση που υπολογίζει με τη μέγιστη πιθανότητα την τιμή του μετρούμενου μήκους.

Λόγω των υψηλών συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται, υπάρχει αυξημένη ανοχή σε παρεμβολές και ενδιάμεσα εμπόδια, όπως είναι η βροχή και η σκόνη.

Η παραπάνω μεθοδολογία, λόγω της χρήσης πολλών συχνοτήτων, της αυτοβαθμονόμησης του οργάνου, της χρήσης του ειδικού δίσκου και της επίλυσης του συστήματος εξισώσεων παρέχει ακρίβεια μέτρησης χωρίς την χρήση ανακλαστήρα μέχρι και  $\pm 2\text{mm}$ , που είναι ανώτερη από αυτή των εναλλακτικών μεθοδολογιών (Εικόνα 1.6) [Bayoud A., 2006].



Εικόνα 1.6: Η διασπορά των μετρήσεων με System Analyser (πράσινο χρώμα) έναντι των μετρήσεων με τις παραδοσιακές μεθόδους [Bayoud A., 2006]

## 1.5. Παράγοντες που επιδρούν στις μετρήσεις μήκους χωρίς ανακλαστήρα

Οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί που χρησιμοποιούνται στην μέτρηση μήκους χωρίς ανακλαστήρα, πέραν των άλλων παραγόντων όπως οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και η απόσταση, επηρεάζονται και από τις ιδιότητες του υλικού, την ανακλαστικότητα του, την πιθανή διάθλαση στο εσωτερικό του κλπ. Παρακάτω αναφέρονται οι βασικοί παράγοντες που εισάγουν σφάλματα στο αποτέλεσμα των reflectorless μετρήσεων ενός γεωδαιτικού σταθμού.

- **Ανακλαστικότητα**

Ως ανακλαστικότητα ορίζεται ο λόγος μεταξύ της έντασης της ανακλώμενης ακτινοβολίας και της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας πάνω σε μία επιφάνεια. Πρόκειται για ένα μέγεθος που επηρεάζει με συστηματικό τρόπο την μέτρηση του μήκους.

Η ανάκλαση μιας μονοχρωματικής φωτεινής ακτίνας σε μία επιφάνεια παράγει ακτίνες σε διάφορες διευθύνσεις. Αυτός ο τύπος της ιστροπικής ανάκλασης μπορεί να περιγραφεί από τον νόμο συνημιτόνων του Lambert:

$$I_{\text{reflected}}(\lambda) = I(\lambda) \cdot kd(\lambda) \cdot \cos(\theta) \quad (1.2)$$

όπου:

- $I(\lambda)$  η ένταση της φωτεινής ακτίνας συναρτήσει του μήκους κύματος
- $kd(\lambda)$  ο συντελεστής διάχυτης ανάκλασης που είναι επίσης συνάρτηση του μήκους κύματος και
- $\theta$  η γωνία ανάμεσα στην προσπίπτουσα φωτεινή ακτίνα και το κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια.

Η ποσότητα της ακτινοβολίας που επιστρέφεται από την επιφάνεια ενός στόχου χαρακτηρίζεται ως συντελεστής ανακλαστικότητας  $r$  και εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις %. Για στόχο μεγάλης ανακλαστικότητας η μέγιστη τιμή του συντελεστή  $r$  είναι 100%, ενώ για καθρέφτες η αυτοανακλώμενους στόχους η θεωρητική τιμή της ανακλαστικότητας μπορεί να ξεπεράσει το 100% κατά πολύ.

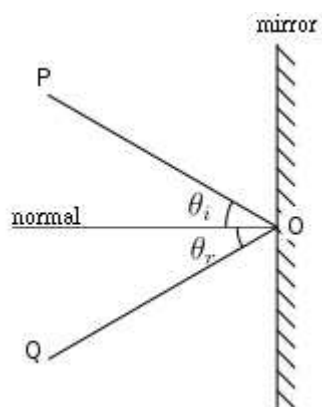
Στους ολοκληρωμένους γεωδαιτικούς σταθμούς θα πρέπει να επιστρέφεται κατ' ελάχιστον ένα συγκεκριμένο ποσοστό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ώστε να είναι εφικτή η μέτρηση του μήκους.

Ο συντελεστής ανακλαστικότητας εξαρτάται επιπλέον από το μήκος κύματος, δηλαδή το χρώμα. Τα κυριότερα είδη ανακλαστικότητας είναι:



### α) Ανακλαστικότητα καθρέφτη – ανακλαστικού στόχου

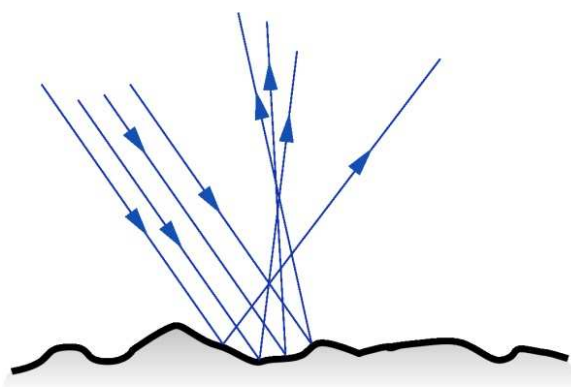
Η γωνία πρόσπτωσης ( $\theta_i$ ) ισούται με την γωνία ανάκλασης ( $\theta_r$ ), ενώ οι διευθύνσεις των δύο αυτών παλμών ανήκουν στο ίδιο επίπεδο (Εικόνα 1.7).



Εικόνα 1.7: Ανακλαστικότητα καθρέφτη [en.wikipedia.org]

### β) Διαχέομενη ανακλαστικότητα

Ο παλμός ανακλάται προς όλες τις διευθύνσεις σύμφωνα με τον νόμο του Lambert (Εικόνα 1.8).

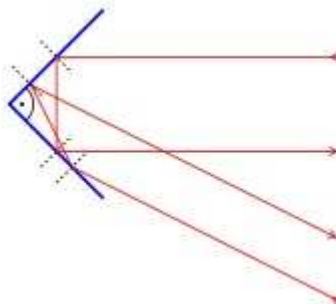


Εικόνα 1.8: Διαχέομενη ανακλαστικότητα [emmybella.wordpress.com]

### γ) Αυτοανακλαστικότητα

Στην περίπτωση αυτή ο παλμός επιστρέφει στην ίδια διεύθυνση με τη διεύθυνση του εκπεμπόμενου παλμού (Εικόνα 1.7). Αυτή η ιδιότητα

διατηρείται σε πολλές διαφορετικές διευθύνσεις του εκπεμπόμενου παλμού.



Εικόνα 1.9: Αυτοανακλαστικότητα [www.absoluteastronomy.com]

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επιδρούν στην ανακλαστικότητα μιας επιφάνειας. Πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί έχουν δείξει ότι η ανακλαστικότητα των υλικών επιδρά στις μετρήσεις μήκους προς αυτά, αποδίδοντας σφάλματα που μπορούν να υπερβούν ακόμα και το 1cm.

- **Γωνία πρόσπτωσης στην επιφάνεια του υλικού**

Η διάχυση της δέσμης laser οδηγεί σε διασπορά του χρόνου επιστροφής των κυμάτων και κατ' επέκταση στην απροσδιοριστία της αξιοπιστίας του τελικού μετρούμενου μήκους.

- **Χρώμα υλικού**

Οι ανοιχτόχρωμες επιφάνειες, λόγω μεγαλύτερης ανακλαστικότητας μπορούν να μετρηθούν χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα. Παράλληλα όμως, σε επιφάνειες τύπου καθρέφτη λόγω του είδους της ανάκλασης της ακτινοβολίας σε αυτές, υπάρχει περίπτωση η μέτρηση του μήκους να αποτύχει. Επιπροσθέτως, το μήκος κύματος του χρησιμοποιούμενου laser φαίνεται να διαδραματίζει κάποιο ρόλο στην ποιότητα του αποτελέσματος της μέτρησης.

- **Άλλα χαρακτηριστικά του υλικού**

Η ένταση του ανακλώμενου παλμού επηρεάζεται από φυσικές και γεωμετρικές ιδιότητες υλικών όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού, η μαγνητική διαπερατότητα και η τραχύτητα της επιφάνειας του. Υπάρχει επίσης και ενδεχόμενο η ακτίνα να διαθλάται και να ανακλάται στο εσωτερικό του υλικού, σε κάποιο βάθος από την επιθυμητή επιφάνεια πρόσπτωσης.

- **Μέγεθος και τύπος στόχων**

Ο παράγοντας αυτός επηρεάζει την αξιοπιστία του αποτελέσματος, καθώς μικροί σε μέγεθος στόχοι δεν είναι εύκολο να μετρηθούν με ακρίβεια σε μεγάλες αποστάσεις. Όταν το μέγεθος της δέσμης laser σε δεδομένη απόσταση υπερβαίνει το μέγεθος του στόχου υπάρχει ο κίνδυνος επιστροφής σήματος από άλλες περιοχές μπροστά ή πίσω από τον στόχο.

- **Μέγεθος μήκους μεταξύ οργάνου - στόχου**

Για μεγάλα μήκη η ακρίβεια και η ορθότητα των μετρήσεων μειώνεται, ειδικά σε μήκη που προσεγγίζουν τη μέγιστη εμβέλεια των οργάνων.

- **Ατμοσφαιρικές συνθήκες**

Παράγοντες όπως η υγρασία, το είδος και η προέλευση του φωτισμού και η θερμοκρασία επιδρούν στις μετρήσεις μηκών χωρίς ανακλαστήρα, όπως συμβαίνει και σε αυτές με ανακλαστήρα.

## **1.6 Αντικείμενο της εργασίας**

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μοντελοποίηση της απόκλισης της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα.

Στόχος είναι ο προσδιορισμός εξισώσεων διόρθωσης της μετρούμενης τιμής και για την επίτευξή του αξιοποιήθηκαν οι πειραματικές μετρήσεις των παρακάτω εργασιών:

- Διερεύνηση της αξιοπιστίας μέτρησης μηκών χωρίς την χρήση ανακλαστήρα με τους σύγχρονους γεωδαιτικούς σταθμούς. *Μεταπτυχιακή εργασία, Μαυράκης Στυλιανός, Φεβρουάριος 2008.*
- Ανάλυση της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα και μελέτη του προσδιορισμού της θέσης σημείων στον χώρο. *Μεταπτυχιακή εργασία, Ηλιοδρομίτης Αθανάσιος, Απρίλιος 2008.*
- Αξιολόγηση της μέτρησης του μήκους και του ποσοστού της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας με reflectorless γεωδαιτικούς σταθμούς. *Προπτυχιακή διπλωματική εργασία, Μαρκολέφα Αναστασία, Μάρτιος 2010.*

Κατά την διάρκεια της επεξεργασίας των παραπάνω πειραματικών δεδομένων κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν τα περισσότερα από αυτά, όχι όμως και το σύνολό τους.

Συγκεκριμένα, αγνοήθηκαν οι μετρήσεις που έγιναν σε συνθήκες σκότους (Μαρκολέφα Α., 2010), καθώς επρόκειτο για διαφορετική περίπτωση σε σχέση με τις υπόλοιπες μετρήσεις με φυσικό ή έστω τεχνητό φωτισμό.

Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται συνοπτικά οι κατηγορίες των μετρήσεων που αξιοποιήθηκαν στην εργασία αυτή.

Εργασία	Όργανο	Μετρήσεις Μηκών				Γωνίες Πρόσπτωσης			
		Εσωτερικές		Εξωτερικές					
Μαυράκης Σ. 2008	Leica TCR303		50m		77m	0°	30°	45°	
	Trimble 5605DR <sup>+</sup>		50m		422m	0°	30°	45°	
	Topcon GPT3003LN		50m		638m	0°	30°	45°	
Ηλιοδρομίτης Α. 2008	Leica TCRM1201 <sup>+</sup>	15m	50m			0°	45° αρ.	45° δεξ.	
Μαρκολέφα Α. 2010	Leica TCR405	15m	50m	50m	200m	0°	30°	45°	60°
	Leica TCRM1201 <sup>+</sup>	15m	50m	50m	200m	0°	30°	45°	60°
	Topcon GPT3003LN	15m	50m	50m	200m	0°	30°	45°	60°
	Topcon GPT3105N	15m	50m	50m	200m	0°	30°	45°	60°
	Topcon GPT7003i	15m	50m	50m	200m	0°	30°	45°	60°

Πίνακας 1.2: Οι κατηγορίες των μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν

Όπως είναι εμφανές, χρησιμοποιήθηκαν γεωδαιτικοί σταθμοί που παρείχαν την πρώτη τεχνολογία μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα, όπως ο Leica TCR303 αλλά και την τελευταία τεχνολογία όπως ο Leica TCRM1201<sup>+</sup> που αξιοποιεί την τεχνική System Analyser.

Η διασπορά των γεωδαιτικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν, σε ότι αφορά την χρονολογία κατασκευής τους, μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να γίνει εμφανής από την διαφορά στην παρεχόμενη ακρίβεια μέτρησης μήκους, όπως αυτή προκύπτει από τα πειράματα που διεξήχθησαν. Στον πίνακα 1.3 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των γεωδαιτικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν και στην εικόνα 1.10 οι αντίστοιχες φωτογραφίες τους.

Όργανο	Βάρος	Βεληνεκές & Ακρίβεια		Ακρίβεια Γωνιών
		Με πρίσμα	Χωρίς πρίσμα	
Leica TCR303	4,2 Kgr	3000m ±2mm ±3ppm	80m ±3mm ±3ppm	±10 <sup>cc</sup>
Trimble 5605DR <sup>+</sup>	6,6 Kgr	6500m ±3mm ±3ppm	600m ±3mm ±3ppm	±15 <sup>cc</sup>
Topcon GPT3003LN	5,3 Kgr	3000m ±3mm ±2ppm	1200m ±5mm	±10 <sup>cc</sup>
Leica TCRM1201 <sup>+</sup>	5,5 Kgr	3500m ±1mm ±1,5ppm	400m ±2mm ±2ppm	±3 <sup>cc</sup>
Leica TCR405	5,2 Kgr	3500m ±2mm ±2ppm	400m ±5mm ±5ppm	±15 <sup>cc</sup>
Topcon GPT3105N	5,3 Kgr	3000m ±2mm ±2ppm	350m ±3mm ±2ppm	±15 <sup>cc</sup>
Topcon GPT7003i	6,6 Kgr	3000m ±2mm ±2ppm	350m ±5mm	±10 <sup>cc</sup>

*Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά των γεωδαιτικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν*



*Εικόνα 1.10: Οι Γεωδαιτικοί Σταθμοί Leica TCR303, Trimble 5605DR<sup>+</sup>, Topcon GPT3003LN, Leica TCRM1201<sup>+</sup>, Leica TCR405, Topcon GPT3105N, Topcon GPT7003i*

Σε ότι αφορά τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν, έγινε προσπάθεια να συμπεριληφθούν μετρήσεις σε υλικά τα οποία συναντώνται συχνά στις

εργασίες ενός τοπογράφου μηχανικού. Για παράδειγμα, οι μετρήσεις χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα πολλές φορές γίνονται προς ανθρωπογενείς κατασκευές όπως κτήρια, ασφαλτικές επιφάνειες, επιφάνειες από σκυρόδεμα ή από μέταλλο ενώ άλλες φορές προς γαιώδη υλικά όπως βράχια, ξύλα κλπ. Ενδεικτικό της προσπάθειας για κάλυψη πολλών δυνατών περιπτώσεων είναι το γεγονός ότι συμπεριλήφθη ακόμα και κομμάτι πάγου για τις μετρήσεις. Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν και διαφορετικά χρώματα για τα ίδια υλικά (πχ. λευκό και κόκκινο πλαστικό) ώστε να διερευνηθεί πιθανή επίδραση του χρώματος στα μετρούμενα μήκη. Στον πίνακα 1.4 παρατίθενται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.

Όλα τα δοκίμια των υλικών αποτελούνταν από μία επίπεδη επιφάνεια πάνω στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Κατά την διάρκεια αυτών, τα δοκίμια τοποθετήθηκαν κατακόρυφα σε ειδική βάση ώστε να υλοποιείται ακριβώς η επιθυμητή απόσταση μέτρησης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΛΙΚΩΝ	
Kodak White	Αφρολέξ καφέ
Kodak Gray	Μάρμαρο
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	Ξύλο
Αυτοκόλλητος στόχος αλουμινίου	Νοβοπάν
Στόχος Sokkia	Μελαμίνη
Τσιμέντο λευκό	Κεραμίδι
Τσιμέντο γκρι	Άσφαλτος
Χαρτόνι γκρι	Βράχος
Χαρτόνι μαύρο	Γυαλί
Πλαστικό λευκό	Νίκελος
Πλαστικό κόκκινο	Πάγος
Πλακάκι γκρι	Χρυσός
Πλακάκι μπλε	Σίδηρο
Αφρολέξ λευκό	

*Πίνακας 1.4: Συγκεντρωτικός πίνακας των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα*

Η βάση στηρίζεται σε τρικόγλιο ώστε να επιτυγχάνεται η οριζοντίωσή της και παράλληλα να μπορεί να περιστρέφεται ώστε να μεταβάλλεται με ελεγχόμενο τρόπο η γωνία πρόσπτωσης μεταξύ της δέσμης και της κάθετης προς το επίπεδο του δοκιμίου ευθείας (Εικόνα 1.11).



*Εικόνα 1.11: Η ειδικά κατασκευασμένη βάση στήριξης που χρησιμοποιήθηκε για την τοποθέτηση των δοκιμίων.*

Η βάση αυτή ελέγχθηκε μετρολογικά ως προς την ακρίβεια της κατασκευής της και την ακρίβεια υλοποίησης του επιθυμητού σημείου μέτρησης [Μαυράκης Σ., 2008].

Από τον μετρολογικό έλεγχο προέκυψε ότι η απόκλιση του κέντρου της βίδας πάκτωσης από το κατακόρυφο επίπεδο που ορίζουν οι βραχίονες είναι 0.7mm, μέγεθος το οποίο είναι σημαντικά μικρότερο από την ονομαστική ακρίβεια της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα, όπως αυτή παρέχεται από τους κατασκευαστές των οργάνων (max  $\pm 2$ mm).

Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε την τοποθέτηση των γεωδαιτικών σταθμών και των δοκιμίων σε συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους, ενώ η βάση περιστρεφόταν κατά βούληση ώστε να επιτευχθούν συγκεκριμένες γωνίες πρόσπτωσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο τρικόχλιο είχε τοποθετηθεί εκτυπωμένο μοιρογνωμόνιο ώστε οι γωνίες πρόσπτωσης να καθορίζονται σωστά.

Οι μετρήσεις εσωτερικού χώρου έλαβαν χώρα στο τούνελ του κτηρίου Λαμπαδαρίου ώστε να εξασφαλίζονται σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης και φωτισμού, ενώ οι μετρήσεις εξωτερικού χώρου πραγματοποιήθηκαν εντός της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου.

Αρχικά λαμβανόταν μέτρηση μήκους ανάμεσα στον γεωδαιτικό σταθμό και στον αντίστοιχο ανακλαστήρα, οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι αμφοτέρωθεν σε βάσεις. Στη συνέχεια, διατηρώντας πακτωμένη την οριζόντια και ζενίθια γωνία σκόπευσης του γεωδαιτικού σταθμού, ο ανακλαστήρας έδινε την θέση του στην ειδική βάση στήριξης πάνω στην οποία τοποθετούνταν τα δοκίμια. Έτσι, το σημείο μέτρησης έμενε σταθερό και έτσι τα μετρημένα μήκη ήταν άμεσα συγκρίσιμα. Ακολουθούσε καταγραφή μετρήσεων για κάθε δοκίμιο από τις οποίες προέκυπτε ο μέσος όρος του τελικού μετρημένου μήκους.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ

#### 2.1 Γενικά

Θα εξεταστούν οι παράγοντες που διαφοροποιούν τις τιμές της μέτρησης χωρίς ανακλαστήρα, από τις αντίστοιχες με ανακλαστήρα, όταν αυτός τοποθετείται στην ίδια θέση με τα δοκίμια.

Τα δεδομένα των μετρήσεων ομαδοποιήθηκαν και υπέστησαν επεξεργασία ώστε να γίνει εμφανέστερη η επίδραση των παρακάτω δύο παραγόντων στην τιμή του  $\Delta D$ :

- Η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης στα δοκίμια
- Η επίδραση του μεγέθους του μήκους που μετράται

Από τα πειράματα που έγιναν, όπως προαναφέρθηκε, προσδιορίστηκε για κάθε μέτρηση η παρακάτω τιμή:

$$\Delta D = D_{\text{κατ}} - D_{\text{RL}} \quad (2.1)$$

όπου:

- $D_{\text{κατ}}$  είναι το μετρημένο μήκος μεταξύ οργάνου και ανακλαστήρα
- $D_{\text{RL}}$  το μετρημένο μήκος μεταξύ οργάνου και δοκιμίου που τοποθετήθηκε στην ίδια θέση με τον ανακλαστήρα, με την χρήση της λειτουργίας reflectorless

Στις περισσότερες περιπτώσεις προέκυψαν διαφορές μεγαλύτερες από την ονομαστική αβεβαιότητα μέτρησης του μήκους, κάτι που δημιουργεί την ανάγκη περαιτέρω έρευνας.

#### 2.2 Σύγκριση κοινών πειραματικών δεδομένων διαφορετικού χρόνου

Υπάρχουν μετρήσεις που αφορούν το ίδιο όργανο, τα ίδια υλικά, την ίδια απόσταση και τις ίδιες συνθήκες φωτισμού, οι οποίες έλαβαν χώρα σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους.

Συγκεκριμένα, υπάρχουν οι παρακάτω περιπτώσεις κοινών πειραματικών δεδομένων:

- Για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Topcon GPT 3003LN, που αφορούν εσωτερικές μετρήσεις στα 50 μέτρα, σε 20 κοινά υλικά και σε γωνίες πρόσπτωσης της δέσμης των  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  και  $45^\circ$  (Εργασίες Μαυράκη Σ., 2008 και Μαρκολέφα Α., 2010)
- Για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TCRM1201<sup>+</sup>, που αφορούν εσωτερικές μετρήσεις στα 15 και 50 μέτρα, σε 6 κοινά υλικά και σε γωνίες πρόσπτωσης της δέσμης των  $0^\circ$  και  $45^\circ$  (Εργασίες Ηλιοδρομίτη Α., 2008 και Μαρκολέφα Α., 2010)

### **Κοινά πειραματικά δεδομένα στον ΟΓΣ Topcon GPT 3003LN**

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή του συγκεκριμένου γεωδαιτικού σταθμού, η ονομαστική αβεβαιότητα για μετρήσεις μηκών χωρίς ανακλαστήρα σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 25 μέτρων είναι  $\pm 5\text{mm}$ .

Η διαφορά μεταξύ των ομοειδών μετρήσεων των δύο γεωδαιτικών σταθμών προσδιορίζεται ως εξής:

$$\Delta = \alpha - \beta \quad (2.2)$$

Όπου  $\alpha$  και  $\beta$  τα αποτελέσματα της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα στις δύο διαφορετικές εργασίες που αναφέρθηκαν. Ως εκ τούτου, σύμφωνα με τον νόμο μετάδοσης σφαλμάτων, για το επιτρεπόμενο σφάλμα της διαφοράς μεταξύ των δύο μετρήσεων θα ισχύει:

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\beta}^2 = 2\sigma_{\alpha}^2 \quad (2.3)$$

διότι  $\sigma_{\alpha} = \sigma_{\beta} = \pm 5\text{mm}$ . Επομένως, προκύπτει ότι η διαφορά μεταξύ των δύο μετρήσεων θα πρέπει να ανήκει στο διάστημα:

$$-7\text{mm} \leq \Delta \leq 7\text{mm}$$

Για την σύγκριση λοιπόν των κοινών πειραματικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε αφαίρεση μεταξύ των τιμών μήκους που προέκυψαν για το ίδιο υλικό και την ίδια γωνία πρόσπτωσης. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι στην μία περίπτωση (Μαρκολέφα Α., 2010) πραγματοποιήθηκε μία μέτρηση για κάθε υλικό και γωνία, ενώ στην άλλη εργασία (Μαυράκης Σ., 2008), πραγματοποιήθηκαν 5 μετρήσεις από τις οποίες προέκυψε μέσος όρος.

Οι κοινές μετρήσεις παρατίθενται στον πίνακα 2.1, ο οποίος περιλαμβάνει και τις διαφορές μεταξύ των τιμών των αποστάσεων που προέκυψαν. Με πορτοκαλί χρώμα επισημαίνονται οι διαφορές που είναι μεγαλύτερες από την στατιστικά αναμενόμενη τιμή των 7mm.

<b>TOPCON GPT 3003LN - 50 μέτρα</b>									
<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>ΔD(mm) (Dκατ - Dρι)</b>								
	<b>Μαρκολέφα Α.</b>			<b>Μαυράκης Σ.</b>			<b>Διαφορές</b>		
	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>45°</b>	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>45°</b>	<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>45°</b>
Kodak White	0	1	1	1	1	2	-1	0	-1
Kodak Gray	-2	0	1	2	2	3	-4	-2	-2
Ανακλαστικός στόχος	-1	-15		2	3	3	-3	-18	
Τσιμέντο λευκό	-4	0	-1	-4	1	2	0	-1	-3
Τσιμέντο γκρι	0	0	2	-2	1	3	2	-1	-1
Χαρτόνι γκρι	-1	0	2	0	1	3	-1	-1	-1
Χαρτόνι μαύρο	-2	-2	0	-1	-1	0	-1	-1	0
Πλαστικό λευκό	-1	-1	-1	-2	-7	-6	1	6	5
Πλαστικό κόκκινο	-2	-3	-2	1	-1	-4	-3	-2	2
Πλακάκι γκρι	1	1	3	-2	0	2	3	1	1
Πλακάκι μπεζ	-1	0	2	0	0	3	-1	0	-1
Αφρολέξ λευκό	-9	-7	-5	-10	-8	-9	1	1	4
Αφρολέξ καφέ	0	2	5	0	1	-9	0	1	14
Μάρμαρο	-2	-2	0	-4	1	1	2	-3	-1
Ξύλο	0	1	1	1	1	2	-1	0	-1
Νοβοπάν	0	1	3	0	4	3	0	-3	0
Μελαμίνη	2	1	3	1	1	1	1	0	2
Κεραμίδι	0	1	1	0	-1	2	0	2	-1
Άσφαλτος	0	1	2	-4	-4	-3	4	5	5
Βράχος	-1	2	2	1	0	0	-2	2	2

*Πίνακας 2.1: Συγκριτικός πίνακας των ομοειδών μετρήσεων εσωτερικού χώρου με τον Ολοκληρωμένο Γεωδαιτικό Σταθμό Topcon GPT 3003LN στα 50 μέτρα*

Στο 97% των περιπτώσεων οι διαφορές μεταξύ των μετρήσεων είναι εντός του αναμενόμενου διαστήματος ( $\pm 7\text{mm}$ ).

Υπάρχουν όμως δύο περιπτώσεις στις οποίες αυτό δεν συμβαίνει, όπως στο καφέ αφρολέξ στις 45° καθώς και στον αυτοκόλλητο ανακλαστικό στόχο στις 30°. Αυτές οι περιπτώσεις μπορούν ίσως να δικαιολογηθούν ως λάθη κατά την διάρκεια της μέτρησης μήκους είτε προς τον ανακλαστήρα είτε προς το δοκίμιο.

### **Κοινά πειραματικά δεδομένα στον ΟΓΣ Leica TCRM1201<sup>+</sup>**

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή του συγκεκριμένου γεωδαιτικού σταθμού, η ονομαστική αβεβαιότητα για μετρήσεις μηκών χωρίς ανακλαστήρα είναι  $\pm 2\text{mm}$ .

Επομένως, ομοίως με τα προηγούμενα, προκύπτει ότι η διαφορά μεταξύ των κοινών μετρήσεων θα πρέπει να ανήκει στο διάστημα:

$$-3\text{mm} \leq \Delta \leq 3\text{mm}$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση της πρώτης εργασίας (Ηλιοδρομίτης Α., 2008) ελήφθησαν 4 μετρήσεις ανά περίπτωση από τις οποίες υπολογίστηκε ο μέσος όρος, ενώ στην δεύτερη εργασία (Μαρκολέφα Α., 2010) ελήφθη μία μοναδική μέτρηση ανά περίπτωση.

Οι κοινές μετρήσεις λοιπόν, καθώς και οι διαφορές μεταξύ των τιμών των αποστάσεων που προέκυψαν παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2. Οι τιμές για γωνία πρόσπτωσης 45<sup>0</sup> αριστερά και δεξιά συγκρίθηκαν με την τιμή για γωνία πρόσπτωσης 45<sup>0</sup> της άλλης εργασίας, καθώς δεν υπάρχει πληροφορία για την κατεύθυνση της στροφής σε εκείνη την πειραματική διαδικασία.

Με πορτοκαλί χρώμα επισημαίνονται οι διαφορές που είναι μεγαλύτερες από την στατιστικά αναμενόμενη τιμή των 3mm.

<b>LEICA TCRM1201<sup>+</sup></b>								
<b>ΔD(mm) (Dκατ - Drl)</b>								
<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>Μαρκολέφα Α.</b>		<b>Ηλιοδρομίτης Α.</b>			<b>Διαφορές</b>		
	<b>0°</b>	<b>45°</b>	<b>0°</b>	<b>45° αρ.</b>	<b>45° δε.</b>	<b>0°</b>	<b>45° αρ.</b>	<b>45° δε.</b>
<b>15 μέτρα</b>								
Kodak White	0	0	1	0	1	-1	0	1
Kodak Gray	-1	-1	0	0	1	-1	1	2
Χαρτόνι μαύρο	0	0	1	-1	1	-1	-1	1
Μάρμαρο	-1	0	0	0	1	-1	0	1
Ξύλο	2	2	-1	-1	-1	3	-3	-3
Κεραμίδι	0	0	0	-1	1	0	-1	1
<b>50 μέτρα</b>								
Kodak White	-1	-1	-1	-9	5	0	-8	6
Kodak Gray	-1	-2	0	-1	1	-1	1	3
Χαρτόνι μαύρο	0		0	-8	2	0		
Μάρμαρο	-1	-3	-2	-8	8	1	-5	11
Ξύλο	0	-1	-1	-6	8	1	-5	9
Κεραμίδι	-1	-3	0	-8	7	-1	-5	10

*Πίνακας 2.2: Συγκριτικός πίνακας των ομοειδών μετρήσεων εσωτερικού χώρου με τον Ολοκληρωμένο Γεωδαιτικό Σταθμό Leica TCRM1201<sup>+</sup> στα 15 και στα 50 μέτρα*

Όπως παρατηρείται, για απόσταση μέτρησης 15 μέτρων δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο μήκος που μετράται, τόσο για γωνία πρόσπτωσης της δέσμης 0° όσο και 45°. Έτσι, συμπεραίνεται ότι οι μετρήσεις είναι αξιόπιστες για τα συγκεκριμένα μήκη σκόπευσης.

Το ίδιο παρατηρείται και σε κάθετη πρόσπτωση της δέσμης ( $0^\circ$ ) για την απόσταση των 50 μέτρων, καθώς ούτε εκεί προκύπτει διαφορά που να υπερβαίνει την αναμενόμενη τιμή. Όμως, υπάρχουν διαφορές στις περισσότερες μετρήσεις που αφορούν την απόσταση των 50 μέτρων, για γωνία πρόσπτωσης της δέσμης  $45^\circ$ .

Αξιοσημείωτο είναι ότι οι τιμές για στροφή του στόχου προς τα αριστερά εμφανίζουν αντίθετο πρόσημο σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για στροφή του στόχου προς τα δεξιά. Η διαφορά στον φωτισμό του στόχου ίσως διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην αξιοπιστία των μετρήσεων.

### 2.3 Η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης laser

Με μία πρώτη ανάγνωση, γίνεται άμεσα σαφής η ιδιαίτερη επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης στην τιμή  $\Delta D$  που προκύπτει, στην διαφορά δηλαδή μεταξύ των μηκών προς τον ανακλαστήρα και προς το δοκίμιο. Η διαφοροποίηση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής για αποστάσεις μέτρησης 50 μέτρων και άνω. Μάλιστα, αυξανόμενης της γωνίας μεταξύ της καθέτου στο υλικό και της δέσμης της ακτινοβολίας, η τιμή  $\Delta D$  τείνει να διαφοροποιείται όλο και περισσότερο από την μηδενική τιμή, είτε προς θετικό πρόσημο, όπως συμβαίνει συνήθως, είτε και προς αρνητικό, όπως συμβαίνει σε συγκεκριμένους γεωδαιτικούς σταθμούς [Μαρκολέφα Α., 2010].

Η απόκλιση αυτή λόγω της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι το ίχνος της ακτινοβολίας laser αυξάνει σε μέγεθος, όσο αυξάνεται το μέγεθος του μήκους που μετράται. Έτσι, αναλόγως του αλγορίθμου υπολογισμού του μήκους που χρησιμοποιεί κάθε γεωδαιτικός σταθμός, το μήκος με την μέτρηση χωρίς ανακλαστήρα τείνει συνήθως να υποτιμάται σε μέγεθος καθώς υπάρχει επιστροφή ακτινοβολίας από σημεία της επιφάνειας που βρίσκονται πιο κοντά στον γεωδαιτικό σταθμό.

Στις περιπτώσεις που η τιμή  $\Delta D$  μειώνεται αυξανόμενης της γωνίας πρόσπτωσης, κάτι που οφείλεται στην μέτρηση μεγαλύτερου μήκους  $D_{RL}$ , ( $\Delta D = D_{κατ} - D_{RL}$ ), είναι πιθανόν ο αλγόριθμος υπολογισμού του μήκους να λαμβάνει υπόψη τιμές από επιφάνειες που βρίσκονται μακρύτερα από τον γεωδαιτικό σταθμό και προκαλούν καθυστερημένη επιστροφή ακτινοβολίας.

Παρατηρείται λοιπόν πως η ιδιαιτερότητα των γεωδαιτικών σταθμών κάθε κατασκευαστή ή ακόμα και κάθε γεωδαιτικού σταθμού ξεχωριστά, έρχεται να προστεθεί ως ένας ακόμα παράγοντας που μεταβάλλει τα αποτελέσματα των μετρήσεων μήκους. Στο πλαίσιο της προσπάθειας όμως για την απομόνωση, όσο αυτό είναι δυνατόν, του παράγοντα της

γωνίας πρόσπτωσης, τα διαθέσιμα δεδομένα τιμών  $\Delta D$  υπέστησαν επεξεργασία ώστε να υπολογιστεί για κάθε γωνία στροφής του δοκιμίου η διαφορά του  $\Delta D$  από το αντίστοιχο  $\Delta D$  των 0 μοιρών. Για να γίνει όμως σαφής αυτή η επεξεργασία, παρατίθεται πίνακας με ένα παράδειγμα το οποίο αφορά σε μετρήσεις κάποιων υλικών με τον γεωδαιτικό σταθμό Leica TCR303 σε απόσταση 50 μέτρων (πίνακας 2.3).

Τα κελιά που έχουν γκρι χρώμα αντιπροσωπεύουν την αποτυχία του γεωδαιτικού σταθμού να καταγράψει τιμή μήκους σε αυτό το δοκίμιο και σε αυτή την γωνία πρόσπτωσης.

ΥΛΙΚΟ	$\Delta D(\text{mm})$ (Dκατ - Drl)			$\Delta D(\text{mm})$ από τις 0 μοίρες		
	0°	30°	45°	0°	30°	45°
KODAK GREY						
KODAK WHITE	7	11	18	0	4	11
ΣΤΟΧΟΣ SOKKIA	37			0		
ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΛΕΥΚΟ	11	11	14	0	0	3
ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΓΚΡΙ	19	22	24	0	3	5
ΧΑΡΤΟΝΙ ΓΚΡΙ	15	10	26	0	-5	11

*Πίνακας 2.3: Παράδειγμα επεξεργασίας ώστε να προκύψει η τιμή του  $\Delta D$  από τις 0 μοίρες*

Όπως γίνεται αντιληπτό, με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται δευτερογενή δεδομένα τα οποία έχουν την τιμή 0mm για γωνίες πρόσπτωσης 0 μοιρών ενώ για την γωνία π.χ. των 30 μοιρών η τιμή αυτή ισούται με  $\Delta D(30^\circ) - \Delta D(0^\circ)$  κ.ο.κ. Έτσι, υπάρχει ευκολότερη εποπτεία αποκλειστικά της επίδρασης της γωνίας πρόσπτωσης, αγνοώντας την τιμή  $\Delta D$  που προέκυψε όταν το δοκίμιο τοποθετήθηκε κάθετα προς τον γεωδαιτικό σταθμό.

Η παραπάνω επεξεργασία θα εφαρμοστεί στα πειραματικά δεδομένα που αφορούν τις αποστάσεις των 15 και 50 μέτρων σε εσωτερικό χώρο (σήραγγα Λαμπαδαρίου), καθώς πρόκειται για μήκη που είναι αντιπροσωπευτικά, ως τάξη μεγέθους, των μετρήσεων χωρίς ανακλαστήρα που λαμβάνουν χώρα στην καθημερινότητα ενός τοπογράφου.

Οι εξωτερικές μετρήσεις των 50m και των 200m δεν συμμετείχαν στην συγκεκριμένη επεξεργασία, καθώς υπεισέρχεται ο παράγοντας της μη-ελεγχόμενης ακτινοβολίας από τον ήλιο, που πιθανώς να μεταβάλλεται κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Τα δεδομένα όμως αυτά θα αξιοποιηθούν σε επόμενο υποκεφάλαιο, με σκοπό την μελέτη της επίδρασης του μεγέθους του μετρούμενου μήκους στην τιμή του  $\Delta D$ .

Όμως, η επεξεργασία εφαρμόστηκε για τις εξωτερικές μετρήσεις στα όρια της εμβέλειας τριών ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, ώστε να υπάρξει μία εικόνα για την αντίδραση της λειτουργίας μέτρησης χωρίς

ανακλαστήρα σε ότι αφορά την γωνία πρόσπτωσης, στα όρια της εμβέλειάς τους.

### **2.3.1 Μήκος 15m**

Πρόκειται για ένα μήκος σκόπευσης πολύ συνηθισμένο σε τοπογραφικές εργασίες ακριβείας.

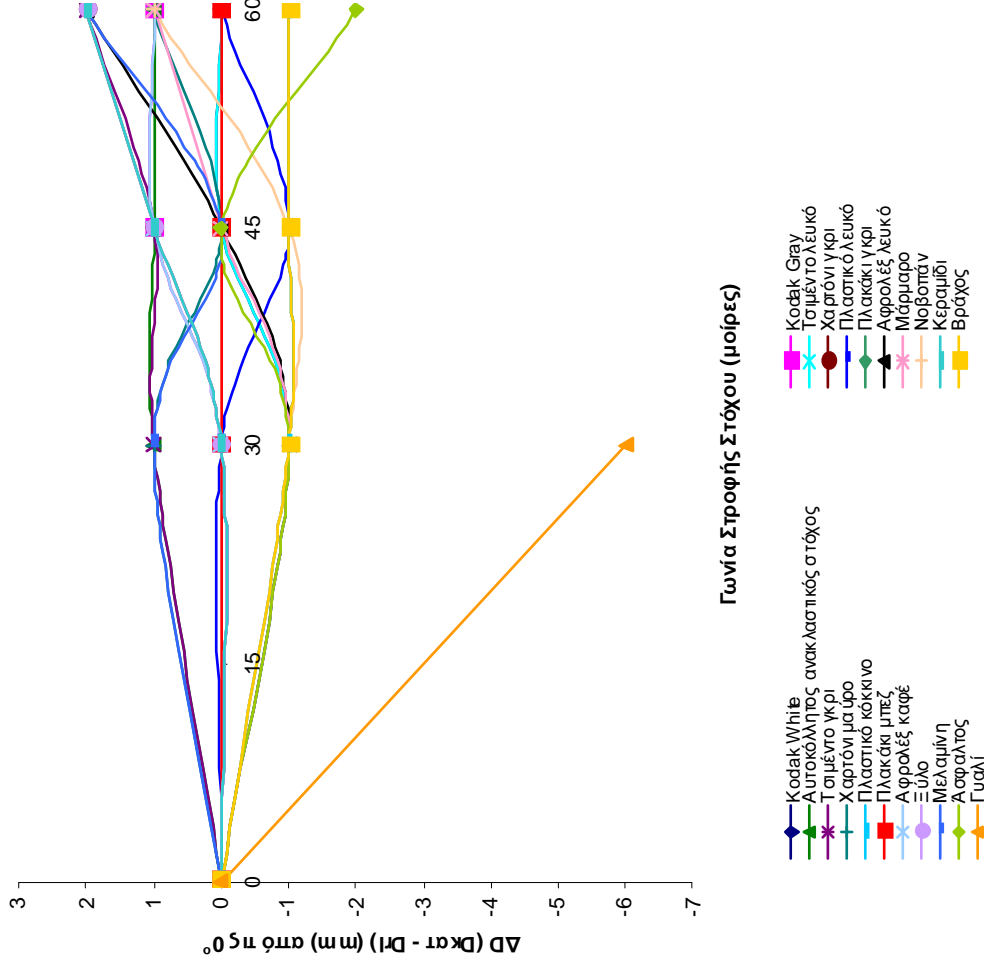
Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις βιομηχανικής γεωδαισίας, οι αποτυπώσεις μνημείων, ο έλεγχος μικρομετακινήσεων, οι μετρήσεις μήκους χωρίς ανακλαστήρα σε εσωτερικούς χώρους κλπ λαμβάνουν χώρα εντός αυτού του εύρους αποστάσεων.

Η μελέτη λοιπόν της συμπεριφοράς των γεωδαιτικών σταθμών σε αυτό το μήκος είναι πολύ σημαντική, έτσι ώστε να ελεγχθεί η αξιοπιστία και η καταλληλότητά τους ανάλογα με την επιδιωκόμενη εφαρμογή.

Οι πίνακες - διαγράμματα από 2.1 έως 2.5 παρουσιάζουν τα επεξεργασμένα δεδομένα και τα αντίστοιχα διαγράμματα ανά όργανο ώστε να γίνει αντιληπτή η αντίδραση των διαφορετικών δοκιμίων στην αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης, σε δεδομένο γεωδαιτικό σταθμό και στην συγκεκριμένη απόσταση μέτρησης (15 μέτρα).

Τα κελιά πορτοκαλί χρώματος αντιπροσωπεύουν μετρήσεις που δεν συμπεριελήφθησαν στο αντίστοιχο διάγραμμα, καθώς εμφάνιζαν τιμές σημαντικά μεγαλύτερες από τις υπόλοιπες με αποτέλεσμα να αγνοηθούν ως πιθανά χονδροειδή σφάλματα.

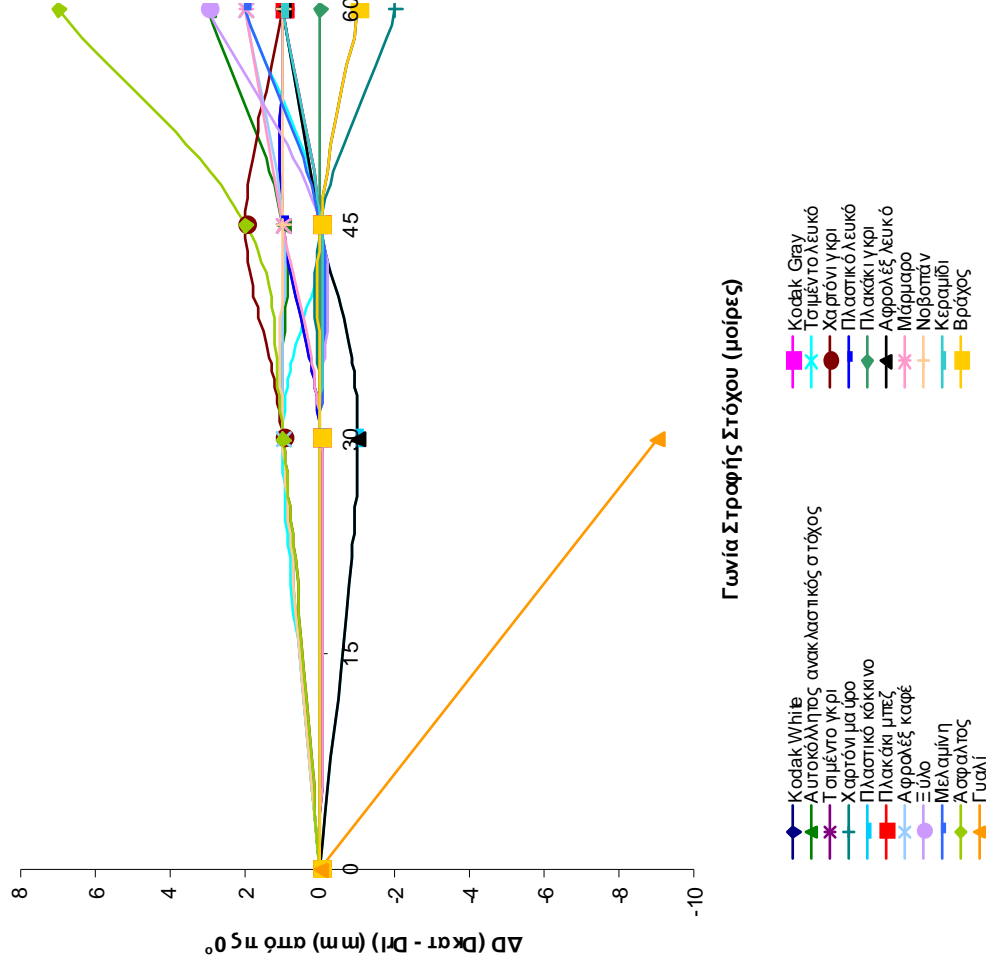
LEICA TCR405 - 15 μέτρα				
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
Kodak White	0	-1	0	0
Kodak Gray	0	0	1	1
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	1	1	1
Τσιμέντο λευκό	0	-1	0	0
Τσιμέντο γκρι	0	1	1	2
Χαρτόνι γκρι	0	0	1	2
Χαρτόνι μαύρο	0	1	0	1
Πλαστικό λευκό	0	0	-1	0
Πλαστικό κόκκινο	0	-1	-1	-1
Πλακάκι γκρι	0	-1	-1	-1
Πλακάκι μπεζ	0	0	0	0
Αφρολέξ λευκό	0	-1	0	2
Αφρολέξ καφέ	0	0	1	1
Μάρμαρο	0	-1	0	1
Ξύλο	0	0	1	2
Νοβοπάν	0	-1	-1	1
Μελαμίνη	0	1	0	2
Κεραμίδι	0	0	1	2
Άσφαλτος	0	-1	0	-2
Βράχος	0	-1	-1	-1
Γυαλί	0	-6	-20	



Πίνακας – Διάγραμμα 2.1: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ  
Leica TCR 405 στα 15m

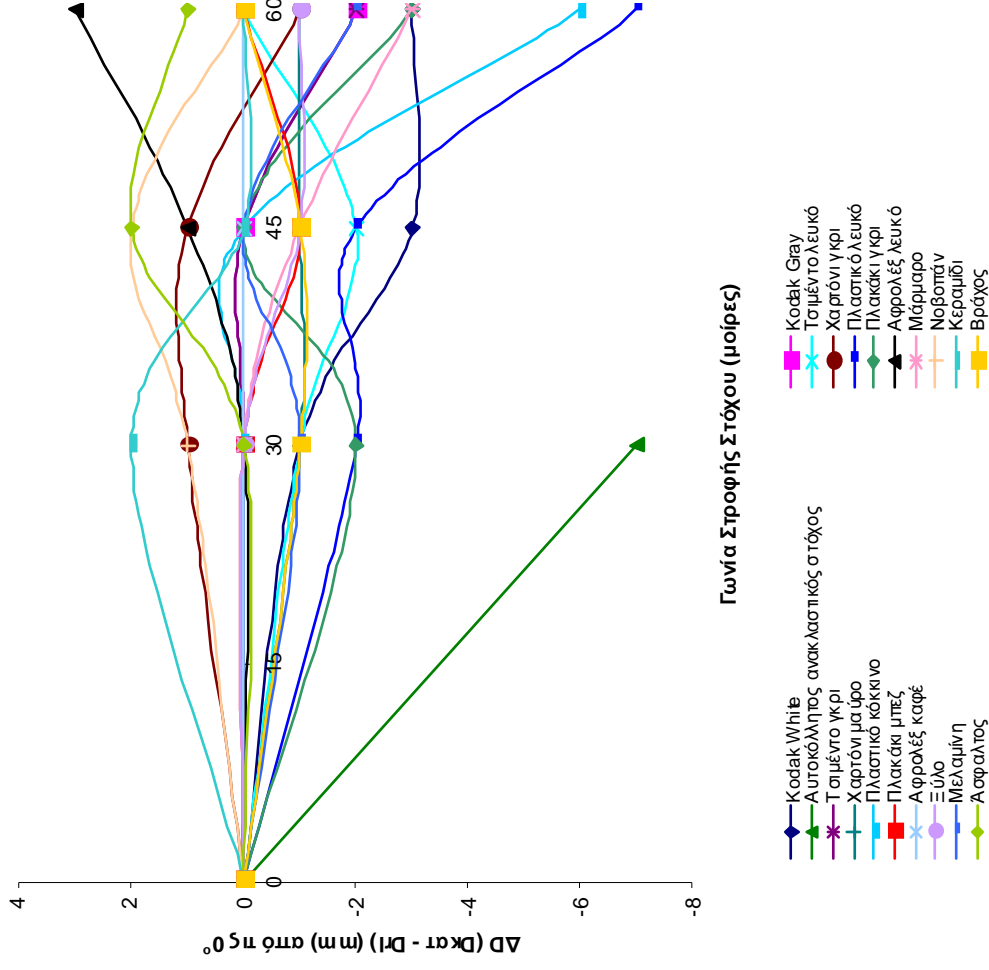


LEICA TCRM1201 <sup>+</sup> - 15 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες				
	0	30	45	60	
Kodak White	0	0	0	-1	
Kodak Gray	0	0	0	0	1
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	1	1	3	
Τσιμέντο λευκό	0	1	0	2	
Τσιμέντο γκρι	0	0	1	1	
Χαρτόνι γκρι	0	1	2	1	
Χαρτόνι μαύρο	0	0	0	-2	
Πλαστικό λευκό	0	0	1	1	
Πλαστικό κόκκινο	0	-1	0	1	
Πλακάκι γκρι	0	0	0	0	
Πλακάκι μπεζ	0	0	0	1	
Αφρολέξ λευκό	0	-1	0	1	
Αφρολέξ καφέ	0	1	1	2	
Μάρμαρο	0	0	1	2	
Ξύλο	0	0	0	3	
Νοβοπάν	0	1	1	1	
Μελαμίνη	0	0	0	2	
Κεραμίδι	0	0	0	1	
Άσφαλτος	0	1	2	7	
Βράχος	0	0	0	-1	
Γυαλί	0	-9			



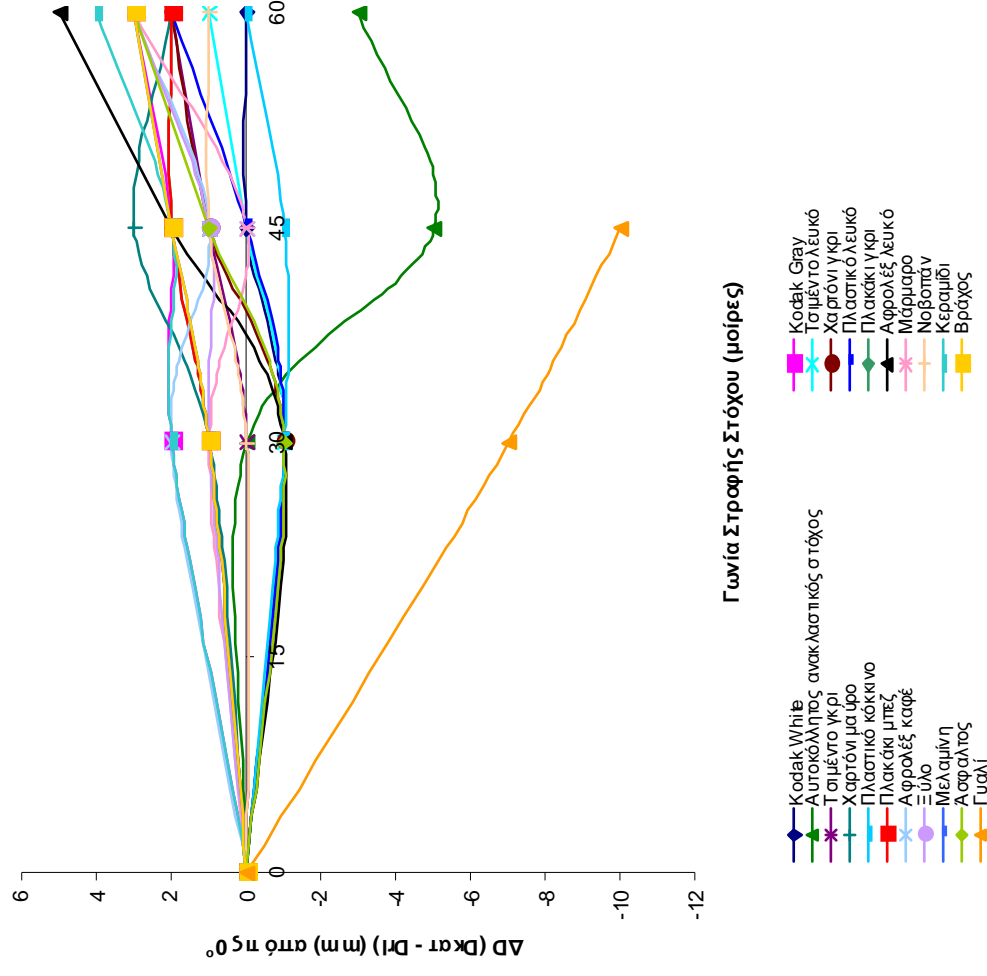
Πίνακας – Διάγραμμα 2.2: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στρωφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup> στα 15m

TOPCON GPT3003LN- 15 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες				
	0	30	45	60	
Kodak White	0	-1	-3	-3	
Kodak Gray	0	0	0	-2	
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	-7	-67		
Τσιμέντο λευκό	0	-1	-2	0	
Τσιμέντο γκρι	0	0	0	-2	
Χαρτόνι γκρι	0	1	1	-1	
Χαρτόνι μαύρο	0	-1	-1	-1	
Πλαστικό λευκό	0	-2	-2	-7	
Πλαστικό κόκκινο	0	0	0	-6	
Πλακάκι γκρι	0	-2	0	-3	
Πλακάκι μπετζ	0	0	-1	0	
Αφρολέξ λευκό	0	0	1	3	
Αφρολέξ καφέ	0	0	0	0	
Μάρμαρο	0	0	-1	-3	
Ξύλο	0	0	-1	-1	
Νοβοπάν	0	1	2	0	
Μελαμίνη	0	-1	0	-2	
Κεραμίδι	0	2	0	0	
Άσφαλτος	0	0	2	1	
Βράχος	0	-1	-1	0	
Γυαλί	0	-66	-253	-566	



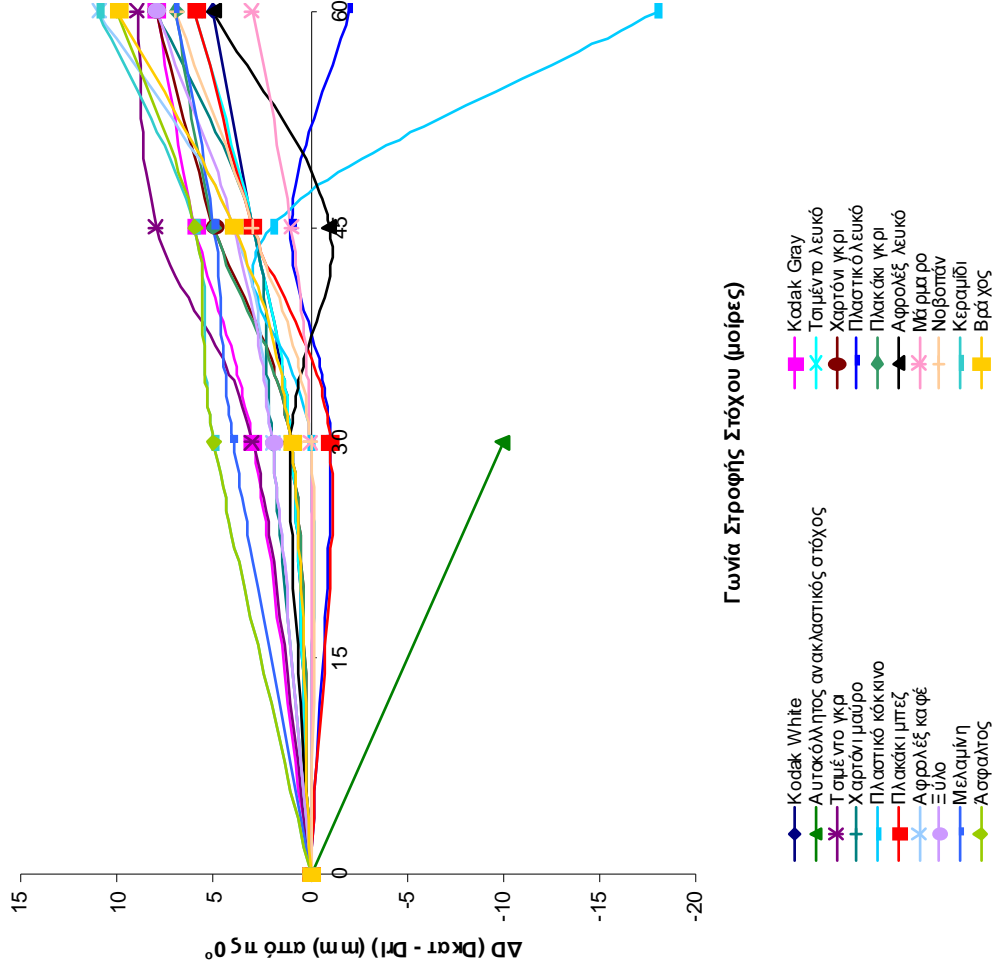
Πίνακας – Διάγραμμα 2.3: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ  
Topcon GPT 3003LN στα 15m

TOPCON GPT3105N- 15 μέτρα				
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
Kodak White	0	-1	0	0
Kodak Gray	0	2	2	3
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	0	-5	-3
Τσιμέντο λευκό	0	-1	0	1
Τσιμέντο γκρι	0	0	1	2
Χαρτόνι γκρι	0	-1	1	2
Χαρτόνι μαύρο	0	1	3	2
Πλαστικό λευκό	0	-1	0	2
Πλαστικό κόκκινο	0	-1	-1	0
Πλακάκι γκρι	0	1	2	2
Πλακάκι μπεζ	0	1	2	2
Αφρολέξ λευκό	0	-1	2	5
Αφρολέξ καφέ	0	2	1	3
Μάρμαρο	0	1	0	3
Ξύλο	0	1	1	3
Νοβοπάν	0	0	1	1
Μελαμίνη	0	1	2	3
Κεραμίδι	0	2	2	4
Άσφαλτος	0	-1	1	3
Βράχος	0	1	2	3
Γυαλί	0	-7	-10	-36938



Πίνακας – Διάγραμμα 2.4: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ  
 Topcon GPT 3105N στα 15m

TOPCON GPT7003i- 15 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες				
	0	30	45	60	
Kodak White	0	1	3	5	
Kodak Gray	0	3	6	8	
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	-10	-68	-119	
Τσιμέντο λευκό	0	1	3	6	
Τσιμέντο γκρι	0	3	8	9	
Χαρτόνι γκρι	0	1	5	8	
Χαρτόνι μαύρο	0	2	3	8	
Πλαστικό λευκό	0	-1	1	-2	
Πλαστικό κόκκινο	0	0	2	-18	
Πλακάκι γκρι	0	1	5	7	
Πλακάκι μπετζ	0	-1	3	6	
Αφρολέξ λευκό	0	1	-1	5	
Αφρολέξ καφέ	0	2	4	11	
Μάρμαρο	0	0	1	3	
Ξύλο	0	2	4	8	
Νοβοπάν	0	0	3	7	
Μελαμίνη	0	4	5	7	
Κεραμίδι	0	5	6	11	
Άσφαλτος	0	5	6	10	
Βράχος	0	1	4	10	
Γυαλί	0	-57	-261	-741	



Πίνακας – Διάγραμμα 2.5: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ  
 Topcon GPT 7003i στα 15m

Με την παρατήρηση των πινάκων - διαγραμμάτων από 2.1 έως και 2.5, μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για την συμπεριφορά κάθε ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού.

Όπως παρατηρείται, οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί Leica TCRM1201<sup>+</sup>, Topcon GPT3105N και Topcon GPT7003i σε απόσταση 15 μέτρων τείνουν να αποδίδουν γενικά μεγαλύτερη τιμή  $\Delta D$  ( $D_{κατ}-D_{RL}$ ) αυξανόμενης της γωνίας πρόσπτωσης στα δοκίμια. Αντιθέτως, για τους γεωδαιτικούς σταθμούς Leica TCR405 και Topcon GPT3003LN δεν παρουσιάζεται κάποια τέτοια τάση.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφορές αυτές στην πλειοψηφία των περιπτώσεων βρίσκονται εντός της αβεβαιότητας μέτρησης των παραπάνω οργάνων, με εξαίρεση τις μετρήσεις με τον γεωδαιτικό σταθμό Topcon GPT7003i, που για κάποια υλικά παρουσιάζουν αποκλίσεις μεγαλύτερες των 5mm, για γωνία πρόσπτωσης 60°.

Αυτό που μπορεί να εξαχθεί ως συμπέρασμα πάντως από την επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων, είναι ότι η μέτρηση χωρίς ανακλαστήρα για αποστάσεις 15 μέτρων μπορεί να χαρακτηριστεί αξιόπιστη και δίνει αποτελέσματα εντός της ονομαστικής αβεβαιότητας των οργάνων.

### 2.3.2 Μήκος 50m

Η απόσταση αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως το άνω όριο των τοπογραφικών μετρήσεων ακριβείας. Σπανίως εκτελούνται μετρήσεις ακριβείας, χωρίς τη χρήση ανακλαστήρα, σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 50 μέτρων.

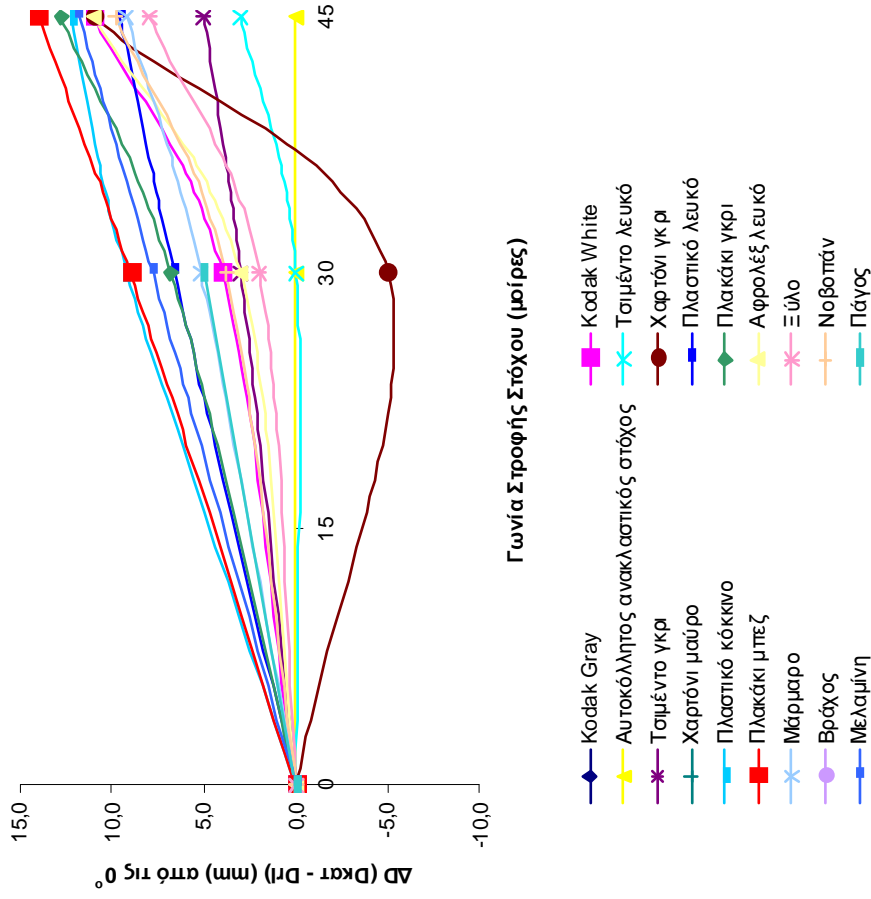
Επιπροσθέτως, στην απόσταση των 50 μέτρων υπάρχει μία πιο αντιπροσωπευτική εικόνα για την επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης και οι διαφορές  $\Delta D$  που προκύπτουν είναι τέτοιες ώστε να δικαιολογείται οποιαδήποτε απόπειρα παραμετροποίησής τους ανά όργανο ή ανά υλικό.

Οι πίνακες - διαγράμματα από 2.6 έως 2.12 παρουσιάζουν τα επεξεργασμένα δεδομένα και τα αντίστοιχα διαγράμματα ανά όργανο ώστε να γίνει αντιληπτή η αντίδραση των διαφορετικών δοκιμίων στην αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης, σε δεδομένο γεωδαιτικό σταθμό στην απόσταση των 50 μέτρων.

Στην συνέχεια, ακολουθούν οι πίνακες - διαγράμματα από 2.13 έως 2.39 που αφορούν τις ίδιες μετρήσεις ανά υλικό, ώστε να φανεί η διαφορετική αντίδραση κάθε γεωδαιτικού σταθμού σε δεδομένο υλικό.

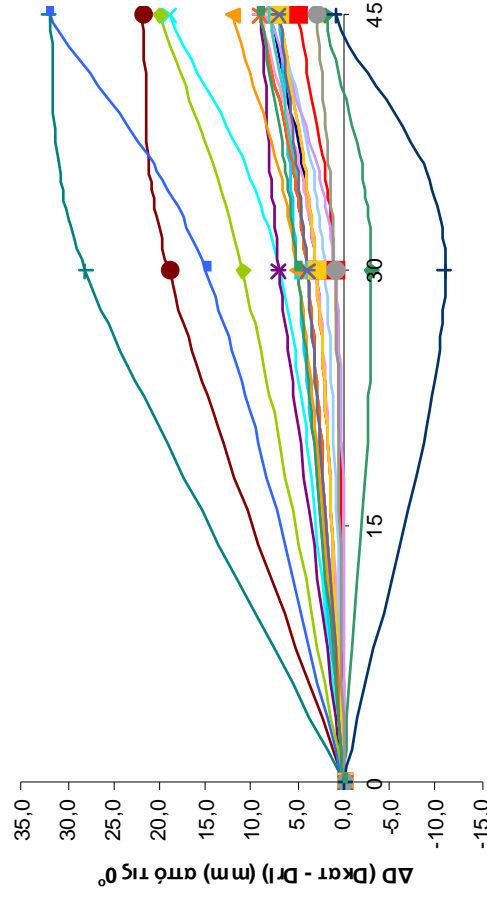
Οι δύο διαφορετικές αυτές ομαδοποιήσεις βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση της επιρροής της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης στα μετρημένα μήκη, βασιζόμενες σε ένα ευρύ φάσμα πειραματικών δεδομένων.

LEICA TCR303 - 50 μέτρα			
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες		
	0	30	45
Kodak Gray			
Kodak White	0	4	11
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	0	0
Αυτοκόλλητος στόχος αλουμινίου	0		
Στόχος SOKKIA	0		
Τσιμέντο λευκό	0	0	3
Τσιμέντο γκρι	0	3	5
Χαρτόνι γκρι	0	-5	11
Χαρτόνι μαύρο			
Πλαστικό λευκό	0	7	10
Πλαστικό κόκκινο	0	9	12
Πλακάκι γκρι	0	7	13
Πλακάκι μπλε	0	9	14
Αφρολέξ καφέ			
Αφρολέξ λευκό	0	3	11
Μάρμαρο	0	5	9
Σίδερο	0		
Κεραμίδι			
Άσφαλτος			
Ξύλο	0	2	8
Βράχος			
Νοβοπάν	0	4	10
Μελαμίνη	0	8	12
Νίκελος	0	35	
Πάγος	0	5	
Χρυσός	0		

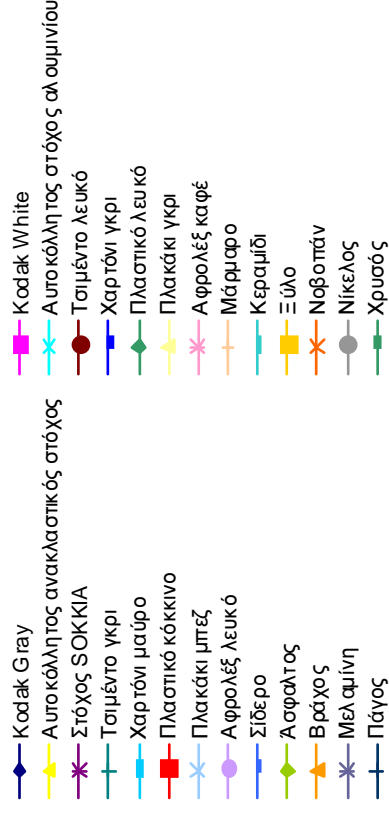


Πίνακας – Διάγραμμα 2.6: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ  
Leica TCR 303 στα 50m

TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup> - 50 μέτρα				
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	
Kodak Gray	0	3	8	
Kodak White	0	3	7	
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	1	3	
Αυτοκόλλητος στόχος αλουμινίου	0	7	19	
Στόχος SOKKIA	0	7	9	
Τσιμέντο λευκό	0	19	22	
Τσιμέντο γκρι	0	28	32	
Χαρτόνι γκρι	0	4	9	
Χαρτόνι μαύρο	0	5	7	
Πλαστικό λευκό	0	-3	2	
Πλαστικό κόκκινο	0	1	5	
Πλακάκι γκρι	0	4	8	
Πλακάκι μπλε	0	2	7	
Αφρολέξ καφέ	0	3	9	
Αφρολέξ λευκό	0	1	8	
Μάρμαρο	0	4	8	
Σίδερο	0	15	32	
Κεραμίδι	0	4	8	
Άσφαλτος	0	11	20	
Ξύλο	0	3	7	
Βράχος	0	5	12	
Νοβοπάν	0	4	9	
Μελαμίνη	0	4	7	
Νίκελος	0	1	3	
Πάγος	0	-11	1	
Χρυσός	0	5	9	

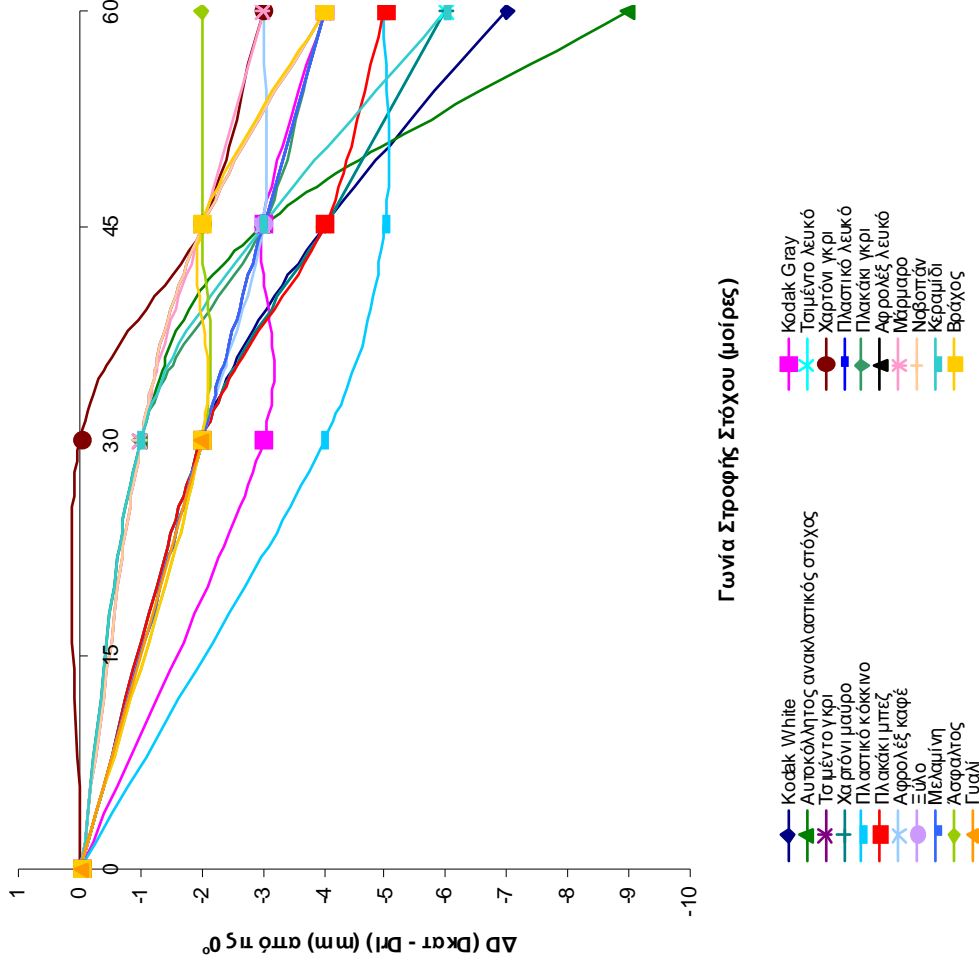


Γωνία Στροφής Στόχου (μοίρες)



Πίνακας – Διάγραμμα 2.7: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Trimble 5605DR<sup>+</sup> στα 50m

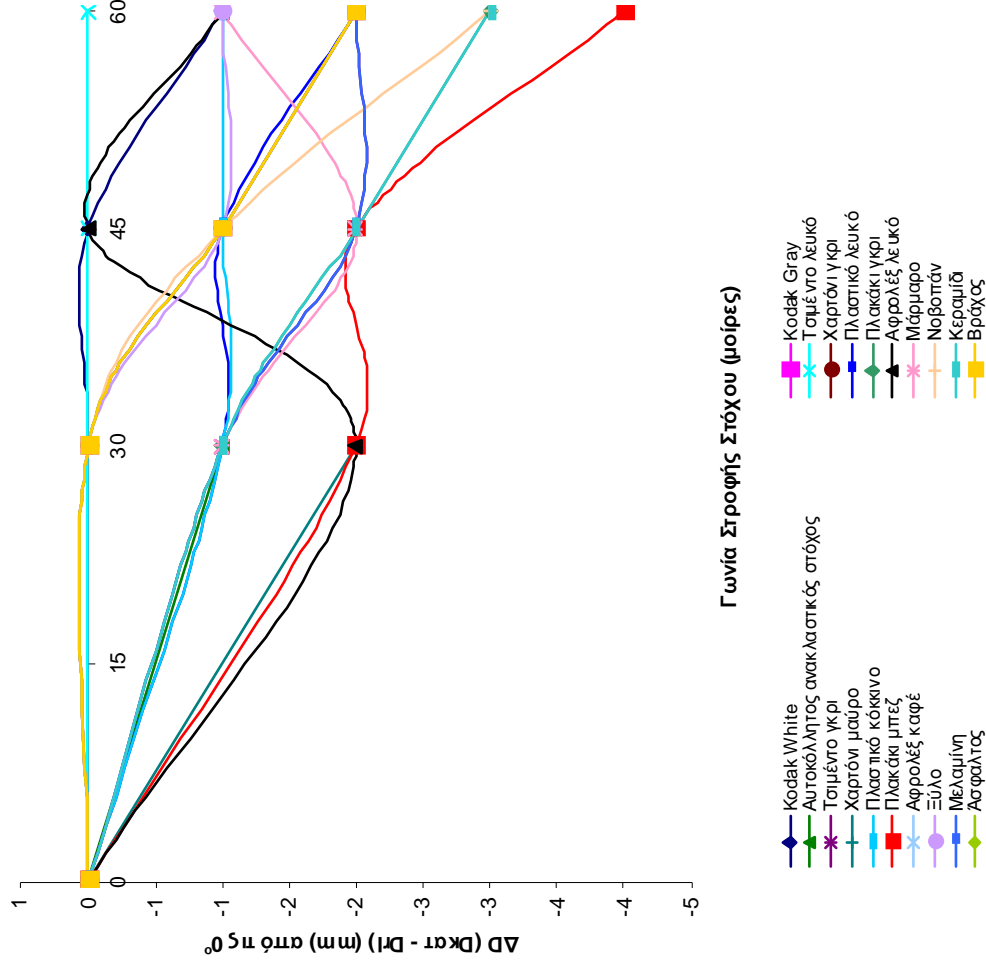
LEICA TCR405 - 50 μέτρα				
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μίρες			
	0	30	45	60
Kodak White	0	-2	-4	-7
Kodak Gray	0	-3	-3	-4
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	-1	-3	-9
Τσιμέντο λευκό	0	-2	-4	-6
Τσιμέντο γκρι	0	-1	-2	-4
Χαρτόνι γκρι	0	0	-2	-3
Χαρτόνι μαύρο	0	-2	-4	-6
Πλαστικό λευκό	0	-2	-3	-4
Πλαστικό κόκκινο	0	-4	-5	-5
Πλακάκι γκρι	0	-1	-3	-4
Πλακάκι μπετζ	0	-2	-4	-5
Αφρολέξ λευκό	0	-2	-3	-4
Αφρολέξ καφέ	0	-2	-3	-3
Μάρμαρο	0	-1	-2	-3
Ξύλο	0	-2	-3	-4
Νοβοπάν	0	-1	-2	-4
Μελαμίνη	0	-2	-3	-4
Κεραμίδι	0	-1	-3	-6
Άσφαλτος	0	-2	-2	-2
Βράχος	0	-2	-2	-4
Γυαλί	0	-2		



Πίνακας – Διάγραμμα 2.8: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ  
Leica TCR 405 στα 50m

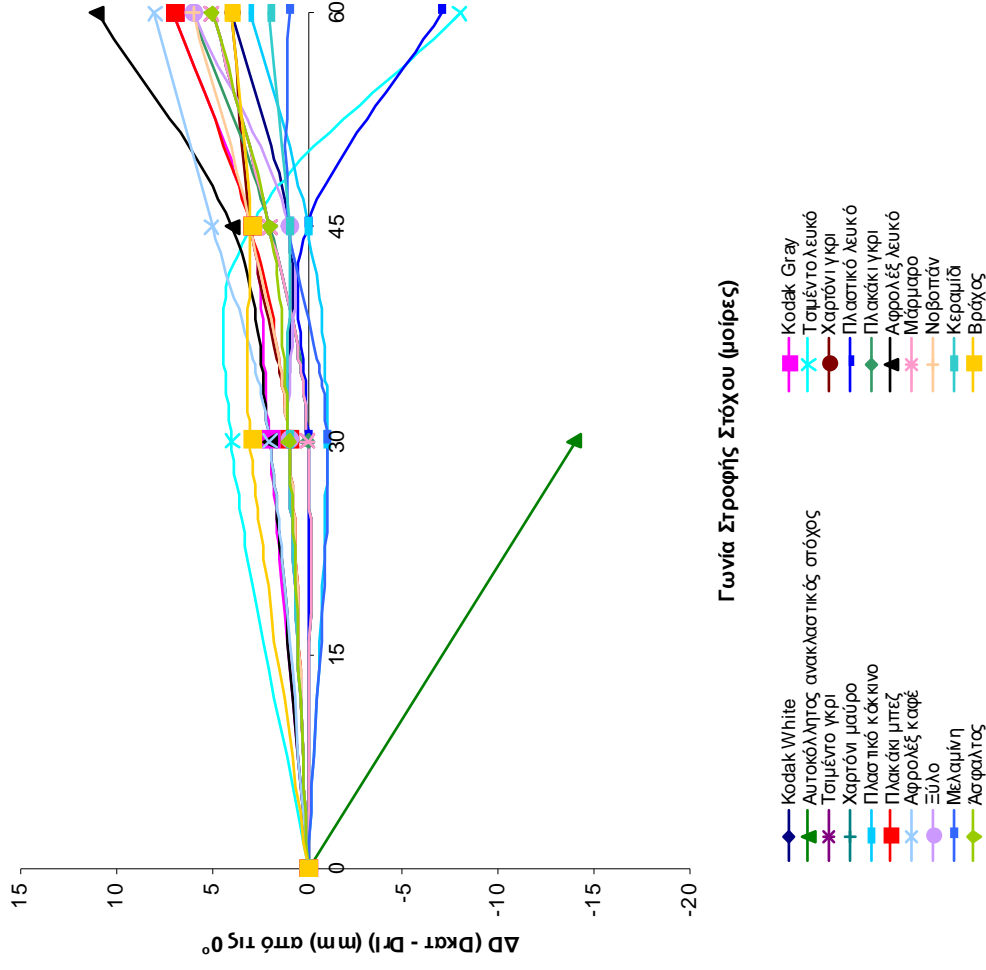


LEICA TCRM1201 <sup>+</sup> - 50 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες				
	0	30	45	60	
Kodak White	0	0	0	-1	
Kodak Gray	0	0	-1	-2	
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	-1			
Τσιμέντο λευκό	0	0	0	0	
Τσιμέντο γκρι	0	-1	-2	-2	
Χαρτόνι γκρι	0	0	-1	-2	
Χαρτόνι μαύρο	0	-2			
Πλαστικό λευκό	0	-1	-1	-2	
Πλαστικό κόκκινο	0	-1	-1	-1	
Πλακάκι γκρι	0	-1	-2	-3	
Πλακάκι μπετζ	0	-2	-2	-4	
Αφρολέξ λευκό	0	-2	0	-1	
Αφρολέξ καφέ	0	0	-1	-2	
Μάρμαρο	0	-1	-2	-1	
Ξύλο	0	0	-1	-1	
Νοβοπάν	0	0	-1	-3	
Μελαμίνη	0	-1	-2	-2	
Κεραμίδι	0	-1	-2	-3	
Άσφαλτος	0	0	-1	-2	
Βράχος	0	0	-1	-2	
Γυαλί	0	-23		-1973	



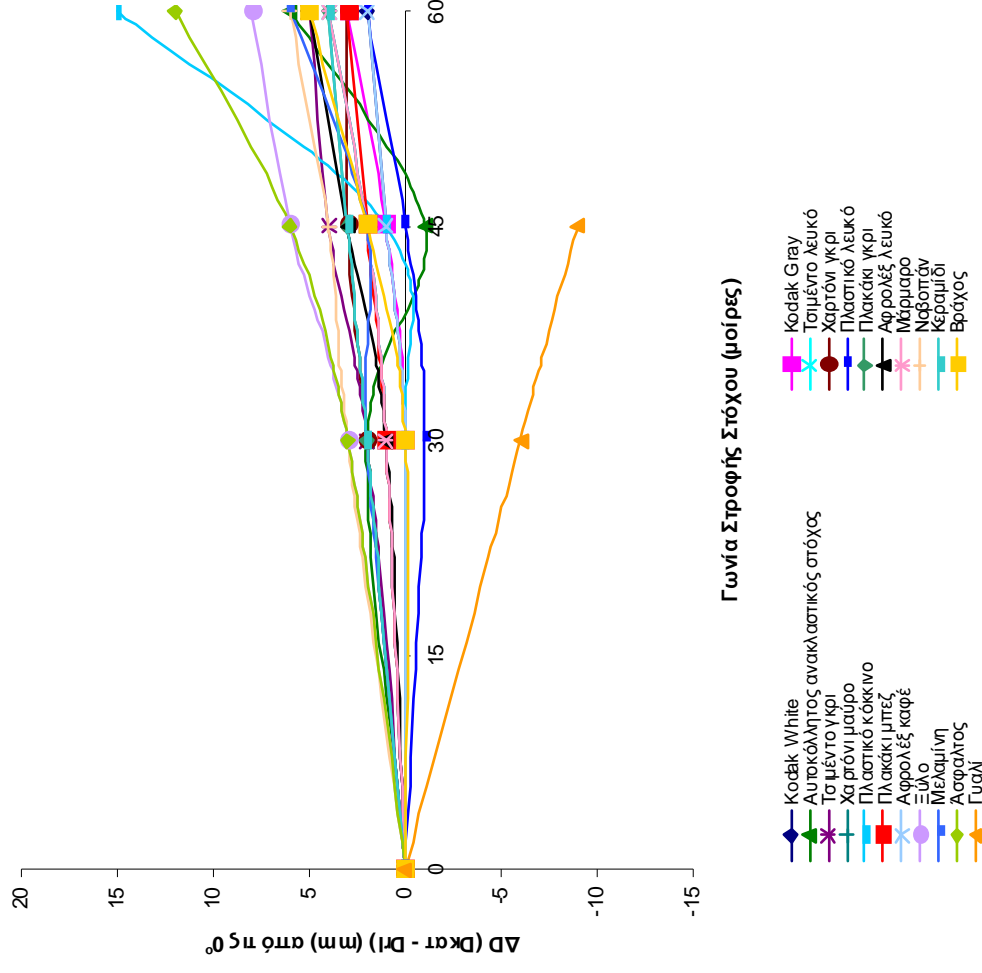
Πίνακας – Διάγραμμα 2.9: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ  
Leica TCRM 1201<sup>+</sup> στα 50m

TOPCON GPT3003LN- 50 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες				
	0	30	45	60	
Kodak White	0	1	1	4	
Kodak Gray	0	2	3	7	
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	-14			
Τσιμέντο λευκό	0	4	3	-8	
Τσιμέντο γκρι	0	0	2	5	
Χαρτόνι γκρι	0	1	3	4	
Χαρτόνι μαύρο	0	0	2	5	
Πλαστικό λευκό	0	0	0	-7	
Πλαστικό κόκκινο	0	-1	0	3	
Πλακάκι γκρι	0	0	2	6	
Πλακάκι μπλε	0	1	3	7	
Αφρολέξ λευκό	0	2	4	11	
Αφρολέξ καφέ	0	2	5	8	
Μάρμαρο	0	0	2	5	
Ξύλο	0	1	1	6	
Νοβοπάν	0	1	3	6	
Μελαμίνη	0	-1	1	1	
Κεραμίδι	0	1	1	2	
Άσφαλτος	0	1	2	5	
Βράχος	0	3	3	4	
Γυαλί	0	-70	-272		



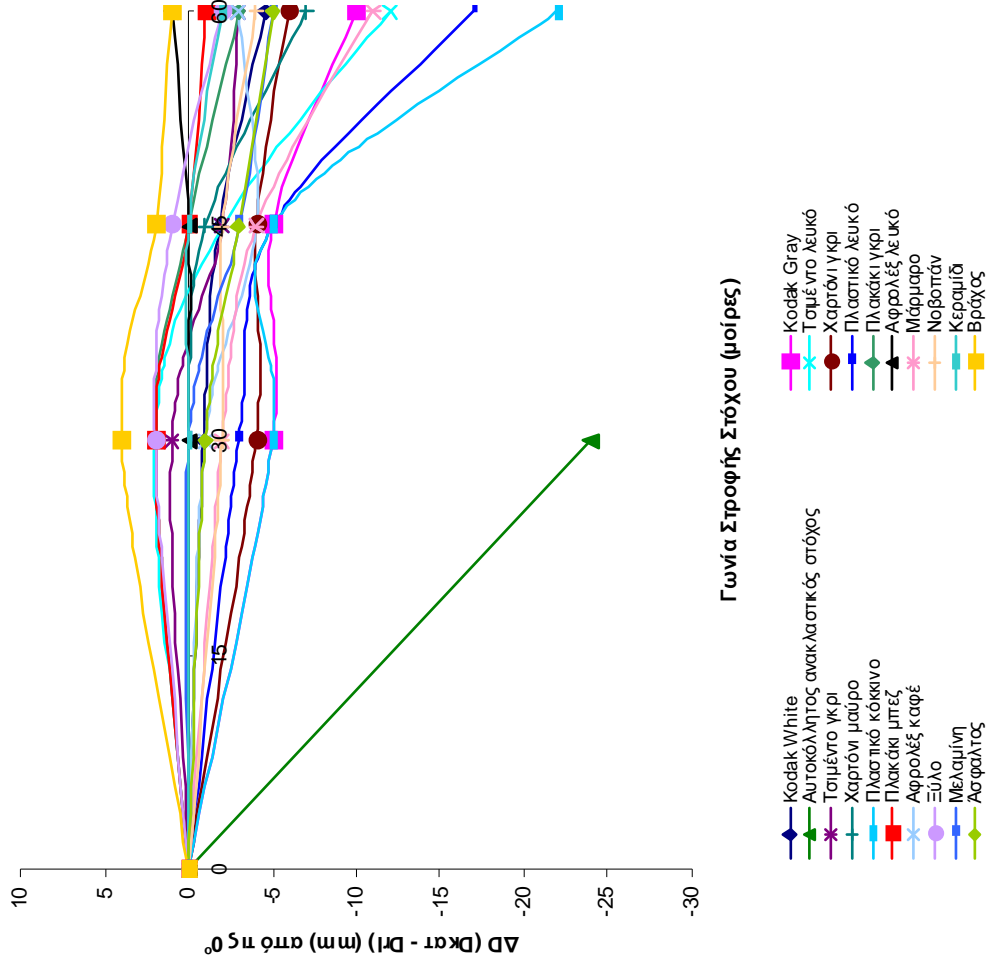
Πίνακας – Διάγραμμα 2.10: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Topcon GPT 3003LN στα 50m

TOPCON GPT3105N- 50 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες				
	0	30	45	60	
Kodak White	0	0	1	2	
Kodak Gray	0	0	1	3	
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	2	-1	6	
Τσιμέντο λευκό	0	1	2	4	
Τσιμέντο γκρι	0	2	4	5	
Χαρτόνι γκρι	0	2	3	3	
Χαρτόνι μαύρο	0	1	2	4	
Πλαστικό λευκό	0	-1	0	2	
Πλαστικό κόκκινο	0	0	1	15	
Πλακάκι γκρι	0	2	3	4	
Πλακάκι μπετζ	0	1	2	3	
Αφρολέξ λευκό	0	1	3	5	
Αφρολέξ καφέ	0	0	1	2	
Μάρμαρο	0	1	2	4	
Ξύλο	0	3	6	8	
Νοβοπάν	0	3	4	6	
Μελαμίνη	0	2	2	6	
Κεραμίδι	0	2	3	4	
Άσφαλτος	0	3	6	12	
Βράχος	0	0	2	5	
Γυαλί	0	-6	-9		



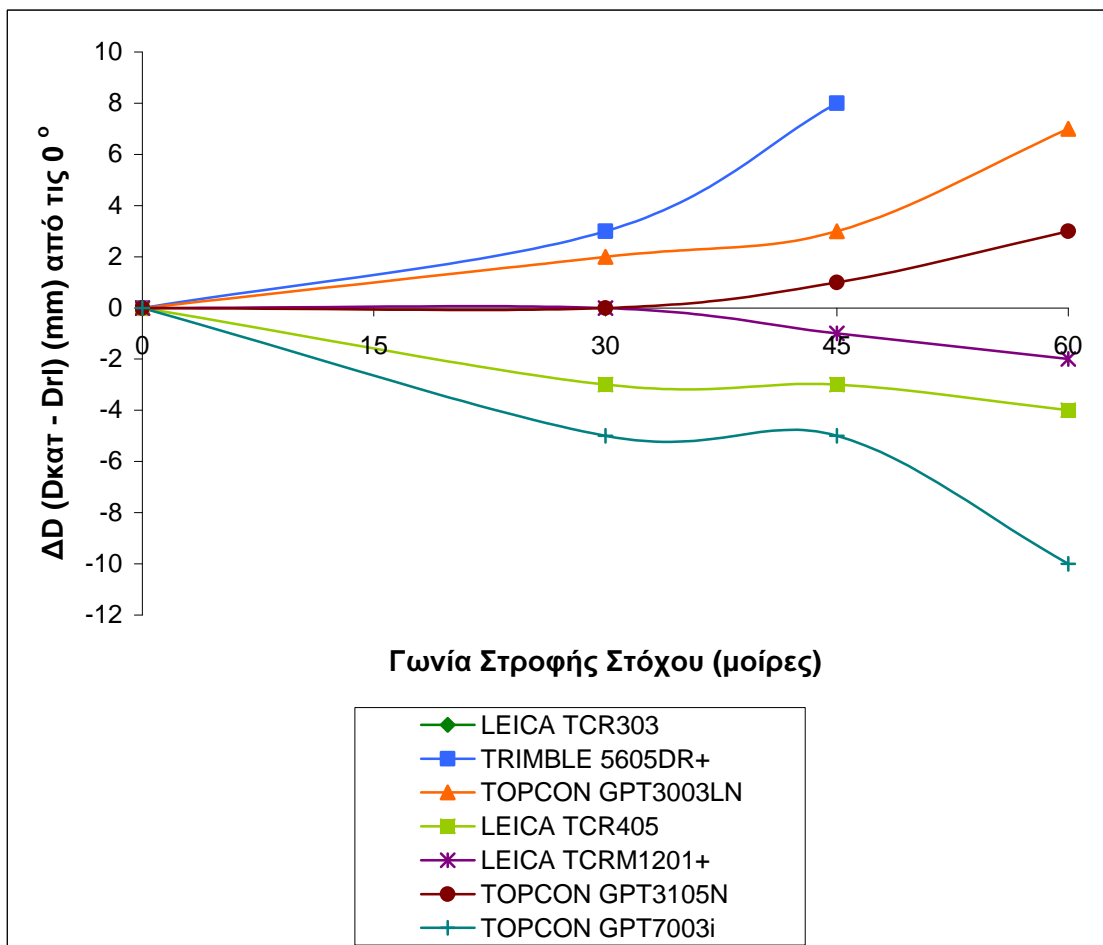
Πίνακας – Διάγραμμα 2.11: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ  
Topcon GPT 3105N στα 50m

TOPCON GPT7003i- 50 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες				
	0	30	45	60	
Kodak White	0	-1	-2	-5	
Kodak Gray	0	-5	-5	-10	
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	-24			
Τσιμέντο λευκό	0	2	-2	-12	
Τσιμέντο γκρι	0	1	-2	-3	
Χαρτόνι γκρι	0	-4	-4	-6	
Χαρτόνι μαύρο	0	0	-1	-7	
Πλαστικό λευκό	0	-3	-5	-17	
Πλαστικό κόκκινο	0	-5	-5	-22	
Πλακάκι γκρι	0	2	0	-3	
Πλακάκι μπετζ	0	2	0	-1	
Αφρολέξ λευκό	0	0	0	1	
Αφρολέξ καφέ	0	-1	-4	-3	
Μάρμαρο	0	-2	-4	-11	
Ξύλο	0	2	1	-2	
Νοβοπάν	0	-2	-2	-4	
Μελαμίνη	0	0	-3	-5	
Κεραμίδι	0	0	0	-2	
Άσφαλτος	0	-1	-3	-5	
Βράχος	0	4	2	1	
Γυαλί	0	-52	-210	-1738	



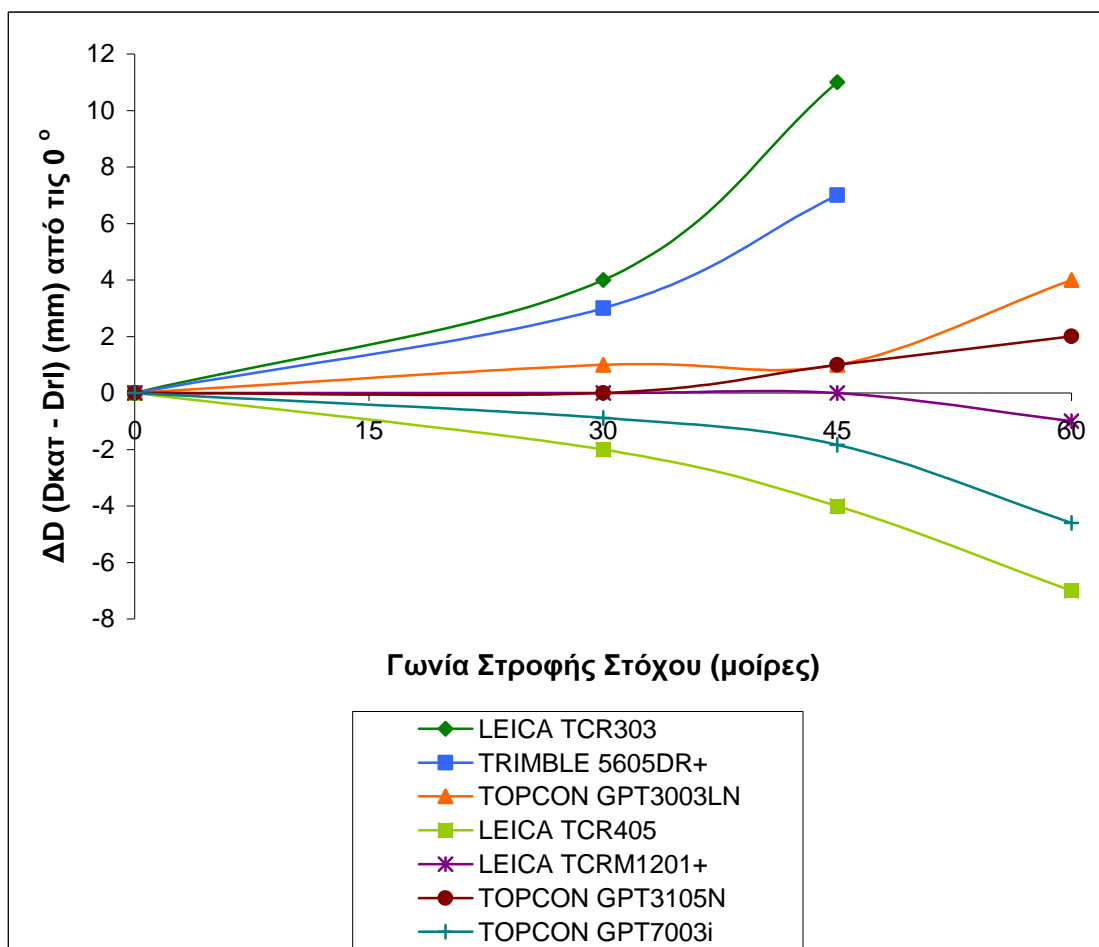
Πίνακας – Διάγραμμα 2.12: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ  
 Topcon GPT 7003i στα 50m

KODAK GREY - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303				
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	3	8	
TOPCON GPT3003LN	0	2	3	7
LEICA TCR405	0	-3	-3	-4
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	0	-1	-2
TOPCON GPT3105N	0	0	1	3
TOPCON GPT7003i	0	-5	-5	-10



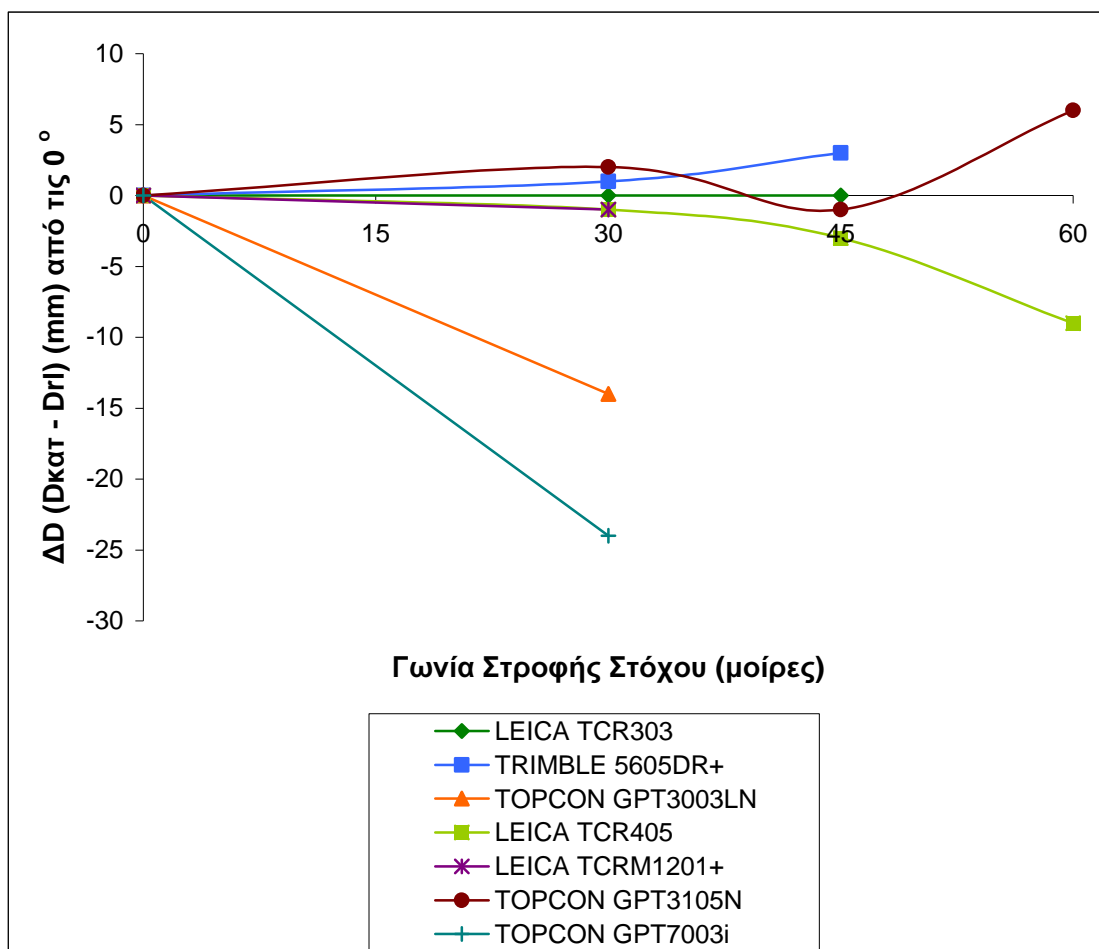
Πίνακας - Διάγραμμα 2.13: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Kodak Grey στα 50m

KODAK WHITE - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	4	11	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	3	7	
TOPCON GPT3003LN	0	1	1	4
LEICA TCR405	0	-2	-4	-7
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	0	0	-1
TOPCON GPT3105N	0	0	1	2
TOPCON GPT7003i	0	-1	-2	-5



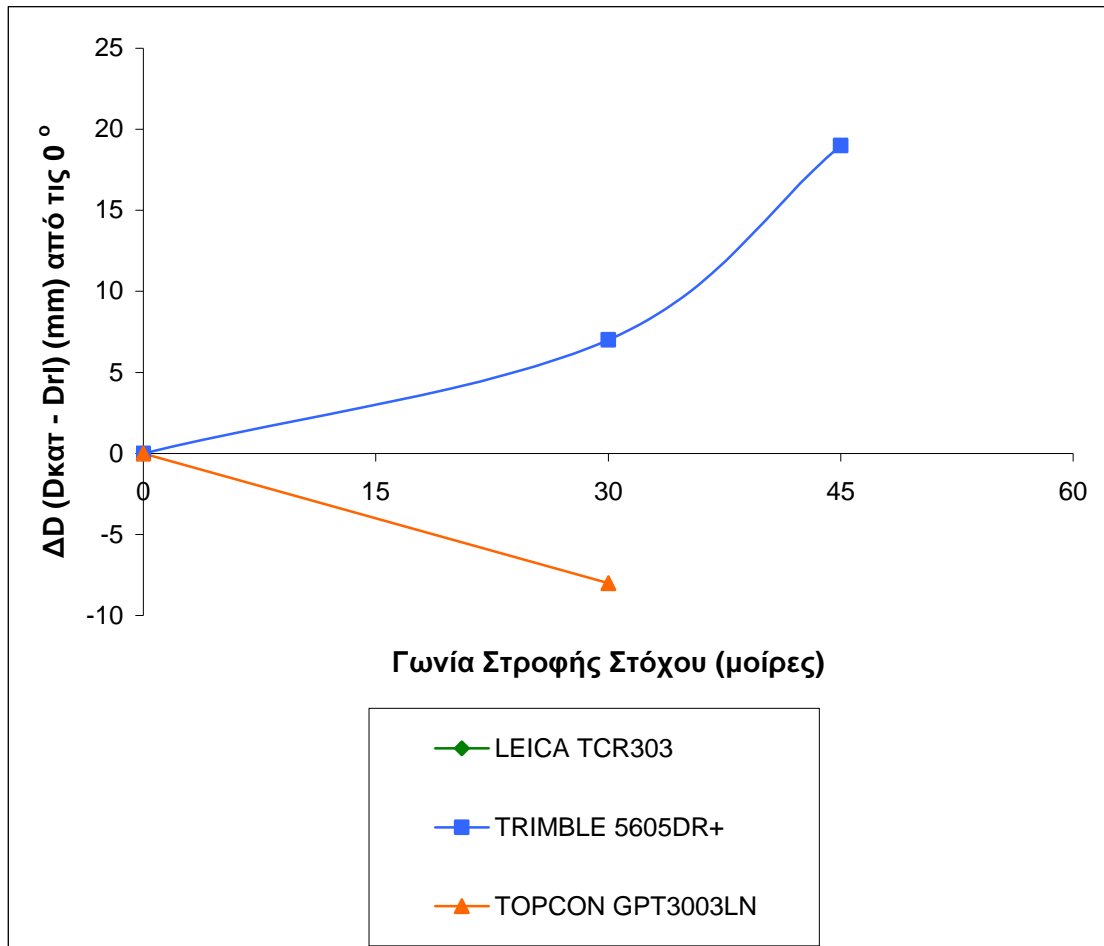
Πίνακας - Διάγραμμα 2.14: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Kodak White στα 50m

ΑΥΤΟΚΟΛΛΗΤΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΣ ΣΤΟΧΟΣ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	0	0	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	1	3	
TOPCON GPT3003LN	0	-14		
LEICA TCR405	0	-1	-3	-9
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-1		
TOPCON GPT3105N	0	2	-1	6
TOPCON GPT7003i	0	-24		



Πίνακας - Διάγραμμα 2.15: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Αυτοκόλλητο Ανακλαστικό Στόχο στα 50m

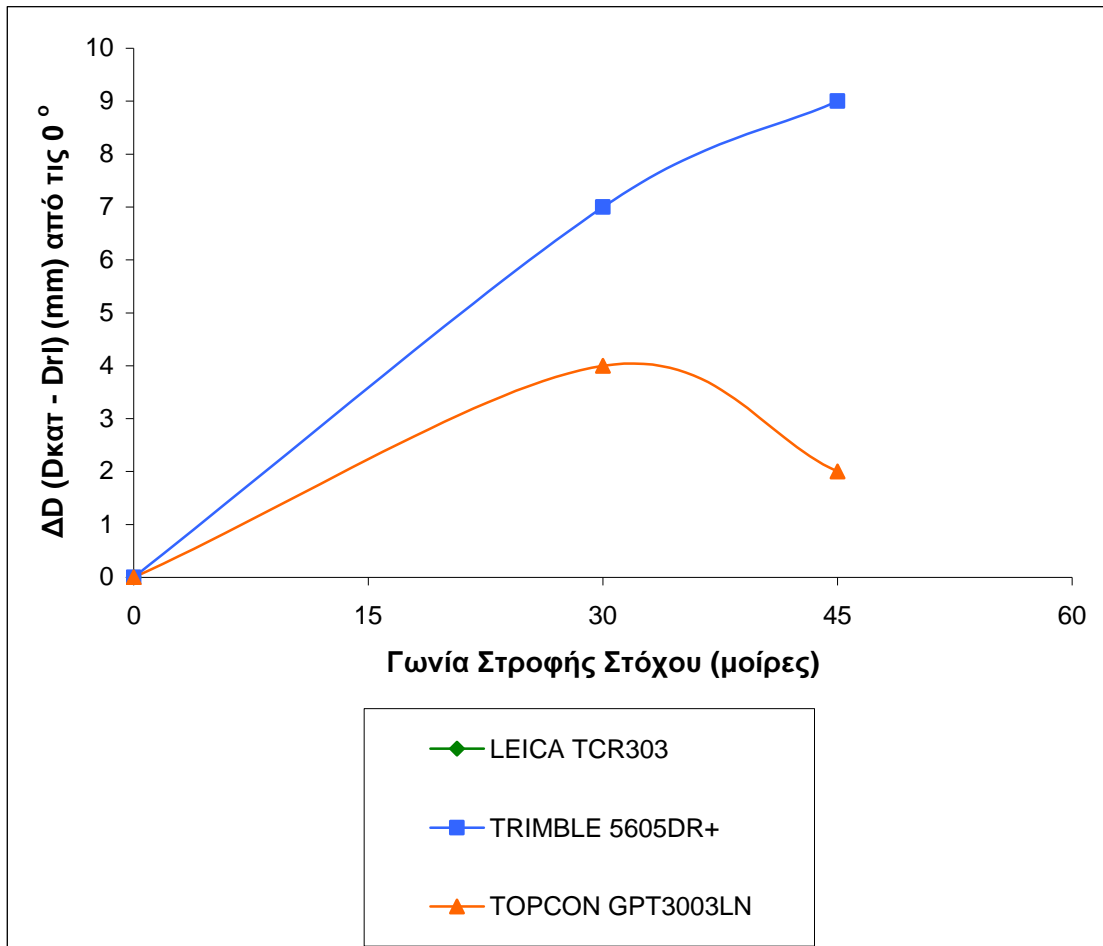
ΑΥΤΟΚΟΛΛΗΤΟΣ ΣΤΟΧΟΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0			
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	7	19	
TOPCON GPT3003LN	0	-8		



Πίνακας - Διάγραμμα 2.16: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Αυτοκόλλητο Στόχο Αλουμινίου στα 50m

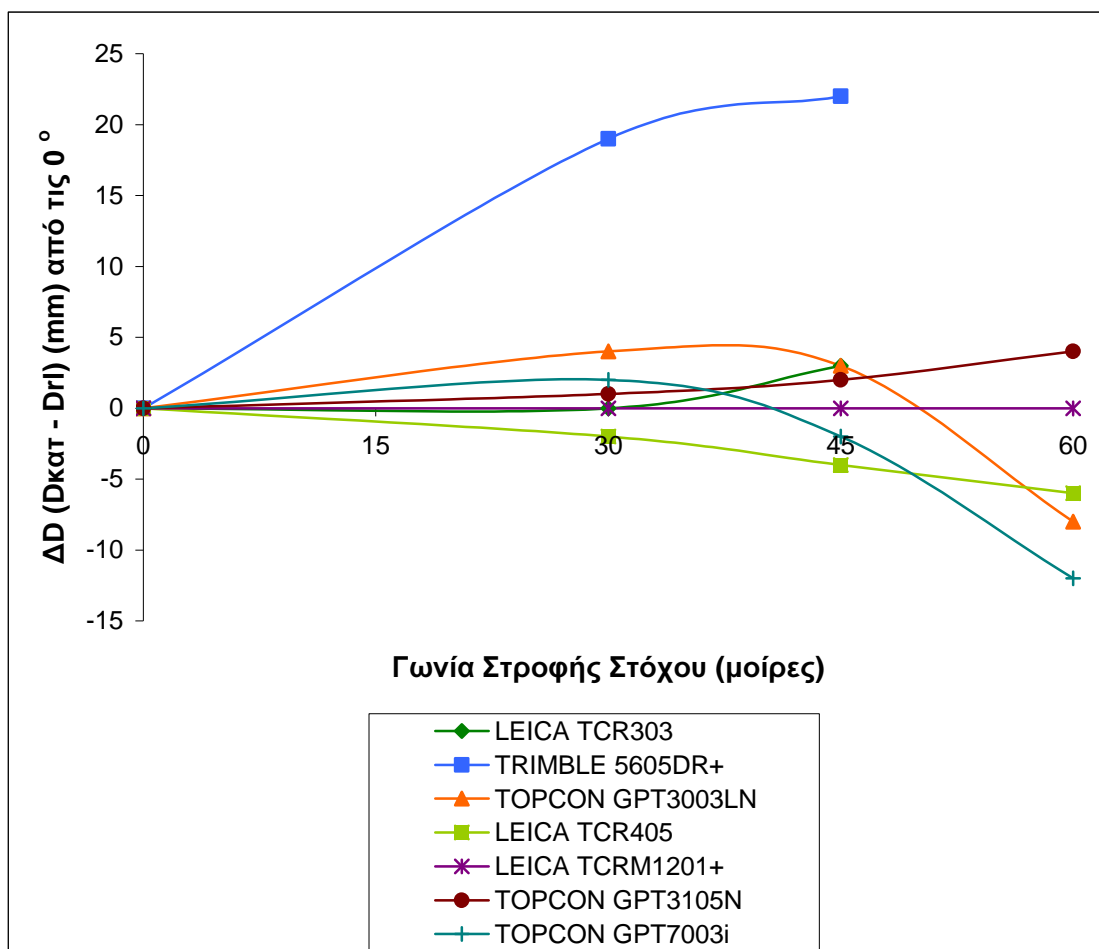


ΣΤΟΧΟΣ SOKKIA - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0			
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	7	9	
TOPCON GPT3003LN	0	4	2	



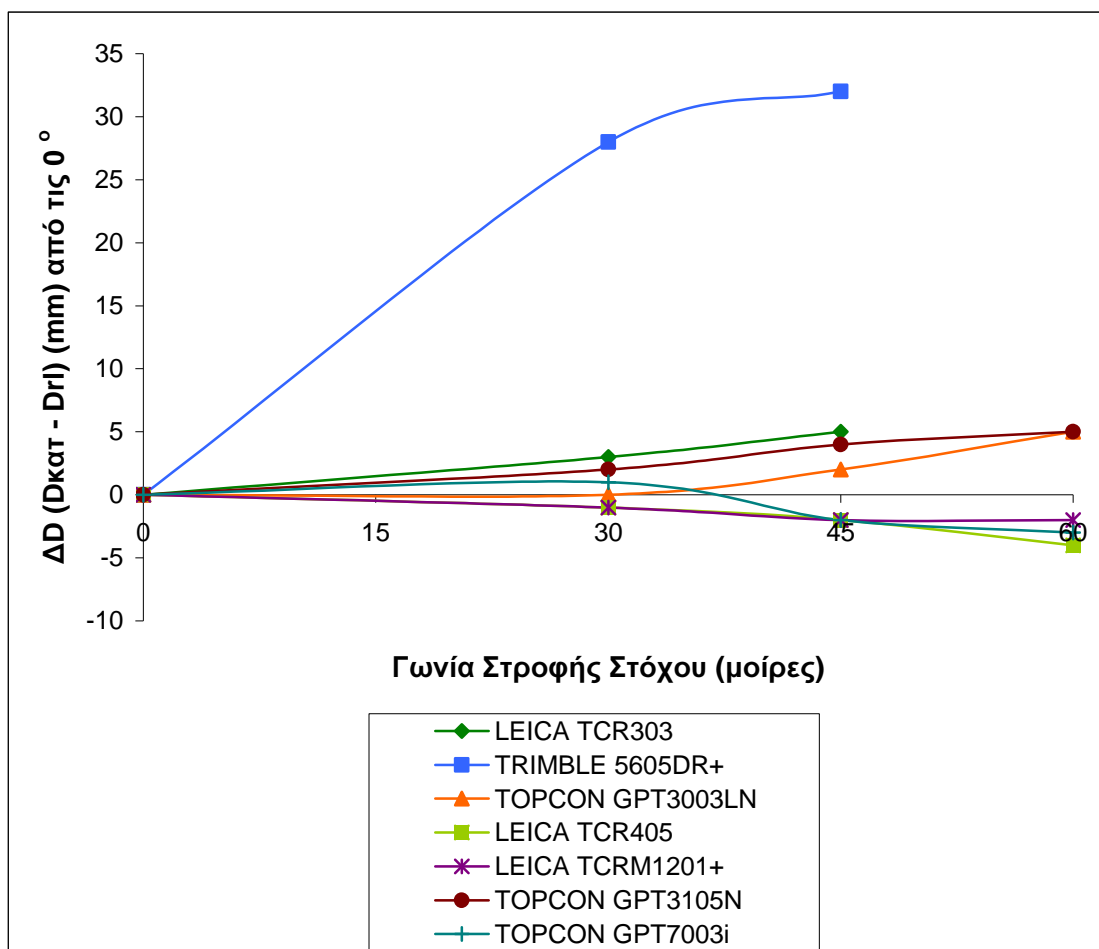
Πίνακας - Διάγραμμα 2.17: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Στόχο Sokkia στα 50m

ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΛΕΥΚΟ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	0	3	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	19	22	
TOPCON GPT3003LN	0	4	3	-8
LEICA TCR405	0	-2	-4	-6
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	0	0	0
TOPCON GPT3105N	0	1	2	4
TOPCON GPT7003i	0	2	-2	-12



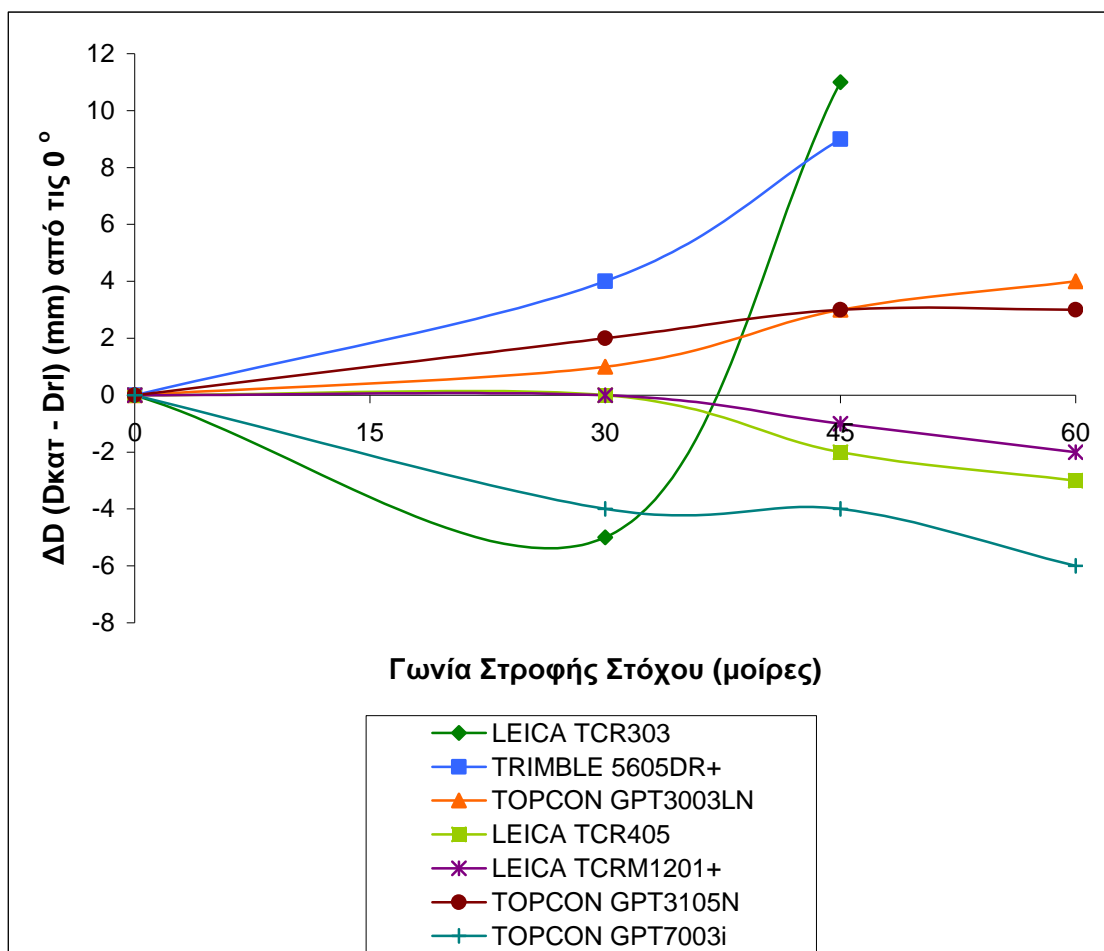
Πίνακας - Διάγραμμα 2.18: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Τσιμέντο Λευκό στα 50m

ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΓΚΡΙ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	3	5	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	28	32	
TOPCON GPT3003LN	0	0	2	5
LEICA TCR405	0	-1	-2	-4
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-1	-2	-2
TOPCON GPT3105N	0	2	4	5
TOPCON GPT7003i	0	1	-2	-3



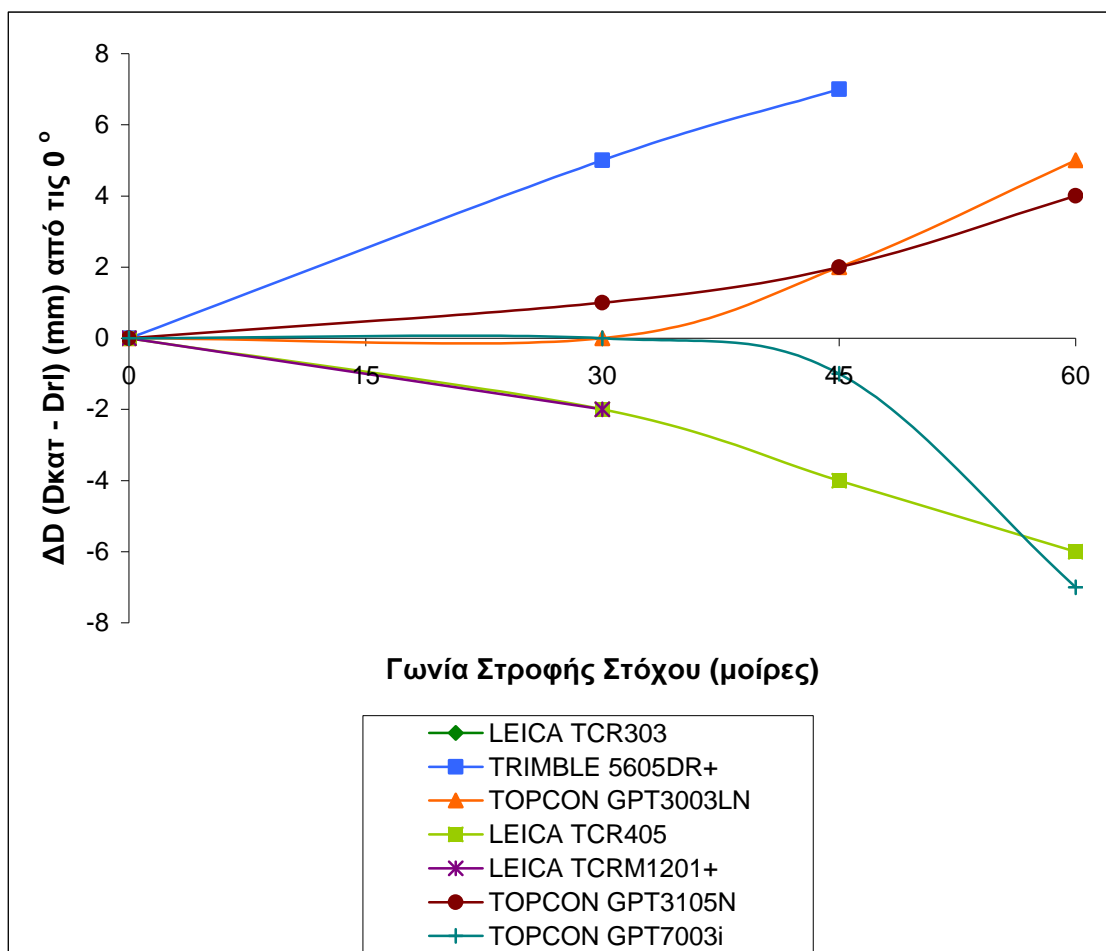
Πίνακας - Διάγραμμα 2.19: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Τσιμέντο Γκρι στα 50m

ΧΑΡΤΟΝΙ ΓΚΡΙ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	-5	11	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	4	9	
TOPCON GPT3003LN	0	1	3	4
LEICA TCR405	0	0	-2	-3
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	0	-1	-2
TOPCON GPT3105N	0	2	3	3
TOPCON GPT7003i	0	-4	-4	-6



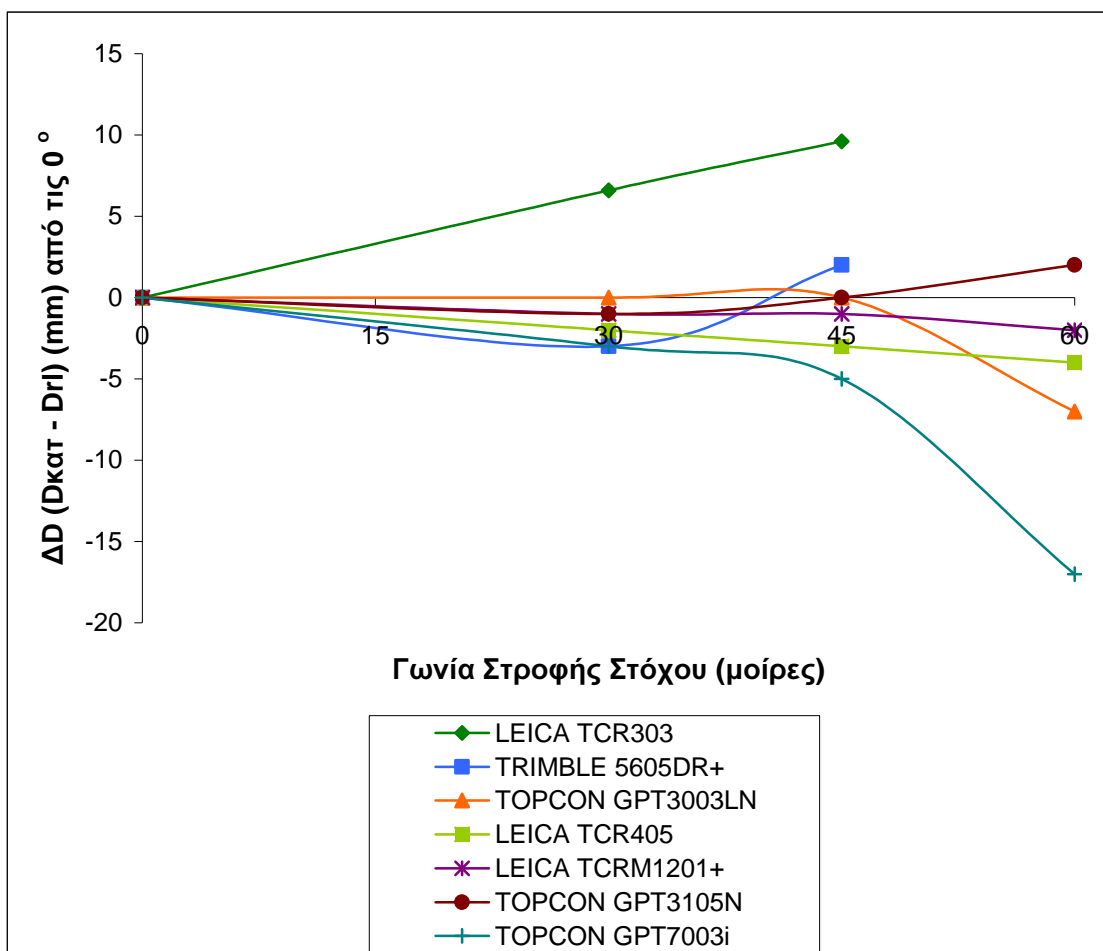
Πίνακας - Διάγραμμα 2.20: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Χαρτόνι Γκρι στα 50m

ΧΑΡΤΟΝΙ ΜΑΥΡΟ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303				
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	5	7	
TOPCON GPT3003LN	0	0	2	5
LEICA TCR405	0	-2	-4	-6
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-2		
TOPCON GPT3105N	0	1	2	4
TOPCON GPT7003i	0	0	-1	-7



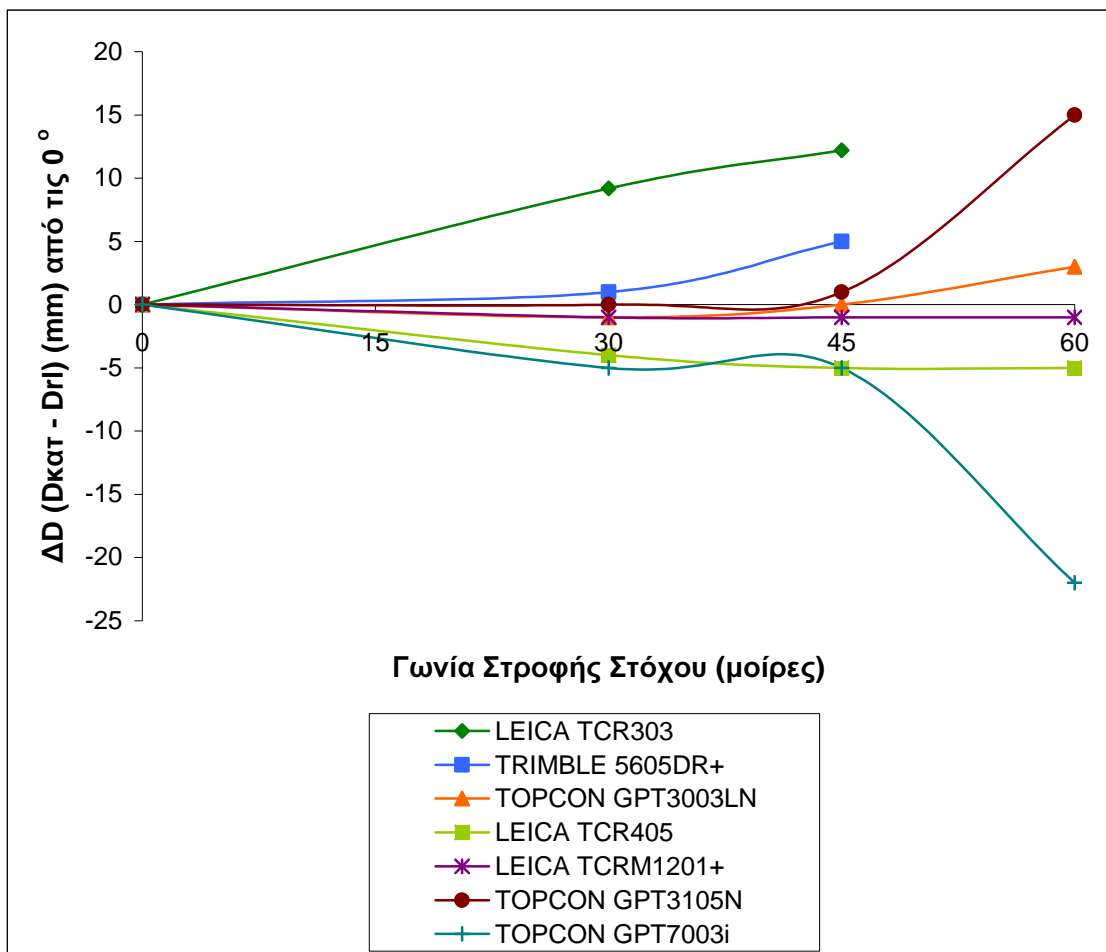
Πίνακας - Διάγραμμα 2.21: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής  $\theta^\circ$  σε Χαρτόνι Μαύρο στα 50m

ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΛΕΥΚΟ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	7	10	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	-3	2	
TOPCON GPT3003LN	0	0	0	-7
LEICA TCR405	0	-2	-3	-4
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-1	-1	-2
TOPCON GPT3105N	0	-1	0	2
TOPCON GPT7003i	0	-3	-5	-17



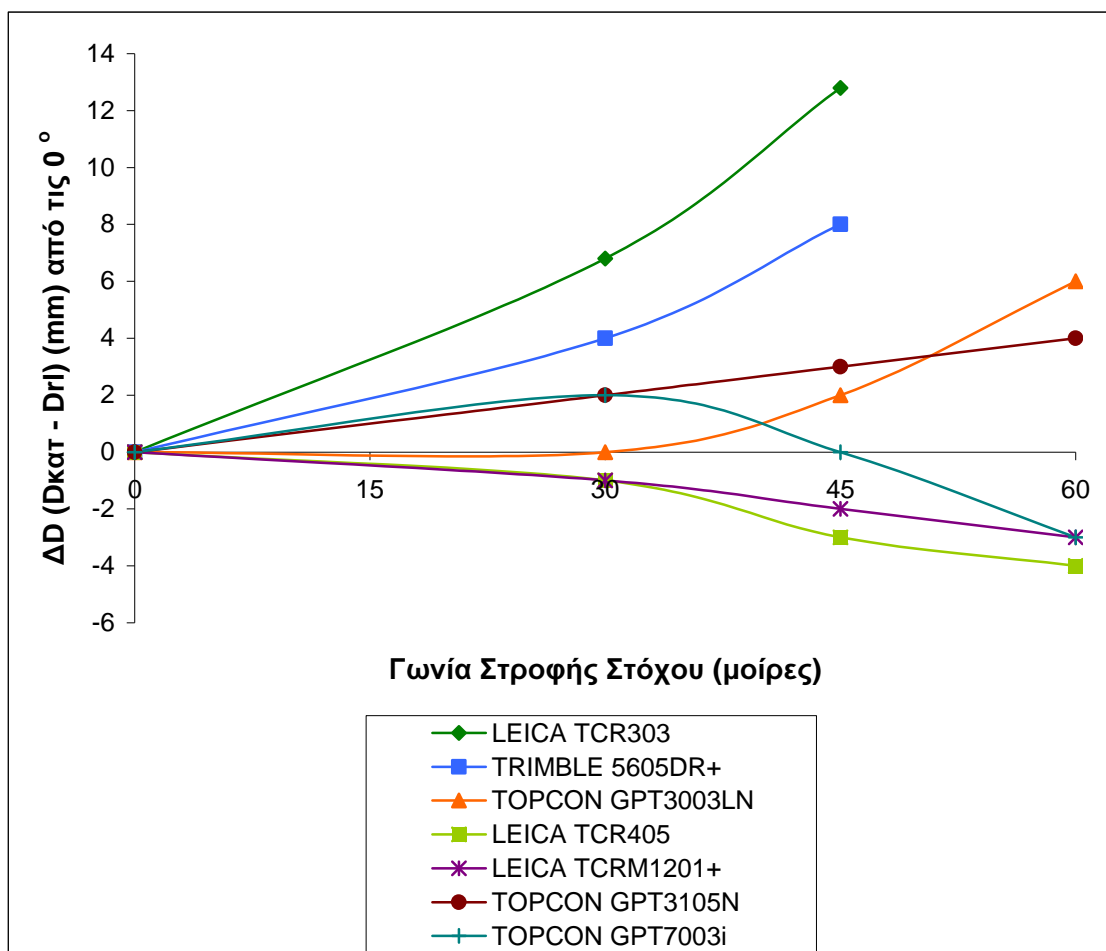
Πίνακας - Διάγραμμα 2.22: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Πλαστικό Λευκό στα 50m

ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΚΟΚΚΙΝΟ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	9	12	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	1	5	
TOPCON GPT3003LN	0	-1	0	3
LEICA TCR405	0	-4	-5	-5
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-1	-1	-1
TOPCON GPT3105N	0	0	1	15
TOPCON GPT7003i	0	-5	-5	-22



Πίνακας - Διάγραμμα 2.23: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Πλαστικό Κόκκινο στα 50m

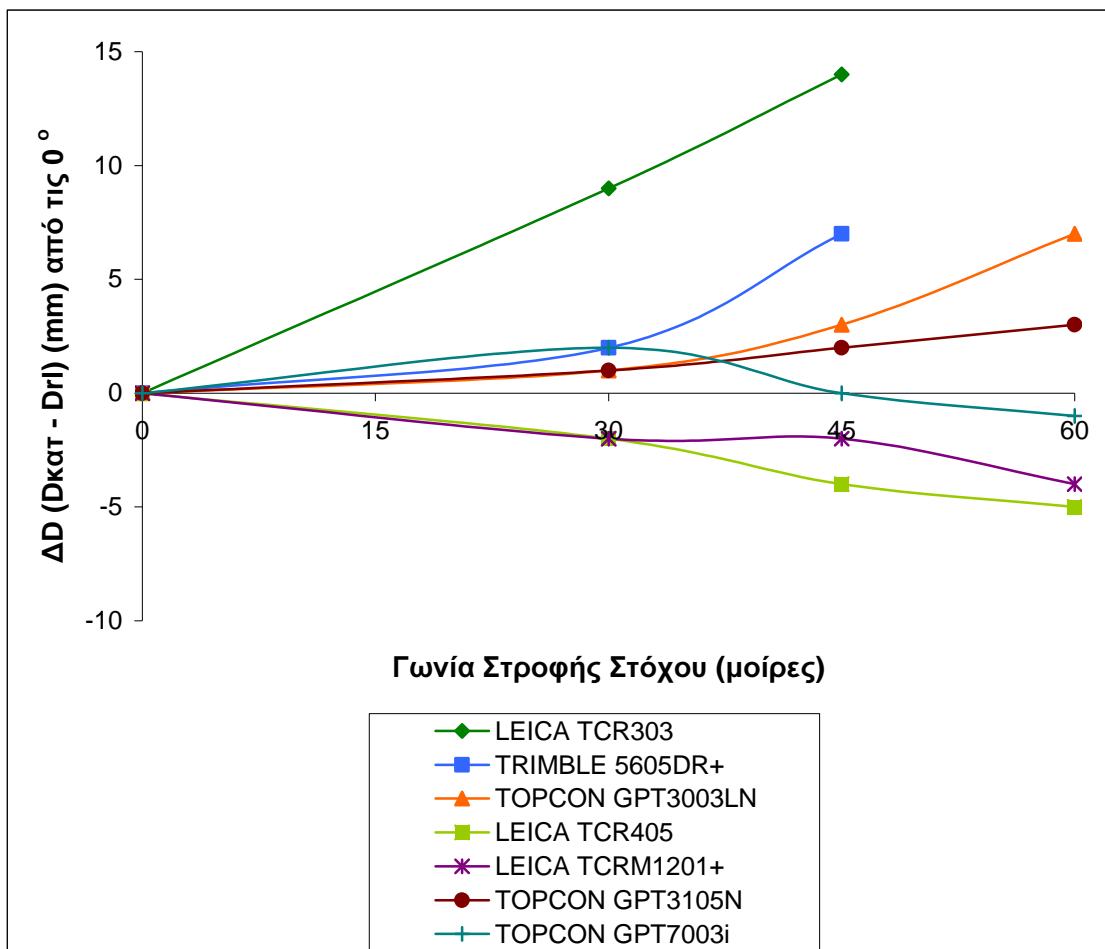
ΠΛΑΚΑΚΙ ΓΚΡΙ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	7	13	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	4	8	
TOPCON GPT3003LN	0	0	2	6
LEICA TCR405	0	-1	-3	-4
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-1	-2	-3
TOPCON GPT3105N	0	2	3	4
TOPCON GPT7003i	0	2	0	-3



Πίνακας - Διάγραμμα 2.24: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Πλακάκι Γκρι στα 50m

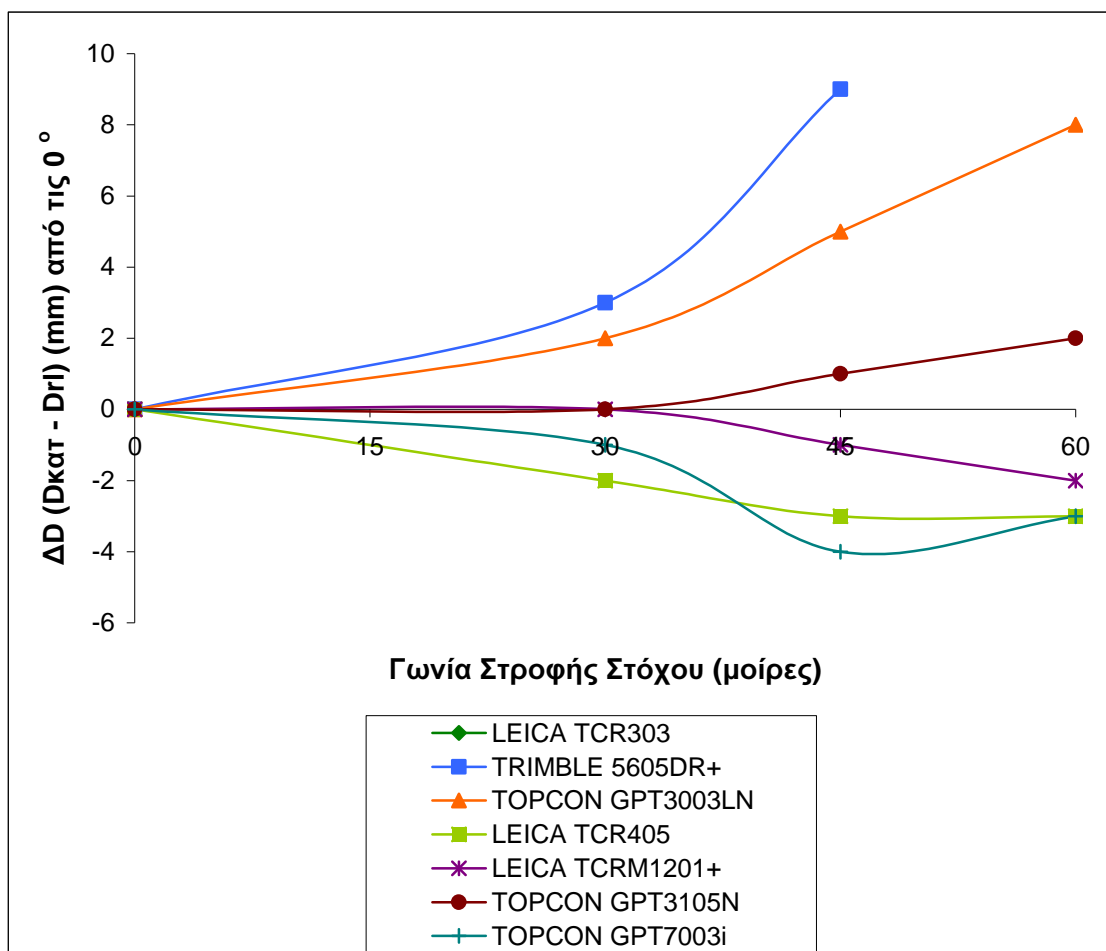


ΠΛΑΚΑΚΙ ΜΠΕΖ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	9	14	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	2	7	
TOPCON GPT3003LN	0	1	3	7
LEICA TCR405	0	-2	-4	-5
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-2	-2	-4
TOPCON GPT3105N	0	1	2	3
TOPCON GPT7003i	0	2	0	-1



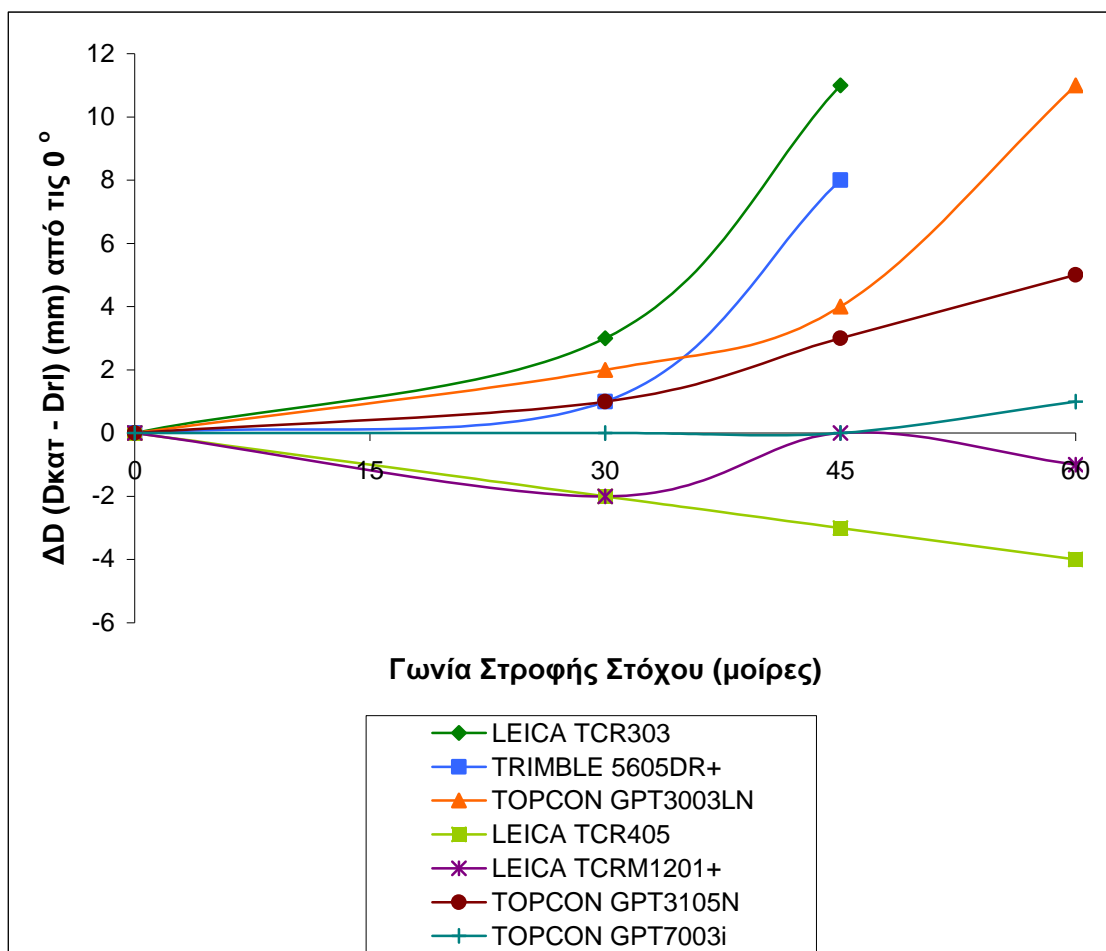
Πίνακας - Διάγραμμα 2.25: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Πλακάκι Μπεζ στα 50m

ΑΦΡΟΛΕΞ ΚΑΦΕ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303				
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	3	9	
TOPCON GPT3003LN	0	2	5	8
LEICA TCR405	0	-2	-3	-3
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	0	-1	-2
TOPCON GPT3105N	0	0	1	2
TOPCON GPT7003i	0	-1	-4	-3



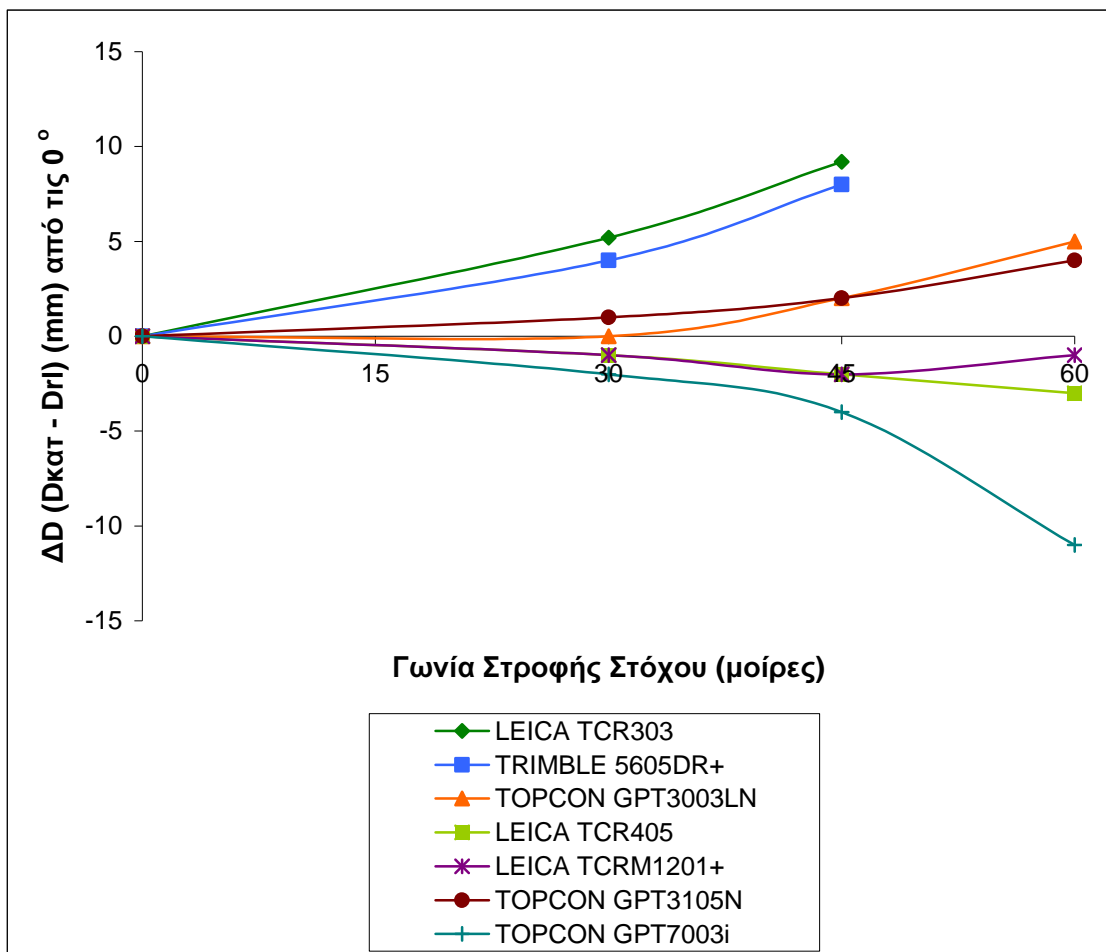
Πίνακας - Διάγραμμα 2.26: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Αφρολέξ Καφέ στα 50m

ΑΦΡΟΛΕΞ ΛΕΥΚΟ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	3	11	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	1	8	
TOPCON GPT3003LN	0	2	4	11
LEICA TCR405	0	-2	-3	-4
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-2	0	-1
TOPCON GPT3105N	0	1	3	5
TOPCON GPT7003i	0	0	0	1



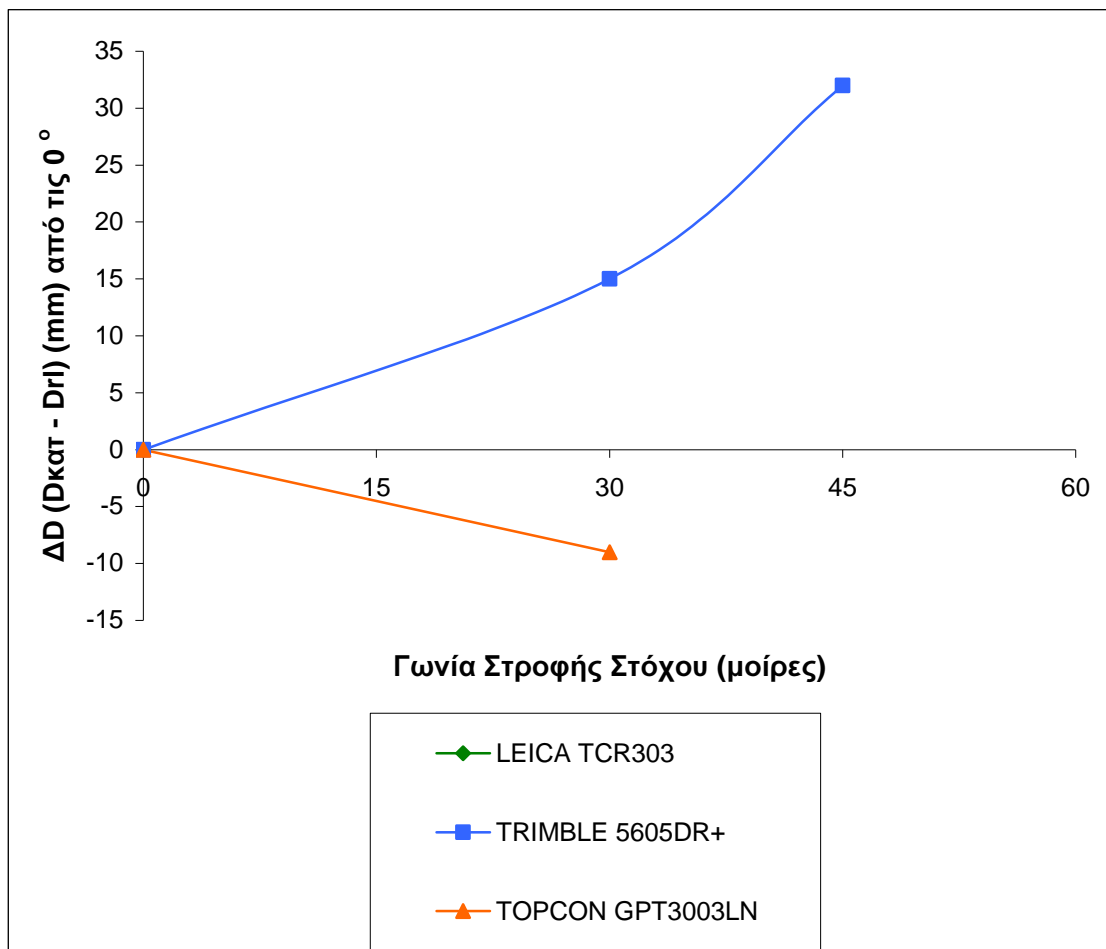
Πίνακας - Διάγραμμα 2.27: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής  $\theta^\circ$  σε Αφρολέξ Λευκό στα 50m

ΜΑΡΜΑΡΟ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	5	9	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	4	8	
TOPCON GPT3003LN	0	0	2	5
LEICA TCR405	0	-1	-2	-3
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-1	-2	-1
TOPCON GPT3105N	0	1	2	4
TOPCON GPT7003i	0	-2	-4	-11



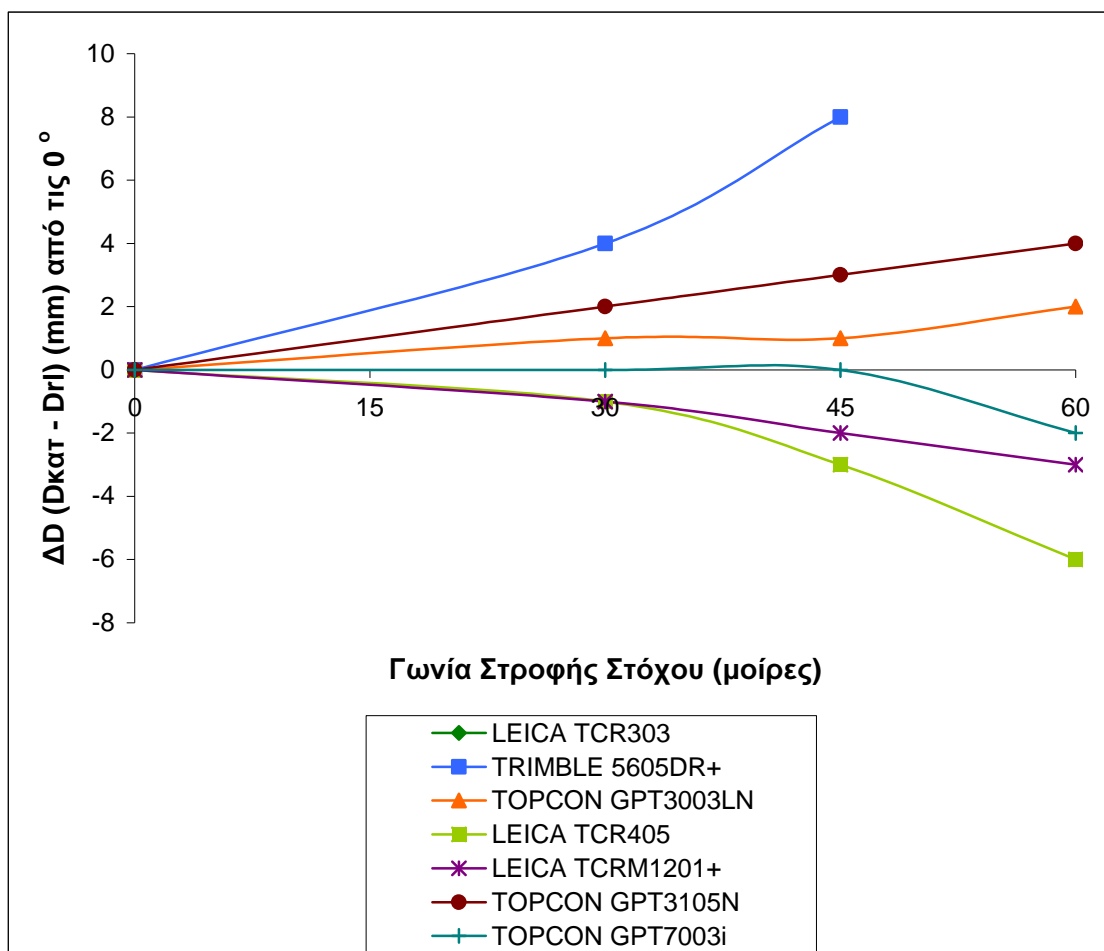
Πίνακας - Διάγραμμα 2.28: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Μάρμαρο στα 50m

ΣΙΔΕΡΟ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0			
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	15	32	
TOPCON GPT3003LN	0	-9		



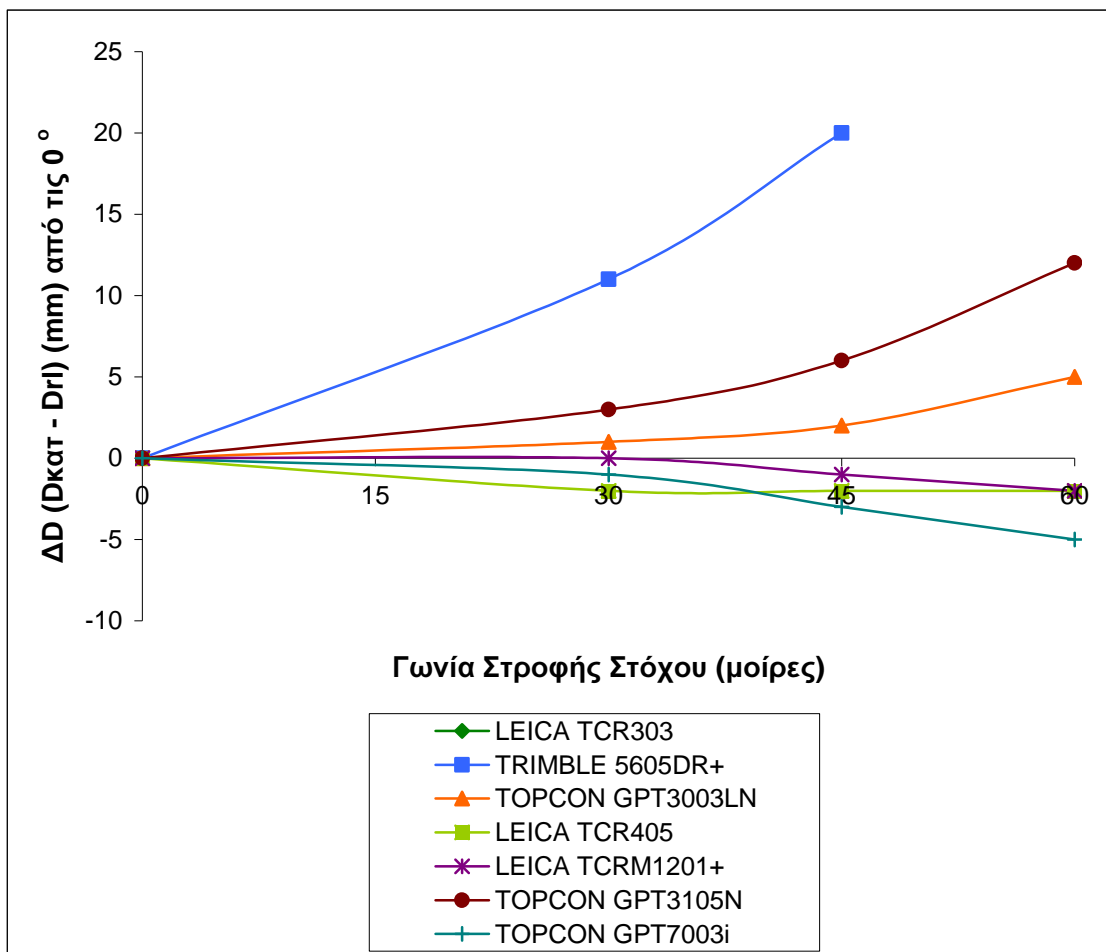
Πίνακας - Διάγραμμα 2.29: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Σίδηρο στα 50m

ΚΕΡΑΜΙΔΙ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303				
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	4	8	
TOPCON GPT3003LN	0	1	1	2
LEICA TCR405	0	-1	-3	-6
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-1	-2	-3
TOPCON GPT3105N	0	2	3	4
TOPCON GPT7003i	0	0	0	-2



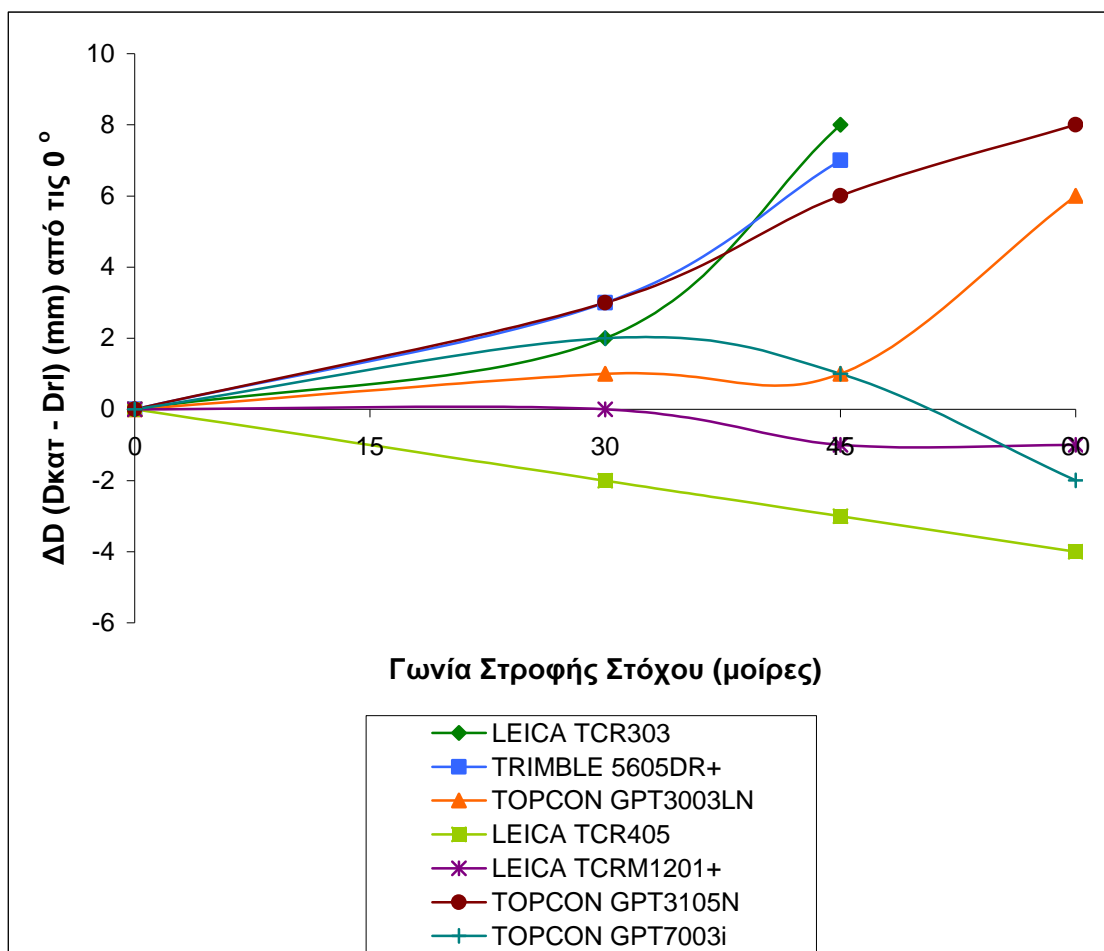
Πίνακας - Διάγραμμα 2.30: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Κεραμίδι στα 50m

ΑΣΦΑΛΤΟΣ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303				
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	11	20	
TOPCON GPT3003LN	0	1	2	5
LEICA TCR405	0	-2	-2	-2
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	0	-1	-2
TOPCON GPT3105N	0	3	6	12
TOPCON GPT7003i	0	-1	-3	-5



Πίνακας - Διάγραμμα 2.31: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Άσφαλτο στα 50m

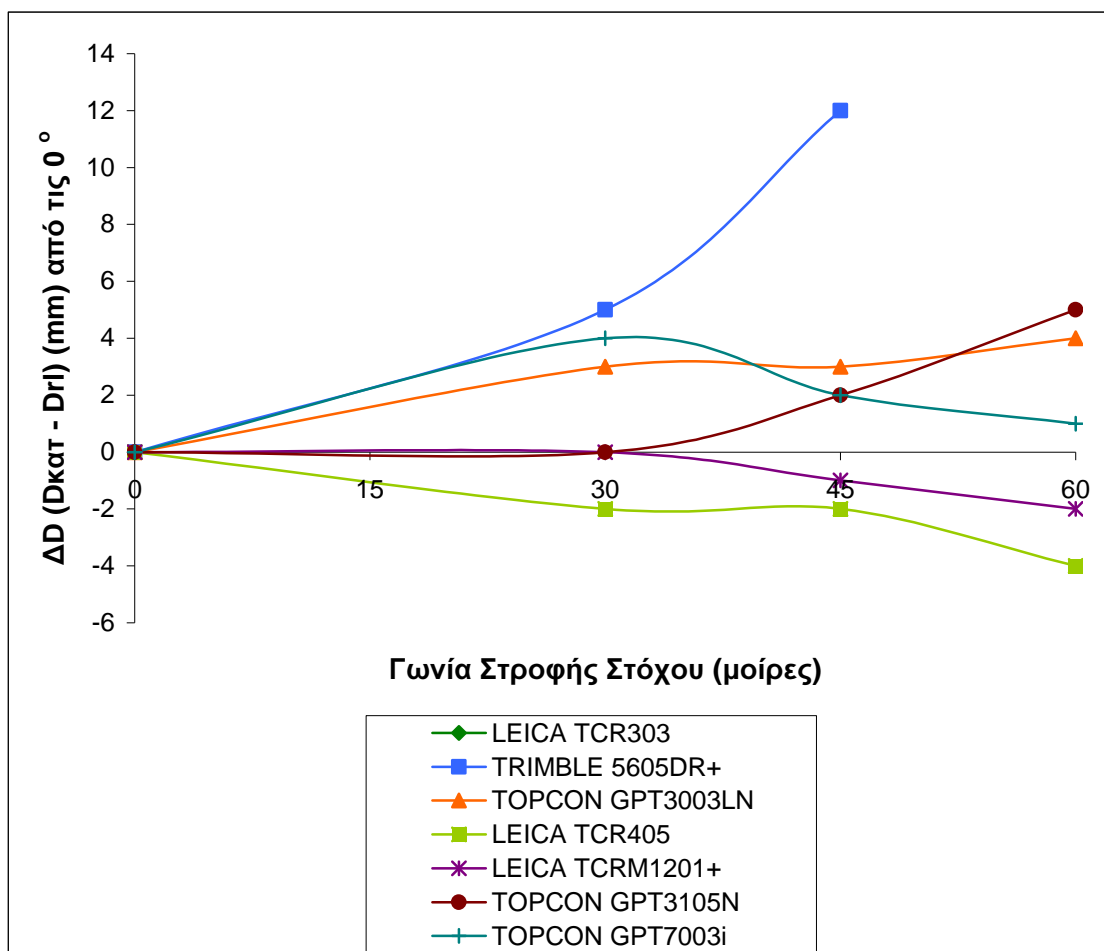
ΞΥΛΟ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	2	8	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	3	7	
TOPCON GPT3003LN	0	1	1	6
LEICA TCR405	0	-2	-3	-4
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	0	-1	-1
TOPCON GPT3105N	0	3	6	8
TOPCON GPT7003i	0	2	1	-2



Πίνακας - Διάγραμμα 2.32: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Ξύλο στα 50m

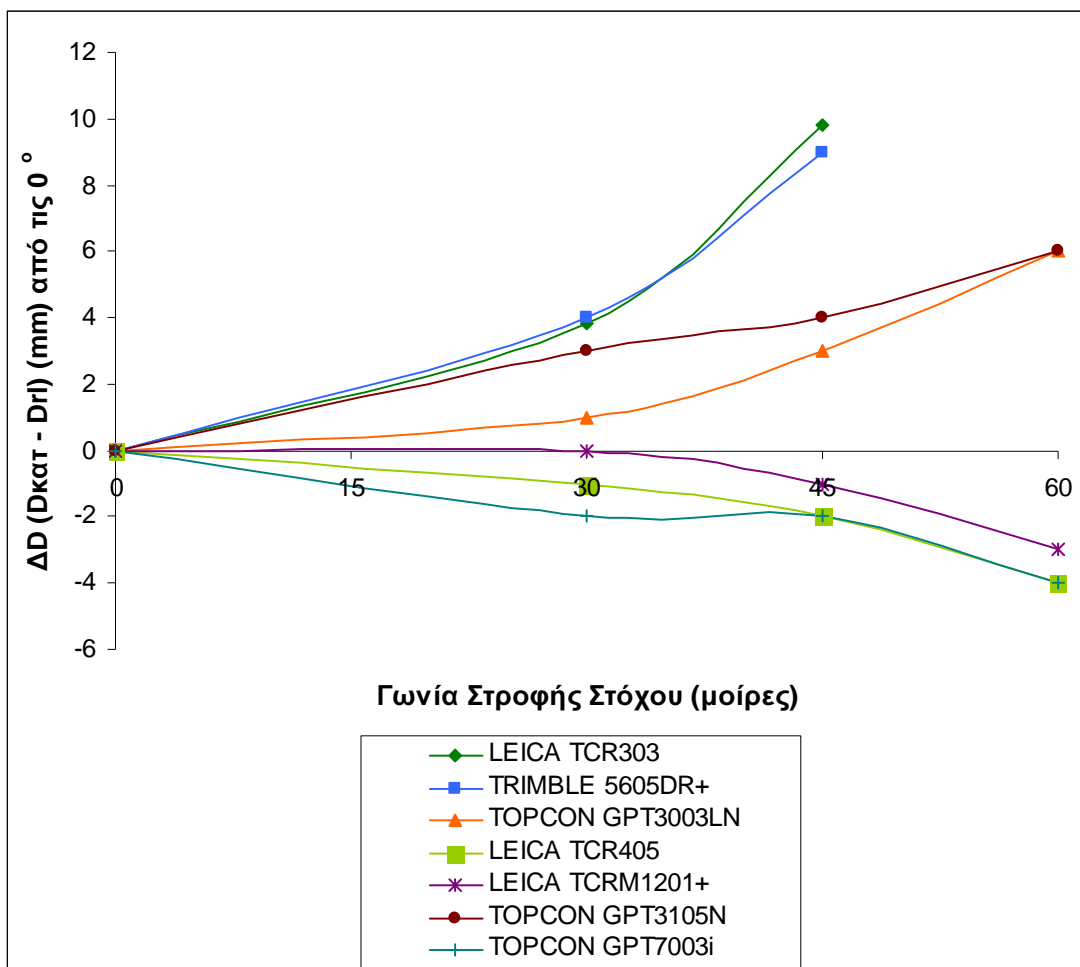


ΒΡΑΧΟΣ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303				
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	5	12	
TOPCON GPT3003LN	0	3	3	4
LEICA TCR405	0	-2	-2	-4
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	0	-1	-2
TOPCON GPT3105N	0	0	2	5
TOPCON GPT7003i	0	4	2	1



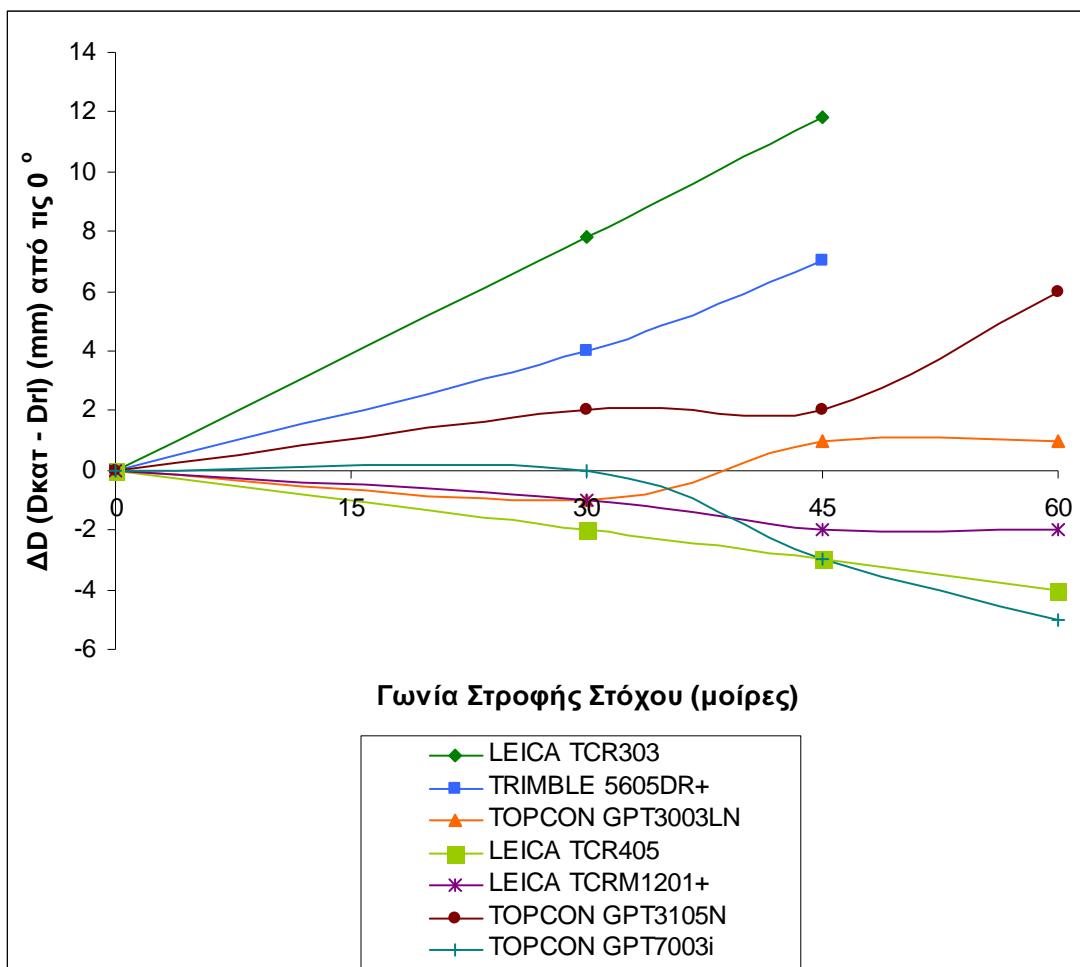
Πίνακας - Διάγραμμα 2.33: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Βράχο στα 50m

ΝΟΒΟΠΑΝ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	4	10	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	4	9	
TOPCON GPT3003LN	0	1	3	6
LEICA TCR405	0	-1	-2	-4
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	0	-1	-3
TOPCON GPT3105N	0	3	4	6
TOPCON GPT7003i	0	-2	-2	-4



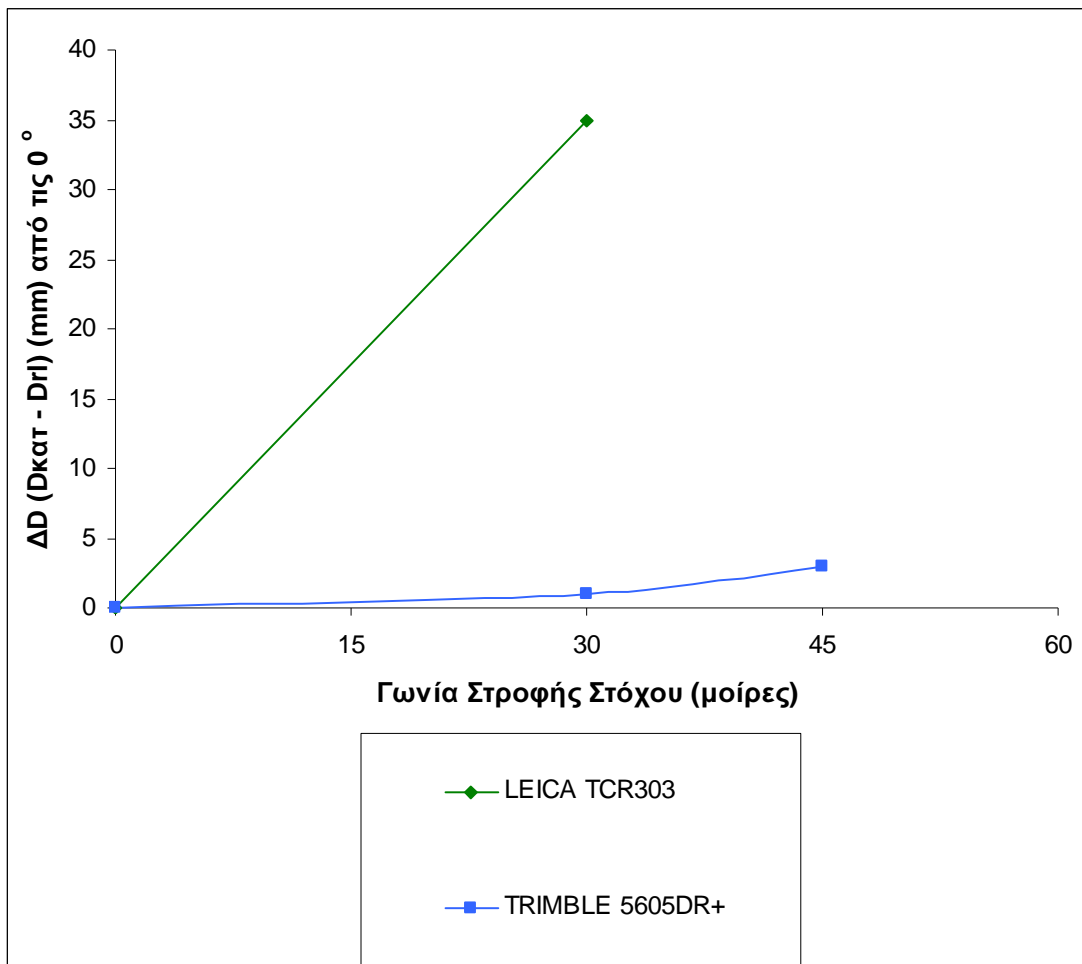
Πίνακας - Διάγραμμα 2.34: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Νοβοπάν στα 50m

ΜΕΛΑΜΙΝΗ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	8	12	
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	4	7	
TOPCON GPT3003LN	0	-1	1	1
LEICA TCR405	0	-2	-3	-4
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	0	-1	-2	-2
TOPCON GPT3105N	0	2	2	6
TOPCON GPT7003i	0	0	-3	-5



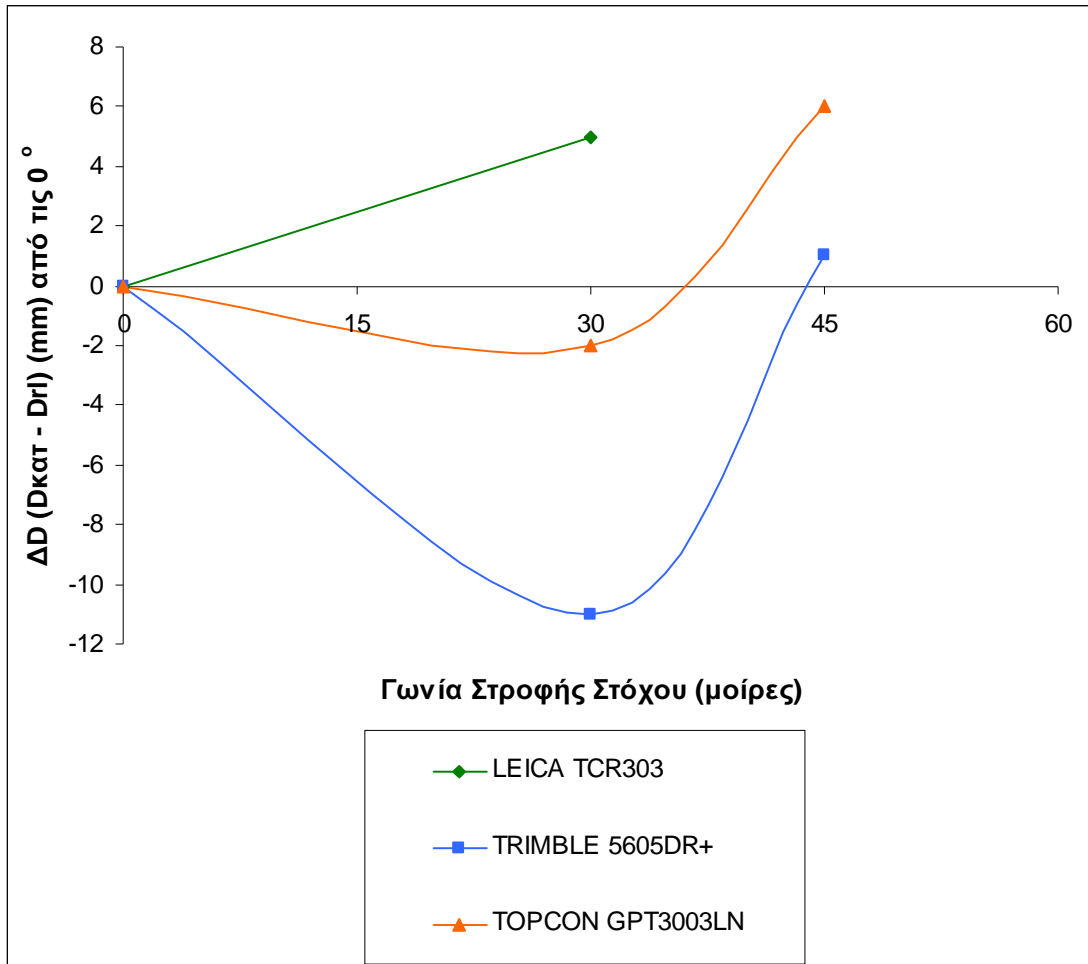
Πίνακας - Διάγραμμα 2.35: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Μελαμίνη στα 50m

ΝΙΚΕΛΟΣ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	35		
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	1	3	
TOPCON GPT3003LN	0	1	-62	



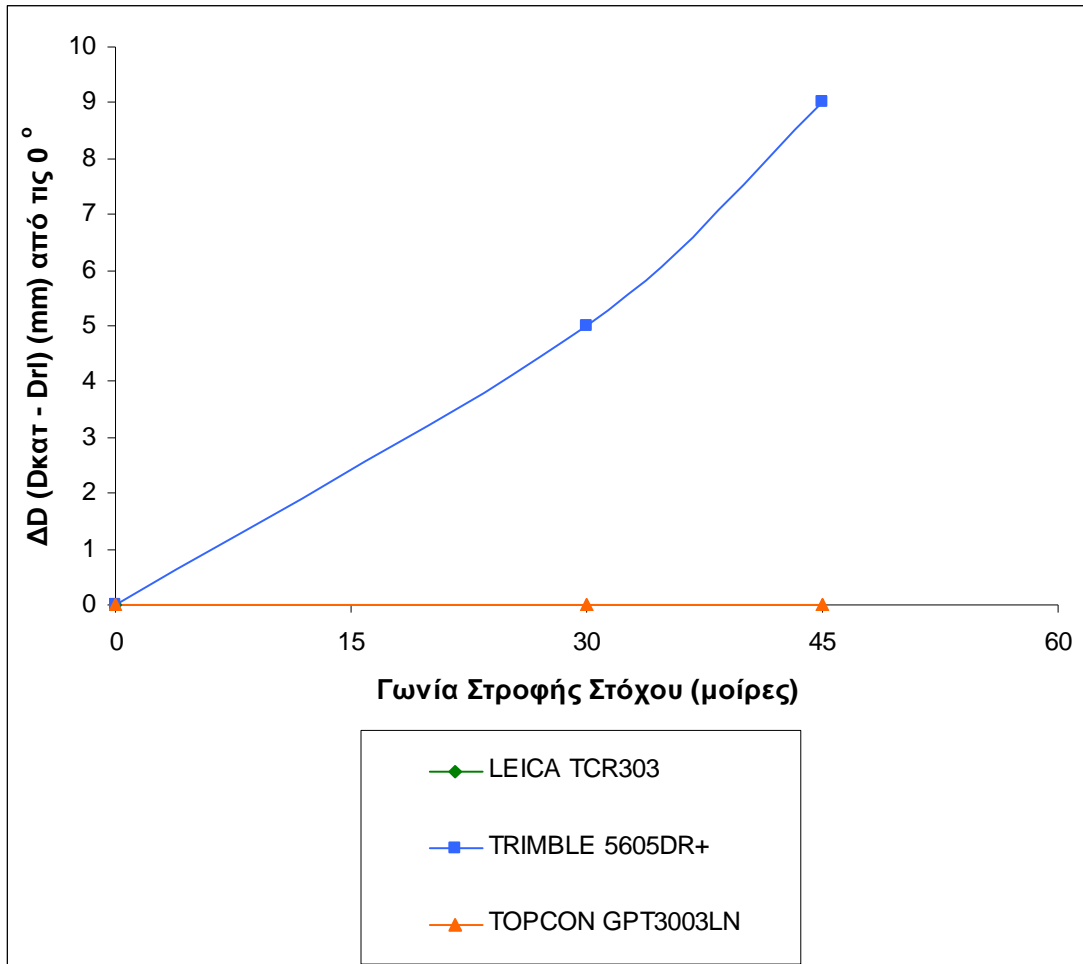
Πίνακας - Διάγραμμα 2.36: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Νίκελο στα 50m

ΠΑΓΟΣ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0	5		
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	-11	1	
TOPCON GPT3003LN	0	-2	6	



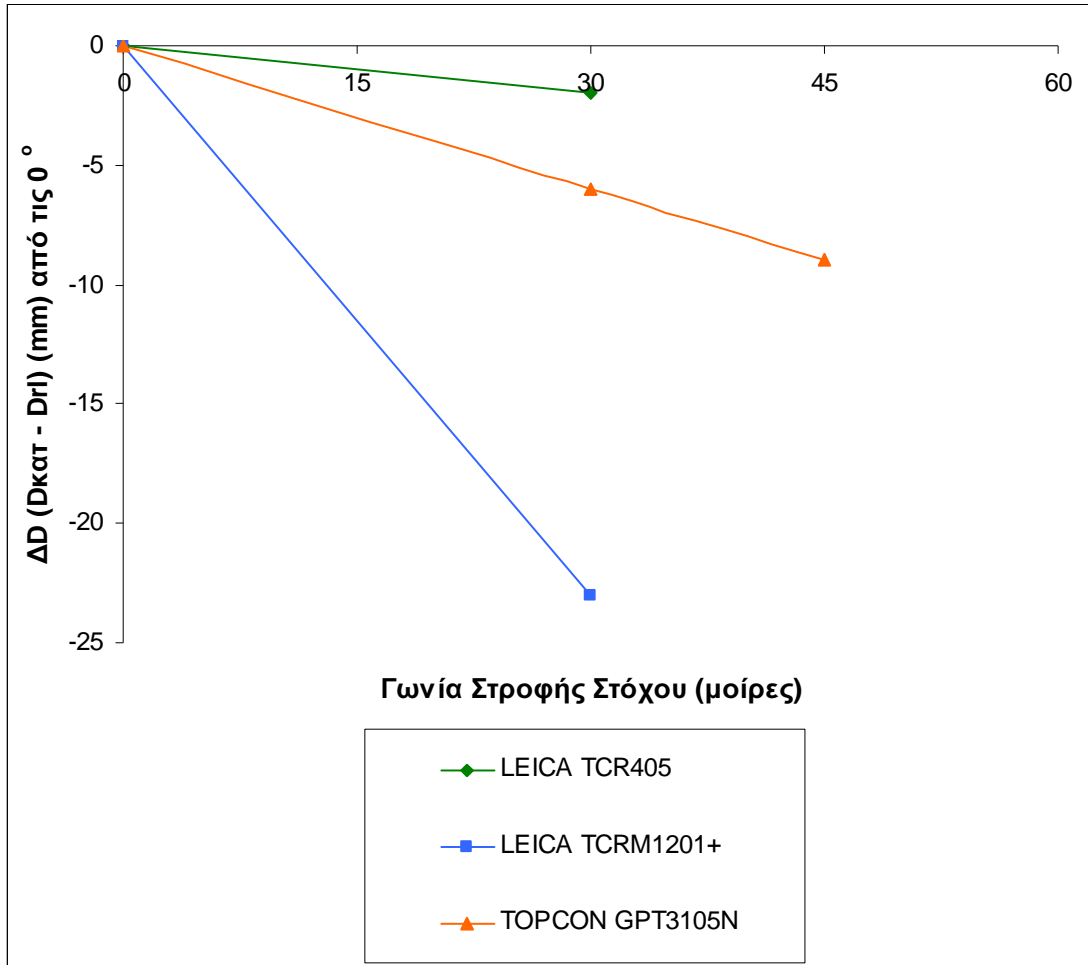
Πίνακας - Διάγραμμα 2.37: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Πάγο στα 50m

ΧΡΥΣΟΣ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
LEICA TCR303	0			
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup>	0	5	9	
TOPCON GPT3003LN	0	0	0	



Πίνακας - Διάγραμμα 2.38: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Χρυσό στα 50m

ΓΥΑΛΙ - 50m				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) από τις 0 μοίρες			
	0	30	45	60
TOPCON GPT3003LN	0	-70	-272	
LEICA TCR405	0	-2		
LEICA TCRM1201+	0	-23		-1973
TOPCON GPT3105N	0	-6	-9	
TOPCON GPT7003i	0	-52	-210	-1738



Πίνακας - Διάγραμμα 2.39: Αποκλίσεις μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° σε Γυαλί στα 50m

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στους πίνακες – διαγράμματα 2.6 έως 2.12, ορισμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί παρουσιάζουν συγκεκριμένη αντίδραση σε ότι αφορά την αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης, κάτι που τηρείται για τα περισσότερα υλικά.

Για παράδειγμα, οι γεωδαιτικοί σταθμοί Leica TCR303, Trimble 5605DR<sup>+</sup>, Topcon GPT3003LN και Topcon GPT3105N φαίνεται ότι σε απόσταση 50 μέτρων τείνουν να αποδίδουν μεγαλύτερη τιμή  $\Delta D$  ( $D_{κατ-D_{RL}}$ ) αυξανόμενης της γωνίας πρόσπτωσης στα δοκίμια. Αντιθέτως, οι γεωδαιτικοί σταθμοί Leica TCR405 και Leica TCRM1201<sup>+</sup> στα 50 μέτρα, τείνουν να αποδίδουν μικρότερη τιμή  $\Delta D$  (αρνητικού πρόσημου) αυξανόμενης της γωνίας πρόσπτωσης.

Στους υπόλοιπους γεωδαιτικούς σταθμούς δεν διαφαίνεται κάποια συγκεκριμένη τάση που να αφορά έστω την πλειοψηφία των υλικών.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αποκλίσεις που παρατηρούνται πολλές φορές υπερβαίνουν την ονομαστική αβεβαιότητα των οργάνων.

Η συγκεκριμένη συμπεριφορά κάθε γεωδαιτικού σταθμού αποτελεί παράγοντα που υπερισχύει της ιδιαιτερότητας κάθε υλικού, όπως φαίνεται και από τους πίνακες - διαγράμματα 2.13 έως 2.39.

Πιο συγκεκριμένα, παρόλο που κάποια υλικά αντιδρούν διαφορετικά σε μερικά όργανα, η τιμή του  $\Delta D$  ανά γωνία πρόσπτωσης σχετίζεται κυρίως με τον γεωδαιτικό σταθμό που χρησιμοποιείται.

Στις περισσότερες περιπτώσεις η καμπύλη μεταβολής του  $\Delta D$  ως προς την γωνία πρόσπτωσης παρουσιάζει μία μορφή εκθετικής συνάρτησης, είτε αύξουσας είτε φθίνουσας, αν και υπάρχουν και περιπτώσεις καμπύλων που τείνουν στην ευθεία γραμμή. Επιπροσθέτως, υπάρχουν και περιπτώσεις κατά τις οποίες κάποια υλικά παρουσιάζουν καμπύλη λογαριθμικού τύπου σε συγκεκριμένα όργανα (πχ τσιμέντο γκρι και τσιμέντο λευκό στον γεωδαιτικό σταθμό Trimble 5605DR<sup>+</sup>).

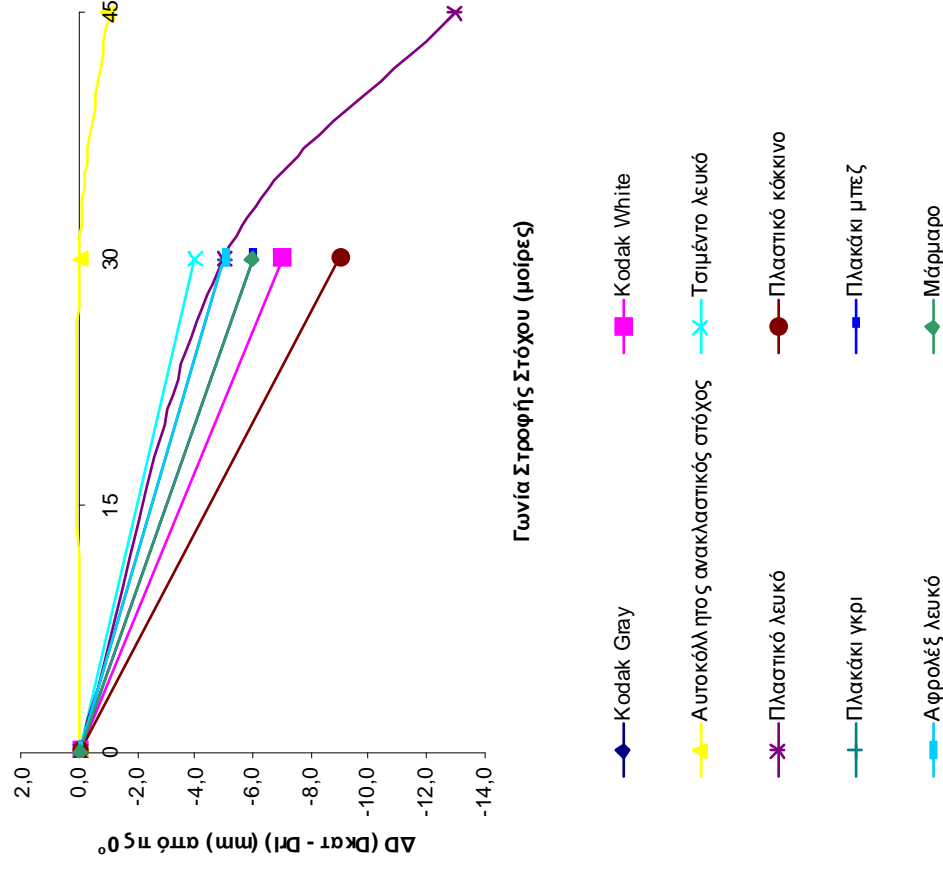
### **2.3.3 Μήκος στο όριο της εμβέλειας**

Οι πίνακες - διαγράμματα από 2.40 έως 2.42 παρουσιάζουν τα επεξεργασμένα δεδομένα και τα αντίστοιχα διαγράμματα ανά όργανο για μήκη που αγγίζουν τα όρια της εμβέλειας κάθε ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού.

Ως γνωστόν, σε μεγάλες αποστάσεις μέτρησης υπάρχει διεύρυνση του αποτυπώματος της δέσμης Laser. Επομένως, στις περιπτώσεις αυτές, μέσω της χρήσης μεγάλων επιφανειών πίσω από τα δοκίμια (πχ χαρτιά A4 και A1) είχε γίνει απόπειρα να αποτραπεί η πρόσπτωση της ακτινοβολίας στον περιβάλλοντα χώρο όπισθεν των στόχων.

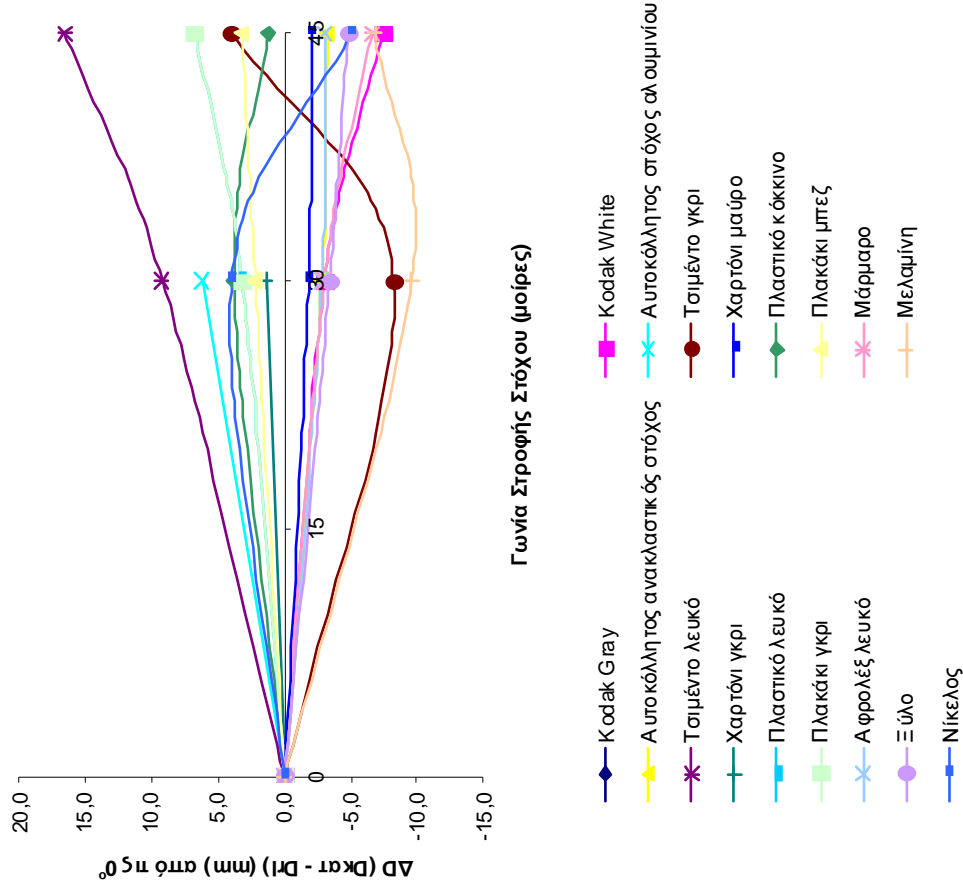


LEICA TCR303 - 77 μέτρα			
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm)	από τις 0	μοίρες
	0	30	45
Kodak Gray			
Kodak White	0	-7	
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	0	-1
Αυτοκόλλητος στόχος αλουμινίου	0		
Στόχος SOKKIA			
Τσιμέντο λευκό	0	-4	50
Τσιμέντο γκρι			
Χαρτόνι γκρι	0		
Χαρτόνι μαύρο			
Πλαστικό λευκό	0	-5	-13
Πλαστικό κόκκινο	0	-9	
Πλακάκι γκρι	0	-5	
Πλακάκι μπλε	0	-6	
Αφρολέξ καφέ			
Αφρολέξ λευκό	0	-5	
Μάρμαρο	0	-6	
Σίδερο			
Κεραμίδι			
Άσφαλτος			
Ξύλο	0		
Βράχος			
Νοβοπάν			
Μελαμίνη	0		
Νίκελος	0		
Πάγος			
Χρυσός			



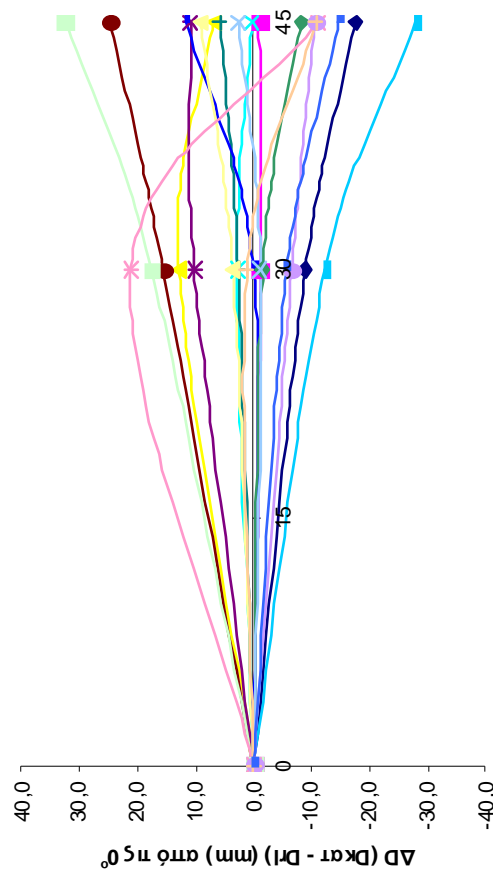
Πίνακας – Διάγραμμα 2.40: Αποκλίσεις εξωτερικών μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Leica TCR 303 στα 77m

<b>TRIMBLE 5605DR<sup>+</sup> - 422 μέτρα</b>			
<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>ΔD(mm)</b>	<b>από τις 0 μίρες</b>	
	<b>0</b>	<b>30</b>	<b>45</b>
Kodak Gray			
Kodak White	0	-3	-7
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος	0	-3	-3
Αυτοκόλλητος στόχος αλουμινίου	0	6	
Στόχος SOKKIA			
Τσιμέντο λευκό	0	9	17
Τσιμέντο γκρι	0	-8	4
Χαρτόνι γκρι	0	1	
Χαρτόνι μαύρο	0	-2	-2
Πλαστικό λευκό	0	3	7
Πλαστικό κόκκινο	0	4	1
Πλακάκι γκρι	0	3	7
Πλακάκι μπλε	0	2	3
Αφρολέξ καφέ			
Αφρολέξ λευκό	0	-3	-3
Μάρμαρο	0	-3	-7
Σίδερο			
Κεραμίδι			
Άσφαλτος			
Ξύλο	0	-3	-5
Βράχος			
Νοβοπάν			
Μελαμίνη	0	-10	-7
Νίκελος	0	4	-5
Πάγος			
Χρυσός			

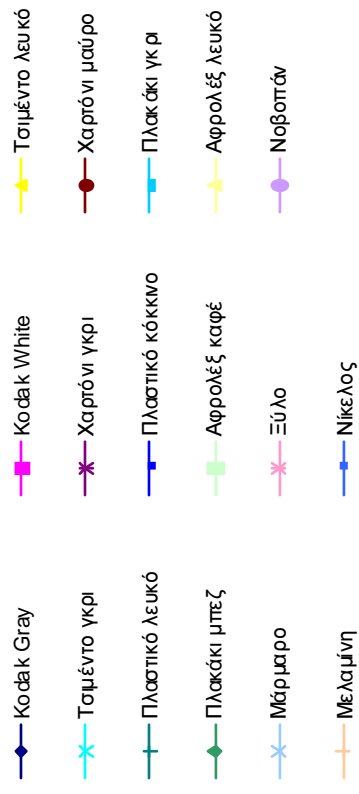


*Πίνακας – Διάγραμμα 2.41: Αποκλίσεις εξωτερικών μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Trimble 5605DR<sup>+</sup> στα 422m*

TOPCON GPT3003LN-638 μέτρα			
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm)	από τις 0	μπίρες
	0	30	45
Kodak Gray	0	-9	-18
Kodak White	0	-1	-1
Αυτοκόλλητος ανακλαστικός στόχος			
Αυτοκόλλητος στόχος αλουμινίου			
Στόχος SOKKIA			
Τσιμέντο λευκό	0	13	7
Τσιμέντο γκρι	0	3	0
Χαρτόνι γκρι	0	10	11
Χαρτόνι μαύρο	0	16	25
Πλαστικό λευκό	0	3	6
Πλαστικό κόκκινο	0	0	12
Πλακάκι γκρι	0	-12	-28
Πλακάκι μπλε	0	-2	-8
Αφρολέξ καφέ	0	18	32
Αφρολέξ λευκό	0	4	9
Μάρμαρο	0	-1	3
Σίδερο			
Κεραμίδι			
Άσφαλτος			
Ξύλο	0	21	-11
Βράχος			
Νοβοπάν	0	-7	-11
Μελαμίνη	0	1	-11
Νικελος	0	-6	-15
Πάγος			
Χρυσός			



Γωνία Στροφής Στόχου (μπίρες)



Πίνακας – Διάγραμμα 2.42: Αποκλίσεις εξωτερικών μετρήσεων από το μήκος που μετράται σε γωνία στροφής 0° με την χρήση του ΟΓΣ Topcon GPT 3003LN στα 638m

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στους πίνακες – διαγράμματα 2.40 έως 2.42, οι τρεις γεωδαιτικοί σταθμοί που εξετάστηκαν για την συμπεριφορά τους στα όρια της εμβέλειάς τους δεν μπόρεσαν να αποδώσουν μέτρηση μήκους σε αρκετά υλικά, κάτι που ήταν αναμενόμενο.

Ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCR303, για απόσταση 77 μέτρων αποδίδει μικρότερη τιμή  $\Delta D$  αυξανόμενης της γωνίας πρόσπτωσης για το σύνολο των υλικών που μέτρησε επιτυχώς. Στα περισσότερα δε από αυτά, το σφάλμα της μέτρησης υπερβαίνει την ονομαστική αβεβαιότητα όπως αυτή παρέχεται από τον κατασκευαστή.

Αντιθέτως, στους γεωδαιτικούς σταθμούς Trimble 5605DR<sup>+</sup> και Topcon GPT3003LN, για αποστάσεις μέτρησης 422 και 638 μέτρα αντίστοιχα οι τιμές  $\Delta D$  μεταβάλλονται είτε προς θετικό είτε προς αρνητικό πρόσημο. Μάλιστα, ο δεύτερος από αυτούς παρουσιάζει αυξημένες τιμές  $\Delta D$  που υπερβαίνουν κατά πολύ την αναμενόμενη τιμή.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, η λειτουργία της μέτρησης χωρίς ανακλαστήρα σε αποστάσεις που αγγίζουν τα όρια της εμβέλειας των γεωδαιτικών σταθμών είναι αμφίβολης ακρίβειας και ορθότητας.

## 2.4 Η επίδραση του μεγέθους του μήκους

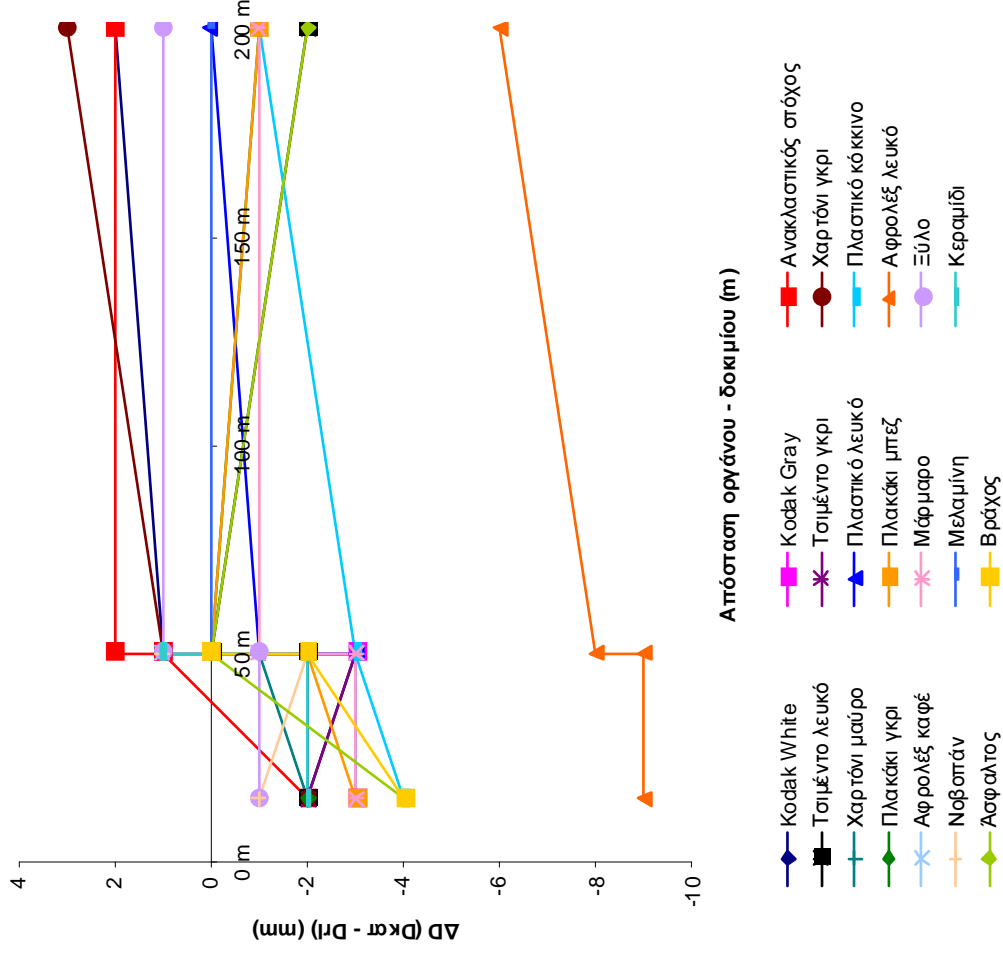
Κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η επίδραση του μεγέθους του μήκους που μετράται στην τιμή του  $\Delta D$ . Μάλιστα, ο προσδιορισμός του μεγέθους αυτού του παράγοντα (απόσταση σε μέτρα) είναι άμεσος, σε αντίθεση με άλλους παράγοντες που επιδρούν στην μέτρηση χωρίς ανακλαστήρα όπως η φωτεινότητα, η υφή και το χρώμα που δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν εύκολα.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό περιελάμβαναν μετρήσεις στις αποστάσεις των 15, 50 και 200 μέτρων για πέντε γεωδαιτικούς σταθμούς και για μηδενική γωνία πρόσπτωσης της δέσμης στα δοκίμια (κάθετη πρόσπτωση). Αυτό συνέβη καθώς στην παρούσα φάση ενδιαφέρει ο προσδιορισμός της επίδρασης της απόστασης στην τιμή του  $\Delta D$  και όχι της επίδρασης της γωνίας πρόσπτωσης, διαδικασία που έλαβε χώρα στα προηγούμενα.

Η ομαδοποίηση και επεξεργασία των δεδομένων είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία διαγραμμάτων ανά όργανο και ανά υλικό, διαδικασία αντίστοιχη με αυτή του προηγούμενου υποκεφαλαίου, ώστε να φανεί ξεχωριστά η αντίδραση των διαφορετικών οργάνων αλλά και των διαφορετικών υλικών στην μεταβολή της απόστασης οργάνου – δοκιμίου.

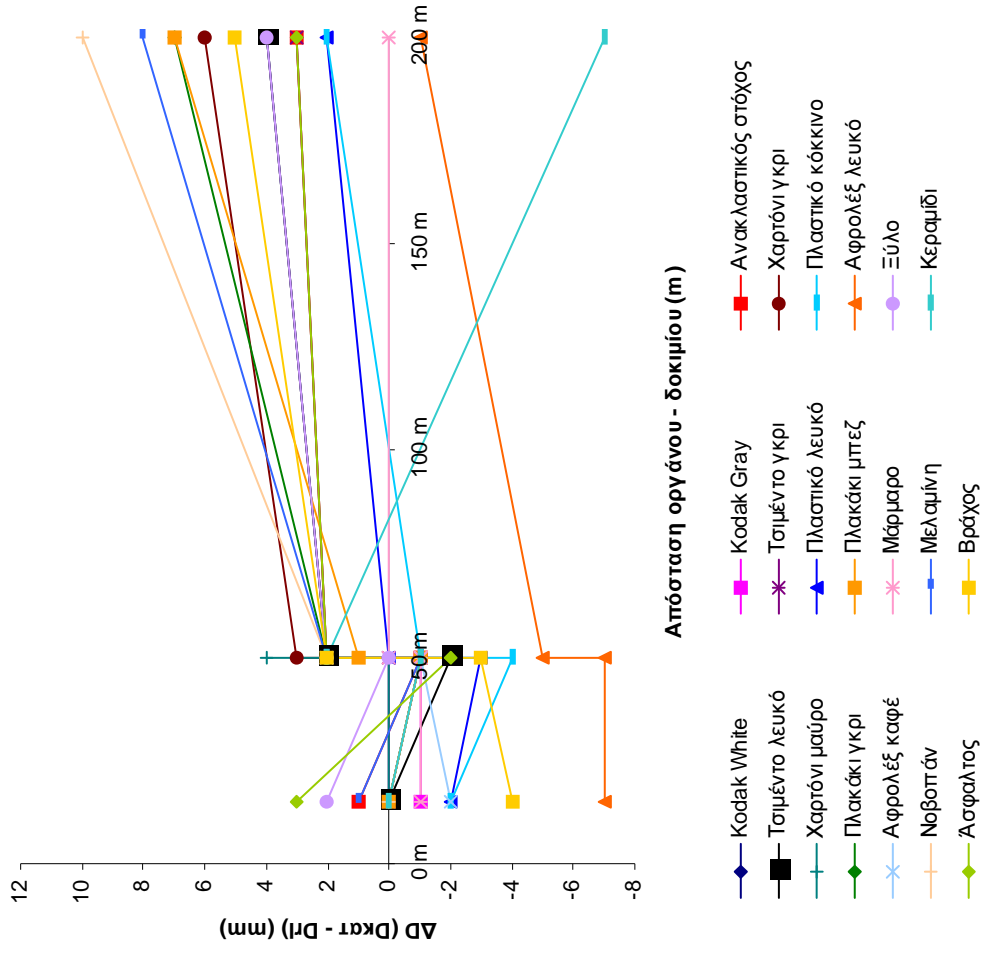
Οι πίνακες – διαγράμματα 2.43 έως 2.47 παρουσιάζουν την μεταβολή του  $\Delta D$  ανά απόσταση για κάθε ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό ενώ οι πίνακες - διαγράμματα 2.48 έως 2.67 για κάθε διαφορετικό υλικό.

LEICA TCR405					
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) (Dkat - Drl)				
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις		
	15 m	50 m	50 m	50 m	200 m
Kodak White	-2	-3	-3	1	2
Kodak Gray	-3	-3	-3	1	
Ανακλαστικός στόχος	-2	1	2	2	2
Τσιμέντο λευκό	-2	-2	-2	0	-2
Τσιμέντο γκρι	-2	-3	-3	1	
Χαρτόνι γκρι	-2	-2	-2	1	3
Χαρτόνι μαύρο	-2	-1	-1	1	
Πλαστικό λευκό	-3	-3	-3	-1	0
Πλαστικό κόκκινο	-4	-3	-3	-3	-1
Πλακάκι γκρι	-2	-2	-2	0	-1
Πλακάκι μπέζ	-3	-2	-2	0	-1
Αφρολέξ λευκό	-9	-9	-9	-8	-6
Αφρολέξ καφέ	-3	-3	-3	1	
Μάρμαρο	-3	-3	-3	-1	-1
Ξύλο	-1	-1	-1	1	1
Νοβοπάν	-1	-2	-2	1	
Μελαμίνη	-2	-2	-2	0	0
Κεραμίδι	-2	-2	-2	1	
Άσφαλτος	-4	0	0	0	-2
Βράχος	-4	-2	-2	0	
Γυαλί	-43	-46	-46	-45	-43



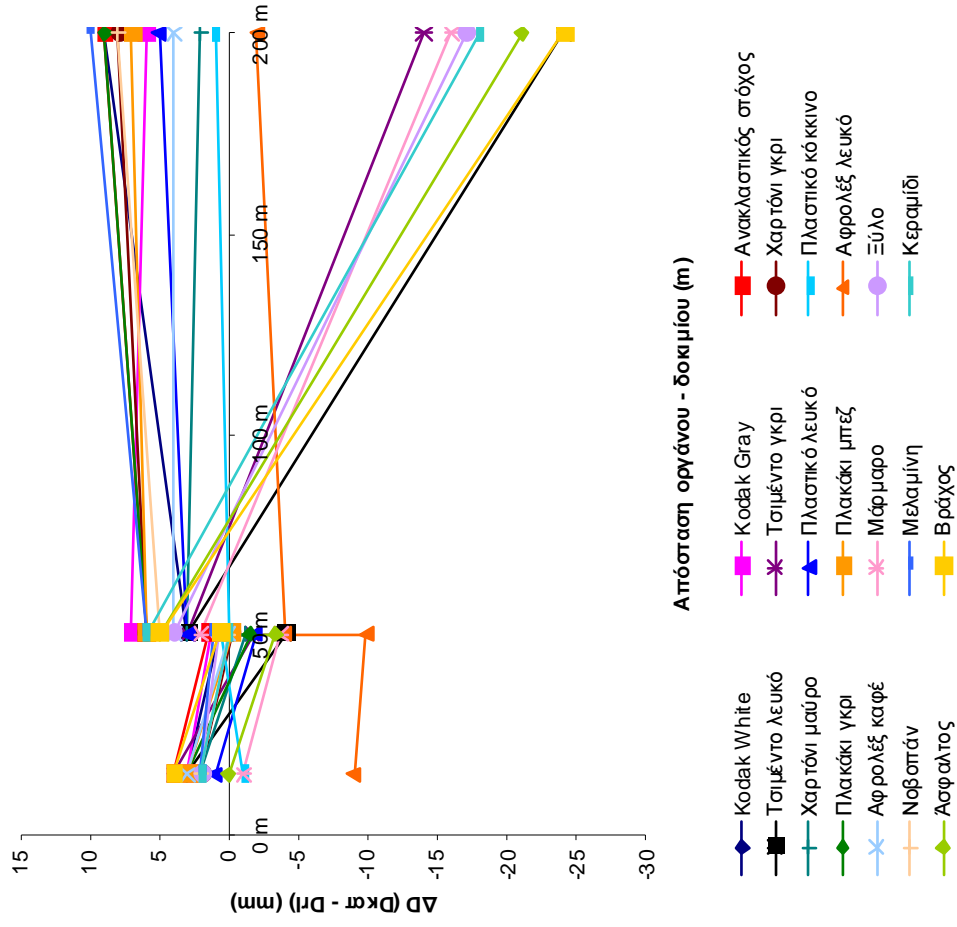
Πίνακας – Διάγραμμα 2.43: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism από το μήκος που μετράται με πρίσμα για διάφορες αποστάσεις με τον ΟΙΣ Leica TCR 405

LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>				
ΥΛΙΚΟ	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
Kodak White	0	-1	2	4
Kodak Gray	-1	-1	2	
Ανακλαστικός στόχος	1	-1	2	3
Τσιμέντο λευκό	0	-2	2	4
Τσιμέντο γκρι	0	0	2	3
Χαρτόνι γκρι	0	-1	3	6
Χαρτόνι μαύρο	0	0	4	
Πλαστικό λευκό	-2	-3	0	2
Πλαστικό κόκκινο	-2	-4	-1	2
Πλακάκι γκρι	0	-1	2	7
Πλακάκι μπλε	0	-1	1	7
Αφρολέξ λευκό	-7	-7	-5	-1
Αφρολέξ καφέ	-2	-1	2	
Μάρμαρο	-1	-1	0	0
Ξύλο	2	0	2	4
Νοβοπάν	0	-1	2	10
Μελαιμίνη	1	-1	2	8
Κεραμίδι	0	-1	2	-7
Άσφαλτος	3	-2	2	3
Βράχος	-4	-3	2	5
Γυαλί	-42	-43	-43	-41



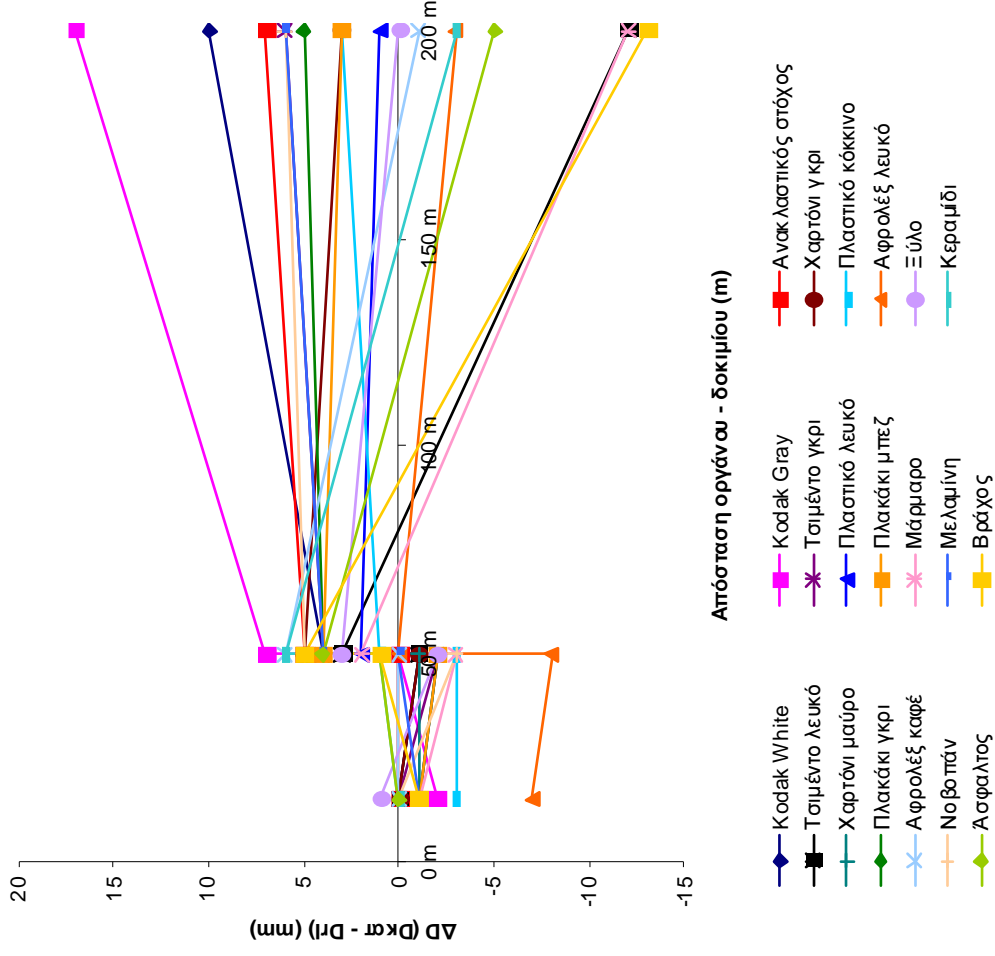
Πίνακας – Διάγραμμα 2.44: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις με τον ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup>

TOPCON GPT3003LN					
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Dρι)				
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις		
	15 m	50 m	50 m	50 m	200 m
Kodak White	3	0	3	3	9
Kodak Gray	3	-2	7	7	6
Ανακλαστικός στόχος	4	-1	6	6	9
Τσιμέντο λευκό	3	-4	3	3	-24
Τσιμέντο γκρι	4	0	3	3	-14
Χαρτόνι γκρι	2	-1	6	6	8
Χαρτόνι μαύρο	2	-2	3	3	2
Πλαστικό λευκό	1	-1	3	3	5
Πλαστικό κόκκινο	-1	-2	0	0	1
Πλακάκι γκρι	3	1	6	6	9
Πλακάκι μπέζ	3	-1	6	6	7
Αφρολέξ λευκό	-9	-9	-4	-4	-2
Αφρολέξ καφέ	3	0	4	4	4
Μάρμαρο	-1	-2	2	2	-16
Ξύλο	2	0	4	4	-17
Νοβοπάν	2	0	5	5	8
Μελαμίνη	2	2	6	6	10
Κεραμίδι	2	0	6	6	-18
Άσφαλτος	0	0	5	5	-21
Βράχος	4	-1	5	5	-24
Γυαλί	-41	-48	-43	-43	-35



Πίνακας – Διάγραμμα 2.45: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις με τον ΟΓΣ Topcon GPT 3003LN

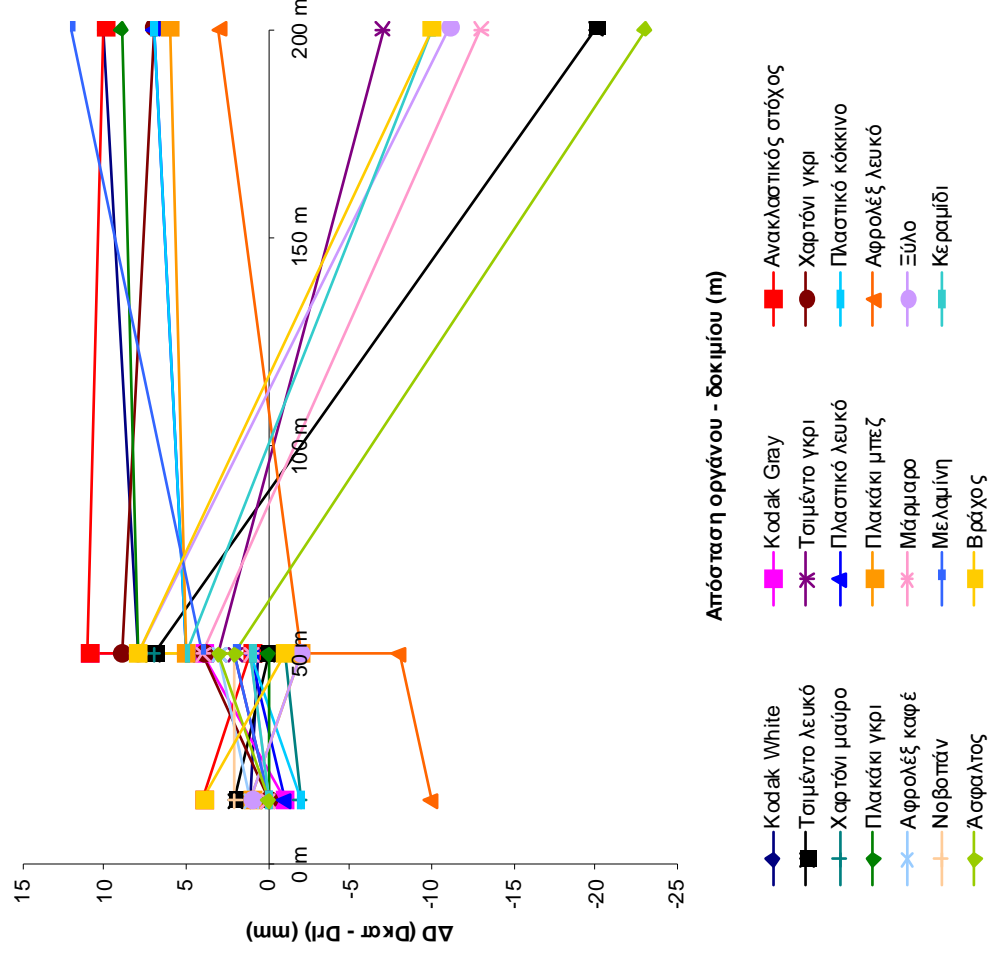
TOPCON GPT3105N				
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Dτρι)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
Kodak White	0	-1	4	10
Kodak Gray	-2	0	7	17
Ανακλαστικός στόχος	0	0	5	7
Τσιμέντο λευκό	0	-1	3	-12
Τσιμέντο γκρι	0	-2	4	6
Χαρτόνι γκρι	0	-1	5	3
Χαρτόνι μαύρο	-1	-1	4	
Πλαστικό λευκό	-1	-2	2	1
Πλαστικό κόκκινο	-3	-3	1	3
Πλακάκι γκρι	-1	-2	4	5
Πλακάκι μπλε	-1	-2	4	3
Αφρολέξ λευκό	-7	-8	0	-3
Αφρολέξ καφέ	0	0	6	-1
Μάρμαρο	-1	-3	2	-12
Ξύλο	1	-2	3	0
Νοβοπάν	0	-3	5	6
Μελαμίνη	-1	0	4	6
Κεραμίδι	0	1	6	-3
Άσφαλτος	0	1	4	-5
Βράχος	-1	1	5	-13
Γυαλί	-45	-41	-41	-30



Πίνακας – Διάγραμμα 2.46: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις με τον ΟΓΣ Topcon GPT 3105N

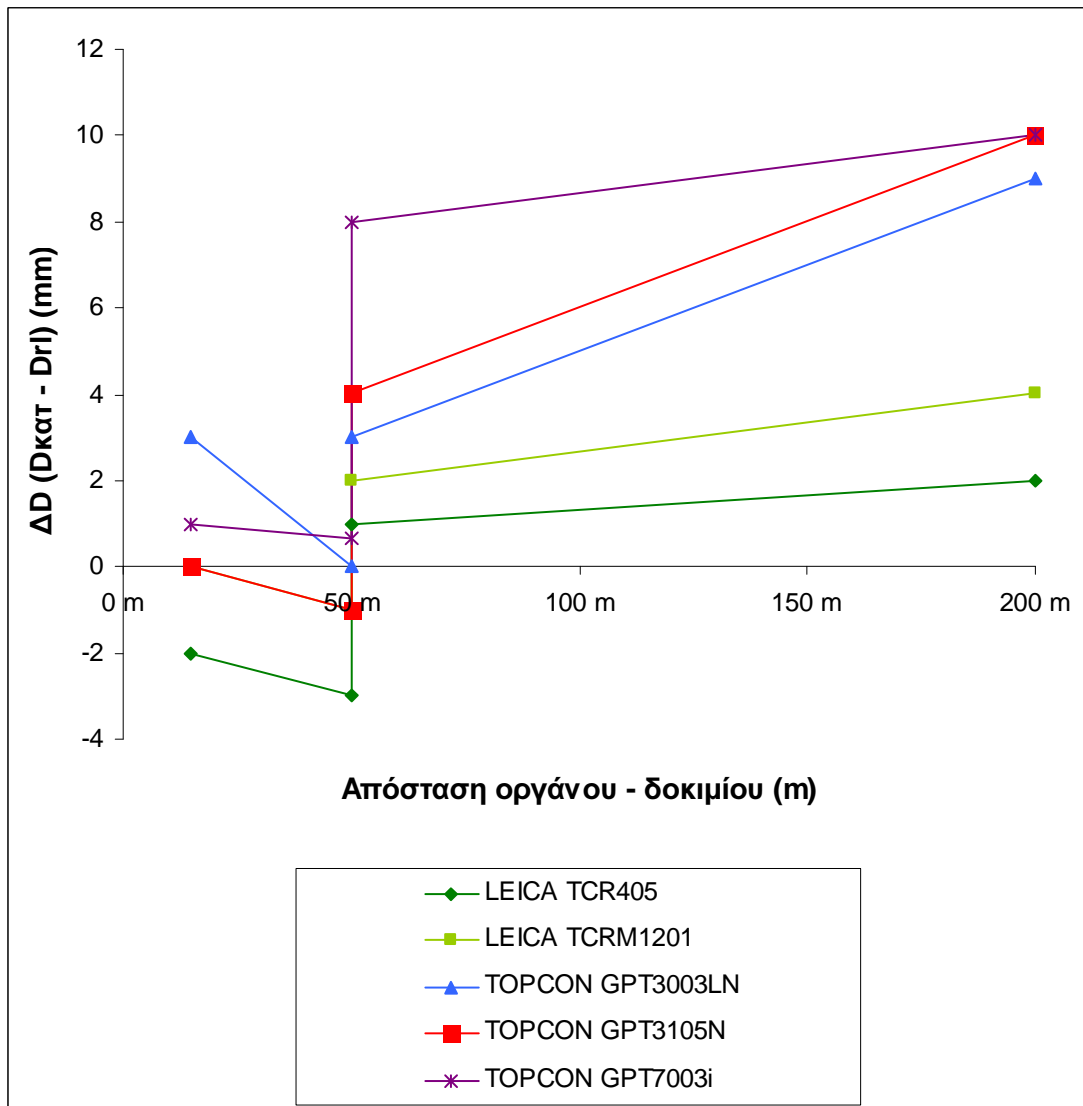


TOPCON GPT7003i					
ΥΛΙΚΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Dρι)				
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις		
	15 m	50 m	50 m	50 m	200 m
Kodak White	1	1	8	10	
Kodak Gray	-1	4	11		
Ανακλαστικός στόχος	4	1	11	10	
Τσιμέντο λευκό	2	0	7	-20	
Τσιμέντο γκρι	0	2	3	-7	
Χαρτόνι γκρι	0	4	9	7	
Χαρτόνι μαύρο	-2	-1	7		
Πλαστικό λευκό	-1	1	5	7	
Πλαστικό κόκκινο	-2	1	5	7	
Πλακάκι γκρι	0	0	8	9	
Πλακάκι μπεζ	1	-2	5	6	
Αφρολέξ λευκό	-10	-8	-2	3	
Αφρολέξ καφέ	1	3	3		
Μάρμαρο	0	1	4	-13	
Ξύλο	1	-2	8	-11	
Νοβοπάν	2	2	8		
Μελαμίνη	0	2	4	12	
Κεραμίδι	0	1	5	-10	
Άσφαλτος	0	3	2	-23	
Βράχος	4	-1	8	-10	
Γυαλί	-42	-41	-42	-32	



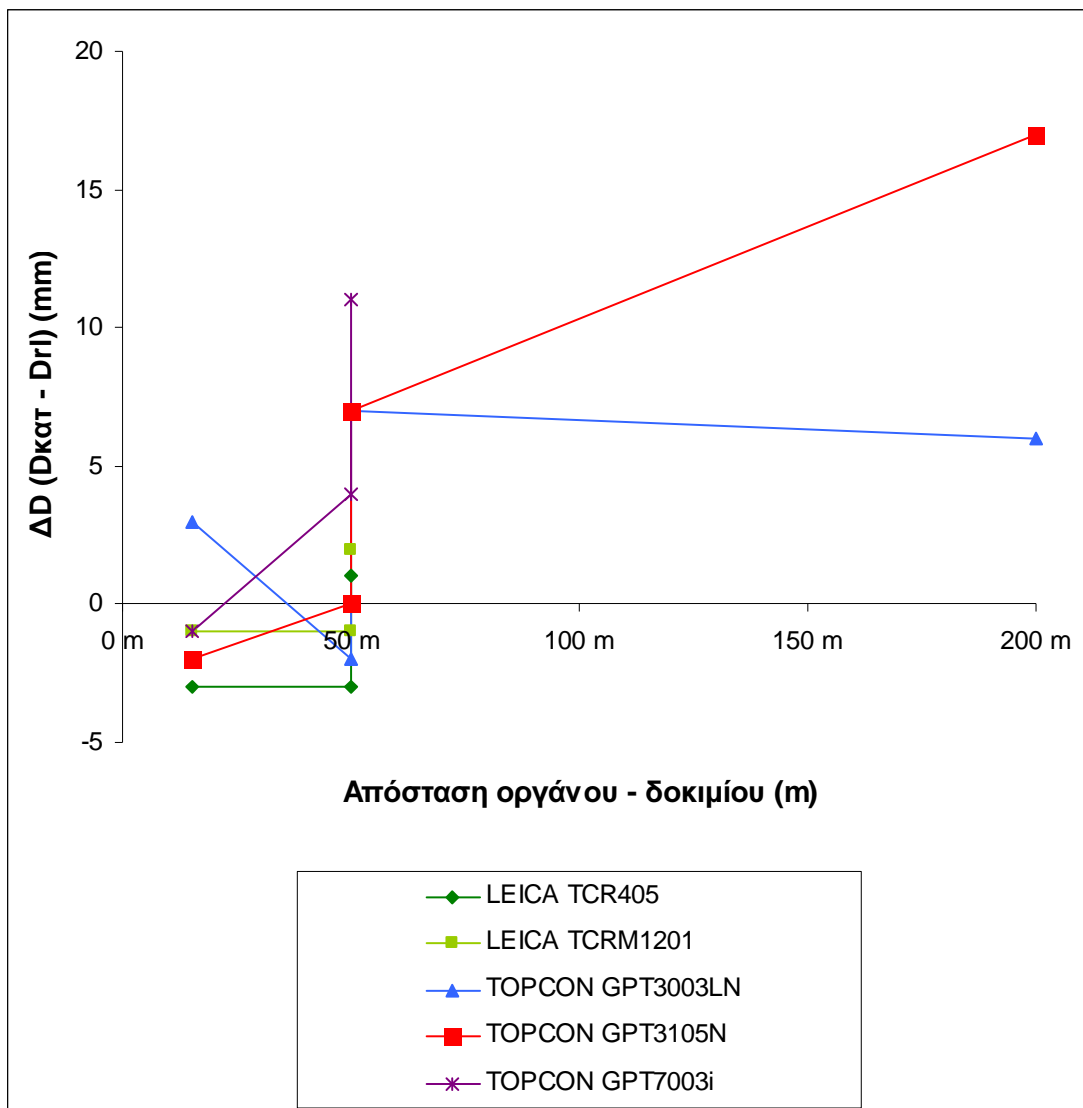
Πίνακας – Διάγραμμα 2.47: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις με τον ΟΙΣ Topcon GPT 7003i

KODAK WHITE				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-2	-3	1	2
LEICA TCRM1201	0	-1	2	4
TOPCON GPT3003LN	3	0	3	9
TOPCON GPT3105N	0	-1	4	10
TOPCON GPT7003i	1	1	8	10



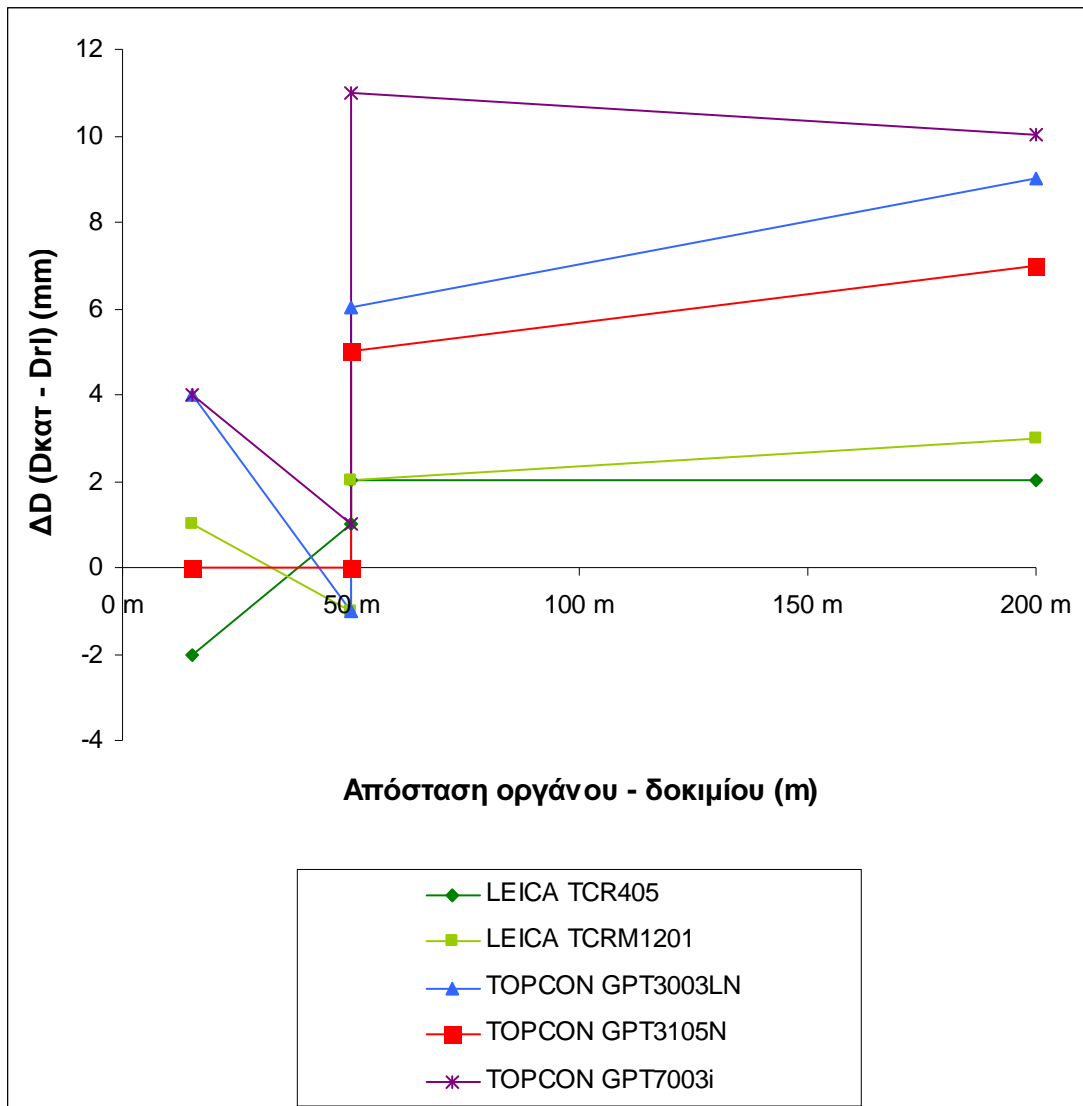
Πίνακας - Διάγραμμα 2.48: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Kodak White από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

KODAK GRAY				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-3	-3	1	
LEICA TCRM1201	-1	-1	2	
TOPCON GPT3003LN	3	-2	7	6
TOPCON GPT3105N	-2	0	7	17
TOPCON GPT7003i	-1	4	11	



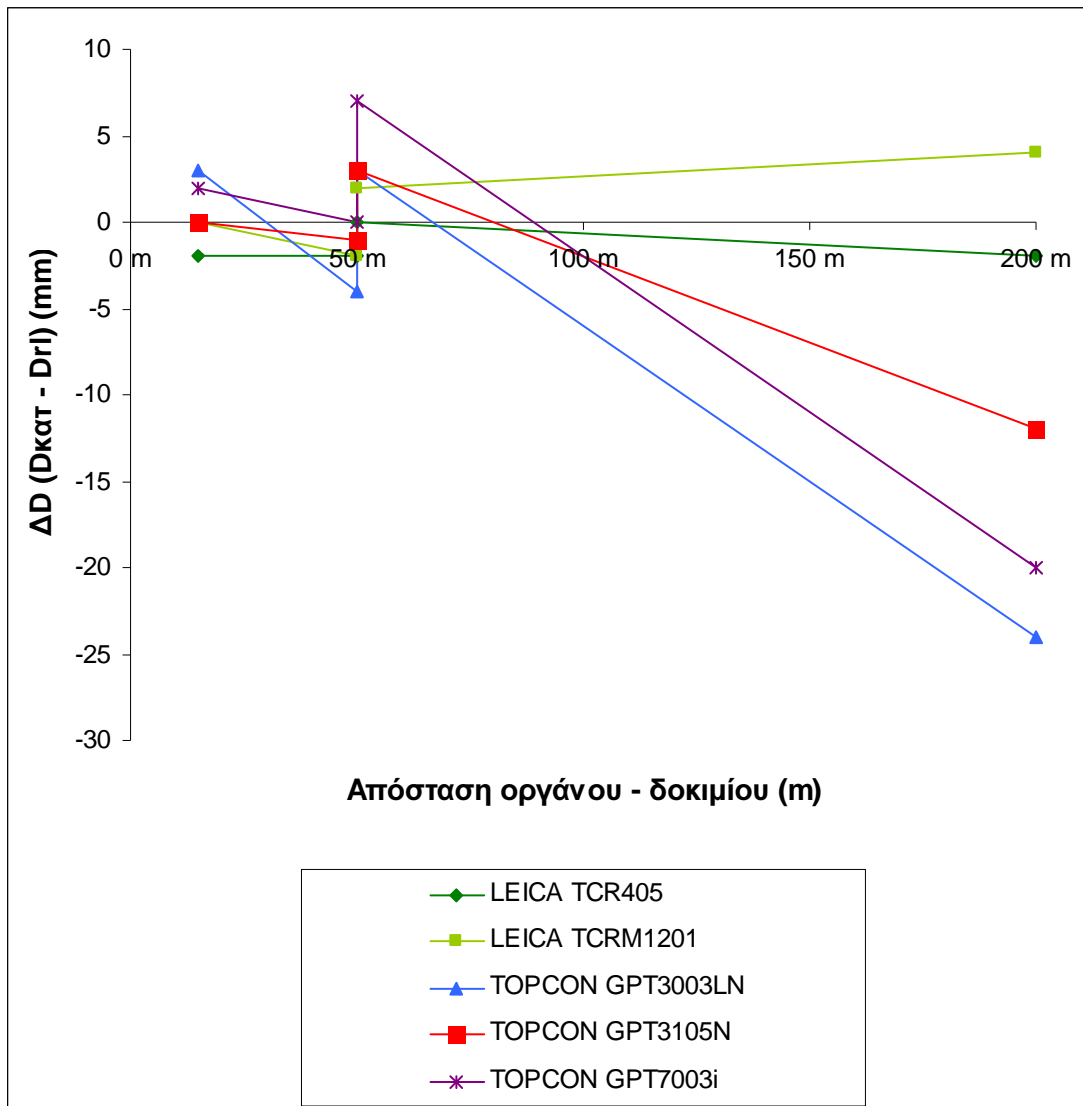
Πίνακας - Διάγραμμα 2.49: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Kodak Gray από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΑΥΤΟΚΟΛΛΗΤΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΣ ΣΤΟΧΟΣ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-2	1	2	2
LEICA TCRM1201	1	-1	2	3
TOPCON GPT3003LN	4	-1	6	9
TOPCON GPT3105N	0	0	5	7
TOPCON GPT7003i	4	1	11	10



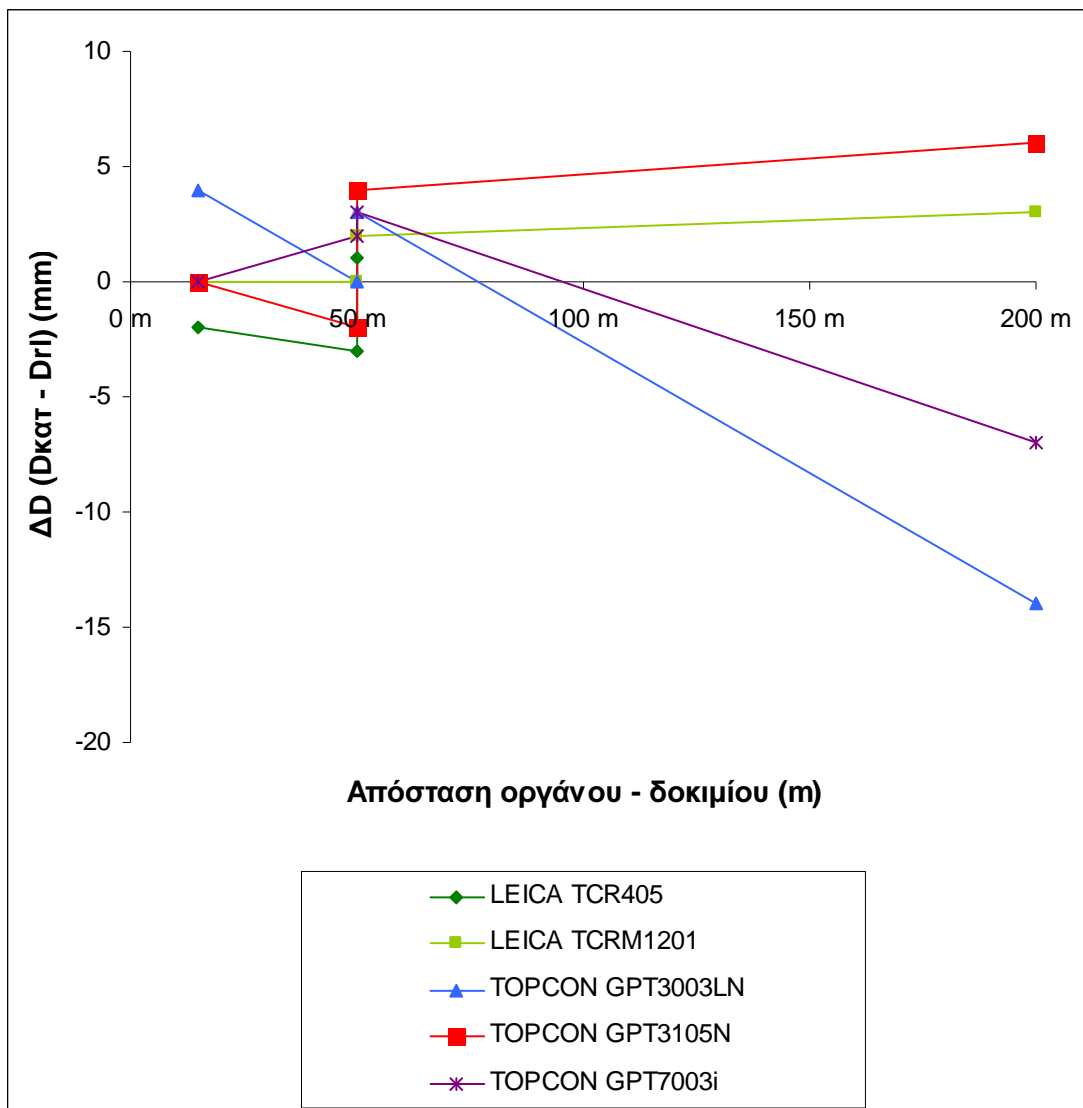
Πίνακας - Διάγραμμα 2.50: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Αυτοκόλλητο ανακλαστικό στόχο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΛΕΥΚΟ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-2	-2	0	-2
LEICA TCRM1201	0	-2	2	4
TOPCON GPT3003LN	3	-4	3	-24
TOPCON GPT3105N	0	-1	3	-12
TOPCON GPT7003i	2	0	7	-20



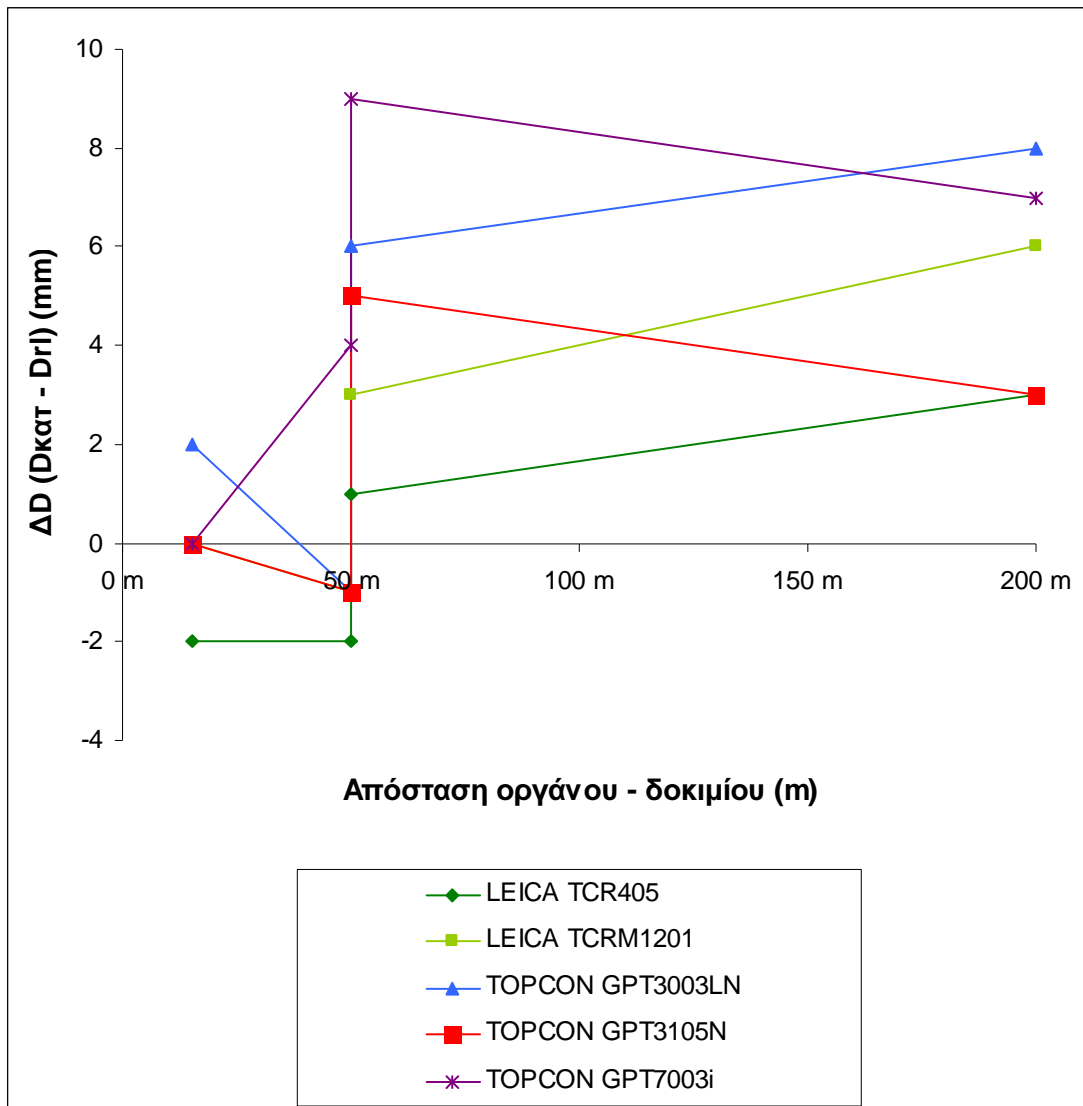
Πίνακας - Διάγραμμα 2.51: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Τσιμέντο Λευκό από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΓΚΡΙ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-2	-3	1	
LEICA TCRM1201	0	0	2	3
TOPCON GPT3003LN	4	0	3	-14
TOPCON GPT3105N	0	-2	4	6
TOPCON GPT7003i	0	2	3	-7



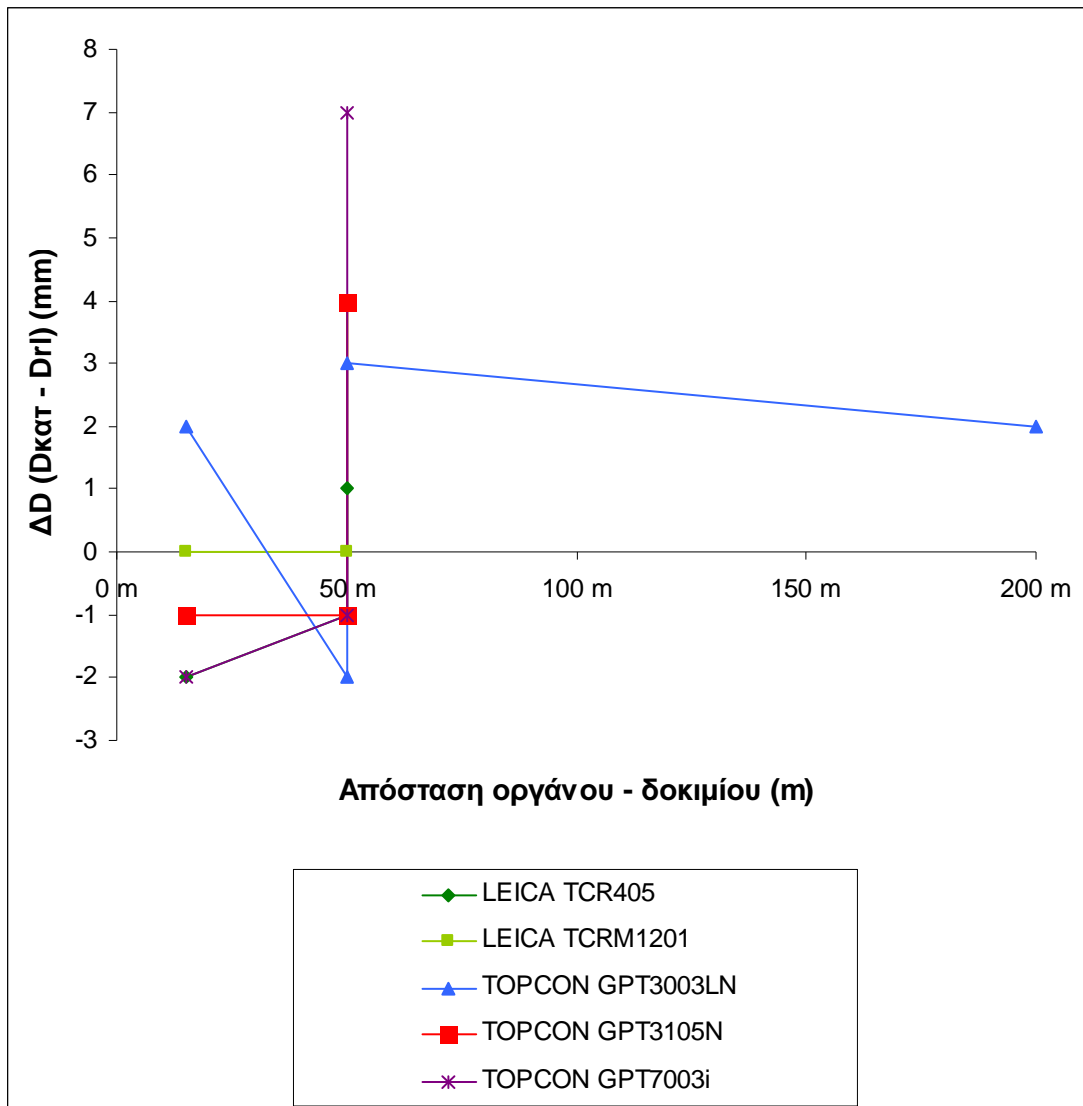
Πίνακας - Διάγραμμα 2.52: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Τσιμέντο Γκρι από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΧΑΡΤΟΝΙ ΓΚΡΙ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-2	-2	1	3
LEICA TCRM1201	0	-1	3	6
TOPCON GPT3003LN	2	-1	6	8
TOPCON GPT3105N	0	-1	5	3
TOPCON GPT7003i	0	4	9	7



Πίνακας - Διάγραμμα 2.53: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Χαρτόνι Γκρι από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

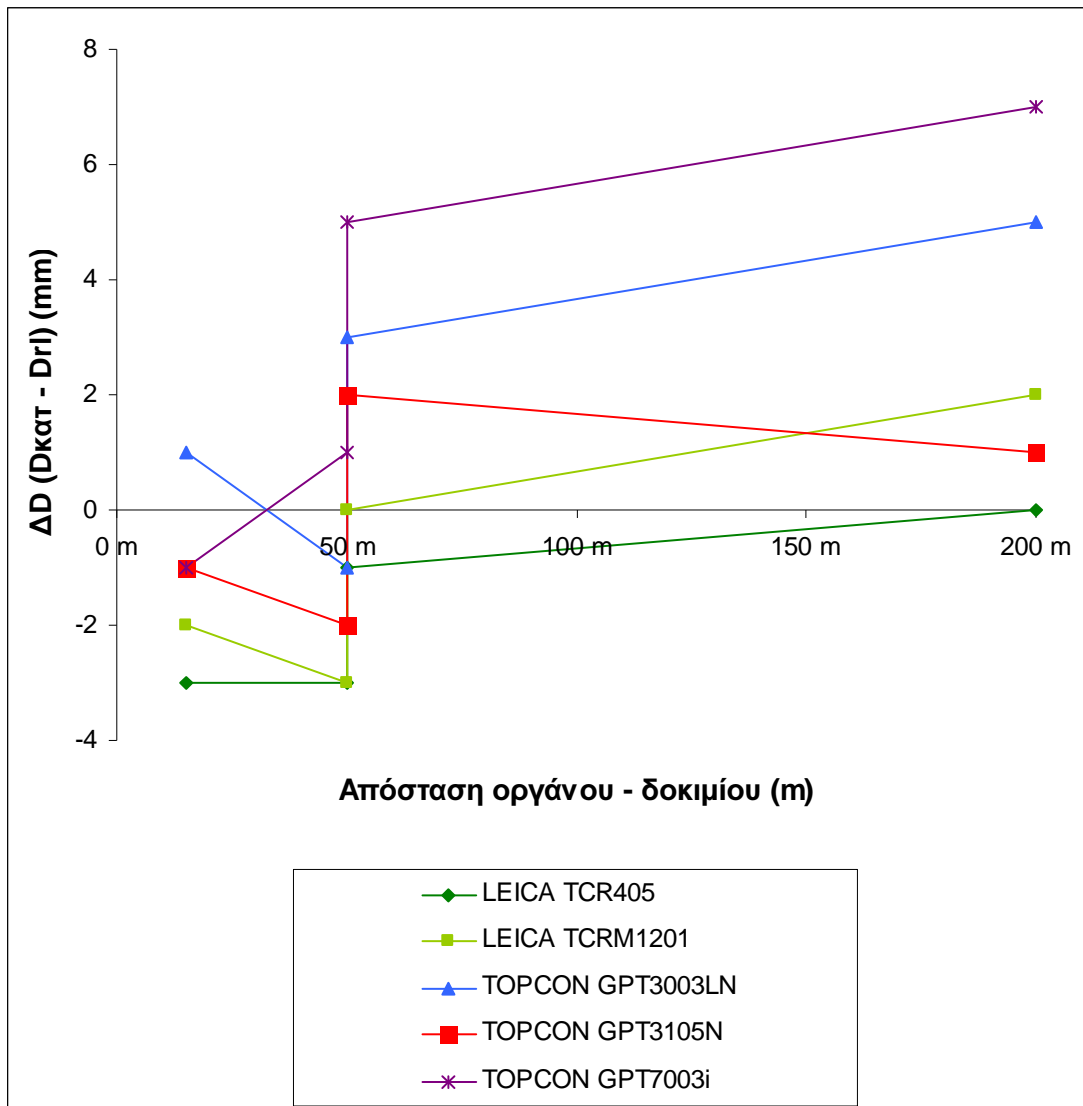
ΧΑΡΤΟΝΙ ΜΑΥΡΟ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-2	-1	1	
LEICA TCRM1201	0	0	4	
TOPCON GPT3003LN	2	-2	3	2
TOPCON GPT3105N	-1	-1	4	
TOPCON GPT7003i	-2	-1	7	



Πίνακας - Διάγραμμα 2.54: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Χαρτόνι Μαύρο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

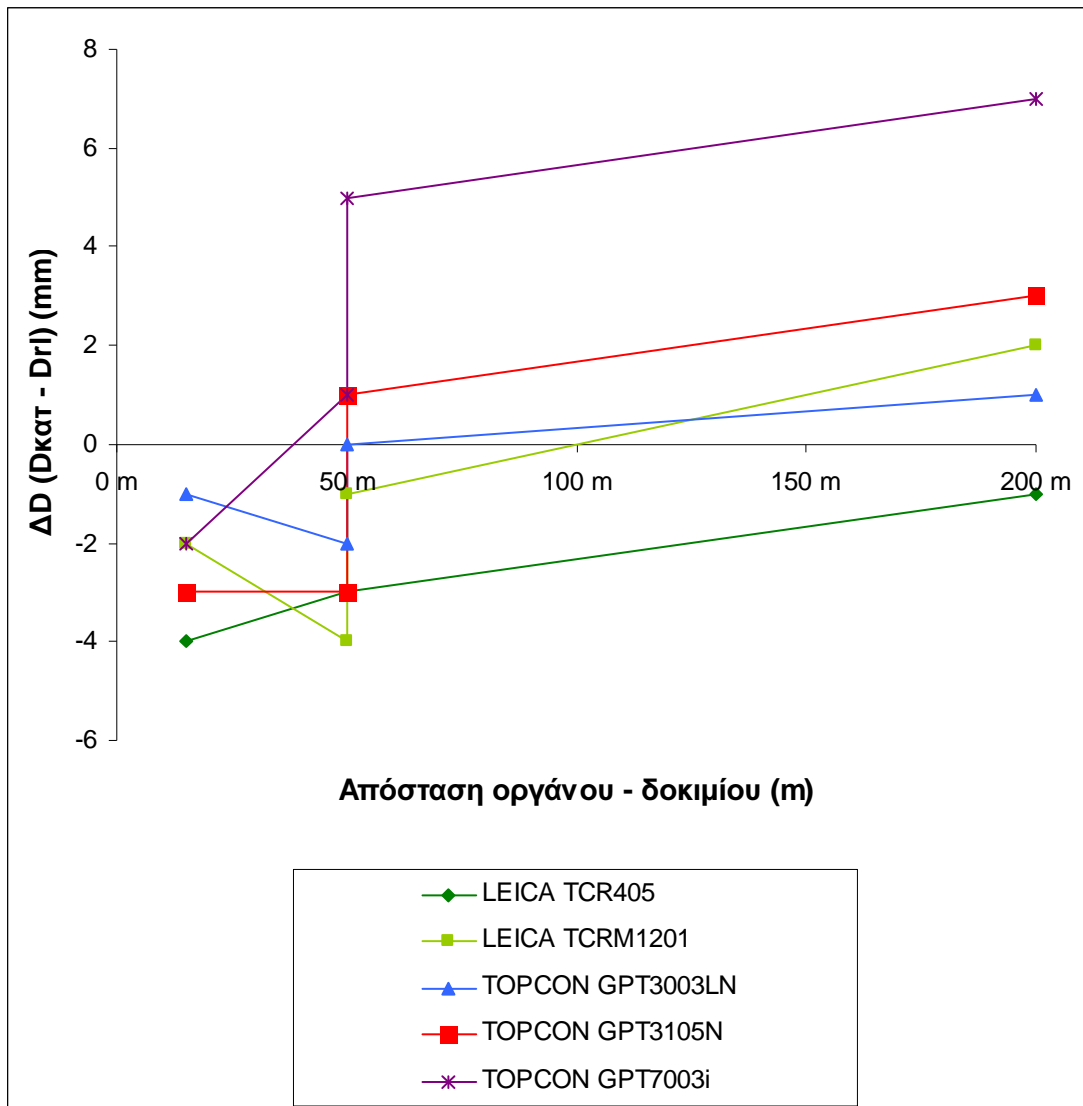


ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΛΕΥΚΟ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-3	-3	-1	0
LEICA TCRM1201	-2	-3	0	2
TOPCON GPT3003LN	1	-1	3	5
TOPCON GPT3105N	-1	-2	2	1
TOPCON GPT7003i	-1	1	5	7



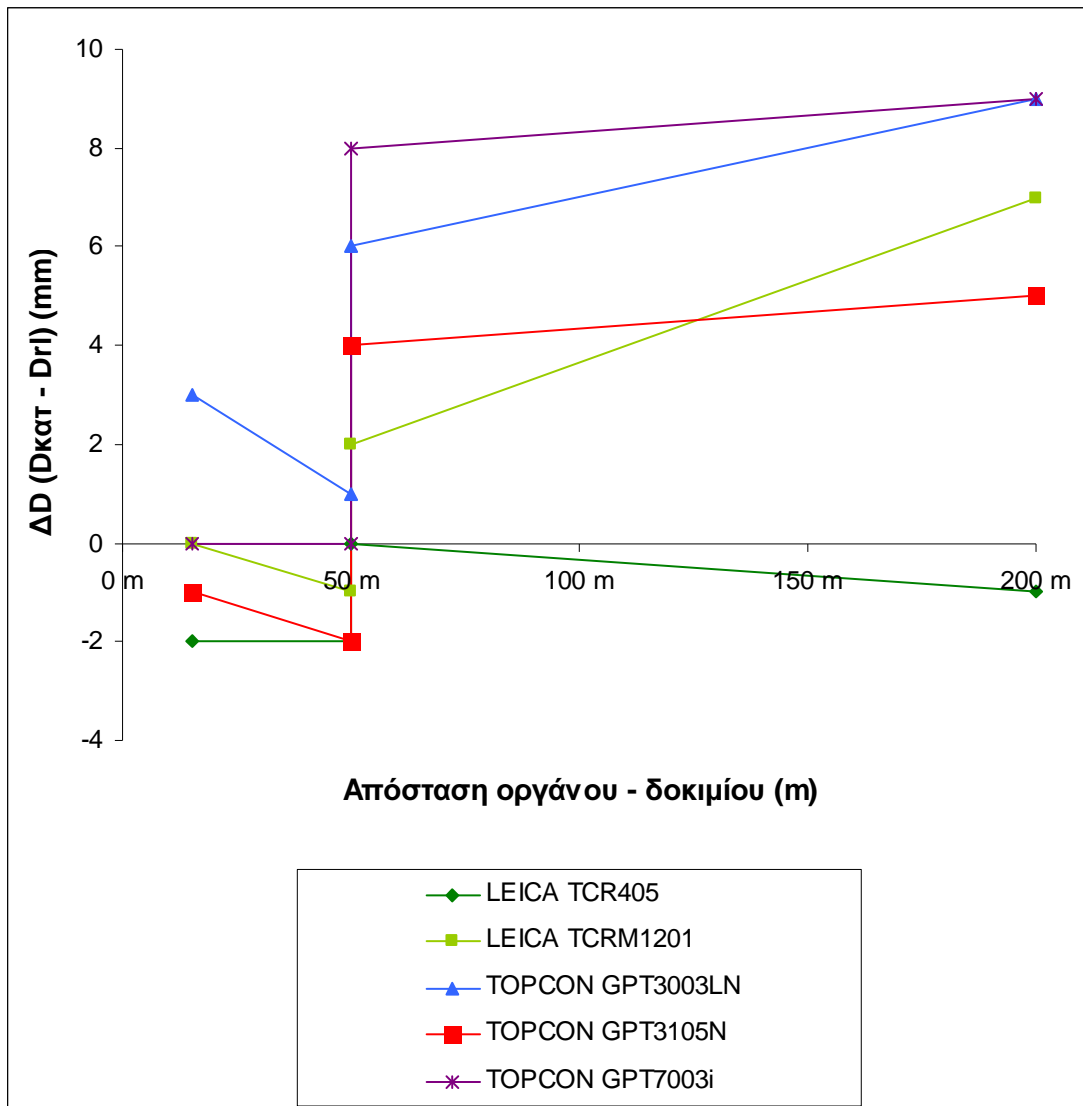
Πίνακας - Διάγραμμα 2.55: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Πλαστικό Λευκό από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΚΟΚΚΙΝΟ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-4	-3	-3	-1
LEICA TCRM1201	-2	-4	-1	2
TOPCON GPT3003LN	-1	-2	0	1
TOPCON GPT3105N	-3	-3	1	3
TOPCON GPT7003i	-2	1	5	7



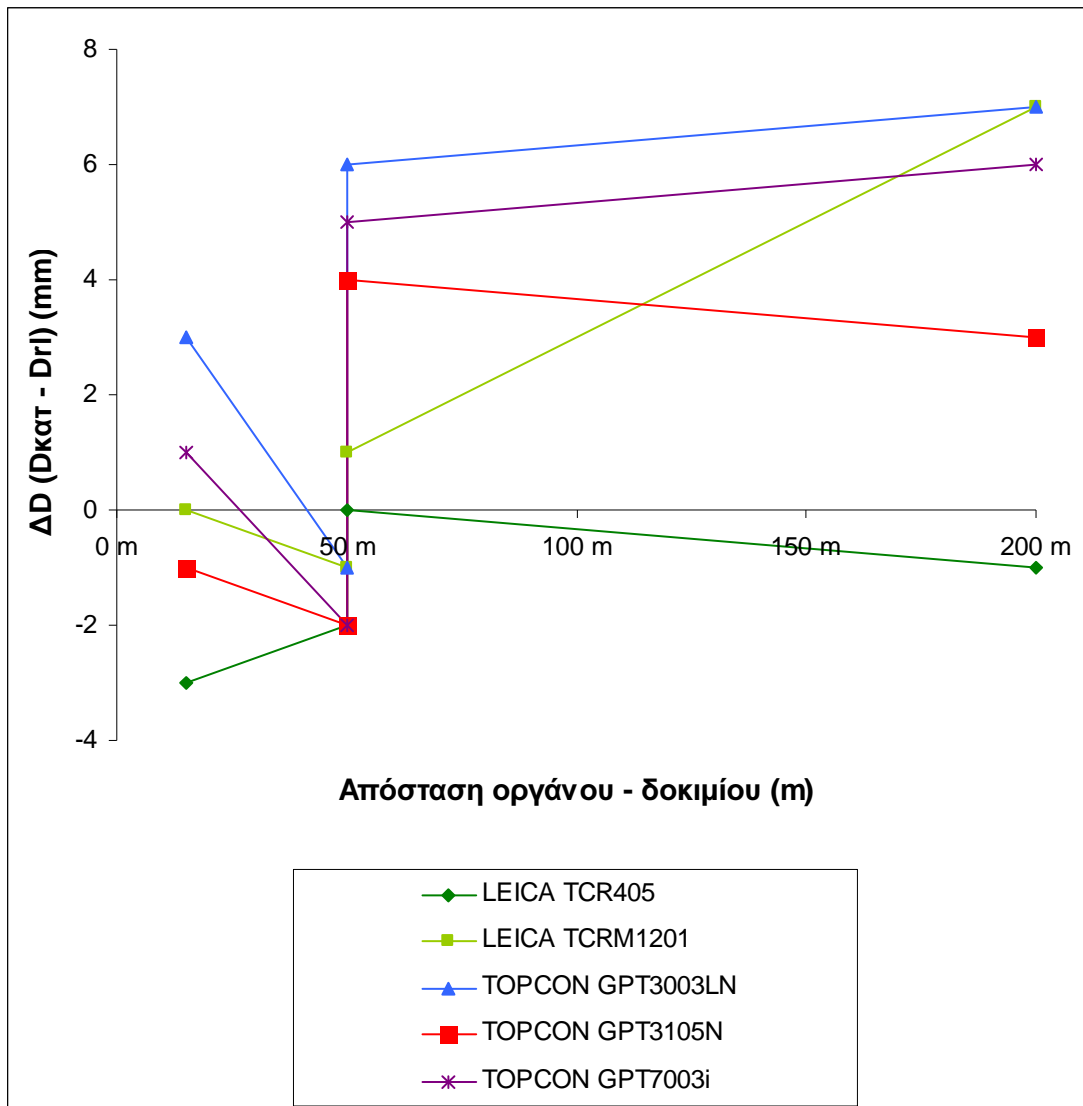
Πίνακας - Διάγραμμα 2.56: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Πλαστικό Κόκκινο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΠΛΑΚΑΚΙ ΓΚΡΙ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-2	-2	0	-1
LEICA TCRM1201	0	-1	2	7
TOPCON GPT3003LN	3	1	6	9
TOPCON GPT3105N	-1	-2	4	5
TOPCON GPT7003i	0	0	8	9



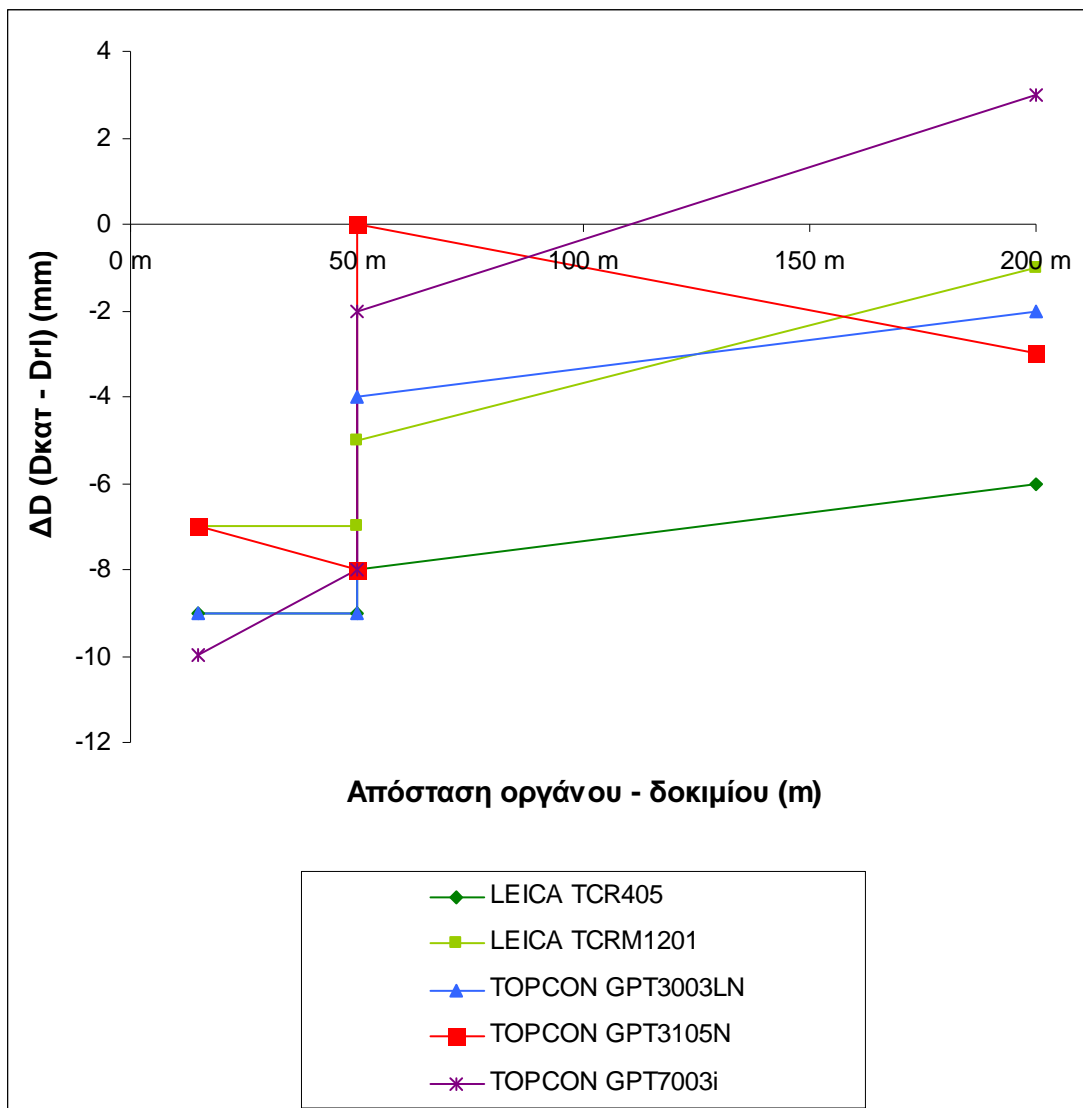
Πίνακας - Διάγραμμα 2.57: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Πλακάκι Γκρι από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΠΛΑΚΑΚΙ ΜΠΕΖ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-3	-2	0	-1
LEICA TCRM1201	0	-1	1	7
TOPCON GPT3003LN	3	-1	6	7
TOPCON GPT3105N	-1	-2	4	3
TOPCON GPT7003i	1	-2	5	6



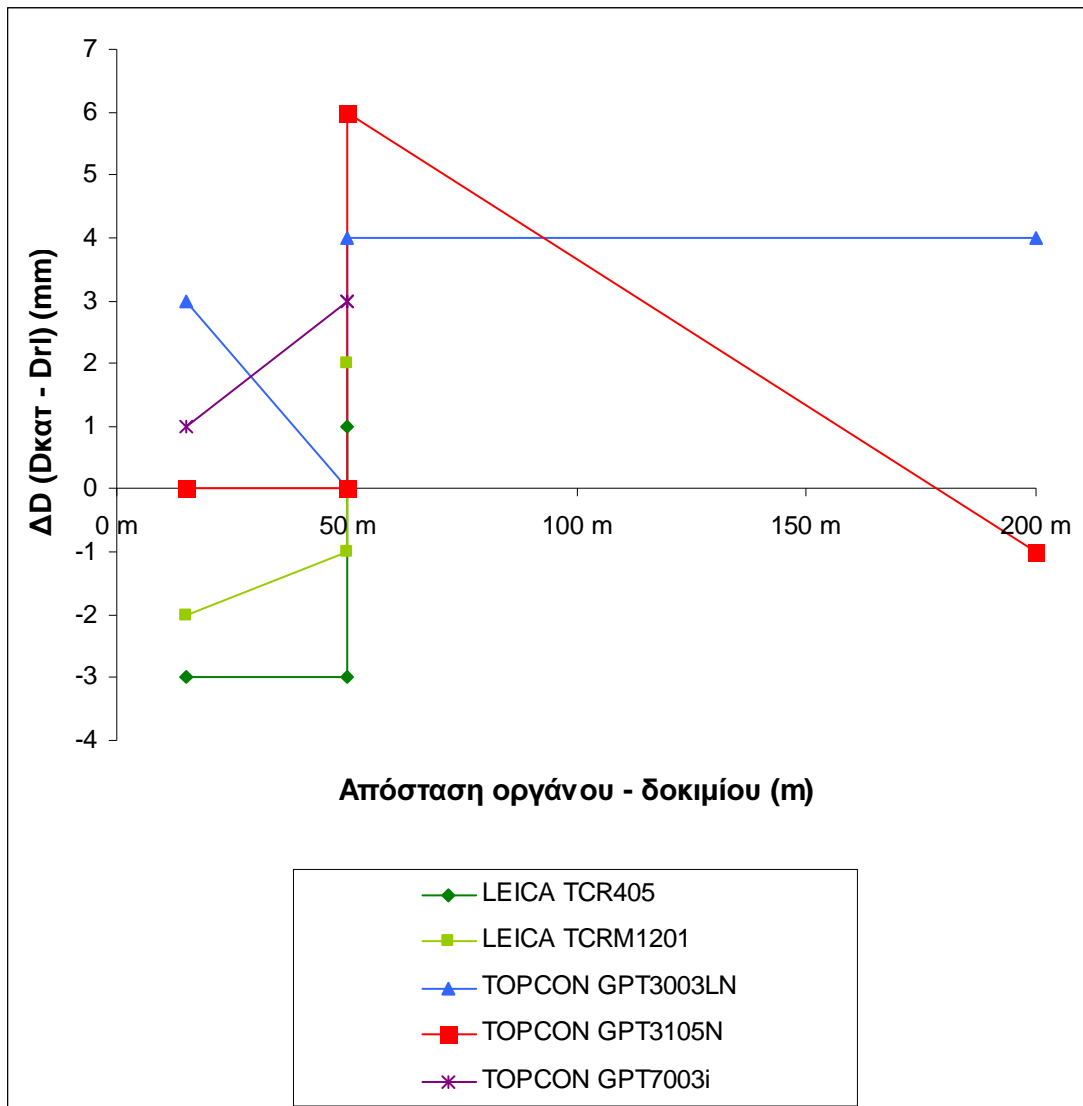
Πίνακας - Διάγραμμα 2.58: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Πλακάκι Μπεζ από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΑΦΡΟΛΕΞ ΛΕΥΚΟ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-9	-9	-8	-6
LEICA TCRM1201	-7	-7	-5	-1
TOPCON GPT3003LN	-9	-9	-4	-2
TOPCON GPT3105N	-7	-8	0	-3
TOPCON GPT7003i	-10	-8	-2	3



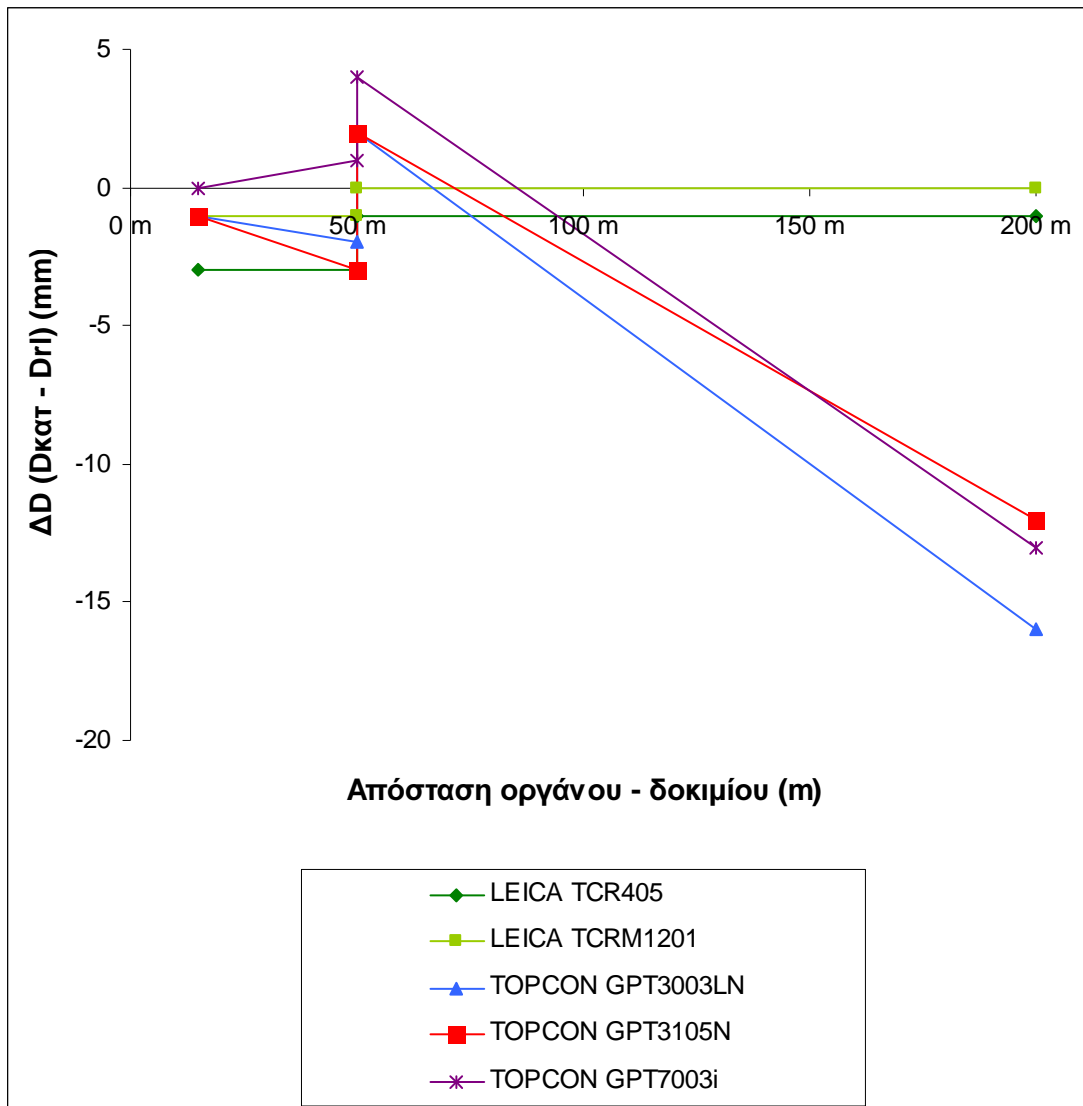
Πίνακας - Διάγραμμα 2.59: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Αφρολέξ Λευκό από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΑΦΡΟΛΕΞ ΚΑΦΕ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-3	-3	1	
LEICA TCRM1201	-2	-1	2	
TOPCON GPT3003LN	3	0	4	4
TOPCON GPT3105N	0	0	6	-1
TOPCON GPT7003i	1	3	3	



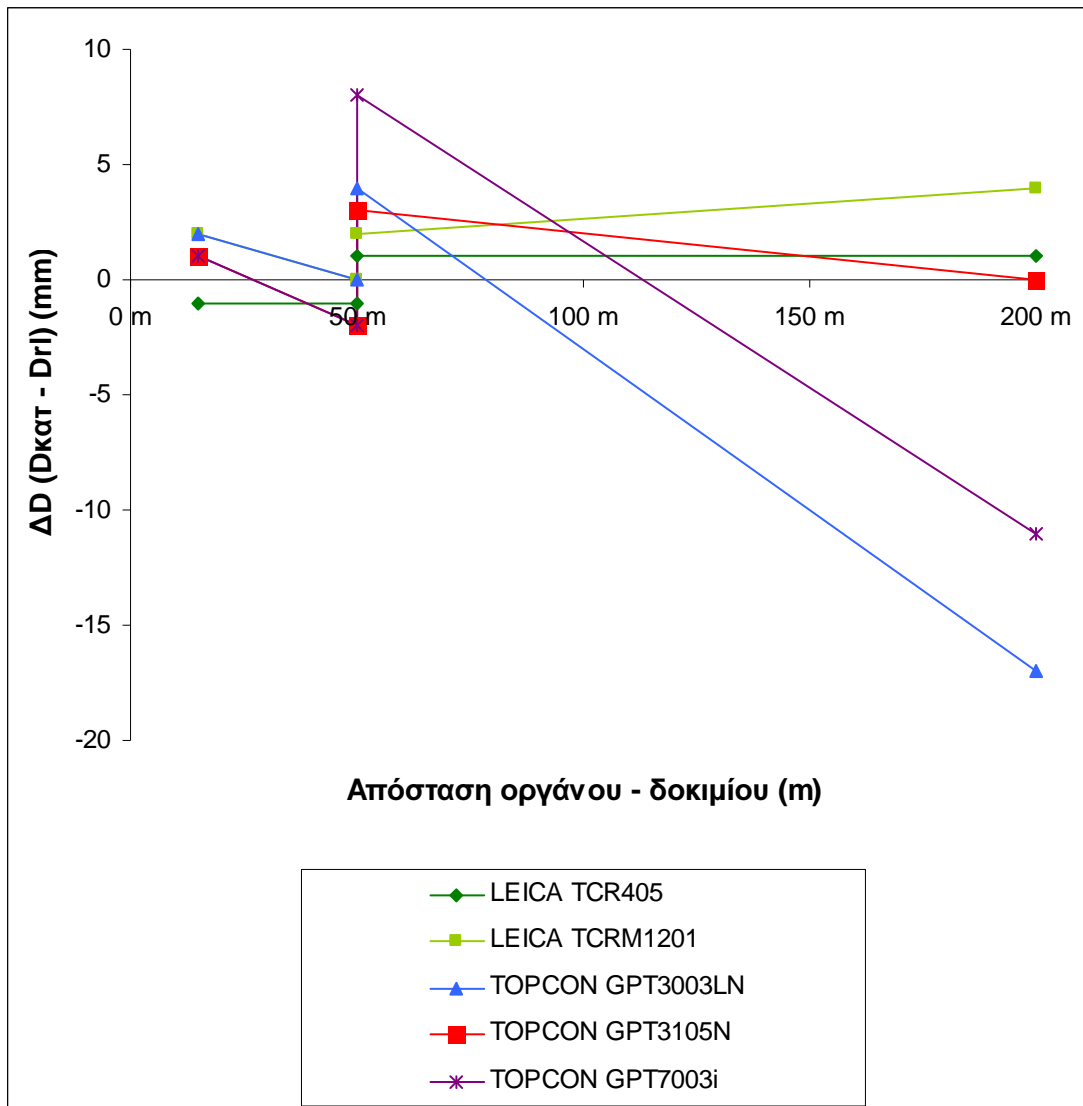
Πίνακας - Διάγραμμα 2.60: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Αφρολέξ Καφέ από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΜΑΡΜΑΡΟ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-3	-3	-1	-1
LEICA TCRM1201	-1	-1	0	0
TOPCON GPT3003LN	-1	-2	2	-16
TOPCON GPT3105N	-1	-3	2	-12
TOPCON GPT7003i	0	1	4	-13



Πίνακας - Διάγραμμα 2.61: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Μάρμαρο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

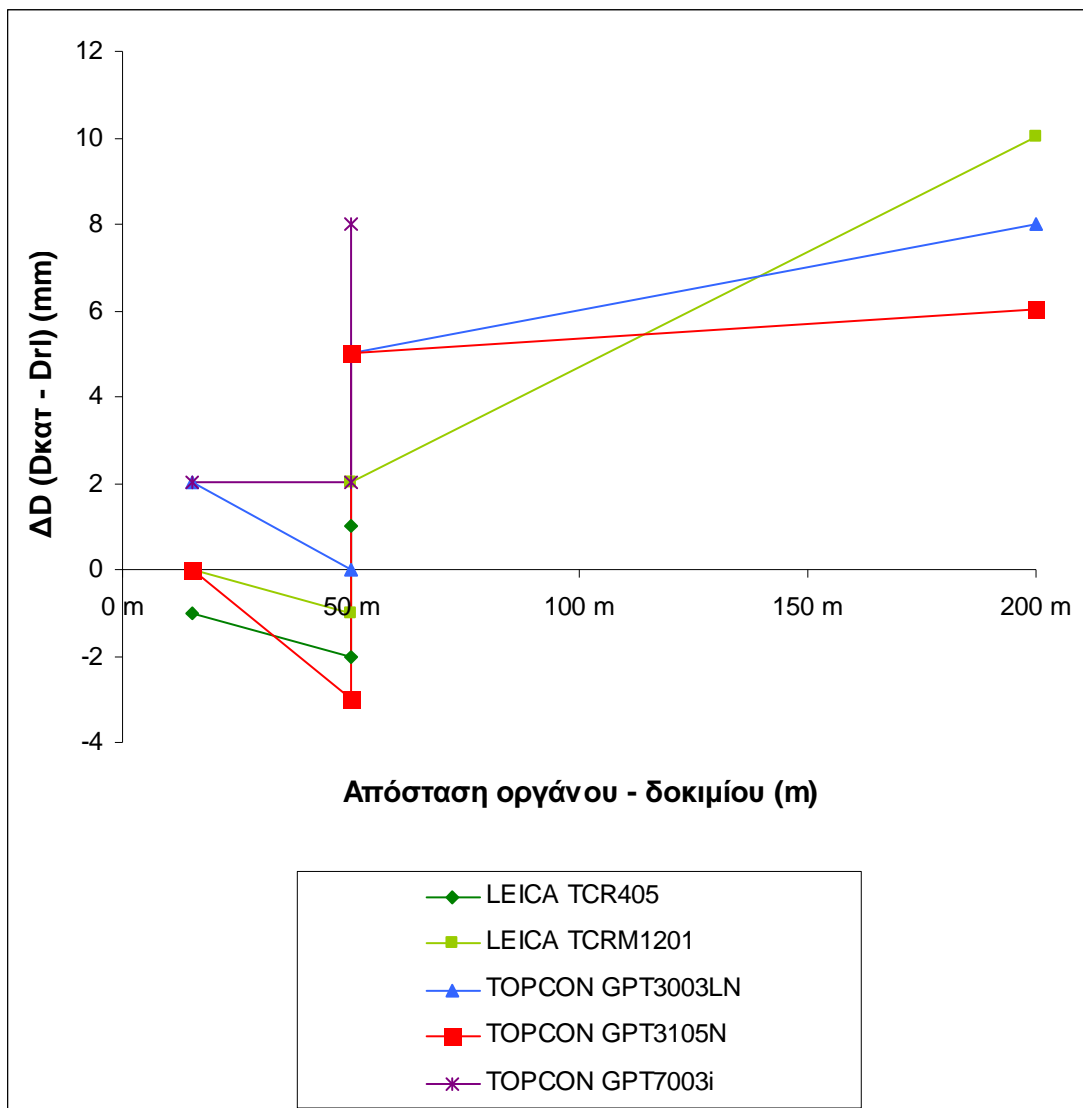
ΞΥΛΟ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-1	-1	1	1
LEICA TCRM1201	2	0	2	4
TOPCON GPT3003LN	2	0	4	-17
TOPCON GPT3105N	1	-2	3	0
TOPCON GPT7003i	1	-2	8	-11



Πίνακας - Διάγραμμα 2.62: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Ξύλο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

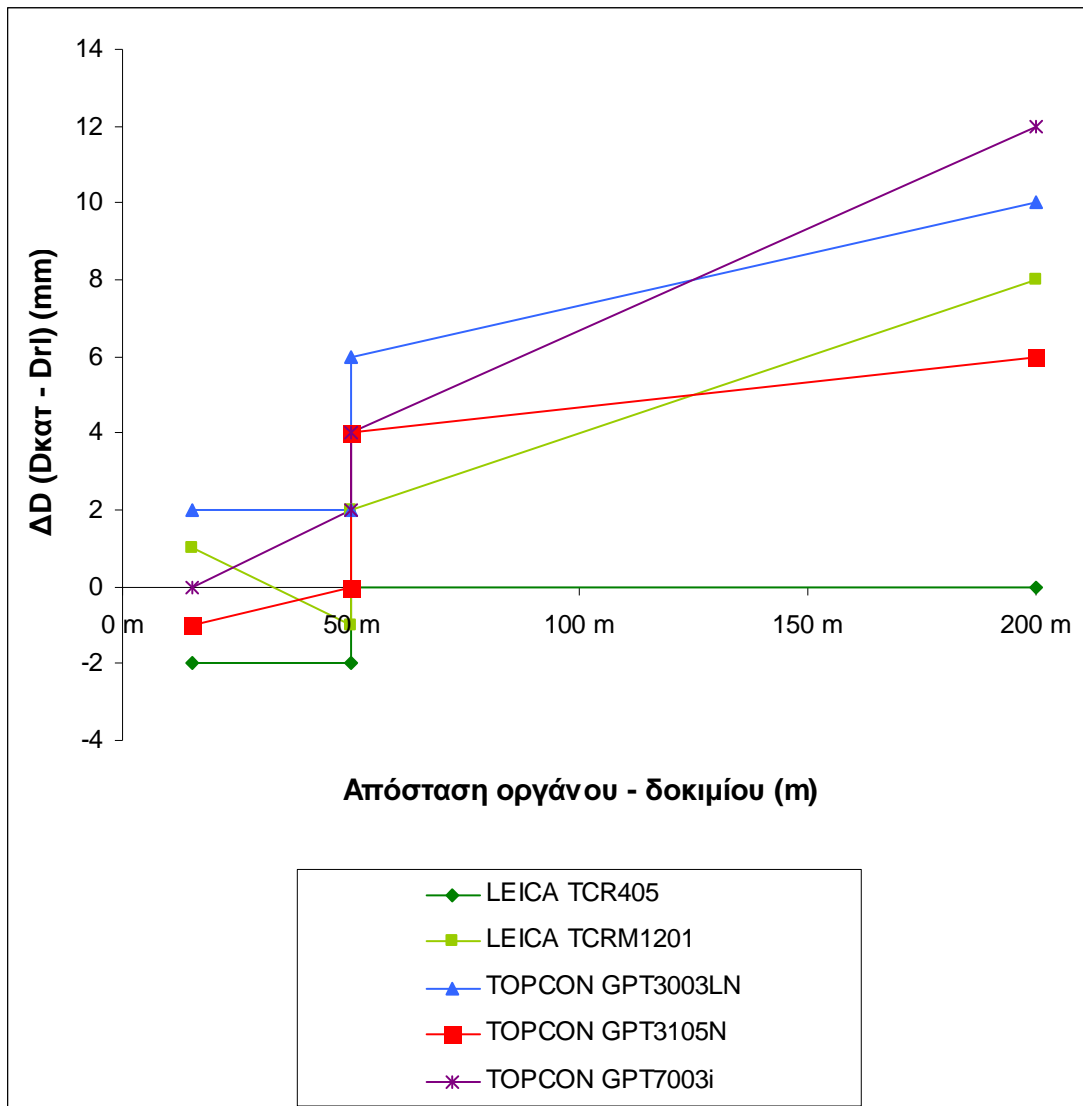


ΝΟΒΟΠΑΝ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-1	-2	1	
LEICA TCRM1201	0	-1	2	10
TOPCON GPT3003LN	2	0	5	8
TOPCON GPT3105N	0	-3	5	6
TOPCON GPT7003i	2	2	8	



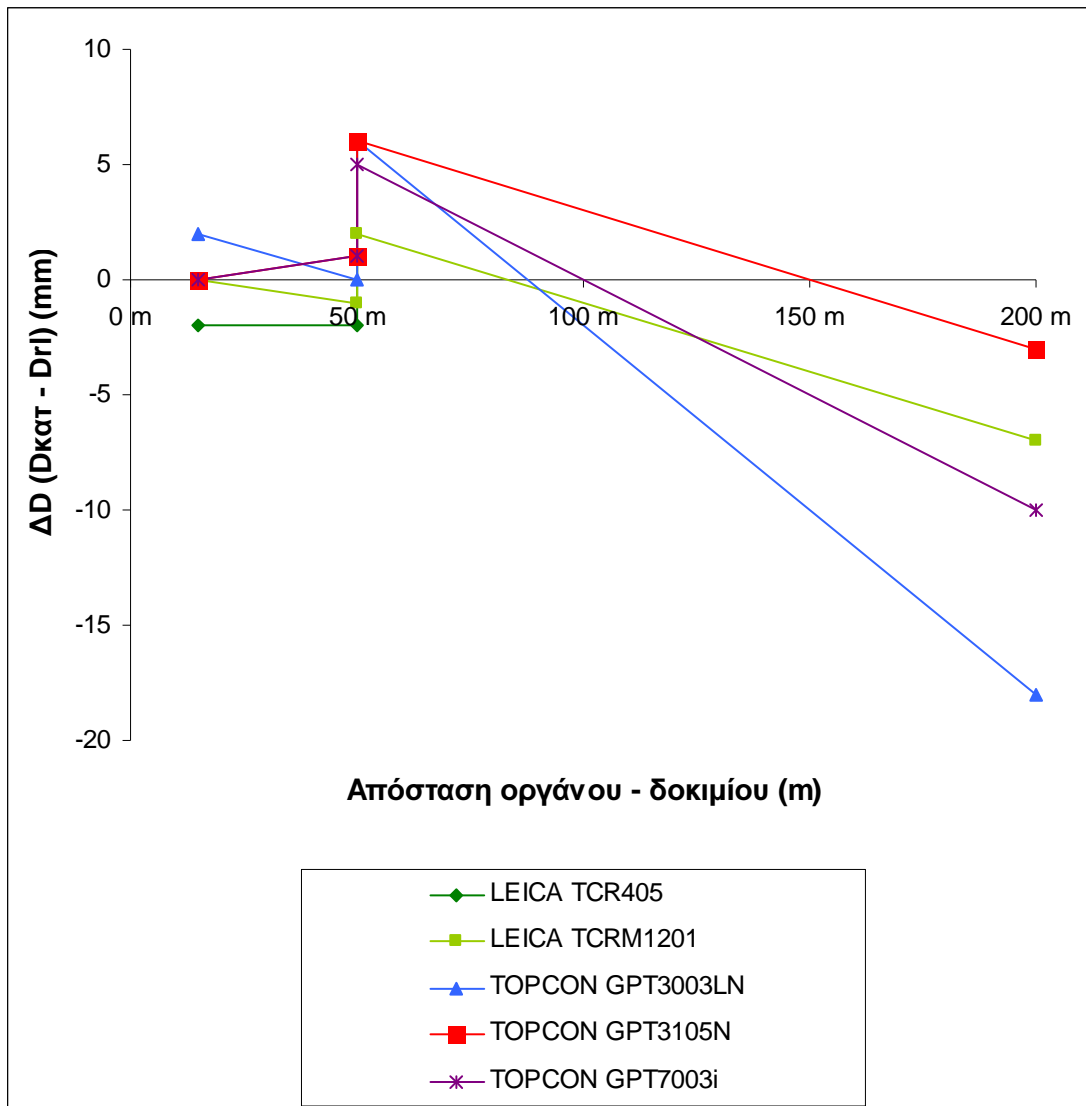
Πίνακας - Διάγραμμα 2.63: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Νοβοπάν από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΜΕΛΑΜΙΝΗ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-2	-2	0	0
LEICA TCRM1201	1	-1	2	8
TOPCON GPT3003LN	2	2	6	10
TOPCON GPT3105N	-1	0	4	6
TOPCON GPT7003i	0	2	4	12



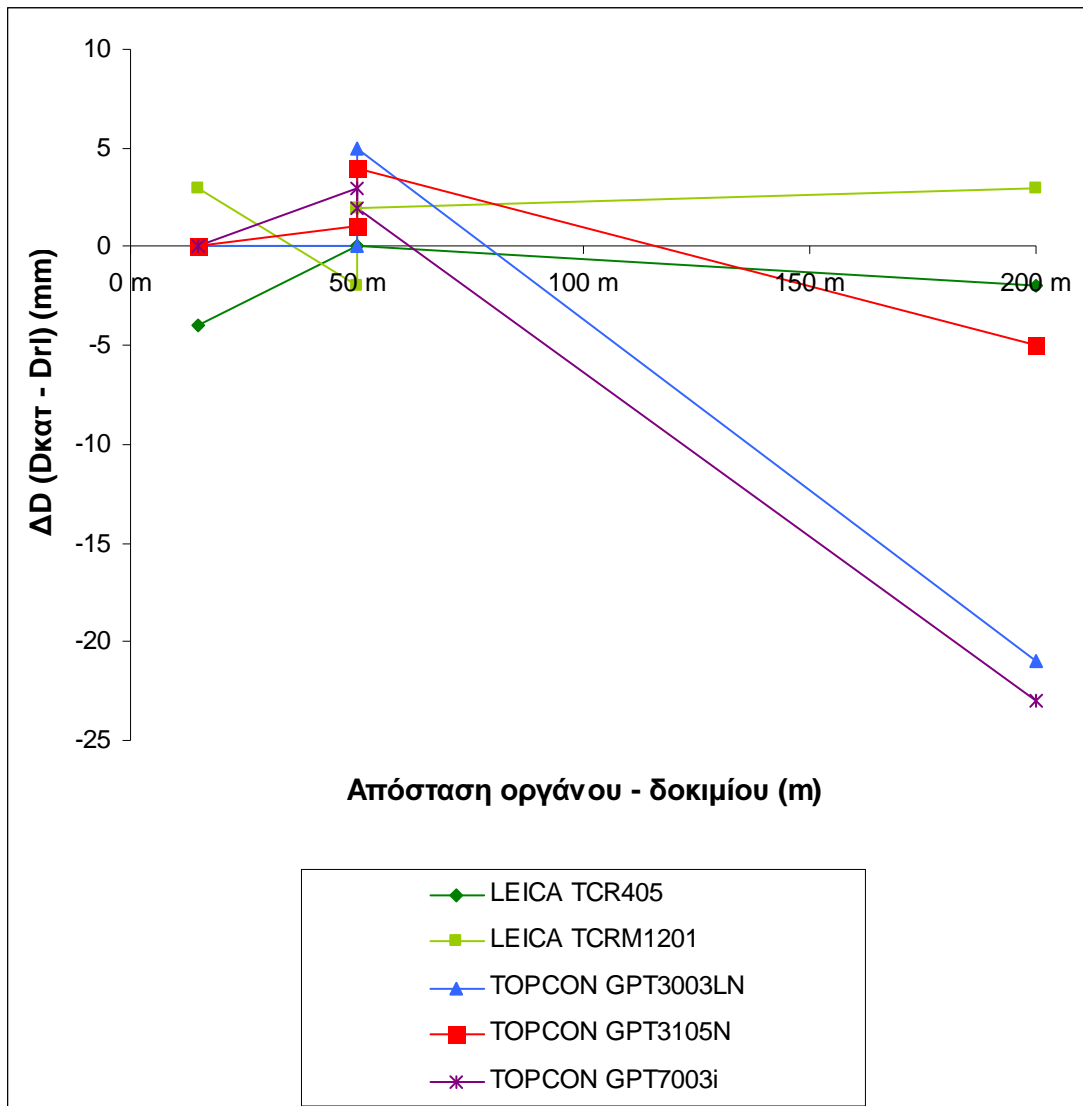
Πίνακας - Διάγραμμα 2.64: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Μελαμίνη από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΚΕΡΑΜΙΔΙ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-2	-2	1	
LEICA TCRM1201	0	-1	2	-7
TOPCON GPT3003LN	2	0	6	-18
TOPCON GPT3105N	0	1	6	-3
TOPCON GPT7003i	0	1	5	-10



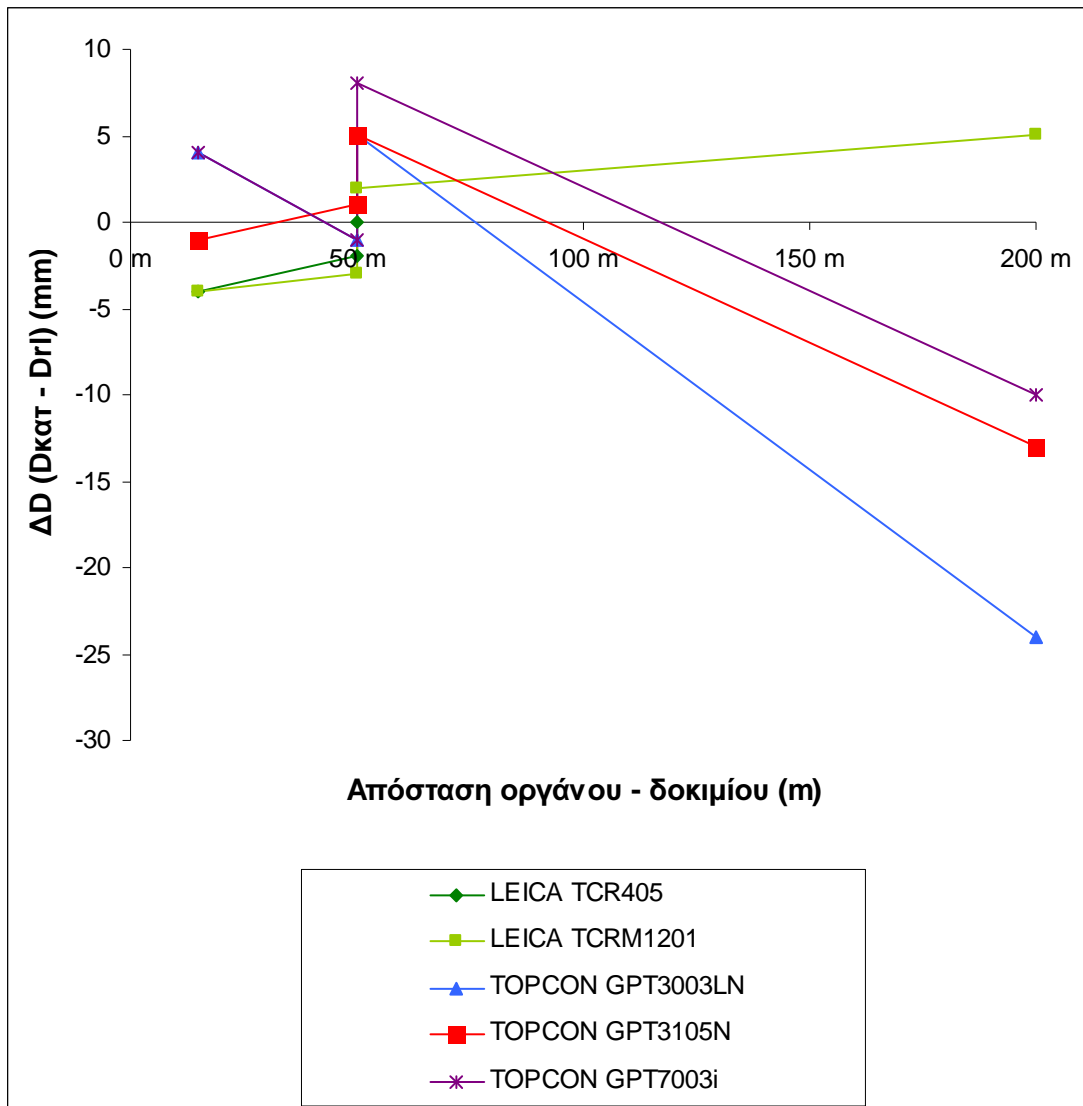
Πίνακας - Διάγραμμα 2.65: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Κεραμίδι από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΑΣΦΑΛΤΟΣ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-4	0	0	-2
LEICA TCRM1201	3	-2	2	3
TOPCON GPT3003LN	0	0	5	-21
TOPCON GPT3105N	0	1	4	-5
TOPCON GPT7003i	0	3	2	-23



Πίνακας - Διάγραμμα 2.66: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Άσφαλτο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

ΒΡΑΧΟΣ				
ΟΡΓΑΝΟ	ΔD(mm) (Dκατ - Drl)			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	-4	-2	0	
LEICA TCRM1201	-4	-3	2	5
TOPCON GPT3003LN	4	-1	5	-24
TOPCON GPT3105N	-1	1	5	-13
TOPCON GPT7003i	4	-1	8	-10



Πίνακας - Διάγραμμα 2.67: Αποκλίσεις μετρήσεων non-prism σε Βράχο από το μήκος που μετράται με ανακλαστήρα για διάφορες αποστάσεις

Από την παρατήρηση των πινάκων - διαγραμμάτων 2.43 έως 2.47 εξάγονται κάποια συμπεράσματα που αφορούν στην συμπεριφορά κάθε γεωδαιτικού σταθμού στα διάφορα υλικά, σε ότι αφορά την μεταβολή του  $\Delta D$  συναρτήσει του μεγέθους του μετρούμενου μήκους.

Στα συγκεκριμένα πειράματα παρατηρείται μία συστηματική διαφοροποίηση του μήκους που αποδίδεται στο λευκό αφρολέξ. Στο σύνολο των γεωδαιτικών σταθμών, η τιμή  $\Delta D$  αυτού του υλικού αποδίδεται μικρότερη για το σύνολο σχεδόν των μετρημένων μηκών, κάτι που μεταφράζεται σε απόδοση μεγαλύτερης τιμής μήκους χωρίς ανακλαστήρα προς αυτό.

Το φαινόμενο αυτό ίσως εξηγείται από την πιθανή ανάκλαση της δέσμης από το εσωτερικό του υλικού, καθώς το συγκεκριμένο επιτρέπει την διαπερατότητα του φωτός σε μεγαλύτερο βαθμό από όλα τα υπόλοιπα υλικά.

Για μήκη μέτρησης 15 μέτρων, το σύνολο των γεωδαιτικών σταθμών αποδίδει τιμές  $\Delta D$  εντός του στατιστικά αναμενόμενου εύρους, για την πλειοψηφία των υλικών που μετρώνται.

Το ίδιο ισχύει και για τις μετρήσεις εσωτερικού χώρου για μήκη 50 μέτρων. Αποδεικνύεται λοιπόν ότι η συμπεριφορά τους είναι γενικά αξιόπιστη σε αυτό το εύρος μήκους.

Παρατηρείται ότι για την πλειοψηφία των υλικών και για το σύνολο των γεωδαιτικών σταθμών η μετάβαση από τη μέτρηση 50 μέτρων σε εσωτερικό χώρο στη μέτρηση μήκους ίδιας απόστασης σε εξωτερικό χώρο συνεπάγεται την αύξηση της τιμής του  $\Delta D$ , και μάλιστα κατά τιμή που είναι κάποιες φορές μεγαλύτερη της ονομαστικής ακρίβειας των οργάνων.

Δεδομένου ότι η απόσταση παραμένει σταθερή, φαίνεται πως οι συνθήκες εξωτερικού φωτισμού προκαλούν τη μέτρηση τιμής μήκους χωρίς ανακλαστήρα συνήθως μικρότερης από την αντίστοιχη τιμή σε κλειστό χώρο.

Το φαινόμενο αυτό που παρατηρήθηκε, είναι ένδειξη ότι ο παράγοντας του φωτισμού, της ανακλαστικότητας κλπ είναι πολύ σημαντικός αλλά δυστυχώς δύσκολα μετρήσιμος.

Παράλληλα, είναι δύσκολη η απομόνωση του συγκεκριμένου παράγοντα, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το πώς ακριβώς και κατά πόσο επηρεάζει τα μετρούμενα μήκη.

Σε ότι αφορά τώρα την μεταβολή της απόστασης μεταξύ οργάνου και δοκιμίου από τα 50 μέτρα στα 200 μέτρα, αναλόγως του γεωδαιτικού σταθμού παρατηρούνται τα εξής:

- Στον γεωδαιτικό σταθμό Leica TCR405 παρατηρείται γενικά διατήρηση της τιμής του  $\Delta D$ .

- Στον γεωδαιτικό σταθμό Leica TCRM1201<sup>+</sup> παρατηρείται αισθητή αύξηση της τιμής του  $\Delta D$  για την πλειοψηφία των υλικών. Εξαίρεση αποτελεί το κεραμίδι.
- Στους γεωδαιτικούς σταθμούς της εταιρείας Topcon παρατηρείται μία διαφοροποίηση υλικών όπως η άσφαλτος, το λευκό και το γκρι τσιμέντο, ο βράχος, το μάρμαρο, το κεραμίδι και το ξύλο τα οποία, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα υλικά που διατηρούν σταθερή περίπου τιμή  $\Delta D$ , τα συγκεκριμένα αποδίδουν σημαντικά μικρότερη (άρα η μέτρηση χωρίς ανακλαστήρα αποδίδει μεγαλύτερη τιμή) (Πίνακες – Διαγράμματα 2.45 - 2.47)

Το τελευταίο αυτό φαινόμενο, που αφορά μόνο τα όργανα της συγκεκριμένης εταιρείας, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς τα υλικά που αναφέρθηκαν παρουσιάζουν κάποιες κοινές ιδιότητες που είναι πιθανόν να προκαλούν την παραπάνω διαφοροποίηση.

Συγκεκριμένα, η άσφαλτος, το τσιμέντο, ο βράχος, το μάρμαρο, το ξύλο και λιγότερο το κεραμίδι αποτελούν υλικά με επιφάνεια μεγαλύτερης τραχύτητας σε σχέση με τα υπόλοιπα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η προσπίπτουσα σε αυτά ακτινοβολία να ανακλάται με διαχεόμενο τρόπο προς πολλές κατευθύνσεις, κάτι που οδηγεί σε μειωμένη επιστροφή ακτινοβολίας στην συσκευή EDM του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού.

Σε πειράματα που διεξήχθησαν [Μαρκολέφα Α., 2010] διαπιστώθηκε ότι για τους τρεις γεωδαιτικούς σταθμούς της εταιρείας Topcon υπάρχει ισχυρότερη επιστρεφόμενη ακτινοβολία σε σχέση με τους γεωδαιτικούς σταθμούς της εταιρείας Leica. Βέβαια, η εξαγωγή κάποιου σχετικού συμπεράσματος απαιτεί προσοχή καθώς κάθε εταιρεία χρησιμοποιεί διαφορετικές μεθόδους μέτρησης και απόδοσης στο χρήστη της τιμής της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, σε κάποια όργανα αυτή μετράται μέσω μπαρών στην οθόνη, σε άλλα με κάποια αρίθμηση από το 0 έως το 60 κλπ. Σε κάθε περίπτωση, η αναγραφόμενη επιστρεφόμενη ακτινοβολία από ένα όργανο μίας εταιρείας δεν είναι εύκολο να συγκριθεί άμεσα με την αντίστοιχη τιμή ενός οργάνου μίας άλλης κατασκευάστριας εταιρείας.

Παράλληλα, από τα τεχνικά χαρακτηριστικά των παραπάνω γεωδαιτικών σταθμών προκύπτει ότι στο σύνολό τους χρησιμοποιείται διαμορφωμένη ακτινοβολία laser μήκους κύματος στο εύρος 633nm – 690nm. Έτσι, η ιδιαίτερη αυτή συμπεριφορά στα όργανα της Topcon δεν φαίνεται να σχετίζεται με αυτόν τον παράγοντα.

Τέλος, η διαφοροποίηση στην συμπεριφορά των παραπάνω υλικών μπορεί να αποδοθεί και στον διαφορετικό αλγόριθμο προσδιορισμού του μήκους που πιθανώς διαθέτει κάθε όργανο. Για παράδειγμα, είναι πιθανό

από τις χιλιάδες μετρήσεις κάθε παλμικού κύματος να αποκλείονται κάποιες ακραίες τιμές με διαφορετικό τρόπο ή να προκύπτει ο μέσος όρος των μετρήσεων με διαφορετική μεθοδολογία κλπ. Σε κάθε περίπτωση, το συγκεκριμένο φαινόμενο θα πρέπει να διερευνηθεί περεταίρω καθώς σχετίζεται με μη – αμελητέες διαφοροποιήσεις στην τιμή του μετρούμενου μήκους.

Για μία συγκριτική αξιολόγηση της λειτουργίας μέτρησης χωρίς ανακλαστήρα των παραπάνω γεωδαιτικών σταθμών και σε διάφορες αποστάσεις, θα υπολογιστεί το ποσοστό των μετρήσεων που βρίσκονται εντός της στατιστικά αναμενόμενης τιμής για κάθε όργανο και για κάθε μετρούμενο μήκος.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η τιμή  $\Delta D$  προκύπτει από την διαφορά της μέτρησης μήκους προς τον ανακλαστήρα με την μέτρηση μήκους χωρίς ανακλαστήρα, όπως έχει αναφερθεί στην σχέση 2.1:

$$\Delta D = D_{\text{κατ}} - D_{\text{RL}} \quad (2.1)$$

Η στατιστικά αναμενόμενη τιμή για το  $\Delta D$  θα προκύψει μέσω της ονομαστικής αβεβαιότητας κάθε γεωδαιτικού σταθμού για μέτρηση με και χωρίς ανακλαστήρα, όπως αυτή υπολογίζεται από την σχέση 2.4:

$$\sigma_{\Delta D}^2 = \sigma_{\text{prism}}^2 + \sigma_{\text{RL}}^2 \quad (2.4)$$

όπου  $\sigma_{\text{prism}}$  και  $\sigma_{\text{RL}}$  η παρεχόμενη ονομαστική ακρίβεια για μέτρηση σε ανακλαστήρα και για reflectorless μέτρηση αντίστοιχα, όπως αυτή παρέχεται από τον κατασκευαστή κάθε γεωδαιτικού σταθμού.

Στον πίνακα 2.4 παρέχονται οι ονομαστικές ακρίβειες μέτρησης μήκους των γεωδαιτικών σταθμών, με ή χωρίς ανακλαστήρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι από τους κατασκευαστές κάποιων γεωδαιτικών σταθμών παρέχονται διαφορετικές ακρίβειες για διαφορετικά μήκη μέτρησης.

<b>ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΜΗΚΩΝ</b>						
<b>ΟΡΓΑΝΟ</b>	<b>ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ</b>					
	<b>15 m</b>		<b>50 m</b>		<b>200 m</b>	
	$\sigma_{\text{prism}}$	$\sigma_{\text{RL}}$	$\sigma_{\text{prism}}$	$\sigma_{\text{RL}}$	$\sigma_{\text{prism}}$	$\sigma_{\text{RL}}$
LEICA TCR405	±2mm	±5mm	±2mm	±5mm	±2mm	±5mm
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	±1mm	±2mm	±1mm	±2mm	±1mm	±2mm
TOPCON GPT3003LN	±3mm	±10mm	±2mm	±5mm	±2mm	±5mm
TOPCON GPT3105N	±2mm	±3mm	±2mm	±3mm	±2mm	±3mm
TOPCON GPT7003i	±3mm	±5mm	±2mm	±5mm	±2mm	±5mm

*Πίνακας 2.4: Ονομαστική ακρίβεια μέτρησης μηκών των ΟΓΣ*



Επίσης, στον πίνακα 2.5 παρατίθενται οι στατιστικά αναμενόμενες τιμές για το  $\Delta D$ , όπως αυτές προέκυψαν για κάθε απόσταση και για κάθε ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό, με την εφαρμογή της σχέσης 2.4.

<b>ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΤΙΜΗ <math>\Delta D</math></b>			
<b>ΟΡΓΑΝΟ</b>	<b>ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ</b>		
	<b>15 m</b>	<b>50 m</b>	<b>200 m</b>
	<b><math>\sigma_{\Delta D}</math></b>	<b><math>\sigma_{\Delta D}</math></b>	<b><math>\sigma_{\Delta D}</math></b>
LEICA TCR405	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 6\text{mm}$
LEICA TCRM1201 <sup>+</sup>	$\pm 2\text{mm}$	$\pm 2\text{mm}$	$\pm 2\text{mm}$
TOPCON GPT3003LN	$\pm 10\text{mm}$	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 5\text{mm}$
TOPCON GPT3105N	$\pm 4\text{mm}$	$\pm 4\text{mm}$	$\pm 4\text{mm}$
TOPCON GPT7003i	$\pm 6\text{mm}$	$\pm 5\text{mm}$	$\pm 5\text{mm}$

*Πίνακας 2.5: Στατιστικά αναμενόμενες τιμές για το  $\Delta D$  ανά απόσταση και ανά γεωδαιτικό σταθμό*

Στον πίνακα - διάγραμμα 2.68 παρουσιάζεται σχηματικά το ποσοστό των υλικών ανά όργανο και ανά απόσταση τα οποία απέδωσαν τιμή  $\Delta D$  μικρότερη ή ίση από την στατιστικά αναμενόμενη τιμή. Το ποσοστό που προέκυψε δεν αναφέρεται στο σύνολο των υλικών, αλλά μόνο σε αυτά για τα οποία η μέτρηση μήκους ήταν επιτυχής.

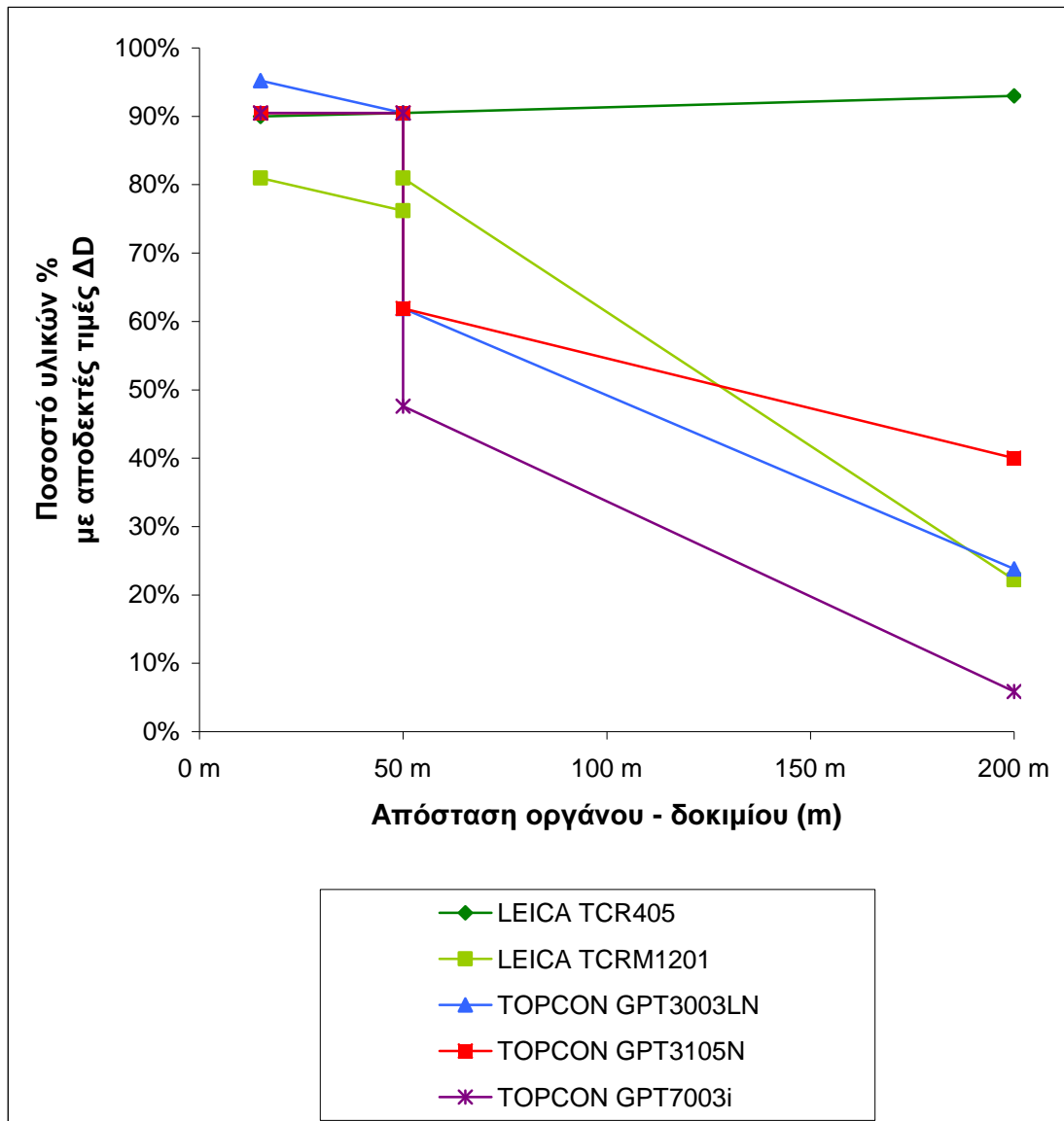
Το διάγραμμα αυτό έχει προκύψει αξιοποιώντας τις αβεβαιότητες που δίνονται από τους κατασκευαστές των γεωδαιτικών σταθμών. Όμως, η αξιοπιστία των μετρήσεων μήκους χωρίς ανακλαστήρα είναι δύσκολο να καταγραφεί με αντικειμενικό τρόπο, λόγω της έλλειψης θεσμοθετημένων, αναλυτικών και κοινά αποδεκτών μετρολογικών ελέγχων.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα ποσοστά που προκύπτουν για κάθε γεωδαιτικό σταθμό να μην είναι άμεσα συγκρίσιμα μεταξύ τους. Έτσι, για να υπάρχει μία αμεσότερη συγκριτική παράθεση των γεωδαιτικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στα συγκεκριμένα πειράματα, παρατίθεται ο πίνακας – διάγραμμα 2.69 στον οποίο παρουσιάζεται σχηματικά το ποσοστό των υλικών ανά όργανο και ανά απόσταση τα οποία απέδωσαν τιμή  $\Delta D$  στο εύρος  $\pm 3\text{mm}$ .

Και στα δύο αυτά τα διαγράμματα γίνεται σαφές ότι, για μετρούμενα μήκη 50 και 200 μέτρων σε εξωτερικό χώρο, η αξιοπιστία της μέτρησης χωρίς ανακλαστήρα για μηδενική τιμή γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης είναι αμφισβητήσιμη.

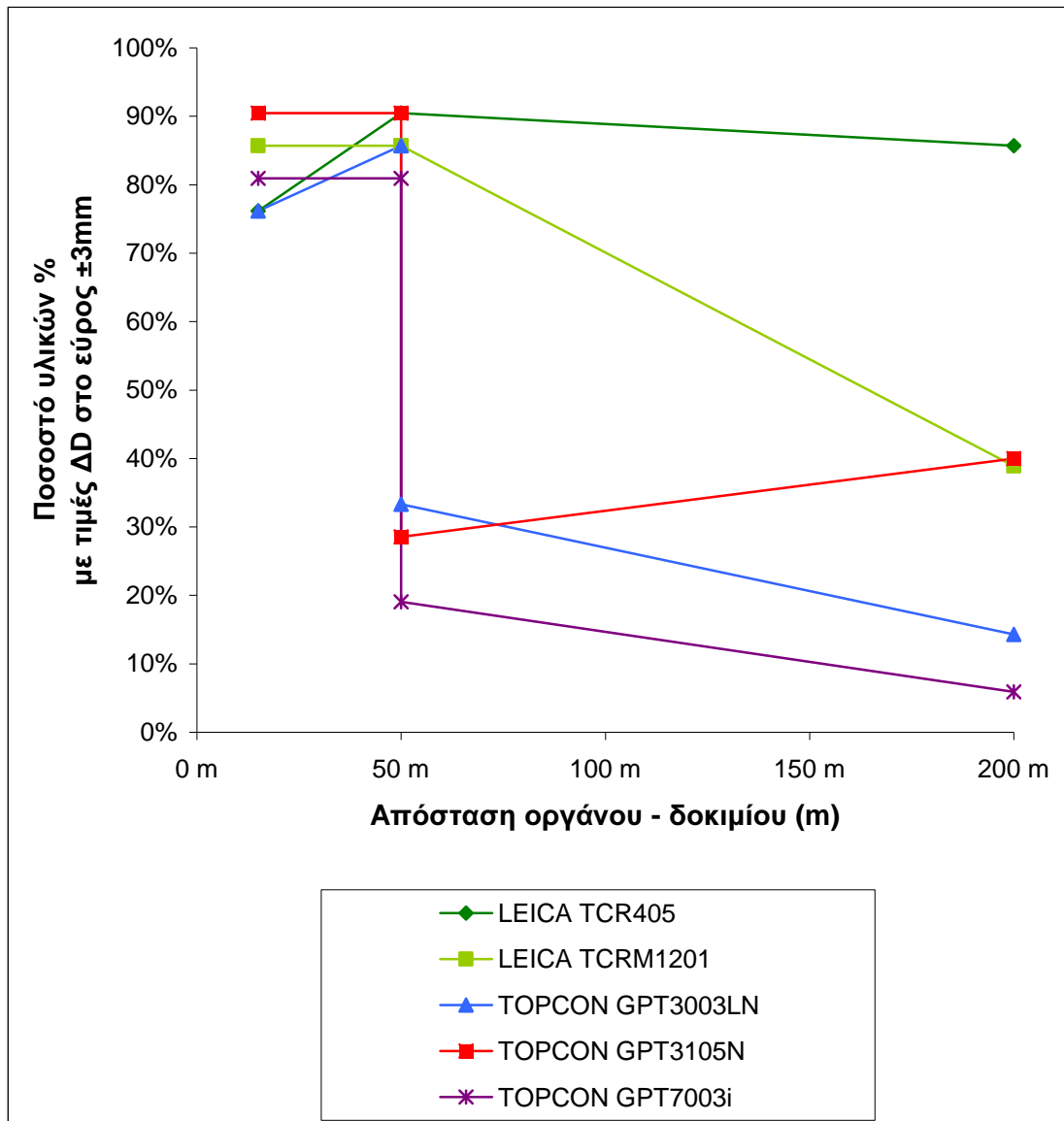
Εξαίρεση αποτελούν οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί Leica TCR405 και Leica TCRM1201<sup>+</sup> που παρέχουν μεγάλο ποσοστό αξιόπιστων μετρήσεων στα 50 μέτρα εξωτερικού χώρου. Μάλιστα, ο πρώτος από αυτούς διατηρεί παρόμοιο ποσοστό και για μετρούμενα μήκη 200 μέτρων.

ΟΡΓΑΝΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	90%	90%	90%	93%
LEICA TCRM1201	81%	76%	81%	22%
TOPCON GPT3003LN	95%	90%	62%	24%
TOPCON GPT3105N	90%	90%	62%	40%
TOPCON GPT7003i	90%	90%	48%	6%



Πίνακας - Διάγραμμα 2.68: Ποσοστό υλικών ανά ΟΓΣ και ανά απόσταση που απέδωσαν τιμή  $\Delta D$  εντός της στατιστικά αναμενόμενης τιμής

ΟΡΓΑΝΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	76%	90%	90%	86%
LEICA TCRM1201	86%	86%	86%	39%
TOPCON GPT3003LN	76%	86%	33%	14%
TOPCON GPT3105N	90%	90%	29%	40%
TOPCON GPT7003i	81%	81%	19%	6%



Πίνακας - Διάγραμμα 2.69: Ποσοστό υλικών ανά ΟΓΣ και ανά απόσταση που απέδωσαν τιμή  $\Delta D$  στο εύρος  $\pm 3mm$



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

#### 3.1 Γενικά

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η μοντελοποίηση των πειραματικών δεδομένων, με απώτερη επιδίωξη τον προσδιορισμό της απαιτούμενης διόρθωσης των μηκών που προκύπτουν από μετρήσεις χωρίς ανακλαστήρα, ώστε να προσεγγίζεται η ορθή τιμή της μέτρησης μήκους.

Η διόρθωση αυτή αφορά στην επίδραση της αλλαγής της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης στην μετρούμενη επιφάνεια και ανάγει την μετρούμενη τιμή του μήκους σε αυτή που θα προέκυπτε για κάθετη πρόσπτωση της δέσμης (γωνία πρόσπτωσης  $0^\circ$ ).

Οι υπόλοιποι παράγοντες που επιδρούν σε τέτοιου είδους μετρήσεις δεν μπορούν να υπολογιστούν στην παρούσα εργασία και επομένως δεν θα συμπεριληφθούν ως μεταβλητές στις εξισώσεις.

Ο προσδιορισμός των συναρτήσεων μεταβολής του  $\Delta D$  θα μπορέσει μελλοντικά να αποτελέσει μέρος μίας μεθοδολογίας διόρθωσης των μηκών που προκύπτουν αναλόγως του υλικού, της γωνίας πρόσπτωσης, της απόστασης, της ανακλαστικότητας κλπ. Ο αλγόριθμος αυτός θα μπορούσε να αποτελέσει μέρος του λογισμικού των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, ώστε τα πρωτογενή δεδομένα να διορθώνονται σε πραγματικό χρόνο.

Έτσι, θα προσδιοριστούν οι συναρτήσεις μεταβολής του  $\Delta D$  ανά γωνία πρόσπτωσης για απόσταση 50 μέτρων, πεδίο για το οποίο υπάρχουν και τα περισσότερα διαθέσιμα δεδομένα.

Αντιθέτως, ο προσδιορισμός συναρτήσεων μεταβολής του  $\Delta D$  ανά απόσταση κρίθηκε στην παρούσα φάση αδύνατος, καθώς τα δεδομένα δεν επαρκούν. Αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχουν μετρήσεις για αποστάσεις μεταξύ των 50 και 200 μέτρων.

Επιπροσθέτως, οι μετρήσεις έλαβαν χώρα υπό διαφορετικές συνθήκες φωτισμού καθώς υπήρχαν εσωτερικές και εξωτερικές μετρήσεις. Έτσι, η απόδοση του ίδιου βάρους σε κάθε μία από αυτές και η εξαγωγή συναρτήσεων από αυτές θα οδηγούσε σε επισφαλή συμπεράσματα.

#### 3.2 Λογισμικό και αρχές λειτουργίας

Σύμμαχο στην προσπάθεια παραμετροποίησης των πειραματικών δεδομένων θα αποτελέσει το λογισμικό MatLAB και συγκεκριμένα η

ενσωματωμένη εφαρμογή Curve Fitting Tool, η οποία επιτρέπει την προσαρμογή συναρτήσεων κάθε είδους σε πειραματικά δεδομένα.

Η αξιοποίηση της συγκεκριμένης εφαρμογής προϋποθέτει την δημιουργία σε περιβάλλον MatLAB πινάκων με τα δεδομένα των τιμών εισόδου.

Για να επιτευχθεί προσαρμογή συνάρτησης σε δεδομένα θα πρέπει να έχει δημιουργηθεί μονοδιάστατος πίνακας με τις τιμές του άξονα X και μονοδιάστατος πίνακας με τις αντίστοιχες τιμές του άξονα Y. Για παράδειγμα, στην περίπτωση μετρήσεων μήκους σε ένα υλικό για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης, θα πρέπει να δημιουργηθούν οι πίνακες [0,30,45,60] που είναι οι τιμές του άξονα X (σε μοίρες) και [0,2,4,5] οι τιμές στον άξονα Y που αντιστοιχούν στις τιμές ΔD (σε mm) που υπολογίστηκαν κατά την πειραματική διαδικασία..

Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας της εφαρμογής και μία προσαρμογή καμπύλης δευτέρου βαθμού σε δεδομένα που έχουν εισαχθεί σε μορφή πινάκων.

Στο άνω αριστερό τμήμα του παραθύρου καθορίζονται οι πίνακες δεδομένων εισόδου, ενώ στο άνω δεξί τμήμα ορίζεται ο τύπος της επιθυμητής καμπύλης προσαρμογής στα δεδομένα (για παράδειγμα πολυωνυμική πρώτου – δευτέρου βαθμού κοκ, εκθετική, άλλου είδους εξίσωση που ορίζεται από τον χρήστη κλπ).

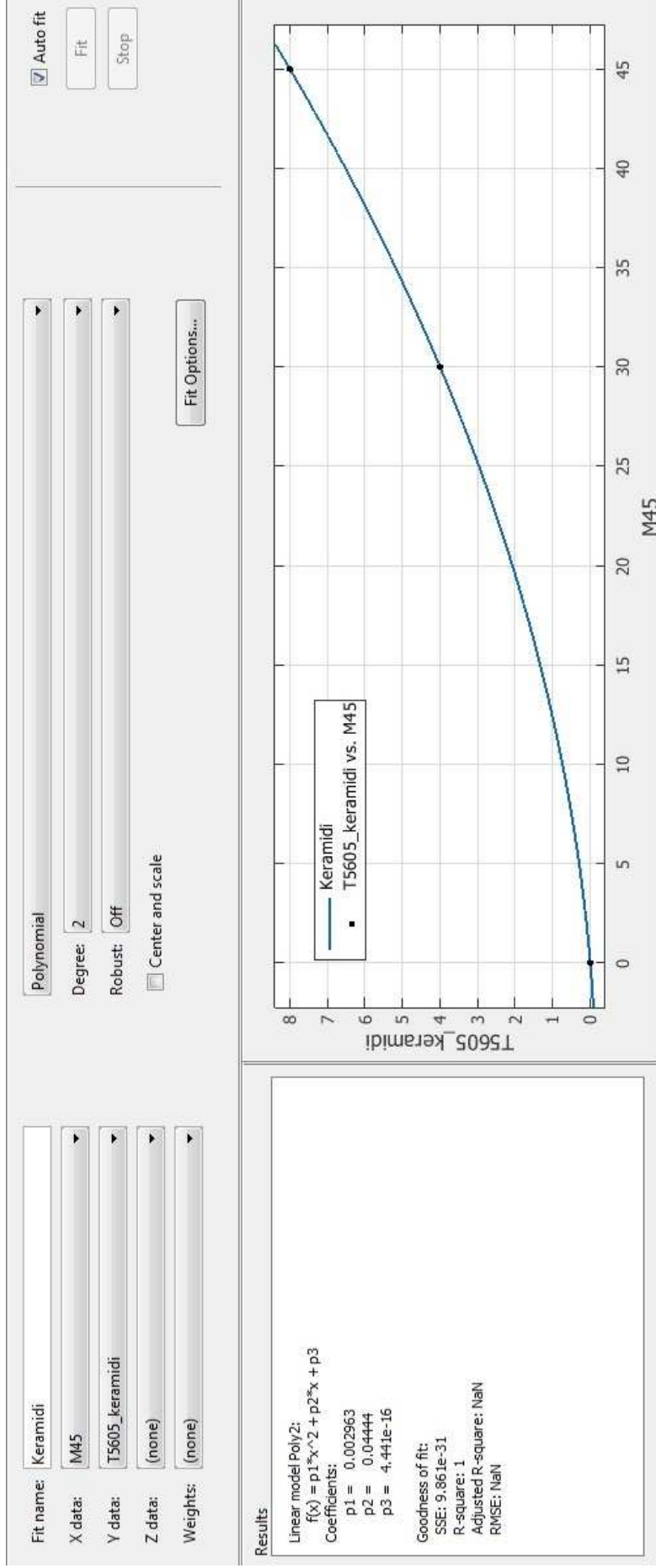
Στο σημείο αυτό υπάρχει και η δυνατότητα ορισμού του πεδίου των τιμών που θα προκύψουν. Για παράδειγμα, μπορεί να οριστεί ότι για μία ευθεία που θα προσαρμοστεί σε κάποια δεδομένα θα πρέπει να ισχύει  $a > 0$  σε περίπτωση που είναι επιθυμητή μόνο ως αύξουσα.

Στο κάτω τμήμα της εφαρμογής απεικονίζονται τα εισηγμένα σημεία σε σύστημα συντεταγμένων, καθώς και η καμπύλη που προσαρμόζεται σε αυτά.

Επίσης παρέχονται στατιστικά στοιχεία όπως το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των υπολοίπων και ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$ , στοιχεία τα οποία προσδιορίζουν την επιτυχία της κάθε προσαρμογής

### **3.3 Τύποι συναρτήσεων καμπυλών παραμετροποίησης**

Ένα βασικό ερώτημα που προκύπτει μετά την παρατήρηση των διαγραμμάτων των προηγούμενων κεφαλαίων αφορά στο ποιες είναι οι κατάλληλες μαθηματικές συναρτήσεις που μπορούν να αποδώσουν την επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης στο μετρούμενο μήκος.



Εικόνα 3.1: Περιβάλλον εργασίας MatLAB – Curve Fitting tool

Είναι προφανές πως ανάλογα με την κάθε περίπτωση μπορούν να προσαρμοστούν διαφόρων ειδών καμπύλες στα δεδομένα. Για παράδειγμα, υπάρχουν περιπτώσεις που η ευθεία γραμμή είναι αντιπροσωπευτική της μεταβολής του  $\Delta D$  ανά γωνία, ενώ σε άλλες περιπτώσεις διαφαίνεται μία καμπύλη εκθετικού τύπου. Σε άλλες δε περιπτώσεις, υπάρχει μία τάση λογαριθμικής καμπύλης (για παράδειγμα τσιμέντο γκρι και λευκό στο Trimble 5605DR<sup>+</sup>, πίνακες - διαγράμματα 2.18 και 2.19).

Σε κάθε περίπτωση, η καμπύλη που θα προσαρμοστεί στα δεδομένα αποφασίστηκε να διέρχεται από το σημείο (0,0), καθώς για γωνία πρόσπτωσης της δέσμης 0° (κάθετη πρόσπτωση στην επιφάνεια) η τιμή  $\Delta D$  από τις 0 μίρες είναι εξ' ορισμού μηδενική. Έτσι, η διέλευση από το σημείο (0,0) ορίζεται ως δέσμευση της καμπύλης προσαρμογής.

Με αυτό τον τρόπο, παράλληλα, απλοποιείται και η μαθηματική μορφή των εξισώσεων προσαρμογής, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν πολλές μετρήσεις μήκους ανά μικρή μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης.

Πέραν όμως της επιθυμίας για κάλυψη κάθε δυνατής περίπτωσης, καλό είναι να αποφευχθεί η περιγραφή του φαινομένου με συναρτήσεις πολλών διαφορετικών ειδών καθώς με τον τρόπο αυτό καθίσταται πιο εύκολη η πιθανή ομαδοποίηση ή σύγκριση ομοειδών υλικών κλπ.

Έτσι, μετά από δοκιμές και έλεγχο όλων των πιθανών περιπτώσεων, κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω συναρτήσεις:

- **Πολυωνομική συνάρτηση 1<sup>ου</sup> βαθμού  $y = ax + b$**

Για δεδομένα που τείνουν στην ευθεία γραμμή. Για αύξουσες συναρτήσεις ορίζεται  $a > 0$  ενώ για φθίνουσες  $a < 0$ . Παράλληλα, ορίζεται  $b = 0$  ώστε η ευθεία να διέρχεται από το σημείο (0,0).

- **Πολυωνομική συνάρτηση 2<sup>ου</sup> βαθμού  $y = ax^2 + bx + c$**

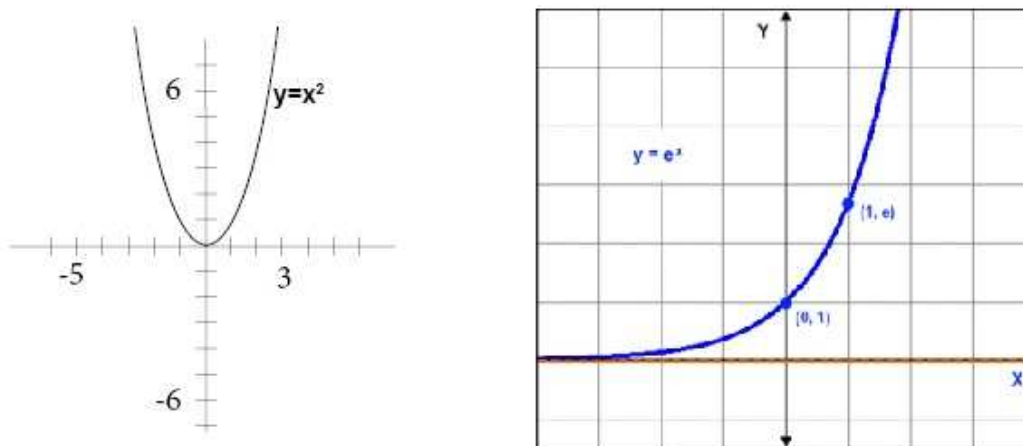
Για δεδομένα παραβολικής μορφής. Για τιμές  $\Delta D$  που τείνουν να αυξάνονται αυξανόμενης της γωνίας πρόσπτωσης ορίζεται  $a > 0$  ώστε η συνάρτηση να είναι παντού αύξουσα για  $x > 0$ , ενώ για φθίνουσες συναρτήσεις ορίζεται  $a < 0$  ώστε αντίστοιχα η συνάρτηση να είναι παντού φθίνουσα. Παράλληλα, ορίζεται  $c = 0$  ώστε η συνάρτηση να διέρχεται πάντα από το σημείο (0,0).

- **Εκθετική συνάρτηση  $y = ae^{(bx)} - a$**

Για δεδομένα εκθετικής μορφής. Για τους γεωδαιτικούς σταθμούς στους οποίους τα δεδομένα είχαν φθίνουσα τάση αυξανόμενης της γωνίας πρόσπτωσης, η αντίστοιχη συνάρτηση ορίστηκε ως η  $y = -ae^{(bx)} + a$ , που είναι φθίνουσα συνάρτηση. Και οι δύο συναρτήσεις αυτές διέρχονται πάντα από το σημείο (0,0).



Πρέπει να σημειωθεί ότι με τη χρήση της πολυωνυμικής συνάρτησης δευτέρου βαθμού ( $y=ax^2+bx+c$ ) μοντελοποιήθηκαν και τα δεδομένα λογαριθμικής μορφής, καθώς προέκυψε ότι η συγκεκριμένη συνάρτηση προσαρμοζόταν επαρκώς και στα συγκεκριμένα πειραματικά δεδομένα.



Εικόνα 3.2: Μορφή εξισώσεων  $y=x^2$  (αριστερά) και  $y=e^x$  (δεξιά)

### 3.4 Προσαρμογή συναρτήσεων ανά όργανο και ανά υλικό

Αφού προσδιορίστηκαν οι συναρτήσεις που θα χρησιμοποιηθούν για την παραμετροποίηση των δεδομένων, ακολούθησε σύγκριση των τιμών RMSE (μέσο τετραγωνικό σφάλμα) που προέκυπταν για κάθε προσαρμογή από τις παραπάνω, σε κάθε υλικό και σε κάθε όργανο.

Για παράδειγμα, όταν υπήρχαν δεδομένα εκθετικής μορφής, έγινε προσπάθεια να προσαρμοστεί η συνάρτηση  $y=ae^{(bx)}$ -a αλλά και η  $y=ax^2+bx+c$ . Μεταξύ αυτών των δύο επελέγη η συνάρτηση που απέδιδε την μικρότερη τιμή RMSE.

Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος ώστε η τιμή του συντελεστή συσχέτισης  $R^2$  να είναι κοντά στην μονάδα.

Οι προσαρμογές συναρτήσεων έγιναν για περιπτώσεις κατά τις οποίες ο γεωδαιτικός σταθμός μπόρεσε να λάβει τιμή μήκους σε τρεις τουλάχιστον διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης και όταν τα δεδομένα είχαν μορφή τέτοια ώστε να δικαιολογείται η παραμετροποίηση του φαινομένου.

Για παράδειγμα, αγνοήθηκαν περιπτώσεις κατά τις οποίες δεν μπορούσε να εξαχθεί συμπέρασμα για την μορφή της καμπύλης (πχ. χαρτόνι γκρι στο Leica TCR 303, πίνακας - διάγραμμα 2.6).

Στους πίνακες 3.1 έως 3.7 παρουσιάζονται οι βέλτιστες καμπύλες προσαρμογής και οι τιμές των παραμέτρων a και b που τις ορίζουν, η τιμή RMSE (μέσο τετραγωνικό σφάλμα) και η τιμή του συντελεστή

συσχέτισης  $R^2$  για κάθε γεωδαιτικό σταθμό και κάθε υλικό που χρησιμοποιήθηκε.

Κάθε ένα από τα παραπάνω μεγέθη παρατίθεται με ακρίβεια τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων. Ειδικότερα για το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, το οποίο αναφέρεται σε χιλιοστά, η ακρίβεια αυτή μπορεί να κριθεί ως υπερβολική.

Όμως, λόγω της μαθηματικής προσαρμογής που ακολουθείται καθώς και λόγω της σύγκρισης της καταλληλότητας των εξισώσεων σε ένα περισσότερο θεωρητικό επίπεδο, παρέχεται μεγαλύτερη από την απαιτούμενη ακρίβεια για τα παραπάνω μεγέθη, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των προσαρμογών.

Τα κελιά με ανοικτή γκρι απόχρωση αναπαριστούν την αδυναμία των γεωδαιτικών σταθμών να μετρήσουν μήκη για τουλάχιστον τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης, σε κάποιο συγκεκριμένο υλικό. Η εξαγωγή συναρτήσεων προσαρμογής σε περιπτώσεις που υπήρχαν δύο μόνο ζεύγη τιμών δεδομένων κρίθηκε ως μη επιθυμητή, καθώς θα μπορούσε να προσαρμοστεί μόνο η συνάρτηση γραμμικής μορφής και μάλιστα χωρίς την δυνατότητα ελέγχου της αξιοπιστίας και ποιότητας της προσαρμογής.

Επιπροσθέτως, τα κελιά σκούρας γκρι απόχρωσης αναπαριστούν δεδομένα απροσδιόριστης μορφής για τα οποία δεν μπορούσε να γίνει ανεκτή προσαρμογή κάποιου τύπου συνάρτησης από αυτές που είχαν προαποφασιστεί. Θεωρήθηκε επομένως ότι τα δεδομένα αυτά εμπεριέχουν μεγάλα συστηματικά ή τυχαία σφάλματα και η προσπάθεια μοντελοποίησής τους θα οδηγούσε σε πολύπλοκες και μη αντιπροσωπευτικές του φαινομένου εξισώσεις διόρθωσης.

Για τις περιπτώσεις που δεν προσδιορίζονται τιμές RMSE και  $R^2$ , αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για το συγκεκριμένο υλικό δεν υπήρχαν τρία ζεύγη τιμών, που είναι τα ελάχιστα απαραίτητα για τον προσδιορισμό εκθετικής ή παραβολικής συνάρτησης δύο παραμέτρων.

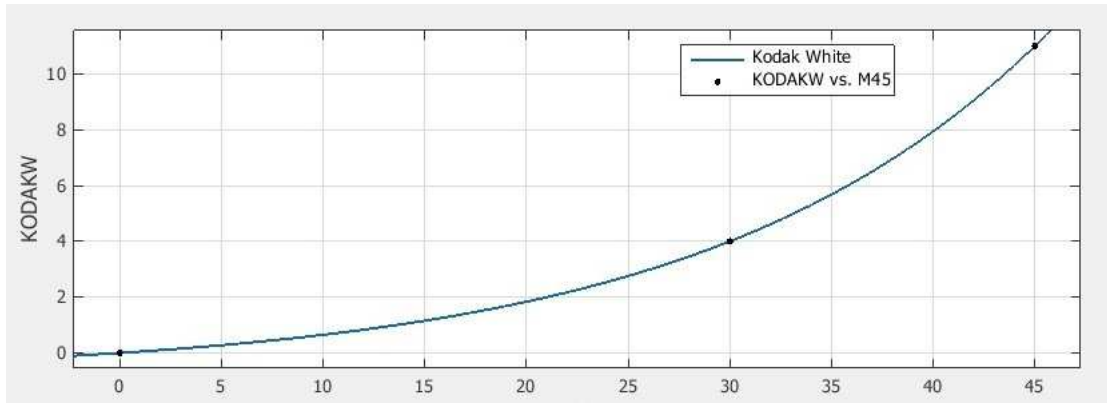
LEICA TCR303 - 50 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	Τύπος καμπύλης	a	b	RMSE (mm)	R <sup>2</sup>
Kodak Gray					
Kodak White	$y=ae^{(bx)} - a$	0.791	0.06	-	-
Ανακλαστικός στόχος					
Στόχος αλουμινίου					
Στόχος SOKKIA					
Τσιμέντο λευκό	$y=ax^2 + bx$	0.0012	0	0.8615	0.7526
Τσιμέντο γκρι	$y=ae^{(bx)} - a$	6.292	0.013	-	-
Χαρτόνι γκρι					
Χαρτόνι μαύρο					
Πλαστικό λευκό	$y=ax$	0.2154		0.1177	0.9994
Πλαστικό κόκκινο	$y=ax^2 + bx$	-0.0023	0.3778	-	-
Πλακάκι γκρι	$y=ae^{(bx)} - a$	5.727	0.0261	-	-
Πλακάκι μπεζ	$y=ax$	0.3077		0.1961	0.9992
Αφρολέξ καφέ					
Αφρολέξ λευκό	$y=ae^{(bx)} - a$	0.2766	0.0824	-	-
Μάρμαρο	$y=ae^{(bx)} - a$	6.486	0.0196	-	-
Σίδηρο					
Κεραμίδι					
Άσφαλτος					
Ξύλο	$y=ae^{(bx)} - a$	0.1495	0.0888	-	-
Βράχος					
Νοβοπάν	$y=ae^{(bx)} - a$	0.9116	0.0547	-	-
Μελαμίνη	$y=ax$	0.2615		0.0392	1
Νίκελος					
Πάγος					
Χρυσός					

Πίνακας 3.1: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του  $\Delta D$  από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TCR 303 σε απόσταση 50 μέτρων.

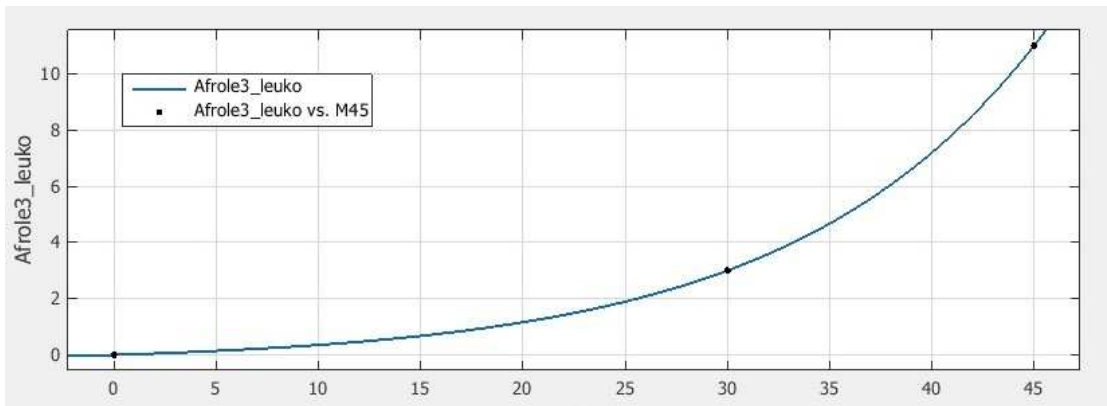
Σε ότι αφορά τον γεωδαιτικό σταθμό Leica TCR303, για τον αυτοκόλλητο ανακλαστικό στόχο προέκυψαν μηδενικές αποκλίσεις και για τις τρεις γωνίες πρόσπτωσης και επομένως δεν πραγματοποιήθηκε προσαρμογή συνάρτησης. Το ίδιο συνέβη και για το γκρι χαρτόνι, καθώς οι τιμές των μετρήσεων δεν επέτρεπαν την προσαρμογή κάποιας από τις συναρτήσεις που προαναφέρθηκαν.

Για τα περισσότερα υλικά προέκυψαν αύξουσες συναρτήσεις εκθετικού τύπου. Συνολικά, οι τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) καθώς και του συντελεστή συσχέτισης κρίνονται ικανοποιητικές.

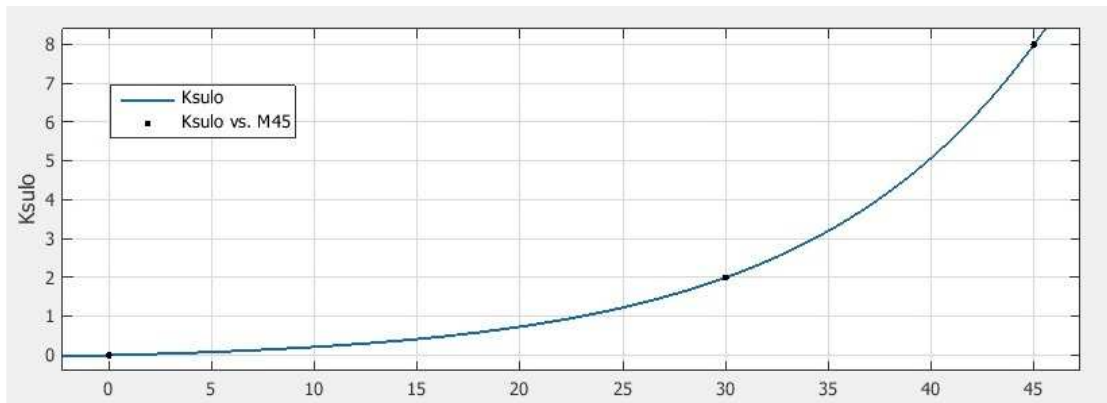
Στις εικόνες 3.3 έως 3.5 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες προσαρμογές συναρτήσεων στα πειραματικά δεδομένα.



Εικόνα 3.3: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο Kodak White για τον ΟΓΣ Leica TCR303



Εικόνα 3.4: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο λευκό αφρολέξ για τον ΟΓΣ Leica TCR303



Εικόνα 3.5: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο ξύλο για τον ΟΓΣ Leica TCR303

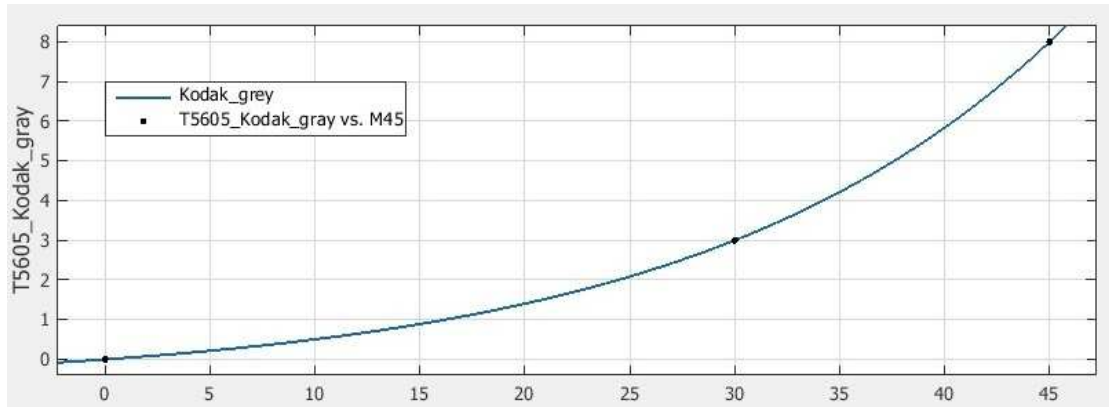
TRIMBLE 5605DR <sup>+</sup> - 50 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	Τύπος καμπύλης	a	b	RMSE (mm)	R <sup>2</sup>
Kodak Gray	$y=ae^{(bx)} - a$	0.6498	0.0575	-	-
Kodak White	$y=ae^{(bx)} - a$	1	0.0462	-	-
Ανακλαστικός στόχος	$y=ae^{(bx)} - a$	0.1547	0.067	-	-
Στόχος αλουμινίου	$y=ae^{(bx)} - a$	1.438	0.059	-	-
Στόχος SOKKIA	$y=ax^2 + bx$	-0.0022	0.3	-	-
Τσιμέντο λευκό	$y=ax^2 + bx$	-0.0096	0.9222	-	-
Τσιμέντο γκρι	$y=ax^2 + bx$	-0.0148	1.378	-	-
Χαρτόνι γκρι	$y=ae^{(bx)} - a$	1.52	0.043	-	-
Χαρτόνι μαύρο	$y=ax^2 + bx$	-0.0007	0.1889	-	-
Πλαστικό λευκό					
Πλαστικό κόκκινο	$y=ae^{(bx)} - a$	0.0448	0.105	-	-
Πλακάκι γκρι	$y=ae^{(bx)} - a$	2.472	0.0321	-	-
Πλακάκι μπεζ	$y=ae^{(bx)} - a$	0.207	0.0789	-	-
Αφρολέξ καφέ	$y=ae^{(bx)} - a$	0.4641	0.067	-	-
Αφρολέξ λευκό	$y=ae^{(bx)} - a$	0.0163	0.1377	-	-
Μάρμαρο	$y=ae^{(bx)} - a$	2.472	0.0321	-	-
Σίδερο	$y=ae^{(bx)} - a$	7.002	0.0329	-	-
Κεραμίδι	$y=ae^{(bx)} - a$	2.472	0.0321	-	-
Άσφαλτος	$y=ae^{(bx)} - a$	11.4	0.0225	-	-
Ξύλο	$y=ae^{(bx)} - a$	1	0.0462	-	-
Βράχος	$y=ae^{(bx)} - a$	1.513	0.0487	-	-
Νοβοπάν	$y=ae^{(bx)} - a$	1.52	0.043	-	-
Μελαμίνη	$y=ae^{(bx)} - a$	5.412	0.0184	-	-
Νίκελος	$y=ae^{(bx)} - a$	0.1547	0.067	-	-
Πάγος					
Χρυσός	$y=ae^{(bx)} - a$	5.532	0.0215	-	-

Πίνακας 3.2: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του  $\Delta D$  από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Trimble 5605 DR<sup>+</sup> σε απόσταση 50 μέτρων.

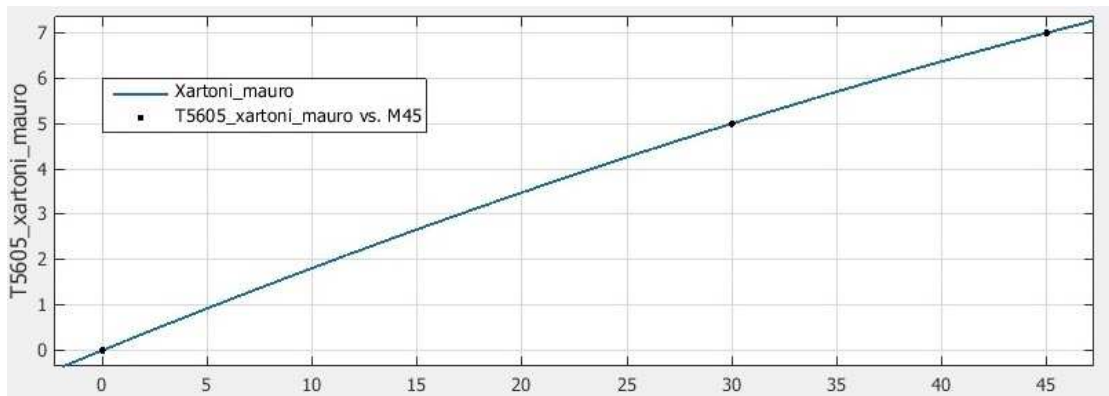
Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Trimble 5605 DR<sup>+</sup> απέδωσε τιμή μήκους για το σύνολο των υλικών και των γωνιών πρόσπτωσης. Στην περίπτωση του λευκού πλαστικού καθώς και του πάγου οι τιμές των μετρήσεων δεν μπορούσαν να προσαρμοστούν σε επιθυμητή συνάρτηση.

Προέκυψαν αύξουσες συναρτήσεις κυρίως εκθετικού τύπου. Στην περίπτωση του λευκού και γκρι τσιμέντου η καμπύλη ήταν λογαριθμικού τύπου (αρνητική δεύτερη παράγωγος) και επομένως προσαρμόστηκαν παραβολικές συναρτήσεις δευτέρου βαθμού.

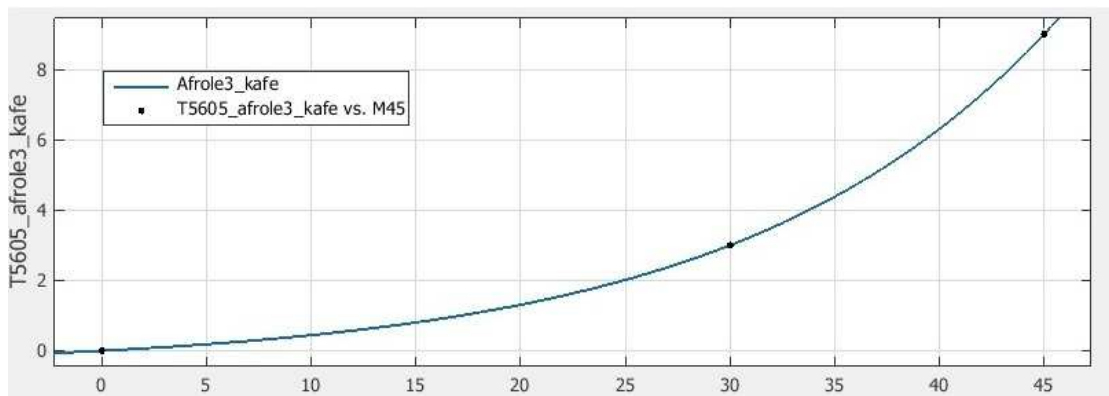
Στις εικόνες 3.6 έως 3.8 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες προσαρμογές συναρτήσεων στα πειραματικά δεδομένα.



Εικόνα 3.6: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο Kodak Gray για τον ΟΓΣ Trimble 5605 DR<sup>+</sup>



Εικόνα 3.7: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο μαύρο χαρτόνι για τον ΟΓΣ Trimble 5605 DR<sup>+</sup>



Εικόνα 3.8: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο καφέ αφρολέξ για τον ΟΓΣ Trimble 5605 DR<sup>+</sup>

<b>LEICA TCR405 - 50 μέτρα</b>					
<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>Τύπος καμπύλης</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>RMSE (mm)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Kodak White	$y = -ae^{(bx)} + a$	1.399	0.0299	0.0305	0.9999
Kodak Gray	$y = ax^2 + bx$	0.0008	-0.1141	0.4064	0.9633
Ανακλαστικός στόχος	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.1303	0.0708	0.0331	1
Τσιμέντο λευκό	$y = ax^2 + bx$	-0.001	-0.0398	0.1355	0.9982
Τσιμέντο γκρι	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.4349	0.0387	0.0458	0.9995
Χαρτόνι γκρι	$y = ax^2 + bx$	-0.0008	0	0.4691	0.9022
Χαρτόνι μαύρο	$y = ax^2 + bx$	-0.001	-0.0398	0.1355	0.9982
Πλαστικό λευκό	$y = ax$	-0.0667		-	-
Πλαστικό κόκκινο	$y = ax^2 + bx$	0.0017	-0.1865	0.0677	0.9995
Πλακάκι γκρι	$y = -ae^{(bx)} + a$	1	0.0275	0.3778	0.9572
Πλακάκι μπεζ	$y = ax$	-0.0828		0.3216	0.979
Αφρολέξ λευκό	$y = ax$	-0.0667		-	-
Αφρολέξ καφέ	$y = ax^2 + bx$	0.0007	-0.093	0.2032	0.9862
Μάρμαρο	$y = -ae^{(bx)} + a$	1.35	0.0196	0.0867	0.997
Ξύλο	$y = ax$	-0.0667		-	-
Νοβοπάν	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.4349	0.0387	0.0458	0.9995
Μελαμίνη	$y = ax$	-0.0667		-	-
Κεραμίδι	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.4076	0.046	0.1971	0.9963
Άσφαλτος	$y = ax^2 + bx$	0.001	-0.0936	0.1355	0.9878
Βράχος	$y = ax$	-0.0598		0.4795	0.9138
Γυαλί					

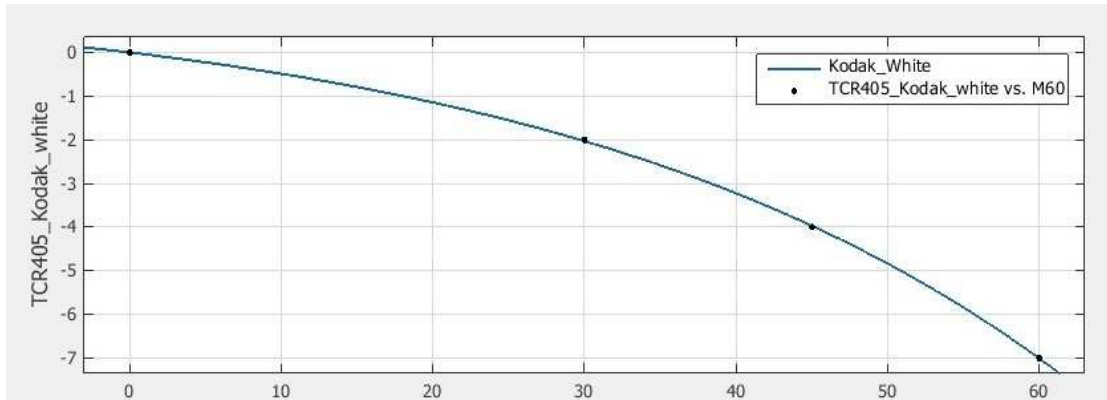
*Πίνακας 3.3: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του  $\Delta D$  από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TCR 405 σε απόσταση 50 μέτρων.*

Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCR 405 απέδωσε τιμές μηκών για όλα τα υλικά και τις γωνίες πρόσπτωσης, εξαιρουμένης της περίπτωσης του γυαλιού.

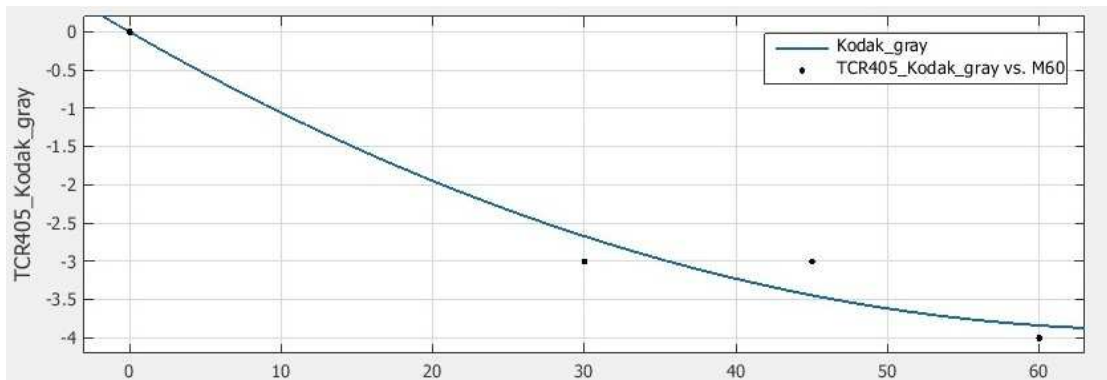
Από την σύγκριση των τιμών RMSE, για κάθε υλικό προέκυψαν βέλτιστες συναρτήσεις και των τριών ειδών (ευθεία, εκθετική και παραβολική). Στο σύνολό τους έχουν φθίνουσα μορφή, σε αντίθεση με τις προηγούμενες περιπτώσεις (Πίνακες 3.1 και 3.2).

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προκύπτει έχει μέγεθος μικρότερο των 0.5mm ενώ οι συντελεστές συσχέτισης έχουν τιμή κοντά στην μονάδα.

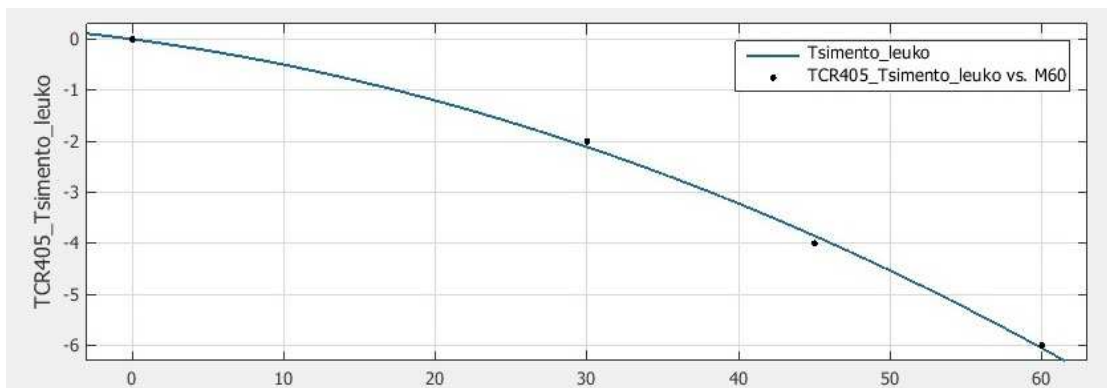
Στις εικόνες 3.9 έως 3.11 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες προσαρμογές συναρτήσεων σε μερικά υλικά.



Εικόνα 3.9: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο Kodak White για τον ΟΓΣ Leica TCR405



Εικόνα 3.10: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο Kodak Gray για τον ΟΓΣ Leica TCR405



Εικόνα 3.11: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο λευκό τσιμέντο για τον ΟΓΣ Leica TCR405



LEICA TCRM1201 <sup>+</sup> - 50 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	Τύπος καμπύλης	a	b	RMSE (mm)	R <sup>2</sup>
Kodak White					
Kodak Gray	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.058	0.0598	0.2522	0.9537
Ανακλαστικός στόχος					
Τσιμέντο λευκό					
Τσιμέντο γκρι	$y = ax$	-0.0368		0.2397	0.9373
Χαρτόνι γκρι	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.058	0.0598	0.2522	0.9537
Χαρτόνι μαύρο					
Πλαστικό λευκό	$y = ax$	-0.0299		0.2397	0.9138
Πλαστικό κόκκινο	$y = ax^2 + bx$	0.0005	-0.0468	0.0677	0.9878
Πλακάκι γκρι	$y = -ae^{(bx)} + a$	1.35	0.0196	0.0867	0.997
Πλακάκι μπεζ	$y = ax$	-0.0598		0.4795	0.9138
Αφρολέξ λευκό					
Αφρολέξ καφέ	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.058	0.0598	0.2522	0.9537
Μάρμαρο					
Ξύλο	$y = ax^2 + bx$	-0.0003	0	0.2766	0.7705
Νοβοπάν	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.0228	0.0816	0.1931	0.9876
Μελαμίνη	$y = ax$	-0.0368		0.2397	0.9373
Κεραμίδι	$y = ax^2 + bx$	-0.0005	-0.0199	0.0677	0.9982
Άσφαλτος	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.058	0.0598	0.2522	0.9537
Βράχος	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.058	0.0598	0.2522	0.9537
Γυαλί					

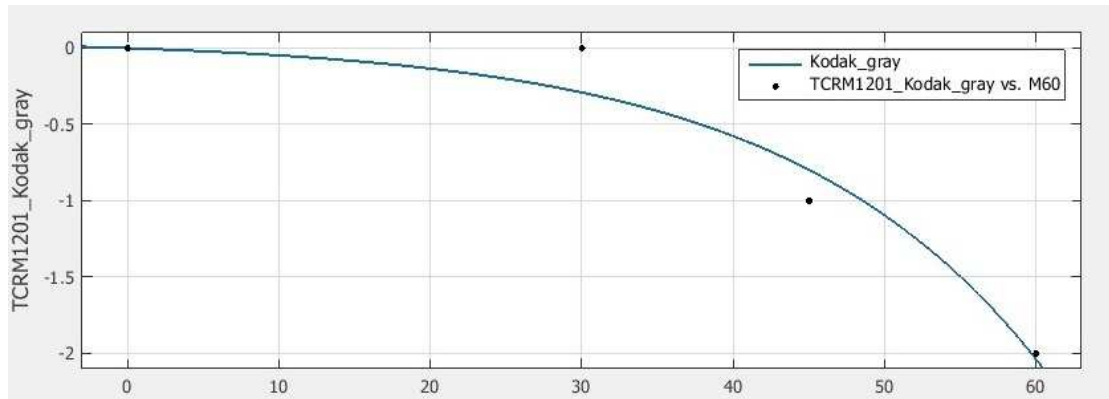
*Πίνακας 3.4: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του ΔD από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Leica TCRM 1201<sup>+</sup> σε απόσταση 50 μέτρων.*

Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM 1201<sup>+</sup> δεν απέδωσε τιμές μηκών σε όλες τις γωνίες πρόσπτωσης για τον αυτοκόλλητο ανακλαστικό στόχο και για το μαύρο χαρτόνι. Επιπροσθέτως, για τα υλικά Kodak White, λευκό αφρολέξ, μάρμαρο και γυαλί τα ζεύγη τιμών που προέκυψαν δεν επέτρεπαν την προσαρμογή επιθυμητής συνάρτησης ενώ το λευκό τσιμέντο απέδωσε μηδενικές τιμές ΔD για κάθε γωνία πρόσπτωσης.

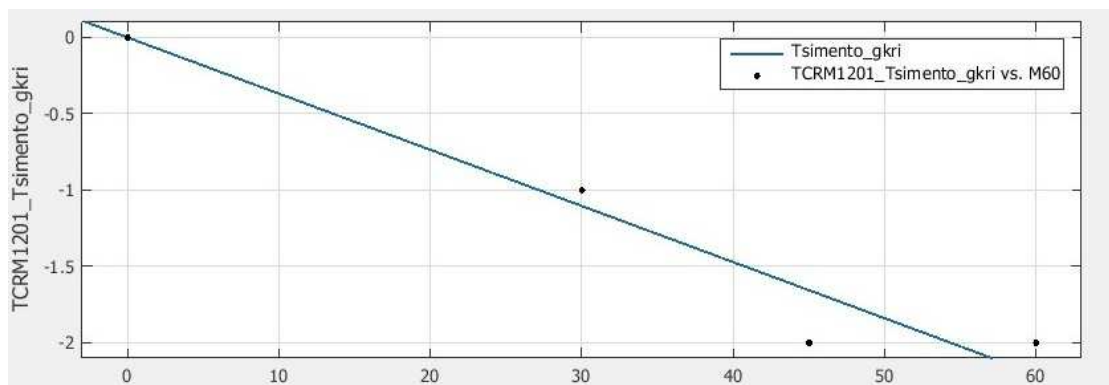
Από την σύγκριση των τιμών RMSE, για κάθε υλικό προέκυψαν βέλτιστες συναρτήσεις και των τριών ειδών (ευθεία, εκθετική και παραβολική), στο σύνολό τους φθίνουσας μορφής.

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα παρουσιάζει και σε αυτή την περίπτωση μέγεθος μικρότερο των 0.5mm ενώ οι συντελεστές συσχέτισης έχουν τιμή κοντά στην μονάδα με εξαίρεση την περίπτωση του ξύλου ( $R^2=0.7705$ ).

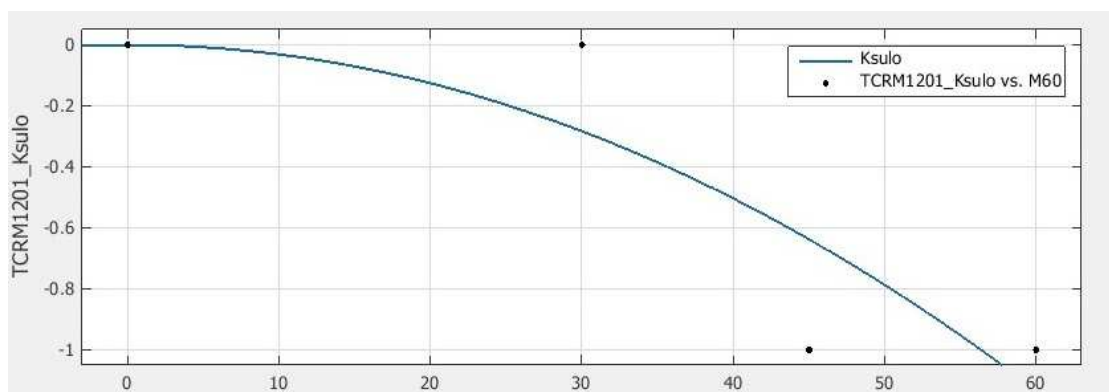
Στις εικόνες 3.12 έως 3.14 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες προσαρμογές συναρτήσεων σε μερικά υλικά.



Εικόνα 3.12: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο Kodak Gray για τον ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup>



Εικόνα 3.13: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο τσιμέντο γκρι για τον ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup>



Εικόνα 3.14: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο ξύλο για τον ΟΓΣ Leica TCRM 1201<sup>+</sup>

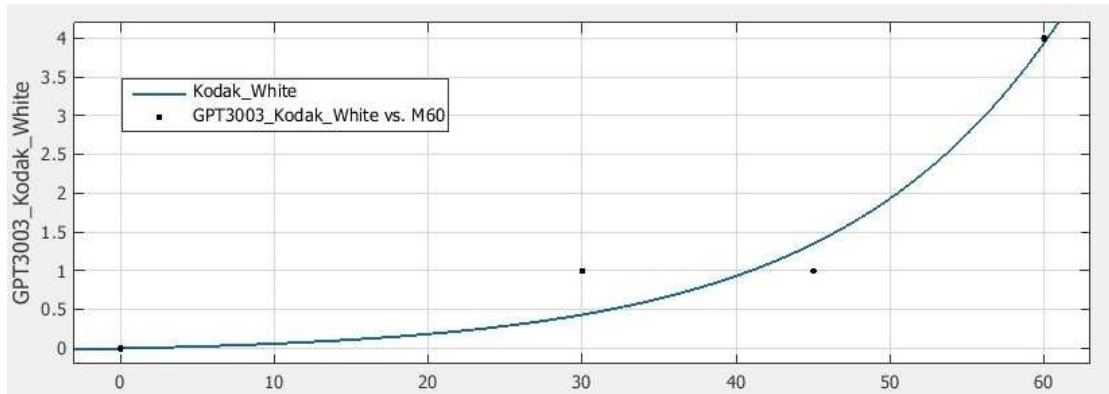
TOPCON GPT3003LN- 50 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	Τύπος καμπύλης	a	b	RMSE (mm)	R <sup>2</sup>
Kodak White	$y=ae^{(bx)} - a$	0.0619	0.0695	0.4712	0.9507
Kodak Gray	$y=ae^{(bx)} - a$	0.6109	0.0418	0.4415	0.985
Ανακλαστικός στόχος					
Τσιμέντο λευκό					
Τσιμέντο γκρι	$y=ae^{(bx)} - a$	0.0699	0.0716	0.4381	0.9771
Χαρτόνι γκρι	$y=ax^2 + bx$	0.0008	0.0193	0.4064	0.967
Χαρτόνι μαύρο	$y=ae^{(bx)} - a$	0.0699	0.0716	0.4381	0.9771
Πλαστικό λευκό					
Πλαστικό κόκκινο					
Πλακάκι γκρι	$y=ae^{(bx)} - a$	0.0455	0.0816	0.3861	0.9876
Πλακάκι μπεζ	$y=ae^{(bx)} - a$	0.263	0.0554	0.1068	0.9992
Αφρολέξ λευκό	$y=ae^{(bx)} - a$	0.318	0.0594	0.3697	0.996
Αφρολέξ καφέ	$y=ax^2 + bx$	0.002	0.0128	0.2709	0.996
Μάρμαρο	$y=ae^{(bx)} - a$	0.0699	0.0716	0.4381	0.9771
Ξύλο	$y=ae^{(bx)} - a$	0.0139	0.1011	0.5555	0.9579
Νοβοπάν	$y=ae^{(bx)} - a$	0.4076	0.046	0.1971	0.9963
Μελαμίνη					
Κεραμίδι	$y=ae^{(bx)} - a$	1.498	0.0137	0.2662	0.9292
Άσφαλτος	$y=ae^{(bx)} - a$	0.2129	0.0532	0.1445	0.997
Βράχος	$y=ax^2 + bx$	-0.0008	0.1141	0.4064	0.9633
Γυαλί					

*Πίνακας 3.5: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του  $\Delta D$  από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Topcon GPT 3003LN σε απόσταση 50 μέτρων.*

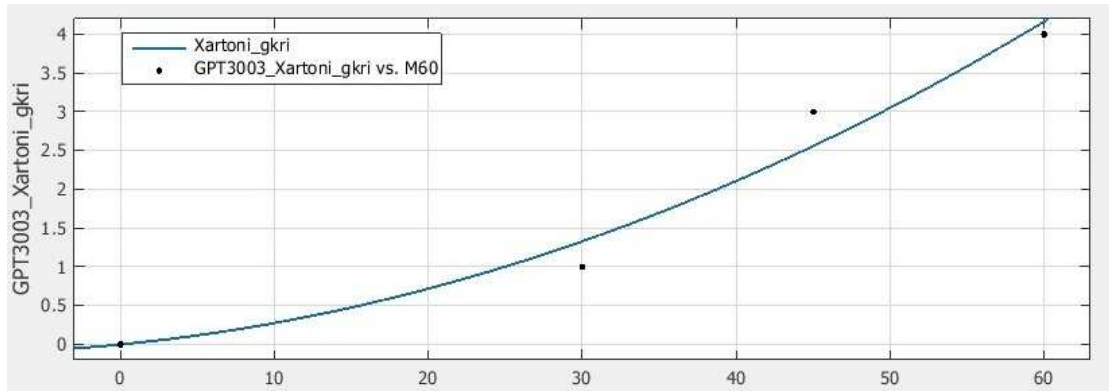
Στην παρούσα περίπτωση, ενώ πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μήκους για όλα τα υλικά, δεν υπήρξαν επιθυμητής μορφής συναρτήσεις για τον αυτοκόλλητο ανακλαστικό στόχο, το λευκό τσιμέντο, το λευκό και κόκκινο πλαστικό, την μελαμίνη και το γυαλί. Το τελευταίο μάλιστα απέδωσε τιμές που παραπέμπουν σε χονδροειδές σφάλμα, όπως συνέβη και στην περίπτωση των σταθμών Leica TCRM 1201<sup>+</sup> και Topcon GPT 7003i.

Προέκυψαν αύξουσες συναρτήσεις εκθετικού και παραβολικού τύπου. Οι προσαρμογές κρίνονται στο σύνολό τους ικανοποιητικές.

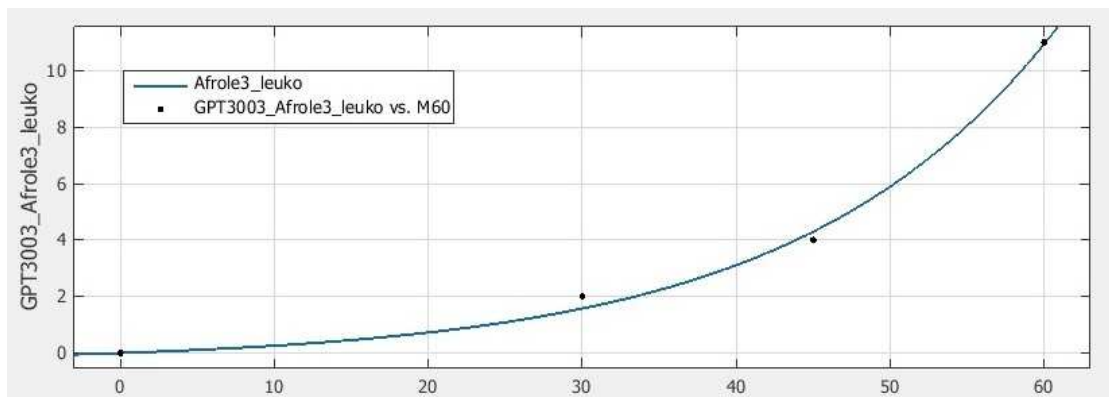
Στις εικόνες 3.15 έως 3.17 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες προσαρμογές συναρτήσεων στα πειραματικά δεδομένα.



Εικόνα 3.15: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο Kodak White για τον ΟΓΣ Topcon GPT3003LN



Εικόνα 3.16: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο γκρι χαρτόνι για τον ΟΓΣ Topcon GPT3003LN



Εικόνα 3.17: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο λευκό αφρολέξ για τον ΟΓΣ Topcon GPT3003LN

TOPCON GPT3105N- 50 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	Τύπος καμπύλης	a	b	RMSE (mm)	R <sup>2</sup>
Kodak White	$y=ae^{(bx)} - a$	0.058	0.0598	0.2522	0.9537
Kodak Gray	$y=ae^{(bx)} - a$	0.0228	0.0816	0.1931	0.9876
Ανακλαστικός στόχος					
Τσιμέντο λευκό	$y=ae^{(bx)} - a$	0.4349	0.0387	0.0458	0.9995
Τσιμέντο γκρι	$y=ax$	0.0828		0.3216	0.979
Χαρτόνι γκρι	$y=ax^2 + bx$	-0.0007	0.0930	0.2032	0.9794
Χαρτόνι μαύρο	$y=ae^{(bx)} - a$	0.4349	0.0387	0.0458	0.9995
Πλαστικό λευκό					
Πλαστικό κόκκινο					
Πλακάκι γκρι	$y=ax$	0.0667		-	-
Πλακάκι μπεζ	$y=ae^{(bx)} - a$	1.35	0.0196	0.0867	0.997
Αφρολέξ λευκό	$y=ax^2 + bx$	0.0014	0	0.1792	0.9935
Αφρολέξ καφέ	$y=ae^{(bx)} - a$	0.058	0.0598	0.2522	0.9537
Μάρμαρο	$y=ae^{(bx)} - a$	0.4349	0.0387	0.0458	0.9995
Ξύλο	$y=ax^2 + bx$	0.0008	0.0859	0.4064	0.991
Νοβοπάν	$y=ax$	0.0966		0.2397	0.9908
Μελαμίνη	$y=ae^{(bx)} - a$	1	0.0314	0.7289	0.9161
Κεραμίδι	$y=ax$	0.0667		-	-
Άσφαλτος	$y=ae^{(bx)} - a$	1.305	0.0387	0.1374	0.9995
Βράχος	$y=ae^{(bx)} - a$	0.0699	0.0716	0.4381	0.9771
Γυαλί	$y=ax$	-0.2		-	-

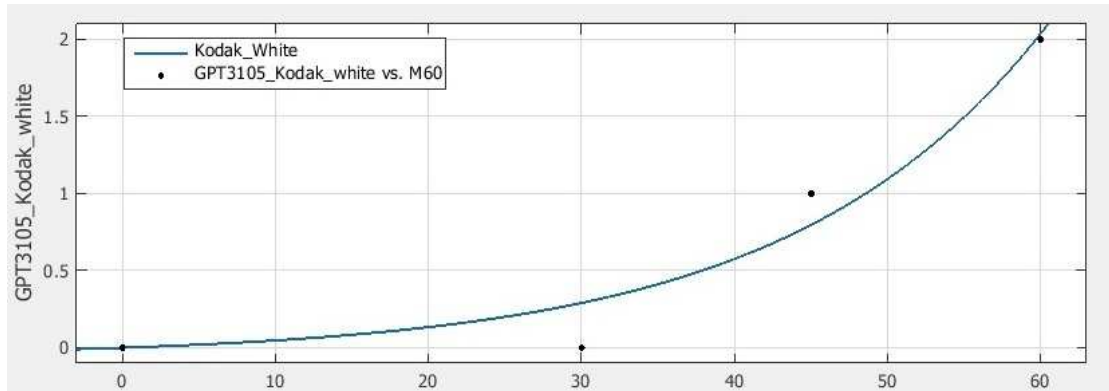
*Πίνακας 3.6: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του ΔD από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Topcon GPT 3105N σε απόσταση 50 μέτρων.*

Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Topcon GPT 3105N στις περιπτώσεις του αυτοκόλλητου ανακλαστικού στόχου και του λευκού και κόκκινου πλαστικού απέδωσε τιμές που δεν προσαρμόζονταν επαρκώς στις συναρτήσεις που προκαθορίστηκε ότι ικανοποιούν το προς εξέταση φαινόμενο.

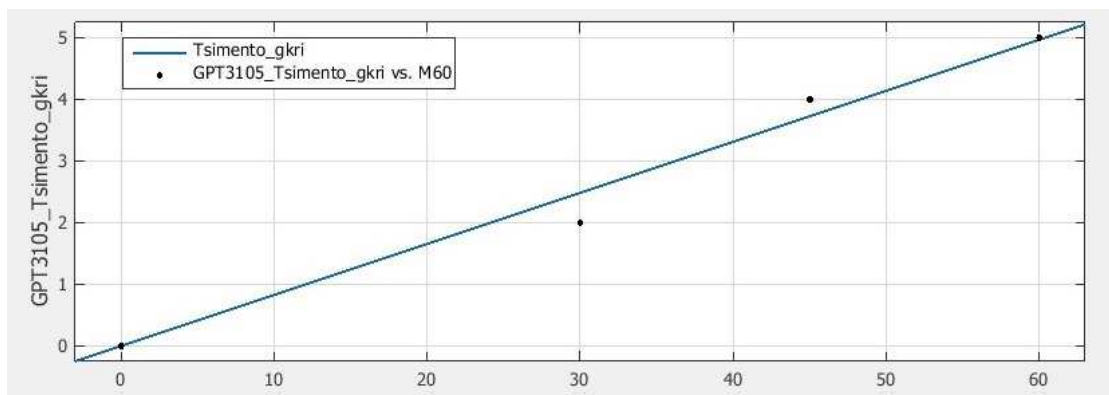
Για τα υπόλοιπα υλικά προσαρμόστηκαν αύξουσες συναρτήσεις κυρίως εκθετικού και παραβολικού τύπου. Εξαίρεση αποτελεί το γυαλί, οι μετρήσεις του οποίου αποδόθηκαν με φθίνουσα ευθεία.

Οι τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος και των συντελεστών συσχέτισης οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι προσαρμογές στο σύνολό τους κρίνονται επαρκείς.

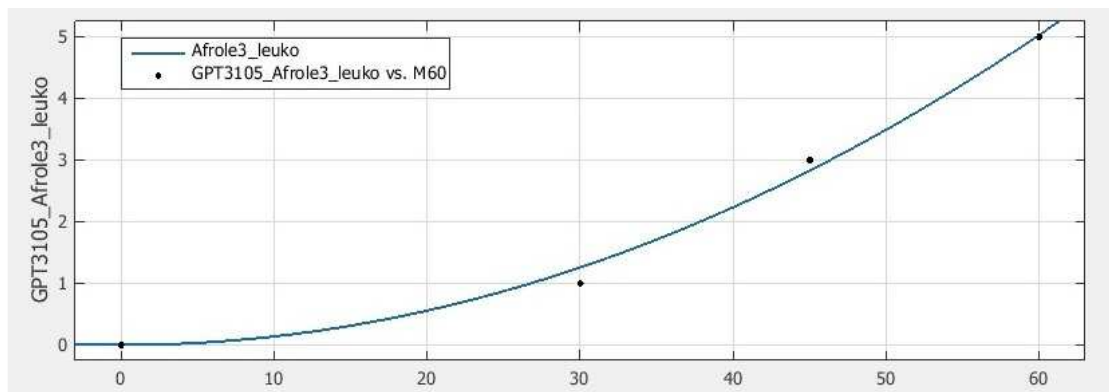
Στις εικόνες 3.18 έως 3.20 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες προσαρμογές συναρτήσεων σε κάποια υλικά.



Εικόνα 3.18: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο Kodak White για τον ΟΓΣ Torcon GPT3105N



Εικόνα 3.19: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο γκρι τσιμέντο για τον ΟΓΣ Torcon GPT3105N



Εικόνα 3.20: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο λευκό αφρολέξ για τον ΟΓΣ Torcon GPT3105N

TOPCON GPT7003i- 50 μέτρα					
ΥΛΙΚΟ	Τύπος καμπύλης	a	b	RMSE (mm)	R <sup>2</sup>
Kodak White	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.1791	0.0547	0.1385	0.9968
Kodak Gray	$y = ax$	-0.1494		1.199	0.9138
Ανακλαστικός στόχος					
Τσιμέντο λευκό					
Τσιμέντο γκρι					
Χαρτόνι γκρι	$y = ax$	-0.1011		0.6433	0.9347
Χαρτόνι μαύρο	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.0025	0.132	0.096	0.9995
Πλαστικό λευκό	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.253	0.0703	0.9755	0.9886
Πλαστικό κόκκινο	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.2181	0.0769	2.468	0.9562
Πλακάκι γκρι					
Πλακάκι μπεζ					
Αφρολέξ λευκό	$y = ax^2 + bx$	0.0002	0	0.3026	0.6336
Αφρολέξ καφέ	$y = ax$	-0.0598		0.9469	0.731
Μάρμαρο	$y = -ae^{(bx)} + a$	0.318	0.0595	0.3697	0.996
Ξύλο					
Νοβοπάν	$y = ax$	-0.0598		0.4795	0.9138
Μελαμίνη	$y = ax^2 + bx$	-0.0014	0	0.7226	0.913
Κεραμίδι	$y = ax^2 + bx$	-0.0004	0	0.6053	0.6336
Άσφαλτος	$y = ax^2 + bx$	-0.0014	0	0.1792	0.9935
Βράχος					
Γυαλί					

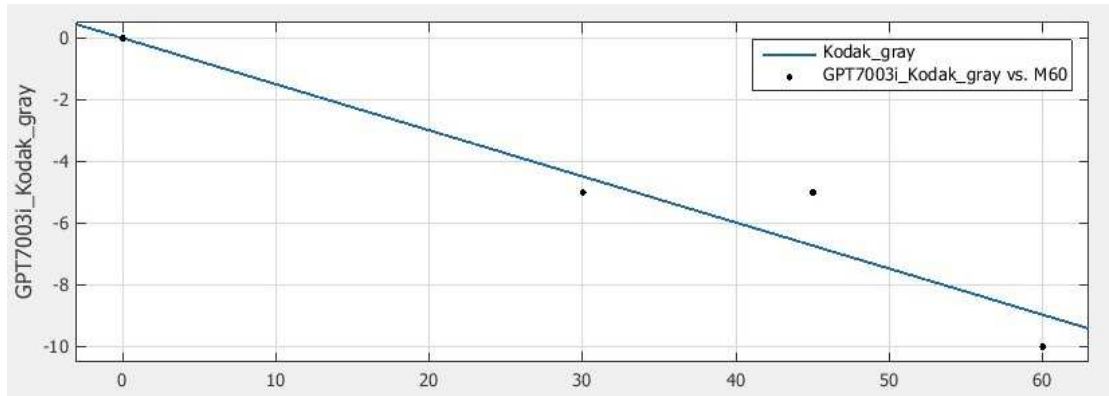
*Πίνακας 3.7: Συναρτήσεις προσαρμογής πειραματικών δεδομένων που αφορούν την μεταβολή του ΔD από τις 0 μοίρες ανά γωνία πρόσπτωσης, για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Topcon GPT 7003i σε απόσταση 50 μέτρων.*

Στην περίπτωση, τέλος, του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού Topcon GPT 7003i, δεν έγινε προσαρμογή συναρτήσεων για τον αυτοκόλλητο ανακλαστικό στόχο, το λευκό και γκρι τσιμέντο, το γκρι και μπεζ πλακάκι, το ξύλο, τον βράχο και το γυαλί καθώς τα δεδομένα αυτά επίσης δεν παρέπεμπαν σε επιθυμητή συνάρτηση.

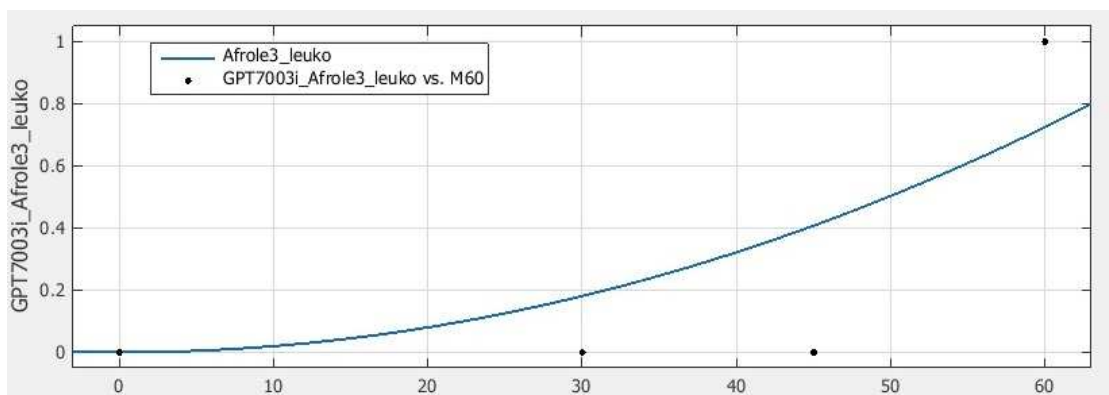
Για τα υπόλοιπα υλικά προσαρμόστηκαν φθίνουσες συναρτήσεις και των τριών τύπων με εξαίρεση το λευκό αφρολέξ που προσαρμόστηκε σε αύξουσα παραβολική συνάρτηση.

Βάσει των τιμών RMSE και R<sup>2</sup> προκύπτει ότι οι προσαρμογές είναι επαρκείς, εξαιρουμένων των περιπτώσεων του λευκού και του καφέ αφρολέξ, του κεραμιδιού (R<sup>2</sup>=0.6336, 0.731, 0.6336, αντίστοιχα) καθώς και του κόκκινου πλαστικού (RMSE=2.468).

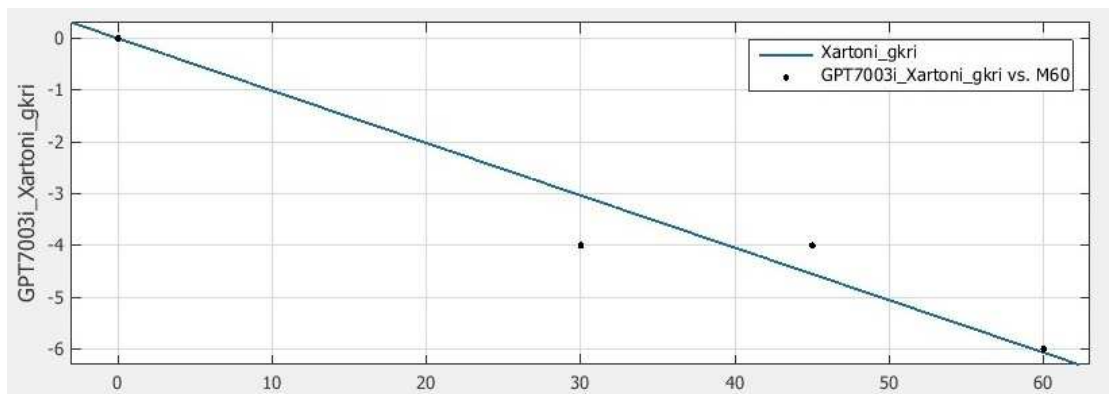
Στις εικόνες 3.21 έως 3.23 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες προσαρμογές συναρτήσεων σε κάποια υλικά.



Εικόνα 3.21: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο Kodak Gray για τον ΟΓΣ Torcon GPT7003i



Εικόνα 3.22: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο λευκό αφρολέξ για τον ΟΓΣ Torcon GPT7003i



Εικόνα 3.23: Προσαρμογή συνάρτησης μεταβολής του  $\Delta D$  στο γκρι χαρτόνι για τον ΟΓΣ Torcon GPT7003i

Ένα σημαντικό θέμα που αφορά τις παραπάνω προσαρμογές σχετίζεται με τις μονάδες στις οποίες αναφέρονται οι παράμετροι  $a$  και  $b$  που προκύπτουν για κάθε εξίσωση διόρθωσης, μέσω του λογισμικού MatLAB. Για τον προσδιορισμό αυτών των μονάδων λαμβάνεται υπόψη



ότι οι τιμές εισόδου (άξονας X) αναφέρονται σε μοίρες (deg) ενώ οι τιμές εξόδου (άξονας Y) αναφέρονται σε χιλιοστά (mm). Έτσι, αναλόγως του είδους της εξίσωσης προσαρμογής προκύπτουν οι παρακάτω μονάδες των παραμέτρων:

- Πολυωνομική 1<sup>ου</sup> βαθμού:  $y(\text{mm}) = a \cdot x(\text{deg})$

Προκύπτει ότι η παράμετρος  $a$  αναφέρεται σε μονάδες mm/deg. Εκφράζει την κλίση της ευθείας ως προς τον άξονα X και από αυτήν προκύπτει η μεταβολή του μετρούμενου μήκους σε χιλιοστά ανά μία μοίρα μεταβολής της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης στο δοκίμιο.

- Πολυωνομική 2<sup>ου</sup> βαθμού:  $y(\text{mm}) = a \cdot x^2(\text{deg}) + b \cdot x(\text{deg})$

Η παράμετρος  $a$  αναφέρεται σε μονάδες mm/deg<sup>2</sup> ενώ η παράμετρος  $b$  σε μονάδες mm/deg. Η πρώτη παράμετρος εκφράζει τον βαθμό αύξησης της καμπυλότητας της καμπύλης αυξανόμενου του X, ενώ η δεύτερη παράμετρος σχετίζεται με την μετατόπιση του άξονα συμμετρίας της καμπύλης από την αρχική του θέση, αυτή του άξονα Y.

- Εκθετική:  $y(\text{mm}) = a \cdot e^{b \cdot x(\text{deg})} - a$

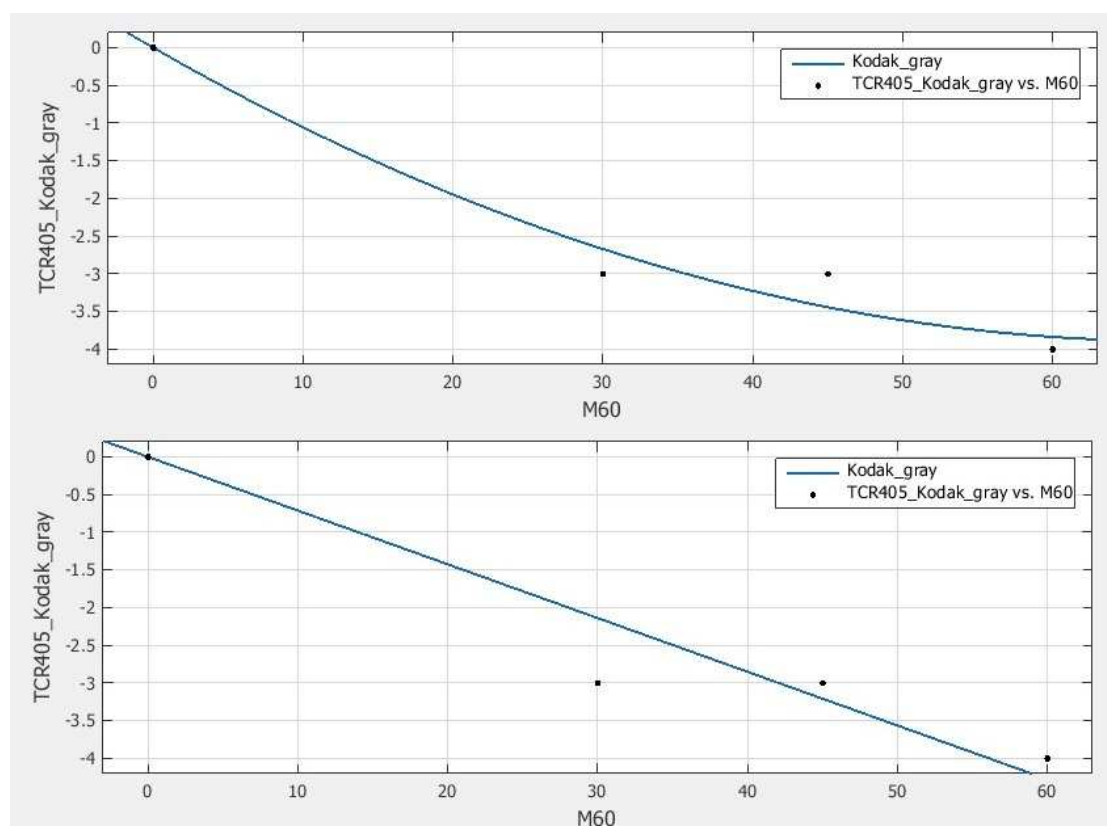
Προκύπτει ότι η παράμετρος  $a$  αναφέρεται σε μονάδες mm ενώ η παράμετρος  $b$  σε μονάδες 1/deg. Ο συνδυασμός των παραμέτρων  $a$  και  $b$  σχετίζεται με την καμπυλότητα της συνάρτησης στις διάφορες περιοχές του άξονα X.

Η τάξη μεγέθους των παραμέτρων αυτών, όπως φαίνεται και στους πίνακες 3.1 – 3.7 δεν είναι πάντα ίδια, μεταβαλλόμενου του υλικού ή του γεωδαιτικού σταθμού. Υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες οι καμπύλες που προσαρμόζονται σε παρόμοια δεδομένα έχουν παραμέτρους με μεγάλες διαφορές μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση της εκθετικής και της παραβολικής συνάρτησης και οφείλεται στο γεγονός ότι ριζικά διαφορετικοί συνδυασμοί των παραμέτρων  $a$  και  $b$  μπορούν να αποδώσουν σχεδόν ταυτόσημες γραφικές παραστάσεις.

Μία συνάρτηση παραβολικού τύπου με τον κατάλληλο συνδυασμό των δύο αυτών παραμέτρων μπορεί να τείνει ακόμα και σε ευθεία, με αποτέλεσμα σε κάποιες περιπτώσεις δεδομένα που έχουν γραμμική

μορφή να προσαρμόζονται σε παραβολή αποδίδοντας μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

Αυτό συνέβη καθώς βασική επιδίωξη ήταν η μικρότερη δυνατή τιμή RMSE για κάθε προσαρμογή. Στην εικόνα 3.24 φαίνεται η προσαρμογή δύο διαφορετικών συναρτήσεων (ευθείας και παραβολικής) σε δεδομένα του ΟΓΣ Leica TCR405 με αποτέλεσμα να προκύπτει παρομοίου μεγέθους τιμή RMSE (0.4064 και 0.5361 αντίστοιχα).



Εικόνα 3.24: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης και ευθείας σε δεδομένα που προέκυψαν με τον ΟΓΣ Leica TCR405 σε Kodak gray.

### 3.5 Συμπεράσματα σχετικά με την προσαρμογή συναρτήσεων ανά υλικό

Με την παρατήρηση των πινάκων 3.1 – 3.7 που περιέχουν τις συναρτήσεις μεταβολής  $\Delta D$  ανά γωνία πρόσπτωσης, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η ποιότητα προσαρμογής των συναρτήσεων στα πειραματικά δεδομένα είναι ικανοποιητική.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η εκθετική συνάρτηση  $y=ae^{(bx)}-a$  αποτέλεσε την βέλτιστη προσαρμογή στην πλειοψηφία των περιπτώσεων.

Όπως φαίνεται σε κάθε πίνακα, οι τιμές του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) κάθε προσαρμογής κυμαίνονται στο εύρος 0 έως 1 mm, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων.

Η πλειοψηφία μάλιστα των προσαρμογών απέδωσε τιμή RMSE έως 0.2mm. Για ορισμένα υλικά, όπως έχει ήδη αναφερθεί, δεν προέκυψαν τετραγωνικά υπόλοιπα όταν υπήρχαν μόνο τρία ζεύγη τιμών για κάθε υλικό (0, 30 και 45 μοίρες), που είναι τα ελάχιστα απαραίτητα για να ορίσουν μία συνάρτηση δευτέρου βαθμού ή μία εκθετική συνάρτηση (μηδέν βαθμοί ελευθερίας).

Σε περιπτώσεις που τελικά προέκυψε τετραγωνικό σφάλμα, αιτία αποτέλεσε το γεγονός της δέσμευσης διέλευσης της συνάρτησης από το σημείο (0,0), σύμφωνα με τις αρχικές παραδοχές που έγιναν.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι υπήρξαν περιπτώσεις δεδομένων που ήταν διατεταγμένα σε γραμμική μορφή με ιδεατό τρόπο, με αποτέλεσμα να προσαρμοστεί σε αυτά η συνάρτηση της ευθείας χωρίς να προκύψει μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Αυτό συνέβη σε κάποια υλικά στην περίπτωση του ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού Leica TCR405 (πίνακας 3.3).

Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης  $R^2$ , όπως φαίνεται επίσης από τους πίνακες, είναι μεγαλύτερη από 0.99 για τις περισσότερες περιπτώσεις, αν και υπάρχουν συνδυασμοί υλικών και γεωδαιτικών σταθμών για τους οποίους η προσαρμογή ήταν λιγότερο ικανοποιητική.

Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις πάντως, παρήχθησαν συναρτήσεις που μπορούν να διορθώσουν την μετρημένη τιμή μήκους έτσι ώστε αυτή να προσεγγίσει την τιμή μέτρησης που θα αντιστοιχούσε σε μηδενική γωνία πρόσπτωσης, εντός εύρους σημαντικά μικρότερου της ονομαστικής ακρίβειας των οργάνων.

Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) που προκύπτει για κάθε υλικό δεν αποτελεί την τιμή της διόρθωσης που απαιτείται, αλλά αποτελεί μία ένδειξη της ποιότητας προσαρμογής της εξίσωσης διόρθωσης στα δεδομένα.

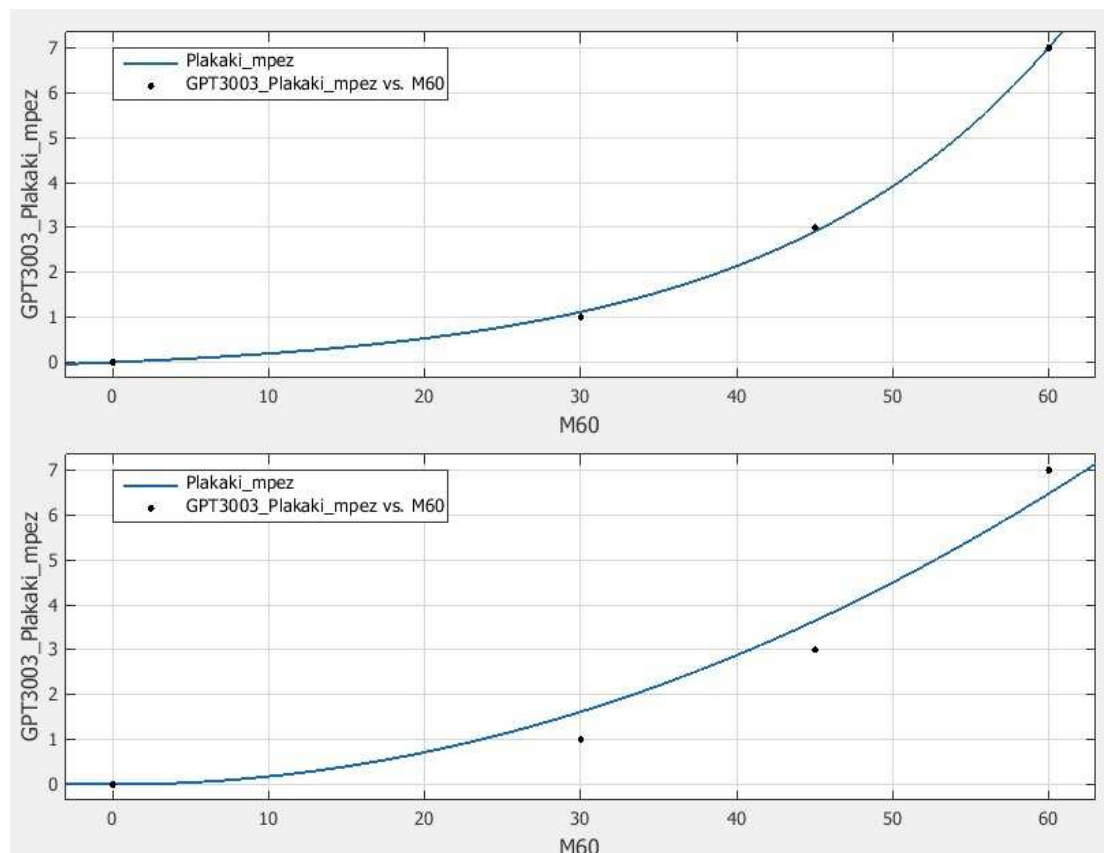
Η απαιτούμενη τιμή της διόρθωσης στα μετρούμενα μήκη προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση, αν γίνει αντικατάσταση της τιμής του  $X$  με την γωνία πρόσπτωσης της δέσμης στο υλικό.

Ένα άλλο θέμα που θα πρέπει να αναφερθεί, σχετίζεται με πιθανές άλλες χρήσεις των παραπάνω εξισώσεων. Στην παρούσα εργασία βασική μέριμνα ήταν η διόρθωση των μετρούμενων μηκών.

Έτσι, για την παραβολική αλλά και την εκθετική συνάρτηση ορίστηκε η ύπαρξη δύο συντελεστών, των  $a$  και  $b$ , κάτι που οδήγησε σε μικρές τιμές μέσου τετραγωνικού σφάλματος για κάθε περίπτωση. Αυτό όμως συνεπάγεται πολύπλοκες μαθηματικές συναρτήσεις, που στον βωμό της βέλτιστης προσαρμογής στα πειραματικά δεδομένα θυσιάζουν την ευκολία της ομαδοποίησης ή σύγκρισης των προσαρμογών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν, μία εναλλακτική προσέγγιση της παραμετροποίησης θα μπορούσε να περιλαμβάνει την προσαρμογή ενός τύπου συνάρτησης σε όλα τα δεδομένα (για παράδειγμα την παραβολική

συνάρτηση) ώστε να απλοποιηθεί η όλη διαδικασία για ένα πλήθος υλικών και γεωδαιτικών σταθμών (Εικόνα 3.25).

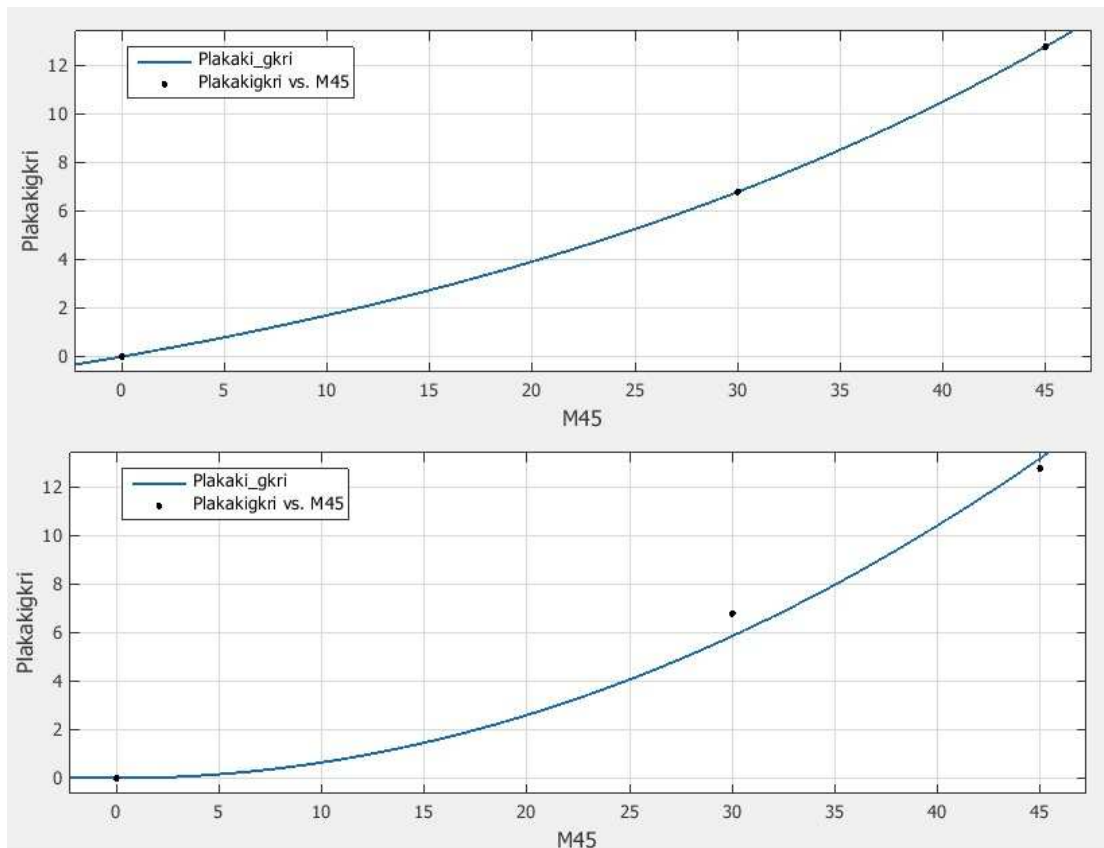


Εικόνα 3.25: Εναλλακτικές προσαρμογές εκθετικής και παραβολικής συνάρτησης (ΟΓΣ Topcon GPT3003LN σε πλακάκι μπεζ).

Μία άλλη πρόταση θα ήταν να απλοποιηθεί η μορφή της εκθετικής και της παραβολικής συνάρτησης, έτσι ώστε να υπάρχει μόνο ο συντελεστής  $a$ .

Αυτό μεταφράζεται σε παραβολική συνάρτηση της μορφής  $y = ax^2$  και σε εκθετική συνάρτηση τύπου  $y = e^{ax} - 1$ . Το αποτέλεσμα θα είναι η απλούστερη ομαδοποίηση και πιθανώς η σύγκριση των παραμέτρων που προκύπτουν για κάθε υλικό, με μειονέκτημα την πιθανόν μεγαλύτερη τιμή στο μέσο τετραγωνικό σφάλμα για κάθε προσαρμογή (RMSE). Στην εικόνα 3.26 παρουσιάζεται η προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης με δύο παραμέτρους (έλλειψη RMSE) και με μία παράμετρο (RMSE=0.718) στον ΟΓΣ Leica TCR303 για το γκρι πλακάκι.

Στον πίνακα 3.8 παρουσιάζεται συγκριτικός πίνακας των μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων που προκύπτουν για τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό Topcon GPT3003LN με την προσαρμογή εκθετικής και παραβολικής συνάρτησης μίας παραμέτρου, σε σχέση με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προέκυψε από την προσαρμογή συναρτήσεων δύο μεταβλητών, σύμφωνα με τον προηγούμενο πίνακα 3.5.



Εικόνα 3.26: Εναλλακτικές προσαρμογές παραβολικής συνάρτησης με δύο παραμέτρους (άνω) και με μία παράμετρο (κάτω) (ΟΓΣ Leica TCR303 σε πλακάκι γκρι).

TOPCON GPT3003LN- 50 μέτρα				
ΥΛΙΚΟ	Αρχική συνάρτηση	RMSE (mm)	RMSE (mm) για $y=ax^2$	RMSE (mm) για $y=e^{ax} - 1$
Kodak White	$y=ae^{(bx)} - a$	0.4712	0.6335	0.6942
Kodak Gray	$y=ae^{(bx)} - a$	0.4415	0.5114	0.4868
Τσιμέντο γκρι	$y=ae^{(bx)} - a$	0.4381	0.7731	0.8953
Χαρτόνι γκρι	$y=ax^2 + bx$	0.4064	0.4268	0.5047
Χαρτόνι μαύρο	$y=ae^{(bx)} - a$	0.4381	0.7731	0.8953
Πλακάκι γκρι	$y=ae^{(bx)} - a$	0.3861	1.03	1.114
Πλακάκι μπεζ	$y=ae^{(bx)} - a$	0.1068	0.5974	0.5961
Αφρολέξ λευκό	$y=ae^{(bx)} - a$	0.3697	1.139	0.806
Αφρολέξ καφέ	$y=ax^2 + bx$	0.2709	0.2834	0.427
Μάρμαρο	$y=ae^{(bx)} - a$	0.4381	0.7731	0.8953
Ξύλο	$y=ae^{(bx)} - a$	0.5555	1.203	1.233
Νοβοπάν	$y=ae^{(bx)} - a$	0.1971	0.3208	0.3889
Κεραμίδι	$y=ae^{(bx)} - a$	0.2662	0.2963	0.2881
Άσφαλτος	$y=ae^{(bx)} - a$	0.1445	0.4191	0.4845
Βράχος	$y=ax^2 + bx$	0.4064	1.147	1.025

Πίνακας 3.8: Συγκριτικός πίνακας RMSE στις προσαρμογές συναρτήσεων μίας μεταβλητής για τον ΟΓΣ Topcon GPT3003LN

Όπως παρατηρείται, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προκύπτει από την προσαρμογή συναρτήσεων μίας μεταβλητής είναι μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό που προκύπτει από την αρχική προσαρμογή συναρτήσεων δύο μεταβλητών.

Στο σύνολο όμως των περιπτώσεων, οι διαφορές στην τιμή του RMSE είναι μικρές (0.1mm έως 0.8mm) και αυτό παραμένει σε ένα ανεκτό εύρος τιμών της τάξης του χιλιοστού, δεδομένης και της ονομαστικής αβεβαιότητας των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.

Στον πίνακα 3.9 παρατίθεται η απαιτούμενη διόρθωση μήκους για γωνία πρόσπτωσης της δέσμης 60°, για κάθε υλικό και για τον ίδιο γεωδαιτικό σταθμό, όπως αυτή προκύπτει από την απλοποιημένη εξίσωση διόρθωσης εκθετικού τύπου  $y=e^{ax}-1$  καθώς και από την απλοποιημένη πολυωνυμική εξίσωση 2<sup>ου</sup> βαθμού  $y=ax^2$ . Παρατίθενται επίσης οι απαιτούμενες διορθώσεις όπως αυτές προέκυψαν από τις αρχικές συναρτήσεις του πίνακα 3.5, ώστε να υπάρξει η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

<b>TOPCON GPT3003LN- 50 μέτρα</b>				
<b>Διόρθωση μήκους για γωνία πρόσπτωσης της δέσμης 60°</b>				
<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>Αρχική συνάρτηση</b>	<b>Διόρθωση (mm)</b>	<b>Διόρθωση (mm) για <math>y=ax^2</math></b>	<b>Διόρθωση (mm) για <math>y=e^{ax} - 1</math></b>
Kodak White	$y=ae^{(bx)} - a$	3.9	3.5	3.4
Kodak Gray	$y=ae^{(bx)} - a$	6.9	6.7	6.8
Τσιμέντο γκρι	$y=ae^{(bx)} - a$	5.0	4.4	4.4
Χαρτόνι γκρι	$y=ax^2 + bx$	4.2	4.3	4.2
Χαρτόνι μαύρο	$y=ae^{(bx)} - a$	5.1	4.4	4.4
Πλακάκι γκρι	$y=ae^{(bx)} - a$	6.0	5.2	5.2
Πλακάκι μπεζ	$y=ae^{(bx)} - a$	7.0	6.5	6.6
Αφρολέξ λευκό	$y=ae^{(bx)} - a$	10.9	10.0	10.4
Αφρολέξ καφέ	$y=ax^2 + bx$	8.1	8.2	8.3
Μάρμαρο	$y=ae^{(bx)} - a$	5.1	4.4	4.4
Ξύλο	$y=ae^{(bx)} - a$	6.0	4.9	5.0
Νοβοπάν	$y=ae^{(bx)} - a$	6.0	5.8	5.8
Κεραμίδι	$y=ae^{(bx)} - a$	1.9	2.0	1.9
Άσφαλτος	$y=ae^{(bx)} - a$	5.0	4.6	4.6
Βράχος	$y=ax^2 + bx$	3.8	4.7	4.5

*Πίνακας 3.9: Συγκριτικός πίνακας απαιτούμενων διορθώσεων μήκους στις προσαρμογές συναρτήσεων μίας μεταβλητής για τον ΟΓΣ Topcon GPT3003LN*

Όπως γίνεται αντιληπτό, οι τιμές διόρθωσης του μήκους που προκύπτουν από τις νέες, απλοποιημένες εξισώσεις προσαρμογής, βρίσκονται εντός εύρους 1mm από αυτές που προέκυψαν από τις αρχικές και περισσότερο πολύπλοκες εξισώσεις δύο παραμέτρων

Έτσι, είναι προφανές ότι οι διορθώσεις των μετρούμενων μηκών είναι ισοδύναμες με την χρήση των παραπάνω απλοποιημένων εξισώσεων.

### 3.6 Προσαρμογή γενικής συνάρτησης ανά όργανο

Τελικός στόχος είναι να δοθεί μία γενική συνάρτηση διόρθωσης των μετρούμενων μηκών ανά γεωδαιτικό σταθμό, η οποία θα τα ανάγει στα μήκη που θα προέκυπταν για κάθετη πρόσπτωση της δέσμης στο υλικό και θα αποδίδει ανεκτό μέσο τετραγωνικό σφάλμα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι εξισώσεις διόρθωσης με μία παράμετρο μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμες των εξισώσεων διόρθωσης με δύο παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στην παράγραφο 3.4.

Η απλούστερη μαθηματική συνάρτηση που περιγράφει το φαινόμενο της μεταβολής του μετρούμενου μήκους με την αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης, είναι η πολυωνυμική συνάρτηση 2<sup>ου</sup> βαθμού μίας παραμέτρου ( $y = ax^2$ ).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, έγινε προσαρμογή σε περιβάλλον MatLAB της συγκεκριμένης συνάρτησης για κάθε γεωδαιτικό σταθμό, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των υλικών προς τα οποία η μέτρηση μήκους ήταν επιτυχής για όλες τις γωνίες στροφής του στόχου.

Αγνοήθηκαν τα υλικά που απέδωσαν μεγάλες τιμές  $\Delta D$  και δεν είχαν συμπεριληφθεί στην προσαρμογή μίας εξίσωσης ανά υλικό, σύμφωνα με τους πίνακες 3.1 έως 3.7.

Στον πίνακα 3.10 παρατίθεται η τιμή της μεταβλητής  $a$  που προέκυψε για κάθε γεωδαιτικό σταθμό, το σφάλμα της  $\sigma_a$  για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα RMSE καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$ .

Παρατίθεται επίσης η απαιτούμενη διόρθωση στην τιμή του μετρούμενου μήκους για γωνία πρόσπτωσης  $45^\circ$ , όπως προκύπτει από την εξίσωση που προσδιορίστηκε, καθώς για την γωνία αυτή υπάρχουν διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα για όλους τους γεωδαιτικούς σταθμούς της παρούσας εργασίας.

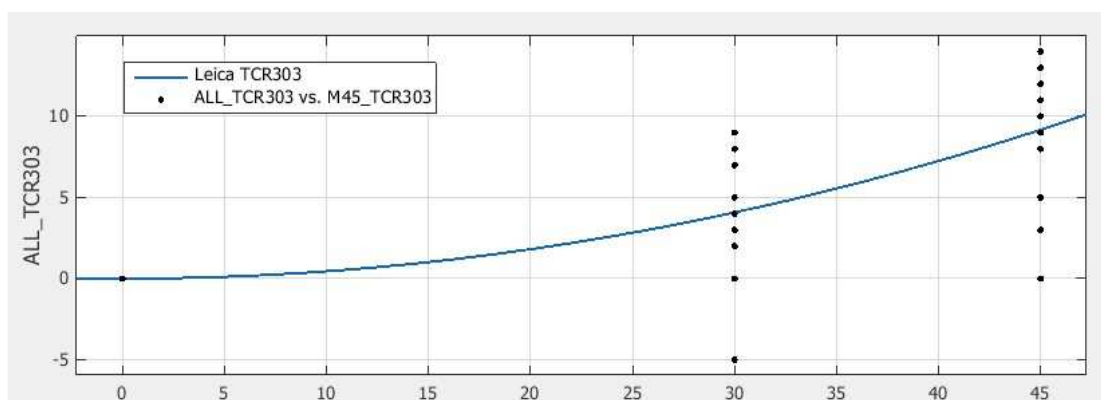
Τέλος, καταγράφεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προκύπτει για την προσαρμογή της ευθείας  $y=0$  στα δεδομένα. Πρόκειται για το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που αναφέρεται στην αρχική κατάσταση των δεδομένων, χωρίς να έχει εφαρμοστεί κάποια εξίσωση διόρθωσης. Αυτό συμπεριελήφθη για να τονιστεί η σημαντικότητα της διόρθωσης.

Στις εικόνες 3.27 έως 3.33 παρουσιάζονται οι προσαρμογές των συναρτήσεων στο εικονιστικό περιβάλλον του λογισμικού MatLAB, για κάθε ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία.

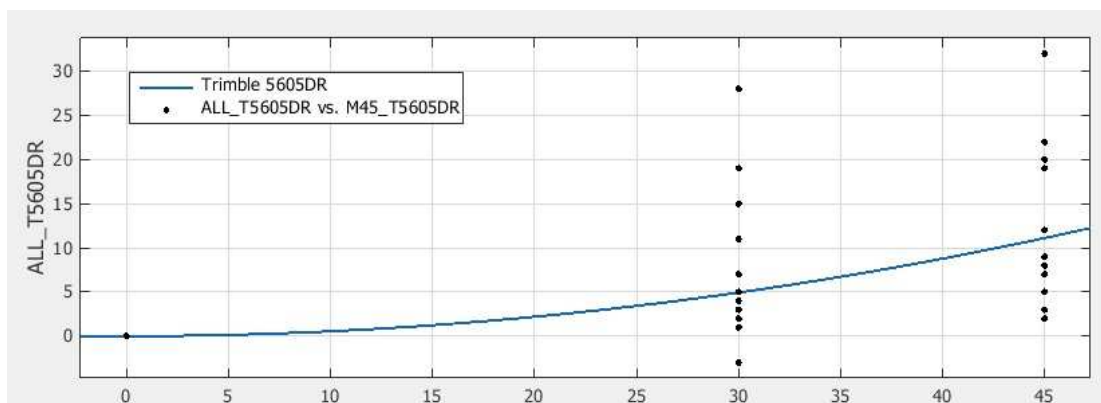
Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, η παραπάνω εξίσωση διέρχεται εξ' ορισμού από το σημείο (0,0) των αξόνων. Στην τιμή του  $a$  δεν τέθηκαν περιορισμοί και το πρόσημό της προέκυψε υπολογιστικά από το λογισμικό, κατά την διαδικασία της προσαρμογής.

Γεωδαιτικός σταθμός	Τύπος καμπύλης	$a$	$\sigma_a$	RMSE (mm)	$R^2$	Διόρθωση (mm) στις 45°	RMSE (mm) για $y=0$
Leica TCR303	$y=ax^2$	0.0045	$\pm 0.0008$	3.164	0.5928	-9.2	6.588
Trimble 5605DR <sup>+</sup>		0.0054	$\pm 0.0011$	5.894	0.3597	-11.1	9.141
Leica TCR405		-0.0013	$\pm 0.0001$	1.343	0.5641	2.6	3.025
Leica TCRM1201 <sup>+</sup>		-0.0005	$\pm 0.0001$	0.682	0.5113	1.1	1.333
Topcon GPT3003LN		0.0011	$\pm 0.0003$	2.415	0.2691	-2.2	3.307
Topcon GPT3105N		0.0014	$\pm 0.0002$	1.927	0.4925	-2.8	3.466
Topcon GPT7003i		-0.0015	$\pm 0.0004$	3.423	0.309	3.0	4.637

Πίνακας 3.10: Δεδομένα προσαρμογής παραβολικής συνάρτησης μίας παραμέτρου για κάθε ΟΓΣ

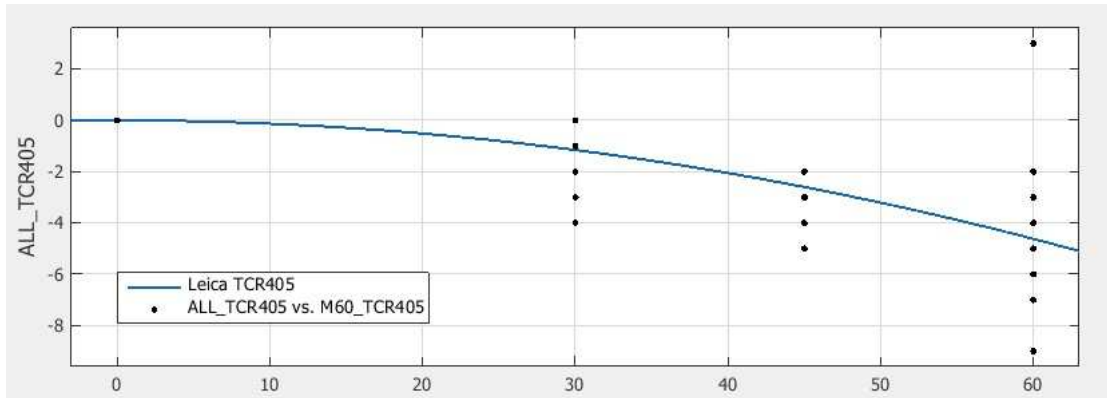


Εικόνα 3.27: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Leica TCR303

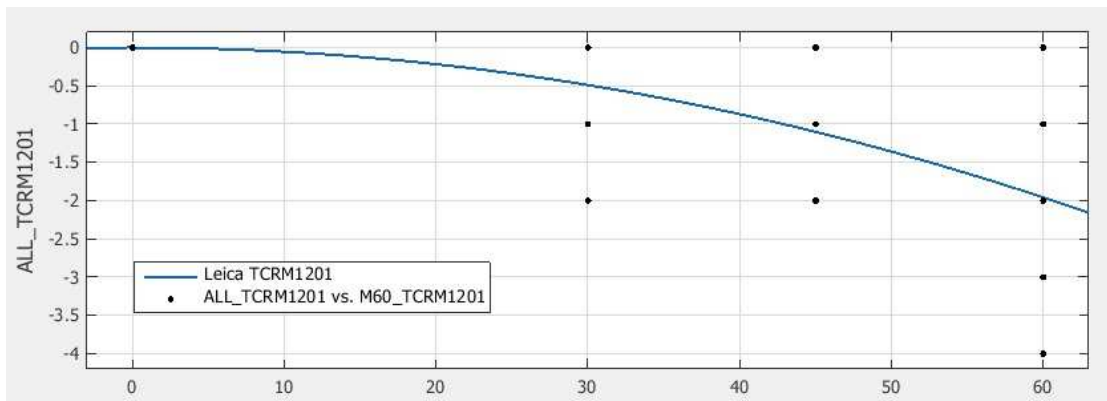


Εικόνα 3.28: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Trimble 5605DR<sup>+</sup>

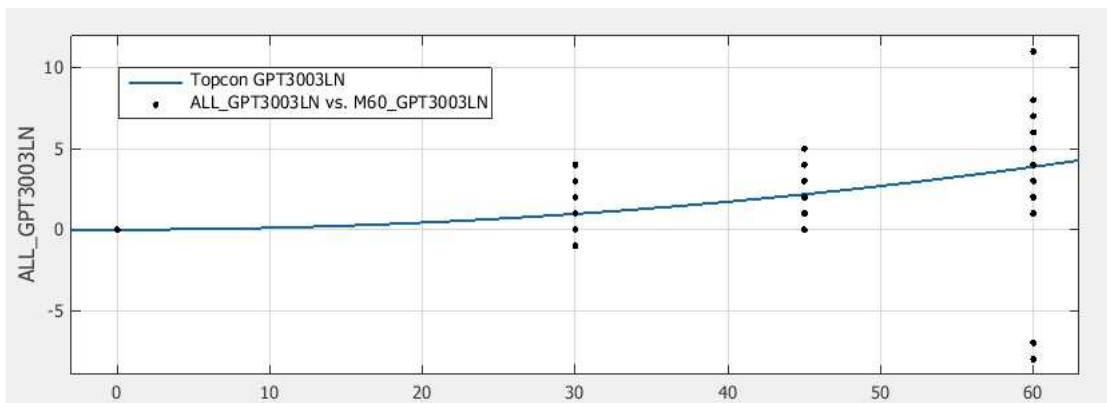




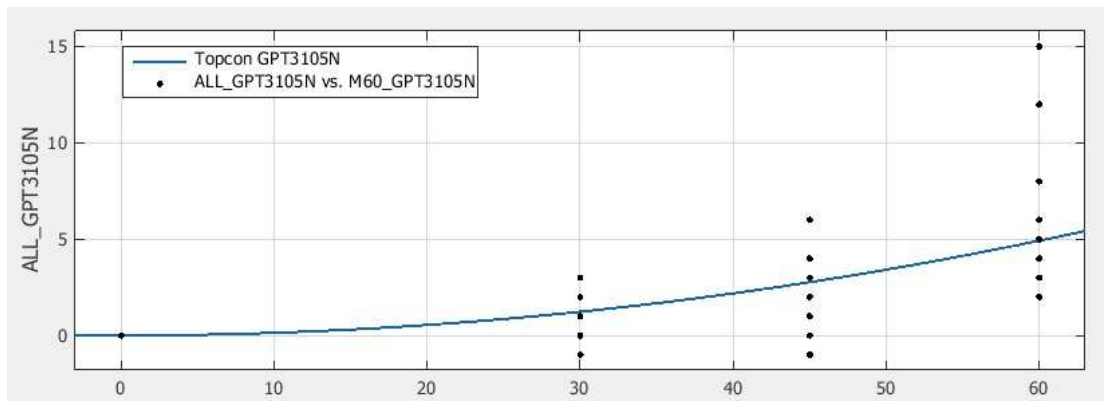
Εικόνα 3.29: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Leica TCR405



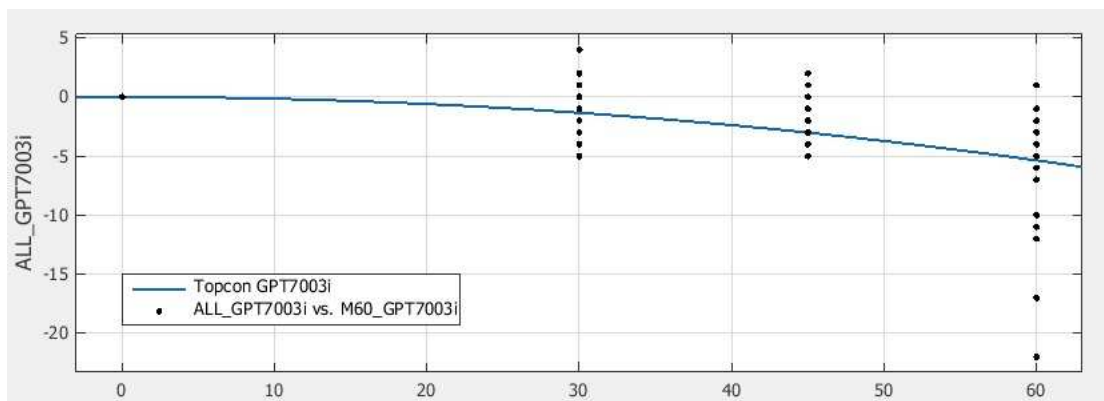
Εικόνα 3.30: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Leica TCRM1201<sup>+</sup>



Εικόνα 3.31: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Topcon GPT3003LN



Εικόνα 3.32: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Topcon GPT3105N



Εικόνα 3.33: Προσαρμογή παραβολικής συνάρτησης στα δεδομένα του ΟΓΣ Topcon GPT7003i

Όπως διαπιστώνεται και από τον πίνακα 3.10, η προσαρμογή μίας συνάρτησης διόρθωσης των μετρημένων μηκών ανά γεωδαιτικό σταθμό οδηγεί σε μικρότερο, έως και υποδιπλάσιο, μέσο τετραγωνικό σφάλμα σε σχέση με την κατάσταση πριν την διόρθωση.

Το μέσο αυτό τετραγωνικό σφάλμα αφορά την ποιότητα της προσαρμογής της παραβολικής εξίσωσης λόγω της διασποράς των δεδομένων και δεν σχετίζεται απαραίτητα με το μέγεθος της απαιτούμενης διόρθωσης του μετρούμενου μήκους για κάθε γεωδαιτικό σταθμό.

Για παράδειγμα, ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM1201<sup>+</sup> αποδίδει την μικρότερη τιμή RMSE (0.7mm). Αυτό συμβαίνει καθώς ο συγκεκριμένος σταθμός παρουσιάζει μικρότερες τιμές  $\Delta D$ , οι οποίες επιπροσθέτως έχουν μικρότερη διασπορά με αποτέλεσμα την καλύτερη προσαρμογή της πολυωνμικής συνάρτησης. Αντιθέτως, ο γεωδαιτικός σταθμός Trimble 5605DR<sup>+</sup> απέδωσε την μεγαλύτερη τιμή μέσου τετραγωνικού σφάλματος (5.9mm) λόγω των μεγάλων

αποκλίσεων που παρατηρούνται στα πειραματικά δεδομένα και δυσχεραίνουν την διαδικασία της προσαρμογής συνάρτησης σε αυτά.

Σε ότι αφορά το μέγεθος της απαιτούμενης διόρθωσης του μετρούμενου μήκους, όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.10, ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM1201<sup>+</sup> παρουσιάζει την καλύτερη επίδοση, καθώς προκύπτει ότι για γωνία πρόσπτωσης 45° απαιτείται διόρθωση μόλις ενός χιλιοστού. Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς λόγω της χρήσης της τεχνολογίας “System analyser” τα σφάλματα που παρουσιάζει λόγω της αλλαγής της γωνίας πρόσπτωσης είναι μικρότερα.

Τέλος, από τον παραπάνω πίνακα μπορεί επίσης να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η τιμή της παραμέτρου  $a$  αποτελεί έναν δείκτη αξιοπιστίας του γεωδαιτικού σταθμού, σε ότι αφορά την συμπεριφορά του κατά την αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης. Μικρότερη τιμή της παραμέτρου αυτής συνεπάγεται μικρότερη απαιτούμενη διόρθωση του μετρούμενου μήκους.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η διαδικασία διόρθωσης των μηκών που μετρώνται χωρίς ανακλαστήρα και η αναγωγή τους σε μετρήσεις κάθετης πρόσπτωσης μέσω της χρήσης εξισώσεων προσαρμογής, θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω στο πλαίσιο της βελτιστοποίησης των μετρήσεων.

Η διόρθωση αυτή μπορεί να λαμβάνει χώρα σε πραγματικό χρόνο και στο πεδίο, σε περίπτωση που για κάποιον γεωδαιτικό σταθμό έχει προσδιοριστεί εργαστηριακά η συνάρτηση διόρθωσης του μετρούμενου μήκους.

Προϋπόθεση αποτελεί η αναγνώριση της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης, σε κάθε μέτρηση που πραγματοποιείται. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ταχεία λήψη, αυτόματα από τον σταθμό και με την χρήση ρομποτικής λειτουργίας, μετρήσεων μήκους χωρίς ανακλαστήρα περιμετρικά του επιθυμητού σημείου λήψης και σε ένα εύρος δύο ή τριών mm, ανάλογα βεβαίως και με την απόσταση της μέτρησης, καθώς η δέσμη laser διευρύνεται σε μεγάλες αποστάσεις.

Στην συνέχεια, με την διενέργεια των απαιτούμενων υπολογισμών από λογισμικό ενσωματωμένο στον σταθμό, θα μπορεί να προκύψει η γωνία διεύθυνσης της επιφάνειας που μετράται σε σχέση με τον σκοπευτικό άξονα του οργάνου, ώστε να διορθώνεται στιγμιαία η τιμή του κεκλιμένου μήκους.

Η τιμή της διόρθωσης θα προκύπτει από την εξίσωση που έχει προσδιοριστεί, με αντικατάσταση της γωνίας πρόσπτωσης στην τιμή του  $X$ . Η διαδικασία της διόρθωσης θα ολοκληρώνεται με την αφαίρεση της τιμής διόρθωσης από το πρωτογενές μήκος που μετρήθηκε.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι τεχνικές δυσκολίες που σχετίζονται με την προτεινόμενη αυτή μεθοδολογία διόρθωσης μηκών, είναι εύκολα αντιμετωπίσιμες από την υπάρχουσα τεχνολογία των σημερινών ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.

Πέραν της παραπάνω διόρθωσης, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί και διόρθωση ισοδύναμη με την διαφορά μεταξύ της μέτρησης προς τον ανακλαστήρα και της reflectorless μέτρησης με κάθετη πρόσπτωση της δέσμης στην επιφάνεια ( $\Delta D$ ), ώστε να αποκαθίσταται συνολικά η απόκλιση που προκύπτει κατά την μέτρηση χωρίς ανακλαστήρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

#### 4.1 Συμπεράσματα

Βασική επιδίωξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η προσπάθεια μοντελοποίησης των μετρήσεων χωρίς ανακλαστήρα με σύγχρονους γεωδαιτικούς σταθμούς.

Συγκεκριμένα, μελετήθηκε η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης καθώς και του μεγέθους του μετρούμενου μήκους στις αποκλίσεις που προκύπτουν μεταξύ των μετρήσεων χωρίς ανακλαστήρα και των αντίστοιχων μετρήσεων με ανακλαστήρα, όταν αυτός τοποθετείται στην ίδια θέση.

Συνοπτικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η χρήση κοινής μεθοδολογίας μέτρησης στις διάφορες εργασίες που αξιοποιήθηκαν καθώς και η χρήση της βάσης στήριξης και των ίδιων υλικών διευκόλυναν την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή συμπερασμάτων, καθώς υπήρχαν κοινές πειραματικές πρακτικές σε όλο το εύρος αυτών των εργασιών.

##### 4.1.1 Η επίδραση της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης

Η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης ακτινοβολίας στα δοκίμια σε σχέση με την κάθετο σε αυτά διεύθυνση αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την αξιοπιστία του αποτελέσματος μέτρησης μήκους.

Η απομόνωση αυτού του παράγοντα πραγματοποιήθηκε μέσω του υπολογισμού της τιμής της διαφοράς του  $\Delta D (=D_{κατ} - D_{RL})$  για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης, από την αντίστοιχη τιμή  $\Delta D$  για γωνία πρόσπτωσης 0 μοιρών. Η μεθοδολογία αυτή επέτρεψε την αποκλειστική μελέτη του φαινομένου.

Οι μετρήσεις που αξιοποιήθηκαν αναφέρονταν σε μήκη 15m και 50m εσωτερικού χώρου (σήραγγα Λαμπαδαρίου) καθώς και σε μήκη που άγγιζαν τα όρια της εμβέλειας των γεωδαιτικών σταθμών, σε εξωτερικό χώρο.

Από την συγκριτική ανάλυση των μετρήσεων, προέκυψε ότι κάθε ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός περιέχει διαφορετικό αλγόριθμο επεξεργασίας των παλμικών κυμάτων, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει ξεχωριστή συμπεριφορά σε ότι αφορά την αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης.

Η συμπεριφορά αυτή δεν είναι ιδιαίτερα εμφανής για μήκη σκόπευσης 15 μέτρων, κάτι το οποίο όμως δεν συμβαίνει για μήκη 50 μέτρων καθώς και για μεγαλύτερα μήκη, στα οποία προκύπτουν σημαντικές αποκλίσεις.

**Στην περίπτωση των μετρήσεων μήκους της τάξης των 15 μέτρων σε εσωτερικό χώρο**, που είναι τα συνηθισμένα μήκη για τοπογραφικές μετρήσεις ακριβείας (πχ βιομηχανική γεωδαισία, αποτυπώσεις μνημείων κλπ), προέκυψε ότι οι γεωδαιτικοί σταθμοί γενικά παρέχουν αξιόπιστες μετρήσεις μήκους χωρίς ανακλαστήρα.

Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται, μεταβάλλοντας την γωνία πρόσπτωσης της δέσμης, είναι γενικά εντός της ονομαστικής αβεβαιότητας των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.

Εξάιρεση αποτελούν κάποιες μετρήσεις μήκους προς συγκεκριμένα υλικά, για γωνία πρόσπτωσης  $60^\circ$  με τον εικονογεωδαιτικό σταθμό Topcon GPT7003i. Ο τελευταίος τείνει να αποδίδει αυξανόμενο  $\Delta D$ , ακόμα και άνω των 5mm, όσο αυξάνεται η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης προς το μετρούμενο υλικό. Η τιμή αυτή υπερβαίνει την ονομαστική αβεβαιότητα μέτρησης μηκών, όπως αυτή παρέχεται από τον κατασκευαστή.

**Στην περίπτωση των μετρήσεων μήκους της τάξης των 50 μέτρων σε εσωτερικό χώρο**, οι αποκλίσεις στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι σημαντικές και υπερβαίνουν την ονομαστική αβεβαιότητα των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών.

Συγκεκριμένα, οι ολοκληρωμένοι γεωδαιτικοί σταθμοί Leica TCR303, Trimble 5605DR<sup>+</sup>, Topcon GPT3003LN και Topcon GPT3105N τείνουν να αποδίδουν μεγαλύτερες τιμές  $\Delta D$  (δηλαδή μικρότερη τιμή μήκους χωρίς ανακλαστήρα) προς διάφορα υλικά, όσο αυξάνεται η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης.

Το αντίθετο ισχύει για τους γεωδαιτικούς σταθμούς Leica TCR405, Leica TCRM1201<sup>+</sup> και Topcon GPT7003i, οι οποίοι τείνουν γενικά να αποδίδουν μικρότερη τιμή  $\Delta D$  (δηλαδή μεγαλύτερη τιμή μήκους χωρίς ανακλαστήρα), για αυξανόμενη γωνία πρόσπτωσης της δέσμης.

Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCRM1201<sup>+</sup> παρουσιάζει τις μικρότερες αποκλίσεις σε ότι αφορά την αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης, λόγω της νέας τεχνολογίας “System Analyser” που φέρει. Συγκεκριμένα, απέδωσε αποκλίσεις του  $\Delta D$  έως 2mm στο 100% των μετρήσεων για γωνίες πρόσπτωσης  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  και  $45^\circ$  και στο 78% των μετρήσεων για γωνία πρόσπτωσης  $60^\circ$  (Πίνακας – Διάγραμμα 2.9).

**Στην περίπτωση των μετρήσεων μήκους στα όρια της εμβέλειας των γεωδαιτικών σταθμών** και σε εξωτερικό χώρο, οι αποκλίσεις είναι ακόμα μεγαλύτερες ενώ παράλληλα υπάρχει αδυναμία μέτρησης μήκους για αρκετά από τα υλικά. Επομένως, οι μετρήσεις μήκους χωρίς ανακλαστήρα για αυτές τις αποστάσεις είναι αμφίβολης ακρίβειας και ορθότητας.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι μετρήσεις μήκους προς το γυαλί παρουσίασαν πολύ μεγάλα σφάλματα σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις. Η σκόπευση λοιπόν προς αυτό ή μέσω αυτού συνίσταται να αποφεύγεται.

Γενικότερα, τα σφάλματα που προκύπτουν στο μετρούμενο μήκος προς συγκεκριμένα υλικά, φαίνεται πως σχετίζονται περισσότερο με τις ιδιότητες κάθε γεωδαιτικού σταθμού παρά με τις ιδιότητες των υλικών αυτών.

Αυτό καθιστά αναγκαίο τον εργαστηριακό έλεγχο κάθε οργάνου ξεχωριστά και μεταφράζεται στο ότι η ομαδοποίηση των γεωδαιτικών σταθμών όσον αφορά την συμπεριφορά τους, ειδικά διαφορετικών εταιρειών, είναι πρακτικά αδύνατη.

#### 4.1.2 Η επίδραση του μεγέθους του μετρούμενου μήκους

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την αξιοπιστία του μετρούμενου μήκους είναι η απόσταση μεταξύ οργάνου και δοκιμίου. Για την μελέτη του παράγοντα αυτού, αξιοποιήθηκαν μετρήσεις μηκών 15m και 50m εσωτερικού χώρου, καθώς και μετρήσεις μηκών 50m και 200m εξωτερικού χώρου, με σκοπεύσεις κάθετα προς τα υλικά (γωνία πρόσπτωσης 0°).

Στον πίνακα 4.1 παρατίθεται πίνακας με τα ποσοστά των μετρήσεων για κάθε ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό και για κάθε απόσταση, οι οποίες απέδωσαν τιμή  $\Delta D$  στο εύρος  $\pm 3mm$ .

ΟΡΓΑΝΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ			
	Εσωτερικές μετρήσεις		Εξωτερικές μετρήσεις	
	15 m	50 m	50 m	200 m
LEICA TCR405	76%	90%	90%	86%
LEICA TCRM1201	86%	86%	86%	39%
TOPCON GPT3003LN	76%	86%	33%	14%
TOPCON GPT3105N	90%	90%	29%	40%
TOPCON GPT7003i	81%	81%	19%	6%

Πίνακας 4.1: Ποσοστό υλικών ανά ΟΓΣ και ανά απόσταση που απέδωσαν τιμή  $\Delta D$  στο εύρος  $\pm 3mm$

**Για μήκη μέτρησης της τάξης των 15 και 50 μέτρων σε εσωτερικό χώρο** (σήραγγα Λαμπαδαρίου), οι ολοκληρωμένοι αυτοί γεωδαιτικοί σταθμοί αποδίδουν γενικά αξιόπιστες μετρήσεις.

**Για μήκη μέτρησης της τάξης των 50 μέτρων σε εξωτερικό χώρο**, παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις σε σχέση με τις μετρήσεις ίδιου μήκους σε εσωτερικό χώρο. Ειδικότερα μάλιστα για τους τρεις σταθμούς

της εταιρίας Topcon, παρατηρείται πολύ χαμηλότερο ποσοστό αξιόπιστων μετρήσεων μήκους χωρίς την χρήση ανακλαστήρα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε όλους τους γεωδαιτικούς σταθμούς, στις μετρήσεις μήκους 50 μέτρων σε εξωτερικό χώρο προέκυψαν τιμές  $\Delta D$  σημαντικά μεγαλύτερες, ακόμα και άνω των 5mm, σε σχέση με τις μετρήσεις ίδιου μήκους σε εσωτερικό χώρο.

Οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος (φωτισμός, θερμοκρασία, πίεση, υγρασία), όπως φάνηκε στα συγκεκριμένα πειράματα, στις περισσότερες περιπτώσεις προκάλεσαν την μέτρηση μήκους χωρίς ανακλαστήρα σημαντικά μικρότερου από το αντίστοιχο μήκος προς αυτόν.

Οι παράγοντες αυτοί είναι σημαντικοί και επηρεάζουν δραστικά την αξιοπιστία του μετρούμενου μήκους.

Η ύπαρξη ή όχι φωτισμού καθώς και το είδος του (τεχνητός ή φυσικός) μπορεί να μεταβάλλει την ποιότητα των μετρήσεων στον ίδιο ή ακόμα και σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι συμβαίνει με την αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης στα δοκίμια [Μαρκολέφα Α., 2010].

**Για μήκη μέτρησης της τάξης των 200 μέτρων σε εξωτερικό χώρο,** παρατηρούνται αποκλίσεις που υπερβαίνουν την ονομαστική αβεβαιότητα των οργάνων, κάτι που συνεπάγεται την μη αξιοπιστία της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα για τέτοιες αποστάσεις, όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.1.

Εξαίρεση αποτελεί ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός Leica TCR405, που παρέχει πολύ υψηλό ποσοστό τιμών  $\Delta D$  εντός του εύρους  $\pm 3\text{mm}$  για όλα τα μήκη σκόπευσης.

Παρατηρήθηκε επίσης ότι και για τους τρεις γεωδαιτικούς σταθμούς της εταιρίας Topcon που χρησιμοποιήθηκαν στα συγκεκριμένα πειράματα, υλικά τραχείας υφής όπως η άσφαλτος, το τσιμέντο, ο βράχος, το μάρμαρο, το ξύλο και το κεραμίδι, στα 200m αποδίδουν σημαντικά μειωμένες τιμές  $\Delta D$  σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν (Πίνακες – Διαγράμματα 2.45 έως 2.47).

Οι μετρήσεις μήκους χωρίς ανακλαστήρα προς το λευκό αφρολέξ, εμφάνισαν σταθερά σε όλους τους γεωδαιτικούς σταθμούς και σε όλα τα μήκη σταθερή διαφορά στην τιμή του  $\Delta D$  της τάξης των 8-10mm.

Αυτό μπορεί να εξηγηθεί καθώς το συγκεκριμένο υλικό παρουσιάζει μεγάλη διαπερατότητα του φωτός σε σχέση με τα υπόλοιπα, με αποτέλεσμα η δέσμη laser να ανακλάται από το εσωτερικό του υλικού. Η μέτρηση μήκους λοιπόν χωρίς την χρήση ανακλαστήρα, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή όταν εφαρμόζεται σε αντίστοιχα υλικά.

Τέλος, από την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων προέκυψε ότι οι ονομαστικές αβεβαιότητες των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών, όπως αυτές δίνονται από τους κατασκευαστές, δεν ανταποκρίνονται συνήθως στην πραγματικότητα.



Για τον προσδιορισμό της πραγματικής αβεβαιότητας μέτρησης απαιτείται εργαστηριακός έλεγχος των σταθμών σε ποικιλία υλικών και αποστάσεων μέτρησης καθώς και σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας σε ότι αφορά τον φωτισμό, την γωνία πρόσπτωσης κλπ.

#### 4.1.3 Προσαρμογή εξισώσεων διόρθωσης ανά όργανο και υλικό

Η μοντελοποίηση των μετρήσεων μήκους χωρίς την χρήση ανακλαστήρα, πραγματοποιήθηκε για τον παράγοντα της αλλαγής της γωνίας πρόσπτωσης σε μήκος 50 μέτρων.

Η μεταβολή της τιμής του  $\Delta D$  σε σχέση με την μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης παρουσιάζει καμπύλη παραβολικού ή εκθετικού τύπου στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, είτε αύξουσας είτε φθίνουσας μορφής.

Επομένως, οι συναρτήσεις που φάνηκαν πιο κατάλληλες για την περιγραφή του φαινομένου αυτού ήταν η ευθεία ( $y=ax$ ), η πολυωνυμική συνάρτηση 2<sup>ου</sup> βαθμού ( $y=ax^2+bx$ ) και η εκθετική συνάρτηση ( $y=ae^{bx}-a$ ), οι οποίες διέρχονται από το σημείο (0,0).

Με την χρήση του λογισμικού MatLAB έγινε προσαρμογή των παραπάνω συναρτήσεων για τα δεδομένα που προέκυψαν για κάθε υλικό και για κάθε γεωδαιτικό σταθμό, όταν εκείνα είχαν κατάλληλη μορφή. Για κάθε περίπτωση επελέγη η συνάρτηση εκείνη που απέδιδε το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) (Πίνακες 3.1-3.7).

Οι προσαρμογές αυτές απέδωσαν σχεδόν στο σύνολο των περιπτώσεων μέσο τετραγωνικό σφάλμα μικρότερο του 1mm.

Η εκθετική συνάρτηση  $y=ae^{bx}-a$  αποτέλεσε την συνηθέστερη προσαρμογή συνάρτησης στα δεδομένα, κάτι που σημαίνει ότι περιγράφει με τον καταλληλότερο τρόπο την μεταβολή της τιμής του  $\Delta D$  συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης.

Από συγκρίσεις όμως που έγιναν, αποδεικνύεται ότι και οι συναρτήσεις μίας παραμέτρου  $y=ax^2$  και  $y=e^{ax}-1$  αποδίδουν παρόμοιες τιμές μέσου τετραγωνικού σφάλματος και αντίστοιχες τιμές διόρθωσης του μετρούμενου μήκους, σε σχέση με τις αρχικές συναρτήσεις των δύο παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν.

Έτσι, οι συναρτήσεις αυτές αποτελούν απλουστευμένες εναλλακτικές λύσεις στο πρόβλημα της παραμετροποίησης του φαινομένου που μελετάται.

#### 4.1.4 Προσαρμογή γενικής εξίσωσης διόρθωσης για κάθε όργανο

Βάσει των προηγούμενων, αποφασίστηκε η προσαρμογή της πολυωνυμικής συνάρτησης 2<sup>ου</sup> βαθμού  $y=ax^2$ , ως γενική συνάρτηση διόρθωσης για κάθε γεωδαιτικό σταθμό που να αφορά στο σύνολο των υλικών.

Στον πίνακα 4.2 παρατίθεται η τιμή της παραμέτρου  $a$  όπως αυτή προέκυψε για κάθε γεωδαιτικό σταθμό, το σφάλμα της  $\sigma_a$  για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE), ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$ , η διόρθωση της τιμής του μετρούμενου μήκους που προκύπτει για γωνία πρόσπτωσης 45<sup>ο</sup> καθώς και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα προ διόρθωσης.

Γεωδαιτικός σταθμός	Τύπος καμπύλης	$a$	$\sigma_a$	RMSE (mm)	$R^2$	Διόρθωση (mm) στις 45 <sup>ο</sup>	RMSE (mm) για $y=0$
Leica TCR303	$y=ax^2$	0.0045	±0.0008	3.164	0.5928	-9.2	6.588
Trimble 5605DR <sup>+</sup>		0.0054	±0.0011	5.894	0.3597	-11.1	9.141
Leica TCR405		-0.0013	±0.0001	1.343	0.5641	2.6	3.025
Leica TCRM1201 <sup>+</sup>		-0.0005	±0.0001	0.682	0.5113	1.1	1.333
Topcon GPT3003LN		0.0011	±0.0003	2.415	0.2691	-2.2	3.307
Topcon GPT3105N		0.0014	±0.0002	1.927	0.4925	-2.8	3.466
Topcon GPT7003i		-0.0015	±0.0004	3.423	0.309	3.0	4.637

Πίνακας 4.2: Δεδομένα προσαρμογής παραβολικής συνάρτησης μίας παραμέτρου για κάθε ΟΓΣ

Διαπιστώνεται ότι η προσαρμογή μίας συνάρτησης διόρθωσης των μετρημένων μηκών ανά γεωδαιτικό σταθμό οδηγεί σε μικρότερο, έως και υποδιπλάσιο, μέσο τετραγωνικό σφάλμα σε σχέση με την κατάσταση πριν την διόρθωση.

Η διόρθωση αυτή ανάγει την μέτρηση για γωνία πρόσπτωσης κάθετη στην επιφάνεια του υλικού. Θα πρέπει να τονιστεί επομένως ότι μετά από αυτή την αναγωγή, εξακολουθεί να υπάρχει απόκλιση λόγω της διαφοράς της μετρούμενης τιμής μήκους χωρίς ανακλαστήρα από την τιμή που μετράται σε αυτόν.

Η τιμή της παραμέτρου  $a$  αποτελεί έναν δείκτη αξιοπιστίας του γεωδαιτικού σταθμού, σε ότι αφορά την συμπεριφορά του κατά την αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης. Μικρότερη τιμή της παραμέτρου αυτής συνεπάγεται μικρότερη απαιτούμενη διόρθωση του μετρούμενου μήκους.

Ο εργαστηριακός έλεγχος των ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών και η εξαγωγή της τιμής αυτής μπορεί να αποτελέσει μία μεθοδολογία

ελέγχου της αξιοπιστίας τους, σε ότι αφορά την ορθή λειτουργία του EDM για μεταβαλλόμενη γωνία πρόσπτωσης της δέσμης.

Επιπροσθέτως, είναι δυνατή η διόρθωση των μετρημένων μηκών χωρίς ανακλαστήρα σε πραγματικό χρόνο και στο πεδίο, αξιοποιώντας την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία, κάτι που θα συμβάλλει στην βελτίωση της αξιοπιστίας των γεωδαιτικών σταθμών.

## 4.2 Προτάσεις

Αξιοποιώντας και μελετώντας τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναφέρονται οι παρακάτω πιθανές κατευθύνσεις μελλοντικής έρευνας και πειραματισμών.

- Διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων μήκους χωρίς ανακλαστήρα με περισσότερες μετρήσεις ανά περίπτωση, ώστε να υπάρχει έλεγχος της διασποράς των μετρήσεων και να προσαρμοστούν ακριβέστερες συναρτήσεις διόρθωσης.
- Πραγματοποίηση μετρήσεων σε διάφορες αποστάσεις μεταξύ οργάνου και δοκιμίου με βήμα 10m ή περισσότερων έως τα όρια της εμβέλειας του γεωδαιτικού σταθμού, ώστε να προκύψουν δεδομένα εξάρτησης της ακρίβειας του μετρούμενου μήκους από το μέγεθός του.
- Πραγματοποίηση μετρήσεων μήκους με μικρότερο βήμα αλλαγής της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης (πχ ανά  $10^\circ$ ).
- Διερεύνηση της επίδρασης του φωτισμού στις μετρήσεις μηκών χωρίς ανακλαστήρα, σε ότι αφορά την έντασή του, το είδος του αλλά και την προέλευσή του (θέση ήλιου κλπ).
- Εκτίμηση εξισώσεων διόρθωσης που αφορούν την μεταβολή του  $\Delta D$  συναρτήσει του μεγέθους του μετρούμενου μήκους, την μεταβολή του  $\Delta D$  λόγω διαφοράς φωτισμού και όποιον άλλο παράγοντα εισάγει σφάλματα στην μέτρηση μήκους χωρίς ανακλαστήρα και δύναται να παραμετροποιηθεί. Με τον τρόπο αυτό, θα γίνεται αναγωγή του μετρούμενου μήκους χωρίς την χρήση ανακλαστήρα στο μήκος που θα προέκυπτε προς ανακλαστήρα τοποθετημένο στην ίδια θέση.
- Διερεύνηση και βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας που προτάθηκε στο τρίτο κεφάλαιο σχετικά με την διόρθωση στο πεδίο και σε πραγματικό χρόνο του μετρούμενου μήκους χωρίς ανακλαστήρα, ώστε να αναχθεί σε μήκος που αντιστοιχεί σε κάθετη γωνία πρόσπτωσης και στην συνέχεια σε μήκος προς ανακλαστήρα τοποθετημένο στην ίδια θέση.

Μάλιστα, η μεθοδολογία διόρθωσης μήκους στο πεδίο μπορεί εναλλακτικά να αφορά στον προσδιορισμό της τρισδιάστατης κατεύθυνσης της μετρούμενης επιφάνειας στον χώρο, ώστε να προκύπτει το κάθετο σε αυτήν διάνυσμα και να συγκρίνεται με τον σκοπευτικό άξονα του γεωδαιτικού σταθμού, ώστε να υπολογίζεται η τρισδιάστατη γωνία πρόσπτωσης. Αυτό προϋποθέτει την λήψη μετρήσεων σε όλες τις διευθύνσεις περιμετρικά του σκοπευόμενου σημείου.

Στην περίπτωση αυτή όμως θα πρέπει να διεξαχθούν πειραματικές μετρήσεις για την τιμή του  $\Delta D$  σε αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης σε κατακόρυφη διεύθυνση, καθώς το ίχνος της δέσμης laser δεν είναι συμμετρικό και η συμπεριφορά των οργάνων πιθανώς να είναι διαφορετική σε αυτή την διεύθυνση.

Πέραν των παραπάνω, και λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων στην μέτρηση μηκών χωρίς ανακλαστήρα, προτείνεται επίσης η αναβάθμιση του υπάρχοντος προτύπου ISO 17123-4 που αφορά τις εργασίες πεδίου για τον έλεγχο των οργάνων μέτρησης μηκών (EDM).

Συγκεκριμένα, θα πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο προσθήκης μεθοδολογιών προσδιορισμού της αξιοπιστίας των γεωδαιτικών σταθμών για την reflectorless λειτουργία.

Η επίδραση παραγόντων όπως η γωνία πρόσπτωσης, η υφή του μετρούμενου υλικού, ο φωτισμός κλπ δεν επιτρέπουν τον ορθό προσδιορισμό της ακρίβειας των οργάνων με τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται (Kodak White).

Η νέα μεθοδολογία θα μπορούσε να εκτελείται σε εξωτερική βάση ελέγχου που ορίζεται από σημεία, οι αποστάσεις μεταξύ των οποίων θα έχουν προσδιοριστεί με όργανα αναφοράς και ειδικές μεθοδολογίες.

Τα μήκη αυτά, που θα θεωρούνται πρότυπα (δηλαδή με γνωστές τιμές μικρής αβεβαιότητας) θα χρησιμοποιούνται για μετρήσεις μεταξύ οργάνου και δοκιμίων διαφορετικών υλικών, τοποθετημένων σε διάφορες γωνίες πρόσπτωσης και σε διάφορες αποστάσεις, στα πρότυπα των εργασιών που έχουν πραγματοποιηθεί και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Για κάθε ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό, επομένως, θα προσδιορίζεται η αξιοπιστία του μετρούμενου μήκους σε ένα ευρύτατο φάσμα πιθανών περιπτώσεων και συνθηκών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αλεξίου Α., *Εφαρμογή του προτύπου ISO 17123-4 σε εξωτερική βάση και δημιουργία ευέλικτης εξωτερικής βάσης μετρολογικού ελέγχου μηκών*. Διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π., Οκτώβριος 2011.

Bayoud Fadi A., *Leica's Pinpoint EDM Technology with Modified Signal Processing and Novel Optomechanical Features*, 2006

Ηλιοδρομίτης Α., *Ανάλυση της μέτρησης μήκους χωρίς ανακλαστήρα και μελέτη του προσδιορισμού της θέσης σημείων στον χώρο*. Μεταπτυχιακή εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Γεωπληροφορική, Απρίλιος 2008.

Μαρκολέφα Α., *Αξιολόγηση της μέτρησης του μήκους και του ποσοστού της επιστρεφόμενης ακτινοβολίας με reflectorless γεωδαιτικούς σταθμούς*. Προπτυχιακή διπλωματική εργασία, Σ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π., Μάρτιος 2010.

Μαυράκης Σ., *Διερεύνηση της αξιοπιστίας μέτρησης μηκών χωρίς την χρήση ανακλαστήρα με τους σύγχρονους γεωδαιτικούς σταθμούς*. Μεταπτυχιακή εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Γεωπληροφορική, Φεβρουάριος 2008.

Δ. – Δ. Μπαλοδήμος, Δ. Σταθάς, *Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης γωνιών και μηκών*, Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας, 2003

Α. Γ. Μπαντέλλας, Π. Δ. Σαββαΐδης, Ι. Μ. Υφαντής, Ι. Δ. Δούκας, *Γεωδαιτικά Όργανα και Μέθοδοι Μέτρησης και Υπολογισμών*, 2008

Μπιλλήρης Χ., *Εισαγωγή στην Γεωδαισία*, Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας, 2007

### **Manuals Γεωδαιτικών σταθμών:**

TPS300 series Leica specifications manual

Trimble specifications manual, 5600DR+ series

Topcon 3000 series specifications manual

**Πηγές διαδικτύου:**

Εξώφυλλο: <http://auburnlandssurveying.com/>

<http://www.loc.gov/rr/scitech/trs/trsosrd.html>

<http://www.bujorel.com/id2.html>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Laser>

[en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)

[emmybella.wordpress.com](http://emmybella.wordpress.com)

[www.absoluteastronomy.com](http://www.absoluteastronomy.com)

[emetrix.gr](http://emetrix.gr)

[www.geographica.hr/instrumentarij/totalne\\_stanice/leica\\_tcr\\_405](http://www.geographica.hr/instrumentarij/totalne_stanice/leica_tcr_405)

<http://www.volkmann.com>

[outlet.topconsokkia.eu](http://outlet.topconsokkia.eu)

## ABSTRACT

### **Analysis and modeling of the deviation of Reflectorless Electromagnetic Distance Measurement**

The object of this diploma thesis is the adjustment of mathematical equations in already existed experimental data dealing with reflectorless Electromagnetic Distance Measurements, in order to correct the final results and minimize the errors.

In the first chapter the operation of the modern reflectorless total stations is presented extensively. Historical elements related to the development of total stations, as well as the characteristics of distance measurement using laser radiation, are given. There is a description and comparison of the two methods that are used for the distance measurement by the total stations. A new method that combines the advantages of the two previous methods, called “System Analyzer” is also described. Moreover, the methodology of previous experiments concerning reflectorless measurements in a variety of materials, is explained.

In the second chapter, the experimental data are analyzed and classified in a way that reveals the dependency between the incident angle of the laser beam to the target and the error of distance measurement. The same approach is used to determine how the magnitude of the distance affects the results. All the reflectorless measurements are compared with the result of a measurement at a prism initially placed in the same X,Y,Z position by using a specially manufactured base. With this technique the error of all reflectorless measurements can be determined with high accuracy.

In the third chapter, with the help of the MATLAB software, mathematical equations were adapted to the experimental data concerning the change of the laser’s beam incident angle to the target and its impact on the distance measurement error. Each equation reflects a material measured by a specific total station. The procedure of adaptation led to exponential and polynomial mathematical equations of one or two parameters, as it was found that these best describe the phenomenon. However, the correction of the errors with this method presents technical difficulties. So, a general polynomial equation of one parameter was adjusted to all the data of each total station.

In the fourth chapter, the conclusions made during the process of the current diploma thesis are presented, including proposals for future

research regarding new experiments and also the metrological control of the total stations.

This diploma thesis confirms that a set of parameters affects the accuracy of Electronic Distance Measurements.

Generally speaking, for a measurement distance of around 15 meters, total stations are consistent, as they provide reflectorless measurements with no significant deviations. However, this is not the case with measurements of longer distances.

The adjustment of exponential or polynomial equations for every measured material and for every total station that was used, gave a Root Mean Square of less than 1mm in most of the cases.

The adjustment of one general polynomial equation of one parameter ( $y=ax^2$ ) to each total station, reduced the Root Mean Square of the errors approximately to the half of its initial value, as shown on Table 1.

Total Station	Adjusted Equation	a	$\sigma_a$	RMSE (mm)	R <sup>2</sup>	Distance Correction (mm) for 45°	Initial RMSE (mm)
Leica TCR303	$y=ax^2$	0.0045	±0.0008	3.164	0.5928	-9.2	6.588
Trimble 5605DR <sup>+</sup>		0.0054	±0.0011	5.894	0.3597	-11.1	9.141
Leica TCR405		-0.0013	±0.0001	1.343	0.5641	2.6	3.025
Leica TCRM1201 <sup>+</sup>		-0.0005	±0.0001	0.682	0.5113	1.1	1.333
Topcon GPT3003LN		0.0011	±0.0003	2.415	0.2691	-2.2	3.307
Topcon GPT3105N		0.0014	±0.0002	1.927	0.4925	-2.8	3.466
Topcon GPT7003i		-0.0015	±0.0004	3.423	0.309	3.0	4.637

*Table 1: Adjustment of polynomial equations to each total station*

The above equations refer to all the measured materials and the value of the parameter “a” indicates the reliability of each total station, concerning the change of the laser’s beam incident angle to the target.

The detailed metrological control of a total station and the determination of the parameter “a” in the above equation can provide an appropriate method for quality control, checking the reliability of the reflectorless Electronic Distance Measurement that is provided.