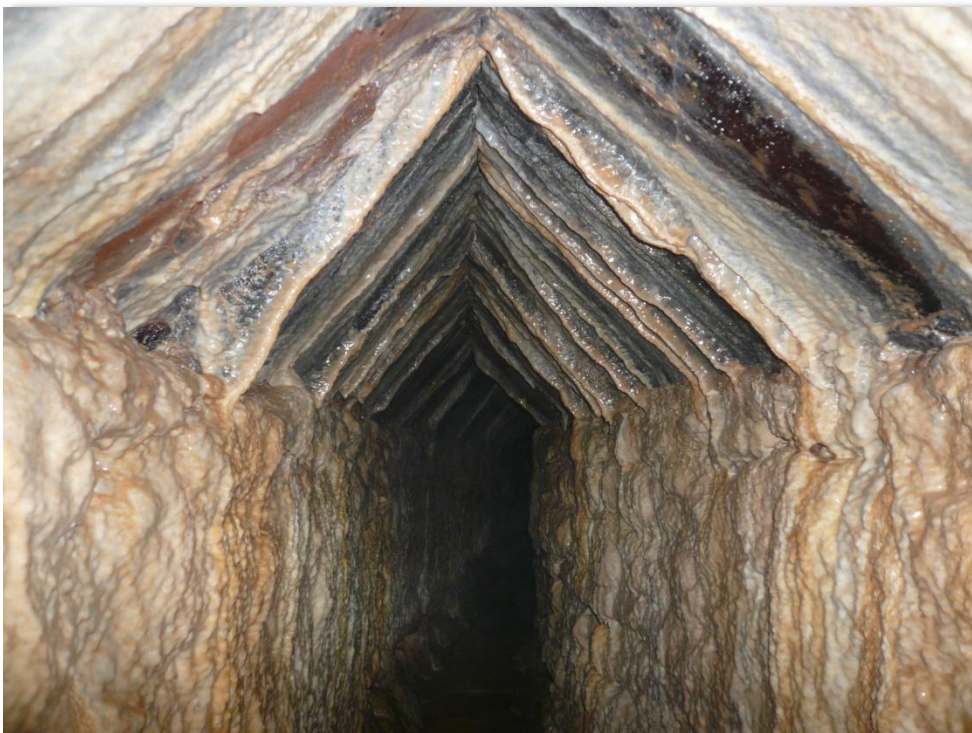




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υδραυλική Διερεύνηση Αδριάνειου Υδραγωγείου



Χριστιάνα Γ. Τσιούρη

Επιβλέπων: **Νικόλαος Μαμάσης**
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2018



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
WATER RESOURCES & ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

DIPLOMA THESIS

Hydraulic Investigation of Hadrian Aqueduct



Christiana G. Tsiouri

Supervisor: **Nikolaos Mamas**
Associate Professor NTUA

Athens, October 2018

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής ολοκληρώνεται και ο κύκλος σπουδών μου στο τμήμα των Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υπεύθυνο καθηγητή μου Νικόλαο Μαμάση, Αναπληρωτή Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, όχι μόνο για την ανάθεση ενός θέματος ερευνητικού ενδιαφέροντος, αλλά επίσης για την πολύτιμη επιστημονική του καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Παναγιώτη Δευτεραίο, χωρίς την πολύτιμη συμβολή του οποίου θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας.

Εξίσου σημαντική ήταν η συνεισφορά του διδάκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Παναγιώτη Δημητριάδη, στην εκμάθηση του λογισμικού, στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι αναλύσεις της διπλωματικής εργασίας.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος Παναγιώτη Παπανικολάου, Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ για τη συνεισφορά του σε γνωστικά σημεία της εργασίας.

Ιδιαίτερο «ευχαριστώ» θα ήθελα να εκφράσω στον Γιάννη Τσιάπα για την υποστήριξη του, την βοήθεια που μου προσφέρει και την υπομονή του τα τελευταία έξι χρόνια της φοιτητικής μου ζωής.

Τέλος, το μεγαλύτερο «ευχαριστώ» το οφείλω στην οικογένειά μου, καθώς και σε όλους τους φίλους μου, για την κατανόηση, τη βοήθεια και την ψυχολογική υποστήριξη που μου παρείχαν όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Χριστιάνα Τσιούρη
Αθήνα, Οκτώβριος 2018

Περίληψη

Το Αδριάνειο υδραγωγείο κατασκευάστηκε, με τη μέθοδο όρυξης εκ διαδοχικών φρεάτων, το 140 μ. Χ. για την υδροδότηση της αρχαίας ρωμαϊκής συνοικίας στην Αθήνα. Είχε αρχή στη περιοχή του Ολυμπιακού Χωριού και κατέληγε, μετά από περίπου 20 km, στη Δεξαμενή στη περιοχή του Κολωνακίου. Μέχρι το τέλος της λειτουργίας του, δέχτηκε πολλές τροποποιήσεις και ενώθηκε με παράπλευρα βοηθητικά υδραγωγεία, ώστε να αυξηθεί η παροχетеυτικότητα του.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η υδραυλική διερεύνηση του Αδριανείου υδραγωγείου, δηλαδή η επιβεβαίωση της θεωρούμενης τιμής παροχетеυτικότητας του καθώς και η απόκριση του σε ποικίλα σενάρια αναλύσεων. Πιο συγκεκριμένα έγινε παραμετρική διερεύνηση σχετικά με τη παροχή, την τοπολογία, τις διαστάσεις των διατομών καθώς και τις θέσεις εισόδου πρόσθετης παροχής. Αφού ψηφιοποιήθηκε όλο το διαθέσιμο ιστορικό αρχείο, ήτοι δύο σειρές μηκοτομών αποτελούμενη από δέκα σχέδια έκαστη, και αποφασίστηκε η μορφή της τελικής μηκοτομής και οριζοντιογραφίας του υδραγωγείου, αναλύθηκαν τα ανωτέρω σενάρια, ώστε να διερευνηθεί υδραυλικά το υδραγωγείο, με χρήση του προγράμματος υδραυλικής προσομοίωσης HEC – RAS.

Αρχικά, αγνοήθηκε το τμήμα Άγιος Δημήτριος - Δεξαμενή από την οριζοντιογραφία του Αδριανείου υδραγωγείου, καθώς δεν υπήρχαν στοιχεία για τη μορφή της μηκοτομής του. Για τη συγκεκριμένη θεώρηση μοντελοποιήθηκαν δύο σενάρια μορφής της μηκοτομής: το πρώτο με σταθερή κατά μήκος διατομή και το δεύτερο με διαφορετικές σε διαστάσεις διατομές, όπως αυτές προέκυψαν από την τελική μηκοτομή. Σχετικά με τα σενάρια παροχής, πραγματοποιήθηκαν αρχικώς σενάρια

σταθερής, μόνιμης παροχής κατά μήκος του υδραγωγείου, με τιμές από 10 έως 150 L/s, με την τιμή παροχής των 150 L/s να αποτελεί την μέγιστη τιμή παροχής που μεταφέρεται στο υδραγωγείο. Στη συνέχεια, αναλύθηκαν σενάρια διαφορετικής παροχής σε τμήματα της μηκοτομής, που αποτελούν σημεία σύνδεσης με παράπλευρα βοηθητικά υδραγωγεία. Τα παράπλευρα βοηθητικά υδραγωγεία που χρησιμοποιούνται στα αντίστοιχα σενάρια βρίσκονται στη περιοχή του Κοκκιναρά και στο Χαλάνδρι Αττικής. Για το πρώτο βοηθητικό υδραγωγείο πραγματοποιούνται σενάρια εισροής, ώστε η παροχή μετά από το σημείο σύνδεσης να φτάνει τα 150 L/s, ενώ αντίστοιχα για το Χαλάνδρι πραγματοποιείται πρόσθετη παροχή εισροής με τιμή $Q=50$ L/s, έτσι ώστε το υδραγωγείο να φτάνει, μετά το σημείο σύνδεσης, τη παροχή των 180 L/s.

Τα ίδια σενάρια παροχών θεωρήθηκαν και όταν στην οριζοντιογραφία συμπεριλαμβάνεται το τμήμα Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή, χωρίς όμως εν τέλει να μεταβληθούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Από το σύνολο των αποτελεσμάτων προέκυψαν τέσσερις περιοχές κατά μήκος του Αδριάνειου υδραγωγείου, στις οποίες το υδραγωγείο λειτουργεί υπό πίεση ακόμη και για την ελάχιστη τιμή παροχής ($Q=10$ L/s). Το γεγονός αυτό οφείλεται στις απότομες εναλλαγές κλίσεων της μηκοτομής, οι οποίες αποφασίζεται να τροποποιηθούν, ώστε το υδραγωγείο να λειτουργεί ως ανοιχτός αγωγός για όλες τις τιμές παροχής. Σημειώνεται ότι σε όλες τις παραπάνω αναλύσεις επιλέχθηκε τιμή του συντελεστή Manning ίση με $n=0.020$.

Η τροποποίηση της μηκοτομής έγινε αποκλειστικά στις τέσσερις παραπάνω περιοχές, με γνώμονα την δημιουργία ομαλών κλίσεων και ελέγχθηκε μέσω σεναρίων σταθερής παροχής κατά μήκος του υδραγωγείου, με τιμές που κυμαίνονται από 10 έως 150 L/s. Επίσης, στο τροποποιημένο υδραγωγείο κρίθηκε ως δυσμενέστερο το σενάριο για το οποίο η πρόσθετη παροχή από το Χαλάνδρι οδηγεί σε συνολική τιμή παροχής στο κατάντη τμήμα $Q=180$ L/s. Για το σενάριο αυτό, τροποποιήθηκαν κατάλληλα οι κλίσεις ώστε το υδραγωγείο να συμπεριφέρεται εκ νέου ως ανοιχτός αγωγός με ελεύθερη ροή επιφάνειας ύδατος. Τέλος, διενεργήθηκαν σενάρια διαφορετικών τιμών συντελεστή Manning ($n=0.017$, $n=0.020$, $n=0.025$), ώστε να προσομοιωθούν οι πιθανές τραχύτητες των εσωτερικών τοιχωμάτων του υδραγωγείου. Τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων έδειξαν πως για $n=0.025$ το Αδριάνειο

υδραγωγείο λειτουργεί υπό πίεση τοπικά σε διαφορετικές περιοχές από αυτές που είχαν αρχικά τροποποιηθεί.

Καταλήγοντας, με το πέρας των αναλύσεων, προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τη πρώτη προσέγγιση της υδραυλικής διερεύνησης και διαφαίνονται αρκετά ζητήματα, με τα οποία μπορεί να εξελιχθεί η έρευνα πάνω στο Αδριάνειο υδραγωγείο.

Abstract

Hadrian aqueduct was constructed on 140 AD, by the method of sequential shaft excavation, in order to provide water supply at the ancient roman district in Athens, Greece. It begun at the Olympic Village region and ended, after approximately 20 km, at Dexameni in Kolonaki region. Until its operational end, a lot of modifications were performed and it was connected to many supplementary aqueducts in order to increase its capacity.

The scope of this Diploma Thesis is the hydraulic investigation of Hadrian Aqueduct, namely the confirmation of its theoretical discharge value as well as its response to various analysis scenarios. In particular, a parametric study was conducted focusing on the discharge, the topography, the cross-section dimensions as well as the entrance points of additional water supply. After digitizing any available historical records (i.e. 2 sets of longitudinal sections, consisting of ten drawings each) and finalizing the longitudinal section and the plan view of the aqueduct, the aforementioned scenarios were applied, in order to investigate hydraulically the aqueduct, using the hydraulic simulation software HEC – RAS.

Initially, the segment Agios Dimitrios – Dexameni was ignored from the plan view of Hadrian Aqueduct, as there were no sufficient evidence regarding the shape of its longitudinal section. For this assumption, two scenarios regarding the shape of the longitudinal section were modeled: the former with constant cross-section along the aqueduct and the latter with cross-sections of different dimensions, as derived from the final longitudinal section of the aqueduct.

As for the discharge scenarios, scenarios of steady, permanent discharge along the aqueduct were initially analyzed, with discharge values ranging from 10 to 150 L/s, while the value of 150 L/s corresponds to the maximum discharge transported at the aqueduct. In the sequel, scenarios with different discharge values in the segments of the longitudinal section that consist connection points with the supplementary aqueducts were analyzed. The supplementary aqueducts, that were considered at the respective discharge scenarios, are located at Kokkinara region and at Halandri, Attiki. For the first supplementary aqueduct, different inflow scenarios are considered in order to achieve a discharge of 150 L/s after the connection point, while, respectively, for Halandri the additional inflow discharge is $Q=50$ L/s, in order to achieve 180 L/s discharge downstream of the connection point.

The same discharge scenarios were also applied, when the segment Agios Dimitrios – Dexameni is included in the plan view, and led to similar analysis results as before. From the sum of the results, four regions along the Hadrian Aqueduct were defined, where the aqueduct works under pressure even for the lowest discharge value (i.e. $Q=10$ L/s). This is attributed to the abrupt inclination changes of the longitudinal section, which must be modified accordingly so that the Aqueduct to work as an open channel. It is noted that for all the aforementioned scenarios, a Manning coefficient equal to $n=0.020$ was selected.

The modification of the longitudinal section was exclusively performed at these four regions, aiming to create smooth inclinations and was verified by steady discharge scenarios along the aqueduct, with discharge values ranging from 10 to 150 L/s. In addition, at the modified Aqueduct, the scenario of additional discharge from Halandri that results to total discharge of $Q=180$ L/s at the downstream segment was considered as the worst case scenario. For this scenario, the inclinations were properly modified until the Hadrian Aqueduct worked as open-channel with free surface flow. Finally, different values of Manning coefficient (i.e. $n=0.017$, $n=0.020$, $n=0.025$) were considered at the analyses, in order to simulate all possible types of roughness in the inner wall surface of the Aqueduct. The results of these analyses revealed that, for $n=0.025$, the Hadrian Aqueduct works locally under pressure in different regions from those that were initially modified.

After the end of the analyses, important conclusions have been drawn regarding the first approach of the hydraulic investigation and many topics of future research on the Hadrian Aqueduct have been revealed.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	iii
Abstract	vii
Κατάλογος Πινάκων	xv
Κατάλογος Σχημάτων	xvii
Κατάλογος Εικόνων	xxi
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Αδριάνειο υδραγωγείο	1
1.1.1 Γενικά	1
1.1.2 Ιστορική αναδρομή	4
1.1.3 Υπολογισμός παροχетеυτικότητας υδραγωγείου	7
1.1.4 Οριζοντιογραφία και μηκοτομή υδραγωγείου.....	9
1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	12
1.3 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.....	12
2. Μοντελοποίηση Αδριάνειου υδραγωγείου	15
2.1 Δημιουργία μηκοτομής Αδριάνειου υδραγωγείου.....	15
2.1.1 Εισαγωγικά Δεδομένα – Υπάρχουσες σειρές μηκοτομών.....	15
2.1.2 Ένωση μηκοτομών.....	17

3.	Λογισμικά αναλύσεων	27
3.1	Γενικά.....	27
3.2	Λογισμικά αναλύσεων.....	27
3.2.1	ArcGIS	27
3.2.2	HEC - RAS	28
3.2.3	Μεθοδολογία αναλύσεων	30
3.3	Προγραμματιστική διαδικασία	32
3.3.1	Προσδιορισμός συντεταγμένων πηγαδιών	32
3.3.2	Υδραυλική διερεύνηση υδραγωγείου στο HEC – RAS	33
4.	Αποτελέσματα αριθμητικών αναλύσεων	41
4.1	Τοπολογία 1: Χωρίς το τμήμα Αγίου Δημητρίου - Δεξαμενή.....	41
4.1.1	Σταθερή παροχή κατά μήκος του υδραγωγείου	42
4.1.2	Διαφορετικές παροχές κατά μήκος του υδραγωγείου.....	51
4.2	Τοπολογία 2: Με το τμήμα Αγίου Δημητρίου – Δεξαμενή	58
4.2.1	Τμήμα υδραγωγείου – Άγιος Δημήτριος έως Δεξαμενή	58
4.2.2	Σταθερή παροχή κατά μήκος του υδραγωγείου	59
4.2.3	Διαφορετικές παροχές κατά μήκος του υδραγωγείου.....	63
5.	Τροποποιημένο υδραγωγείο	73
5.1	Γενικά.....	73
5.2	Διαδικασία τροποποίησης	74
5.2.1	Περιοχή 1 (Πηγάδι 299 – Πηγάδι 275).....	74
5.2.2	Περιοχή 2 (Πηγάδι 237 - Πηγάδι 200).....	76
5.2.3	Περιοχή 3 (Πηγάδι 169 – Πηγάδι 116).....	77
5.2.4	Περιοχή 4 (Πηγάδι 65 - Πηγάδι 22D)	78
5.3	Σενάριο ελέγχου των τροποποιήσεων	79

5.4	Σενάρια με διαφορετικούς συντελεστές Manning (n)	83
6.	Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα	89
6.1	Συμπεράσματα υδραυλικής διερεύνησης υδραγωγείου	89
6.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	92
	Βιβλιογραφία	95
	Παράρτημα Α	97
	Παράρτημα Β.....	181

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1:	Κατανάλωση ύδατος Αττική (1952 – 1976) – (Πηγή: ΕΕΥ)	8
---------------------	--	---

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1:	Κατανάλωση ύδατος Αττική (1927 – 1952) – (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	8
Σχήμα 1.2:	Οριζοντογραφία Αδριάνειου υδραγωγείου (Chiotis 2018, μετά από επεξεργασία)	10
Σχήμα 1.3:	Μηκοτομή Αδριάνειου υδραγωγείου	11
Σχήμα 3.1:	Αναπαράσταση εξίσωσης ενέργειας (Πηγή: Brunner 2016)	29
Σχήμα 3.2:	Διάγραμμα ροής διπλωματικής εργασίας	31
Σχήμα 4.1:	Σταθερή παροχή 150 L/s – «Τοπολογία 1».....	42
Σχήμα 4.2:	Σταθερή παροχή 10 L/s – «Τοπολογία 1».....	43
Σχήμα 4.3:	Περιοχή 1 – Διατομή 0.50 m /1.20 m	44
Σχήμα 4.4:	Περιοχή 1 – «Πραγματικές» Διατομές.....	44
Σχήμα 4.5:	Περιοχή 2 – Διατομή 0.50 m /1.20 m	45
Σχήμα 4.6:	Περιοχή 2 – «Πραγματικές» Διατομές.....	45
Σχήμα 4.7:	Περιοχή 3 – Διατομή 0.50 m/1.20 m.....	46
Σχήμα 4.8:	Περιοχή 3 – «Πραγματικές» διατομές	47
Σχήμα 4.9:	Περιοχή 4 – Διατομή 0.50 m/1.20 m	48
Σχήμα 4.10:	Περιοχή 4 – «Πραγματικές» διατομές	48
Σχήμα 4.11:	Ταχύτητες-Τοπολογία 1-Διατομή 0.50 m/1.20 m-σταθερό Q	49

Σχήμα 4.12:	Αριθμός Froude-Τοπολογία 1-Διατομή 0.50 m/1.20 m-σταθερό Q....	49
Σχήμα 4.13:	Ταχύτητες-Τοπολογία 1-«πραγματικές» διατομές-σταθερό Q	50
Σχήμα 4.14:	Αριθμός Froude-Τοπολογία 1-«πραγματικές» διατομές-σταθερό Q..	50
Σχήμα 4.15:	Περιοχή 1 – Q=150 L/s κατάντη του Κοκκιναρά	53
Σχήμα 4.16:	Περιοχή 1 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά	53
Σχήμα 4.17:	Περιοχή 2 – Q=150 L/s κατάντη του Κοκκιναρά	54
Σχήμα 4.18:	Περιοχή 2 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά	54
Σχήμα 4.19:	Περιοχή 3 – 150 L/s κατάντη του Κοκκιναρά	55
Σχήμα 4.20:	Περιοχή 3 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά	55
Σχήμα 4.21:	Περιοχή 4 – Q=150 L/s κατάντη του Κοκκιναρά	56
Σχήμα 4.22:	Περιοχή 4 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά	56
Σχήμα 4.23:	Ταχύτητες-Τοπολογία 1 – Εισροή από Κοκκιναρά.....	57
Σχήμα 4.24:	Αριθμός Froude-Τοπολογία 1 – Εισροή από Κοκκιναρά.....	57
Σχήμα 4.25:	Τμήμα Αγ.Δημήτριος – Δεξαμενή – Q=150 L/s	59
Σχήμα 4.26:	Περιοχή 1 – «πραγματικές» Διατομές	60
Σχήμα 4.27:	Περιοχή 2 – «πραγματικές» Διατομές	60
Σχήμα 4.28:	Περιοχή 3 – «Πραγματικές» Διατομές	61
Σχήμα 4.29:	Περιοχή 4 – «Πραγματικές» Διατομές	61
Σχήμα 4.30:	Ταχύτητες-Τοπολογία 2-Σταθερό Q	62
Σχήμα 4.31:	Αριθμός Froude-Τοπολογία 2-σταθερό Q.....	62
Σχήμα 4.32:	Περιοχή 1 – Q=150 L/s κατάντη του Κοκκιναρά	64
Σχήμα 4.33:	Περιοχή 1 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά	64
Σχήμα 4.34:	Περιοχή 2 – Q=150 L/s κατάντη του Κοκκιναρά	65
Σχήμα 4.35:	Περιοχή 2 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά	65
Σχήμα 4.36:	Περιοχή 3 – Q=150 L/s κατάντη του Κοκκιναρά	66

Σχήμα 4.37:	Περιοχή 3 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά	66
Σχήμα 4.38:	Περιοχή 4 – Q=150 L/s κατόντη του Κοκκιναρά	67
Σχήμα 4.39:	Περιοχή 4 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά	67
Σχήμα 4.40:	Περιοχή 1 - Εισροή στο Χαλάνδρι	69
Σχήμα 4.41:	Περιοχή 2 - Εισροή στο Χαλάνδρι	69
Σχήμα 4.42:	Περιοχή 3 - Εισροή στο Χαλάνδρι	69
Σχήμα 4.43:	Περιοχή 4 - Εισροή στο Χαλάνδρι	70
Σχήμα 4.44:	Ταχύτητες Υδραγωγείου - Εισροή στο Χαλάνδρι	71
Σχήμα 4.45:	Αριθμός Froude - Εισροή στο Χαλάνδρι.....	72
Σχήμα 5.1:	Τροποποίηση στη Περιοχή 1.....	75
Σχήμα 5.2:	Τροποποίηση στη Περιοχή 2.....	77
Σχήμα 5.3:	Τροποποίηση στη Περιοχή 3.....	78
Σχήμα 5.4:	Τροποποίηση στη Περιοχή 4.....	79
Σχήμα 5.5:	Εισροή στο Χαλάνδρι – Τροποποιημένη Περιοχή 1	80
Σχήμα 5.6:	Εισροή στο Χαλάνδρι – Τροποποιημένη Περιοχή 2	80
Σχήμα 5.7:	Εισροή στο Χαλάνδρι – Τροποποιημένη Περιοχή 3	81
Σχήμα 5.8:	Εισροή στο Χαλάνδρι – Τροποποιημένη Περιοχή 4	81
Σχήμα 5.9:	Ταχύτητες στο τροποποιημένο υδραγωγείο - Εισροή στο Χαλάνδρι.....	82
Σχήμα 5.10:	Αριθμός Froude στο τροποποιημένο υδραγωγείο - Εισροή στο Χαλάνδρι.....	82
Σχήμα 5.11:	Τροποποιημένη μηκοτομή Αδριάνειου υδραγωγείου	83
Σχήμα 5.12:	Απόκριση τμήματος 299 έως 275 σε μέγιστη παροχή για διαφορετικούς συντελεστές Manning	84
Σχήμα 5.13:	Απόκριση τμήματος 239 ^B έως 216 σε μέγιστη παροχή για διαφορετικούς συντελεστές Manning	85

Σχήμα 5.14:	Απόκριση τμήματος 188 έως 111 σε μέγιστη παροχή για διαφορετικούς συντελεστές Manning	85
Σχήμα 5.15:	Απόκριση τμήματος 98A έως 43D σε μέγιστη παροχή για διαφορετικούς συντελεστές Manning	86
Σχήμα 5.16:	Ταχύτητες - Τροποποιημένο υδραγωγείο - Διαφορετικές τραχύτητες	86
Σχήμα 5.17:	Αριθμός Froude - Τροποποιημένο υδραγωγείο - Διαφορετικές τραχύτητες	87

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1:	Κάτοψη αρχαίας ρωμαϊκής Αθήνας	1
Εικόνα 1.2:	Κυκλική δεξαμενή στο Χαλάνδρι (Λήψη: Π.Δευτεραίος)	2
Εικόνα 1.3:	Διάταξη διαφορετικών διατομών στο Αδριάνειο υδραγωγείο (Λήψη φωτογραφιών: Π. Δευτεραίος)	3
Εικόνα 1.4:	Αρχαία Δεξαμενή Κολωνάκι (Λήψη: Π. Δευτεραίος)	5
Εικόνα 1.5:	Δεξαμενή Κολωνάκι κατασκευής 1880 (Λήψη: Π. Δευτεραίος)	5
Εικόνα 1.6:	Κάτοψη των δύο δεξαμενών (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	6
Εικόνα 1.7:	Τρέχον νερό στο υδραγωγείο (Λήψη: Π. Δευτεραίος)	7
Εικόνα 2.1:	Είσοδος κεκλιμένης στοάς (σημείο 299' – πηγάδι 299)	16
Εικόνα 2.2:	Τυπική μορφή φύλλου μηκοτομής (Τοπογράφηση: 1923)	17
Εικόνα 2.3:	Τυπική μορφή φύλλου μηκοτομής (τοπογράφηση: 1936)	17
Εικόνα 3.1:	Προσομοίωση οριζοντιογραφίας στο HEC-RAS	34
Εικόνα 3.2:	Δημιουργία διατομής στο HEC-RAS	34
Εικόνα 3.3:	Διατομή με τοιχοποιία	36
Εικόνα 3.4:	Διατομή με πετρώματα τυχαίας μορφής	36
Εικόνα 3.5:	Μοντελοποίηση ροής στο HEC-RAS	38
Εικόνα 3.6:	Συνολικός πίνακας αποτελεσμάτων από HEC-RAS	39

Εικόνα 4.1:	Σημείο παράπλευρης εισροής στον Κοκκιναρά	52
Εικόνα 4.2:	Σημείο παράπλευρης εισροής στο Χαλάνδρι.....	68
Εικόνα A.1:	Σχέδιο Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή (α) (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	98
Εικόνα A.2:	Σχέδιο Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή (β) (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	99
Εικόνα A.3:	Sheet 2 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	100
Εικόνα A.4:	Sheet 2 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	101
Εικόνα A.5:	Sheet 3 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	102
Εικόνα A.6:	Sheet 3 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	103
Εικόνα A.7:	Sheet 4 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	104
Εικόνα A.8:	Sheet 4 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	105
Εικόνα A.9:	Sheet 5 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	106
Εικόνα A.10:	Sheet 5 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	107
Εικόνα A.11:	Sheet 6 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	108
Εικόνα A.12:	Sheet 6 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	109
Εικόνα A.13:	Sheet 7 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	110
Εικόνα A.14:	Sheet 7 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	111
Εικόνα A.15:	Sheet 8 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	112
Εικόνα A.16:	Sheet 8 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	113
Εικόνα A.17:	Sheet 9 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	114
Εικόνα A.18:	Sheet 9 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	115
Εικόνα A.19:	Sheet 10 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	116
Εικόνα A.20:	Sheet 10 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	117
Εικόνα A.21:	Sheet 11 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	118
Εικόνα A.22:	Sheet 11 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	119
Εικόνα A.23:	Sheet 12 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	120

Εικόνα A.24:	Sheet 12 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	121
Εικόνα A.25:	Φύλλον 1 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ) <i>Τοπογράφηση 1936</i>	122
Εικόνα A.26:	Φύλλον 1 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	123
Εικόνα A.27:	Φύλλον 1 – Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	124
Εικόνα A.28:	Φύλλον 1 – Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	125
Εικόνα A.29:	Φύλλον 2 (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	126
Εικόνα A.30:	Φύλλον 3 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	127
Εικόνα A.31:	Φύλλον 3 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	128
Εικόνα A.32:	Φύλλον 4 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	129
Εικόνα A.33:	Φύλλον 4 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	130
Εικόνα A.34:	Φύλλον 4 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	131
Εικόνα A.35:	Φύλλον 4 - Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	132
Εικόνα A.36:	Φύλλον 5 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	133
Εικόνα A.37:	Φύλλον 5 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	134
Εικόνα A.38:	Φύλλον 5 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	135
Εικόνα A.39:	Φύλλον 5 - Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	136
Εικόνα A.40:	Φύλλον 6 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	137
Εικόνα A.41:	Φύλλον 6 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	138
Εικόνα A.42:	Φύλλον 6 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	139
Εικόνα A.43:	Φύλλον 6 - Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	140
Εικόνα A.44:	Φύλλον 7 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	141
Εικόνα A.45:	Φύλλον 7 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	142
Εικόνα A.46:	Φύλλον 7 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	143
Εικόνα A.47:	Φύλλον 7 - Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	144
Εικόνα A.48:	Φύλλον 8 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	145

Εικόνα A.49:	Φύλλον 8 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	146
Εικόνα A.50:	Φύλλον 9 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	147
Εικόνα A.51:	Φύλλον 9 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	148
Εικόνα A.52:	Φύλλον 9 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	149
Εικόνα A.53:	Φύλλον 10 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	150
Εικόνα A.54:	Φύλλον 10 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	151
Εικόνα A.55:	Φύλλον 10 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)	152
Εικόνα A.56:	Φύλλον 10 - Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ).....	153
Εικόνα B.57:	Φύλλο 1ο (1-14).....	186
Εικόνα B.58:	Φύλλο 2ο (14-22).....	187
Εικόνα B.59:	Φύλλο 3ο (22-28).....	188
Εικόνα B.60:	Φύλλο 4 ^ο (28-42)	189
Εικόνα B.61:	Φύλλο 5 ^ο (42-ε)	190
Εικόνα B.62:	Φύλλο 6 ^ο (ε-55)	191
Εικόνα B.63:	Φύλλο 7 ^ο (55-67)	192
Εικόνα B.64:	Φύλλο 8 ^ο (67-77)	193
Εικόνα B.65:	Φύλλο 9 ^ο (77-84 ^Α).....	194
Εικόνα B.66:	Φύλλο 10 ^ο (84 ^Α -93).....	195
Εικόνα B.67:	Φύλλο 11 ^ο (93-99)	196
Εικόνα B.68:	Φύλλο 12 ^ο (99-109)	197
Εικόνα B.69:	Φύλλο 13 ^ο (109-118)	198
Εικόνα B.70:	Φύλλο 14 ^ο (118-125)	199
Εικόνα B.71:	Φύλλο 15 ^ο (125-132)	200
Εικόνα B.72:	Φύλλο 16 ^ο (132-139)	201
Εικόνα B.73:	Φύλλο 17 ^ο (139-146)	202

Εικόνα Β.74:	Φύλλο 18 ^ο (146-151)	203
Εικόνα Β.75:	Φύλλο 19 ^ο (151-157)	204
Εικόνα Β.76:	Φύλλο 20 ^ο (157-163)	205
Εικόνα Β.77:	Φύλλο 21 ^ο (163-167)	206
Εικόνα Β.78:	Φύλλο 22 ^ο (167-173)	207
Εικόνα Β.79:	Φύλλο 23 ^ο (173-182)	208
Εικόνα Β.80:	Φύλλο 24 ^ο (182-188)	209
Εικόνα Β.81:	Φύλλο 25 ^ο (188-195)	210
Εικόνα Β.82:	Φύλλο 26 ^ο (195-203)	211
Εικόνα Β.83:	Φύλλο 27 ^ο (203-213)	212
Εικόνα Β.84:	Φύλλο 28 ^ο (213-221)	213
Εικόνα Β.85:	Φύλλο 29 ^ο (221-227)	214
Εικόνα Β.86:	Φύλλο 30 ^ο (227-234)	215
Εικόνα Β.87:	Φύλλο 31 ^ο (234-239 ^Β)	216
Εικόνα Β.88:	Φύλλο 32 ^ο (239 ^Β -242)	217
Εικόνα Β.89:	Φύλλο 33 ^ο (242-246 ^Α)	218
Εικόνα Β.90:	Φύλλο 34 ^ο (246 ^Α -251)	219
Εικόνα Β.91:	Φύλλο 35 ^ο (251-259)	220
Εικόνα Β.92:	Φύλλο 36 ^ο (259-266)	221
Εικόνα Β.93:	Φύλλο 37 ^ο (266-271)	222
Εικόνα Β.94:	Φύλλο 38 ^ο (271-277)	223
Εικόνα Β.95:	Φύλλο 39 ^ο (277-283)	224
Εικόνα Β.96:	Φύλλο 40 ^ο (283-290)	225
Εικόνα Β.97:	Φύλλο 41 ^ο (290-296)	226
Εικόνα Β.98:	Φύλλο 42 ^ο (296-299')	227

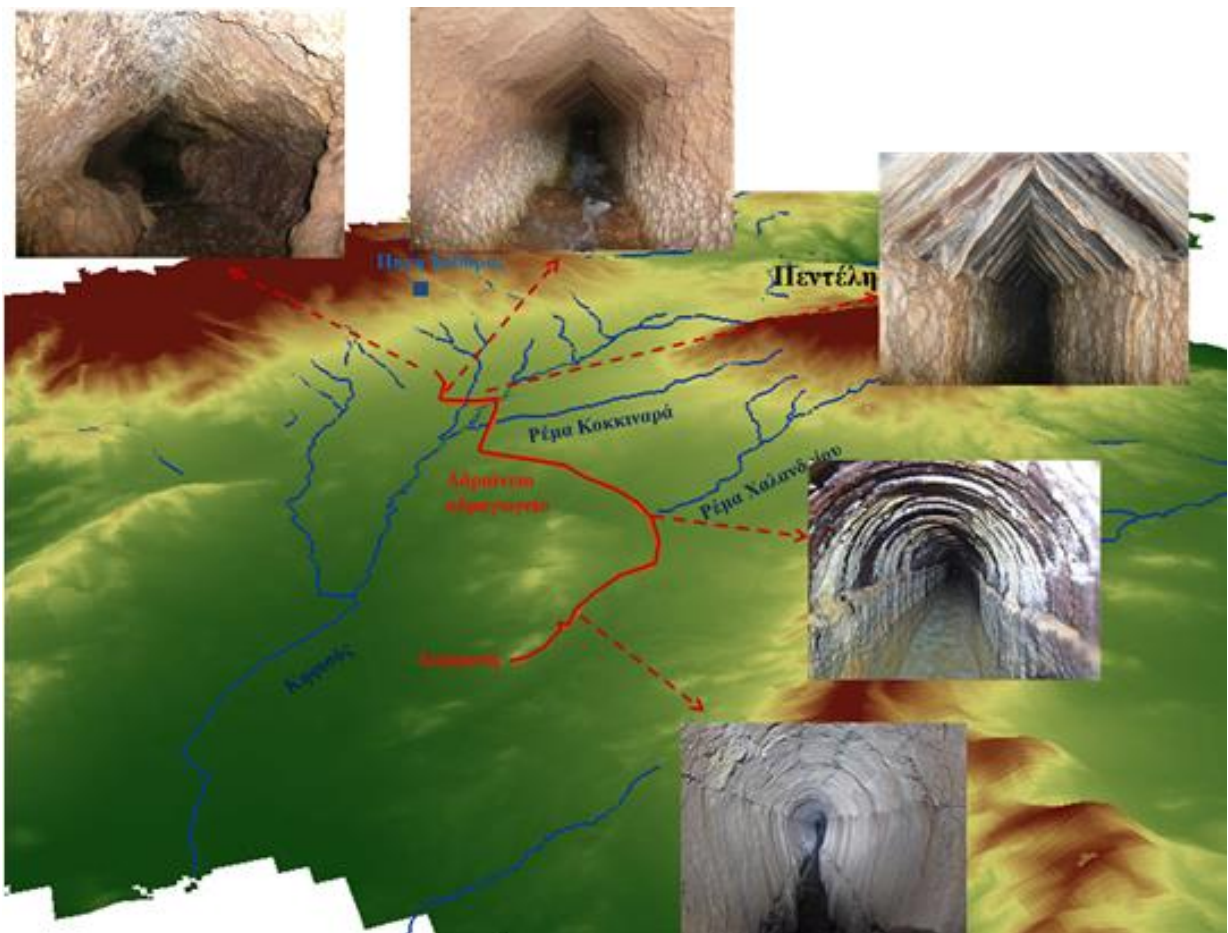
Το Αδριάνειο έφτανε σε μήκος σχεδόν τα 20.000 m, είχε αρχή την περιοχή του σημερινού Ολυμπιακού Χωριού (Αχαρναί), στους πρόποδες της Πάρνηθας και κατέληγε στη δεξαμενή της ομώνυμης πλατείας στο Κολωνάκι. Αφού γέμιζε η δεξαμενή, το νερό τροφοδοτούσε, μέσω συστήματος αγωγών διανομής, τη ρωμαϊκή συνοικία. Η τροχιά που ακολουθούσε η κύρια σήραγγα διασχίζει τις περιοχές Αχαρναί, Κηφισιά, Μεταμόρφωση, Ν. Ηράκλειο, Μαρούσι, Χαλάνδρι, Ν. Ψυχικό και Αμπελοκήπους. Το Αδριάνειο φαίνεται να λειτουργούσε κυρίως μέσω της υδρομάστευσης των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων, όπου διέσχιζε και κατά δευτερεύοντα ρόλο από τις κατακρημνίσεις και τα νερά από τη πηγή της Κιθάρας, στην Πάρνηθα. Η λειτουργία της υδρομάστευσης, επιτεύχθηκε με την τμηματική κατασκευή της σήραγγας κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Τα ανάντη τμήματα του υδραγωγείου κατασκευάστηκαν, με τρόπο ώστε να συγκεντρώνουν υπόγεια ύδατα καθώς διέρχονταν από τα υδροφόρα στρώματα ώστε η κατά μήκος παροχή σταδιακά να αυξάνεται. Μεταγενέστερα, το υδραγωγείο τροφοδοτούταν και από παράπλευρους τροφοδοτικούς κλάδους (παράπλευρα υδραγωγεία), οι οποίοι ενώνονταν σε διάφορα σημεία της κύριας σήραγγας, κυρίως σε άξονες ρεμάτων που συναντούσε στη πορεία του το υδραγωγείο. Ένας εξ αυτών ξεκινώντας από την περιοχή της Μονής Πεντέλης και ακολουθώντας τη διεύθυνση του ρέματος Χαλανδρίου, συνδεόταν μέσω μικρής κυκλικής δεξαμενής στην οδό Ελ Αλαμίν (Εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2: Κυκλική δεξαμενή στο Χαλάνδρι (Λήψη: Π.Δευτεραίος)

Η αρχαία κατασκευή χαρακτηρίζεται ως άκρως επιτυχημένη και με μεγάλη αντοχή, καθώς άντεξε στον χρόνο, αν και, όπως προαναφέρθηκε, διερχόταν εν μέσω υδροφόρων στρωμάτων. Επιπρόσθετα, λόγω της μικρής επιφανειακής υψομετρικής διαφοράς μεταξύ αρχής και τέλους (μόλις 110 m), έγινε η προσπάθεια η χάραξη του υδραγωγείου να εκμεταλλεύεται στο μέγιστο τη μορφολογία του εδάφους, ώστε να μεταφέρεται το νερό μόνο με τη βαρύτητα.

Διασχίζοντας τη μηκοτομή του Αδριάνειου υδραγωγείου συναντώνται ποικίλες διατομές με διαφορετικά σχήματα οροφής (κυρίως ημικυκλικές, τριγωνικές αλλά και σχεδόν ορθογωνικές), διαφορετικά πλάτη αλλά και ύψη (Εικόνα 1.3). Η εικόνα αυτή συνδέεται, πιθανόν, με την υδρογεωλογία της εκάστοτε περιοχής, δηλαδή με την διαφορετική αναγκαιότητα περατότητας σε νερό, ανάλογα με το εδαφικό στρώμα, το οποίο διαπερνά κάθε φορά.



Εικόνα 1.3: Διάταξη διαφορετικών διατομών στο Αδριάνειο υδραγωγείο (Λήψη φωτογραφιών: Π. Δευτεραίος)

1.1.2 Ιστορική αναδρομή

Η λειτουργία του Αδριάνειου υδραγωγείου δεν ήταν συνεχής και ανακεφαλαιωτικά η πορεία του μέσα στα χρόνια είναι (Δευτεραίος 2018):

Μετά την ολοκλήρωση του υδραγωγείου, το 140 μ. Χ, λειτούργησε μόνο για μερικούς αιώνες, στην συνέχεια λησμονήθηκε και η λειτουργία του σταμάτησε, πιθανώς μετά από αποφράξεις σε διάφορα σημεία της σήραγγας, και ειδικότερα στο ρηχό καταληκτικό τμήμα, όπου η κλίση ήταν μικρή.

Η σταδιακή πληθυσμιακή αύξηση, κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1830, αμέσως μετά από την απελευθέρωση από τους Τούρκους, οδήγησε στην όξυνση του υδρευτικού προβλήματος της Αθήνας. Έτσι, κατά καιρούς πραγματοποιούνταν σημαντικά έργα από τους εκάστοτε δήμους, όπως επισκευές και καθαρισμοί του υδραγωγείου, ώστε να τεθεί και πάλι σε λειτουργία τελικά το 1847.

Το 1847 το υδραγωγείο επανήλθε στην επικαιρότητα, όταν στη περιοχή του Αγίου Δημητρίου Αμπελοκήπων ανέβλυζε νερό, δίνοντας την εντύπωση πηγής. Στην συνέχεια διαπιστώθηκε ότι το νερό έφθανε εκεί μέσω σήραγγας, της οποίας το τμήμα κατάντη της είχε καταρρεύσει και φραχθεί εσκεμμένα.

Κατά τη δεκαετία 1870, επί δημαρχίας Π. Κυριακού, δημοτικά συνεργεία με επικεφαλής τον μηχανικό Ιωάννη Γενησαρλή, καθώς καθάριζαν και επισκεύαζαν τμήμα του υδραγωγείου μετά τους Αμπελοκήπους, με κατεύθυνση προς το Κολωνάκι, ανακάλυψαν την αρχαία δεξαμενή του Αδριανού, κάτω από αντίστοιχη «πηγή», δηλαδή και πάλι αναβλύζον νερό, στην πλατεία «Δεξαμενής» στο Κολωνάκι. Εκείνη την εποχή επισκευάστηκε πλήρως η σήραγγα και όπου ήταν απαραίτητο κατασκευάστηκαν παρακάμψεις, αφού το ρηχό τμήμα του αρχαίου υδραγωγείου είχε μέχρι τότε καταστραφεί (Παππάς 1999). Όλες οι μετατροπές του υδραγωγείου και οι επεμβάσεις αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως «κτιστό» υδραγωγείο του Π. Κυριακού.

Το 1880, και πάλι κατόπιν πρότασης του Π. Κυριακού, κατασκευάστηκε νέα λιθόκτιστη δημοτική δεξαμενή, στην ίδια τοποθεσία με την αρχαία δεξαμενή. Η αρχαία (Εικόνα 1.4), μετά την ανακατασκευή της και η νέα δεξαμενή (Εικόνα 1.5), έχοντας συνολική χωρητικότητα γύρω στα 2200 m³ νερού (Εικόνα 1.6), τροφοδότησαν

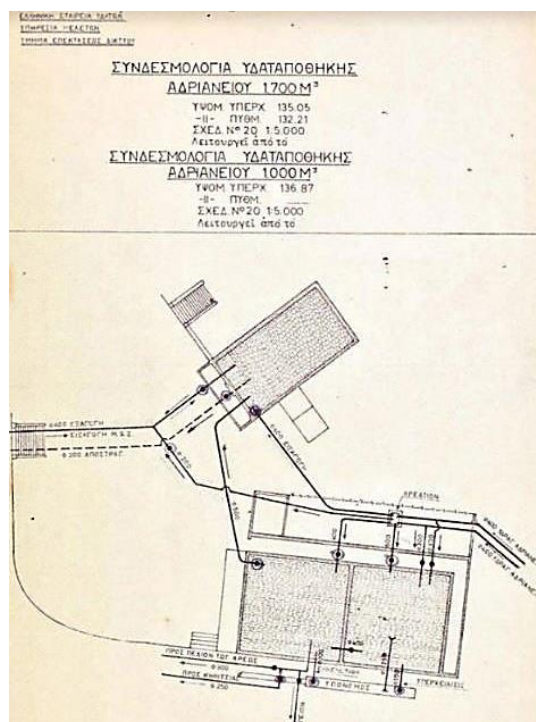
τη σύγχρονη Αθήνα ως κύρια πηγή ύδρευσης μέχρι που ξεκίνησε η ύδρευση από τον Μαραθώνα.



Εικόνα 1.4: Αρχαία Δεξαμενή Κολωνάκι (Λήψη: Π. Δευτεραίος)



Εικόνα 1.5: Δεξαμενή Κολωνάκι κατασκευής 1880 (Λήψη: Π. Δευτεραίος)



Εικόνα 1.6: Κάτοψη των δύο δεξαμενών (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)

Το 1923 πραγματοποιήθηκε η πρώτη τοπογραφική αποτύπωση του Αδριάνειου υδραγωγείου από την ULEN, αμερικάνικη εταιρεία που ανέλαβε την κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα, αποσκοπώντας στην επισκευή του ώστε να καταστεί ικανό να τροφοδοτήσει ικανοποιητικά την Αθήνα έως ότου κατασκευαζόταν το φράγμα. Μία από τις επισκευές, που διενέργησε η εταιρεία, κατά το 1926, ήταν η αντικατάσταση του ήδη ανακατασκευασμένου επί δημαρχίας Κυριακού ρηχού τμήματος του υδραγωγείου μετά τους Αμπελοκήπους, με μεταλλικό αγωγό, ακολουθώντας νέα χάραξη (Εικόνα Α.1, Εικόνα Α.2 στο Παράρτημα Α). Μέχρι και την ολοκλήρωση του φράγματος του Μαραθώνα το 1931, το Αδριάνειο υδραγωγείο αποτελούσε κύρια πηγή ύδρευσης της Αθήνας.

Το 1936 πραγματοποιήθηκε η δεύτερη τοπογράφιση από την Ελληνική Εταιρεία Υδάτων, η οποία ιδρύθηκε για την επίβλεψη της κατασκευής του φράγματος του Μαραθώνα και την παροχή ύδρευσης σε Αθήνα και άλλες πόλεις.

Στη συνέχεια και μέχρι και το 1960 το Αδριάνειο υδραγωγείο συνέβαλλε βοηθητικά στο υδρευτικό σύστημα των Αθηνών καθώς πλέον η υδροδότηση γινόταν από τη λίμνη Υλίκη. Στα επόμενα χρόνια, το υδραγωγείο εγκαταλείφθηκε λόγω αστικής μόλυνσης των υδάτων.

Σήμερα το Αδριάνειο υδραγωγείο, χωρίς συντήρηση και χωρίς να δέχεται πηγαία νερά, εξακολουθεί να λειτουργεί λόγω της μόνιμης υπόγειας υδρομάστευσης, μεταφέροντας σημαντικές ποσότητες νερού, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στην Εικόνα 1.7. Η σήραγγα του υδραγωγείου διατηρεί σχεδόν όλο το μήκος της αλλά είναι αδύνατον να προσπελαστεί πλήρως, λόγω (α) των μικρών διαστάσεων σε διάφορα σημεία, της διασταύρωσης με τεχνικά έργα (σωληνώσεις), (β) των πλημμυρισμένων τμημάτων, τα οποία προέκυψαν από την σφράγιση πολυάριθμων πηγαδιών λόγω της κατασκευής σύγχρονων έργων υποδομής.



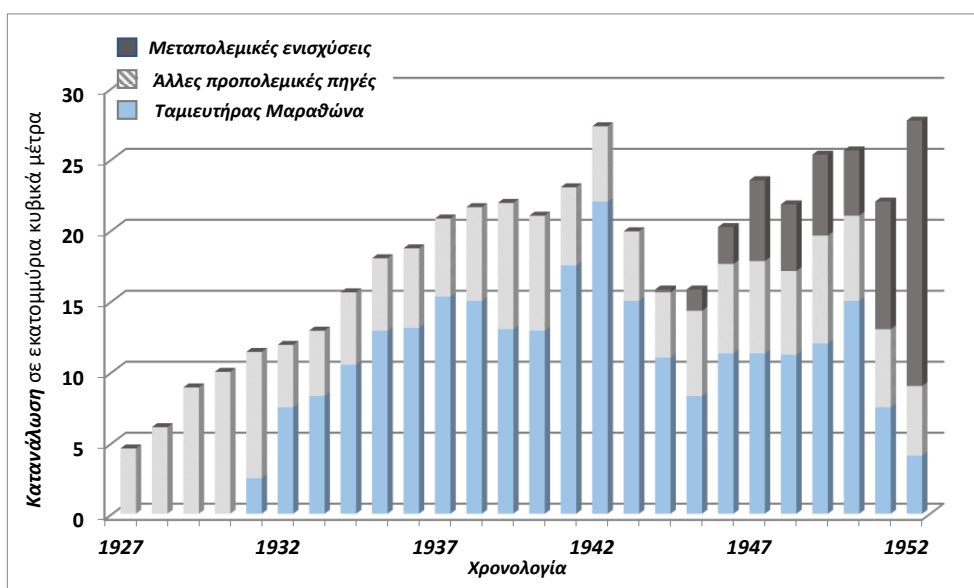
Εικόνα 1.7: Τρέχον νερό στο υδραγωγείο (Λήψη: Π. Δευτεραίος)

1.1.3 Υπολογισμός παροχευτικότητας υδραγωγείου

Η αρχαία ρωμαϊκή συνοικία υπολογίστηκε ότι καλύπτει έκταση 234 εκταρίων. Από ιστορικά δεδομένα εκτιμάται ότι ο πληθυσμός, κατά την εποχή, κυμαίνονταν στα 200 με 300 άτομα ανά εκτάριο. Θεωρώντας, βάσει των σημερινών δεδομένων, υδρευτική κατανάλωση 180 - 200 L/s, οι συνολικές υδρευτικές ανάγκες υπολογίζονται μεταξύ 98 – 163 L/s. Ωστόσο, κατανάλωση της τάξης των 200 L/s θεωρείται αρκετά υπερεκτιμημένη για τα δεδομένα της εποχής. Οπότε, οι ανάγκες της συνοικίας εκτιμάται ότι κυμαίνονται μεταξύ 100 – 150 L/s.

Σε αρχεία της αμερικάνικης εταιρείας ULEN αλλά και από αρχεία της Ελληνικής Εταιρείας Υδάτων, αναφέρεται πως το υδραγωγείο έφερε 10.000 m³ νερού την ημέρα, άρα παροχή περίπου 110 με 120 L/s. Όπως αναφέρθηκε στην ιστορική αναδρομή του Αδριάνειου υδραγωγείου μέχρι και το έτος 1931, οπότε ολοκληρώθηκε

το φράγμα του Μαραθώνα, το Υδραγωγείο αποτελούσε κύρια πηγή υδροδότησης της Αθήνας. Συνεπώς, αντιπροσωπευτικό έτος για την παροχή που μπορούσε να φέρει το Αδριάνειο υδραγωγείο αποτελεί το έτος 1927, το οποίο ήταν το τελευταίο πριν ενωθεί με την κυρία σήραγγα του υδραγωγείου το παράπλευρο βοηθητικό υδραγωγείο στον Κοκκιναρά Αττικής. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1, η κατανάλωση ύδατος για την Αττική έφτανε τα 4.600.000 κυβικά μέτρα, άρα παροχή περίπου 150 L/s.



Σχήμα 1.1: Κατανάλωση ύδατος Αττική (1927 – 1952) – (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)

Πίνακας 1.1: Κατανάλωση ύδατος Αττική (1952 – 1976) – (Πηγή: ΕΕΥ)

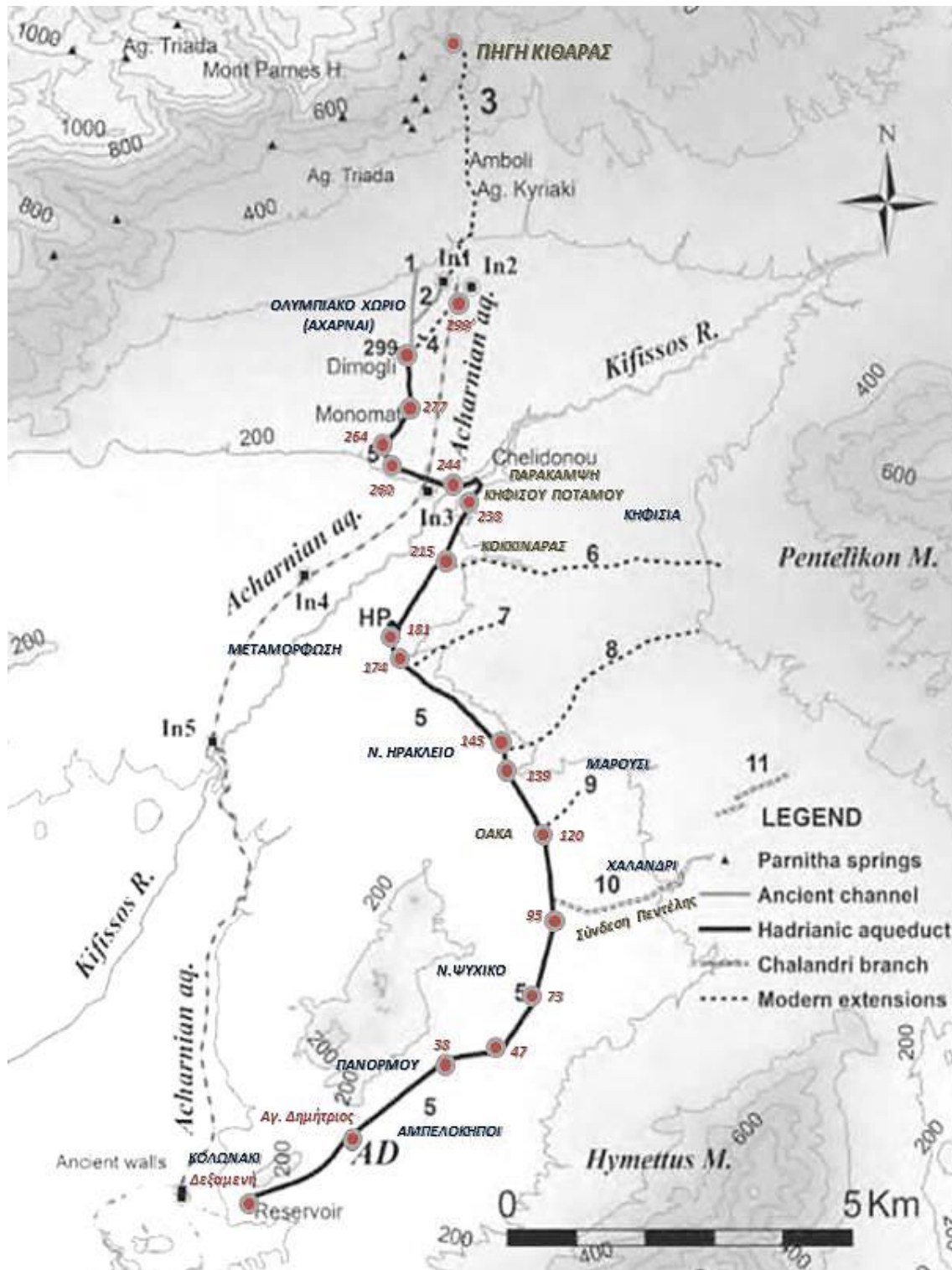
1971	Αδριάνειο υδραγωγείο (m ³)	Κοκκιναρά (m ³)
Ιανουάριος	42260	98020
Φεβρουάριος	118800	132410
Μάρτιος	237720	195490
Απρίλιος	184630	249400
Μάιος	108250	260230
Ιούνιος	99380	251010
Ιούλιος	168790	259960
Αύγουστος	146360	254900
Σεπτέμβριος	135130	251300
Οκτώβριος	139750	160750
Νοέμβριος	148890	154110
Δεκέμβριος	225670	159480
Σύνολο	1755630	2427060

Επιπρόσθετα, από τον Πίνακα 1.1 προκύπτει πως η συνολική παροχή του Αδριάνειου υδραγωγείου για το έτος 1971, μαζί με την προσθήκη της παροχής του παράπλευρου υδραγωγείου στο Κοκκιναρά φτάνει την τιμή των 4.182.690 κυβικά μέτρα, που συνεπάγεται μέση παροχή περίπου 130 L/s.

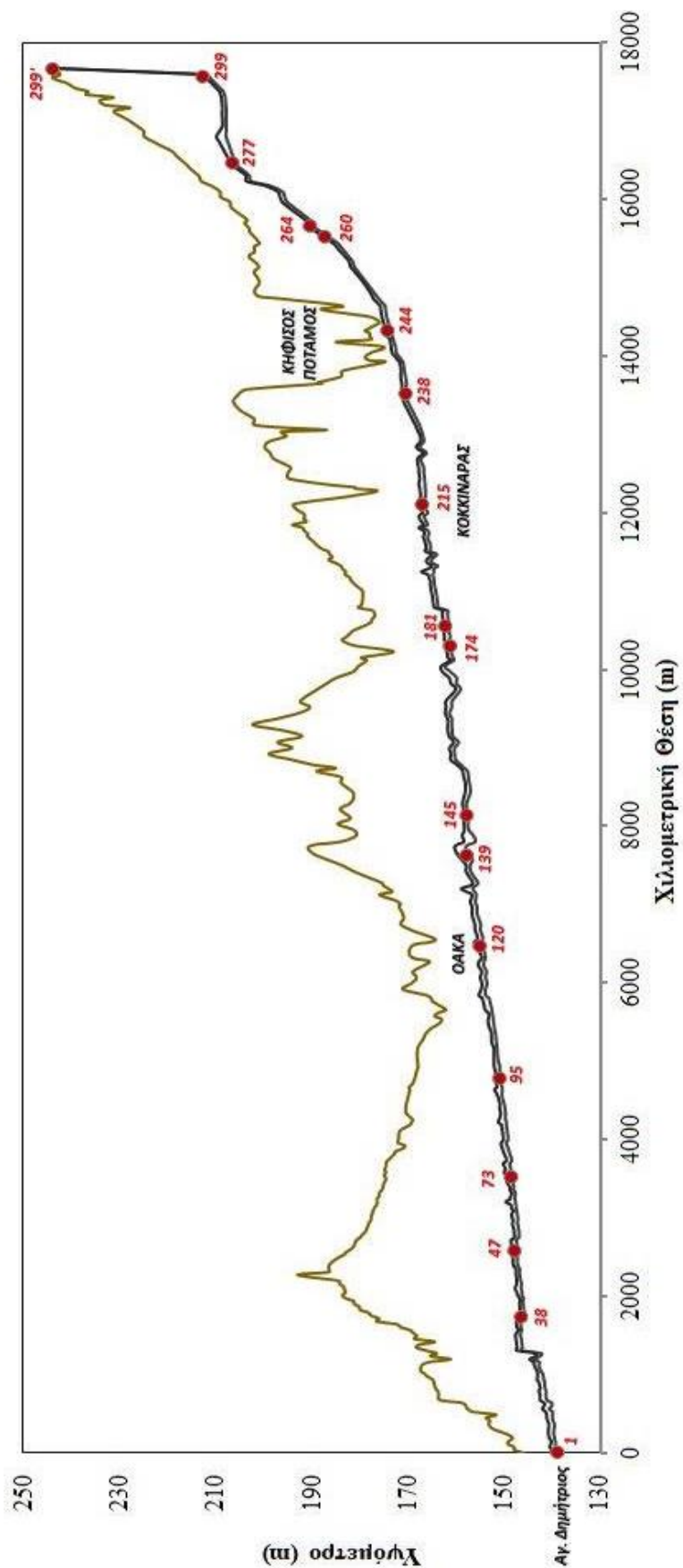
Συνεπώς, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, εύλογη είναι η θεώρηση πως το Αδριάνειο Υδραγωγείο έφτανε σε μέγιστη μέση παροχή τα 150 L/s.

1.1.4 Οριζοντιογραφία και μηκοτομή υδραγωγείου

Στο Σχήμα 1.2 και στο Σχήμα 1.3, παρουσιάζεται η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή του Αδριανείου υδραγωγείου αντίστοιχα. Το πρώτο σχήμα προήλθε από τον Chiotis (2018) και επεξεργάστηκε κατάλληλα, ώστε να φαίνονται χαρακτηριστικά σημεία του υδραγωγείου, τα οποία επίσης περιλαμβάνονται στη μηκοτομή, που παραθέεται στην συνέχεια. Να σημειωθεί πως από το διάγραμμα της μηκοτομής (Σχήμα 1.3) παραλείπεται το τμήμα Αγίου Δημητρίου – Δεξαμενή, καθώς το μοναδικό σχέδιο που βρέθηκε, μέχρι σήμερα, είναι η οριζοντιογραφία του τμήματος, η οποία παρατίθεται στο Παράρτημα Α.



Σχήμα 1.2: Οριζοντογραφία Αδριάνειου υδραγωγείου (Chiotis 2018, μετά από επεξεργασία)



Σχήμα 1.3: Μηκοτομή Αδριάνειου υδραγωγείου

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η υδραυλική διερεύνηση του Αδριάνειου υδραγωγείου, δηλαδή η επιβεβαίωση της τιμής της παροχетеυτικότητας του που προκύπτει από ιστορικά δεδομένα, καθώς και η απόκριση του υδραγωγείου σε διαφορετικές τιμές παροχής, μέσω σεναρίων διαφορετικών σημείων εισόδου αυτής, διαφορετικών τιμών τραχύτητας του αγωγού και διαφορετικής τοπολογίας. Μέσο της επίτευξης του σκοπού της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μοντελοποίηση του Αδριάνειου υδραγωγείου, μέσω της ψηφιοποίησης του υπάρχοντος ιστορικού αρχείου, η οποία μέχρι σήμερα δεν είχε πραγματοποιηθεί.

1.3 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Συνοπτικά, τα περιεχόμενα της διπλωματικής εργασίας έχουν ως εξής:

Στο *Κεφάλαιο 2* περιγράφεται η διαδικασία ψηφιοποίησης των δύο σειρών μηκοτομών, που προήλθαν από το ιστορικό αρχείο της ΕΥΔΑΠ, και αφορούν τις τοπογραφήσεις του υδραγωγείου το 1923 και 1936 αντίστοιχα, καθώς και η ένωσή τους σε μία, την τελική μηκοτομή του Αδριάνειου Υδραγωγείου, έχοντας λάβει υπόψη και καταγράψει παραλείψεις και σφάλματα, είτε κατά την τοπογράφιση είτε κατά τη μεταφορά των στοιχείων της τοπογράφησης στα φύλλα μηκοτομών.

Στο *Κεφάλαιο 3*, αφού παρουσιαστούν συνοπτικά τα προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή, που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, περιγράφεται ο αλγόριθμος των αλληλένδετων και επαναληπτικών διαδικασιών χρήσης των παραπάνω προγραμμάτων, μέσω διαγράμματος ροής. Στο παραπάνω διάγραμμα ροής παρουσιάζεται, τόσο ο τρόπος με τον οποίο παράχθηκαν τα αποτελέσματα της υδραυλικής διερεύνησης όσο και η διαδικασία για την τροποποίηση της μηκοτομής του Αδριάνειου υδραγωγείου ώστε να ανταποκρίνεται βελτιωμένα στα διάφορα σενάρια παροχής του νερού.

Στο *Κεφάλαιο 4* περιγράφονται αναλυτικά τα σενάρια διαφορετικής τοπολογίας, διαφορετικής σταθερής παροχής κατά μήκος του υδραγωγείου, διαφορετικής διατομής κατά μήκος του υδραγωγείου, διαφορετικού σημείου εισόδου της παροχής, καθώς και σενάρια πρόσθετης παροχής από παράπλευρα υδραγωγεία, που

πραγματοποιήθηκαν στο πρόγραμμα HEC – RAS. Επίσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε σενάριο, σε ότι αφορά τη στάθμη ύδατος, την ταχύτητα και τον αριθμό Froude, σε μορφή διαγραμμάτων.

Στο *Κεφάλαιο 5* παρουσιάζονται οι τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη τελική μηκοτομή, του 2^{ου} Κεφαλαίου, ώστε το υδραγωγείο να λειτουργεί ανεμπόδιο με ελεύθερη ροή σε όλο το μήκος του. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τροποποιήσεων για το πιο δυσμενές σενάριο ανάλυσης, αλλά και τα αποτελέσματα σεναρίων διαφορετικής τραχύτητας του υδραγωγείου.

Στο *Κεφάλαιο 6*, περιγράφονται αναλυτικά τα συμπεράσματα από την υδραυλική διερεύνηση του Αδριάνειου υδραγωγείου και προτείνονται θέματα για μελλοντική έρευνα.

Κεφάλαιο 2

Μοντελοποίηση Αδριάνειου υδραγωγείου

2.1 Δημιουργία μηκοτομής Αδριάνειου υδραγωγείου

2.1.1 Εισαγωγικά Δεδομένα – Υπάρχουσες σειρές μηκοτομών

Η παρούσα διπλωματική ξεκίνησε με την ανάλυση δύο σειρών παλαιών μηκοτομών, οι οποίες παραθέτονται στο τέλος του παρόντος τεύχους στο Παράρτημα Α, οι οποίες προήλθαν από το ιστορικό αρχείο της ΕΥΔΑΠ. Σε συνδυασμό με αρχεία καταγραφών από επί τόπου έρευνα προέκυψε η τελική μηκοτομή του Αδριάνειου υδραγωγείου, η οποία χρησιμοποιήθηκε στη μοντελοποίηση και στις αναλύσεις.

Η παλαιότερη (1923) σειρά μηκοτομών αποτελείται από δέκα σχέδια με κωδικοποίηση «Sheet 2-11» και περιγράφει την κατάσταση του υδραγωγείου κατά την προ ULEN εποχή και τις επεμβάσεις (επισκευές – βελτιώσεις) που κατά καιρούς πραγματοποιούσε τοπικά ο Δήμος Αθηναίων. Ακόμα, η μηκοτομή περιλαμβάνει προτάσεις για ολική επισκευή σε πολλά σημεία όπου είχαν εντοπιστεί προβλήματα. Μέχρι σήμερα, δεν έχει βρεθεί το πρώτο φύλλο της σειράς με κωδικοποίηση «Sheet 1» του τμήματος Δεξαμενή Κολωνακίου – Άγιος Δημήτριος Αμπελοκήπων (περιλαμβάνει τα 23 πρώτα φρέατα). Στη μηκοτομή καταγράφονται η αρίθμηση των φανών, η μεταξύ τους απόσταση, η χιλιομετρική τους θέση, τα υψόμετρα του πυθμένα του υδραγωγείου και τα βάθη των φρεάτων. Η αρίθμηση των φρεάτων χαρακτηρίζεται ως παλαιά και ξεκινά από το 1 στη Δεξαμενή (Εικόνα 1.4) και καταλήγει στο 367 στην κατάληξη του υδραγωγείου στο Ολυμπιακό Χωριό (Εικόνα 2.1). Επιπρόσθετα, η μηκοτομή περιέχει σχήματα των διατομών του υδραγωγείου στη θέση των πηγαδιών αλλά και στην περιοχή μεταξύ τους, καθώς και σχόλια για την κατάσταση του υδραγωγείου την στιγμή της αποτύπωσης του, όπως στάθμη νερού

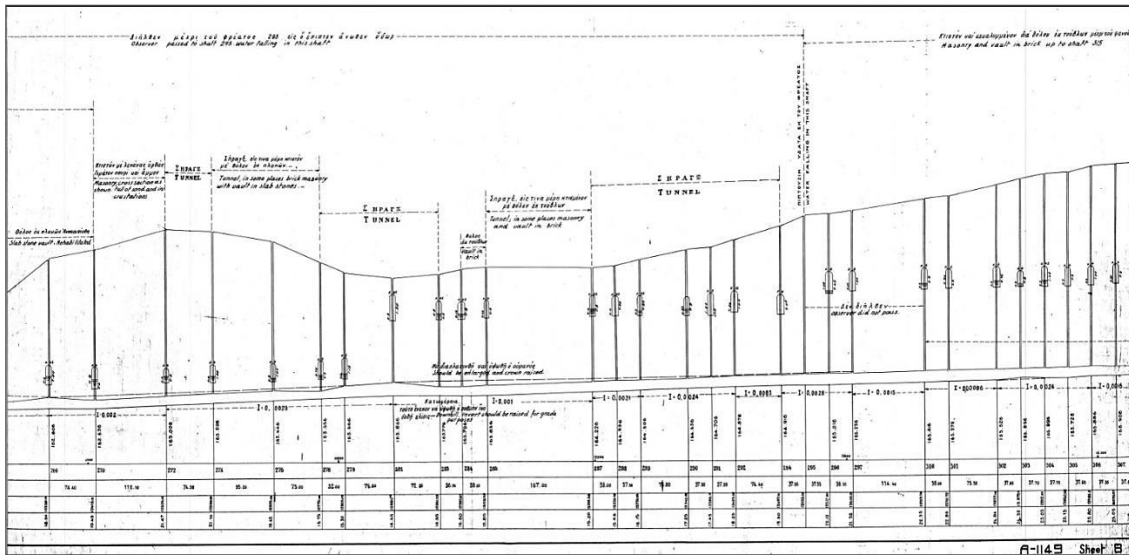
στις διατομές, περιοχές που δεν διήλθε ο εργάτης που διενεργούσε την αποτύπωση, καθώς και σχόλια με πληροφορίες για τη κατάσταση που επικρατούσε στο υδραγωγείο.



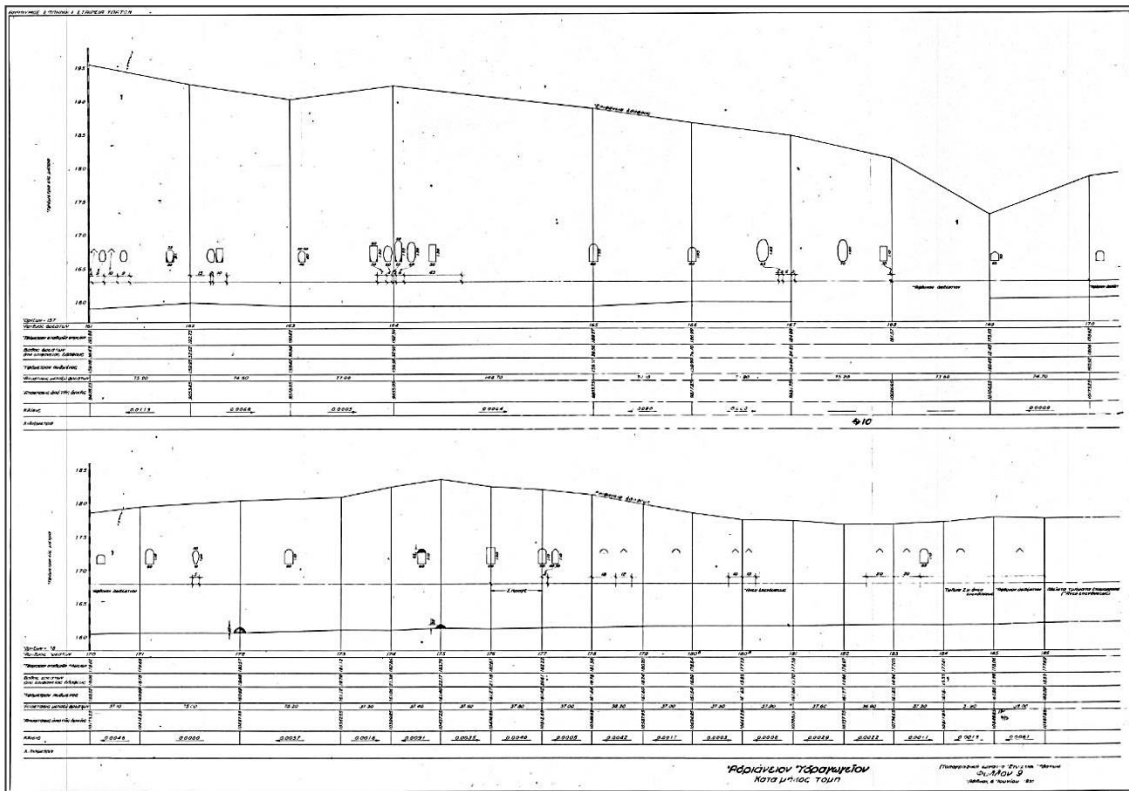
Εικόνα 2.1: Είσοδος κεκλιμένης στοάς (σημείο 299' – πηγάδι 299)

Η δεύτερη σειρά μηκοτομών αποτελείται από δέκα σχέδια με κωδικοποίηση «Φύλλον 1 – 10» (Παράρτημα Α), συντάχθηκε από την Ελληνική Εταιρεία Υδάτων (ΕΕΥ) τον Ιούνιο του 1936 και δεν αναπαριστά ολόκληρο το υδραγωγείο αλλά περιορίζεται στο τμήμα του υδραγωγείου που βρίσκεται μεταξύ της περιοχής του Κοκκιναρά Αττικής και της εκκλησίας του Αγίου Δημητρίου στους Αμπελοκήπους. Η συγκεκριμένη μηκοτομή περιέχει πληροφορία, όπως και η προηγούμενη, για την αρίθμηση των πηγαδιών την απόσταση μεταξύ τους, τη χιλιομετρική τους θέση, το υψόμετρο του πυθμένα του αγωγού και τα βάθη των φανών από την επιφάνεια του εδάφους. Η αρίθμηση εδώ χαρακτηρίζεται ως νέα και ξεκινά με το 1 σε νέο φρέαρ στον Άγιο Δημήτριο και ολοκληρώνεται στο φρέαρ 215 στην περιοχή του Κοκκιναρά. Επίσης, στη σειρά καταγράφεται το υψόμετρο των σταθερών σημείων όπως χαρακτηριστικά αναγράφεται στα σχέδια της μηκοτομής που αποτελεί περίπου το υψόμετρο της επιφάνειας του εδάφους.

Στις Εικόνα 2.2 και Εικόνα 2.3 παρουσιάζεται η τυπική μορφή των φύλλων μηκοτομών του ιστορικού αρχείου για τις δύο τοπογραφήσεις του Αδριανείου υδραγωγείου αντίστοιχα.



Εικόνα 2.2: Τυπική μορφή φύλλου μηκοτομής (Τοπογράφηση: 1923)



Εικόνα 2.3: Τυπική μορφή φύλλου μηκοτομής (τοπογράφηση: 1936)

2.1.2 Ένωση μηκοτομών

Αφού ψηφιοποιήθηκαν όλα τα τμήματα των μηκοτομών σε υπολογιστικό φύλλο Excel (Παράρτημα Α, Τοπογράφηση 1923, Τοπογράφηση 1936), υλοποιήθηκε η διαδικασία σύγκρισης των δύο μηκοτομών και η ένωσή τους σε μία. Από την ανάλυση των δύο

μηκοτομών αλλά και από τα αρχεία της επί τόπου έρευνας παρατηρήθηκε ότι η αρίθμηση των πηγαδιών διαφέρει σημαντικά. Έτσι κατά την ένωση των δύο μηκοτομών έγινε η προσπάθεια η αρίθμηση της νέας να ακολουθεί μια λογική σειρά και κυρίως τα πηγάδια στα οποία έχει βρεθεί αρίθμηση σήμερα από την επί τόπου έρευνα, να την διατηρούν. Η αρίθμηση ξεκινάει από το 1 στο πηγάδι που βρίσκεται στην εκκλησία του Αγίου Δημητρίου στους Αμπελοκήπους (δεν έχει βρεθεί σήμερα) και καταλήγει στο 299' στο πέρας της κεκλιμένης σήραγγας που βρίσκεται στο Ολυμπιακό Χωριό (299' προς 299) και μια άποψη της φαίνεται στη Εικόνα 2.1. Στη συνέχεια παρατηρήθηκε ότι οι αποστάσεις μεταξύ πηγαδιών στις δύο μηκοτομές διαφέρουν και ότι οι αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών φανών στην πρώτη μηκοτομή είναι σημαντικά μεγαλύτερες της δεύτερης, καθώς κατά την παλαιότερη τοπογράφηση δεν υπήρχε η δυνατότητα διέλευσης του συνεργείου σε εκτενή τμήματα του υδραγωγείου, με αποτέλεσμα η πρώτη μηκοτομή να αποτελείται από τμήματα δύο ή και τριών πηγαδιών. Η διαδικασία ξεκίνησε, όπως προαναφέρθηκε, με την δημιουργία ενός υπολογιστικού φύλλου στο Excel, όπου μεταφέρθηκαν όλα τα στοιχεία των μηκοτομών (Αριθμός Φρέατος, Χιλιομετρική Θέση, Αποστάσεις μεταξύ, Υψόμετρα εδάφους, πυθμένα αγωγού, Βάθος φρέατος από την επιφάνεια του εδάφους, Κλίση αγωγού, Διατομή αγωγού, Σχόλια) στις δύο πρώτες καρτέλες για τις δύο σειρές μηκοτομών αντίστοιχα. Στις επόμενες δύο καρτέλες του υπολογιστικού φύλλου γίνεται μια πρώτη σύγκριση των μηκοτομών και της οριζοντιογραφίας (υπάρχει οριζοντιογραφία και για το τμήμα Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή, Εικόνα Α.1 και Εικόνα Α.2, Παράρτημα Α), βάσει των αριθμών. Με τη ταυτόχρονη παρατήρηση της μορφολογίας του εδάφους στις σειρές μηκοτομών αντιστοιχίζονται οι αριθμήσεις των πηγαδιών. Σημειώνεται ότι στη συνέχεια, όπου αναφέρεται φύλλο σειράς μηκοτομών με κωδικοποίηση «Φύλλον 1-9» ή «Sheet 2-12», το αντίστοιχο σχέδιο παραθέτεται στο τέλος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, και ειδικότερα στο Παράρτημα Α. Γενικότερα, ακολουθούνται οι τιμές των αποστάσεων της παλαιότερης μηκοτομής, δηλαδή της Παλαιάς Αρίθμησης ώστε να προσομοιωθεί όσο γίνεται περισσότερο η αρχαία χάραξη. Επιπρόσθετα, επιλέχθηκε να διατηρούνται στη τελική μηκοτομή όσο περισσότερα πηγάδια γίνεται, ώστε οι τελικές αποστάσεις μεταξύ τους να κυμαίνονται περίπου στα 30 m και να καθίσταται ευνοϊκότερη η προσομοίωση του

μοντέλου και η υδραυλική του διερεύνηση. Κατά την παραπάνω διαδικασία εντοπίστηκαν σφάλματα που οφείλονται είτε στην τοπογράφηση, είτε στην μεταφορά των μετρήσεων στα φύλλα των μηκοτομών.

Χαρακτηριστικά, σε ό,τι αφορά τις αποστάσεις μεταξύ των φρεάτων στη τελική μηκοτομή και στην αρίθμηση που ακολουθείται σε αυτή, οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν είναι:

- Από το ανάγλυφο της μηκοτομής με κωδικοποίηση «Sheet 2» της πρώτης σειράς μηκοτομών και «Φύλλον 1» της νεότερης σειράς παρατηρείται ότι στο φρέαρ με παλαιά αρίθμηση 14 και στο φρέαρ με νέα αρίθμηση 54 αντίστοιχα, υπάρχει ρέμα. Με δεδομένο ότι το πηγάδι 1 της μηκοτομής «Φύλλον 1» αφορά το πηγάδι με παλαιά αρίθμηση 41 της μηκοτομής «Sheet 2» μεσολαβούν 12 πηγάδια μέχρι το σημείο του ρέματος και στις δύο μηκοτομές. Οι αποστάσεις μεταξύ των πηγαδιών κυμαίνονται στις ίδιες τιμές (κατά μέσο όρο περίπου 30 m) για τις δύο σειρές μηκοτομών, εκτός της περίπτωσης της απόστασης μεταξύ των πηγαδιών 13 με 14 για τη νέα αρίθμηση και 53 με 54 αντίστοιχα για τη παλαιά αντίστοιχα όπου στην παλαιότερη μηκοτομή καταγράφεται διπλάσια τιμή σε σχέση με την νεότερη, που χαρακτηρίζεται ως εσφαλμένη και στη τελική μηκοτομή διατηρείται η τιμή της νεότερης μηκοτομής («Φύλλον 1»).
- Τόσο στην νεότερη σειρά μηκοτομών («Φύλλον 1») όσο και στο αρχείο της επί τόπου έρευνας η απόσταση μεταξύ των πηγαδιών 18^A και 18^B αντιστοιχίζεται σε απόσταση τριών συνεχόμενων πηγαδιών με παλαιά αρίθμηση 59 – 60 – 61. Επιλέχθηκε να διατηρηθούν στη μοντελοποίηση η μεγάλη απόσταση άρα τα δύο πηγάδια της νεότερης μηκοτομής και αυτούσια η αρίθμηση τους (18^A και 18^B).
- Στη νεότερη σειρά μηκοτομών και ειδικότερα στη μηκοτομή «Φύλλον 1» (Παράρτημα Α), η απόσταση μεταξύ των πηγαδιών με νέα αρίθμηση 20 και 21 αντιστοιχίζεται στην απόσταση μεταξύ των πηγαδιών 63 – 65 στην παλαιότερη σειρά (μηκοτομή «Sheet 2»). Συνεπώς, διατηρήθηκε το ενδιάμεσο πηγάδι της παλαιότερης τοπογράφησης (φρέαρ 64) με αρίθμηση στη τελική μηκοτομή 20^A.
- Το φρέαρ με νέα αρίθμηση 18^Γ μετονομάζεται σε 22^A, έτσι ώστε να ακολουθείται η λογική σειρά, αφού έπεται του πηγαδιού 22.

- Στη μηκοτομή «Φύλλον 1» υπάρχει εκτενές τμήμα μεταξύ των πηγαδιών 18^Γ (22^Α) και του πηγαδιού 23 που αντιστοιχίζεται σε απόσταση επτά πηγαδιών με παλαιά αρίθμηση 67 έως και 72 (μηκοτομές «Sheet 2», «Sheet 3») και μεταφέρονται στη τελική μηκοτομή, τα πρώτα έξι με αρίθμηση 22 σε συνδυασμό με λατινικά γράμματα σε αλφαβητική σειρά (22^Α-22^Γ) και το έβδομο φρέαρ ως 23.
- Παρόμοια, στη νεότερη μηκοτομή «Φύλλον 3» καταγράφεται εκτενές τμήμα μεταξύ των πηγαδιών 43 και α που αντιστοιχίζεται σε απόσταση οχτώ πηγαδιών με παλαιά αρίθμηση από 93 έως 101 (μηκοτομή «Sheet 3») και μεταφέρονται όλα στη τελική μηκοτομή με αρχή το πηγάδι 43 και στη συνέχεια πηγάδια με αρίθμηση 43 σε συνδυασμό με λατινικά γράμματα σε αλφαβητική σειρά και τέλος το πηγάδι με κωδικοποίηση α.
- Στη τελική μηκοτομή διατηρούνται οι αποστάσεις και η αρίθμηση των πηγαδιών με αρίθμηση 79, 80 και 81 της νεότερης μηκοτομής «Φύλλον 4» που αντιστοιχίζονται στην ενιαία απόσταση των πηγαδιών με παλαιά αρίθμηση 143 – 145 (μηκοτομή «Sheet 4»).
- Στη μηκοτομή «Φύλλον 4» συναντάται εκτενές τμήμα μεταξύ του φρέαρ 83 και 84 που αντιστοιχίζεται, μετά από επεξεργασία της μηκοτομής «Sheet 4», στην απόσταση των πηγαδιών με παλαιά αρίθμηση 147 έως 152. Έτσι, προκύπτει ένα επιπλέον φρέαρ στο ενδιάμεσο της απόστασης το οποίο ονοματίζεται σε 83^Α. Τα εκατέρωθεν πηγάδια διατηρούν την ονομασία από την νεότερη αρίθμηση, δηλαδή 83 και 84 αντίστοιχα.
- Παρομοίως, στην τελική μηκοτομή δημιουργείται ενδιάμεσο πηγάδι με ονομασία 98^Α μεταξύ των πηγαδιών με νέα αρίθμηση, η οποία διατηρείται και στη τελική μηκοτομή, 98 και 99 («Φύλλον 5»). Οι αποστάσεις προκύπτουν από τις αποστάσεις της παλαιότερης μηκοτομής «Sheet 5», δηλαδή τις αποστάσεις μεταξύ των πηγαδιών με παλαιά αρίθμηση 178 – 180 – 181.
- Στη τελική μηκοτομή η απόσταση και η αρίθμηση των πηγαδιών μεταξύ 101 – 102 – 103 ακολουθεί τις τιμές της νεότερης σειράς μηκοτομών «Φύλλον 5», αφού αρχικά αντιστοιχήθηκε στο τμήμα 185 – 187 της μηκοτομής «Sheet 5».

- Τα ενιαία τμήματα που ορίζουν τα πηγάδια 193 – 195, 197 – 201 και 203 – 207 αντίστοιχα της μηκοτομής «Sheet 5» αντιστοιχίζονται στα επιμέρους τμήματα μεταξύ των πηγαδιών 108 – 110, 111 – 113 και 114 – 116 της νεότερης μηκοτομής «Φύλλον 6».
- Το εκτενές τμήμα μεταξύ των πηγαδιών με παλαιά αρίθμηση 210 – 216 της παλαιότερης μηκοτομής «Sheet 6» αντιστοιχήθηκε σε τμήματα πέντε πηγαδιών με νέα αρίθμηση 118 έως 122 της νεότερης σειράς μηκοτομών (μηκοτομή «Φύλλον 6»). Στη τελική μηκοτομή διατηρήθηκαν τόσο οι αποστάσεις όσο και η αρίθμηση της νεότερης μηκοτομής.
- Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε για τα τμήματα που ορίζουν τα πηγάδια με παλαιά αρίθμηση 217 – 222, 222 – 223, 224 – 225, 231 – 235 και 235 – 237 στην παλαιότερη μηκοτομή «Sheet 6» τα οποία συσχετίστηκαν με τις επιμέρους αποστάσεις, στην νεότερη σειρά μηκοτομών και ειδικότερα στις μηκοτομές «Φύλλον 6» και «Φύλλον 7», μεταξύ των πηγαδιών με νέα αρίθμηση 123 – 126, 126 – 128, 129 – 131, 136 – 140 και 140 – 142. Και στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, προτιμήθηκε στη τελική μηκοτομή να υπάρχουν όσο το δυνατόν μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των πηγαδιών και όσο το δυνατόν περισσότερα πηγάδια, καθώς έτσι η μηκοτομή γίνεται πιο λεπτομερής και είναι πιο ρεαλιστική η υδραυλική της προσομοίωση (Κεφάλαιο 4).
- Τα πηγάδια με αρίθμηση 147 έως 149 της τελικής μηκοτομής ακολουθούν τις τιμές των αποστάσεων και της αρίθμησης της νεότερης τοπογράφησης (μηκοτομή «Φύλλον 7»), αφού πρώτα συσχετίστηκε με το αντίστοιχο τμήμα που μεσολαβεί μεταξύ των πηγαδιών με παλαιά αρίθμηση 242 και 244 της παλαιότερης τοπογράφησης (μηκοτομή «Sheet 7»).
- Παραλληλίζοντας το ανάγλυφο του εδάφους της μηκοτομής «Sheet 7» της αρχαιότερης σειράς με το έδαφος της μηκοτομής «Φύλλον 8» της νεότερης το πηγάδι με νέα αρίθμηση 158 αντιστοιχίζεται στο φρέαρ με παλαιά αρίθμηση 254. Αθροίζοντας τις αποστάσεις μεταξύ των πηγαδιών και στις δύο σειρές μηκοτομών με αρχή το πηγάδι 158 στη νεότερη και το 254 στη παλαιότερη αντίστοιχα και με κατεύθυνση προς τα προηγούμενά του πηγάδια, φαίνεται πως το φρέαρ με νέα αρίθμηση 154 ταυτίζεται με το φρέαρ 250 στην

παλαιότερη μηκοτομή («Sheet 7»). Ομοίως, παρατηρώντας το έδαφος στη μηκοτομή «Φύλλον 8» και αντίστοιχα στη μηκοτομή «Sheet 7», αποσαφηνίζεται πως το πηγάδι με νέα αρίθμηση 150 της πρώτης αντιστοιχίζεται στο φρέαρ με παλαιά αρίθμηση 246 της δεύτερης. Με αντίστοιχη, όπως προηγουμένως, διαδικασία, αθροίζοντας τις αποστάσεις μεταξύ των πηγαδιών με αρχή το πηγάδι με νέα αρίθμηση 150 (με παλαιά αρίθμηση 246) και με κατεύθυνση προς τα επόμενά του πηγάδια το φρέαρ 153 συσχετίζεται γραφικά με το φρέαρ 250. Συμπεραίνοντας, στην παλαιότερη τοπογράφηση («Sheet 7») λείπει το τμήμα μηκοτομής που αντιστοιχίζεται στην νεότερη τοπογράφηση «Φύλλον 8» στα πηγάδια με νέα αρίθμηση 153 – 154, το οποίο και προστίθεται στην τελική μηκοτομή ακολουθώντας, σε ότι αφορά το μήκος του, την τιμή της νεότερης σειράς μηκοτομών.

- Στο τμήμα της τελικής μηκοτομής, που περιλαμβάνει πηγάδια με αρίθμηση 151 έως 153, εκτός του 152 προστίθεται πηγάδι με ονομασία 152^A, μεταξύ 152 και 153. Οι αποστάσεις που διατηρούνται είναι οι μικρότερες από κάθε σειρά μηκοτομών (από 151 σε 152 της νεότερης μηκοτομής («Φύλλον 8») και από 152^A έως 153 της παλαιότερης μηκοτομής. Η ενδιάμεση απόσταση υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη τις αποστάσεις και από τις δύο μηκοτομές.
- Το τμήμα μεταξύ των πηγαδιών 251 και 253 της μηκοτομής «Sheet 7», αφού αντιστοιχηθεί στο τμήμα με νέα αρίθμηση 155 έως 157, μεταφέρεται στην τελική μηκοτομή με απόσταση και αρίθμηση που ακολουθεί την νεότερη σειρά μηκοτομών και ειδικότερα την μηκοτομή «Φύλλον 8».
- Το μήκος του τμήματος ανάμεσα στα πηγάδια 158 και 159, που αντιστοιχίζεται στο τμήμα μεταξύ των πηγαδιών 254 και 255 στην αρχαιότερη χάραξη ακολουθεί, στη τελική μηκοτομή, την τιμή της νεότερης μηκοτομής, η οποία επιβεβαιώνεται και από το αρχείο της επί τόπου έρευνας, καθώς η τιμή του τμήματος κατά την παλαιότερη τοπογράφηση διαφέρει κατά μερικά μέτρα.
- Τα πηγάδια με νέα αρίθμηση 161 και 164 αντιστοιχούνται στα πηγάδια 257 και 260 αντίστοιχα. Στη τελική μηκοτομή διατηρούνται τα πηγάδια 161-164 και σαν αποστάσεις μεταξύ και σαν αριθμήσεις.

- Με ίδια διαδικασία συσχετίζεται το τμήμα ανάμεσα στα πηγάδια της παλαιότερης τοπογράφησης με αρίθμηση 263 – 266 με τα πηγάδια της νεότερης με αρίθμηση 165 έως 168, των οποίων οι αποστάσεις μεταξύ και η αρίθμηση διατηρούνται στη τελική μηκοτομή. Εδώ, πρέπει να παρατηρηθεί ότι λείπουν περίπου 20 m στην απόσταση που αναγράφεται μεταξύ πηγαδιών 263 και 266 στην μηκοτομή «Sheet 7», γεγονός που επιβεβαιώνεται και από το άθροισμα των αποστάσεων μεταξύ των πηγαδιών 166 – 168 στην νεότερη τοπογράφηση (μηκοτομή «Φύλλον 9») αλλά και από το άθροισμα των αποστάσεων από το αρχείο της επί τόπου έρευνας.
- Παρόμοια τα μήκη των τμημάτων μεταξύ 267 - 269, 270 – 272 και 272 – 274 αντιστοιχούν σε τμήματα που περιλαμβάνουν ενδιάμεσο πηγάδι με αρίθμηση στην νεότερη σειρά μηκοτομών 169 – 171, 172 – 174 και 174 – 176. Οι αποστάσεις μεταξύ και η αρίθμηση στη τελική μηκοτομή ακολουθούν τις τιμές της νεότερης τοπογράφησης.
- Ίδια διαδικασία διενεργήθηκε και για το τμήμα υδραγωγείου που εμπεριέχεται μεταξύ του πηγαδιού με παλαιά αρίθμηση 274 – 276 της μηκοτομής, το οποίο αφού αντιστοιχήθηκε με το τμήμα των πηγαδιών με νέα αρίθμηση 176 – 178, διαπιστώθηκε πως στο συγκεκριμένο τμήμα στη μηκοτομή «Sheet 8» υπάρχει περίσσεια 20 m, γεγονός που επιβεβαιώνεται, τόσο από το άθροισμα των δύο επιμέρους τμημάτων στη νεότερη μηκοτομή «Φύλλον 9», όσο και από τις αποστάσεις που προκύπτουν από την επεξεργασία των αρχείων της επί τόπου έρευνας.
- Τα μήκη των τμημάτων μεταξύ 276 - 278, 279 – 281 και 281 – 283 αντιστοιχούν σε τμήματα που περιλαμβάνουν ενδιάμεσο πηγάδι με αρίθμηση στην νεότερη σειρά μηκοτομών 178 – 180, 180^A – 182 και 182 – 184. Οι αποστάσεις μεταξύ και η αρίθμηση στην τελική μηκοτομή ακολουθούν τις τιμές της νεότερης τοπογράφησης.
- Η απόσταση μεταξύ πηγαδιού 285 και του πηγαδιού 287 στη παλαιότερη σειρά μηκοτομών και ειδικότερα στη μηκοτομή «Sheet 8», χαρακτηρίζεται ως εσφαλμένη καθώς υπερβαίνει το μήκος του αντίστοιχου τμήματος (186 – 187)

στην μηκοτομή «Φύλλον 10» κατά 10m. Αφού διορθωθεί, μεταφέρεται στη τελική μηκοτομή με αρίθμηση όμως που ακολουθεί την νεότερη τοπογράφιση.

- Οι ενιαίες αποστάσεις μεταξύ των πηγαδιών 292 – 294 και 297 – 300 αντιστοιχίζονται σε τμήματα τριών και τεσσάρων πηγαδιών με νέα αρίθμηση 192 – 194 και 197 – 200 αντίστοιχα. Στη τελική μηκοτομή διατηρούνται τόσο οι αποστάσεις της νεότερης τοπογράφισης, όσο και η αρίθμηση αυτής.
- Ομοίως, ακολουθείται η ίδια διαδικασία για τα πηγάδια 208 – 210 που συσχετίζονται με τα πηγάδια με παλαιά αρίθμηση 308 – 309 και εν συνεχεία μεταφέρονται αυτούσια στην τελική μηκοτομή.
- Το αναπόσπαστο τμήμα της αρχαιότερης χρονολογικά μηκοτομής «Sheet 9», που περιλαμβάνει τα πηγάδια με παλαιά αρίθμηση 309 – 311 μετατρέπεται στην τελική μηκοτομή σε τμήμα πέντε πηγαδιών με αρίθμηση 210 έως και 214 με αποστάσεις μεταξύ που συλλέγονται από τα πηγάδια με νέα αρίθμηση 210 – 213 της νεότερης τοπογράφισης (μηκοτομή «Φύλλον 10»), εκτός των αποστάσεων μεταξύ των πηγαδιών 216 – 217 και 217 – 218 που συλλέγονται από το αρχείο της επί τόπου έρευνας, με την προϋπόθεση το άθροισμα των μηκών των δύο τμημάτων να συμπίπτει με το μήκος μεταξύ των πηγαδιών με νέα αρίθμηση 212 – 213 στη μηκοτομή «Φύλλον 10».
- Τα πηγάδια της αρχαιότερης τοπογράφισης με παλαιά αρίθμηση 312 – 314 αντιστοιχίζονται στα πηγάδια με νέα αρίθμηση 214 – 216 και μεταφέρονται στη τελική μηκοτομή με αρίθμηση 215 – 218. Η απόσταση μεταξύ πηγαδιών 215 και 216 στη τελική μηκοτομή λαμβάνονται από την μηκοτομή της νεότερης τοπογράφισης, ενώ οι αποστάσεις μεταξύ πηγαδιών 216 – 217 και 217 – 218 αντίστοιχα, λαμβάνονται από το αρχείο της επί τόπου έρευνας, πάλι με την προϋπόθεση το άθροισμα τους να συμπίπτει με το ενιαίο μήκος μεταξύ πηγαδιών 215 και 216 της νεότερης τοπογράφισης (μηκοτομή «Φύλλον 10»).
- Όπως έχει προαναφερθεί, η νεότερη τοπογράφιση πραγματοποιήθηκε μέχρι τη περιοχή του Κοκκιναρά, οπότε πληροφορία για τη μηκοτομή του Αδριανείου υδραγωγείου υπάρχει μόνο από την παλαιότερη τοπογράφιση και από την επί τόπου έρευνα. Οπότε από το πηγάδι 219 έως και το πηγάδι 299' οι αποστάσεις λαμβάνονται, όπου υπάρχουν από την παλαιότερη τοπογράφιση, αλλιώς από

το αρχείο της επί τόπου έρευνας, πάντα προσπαθώντας το άθροισμα των επιμέρους τμημάτων των πηγαδιών να επιβεβαιώνει την τιμή που υπάρχει για τα αντίστοιχα τμήματα στις μηκοτομές με παλαιά αρίθμηση («Sheet 9 – 12»).

- Στο τμήμα μεταξύ των αρχαίων πηγαδιών 362 – 362' λείπει τμήμα δύο πηγαδιών μήκους περίπου 100m. Το σφάλμα προέκυψε από μετρήσεις αποστάσεων των πραγματικών φανών στο πεδίο, εφόσον δεν υπάρχει η αντίστοιχη μηκοτομή της νεότερης σειράς.

Στη διαδικασία που διενεργήθηκε για την αρχική *εκτίμηση των υψομέτρων* τόσο του εδάφους, όσο και του πυθμένα του υδραγωγείου, ακολουθήθηκε ο κανόνας: όταν η απόσταση πριν το φρέαρ, για του οποίου τη θέση εξετάζουμε την τιμή του υψομέτρου του εδάφους και του πυθμένα του υδραγωγείου, λαμβάνεται από την αρχαιότερη τοπογράφηση, τότε και οι τιμές των υψομέτρων λαμβάνονται από τη συγκεκριμένη τοπογράφηση αντίστοιχα. Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και στη περίπτωση, όπου η προηγούμενη του πηγαδιού απόσταση προέρχεται από την νεότερη τοπογράφηση. Όπως προαναφέρθηκε στη παράγραφο 2.1.1, το υψόμετρο του εδάφους αναγράφεται στα αντίστοιχα φύλλα μηκοτομής, σαν υψόμετρο σταθερών σημείων. Επιπρόσθετα, κατά τη διάρκεια της επί τόπου έρευνας εντοπίστηκαν, σε κάθε επισκέψιμο φρέαρ σίδερα, που εικάζεται ότι αποτελούσαν τα συγκεκριμένα σταθερά σημεία. Σε συνδυασμό με τις αλλαγές του ανάγλυφου λόγω διαβρώσεων κατά το πέρασ των χρόνων, δικαιολογείται η διαφορά των υψομέτρων του εδάφους στις δύο σειρές μηκοτομών, που φτάνει τα 2 m. Διαφορά που μεταφέρεται και στα υψόμετρα του πυθμένα των αγωγών καθώς στην νεότερη σειρά μηκοτομών, σαν πληροφορία δίνεται το βάθος του πυθμένα από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτή η υψομετρική διαφορά δημιούργησε προβλήματα στις κλίσεις των αντίστοιχων τμημάτων και γενικά δημιούργησε μια περίπλοκη μορφολογία, με απότομες εναλλαγές κλίσεων, για το υδραγωγείο, που δεν θα μπορούσε να ισχύει στην πραγματικότητα. Έτσι, έγινε η *πρώτη διόρθωση των υψομέτρων του πυθμένα*. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά άλλαξαν οι τιμές που έδιναν τα υψόμετρα του πυθμένα του υδραγωγείου, οι οποίες προήλθαν από την νεότερη σειρά μηκοτομών. Οι αλλαγές έγιναν με δύο μεθόδους: η πρώτη να δημιουργείται ενιαία κλίση με τα πηγάδια, που το υψόμετρό τους προκύπτει από την αρχαιότερη τοπογράφηση, εκατέρωθεν τους,

κατά προτίμηση θετική, μεταξύ τμημάτων δύο και τριών πηγαδιών και η δεύτερη με την πρόσθεση έως και 2 m σε κάθε τιμή της νεότερης σειράς. Η επιλογή της υψομετρικής διαφοράς που προστίθεται κάθε φορά, γίνεται με βάση τα προηγούμενα και τα επόμενα πηγάδια, τα οποία είχαν τιμή που προέκυπτε από την παλαιότερη τοπογράφιση. Επιπρόσθετα, σε περιπτώσεις που παραλείπονται υψόμετρα εδάφους, οπότε και πυθμένα υδραγωγείου, προκύπτουν από το αρχείο της επί τόπου έρευνας και με την επεξεργασία του στο Google Earth. Τα συγκεκριμένα υψόμετρα χρησιμοποιούνται μόνο στη μοντελοποίηση στο HEC – RAS και δεν μεταφέρονται στα φύλλα της τελικής μηκοτομής, η οποία παραθέτεται στο Παράρτημα Β.

Οι διατομές του Αδριάνειου υδραγωγείου ποικίλουν, τόσο σε ύψος (από 0.60 έως 2.60 m) όσο σε πλάτος (από 0.10 m έως και 1.10 m) και μορφή οροφής (τριγωνική, ημικυκλική, ορθογωνική). Στις δύο σειρές μηκοτομών υπάρχει πληθώρα πληροφοριών για την μορφή των διατομών πριν και μετά από κάθε πηγάδι. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν να συσχετιστούν και στην περίπτωση των διατομών οι μηκοτομές. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας, δηλαδή η τελική επιλογή των διατομών σε ότι αφορά πλάτος, ύψος και μορφή οροφής παρουσιάζονται στο υπολογιστικό φύλλο που βρίσκεται στο Παράρτημα Α.

Με την ολοκλήρωση της προαναφερθείσας διαδικασίας δημιουργήθηκε η τελική μηκοτομή του Αδριάνειου υδραγωγείου, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη μοντελοποίηση του υδραγωγείου στο HEC-RAS.

Κεφάλαιο 3

Λογισμικά αναλύσεων

3.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται συνοπτικά οι βασικές αρχές των προγραμμάτων που απαιτήθηκαν για την υλοποίηση του σκοπού της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δηλαδή την υδραυλική διερεύνηση του Αδριανείου υδραγωγείου. Αναλυτικότερα, για την διαδικασία της χαρτογράφησης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό χαρτογράφησης *Google Earth* καθώς και το λογισμικό *ArcGIS*, ενώ για την υδραυλική διερεύνηση το λογισμικό *HEC-RAS*. Τέλος, για αριθμητικούς υπολογισμούς και κατασκευή διαγραμμάτων, χρησιμοποιήθηκαν υπολογιστικά φύλλα του *Excel* του *Microsoft Office*, ενώ για τα σχέδια του υδραγωγείου το λογισμικό σχεδίασης *AutoCAD*. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές λειτουργίας των προγραμμάτων *ArcGIS* και *HEC-RAS*.

3.2 Λογισμικά αναλύσεων

3.2.1 ArcGIS

Το *ArcGIS* είναι ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS), που δημιουργήθηκε από το Ινστιτούτο έρευνας και περιβαλλοντικών συστημάτων (ESRI) για την δημιουργία, χρήση και επεξεργασία χαρτών και γεωγραφικών πληροφοριών, την κατάρτιση γεωγραφικών δεδομένων, την ανάλυση αντιστοιχισμένων πληροφοριών και την κοινή χρήση και την ανακάλυψη γεωγραφικών πληροφοριών. Το *ArcGIS Desktop* είναι από τα κύρια πλαίσια λειτουργίας του *ArcGIS* και αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων που παρέχουν στον χρήστη πρόσβαση σε

γεωγραφικές οντότητες και δυνατότητες εκτέλεσης χωρικών διεργασιών. Στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε έκδοση *ArcMap 10.3 (2016)*.

Στη παρούσα διπλωματική το λογισμικό χαρτογράφησης *ArcGIS* χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση των συντεταγμένων των θέσεων των πηγαδιών του Αδριανείου υδραγωγείου, ώστε να σχηματιστεί, μέσω αυτών, η οριζοντιογραφία της κύριας σήραγγας του Υδραγωγείου.

3.2.2 HEC - RAS

Το Αμερικάνικο Στρατιωτικό Σωματείο Μηχανικών (U.S. Army Corps of Engineers) δημιούργησε το μοντέλο *HEC – RAS*, το οποίο προσομοιώνει φυσικά ή τεχνικά, καθώς και μεμονωμένα υδατορέματα ή συστήματα υδατορεμάτων (River Analysis System), πραγματοποιώντας επιτυχώς υπολογισμούς ροής μονοδιάστατης ανάλυσης σε μόνιμη ροή (steady flow) ή μη μόνιμη μονοδιάστατη (unsteady flow). Επιπρόσθετα το λογισμικό πραγματοποιεί υπολογισμούς για κίνηση και απόθεση ιζημάτων και φερτών υλών, καθώς και ελέγχους που αφορούν την θερμοκρασία και την ποιότητα του νερού των υδατορεμάτων. Αναλυτικότερα πληροφορίες για τις δυνατότητες του προγράμματος περιέχονται στο *HEC-RAS User's Manual Brunner G. W. (2016)*. Επιλέχθηκε το συγκεκριμένο πρόγραμμα για τη προσομοίωση του Αδριανείου υδραγωγείου, καθώς θεωρείται ότι δεν λειτουργούσε υπό πίεση, μπορεί δηλαδή να προσομοιαστεί με ανοιχτό αγωγό. Ακόμα και αν τοπικά το νερό ανάγκαζε το Υδραγωγείο να πλημμυρίσει, η ροή εκτονωνόταν στα βάθη των πάνω από τριακοσίων πηγαδιών. Στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η έκδοση *HEC-RAS 5.0.3*.

Όπως έχει προαναφερθεί, το Αδριάνειο υδραγωγείο λειτουργούσε αδιάκοπα και μετέφερε σημαντικές ποσότητες νερού, κατά κύριο λόγο, μέσω της υδρομάστευσης των υπόγειων εδαφικών στρωμάτων, τα οποία διαπερνούσε, αλλά και από πηγαία νερά από την πηγή της Κιθάρας στην Πάρνηθα. Τα υπόγεια στρώματα, μέσω του υδροφορέα έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν και να μεταφέρουν νερό με ομαλούς, ομοιόμορφους ρυθμούς, σε αντίθεση με τους έντονα μεταβαλλόμενους και διαλείποντες ρυθμούς της πλημμυρικής απορροής. Συνεπώς η συγκεκριμένη λειτουργία του Αδριανείου υδραγωγείου, να υδρομαστεύει τα υπόγεια στρώματα, τα οποία διαπερνά, ίσως προσομοιάζεται ικανοποιητικότερα με τη μόνιμη και

ομοιόμορφη ροή κατά μήκος της κύριας σήραγγάς του και όχι τη μη μόνιμη ροή, η οποία θα προέκυπτε από δεδομένα βροχής στη περιοχή. Έτσι, στη παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η μόνιμη και ομοιόμορφη ροή (Steady flow) για την πραγματοποίηση των διάφορων σεναρίων αναλύσεων.

Στο HEC-RAS για μόνιμη, μονοδιάστατη ροή (1D Steady Flow), μπορούν να υπολογιστούν υδραυλικά προφίλ για υπερκρίσιμη (supercritical), υποκρίσιμη (subcritical), αλλά και μεικτή ροή (mixed). Η μόνιμη ροή υπολογίζεται από το λογισμικό από διατομή σε διατομή και η βασική υπολογιστική διαδικασία βασίζεται στην λύση της εξίσωσης ενέργειας (εξ. 3.1) για μονοδιάστατη ανάλυση, μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (3.1)$$

Όπου Z_1, Z_2 : υψόμετρα πυθμένα στις δύο διαδοχικές διατομές

Y_1, Y_2 : βάθη νερού στις διατομές

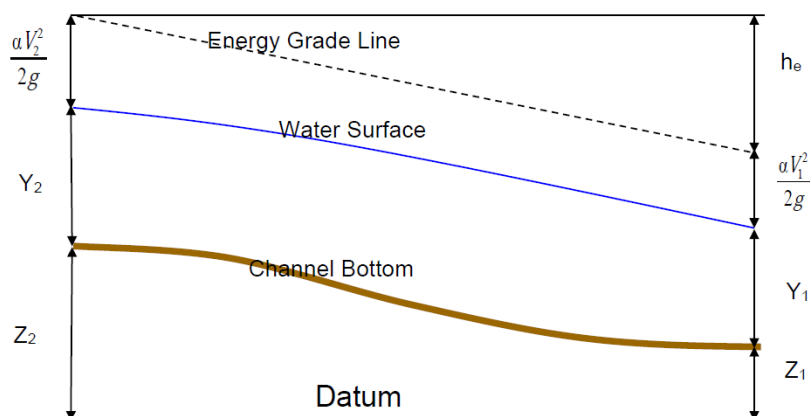
V_1, V_2 : μέσες ταχύτητες (συνολική παροχή/εμβαδόν διατομής)

α_1, α_2 : συντελεστής συνόρθωσης της κινητικής ενέργειας

g : επιτάχυνση της βαρύτητας

h_e : ολικές απώλειες ενέργειας

Η παραπάνω εξίσωση περιγράφεται σχηματικά από το Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Αναπαράσταση εξίσωσης ενέργειας (Πηγή: Brunner 2016)

Οι ολικές απώλειες ενέργειας (h_e) μεταξύ δύο διατομών αποτελούν τις απώλειες εξαιτίας των τριβών (γραμμικές απώλειες) και τις απώλειες εξαιτίας των αλλαγών της γεωμετρίας της ροής (τοπικές απώλειες). Η εξίσωση (3.2) δίνει τις απώλειες ενέργειας.

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (3.2)$$

Όπου L : μέση σταθμισμένη απόσταση μεταξύ των διατομών

\bar{S}_f : η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής

C : συντελεστής τοπικών απωλειών

Η μέση σταθμισμένη απόσταση L υπολογίζεται από την εξ. (3.3).

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (3.3)$$

Όπου L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : αποστάσεις μεταξύ δύο διατομών, το οποίο προσδιορίζεται από την ροή στην αριστερή όχθη, το κεντρικό κανάλι και την δεξιά όχθη αντίστοιχα.

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$: μέση τιμή παροχών ροής μεταξύ δύο διατομών για αριστερή όχθη, κεντρικό κανάλι και δεξιά όχθη αντίστοιχα.

Στη περίπτωση του Αδριανείου υδραγωγείου τα μήκη για αριστερή όχθη, κεντρικό κανάλι και δεξιά όχθη (L), όπως και οι μέσες τιμές παροχής (\bar{Q}) συμπίπτουν.

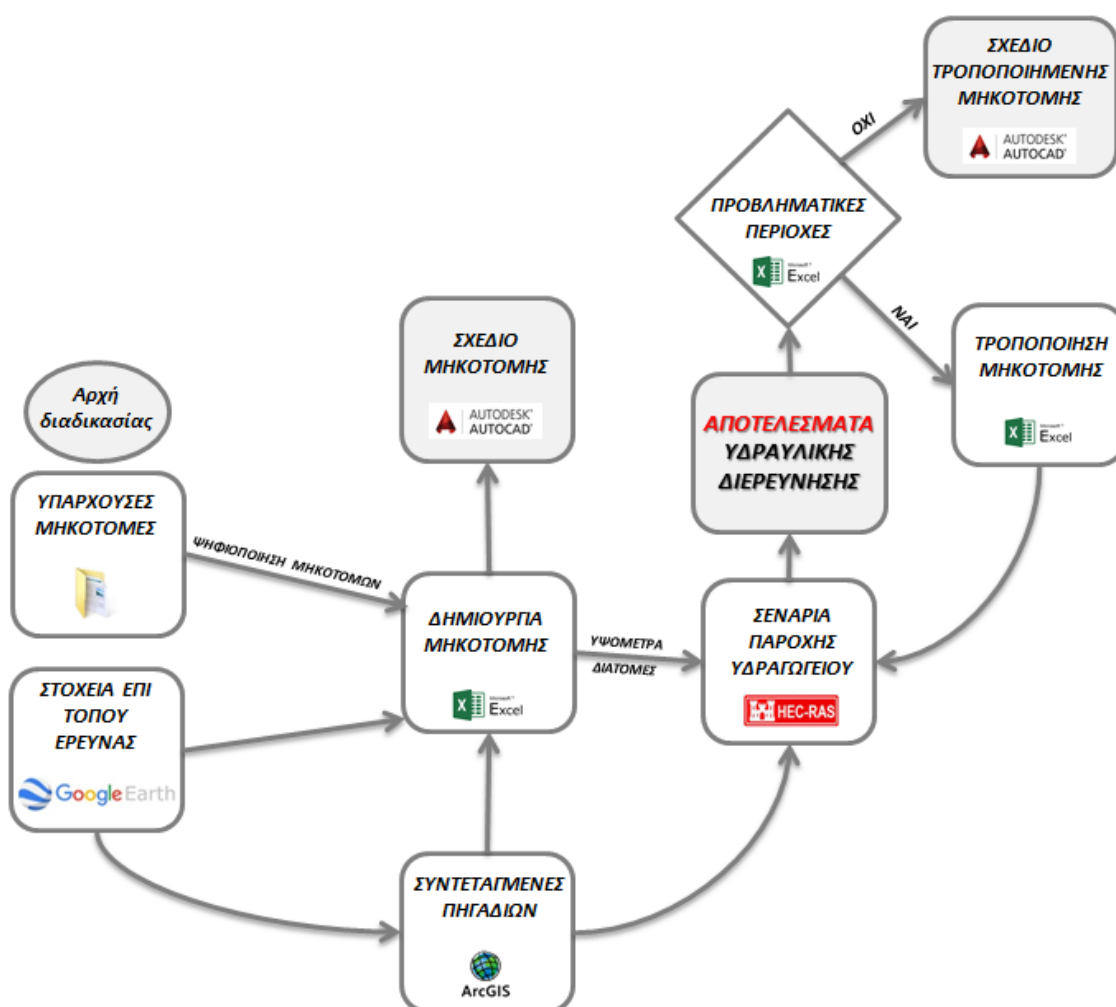
3.2.3 Μεθοδολογία αναλύσεων

Η διαδικασία, μέσω των λογισμικών ηλεκτρονικού υπολογιστή, που ακολουθήθηκε στη παρούσα διπλωματική εργασία, ώστε να πραγματοποιηθεί η υδραυλική διερεύνηση του Αδριανείου υδραγωγείου, μπορεί να συνοψισθεί στο Σχήμα 3.2.

Σε αρχείο *Google Earth*, τμήματα του οποίου παρουσιάζονται από Δευτεραίος (2018), τοποθετούνται τα σημεία των θέσεων των πηγαδιών στη περιοχή της Αττικής, με τέτοιο τρόπο ώστε να αναπαριστούν την οριζοντιογραφία του Αδριανείου υδραγωγείου. Οι θέσεις των πηγαδιών προήλθαν, τόσο από τα σχέδια οριζοντιογραφίας, από το αρχείο της ΕΥΔΑΠ, όσο και από το αρχείο της επί τόπου έρευνας στο Αδριανείο υδραγωγείο. Με τη συγκεκριμένη διαδικασία δίνεται και η

δυνατότητα ενός σχετικού ελέγχου των υψομέτρων του εδάφους, στις θέσεων των πηγαδιών του υδραγωγείου, με τη πιθανότητα σφαλμάτων σημαντική, τόσο λόγω των τιμών των υψομέτρων που δίνει το λογισμικό *Google Earth*, όσο λόγω των αλλαγών που έχουν συντελεστεί στην εδαφική επιφάνεια της Αττικής στα χρόνια, μεταξύ των τοπογραφήσεων και του σήμερα.

Όπως αναφέρθηκε στη παράγραφο 2.1.2, η σύγκριση και τελικά η ένωση των μηκοτομών, των τοπογραφήσεων του 1923 και 1936 αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκε με την παράλληλη επισκόπηση του αρχείου της επί τόπου έρευνας, δηλαδή του αρχείου *Google Earth*.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ροής διπλωματικής εργασίας

Στη συνέχεια, δημιουργούνται τα φύλλα της τελικής μηκοτομής σε περιβάλλον AutoCAD, καθώς και η τρισδιάστατη απεικόνιση ολόκληρου του υδραγωγείου, που

περιλαμβάνει πραγματικά σχήματα διατομών ανά κάποια απόσταση ώστε να αποτυπώνεται η μέχρι σήμερα εικόνα του Αδριάνειου υδραγωγείου. Επιπρόσθετα, το αρχείο του *Google Earth* μεταμορφώνεται στο λογισμικό *ArcGIS* και αφού προσδιοριστεί το κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων προκύπτουν οι συντεταγμένες της οριζοντιογραφίας του υδραγωγείου. Οι συγκεκριμένες συντεταγμένες καθώς και τα υψόμετρα και οι διατομές της τελικής μηκοτομής από το *Excel*, δηλαδή το αποτέλεσμα της ένωσης των δύο σειρών μηκοτομών, μεταφέρονται στο *HEC-RAS*.

Στο *HEC-RAS* πραγματοποιούνται ποίκιλα σενάρια σταθερών παροχών κατά μήκος του υδραγωγείου και μη για δύο τοπολογίες, τα οποία παρουσιάζονται εκτενώς στο Κεφάλαιο 4. Τα αποτελέσματα των διαφόρων σεναρίων, επιστρέφουν στο *Excel*, όπου δημιουργούνται διαγράμματα, με τα οποία εντοπίζονται οι «προβληματικές» περιοχές, περιοχές δηλαδή που το υδραγωγείο λειτουργεί υπό πίεση. Ακολουθεί μια επαναληπτική διαδικασία, στην οποία αλλάζουν κλίσεις, άρα και υψόμετρα του πυθμένα του αγωγού στην τελική μηκοτομή, με γνώμονα τη δημιουργία ενιαίων, πιο ομαλών κλίσεων μεταξύ των πηγαδιών. Στη συνέχεια, μεταφέρονται και πάλι στο λογισμικό υδραυλικής προσομοίωσης, όπου πραγματοποιούνται τα ίδια σενάρια παροχών. Όταν το υδραγωγείο πετύχει να μην λειτουργεί υπό πίεση, τότε η επαναληπτική διαδικασία σταματά. Οι τελικές τροποποιήσεις στη μηκοτομή του Αδριάνειου υδραγωγείου παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5 και αναλυτικότερα, στο τέλος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μέσω του υπολογιστικού φύλλου του *Excel* (Παράρτημα Β).

3.3 Προγραμματιστική διαδικασία

3.3.1 Προσδιορισμός συντεταγμένων πηγαδιών

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν στο λογισμικό *ArcGIS*, ώστε να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των θέσεων των πηγαδιών του Αδριάνειου υδραγωγείου.

- 1) Αρχικό βήμα αποτελεί η αποθήκευση του αρχείου του *Google Earth* ως αρχείο *Kml* (*.kml).

- 2) Σε νέο χάρτη, στο πρόγραμμα ArcGIS, καθορίζεται το προβαλλόμενο σύστημα συντεταγμένων σε Greek Grid.

Projected Coordinate Systems → National Grids → Europe → Greek Grid

- 3) Στο περιβάλλον του ArcGIS μέσω της εργαλειοθήκης του προγράμματος μεταμορφώνεται το αρχείο Kml (αρχείο Google Earth).

ArcToolbox → Conversion Tools → From KML → KML To Layer

- 4) Αφού εξαχθούν τα αποτελέσματα της παραπάνω ενέργειας σε αρχείο shapefile (*Data → Export Data*), μέσω της εργαλειοθήκης του ArcGIS προστίθενται συντεταγμένες στα σημεία.

ArcToolbox → Data Management Tools → Features → Add XY Coordinates

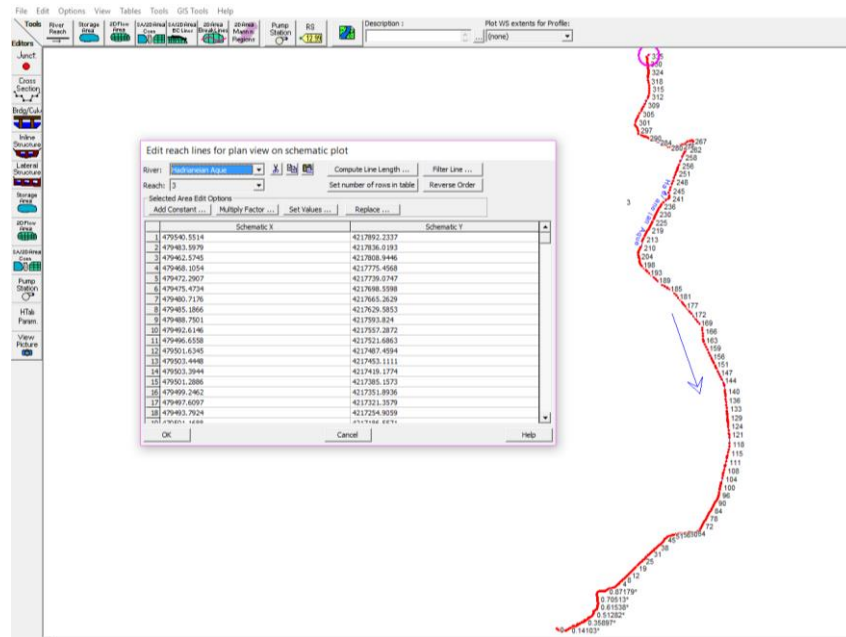
Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων απαιτήθηκε και για το τμήμα του υδραγωγείου Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή, η προσθήκη του οποίου έγινε μετά το πέρας ορισμένων αναλύσεων. Στο αρχείο *Google Earth*, για το συγκεκριμένο τμήμα, δεν υπήρχαν συγκεκριμένα σημεία για τις θέσεις των πηγαδιών, καθώς το τμήμα είχε καταστραφεί και ανακατασκευάστηκε πάνω στη παλαιά του τροχιά. Έτσι διατηρείται μόνο ένα σχέδιο οριζοντιογραφίας του τμήματος το οποίο υπάρχει στο αρχείο *Google Earth* σαν ενιαία γραμμή, η οποία προσομοιώνει την τροχιά του υδραγωγείου. Έτσι, για να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες των σημείων της διαδρομής του Αδριανείου πρέπει αρχικά να μετατραπεί η γραμμή σε σημεία. Η διαδικασία με την οποία συμβαίνει αυτό στο *ArcGIS* είναι:

ArcToolbox → Data Management Tools → Features → Feature Vertices To Points

3.3.2 Υδραυλική διερεύνηση υδραγωγείου στο HEC – RAS

Αρχικά, προσδιορίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υδραγωγείου, αφού πρώτα επιλεγθεί από τις ρυθμίσεις του προγράμματος το «Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI)», ως προεπιλεγόμενο σύστημα μονάδων για τις τιμές που πρόκειται να εισαχθούν σε αυτό.

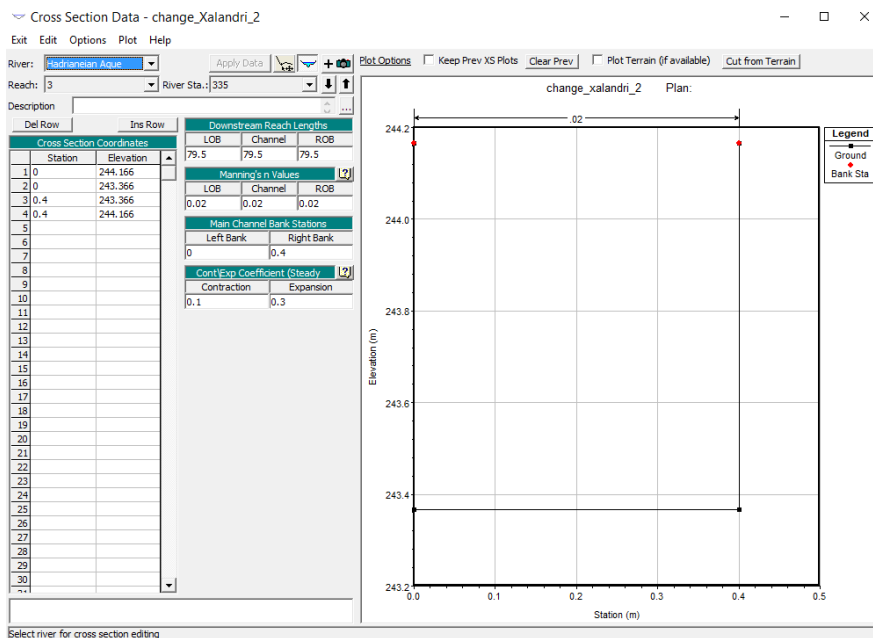
- 1) Εισάγονται στο HEC-RAS οι συντεταγμένες των θέσεων των πηγαδιών και, μέσω αυτών, σχηματίζεται η οριζοντιογραφία του υδραγωγείου, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Προσομοίωση οριζοντιογραφίας στο HEC-RAS

2) Εν συνεχεία, μεταφέρονται οι διατομές του υδραγωγείου.

Η Εικόνα 3.2 αποτελεί εικόνα τυπικής εισόδου μιας διατομής είτε υδατορέματος, είτε ανοιχτού αγωγού στο πρόγραμμα HEC-RAS.



Εικόνα 3.2: Δημιουργία διατομής στο HEC-RAS

Στη συγκεκριμένη καρτέλα, αρχικά επιλέγεται το υδατόρεμα και ο κλάδος του υδατορέματος (River, Reach), στο οποίο βρίσκεται η διατομή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δημιουργείται ένα κλάδος υδατορέματος, ο οποίος

προσομοιώνει τη κύρια σήραγγα του Αδριανείου υδραγωγείου. Στη συνέχεια, ονομάζεται η διατομή (River Station) και σχηματίζεται από χαρακτηριστικά σημεία. Σαν χαρακτηριστικά σημεία επιλέγονται οι τέσσερις γωνίες του ορθογωνίου της ορθογωνικής διατομής. Στο επόμενο στάδιο συμπληρώνεται το μήκος, μετά από το οποίο υπάρχει η επόμενη διατομή (Downstream Reach Lengths), ο συντελεστής Manning, οι θέσεις των όχθων των υδρατορεμάτων, που εδώ είναι τα ακραία σημεία του ορθογωνίου της διατομής, καθώς και οι συντελεστές απωλειών.

Επιλογή συντελεστή Manning (n)

Η επιλογή της κατάλληλης τιμής του συντελεστή Manning n είναι πολύ σημαντική για την ακρίβεια των υπολογιζόμενων υψομέτρων της επιφάνειας του νερού. Ο συντελεστής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τις κατασκευαστικές ανωμαλίες της επιφάνειας του καναλιού, τις εναποθέσεις στον πυθμένα, τα πιθανά εμπόδια στη ροή, το μέγεθος και το σχήμα του καναλιού, τις μεταβολές του σχήματος κ του μεγέθους της διατομής, της βλάστησης κ του είδους της ροής, τις εποχικές αλλαγές που συντελούνται στο κανάλι, αλλά και τη θερμοκρασία (Στάμου 2012). Υπάρχουν πολλές αναφορές, στις οποίες βρίσκονται τιμές για τον συντελεστή n , για τυπικές μορφές καναλιών:

Σύμφωνα με Chow (1959) για τεχνητούς αγωγούς με επιφάνεια πυθμένα από χαλίκι και πλευρές από πετρώματα τυχαίας μορφής, συνδεδεμένα με κονίαμα προτείνεται (Εικόνα 3.4), για το συντελεστή Manning, η τιμή $n = 0.020$. Η συγκεκριμένη τιμή θεωρείται η πιο αντιπροσωπευτική για τη κατάσταση του υδραγωγείου την αρχαία ρωμαϊκή εποχή και χρησιμοποιείται για όλα τα σενάρια αναλύσεων για το αρχικό μοντέλο του Αδριανείου υδραγωγείου (Κεφάλαιο 4), πριν την τροποποίηση (Κεφάλαιο 5).

Σύμφωνα με τους Νουτσόπουλος κ.ά. (2007) για επενδεδυμένους αγωγούς (διώρυγες) με επένδυση τοιχοποιίας με τσιμεντοκονίαμα προτείνεται η τιμή 0.025. Η εικόνα του υδραγωγείου εσωτερικά, κατά την αρχαία ρωμαϊκή εποχή και όταν κατασκευάστηκε, πλησιάζει σε πολλά τμήματα αυτή την κατάσταση

(Εικόνα 3.3). Επιλέχθηκε στο τροποποιημένο υδραγωγείο να πραγματοποιηθεί σενάριο με τιμή, για τον συντελεστή Manning, ίση με 0,025, για να διερευνηθεί η περίπτωση των αρχικών χρόνων λειτουργίας του Αδριάνειου υδραγωγείου, όταν δεν συναντιόταν εμπόδια στη ροή, αναπτυσσόμενη βλάστηση και διαβρώσεις από το νερό στα τοιχώματα της κύριας σήραγγας.



Εικόνα 3.3: Διατομή με τοιχοποιία



Εικόνα 3.4: Διατομή με πετρώματα τυχαίας μορφής

Επιπρόσθετα αποφασίστηκε για την πιο ολοκληρωμένη υδραυλική διερεύνηση να πραγματοποιηθεί, σε ότι αφορά στο τροποποιημένο Αδριάνειο υδραγωγείο, σενάριο με συντελεστή Manning n ίσο με 0.017, η οποία πιθανότατα δεν αποτελεί ρεαλιστική θεώρηση για το Αδριάνειο υδραγωγείο, καθώς αποτελεί αρκετά ευνοϊκή προσέγγιση, για την τραχύτητα των εσωτερικών τοιχωμάτων του υδραγωγείου.

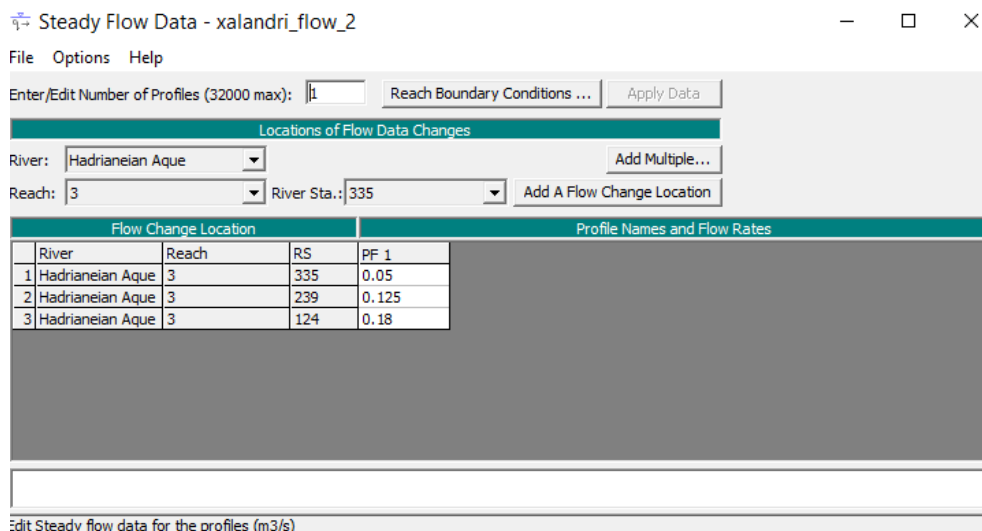
Προφανώς, η ολοκληρωμένη υδραυλική διερεύνηση θα πραγματοποιούταν αν υπήρχε επισκόπηση σε κάθε τμήμα του υδραγωγείου, οπότε και θα μπορούσε να υπολογισθεί ή να εκτιμηθεί ρεαλιστικά διαφορετική τιμή συντελεστή Manning, ανάλογα την εικόνα της εκάστοτε διατομής.

Επιλογή συντελεστών απωλειών

Οι συντελεστές απωλειών (Contraction and Expansion Coefficients) της ροής, λόγω των αλλαγών στις διατομές αποτελούν κύρια αιτία των απωλειών ενέργειας μεταξύ τους. Οι συντελεστές προκύπτουν από την απόλυτη διαφορά των ταχυτήτων, μεταξύ δύο διατομών. Όταν οι αλλαγές στις διατομές του υδατορέματος είναι μικρές και η ροή υποκρίσιμη, οι τυπικές τιμές των συντελεστών είναι 0.1 και 0.3. Όταν οι αλλαγές στη διατομή είναι απότομες, οι συντελεστές έχουν τιμές 0.6 και 0.8. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να έχουν οι συγκεκριμένοι συντελεστές είναι η τιμή 1. Σε ότι αφορά την υπερκρίσιμη ροή, οι συντελεστές πρέπει να είναι χαμηλότεροι καθώς, στην υπερκρίσιμη ροή οι τιμές των ταχυτήτων είναι μεγαλύτερες, έτσι μικρές αλλαγές στα βάθη μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες αλλαγές στη ταχύτητα. Χρησιμοποιώντας συντελεστές απωλειών σε τιμές, όπως χρησιμοποιούνται για την υποκρίσιμη ροή θα οδηγούσε σε υπερεκτίμηση των απωλειών ενέργειας και προβληματικά αποτελέσματα. Όταν τα κανάλια έχουν τραπεζοειδή ή ορθογωνική διατομή, σε υπερκρίσιμη ροή, οι συντελεστές συστολής αποκτούν τις τιμές 0.03 και 0.01. Όσο οι μεταβάσεις γίνονται απότομες, είναι πιθανόν να χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν υψηλότερες τιμές (Brunner 2016). Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές 0.3 και 0.1 για τους συντελεστές διαστολής και συστολής αντίστοιχα, καθώς η ροή προέκυψε κυρίως υποκρίσιμη.

Στο επόμενο στάδιο, εισήχθησαν στο πρόγραμμα τα δεδομένα ροής. Όπως έχει προαναφερθεί έχουν πραγματοποιηθεί μόνο σενάρια μόνιμης ροής. Στη καρτέλα που φαίνεται στην Εικόνα 3.5 δημιουργήθηκαν τα διάφορα σενάρια παροχής, αφού επιλεγόταν τόσο τα σημεία εισόδου της παροχής, όσο και οι τιμές αυτής. Στις

περιπτώσεις διαφορετικών σημείων εισόδου παροχής η συμπλήρωση των δεδομένων ροής γίνεται από τα ανάντη προς τα κατόντη σημεία.



Εικόνα 3.5: Μοντελοποίηση ροής στο HEC-RAS

Μετά την εκτέλεση της ανάλυσης, από το πρόγραμμα λαμβάνονται τα αποτελέσματα του εκάστοτε σεναρίου. Μια μορφή αποτελέσματος αποτελεί ο συνολικός πίνακας αποτελεσμάτων. Στον πίνακα, που φαίνεται στην Εικόνα 3.6 εντοπίζονται όλα τα σημεία του υδατορέματος, δηλαδή εδώ οι θέσεις των πηγαδιών του υδραγωγείου, η ονομασία τους στο HEC – RAS, καθώς και η τιμή της παροχής στο σημείο και το υψόμετρο του πυθμένα της κύριας σήραγγας του υδραγωγείου (Min Ch. El). Σημαντικό σημείο, στο συνολικό πίνακα αποτελεσμάτων αποτελεί η στήλη, στην οποία δίνονται τα υψόμετρα της επιφάνειας του ύδατος (W.S Elevation) σε κάθε σημείο, ανάλογα το σενάριο ανάλυσης. Με τις συγκεκριμένες τιμές μαζί με τις τιμές των υψομέτρων πυθμένα και οροφής της κύριας σήραγγας του υδραγωγείου δημιουργούνται τα διαγράμματα του Κεφαλαίου 4, από τα οποία προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα (Κεφάλαιο 6). Στον συνολικό πίνακα αποτελεσμάτων δίνονται οι τιμές των κρίσιμων βαθών ροής, η κλίση της και τα υψόμετρα της γραμμής ενέργειας, η ταχύτητα, βρεχόμενη επιφάνεια, το πλάτος ροής και ο αριθμός Froude.

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Ses-5 River: Hadrianeian Aque Reach: 3

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
3	334	PF 3	0.05	211.88	211.99	211.99	212.05	0.014903	1.07	0.05	0.40	1.00
3	334	PF 4	0.05	211.88	211.99	211.99	212.05	0.014903	1.07	0.05	0.40	1.00
3	334	PF 5	0.03	211.88	211.96	211.96	212.00	0.014241	0.90	0.03	0.40	1.00
3	333	PF 1	0.05	211.33	211.44	211.45	211.50	0.016992	1.12	0.04	0.40	1.07
3	333	PF 2	0.01	211.33	211.37	211.37	211.39	0.017353	0.66	0.02	0.40	1.09
3	333	PF 3	0.05	211.33	211.44	211.45	211.50	0.016992	1.12	0.04	0.40	1.07
3	333	PF 4	0.05	211.33	211.44	211.45	211.50	0.016992	1.12	0.04	0.40	1.07
3	333	PF 5	0.03	211.33	211.41	211.41	211.45	0.017755	0.97	0.03	0.40	1.12
3	332	PF 1	0.05	210.74	210.85	210.85	210.91	0.014903	1.07	0.05	0.40	1.00
3	332	PF 2	0.01	210.74	210.78	210.78	210.80	0.014682	0.63	0.02	0.40	1.00
3	332	PF 3	0.05	210.74	210.85	210.85	210.91	0.014903	1.07	0.05	0.40	1.00
3	332	PF 4	0.05	210.74	210.85	210.85	210.91	0.014903	1.07	0.05	0.40	1.00
3	332	PF 5	0.03	210.74	210.82	210.82	210.86	0.014411	0.91	0.03	0.40	1.00
3	331	PF 1	0.05	210.15	210.26	210.26	210.32	0.016959	1.12	0.04	0.40	1.07
3	331	PF 2	0.01	210.15	210.18	210.19	210.21	0.017273	0.66	0.02	0.40	1.08
3	331	PF 3	0.05	210.15	210.26	210.26	210.32	0.016959	1.12	0.04	0.40	1.07
3	331	PF 4	0.05	210.15	210.26	210.26	210.32	0.016959	1.12	0.04	0.40	1.07
3	331	PF 5	0.03	210.15	210.22	210.23	210.27	0.017504	0.97	0.03	0.40	1.11
3	330	PF 1	0.05	209.55	209.65	209.65	209.70	0.015954	1.06	0.05	0.50	1.10
3	330	PF 2	0.01	209.55	209.58	209.59	209.60	0.015023	0.59	0.02	0.50	1.02
3	330	PF 3	0.05	209.55	209.65	209.65	209.70	0.015954	1.06	0.05	0.50	1.10
3	330	PF 4	0.05	209.55	209.65	209.65	209.70	0.015954	1.06	0.05	0.50	1.10
3	330	PF 5	0.03	209.55	209.62	209.62	209.66	0.015373	0.88	0.03	0.50	1.08
3	329	PF 1	0.05	209.03	209.13	209.14	209.20	0.018662	1.16	0.04	0.40	1.13
3	329	PF 2	0.01	209.03	209.06	209.07	209.09	0.016232	0.65	0.02	0.40	1.05
3	329	PF 3	0.05	209.03	209.13	209.14	209.20	0.018662	1.16	0.04	0.40	1.13
3	329	PF 4	0.05	209.03	209.13	209.14	209.20	0.018662	1.16	0.04	0.40	1.13
3	329	PF 5	0.03	209.03	209.11	209.11	209.15	0.015345	0.92	0.03	0.40	1.04
3	328	PF 1	0.05	208.45	208.61	208.56	208.64	0.005662	0.76	0.07	0.40	0.60
3	328	PF 2	0.01	208.45	208.51	208.49	208.52	0.002785	0.36	0.03	0.40	0.44
3	328	PF 3	0.05	208.45	208.61	208.56	208.64	0.005662	0.76	0.07	0.40	0.60
3	328	PF 4	0.05	208.45	208.61	208.56	208.64	0.005662	0.76	0.07	0.40	0.60
3	328	PF 5	0.03	208.45	208.58	208.53	208.60	0.003374	0.55	0.05	0.40	0.47

Εικόνα 3.6: Συνολικός πίνακας αποτελεσμάτων από HEC-RAS

Αριθμός Froude

Με τον αδιάστατο αριθμό Froude (F) μπορεί να χαρακτηριστεί η ροή, από δυναμική άποψη, καθώς συγκρίνει τις δυνάμεις αδράνειας προς τις δυνάμεις βαρύτητας.

- Όταν $F > 1$, η ροή καλείται υπερκρίσιμη και οι ταχύτητες ροής είναι μεγάλες (λόγω μεγάλων κλίσεων του πυθμένα).
- Όταν $F < 1$, η ροή καλείται υποκρίσιμη, οι ταχύτητες ροής είναι μικρές και τα βάθη ροής μεγάλα.
- Όταν $F = 1$, η ροή χαρακτηρίζεται ως κρίσιμη ροή.

Η μετάβαση από υποκρίσιμη σε υπερκρίσιμη πραγματοποιείται με σταδιακή μείωση του βάθους ροής και αντίστοιχη πτώση της ελεύθερης επιφάνειας. Αντίθετα, η μετάβαση από υπερκρίσιμη ροή σε υποκρίσιμη γίνεται απότομα, δημιουργώντας υδραυλικό άλμα. Το βάθος ροής αυξάνεται απότομα με τη μορφή άλματος με έντονους στροβιλισμούς και σημαντικές (τοπικές) απώλειες ενέργειας.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα αριθμητικών αναλύσεων

Μετά τη μεταφορά των προφίλ του Αδριάνειου υδραγωγείου στο HEC-RAS πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές αναλύσεις, σε ότι αφορά την παροχή του, σε δύο τοπολογίες. Η πρώτη χωρίς το τμήμα του υδραγωγείου, που ξεκινά από τον Άγιο Δημήτριο στους Αμπελοκήπους και καταλήγει στη Δεξαμενή, στη περιοχή του Κολωνακίου, και η δεύτερη συμπεριλαμβανομένου του τμήματος Αγίου Δημητρίου – Δεξαμενή. Σημειώνεται πως παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων με σταθερό συντελεστή Manning $n=0.02$.

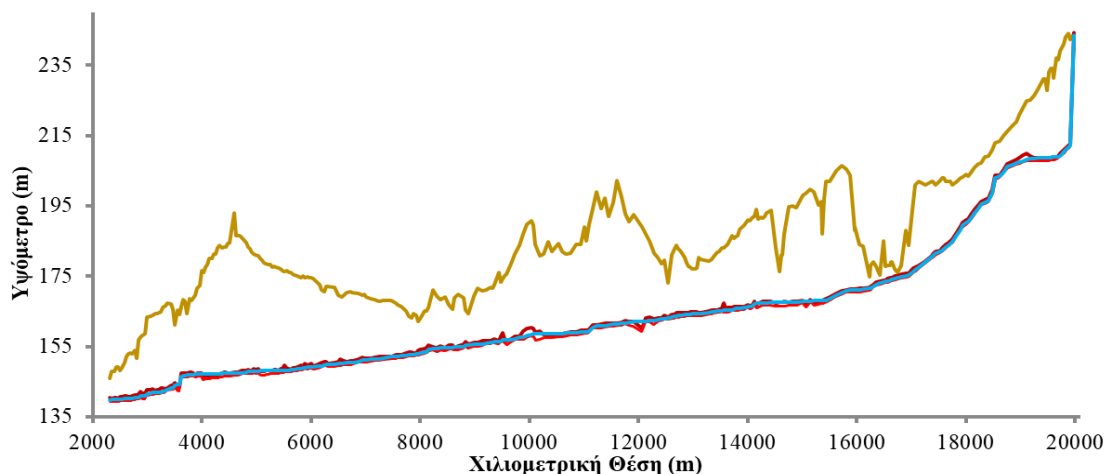
4.1 Τοπολογία 1: Χωρίς το τμήμα Αγ. Δημητρίου - Δεξαμενή

Οι πρώτες αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με σταθερή διατομή σε όλο το μήκος του υδραγωγείου διαστάσεων πλάτους/ύψους 0.50 m/1.20 m και περιορίστηκαν σε σταθερές κατά μήκος παροχές. Οι επόμενες αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τις τελικές διαστάσεις διατομών, που επιλέχθηκαν κατά την μοντελοποίηση και αφορούσαν τόσο σταθερές παροχές κατά μήκος όσο και διαφορετικές παροχές σε σημεία του υδραγωγείου. Με το πέρας των αναλύσεων παρατηρήθηκαν κάποιες «προβληματικές περιοχές» στις οποίες το υδραγωγείο λειτουργούσε υπό πίεση, έτσι αποφασίστηκε οι περιοχές αυτές να ομαδοποιηθούν σε εκτενή τμήματα. Δημιουργήθηκαν τέσσερις στο σύνολο περιοχές που αριθμήθηκαν και η υδραυλική τους κατάσταση παρουσιάζεται στη συνέχεια μέσω διαγραμμάτων, που αποτελούνται από την μηκοτομή των τμημάτων αντίστοιχα και το υψόμετρο της επιφάνειας του νερού για διάφορες τιμές της παροχής. Επιπρόσθετα, εκτός από τα διαγράμματα στάθμης νερού – παροχής, παρουσιάζονται και διαγράμματα

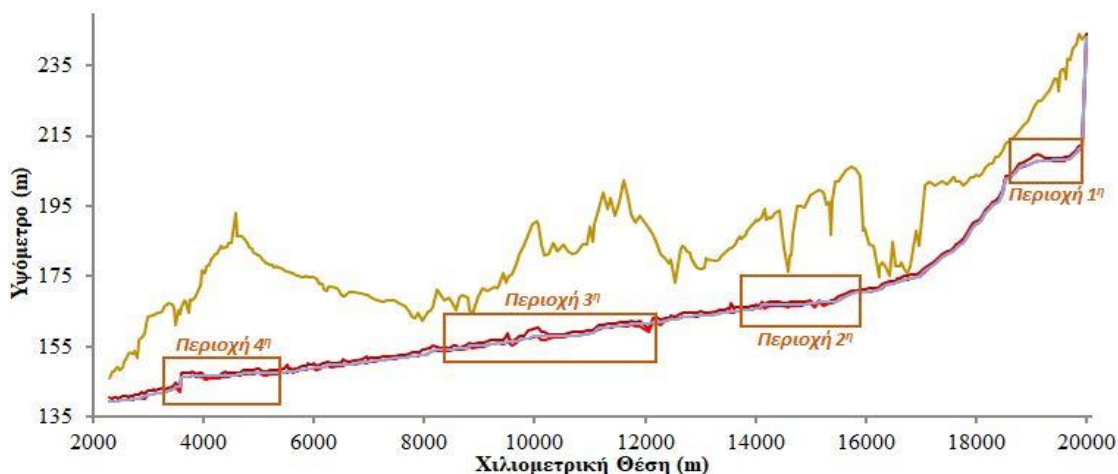
κατανομής ταχύτητας και αριθμού Froude, επιλεκτικά για τα δυσμενέστερα σενάρια αναλύσεων.

4.1.1 Σταθερή παροχή κατά μήκος του υδραγωγείου

Αρχικά, παρουσιάζεται συνολικά η απόκριση του υδραγωγείου, για το τμήμα από την κεκλιμένη σήραγγα στο Ολυμπιακό Χωριό έως το φρέαρ με αρίθμηση 1 στον Άγιο Δημήτριο Αμπελοκήπων, στη μέγιστη μέση τιμή παροχής ίση με 150 L/s. Η επιλογή της συγκεκριμένης τιμής επεξηγείται αναλυτικότερα στην Εισαγωγή της παρούσας διπλωματικής. Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η μηκοτομή του παραπάνω τμήματος υδραγωγείου καθώς και η στάθμη ύδατος για σταθερή παροχή 150 L/s κατά μήκος του. Παρατηρώντας το σχήμα διακρίνονται οι τέσσερις «προβληματικές περιοχές του υδραγωγείου. Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η απόκριση του παραπάνω τμήματος του υδραγωγείου υποβαλλόμενη σε παροχή 10 L/s, αλλά και η σημείωση των τεσσάρων περιοχών στις οποίες το υδραγωγείο λειτουργεί υπό πίεση.



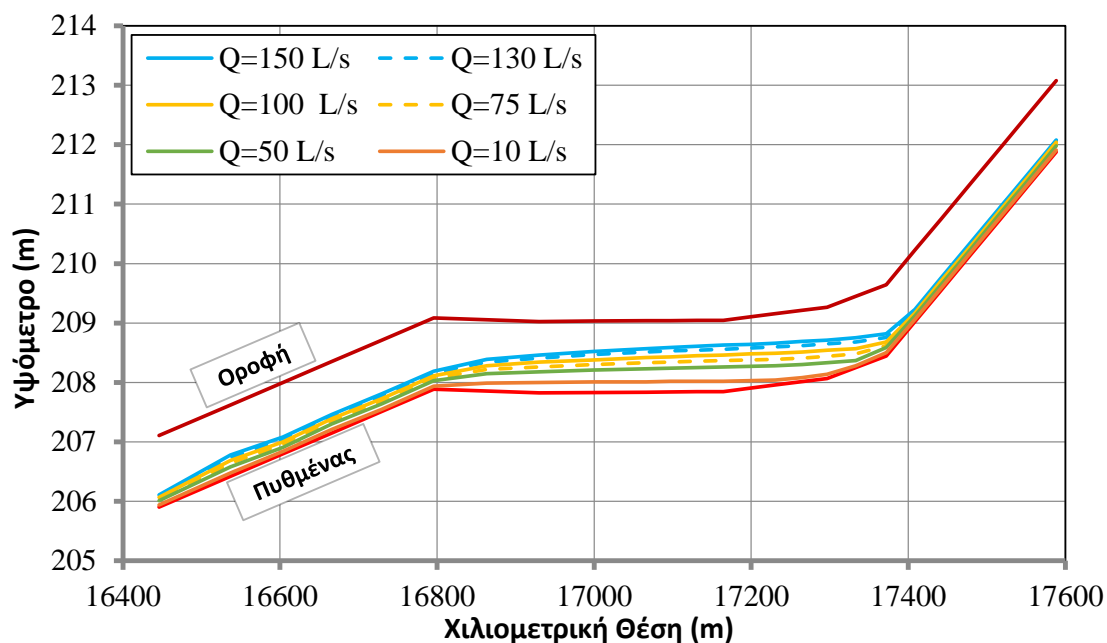
Σχήμα 4.1: Σταθερή παροχή 150 L/s – «Τοπολογία 1»



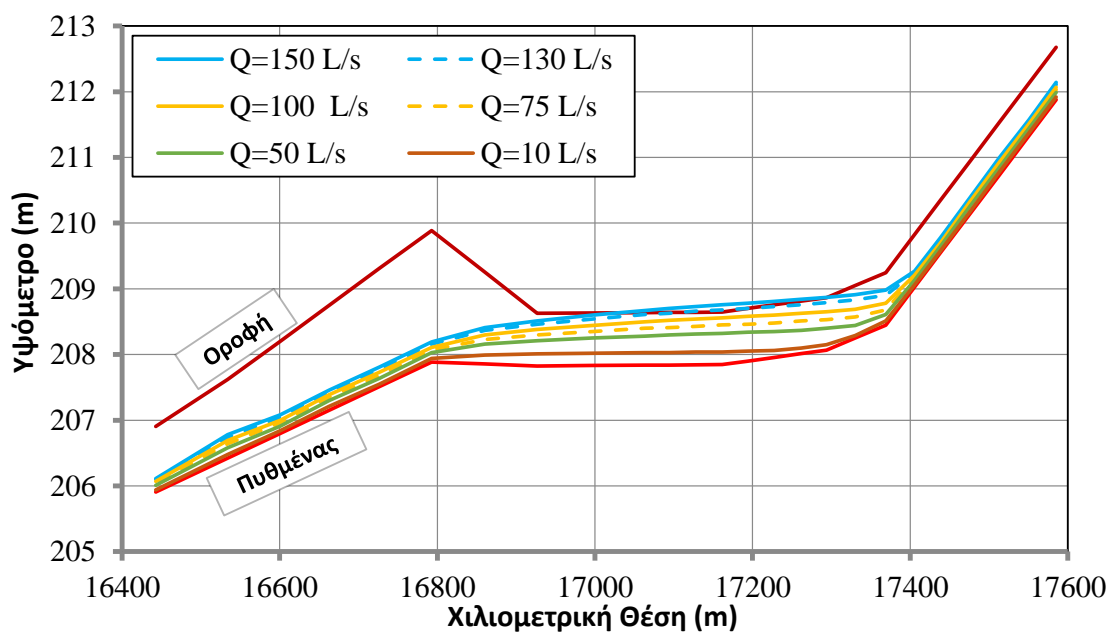
Σχήμα 4.2: Σταθερή παροχή 10 L/s – «Τοπολογία 1»

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα για την υδραυλική κατάσταση του υδραγωγείου στις «προβληματικές» περιοχές, δηλαδή στα τμήματα του υδραγωγείου, στα οποία λειτουργούσε υπό πίεση. Οι επιλεγείσες παροχές είναι 150, 130, 100, 75, 50 και 10 L/s, σταθερές κατά μήκος του υδραγωγείου.

Η 1^η Περιοχή εκτείνεται μεταξύ του πηγαδιού με αρίθμηση 299 και του πηγαδιού με αρίθμηση 275. Στη περίπτωση της σταθερής διατομής κατά μήκος του υδραγωγείου (Σχήμα 4.3) φαίνεται πως το υδραγωγείο δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα σε αντίθεση με τη περίπτωση που στη μοντελοποίηση χρησιμοποιήθηκαν οι «πραγματικές» διατομές (Σχήμα 4.4) που φαίνεται πως στις περιπτώσεις των 150 L/s και 130 L/s στο τμήμα του υδραγωγείου, όπου μειώνεται το ύψος του, η κατασκευή λειτουργεί υπό πίεση. Η λειτουργία του υδραγωγείου υπό πίεση, όταν το υδραγωγείο προσομοιώνεται με τις «πραγματικές» διατομές, στην 1^η Περιοχή, πιθανόν να συνεπάγεται πως η θεώρηση για τιμές παροχής μεγαλύτερες των 130 L/s δεν είναι εύλογη, καθώς όπως έχει προαναφερθεί στο Κεφάλαιο 1, το Αδριάνειο υδραγωγείο λειτουργούσε κυρίως υδρομαστεύοντας τα υπόγεια στρώματα, τα οποία διαπερνά. Έτσι, όσο προχωράει το υδραγωγείο τόσο μεγαλύτερη παροχή μπορεί να αναλάβει, άρα λογικό είναι στην αρχή του να αποκρίνεται καλύτερα σε μικρότερες παροχές των 130 L/s.

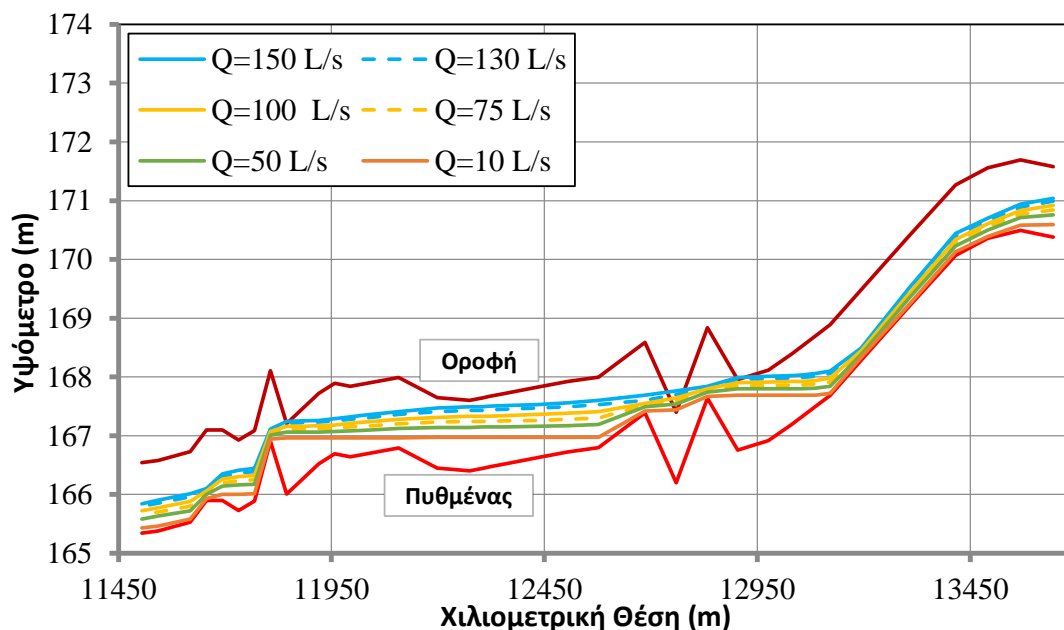


Σχήμα 4.3: Περιοχή 1 – Διατομή 0.50 m /1.20 m



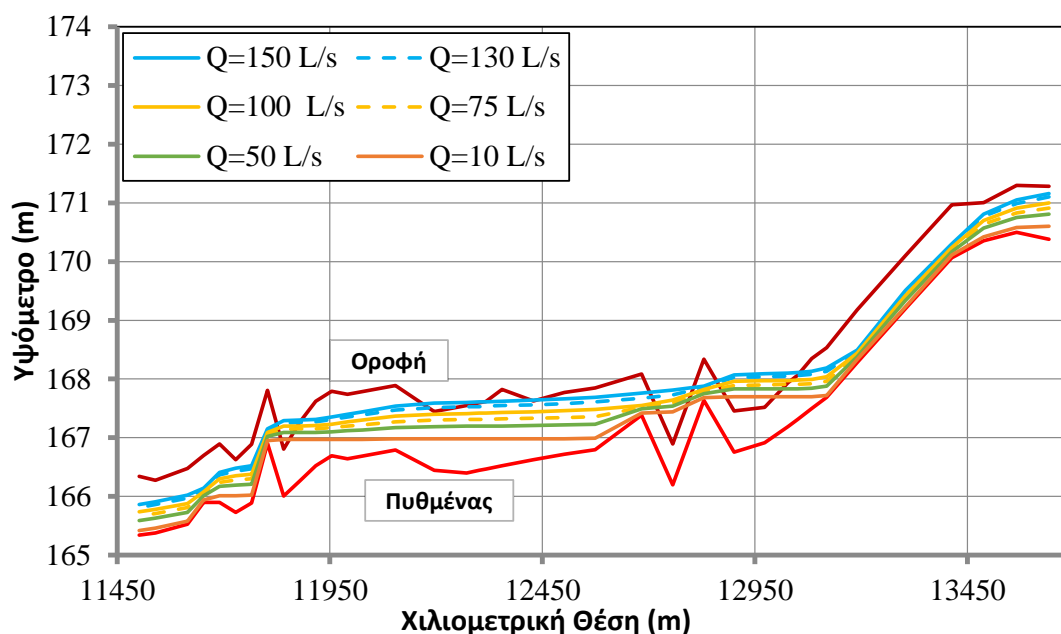
Σχήμα 4.4: Περιοχή 1 – «Πραγματικές» Διατομές

Η συμπεριφορά της «Περιοχή 2» στις διάφορες τιμές παροχών με σταθερή διατομή κατά μήκος του υδραγωγείου, καθώς και στη περίπτωση των διαφορετικών διατομών που επιλέχθηκαν κατά τη μοντελοποίηση φαίνεται στο Σχήμα 4.5 και στο Σχήμα 4.6 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.5: Περιοχή 2 – Διατομή 0.50 m /1.20 m

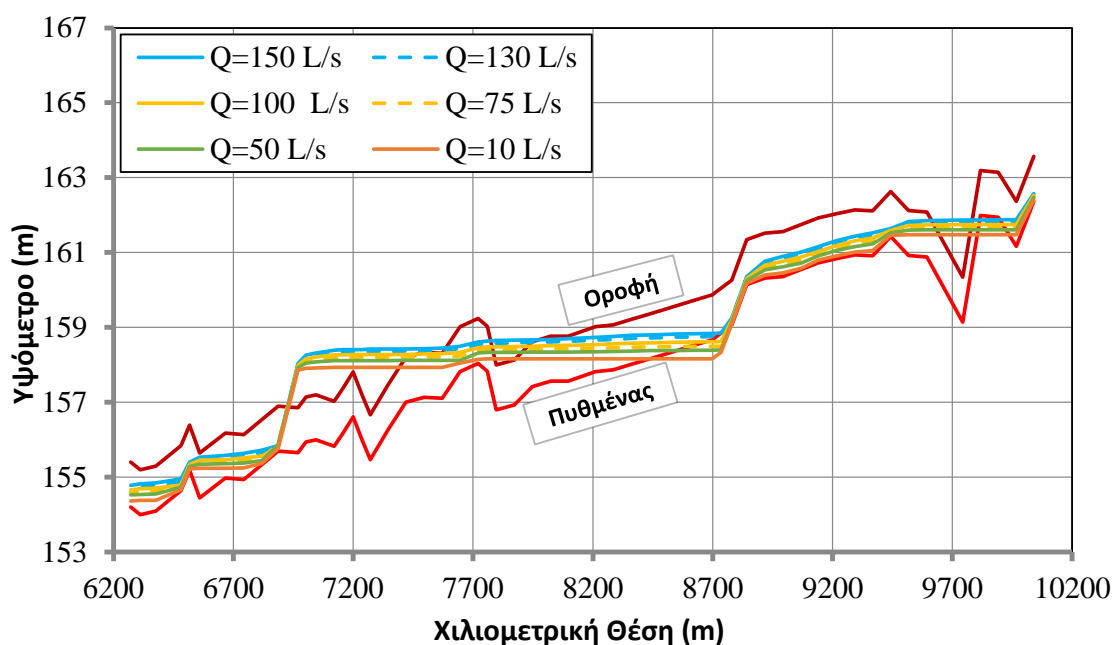
Η 2^η Περιοχή αποτελεί τμήμα του Αδριάνειου υδραγωγείου με απότομες αλλαγές στις επιμέρους κλίσεις που δημιουργούν πρόβλημα ακόμη και σε ροή 10 L/s. Η συγκεκριμένη εικόνα δεν είναι εύλογη και οδηγεί στο συμπέρασμα πως η μορφολογία των δύο τμημάτων, όπου το υδραγωγείο λειτουργεί υπό πίεση, ήταν διαφορετική στο αρχαίο υδραγωγείο και πιθανότατα συνέβη σφάλμα στη τοπογράφιση ή στην διαδικασία ένωσης των μηκοτομών.



Σχήμα 4.6: Περιοχή 2 – «Πραγματικές» Διατομές

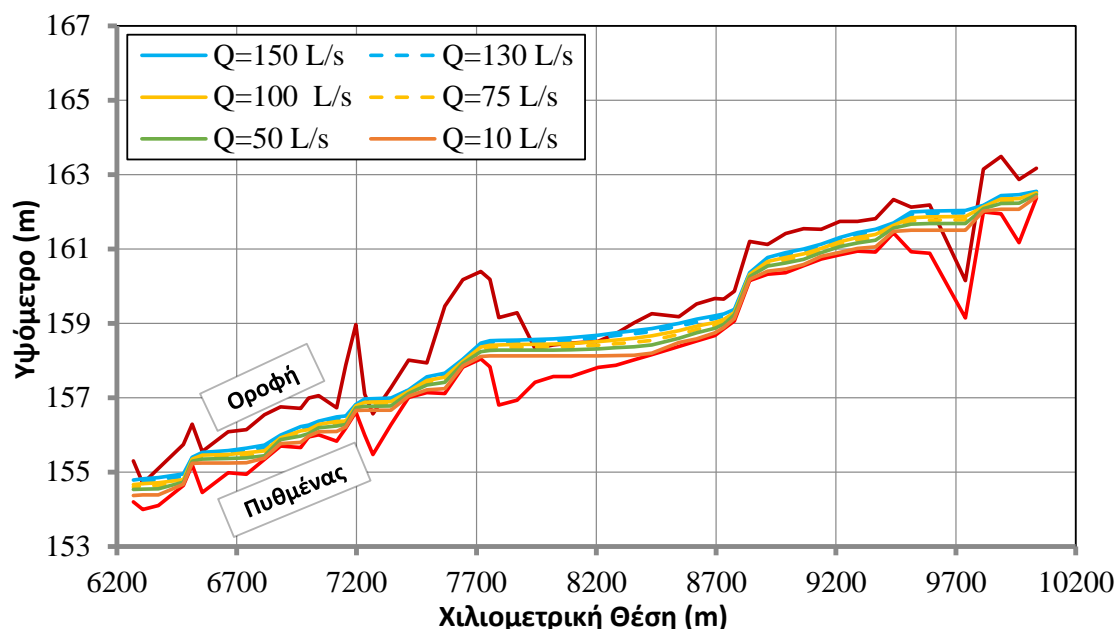
Η επιδείνωση της εικόνας της υδραυλικής κατάστασης στη 2^η Περιοχή, ανάμεσα στη περίπτωση σταθερής διατομής και στη περίπτωση των «πραγματικών» διατομών, υποδηλώνει πως η αλλαγή της διατομής επηρεάζει την υδραυλική απόκριση του υδραγωγείου

Στη «Περιοχή 3», η υδραυλική απόκριση της οποίας φαίνεται στο Σχήμα 4.7 και στο Σχήμα 4.8, για τη περίπτωση της σταθερής διατομής πλάτους 0.50 m και ύψους 1.20 m και τη περίπτωση της μοντελοποίησης του υδραγωγείου με τις επιλεγείσες τιμές πλάτους και ύψους διατομών. Στα σχήματα διακρίνονται τρεις επιμέρους περιοχές στις οποίες το υδραγωγείο λειτουργεί υπό πίεση, που διακρίνονται με μεγαλύτερη ευκρίνεια στο σχήμα με τις «πραγματικές» διατομές. Όπως και στο προηγούμενο τμήμα («Περιοχή 2»), και η 3^η Περιοχή χαρακτηρίζεται από τμήματα μεταξύ των πηγαδιών με απότομες αλλαγές κλίσεων, με συνηθέστερη εικόνα την απότομη αρνητική κλίση να ακολουθεί την απότομη θετική, γεγονός που δυσχεραίνει την πορεία του νερού. Ως συνέπεια των παραπάνω, στη συγκεκριμένη περιοχή επαναλαμβάνεται η εικόνα: να υπάρχουν τμήματα της περιοχής, όπου ούτε η ελάχιστη παροχή των 10 L/s να μπορεί να διασχίσει το υδραγωγείο.



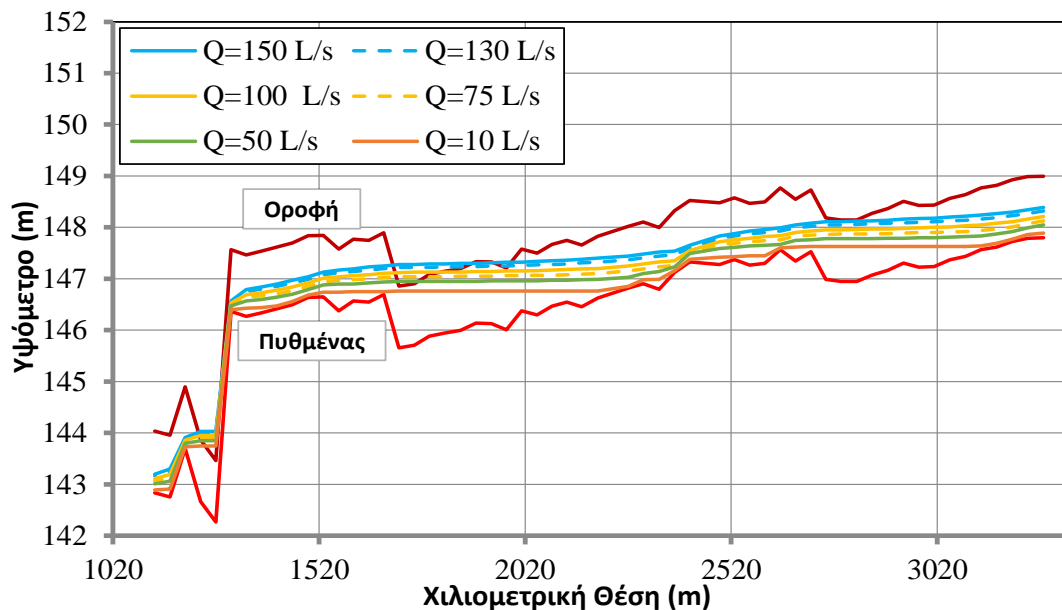
Σχήμα 4.7: Περιοχή 3 – Διατομή 0.50 m/1.20 m

Στη «Περιοχή 3», σε αντίθεση με την 2^η Περιοχή, η αλλαγή των διατομών από σταθερή κατά μήκος του υδραγωγείου σε διαφορετικές, σε διαστάσεις, για κάθε τμήμα μεταξύ δύο πηγαδιών, βελτιώνει την απόκριση του υδραγωγείου στις ποίκιλες τιμές σταθερής παροχής κατά μήκος του Αδριάνειου υδραγωγείου.

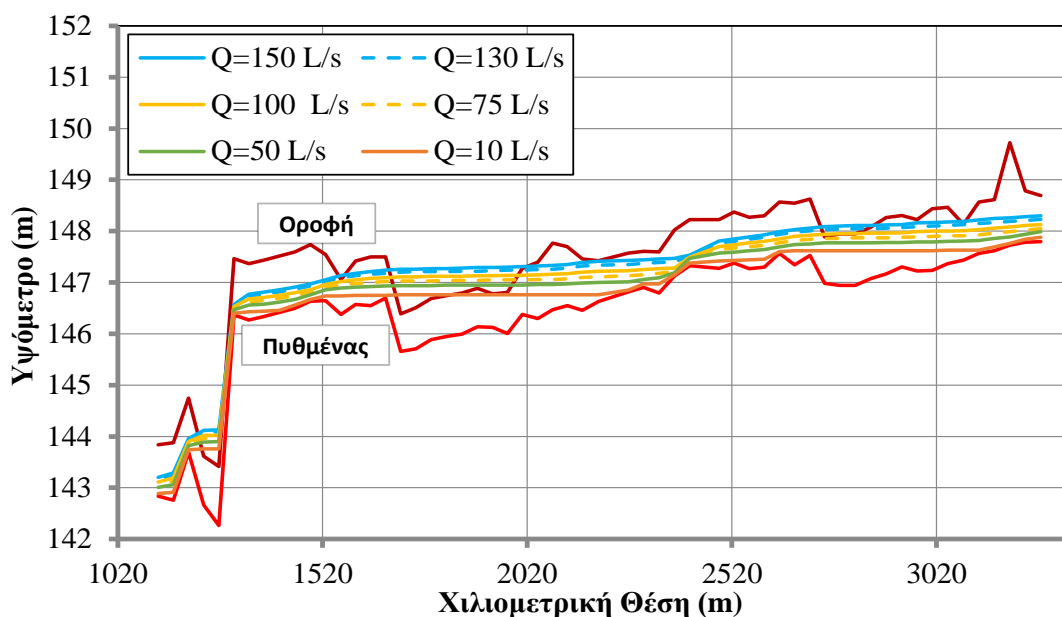


Σχήμα 4.8: Περιοχή 3 – «Πραγματικές» διατομές

Το τελευταίο τμήμα του υδραγωγείου που ομαδοποιήθηκε λόγω της προβληματικής απόκρισης του στη πορεία του νερού αποτελεί η «Περιοχή 4», η οποία εκτείνεται από το πηγάδι με αρίθμηση 65 έως το πηγάδι με αρίθμηση 22D. Η συμπεριφορά της στις διάφορες τιμές σταθερών παροχών κατά μήκος του Υδραγωγείου φαίνεται στο Σχήμα 4.9 και στο Σχήμα 4.10. Αντίθετα με την «Περιοχή 3», και ομοίως με την «Περιοχή 2», στη «Περιοχή 4» παρατηρείται πως η απόκριση του τμήματος στις διαφορετικές σταθερές κατά μήκος του υδραγωγείου παροχές, όταν μοντελοποιείται με τις «πραγματικές» διαστάσεις διατομών, έχει χειρότερη εικόνα, σε σχέση με την απόκριση του υδραγωγείου με σταθερή διατομή, πλάτους 0.50 m και ύψους 1.20 m, κατά μήκος του υδραγωγείου. Όπως και στις προηγούμενες δύο περιοχές, η υδραυλική εικόνα του τμήματος αποδίδεται στις απότομες κλίσεις που εναλλάσσουν πρόσημο.



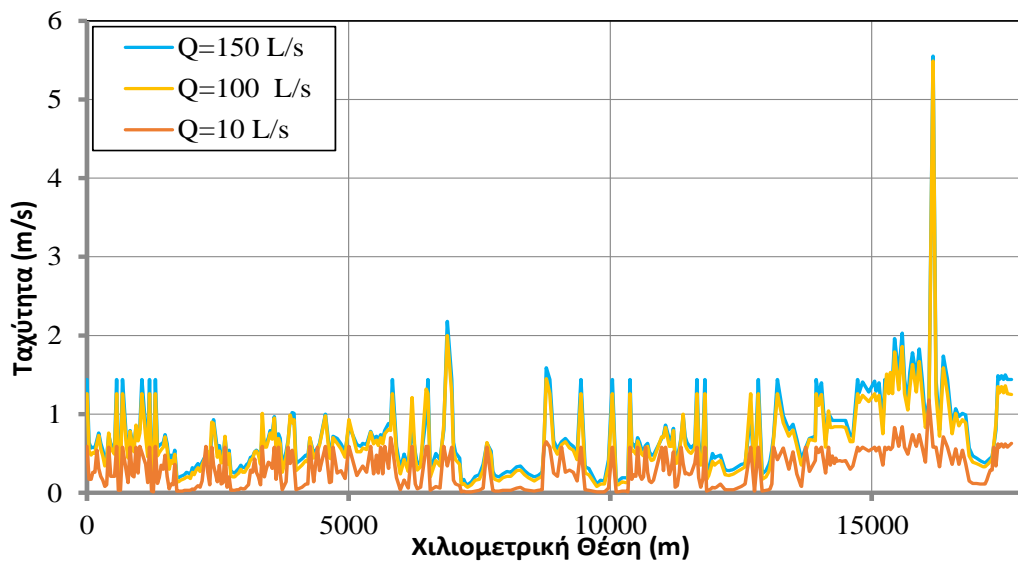
Σχήμα 4.9: Περιοχή 4 – Διατομή 0.50 m/1.20 m



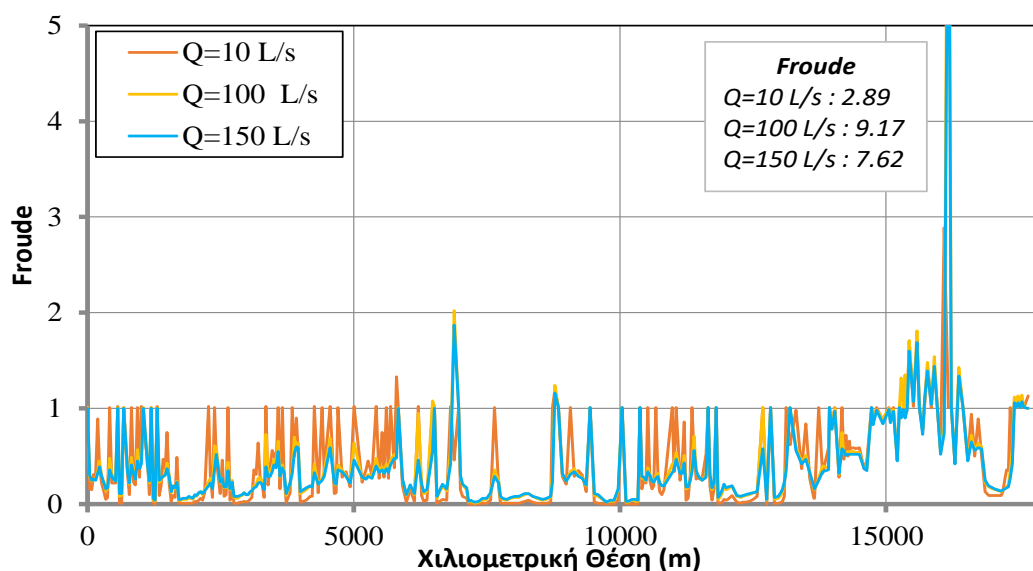
Σχήμα 4.10: Περιοχή 4 – «Πραγματικές» διατομές

Στο Σχήμα 4.11 παρουσιάζονται οι ταχύτητες του Αδριανείου, χωρίς το τμήμα του υδραγωγείου, Άγιος Δημήτριος Αμπελοκήπων – Δεξαμενή Κολωνακίου, κατά την ενιαία μοντελοποίηση με σταθερή διατομή πλάτους 0.50 m και ύψους 1.20 m, και όταν αυτό υποβάλλεται σε σταθερή παροχή κατά μήκος του σε τιμή Q=150, 100 και 10 L/s αντίστοιχα. Η μορφολογία της μηκοτομής του Αδριανείου, με τις έντονες αλλαγές κλίσεων, από αρνητική σε θετική και αντίθετα, εξηγεί την εικόνα των

ταχυτήτων του σχήματος. Οι ταχύτητες, εύλογα, για παροχή $Q=10$ L/s κυμαίνονται από 0.10 m/s σε 0.50 m/s, εκτός του τμήματος περί του πηγαδιού με αρίθμηση 271, που λόγω της απότομης κατωφέρειας η ταχύτητα υπερδιπλασιάζεται. Σε ότι αφορά τις παροχές $Q=100$ L/s και $Q=150$ L/s, η εικόνα των ταχυτήτων στο υδραγωγείο είναι παρόμοια, σε διπλάσια όμως, κλίμακα μεγέθους σε σχέση με αυτή των ταχυτήτων $Q=10$ L/s.

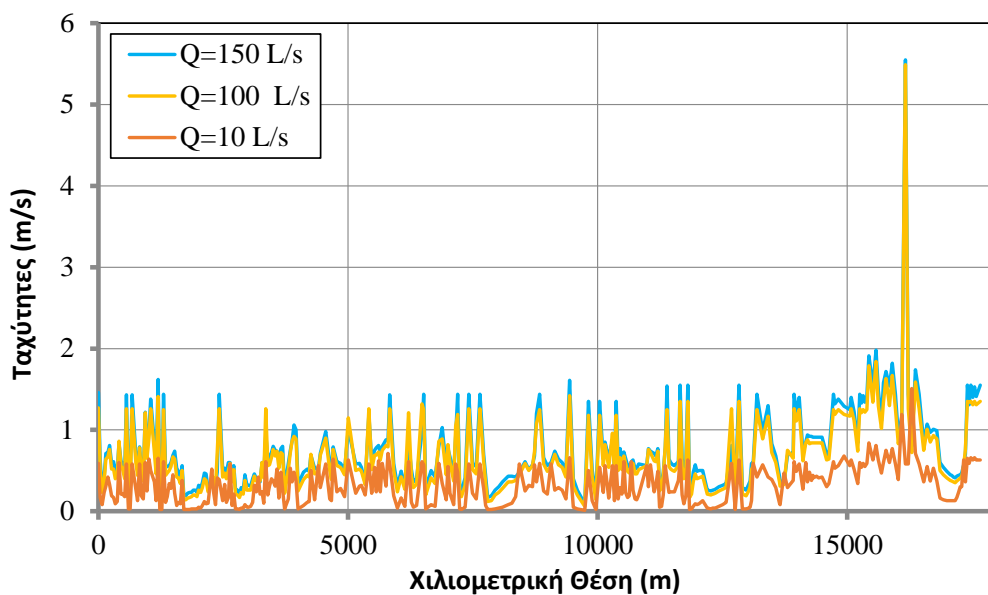


Σχήμα 4.11: Ταχύτητες-Τοπολογία 1-Διατομή 0.50 m/1.20 m-σταθερό Q

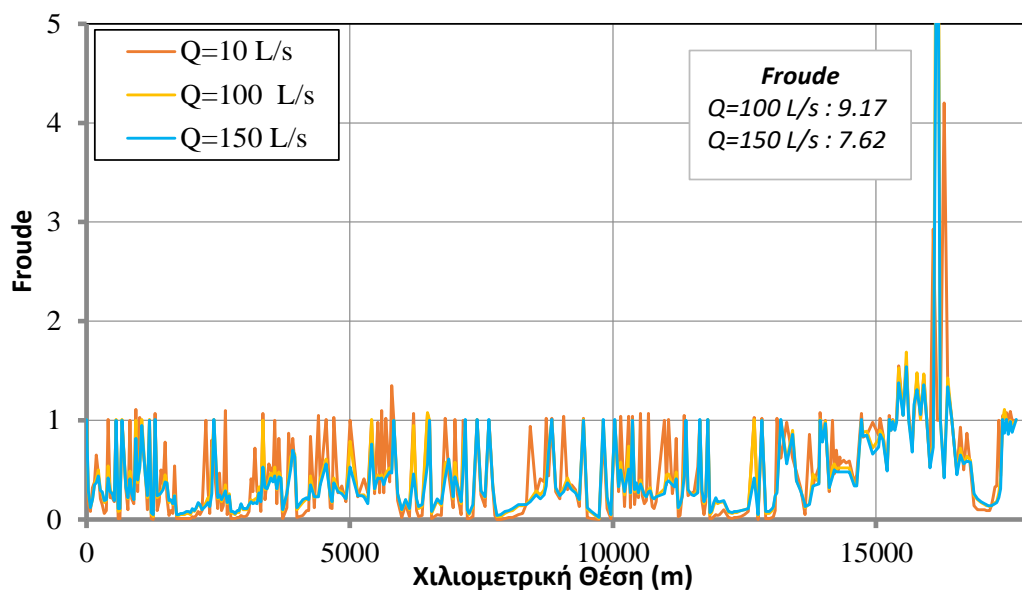


Σχήμα 4.12: Αριθμός Froude-Τοπολογία 1-Διατομή 0.50 m/1.20 m-σταθερό Q

Στο Σχήμα 4.12 φαίνεται πως μεταβάλλεται ο αριθμός Froude κατά μήκος του Αδριανείου υδραγωγείου, όταν αυτό υποβάλλεται σε σταθερή κατά μήκος παροχή με τιμή $Q=10$, 100 και 150 L/s αντίστοιχα. Συμπεραίνεται ότι στο υδραγωγείο επικρατεί κυρίως, υποκρίσιμη ροή ($F < 1$). Υπερκρίσιμη ροή εμφανίζεται στα τρία τμήματα του υδραγωγείου: πηγάδι 110 – πηγάδι 126, πηγάδι 154 – πηγάδι 157 και πηγάδι 256 – πηγάδι 275.



Σχήμα 4.13: Ταχύτητες-Τοπολογία 1-«πραγματικές» διατομές-σταθερό Q



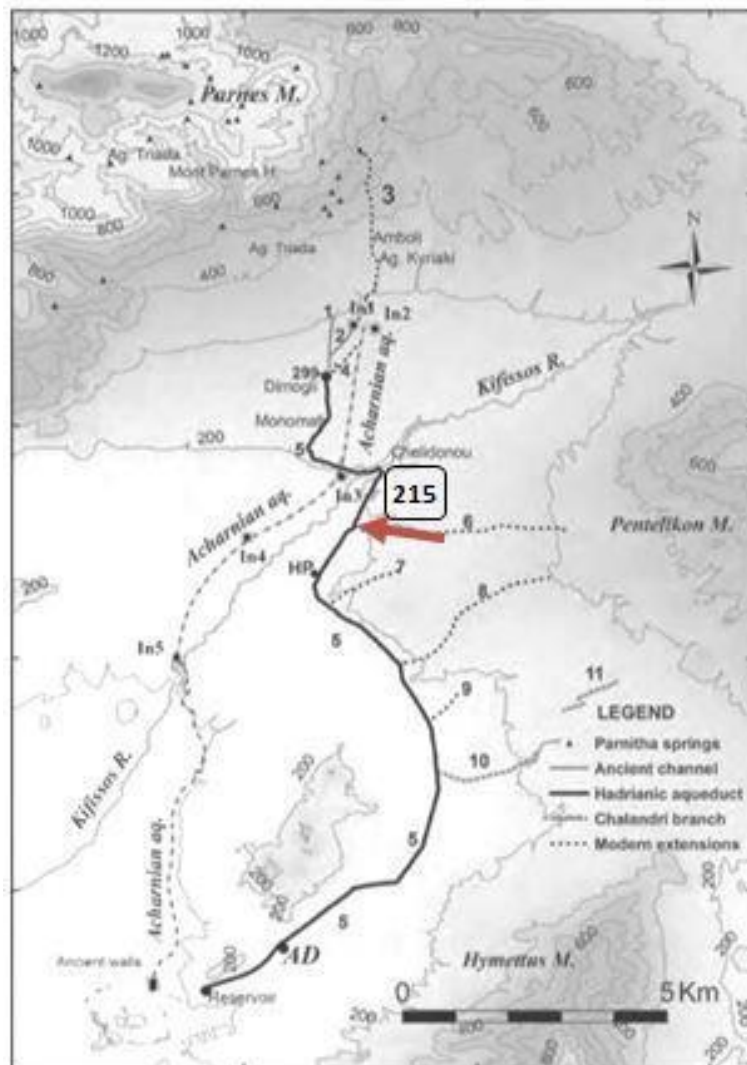
Σχήμα 4.14: Αριθμός Froude-Τοπολογία 1-«πραγματικές» διατομές-σταθερό Q

Στο Σχήμα 4.13 και στο Σχήμα 4.16 παρουσιάζονται οι ταχύτητες κατά μήκος του Αδριανείου υδραγωγείου και η κατανομή του αριθμού Froude, κατά μήκος αυτού, για την περίπτωση που το Αδριάνειο υδραγωγείο μοντελοποιείται με διαφορετικές διατομές, τις αποκαλούμενες «πραγματικές» διατομές, για κάθε τμήμα του, η επιλογή των διαστάσεων των οποίων περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Ο σχολιασμός της εικόνας των ταχυτήτων, που αναπτύσσονται στο υδραγωγείο είναι παρόμοιος με αυτόν, της μοντελοποίησης του Αδριανείου με σταθερή διατομή (0.50 m/1.20 m). Ενώ, για τον αριθμό Froude μπορεί να σχολιαστεί πως η ροή, στη περίπτωση της μοντελοποίησης με τις «πραγματικές» διατομές, είναι σχεδόν πάντα υποκρίσιμη, εκτός του τμήματος υδραγωγείου που εκτείνεται από το πηγάδι 260 έως το πηγάδι 275, για ρεαλιστικές για το τμήμα τιμές παροχής. Σημειώνεται πως η μορφολογία της μηκοτομής στο παραπάνω τμήμα, με απότομη κατωφέρεια εξηγεί τις μεγάλες τιμές ταχυτήτων και το μεγάλο αριθμό Froude, που συνεπάγεται χειμαρρώδη ροή.

4.1.2 Διαφορετικές παροχές κατά μήκος του υδραγωγείου

Η ανάλυση περιορίστηκε στο μοντέλο του υδραγωγείου με τις «πραγματικές» διατομές κατά μήκος του υδραγωγείου. Στη συγκεκριμένη ανάλυση επιλέχθηκε, ως σημείο του Αδριανείου υδραγωγείου στο οποίο θα υπήρχε παράπλευρη εισροή νερού, το πηγάδι με αρίθμηση 215 στην περιοχή του Κοκκιναρά (Εικόνα 4.1). Η τιμή της παροχής εισροής ποικίλει. Στη πρώτη σειρά αναλύσεων περιορίστηκε στη τιμή των 150 L/s στο σύνολο της παροχής μετά το σημείο εισροής. Ενώ στη δεύτερη σειρά αναλύσεων περιορίστηκε στη τιμή των 50 L/s σε ότι αφορά την αρχική τιμή της παροχής μέχρι το πηγάδι 215. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε πως το υδραγωγείο λειτουργούσε υπό πίεση στις ίδιες περιοχές, όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις (4.1.1), έτσι αποφασίστηκε να δημιουργηθούν τα διαγράμματα στάθμης – παροχής, αλλά και διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων και αριθμού Froude, που θα παρουσιάζουν την υδραυλική συμπεριφορά του υδραγωγείου, στις τέσσερις περιοχές που αναλύθηκαν προηγουμένως.

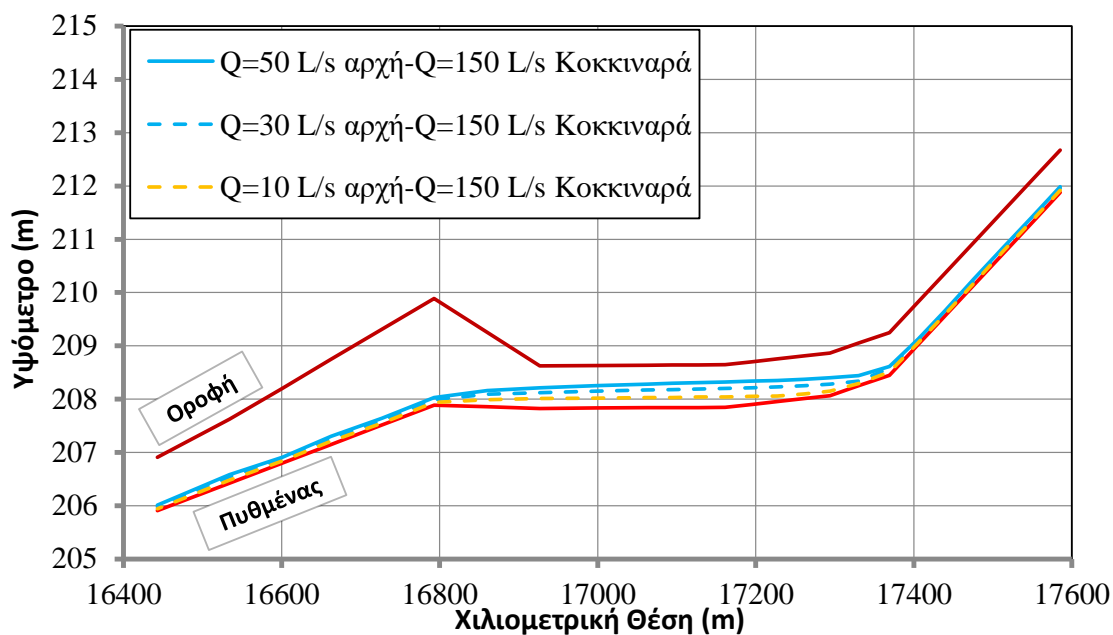
Εισροή από Κοκκιναρά



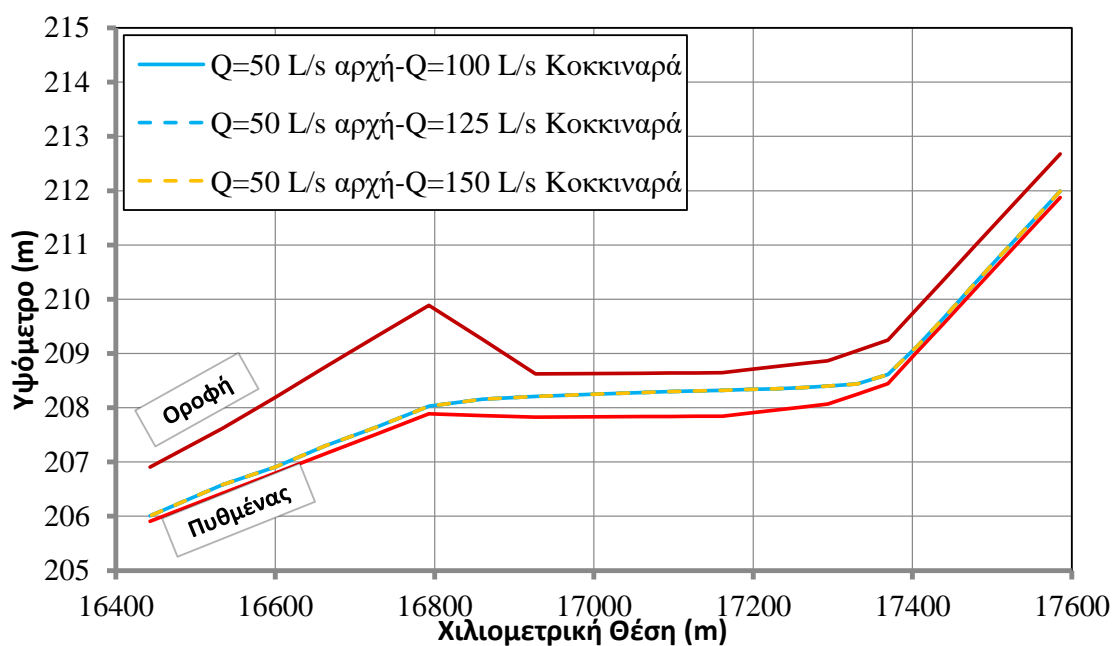
Εικόνα 4.1: Σημείο παράπλευρης εισροής στον Κοκκιναρά

Κοκκιναρας: Τη περίοδο 1928 – 1932, η ULEN συνέδεσε το συγκεκριμένο βοηθητικό υδραγωγείο με το Αδριάνειο για να επαυξήσει την παροχή του υδραγωγείου.

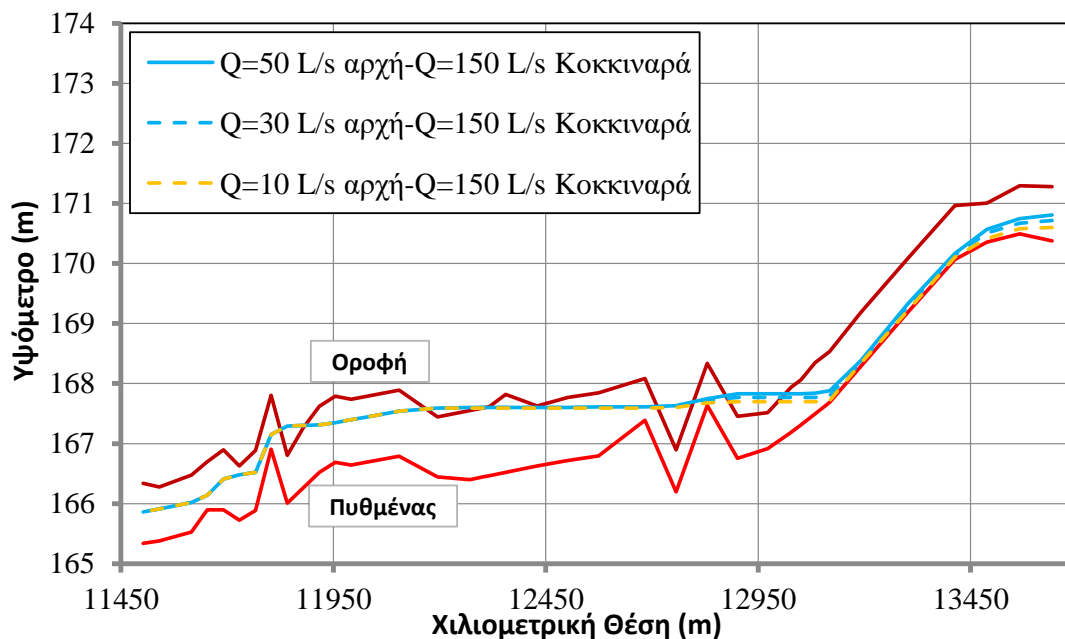
Στη «Περιοχή 1» (299-275) δεν παρατηρήθηκε πρόβλημα, σε αντίθεση με τις προηγούμενες αναλύσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.15 και στο Σχήμα 4.16. Η συγκεκριμένη εικόνα δικαιολογείται, καθώς το τμήμα του υδραγωγείου βρίσκεται ανάντη του πηγαδιού 215, στη περιοχή του Κοκκιναρά, όπου γίνεται η μεγάλη εισροή νερού.



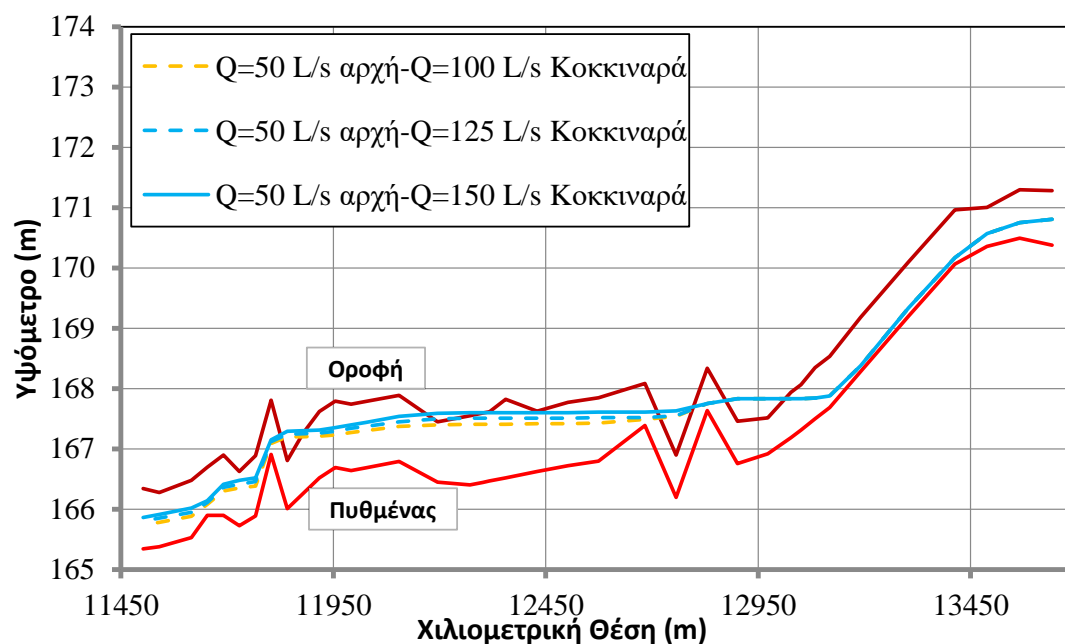
Σχήμα 4.15: Περιοχή 1 – Q=150 L/s κατάντη του Κοκκιναρά



Σχήμα 4.16: Περιοχή 1 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά



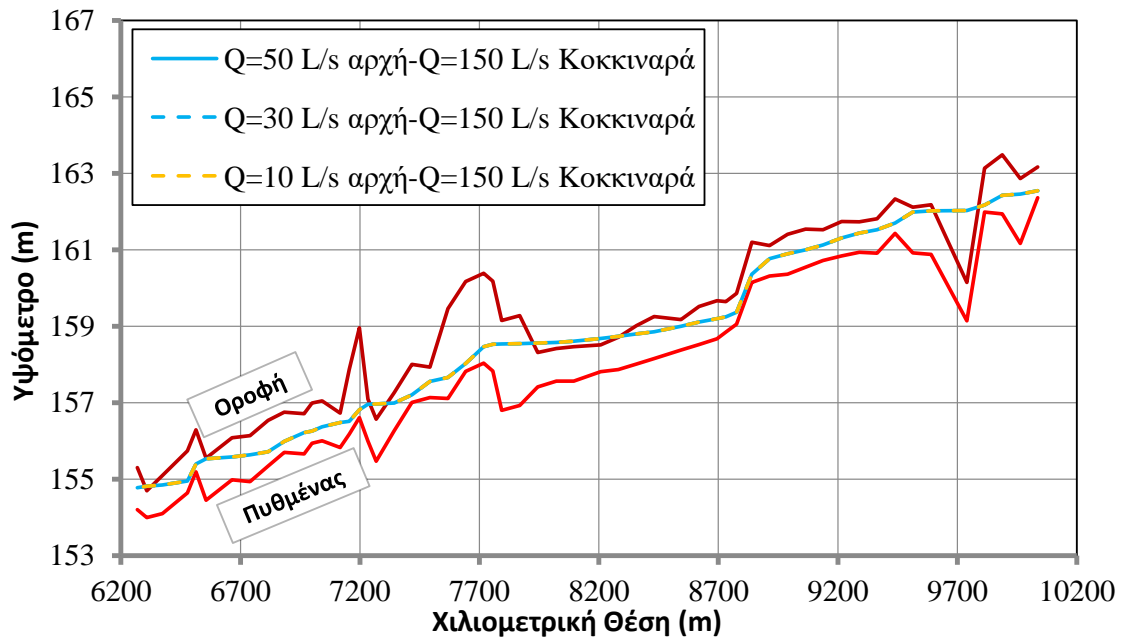
Σχήμα 4.17: Περιοχή 2 – $Q=150$ L/s κατάντη του Κοκκιναρά



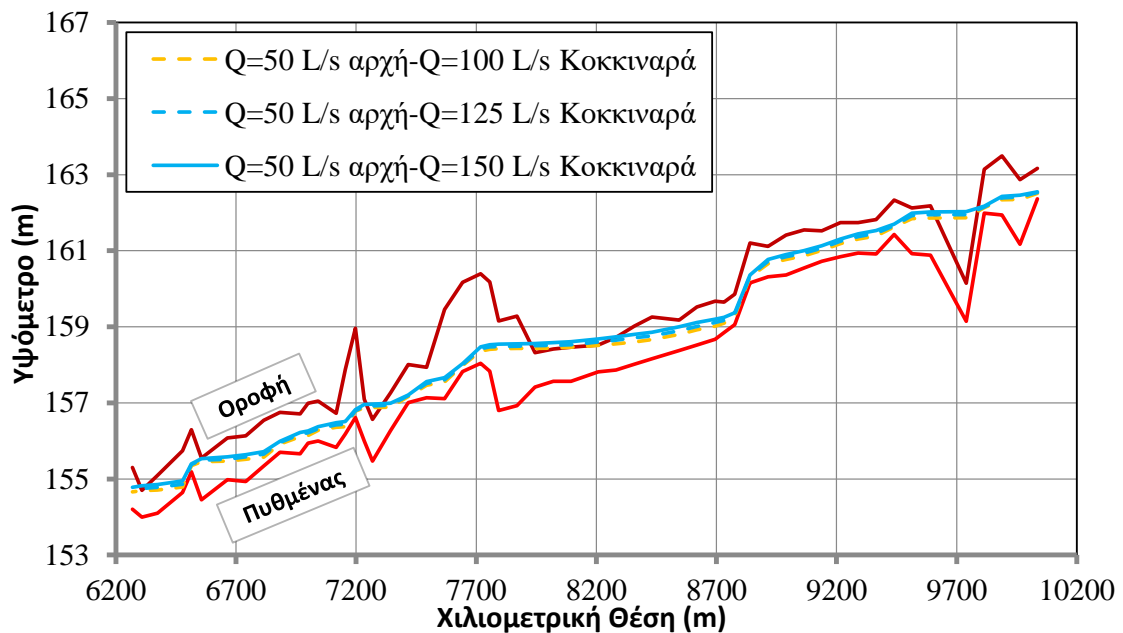
Σχήμα 4.18: Περιοχή 2 – $Q=50$ L/s ανάντη του Κοκκιναρά

Το πηγάδι της τελικής μηκοτομής με αρίθμηση 215, στο οποίο γίνεται η εισροή νερού από το παράπλευρο βοηθητικό υδραγωγείου από τον Κοκκιναρά Αττικής, βρίσκεται στη χιλιομετρική θέση 12195 m, με αρχή το πηγάδι με αρίθμηση 1 στον Άγιο Δημήτριο στους Αμπελοκήπους. Αν συγκριθεί η εικόνα του τμήματος στο Σχήμα 4.6, όπου φαίνεται η απόκριση του υδραγωγείου σε διαφορετικές τιμές σταθερής κατά

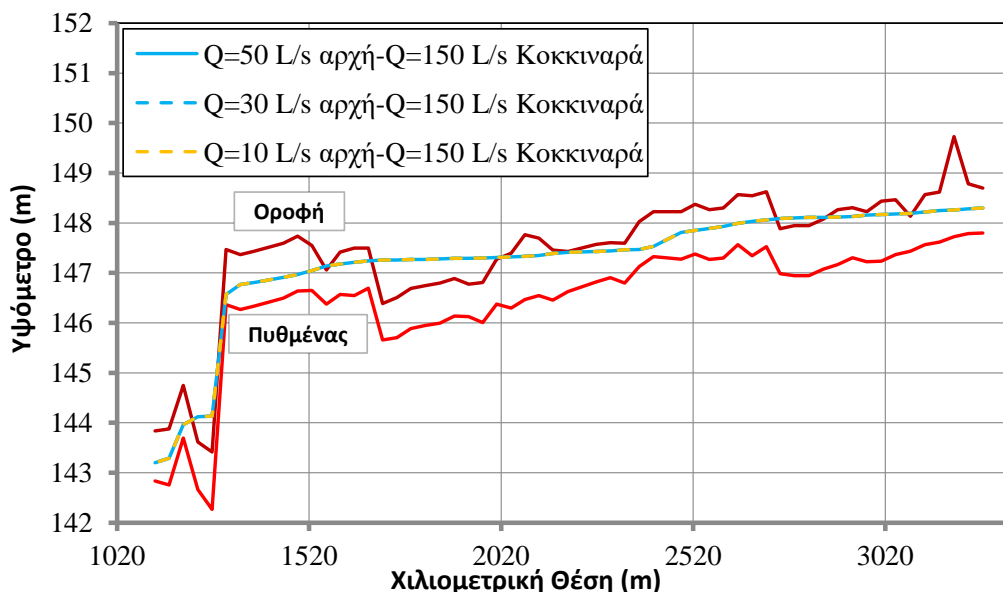
μήκος παροχή, με το τμήμα της 2^{ης} Περιοχής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.18, η εικόνα της υδραυλικής κατάστασης του υδραγωγείου μετά το πηγάδι 215 είναι ίδια. Επιπλέον η εικόνα του υδραγωγείου μετά το πηγάδι, στο οποίο γίνεται η παράπλευρη εισροή, στο Σχήμα 4.17 είναι ταυτόσημη με την εικόνα του συγκεκριμένου τμήματος για σταθερή παροχή κατά μήκος του Αδριάνειου υδραγωγείου 150 L/s.



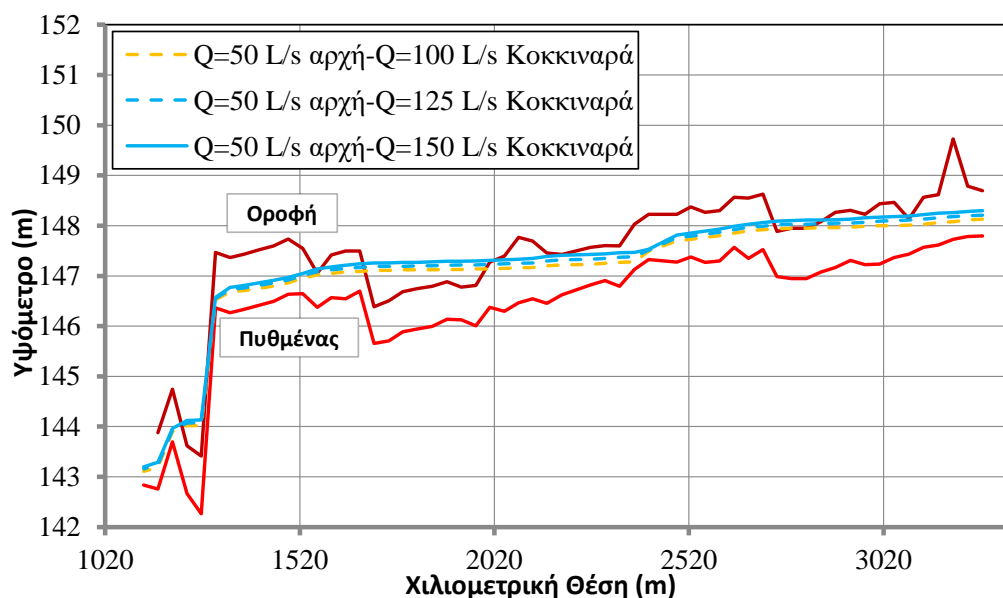
Σχήμα 4.19: Περιοχή 3 – 150 L/s κατάντη του Κοκκιναρά



Σχήμα 4.20: Περιοχή 3 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά



Σχήμα 4.21: Περιοχή 4 – $Q=150$ L/s κατάντη του Κοκκιναρά

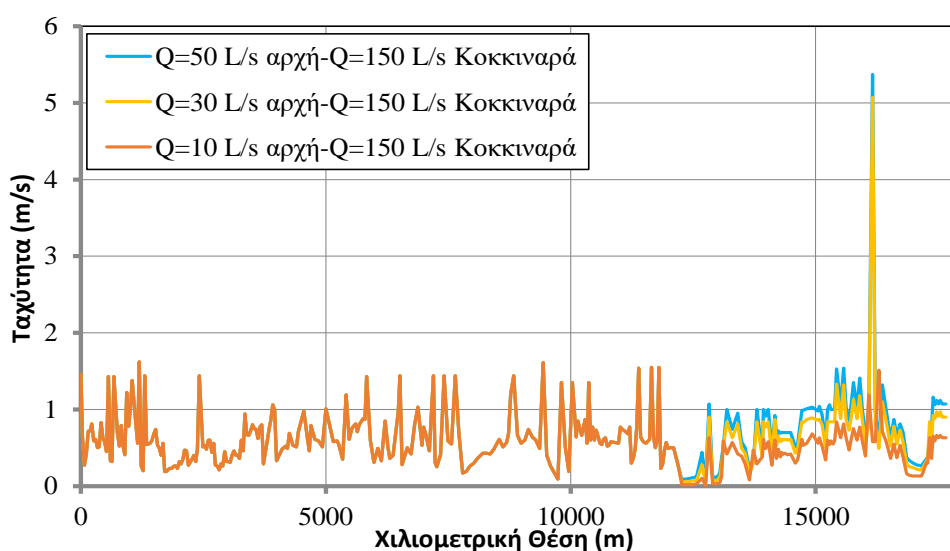


Σχήμα 4.22: Περιοχή 4 – $Q=50$ L/s ανάντη του Κοκκιναρά

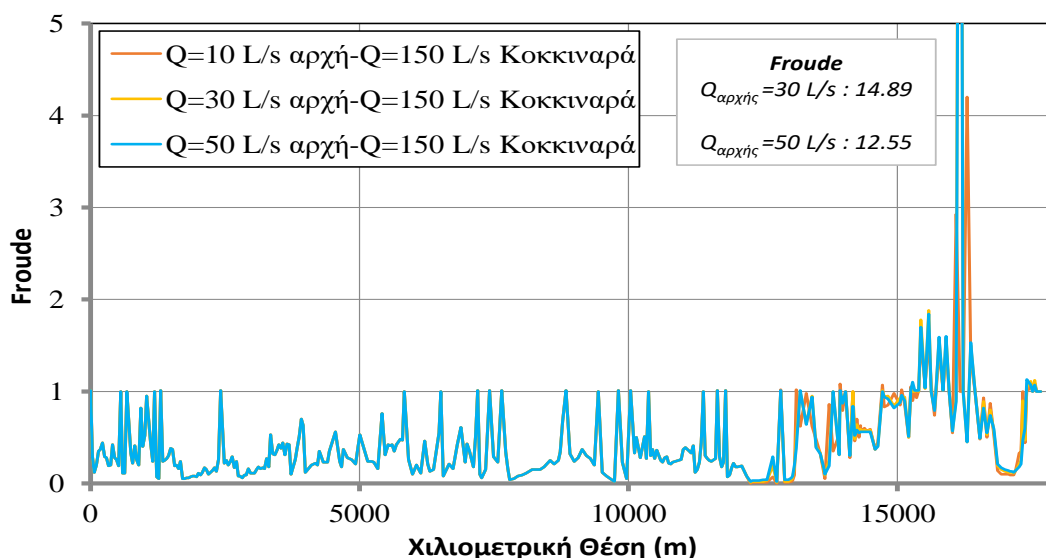
Η επισκόπηση των διαγραμμάτων της υδραυλικής απόκρισης του υδραγωγείου για τις περιοχές «Περιοχή 3» και «Περιοχή 4» (Σχήμα 4.19 και Σχήμα 4.21), δηλαδή στις περιπτώσεις των σεναρίων που η παροχή, μετά το σημείο εισροής από το παράπλευρο βοηθητικό υδραγωγείο στον Κοκκιναρά, φτάνει συνολικά την τιμή των 150 L/s, δείχνει πως η εικόνα της απόκρισης και των δύο τμημάτων είναι ίδια με την εικόνα των ίδιων τμημάτων, όταν σε αυτά διοχετεύεται σταθερή παροχή ίση με 150

L/s, την ανώτερη δηλαδή γραμμή στο Σχήμα 4.8 και στο Σχήμα 4.10 αντίστοιχα για την 3^η και 4^η Περιοχή. Ίδια εικόνα και για το Σχήμα 4.20 και το Σχήμα 4.22, όπου το υδραγωγείο συμπεριφέρεται σαν να δέχεται σε όλο το μήκος του παροχή σταθερής τιμής. Η 3^η και 4^η Περιοχή βρίσκονται κατάντη, αλλά σε μεγάλη απόσταση της πρόσθετης εισροής στον Κοκκιναρά, οπότε εύλογα δεν επηρεάζονται από αυτή.

Σε ότι αφορά τα διαγράμματα κατανομής της ταχύτητας και του αριθμού Froude, επιλέχθηκε να παρουσιαστούν τα διαγράμματα των σεναρίων που μετά τον Κοκκιναρά, το υδραγωγείο αποκτά παροχή ίση με 150 L/s.



Σχήμα 4.23: Ταχύτητες-Τοπολογία 1 – Εισροή από Κοκκιναρά



Σχήμα 4.24: Αριθμός Froude-Τοπολογία 1 – Εισροή από Κοκκιναρά

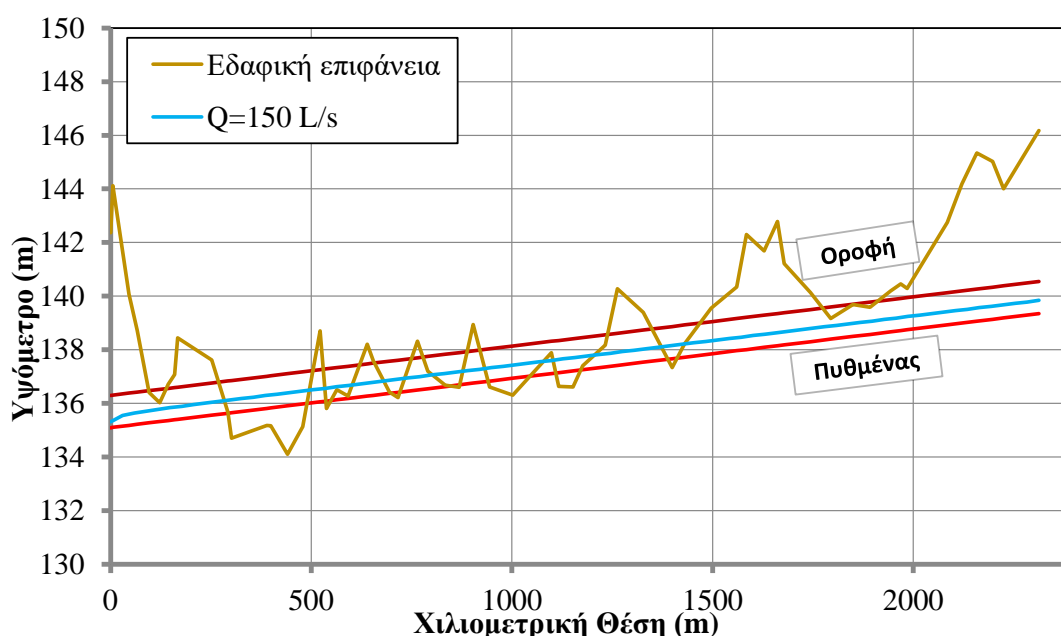
4.2 Τοπολογία 2: Με το τμήμα Αγίου Δημητρίου – Δεξαμενή

Εφόσον παρατηρήθηκε ότι οι αναλύσεις με σταθερή διατομή κατά μήκος του υδραγωγείου μοιάζουν ικανοποιητικά και σε περιπτώσεις συμπίπτουν των αναλύσεων του μοντέλου του υδραγωγείου με τις «πραγματικές» διατομές, αποφασίστηκε οι αναλύσεις στο προφίλ του υδραγωγείου, που συμπεριλαμβάνει το τμήμα από τον Άγιο Δημήτριο μέχρι τη Δεξαμενή στην περιοχή του Κολωνακίου, να πραγματοποιηθούν με τις τελικές διαστάσεις διατομών, οι οποίες είχαν επιλεγθεί κατά την μοντελοποίηση. Οι αναλύσεις διενεργήθηκαν σε δύο στάδια: το πρώτο με σταθερή παροχή κατά μήκος και το δεύτερο με διαφορετικές τιμές παροχής σε σημεία του υδραγωγείου. Με το πέρας όλων των αναλύσεων παρατηρήθηκαν οι ίδιες «προβληματικές» περιοχές με την «Τοπολογία 1» στις οποίες το υδραγωγείο λειτουργούσε υπό πίεση, έτσι και σε αυτή τη σειρά αναλύσεων αποφασίστηκε οι περιοχές αυτές να ομαδοποιηθούν στα τέσσερα τμήματα της «Τοπολογία 1», : Περιοχή 1 (299-275), Περιοχή 2 (237-200), Περιοχή 3 (169-116) και Περιοχή 4 (65-22D), η χωροταξία των οποίων πάνω στη μηκοτομή του Αδριανείου φαίνονται στο Σχήμα 4.2. Όπως και στη παράγραφο 4.1 δημιουργήθηκαν διαγράμματα, που αποτελούνται από την μηκοτομή των τμημάτων και το υψόμετρο της επιφάνειας του νερού για διάφορες τιμές της παροχής, αλλά και διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων και αριθμού Froude, για κάθε σενάριο ανάλυσης.

4.2.1 Τμήμα υδραγωγείου – Άγιος Δημήτριος έως Δεξαμενή

Όπως προαναφέρθηκε στην Εισαγωγή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, σήμερα έχει βρεθεί, σε ότι αφορά το τμήμα Αγίου Δημήτριος – Δεξαμενή μόνο το σχέδιο της οριζοντιογραφίας του τμήματος, η οποία παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α. Συνεπώς, δεν υπήρχε πληροφορία για τη μορφολογία της κύριας σήραγγας του υδραγωγείου και του εδάφους στο συγκεκριμένο τμήμα. Γνωρίζοντας το υψόμετρο πυθμένα της σήραγγας, τόσο στη θέση της Δεξαμενής, όσο και στο πηγάδι με αρίθμηση 1 στον Άγιο Δημήτριο, αλλά και το συνολικό μήκος της τροχιάς που ακολουθούσε το υδραγωγείο στο τελικό του τμήμα, επιλέχθηκε η μοντελοποίηση του υδραγωγείου να γίνει με ενιαία κλίση, τιμής 0.18%, ίση με τη διαφορά των υψομέτρων των πυθμένων στα δύο σημεία δια το μήκος του τμήματος. Σε ότι αφορά τα υψόμετρα του εδάφους

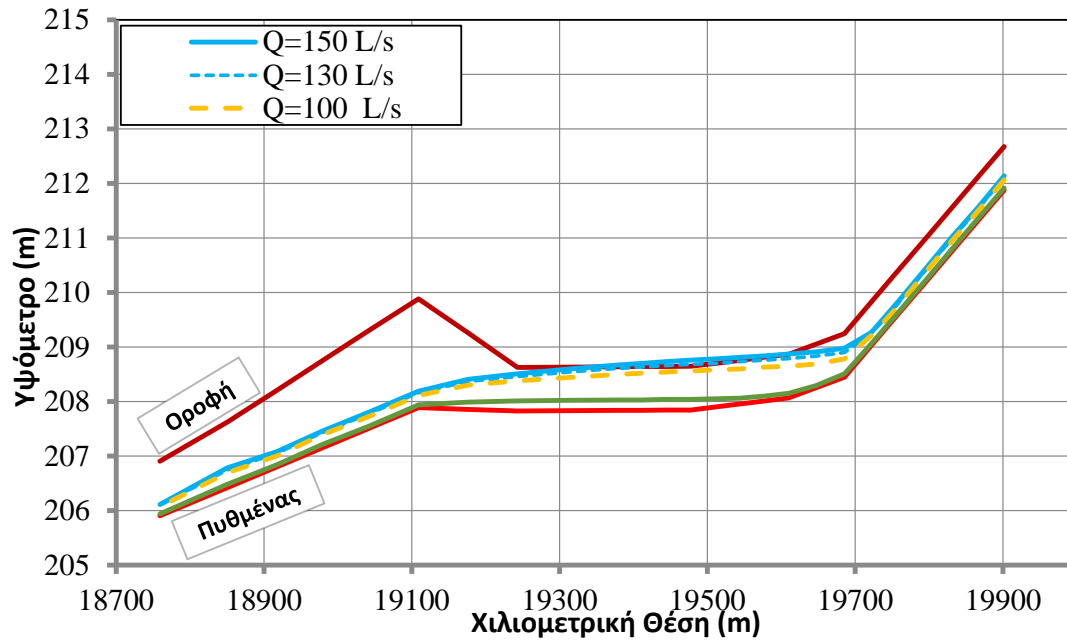
επιλέχθηκε η λύση του προσδιορισμού τους μέσω του προγράμματος ArcGIS. Να σημειωθεί πως τα προσδιορισθέντα υψόμετρα αφορούν σημερινά δεδομένα, οπότε σίγουρα εμπεριέχουν μεγάλο σφάλμα. Η διατομή της σήραγγας στο τμήμα έχει πλάτος 0.48 m και ύψος 1.20 m, ως συνέχεια της επιλεχθείσας τιμής διαστάσεων, από την ανάλυση και ένωση των δύο σειρών μηκοτομών, της διατομής της σήραγγας του Αδριάνειου υδραγωγείου στον Άγιο Δημήτριο. Στο Σχήμα 4.25 παρουσιάζεται η μηκοτομή του τμήματος του υδραγωγείου που ξεκινά από το πηγάδι με αρίθμηση 1 και καταλήγει στη Δεξαμενή (Δ1) στο Κολωνάκι, καθώς και η απόκριση αυτού σε σταθερή κατά μήκος παροχή, τιμής 150 L/s.



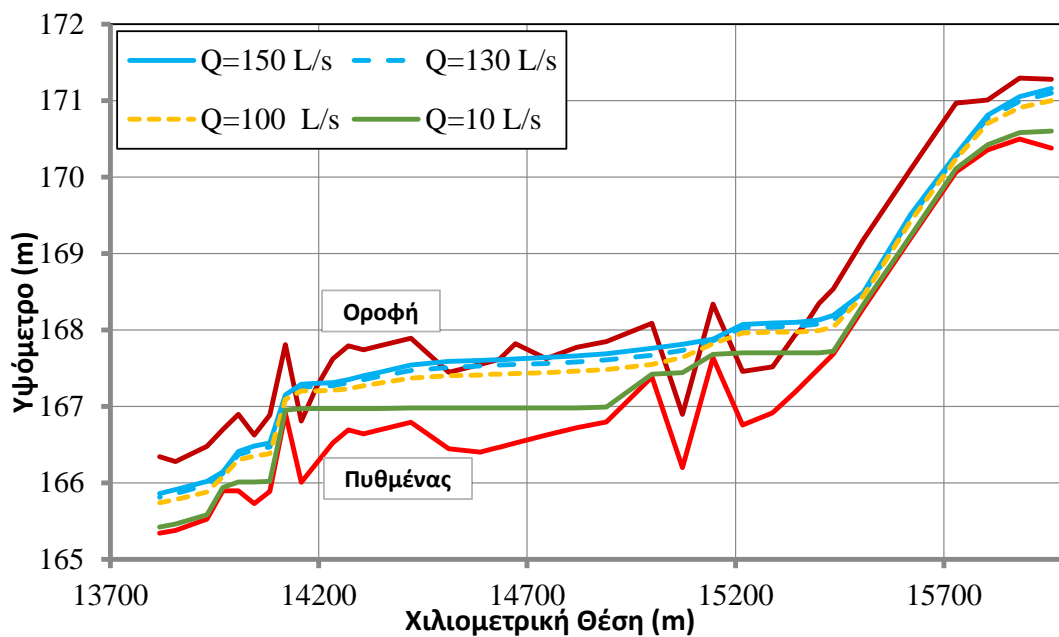
Σχήμα 4.25: Τμήμα Αγ.Δημήτριος – Δεξαμενή – $Q=150$ L/s

4.2.2 Σταθερή παροχή κατά μήκος του υδραγωγείου

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα για την υδραυλική κατάσταση στις «προβληματικές» περιοχές με σταθερές παροχές 150, 130, 100, 75, 50 και 10 L/s κατά μήκος του υδραγωγείου. Η «Περιοχή 1» εκτείνεται μεταξύ του πηγαδιού με αρίθμηση 299 και του πηγαδιού με αρίθμηση 275 και η υδραυλική συμπεριφορά του τμήματος εμφανίζεται στο Σχήμα 4.26.

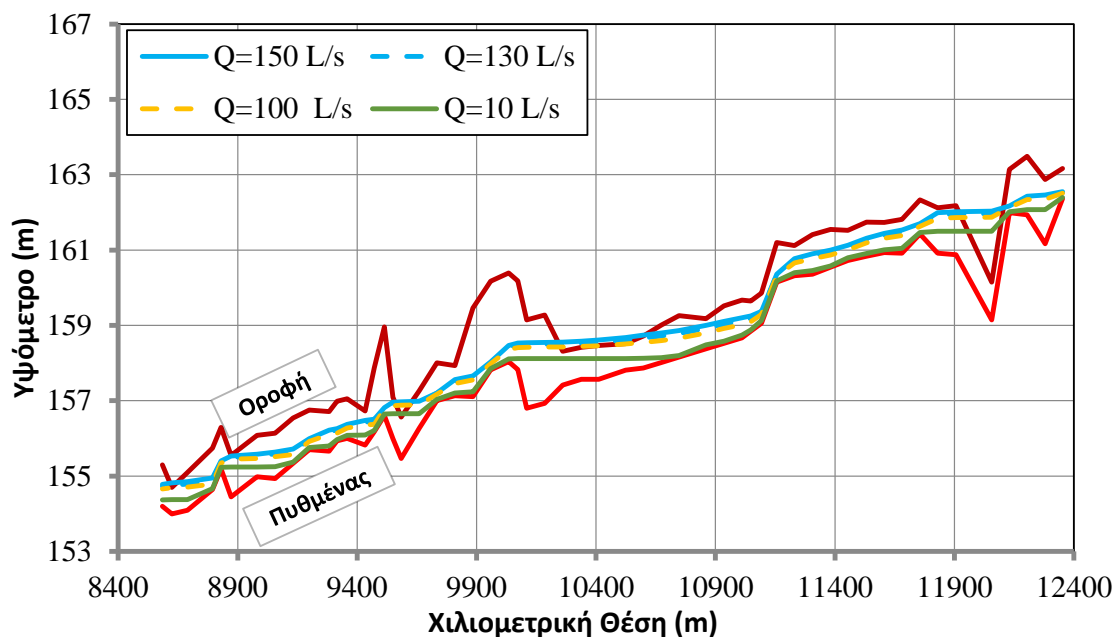


Σχήμα 4.26: Περιοχή 1 – «πραγματικές» Διατομές

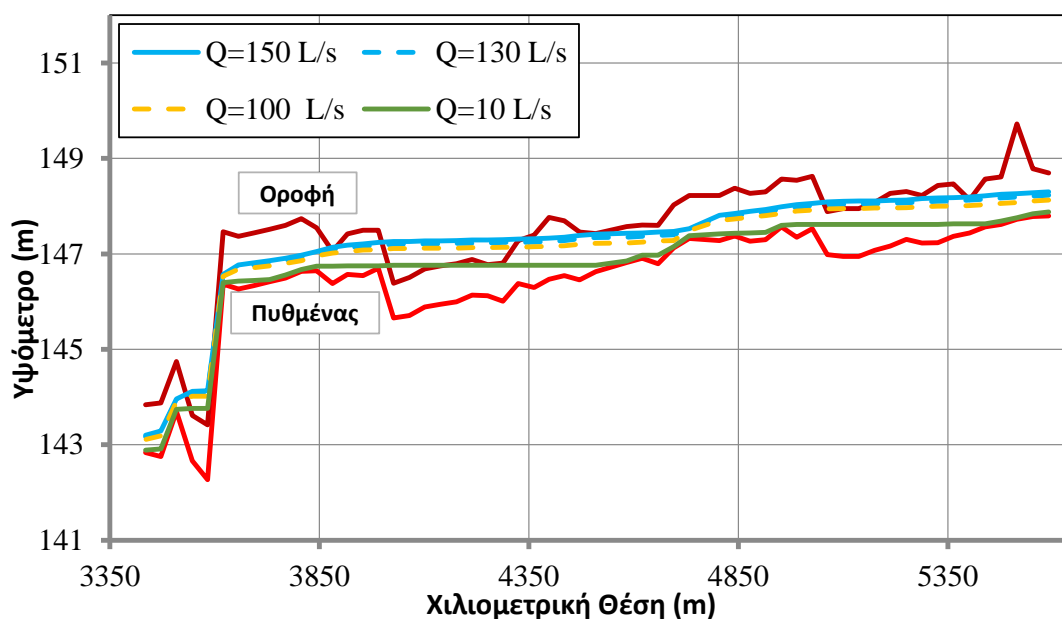


Σχήμα 4.27: Περιοχή 2 – «πραγματικές» Διατομές

Στο Σχήμα 4.27 φαίνεται η υδραυλική συμπεριφορά της «Περιοχή 2» για ολόκληρη τη μηκοτομή του υδραγωγείου με τις «πραγματικές» διατομές. Στο Σχήμα 4.28 και στο Σχήμα 4.29 παρουσιάζεται η υδραυλική απόκριση των τμημάτων της «Περιοχή 3» και «Περιοχή 4» σε διάφορες τιμές σταθερών παροχών κατά μήκος του Αδριάνειου υδραγωγείου αντίστοιχα.



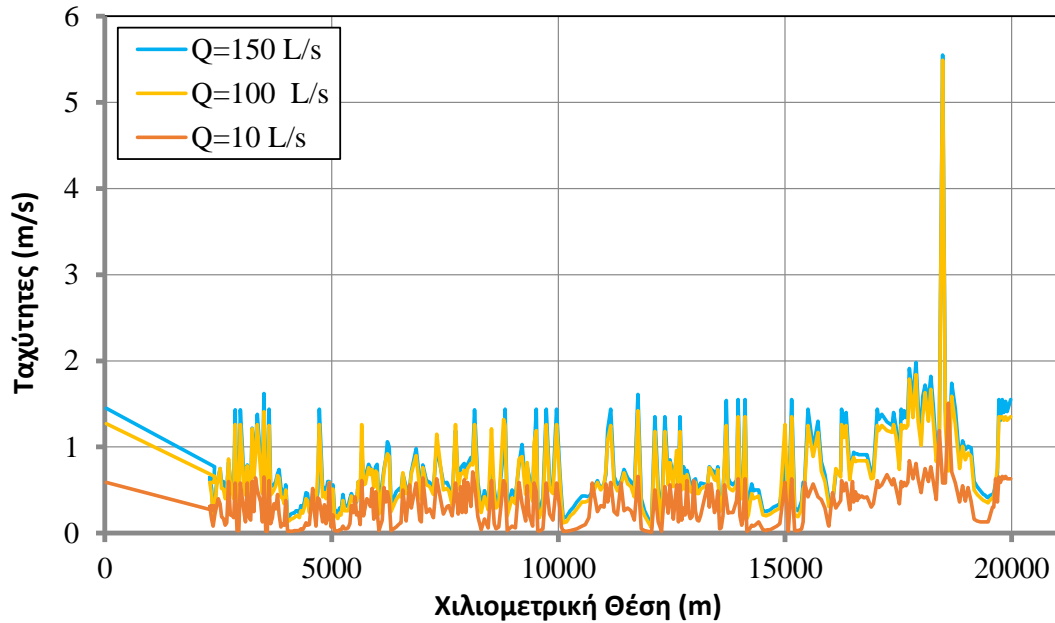
Σχήμα 4.28: Περιοχή 3 – «Πραγματικές» Διατομές



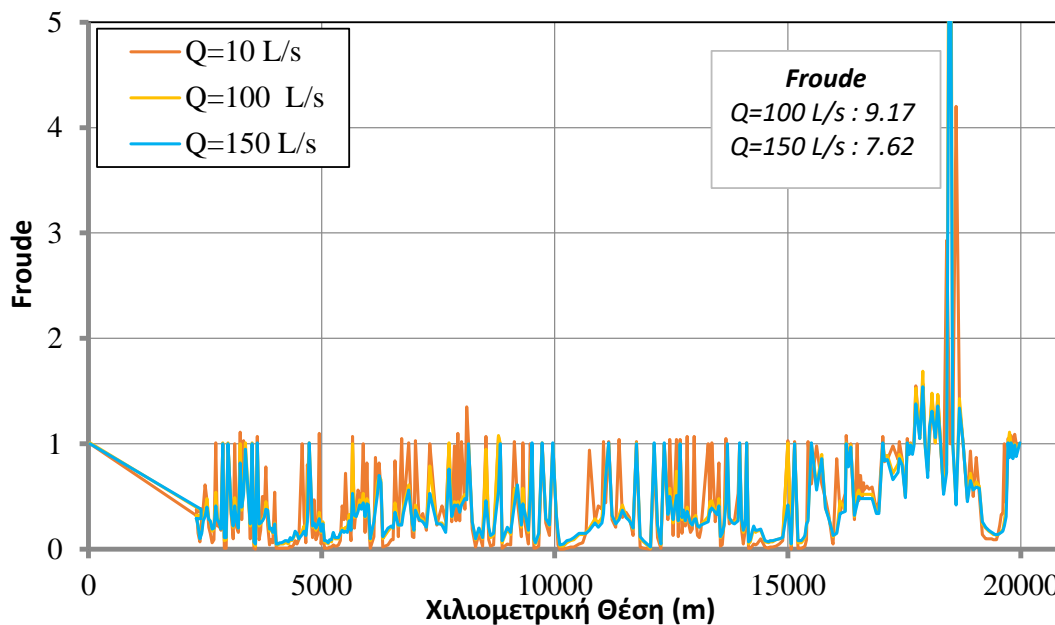
Σχήμα 4.29: Περιοχή 4 – «Πραγματικές» Διατομές

Η κατανομή των ταχυτήτων και του αριθμού Froude κατά μήκος του Αδριανείου υδραγωγείου φαίνεται στο Σχήμα 4.30 και στο Σχήμα 4.31 αντίστοιχα. Ο σχολιασμός των συγκεκριμένων διαγραμμάτων δεν διαφέρει με τον αντίστοιχο σχολιασμό των διαγραμμάτων κατανομής της ταχύτητας και του αριθμού Froude του υδραγωγείου, χωρίς το τμήμα Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή, που παρουσιάζεται στη παράγραφο

4.1.1. Σημειώνεται πως οι παροχές, για τις οποίες κατασκευάζονται διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων και αριθμού Froude είναι οι: $Q=150$ L/s, $Q=100$ L/s και $Q=10$ L/s.



Σχήμα 4.30: Ταχύτητες-Τοπολογία 2-Σταθερό Q



Σχήμα 4.31: Αριθμός Froude-Τοπολογία 2-σταθερό Q

Γίνεται εμφανές ότι η απόκριση όλου του υδραγωγείου, σε ότι αφορά οποιαδήποτε σταθερή παροχή κατά μήκος του Αδριάνειου υδραγωγείου είναι ίδια, είτε στις

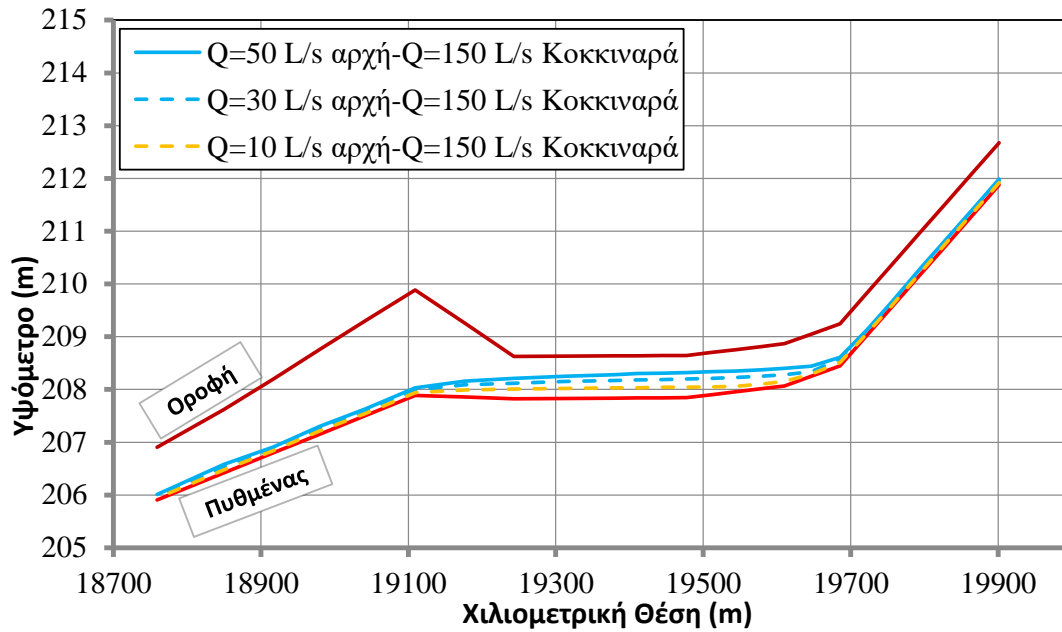
αναλύσεις συμπεριληφθεί το τμήμα, που ξεκινά από τον Άγιο Δημήτριο στους Αμπελοκήπους και κατευθύνεται στη Δεξαμενή στο Κολωνάκι, είτε όχι.

4.2.3 Διαφορετικές παροχές κατά μήκος του υδραγωγείου

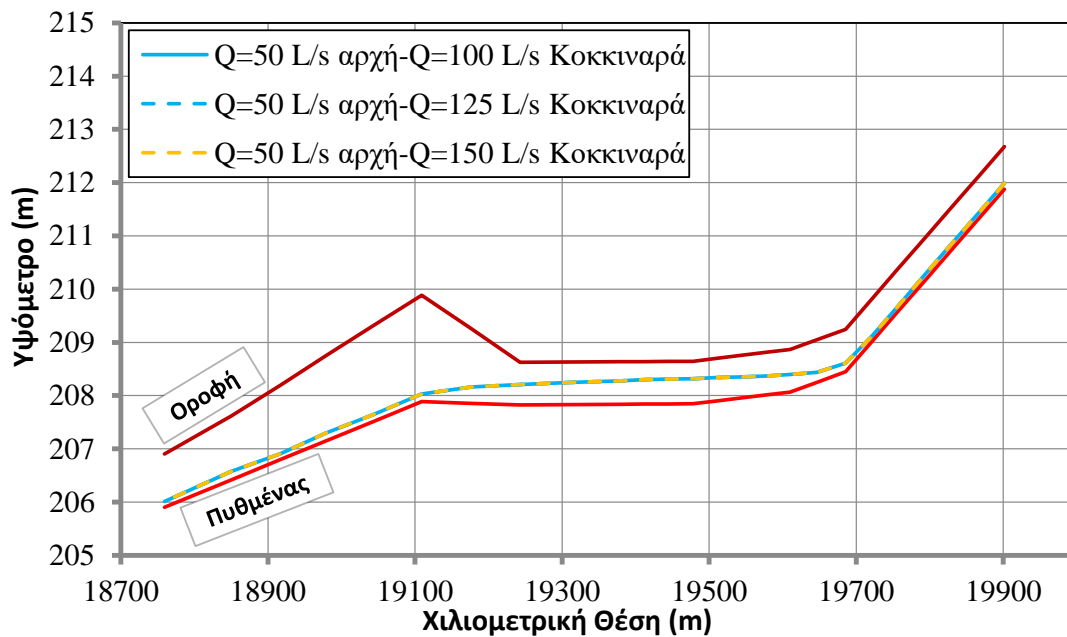
Εισροή από Κοκκιναρά

Η ανάλυση, όπως και στη περίπτωση της «Τοπολογία 1» (4.1.2), περιορίστηκε στο μοντέλο του υδραγωγείου με τις «πραγματικές» διατομές κατά μήκος του. Και στη συγκεκριμένη ανάλυση επιλέχθηκε, ως σημείο του Αδριανείου υδραγωγείου στο οποίο θα υπήρχε παράπλευρη εισροή νερού, το πηγάδι με αρίθμηση 215 στην περιοχή του Κοκκιναρά (Εικόνα 4.1). Η τιμή της παροχής εισροής ποικίλει. Στη πρώτη σειρά αναλύσεων περιορίστηκε στη τιμή των 150 L/s στο σύνολο της παροχής μετά το σημείο εισροής. Ενώ στη δεύτερη σειρά αναλύσεων περιορίστηκε στη τιμή των 50 L/s σε ότι αφορά την αρχική τιμή της παροχής μέχρι το πηγάδι 215. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε πως το υδραγωγείο λειτουργούσε υπό πίεση στις ίδιες περιοχές, όπως και στις προηγούμενες αναλύσεις (4.1, 4.2.2) και έτσι δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στη συνέχεια της παραγράφου.

Όπως και στη παράγραφο 4.1.2, έτσι και στη περίπτωση της μοντελοποίησης ολόκληρης της μηκοτομής του Αδριανείου υδραγωγείου, η «Περιοχή 1» που εκτείνεται από το πηγάδι 299 έως το πηγάδι 275 λειτουργεί σαν ανοιχτός αγωγός με ελεύθερη επιφάνεια ύδατος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.32 και στο Σχήμα 4.33, καθώς η παροχή ανάντη του πηγαδιού 215 στη περιοχή του Κοκκιναρά, όπου γίνεται η παράπλευρη εισροή, δεν ξεπερνά τη τιμή των 50 L/s. Η μη προβληματική εικόνα του υδραγωγείου στη συγκεκριμένη περιοχή επιβεβαιώνεται από το Σχήμα 4.26, όπου φαίνεται ότι μόνο παροχές μεγαλύτερες ή ίσες των 130 L/s αναγκάζουν το υδραγωγείο να λειτουργήσει υπό πίεση στο συγκριμένο τμήμα του υδραγωγείου.

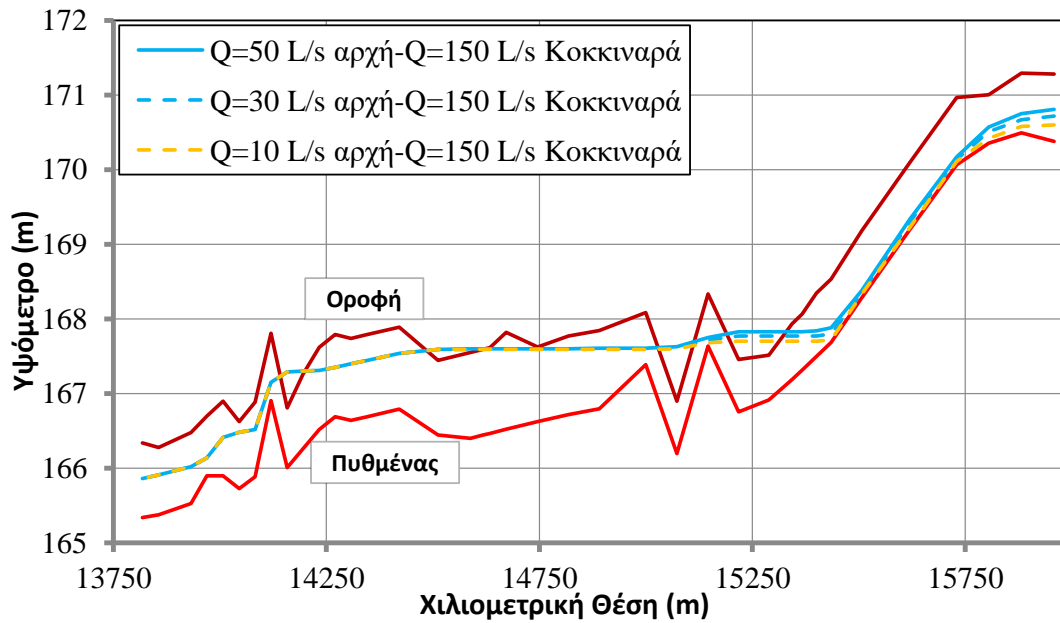


Σχήμα 4.32: Περιοχή 1 – Q=150 L/s κατάντη του Κοκκιναρά

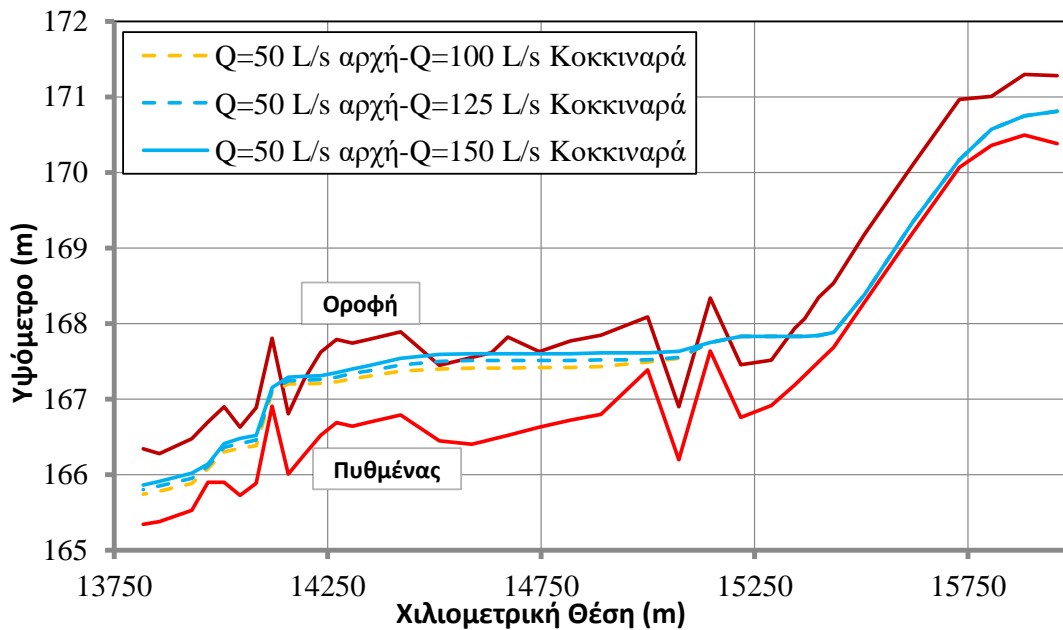


Σχήμα 4.33: Περιοχή 1 – Q=50 L/s ανάντη του Κοκκιναρά

Η «Περιοχή 1» εκτείνεται μεταξύ των πηγαδιών με αρίθμηση 299 και 275, δηλαδή τοποθετείται ακριβώς μετά το πέρας της κεκλιμένης σήραγγας στο Ολυμπιακό Χωριό.

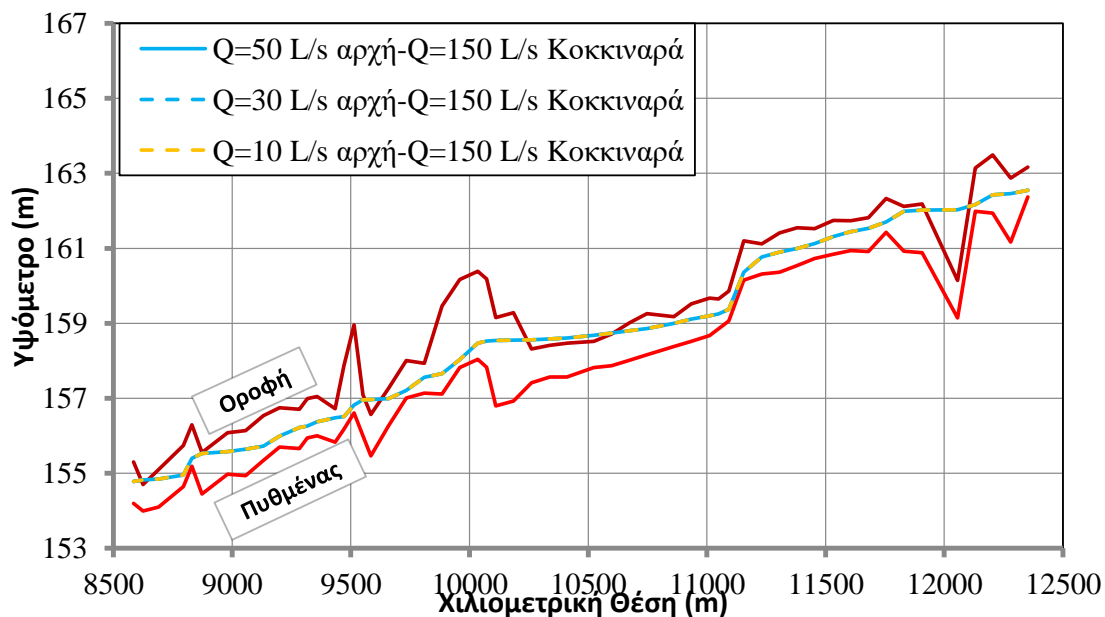


Σχήμα 4.34: Περιοχή 2 – $Q=150$ L/s κατάντη του Κοκκιναρά

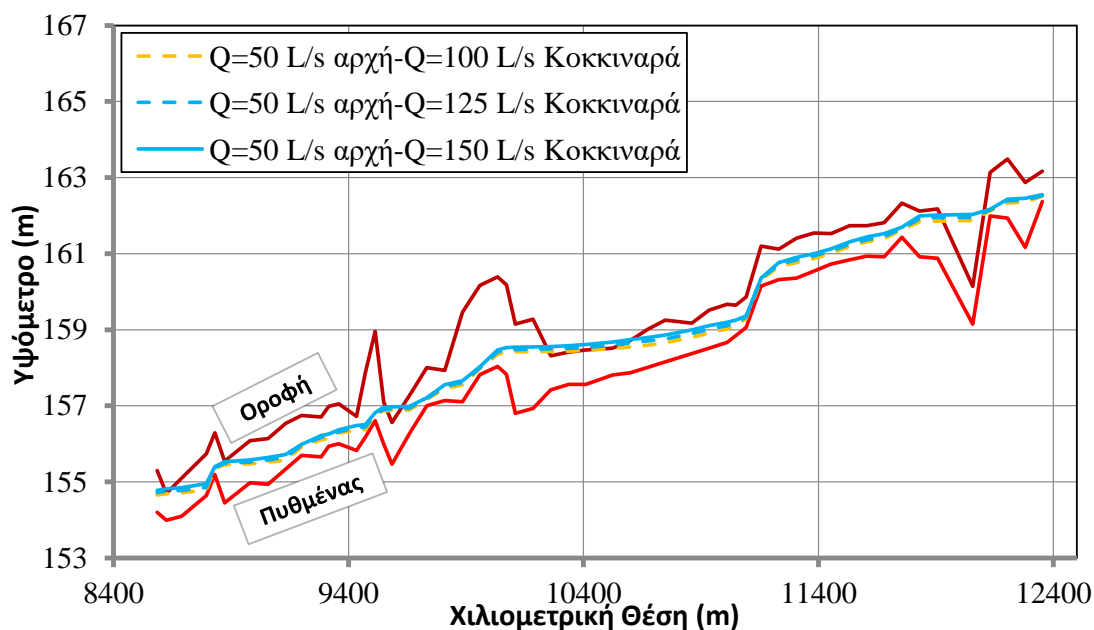


Σχήμα 4.35: Περιοχή 2 – $Q=50$ L/s ανάντη του Κοκκιναρά

Η «Περιοχή 2^η» εκτείνεται μεταξύ των πηγαδιών με αρίθμηση 237 και 200, δηλαδή εμπεριέχει το φρέαρ με αρίθμηση 215, στο οποίο γίνεται η εισροή από το παράπλευρο, βοηθητικό υδραγωγείο που βρίσκεται στον Κοκκιναρά Αττικής.

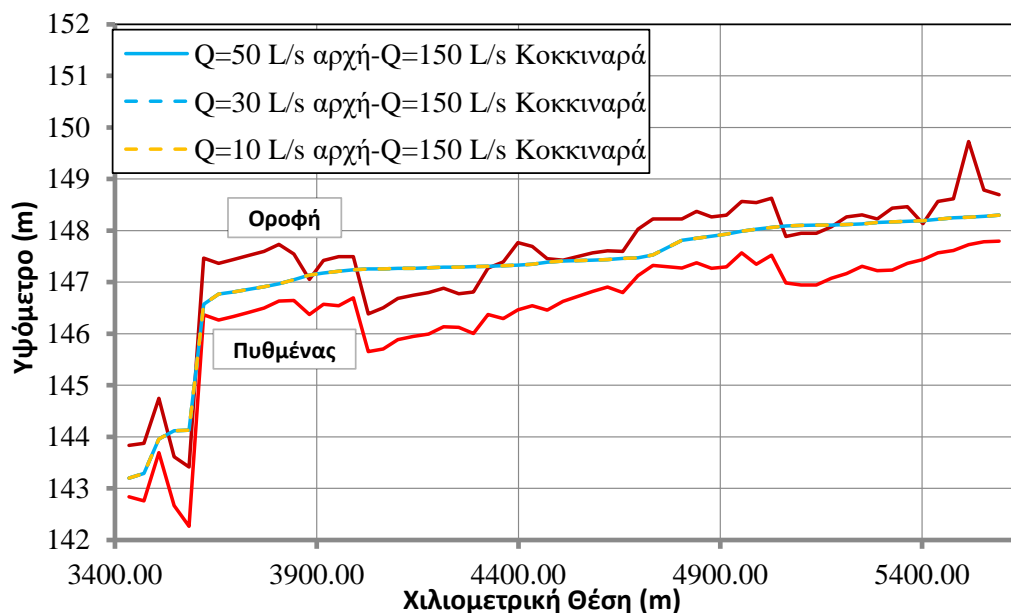


Σχήμα 4.36: Περιοχή 3 – $Q=150$ L/s κατάντη του Κοκκιναρά

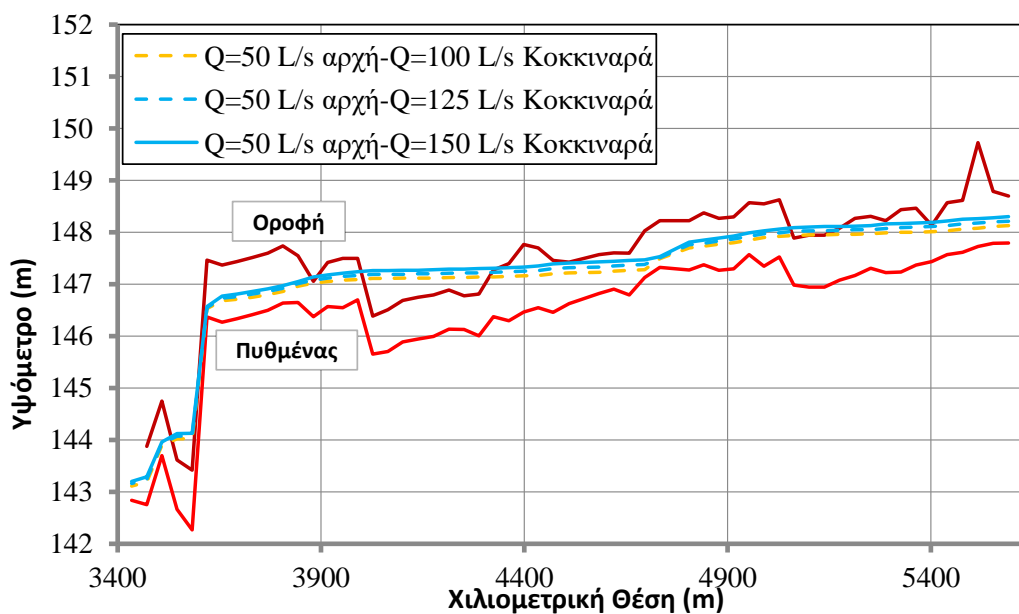


Σχήμα 4.37: Περιοχή 3 – $Q=50$ L/s ανάντη του Κοκκιναρά

Με την επισκόπηση των διαγραμμάτων της παραγράφου (Σχήμα 4.32 έως Σχήμα 4.39), αλλά και των διαγραμμάτων της παραγράφου 4.1.2 (Σχήμα 4.15 έως Σχήμα 4.22) προκύπτει πως η προσθήκη στην ανάλυση του τμήματος Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα, ούτε στη περίπτωση του σεναρίου της παράπλευρης εισροής από τον Κοκκιναρά.



Σχήμα 4.38: Περιοχή 4 – $Q=150$ L/s κατάντη του Κοκκιναρά



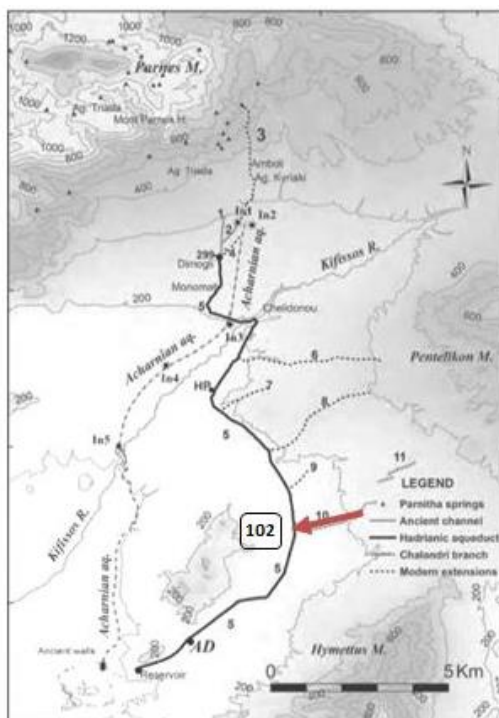
Σχήμα 4.39: Περιοχή 4 – $Q=50$ L/s ανάντη του Κοκκιναρά

Επιλέχθηκε να μην παρουσιαστούν διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων και αριθμού Froude στα σενάρια εισροής παροχής από τον Κοκκιναρά, για τη μοντελοποίηση ολόκληρου του Αδριάνειου υδραγωγείου, δηλαδή με το τμήμα Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή, καθώς ταυτίζονται με τα αντίστοιχα διαγράμματα, όταν στη μοντελοποίηση δεν συμπεριλαμβάνεται το τελικό τμήμα του υδραγωγείου, που

ξεκινά από τον Άγιο Δημήτριο στους Αμπελοκήπους και καταλήγει στην Δεξαμενή, στη περιοχή του Κολωνακίου.

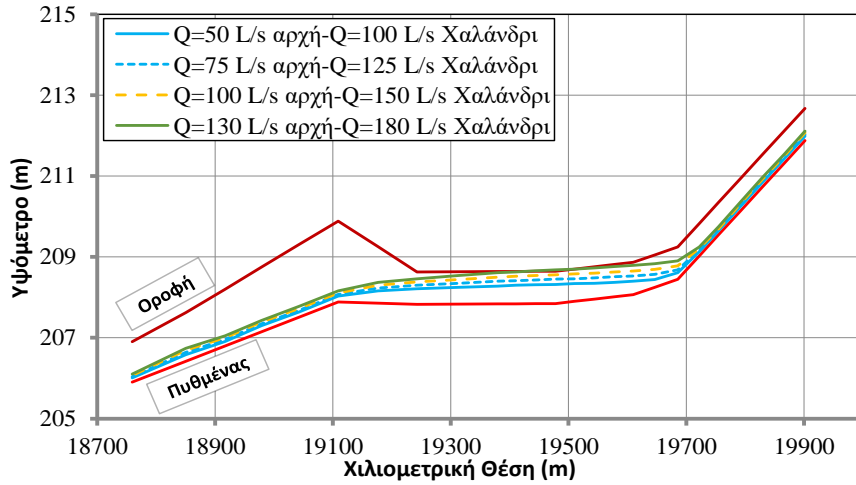
Εισροή από Χαλάνδρι

Στη περίπτωση μοντελοποίησης ολόκληρης της μηκοτομής του Αδριάνειου υδραγωγείου, δηλαδή όταν συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση το τμήμα Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή, πραγματοποιείται σενάριο πρόσθετης εισροής παροχής στο πηγάδι με αρίθμηση 102 (Εικόνα 4.2). Η ανάλυση περιορίστηκε στο μοντέλο του υδραγωγείου με τις «πραγματικές» διατομές για τα τμήματα μεταξύ των πηγαδιών. Η τιμή της παροχής εισροής είναι 50 L/s, ενώ η παροχή πριν το πηγάδι 102 κυμαίνεται από 50 έως 130 L/s. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε πως το υδραγωγείο λειτουργούσε υπό πίεση στις τέσσερις περιοχές, όπως και στα προηγούμενα σενάρια. Έτσι, δημιουργήθηκαν διαγράμματα στάθμης παροχής, κατανομής ταχυτήτων και διακύμανση αριθμού Froude για να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του παρόντος σεναρίου.

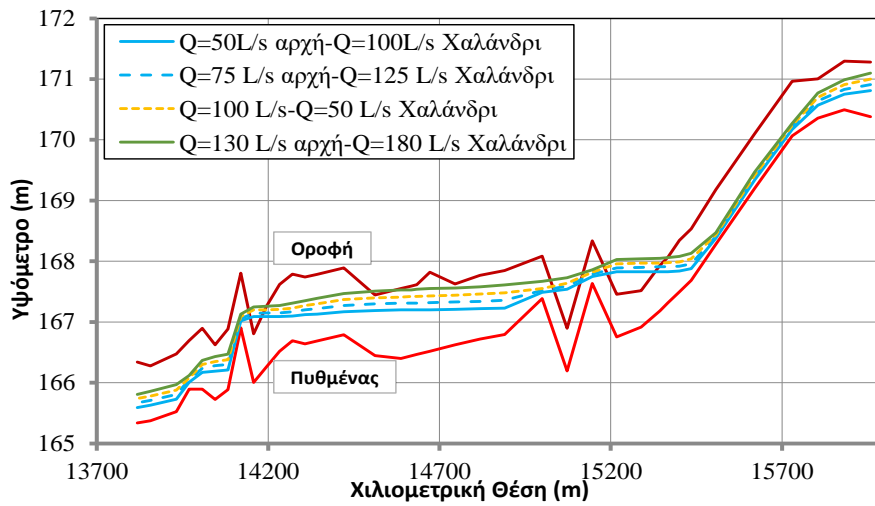


Εικόνα 4.2: Σημείο παράπλευρης εισροής στο Χαλάνδρι

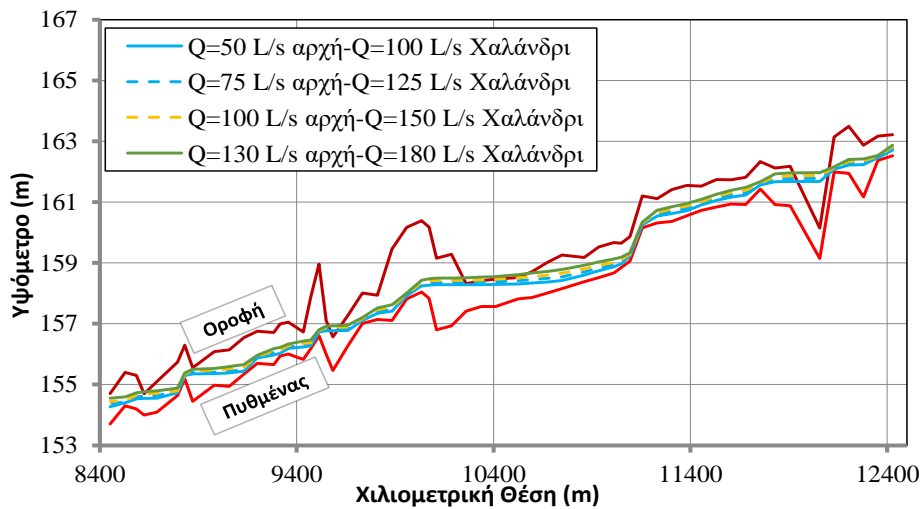
Το παράπλευρο υδραγωγείο ξεκινώντας από την περιοχή της Μονής Πεντέλης και ακολουθώντας τη διεύθυνση της ρεματιάς Χαλανδρίου ενωνόταν στο φρέαρ 102 μέσω υπόγειας κυκλικής δεξαμενής. Το υδραγωγείο φέρεται ως αρχαιότερο του Αδριάνειου (Παρασκευόπουλος 1907).



Σχήμα 4.40: Περιοχή 1 - Εισροή στο Χαλάνδρι

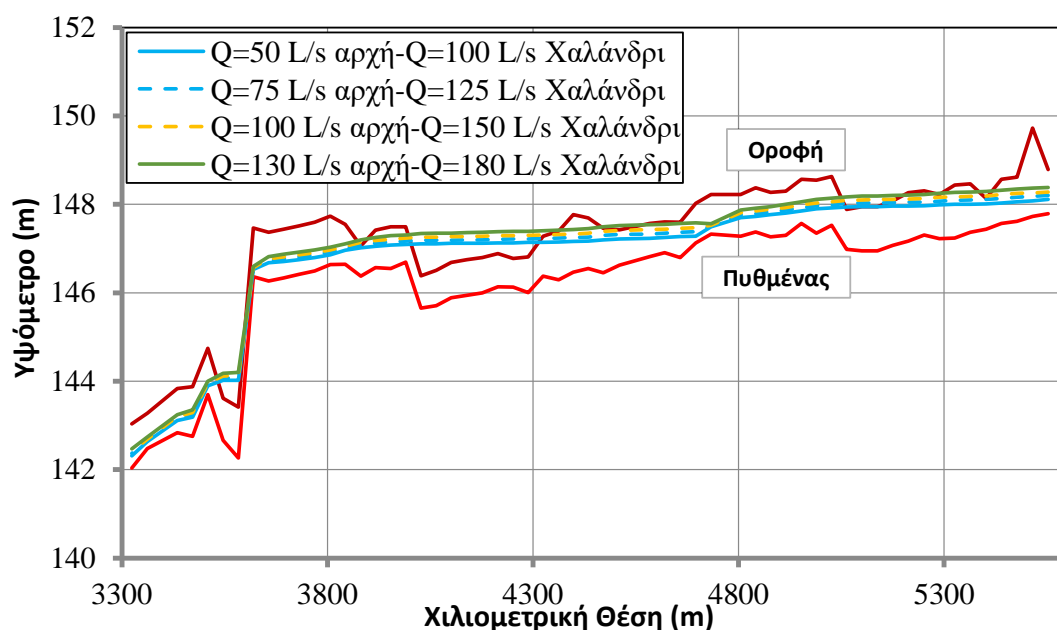


Σχήμα 4.41: Περιοχή 2 - Εισροή στο Χαλάνδρι



Σχήμα 4.42: Περιοχή 3 - Εισροή στο Χαλάνδρι

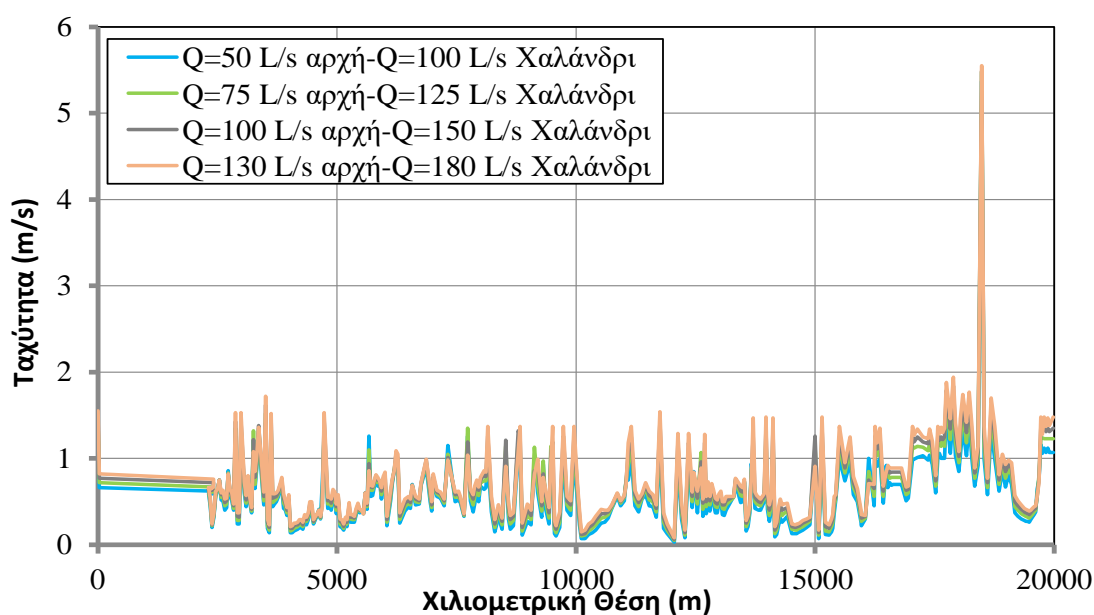
Το φρέαρ με αρίθμηση 102, στο οποίο γίνεται η παράπλευρη εισροή στο Αδριάνειο υδραγωγείο από την Πεντέλη, βρίσκεται στη χιλιομετρική θέση 7790 m, με αρχή τη Δεξαμενή στο Κολωνάκι. Συμπερασματικά, το σημείο εισόδου της πρόσθετης εισροής βρίσκεται κατάντη των τριών πρώτων περιοχών και συνεπώς τα συγκεκριμένα τμήματα υδραγωγείου δεν επηρεάζονται από την πρόσθετη παροχή, αντιθέτως συμπεριφέρονται σαν να διερχόταν από αυτά σταθερή κατά μήκος παροχή, τιμής 50, 75, 100 και 130 L/s, ανάλογα. Η απόκριση των περιοχών, «Περιοχή 1», «Περιοχή 2» και «Περιοχή 3», στο συγκεκριμένο σενάριο φαίνεται στο Σχήμα 4.40, Σχήμα 4.41 και Σχήμα 4.42 αντίστοιχα. Οι τρεις περιοχές του υδραγωγείου συνεχίζουν να λειτουργούν υπό πίεση στα ίδια τμήματα, όπου η μηκοτομή του Αδριάνειου υδραγωγείου παρουσιάζει έντονες εναλλαγές κλίσεων, με αποτέλεσμα η παροχή των 50 L/s, η οποία χαρακτηρίζεται ως μικρή για τη κλίμακα του έργου, να μην τα διαπερνά.



Σχήμα 4.43: Περιοχή 4 - Εισροή στο Χαλάνδρι

Η «Περιοχή 4», η υδραυλική απόκριση της οποίας, στο σενάριο πρόσθετης παροχής στη Περιοχή του Χαλανδρίου, φαίνεται στο Σχήμα 4.43, απέχει από το σημείο εισροής απόσταση 38 πηγαδιών. Έτσι, η ροή έχει ομαλοποιηθεί και το υδραγωγείο λειτουργεί σαν να δέχεται σταθερή παροχή κατά μήκος του Αδριανείου, τιμής που κυμαίνεται από 100 έως 180 L/s. Όπως και στις αναλύσεις των υπόλοιπων σεναρίων, και εδώ για

την λειτουργία υπό πίεση ευθύνονται οι απότομες κλίσεις αλλά και οι έντονες εναλλαγές των προσήμων αυτών. Σημειώνεται ότι μόνο στο παρόν σενάριο χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση παροχή τιμής 180 L/s, σε αντίθεση με όλες τις προηγούμενες αναλύσεις. Η επιλογή της τιμής παροχής $Q=180$ L/s, για το σενάριο παράπλευρης εισροής από το Χαλάνδρι, πραγματοποιήθηκε για ερευνητικούς σκοπούς, ώστε να διερευνηθεί η απόκριση του Αδριανείου υδραγωγείου στην ακραία αυτή τιμή και συνδυαστικά να μην καταπονείται το υδραγωγείο με τόσο μεγάλη τιμή παροχής για περισσότερα από περίπου εκατό πηγάδια.

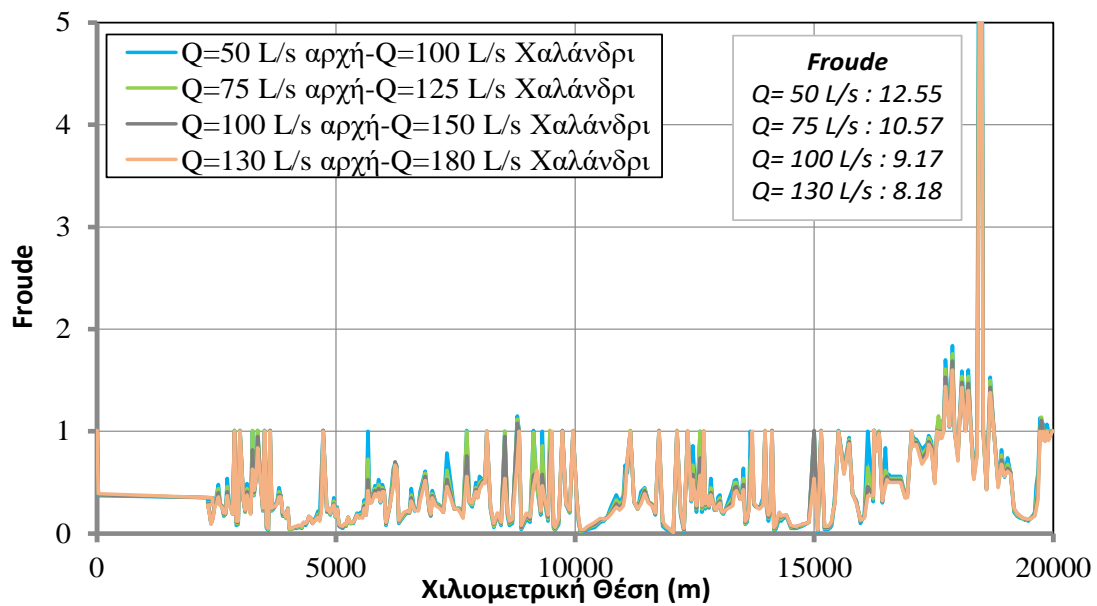


Σχήμα 4.44: Ταχύτητες Υδραγωγείου - Εισροή στο Χαλάνδρι

Στο Σχήμα 4.44 και στο Σχήμα 4.45 παρουσιάζεται η κατανομή των ταχυτήτων που αναπτύσσονται στο υδραγωγείο και η κατανομή του αριθμού Froude για τη ροή αντίστοιχα, για το σενάριο της εισροής από το παράπλευρο υδραγωγείο στο Χαλάνδρι. Τα αποτελέσματα της κατανομής των ταχυτήτων αλλά και της διακύμανσης του αριθμού Froude δεν διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό από τα προηγούμενα σενάρια, γεγονός που επιβεβαιώνει το συμπέρασμα πως η μορφολογία της μηκοτομής του Αδριανείου υδραγωγείου επηρεάζει την απόκρισή του στα διάφορα σενάρια παροχής.

Σημαντικό συμπέρασμα, που προκύπτει από το σενάριο παράπλευρης εισροής από το υδραγωγείο στη περιοχή του Χαλανδρίου, είναι πως ακόμα και όταν το υδραγωγείο

υποβάλλεται σε παροχή $Q=180$ L/s μετά από το σημείο της πρόσθετης εισροής, η ροή διατηρείται υποκρίσιμη ($F < 1$).



Σχήμα 4.45: Αριθμός Froude - Εισροή στο Χαλάνδρι

Κεφάλαιο 5

Τροποποιημένο υδραγωγείο

5.1 Γενικά

Αφού διενεργήθηκαν ποικίλα σενάρια αναλύσεων, σενάρια διαφορετικής τοπολογίας, διαφορετικών διατομών, διαφορετικής τραχύτητας, διαφορετικής τιμής παροχής αλλά και σενάρια παράπλευρων πρόσθετων εισροών, διαπιστώθηκε πως το Αδριάνειο υδραγωγείο, συμπεριφέρεται παρόμοια σε όλα τα παραπάνω. Κύρια αιτία της παρόμοιας συμπεριφοράς στις αναλύσεις αποτελούν οι απότομες κλίσεις των τμημάτων μεταξύ των πηγαδιών, αλλά και οι συνεχόμενες εναλλαγές του πρόσημου των κλίσεων αυτών. Όπως φάνηκε στο Κεφάλαιο 4, το υδραγωγείο λειτουργεί υπό πίεση σε τέσσερις συγκεκριμένες περιοχές του. Θεωρείται ότι, κατά βάση, το Αδριάνειο υδραγωγείο δεν κατασκευάστηκε στην αρχαία ρωμαϊκή εποχή, με σκοπό να λειτουργεί υπό πίεση, γι' αυτό το λόγο χαρακτηρίζονται ως «προβληματικά» τα τέσσερα ομαδοποιημένα τμήματα του υδραγωγείου. Ακόμη το γεγονός ότι, σε σημεία των συγκεκριμένων τμημάτων, δεν διέρχεται παροχή τιμής 10 L/s, η οποία θεωρείται μικρή για τη κλίμακα και τα δεδομένα τέτοιου έργου, οδηγεί στο συμπέρασμα πως, τουλάχιστον σε αυτά τα σημεία η μορφολογία της μηκοτομής του Αδριανείου υδραγωγείου είναι εσφαλμένη και χρήζει τροποποίησης.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις τέσσερις «προβληματικές» περιοχές του Αδριανείου, ώστε το υδραγωγείο να λειτουργεί με ελεύθερη ροή. Οι αλλαγές επικεντρώθηκαν κυρίως στα σημεία όπου η μηκοτομή παρουσιάζει απότομες και έντονες γωνίες, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να διέλθει το νερό από το σημείο. Παρατηρώντας τη μορφολογία της μηκοτομής του Αδριανείου υδραγωγείου στα σημεία αυτά, διαπιστώθηκε πως όταν εμφανίζονταν

απότομες εναλλαγές στις κλίσεις των τμημάτων της κύριας σήραγγας του υδραγωγείου, δηλαδή οι προαναφερθείσες γωνίες, το έδαφος στα συγκεκριμένα σημεία παρουσιάζει την ίδια μορφή. Η ομοιότητα αυτή εξηγείται από το γεγονός ότι, κατά τη διαδικασία ένωσης των δύο σειρών μηκοτομών, η οποία παρουσιάζεται εκτενώς στη παράγραφο 2.1.2, τα υψόμετρα του πυθμένα της κύριας σήραγγας του Υδραγωγείου προκύπτουν από τα υψόμετρα της νεότερης σειράς μηκοτομών. Στη νεότερη όμως σειρά μηκοτομών τα υψόμετρα δίνονται συναρτήσει των υψομέτρων του εδάφους, ως βάθη δηλαδή από την επιφάνεια του εδάφους. Έτσι, εύλογα ακολουθείται και η μορφολογία της εδαφικής επιφάνειας στα συγκεκριμένα τμήματα. Σε αυτά τα σημεία των «προβληματικών» περιοχών του υδραγωγείου δημιουργείται ενιαία κλίση, ώστε το Αδριάνειο υδραγωγείο να λειτουργεί αναπόσπαστα, χωρίς ροή υπό πίεση. Να σημειωθεί ότι τα διαγράμματα στάθμη ύδατος – παροχής που θα παρουσιαστούν στο παρόν κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας είναι τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε μετά το πέρας όλων των τροποποιήσεων. Αναλυτικότερα οι τροποποιήσεις για κάθε περιοχή παρουσιάζονται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

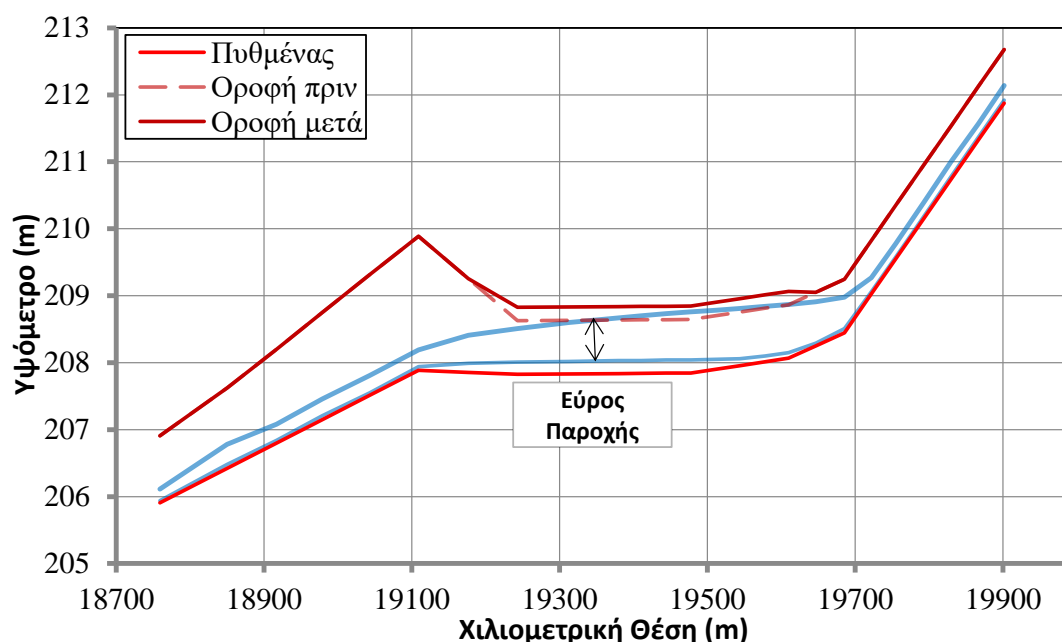
5.2 Διαδικασία τροποποίησης

5.2.1 Περιοχή 1 (Πηγάδι 299 – Πηγάδι 275)

Η πρώτη περιοχή του υδραγωγείου που απαιτεί τροποποίηση εκτείνεται από το πηγάδι με αρίθμηση 299 έως το πηγάδι με αρίθμηση 275. Σε ότι αφορά το πρώτο τμήμα του Αδριανείου, στο οποίο το υδραγωγείο λειτουργεί υπό πίεση («Περιοχή 1»), μόνο παροχές μεγαλύτερες ή ίσες των 130 L/s εμποδίζουν το υδραγωγείο να λειτουργεί με ελεύθερη ροή. Όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 4, πιθανώς η θεώρηση παροχών με τιμές μεγαλύτερες των 130 L/s δεν είναι εύλογη, αφού το Αδριάνειο λειτουργούσε κυρίως μέσω της υδρομάστευσης των υπόγειων στρωμάτων, τα οποία διαπερνά, δηλαδή όσο προχωράει η ροή μέσω της κύριας σήραγγας του υδραγωγείου, από την είσοδο της κεκλιμένης στοάς στο Ολυμπιακό Χωριό με κατεύθυνση προς τη Δεξαμενή, μεγαλώνει η τιμή παροχής της. Επομένως, η ροή κοντά στο Ολυμπιακό Χωριό έχει σχετικά μικρή τιμή σε σχέση με την μέγιστη παροχή, που εντοπίζεται κοντά στη Δεξαμενή. Εντούτοις, επιλέχθηκε η τροποποίηση της

μηκοτομής του τμήματος ώστε να διέρχεται από αυτό παροχή, τιμής της τάξης των 150 L/s.

Από Δευτεραίος (2018) προκύπτει ότι η «Περιοχή 1» χαρακτηρίζεται από διατομές με ύψος που κυμαίνεται από 0,80 m έως και τα 2 m, ενώ τμήματά της είναι πλημμυρισμένα. Σαν λύση για την ομαλή λειτουργία του υδραγωγείου στο συγκεκριμένο τμήμα επιλέχθηκε η αύξηση του ύψους της διατομής στο 1 m στο ενδιάμεσο τμήμα μεταξύ των πηγαδιών με αριθμηση 282 έως 292, στο οποίο εντοπίζεται το πρόβλημα. Σημειώνεται πως στην αρχική μοντελοποίηση τα αντίστοιχα υψόμετρα κυμαίνονταν στη τιμή των 0.80 m.



Σχήμα 5.1: Τροποποίηση στη Περιοχή 1

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται η εικόνα του πρώτου τμήματος του υδραγωγείου που τροποποιήθηκε. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή σχηματίζεται η κύρια σήραγγα του Αδριάνειου υδραγωγείου, με διαστάσεις που είχαν επιλεγεί κατά την διαδικασία ένωσης των μηκοτομών. ενώ με συνεχόμενη κόκκινη σχηματίζεται το νέο τροποποιημένο υδραγωγείο. Το εύρος παροχής αποτελεί το εύρος της στάθμης του ύδατος, όταν το υδραγωγείο υποβάλλεται σε σταθερή παροχή από 10 έως και 150 L/s. Το Αδριάνειο υδραγωγείο, στη «Περιοχή 1» πλέον, λειτουργεί με ελεύθερη επιφάνεια ροής. Σημειώνεται ότι τα διαγράμματα διακύμανσης ταχύτητας και

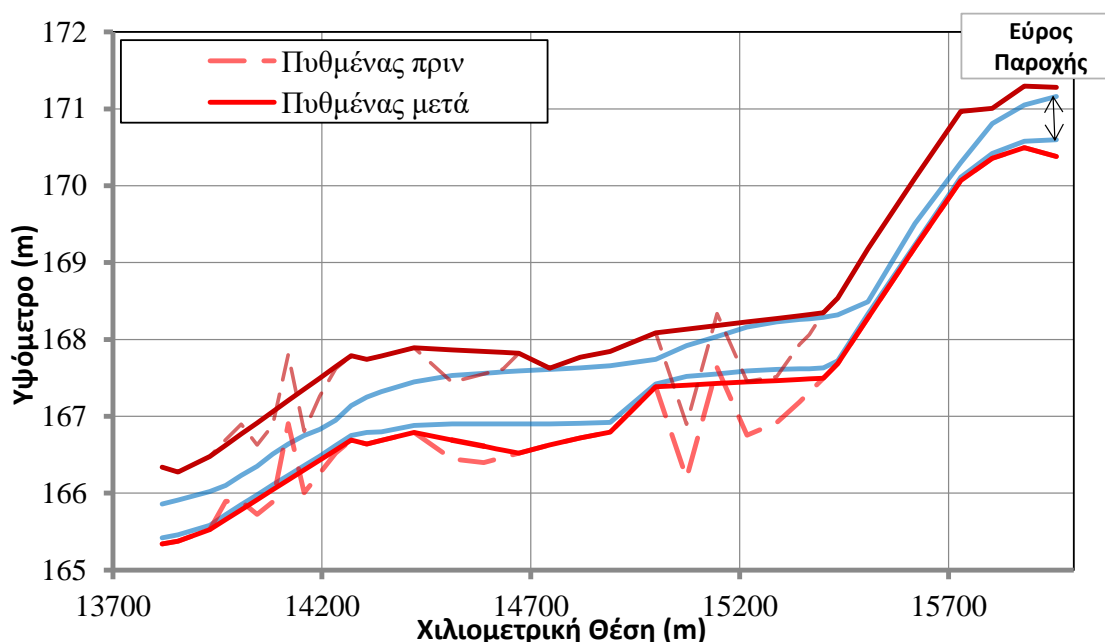
αριθμού Froude για σταθερή παροχή κατά μήκος του υδραγωγείου παραθέτονται στο Παράρτημα Β στο τέλος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

5.2.2 Περιοχή 2 (Πηγάδι 237 - Πηγάδι 200)

Η δεύτερη περιοχή του υδραγωγείου, στην οποία απαιτείται τροποποίηση εκτείνεται από το πηγάδι με αρίθμηση 237 έως το πηγάδι με αρίθμηση 200. Από το Σχήμα 4.27 φαίνεται πως στο τμήμα του Αδριανείου «Περιοχή 2» παρουσιάζει τρεις περιοχές μικρού μήκους, οι οποίες πρέπει να τροποποιηθούν, αφού αναγκάζουν το Υδραγωγείο να λειτουργήσει υπό πίεση. Οι παραπάνω υποπεριοχές χαρακτηρίζονται από έντονες εναλλαγές των κλίσεων των τμημάτων μεταξύ των πηγαδιών, δηλαδή σε έντονες γωνίες στη μηκοτομή του τμήματος του υδραγωγείου, που πρέπει να ομαλοποιηθούν. Αναλυτικότερα, θεωρούνται οι τρεις υποπεριοχές: από το πηγάδι με αρίθμηση 230 έως το πηγάδι 223, από το πηγάδι με αρίθμηση 219 έως το πηγάδι με αρίθμηση 214 και τέλος το τμήμα μεταξύ των πηγαδιών με αρίθμηση 211 έως 202. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι να διατηρούνται τα υψόμετρα πυθμένα και οροφής της κύριας σήραγγας του τμήματος, για τα πηγάδια αρχής και τέλους της κάθε υποπεριοχής και ο υπολογισμός των ενιαίων κλίσεων, για πυθμένα και οροφή αντίστοιχα. Η ενιαία κλίση για τη κάθε υποπεριοχή υπολογίζεται από τη διαφορά των υψομέτρων των πηγαδιών αρχής και τέλους, διαιρεμένη με το συνολικό μήκος της οριζοντιογραφίας της υποπεριοχής. Στη συνέχεια υπολογίζονται και για τον πυθμένα αλλά και για την οροφή της σήραγγας τα αντίστοιχα υψόμετρα, έτσι ώστε το κάθε τμήμα να ακολουθεί την ενιαία κλίση που υπολογίστηκε. Οι αναλυτικές μετατροπές της μηκοτομής ολόκληρου του τμήματος του υδραγωγείου «Περιοχή 2» παρουσιάζεται στο Παράρτημα Β στο τέλος του παρόντος τεύχους.

Στο Σχήμα 5.2 με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η μορφολογία της μηκοτομής του Αδριανείου υδραγωγείου, σε ότι αφορά την «Περιοχή 2», με τις διαστάσεις διατομών όπως επιλέχθηκαν κατά τη διαδικασία ένωσης των μηκοτομών, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2. Αντίστοιχα, με κόκκινη συνεχόμενη γραμμή διαμορφώνεται η μηκοτομή της κύριας σήραγγας του υδραγωγείου, μετά την τροποποίηση της στο τμήμα της 2^{ης} «προβληματικής» περιοχής, δηλαδή εκεί που το Αδριανείο λειτουργεί υπό πίεση. Επιπρόσθετα, στο παραπάνω γράφημα φαίνεται η

στάθμη του νερού για σταθερή κατά μήκος παροχή από 10 L/s έως 150 L/s μέσω του αναγραφόμενου εύρους παροχής.

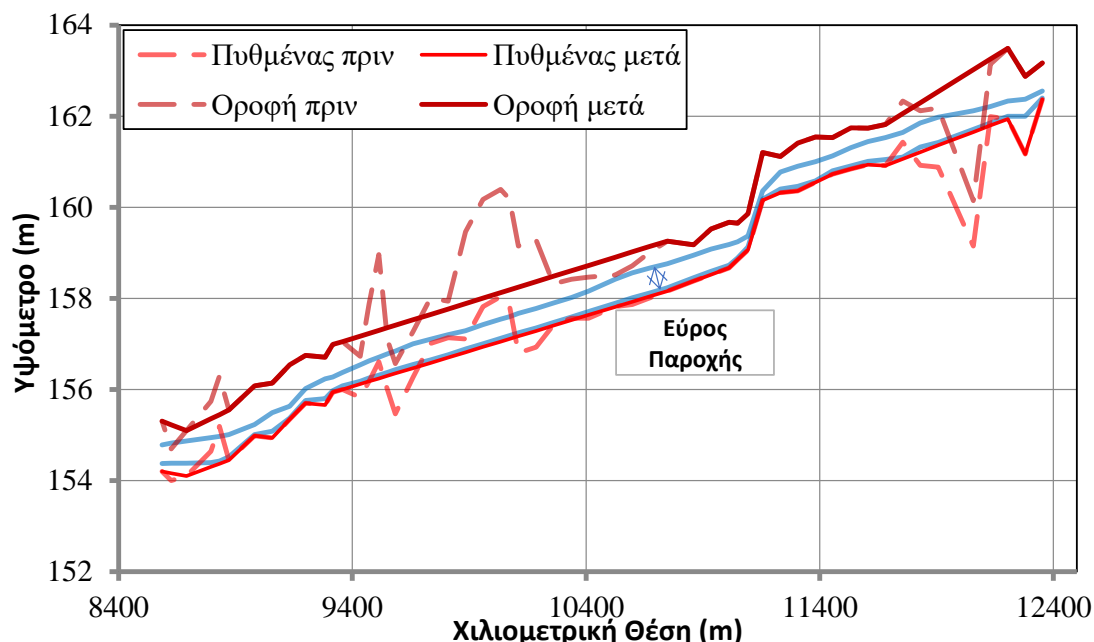


Σχήμα 5.2: Τροποποίηση στη Περιοχή 2

5.2.3 Περιοχή 3 (Πηγάδι 169 – Πηγάδι 116)

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για να τροποποιηθεί η «Περιοχή 3», ώστε να λειτουργεί το υδραγωγείο με ελεύθερη ροή ήταν ίδια με αυτή της διαδικασίας τροποποίησης της 2^η «προβληματικής» περιοχής. Και εδώ παρατηρούνται τρεις υποπεριοχές με έντονες εναλλαγές κλίσεων. Η πρώτη από το πηγάδι 167 έως το 161, η δεύτερη από το πηγάδι με αρίθμηση 149 έως το πηγάδι με αρίθμηση 128 και η τρίτη ανάμεσα στα πηγάδια 121 – 116. Στις δύο πρώτες υποπεριοχές διατηρούνται, ως έχουν, τα υψόμετρα των εκατέρωθεν πηγαδιών και αφού υπολογισθεί η ενδιάμεσα ενιαία κλίση, οροφής και πυθμένα, υπολογίζονται και τα ενδιάμεσα υψόμετρα των πηγαδιών. Για την 3^η υποπεριοχή, εκτός των υψομέτρων των πηγαδιών αρχής και τέλους, δηλαδή τα πηγάδια με αρίθμηση 121 και 116, διατηρούνται και τα υψόμετρα πυθμένα και οροφής της κύριας σήραγγας του υδραγωγείου στη θέση του πηγαδιού με αρίθμηση 118. Έτσι δημιουργούνται για την υποπεριοχή δύο ενιαίες κλίσεις εκατέρωθεν του πηγαδιού 118, με τις οποίες η μηκοτομή του τμήματος «Περιοχή 3» του Αδριάνειου υδραγωγείου πριν (κόκκινη

διακεκομμένη γραμμή) και μετά (κόκκινη συνεχόμενη γραμμή) την τροποποίησή του. Επίσης, στο άνωθεν σχήμα παρουσιάζεται και η υδραυλική απόκριση του τροποποιημένου τμήματος του υδραγωγείου, όταν υποβάλλεται σε διάφορες τιμές σταθερής παροχής κατά μήκος του υδραγωγείου.

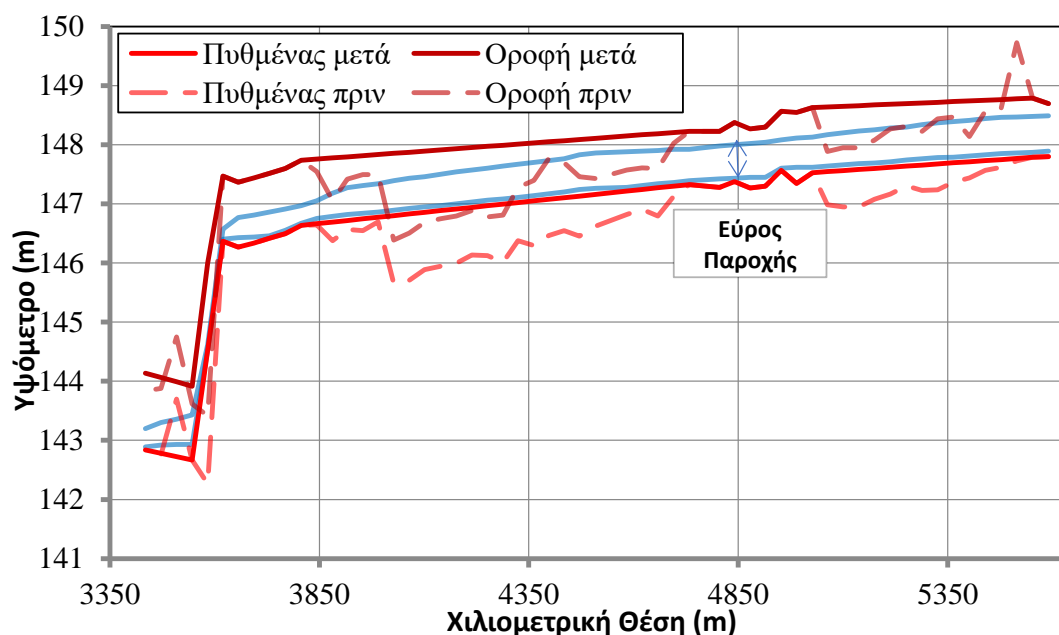


Σχήμα 5.3: Τροποποίηση στη Περιοχή 3

5.2.4 Περιοχή 4 (Πηγάδι 65 - Πηγάδι 22D)

Στο Σχήμα 5.4 παρουσιάζονται οι τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν στη μορφολογία της μηκοτομής της «Περιοχή 4». Όπως και στη προηγούμενη «προβληματική» περιοχή και σε αυτή τη περίπτωση εντοπίζονται τρεις υποπεριοχές (1^η: Πηγάδι 64 – Πηγάδι 50, 2^η: Πηγάδι ε – Πηγάδι 30 και 3^η: 25 – 22D). Για το τμήμα επιλέχθηκε η δημιουργία ενιαίων κλίσεων οροφής και πυθμένα σήραγγας για τις δύο πρώτες υποπεριοχές που επίσης χαρακτηρίζονται από έντονες κλίσεις αλλά και εναλλαγές αυτών. Η τελευταία υποπεριοχή της κύριας σήραγγας του υδραγωγείου αποτελείται από μικρό ύψος διατομής αλλά και έντονης κατηφορικής πορείας που στο τέλος αυτής υπάρχει εκ νέου μικρό ανηφορικό τμήμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, αφού διατηρήθηκαν τα πηγάδια αρχής και τέλους της υποπεριοχής (πηγάδι 25 – πηγάδι 22D), αλλά και τα υψόμετρα πυθμένα και οροφής του πηγαδιού με αρίθμηση 23, υπολογίσθηκαν τα υψόμετρα πυθμένα και οροφής του υδραγωγείου

στις θέσεις των υπολειπόμενων πηγαδιών μέσω των ενιαίων κλίσεων εκατέρωθεν του φρέατος με αρίθμηση 23. Ωστόσο, το υδραγωγείο, με το πέρας των παραπάνω τροποποιήσεων συνέχιζε να λειτουργεί υπό πίεση τοπικά στην «Περιοχή 4». Έτσι, αποφασίστηκε η αύξηση του ύψους των διατομών των πηγαδιών με αρίθμηση 24 έως 22D κατά 0.30 m.



Σχήμα 5.4: Τροποποίηση στη Περιοχή 4

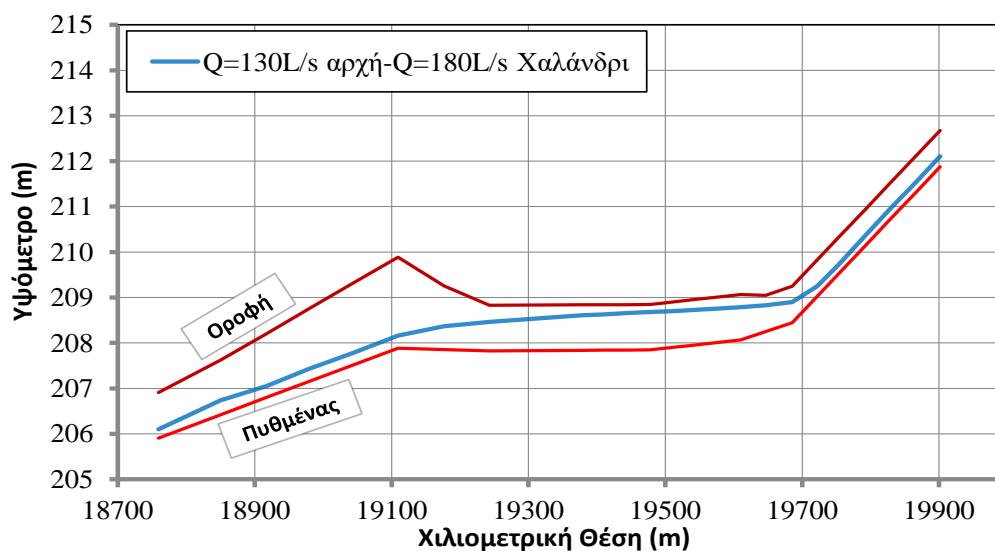
Στο άνωθεν σχήμα φαίνεται επίσης η απόκριση της «Περιοχή 4», όταν στο υδραγωγείο εισέρχεται σταθερή παροχή ίση με 10, 100, 130 και 150 L/s, δημιουργώντας ένας εύρος διακύμανσης της παροχής. Με το πέρας των τροποποιήσεων φαίνεται πως το Αδριάνειο λειτουργεί αναπόσπαστα με ελεύθερη επιφάνεια ύδατος.

5.3 Σενάριο ελέγχου των τροποποιήσεων

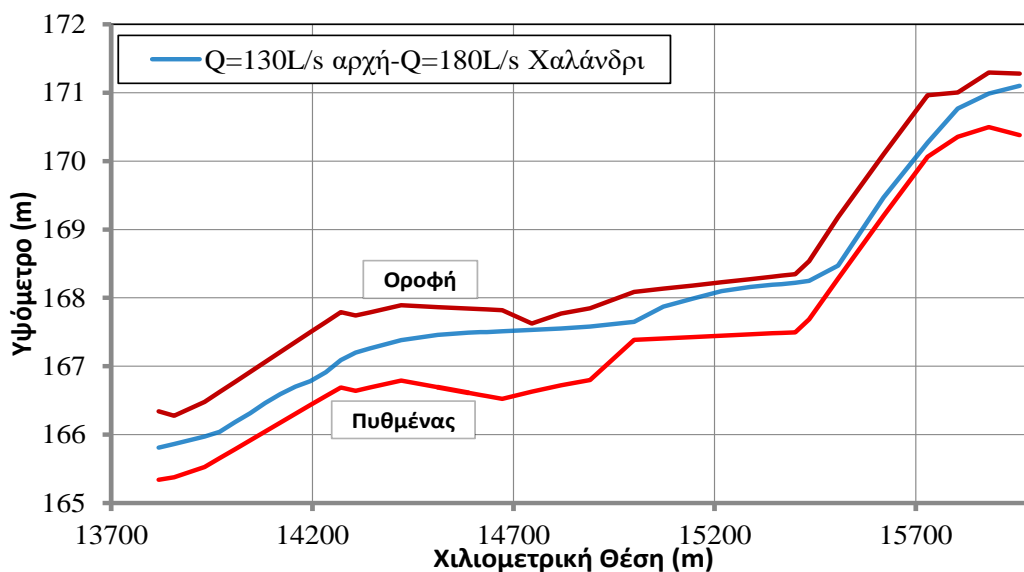
Στη συνέχεια παρουσιάζονται διαγράμματα στάθμης – παροχής νερού για τη νέα τροποποιημένη μηκοτομή του Αδριανείου, για τις «προβληματικές» περιοχές του υδραγωγείου. Επιλέχθηκε να παρουσιαστούν διαγράμματα της υδραυλικής απόκρισης των τεσσάρων περιοχών στο πλέον αντίξοο σενάριο παροχών, που είναι πιθανόν να πραγματοποιούνταν στο υδραγωγείο. Στο Αδριάνειο γίνεται εισροή στην αρχή του, παροχή 130 L/s, ενώ στο φρέαρ με αρίθμηση 102 γίνεται παράπλευρη

εισορή 50 L/s. Έτσι κατάντη του πηγαδιού στο υδραγωγείο μεταφέρεται παροχή 180 L/s.

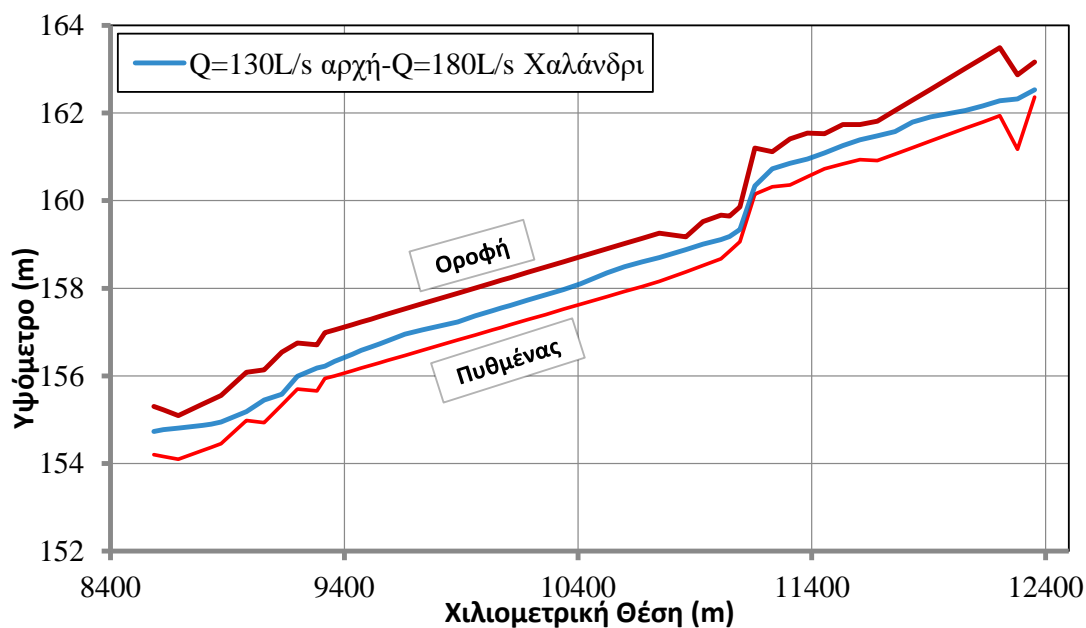
Στο Σχήμα 5.5 φαίνεται η στάθμη ύδατος του Αδριανείου στη «Περιοχή 1» όταν υπάρχει εισορή παροχής, τιμής 130 L/s. Κατά αντιστοιχία, η «Περιοχή 2» και η «Περιοχή 3», στο σενάριο παροχής εισόδου 130 L/s, με πρόσθετη παράπλευρη παροχή 50 L/s στο Χαλάνδρι, παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.6 και στο Σχήμα 5.7 αντίστοιχα.



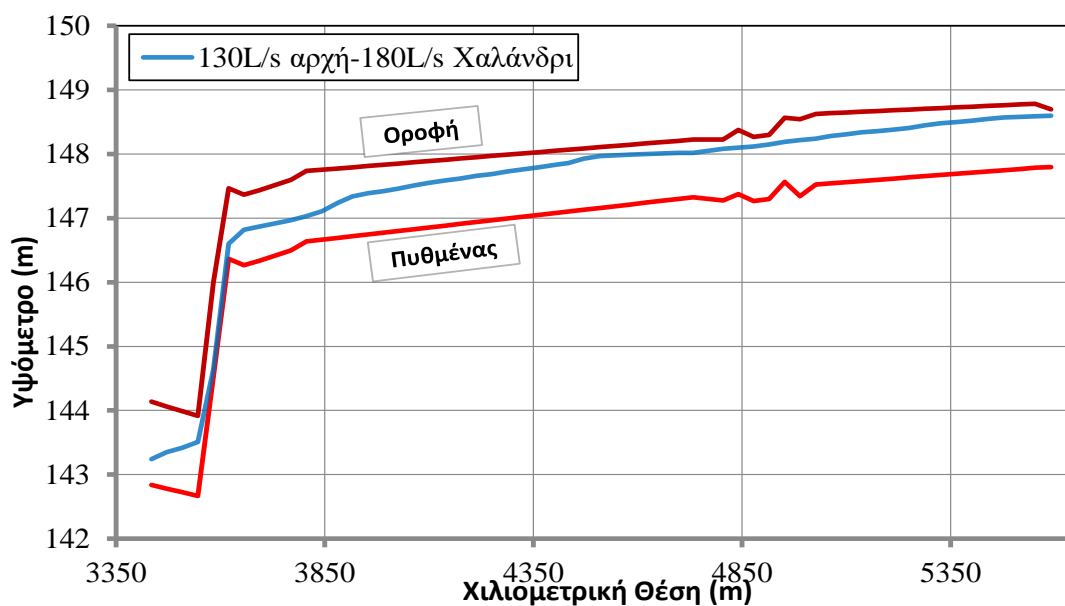
Σχήμα 5.5: Εισορή στο Χαλάνδρι – Τροποποιημένη Περιοχή 1



Σχήμα 5.6: Εισορή στο Χαλάνδρι – Τροποποιημένη Περιοχή 2



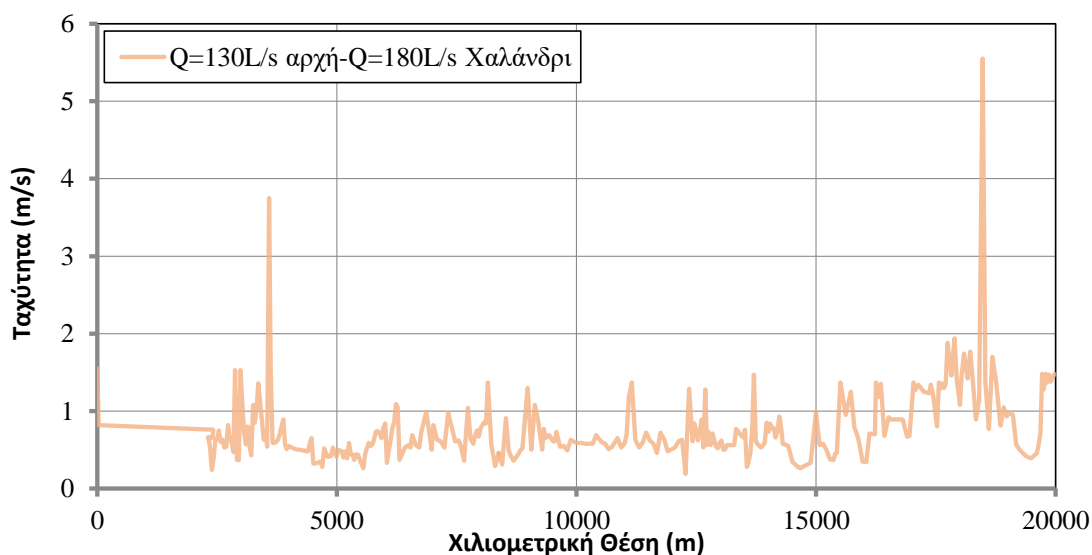
Σχήμα 5.7: Εισροή στο Χαλάνδρι – Τροποποιημένη Περιοχή 3



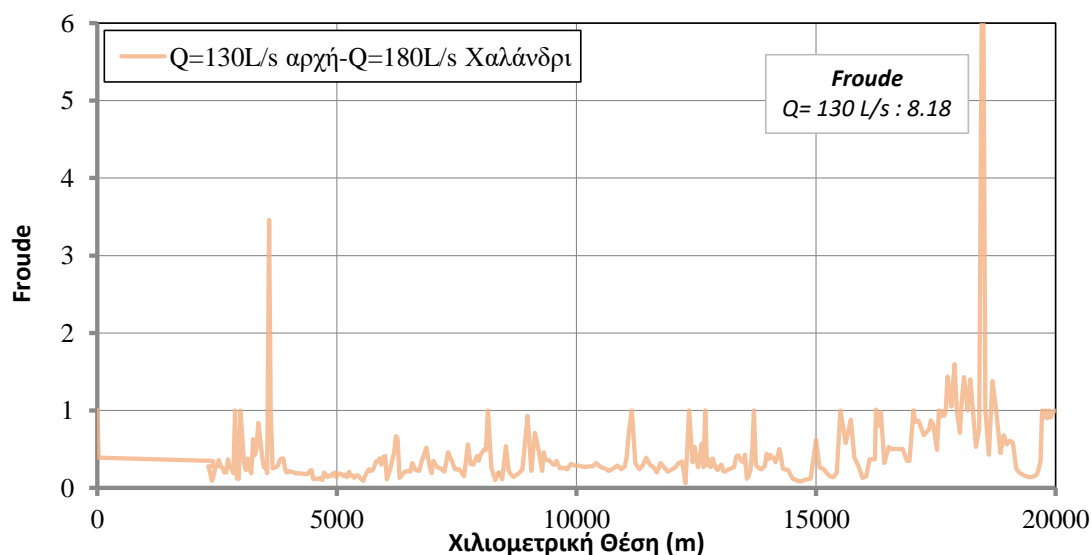
Σχήμα 5.8: Εισροή στο Χαλάνδρι – Τροποποιημένη Περιοχή 4

Στο σενάριο της πρόσθετης εισροής από την Πεντέλη, δηλαδή το στο πηγάδι με αρίθμηση 102, η 4^η «προβληματική» περιοχή είναι εκείνη που επηρεάζεται, καθώς η παροχή ύδατος που διέρχεται από το συγκεκριμένο τμήμα του υδραγωγείου έχει τιμή 180 L/s. Στο Σχήμα 5.8 φαίνεται η απόκριση του τμήματος του υδραγωγείου «Περιοχή 4», όταν υποβάλλεται σε παροχή 180 L/s.

Στο Σχήμα 5.9 και στο Σχήμα 5.10 παρουσιάζεται η κατανομή των ταχυτήτων που αναπτύσσονται στο τροποποιημένο Αδριάνειο υδραγωγείο και η κατανομή του αριθμού Froude, με τον οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί η μορφή της ροής στο υδραγωγείο αντίστοιχα, κατά το σενάριο ελέγχου.



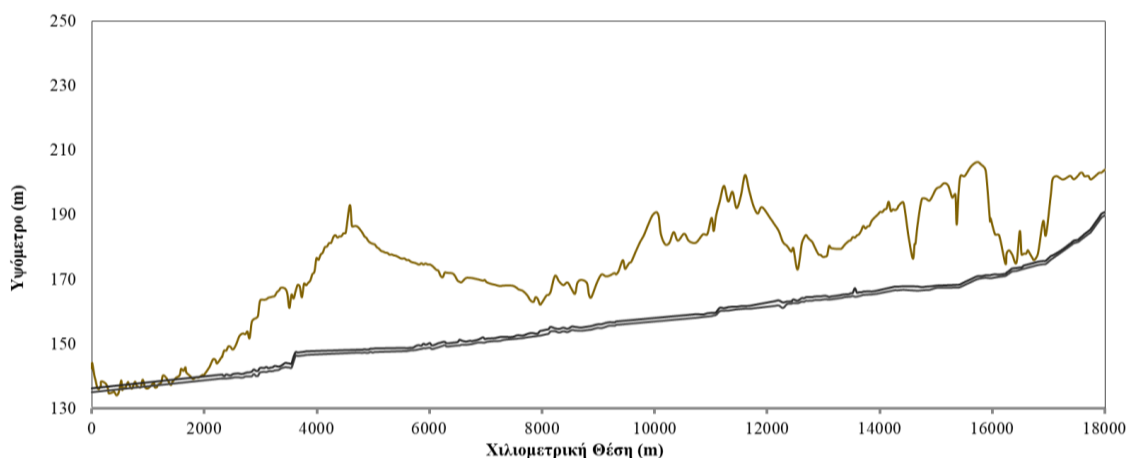
Σχήμα 5.9: Ταχύτητες στο τροποποιημένο υδραγωγείο - Εισροή στο Χαλάνδρι



Σχήμα 5.10: Αριθμός Froude στο τροποποιημένο υδραγωγείο - Εισροή στο Χαλάνδρι

Με το πέρας όλων των τροποποιήσεων στο Αδριάνειο, το υδραγωγείο δεν λειτουργεί πλέον υπό πίεση αλλά με ελεύθερη επιφάνεια ροής. Στο Σχήμα 5.11 παρουσιάζεται η

νέα τροποποιημένη μηκοτομή του Αδριανείου, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και το τμήμα του υδραγωγείου Άγιος Δημήτριος Αμπελοκήπων – Δεξαμενή Κολωνακίου.

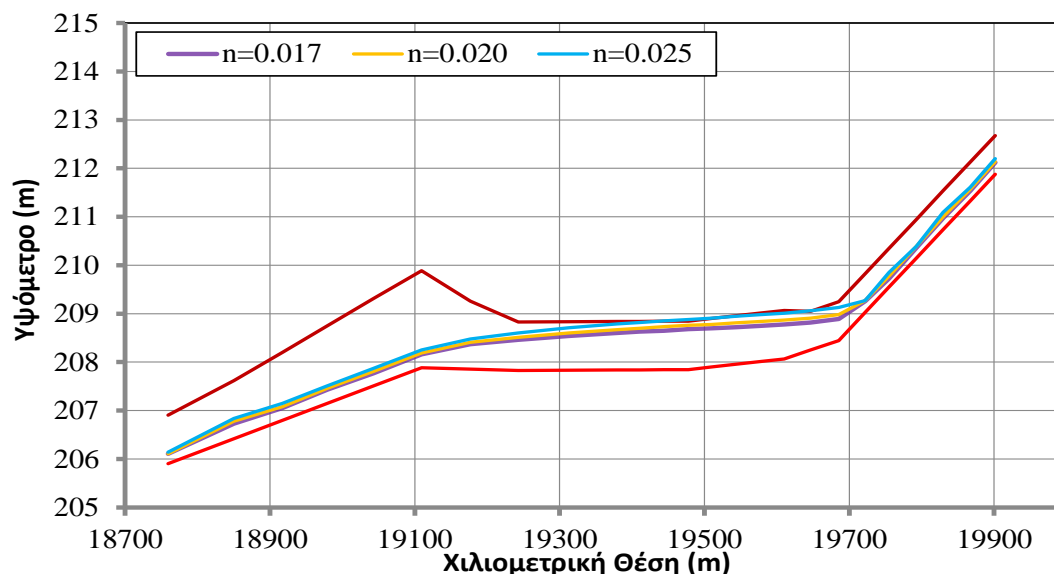


Σχήμα 5.11: Τροποποιημένη μηκοτομή Αδριανείου υδραγωγείου

5.4 Σενάρια με διαφορετικούς συντελεστές Manning (n)

Όπως προαναφέρθηκε, για το Αδριανείο υδραγωγείο, μετά την τροποποίηση της μηκοτομής του, πραγματοποιήθηκαν τρία σενάρια αναλύσεων, σε ότι αφορά την τραχύτητα του υδραγωγείου. Όπως και στο αρχικό υδραγωγείο αρχική προσέγγιση ήταν η ρεαλιστικότερη υπόθεση για τον συντελεστή Manning, δηλαδή ότι $n=0.020$. Επιπρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν για τον άνωθεν συντελεστή οι τιμές $n=0.017$ και $n=0.025$, για λόγους που παραθέτονται αναλυτικά στη παράγραφο 3.2.2, της παρούσας διπλωματικής.

Στη συνέχεια του υποκεφαλαίου παρουσιάζονται διαγράμματα στάθμης – παροχής για τις τρεις τιμές του n στο υδραγωγείο, όταν αυτό υποβάλλεται σε σταθερή παροχή κατά μήκος του. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε πως δεν είναι δυνατή η ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων στις τέσσερις περιοχές των προηγούμενων αναλύσεων («Περιοχή 1», «Περιοχή 2», «Περιοχή 3» και «Περιοχή 4»). Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα της μέγιστης τιμής παροχής που δέχεται κάθε τμήμα του υδραγωγείου σε όλα τα προηγούμενα σενάρια αναλύσεων, δηλαδή από το πηγάδι με αρίθμηση 299' έως το πηγάδι με αρίθμηση 102 (εισορή από το Χαλάνδρι) η τιμή των 150 L/s ενώ από το τελευταίο έως και την Δεξαμενή στο Κολωνάκι μέγιστη παροχή τιμής 180 L/s.

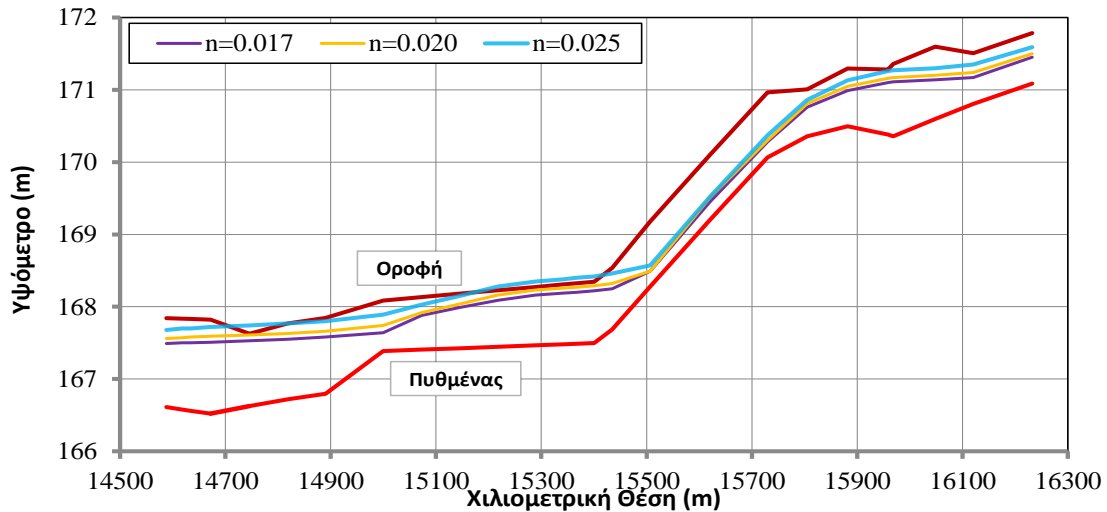


Σχήμα 5.12: Απόκριση τμήματος 299 έως 275 σε μέγιστη παροχή για διαφορετικούς συντελεστές Manning

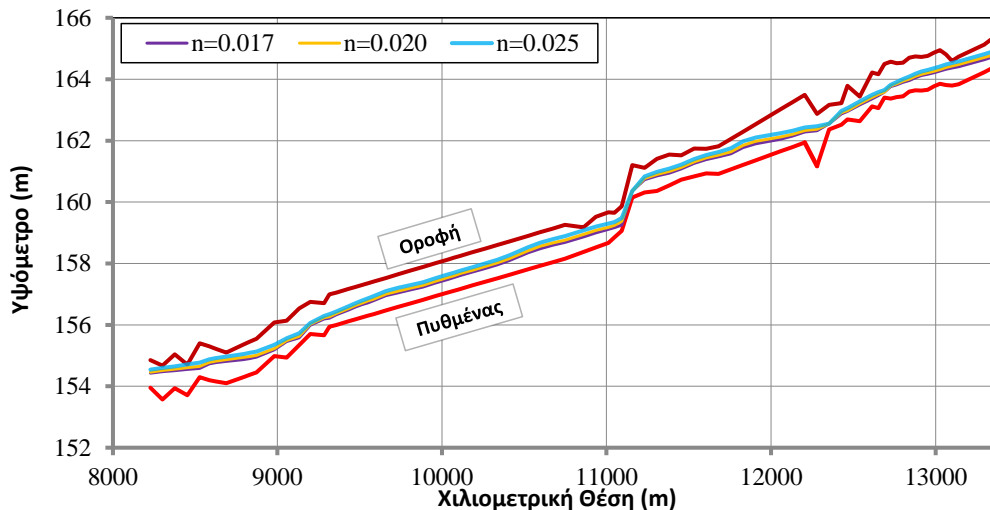
Να σημειωθεί πως η νέα ομαδοποίηση των περιοχών του υδραγωγείου, που λειτουργούν υπό πίεση έγινε με βάση την απόκριση ολόκληρου του υδραγωγείου, όταν αυτό υποβάλλεται σε παροχή με τιμή 180 L/s.

Στο Σχήμα 5.12 παρουσιάζεται η απόκριση του τμήματος του Αδριανείου υδραγωγείου, που εκτείνεται μεταξύ των πηγαδιών με αρίθμηση 299 και 275. Η σταθερή παροχή του διαγράμματος αποτελεί την μέγιστη παροχή, με την οποία έχει επιλεγεί να λειτουργεί το τμήμα, η οποία φτάνει τα 150 L/s. Το τμήμα λειτουργεί υπό πίεση μόνο στη περίπτωση, όπου ο συντελεστής Manning n έχει την τιμή $n=0.025$. Το γεγονός ότι η θεώρηση παροχής των 150 L/s, μπορεί να χαρακτηρίζεται ως υπερτιμημένη για το συγκεκριμένο τμήμα, λόγω του τρόπου λειτουργίας του υδραγωγείου, δεν επιτρέπει το συμπέρασμα πως η τιμή $n=0.025$ για τον συντελεστή Manning αποτελεί λανθασμένη προσέγγιση.

Στο Σχήμα 5.12 φαίνεται το τμήμα του υδραγωγείου, που εκτείνεται από το πηγάδι με αρίθμηση 239^B έως το πηγάδι με αρίθμηση 216. Η τιμή της μέγιστης παροχής του τμήματος είναι και εδώ τα 150 L/s. Γίνεται φανερό πως το σενάριο με τιμή $n=0.025$, για τον συντελεστή Manning, αναγκάζει το υδραγωγείο να λειτουργεί υπό πίεση και σε τμήματα του Αδριανείου, όπου σε όλες τις προηγούμενες αναλύσεις δεν επηρεάζονταν.

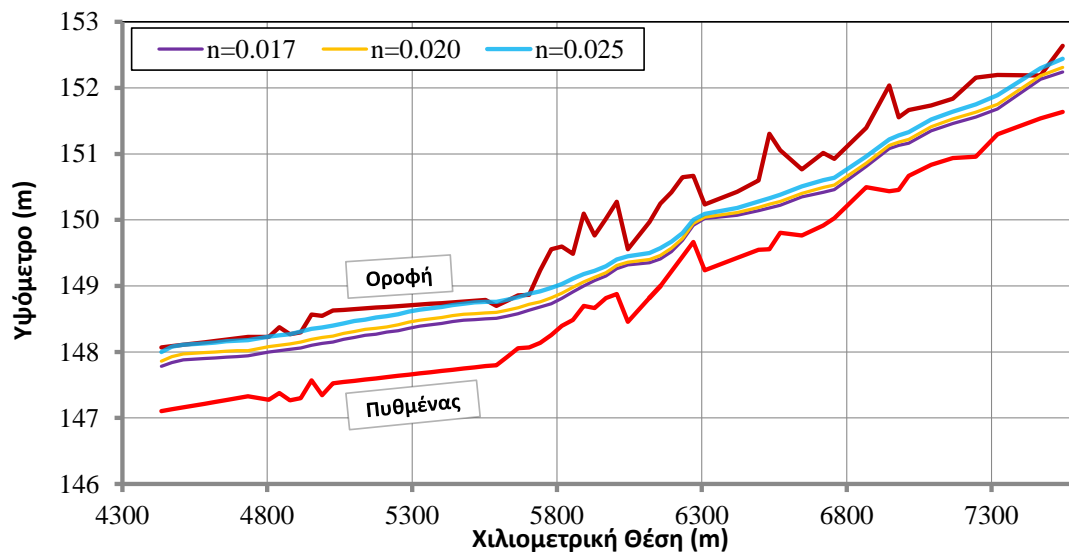


Σχήμα 5.13: Απόκριση τμήματος 239^B έως 216 σε μέγιστη παροχή για διαφορετικούς συντελεστές Manning



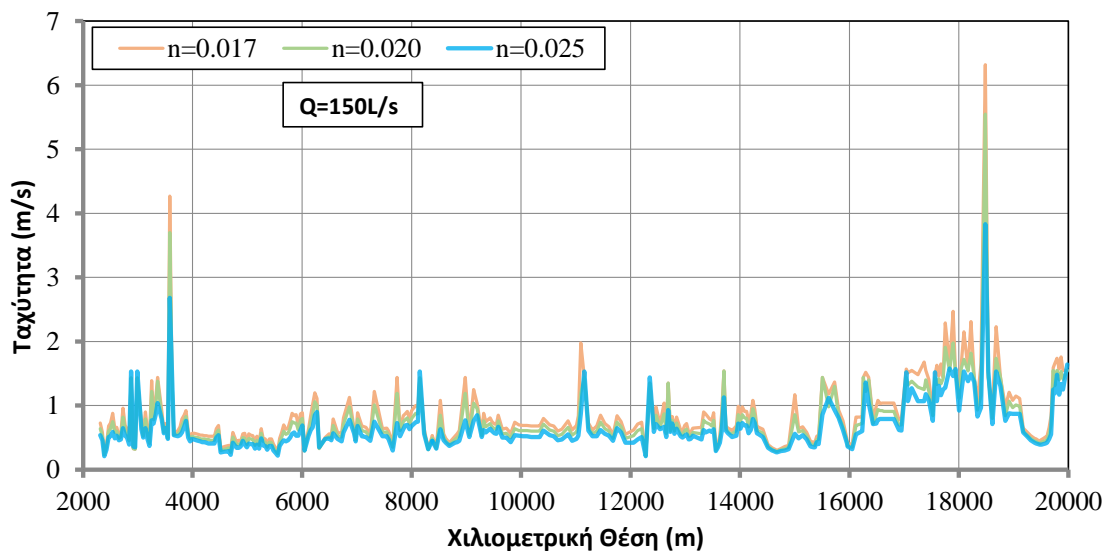
Σχήμα 5.14: Απόκριση τμήματος 188 έως 111 σε μέγιστη παροχή για διαφορετικούς συντελεστές Manning

Από το Σχήμα 5.14, φαίνεται πως το τμήμα του υδραγωγείου που εκτείνεται από το πηγάδι με αρίθμηση 188 έως το πηγάδι με αρίθμηση 111 λειτουργεί υπό πίεση τοπικά στο πηγάδι με αρίθμηση 114, στη χιλιμετρική θέση των 8452 m, όταν το υδραγωγείο υποβάλλεται σε παροχή 150 L/s και μόνο στη περίπτωση όπου $n=0.025$, δηλαδή όταν το υδραγωγείο προσομοιώνεται με αγωγό με επένδυση τοιχοποιίας με τιμεντοκονίαμα σύμφωνα με Νουτσόπουλο κ. α (2007).



Σχήμα 5.15: Απόκριση τμήματος 98Α έως 43D σε μέγιστη παροχή για διαφορετικούς συντελεστές Manning

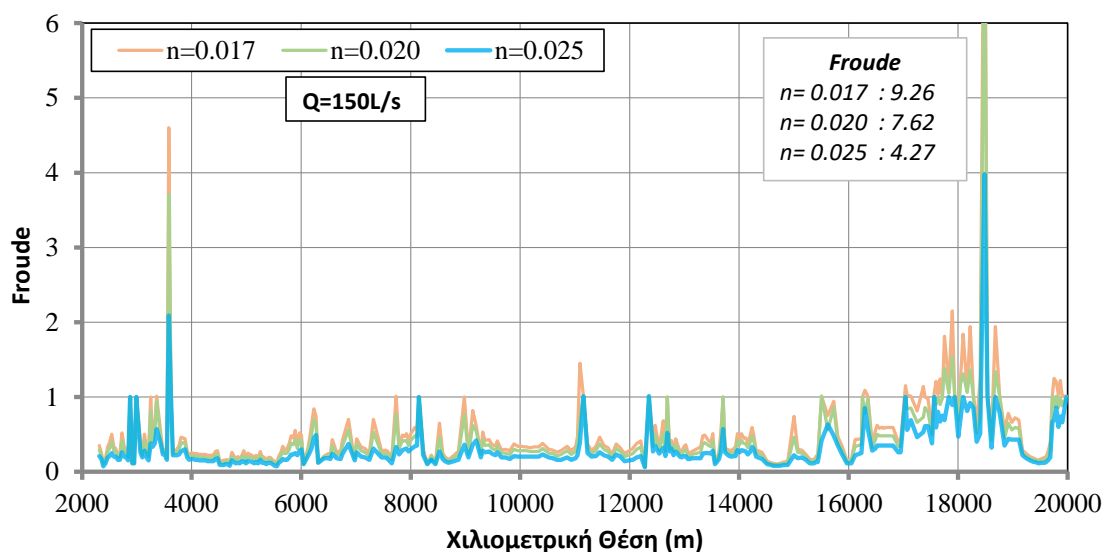
Στο Σχήμα 5.13 παρουσιάζεται η τελευταία περιοχή του Αδριανείου υδραγωγείου, που ομαδοποιήθηκε σε αυτό το κεφάλαιο. Το συγκεκριμένο τμήμα του υδραγωγείου, λειτουργεί υπό πίεση, στη περίπτωση μέγιστης παροχής 180 L/s, για συντελεστή Manning $n=0.025$.



Σχήμα 5.16: Ταχύτητες - Τροποποιημένο υδραγωγείο - Διαφορετικές τραχύτητες

Στο Σχήμα 5.16 φαίνονται οι ταχύτητες του υδραγωγείου για τις διαφορετικές τιμές συντελεστών Manning (n) για σταθερή παροχή $Q=150$ L/s κατά μήκος του Αδριανείου.

Εύλογα, οι τιμές των ταχυτήτων στα ίδια σημεία για μικρότερες τιμές συντελεστών Manning (n) είναι μεγαλύτερες.



Σχήμα 5.17: Αριθμός Froude - Τροποποιημένο υδραγωγείο - Διαφορετικές τραχύτητες

Στο Σχήμα 5.17 φαίνεται η διακύμανση του αριθμού Froude στο Αδριάνειο υδραγωγείο μετά την τροποποίησή του, για σταθερή παροχή $Q=150$ L/s. Προκύπτει πως η διαδικασία τροποποίησης του Αδριάνειου υδραγωγείου δημιουργεί μια επιπλέον περιοχή περί του πηγαδιού 24, η ροή στην οποία χαρακτηρίζεται υπερκρίσιμη.

Να σημειωθεί πως από τα αποτελέσματα των σεναρίων διαφορετικής, από τη μέγιστη κάθε τμήματος, παροχής προέκυψε πως το Αδριάνειο υδραγωγείο λειτουργεί με ελεύθερη επιφάνεια ροής για παροχές μικρότερες ή ίσες των 130 L/s ακόμη και στη περίπτωση που ο συντελεστής Manning έχει την τιμή $n=0.025$. Τα συγκεκριμένα διαγράμματα για $Q=130$ L/s και $Q=100$ L/s, όπως και τα αντίστοιχα διαγράμματα κατανομής των ταχυτήτων και του αριθμού Froude βρίσκονται στο τέλος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, στο Παράρτημα Β.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

6.1 Συμπεράσματα υδραυλικής διερεύνησης υδραγωγείου

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δηλαδή με την ολοκλήρωση της πρώτης προσπάθειας υδραυλικής διερεύνησης του Αδριανείου υδραγωγείου προέκυψαν διαδοχικά, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σημαντικά συμπεράσματα.

- Η υδραυλική διερεύνηση πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό υδραυλικών αναλύσεων HEC – RAS, το οποίο δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα για υδραυλικές αναλύσεις σε προσομιώματα υδατορεμάτων, τα οποία λειτουργούν με ελεύθερη ροή επιφάνειας και διατίθεται δωρεάν μέσω του διαδικτύου.

Σε ότι αφορά το Αδριάνειο υδραγωγείο, η μηκοτομή του οποίου κατασκευάστηκε μέσω της διαδικασίας ένωσης των δύο σειρών μηκοτομών αντίστοιχων τοπογραφήσεων:

- Μέσω της διαδικασίας ένωσης των δύο σειρών μηκοτομών, παρατηρήθηκε πως οι δύο τοπογραφήσεις ήταν ελλειπείς και σε σημεία λανθασμένες, με αποτέλεσμα την δημιουργία δυσκολιών στην κατασκευή της τελικής μηκοτομής του Αδριανείου, η οποία αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την υδραυλική του διερεύνηση.
- Η αρχική προσέγγιση του υδραγωγείου πραγματοποιήθηκε με μοντελοποίηση αυτού με σταθερή κατά μήκος διατομή, πλάτους 0.50 m και 1.20 m έδωσε επαρκώς ρεαλιστική εικόνα για τη συμπεριφορά του υδραγωγείου, γεγονός που επιβεβαιώθηκε από την ομοιότητα της απόκρισης του Αδριανείου, όταν αυτό

μοντελοποιήθηκε με τις αποκαλούμενες «πραγματικές» διατομές, δηλαδή διατομές με διαστάσεις που επιλέχθηκαν κατά το στάδιο ένωσης των δύο σειρών μηκοτομών. Η εικόνα αυτή έδειξε πως η στάθμη της ροής στο υδραγωγείο σε τέσσερα τμήματά του ξεπερνάει τη στάθμη της οροφής της κύριας σήραγγας, δηλαδή το υδραγωγείο σε αυτά τα τμήματα λειτουργεί υπό πίεση. Αυτό συμβαίνει λόγω της μορφολογίας της μηκοτομής του, με τις έντονες εναλλαγές κλίσεων στην κύρια σήραγγα, καθώς συμβαίνει ακόμα και σε ροή τιμής παροχής $Q=10$ L/s.

- Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης ολόκληρου του Αδριανείου υδραγωγείου, δηλαδή όταν συμπεριλαμβάνεται στη μοντελοποίηση το τμήμα Αγίου Δημητρίου - Δεξαμενή, στο HEC – RAS, δεν παρουσιάζουν αλλαγές σε σύγκριση με τα αποτελέσματα των αντίστοιχων αναλύσεων χωρίς το τμήμα του Αγίου Δημητρίου – Δεξαμενή, γεγονός αναμενόμενο καθώς το συγκεκριμένο τμήμα αποτελεί το τελευταίο τμήμα του Αδριανείου και μοντελοποιήθηκε με σταθερή διατομή και ομαλή ενιαία κλίση της κεντρικής σήραγγας, συνεπώς, δεν μπορεί να επηρεάσει την ροή των ανάντη τμημάτων του.
- Στο ολοκληρωμένο μοντέλου του Αδριανείου υδραγωγείου, με το τμήμα Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή, όταν πραγματοποιήθηκαν σενάρια παράπλευρων πρόσθετων εισροών, τόσο από τον Κοκκιναρά, στο πηγάδι 215, όσο και από το Χαλάνδρι, στο πηγάδι με αρίθμηση 102, εκ νέου τα αποτελέσματα των αναλύσεων δεν μεταβαλλόταν. Στα ίδια τμήματα της μηκοτομής, όπου το υδραγωγείο λειτουργούσε υπό πίεση, σε όλα τα προηγούμενα σενάρια σταθερής παροχής κατά μήκος της κύριας σήραγγας του Αδριανείου, το υδραγωγείο στα σενάρια πρόσθετης εισροής παροχής λειτουργούσε υπό πίεση ακόμη και για την ελάχιστη παροχή $Q=10$ L/s. Αίτιο αυτής της απόκρισης του Αδριανείου αποτελεί και πάλι η μορφολογία της μηκοτομής της κύριας σήραγγας του Αδριανείου υδραγωγείου.
- Ειδικότερα, στη περίπτωση της «προβληματικής» Περιοχής 1, που εκτείνεται από το πηγάδι με αρίθμηση 299 έως το 275, όπου το μοντέλο του υδραγωγείου στο HEC – RAS λειτουργεί υπό πίεση για παροχές μεγαλύτερες ή ίσες της τιμής παροχής $Q=130$ L/s, μπορεί να μην χρήζει τροποποίησης. Αυτό συμβαίνει καθώς

το Αδριάνειο υδραγωγείο λειτουργεί κυρίως με υπόγεια νερά, μέσω της υδρομάστευσης των υπόγειων στρωμάτων. Συνεπώς, είναι πιθανό το αρχικό τμήμα του υδραγωγείου να μην μπορεί να αναλάβει παροχή μεγαλύτερης ή ίσης τιμής με $Q=130$ L/s.

Σε ότι αφορά το Αδριάνειο υδραγωγείο, η μηκοτομή του οποίου τροποποιήθηκε στα τμήματα που λειτουργούσαν υπό πίεση, ώστε να μην χαρακτηρίζεται από έντονες εναλλαγές κλίσεων:

- Το τροποποιημένο υδραγωγείο, όταν υποβληθεί σε σταθερή παροχή, τιμών που κυμαίνονται από $Q=10$ L/s έως $Q=150$ L/s, κατά μήκος του υδραγωγείου λειτουργεί ανεμπόδιο με ελεύθερη ροή επιφάνεια ύδατος. Ίδια συμπεριφορά έχει και όταν υποβληθεί σε διαφορετική παροχή κατά μήκος του Αδριανείου, ακόμα και όταν σε σημεία η παροχή φτάνει την τιμή $Q=180$ L/s. Συμπεραίνεται πως, μικρές τροποποιήσεις σε τμήματα του υδραγωγείου, οι οποίες χαρακτηρίζονταν από μη εύλογες απότομες εναλλαγές κλίσεων, διόρθωσε το γεγονός ότι το υδραγωγείο στα συγκεκριμένα τμήματα λειτουργούσε υπό πίεση ακόμα και σε παροχή $Q=10$ L/s.
- Όταν το Αδριάνειο υδραγωγείο, μετά την τροποποίηση του, σε μηκοτομή, προσομοιώθηκε με τρεις διαφορετικές τραχύτητες, δηλαδή με τρεις διαφορετικές τιμές του συντελεστή Manning ($n=0.017$, $n=0.020$, $n=0.025$). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως για τις δύο μικρότερες τιμές τραχύτητας το Αδριάνειο λειτουργεί αναπόσπαστα με ελεύθερη ροή επιφάνειας, ενώ για τη μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή Manning ($n=0.025$), το υδραγωγείο λειτουργεί υπό πίεση, όχι στις περιοχές που δημιουργούταν πρόβλημα έως τότε αλλά σε νέες. Το γεγονός αυτό δείχνει πως η τιμή αυτή για το συντελεστή Manning ($n=0.025$), δεν αποτελεί ρεαλιστική προσέγγιση για την τραχύτητα του Αδριανείου.

Ανακεφαλαιωτικά, με την ολοκλήρωση της πρώτης προσέγγισης της υδραυλικής διερεύνησης του Αδριανείου υδραγωγείου συμπεραίνεται:

- Η εικόνα της τελικής μηκοτομής, με τις εναλλάξ έντονες κατωφέρειες και τις έντονες ανωφέρειες χαρακτηρίζονται εσφαλμένες και αποδίδονται είτε σε

λάθος στις τοπογραφήσεις, από τις οποίες προέκυψαν οι δύο σειρές μηκοτομών, είτε σε σφάλμα κατά την διαδικασία ένωσης των δύο, η οποία περιγράφεται αναλυτικά στη παράγραφο 2.1.2.

- Αίτιο της απόκρισης του Αδριανείου υδραγωγείου σε όλα τα σενάρια αναλύσεων, αποτελούν οι απότομες εναλλαγές κλίσεων της μηκοτομής του, όπως αυτή προέκυψε από την διαδικασία ένωσης του δύο σειρών μηκοτομών, του ιστορικού αρχείου.
- Το σενάριο με την μεγαλύτερη τιμή τραχύτητας, δεν αποτελεί ρεαλιστική αλλά αρκετά δυσμενή προσέγγιση της κατάστασης του υδραγωγείου, κατά την αρχαία ρωμαϊκή εποχή.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η υδραυλική διερεύνηση του Αδριανείου υδραγωγείου, όπως παρουσιάζεται στη παρούσα διπλωματική εργασία, αποτελεί τη βάση ενός ευρέος φάσματος μελλοντικής έρευνας. Παρακάτω παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα, όπως προκύπτουν από την ως τώρα διερεύνηση.

Αρχική και αποτελεσματικότερη λύση, ώστε να διερευνηθεί πλήρως ο τρόπος λειτουργίας του Αδριανείου υδραγωγείου αποτελεί η πραγματοποίηση τοπογράφησης όλων των υπαρχόντων τμημάτων του Αδριανείου σήμερα, ώστε σε συνδυασμό με τις παλαιότερες δύο σειρές μηκοτομών αλλά και με την επί τόπου έρευνα να δημιουργηθεί η ακριβέστερη εικόνα της μηκοτομής του Αδριανείου υδραγωγείου.

Σε ότι αφορά την υδραυλική του διερεύνηση προτείνεται:

- Η πραγματοποίηση υδρογεωλογικής έρευνας στα εδάφη που διαπερνά η κύρια σήραγγα του υδραγωγείου, ώστε να υπολογιστεί κατά τμήμα παροχή που δέχεται το Αδριάνειο.
- Η καταγραφή των διατομών που εντοπίζονται στο υδραγωγείο, κατά την επί τόπου έρευνα και η αναλυτικότερη σύγκριση με τα δεδομένα που προκύπτουν για τις διατομές από τις υπάρχουσες μηκοτομές, ώστε να πραγματοποιηθούν

σενάρια με τις πραγματικές διαστάσεις και σχήματα των διατομών, καθώς μέχρι τώρα απλοποιητικά οι διατομές μοντελοποιούνται σαν ορθογωνικές.

- Η διερεύνηση της τραχύτητας των εσωτερικών επιφανειών του υδραγωγείου, ώστε να αντιστοιχηθεί σε κάθε τμήμα της κύριας σήραγγας του Αδριανείου ο κατάλληλος συντελεστής Manning (n), αλλά και η δημιουργία διαφορετικών χρονολογικά σεναρίων, όπου σίγουρα οι συντελεστές θα έχουν αποκτήσει μεγαλύτερη τιμή από την χρονική στιγμή αρχής λειτουργίας του έργου.
- Η πραγματοποίηση μη μόνιμων σεναρίων ροής, με την είσοδο στο πρόγραμμα υδατογραφημάτων, ώστε να επιβεβαιωθεί η θεώρηση της υδρομάστευσης των υπόγειων στρωμάτων, ως τρόπος λειτουργίας του Αδριανείου υδραγωγείου.

Βιβλιογραφία

Δευτεραίος Π., Μαμάσης Ν. (2018): Ερευνητικό έργο «Εργασίες διερεύνησης του Αδριανείου Υδραγωγείου της Αθήνας & καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης σε συγκεκριμένα υπόγεια τμήματά του.», Έκθεση προόδου (9/2017–3/2018), Αθήνα. Αναθέτουσα αρχή: ΕΥΔΑΠ Α.Ε

Λάμπρου Ι. (2009), «Αττικόν Ύδωρ», Ν. & Σ. Μπατσιούλας, Αθήνα

Νουτσόπουλος Γ., Χριστοδούλου Γ. και Παπαθανασιάδης Τ. (2007). «Υδραυλική ανοικτών αγωγών», ΕΜΠ, Αθήνα

Παππάς Α. (1999), «Η ύδρευσις των Αρχαίων Αθηνών», Ελεύθερη σκέψις, Αθήνα

Στάμου Α. Ι. (2012), «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ, Ροή υπό πίεση και με ελεύθερη επιφάνεια», Παπασωτηρίου Εκδόσεις, Αθήνα

Avgerinou P., Chiotis E., Chrisoulaki S., Defteraios P., Evangelou T., Gigourtakis M., Kakes G., Kourtzellis Y., Koutis P., Mamassis N., Pappa M., Peppas G., and Strataridaki A., (2016). “Updated Appraisal of Ancient Underground Aqueducts in Greece, Underground Aqueducts Handbook”, edited by Angelakis A. N., Chiotis E, Eslamian S, and Weingartner H., doi: 10.1201/9781315368566-5.

Brunner G. W. (2016), “HEC-RAS River Analysis System User’s Manual Version 5.0”, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources

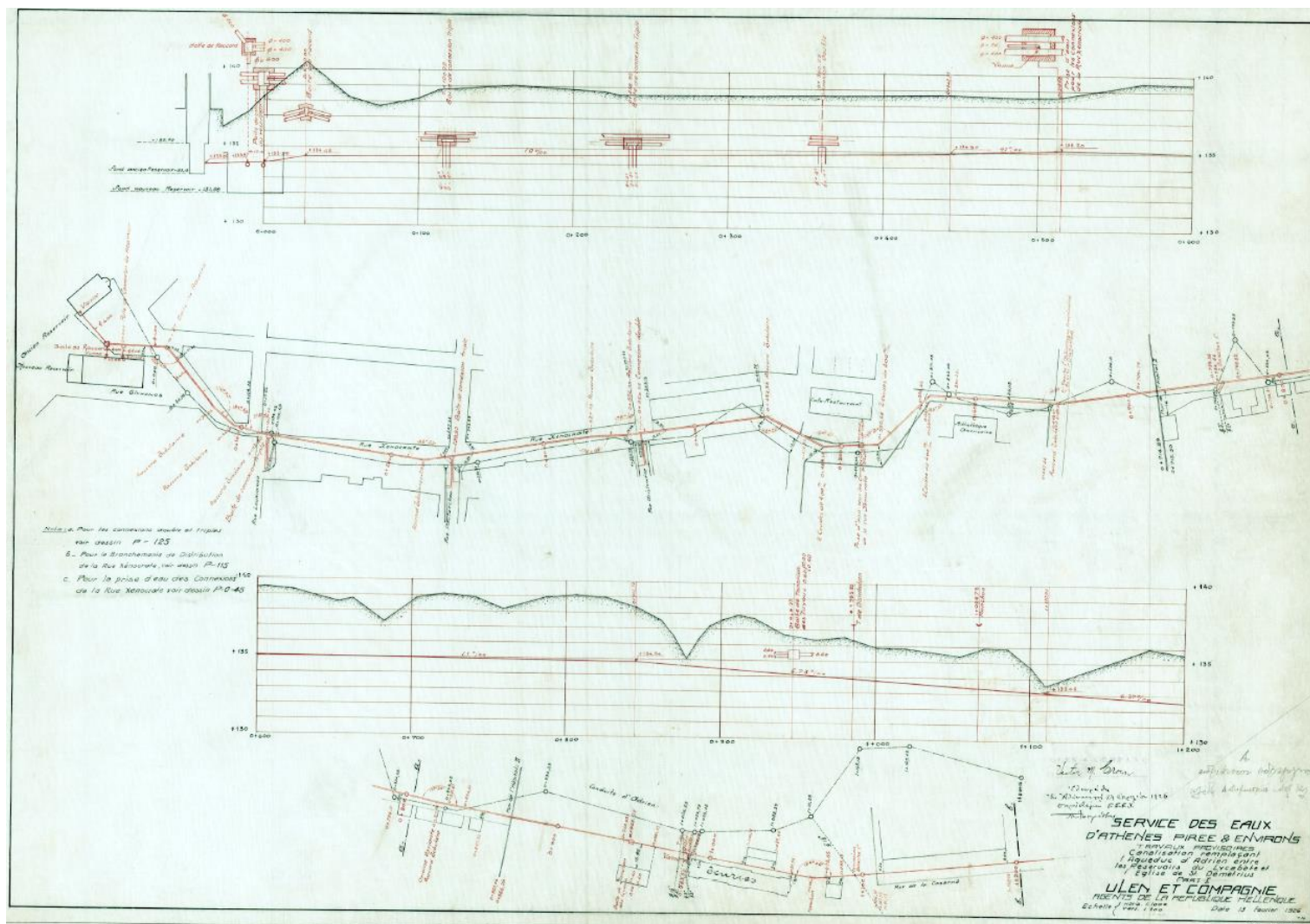
Brunner G W. (2016) “HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 5.0”, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources

Chiotis E.D. (2018). "The Hadrianic aqueduct of Athens and the underlying tradition of hydraulic engineering", Great Waterworks in Roman Greece: Aqueducts and Monumental Fountain Structures: Function in Context, Aristodemou G., Tassios T. (Ed.), Archaeopress Publishing, Oxford, pp 70-97

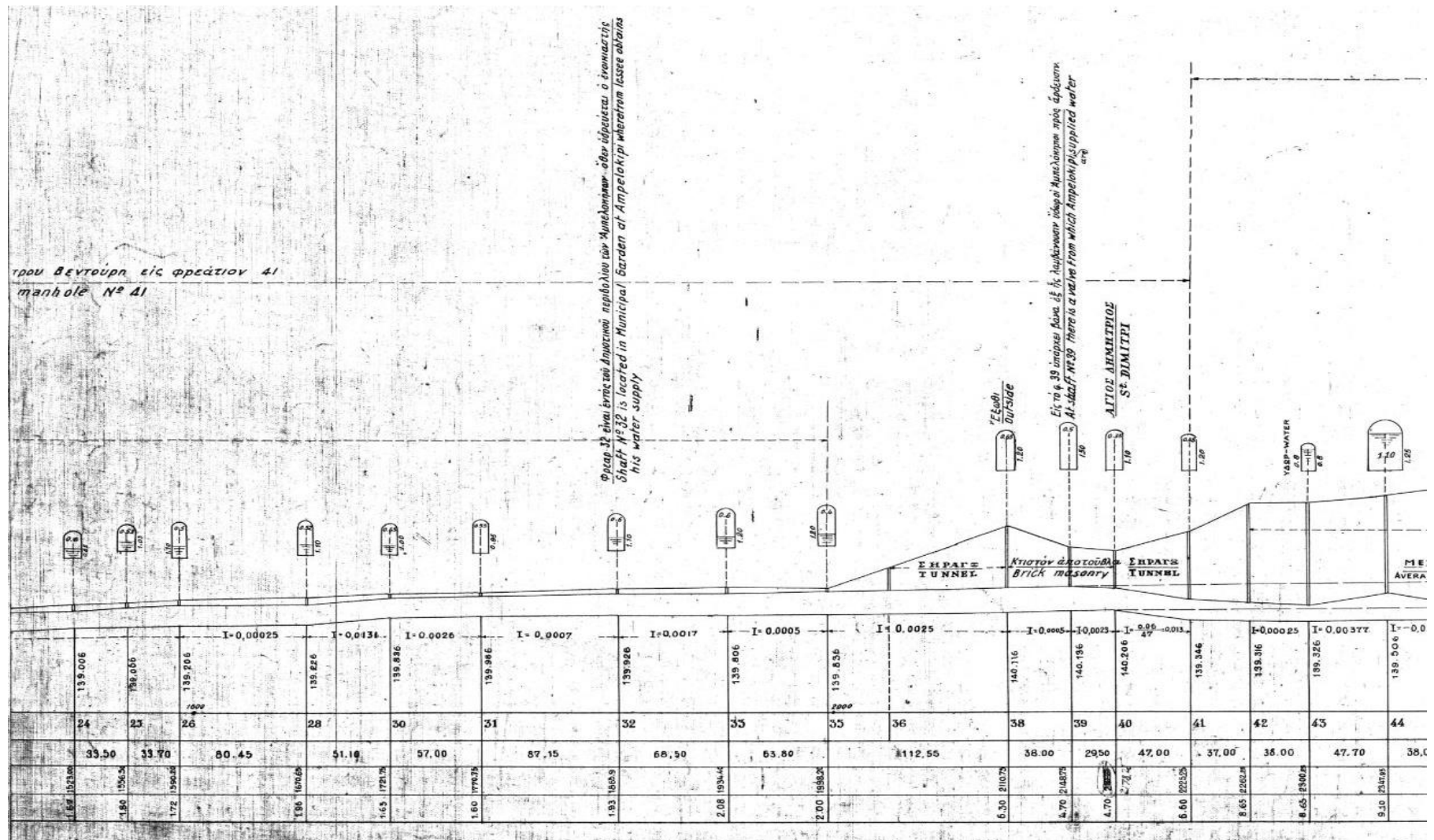
Chow V. T. (1959). "Open-channel hydraulics, McGraw-Hill, New York

Environmental Systems Research Institute (ESRI), (2016). ArcMap 10.3
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/get-started/arcgis-tutorials.htm>

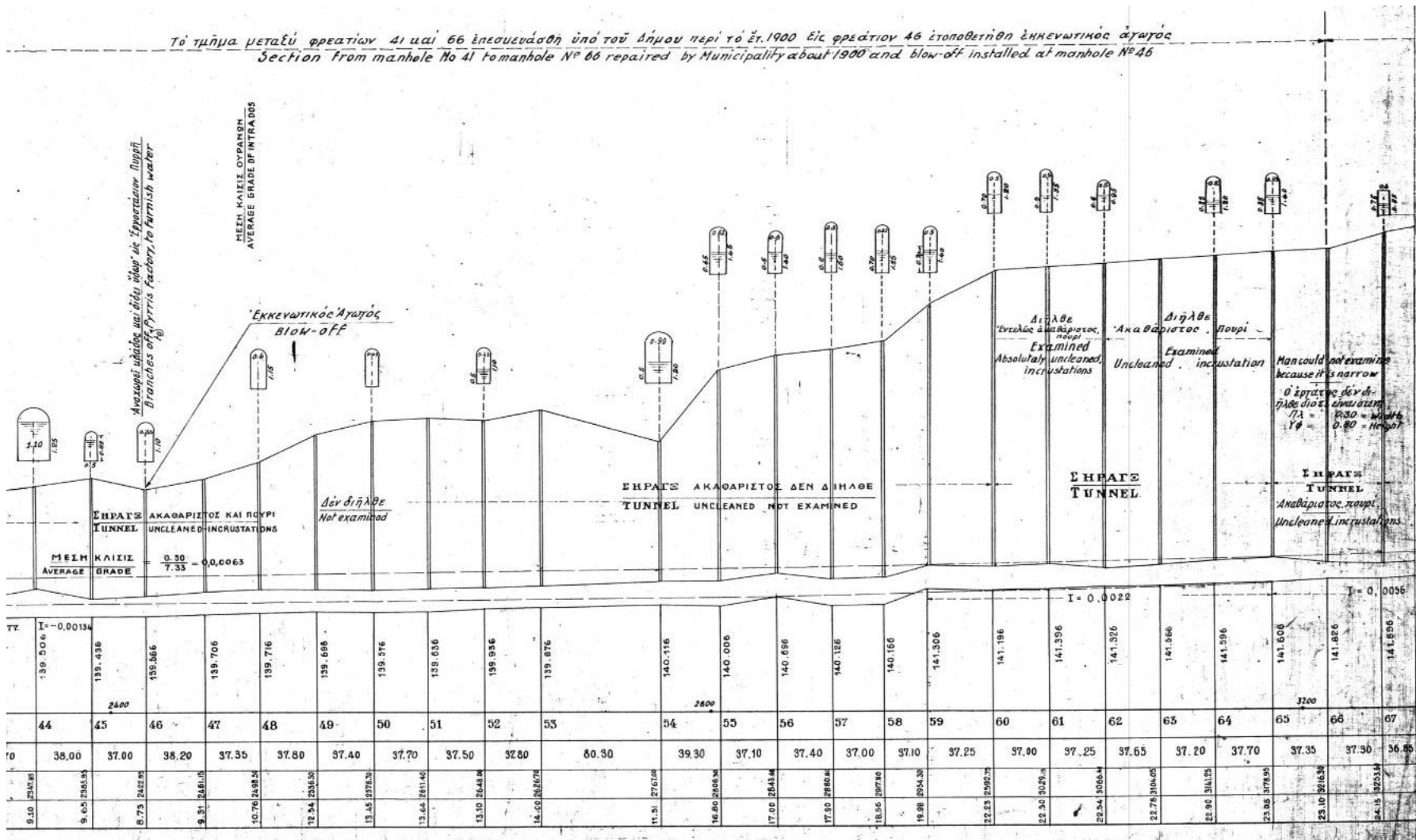
Morris I (2005), "The growth of Greek cities in the first millennium BC", Stanford University.



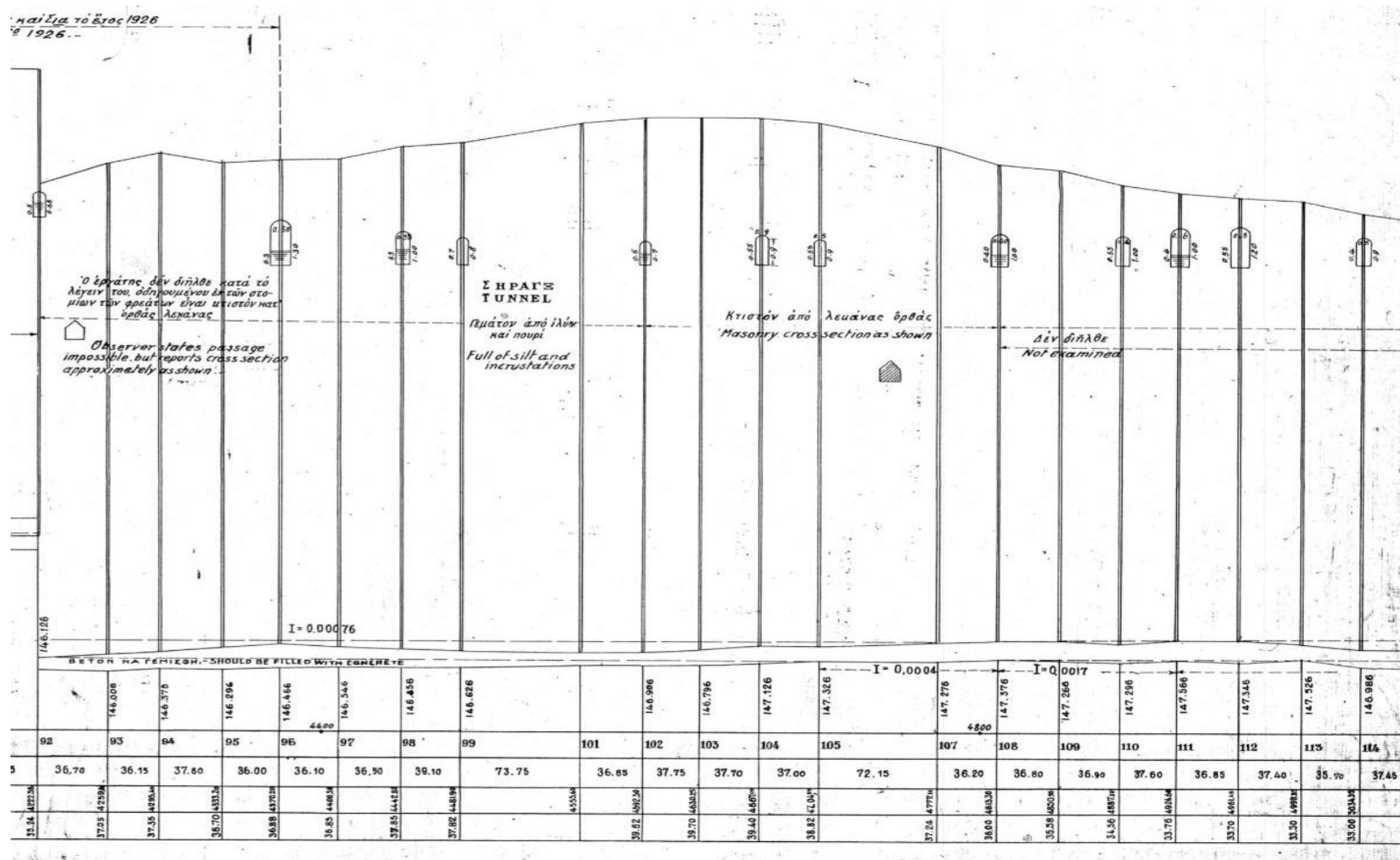
Εικόνα Α.2: Σχέδιο Άγιος Δημήτριος – Δεξαμενή (β) (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



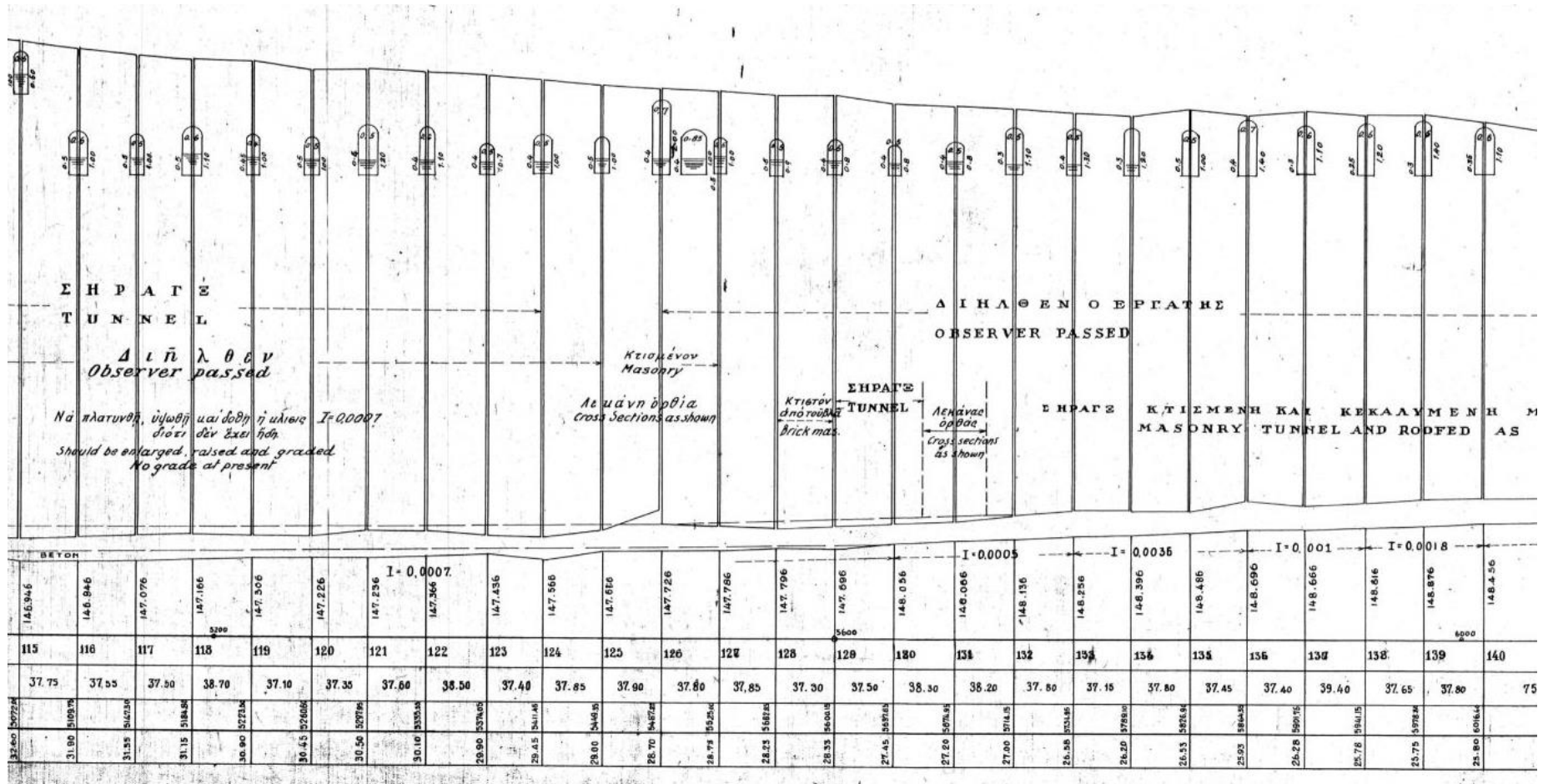
Εικόνα Α.3: Sheet 2 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



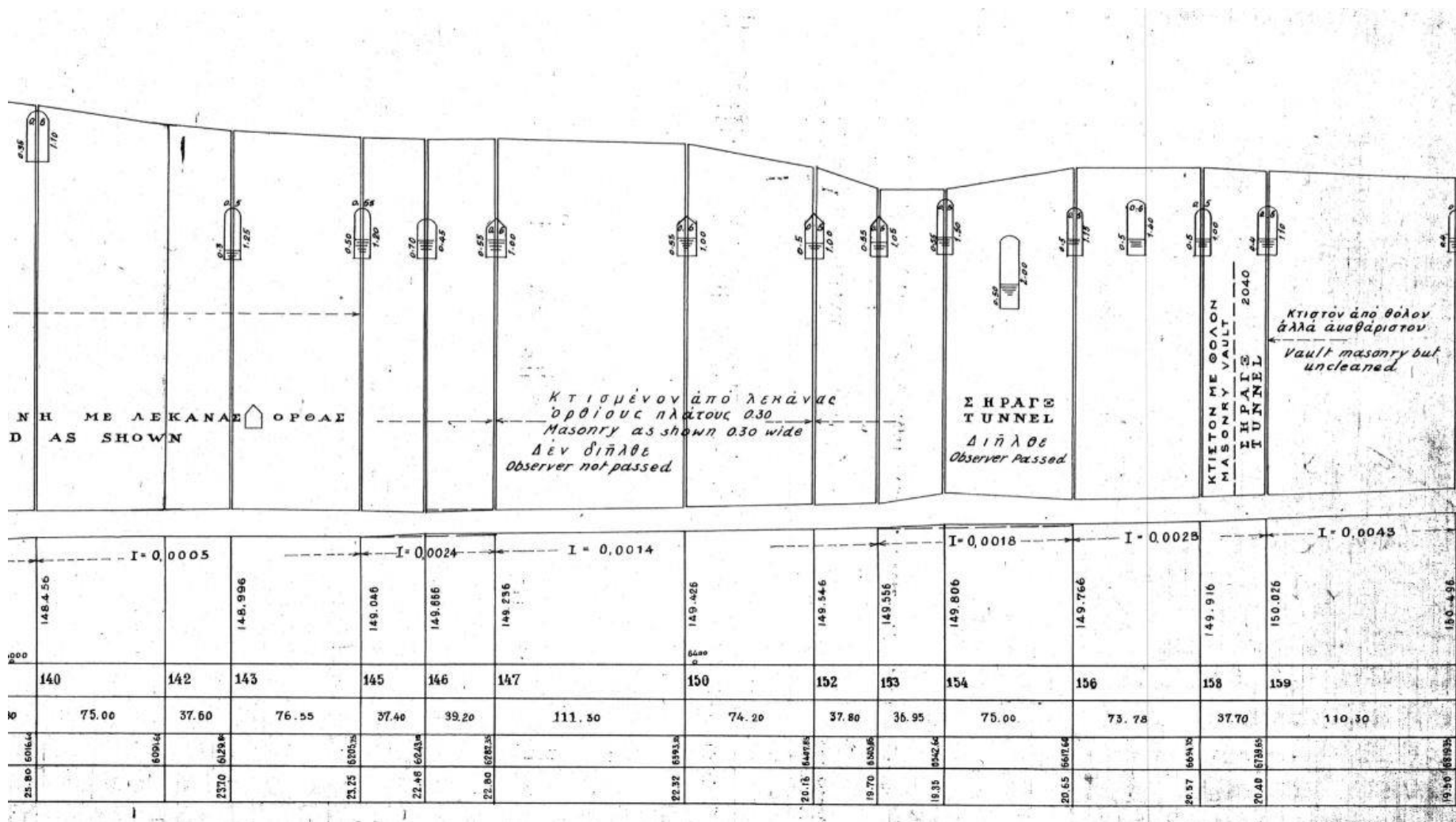
Εικόνα Α.4: Sheet 2 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



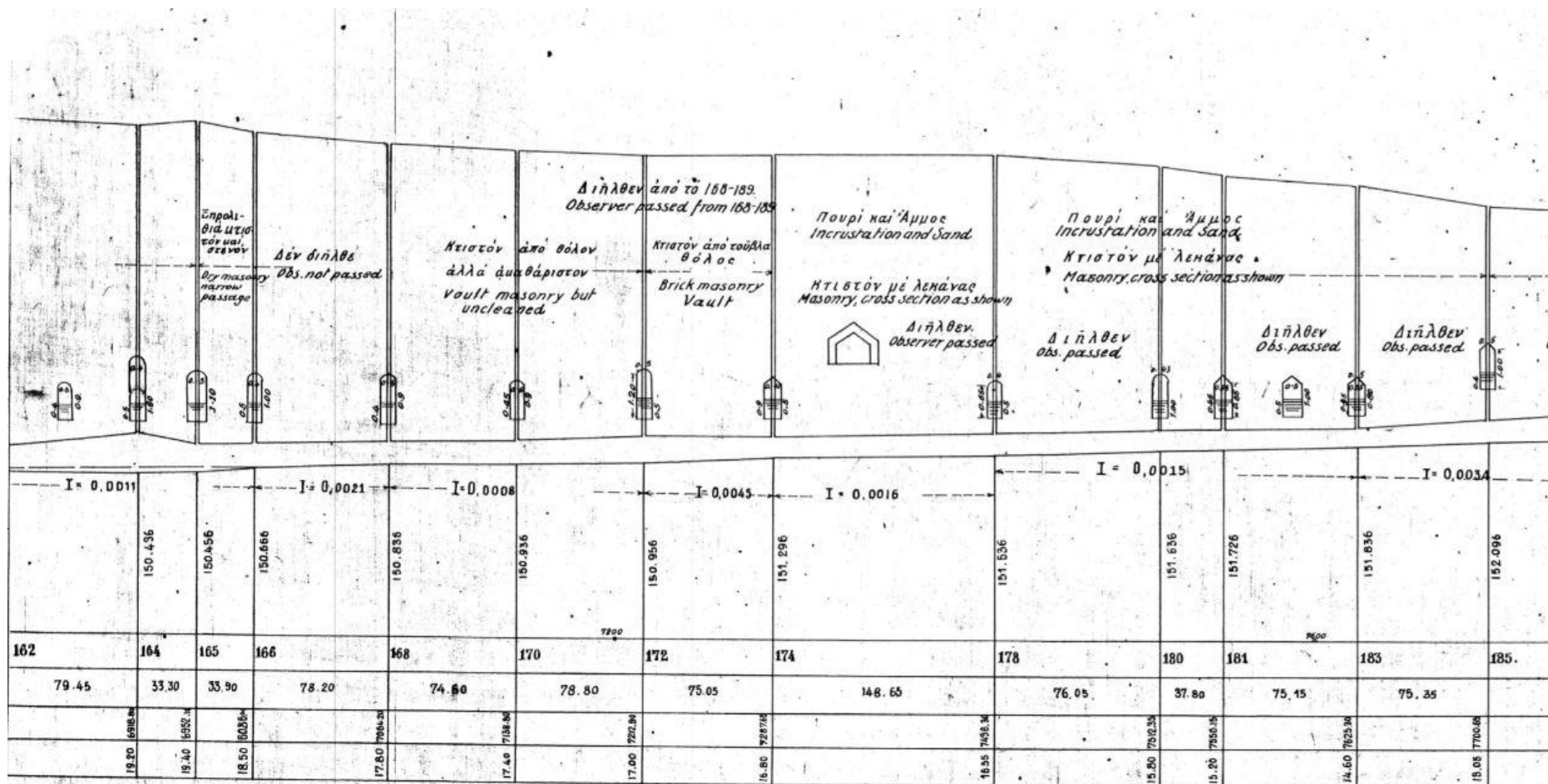
Εικόνα Α.6: Sheet 3 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



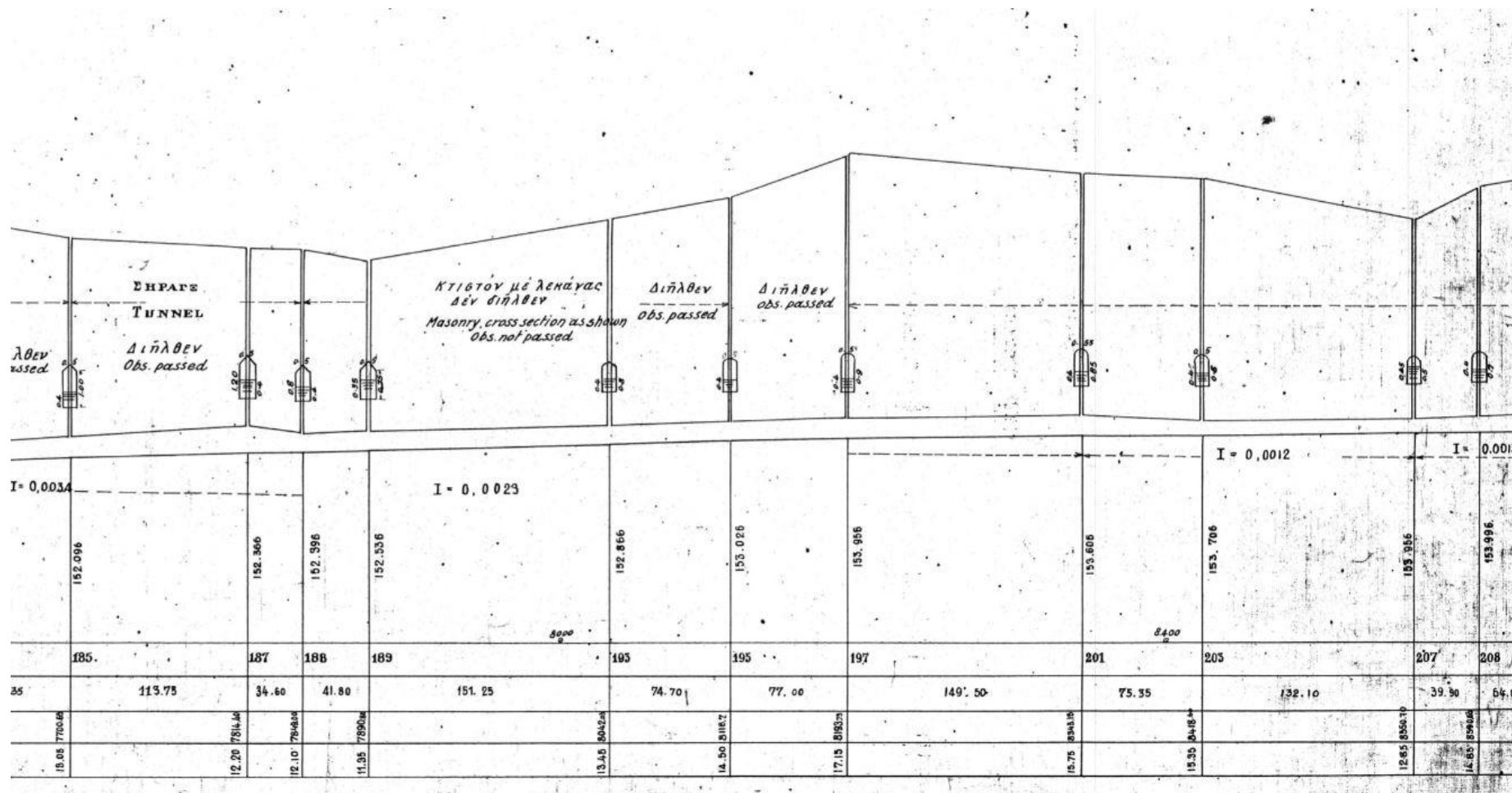
Εικόνα Α.7: Sheet 4 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



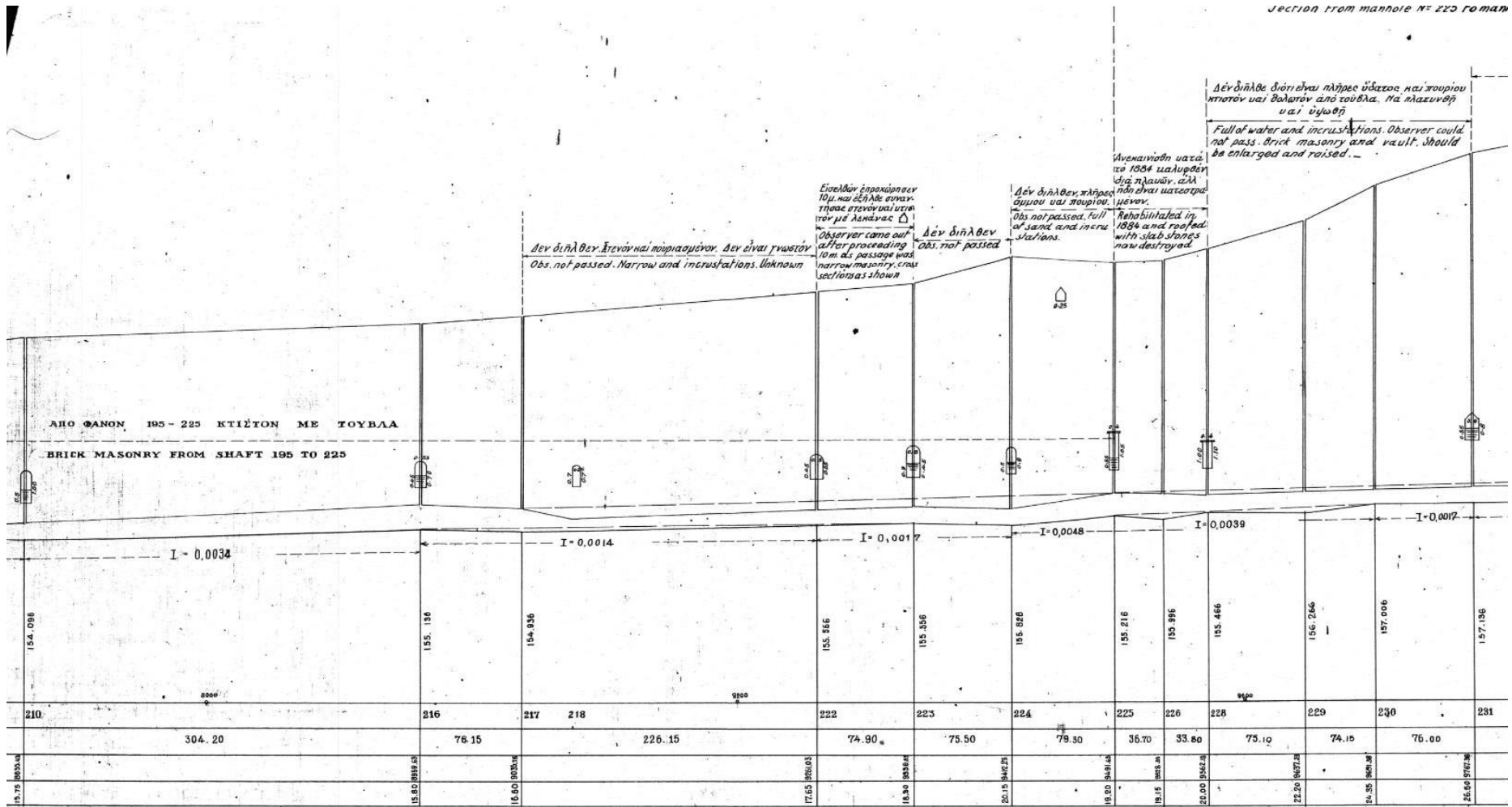
Εικόνα Α.8: Sheet 4 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



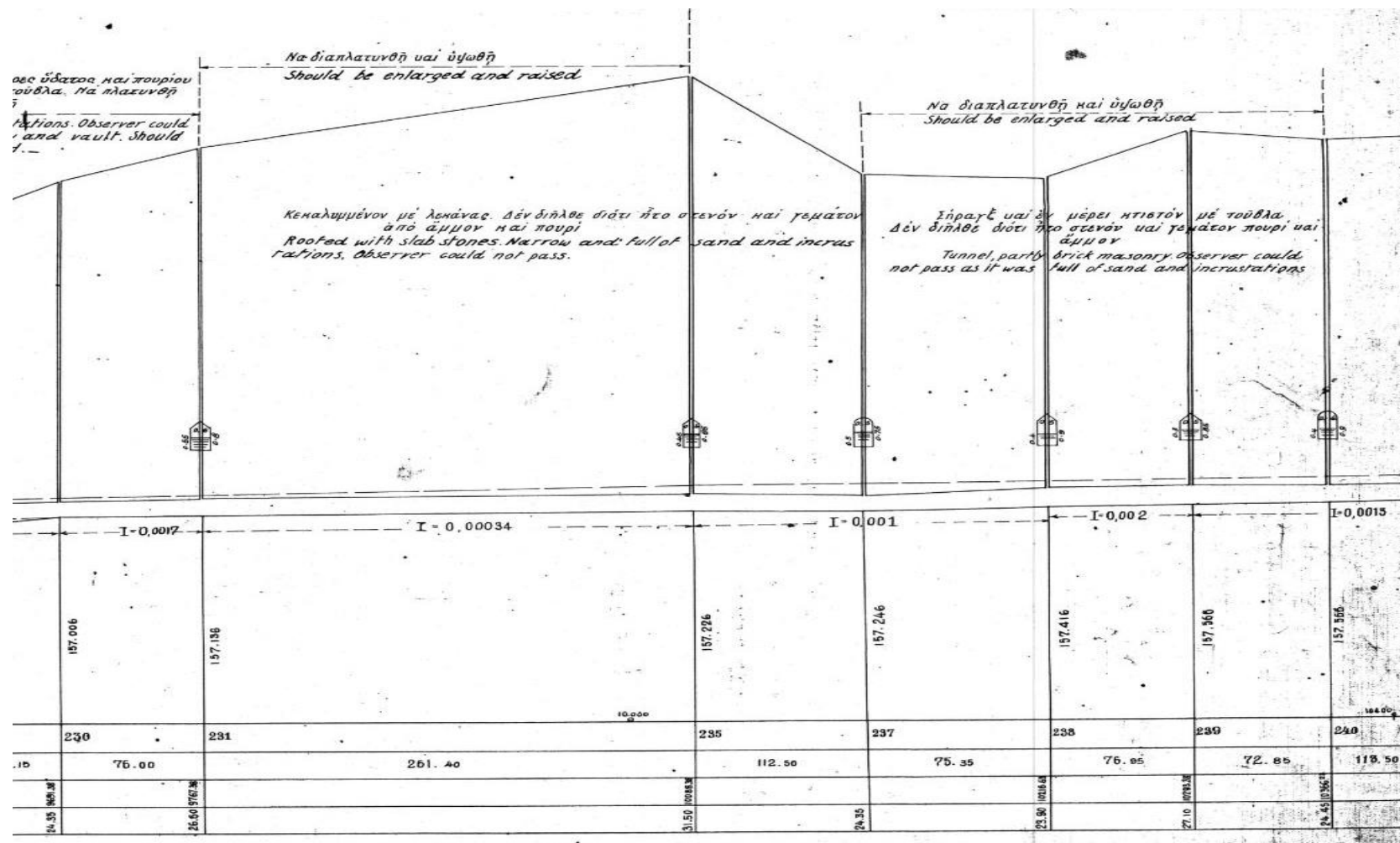
Εικόνα Α.9: Sheet 5 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



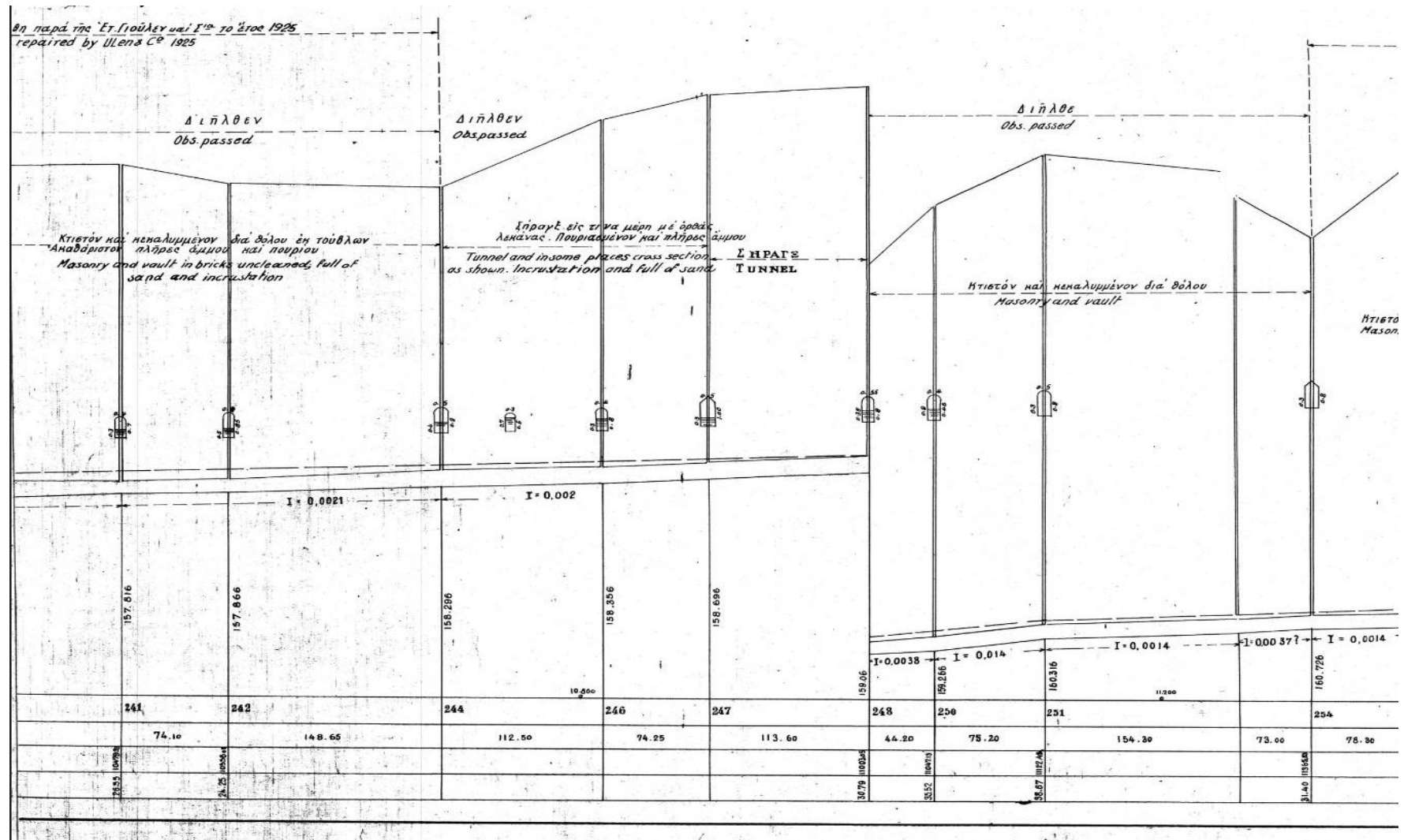
Εικόνα Α.10: Sheet 5 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



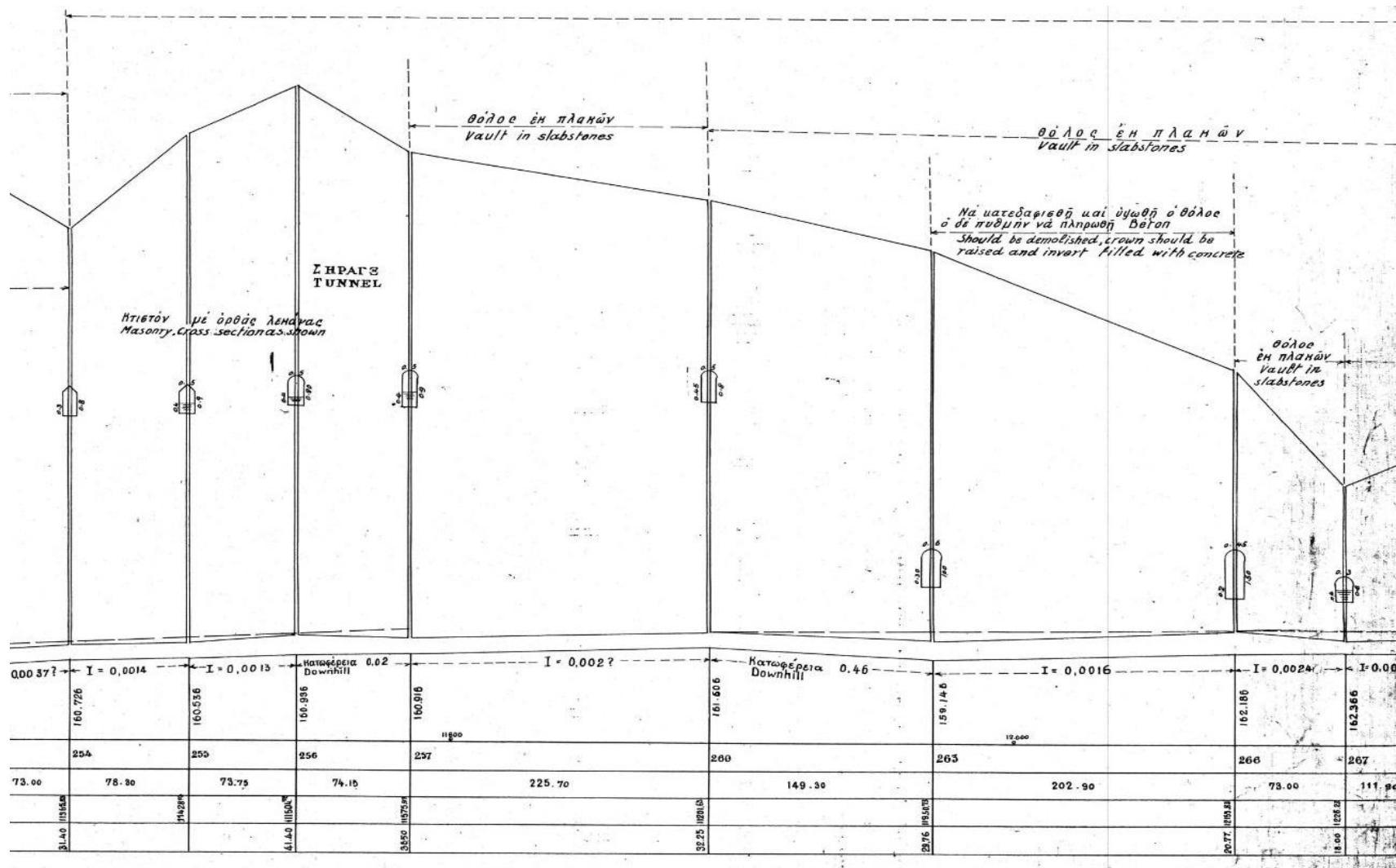
Εικόνα Α.11: Sheet 6 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



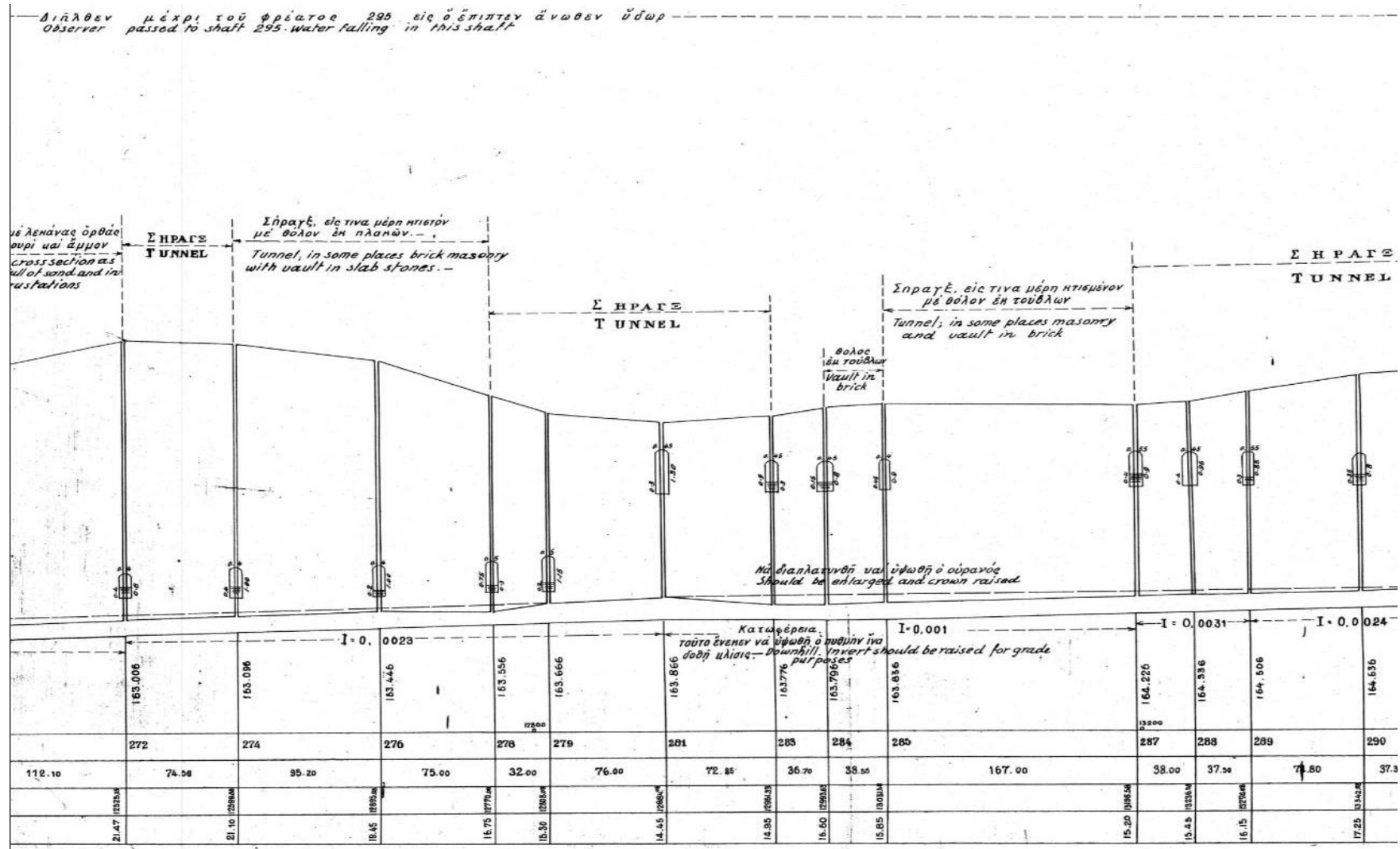
Εικόνα Α.12: Sheet 6 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



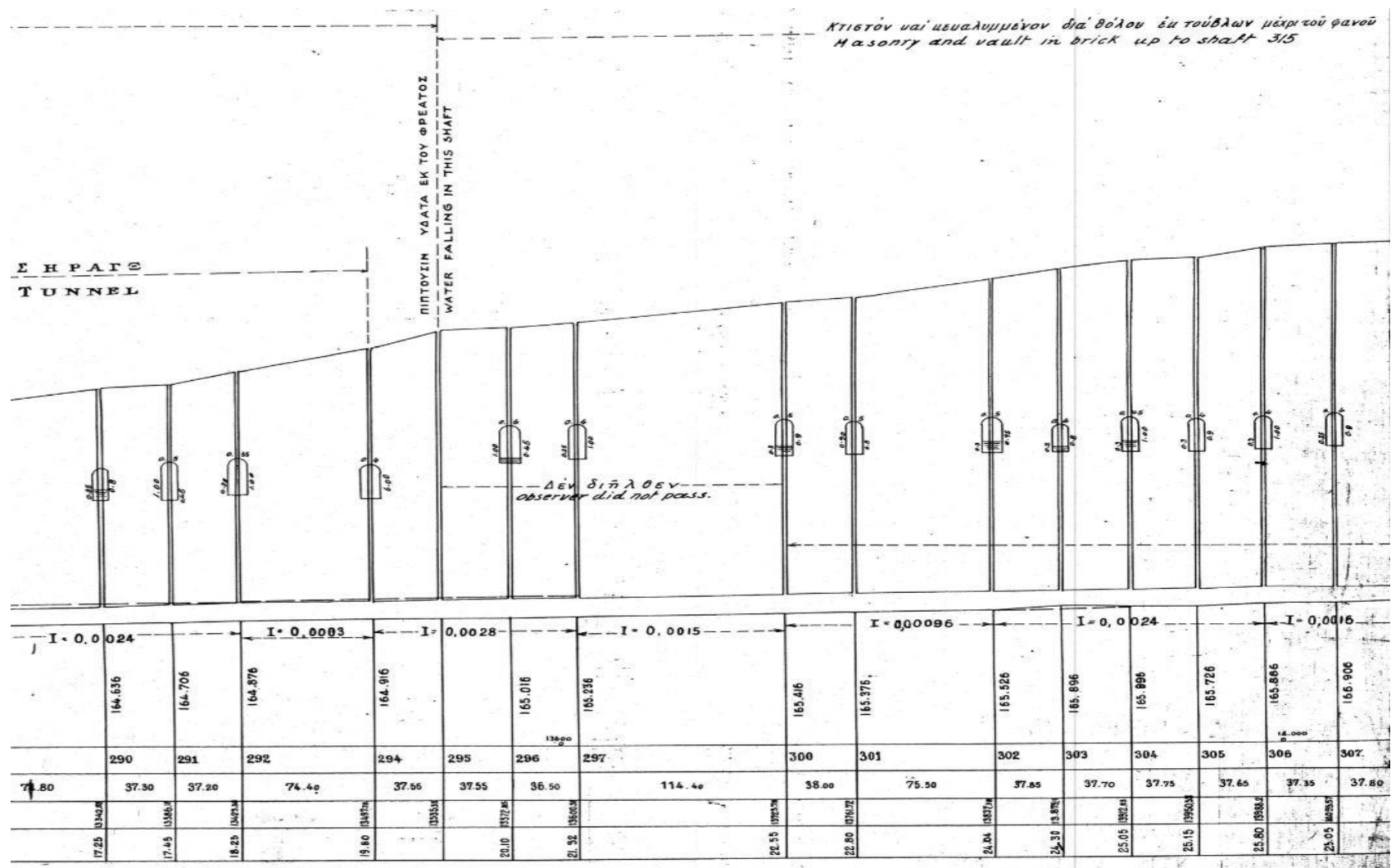
Εικόνα Α.13: Sheet 7 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



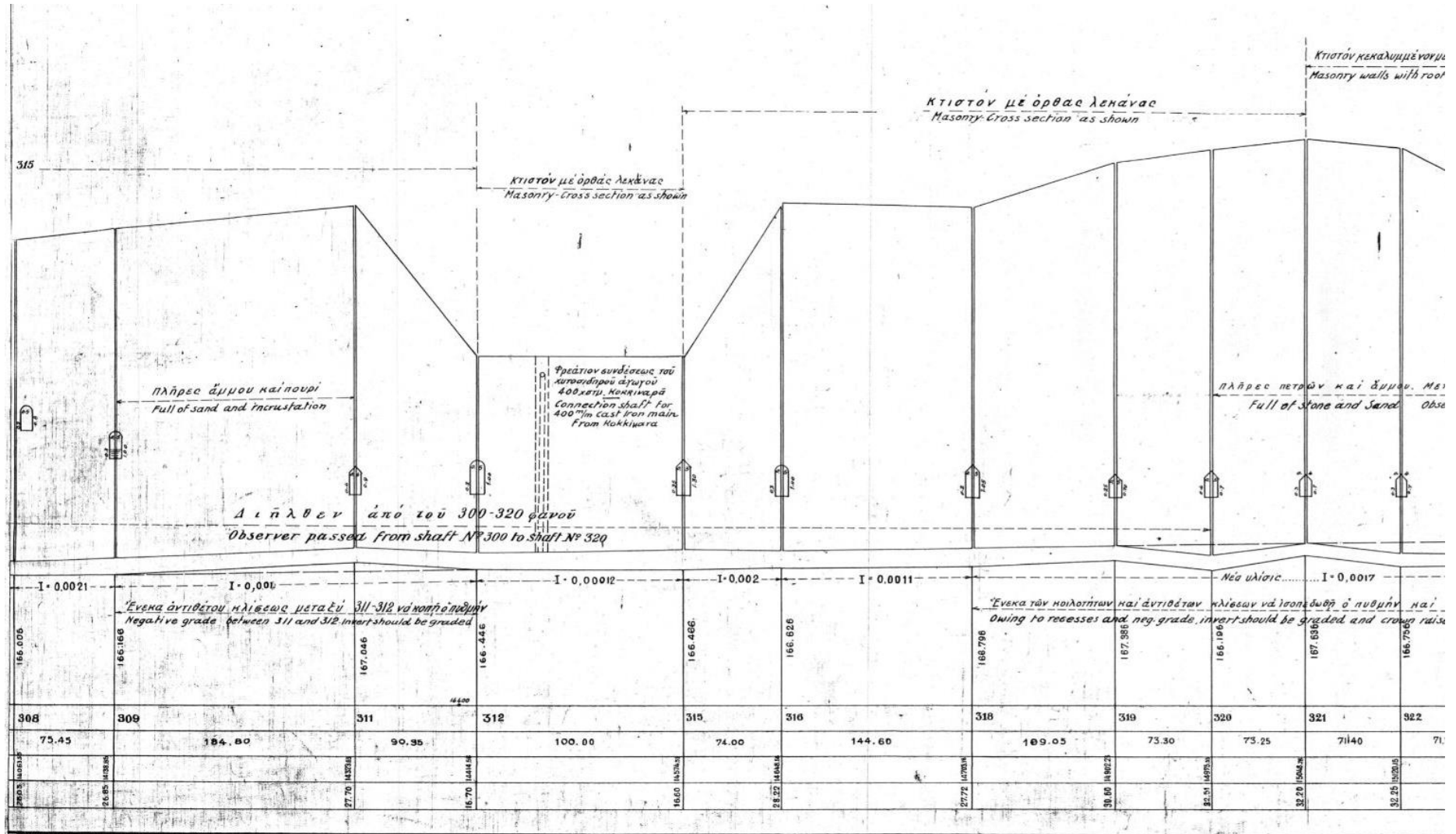
Εικόνα Α.14: Sheet 7 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



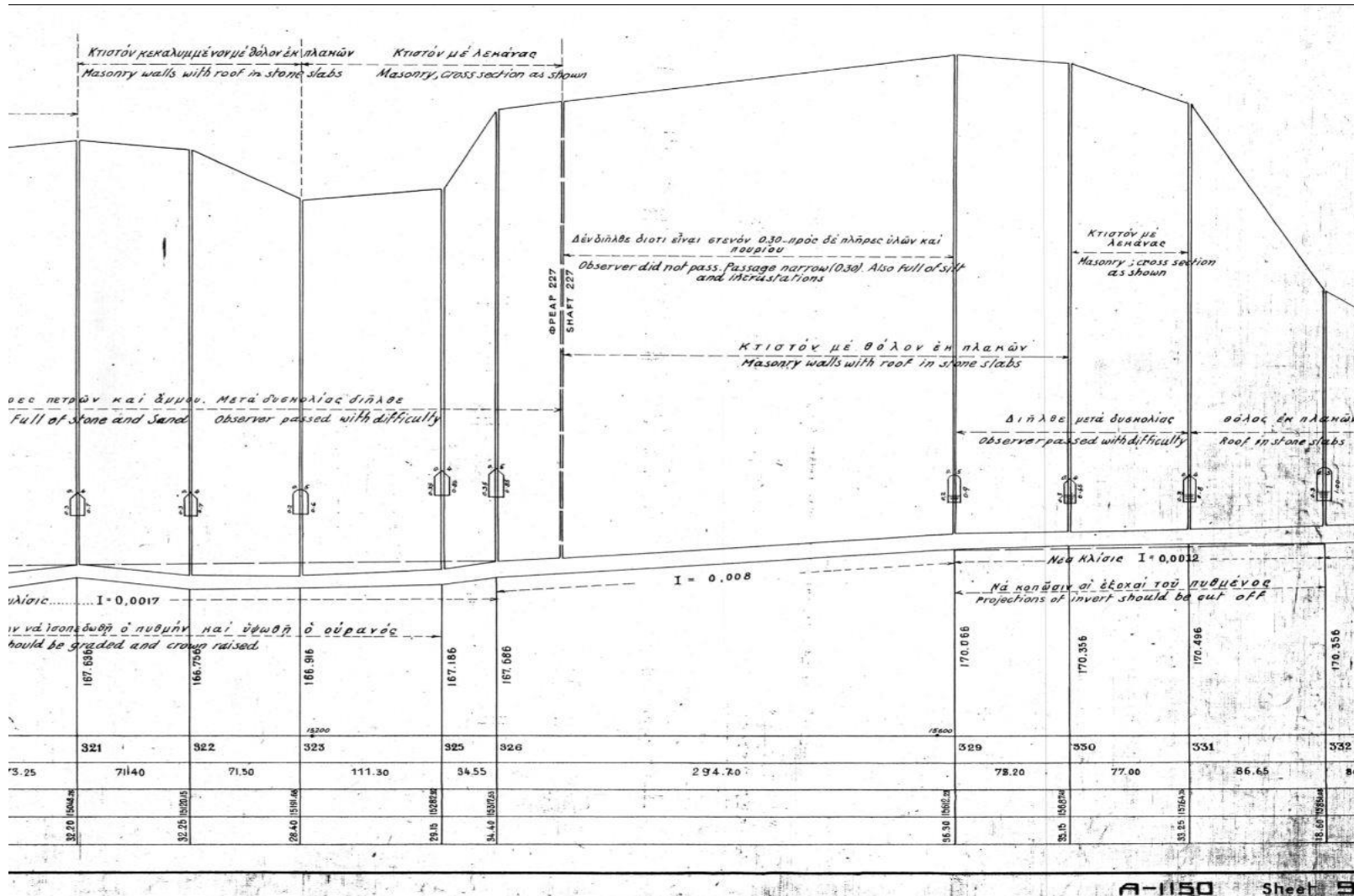
Εικόνα Α.15: Sheet 8 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



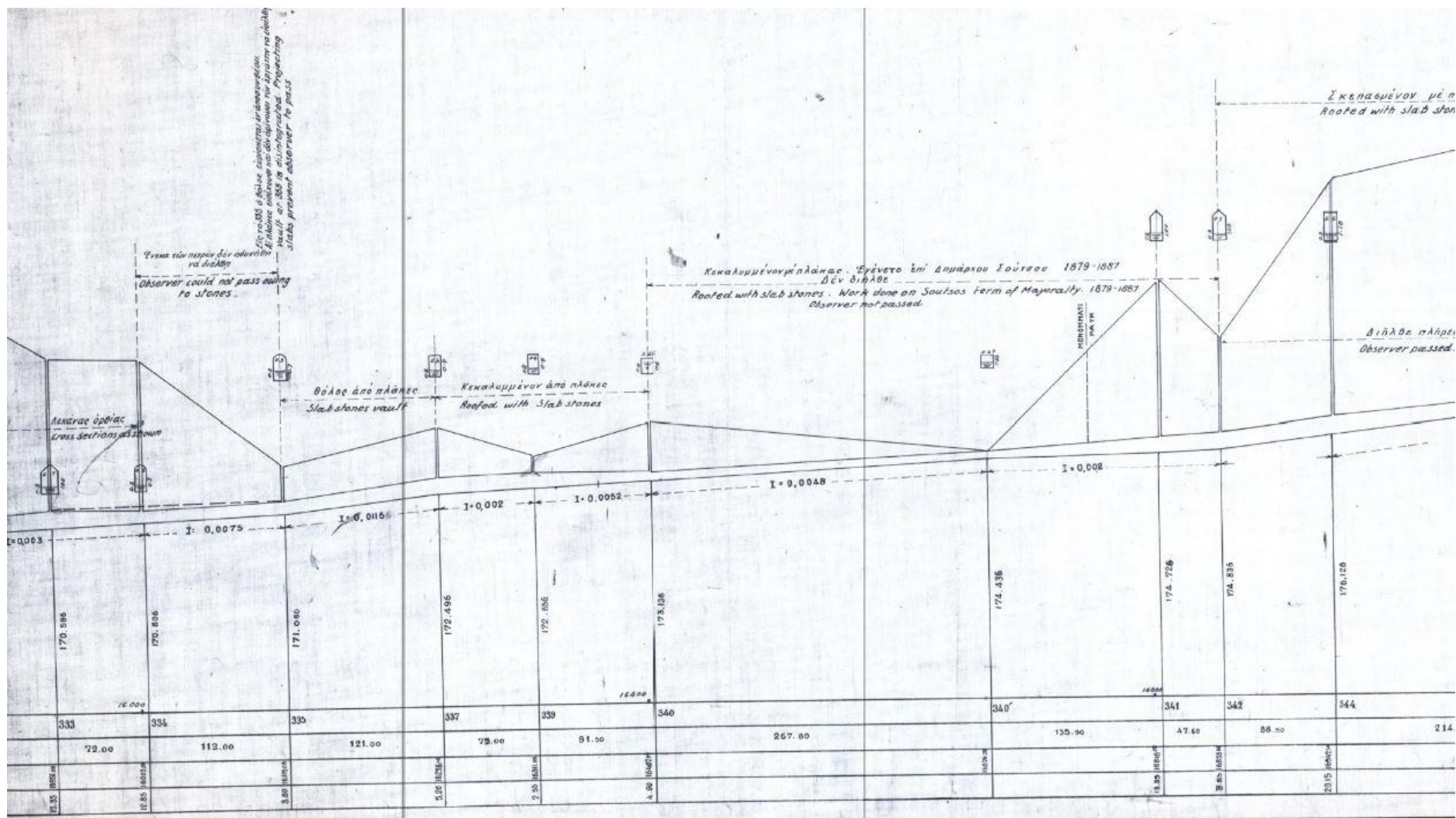
Εικόνα Α.16: Sheet 8 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



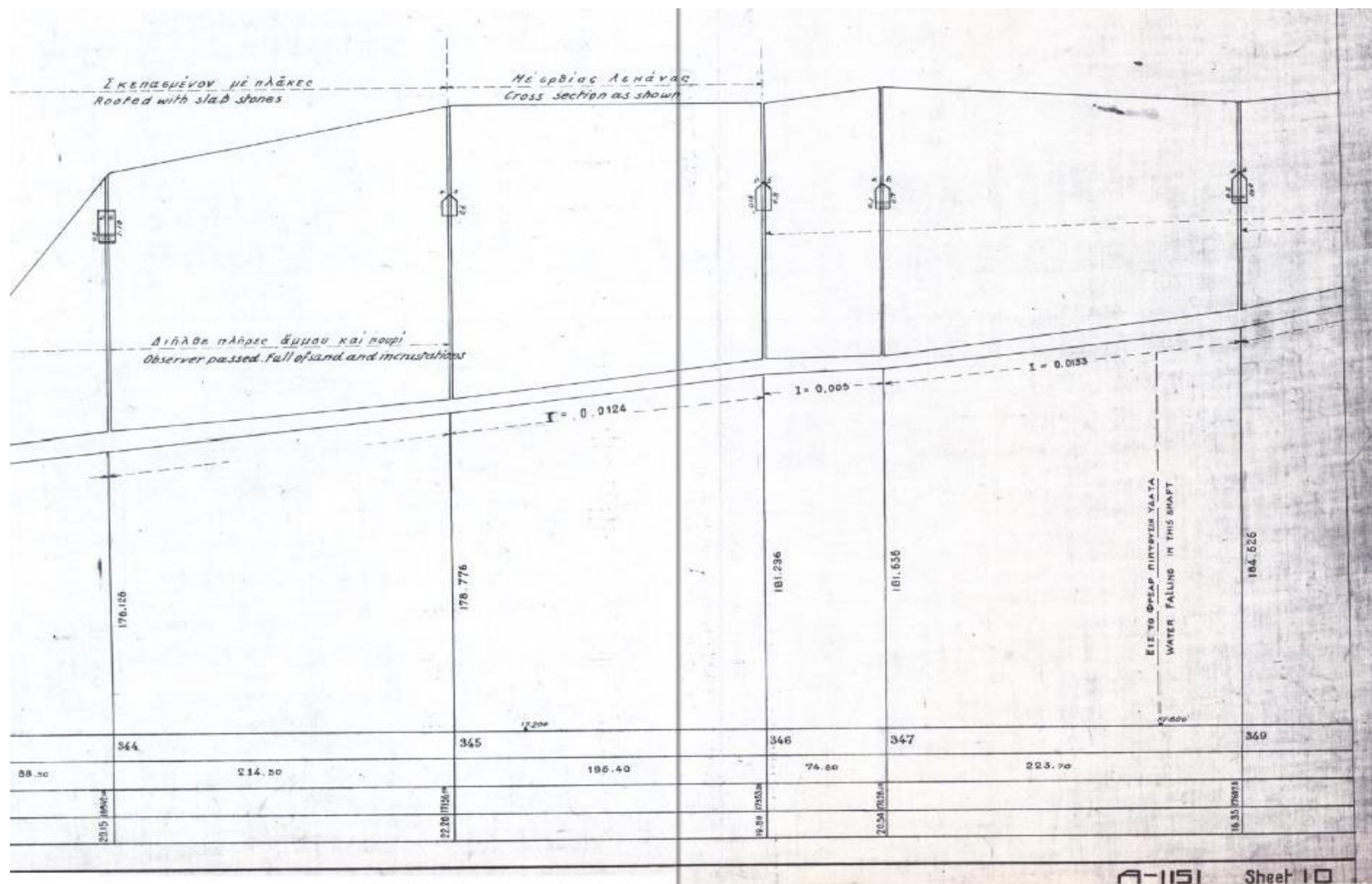
Εικόνα Α.17: Sheet 9 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



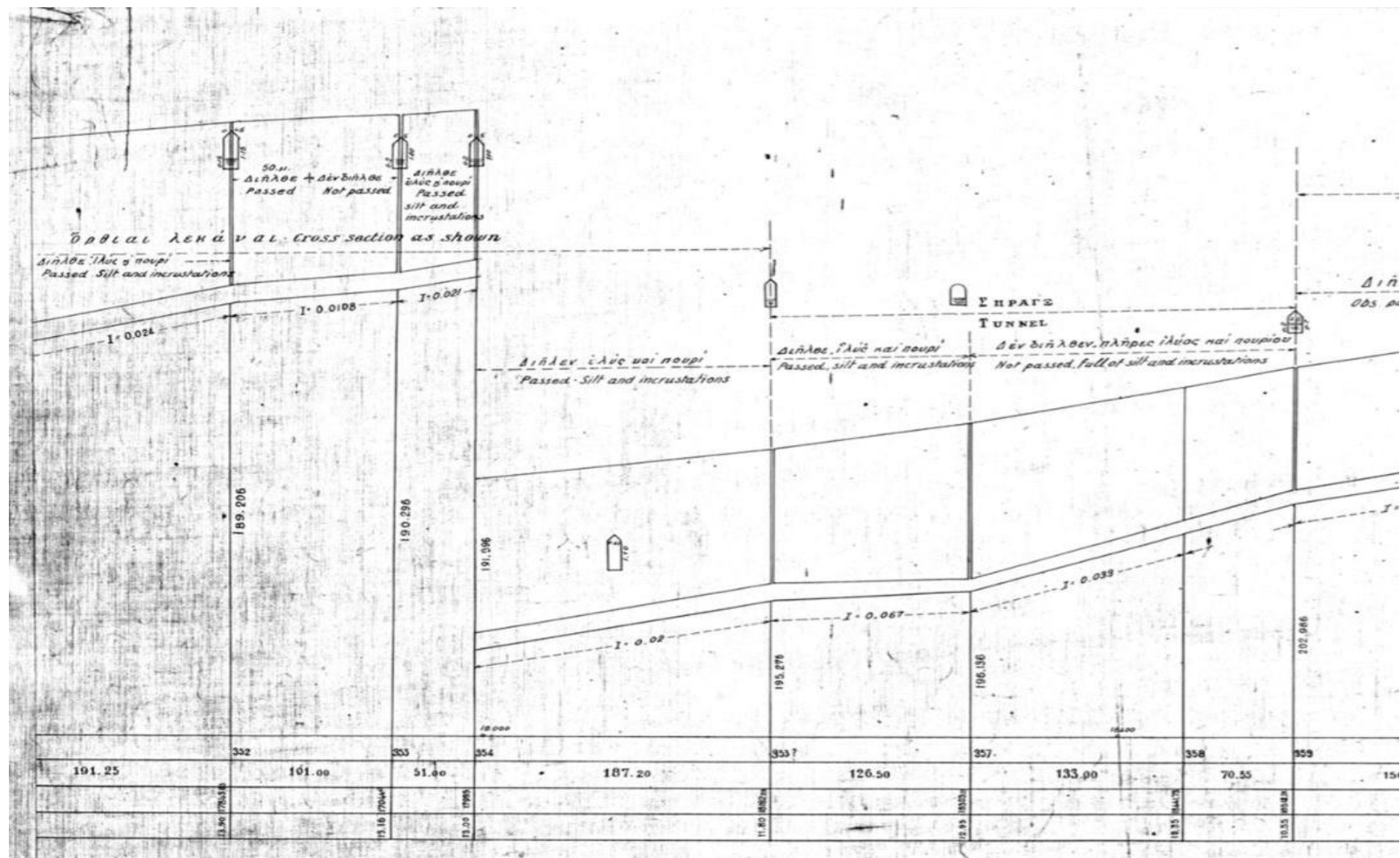
Εικόνα Α.18: Sheet 9 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



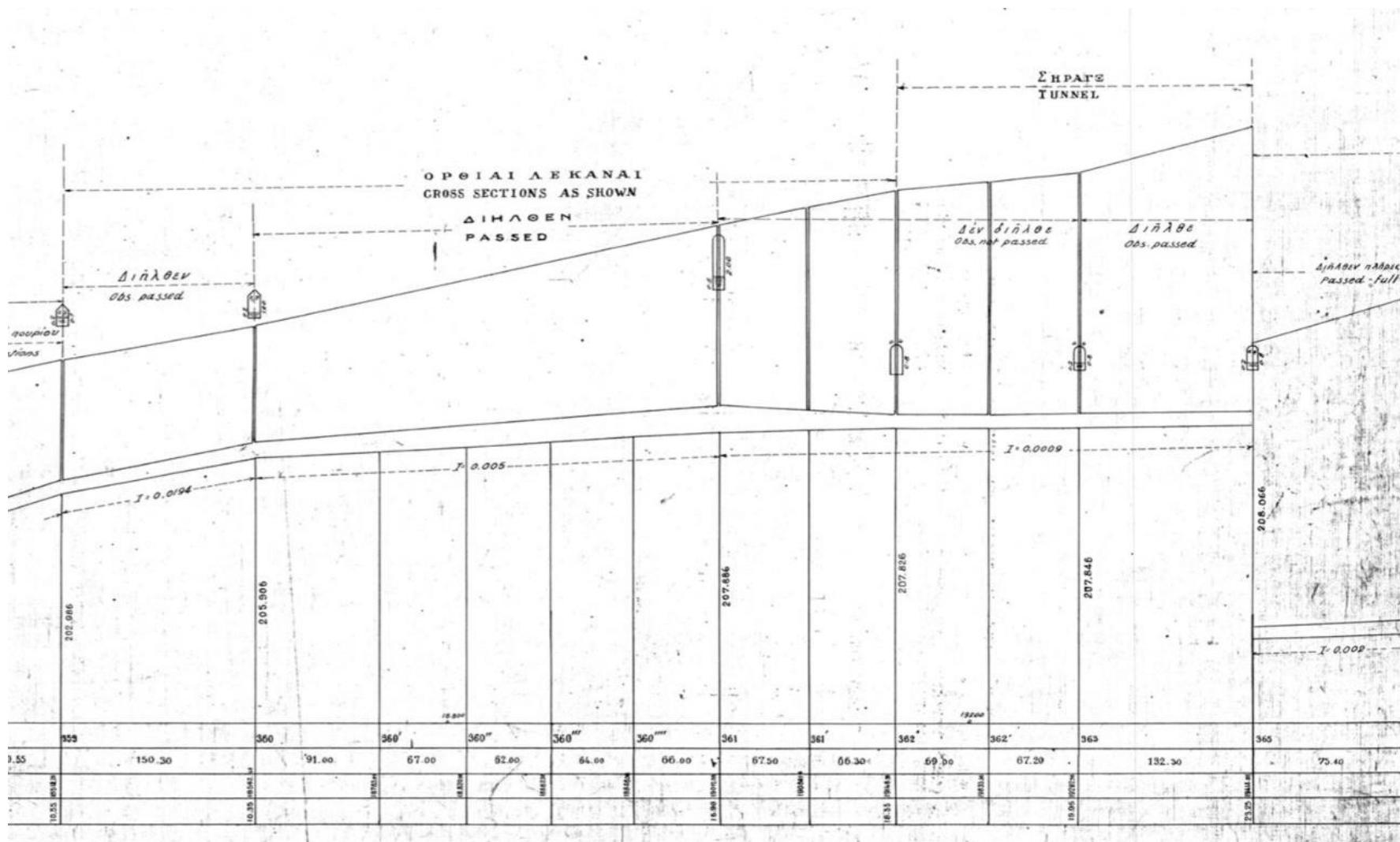
Εικόνα Α.19: Sheet 10 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



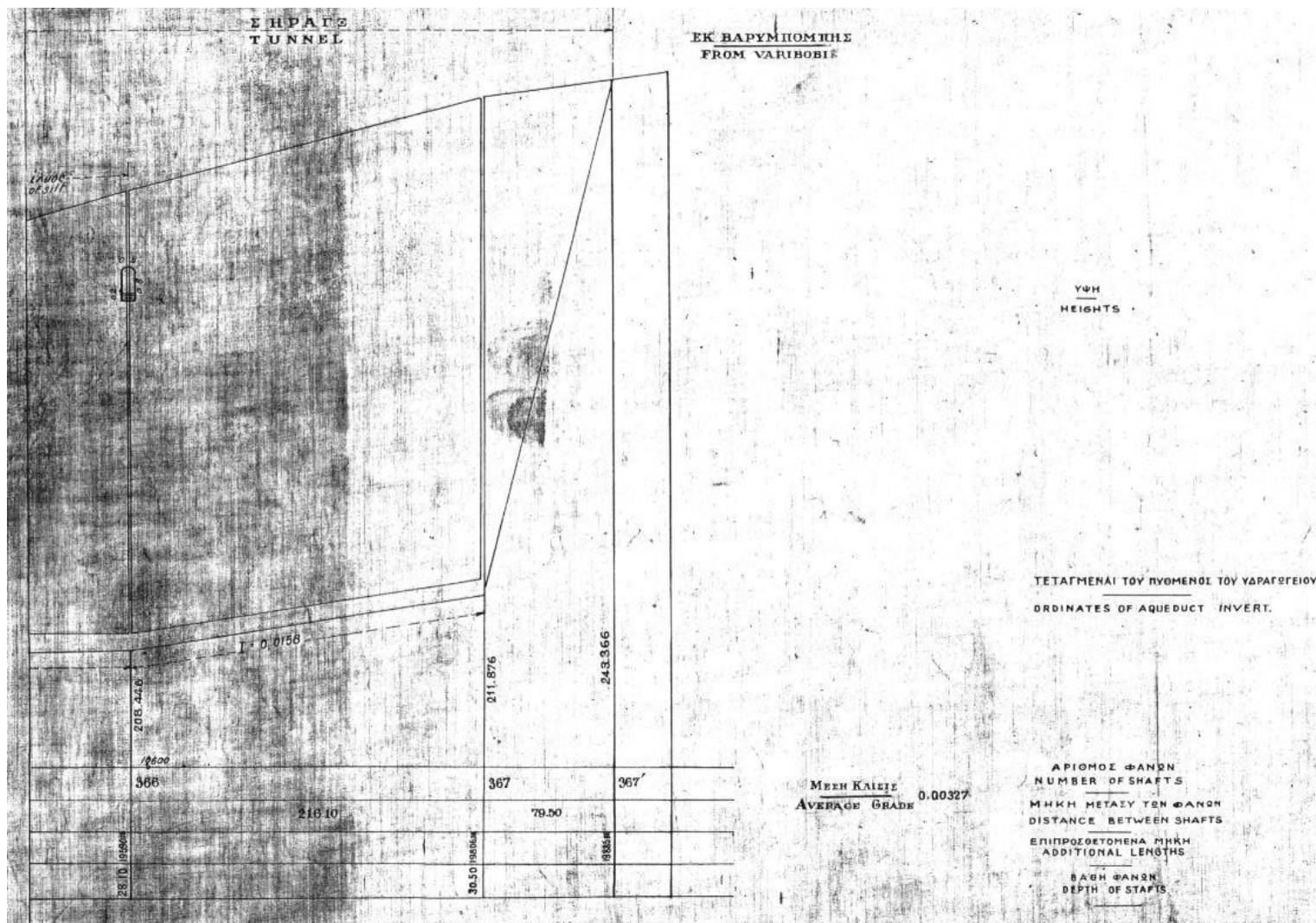
Εικόνα Α.20: Sheet 10 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



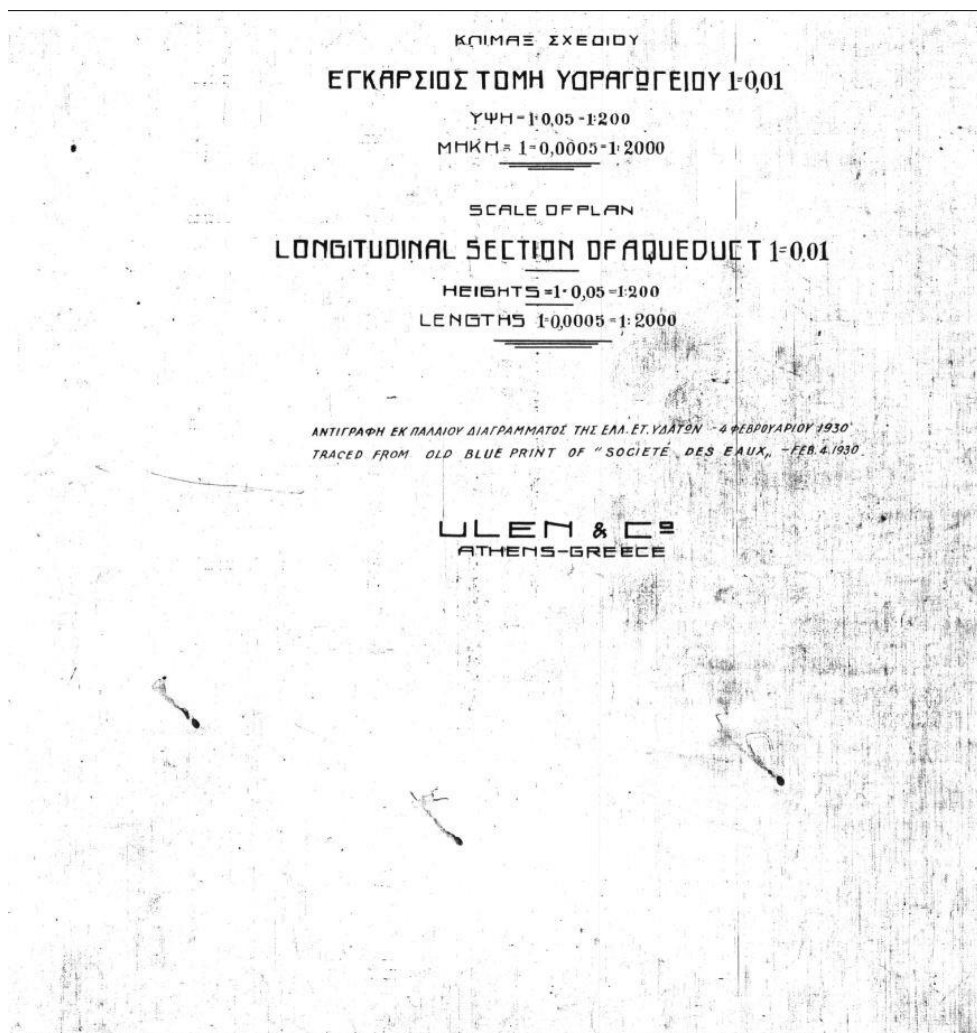
Εικόνα Α.21: Sheet 11 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



Εικόνα Α.22: Sheet 11 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)

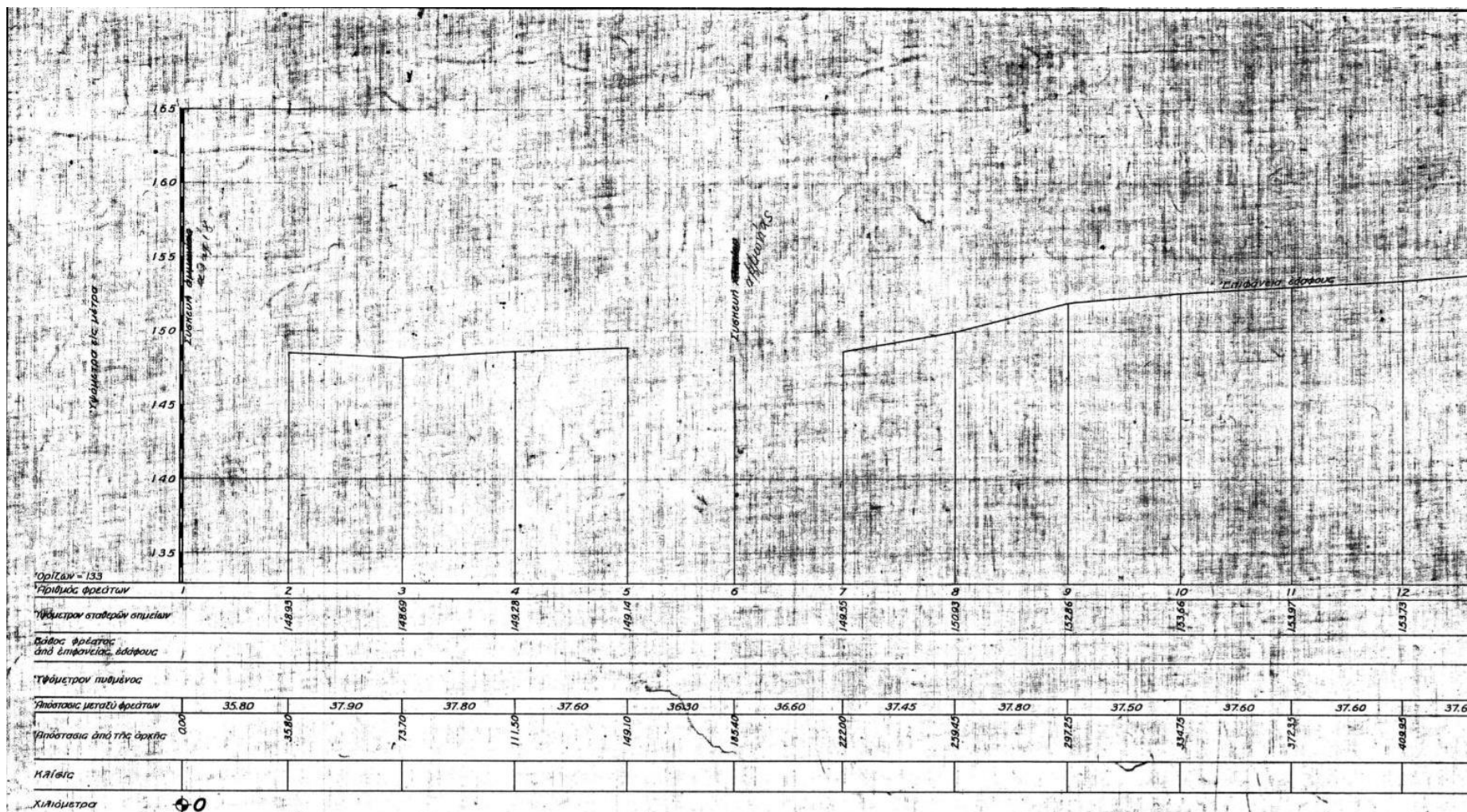


Εικόνα Α.23: Sheet 12 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



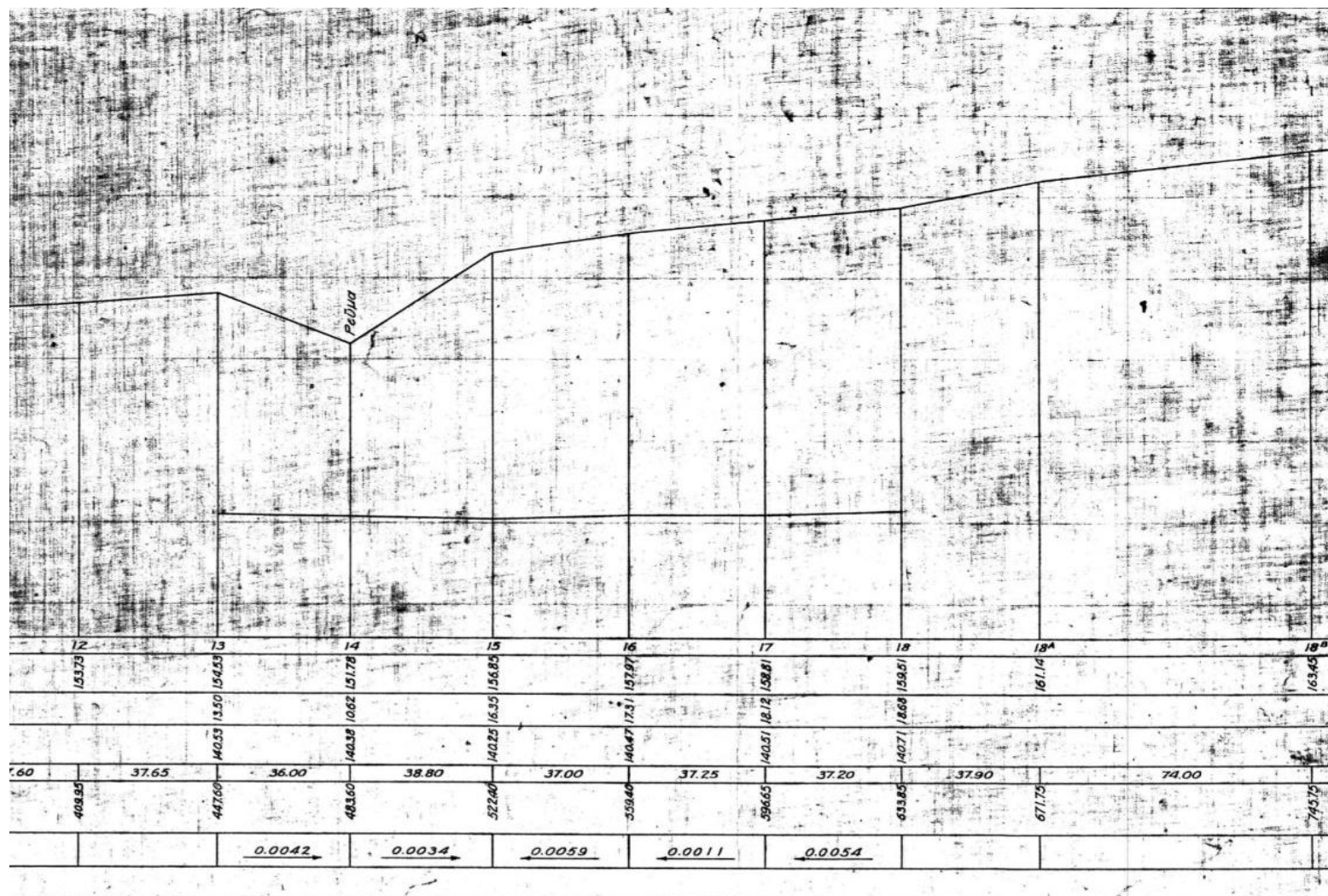
Τοπογράφηση 1923

Εικόνα Α.24: Sheet 12 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)

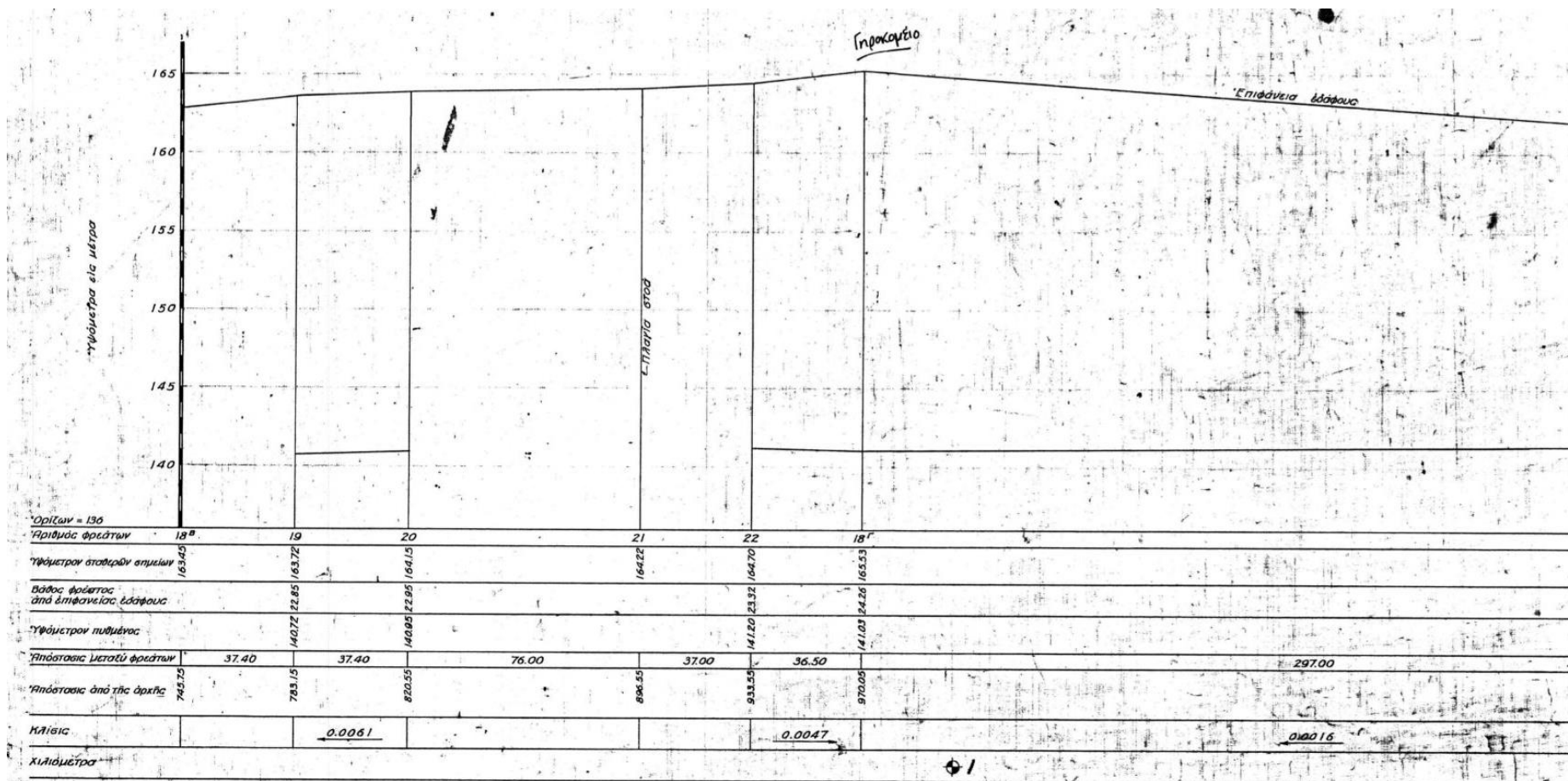


Εικόνα Α.25: Φύλλον 1 – Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)

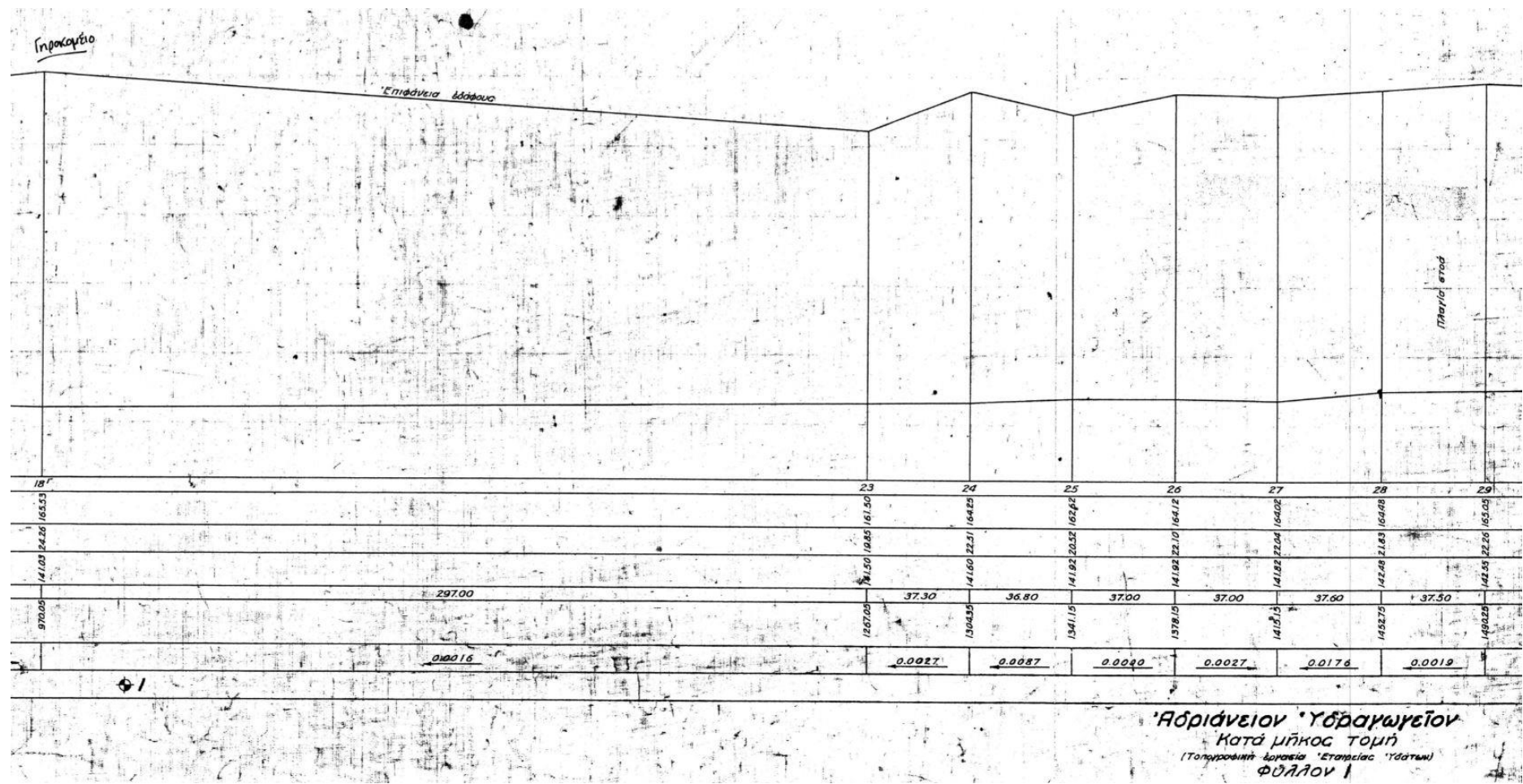
Τοπογράφιση 1936



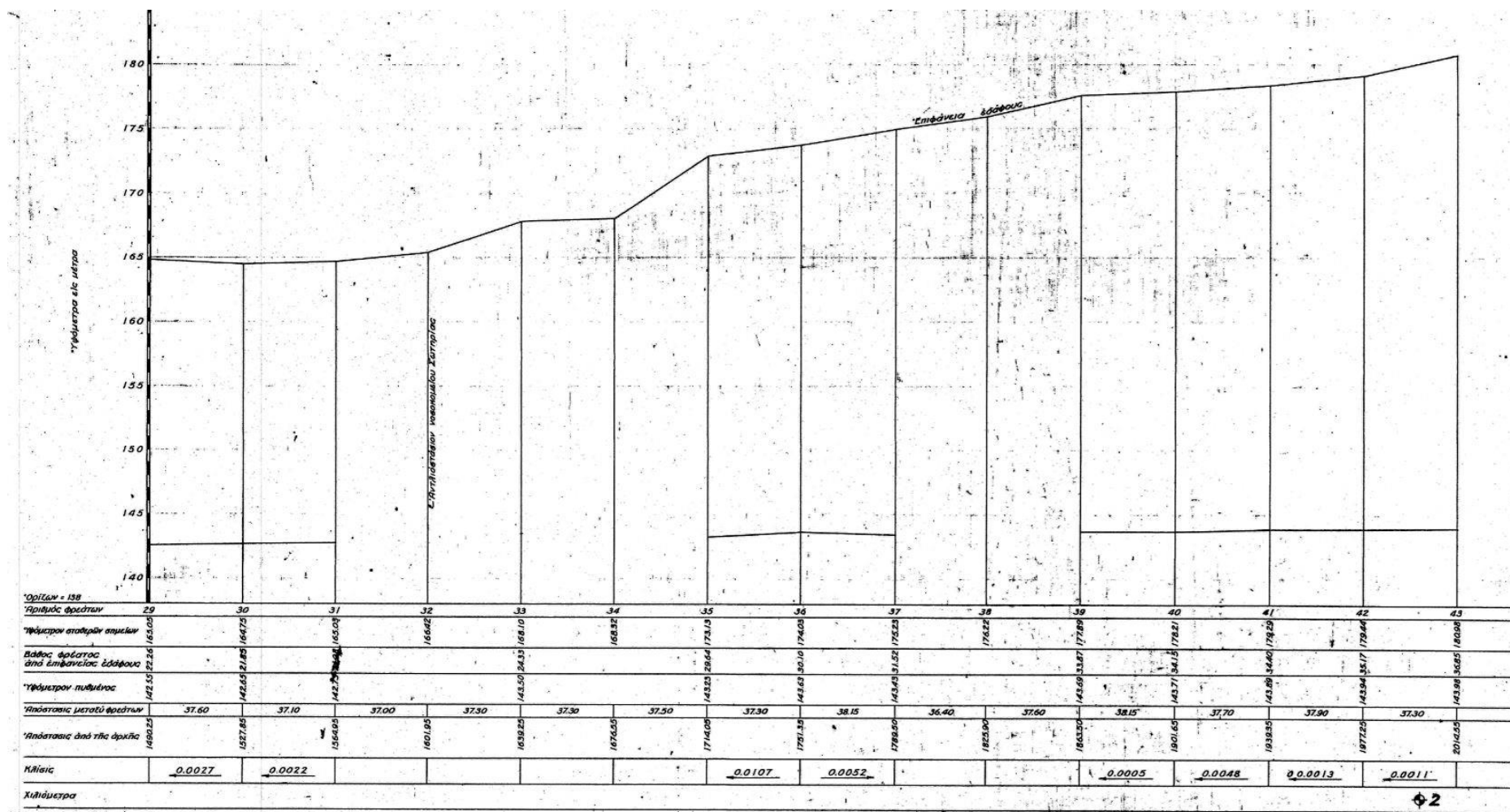
Εικόνα Α.26: Φύλλον 1 – Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



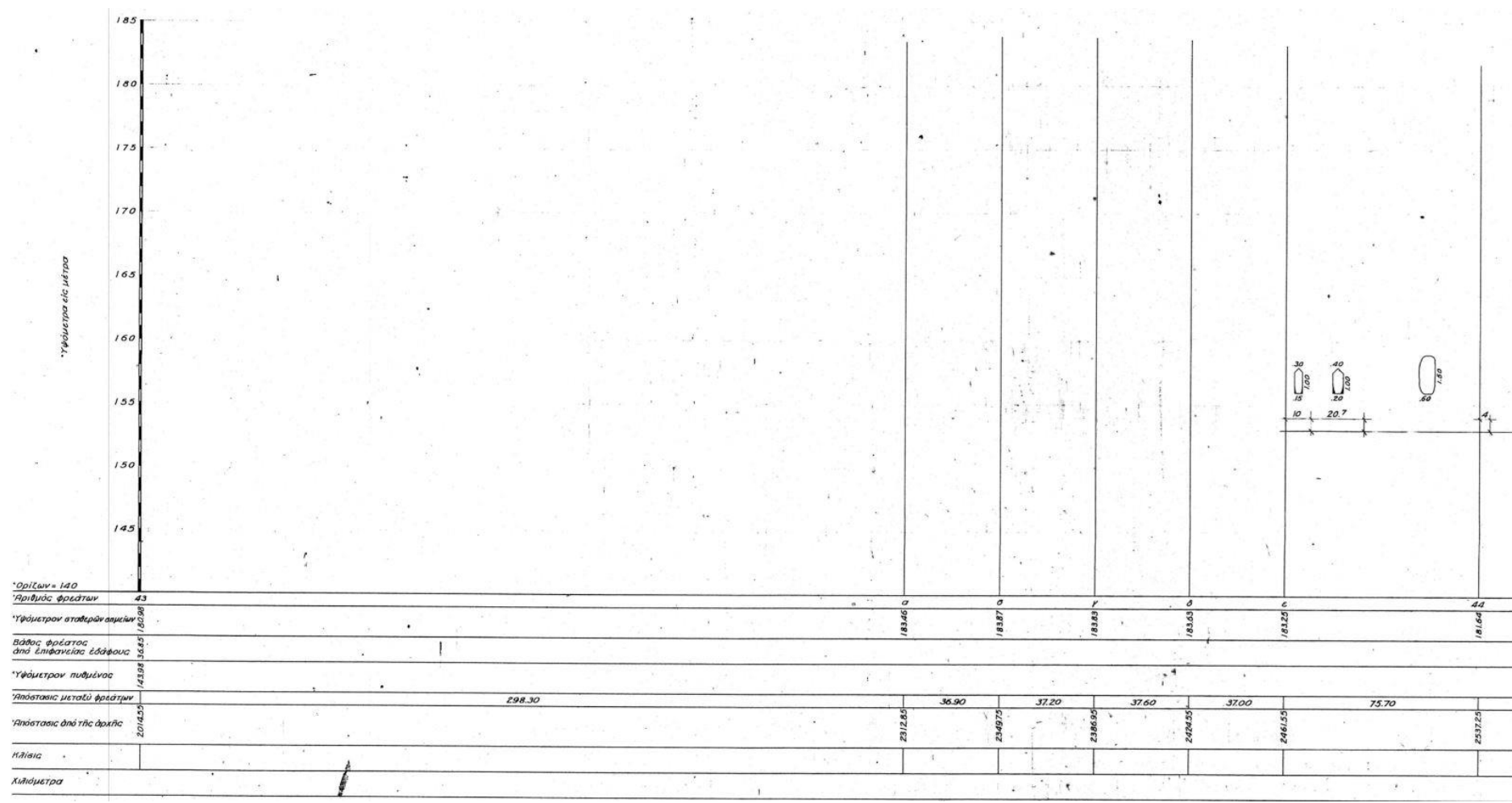
Εικόνα Α.27: Φύλλον 1 – Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



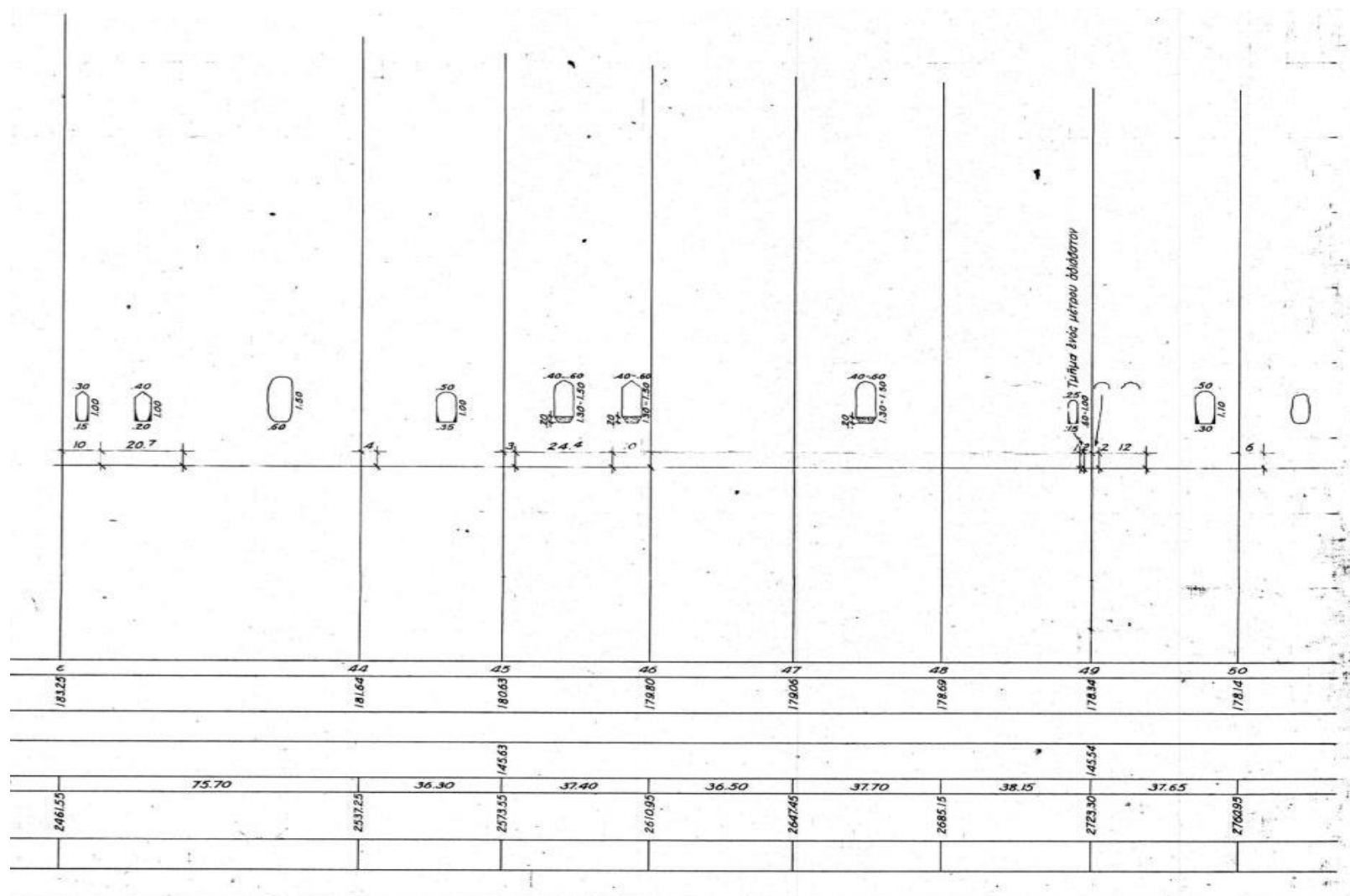
Εικόνα Α.28: Φύλλον 1 – Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



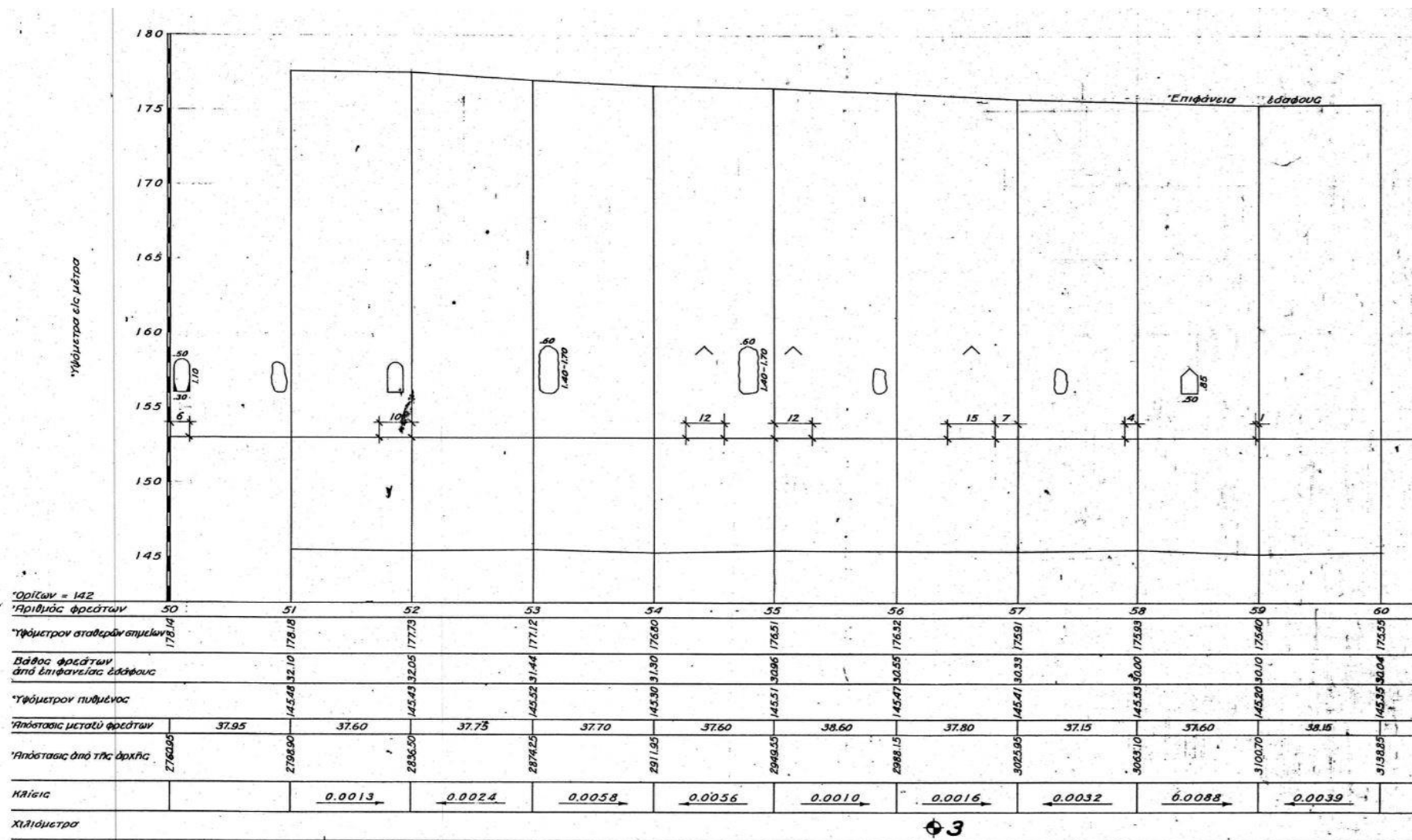
Εικόνα Α.29: Φύλλον 2 (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



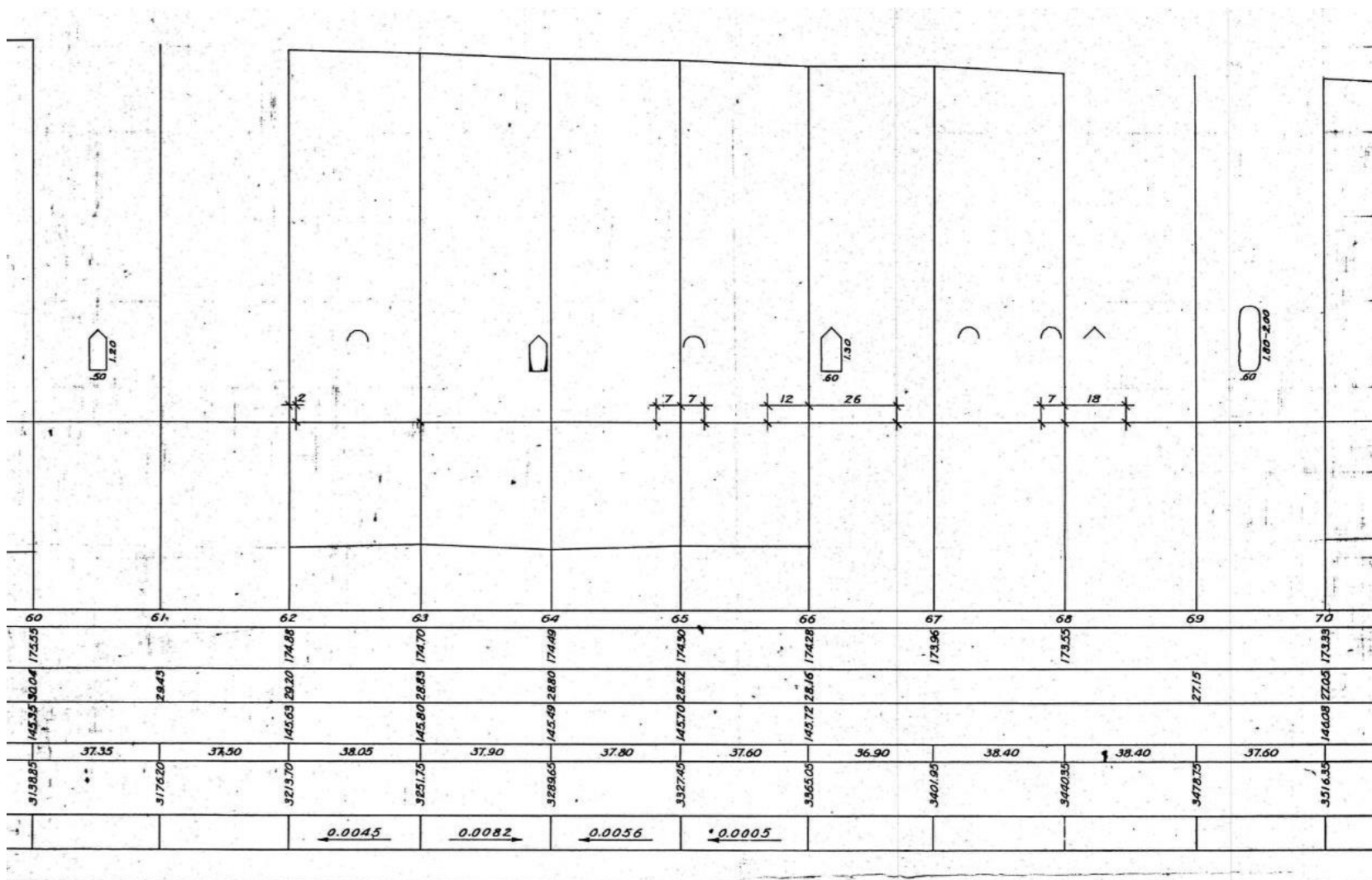
Εικόνα Α.30: Φύλλον 3 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



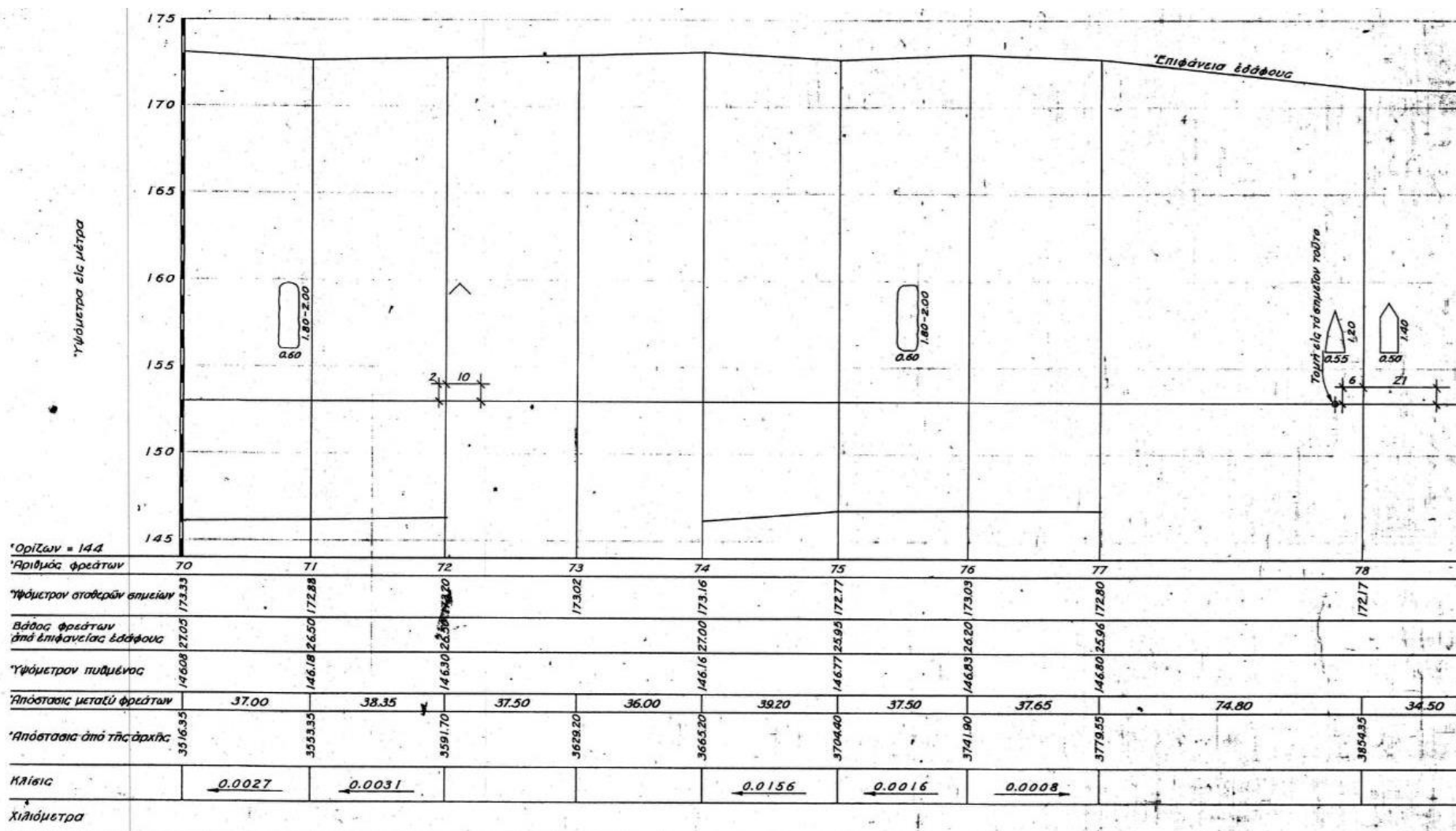
Εικόνα Α.31: Φύλλον 3 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



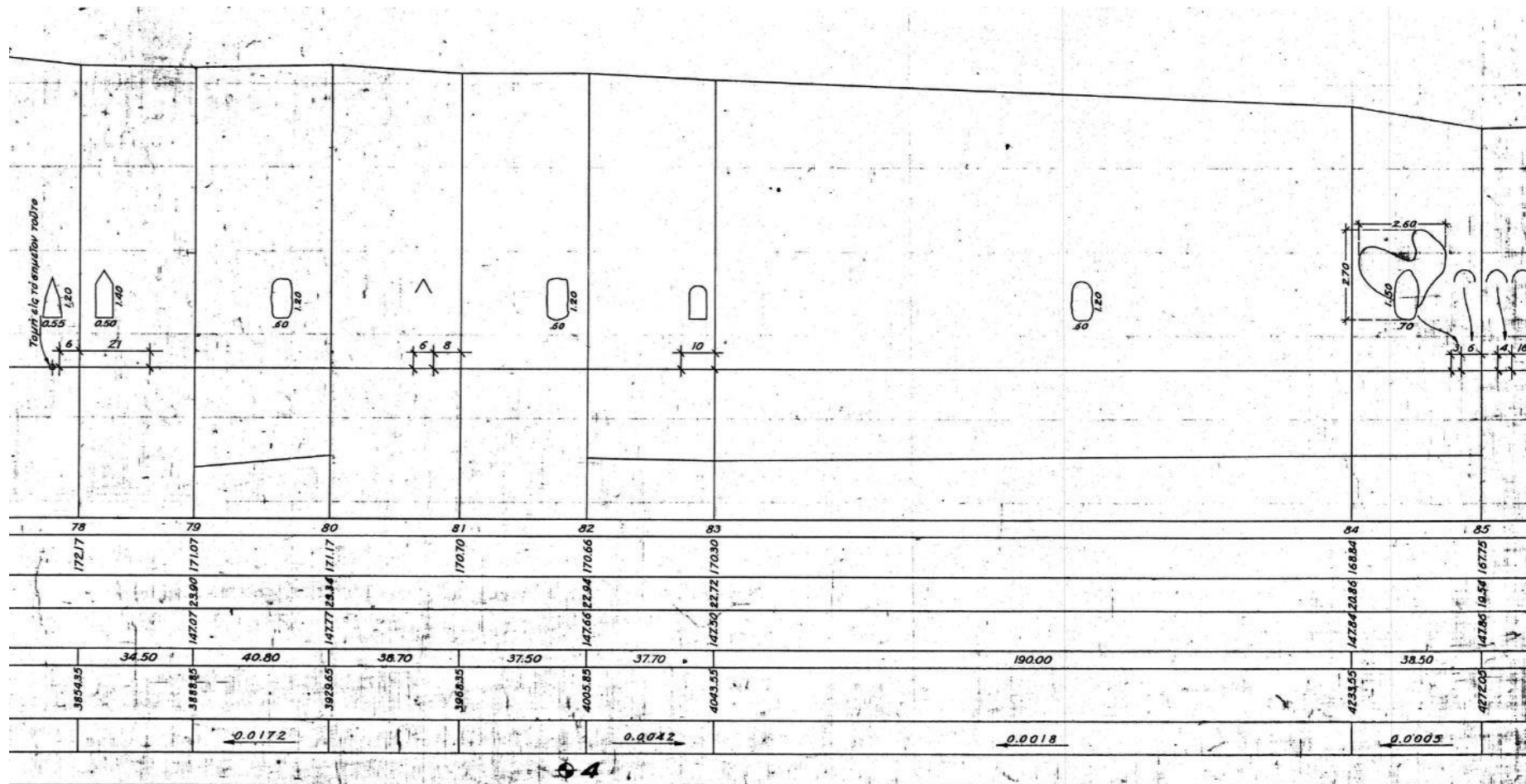
Εικόνα Α.32: Φύλλον 4 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



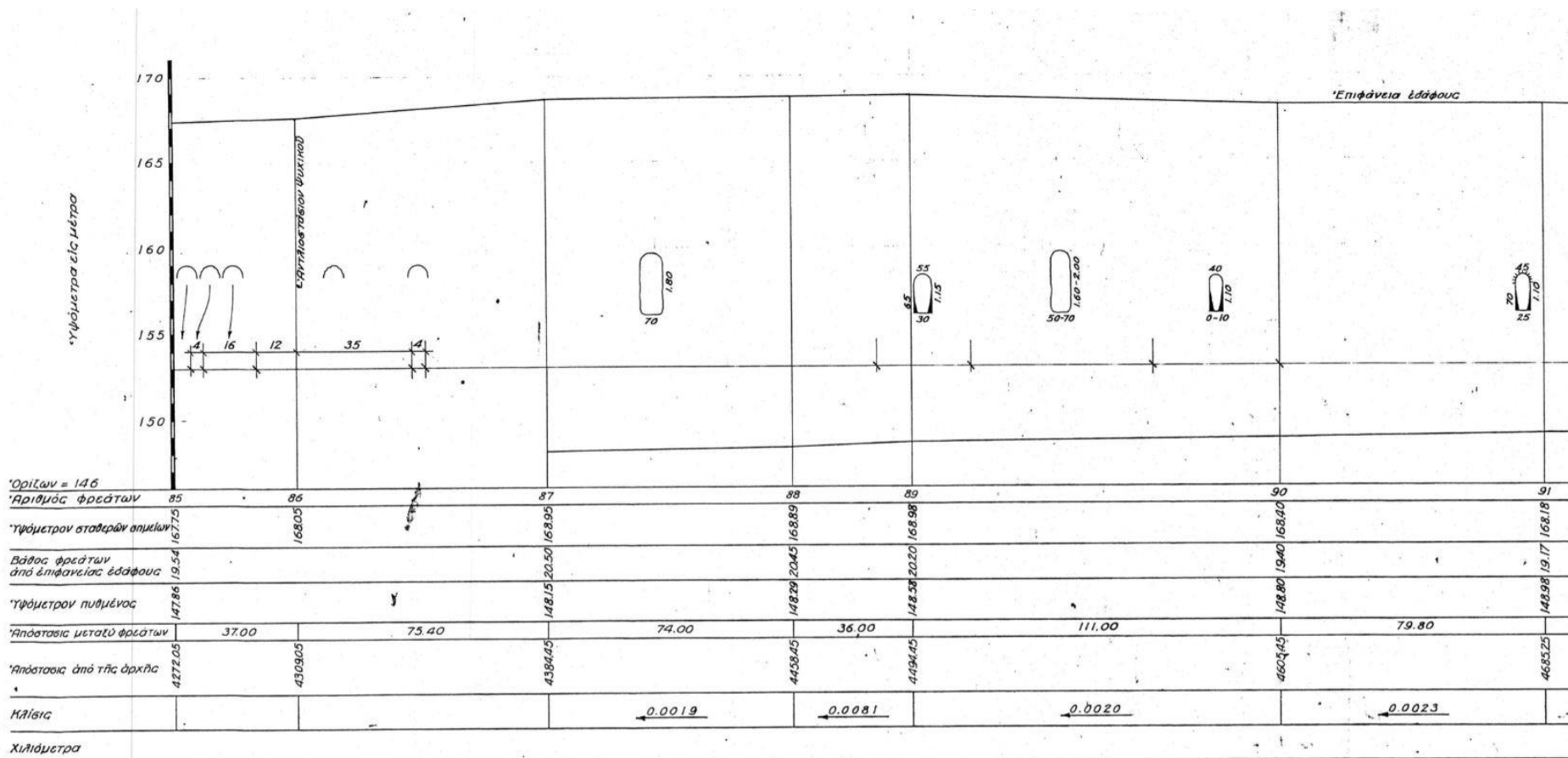
Εικόνα Α.33: Φύλλον 4 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



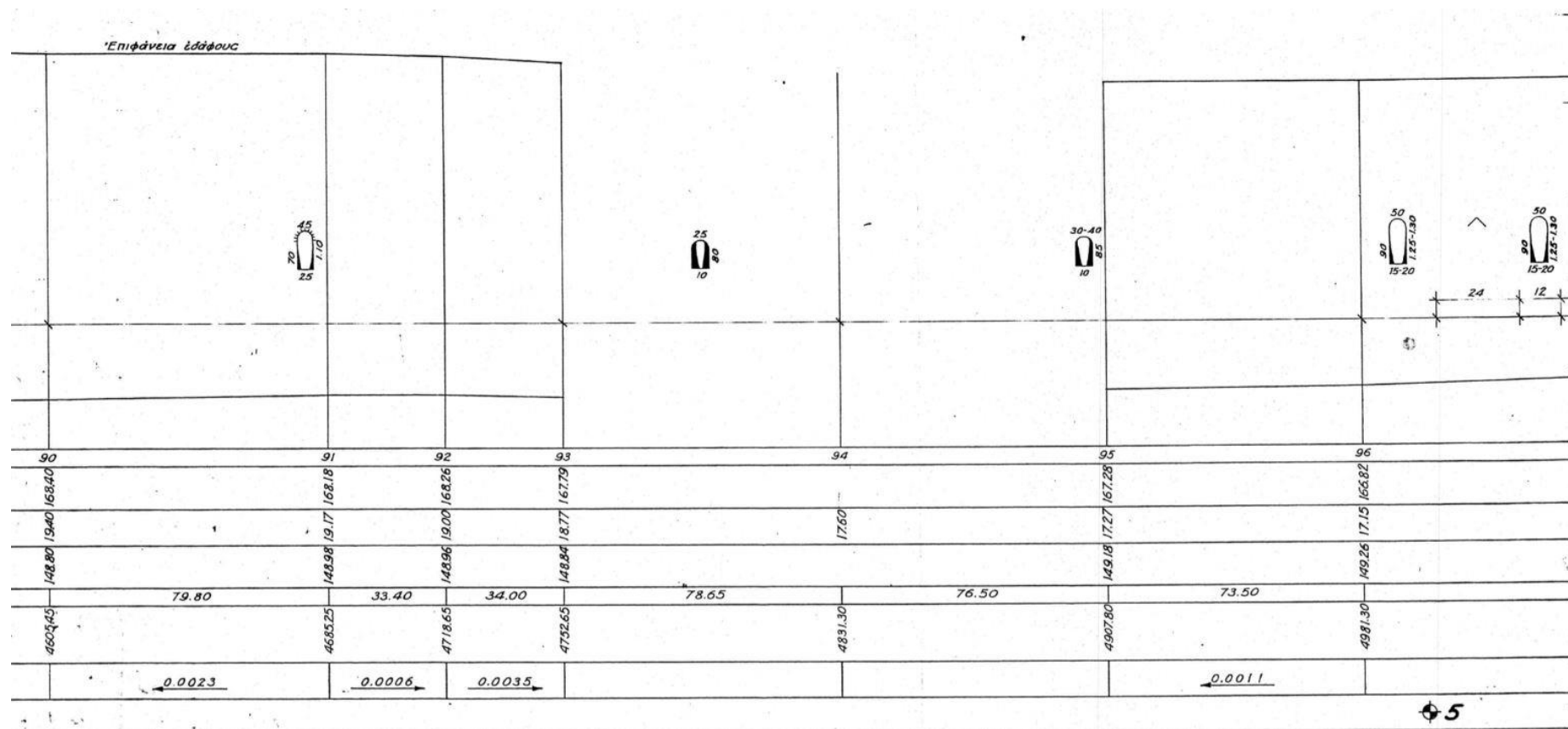
Εικόνα Α.34: Φύλλον 4 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



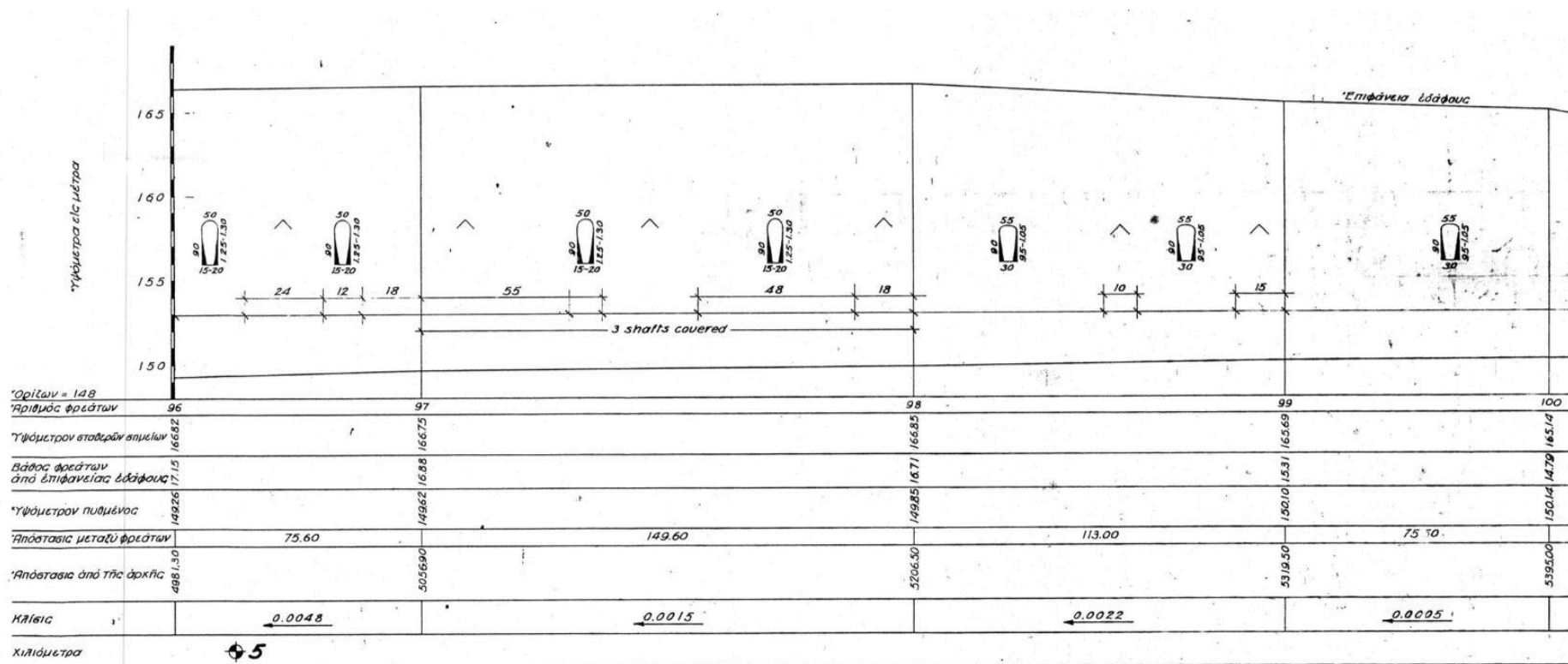
Εικόνα Α.35: Φύλλον 4 - Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



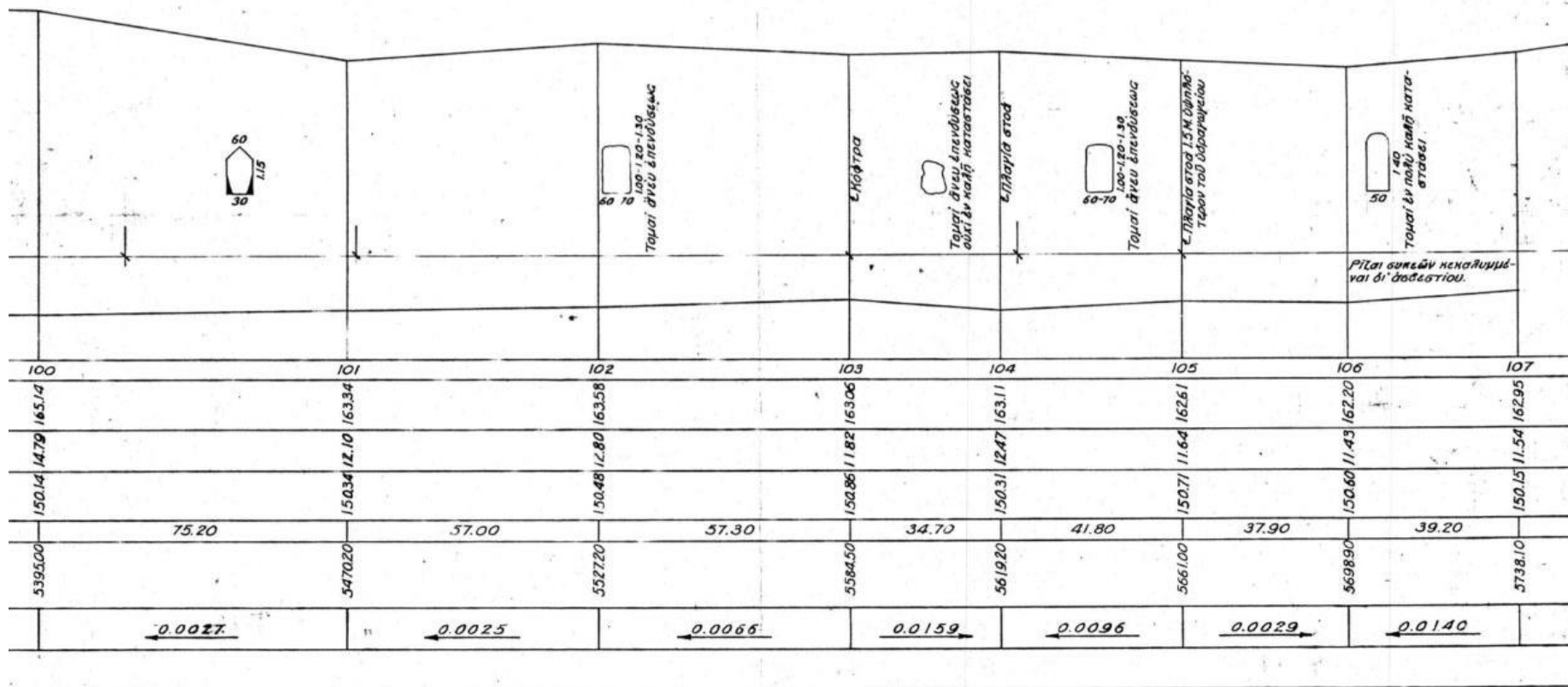
Εικόνα Α.36: Φύλλον 5 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



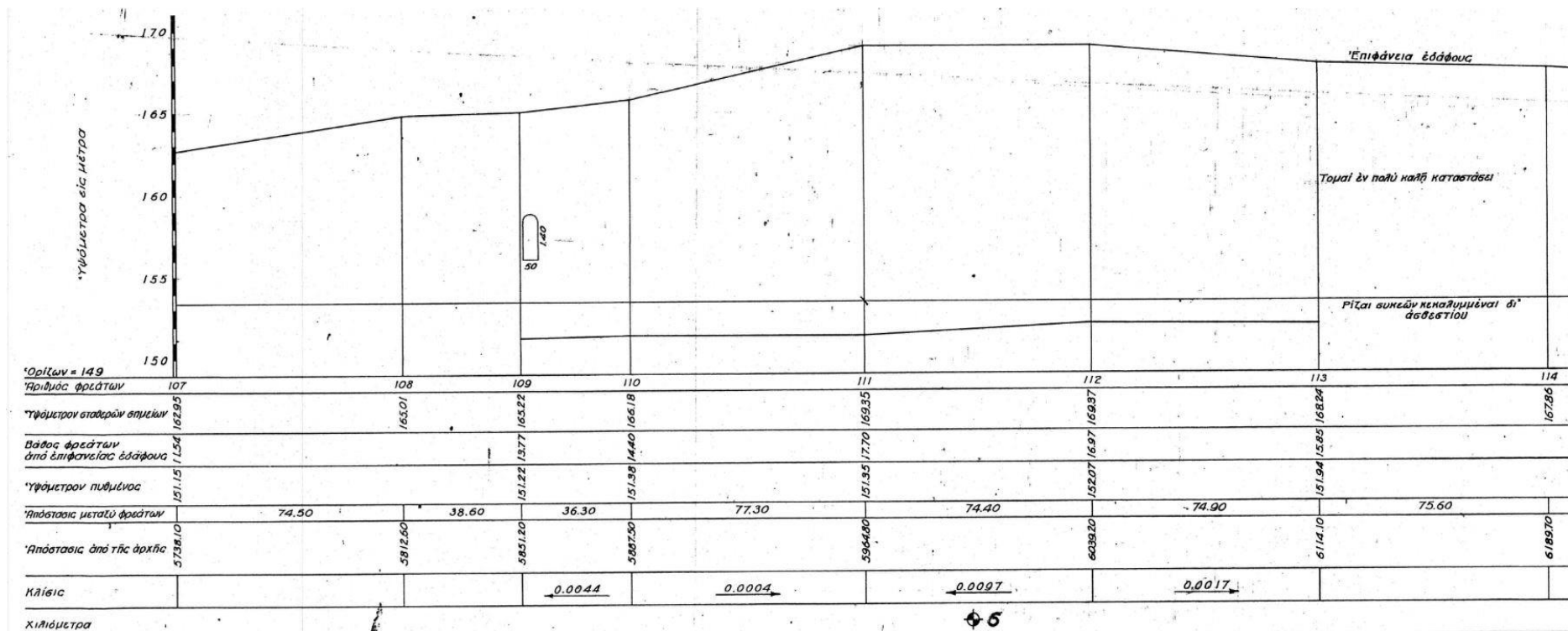
Εικόνα Α.37: Φύλλον 5 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



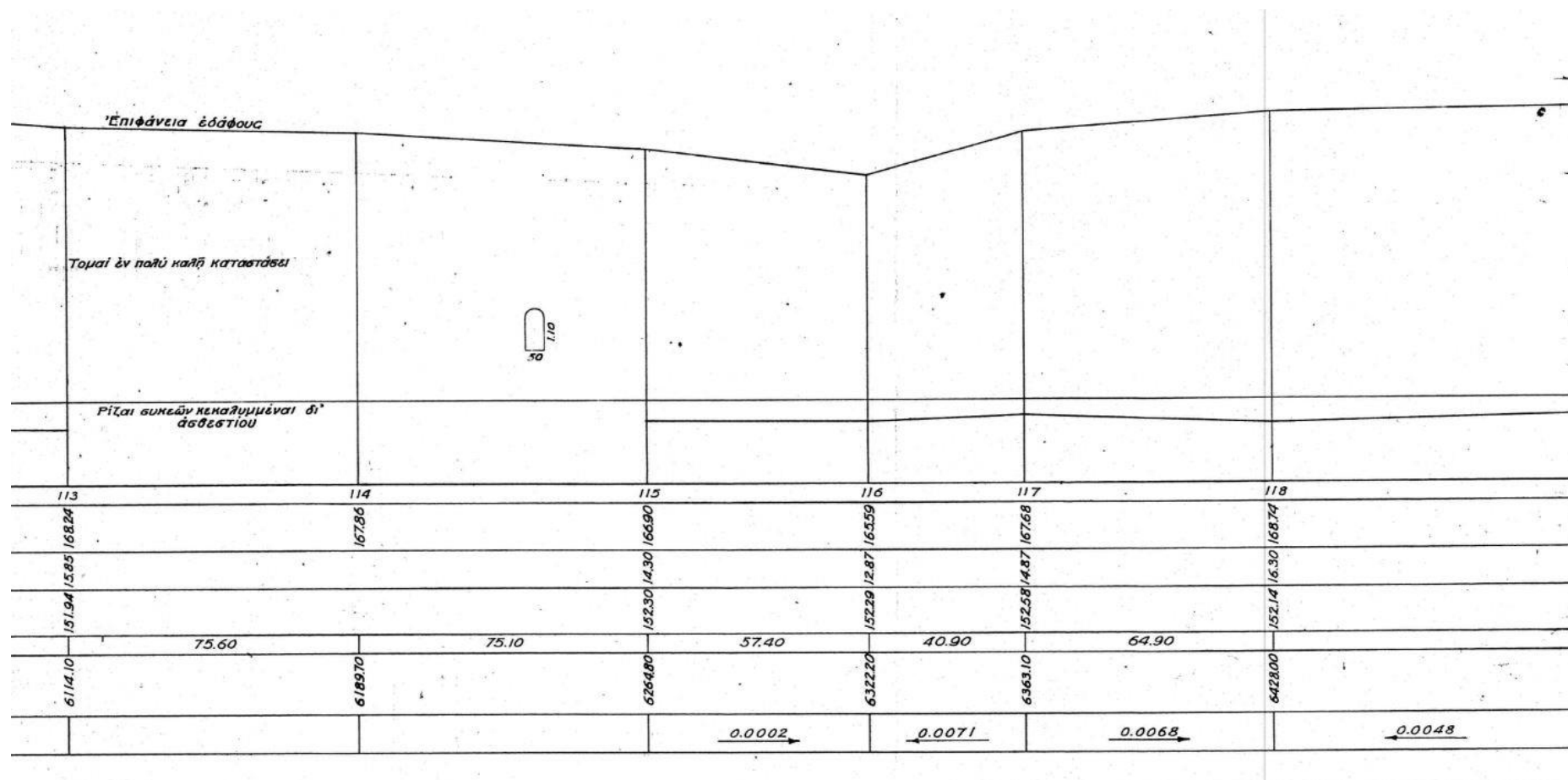
Εικόνα Α.38: Φύλλον 5 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



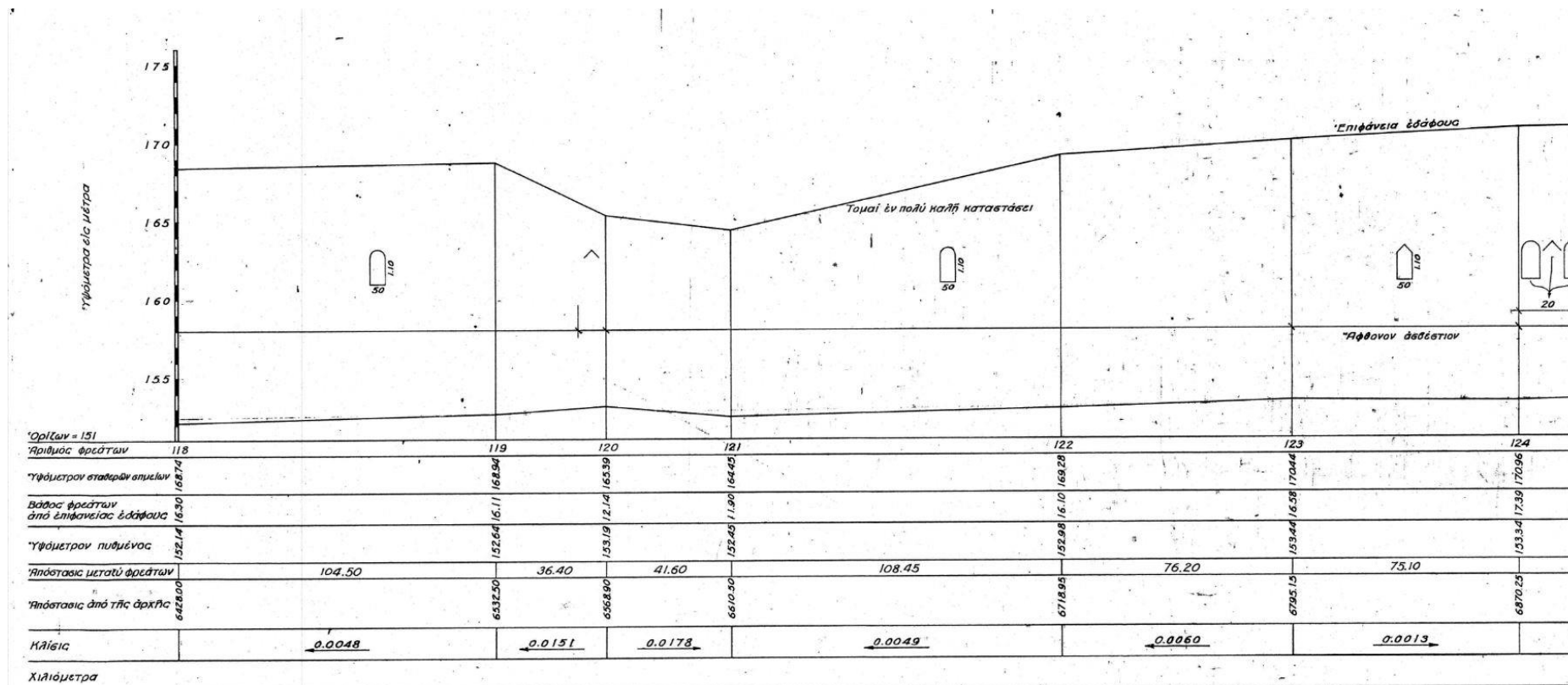
Εικόνα Α.39: Φύλλον 5 - Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



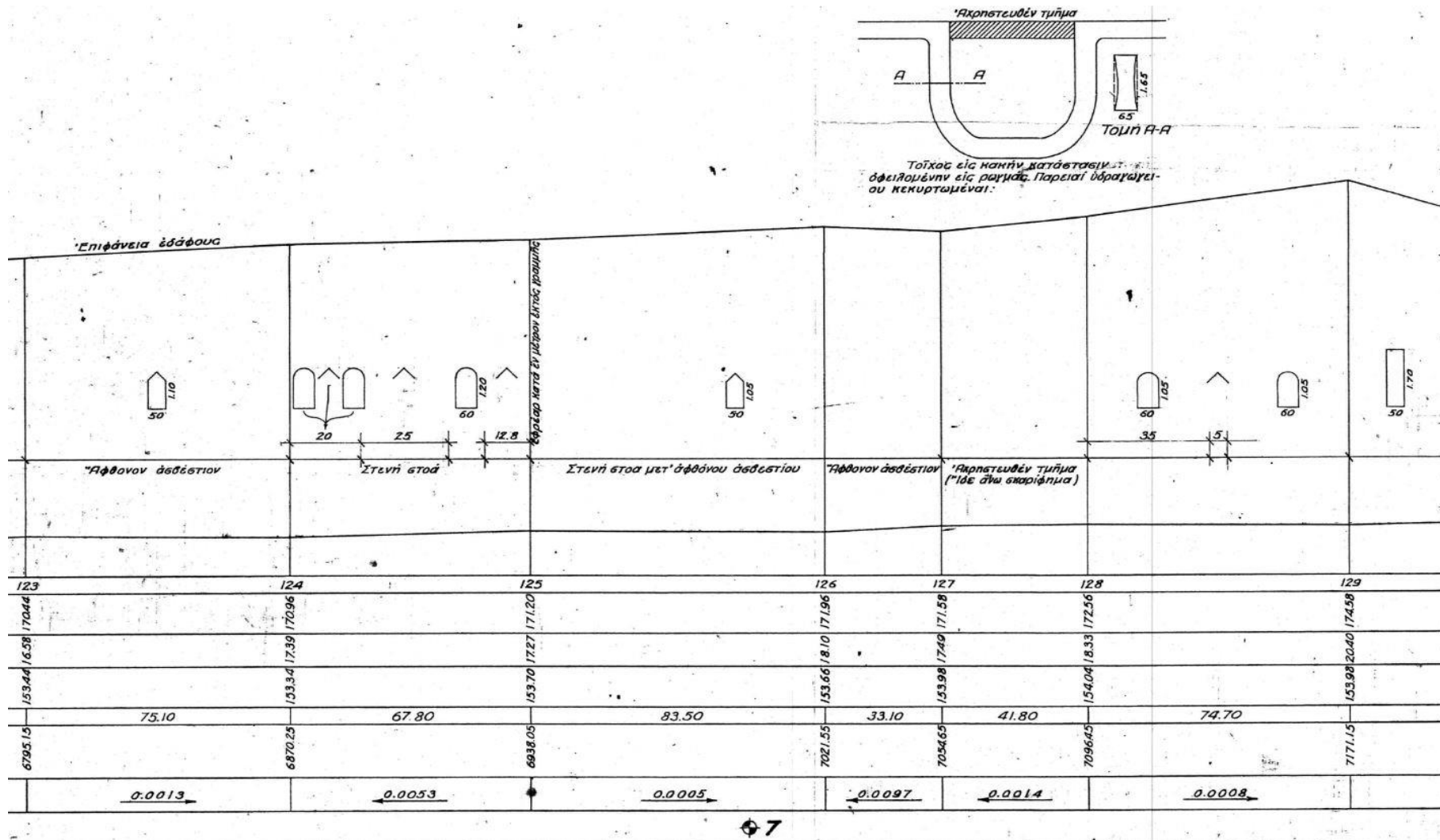
Εικόνα Α.40: Φύλλον 6 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



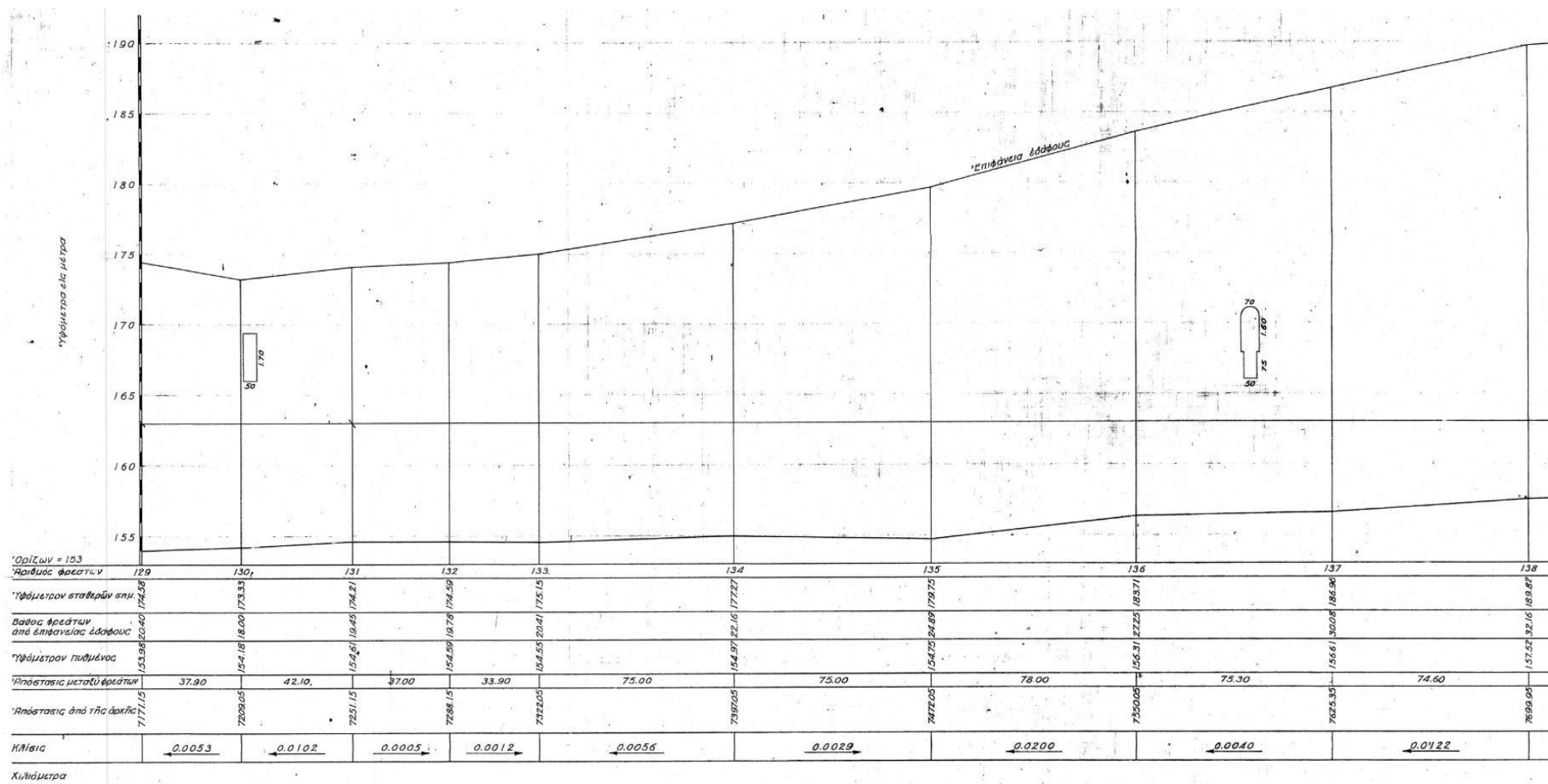
Εικόνα Α.41: Φύλλον 6 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



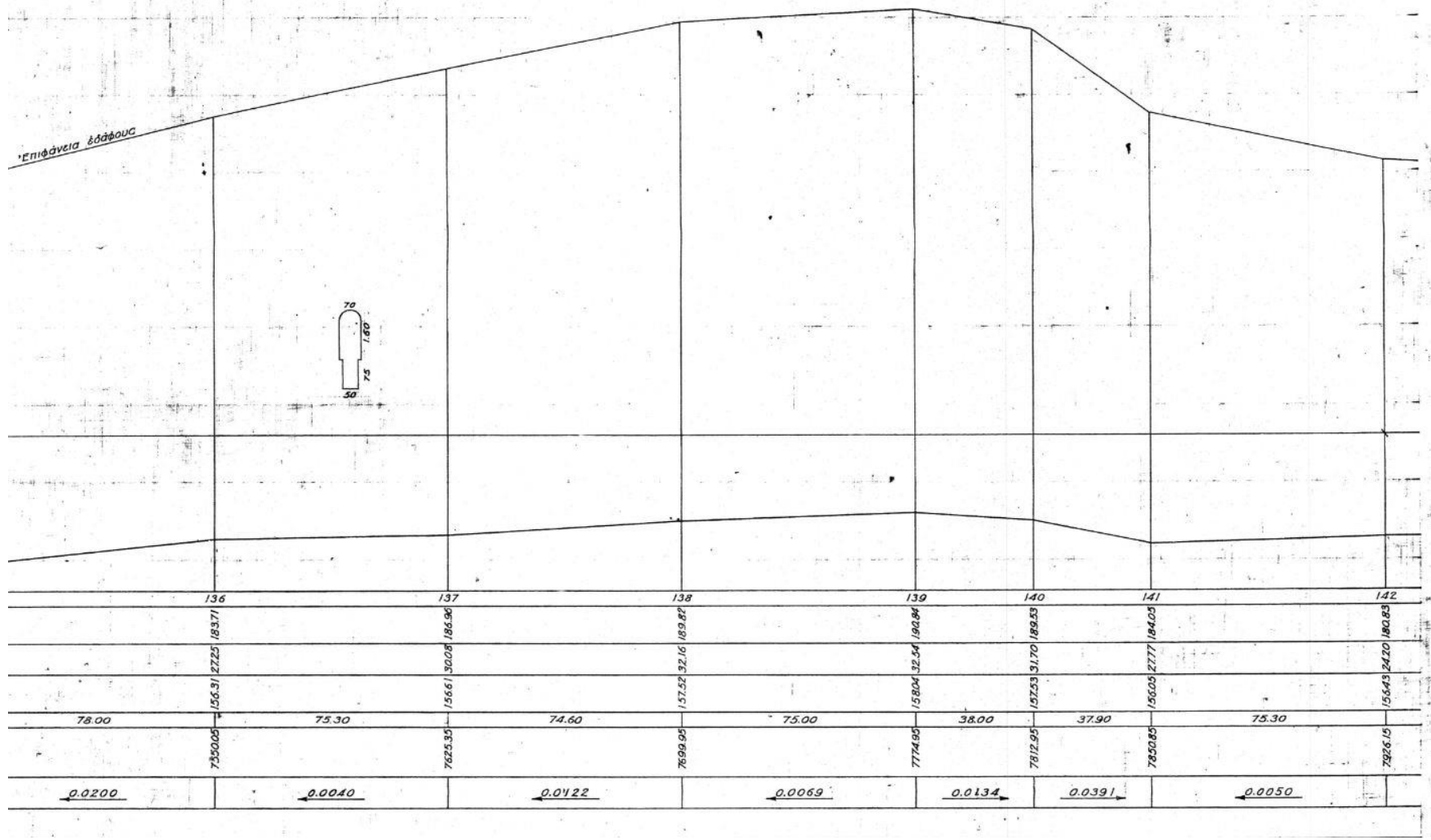
Εικόνα Α.42: Φύλλον 6 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



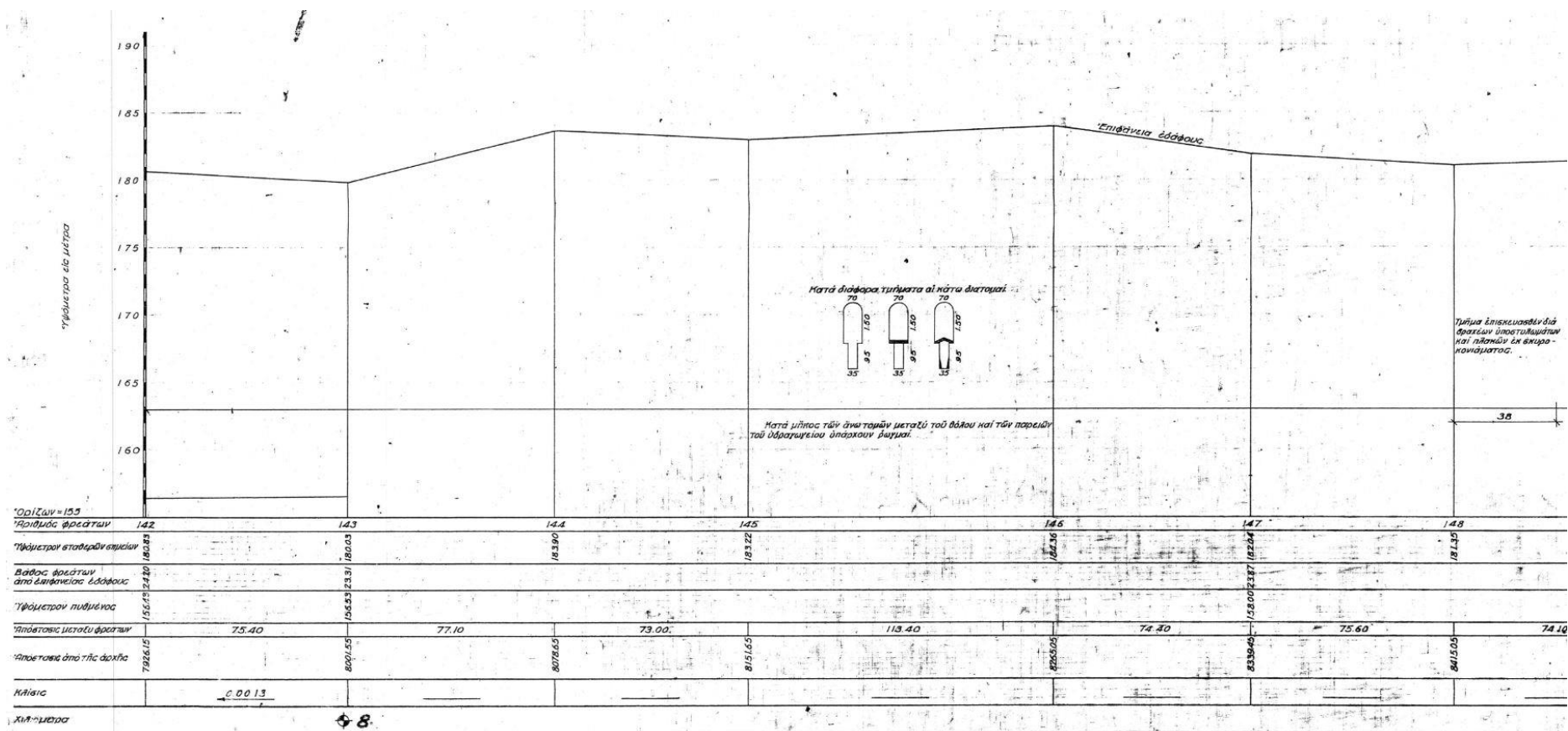
Εικόνα Α.43: Φύλλον 6 - Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



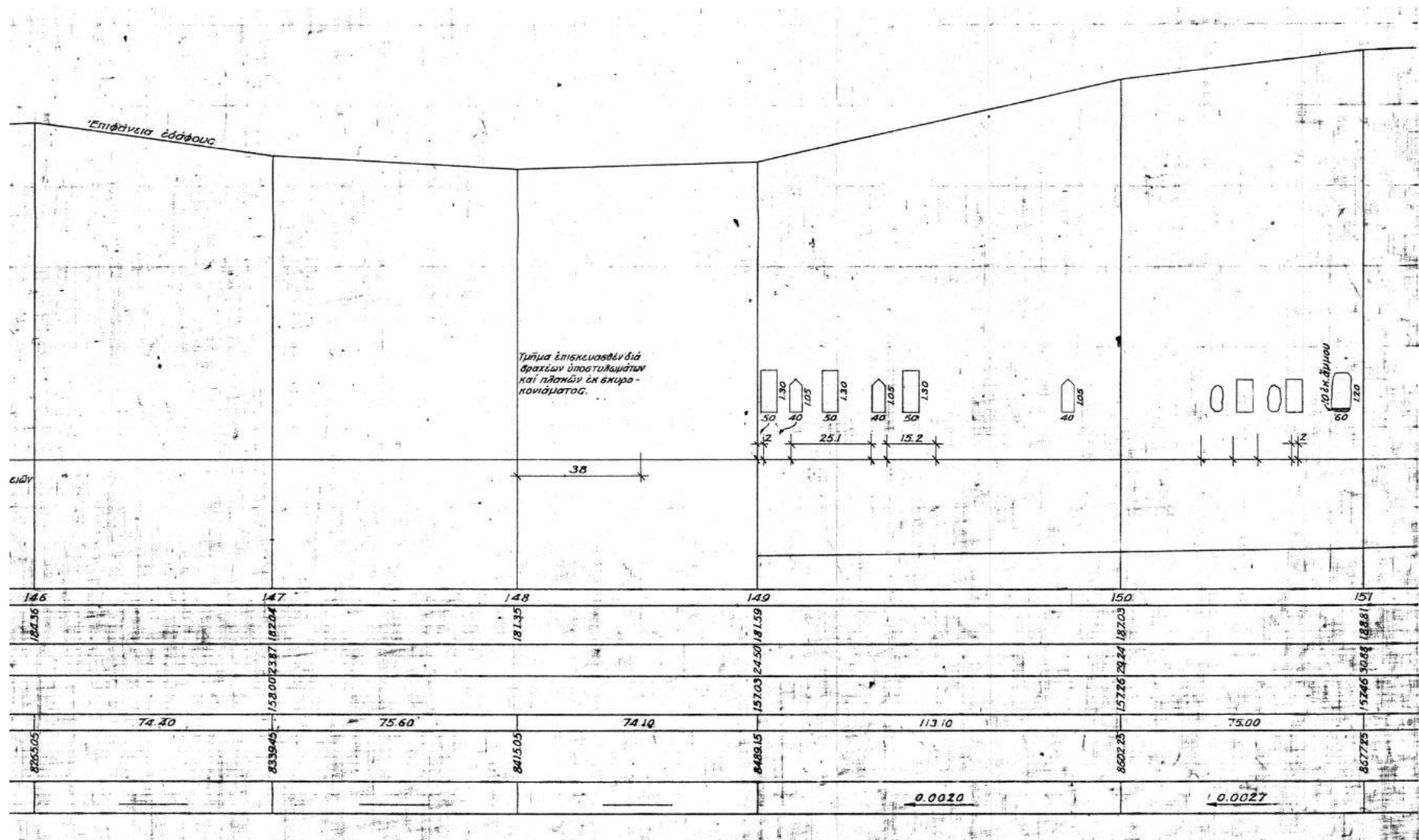
Εικόνα Α.44: Φύλλον 7 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



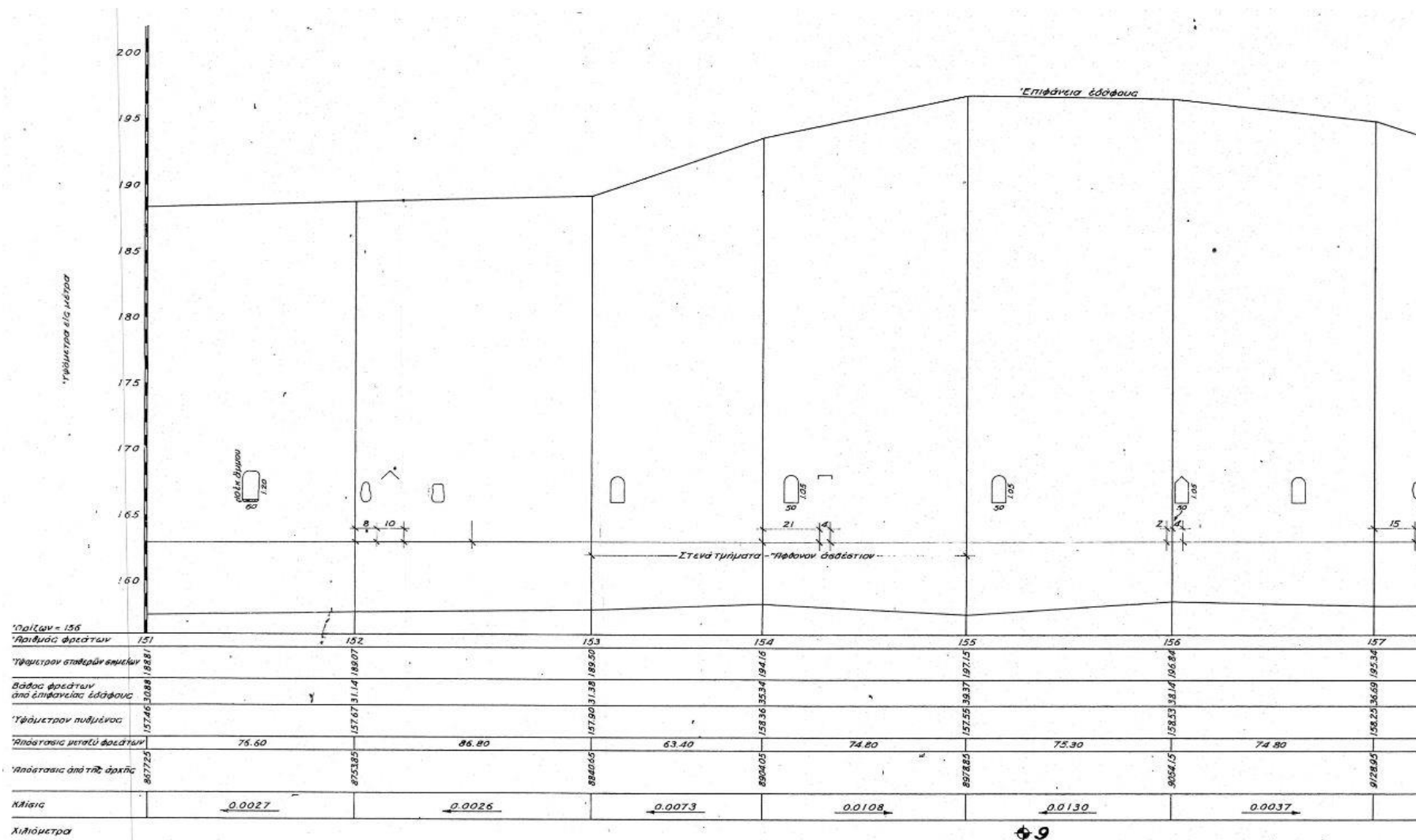
Εικόνα Α.45: Φύλλον 7 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



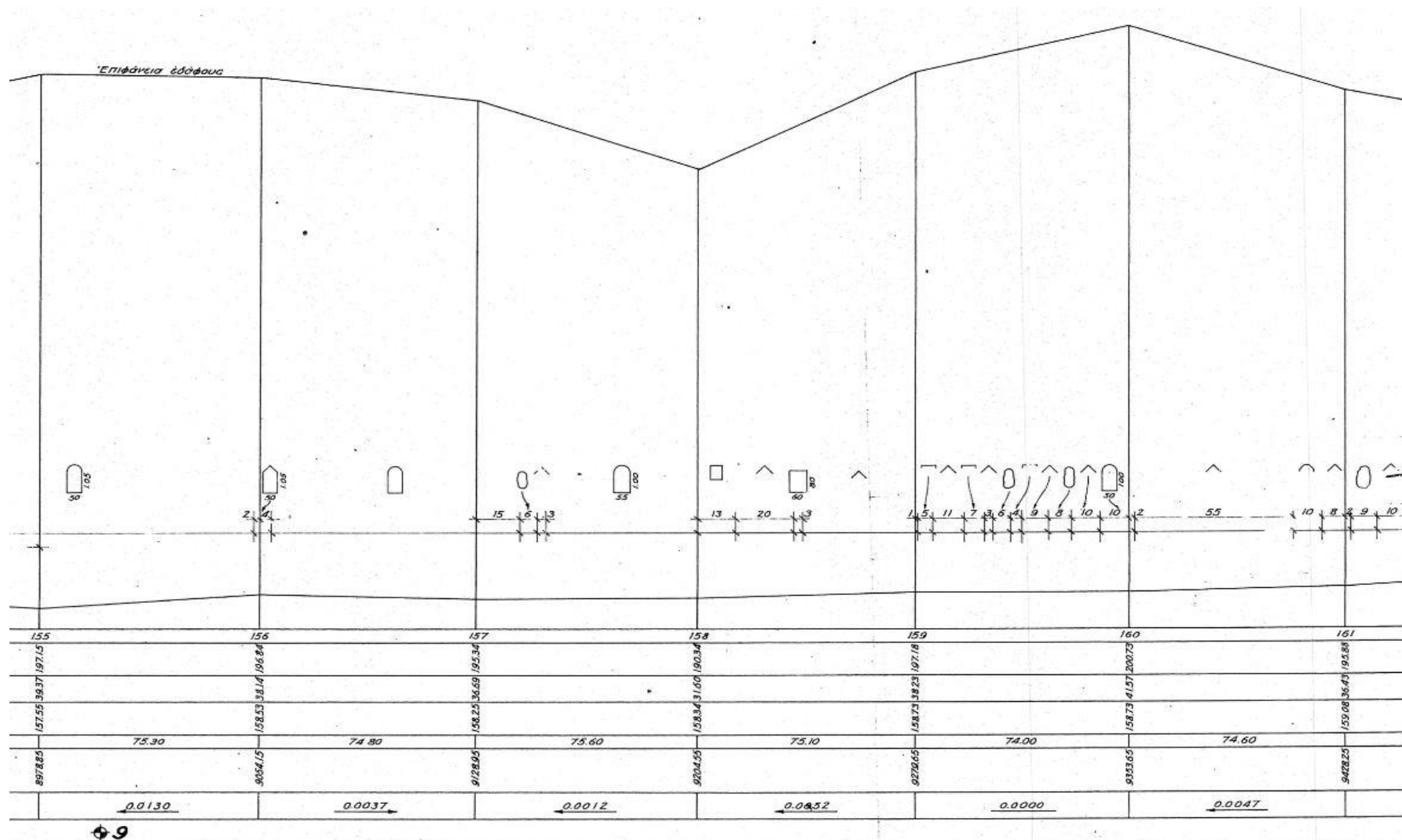
Εικόνα Α.46: Φύλλον 7 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



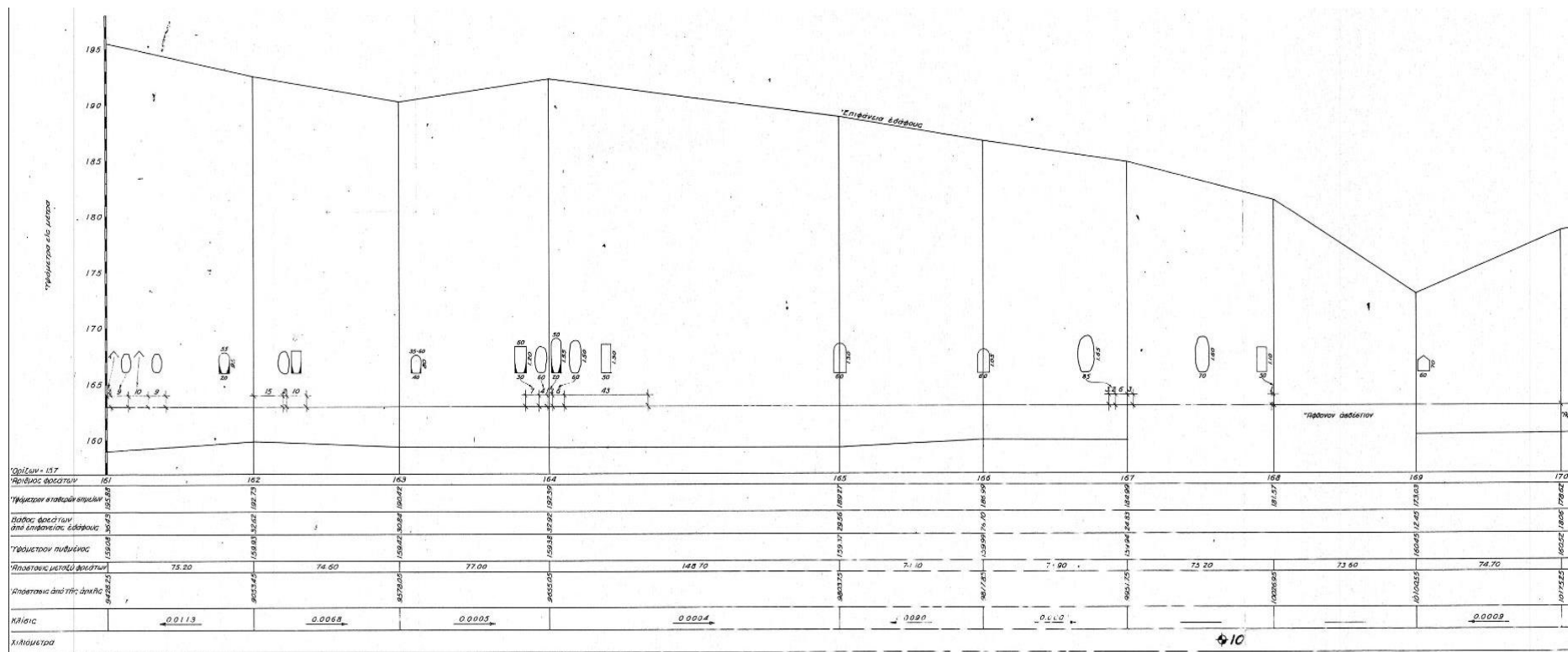
Εικόνα Α.47: Φύλλον 7 - Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



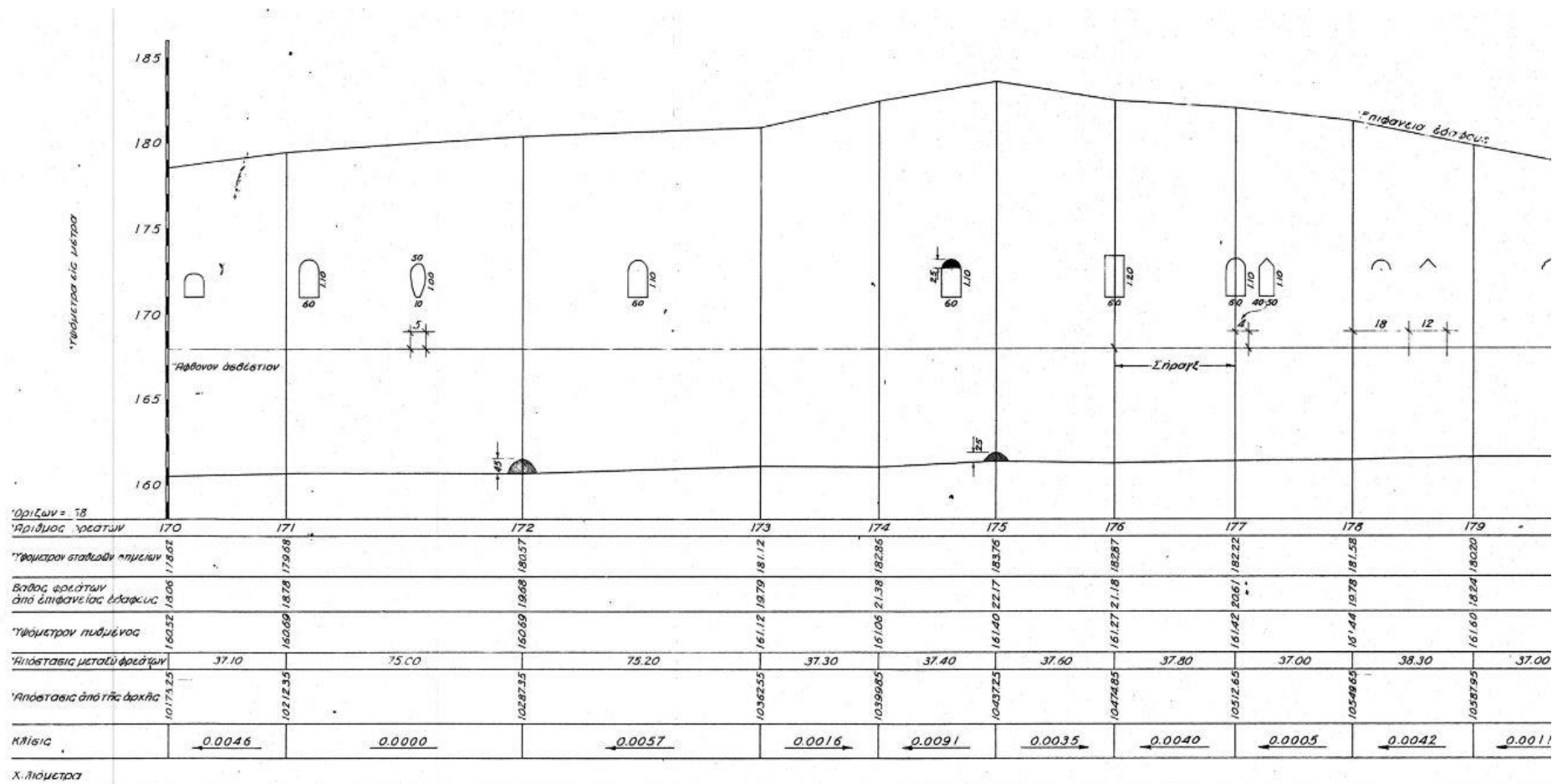
Εικόνα Α.48: Φύλλον 8 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



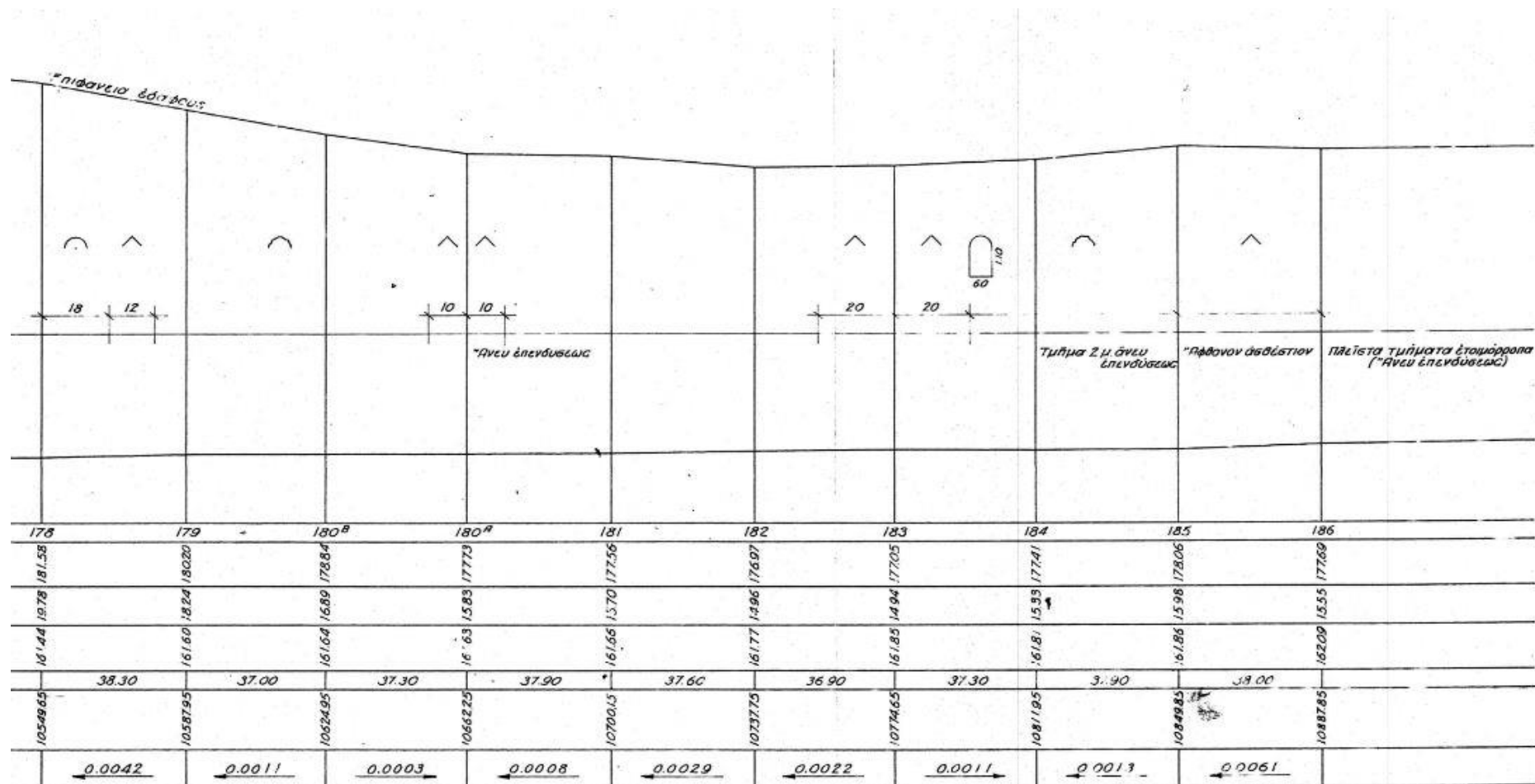
Εικόνα Α.49: Φύλλον 8 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



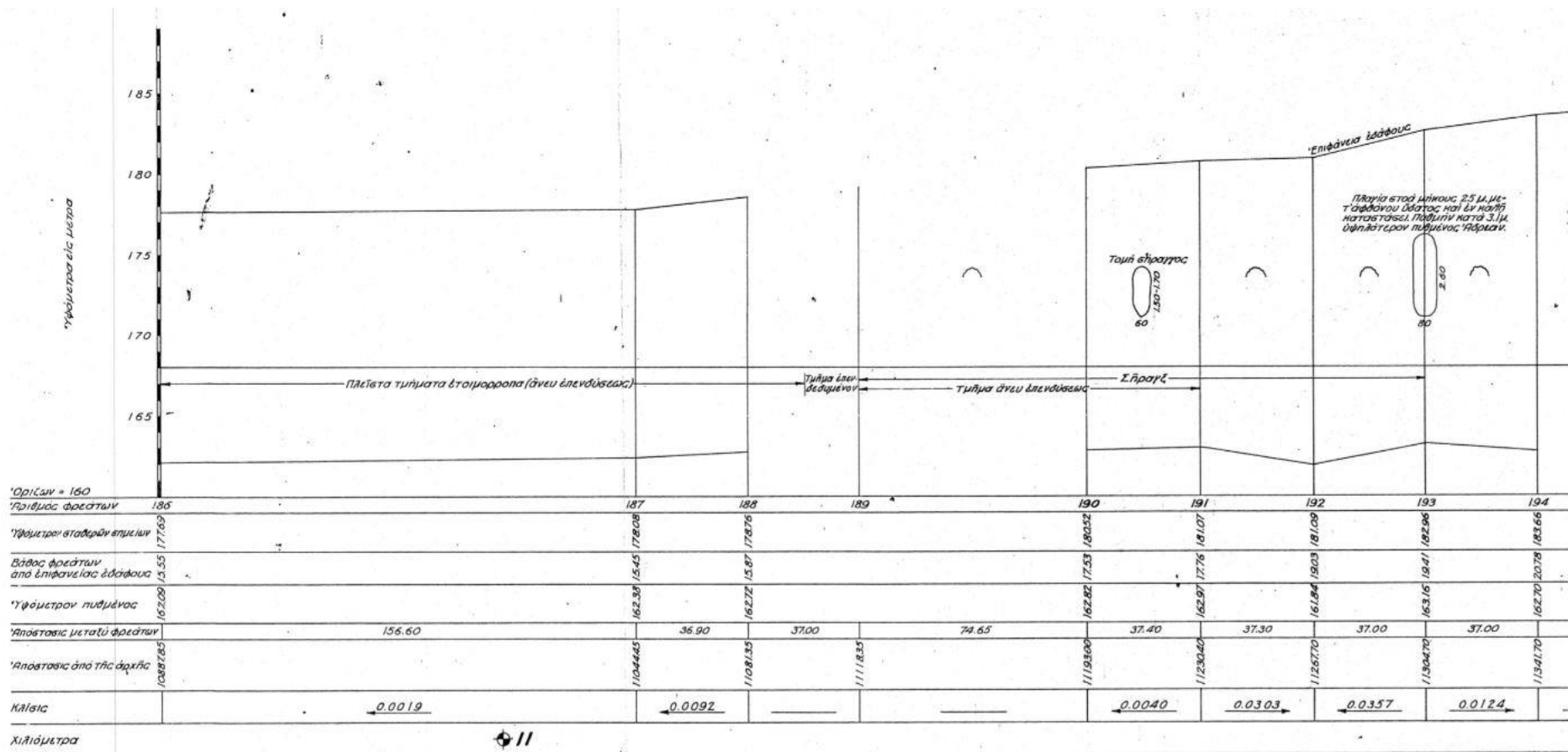
Εικόνα Α.50: Φύλλον 9 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



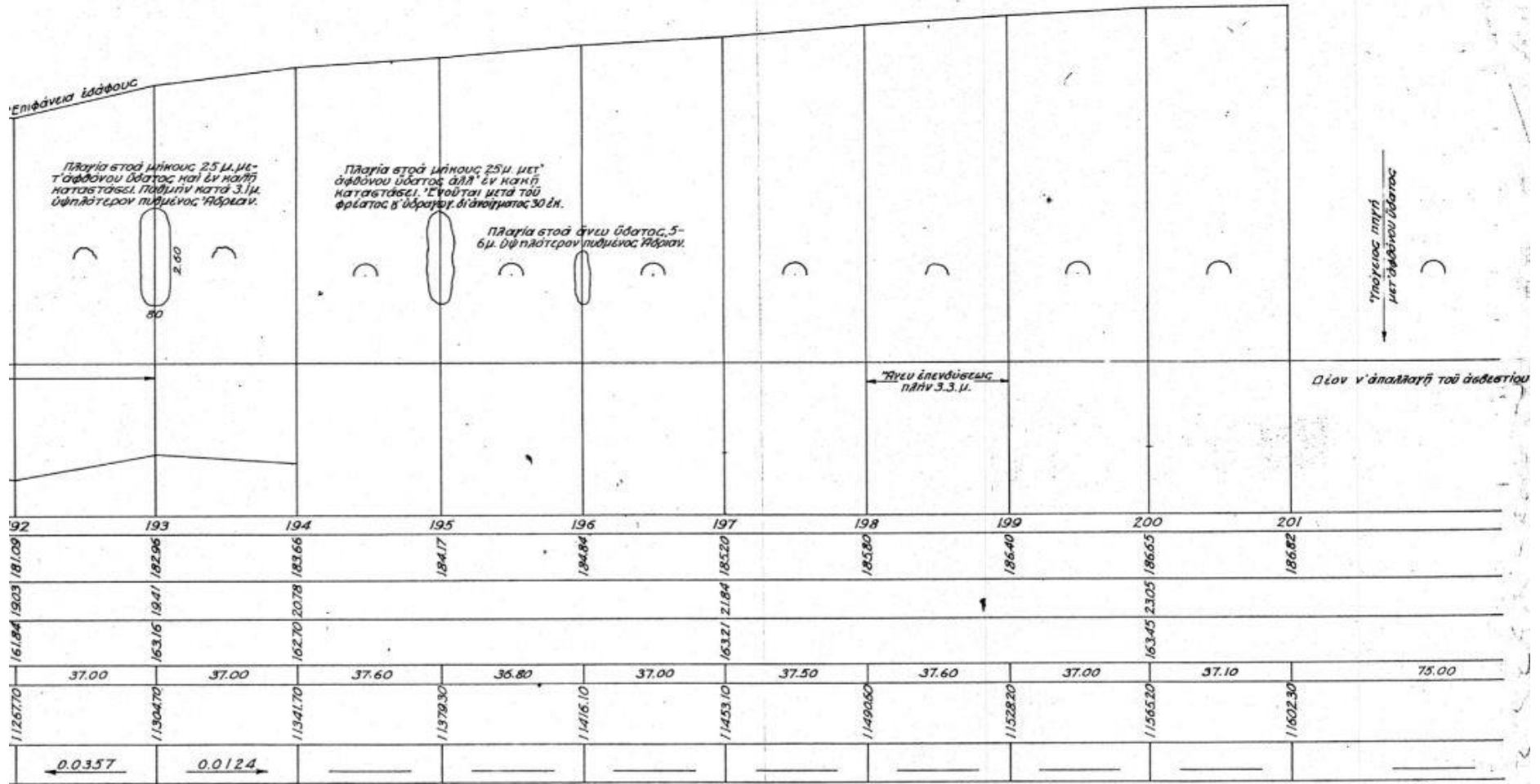
Εικόνα Α.51: Φύλλον 9 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



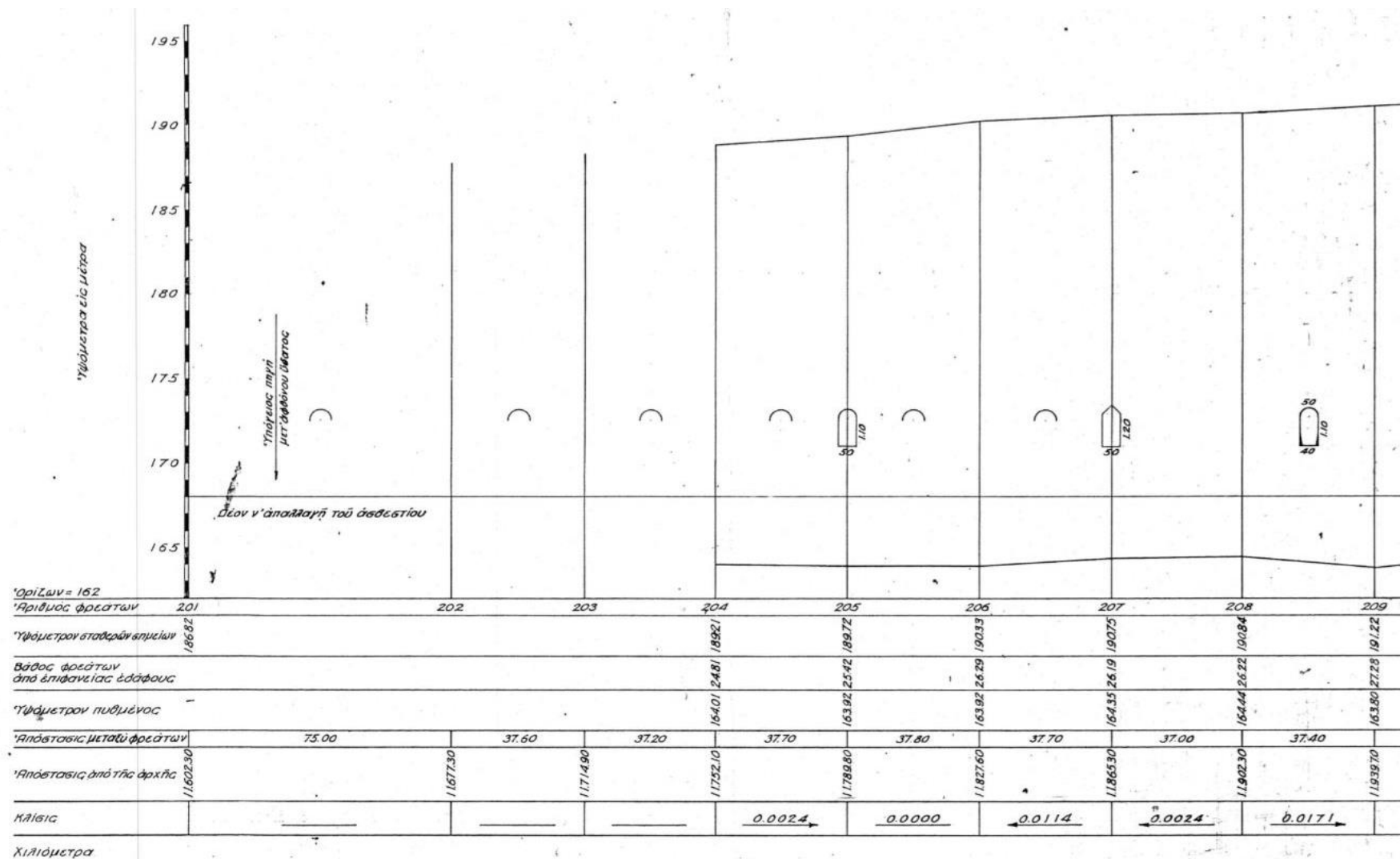
Εικόνα Α.52: Φύλλον 9 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



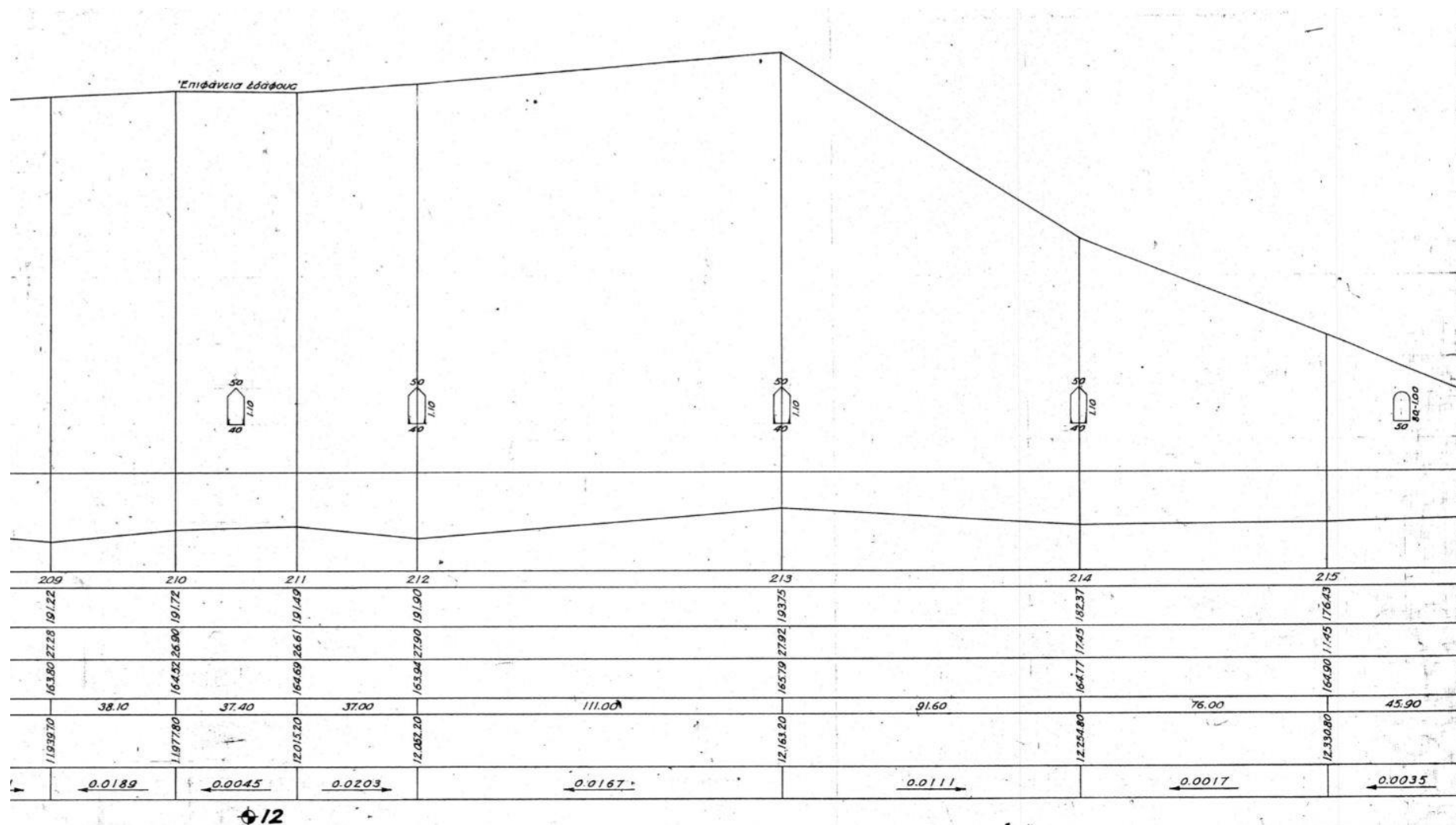
Εικόνα Α.53: Φύλλον 10 - Τμήμα Α (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



Εικόνα Α.54: Φύλλον 10 - Τμήμα Β (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



Εικόνα Α.55: Φύλλον 10 - Τμήμα Γ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)



Εικόνα Α.56: Φύλλον 10 - Τμήμα Δ (Πηγή: ΕΥΔΑΠ)

Τοπογράφηση 1923

Αρ. Φρέατος	Χιλιομετρική Θέση (m)	Αποστάσεις μεταξύ (m)	Υψόμετρα (m)		Βάθος φανών (m)	Κλίση αγωγού	Προτεινόμενη κλίση αγωγού	Διατομή			Ιζημα Υψος από πυθμένα αγωγού (m)	Σχόλια
			Πυθμένα αγωγού (m)	Εδάφους				Πλάτος (m)	Υψος (m)	Σχήμα		
24	1523.00	33.50	139.01	140.58	1.57	0.0087		0.60	0.85		ναί	
25	1556.50	33.70	139.07	140.87	1.80	0.0018		0.53	1.03		ναί	
26	1590.20	80.45	139.21	140.93	1.72	0.0032	0.00025	0.50	1.10		ναί	
28	1670.65	51.10	139.23	141.19	1.96	0.0059	0.01310	0.52	1.10		ναί	
30	1721.75	57.00	139.84	141.49	1.65	0.0018	0.00260	0.65	1.00		ναί	
31	1778.75	87.15	139.99	141.59	1.60	0.0031	0.00070	0.55	0.95		όχι	
32	1865.90	68.50	139.93	141.86	1.93	0.0004	0.00170	0.60	1.10			δημοτικό περιβόλι Αμπελοκήπων
33	1934.40	63.80	139.81	141.89	2.08	-0.0008	0.00050	0.60	1.20		ναί	
35			139.84	141.84	2.00		0.00250	0.40	1.20		ναί	
36	1998.20	112.55		0.00								
38	2110.75	38.00	140.12	146.42	6.30	-0.0416	0.00050	0.65	1.20		όχι	βάνα για άρδευση- Αμπελοκήποι
39	2148.75	29.50	140.14	144.84	4.70	0.0024	0.00230	0.50	1.50		όχι	Άγιος Δημήτριος
40	2178.25	47.00	140.21	144.91	4.70	0.0221	0.01300	0.35	1.10		όχι	
41	2225.25	37.00	139.35	145.95	6.60	0.0546		0.48	1.20		όχι	
42	2262.25	38.00	139.32	147.97	8.65	0.0003	0.00025					
43	2300.25	47.70	139.33	147.98	8.65	0.0132	0.00377		0.80		ναί	Μέση κλίση: 0,00063
44	2347.95	38.00	139.51	148.61	9.10	0.0126	-0.00134	1.10	1.25		ναί	
45	2385.95	37.00	139.44	149.09	9.65	-0.0214		0.50	0.83		ναί	
46	2422.95	38.20	139.57	148.30	8.73	0.0188		0.55	1.10		όχι	Νερό για το εργοστάσιο Πυρρή
47	2461.15	37.35	139.71	149.02	9.31	0.0391						Εκκενωτικός αγωγός
48	2498.50	37.80	139.72	150.48	10.76	0.0466		0.60	1.15		όχι	
49	2536.30	37.40	139.70	152.24	12.54	0.0211						
50	2573.70	37.70	139.58	153.03	13.45	0.0066		0.45			όχι	
51	2611.40	37.50	139.64	153.28	13.64	-0.0064						
52	2648.90	37.80	139.94	153.04	13.10	0.0222		0.45	1.10		0.50	
53	2686.70	80.30	139.88	153.88	14.00	-0.0280						
54	2767.00	39.30	140.12	151.63	11.51	0.1318		0.90	1.20		0.50	
55	2806.30	37.10	140.01	156.81	16.80	0.0240		0.62	1.45		0.65	
56	2843.40	37.40	140.70	157.70	17.00	0.0088		0.50	1.40		0.60	
57	2880.80	37.00	140.13	158.03	17.90	0.0189		0.50	1.60		0.60	
58	2917.80	37.10	140.17	158.73	18.56	0.0690		0.52	1.55		0.70	
59	2954.90	37.25	141.31	161.29	19.98	0.0574		0.50	1.40		0.70	
60	2992.15	37.00	141.20	163.43	22.23	0.0073		0.50	1.20		0.70	
61	3029.15	37.25	141.40	163.70	22.30	0.0046			1.55		0.50	
62	3066.40	37.65	141.33	163.87	22.54	0.0127	0.00220	0.50	0.95		0.60	
63	3104.05	37.20	141.57	164.35	22.78	0.0040						
64	3141.25	37.70	141.60	164.50	22.90	0.0051		0.80	1.20		0.25	
65	3178.95	37.35	141.61	164.69	23.08	0.0064	0.00560	0.55	1.40		0.35	0,30 - 0,80 Στενή σήραγγα
66	3216.30	37.30	141.83	164.93	23.10	0.0300						
67	3253.60	36.85	141.90	166.05	24.15	0.0147		0.40			0.75	

Ίψοσο Ξηγιανάτι

Παράρτημα Α

147	6281.39	111.30	149.24	172.04	22.80	-0.0026		0.60	1.00		0.55				
150	6392.69	74.20	149.43	171.75	22.32	-0.0275	0.00140	0.60	1.00	τριγωνική οροφή	0.55				
152	6466.89	37.80	149.55	169.71	20.16	-0.0119		0.50	1.00		0.50				
153	6504.69	36.95	149.56	169.26	19.70	-0.0027		0.50	1.05		0.55				
154	6541.64	75.00	149.81	169.16	19.35	0.0168	0.00180	0.50	1.50		0.55				
Ενδιάμεσα											0.50				
156	6616.64	73.78	149.77	170.42	20.65	0.0009		0.50	1.15		0.50				
Ενδιάμεσα							0.00230	0.60	1.40	ημικυκλική οροφή	0.50				
158	6690.42	37.70	149.92	170.49	20.57	-0.0016		0.50	1.00		0.50				
159	6728.12	110.30	150.03	170.43	20.40	-0.0039	0.00430	0.60	1.10		0.40				
160	6838.42		150.50	170.00	19.50			0.50	0.90		0.40				
162	6838.42	79.45						0.50	0.90		0.40				
164	6917.87	33.30	150.44	169.64	19.20	0.0066	0.00110	0.40	1.60		0.50				
165	6951.17	33.90	150.46	169.86	19.40	-0.0204		0.50	1.10						
166	6985.07	78.20	150.67	169.17	18.50	-0.0068	0.00210	0.40	1.00		0.50				
168	7063.27	74.60	150.84	168.64	17.80	-0.0040		0.50	0.90		0.40				
170	7137.87	78.80	150.94	168.34	17.40	-0.0048	0.00080	0.50	0.90		0.45				
172	7216.67	75.05	150.96	167.96	17.00	0.0019	0.00450	0.50	1.20		0.50				
174	7291.72	148.65	151.30	168.10	16.80	-0.0001	0.00160	0.40	0.90	τριγωνική οροφή	0.50				
178	7440.37	76.05	151.54	168.09	16.55	-0.0085		0.40	0.65	ημικυκλική οροφή	0.50				
180	7516.42	37.80	151.64	167.44	15.80	-0.0135	0.00150	0.43	1.00						
181	7554.22	75.15	151.73	166.93	15.20	-0.0065		0.55	0.85						
Ενδιάμεσα								0.50	1.00		0.45				
183	7629.37	75.35	151.84	166.44	14.60	-0.0171		0.85	0.80	τριγωνική οροφή	0.50				
185	7704.72	113.73	152.10	165.15	13.05	-0.0051	0.00340	0.50	1.00		0.35				
187	7818.45	34.60	152.37	164.57	12.20	-0.0020		0.50	1.20		0.40				
188	7853.05	41.80	152.40	164.50	12.10	-0.0146		0.50	0.80		0.40				
189	7894.85	151.25	152.54	163.89	11.35	0.0161		0.50	0.75		0.35				
193	8046.10	74.70	152.87	166.32	13.45	0.0162	0.00230				0.40				
195	8120.80	77.00	153.03	167.53	14.50	0.0465		0.50			0.40				
197	8197.80	149.50	153.96	171.11	17.15	-0.0117		0.50	0.90		0.40				
201	8347.30	75.35	153.61	169.36	15.75	-0.0040		0.55	0.85		0.40				
203	8422.65	132.10	153.71	169.06	15.35	-0.0170	0.00120	0.50	0.60		0.40				
207	8554.75	39.90	153.96	166.81	12.85	0.0511			0.50		0.45				
208	8594.65	64.80	154.00	168.85	14.85	0.0154	0.00130		0.70		0.40				
210	8659.45	304.20	154.10	169.85	15.75	0.0036	0.00340		1.00		0.50				
216	8963.65	76.15	155.14	170.94	15.80	0.0079		0.55	0.70	ημικυκλική οροφή	0.45				
217	9039.80	226.15	154.94	171.54	16.60	0.0074	0.00140								
Ενδιάμεσα								0.25	0.70		0.70				
222	9265.95	74.90	155.57	173.22	17.65	0.0085		0.50	0.65		0.45				
223	9340.85	75.50	155.56	173.86	18.30	0.0281	0.00170	0.50	0.90		0.45				
224	9416.35	79.30	155.83	175.98	20.15	-0.0197			0.90		0.50				
Ενδιάμεσα							0.00480	0.25		τριγωνική οροφή					
225	9495.65	36.70	155.22	174.42	19.20	0.0199		0.40	1.05	ορθογωνική	0.55			1884 ανακαίνιση (πλάκες)	
226	9532.35	33.80	156.00	175.15	19.15	0.0095									
228	9566.15	75.10	155.47	175.47	20.00	0.0399	0.00390	0.40	1.10	ορθογωνική	1.00				
229	9641.25	74.15	156.27	178.47	22.20	0.0390									

Τοπογράφιση 1936

Αρ. Φρέατος	Χιλιομετρική Θέση (m)	Αποστάσεις μεταξύ (m)	Υψόμετρα (m)			Βάθος φρέατος από έδαφος (m)	Σφάλμα	Κλίση αγωγού	Διατομή αγωγού				Ιζημα Υψος από πυθμένα αγωγού (m)	Σχόλια
			Εδάφος	Πυθμένας αγωγού	Πυθμένας αγωγού				Μήκος (m)	Πλάτος (m)	Υψος (m)	Σχήμα		
1	0.00	35.80												
2	35.80	37.90	148.99											
3	73.70	37.80	148.69											
4	111.50	37.60	149.28											
5	149.10	36.30	149.14											
6 (συσκεύη αμμωνίας)	185.40	36.60												
7	222.00	37.45	149.55											
8	259.45	37.80	150.93											
9	297.25	37.50	152.86											
10	334.75	37.60	153.66											
11	372.35	37.60	153.97											
12	409.95	37.65	153.73											
13	447.60	36.00	154.53	141.03	140.53	13.50	0.50	-0.0042	13 -> 14					
14 (ρεύμα)	483.60	38.80	151.78	141.16	140.38	10.62	0.78	-0.0034	14 -> 15					
15	522.40	37.00	156.85	140.50	140.25	16.35	0.25	0.0059	15 -> 16					
16	559.40	37.25	157.97	140.66	140.47	17.31	0.19	0.0011	16 -> 17					
17	596.65	37.20	158.81	140.69	140.51	18.12	0.18	0.0054	17 -> 18					
18	633.85	37.90	159.51	140.83	140.71	18.68	0.12							
18 ^A	671.75	74.00	161.14											
18 ^B	745.75	37.40	163.45											
19	783.15	37.40	163.72	140.87	140.72	22.85	0.15	0.0061	19 -> 20					
20	820.55	76.00	164.15	141.20	140.95	22.95	0.25							
21 (πλάγια στοά)	896.55	37.00	164.22											
22	933.55	36.50	164.70	141.38	141.20	23.32	0.18	-0.0047	22 -> 18Γ					
18 ^Γ (Γηροκομείο)	970.05	297.00	165.53	141.27	141.03	24.26	0.24	0.0016	18Γ -> 23					
23	1267.05	37.30	161.50	141.65	141.50	19.85	0.15	0.0027	23 -> 24					
24	1304.35	36.80	164.25	141.74	141.60	22.51	0.14	0.0087	24 -> 25					
25	1341.15	37.00	162.62	142.10	141.92	20.52	0.18	0.0000	25 -> 26					
26	1378.15	37.00	164.12	142.02	141.92	22.10	0.10	-0.0027	26 -> 27					
27	1415.15	37.60	164.02	141.98	141.82	22.04	0.16	0.0176	27 -> 28					
28 (πλάγια στοά)	1452.75	37.50	164.48	142.65	142.48	21.83	0.17	0.0019	28 -> 29					
29 (πλάγια στοά)	1490.25	37.60	165.05	142.79	142.55	22.26	0.24	0.0027	29 -> 30					
30	1527.85	37.10	164.75	142.90	142.65	21.85	0.25	0.0022	30 -> 31					
31	1564.95	37.00	165.03	143.05	142.73	21.98	0.32							
32 (Αντλιοστάσιο Νοσ. Σωτηρία)	1601.95	37.30	166.42											
33	1639.25	37.30	168.10	143.77	143.50	24.33	0.27							
34	1676.55	37.50	168.32											
35	1714.05	37.30	173.13	143.49	143.23	29.64	0.26	0.0107	35 -> 36					
36	1751.35	38.15	174.03	143.93	143.63	30.10	0.30	-0.0052	36 -> 37					
37	1789.50	36.40	175.23	143.71	143.43	31.52	0.28							
38	1825.90	37.60	176.22											
39	1863.50	38.15	177.89	144.02	143.69	33.87	0.33	0.0005	39 -> 40					
40	1901.65	37.70	178.21	144.06	143.71	34.15	0.35	0.0048	40 -> 41					
41	1939.35	37.90	179.29	144.89	143.89	34.40	1.00	0.0013	41 -> 42					

Παράρτημα Α

42	1977.25	37.30	179.44	144.27	143.94	35.17	0.33	0.0011	42 → 43				
43	2014.55	298.30	180.98	144.13	143.98	36.85	0.15						
α	2312.85	36.90	183.46										
β	2349.75	37.20	183.87										
γ	2386.95	37.60	183.83										
δ	2424.55	37.00	183.63										
ε	2461.55	75.70	183.25							10.00	0.15	1.00	τριγωνική οροφή (0.30)
										20.70	0.20	1.00	τριγωνική οροφή (0.40)
										55.00	0.60	1.50	περίπου ορθογωνική
44	2537.25	36.30	181.64							4.00	0.60	1.50	περίπου ορθογωνική
										32.30	0.35	1.00	ημικυκλική οροφή (0.50)
										3.00	0.35	1.00	ημικυκλική οροφή (0.50)
45	2573.55	37.40	180.63	145.63						24.40	0.50	1.40	ημικυκλική οροφή (0.50)
										10.00	0.50	1.40	τριγωνική οροφή (0.50)
46	2610.95	36.50	179.80							36.50			
47	2647.45	37.70	179.06							37.70	0.50	1.40	ημικυκλική οροφή (0.50)
48	2685.15	38.15	178.69							37.15			
										1.00	0.15	0.80	ημικυκλική οροφή (0.25)
49	2723.30	37.65	178.34	145.54						2.00			ημικυκλική οροφή
										12.00			σχεδόν ημικυκλική οροφή
										23.65	0.30	1.10	ημικυκλική οροφή (0.50)
50	2760.95	37.95	178.14							6.00			
										31.95			
51	2798.90	37.60	178.18	146.08	145.48	32.10	0.60	-0.0013	51 → 52	27.60			ακανόνιστο
										10.00			ημικυκλική οροφή
52	2836.50	37.75	177.73	145.68	145.43	32.05	0.25	0.0024	52 → 53	37.75			
53	2874.25	37.70	177.12	145.68	145.52	31.44	0.16	-0.0058	53 → 54	37.70	0.60	1.55	περίπου ορθογωνική
										10.00			
54	2911.95	37.60	176.80	145.50	145.30	31.30	0.20	0.0056	54 → 55	12.00			τριγωνική οροφή
										15.60	0.60	1.55	περίπου ορθογωνική
55	2949.55	38.60	176.51	145.55	145.51	30.96	0.04	-0.0010	55 → 56	12.00			τριγωνική οροφή
										26.60			
										15.80			ακανόνιστο
56	2988.15	37.80	176.32	145.77	145.47	30.55	0.30	-0.0016	56 → 57	15.00			τριγωνική οροφή
										7.00			
										33.15			ακανόνιστο
57	3025.95	37.15	175.91	145.58	145.41	30.33	0.17	0.0032	57 → 58	4.00			
										36.60	0.50	0.85	τριγωνική οροφή
58	3063.10	37.60	175.93	145.93	145.53	30.00	0.40	-0.0088	58 → 59	1.00			
										38.15			
59	3100.70	38.15	175.40	145.30	145.20	30.10	0.10	0.0039	59 → 60	37.35	0.50	1.20	τριγωνική οροφή
60	3138.85	37.35	175.55	145.51	145.35	30.04	0.16			37.50			
61	3176.20	37.50				29.43				37.50			
										2.00			
62	3213.70	38.05	174.88	145.68	145.63	29.20	0.05	0.0045	62 → 63	36.05			ημικυκλική οροφή

90	4605.45	79.80	168.40	149.00	148.80	19.40	0.20	0.0023	90 → 91	79.80						
91	4685.25	33.40	168.18	149.01	148.98	19.17	0.03	-0.0006	91 → 92	33.40	0.25	1.10	ημικυκλική οροφή (0.45)	0.7		
92	4718.65	34.00	168.26	149.26	148.96	19.00	0.30	-0.0035	92 → 93	34.00						
93	4752.65	78.65	167.79	149.02	148.84	18.77	0.18			78.65	0.10	0.80	ημικυκλική οροφή (0.25)			
94	4831.30	76.50				17.60				76.50	0.10	0.85	ημικυκλική οροφή (0.35)			
95	4907.80	73.50	167.28	150.01	149.18	17.27	0.83	0.0011	95 → 96	73.50						
96	4981.30	75.60	166.82	149.67	149.26	17.15	0.41	0.0048	96 → 97	21.60	0.18	1.28	ημικυκλική οροφή (0.50)	0.9		
										24.00			τριγωνική οροφή			
97	5056.90	149.60	166.75	149.87	149.62	16.88	0.25	0.0015	97 → 98	12.00	0.18	1.28	ημικυκλική οροφή (0.50)	0.9		
										18.00			ημικυκλική οροφή (0.50)			
										55.00			τριγωνική οροφή			
										12.00	0.18	1.28	ημικυκλική οροφή (0.50)	0.9		
98	5206.50	113.00	166.85	150.14	149.85	16.71	0.29	0.0022	98 → 99	16.60			ημικυκλική οροφή (0.50)	0.9		
										48.00	0.18	1.28	ημικυκλική οροφή (0.50)	0.9		
										18.00			τριγωνική οροφή			
										58.00	0.30	1.00	ημικυκλική οροφή (0.55)	0.9		
99	5319.50	75.50	165.69	150.38	150.10	15.31	0.28	0.0005	99 → 100	10.00			τριγωνική οροφή			
										30.00	0.30	1.00	ημικυκλική οροφή (0.55)	0.9		
100	5395.00	75.20	165.14	150.35	150.14	14.79	0.21	0.0027	100 → 101	15.00			τριγωνική οροφή			
101	5470.20	57.00	163.34	151.24	150.34	12.10	0.90	0.0025	101 → 102	2.00						
102	5527.20	57.30	163.58	150.78	150.48	12.80	0.30	0.0066	102 → 103	55.20	0.30	1.15	τριγωνική οροφή (0,60)			
103 (κάφτρα)	5584.50	34.70	163.06	151.24	150.86	11.82	0.38	-0.0159	103 → 104	2.00			ορθογωνικό			
104 (πλάγια στοά)	5619.20	41.80	163.11	150.64	150.31	12.47	0.33	0.0096	104 → 105	57.30	0.65	1.17	ορθογωνικό			
105 (πλάγια στοά-1,5m πάνω από το υδραγωγείο)	5661.00	37.90	162.61	150.97	150.71	11.64	0.26	-0.0029	105 → 106	34.70			ακανόνιστο			
106	5698.90	39.20	162.20	150.77	150.60	11.43	0.17	-0.0115	106 → 107	6.50						
107	5738.10	74.50	162.95	151.41	150.15	11.54	1.26			35.30	0.65	1.17	ορθογωνικό			
108	5812.60	38.60	165.01							37.90						
109	5851.20	36.30	165.22	151.45	151.22	13.77	0.23	0.0044	109 → 110	39.20	0.50	1.40	ημικυκλική οροφή			
110	5887.50	77.30	166.18	151.78	151.38	14.40	0.40	-0.0004	110 → 111	74.50						
111	5964.80	74.40	169.35	151.65	151.35	17.70	0.30	0.0097	111 → 112	38.60						
112	6039.20	74.90	169.37	152.40	152.07	16.97	0.33	-0.0017	112 → 113	36.30						
113	6114.10	75.60	168.24	152.39	151.94	15.85	0.45			77.30						
114	6189.70	75.10	167.86							74.40						
115	6264.80	57.40	166.90	152.60	152.30	14.30	0.30	-0.0002	115 → 116	75.60	0.50	1.10	ημικυκλική οροφή			
116	6322.20	40.90	165.59	152.72	152.29	12.87	0.43	0.0071	116 → 117	75.10						
117	6363.10	64.90	167.68	152.81	152.58	14.87	0.23	-0.0068	117 → 118	75.10						
118	6428.00	104.50	168.74	151.84	152.14	16.90	-0.30	0.0048	118 → 119	104.50						
119	6532.50	36.40	168.94	152.83	152.64	16.11	0.19	0.0151	119 → 120	26.40						
120	6568.90	41.60	165.39	153.25	153.19	12.14	0.06	-0.0178	120 → 121	10.00			τριγωνική οροφή			
121	6610.50	108.45	164.45	152.55	152.45	11.90	0.10	0.0049	121 → 122	41.60						
122	6718.95	76.20	169.28	153.18	152.98	16.10	0.20	0.0060	122 → 123	108.45	0.50	1.10	ημικυκλική οροφή			
123	6795.15	75.10	170.44	153.86	153.44	16.58	0.42	-0.0013	123 → 124	76.20						
124	6870.25	67.80	170.96	153.57	153.34	17.39	0.23	0.0053	124 → 125	75.10	0.50	1.10	τριγωνική οροφή			
										20.00						
										25.00			τριγωνική μορφή			
										10.00	0.60	1.20	κυλινδρική μορφή			
										12.80			τριγωνική μορφή			

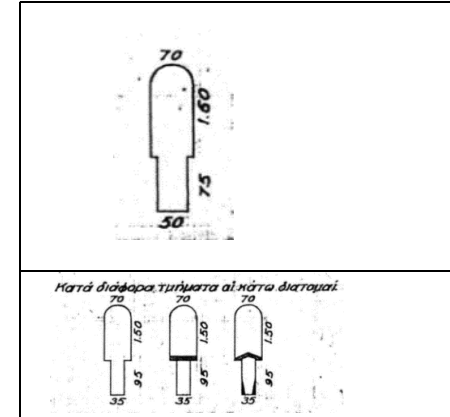
Ρίζες συκεών καλυμμένες με ασβέστη σε ύψος: 153,5m

τομές σε πολύ καλή κατάσταση

τομές σε πολύ καλή κατάσταση

στενή στοά

128	7096.45	74.70	172.56	154.23	154.04	18.33	0.19	-0.0008	128 → 129	35.00	0.60	1.05	κυλινδρική μορφή	
										5.00			τριγωνική μορφή	
										34.70	0.60	1.05	κυλινδρική μορφή	
129	7171.15	37.90	174.58	154.18	153.98	20.40	0.20	0.0053	129 → 130	37.90				
130	7209.05	42.10	173.33	155.33	154.18	18.00	1.15	0.0102	130 → 131	42.10	0.50	1.70	ορθογωνικό	
131	7251.15	37.00	174.21	154.76	154.61	19.45	0.15	-0.0005	131 → 132	33.90				
132	7288.15	33.90	174.59	154.81	154.59	19.78	0.22	-0.0012	132 → 133	75.00				
133	7322.05	75.00	175.15	154.74	154.55	20.41	0.19	0.0056	133 → 134	75.00				
134	7397.05	75.00	177.27	155.11	154.97	22.16	0.14	-0.0029	134 → 135	78.00				
135	7472.05	78.00	179.75	154.86	154.75	24.89	0.11	0.0200	135 → 136	75.30				
136	7550.05	75.30	183.71	156.46	156.31	27.25	0.15	0.0040	136 → 137	74.60				
137	7625.35	74.60	186.96	156.88	156.61	30.08	0.27	0.0122	137 → 138	75.00				
138	7699.95	75.00	189.82	157.66	157.52	32.16	0.14	0.0069	138 → 139	38.00				
139	7774.95	38.00	190.84	158.30	158.04	32.54	0.26	-0.0134	139 → 140	37.90				
140	7812.95	37.90	189.53	157.83	157.53	31.70	0.30	-0.0391	140 → 141	75.30				
141	7850.85	75.30	184.05	156.28	156.05	27.77	0.23	0.0050	141 → 142	75.30				
142	7926.15	75.40	180.89	156.69	156.43	24.20	0.26	0.0013	142 → 143	75.40				
143	8001.55	77.10	180.03	156.72	156.53	23.31	0.19			77.10				
144	8078.65	73.00	183.90							73.00				
145	8151.65	113.40	183.22							113.40				
146	8265.05	74.40	184.36							74.40				
147	8339.45	75.60	182.04	158.17	158.00	23.87	0.17			75.60				
148	8415.05	74.10	181.35							38.00				
														επισκευασμένο με βραχέα υποστρώματα και με πλάκες από σκυρο-κονίαμα
										2.00	0.50	1.30	ορθογωνικό	
										10.00	0.40	1.05	τριγωνική οροφή	
149	8489.15	113.10	181.59	157.09	157.03	24.50	0.06	0.0020	149 → 150	25.10	0.50	1.30	ορθογωνικό	
										5.00	0.40	1.05	τριγωνική οροφή	
										15.20	0.50	1.30	ορθογωνικό	
										55.80	0.40	1.05	τριγωνική οροφή	
										18.50				
										13.00			ακανόνιστο	
										9.00			ορθογωνικό	
										14.00			ακανόνιστο	
										2.00			ορθογωνικό	
										18.50	0.60	1.20	σχεδόν ορθογωνικό	0.10
150	8602.25	75.00	187.03	157.79	157.26	29.24	0.53	0.0027	150 → 151	14.00				
										9.00				
										2.00				
										18.50	0.60	1.20	σχεδόν ορθογωνικό	0.10
151	8677.25	76.60	188.81	157.93	157.46	30.88	0.47	0.0027	151 → 152	76.60	0.60	1.20	σχεδόν ορθογωνικό	0.10
										8.00			ακανόνιστο	
										10.00			τριγωνική οροφή	
152	8753.85	86.80	189.07	157.93	157.67	31.14	0.26	0.0026	152 → 153	28.00			σχεδόν ορθογωνικό	
										40.80				
										63.40			ημικυκλική οροφή	
153	8840.65	63.40	189.50	158.12	157.90	31.38	0.22	0.0073	153 → 154	63.40				
										21.00	0.50	1.05	ημικυκλική οροφή	
										4.00			ορθογωνικό	
154	8904.05	74.80	194.16	158.82	158.36	35.34	0.46	-0.0108	154 → 155	49.80	0.50	1.05	ημικυκλική οροφή	Στενοί σχηματισμοί - άφθονος ασβέστης



155	8978.85	75.30	197.15	157.78	157.55	39.37	0.23	0.0130	155 → 156	73.30	0.50	1.05	ημικυκλική οροφή	
										2.00	0.50	1.05	τριγωνική οροφή	
156	9054.15	74.80	196.84	158.70	158.53	38.14	0.17	-0.0037	156 → 157	4.00				
										70.80			ημικυκλική οροφή	
157	9128.95	75.60	195.34	158.65	158.25	36.69	0.40	0.0012	157 → 158	15.00				
										6.00			ακανόνιστο	
										3.00			τριγωνική οροφή	
										51.60	0.55	1.00	ημικυκλική οροφή	
158	9204.55	75.10	190.34	158.74	158.34	31.60	0.40	0.0052	158 → 159	13.00			τετραγωνικό	
										20.00			τριγωνική οροφή	
										3.00	0.60	0.80	ορθογωνικό	
										39.10			τριγωνική οροφή	
										1.00				
										5.00			ορθογωνικό	
										11.00			τριγωνική οροφή	
159	9279.65	74.00	197.18	158.95	158.73	38.23	0.22	0.0000	159 → 160	7.00			ορθογωνικό	
										3.00			τριγωνική οροφή	
										6.00			ακανόνιστο	
										4.00			σχεδόν ορθογωνικό	
										9.00			τριγωνική οροφή	
										8.00			ακανόνιστο	
										10.00			τριγωνική οροφή	
										10.00	0.50	1.00	ημικυκλική οροφή	
										2.00				
160	9353.65	74.60	200.73	159.16	158.73	41.57	0.43	0.0047	160 → 161	55.00			τριγωνική οροφή	
										10.00			ημικυκλική οροφή	
										7.60			τριγωνική οροφή	
										2.00			τριγωνική οροφή	
161	9428.25	75.20	195.88	159.45	159.08	36.43	0.37	0.0113	161 → 162	9.00			σχεδόν ορθογωνικό	163m Ασβέστης
										10.00			τριγωνική οροφή	
										9.00			σχεδόν ορθογωνικό	
										45.20	0.20	0.95	ημικυκλική οροφή (0.55)	
										15.00				
162	9503.45	74.60	192.73	160.11	159.93	32.62	0.18	-0.0068	162 → 163	2.00			ακανόνιστο	
										10.00			ορθογωνικό	
										47.60	0.40	0.80	ημικυκλική οροφή (0.50)	
										65.00				
163	9578.05	77.00	190.42	159.58	159.42	30.84	0.16	-0.0005	163 → 164	7.00	0.30	1.20	ορθογωνική οροφή (0.60)	
										4.00	0.60	1.20	σχεδόν ορθογωνικό	
										1.00	0.20	1.55	ημικυκλική οροφή (0.50)	
										1.00				
164	9655.05	148.70	192.39	159.47	159.38	32.92	0.09	-0.0004	164 → 165	6.00	0.60	1.50	σχεδόν ορθογωνικό	
										43.00	0.50	1.30	ορθογωνικό	
										98.70				
165	9803.75	74.10	189.27	159.71	159.32	29.56	0.39	0.0090	165 → 166		0.60	1.30	ημικυκλική οροφή	
											0.60	1.05	ημικυκλική οροφή	
166	9877.85	73.90	186.99	160.29	159.99	26.70	0.30	-0.0007	166 → 167	3.20	0.85	1.65	σχεδόν ορθογωνικό	
										6.00				

Παράρτημα Α

167	9951.75	75.20	184.99	160.16	159.94	24.83	0.22		3.00										
									71.20	0.70	1.60	σχεδόν ορθογωνικό							
									1.00	0.50	1.10	ορθογωνικό							
168	10026.95	73.60	181.57						73.60	0.60	0.70	τριγωνική οροφή							
169	10100.55	74.70	173.03	160.58	160.45	12.45	0.13	0.0009	169 → 170	74.70									
170	10175.25	37.10	178.62	160.56	160.52	18.06	0.04	0.0046	170 → 171	37.10	0.60	0.70	ημικυκλική οροφή						
									35.00	0.60	1.10	ημικυκλική οροφή							
171	10212.35	75.00	179.68	160.90	160.69	18.78	0.21	0.0000	171 → 172	5.00	0.10	1.00	ημικυκλική οροφή (0,50)						168m Ασβέστης
									35.00	0.60	1.10	ημικυκλική οροφή							
172	10287.35	75.20	180.57	160.89	160.69	19.68	0.20	0.0057	172 → 173	75.20									0.45
173	10362.55	37.30	181.12	161.33	161.12	19.79	0.21	-0.0016	173 → 174	37.30	0.60	1.10	ημικυκλική οροφή						
174	10399.85	37.40	182.86	161.48	161.06	21.38	0.42	0.0091	174 → 175	37.40									0.25
175	10437.25	37.60	183.76	161.59	161.40	22.17	0.19	-0.0035	175 → 176	37.60									
176	10474.85	37.80	182.87	161.69	161.27	21.18	0.42	0.0040	176 → 177	37.80	0.60	1.20	ορθογωνικό (αρχή) - ημικυκλική (τέλος)						
177	10512.65	37.00	182.22	161.61	161.42	20.61	0.19	0.0005	177 → 178	4.00	0.45	1.10	τριγωνική οροφή						
									33.00										
178	10549.65	38.30	181.58	161.80	161.44	19.78	0.36	0.0042	178 → 179	18.00			ημικυκλική οροφή						
									12.00				τριγωνική οροφή						
179	10587.95	37.00	180.20	161.96	161.60	18.24	0.36	0.0011	179 → 180	37.00			σχεδόν ημικυκλική οροφή						
180^B	10624.95	37.30	178.84	161.95	161.64	16.89	0.31	-0.0003	308 → 180	27.30									
									10.00				τριγωνική οροφή						
180^A	10662.25	37.90	177.73	161.90	161.63	15.83	0.27	0.0008	80A → 180	10.00			τριγωνική οροφή						
181	10700.15	37.60	177.56	161.86	161.66	15.70	0.20	0.0029	181 → 182										
182	10737.75	36.90	176.97	162.01	161.77	14.96	0.24	0.0022	182 → 183	20.00			τριγωνική οροφή						
183	10774.65	37.30	177.05	162.11	161.85	14.94	0.26	-0.0011	183 → 184	20.00			τριγωνική οροφή						
									17.30	0.60	1.10	ημικυκλική οροφή							
184	10811.95	37.90	177.41	162.08	161.81	15.33	0.27	0.0013	184 → 185	37.90			σχεδόν ημικυκλική οροφή						
185	10849.85	38.00	178.06	162.08	161.86	15.98	0.22	0.0061	185 → 186	38.00			τριγωνική οροφή						
186	10887.85	156.60	177.69	162.14	162.09	15.55	0.05	0.0019	186 → 187	156.60									
187	11044.45	36.90	178.08	162.63	162.38	15.45	0.25	0.0092	187 → 188	36.90									
188	11081.35	37.00	178.76	162.89	162.72	15.87	0.17		18.50										Πολλά τμήματα ετοιμόρροπα
									18.50										
189	11118.35	74.65							74.65				σχεδόν ημικυκλική οροφή						
190	11193.00	37.40	180.52	162.99	162.82	17.53	0.17	0.0040	190 → 191	37.40	0.60	1.60	ημικυκλική οροφή						
191	11230.40	37.30	181.07	163.31	162.97	17.76	0.34	-0.0303	191 → 192	37.30									
192	11267.70	37.00	181.09	162.06	161.84	19.03	0.22	0.0357	192 → 193	37.00			σχεδόν ημικυκλική οροφή						

Παράρτημα Α

193	11304.70	37.00	182.96	163.55	163.16	19.41	0.39	-0.0124	193 → 194	37.00	0.80	2.60	σχεδόν ημικυκλική οροφή	πλάγια στοά (25m), άφθονο νερό, καλή ποιότητα, στάθμη 3m του Αδριανείου		
194	11341.70	37.60	183.66	162.88	162.70	20.78	0.18			37.60			ημικυκλική οροφή			
195	11379.30	36.80	184.17										ημικυκλική οροφή		πλάγια στοά (25m), άφθονο νερό, κακή ποιότητα, ενώνεται με το φρεάτιο και το υδραγωγείο μέσω ανοίγματος 30 εκ. πλάγια στοά χωρίς νερό, 5-6m ψηλότερα από το Αδριάνειο	
196	11416.10	37.00	184.84													
197	11453.10	37.50	185.20	163.36	163.21	21.84	0.15									
198	11490.60	37.60	185.80													
199	11528.20	37.00	186.40													
200	11565.20	37.10	186.65	163.60	163.45	23.05	0.15									
201	11602.30	75.00	186.82										ημικυκλική οροφή			Υπόγεια πηγή με άφθονο νερό, δέουσα η απαλλαγή από το ασβέστιο
202	11677.30	37.60														
203	11714.90	37.20														
204	11752.10	37.70	189.21	164.40	164.01	24.81	0.39	-0.0024	204 → 205							
205	11789.80	37.80	189.72	164.30	163.92	25.42	0.38	0.0000	205 → 206		0.50	1.10				
206	11827.60	37.70	190.33	164.04	163.92	26.29	0.12	0.0114	206 → 207							
207	11865.30	37.00	190.75	164.56	164.35	26.19	0.21	0.0024	207 → 208		0.50	1.20	τριγωνική οροφή			
208	11902.30	37.40	190.84	164.62	164.44	26.22	0.18	-0.0171	208 → 209		0.40	1.10	ημικυκλική οροφή (0,50)			
209	11939.70	38.10	191.22	163.94	163.80	27.28	0.14	0.0189	209 → 210							
210	11977.80	37.40	191.72	164.82	164.52	26.90	0.30	0.0045	210 → 211							
211	12015.20	37.00	191.49	164.88	164.69	26.61	0.19	-0.0203	211 → 212							
212	12052.20	111.00	191.90	164.00	163.94	27.90	0.06	0.0167	212 → 213		0.40	1.10	ημικυκλική οροφή (0,50)			
213	12163.20	91.60	193.75	165.83	165.79	27.92	0.04	-0.0111	213 → 214							
214	12254.80	76.00	182.37	164.92	164.77	17.45	0.15	0.0017	214 → 215							
215	12330.80	45.90	176.43	164.98	164.90	11.45	0.08	0.0035	215 → 216		0.50	0.90	ημικυκλική οροφή			
216	12376.70				165.06											

Ένωση μηκοτομών

Πηγάδι 1 – Πηγάδι 161

Αποστάσεις μεταξύ				
Αρ. Φρέατος	Νέα Αρίθμηση	Παλιά Αρίθμηση	Google maps	Επιλογή
1	35.80	37.00	40.06	37.00
2	37.90	38.00	37.68	38.00
3	37.80	47.70	36.93	37.80
4	37.60	38.00	35.95	38.00
5	36.30	37.00	37.87	37.00
6 (συσκεύη αμμωνίας)	36.60	38.20	38.21	38.20
7	37.45	37.35	37.68	37.35
8	37.80	37.80	37.71	37.80
9	37.50	37.40	37.33	37.40
10	37.60	37.70	37.46	37.70
11	37.60	37.50	37.54	37.50
12	37.65	37.80	37.69	37.80
13	36.00	80.30	34.70	36.00
14	38.80	39.30	40.22	39.30
15	37.00	37.10	36.80	37.10
16	37.25	37.40	37.80	37.40
17	37.20	37.00	37.57	37.00
18	37.90	37.10	36.90	37.10
18 ^A	74.00	74.25	74.36	74.25
18 ^B	37.40	37.25	37.57	37.25
19	37.40	37.65	37.48	37.65
20	76.00	37.20	38.99	37.20
20 ^A		37.70	37.80	37.70
21	37.00	37.35	36.60	37.35
22	36.50	37.30	37.97	37.30
22 ^A (18')		36.85	37.10	36.85
22 ^B		37.95		37.95
22 ^C		72.56		72.56
22 ^D	297.00	36.95	222.97	36.95
22 ^E		37.08		37.08
22 ^F		37.40		37.40
23	37.30	37.00	36.88	37.00
24	36.80	36.65	37.47	36.65
25	37.00	36.90	36.88	36.90
26	37.00	36.60	36.47	36.60
27	37.60	42.45	37.90	37.60
28	37.50	38.00	36.52	38.00
29	37.60	37.60	38.04	37.60
30				37.10
31				37.00
32				37.30
33				37.30
34				37.50
35				37.30
36				38.15
37				36.40
38				37.60
39				38.15
40				37.70
41				37.90
42				37.30
43				36.15
43 ^A				37.80
43 ^B				36.00
43 ^C				36.10
43 ^D				36.50
43 ^E				39.10
43 ^F				73.75
α				36.90
β				37.20
γ				37.60
δ				37.00
ε				75.70
44				36.30
45				37.40
46				36.50
47				37.70
48				38.15
49				37.65
50				37.95
51				37.60
52				37.75
53				37.70
54				37.60
55				38.60
56				37.80
				36.90
				38.00
				36.36
				37.70
				36.40
				37.94
				37.40
				36.88
				38.15
				37.60
				37.55
				37.10
				37.15
				37.24
				36.70
				38.91
				37.90
				37.00
				37.14
				41.58
				29.00
				114.42
				39.10
				73.75
				38.75
				35.57
				37.70
				37.38
				74.08
				37.49
				36.20
				28.22
				36.80
				46.41
				36.90
				33.03
				37.60
				36.85
				38.73
				37.40
				47.90
				35.70
				37.45
				37.57
				38.00
				37.75
				37.56
				37.55
				37.70
				37.50
				38.40
				38.70
				37.85
				37.10

57	37.15	37.35	37.91	37.35
58	37.60	37.60	37.90	37.60
59	38.15	38.50	37.56	38.50
60	37.35	37.40	38.30	37.40
61	37.50	37.85	36.70	37.85
62	38.05	37.90	38.12	37.90
63	37.90	37.80	37.53	37.80
64	37.80	37.85	37.72	37.85
65	37.60	37.30	37.00	37.30
66	36.90	37.50	36.84	37.50
67	38.40	38.30	39.50	38.30
68	38.40	38.20	37.80	38.20
69	37.60	37.80	37.42	37.80
70	37.00	37.15	38.18	37.15
71	38.35	37.80	37.60	37.80
72	37.50	37.45	36.96	37.45
73	36.00	37.40	36.88	37.40
74	39.20	39.40	40.75	39.40
75	37.50	37.65	37.54	37.65
76	37.65	37.80	39.00	37.80
77	74.80	75.00	74.61	75.00
78	34.50	37.60	37.23	37.60
79	40.80		38.72	37.85
80	38.70	76.55	38.35	38.70
81	37.50	37.40	37.40	37.40
82	37.70	39.20	38.76	39.20
83		111.30	111.77	111.30
84--83A	190.00	74.20	74.35	74.20
84α--84	38.50	37.80	37.63	37.80
85	37.00	36.95	36.91	36.95
86	75.40	75.00	75.87	75.00
87	74.00	73.78	73.38	73.78
88	36.00	37.70	36.30	37.70
89	111.00	110.30	111.80	110.30
90	79.80	79.45	80.27	79.45
91	33.40	33.30	32.80	33.30
92	34.00	33.90	34.41	33.90
93	78.65	78.20	76.53	78.20
94	76.50	74.60	77.70	74.60
95	73.50	78.80	73.41	78.80

96	75.60	75.05	74.57	75.05
97	149.60	148.65	151.97	148.65
98		76.05		76.05
98 ^A	113.00	37.80	113.06	37.80
99	75.50	75.15	75.18	75.15
100	75.20	75.35	75.27	75.35
101	57.00		56.54	57.00
102	57.30	113.73	57.81	57.30
103	34.70	34.60	34.11	34.60
104	41.80	41.80	42.91	41.80
105	37.90		37.10	37.90
106	39.20	151.25	36.48	39.20
107	74.50		76.27	74.50
108	38.60	74.70	39.95	38.60
109	36.30		35.47	36.30
110	77.30	77.00	74.90	77.00
111	74.40		76.28	74.40
112	74.90	149.50	72.17	74.90
113	75.60	75.35	75.69	75.35
114	75.10	132.10	76.06	75.10
115	57.40		58.00	57.40
116	40.90	39.90	61.66	39.90
117	64.90	64.80	43.53	64.80
118	104.50		103.13	104.50
119	36.40	304.20	37.71	36.40
120	41.60		41.28	41.60
121	108.45		107.76	108.45
122	76.20	76.15	77.63	76.15
123	75.10		74.50	75.10
124	67.80	226.15	67.18	67.80
125	83.50		85.03	83.50
126	33.10	74.90	33.37	33.10
127	41.80		41.14	41.80
128	74.70	75.50	71.51	75.50
129	37.90		41.75	37.90
130	42.10	79.30	39.86	42.10
131	37.00	36.70	37.40	36.70
132	33.90	33.80	73.61	33.80
133	75.00	75.10	74.10	75.10
134	75.00	74.15	77.38	74.15

135	78.00	76.00	73.30	76.00	
136	75.30	261.40	77.12	75.30	
137	74.60		74.60	74.60	
138	75.00		74.57	75.00	
139	38.00		38.17	38.00	
140	37.90		112.50	37.66	37.90
141	75.30	74.75		75.30	
142	75.40	75.35	75.20	75.35	
143	77.10	76.95	78.67	76.95	
144	73.00	72.85	73.90	72.85	
145	113.40	113.50	49.76	113.50	
146	74.40	74.10	140.08	74.10	
147	75.60	148.65	73.76	75.60	
148	74.10		74.52	74.10	
149	113.10	112.50	113.00	112.50	
150	75.00	74.25	76.13	74.25	
151	76.60	113.60	76.90	76.60	
152	86.80		44.20	86.76	37.00
152^A					44.20
153	63.40		63.30	63.40	
154	74.80	75.20	73.50	75.20	
155	75.30	154.30	76.08	75.30	
156	74.80		73.67	74.80	
157	75.60	73.00	74.93	73.00	
158	75.10	78.30	75.45	75.30	
159	74.00	73.75	74.10	73.75	
160	74.60	74.15	75.92	74.15	
161					

Πηγάδι 299' – Πηγάδι 161

Αποστάσεις μεταξύ								259				349		36.70		39.19
Αρ. Φρέατος	Αρ. Φρέατος (Ν.αριθ)	Νεά Αρίθμηση	Σύνολο	Αρ. Φρέατος (παλ. Αριθ)	Παλιά Αρίθμηση	Google maps	Σύνολο	Επιλογές	258				223.70	37.40	221.21	37.40
299'				367'	79.50	78.00		79.50	257					37.70		37.70
299				367		33.20		34.43	256					34.60		34.60
298						37.36		37.36	255					35.51		35.51
297					216.10	37.18	214.87	37.18	254					39.30		39.30
296						37.51		37.51	253		347	74.80		75.10		74.80
295						33.09		33.09	252		346			53.16		55.00
294						36.53		36.53	251			196.40		24.30	136.80	28.90
293				366	75.40	37.28	73.83	38.85	251 ^A					112.50		112.50
292						36.55		36.55	250		345			112.69		114.50
291				365		35.41		31.88	249			214.50		63.80	206.15	70.00
290					132.30	34.34	135.83	34.34	248					29.66		30.00
289						33.55		33.55	247		344	88.50				88.50
288						32.53		32.53	246 ^A		342	47.60		128.00	136.10	47.60
287				363	67.20	33.77	67.12	33.85	246		341		135.90	89.15		93.00
286						33.35		33.35	245							
285				362'		31.13		31.00			340'			65.65		65.00
284					69.00	66.69		66.70	244							45.00
283						69.90		69.90	243					43.98		65.00
282				362	66.30	67.47		66.30	242			267.80		63.38		8.50
281				361'	67.50	68.00		67.50	241 ^B					8.78	221.39	26.50
280				361	66.00	66.19		66.00	241 ^A					27.24		40.00
279				360''''	64.00	65.50		64.00	241					38.57		40.00
278				360'''	62.00	64.41		62.00	240					39.44		32.00
277				360''	67.00	63.14		67.00	(?) γ		340	91.50		30.40		59.50
276				360'	91.00	91.09		91.00	239 ^P		339	75.00		59.46		75.00
275				360	150.30	78.37	150.11	78.56	(?) β				121.00	55.90		56.00
274						71.74		71.74	(?) α					43.09		44.80
273				359	70.55	69.89		70.55	239 ^B		335	112.00		20.15		20.20
272				358	133.00	62.73	139.53	56.20	239 ^A		334	72.00		94.20		112.00
271						76.80		76.80	239		333	80.00		72.40		72.00
270				357	126.50	66.40	123.33	66.40	238		332	86.65		82.66		80.00
269						56.93		60.10	237					8.80	76.70	10.00
268				355	187.20	58.20	189.66	58.20	236					67.90		76.65
267						59.66		57.20	235		331	77.00		73.07		77.00
266						71.80		71.80	234		330	75.20		73.44		75.20
265				354	51.00	50.02		51.00	233		329			111.00		109.36
264				353	101.00	39.14	103.44	36.70	232			294.70		113.14	296.35	113.14
263						64.30		64.30	231					72.21		72.20
262				352	191.25	68.29	214.41	45.25								
261						66.59		66.00								
260						79.53		80.00			326	34.55		32.99		34.55

230				325		35.39		33.40
229					111.30	23.37	113.38	23.30
228						54.62		54.60
227				323	71.50	70.50		71.50
226				322	71.40	71.98		71.40
225				321	73.25	73.04		73.25
224				320	73.30	72.94		73.30
223				319	109.05	107.86		109.05
222				318		72.05	145.70	72.05
221					144.60	73.65		72.55
220				316	74.00	77.50		74.00
219				315		42.75		38.10
218	216	45.90	44.41	314		14.24	158.32	15.90
217				313	160.00	30.17		30.00
216	215	76.00				71.16		76.00
215	214	91.60		312	90.95	92.67		90.95
214	213	111.00	113.14	311		77.95		77.95
213						35.19	187.62	35.19
212	212	37.00		310	184.80	37.46		37.00
211	211	37.40				37.02		37.40
210	210	38.10		309	75.45	38.55	76.55	38.10
209	209	37.40				38.00		37.40
208	208	37.00		308	37.80	37.11		37.80
207	207	37.70		307	37.35	37.73		37.35
206	206	37.80		306	37.65	37.18		37.65
205	205	37.70		305	37.75	37.10		37.75
204	204	37.20		304	37.70	36.50		37.70
203	203	37.60		303	37.85	39.14		37.85
202	202	75.00		302	75.50	74.29		75.50
201	201	37.10		301	38.00	38.74		38.00
200	200	37.00		300		36.91	111.38	37.00
199	199	37.60	112.10		114.40	36.18		37.60
198	198	37.50				38.29		37.50
197	197	37.00		297	36.50	37.38		36.50

196	196	36.80		296	37.55	36.17		37.55
195	195	37.60		295	37.55	38.30		37.55
194	194	37.00	74.00	294	74.40	36.84	73.79	37.00
193	193	37.00		293		36.95		37.00
192	192	37.30		292	37.20	36.81		37.20
191	191	37.40		291	37.30	38.17		37.30
190	190	74.65		290	74.80	75.00		74.80
189	189	37.00		289	37.50	36.78		37.50
188	188	36.90		288	38.00	36.76		38.00
187	187	156.60		287	167.00	152.74		157.00
186	186	38.00		285	38.55	40.66		38.55
185	185	37.90		284	36.70	37.95		36.70
184	184	37.30	74.20	283	72.85	36.07		37.30
183	183	36.90				37.24		36.90
182	182	37.60	75.50	281	76.00	38.96	77.23	37.60
181	181	37.90				38.27		37.90
180 ^A	180A	37.30		279	32.00	37.05		37.30
180	180B-180	37.00	75.30	278	75.00	35.35	74.61	37.00
179	179	38.30				39.26		38.30
178	178	37.00	74.80	276	95.20	37.22	74.40	37.00
177	177	37.80				37.18		37.80
176	176	37.60	75.00	274	74.56	39.89	75.06	37.60
175	175	37.40				35.17		37.40
174	174	37.30	112.50	272	112.10	37.22	111.86	37.30
173	173	75.20				74.64		75.20
172	172	75.00		270	74.40	76.10		74.40
171	171	37.10	111.80	269	111.90	36.84	111.06	37.10
170	170	74.70				74.22		74.70
169	169	73.60		267	73.00	74.09		73.00
168	168	75.20		266	202.90	73.86		75.20
167	167	73.90	223.20			74.41		73.90
166	166	74.10				74.51		74.10
165	165	148.70		263	149.30	150.14		149.30
164	164	77.00	226.80	260		78.10		77.00
163	163	74.60			225.70	74.85		74.60
162	162	75.20				72.79		75.20
161	161			257				

Παράρτημα Α

Αρ. Φρέατος	Αποστάσεις μεταξύ (m)	Χιλιμετρική Θέση (m)	Υψόμετρο εδάφους (m)	Υψος πυθμένα αγωγού (m)	Κλίση αγωγού (m)	Διατομή													
						πλάτος	ύψος	σχήμα											
0																			
1	37.00	0.00	145.95	139.35		0.48	1.20	ημικυκλική	35	37.00	1677.09	176.60	146.70	0.0041		0.80	ημικυκλική οροφή		
2	38.00	37.00	147.97	139.32	-0.0008	0.50	0.80		36	37.40	1714.09	176.06	145.66	-0.0281		0.73			
3	37.80	75.00	147.98	139.33	0.0003	1.10	1.25		37	36.35	1751.49	177.69	145.71	0.0013		0.80			
4	38.00	112.80	149.28	139.39	0.0015	0.80	1.00		38	38.15	1787.84	178.29	145.89	0.0050		0.80			
5	37.00	150.80	149.09	139.44		0.50	0.83		39	37.60	1825.99	179.98	145.95	0.0016		0.80			
6	38.20	187.80	148.30	139.57	0.0035	0.55	1.10		40	37.55	1863.59	180.18	146.00	0.0013	0.50	0.80			
7	37.35	226.00	149.02	139.71	0.0037	0.55	1.10		41	37.15	1901.14	181.27	146.14	0.0037		0.75			
8	37.80	263.35	150.48	139.72	0.0003	0.60	1.15		42	36.70	1938.29	181.37	146.13	-0.0003		0.65			
9	37.40	301.15	152.24	139.70	-0.0005	0.50			43	36.15	1974.99	183.06	146.01	-0.0032		0.80			
10	37.70	338.55	153.03	139.58	-0.0033	0.45	1.15		43 ^A	37.80	2011.14	183.73	146.38	0.0102		0.90			
11	37.50	376.25	153.28	139.64	0.0016	0.45			43 ^B	36.00	2048.94	183.00	146.30	-0.0021		1.10			
12	37.80	413.75	153.04	139.94	0.0080	0.45	1.10		43 ^C	36.10	2084.94	183.35	146.47	0.0047	0.50	1.30			
13	36.00	451.55	153.88	139.96		0.50	1.25		43 ^D	36.50	2121.04	183.40	146.55	0.0022	0.40	1.15			
14	39.30	487.55	151.78	139.98	0.0006				43 ^E	39.10	2157.54	184.31	146.46	-0.0025	0.35	1.00			
15	37.10	526.85	156.81	140.01		0.62	1.45		43 ^F	73.75	2196.64	184.45	146.63	0.0043		0.80			
16	37.40	563.95	157.70	140.70	0.0186	0.50	1.40		α	36.85	2270.39	193.00	146.82		0.70	0.75			
17	37.00	601.35	158.03	140.13	-0.0152	0.50	1.60		β	37.75	2307.24	186.53	146.91	0.0025		0.70			
18	37.10	638.35	158.73	140.17	0.0011	0.52	1.55		γ	37.70	2344.99	186.50	146.80	-0.0029		0.80			
18 ^A	74.25	675.45	163.43	141.20	0.0278	0.50	1.40	δ	37.00	2382.69	186.53	147.13	0.0088	0.90	0.90				
18AN (18A)								ε	72.15	2419.69	186.15	147.33	0.0054	0.50	0.90				
18 ^B	37.25	749.70	163.70	141.40	0.0027	0.50	1.20	44	36.20	2491.84	184.52	147.28	-0.0007	0.55	0.95				
19	37.65	786.95	163.87	141.33	-0.0019	0.50	1.55	45	36.80	2528.04	183.38	147.38	0.0028	0.60	1.00				
20	37.20	824.60	164.35	141.57	0.0064	0.50	0.95	46	36.90	2564.84	182.85	147.27	-0.0029	0.50	1.00				
20 ^A	37.70	861.80	164.50	141.60	0.0008	0.65	1.10	47	37.60	2601.74	181.86	147.30	0.0008	0.40	1.00				
21	37.35	899.50	164.69	141.61	0.0003	0.80	1.20	48	36.85	2639.34	181.33	147.57	0.0072	0.60	1.00				
22	37.30	936.85	164.93	141.83	0.0058	0.55	1.40	49	37.40	2676.19	181.05	147.35	-0.0060	0.50	1.20				
22 ^A (18 ^B)	36.85	974.15	166.05	141.90	0.0019	0.50	1.20	50	35.70	2713.59	180.83	147.53	0.0048	0.50	1.10				
22 ^B	37.95	1011.00	166.59	142.04	0.0038	0.40	1.00	51	37.45	2749.29	179.99	146.99	-0.0151	0.50	0.90				
22 ^C	72.56	1048.95	167.46	142.48	0.0116	0.50	0.80	52	37.75	2786.74	179.55	146.95	-0.0011	0.50	1.00				
22 ^D	36.95	1121.51	167.14	142.84	0.0050	0.50	1.00	53	37.55	2824.49	178.85	146.95	0.0000	0.60	1.00				
22 ^E	37.08	1158.46	165.69	142.76	-0.0022	0.50	1.12	54	37.50	2862.04	178.63	147.08	0.0035	0.50	1.00				
22 ^F	37.40	1195.54	161.18	143.70	0.0254	0.35	1.05	55	38.70	2899.54	178.32	147.17	0.0024	0.60	1.10				
23	37.00	1232.94	165.29	142.67	-0.0275	0.40	0.95	56	37.10	2938.24	178.21	147.31	0.0036	0.40	1.00				
24	36.65	1269.94	164.09	142.27	-0.0108	0.40	1.15	57	37.35	2975.34	177.68	147.23	-0.0022	0.50	1.00				
25	36.90	1306.59	166.37	146.37	0.1119	0.50	1.10	58	37.60	3012.69	177.74	147.24	0.0003	0.50	1.20				
26	36.60	1343.49	168.32	146.27	-0.0027	0.55	1.10	59	38.50	3050.29	177.47	147.37	0.0035	0.60	1.10				
27	37.60	1380.09	167.89	146.34	0.0019	0.57		60	37.40	3088.79	177.34	147.44	0.0018	0.50	0.70				
28	38.00	1417.69	164.48	146.42		0.60	1.10	61	37.85	3126.19	177.02	147.57	0.0035	0.50	1.00				
29	37.60	1455.69	168.70	146.50	0.0021			62	37.90	3164.04	176.62	147.62	0.0013	0.60	1.00				
30	36.90	1493.29	168.21	146.64	0.0037			63	37.80	3201.94	176.43	147.73	0.0029	0.70	2.00				
31	38.00	1530.19	168.97	146.65	0.0003	0.50	0.90	64		3239.74	176.52	147.79	0.0016	0.85	1.00				
32	35.40	1568.19	169.70	146.38	-0.0071	0.37	0.68	65	37.30	3277.59	176.03	147.80	0.0003	0.50	0.90				
33	37.10	1603.59	171.62	146.57	0.0055	0.50	0.85	66	37.50	3314.89	176.03	147.70	-0.0027	0.50	0.80				
34	36.40	1640.69	172.35	146.55	-0.0006	0.56	0.95	67	38.30	3352.39	175.51	148.06	0.0096	0.50	0.80				
								68	38.20	3390.69	175.27	148.07	0.0003	0.50	0.80				
								69	37.80	3428.89	175.14	148.14	0.0018	0.50	1.10				

Παράρτημα Α

70	37.15	3466.69	174.84	148.26	0.0032	0.50	1.30	ημικυκλική οροφή	104	41.80	5569.32	164.50	152.40	0.0013	0.50	0.80	τριγωνική
71	37.80	3503.84	174.60	148.40	0.0038	0.50	1.20		105	37.90	5611.12	163.89	152.54	0.0033	0.50	0.75	
72	37.45	3541.64	175.02	148.49	0.0024	0.50	1.00		106	39.20	5649.02	162.20	152.60	0.0017	0.50	1.40	ημικυκλική
73	37.40	3579.09	174.63	148.70	0.0056	0.70	1.40		107	74.50	5688.22	162.95	152.75	0.0038			
74	39.40	3616.49	174.95	148.67	-0.0008	0.60	1.10		108	38.60	5762.72	165.01	153.05	0.0040			
75	37.65	3655.89	174.60	148.82	0.0038	0.60	1.20		109	36.30	5801.32	165.22	153.20	0.0193	0.50	0.90	
76	37.80	3693.54	174.63	148.88	0.0016	0.50	1.40		110	77.00	5837.62	166.18	153.90				
77	75.00	3731.34	174.26	148.46	-0.0111	0.60	1.10		111	74.40	5914.62	171.11	153.96	-0.0052	0.50	1.10	
78	37.60	3806.34	173.00	148.82	0.0048	0.50	1.15		112	74.90	5989.02	169.37	153.57	0.0049			
79	37.85	3843.94	172.70	149.00		0.60	1.20	113	75.35	6063.92	168.24	153.94	-0.0031	0.50	1.00		
80	38.70	3881.79	171.17	149.22	0.0059	0.60	1.20	114	75.10	6139.27	169.06	153.71	0.0079			0.50	
						0.60	1.20	115	57.40	6214.37	166.90	154.30	-0.0017				
81	37.40	3920.49	170.70	149.45	-0.0110	0.60	1.00	116	39.90	6271.77	165.59	154.20	0.0015	0.50	0.70		
82	39.20	3957.89	172.15	149.67		0.60	1.00	117	64.80	6311.67	168.85	154.00	-0.0051			0.50	1.00
83	111.30	3997.09	172.04	149.24	0.60	1.00	118	104.50	6376.47	169.85	154.10	0.0052	0.50	1.10			
84	74.20	4108.39	171.75	149.43	0.0017	0.50	1.00	119	36.40	6480.97	168.94	154.64			0.0151	0.50	1.10
84 ^Α	37.80	4182.59	169.71	149.55	0.0016	0.50	1.05	120	41.60	6517.37	165.39	155.19	-0.0178	0.50	1.10		
85	36.95	4220.39	169.26	149.56	0.0003	0.50	1.50	121	108.45	6558.97	164.45	154.45	0.0049			0.50	1.20
						0.50	2.00	122	76.15	6667.42	169.28	154.98	-0.0006	0.50	1.20		
86	75.00	4257.34	169.16	149.81	0.0068	0.50	1.15	123	75.10	6743.57	171.54	154.94	0.0054			0.60	1.20
						0.60	1.40	124	67.80	6818.67	170.96	155.34	0.0053	0.50	1.20		
87	73.78	4332.34	170.42	149.77	-0.0005	0.50	1.00	125	83.50	6886.47	171.20	155.70	-0.0005			0.50	1.05
88	37.70	4406.12	170.49	149.92	0.0020	0.60	1.10	126	33.10	6969.97	171.96	155.66	0.0085	Αχρηστευθέν τμήμα			
89	110.30	4443.82	170.43	150.03	0.0029	0.50	0.90	127	41.80	7003.07	171.58	155.94	0.0014	0.60	1.05	κυλινδρική μορφή	
90	79.45	4554.12	170.00	150.50	0.0043	0.50	0.90	128	75.50	7044.87	172.56	156.00	0.0014	0.60	1.05	τριγωνική μορφή	
91	33.30	4633.57	169.64	150.44	-0.0008	0.40	1.60							0.60	1.05	κυλινδρική μορφή	
92	33.90	4666.87	169.86	150.46	0.0006	0.50	1.10	129	37.90	7120.37	175.98	155.83	-0.0023	0.50	0.90	ημικυκλική	
93	78.20	4700.77	169.17	150.67	0.0062	0.40	1.00							130	42.10	7158.27	173.33
94	74.60	4778.97	168.64	150.84	0.0022	0.50	0.90	131	36.70	7200.37	174.21	156.61	0.0102	(σαν 137-142)			
95	78.80	4853.57	168.34	150.94	0.0013	0.50	0.90	132	33.80	7237.07	175.15	156.00	-0.0167	0.50	1.10	ορθογωνική	
96	75.05	4932.37	167.96	150.96	0.0003	0.50	1.20	133	75.10	7270.87	175.47	155.47	-0.0157	0.40	1.10		
97	148.65	5007.42	168.10	151.30	0.0045	0.40	0.90	134	74.15	7345.97	178.47	156.27	0.0107	0.50	1.00	τριγωνική οροφή	
98	76.05	5156.07	168.09	151.54	0.0016	0.40	0.65	135	76.00	7420.12	181.36	157.01	0.0100				
98 ^Α	37.80	5232.12	167.44	151.64	0.0013	0.43	1.00	136	75.30	7496.12	183.74	157.14	0.0017	0.60	0.80		
99	75.15	5269.92	166.93	151.73	0.0024	0.55	0.85										
100	75.35	5345.07	166.44	151.84	0.0015	0.50	1.00	ακανόνιστο									
						0.85	0.80										
101	57.00	5420.42	165.15	152.10	0.0035	0.50	1.00	κώφτρα									
102	57.30	5477.42	163.58	152.20	0.0018	0.65	1.17	κυκλ. Δεξαμενή									
103	34.60	5534.72	163.06	152.35	0.0026												

Παράρτημα Α

137	74.60	7571.42	186.96	157.11	-0.0003					
137A										
138	75.00	7646.02	189.82	157.82	0.0095					
139	38.00	7721.02	190.84	158.04	0.0029					
140	37.90	7759.02	189.53	157.83	-0.0055					
141	75.30	7796.92	184.05	156.80	-0.0272					
142	75.35	7872.22	180.89	156.93	0.0017	0.50 0.90 τριγωνική οροφή				
143	76.95	7947.57	181.32	157.42	0.0064					
144	72.85	8024.52	184.67	157.57	0.0019	0.50 0.85 ημικυκλική οροφή				
145	113.50	8097.37	182.02	157.57	0.0000				0.40 0.90	
146	74.10	8210.87	184.17	157.82	0.0022	0.40 0.70	ημικυκλική οροφή			
147	75.60	8284.97	182.12	157.87	0.0007	0.40 0.85				
148	74.10	8360.57	181.35	159.01	0.0019	επισκευασμένο με βραχέα υποστρώματα και με πλάκες από σκυροκονίαμα				
149	112.50	8434.67	181.59	158.16		0.50 1.30	ορθογωνικό	0.50 1.00 ημικυκλική 0.50 1.00 τριγωνική 0.50 1.30 ορθογωνικό 0.40 1.05 τριγωνική οροφή 0.50 1.30 ορθογωνικό 0.40 1.05 τριγωνική οροφή		
						0.40 1.05	τριγωνική οροφή			
						0.50 1.30	ορθογωνικό			
						0.40 1.05	τριγωνική οροφή			
						0.50 1.30	ορθογωνικό			
						0.40 1.05	τριγωνική οροφή			
150	74.25	8547.17	184.00	159.38		0.40 0.80	ημικυκλική	0.60 1.50 σχεδόν ορθογωνικό 0.50 1.30 ορθογωνικό		
151	76.60	8621.42	184.00	159.52		0.50 1.00	τριγωνική			
152	37.00	8698.02	189.07	158.67		0.50 1.00	ακανόνιστο	0.60 1.50 σχεδόν ορθογωνικό 0.50 1.30 ορθογωνικό		
					τριγωνική οροφή					
152 ^A	44.20	8735.02	185.00	158.85	0.0048	0.50 1.00	σχεδόν ορθογωνικό	0.60 1.05 ημικυκλική 0.85 1.65 σχεδόν ορθογωνικό 0.75 1.60 σχεδόν ορθογωνικό		
153	63.40	8779.22	189.85	159.06		0.55 0.80	ημικυκλική οροφή			
154	75.20	8842.62	194.16	160.15	0.0172	0.50 1.05	ημικυκλική οροφή	0.70 1.60 σχεδόν ορθογωνικό 0.50 1.10 ορθογωνικό		
						0.50 1.05	ορθογωνικό			
155	75.30	8917.82	198.99	160.32	0.0022	0.50 0.80	ημικυκλική	0.50 1.05 τριγωνική 0.50 1.05 ημικυκλική ακανόνιστο τριγωνική		
156	74.80	8993.12	194.16	160.36	0.0006	0.50 1.00	ημικυκλική οροφή			
157	73.00	9067.92	197.15	160.55	0.0025	0.55 1.00	ημικυκλική οροφή	0.50 0.90 τριγωνική		
158	75.30	9140.92	192.13	160.73	0.0014	0.50 0.80	τριγωνική			
159	73.75	9216.22	196.00	160.84		0.50 0.90	τριγωνική			
160	74.15	9289.97	202.34	160.94	-0.0003	0.50 0.80	ημικυκλική (0.55)	0.20 0.95 ακανόνιστο ορθογωνικό		
161	75.20	9364.12	197.42	160.92		0.50 0.90				
162	74.60	9439.32	192.73	161.43	0.0068	0.35 0.90	ακανόνιστο ορθογωνικό	0.40 0.80 ημικυκλική (0.50)		
163	77.00	9513.92	190.42	160.92	-0.0068	0.30 1.20	ορθογωνική			
						0.60 1.20	σχεδόν ορθογωνικό			
164	149.30	9590.92	192.39	160.88	-0.0005	0.20 1.55	ημικυκλική (0.50)	0.60 1.50 σχεδόν ορθογωνικό 0.50 1.30 ορθογωνικό		
						0.40 0.80	ημικυκλική (0.50)			
165	74.10	9740.22	188.91	159.15	-0.0116	0.60 1.00	ημικυκλική	0.60 1.05 ημικυκλική 0.85 1.65 σχεδόν ορθογωνικό		
166	73.90	9814.32	186.99	161.99	0.0384	0.75 1.60	σχεδόν ορθογωνικό			
167	75.20	9888.22	184.99	161.94	-0.0007	0.70 1.60	σχεδόν ορθογωνικό	0.50 1.10 ορθογωνικό		
168	73.00	9963.42	181.57	161.17	0.0029	0.60 0.70	τριγωνική οροφή			
169	74.70	10036.42	180.37	162.37		0.60 0.80	τριγωνική			

170	37.10	10111.12	178.62	162.52	0.0021	0.60	0.70	ημικυκλική οροφή
						0.60	1.10	ημικυκλική οροφή
171	74.40	10148.22	179.68	162.69	0.0046	0.10	1.00	ημικυκλική οροφή (0,50)
						0.60	1.10	ημικυκλική οροφή
172	75.20	10222.62	173.07	162.64	-0.0007	0.40	0.80	ημικυκλική
173	37.30	10297.82	181.12	163.12	0.0064			
174	37.40	10335.12	182.86	163.06	-0.0016	0.60	1.10	
175	37.60	10372.52	183.76	163.40	0.0091			
176	37.80	10410.12	182.87	163.37	-0.0008	0.60	1.20	
177	37.00	10447.92	182.22	163.42	0.0013	0.45	1.10	τριγωνική οροφή
								ημικυκλική οροφή
178	38.30	10484.92	181.58	163.44	0.0005			τριγωνική οροφή
179	37.00	10523.22	180.20	163.60	0.0042			σχεδόν ημικυκλική οροφή
180	37.30	10560.22	178.84	163.64	0.0011	0.50	1.10	τριγωνική οροφή
180 ^A	37.90	10597.52	177.73	163.63	-0.0003			
181	37.60	10635.42	177.56	163.66	0.0008			
182	36.90	10673.02	176.97	163.77	0.0029			
183	37.30	10709.92	177.05	163.85	0.0022			
184	36.70	10747.22	177.41	163.81	-0.0011	0.60	1.10	ημικυκλική οροφή
185	38.55	10783.92	180.40	163.80	-0.0004	0.50	1.00	σχεδόν ημικυκλική οροφή
186	157.00	10822.47	179.69	163.84	0.0010	0.45	0.80	ημικυκλική
187	38.00	10979.47	179.43	164.23	0.0025	0.40	0.90	
188	37.50	11017.47	179.79	164.34	0.0029	0.55	0.90	
189	74.80	11054.97	180.66	164.51	0.0045	0.45	0.95	
190	37.30	11129.77	181.89	164.64	0.0017	0.55	0.85	
191	37.20	11167.07	182.16	164.71	0.0019	0.50	0.80	
192	37.00	11204.27	183.13	164.88	0.0046	0.50	1.00	
193	37.00	11241.27	182.96	164.66	-0.0058	0.55	1.00	
						0.80	2.60	σχεδόν ημικυκλική οροφή

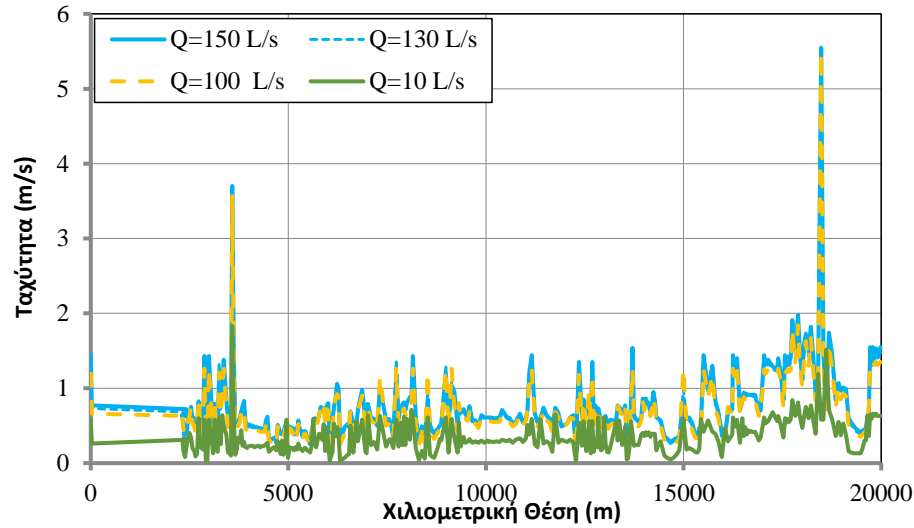
194	37.55	11278.27	183.66	164.70	0.0011	0.70	1.20	ημικυκλική οροφή
195	37.55	11315.82	184.00	164.86	0.0042	0.60	1.00	
196	36.50	11353.37	185.12	165.02				
197	37.50	11389.87	186.56	165.24	0.0060	0.40	1.00	
198	37.60	11427.37	185.80	165.27	0.0009	0.50	1.00	
199	37.00	11464.97	186.40	165.31				
200	38.00	11501.97	186.65	165.34				
201	75.50	11539.97	188.18	165.38	0.0010	0.50	0.90	
202	37.85	11615.47	189.57	165.53	0.0020	0.50	0.95	
203	37.70	11653.32	190.20	165.90	0.0098	0.40	0.80	
204	37.75	11691.02	190.95	165.90	0.0000	0.45	1.00	
205	37.65	11728.77	190.88	165.73	-0.0045	0.40	0.90	
206	37.35	11766.42	191.69	165.89	0.0042	0.40	1.00	
207	37.80	11803.77	191.96	166.91	0.0273	0.40	0.90	
208	37.40	11841.57	194.06	166.01	-0.0238	0.50	0.80	
209	38.10	11878.97	191.22	166.26	0.0068	0.50	1.00	
210	37.40	11917.07	191.72	166.52				
211	37.00	11954.47	191.49	166.69	0.0045	0.40	1.10	ημικυκλική οροφή (0,50)
212	35.19	11991.47	191.90	166.64	-0.0014			
213	77.95	12026.66	193.00	166.69	0.0013			
214	90.95	12104.61	193.75	166.79	-0.0038	0.50	1.00	ημικυκλική οροφή
215	76.00	12195.56	183.15	166.45				
216	30.00	12271.56	176.43	166.40	-0.0006	φρεάτιο συνδέσεως του αγωγού (Κοκκιναρά)		
217	15.90	12301.56	181.00	166.44				
218	38.10	12317.46	181.00	166.47	0.0014	0.50	1.30	τριγωνική οροφή
219	74.00	12355.56	187.00	166.52				
220	72.55	12429.56	194.85	166.63		0.0012	0.50	1.00
221	72.05	12502.11	195.00	166.72				
222	109.05	12574.16	194.52	166.80	0.0054	0.50	0.70	τριγωνική οροφή
223	73.30	12683.21	197.99	167.39				
224	73.25	12756.51	198.71	166.20	-0.0162	0.40	0.70	
225	71.40	12829.76	199.84	167.64	0.0197			
226	71.50	12901.16	199.01	166.76	-0.0123	0.50	0.60	ημικυκλική οροφή
227	54.60	12972.66	195.32	166.92	0.0022			
228	23.30	13027.26	196.34	167.19	0.0055	0.50	0.75	
229	33.40	13050.56	187.00	167.31				
230	34.55	13083.96	197.00	167.50		0.40	0.85	
231	72.20	13118.51	202.09	167.69	0.50			0.85

232	113.14	13190.71	202.00	168.28	0.0081	Συναρμογή		
233	109.36	13303.85	205.00	169.20		0.50	0.90	ημικυκλική οροφή
234	75.20	13413.21	206.37	170.07		0.40	0.65	τριγωνική οροφή
235	77.00	13488.41	205.51	170.36	0.0039	0.40	0.80	τριγωνική οροφή
236	76.65	13565.41	203.75	170.50	0.0018	Συναρμογή		
237	10.00	13642.06	188.00	170.38	-0.0016	0.50	1.00	ημικυκλική οροφή
238	80.00	13652.06	188.96	170.36		0.70	1.00	τριγωνική οροφή
239	72.00	13732.06	183.95	170.60		0.0030	0.50	0.70
239 ^A	112.00	13804.06	183.66	170.81	0.0029	0.50	0.70	ημικυκλική οροφή
239 ^B	20.20	13916.06	174.89	171.09	0.0025	Συναρμογή		
(?) α	44.80	13936.26	178.00	171.32	0.0117	0.50	0.90	ορθογωνική
(?) β	56.00	13981.06	179.00	171.84		0.40	0.90	
239 ^C	75.00	14037.06	177.70	172.50		0.0021	Συναρμογή	
239 ^D	59.50	14112.06	175.21	172.66		0.40	0.90	ορθογωνική
239 Γ 239 Δ φρεάτιο κούτις	παράπλευρα υδραγωγεία							
(?) γ	32.00	14171.56	185.00	172.97	0.0052	Συναρμογή		
240	40.00	14203.56	177.74	173.14		0.45	0.60	ορθογωνική
241	40.00	14243.56	178.00	173.32		0.0046	0.45	
241 ^A	26.50	14283.56	178.00	173.51				
241 ^B	8.50	14310.06	179.00	173.63				
242	65.00	14318.56	179.00	173.67				
243	45.00	14383.56	177.00	173.97				
244	65.00	14428.56	176.00	174.18				
245	93.00	14493.56	178.00	174.48				
246	47.60	14586.56	188.08	174.73				
246 ^A	88.50	14634.16	183.69	174.84	0.0023	0.50	1.00	τριγωνική οροφή
247	30.00	14722.66	196.28	176.13	0.0146	0.50	1.10	ορθογωνική
248	70.00	14752.66	201.00	176.50	0.0124	Συναρμογή		
249	114.50	14822.66	202.00	177.36		0.30	0.60	τριγωνική οροφή
250	112.50	14937.16	200.98	178.78				

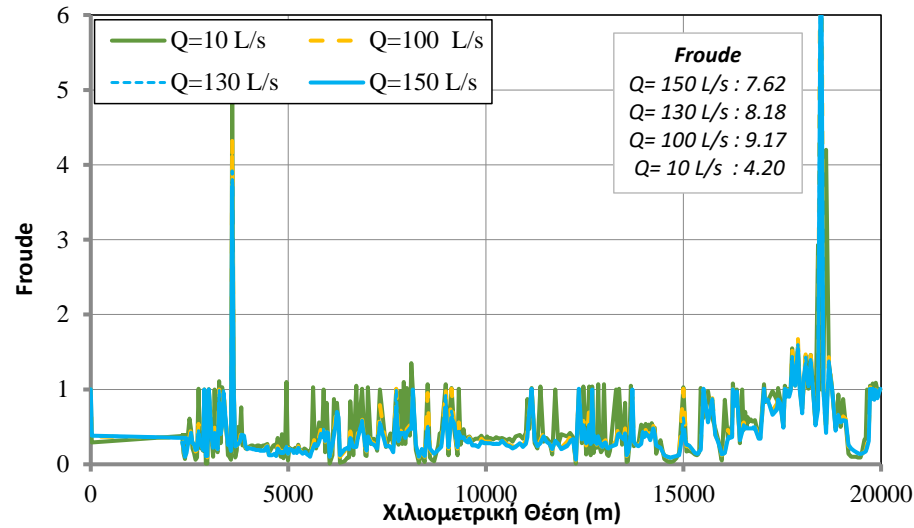
251 ^A	28.90	15049.66	202.00	180.19	0.0125	Συναρμολογή		τριγωνική οροφή	274	78.56	16364.30	215.00	204.38	0.0194	Συναρμολογή		τριγωνική οροφή	
251	55.00	15078.56	202.00	180.55		0.50	0.80		275	91.00	16442.86	216.26	205.91		1.00			
252	74.80	15133.56	201.04	181.24		0.60	0.70		276	67.00	16533.86	218.00	206.42		0.50			
253	39.30	15208.36	202.18	181.64	0.0053	0.60	0.70	277	62.00	16600.86	219.00	206.80	0.0057	0.50	Συναρμολογή	τριγωνική οροφή		
254	35.51	15247.66	203.00	182.16	0.0134	Συναρμολογή		278	64.00	16662.86	221.00	207.15						
255	34.60	15283.17	203.00	182.64		0.40	1.00	279	66.00	16726.86	223.00	207.51						
256	37.70	15317.77	202.00	183.10		0.0004	Συναρμολογή		280	67.50	16792.86	224.87	207.89					
257	37.40	15355.47	202.00	183.60			0.40	0.80	281	66.30	16860.36	225.00	207.86					
258	39.19	15392.87	202.00	184.10			0.40	0.80	282	69.90	16926.66	226.38	207.83					
259	80.00	15432.06	200.98	184.63		0.0239	Συναρμολογή		283	66.70	16996.56	228.00	207.83	0.0001	0.40	0.80	ημικυκλική οροφή	
260	66.00	15512.06	202.00	186.54	0.45		1.15	284	31.00	17063.26	230.00	207.84						
261	45.25	15578.06	203.00	188.12	0.45		1.10	285	33.35	17094.26	231.00	207.84						
262	64.30	15623.31	203.11	189.21	0.0108	0.50	1.00	ημικυκλική οροφή	286	33.85	17127.61	231.00	207.84	0.0017	0.40	0.80		
263	36.70	15687.61	204.00	189.90					0.45	1.10	287	32.53	17161.46				227.80	207.85
264	51.00	15724.31	203.46	190.30					0.45	1.10	288	33.55	17193.99				233.00	207.90
265	71.80	15775.31	204.40	191.40	0.0216	0.50	1.00	ημικυκλική οροφή	289	34.34	17227.54	234.00	207.96	0.0050	0.40	0.80		
266	57.20	15847.11	206.00	192.88	0.45				1.10	290	31.88	17261.88	234.00				208.01	
267	58.20	15904.31	207.00	194.07	0.45				1.10	291	36.55	17293.76	231.32				208.07	
268	60.10	15962.51	207.08	195.28	0.0068	0.50	1.00	ημικυκλική οροφή	292	38.85	17330.31	237.00	208.25	0.0159	0.40	0.80		
269	66.40	16022.61	209.00	195.68					0.45	1.10	293	36.53	17369.16				236.55	208.45
270	76.80	16089.01	209.09	196.14					0.45	1.10	294	33.09	17405.69				239.00	209.03
271	56.20	16165.81	211.00	198.72	0.0337	0.50	1.00	ημικυκλική οροφή	295	37.51	17438.78	240.00	209.55	0.3961	0.40	0.80		
272	70.55	16222.01	213.00	202.65					0.45	1.10	296	37.18	17476.29				241.00	210.15
273	71.74	16292.56	213.54	202.99					0.45	1.10	297	37.36	17513.47				243.00	210.74
						0.50	0.70	τριγωνική οροφή	298	34.43	17550.83	244.00	211.33	0.3961	0.40	0.80		
								ημικυκλική οροφή	299	79.50	17585.26	242.38	211.88					
								τριγωνική οροφή	299'		17664.76	244.00	243.37					
								τριγωνική οροφή	299 1A									
								τριγωνική οροφή	299 2A									

παράπλευρο υδραγωγείο

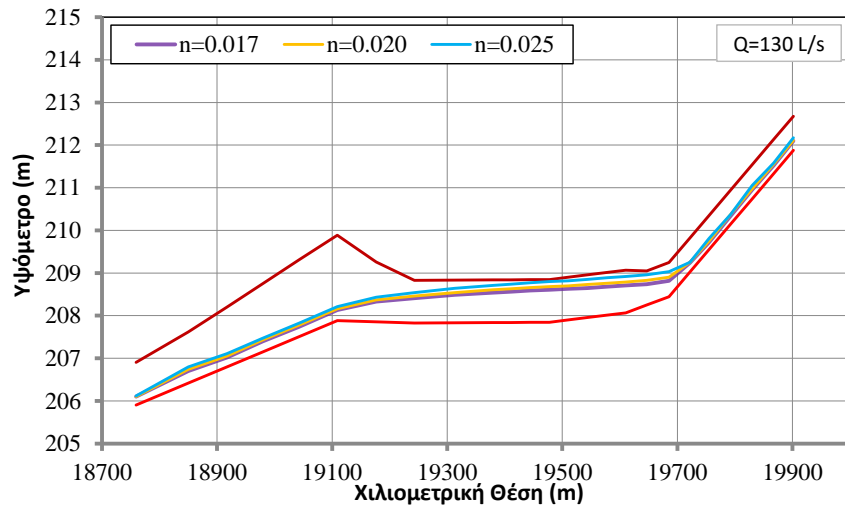
ΥΠΟΜΝΗΜΑ		
	Χρώμα	Αντιστοίχιση
Γέμισμα κελιού		παράπλευρο υδραγωγείο
		min , max κλίση αγωγού
		"προβληματικές" κλίσεις
Χρώμα γραμμάτων	πράσινο	"Φτιαχτά" υψόμετρα από google earth
	γαλάζιο	"Φτιαχτά" υψόμετρα που προκύπτουν από την ενιαία κλίση του τμήματος ή την διαφορά υψομετρών παλαιάς και νέας αρίθμησης
	μωβ	Κλίσεις που προκύπτουν από "φτιαχτά" υψόμετρα



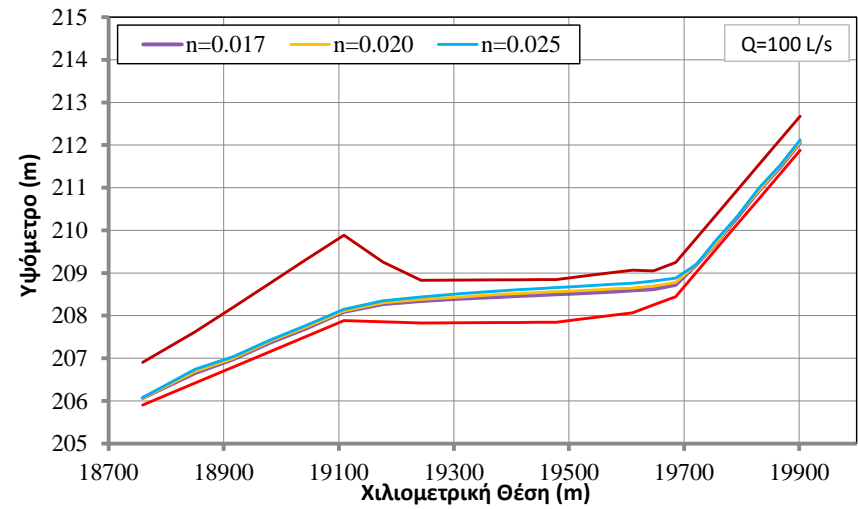
Σχήμα Β.1: Ταχύτητες–Τροποποιημένο υδραγωγείο – Σταθερό Q



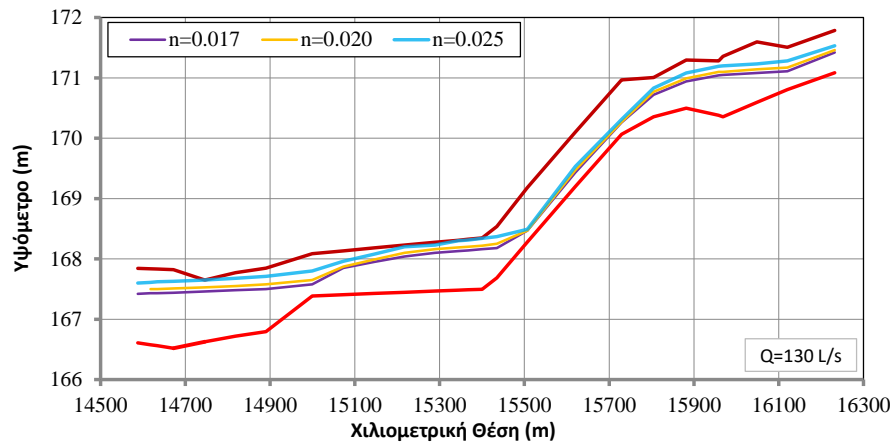
Σχήμα Β.2: Αριθμός Froude–Τροποποιημένο υδραγωγείο – Σταθερό Q



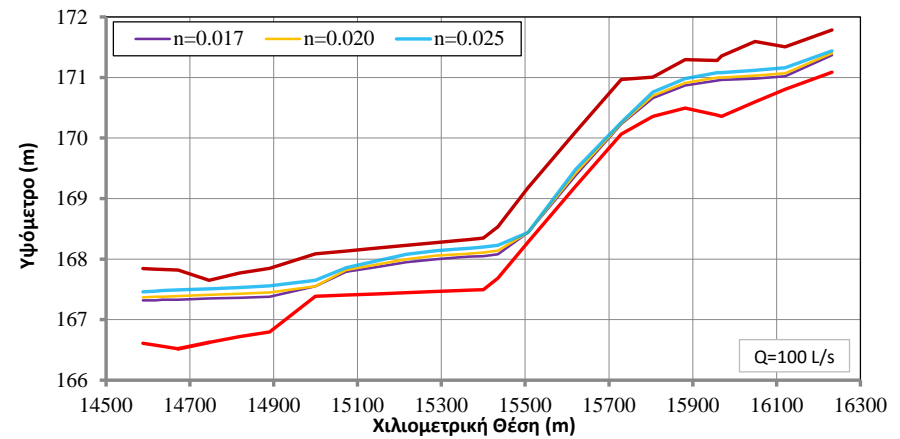
Σχήμα Β.3: Διαφορετικές τραχύτητες - Q=130 L/s - Τμήμα 299-275



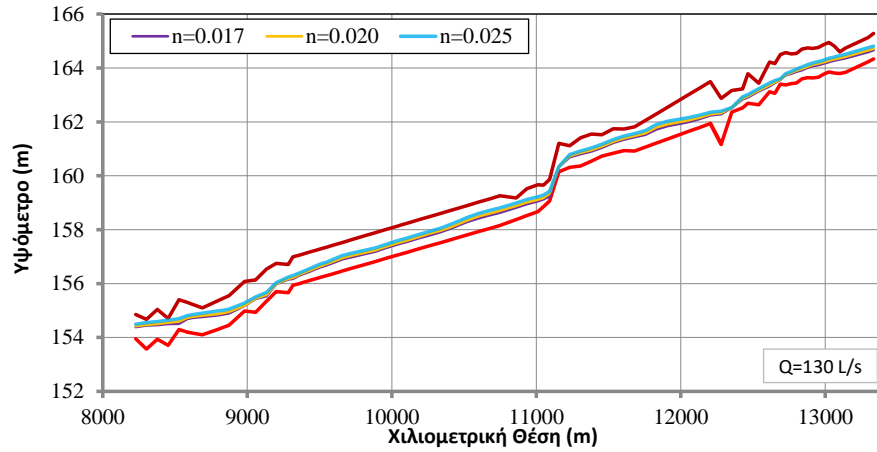
Σχήμα Β.4: Διαφορετικές τραχύτητες - Q=100 L/s - Τμήμα 299-275



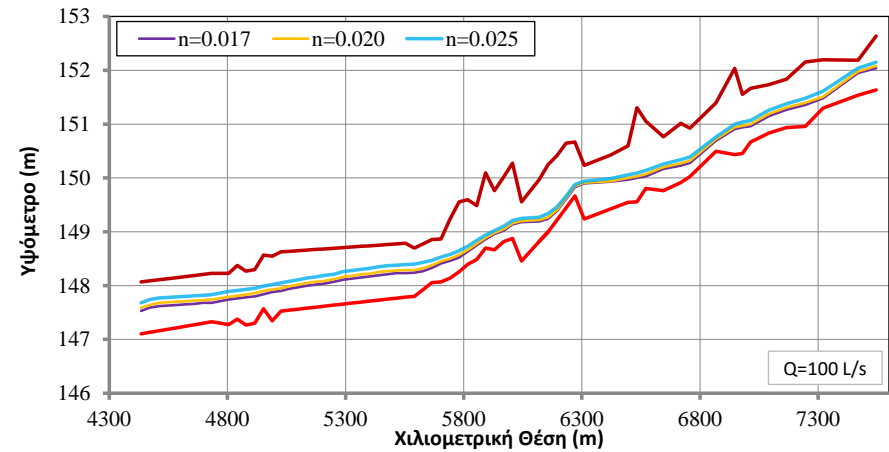
Σχήμα Β.5: Διαφορετικές τραχύτητες - Q=130 L/s - Τμήμα 239B-216



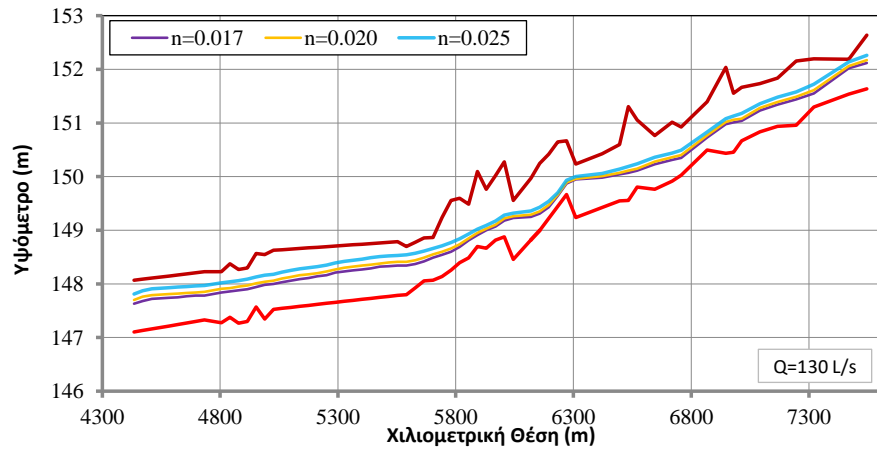
Σχήμα Β.6: Διαφορετικές τραχύτητες - Q=100 L/s - Τμήμα 239B-216



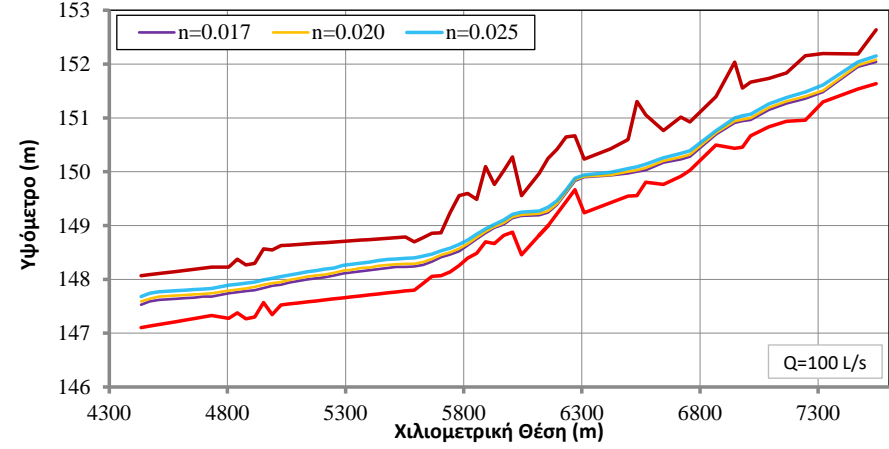
Σχήμα Β.7: Διαφορετικές τραχύτητες - $Q=130$ L/s - Τμήμα 188-111



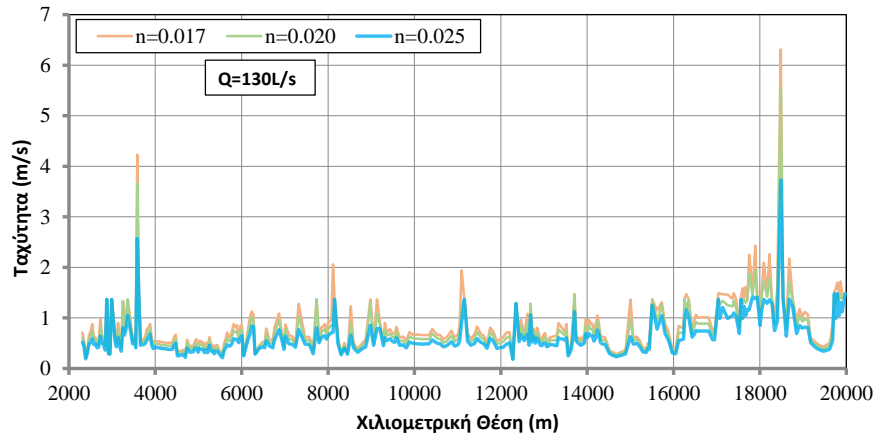
Σχήμα Β.8: Διαφορετικές τραχύτητες - $Q=100$ L/s - Τμήμα 188-111



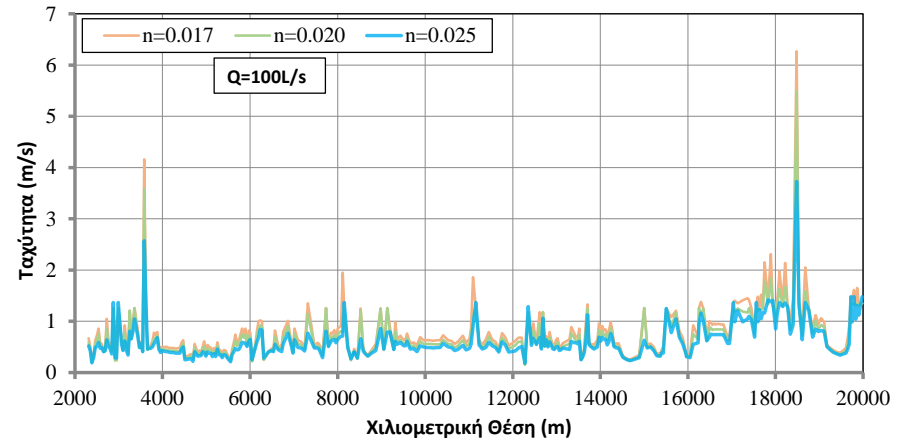
Σχήμα Β.9: Διαφορετικές τραχύτητες - $Q=130$ L/s - Τμήμα 98Α-43D



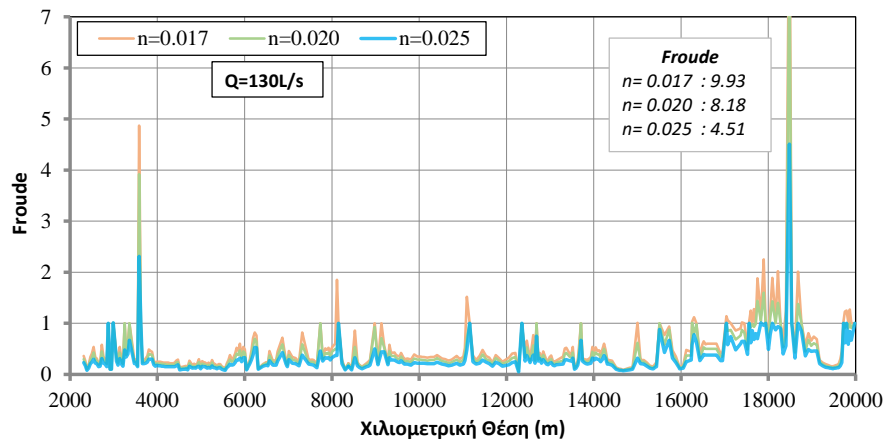
Σχήμα Β.10: Διαφορετικές τραχύτητες - $Q=100$ L/s - Τμήμα 98Α-43D



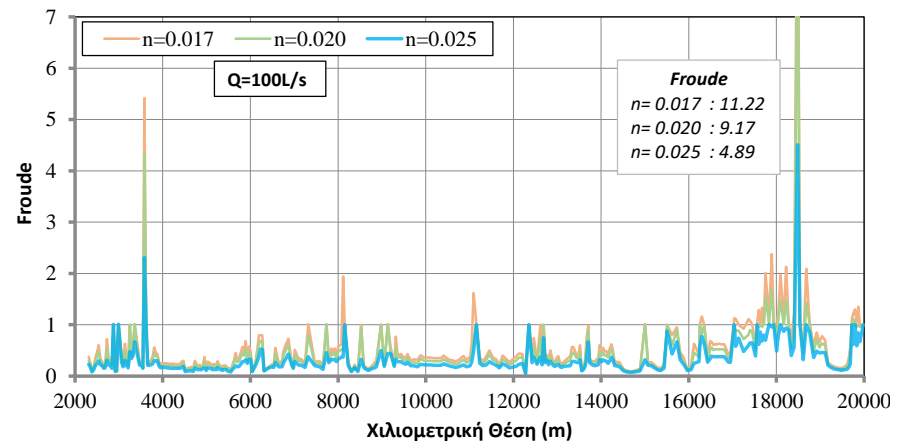
Σχήμα Β.11: Ταχύτητες - Διαφορετικές τραχύτητες – Q=130 L/s



Σχήμα Β.9: Ταχύτητες - Διαφορετικές τραχύτητες – Q=100 L/s

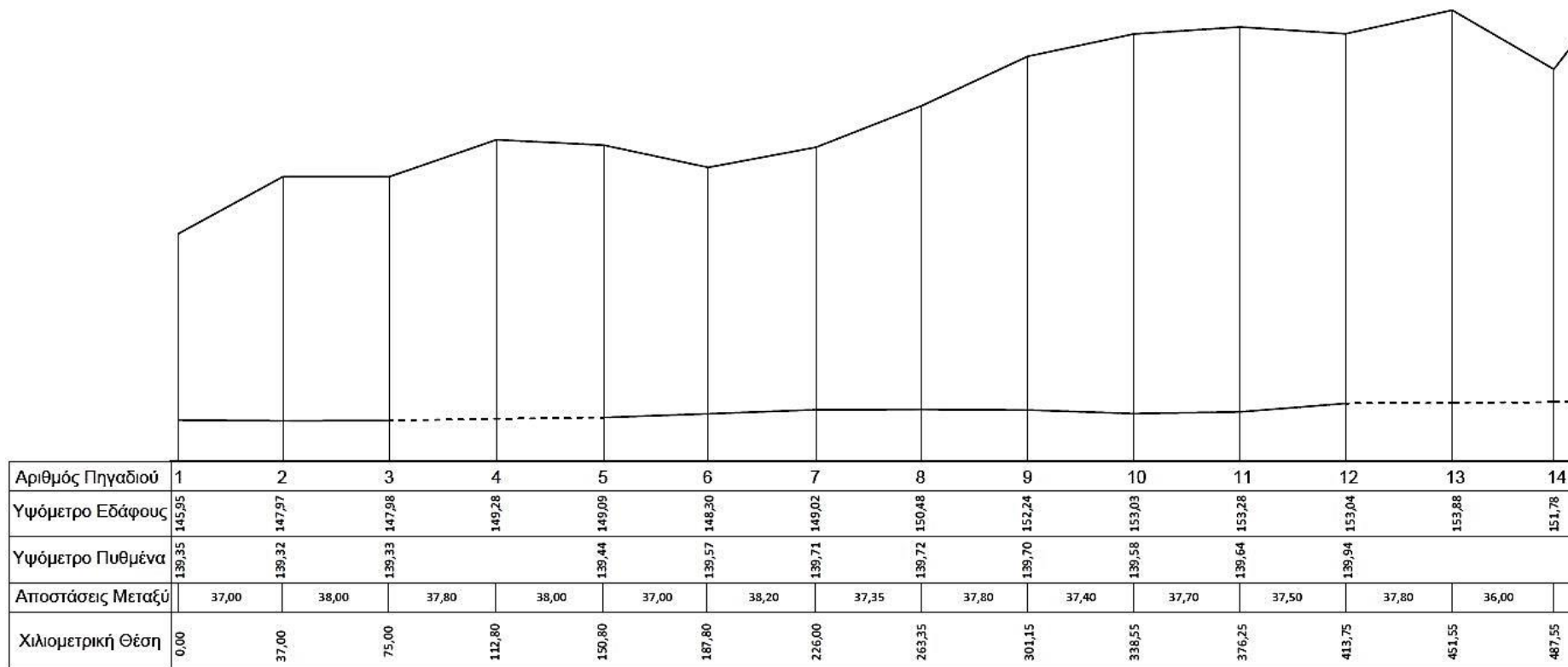


Σχήμα Β.13: Αριθμοί Froude - Διαφορετικές τραχύτητες – Q=130 L/s

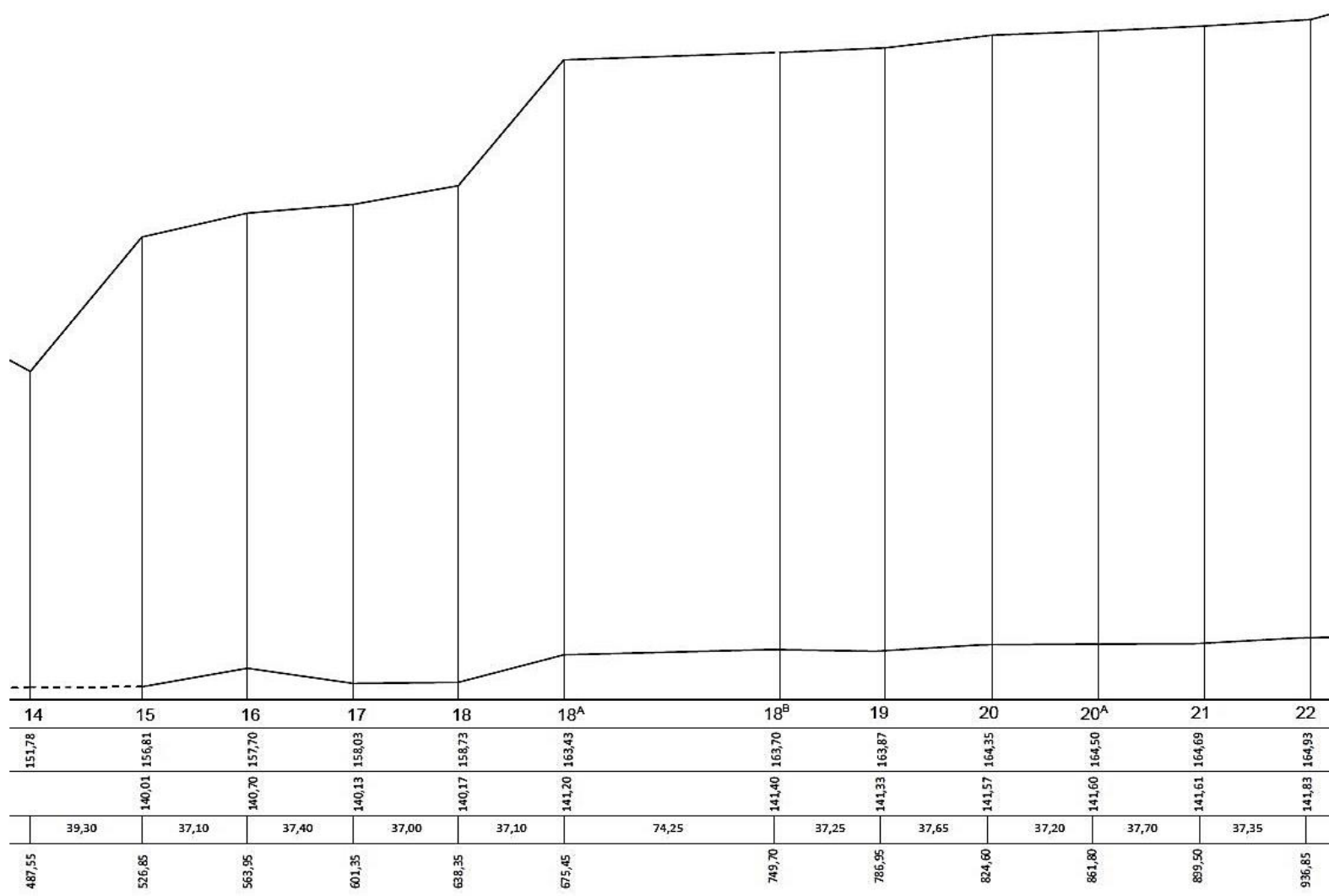


Σχήμα Β.14: Αριθμοί Froude - Διαφορετικές τραχύτητες – Q=100 L/s

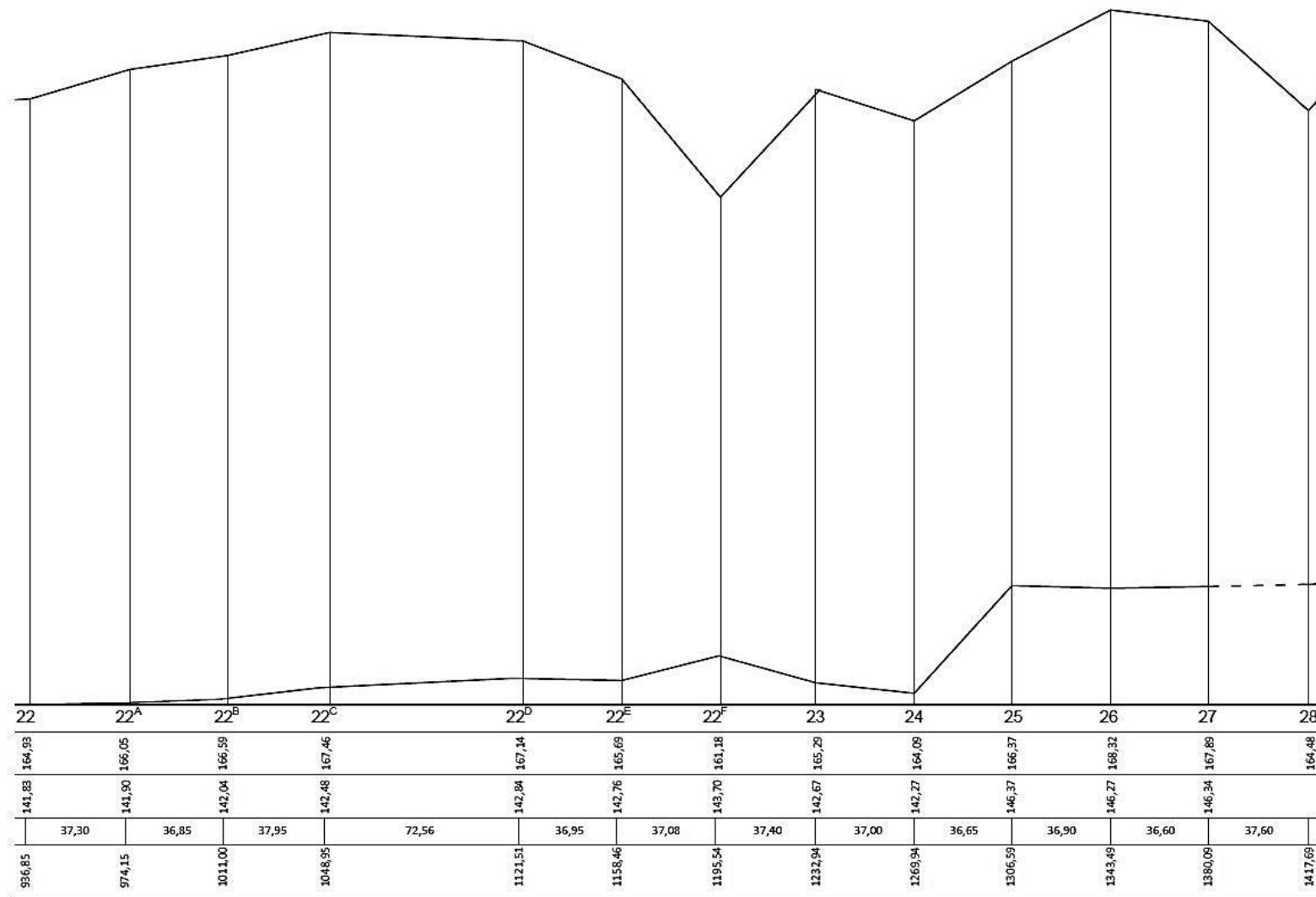
Τελική μηκοτομή



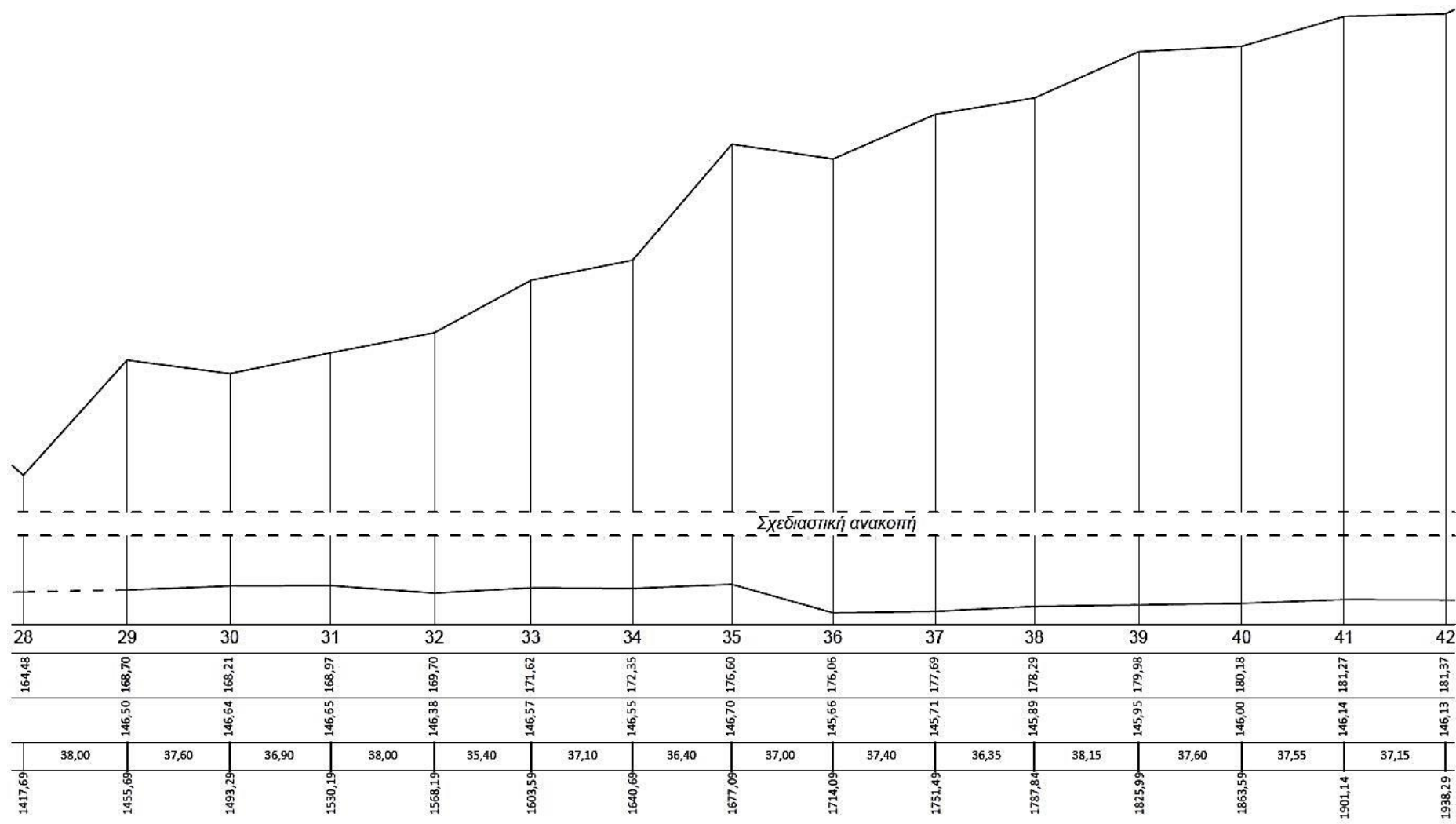
Εικόνα Β.57: Φύλλο 1ο (1-14)



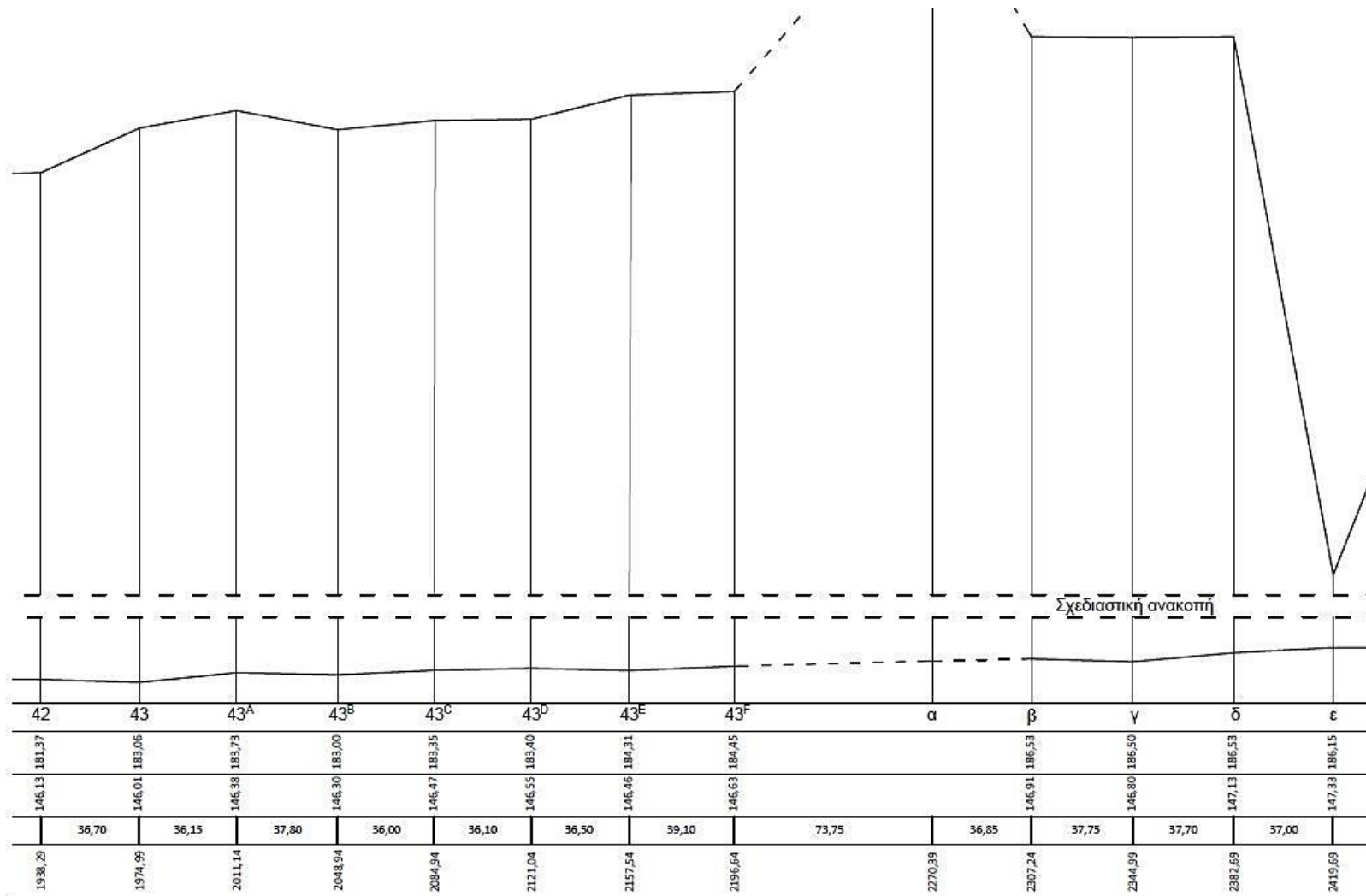
Εικόνα Β.58: Φύλλο 2ο (14-22)



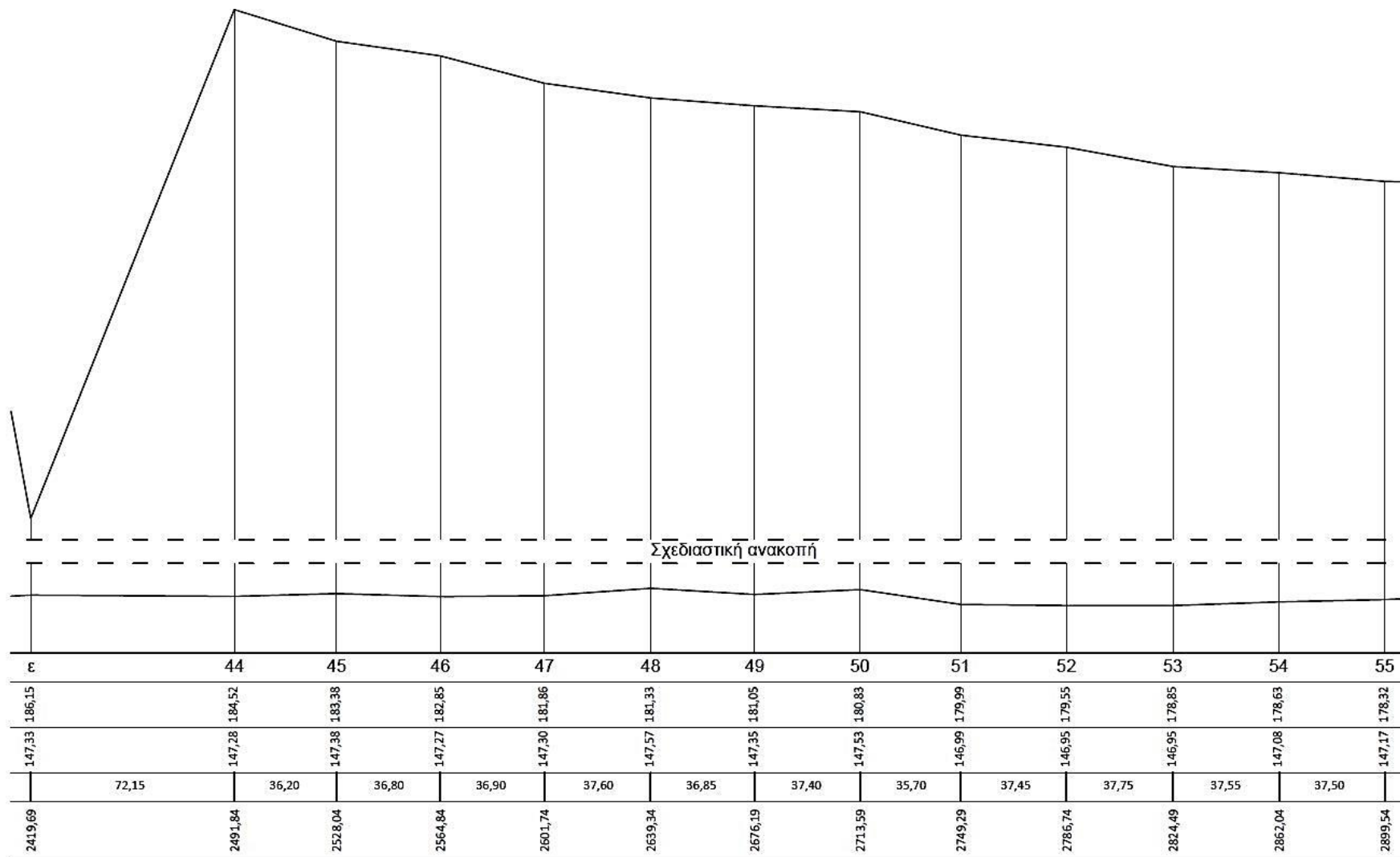
Εικόνα Β.59: Φύλλο 3ο (22-28)



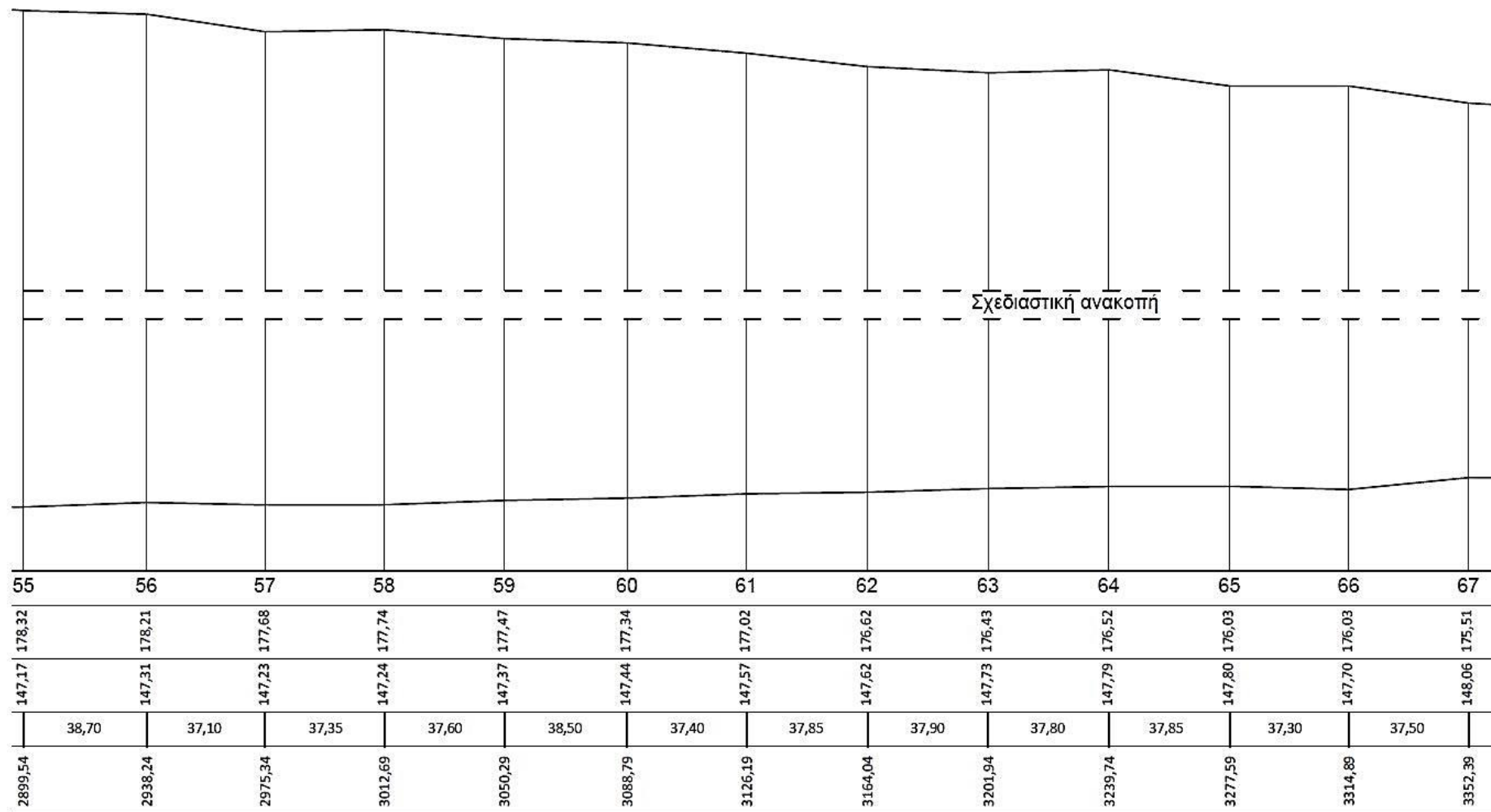
Εικόνα Β.60: Φύλλο 4° (28-42)



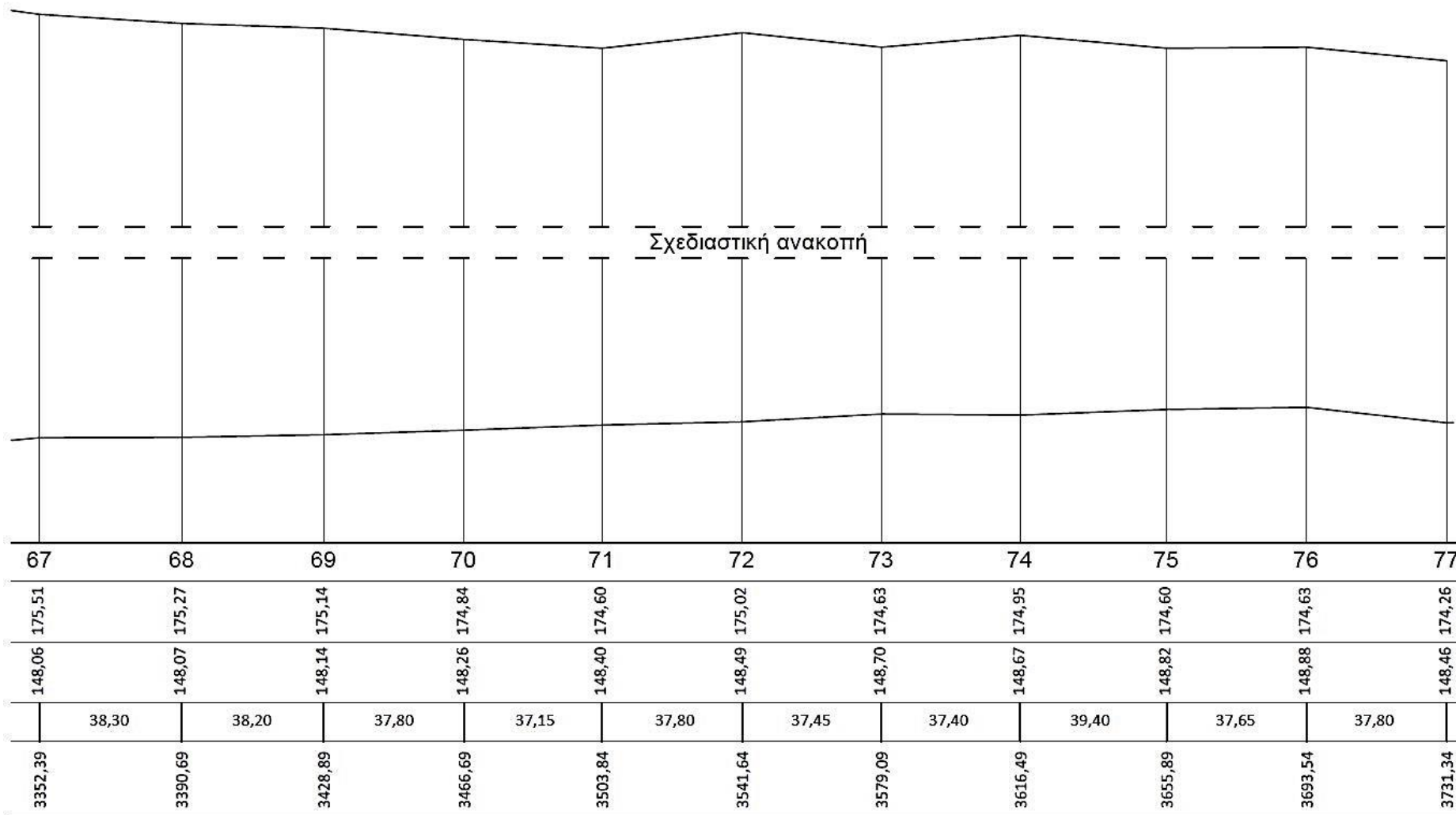
Εικόνα Β.61: Φύλλο 5^ο (42-ε)



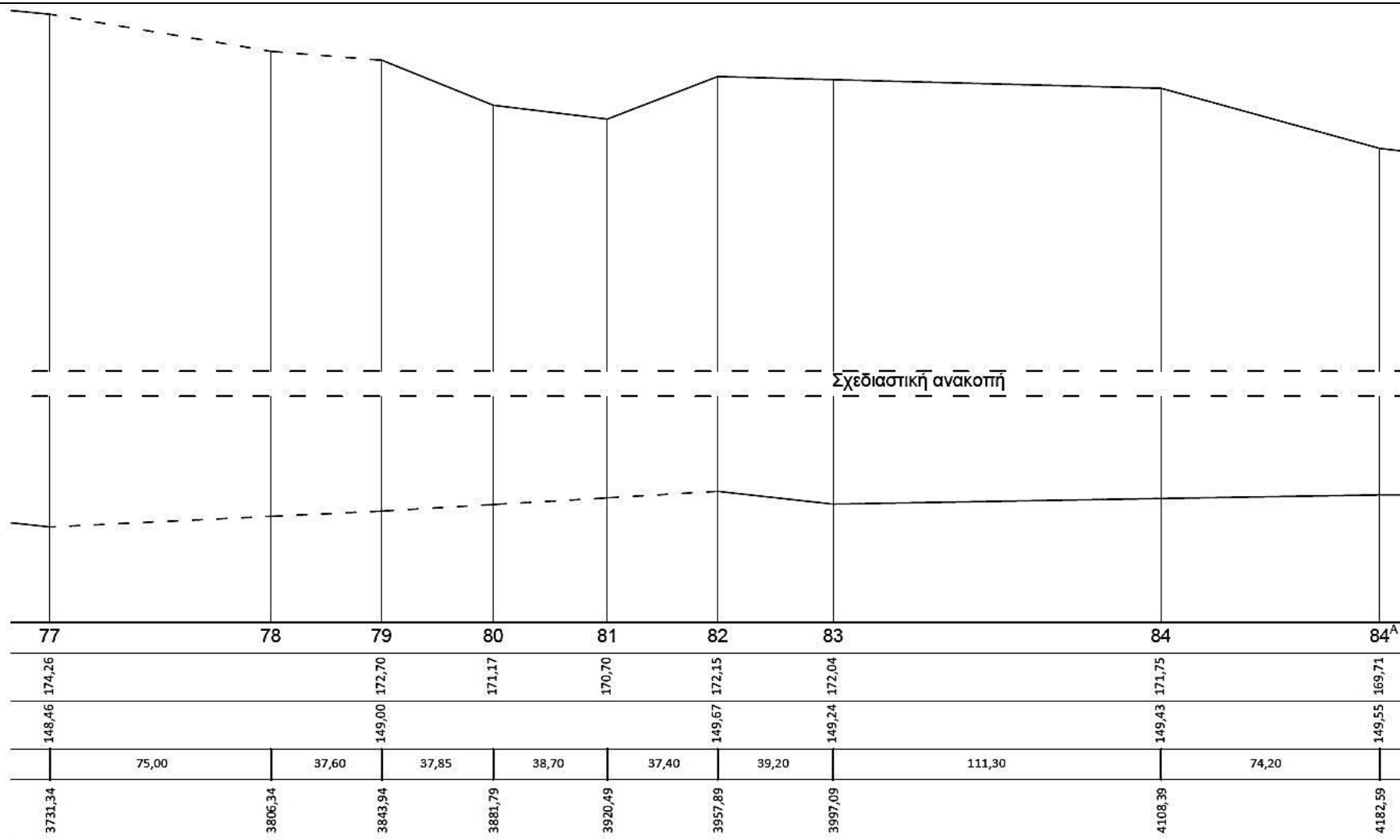
Εικόνα Β.62: Φύλλο 6° (ε-55)



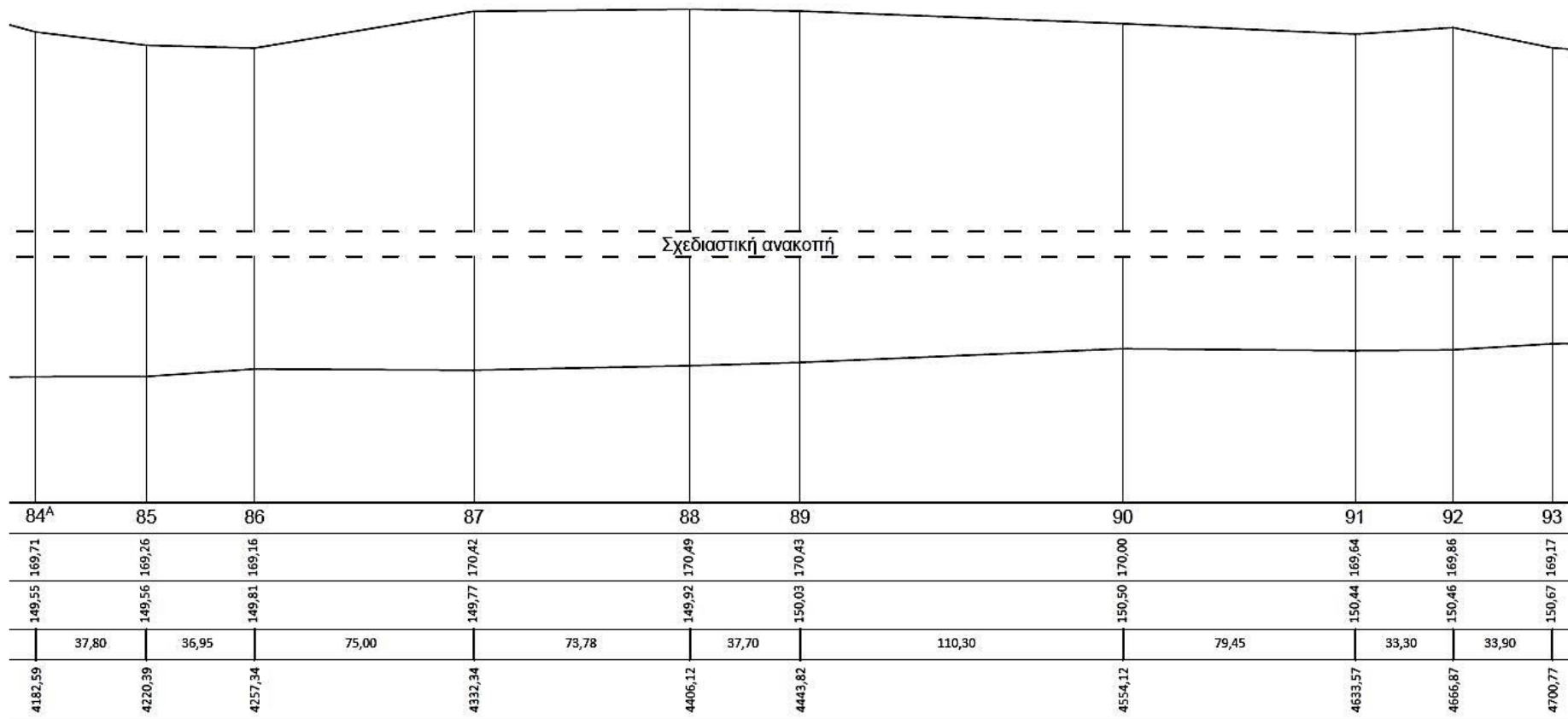
Εικόνα Β.63: Φύλλο 7° (55-67)



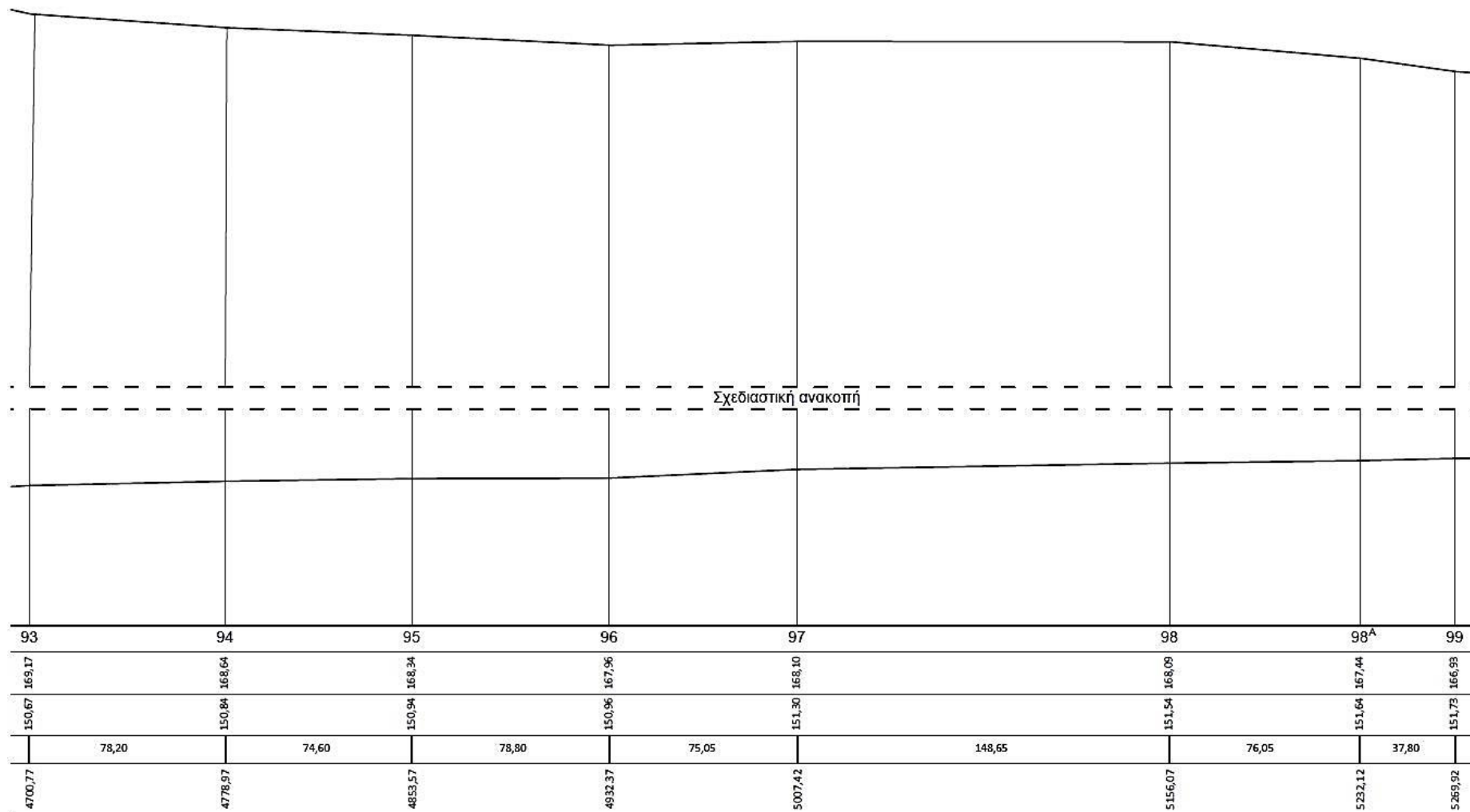
Εικόνα Β.64: Φύλλο 8° (67-77)



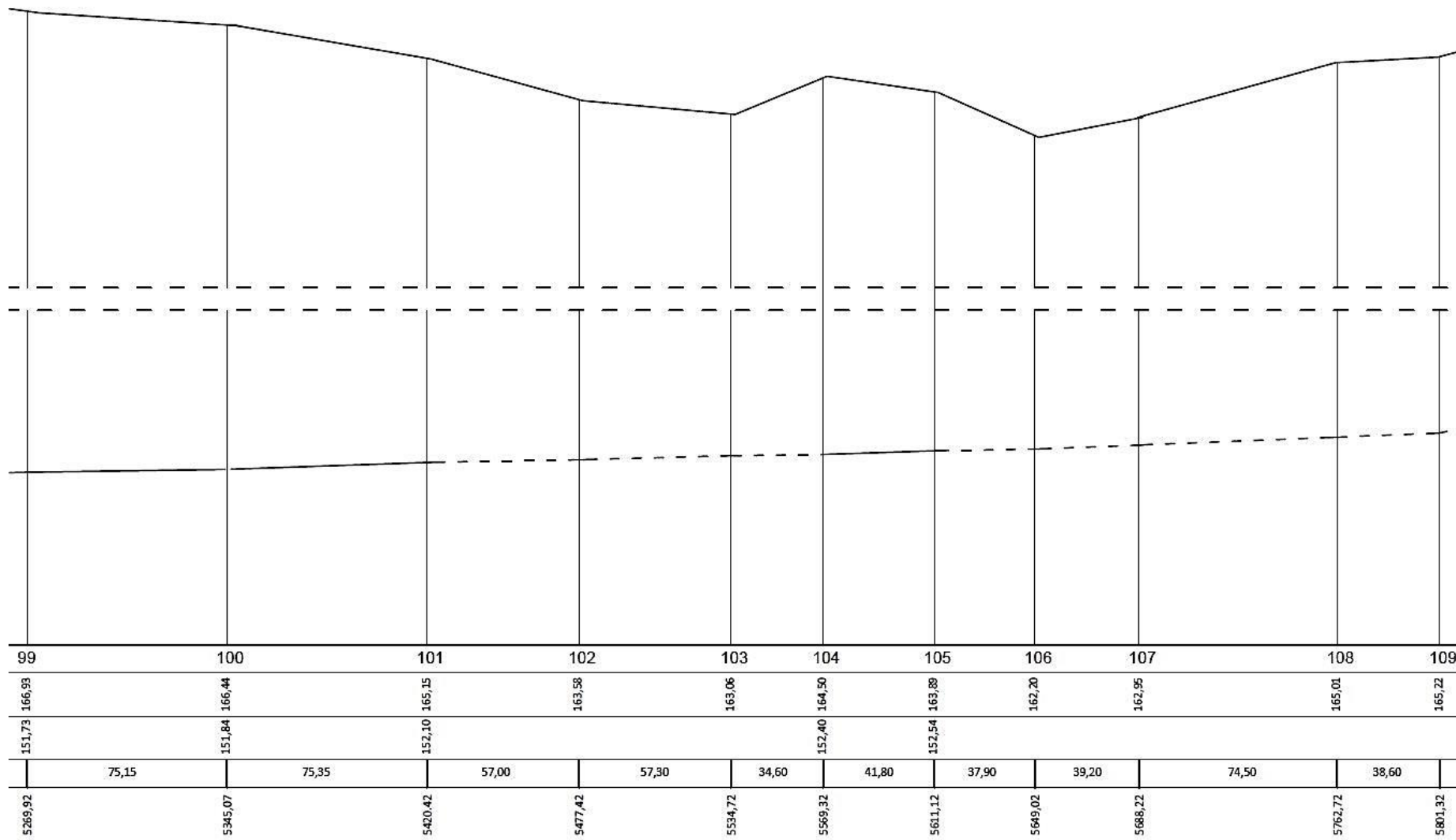
Εικόνα Β.65: Φύλλο 9^ο (77-84^A)



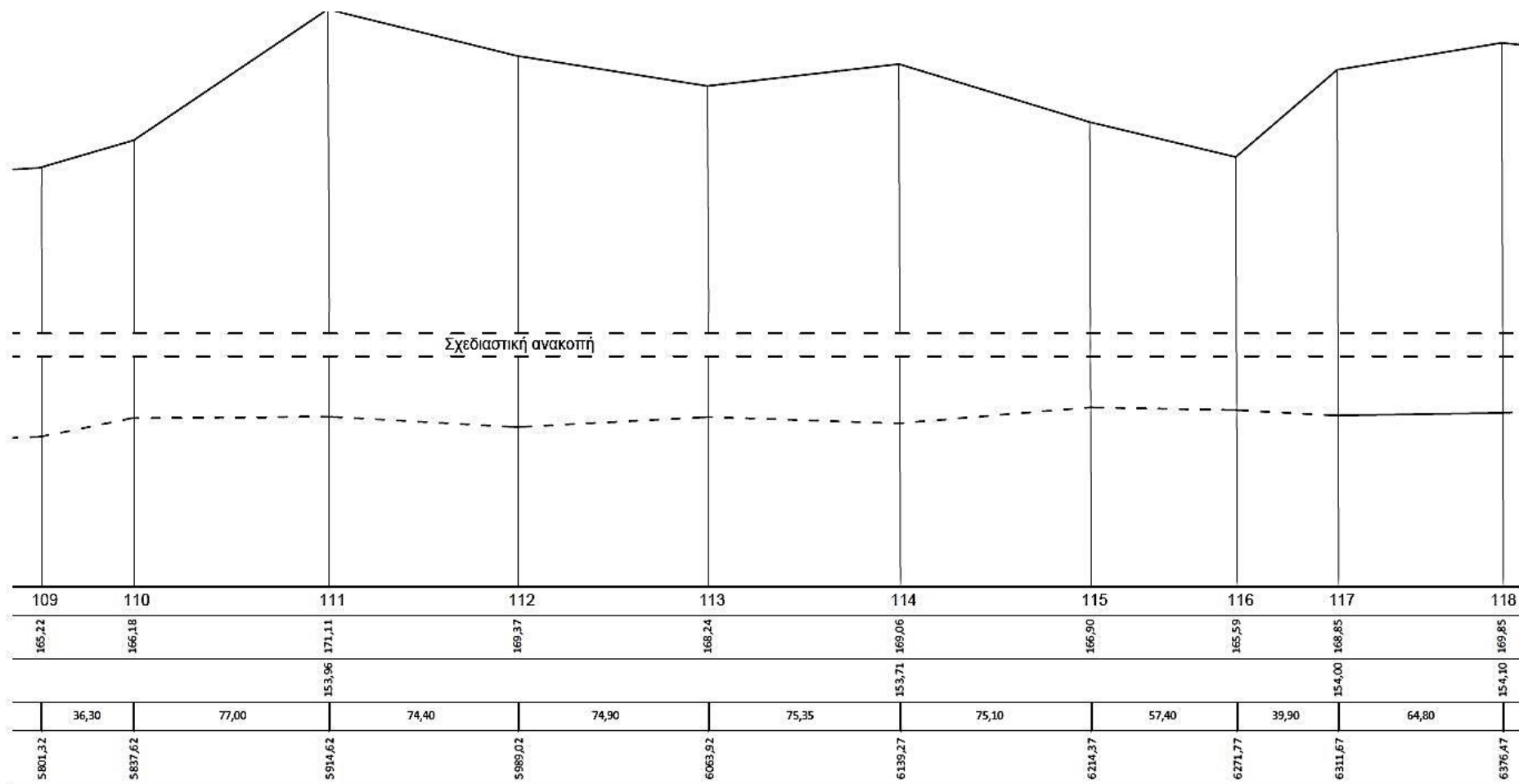
Εικόνα Β.66: Φύλλο 10° (84^A-93)



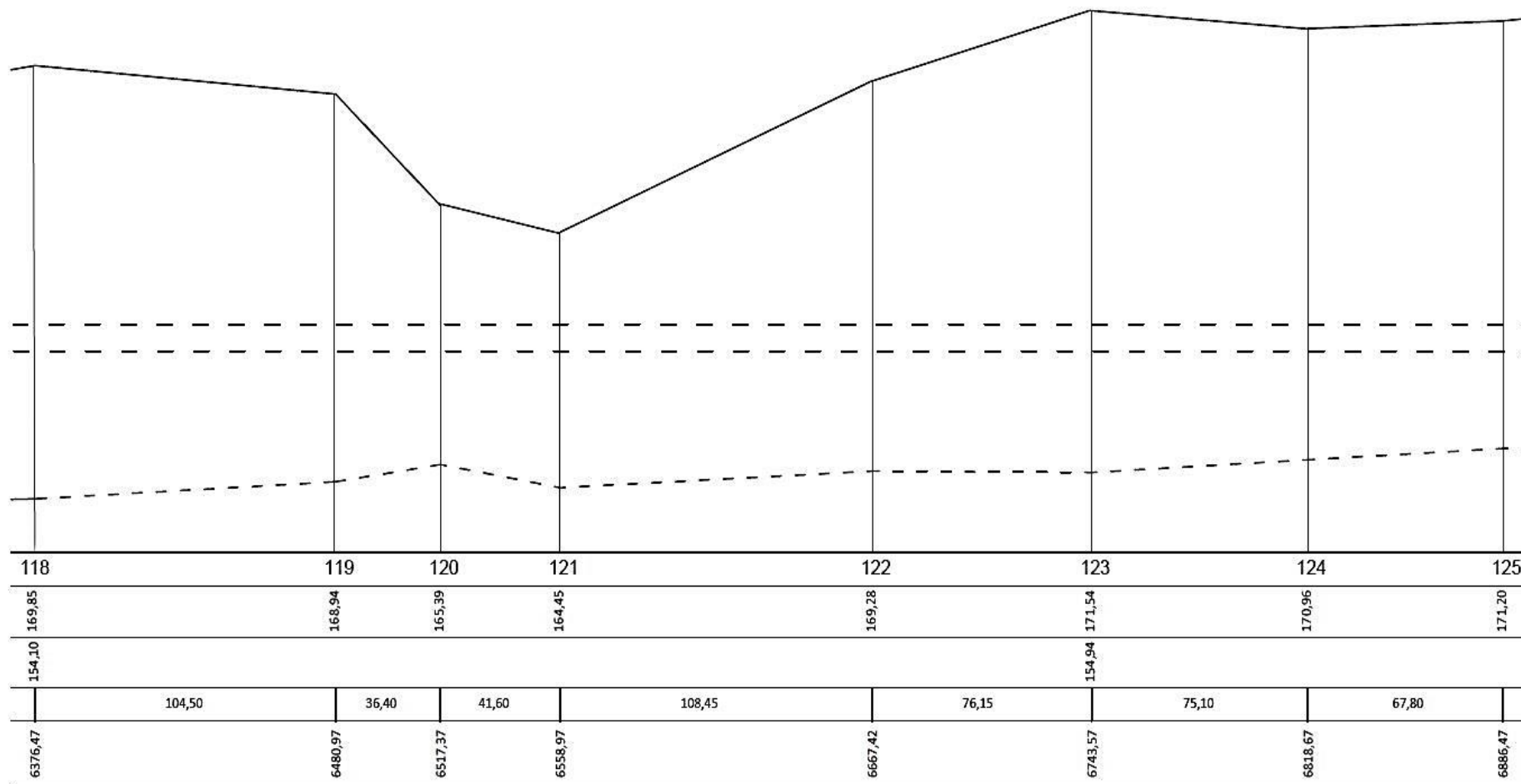
Εικόνα Β.67: Φύλλο 11° (93-99)



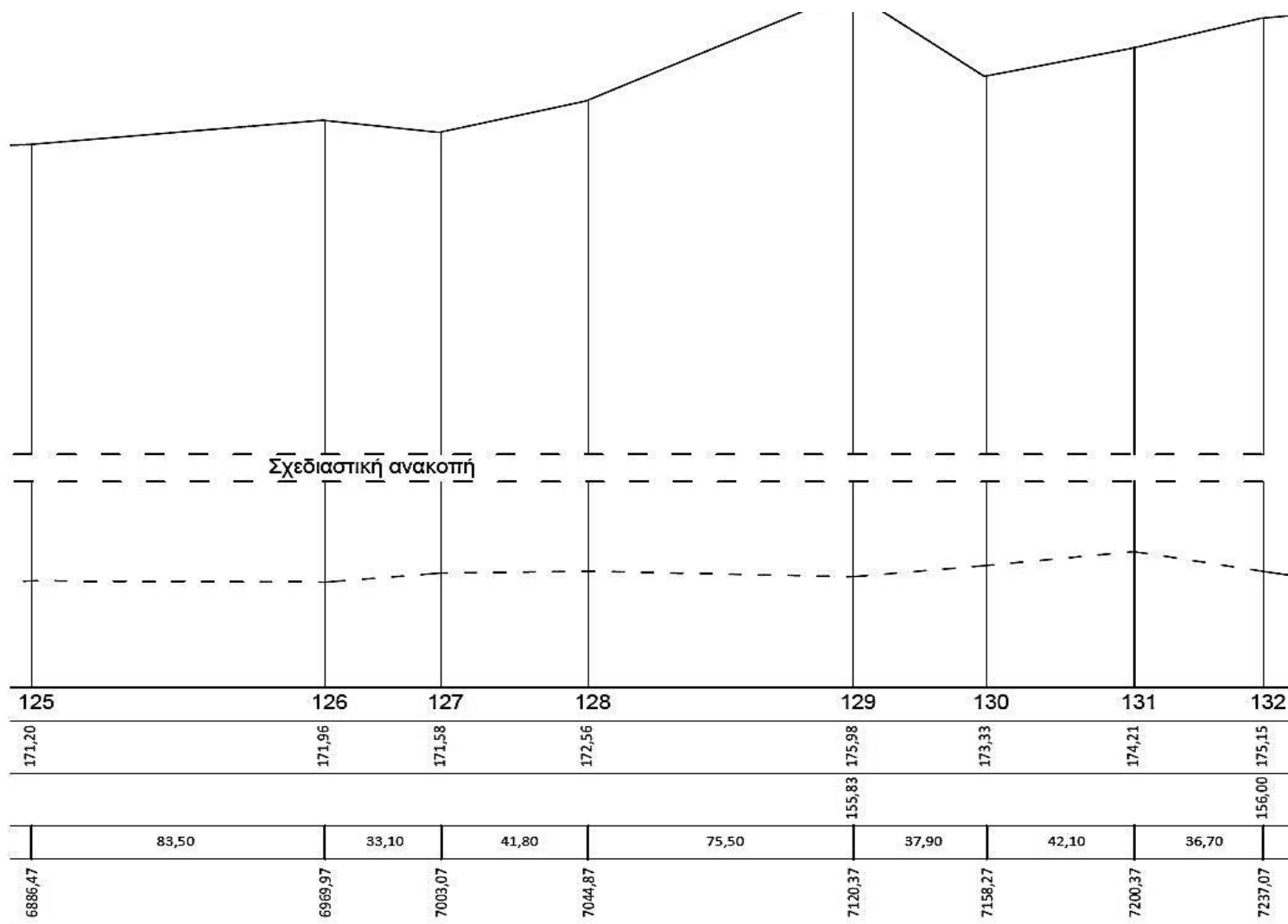
Εικόνα Β.68: Φύλλο 12° (99-109)



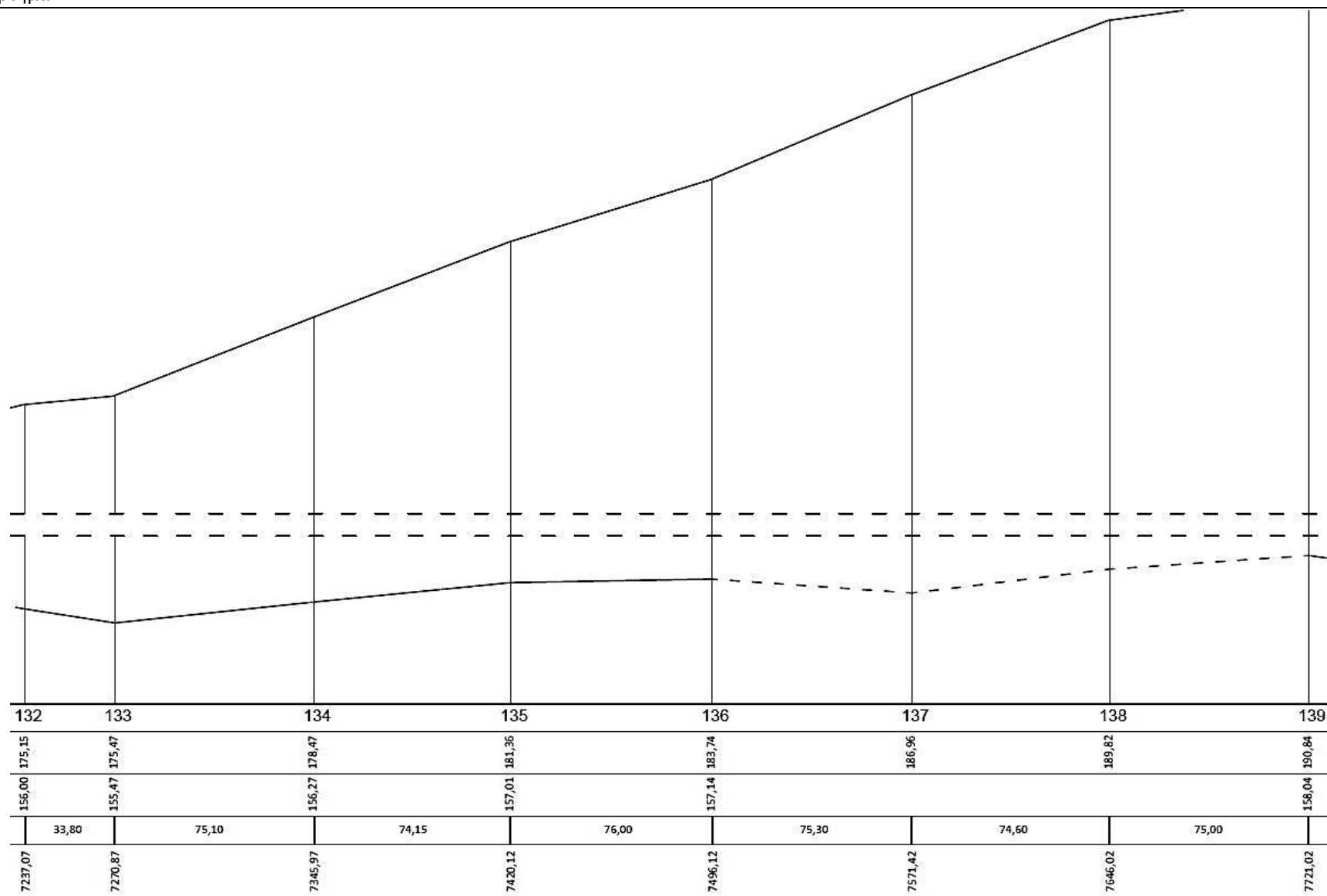
Εικόνα Β.69: Φύλλο 13° (109-118)



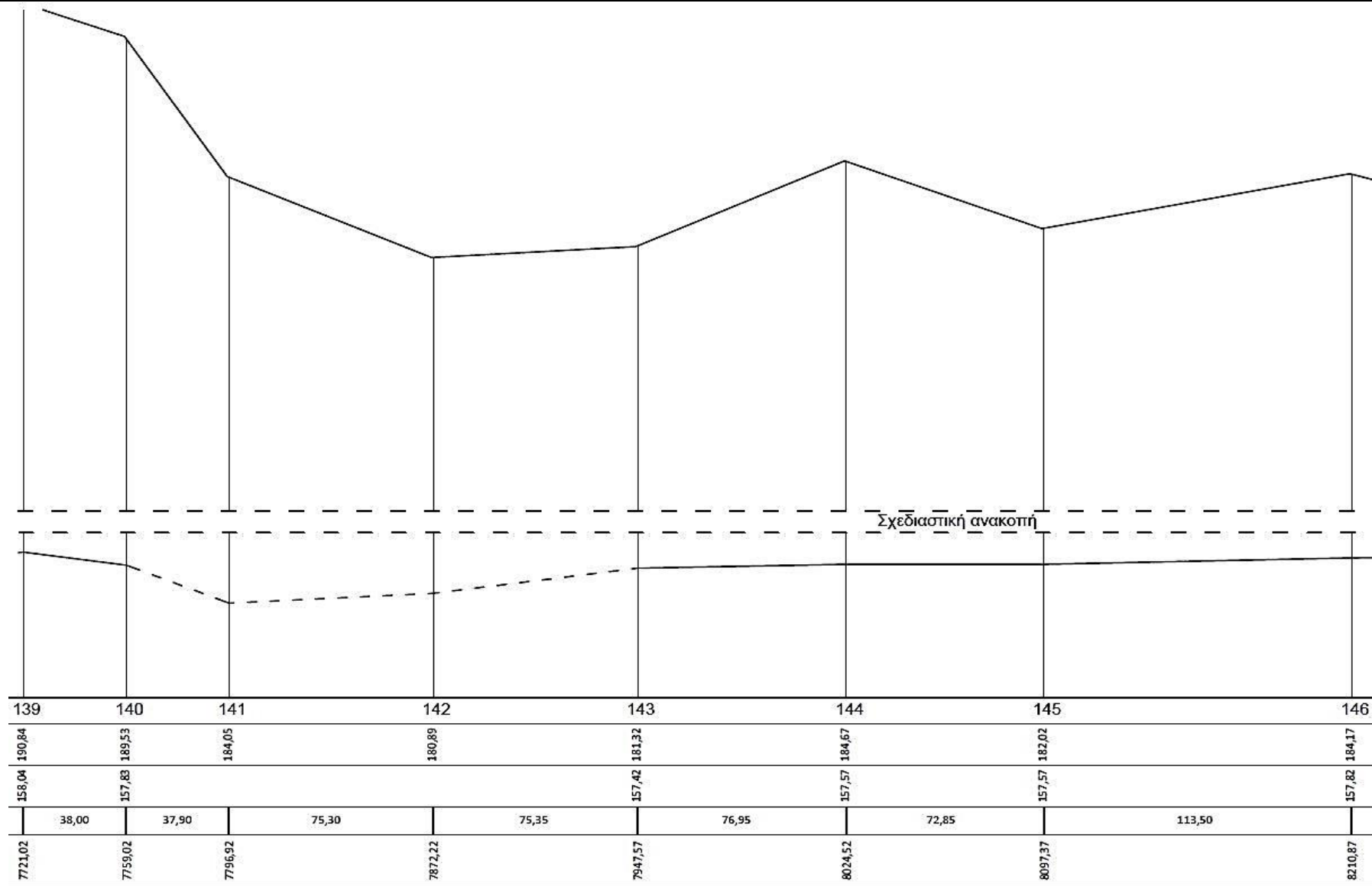
Εικόνα Β.70: Φύλλο 14° (118-125)



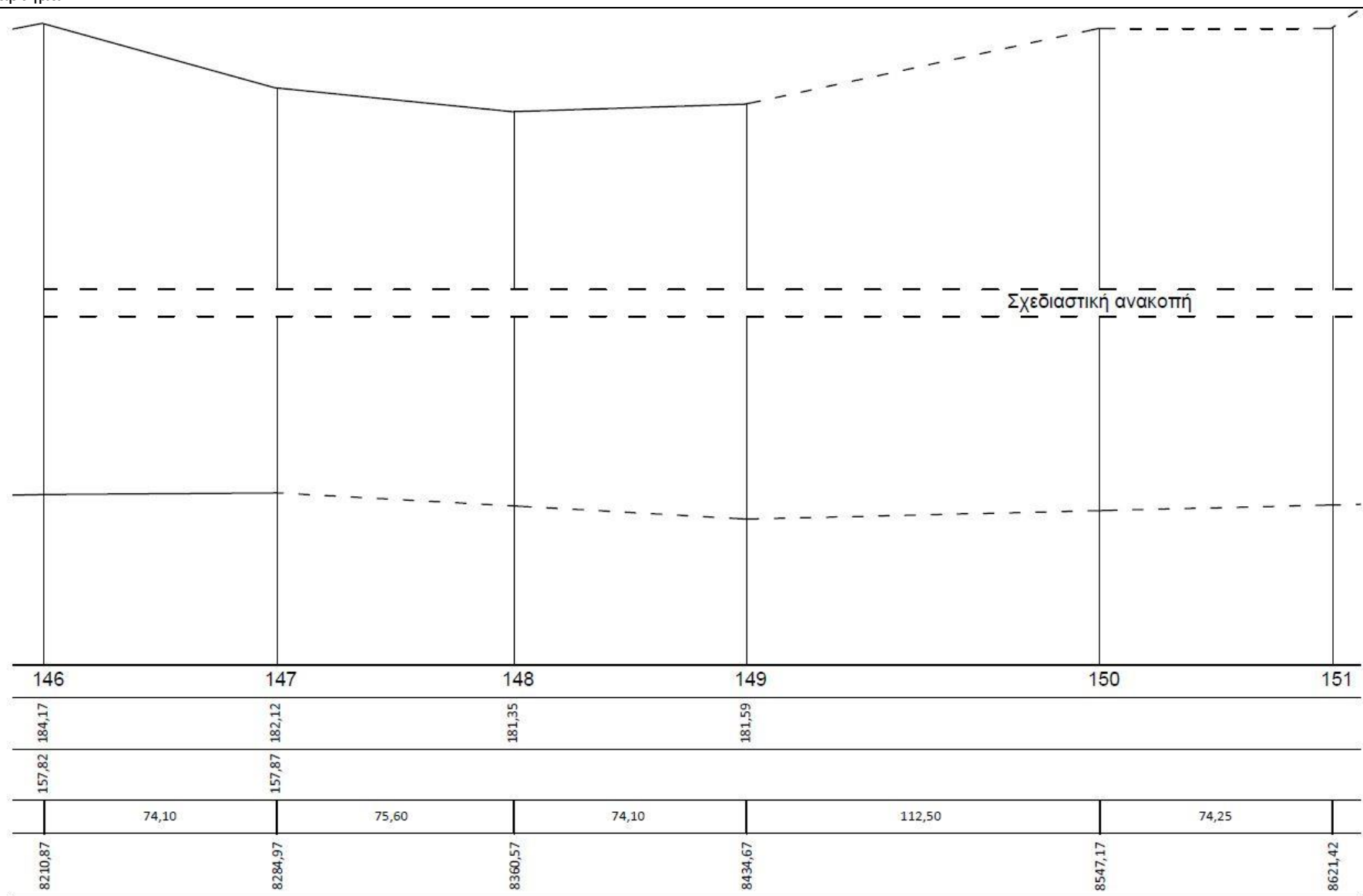
Εικόνα Β.71: Φύλλο 15° (125-132)



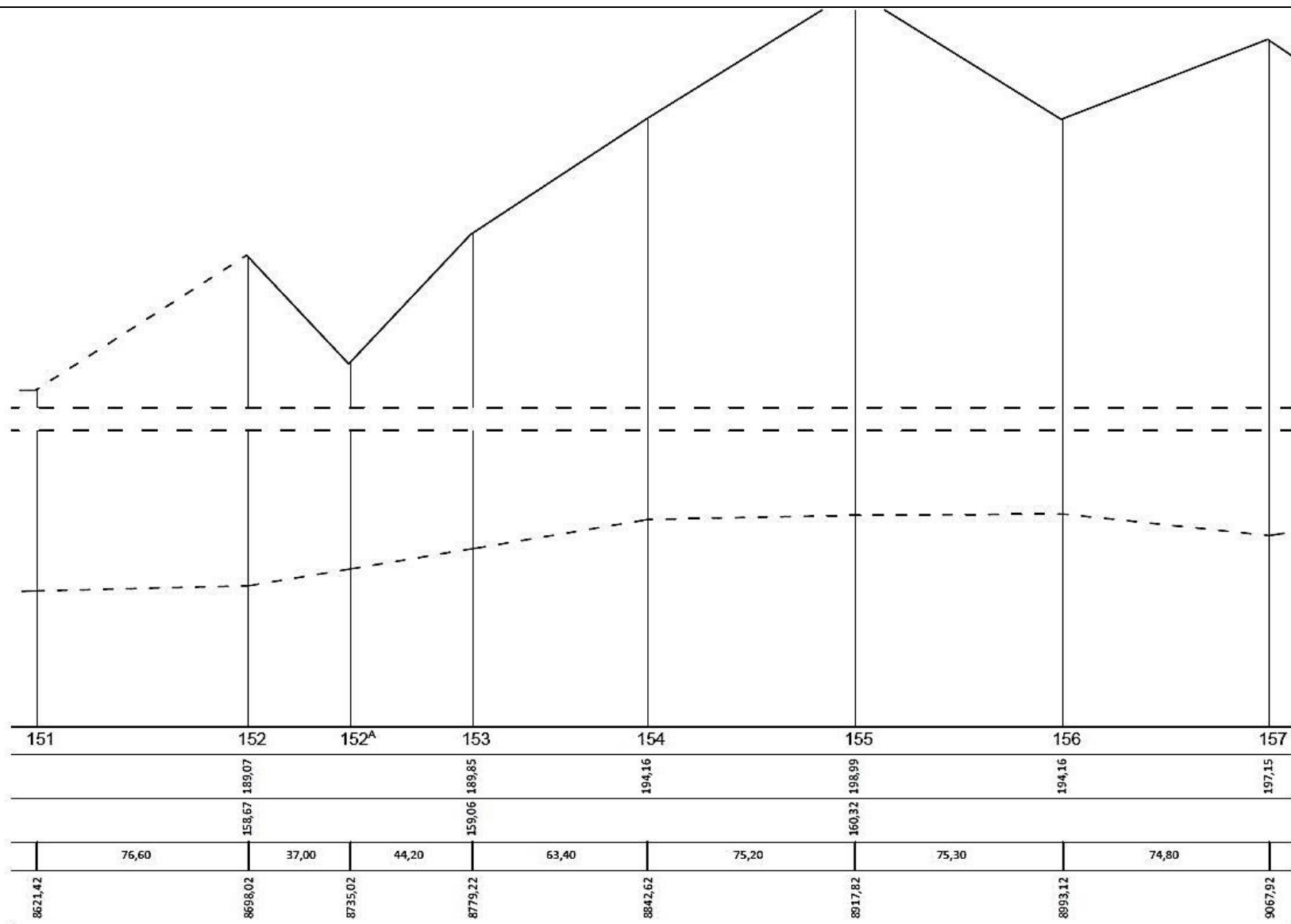
Εικόνα Β.72: Φύλλο 16° (132-139)



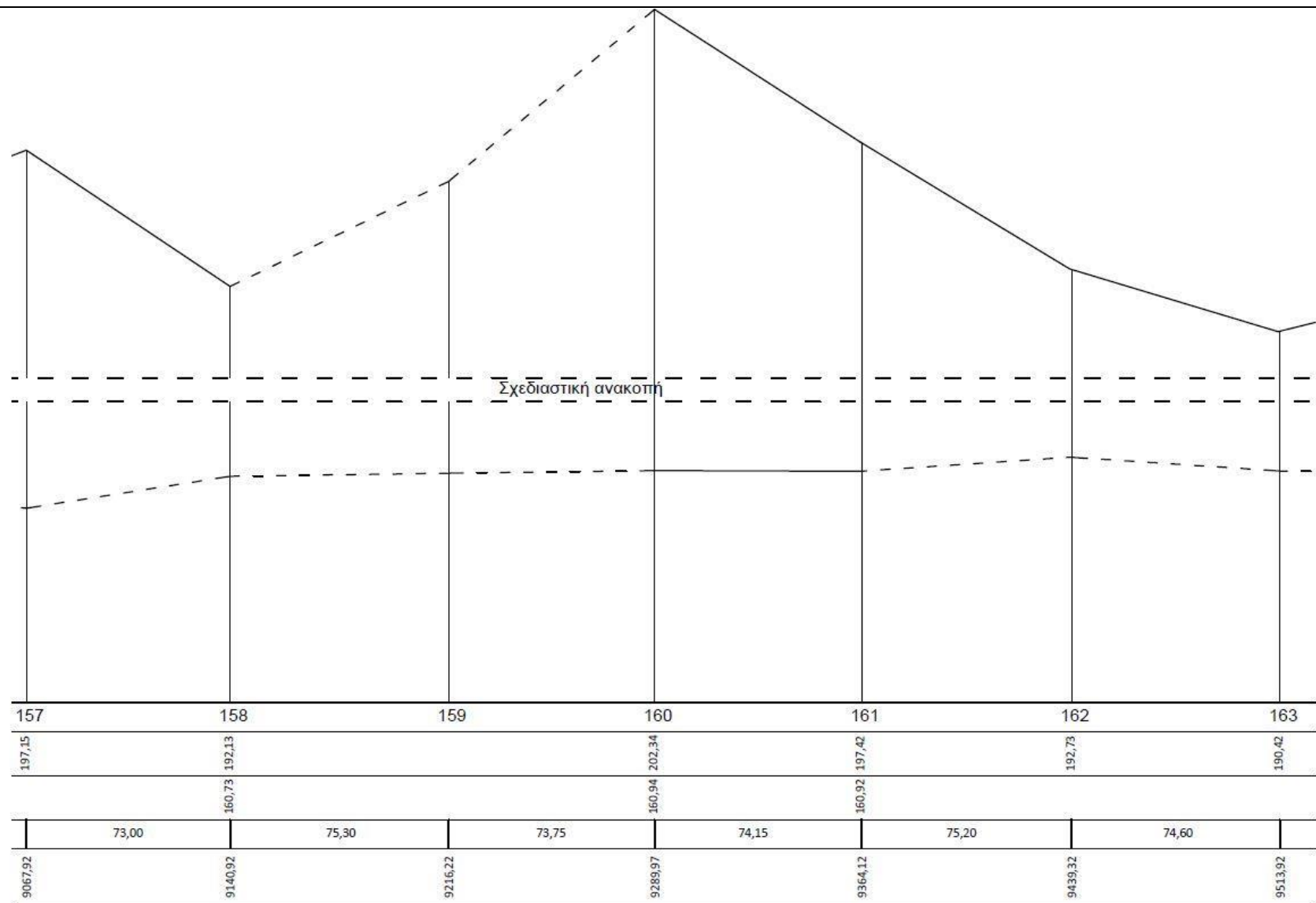
Εικόνα Β.73: Φύλλο 17° (139-146)



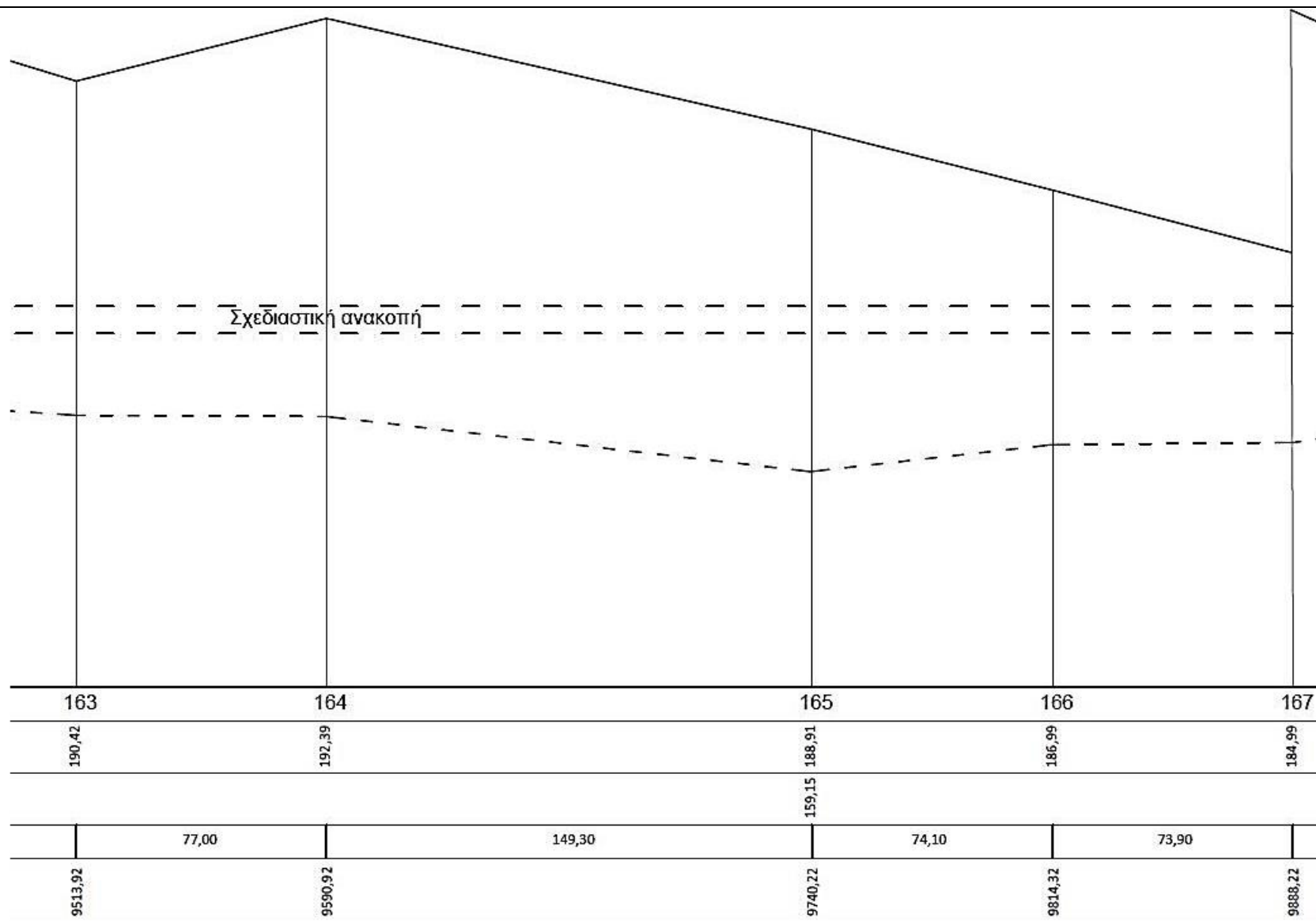
Εικόνα Β.74: Φύλλο 18° (146-151)



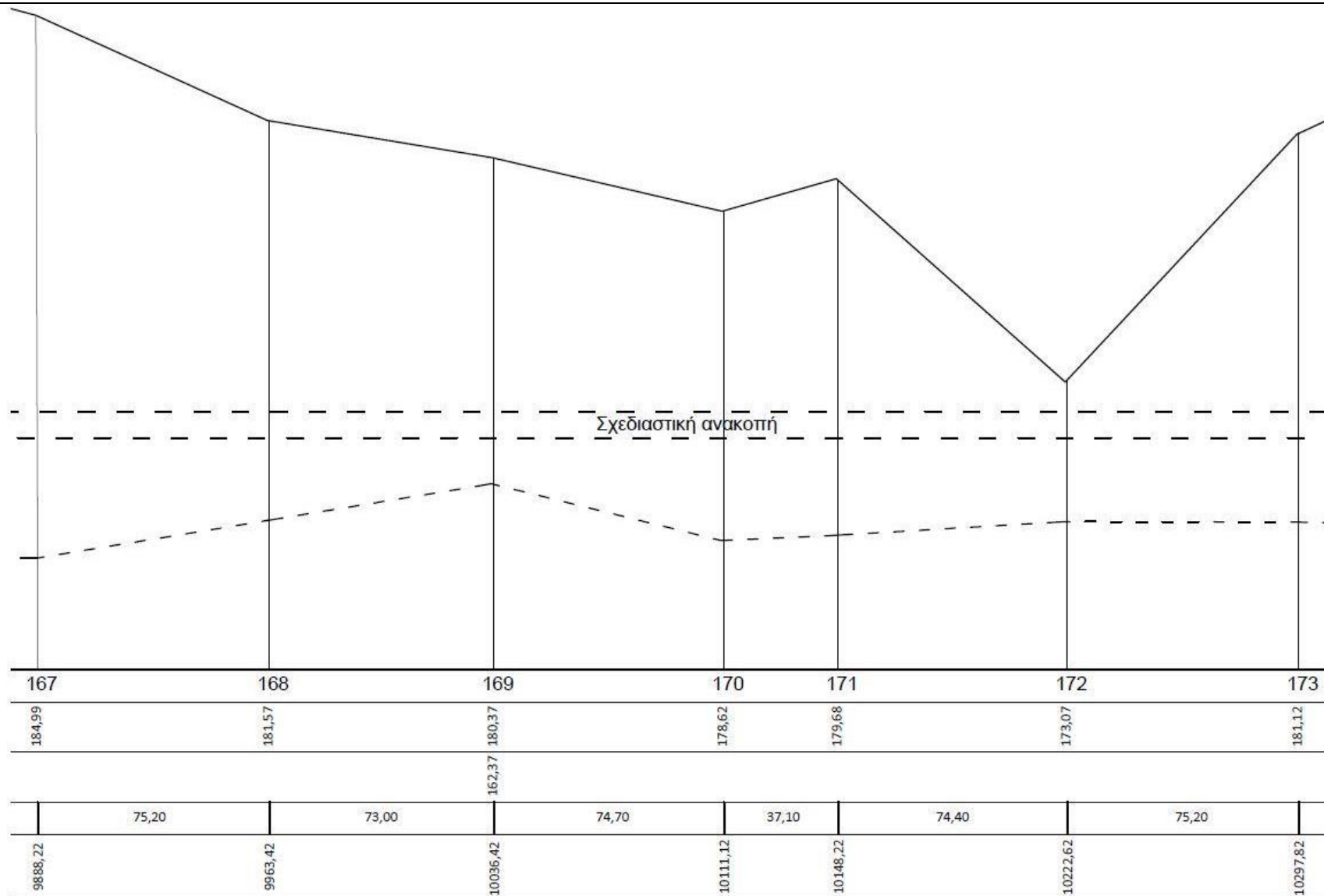
Εικόνα Β.75: Φύλλο 19° (151-157)



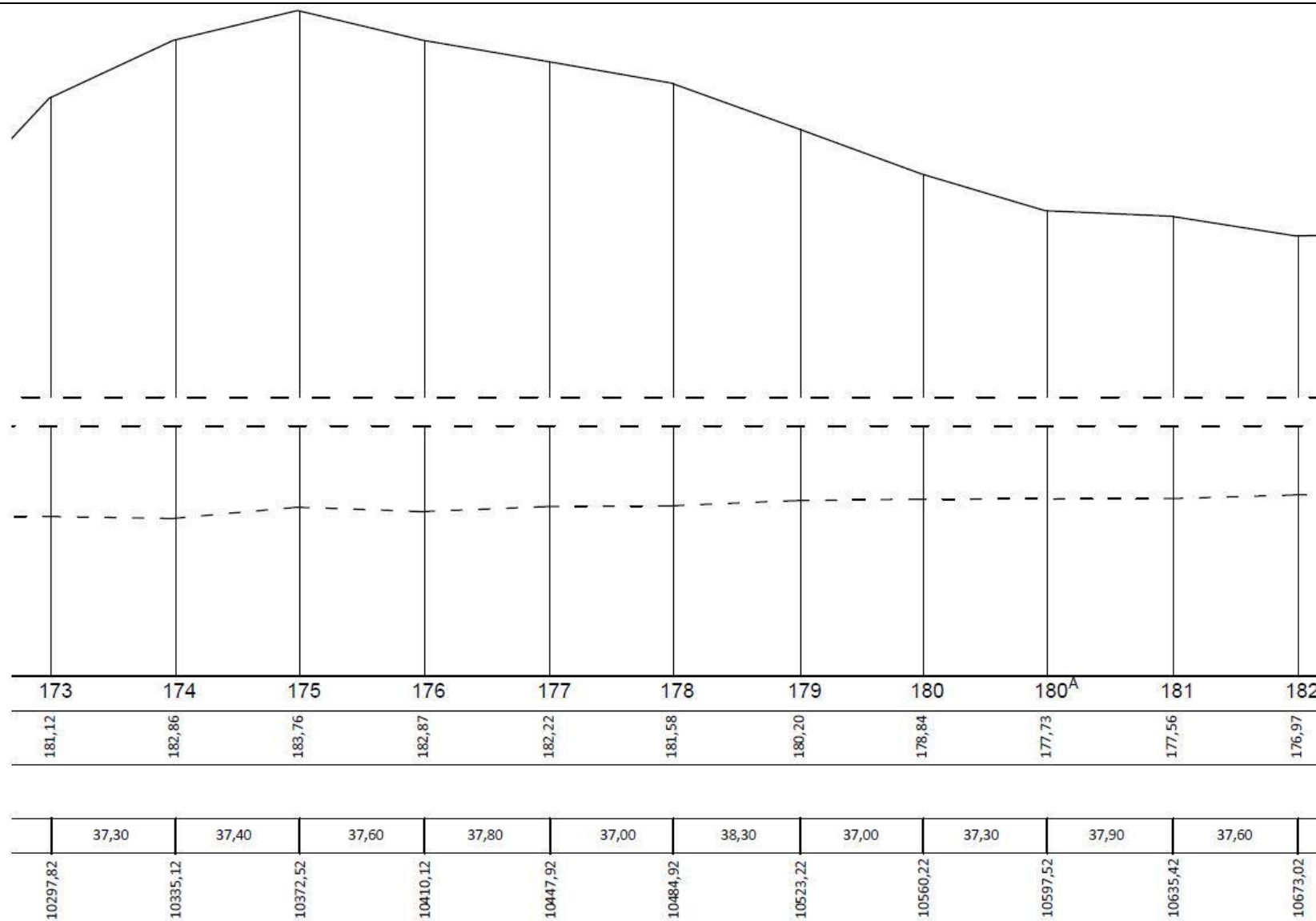
Εικόνα Β.76: Φύλλο 20° (157-163)



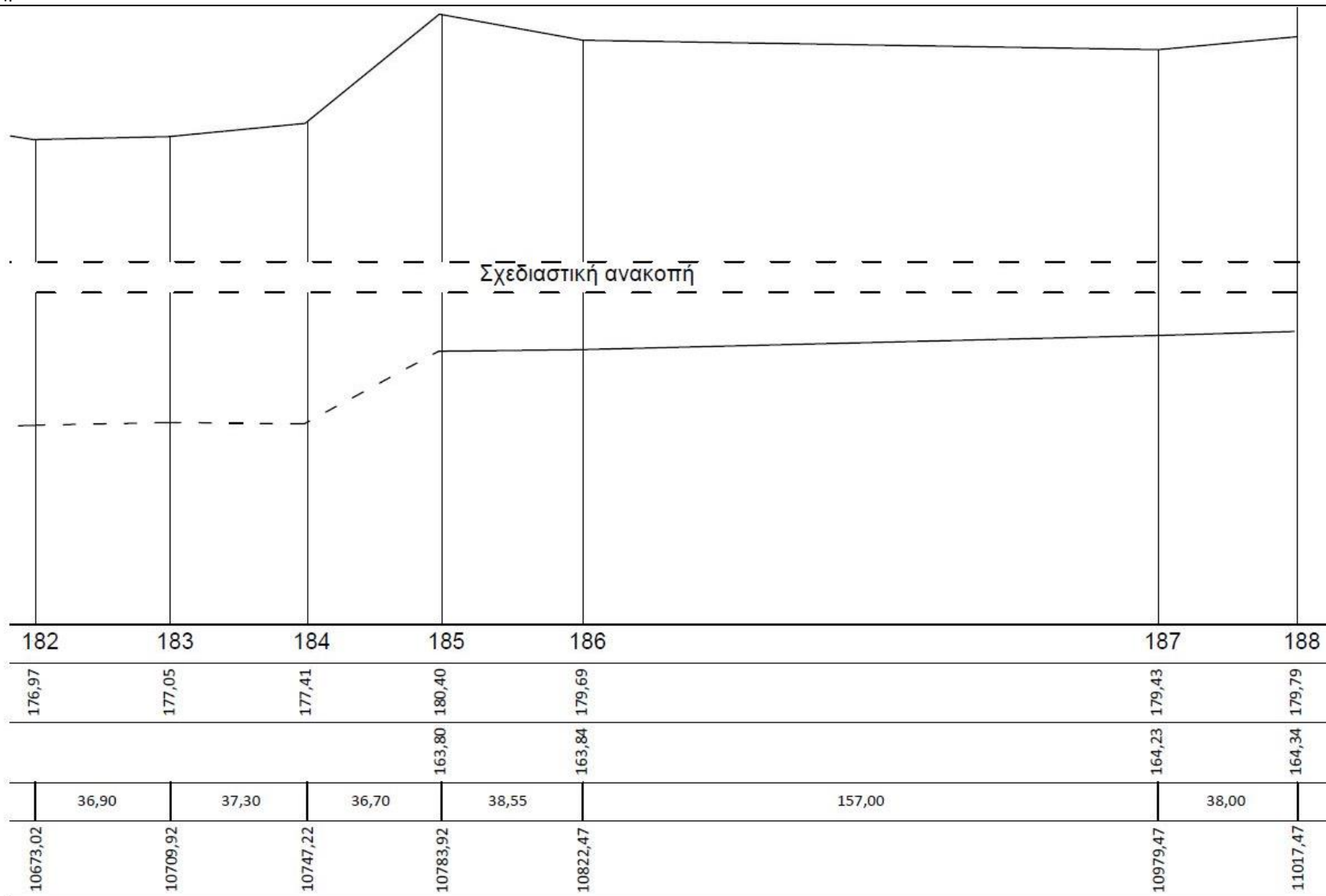
Εικόνα Β.77: Φύλλο 21° (163-167)



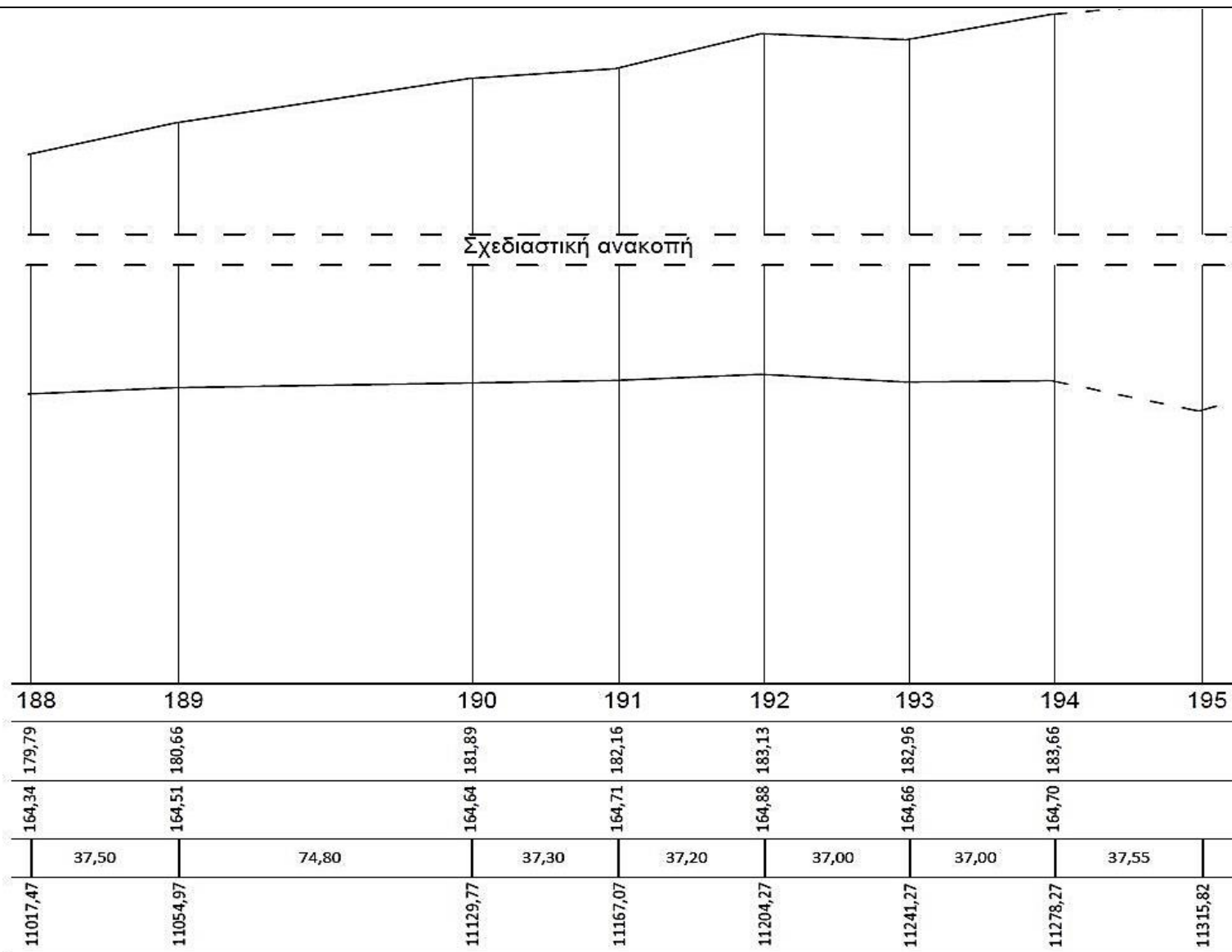
Εικόνα Β.78: Φύλλο 22° (167-173)



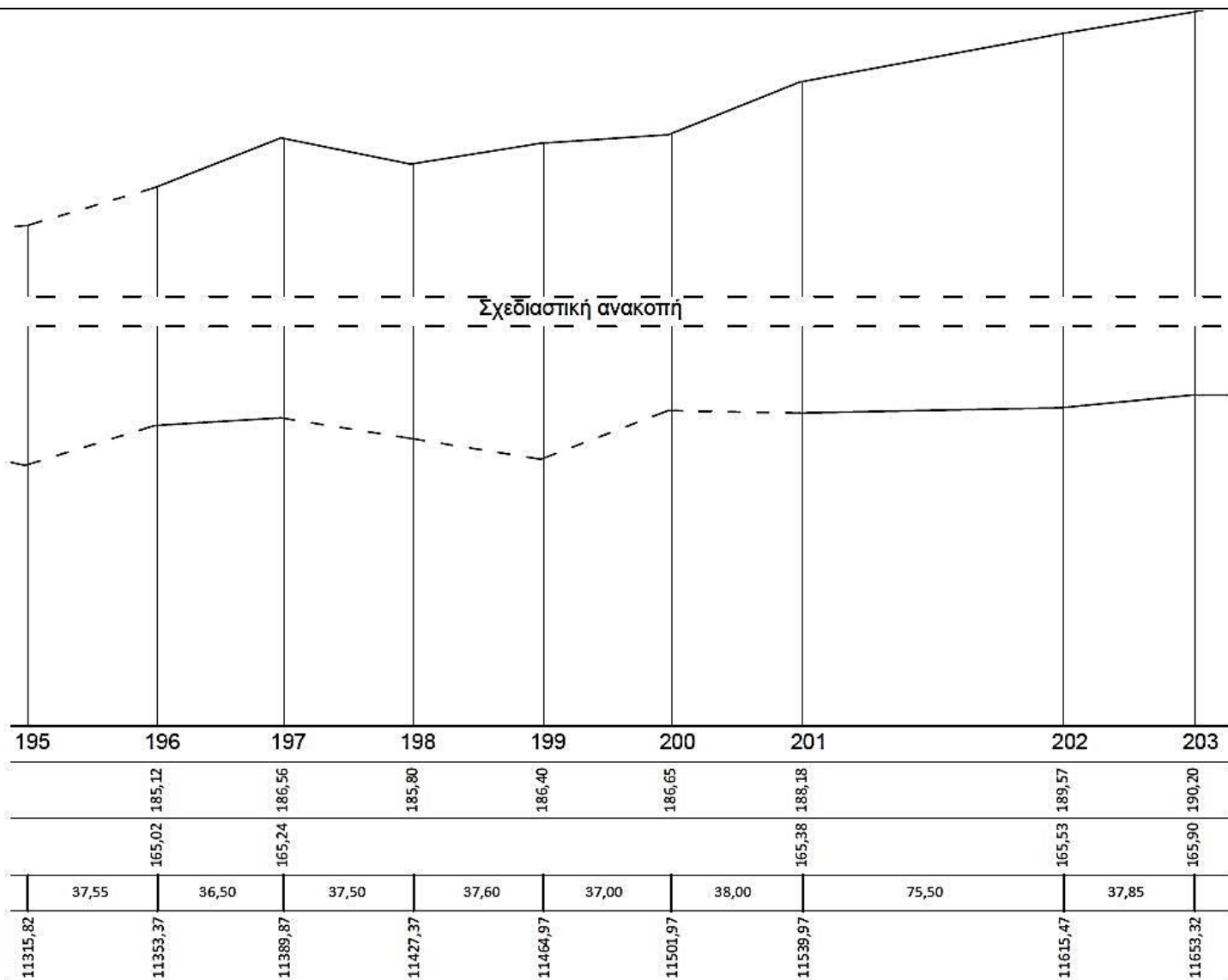
Εικόνα Β.79: Φύλλο 23° (173-182)



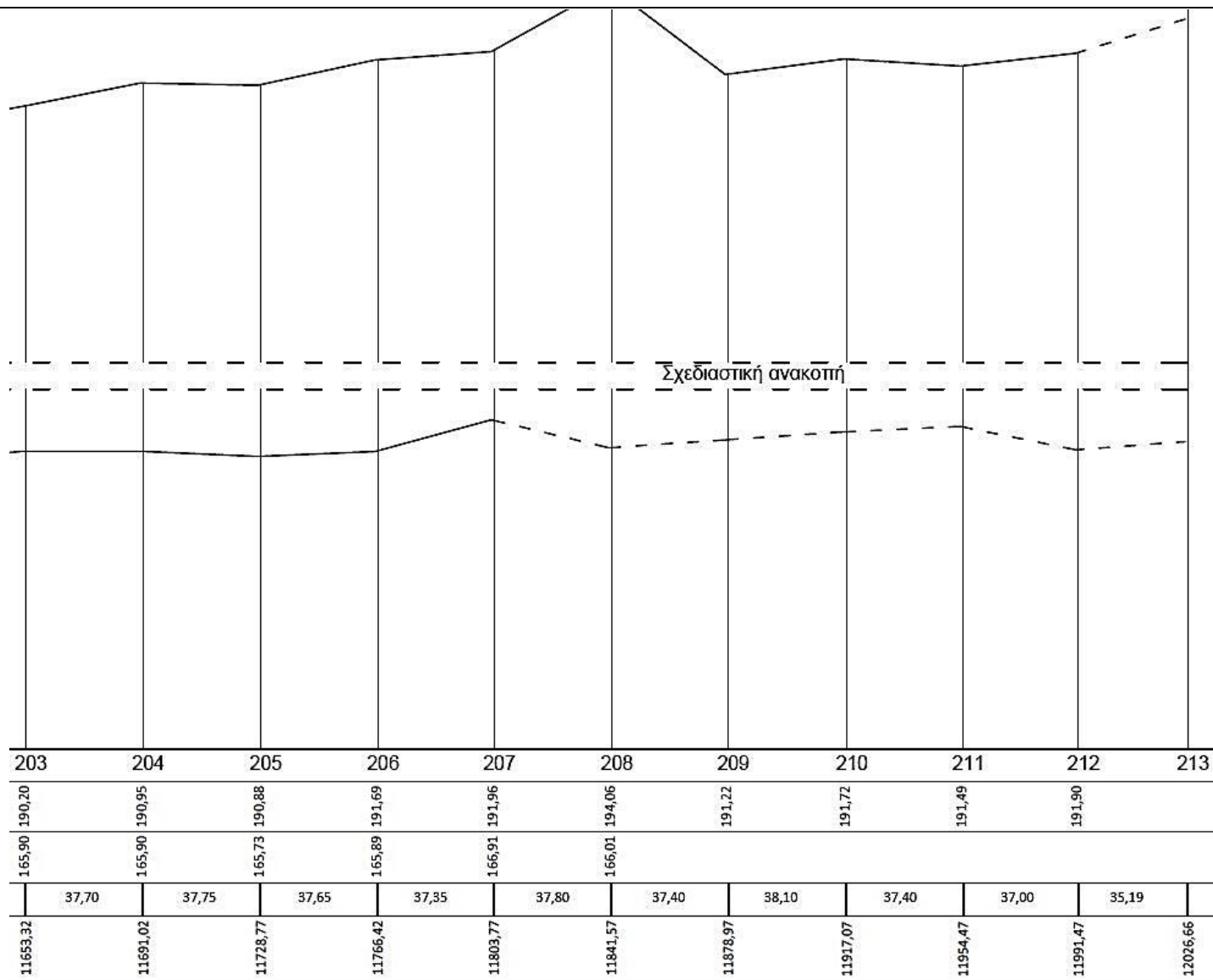
Εικόνα Β.80: Φύλλο 24^ο (182-188)



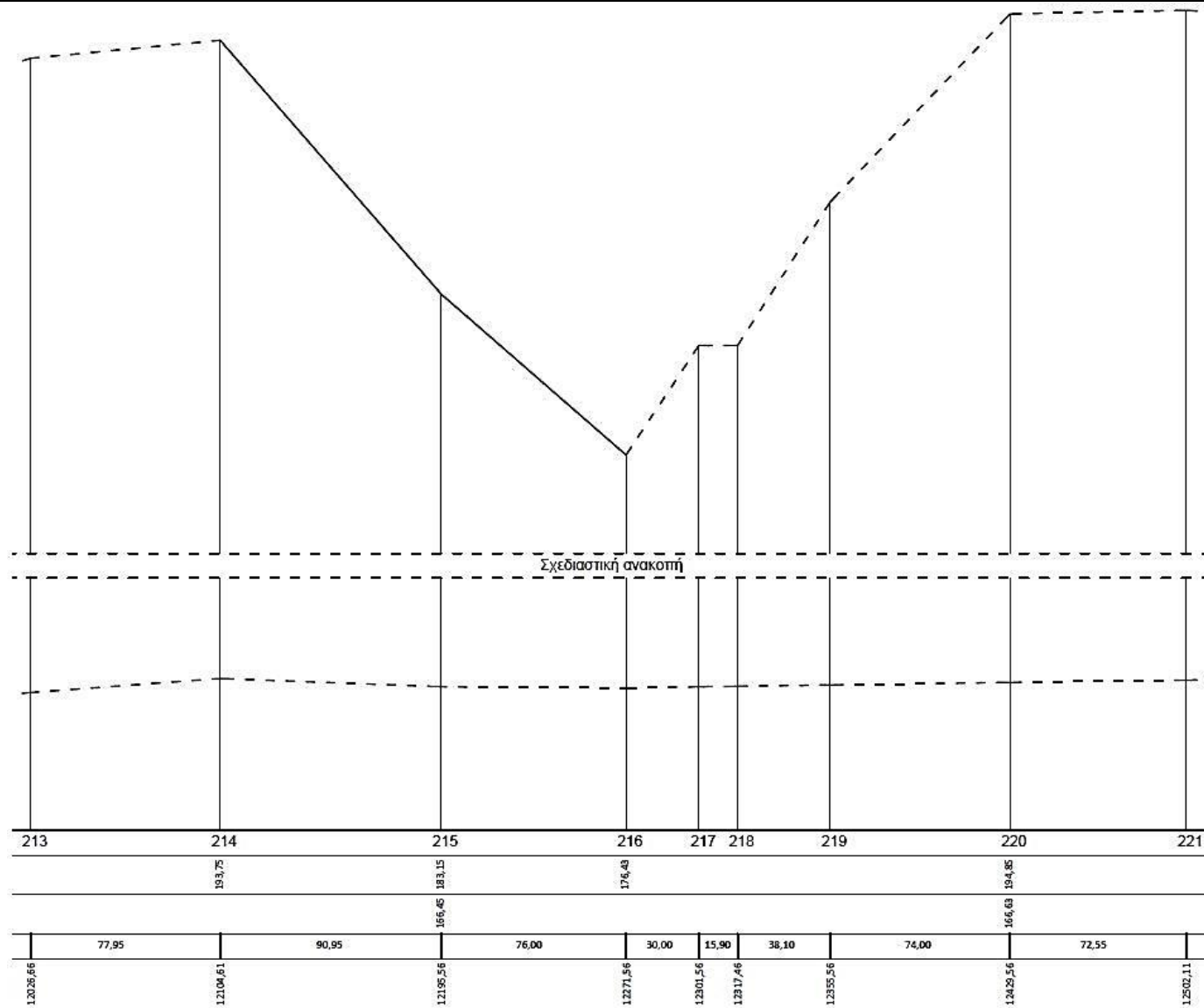
Εικόνα Β.81: Φύλλο 25° (188-195)



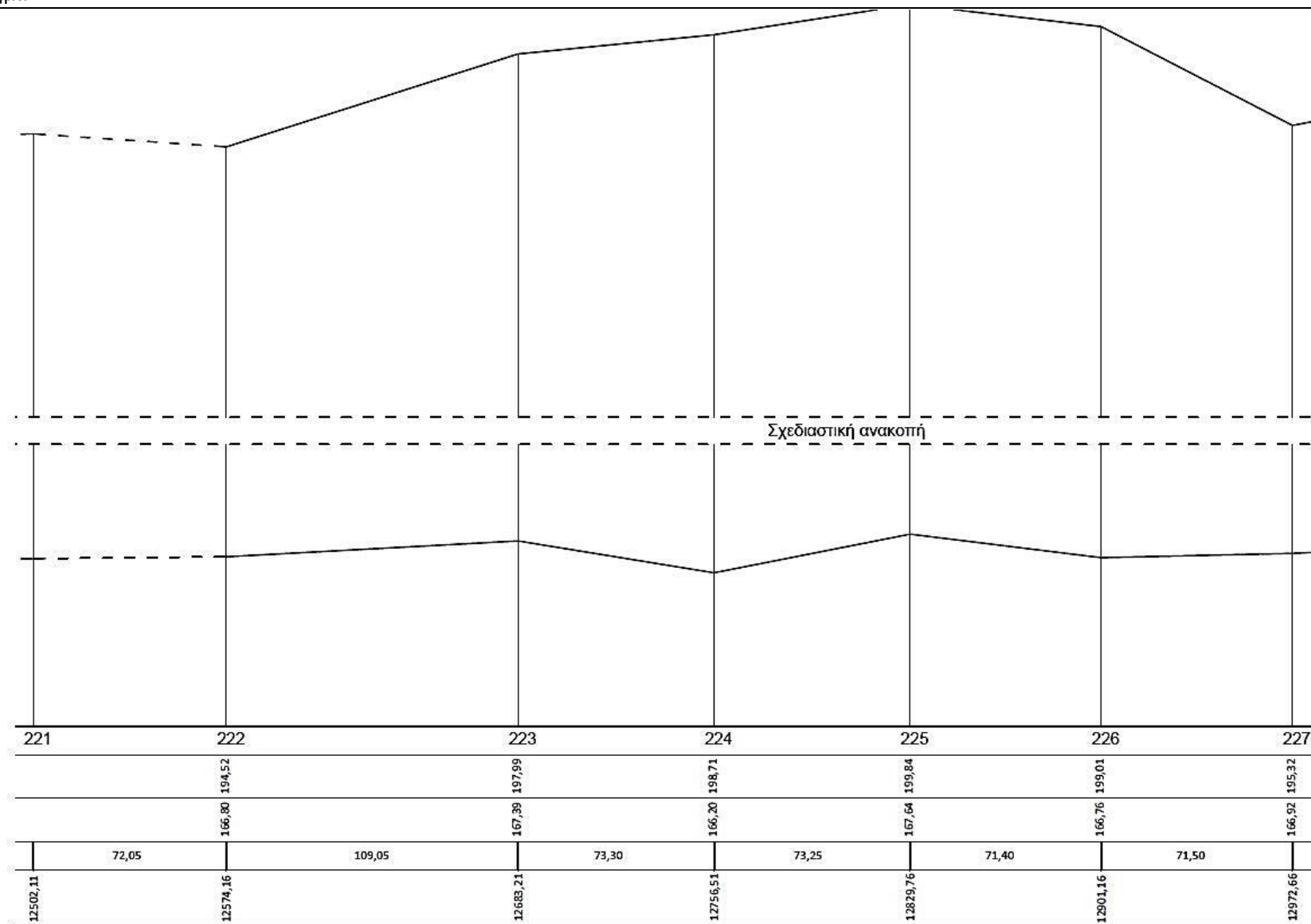
Εικόνα Β.82: Φύλλο 26° (195-203)



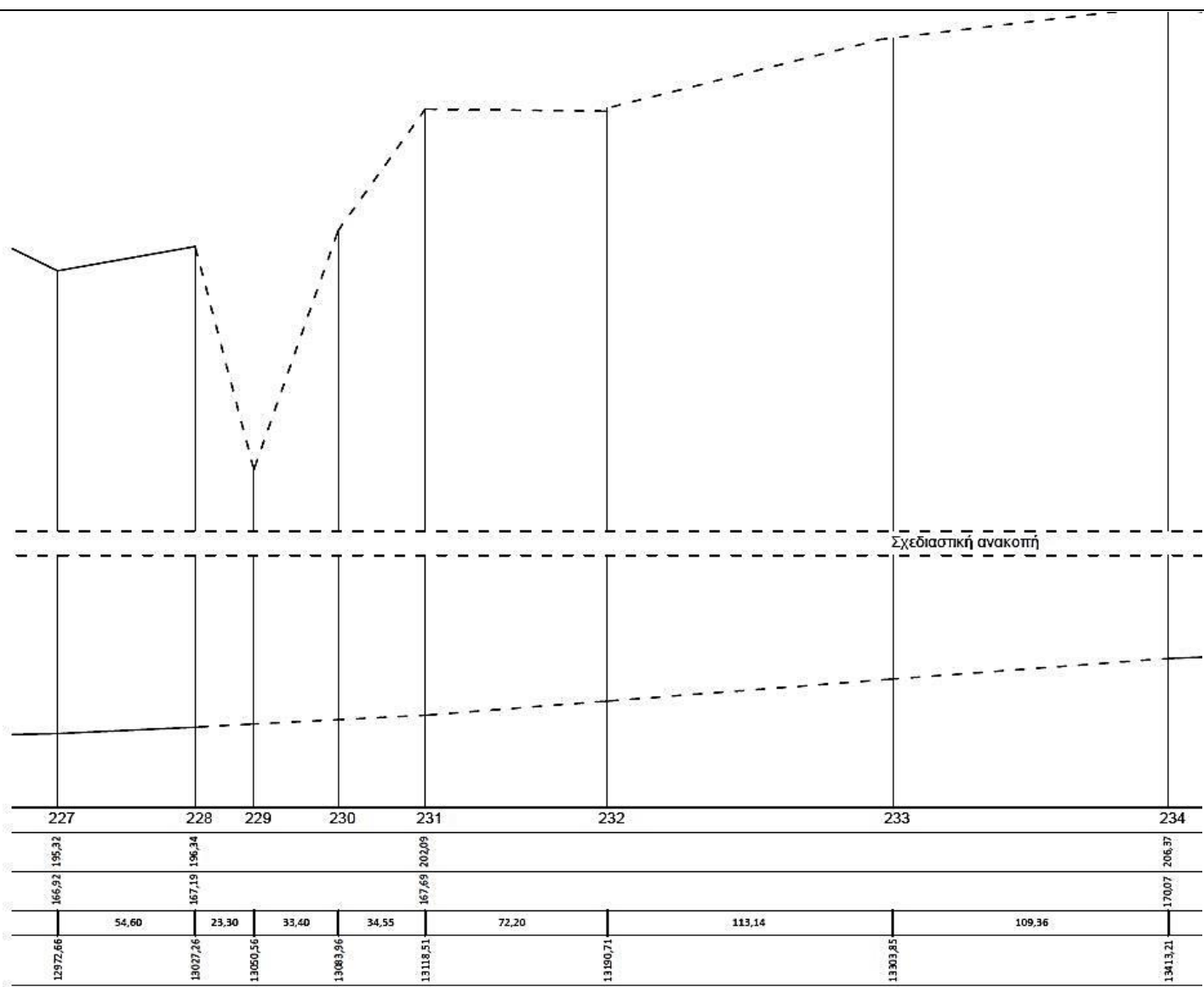
Εικόνα Β.83: Φύλλο 27° (203-213)



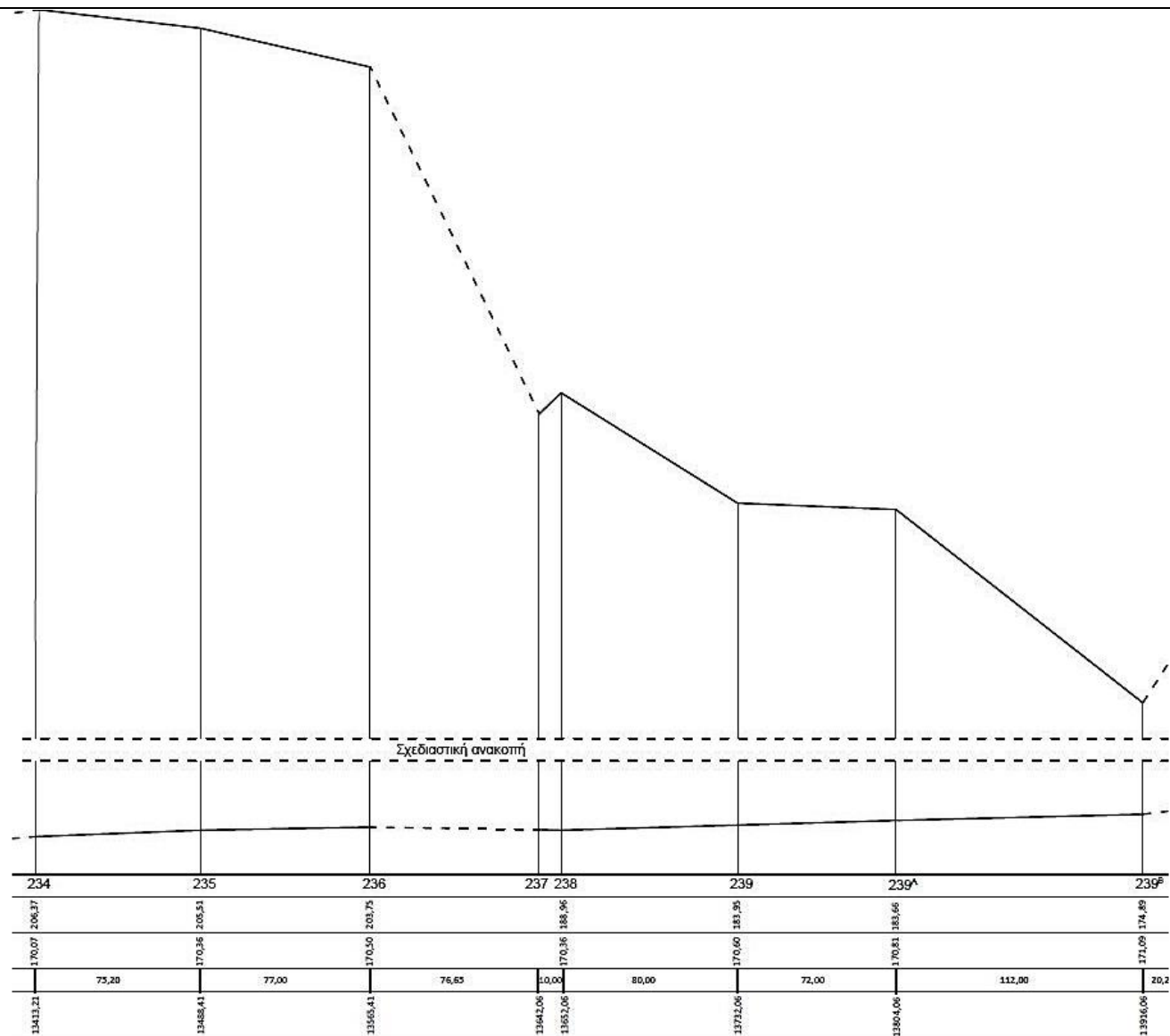
Εικόνα Β.84: Φύλλο 28° (213-221)



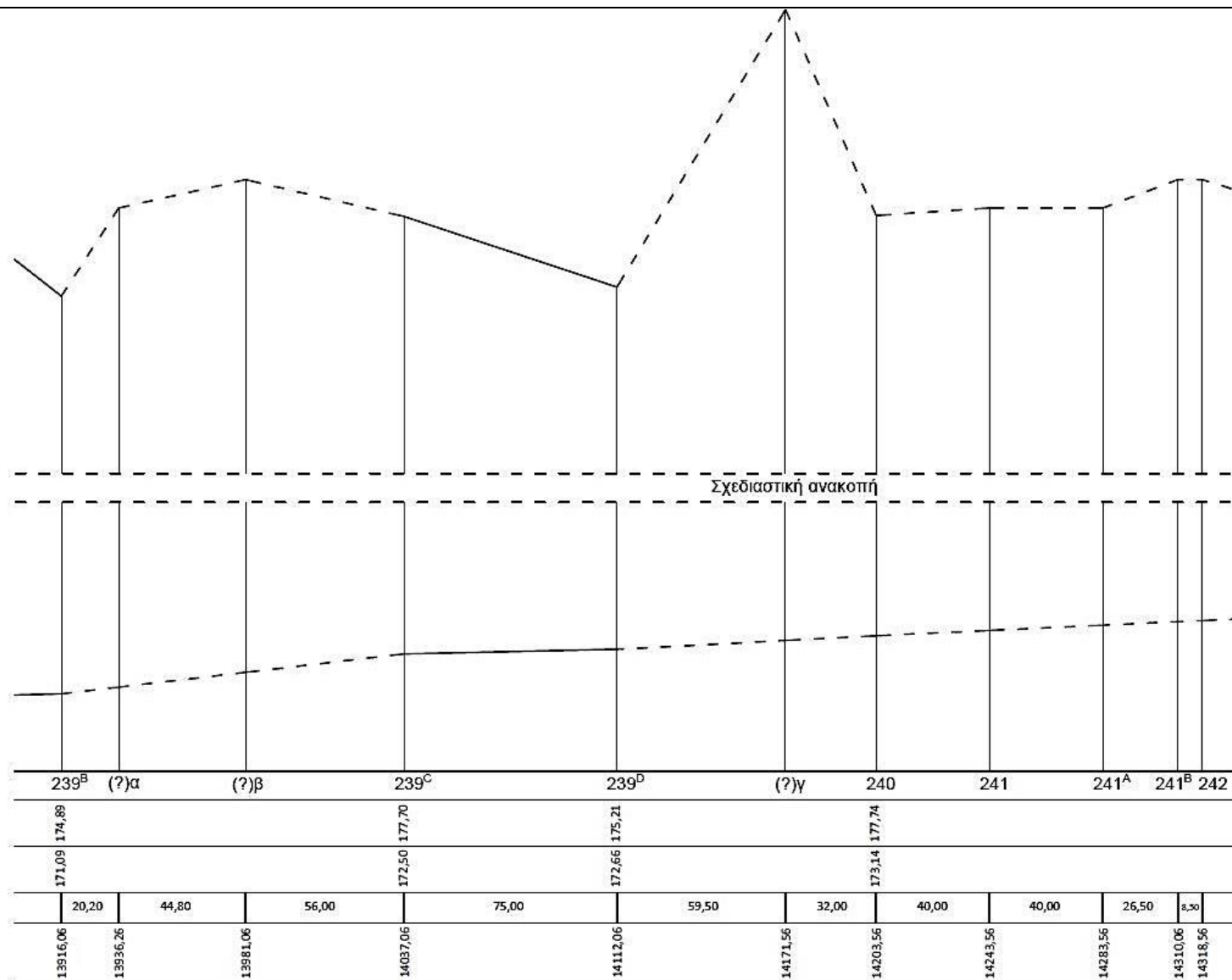
Εικόνα Β.85: Φύλλο 29° (221-227)



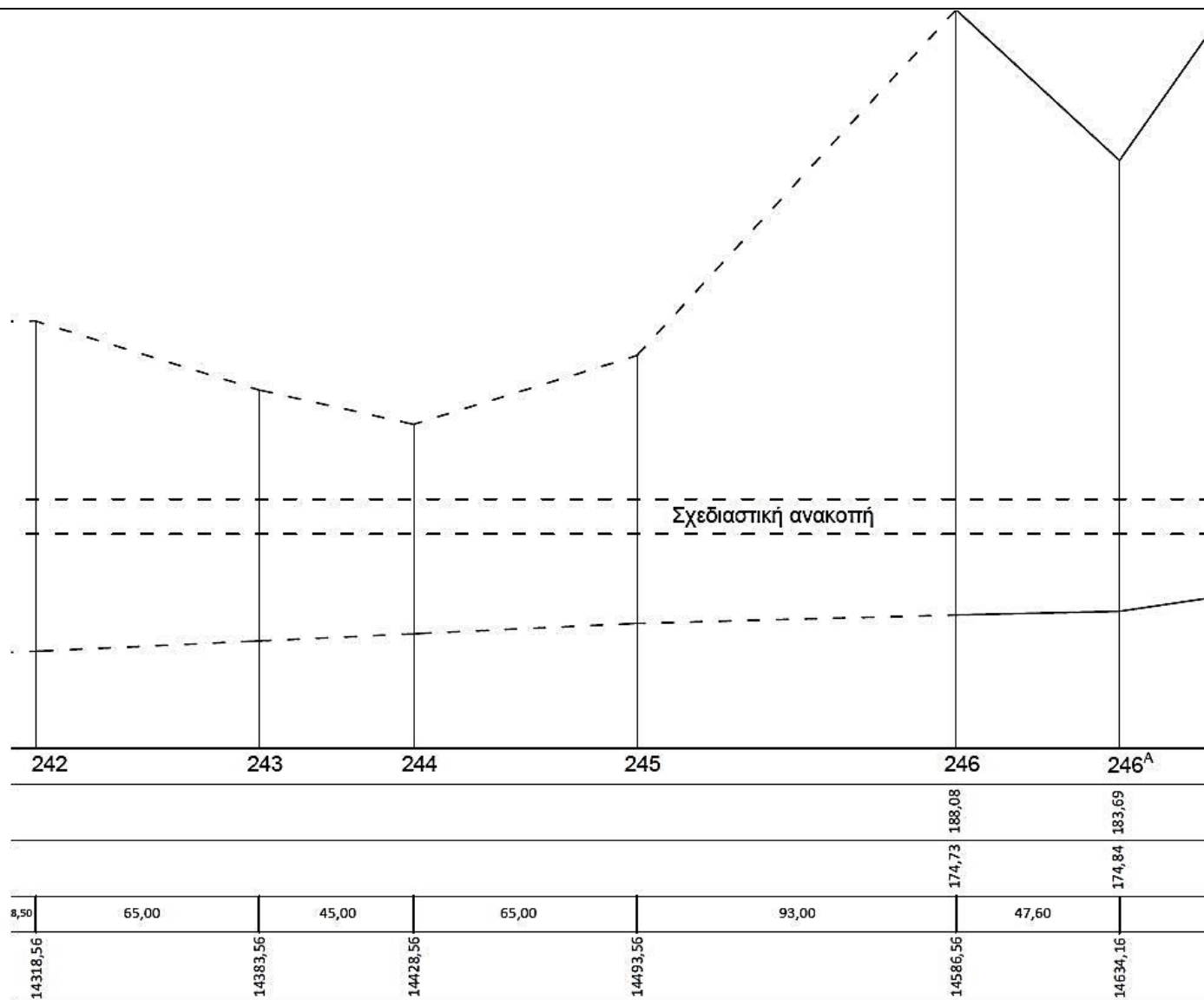
Εικόνα Β.86: Φύλλο 30° (227-234)



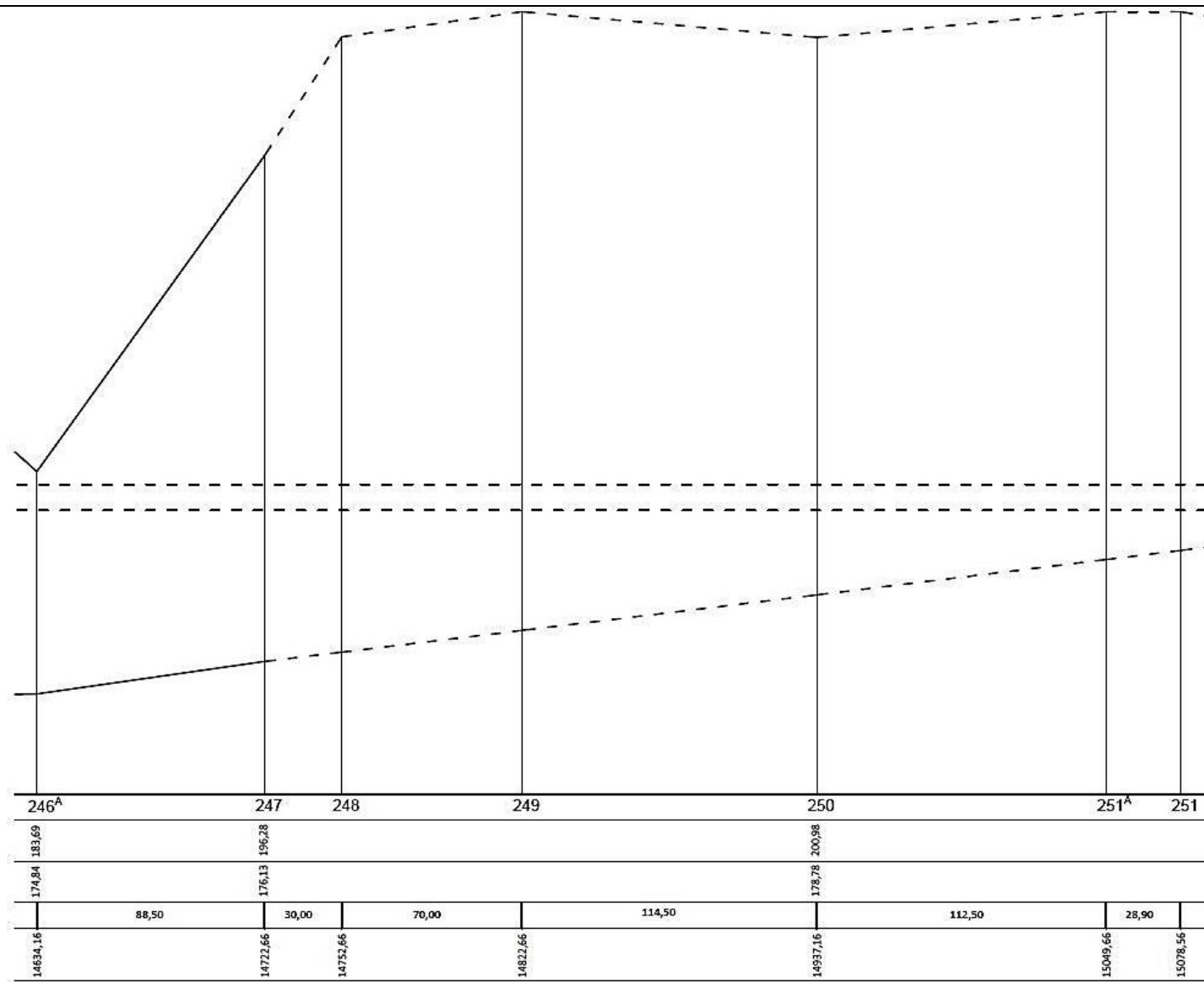
Εικόνα Β.87: Φύλλο 31° (234-239^B)



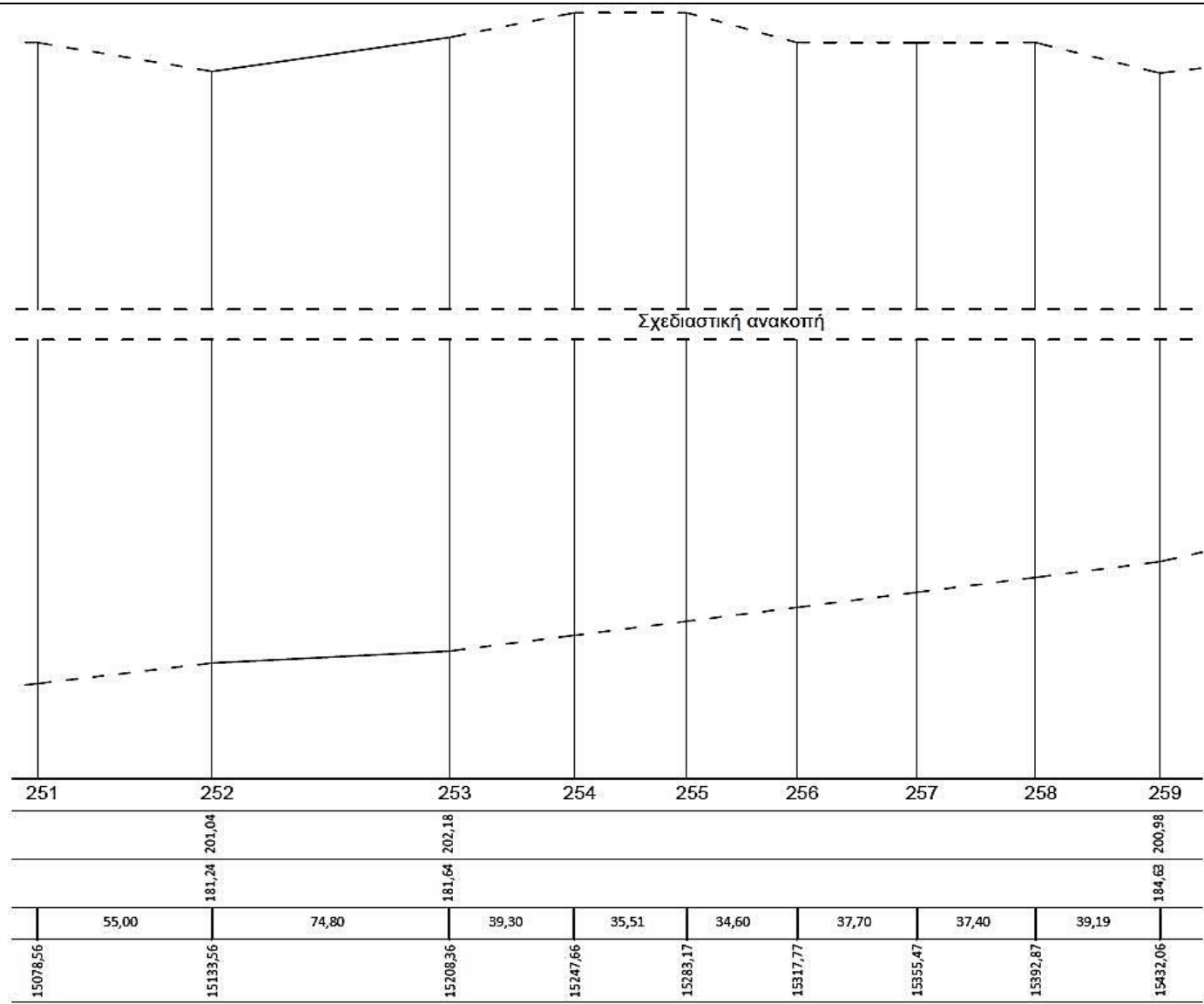
Εικόνα Β.88: Φύλλο 32^ο (239^B-242)



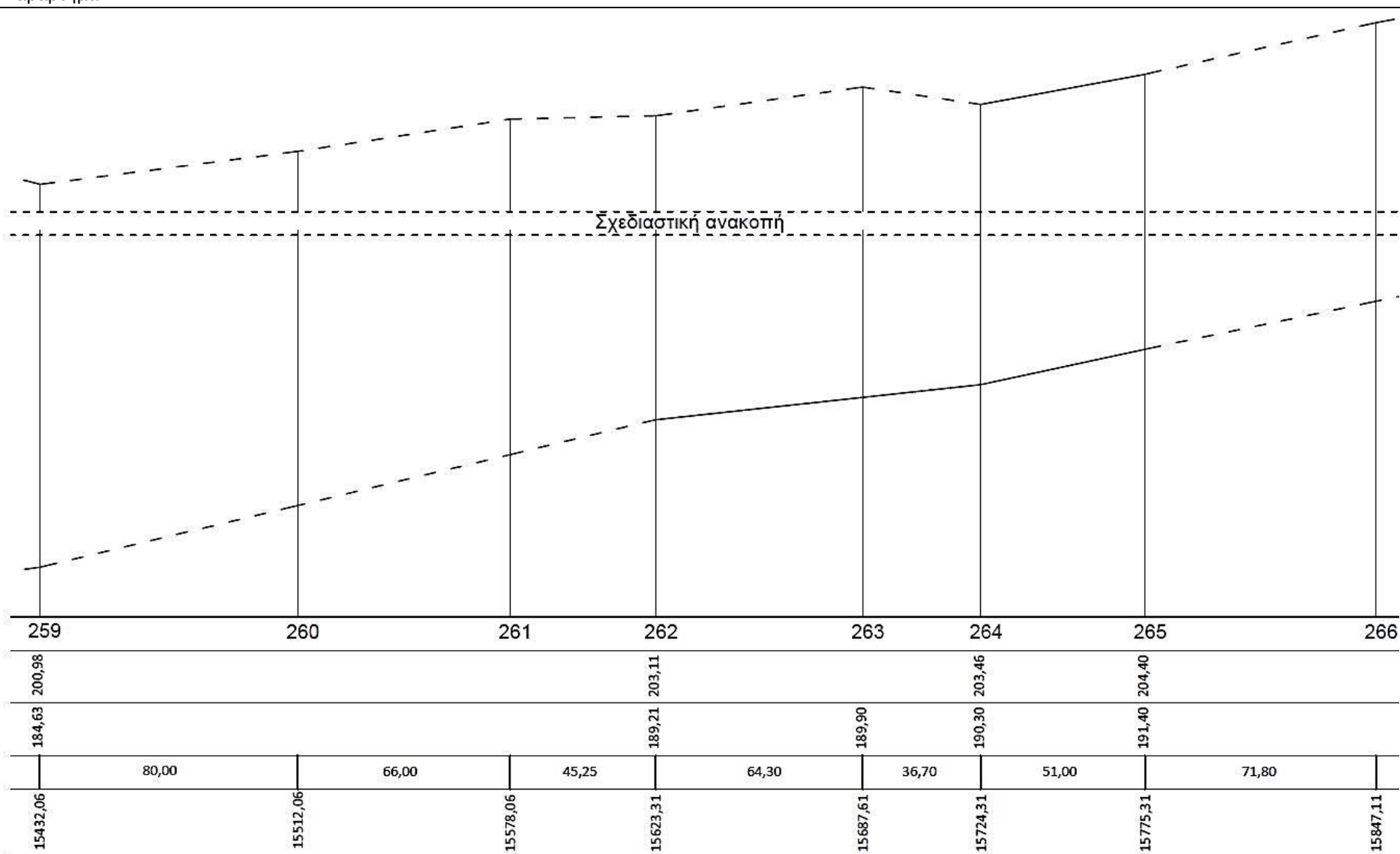
Εικόνα Β.89: Φύλλο 33° (242-246^A)



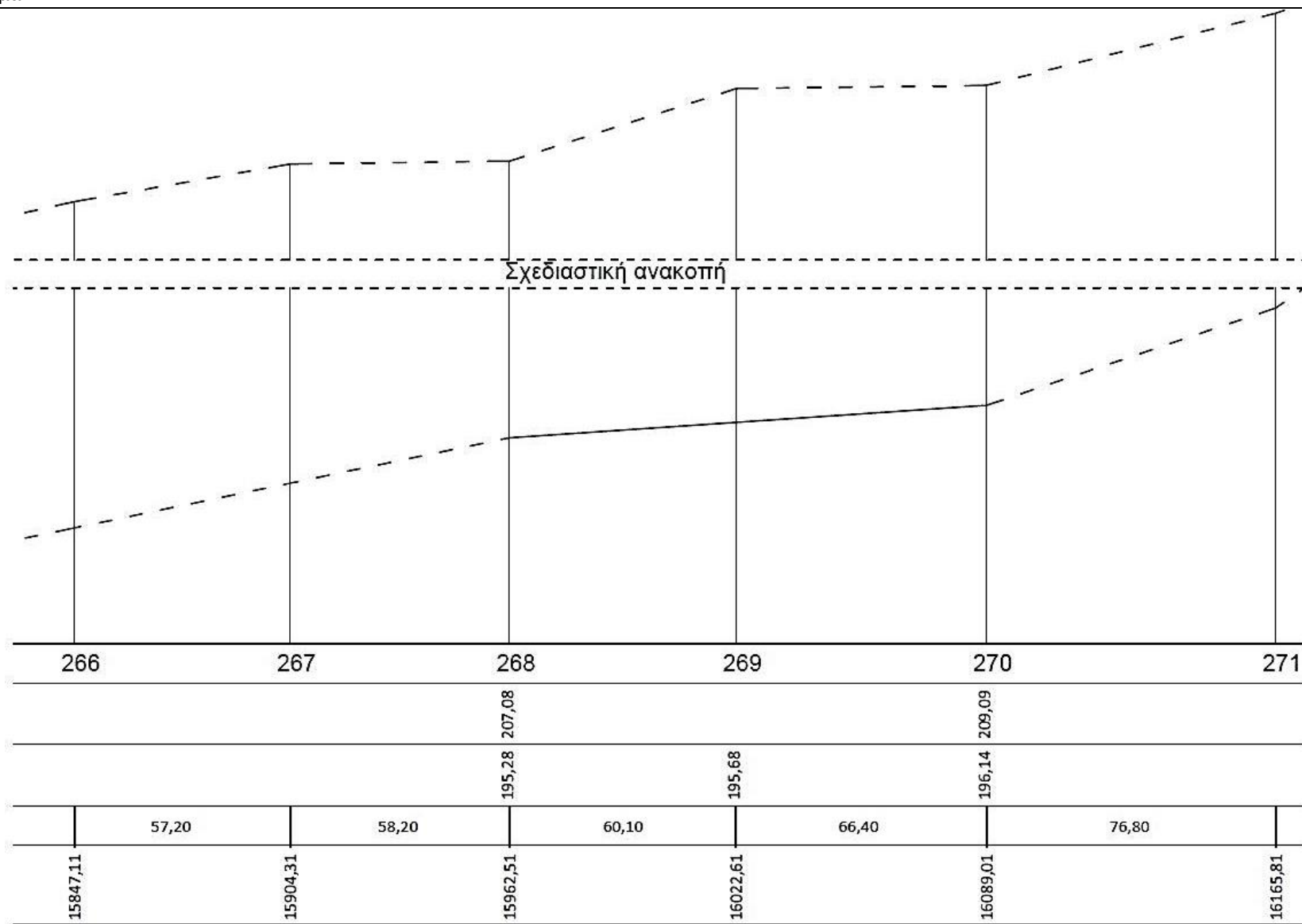
Εικόνα Β.90: Φύλλο 34^ο (246^A-251)



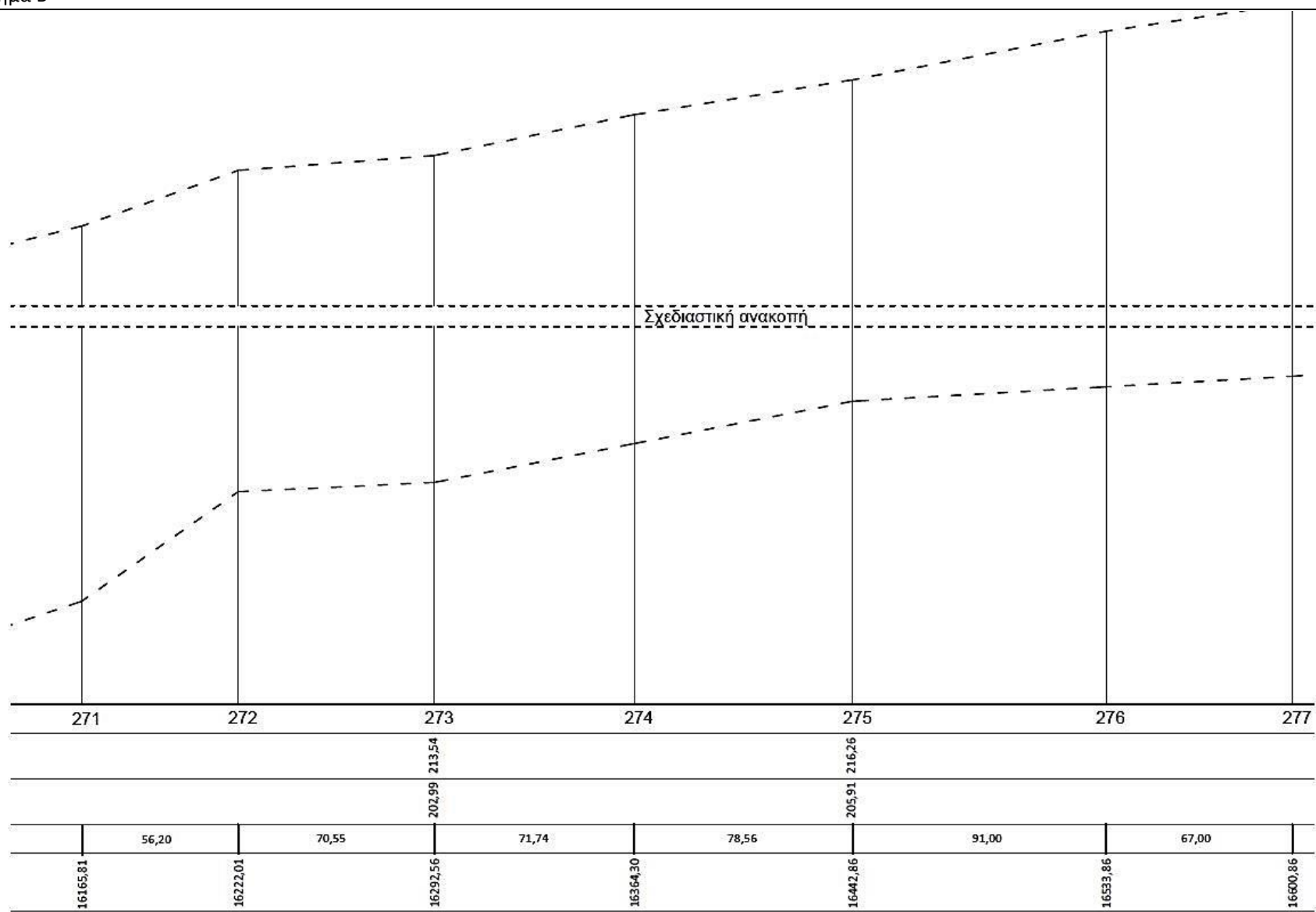
Εικόνα Β.91: Φύλλο 35° (251-259)



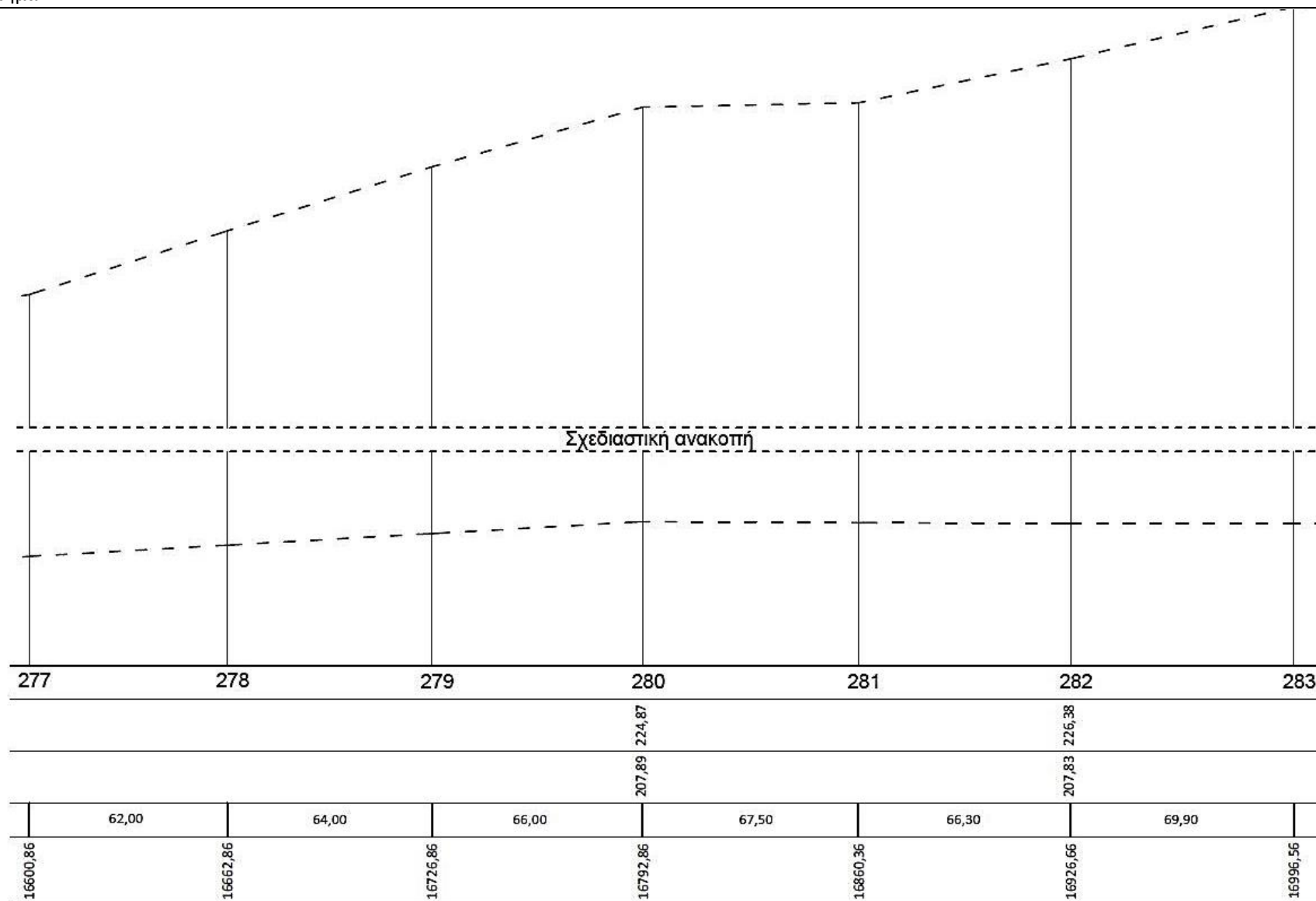
Εικόνα Β.92: Φύλλο 36° (259-266)



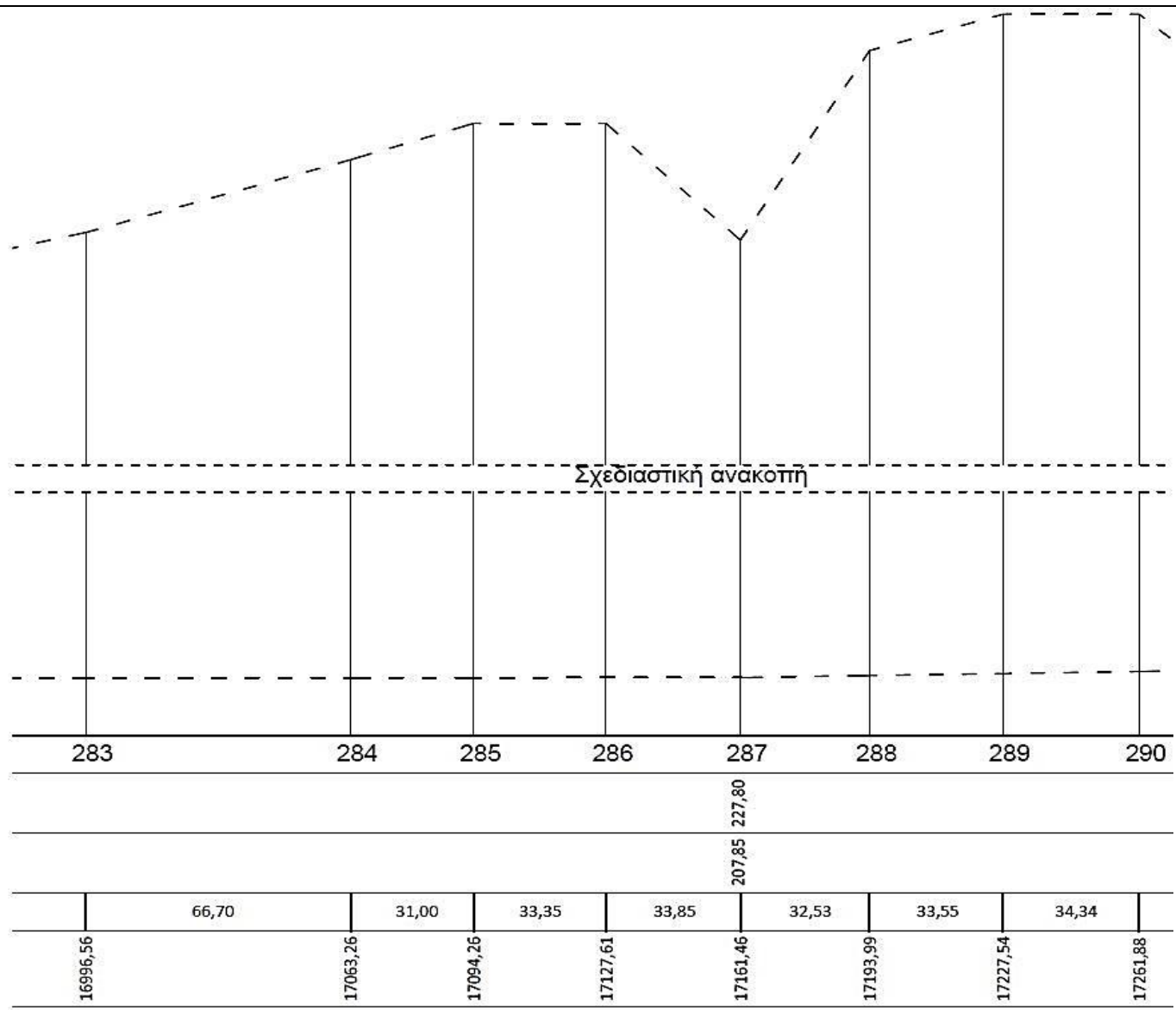
Εικόνα Β.93: Φύλλο 37° (266-271)



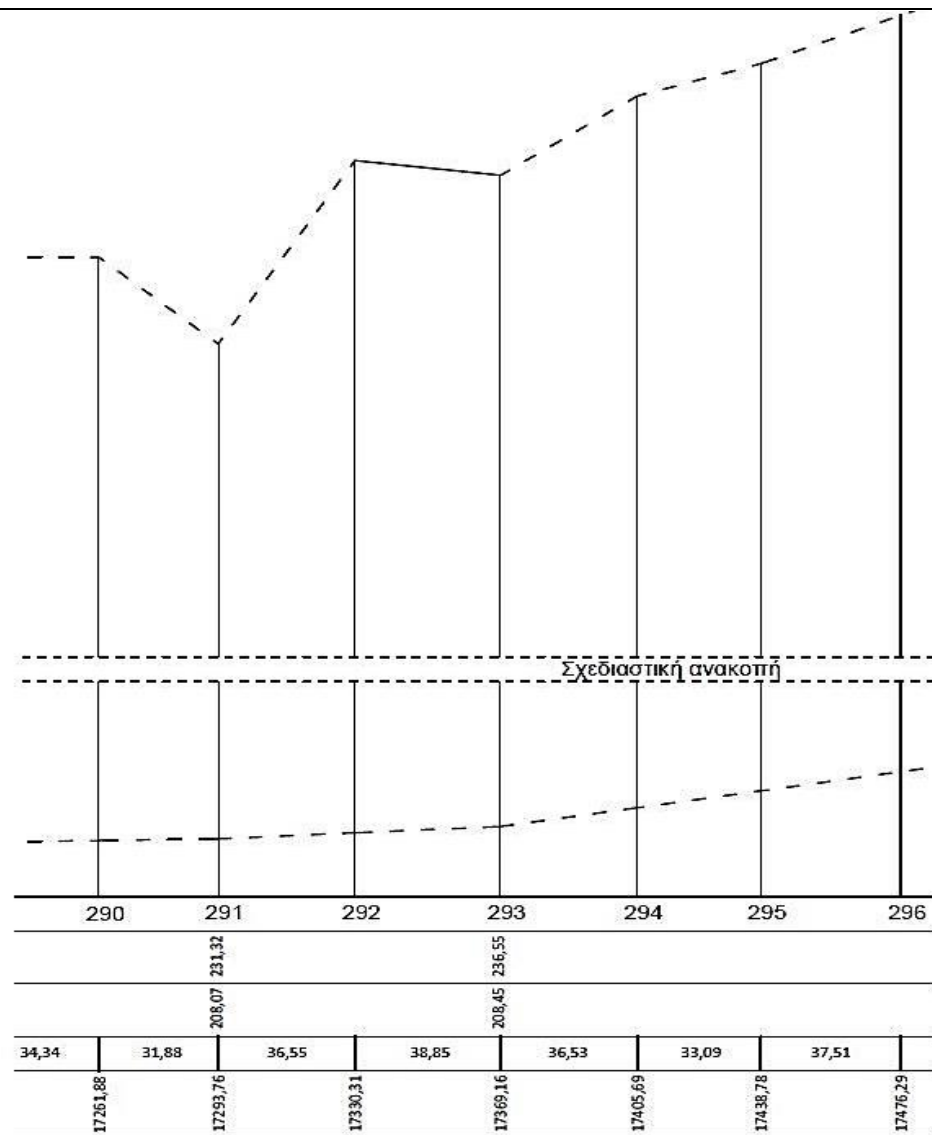
Εικόνα Β.94: Φύλλο 38° (271-277)



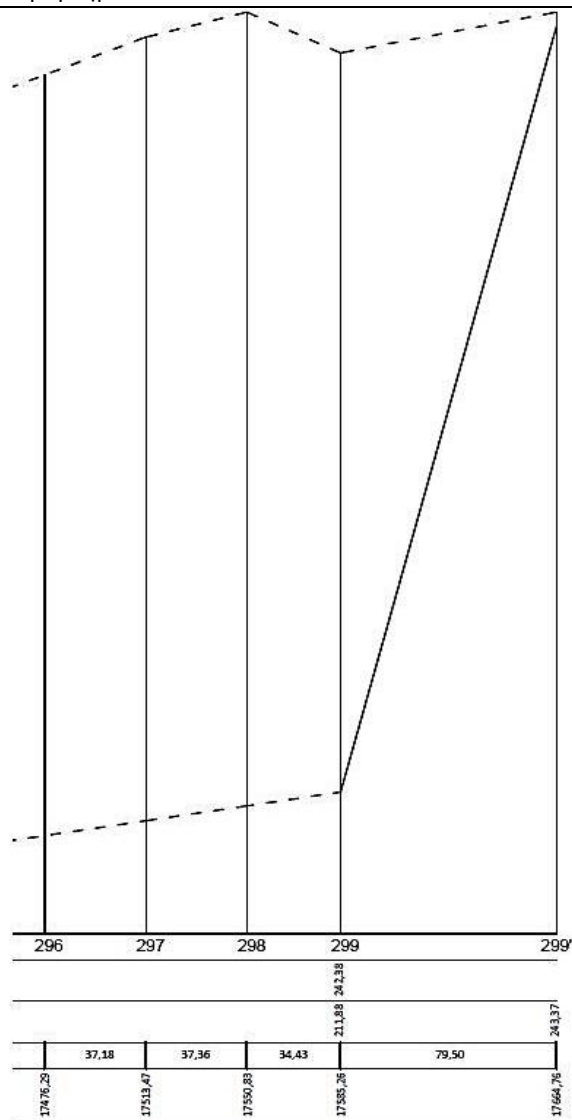
Εικόνα Β.95: Φύλλο 39° (277-283)



Εικόνα Β.96: Φύλλο 40° (283-290)



Εικόνα Β.97: Φύλλο 41° (290-296)



Εικόνα Β.98: Φύλλο 42° (296-299')

Τροποποίηση Περιοχών

ΑΡ. ΠΗΓΑΔΙΟΥ	RS	Χ.Θ	Υψόμετρο πυθμένα - πριν	Υψόμετρο πυθμένα - μετά	Υψόμετρο οροφής - πριν	Υψόμετρο οροφής - μετά	Νέα ενιαία κλίση πυθμένα	Νέα ενιαία κλίση οροφής	ΑΡ. ΠΗΓΑΔΙΟΥ	RS	Χ.Θ	Υψόμετρο πυθμένα - πριν	Υψόμετρο πυθμένα - μετά	Υψόμετρο οροφής - πριν	Υψόμετρο οροφής - μετά	Νέα ενιαία κλίση πυθμένα	Νέα ενιαία κλίση οροφής
1^η Περιοχή (299 - 275)									3^η Περιοχή (169 - 116)								
291	326	19610.05	208.07	208.07	208.87	209.07			167	190	12204.51	161.94	161.94	163.49	163.49		
290	325	19578.17	208.01	208.01	208.81	209.01			166	189	12130.61	161.99	161.80	163.14	163.25		
289	324	19543.83	207.96	207.96	208.76	208.96			165	188	12056.51	159.15	161.65	160.15	163.02		
288	323	19510.28	207.90	207.90	208.70	208.90			164	187	11907.21	160.88	161.36	162.18	162.54	0.0020	0.0032
287	322	19477.75	207.85	207.85	208.65	208.85	0.0011	0.0006	163	186	11830.21	160.92	161.21	162.12	162.29		
286	321	19443.90	207.84	207.84	208.64	208.84			162	185	11755.61	161.43	161.06	162.33	162.06		
285	320	19410.55	207.84	207.84	208.64	208.84			161	184	11680.41	160.92	160.92	161.82	161.82		
284	319	19379.55	207.84	207.84	208.64	208.84			149	171	10747.96	158.16	158.16	159.26	159.26		
283	318	19312.85	207.83	207.83	208.63	208.83			148	170	10673.86	158.01	158.04	159.01	159.14		
282	317	19242.95	207.83	207.83	208.63	208.83			147	169	10598.26	157.87	157.93	158.72	159.02		
2^η Περιοχή (237 - 200)																	
230	254	15400.25	167.50	167.50	168.35	168.35			146	168	10524.16	157.82	157.81	158.52	158.90		
229	253	15366.85	167.31	167.49	168.06	168.32			145	167	10410.66	157.57	157.63	158.47	158.72		
228	252	15343.55	167.19	167.48	167.94	168.31			144	166	10337.81	157.57	157.52	158.42	158.61		
227	251	15288.95	166.92	167.47	167.52	168.27	0.0003	0.0007	143	165	10260.86	157.42	157.40	158.32	158.48		
226	250	15217.45	166.76	167.45	167.46	168.23			142	164	10185.51	156.93	157.28	159.28	158.36		
225	249	15146.05	167.64	167.43	168.34	168.18			141	163	10110.21	156.80	157.17	159.15	158.24		
224	248	15072.80	166.20	167.41	166.90	168.13			140	162	10072.31	157.83	157.11	160.18	158.18		
223	247	14999.50	167.39	167.39	168.09	168.09			139	161	10034.31	158.04	157.05	160.39	158.12	0.0016	0.0016
219	243	14671.85	166.52	166.52	167.82	167.82			138	160	9959.31	157.82	156.93	160.17	158.00		
218	242	14633.75	166.47	166.56	167.62	167.83			137	159	9884.71	157.11	156.82	159.46	157.89		
217	241	14617.85	166.44	166.58	167.59	167.84	-0.0011	-0.0003	136	158	9809.41	157.14	156.70	157.94	157.77		
216	240	14587.85	166.40	166.61	167.55	167.84			135	157	9733.41	157.01	156.58	158.01	157.65		
215	239	14511.85	166.45	166.69	167.45	167.86			134	156	9659.26	156.27	156.47	157.27	157.53		
214	238	14420.90	166.79	166.79	167.89	167.89			133	155	9584.16	155.47	156.35	156.57	157.41		
211	235	14270.76	166.69	166.69	167.79	167.79			132	154	9550.36	156.00	156.30	157.10	157.36		
210	234	14233.36	166.52	166.56	167.62	167.65			131	153	9513.66	156.61	156.24	158.96	157.30		
209	233	14195.26	166.26	166.43	167.26	167.50			130	152	9471.56	156.18	156.18	157.88	157.23		
208	232	14157.86	166.01	166.30	166.81	167.35			129	151	9433.66	155.83	156.12	156.73	157.17		
207	231	14120.06	166.91	166.17	167.81	167.21	0.0034	0.0039	128	150	9358.16	156.00	156.00	157.05	157.05		
206	230	14082.71	165.89	166.04	166.89	167.06			121	143	8872.26	154.45	154.45	155.55	155.55		
205	229	14045.06	165.73	165.92	166.63	166.92			120	142	8830.66	155.19	154.37	156.29	155.45	0.0019	0.0025
204	228	14007.31	165.90	165.79	166.90	166.77			119	141	8794.26	154.64	154.30	155.74	155.36		
203	227	13969.61	165.90	165.66	166.70	166.62			118	140	8689.76	154.10	154.10	155.10	155.10		
202	226	13931.76	165.53	165.53	166.48	166.48			117	139	8624.96	154.00	154.16	154.70	155.22	-0.0010	-0.0019
									116	138	8585.06	154.20	154.20	155.30	155.30		

4 ^η Περιόχη (65 - 22D)							
64	84	5553.03	147.79	147.79	148.79	148.79	
63	83	5515.23	147.73	147.77	149.73	148.77	
62	82	5477.33	147.62	147.75	148.62	148.76	
61	81	5439.48	147.57	147.73	148.57	148.75	
60	80	5402.08	147.44	147.71	148.14	148.74	
59	79	5363.58	147.37	147.69	148.47	148.73	
58	78	5325.98	147.24	147.67	148.44	148.72	
57	77	5288.63	147.23	147.66	148.23	148.71	0.0005
56	76	5251.53	147.31	147.64	148.31	148.69	0.0003
55	75	5212.83	147.17	147.62	148.27	148.68	
54	74	5175.33	147.08	147.60	148.08	148.67	
53	73	5137.78	146.95	147.58	147.95	148.66	
52	72	5100.03	146.95	147.56	147.95	148.65	
51	71	5062.58	146.99	147.54	147.89	148.64	
50	70	5026.88	147.53	147.53	148.63	148.63	
ε	63	4732.98	147.33	147.33	148.23	148.23	
δ	62	4695.98	147.13	147.30	148.03	148.21	
γ	61	4658.28	146.80	147.27	147.60	148.19	
β	60	4620.53	146.91	147.24	147.61	148.17	
α	59	4583.68	146.82	147.21	147.57	148.15	
43F	58	4509.93	146.63	147.16	147.43	148.11	
43E	57	4470.83	146.46	147.13	147.46	148.09	
43D	56	4434.33	146.55	147.10	147.70	148.07	
43C	55	4398.23	146.47	147.08	147.77	148.05	
43B	54	4362.23	146.30	147.05	147.40	148.03	
43A	53	4324.43	146.38	147.02	147.28	148.01	
43	52	4288.28	146.01	146.99	146.81	147.99	
42	51	4251.58	146.13	146.97	146.78	147.97	0.0007
41	50	4214.43	146.14	146.94	146.89	147.95	0.0005
40	49	4176.88	146.00	146.91	146.80	147.93	
39	48	4139.28	145.95	146.88	146.75	147.91	
38	47	4101.13	145.89	146.86	146.69	147.89	
37	46	4064.78	145.71	146.83	146.51	147.87	
36	45	4027.38	145.66	146.80	146.39	147.85	
35	44	3990.38	146.70	146.77	147.50	147.83	
34	43	3953.98	146.55	146.75	147.50	147.81	
33	42	3916.88	146.57	146.72	147.42	147.79	
32	41	3881.48	146.38	146.69	147.06	147.78	
31	40	3843.48	146.65	146.66	147.55	147.76	
30	39	3806.58	146.64	146.64	147.74	147.74	
25	34	3619.88	146.37	146.37	147.47	147.47	
24	33	3583.23	142.27	144.52	143.42	146.00	0.0502
23	32	3546.23	142.67	142.67	143.62	143.92	0.0482
22F	31	3508.83	143.70	142.72	144.75	143.99	
22E	30	3471.75	142.76	142.78	143.88	144.06	-0.0015
22D	29	3434.80	142.84	142.84	143.84	144.14	-0.0020

