



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΑΝΤΟΡΡΟΪΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΟ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SWMM ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΜΕ-
ΤΩΠΙΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ**

ΙΩΑΝΝΗΣ Μ. ΚΟΥΡΤΗΣ

Επιβλέπων: Καθηγητής Β. Α. Τσιχριντζής

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ
ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση αυτής της εποικοδομητικής προσπάθειας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν στην εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της εργασίας μου κ. Βασίλειο Τσιχριντζή, Καθηγητή Ε.Μ.Π., που μου παρείχε την δυνατότητα να αναλάβω την εκπόνηση της συγκεκριμένης έρευνας. Με την πείρα του και τη διορατικότητά του με οδήγησε μέσα από αυτή τη διπλωματική εργασία που στηρίζεται στη δύσκολη, αλλά εξαιρετικά ενδιαφέρουσα διαδικασία της έρευνας σε νέους δρόμους και ορίζοντες. Ακόμη, να τον ευχαριστήσω για την αδιάκοπη καθοδήγηση της έρευνας, για την υπομονή του, τις συμβουλές του όσο και για την συνεχή υποστήριξή του κατά τη συγγραφή της εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω των κύριο Δ. Αλεξιάκη, Ε.ΔΙ.Π. στο Ε.Μ.Π και την κυρία Λ. Στάμου οι με προθυμία και υπομονή απάντησαν στις απορίες μου, έδωσαν λύσεις και βοήθησαν στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Κ. Παπαφιλίππου, Προϊσταμένη του τομέα Αποχέτευσης Ηλιούπολης της ΕΥΔΑΠ Α.Ε, την κυρία Ρ. Ψαρρά, Διευθύντρια της Διεύθυνσης Αποχέτευσης της ΕΥΔΑΠ Α.Ε και την κυρία Δ. Ζάννου, Διευθύντρια της Υπηρεσίας Εφαρμογών Γεωγραφικών Πληροφοριών της ΕΥΔΑΠ Α.Ε για την παροχή των απαιτούμενων στοιχείων για την πραγμάτωση της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου κ. Ε. Μπαλτά, Καθηγητή Ε.Μ.Π και κ. Ι. Ναλμπάντη, Επικ. Καθηγητή Ε.Μ.Π, καθώς με τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή και την αξιολόγησή τους μου παρείχαν τη δυνατότητα πραγμάτωσης της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος, να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υπομονή και κατανόηση που έδειξε καθ' όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας καθώς και για την υποστήριξή τους, χωρίς την οποία θα ήταν αδύνατο να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία.

Ιωάννης Μ. Κούρτης

Αθήνα, Φεβρουάριος 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xxi
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xxxiii
EXTENDED ABSTRACT	xxxv
Introduction	xxxv
Greek Technical Specifications	xxxv
Wastewater drainage network.....	xxxvi
Stormwater drainage network	xxxvi
Rational Method	xxxvii
SWMM Software	xxxviii
Study Area and Methodological Framework	xl
Study area.....	xl
Methodological framework.....	xl
Results	xlii
Rational method	xlii
Sensitivity analysis.....	xlii
Results of simulation with SWMM software.....	xlii
Mitigation measures	xliv
Summary and Conclusions	xl
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	47

1.1 Αντικείμενο της Εργασίας.....	47
1.2 Σύντομο Ιστορικό Έργων Αποχέτευσης Αθήνας	47
1.2.1 Αρχαιότητα – 1840	48
1.2.2 Περίοδος 1840 – 1930	48
1.2.3 Περίοδος 1930 – 1950	48
1.2.4 Περίοδος 1950 - 1980	49
1.2.5 Περίοδος 1980 έως σήμερα	49
1.2.6 Ανευρεθείσες Μελέτες.....	50
1.3 Σημασία Έργων Αποχέτευσης	56
1.4 Συνοπτική Παρουσίαση Κεφαλαίων	58
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SWMM.....	61
2.1 Εισαγωγή	61
2.2 Εκτίμηση Παροχής Απορροών Ξηρού Καιρού	61
2.2.1 Γενικά.....	61
2.2.2 Παροχή αποχέτευσης ακαθάρτων.....	61
2.3 Εκτίμηση Παροχής Ομβρίων.....	63
2.3.1 Γενικά.....	63
2.3.2 Η ορθολογική μέθοδος.....	63
2.4 Προσομοίωση Βροχής Απορροής	73
2.5 Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές	75
2.5.1 Γενικά.....	75
2.5.2 Δίκτυο αποχέτευσης ακαθάρτων υδάτων	75
2.5.3 Δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων υδάτων	76
2.6 Γενικά για το Λογισμικό SWMM.....	77
2.7 Δυνατότητες του Μοντέλου και Τυπικές Εφαρμογές	79
2.8 Εννοιολογική Αντίληψη Μοντέλου	80
2.9 Οπτικά Αντικείμενα Λογισμικού.....	82

2.9.1 Βροχογράφοι.....	82
2.9.2 Υπολεκάνες.....	83
2.9.3 Κόμβοι	84
2.9.4 Κόμβοι εκβολής.....	84
2.9.5 Αγωγοί	84
2.9.6 Δεξαμενές κατακράτησης και συγκράτησης	86
2.10 Μη οπτικά Αντικείμενα Λογισμικού.....	87
2.10.1 Μοναδιαία υδρογραφήματα.....	87
2.10.2 Εγκάρσιες τομές (Transects).....	88
2.10.3 Εξωτερικές εισροές.....	89
2.10.4 Χρονοσειρές.....	89
2.11 Υπολογιστικές Μέθοδοι Λογισμικού.....	89
2.11.1 Επιφανειακή απορροή.....	90
2.11.2 Διήθηση.....	90
2.11.3 Διόδευση ομοιόμορφης ροής.....	91
2.11.4 Διόδευση κινηματικού κύματος.....	91
2.11.5 Διόδευση δυναμικού κύματος.....	91
2.11.6 Επιφανειακή λίμναση	92
2.12 Κατακρήμνιση.....	92
2.13 Επιφανειακή Απορροή.....	93
2.13.1 Κυρίαρχες εξισώσεις.....	93
2.13.2 Διαχωρισμός υπολεκανών	96
2.13.3 Υπολογιστικό σχήμα.....	97
2.13.4 Διακριτοποίηση υπολεκανών.....	99
2.13.5 Εκτίμηση παραμέτρων υπολεκανών.....	100
2.13.5.1 Έκταση υπολεκάνης.....	100
2.13.5.2 Αδιαπέρατο τμήμα υπολεκάνης.....	100

2.13.5.3 Πλάτος υπολεκάνης	101
2.13.5.4 Κλίση υπολεκάνης	103
2.13.5.5 Συντελεστής Manning.....	104
2.13.5.6 Επιφανειακή συγκράτηση (Depression storage).....	104
2.13.5.7 Χρόνος συγκέντρωσης.....	105
2.13.5.8 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων υπολεκανών.....	106
2.14 Προσέγγιση Άλλων Μεθόδων Εκτίμησης της Απορροής με το Λογισμικό SWMM.....	108
2.14.1 Ορθολογική μέθοδος με το λογισμικό SWMM.....	108
2.15 Διήθηση.....	108
2.15.1 Η μέθοδος της SCS	109
2.16 Προηγούμενες Μελέτες με το Λογισμικό SWMM	112
2.16.1 Προπτυχιακές και μεταπτυχιακές διπλωματικές εργασίες	112
2.16.2 Προσομοίωση δικτύου ομβρίων με το λογισμικό SWW	114
2.16.3 Προσομοίωση ποσότητας και ποιότητας απορροής με τη χρήση του λογισμικού SWMM	116
2.16.4 Χρήση του λογισμικού SWMM για την εκτίμηση των υδρολογικών επιπτώσεων	118
2.16.5 Διάφορες άλλες μελέτες.....	121
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	123
3.1 Γενική Περιγραφή.....	123
3.2 Αναλυτική Περιγραφή.....	127
3.2.1 Πορεία εργασιών.....	128
3.2.2 Ψηφιοποίηση και ψηφιακή αναπαράσταση δικτύου	129
3.2.3 Σχεδιασμός αστικών λεκανών	132
3.2.4 Χρήσης γης και γεωλογία περιοχής μελέτης	134
3.2.5 Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό SWMM.....	139
3.2.5.1 Δυναμικό σύστημα αποχέτευσης.....	141

3.2.5.2 Καταχώρηση παραμέτρων προσομοίωσης	142
3.3 Εκτίμηση Παροχών Ξηρού Καιρού.....	143
3.4 Δημιουργία Υετογραφημάτων	144
3.5 Ανάλυση Ευαισθησίας	153
3.5.1 Εισαγωγή – Γενικά περί της ανάλυσης ευαισθησίας.....	153
3.5.2 Μέθοδοι ανάλυσης ευαισθησίας.....	154
3.5.3 Μέθοδος στην παρούσα εργασία	155
3.6 Επίλυση Δικτύου με την Ορθολογική Μέθοδο.....	156
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	159
4.1 Αποτελέσματα Επίλυσης Δικτύου με την Ορθολογική Μέθοδο.....	159
4.2 Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρων λογισμικού SWMM.....	162
4.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Παντοροϊκού Δικτύου με το Λογισμικό SWMM	174
4.3.1 Βροχή διάρκειας 1 h	174
4.3.1.1 Περίοδος επαναφοράς T=2 έτη.....	174
4.3.1.2 Περίοδος επαναφοράς T=5 έτη.....	176
4.3.1.3 Περίοδος επαναφοράς T=10 έτη.....	178
4.3.1.4 Περίοδος επαναφοράς T=20 έτη.....	182
4.3.1.5 Περίοδος επαναφοράς T=25 έτη.....	186
4.3.1.6 Περίοδος επαναφοράς T=50 έτη.....	188
4.3.1.7 Περίοδος επαναφοράς T=100 έτη.....	192
4.3.2 Βροχή διάρκειας 2 h	195
4.3.2.1 Περίοδος επαναφοράς T=2 έτη.....	195
4.3.2.2 Περίοδος επαναφοράς T=5 έτη.....	200
4.3.2.3 Περίοδος επαναφοράς T=10 έτη.....	202
4.3.2.4 Περίοδος επαναφοράς T=20 έτη.....	206
4.3.2.5 Περίοδος επαναφοράς T=25 έτη.....	208

4.3.2.6 Περίοδος επαναφοράς T=50 έτη.....	210
4.3.2.7 Περίοδος επαναφοράς T=100 έτη.....	213
4.3.3 Βροχή διάρκειας 3 h	216
4.3.3.1 Περίοδος επαναφοράς T=2 έτη.....	216
4.3.3.2 Περίοδος επαναφοράς T=5 έτη.....	219
4.3.3.3 Περίοδος επαναφοράς T=10 έτη.....	222
4.3.3.4 Περίοδος επαναφοράς T=20 έτη.....	224
4.3.3.5 Περίοδος επαναφοράς T=25 έτη.....	227
4.3.3.6 Περίοδος επαναφοράς T=50 έτη.....	229
4.3.3.7 Περίοδος επαναφοράς T=100 έτη.....	231
4.3.4 Βροχή διάρκειας 6 h	233
4.3.4.1 Περίοδος επαναφοράς T=2 έτη.....	233
4.3.4.2 Περίοδος επαναφοράς T=5 έτη.....	236
4.3.4.3 Περίοδος επαναφοράς T=10 έτη.....	238
4.3.4.4 Περίοδος επαναφοράς T=20 έτη.....	241
4.3.4.5 Περίοδος επαναφοράς T=25 έτη.....	243
4.3.4.6 Περίοδος επαναφοράς T=50 έτη.....	245
4.3.4.7 Περίοδος επαναφοράς T=100 έτη.....	248
4.3.5 Βροχή διάρκειας 12 h	251
4.3.5.1 Περίοδος επαναφοράς T=2 έτη.....	251
4.3.5.2 Περίοδος επαναφοράς T=5 έτη.....	253
4.3.5.3 Περίοδος επαναφοράς T=10 έτη.....	255
4.3.5.4 Περίοδος επαναφοράς T=20 έτη.....	259
4.3.5.5 Περίοδος επαναφοράς T=25 έτη.....	263
4.3.5.6 Περίοδος επαναφοράς T=50 έτη.....	265
4.3.5.7 Περίοδος επαναφοράς T=100 έτη.....	268
4.3.6 Βροχή διάρκειας 24 h	271

4.3.6.1 Περίοδος επαναφοράς T=2 έτη.....	271
4.3.6.2 Περίοδος επαναφοράς T=5 έτη.....	274
4.3.6.3 Περίοδος επαναφοράς T=10 έτη.....	276
4.3.6.4 Περίοδος επαναφοράς T=20 έτη.....	278
4.3.6.5 Περίοδος επαναφοράς T=25 έτη.....	281
4.3.6.6 Περίοδος επαναφοράς T=50 έτη.....	283
4.3.6.7 Περίοδος επαναφοράς T=100 έτη.....	286
4.4 Σύγκριση Αποτελεσμάτων	289
4.4.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοίωσης με το λογισμικό SWMM.....	289
4.4.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων ορθολογικής μεθόδου και προσομοίωσης με το λογισμικό SWMM	295
4.5 Μέτρα Αντιμετώπισης.....	298
4.5.1 Αύξηση διαμέτρου υπόγειων παντοροϊκών αγωγών	299
4.5.2 Κατασκευή δεξαμενών κατακράτησης παράλληλα στο αποχετευτικό δίκτυο.....	304
4.5.3 Κατασκευή δεξαμενής κατακράτησης στην έξοδο του δικτύου.....	315
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	333
5.1 Συμπεράσματα.....	333
5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	335
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	337
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	337
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	339
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	345
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	349
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.....	373
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.....	379
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.....	415
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ	445

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Table 1: Minimum allowed slope	xxxvi
Table 2: Correction coefficient for C for the storm return interval	xxxvii
Table 3: Values for runoff coefficient according to Greek Technical Specifications	xxxvii
Table 4: Summarized results of simulations.....	xlili
Table 4 (continue): Summarized results of simulations	xliv
Πίνακας 2.1: Πολλαπλασιαστές ζήτησης για την συνολική μέγιστη ωριαία παροχή (Τσακίρης 2010)	62
Πίνακας 2.2: Τιμές του Συντελεστή Διόρθωσης της Περιόδου Επαναφοράς, C_f (Τσιχριντζής 1999)	64
Πίνακας 2.3: Τιμές του Συντελεστή Απορροής, C (Τσακίρης 2010, ASCE 1970, WPCF 1976)	65
Πίνακας 2.4: Τιμές του Συντελεστή Απορροής, C (Τσιχριντζής 1999, Τσακίρης 2010, ASCE 1970)	66
Πίνακας 2.5: Τιμές του Συντελεστή Απορροής, C (Τσακίρης 2010, Π.Δ 696/74).....	67
Πίνακας 2.6: Τιμές του χρόνου αβαθούς ή διάχυτης ροής με βάση τις Αμερικάνικες Τεχνικές Προδιαγραφές (Τσακίρης 2010, WPCF 1976, ASCE 1970).....	68
Πίνακας 2.7: Τιμές του συντελεστή Manning για αγωγούς και κανάλια (Τσιχριντζής 1999)	69
Πίνακας 2.8: Τιμές του συντελεστή Manning για αβαθή διάχυτη ροή (Τσιχριντζής 1999) ...	70
Πίνακας 2.9: Επίλυση της εξίσωσης του Manning για κυκλικούς αγωγούς	71
Πίνακας 2.10: Επίλυση της εξίσωσης του Manning για ωοειδείς αγωγούς	72
Πίνακας 2.11: Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών ομβρίων από σκυρόδεμα (Τσακίρης 2010)	76
Πίνακας 2.11 (συνέχεια): Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών ομβρίων από σκυρόδεμα (Τσακίρης 2010)	77
Πίνακας 2.12: Ιστορική εξέλιξη λογισμικού SWMM (Rossman 2015).....	78
Πίνακας 2.13: Ευαισθησία όγκου επιφανειακής απορροής και παροχής αιχμής κατά την μεταβολή των κύριων παραμέτρων των υπολεκανών (Rossman 2015).....	107

Πίνακας 2.14: Τιμές κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας διάφορων τύπων εδαφών (Rossman 2015)	110
Πίνακας 2.15: Αριθμός καμπύλης CN για επιλεγμένες χρήσεις γης (NRCS 2004a, Rossman 2015, Τσιχριντζής 1999)	111
Πίνακας 2.16: Μελέτες προσομοίωσης αστικών λεκανών απορροής	115
Πίνακας 2.17: Πρόβλεψη ποσότητας και ποιότητας απορροής με το λογισμικό SWMM....	117
Πίνακας 2.18: Εργασίες εκτίμησης παραμέτρων, βαθμονόμησης και ανάλυσης ευαισθησίας λογισμικού SWMM	120
Πίνακας 2.19: Διάφορες μελέτες στις οποίες χρησιμοποιείται το λογισμικό SWMM.....	121
Πίνακας 4.1: Υπερδιαστασιολογημένοι αγωγοί	160
Πίνακας 4.2: Υποδιαστασιολογημένοι αγωγοί	161
Πίνακας 4.2 (συνέχεια): Υποδιαστασιολογημένοι αγωγοί	162
Πίνακας 4.3: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου %Zero – Imperv	163
Πίνακας 4.4: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου N-Imperv	164
Πίνακας 4.5: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου N-Perv	165
Πίνακας 4.6: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου Dstore-Imperv	166
Πίνακας 4.7: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου Dstore-Perv	167
Πίνακας 4.8: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου %Zero-Imperv	168
Πίνακας 4.9: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου CN μεθόδου SCS	169
Πίνακας 4.10: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου Routing time	170
Πίνακας 4.11: Μεταβολή συντελεστή Manning υπόγειων και επιφανειακών αγωγών του συστήματος	171
Πίνακας 4.12: Ανάλυση ευαισθησίας της παραμέτρου πλάτος (width) της κάθε υπολεκάνης	172
Πίνακας 4.13: Ανάλυση ευαισθησίας της παραμέτρου κλίση (slope) της κάθε υπολεκάνης	173
Πίνακας 4.14: Αποτελέσματα προσομοίωσης για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη	174
Πίνακας 4.15: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη	176
Πίνακας 4.16: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 10 έτη	178
Πίνακας 4.17: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών	182

Πίνακας 4.18: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών	186
Πίνακας 4.19: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών	188
Πίνακας 4.20: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών	192
Πίνακας 4.21: Αποτελέσματα προσομοίωσης για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη	195
Πίνακας 4.22: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη	200
Πίνακας 4.23: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 10 έτη	202
Πίνακας 4.24: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών	206
Πίνακας 4.25: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών	208
Πίνακας 4.26: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών	210
Πίνακας 4.27: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών	213
Πίνακας 4.28: Αποτελέσματα προσομοίωσης για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη	216
Πίνακας 4.29: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη	219
Πίνακας 4.30: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 10 έτη	222
Πίνακας 4.31: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών	224
Πίνακας 4.32: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών	227
Πίνακας 4.33: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών	229
Πίνακας 4.34: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών	231

Πίνακας 4.35: Αποτελέσματα προσομοίωσης για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη	233
Πίνακας 4.36: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη	236
Πίνακας 4.37: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 10 έτη	238
Πίνακας 4.38: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών	241
Πίνακας 4.39: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών	243
Πίνακας 4.40: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών	245
Πίνακας 4.41: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών	248
Πίνακας 4.42: Αποτελέσματα προσομοίωσης για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη	251
Πίνακας 4.43: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη	253
Πίνακας 4.44: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 10 έτη	255
Πίνακας 4.45: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών	259
Πίνακας 4.46: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών	263
Πίνακας 4.47: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών	265
Πίνακας 4.48: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών	268
Πίνακας 4.49: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 2 ετών	271
Πίνακας 4.50: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 2 ετών	274
Πίνακας 4.51: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 10 ετών	276

Πίνακας 4.52: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών	278
Πίνακας 4.53: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών	281
Πίνακας 4.54: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών	283
Πίνακας 4.55: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών	286
Πίνακας 4.56: Αύξηση διαμέτρου παντοροϊκών αγωγών.....	299
Πίνακας 4.56 (συνέχεια): Αύξηση διαμέτρου παντοροϊκών αγωγών.....	300
Πίνακας 4.56 (συνέχεια): Αύξηση διαμέτρου παντοροϊκών αγωγών.....	301
Πίνακας 4.57: Στοιχεία δεξαμενών κατακράτησης, υπερχειλιστών και οπών	306
Πίνακας 4.57 (συνέχεια): Στοιχεία δεξαμενών κατακράτησης, υπερχειλιστών και οπών	307
Πίνακας Π-B.1: Διατομές επιφανειακών αγωγών	349
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	350
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	351
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	352
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	352
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	353
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	354
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	355
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	356
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	357
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	357
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	358
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	359
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	360
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	361
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	362
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	363
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	364
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	365
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	366
Πίνακας Π-B.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	367

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	368
Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	369
Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	370
Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	371
Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών	372
Πίνακας Π-Γ.1: Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού	373
Πίνακας Π-Γ.1 (συνέχεια): Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού	374
Πίνακας Π-Γ.1 (συνέχεια): Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού	375
Πίνακας Π-Γ.1 (συνέχεια): Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού	376
Πίνακας Π-Γ.1 (συνέχεια): Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού	377
Πίνακας Π-Γ.1 (συνέχεια): Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού	378
Πίνακας Π-Ε.1: Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο	415
Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο.....	416
Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο.....	417
Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο.....	418
Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο.....	419
Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο.....	420
Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο.....	421
Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο.....	422
Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο.....	423
Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο.....	424
Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο.....	425

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο	443
Πίνακας Π-ΣΤ.1: Σύγκριση αποτελεσμάτων Ορολογικής Μεθόδου και προσομοιώσεων με το λογισμικό SWMM για τους αγωγούς του δικτύου αποχέτευσης από τον κόμβο D-12-56 έως τον κόμβο ΚΑΑ-66_EKX_D (έξοδος του συστήματος)	445
Πίνακας Π-ΣΤ.2: Σύγκριση αποτελεσμάτων Ορολογικής Μεθόδου και προσομοιώσεων με το λογισμικό SWMM για τους αγωγούς του δικτύου αποχέτευσης από τον κόμβο D-52 έως τον κόμβο ΚΑΑ-66_EKX_D (έξοδος του συστήματος).....	446
Πίνακας Π-ΣΤ.2 (συνέχεια): Σύγκριση αποτελεσμάτων Ορολογικής Μεθόδου και προσομοιώσεων με το λογισμικό SWMM για τους αγωγούς του δικτύου αποχέτευσης από τον κόμβο D-52 έως τον κόμβο ΚΑΑ-66_EKX_D (έξοδος του συστήματος)	447

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Figure 1: Representation of subcatchments of combined sewer system of Athens	x1
Εικόνα 1.1: Κατασκευή συλλεκτήρα ακαθάρτων (1939) (ΕΥΔΑΠ 2013).....	50
Εικόνα 1.2: Κατασκευή φράγματος Μαραθώνα (ΕΥΔΑΠ 2013)	52
Εικόνα 1.3: Τοποθέτηση αγωγού εντός της πόλης των Αθηνών (ΕΥΔΑΠ 2013).....	54
Εικόνα 1.4: Τοποθέτηση Υδρομετρητών (ΕΥΔΑΠ 2013)	55
Εικόνα 1.5: Εγκαίνια Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού (ΕΥΔΑΠ 2013).....	56
Εικόνα 1.6: Κατασκευή αποχετευτικού αγωγού στην Αθήνα (2000) (ΕΥΔΑΠ 2013)	57
Εικόνα 2.1: Στοιχεία ενός τυπικού αστικού αποχετευτικού συστήματος (Rossman 2015)	81
Εικόνα 2.2: Παράδειγμα οπτικών αντικειμένων τα οποία χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση ενός αποχετευτικού συστήματος.....	82
Εικόνα 2.3: Διαθέσιμες διατομές αγωγών λογισμικού SWMM (Rossman 2010).....	86
Εικόνα 2.4: Μοναδιαίο Υδρογράφημα	88
Εικόνα 2.5: Εγκάρσια τομή επιφανειακού αγωγού	88
Εικόνα 2.6: Εννοιολογική αντίληψη μοντέλου σχετικά με την επιφανειακή απορροή.....	90
Εικόνα 2.7: Ιδεατό σχήμα υπολεκάνης στο λογισμικό SWMM (Rossman 2015).....	93
Εικόνα 2.8: Διαχωρισμός υποπεριοχών στο εσωτερικό της υπολεκάνης (Rossman 2015)	96
Εικόνα 2.9: Ιδεατός διαχωρισμός υπολεκάνης για επιφανειακή απορροή (Rossman 2015)...	97
Εικόνα 2.10: Υπολεκάνη με ακανόνιστο σχήμα για υπολογισμό του πλάτους της (Rossman 2015, DiGiano et al. 1977).....	102
Εικόνα 3.1: Απεικόνιση Παντοροϊκού Αποχετευτικού Δικτύου Αθηνών	124
Εικόνα 3.2: Διοικητική διαίρεση περιοχής μελέτης και ευρύτερη περιοχή μελέτης.....	125
Εικόνα 3.3: Δορυφορική εικόνα περιοχής μελέτης (Ζώνη Δ)	126
Εικόνα 3.4: Αναπαράσταση συνόλου αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ.....	131
Εικόνα 3.5: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Ζώνης Δ	132
Εικόνα 3.6: Αστικές λεκάνες απορροής περιοχής μελέτης	133
Εικόνα 3.7: Υπολεκάνες Ζώνης Δ	134
Εικόνα 3.8: Χάρτης Χρήσεων Γης Corine Land Cover (2000).....	135

Εικόνα 3.9: Ισχύον Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο για το Δήμο Αθηναίων, 1988 (Καλαντζοπούλου κ.α. 2011).....	136
Εικόνα 3.10: Γεωλογικός χάρτης Νομαρχίας Αθηνών (Πογιατζή κ.α. 2013).....	137
Εικόνα 3.11: Διοικητική διαίρεση και πυκνότητα πληθυσμού περιοχής μελέτης.....	143
Εικόνα 3.12: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=2$ και $t=1h$	146
Εικόνα 3.13: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=5$ και $t=1h$	147
Εικόνα 3.14: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=10$ και $t=1h$	148
Εικόνα 3.15: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=20$ και $t=1h$	149
Εικόνα 3.16: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=25$ και $t=1h$	150
Εικόνα 3.17: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=50$ και $t=1h$	151
Εικόνα 3.18: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=100$ και $t=1h$	152
Εικόνα 4.1: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=2$ ετών.....	174
Εικόνα 4.2: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στον αγωγό.....	175
Εικόνα 4.3: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή 2:00:00.....	175
Εικόνα 4.4: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=5$ ετών.....	176
Εικόνα 4.5: Προφίλ αγωγού κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	177
Εικόνα 4.6: Προφίλ αγωγού κατά την χρονική στιγμή 2:00:00.....	177
Εικόνα 4.7: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=10$ ετών.....	178
Εικόνα 4.8: Σύνολο φρεατίων δικτύου, κατά την χρονική στιγμή της αιχμής του υδρογραφήματος.....	179
Εικόνα 4.9: Προφίλ αγωγού κατά την χρονική στιγμή την οποία το ανάντη φρεάτιο έχει πλημμυρίσει.....	180
Εικόνα 4.10: Προφίλ επιφανειακού αγωγού κατά την χρονική στιγμή της αιχμής.....	181
Εικόνα 4.11: Προφίλ υπονόμου μετά το πέρας του γεγονότος βροχόπτωσης.....	181
Εικόνα 4.12: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=20$ ετών.....	182
Εικόνα 4.13: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στον αγωγό.....	183
Εικόνα 4.14: Αναπαράσταση βάθος νερού στους κόμβους.....	184
Εικόνα 4.15: Υπόγειος αγωγός (σύνδεσης φρεατίων D-39 – D-40) κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	185
Εικόνα 4.16: Επιφανειακός αγωγός (σύνδεσης φρεατίων D-39 – D-40) κατά την χρονική εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	185

Εικόνα 4.17: Υδρογράφημα βροχόπτωσης σχεδιασμού $t=1h$ και $T=25$ ετών.....	186
Εικόνα 4.18: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στον αγωγό	187
Εικόνα 4.19: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή 2:00:00	187
Εικόνα 4.20: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=50$ ετών	188
Εικόνα 4.21: Αναπαράσταση βάθος νερού στους κόμβους του δικτύου κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.....	189
Εικόνα 4.22: Απορροή των υπολεκανών κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής	190
Εικόνα 4.23: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα και υπόγειου αποχετευτικού αγωγού οδού Επιδάμνου κατά τη χρονική στιγμή της παροχής αιχμής	191
Εικόνα 4.24: Προφίλ επιφανειακών αγωγών οδού Επιδάμνου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής.....	191
Εικόνα 4.25: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=100$ ετών	192
Εικόνα 4.26: Αναπαράσταση επιφανειακής απορροής ανά υπολεκάνη και φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής.....	193
Εικόνα 4.27: Προφίλ υπόγειων αποχετευτικών αγωγών κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της αιχμής	194
Εικόνα 4.28: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=2h$ και $T=2$ ετών	195
Εικόνα 4.29: Επιφανειακή απορροή ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου.....	196
Εικόνα 4.30: Διήθηση ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	197
Εικόνα 4.31: Βάθος νερού στους κόμβους του δικτύου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	198
Εικόνα 4.32: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-2 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου	199
Εικόνα 4.33: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=2h$ και $T=5$ ετών	200
Εικόνα 4.34: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-26-2 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής	201
Εικόνα 4.35: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-26-2 έως την έξοδο του συστήματος στην αρχή της δεύτερης ώρας	201
Εικόνα 4.36: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=2h$ και $T=10$ ετών	202

Εικόνα 4.37: Βροχόπτωση (mm/h) ανά υπολεκάνη κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου.....	203
Εικόνα 4.38: Εισροή (L/s) στα φρεάτια του παντοροϊκού δικτύου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	204
Εικόνα 4.39: Παντοροϊκός συλλεκτήρας Ζώνης Δ κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.....	205
Εικόνα 4.40: Υπόγειος παντοροϊκός αγωγός κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της πλημμύρας.....	205
Εικόνα 4.41: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=2h$ και $T=20$ ετών	206
Εικόνα 4.42: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.....	207
Εικόνα 4.43: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα στην αρχή της τρίτης ώρας	207
Εικόνα 4.44: Υδρογράφημα βροχόπτωσης σχεδιασμού $t=2h$ και $T=25$ ετών.....	208
Εικόνα 4.45: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.....	209
Εικόνα 4.46: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα στην αρχή της τρίτης ώρας	209
Εικόνα 4.47: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης.....	210
Εικόνα 4.48: Προφίλ υπόγειου αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου.....	211
Εικόνα 4.49: Προφίλ επιφανειακού αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου.....	211
Εικόνα 4.50: Προφίλ υπόγειου αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 στην αρχή της τρίτης ώρας.....	212
Εικόνα 4.51: Προφίλ επιφανειακού αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 στην αρχή της τρίτης ώρας.....	212
Εικόνα 4.52: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 100 ετών.....	213
Εικόνα 4.53: Φρεάτια δικτύου τα οποία πλημμυρίζουν	214
Εικόνα 4.54: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-7 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.....	215
Εικόνα 4.55: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=2$ ετών	216
Εικόνα 4.56: Βροχόπτωση ανά υπολεκάνη και εισροή στους κόμβους του δικτύου κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου	217
Εικόνα 4.57: Προφίλ υπόγειου αποχετευτικού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	218

Εικόνα 4.58: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=5$ ετών	219
Εικόνα 4.59: Βάθος νερού στους κόμβους του αποχετευτικού δικτύου, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής	220
Εικόνα 4.60: Αγωγός με ολική πλήρωση κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στο υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο	221
Εικόνα 4.61: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=10$ ετών	222
Εικόνα 4.62: Προφίλ υπόγειου παντοροϊκού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής	223
Εικόνα 4.63: Προφίλ επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής.....	223
Εικόνα 4.64: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=20$ ετών	224
Εικόνα 4.65: Βροχόπτωση ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	225
Εικόνα 4.66: Προφίλ υπόγειου και αντίστοιχου επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του παντοροϊκού δικτύου αποχέτευσης	226
Εικόνα 4.67: Υδρογράφημα βροχόπτωσης σχεδιασμού $t=3h$ και $T=25$ ετών.....	227
Εικόνα 4.68: Προφίλ υπόγειου και επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου	228
Εικόνα 4.69: Προφίλ υπόγειου και επιφανειακού αγωγού στην αρχή της τέταρτης ώρας της προσομοίωσης.....	228
Εικόνα 4.70: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης	229
Εικόνα 4.71: Προφίλ παντοροϊκών αγωγών στην αρχή της πρώτης ώρας της βροχόπτωσης σχεδιασμού.....	230
Εικόνα 4.72: Προφίλ παντοροϊκών αγωγών κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου	230
Εικόνα 4.73: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=100$ ετών	231
Εικόνα 4.74: Προφίλ παντοροϊκών αγωγών στην αρχή της πρώτης ώρας της βροχόπτωσης σχεδιασμού.....	232
Εικόνα 4.75: Προφίλ υπόγειου και επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου	232
Εικόνα 4.76: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=2$ ετών	233
Εικόνα 4.77: Επιφανειακή απορροή ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου.....	234

Εικόνα 4.78: Διήθηση ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου	234
Εικόνα 4.79: Βάθος νερού στους κόμβους του δικτύου κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής	235
Εικόνα 4.80: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-2 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.....	235
Εικόνα 4.81: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=5$ ετών	236
Εικόνα 4.82: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-26-2 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής	237
Εικόνα 4.83: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-26-2 έως την έξοδο του συστήματος στην αρχή της τέταρτης ώρας.....	237
Εικόνα 4.84: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=10$ ετών	238
Εικόνα 4.85: Βροχόπτωση (mm/h) ανά υπολεκάνη κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου.....	239
Εικόνα 4.86: Εισροή (L/s) στα φρεάτια του παντοροϊκού δικτύου κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής	239
Εικόνα 4.87: Παντοροϊκός συλλεκτήρας Ζώνης Δ κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.....	240
Εικόνα 4.88: Υπόγειος παντοροϊκός αγωγός κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της πλημμύρας.....	240
Εικόνα 4.89: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=20$ ετών	241
Εικόνα 4.90: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.....	242
Εικόνα 4.91: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα στην αρχή της πέμπτης ώρας	242
Εικόνα 4.92: Υδρογράφημα βροχόπτωσης σχεδιασμού $t=6h$ και $T=25$ ετών.....	243
Εικόνα 4.93: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.....	244
Εικόνα 4.94: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα στην αρχή της τέταρτης ώρας	244
Εικόνα 4.95: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης.....	245
Εικόνα 4.96: Προφίλ υπόγειου αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου.....	246
Εικόνα 4.97: Προφίλ επιφανειακού αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου.....	246

Εικόνα 4.98: Προφίλ υπόγειου αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 στην αρχή της πέμπτης ώρας.....	247
Εικόνα 4.99: Προφίλ επιφανειακού αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 στην αρχή της πέμπτης ώρας.....	247
Εικόνα 4.100: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=100$ ετών	248
Εικόνα 4.101: Φρεάτια δικτύου τα οποία πλημμυρίζουν	249
Εικόνα 4.102: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-7 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου	250
Εικόνα 4.103: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=12h$ και $T=2$ ετών	251
Εικόνα 4.104: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στο δίκτυο.....	252
Εικόνα 4.105: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή 10:00:00	252
Εικόνα 4.106: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=12h$ και $T=5$ ετών	253
Εικόνα 4.107: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στον αγωγό.....	254
Εικόνα 4.108: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή 2:00:00	254
Εικόνα 4.109: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=12h$ και $T=10$ ετών	255
Εικόνα 4.110: Σύνολο φρεατίων δικτύου, κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	256
Εικόνα 4.111: Προφίλ αγωγού κατά την χρονική στιγμή την οποία το ανάντη φρεάτιο έχει πλημμυρίσει	257
Εικόνα 4.112: Προφίλ επιφανειακού αγωγού κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου	258
Εικόνα 4.113: Προφίλ υπονόμου μετά το πέρας του γεγονότος βροχόπτωσης.....	258
Εικόνα 4.114: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=12h$ και $T=20$ ετών	259
Εικόνα 4.115: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στον αγωγό.....	260
Εικόνα 4.116: Αναπαράσταση παροχής αγωγών και βάθος νερού στους κόμβους	261
Εικόνα 4.117: Υπόγειος αγωγός (σύνδεσης φρεατίων D-39 – D-40) κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής.	262
Εικόνα 4.118: Επιφανειακός αγωγός (σύνδεσης φρεατίων D-39 – D-40) κατά την χρονική στιγμή της αιχμής.....	262
Εικόνα 4.119: Υδρογράφημα βροχόπτωσης σχεδιασμού $t=12h$ και $T=25$ ετών.....	263

Εικόνα 4.120: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου	264
Εικόνα 4.121: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή 2:00:00	264
Εικόνα 4.122: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης	265
Εικόνα 4.123: Αναπαράσταση βάθος νερού στους κόμβους του δικτύου κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου	266
Εικόνα 4.124: Απορροή των υπολεκανών κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	267
Εικόνα 4.125: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης t=12h και T=100 ετών	268
Εικόνα 4.126: Αναπαράσταση επιφανειακής απορροής (l/s) ανά υπολεκάνη και φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν (l/s) κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου	269
Εικόνα 4.127: Προφίλ υπόγειων αποχετευτικών αγωγών κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της αιχμής	270
Εικόνα 4.128: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης t=24h και T=2 ετών	271
Εικόνα 4.129: Βροχόπτωση (mm/h) ανά υπολεκάνη και όγκος νερού ανά κόμβο (m ³) για τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.	272
Εικόνα 4.130: Προφίλ αγωγών παντοροϊκού δικτύου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου	273
Εικόνα 4.131: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης t=24h και T=5 ετών	274
Εικόνα 4.132: Προφίλ υπονόμου για τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου	275
Εικόνα 4.133: Προφίλ επιφανειακού αγωγού για τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	275
Εικόνα 4.134: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης t=24h και T=10 ετών	276
Εικόνα 4.135: Προφίλ υπονόμου (αριστερά) και επιφανειακού αγωγού (δεξιά) κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.	277
Εικόνα 4.136: Προφίλ υπονόμου (αριστερά) και επιφανειακού αγωγού (δεξιά) κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.	277
Εικόνα 4.137: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης t=24h και T=20 ετών	278
Εικόνα 4.138: Βροχόπτωση ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	279

Εικόνα 4.139: Προφίλ υπόγειου και αντίστοιχου επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του παντοροϊκού δικτύου αποχέτευσης	280
Εικόνα 4.140: Υδρογράφημα βροχόπτωσης $t=24h$ και $T=25$ ετών	281
Εικόνα 4.141: Προφίλ υπόγειου και επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου	282
Εικόνα 4.142: Προφίλ υπόγειου και επιφανειακού αγωγού στην αρχή της δεύτερης μέρας της προσομοίωσης.....	282
Εικόνα 4.143: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης	283
Εικόνα 4.144: Προφίλ παντοροϊκών αγωγών στην αρχή της πρώτης ώρας της βροχόπτωσης σχεδιασμού.....	284
Εικόνα 4.145: Προφίλ παντοροϊκών αγωγών κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου	285
Εικόνα 4.146: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=24h$ και $T=100$ ετών	286
Εικόνα 4.147: Φρεάτια δικτύου τα οποία πλημμυρίζουν	287
Εικόνα 4.148: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-7 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου	288
Εικόνα 4.149: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για $t=1h$ και διάφορα T	289
Εικόνα 4.150: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για $t=2h$ και διάφορα T	290
Εικόνα 4.151: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για $t=3h$ και διάφορα T	291
Εικόνα 4.152: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για $t=6h$ και διάφορα T	292
Εικόνα 4.153: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για $t=12h$ και διάφορα T	293
Εικόνα 4.154: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για $t=24h$ και διάφορα T	294
Εικόνα 4.155: Συγκριτικό υδρογράφημα παροχών αιχμής Ορθολογικής Μεθόδου και παροχών αιχμής οι οποίες εκτιμήθηκαν με το λογισμικό SWMM, για τους κόμβους του δικτύου D-52 έως KAA-66_EKX_Δ	295

Εικόνα 4.156: Συγκριτικό υδρογράφημα παροχών αιχμής Ορθολογικής Μεθόδου και παροχών αιχμής οι οποίες εκτιμήθηκαν με το λογισμικό SWMM, για τους κόμβους του δικτύου D-12-56 έως ΚΑΑ-66_EKX_Δ.....	296
Εικόνα 4.157: Προφίλ αγωγών παντοροϊκού δικτύου για $t=1h$ και $T=10$ κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο (Αρχική Διάμετρος).....	302
Εικόνα 4.158: Προφίλ αγωγών παντοροϊκού δικτύου για $t=1h$ και $T=10$ κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο (Νέα Διάμετρος).....	303
Εικόνα 4.159: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=1h$ και $T=10$	308
Εικόνα 4.160: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=2h$ και $T=10$	309
Εικόνα 4.161: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=3h$ και $T=10$	310
Εικόνα 4.162: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=6h$ και $T=10$	311
Εικόνα 4.163: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=12 h$ και $T=10$	312
Εικόνα 4.164: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=24h$ και $T=10$	313
Εικόνα 4.165: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου	314
Εικόνα 4.166: Προφίλ επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.....	315
Εικόνα 4.167: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=1 h$ και $T=10$ χρόνια.....	316
Εικόνα 4.168: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=2 h$ και $T=10$ χρόνια.....	317
Εικόνα 4.169: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=3 h$ και $T=10$ χρόνια.....	318
Εικόνα 4.170: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=6 h$ και $T=10$ χρόνια.....	319
Εικόνα 4.171: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=12 h$ και $T=10$ χρόνια.....	320

Εικόνα 4.172: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=24$ h και $T=10$ χρόνια	321
Εικόνα 4.173: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 1 h και $T=10$ έτη	322
Εικόνα 4.174: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 2 h και $T=10$ έτη	322
Εικόνα 4.175: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 3 h και $T=10$ έτη	323
Εικόνα 4.176: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 6 h και $T=10$ έτη	323
Εικόνα 4.177: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 12 h και $T=10$ έτη ..	324
Εικόνα 4.178: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 24 h και $T=10$ έτη ..	324
Εικόνα 4.179: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 1 h και $T=10$ έτη	325
Εικόνα 4.180: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 2 h και $T=10$ έτη	326
Εικόνα 4.181: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 3 h και $T=10$ έτη	327
Εικόνα 4.182: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 6 h και $T=10$ έτη	328
Εικόνα 4.183: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 12 h και $T=10$ έτη ..	329
Εικόνα 4.184: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 24 h και $T=10$ έτη ..	330
Εικόνα 4.185: Προφίλ υπόγειου παντοροϊκού αγωγού (αριστερά) και επιφανειακού αγωγού (δεξιά) κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμή στην έξοδο του δικτύου, για βροχόπτωση διάρκειας 24 h και $T=10$ έτη	331
Εικόνα Π-Α.1: Πινακίδα με στοιχεία παντοροϊκού δικτύου	345
Εικόνα Π-Α.1 (συνέχεια): Πινακίδα με στοιχεία παντοροϊκού δικτύου.....	346
Εικόνα Π-Α.1 (συνέχεια): Πινακίδα με στοιχεία παντοροϊκού δικτύου.....	347
Εικόνα Π-Δ.1: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=2$ και $t=2h$	379
Εικόνα Π-Δ.2: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=5$ και $t=2h$	380
Εικόνα Π-Δ.3: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=10$ και $t=2h$	381
Εικόνα Π-Δ.4: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=20$ και $t=2h$	382
Εικόνα Π-Δ.5: Υετογράφημα $T=25$ και $t=2h$	383
Εικόνα Π-Δ.6: Υετογράφημα $T=50$ και $t=2h$	384
Εικόνα Π-Δ.7: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=100$ και $t=2h$	385
Εικόνα Π-Δ.8: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=2$ και $t=3h$	386
Εικόνα Π-Δ.9: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=5$ και $t=3h$	387
Εικόνα Π-Δ.10: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=10$ και $t=3h$	388
Εικόνα Π-Δ.11: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=20$ και $t=3h$	389
Εικόνα Π-Δ.12: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=25$ και $t=3h$	390
Εικόνα Π-Δ.13: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=50$ και $t=3h$	391
Εικόνα Π-Δ.14: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=100$ και $t=3h$	392

Εικόνα Π-Δ.15: Υετογράφημα σχεδιασμού T=2 και t=6h	393
Εικόνα Π-Δ.16: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=6h	394
Εικόνα Π-Δ.17: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=6h	395
Εικόνα Π-Δ.18: Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=6h	396
Εικόνα Π-Δ.19: Υετογράφημα σχεδιασμού T=25 και t=6h	397
Εικόνα Π-Δ.20: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=6h	398
Εικόνα Π-Δ.21: Υετογράφημα σχεδιασμού T=100 και t=6h	399
Εικόνα Π-Δ.22: Υετογράφημα σχεδιασμού T=2 και t=12h	400
Εικόνα Π-Δ.23: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=12h	401
Εικόνα Π-Δ.24: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=12h	402
Εικόνα Π-Δ.25: Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=12h	403
Εικόνα Π-Δ.26: Υετογράφημα σχεδιασμού T=25 και t=12h	404
Εικόνα Π-Δ.27: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=12h	405
Εικόνα Π-Δ.28: Υετογράφημα σχεδιασμού T=100 και t=12h	406
Εικόνα Π-Δ.29: Υετογράφημα σχεδιασμού T=2 και t=24h	407
Εικόνα Π-Δ.30: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=24h	408
Εικόνα Π-Δ.31: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=24h	409
Εικόνα Π-Δ.32: Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=24h	410
Εικόνα Π-Δ.33: Υετογράφημα σχεδιασμού T=25 και t=24h	411
Εικόνα Π-Δ.34: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=24h	412
Εικόνα Π-Δ.35: Υετογράφημα T=100 και t=24h	413

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη, η αναπαράσταση, η προσομοίωση και η ανάλυση του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου της Αθήνας, για τη διερεύνηση του μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή και την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου. Για το συγκεκριμένο σκοπό επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SWMM, στη Ζώνη Δ (Κάτω Πατήσια, Κυψέλη) του παντοροϊκού συστήματος. Το παντοροϊκό αποχετευτικό δίκτυο, της Ζώνης Δ, εκτός από το λογισμικό SWMM, επιλύθηκε και με την Ορθολογική Μέθοδο, με βάση τις σημερινές συνθήκες και συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των αποτελεσμάτων του λογισμικού και των αποτελεσμάτων τα οποία εκτιμήθηκαν με την Ορθολογική Μέθοδο. Τέλος στα πλαίσια αντιμετώπισης των πλημμυρικών φαινομένων, τα οποία διαπιστώθηκε ότι λαμβάνουν χώρα για περιόδους επαναφοράς μεγαλύτερες των 5 ετών, προτείνονται ορισμένα μέτρα αντιμετώπισης.

Αρχικά, περιγράφονται οι τρόποι εκτίμησης της παροχής ομβρίων και ακαθάρτων υδάτων. Γίνεται αναφορά στα μοντέλα προσδιορισμού της ποσότητας και της ποιότητας απορροής. Αναφέρονται οι κανονισμοί οι οποίοι ισχύουν σήμερα στην Ελλάδα για το αποχετευτικό δίκτυο. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται και περιγράφεται αναλυτικά το λογισμικό SWMM. Γίνεται ενδελεχής ανάλυση του θεωρητικού υποβάθρου του λογισμικού και περιγράφονται και αναλύονται οι παράμετροι αυτού και προτείνονται εναλλακτικοί τρόποι εκτίμησης των παραμέτρων αυτών. Τέλος, παρουσιάζονται μελέτες οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί με το λογισμικό SWMM και οι οποίες αποτέλεσαν μέρος της βιβλιογραφικής έρευνας η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Ακολούθως παρουσιάζεται η περιοχή έρευνας και η πορεία εργασιών η οποία ακολουθήθηκε για την επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Ζώνη Δ του παντοροϊκού δικτύου Αθηνών και με τη χρήση του λογισμικού SWMM μοντελοποιήθηκε το παντοροϊκό σύστημα αποχέτευσης και διερευνήθηκε η υδραυλική συμπεριφορά του συστήματος για διάφορα γεγονότα βροχόπτωσης. Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του δυναμικού κύματος έτσι ώστε να προσεγγίζονται στον καλύτερο δυνα-

τό βαθμό οι πραγματικές συνθήκες. Τα γεγονότα βροχόπτωσης εισήχθησαν στο μοντέλο με τη μορφή υετογραμμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν με την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ, για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 ετών και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 2, 3, 6, 12, 24 h, με το χρονικό βήμα να επιλέγεται 1 min.

Στο επόμενο Κεφάλαιο αναλύονται και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα:

- ❖ Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν με την Ορθολογική Μέθοδο.
- ❖ Παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την ανάλυση ευαισθησίας 11 παραμέτρων του λογισμικού.
- ❖ Παρουσιάζονται, αναλύονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν, για την περιοχή έρευνας, με το λογισμικό SWMM.
- ❖ Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν, με το λογισμικό SWMM, από την εφαρμογή των μέτρων αντιμετώπισης. Τα μέτρα αντιμετώπισης τα οποία εξετάστηκαν ήταν:
 - ✓ Αύξηση διαμέτρου παντοροϊκών αγωγών.
 - ✓ Κατασκευή δεξαμενών παράλληλα στους υπονόμους, για αποθήκευση της απορροής.
 - ✓ Κατασκευή δεξαμενής στην έξοδο του δικτύου με σκοπό την αποθήκευση της παροχής υπερχειλίσης.

Η εργασία ολοκληρώνεται με μια σύνοψη των κυριότερων συμπερασμάτων και τη διατύπωση ορισμένων προτάσεων στην κατεύθυνση της μελλοντικής έρευνας.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The prevailing approach today is to construct separate drainage networks for stormwater and wastewater. However, in many European cities, where the drainage systems were constructed before World War II, there are still operating combined sewer systems which convey both sanitary wastewater and stormwater through the same sewer.

The scope of this postgraduate thesis is the analysis, the modelling and the identification of deficiencies in terms of capacity of the combined sewer system in Zone D (Kato Patisia, Kypseli) of Athens. The modelling aims to assess the capacity of this combined drainage system in the conveying stormwater, to locate nodes/areas with flooding problems and to propose measures of solving the problem. Initially the combined sewer system was modeled using the Rational Method in accordance with the Greek Technical Specifications (Presidential Decree 696/1974). Then, the hydrological and hydraulic modelling took place using the EPA SWMM software. Finally, mitigation measures were proposed and modeled with SWMM to resolve flooding problems, which included enlarging sewer sizes and designing detention ponds.

Greek Technical Specifications

The legal framework which determines conditions and methods for design of drainage systems in Greece is the Presidential Degree 696/1974, articles 208 through 219. These articles determined:

- i. The conditions for the drafting of drainage studies both for wastewater and stormwater.
- ii. Stages and deliverables reports for preliminary design and final design of sanitary wastewater, the stormwater and wastewater treatment plants.

Wastewater drainage network

Under the Greek regulations key constraints which must be met are:

- i. Minimum diameter 200 mm.
- ii. Maximum $y/D=0.7$. For small diameters (500-600 mm) it is proposed $y/D=0.6$ and for very small diameters (200-400 mm) it is proposed $y/D=0.5$.
- iii. The maximum velocity in the conduits should not be greater than 3 m/s.
- iv. The minimum velocity, in the conduits should not be less than 0.56 m/s.

Stormwater drainage network

Under the Greek regulations key constraints which need to be met, when designing a storm-water drainage network, are:

- i. Minimum diameter 400 mm.
- ii. Maximum $y/D=0.7$ for new conduits and 0.8 for conduits already constructed.
- iii. Maximum flow velocity 6 m/s.
- iv. The minimum allowed slope presented in Table 1.

Table 1: Minimum allowed slope

Internal Diameter of Conduit (mm)	Minimum allowed slope (%)
400	0.6
500	0.44
600	0.35
700	0.28
800	0.24
900	0.20
1000	0.18
1100	0.16
1200	0.14
1300	0.12
1400	0.11
1500-2000	0.10

Rational Method

The rational method is a simple technique for estimating a design discharge from a small urban catchment. It was developed by Kuichling (1889) for small drainage basins in urban areas. According to the theory of the rational method the produced runoff, of the watershed, is related with the average intensity of rainfall, the time of concentration and the watershed drainage area. The equation is:

$$Q = \left(\frac{1}{360}\right)C_f CiA \tag{1}$$

where:

Q: peak runoff (m³/s)

C: dimensionless runoff coefficient

C_f: correction coefficient for C for the storm return interval (Table 2)

i: rainfall intensity (mm/h)

A: drainage area (ha)

Table 2: Correction coefficient for C for the storm return interval

Storm return interval (years)	C _f
2-10	1
25	1.10
50	1.20
100	1.25

The proposed values, for the runoff coefficient, from the Greek Technical Specifications, are shown in Table 3.

Table 3: Values for runoff coefficient according to Greek Technical Specifications

Description	C
Mountain (Average altitude > 300 m)	0.60
Hilly (Medium altitude between 100 and 300 m)	0.50
Lowland (Average altitude < 100 m)	0.30

The values in Table 3 apply on non-urban watersheds. For urban drainage catchments the runoff coefficient is considered to be at least equal to the runoff coefficient, which would apply if the catchment was in an non-urban area.

The average runoff coefficient is defined by the formula:

$$C = \frac{\Sigma CA}{\Sigma A} \quad (2)$$

Finally, the time of concentration is set at 10 minutes according to the Greek Technical Specifications (Presidential Degree 696/1974).

SWMM Software

The EPA Storm Water Management Model (SWMM) was first developed in 1971, as a tool that computes runoff quantity and quality from urban areas. It has been continually maintained and updated since then and the latest version of SWMM was produced by the Water Supply and Water Resources Division of the U.S. Environmental Protection Agency's National Risk Management Research Laboratory with assistance from the consulting firm of CDM, Inc.

SWMM is a fully dynamic rainfall-runoff simulation model. It can be used in order to simulate a single event or for continuous simulation of runoff quantity and quality from urban areas. The precipitation is received by the subcatchment which generates runoff and pollutants. The routing portion of the model is responsible for the transport of this runoff through a system of conduits, channels, detention ponds, pumps etc. The quantity and quality of runoff, generated within each subcatchment is been tracked down by SWMM and also the flow rate, flow depth and the quality of water in each conduit and channel during a simulation period comprised of multiple time steps.

The model is conceptually divided into four major environmental compartments:

- i. Atmosphere compartment, which is responsible for precipitation and pollutants from air.
- ii. The land surface compartment.
- iii. The transport compartment, routing flow from runoff surface areas through a network of conduits, channels etc.
- iv. The ground water compartment, receiving infiltration from the land surface compartment and providing input to the transport compartment.

A drainage system can be modeled with the SWMM software with a set of visual objects. These objects are: Rain Gages, Subcatchments, Junction nodes, Outfall nodes, Conduits, Storage units, Pumps, Regulators.

The processes occurring on the land surface compartment are an essential part of the model. This compartment is usually divided into small, homogeneous subcatchments, each of them draining to a single junction. All of the subcatchments have their own sets of hydrological parameters. The water input to the subcatchment is deduced from the atmospheric compartment. Each of the subcatchments in the model is assigned a rain gage. This rain gage is containing data on rainfall volume or intensity at certain time intervals.

SWMM model offers a selection of three different built-in infiltration models. These are: Horton equation, Green-Ampt method, Curve Number Method. Infiltration only take place on the pervious fraction of the subcatchment. This area is defined by the user with the setup of the imperviousness parameter.

The outflow from each subcatchment is being calculated from the model as follows:

$$Q = \frac{W}{n} (d - d_p)^{5/3} S_0^{1/2} \quad (3)$$

where:

Q: subcatchment outflow (m³/sec)

W: subcatchment width (m)

n: Manning's coefficient

d: water depth (m)

d_p: depth of depression retention (m)

S₀: slope (%)

Finally, flow routing within a conduit, in SWMM model is governed by the conservation of mass and momentum equations for gradually varied, unsteady flow (Saint-Venant equations).

The user of the software has a choice on the sophistication used to solve these equations:

- ❖ Steady Flow Routing
- ❖ Kinematic Wave Routing
- ❖ Dynamic Wave Routing

Study Area and Methodological Framework

Study area

The combined sewer system of Athens is comprised of a set of conduits and facilities that collect and drain the combined flow from runoff of stormwater and wastewater. It is divided into subcatchments: B, C, D, E, F, Z1, Z2, I-H, H1, H2 and Th. The stormwater basin of the combined sewer system is 1310 ha, while the sewer basin is approximately 1250 ha.

The wastewater drains in the Central Sewer Conduit while the stormwater drains in the Kifisos river and in the stream of Prophet Daniel. Figure 1 shows all the Zones of the combined sewer network of Athens. In the present study, Zone D was selected as a study area of the combined sewer system, with an area of 87.88 ha approximately.



Figure 1: Representation of subcatchments of combined sewer system of Athens

Methodological framework

For the representation and the modelling of the combined sewer system with the SWMM software, the course followed was:

- i. Input of the components of the combined sewer system in ArcGIS. The maps with the necessary elements of the network were given from the Information and Technology Department of EYDAP SA.
- ii. Digitization of the following elements: Building blocks, Junctions, Conduits.

- iii. Design of the urban subcatchments according to urban hydrology rules with the combined use of ArcGIS and AutoCAD software.
- iv. Representation and registration of all parameters using InfoSWMM software: Urban subcatchments, Junctions, Conduits.
- v. Export with InfoSWMM in a format suitable for insertion into the SWMM software.
- vi. Representation with SWMM software of the remaining conduits and entry of all the required parameters. This step was necessary as the educational license of the InfoSWMM software allowed the representation of 60 conduits.
- vii. Estimation of dry weather inflows.
- viii. Import of dry weather inflows in SWMM.
- ix. Creation of design storm hyetographs with the alternating block method. The rainfall data consisted of 42 synthetic design events that represented the 2, 5, 10, 20, 25, 50 and 100 years storm of 1, 2, 3, 6, 12 and 24 hours duration. The time interval was 1 minute.
- x. Determination of infiltration model (SCS Method) and estimation of the necessary parameters.
- xi. Determination of simulation parameters and the routing model.
- xii. Execution of sensitivity analysis.
- xiii. Simulation of the combined sewer system and export of the results.
- xiv. Analysis of the results with Excel software.
- xv. Search of ways to counter with flooding. Applying them in SWMM model, export of the results and finally process them with Excel software.
- xvi. Resolve the combined sewer system with the Rational Method.

Results

Rational method

Initially the combined sewer system of Zone D of Athens was modeled with the Rational Method for 5 years return period, using the Excel software. The time of concentration was calculated for each subcatchment using the kinematic wave equation.

According to the results of the rational method, the peak runoff in the sewerage collector was about 18258 L/s with the time of concentration of about 12 minutes. This egg-shaped conduit (sewerage collector), according to the results, should have a height of approximately 2 m in order to drain the flow peak. In practice, it has been constructed as an egg-shaped conduit with a height of 2.4 m. The slope of the conduit fulfills the Greek Technical Specifications (Presidential Decree 696/1974), as the slopes of all the conduits in the Zone.

Sensitivity analysis

Sensitivity analysis consists of changing the parameters used in the simulation and then check the impacts on the results caused by this change. In cases when small variations of a parameter cause a significant effect on the final outcome, then the model is considered to be sensitive in this parameter and considerable precision is required assigning values to this parameter. The sensitivity analysis method used in this study is called One-at-a-time and the parameters which have been studied were: 1) Imperviousness, 2) Manning n for impervious fraction, 3) Manning n for pervious fraction, 4) Depression storage for impervious fraction, 5) Depression storage for pervious fraction, 6) %Zero-Impervious, 7) Curve Number, 8) Routing time, 9) Manning of conduits and channels, 10) Width of subcatchments, 11) Slope of subcatchments.

The sensitivity analysis has shown that the model is especially sensitive in the following parameters: Routing time, Manning n of conduits and channels, width and slope.

Results of simulation with SWMM software

The combined sewer system of the study area was simulated for 42 synthetic design events. The results that have been produced are summarized in Table 4.

Table 4: Summarized results of simulations

Simulation	Rainfall (mm)	Flow Peak (L/s)	Node Flooding
T=2 and t=1h	18.6	14630	NO
T=5 and t=1h	23.9	16726	NO
T=10 and t=1h	29.0	18271	YES
T=20 and t=1h	35.2	19807	YES
T=25 and t=1h	37.4	20078	YES
T=50 and t=1h	45.3	21063	YES
T=100 and t=1h	54.8	21321	YES
T=2 and t=2h	22.5	14814	NO
T=5 and t=2h	29.0	16941	NO
T=10 and t=2h	35.2	18629	YES
T=20 and t=2h	42.6	19937	YES
T=25 and t=2h	45.3	20152	YES
T=50 and t=2h	54.8	21088	YES
T=100 and t=2h	66.4	21344	YES
T=2 and t=3h	25.2	14882	NO
T=5 and t=3h	32.5	17037	NO
T=10 and t=3h	39.3	18709	YES
T=20 and t=3h	47.6	19971	YES
T=25 and t=3h	50.6	20175	YES
T=50 and t=3h	61.3	21094	YES
T=100 and t=3h	74.2	21354	YES
T=2 and t=6h	30.5	15035	NO
T=5 and t=6h	39.3	17213	NO
T=10 and t=6h	47.6	18833	YES
T=20 and t=6h	57.6	20027	YES
T=25 and t=6h	61.2	20287	YES
T=50 and t=6h	74.2	21110	YES
T=100 and t=6h	89.8	21362	YES

Table 4 (continue): Summarized results of simulations

Simulation	Rainfall (mm)	Flow Peak (L/s)	Node Flooding
T=2 and t=12h	36.9	15257	NO
T=5 and t=12h	47.5	17304	NO
T=10 and t=12h	57.5	18907	YES
T=20 and t=12h	69.7	20036	YES
T=25 and t=12h	74.1	20356	YES
T=50 and t=12h	83.0	21117	YES
T=100 and t=12h	108.6	21369	YES
T=2 and t=24h	44.7	15403	NO
T=5 and t=24h	57.5	17333	NO
T=10 and t=24h	69.6	18932	YES
T=20 and t=24h	84.3	20044	YES
T=25 and t=24h	89.7	20378	YES
T=50 and t=24h	61.3	21119	YES
T=100 and t=24h	131.5	21370	YES

Mitigation measures

The combined sewer system is able to drain rainfalls events with return period up to 5 years. In case of events with higher return period the conduits are filled. This results in the runoff to be made by the surface channels (roads). Moreover, in many cases even the surface channels could not drain the runoff and as a result the depth of the water exceeded the height of the curb. The measures, examined in this thesis, aimed to upgrade the drainage system so that it has a carrying capacity of return periods up to 10 years. The mitigation measures tested with the SWMM model are the following:

- i. Increase sewer diameters.
- ii. Design of detention ponds along the underground drainage system.
- iii. Design of one large detention pond at the network outlet.

Summary and Conclusions

The combined sewer system of Zone D (Kato Patisia, Kypseli) of Athens was modeled and analyzed using the EPA SWMM software. Moreover, the system was solved using the rational method. Finally, using SWMM, countermeasures were examined in order to prevent flooding that would occur in the region even for small storms.

The most important conclusions from the research were the following:

- ❖ Although the Greek Technical Specifications (Presidential Decree 696/74) define a return period of 10 years, the system has been dimensioned for a return period of 5 years.
- ❖ Some of the conduits of the combined system are undersized, while others are oversized.
- ❖ According to Greek Technical Specifications, flow time of concentration to the input nodes, was taken arbitrarily 10 minutes.
- ❖ The combined sewer system is capable of draining rainfall events with a return period of up to 5 years, according to SWMM results.
- ❖ For longer return periods ($T > 10$) many nodes flood, underground pipes fill, flow appears in the surface network (roads) and in some cases the water level in the road exceed the curb height.
- ❖ The height of the sewerage collector should be changed to rectangular, from egg-shaped, with the same height (2.4 m) and a width of 3 m. Some of the other conduits must also be increased in size or changed in shape.
- ❖ Under the second case tested, when the diameters of the conduits remain unchanged but detention ponds are constructed, it is proposed to construct 29 detention ponds at various parts of the drainage system where flooding was identified. The area and the volume of those detention ponds vary accordingly to the volume of the water that they must store.
- ❖ Finally, in the case of making a single detention pond close to the outlet, flooding occurs at the upstream of the system. This detention pond is designed in order to store the runoff volume which would overflow to Kifisos river. This alternative, although there is vacant space near the outlet of the system, it is quite difficult to implement due to the large size of the pond.

Focusing on the combined sewer system of Athens, we can propose some ideas for further research. The first one is the analysis and the modelling of all the Zones of the combined sewer system of Athens. The second one is the implementation of rainfall runoff measurements in all the systems. Another aspect is the implementation of Hydroplan methodology in all the Zones of the combined sewer system.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη, προσομοίωση και ανάλυση του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου της Αθήνας για την εκτίμηση της δυνατότητας μεταφοράς της απορροής και την εντόπιση σημείων με πρόβλημα. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Ζώνη Δ (Κάτω Πατήσια, Κυψέλη) του παντοροϊκού συστήματος της πόλης των Αθηνών. Επιπλέον στην παρούσα εργασία προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης, κατασκευαστικά μέτρα, για την αποφυγή πλημμυρικών φαινομένων τα οποία παρατηρήθηκε ότι λαμβάνουν χώρα στην περιοχή μελέτης, ακόμα και στην περίπτωση βροχοπτώσεων μικρής περιόδου επαναφοράς.

Για την υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της Αμερικάνικης Ένωσης Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) Storm Water Management Model (SWMM). Επιπλέον το αποχετευτικό δίκτυο, της περιοχής μελέτης, επιλύθηκε με την Ορθολογικής Μέθοδο, η οποία είναι και η προτεινόμενη με βάση τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές. Τέλος, εξετάστηκαν και διάφορα μέτρα για την αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων τα οποία διαπιστώθηκε ότι λαμβάνουν χώρα στην περιοχή ακόμη και για βροχοπτώσεις μικρής περιόδου επαναφοράς.

1.2 Σύντομο Ιστορικό Έργων Αποχέτευσης Αθήνας

Στο Κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή των μελετών του αποχετευτικού συστήματος της πρωτεύουσας.

Η πρώτη ανάθεση μελέτης αποχετευτικού συστήματος έγινε το 1883, πενήντα πέντε χρόνια μετά την ίδρυση του νεότερου Ελληνικού κράτους, από την κυβέρνηση του Χαρίλαου Τρικούπη. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται (Κουμπαρέλης):

- Στην αβέβαιη κατάσταση η οποία επικρατούσε εκείνη την εποχή
- Στην εσωτερικές συγκρούσεις / αλληλοσπαραγμούς
- Στην οικονομική ανέχεια στην οποία βρίσκονταν η χώρα.

1.2.1 Αρχαιότητα – 1840

Η Αθήνα δεν διέθετε οργανωμένο δίκτυο αποχέτευσης στην αρχαιότητα. Τα ανοικτά συστήματα αποχέτευσης δημιουργούσαν νοσογόνες εστίες σε λιμνάζοντα σημεία, με συνέπεια την εκδήλωση σοβαρών επιδημιών και ασθενειών, όπως η χολέρα και η πανώλη. Η πρακτική αυτή ακολουθήθηκε για 15 περίπου αιώνες και σταδιακά αντικαταστάθηκε από το σύστημα αποχέτευσης των λυμάτων σε σηπτικούς - απορροφητικούς βόθρους. Όταν επερχόταν κορεσμός στην απορροφητική ικανότητα των βόθρων, τότε κατασκευάζονταν άλλοι ή τα λύματα απορρίπτονταν με δοχεία σε χείμαρρους και ρέματα. Φυσικά ούτε αυτή η πρακτική απομάκρυνε τους κινδύνους για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον (www.eydap.gr).

1.2.2 Περίοδος 1840 – 1930

Για πρώτη φορά στη νεότερη ιστορία της Αθήνας, γύρω στο 1840, έγινε προσπάθεια για συστηματική κατασκευή συστήματος συλλογής και μεταφοράς ακαθάρτων και ομβρίων υδάτων. Το 1860 κατασκευάστηκε από την πρώτη γαλλική Αποστολή Δημοσίων Έργων ο παντοροϊκός αγωγός της Σταδίου, η επέκταση του οποίου πραγματοποιήθηκε το 1870. Στη συνέχεια και πιο συγκεκριμένα κατά τη δεκαετία 1880-1890 καλύφθηκε το ανοιχτό ρέμα του Κυκλοβόρου με λιθόκτιστο αγωγό μεγάλης διαμέτρου (περίπου 3 μ.) (Κουμπαρέλης).

Μέχρι το 1893 το κατασκευασμένο δίκτυο αποχέτευσης είχε συνολικό μήκος περίπου 11.5 km., ενώ ο βαθμός αστικής ανάπτυξης της πόλης των Αθηνών ήταν τέτοιος που απαιτούνταν αποχετευτικό δίκτυο μήκους 90 km. Οι αποχετευτικές ανάγκες δηλαδή της πόλης ήταν περίπου οκταπλάσιες από το κατασκευασμένο δίκτυο (Κουμπαρέλης).

Στα επόμενα χρόνια, εξαιτίας και του ισχυρού προσφυγικού ρεύματος που προκάλεσε η Μικρασιατική καταστροφή το 1922, η ανάγκη κατασκευής έργων αποχέτευσης έγινε ακόμη πιο επιτακτική. Το 1925, ο Δήμος Αθηναίων μελέτησε και κατασκεύασε το «Νέο Μεγάλο Αγωγό», ενώ την ίδια περίοδο κατασκευάστηκε ένα μεγάλο τεχνικό έργο, η συμβολή των δύο «Μεγάλων Αγωγών» στις οδούς Μάρνη και Πανιωνίου (Κουμπαρέλης).

1.2.3 Περίοδος 1930 – 1950

Το 1930 ολοκληρώθηκε η κατασκευή του αγωγού ακαθάρτων του ρέματος Προφήτη Δανιήλ με αποδέκτη το Φαληρικό Δέλτα. Ήταν ένας αγωγός ωσειδής με χερσαίο μήκος περίπου 6.5 km. και υποθαλάσσιο περίπου 700 μ (Κουμπαρέλης).

Το 1931 συστάθηκε η «Ανώνυμος Εταιρία Κατασκευής Υπονόμων Αθηνών και Περιχώρων», στην οποία το ελληνικό κράτος ανέθεσε την οριστική μελέτη του δικτύου των Αθηνών και Περιχώρων για ακάθαρτα και όμβρια ύδατα, με βάση την προμελέτη του Ιταλού καθηγητή υδραυλικής Fantoli (Κουμπαρέλης).

Παράλληλα, ο Δήμος Αθηναίων απαγόρευσε την κατασκευή απορροφητικών βόθρων σε όσους δρόμους είχε κατασκευαστεί δίκτυο αποχέτευσης και αφαίρεσε από τους ιδιώτες το δικαίωμα της κατασκευής και εκμετάλλευσης αγωγών ακαθάρτων και ομβρίων στην πόλη. Μέσα στην πενταετία 1934 - 1939 υλοποιήθηκε ένα μεγάλο πρόγραμμα κατασκευής αποχετευτικών έργων που περιλάμβανε την κάλυψη 17 σημαντικών ρεμάτων, την κατασκευή των μεγάλων αγωγών στις οδούς Ρηγίλλης και Βασιλίσσης Σοφίας και την κατασκευή αντιπλημμυρικής τάφρου στο Λόφο Φιλοπάππου (Κουμπαρέλης).

Ταυτόχρονα με βάση την προμελέτη του καθηγητή Fantoli, κατασκευάστηκαν τρία βασικά έργα υποδομής στην Αθήνα, παρά την έναρξη του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, που αφορούσαν:

- Την κατασκευή του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού (ΚΑΑ)
- Την κατασκευή του μεγάλου και βασικού συλλεκτήρα, μετά από οριστική μελέτη που συντάχθηκε για τον Ιλισό.
- Τη διευθέτηση τμημάτων του Κηφισού.

1.2.4 Περίοδος 1950 - 1980

Από το 1950 και μετά η Αθήνα αναπτύχθηκε πολεοδομικά με ραγδαίους ρυθμούς. Έτσι, η επιτακτική ανάγκη για μεγάλα έργα αποχέτευσης οδήγησε στη σύσταση του Οργανισμού Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΟΑΠ). Ο ΟΑΠ έθεσε τα θεμέλια για την υποδομή του αποχετευτικού συστήματος της πόλης των Αθηνών, αλλά και για τον μακροχρόνιο σχεδιασμό των μελλοντικών αναγκών της Πρωτεύουσας σε δίκτυα ακαθάρτων και αντιπλημμυρικής προστασίας (Κουμπαρέλης).

Το 1950 άρχισε η σύνταξη προμελέτης για την αποχέτευση της περιοχής της Πρωτεύουσας σε έκταση 200.000 στρεμμάτων, που οριστικοποιήθηκε και υποβλήθηκε στις κρατικές αρχές το 1963. Η προμελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκε ως βάση ανάπτυξης των δικτύων στις δεκαετίες του 1960 και του 1970, αφού υπέστη συνεχείς τροποποιήσεις από το 1963 ως το 1977.

Συνολικά, στο διάστημα λειτουργίας του ΟΑΠ, μεταξύ των ετών 1950 έως 1980, κατασκευάστηκαν έργα ακαθάρτων μήκους 1.700 km. και ομβρίων μήκους 300 km., μεταξύ των οποίων ο Παραλιακός Συλλεκτήρας της ακτής Σαρωνικού και ο Παρακηφίσιος Συλλεκτήρας (Κουμπαρέλης).

1.2.5 Περίοδος 1980 έως σήμερα

Το 1980 οι αρμοδιότητες του ΟΑΠ μεταβιβάστηκαν στον ενιαίο φορέα διαχείρισης της ύδρευσης και αποχέτευσης της Αθήνας, την ΕΥΔΑΠ. Από την αρχή της λειτουργίας της ΕΥ-

ΔΑΠ το αποχετευτικό δίκτυο των Αθηνών επεκτάθηκε και πύκνωσε με την κατασκευή πολλών χιλιομέτρων αγωγών για να φτάσει σήμερα να αγγίζει τα 6000 km. Μεταξύ αυτών εντάσσεται και η κατασκευή ενός ακόμα μεγάλης διατομής αγωγού μέσα στη δεκαετία του 1980, του Συμπληρωματικού Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού (ΣΚΑΑ) (Κουμπαρέλης). Στην Εικόνα 1.1 παρουσιάζεται η φωτογραφία ενός συλλεκτήριου αγωγού ακαθάρτων, κατά τη διάρκεια κατασκευής του το 1939.



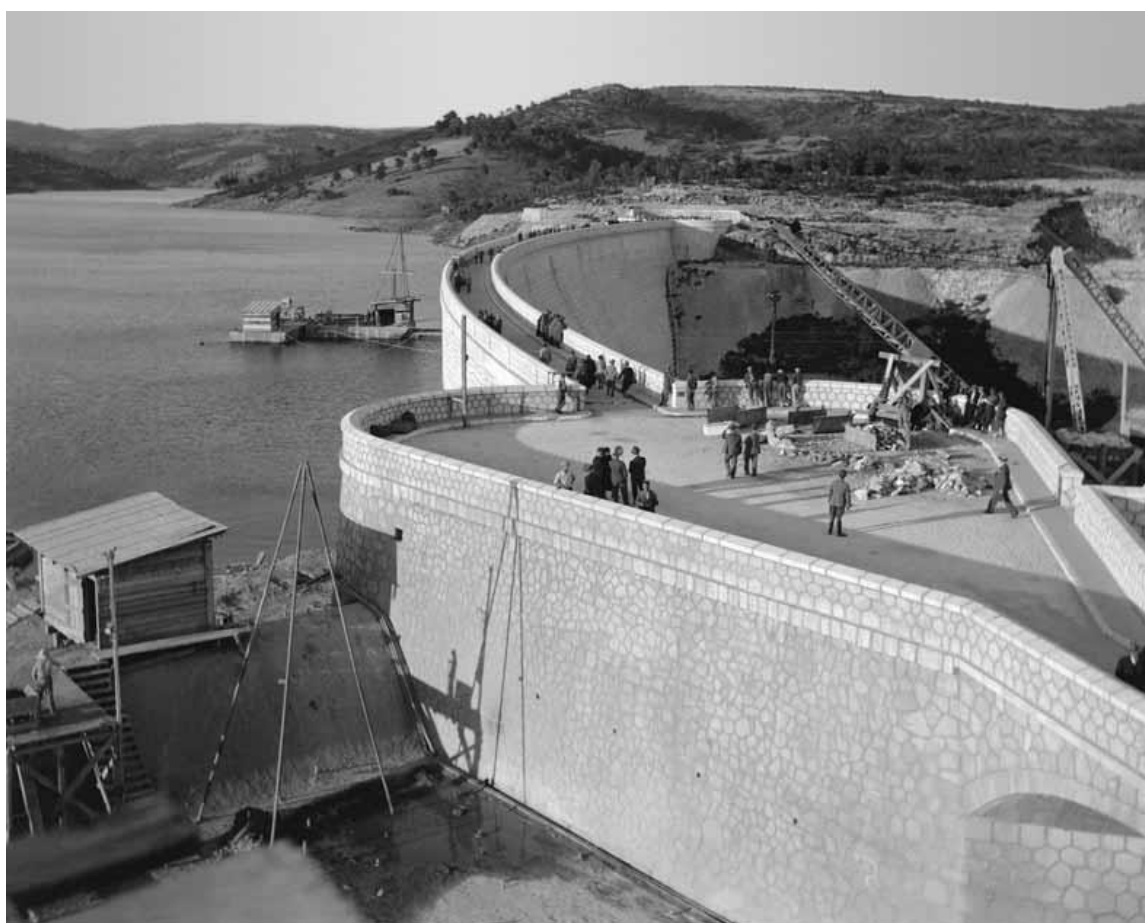
Εικόνα 1.1: Κατασκευή συλλεκτήρα ακαθάρτων (1939) (ΕΥΔΑΠ 2013)

1.2.6 Ανευρεθείσες Μελέτες

- i. Το 1883 ο Γάλλος μηχανικός Alfred Durand Claye συνέταξε έκθεση με τίτλο «Περί του προβλήματος αποχετεύσεως της περιοχής Αθηνών» (Κουμπαρέλης).
- ii. Το 1888 ο μηχανικός του Δήμου Αθηναίων Β. Ανδριανίδης εκπονεί μελέτη με τίτλο «Μελέτη ή πραγματεία περί εξυγιάνσεως της Πόλεως των Αθηνών». Η συγκεκριμένη μελέτη υιοθετεί και συμπληρώνει το ήδη υπάρχον, αλλά υποτυπώδες παντοροϊκό δίκτυο. Επιπλέον, δέχεται την χρησιμοποιούμενη εκβολή του δικτύου στο χείμαρρο Προφήτη Δανιήλ με τελικό αποδέκτη τον Φαληρικό όρμο (Κουμπαρέλης).
- iii. Το 1890 ο Γάλλος μηχανικός E.Quellenec, ο οποίος ανήκε στη δεύτερη Γαλλική αποστολή και βρισκόταν υπό την εποπτεία του Αρχιμηχανικού Rontel, δέχεται τη διατήρηση του παντοροϊκού συστήματος και αποφασίζει την εκβολή του δικτύου στον όρμο του Νέου Φαλήρου (Κουμπαρέλης).
- iv. Το 1892 ο Άγγλος μηχανικός Broughton προτείνει στη μελέτη του, με τίτλο «Το χωριστικό σύστημα», τα ακάθαρτα της πόλης των Αθηνών να καταλήγουν σε πεδία κα-

- θαιρισμού ενώ εκείνα της πόλης του Πειραιά να καταλήγουν στη θάλασσα (Κουμπαρέλης).
- v. Κατά το έτος 1900 ο Γάλλος καθηγητής και Διευθυντής Υδρεύσεως – Αποχετεύσεως του Παρισιού αποφαινεται υπέρ του χωριστικού συστήματος. Προτείνει τα ακάθαρτα να συγκεντρώνονται στο Αιγάλεω, όπου και θα γίνεται ο καθαρισμός τους και στη συνέχεια θα χρησιμοποιούνται για άρδευση (Κουμπαρέλης).
- vi. Το 1907 οι Γάλλοι Μηχανικοί De Morny και C. De Neves στη μελέτη τους « Προμελέτη Υπονόμων Πόλεως Αθηνών» πραγματοποιούνται τον βιολογικό καθαρισμό των λυμάτων (Κουμπαρέλης).
- vii. Το 1909 ο Ελβετός μηχανικός Kursteiner συντάσσει την πλέον λεπτομερή και εμπειριστατωμένη μελέτη, από όσες είχαν συνταχθεί μέχρι εκείνη την εποχή. Ο μελετητής αποδέχεται το παντοροϊκό σύστημα και καινοτομεί στα ακόλουθα σημεία (Κουμπαρέλης):
- Προβλέπει έναν κεντρικό αποχετευτικό αγωγό μέσω του οποίου τα λύματα θα καταλήγουν στη θάλασσα. Αυτό θα γίνεται είτε με βαρύτητα είτε με άντληση.
 - Τοποθετεί το σημείο εκβολής του Δικτύου στη Δραπετσώνα, δηλαδή λίγο βορειότερα από το ακρωτήριο Ακροκέραμος όπου βρίσκεται σήμερα η εκβολή του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού.
 - Λοιπά στοιχεία μελέτης:
 - ✓ Οι υπερχειλίσεις ομβρίων, διαλύσεως 1:5 (ακάθαρτα : καθαρά) καταλήγουν από τους υπερχειλιστές στους χείμαρρους Κηφισός και Ιλισός.
 - ✓ Η αποχετευτική έκταση της περιοχής των Αθηνών ανέρχεται σε 2.000 εκτάρια ενώ αυτή της περιοχής του Πειραιά σε 700 εκτάρια.
 - ✓ Ο πληθυσμός για το έτος 1950 για την πόλη των Αθηνών θεωρήθηκε 930.000 κάτοικοι ενώ για την πόλη του Πειραιά 530.000 κάτοικοι.
 - ✓ Η κατανάλωση νερού θεωρήθηκε 100 L/κάτοικο/ημέρα.
- viii. Το έτος 1920 ο Αμερικανικός οίκος Ford, Bacon, Davis προτείνει το χωριστικό σύστημα και την εκβολή των ακαθάρτων υδάτων στην ακτή του Αγίου Κοσμά (περιοχή Χασανίου). Τα λοιπά στοιχεία της συγκεκριμένης μελέτης προέβλεπαν (Κουμπαρέλης):
- Αποχετευτική έκταση 3.500 εκτάρια

- Πληθυσμός για το έτος 1950 730.000 κάτοικοι
 - Κατανάλωση νερού 175 L/κάτοικο/ημέρα.
- ix. Το έτος 1927 το Υπουργείο Δημοσίων Έργων – Γραφείο Μελετών Υδραυλικών Έργων εκπονεί μελέτη στην οποία προτείνεται η εκβολή του Δικτύου στο νοτιότερο άκρο της Πειραιϊκής Χερσονήσου (Κουμπαρέλης).
- x. Το 1929 πραγματοποιούνται τα εγκαίνια του ταμιευτήρα του Μαραθώνα, κάτι το οποίο συντελεί στην αύξηση της ποσότητας ύδατος την οποία πρέπει να αποχετεύει το αποχετευτικό σύστημα (Κουμπαρέλης). Στην Εικόνα 1.2 παρουσιάζεται η κατασκευή του φράγματος κατά το έτος 1928.



Εικόνα 1.2: Κατασκευή φράγματος Μαραθώνα (ΕΥΔΑΠ 2013)

Καλείται ο Ιταλός μελετητής G. Fantoli, ο οποίος εθεωρείτο παγκόσμια αυθεντία όσον αφορά τα αποχετευτικά συστήματα και οποίος είχε ήδη δώσει λύση στο αποχετευτικό σύστημα της πόλης του Μιλάνο. Ο G. Fantoli εκπονεί μελέτη με τίτλο « Προμελέτη υπονόμων Αθηνών – Πειραιώς – Περιχώρων». Τα κυριότερα στοιχεία της μελέτης προέβλεπαν (Κουμπαρέλης):

- Έκταση 7.000 εκτάρια
- Διατήρηση του ήδη κατασκευασμένου παντορροϊκού συστήματος στην κεντρική περιοχή της πόλης
- Για την υπόλοιπη έκταση κατασκευή χωριστικού συστήματος το οποίο εθεωρείτο και το πλέον ενδεδειγμένο.
- Κατασκευή Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού (Κ.Α.Α) για τη συγκέντρωση των ακαθάρτων υδάτων των δικτύων και τη διοχέτευση αυτών στη θάλασσα.
- Σημείο εκβολής του συστήματος το ακρωτήριο Ακροκέραμος, στο Κερατσίνι.
- Αποχέτευση των ομβρίων υδάτων στο Όρμο Φαλήρου δια μέσου των χειμάρρων Κηφισού και Ιλισού αφού πρώτα διευθετηθούν κατάλληλα.

Η προμελέτη του G. Fantoli κάλυπτε, εκτός από την περιοχή των Αθηνών και τις προαστικές περιοχές καθώς και εικοσιπέντε επιπλέον Δήμους και κοινότητες. Τέλος, καθιέρωνε έναν ευρύτερο σχεδιασμό με αναβαθμισμένη τεχνοτροπία, η οποία κατηύθυνε την εκπόνηση όλων των μεταγενέστερων μελετών (Κουμπαρέλης).

xi. Το 1931 πραγματοποιήθηκε ανάθεση από το κράτος, στην Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Κατασκευής Υπονόμων, η εκπόνηση της οριστικής μελέτης «Αθηνών - Πειραιώς – Περιχώρων» η οποία βασιζόταν στην προμελέτη του Ιταλού καθηγητή G. Fantoli. Η ανάθεση έγινε χωρίς δημοπρασία καθώς η εταιρία η οποία είχε συσταθεί θεωρήθηκε πως πληροί όλες τις ειδικές προϋποθέσεις. Το αντικείμενο της οριστικής μελέτης καθόριζε (Κουμπαρέλης):

- Πλήρες δίκτυο αποχέτευσης των Δήμων Αθηνών και Πειραιά, συνολικής έκτασης 7.000 εκτάρια
- Διευθέτηση των χειμάρρων Κηφισού και Ιλισού καθώς και των παραποτάμων αυτών.
- Επιλογή κατάλληλων υπονόμων από τους ήδη κατασκευασθέντες για την ένταξη τους στο νέο Δίκτυο.
- Μελέτη για τον Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (Κ.Α.Α)

Η οριστική μελέτη περιείχε τροποποιήσεις, σε σχέση με την προμελέτη, οι οποίες έγιναν δεκτές από τον Ιταλό καθηγητή. Οι τροποποιήσεις αυτές ήταν κυρίως Οικονομικές και Τεχνικές. Με τις τροποποιήσεις άλλαξαν οι συντελεστές απορροής και καθορίστηκαν πλημμυρικές συχνότητες 2ετίας έως και 10ετίας (Κουμπαρέλης).

- xii. Το 1935 εγκρίνεται από το Υπουργείο Δημοσίων Έργων η οριστική Μελέτη της Ανωνύμου Ελληνικής Εταιρίας Κατασκευής Υπονόμων (Κουμπαρέλης). Στην Εικόνα 1.3 παρουσιάζεται η τοποθέτηση αγωγού στην πόλη των Αθηνών.



Εικόνα 1.3: Τοποθέτηση αγωγού εντός της πόλης των Αθηνών (ΕΥΔΑΠ 2013)

- xiii. Από το 1936 έως το 1940 ακολούθησε μικρή δραστηριότητα, όσον αφορά τις μελέτες.

Στην Εικόνα 1.4 παρουσιάζεται η τοποθέτηση υδρομετρητών σε αγωγό στην πόλη των Αθηνών κατά το έτος 1953



Εικόνα 1.4: Τοποθέτηση Υδρομετρητών (ΕΥΔΑΠ 2013)

xiv. Κατά το έτος 1959, ο Οργανισμός Αποχέτευσης Πρωτεύουσας ανέθεσε στην ΥΔΡΕΞ Α.Ε την εκτέλεση προκαταρκτικής έρευνας και με βάση αυτή εκπόνηση προμελέτης αποχέτευσης για την περιοχή της Πρωτεύουσας και για έκταση 20.000 εκτάρια. ΥΔΡΕΞ Α.Ε ονομάστηκε κατά το έτος 1949 η Ελληνική Εταιρία Κατασκευής Υπονόμων. Η προμελέτη η οποία συντάχθηκε πρότεινε (Κουμπαρέλης):

- Παντοροϊκό σύστημα για το κέντρο της πόλης
- Εκβολές ακαθάρτων:
 - Τα 13.300 εκτάρια εσωτερικών περιοχών να εκβάλλουν στο Κερατσίνι.
 - Τα 362 εκτάρια της Πειραιϊκής Χερσονήσου να εκβάλλουν στη θάλασσα.
 - Τα 3.074 εκτάρια των βόρειων συνοικιών να εκβάλλουν στους χείμαρρους της περιοχής.
- Ειδικές παροχές υπολογισμού Δικτύου Ακαθάρτων 0.2-2.0 L/s/κάτοικο.
- Παροχεταιυτικότητα Κ.Α.Α 18,7 m³/s, με επισήμανση του προβλήματος της μελλοντικής ανεπάρκειας.

Στην Εικόνα 1.5 παρουσιάζονται τα εγκαίνια του Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού κατά το έτος 1959.



Εικόνα 1.5: Εγκαίνια Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού (ΕΥΔΑΠ 2013)

xv. Το 1972 εκπονήθηκε η «Προκαταρκτική Μελέτη Σκαραμαγκά – Ελευσίνας» από το Τεχνικό Γραφείο Α. Μαχαίρας Α.Ε. Τα στοιχεία της μελέτης προέβλεπαν (Κουμπάρηλης):

- Έκταση 2.000 εκτάρια με μελλοντικό ισοδύναμο πληθυσμό 300.000 κατοίκους.
- Συνολική παροχή ακαθάρτων $3 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Για την εκβολή των ακαθάρτων προτάθηκαν τρεις λύσεις: στο Κερατσίνι - Ψυτάλλεια μαζί με τα λύματα της πρωτεύουσας, στον κόλπο της Ελευσίνας αφού έχουν περάσει από βιολογικό καθαρισμό ή στην Ακτή Πάχης στα Μέγαρα αφού έχουν περάσει από βιολογικό καθαρισμό.

xvi. Κατά το έτος 1974 εκπόνηση οριστικών μελετών διάφορων περιοχών της Πρωτεύουσας με ανάδοχο την ΥΔΡΕΞ Α.Ε.

1.3 Σημασία Έργων Αποχέτευσης

Σήμερα σε όλες τις αστικές περιοχές έχουν κατασκευαστεί αποχετευτικά δίκτυα. Παλιότερα το αποχετευτικό δίκτυο ακαθάρτων ήταν κοινό με το δίκτυο ομβρίων (παντοροϊκό σύστημα). Αυτή η τακτική σήμερα έχει εγκαταλειφθεί, αν και σε πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις στις οποίες το αποχετευτικό σύστημα ήταν κατασκευασμένο πριν το Β΄ Παγκόσμιο, πόλεμο συναντάμε παντοροϊκά αποχετευτικά δίκτυα (Τσακίρης 2010).

Στις περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει κατασκευασμένο αποχετευτικό δίκτυο ακαθάρτων παρατηρείται (Κουτσογιάννης 2011):

- Ρύπανση του εδάφους

- Ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων υδροφορέων
- Εμφάνιση οσμών εξαιτίας των σηπτικών συνθηκών και των βοθρολυμάτων
- Επιπτώσεις στον άνθρωπο (προβλήματα στη δημόσια υγεία)

Επιπλέον σε περιοχές που τα δίκτυο ομβρίων δεν είναι ορθώς διαστασιολογημένο ή είναι παλιό με αποτέλεσμα η έντονη αστικοποίηση να το καθιστά ανεπαρκές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζονται προβλήματα όπως (Κουτσογιάννης 2011):

- Μετατροπή δρόμων σε ρέματα
- Διακοπή κίνησης και ζωής
- Φαινόμενα πλημμύρας αυτοκινήτων και σπιτιών
- Απώλεια ανθρώπινων ζώων

Όπως λοιπόν είναι εύκολα κατανοητό, τα αποχετευτικά έργα παίζουν πρωτεύοντα ρόλο καθώς αποτελούν έργα υποδομής, απαραίτητα για την ορθή λειτουργία μιας αστικής περιοχής. Επιπλέον βοηθούν στη συντήρηση αλλά και στην αναβάθμιση του βιοτικού επιπέδου των ανθρώπινων κοινωνιών (Κουτσογιάννης 2011). Στην Εικόνα 1.6 παρουσιάζεται η κατασκευή αποχετευτικού αγωγού στην Αθήνα κατά το έτος 2000.



Εικόνα 1.6: Κατασκευή αποχετευτικού αγωγού στην Αθήνα (2000) (ΕΥΔΑΠ 2013)

Αρκετές φορές, αν όχι τις περισσότερες, δεν τυγχάνουν της απαραίτητης προσοχής με αποτέλεσμα η σημασία τους να παραβλέπεται. Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό είναι (Κουτσογιάννης 2011):

- Οικονομικοί: Τα έργα αποχέτευσης δεν παρουσιάζουν άμεσα οικονομικά αποτελέσματα, με την μορφή κέρδους και επιπλέον οι υπηρεσίες οι οποίες προσφέρουν δεν είναι εύκολο ούτε να τιμολογηθούν αλλά ούτε και να κοστολογηθούν.
- Κοινωνικοί: Επειδή τα έργα αυτά συνδέονται με όχι τόσο άξιες προβολής στιγμές της ανθρώπινης ζωής δημιουργείται μια αποστροφή και υποβάθμιση της αξίας τους.

1.4 Συνοπτική Παρουσίαση Κεφαλαίων

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αναπτύσσεται σε συνολικά πέντε Κεφάλαια.

Στο **Πρώτο Κεφάλαιο** γίνεται μια σύντομη εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας, παρουσιάζεται επίσης ένα σύντομο ιστορικό των αποχετευτικών έργων της πόλης της Αθήνας, και αναπτύσσεται η σημασία των αποχετευτικών έργων.

Στο **Δεύτερο Κεφάλαιο** περιγράφονται οι τρόποι εκτίμησης της παροχής ομβρίων και ακαθάρτων υδάτων. Γίνεται αναφορά στα μοντέλα προσδιορισμού της ποσότητας και της ποιότητας της απορροής. Αναφέρονται οι κανονισμοί οι οποίοι ισχύουν σήμερα στην Ελλάδα για το αποχετευτικό δίκτυο και περιγράφεται αναλυτικά το λογισμικό SWMM της Environmental Protection Agency (EPA). Τέλος παρουσιάζονται μελέτες οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί με το λογισμικό SWMM και αποτέλεσαν μέρος της βιβλιογραφικής αναδρομής της παρούσας εργασίας.

Στο **Τρίτο Κεφάλαιο** παρουσιάζεται η περιοχή έρευνας, δηλαδή η Ζώνη Δ. Επιπλέον αναλύεται το μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και παρατίθενται τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν (χαρτογραφικό και υδρολογικό υπόβαθρο).

Στο **Τέταρτο Κεφάλαιο** αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την επίλυση του δικτύου με την Ορθολογική μέθοδο. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου. Τέλος, αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση του δικτύου για βροχοπτώσεις διαφορετικής διάρκειας και περιόδου επαναφοράς, συγκρίνονται τα αποτελέσματα Ορθολογικής Μεθόδου και λογισμικού και τέλος προτείνονται μέτρα αντιμετώπισης.

Στο **Πέμπτο Κεφάλαιο** συνοψίζονται τα κύρια συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την παρούσα εργασία και διατυπώνονται ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Στο **Παράρτημα Α**, παρουσιάζονται οι Πινακίδες αναπαράστασης του των στοιχείων του παντοροϊκού δικτύου.

Στο **Παράρτημα Β**, παρουσιάζονται οι Πίνακες υπολογισμού των επιφανειακών διατομών του δικτύου.

Στο **Παράρτημα Γ**, παρατίθεται ο Πίνακας με τους υπολογισμούς των απορροών ξηρού καιρού, για την Ζώνη Δ του παντοροϊκού δικτύου.

Στο **Παράρτημα Δ**, παρουσιάζονται τα υετογραφήματα σχεδιασμού για διάρκειες βροχόπτωσης 2, 3, 6, 12 και 24 h και για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50 και 100 έτη.

Στο **Παράρτημα Ε**, παρουσιάζεται ο Πίνακας με τους υπολογισμούς για την επίλυση του δικτύου με την Ορθολογική Μέθοδο.

Τέλος, στο **Παράρτημα ΣΤ**, παρατίθενται οι Πίνακες με την σύγκριση των αποτελεσμάτων Ορθολογικής Μεθόδου και λογισμικού SWMM.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SWMM

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι τρόποι εκτίμησης της παροχής ομβρίων και ακαθάρτων υδάτων. Επίσης γίνεται αναφορά στα μοντέλα προσδιορισμού της ποσότητας και της ποιότητας της απορροής και αναφέρονται οι κανονισμοί οι οποίοι ισχύουν σήμερα στην Ελλάδα για το αποχετευτικό δίκτυο. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται και περιγράφεται αναλυτικά το λογισμικό SWMM, γίνεται ενδελεχής ανάλυση του θεωρητικού υποβάθρου του λογισμικού και περιγράφονται και αναλύονται οι παράμετροι αυτού. Τέλος παρουσιάζονται μελέτες οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί με το λογισμικό SWMM και αποτέλεσαν μέρος της βιβλιογραφικής αναδρομής της παρούσας εργασίας.

2.2 Εκτίμηση Παροχής Απορροών Ξηρού Καιρού

2.2.1 Γενικά

Το δίκτυο ακαθάρτων μιας περιοχής συλλέγει και μεταφέρει τα αστικά λύματα στον τελικό αποδέκτη. Το δίκτυο ακαθάρτων πρέπει να είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να είναι ικανό να απομακρύνει τη μέγιστη παροχή ακαθάρτων κατά τη διάρκεια της ημέρας με τη μέγιστη κατανάλωση νερού (Τσακίρης 2010). Επομένως, είναι απαραίτητη η εκτίμηση του εξυπηρετούμενου πληθυσμού, η εκτίμηση της κατανάλωσης νερού καθώς και του ποσοστού το οποίο καταλήγει στο αποχετευτικό δίκτυο και τέλος η εκτίμηση των παρασιτικών στο δίκτυο εισροών, των υπόγειων διηθήσεων και των ομβρίων (Κουτσογιάννης 2011).

2.2.2 Παροχή αποχέτευσης ακαθάρτων

Κατά τον σχεδιασμό ενός δικτύου ακαθάρτων θεωρείται πως το 60-80% του νερού οικιακής κατανάλωσης καταλήγει στο αποχετευτικό δίκτυο. Σε περίπτωση που στην περιοχή μελέτης υπάρχουν βιομηχανικές και γεωργικές χρήσεις το ποσοστό αυτό είναι απαραίτητο να διαφοροποιείται (Τσακίρης 2010).

Το δίκτυο ακαθάρτων λοιπόν σχεδιάζεται έτσι ώστε να είναι ικανό να παροχετεύει τη μέγιστη στιγμιαία παροχή, η οποία προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την μέγιστη ωριαία παροχή ακαθάρτων (Τσακίρης 2010).

Για την παροχή σχεδιασμού του δικτύου ακαθάρτων κανείς μπορεί να ακολουθήσει την παρακάτω διαδικασία (Τσακίρης 2010):

- I. Προσδιορισμός μέσης ανηγμένης ημερήσιας κατανάλωσης ανά κάτοικο, q . Το μέγεθος αυτό για τους συνήθεις οικισμούς για τις Μεσογειακές χώρες κυμαίνεται μεταξύ $200 \div 300 \text{ L/d*κατ}$ (Τσακίρης 2010).
- II. Υπολογισμός της συνολικής μέσης ημερήσιας κατανάλωσης για τον πληθυσμό σχεδιασμού P_v μέσω του τύπου:

$$Q_d = P_v q \text{ (L/s)} \quad (2.1)$$

- III. Υπολογισμός της συνολικής μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης από την εξίσωση:

$$Q_h^{\max} = F_1 F_2 Q_d \text{ (L/s)} \quad (2.2)$$

Όπου F_1 , F_2 πολλαπλασιαστές ζήτησης, οι τιμές των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Πολλαπλασιαστές ζήτησης για την συνολική μέγιστη ωριαία παροχή (Τσακίρης 2010)

	F2
Πληθυσμός > 10000	2
Πληθυσμός < 2000	5

Επιπλέον ισχύει $F_{0\Delta} = F_1 * F_2$, όπου συνήθως για τις Ελληνικές πρακτικές επιλέγεται $F_{0\Delta} = 6$

- IV. Στη συνέχεια υπολογίζεται η συνολική μέγιστη ωριαία παροχή ακαθάρτων ως ποσοστό της μέγιστης ωριαίας κατανάλωσης:

$$Q A_h^{\max} = \mu Q_h^{\max} \text{ (L/s)} \quad (2.3)$$

Το ποσοστό (μ) κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 60-80%.

- V. Τέλος, η μέγιστη ωριαία παροχή ακαθάρτων υπολογίζεται με βάση τη μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων πολλαπλασιασμένη με ένα αυξητικό συντελεστή P που επίσης εξαρτάται από τη μέγιστη ημερήσια παροχή ακαθάρτων και όχι από τον πλη-

θυσμό της περιοχής μελέτης (Τσακίρης 2010, Κουτσογιάννης 2011). Ο συντελεστής αυτός δίνεται από τη σχέση:

$$P = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{QA_d}} \leq 3 \quad (2.4)$$

VI. Τελικά η μέγιστη ωριαία παροχή ακαθάρτων δίνεται από την εξίσωση:

$$QA_h^{\max} = PQA_d^{\max} \text{ (L/s)} \quad (2.5)$$

2.3 Εκτίμηση Παροχής Ομβρίων

2.3.1 Γενικά

Για την εκτίμηση των παροχών σχεδιασμού των ομβρίων υδάτων αρχικά χρησιμοποιούνταν εμπειρικές εξισώσεις. Οι εξισώσεις αυτές βασίζονταν στην συσχέτιση της παροχής και μιας σειράς παραμέτρων οι οποίες επηρεάζονταν από την παροχή (Κουτσογιάννης 2011). Σήμερα για την εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού των ομβρίων χρησιμοποιείται η Ορθολογική Μέθοδος, η οποία βέβαια είναι κατάλληλη μόνο για μικρές λεκάνες απορροής (<10 km²) και μόνο για την εκτίμηση της παροχής αιχμής η οποία αναμένεται να πραγματοποιηθεί για συγκεκριμένες συνθήκες σχεδιασμού (Κουτσογιάννης 2011).

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά η ορθολογική μέθοδος η οποία αποτελεί και την πλέον διαδεδομένη και χρησιμοποιούμενη μέθοδο διαστασιολόγησης ενός δικτύου ομβρίων.

2.3.2 Η ορθολογική μέθοδος

Η ορθολογική μέθοδος (Kuishling 1889, Τσακίρης 2010) αποτελεί μια μέθοδο υδρολογικού σχεδιασμού, η οποία δίνει την δυνατότητα της εκτίμησης, στον μελετητή, της παροχής αιχμής ενός υποθετικού πλημμυρικού γεγονότος για μια συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς. Σύμφωνα με τη θεωρία της ορθολογικής μεθόδου, η παροχή είναι ανάλογη της έντασης της βροχόπτωσης και βασίζεται στην ακόλουθη εξίσωση (Τσακίρης 2010, Τσιχριντζής 1999):

$$Q = \frac{1}{360} C_f C_i A \quad (2.6)$$

όπου:

Q: παροχή αιχμής του υδρογραφήματος (m³/s ή L/s)

C: συντελεστής επιφανειακής απορροής

C_f : συντελεστής διόρθωσης του C για την περίοδο επαναφοράς (Πίνακας 2.2)

i : ένταση βροχής (mm/h)

A :εμβαδόν λεκάνης απορροής (ha)

1/360: συντελεστής μετατροπής μονάδων

Πίνακας 2.2: Τιμές του Συντελεστή Διόρθωσης της Περιόδου Επαναφοράς, C_f (Τσιχριντζής 1999)

Περίοδος Επαναφοράς, έτη	C_f
2-10	1
25	1.10
50	1.20
100	1.25

Ο συντελεστής επιφανειακής απορροής εξαρτάται από (Τσακίρης 2010, Τσιχριντζής 1999):

- ✓ Αδιαπέρατο μέρος της λεκάνης απορροής
- ✓ Εδαφοκάλυψη
- ✓ Χρήσεις γης
- ✓ Κλίση λεκάνης απορροής
- ✓ Συνθήκες εδαφικής υγρασίας στη λεκάνη απορροής
- ✓ Ένταση της βροχόπτωσης
- ✓ Προηγούμενη βροχή στη λεκάνη
- ✓ Ύψος συγκράτησης κοιλοτήτων
- ✓ Υγρασία εδάφους
- ✓ Εικόνα λεκάνης απορροής

Βέβαια οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν κυρίως τον συντελεστή απορροής είναι οι τρεις πρώτες (αδιαπέρατο μέρος λεκάνης, εδαφοκάλυψη και χρήσεις γης).

Οι τιμές του συντελεστή απορροής δύναται να προκύψουν από Πίνακες (Πίνακες 2.3, 2.4 και 2.5). Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι τιμές για τον συντελεστή απορροής οι οποίες προτείνονται από την Αμερικανική Ομοσπονδία Ελέγχου Ρύπανσης του Νερού (WPCF) και την Αμερικανική Ένωση Πολιτικών Μηχανικών (ASCE) (Τσακίρης 2010). Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή απορροής C , οι οποίες προτείνονται από την Αμερικανική Ένωση Πολιτικών Μηχανικών (ASCE) (Τσιχριντζής 1999, Τσακίρης 2010). Τέλος στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζονται οι τιμές του C οι οποίες προτείνονται από τις Ελληνικές Τεχνικές

προδιαγραφές (Π.Δ 696/74). Οι τιμές του Πίνακα 2.5 ισχύουν για εξωαστικές λεκάνες απορροής. Στο σημείο αυτό είναι βασικό να αναφερθεί πως οι τιμές των Πινάκων 2.3, 2.4 και 2.5 ισχύουν για περιόδους επαναφοράς μέχρι 10 έτη. Για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς είναι απαραίτητο να γίνεται χρήση του διορθωτικού συντελεστή C_f , ο οποίος παρουσιάστηκε στον Πίνακα 2.2.

Στην περίπτωση εκείνη κατά την οποία η επιφάνεια εφαρμογής, δεν είναι ενιαία, αλλά μια σύνθετη επιφάνεια, η οποία περιλαμβάνει K το πλήθος, επί μέρους επιφάνειες, ο συντελεστής απορροής εκλέγεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος C_m των συντελεστών απορροής C_i των επί μέρους επιφανειών. Ως βάρη θεωρούνται τα ποσοστά συμμετοχής στην συνολική έκταση της εξεταζόμενης επιφάνειας (Τσακίρης 2010).

Πίνακας 2.3: Τιμές του Συντελεστή Απορροής, C (Τσακίρης 2010, ASCE 1970, WPCF 1976)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ		Συντελεστής Απορροής, C	
		Από	Έως
Πεζοδρόμια	Άσφαλτος και σκυρόδεμα	0.70	0.95
	Πλίνθοι	0.70	0.85
Στέγες		0.75	0.95
Επιφάνεια με γρασίδι, έδαφος ελαφριάς σύστασης και κλίση	Μικρή (<2%)	0.05	0.10
	Μέση (2%-7%)	0.10	0.15
	Μεγάλη (>7%)	0.15	0.20
Επιφάνεια με γρασίδι, έδαφος βαριάς σύστασης και κλίση	Μικρή (<2%)	0.13	0.17
	Μέση (2%-7%)	0.18	0.22
	Μεγάλη (>7%)	0.25	0.35

Πίνακας 2.4: Τιμές του Συντελεστή Απορροής, C (Τσιχριντζής 1999, Τσακίρης 2010, ASCE 1970)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ		Συντελεστής Απορροής, C	
		Από	Έως
ΕΜΠΟΡΙΚΗ	Κέντρο Πόλης	0.7	0.95
	Συνοικίες	0.50	0.70
ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ	Μεμονωμένες	0.30	0.50
	Πολλαπλές Μεμονωμένες	0.40	0.60
	Πολλαπλές, εφαπτόμενες (συνεχής δόμηση)	0.6	0.75
	Προάστια	0.25	0.40
	Πολυκατοικίες με διαμερίσματα	0.50	0.70
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ	Ελαφρά	0.50	0.80
	Βαριά	0.60	0.90
Πάρκα, κοιμητήρια		0.10	0.25
Εργοτάξια, σταθμοί τρένου		0.20	0.35
Φυσική		0.10	0.30
Οδοστρώματα	Ασφαλτος, σκυρόδεμα	0.70	0.95
	Καλντερίμι, πέτρα	0.70	0.80
Σκέπες, ταράτσες		0.70	0.95
Γρασίδι σε αμμώδες έδαφος	Επίπεδο, <2%	0.05	0.10
	Μέσης κλίσης, 2%-7%	0.10	0.15
	Επικλινές, >7%	0.15	0.20
Γρασίδι σε αμμώδες έδαφος	Επίπεδο, <2%	0.13	0.17
	Μέσης κλίσης, 2%-7%	0.18	0.22
	Επικλινές, >7%	0.25	0.35

Πίνακας 2.5: Τιμές του Συντελεστή Απορροής, C (Τσακίρης 2010, Π.Δ 696/74)

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Συντελεστής Απορροής, C
Ορεινή (Μέσο υψόμετρο >300m)	0.60
Λοφώδης (Μέσο Υψόμετρο μεταξύ 100 και 300m)	0.50
Πεδινή (Μέσο υψόμετρο <100m)	0.30

Εκτός από Πίνακες η τιμή του συντελεστή απορροής C, μπορεί να προκύψει με χρήση της ακόλουθης σχέσης (Τσιχριντζής 1999):

$$C = 0.05 + .009I \quad (2.7)$$

όπου:

C: Συντελεστής απορροής

I: αδιαπερατότητα της λεκάνης απορροής

Για την εφαρμογή της Ορθολογικής Μεθόδου η ένταση της σταθερής βροχόπτωσης, i , λαμβάνεται από τις όμβριες καμπύλες της περιοχής μελέτης ή από διαγράμματα Έντασης Διάρκειας Συχνότητας, τα οποία περιέχουν την ίδια πληροφορία (Διάγραμμα ΕΔΣ) (Τσιχριντζής 1999, Τσακίρης 2010).

Σαν διάρκεια σχεδιασμού για την εκτίμηση της έντασης χρησιμοποιείται ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής t_c . Ο χρόνος αυτός ισούται με το χρόνο αβαθούς ή διάχυτης ροής t_0 (ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της αποχετευόμενης επιφάνειας στο στόμιο εισόδου στο δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων υδάτων) και του χρόνου μετακίνησης της ροής σε υπονόμους ή ανοικτά κανάλια t_L (Τσιχριντζής 1999, Τσακίρης 2010).

Ο χρόνος αβαθούς ή διάχυτης ροής υπολογίζεται βάσει εμπειρικών εξισώσεων, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για το συγκεκριμένο σκοπό. Οι πιο γνωστές είναι (Τσιχριντζής 2010):

- I. Εξίσωση Kerby
- II. Εξίσωση Izzard
- III. Εξίσωση Brasby – Williams
- IV. Εξίσωση της Aviation Agency (Υπηρεσία Αεροπλοΐας) των ΗΠΑ
- V. Εξίσωση Manning Κινηματικού Κύματος

Ακόμη, σε περίπτωση μελέτης αποχετευτικών δικτύων ομβρίων οι Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ 696/74) θεωρούν μια σταθερή τιμή, του χρόνου αβαθούς διάχυτης ροής, ίση

με δέκα λεπτά. Αντίθετα οι Αμερικάνικες Τεχνικές προδιαγραφές δέχονται διαφορετικές τιμές για τον χρόνο αβαθούς ή διάχυτης ροής ανάλογα με τις πολεοδομικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.6.

Σε περίπτωση που η ροή σε ένα κόμβο, καταλήγει από πολλές εναλλακτικές διαδρομές, τότε ως χρόνος συγκέντρωσης λαμβάνεται ο μεγαλύτερος χρόνος της ροής στις συγκεκριμένες διαδρομές.

Πίνακας 2.6: Τιμές του χρόνου αβαθούς ή διάχυτης ροής με βάση τις Αμερικάνικες Τεχνικές Προδιαγραφές (Τσακίρης 2010, WPCF 1976, ASCE 1970)

ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	ΤΙΜΗ (min)
Πυκνοδομημένες περιοχές, άμεσες συνδέσεις στο δίκτυο	5
Αναπτυγμένες περιοχές με χαμηλές κλίσεις	10 - 15
Κατοικημένες περιοχές με χαμηλές κλίσεις και χαμηλή πυκνότητα φρεατίων	20 - 30

Για τον υπολογισμό του χρόνου ροής στους αγωγούς χρησιμοποιείται συνδυαστικά η εξίσωση του Manning (Τσιχριντζής 1999):

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (2.8)$$

και η εξίσωση:

$$t_L = \frac{L}{V} \quad (2.9)$$

Από τις σχέσεις 2.8 και 2.9 προκύπτει πως ο χρόνος ροής στον αγωγό, δίνεται από την εξίσωση:

$$t_L = \frac{L}{\frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}} \quad (2.10)$$

Όπου:

Q: η παροχή αιχμής (m³/s)

V: ταχύτητα ροής στον αγωγό (m/s)

L: μήκος του αγωγού (m)

S: κλίση του αγωγού (m/m)

A: επιφάνεια ροής στον αγωγό (m²)

R: υδραυλική ακτίνα (m)

n: συντελεστής τραχύτητας κατά Manning για αγωγούς και κανάλια. Ο συντελεστής αυτός προσδιορίζεται από τον Πίνακα 2.7 (Τσιχριντζής 1999).

Πίνακας 2.7: Τιμές του συντελεστή Manning για αγωγούς και κανάλια (Τσιχριντζής 1999)

Περιγραφή υλικού αγωγού	Τιμή συντελεστή Manning, n		
	<i>Ελάχιστη</i>	<i>Κανονική</i>	<i>Μέγιστη</i>
Ορείχαλκος, λείος	0.009	0.010	0.013
Χάλυβας με συγκολλήσεις	0.010	0.012	0.014
Χάλυβας με ίλους	0.013	0.016	0.017
Χυτοσίδηρος με επίστρωση	0.010	0.013	0.014
Χυτοσίδηρος χωρίς επίστρωση	0.011	0.014	0.016
Σφυρήλατος σίδηρος, μαύρος	0.012	0.016	0.015
Σφυρήλατος σίδηρος, γαλβανισμένος	0.013	0.022	0.017
Μεταλλικός αυλακωτός, μικρές αυλακώσεις	0.020	0.022	0.025
Μεταλλικός αυλακωτός, μεγάλες αυλακώσεις	0.020	0.032	0.035
Λείος αυλακωτός από αλουμίνιο	0.030	0.012	0.014
Αγωγός από σκυρόδεμα, ευθύς	0.010	0.012	0.013
Αγωγός από σκυρόδεμα, με καμπύλες	0.011	0.013	0.014
Υπόνομος ομβρίων	0.013	0.015	0.017
Υγειονομικός υπόνομος	0.012	0.013	0.016

Αντίστοιχα, οι τιμές του συντελεστή Manning για αβαθή διάχυτη ροή προσδιορίζονται από τον Πίνακα 2.8 (Τσιχριντζής 1999).

Πίνακας 2.8: Τιμές του συντελεστή Manning για αβαθή διάχυτη ροή (Τσιχριντζής 1999)

Περιγραφή υλικού αγωγού	Τιμή συντελεστή Manning, n		
	<i>Ελάχιστη</i>	<i>Κανονική</i>	<i>Μέγιστη</i>
Σκυρόδεμα	0.010	0.011	0.013
Άσφαλτος	0.010	0.012	0.015
Γυμνή άμμος	0.010	0.010	0.016
Επιφάνεια με χαλίκι	0.012	0.012	0.030
Γυμνή αργιλώδης τύρφη	0.012	0.012	0.012
Τεχνητό γρασίδι	0.39	0.45	0.63
Κοντό γρασίδι	0.10	0.15	0.20
Πυκνό γρασίδι	0.17	0.24	0.30
Δένδρα δάση	0.30	0.45	0.48

Για κυκλικούς αγωγούς για την επίλυση της εξίσωσης του Manning χρησιμοποιείται ο Πίνακας 2.9 (Τσιχριντζής 1999).

Πίνακας 2.9: Επίλυση της εξίσωσης του Manning για κυκλικούς αγωγούς

y/D	$A \cdot R^{2/3} / D^{8/3}$	R/D	y/D	$A \cdot R^{2/3} / D^{8/3}$	R/D	y/D	$A \cdot R^{2/3} / D^{8/3}$	R/D	y/D	$A \cdot R^{2/3} / D^{8/3}$	R/D
0	0	0	0.25	0.0427	0.1466	0.5	0.1558	0.25	0.75	0.284	0.3017
0.01	0	0.0066	0.26	0.0464	0.1515	0.51	0.1611	0.253	0.76	0.2881	0.3022
0.02	0.0004	0.0131	0.27	0.05	0.1563	0.52	0.1665	0.256	0.77	0.2922	0.3027
0.03	0.0008	0.0196	0.28	0.0537	0.1612	0.53	0.1718	0.2589	0.78	0.2963	0.3032
0.04	0.0011	0.0261	0.29	0.0573	0.166	0.54	0.1772	0.2619	0.79	0.3004	0.3037
0.05	0.0015	0.0326	0.3	0.061	0.1709	0.55	0.1825	0.2649	0.8	0.3045	0.3042
0.06	0.0025	0.0388	0.31	0.0652	0.1754	0.56	0.1878	0.2674	0.81	0.3078	0.304
0.07	0.0035	0.045	0.32	0.0694	0.1799	0.57	0.1932	0.27	0.82	0.3112	0.3038
0.08	0.0045	0.0511	0.33	0.0736	0.1845	0.58	0.1985	0.2725	0.83	0.3145	0.3037
0.09	0.0055	0.0573	0.34	0.0778	0.189	0.59	0.2039	0.2751	0.84	0.3179	0.3035
0.1	0.0065	0.0635	0.35	0.082	0.1935	0.6	0.2092	0.2776	0.85	0.3212	0.3033
0.11	0.0082	0.0694	0.36	0.0866	0.1976	0.61	0.2145	0.2797	0.86	0.324	0.302
0.12	0.01	0.0753	0.37	0.0912	0.2018	0.62	0.2198	0.2818	0.87	0.3268	0.3007
0.13	0.0117	0.0811	0.38	0.0958	0.2059	0.63	0.2252	0.2839	0.88	0.3296	0.2993
0.14	0.0135	0.087	0.39	0.1004	0.2101	0.64	0.2305	0.286	0.9	0.3324	0.298
0.15	0.0152	0.0929	0.4	0.105	0.2142	0.65	0.2358	0.2881	0.91	0.3331	0.2959
0.16	0.0176	0.0984	0.41	0.11	0.218	0.66	0.2408	0.2897	0.92	0.3339	0.2938
0.17	0.02	0.104	0.42	0.1149	0.2218	0.67	0.2458	0.2913	0.93	0.3346	0.2917
0.18	0.0225	0.1095	0.43	0.1199	0.2255	0.68	0.2508	0.293	0.94	0.3353	0.2896
0.19	0.0249	0.1151	0.44	0.1248	0.2293	0.69	0.2558	0.2946	0.95	0.3349	0.2864
0.2	0.0273	0.1206	0.45	0.1298	0.2331	0.7	0.2608	0.2962	0.96	0.3303	0.2791
0.21	0.0304	0.1258	0.46	0.135	0.2365	0.71	0.2654	0.2973	0.97	0.3256	0.2718
0.22	0.0335	0.131	0.47	0.1402	0.2399	0.72	0.2701	0.2984	0.98	0.321	0.2646
0.23	0.0365	0.1362	0.48	0.1454	0.2432	0.73	0.2747	0.2995	0.99	0.3163	0.2573
0.24	0.0396	0.1414	0.49	0.1506	0.2466	0.74	0.2794	0.3006	1.00	0.3117	0.25

Εφόσον είναι γνωστά τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της διατομής και ο συντελεστής Manning, η παροχή μπορεί να βρεθεί με την χρήση του Πίνακα 2.9, δηλαδή υπολογίζεται το βάθος ροής y ή η υδραυλικά ακτίνα R και κατ' επέκταση ο χρόνος ροής στον αγωγό, t_L .

Αντίστοιχα ο Πίνακας 2.10 χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του χρόνου ροής, t_L , για την ωσειδή διατομή αυτή τη φορά.

Πίνακας 2.10: Επίλυση της εξίσωσης του Manning για ωσειδείς αγωγούς

y/D	$A \cdot R^{2/3} / D^{8/3}$	R/D	y/D	$A \cdot R^{2/3} / D^{8/3}$	R/D	y/D	$A \cdot R^{2/3} / D^{8/3}$	R/D	y/D	$A \cdot R^{2/3} / D^{8/3}$	R/D
0.01	0.000	0.007	0.26	0.027	0.121	0.51	0.088	0.178	0.76	0.164	0.211
0.02	0.000	0.013	0.27	0.028	0.123	0.52	0.091	0.180	0.77	0.169	0.217
0.03	0.000	0.019	0.28	0.030	0.126	0.53	0.094	0.181	0.78	0.175	0.222
0.04	0.001	0.026	0.29	0.032	0.129	0.54	0.097	0.183	0.79	0.180	0.228
0.05	0.001	0.032	0.30	0.034	0.131	0.55	0.100	0.185	0.80	0.186	0.234
0.06	0.002	0.038	0.31	0.037	0.134	0.56	0.103	0.186	0.81	0.192	0.240
0.07	0.002	0.044	0.32	0.039	0.137	0.57	0.106	0.188	0.82	0.198	0.247
0.08	0.003	0.049	0.33	0.041	0.139	0.58	0.109	0.189	0.83	0.204	0.253
0.09	0.003	0.055	0.34	0.043	0.142	0.59	0.112	0.191	0.84	0.210	0.260
0.10	0.004	0.060	0.35	0.045	0.144	0.60	0.115	0.192	0.85	0.216	0.266
0.11	0.006	0.070	0.36	0.048	0.147	0.61	0.118	0.194	0.86	0.222	0.273
0.12	0.006	0.074	0.37	0.050	0.149	0.62	0.121	0.195	0.87	0.228	0.281
0.13	0.007	0.078	0.38	0.053	0.151	0.63	0.102	0.148	0.88	0.235	0.288
0.14	0.009	0.082	0.39	0.055	0.153	0.64	0.107	0.152	0.89	0.241	0.296
0.15	0.010	0.086	0.40	0.058	0.156	0.65	0.111	0.156	0.90	0.248	0.304
0.16	0.011	0.089	0.41	0.060	0.158	0.66	0.115	0.161	0.91	0.255	0.313
0.17	0.012	0.093	0.42	0.063	0.160	0.67	0.120	0.166	0.92	0.262	0.322
0.18	0.014	0.096	0.43	0.065	0.162	0.68	0.124	0.170	0.93	0.270	0.331
0.19	0.015	0.099	0.44	0.068	0.164	0.69	0.129	0.175	0.94	0.277	0.342
0.20	0.016	0.103	0.45	0.071	0.166	0.70	0.134	0.180	0.95	0.286	0.353
0.21	0.018	0.106	0.46	0.074	0.168	0.71	0.138	0.185	0.96	0.294	0.366
0.22	0.020	0.109	0.47	0.076	0.170	0.72	0.143	0.190	0.97	0.304	0.381
0.23	0.021	0.112	0.48	0.079	0.172	0.73	0.148	0.195	0.98	0.315	0.400
0.24	0.023	0.115	0.49	0.082	0.174	0.74	0.153	0.200	0.99	0.329	0.425
0.25	0.025	0.118	0.50	0.085	0.176	0.75	0.159	0.206	1.00	0.366	0.496

2.4 Προσομοίωση Βροχής Απορροής

Η επίλυση των εξισώσεων Saint Venant, οι οποίες περιγράφουν την συμπεριφορά ενός υδρολογικού ή ενός υδραυλικού συστήματος υπό την επίδραση ενός γεγονότος βροχόπτωσης, είναι αρκετά δύσκολη, πολύπλοκη αλλά και χρονοβόρα. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών καθώς και η ανάγκη για παρακολούθηση αυτών των φαινομένων σε πραγματικές συνθήκες οδήγησε στην ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων (Τσεκούρα 2010).

Σύμφωνα με τον Dingman (1994) ως προσομοίωση μπορεί να οριστεί η προσπάθεια αναπαράστασης του φυσικού κόσμου, καθώς και των διεργασιών οι οποίες συντελούνται σε αυτόν, με ένα μοντέλο το οποίο αντιπροσωπεύει ένα κομμάτι της φυσικής πραγματικότητας. Τα μαθηματικά μοντέλα αποτελούν «ρητά σύνολα εξισώσεων, αριθμητικής και λογικών βημάτων», τα οποία μετατρέπουν αριθμητικές εισόδους σε αριθμητικά αποτελέσματα.

Τα μοντέλα ανάλογα με τη φιλοσοφία θεώρησης της φύσης των μεταβλητών τους χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες (Μιμίκου 2006):

- i. Προσδιοριστικά ή παραμετρικά μοντέλα
- ii. Στοχαστικά μοντέλα

Μια ακόμη διάκριση των μοντέλων είναι με βάση τις διαδικασίες οι οποίες μοντελοποιούνται. Δηλαδή διεργασίες οι οποίες αφορούν την συμπεριφορά υδρολογικών λεκανών απορροής και την συμπεριφορά αποχετευτικών δικτύων, τα οποία λειτουργούν με ελεύθερη επιφάνεια ή υπο πίεση.

Διάφορα μοντέλα είναι διαθέσιμα για τη διαχείριση της απορροής αστικών λεκανών απορροής, ορισμένα από τα οποία είναι (Barco et al. 2008):

- HEC-1
- HEC-2 (HEC-RAS)
- TR-20
- TR-55
- SSARR
- MOUSE
- HydroWorks
- HYDRA
- SWAT
- SWMM

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα υπολογιστικών μοντέλων, τα οποία εκτός της απορροής είναι σε θέση να προσομοιώνουν και τη μη σημειακή ρύπανση. Σύμφωνα με τους Tsihrintzis and Hamid (1997) ορισμένα μοντέλα τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί, κυρίως στις ΗΠΑ, για την εκτίμηση τόσο της ποσότητας όσο και της ποιότητας της απορροής είναι:

- ANSWERS (Aerial, Nonpoint Source, Watershed Environmental Response Simulation)
- AGNPS (Agricultural Nonpoint Source)
- HSPF (Hydrologic Simulation Programm-Fortran)
- CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems)
- GLEAMS (Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems)
- SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins)
- PRZM (Pesticide Root Zone Model)
- ARM (Agricultural Runoff Management)
- ACTMO (Agricultural Chemical Transport Model)
- SWMM (Storm Water Management Model)
- STORM (Storage Treatment Overflow Runoff Model)
- DRM-QUAL (Distributed Routing Rainfall-Runoff Model)
- FHWA (Federal Highway Administration)
- QQS (Quantity-Quality Simulation)

Ακόμη είναι βασικό να αναφερθεί πως αρκετά πακέτα λογισμικών χρησιμοποιούν την πλατφόρμα του SWMM v.5 (https://en.wikipedia.org/wiki/Storm_Water_Management_Model):

- EPA-SWMM
- PCSWMM
- InfoSWMM
- MIKE URBAN
- XPSWMM
- GeoSWMM
- Autodesk Storm and Sanitary Analysis
- H2OMapSWMM
- SWMMLive
- Giswater
- Free University Version of InfoSWMM

Λόγω της πληθώρας επιλέχθηκε η ενδεικτική αναφορά ορισμένων από αυτών και όχι η περιγραφή τους. Στη παρούσα εργασία επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SWMM, το οποίο περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια του Κεφαλαίου.

2.5 Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσονται εν συντομία οι Ελληνικοί κανονισμοί οι οποίοι διέπουν την εκπόνηση μελετών ομβρίων και ακαθάρτων υδάτων καθώς και οι βασικοί περιορισμοί οι οποίοι είναι απαραίτητο να τηρούνται.

2.5.1 Γενικά

Το Νομικό Πλαίσιο το οποίο καθορίζει την εκπόνηση μελετών των δικτύων αποχέτευσης στην Ελλάδα είναι το Προεδρικό Διάταγμα 696/1974 «Περί αμοιβών μηχανικών δια σύνταξιν μελετών, επίβλεψιν, παραλαβήν κ.λπ. Συγκοινωνιακών, Υδραυλικών και Κτιριακών έργων, ως και Τοπογραφικών, Κτηματογραφικών και Χαρτογραφικών Εργασιών και των σχετικών τεχνικών προδιαγραφών μελετών». Και πιο συγκεκριμένα τα άρθρα 208 έως και 219. Στα παραπάνω άρθρα καθορίζονται:

- i. Οι όροι εκπόνησης των μελετών αποχέτευσης ομβρίων και ακαθάρτων υδάτων.
- ii. Τα στάδια και τα παραδοτέα τεύχη της προκαταρκτικής μελέτης, της προμελέτης και της οριστικής μελέτης για τα ακάθαρτα, τα όμβρια καθώς και τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ακαθάρτων.

2.5.2 Δίκτυο αποχέτευσης ακαθάρτων υδάτων

Ως δίκτυο αποχέτευσης ακαθάρτων ορίζεται το δίκτυο συλλογής, μεταφοράς και διάθεσης στον τελικό αποδέκτη των ακαθάρτων υδάτων (υγρά απόβλητα). Τα απόβλητα αυτά μπορεί να προέρχονται από οικίες, βιοτεχνίες, βιομηχανίες, γραφεία, νοσοκομεία, σχολεία, δημόσιους χώρους (Τσακίρης 2010).

Με βάση τους Ελληνικούς Κανονισμούς οι βασικοί περιορισμοί οι οποίοι είναι απαραίτητο να ικανοποιούνται είναι (ΠΔ 696/74):

- i. Ελάχιστη διάμετρος αποχετευτικού αγωγού 200 mm.
- ii. Μέγιστος λόγος πλήρωσης (y/D) 0.7. Για μικρές διατομές (500-600 mm) προτείνεται λόγος πλήρωσης 0.6 και για πολύ μικρές διατομές (200-400 mm) προτείνεται λόγος πλήρωσης 0.5.

Για τα είδη κατασκευασμένα δίκτυα ακαθάρτων προτείνεται, κατ' εξαίρεση, η χρήση λόγου πλήρωσης 0.8.

- iii. Η μέγιστη ταχύτητα στους αγωγούς δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 3 m/s. Επιπλέον η μέγιστη ταχύτητα περιορίζεται και από τις συνθήκες κρίσιμης ροής (Τσακίρης 2010).
- iv. Η ελάχιστη ταχύτητα (V_0) στους αγωγούς ακαθάρτων δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 0.56 m/s. Επιδιώκεται η V_0 να βρίσκεται μεταξύ ελάχιστης ταχύτητας και αυτής που προκύπτει για κρίσιμες συνθήκες για $y/D=0.7$ (Τσακίρης 2010).
- v. Η ελάχιστη κλίση τοποθέτησης των αγωγών, κυρίως σε περιπτώσεις οριζόντιων δρόμων, προσδιορίζεται έτσι ώστε για $Q/Q_0=0.10$ η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει τα 0.30 m/s. Η ταχύτητα πλήρωσης (0.30 m/s) αντιστοιχεί σε ταχύτητα πλήρωσης 0.56 m/s (Τσακίρης 2010).

2.5.3 Δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων υδάτων

Με βάση τους Ελληνικούς Κανονισμούς οι βασικοί περιορισμοί οι οποίοι είναι απαραίτητο να ικανοποιούνται, κατά το σχεδιασμό ενός δικτύου ομβρίων, είναι (ΠΔ 696/74):

- i. Ελάχιστη διάμετρος αποχετευτικού αγωγού 400 mm για μείωση την πιθανότητας εμφραξης των αγωγών.
- ii. Ο μέγιστος επιτρεπόμενος λόγος πλήρωσης ορίζεται 0.7 για νέους αγωγούς και 0.8 για τους είδη κατασκευασμένους αγωγούς.
- iii. Η μέγιστη ταχύτητα ροής ορίζεται στα 6 m/s. Ο περιορισμός αυτός προκύπτει από την απαίτηση αποφυγής διαβρώσεων στους αγωγούς και μείωσης του κινδύνου εμφάνισης ασταθειών στη ροή (Τσακίρης 2010).
- iv. Η ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση των αγωγών ομβρίων παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.11. Ο συγκεκριμένος περιορισμός προέκυψε λόγω της απαίτησης για τήρηση μιας ελάχιστης ταχύτητας ροής 0.6 m/s για λόγους αυτοκαθαρισμού των αγωγών (Τσακίρης 2010).

Πίνακας 2.11: Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών ομβρίων από σκυρόδεμα (Τσακίρης 2010)

Εσωτερική Διάμετρος αγωγού (mm)	Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση (%)
400	0.6
500	0.44
600	0.35
700	0.28
800	0.24

Πίνακας 2.11 (συνέχεια): Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών ομβρίων από σκυρόδεμα (Τσακίρης 2010)

Εσωτερική Διάμετρος αγωγού (mm)	Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση (%)
900	0.20
1000	0.18
1100	0.16
1200	0.14
1300	0.12
1400	0.11
1500-2000	0.10

2.6 Γενικά για το Λογισμικό SWMM

Το λογισμικό Storm Water Management Model (SWMM) αναπτύχθηκε από τον Αμερικάνικο Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency - EPA), για πρώτη φορά το 1971 σαν ένα εργαλείο που βασίζεται σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές για την προσομοίωση των απορροών των ομβρίων, τόσο από ποσοτικής όσο και από ποιοτικής άποψης. Από την ημέρα δημιουργίας του, μέχρι και σήμερα έχει υποστεί αρκετές αναβαθμίσεις (Metcalf and Eddy 1971, Huber and Dickinson 1992). Στον Πίνακα 2.12 παρουσιάζεται, συνοπτικά, η ιστορική εξέλιξη του λογισμικού Storm Water Management Model (SWMM) (Rossman 2015).

Το λογισμικό SWMM, σήμερα βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε όλο τον κόσμο για προβλήματα προγραμματισμού, ανάλυσης και σχεδιασμού, τα οποία σχετίζονται, με την απορροή των ομβρίων, με παντοροϊκά και αποχετευτικά δίκτυα καθώς και άλλα αποχετευτικά συστήματα σε αστικές περιοχές αλλά και με αρκετές εφαρμογές σε μη αστικές περιοχές. Η τελευταία έκδοση του λογισμικού παρήχθη από την Water Supply and Water Resources Division του Αμερικάνικου Οργανισμού Προστασίας του Περιβάλλοντος με βοήθεια από την εταιρία συμβούλων CDM, Inc (Rossman 2010).

Πίνακας 2.12: Ιστορική εξέλιξη λογισμικού SWMM (Rossman 2015)

ΕΚΔΟΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	ΕΤΟΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ	ΣΧΟΛΙΑ
SWMM I	1971	Metcalf and Eddy, Inc., University of Florida	Πρώτη έκδοση του λογισμικού. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην μοντελοποίηση της συνδυασμένης αποχέτευσης - υπερχειλίσσης (CSO). Λίγες από τις μεθόδους τις οποίους χρησιμοποιούσε διατηρούνται και σήμερα.
SWMM II	1975	University of Florida	Η πρώτη ευρέως διαδεδομένη έκδοση του λογισμικού SWMM.
SWMM 3	1981	University of Florida	Στην έκδοση αυτή προστέθηκαν: ρουτίνα διόδευσης δυναμικού κύματος, διήθηση σύμφωνα με την εξίσωση Green-Ampt, λιώσιμο του χιονιού και συνεχής προσομοίωση.
SWMM 3.3	1983	US EPA	Η πρώτη έκδοση του λογισμικού για ηλεκτρονικούς υπολογιστές.
SWMM 4	1988	Oregon State University, Camp Dresser and McKee	Υπόγεια νερά, RDII, διατομές καναλιών ακανόνιστου σχήματος καθώς και άλλες βελτιώσεις στο λογισμικό, μέσα από μια σειρά αναβαθμίσεων κατά τη δεκαετία του 90.
SWMM 5	2005	US EPA, CDM-Smith	Πλήρης επανεγγραφή του λογισμικού σε γλώσσα C. Προσθήκη γραφικού περιβάλλοντος, βελτιωμένοι αλγόριθμοι καθώς και νέα χαρακτηριστικά (μοντελοποίηση LID).

Το λογισμικό SWMM αποτελεί ένα δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης βροχής απορροής, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για ένα μεμονωμένο γεγονός όσο και για συνεχή προσομοίωση της ποσότητας και της ποιότητας της απορροής από αστικές περιοχές. Το μοντέλο αντιλαμβάνεται την απορροή ως το σύνολο της κατακρήμνισης στις υπολεκάνες της περιοχής μελέτης (Rossman 2010). Στη συνέχεια παράγεται η απορροή και τα ρυπαντικά φορτία, τα οποία διοδεύονται στην έξοδο της λεκάνης απορροής. Η διόδευση, μέχρι το σημείο εξόδου της λεκάνης, πραγματοποιείται μέσω ενός συστήματος αγωγών, καναλιών, δεξαμενών κατακράτησης, αντλιών κ.α. Από το μοντέλο παρακολουθείται η ποσότητα και η ποιότητα της παραγόμενης απορροής από κάθε υπολεκάνη καθώς και η ταχύτητα ροής, το βάθος ροής και η ποιότητα νερού στο αποχετευτικό σύστημα, κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης, η οποία αποτελείται από πολλαπλά χρονικά βήματα (Rossman 2010).

2.7 Δυνατότητες του Μοντέλου και Τυπικές Εφαρμογές

Το λογισμικό SWMM έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει διάφορες υδρολογικές διεργασίες, οι οποίες παράγουν απορροή σε αστικές περιοχές. Οι κυριότερες από αυτές είναι (Rossman 2010):

- Βροχόπτωση
- Εξάτμιση επιφανειακού νερού
- Συσσώρευση και τήξη χιονιού
- Επιφανειακή κατακράτηση
- Διήθηση σε ακόρεστα στρώματα του εδάφους
- Διείσδυση επιφανειακού νερού στον υπόγειο υδροφόρα
- Βασική απορροή
- Ταχεία υπεδάφια απορροή

Η χωρική μεταβλητότητα σε όλες αυτές τις διαδικασίες επιτυγχάνεται με τον διαχωρισμό της περιοχής μελέτης σε ένα σύνολο, μικρότερων, ομογενών υπολεκάνων, με την κάθε υπολεκάνη να χωρίζεται σε ένα ποσοστό διαπερατής και αδιαπέρατης περιοχής. Η επιφανειακή απορροή μπορεί να διοδευθεί ανάμεσα στις υπολεκάνες, τις λεκάνες ή ανάμεσα στα σημεία εισόδου ενός αποχετευτικού συστήματος (Rossman 2010).

Το λογισμικό, εκτός από τις υδρολογικές διαδικασίες, εμπεριέχει ένα σύνολο υδραυλικών δυνατοτήτων μοντελοποίησης, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την διόδευση της απορροής και των εξωτερικών εισροών δια μέσου ενός αποχετευτικού δικτύου αγωγών, καναλιών, δεξαμενών κατακράτησης, επεξεργασίας και εκτροπής. Αυτές περιλαμβάνουν (Rossman 2010):

- Το χειρισμό δικτύων απεριόριστου μεγέθους
- Τη χρήση μια μεγάλης ποικιλίας σχημάτων κλειστών και ανοιχτών αγωγών καθώς και φυσικών καναλιών
- Τη μοντελοποίηση ειδικών στοιχείων όπως δεξαμενές κατακράτησης και επεξεργασίας, αντλίες, υπερχειλιστές και στόμια.
- Τη δυνατότητα εφαρμογής εξωτερικών εισροών λόγω επιφανειακής απορροής, ταχείας υπεδάφιας απορροής, διήθηση λόγω κατακρήμνισης καθώς και άλλων εισροών, οι οποίες υπάρχει η δυνατότητα να οριστούν από το χρήστη.
- Τη χρήση είτε των εξισώσεων κινηματικού κύματος, είτε των εξισώσεων δυναμικού κύματος για την διόδευση της απορροής

- Τη μοντελοποίηση πολύπλοκων φαινομένων όπως ανάστροφη ροή, υπερχειλίση κ.α.
- Την εφαρμογή δυναμικών κανόνων ελέγχου, από το χρήστη για την προσομοίωση της λειτουργίας των αντλιών, των διαφραγμάτων, των στομιών κ.α.

Επίσης εκτός από την παραγωγή και τη διόδευση της απορροής, το λογισμικό SWMM, έχει τη δυνατότητα της εκτίμησης των ρυπαντικών φορτίων. Ορισμένες από τις διαδικασίες οι οποίες υπάρχει η δυνατότητα να μοντελοποιηθούν και σχετίζονται με την ποιότητα της απορροής είναι (Rossman 2010):

- Συσσώρευση ρύπων σε συνθήκες ξηρασίας για διάφορες χρήσεις γης
- Απόπλυση ρύπων από συγκεκριμένες χρήσεις γης κατά τη διάρκεια καταιγίδων
- Άμεση συμβολή των αποθέσεων των βροχοπτώσεων
- Μείωση της συσσώρευσης σε συνθήκες ξηρασίας λόγω του καθαρισμού των δρόμων
- Μείωση του φορτίου απόπλυσης δια μέσου των βέλτιστων συνθηκών διαχείρισης
- Διόδευση των συστατικών ποιότητας του νερού μέσω του αποχετευτικού συστήματος
- Μείωση των συγκεντρώσεων των ρυπαντικών φορτίων μέσω των δεξαμενών κατακράτησης και επεξεργασίας η μέσω φυσικών διεργασιών σε δεξαμενές και κανάλια

2.8 Εννοιολογική Αντίληψη Μοντέλου

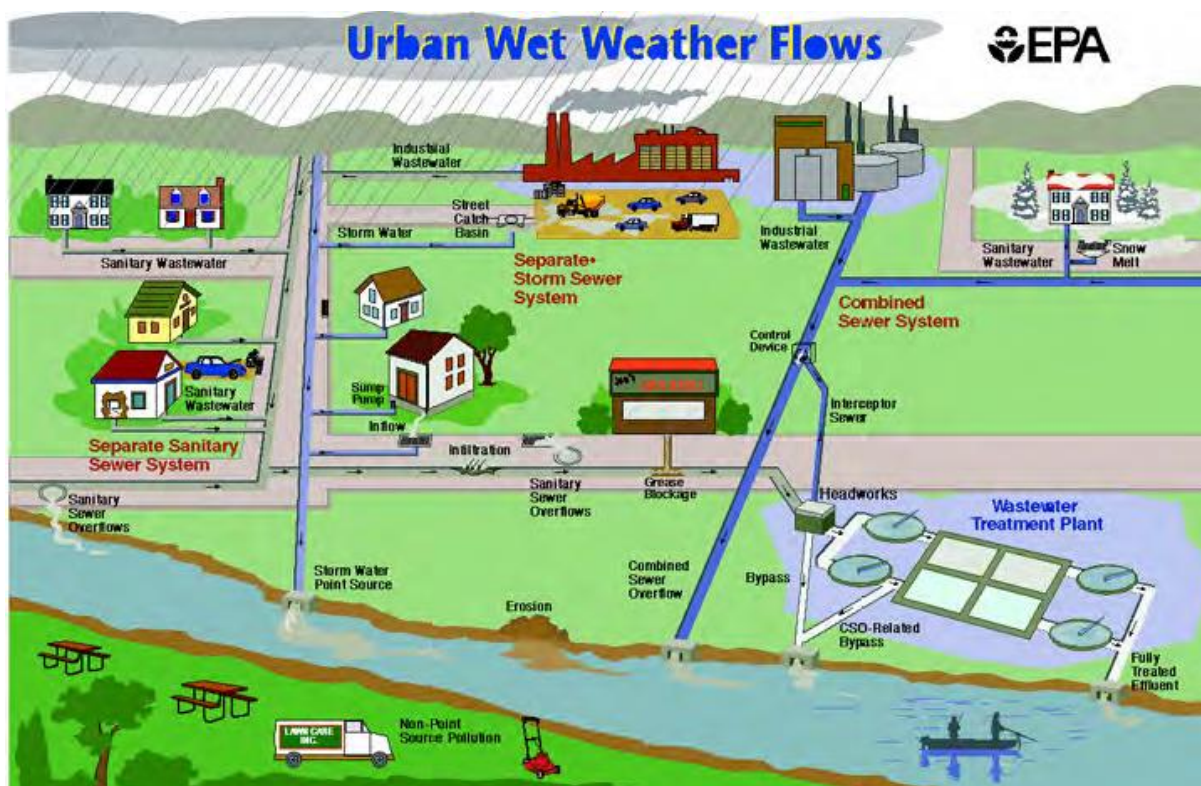
Το λογισμικό SWMM αντιλαμβάνεται το αποχετευτικό σύστημα ως μια σειρά από ροές νερού καθώς και άλλων υλικών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε πολλά μεγάλα τμήματα του περιβάλλοντος. Τα τμήματα αυτά και τα αντικείμενα τα οποία περιέχει το μοντέλο είναι (Rossman 2010):

- Το τμήμα της ατμόσφαιρας, από το οποίο παράγεται η κατακρήμνιση και οι ρύποι, οι οποίοι εναποτίθενται στο τμήμα της επιφάνεια της γης. Το λογισμικό χρησιμοποιεί βροχογράφους, για να αναπαριστά την βροχόπτωση, ως δεδομένο εισόδου στο σύστημα
- Το τμήμα της επιφάνειας της γης, τα οποίο αναπαριστάται από μια ή περισσότερες λεκάνες απορροής. Το τμήμα αυτό δέχεται την κατακρήμνιση από το τμήμα της ατμόσφαιρας, είτε με τη μορφή βροχής, είτε με τη βροχή χιονιού. Το τμήμα αυτό αποστέλλει επίσης την εκροή στο τμήμα του υπόγειου υδροφορέα, με τη μορφή διήθησης, ενώ την επιφανειακή απορροή και τα ρυπαντικά φορτία στο τμήμα μεταφοράς.
- Το τμήμα των υπογείων υδάτων, το οποίο δέχεται την διήθηση από το τμήμα της επιφάνειας και ένα τμήμα το μεταφέρει ως εισροή στο τμήμα της μεταφοράς. Για την μο-

ντελοποίηση του τμήματος αυτού χρησιμοποιούνται αντικείμενα του υδροφόρου ορίζοντα.

- Το τμήμα της μεταφοράς, το οποίο περιλαμβάνει το δίκτυο μεταφοράς, αγωγούς, κανάλια, αντλίες, ρυθμιστές, δεξαμενές συγκράτησης και επεξεργασίας, το οποίο διαβιβάζει το νερό σε διάφορα σημεία εκβολής ή σε μέρη επεξεργασίας. Στο τμήμα αυτό οι ροές εισέρχονται λόγω επιφανειακής απορροής, υπόγειας απορροής αλλά και λόγω πρόσθετων εισροών, οι οποίες καθορίζονται από τον ίδιο τον χρήστη.

Δεν είναι απαραίτητο βέβαια, όλα τα τμήματα να αναπαρασταθούν σε ένα συγκεκριμένο μοντέλο. Για παράδειγμα, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μοντελοποιήσει μόνο το τμήμα μεταφοράς, με τη χρήση υδρογραφημάτων ως μεταβλητή εισόδου στο μοντέλο. Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζονται τα στοιχεία ενός τυπικού αστικού αποχετευτικού συστήματος.



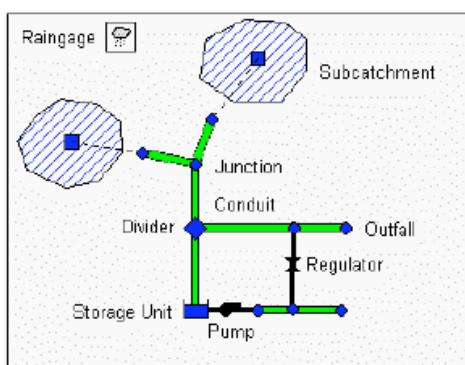
Εικόνα 2.1: Στοιχεία ενός τυπικού αστικού αποχετευτικού συστήματος (Rossman 2015)

2.9 Οπτικά Αντικείμενα Λογισμικού

Με το λογισμικό SWMM το αποχετευτικό σύστημα δύναται να αναπαρασταθεί με ένα σύνολο οπτικών αντικειμένων, τα οποία ο χρήστης μπορεί να δει στην οθόνη του. Τα αντικείμενα αυτά είναι (Rossman 2010):

- Βροχογράφοι (Rain Gage)
- Υπολεκάνες (Subcatchments)
- Κόμβοι (Junction nodes)
- Κόμβοι εκβολής (outfall nodes)
- Αγωγοί (Conduits)
- Δεξαμενές κατακράτησης και επεξεργασίας (Storage units)
- Αντλίες (Pumps)
- Ρυθμιστές ροής (Regulator)

Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.2 και περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια του Κεφαλαίου.



Εικόνα 2.2: Παράδειγμα οπτικών αντικειμένων τα οποία χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση ενός αποχετευτικού συστήματος

2.9.1 Βροχογράφοι

Οι βροχογράφοι παρέχουν βροχομετρικά δεδομένα σε μια ή περισσότερες υπολεκάνες της περιοχής μελέτης. Για τα δεδομένα αυτά υπάρχει η επιλογή να εισαχθούν απευθείας από το χρήστη ως ημερήσιες χρονοσειρές βροχόπτωσης ή να εισαχθούν από κάποιο εξωτερικό αρχείο. Τα αρχικά δεδομένα, τα οποία εισάγονται στους βροχογράφους εμπεριέχουν (Rossman 2010):

- Τον τύπο της βροχόπτωσης (ένταση, όγκος ή ισοδύναμο ύψος)
- Το χρονικό βήμα της βροχόπτωσης

- Την πηγή των δεδομένων (εισαγωγή χρονοσειρών βροχόπτωσης από το χρήστη ή εισαγωγή από εξωτερικό αρχείο)
- Το όνομα της πηγής των βροχομετρικών δεδομένων

2.9.2 Υπολεκάνες

Οι υπολεκάνες αποτελούν υδρολογικές μονάδες, η τοπογραφία των οποίων και τα στοιχεία του αποχετευτικού συστήματος κατευθύνουν την επιφανειακή απορροή σε ένα μοναδικό σημείο εξόδου. Ο χρήστης είναι υπεύθυνος για τον χωρισμό της περιοχής μελέτης στον κατάλληλο αριθμό υπολεκανών και στην αναγνώριση του σημείου εξόδου της κάθε υπολεκάνης. Τα σημεία εκβολής μπορεί να είναι είτε κόμβοι του αποχετευτικού συστήματος είτε άλλες υπολεκάνες (Rossman 2010).

Οι υπολεκάνες χωρίζονται σε διαπερατές και αδιαπέρατες υποπεριοχές. Η επιφανειακή απορροή μπορεί να διεισδύσει στην άνω εδαφική ζώνη της διαπερατής περιοχής, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με την αδιαπέρατη περιοχή. Οι αδιαπέρατες περιοχές χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο επιμέρους τμήματα. Το τμήμα το οποίο περιέχει την επιφανειακή συγκράτηση και το τμήμα εκείνο το οποίο δεν την περιέχει (Rossman 2010). Με τον όρο επιφανειακή συγκράτηση αναφερόμαστε στη συγκράτηση η οποία λαμβάνει χώρα σε εδαφικές κοιλότητες, τάφρους κλπ.

Η διήθηση της βροχής από μια διαπερατή περιοχή της λεκάνης στην άνω ακόρεστη ζώνη του εδάφους μπορεί να προσομοιωθεί με τρία διαφορετικά μοντέλα (Rossman 2010):

- Το μοντέλο του Horton
- Το μοντέλο Green-Ampt
- Τη μέθοδο της SCS

Οι κύριες παράμετροι οι οποίες χαρακτηρίζουν την λεκάνη και είναι απαραίτητο να εισαχθούν στο λογισμικό είναι (Rossman 2010):

- Ο βροχογράφος
- Το σημείο εξόδου της λεκάνης
- Οι χρήσεις γης στην περιοχή
- Το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής
- Η κλίση της περιοχής
- Το χαρακτηριστικό πλάτος της επίγειας ροής
- Ο συντελεστής τραχύτητας Manning τόσο για τις διαπερατές όσο και για τις αδιαπέρατες περιοχές
- Η επιφανειακή συγκράτηση στις διαπερατές και στις αδιαπέρατες περιοχές

- Το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής με μηδενική επιφανειακή αποθήκευση

2.9.3 Κόμβοι

Οι κόμβοι αποτελούν την αναπαράσταση των φρεατίων ενός αποχετευτικού συστήματος. Εξωτερικές εισροές μπορούν να εισαχθούν στο αποχετευτικό σύστημα μέσω των κόμβων. Το νερό το οποίο υπερχειλίζει σε ένα κόμβο, λόγω του ότι ο αγωγός έχει υπερφορτιστεί, είτε χάνεται από το σύστημα, είτε αφήνεται να λιμνάσει πάνω από τον κόμβο και στην συνέχεια αποχετεύεται πίσω σε αυτόν. Οι κύριες παράμετροι εισαγωγής για ένα κόμβο είναι (Rossman 2010):

- Το υψόμετρο πυθμένα του αγωγού
- Το ύψος μέχρι την επιφάνεια του εδάφους.
- Την έκταση της λιμνάζουσας επιφάνειας σε περίπτωση πλημμύρας (προαιρετικά).
- Δεδομένα εξωτερικών εισροών στον κόμβο (προαιρετικά).

2.9.4 Κόμβοι εκβολής

Οι κόμβοι εκβολής αποτελούν τους τερματικούς κόμβους ενός αποχετευτικού συστήματος. Σε όλες της μορφές της διόδευσης οι κόμβοι αυτοί συμπεριφέρονται ως απλά φρεάτια. Μόνο ένας αγωγός μπορεί να συνδεθεί με τον κόμβο εκβολής. Οι κύριες παράμετροι εισαγωγής για έναν κόμβο εκβολής είναι (Rossman 2010):

- Το υψόμετρο πυθμένα.
- Ο τύπος των συνθηκών οι οποίες προσδιορίζουν την ανώτατη στάθμη στην οποία μπορεί να φτάσει το νερό.
- Η παρουσία θυροφράγματος για την αντιμετώπιση φαινομένων ανάστροφης ροής.

2.9.5 Αγωγοί

Οι αγωγοί είναι σωλήνες ή κανάλια τα οποία χρησιμεύουν στη μεταφορά της απορροής από τον ένα κόμβο στον άλλο. Οι αγωγοί μπορούν να αναπαρασταθούν με ορθογώνιες, τραπεζοειδείς, ακανόνιστες διατομές ή με διατομές οι οποίες ορίζονται από το χρήστη. Οι νέοι αγωγοί αποχέτευσης σχεδιάζονται συνήθως ως κυκλικοί, ελλειπτικοί ή τοξωτοί. Οι διαθέσιμες διατομές του λογισμικού SWMM παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.3 (Rossman 2010).

Το λογισμικό χρησιμοποιεί την εξίσωση του Manning για να εκφράσει τη σχέση μεταξύ της παροχής (Q), του εμβαδού της διατομής (A), της υδραυλικής ακτίνας (R) και της κλίσης (S).

Στο διεθνές σύστημα μονάδων η εξίσωση του Manning είναι:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (2.11)$$

Είναι απαραίτητο να αναφέρουμε ότι ως κλίση λαμβάνεται η κλίση του πυθμένα (S_0) είτε η κλίση τριβών (S_f) ανάλογα με τη μέθοδο διόδευσης η οποία χρησιμοποιείται. Για τον υπολογισμό των απωλειών τριβής σε κυκλικούς αγωγούς υπό πίεση το SWMM χρησιμοποιείται είτε η εξίσωση του Hazen-Williams είτε η εξίσωση του Darcy-Weisbach (Rossman 2010).

Στο διεθνές σύστημα μονάδων η εξίσωση Hazen-Williams είναι:

























$$Q = 1.318CAR^{0.63}S^{0.54} \quad (2.12)$$

Όπου C είναι ο συντελεστής Hazen-Williams, ο οποίος εξαρτάται από την επιφανειακή τραχύτητα και παρέχεται ως παράμετρος των διατομών (Rossman 2010).

Η εξίσωση Darcy-Weisbach είναι:

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}} AR^{1/2} S^{1/2} \quad (2.13)$$

Όπου f ο συντελεστής τριβής. Στην εξίσωση των Hazen-Williams θεωρείται ένας συντελεστής C για όλους τους κλάδους, ο οποίος εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του αγωγού, ενώ δεν λαμβάνεται υπόψη το είδος ροής όπως συμβαίνει με το συντελεστή τριβής f στην εξίσωση των Darcy-Weisbach (Τσακίρης 2010).

Name	Parameters	Shape	Name	Parameters	Shape
Circular	Full Height		Circular Force Main	Full Height, Roughness	
Filled Circular	Full Height, Filled Depth		Rectangular - Closed	Full Height, Width	
Rectangular - Open	Full Height, Width		Trapezoidal	Full Height, Base Width, Side Slopes	
Triangular	Full Height, Top Width		Horizontal Ellipse	Full Height, Max. Width	
Vertical Ellipse	Full Height, Max. Width		Arch	Full Height, Max. Width	
Parabolic	Full Height, Top Width		Power	Full Height, Top Width, Exponent	
Rectangular-Triangular	Full Height, Top Width, Triangle Height		Rectangular-Round	Full Height, Top Width, Bottom Radius	
Modified Baskethandle	Full Height, Bottom Width, Top Radius		Egg	Full Height	
Horseshoe	Full Height		Gothic	Full Height	
Catenary	Full Height		Semi-Elliptical	Full Height	
Baskethandle	Full Height		Semi-Circular	Full Height	
Irregular Natural Channel	Transect Coordinates		Custom Closed Shape	Full Height, Shape Curve Coordinates	

Εικόνα 2.3: Διαθέσιμες διατομές αγωγών λογισμικού SWMM (Rossman 2010)

Οι κύριες παράμετροι εισαγωγής για τους αγωγούς είναι (Rossman 2010):

- Τα ονόματα των κόμβων εισόδου και εξόδου
- Τα μετατοπισμένα ύψη εισόδου και εξόδου πάνω από τα αντίστοιχα υψόμετρα πυθμένα των φρεατίων
- Το μήκος του αγωγού
- Ο συντελεστής τραχύτητας του Manning
- Η γεωμετρία της διατομής

2.9.6 Δεξαμενές κατακράτησης και συγκράτησης

Οι δεξαμενές κατακράτησης αποτελούν κόμβους του αποχετευτικού συστήματος, οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης ενός όγκου νερού. Στην πραγματικότητα, οι δεξαμενές αυτές θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν μονάδες αποθήκευσης τόσο μικρές όσο μια δεξαμενή ή τόσο μεγάλες όσο μια λίμνη. Οι ογκομετρικές ιδιότητες μιας τέτοιας μονάδας περιγράφονται από συναρτήσεις ή πίνακες (Rossman 2010).

Οι κύριες παράμετροι εισόδου για τις δεξαμενές είναι:

- Υψόμετρο πυθμένα.
- Μέγιστο βάθος.
- Δεδομένα για τη σχέση βάθους-επιφάνειας.
- Δυνητική εξάτμιση.
- Επιφάνεια κατάκλυσης σε περίπτωση πλημμύρας (προαιρετικά).
- Εξωτερικά δεδομένα εισροής (προαιρετικά).

2.10 Μη οπτικά Αντικείμενα Λογισμικού

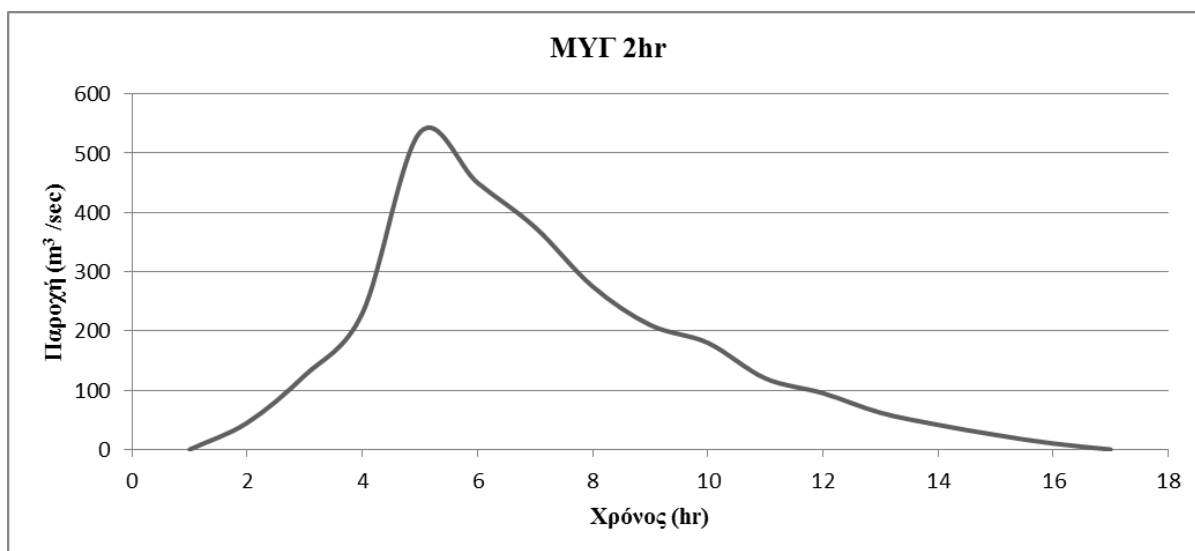
Εκτός από τα οπτικά αντικείμενα, τα οποία υπάρχει η δυνατότητα να αναπαρασταθούν πάνω σε ένα χάρτη, το λογισμικό SWMM, παρέχει τη δυνατότητα χρήσης διάφορων πρόσθετων μη οπτικών αντικειμένων, με τη βοήθεια των οποίων περιγράφονται καλύτερα οι διαδικασίες και τα χαρακτηριστικά της υπό εξέταση περιοχής (Rossman 2010).

2.10.1 Μοναδιαία υδρογραφήματα

Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα εκτιμά την βροχόπτωση, η οποία εξαρτάται από τη διήθηση/εισροή στο αποχετευτικό σύστημα. Κάθε υδρογράφημα θεωρείται ως ένα ξεχωριστό αντικείμενο στο λογισμικό, και του εκχωρείται μοναδικό όνομα μαζί με το όνομα του βροχογράφου από τον οποίο τροφοδοτείται με τα δεδομένα βροχόπτωσης (Rossman 2010). Ένα σύνολο Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων περιλαμβάνει μέχρι τρία Μοναδιαία Υδρογραφήματα. Ένα για βραχυπρόθεσμη ανταπόκριση, ένα για ενδιάμεση και ένα για μακροπρόθεσμη. Συνολικά μπορούν να υπάρξουν μέχρι 12 τέτοια Μοναδιαία Υδρογραφήματα, ένα για κάθε μήνα του έτους (Rossman 2010).

Κάθε υδρογράφημα ορίζεται από τρεις παραμέτρους, όπως παρουσιάζονται και στην Εικόνα 2.4 (Rossman 2010):

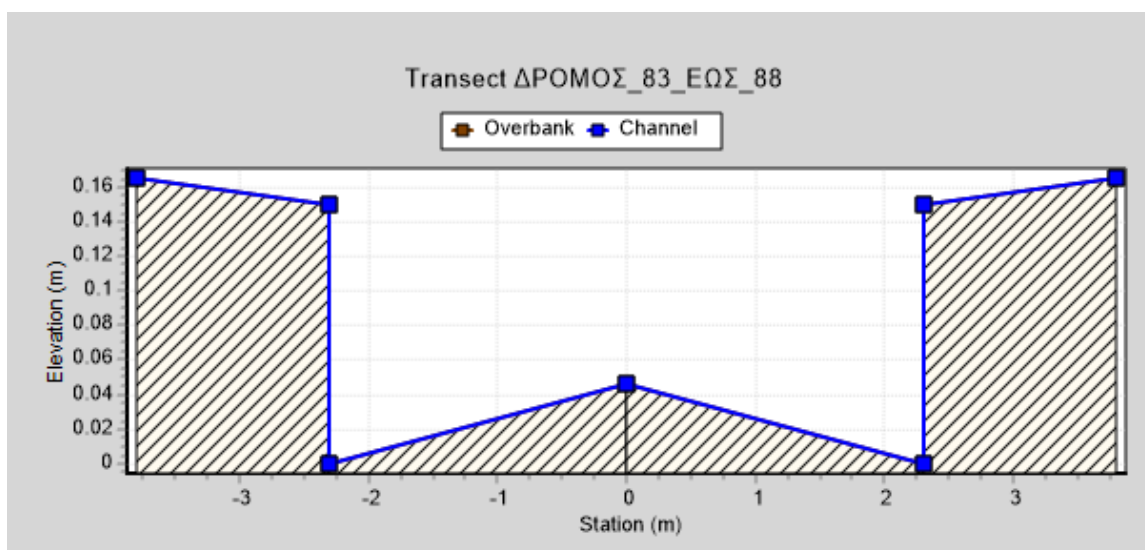
- R: το τμήμα του όγκου βροχής το οποίο εισέρχεται στο αποχετευτικό σύστημα
- T: ο χρόνος από την αρχή του επεισοδίου βροχής μέχρι την αιχμή (χρόνος ανόδου)
- K: ο χρόνος από την αιχμή ως τη λήξη του επεισοδίου



Εικόνα 2.4: Μοναδιαίο Υδρογράφημα

2.10.2 Εγκάρσιες τομές (Transects)

Οι εγκάρσιες τομές αναφέρονται στα γεωμετρικά δεδομένα τα οποία περιγράφουν τη μεταβολή του υψομέτρου πυθμένα σε σχέση με την οριζόντια απόσταση σε ένα φυσικό κανάλι ή σε μια διατομή αγωγού, ακανόνιστου σχήματος (Rossman 2010). Στην Εικόνα 2.5 παρουσιάζεται η εγκάρσια τομή ενός επιφανειακού αγωγού.



Εικόνα 2.5: Εγκάρσια τομή επιφανειακού αγωγού

Σε κάθε διατομή ακανόνιστου σχήματος δίνεται ένα μοναδικό όνομα και οι αγωγοί με αυτού του είδους τη διατομή καλούνται με το όνομα αυτό. Το λογισμικό διαθέτει έναν ειδικό επεξεργαστή διατομών ακανόνιστου σχήματος, για την επεξεργασία των δεδομένων και τη μετατροπή των δεδομένων στα αντίστοιχα υδραυλικά μεγέθη (υδραυλική ακτίνα, πλάτος ελεύθερης επιφάνειας, εμβαδό κ.α.) (Rossman 2010). Επιπλέον, σε κάθε διατομή το δεξί και το

αριστερό τμήμα μπορούν να έχουν διαφορετικό συντελεστή Manning, σε σχέση με το συντελεστή του κύριου καναλιού. Το χαρακτηριστικό αυτό, παρέχει τη δυνατότητα για πιο ρεαλιστικές εκτιμήσεις των δυνατοτήτων μεταφοράς του καναλιού, κάτω από συνθήκες υψηλής ροής (Rossman 2010) .

2.10.3 Εξωτερικές εισροές

Εκτός από τις εισροές οι οποίες προέρχονται από την απορροή των λεκανών και αυτές οι οποίες προέρχονται από τον υπόγειο υδροφόρο, οι κόμβοι του αποχετευτικού συστήματος, μπορούν να λαμβάνουν τρεις τύπους εξωτερικών εισροών (Rossman 2010):

- Άμεση Εισροή
- Εισροές ξηρού καιρού
- Εισροές κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων

Οι εξωτερικές εισροές είναι ιδιότητες οι οποίες σχετίζονται με τον τύπο του αποχετευτικού συστήματος και υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας μετά την εισαγωγή, στο σύστημα, των κόμβων (Rossman 2010).

2.10.4 Χρονοσειρές

Οι χρονοσειρές είναι αντικείμενα τα οποία χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της μεταβολής των ιδιοτήτων κάποιων μεγεθών συναρτήσει του χρόνου. Οι χρονοσειρές χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν (Rossman 2010):

- Δεδομένα θερμοκρασίας
- Δεδομένα εξάτμισης
- Βροχομετρικά δεδομένα
- Δεδομένα στάθμης – ύψους στα σημεία εκβολής
- Υδρογραφήματα εξωτερικών εισροών σε κόμβους του αποχετευτικού συστήματος
- Γραφήματα αναπαράστασης της ρύπανσης από εξωτερικές εισροές σε κόμβους του συστήματος.

Ο χρόνος εισάγεται με τη μορφή ωρών από την αρχή της προσομοίωσης ή με τη μορφή ημερομηνίας και ώρας της ημέρας.

2.11 Υπολογιστικές Μέθοδοι Λογισμικού

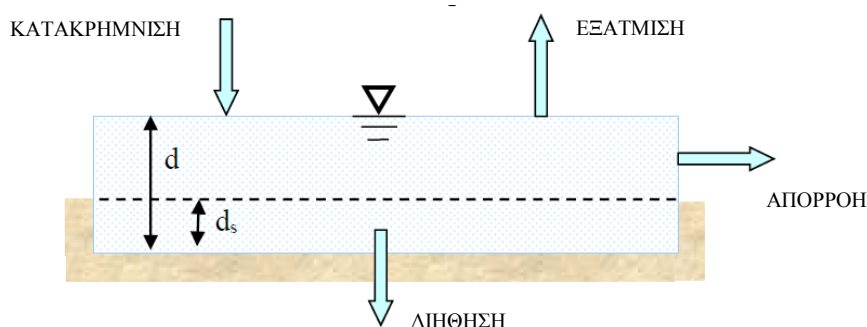
Το SWMM αποτελεί μοντέλο προσομοίωσης διακριτού χρόνου, το οποίο εφαρμόζει τις αρχές της διατήρησης της μάζας, της ενέργειας και της ορμής όπου αυτό είναι απαραίτητο. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται συνοπτικά οι μέθοδοι τις οποίες χρησιμοποιεί το λογισμικό για

την μοντελοποίηση της ποσότητας απορροής των ομβρίων υδάτων. Οι φυσικές διεργασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα είναι (Rossman 2010) :

- Επιφανειακή απορροή
- Υπόγεια ροή
- Διόδευση πλημμύρας
- Μεταβολή ποιότητας νερού
- Διήθηση
- Τήξη χιονιού
- Επιφανειακή λίμναση

2.11.1 Επιφανειακή απορροή

Η εννοιολογική αντίληψη του λογισμικού σχετικά με την επιφανειακή απορροή απεικονίζεται στην Εικόνα 2.6. Κάθε επιφάνεια λεκάνης απορροής αντιμετωπίζεται από το μοντέλο ως μια γραμμική δεξαμενή. Οι εισροές προέρχονται από την ανάντη λεκάνη και τις βροχοπτώσεις. Οι εκροές προέρχονται από τη διήθηση, την εξάτμιση καθώς και την επιφανειακή απορροή. Η χωρητικότητα της λεκάνης ισούται με τη μέγιστη επιφανειακή αποθήκευση η οποία προκύπτει από την επιφανειακή λίμναση, την υγρασία του εδάφους καθώς και την κατακράτηση νερού από την φυτοκόμηση. Το φαινόμενο της επιφανειακής απορροής εμφανίζεται όταν το βάθος νερού στη λεκάνη ξεπεράσει την μέγιστη δυνατή επιφανειακή αποθήκευση. Η τιμή του ύψους νερού, σε όλη τη λεκάνη συνεχώς ανανεώνεται με το χρόνο, επιλύοντας αριθμητικά μια εξίσωση ισοζυγίου νερού κατά μήκος της λεκάνης (Rossman 2010).



Εικόνα 2.6: Εννοιολογική αντίληψη μοντέλου σχετικά με την επιφανειακή απορροή

2.11.2 Διήθηση

Η διήθηση αποτελεί τη διαδικασία κατά την οποία η βροχόπτωση διεισδύει από την επιφάνεια του εδάφους στο άνω μέρος της ακόρεστης εδαφικής ζώνης. Το SWMM προσφέρει τρεις επιλογές για τη μοντελοποίηση της διήθησης:

1. Εξίσωση Horton
2. Εξίσωση Green-Ampt

3. Μέθοδος Αριθμού Καμπύλης (SCS)

2.11.3 Διόδευση ομοιόμορφης ροής

Η διόδευση ομοιόμορφης ροής αναπαριστά τον απλούστερο τρόπο διόδευσης, θεωρώντας ότι για κάθε υπολογιστικό χρονικό βήμα η ροή είναι ομοιόμορφη και σταθερή. Αυτή η παραδοχή μετατοπίζει τα υδρογραφήματα εισροής από το ανάντη τέλος του αγωγού στο κατάντη τμήμα του. Η εξίσωση κανονικής ροής συσχετίζει το ρυθμό ροής με την διατομή ροής. Ο τρόπος αυτός όμως δεν εξηγεί την δυνατότητα αποθήκευσης στα κανάλια, τις απώλειες κατά την είσοδο και την έξοδο, την ανάστροφη ροή ή τη ροή υπό πίεση. Χρησιμοποιείται για δενδριτικά δίκτυα μεταφοράς στα οποία ο κάθε κόμβος έχει έναν και μοναδικό σύνδεσμο εκροής. Στον τύπο αυτόν της διόδευσης, το χρονικό βήμα της διόδευσης δεν παίζει ρόλο (Rossman 2010).

2.11.4 Διόδευση κινηματικού κύματος

Η μέθοδος αυτή επιλύει την εξίσωση συνέχειας, ενώ ταυτόχρονα επιλύει και μια απλοποιημένη μορφή της εξίσωσης ορμής σε κάθε αγωγό. Για το λόγο αυτό απαιτείται (εξίσωση της ορμής) η κλίση της επιφάνειας του νερού να ισούται με την κλίση του αγωγού (Rossman 2010).

Η μέγιστη ροή η οποία μπορεί να μεταφερθεί μέσω ενός αγωγού του συστήματος είναι η τιμή της πλήρους ομοιόμορφης ροής. Στην περίπτωση που η τιμή της ροής ξεπεράσει τη μέγιστη τιμή, το νερό το οποίο εισέρχεται από τον κόμβο είτε χάνεται από το σύστημα, είτε λιμνάζει πάνω από τον κόμβο και εισέρχεται ξανά στον αγωγό, εφόσον το επιτρέψει η χωρητικότητα του αγωγού (Rossman 2010).

2.11.5 Διόδευση δυναμικού κύματος

Η διόδευση δυναμικού κύματος επιλύει τις μονοδιάστατες εξισώσεις ροής Saint-Venant και παράγει τα πιο ακριβή αποτελέσματα από τις τρεις μεθόδους. Οι εξισώσεις Saint-Venant είναι εξισώσεις συνέχειας και ορμής στους αγωγούς ενώ επίσης εφαρμόζεται η εξίσωση συνέχειας όγκου στους κόμβους (Rossman 2010).

Με την διόδευση δυναμικού κύματος είναι δυνατόν να αναπαρασταθεί η ροή υπό πίεση σε έναν κλειστό αγωγό ο οποίος γεμίζει, όπως όταν οι ροές ξεπερνούν την τιμή της πλήρους κανονικής ροής. Το φαινόμενο της πλημμύρας εμφανίζεται όταν το βάθος νερού σε έναν κόμβο ξεπερνάει το μέγιστο δυνατό βάθος. Τότε η περίσσεια ροή είτε χάνεται από το σύστημα είτε λιμνάζει πάνω από τον κόμβο εισόδου, μέχρι να επανεισαχθεί στο σύστημα (Rossman 2010).

Η μορφή αυτής της διόδευσης λαμβάνει υπόψη την αποθήκευση στα φυσικά κανάλια, τα φαινόμενα ανάστροφής ροής, τα φαινόμενα της επίδρασης εκ των κατάντη (backwater effect), τις απώλειες εισόδου και εξόδου από το σύστημα, την ροή υπό πίεση. Η μέθοδος έχει

τη δυνατότητα να συνδυάζει την επίλυση και για τα επίπεδα νερού στους κόμβους αλλά και για την ροή στους αγωγούς, με αποτέλεσμα η εφαρμογή της να είναι δυνατή σε οποιοδήποτε δίκτυο, ακόμη και σε αυτά που περιέχουν αρκετές κατάντη εκτροπές και βρόχους (Rossman 2010). Εφαρμόζεται ουσιαστικά σε συστήματα τα οποία υποβάλλονται σε φαινόμενα επίδρασης εξαιτίας των κατάντη περιορισμών ροής καθώς και σε ρυθμίσεις ροής μέσω θυρίδων και στομιών. Τα χρονικά βήματα, για αυτού του τύπου τη διόδευση, είναι πολύ μικρότερα συγκριτικά με τη διόδευση κινηματικού κύματος και είναι της τάξης ενός λεπτού ή και λιγότερο (Rossman 2010).

2.11.6 Επιφανειακή λίμναση

Κανονικά στη διόδευση, όταν η ροή σε ένα κόμβο ξεπερνάει τη παροχευτικότητα του συστήματος, η περίσσεια του όγκου υπερχειλίζει και χάνεται. Υπάρχει η δυνατότητα η περίσσεια του όγκου να αποθηκευτεί πάνω από έναν κόμβο και στη συνέχεια να επανεισαχθεί στο σύστημα, όταν το επιτρέπει η χωρητικότητά του. Σε συνθήκες ομοιόμορφης ροής και ροής κινηματικού κύματος, το λιμνάζον νερό αποθηκεύεται ως περίσσεια όγκου νερού (Rossman 2010). Αντίθετα κατά τη διόδευση δυναμικού κύματος, η οποία επηρεάζεται από τα βάθη νερού στους κόμβους, θεωρείται πως η περίσσεια νερού λιμνάζει πάνω από έναν κόμβο με σταθερή επιφάνεια χώρου. Το μέγεθος της επιφάνειας αυτής αποτελεί παράμετρο σε κάθε κόμβο (Rossman 2010).

Εναλλακτικά σε συστήματα ανοιχτών αγωγών η επιφανειακή υπερχειλίση μπορεί να περιέχει υπερχειλίσεις δρόμων σε γέφυρες ή σε διασταυρώσεις οχετών καθώς και σε άλλους επιφανειακούς χώρους αποθήκευσης επιφανειακών νερών. Σε συστήματα κλειστών αγωγών, η επιφανειακή υπερχειλίση μεταφέρεται μέσω δρόμων, διόδων και άλλων επιφανειακών διαδρομών στο επόμενο διαθέσιμο φρεάτιο ή ανοιχτό αγωγό (Rossman 2010).

2.12 Κατακρήμνιση

Η κατακρήμνιση αποτελεί την κινητήρια δύναμη για την προσομοίωση της βροχής - απορροής - ποιότητας. Η απορροή των ομβρίων υδάτων καθώς και η ποιότητα των μη σημειακών πηγών εξαρτώνται αποκλειστικά από τις χρονοσειρές βροχόπτωσης, τις οποίες εισάγουμε στο λογισμικό (Rossman 2015). Οι χρονοσειρές αυτές μπορούν να αποτελούνται από μικρά χρονικά διαστήματα, λίγα λεπτά, αναπαριστώντας ένα μεμονωμένο γεγονός βροχόπτωσης έως και χιλιάδες χρονικές περιόδους, προσομοιώνοντας κατ' αυτό τον τρόπο πολλαπλά έτη (Rossman 2015).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, για την προσομοίωση της κατακρήμνισης από το σύστημα, χρησιμοποιείται ο βροχογράφος. Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής απεριόριστου πλή-

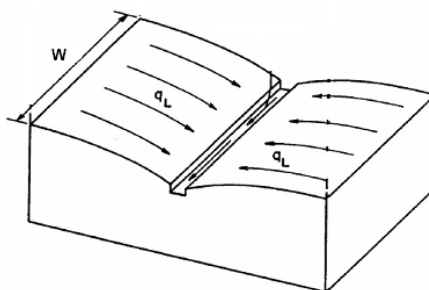
θους βροχογράφων, εφόσον το επιτρέπουν τα δεδομένα (Rossman 2015). Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η αναπαράσταση της χωρικής μεταβλητότητας της βροχόπτωσης. Στο σημείο αυτό, είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως το SWMM είναι ένα πλήρως δυναμικό μοντέλο το οποίο στοχεύει στην αναπαράσταση φυσικών διεργασιών, των οποίων η χρονική κλίμακα είναι μικρή, της τάξης λεπτών ή και λιγότερο (Rossman 2015). Για το λόγο αυτό κατά την προσομοίωση θα πρέπει να αποφεύγεται η εισαγωγή στο λογισμικό δεδομένων κατακρήμνισης, μέσω ημερήσιων τιμών (Rossman 2015).

2.13 Επιφανειακή Απορροή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται πως το λογισμικό SWMM μετατρέπει τα δεδομένα κατακρήμνισης σε επιφανειακή απορροή. Επειδή το SWMM είναι ένα κατανεμημένο δυναμικό μοντέλο, δίνει τη δυνατότητα διακριτοποίησης στο χρήστη. Δηλαδή του επιτρέπει να υποδιαιρέσει τη περιοχή μελέτης σε υπό-περιοχές, απεριόριστου αριθμού και οποιουδήποτε (ακανόνιστου) σχήματος (Rossman 2015). Με αυτό τον τρόπο το μοντέλο επιτυγχάνει να καταγράψει, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, την επίδραση της χωρικής μεταβλητότητας στην παραγωγή της απορροής λόγω της τοπογραφίας, των αποστραγγιστικών καναλιών, των χρήσεων γης, της εδαφοκάλυψης και των εδαφολογικών χαρακτηριστικών. Η παραγωγή της απορροής, από το μοντέλο υπολογίζεται λοιπόν από υπό-περιοχή σε υπό-περιοχή (Rossman 2015).

2.13.1 Κυρίαρχες εξισώσεις

Το μοντέλο αντιλαμβάνεται τις υπολεκάνες ως μια ορθογωνική επιφάνεια, η οποία έχει ομοιόμορφη κλίση S και πλάτος W και στραγγίζει σε ένα και μοναδικό κανάλι, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.7 (Rossman 2015).



Εικόνα 2.7: Ιδεατό σχήμα υπολεκάνης στο λογισμικό SWMM (Rossman 2015)

Η επιφανειακή απορροή παράγεται μοντελοποιώντας την υπολεκάνη σαν μια μη-γραμμική δεξαμενή, όπως παρουσιάστηκε στην Εικόνα 2.6. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μοντελοποίηση, τα κατακρήμνίσματα αποτελούν τις εισροές στην υπολεκάνη, ενώ ως απώλειες θεωρούνται η εξάτμιση και η διήθηση. Η καθαρή περίσσεια λιμνάζει πάνω από την επιφάνεια της

υπολεκάνης σε βάθος d . Το λιμνάζων νερό πάνω από το βάθος επιφανειακής συγκράτησης, d_s , μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε απορροή, q . Η επιφανειακή συγκράτηση αντιπροσωπεύει τις αρχικές απώλειες τις βροχής. Δηλαδή αναφέρεται στην επιφανειακή λίμναση, στην κατακράτηση από στέγες και βλάστηση κ.α.

Από την αρχή διατήρησης της μάζας, η καθαρή μεταβολή στο βάθος d ανά μονάδα χρόνου t είναι η διαφορά μεταξύ του ρυθμού εισροής και εκροής στην υπολεκάνη. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι οι ροές i , e , f , q είναι εκφρασμένες ως ρυθμός ροής ανά μονάδα επιφάνειας (Rossman 2015).

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q \quad (2.14)$$

Όπου:

i → ρυθμός βροχόπτωσης και χιονόπτωσης (m/s)

e → ρυθμός εξάτμισης (m/s)

f → ρυθμός διήθησης (m/s)

q → ρυθμός επιφανειακής απορροής (m/s)

Η παροχή υπολογίζεται με την εξίσωση του Manning. Αυτό γίνεται θεωρώντας πως η ροή σε όλη την υπόλεκάνη είναι ομοιόμορφη σε ορθογωνική διατομή. Επιπρόσθετα το πλάτος της διατομής είναι W (m), η κλίση S (m/m) και το ύψος ($d-d_s$) (Rossman 2015). Άρα σύμφωνα με την εξίσωση του Manning η παροχή της υπολεκάνης, Q , θα δίνεται σε m^3/s από τη σχέση:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (2.15)$$

Όπου:

Q → η παροχή αιχμής (m^3/s)

S → κλίση του αγωγού (m/m)

A → επιφάνεια ροής στον αγωγό (m^2)

R → υδραυλική ακτίνα (m)

n → συντελεστής τραχύτητας κατά Manning

Εφόσον το σχήμα της υπολεκάνης είναι ορθογωνικό με έκταση A , πλάτος W και ύψος $d-d_s$ και επειδή το πλάτος θα είναι πάντοτε πολύ μεγαλύτερο από το βάθος d προκύπτει ότι (Rossman 2015):

$$A = W(d - ds) \quad (2.16)$$

Και

$$R = d - ds \quad (2.17)$$

Εφαρμόζοντας τι δύο παραπάνω εξισώσεις στην εξίσωση του Manning προκύπτει ότι:

$$Q = \frac{1}{n} WS^{1/2} (d - ds)^{5/3} \quad (2.18)$$

οπότε ο ρυθμός απορροής δίνεται από την εξίσωση:

$$q = \frac{1}{An} WS^{1/2} (d - ds)^{5/3} \quad (2.19)$$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση αυτή στην εξίσωση διατήρησης της μάζας προκύπτει ότι (Rossman 2015):

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - \alpha (d - ds)^{5/3} \quad (2.20)$$

Όπου α είναι ο σταθερός όρος από την εξίσωση του Manning και ισούται με (Rossman 2015):

$$\alpha = \frac{1}{An} WS^{1/2} \quad (2.21)$$

Η εξίσωση 2.20, η οποία προέκυψε, αποτελεί μια μη γραμμική διαφορική εξίσωση. Με γνωστά τα μεγέθη i , e , f , ds και α μπορεί να επιλυθεί για κάθε χρονικό βήμα για το βάθος d . Στην περίπτωση κατά την οποία το βάθος d είναι γνωστό μπορεί να προκύψει η τιμή του q . Η εξίσωση διατήρησης της μάζας μπορεί να εφαρμοστεί μόνο όταν ισχύει (Rossman 2015):

$$d > ds \quad (2.22)$$

Όταν λοιπόν το βάθος ds είναι μεγαλύτερο από το βάθος d δηλαδή (Rossman 2015):

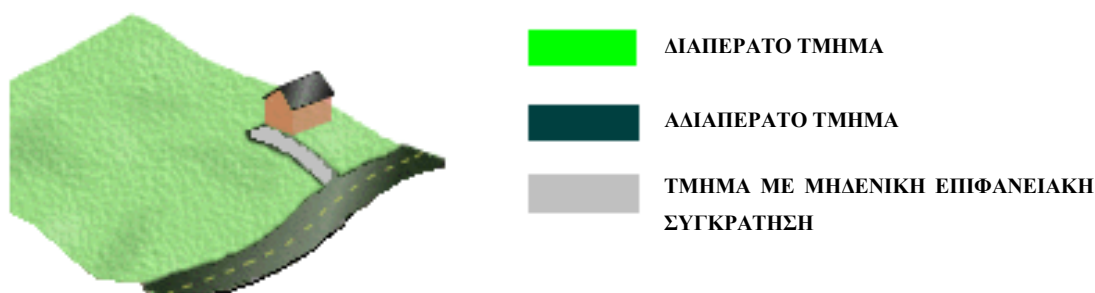
$$ds \geq d \quad (2.23)$$

τότε ο ρυθμός απορροής είναι μηδενικός και το ισοζύγιο μάζας, για το βάθος d απλοποιείται και γίνεται (Rossman 2015):

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f \quad (2.24)$$

2.13.2 Διαχωρισμός υπολεκανών

Οι αστικές λεκάνες και κατ' επέκταση οι υπολεκάνες δεν αποτελούν μια ενιαία περιοχή. Δηλαδή η εδαφοκάλυψη διαφέρει μέσα στην ίδια υπολεκάνη. Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να χωρίσει την υπολεκάνη σε ένα διαπερατό τμήμα, στο οποίο η διήθηση λαμβάνει χώρα και σε ένα αδιαπέρατο στο οποίο το νερό της βροχής δεν διηθείται στο έδαφος (Rossman 2015). Ως διαπερατό τμήμα της υπολεκάνης μπορούν να θεωρηθούν περιοχές οι οποίες καλύπτονται από γρασίδι, οι αγροί και τα δάση. Από την άλλη ως αδιαπέρατο τμήμα μπορεί να θεωρηθούν περιοχές όπως στέγες, δρόμοι κ.α. (Rossman 2015). Ο χρήστης λοιπόν το μόνο που έχει να κάνει είναι να καθορίσει το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας σε κάθε υπολεκάνη (Rossman 2015). Στη συνέχεια το λογισμικό επιτρέπει τον επί μέρους διαχωρισμό του αδιαπέρατος τμήματος της υπολεκάνης σε δύο τμήματα. Στο ένα τμήμα επιτρέπει την επιφανειακή συγκράτηση ενώ στο άλλο όχι. Η παράμετρος η οποία καθορίζει το διαχωρισμό αυτό είναι η %Zero-Imperv. Αυτό συμβαίνει καθώς, αρκετές φορές, οι αδιαπέρατες επιφάνειες τείνουν να παράγουν απορροή, με το ξεκίνημα της βροχόπτωσης, πριν συμπληρωθεί το βάθος επιφανειακής συγκράτησης (Rossman 2015). Για να μπορέσει το λογισμικό να μοντελοποιήσει την παραπάνω φυσική διαδικασία χρησιμοποιεί τους διαχωρισμούς, οι οποίοι αναπτύχθηκαν. Επομένως μια υπολεκάνη ενδέχεται να απαρτίζεται από τρεις περιοχές, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.8 (Rossman 2015).

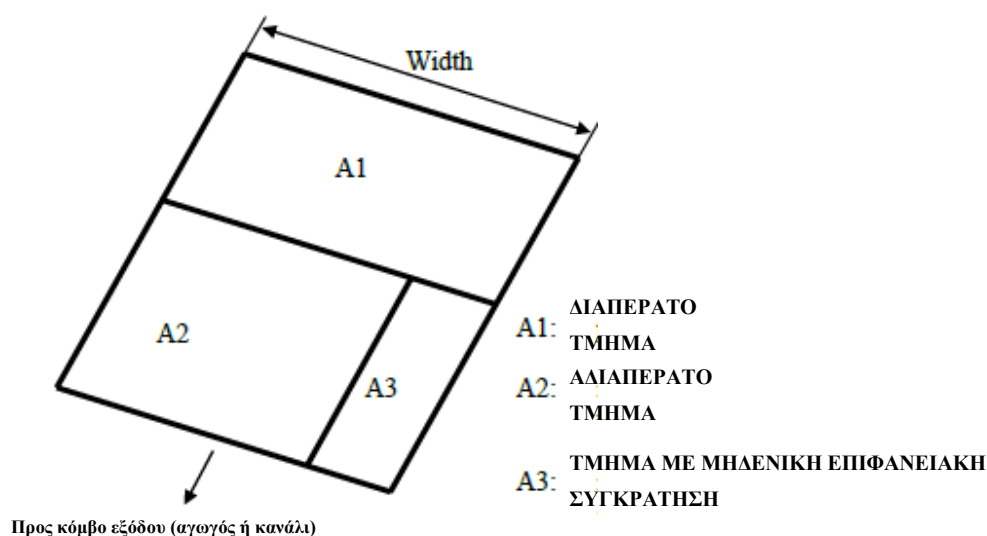


Εικόνα 2.8: Διαχωρισμός υποπεριοχών στο εσωτερικό της υπολεκάνης (Rossman 2015)

Όπως είναι λογικό, στην πραγματικότητα δεν ισχύει κάτι τέτοιο. Το λογισμικό δημιουργεί αυτό το διαχωρισμό για να είναι εφικτή η μοντελοποίηση του φυσικού συστήματος. Στην Εικόνα 2.9 παρουσιάζεται η ιδεατή αντίληψη της υπολεκάνης από το μοντέλο. Η απορροή και από τις τρεις υποπεριοχές της υπολεκάνης πραγματοποιείται ξεχωριστά από τη μια στην άλλη και καταλήγει στην έξοδο της υπολεκάνης, η οποία ενδέχεται να είναι ο κόμβος εκβο-

λής ή ο κόμβος για την είσοδο στο υπόγειο ή επιφανειακό αποχετευτικό σύστημα (Rossman 2015).

Με τον διαχωρισμό αυτό η συνδυασμένη εξίσωση διατήρησης της μάζας και Manning επιλύεται για κάθε υποπεριοχή (Rossman 2015). Με αυτό τον τρόπο εκλέγεται το βάθος d για κάθε περιοχή και στο τέλος κάθε χρονικού βήματος η απορροή από κάθε υποπεριοχή συνδυάζεται για να προσδιοριστεί η ολική απορροή για το σύνολο της υπολεκάνης (Rossman 2015).



Εικόνα 2.9: Ιδεατός διαχωρισμός υπολεκάνης για επιφανειακή απορροή (Rossman 2015)

2.13.3 Υπολογιστικό σχήμα

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζεται αναλυτικά το υπολογιστικό σχήμα το οποίο χρησιμοποιείται από το λογισμικό SWMM, για τον υπολογισμό της απορροής σε κάθε υπολεκάνη, για ένα χρονικό βήμα της προσομοίωσης (Rossman 2015).

- i. Αρχικά ελέγχεται αν υπάρχει κατακρήμνιση (Rossman 2015). Σε περίπτωση που η κατακρήμνιση δεν είναι μηδενική χρησιμοποιείται το χρονικό βήμα το οποίο έχει ορίσει ο χρήστης για την υγρή περίοδο. Σε διαφορετική περίπτωση χρησιμοποιείται το χρονικό βήμα το οποίο έχει ορίσει ο χρήστης για την ξηρή περίοδο (Rossman 2015).
- ii. Για κάθε υπολεκάνη το λογισμικό ανακτά την κατακρήμνιση και την εξάτμιση, με βάση τα όσα έχει ορίσει ο χρήστης (Rossman 2015).
- iii. Στη συνέχεια για την κάθε υποπεριοχή μέσα στην υπολεκάνη:

- a. Θεσπίζεται ο όγκος υγρασίας da σε $i\Delta t+d$ και περιορισμός της εξάτμισης σε e , έτσι ώστε να μην ξεπερνά το λόγο $d/\Delta t$ (Rossman 2015).
- b. Στην περίπτωση που η υπολεκάνη είναι διαπερατή, υπολογίζεται ο ρυθμός διήθησης f σύμφωνα με τη μέθοδο την οποία έχει ορίσει ο χρήστης (Rossman 2015). Σε περίπτωση που προσομοιώνεται και ο υπόγειος υδροφορέας, ο χρήστης καλό θα ήταν να μειώσει το ρυθμό διήθησης ο οποίος υπολογίζεται λόγω πλήρους κορεσμένου εδάφους (Rossman 2015).
- c. Αν οι απώλειες ξεπερνούν τον διαθέσιμο όγκο υγρασίας, δηλαδή (Rossman 2015):

$$(e + f)\Delta t \geq d_a \quad (2.25)$$

Τότε $d=0$ και $q=0$. Σε αντίθετη περίπτωση η περίσσεια βροχής υπολογίζεται ως (Rossman 2015):

$$i_x = i - e - f \quad (2.26)$$

- d. Όταν η περίσσεια βροχής δεν είναι αρκετή έτσι ώστε να συμπληρώνεται το βάθος επιφανειακής συγκράτησης ds για το χρονικό βήμα, $d + i_x * \Delta t \leq ds$, τότε μετατρέπεται το βάθος d σε $d + i_x + \Delta t$ και τίθεται ο ρυθμός απορροής $q=0$ (Rossman 2015). Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν η περίσσεια βροχής επαρκεί για να καλύψει το βάθος d τότε υπολογίζεται το βάθος d και ο ρυθμός απορροής q , επιλύοντας την μη γραμμική διαφορική εξίσωση διατήρησης της μάζας σε συνδυασμό με την εξίσωση Manning (Rossman 2015).
- iv. Υπολογίζεται η συνολική παροχή Q για την υπολεκάνη στο τέλος κάθε χρονικού βήματος σύμφωνα με την εξίσωση (Rossman 2015):

$$Q = \sum_{j=1}^3 q_j A_j \quad (2.27)$$

όπου:

q_j → ρυθμός απορροής για την υπολεκάνη j , ο οποίος υπολογίστηκε στο Βήμα iii

A_j → έκταση της υποπεριοχής j .

Στο Βήμα III, d αναφέρθηκε η μη γραμμική διαφορική εξίσωση διατήρησης της μάζας σε συνδυασμό με την εξίσωση Manning, για την επίλυση της οποίας ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία (Rossman 2015):

- i. Αν $d < ds$ και η περίσσεια βροχής είναι μεγαλύτερη του μηδενός τότε υπολογίζεται το χρονικό βήμα Δt_x κατά το οποίο το βάθος θα ξεπεράσει το ds :

$$\Delta t_x = \Delta t - \frac{(ds - d)}{i_x} \quad (2.28)$$

Και τίθεται το $d = ds$. Αλλιώς τίθεται $\Delta t_x = \Delta t$

- ii. Γίνεται χρήση μια ρουτίνας πέμπτης τάξης Range-Kutta με προσαρμοσμένο μέγεθος βήματος ελέγχου για την επίλυση της εξίσωσης 3.11 (Press et al. 1992, Rossman 2015):

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i_x - ad_x^{5/3} \quad (2.29)$$

για κάθε d μεγαλύτερο του χρονικού βήματος Δt_x . Εδώ $d_x = d - ds$ για $d > ds$ και μηδέν σε άλλη περίπτωση (Rossman 2015). Τέλος ο σταθερός όρος είναι a_p για την διαπερατή περιοχή και a_l για την αδιαπερατή περιοχή. Η διαφορά έγκειται στο ότι το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα θέσπισης διαφορετικού συντελεστή Manning για την διαπερατή και την αδιαπερατή περιοχή. Επιπρόσθετα όπως είδαμε προηγουμένως ο σταθερός όρος a περιέχει την έκταση A . Οπότε εφόσον καθορίζεται το διαπερατό και το αδιαπερατό τμήμα, από τα χρήστη, είναι απαραίτητο να υπολογισθούν δυο διαφορετικοί σταθεροί όροι, a_p και a_l .

- iii. Υπολογισμός του ρυθμού απορροής q στο τέλος του χρονικού βήματος. Οπότε:

$$q = ad_x^{5/3} \quad (2.30)$$

2.13.4 Διακριτοποίηση υπολεκανών

Για την μοντελοποίηση με το λογισμικό SWMM, τις περισσότερες φορές, είναι απαραίτητο η περιοχή μελέτης να επιμερίζεται σε υπολεκάνες (Rossman 2015). Αυτό είναι απαραίτητο, έτσι ώστε να μοντελοποιείται, κατά μια έννοια, η χωρική μεταβλητότητα η οποία χαρακτηρίζει τις χερσαίες οδούς αποστράγγισης, τις ιδιότητες του εδάφους καθώς και τις συνδέσεις στους αγωγούς και στα κανάλια αποχέτευσης (Rossman 2015).

Για την σωστή διακριτοποίηση, της περιοχής μελέτης είναι απαραίτητος ένας τοπογραφικός χάρτης καθώς και τα σχέδια του αποχετευτικού δικτύου. Σε μια αστική περιοχή, η διακριτοποίηση της περιοχής βασιζόμενοι αποκλειστικά και μόνο στην τοπογραφία της ενδέχεται να οδηγήσει σε λάθη (Rossman 2015). Αυτό γιατί, να μεν η συνήθης πρακτική είναι οι αγωγοί αποχέτευσης να ακολουθούν την κλίση του δρόμου, αλλά αυτό ενδέχεται να μην ισχύει σε

όλες τις περιπτώσεις. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητα τα σχέδια του αποχετευτικού δικτύου έτσι ώστε να προσδιοριστούν σωστά τα όρια αποστράγγισης (υπολεκάνες).

2.13.5 Εκτίμηση παραμέτρων υπολεκανών

Οι πραγματικές λεκάνες απορροής και οι υπολεκάνες, τις οποίες δημιουργεί ο χρήστης του λογισμικού SWMM, στην πραγματικότητα δεν έχουν το εξιδανικευμένο σχήμα, το οποίο αντιλαμβάνεται το λογισμικό (Rossman 2015).

Η εκροή της υπολεκάνης αποτελεί συνάρτηση του συντελεστή:

$$a = \frac{1}{An} WS^{1/2} \quad (2.31)$$

καθώς και της περίσσειας νερού πάνω από το βάθος επιφανειακής κατακράτησης (depression storage).

2.13.5.1 Έκταση υπολεκάνης

Η περιοχή της λεκάνης απορροής και της υπολεκάνης είναι δυνατόν να οριστεί με τη χρήση τοπογραφικών χαρτών. Αυτό βέβαια δεν είναι πάντα εύκολο, καθώς πολλές φορές η υψομετρική πληροφορία δεν είναι επαρκής, οι κατασκευασμένοι αγωγοί του δικτύου δεν ακολουθούν τις κλίσεις των δρόμων και τέλος παρουσιάζονται άγνωστες εισροές και εκροές (Rossman 2015). Το τελευταίο, μπορεί να το αντιληφθεί ο μελετητής στην περίπτωση εκείνη κατά την οποία ο μετρημένος όγκος απορροής ξεπερνάει τον μετρημένο όγκο βροχής. Βέβαια ο όγκος βροχής δεν είναι πάντα εύκολο να μετρηθεί με ακρίβεια για όλες τις υπολεκάνες της περιοχής μελέτης (Rossman 2015).

2.13.5.2 Αδιαπέρατο τμήμα υπολεκάνης

Το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής της υπολεκάνης αποτελεί μια παράμετρο, η οποία είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με σχετικά καλή ακρίβεια. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση αεροφωτογραφιών ή χρησιμοποιώντας χάρτες χρήσεων γης (Rossman 2015). Στην πραγματικότητα βέβαια, σε περίπτωση που δεν έχουν ψηφιοποιηθεί, με κάποιο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, οι αδιαπέρατες περιοχές της λεκάνης απορροής τότε η συγκεκριμένη εργασία ενδέχεται να είναι αρκετά χρονοβόρα αλλά και απαιτητική (Rossman 2015). Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται πραγματοποιώντας μετρήσεις ακριβείας μόνο για ορισμένες χαρακτηριστικές υπολεκάνες και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας αυτές τις μετρήσεις για ολόκληρη την περιοχή μελέτης (Rossman 2015).

Μια ακόμη προσέγγιση, η οποία εφαρμόζεται σε περιοχές με πολλαπλές κατηγορίες χρήσεων γης, είναι η απόδοση ενός ποσοστού αδιαπέρατης περιοχής για κάθε κατηγορία. Κατ' αυτό

τον τρόπο ο μελετητής γνωρίζοντας το ποσοστό το οποίο καλύπτει η κάθε χρήση γης, μέσα στην ίδια υπολεκάνη, είναι σε θέση να εκτιμήσει το ποσοστό του αδιαπέρατος τμήματος της κάθε υπολεκάνης (Rossman 2015).

Τέλος, μια ακόμη μέθοδος για την εκτίμηση του αδιαπέρατος τμήματος της υπολεκάνης είναι η αναπαράσταση σε ένα διάγραμμα της απορροής (mm) και της βροχής (mm). Στη συνέχεια η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης αποτελεί μια καλή εκτίμηση της αδιαπέρατης περιοχής της υπολεκάνης. Βέβαια η μέθοδος αυτή πρέπει να εφαρμόζεται για μικρές καταιγίδες (Rossman 2015, Doyle and Miller 1980).

2.13.5.3 Πλάτος υπολεκάνης

Το πλάτος της υπολεκάνης ορίζεται ως η έκταση της υπολεκάνης διαιρεμένη με το μέγιστο μήκος της χερσαίας ροής του νερού. Στην περίπτωση που υπάρχουν αρκετές τέτοιες διαδρομές χρησιμοποιείται το μέσο μήκος για τον τελικό υπολογισμό του πλάτους (Gironas 2009). Κατά την εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας, ο μελετητής είναι απαραίτητο να είναι προσεκτικός, έτσι ώστε να μην συμπεριλάβει την καναλοποιημένη ροή ως μέρος της χερσαίας ροής (Gironas 2009). Σε φυσικές λεκάνες, το μήκος της επιφανειακή ροής δεν μπορεί να ξεπερνάει τα 500 ft \approx 150 m (Gironas 2009, UDFCD 2016).

Στις αστικές λεκάνες απορροής το μήκος της επιφανειακής απορροής ενδέχεται να είναι πολύ μικρότερο πριν η ροή εισέλθει στο αποχετευτικό σύστημα. Στις λεκάνες αυτές λοιπόν ως τυπικό μήκος της χερσαίας ροής θεωρείται το μήκος από το οπίσθιο τμήμα ενός οικοδομικού τετραγώνου μέχρι το κέντρο του δρόμου (Gironas 2009). Βέβαια, τις περισσότερες φορές το μήκος αυτό διαφέρει σημαντικά στο εσωτερικό των υπολεκανών, με αποτέλεσμα να επιλέγεται η χρήση του σταθμισμένου μέσου όρου του μήκους (Gironas 2009). Για αστικές λεκάνες, προτείνεται η τιμή της χερσαίας ροής του νερού να μην ξεπερνάει τα 300 ft \approx 90 m (UDFCD 2016).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το λογισμικό SWMM αντιλαμβάνεται την υπολεκάνη σας ένα ορθογώνιο. Στην περίπτωση κατά την οποία και οι δύο πλευρές του ορθογωνίου είναι συμμετρικές, τότε είναι σχετικά εύκολος ο υπολογισμός του πλάτους. Το πλάτος είναι το διπλάσιο του μήκους του αποχετευτικού καναλιού (Rossman 2015). Επιπλέον, αν το αποχετευτικό κανάλι βρίσκεται στη μια πλευρά της λεκάνης, τότε ως πλάτος θεωρείται το συνολικό μήκος του καναλιού (Rossman 2015). Στην πραγματικότητα βέβαια οι λεκάνες δεν είναι ούτε συμμετρικές και συνήθως το σχήμα τους είναι ακανόνιστο και όχι ορθογωνικό. Επομέ-

νως, είναι απαραίτητο να αναφερθούν ορισμένες μεθοδολογίες οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για τον προσδιορισμό του πλάτους της υπολεκάνης (Rossman 2015).

Με τη μέθοδο η οποία προτάθηκε από τους DiGiano et. al. (1977) προτείνεται η χρήση ενός συντελεστή ασυμμετρίας. Ο συντελεστής ασυμμετρίας υπολογίζεται θεωρώντας δυο περιοχές με βάση το μήκος της χερσαίας ροής όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.10:

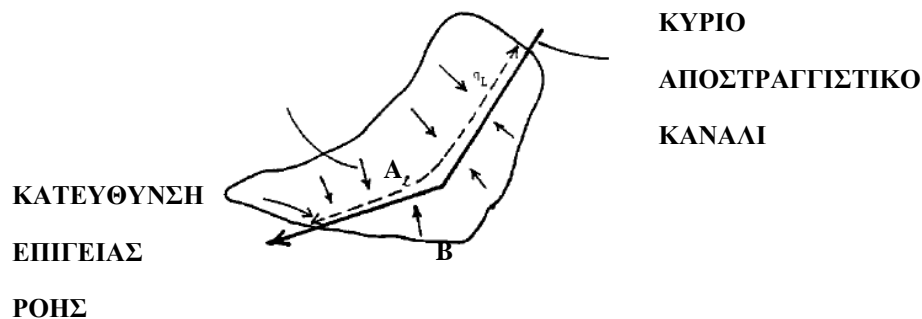
$$Z = \frac{(A - B)}{(A + B)} \quad (2.32)$$

όπου:

Z: συντελεστής ασυμμετρίας

A: έκταση περιοχής (m²)

B: έκταση περιοχής (m²)



Εικόνα 2.10: Υπολεκάνη με ακανόνιστο σχήμα για υπολογισμό του πλάτους της (Rossman 2015, DiGiano et al. 1977)

Το πλάτος της υπολεκάνης λοιπόν προκύπτει ως το σταθμισμένο άθροισμα ανάμεσα στα όρια L και 2L, όπου L το μήκος του κύριου αποχετευτικού καναλιού. Οπότε:

$$W = (L + 2)L(1 - Z) \quad (2.33)$$

Τέλος, μια ακόμη προσέγγιση για τον προσδιορισμό του πλάτους αναπτύχθηκε από τους Guo and Urbonas (2007). Η κεντρική ιδέα της συγκεκριμένης προσέγγισης εστιάζει στη χρήση παραμέτρων σχήματος (shape factors) για την μετατροπή μιας φυσικής λεκάνης απορροής στην ιδεατή απεικόνιση, την οποία αντιλαμβάνεται το λογισμικό SWMM (Rossman 2015, Guo and Urbonas 2007).

$$X = \frac{A}{L^2} \quad (2.34)$$

όπου:

$X \rightarrow$ παράμετρος σχήματος για την πραγματική λεκάνη απορροής

$A \rightarrow$ έκταση λεκάνης απορροής

$L \rightarrow$ μήκος κύριου αποστραγγιστικού καναλιού

$$Z = \frac{Am}{A} \quad (2.35)$$

όπου:

$Z \rightarrow$ συντελεστής ασυμμετρίας λεκάνης

$Am \rightarrow$ μεγαλύτερη έκταση, με βάση το διαχωρισμό από το κύριο αποχετευτικό κανάλι

$A \rightarrow$ συνολική έκταση λεκάνης απορροής

$$Y = \frac{2X(1.5 - Z)(2K - X)}{(2K - 1)} \quad (2.36)$$

όπου:

$Y \rightarrow$ παράμετρος σχήματος για την ιδεατή λεκάνη απορροής

$K \rightarrow$ άνω όριο για το Εικόνα της λεκάνης απορροής. Οι προτεινόμενες τιμές για αυτή την παράμετρο κυμαίνονται μεταξύ με 4 και 6 (Rossman 2015, Guo and Urbonas 2007).

Τελικά λοιπόν το πλάτος (W) της υπολεκάνης προκύπτει ως (Rossman 2015, Guo and Urbonas 2007):

$$W = YL \quad (2.37)$$

2.13.5.4 Κλίση υπολεκάνης

Η παράμετρος της κλίσης αντικατοπτρίζει την μέση κλίση κατά μήκος της επιφανειακής απορροής μέχρι το φρεάτιο εισόδου.

Για πολύπλοκα γεωμετρικά σχήματα, των υπολεκανών, αρχικά οριοθετούνται οι χερσαίες διαδρομές της ροής. Έπειτα υπολογίζονται οι κλίσεις κάθε οριοθετημένης διαδρομής. Τέλος η κλίση προκύπτει ως ο σταθμισμένος μέσος όρος της κλίσης-μήκους των διαδρομών αυτών (Rossman 2015). Επιπρόσθετα, οι Guo and Urbonas (2007), εκτός της μεθοδολογίας υπολογισμού του πλάτους πρότειναν και μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό της κλίσης της λεκάνης. Για τον υπολογισμό λοιπόν της κλίσης χρησιμοποιείται ο τύπος (Guo and Urbonas 2007, Rossman 2015):

$$S = \frac{S_0 L}{\frac{A}{Y} L + YL} \quad (2.38)$$

όπου:

$S \rightarrow$ κλίση λεκάνης

$S_0 \rightarrow$ κλίση κύριου αποχετευτικού καναλιού

$L \rightarrow$ μήκος κύριου αποχετευτικού καναλιού

$Y \rightarrow$ παράμετρος σχήματος για την ιδεατή λεκάνη απορροής

$A \rightarrow$ έκταση λεκάνης απορροής

Η παράμετρος Y υπολογίζεται με τον τρόπο ο οποίος περιγράφηκε στην Παράγραφο 2.13.5.3.

2.13.5.5 Συντελεστής Manning

Οι τιμές του συντελεστή Manning, n , για την επιφανειακή απορροή δεν είναι εύκολο να καθοριστούν λόγω της ανομοιομορφίας στα χαρακτηριστικά του εδάφους, μέσα στην ίδια λεκάνη, της τυρβώδους ροής, μικρών βαθών ροής κ.α. (Rossman 2015).

Οι περισσότερες μελέτες δείχνουν ότι για δεδομένη εδαφοκάλυψη η τιμή του συντελεστή Manning μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το βάθος, την απορροή και τον αριθμό Reynolds (Rossman 2015). Τιμές για το συντελεστή Manning, n , παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία στο Κεφάλαιο σχετικά με την Ορθολογική Μέθοδο, Κεφάλαιο 2 (Πίνακες 2.7 και 2.8).

Κατά την μοντελοποίηση με το λογισμικό SWMM, ο χρήστης είναι απαραίτητο να εισάγει τον συντελεστή Manning κατά την εισαγωγή αποχετευτικών αγωγών, καναλιών κ.α. (Πίνακας 2.7) καθώς και κατά την μοντελοποίηση των υπολεκανών. Εδώ ο χρήστης καλείται να εισάγει δυο συντελεστές Manning. Έναν για το διαπερατό και έναν για το αδιαπέρατο τμήμα της υπολεκάνης. Τυπικοί συντελεστές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.8.

2.13.5.6 Επιφανειακή συγκράτηση (Depression storage)

Η επιφανειακή συγκράτηση αποτελεί ένα όγκο ο οποίος πρέπει να καλυφθεί από την βροχόπτωση πριν ξεκινήσει η απορροή. Αυτό αφορά τόσο τις διαπερατές, όσο και τις αδιαπέρατες περιοχές (Rossman 2015). Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει τις αρχικές απώλειες του συστήματος, οι οποίες προκαλούνται από (Rossman 2015):

- Επιφανειακή λίμναση
- Κατακράτηση από βλάστηση, στέγες κ.α.
- Εξάτμιση

Στον αλγόριθμο βροχής – απορροής του λογισμικού SWMM το νερό το οποίο αποθηκεύεται σαν επιφανειακή κατακράτηση στις διαπερατές περιοχές υπόκειται σε διήθηση και εξάτμιση. Με αυτό τον τρόπο η διαθέσιμη χωρητικότητα ανανεώνεται συνεχώς και γρήγορα (Rossman 2015). Αντίθετα, το νερό της βροχής το οποίο χρησιμοποιείται για να συμπληρώσει την επιφανειακή κατακράτηση στις αδιαπέρατες περιοχές υπόκειται αποκλειστικά και μόνο στο φαινόμενο της εξάτμισης και επομένως χρειάζεται περισσότερος χρόνος, σε σχέση με τις διαπερατές περιοχές, για την ανανέωση του συγκεκριμένου όγκου (Rossman 2015).

Για την παραγωγή από το μοντέλο άμεσης απορροής ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να θέσει ως μηδενική την παράμετρο, %Zero-Imperv ή να θέσει την επιφανειακή κατακράτηση στις αδιαπέρατες περιοχές και αυτή ως μηδενική (Rossman 2015). Στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες προσδιορισμού της επιφανειακής κατακράτησης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι Tholin and Keifer (1960) θεωρούν την παράμετρο της επιφανειακής συγκράτησης ίση με 6.4 mm για το διαπερατό τμήμα της λεκάνης και 1.6 mm για το αδιαπέρατο. Αντίστοιχα η ASCE (1992) λαμβάνει την παράμετρο ίση με 6.35 mm για το διαπερατό τμήμα και 1.6 mm για το αδιαπέρατο.

Η παράμετρος αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος βαθμονόμησης και κυρίως ως παράμετρος βαθμονόμησης του όγκου απορροής. Σε αυτή την περίπτωση, ενδέχεται να μην είναι απαραίτητο ο χρήστης να προσπαθήσει να δώσει μια ακριβή τιμή, καθώς αυτή θα αλλάξει κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης (Rossman 2015). Τέλος, είναι απαραίτητο να αναφερθεί, πως η παράμετρος της επιφανειακής κατακράτησης παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία για μικρές καταγίδες (Rossman 2015).

2.13.5.7 Χρόνος συγκέντρωσης

Ως χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται έτσι ώστε μια σταγόνα νερού να φτάσει από το πιο απομακρυσμένο υδραυλικά σημείο της λεκάνης απορροής στην έξοδό της.

Στην ουσία αυτή η παράμετρος δεν εισάγεται στο σύστημα από το χρήστη, αλλά υπολογίζεται από το λογισμικό SWMM με βάση τα χαρακτηριστικά της λεκάνης, τα οποία έχουν εισαχθεί. Το λογισμικό SWMM υπολογίζει το χρόνο συγκέντρωσης της υπολεκάνης απορροής χρησιμοποιώντας την εξίσωση κινηματικού κύματος (James et al. 2010). Ο χρόνος συγκέντρωσης δίνεται από την εξίσωση:

$$t_c = \left(\frac{L}{at^{m-1}}\right)^{1/m} \quad (2.39)$$

όπου:

t_c : χρόνος συγκέντρωσης (s)

L : μήκος κύριου αποχετευτικού καναλιού (m)

i^* : περίσσεια βροχής (m/s)

a, m : παράμετροι κινηματικού κύματος

Η εξίσωση κινηματικού κύματος υποθέτει ότι η απορροή ανοιγμένη ανά μονάδα πλάτους από την υπολεκάνη είναι (James et al. 2010):

$$q = ad^m \quad (2.40)$$

q : απορροή ανά μονάδα πλάτους (m^2/s)

d : βάθος ροής (m)

Για την εξίσωση του Manning έχουμε (James et al. 2010):

$$a = \left(\frac{1.49}{n}\right) S^{1/2} \quad (2.41)$$

και

$$m = \frac{5}{3} \quad (2.42)$$

2.13.5.8 Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων υπολεκανών

Στον Πίνακα 2.13 παρουσιάζεται ένα γενικό πλαίσιο όσον αφορά την ευαισθησία των παραμέτρων των υπολεκανών. Η ανάλυση ευαισθησίας εστιάζει στον όγκο επιφανειακής απορροής καθώς και στην παροχή αιχμής της απορροής αυτής (Rossman 2015).

Πίνακας 2.13: Ευαισθησία όγκου επιφανειακής απορροής και παροχής αιχμής κατά την μεταβολή των κύριων παραμέτρων των υπολεκανών (Rossman 2015)

Παράμετρος	Τυπική επίδραση στο υδρογράφημα	Επίδραση λόγω αύξησης της παραμέτρου στον όγκο επιφανειακής απορροής	Επίδραση λόγω αύξησης της παραμέτρου στην παροχή αιχμής	Σχόλια
Έκταση	Σημαντική	Αύξηση	Αύξηση	Μικρότερη επίδραση για λεκάνη με μεγάλο πορώδες.
Αδιαπερατότητα	Σημαντική	Αύξηση	Αύξηση	Μικρότερη επίδραση όταν οι διαπερατές περιοχές παρουσιάζουν μικρή διηθητική ικανότητα.
Πλάτος	Επηρεάζει το σχήμα	Μείωση	Αύξηση	Η αύξηση του πλάτους τείνει να δίνει υδρογραφήματα με μεγαλύτερη αιχμή και σε πιο σύντομο χρόνο. Η μείωση του πλάτους σε διαπερατό τμήμα τείνει να δίνει μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα διήθησης.
Κλίση	Επηρεάζει το σχήμα	Μείωση	Αύξηση	Παρόμοια παράμετρος με το πλάτος αλλά λιγότερο ευαίσθητη.
Συντελεστής Τραχύτητας	Επηρεάζει το σχήμα	Αύξηση	Μείωση	Αντίστροφη επίδραση σε σχέση με την παράμετρο πλάτους.
Επιφανειακή συγκράτηση	Μέτρια	Μείωση	Μείωση	Σημαντική επίδραση, μόνο όμως για καταγίδες με μικρό βάθος.

2.14 Προσέγγιση Άλλων Μεθόδων Εκτίμησης της Απορροής με το Λογισμικό SWMM

Το λογισμικό SWMM παρέχει, στο χρήστη, τη δυνατότητα να προσεγγίσει τα αποτελέσματα άλλων γνωστών μεθόδων εκτίμησης της απορροής. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το λογισμικό είναι προσεγγιστικά και δεν προσομοιώνουν τις πραγματικές μεθόδους με ακρίβεια (Rossman 2015).

Το λογισμικό, με τις κατάλληλες προσαρμογές, έχει τη δυνατότητα να προσομοιώσει τις παρακάτω μεθόδους (Rossman 2015):

- Ορθολογική Μέθοδο
- Μέθοδο της SCS
- Μέθοδο του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Στην παράγραφο αυτή θα αναλυθούν αποκλειστικά τα βήματα τα οποία είναι απαραίτητο να ακολουθήσει ο χρήστης για την εφαρμογή της Ορθολογικής Μεθόδου.

2.14.1 Ορθολογική μέθοδος με το λογισμικό SWMM

Για την εφαρμογή της μεθόδου με το λογισμικό ο χρήστης μπορεί να ακολουθήσει την παρακάτω διαδικασία (Rossman 2015):

- I. Να θέσει για κάθε λεκάνη το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής σε 100C, όπου C ο συντελεστής απορροής της λεκάνης και την παράμετρο %Zero-Imperv (επιφανειακή συγκράτηση αδιαπέρατου τμήματος) ίση με μηδέν έτσι ώστε η απορροή να ξεκινάει με την αρχή της βροχής.
- II. Ο χρήστης πρέπει να θέσει την ίδια τιμή για το βάθος επιφανειακής κατακράτησης τόσο στις διαπερατές όσο και στις αδιαπέρατες περιοχές.
- III. Ο συντελεστής Manning για τις διαπερατές και τις αδιαπέρατες περιοχές, της υπολεκάνης, πρέπει να τεθεί ίσος με μηδέν. Με αυτό τον τρόπο το λογισμικό SWMM αντιλαμβάνεται ότι η περίσσεια βροχής πρέπει να μετατραπεί σε απορροή. Η κλίση και το πλάτος της κάθε υπολεκάνης μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή.
- IV. Για την μέθοδο διήθησης, ο χρήστης πρέπει να χρησιμοποιήσει τη μέθοδο Horton και να δώσει στο τελικό και στο αρχικό ποσοστό διηθητικότητας την ίδια τιμή.

2.15 Διήθηση

Με τον όρο διήθηση (infiltration) αναφερόμαστε στην διαδικασία εκείνη κατά την οποία το νερό από την επιφάνεια του εδάφους εισχωρεί μέσα σε αυτό (Μιμίκου και Μπαλλάς 2012).

Στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί αρκετά αλγεβρικά μοντέλα για την εκτίμηση της διήθησης. Το λογισμικό SWMM παρέχει στο χρήστη να επιλέξει ανάμεσα από τέσσερα μοντέλα για το ποιο θέλει να χρησιμοποιήσει κατά την προσομοίωση. Τα μοντέλα αυτά είναι:

- Το μοντέλο Διήθησης του Horton
- Το μοντέλο Green-Ampt
- Η μέθοδος της SCS.

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει αναφορά αποκλειστικά στη μέθοδο της SCS καθώς αυτή χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

2.15.1 Η μέθοδος της SCS

Η μέθοδος της SCS αρχικά αναπτύχθηκε από την Soil Conservation Service για τον υπολογισμό της απορροής με τη χρήση του αριθμού καμπύλης CN (Μιμίκου και Μπαλτάς 2012). Αν και λοιπόν η μέθοδος σχεδιάστηκε για την εκτίμηση της απορροής παρέχει την δυνατότητα μιας έμμεσης εκτίμησης της διήθησης (Μιμίκου και Μπαλτάς 2012).

Το λογισμικό SWMM ενσωματώνει μια τροποποιημένη μορφή της μεθόδου κατάλληλη για την εκτίμηση των απωλειών λόγω διήθησης.

Για την εφαρμογή της Μεθόδου SCS με το λογισμικό SWMM ο χρήστης είναι απαραίτητο να προσδιορίσει αποκλειστικά και μόνο δύο παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτοί είναι:

- a. Ο αριθμός CN
- b. Χρόνος ξήρανσης (ο χρόνος ο οποίος χρειάζεται ένα πλήρως κορεσμένο έδαφος να επανέλθει σε ξηρή κατάσταση).

Η εκτίμηση του αριθμού CN μπορεί να γίνει με τη χρήση Πίνακα 2.15. Ο αριθμός καμπύλης CN στον Πίνακα δίνεται ανάλογα με τον τύπο εδάφους και για υδρολογική κατάσταση Τύπου II (Κανονική κατάσταση, βροχή τις προηγούμενες 5 ημέρες μεταξύ 12.5 mm και 38 mm) (Τσιχριντζής 1999, Rossman 2015).

Η κατάταξη των εδαφών πραγματοποιείται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια (Μιμίκου και Μπαλτάς 2012):

- A. Εδάφη με υψηλούς ρυθμούς διήθησης ακόμα και αν διαβρεχτούν διεξοδικά. Χαμηλό δυναμικό απορροής. Συνήθως πλήρως στραγγιζόμενες άμμους ή χαλίκια
- B. Εδάφη με μέτριους ρυθμούς διήθησης, όπως για παράδειγμα αμμώδης πηλός.
- C. Εδάφη με χαμηλούς ρυθμούς διήθησης, όπως είναι τα εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου.

D. Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης τα οποία παρουσιάζουν πολύ υψηλό δυναμικό απορροής και συνήθως περιλαμβάνουν αργιλώδη εδάφη με υψηλή πιθανότητα διόγκωσης ή ρηχά εδάφη πάνω σε σχεδόν αδιαπέρατο υλικό.

Για τις υδρολογικές καταστάσεις Τύπου I (Σχετικά ξηρά εδάφη, βροχή τις προηγούμενες ημέρες <12.5mm) και Τύπου III (Σχετικά υγρά εδάφη, βροχή τις προηγούμενες ημέρες >38mm) ο αριθμός καμπύλης CN υπολογίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις με βάση τον αριθμό καμπύλης CN για εδάφη Τύπου I (Rossman 2015):

$$CN_I = \frac{4.2CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (2.43)$$

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10 - 0.13CN_{II}} \quad (2.44)$$

Ο χρόνος ξήρανσης, ο οποίος αποτελεί και τη δεύτερη παράμετρο εισόδου στο λογισμικό SWMM δίνεται από τη σχέση:

$$T_{dry} = \frac{3.125}{\sqrt{K_S}} \quad (2.45)$$

όπου:

K_S → οι τιμές της παραμέτρου αυτής παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.14

Πίνακας 2.14: Τιμές κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας διάφορων τύπων εδαφών (Rossman 2015)

Τύπος Εδάφους	K_S (in/h)
Sand	4.74
Loamy sand	1.18
Sandy loam	0.43
Loam	0.13
Silt loam	0.26
Sandy clay loam	0.06
Clay loam	0.04
Silty clay loam	0.04
Sandy clay	0.02
Silty clay	0.02
Clay	0.01

Πίνακας 2.15: Αριθμός καμπύλης CN για επιλεγμένες χρήσεις γης (NRCS 2004a, Rossman 2015, Τσιχριντζής 1999)

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΛΑΦΟΥΣ				
Περιγραφή Χρήσεις Γης	A	B	C	D
Καλλιεργήσιμες εκτάσεις				
Σε ευθεία γραμμή (κάθετα στις ισοϋψείς) σε άσχημη υδρολογική κατάσταση	72	81	88	91
Ακολουθώντας τις ισοϋψείς με ταρράτσωμα σε καλή υδρολογική κατάσταση	62	71	78	81
Βοσκότοποι				
Κακή κατάσταση	68	79	86	89
Καλή κατάσταση	39	61	74	80
Λιβάδια				
Καλή κατάσταση	30	58	71	78
Δασικές εκτάσεις				
Άσχημη υδρολογική κατάσταση	45	66	77	83
Καλή υδρολογική κατάσταση	25	55	70	77
Ανοιχτοί χώροι, κήποι, πάρκα, γήπεδα γκολφ, κοιμητήρια, κλπ				
Καλή κατάσταση: κάλυψη με γρασίδι >75%	39	61	74	80
Κακή κατάσταση: κάλυψη με γρασίδι 50-75%	49	69	79	84
Εμπορική ζώνη: 85% αδιαπερατότητα	89	92	94	95
Βιομηχανική ζώνη: 72% αδιαπερατότητα	81	88	91	93
Αστικές Περιοχές με κατοικίες				
Έκταση (ha)	Αδιαπέρατο τμήμα			
0.05	65	77	85	90
0.1	38	61	75	83
0.13	30	57	72	81
0.2	25	54	70	80
0.4	20	51	68	79
Στρωμένοι ανοιχτοί χώροι στάθμευσης, στέγες, ταράτσες κλπ				
	98	98	98	98
Δρόμοι και οδικές αρτηρίες				
Στρωμένοι με κράσπεδα και υπόνομους ομβρίων				
	98	98	98	98
Χαλικόστρωτοι				
	76	85	89	91
Χωματόδρομοι				
	72	82	87	89

2.16 Προηγούμενες Μελέτες με το Λογισμικό SWMM

Στο κεφάλαιο αυτό αναπτύσσονται συνοπτικά και γίνεται αναφορά σε μια σειρά από διπλωματικές εργασίες, μεταπτυχιακές διπλωματικές εργασίες και μελέτες οι οποίες βρέθηκαν κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση του παρόντος θέματος και θεωρήθηκε πως καταδεικνύουν και αποδεικνύουν το μεγάλο εύρος εφαρμογής του λογισμικού SWMM.

2.16.1 Προπτυχιακές και μεταπτυχιακές διπλωματικές εργασίες

Το λογισμικό SWMM έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές προπτυχιακές και μεταπτυχιακές εργασίες τόσο στη Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό. Ορισμένες είναι: Γιοβάνη (2013), Λάζου (2012), Τσεκούρα (2010), Παπαθανασίου (2009), Houston (2006), Arthur (2010), Tikkanen (2013).

Στη διπλωματική εργασία της Γιοβάνη (2013) εκτιμήθηκε ο πλημμυρικός κίνδυνος της αστικής λεκάνης της Ραφήνας, με το λογισμικό SWMM. Για την υλοποίηση της εργασίας αρχικά, μοντελοποιήθηκε το υπόγειο αποχετευτικό σύστημα ομβρίων της περιοχής μελέτης και στη συνέχεια εξετάστηκε η υδραυλική του συμπεριφορά για διάφορα γεγονότα βροχόπτωσης. Η μοντελοποίηση της αστικής λεκάνης πραγματοποιήθηκε τόσο με απλό όσο και με δυαδικό αποχετευτικό σύστημα.

Το συνολικό μήκος του δικτύου ομβρίων της αστικής λεκάνης της Ραφήνας είναι 6260 m και χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το αστικό τμήμα της λεκάνης έχει έκταση 60.5 ha ενώ το περιαστικό τμήμα της λεκάνης καλύπτει μια έκταση 128.95 ha (Γιοβάνη 2013).

Η ένταση της βροχόπτωσης, η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εισαγωγή στο λογισμικό, προέκυψε από την όμβρια καμπύλη της περιοχής μελέτης (Γιοβάνη 2013):

$$i = at^{(-0.54)}$$

Όπου a : συντελεστής όμβριας καμπύλης προμελέτης (διευθέτησης) ρέματος Ραφήνας

Από την όμβρια καμπύλη και με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ κατασκευάστηκαν τα υετογράμματα σχεδιασμού, για περιόδους επαναφοράς 5, 10, 25, 50, 100, 1000, 1000 και χρονική διάρκεια 1h, 3h, 6h, 12h (Γιοβάνη 2013).

Έπειτα μοντελοποιήθηκε το αποχετευτικό δίκτυο της αστικής λεκάνης της περιοχής της Ραφήνας με το λογισμικό SWMM και εισήχθησαν σε αυτό οι βροχοπτώσεις σχεδιασμού.

Για τα αποτελέσματα, με τη προσομοίωση του απλού αποχετευτικού συστήματος, προέκυψε πως για γεγονότα βροχόπτωσης με περίοδο επαναφοράς μέχρι 25 έτη το αποχετευτικό δίκτυο της περιοχής είναι επαρκές και δεν πλημμυρίζει. Αντίθετα για γεγονότα βροχόπτωσης περιό-

δου επαναφοράς μεγαλύτερα των 25 ετών ορισμένα ή και όλα τα φρεάτια του συστήματος πλημμυρίζουν.

Αρκετό ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία του Tikkanen (2013) στην οποία επιχειρείται η υδρολογική προσομοίωση μιας μεγάλης αστικής λεκάνης με το λογισμικό SWMM. Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία αποτέλεσε μέρος του έργου με τίτλο «Urban laboratory for sustainable built environment – Water cycle and ecosystem services in an urban environment», η οποία είχε ως στόχο την ανάπτυξη κατάλληλης μεθοδολογίας για την οριοθέτηση της λεκάνης απορροής και την παραμετροποίηση της για την υποστήριξη του μιας ευρείας κλίμακας εφαρμογών του λογισμικού SWMM σε μια αστική περιοχή (Tikkanen 2013).

Η εργασία βασίστηκε σε χωρικά δεδομένα και παρατηρήσεις καιρού, τα οποία αναλύθηκαν με τη χρήση ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ArcGIS) και αξιοποιήθηκαν στη συνέχεια για την μοντελοποίηση των ομβρίων υδάτων (Tikkanen 2013). Το λογισμικό ArcMap, το οποίο είναι και το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών το οποίο εφαρμόστηκε, χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή της περιοχής μελέτης, την οριοθέτηση και την περαιτέρω υποδιαίρεση των λεκανών απορροής και τέλος για την παραμετροποίηση των υπολεκανών της περιοχής μελέτης και των σχετικών συστημάτων ομβρίων για χρήση στην μοντελοποίηση των ομβρίων υδάτων (Tikkanen 2013).

Η περιοχή μελέτης ήταν η πόλη Lathi στη νότια Φιλανδία. Η οριοθέτηση της λεκάνης απορροής πραγματοποιήθηκε για μια έκταση 40 km² η οποία και καλύπτει το 30% περίπου των εδαφών του δήμου Lathi (Tikkanen 2013). Επιπρόσθετα πραγματοποιήθηκε πιο λεπτομερής ανάλυση για δύο αστικές λεκάνες, οι οποίες καλύπτουν μια έκταση 2.64 km² (Tikkanen 2013).

Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη, είναι ανοιχτά δεδομένα ελεύθερα διαθέσιμα στο κοινό (Tikkanen 2013). Πιο συγκεκριμένα για την πραγματοποίηση της μελέτης αποκτήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν (Tikkanen 2013):

- Ορθοφωτοχάρτες από την National land survey on Finland (NLS)
- Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους από την NLS
- Δεδομένα laser-scanner (3 km x 3 km)
- Τοπογραφικά δεδομένα από την NLS
- Διάταξη του συστήματος ομβρίων από την τοπική εταιρία ύδρευσης στην πόλη Lathi (Lathi Aqua Oy)

- Δεδομένα καιρού από Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Φιλανδίας (Finnish Meteorological Institute – FMI).

Αφού επιλέχθηκαν οι δυο λεκάνες οι οποίες θα εισάγονταν στο λογισμικό SWMM για μοντελοποίηση της απορροής ομβρίων, ήταν απαραίτητη η υποδιαίρεσή τους σε υπολεκάνες. Το επόμενο βήμα ήταν η παραμετροποίηση των υπολεκανών, καθώς ένας από τους στόχους της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας του Tikkanen (2013) ήταν η ανάπτυξη κατάλληλης μεθοδολογίας εκτίμησης των παραμέτρων και αξιολόγησης της δυνατότητας εφαρμογής αυτών σε μεγάλες αστικές λεκάνες (Tikkanen 2013).

Οι παράμετροι οι οποίες εκτιμήθηκαν ήταν (Tikkanen 2013):

- Ποσοστό αδιαπέρατου τμήματος υπολεκάνης (Imperviousness)
- Επιφανειακή συγκράτηση (Depression storage)
- Διήθηση (Infiltration) όπου και χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Green-Ampt.
- Κλίσεις υπολεκανών
- Συντελεστής Manning για επίγεια ροή
- Πλάτος υπολεκανών (Width)

Τέλος μοντελοποιήθηκαν οι δύο περιοχές με το λογισμικό SWMM. Τα αποτελέσματα έδωσαν μεγάλο σφάλμα συνέχειας στην επιφανειακή απορροή, πράγμα το οποίο αποδίδεται στις συσσώρευση του χιονιού καθώς και στις διαδικασίες τήξης του χιονιού (Tikkanen 2013). Το σφάλμα αποδίδεται σε ένα ελάττωμα του αλγορίθμου του λογισμικού, το οποίο θα μπορούσε σχετικά εύκολα να εξισορροπηθεί με αριθμητική μεταβολή των αποτελεσμάτων του υδατικού ισοζυγίου. Η διόρθωση αυτή βέβαια δεν διόρθωσε το σφάλμα συνέχειας το οποίο σχετίζεται με το χιόνι (Tikkanen 2013).

2.16.2 Προσομοίωση δικτύου ομβρίων με το λογισμικό SWW

Στην διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται αρκετές εργασίες προσομοίωσης αστικών λεκανών με το λογισμικό SWMM. Στον Πίνακα 2.16 παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένες και στη συνέχεια της παραγράφου παρουσιάζεται αναλυτικά μια εξ' αυτών.

Πίνακας 2.16: Μελέτες προσομοίωσης αστικών λεκανών απορροής

Συγγραφείς	Έτος Δημοσίευσης
Zhu et al.	2016
Palla and Gnecco	2015
Elga et al. (review)	2015
Γιαννόπουλος κ.α.	2015
Burger et al.	2014
El-Sharif and Hansen	2013
Park et al.	2008
Smith et al.	2005
Hsu et al.	2000
Selvalingam et al.	1987

Στην εργασία των Γιαννόπουλου κ.α. (2015) πραγματοποιήθηκε διαστασιολόγηση και επίλυση ενός αστικού δικτύου ομβρίων στη Δημοτική Ενότητα (Δ.Ε) Συκεών του Δήμου Νεάπολης – Συκεών με βάση τις ισχύουσες Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ. 696/1974). Έπειτα, με χρήση του λογισμικού SWMM, πραγματοποιήθηκε υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση του δικτύου καθώς και ανάλυση ευαισθησίας των βασικών παραμέτρων του μοντέλου.

Η περιοχή μελέτης έχει έκταση 9782 km² και πληθυσμό σύμφωνα με την απογραφή του 2001 ο οποίος ανέρχεται σε 41726 κατοίκους (Γιαννόπουλος κ.α. 2015).

Για την ανάλυση και διερεύνηση του δικτύου χρησιμοποιήθηκαν τα εξής πρωτογενή δεδομένα (Γιαννόπουλος κ.α. 2015):

- Τοπογραφικό υπόβαθρο
- Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής του Π.Σ Θεσσαλονίκης
- Πληθυσμιακά δεδομένα
- Όμβριες καμπύλες 2, 5 και 10 ετών οι οποίες αντίστοιχα είναι:

$$i = 2.581t^{-0.62}$$

$$i = 4.028t^{-0.65}$$

$$i = 4.496t^{-0.64}$$

Όπως ήδη αναφέρθηκε, αρχικά επιλύθηκε το αποχετευτικό δίκτυο ομβρίων υδάτων με βάση τις ισχύουσες Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ. 696/1974). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση του διαστασιολογημένου αποχετευτικού

δικτύου με το λογισμικό SWMM. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων υψών βροχής εννέα συνθετικά υδρογραφήματα για περιόδους επαναφοράς 2, 5 και 10 ετών και για βροχές σχεδιασμού 6, 12 και 24 ωρών. Επιπλέον με την ίδια μέθοδο δημιουργήθηκαν και τα συνθετικά υδρογραφήματα διάρκειας βροχής 1 ώρας και περιόδων επαναφοράς 5 και 10 ετών. Επίσης δημιουργήθηκαν και τα αντίστοιχα συνθετικά υετογραφήματα ολικής βροχής σχεδιασμού τα οποία και εισήχθησαν στο λογισμικό (Γιαννόπουλος κ.α. 2015).

Τα αποτελέσματα, για βροχή σχεδιασμού 1 ώρας και περιόδου επαναφοράς 5 ετών, έδειξαν ότι το δίκτυο ανταποκρίνεται με επιτυχία. Αντίθετα για βροχή σχεδιασμού 1 ώρας και περιόδου επαναφοράς 10 ετών η παροχρητική ικανότητα του δικτύου ομβρίων δεν επαρκεί, με αποτέλεσμα ορισμένοι αγωγοί να υπερφορτίζονται και τα αντίστοιχα φρεάτια να πλημμυρίζουν, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η ορθολογική μέθοδος έχει υποδιαστασιολογήσει τους συγκεκριμένους αγωγούς και είναι απαραίτητη η αύξηση της διατομής του για την παροχρητική του συγκεκριμένου επεισοδίου βροχής (Γιαννόπουλος κ.α. 2015). Γενικότερα βέβαια, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης κατέδειξαν ότι η παροχρητικότητα των αγωγών είναι αρκούντως μεγαλύτερη για την περιοχή μελέτης, δηλαδή η ορθολογική μέθοδος έχει υπερδιαστασιολογήσει το αποχετευτικό δίκτυο ομβρίων (Γιαννόπουλος κ.α. 2015).

Τέλος στην μελέτη των Γιαννόπουλο κ.α. (2015) πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του λογισμικού SWMM. Από τη συγκεκριμένη διαδικασία διαπιστώθηκε πως οι πλέον ευαίσθητες, από αυτές που ελέγχθηκαν, παράμετροι είναι ο συντελεστής απορροής C, ο απορροϊκός συντελεστής CN και ο συντελεστής τραχύτητας του Manning για αγωγούς.

2.16.3 Προσομοίωση ποσότητας και ποιότητας απορροής με τη χρήση του λογισμικού SWMM

Η πρόβλεψη τόσο της ποσότητας όσο και της ποιότητας απορροής αποτελεί ένα θέμα με το οποίο έχουν ασχοληθεί αρκετοί μελετητές. Στον Πίνακα 2.17 παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένες εργασίες με θέμα την πρόβλεψη της ποσότητας και της ποιότητας της αστικής απορροής και στη συνέχεια της παραγράφου παρουσιάζεται η εργασία των Tsihrintzis and Hamid (1998).

Πίνακας 2.17: Πρόβλεψη ποσότητας και ποιότητας απορροής με το λογισμικό SWMM

Συγγραφείς	Έτος Δημοσίευσης
Ghods et al.	2016
Ouyang et al.	2012
Alhan et al.	2009
Cambez et al.	2008
Temprano et al.	2006
Zhang and Hamlett	2006
Mitchell	2005
Tsihrintzis and Hamid	1998
Tsihrintzis et al.	1995

Στην εργασία των Tsihrintzis and Hamid (1998) το λογισμικό SWMM χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της ποσότητας και της ποιότητας (BOD5, TSS, TKN, Pb) των αστικών απορροών ομβρίων υδάτων. Η περιοχής μελέτης ήταν τέσσερις σχετικά μικρές λεκάνες απορροής, από 5.97 ha έως 23.57 ha, στη Νότια Φλόριντα. Η καθεμία από τις περιοχές χαρακτηρίστηκε με μια συγκεκριμένη χρήση γης. Οι χρήσεις ήταν (Tsihrintzis and Hamid 1998):

- Χαμηλή πυκνότητα κατοικίας
- Υψηλή πυκνότητα κατοικίας
- Αυτοκινητόδρομος
- Εμπορικές χρήσεις

Στόχος της μελέτης των Tsihrintzis and Hamid (1998) αποτελούσε ο έλεγχος του λογισμικού SWMM σε μικρές αστικές λεκάνες απορροής καθώς και η παροχή ενός τρόπου επιλογής των κατάλληλων παραμέτρων εισόδου στους μελλοντικούς ενδιαφερόμενους.

Η περιοχή μελέτης αποτελούνταν από τέσσερις λεκάνες οι οποίες βρίσκονται στις κομητείες Broward and Dade στη Νότια Φλόριντα. Οι κυρίαρχες χρήσεις για καθεμία από τις λεκάνες ήταν (Tsihrintzis and Hamid 1998):

- i. Περιοχή 1: Χαμηλή πυκνότητα δόμησης – Έκταση 16.49 ha
- ii. Περιοχή 2: Υψηλή πυκνότητα δόμησης – Έκταση 5.97 ha
- iii. Περιοχή 3: Αυτοκινητόδρομος – Έκταση 23.57 ha
- iv. Περιοχή 4: Εμπορική χρήση – Έκταση 8.26 ha

Όλα τα δεδομένα, (βροχοπτώσεων, απορροής και ποιότητας) για κάθε μια από τις τέσσερις περιοχές μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια διάφορων καταγίδων από την Αμερικανική Γεωλογική Υπηρεσία (USGS) (Tsihrintzis and Hamid 1998).

2.16.4 Χρήση του λογισμικού SWMM για την εκτίμηση των υδρολογικών επιπτώσεων

Το λογισμικό SWMM έχει χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις της αστικοποίησης (Jang et al. 2007, Zarriello et al. 1999, Guay 1996), για την πρόγνωση της απορροής σε φυσικές λεκάνες απορροής (Jang et al 2007, Tromer et al 1996), καθώς και για συνεχή προσομοίωση (Cambez et al 2008, Walsh et al 2014).

Για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της αστικοποίησης είναι απαραίτητη η υδρολογική εκτίμηση των επιπτώσεων μιας σχεδιαζόμενης αστικής ανάπτυξης (Jang et al. 2007). Για την πραγματοποίηση μιας τέτοιας αξιολόγησης, ένα ή δύο υδρολογικά μοντέλα, δύναται να χρησιμοποιηθούν. Συνήθως γίνεται χρήση συνθετικών υδρογραφημάτων και για τις δύο περιπτώσεις (πριν και μετά την αστικοποίηση) ή συνθετικού υδρογραφήματος για την περίπτωση προ της αστικοποίησης και ενός αστικού υδρολογικού μοντέλου για την περίπτωση μετά την αστικοποίηση (Jang et al. 2007). Στην πρώτη περίπτωση παρουσιάζεται η δυσκολία της μοντελοποίησης του αποχετευτικού συστήματος το οποίο κατασκευάζεται μετά την αστικοποίηση, ενώ στη δεύτερη περίπτωση παρουσιάζεται το πρόβλημα της εισαγωγής σφαλμάτων, λόγω διαφορετικής εννοιολογικής αντίληψης των μοντέλων και χρήσης διαφορετικών παραμέτρων, κάτι το οποίο οδηγεί σε προβλήματα κατά την αξιολόγηση (Jang et al. 2007).

Στη μελέτη των Jang et al. (2007) το λογισμικό SWMM χρησιμοποιήθηκε σε τέσσερις περιοχές, οι οποίες είναι προγραμματισμένο να αξιοποιηθούν αναπτυξιακά στην Κορέα, τόσο για την εξαγωγή αποτελεσμάτων πριν την αστικοποίηση όσο και για μετά.

Αρχικά λοιπόν, το λογισμικό SWMM εφαρμόστηκε σε τρεις φυσικές λεκάνες απορροής στην Κορέα με στόχο να ελεγχθεί η δυνατότητα εφαρμογής ενός αστικού υδρολογικού μοντέλου καθώς και η εκτίμηση των υδρολογικών επιπτώσεων μέσω αυτού (Jang et al. 2007). Και για τις τρεις λεκάνες είχε πραγματοποιηθεί αξιολόγηση με χρήση συμβατικών μεθόδων. Επίσης υπήρχαν μετρήσεις βροχής-απορροής, οι οποίες δεν χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμονόμηση του μοντέλου. Έτσι όλες οι απαραίτητες παράμετροι εκτιμήθηκαν είτε από τις διαθέσιμες πληροφορίες για τις περιοχές μελέτης είτε χρησιμοποιήθηκαν τιμές οι οποίες προτείνονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Jang et al. 2007). Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση με το λογισμικό SWMM συγκρίθηκαν με τις μετρημένες τιμές αλλά και με τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τη χρήση της μεθόδου Clark (Jang et al. 2007). Η μέθοδος αυτή αποτελεί την πλέον ενδεδειγμένη για χρήση σε περιοχές στις οποίες δεν υπάρχουν μετρήσεις στην Κορέα (Jang et al. 2007).

Το επόμενο στάδιο της εργασίας των Jang et al. (2007) ήταν η χρήση του λογισμικού SWMM τόσο πριν όσο και μετά την ανάπτυξη με στόχο την αξιολόγηση των επιπτώσεων της

αστικοποίησης. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν τέσσερις περιοχές στις οποίες έχουν εφαρμοστεί συμβατικές μέθοδοι αξιολόγησης και έχουν δώσει αντιφατικά αποτελέσματα. Δηλαδή μικρότερη αιχμή μετά την αστικοποίηση ή μεγαλύτερο χρόνο για την αιχμή. Επίσης εξετάστηκε η χρήση συνθετικού υδρογραφήματος για την περίπτωση προ της αστικοποίησης και χρήση του λογισμικού SWMM για μετά την αστικοποίηση. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν και από τις δύο εφαρμογές συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα τα οποία είχαν προκύψει σε παλιότερες εφαρμογές του συνθετικού υδρογραφήματος τόσο πριν όσο και μετά (Jang et al. 2007).

Η προσέγγιση η οποία χρησιμοποιήθηκε, συγκρινόμενη με τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών, έδειξε ότι τα προβλήματα τα οποία παρουσιάζονται κατά τη χρήση διαφορετικών μοντέλων επιλύονται με τη χρήση της προτεινόμενης μεθόδου (Jang et al. 2007).

2.16.5 Εκτίμηση παραμέτρων του λογισμικού SWMM, βαθμονόμηση, ανάλυση ευαισθησίας

Για τη μοντελοποίηση με το λογισμικό SWMM είναι απαραίτητη η χρήση πολλών διαφορετικών παραμέτρων, αρκετές από τις οποίες διαφέρουν από υπολεκάνη σε υπολεκάνη. Ορισμένες από τις παραμέτρους (έκταση υπολεκάνης, μήκος αγωγών, διάμετρος αγωγών, είδος αγωγού, ύψος βροχής κ.α.) είναι σχετικά εύκολο να υπολογιστούν ή να μετρηθούν με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Βέβαια υπάρχουν και παράμετροι όπως το πλάτος της υπολεκάνης, ο συντελεστής Manning για διαπερατές και αδιαπέρατες περιοχές, ο συντελεστής Manning για αγωγούς και κανάλια, οι οποίες είναι δύσκολο να υπολογιστούν με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται βιβλιογραφικές τιμές για την εκτίμησή τους και στη συνέχεια να χρησιμοποιούνται για την βαθμονόμηση του μοντέλου.

Βιβλιογραφικές τιμές εμπεριέχονται στο SWMM User's Manual (Rossman 2010), Τσιχριντζής (1999) καθώς και σε άλλα εγχειρίδια και βιβλία υδρολογίας και υδραυλικής.

Λεπτομερή χωρικά δεδομένα για την εδαφοκάλυψη, της χρήσεις γης κλπ είναι απαραίτητα για την βαθμονόμηση του μοντέλου SWMM κατά την εφαρμογή του σε αστικές λεκάνες απορροής (Jacobson 2011). Επειδή τέτοια στοιχεία δεν είναι πάντα εύκολο να αποκτηθούν, έχουν πραγματοποιηθεί προσπάθειες έτσι ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα της διαδικασίας βαθμονόμησης και επικέντρωση στις παραμέτρους εκείνες στις οποίες το μοντέλο είναι πλέον ευαίσθητο (Tikkanen 2013). Το πρόβλημα έγκειται στο ότι το SWMM είναι ευαίσθητο σε διαφορετικές παραμέτρους ανά υπολεκάνη (Belting et al. 2011). Οπότε είναι φανερό ότι η ανάλυση ευαισθησίας είναι απαραίτητη πριν τη βαθμονόμηση του μοντέλου ενώ κανείς είναι απαραίτητο να είναι ιδιαίτερα προσεχτικός καθώς η μέθοδος εκτέλεσης της ανάλυσης ευαι-

σθησίας επηρεάζει την ευαισθησία του μοντέλου σε διαφορετικές παραμέτρους (Jacobson 2011).

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως σύμφωνα με τους Jang et al. (2007) ένα μη βαθμονομημένο μοντέλο SWMM αποδίδει καλύτερα αποτελέσματα από ένα συνηθισμένο υδρογράφημα κατά την μοντελοποίηση αστικών περιοχών.

Παρατηρήθηκε ότι έχουν αναπτυχθεί βαθμονομημένα μοντέλα, χαμηλής ανάλυσης, με το λογισμικό SWMM καθώς και μη βαθμονομημένα μοντέλα, υψηλής ανάλυσης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η ανάπτυξη ενός μη βαθμονομημένου μοντέλου χαμηλής ανάλυσης σε μια αστική περιοχή για συνεχή προσομοίωση καθώς στην διεθνή βιβλιογραφία δεν αναφέρεται, ή δεν βρέθηκε, κάποια τέτοια προσπάθεια (Tikkanen 2013).

Στον Πίνακα 2.18 παρουσιάζονται μελέτες σχετικά με την εκτίμηση των παραμέτρων του λογισμικού SWMM, την βαθμονόμηση και την ανάλυση ευαισθησίας αυτού:

Πίνακας 2.18: Εργασίες εκτίμησης παραμέτρων, βαθμονόμησης και ανάλυσης ευαισθησίας λογισμικού SWMM

Συγγραφείς	Έτος Δημοσίευσης
Shen and Zhang	2014
Shinma et Reis	2014
Sterren et al.	2014
Sharifan et al.	2010
Guo and Urbonas	2009
Scotnicki and Sowinski	2009
Barco et al.	2008
Temrano et al.	2006
Zaghloul and Kiefa	2001
Choi and Ball	2001
Gaume et al.	1998
Zaghloul	1983

2.16.5 Διάφορες άλλες μελέτες

Κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση της παρούσας εργασίας, συγκεντρώθηκαν και μελετήθηκαν και αρκετές εργασίες, στις οποίες γίνεται χρήση του λογισμικού SWMM και οι οποίες κρίθηκε ότι παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Για το λόγο αυτό καταγράφονται στον Πίνακα 2.19 μαζί με ορισμένα σχόλια για το σκοπό και το στόχο της κάθε εργασίας.

Πίνακας 2.19: Διάφορες μελέτες στις οποίες χρησιμοποιείται το λογισμικό SWMM

Συγγραφείς	Έτος Δημοσίευσης	Σχόλια
Buahin and Horsburgh	2015	Αξιολόγηση υπολογιστικής δαπάνης με το λογισμικό OpenMI, για ένα πολύπλοκο δίκτυο ομβρίων, μοντελοποιημένο με το λογισμικό SWMM, στην πόλη Logan, στη Utah των Η.Π.Α.
Talei et al.	2010	Η μελέτη αυτή έχει ως στόχο να καταδείξει τις δυνατότητες ενός υβριδικού μοντέλου (neuro-fuzzy-computationally) στην μοντελοποίηση και ανάλυση της βροχής-απορροής. Η απόδοση του υβριδικού μοντέλου συγκρίνεται με τα αποτελέσματα του λογισμικού SWMM για μια υπολεκάνη της λεκάνης απορροής Kranji στη Σιγκαπούρη.
Peterson and Wicks	2006	Στόχος αυτής της μελέτης ήταν η αξιολόγηση του ρόλου της γεωμετρίας ενός αγωγού και οι υδραυλικές παράμετροι αυτού στον έλεγχο της δυναμικής μεταφοράς στο εσωτερικό των καρστικών υδροφορέων. Για το λόγο αυτό έγινε εφαρμογή του λογισμικού SWMM στην περιοχή Devil's Icebox – Connor's Cave System, στο κεντρικό Missouri στις ΗΠΑ.
Versini et al.	2015	Η κατασκευή πράσινων στεγών έχει αποδειχθεί ότι αποδίδει θετικά αποτελέσματα σε μικρή κλίμακα (κτίριο). Η εργασία αυτή έχει ως στόχο να μελετήσει κατά πόσον προκύπτουν παρόμοια αποτελέσματα σε μεγάλη κλίμακα. Ως περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε η αστική λεκάνη Chatillon, στην περιφέρεια Haut-de-Seine στη Γαλλία.
Camorani et al.	2005	Η εργασία αυτή μελετά τις επιπτώσεις από τη μεταβολή στις χρήσεις γης στη συχνότητα των πλημμυρών.
Carbone et al.	2014	Στη μελέτη αυτή παρουσιάζεται η εργαστηριακή έρευνα η οποία εκπονήθηκε για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των διαπερατών πεζοδρομίων όσον αφορά τη μείωση της απορροής και τη βελτίωση της ποιότητας της εκροής.

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

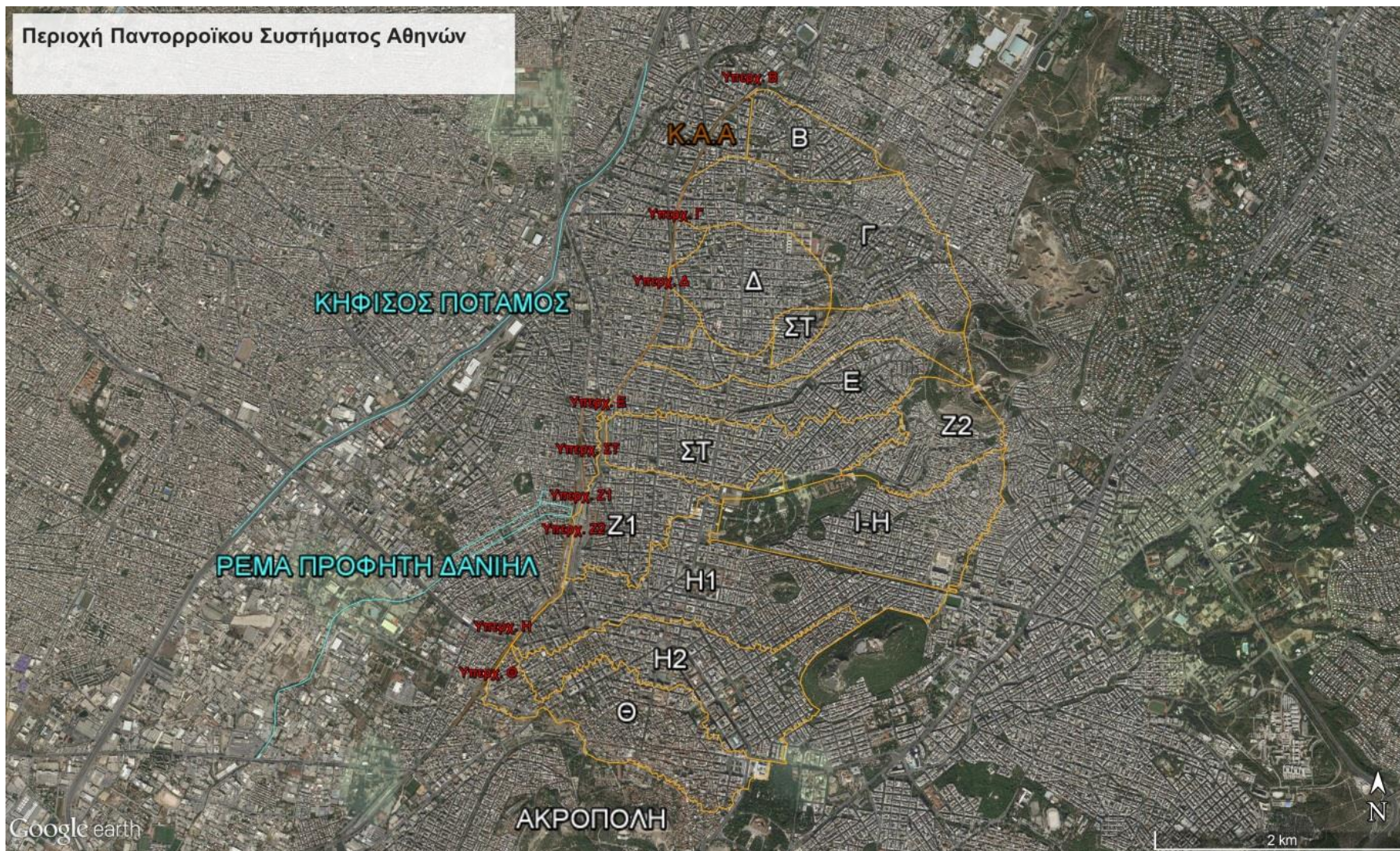
3.1 Γενική Περιγραφή

Το παντοροϊκό σύστημα της Αθήνας αποτελείται από ένα σύνολο αγωγών και εγκαταστάσεων για την αποχέτευση της κοινής απορροής ομβρίων και ακαθάρτων υδάτων. Χωρίζεται στις υπολεκάνες Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ1, Ζ2, Η1, Η2 και Θ. Η λεκάνη απορροής ομβρίων της περιοχής του παντοροϊκού δικτύου είναι 1310 ha, ενώ των ακαθάρτων ανέρχεται σε 1250 ha περίπου.

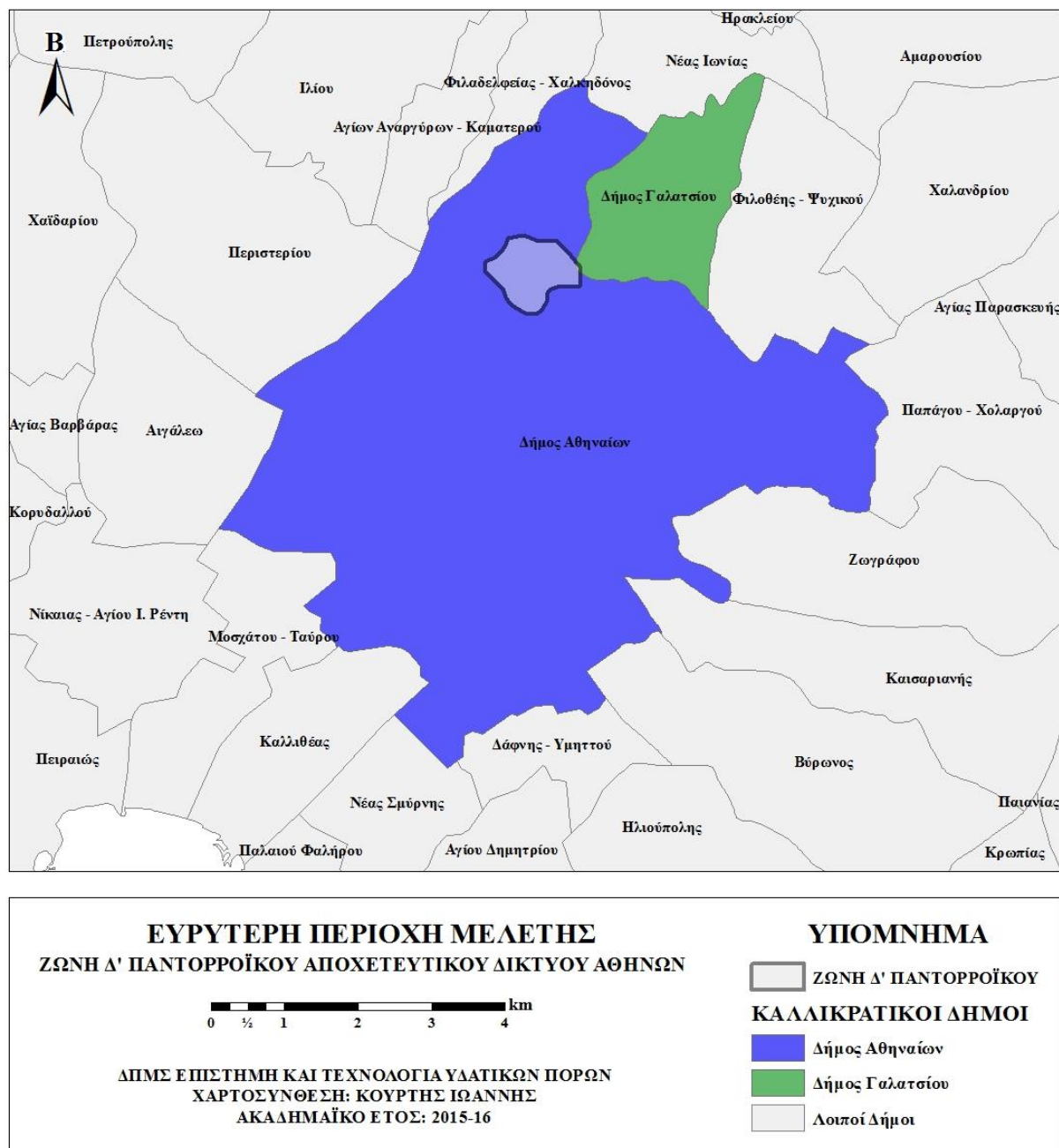
Τα ακάθαρτα ύδατα καταλήγουν στον Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (Κ.Α.Α), ενώ τα όμβρια στον ποταμό Κηφισό και στο ρέμα του προφήτη Δανιήλ. Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζονται όλες οι ζώνες του παντοροϊκού δικτύου της πόλης των Αθηνών.

Επί του Κ.Α.Α προβλεπόταν να κατασκευαστούν εννέα υπερχειλιστές, από τους οποίους δεν έχει κατασκευαστεί ο υπερχειλιστής Η. Από τα φρεάτια των υπερχειλιστών του δικτύου ξεκινούν οι αγωγοί υπερχείλισης, από τους οποίους οι Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ εκβάλλουν στον ποταμό Κηφισό, ενώ οι αγωγοί υπερχείλισης Ζ1, Ζ2 εκβάλλουν στο ρέμα του προφήτη Δανιήλ.

Η περιοχή η οποία καλύπτεται και αποχετεύεται με παντοροϊκούς αγωγούς εκτείνεται χονδρικά από τα Πατήσια μέχρι την Περιοχή Πλάκας – Ζαπείου και από τις υπώρειες του Γκύζι μέχρι τον σταθμό Αττικής και την περιοχή του Κολωνού. Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται η διοικητική διαίρεση της περιοχής μελέτης καθώς και η ευρύτερη περιοχή μελέτης.



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση Παντοροϊκού Αποχετευτικού Δικτύου Αθηνών



Εικόνα 3.2: Διοικητική διαίρεση περιοχής μελέτης και ευρύτερη περιοχή μελέτης
 Στην παρούσα εργασία ως περιοχή μελέτης εκλέχθηκε η Ζώνη Δ του παντορροϊκού δικτύου, έκτασης 87.88 ha. Στην Εικόνα 3.3 παρουσιάζεται μια δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης.

3.2 Αναλυτική Περιγραφή

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι, η προσομοίωση του παντοροϊκού δικτύου, της Ζώνης Δ, σύμφωνα με την κατάσταση η οποία επικρατεί σήμερα στην περιοχή. Το δίκτυο της Ζώνης Δ μελετήθηκε και σχεδιάστηκε από την ΥΔΡΕΞ το 1967, με την Ορθολογική Μέθοδο όπου και ελήφθη (Ε.Τ.Μ.Ε 1987):

- i. Συντελεστής απορροής $C = 0.60 - 0.30$ για τις εκτός σχεδίου πόλης λεκάνες και $C = 0.90 - 0.30$ για τις εντός σχεδίου πόλης λεκάνες αναλόγως της ζώνης. Οι ζώνες της Αθήνας Α έως Η είχαν καθοριστεί με την απόφαση Δ32596/30.6.1964 (πρώην ΥΠ.Δ.Ε.) αναλόγως της πυκνότητας του πληθυσμού.
- ii. Χρόνος συρροής μέχρι τα στόμια υδροσυλλογής 10 min.
- iii. Ένταση βροχόπτωσης

$$i = \frac{62.2}{t} + 24.4$$

για ρέματα και παντοροϊκούς συλλεκτήρες, για $T=10$ έτη και

$$i = \frac{50.6}{t} + 23.4$$

για τους υπόλοιπους αγωγούς, για $T=5$ έτη.

- iv. Αποδεκτή πλήρωση αγωγών 80-90% και εφαρμογή του τύπου του Kutter με $m=0.35$ για τον υπολογισμό των διατομών.

Σύμφωνα με την Εισαγωγική Έκθεση της Ε.Τ.Μ.Ε (1987) η μελέτη της ΥΔΡΕΞ, η οποία εκπονήθηκε τον Απρίλιο του 1967, προέβλεπε για τη Ζώνη Δ:

- i. Κατασκευή ολόκληρης της Ζώνης με παντοροϊκό δίκτυο, έκτασης 99,3 ha και αποδέκτη τον ήδη κατασκευασμένο συλλεκτήρα Δ.
- ii. Ο συλλεκτήρας και οι υποσυλλεκτήρες της Ζώνης Δ ελέγχθηκαν για $T=5$ έτη και βρέθηκαν επαρκείς με πλήρωση 84%.

Για την επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας και την μοντελοποίηση του δικτύου χρησιμοποιήθηκαν πινακίδες κλίμακας 1:1500. Οι πινακίδες αυτές μας παραδόθηκαν από την Διεύθυνση Πληροφορικής και Τεχνολογίας, Υπηρεσία Εφαρμογών Γεωγραφικών Πληροφοριών, της ΕΥΔΑΠ Α.Ε και απεικόνιζαν:

- Αγωγούς ακαθάρτων
- Αγωγούς ομβρίων

- Παντορροϊκούς αγωγούς
- Φρεάτια δικτύου
- Ονόματα φρεατίων
- Υψόμετρα στέψης φρεατίων
- Υψόμετρα πυθμένα φρεατίων
- Μήκος αγωγών
- Κλίσεις αγωγών
- Είδος αγωγών
- Διάμετρος/Υψόμετρο αγωγών
- Οικοδομικά τετράγωνα
- Ονομασία οδών

Όλοι οι χάρτες οι οποίοι μας παραδόθηκαν δεν ήταν ψηφιακής μορφής, οπότε κρίθηκε απαραίτητη η ψηφιοποίηση τους, με τα λογισμικά ArcGIS, AutoCAD και InfoSWMM, για την καλύτερη επεξεργασία των στοιχείων αλλά και για την εισαγωγή τους στο λογισμικό SWMM. Δεν χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό InfoSWMM για την προσομοίωση καθώς η εκπαιδευτική άδεια, την οποία και είχαμε στη διάθεσή μας, δεν υποστήριζε την εισαγωγή περισσότερων από 60 αγωγών. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η χρήση του για την αναπαράσταση του δικτύου (υπολεκάνες, φρεάτια, επιφανειακοί αγωγοί, υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο) και στη συνέχεια εισαγωγή στο λογισμικό SWMM. Όπως ήδη αναφέρθηκε, καθώς το λογισμικό InfoSWMM επέτρεπε την αναπαράσταση μόνο 60 αγωγών, ψηφιοποιήθηκε με αυτό ο επιτρεπόμενος αριθμός και στη συνέχεια εισήχθη το δίκτυο στο λογισμικό SWMM και ψηφιοποιήθηκαν και οι εναπομείναντες αγωγοί.

3.2.1 Πορεία εργασιών

Για την προσομοίωση του παντορροϊκού δικτύου και την εξαγωγή αποτελεσμάτων είναι απαραίτητες ορισμένες εργασίες. Συνοπτικά, η πορεία που ακολουθήθηκε είναι:

- i. Εισαγωγή των πινακίδων στο λογισμικό ArcGIS και γεωαναφορά αυτών.
- ii. Ψηφιοποίηση των εξής στοιχείων:
 - Οικοδομικά τετράγωνα
 - Φρεάτια
 - Αγωγοί

- iii. Σχεδιασμός των αστικών λεκανών απορροής, σύμφωνα με τους κανόνες αστικής υδρολογίας, με συνδυασμένη χρήση των λογισμικών ArcGIS και AutoCAD.
- iv. Αναπαράσταση με τη χρήση του λογισμικού InfoSWMM και καταχώρηση όλων των απαραίτητων παραμέτρων:
 - Αστικές λεκάνες απορροής
 - Φρεάτια
 - Αγωγοί
- v. Εξαγωγή με το λογισμικό InfoSWMM του δικτύου σε μορφή κατάλληλη για την εισαγωγή στο λογισμικό SWMM.
- vi. Αναπαράσταση, με το λογισμικό SWMM των υπολοίπων αγωγών και καταχώρηση των απαιτούμενων παραμέτρων.
- vii. Εκτίμηση των απορροών ξηρού καιρού.
- viii. Εισαγωγή των απορροών ξηρού καιρού στο λογισμικό SWMM.
- ix. Δημιουργία υετογραμμάτων για περιόδους επαναφοράς (T) 2, 5, 10, 20, 25 και 100 και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 2, 3, 6, 12 και 24 h με χρονικό βήμα 1 min, με την μέθοδο των εναλλασσομένων υψών βροχής και εισαγωγή στο λογισμικό SWMM.
- x. Καθορισμός του μοντέλου διήθησης (Μέθοδος SCS) και εισαγωγή των απαραίτητων παραμέτρων.
- xi. Καθορισμός των παραμέτρων προσομοίωσης και του μοντέλου προσομοίωσης.
- xii. Εκτέλεση ανάλυσης ευαισθησίας
- xiii. Προσομοίωση του συστήματος και εξαγωγή αποτελεσμάτων.
- xiv. Επεξεργασία των αποτελεσμάτων με το λογισμικό Excel.
- xv. Αναζήτηση τρόπων αντιμετώπισης πλημμυρικών φαινομένων, εφαρμογή στο λογισμικό SWMM, εξαγωγή αποτελεσμάτων, επεξεργασία και απόδοση αυτών με το λογισμικό Excel.
- xvi. Επίλυση του παντοροϊκού δικτύου, Ζώνη Δ, με την Ορθολογική Μέθοδο.

3.2.2 Ψηφιοποίηση και ψηφιακή αναπαράσταση δικτύου

Όπως ήδη αναφέρθηκε τα στοιχεία του δικτύου, τα οποία είχαμε στη διάθεσή μας, δεν ήταν σε ψηφιακή μορφή, αλλά σε μορφή pdf. Οπότε για την καλύτερη διαχείριση, επεξεργασία

και αξιοποίηση της πληροφορίας κρίθηκε απαραίτητο να ψηφιοποιηθούν με το λογισμικό ArcGIS. Οι αρχικές πινακίδες παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α.

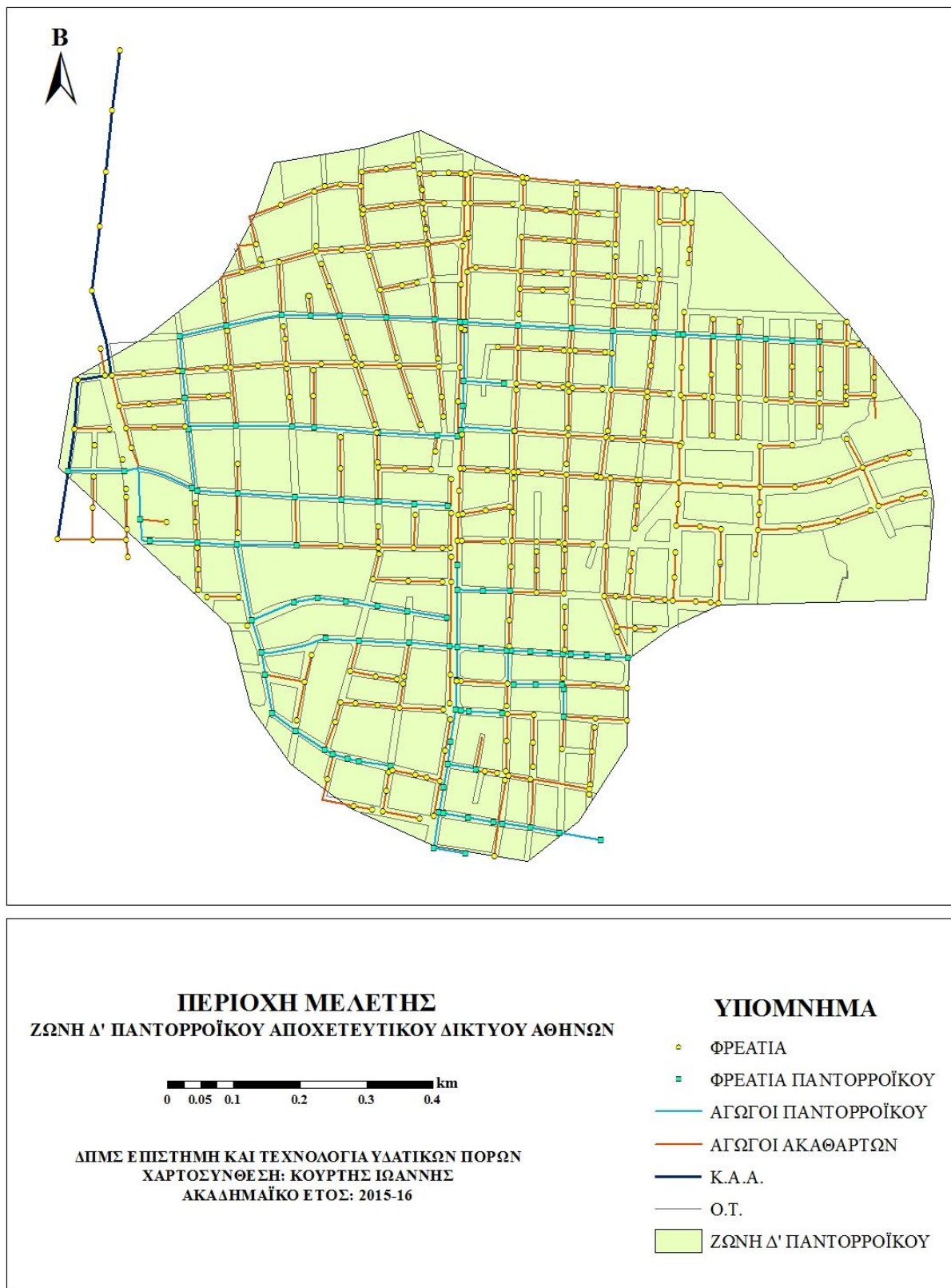
Η ψηφιοποίηση των πινακίδων κλίμακας 1:1500, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS και πιο συγκεκριμένα με το ArcMAP. Αρχικά, εισήχθησαν όλες οι πινακίδες στο λογισμικό, γεωαναφέρθηκαν και στη συνέχεια ψηφιοποιήθηκαν. Τα στοιχεία τα οποία ψηφιοποιήθηκαν ήταν:

- i. Οικοδομικά τετράγωνα
- ii. Φρεάτια
- iii. Αγωγοί
- iv. Υπερχειλιστής Ζώνης Δ

Εκτός από την ψηφιοποίηση εισήχθησαν στο λογισμικό ArcGIS, για την καλύτερη αναπαράσταση και διαχείριση του δικτύου, τα εξής στοιχεία:

- Φρεάτια: Ονομασία φρεατίων, Υψόμετρο στέψης, Υψόμετρο πυθμένα
- Αγωγοί: Φρεάτιο αρχής, Φρεάτιο πέρατος, Είδος αγωγού, Διάμετρος/Υψόμετρο αγωγού, Μήκος, Κλίση.

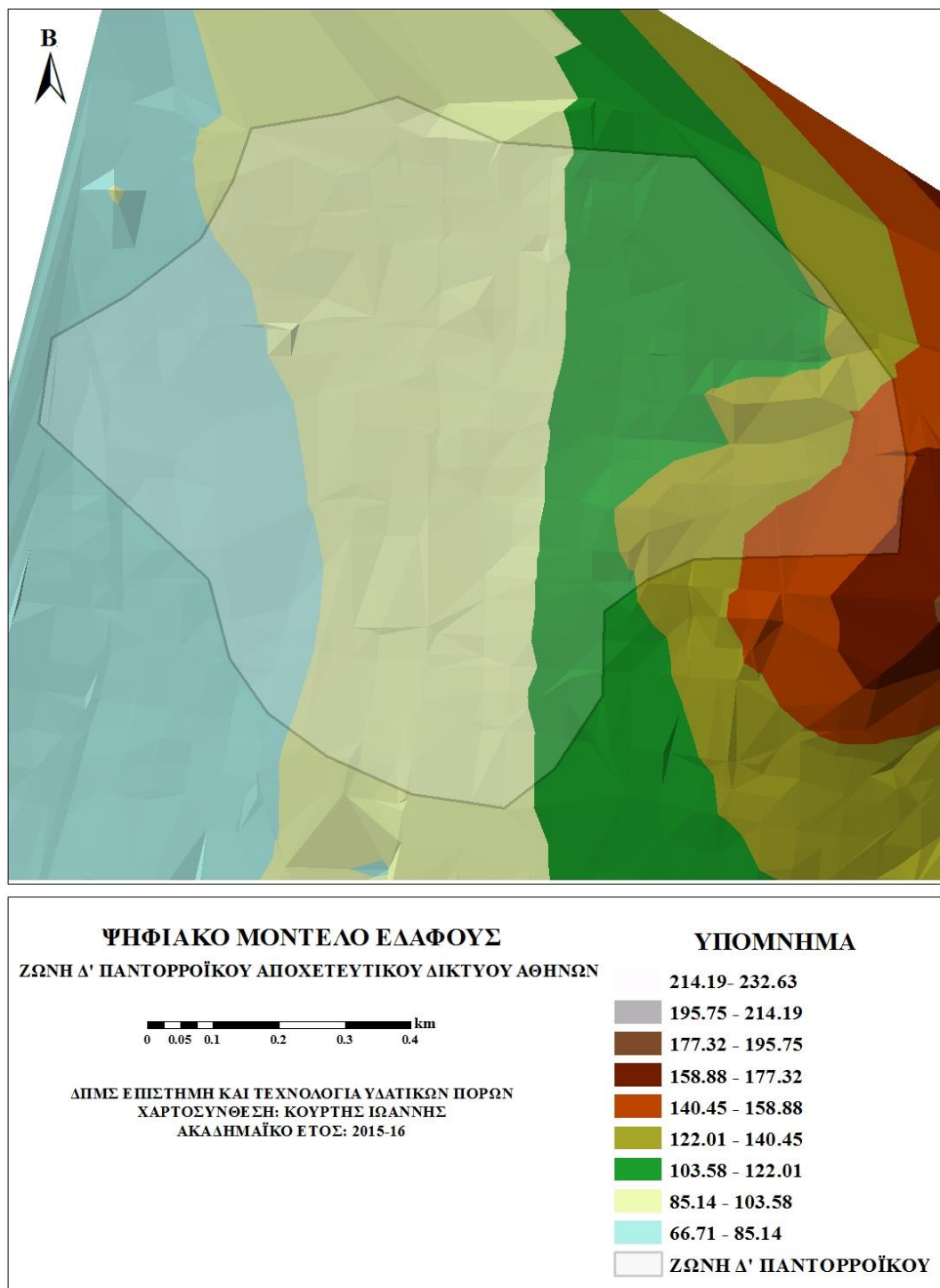
Στην Εικόνα 3.4 παρουσιάζεται το παντοροϊκό δίκτυο της Ζώνης Δ, όπως προέκυψε μετά την ψηφιοποίηση. Αναφέρεται ότι δεν ψηφιοποιήθηκαν μόνο τα φρεάτια και οι αγωγοί του παντοροϊκού δικτύου αλλά το σύνολο των φρεατίων και αγωγών του αποχετευτικού δικτύου της Ζώνης Δ.



Εικόνα 3.4: Αναπαράσταση συνόλου αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ

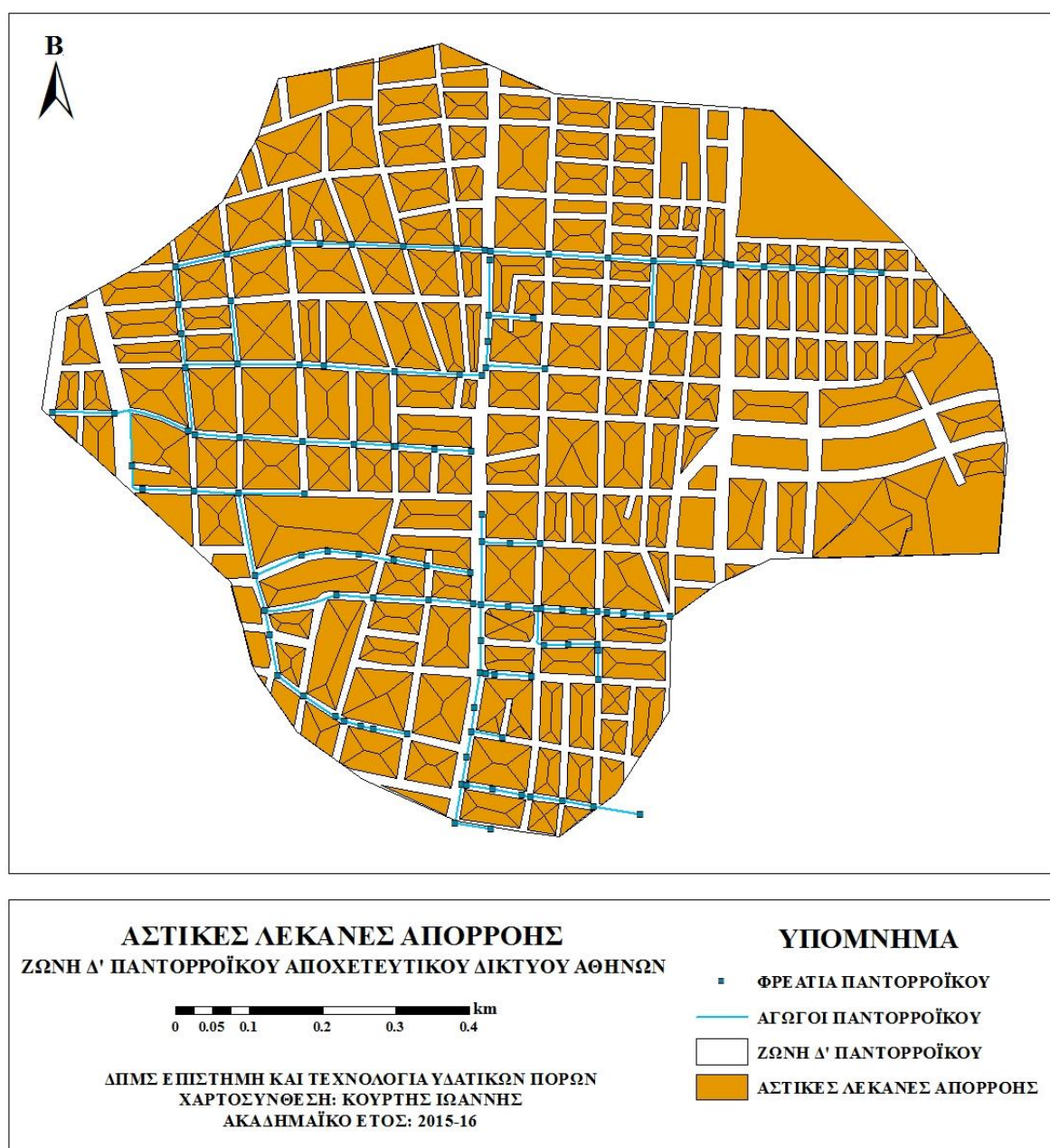
3.2.3 Σχεδιασμός αστικών λεκανών

Στην περίπτωση των φυσικών λεκανών απορροής ο υδροκρίτης καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο με βάση την τοπογραφία της περιοχής και η χάραξή του γίνεται με βάση τις ισούψεις καμπύλες. Στην Εικόνα 3.5 παρουσιάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους το οποίο προέκυψε με βάση τα υψόμετρα των φρεατίων της περιοχής μελέτης.



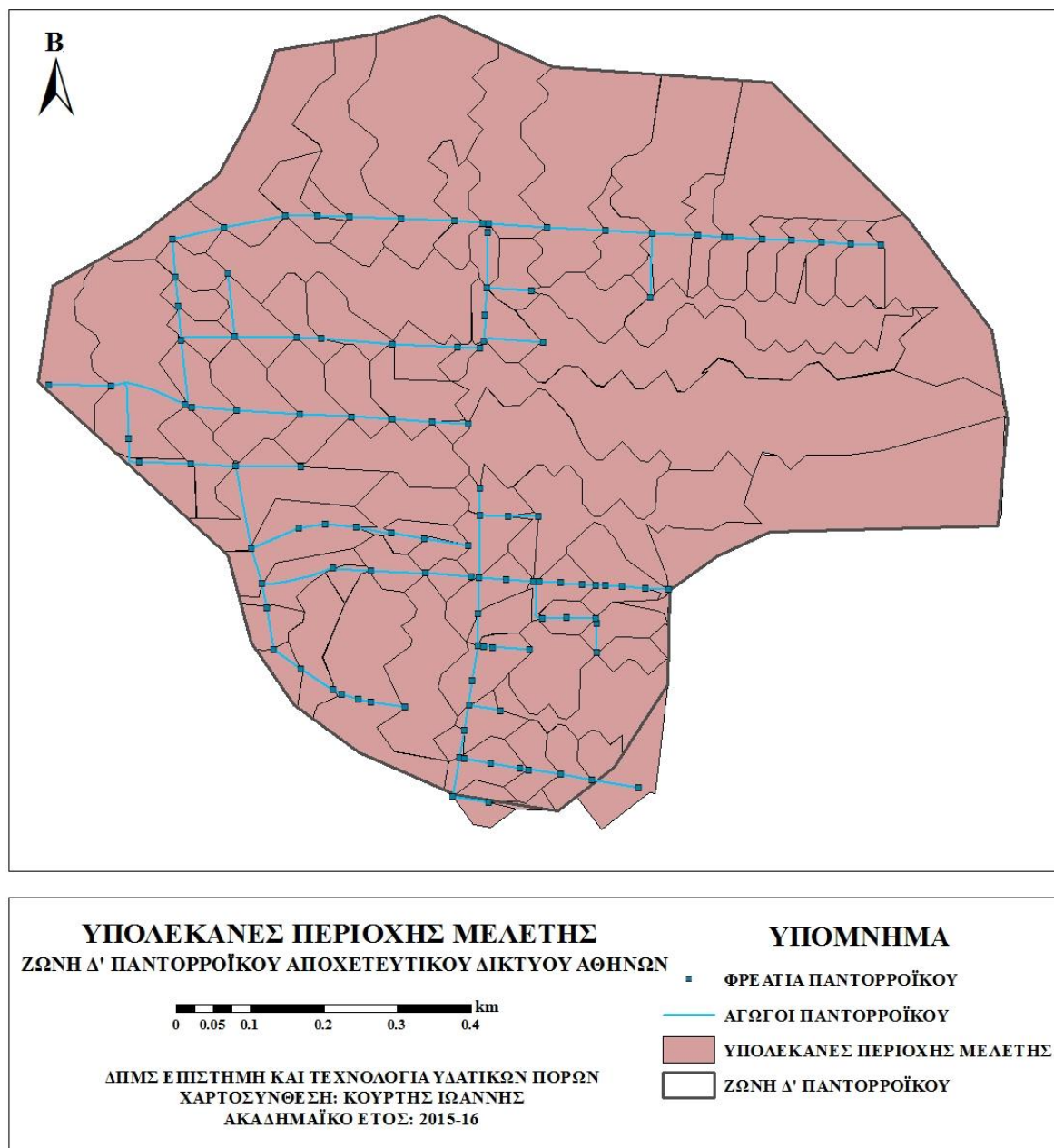
Εικόνα 3.5: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Ζώνης Δ

Στις αστικές περιοχές όμως εκτός από την τοπογραφία της περιοχής είναι απαραίτητο κανείς να λαμβάνει υπόψη του και το ρυμοτομικό σχέδιο της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα για την χάραξη των αστικών λεκανών απορροής χαράσσονται οι διχοτόμοι των γωνιών των οικοδομικών τετραγώνων (Ο.Τ). Στη συνέχεια γνωρίζοντας πως τα όμβρια ύδατα αποχετεύονται από κάθε εσωτερικό σημείο ενός Ο.Τ. προς τον πλησιέστερο δρόμο και αγωγό ομβρίων και με βάση τις κλίσεις του οδοστρώματος και τις θέσεις των φρεατίων του δικτύου χαράσσονται οι υδροκρίτες των αστικών λεκανών απορροής. Στην Εικόνα 3.6 παρουσιάζονται οι αστικές λεκάνες απορροής οι οποίες δημιουργήθηκαν με τη συνδυασμένη χρήση των λογισμικών ArcMAP και AutoCAD.



Εικόνα 3.6: Αστικές λεκάνες απορροής περιοχής μελέτης

Το επόμενο βήμα ήταν η αντιστοίχιση των λεκανών αυτών στα φρεάτια στα οποία αποχετεύονται και η ομαδοποίηση και η δημιουργία υπολεκανών με βάση τα φρεάτια αποχέτευσης. Στην Εικόνα 3.7 παρουσιάζονται οι υπολεκάνες της περιοχής μελέτης οι οποίες προέκυψαν με βάση την ομαδοποίηση των αστικών λεκανών.

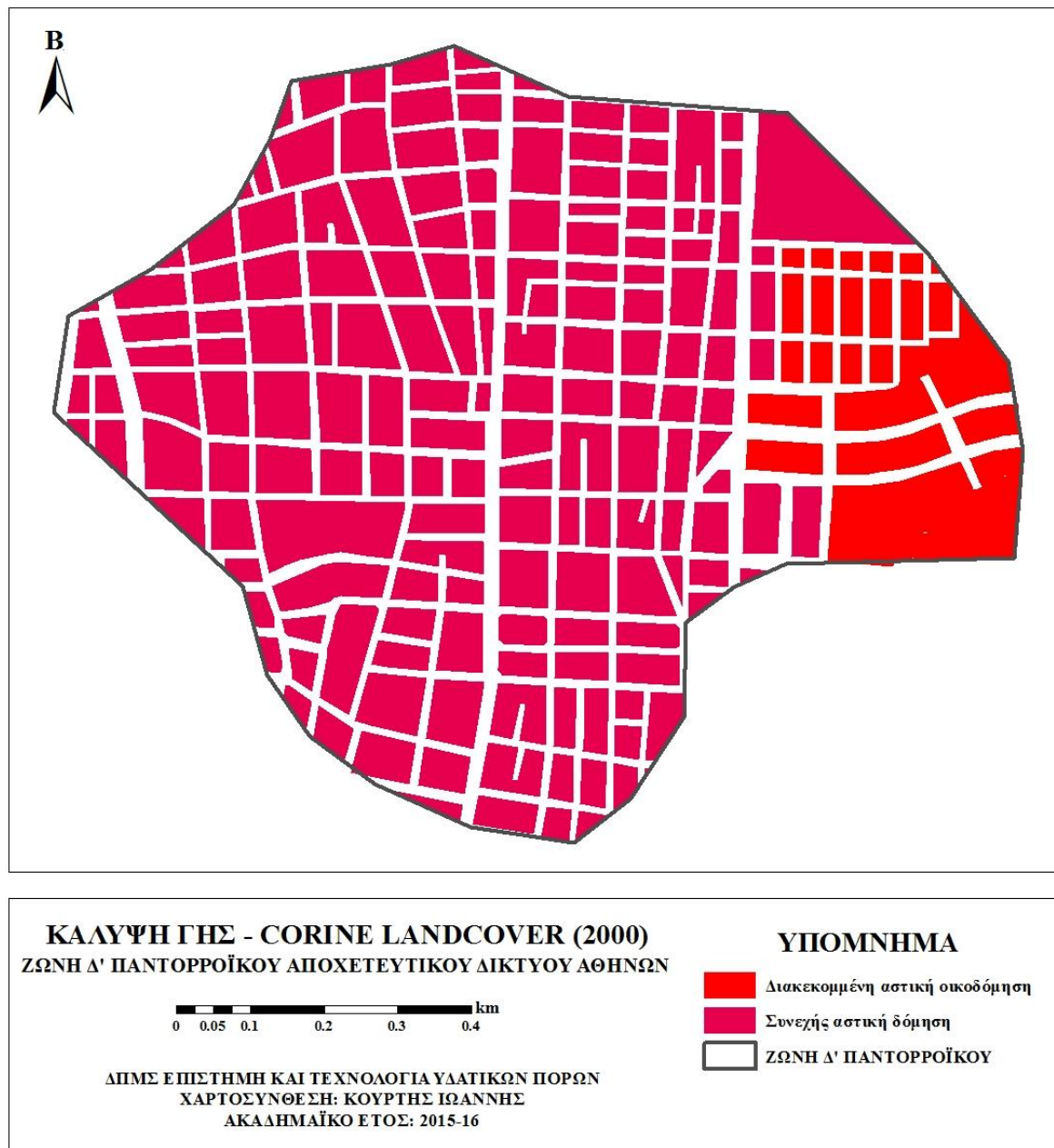


Εικόνα 3.7: Υπολεκάνες Ζώνης Δ

3.2.4 Χρήσης γης και γεωλογία περιοχής μελέτης

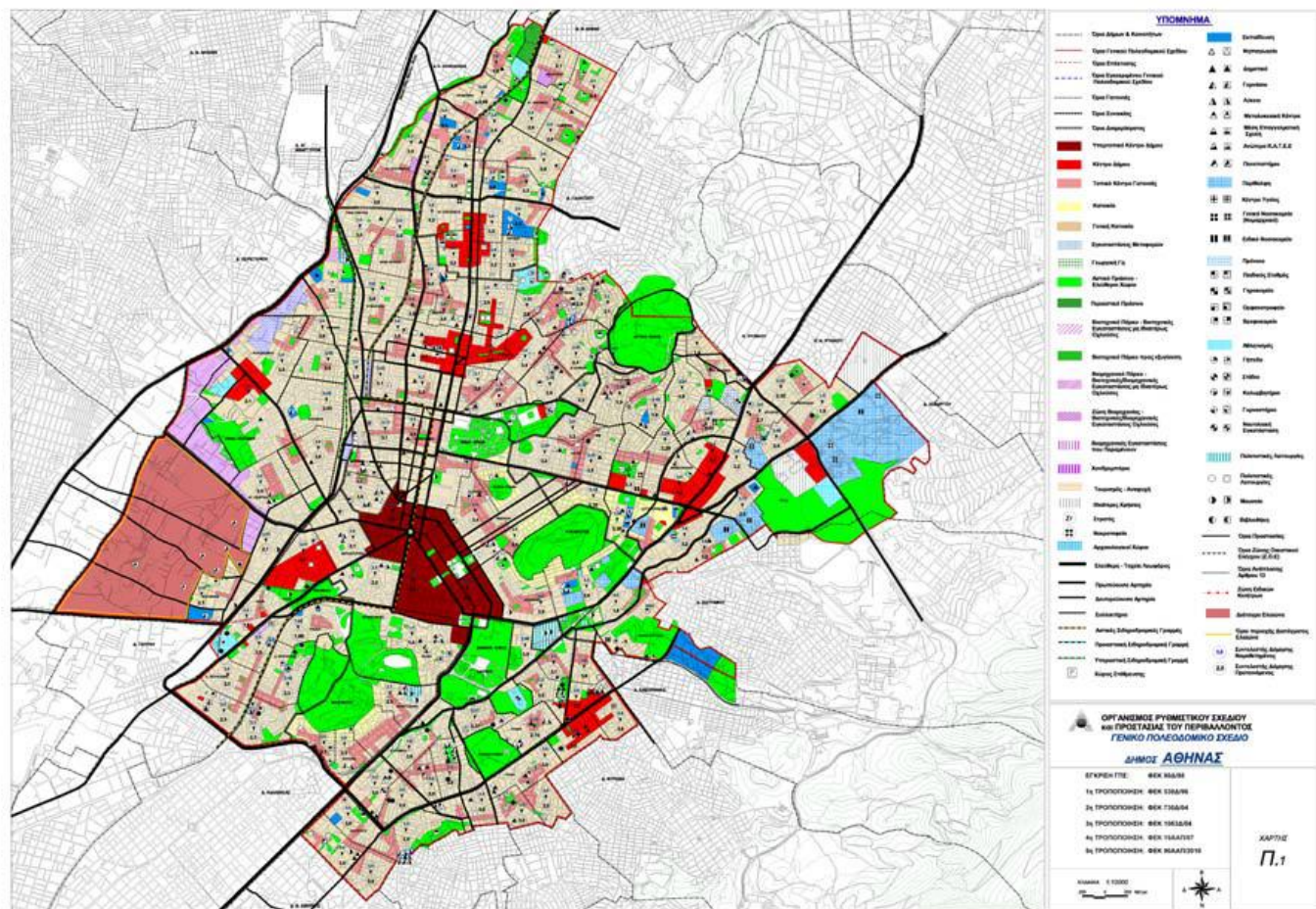
Το είδος της κάλυψης της γης παίζει πρωτεύοντα ρόλο για την υδρολογική συμπεριφορά μιας αστικής λεκάνης. Σύμφωνα με τα δεδομένα του Corine Land Cover (2000) η περιοχή μελέτης καλύπτεται κυρίως από συνεχή αστικό ιστό ενώ ένα μικρό τμήμα στο βορειανατολικό τμήμα

της περιοχής καλύπτεται από ασυνεχή αστικό ιστό. Στην Εικόνα 3.8 παρουσιάζεται ο χάρτης χρήσεων γης Corine Land Cover (2000) για τη Ζώνη Δ του παντοροϊκού δικτύου.



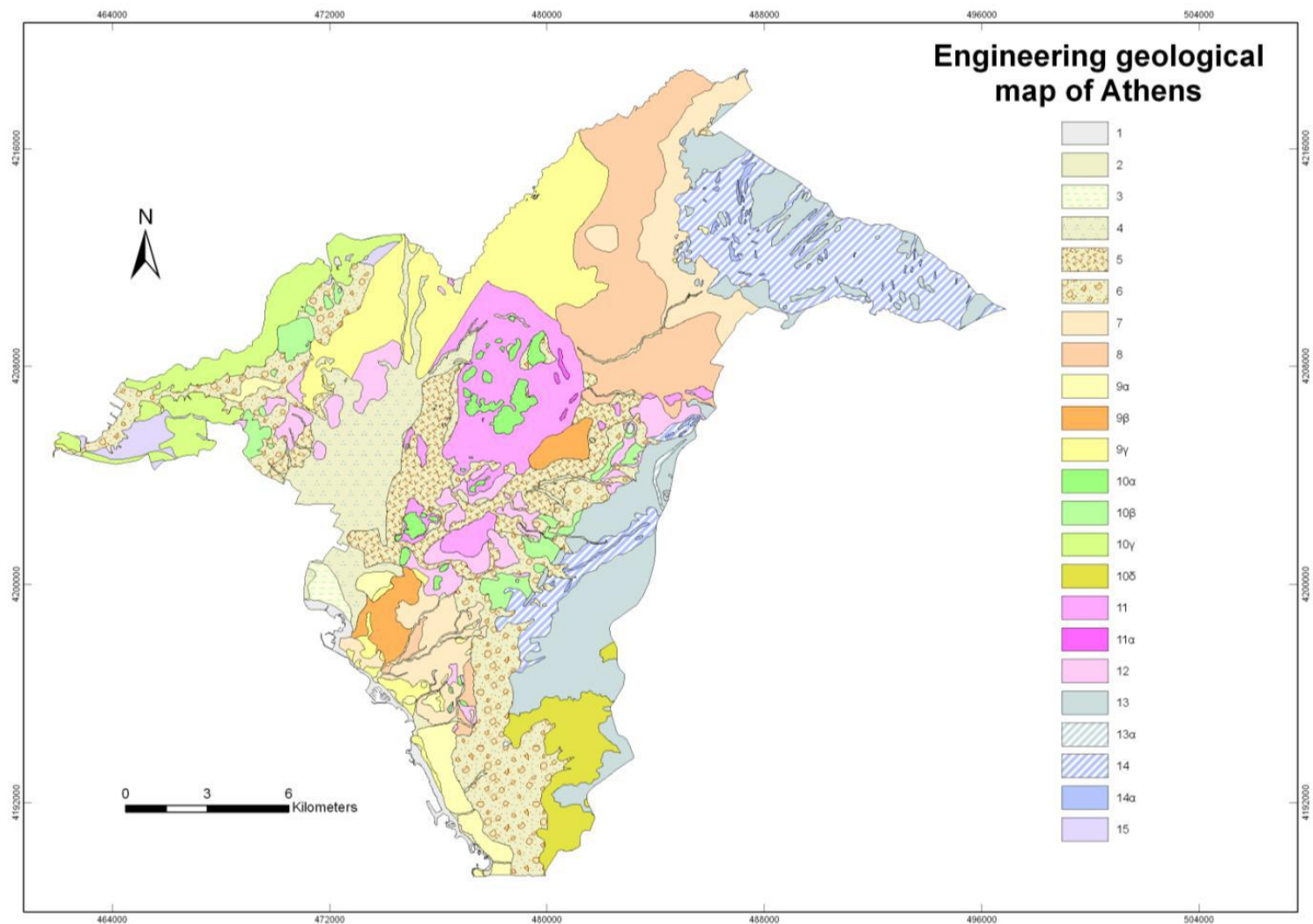
Εικόνα 3.8: Χάρτης Χρήσεων Γης Corine Land Cover (2000)

Ο χάρτης χρήσεων γης, δεν κρίνεται επαρκής για την εξαγωγή συμπερασμάτων για το συντελεστή καμπύλης CN. Για το λόγο αυτό προστέθηκε και ο χάρτης του ισχύοντος Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου (ΓΠΣ) 1988 (Καλαντζοπούλου κ.α. 2011) για το Δήμο Αθηναίων ο οποίος και παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.9 καθώς και ο γεωλογικός χάρτης της Νομαρχίας Αθηνών (Πογιατζή κ.α. 2013), ο οποίος και παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.10.



Εικόνα 3.9: Ισχύον Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο για το Δήμο Αθηναίων, 1988 (Καλαντζοπούλου κ.α. 2011)

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό και εφόσον μιλάμε για το κέντρο της πόλης των Αθηνών, το έδαφος χαρακτηρίζεται στην πλειονότητά του ως α-διαπέρατο.



Εικόνα 3.10: Γεωλογικός χάρτης Νομαρχίας Αθηνών (Πογιατζή κ.α. 2013)

Ο χάρτης ο οποίος παρουσιάστηκε στην Εικόνα 3.10 προέκυψε μετά την χαρτογράφηση, του λεκανοπεδίου Αθηνών. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι συναντώνται στην περιοχή του λεκανοπεδίου είναι (Πογιατζή κ.α. 2013):

1. Ανθρωπογενείς επιχωματώσεις.
2. Σύγχρονα υλικά κοίτης ποταμών, χειμάρρων και ακτών.
3. Χαλαρές παράκτιες αποθέσεις από τέφρες αμμοϊλίδες – μαλακές αργίλους.
4. Χαλαρές αποθέσεις μικτών φάσεων με επικράτηση των λεπτομερών.
5. Χαλαρές αποθέσεις μικτών φάσεων με επικράτηση των αδρομερών.
6. Πλευρικά κορήματα μέτρια έως καλά συγκολλημένα.
7. Μέτρια συγκολλημένα κροκαλο-λατυποπαγή με καστανέρυθη συνδετική ύλη.
8. Μέτρια συνεκτικές ιλύες - άργιλοι ανοικτού καστανού χρώματος.
- 9^α. Μέτρια συνεκτικός έως πολύ συνεκτικός σχηματισμός από λεπτές ενστρώσεις ψαμμάτων, μικροκροκαλοπαγών, κροκαλοπαγών και άμμων, παράκτιας φάσης.
- 9^β. Συνεκτικοί ερυθροί πηλοί και μέτρια συγκολλημένα κροκαλοπαγή.
- 9^γ. Μέτρια συνεκτικός σχηματισμός από μάργες, ψαμμίτες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, κιτρινόλευκου χρώματος.
- 10^α. Μεσο-παχυστρωματώδεις λευκότεφροι, έντονα διαρρηγμένοι ασβεστόλιθοι αλλόχθονης σειράς.
- 10^β. Λεπτο – μεσοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, έντονα τεκτονισμένοι, κιτρινόλευκου χρώματος.
- 10^γ. Παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, έντονα τεκτονισμένοι και καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι.
- 10^δ. Δολομίτες - δολομιτικοί ασβεστόλιθοι.
11. Σχιστοψαμμιτομαργαϊκή σειρά των Αθηναϊκών σχιστολίθων με φακούς ασβεστολίθων.
12. Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι.
13. Μάρμαρα με ενστρώσεις σχιστολίθων.
14. Σχιστόλιθοι με ενστρώσεις μαρμάρων.
15. Ημιμεταμορφωμένοι – μεταμορφωμένοι σχηματισμοί αδιαίρετοι

Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη λοιπόν η περιοχής μελέτης εδράζεται στις κατηγορίες 5, 10^α και 11^α.

Η κατηγορία 5, πρόκειται για χαλαρές αποθέσεις μικτών φάσεων με επικράτηση κυρίως των αδρομερών. Επικρατούν οι αργιλώδεις άμμοι – αμμάργιλοι (SC) καθώς και τα αργίλο – ι-

λυώδη χαλίκια (GC, GM, GC – GM) καστανού – καστανότεφρου χρώματος. Επίσης συμμετέχουν στιφρές, μέσης πλαστικότητα, αμμώδεις άργιλοι (CL) και αμμοιλύες (SM – SC). Είναι ποταμοχερσαίες αποθέσεις, γενικά χαλαρές μέχρι μέτρια συνεκτικές που απαντώνται από το κέντρο των Αθηνών, μέχρι τις παρυφές των γύρω βουνών. Μέγιστο πάχος 15m περίπου. Τοπικά μεταβαίνουν, τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα, στον προαναφερόμενο οριζοντα των μικτών φάσεων με επικράτηση των λεπτομερών (Λ. Βουλιαγμένης, Κηφισός). Παρουσιάζουν αυξημένη υδροπερατότητα και αναπτύσσουν πτωχούς γενικά υδροφόρους ορίζοντες, κυρίως στην επαφή τους με το υπόβαθρο. Οι μηχανικοί χαρακτήρες του σχηματισμού μεταβάλλονται τοπικά και σαν έδαφος θεμελίωσης παρουσιάζει σχετικά καλή συμπεριφορά (Πογιατζή κ.α. 2013).

Αντίστοιχα η κατηγορία 10^α αποτελείται από ασβεστόλιθους λευκότεφρους έως τεφρούς, μικροκρυσταλλικούς, κατά θέσεις κλαστικούς ή λατυποπαγείς, μέτριας σκληρότητας, πολύ χαμηλής – υψηλής αντοχής, χαμηλής παραμορφωσιμότητας. Το πάχος τους υπερβαίνει τα 100 m. Συνήθως είναι μεσο-παχυστρωματώδεις και κατά θέσεις άστρωτοι, τέμνονται από διαρρήξεις και τοπικά από πυκνό δίκτυο διακλάσεων. Παρουσιάζουν αυξημένη υδατοπερατότητα (Πογιατζή κ.α. 2013).

Τέλος η κατηγορία 11^α αναφέρεται σε λεπτο - μεσοστρωματώδεις, πτυχωμένους ασβεστόλιθους κιτρινόλευκους – τεφρόλευκου χρώματος, που εναλλάσσονται με φυλλώδεις μάργες και εξελίσσονται σε μαργαϊκούς ασβεστολίθους στους λόφους των δυτικών και ανατολικών παρυφών του Λεκανοπεδίου Αθηνών. Συχνή είναι η ύπαρξη σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων και σερπεντινωμένων περιδοτιτών στη βάση τους (Πογιατζή κ.α. 2013).

3.2.5 Εισαγωγή δεδομένων στο λογισμικό SWMM

Στη συνέχεια και αφού είχαν δημιουργηθεί οι υπολεκάνες του παντοροϊκού δικτύου και όλα τα απαραίτητα στοιχεία του είχαν ψηφιοποιηθεί και τους είχαν αποδοθεί τα απαραίτητα στοιχεία με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS ξεκίνησε η ψηφιακή αναπαράσταση του δικτύου με το λογισμικό InfoSWMM. Το πρώτο βήμα ήταν η ψηφιοποίηση των υπόλεκανών απορροής και η απόδοση των κατάλληλων παραμέτρων. Οι απαραίτητες παράμετροι ήταν:

- i. **Εμβαδό υπολεκανών απορροής**: Όλα τα εμβαδά των υπολογίστηκαν με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS.
- ii. **Πλάτος**: Το πλάτος της επίγειας ροής υπολογίστηκε ως ο λόγος του εμβαδού της υπολεκάνης με το χερσαίο μήκος επίγειας ροής (B). Το μήκος της επίγειας ροής υπολογίστηκε με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS. Τελικά το πλάτος κάθε υπολεκάνης υπολογίστηκε με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS.

- iii. **Κλίση**: Έχοντας τα υψόμετρα στέψης των φρεατίων με τη χρήση του λογισμικού InfoSWMM υπολογίσαμε τις κλίσεις για την περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια και με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS υπολογίσαμε τις κλίσεις για τις υπολεκάνες. Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως αφού η περιοχή είναι αστική οι κλίσεις κυμαίνονται μεταξύ 2 και 15%. Η μέγιστη κλίση θεωρήθηκε 15% καθώς αυτή είναι και η μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση οδών.
- iv. **Ποσοστό αδιαπέρατου τμήματος υπολεκάνης**: Το αδιαπέρατο τμήμα κάθε υπολεκάνης εκτιμήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού Google Earth. Η μέγιστη τιμή της παραμέτρου αυτής ήταν 90% ενώ η ελάχιστη 70%.
- v. **Συντελεστής Manning Αδιαπέρατου τμήματος**: Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.8 της παρούσας εργασίας ο συντελεστής Manning για το αδιαπέρατο τμήμα της κάθε υπολεκάνης πήρε την τιμή 0.011.
- vi. **Συντελεστής Manning Διαπερατού τμήματος**: Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.8 της παρούσας εργασίας ο συντελεστής Manning για το διαπερατό τμήμα της κάθε υπολεκάνης πήρε την τιμή 0.10.
- vii. **Επιφανειακή συγκράτηση Αδιαπέρατου τμήματος**: Η επιφανειακή συγκράτηση για το αδιαπέρατο τμήμα της κάθε υπολεκάνης θεωρήθηκε ίση με 2 mm. Όπως διαπιστώσαμε στην παράγραφο 3.8.5.6 της παρούσας εργασίας η Αμερικανική Ένωση Πολιτικών Μηχανικών προτείνει για την παράμετρο αυτή τιμή ίση με 1.6 mm. Λόγω όμως της κακής κατάστασης των οδών επιλέχθηκε τιμή ελαφρώς μεγαλύτερη.
- viii. **Επιφανειακή συγκράτηση Διαπερατού τμήματος**: Η επιφανειακή συγκράτηση για το διαπερατό τμήμα της κάθε υπολεκάνης θεωρήθηκε ίση με 5.5 mm.
- ix. **Ποσοστό αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση**: Το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση θεωρήθηκε ίσο με 100%.
- x. **Μοντέλο Διήθησης**: Ως μοντέλο διήθησης επιλέχθηκε αυτό της μεθόδου SCS. Προκειμένου να οριστεί ο αριθμός καμπύλης λήφθηκαν υπόψη οι Εικόνες 3.8 έως 3.10. Σύμφωνα με τον Πίνακα 2.15 και για υδρολογική κατάσταση εδάφους κατηγορίας C αποδόθηκε ο αριθμός καμπύλης CN στο μοντέλο.

Στη συνέχεια εισήχθησαν τα φρεάτια του παντοροϊκού δικτύου. Όλα τα φρεάτια εισήχθησαν με βάση το όνομα που έχουν στις πινακίδες της ΕΥΔΑΠ. Οι απαραίτητες παράμετροι οι οποίες καθορίστηκαν για κάθε φρεάτιο του δικτύου ήταν:

- i. **Invert Elevation**: Το υψόμετρο πυθμένα κάθε φρεατίου

ii. **Μέγιστο Βάθος:** Η διαφορά υψομέτρου πυθμένα και υψομέτρου στέψης φρεατίου Τέλος αναπαραστάθηκαν με τη χρήση των λογισμικών InfoSWMM και SWMM οι αγωγοί του παντοροϊκού δικτύου της Ζώνης Δ. Για κάθε αγωγό του δικτύου οι απαραίτητες παράμετροι εισαγωγής του μοντέλου ήταν:

- i. **Φρεάτιο εισόδου**
- ii. **Φρεάτιο Εξόδου**
- iii. **Είδος αγωγού:** Το μεγαλύτερο μέρος του δικτύου, επειδή είναι παλιό, αποτελείται από ωοειδείς αγωγούς και ορισμένους μόνο κυκλικούς.
- iv. **Διάμετρος/Υψόμετρο:** Στην περίπτωση των ωοειδών αγωγών ήταν απαραίτητη η εισαγωγή του μέγιστου βάθους ενώ για του κυκλικούς η διάμετρός τους.
- v. **Μήκος αγωγού**
- vi. **Συντελεστής Manning:** Για τους κυκλικούς αγωγούς επιλέχτηκε συντελεστής Manning ίσος με 0.013 ενώ για τους ωοειδείς αγωγούς συντελεστής Manning 0.014.

3.2.5.1 Δυαδικό σύστημα αποχέτευσης

Το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι ικανό να πραγματοποιεί υδραυλική διόδευση για πλημμυρικά φαινόμενα περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Η αιχμή, η έκταση και ο όγκος των πλημμυρικών φαινομένων αυξάνονται με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς.

Σε ένα επεισόδιο βροχόπτωσης, περιόδου επαναφοράς μεγαλύτερης από την περίοδο επαναφοράς με την οποία είναι σχεδιασμένο το δίκτυο, είναι φυσικό πολλοί αγωγοί του δικτύου να πληρώνονται καθώς και πολλά φρεάτια να πλημμυρίζουν.

Για την καλύτερη μελέτη και αναπαράσταση των πλημμυρικών φαινομένων είναι σύνηθες να συντίθεται ένα πολυπλοκότερο σύστημα αποχέτευσης το αποκαλούμενο δυαδικό σύστημα. Με τον όρο δυαδικό σύστημα καλείται εκείνο το σύστημα το οποίο συντίθεται από το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο καθώς και από το σύστημα των επιφανειακών αγωγών. Ως επιφανειακοί αγωγοί σε ένα τέτοιο σύστημα θεωρούνται οι δρόμοι της περιοχής μελέτης. Με το δυαδικό σύστημα οι δρόμοι θεωρούνται ως επιφανειακά κανάλια μέσω των οποίων πραγματοποιείται η διόδευση σε περίπτωση πλημμυρισμού του υπόγειου αποχετευτικού δικτύου. Η διαφοροποίηση του δυαδικού συστήματος έγκειται στην υψομετρική θέση και τη διατομή των αγωγών. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η διόδευση από το σύστημα ακόμα για γεγονότα βροχόπτωσης μεγάλης περιόδου επαναφοράς.

Για την εισαγωγή των αγωγών στο υδραυλικό μοντέλο απαιτείται η παράλληλη μετατόπιση προς το έδαφος σε απόσταση ίση με τη διαφορά του υψομέτρου πυθμένα των υπόγειων αγωγών από το υψόμετρο στέψης. Το λογισμικό SWMM δίνει αυτή τη δυνατότητα στο χρήστη μέσω των παραμέτρων:

- Μετατόπιση Εισόδου (Inlet offset)
- Μετατόπιση Εξόδου (Outlet offset)

Το μήκος των επιφανειακών αγωγών θεωρήθηκε ίδιο με αυτό των υπόγειων ενώ ο συντελεστής Manning πήρε την τιμή 0.011.

Όσον αφορά την διατομή των επιφανειακών αγωγών, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Google Earth καθώς και οι ψηφιακοί ορθοφωτοχάρτες της Κτηματολόγιο Α.Ε τους οποίους είχαμε εισάγει στο λογισμικό ArcGIS. Με τον τρόπο αυτό επιτύχαμε την μέτρηση των διαστάσεων των δρόμων και των πεζοδρομίων. Στη συνέχεια και με το λογισμικό Excel δημιουργήθηκαν οι διατομές οδών, με βάση το μετρημένο πλάτος του δρόμου και του πεζοδρομίου. Οι επικλίσεις για όλους τους δρόμους ελήφθησαν 2% ενώ η εγκάρσια κλίση των πεζοδρομίων 1%.

Για την αναπαράσταση των οδών με βάση τα παραπάνω στοιχεία χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Transect Editor του λογισμικού SWMM το οποίο επιτρέπει την εισαγωγή οριζοντιογραφιών και υψομετρικών θέσεων κατά πλάτος μιας οδού. Με τον τρόπο αυτό συντέθηκαν οι διατομές των δρόμων με τα στοιχεία τα οποία παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β. Οι δρόμοι με βάση τις μετρήσεις κατηγοριοποιήθηκαν και εισήχθηκαν στο λογισμικό SWMM.

3.2.5.2 Καταχώρηση παραμέτρων προσομοίωσης

Προκειμένου να εκτελεστεί η προσομοίωση της λειτουργίας του αποχετευτικού δικτύου είναι απαραίτητο ο καθορισμός ορισμένων παραμέτρων. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν:

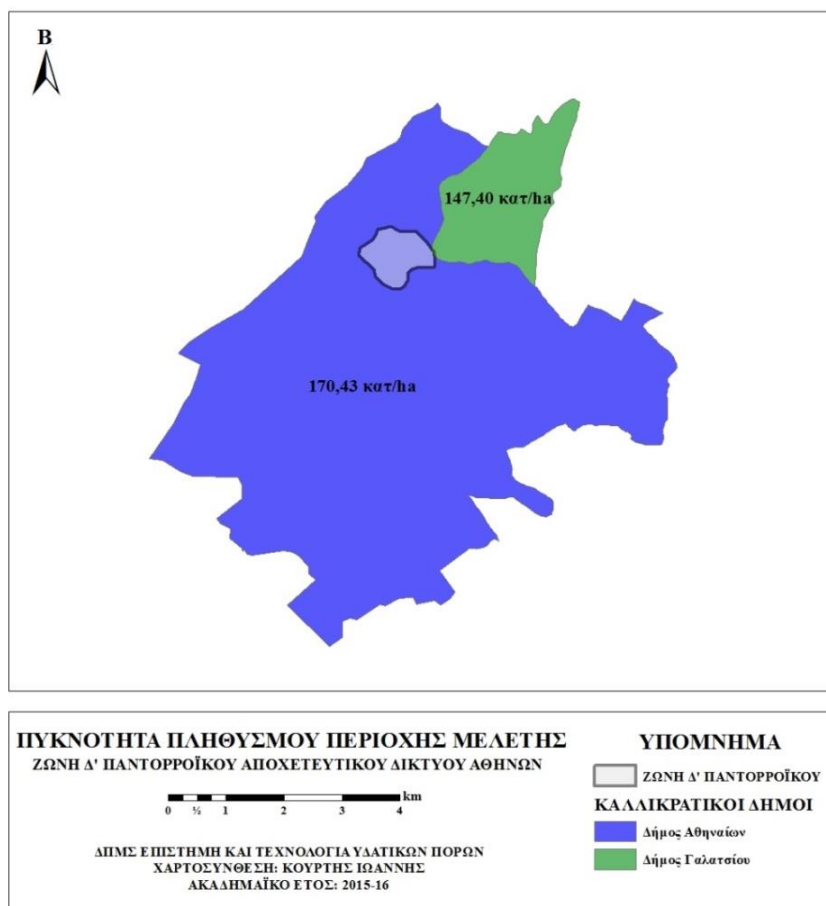
- **Μέθοδος Διόδευσης: Δυναμικού κύματος**
- **Μέθοδος Διήθησης: Μέθοδος της SCS**
- **Χρονικό Βήμα Αναφοράς Αποτελεσμάτων: 1 sec**
- **Χρονικό Βήμα Ξηρού Καιρού: 1 h**
- **Χρονικό Βήμα Υγρού Καιρού: 1 sec**
- **Χρονικό Βήμα Μεταφοράς Απορροής (Routing): 1 sec**
- **Διατήρηση Αρχικών Όρων: Διατήρηση**
- **Ορισμός Υπερκρίσιμης Ροής: Τόσο με βάση την κλίση όσο και με τον αριθμό Froude**

➤ **Απώλειες Ενέργειας: Darcy-Weisbach**

3.3 Εκτίμηση Παροχών Ξηρού Καιρού

Για την εκτίμηση των παροχών ξηρού καιρού το πρώτο βήμα ήταν ο υπολογισμός της πυκνότητας του πληθυσμού ανά εκτάριο. Στην Εικόνα 3.11 παρουσιάζονται οι δήμοι στους οποίους εντάσσεται η περιοχή μελέτης καθώς και η πυκνότητα του πληθυσμού σε κάθε δήμο. Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τον Δήμο Αθηναίων και ένα μικρό κομμάτι του Δήμου Γαλατσίου. Οπότε σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ (2012) η πυκνότητα πληθυσμού για τον Δήμο Αθηναίων ανέρχεται σε 17.042,55 κατ/km² ενώ για τον Δήμο Γαλατσίου σε 14.740,44 κατ/km². Εφόσον όμως στο λογισμικό SWMM οι έκταση των υπολεκανών είναι σε εκτάρια μετατρέπεται η πυκνότητα σε κατ./ha, οπότε και προέκυψε:

- A. Δήμος Αθηναίων: 170,43 κατ./ha
- B. Δήμος Γαλατσίου: 147,40 κατ./ha



Εικόνα 3.11: Διοικητική διαίρεση και πυκνότητα πληθυσμού περιοχής μελέτης

Γνωρίζοντας την πυκνότητα πληθυσμού και έχοντας υπολογίσει την έκταση της κάθε υπολεκάνης ήμασταν σε θέση να υπολογίσουμε τον πληθυσμό στην κάθε υπολεκάνη. Στη συνέχεια

και με βάση τη μεθοδολογία η οποία αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 2.2, υπολογίστηκαν οι απορροές ξηρού καιρού (ακάθαρτα), για κάθε κόμβο του δικτύου. Όπως είναι φυσικό, η παροχή αυτή είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την παροχή κατά την διάρκεια των υγρών περιόδων. Όλοι οι υπολογισμοί οι οποίοι πραγματοποιήθηκαν για την εκτίμηση της παροχής ακαθάρτων, ανά κόμβο του δικτύου, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ. Τέλος, οι παροχές οι οποίες εκτιμήθηκαν εισήχθησαν στο λογισμικό SWMM, σε κάθε κόμβο του δικτύου, συμπληρώνοντας την παράμετρο Εισροές (Inflows).

3.4 Δημιουργία Υετογραφημάτων

Για την κατασκευή των υετογραφημάτων χρησιμοποιήθηκε η όμβρια καμπύλη των Mimikou et al. (2000):

$$i = 15.39T^{(0.276)}d^{(-0.725)}$$

Για την κατασκευή των υετογραφημάτων σχεδιασμού, χρησιμοποιήθηκε η Μέθοδος των Εναλλασσόμενων Ψών Βροχής (Alternating Block Method). Αρχικά, υπολογίστηκε η βροχόπτωση για διάρκειες 1, 2, 3, 6, 12 και 24 ώρες και για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50 και 100 ετών από την εξίσωση όμβριων καμπύλων. Σύμφωνα με τη θεωρία της μεθόδου των εναλλασσόμενων υψών βροχής η βροχόπτωση διάρκειας t και περιόδου επαναφοράς T κατανέμεται ως εξής:

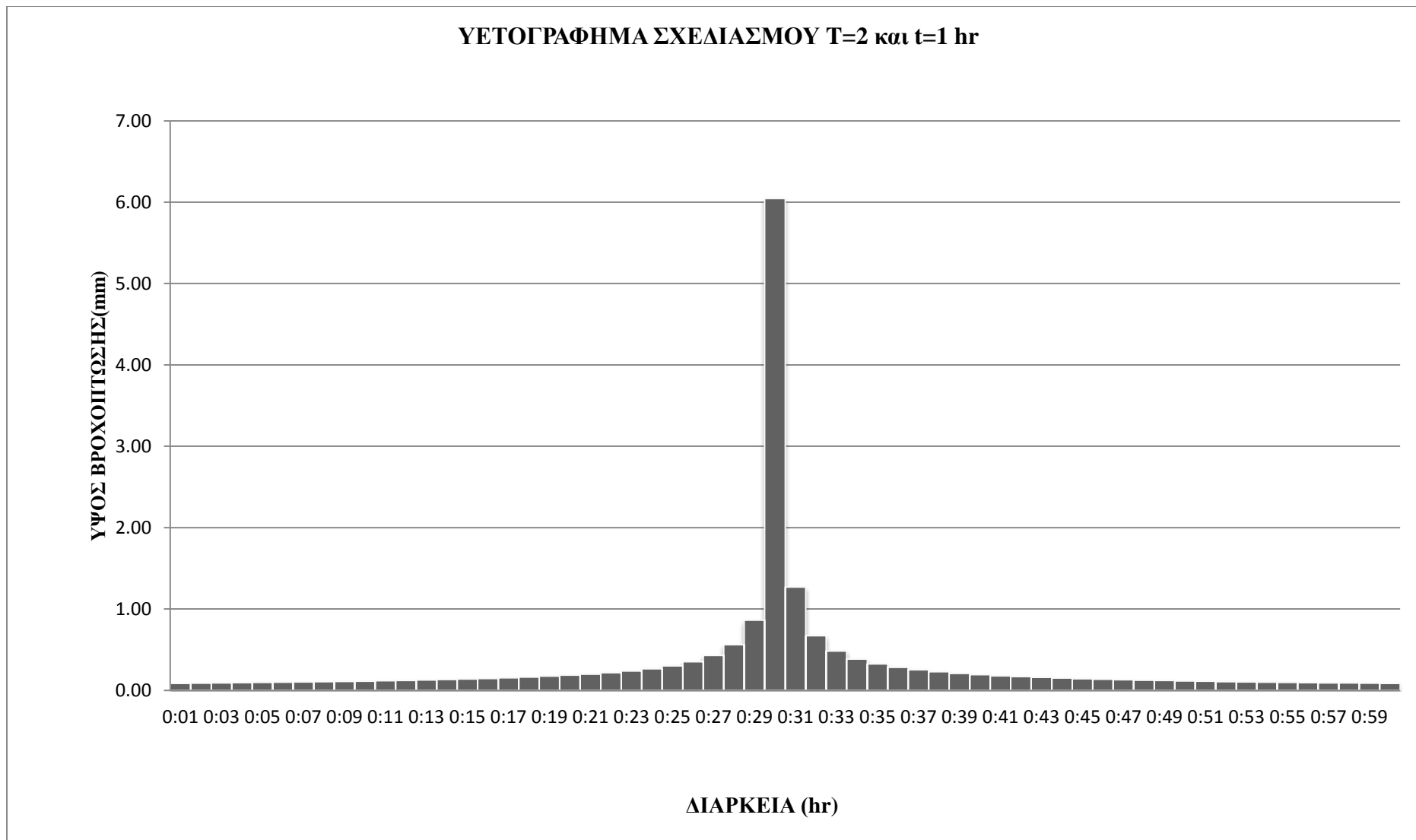
Γνωρίζοντας ότι το ύψος βροχής ισούται με το γινόμενο της έντασης επί τη διάρκειά της, για βροχοπτώσεις ίδιας περιόδου επαναφοράς, ισχύει:

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{(1-m)}$$

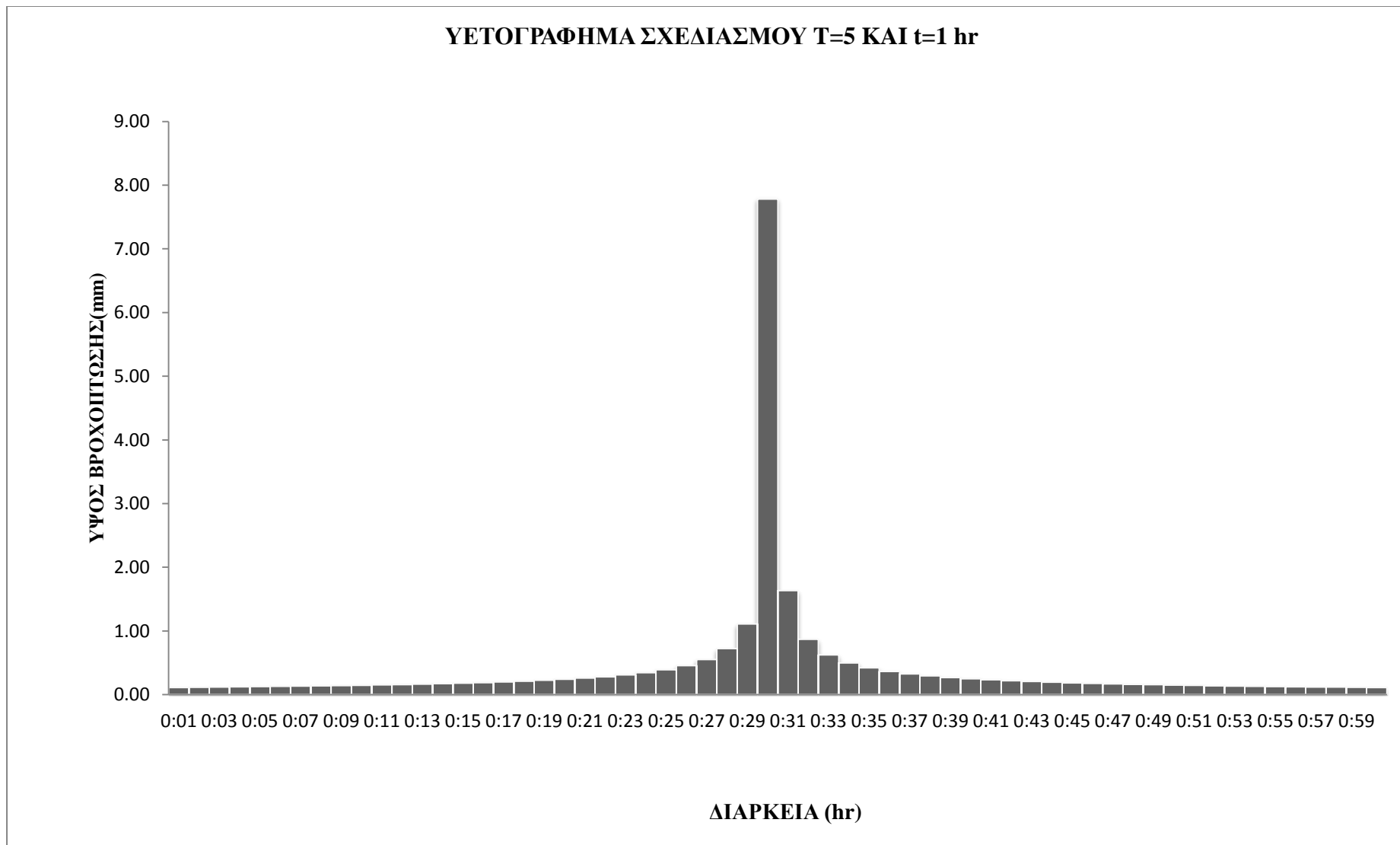
Με βάση τη σχέση υπολογίζονται τα αθροιστικά ύψη βροχής κάθε επιμέρους διάρκειας. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι διαφορές των αθροιστικών υψών βροχής. Οι διαφορές αυτές αποτελούν τα ύψη βροχής για κάθε χρονικό διάστημα (1 min). Η κατανομή τους γίνεται τοποθετώντας το μεγαλύτερο ύψος στο κεντρικό χρονικό διάστημα και το αμέσως μικρότερο στο επόμενο χρονικό διάστημα από δεξιά και το αμέσως μικρότερο στο επόμενο χρονικό διάστημα από αριστερά. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για το σύνολο των υψών βροχής

Με την διαδικασία η οποία περιγράφηκε προηγουμένως, δημιουργήθηκαν 42 υετογραφήματα σχεδιασμού με το χρονικό βήμα της βροχόπτωσης να είναι 1 min, η περίοδος επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50 και 100 χρόνια και η διάρκεια της βροχόπτωσης 1 h, 2h, 3h, 6h, 12h, 24h. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα υετογραφήματα σχεδιασμού για διάρκεια βροχής 1 h και

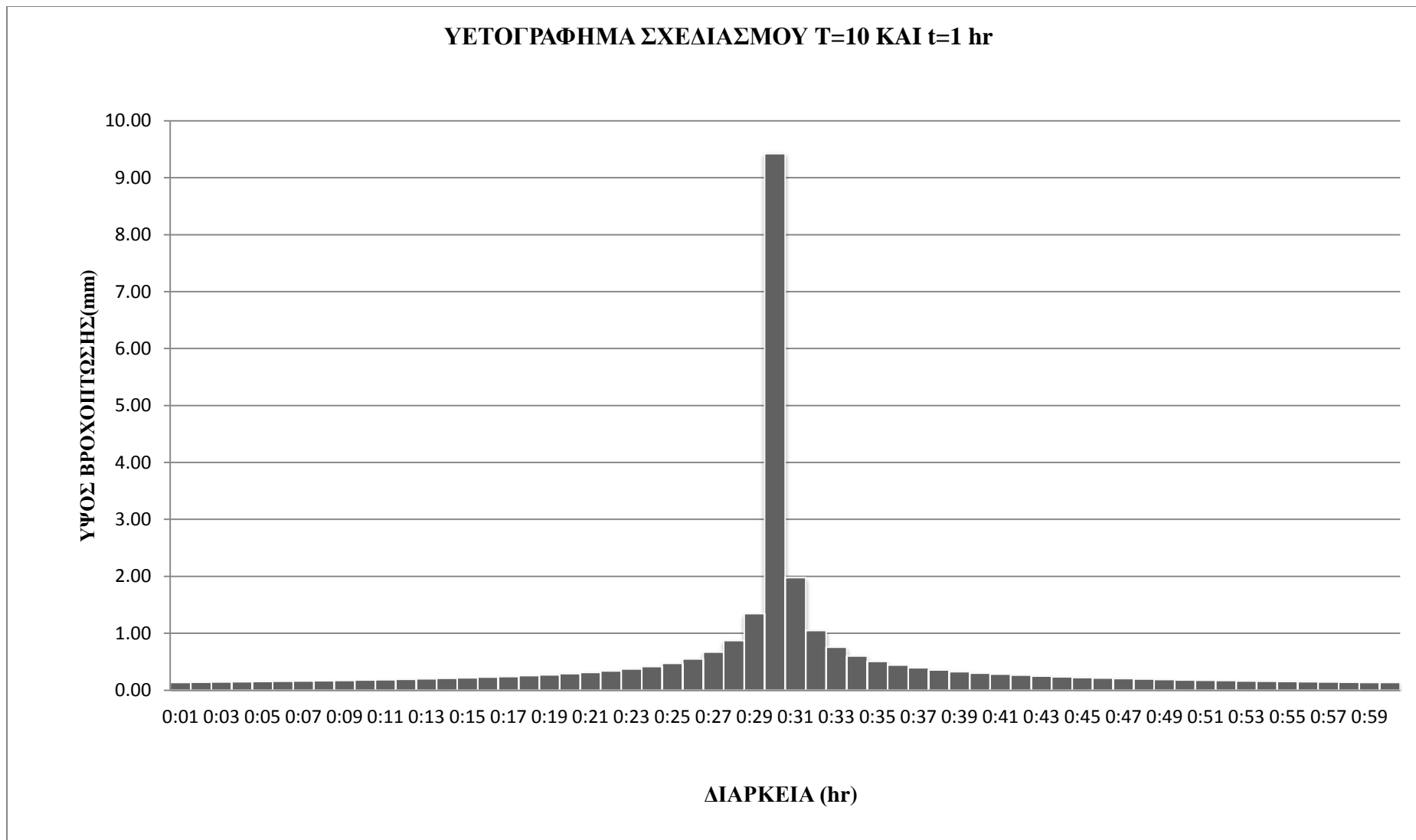
περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 ετών. Τα υπόλοιπα υετογραφήματα, δηλαδή για διάρκειες βροχής 2, 3, 6, 12 και 24 h και τις αντίστοιχες περιόδους επαναφοράς παρουσιάζονται στο Παράτημα Δ.



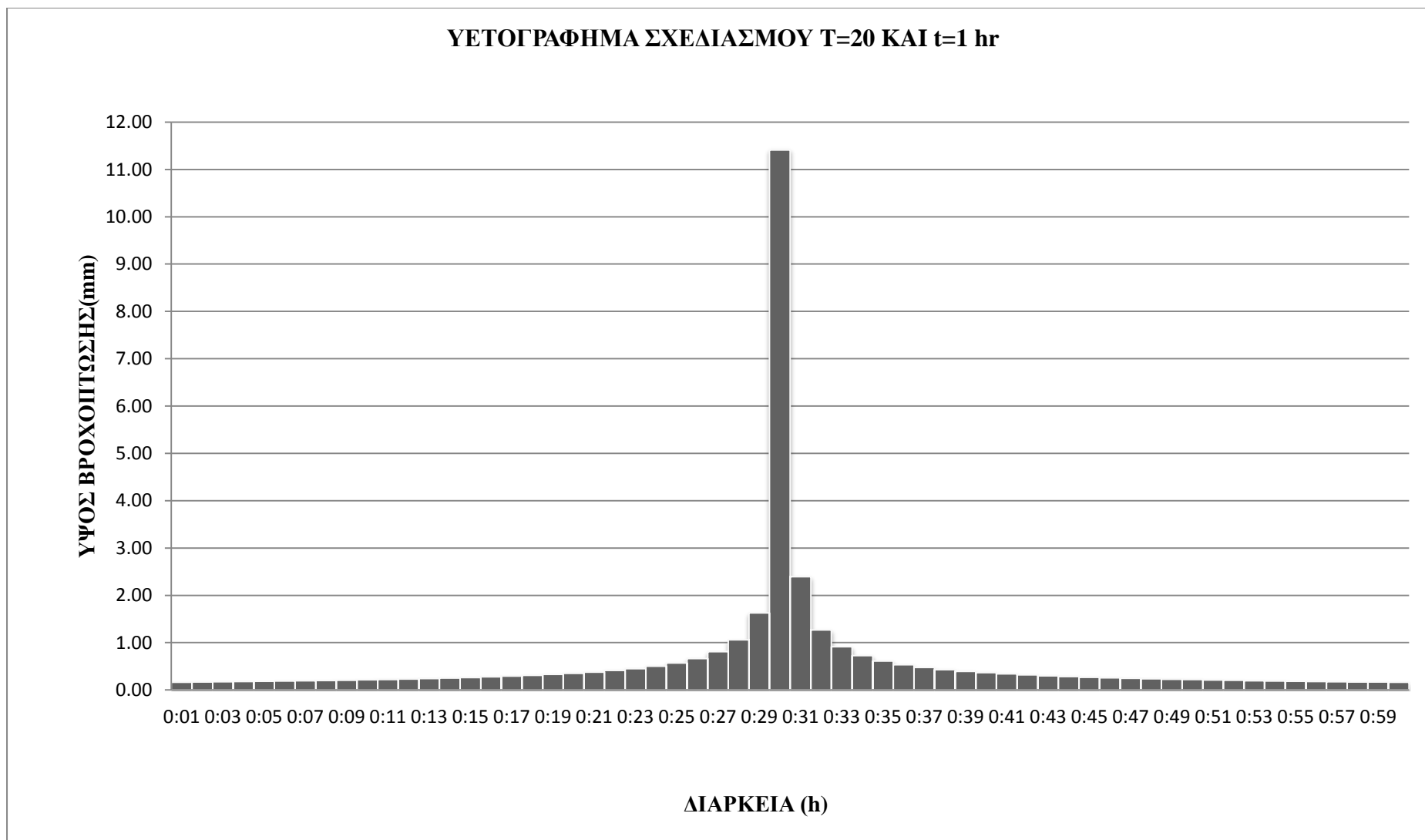
Εικόνα 3.12: Υετογράφημα σχεδιασμού T=2 και t=1h



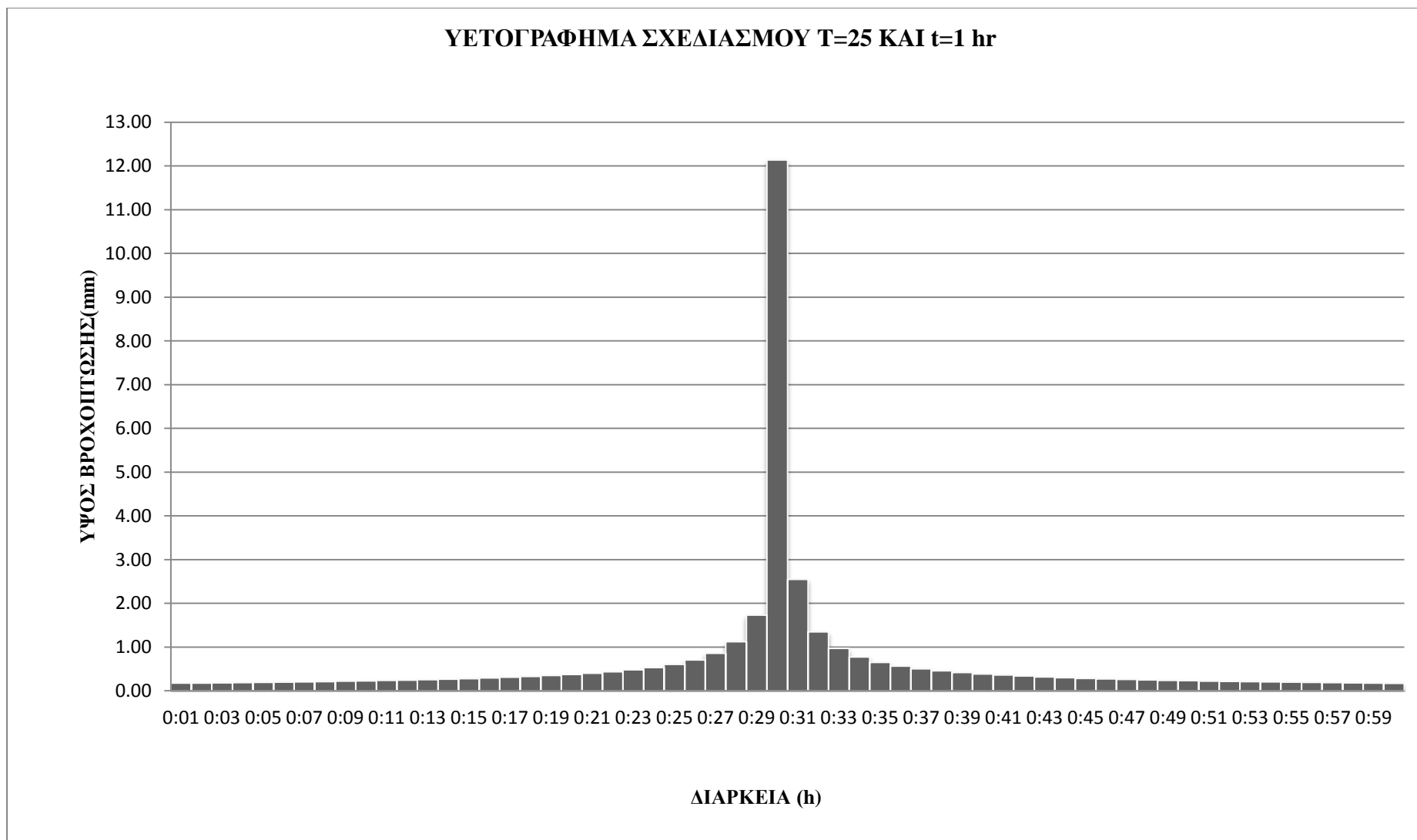
Εικόνα 3.13: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=1h



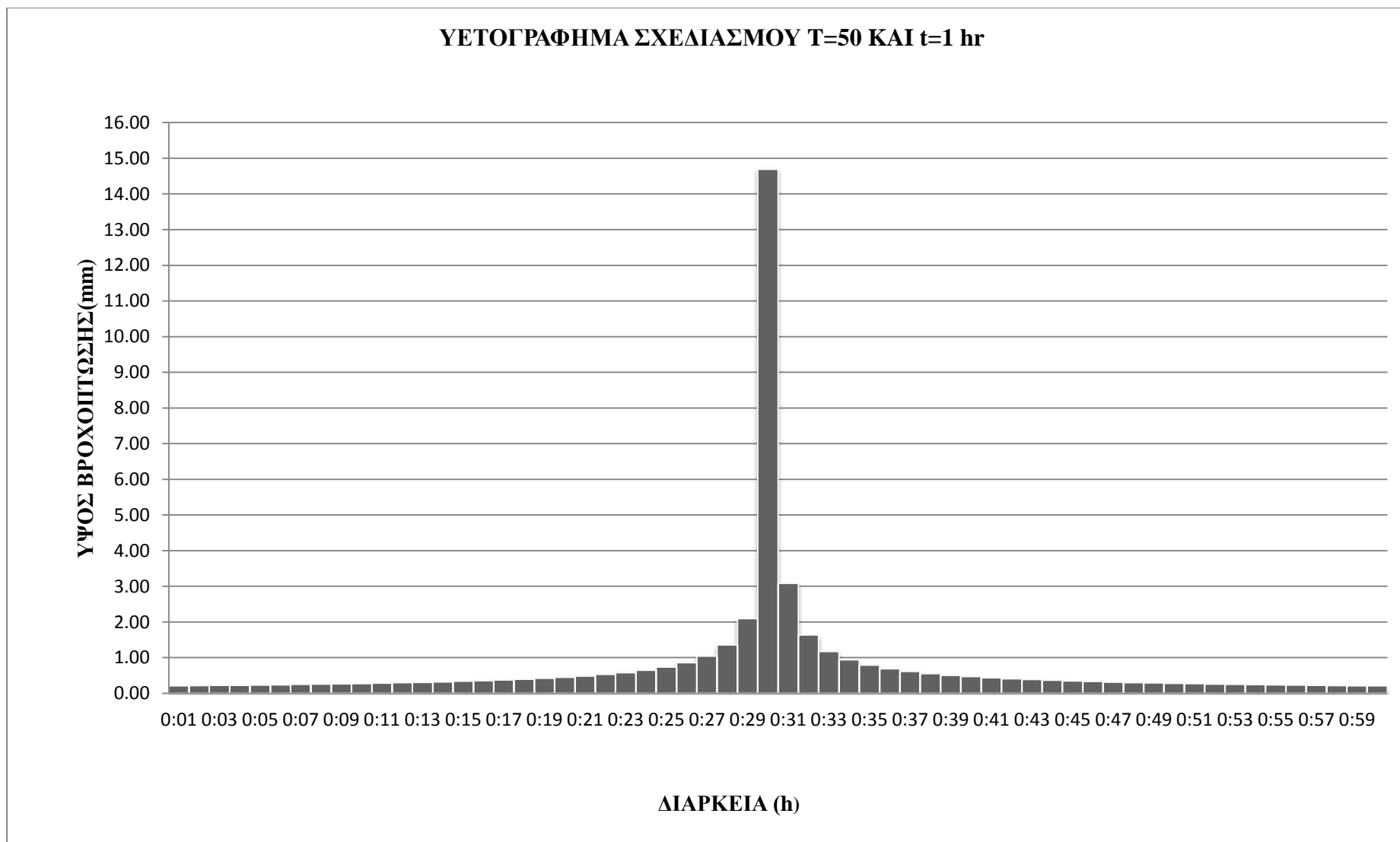
Εικόνα 3.14: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=1h



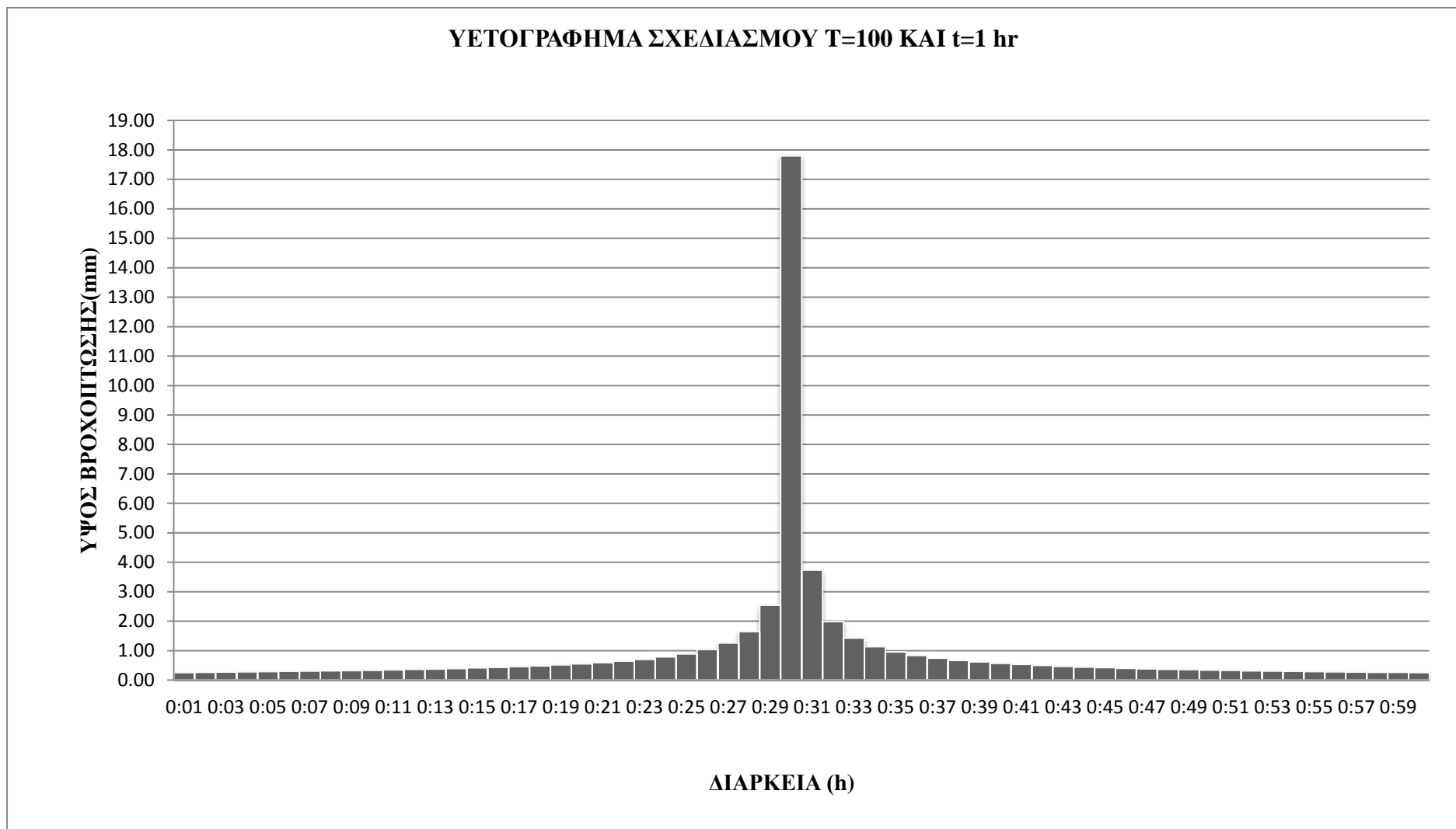
Εικόνα 3.15: Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=1h



Εικόνα 3.16: Υετογράφημα σχεδιασμού T=25 και t=1h



Εικόνα 3.17: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=1h



Εικόνα 3.18: Υετογράφημα σχεδιασμού T=100 και t=1h

3.5 Ανάλυση Ευαισθησίας

3.5.1 Εισαγωγή – Γενικά περί της ανάλυσης ευαισθησίας

Με τον όρο ανάλυση ευαισθησίας αναφερόμαστε στην μελέτη της αβεβαιότητας η οποία υ-
πεισέρχεται στα αποτελέσματα ενός μοντέλου. Το μοντέλο αυτό μπορεί να είναι μαθηματικό,
αριθμητικό ή και όχι. Με τον όρο αβεβαιότητα λοιπόν αναφερόμαστε στην ασάφεια εκείνη ή
οποία υπεισέρχεται και κατανέμεται σε διάφορες πηγές, στα δεδομένα εισόδου ενός συστή-
ματος (Μπαριάμης 2013, Saltelli et al. 2010). Με την ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιεί-
ται προσπάθεια ποσοτικοποίησης, κατά μια έννοια, της αβεβαιότητας.

Η ανάλυση ευαισθησίας λοιπόν αποτελεί μια βασική προϋπόθεση για την ορθή δόμηση ενός
μοντέλου και για την κατάλληλη βαθμονόμησή του. Επιπλέον αποτελεί ένα εργαλείο αρκετά
χρήσιμο, το οποίο στοχεύει στην επίτευξη μιας σειράς από στόχους, όπως (Μπαριάμης 2013,
Pannell 1997):

- Δοκιμές ευρωστίας (robustness) των αποτελεσμάτων ενός μοντέλου, υπό την παρού-
σία της ασάφειας.
- Περαιτέρω κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των παραμέτρων εισόδου και των μετα-
βλητών εξόδου σε ένα σύστημα – μοντέλο.
- Προσδιορίζοντας τις παραμέτρους εισόδου οι οποίες προκαλούν σημαντική αβεβαιό-
τητα στα αποτελέσματα του μοντέλου δύναται να μειωθεί η αβεβαιότητα. Για αύξηση
λοιπόν της ευρωστίας του μοντέλου είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι παράμε-
τροι οι οποίες προκαλούν την αβεβαιότητα, κάτι το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με πε-
ραιτέρω έρευνα.
- Αναζήτηση σφαλμάτων σε ένα μοντέλο αντιμετωπίζοντας απροσδόκητες σχέσεις με-
ταξύ δεδομένων εισόδου και παραγόμενων αποτελεσμάτων.
- Με την ανάλυση ευαισθησίας είμαστε σε θέση να αναγνωρίζουμε τις παραμέτρους
εκείνες οι οποίες δεν επιδρούν στα αποτελέσματα του μοντέλου. Διορθώνοντας λοι-
πόν τις εισόδους στο μοντέλο υπάρχει η δυνατότητα απλοποίησής του.
- Τόνωση και απλοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ των μελετητών (δημιουργών του
μοντέλου) και των κέντρων λήψης αποφάσεων. Αυτό συμβαίνει, καθώς με την ανά-
λυση ευαισθησίας, οι προτάσεις γίνονται πιο αξιόπιστες, λαμβάνοντας μεγαλύτερη
βαρύτητα, αλλά και πειστικές και κατανοητές.

- Η εύρεση περιοχής στο πεδίο ορισμού των παραμέτρων εισόδου, για τις οποίες το αποτέλεσμα είναι είτε μέγιστο είτε ελάχιστο, είτε πληρεί κάποιο βέλτιστο κριτήριο (βελτιστοποίηση και μέθοδος Monte Carlo).

Πολλές φορές βέβαια οι παράμετροι εισόδου σε ένα μοντέλο υπόκεινται σε πηγές αβεβαιότητας. Η αβεβαιότητα αυτή ενδέχεται να οφείλεται σε σφάλματα μέτρησης, έλλειψη ή απουσία της απαραίτητης πληροφορίας καθώς και ελλιπή κατανόηση των φυσικών μηχανισμών και λειτουργιών του υπό προσομοίωση φυσικού συστήματος. Η ασάφεια αυτή λοιπόν επιβάλλει ένα άνω όριο εμπιστοσύνης στην απόκριση του προσομοιωμένου συστήματος. Τέλος τα μοντέλα τις περισσότερες φορές είναι ανάγκη να προσομοιώσουν την τυχαιότητα του φυσικού συστήματος (εμφάνιση στοχαστικών γεγονότων) (Μπαριάμης 2013, Kiureghan 2009).

Για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ανάλυσης ευαισθησίας, ο μελετητής είναι απαραίτητο να λάβει υπόψη του μια σειρά από περιοριστικούς παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί καθορίζονται από το πρόβλημα και ορισμένοι είναι:

- Εκτίμηση του χρονικού και υπολογιστικού κόστους καθώς η ανάλυση ευαισθησίας βασίζεται σε επαναληπτική διαδικασία.
- Η ανεξαρτησία των παραμέτρων εισόδου δεν αντανακλά πάντα την πραγματικότητα, καθώς ορισμένες παράμετροι οι οποίοι θεωρούνται ανεξάρτητες, στην πραγματικότητα δεν είναι και υπάρχει αυτοσυσχέτιση.
- Η έλλειψη γραμμικότητας των αποτελεσμάτων δημιουργεί πρόβλημα καθώς τα αποτελέσματα δεν είναι δυνατόν να προσεγγιστούν με κάποια γραμμική μέθοδο.
- Αλληλεπίδραση των παραμέτρων του μοντέλου. Ενδέχεται η μεταβολή μιας ή και περισσότερων παραμέτρων εισόδου να επιφέρει μεγαλύτερη μεταβολή στο τελικό αποτέλεσμα από την μεταβολή την οποία θα προκαλούσε η κάθε παράμετρος ξεχωριστά.

3.5.2 Μέθοδοι ανάλυσης ευαισθησίας

Στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας – εκτέλεση της ανάλυσης ευαισθησίας. Οι περισσότερες από τις μεθόδους ακολουθούν την παρακάτω διάρθρωση (Μπαριάμης 2013):

- Ποσοτικοποίηση της ασάφειας σε κάθε παράμετρο εισόδου (π.χ. εύρος, κατανομές πιθανότητας).
- Προσδιορισμός της μεταβλητής εξόδου - αποτελέσματος το οποίο πρόκειται να αναλυθεί.

- Διαδοχικά τρεξίματα του μοντέλου χρησιμοποιώντας πειράματα σχεδιασμού τα οποία υπαγορεύονται από τη μέθοδο της επιλογής μας καθώς και την αβεβαιότητα των παραμέτρων εισόδου.
- Χρήση των αποτελεσμάτων του μοντέλου για τον υπολογισμό του βαθμού ευαισθησίας κάθε παραμέτρου.

3.5.3 Μέθοδος στην παρούσα εργασία

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την προσομοίωση του παντορροϊκού δικτύου της περιοχής των Αθηνών και πιο συγκεκριμένα της Ζώνης Δ. Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως δεν υφίστανται μετρήσεις απορροής σε συγκεκριμένες θέσεις του παντορροϊκού δικτύου, με αποτέλεσμα να καθίσταται αδύνατη η ρύθμιση και η βαθμονόμηση των παραμέτρων του μοντέλου.

Επιλέχθηκε και εφαρμόστηκε λοιπόν, η προσέγγιση της αβεβαιότητας μέσω διακύμανση μιας μεταβλητής εισόδου κάθε φορά, διατηρώντας όλες τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές. Η μέθοδος καλείται One at a time – OAT / One factor at a time – OFAT. Η συγκεκριμένη μέθοδος στοχεύει στην παρακολούθηση της επίδρασης η οποία ασκείται στο τελικό αποτέλεσμα, από τη μεταβολή μιας παραμέτρου, ενώ όλες οι υπόλοιπες παράμετροι εισόδου διατηρούνται σταθερές. Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνει:

- Τη μεταβολή μιας μεταβλητής εισόδου, εντός κάποιων ορίων ($\pm 20\%$).
- Ταυτόχρονα όλες οι άλλες μεταβλητές εισόδου διατηρούνται σταθερές στην αρχική τους τιμή.
- Τέλος επιστρέφεται η μεταβλητή αυτή στην αρχική της τιμή και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για την επόμενη μεταβλητή εισόδου.

Παρά την απλότητα τις μεθόδου, η συγκεκριμένη προσέγγιση δεν παρέχει τη δυνατότητα διερεύνησης πλήρως του πεδίου τιμών των μεταβλητών εισόδου. Αυτό συμβαίνει εφόσον δεν παρέχει τη δυνατότητα να ληφθούν υπόψη ταυτόχρονες μεταβολές των μεταβλητών. Κατά συνέπεια αυτό οδηγεί στη μείωση κατά ένα ορισμένο βαθμό της συγκρισιμότητας των αποτελεσμάτων. Οπότε μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό ότι η μέθοδος προσέγγισης OAT/OFAT δεν μπορεί να ανιχνεύσει την παρουσία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών εισόδου (Czitrom, 1999) .

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν:

- Η επίδραση της μεταβολής του συντελεστή Manning στο αδιαπέρατο και διαπερατό τμήμα κάθε λεκάνης

- Η επίδραση της παραμέτρου %Zero-Imperv
- Η επίδραση της αλλαγής του συντελεστή Manning στους αγωγούς του υπόγειου αποχετευτικού δικτύου.
- Η επίδραση της μεταβολής της κλίσης σε κάθε λεκάνη
- Η επίδραση της αλλαγής του πλάτους σε κάθε λεκάνη
- Η επίδραση της μεταβολής του απορροϊκού συντελεστή, CN.
- Η επίδραση της μεταβολής του συντελεστή αδιαπερατότητας (%Imperv) της κάθε υπολεκάνης.
- Η μεταβολή στην παράμετρο Routing time.

3.6 Επίλυση Δικτύου με την Ορθολογική Μέθοδο

Για την επίλυση του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου, Ζώνη Δ, με την Ορθολογική Μέθοδο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Excel. Όλοι οι υπολογισμοί οι οποίοι πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακα στο Παράρτημα Δ. Ο πίνακας ο οποίος δημιουργήθηκε, για την επίλυση του παντοροϊκού δικτύου για περίοδο επαναφοράς 5 ετών, περιείχε τις στήλες:

1. **ΤΜΗΜΑ:** Τον αγωγό του δικτύου για τον οποίο πραγματοποιείται η επίλυση.
2. **L (m):** Μήκος αγωγού με βάση τα στοιχεία τα οποία μας χορηγήθηκαν από την ΕΥ-ΔΑΠ Α.Ε. και εισήχθησαν στο λογισμικό SWMM.
3. **A (ha):** έκταση υπολεκάνης η οποία αποχετεύεται στον ανάντη κόμβο, με βάση τα στοιχεία που εισήχθησαν στο λογισμικό SWMM.
4. **C:** Συντελεστής απορροής υπολεκάνης απορροής η οποία αποχετεύεται στον ανάντη κόμβο του αγωγού.
5. **Αθροιστικός χρόνος ροής στους αγωγούς:** Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του αθροιστικού χρόνου συγκέντρωσης. Υπολογισμός του χρόνου σε ροής σε κάθε διαδρομή ως: $(T_{c_i} + L_i/V_i + \dots + L_n/V_n)$. T_{c_i} είναι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής ο οποίος υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση Manning κινηματικού κύματος (Τσιχριντζής 1999):

$$T_c = \frac{0.0913(NL)^{0.8}}{P_{2-yr}^{0.5} S^{0.4}}$$

όπου: L= Μήκος χερσαίας ροής νερού (m).

N = Συντελεστής τραχύτητας του Manning για αβαθή διάχυτη ροή (Πίνακας 2.8).

S = Κλίση του εδάφους κατά μήκος της διαδρομής του νερού (m/m).

P_{2-yr} = Ύψος βροχής διάρκειας 24 h και περιόδου επαναφοράς 2 ετών (mm).

- 6. T_c (min):** Ως χρόνος συγκέντρωσης επιλέγεται ο μεγαλύτερος χρόνος από τους χρόνους οι οποίοι υπολογίστηκαν προηγουμένως.
- 7. i (mm/h):** υπολογίζεται η ένταση της βροχής με βάση την όμβρια καμπύλη των Mimikou et al. (2000):

$$i = 15.39T^{0.276}d^{-0.725}$$

- 8. Q (L/s):** Υπολογισμός της παροχής αιχμής με την Ορθολογική Μέθοδο (Τσιχριντζής 1999):

$$Q = \frac{1}{360} CiA$$

Η παροχή η οποία υπολογίστηκε μετατρέπεται από m^3/s σε L/s.

- 9. S :** Η κλίση του αγωγού με βάση τα στοιχεία της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.
- 10. n :** Συντελεστής τραχύτητας κατά Manning ο οποίος εκλέχθηκε 0.013 για τους κυκλικούς αγωγούς και 0.014 για τους ωοειδείς.
- 11. $A * R^{2/3} / D^{8/3}$:** Από Πίνακες 2.9 και 2.10 η τιμή της εξίσωσης, για $y/D=0.7$ προκύπτει ίση με 0.2608 για κυκλικούς αγωγούς και 0.1335 για ωοειδείς αγωγούς.
- 12. D' :** Υπολογισμός αρχικής τιμής διαμέτρου. Από την εξίσωση Manning για κυκλικούς αγωγούς και για $y/D=0.7$ ισχύει:

$$\frac{Qn}{S^{1/2} D^{8/3}} = \frac{AR^{2/3}}{D^{8/3}} = 0.2608$$

Οπότε:

$$D = \left(\frac{Qn}{S^{1/2} 0.2608} \right)^{3/8}$$

Ενώ για ωοειδείς αγωγούς ισχύει:

$$D = \left(\frac{Qn}{S^{1/2} 0.1335} \right)^{3/8}$$

- 13. D :** Σύμφωνα με τη θεωρία της Ορθολογικής Μεθόδου, για την διαστασιολόγηση, ως διάμετρος/ύψος αγωγού εκλέγεται η πλησιέστερη εμπορική σε σχέση με αυτή η οποία

υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα. Στην περίπτωση μας όμως, εφόσον το δίκτυο είναι ήδη κατασκευασμένο και τα στοιχεία του γνωστά, δεν εκλέχθηκε κάποια διάμετρος, παρά μόνο χρησιμοποιήθηκε η διάμετρος/ύψος με βάση τα στοιχεία της ΕΥ-ΔΑΠ Α.Ε.

14. $(AR^{2/3}/D^{8/3})=(Qn/S^{1/2}D^{8/3})$: Υπολογισμός της τιμής του 1^{00} μέλους της εξίσωσης με βάση την τιμή της διαμέτρου/ύψους D .
15. R/D : Με γραμμική παρεμβολή στους Πίνακες 2.9 και 2.10 υπολογίζεται η τιμή του λόγου R/d , για κυκλικούς και ωοειδείς αγωγούς αντίστοιχα, με βάση την τιμή η οποία υπολογίστηκε στην προηγούμενη στήλη.
16. y/D : Υπολογισμός του λόγου πλήρωσης (y/D) με γραμμική παρεμβολή στους Πίνακες 2.9 και 2.10 με βάση την τιμή της στήλης 16.
17. V (m/sec): Με χρήση της εξίσωσης Manning υπολογίζεται η ταχύτητα, η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει τα $6 \text{ m}^3/\text{sec}$.
18. L/V : Υπολογισμός του χρόνου ροής στον αγωγό, σε λεπτά.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Αποτελέσματα Επίλυσης Δικτύου με την Ορθολογική Μέθοδο

Πριν την επίλυση του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου της Ζώνης Δ με το λογισμικό SWMM επιλύθηκε το δίκτυο με βάση τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74), δηλαδή με την Ορθολογική Μέθοδο. Κατά την επίλυση του δικτύου δεν πραγματοποιήθηκε διαστασιολόγηση των αποχετευτικών αγωγών αλλά η γεωμετρία των αγωγών θεωρήθηκε ίδια με αυτή των πινακίδων 1:1500 της ΕΥΔΑΠ Α.Ε. Δηλαδή επιλύθηκε το δίκτυο με τη σημερινή του μορφή. Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν, ενώ όλοι οι υπολογισμοί παρουσιάζονται υπό μορφή πίνακα στο Παράρτημα Ε. Για την επίλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Excel και η επίλυση του δικτύου πραγματοποιήθηκε για περίοδο επαναφοράς (T) 5 έτη.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τα οποία προέκυψαν με τη χρήση της Ορθολογικής Μεθόδου η παροχή αιχμής για τον αγωγό 127 (παντοροϊκός συλλεκτήρας Ζώνης Δ), ο οποίος συνδέει τα φρεάτια D-2 και ΚΑΑ-66_EKX_D, ανέρχεται σε 18258 L/sec και ο χρόνος συγκέντρωσης σε 12 min περίπου. Ο αγωγός αυτός σύμφωνα με την Ορθολογική Μέθοδο, ωσειδής αγωγός, θα έπρεπε να έχει ύψος 2 m περίπου για την παροχέτευση της παροχή αιχμής. Στην πράξη, έχει κατασκευαστεί ωσειδής αγωγός ύψους 2.4 m. Η κλίση του αγωγού πληρεί τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ 696/74), όπως και οι κλίσεις όλων των αγωγών της Ζώνης Δ του Παντοροϊκού Δικτύου.

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι αγωγοί του δικτύου, οι οποίοι σύμφωνα με τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την Ορθολογική Μέθοδο, είναι υπερδιαστασιολογημένοι. Έκτος από το φρεάτιο αρχής και το φρεάτιο πέρατος, παρουσιάζεται και το είδος του αγωγού, το ύψος ή η διάμετρος του αγωγού σύμφωνα με την μέθοδο επίλυσης καθώς και ο λόγος πλήρωσης. Αντίστοιχα στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι αγωγοί οι οποίοι είναι υποδιαστασιολογημένοι μαζί με τα φρεάτια αρχής και πέρατος, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τα οποία προκύπτουν από την Ορθολογική Μέθοδο, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τα οποία έχουν κατασκευαστεί και ο λόγος πλήρωσης (y/D).

Πίνακας 4.1: Υπερδιαστασιολογημένοι αγωγοί

Όνομασία αγωγού στο λογισμικό SWMM	ΦΡΕΑΤΙΟ ΑΡΧΗΣ	ΦΡΕΑΤΙΟ ΠΕΡΑΤΟΣ	ΣΧΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ/ΥΨΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ Ο.Μ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ/ΥΨΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ	y/D
				(m)	(m)	
1	F-3	D-12-54	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.36	0.50	0.41
2	D-13-2	D-13-1	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.54	0.90	0.30
3	D-13-1	D-13	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.68	0.90	0.42
4	D-15-1	D-15	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.49	0.90	0.26
5	D-15	D-14	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.43	0.90	0.22
6	D-14	D-13	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.77	1.20	0.33
7	D-13	D-12	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.82	1.35	0.31
8	D-12	D-10	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.03	1.35	0.43
9	D-9NEW	D-7NEW	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.29	1.5	0.52
10	D-7-6	D-7-3	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.64	0.9	0.38
11	D-7-3	D-7-2	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.61	1.05	0.29
12	6-7	6-6	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.25	0.60	0.20
13	6-6	6-5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.35	0.60	0.30
14	6-5	6-3	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.39	0.60	0.35
15	6-3	D-6NEW	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.45	0.60	0.43
16	D-5-1	D-5NEW	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.64	1.05	0.31
17	D-42	D-40	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.98	1.20	0.48
18	D-27	D-26	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.74	1.35	0.26
19	D-26	D-24A	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.64	1.35	0.21
20	D-24A	D-24	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.9	1.35	0.35
21	D-24	D-23	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.94	1.35	0.38
22	D-23	D-22	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.97	1.35	0.39
23	D-22	D-21	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.99	1.35	0.41
24	D-21-1	D-21	ΩΘΕΙΔΗΣ	0.83	1.05	0.45
25	D-21	D-20	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.16	1.50	0.44
26	D-2	ΚΑΑ- 66_EKX_D	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.86	2.40	0.44

Πίνακας 4.2: Υποδιαστασιοποιημένοι αγωγοί

Ονομασία αγωγού στο λογισμικό SWMM	ΦΡΕΑΤΙΟ ΑΡΧΗΣ	ΦΡΕΑΤΙΟ ΠΕΡΑΤΟΣ	ΣΧΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ/ΥΨΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ Ο.Μ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ/ΥΨΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ
				(m)	(m)
1	D-12-55	D-12-54	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.41	0.30
2	F-5	F-4	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.47	0.40
3	F-4	F-3	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.52	0.4
4	D-12-54	D-12-53	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.75	0.40
5	D-12-53C	D-12-53	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.45	0.30
6	D-12-53	D-12-52	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.8	0.50
7	D-12-52D	D-12-52	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.40	0.35
8	D-12-52	D-12-51	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	1.08	0.60
9	D-12-51	D-12	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.50	1.05
10	D-12-1B	D-12-1	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.80	0.6
11	D-12-1	D-12	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.41	1.05
12	D-10	D-9	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.50	1.35
13	D-7-2	D-7-1A	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.42	1.20
14	D-7-1A	D-7-1	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.41	1.20
15	D-7-1	D-7NEW	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.46	1.35
16	D-6NEW	D-5NEW	ΩΘΕΙΔΗΣ	2	1.65
17	D-5NEW	D-4NEW	ΩΘΕΙΔΗΣ	2.05	1.80
18	D-4NEW	D-3NEW	ΩΘΕΙΔΗΣ	2.05	1.80
19	D-3NEW	D-2	ΩΘΕΙΔΗΣ	2.16	1.80
20	D-45	D-44	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.13	1.05
21	D-44	D-43	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.27	1.05
22	D-43	D-42	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.31	1.05
23	D-39	D-38	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.64	1.50
24	D-38	D-37A	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.68	1.50
25	D-37A	D-37	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.68	1.50

Πίνακας 4.2 (συνέχεια): Υποδιαστασιολογημένοι αγωγοί

Ονομασία αγωγού στο λογισμικό SWMM	ΦΡΕΑΤΙΟ ΑΡΧΗΣ	ΦΡΕΑΤΙΟ ΠΕΡΑΤΟΣ	ΣΧΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ/ΥΨΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ Ο.Μ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ/ΥΨΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ
				(m)	(m)
26	D-37	D-36	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.69	1.65
27	D-36	D-35	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.73	1.65
28	D-35	D-34	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.94	1.80
29	D-34	D-20-1	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.95	1.80
30	D-20-1	D-20	ΩΘΕΙΔΗΣ	1.94	1.80
31	D-26-2	D-26-1	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.36	0.30
32	D-26-3	D-26-1	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.45	0.30
33	D-26-1	D-26	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.72	0.50
34	D-7	D-5	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.6	0.50
35	D-5	D-3	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.72	0.60
36	D-3	D-2PALIO	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.74	0.60
37	D-2PALIO	D-1	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.79	0.60
38	D-1	D-19	ΚΥΚΛΙΚΟΣ	0.86	0.60
39	D-19	D-2	ΩΘΕΙΔΗΣ	2.16	2.1

4.2 Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρων λογισμικού SWMM

Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν κατά την ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του λογισμικού SWMM. Στην περίπτωση του παντοροϊκού δικτύου της Αθήνας βέβαια δεν υφίστανται μετρήσεις των απορροών σε συγκεκριμένες θέσεις του δικτύου με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η βαθμονόμηση των παραμέτρων του μοντέλου και η επαλήθευσή τους. Για τον λόγο αυτό η ανάλυση ευαισθησίας συνίσταται στην μεταβολή των παραμέτρων, που χρησιμοποιήθηκαν κατά την προσομοίωση και στη συνέχεια στον έλεγχο των επιπτώσεων που προκαλεί η μεταβολή μιας παραμέτρου στα αποτελέσματα. Στην περίπτωση κατά την οποία μικρές διακυμάνσεις μιας παραμέτρου προκαλούν σημαντική μεταβολή στο τελικό αποτέλεσμα τότε το μοντέλο θεωρείται ευαίσθητο στην παράμετρο αυτή και απαιτείται σημαντική ακρίβεια κατά την εκτίμησή της. Αντίθετα στην πε-

ρίπτωση που η μεταβολή μιας παραμέτρου δεν επιφέρει σημαντική μεταβολή στο τελικό αποτέλεσμα, τότε το σύστημα δεν είναι ευαίσθητο στην παράμετρο αυτή και δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια κατά την εκτίμησή της. Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσας εργασία είναι η μέθοδος One at a Time και τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν είναι:

- i. Μεταβολή στο αδιαπέρατο τμήμα κατά +11% και -11% και προσομοίωση του δικτύου για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 2 έτη. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν μαζί με τη σύγκριση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του δικτύου, με τις αρχικές παραμέτρους, για βροχή διάρκειας 2 h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου %Zero – Imperv

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
	T=5_και_t=2h	(+5%)	(-5%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	17223	16778		1.28	-1.33
Χρόνος Αιχμής (min)	65	65	65		0.00	-2.86
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	1.10	1.08		0.92	-0.92
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ						
	T=5_και_t=2h	(+5%)	(-5%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	17005	16574		1.26	-1.31
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	1.75	1.74		0.00	-0.57
Μέγιστος Όγκος (m³)	191	191	190		0.26	-0.27

Από τον Πίνακα 4.3 διαπιστώνεται ότι η αύξηση κατά 5% επιφέρει αύξηση της μέγιστης παροχής κατά 1.3% ενώ για μείωση κατά 5% του αδιαπέρατου τμήματος της κάθε υπολεκάνης η μέγιστη παροχή μειώνεται κατά 1.3%. Αντίστοιχα το μέγιστο βάθος αυξάνεται κατά 1% περίπου ενώ μειώνεται 1% περίπου όταν το αδιαπέρατο τμήμα μειώνεται κατά 20%.

Αντίστοιχα παρατηρούμε ότι και είναι και τα ποσοστά στην ροή στον αγωγό που μεταφέρει το νερό στην έξοδο του συστήματος. Τέλος η επίδραση της παραμέτρου στο βάθος ροής και στο όγκο ροής είναι αρκετά μικρή. Επομένως κρίνεται ότι η συγκεκριμένη παράμετρος είναι σημαντική αλλά όχι καίρια καθώς δεν επιφέρει σημαντικές μεταβολές στο σύστημα.

- ii. Μεταβολή στο συντελεστή Manning του αδιαπέρατου τμήματος της υπολεκάνης κατά +20% και κατά -20% και προσομοίωση του δικτύου για βροχή διάρκειας 2 h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν μαζί με τη σύγκριση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του δικτύου, με τις αρχικές παραμέτρους, για βροχή διάρκειας 2 h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου N-Imperv

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
	T=5_και_t=2h	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	16512	15292		-2.90	2.07
Χρόνος Αιχμής (min)	65	66	66		1.54	1.54
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	1.08	1.10		-0.92	0.92
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ						
	T=5_και_t=2h	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	13725	15133		2.77	2.31
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	1.69	1.72		-0.57	0.00
Μέγιστος Όγκος (m³)	191	183	187		-0.59	0.48

Από τον Πίνακα 4.4 διαπιστώνεται ότι η αύξηση κατά 20% του συντελεστή Manning του αδιαπέρατου τμήματος επιφέρει μείωση της μέγιστης παροχής κατά 3% ενώ για μείωση κατά 20% η μέγιστη παροχή αυξάνεται κατά 2%. Αντίστοιχα το μέγιστο βάθος μειώνεται κατά 1% περίπου για αύξηση 20% της παραμέτρου ενώ αυξάνεται 1% περίπου όταν ο συντελεστής Manning του αδιαπέρατου τμήματος μειώνεται κατά 20%

Αντίστοιχα παρατηρούμε ότι και είναι και τα ποσοστά στην ροή στον αγωγό που μεταφέρει το νερό στην έξοδο του συστήματος. Τέλος η επίδραση της παραμέτρου στο βάθος ροής και στο όγκο ροής είναι αρκετά μικρή, σχεδόν αμελητέα και άρα το μέτρο ακρίβειας της εκτίμησής της δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικό, χωρίς αυτό να σημαίνει πως δεν απαιτείται προσοχή για την εκτίμησή της.

- iii. Μεταβολή στο συντελεστή Manning του διαπερατού τμήματος της υπολεκάνης κατά +20% και κατά -20% και προσομοίωση του δικτύου για βροχή διάρκειας 2 h και περιόδου επαναφοράς 5 έτη. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν μαζί με τη σύγκριση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του δικτύου, με τις αρχικές παραμέτρους, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου N-Perv

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
	T=5_και_t=2h	(+20%)	(-20%)		Διαφορα	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	16974	14636		-0.18	0.24
Χρόνος Αιχμής (min)	65	65	65		0.00	0.00
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	1.09	1.09		0.00	0.00
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ						
	T=5_και_t=2h	(+20%)	(-20%)		Διαφορα	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	16763	16833		-0.18	0.24
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	1.74	1.74		-0.57	0.00
Μέγιστος Όγκος (m³)	191	191	191		-0.04	0.05

Από τον Πίνακα 4.5 διαπιστώνεται ότι η αύξηση κατά 20% του συντελεστή Manning του διαπερατού τμήματος επιφέρει ανεπαίσθητη μείωση της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου, ενώ ο χρόνος αιχμής και το μέγιστο βάθος ροής, στην έξοδο του συστήματος παραμένουν αμετάβλητα.

Αντίστοιχα παρατηρούμε ότι και είναι και τα ποσοστά στην ροή στον αγωγό που μεταφέρει το νερό στην έξοδο του συστήματος. Παρατηρείται δηλαδή μια ελάχιστη μείωση στη ροή και στον όγκο του νερού για αύξηση του συντελεστή του διαπερατού τμήματος κατά 20% ενώ η αύξηση της ροής και του όγκου είναι και πάλι ελάχιστη κατά την μείωση της συγκεκριμένης παραμέτρου κατά 20%. Άρα η συγκεκριμένη παράμετρος δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό και η εκτίμηση της δεν είναι κρίσιμη για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

- iv. Μεταβολή στην παράμετρο επιφανειακής συγκράτησης του αδιαπέρατου τμήματος της υπολεκάνης κατά +20% και κατά -20% και προσομοίωση του δικτύου για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 2 έτη. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν μαζί με τη σύγκριση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του δικτύου, με τις αρχικές παραμέτρους, για βροχή διάρκειας 2 h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου Dstore-Imperv

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
	T=5_και_t=2h	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	17010	17010		0.03	0.03
Χρόνος Αιχμής (min)	65	65	65		0.00	0.00
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	1.09	1.09		0.00	0.00
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ						
	T=5_και_t=2h	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	16799	16799		0.03	0.03
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	1.75	1.75		0.00	0.00
Μέγιστος Όγκος (m³)	191	191	191		0.01	0.01

Από την ανάλυση ευαισθησίας για την παράμετρο επιφανειακής συγκράτησης στο αδιαπέρατο τμήμα της κάθε υπολεκάνης προκύπτει (Πίνακας 4.6) πως το σύστημα παραμένει επηρεάζεται ελάχιστα και στην ουσία παραμένει αμετάβλητο. Δηλαδή η μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου, δεν επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα, επομένως η εκτίμησή της δεν είναι απαραίτητο να είναι ιδιαίτερα ακριβής.

- v. Μεταβολή στην παράμετρο επιφανειακής συγκράτησης του διαπερατού τμήματος της υπολεκάνης κατά +20% και κατά -20% και προσομοίωση του δικτύου για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 2 έτη. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν μαζί με τη σύγκριση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του δικτύου, με τις αρχικές παραμέτρους, για βροχή διάρκειας 2 h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου Dstore-Perv

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
	T=5_και_t=2h	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	17010	17076		0.03	0.42
Χρόνος Αιχμής (min)	65	65	65		0.00	0.00
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	1.09	1.09		0.00	0.00
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ						
	T=5_και_t=2h	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	16735	16863		-0.35	0.42
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	1.74	1.75		0.57	0.00
Μέγιστος Όγκος (m³)	191	190	191		-0.07	0.08

Από τον Πίνακα 4.7 διαπιστώνεται πως και η συγκεκριμένη παράμετρος έχει παρόμοια επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα με την παράμετρο επιφανειακή συγκράτηση στο αδιαπέρατο τμήμα. Οι μεταβολές οι οποίες επιφέρει στα αποτελέσματα είναι σχετικά μικρές και επομένως η εκτίμησή της δεν απαιτεί μεγάλη ακρίβεια.

- vi. Μεταβολή στο ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση της κάθε υπολεκάνης. Η αρχική τιμή της παραμέτρου ήταν 100, ενώ η ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιήθηκε για τιμές 0, 20 και 50. Η βροχόπτωση η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν διάρκειας 2 h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.8.

Πίνακας 4.8: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου %Zero-Imperv

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ							
	T=5_και_t=2h	0	20	50	Διαφορά (%)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1-2)	(1-3)	(1-4)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	16946	16961	16975	-0.34	-0.26	-0.17
Χρόνος Αιχμής (min)	65	65	65	65	0.00	0.00	0.00
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	1.09	1.09	1.09	0.00	0.00	0.00
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ							
	T=5_και_t=2h	0	20	50	Διαφορά (%)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1-2)	(1-3)	(1-4)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	16736	16750	16746	-0.34	-0.25	-0.17
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	1.74	1.74	1.74	-0.57	-0.57	-0.57
Μέγιστος Όγκος (m³)	191	191	191	191	-0.07	-0.05	-0.04

Όπως παρατηρούμε από τον Πίνακα 4.8 η μεταβολή στο ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση της κάθε υπολεκάνης δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης.

Πιο συγκεκριμένα η μεταβολή, μείωση 100%, της μειώνει περίπου 0.3% την μέγιστη παροχή στην έξοδο του συστήματος καθώς και την ροή στον παντοροϊκό συλλεκτήρα. Επιπλέον ο χρόνος αιχμής παραμένει αμετάβλητος. Τέλος η μείωση κατά 50% της παραμέτρου επιφέρει μείωση κατά 0.2% της παροχής αιχμής στην έξοδο και της ροής στον αγωγό εκβολής, ενώ το βάθος ροής και ο μέγιστος όγκος νερού στο αγωγό μειώνονται κατά 0.04% περίπου.

- vii. Μεταβολή στο συντελεστή CN της μεθόδου SCS. Η αρχική τιμή της παραμέτρου κυμαίνονταν από 55 έως 94 ανάλογα την υπολεκάνη. Η ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιήθηκε για αύξηση 5% και μείωση 5%. Η βροχόπτωση η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν διάρκειας 2 h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.9: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου CN μεθόδου SCS

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
	94	(+5%)	(-5%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	17333	16832		1.93	-1.01
Χρόνος Αιχμής (min)	65	65	65		1.54	0.00
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	1.10	1.09		0.92	0.00
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ						
	94	(+5%)	(-5%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	17147	16626		2.64	-0.13
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	1.75	1.74		0.00	-0.57
Μέγιστος Όγκος (m ³)	191	191	190		0.44	-0.21

Από τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν διαπιστώνεται πως η μεταβολή της παραμέτρου CN της μεθόδου SCS, δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στα αποτελέσματα της προσομοίωσης και επομένως δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια κατά την εκτίμηση της συγκεκριμένης παραμέτρου.

Πιο συγκεκριμένα η αύξησή της κατά 5% επιφέρει αύξηση της τάξης του 2% στην παροχή αιχμής στην έξοδο καθώς και στη μέγιστη ροή στον αγωγό

- viii. Μεταβολή στην παράμετρο Routing time. Η αρχική τιμή της παραμέτρου ήταν 1 s. Για την εκτέλεση της ανάλυσης ευαισθησίας πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για 0.01s (-99%), 10s (+900%) και 30 s (+2900%) με βροχόπτωση σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκεια 2 h. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.10 και αναλύονται στη συνέχεια.

Πίνακας 4.10: Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρου Routing time

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ							
	1 s	0.01 s	10 s	30 s	Διαφορά (%)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1-2)	(1-3)	(1-4)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	18478	17235	18235	8.67	1.36	7.24
Χρόνος Αιχμής (min)	65	65	65	66	0.00	0.00	1.54
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	2.19	1.10	1.13	100.92	0.92	3.67
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ							
	1 s	0.01 s	10 s	30 s	Διαφορά (%)		
	1	2	3	4	(1-2)	(1-3)	(1-4)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	18268	17020	18036	8.78	1.35	7.40
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	2.30	1.75	1.76	31.43	0.00	-0.57
Μέγιστος Όγκος (m³)	191	268	192	193	40.51	0.28	1.31

Παρατηρούμε πως η αύξηση της συγκεκριμένης παραμέτρου, μέχρι 10 s, δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τα αποτελέσματα. Βέβαια στην περίπτωση που η παράμετρος τεθεί ίση με 30 s αντί για 1 s, δηλαδή μεταβολή 2900% το μοντέλο παρουσιάζει μια αύξηση της μέγιστης παροχής και της μέγιστης ροής της τάξης του 7% περίπου η οποία κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική. Αντίθετα στην περίπτωση, που η συγκεκριμένη παράμετρος τεθεί ίση με 0.01 s, η μέγιστη παροχή στην έξοδο και η μέγιστη ροή στον παντοροϊκό συλλεκτήρα του συστήματος αυξάνονται κατά 9% περίπου, ενώ το μέγιστο βάθος ροής στην έξοδο αυξάνεται 101%. Επίσης το μέγιστο βάθος ροής, στον παντοροϊκό συλλεκτήρα αυξάνεται 32% και ο όγκος 40%. Επομένως, η συγκεκριμένη παράμετρος κρίνεται κρίσιμη για την προσομοίωση, καθώς λάθος εκτίμησή της ενδέχεται να οδηγήσει σε λανθασμένα και παραπλανητικά ενδεχομένως αποτελέσματα.

- ix. Μεταβολή του συντελεστή Manning των αγωγών του συστήματος. Η αρχική τιμή της παραμέτρου ήταν 0.013 για κυκλικούς αγωγούς, 0.014 για ωοειδείς αγωγούς και 0.011 για τους επιφανειακούς αγωγούς (δρόμοι-δυναδικό σύστημα). Για την εκτέλεση της ανάλυσης ευαισθησίας πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για αύξηση όλων των συντελεστών κατά 20% και στη συνέχεια με μείωση αυτών κατά 20%. Η βροχόπτωση σχεδιασμού η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας 2 h. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.11.

Πίνακας 4.11: Μεταβολή συντελεστή Manning υπόγειων και επιφανειακών αγωγών του συστήματος

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
	Αρχική Τιμή Manning	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	16129	17633		-5.15	3.70
Χρόνος Αιχμής (min)	65	65	65		0.00	0.00
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	1.17	0.99		7.34	-9.18
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ						
	Αρχική Τιμή Manning	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	15938	17424		-5.09	3.75
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	1.78	1.70		1.71	-2.86
Μέγιστος Όγκος (m3)	191	196	184		2.95	-3.63

Παρατηρούμε πως αύξηση της παραμέτρου κατά 20% επιφέρει αύξηση της μέγιστης παροχής και της μέγιστης ροής κατά 5% περίπου, του μέγιστου βάθους ροής στην έξοδο κατά 7% και του μέγιστου όγκου ροής κατά 3% περίπου. Αντίστοιχα η μείωση του συντελεστή Manning των αγωγών, επιφανειακών και υπόγειων, κατά 20% επιφέρει αύξηση της μέγιστης παροχής και της μέγιστης ροής κατά 4%, ενώ το μέγιστο βάθος ροής μειώνεται κατά 10% περίπου.

Όπως διαπιστώνεται λοιπόν από τα αποτελέσματα η συγκεκριμένη παράμετρος είναι ιδιαίτερα κρίσιμη και η εκτίμησή της κατά την μοντελοποίηση είναι απαραίτητο να είναι ακριβής.

- χ. Μεταβολή της παραμέτρου πλάτους της κάθε υπολεκάνης του υποσυστήματος. Για την εκτέλεση της ανάλυσης ευαισθησίας πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για αύξηση του πλάτους της κάθε υπολεκάνης κατά 20% και στη συνέχεια με μείωση αυτών κατά 20%. Η βροχόπτωση σχεδιασμού η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας 2 h. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.12.

Πίνακας 4.12: Ανάλυση ευαισθησίας της παραμέτρου πλάτος (width) της κάθε υπολεκάνης

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
	Αρχική τιμή πλάτους	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	17099	15692		0.56	-6.13
Χρόνος Αιχμής (min)	65	65	66		0.00	1.54
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	1.09	1.06		0.00	-2.75
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ						
	Αρχική τιμή πλάτους	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	16883	15780		0.54	-6.03
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	1.75	1.73		0.00	-1.14
Μέγιστος Όγκος (m³)	191	191	188		0.11	-1.29

Η μεταβολή του πλάτους της κάθε υπολεκάνης επηρεάζει τα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα αύξηση του πλάτους κατά 20% αυξάνει 0.5% περίπου την παροχή αιχμής και την μέγιστη ροή. Αντίστοιχα μείωση του πλάτους κατά 20% αυξάνει την μέγιστη ροή και την μέγιστη παροχή κατά 6% περίπου. Βέβαια από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.12 διαπιστώνεται πως σε καμία περίπτωση δεν επηρεάζεται ο χρόνος αιχμής και η μεταβολή στο βάθος είναι ανεπαίσθητη. Βέβαια εφόσον η παροχή αιχμής και η μέγιστη ροή στους αγωγούς του δικτύου είναι ιδιαίτερα κρίσιμες για την λειτουργία ενός αποχετευτικού δικτύου η συγκεκριμένη παράμετρος κρίνεται ιδιαίτερα κρίσιμη και συνεπώς η εκτίμησή της πρέπει να είναι ακριβής.

- xi. Μεταβολή της παραμέτρου κλίση της κάθε υπολεκάνης του υποσυστήματος. Για την εκτέλεση της ανάλυσης ευαισθησίας πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για αύξηση της κλίσης της κάθε υπολεκάνης κατά 20% και στη συνέχεια με μείωση αυτών κατά 20%. Η βροχόπτωση σχεδιασμού η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν περιόδου επαναφοράς 5 ετών και διάρκειας 2 h. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.13.

Πίνακας 4.13: Ανάλυση ευαισθησίας της παραμέτρου κλίση (slope) της κάθε υπολεκάνης

ΣΗΜΕΙΟ ΕΞΟΔΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ						
	Αρχική τιμή κλίσης	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Παροχή (L/s)	17004	17218	16704		1.26	-1.77
Χρόνος Αιχμής (min)	65	65	65		0.00	0.00
Μέγιστο Βάθος Ροής (m)	1.09	1.10	1.08		0.92	-0.92
ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ						
	Αρχική τιμή κλίσης	(+20%)	(-20%)		Διαφορά (%)	
	(1)	(2)	(3)		(1-2)	(1-3)
Μέγιστη Ροή (L/s)	16793	17004	16496		1.26	-1.77
Μέγιστο Βάθος ροής (m)	1.75	1.75	1.74		0.00	-0.57
Μέγιστος Όγκος (m³)	191	191	189		0.26	-0.37

Παρατηρούμε πως αύξηση της παραμέτρου κατά 20% επιφέρει αύξηση της μέγιστης παροχής και της μέγιστης ροής κατά 2% περίπου, το μέγιστο βάθος ροής στον αγωγό δεν μεταβάλλεται και ο μέγιστος όγκος ροής αυξάνεται κατά 0.3% περίπου. Αντίστοιχα η μείωση της κλίσης της κάθε υπολεκάνης κατά 20% επιφέρει μείωση της μέγιστης παροχής και της μέγιστης ροής κατά 12%, ενώ το μέγιστο βάθος ροής μειώνεται κατά 1% περίπου.

Όπως διαπιστώνεται λοιπόν από τα αποτελέσματα η συγκεκριμένη παράμετρος, είναι λιγότερο ευαίσθητη από την παράμετρο του πλάτους αλλά θεωρείται και αυτή κρίσιμη για το τελικό αποτέλεσμα και η εκτίμησή της πρέπει να είναι ακριβής.

4.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης Παντοροϊκού Δικτύου με το Λογισμικό SWMM

4.3.1 Βροχή διάρκειας 1 h

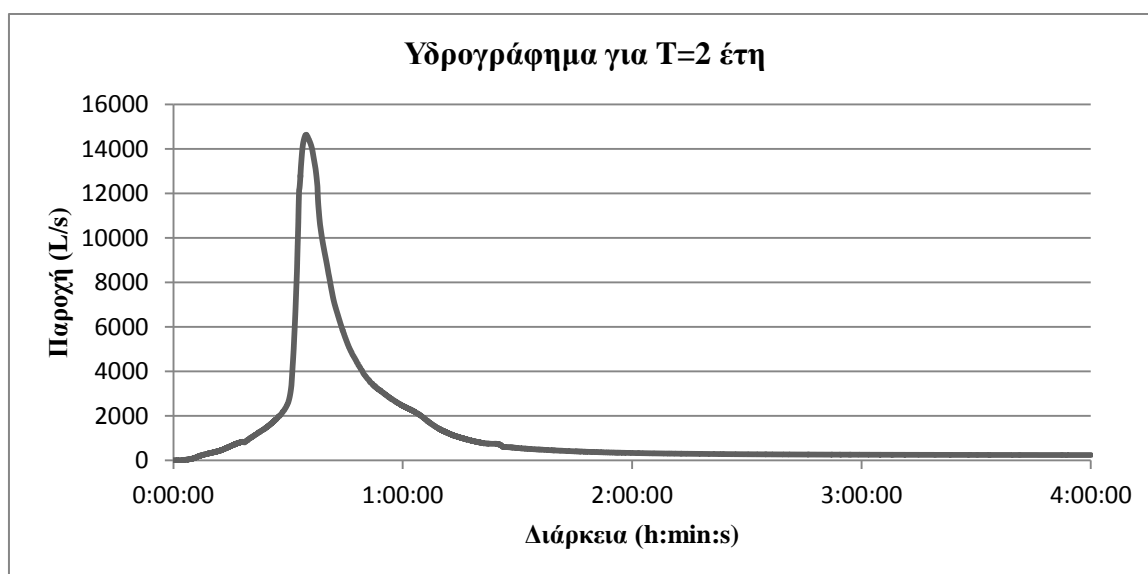
Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1 h και για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50 και 100 έτη.

4.3.1.1 Περίοδος επαναφοράς $T=2$ έτη

Η προσομοίωση του παντοροϊκού δικτύου με το λογισμικό SWMM για βροχή σχεδιασμού 1 h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη έδωσε τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.14. Το αποχετευτικό δίκτυο είναι επαρκές και αποχετεύει πλήρως την απορροή η οποία προκαλείται από την συγκεκριμένη βροχόπτωση χωρίς κανένας κόμβος του δικτύου να πλημμυρίζει. Αντίστοιχα, στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

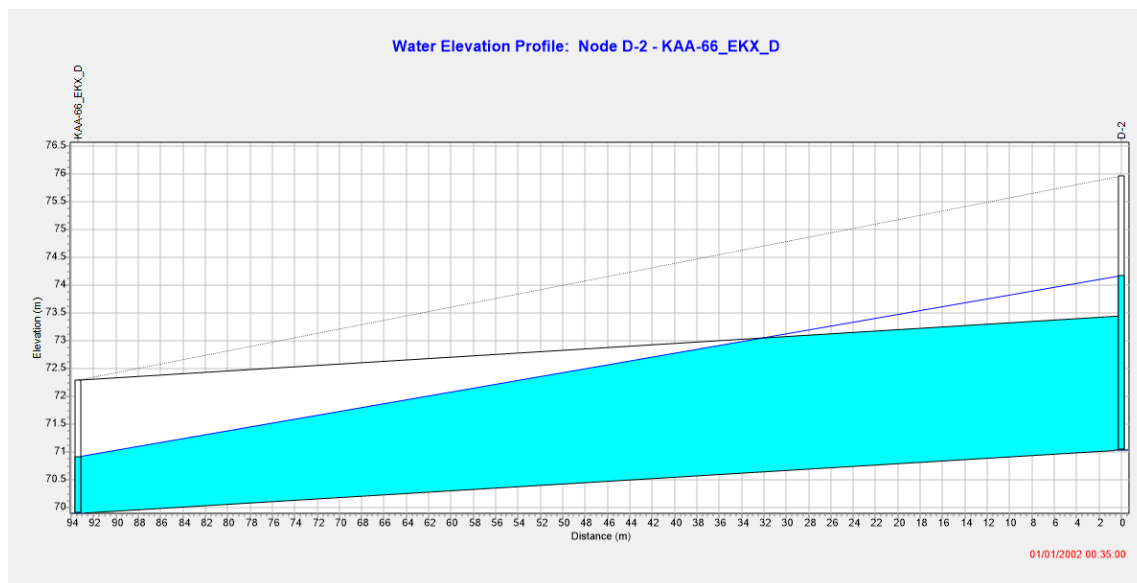
Πίνακας 4.14: Αποτελέσματα προσομοίωσης για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=2$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	18.6
Διήθηση (mm)	1.8
Παροχή αιχμής (L/s)	14630
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	0:34:43



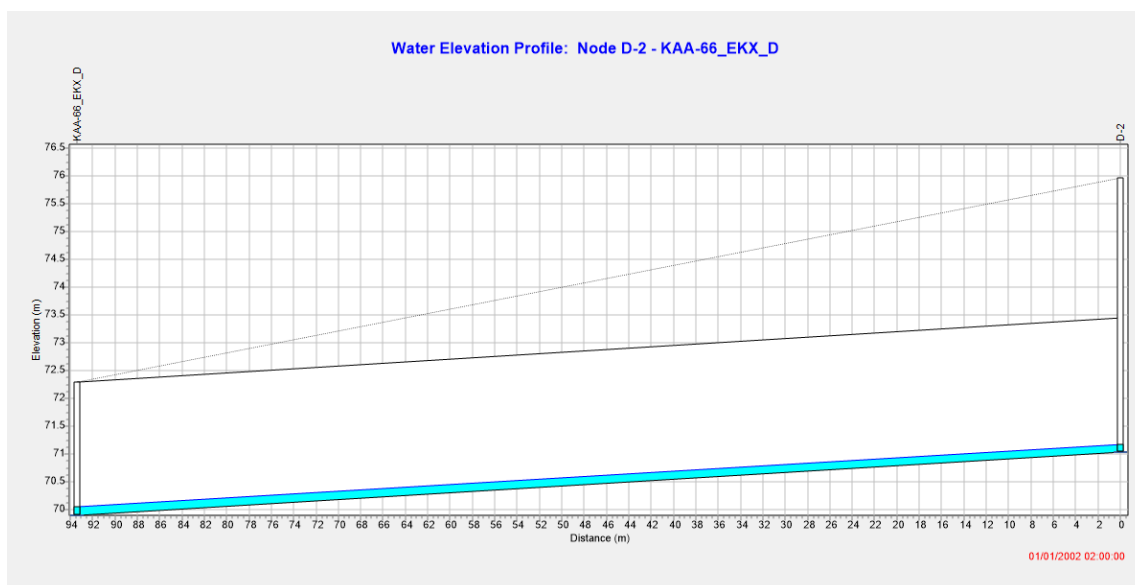
Εικόνα 4.1: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=2$ ετών

Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται το προφίλ του αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής. Παρατηρείται λοιπόν πως η ροή στον παντοροϊκό συλλεκτήρα δεν πραγματοποιείται με ελεύθερη επιφάνεια αλλά υπό πίεση, χωρίς βέβαια το ανάντη φρεάτιο να πλημμυρίζει.



Εικόνα 4.2: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στον αγωγό

Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζεται το προφίλ του ίδιου αγωγού στην αρχή της δεύτερης ώρας, που η βροχόπτωση έχει σταματήσει και έχει αποχετευτεί στο σύνολο της. Η παροχή η οποία παρουσιάζεται στον αγωγό είναι η παροχή των ακαθάρτων υδάτων (233 L/s).



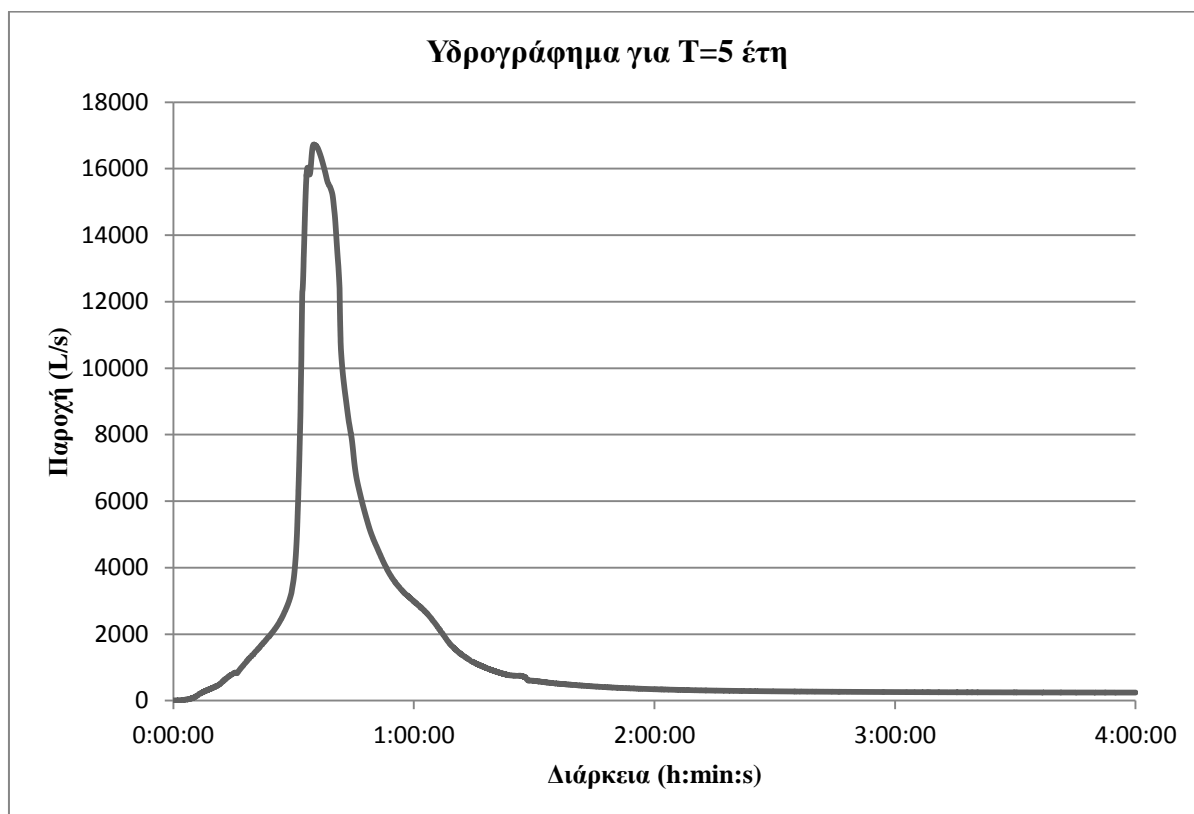
Εικόνα 4.3: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή 2:00:00

4.3.1.2 Περίοδος επαναφοράς $T=5$ έτη

Στον Πίνακα 4.15 παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 5 έτη. Το δίκτυο και σε αυτήν την περίπτωση είναι επαρκές και παροχετεύει το σύνολο της απορροής χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα πλημμυρισμού των κόμβων. Στην Εικόνα 4.4 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

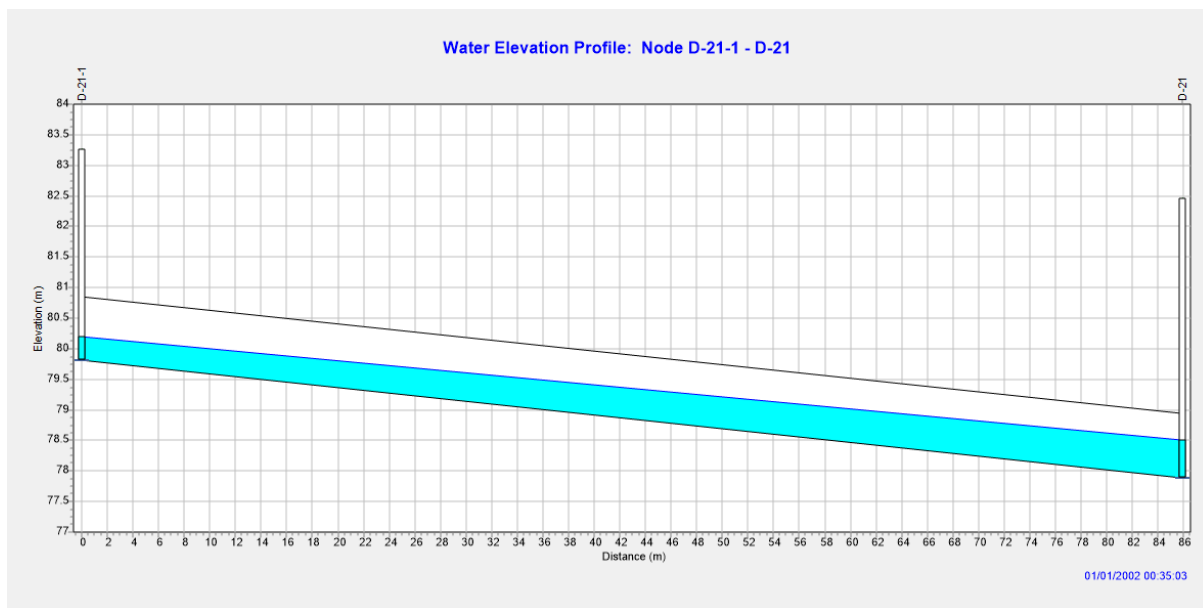
Πίνακας 4.15: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=5$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	23.9
Διήθηση (mm)	2.1
Παροχή αιχμής (L/s)	16726
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	0:35:03



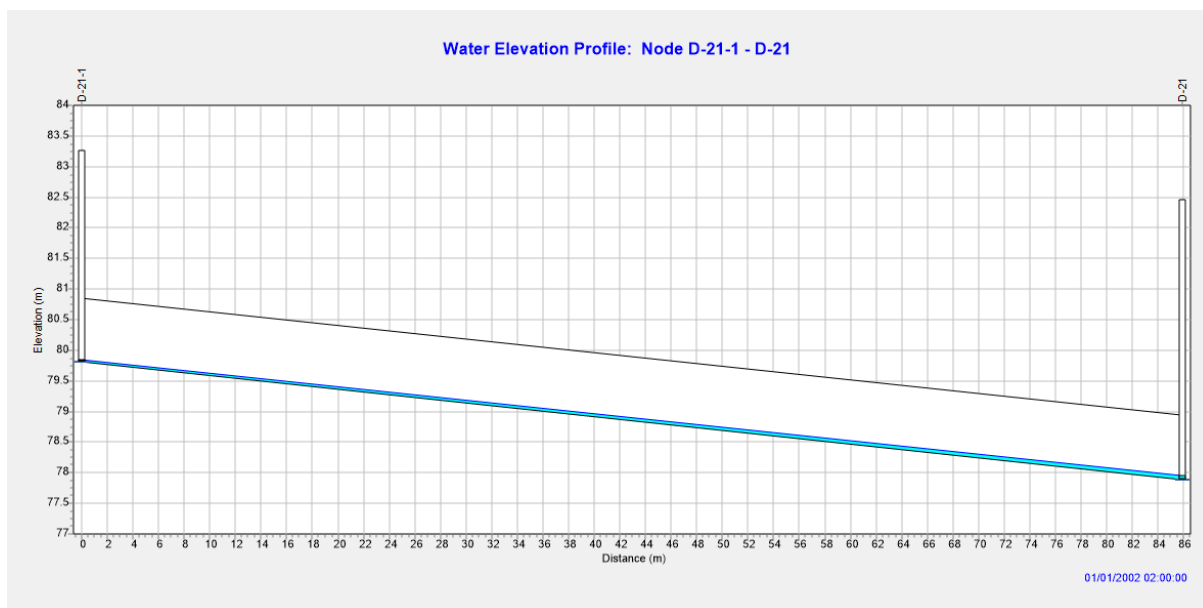
Εικόνα 4.4: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=5$ ετών

Στην Εικόνα 4.5 παρουσιάζεται το προφίλ αγωγού κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου. Όπως παρατηρούμε ο αγωγός δεν έχει πληρωθεί και το ανάντη φρεάτιο δεν πλημμυρίζει. Το δίκτυο είναι ικανό να αποχετεύσει πλήρως την απορροή, η οποία προκαλείται από βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 5 ετών.



Εικόνα 4.5: Προφίλ αγωγού κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.6 παρουσιάζεται το προφίλ του ίδιου αγωγού στην αρχή της δεύτερης ώρας, που η βροχόπτωση έχει σταματήσει και έχει αποχετευτεί στο σύνολο της. Η παροχή η οποία παρουσιάζεται στον αγωγό είναι η παροχή των ακαθάρτων υδάτων (233 L/s).



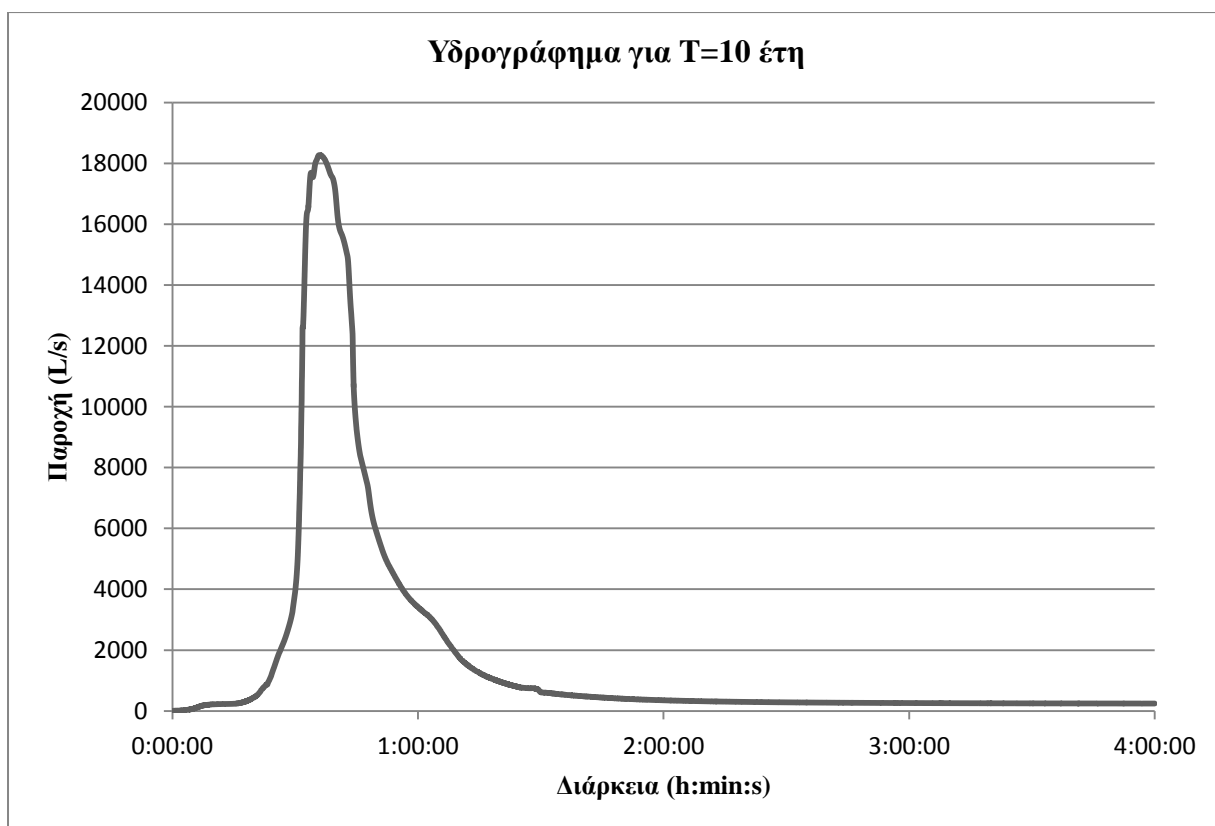
Εικόνα 4.6: Προφίλ αγωγού κατά την χρονική στιγμή 2:00:00

4.3.1.3 Περίοδος επαναφοράς $T=10$ έτη

Στον Πίνακα 4.16 παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 10 ετών. Το δίκτυο σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι επαρκές και δεν είναι ικανό να αποχετεύσει το σύνολο της απορροής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Στην Εικόνα 4.7 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

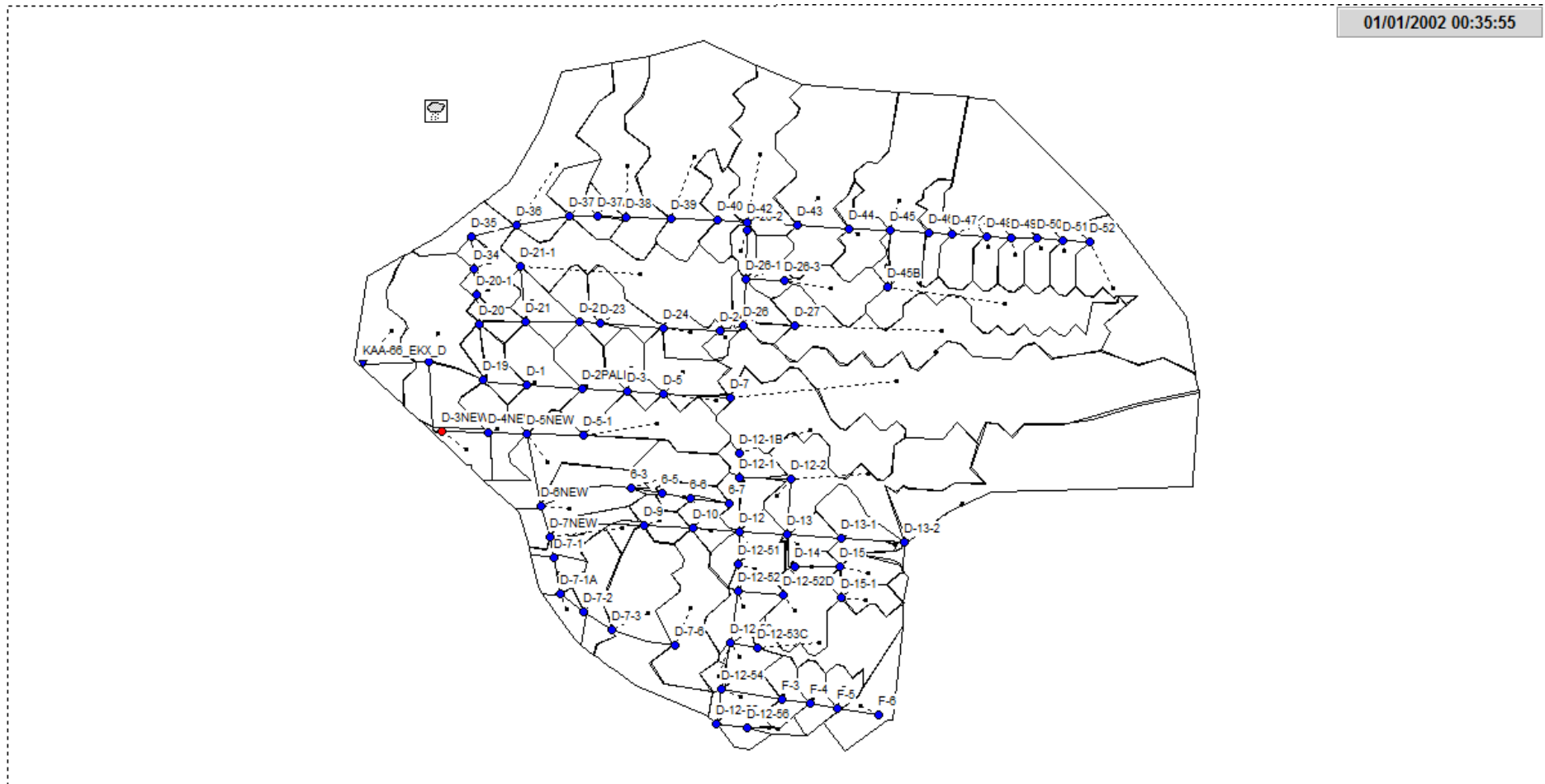
Πίνακας 4.16: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 10 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=10$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	29.0
Διήθηση (mm)	2.3
Παροχή αιχμής (L/s)	18271
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	0:35:55
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-3NEW



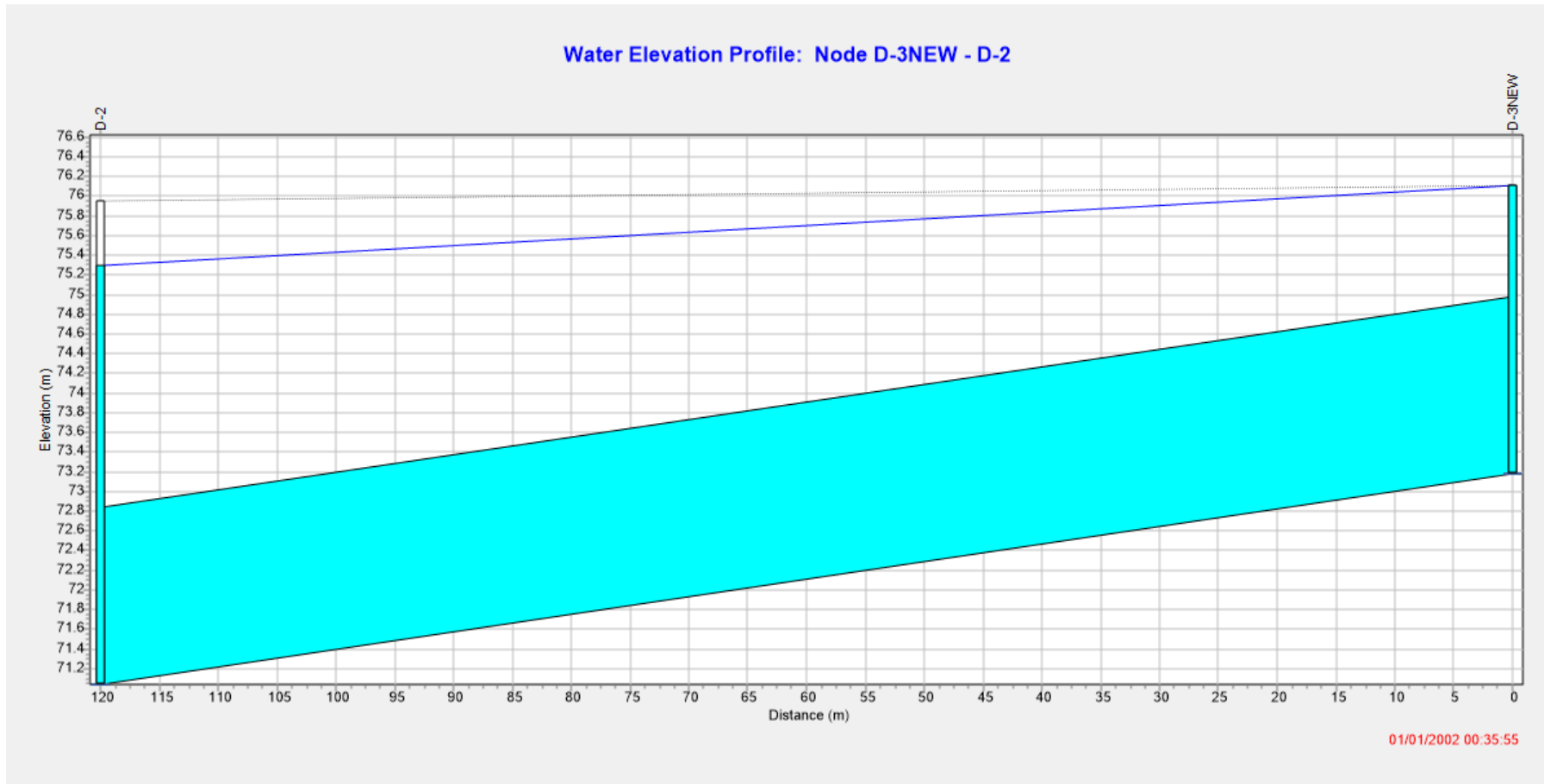
Εικόνα 4.7: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=10$ ετών

Στην Εικόνα 4.8 παρουσιάζεται το σύνολο του αποχετευτικού δικτύου της Ζώνης Δ, του παντοροϊκού δικτύου. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται, τα φρεάτια κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής (00:35:55). Παρατηρείται λοιπόν, πως μόνο το φρεάτιο D-3NEW πλημμυρίζει.



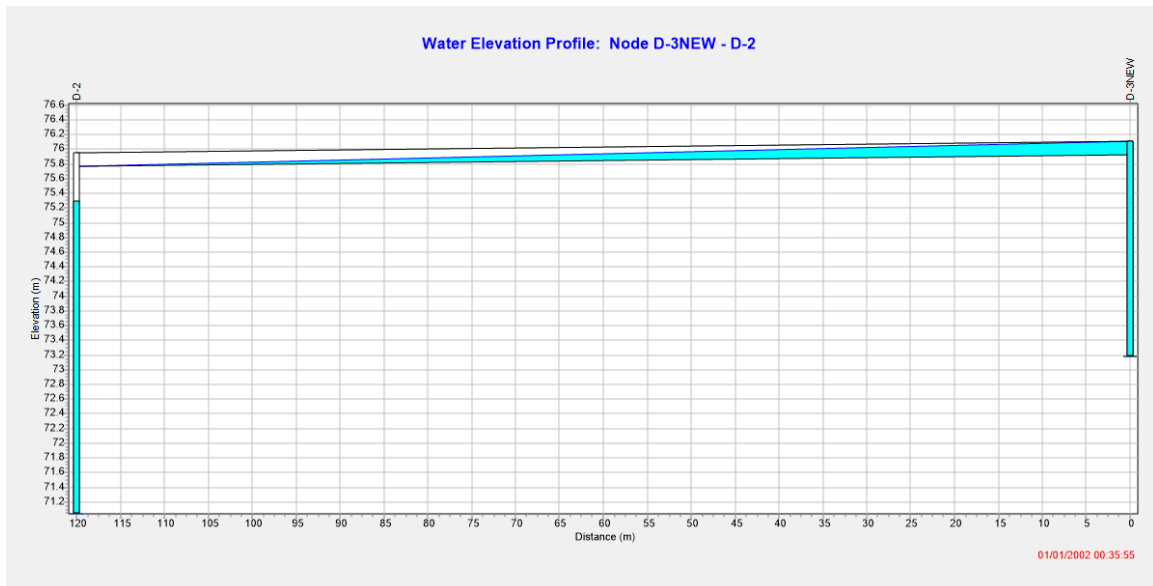
Εικόνα 4.8: Σύνολο φρεατίων δικτύου, κατά την χρονική στιγμή της αιχμής του υδρογραφήματος

Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.9 παρουσιάζεται το προφίλ του αγωγού, που συνδέει τα φρεάτια D-3NEW και D-2 κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου. Το ανάντη φρεάτιο του αγωγού είναι αυτό το οποίο πλημμυρίζει και όπως παρατηρούμε από την εικόνα πως ο αγωγός έχει πληρωθεί ($y/D=1$).



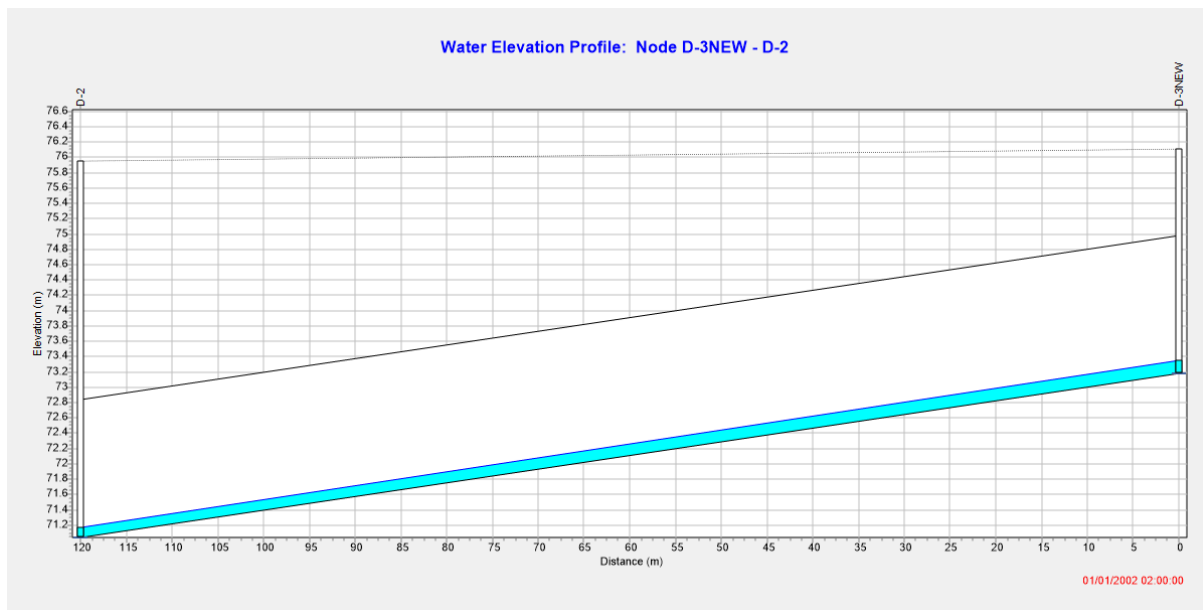
Εικόνα 4.9: Προφίλ αγωγού κατά την χρονική στιγμή την οποία το ανάντη φρεάτιο έχει πλημμυρίσει

Επιπλέον στην Εικόνα 4.10 παρουσιάζεται και το προφίλ του επιφανειακού αγωγού την ίδια χρονική στιγμή. Όπως παρατηρούμε το ανάντη φρεάτιο έχει πλημμυρίσει και παρουσιάζεται ροή στο δρόμο.



Εικόνα 4.10: Προφίλ επιφανειακού αγωγού κατά την χρονική στιγμή της αιχμής

Τέλος στην Εικόνα 4.11 παρουσιάζεται το προφίλ του ίδιου υπόγειου αγωγού, μετά το πέρας της βροχόπτωσης. Όπως παρατηρείται ο αγωγός μεταφέρει μόνο την παροχή ακαθάρτων υδάτων (233 L/s).



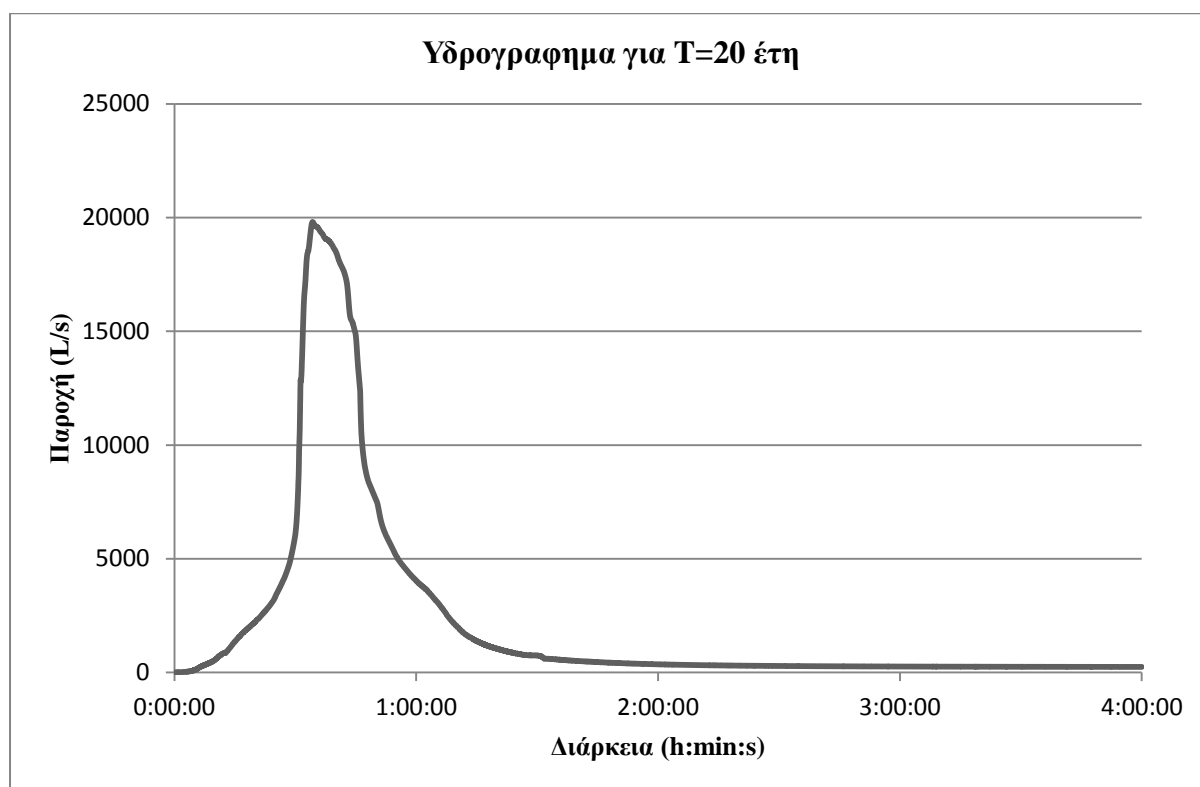
Εικόνα 4.11: Προφίλ υπονόμου μετά το πέρας του γεγονότος βροχόπτωσης

4.3.1.4 Περίοδος επαναφοράς $T=20$ έτη

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκείς με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Όπως είναι λογικό, περισσότεροι κόμβοι του δικτύου πλημμυρίζουν σε σχέση με τη βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 ετών. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.17, ενώ στην Εικόνα 4.12 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 20 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

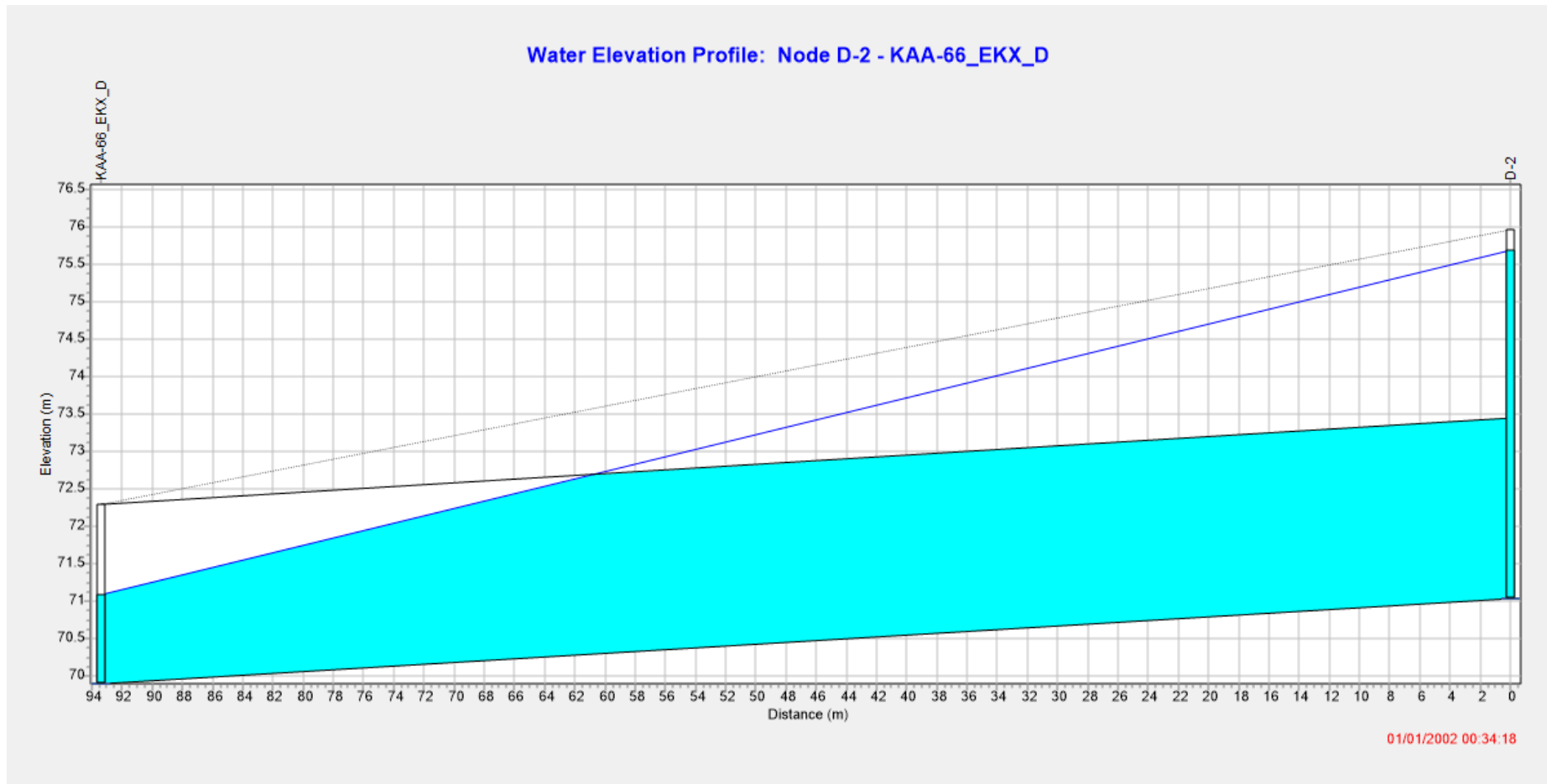
Πίνακας 4.17: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=20$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	35.2
Διήθηση (mm)	2.4
Παροχή αιχμής (L/s)	19807
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	0:34:18
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7NEW



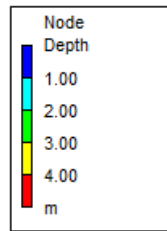
Εικόνα 4.12: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=20$ ετών

Στην Εικόνα 4.12 παρουσιάζεται το προφίλ του παντοροϊκού συλλεκτήρα της Ζώνης Δ, κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής..

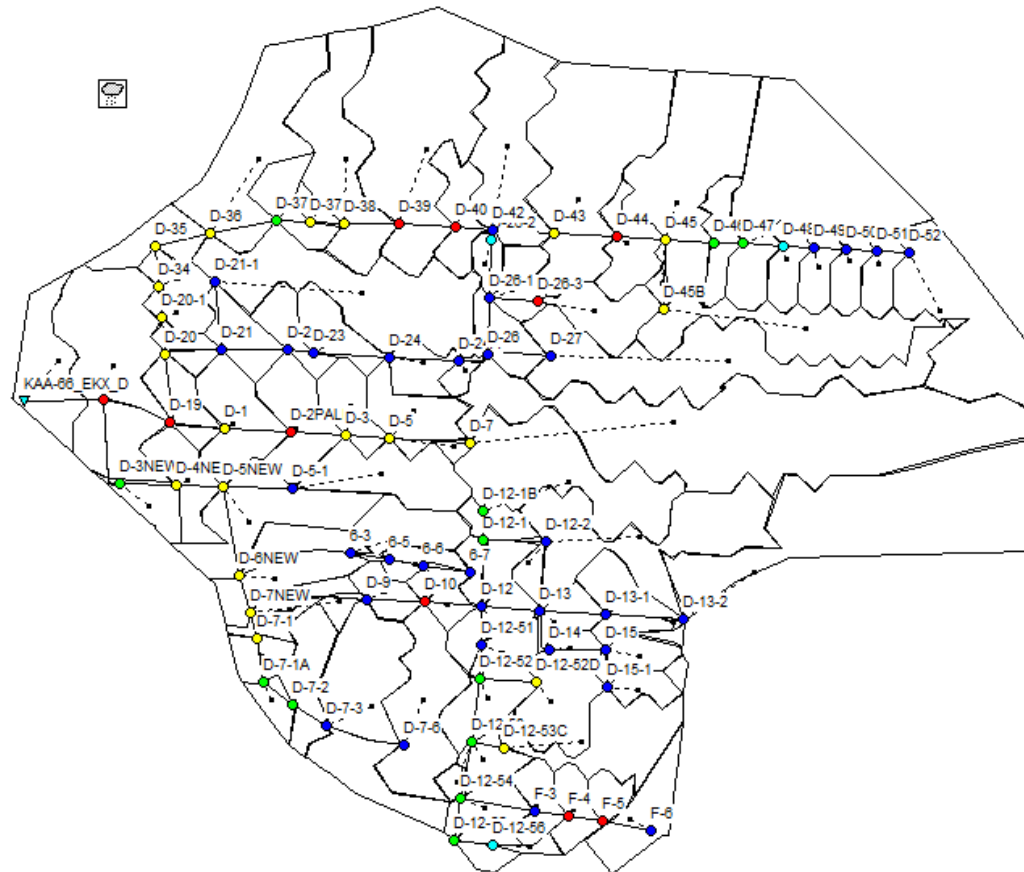


Εικόνα 4.13: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στον αγωγό

Επιπλέον στην Εικόνα 4.14 παρουσιάζεται το βάθος νερού στα φρεάτια κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.

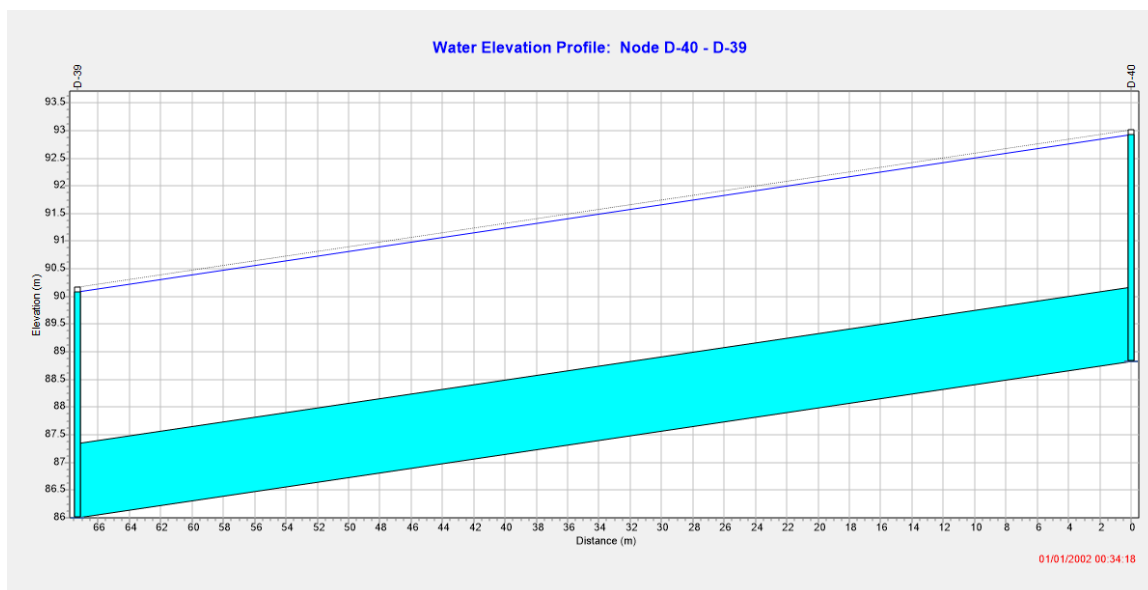


01/01/2002 00:34:18

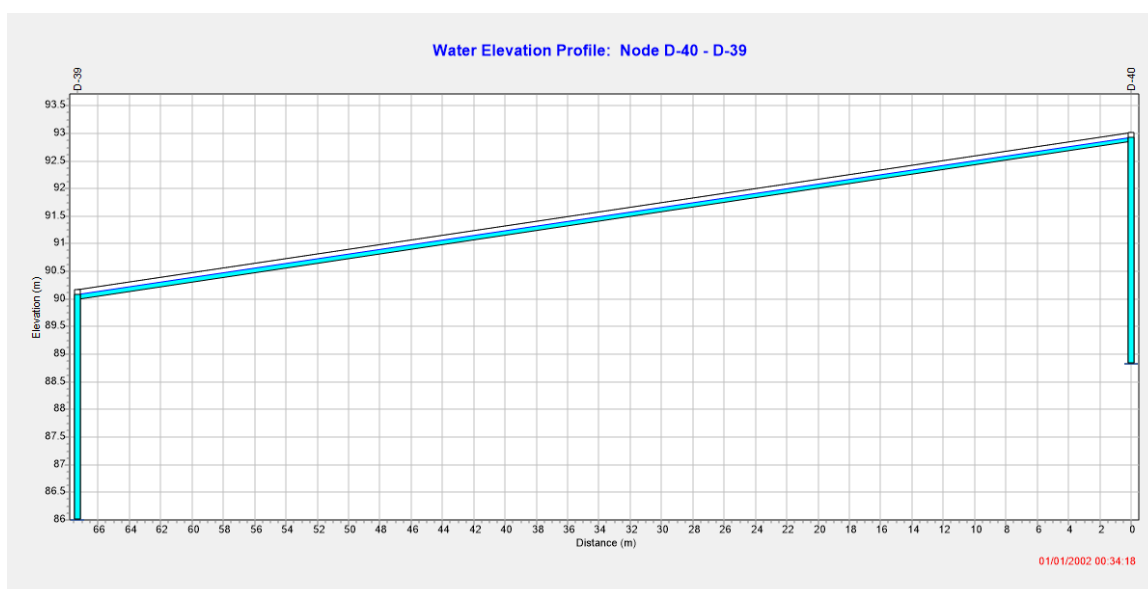


Εικόνα 4.14: Αναπαράσταση βάθος νερού στους κόμβους

Στην Εικόνα 4.15 παρουσιάζεται ο υπόγειος αγωγός, ο οποίος συνδέει τα φρεάτια D-39 και D-40, ενώ στην Εικόνα 4.16 παρουσιάζεται ο επιφανειακός αγωγός, ο οποίος συνδέει τα ίδια φρεάτια.



Εικόνα 4.15: Υπόγειος αγωγός (σύνδεσης φρεατίων D-39 – D-40) κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου



Εικόνα 4.16: Επιφανειακός αγωγός (σύνδεσης φρεατίων D-39 – D-40) κατά τη χρονική εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

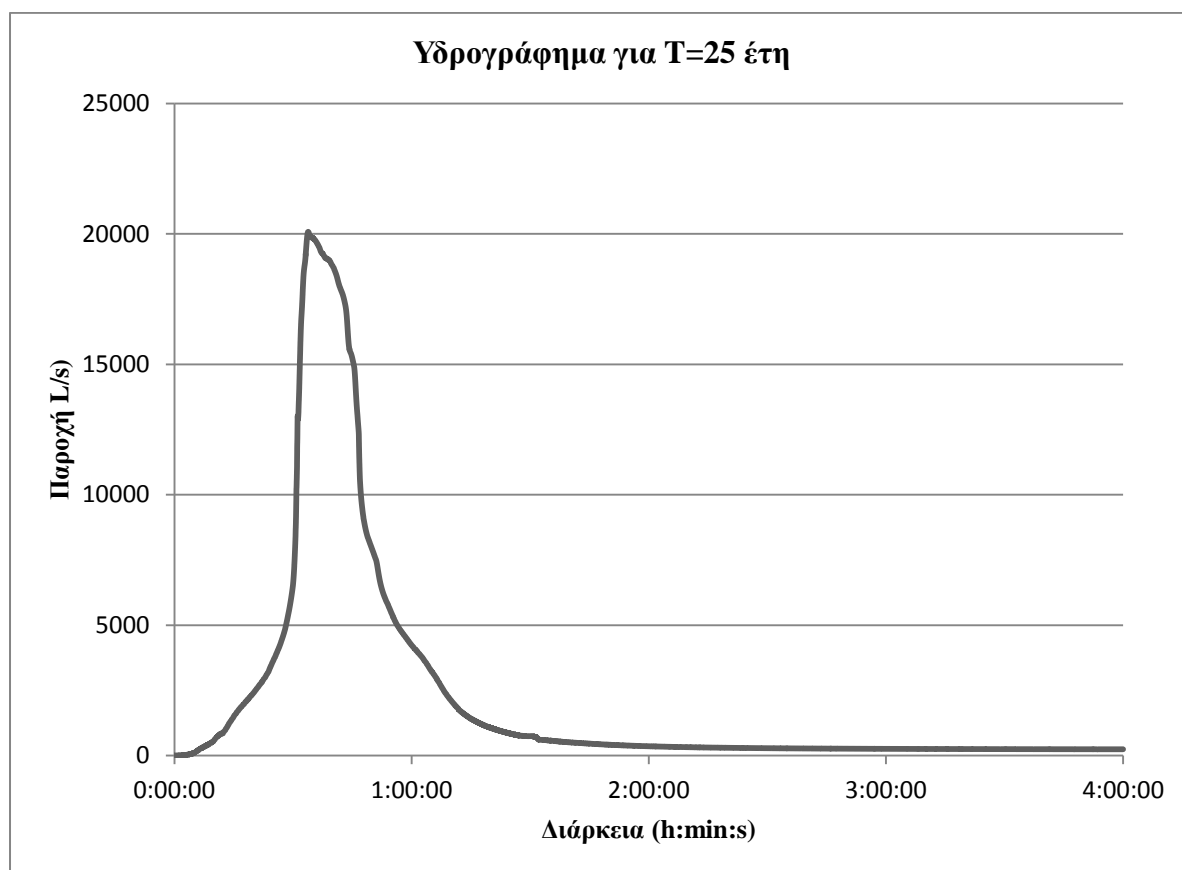
Παρατηρείται λοιπόν πως ο υπόνομος έχει πληρωθεί ($y/D=1$), με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αποχετευθεί και η ροή να πραγματοποιείται στο δρόμο (επιφανειακός αγωγός). Τα φρεάτια δεν φαίνεται να πλημμυρίζουν καθώς το λογισμικό τα αντιλαμβάνεται στο ύψος του κρασπέδου. Δηλαδή πλημμυρίζουν όταν υπερπληρωθεί και ο επιφανειακός αγωγός.

4.3.1.5 Περίοδος επαναφοράς $T=25$ έτη

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκείς με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.18, ενώ στην Εικόνα 4.17 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 25 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

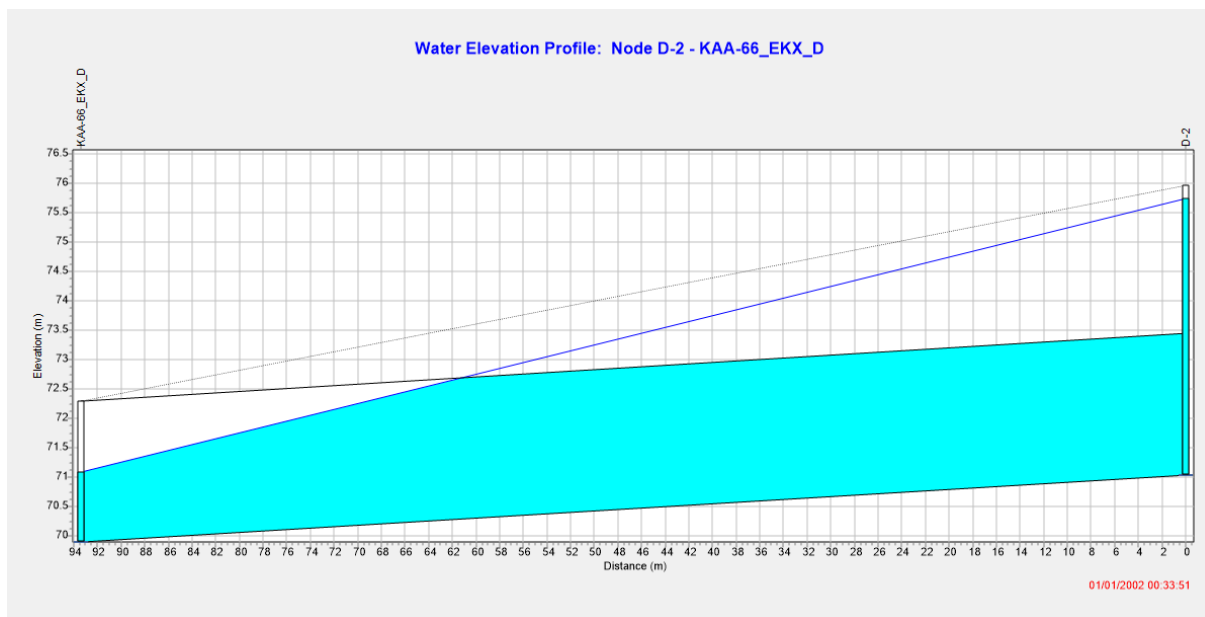
Πίνακας 4.18: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=25$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	37.4
Διήθηση (mm)	2.5
Παροχή αιχμής (L/s)	20078
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	0:33:51
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-38, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW



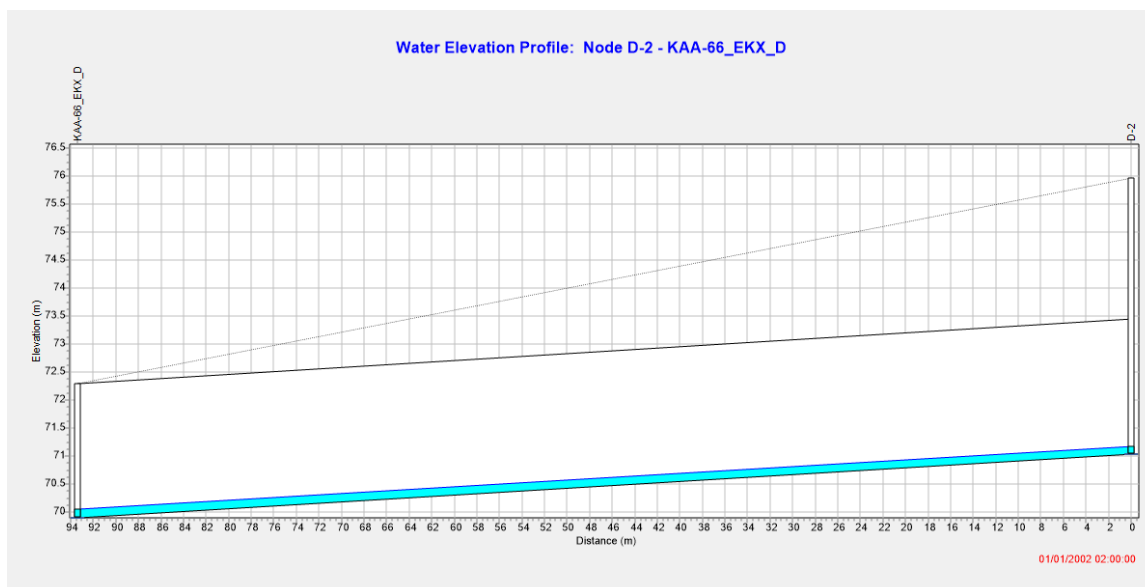
Εικόνα 4.17: Υδρογράφημα βροχόπτωσης σχεδιασμού $t=1h$ και $T=25$ ετών

Στην Εικόνα 4.18 παρουσιάζεται το προφίλ του παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.



Εικόνα 4.18: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στον αγωγό

Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.20 παρουσιάζεται το προφίλ του ίδιου αγωγού στην αρχή της δεύτερης ώρας, που η βροχόπτωση έχει σταματήσει και έχει αποχετευτεί στο σύνολο της. Η παροχή η οποία παρουσιάζεται στον αγωγό είναι η παροχή των ακαθάρτων υδάτων.



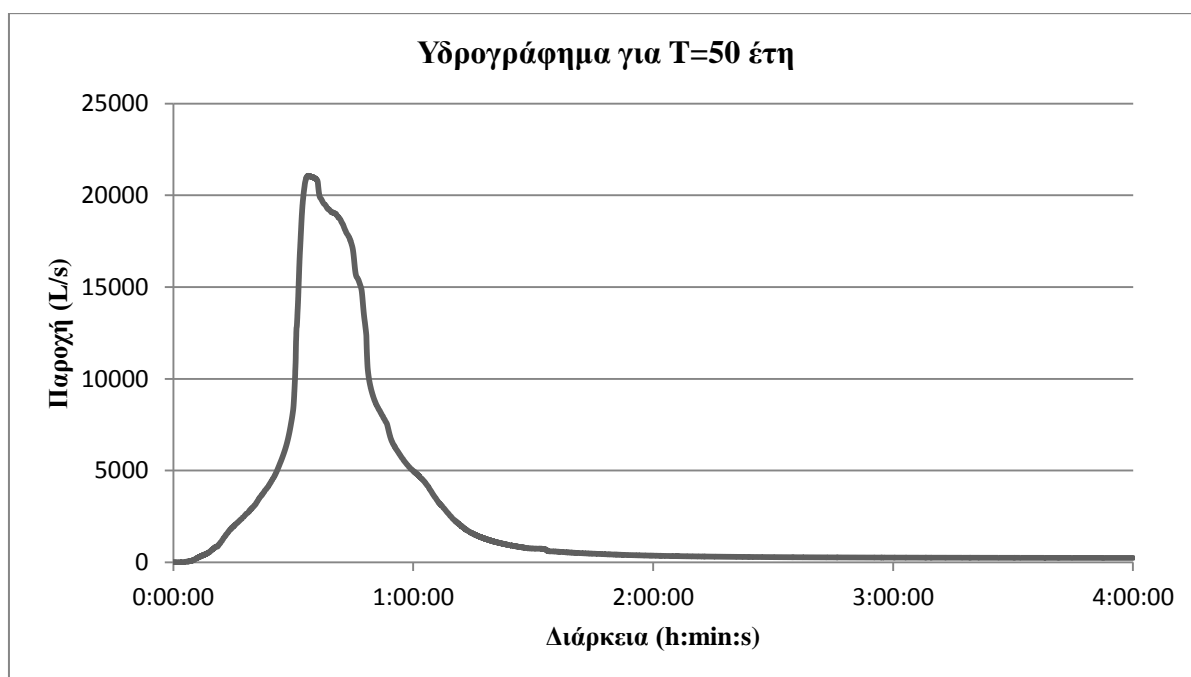
Εικόνα 4.19: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή 2:00:00

4.3.1.6 Περίοδος επαναφοράς $T=50$ έτη

Κατά την προσομοίωση του παντοροϊκού για βροχόπτωση σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών, διαπιστώθηκε πως μεγάλο μέρος του υπόγειου, παντοροϊκού, συστήματος αποχέτευσης πληρώνεται όπως και ορισμένοι επιφανειακοί αγωγοί. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.19, ενώ στην Εικόνα 4.20 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 50 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

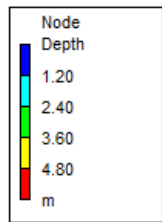
Πίνακας 4.19: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=50$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	45.3
Διήθηση (mm)	2.6
Παροχή αιχμής (L/s)	21063
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	0:33:43
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-38, D-39, D-3NEW, D-43, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

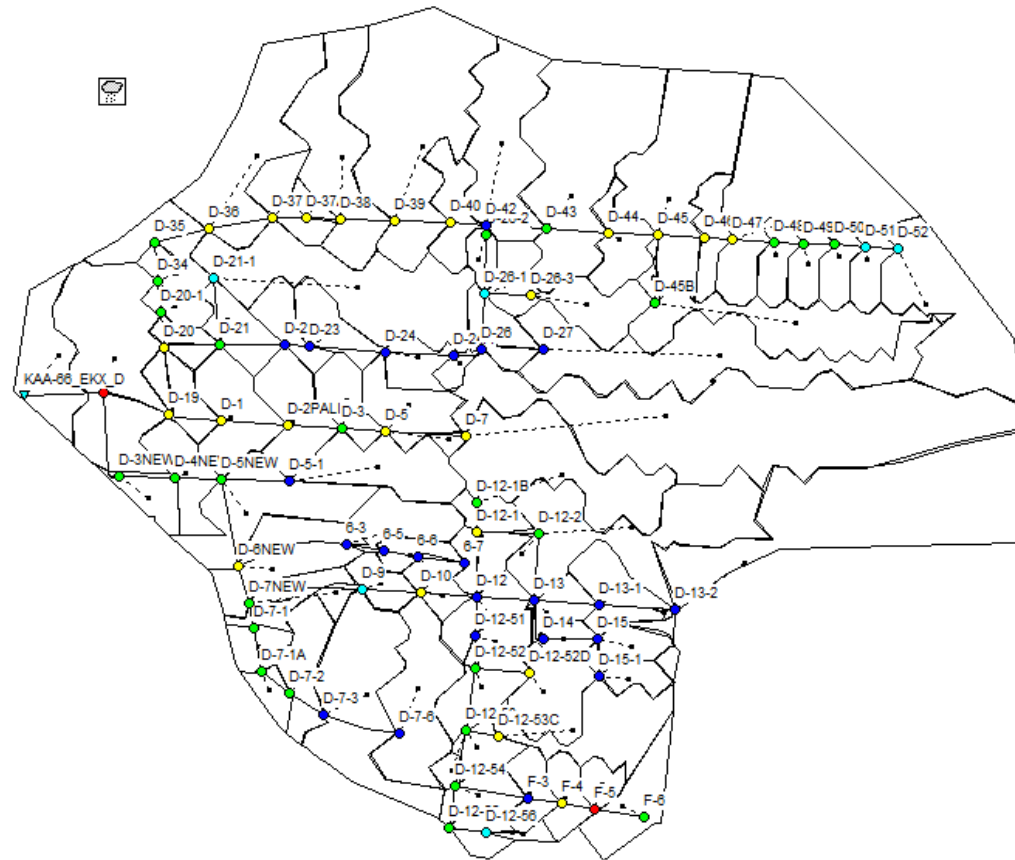


Εικόνα 4.20: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=50$ ετών

Στην Εικόνα 4.21 παρουσιάζεται το βάθος νερού στα φρεάτια του αποχετευτικού δικτύου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.

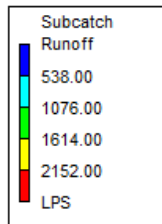


01/01/2002 00:33:43

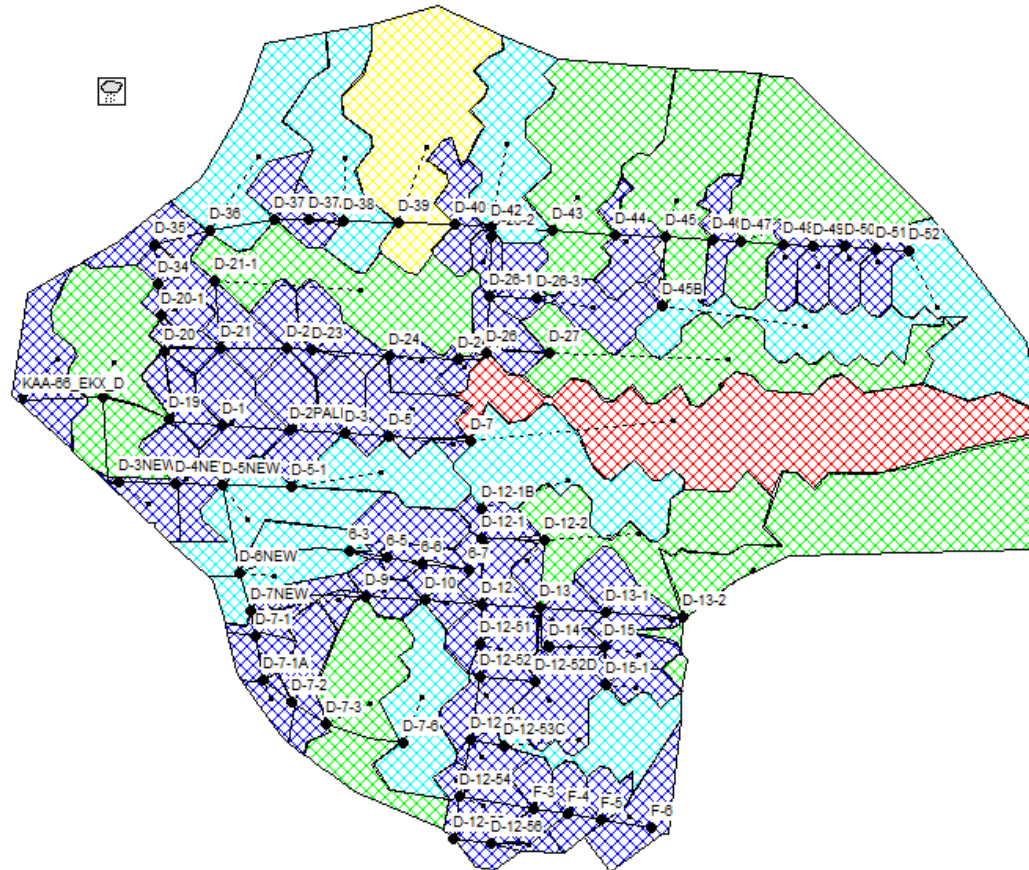


Εικόνα 4.21: Αναπαράσταση βάθος νερού στους κόμβους του δικτύου κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής

Στην Εικόνα 4.22 παρουσιάζεται η απορροή των υπολεκανών του δικτύου κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.

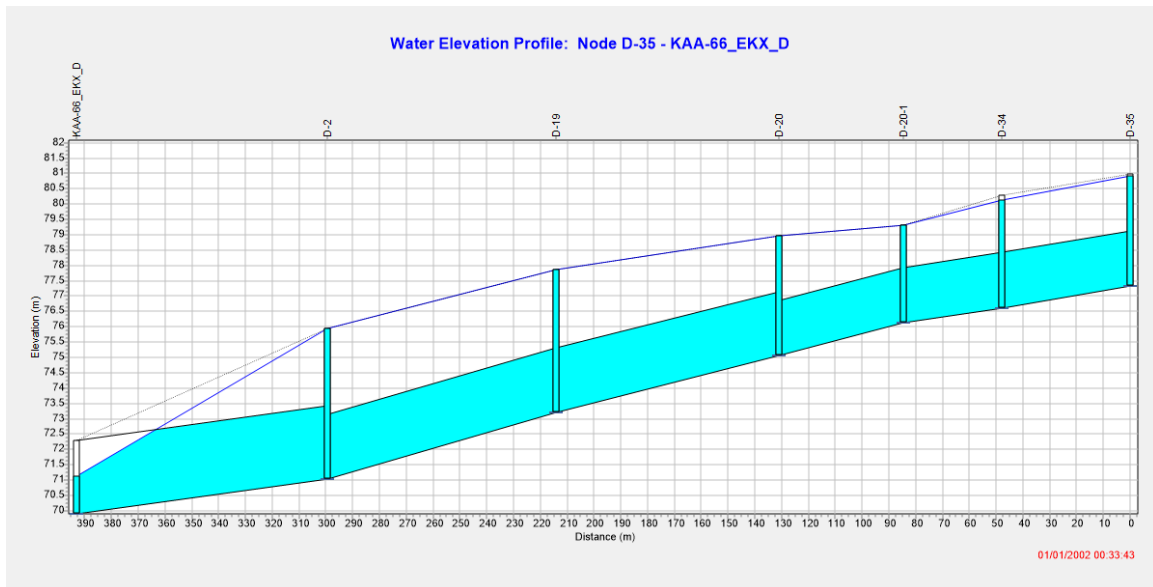


01/01/2002 00:33:43

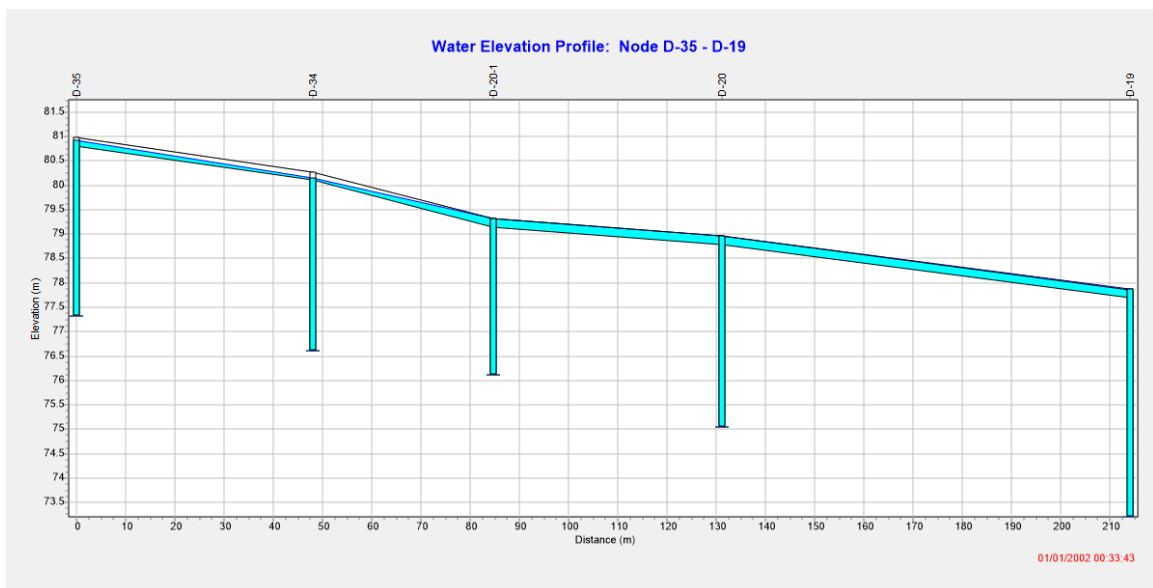


Εικόνα 4.22: Απορροή των υπολεκανών κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής

Τέλος στην Εικόνα 4.23 παρουσιάζεται το προφίλ του υπόγειου παντοροϊκού αγωγού της οδού Επιδάμνου καθώς και ο παντοροϊκός συλλεκτήρας, της Ζώνης Δ του παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου. Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.24 παρουσιάζεται το προφίλ των επιφανειακών αγωγών της οδού Επιδάμνου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του συστήματος.



Εικόνα 4.23: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα και υπόγειου αποχετευτικού αγωγού οδού Επιδάμνου κατά τη χρονική στιγμή της παροχής αιχμής



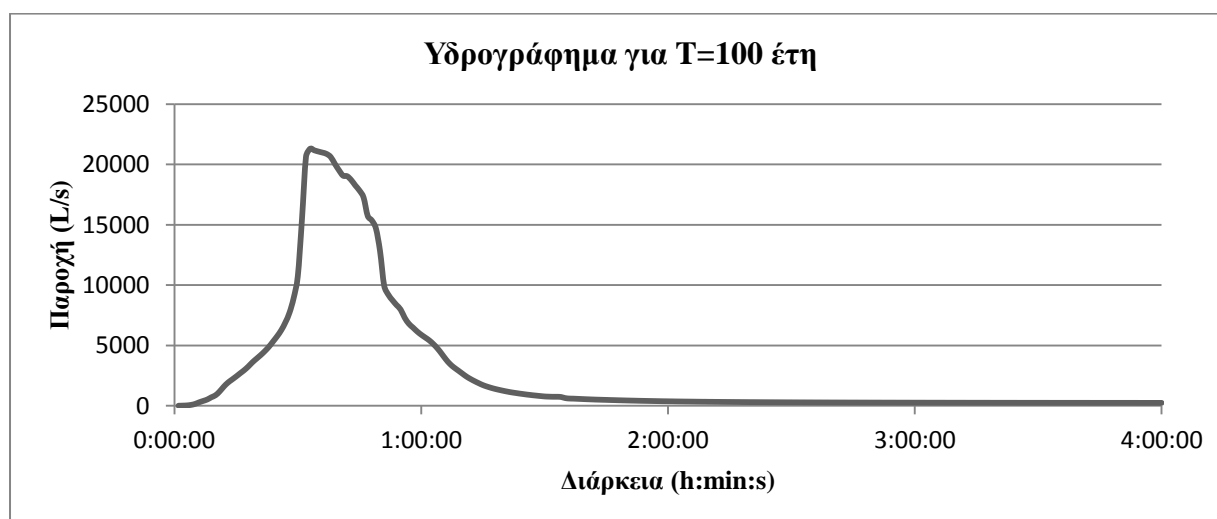
Εικόνα 4.24: Προφίλ επιφανειακών αγωγών οδού Επιδάμνου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής

4.3.1.7 Περίοδος επαναφοράς $T=100$ έτη

Η τελευταία περίπτωση, για διάρκεια βροχόπτωσης 1 h η οποία προσομοιώθηκε με το λογισμικό SWMM ήταν για περίοδο επαναφοράς 100 ετών. Και στη συγκεκριμένη περίπτωση όπως είναι φυσικό οι περισσότεροι παντοροϊκοί αγωγοί πληρώνονται καθώς και αρκετοί επιφανειακοί αγωγοί. Επιπλέον, αρκετά φρεάτια πλημμυρίζουν καθώς το αποχετευτικό σύστημα αδυνατεί να παροχετεύσει το σύνολο της απορροής. Στον Πίνακα 4.20 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τη βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 100 ετών, ενώ στην Εικόνα 4.25 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του συστήματος.

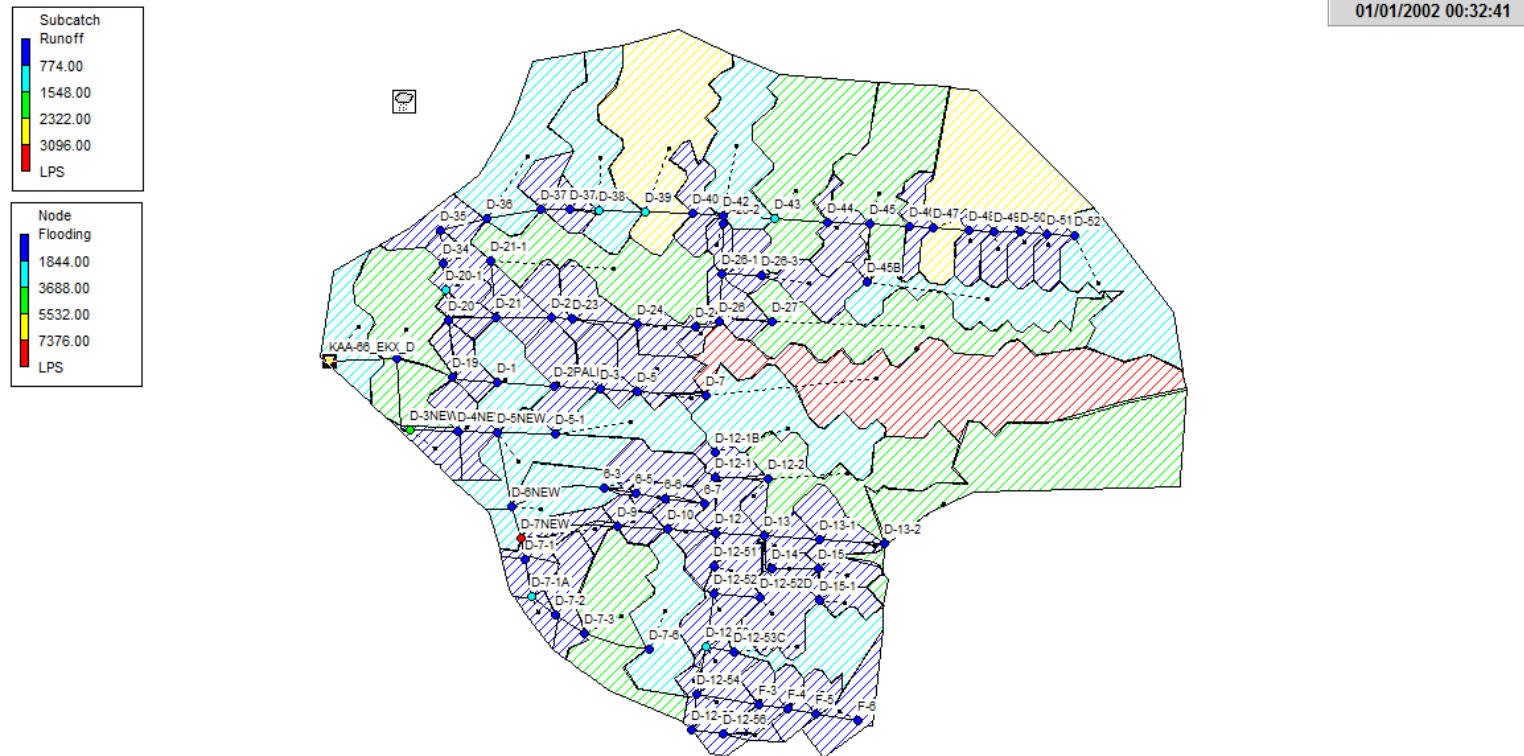
Πίνακας 4.20: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 1h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=100$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	54.8
Διήθηση (mm)	2.7
Παροχή αιχμής (L/s)	21321
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	0:32:41
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-10, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-2PALIO, D-3, D-35, D-38, D-39, D-3NEW, D-40, D-43, D-44, D-45, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW



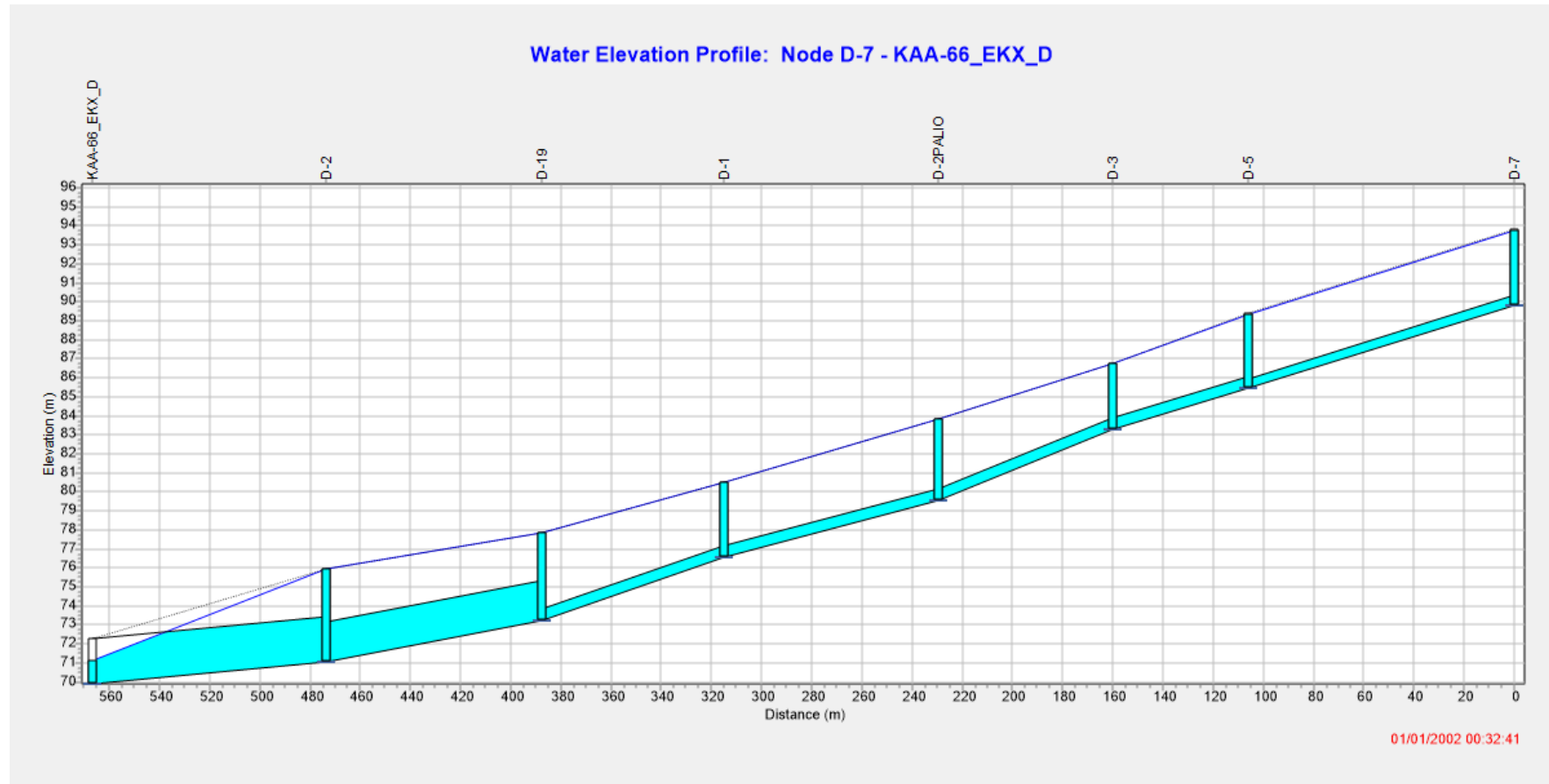
Εικόνα 4.25: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=1h$ και $T=100$ ετών

Στην Εικόνα 4.26 παρουσιάζεται ένας συνδυαστικός χάρτης της περιοχής μελέτης κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του συστήματος. Ο χάρτης αναπαριστά την επιφανειακή απορροή, ανά υπολεκάνη τη δεδομένη χρονική στιγμή, καθώς και τα φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν.



Εικόνα 4.26: Αναπαράσταση επιφανειακής απορροής ανά υπολεκάνη και φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής

Στη συνέχεια στην Εικόνα 4.27 παρουσιάζεται το προφίλ των υπόγειων αποχετευτικών αγωγών του δικτύου, από τον κόμβο D-7 έως την έξοδο του αποχετευτικού συστήματος (κόμβος ΚΑΑ-66_EKX_D), κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του συστήματος.



Εικόνα 4.27: Προφίλ υπόγειων αποχετευτικών αγωγών κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της αιχμής

4.3.2 Βροχή διάρκειας 2 h

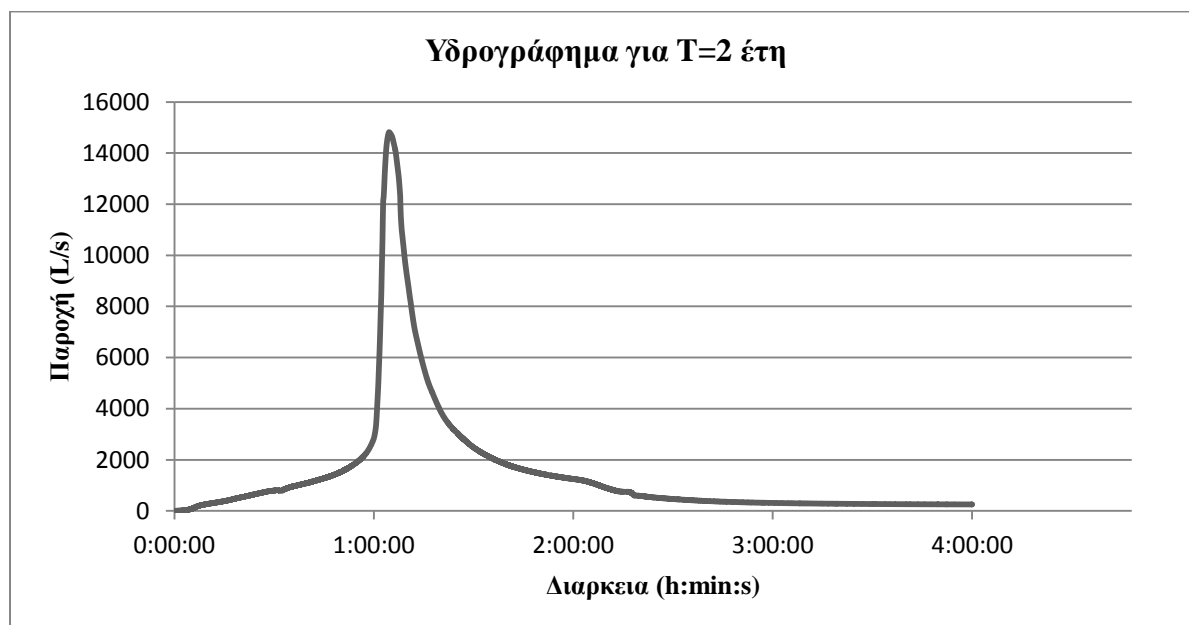
Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχής σχεδιασμού διάρκειας 2 h και για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50 και 100 ετών.

4.3.2.1 Περίοδος επαναφοράς $T=2$ έτη

Η προσομοίωση του παντοροϊκού δικτύου με το λογισμικό SWMM για βροχή σχεδιασμού 2 h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη έδωσε τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.21. Το αποχετευτικό δίκτυο και σε αυτήν την περίπτωση είναι επαρκές και αποχετεύει πλήρως την απορροή η οποία προκαλείται από την συγκεκριμένη βροχόπτωση χωρίς κανένας κόμβος του δικτύου να πλημμυρίζει. Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.28 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

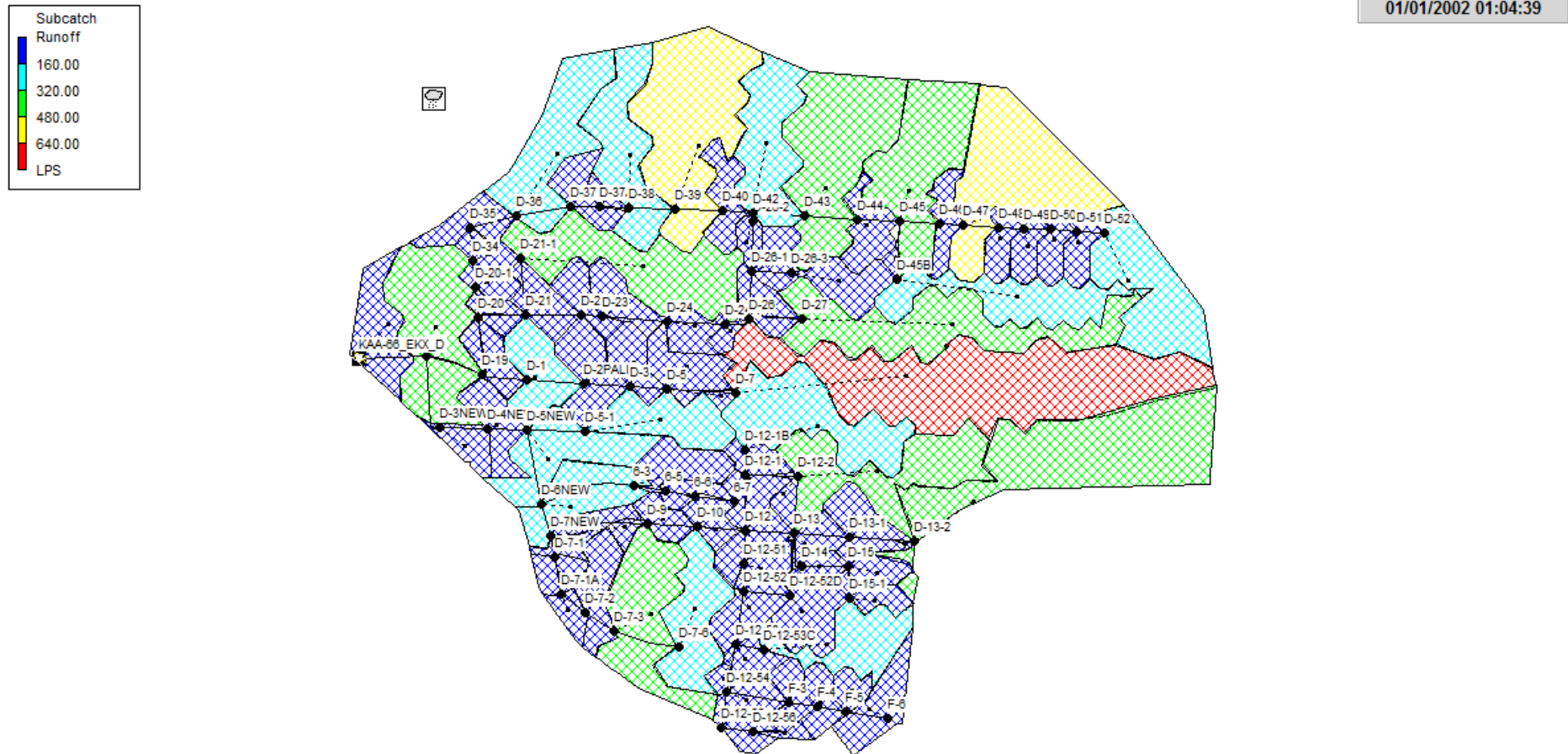
Πίνακας 4.21: Αποτελέσματα προσομοίωσης για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=2$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	22.5
Διήθηση (mm)	2.0
Παροχή αιχμής (L/s)	14814
Απορροή ξηρού καιρού L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:04:39

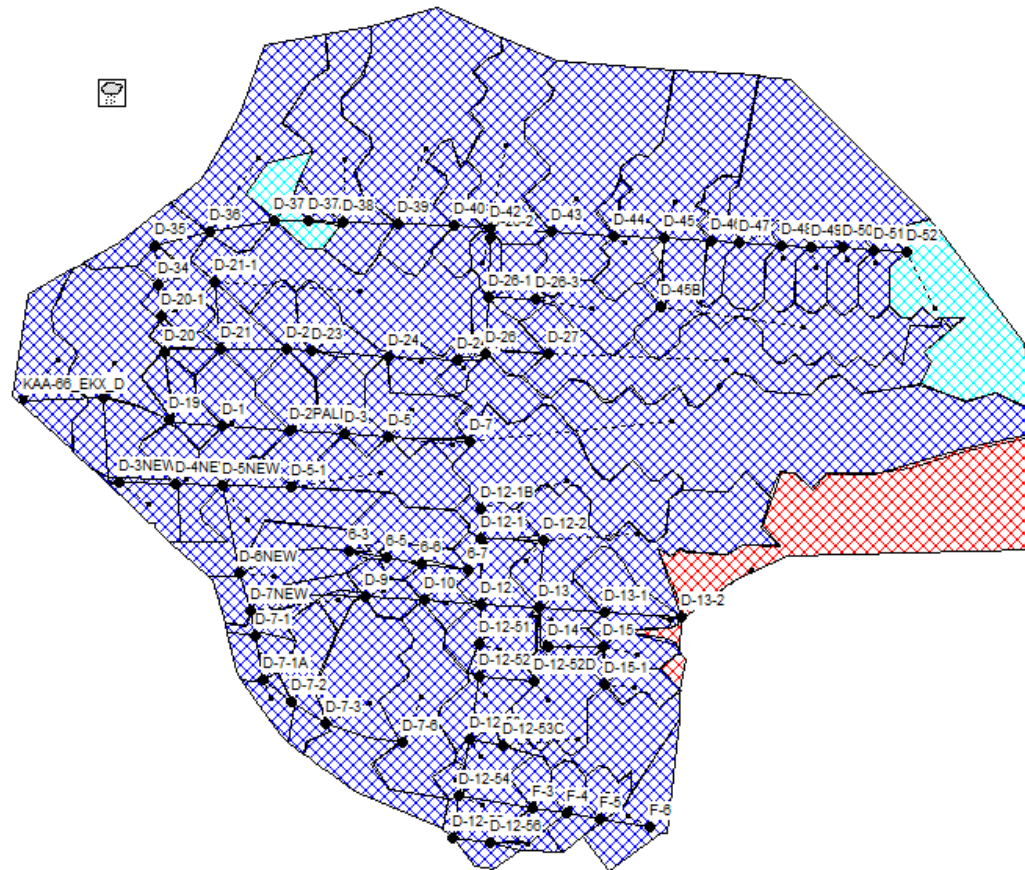
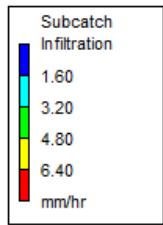


Εικόνα 4.28: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=2h$ και $T=2$ ετών

Στην Εικόνα 4.29 παρουσιάζεται η επιφανειακή απορροή ανά υπολεκάνη, για τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής, ενώ στην Εικόνα 4.30 παρουσιάζεται η διήθηση (mm/h), ανά υπολεκάνη, κατά την ίδια χρονική στιγμή (L/s).

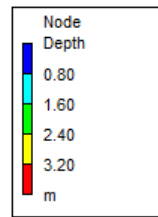


Εικόνα 4.29: Επιφανειακή απορροή ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου

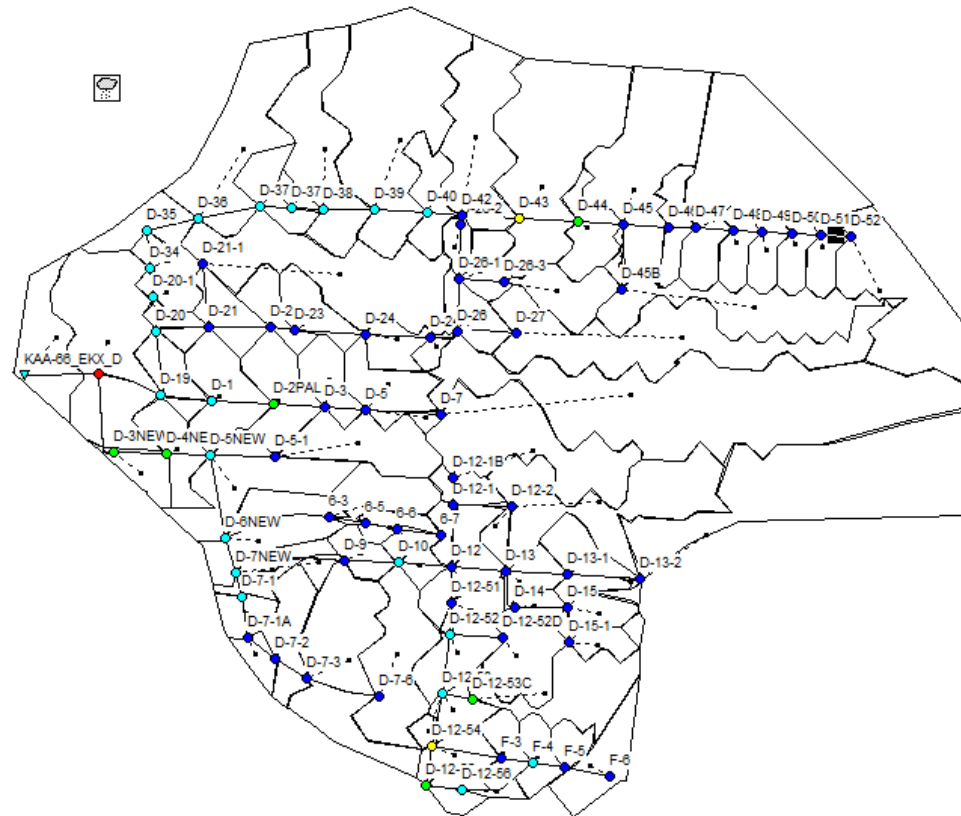


Εικόνα 4.30: Διήθηση ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

Τέλος στην Εικόνα 4.31 παρουσιάζεται το βάθος νερού σε όλα τα φρεάτια της περιοχής μελέτης και στην Εικόνα 4.32 παρουσιάζεται το προφίλ των υπόγειων παντοροϊκών αποχετευτικών αγωγών, από τον κόμβο D-52 μέχρι έξοδο του δικτύου (κόμβος: ΚΑΑ-66_EKX_Δ).

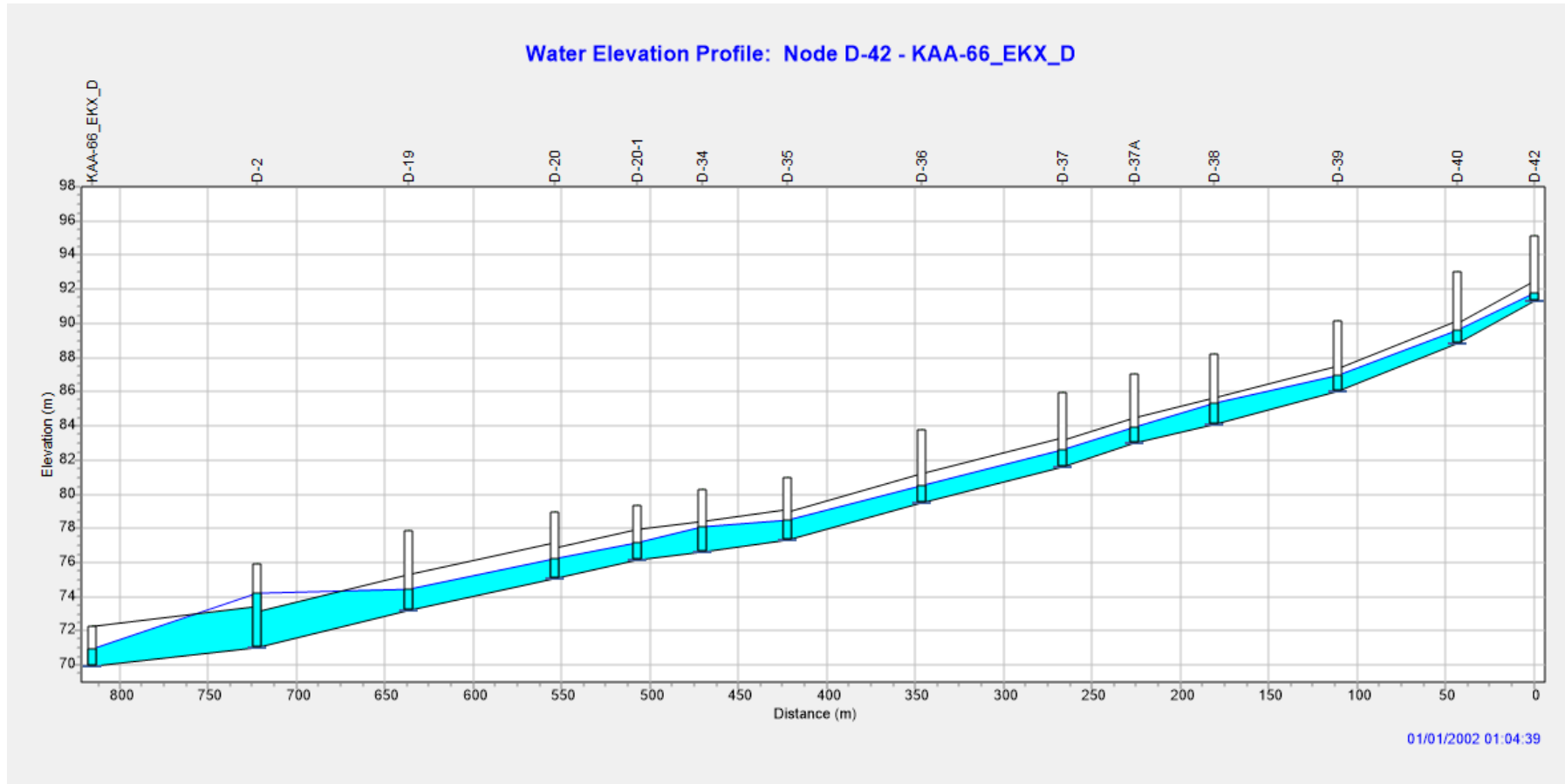


01/01/2002 01:04:39



Εικόνα 4.31: Βάθος νερού στους κόμβους του δικτύου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

Ο κόμβος D-2, ο οποίος παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα, δεν έχει πληρωθεί και δεν έχει πλημμυρίσει όπως και κανένας άλλος κόμβος του αποχετευτικού δικτύου. Αυτό φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 4.32.



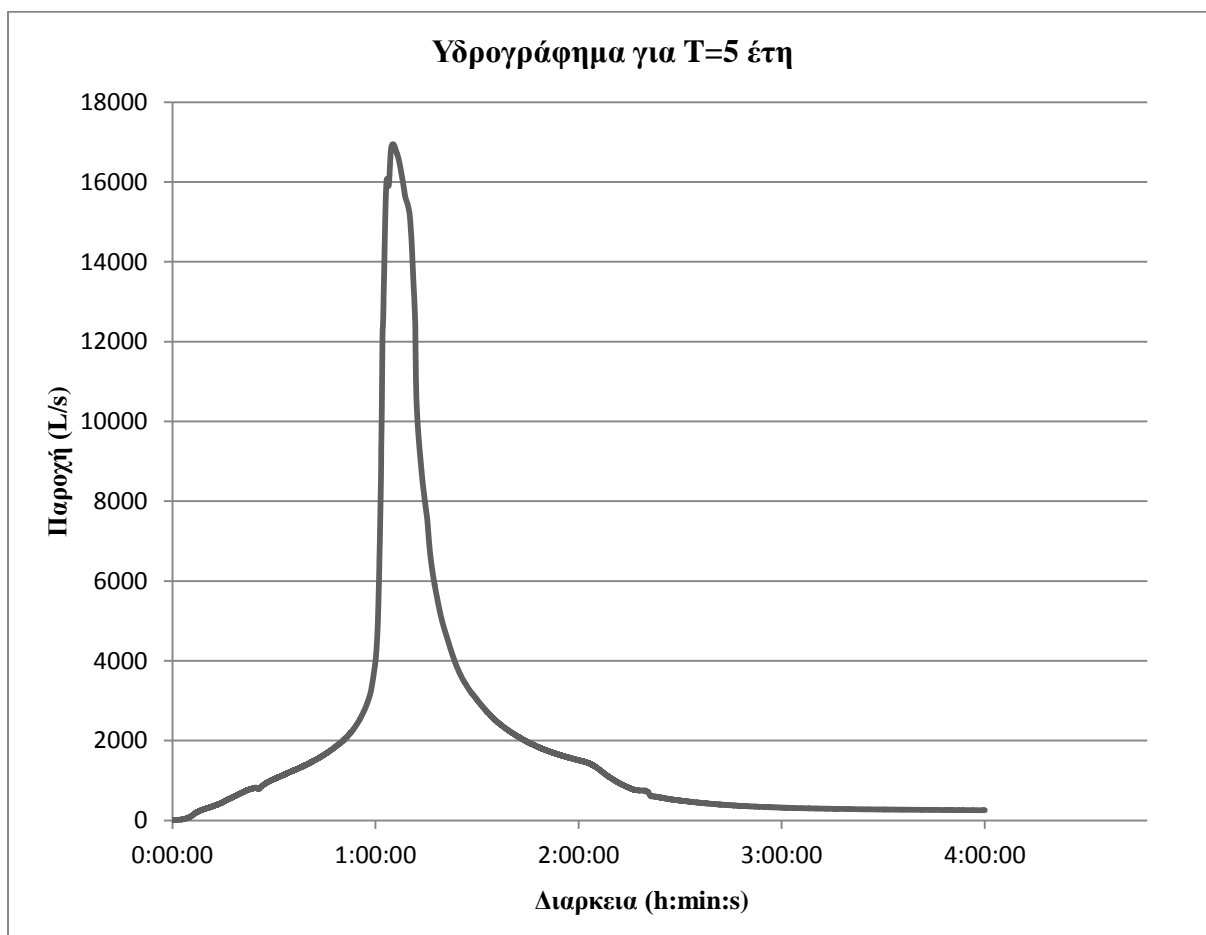
Εικόνα 4.32: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-2 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

4.3.2.2 Περίοδος επαναφοράς $T=5$ έτη

Στον Πίνακα 4.22 παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Το δίκτυο και σε αυτήν την περίπτωση είναι επαρκές και παροχετεύει το σύνολο της απορροής. Επιπλέον κανένας από τους κόμβους του δικτύου δεν πλημμυρίζει. Στην Εικόνα 4.33 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

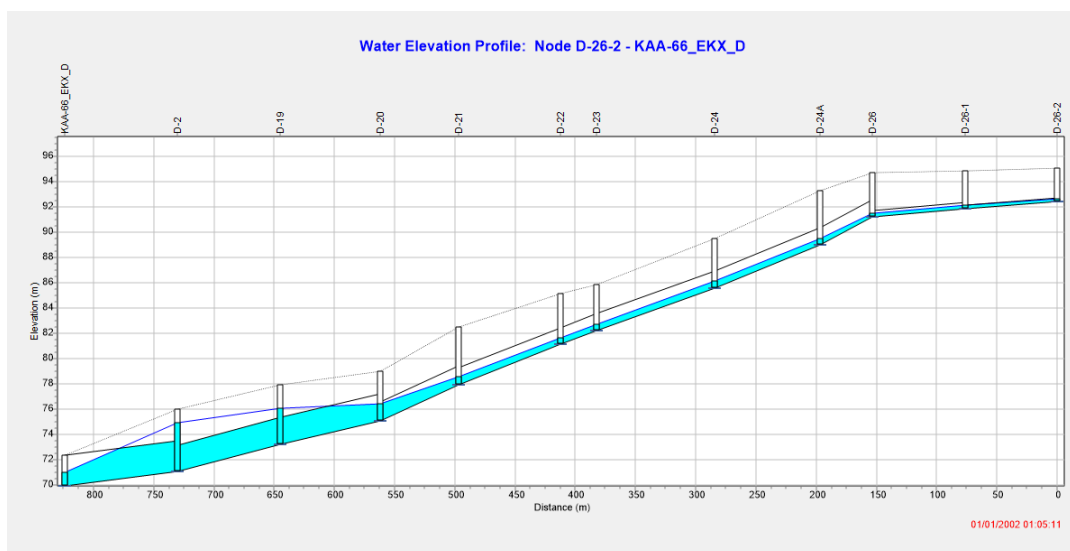
Πίνακας 4.22: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=5$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	29.0
Διήθηση (mm)	2.2
Παροχή αιχμής (L/s)	16941
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:05:11



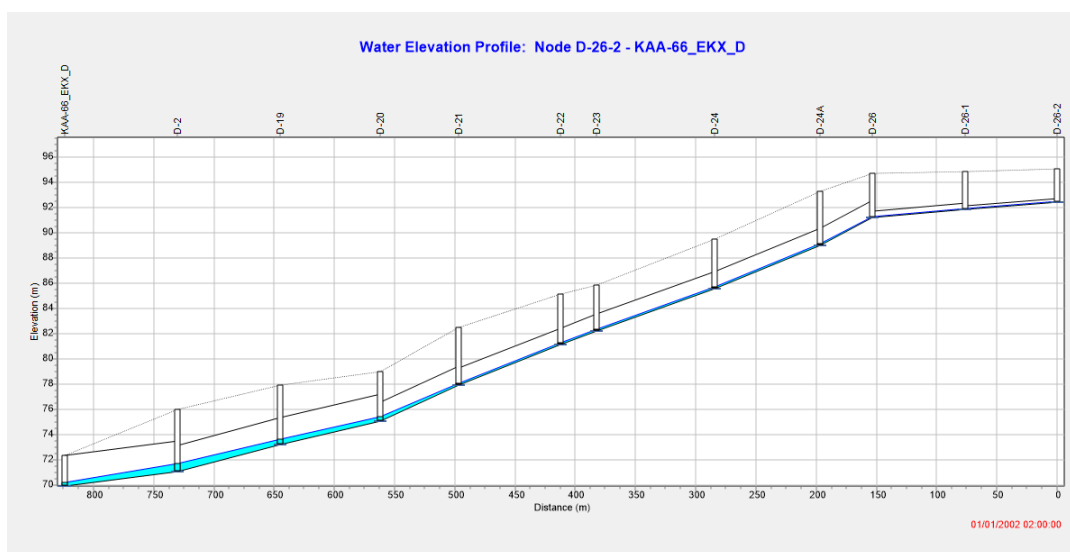
Εικόνα 4.33: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=2h$ και $T=5$ ετών

Στην Εικόνα 4.34 παρουσιάζονται οι υπόγειοι αποχετευτικοί αγωγοί από τον κόμβο D-26-2 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου. Όπως είναι φανερό κανένας κόμβος του δικτύου δεν έχει πληρωθεί και ούτε πλημμυρίζει. Αντίθετα, ο αγωγός, ο οποίος συνδέει του κόμβους D-19 – D-2 έχει πληρωθεί ($y/D=1$), τη δεδομένη χρονική στιγμή και η ροή δεν πραγματοποιείται με ελεύθερη επιφάνεια.



Εικόνα 4.34: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-26-2 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής

Τέλος στην Εικόνα 4.35 παρουσιάζονται οι ίδιοι αγωγοί στην αρχή της δεύτερης ώρας και όπως φαίνεται, το μεγαλύτερο μέρος της απορροής έχει αποχετευτεί.



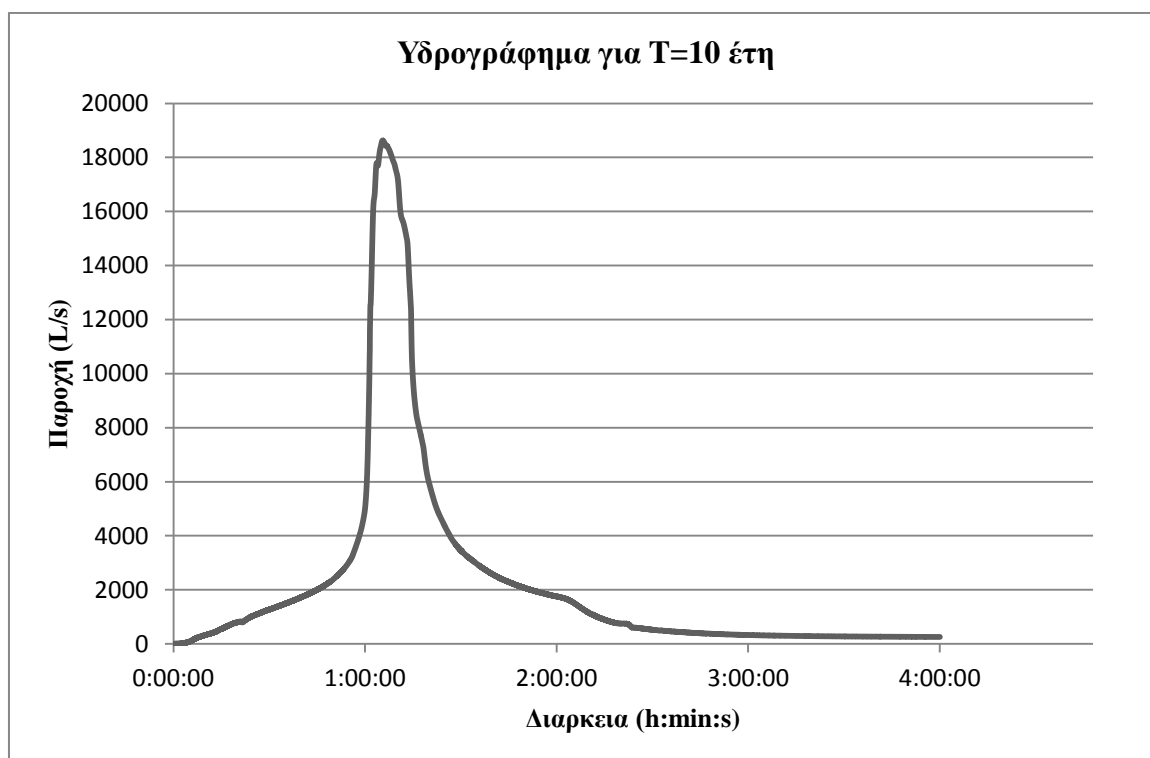
Εικόνα 4.35: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-26-2 έως την έξοδο του συστήματος στην αρχή της δεύτερης ώρας

4.3.2.3 Περίοδος επαναφοράς $T=10$ έτη

Στον Πίνακα 4.23 παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 10 ετών. Το δίκτυο σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι επαρκές, όπως και συνέβη και για βροχή διάρκειας 1 h και δεν είναι ικανό να αποχετεύσει το σύνολο της απορροής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Στην Εικόνα 4.36 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

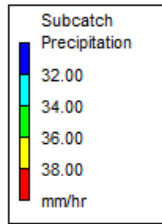
Πίνακας 4.23: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 10 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=10$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	35.2
Διήθηση (mm)	2.4
Παροχή αιχμής (L/s)	18629
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:05:33
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-3NEW, D-7NEW

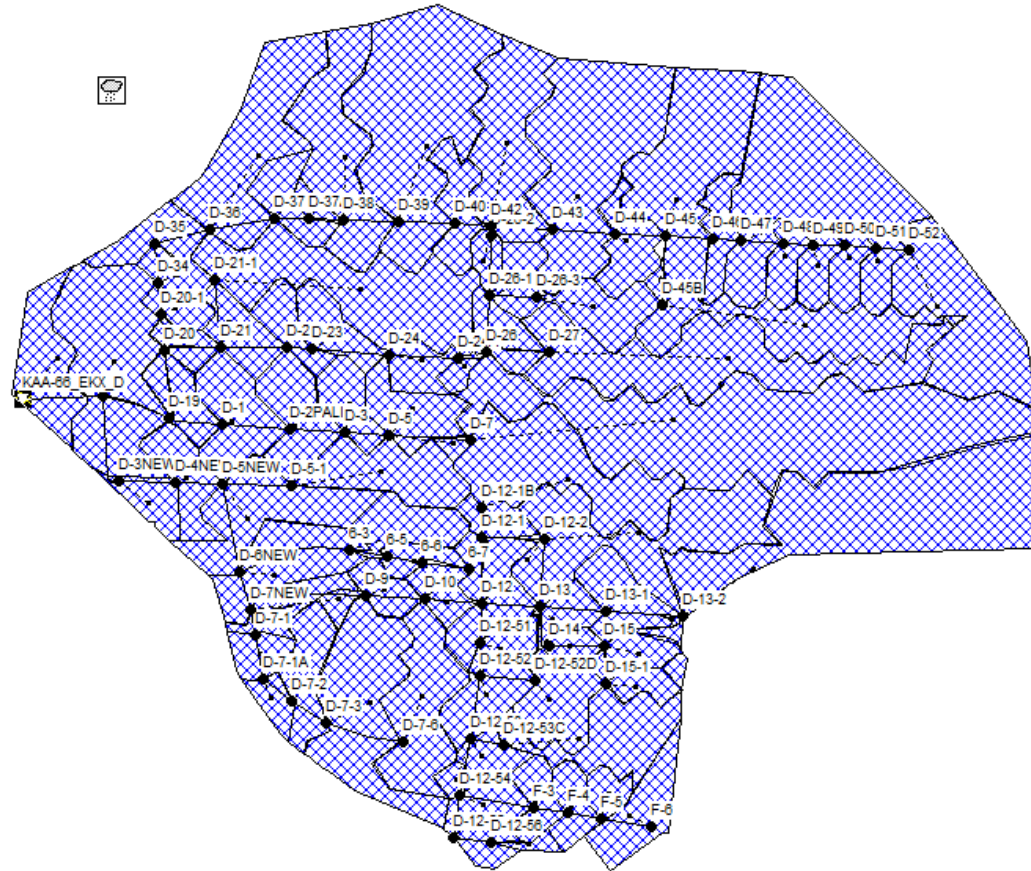


Εικόνα 4.36: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=2h$ και $T=10$ ετών

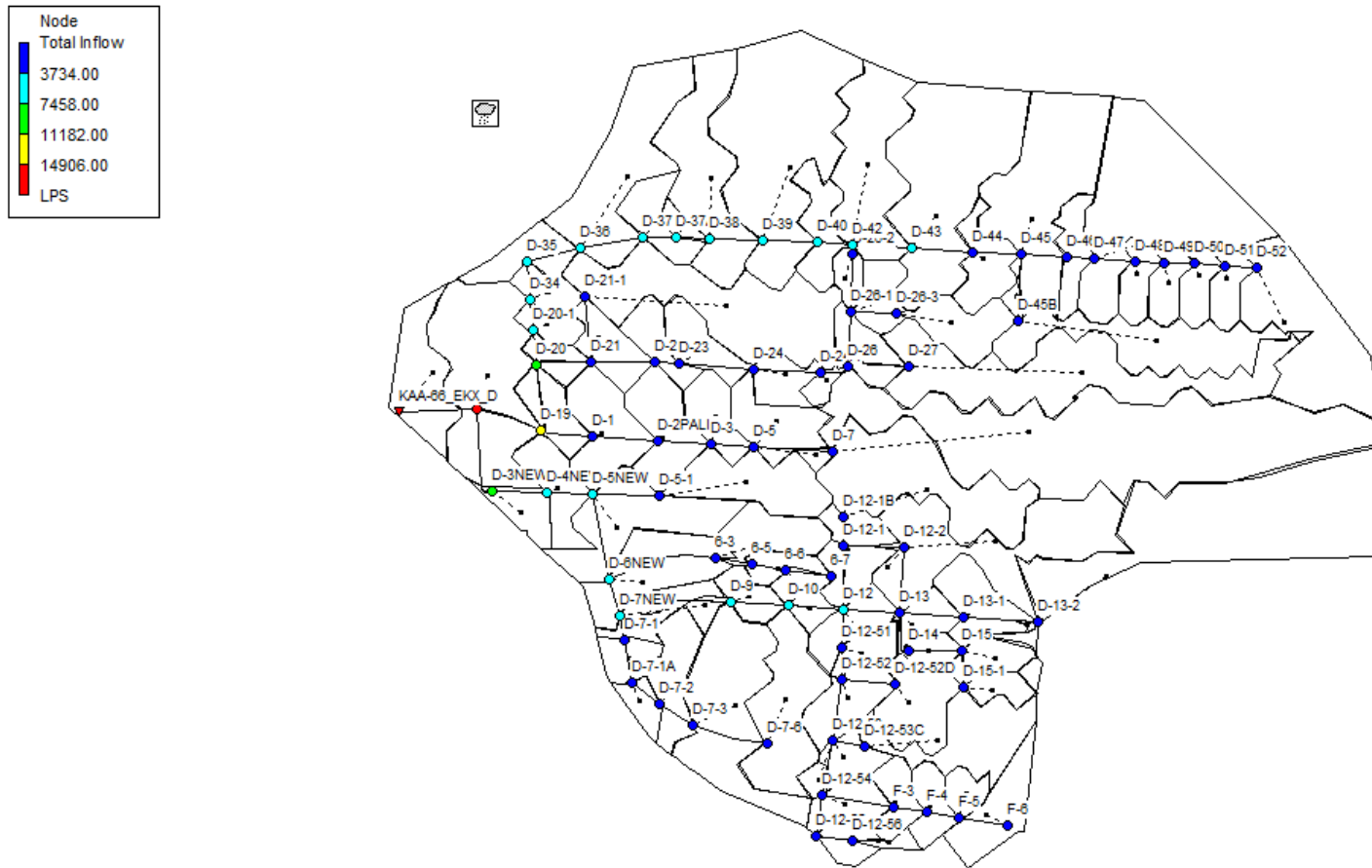
Στην Εικόνα 4.37 παρουσιάζεται η βροχόπτωση (mm/h) ανά υπολεκάνη, ενώ στην Εικόνα 4.38 παρουσιάζεται η εισροή (L/s), στα φρεάτια του αποχετευτικού δικτύου, λόγω της βροχόπτωσης. Και στις δύο περιπτώσεις η χρονική στιγμή, είναι η αιχμή της παροχής στην έξοδο του δικτύου.



01/01/2002 01:05:33

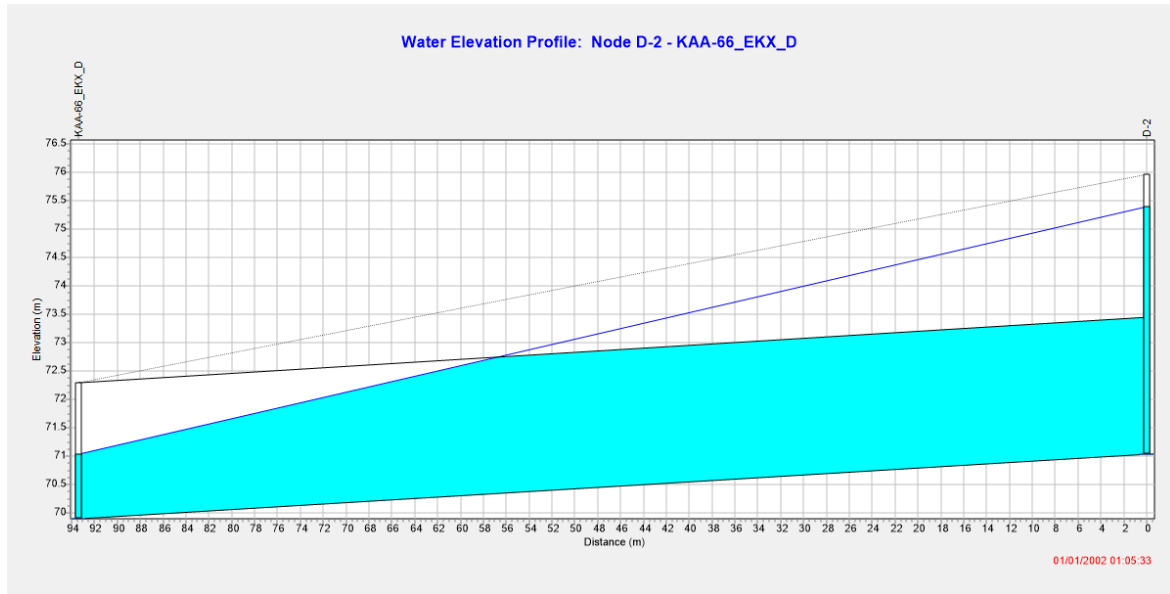


Εικόνα 4.37: Βροχόπτωση (mm/h) ανά υπολεκάνη κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου



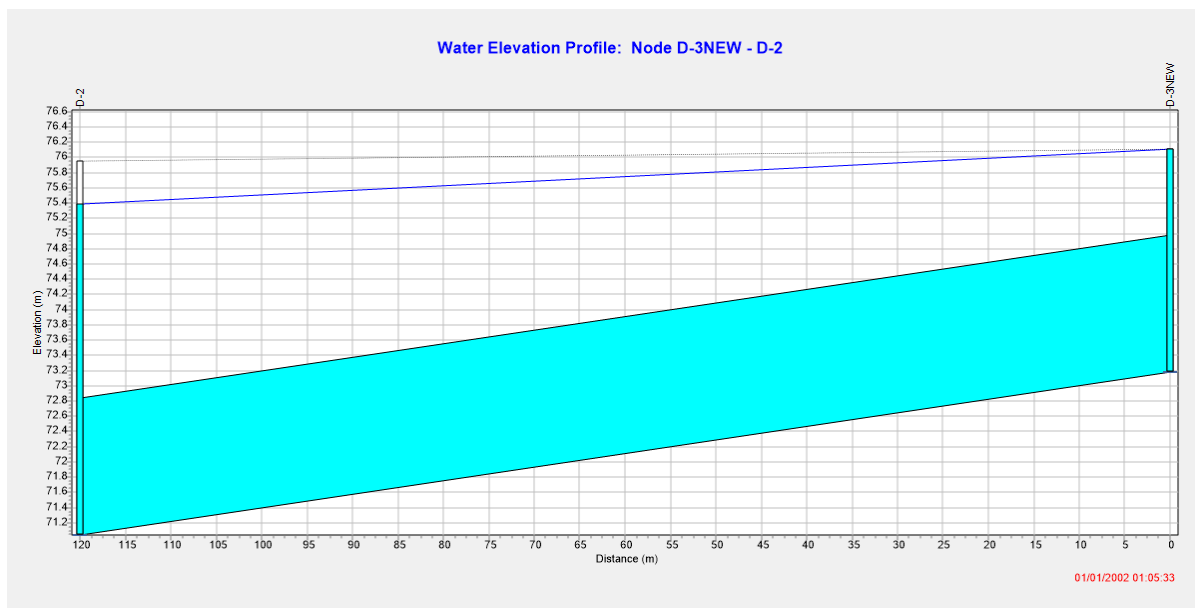
Εικόνα 4.38: Εισροή (L/s) στα φρεάτια του παντοροϊκού δικτύου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

Στη συνέχεια, στην Εικόνα 4.39 παρουσιάζεται ο παντοροϊκός συλλεκτήρας της Ζώνης Δ, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.



Εικόνα 4.39: Παντοροϊκός συλλεκτήρας Ζώνης Δ κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής

Αντίθετα στην Εικόνα 4.40 παρουσιάζεται ο υπόγειος παντοροϊκός αγωγός, ο οποίος συνδέει τα φρεάτια D-3NEW και D-2. Το ανάντη φρεάτιο, είναι ένα από τα δύο τα οποία πλημμυρίζουν για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 ετών, ενώ ο λόγος πλήρωσης στον αγωγό είναι ίσος με τη μονάδα.



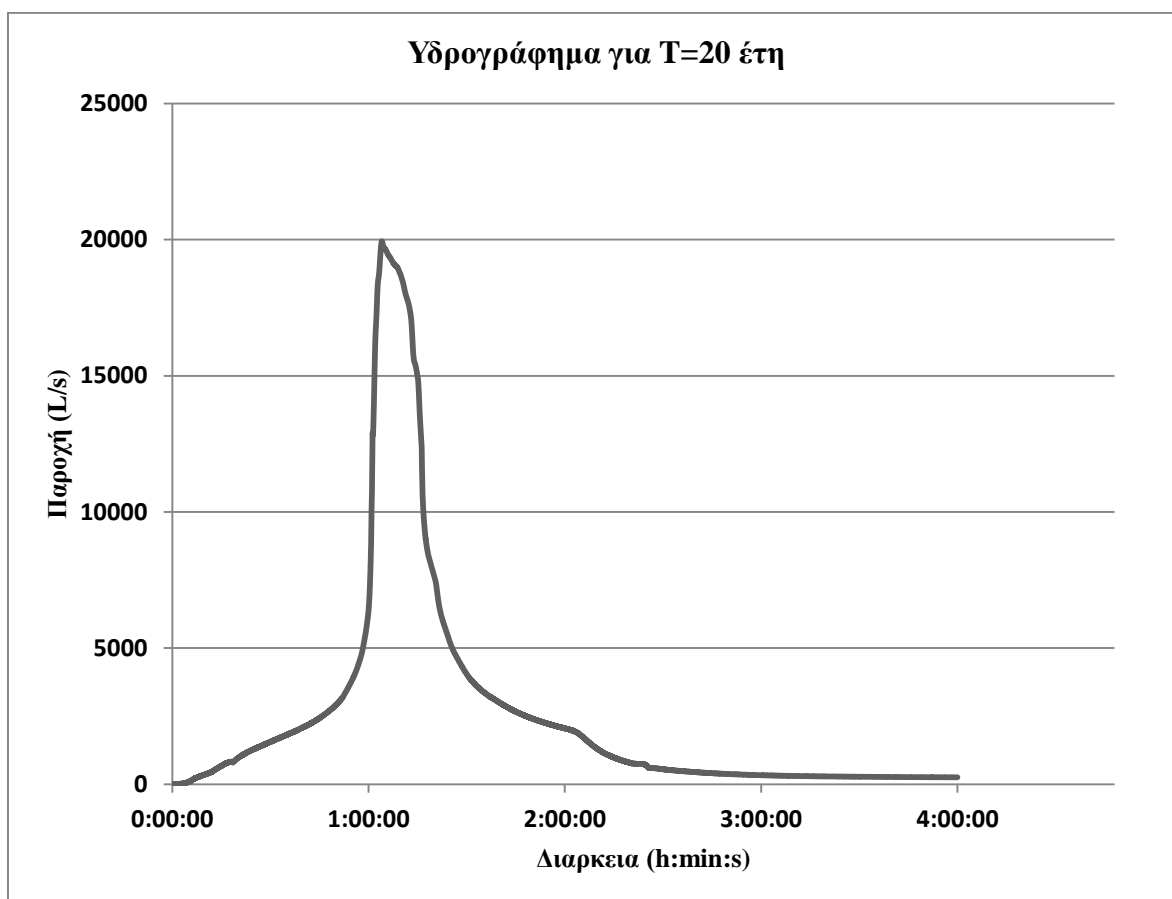
Εικόνα 4.40: Υπόγειος παντοροϊκός αγωγός κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της πλημμύρας

4.3.2.4 Περίοδος επαναφοράς $T=20$ έτη

Σε αυτήν την περίπτωση οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκείς με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Τα συνοπτικά αποτελέσματα, για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.24, ενώ στην Εικόνα 4.41 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 20 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

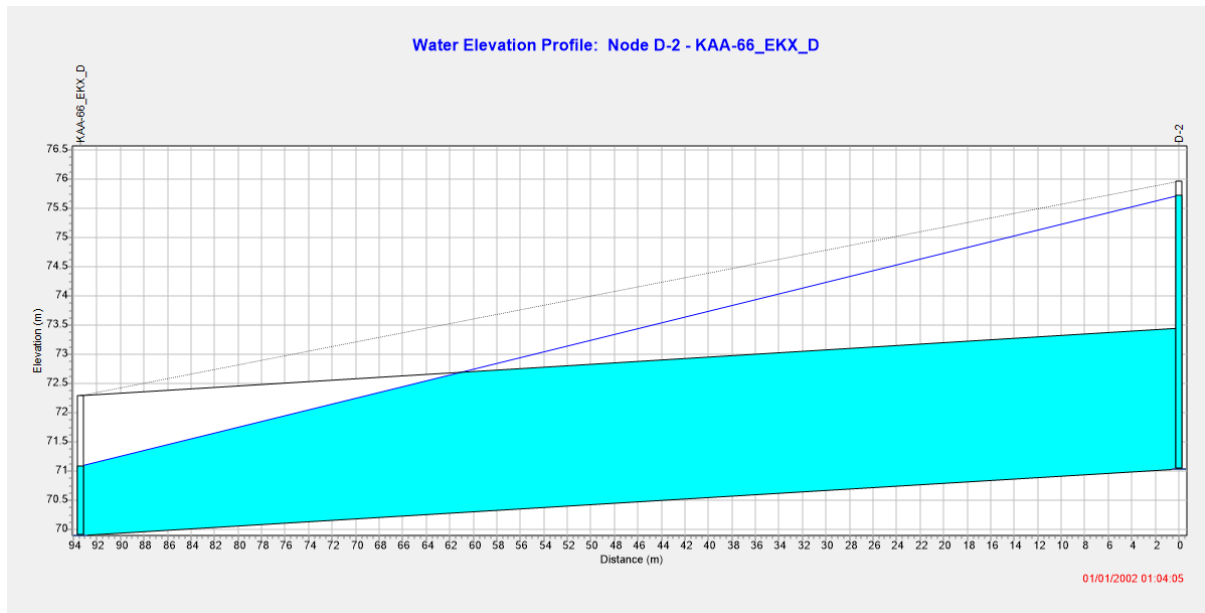
Πίνακας 4.24: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=20$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	42.6
Διήθηση (mm)	2.5
Παροχή αιχμής (L/s)	19937
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:04:05
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

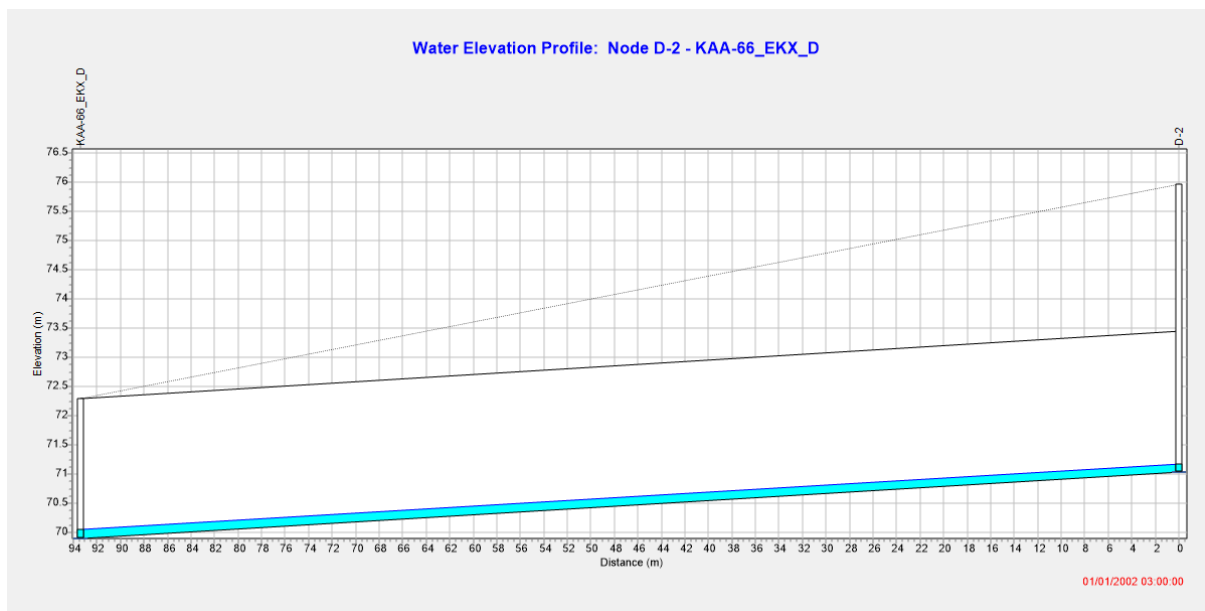


Εικόνα 4.41: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=2h$ και $T=20$ ετών

Στις Εικόνες 4.42 και 4.43 παρουσιάζεται το προφίλ του παντοροϊκού συλλεκτήρα της Ζώνης Δ, κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του συστήματος και στην αρχή της τρίτης ώρας αντίστοιχα.



Εικόνα 4.42: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής



Εικόνα 4.43: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα στην αρχή της τρίτης ώρας

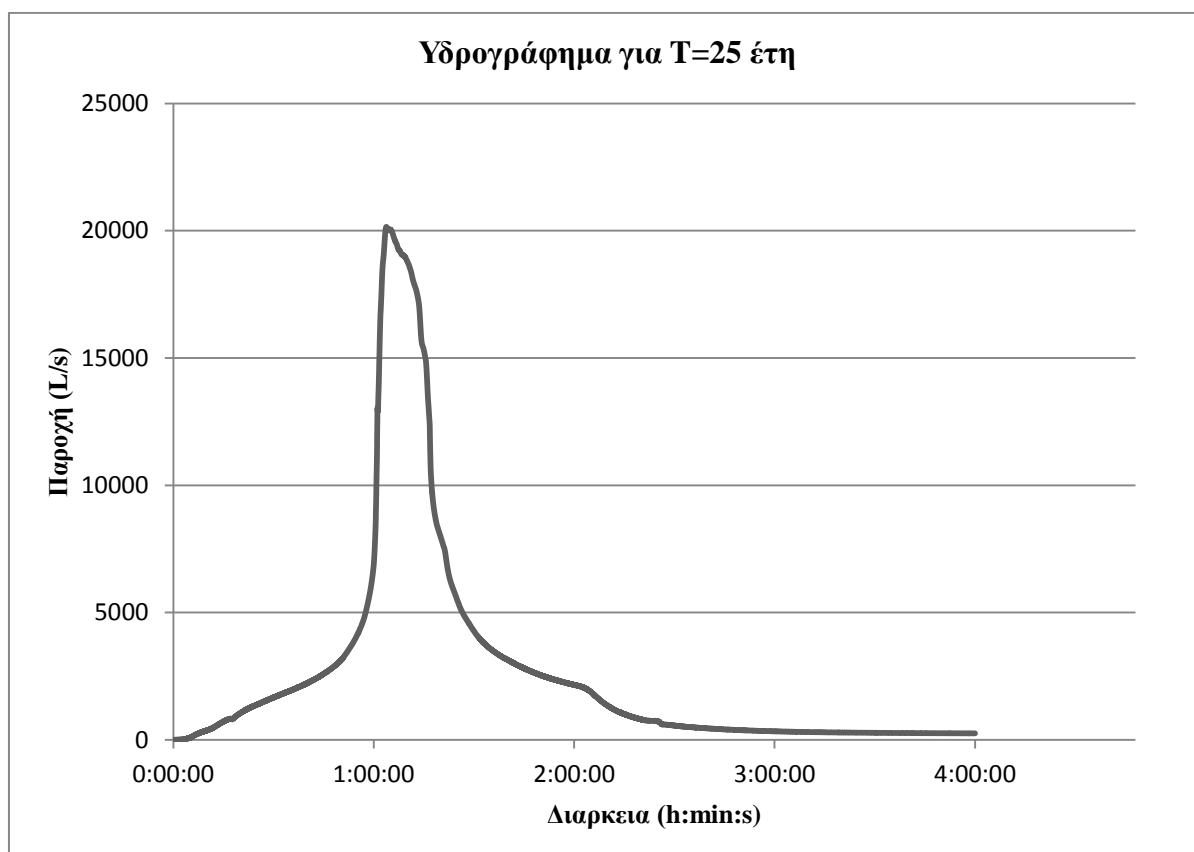
Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 4.42 ο παντοροϊκός συλλεκτήρας έχει πληρωθεί. Βέβαιο το ανάντη φρεάτιο δεν έχει πληρωθεί και επομένως στο συγκεκριμένο σημείο δεν παρουσιάζεται πλημμυρισμός του κόμβου.

4.3.2.5 Περίοδος επαναφοράς $T=25$ έτη

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπως είναι λογικό, οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενο πλημμύρας. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.25, ενώ στην Εικόνα 4.44 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 25 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

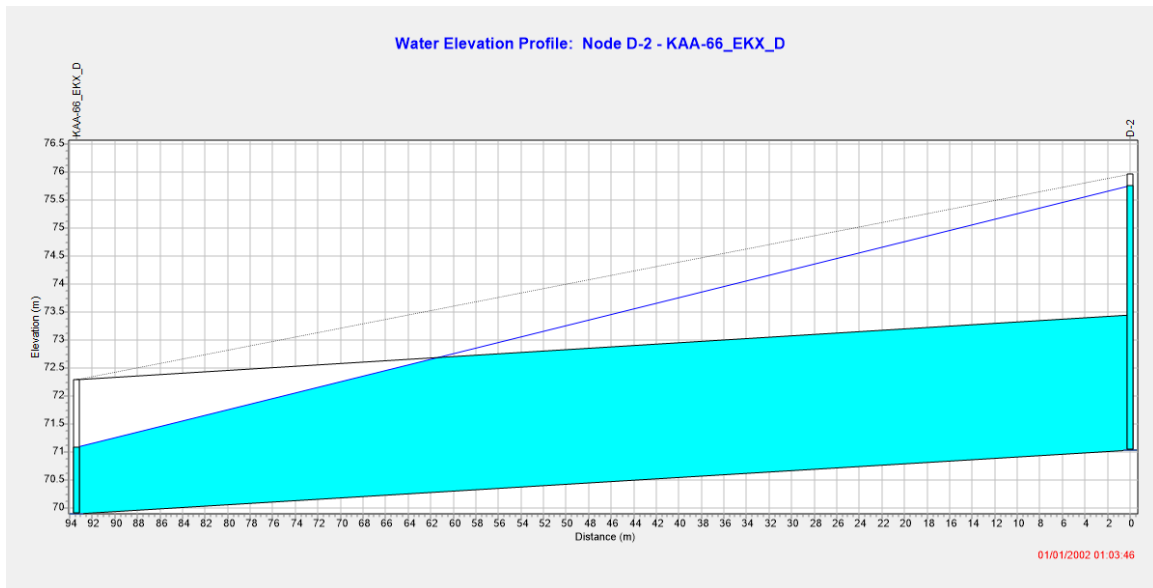
Πίνακας 4.25: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=25$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	45.3
Διήθηση (mm)	2.5
Παροχή αιχμής (L/s)	20152
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:03:46
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-38, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

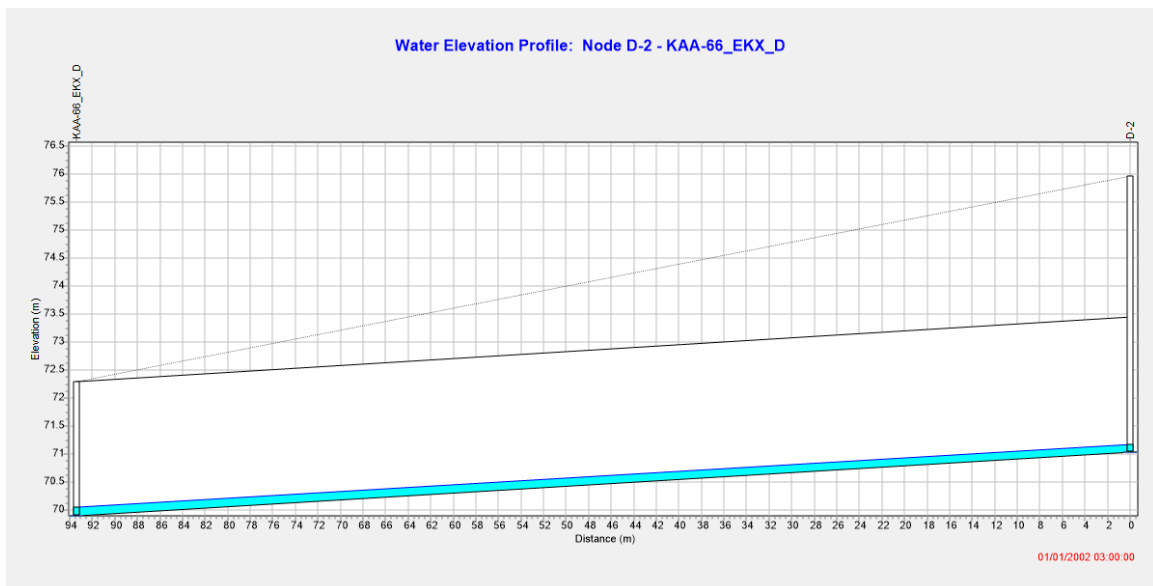


Εικόνα 4.44: Υδρογράφημα βροχόπτωσης σχεδιασμού $t=2h$ και $T=25$ ετών

Στις Εικόνες 4.45 και 4.46 παρουσιάζεται το προφίλ του παντοροϊκού συλλεκτήρα της Ζώνης Δ, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του συστήματος και στην αρχή της τρίτης ώρας αντίστοιχα.



Εικόνα 4.45: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής



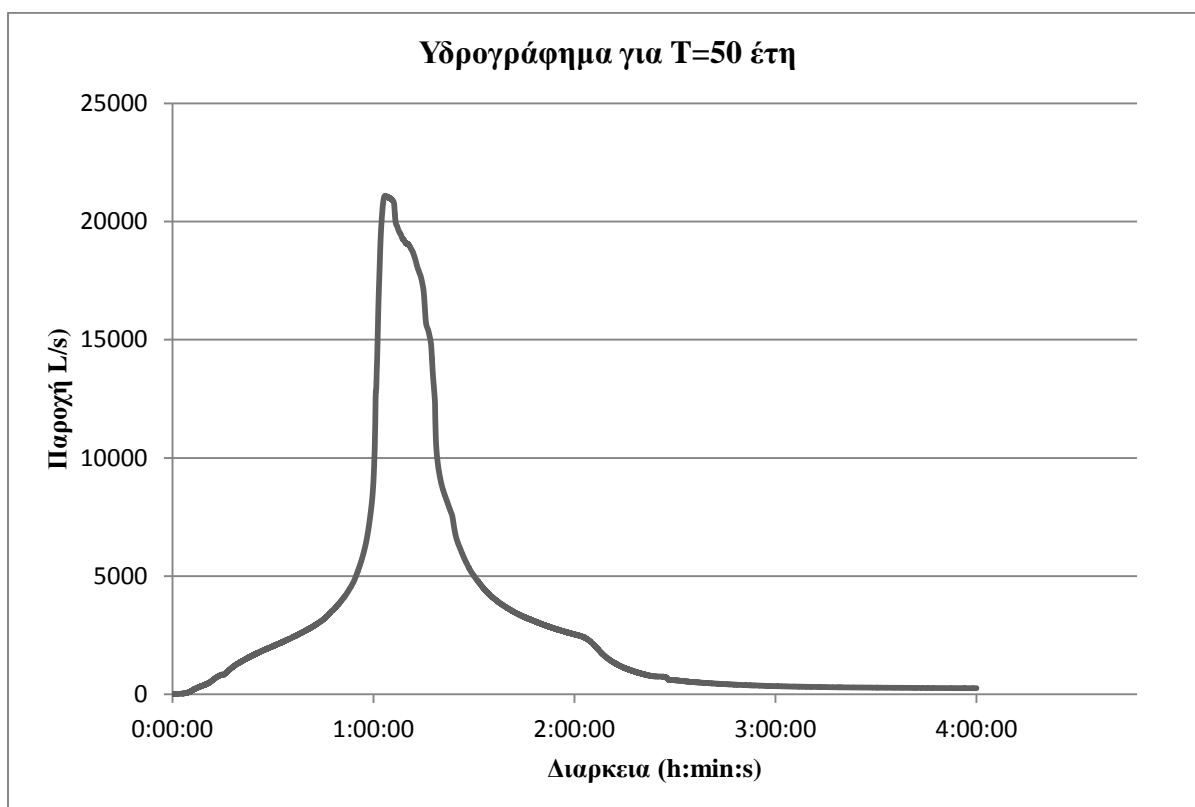
Εικόνα 4.46: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα στην αρχή της τρίτης ώρας

4.3.2.6 Περίοδος επαναφοράς $T=50$ έτη

Κατά την προσομοίωση του παντοροϊκού για βροχόπτωση σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών διαπιστώθηκε πως μεγάλο μέρος του υπόγειου, παντοροϊκού, συστήματος αποχέτευσης πληρώνεται όπως και ορισμένοι επιφανειακοί αγωγοί. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.26, ενώ στην Εικόνα 4.47 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 50 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

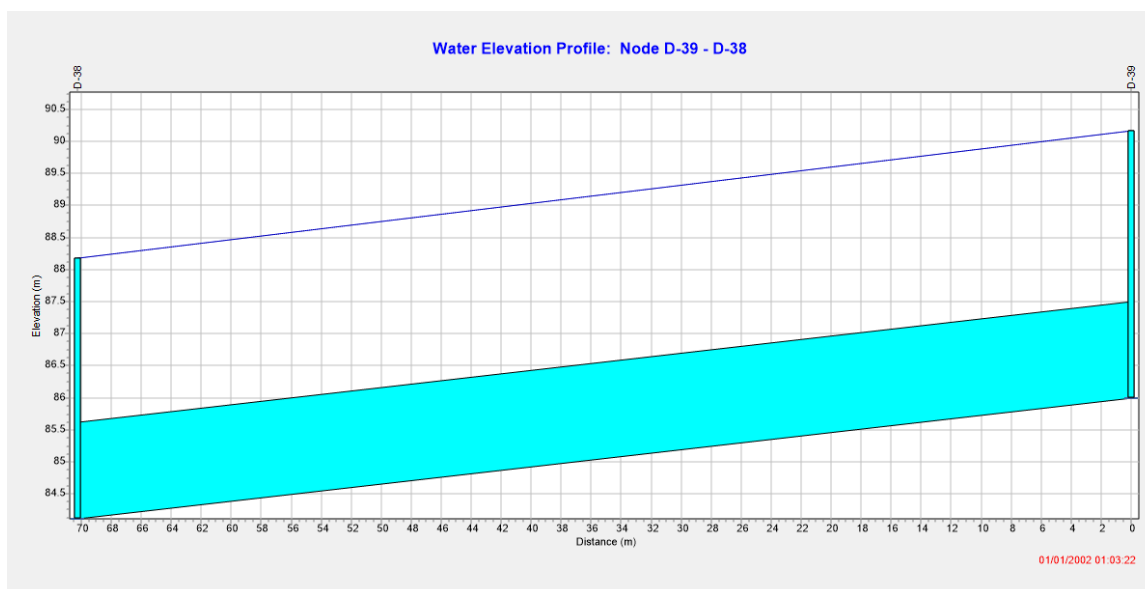
Πίνακας 4.26: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=50$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	54.8
Διήθηση (mm)	2.6
Παροχή αιχμής (L/s)	21088
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:03:22
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-35, D-38, D-39, D-3NEW, D-43, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

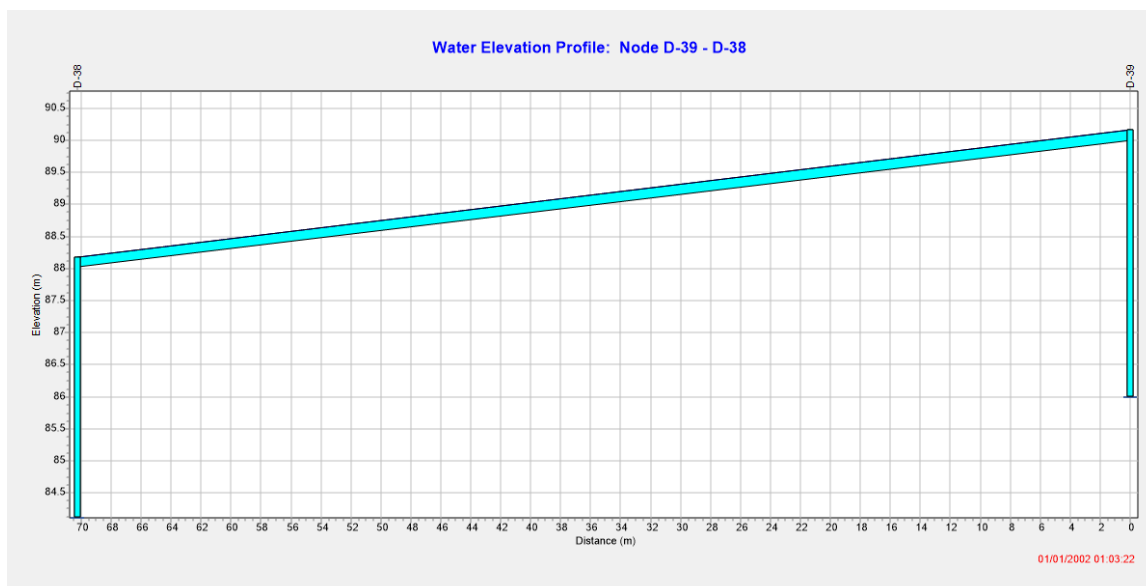


Εικόνα 4.47: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=2h$ και $T=50$ ετών

Στην Εικόνα 4.48 παρουσιάζεται το προφίλ του υπόγειου αγωγού ($y/D=1$) που συνδέει τα φρεάτια D-38 και D-39, τα οποία έχουν πλημμυρίσει, κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο. Επιπλέον στην Εικόνα 4.49 παρουσιάζεται το προφίλ του επιφανειακού αγωγού ($y/D=1$), ο οποίος συνδέει τα ίδια φρεάτια κατά την ίδια χρονική στιγμή. Και ο επιφανειακός αγωγός έχει πληρωθεί, με αποτέλεσμα το νερό να βρίσκεται πάνω από το ύψος του κρασπέδου.

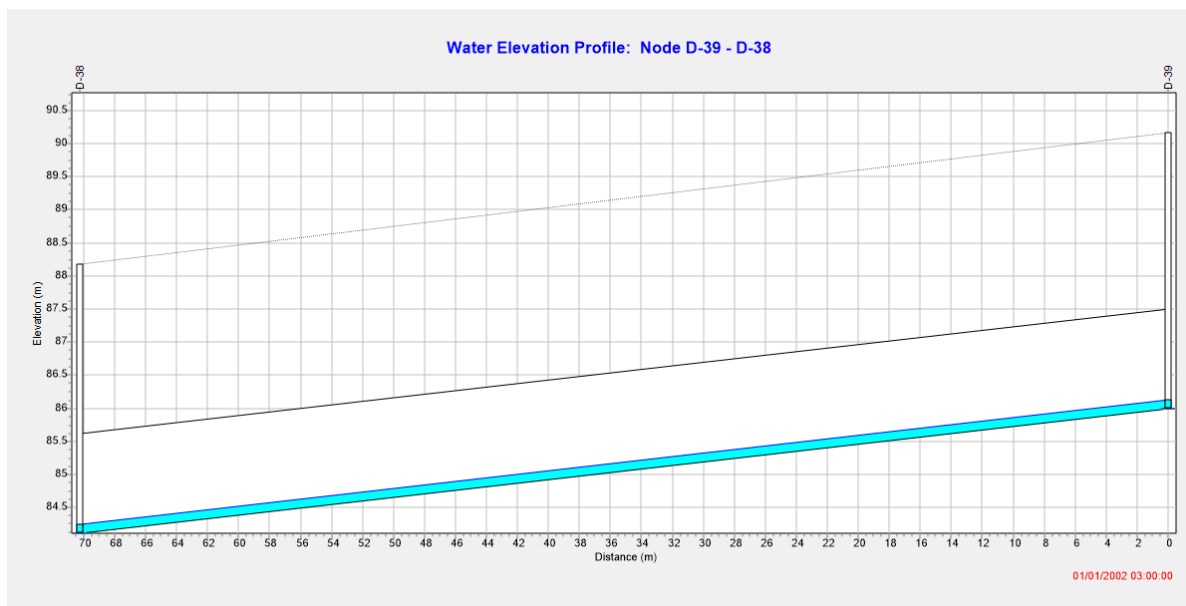


Εικόνα 4.48: Προφίλ υπόγειου αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου

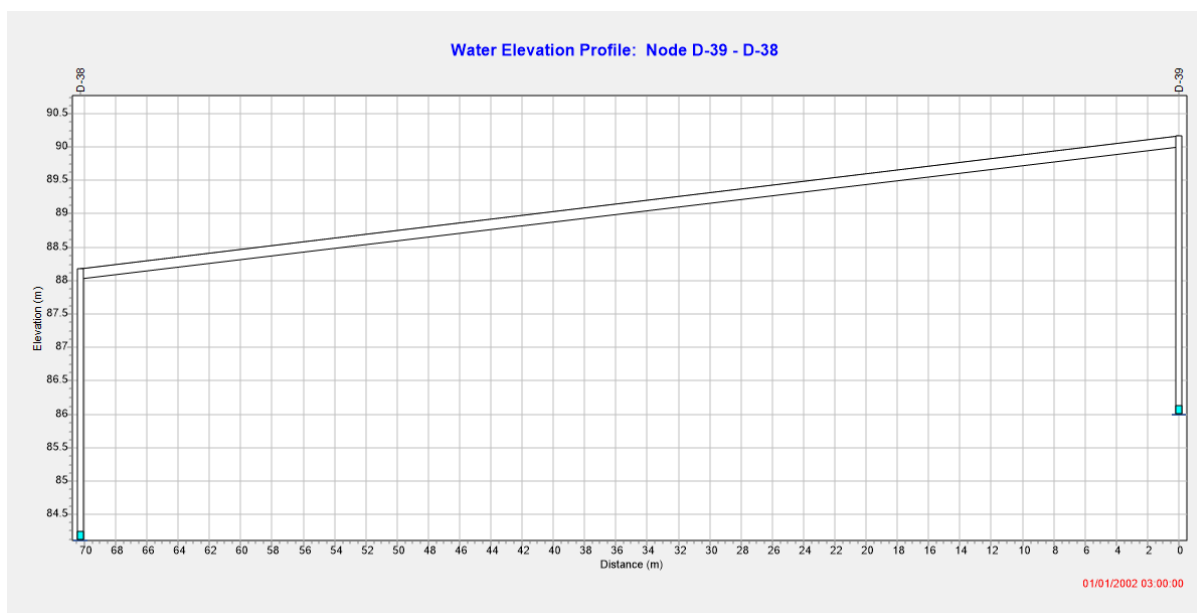


Εικόνα 4.49: Προφίλ επιφανειακού αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου

Αντίστοιχα στις Εικόνες 4.50 και 4.51 παρουσιάζεται το προφίλ των ίδιων αγωγών στην αρχή της τρίτης ώρας.



Εικόνα 4.50: Προφίλ υπόγειου αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 στην αρχή της τρίτης ώρας



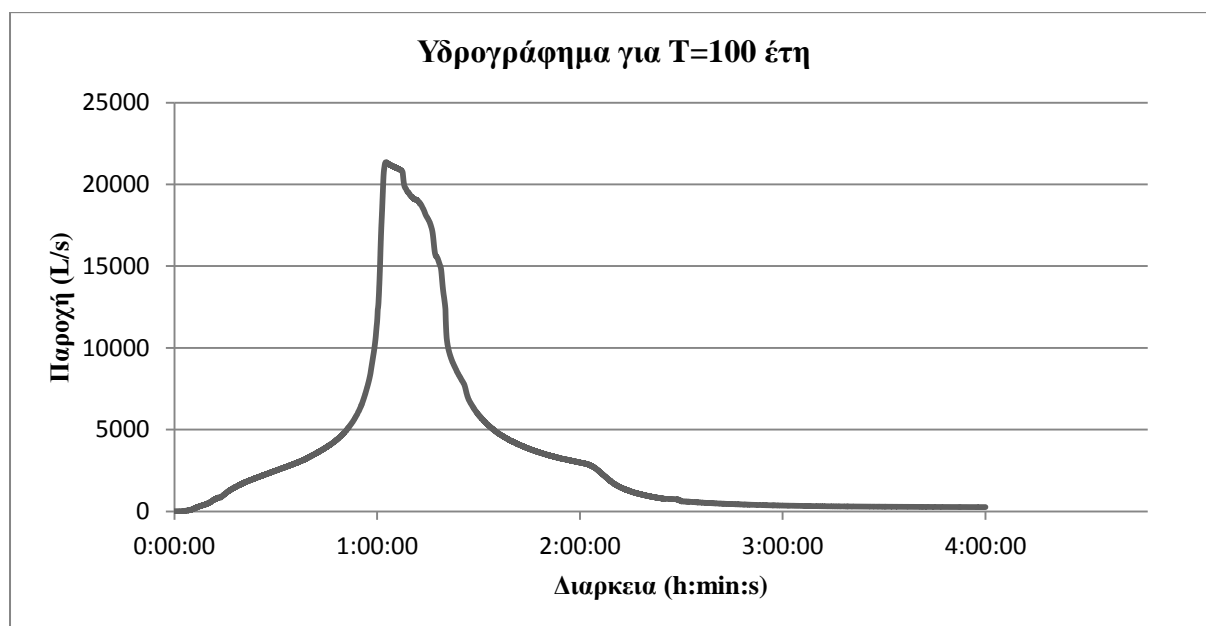
Εικόνα 4.51: Προφίλ επιφανειακού αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 στην αρχή της τρίτης ώρας

4.3.2.7 Περίοδος επαναφοράς $T=100$ έτη

Η τελευταία περίπτωση, για διάρκεια βροχόπτωσης 2 h η οποία προσομοιώθηκε με το λογισμικό SWMM ήταν για βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 100 ετών. Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι περισσότεροι παντοροϊκοί αγωγοί πληρώνονται καθώς και αρκετοί επιφανειακοί αγωγοί. Επιπλέον αρκετά φρεάτια πλημμυρίζουν καθώς το αποχετευτικό σύστημα αδυνατεί να παροχετεύσει το σύνολο της απορροής. Στον Πίνακα 4.27 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση της βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 100 ετών, ενώ στην Εικόνα 4.52 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του συστήματος.

Πίνακας 4.27: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωσης διάρκειας 2h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών

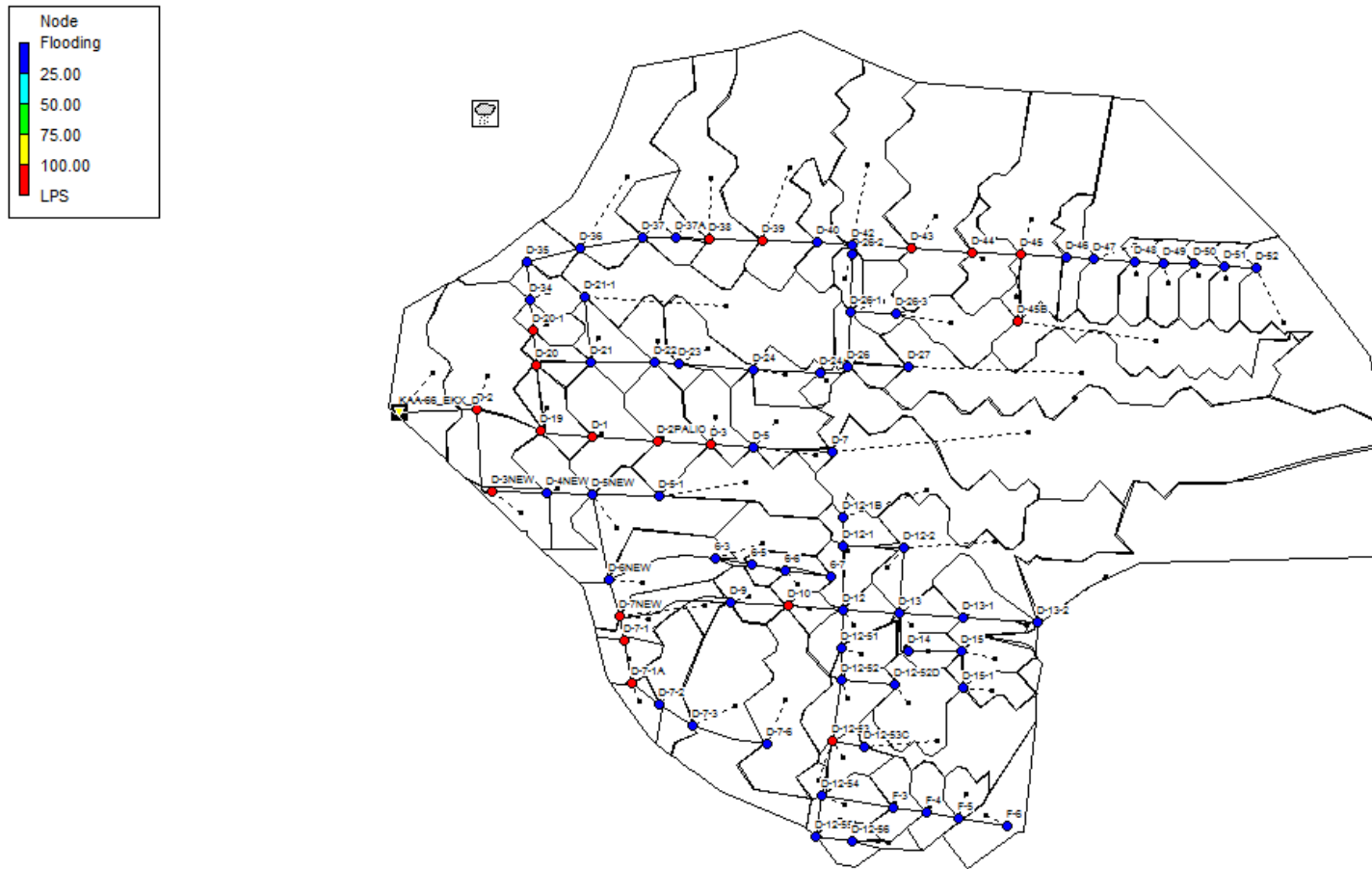
Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=100$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	66.4
Διήθηση (mm)	2.7
Παροχή αιχμής (L/s)	21344
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:02:37
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-10, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-2PALIO, D-3, D-35, D-38, D-39, D-3NEW, D-40, D-43, D-44, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW



Εικόνα 4.52: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 100 ετών

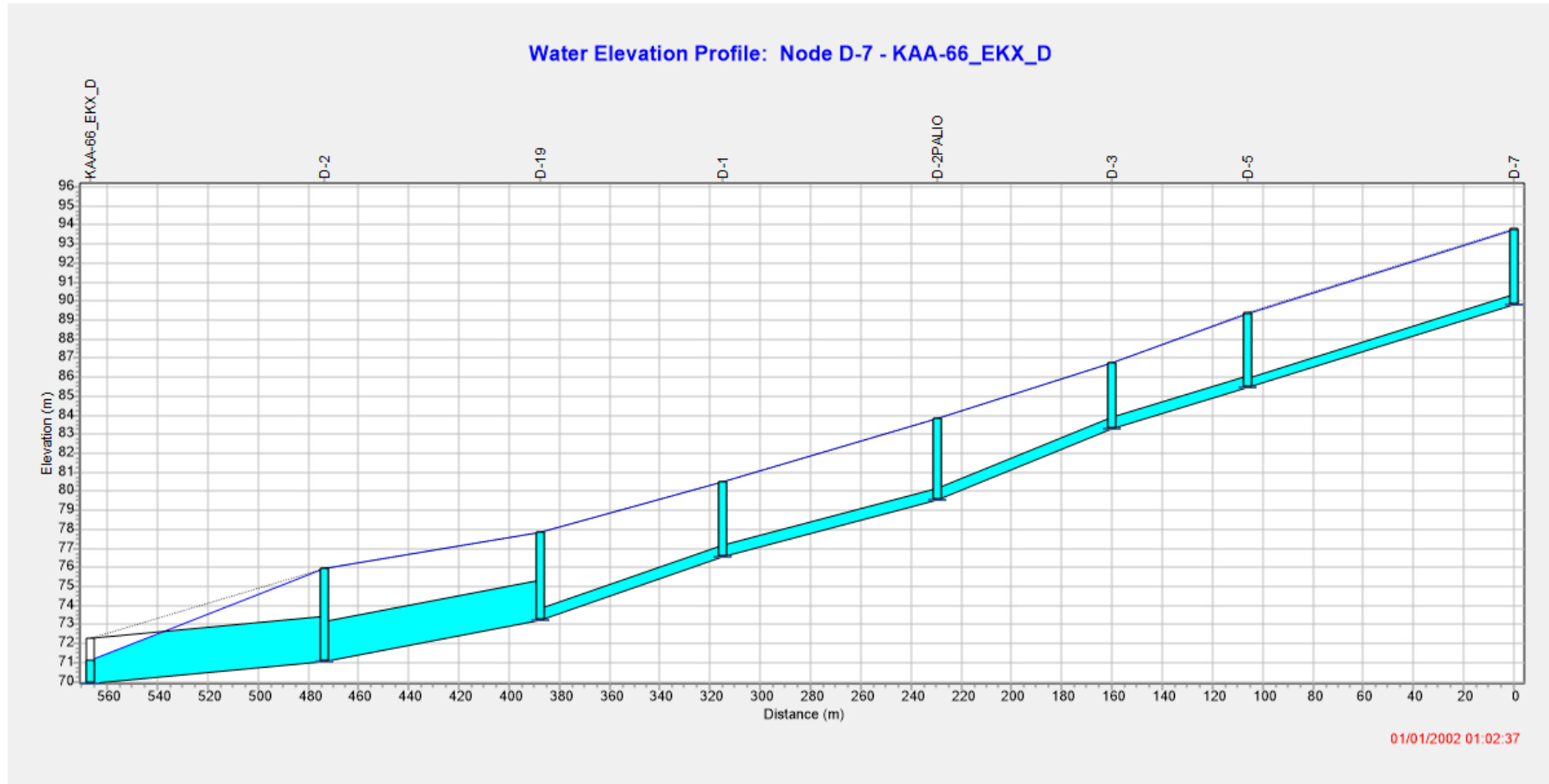
Στην Εικόνα 4.53 παρουσιάζεται τα φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.

01/01/2002 01:02:37



Εικόνα 4.53: Φρεάτια δικτύου τα οποία πλημμυρίζουν

Τέλος στην Εικόνα 4.54 παρουσιάζεται το προφίλ των υπόγειων αποχευτικών αγωγών από το φρεάτιο D-7 έως την έξοδο του συστήματος. Η πλειοψηφία των φρεατίων αυτών έχουν πλημμυρίσει και η ροή του νερού πραγματοποιείται στο δρόμο.



Εικόνα 4.54: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-7 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής

4.3.3 Βροχή διάρκειας 3 h

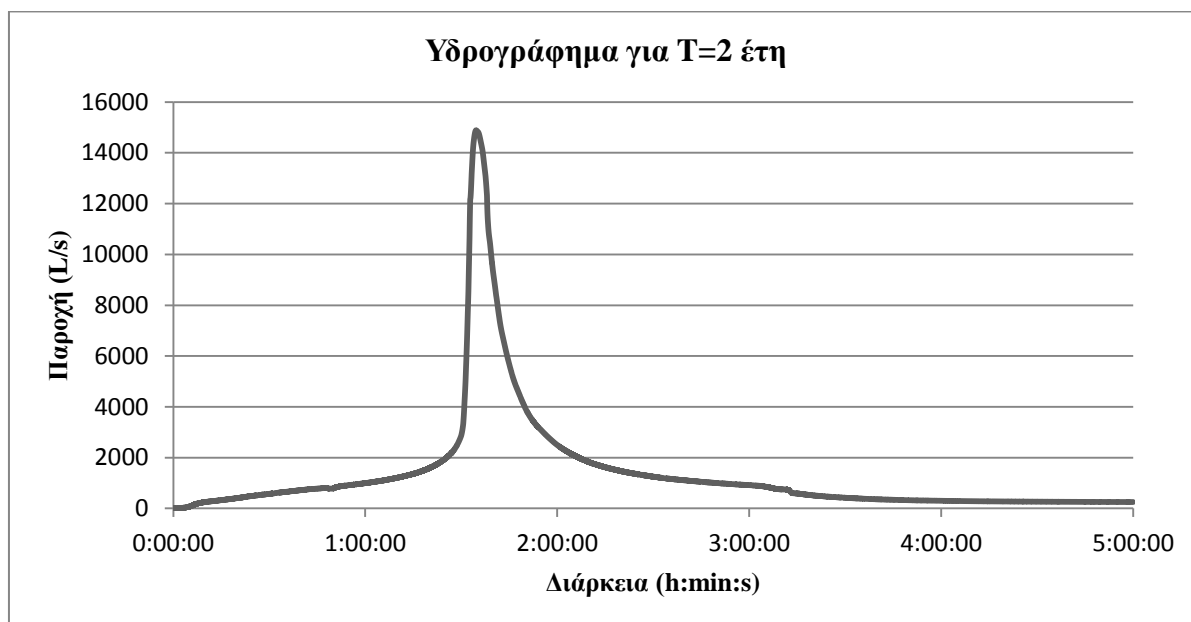
Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης σχεδιασμού διάρκειας 3 h και για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50 και 100 έτη.

4.3.3.1 Περίοδος επαναφοράς $T=2$ έτη

Η προσομοίωση του παντοροϊκού δικτύου με το λογισμικό SWMM για βροχή σχεδιασμού 3 h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη, έδωσε τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.28. Το αποχετευτικό δίκτυο είναι επαρκές, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις και αποχετεύει πλήρως την απορροή η οποία προκαλείται από την συγκεκριμένη βροχόπτωση χωρίς κανένας κόμβος του δικτύου να πλημμυρίζει. Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.55 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

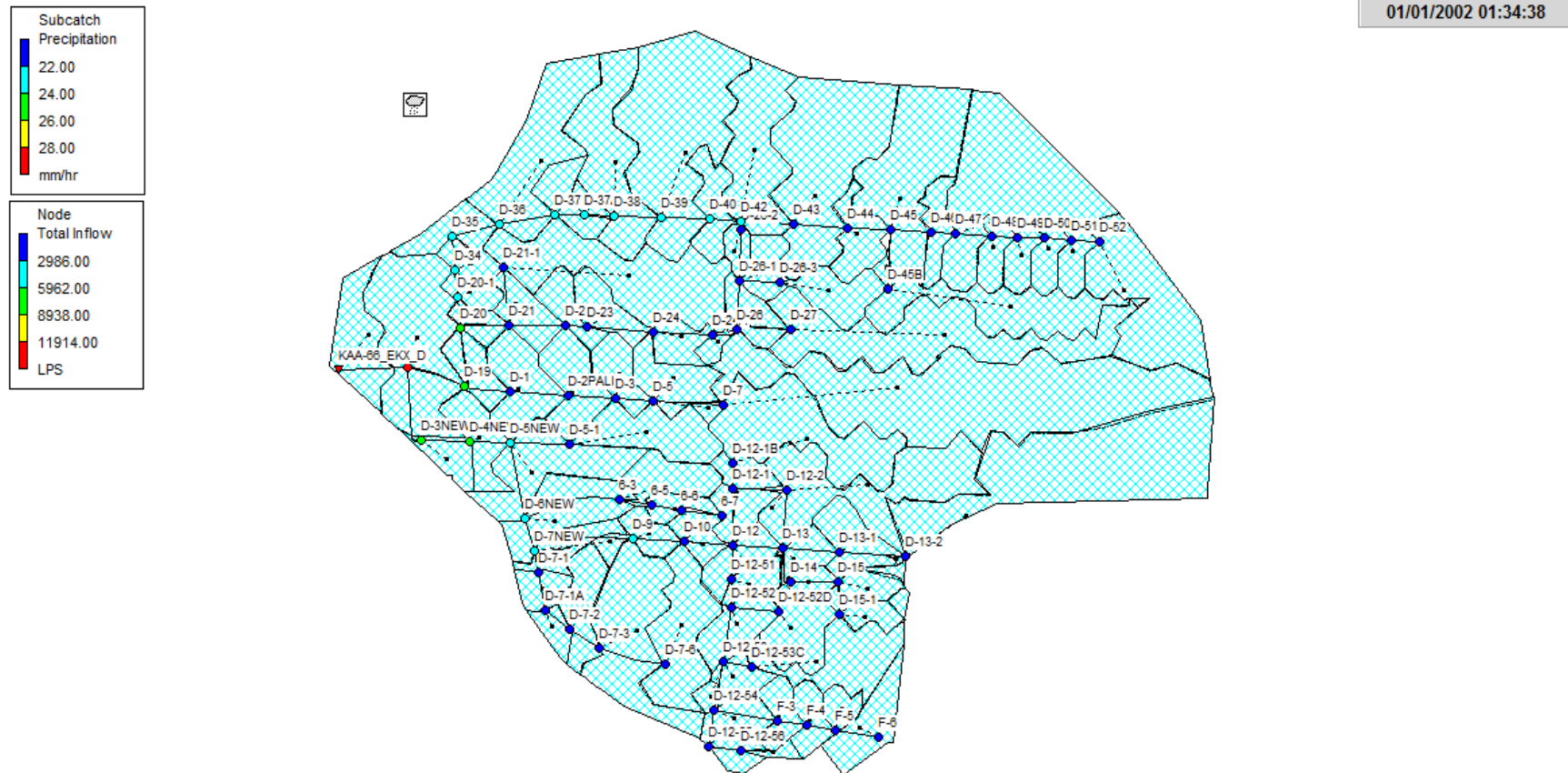
Πίνακας 4.28: Αποτελέσματα προσομοίωσης για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=2$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	25.2
Διήθηση (mm)	2.1
Παροχή αιχμής (L/s)	14882
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:34:38



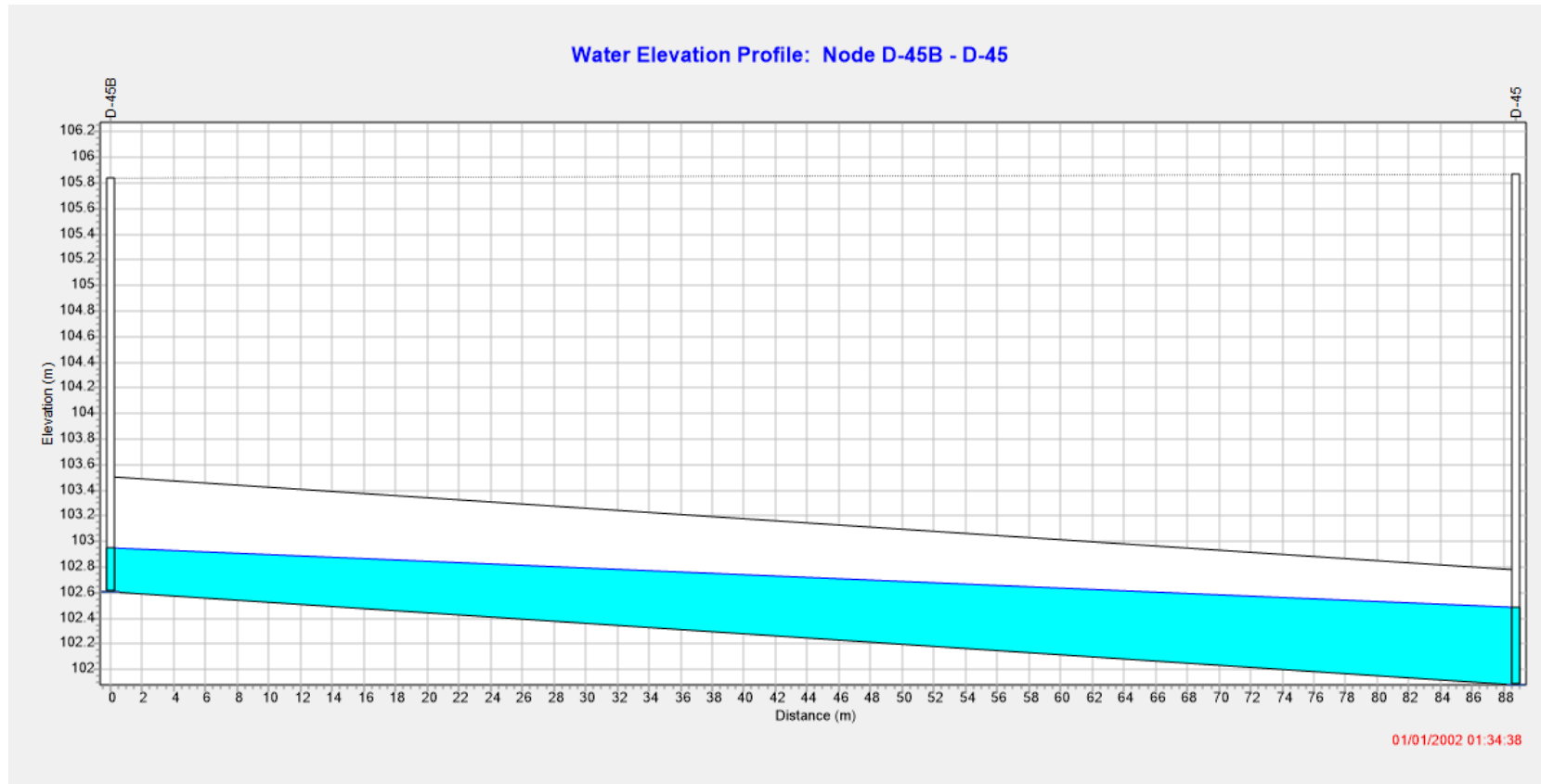
Εικόνα 4.55: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=2$ ετών

Στην Εικόνα 4.56 παρουσιάζεται η βροχόπτωση (mm/h) σε κάθε υπολεκάνη, της περιοχής μελέτης, καθώς και η εισροή (L/s), κατά την χρονική στιγμή της εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.



Εικόνα 4.56: Βροχόπτωση ανά υπολεκάνη και εισροή στους κόμβους του δικτύου κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

Τέλος, στην Εικόνα 4.57 παρουσιάζεται ο υπόγειος παντοροϊκός αγωγός, που συνδέει τα φρεάτια D-45B και D-45 την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου. Όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα ο αγωγός είναι επαρκής για την αποχέτευση, του συγκεκριμένου επεισοδίου βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα ο λόγος πλήρωσης (y/D) στον αγωγό είναι 0.62.



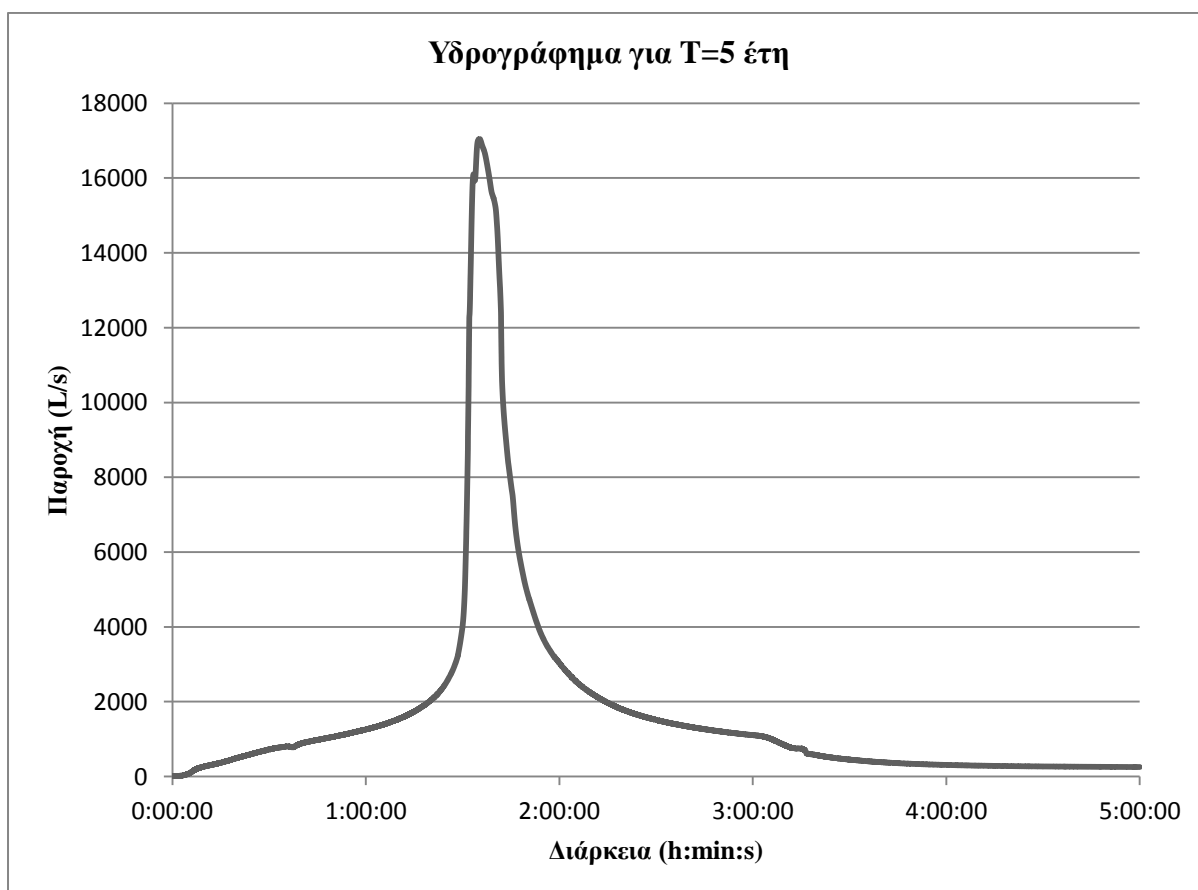
Εικόνα 4.57: Προφίλ υπόγειου αποχετευτικού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.

4.3.3.2 Περίοδος επαναφοράς $T=5$ έτη

Στον Πίνακα 4.29 παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 5 ετών για το αποχετευτικό δίκτυο της Ζώνης Δ, του παντοροϊκού δικτύου Αθηνών. Το δίκτυο όπως στις προηγούμενες έτσι και σε αυτήν την περίπτωση είναι επαρκές και αποχετεύει το σύνολο της απορροής χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα πλημμυρισμού των κόμβων. Στην Εικόνα 4.58 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

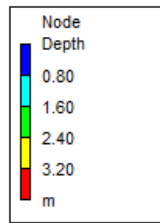
Πίνακας 4.29: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=5$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	32.5
Διήθηση (mm)	2.3
Παροχή αιχμής (L/s)	17037
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:35:15

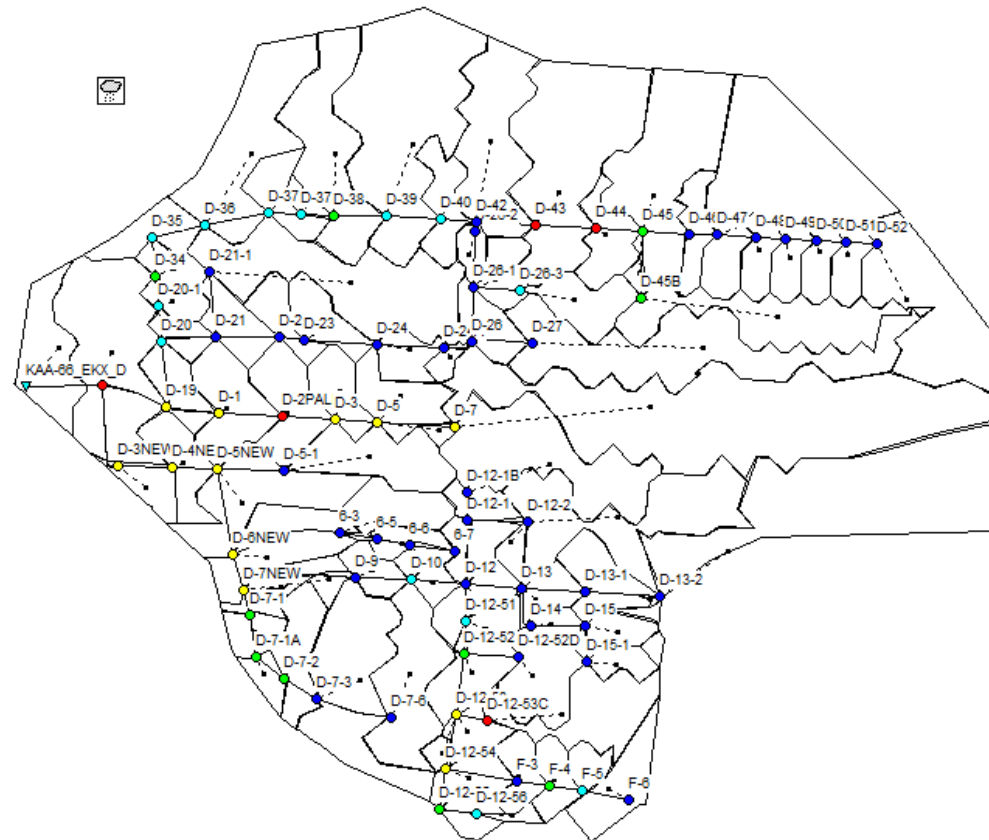


Εικόνα 4.58: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=5$ ετών

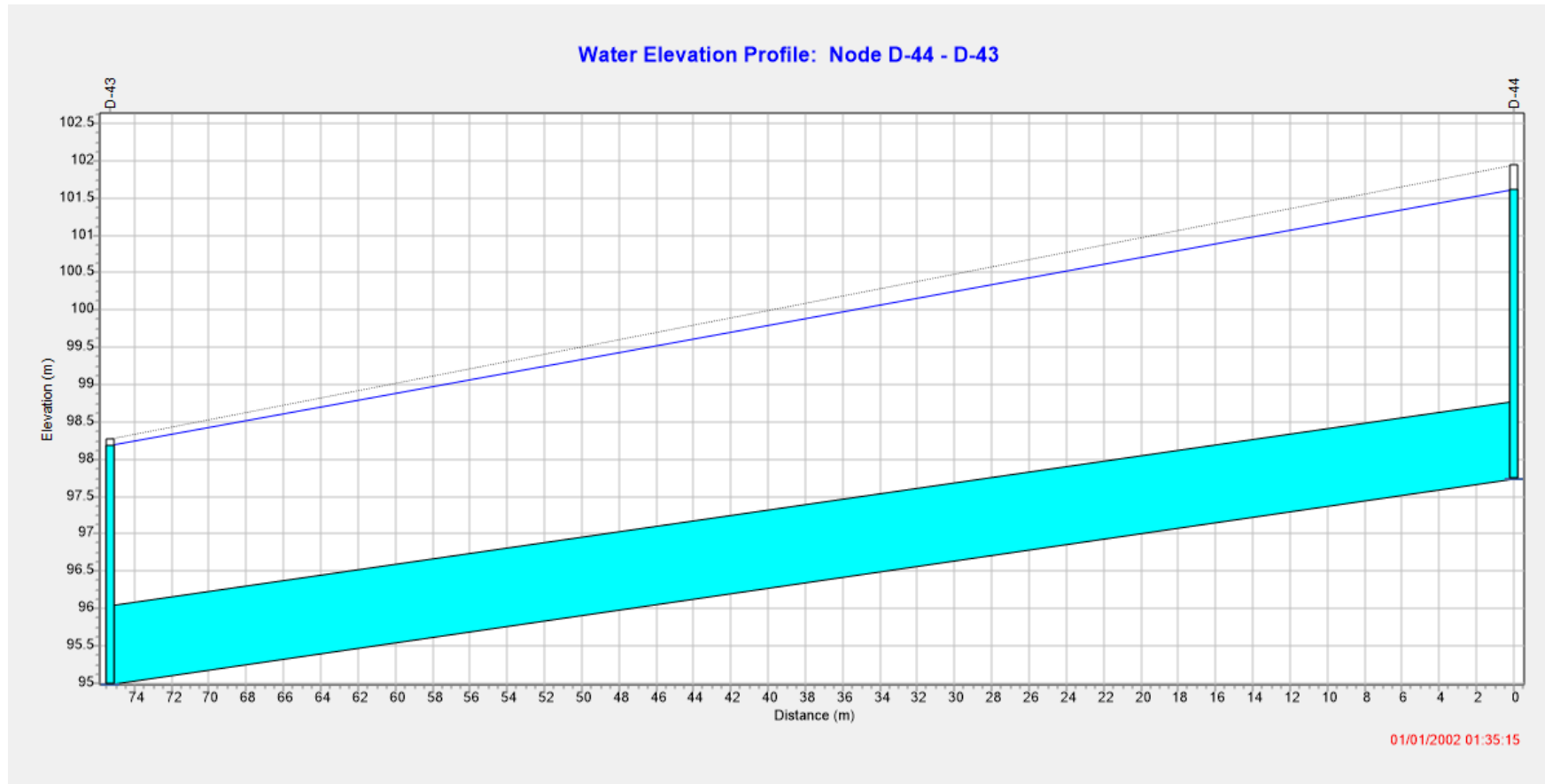
Στην Εικόνα 4.59 παρουσιάζεται το βάθος νερού (m), στους κόμβους του δικτύου αποχέτευσης, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στον κόμβο εξόδου της Ζώνης Δ. Όπως ήδη αναφέρθηκε, κανένας κόμβος δεν πλημμυρίζει. Βέβαια, ορισμένοι υπόγειοι αποχετευτικοί αγωγοί πληρώνονται. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.60.



01/01/2002 01:35:15



Εικόνα 4.59: Βάθος νερού στους κόμβους του αποχετευτικού δικτύου, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής



Εικόνα 4.60: Αγωγός με ολική πλήρωση κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στο υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο

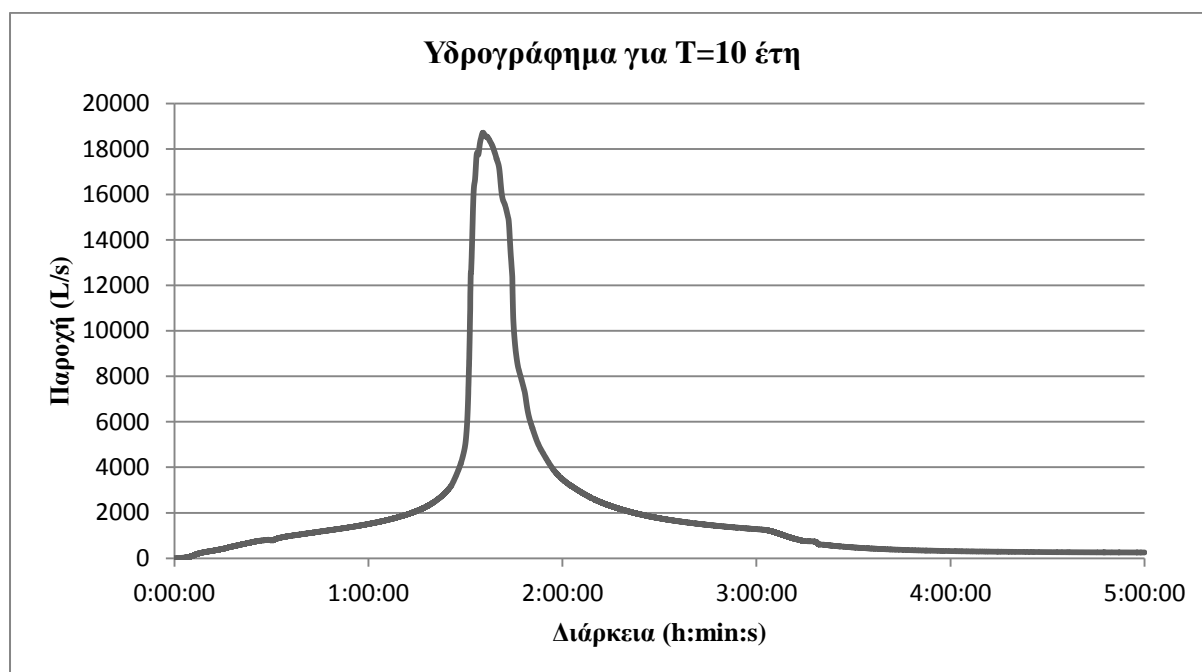
Λόγω του ότι ο συγκεκριμένος αγωγός έχει πληρωθεί, η ροή πραγματοποιείται από το επιφανειακό αποχετευτικό δίκτυο, χωρίς βέβαια ο επιφανειακός αγωγός να πληρώνεται, $y/D=0.34$, και για το λόγο αυτό, δεν εμφανίζονται τα δύο αυτά φρεάτια ως πλημμυρισμένα.

4.3.3.3 Περίοδος επαναφοράς $T=10$ έτη

Στον Πίνακα 4.30 παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 10 ετών, για την περιοχή μελέτης. Το δίκτυο σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι επαρκές και δεν είναι ικανό να αποχετεύσει το σύνολο της απορροής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Στην Εικόνα 4.61 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

Πίνακας 4.30: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 10 έτη

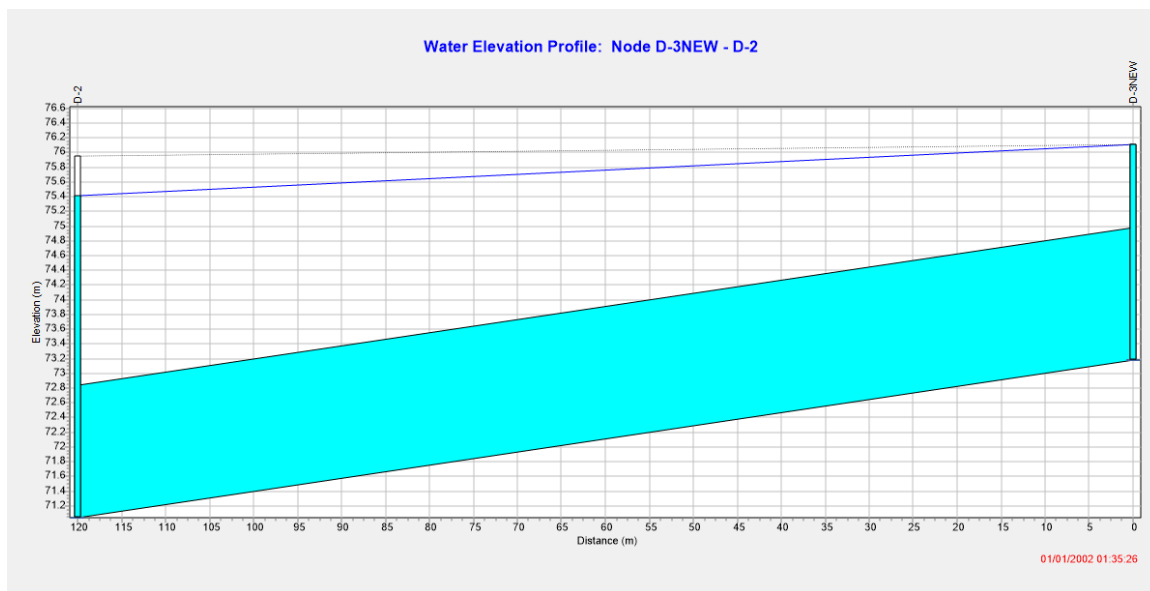
Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=10$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	39.3
Διήθηση (mm)	2.4
Παροχή αιχμής (L/s)	18709
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:35:26
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-3NEW, D-45B, D-7NEW



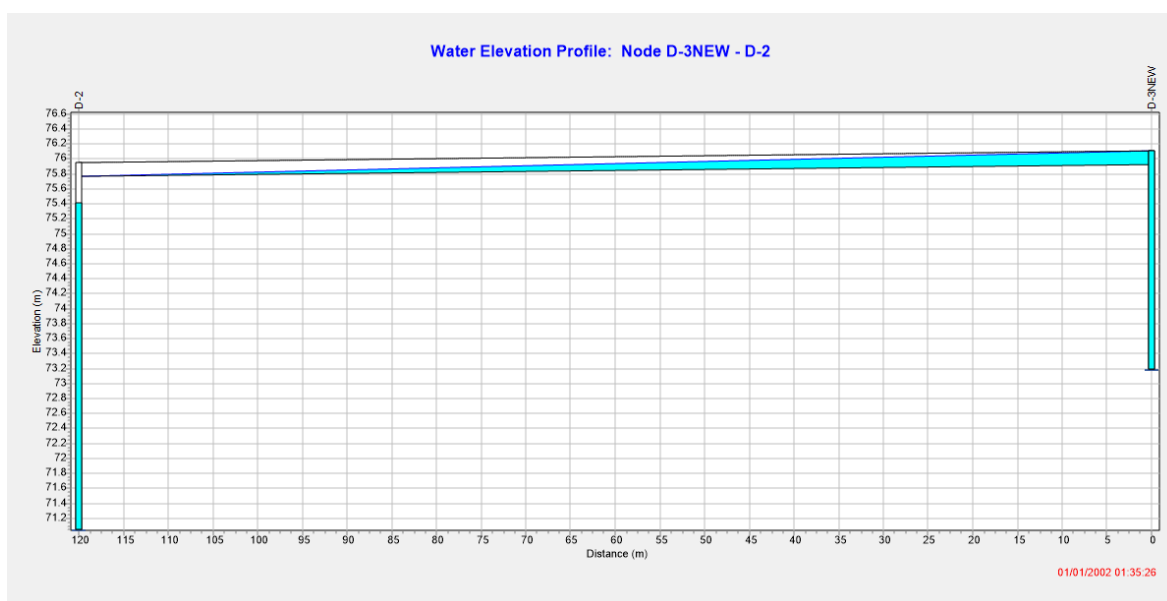
Εικόνα 4.61: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=10$ ετών

Όπως ήδη αναφέρθηκε, αρκετοί υπόγειοι αποχετευτικοί αγωγοί πληρώνονται, καθώς και ορισμένοι επιφανειακοί, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμυρισμού των κόμβων. Στην Εικόνα 4.62 παρουσιάζεται το προφίλ πληρωμένου υπόγειου αποχετευτικού

αγωγού, κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής, ενώ στην Εικόνα 4.63 παρουσιάζεται το προφίλ του αντίστοιχου επιφανειακού αγωγού την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή. Παρατηρείται πως η ροή, στον υπόγειο αγωγό δεν πραγματοποιείται με ελεύθερη επιφάνεια ($y/D=1$), με αποτέλεσμα ο ανάντη κόμβος να έχει πλημμυρίσει και το βάθος του νερού να έχει ξεπεράσει το επίπεδο του κρασπέδου.



Εικόνα 4.62: Προφίλ υπόγειου παντοροϊκού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής



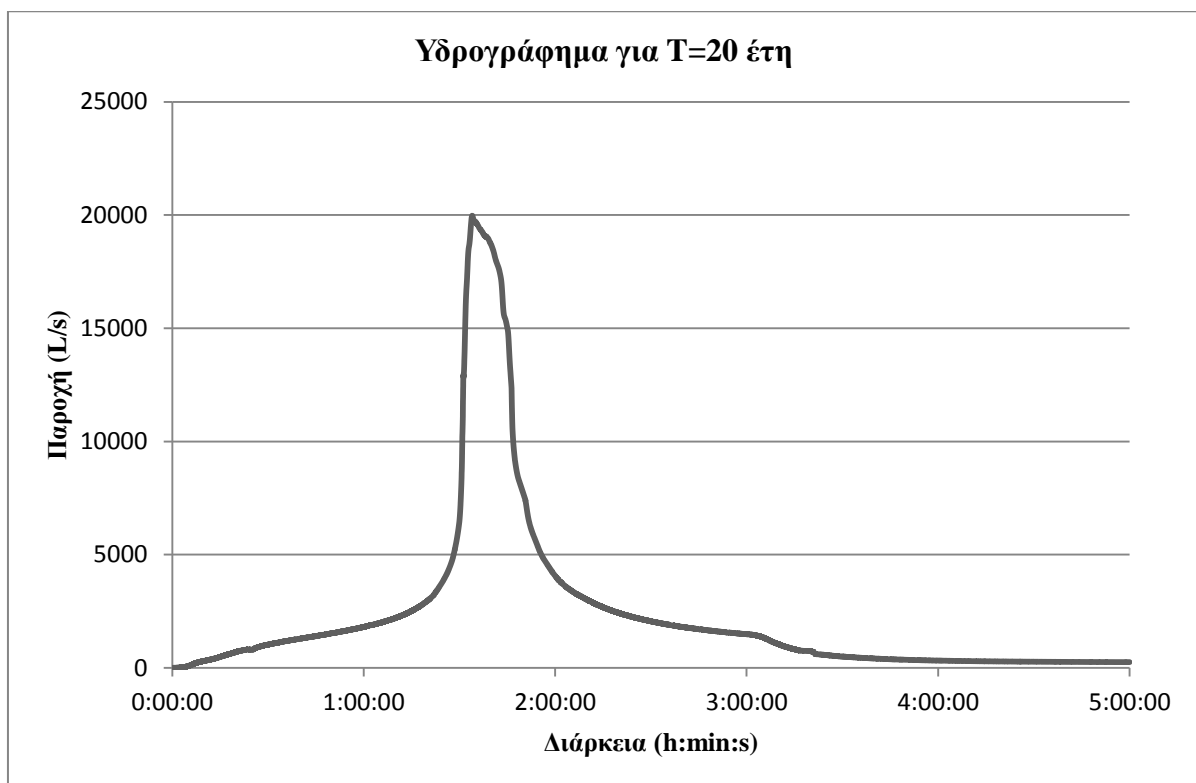
Εικόνα 4.63: Προφίλ επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής

4.3.3.4 Περίοδος επαναφοράς $T=20$ έτη

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκής, όπως και προηγουμένως, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Όπως είναι λογικό, περισσότεροι κόμβοι του δικτύου πληρώνονται και πλημμυρίζουν σε σχέση με τη βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς $T=10$ ετών. Τα συνοπτικά αποτελέσματα, για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.31, ενώ στην Εικόνα 4.64 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 20 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

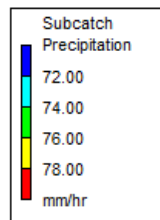
Πίνακας 4.31: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=20$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	47.6
Διήθηση (mm)	2.5
Παροχή αιχμής (L/s)	19971
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:34:01
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

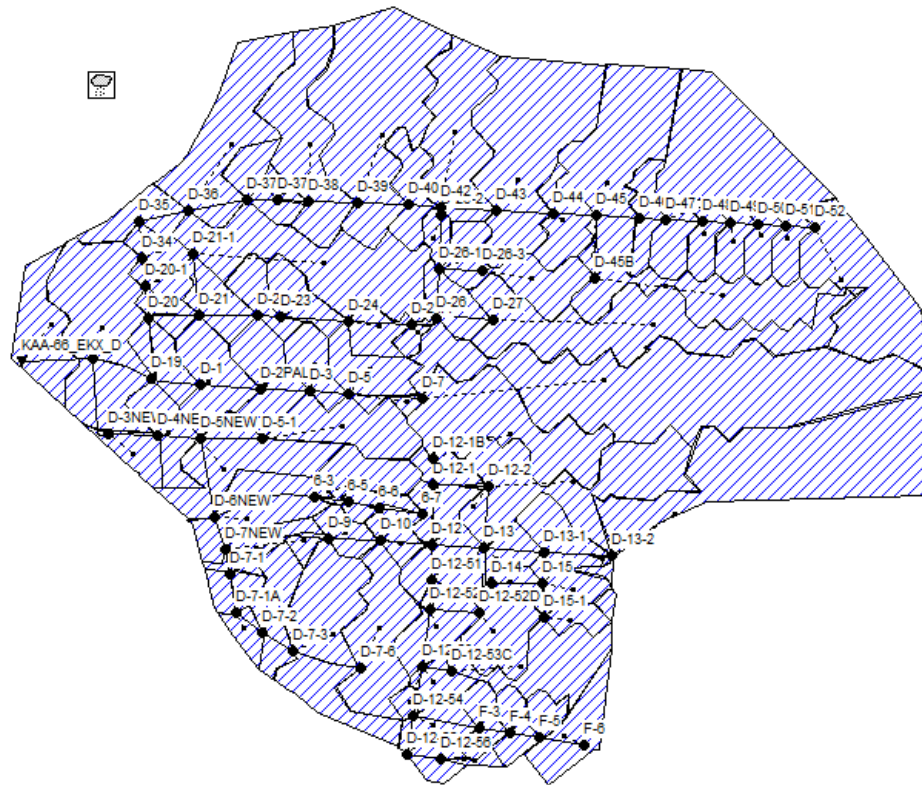


Εικόνα 4.64: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=20$ ετών

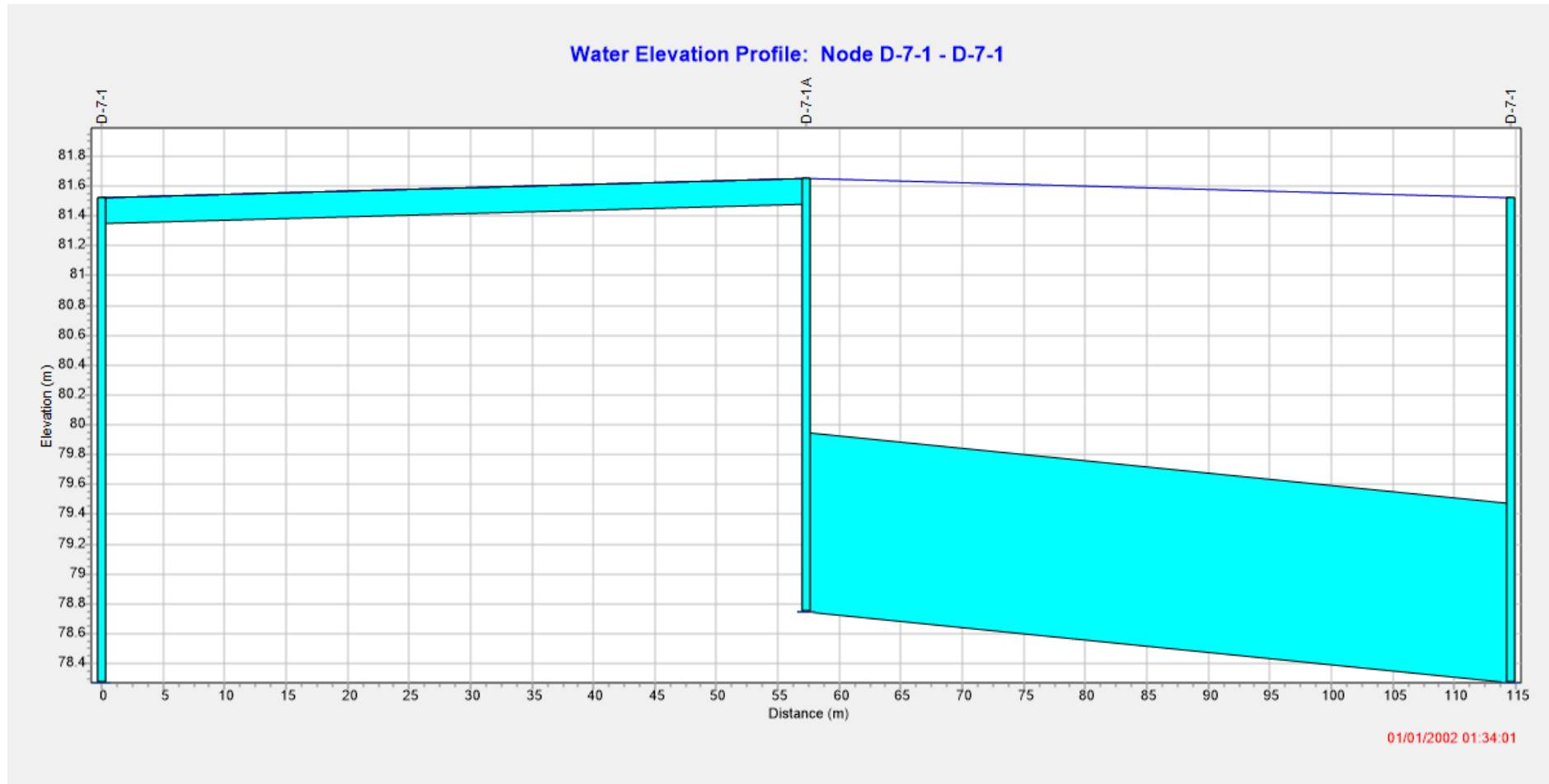
Στην Εικόνα 4.65 παρουσιάζεται η βροχόπτωση (mm/hr), σε κάθε υπολεκάνη της περιοχής μελέτης, καθώς και το βάθος νερού στους κόμβους του δικτύου, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο της Ζώνης Δ του παντοροϊκού δικτύου Αθηνών. Επιπλέον, στην Εικόνα 4.66 παρουσιάζεται το προφίλ υπόγειου (δεξιά) και επιφανειακού αγωγού (αριστερά) κατά την ίδια χρονική στιγμή. Και οι δύο αγωγοί έχουν ξεπεράσει την παροχευτική τους ικανότητα με αποτέλεσμα και τα δύο φρεάτια να πλημμυρίζουν.



01/01/2002 01:34:01



Εικόνα 4.65: Βροχόπτωση ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου



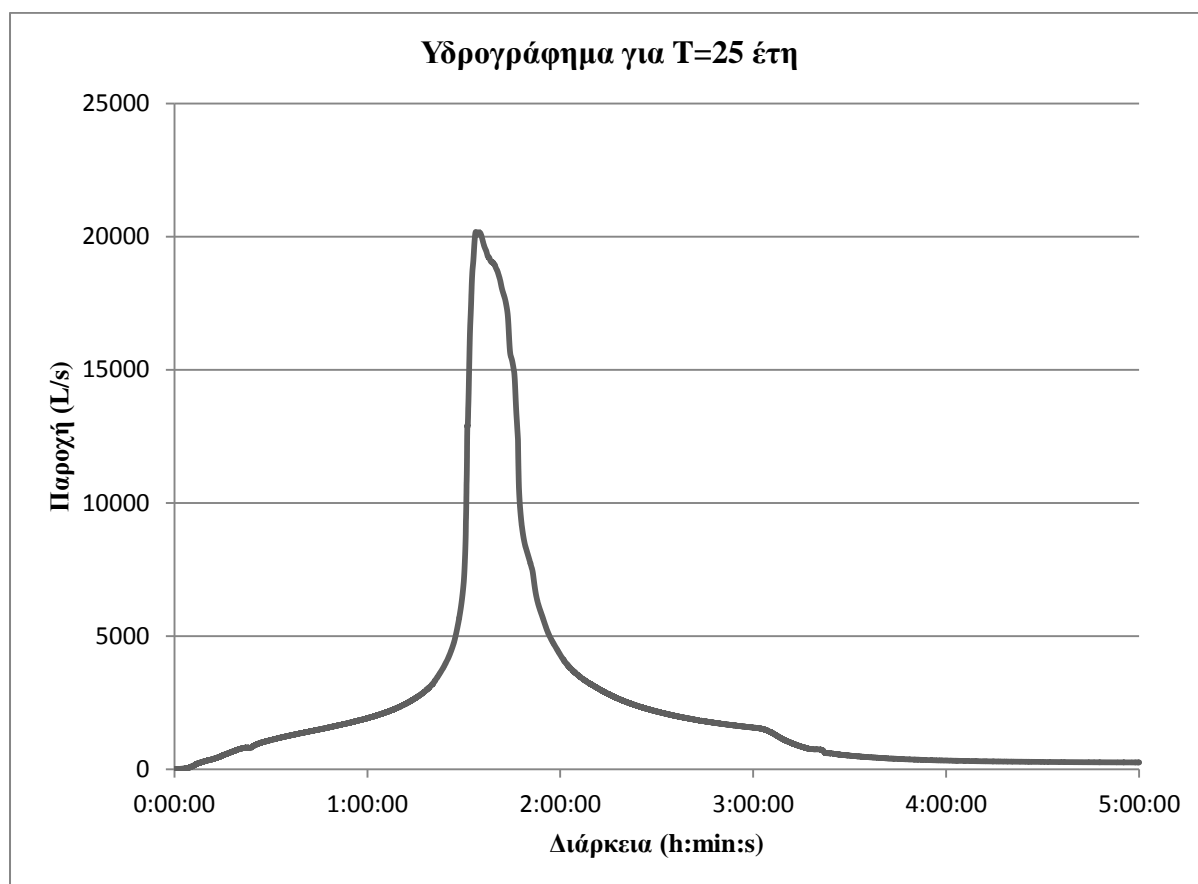
Εικόνα 4.66: Προφίλ υπόγειου και αντίστοιχου επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του παντοροϊκού δικτύου αποχέτευσης

4.3.3.5 Περίοδος επαναφοράς $T=25$ έτη

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.32, ενώ στην Εικόνα 4.67 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 25 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

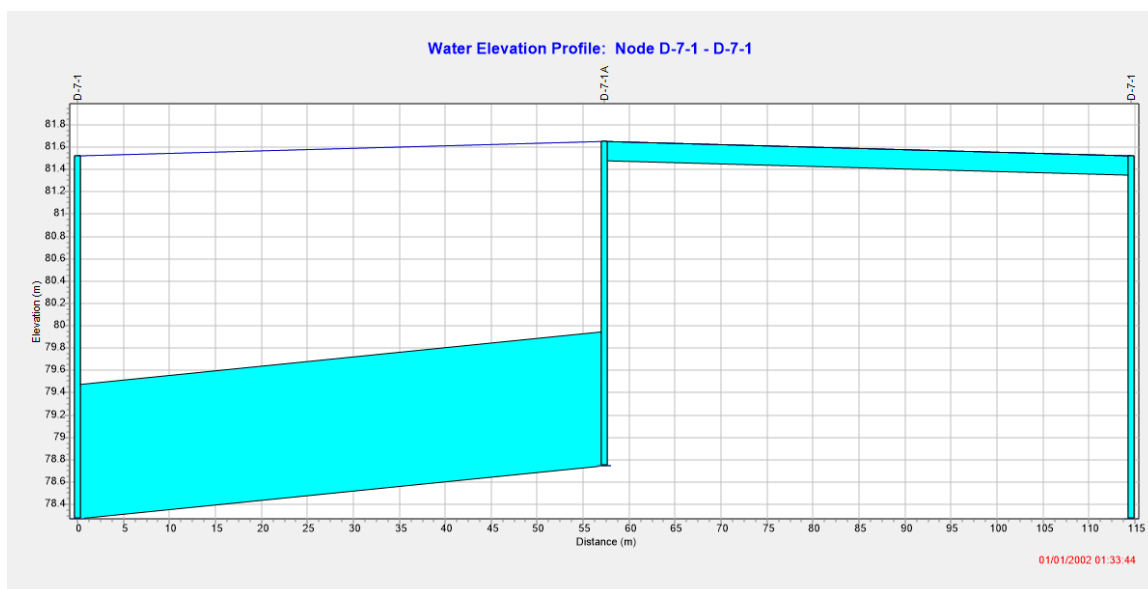
Πίνακας 4.32: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=25$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	50.6
Διήθηση (mm)	2.6
Παροχή αιχμής (L/s)	20175
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:33:44
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-38, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

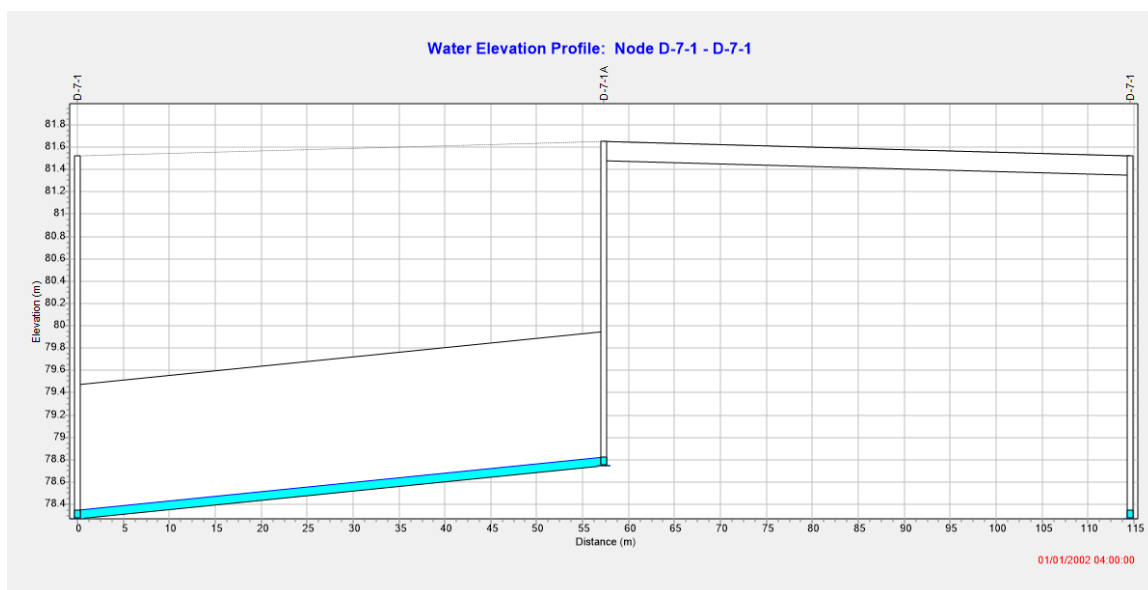


Εικόνα 4.67: Υδρογράφημα βροχόπτωσης σχεδιασμού $t=3h$ και $T=25$ ετών

Στην Εικόνα 4.68 παρουσιάζεται το προφίλ υπόγειου (αριστερά) και επιφανειακού αγωγού (δεξιά) κατά την ίδια χρονική στιγμή. Και οι δύο αγωγοί έχουν ξεπεράσει την παροχευτική τους ικανότητα με αποτέλεσμα και τα δύο φρεάτια να πλημμυρίζουν. Αντίστοιχα, στην Εικόνα 4.69 παρουσιάζεται το προφίλ των ίδιων αγωγών στην αρχή της τέταρτης ώρας, όπου η βροχόπτωση έχει σταματήσει. Η απορροή στον υπόγειο αποχετευτικό αγωγών είναι η απορροή ακαθάρτων.



Εικόνα 4.68: Προφίλ υπόγειου και επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου



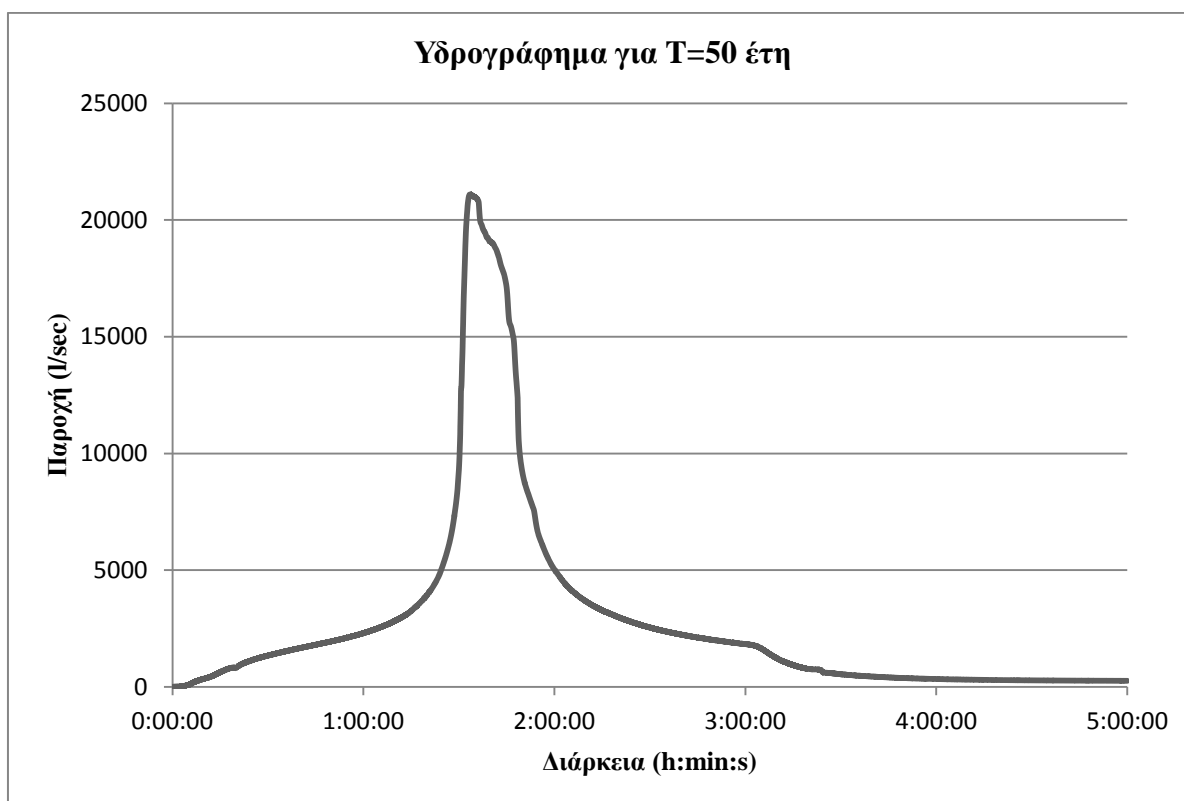
Εικόνα 4.69: Προφίλ υπόγειου και επιφανειακού αγωγού στην αρχή της τέταρτης ώρας της προσομοίωσης

4.3.3.6 Περίοδος επαναφοράς $T=50$ έτη

Κατά την προσομοίωση του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου με βροχόπτωση σχεδιασμού 3 h και περίοδο επαναφοράς 50 έτη, διαπιστώθηκε πως μεγάλο μέρος του υπόγειου, παντοροϊκού συστήματος αποχέτευσης πληρώνεται καθώς και ορισμένοι επιφανειακοί αγωγοί. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.33, ενώ στην Εικόνα 4.70 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 50 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

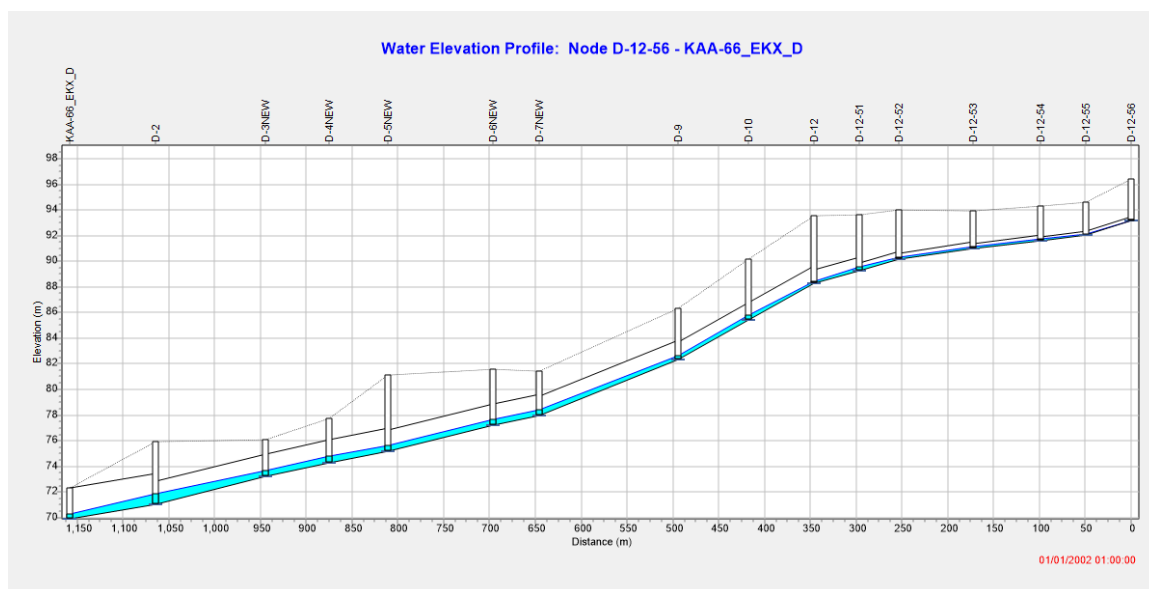
Πίνακας 4.33: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=50$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	61.3
Διήθηση (mm)	2.7
Παροχή αιχμής (L/s)	21094
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:33:30
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-38, D-39, D-3NEW, D-43, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

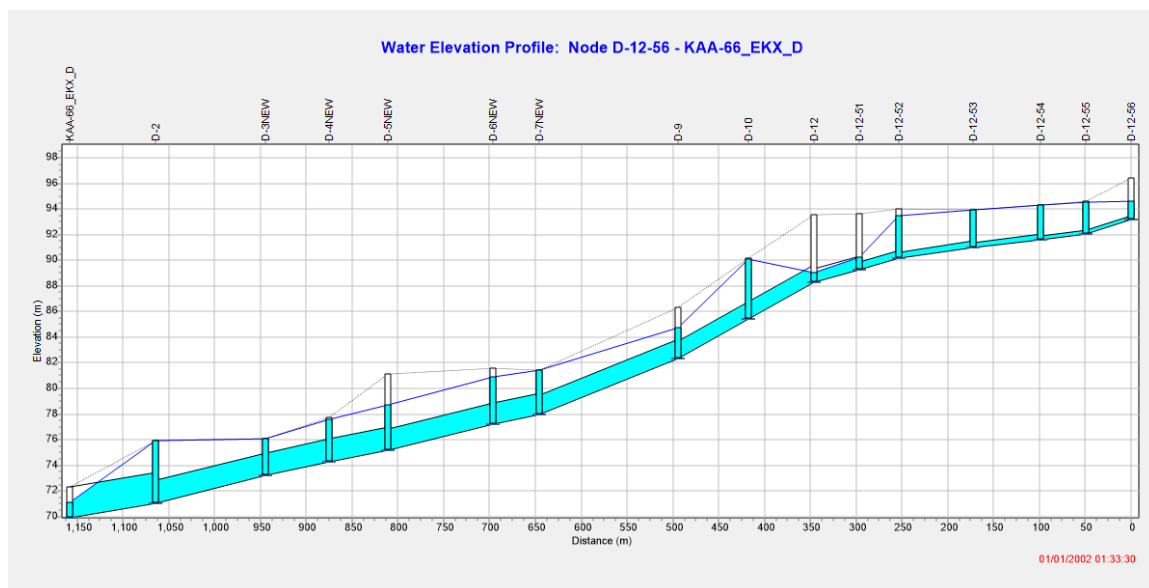


Εικόνα 4.70: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=50$ ετών

Στην Εικόνα 4.71 παρουσιάζεται το προφίλ των υπόγειων παντοροϊκών αγωγών, από το φρεάτιο D-12-56 έως την έξοδο του συστήματος, στην αρχή της πρώτης ώρας της βροχόπτωσης. Στο σημείο αυτό κανένα φρεάτιο δεν πλημμυρίζει και οι αγωγοί λειτουργούν με ελεύθερη επιφάνεια, όπως είναι σχεδιασμένοι. Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.72 παρουσιάζεται το προφίλ των ίδιων αγωγών αλλά αυτή τη φορά κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του παντοροϊκού δικτύου.



Εικόνα 4.71: Προφίλ παντοροϊκών αγωγών στην αρχή της πρώτης ώρας της βροχόπτωσης σχεδιασμού



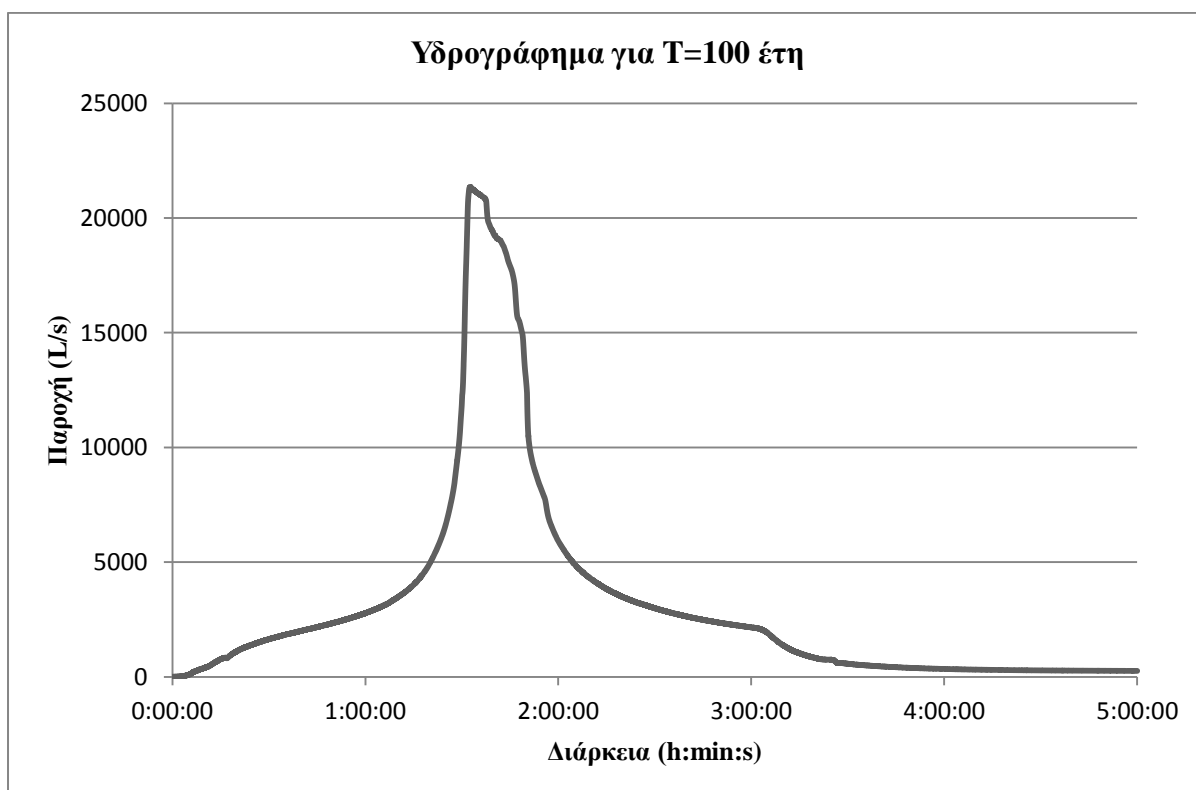
Εικόνα 4.72: Προφίλ παντοροϊκών αγωγών κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου

4.3.3.7 Περίοδος επαναφοράς $T=100$ έτη

Η τελευταία περίπτωση, για διάρκεια βροχόπτωσης 3 h η οποία προσομοιώθηκε με το λογισμικό SWMM ήταν για περίοδο επαναφοράς 100 ετών. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν, είναι παρόμοια με τα αποτελέσματα για διάρκεια βροχής 1 και 2 ώρες. Στον Πίνακα 4.34 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τη βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 100 ετών, ενώ στην Εικόνα 4.73 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του συστήματος.

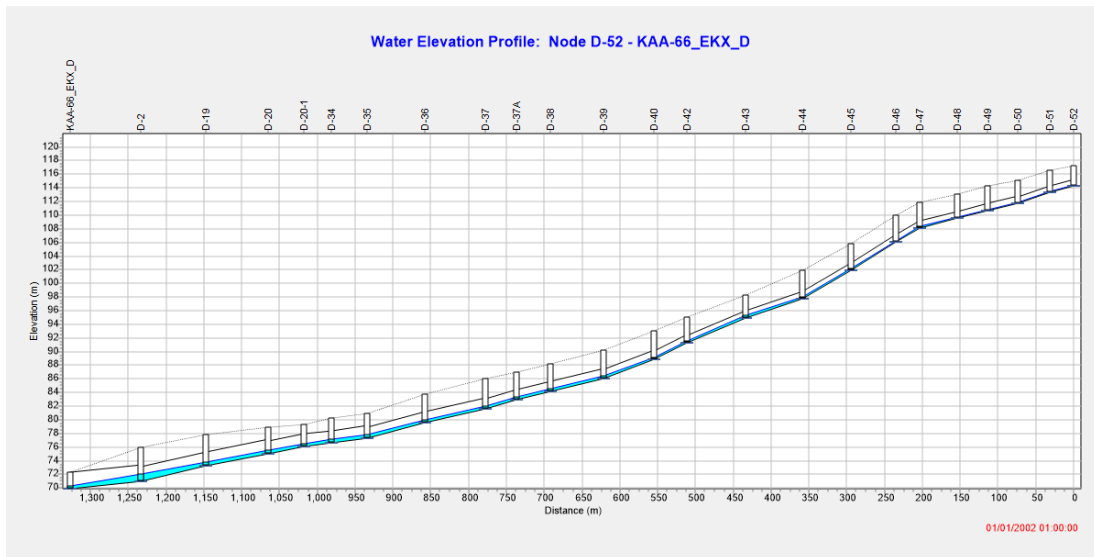
Πίνακας 4.34: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωσης διάρκειας 3h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=100$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	74.2
Διήθηση (mm)	2.7
Παροχή αιχμής (L/s)	21354
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	1:32:35
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-10, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-2PALIO, D-3, D-35, D-38, D-39, D-3NEW, D-40, D-43, D-44, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

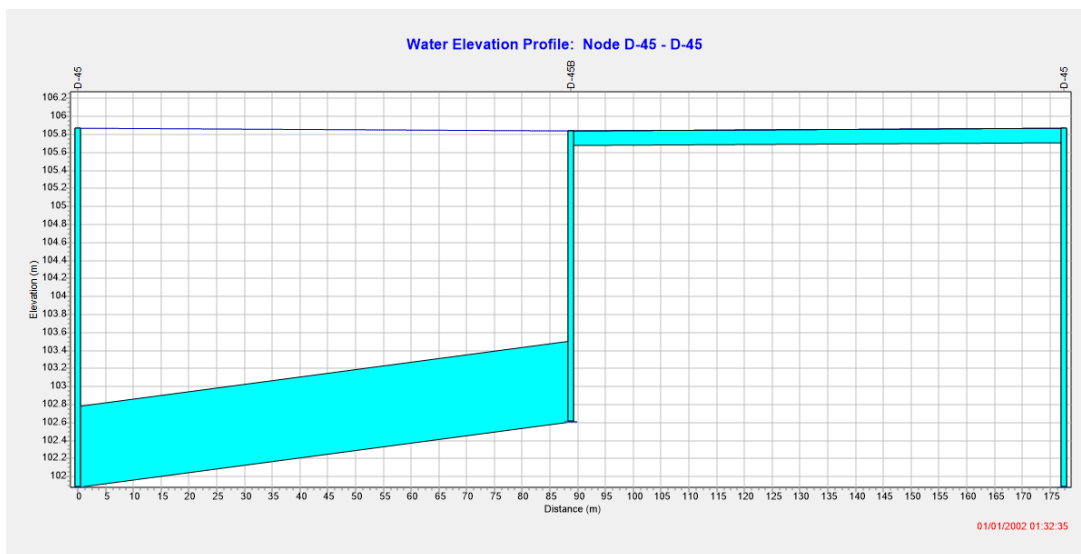


Εικόνα 4.73: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=3h$ και $T=100$ ετών

Στην Εικόνα 4.74 παρουσιάζεται το προφίλ των υπόγειων παντοροϊκών αγωγών, από το φρεάτιο D-52 έως την έξοδο του συστήματος, στην αρχή της πρώτης ώρας της βροχόπτωσης. Στο σημείο αυτό κανένα φρεάτιο δεν πλημμυρίζει. Ενώ στην Εικόνα 4.75 παρουσιάζεται το προφίλ υπόγειου (αριστερά) και επιφανειακού αγωγού (δεξιά) κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου. Και οι δύο αγωγοί έχουν ξεπεράσει την παροχευτική τους ικανότητα με αποτέλεσμα και τα δύο φρεάτια να πλημμυρίζουν.



Εικόνα 4.74: Προφίλ παντοροϊκών αγωγών στην αρχή της πρώτης ώρας της βροχόπτωσης σχεδιασμού



Εικόνα 4.75: Προφίλ υπόγειου και επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου

4.3.4 Βροχή διάρκειας 6 h

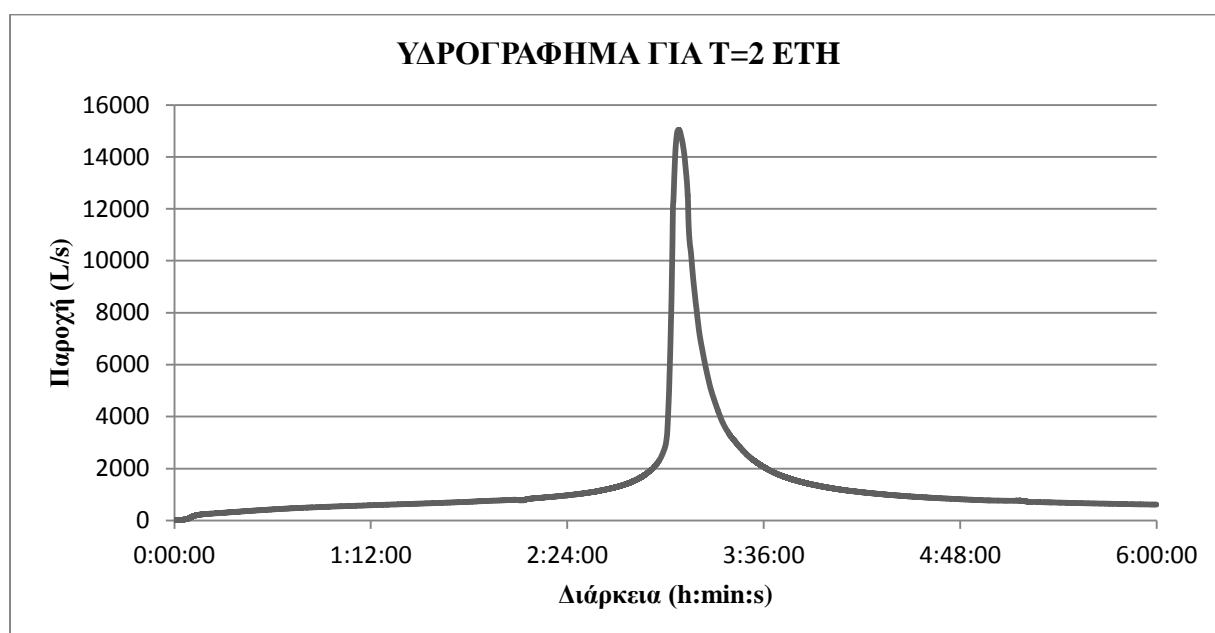
Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχής σχεδιασμού διάρκειας 6 h και για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50 και 100 έτη.

4.3.4.1 Περίοδος επαναφοράς $T=2$ έτη

Η προσομοίωση του παντοροϊκού δικτύου με το λογισμικό SWMM για βροχή σχεδιασμού 6 h και περίοδο επαναφοράς 2 ετών έδωσε τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.35. Το αποχετευτικό δίκτυο και σε αυτήν την περίπτωση είναι επαρκές και αποχετεύει πλήρως την απορροή η οποία προκαλείται από την συγκεκριμένη βροχόπτωση χωρίς κανένας κόμβος του δικτύου να πλημμυρίζει. Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.76 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

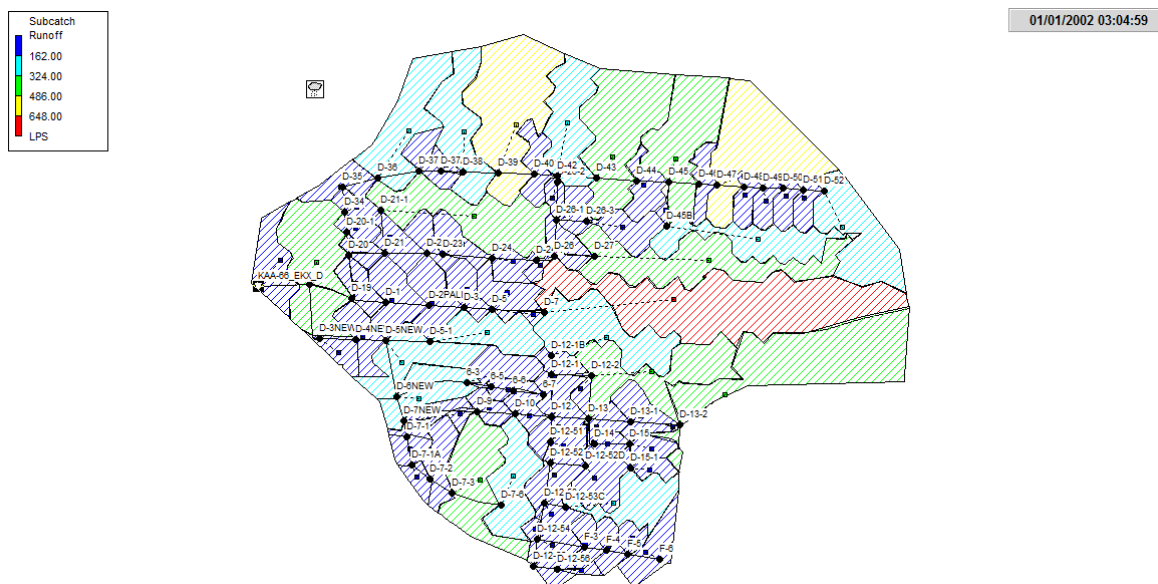
Πίνακας 4.35: Αποτελέσματα προσομοίωσης για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=2$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	30.5
Διήθηση (mm)	2.2
Παροχή αιχμής (L/s)	15035
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	3:04:59

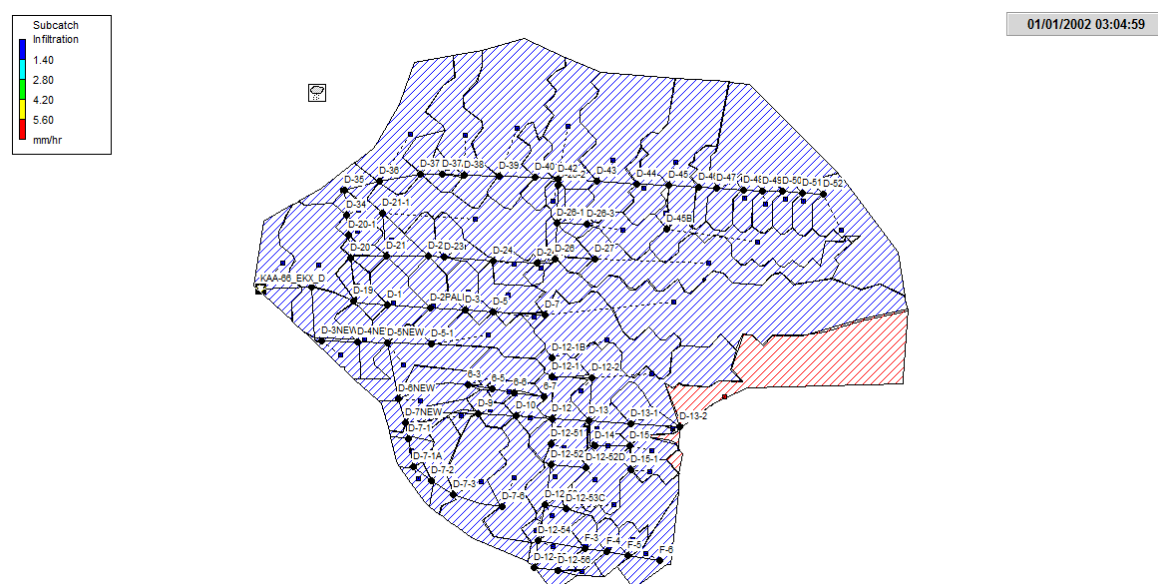


Εικόνα 4.76: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=2$ ετών

Στην Εικόνα 4.77 παρουσιάζεται η επιφανειακή απορροή ανά υπολεκάνη, για τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής, ενώ στην Εικόνα 4.78 παρουσιάζεται η διήθηση (mm/h), ανά υπολεκάνη, κατά την ίδια χρονική στιγμή (L/s).

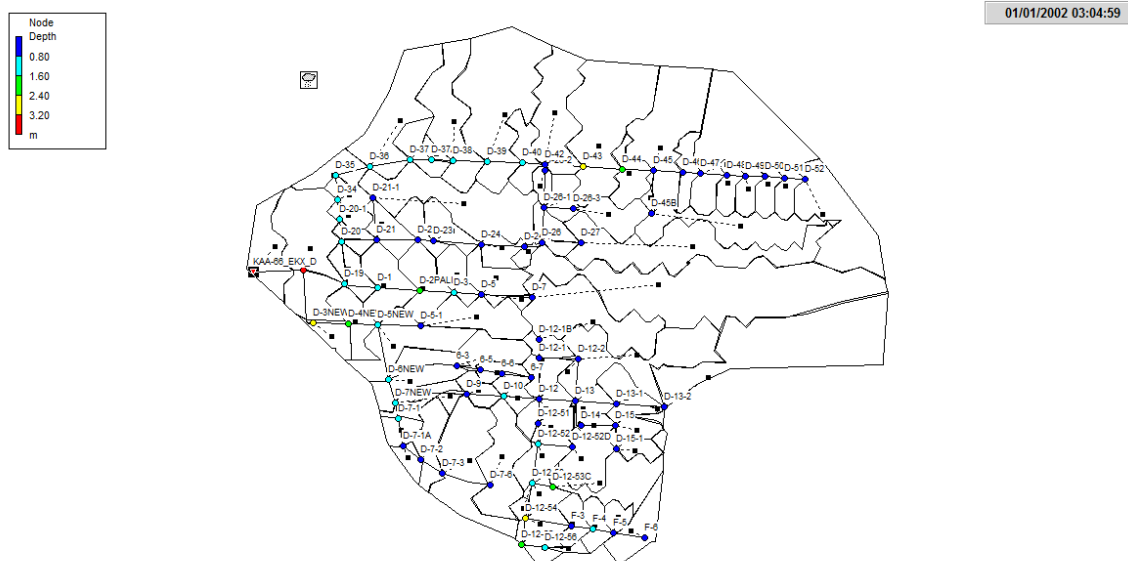


Εικόνα 4.77: Επιφανειακή απορροή ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου



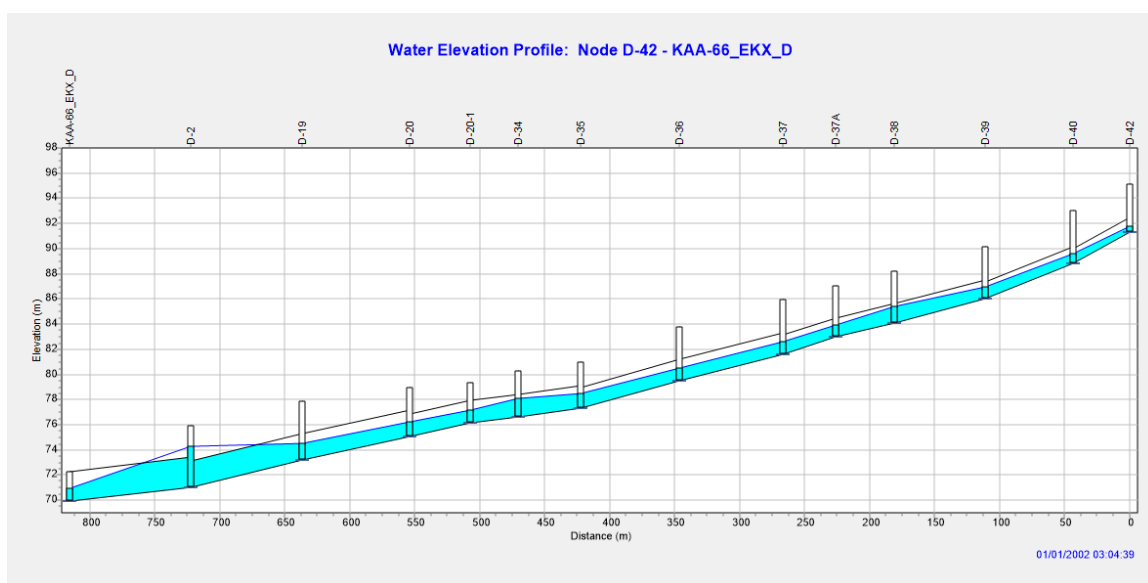
Εικόνα 4.78: Διήθηση ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου

Τέλος στην Εικόνα 4.79 παρουσιάζεται το βάθος νερού σε όλα τα φρεάτια της περιοχής μελέτης και στην Εικόνα 4.80 παρουσιάζονται οι υπόγειοι παντοροϊκοί αποχετευτικοί αγωγοί, από τον κόμβο D-52 μέχρι έξοδο του δικτύου (κόμβος: ΚΑΑ-66_ΕΚΧ_Δ).



Εικόνα 4.79: Βάθος νερού στους κόμβους του δικτύου κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής

Ο κόμβος D-2, ο οποίος παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα, ούτε έχει πληρωθεί ούτε έχει πλημμυρίσει όπως και κανένας άλλος κόμβος του αποχετευτικού δικτύου. Αυτό διακρίνεται καλύτερα στην Εικόνα 4.80.



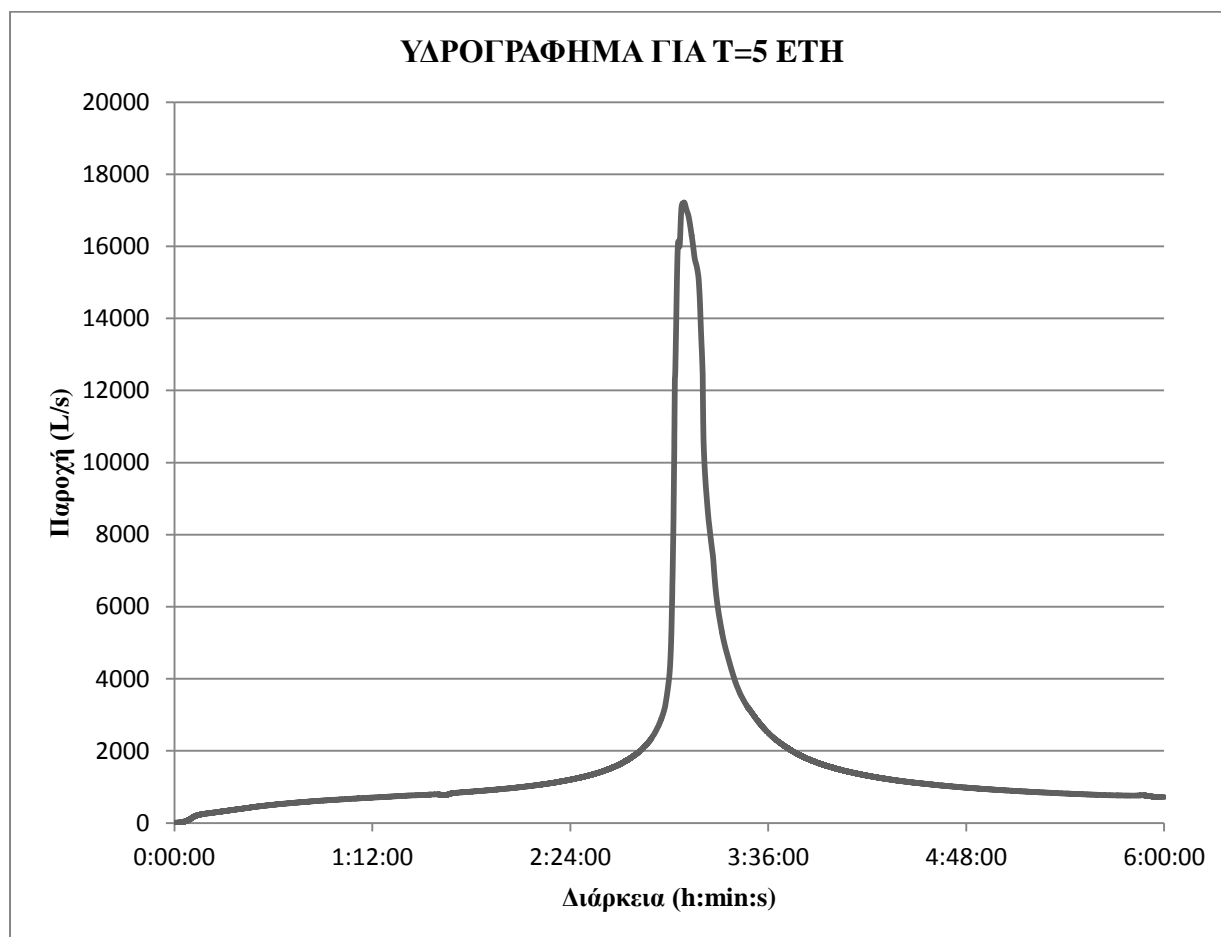
Εικόνα 4.80: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-2 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής

4.3.4.2 Περίοδος επαναφοράς $T=5$ έτη

Στον Πίνακα 4.36 παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Το δίκτυο και σε αυτήν την περίπτωση είναι επαρκές και παροχετεύει το σύνολο της απορροής. Επιπλέον κανένας από τους κόμβους του δικτύου δεν πλημμυρίζει. Στην Εικόνα 4.81 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

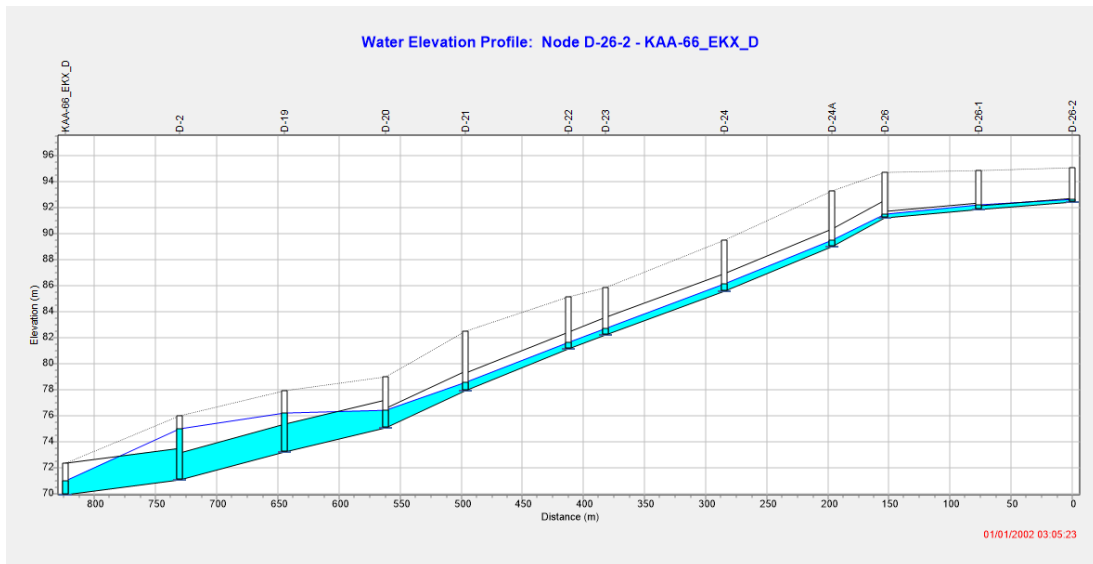
Πίνακας 4.36: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=5$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	39.3
Διήθηση (mm)	2.4
Παροχή αιχμής (L/s)	17213
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	3:05:23



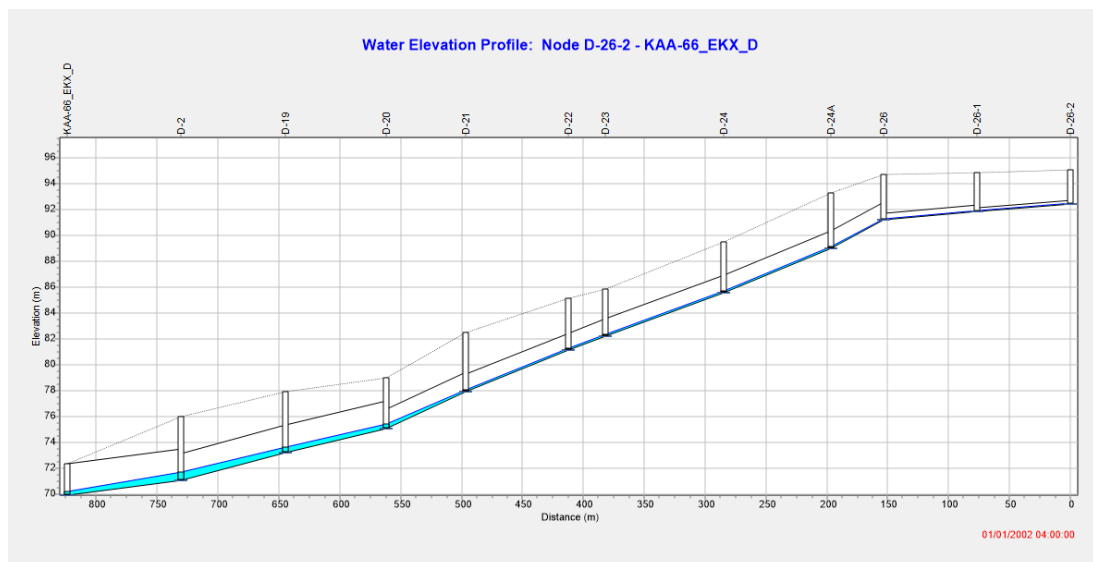
Εικόνα 4.81: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=5$ ετών

Στην Εικόνα 4.82 παρουσιάζονται οι υπόγειοι αποχετευτικοί αγωγοί από τον κόμβο D-26-2 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου. Όπως είναι φανερό κανένας κόμβος του δικτύου δεν έχει πληρωθεί και δεν πλημμυρίζει. Αντίθετα, ο αγωγός, ο οποίος συνδέει του κόμβους D-19 – D-2 έχει πληρωθεί ($y/D=1$), τη δεδομένη χρονική στιγμή και η ροή δεν πραγματοποιείται με ελεύθερη επιφάνεια.



Εικόνα 4.82: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-26-2 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής

Τέλος στην Εικόνα 4.83 παρουσιάζονται οι ίδιοι αγωγοί στην αρχή της τέταρτης ώρας και όπως φαίνεται, το μεγαλύτερο μέρος της απορροής έχει αποχετευτεί.



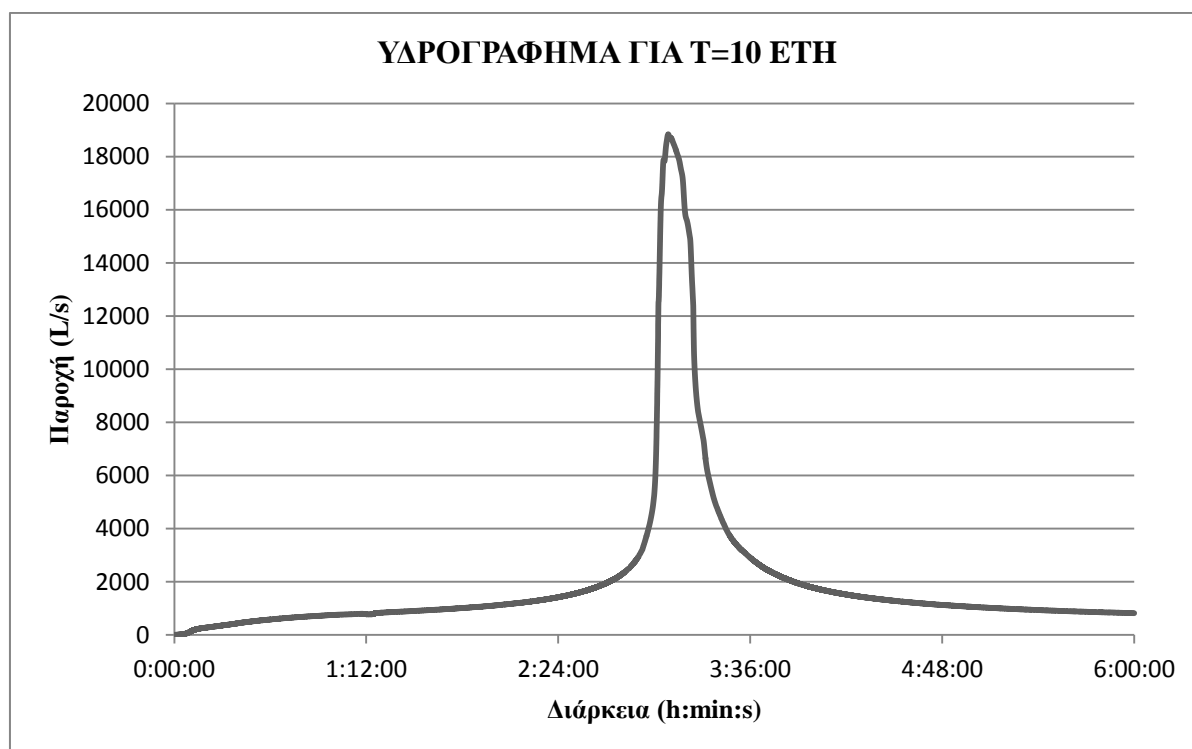
Εικόνα 4.83: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-26-2 έως την έξοδο του συστήματος στην αρχή της τέταρτης ώρας

4.3.4.3 Περίοδος επαναφοράς $T=10$ έτη

Στον Πίνακα 4.37 παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 10 ετών. Το δίκτυο σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι επαρκές, όπως και συνέβη και για βροχή διάρκειας 1, 2 και 3 h και δεν είναι ικανό να αποχετεύσει το σύνολο της απορροής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Στην Εικόνα 4.84 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

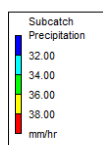
Πίνακας 4.37: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 10 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=10$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	47.6
Διήθηση (mm)	2.5
Παροχή αιχμής (L/s)	18833
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	3:05:14
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-3NEW, D-7NEW

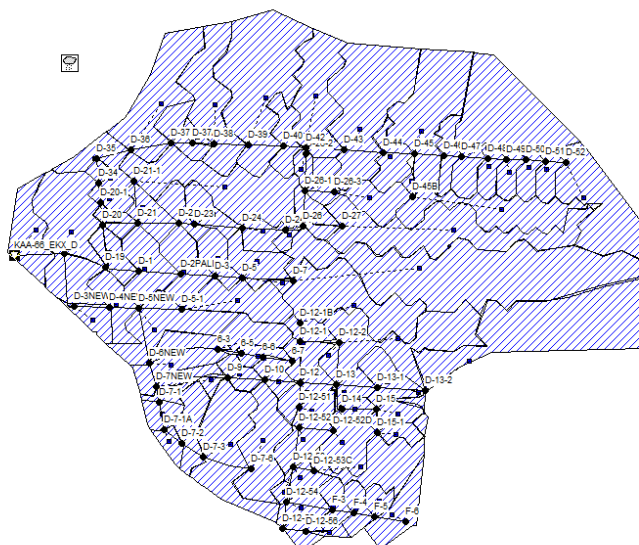


Εικόνα 4.84: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=10$ ετών

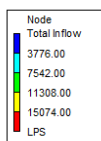
Στην Εικόνα 4.85 παρουσιάζεται η βροχοπτώση (mm/h) ανά υπολεκάνη, ενώ στην Εικόνα 4.86 παρουσιάζεται η εισροή (L/s), στα φρεάτια του αποχετευτικού δικτύου, λόγω της βροχοπτώσης. Και στις δύο περιπτώσεις η χρονική στιγμή, είναι η αιχμή της παροχής στην έξοδο του δικτύου.



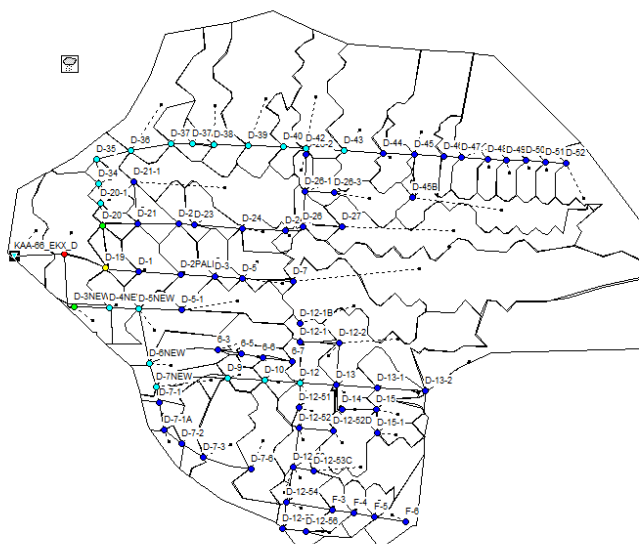
01/01/2002 03:05:14



Εικόνα 4.85: Βροχοπτώση (mm/h) ανά υπολεκάνη κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου

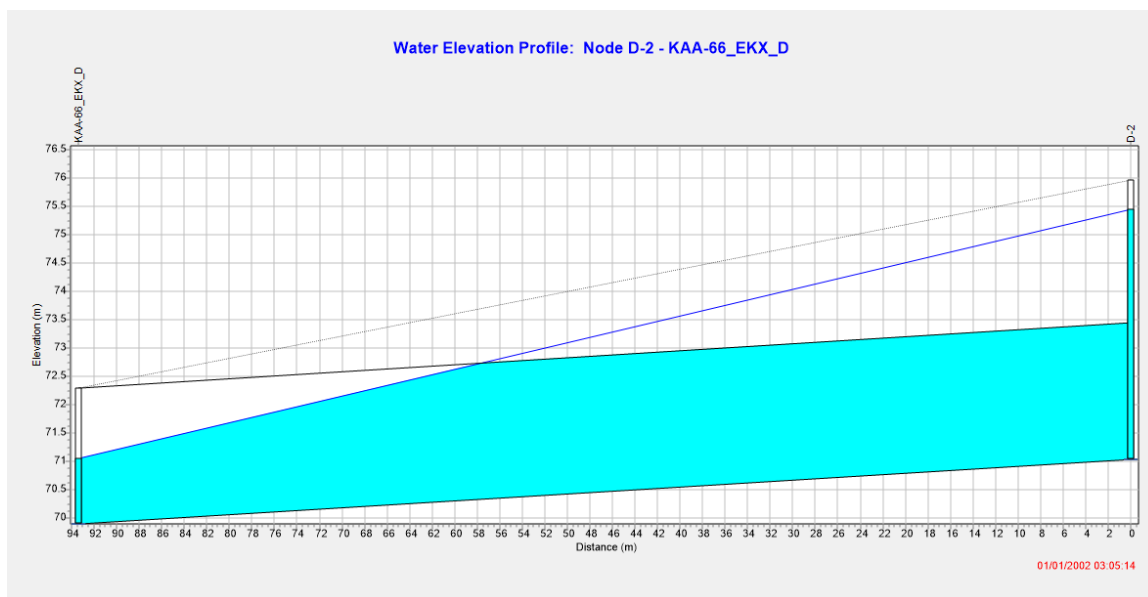


01/01/2002 03:05:14



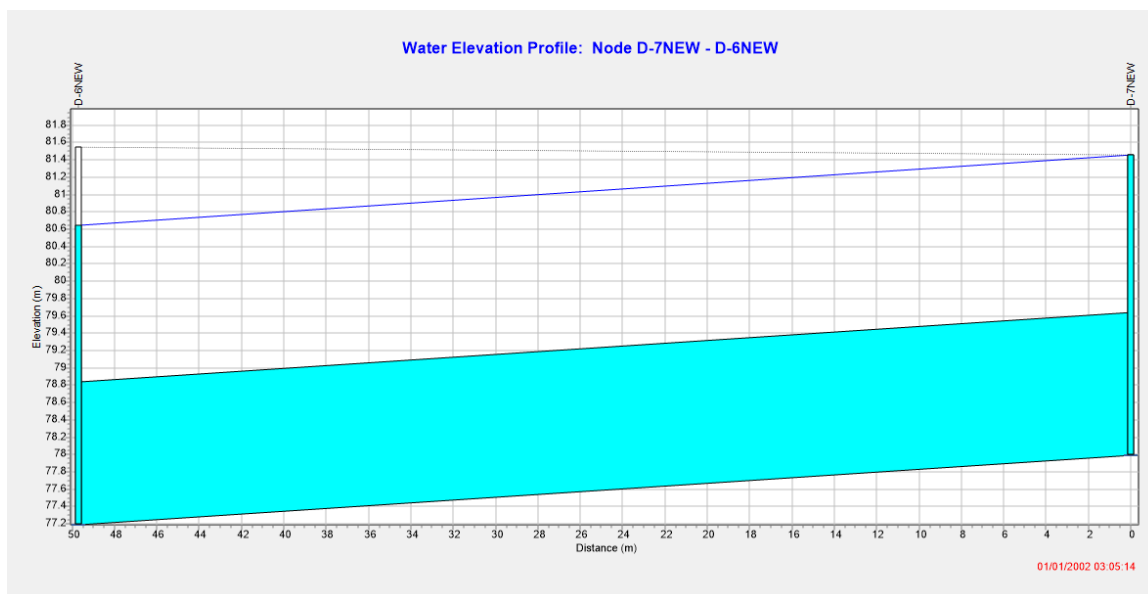
Εικόνα 4.86: Εισροή (L/s) στα φρεάτια του παντοροϊκού δικτύου κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής

Στη συνέχεια, στην Εικόνα 4.87 παρουσιάζεται ο παντοροϊκός συλλεκτήρας της Ζώνης Δ, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου. Όπως φαίνεται το ανάντη φρεάτιο δεν πλημμυρίζει και η ροή στον αγωγό είναι υπό πίεση.



Εικόνα 4.87: Παντοροϊκός συλλεκτήρας Ζώνης Δ κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής

Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.88 παρουσιάζεται ο υπόγειος παντοροϊκός αγωγός, ο οποίος συνδέει τα φρεάτια D-7NEW και D-6NEW. Το ανάντη φρεάτιο, είναι ένα από τα δύο τα οποία πλημμυρίζουν για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 ετών, ενώ ο λόγος πλήρωσης στον αγωγό είναι ίσος με τη μονάδα.



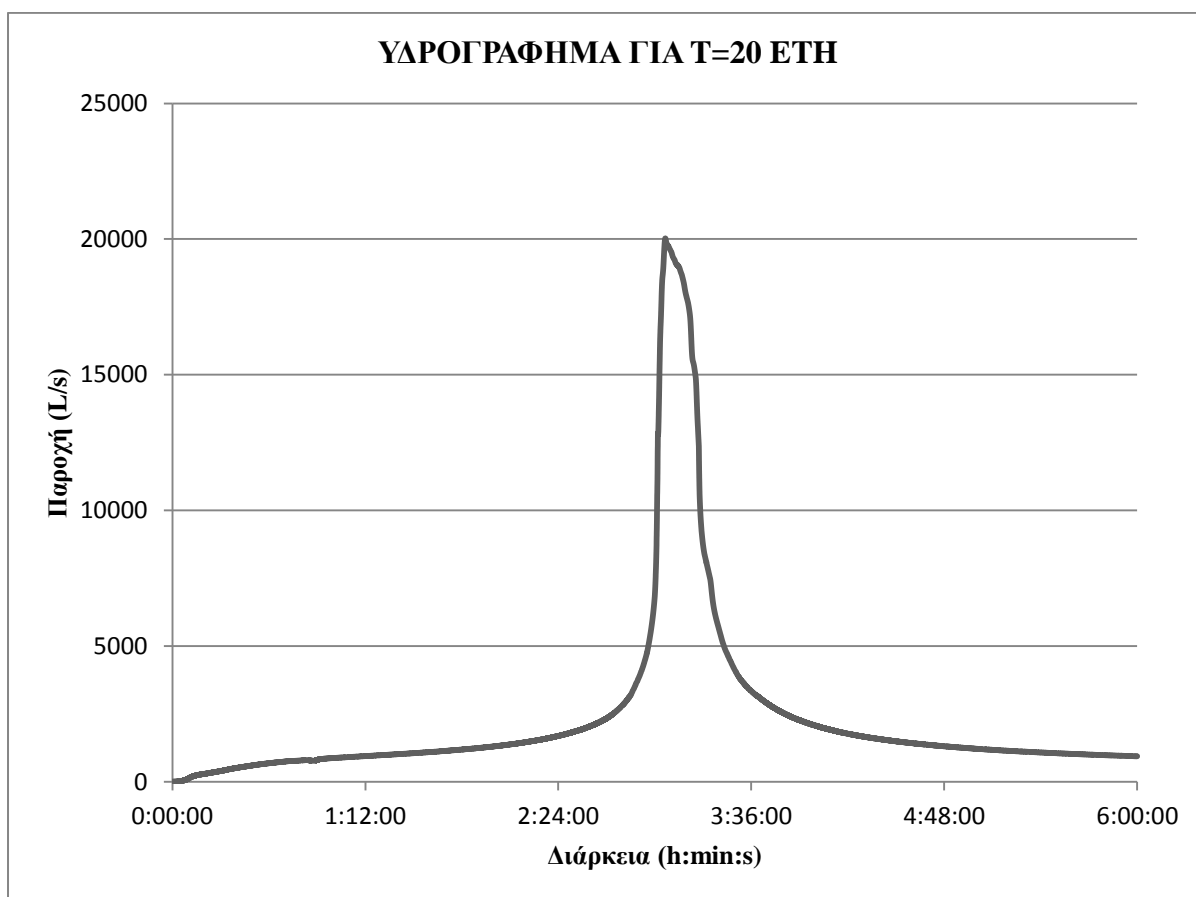
Εικόνα 4.88: Υπόγειος παντοροϊκός αγωγός κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της πλημμύρας

4.3.4.4 Περίοδος επαναφοράς $T=20$ έτη

Σε αυτήν την περίπτωση οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκής, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.38, ενώ στην Εικόνα 4.89 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για βροχόπτωση 6 h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

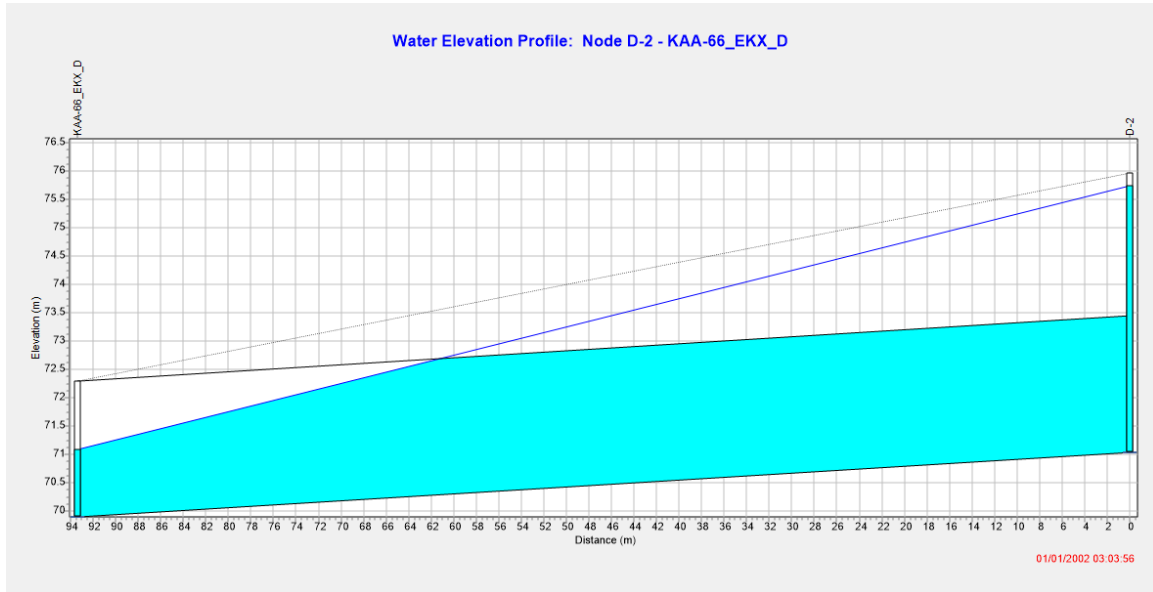
Πίνακας 4.38: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=20$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	57.6
Διήθηση (mm)	2.6
Παροχή αιχμής (L/s)	20027
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	3:03:56
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

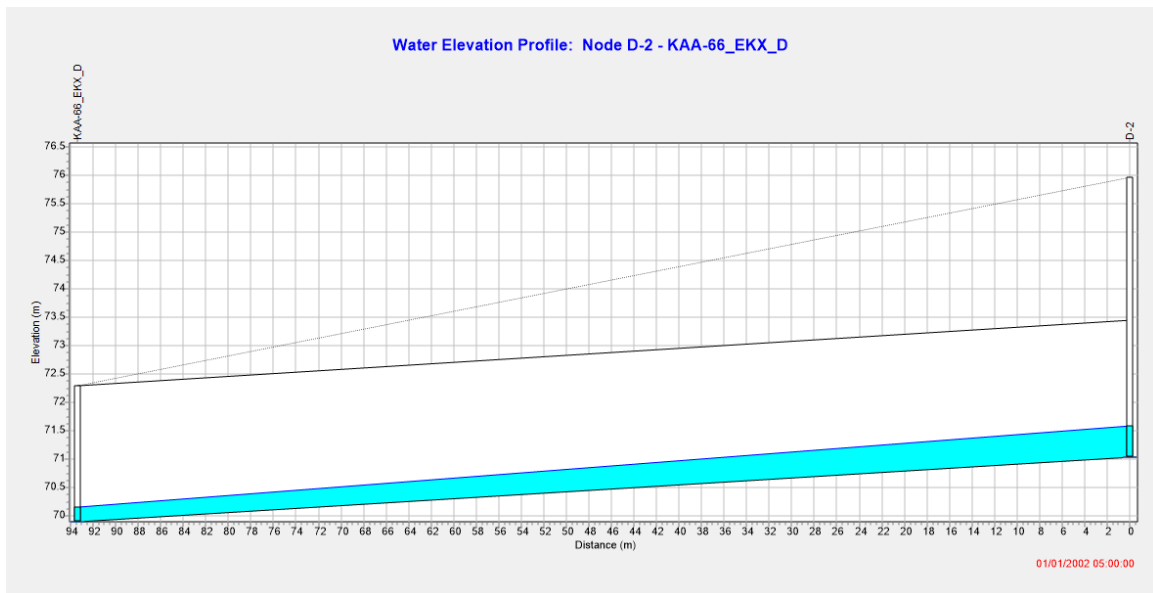


Εικόνα 4.89: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=20$ ετών

Στα Σχήματα 4.90 και 4.91 παρουσιάζεται το προφίλ του παντοροϊκού συλλεκτήρα της Ζώνης Δ, κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του συστήματος και στην αρχή της πέμπτης ώρας αντίστοιχα.



Εικόνα 4.90: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής



Εικόνα 4.91: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα στην αρχή της πέμπτης ώρας

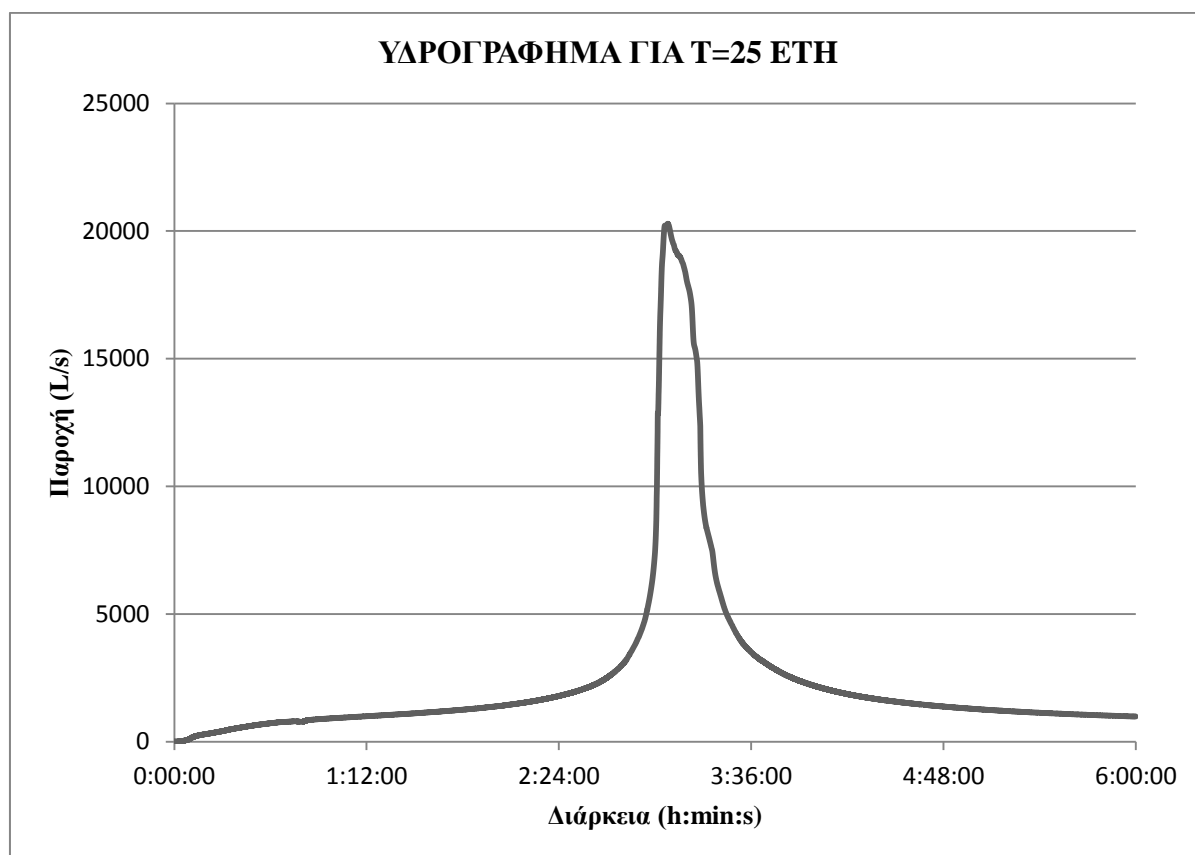
Όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 4.90, ο παντοροϊκός συλλεκτήρας λειτουργεί υπό πίεση και το ανάντη φρεάτιο δεν έχει πληρωθεί και επομένως στο συγκεκριμένο σημείο δεν παρουσιάζεται πλημμυρισμός του κόμβου.

4.3.4.5 Περίοδος επαναφοράς $T=25$ έτη

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπως είναι λογικό, οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενο πλημμύρας. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.39, ενώ στην Εικόνα 4.92 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 25 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

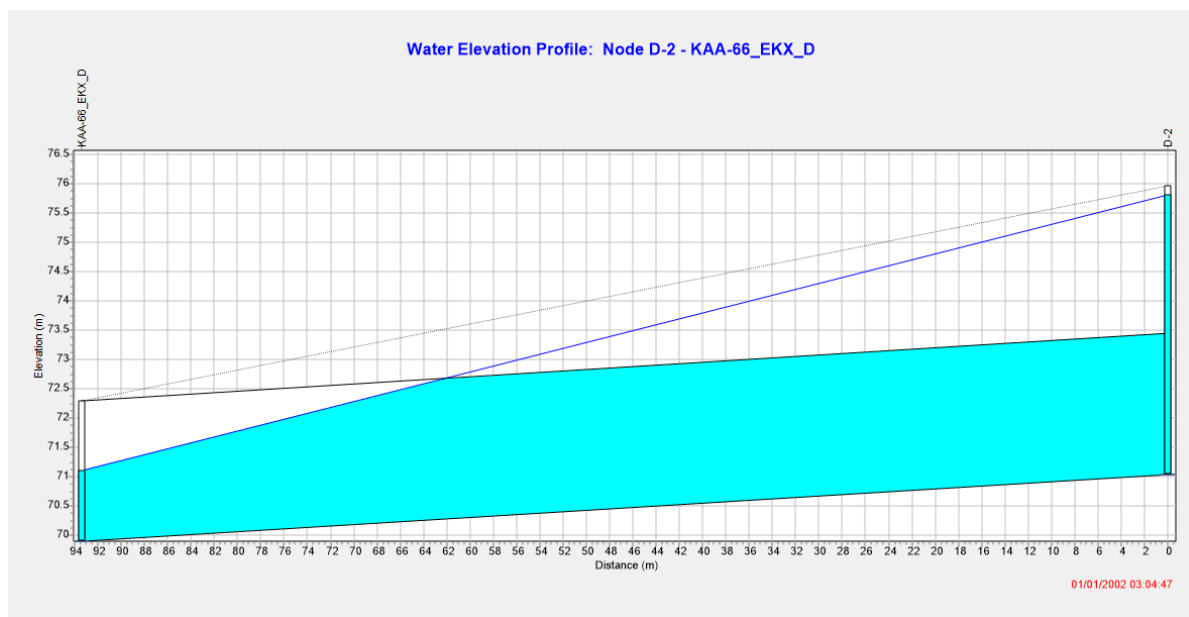
Πίνακας 4.39: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=25$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	61.2
Διήθηση (mm)	2.6
Παροχή αιχμής (L/s)	20287
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	3:04:47
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-38, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

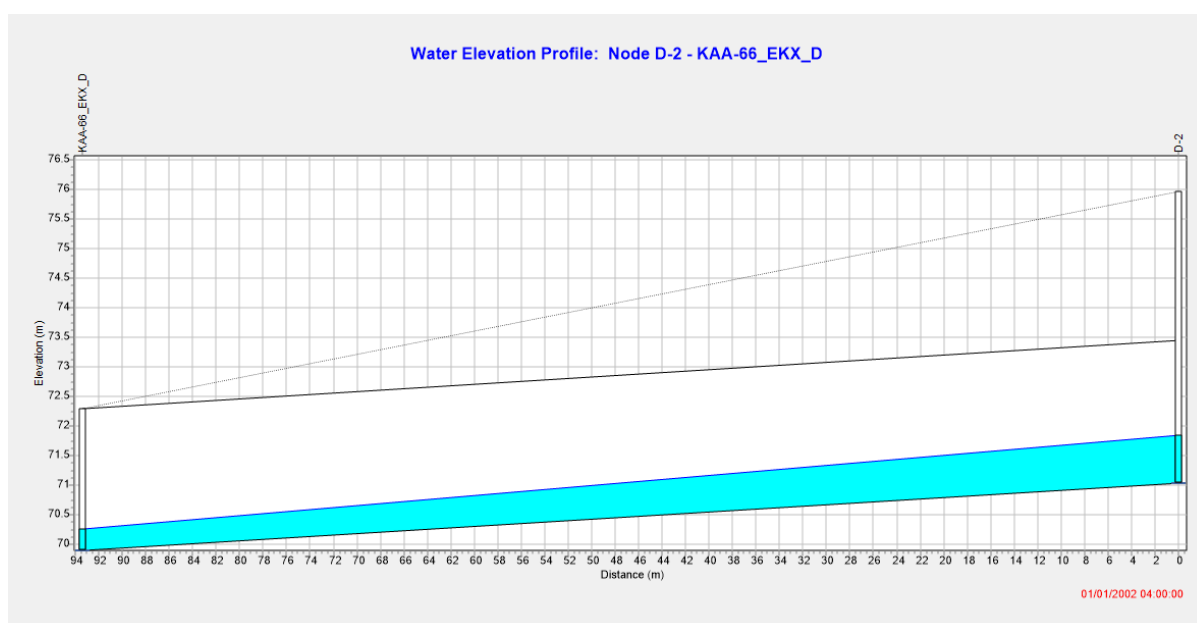


Εικόνα 4.92: Υδρογράφημα βροχόπτωσης σχεδιασμού $t=6h$ και $T=25$ ετών

Στις Εικόνες 4.93 και 4.94 παρουσιάζεται το προφίλ του παντοροϊκού συλλεκτήρα της Ζώνης Δ, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου και στην αρχή της τέταρτης ώρας αντίστοιχα.



Εικόνα 4.93: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής



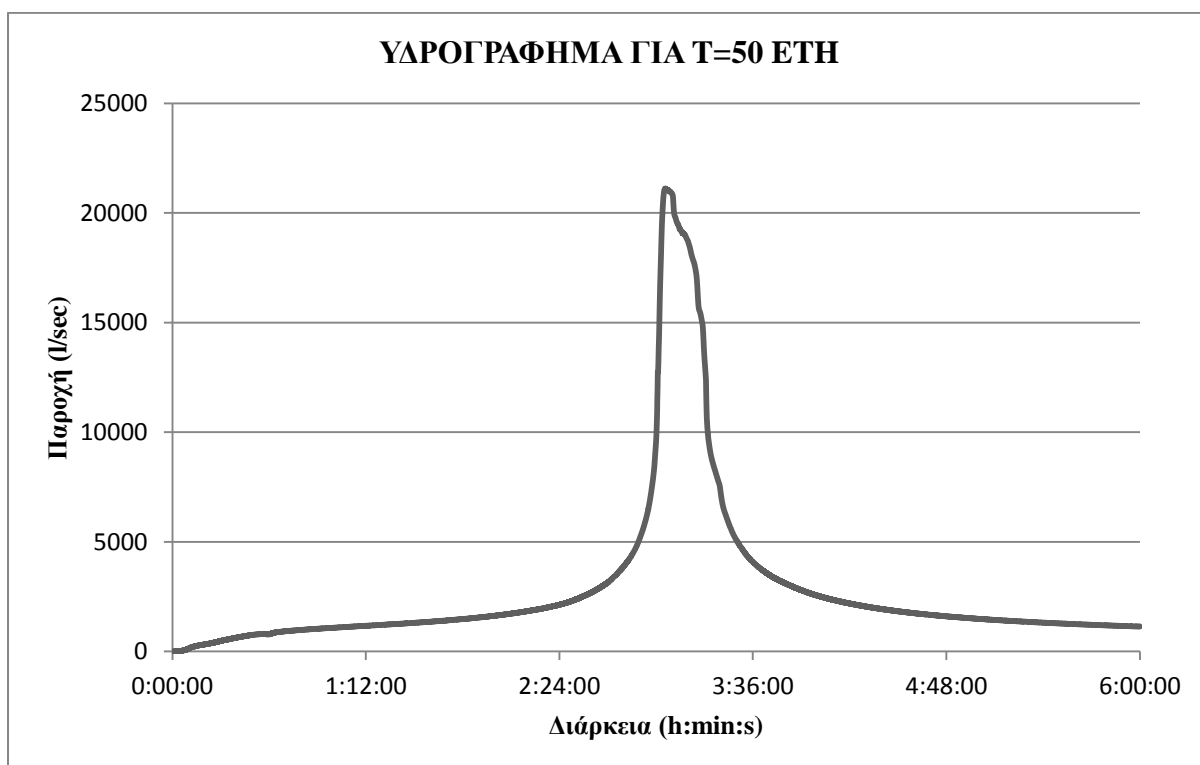
Εικόνα 4.94: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα στην αρχή της τέταρτης ώρας

4.3.4.6 Περίοδος επαναφοράς $T=50$ έτη

Κατά την προσομοίωση του παντοροϊκού για βροχόπτωση σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών διαπιστώθηκε πως μεγάλο μέρος του υπόγειου, παντοροϊκού, συστήματος αποχέτευσης πληρώνεται καθώς και ορισμένοι επιφανειακοί αγωγοί. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.40, ενώ στην Εικόνα 4.95 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 50 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

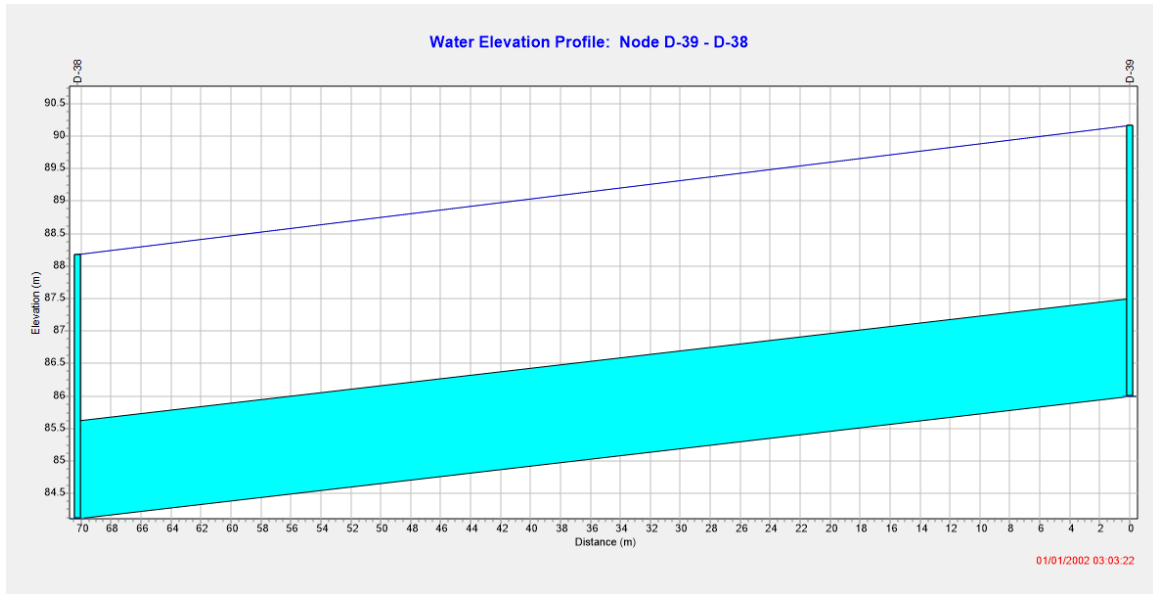
Πίνακας 4.40: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=50$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	74.2
Διήθηση (mm)	2.7
Παροχή αιχμής (L/s)	21110
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	3:03:22
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-35, D-38, D-39, D-3NEW, D-43, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

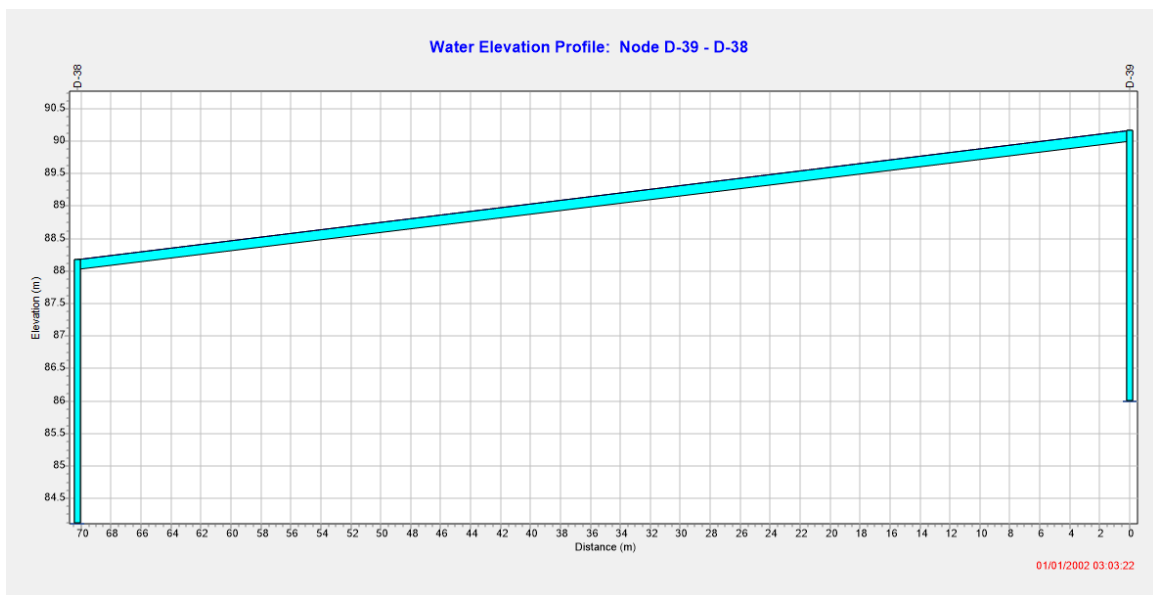


Εικόνα 4.95: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=50$ ετών

Στην Εικόνα 4.96 παρουσιάζεται το προφίλ του υπόγειου αγωγού ($y/D=1$) που συνδέει τα φρεάτια D-38 και D-39, τα οποία έχουν πλημμυρίσει, κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο. Επιπλέον στην Εικόνα 4.97 παρουσιάζεται το προφίλ του επιφανειακού αγωγού ($y/D=1$), ο οποίος συνδέει τα ίδια φρεάτια κατά την ίδια χρονική στιγμή. Και ο επιφανειακός αγωγός έχει πληρωθεί, με αποτέλεσμα το νερό να βρίσκεται πάνω από το ύψος του κρασπέδου.

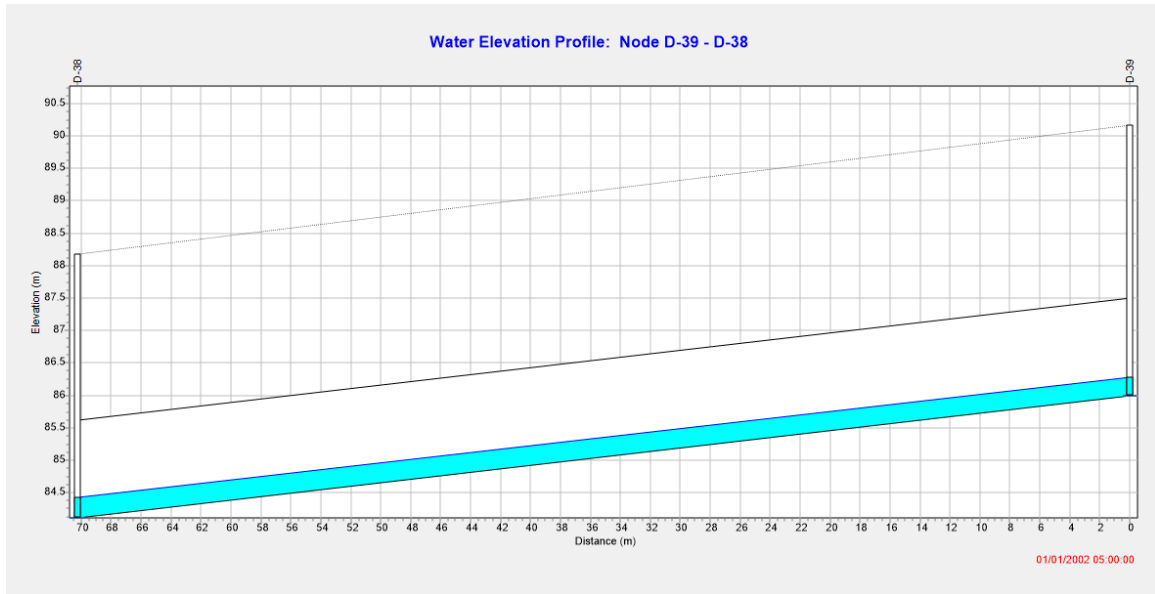


Εικόνα 4.96: Προφίλ υπόγειου αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου

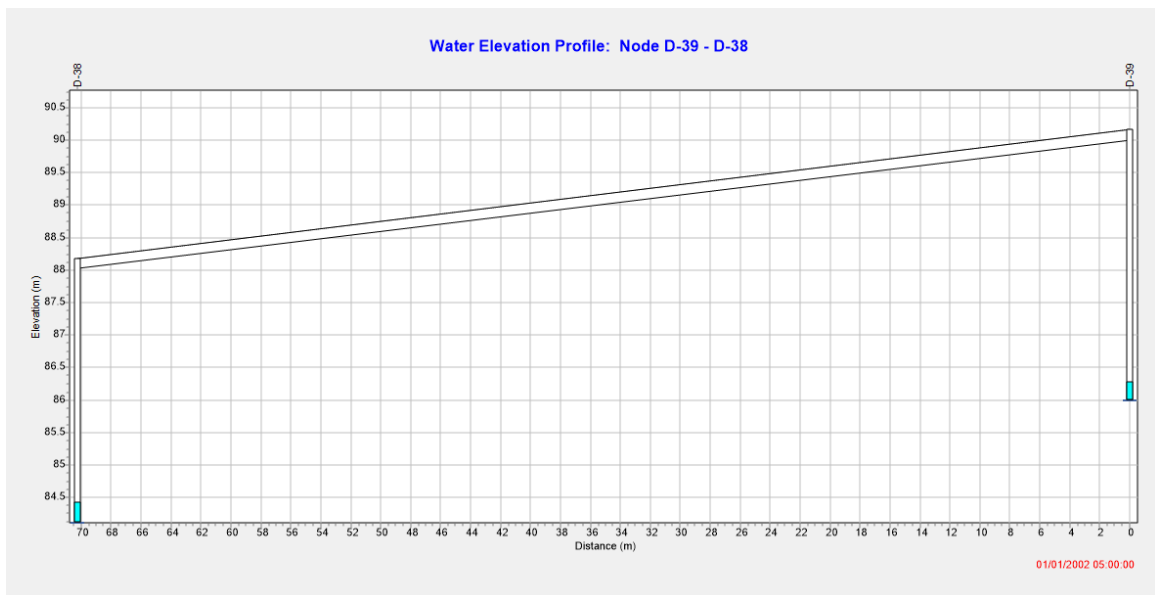


Εικόνα 4.97: Προφίλ επιφανειακού αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου

Αντίστοιχα στις Εικόνες 4.98 και 4.99 παρουσιάζεται το προφίλ των ίδιων αγωγών στην αρχή της πέμπτης ώρας.



Εικόνα 4.98: Προφίλ υπόγειου αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 στην αρχή της πέμπτης ώρας



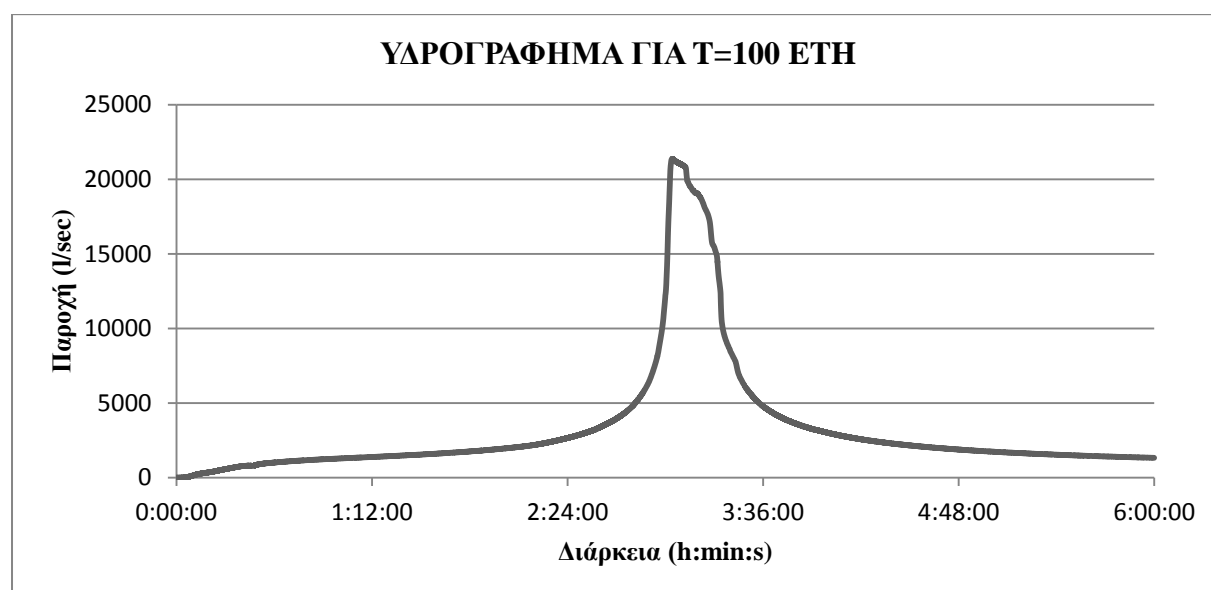
Εικόνα 4.99: Προφίλ επιφανειακού αγωγού σύνδεσης φρεατίων D-39 και D-38 στην αρχή της πέμπτης ώρας

4.3.4.7 Περίοδος επαναφοράς $T=100$ έτη

Η τελευταία περίπτωση, για διάρκεια βροχόπτωσης 6 h η οποία προσομοιώθηκε με το λογισμικό SWMM ήταν για βροχόπτωση, περιόδου επαναφοράς 100 ετών. Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι περισσότεροι παντοροϊκοί αγωγοί πληρώνονται καθώς και αρκετοί επιφανειακοί αγωγοί. Επιπλέον, αρκετά φρεάτια πλημμυρίζουν καθώς το αποχετευτικό σύστημα αδυνατεί να παροχετεύσει το σύνολο της απορροής. Στον Πίνακα 4.41 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση της βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 100 ετών, ενώ στην Εικόνα 4.100 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του συστήματος.

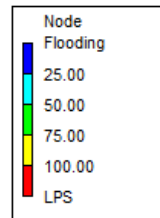
Πίνακας 4.41: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 6h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=100$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	89.8
Διήθηση (mm)	2.8
Παροχή αιχμής (L/s)	21363
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	3:02:32
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-10, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-2PALIO, D-3, D-35, D-38, D-39, D-3NEW, D-40, D-43, D-44, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

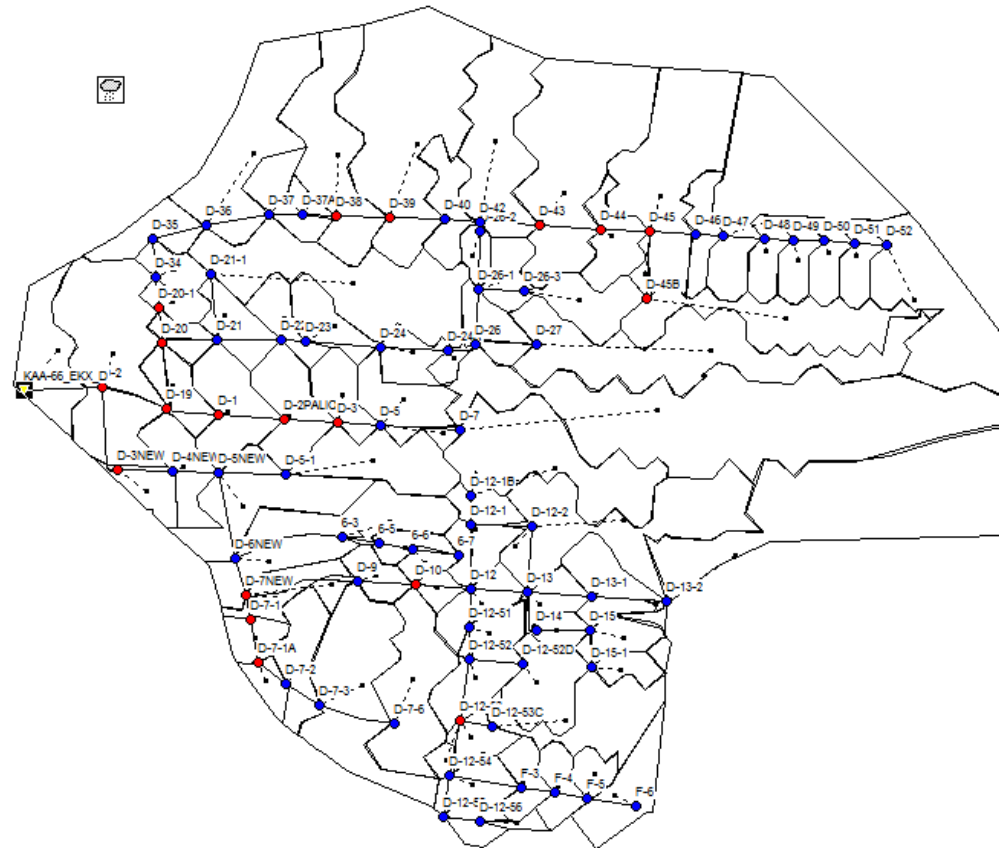


Εικόνα 4.100: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=6h$ και $T=100$ ετών

Στην Εικόνα 4.101 παρουσιάζονται τα φρεάτια, τα οποία πλημμυρίζουν κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του συστήματος.

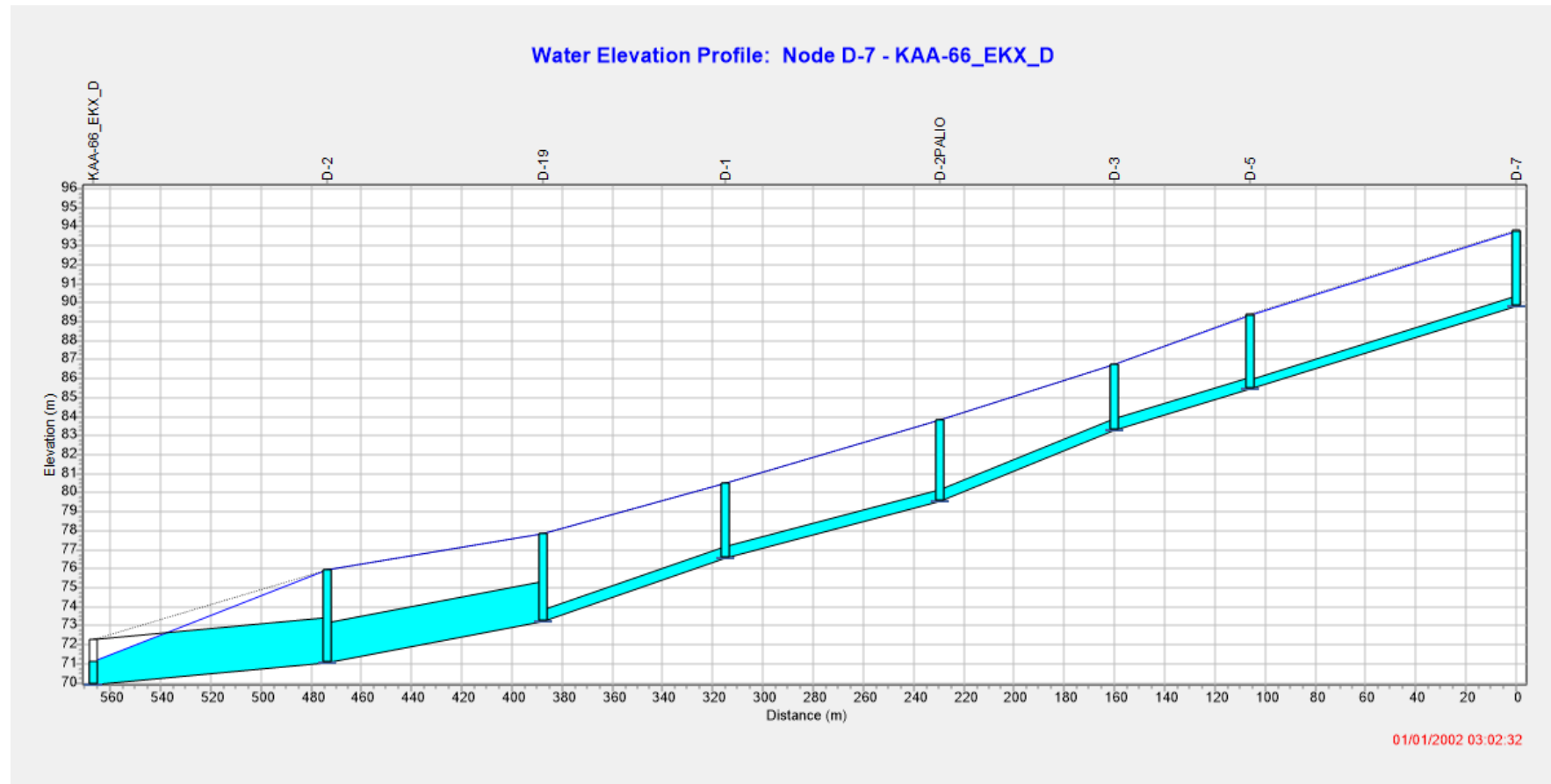


01/01/2002 03:02:32



Εικόνα 4.101: Φρεάτια δικτύου τα οποία πλημμυρίζουν

Τέλος στην Εικόνα 4.102 παρουσιάζεται η διαδρομή, των υπόγειων αποχετευτικών αγωγών, από το φρεάτιο D-7 έως την έξοδο του συστήματος. Η πλειοψηφία των φρεατίων αυτών έχουν πλημμυρίσει (εκτός του φρεατίου D-7) και η ροή του νερού πραγματοποιείται στο δρόμο.



Εικόνα 4.102: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-7 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

4.3.5 Βροχή διάρκειας 12 h

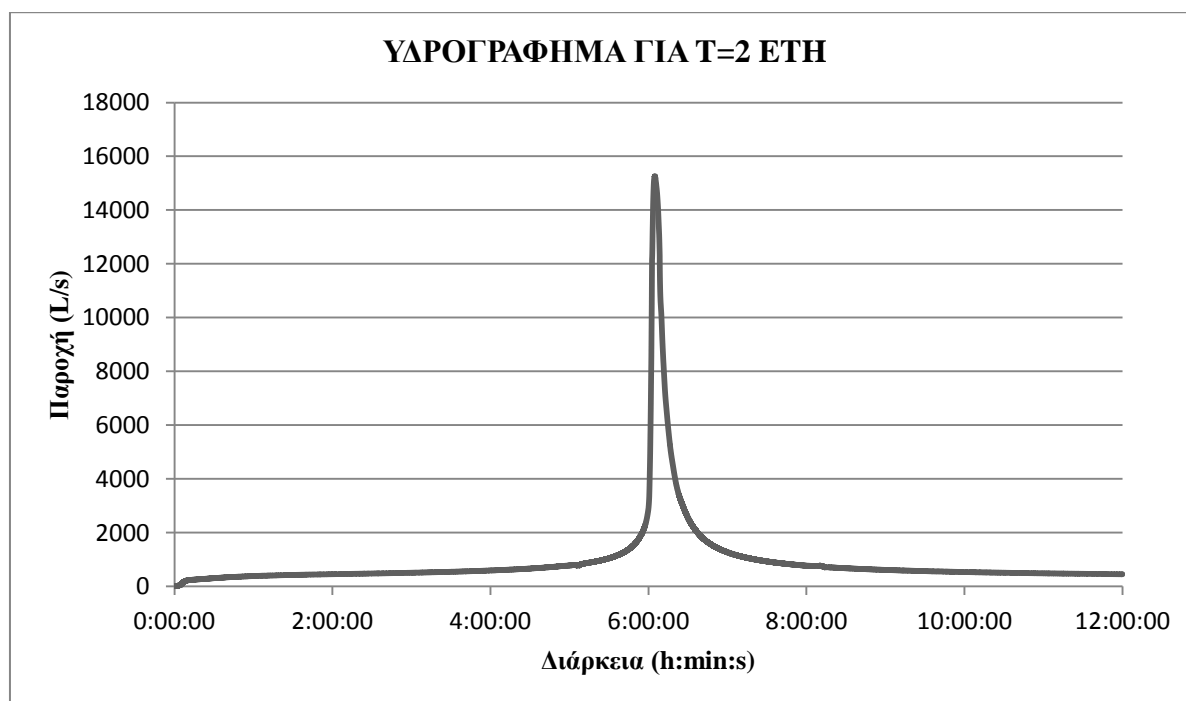
Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από βροχή σχεδιασμού διάρκειας 12 h και για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50 και 100 έτη.

4.3.5.1 Περίοδος επαναφοράς $T=2$ έτη

Η προσομοίωση του παντοροϊκού δικτύου με το λογισμικό SWMM για βροχή σχεδιασμού 12 h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη έδωσε τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.42. Το αποχετευτικό δίκτυο είναι επαρκές και αποχετεύει πλήρως την απορροή η οποία προκαλείται από την συγκεκριμένη βροχόπτωση χωρίς κανένας κόμβος του δικτύου να πλημμυρίζει. Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.103 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

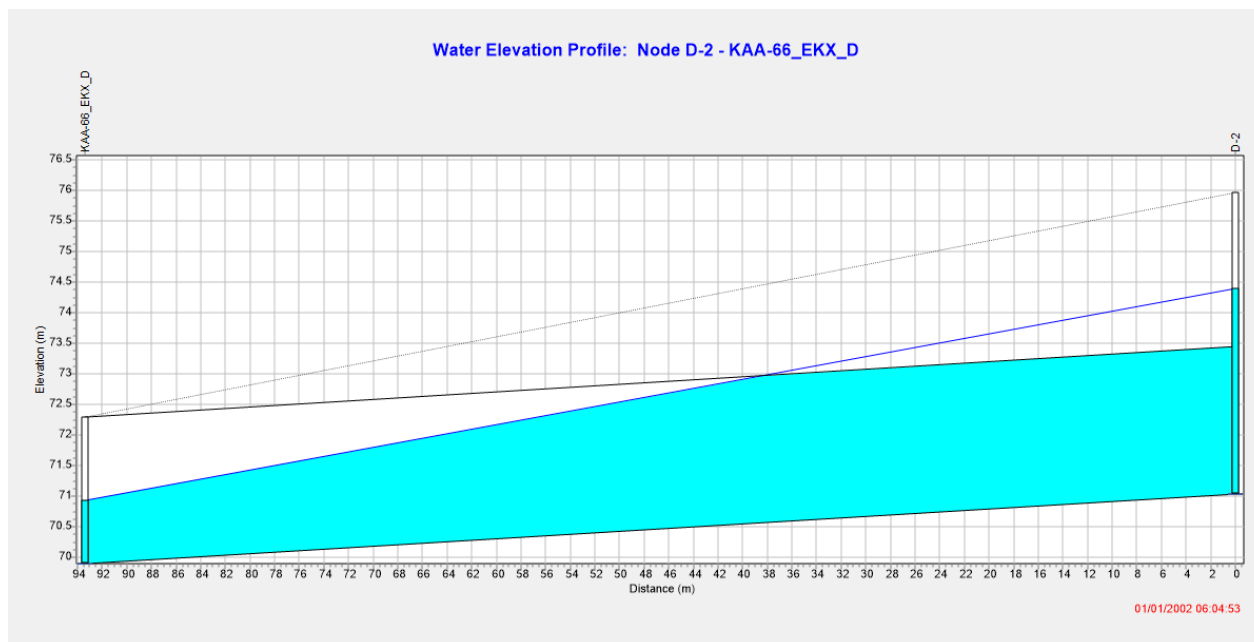
Πίνακας 4.42: Αποτελέσματα προσομοίωσης για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 2 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=2$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	36.9
Διήθηση (mm)	2.3
Παροχή αιχμής (L/s)	15257
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	6:04:53



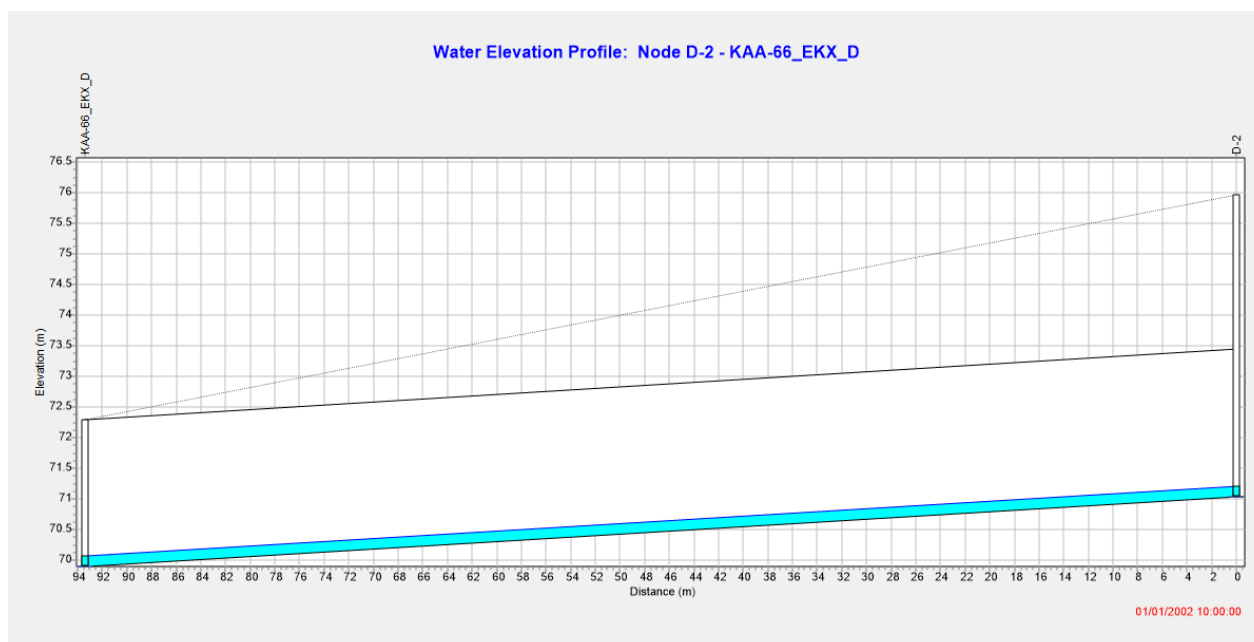
Εικόνα 4.103: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=12h$ και $T=2$ ετών

Στην Εικόνα 4.104 παρουσιάζεται το προφίλ του παντοροϊκού συλλεκτήρα, της Ζώνης Δ, κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής, στην έξοδο του δικτύου.



Εικόνα 4.104: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στο δίκτυο

Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.105 παρουσιάζεται το προφίλ του ίδιου αγωγού στην αρχή της δέκατης ώρας. Τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η βροχόπτωση δεν έχει σταματήσει ακόμη.



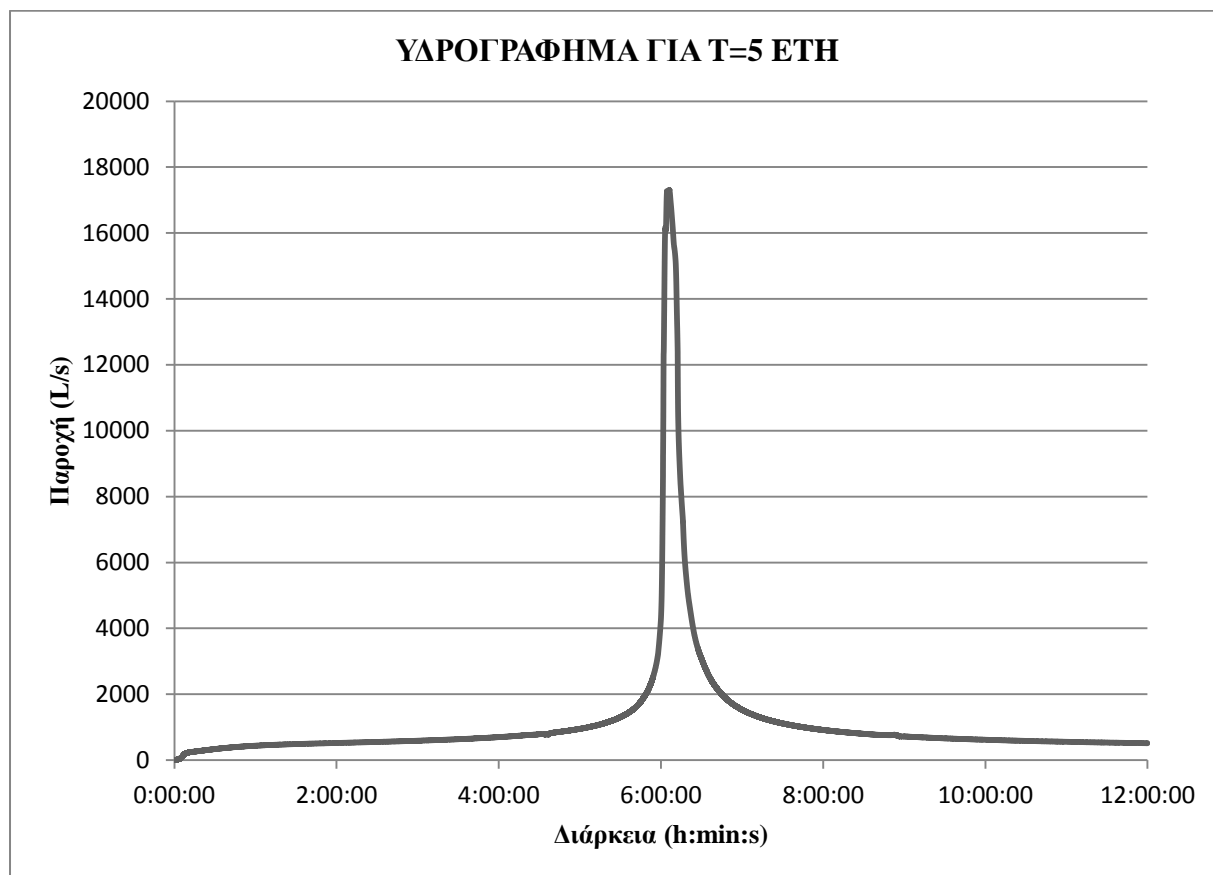
Εικόνα 4.105: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή 10:00:00

4.3.5.2 Περίοδος επαναφοράς $T=5$ έτη

Στον Πίνακα 4.43 παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Το δίκτυο και σε αυτήν την περίπτωση είναι επαρκές και παροχετεύει το σύνολο της απορροής χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα πλημμυρισμού των κόμβων. Στην Εικόνα 4.106 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

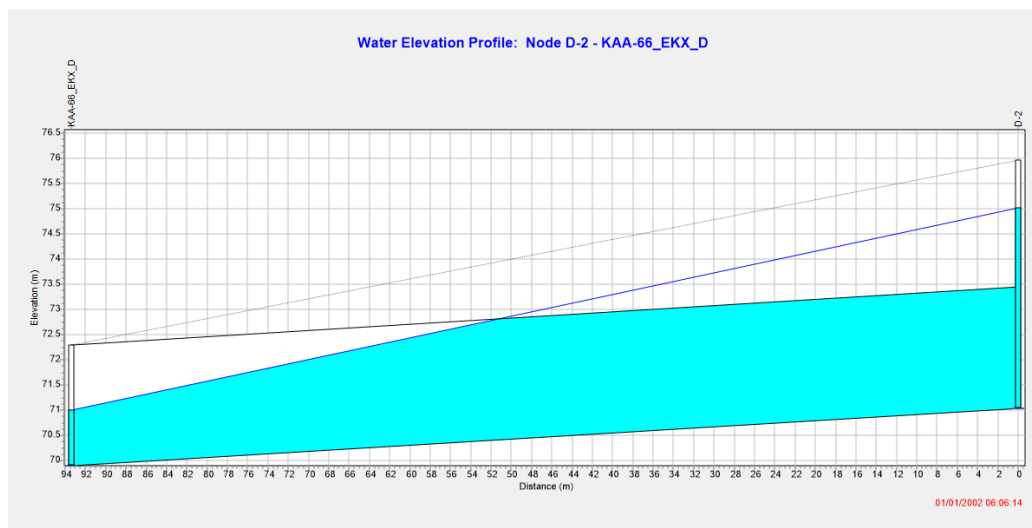
Πίνακας 4.43: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 5 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=5$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	47.5
Διήθηση (mm)	2.5
Παροχή αιχμής (L/s)	17304
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	6:06:14



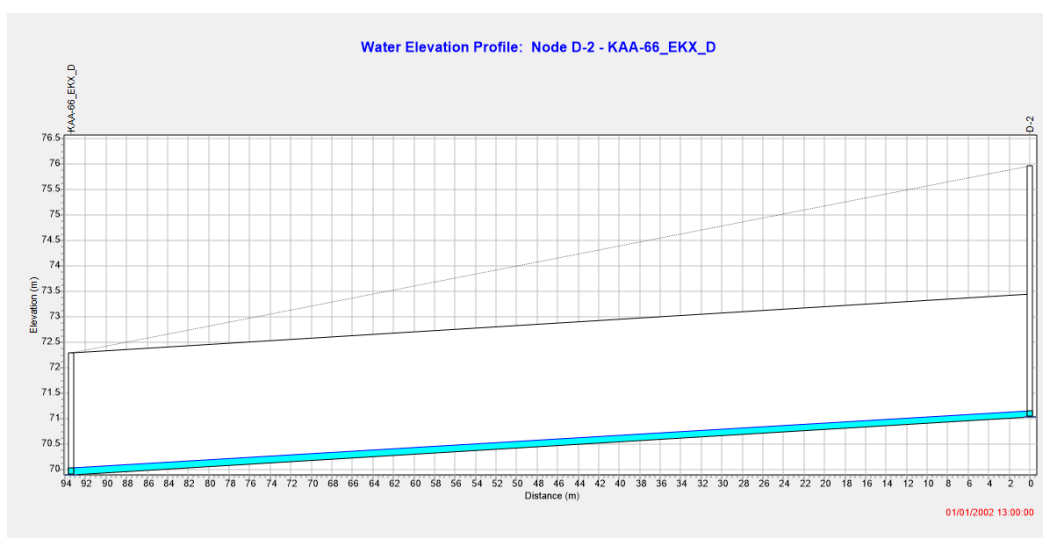
Εικόνα 4.106: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=12h$ και $T=5$ ετών

Στην Εικόνα 4.107 παρουσιάζεται το προφίλ του παντοροϊκού συλλεκτήρα της Ζώνης Δ κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής. Όπως παρατηρείται η ροή στην αγωγό είναι υπό πίεση αλλά το ανάντη φρεάτιο δεν πλημμυρίζει. Συνεπώς το δίκτυο αποχετεύει πλήρως την απορροή, η οποία προκαλείται από βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 5 ετών.



Εικόνα 4.107: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στον αγωγό

Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.108 παρουσιάζεται το προφίλ του ίδιου αγωγού στην αρχή της δέκατης τρίτης ώρας, που η βροχόπτωση έχει σταματήσει και έχει αποχετευτεί στο σύνολο της. Η παροχή η οποία παρουσιάζεται στον αγωγό είναι η παροχή των ακαθάρτων υδάτων (233 L/s).



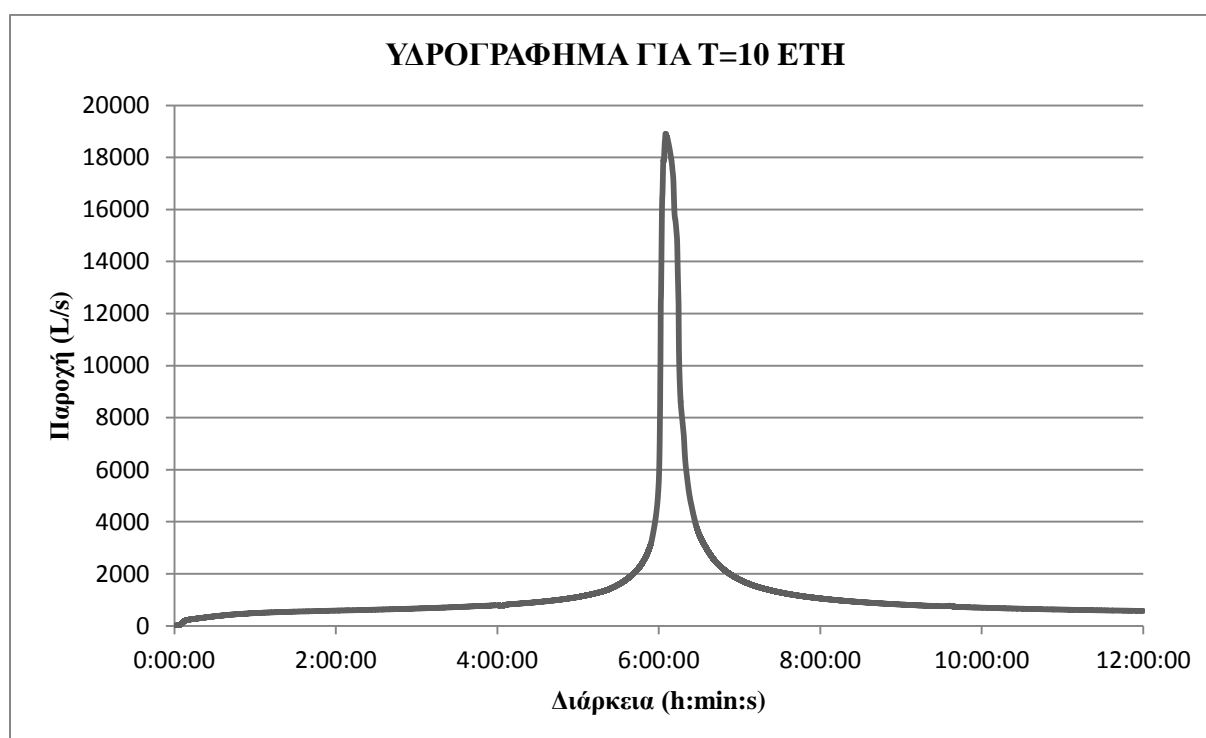
Εικόνα 4.108: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή 2:00:00

4.3.5.3 Περίοδος επαναφοράς $T=10$ έτη

Στον Πίνακα 4.44 παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 10 ετών. Το δίκτυο σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι επαρκές και δεν είναι ικανό να αποχετεύσει το σύνολο της απορροής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμυρισμού των κόμβων. Στην Εικόνα 4.109 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

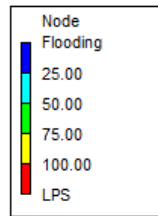
Πίνακας 4.44: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 10 έτη

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=10$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	57.5
Διήθηση (mm)	2.6
Παροχή αιχμής (L/s)	18907
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233.32
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	6:05:09
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-3NEW, D-7NEW

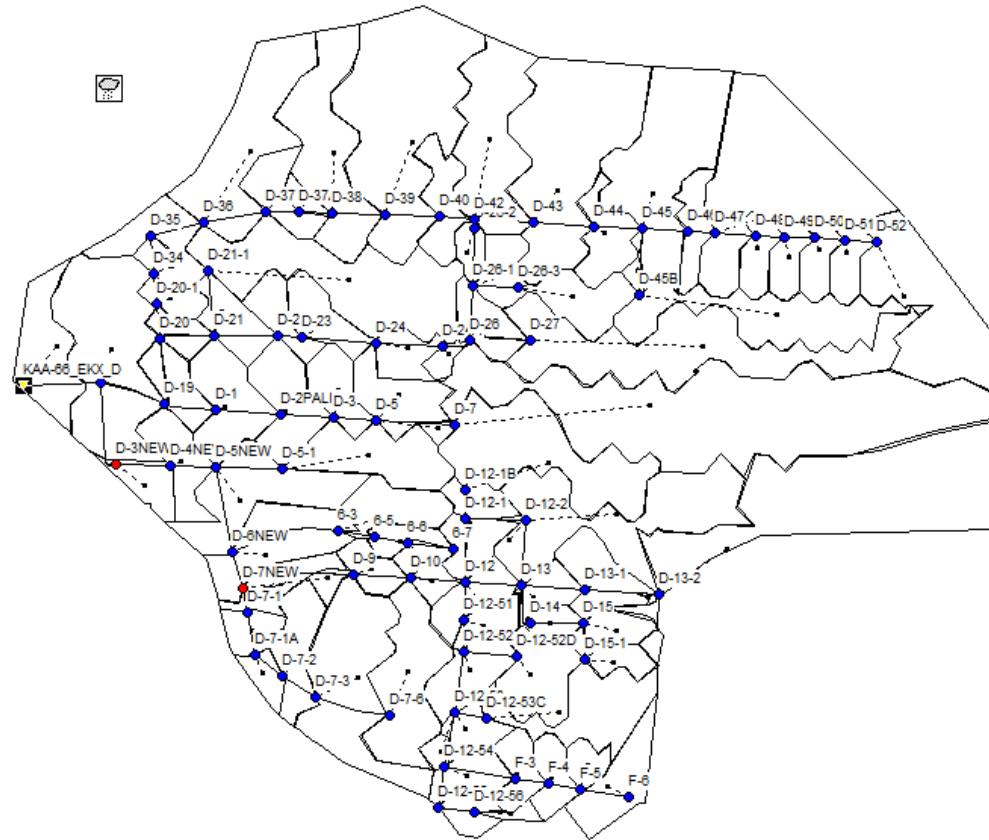


Εικόνα 4.109: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=12h$ και $T=10$ ετών

Στην Εικόνα 4.110 παρουσιάζεται το σύνολο του αποχετευτικού δικτύου, της Ζώνης Δ του παντοροϊκού δικτύου. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται, τα φρεάτια κατά την χρονική στιγμή αιχμής της παροχής (06:05:09). Παρατηρείται λοιπόν, πως τα φρεάτια D-3NEW και D-7 NEW έχουν πληρωθεί και πλημμυρίζουν.

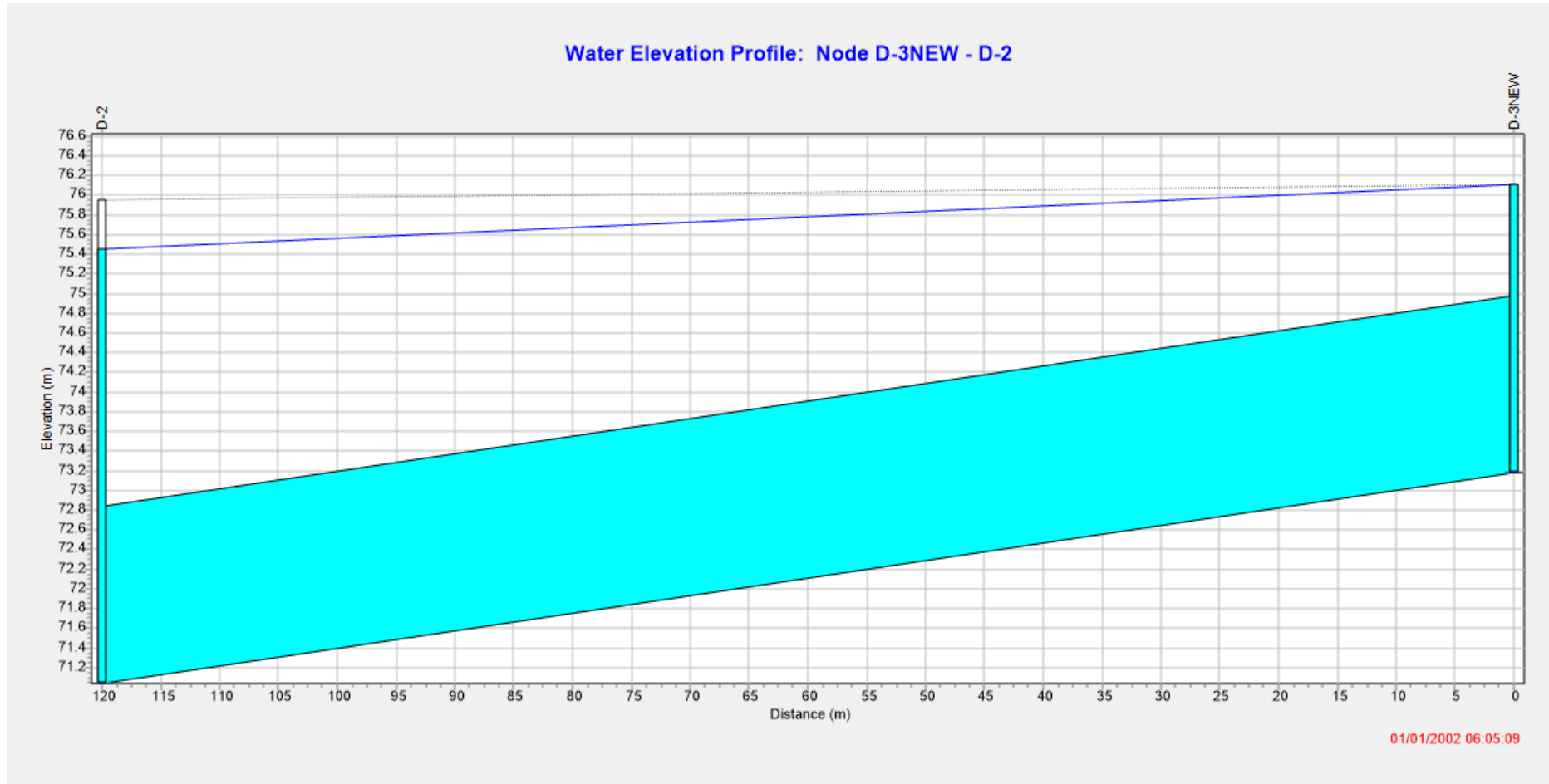


01/01/2002 06:05:09



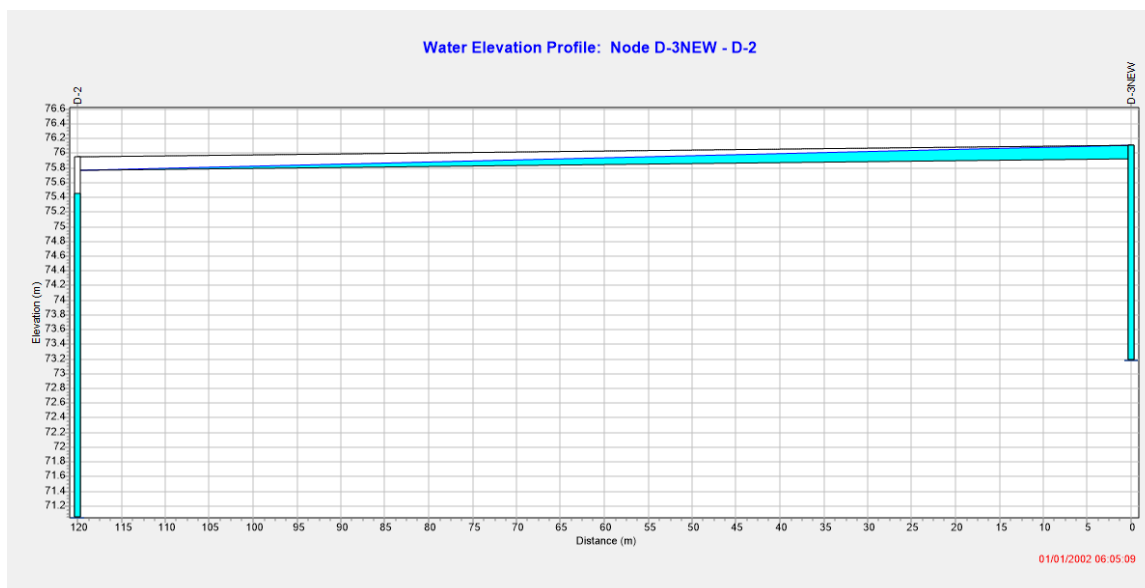
Εικόνα 4.110: Σύνολο φρεατίων δικτύου, κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.111 παρουσιάζεται το προφίλ του αγωγού, που συνδέει τα φρεάτια D-3NEW και D-2 κατά την ίδια χρονική στιγμή. Το ανάντη φρεάτιο του αγωγού είναι αυτό το οποίο πλημμυρίζει και όπως παρατηρούμε από το Εικόνα 4.111 ο αγωγός έχει πληρωθεί ($y/D=1$).



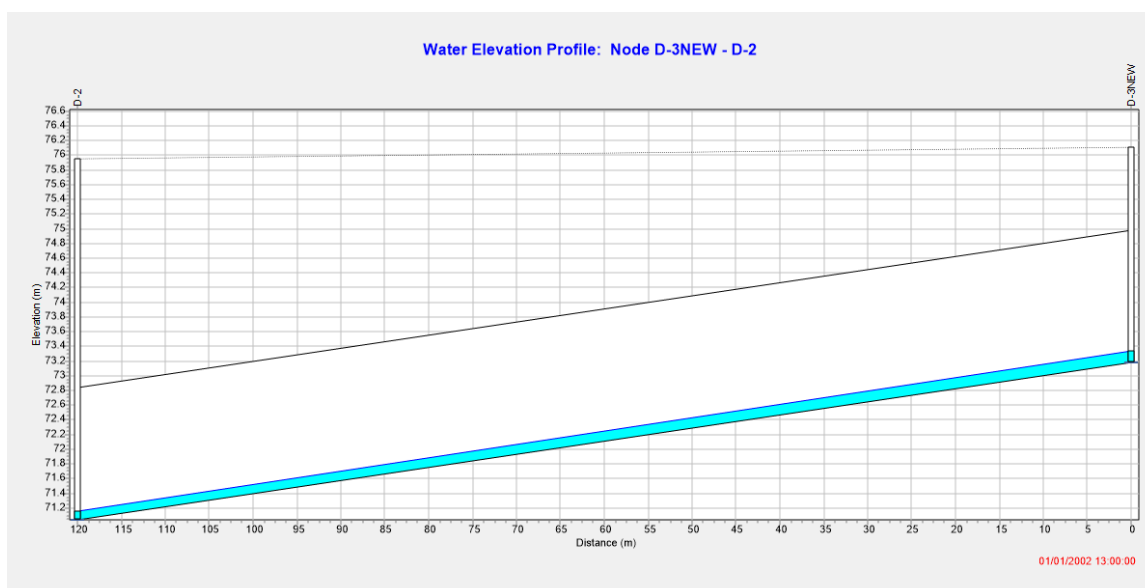
Εικόνα 4.111: Προφίλ αγωγού κατά την χρονική στιγμή την οποία το ανάντη φρεάτιο έχει πλημμυρίσει

Επιπλέον στην Εικόνα 4.112 παρουσιάζεται και το προφίλ του επιφανειακού αγωγού την ίδια χρονική στιγμή. Όπως παρατηρούμε το ανάντη φρεάτιο έχει πλημμυρίσει και παρουσιάζεται ροή στο δρόμο.



Εικόνα 4.112: Προφίλ επιφανειακού αγωγού κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

Τέλος στην Εικόνα 4.113 παρουσιάζεται το προφίλ του ίδιου υπόγειου αγωγού, μετά το πέρας της βροχόπτωσης. Όπως παρατηρείται ο αγωγός μεταφέρει μόνο την παροχή ακαθάρτων υδάτων (233 L/s) και φυσικά δεν παρουσιάζεται ροή στον δρόμο.



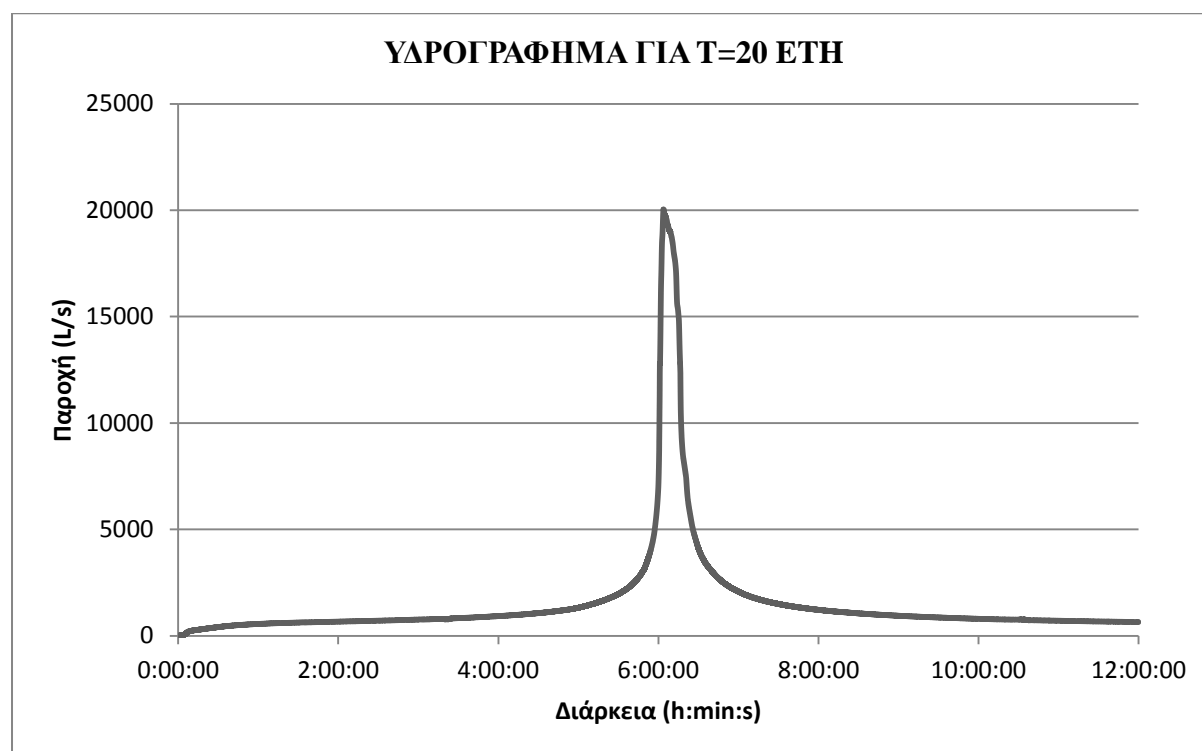
Εικόνα 4.113: Προφίλ υπονόμου μετά το πέρας του γεγονότος βροχόπτωσης

4.3.5.4 Περίοδος επαναφοράς $T=20$ έτη

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Όπως είναι λογικό, περισσότεροι κόμβοι του δικτύου πληρώνονται και πλημμυρίζουν σε σχέση με τη βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 ετών. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.45, ενώ στην Εικόνα 4.114 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 20 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

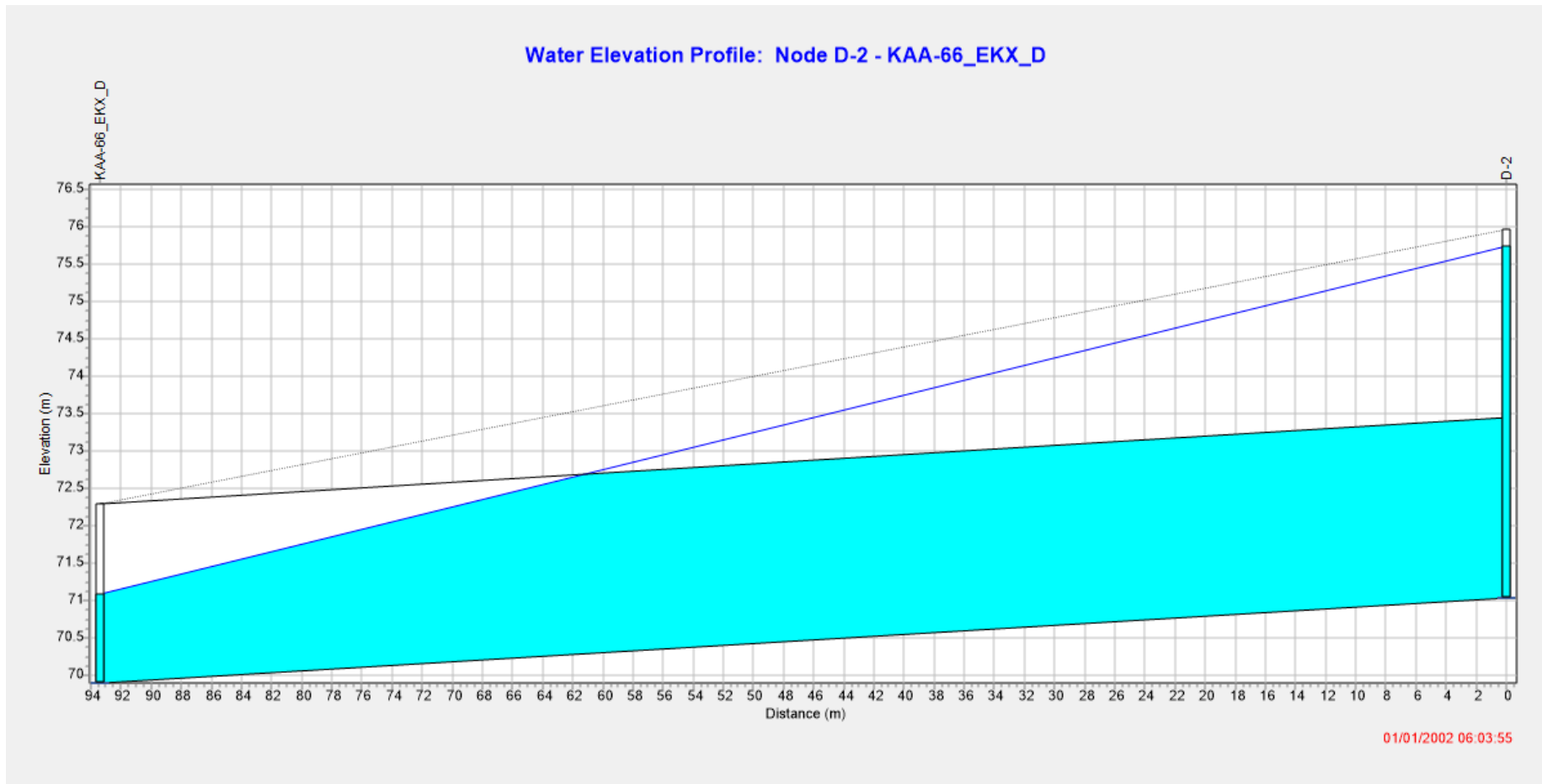
Πίνακας 4.45: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=20$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	69.7
Διήθηση (mm)	2.7
Παροχή αιχμής (L/s)	20036
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	6:03:55
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW



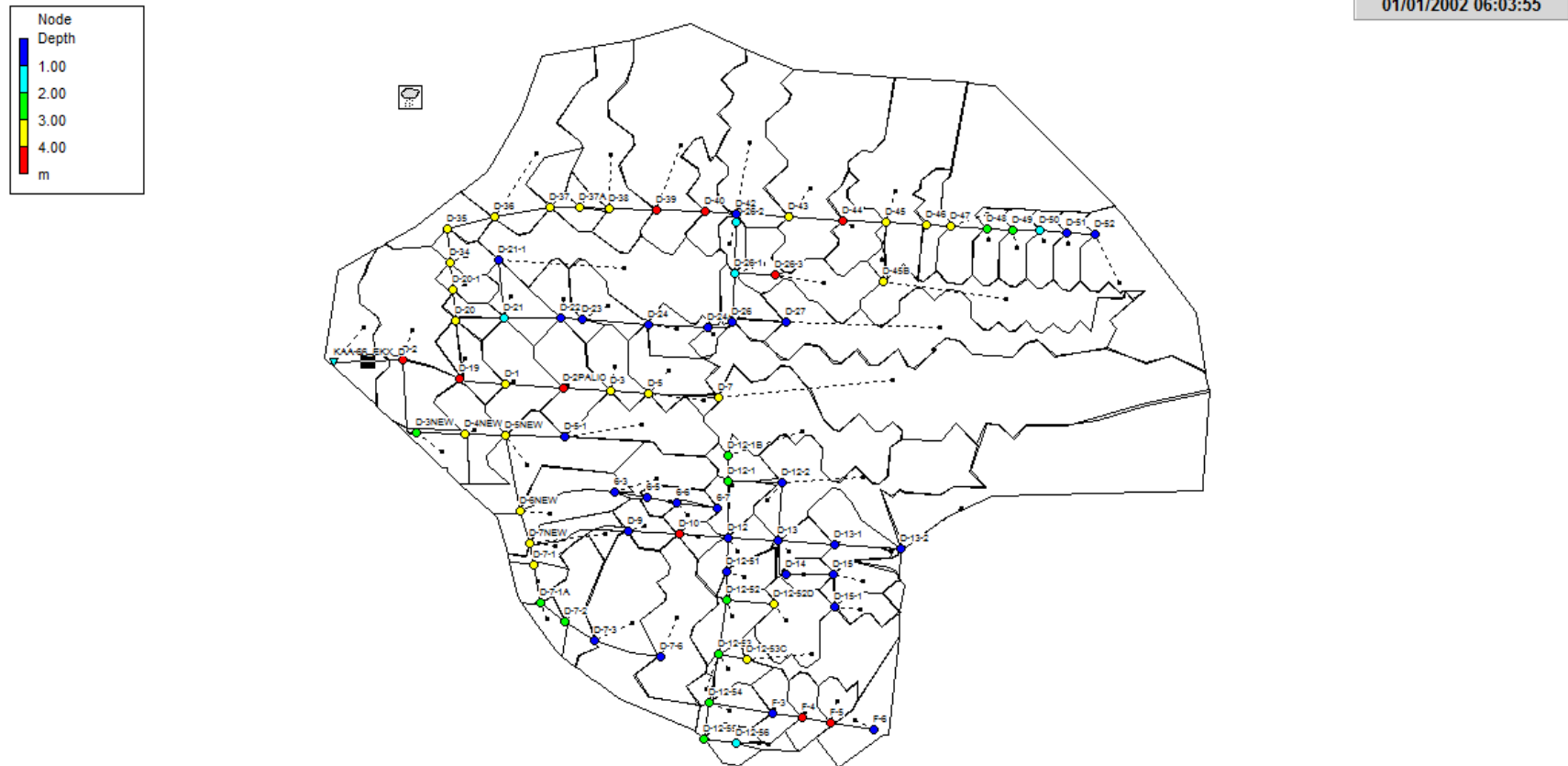
Εικόνα 4.114: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=12h$ και $T=20$ ετών

Στην Εικόνα 4.115 παρουσιάζεται το προφίλ του παντοροϊκού συλλεκτήρα της Ζώνης Δ, κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.



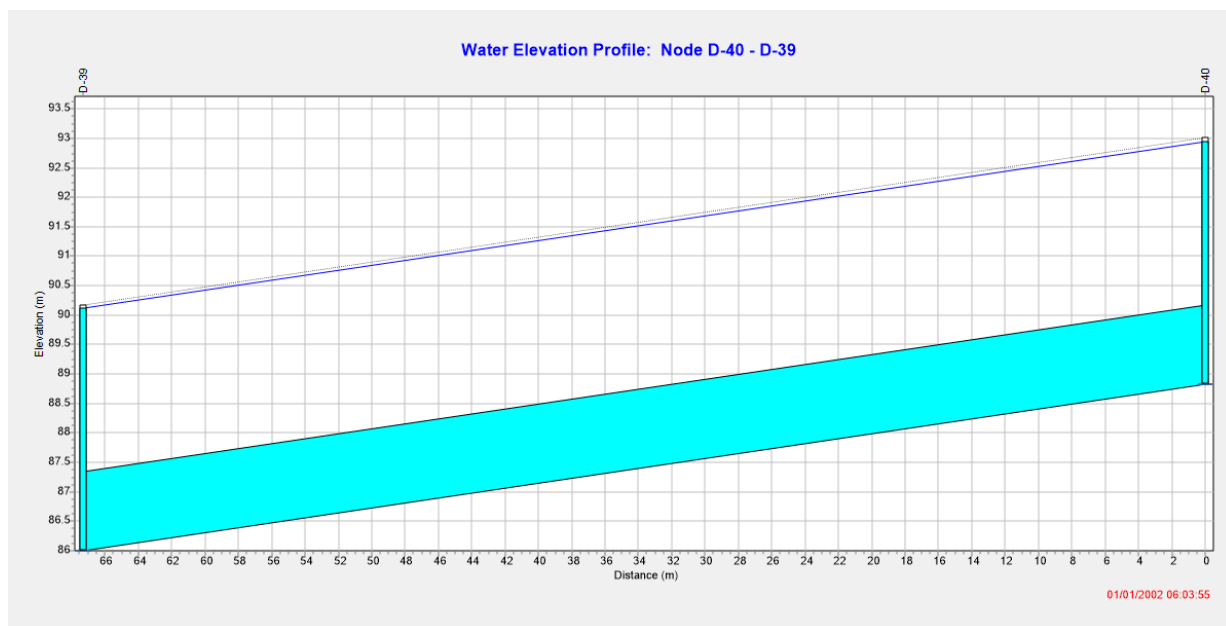
Εικόνα 4.115: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στον αγωγό

Επιπλέον στην Εικόνα 4.116 παρουσιάζεται το βάθος νερού στα φρεάτια του δικτύου κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο.

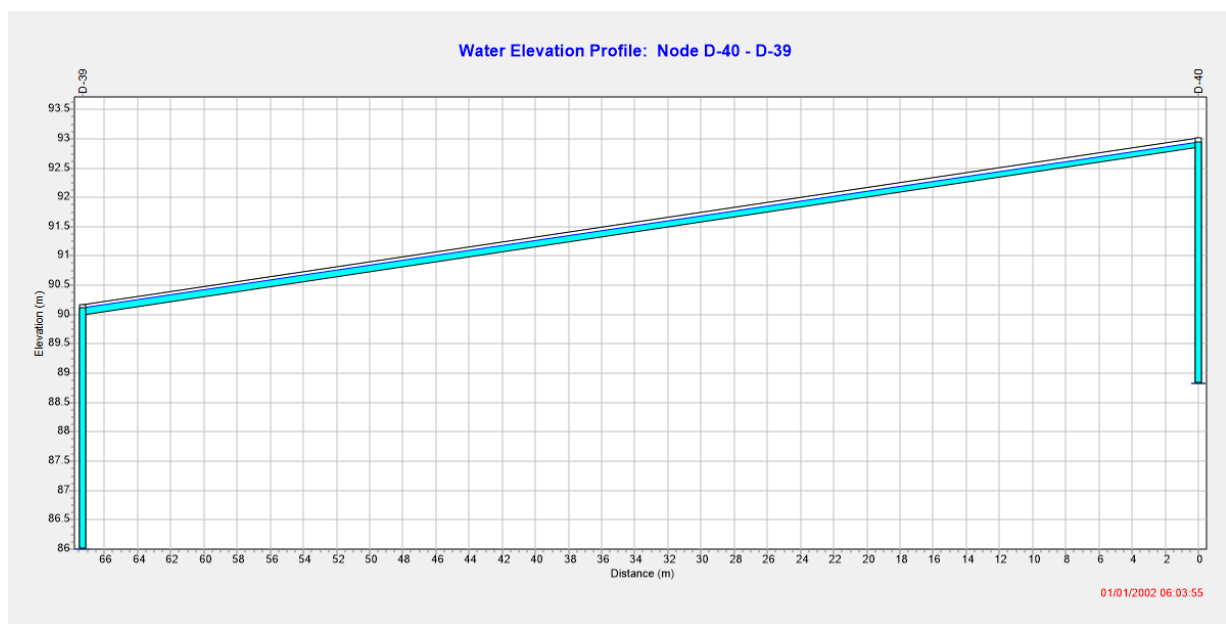


Εικόνα 4.116: Αναπαράσταση παροχής αγωγών και βάθος νερού στους κόμβους

Στην Εικόνα 4.117 παρουσιάζεται το προφίλ του υπόγειου αγωγού, ο οποίος συνδέει τα φρεάτια D-39 και D-40, ενώ στην Εικόνα 4.118 παρουσιάζεται το προφίλ του επιφανειακού αγωγός, ο οποίος συνδέει τα ίδια φρεάτια.



Εικόνα 4.117: Υπόγειος αγωγός (σύνδεσης φρεατίων D-39 – D-40) κατά τη χρονική στιγμή της αιχμής.



Εικόνα 4.118: Επιφανειακός αγωγός (σύνδεσης φρεατίων D-39 – D-40) κατά την χρονική στιγμή της αιχμής

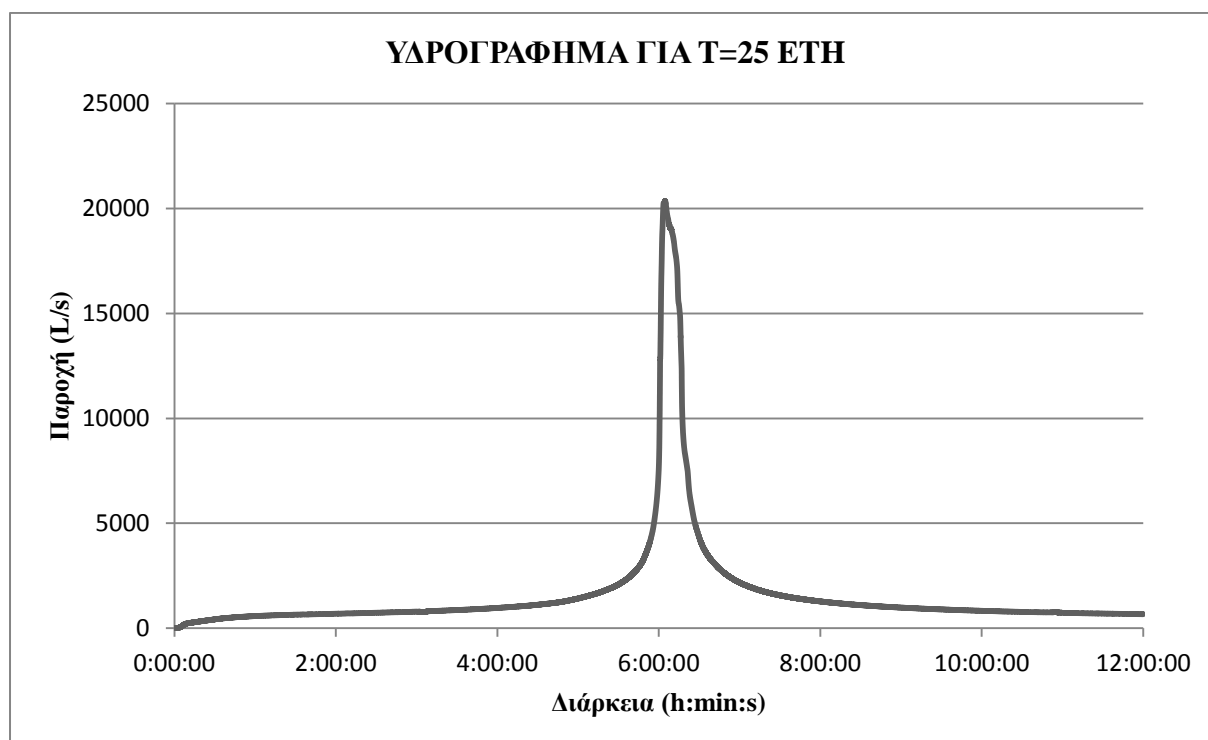
Παρατηρείται λοιπόν πως ο υπόνομος έχει πληρωθεί ($y/D=1$), με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αποχετευτεί και η ροή να πραγματοποιείται στο δρόμο (επιφανειακός αγωγός).

4.3.5.5 Περίοδος επαναφοράς $T=25$ έτη

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.46, ενώ στην Εικόνα 4.119 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 25 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

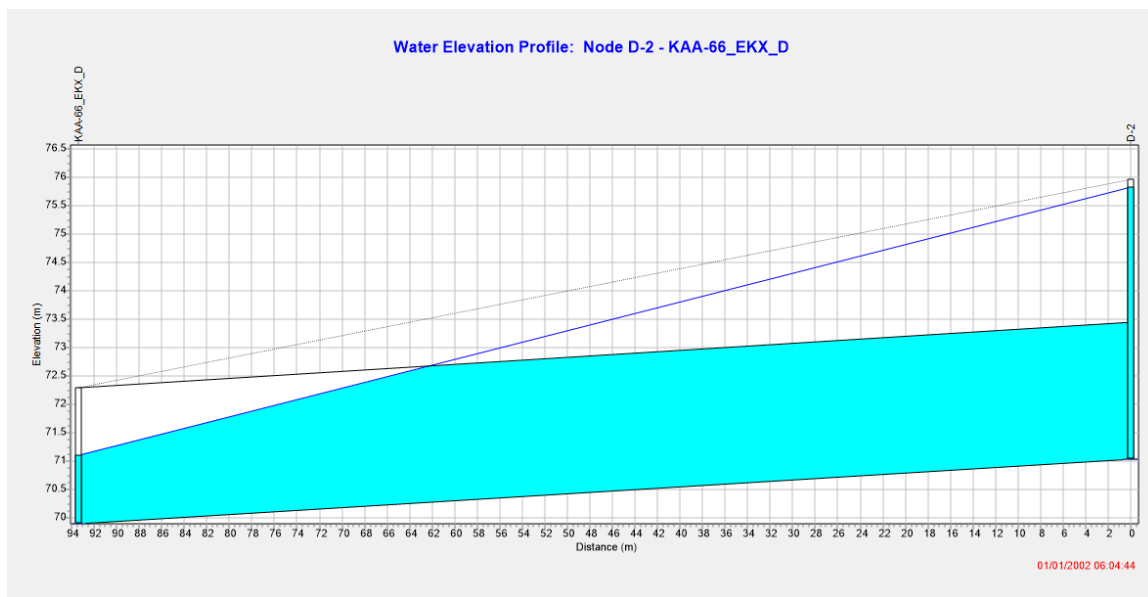
Πίνακας 4.46: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=25$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	74.1
Διήθηση (mm)	2.7
Παροχή αιχμής (L/s)	20356
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	6:04:44
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-38, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW



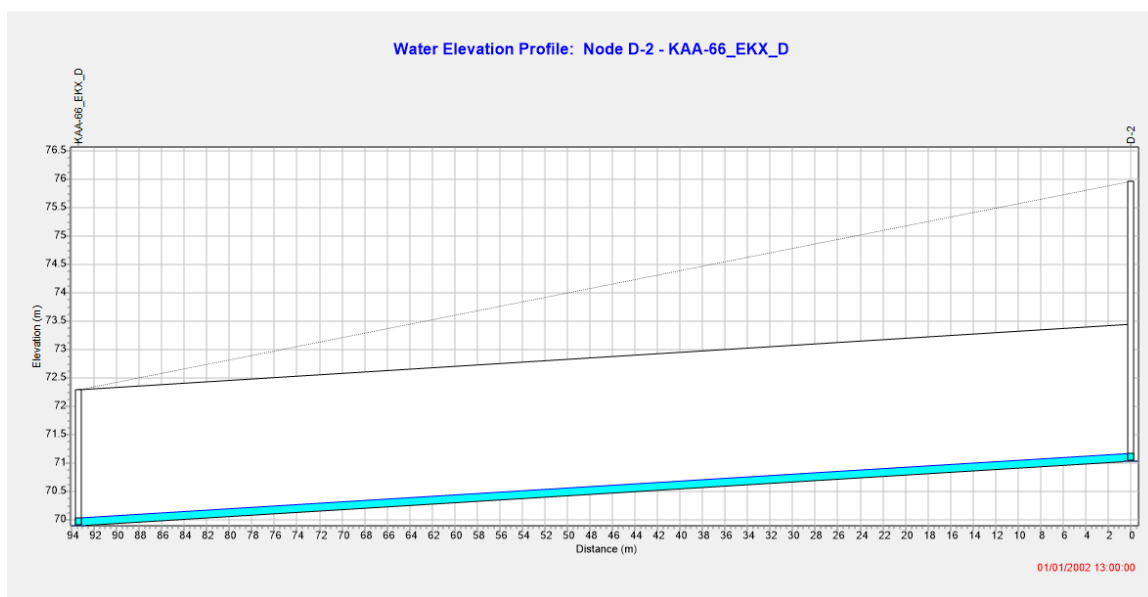
Εικόνα 4.119: Υδρογράφημα βροχόπτωσης σχεδιασμού $t=12h$ και $T=25$ ετών

Στην Εικόνα 4.120 παρουσιάζεται το προφίλ του παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.



Εικόνα 4.120: Προφίλ παντοροϊκού συλλεκτήρα κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.121 παρουσιάζεται το προφίλ του ίδιου αγωγού στην αρχή της δέκατης τρίτης ώρας, που η βροχόπτωση έχει σταματήσει και έχει αποχετευτεί στο σύνολο της. Η παροχή η οποία παρουσιάζεται στον αγωγό είναι η παροχή των ακαθάρτων υδάτων.



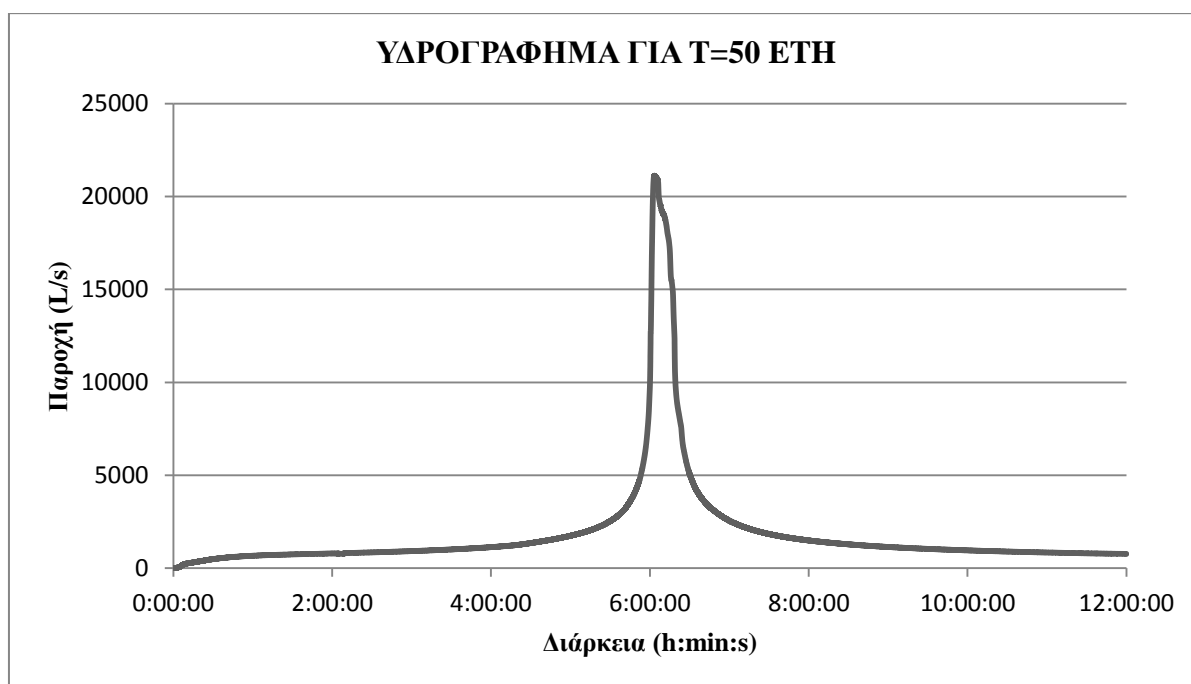
Εικόνα 4.121: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή 2:00:00

4.3.5.6 Περίοδος επαναφοράς $T=50$ έτη

Κατά την προσομοίωση του παντοροϊκού για βροχόπτωση σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών διαπιστώθηκε πως μεγάλο μέρος του υπόγειου, παντοροϊκού, συστήματος αποχέτευσης υπερπληρώνεται καθώς και ορισμένοι επιφανειακοί αγωγοί. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.47, ενώ στην Εικόνα 4.122 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 50 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

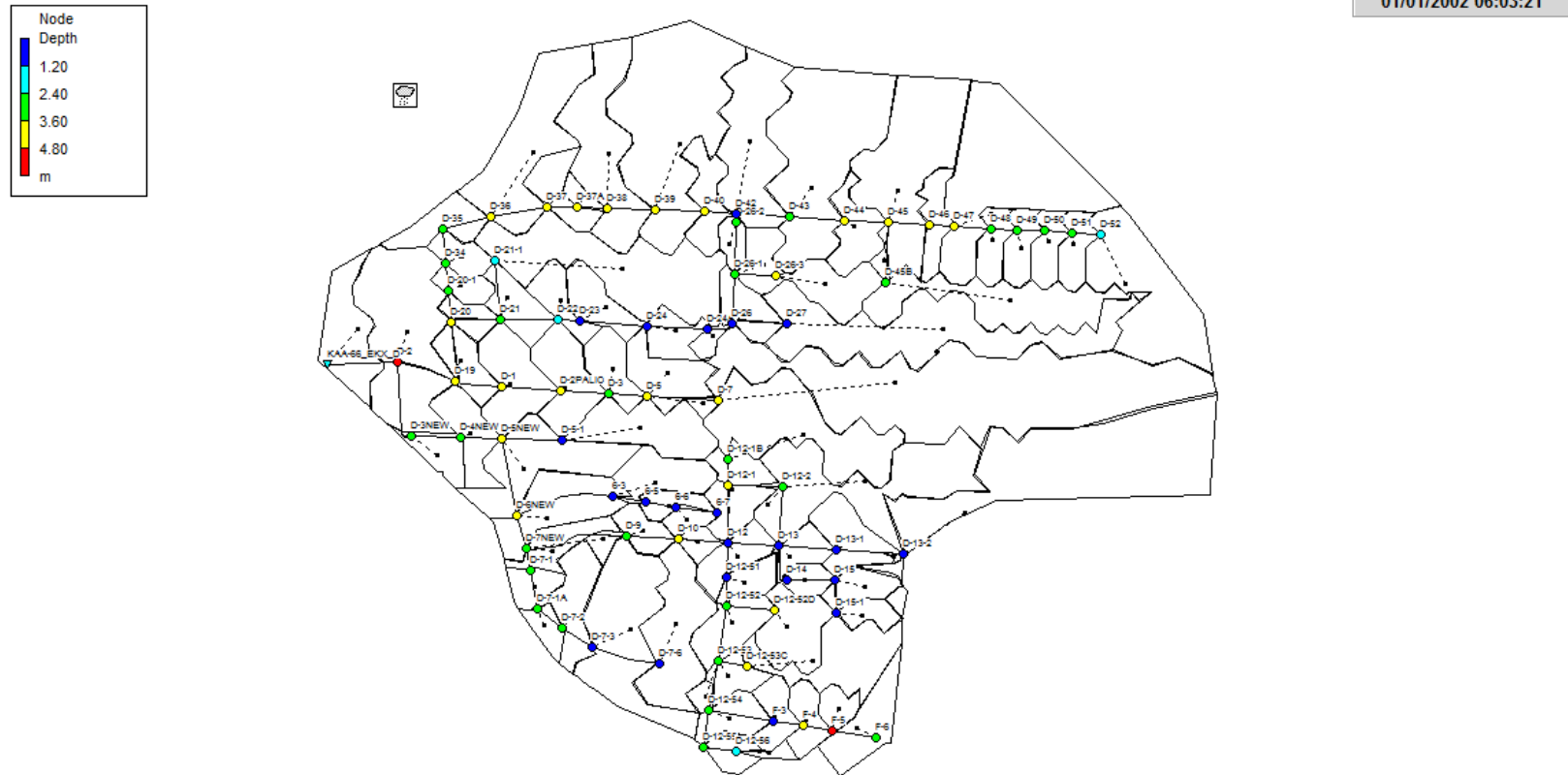
Πίνακας 4.47: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=50$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	83.0
Διήθηση (mm)	2.6
Παροχή αιχμής (L/s)	21117
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	6:03:21
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-35, D-38, D-39, D-3NEW, D-43, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

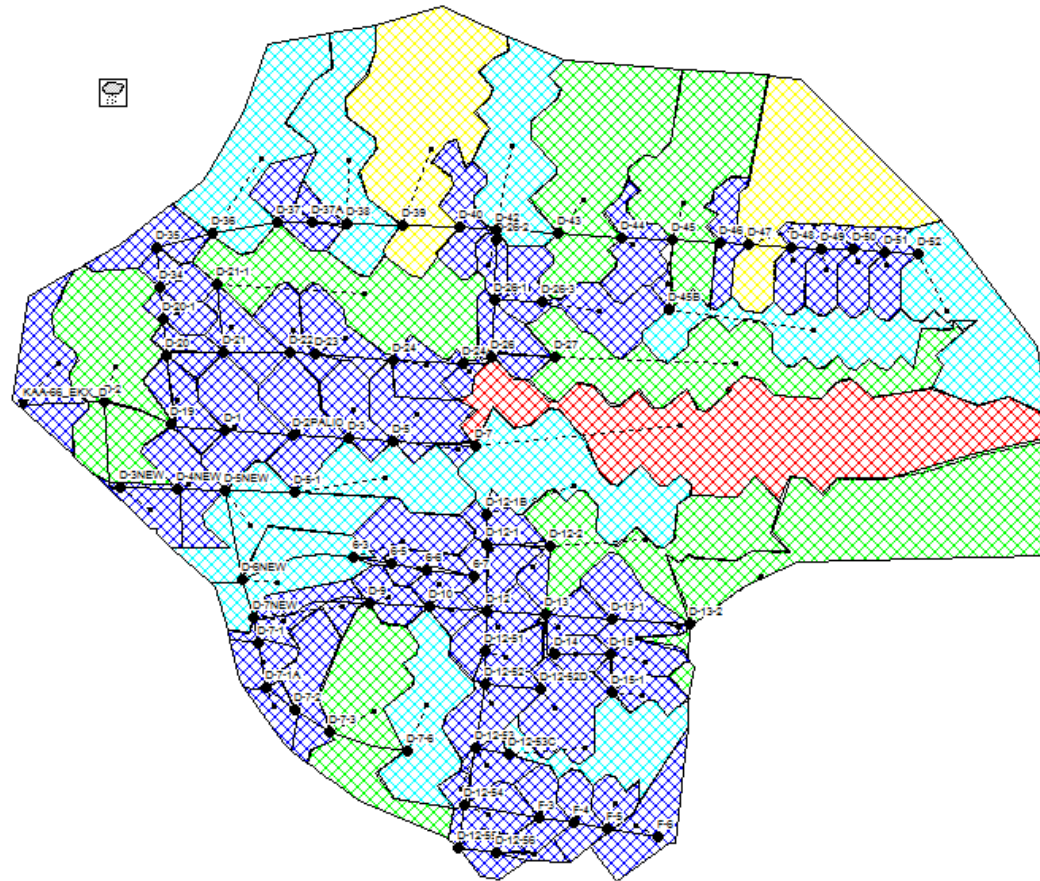
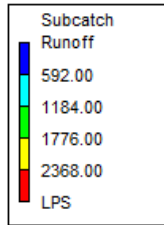


Εικόνα 4.122: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=12h$ και $T=50$ ετών

Στην Εικόνα 4.123 παρουσιάζεται το βάθος νερού στα φρεάτια του αποχετευτικού δικτύου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου ενώ στην Εικόνα 4.124 παρουσιάζεται η απορροή, των υπολεκανών του δικτύου, κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο.



Εικόνα 4.123: Αναπαράσταση βάθος νερού στους κόμβους του δικτύου κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου



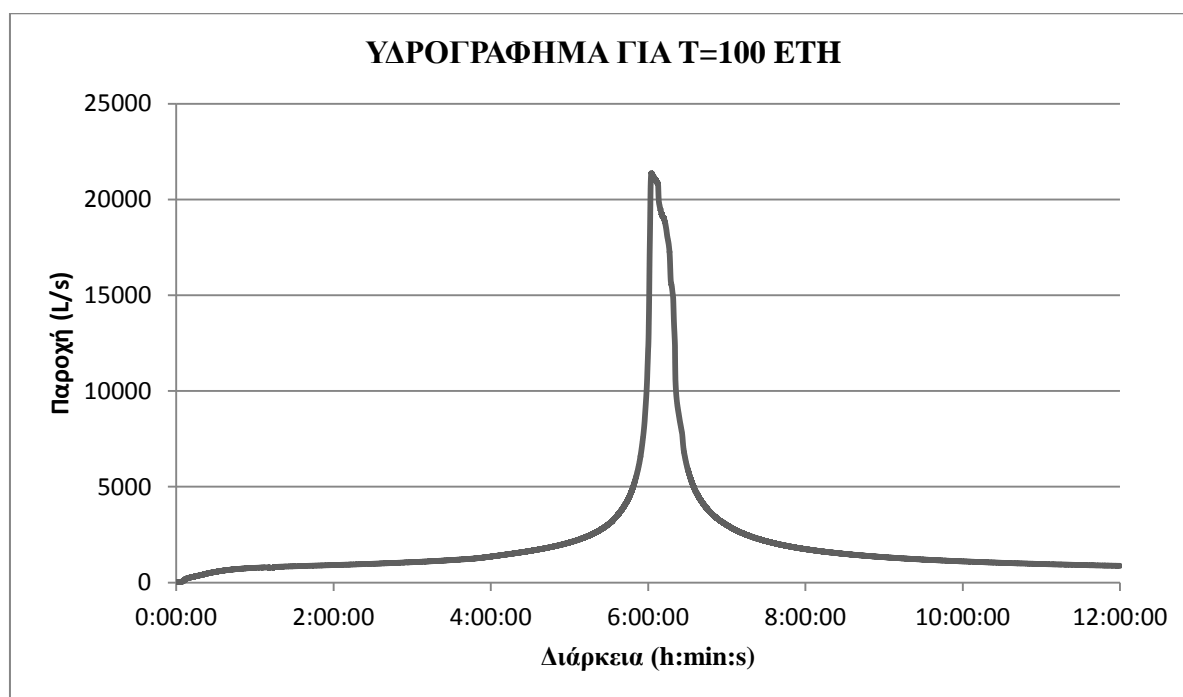
Εικόνα 4.124: Απορροή των υπολεκανών κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

4.3.5.7 Περίοδος επαναφοράς $T=100$ έτη

Η τελευταία περίπτωση, για διάρκεια βροχόπτωσης 12 h, η οποία προσομοιώθηκε με το λογισμικό SWMM ήταν για περίοδο επαναφοράς 100 ετών. Και στη συγκεκριμένη περίπτωση όπως είναι φυσικό οι περισσότεροι παντοροϊκοί αγωγοί πληρώνονται καθώς και αρκετοί επιφανειακοί αγωγοί. Επιπλέον αρκετά φρεάτια πλημμυρίζουν καθώς το αποχετευτικό σύστημα αδυνατεί να παροχετεύσει το σύνολο της απορροής. Στον Πίνακα 4.48 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από τη βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 100 ετών, ενώ στην Εικόνα 4.125 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του συστήματος.

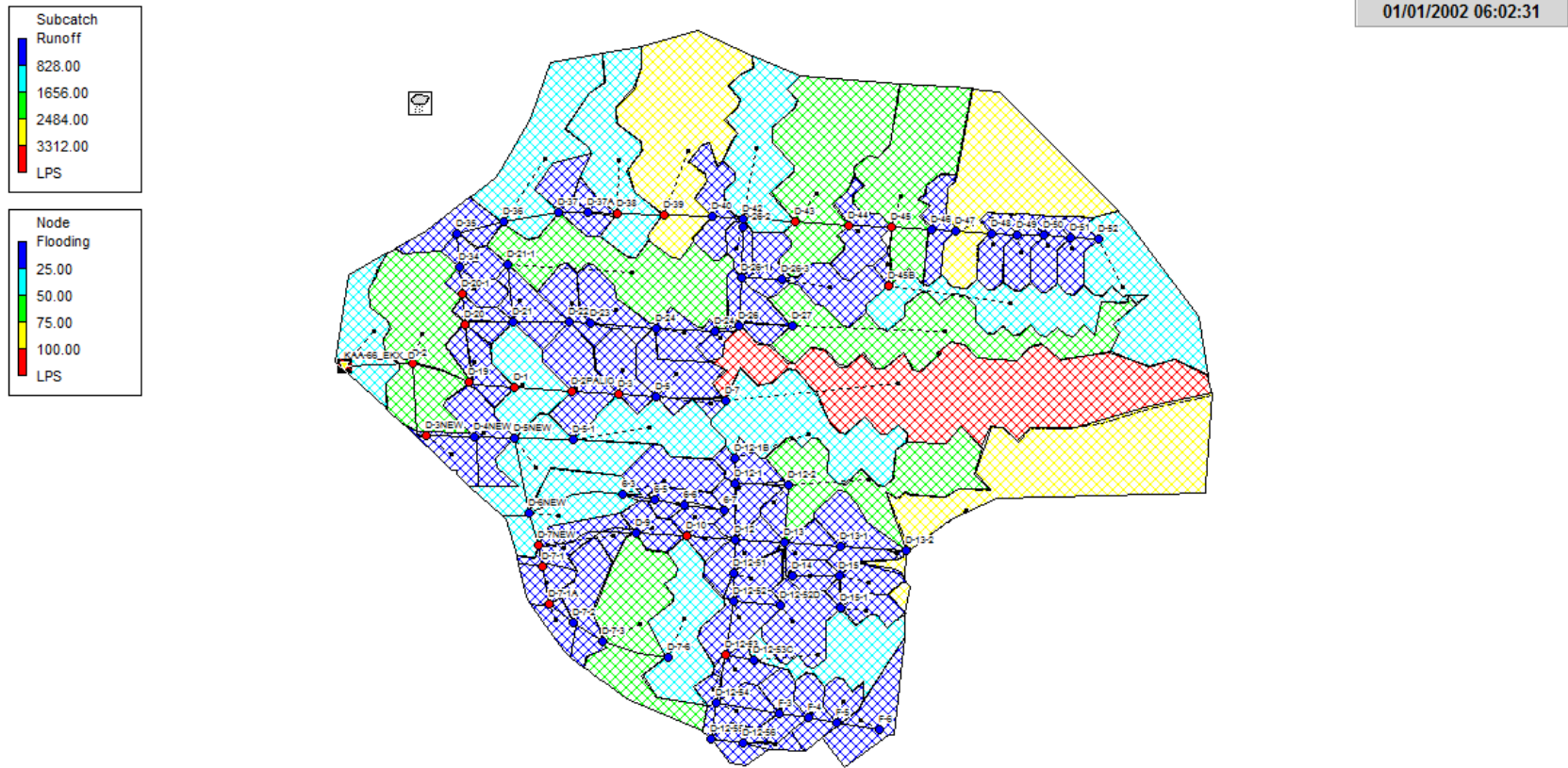
Πίνακας 4.48: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 12h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=100$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	108.6
Διήθηση (mm)	2.9
Παροχή αιχμής (L/s)	21369
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	6:02:31
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-10, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-2PALIO, D-3, D-35, D-38, D-39, D-3NEW, D-40, D-43, D-44, D-45, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW



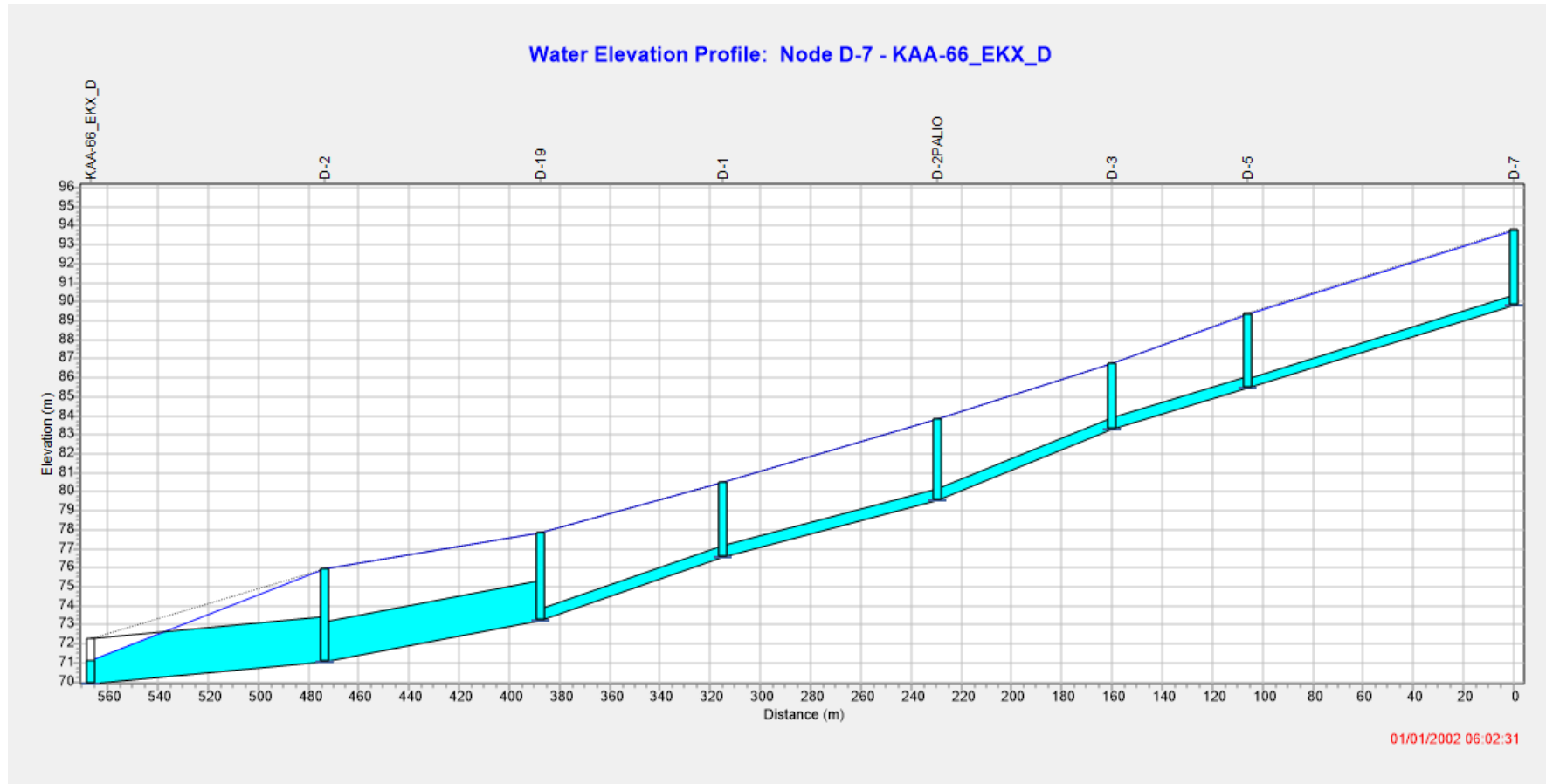
Εικόνα 4.125: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=12h$ και $T=100$ ετών

Στην Εικόνα 4.126 παρουσιάζεται ένας συνδυαστικός χάρτης της περιοχής μελέτης κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του συστήματος. Ο χάρτης αναπαριστά την επιφανειακή απορροή, ανά υπολεκάνη τη δεδομένη χρονική στιγμή, καθώς και τα φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν.



Εικόνα 4.126: Αναπαράσταση επιφανειακής απορροής (l/s) ανά υπολεκάνη και φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν (l/s) κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

Στη συνέχεια, στην Εικόνα 4.127 παρουσιάζεται το προφίλ των υπόγειων αποχετευτικών αγωγών του δικτύου, από τον κόμβο D-7 έως την έξοδο του αποχετευτικού συστήματος (κόμβος ΚΑΑ-66_EKX_D), κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του συστήματος.



Εικόνα 4.127: Προφίλ υπόγειων αποχετευτικών αγωγών κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της αιχμής

4.3.6 Βροχή διάρκειας 24 h

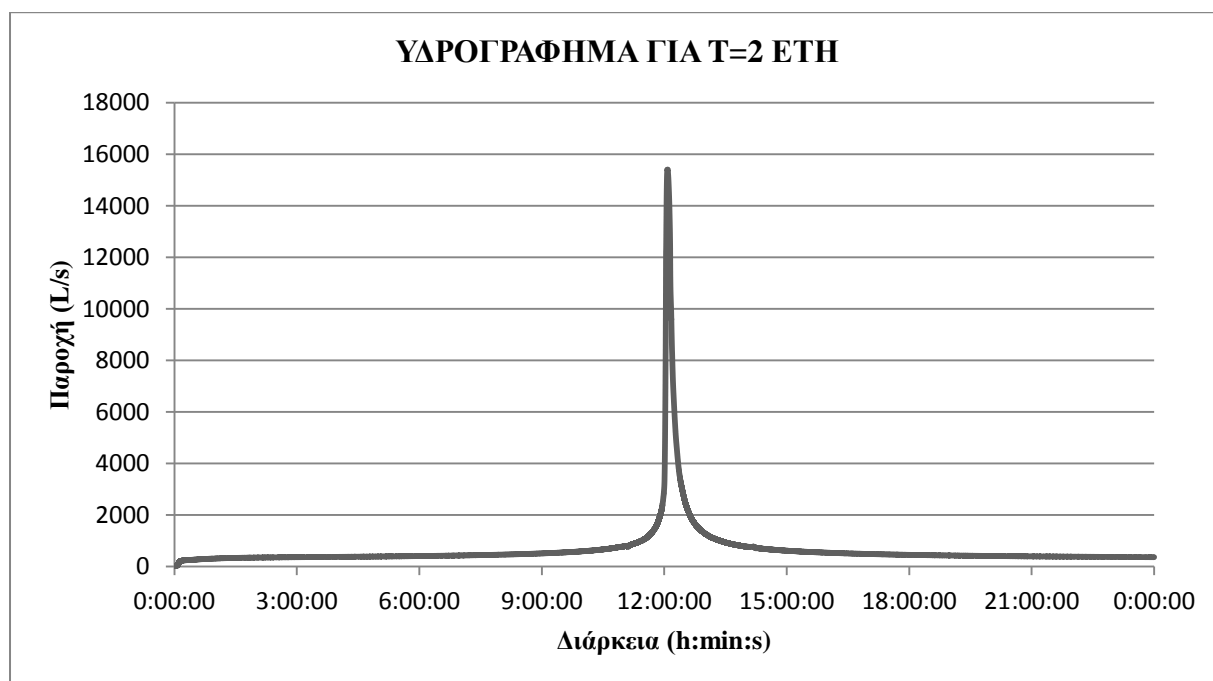
Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από βροχόπτωση σχεδιασμού διάρκειας 24 h και για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50 και 100 έτη.

4.3.6.1 Περίοδος επαναφοράς $T=2$ έτη

Από την προσομοίωση, με το λογισμικό SWMM, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 2 ετών παρουσιάζονται, συνοπτικά στον Πίνακα 4.49. Επιπλέον στην Εικόνα 4.128 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, στην έξοδο του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου, για $T=2$ έτη. Και σε αυτήν την περίπτωση, το υπόγειο αποχετευτικό δίκτυο ανταποκρίνεται με επιτυχία και κανένας κόμβος του δικτύου δεν πλημμυρίζει.

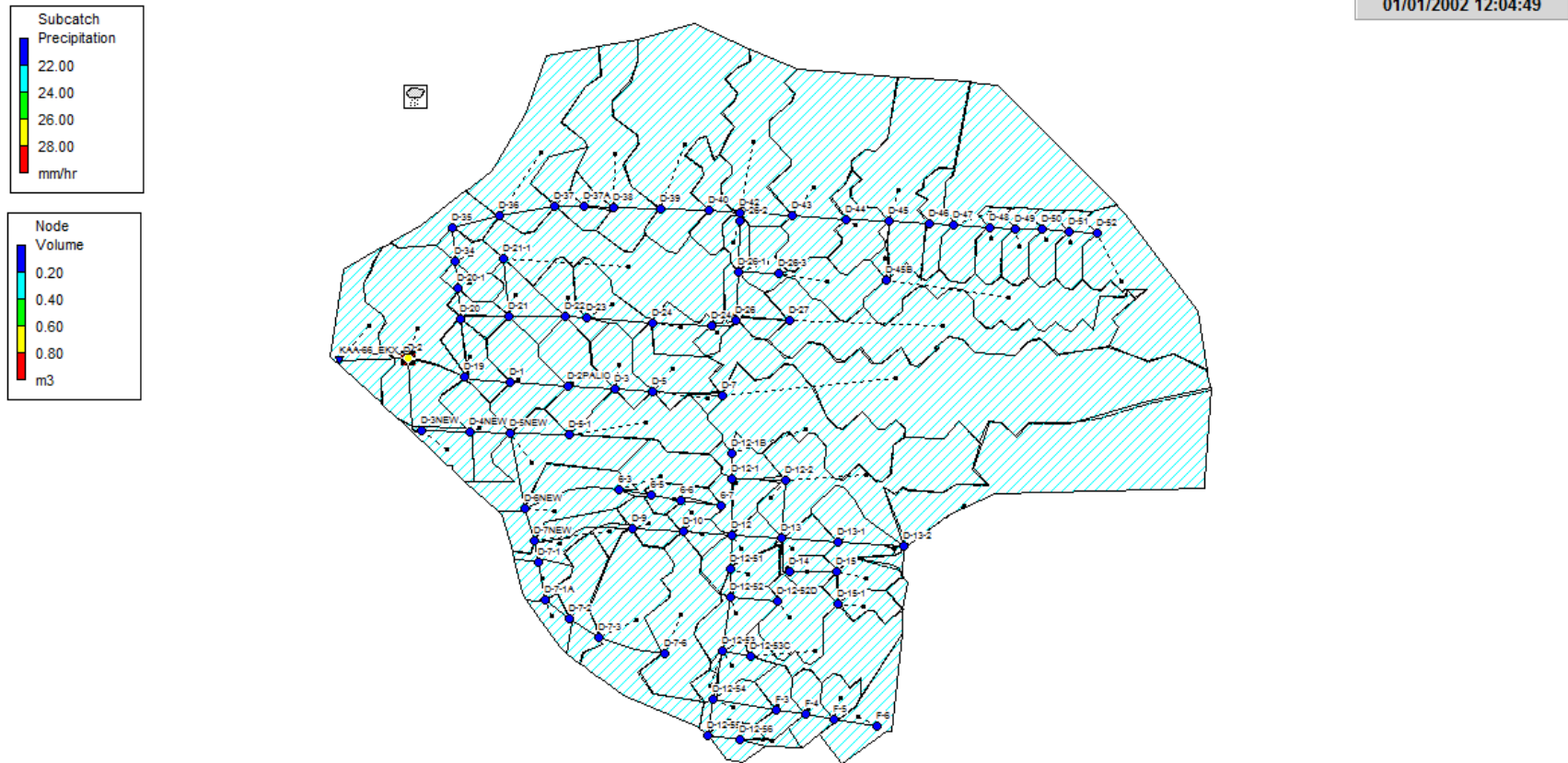
Πίνακας 4.49: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 2 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=2$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	44.7
Διήθηση (mm)	2.3
Παροχή αιχμής (L/s)	15403
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	12:04:49



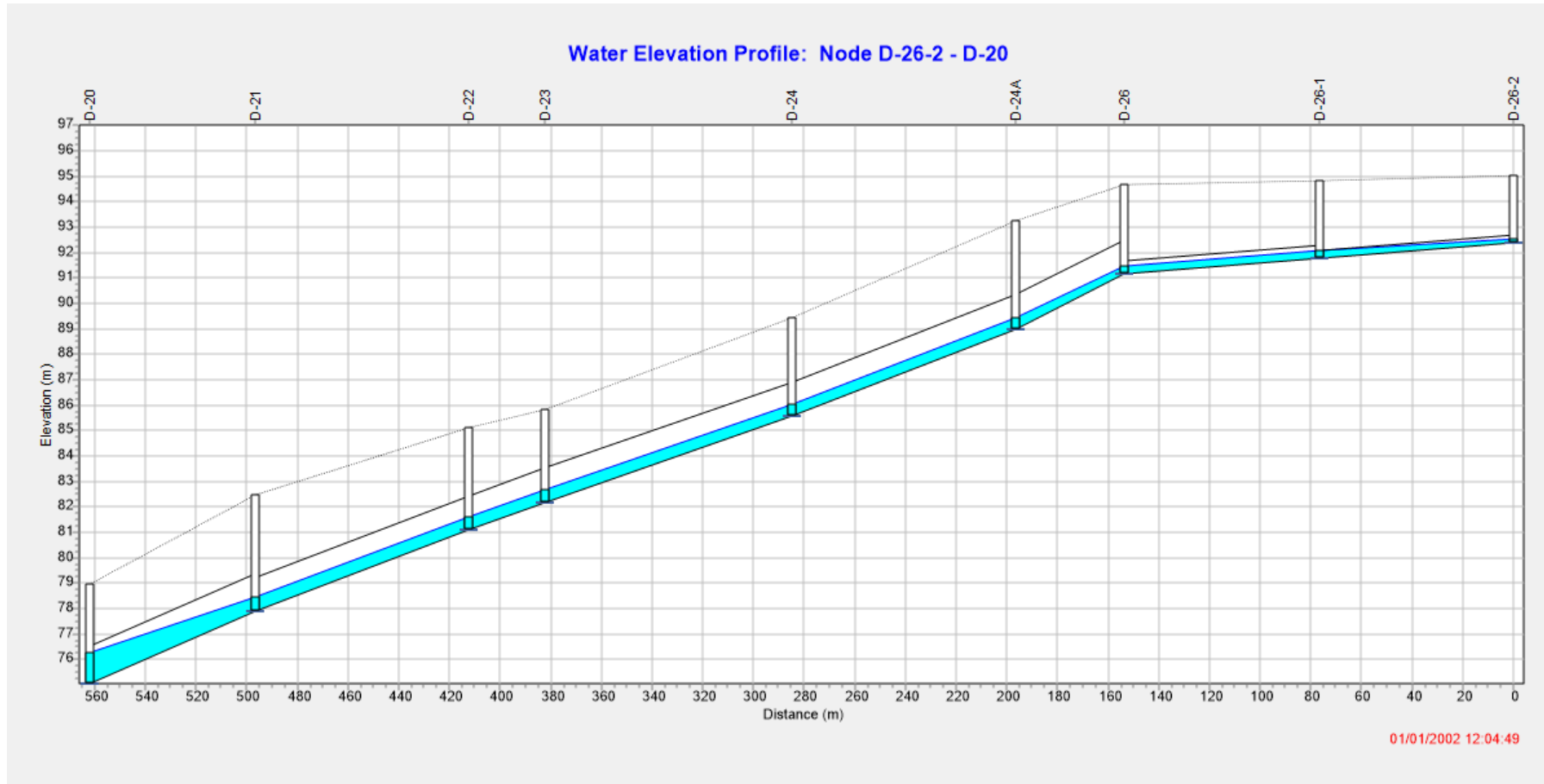
Εικόνα 4.128: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=24h$ και $T=2$ ετών

Στην Εικόνα 4.129 παρουσιάζεται η βροχοπτώση (mm/h), ανά υπολεκάνη του δικτύου, καθώς και ο όγκος νερού (m³) σε κάθε κόμβο, για την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου.



Εικόνα 4.129: Βροχοπτώση (mm/h) ανά υπολεκάνη και όγκος νερού ανά κόμβο (m³) για τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.

Επιπλέον για τη βροχόπτωση διάρκειας 24 h και περίοδο επαναφοράς 2 ετών, αναπαρίσταται στην Εικόνα 4.130 το προφίλ των αγωγών από το φρεάτιο D-26-2 έως το φρεάτιο D-20, για τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.



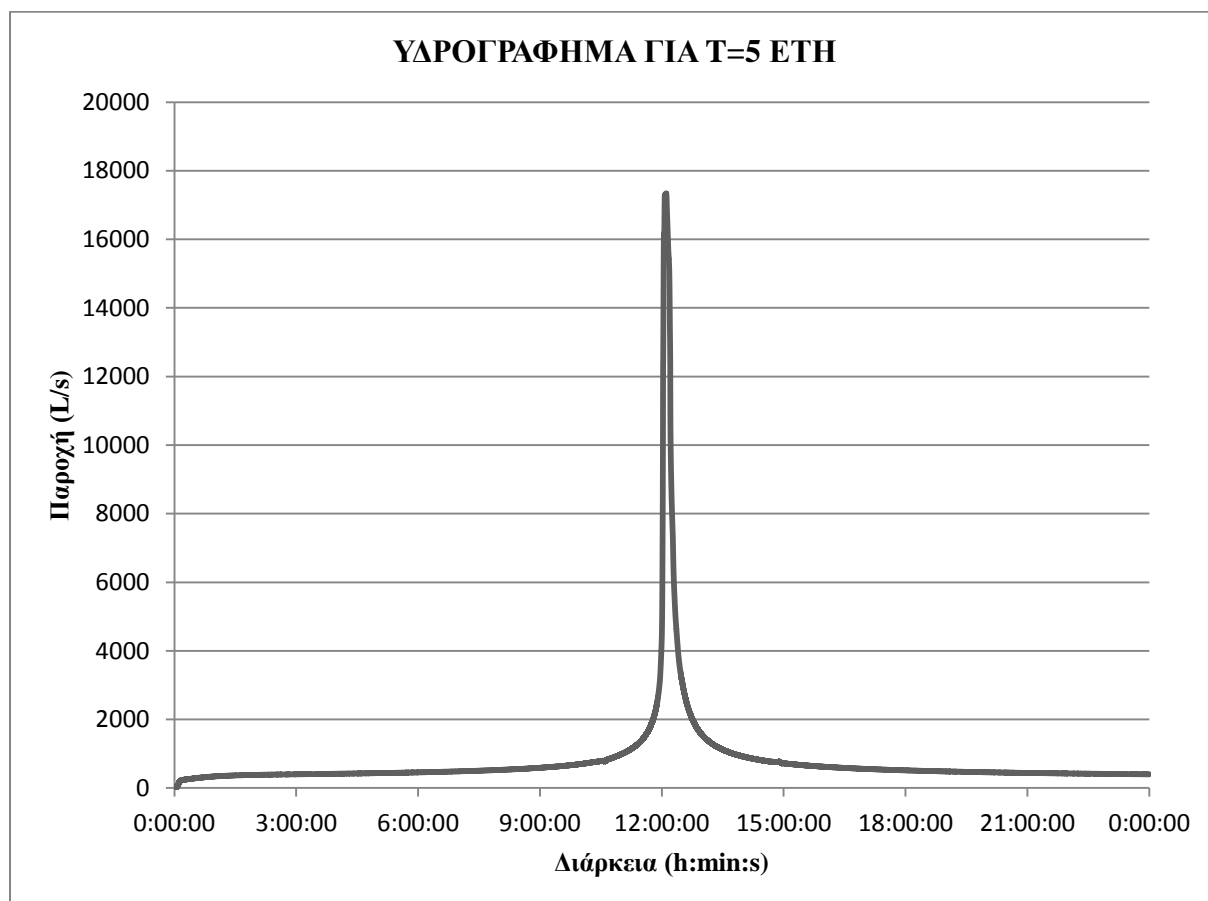
Εικόνα 4.130: Προφίλ αγωγών παντοροϊκού δικτύου κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

4.3.6.2 Περίοδος επαναφοράς $T=5$ έτη

Για την προσομοίωση της βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 5 ετών, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.50, ενώ στην Εικόνα 4.131 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου. Και σε αυτήν την περίπτωση, τα αποτελέσματα κατέδειξαν πως κανένας κόμβος του δικτύου δεν πλημμυρίζει. Βέβαια ορισμένοι υπόνομοι πληρώνονται με αποτέλεσμα να λειτουργεί το επιφανειακό αποχετευτικό δίκτυο (οδοί).

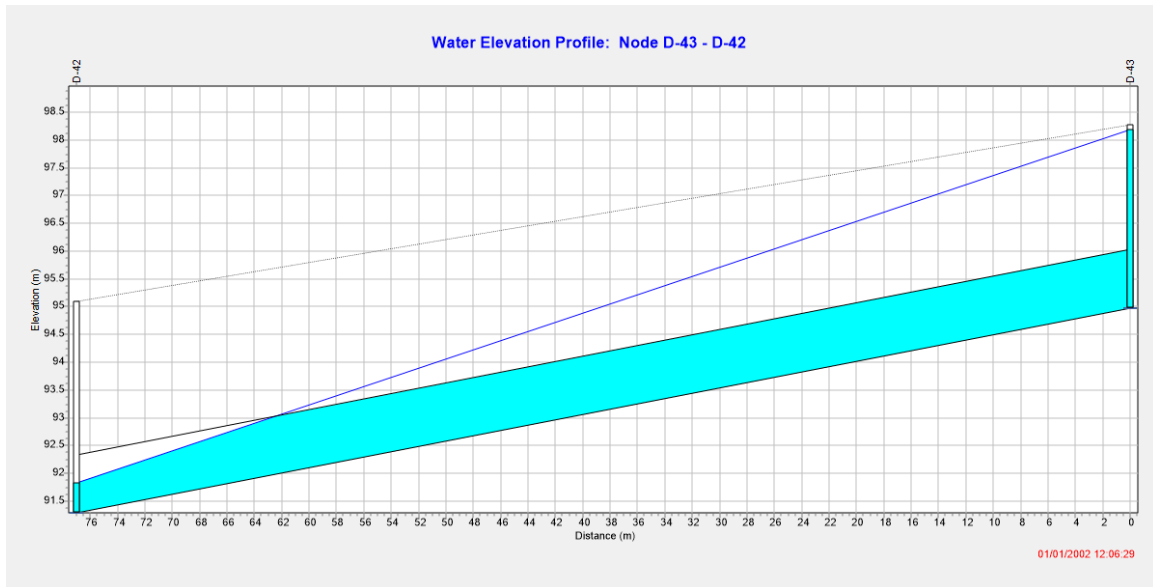
Πίνακας 4.50: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 2 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=2$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	57.5
Διήθηση (mm)	2.4
Παροχή αιχμής (L/s)	17337
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	12:06:29

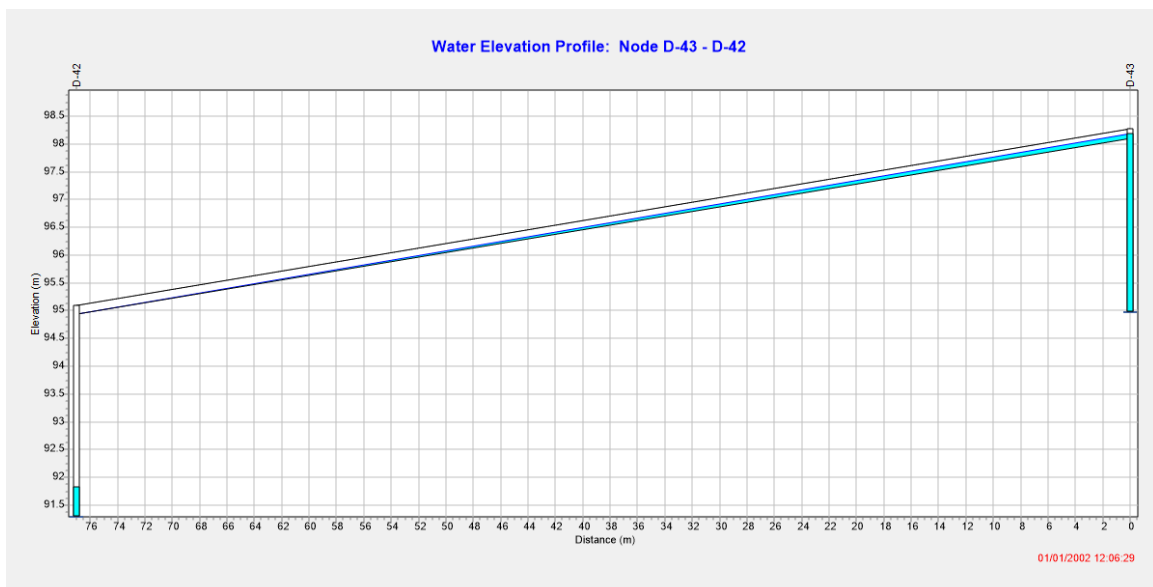


Εικόνα 4.131: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=24h$ και $T=5$ ετών

Στην Εικόνα 4.132 παρουσιάζεται το προφίλ υπονόμου κατά την εμφάνιση της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου. Όπως φαίνεται η ροή στον αγωγό δεν πραγματοποιείται με ελεύθερη επιφάνεια ($y/D=1$). Ως αποτέλεσμα αυτού είναι να λειτουργεί το επιφανειακό αποχετευτικό δίκτυο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.133, όπου παρουσιάζεται το προφίλ του αντίστοιχου επιφανειακού αγωγού.



Εικόνα 4.132: Προφίλ υπονόμου για τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου



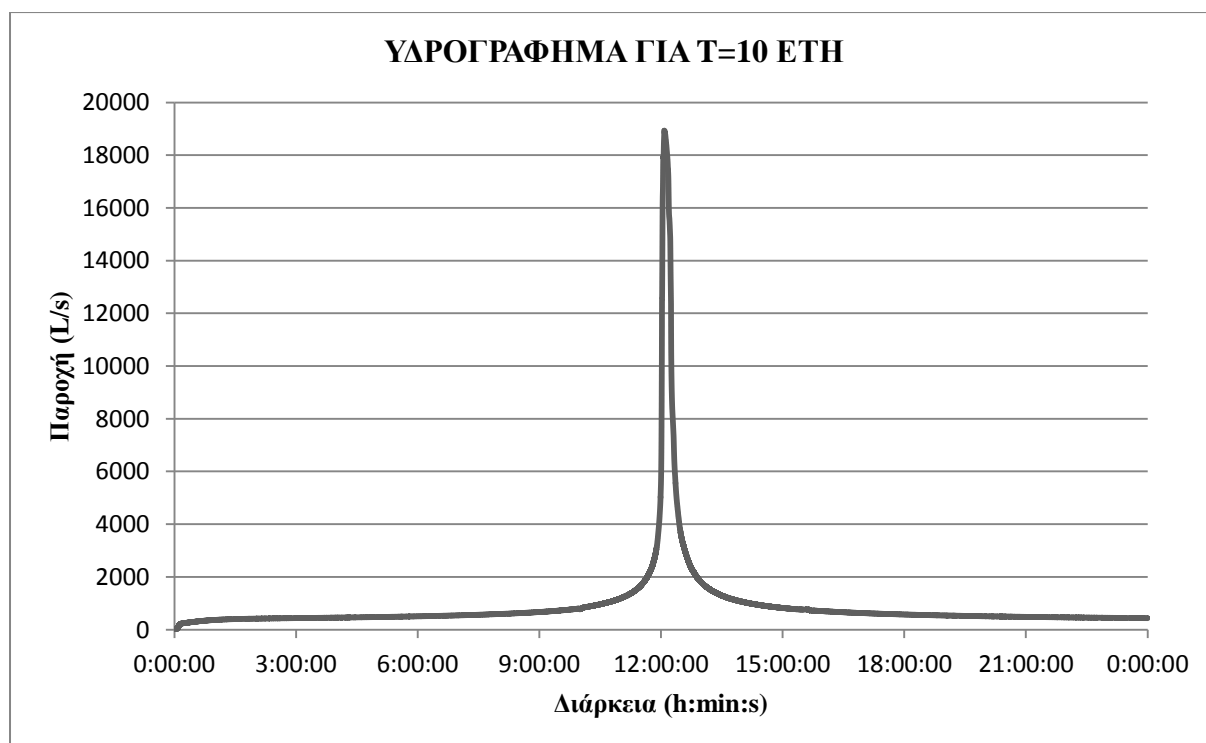
Εικόνα 4.133: Προφίλ επιφανειακού αγωγού για τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

4.3.6.3 Περίοδος επαναφοράς $T=10$ έτη

Από την προσομοίωση, με το λογισμικό SWMM, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 10 ετών παρουσιάζονται, συνοπτικά στον Πίνακα 4.51. Επιπλέον στην Εικόνα 4.134 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, στην έξοδο του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου, για $T=10$ έτη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το παντοροϊκό δίκτυο, δεν επαρκεί για την παροχέτευση της βροχόπτωσης, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται πλημμυρικά φαινόμενα σε ορισμένους κόμβους του δικτύου.

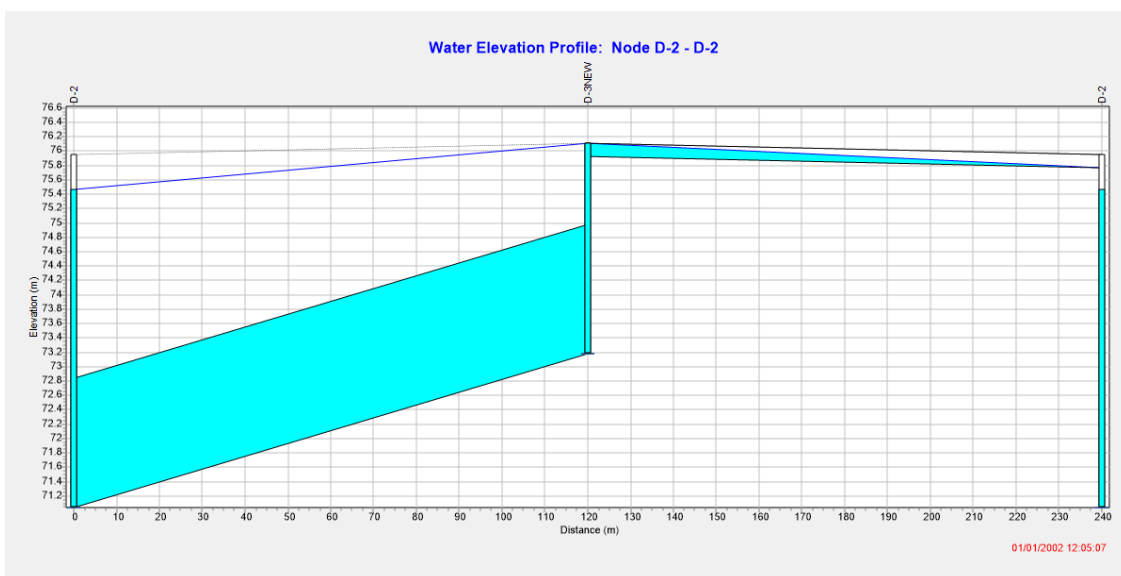
Πίνακας 4.51: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 10 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=2$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	69.6
Διήθηση (mm)	2.6
Παροχή αιχμής (L/s)	18932
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	12:05:07
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-3NEW, D-7NEW

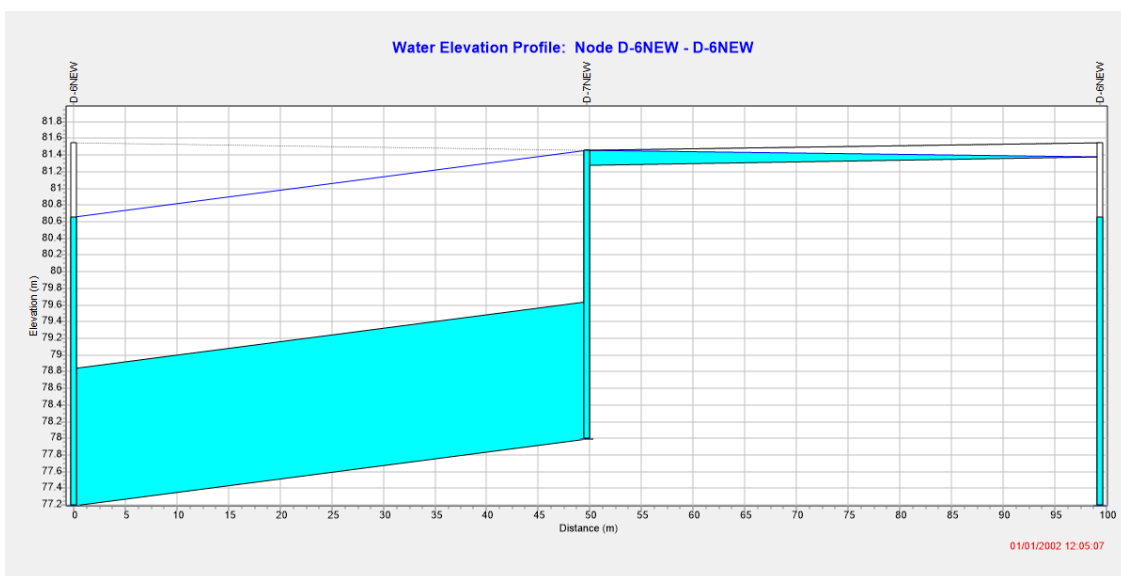


Εικόνα 4.134: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=24h$ και $T=10$ ετών

Στην Εικόνα 4.135 αναπαρίσταται το προφίλ υπόγειου παντοροϊκού αγωγού (αριστερά) καθώς και το προφίλ του αντίστοιχου επιφανειακού (δεξιά), για τη χρονική στιγμή της εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου. Το ανάντη φρεάτιο D-3NEW είναι ένα από τα δύο φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν. Ομοίως στην Εικόνα 4.136 παρουσιάζεται το προφίλ του υπονόμου και του επιφανειακού για το δεύτερο φρεάτιο (D-7NEW) το οποίο πλημμυρίζει.



Εικόνα 4.135: Προφίλ υπονόμου (αριστερά) και επιφανειακού αγωγού (δεξιά) κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.



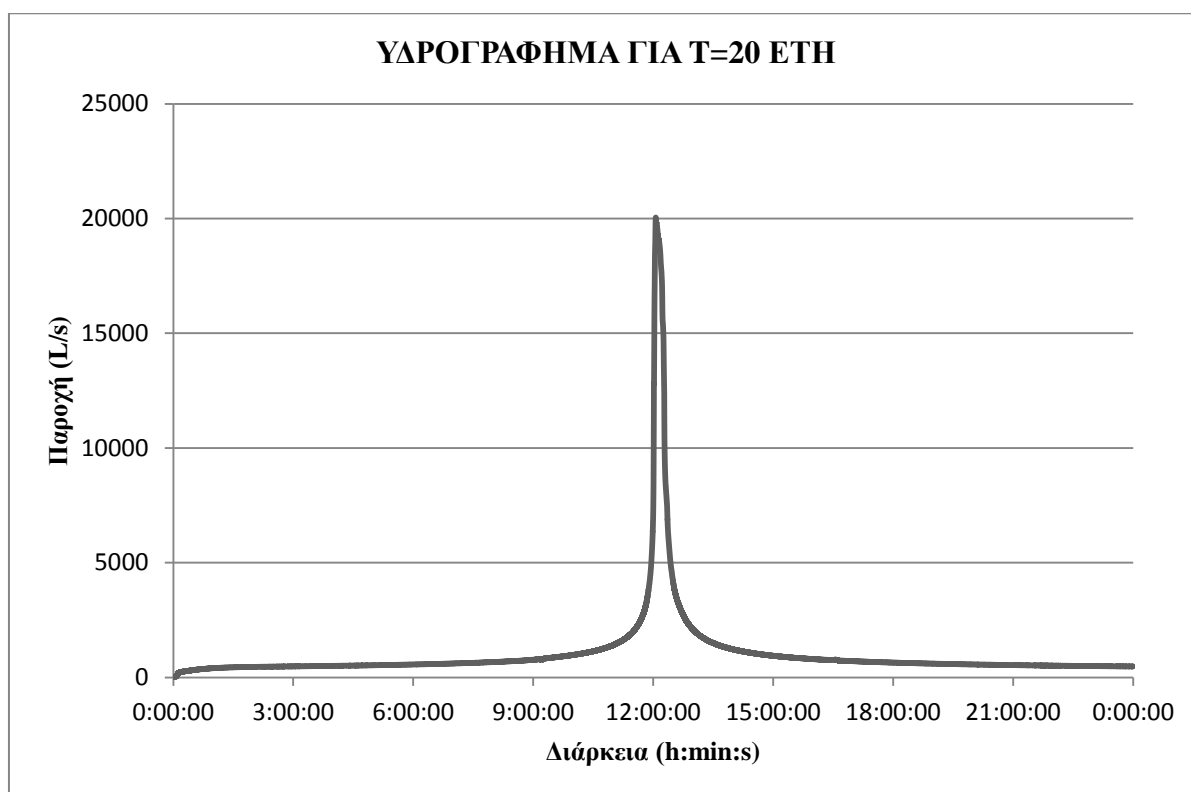
Εικόνα 4.136: Προφίλ υπονόμου (αριστερά) και επιφανειακού αγωγού (δεξιά) κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου.

4.3.6.4 Περίοδος επαναφοράς $T=20$ έτη

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκής, όπως και προηγουμένως, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Όπως είναι λογικό, περισσότεροι κόμβοι του δικτύου πληρώνονται και πλημμυρίζουν σε σχέση με τη βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς $T=10$ ετών. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.52, ενώ στην Εικόνα 4.137 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 20 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

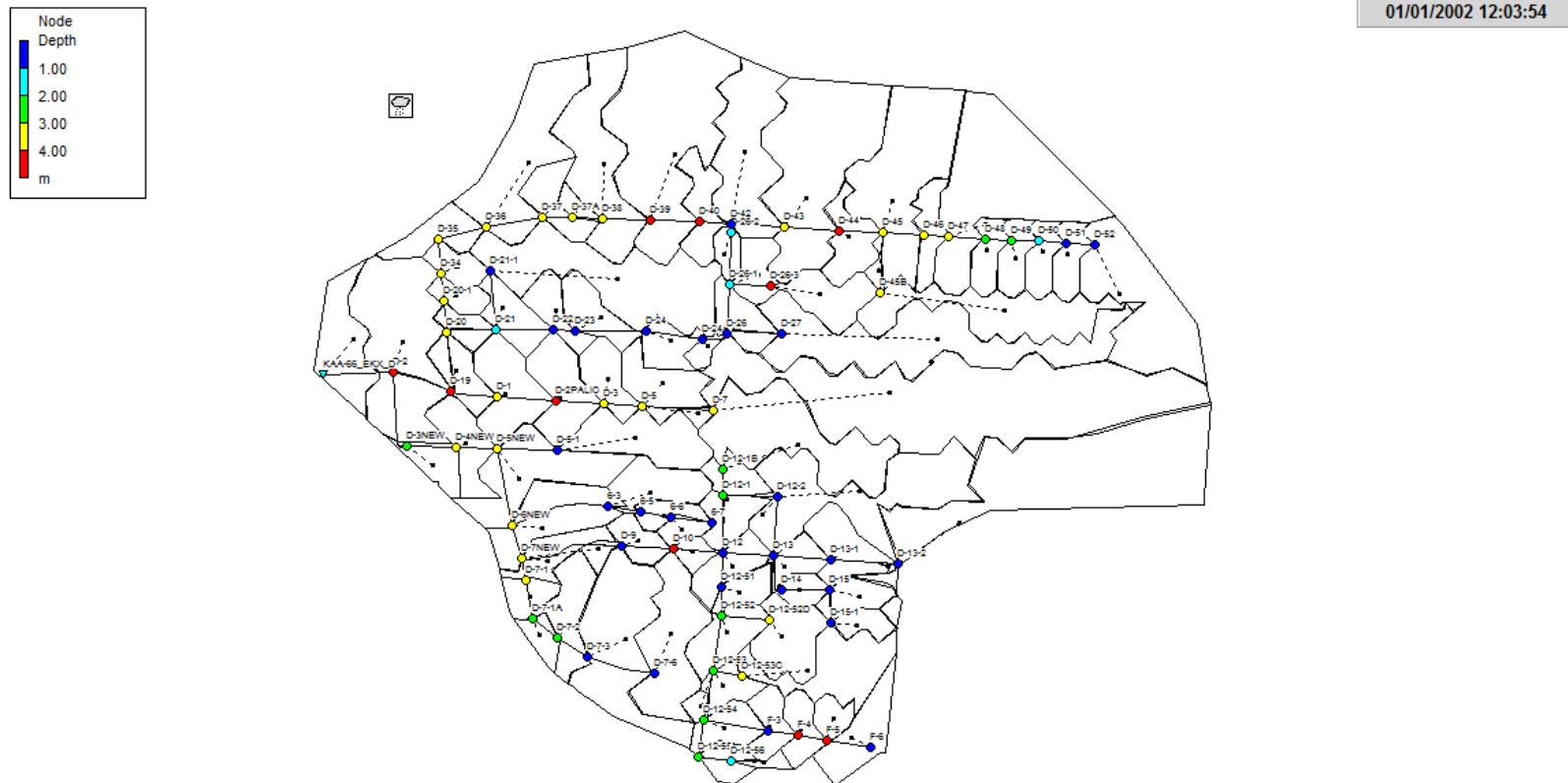
Πίνακας 4.52: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 20 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=20$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	84.3
Διήθηση (mm)	2.7
Παροχή αιχμής (L/s)	20044
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	12:03:54
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

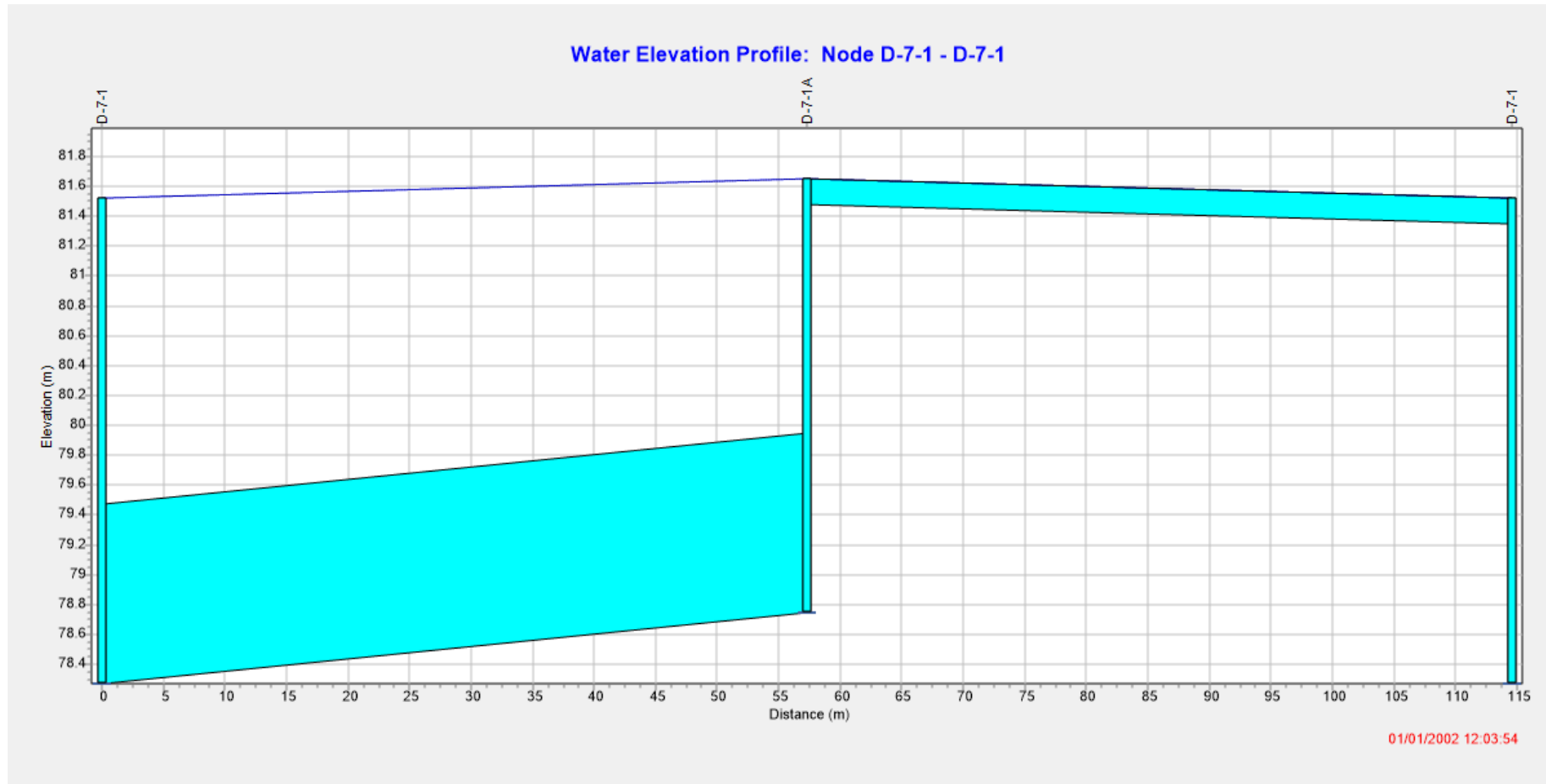


Εικόνα 4.137: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=24$ h και $T=20$ ετών

Στην Εικόνα 4.138, παρουσιάζεται το βάθος νερού στους κόμβους του δικτύου, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο, της Ζώνης Δ, του παντοροϊκού δικτύου Αθηνών. Επιπλέον στην Εικόνα 4.139 παρουσιάζεται το προφίλ υπόγειου (δεξιά) και επιφανειακού αγωγού (αριστερά) κατά την ίδια χρονική στιγμή. Και οι δύο αγωγοί έχουν ξεπεράσει την παροχετευτική τους ικανότητα με αποτέλεσμα και τα δύο φρεάτια να πλημμυρίζουν.



Εικόνα 4.138: Βροχόπτωση ανά υπολεκάνη κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου



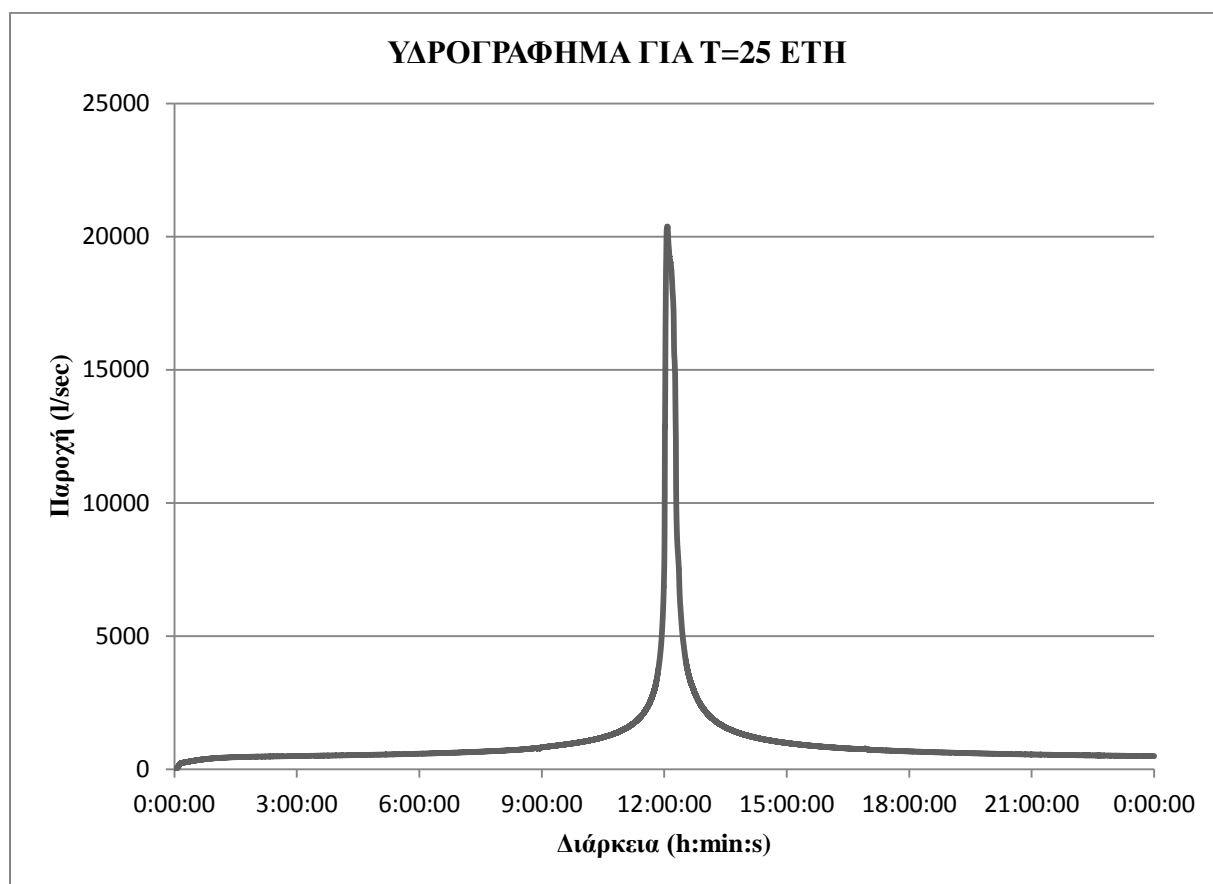
Εικόνα 4.139: Προφίλ υπόγειου και αντίστοιχου επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του παντοροϊκού δικτύου αποχέτευσης

4.3.6.5 Περίοδος επαναφοράς $T=25$ έτη

Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι παντοροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκής με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.53, ενώ στην Εικόνα 4.140 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 25 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

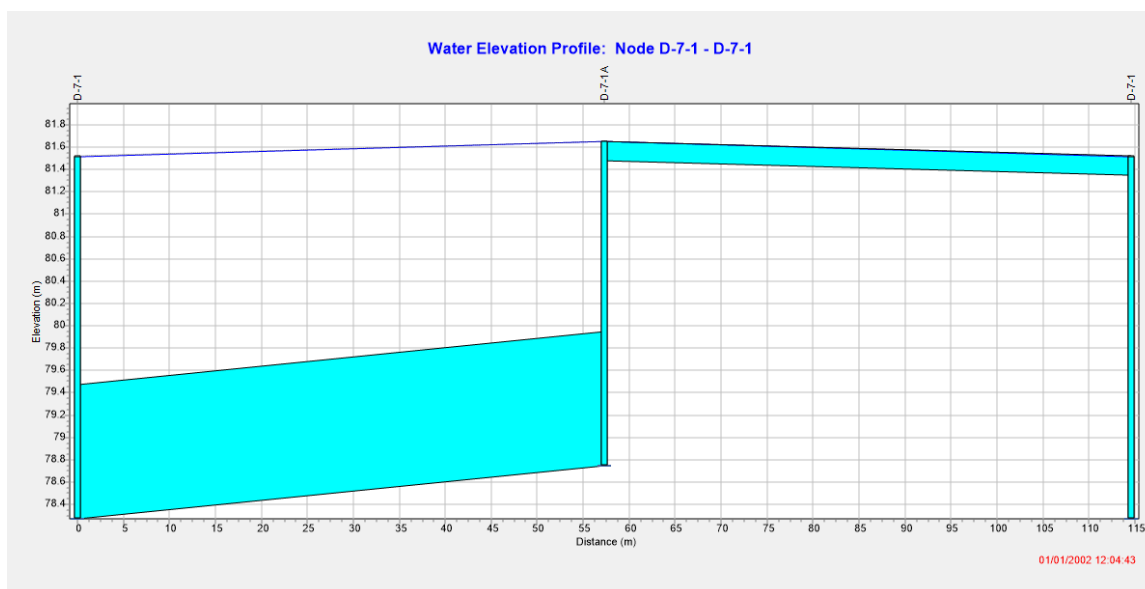
Πίνακας 4.53: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 25 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=25$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	89.7
Διήθηση (mm)	2.7
Παροχή αιχμής (L/s)	20378
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	12:04:43
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-12-53, D-20-1, D-38, D-3NEW, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

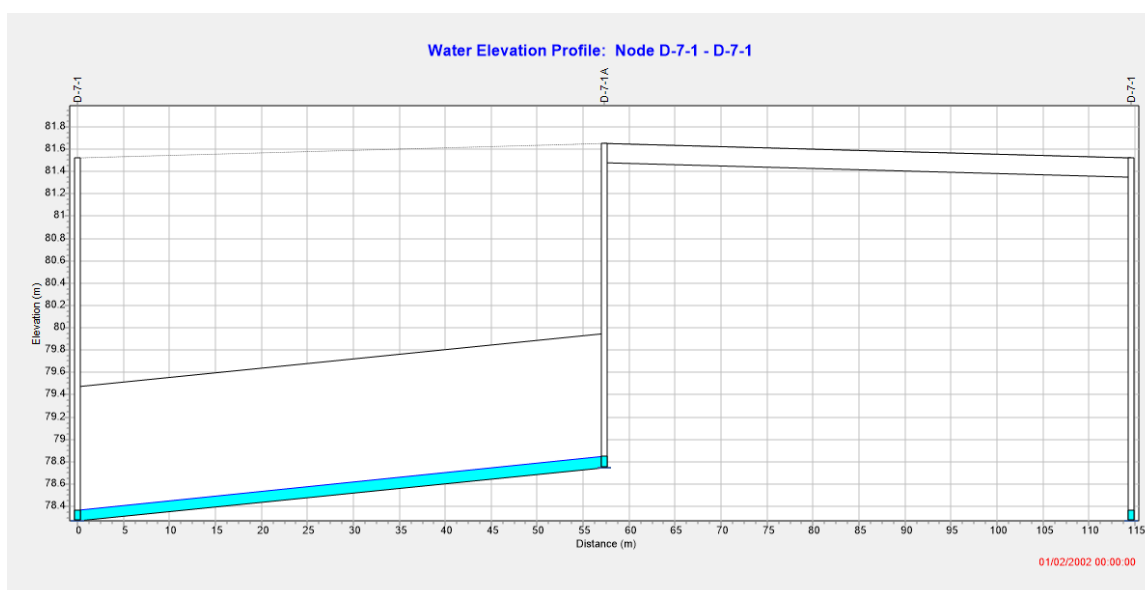


Εικόνα 4.140: Υδρογράφημα βροχόπτωσης $t=24h$ και $T=25$ ετών

Στην Εικόνα 4.141 παρουσιάζεται το προφίλ υπόγειου (αριστερά) και επιφανειακού αγωγού (δεξιά) κατά την ίδια χρονική στιγμή. Και οι δύο αγωγοί έχουν ξεπεράσει την παροχευτική τους ικανότητα με αποτέλεσμα και τα δύο φρεάτια να πλημμυρίζουν. Αντίστοιχα, στην Εικόνα 4.142 παρουσιάζεται το προφίλ των ιδίων αγωγών στην αρχή της δεύτερης μέρας, όπου η βροχόπτωση έχει σταματήσει. Η απορροή στον υπόγειο αποχετευτικό αγωγών είναι η απορροή ακαθάρτων (233 L/s).



Εικόνα 4.141: Προφίλ υπόγειου και επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου



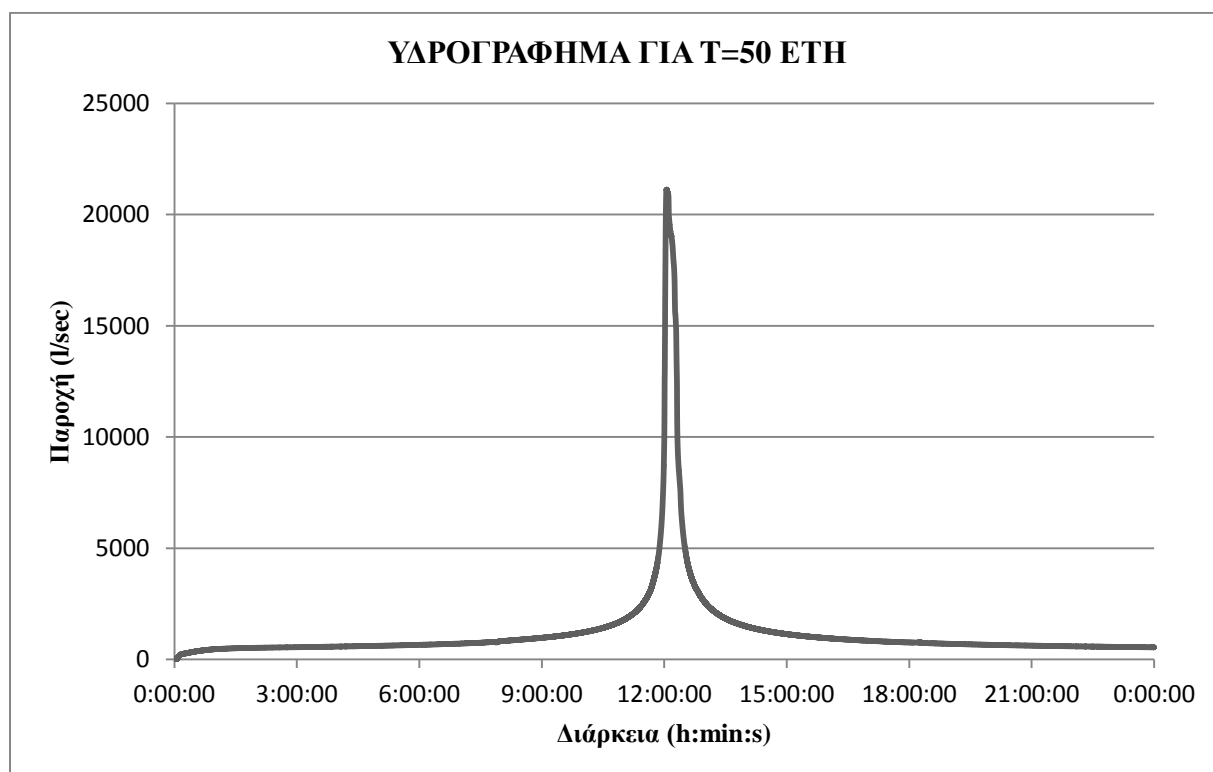
Εικόνα 4.142: Προφίλ υπόγειου και επιφανειακού αγωγού στην αρχή της δεύτερης μέρας της προσομοίωσης

4.3.6.6 Περίοδος επαναφοράς $T=50$ έτη

Κατά την προσομοίωση του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου με βροχόπτωση σχεδιασμού 24 h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών, διαπιστώθηκε πως μεγάλο μέρος του υπόγειου, παντοροϊκού συστήματος αποχέτευσης πληρώνεται καθώς και ορισμένοι επιφανειακοί αγωγοί. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.54, ενώ στην Εικόνα 4.143 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής, για περίοδο επαναφοράς 50 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

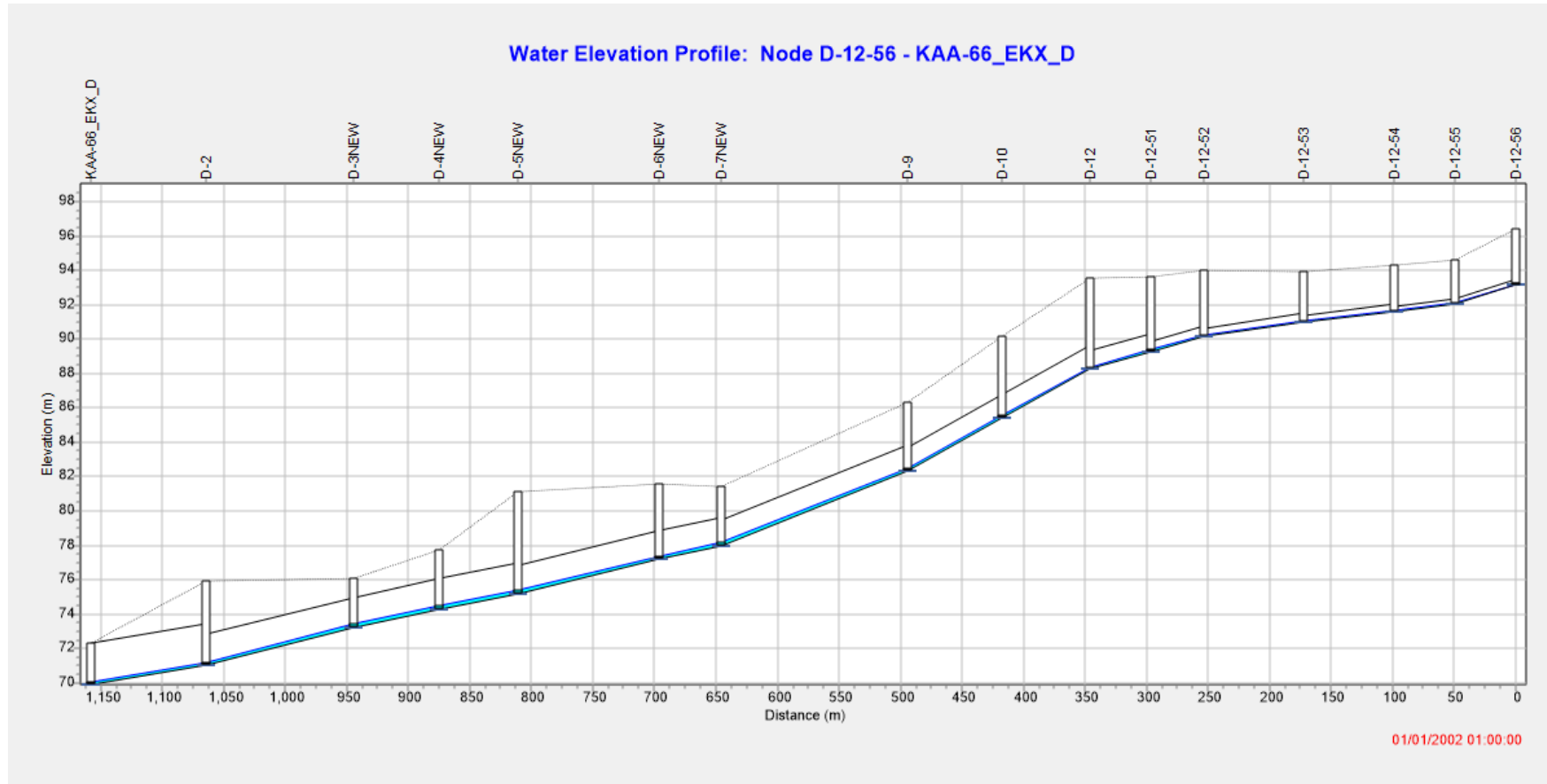
Πίνακας 4.54: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών

Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=50$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	61.3
Διήθηση (mm)	2.7
Παροχή αιχμής (L/s)	21119
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	12:03:18
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-38, D-39, D-3NEW, D-43, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW

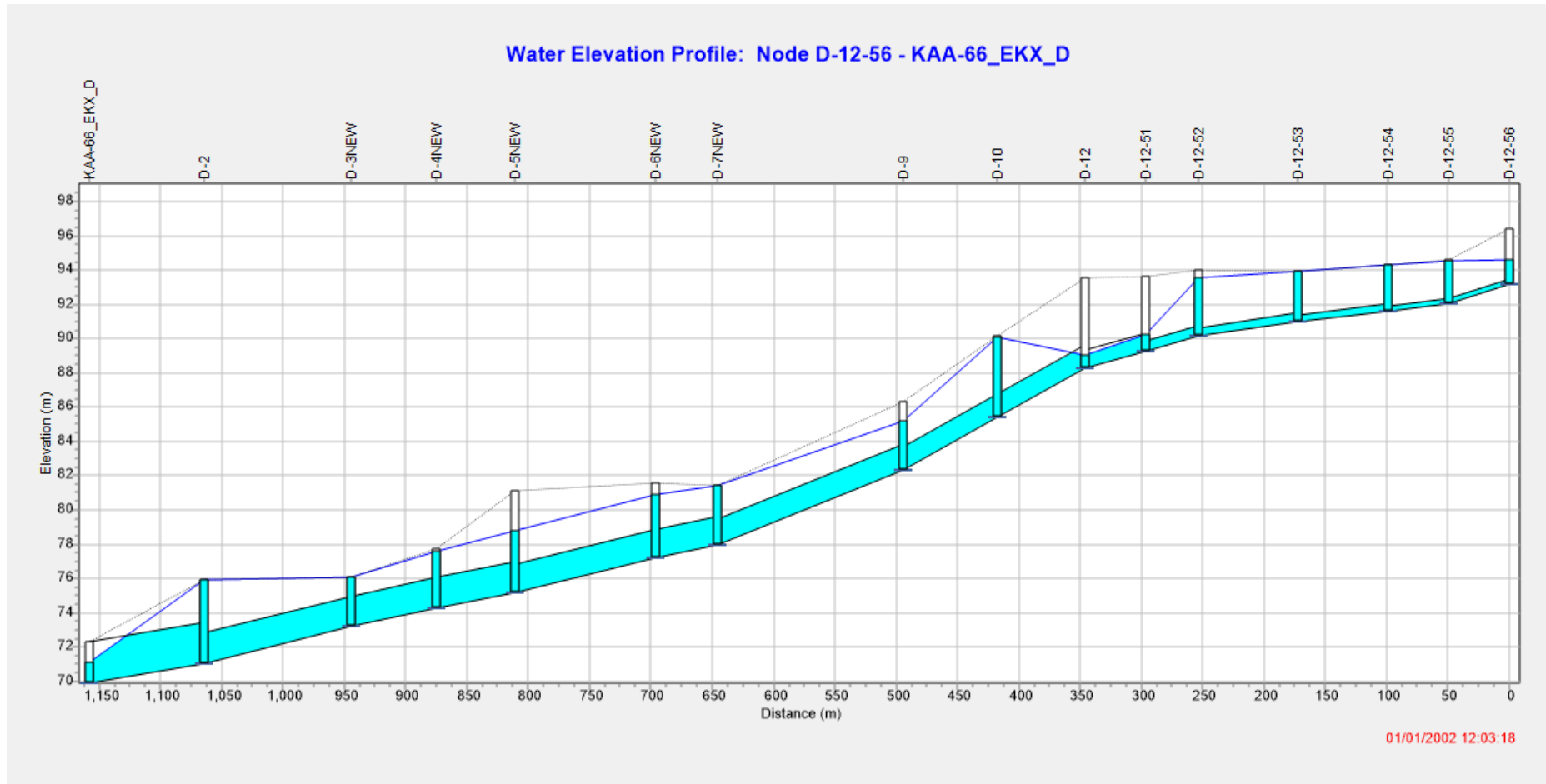


Εικόνα 4.143: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=24h$ και $T=50$ ετών

Στην Εικόνα 4.144 παρουσιάζεται το προφίλ των υπόγειων παντοροϊκών αγωγών, από το φρεάτιο D-12-56 έως την έξοδο του συστήματος, στην αρχή της πρώτης ώρας της βροχόπτωσης. Στο σημείο αυτό κανένα φρεάτιο δεν πλημμυρίζει και οι αγωγοί λειτουργούν με ελεύθερη επιφάνεια, όπως είναι σχεδιασμένοι. Αντίστοιχα στην Εικόνα 4.145 παρουσιάζεται το προφίλ των ίδιων αγωγών αλλά αυτή τη φορά κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του παντοροϊκού συστήματος.



Εικόνα 4.144: Προφίλ παντοροϊκών αγωγών στην αρχή της πρώτης ώρας της βροχόπτωσης σχεδιασμού



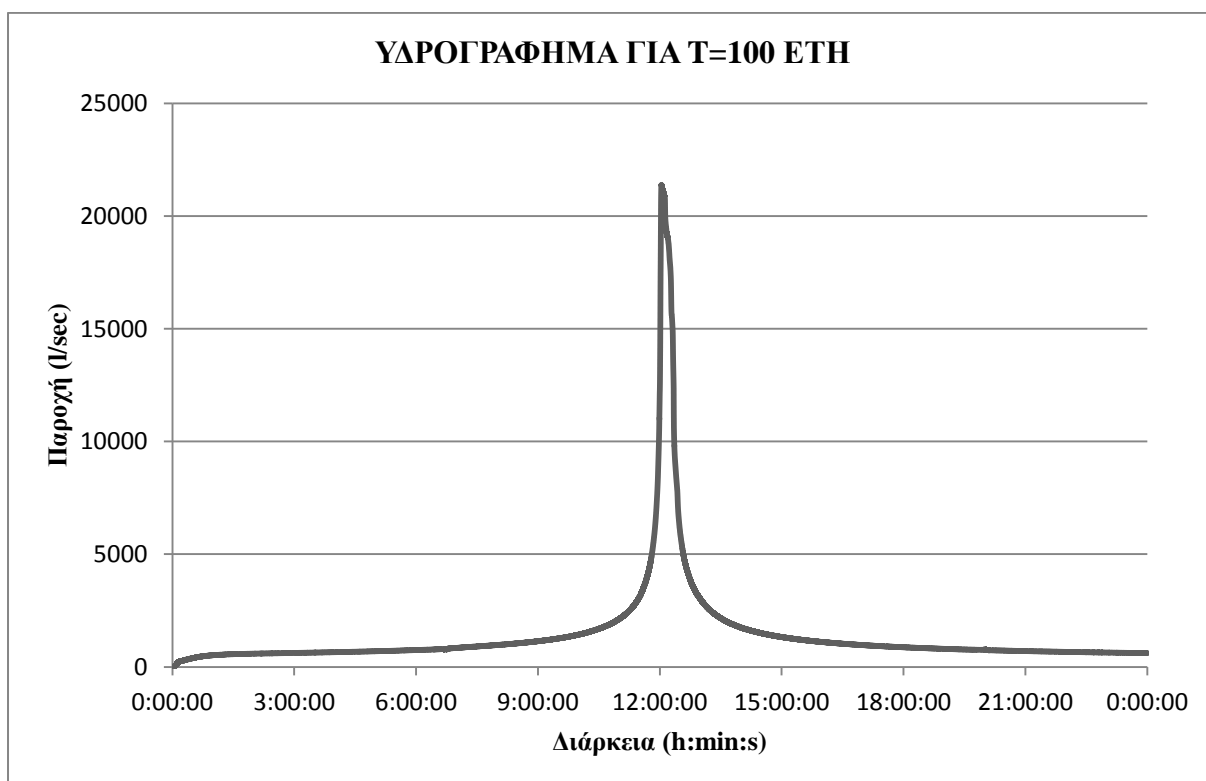
Εικόνα 4.145: Προφίλ παντοροϊκών αγωγών κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του αποχετευτικού δικτύου

4.3.6.7 Περίοδος επαναφοράς $T=100$ έτη

Η τελευταία προσομοίωση, η οποία πραγματοποιήθηκε, με το λογισμικό SWMM, ήταν αυτή για διάρκεια βροχόπτωσης 24 h και περίοδο επαναφοράς 100 έτη. Όπως είναι λογικό περισσότεροι αγωγοί υπόγειοι και επιφανειακοί δεν επαρκούν (λόγος πλήρωσης ίσος με την μονάδα) με αποτέλεσμα αρκετοί κόμβοι του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου να πλημμυρίζουν. Τα συνοπτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.55 ενώ στην Εικόνα 4.146 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου.

Πίνακας 4.55: Συνοπτικά αποτελέσματα για βροχόπτωση διάρκειας 24h και περίοδο επαναφοράς 100 ετών

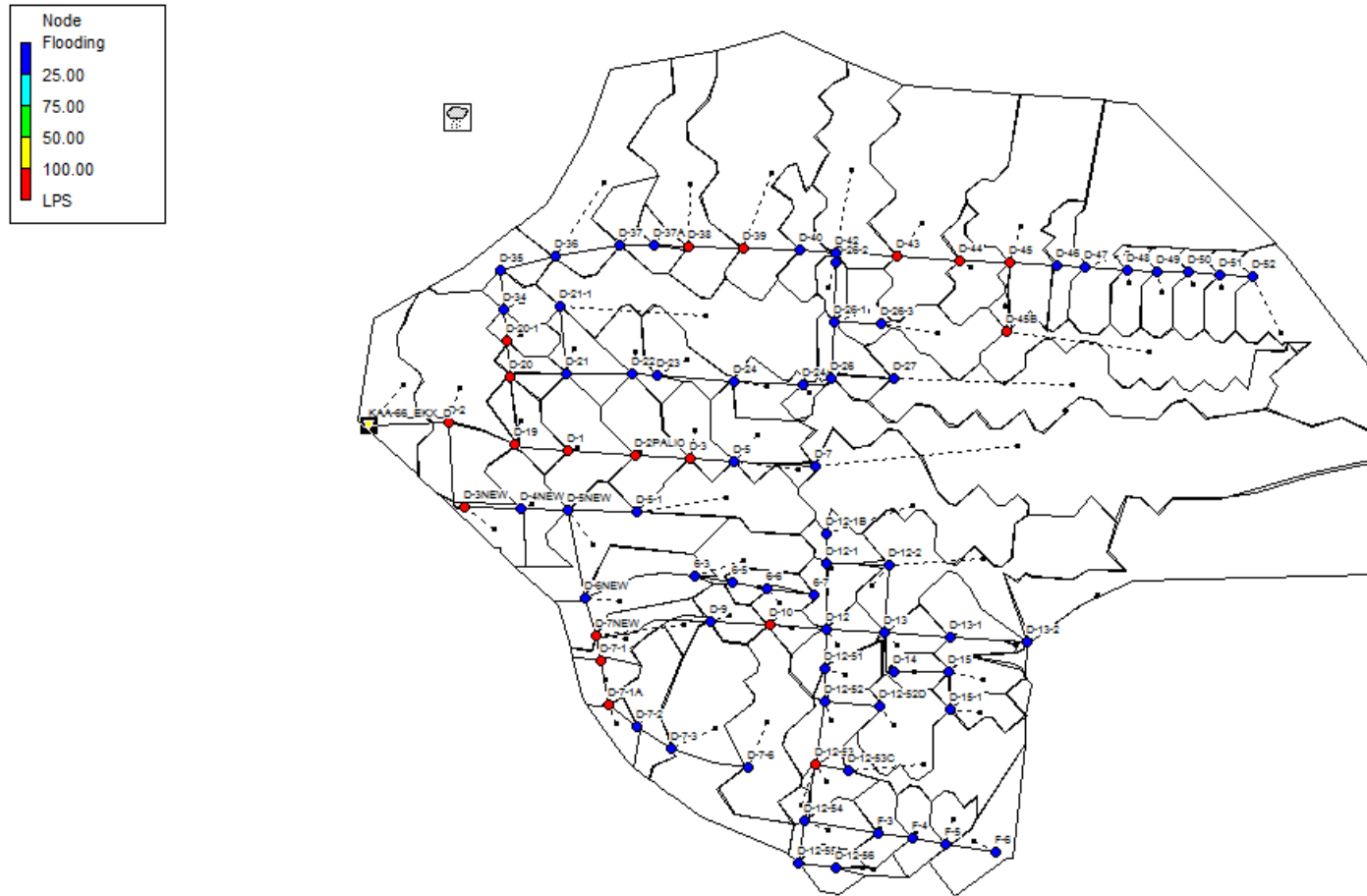
Αποτελέσματα προσομοίωσης για $T=100$ έτη	
Βροχόπτωση (mm)	131.5
Διήθηση (mm)	2.9
Παροχή αιχμής (L/s)	21370
Απορροή ξηρού καιρού (L/s)	233
Χρόνος αιχμής (h:min:s)	12:02:31
Φρεάτια τα οποία πλημμυρίζουν	D-1, D-10, D-12-53, D-19, D-2, D-20, D-20-1, D-2PALIO, D-3, D-35, D-38, D-39, D-3NEW, D-40, D-43, D-44, D-45, D-45B, D-7-1, D-7-1A, D-7NEW



Εικόνα 4.146: Υδρογράφημα απορροής βροχόπτωσης $t=24h$ και $T=100$ ετών

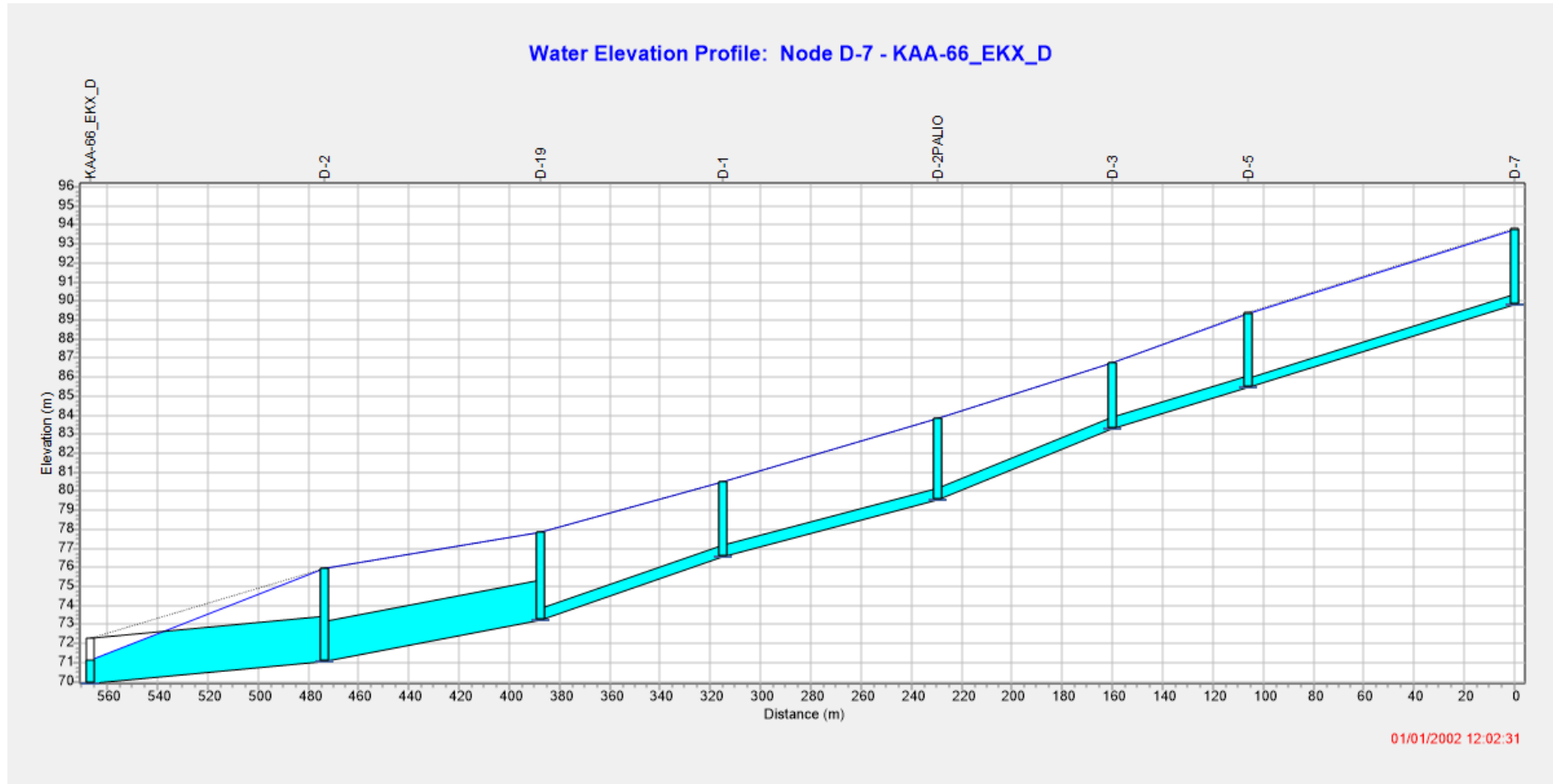
Στην Εικόνα 4.147 παρουσιάζονται τα φρεάτια, τα οποία πλημμυρίζουν κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής.

01/01/2002 12:02:31



Εικόνα 4.147: Φρεάτια δικτύου τα οποία πλημμυρίζουν

Τέλος στην Εικόνα 4.148 παρουσιάζεται το προφίλ των υπόγειων αποχετευτικών αγωγών, από το φρεάτιο D-7 έως την έξοδο του συστήματος. Η πλειοψηφία των φρεατίων αυτών έχουν πλημμυρίσει (εκτός του φρεατίου D-7) και η ροή του νερού πραγματοποιείται στο δρόμο.

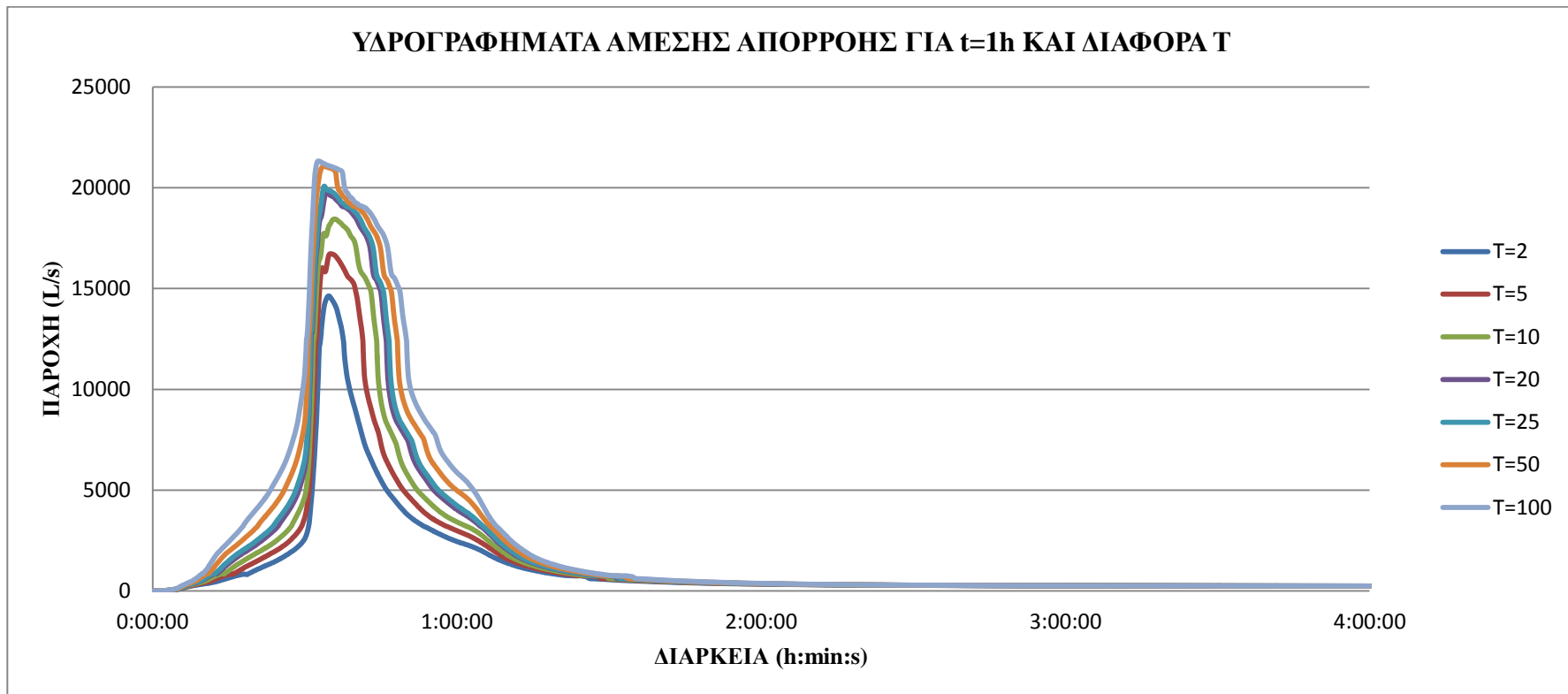


Εικόνα 4.148: Αναπαράσταση υπόγειων παντοροϊκών αγωγών από κόμβο D-7 έως την έξοδο του συστήματος κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

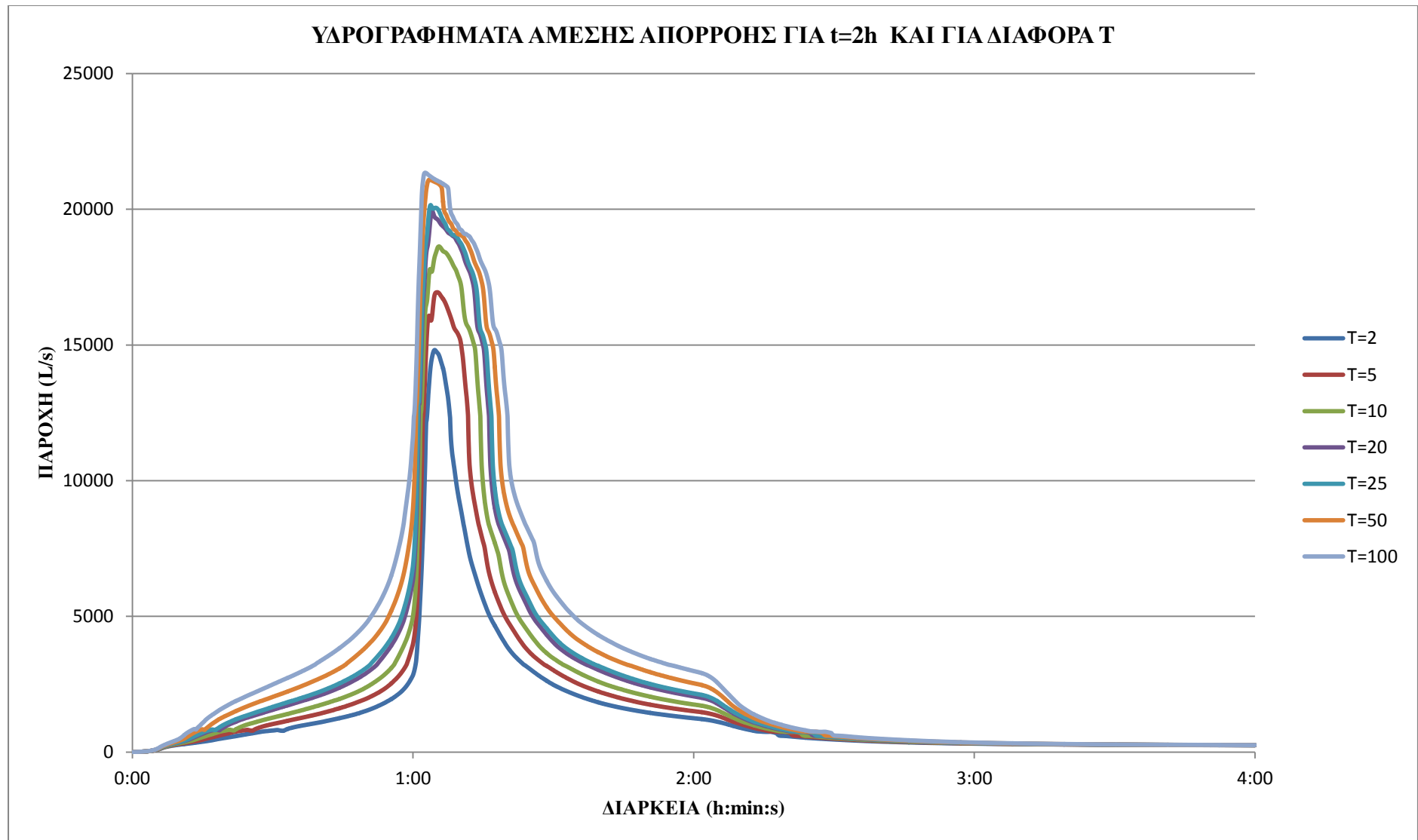
4.4 Σύγκριση Αποτελεσμάτων

4.4.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοίωσης με το λογισμικό SWMM

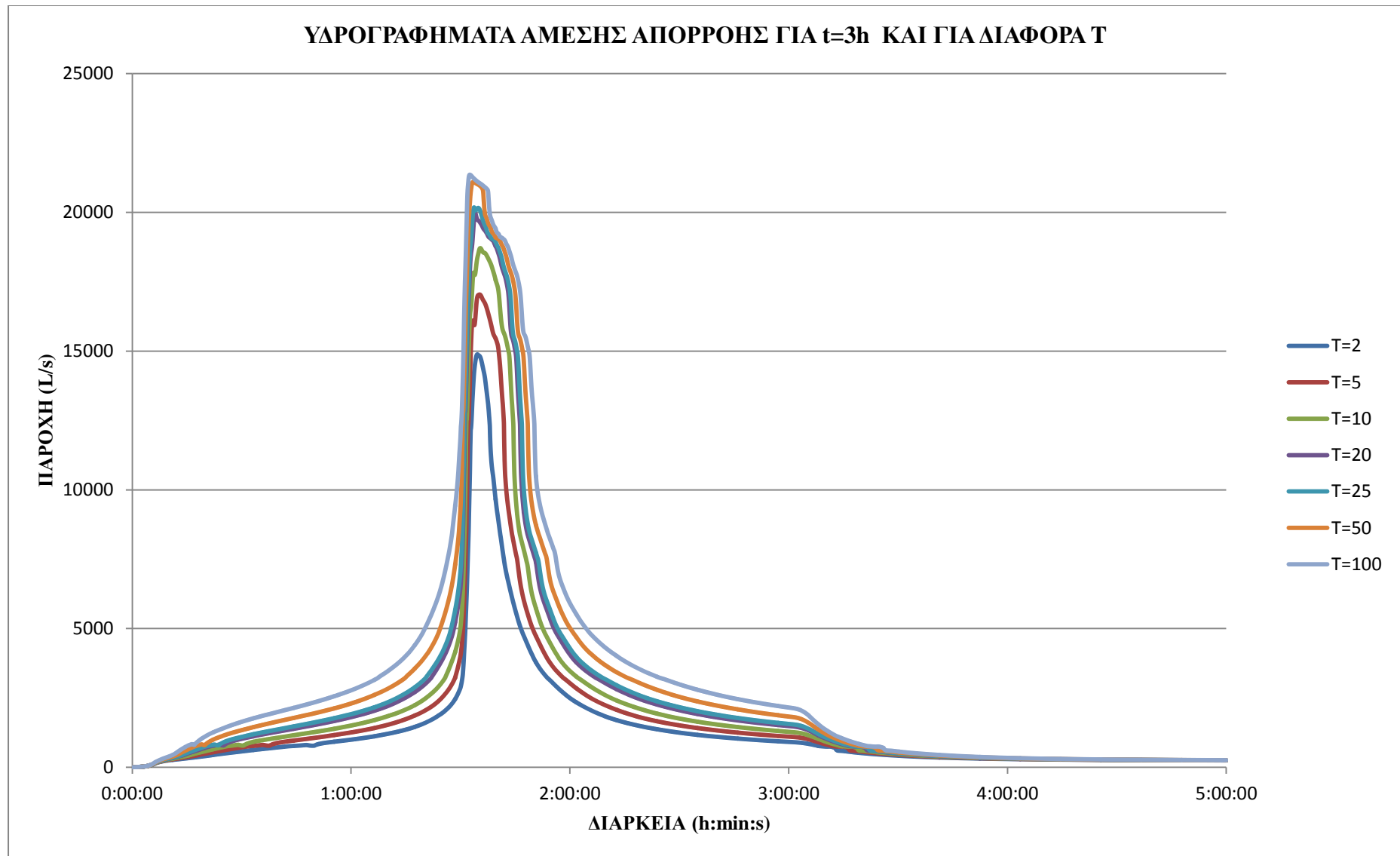
Στις Εικόνες που ακολουθούν, αναπαρίστανται, τα συγκριτικά αποτελέσματα ανά διάρκεια βροχόπτωσης, υδρογραφήματα άμεσης απορροής για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 ετών και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 2, 3, 6, 12 και 24 ώρες.



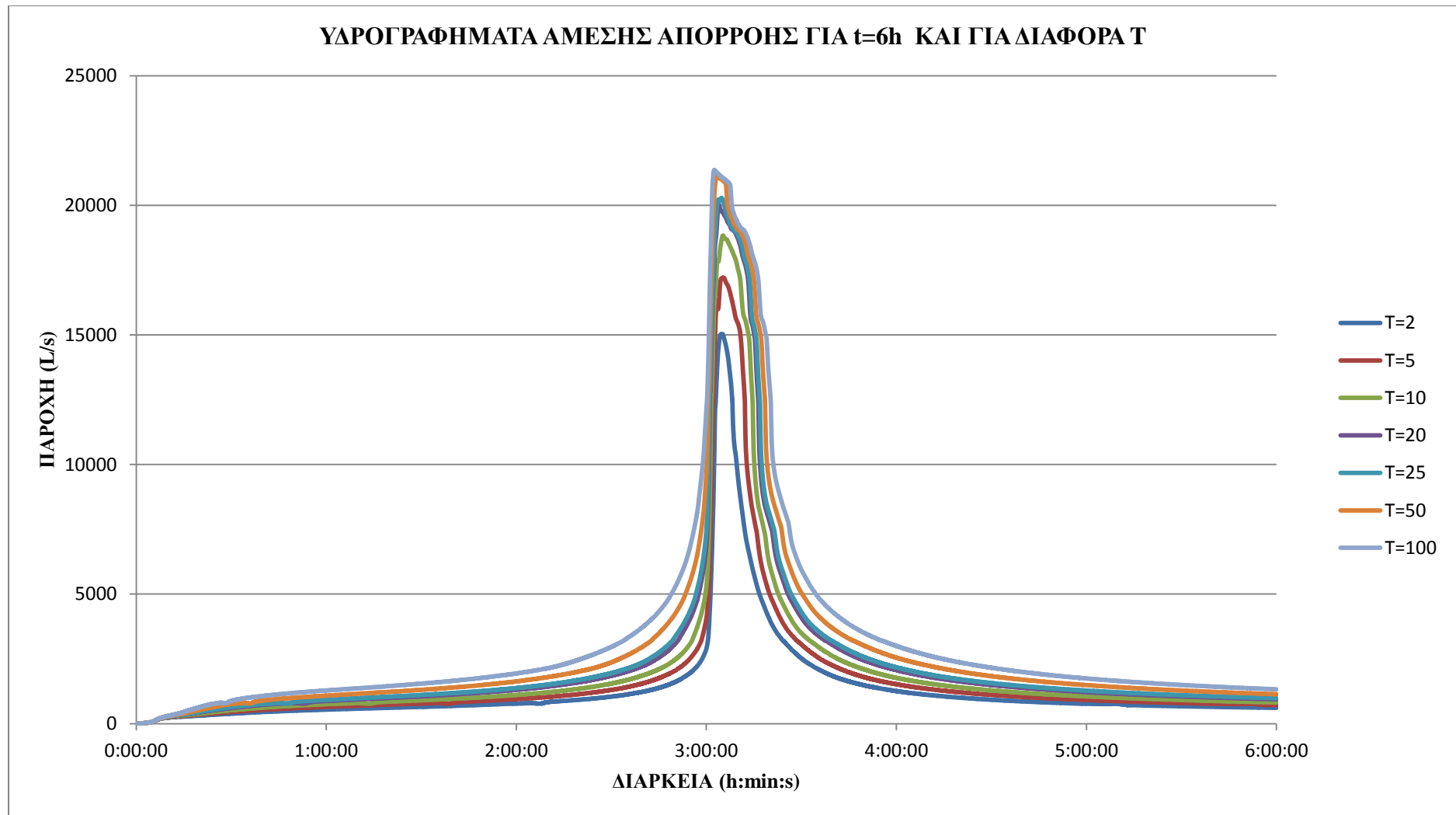
Εικόνα 4.149: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για $t=1h$ και διάφορα T



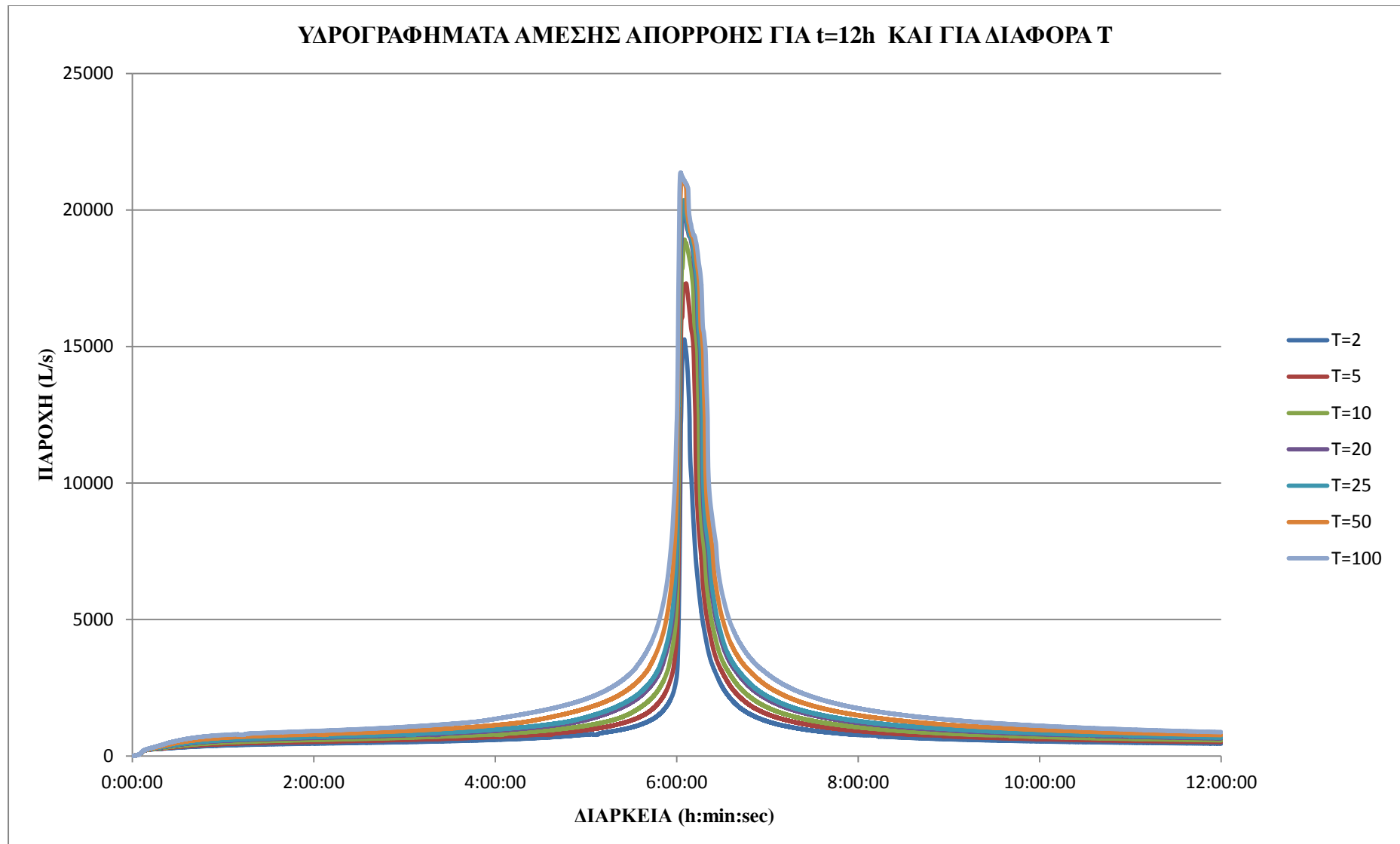
Εικόνα 4.150: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για $t=2h$ και διάφορα T



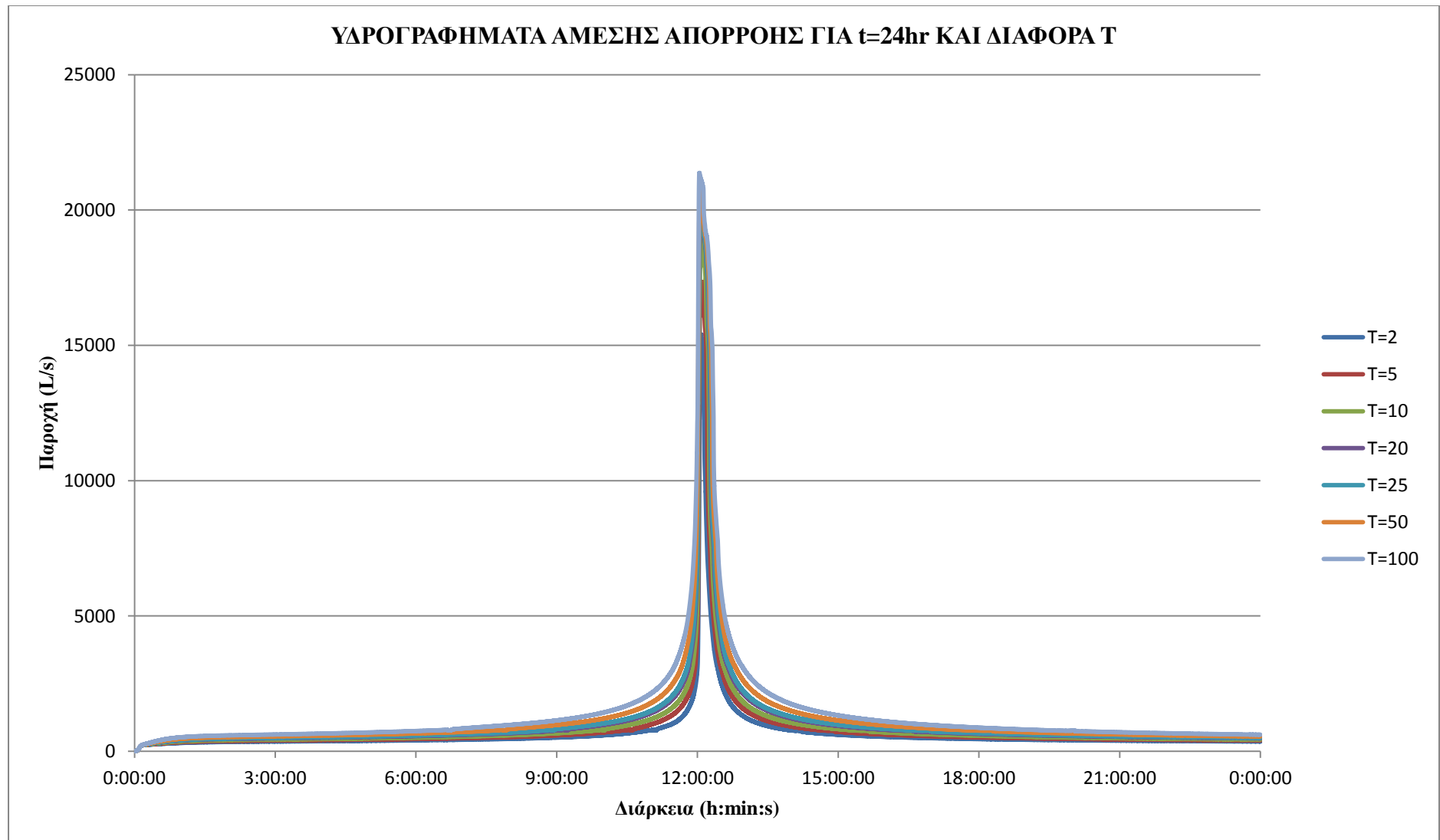
Εικόνα 4.151: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για $t=3h$ και διάφορα T



Εικόνα 4.152: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για t=6h και διάφορα T



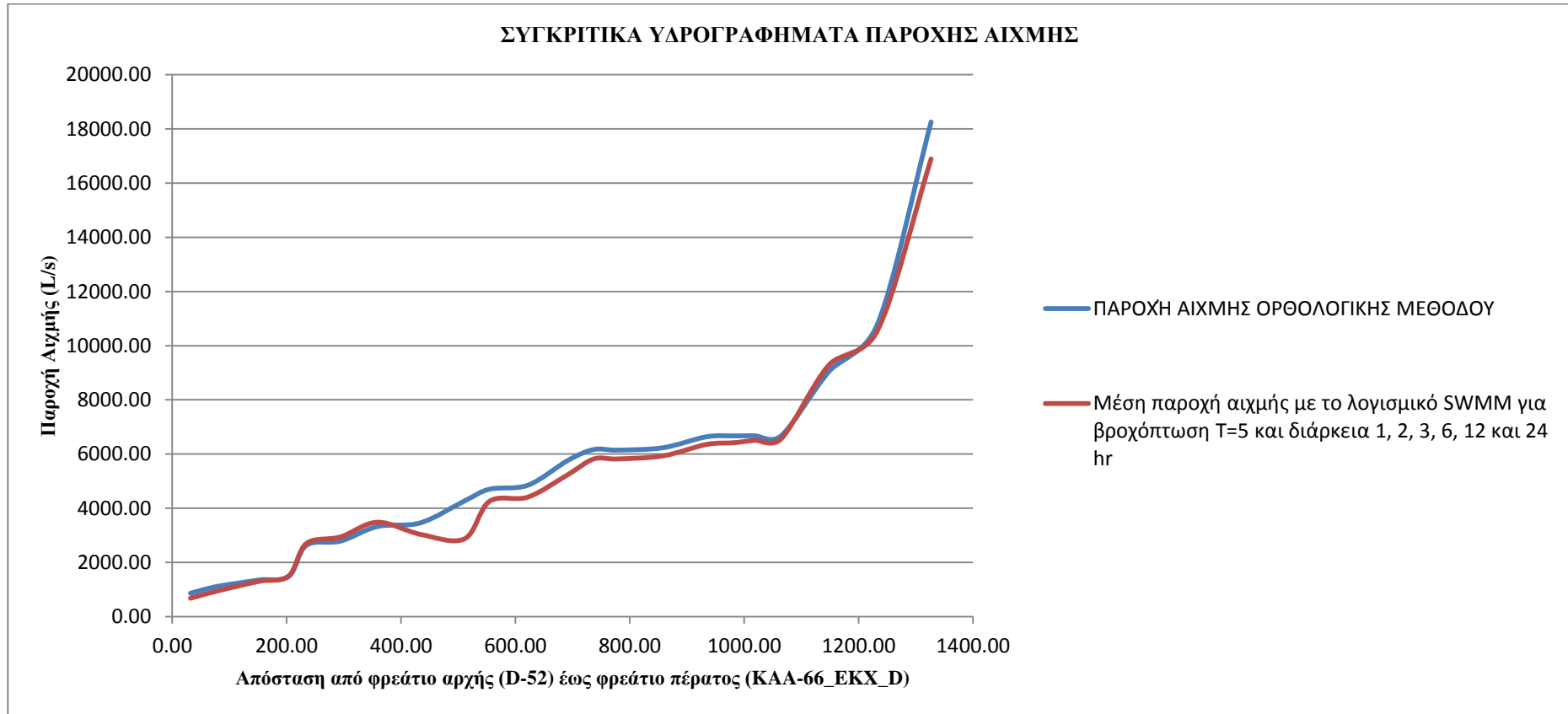
Εικόνα 4.153: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για $t=12h$ και διάφορα T



Εικόνα 4.154: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών για t=24h και διάφορα T

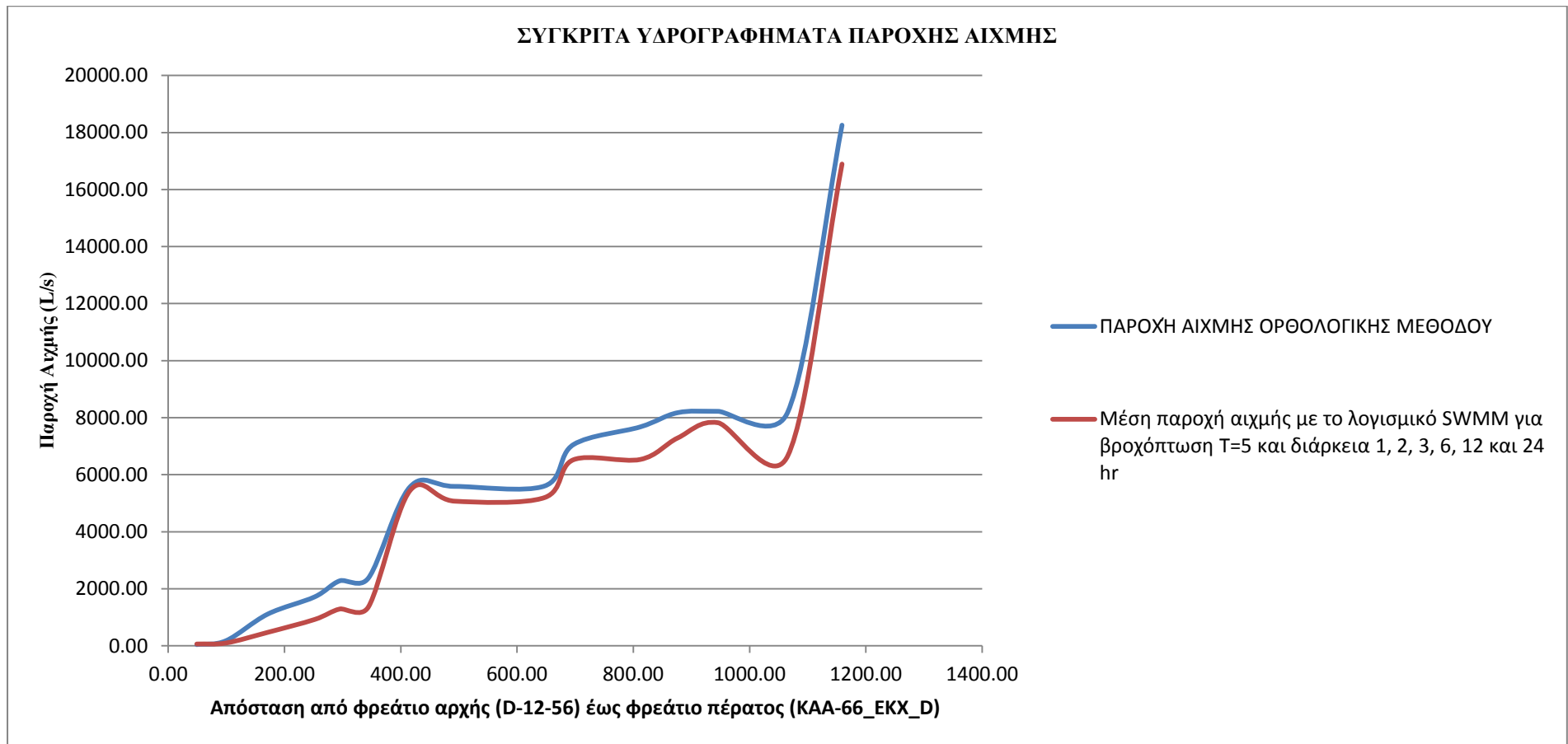
4.4.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων ορθολογικής μεθόδου και προσομοίωσης με το λογισμικό SWMM

Στην Εικόνα 4.155 παρουσιάζεται το συγκριτικό υδρογράφημα των παροχών αιχμής, από τον κόμβο D-52 έως τον κόμβο ΚΑΑ-66_EΚΧ_D (έξοδος του συστήματος), οι οποίες υπολογίστηκαν με την Ορθολογική Μέθοδο, για περίοδο επαναφοράς 5 ετών και των μέσων παροχών αιχμής οι οποίες υπολογίστηκαν με το λογισμικό SWMM, για περίοδο επαναφοράς 5 ετών και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 2, 3, 6, 12 και 24 ώρες.



Εικόνα 4.155: Συγκριτικό υδρογράφημα παροχών αιχμής Ορθολογικής Μεθόδου και παροχών αιχμής οι οποίες εκτιμήθηκαν με το λογισμικό SWMM, για τους κόμβους του δικτύου D-52 έως ΚΑΑ-66_EΚΧ_Δ

Στην Εικόνα 4.156 παρουσιάζεται το συγκριτικό υδρογράφημα των παροχών αιχμής, από τον κόμβο D-12-56 έως τον κόμβο ΚΑΑ-66_EΚΧ_D (έξοδος του συστήματος), οι οποίες υπολογίστηκαν με την Ορθολογική Μέθοδο, για περίοδο επαναφοράς 5 ετών και με το λογισμικό SWMM, για περίοδο επαναφοράς 5 ετών και για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 2, 3, 6, 12 και 24 ώρες.



Εικόνα 4.156: Συγκριτικό υδρογράφημα παροχών αιχμής Ορθολογικής Μεθόδου και παροχών αιχμής οι οποίες εκτιμήθηκαν με το λογισμικό SWMM, για τους κόμβους του δικτύου D-12-56 έως ΚΑΑ-66_EΚΧ_Δ

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων τα οποία προέκυψαν από την επίλυση του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου της Ζώνης Δ των Αθηνών, με την Ορθολογική Μέθοδο και με το λογισμικό SWMM κατέδειξε ότι η ορθολογική μέθοδος τείνει να υπερεκτιμά την παροχή αιχμής σε σχέση με την παροχή αιχμής η οποία εκτιμάται με το λογισμικό.

Πιο συγκεκριμένα, η παροχή αιχμής για τον παντοροϊκό συλλεκτήρα της Ζώνης εκτιμάται σε 18258 L/s με την ορθολογική μέθοδο για περίοδο επαναφοράς 5 ετών, ενώ οι προσομοιώσεις του δικτύου, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό SWMM εκτιμούν την μέση παροχή πενταετίας, για βροχοπτώσεις διάρκειας 1, 2, 3, 6, 12 και 24 h, σε 16894 L/s. Παρατηρείται λοιπόν μια υπερεκτίμηση της τάξεως του 8%. Το ποσοστό αυτό δεν κρίνεται ιδιαίτερα μεγάλο, αν λάβει κανείς υπόψη του πως η Ορθολογική Μέθοδος εκτιμά την παροχή αιχμής μόνο με βάση το συντελεστή απορροής της λεκάνης απορροής.

Βέβαια η υπερεκτίμηση της παροχής αιχμής που είναι ικανό να αποχετεύσει το δίκτυο δεν είναι πάντα τόσο μικρή. Για τις διαδρομές του δικτύου, που παρουσιάστηκαν στις Εικόνες 4.155 και 4.156, η διαφορά της παροχής αιχμής Ορθολογικής Μεθόδου και λογισμικού SWMM κυμαίνεται από -33% έως +136%. Για παράδειγμα η παροχή αιχμής του αγωγού, ο οποίος συνδέει τους κόμβους D-12-56 και D-12-55, εκτιμάται σε 42 L/s με την Ορθολογική Μέθοδο ενώ οι προσομοιώσεις με το λογισμικό SWMM για $T=5$ και για διάρκειες 1, 2, 3, 6, 12 και 24 h κατέδειξαν μέση παροχή αιχμής στον αγωγό ίση με 63 L/s.

Αντίθετα για τον αγωγό του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου, ο οποίος συνδέει τους κόμβους D-12-54 και D-12-53 η παροχή αιχμής εκτιμάται με την Ορθολογική Μέθοδο σε 1111 L/s, ενώ η αντίστοιχη μέση παροχή αιχμής, η οποία προέκυψε από τις προσομοιώσεις του δικτύου με το λογισμικό SWMM για περίοδο επαναφοράς 5 έτη και για διάρκειες 1, 2, 3, 6, 12 και 24 h εκτιμάται σε 471 L/s. Όλοι οι υπολογισμοί για την κατάρτιση των υδρογραφημάτων των Εικόνων 4.155 και 4.156 παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΣΤ.

Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως οι διαφορές αυτές παρουσιάζονται καθώς η Ορθολογική Μέθοδος είναι κατάλληλη για την εκτίμηση της παροχής αιχμής κάτω από πολύ συγκεκριμένες συνθήκες σχεδιασμού. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, για την εκτίμηση της έντασης, θεωρείται πως η χρονική κλίμακα της βροχόπτωσης ταυτίζεται με τον χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης (κρίσιμη διάρκεια βροχόπτωσης). Τέλος, η συγκεκριμένη μέθοδος δεν κρίνεται κατάλληλη για την παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης του φαινομένου ενώ δεν είναι κατάλληλη ούτε για την περιγραφή των φυσικών φαινομένων τα οποία επηρεάζουν την μετατροπή της βροχής σε απορροή (δήθηση, επιφανειακή κατακράτηση κ.α.) καθώς όλα αυτά περιγράφονται μέσω του συντελεστή απορροής (C) της μεθόδου.

4.5 Μέτρα Αντιμετώπισης

Στην παρούσα εργασία όπως προέκυψε από την προσομοίωση και ανάλυση του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου, της Ζώνης Δ, των Αθηνών το αποχετευτικό δίκτυο είναι σε θέση να αποχετεύει πλημμυρικά φαινόμενα περιόδου επαναφοράς μέχρι 5 έτη. Σε περίπτωση εμφάνισης βροχοπτώσεων υψηλότερης περιόδου επαναφοράς (>5 έτη), το δίκτυο πληρώνεται με αποτέλεσμα η απορροή να πραγματοποιείται από τους επιφανειακούς αγωγούς (δρόμοι). Επιπρόσθετα, σε αρκετές περιπτώσεις όπως διαπιστώθηκε και αναλύθηκε στην Παράγραφο 5.3, και οι επιφανειακοί αγωγοί πληρώνονται με αποτέλεσμα το ύψος του νερού, στο δρόμο, να ξεπερνάει το ύψος του κρασπέδου.

Επιπλέον σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΥΔΑΠ Α.Ε για βροχοπτώσεις μεγαλύτερες των 5 ετών λειτουργεί ο υπερχειλιστής της Ζώνης Δ (έξοδος του δικτύου). Δηλαδή η παροχή η οποία δεν μπορεί να αποχετευτεί από τον ΚΑΑ, υπερχειλίζει και στη συνέχεια αποχετεύεται στον Κηφισό ποταμό. Αυτό συμβαίνει για το σύνολο των Ζωνών του παντοροϊκού δικτύου. Βέβαια στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως δεν υπάρχουν μετρήσεις βροχής απορροής για το δίκτυο, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατον να πραγματοποιηθεί βαθμονόμηση και επαλήθευση. Λόγω αυτού δεν υπήρχαν επαρκή δεδομένα για τη μοντελοποίηση του υπερχειλιστή της Ζώνης Δ και του αγωγού υπερχειλίσης, ο οποίος καταλήγει στον Κηφισό. Επιλέχθηκε λοιπόν η αναπαράσταση του δικτύου και η ανάλυση μόνο της Ζώνης Δ. Στη συνέχεια επιλέχθηκαν και εξετάστηκαν οι εξής τρόποι αντιμετώπισης:

- Αύξηση διαμέτρου αγωγών για την παροχέτευση πλημμυρικών φαινομένων δεκαετίας.
- Κατασκευή δεξαμενών κατά μήκος του υπόγειου αποχετευτικού συστήματος, με στόχο την αποθήκευση της πλεονάζουσας απορροής και στη συνέχεια αποστράγγιση και πάλι στον υπόνομο.
- Διαστασιολόγηση δεξαμενής κατακράτησης στην έξοδο του δικτύου με σκοπό την αποθήκευση της πλεονάζουσας παροχής.

Τα κατασκευαστικά μέτρα τα οποία εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική είχαν ως στόχο την αναβάθμιση του υπόγειου αποχετευτικού δικτύου έτσι ώστε να μην εμφανίζονται πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή μελέτης, για περιόδους επαναφοράς έως 10 έτη. Βέβαια επισημαίνεται πως για την σωστή διαχείριση και αξιολόγηση του δικτύου είναι απαραίτητη η μοντελοποίηση του συνολικού δικτύου, η καταγραφή βροχοπτώσεων και απορροών στις εξόδους και στη συνέχεια η ανεύρεση λύσεων για τη μείωση της παροχής στο σύνολο του δικτύου.

4.5.1 Αύξηση διαμέτρου υπόγειων παντοροϊκών αγωγών

Το πρώτο μέτρο το οποίο εξετάστηκε ήταν η αύξηση της διαμέτρου/ύψους των υπονόμων, όπου αυτό ήταν απαραίτητο, με στόχο την αύξηση της παροχτευτικής τους ικανότητας. Όπως είναι λογικό δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστούν αγωγοί με πολύ μεγάλες διαμέτρους καθώς κάτι τέτοιο είναι αντιοικονομικό και επιπλέον δεν το επιτρέπουν τα υψόμετρα της περιοχής μελέτης. Βέβαια για την αποχέτευση πλημμυρικών φαινομένων ήταν απαραίτητο η διάμετρος ορισμένων ωσειδών αγωγών να αυξηθεί σημαντικά. Αποτέλεσμα αυτού ήταν ο αγωγός να βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη του ενός μέτρου από την επιφάνεια του εδάφους. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η αντικατάσταση των συγκεκριμένων ωσειδών αγωγών από ορθογωνικούς, με υψόμετρο ίδιο με το αρχικό. Η αύξηση της διαμέτρου των αγωγών, εξετάστηκε με στόχο την αποχέτευση πλημμυρικών φαινομένων δεκαετίας, όπως ορίζουν οι ισχύουσες Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74).

Η διαστασιολόγηση των αγωγών πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό SWMM και τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.56. πιο συγκεκριμένα στον πίνακα παρουσιάζονται οι αγωγοί, τα φρεάτια αρχής και πέρατος, το σχήμα του αγωγού, η αρχική διάμετρος/ύψος, το νέο ύψος και ο λόγος πλήρωσης για διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης (1, 2, 3, 6, 12 και 24 h) και για περίοδο επαναφοράς 10 ετών.

Πίνακας 4.56: Αύξηση διαμέτρου παντοροϊκών αγωγών

Όνομασία Αγωγού	Φρεάτιο Αρχής	Φρεάτιο Πέρατος	Αρχικό/Τελικό Σχήμα Αγωγού	Αρχική Διάμετρος/Υψος (m)	Νέα Διάμετρος/Υψος (m)	Νέο Πλάτος (m)	Λόγος Πλήρωσης (y/D) για T=10 έτη					
							1h	2h	3h	6h	12h	24h
1	D-52	D-51	Ωσειδής/Κυκλικός	0.9	0.8	-	0.53	0.55	0.55	0.57	0.58	0.59
2	D-51	D-50	Ωσειδής/Κυκλικός	0.9	0.8	-	0.51	0.52	0.52	0.53	0.54	0.55
3	D-50	D-49	Ωσειδής/Κυκλικός	1.05	0.9	-	0.51	0.52	0.52	0.53	0.54	0.54
4	D-49	D-48	Ωσειδής/Κυκλικός	1.05	0.9	-	0.55	0.56	0.57	0.58	0.59	0.59
5	D-48	D-47	Ωσειδής/Κυκλικός	1.05	0.9	-	0.7	0.73	0.74	0.75	0.77	0.77
6	D-47	D-46	Ωσειδής/Κυκλικός	1.05	1	-	0.65	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71
7	D-46	D-45	Ωσειδής/Κυκλικός	1.05	1	-	0.59	0.61	0.61	0.62	0.63	0.63
9	D-45B	D-45	Ωσειδής/Κυκλικός	0.9	0.8	-	0.63	0.65	0.66	0.67	0.68	0.68
10	D-45	D-44	Ωσειδής/Κυκλικός	1.05	1.1	-	0.72	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78
11	D-44	D-43	Ωσειδής/Κυκλικός	1.05	1.2	-	0.7	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76
12	D-43	D-42	Ωσειδής/Ορθογωνικός	1.05	1.05	1.2	0.67	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73
13	D-42	D-40	Ωσειδής/Ορθογωνικός	1.2	1.2	1.2	0.63	0.66	0.66	0.68	0.68	0.69
14	D-40	D-39	Ωσειδής/Ορθογωνικός	1.35	1.35	1.2	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.67
15	D-39	D-38	Ωσειδής/Ορθογωνικός	1.5	1.65	1.5	0.69	0.72	0.73	0.74	0.75	0.75

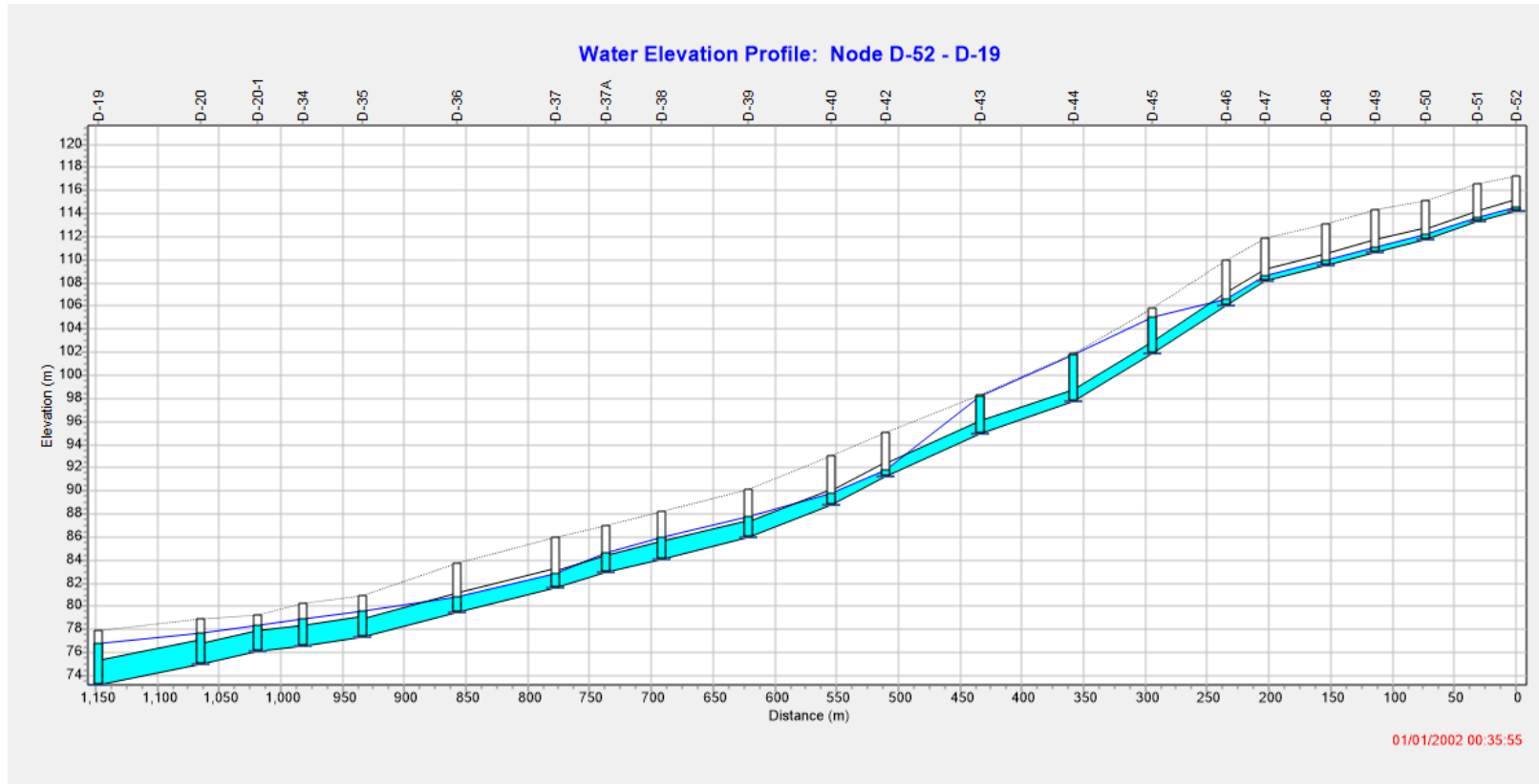
Πίνακας 4.56 (συνέχεια): Αύξηση διαμέτρου παντοροϊκών αγωγών

Όνομασία Αγωγού	Φρεάτιο Αρχής	Φρεάτιο Πέρατος	Αρχικό/Τελικό Σχήμα Αγωγού	Αρχική Διάμετρος/Υψος (m)	Νέα Διάμετρος/Υψος (m)	Νέο Πλάτος (m)	Λόγος Πλήρωσης (y/D) για T=10 έτη					
							1h	2h	3h	6h	12h	24h
16	D-38	D-37A	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.65	1.65	1.5	0.69	0.71	0.72	0.74	0.74	0.75
17	D-37A	D-37	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.5	1.65	1.5	0.53	0.55	0.56	0.57	0.57	0.58
18	D-37A	D-36	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.65	1.65	1.5	0.63	0.65	0.66	0.68	0.69	0.69
19	D-36	D-35	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.65	1.65	1.5	0.57	0.59	0.6	0.62	0.62	0.63
20	D-35	D-34	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.8	1.8	2.0	0.67	0.70	0.71	0.72	0.72	0.73
21	D-34	D-20-1	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.8	1.8	2.0	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69
22	D-20-1	D-20	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.8	1.8	2.0	0.66	0.69	0.7	0.71	0.72	0.72
23	D-26-2	D-26-1	Κυκλικός/Κυκλικός	0.3	0.5	-	0.66	0.68	0.68	0.69	0.70	0.70
24	D-26-3	D-26-1	Κυκλικός/Κυκλικός	0.3	0.6	-	0.63	0.64	0.64	0.65	0.66	0.66
25	D-26-1	D-26	Κυκλικός/Κυκλικός	0.5	0.8	-	0.66	0.68	0.68	0.69	0.70	0.70
27	D-27	D-26	Ωοειδής/Ωοειδής	1.35	1.35	0.9	0.39	0.40	0.4	0.4	0.41	0.41
28	D-26	D-24A	Ωοειδής/Ωοειδής	1.35	1.35	0.9	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48
29	D-24A	D-24A	Ωοειδής/Ωοειδής	1.35	1.35	0.9	0.5	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53
30	D-24	D-23	Ωοειδής/Ωοειδής	1.35	1.35	0.9	0.71	0.73	0.74	0.75	0.76	0.76
31	D-23	D-22	Ωοειδής/Ωοειδής	1.35	1.2	0.8	0.63	0.65	0.66	0.67	0.67	0.68
32	D-22	D-21	Ωοειδής/Ωοειδής	1.35	1.35	0.9	0.4	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42
33	D-21-1	D-21	Ωοειδής/Ωοειδής	1.05	1.05	0.7	0.51	0.53	0.53	0.54	0.54	0.55
34	D-21-1	D-20	Ωοειδής/Κυκλικός	1.5	1.2	-	0.74	0.75	0.75	0.75	0.76	0.76
35	D-20	D-19	Ωοειδής/Ορθογωνικός	2.1	2.1	2	0.56	0.58	0.59	0.6	0.61	0.61
38	D-5	D-3	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	0.9	-	0.57	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63
39	D-2	D-2PALIO	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	0.9	-	0.61	0.63	0.64	0.66	0.66	0.67
40	D-2PALIO	D-1	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	1	-	0.67	0.69	0.7	0.72	0.72	0.73
41	D-1	D-19	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	1.1	-	0.58	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63
42	D-19	D-2	Ωοειδής/Ορθογωνικός	2.1	2.1	3	0.6	0.62	0.63	0.64	0.65	0.65
43	D-12-56	D-12-55	Κυκλικός/Κυκλικός	0.3	0.4	-	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53
44	D-12-55	D-1254	Κυκλικός/Κυκλικός	0.3	0.7	-	0.69	0.69	0.7	0.7	0.70	0.70
45	F-6	F-5	Κυκλικός/Κυκλικός	0.4	0.5	-	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55
46	F-5	F-4	Κυκλικός/Κυκλικός	0.4	0.6	-	0.58	0.59	0.6	0.61	0.61	0.61
47	F-4	F-3	Κυκλικός/Κυκλικός	0.4	0.7	-	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57	0.57
52	D-12-53C	D-12-53	Κυκλικός/Κυκλικός	0.3	1.0	-	0.4	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42
53	D-12-53	D-12-52	Κυκλικός/Κυκλικός	0.5	1.0	-	0.72	0.74	0.74	0.76	0.76	0.77
54	D-12-52D	D-12-52	Κυκλικός/Κυκλικός	0.35	0.7	-	0.69	0.69	0.7	0.7	0.70	0.70
55	D-12-52	D-12-51	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	1.1	-	0.7	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74
56	D-12-51	D-12	Ωοειδής/Κυκλικός	1.05	1.2	1.1	0.64	0.66	0.67	0.67	0.68	0.68

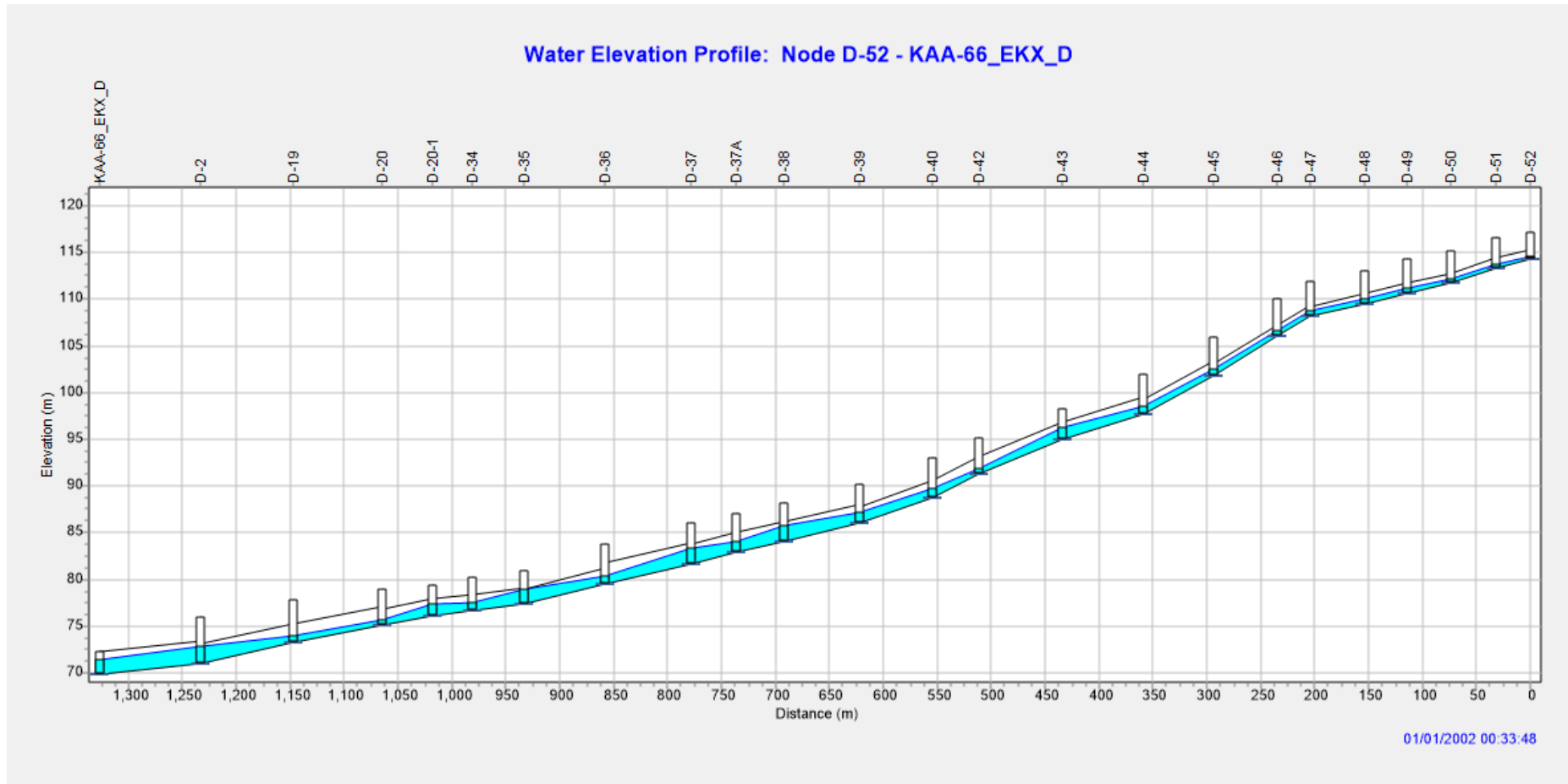
Πίνακας 4.56 (συνέχεια): Αύξηση διαμέτρου παντοροϊκών αγωγών

Ονομασία Αγωγού	Φρεάτιο Αρχής	Φρεάτιο Πέρατος	Αρχικό/Τελικό Σχήμα Αγωγού	Αρχική Διάμετρος/Ύψος (m)	Νέα Διάμετρος/Ύψος (m)	Νέο Πλάτος (m)	Λόγος Πλήρωσης (y/D) για T=10 έτη					
							1h	2h	3h	6h	12h	24h
94	D-15-1	D-15	Ωοειδής/Ωοειδής	0.9	0.9	0.6	0.32	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34
97	D-14	D-13	Ωοειδής/Ωοειδής	1.2	1.2	0.8	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51	0.52
100	D-13	D-12	Ωοειδής/Ωοειδής	1.35	1.35	0.9	0.58	0.59	0.6	0.6	0.61	0.61
101	D-12-1B	D-12-1	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	0.8	-	0.55	0.57	0.58	0.59	0.59	0.60
104	D-12-1	D-12	Ωοειδής/Κυκλικός	1.05	1.2	-	0.61	0.63	0.63	0.64	0.65	0.65
105	D-12	D-10	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.35	1.5	1.2	0.71	0.73	0.74	0.76	0.76	0.77
106	D-10	D-9	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.35	1.5	1.2	0.68	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73
111	D-7-3	D-7-2	Ωοειδής/Ωοειδής	1.05	1.05	0.7	0.63	0.64	0.65	0.66	0.66	0.67
112	D-7-2	D-7-1A	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.2	1.2	1.5	0.46	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49
113	D-7-1A	D-7-1	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.2	1.2	1.5	0.48	0.49	0.5	0.51	0.51	0.52
114	D-7-1	D-7NEW	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.65	1.65	1.5	0.49	0.51	0.51	0.52	0.52	0.53
115	D-7NEW	D-6NEW	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.65	1.65	2.0	0.67	0.69	0.7	0.71	0.71	0.71
116	(6-7)	(6-6)	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	0.6	-	0.29	0.29	0.29	0.3	0.30	0.30
117	(6-6)	(6-5)	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	0.6	-	0.39	0.39	0.4	0.4	0.40	0.40
122	D-6NEW	D-5NEW	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.65	1.65	2.0	0.65	0.67	0.67	0.68	0.69	0.69
123	D-5-1	D-5NEW	Ωοειδής/Ωοειδής	1.05	1.05	0.7	0.6	0.61	0.62	0.62	0.63	0.63
124	D-5NEW	D-4NEW	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.8	1.8	2.5	0.61	0.62	0.63	0.64	0.64	0.65
125	D-4NEW	D-3NEW	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.8	1.8	2.5	0.58	0.59	0.6	0.61	0.61	0.62
126	D-3NEW	D-2	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.8	1.8	2.5	0.74	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
127	D-2	ΚΑΑ-66_EKX_D	Ωοειδής/Ορθογωνικός	2.4	2.4	3.0	0.68	0.71	0.72	0.73	0.73	0.74
134	D-7	D-5	Κυκλικός/Κυκλικός	0.5	0.8	-	0.6	0.64	0.65	0.67	0.67	0.68
135	F-3	D-12-54	Κυκλικός/Κυκλικός	0.5	0.8	-	0.68	0.69	0.7	0.71	0.71	0.71
136	D-12-54	D-12-53	Κυκλικός/Κυκλικός	0.4	1	-	0.63	0.65	0.65	0.66	0.67	0.67
137	D-13-2	D-13-1	Ωοειδής/Ωοειδής	0.9	0.9	0.6	0.66	0.66	0.67	0.67	0.68	0.69
138	D-13-1	D-13	Ωοειδής/Ωοειδής	0.9	0.9	0.6	0.79	0.79	0.79	0.8	0.80	0.81
139	D-15	D-14	Ωοειδής/Ωοειδής	0.9	0.9	0.6	0.43	0.43	0.43	0.44	0.44	0.44
140	D-12-2	D-12-1	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	0.7	-	0.74	0.76	0.77	0.78	0.78	0.78
141	D-9	D-7NEW	Ωοειδής/Ορθογωνικός	1.5	1.5	1.5	0.64	0.65	0.66	0.66	0.67	0.67
142	D-7-6	D-7-3	Ωοειδής/Ωοειδής	0.9	0.9	0.6	0.67	0.69	0.69	0.7	0.71	0.71
143	(6-5)	(6-3)	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	0.6	-	0.5	0.51	0.51	0.52	0.52	0.52
144	(6-3)	D-6NEW	Κυκλικός/Κυκλικός	0.6	0.8	-	0.71	0.71	0.71	0.72	0.72	0.72

Στις Εικόνες 4.157 και 4.158 παρουσιάζεται, ενδεικτικά το προφίλ αγωγών του παντορροϊκού αποχετευτικού δικτύου, κατά τη χρονική στιγμή, εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο, για βροχόπτωση διάρκειας 1 h και περίοδο επαναφοράς 10 ετών, για την αρχική διάμετρο/ύψος και για τη νέα διάμετρο ύψος αντίστοιχα. Με την αύξηση της διαμέτρου, παρατηρείται πως κανένας αγωγός δεν πληρώνεται, όπως φαίνεται και στις δύο Εικόνες.



Εικόνα 4.157: Προφίλ αγωγών παντορροϊκού δικτύου για $t=1h$ και $T=10$ κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο (Αρχική Διάμετρος)



Εικόνα 4.158: Προφίλ αγωγών παντοροϊκού δικτύου για $t=1h$ και $T=10$ κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο (Νέα Διάμετρος)

4.5.2 Κατασκευή δεξαμενών κατακράτησης παράλληλα στο αποχετευτικό δίκτυο

Το επόμενο μέτρο, το οποίο εξετάστηκε στην παρούσα εργασία, ήταν η κατασκευή δεξαμενών κατακράτησης παράλληλα στο αποχετευτικό δίκτυο, με στόχο την αποθήκευση της απορροής. Για την επικοινωνία των δεξαμενών με το αποχετευτικό δίκτυο χρησιμοποιήθηκαν πλευρικοί υπερχειλιστές. Οι δεξαμενές σχεδιάστηκαν σε διάφορα σημεία του δικτύου, με στόχο, όλοι οι αγωγοί να λειτουργούν με λόγο πλήρωσης (y/D) μικρότερο από 0.8 για περιόδους επαναφοράς έως 10 έτη (Π.Δ. 696/74). Για την αποστράγγιση των δεξαμενών επιλέχθηκε η κατασκευή οπής, για αποστράγγιση στο υπόγειο παντοροϊκό αποχετευτικό δίκτυο.

Οι δεξαμενές και οι υπερχειλιστές αυτών σχεδιάστηκαν σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:

- i. Εκτίμηση παροχής αιχμής ($Q \text{ m}^3/\text{s}$) στον υπόνομο με βάση τα αποτελέσματα του λογισμικού SWMM.
- ii. Επιλύοντας την εξίσωση του Manning, με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού και για λόγος πλήρωσης (y/D) ίσο με 0.7 υπολογισμός της παροχής Q_s (m^3/s).
- iii. Το υδρογράφημα, το οποίο θα καταλήγει στην δεξαμενή είναι αυτό για το οποίο οι παροχές είναι μεγαλύτερες του Q_s . Ο όγκος της δεξαμενής υπολογίζεται με τη χρήση του λογισμικού Excel σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:
 - Εισαγωγή στο λογισμικό Excel του υδρογραφήματος σχεδιασμού του υπονόμου, από το λογισμικό SWMM.
 - Υπολογισμός υδρογραφήματος δεξαμενής:

$$Q_{\text{δεξαμενής}} = 0, \quad \text{για } Q < Q_s$$

$$Q_{\text{δεξαμενής}} = Q - Q_s, \quad \text{για } Q > Q_s$$

- Υπολογισμός όγκου δεξαμενής με βάση τη σχέση:

$$V_i = V_{i-t} + \frac{1}{2}(Q_i + Q_{i-t})(t_i - t_{i-t})$$

- iv. Εκτίμηση βάθους δεξαμενής με βάση την τοπογραφία της περιοχής καθώς και των υψομέτρων πυθμένα ανάντη και κατάντη φρεατίου.
- v. Υπολογισμός υψομέτρου στέψης πλευρικού υπερχειλιστή (d^*). Η στέψη του πλευρικού υπερχειλιστή τοποθετείται σε απόσταση από τον πυθμένα του αγωγού ίση με το βάθος ροής, το οποίο αντιστοιχεί στην παροχή η οποία περνάει στον κατάντη αγωγό για $y/D=0.7$.

- vi. Υπολογισμός του μέγιστου βάθους πάνω από την στέψη του υπερχειλιστή σύμφωνα με τη σχέση:

$$D - d^*$$

- vii. Υπολογισμός μέσου βάθους πάνω από την στέψη του υπερχειλιστή σύμφωνα με τη σχέση:

$$h = \frac{(D - d^*)}{2}$$

- viii. Υπολογισμός του μήκους του υπερχειλιστή σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q - Q_s = C_w L h^{5/3}$$

Όπου:

C_w : συντελεστής για ροή από το κέντρο του υπερχειλιστή

L: μήκος του υπερχειλιστή

h: ύψος του υπερχειλιστή

- ix. Εισαγωγή των υπολογισμένων στοιχείων, δεξαμενής και υπερχειλιστή στο λογισμικό SWMM και προσομοίωση του συστήματος.
- x. Έλεγχος λόγου πλήρωσης αγωγού, παροχής αιχμής στο αγωγό και όγκου δεξαμενής
- xi. Σε περίπτωση κατά την οποία δεν πληρούν τις προδιαγραφές, αλλαγή των παραμέτρων της δεξαμενής και του υπερχειλιστή και προσομοίωση του συστήματος, με τα νέα στοιχεία.
- xii. Εφαρμογή του βήματος x και σε περίπτωση που κρίνεται απαραίτητο εφαρμογή του βήματος xi.
- xiii. Εντοπισμός του επόμενου φρεατίου ή αγωγού ο οποίος παρουσιάζει πρόβλημα, πλημμυρισμός φρεατίου ή λόγος πλήρωσης αγωγού μεγαλύτερος από 0.8 και εφαρμογή της παραπάνω διαδικασίας
- xiv. Τέλος εισαγωγή οπής, σε κάθε δεξαμενή με στόχο την αποστράγγιση της. Όλες οι οπές θεωρήθηκαν κυκλικού σχήματος και διαμέτρου 200 mm, η οποία και είναι η ελάχιστη επιτρεπόμενη διάμετρος για αγωγούς ακαθάρτων, σύμφωνα με τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74).

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί πως δεν είναι απαραίτητο ο λόγος πλήρωσης των αγωγών να είναι μικρότερος του 0.8. Θα μπορούσαν δηλαδή οι δεξαμενές και οι υπερχειλιστές να διαστασιολογηθούν έτσι ώστε το βάθος νερού στο φρεάτιο να φτάνει 0.36

m χαμηλότερα από το υψόμετρο πυθμένα του φρεατίου και ο αγωγός να λειτουργεί υπό πίεση. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η διαστασιολόγηση των δεξαμενών και των οπών έτσι ώστε ο λόγος πλήρωσης σε όλους τους αγωγούς να είναι μικρότερος του 0.8 καθώς αυτό ορίζουν οι Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές για ήδη κατασκευασμένους αγωγούς (Π.Δ. 696/74). Πιο συγκεκριμένα, για την Ζώνη Δ του παντοροϊκού δικτύου Αθηνών μοντελοποιήθηκαν 29 Δεξαμενές κατακράτησης. Τα στοιχεία όλων των δεξαμενών, των υπερχειλιστών και των αντίστοιχων οπών, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.57.

Πίνακας 4.57: Στοιχεία δεξαμενών κατακράτησης, υπερχειλιστών και οπών

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ					ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ			ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΗΣ		
	Υψόμετρο Πυθμένα (m)	Υψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Χωρητικότητα (m ³)	Τύπος	Υψος (m)	Μήκος (m)	Τύπος	Σχήμα	Διάμετρος (m)
Δεξαμενή 1	92.94	0.5	350	175	Πλευρικός	0.25	10	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 2	91.40	0.5	30	15	Πλευρικός	0.25	4	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 3	91.91	0.5	50	25	Πλευρικός	0.20	4	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 4	107.15	1	150	150	Πλευρικός	0.65	2	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 5	99.88	2	250	500	Πλευρικός	0.45	8	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 6	95.73	2	550	1100	Πλευρικός	0.75	8	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 7	83.11	1	390	390	Πλευρικός	0.60	4	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 8	88.00	3	230	660	Πλευρικός	0.47	8	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 9	82.31	1	900	900	Πλευρικός	0.5	10	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 10	78.54	1	900	900	Πλευρικός	0.5	8	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 11	74.56	2	280	280	Πλευρικός	0.5	2	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 12	91.78	0.3	350	105	Πλευρικός	0.25	8	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 13	91.13	0.5	950	475	Πλευρικός	0.3	8	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 14	96.72	1	100	100	Πλευρικός	0.25	5	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 15	95.41	1	70	70	Πλευρικός	0.15	6	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 16	91.31	1	300	300	Πλευρικός	0.20	25	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 17	91.9	1	130	130	Πλευρικός	0.30	9	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 18	90.52	0.5	60	30	Πλευρικός	0.25	6	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2

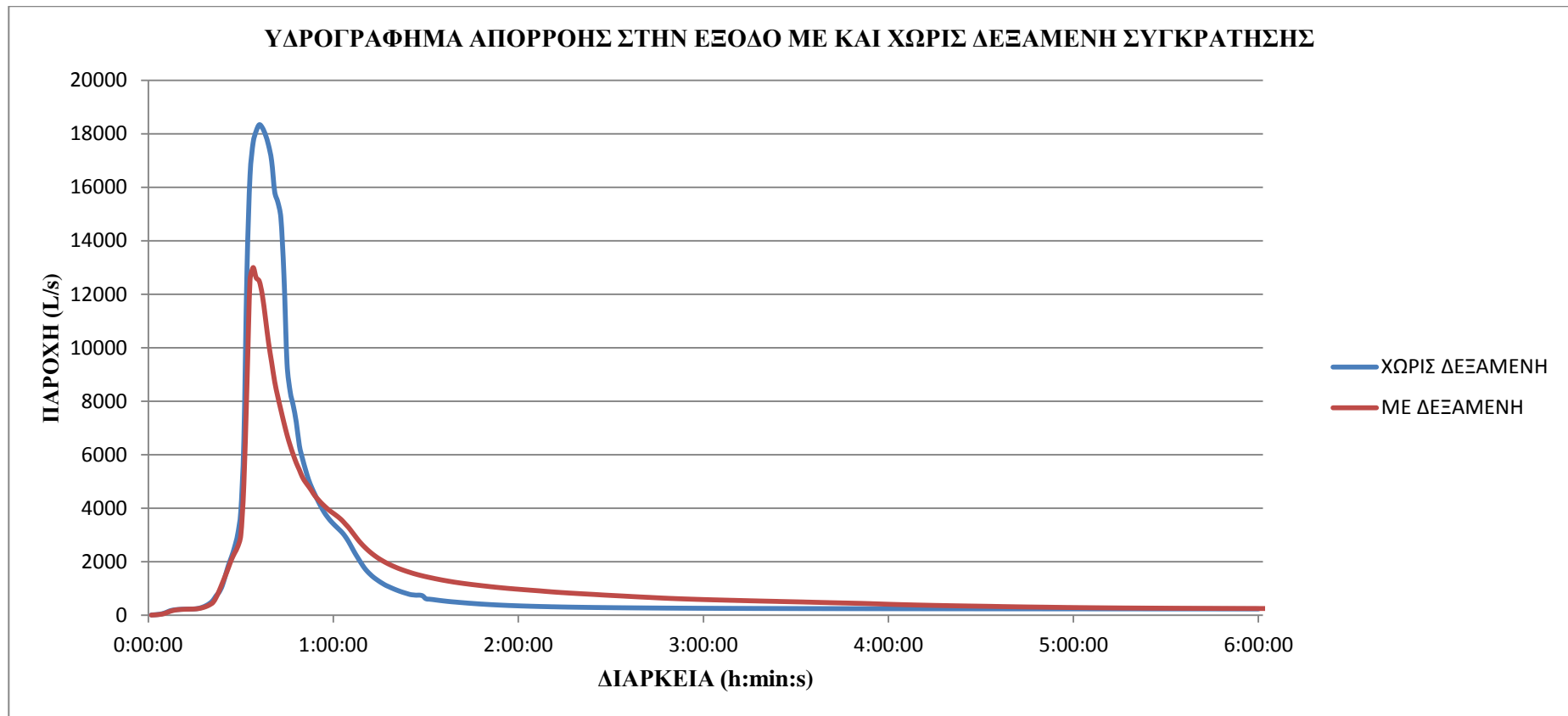
Πίνακας 4.57 (συνέχεια): Στοιχεία δεξαμενών κατακράτησης, υπερχειλιστών και οπών

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ					ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ			ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΠΗΣ		
	Υψόμετρο Πυθμένα (m)	Ύψος (m)	Επιφάνεια (m ²)	Χωρητικότητα (m ³)	Τύπος	Ύψος (m)	Μήκος (m)	Τύπος	Σχήμα	Διάμετρος (m)
Δεξαμενή 19	89.66	0.5	600	300	Πλευρικός	0.40	5	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 20	88.59	1	850	850	Πλευρικός	0.80	12	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 21	83.44	2	55	110	Πλευρικός	0.41	6	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 22	78.94	1	200	200	Πλευρικός	0.60	5	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 23	78.6	1	30	30	Πλευρικός	0.50	4	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 24	77.79	1	500	500	Πλευρικός	0.90	6	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 25	74.65	2	320	640	Πλευρικός	1.2	8	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 26	71.77	3	350	1050	Πλευρικός	2	20	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 27	104.08	2	20	40	Πλευρικός	0.4	8	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 28	76.83	0.5	550	275	Πλευρικός	0.9	4	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2
Δεξαμενή 29	84.46	1	1100	1100	Πλευρικός	0.45	8	Πυθμένας	Κυκλικό	0.2

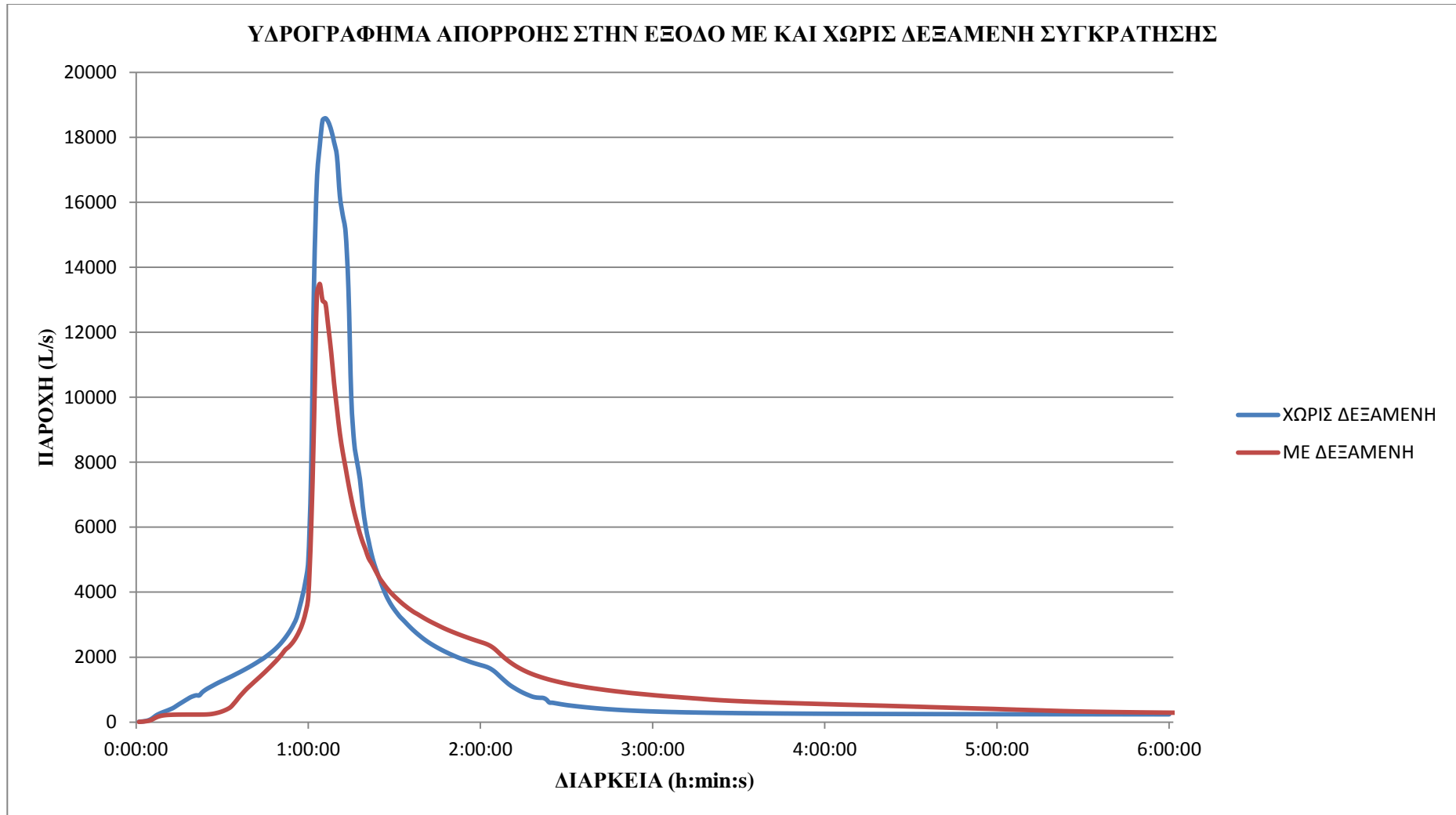
Οι δεξαμενές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.57 σχεδιάστηκαν με στόχο όλοι οι παντοροϊκοί αγωγοί του δικτύου αποχέτευσης της Ζώνης Δ να λειτουργούν με ελεύθερη επιφάνεια ($y/D < 0.8$), έτσι ώστε να μην πληρώνονται και η απορροή, περιόδου επαναφοράς 10 ετών να αποχετεύεται με επιτυχία.

Η διαστασιολόγηση των δεξαμενών συγκράτησης, των υπερχειλιστών και των οπών πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό SWMM, σύμφωνα με την διαδικασία, η οποία περιγράφηκε προηγουμένως. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν, οι δεξαμενές μειώνουν την παροχή αιχμής στην έξοδο του δικτύου περίπου 27%, με αποτέλεσμα για βροχόπτωση δεκαετίας, οποιασδήποτε διάρκειας, κανένας κόμβος του δικτύου να μην πλημμυρίζει, όλοι οι αγωγοί να λειτουργούν με λόγο πλήρωσης μικρότερο του 0.8 και όπως είναι λογικό να μην λειτουργεί το επιφανειακό δίκτυο.

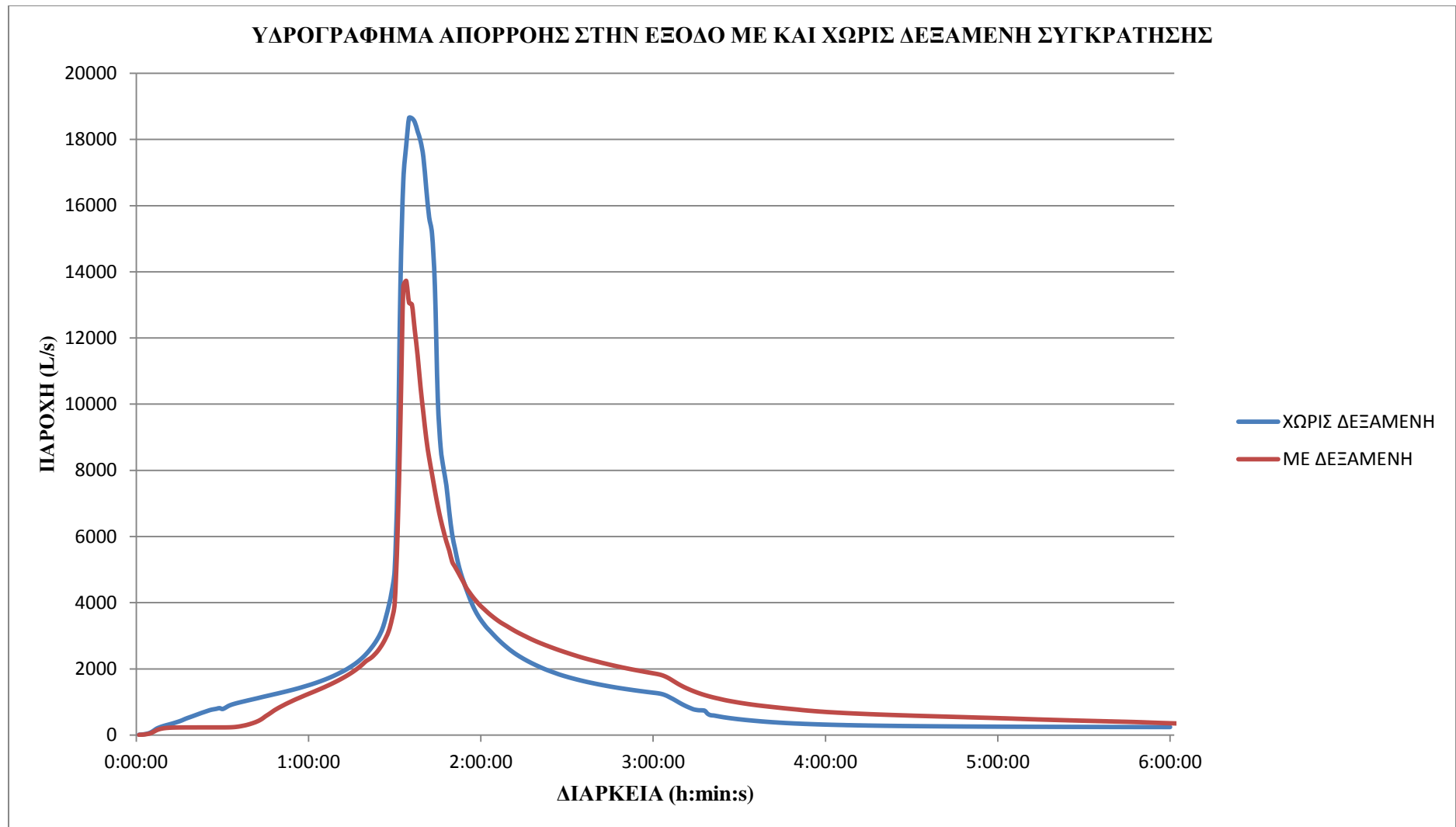
Στις Εικόνες 4.159 έως 4.164 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα της απορροής, στην έξοδο της Ζώνης Δ του παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου, για βροχοπτώσεις διάρκειας 1, 2, 3, 6, 12 και 24 h για περίοδο επαναφοράς 10 ετών πριν την κατασκευή των δεξαμενών και μετά.



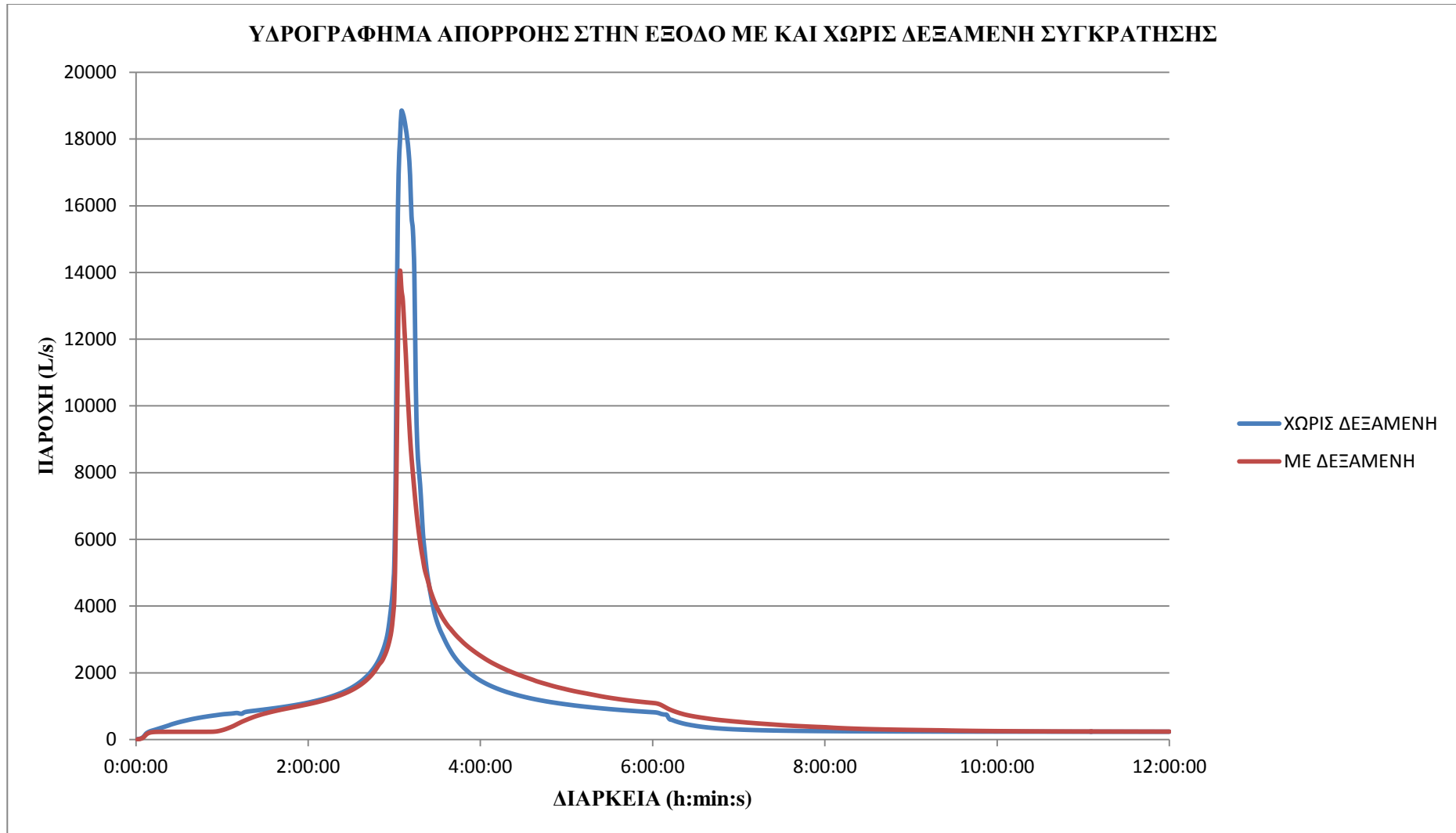
Εικόνα 4.159: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=1h$ και $T=10$



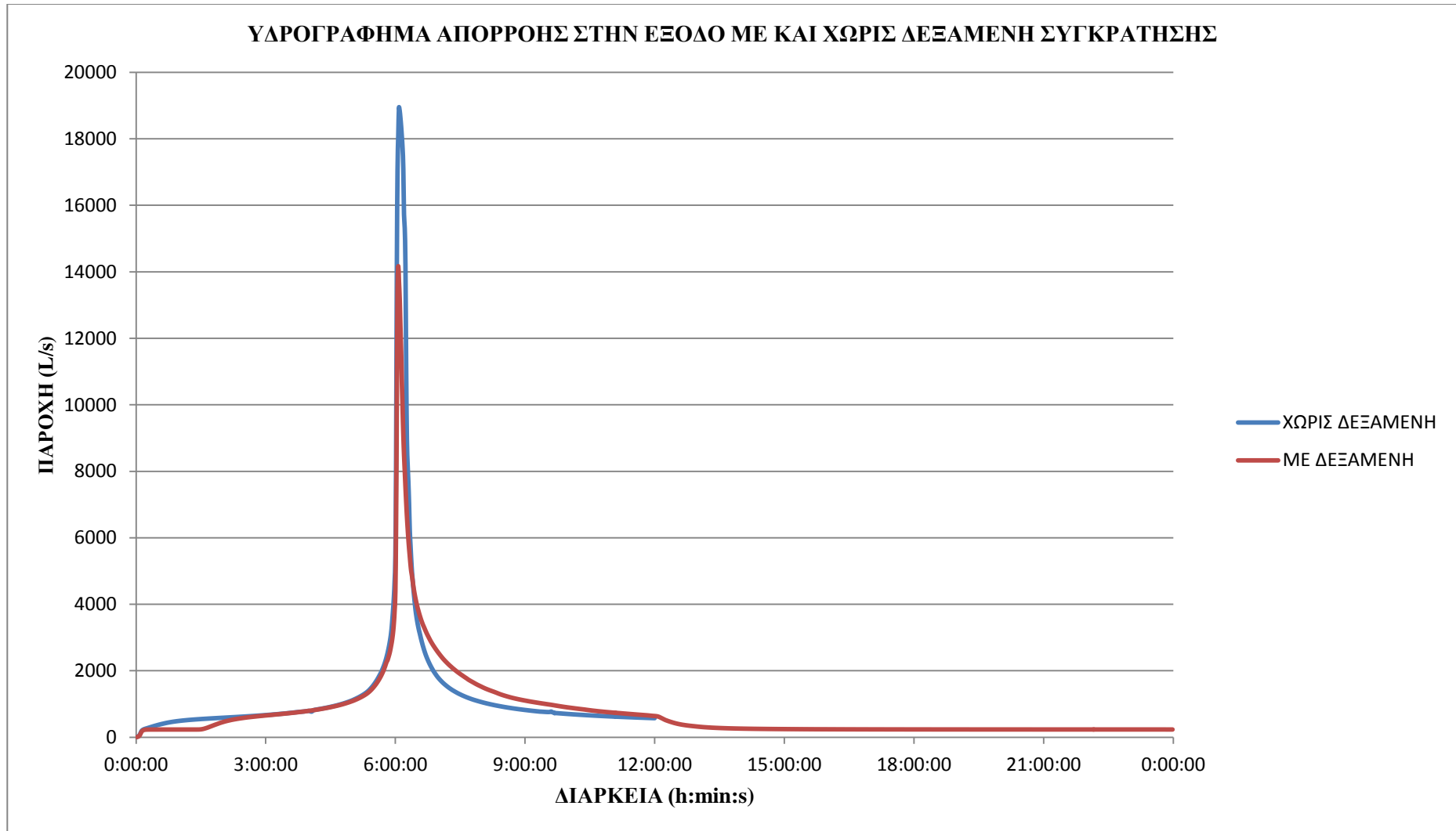
Εικόνα 4.160: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=2h$ και $T=10$



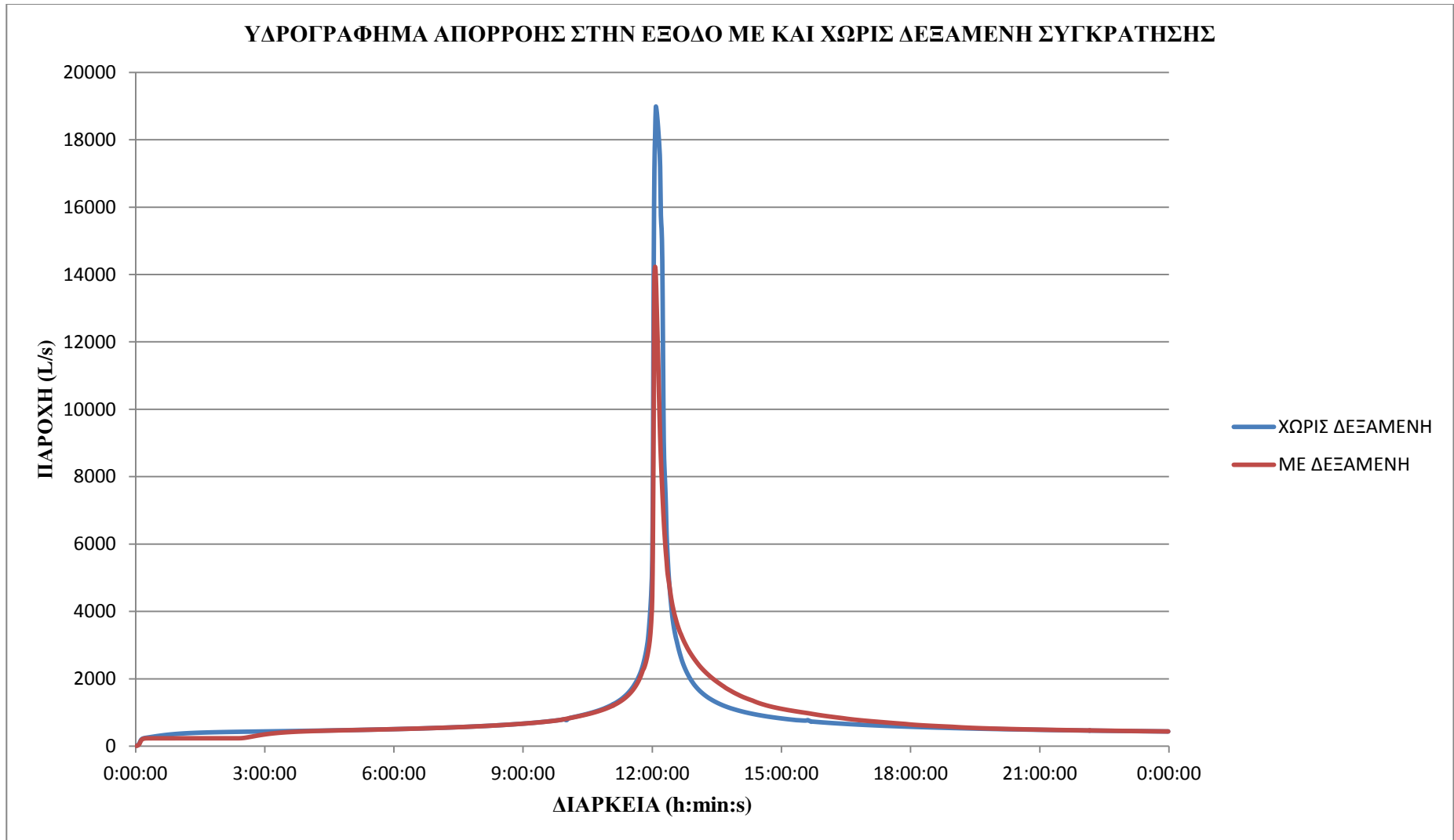
Εικόνα 4.161: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=3h$ και $T=10$



Εικόνα 4.162: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=6h$ και $T=10$



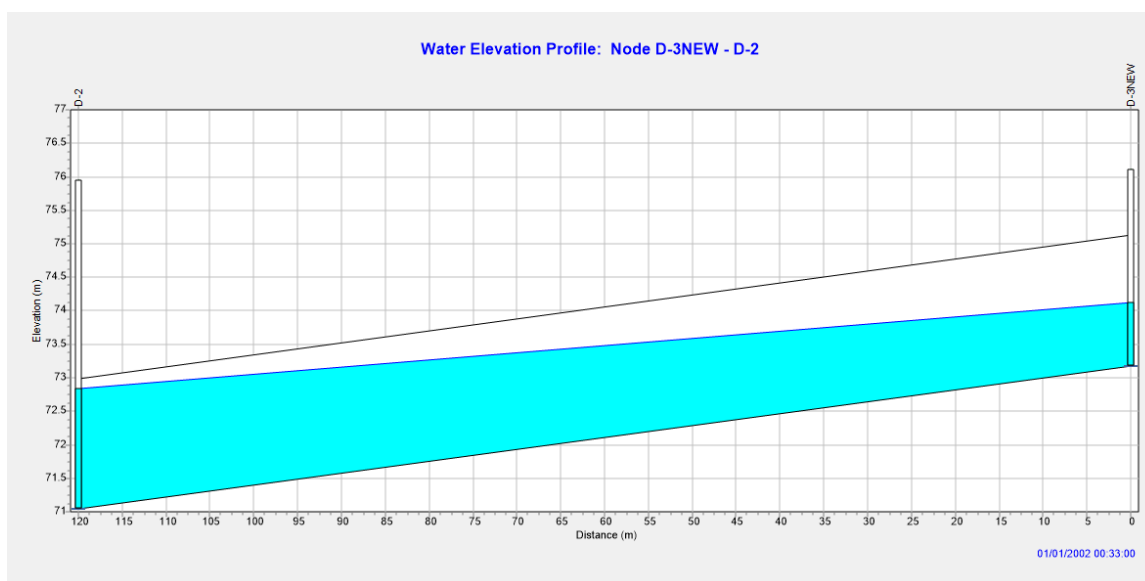
Εικόνα 4.163: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=12$ h και $T=10$



Εικόνα 4.164: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή των δεξαμενών, για $t=24h$ και $T=10$

Παρατηρείται λοιπόν πως σε όλες τις περιπτώσεις η απορροή στην έξοδο του δικτύου είναι αισθητά μειωμένη. Όπως ήδη αναφέρθηκε το αποτέλεσμα είναι κανένας κόμβος του δικτύου να μην πλημμυρίζει και επιπλέον να μην εμφανίζεται ροή στο επιφανειακό δίκτυο. Δηλαδή μετά την εισαγωγή των δεξαμενών κατακράτησης, το σύστημα είναι σε θέση να αποχετεύει πλήρως την απορροή η οποία προκαλείται από βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς δέκα ετών.

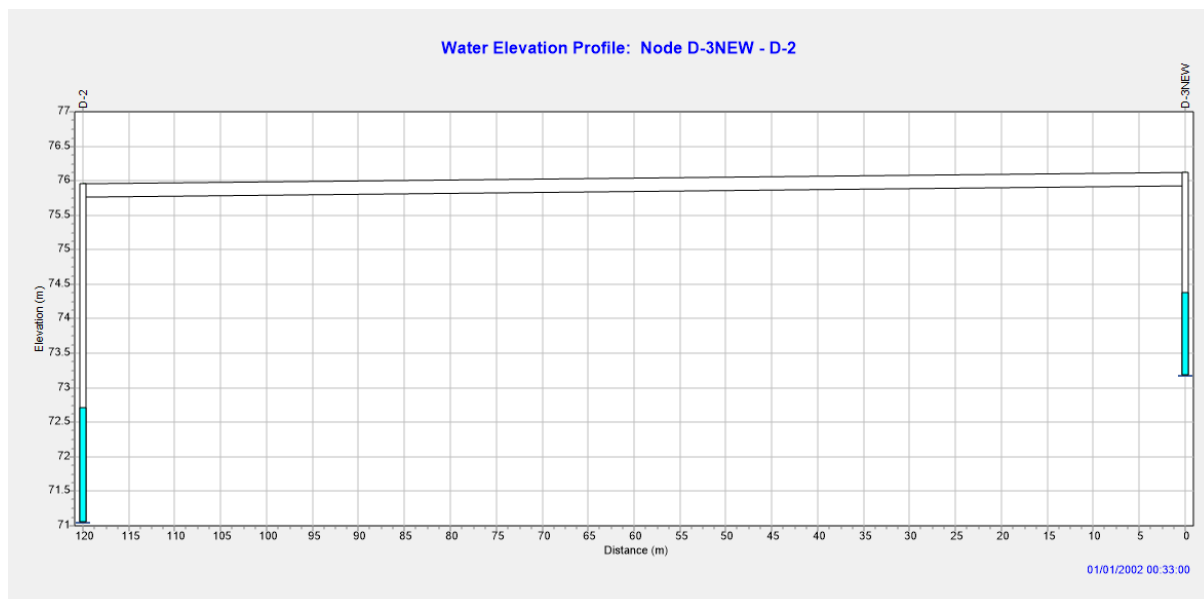
Στην παράγραφο 5.3.1.3 και συγκεκριμένα στις Εικόνες 4.9 και 4.10 παρουσιάστηκαν τα προφίλ του υπονόμου και του επιφανειακού αγωγού, κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο, ο οποίος συνέδεε τα φρεάτια D-3NEW και D-2, για βροχόπτωση διάρκειας 1 h και T=10 έτη. Το φρεάτιο D-3NEW ήταν αυτό που πλημμύριζε. Αντίστοιχα στις Εικόνες 4.165 και 4.166 παρουσιάζεται το προφίλ των ίδιων αγωγών κατά την αντίστοιχη χρονική στιγμή.



Εικόνα 4.165: Προφίλ αγωγού εκβολής κατά την χρονική στιγμή της αιχμής της παροχής στην έξοδο του δικτύου

Παρατηρείται λοιπόν πως μετά την εισαγωγή των δεξαμενών στο σύστημα, ο κόμβος D-3NEW, δεν πλημμυρίζει και ο αγωγός δεν πληρώνεται. Αυτό παρατηρήθηκε για όλες τις διάρκειες βροχόπτωσης (1, 2, 3, 6, 12, 24 h) και για περίοδο επαναφοράς 10 έτη. Στο σημείο αυτό είναι απαραίτητο να αναφερθεί, πως οι δεξαμενές, θα μπορούσαν να σχεδιαστούν για να αποθηκεύουν την απορροή των 20 ετών ή και παραπάνω, κάτι το οποίο βέβαια θα ήταν αντιοικονομικό και σχεδόν αδύνατον λόγω της προφανούς έλλειψης χώρου στην περιοχή έρευνας. Επιπλέον επισημαίνεται, πως και η κατασκευή του συνόλου των δεξαμενών που

προτείνονται στην παρούσα εργασία παρουσιάζει αντικειμενικές δυσκολίες λόγω αυτού του γεγονότος.



Εικόνα 4.166: Προφίλ επιφανειακού αγωγού κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου

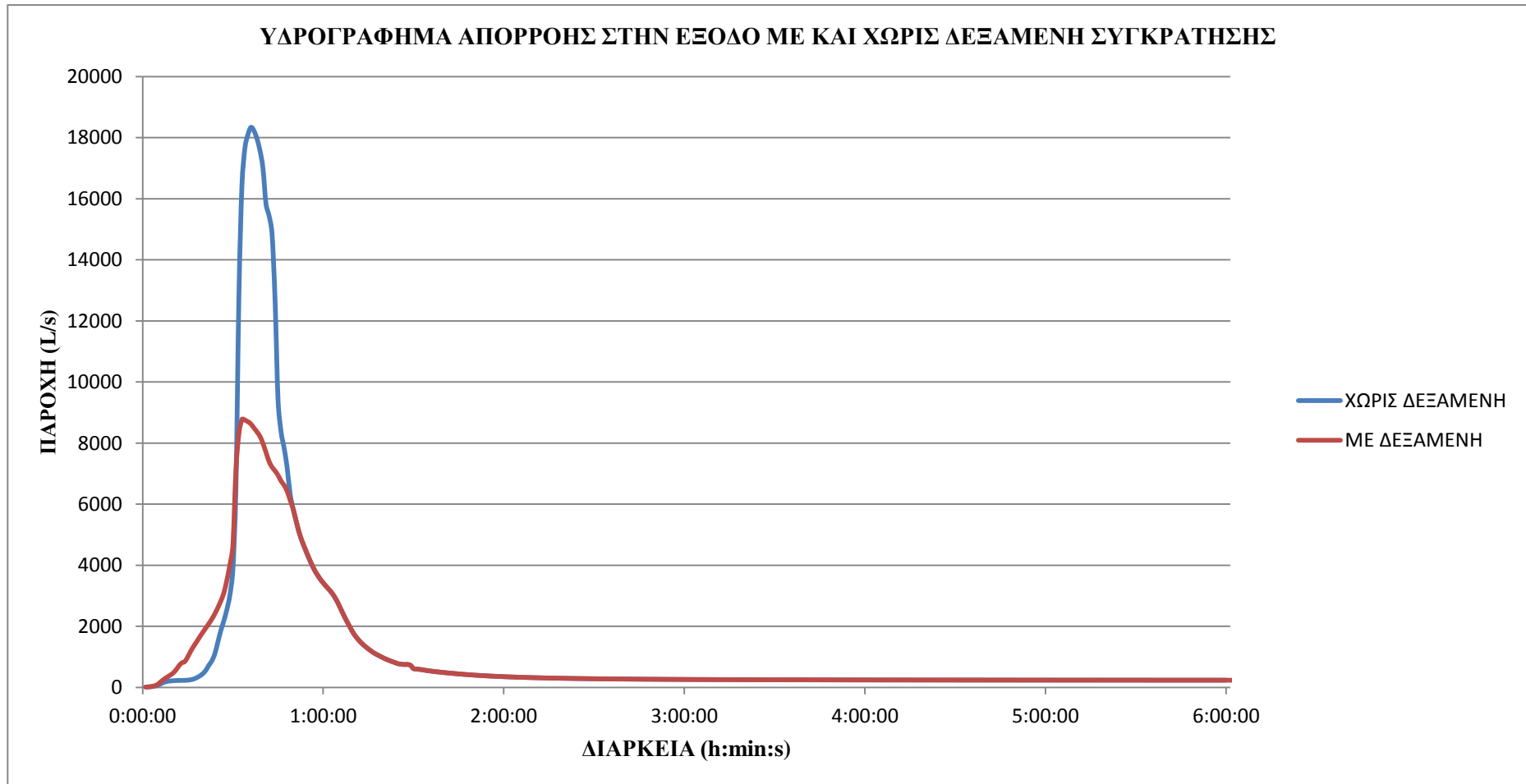
4.5.3 Κατασκευή δεξαμενής κατακράτησης στην έξοδο του δικτύου

Το επόμενο μέτρο το οποίο εξετάστηκε, ήταν η κατασκευή μιας δεξαμενής στην έξοδο του δικτύου. Η δεξαμενή και ο υπερχειλιστής διαστασιολογήθηκαν σύμφωνα με την διαδικασία, η οποία περιγράφηκε προηγουμένως. Το συγκεκριμένο μέτρο δεν αποσκοπεί στην αύξηση της παροχευτικότητας του δικτύου της Ζώνης Δ, αλλά στοχεύει στην αποθήκευση του όγκου ο οποίος θα υπερχειλίζει και θα κατέληγε στον ποταμό Κηφισό.

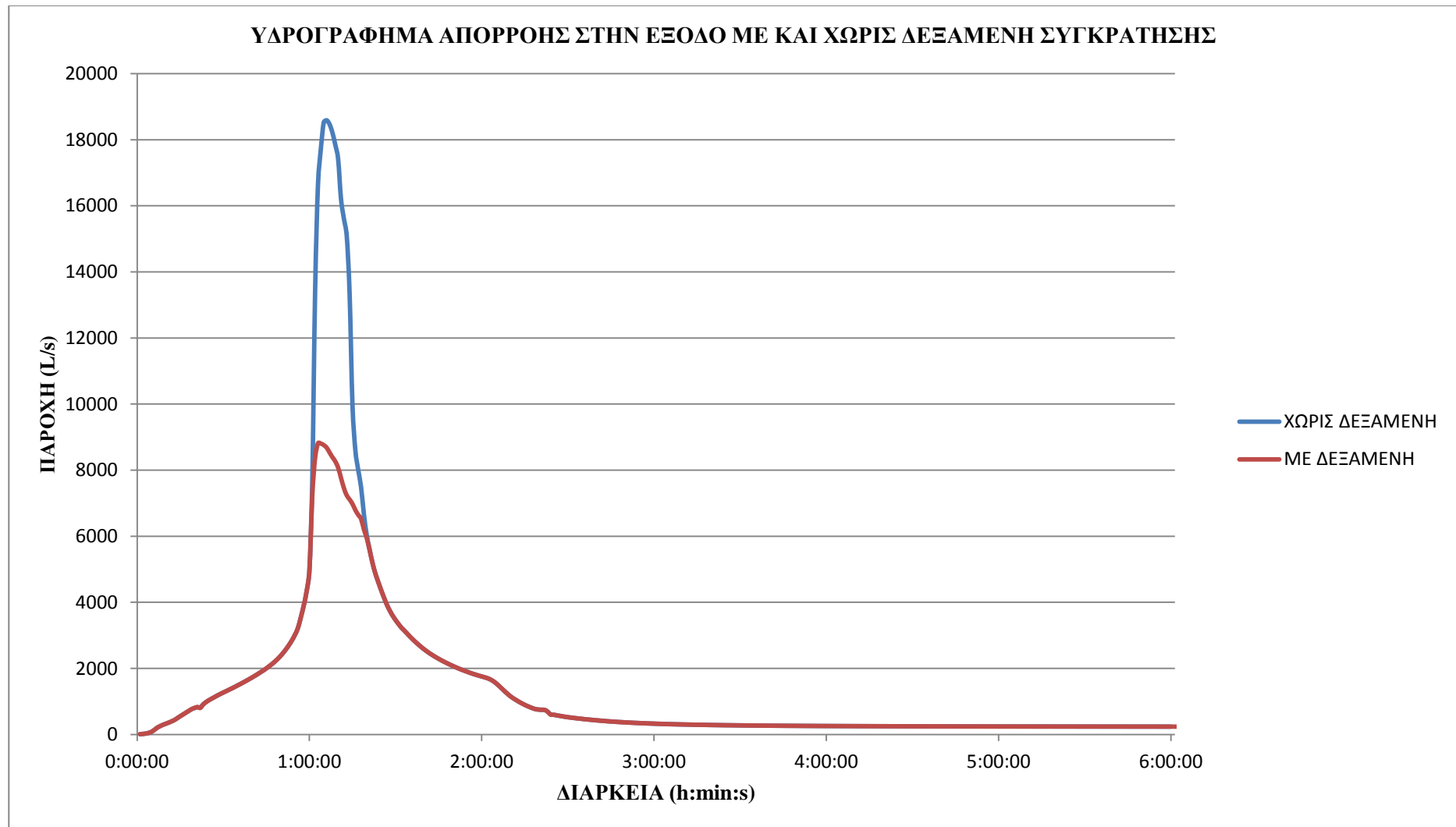
Η δεξαμενή η οποία σχεδιάστηκε έχει όγκο 8700 m^3 και καλύπτει επιφάνεια 3000 m^2 , με το ύψος της να είναι 2.9 m. Αντίστοιχα ο υπερχειλιστής έχει ύψος 0.8 m και μήκος 35 m, ενώ η οπή για την στράγγιση της δεξαμενής, βρίσκεται στον πυθμένα της και έχει κυκλικό σχήμα με ύψος 0.4 m.

Εισάγοντας τα παραπάνω στοιχεία στο λογισμικό SWMM και προσομοιώνοντας το δίκτυο, με τη δεξαμενή αυτή τη φορά, η απορροή αιχμής στην έξοδο του δικτύου μειώθηκε κατά 53% περίπου. Βέβαια για την μοντελοποίηση ήταν απαραίτητη η εισαγωγή μιας ακόμη εξόδου στο λογισμικό. Αυτό ήταν απαραίτητο καθώς το λογισμικό δεν επιτρέπει τη σύνδεση παραπάνω από ενός αγωγού στην ίδια έξοδο. Για το λόγο αυτό εισήχθη το φρεάτιο με ονομασία ΚΑΑ-65a και υψόμετρο πυθμένα 69.57 m στο οποίο και στράγγιζε η δεξαμενή.

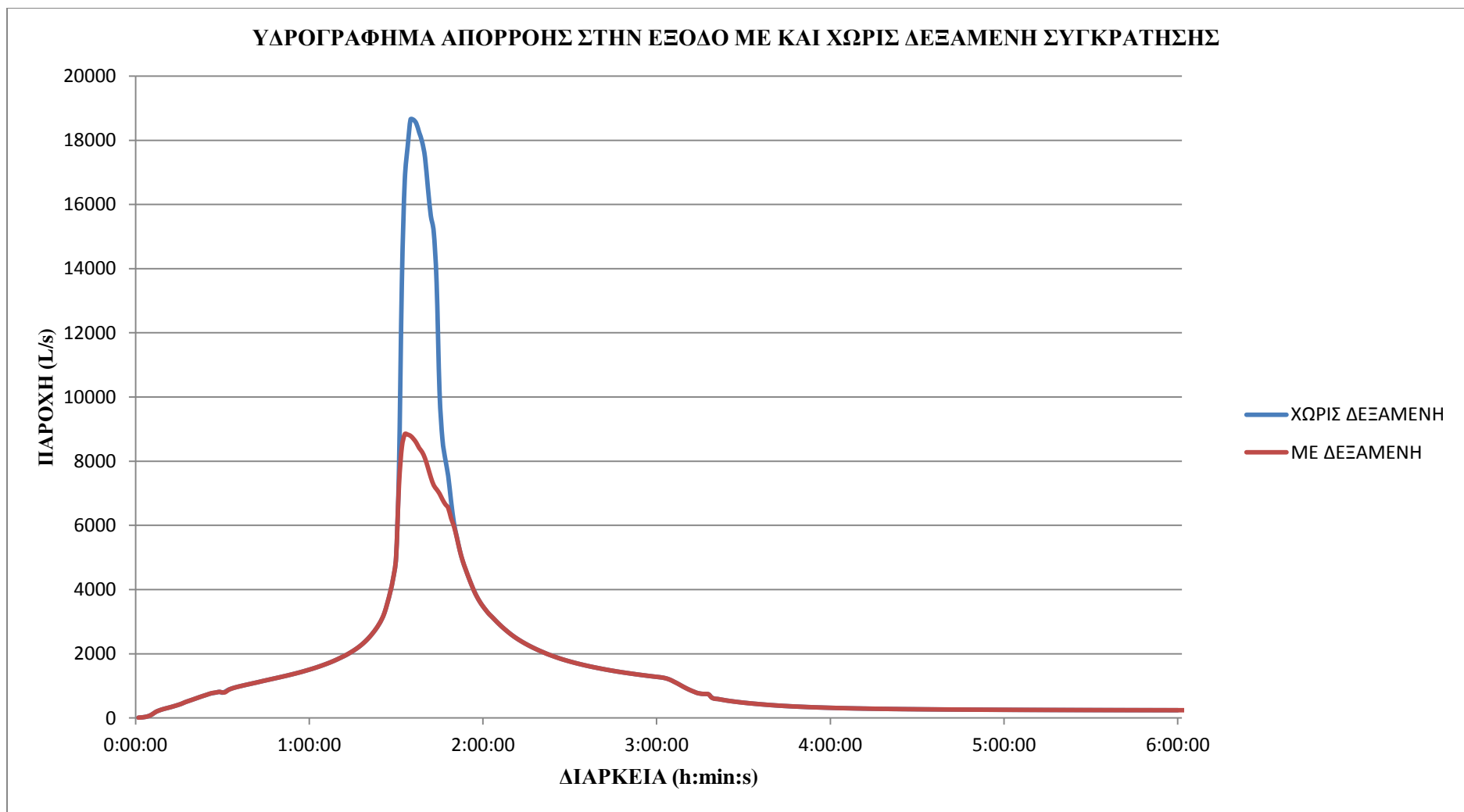
Στις Εικόνες 4.167, 4.168, 4.169, 4.170, 4.171, 4.172 παρουσιάζονται τα υδρογραφήματα απορροής στην έξοδο του δικτύου, πριν και μετά την κατασκευή της δεξαμενής, για διάρκειες βροχόπτωσης 1, 2, 3, 6, 12 και 24 h και για περίοδο επαναφοράς 10 έτη.



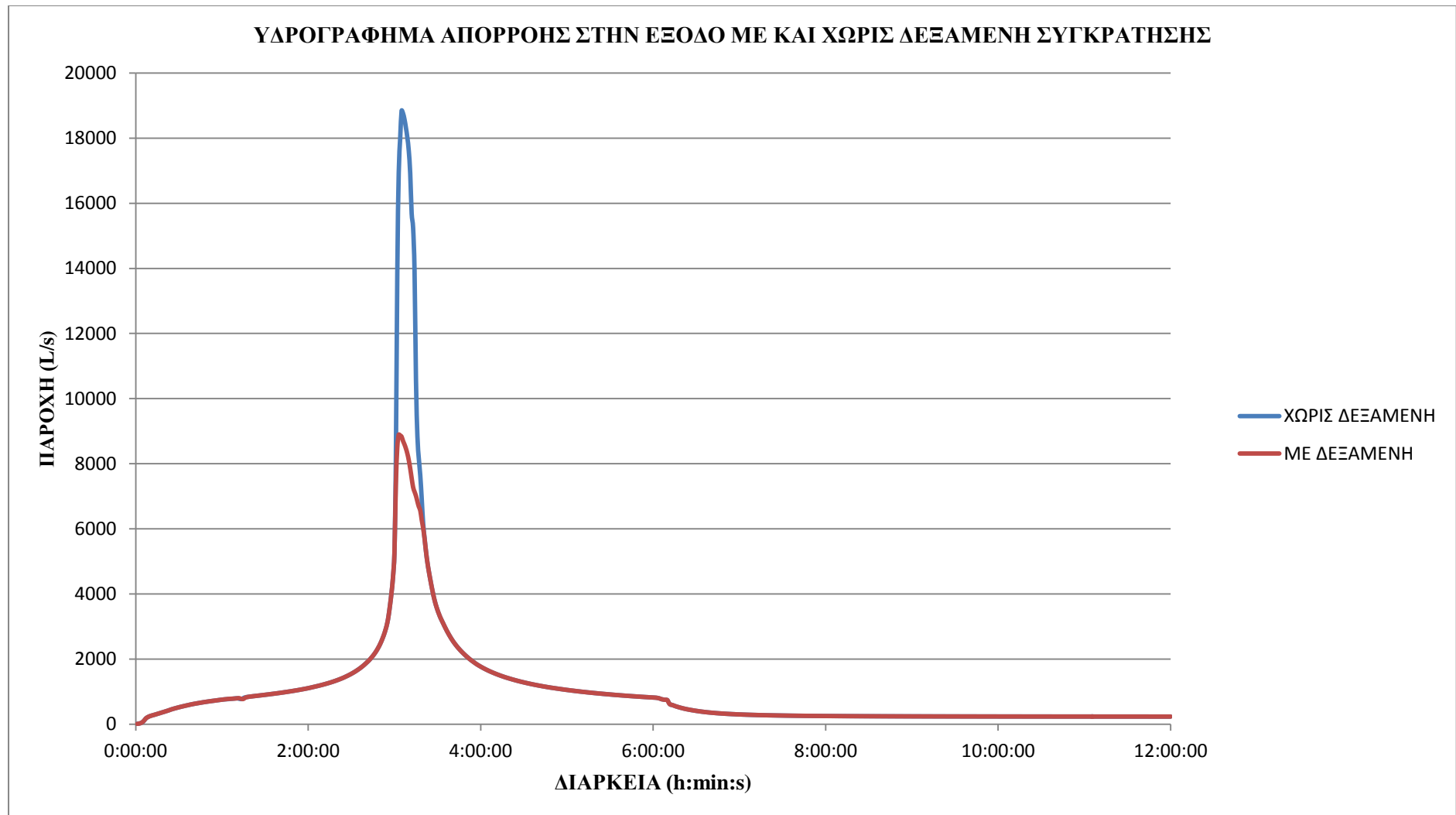
Εικόνα 4.167: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=1$ h και $T=10$ χρόνια



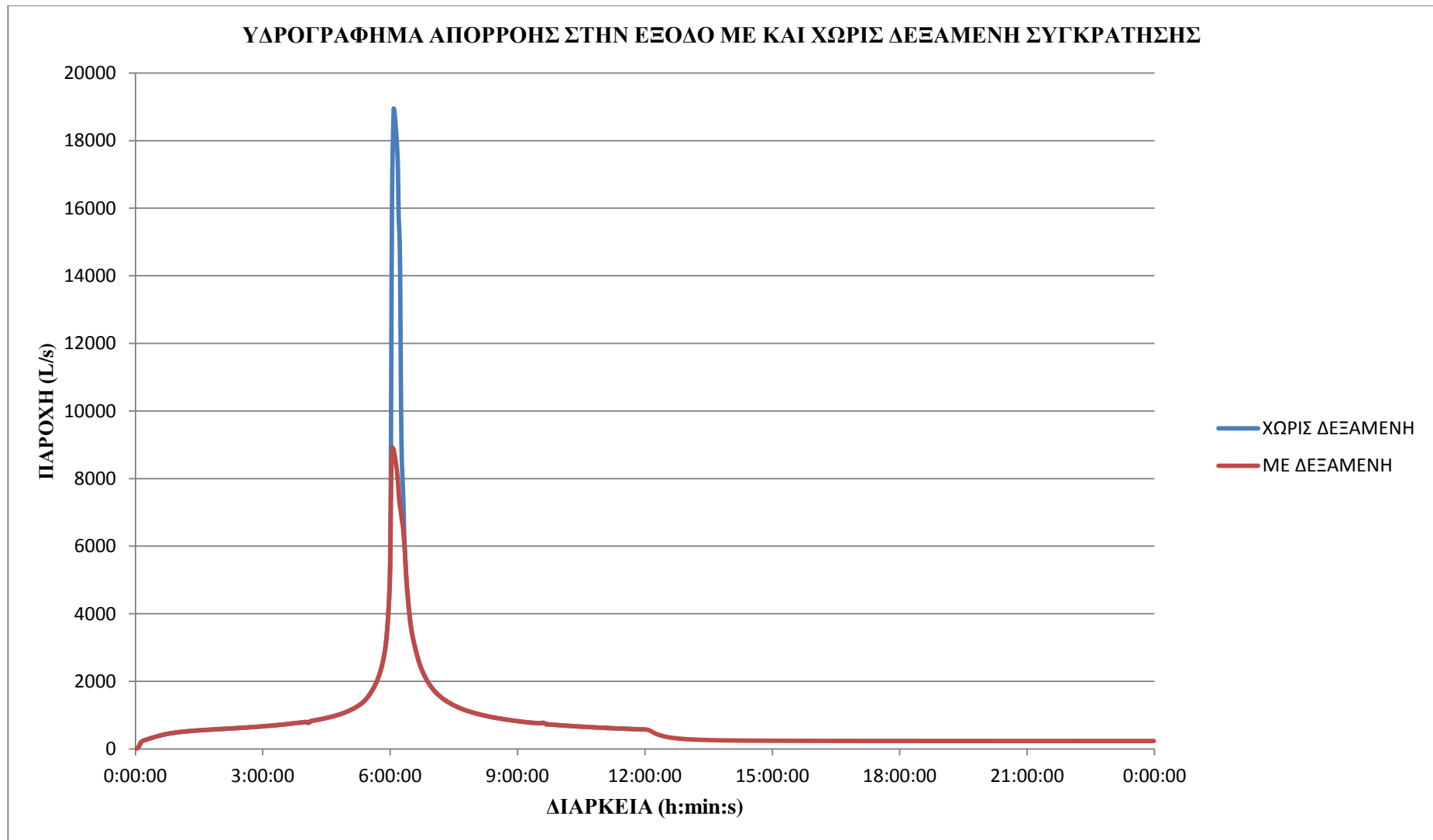
Εικόνα 4.168: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=2$ h και $T=10$ χρόνια



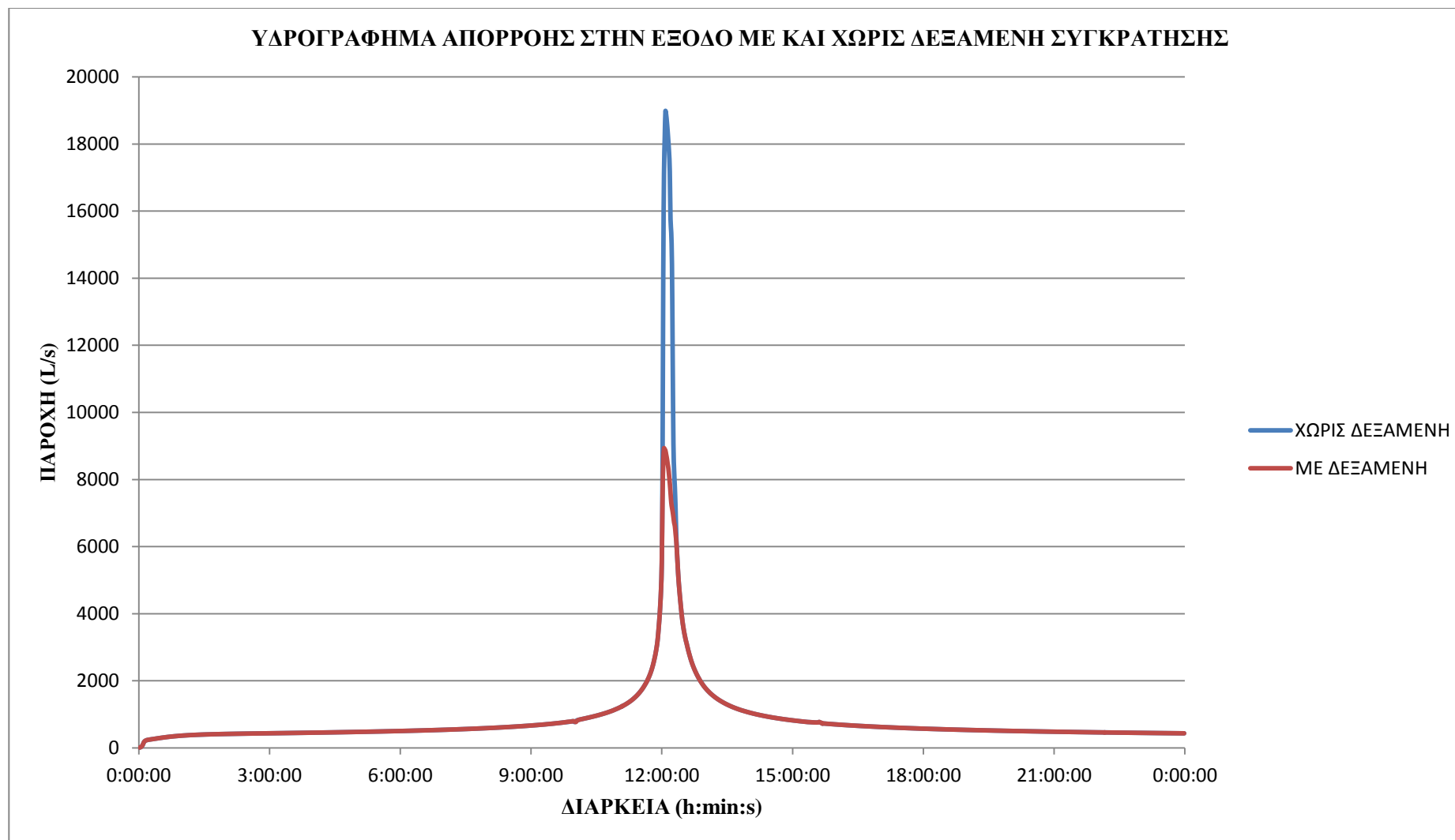
Εικόνα 4.169: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=3$ h και $T=10$ χρόνια



Εικόνα 4.170: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=6$ h και $T=10$ χρόνια

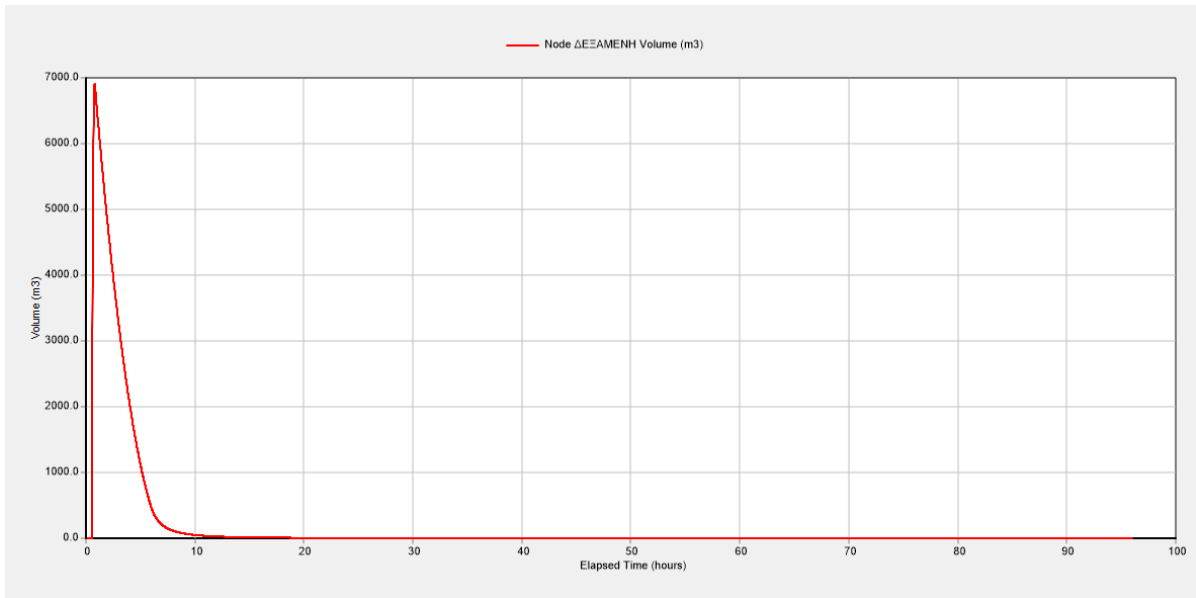


Εικόνα 4.171: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για $t=12$ h και $T=10$ χρόνια

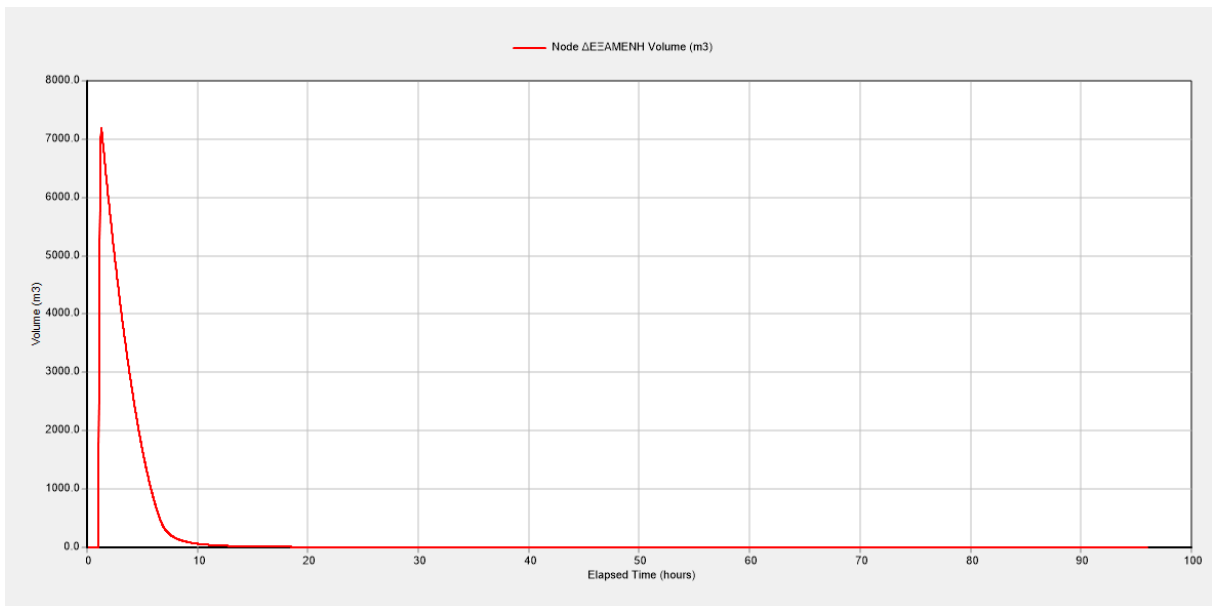


Εικόνα 4.172: Υδρογραφήματα άμεσης απορροής Ζώνης Δ παντοροϊκού δικτύου Αθηνών, πριν και μετά την κατασκευή δεξαμενής, για t=24 h και T=10 χρόνια

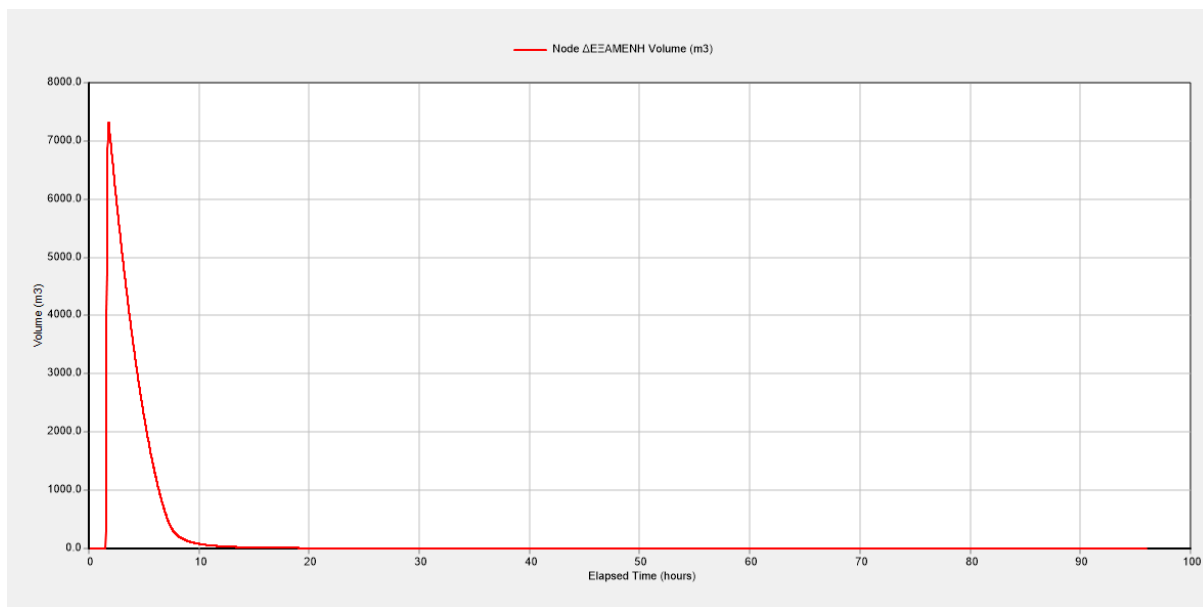
Παρατηρείται λοιπόν πως σε όλες τις περιπτώσεις, η δεξαμενή μειώνει τις απορροές αιχμής. Στις Εικόνες 4.173 έως 4.178 παρουσιάζεται ο όγκος νερού, ο οποίος αποθηκεύεται στη δεξαμενή για βροχοπτώσεις διάρκειας 1, 2, 3, 6, 12 και 24 h αντίστοιχα και για περίοδο επαναφοράς 10 ετών.



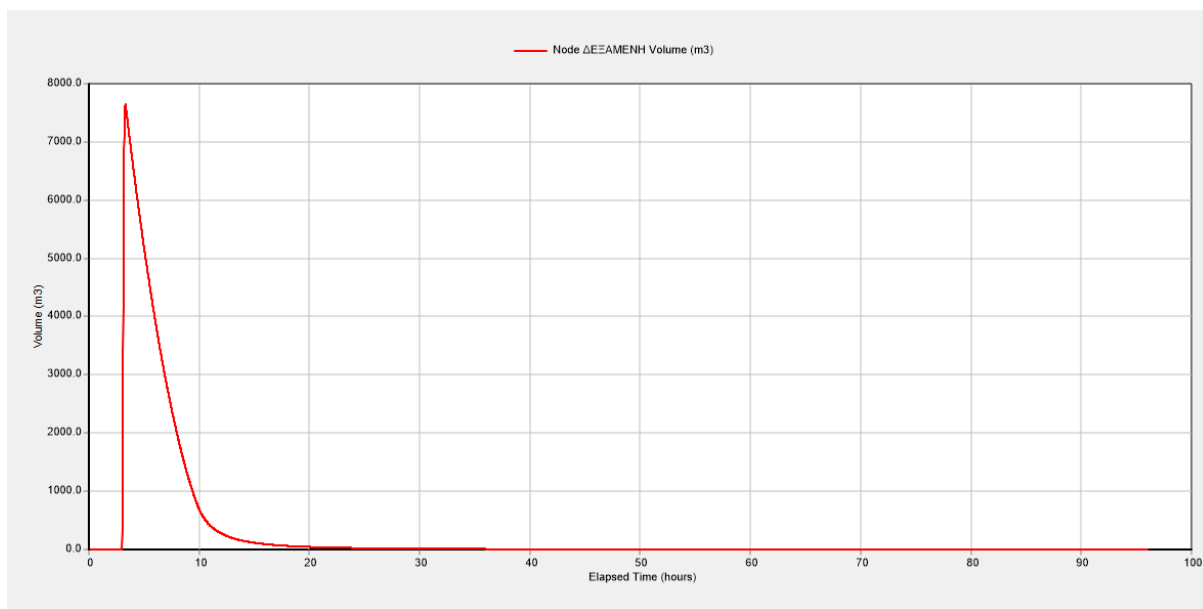
Εικόνα 4.173: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 1 h και T=10 έτη



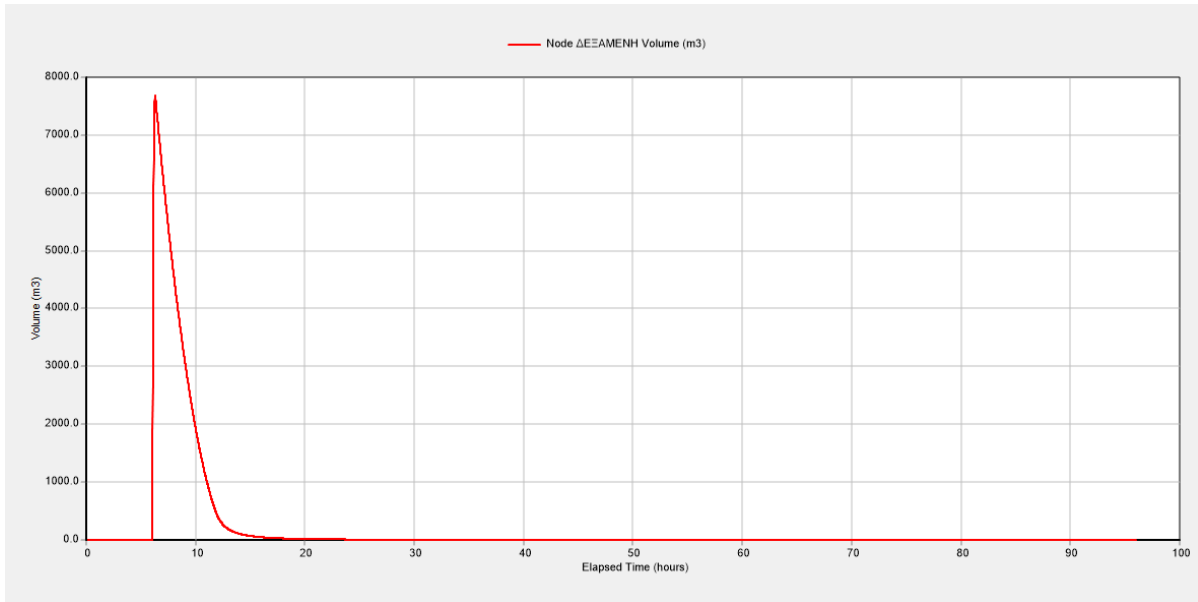
Εικόνα 4.174: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 2 h και T=10 έτη



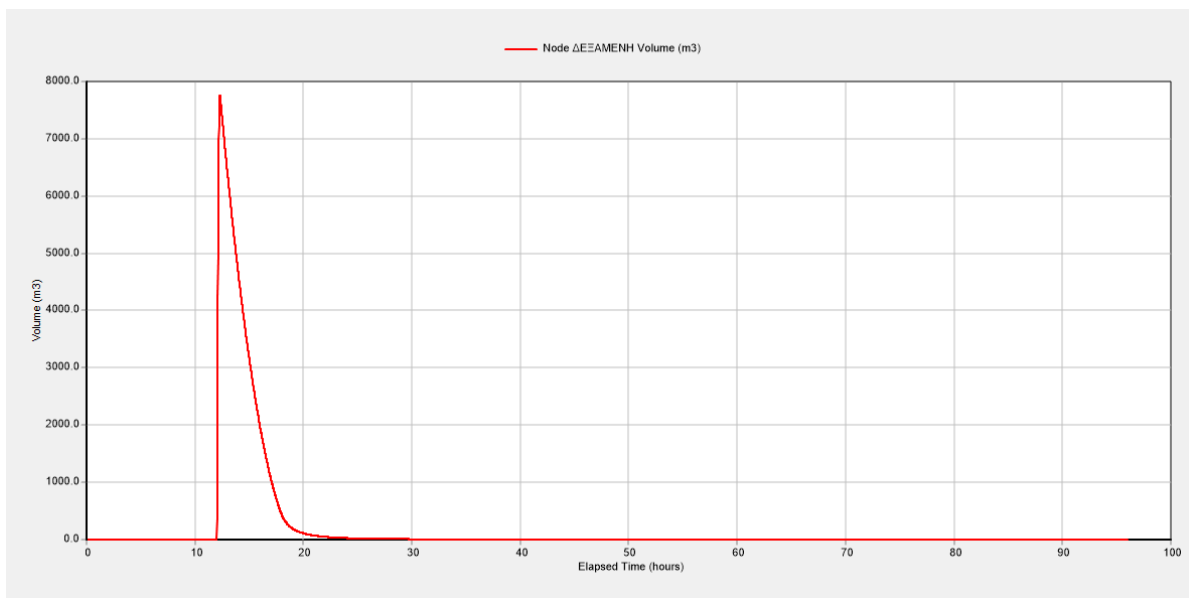
Εικόνα 4.175: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 3 h και T=10 έτη



Εικόνα 4.176: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 6 h και T=10 έτη

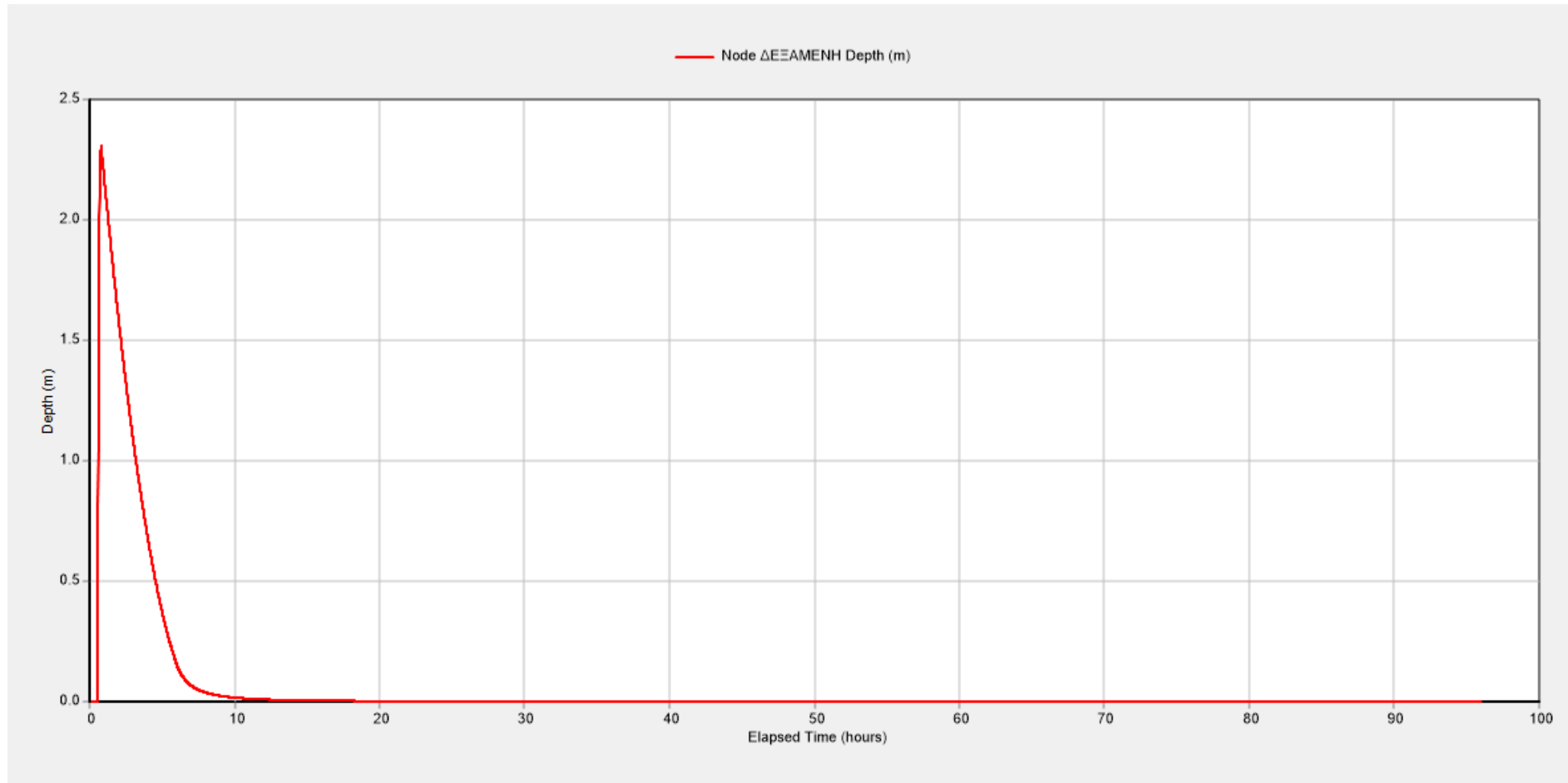


Εικόνα 4.177: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 12 h και T=10 έτη

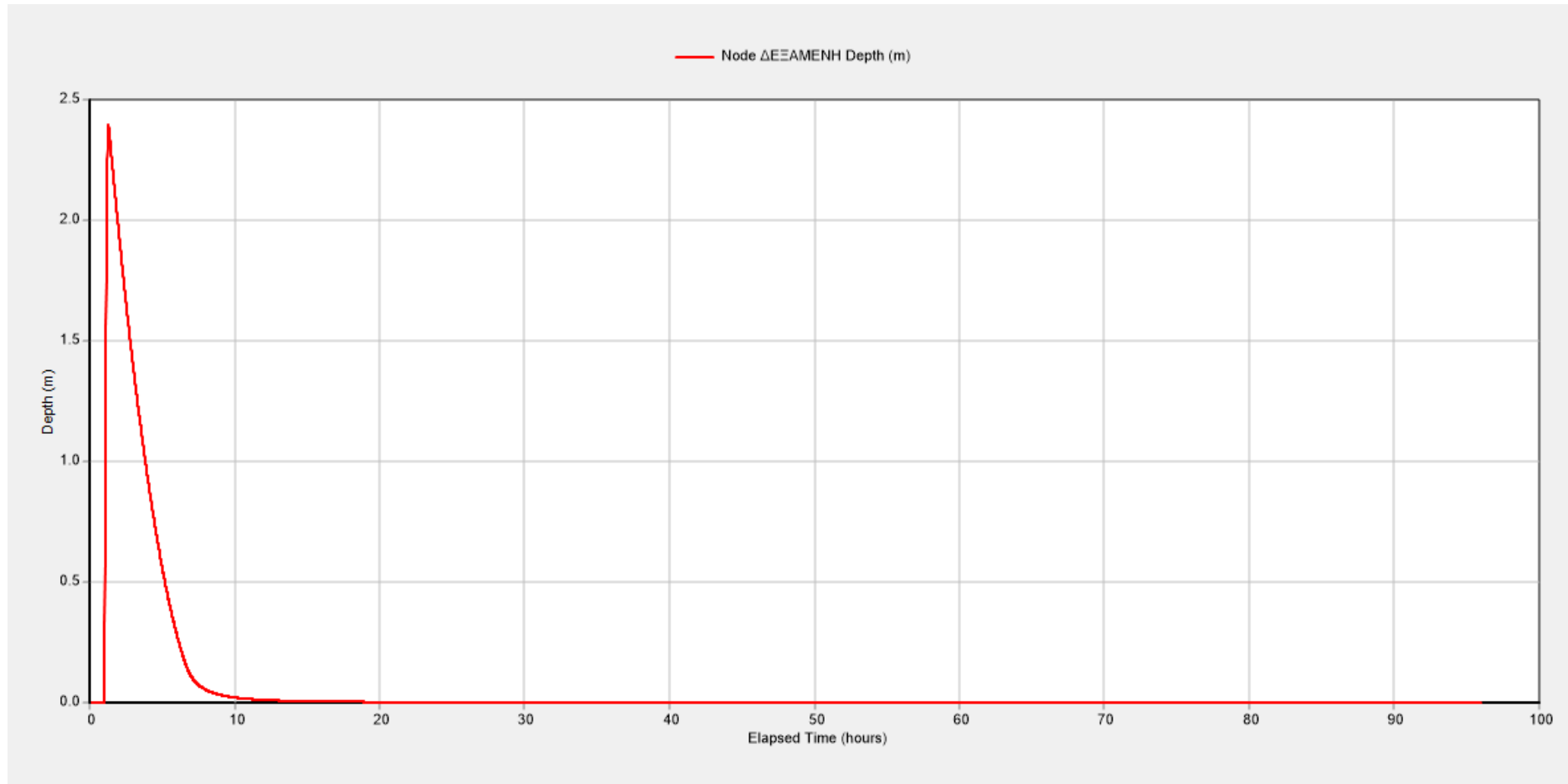


Εικόνα 4.178: Όγκος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 24 h και T=10 έτη

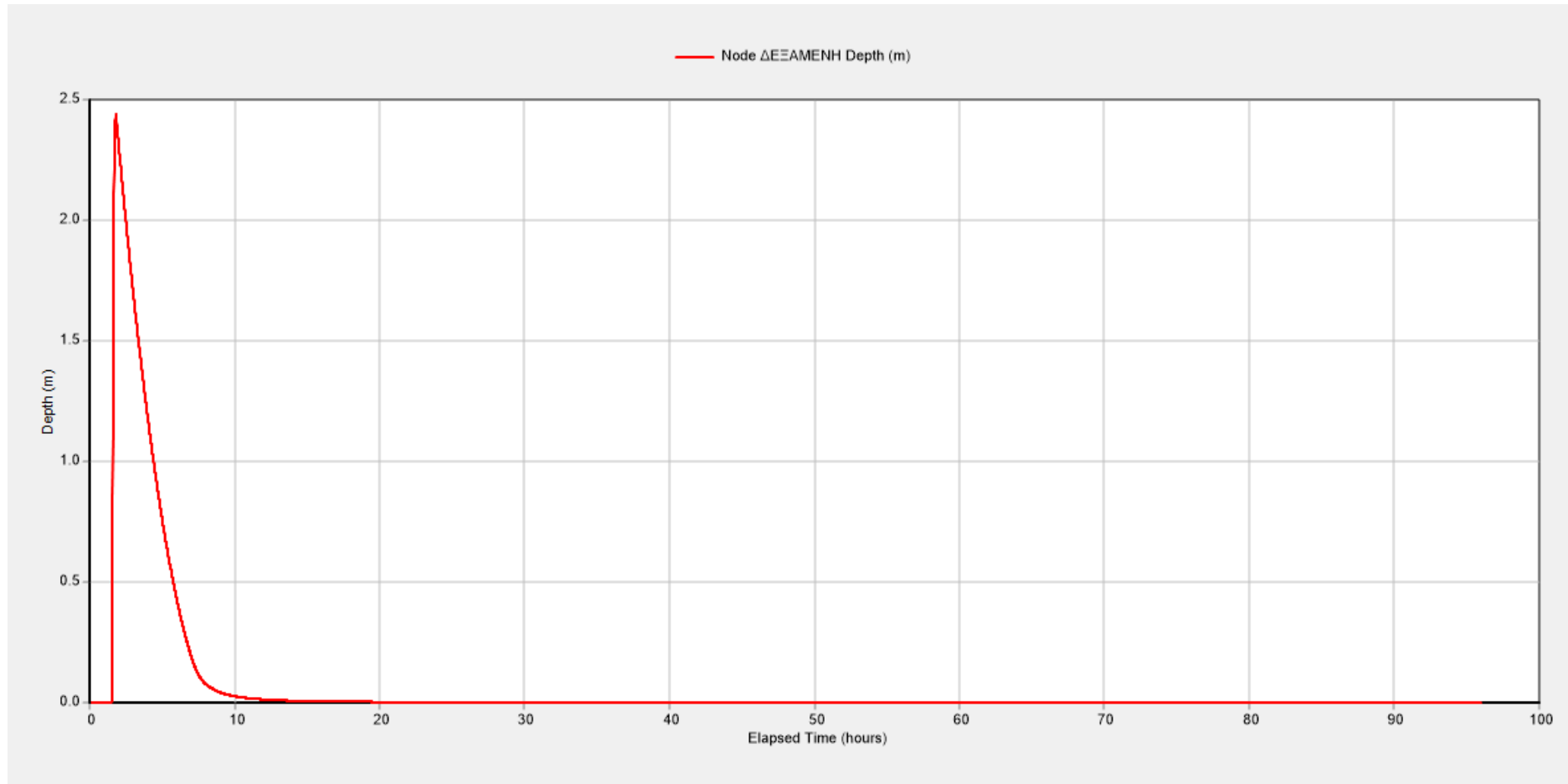
Παρατηρούμε λοιπόν πως σε όλες τις περιπτώσεις, ο όγκος της δεξαμενής είναι αρκετός για την αποθήκευση της απορροής των δέκα ετών. Έτσι, στις Εικόνες 4.179 έως 4.184 παρουσιάζεται το βάθος νερού (m) στη δεξαμενή, σε σχέση με το χρόνο, για βροχοπτώσεις 1, 2, 3, 6, 12, 24 h και περίοδο επαναφοράς 10 ετών.



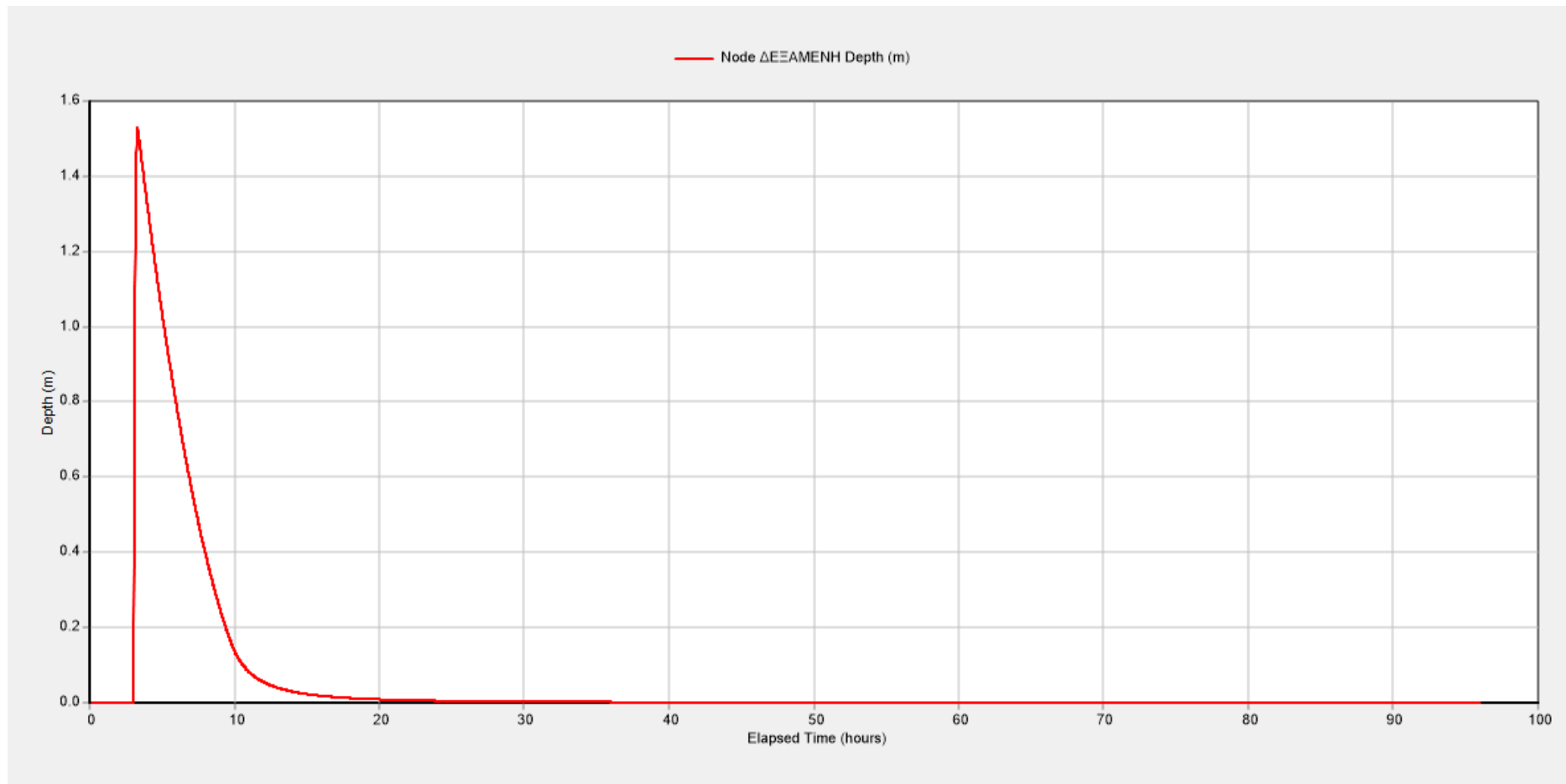
Εικόνα 4.179: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 1 h και T=10 έτη



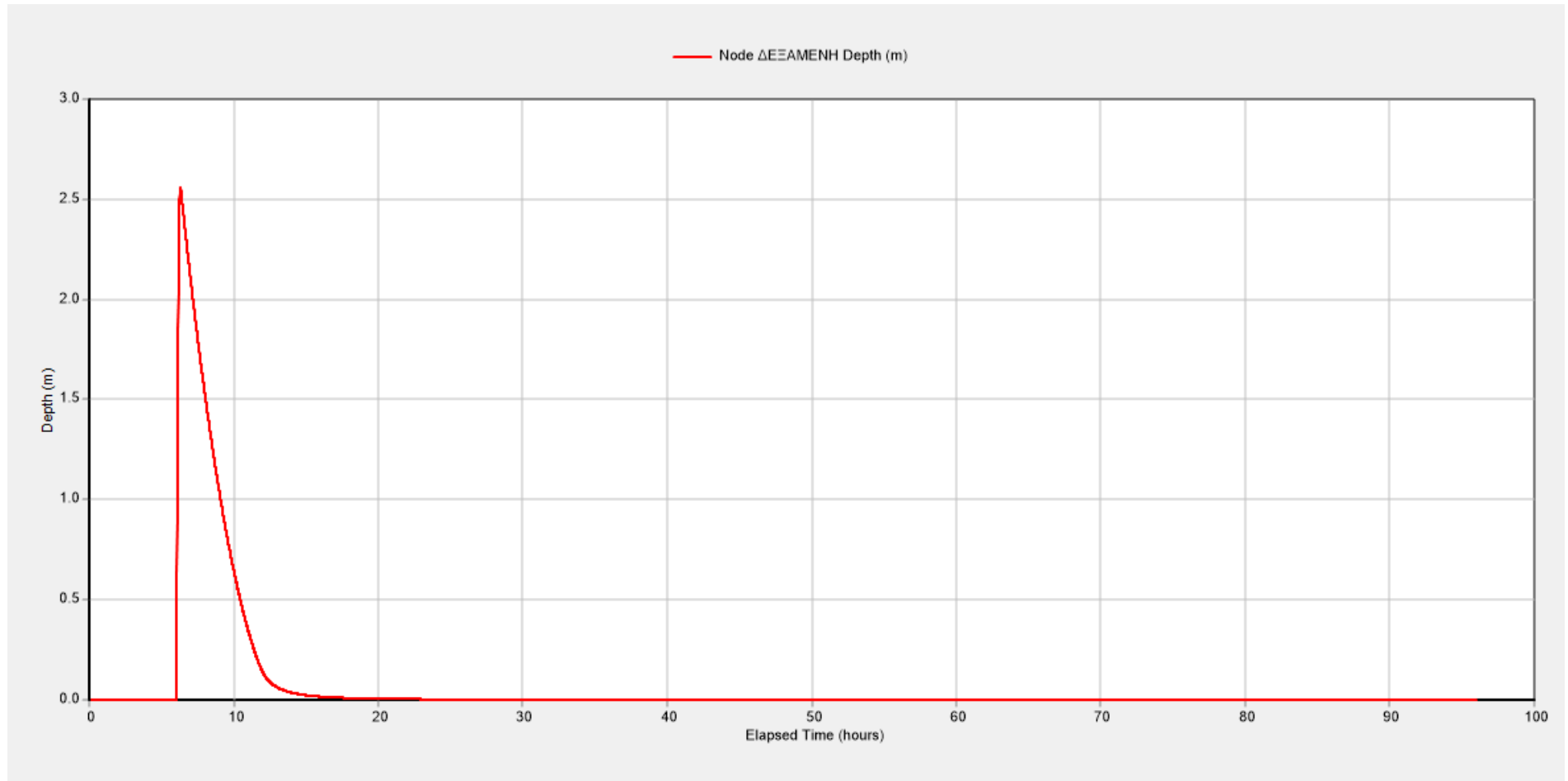
Εικόνα 4.180: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 2 h και T=10 έτη



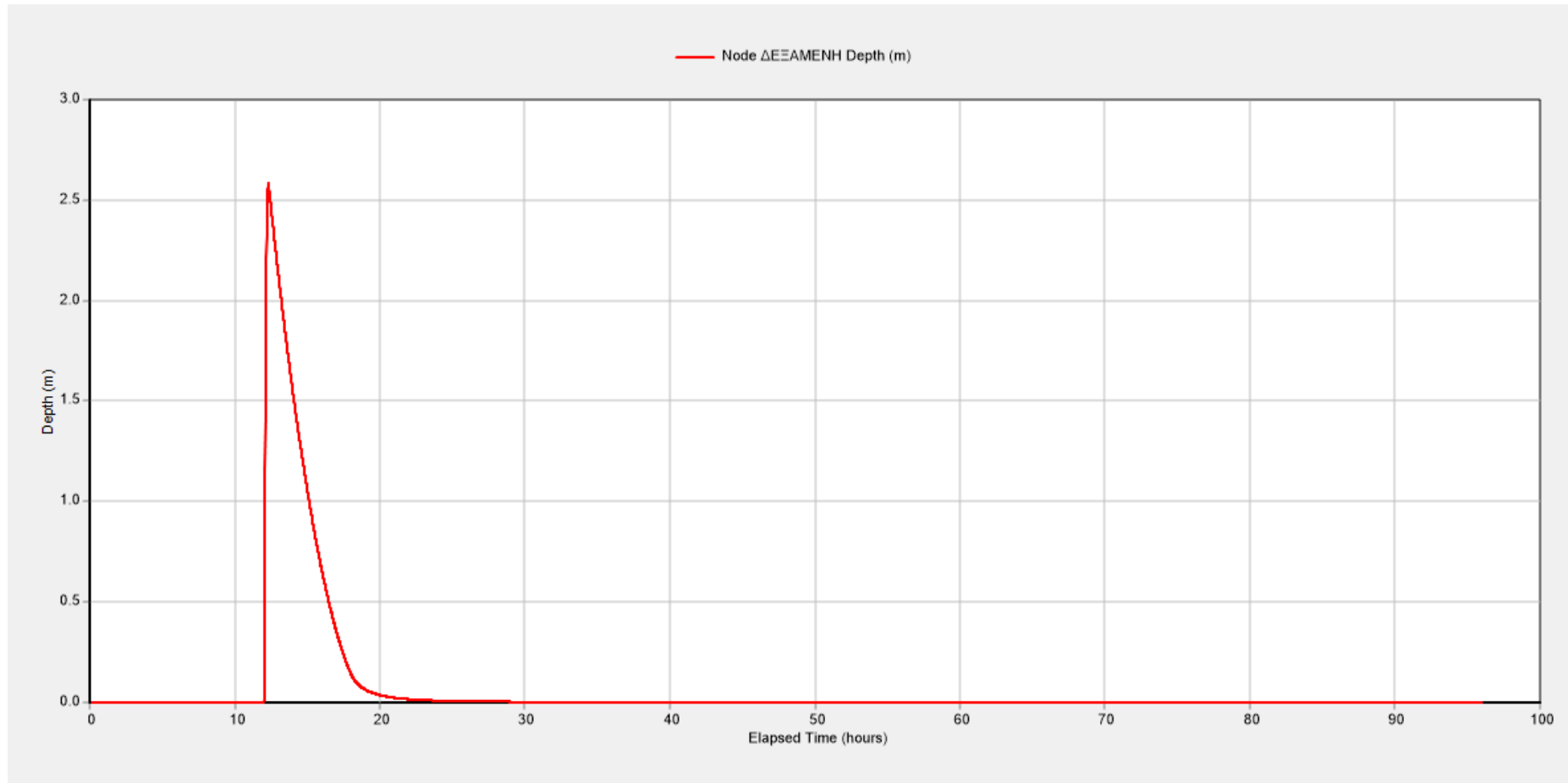
Εικόνα 4.181: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 3 h και T=10 έτη



Εικόνα 4.182: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 6 h και T=10 έτη

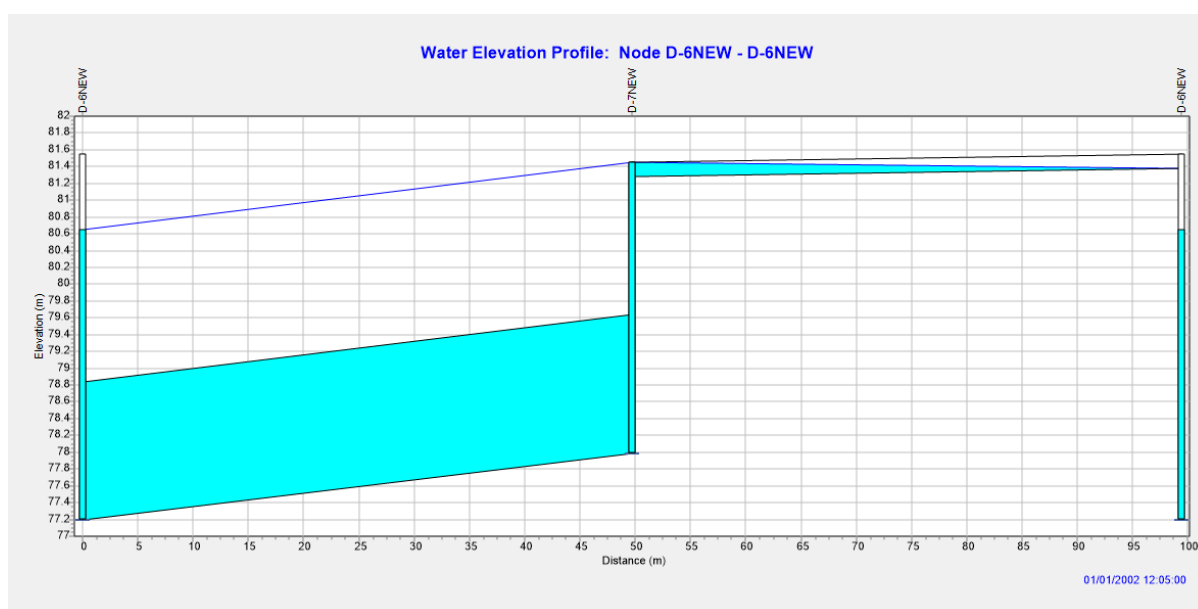


Εικόνα 4.183: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 12 h και T=10 έτη



Εικόνα 4.184: Βάθος νερού στη δεξαμενή για βροχόπτωση διάρκειας 24 h και T=10 έτη

Βέβαια η κατασκευή της δεξαμενής δεν αποτρέπει την πλήρωση των αγωγών. Μετά την κατασκευή της δεξαμενής ο λόγος πλήρωσης σε αρκετούς αγωγούς είναι ίσος με την μονάδα και επιπλέον, ροή παρατηρείται στο επιφανειακό δίκτυο της περιοχής. Ενδεικτικά παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.185 το προφίλ του υπονόμου (αριστερά) και του επιφανειακού αγωγού (δεξιά), ο οποίος συνδέει τα φρεάτια D-7NEW και D-6NEW, κατά τη χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμής στην έξοδο του δικτύου, για βροχόπτωση διάρκειας 24 h και T=10 έτη, μετά την κατασκευή της δεξαμενής. Το φρεάτιο D-7NEW πλημμυρίζει, όπως και πριν την κατασκευή της δεξαμενής και επιπλέον παρατηρείται επιφανειακή ροή.



Εικόνα 4.185: Προφίλ υπόγειου παντοροϊκού αγωγού (αριστερά) και επιφανειακού αγωγού (δεξιά) κατά την χρονική στιγμή εμφάνισης της παροχής αιχμή στην έξοδο του δικτύου, για βροχόπτωση διάρκειας 24 h και T=10 έτη

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας επιχειρήθηκε η μοντελοποίηση, προσομοίωση, ανάλυση καθώς και η πρόταση τρόπων βελτίωσης του παντοροϊκού αποχετευτικού συστήματος, Ζώνη Δ (Κάτω Πατήσια, Κυψέλη), της περιοχής των Αθηνών με το λογισμικό SWMM. Επιπλέον το δίκτυο επιλύθηκε και με την Ορθολογική Μέθοδο, με την οποία και έχει σχεδιαστεί.

Τα λογισμικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- ❖ Το λογισμικό SWMM της EPA.
- ❖ Το λογισμικό Excel της Microsoft.
- ❖ Το λογισμικό ArcGIS της ESRI.
- ❖ Το λογισμικό InfoSWMM, που αποτελεί επέκταση του λογισμικού ArcGIS.

Τα κύρια συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την επίλυση του δικτύου με την Ορθολογική Μέθοδο είναι:

1. Αν και οι Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74) ορίζουν ως περίοδο επαναφοράς τα 10 έτη, το δίκτυο έχει διαστασιολογηθεί με περίοδο επαναφοράς 5 ετών.
2. Ορισμένοι αγωγοί του δικτύου είναι υποδιαστασιολογημένοι, ενώ άλλοι είναι υπερδιαστασιολογημένοι.
3. Ο χρόνος ροής μέχρι τα φρεάτια εισόδου, θεωρείται αυθαίρετα 10 λεπτά σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές, κάτι το οποίο δεν ισχύει στην πραγματικότητα.

Η Ορθολογική Μέθοδος λοιπόν είναι κατάλληλη για την εκτίμηση μόνο της μέγιστης παροχής, η οποία αναμένεται να πραγματοποιηθεί κάτω από πολύ συγκεκριμένες συνθήκες και όχι για την παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης της παροχής. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η ανάλυση και προσομοίωση του δικτύου με ένα δυναμικό μοντέλο, το λογισμικό SWMM. Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα, τα οποία είναι:

- ❖ Απεικόνιση του συνόλου των υδρολογικών και υδραυλικών μεγεθών.

- ❖ Ευκολία στην αναπαράσταση των υδραυλικών και υδρολογικών μεγεθών.
- ❖ Υψηλή ταχύτητα εκτέλεσης των υπολογισμών.
- ❖ Δυνατότητα επικοινωνίας με το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών ArcGIS της Esri μέσω του λογισμικού InfoSWMM.
- ❖ Δυνατότητα μεταφοράς των αποτελεσμάτων σε λογιστικά φύλλα τύπου Excel.

Πριν την προσομοίωση του παντοροϊκού δικτύου με το λογισμικό SWMM πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας ορισμένων παραμέτρων του δικτύου. Οι παράμετροι οι οποίες εξετάστηκαν είναι: το αδιαπέρατο τμήμα της κάθε υπολεκάνης, ο συντελεστής Manning του αδιαπέρατου τμήματος και του διαπερατού τμήματος της κάθε υπολεκάνης, η επιφανειακή συγκράτηση του αδιαπέρατου τμήματος και του διαπερατού τμήματος, το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση, ο συντελεστής CN της μεθόδου SCS, η παράμετρος Routing time, ο συντελεστής Manning των αγωγών του συστήματος, το πλάτος και τέλος η κλίση της κάθε υπολεκάνης του υποσυστήματος. Από την ανάλυση ευαισθησίας διαπιστώθηκε πως το μοντέλο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις παραμέτρους:

- ❖ Routing Time
- ❖ Συντελεστής Manning αγωγών
- ❖ Πλάτος υπολεκανών
- ❖ Κλίση υπολεκανών

Σύμφωνα με την προσομοίωση του παντοροϊκού συστήματος, με το λογισμικό SWMM, διαπιστώθηκε ότι για περίοδο επαναφοράς 5 ετών, το αποχετευτικό δίκτυο είναι ικανό να διoδεύσει όλη την ποσότητα νερού που απορρέει. Αντίθετα για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, παρατηρούνται φαινόμενα πλημμυρισμού φρεατίων, πλήρωσης των υπόγειων αγωγών, εμφάνισης ροής στο επιφανειακό δίκτυο και πλήρωσης των επιφανειακών αγωγών με αποτέλεσμα το ύψος νερού να ξεπερνάει το ύψος του κρασπέδου. Αυτό συμβαίνει καθώς τα φρεάτια του δικτύου αδυνατούν να συλλέξουν επιτυχώς παροχές μεγαλύτερες της πενταετίας, γεγονός το οποίο εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για την περιοχή.

Για την αποφυγή πλημμυρικών φαινομένων και την εναρμόνιση με τις ισχύουσες Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές εξετάστηκαν τρεις διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης:

- ❖ Αύξηση διαμέτρου αγωγών.
- ❖ Δημιουργία δεξαμενών, παράλληλα στο δίκτυο για αποθήκευση της παροχής και στη συνέχεια αποστράγγιση στο δίκτυο μέσω οπών.
- ❖ Δημιουργία μιας δεξαμενής, στην έξοδο του δικτύου, με στόχο την αποθήκευση του όγκου ο οποίος θα υπερχειλίζει και θα κατέληγε στον Κηφισό ποταμό.

Τα κυριότερα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την εξέταση των παραπάνω εναλλακτικών είναι:

- ❖ Η διατομή του κεντρικού συλλεκτήρα της Ζώνης προτείνεται να μετατραπεί σε ορθογωνική με ύψος 2.4 m (ίδιο με το αρχικό) και πλάτος 3 m έτσι ώστε ο παντοροϊκός συλλεκτήρας να είναι διαστασιολογημένος σύμφωνα με τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές.
- ❖ Για τους υπόλοιπους αγωγούς του δικτύου η αύξηση δεν είναι απαραίτητο να είναι τόσο μεγάλη, ενώ ορισμένοι προτείνεται να παραμείνουν ως έχουν.
- ❖ Σε περίπτωση, που η διάμετρος/ύψος των αγωγών παραμείνει ως έχει, προτείνεται η κατασκευή 29 δεξαμενών αποθήκευσης, σε διάφορα σημεία του δικτύου με στόχο την επιτυχή διόδευση φαινομένων περιόδου επαναφοράς 10 ετών.
- ❖ Η έκταση και ο όγκος των παραπάνω δεξαμενών ποικίλει ανάλογα με την ποσότητα του νερού η οποία είναι απαραίτητο να αποχετευτεί σε αυτήν.
- ❖ Στην περίπτωση κατασκευής μιας και μόνο δεξαμενής στην έξοδο, δεν αποτρέπονται τα πλημμυρικά φαινόμενα στο ανάντη κομμάτι του δικτύου. Αντίθετα η εναλλακτική αυτή αποτρέπει την υπερχειλίση στην έξοδο του συστήματος της Ζώνης (Δ), αποθηκεύοντας τον όγκο απορροής ο οποίος θα υπερχειλίζε. Η συγκεκριμένη εναλλακτική, αν και υπάρχει κενό οικόπεδο κοντά στην έξοδο του συστήματος, είναι αρκετά δύσκολο να εφαρμοστεί καθώς η δεξαμενή η οποία απαιτείται είναι αρκετά μεγάλη και συνεπώς δύσκολο να κατασκευαστεί.
- ❖ Τελικά, η κατασκευή 29 δεξαμενών αποθήκευσης, κατά μήκος του δικτύου, για αποθήκευση της πλεονάζουσας παροχής κρίνεται πιο δύσκολο να κατασκευαστεί λόγω του μεγάλου αριθμού των απαιτούμενων δεξαμενών. Βέβαια θα ήταν δυνατή η κατασκευή της δεξαμενής στην έξοδο του δικτύου, καθώς και ορισμένων δεξαμενών στους κόμβους στους οποίους παρουσιάζονται πλημμυρικά φαινόμενα.

5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Οι διατάξεις του Π.Δ. 696/74 καθορίζουν επακριβώς τα επιμέρους αντικείμενα των μελετών, του όρους και τις μεθοδολογίες εκπόνησής τους. Ορισμένα θέματα βέβαια δεν καθορίζονται επακριβώς κάτι το οποίο είναι λογικό καθώς η οδηγία είναι αρκετά παλιά. Το πλέον σημαντικό όμως είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη της την πρόοδο η οποία έχει συντελεστεί στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, στα Υδρολογικά και Υδραυλικά μοντέλα καθώς και στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Όπως είναι λογικό δεν προβλέπεται η χρήση μοντέλων προσομοίωσης των αποχετευτικών δικτύων έτσι ώστε να εξετάζεται η λειτουργία και η δια-

χείριση των δικτύων τόσο κάτω από φυσιολογικές συνθήκες όσο και κάτω από ακραίες. Ένα βήμα προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση θα ήταν καίριο και θα συνέβαλε σημαντικά στην μελέτη, κατασκευή και διαχείριση των δικτύων.

Ειδικότερα ως προς τη μελέτη του παντορροϊκού αποχετευτικού δικτύου της πόλης των Αθηνών, ένα κομμάτι του οποίου μελετήθηκε στην παρούσα εργασία, θα μπορούσαν να διατυπωθούν ορισμένες προτάσεις προς την κατεύθυνση της βελτίωσης-εξέλιξής του. Συγκεκριμένα:

- ❖ Μοντελοποίηση και ανάλυση του συνόλου των ζωνών του παντορροϊκού δικτύου καθώς και του συνόλου του αποχετευτικού δικτύου ομβρίων των Αθηνών.
- ❖ Πραγματοποίηση μετρήσεων βροχής απορροής έτσι ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί άμεση σύγκριση μεταξύ των υπολογισμένων και των μετρημένων μεγεθών. Η ύπαρξη μετρήσεων μπορεί να οδηγήσει στη βαθμονόμηση του μοντέλου και στη ρύθμιση των παραμέτρων αυτού.
Η βαθμονόμηση-επαλήθευση δεν πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία καθώς δεν υπήρχαν μετρήσεις για το δίκτυο.
- ❖ Εφαρμογή της μεθοδολογίας HYDROPLAN στις ζώνες του παντορροϊκού αποχετευτικού δικτύου.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία στοχεύει στην πρόληψη αστοχιών μέσω του καθορισμού των απαραίτητων ενεργειών. Οι ενέργειες ιεραρχούνται με βάση την αστοχία την οποία πρόκειται να προλάβουν και συνοδεύονται από το κόστος εφαρμογής τους. Ως αποτέλεσμα, ο διαχειριστής του δικτύου είναι σε θέση να γνωρίζει το συνολικό κόστος των προληπτικών έργων οπότε και να μπορεί να πραγματοποιήσει τον προγραμματισμό των απαιτούμενων ενεργειών με βάση τα κονδύλια τα οποία έχει στη διάθεσή του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Β. Α. Τσιχριντζής (1999). *Οικολογική Μηχανική και Τεχνολογία Τόμος Ι: Διαχείριση Απορροής, Ρύπων και Φερτών*. Εργαστήριο Οικολογικής Μηχανικής και Τεχνολογίας, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνική Σχολή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη.
- Βαφειάδης Μ. (2005). *Διοδεύσεις, Διδακτικές Σημειώσεις, ΤΥΤΠ – ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη*.
- Γιαννόπουλος Σ., Παπαθανασίου Κ., Μυριούνης Χ. (2015). *Προσομοίωση δικτύου ομβρίων με το λογισμικό SWMM v.5 – Εφαρμογή στη Δ.Ε Συκεών Νομού Θεσσαλονίκης*, Πρακτικά 3^{ου} Κοινού Συνεδρίου ΕΥΕ – ΕΕΔΥΠ – ΕΥΣ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 10-12 Δεκεμβρίου, Αθήνα, σελ. 57-70.
- Γιοβάνη Μ. Ε. (2013). *Εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην αστική λεκάνη της Ραφήνας*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Αθήνα.
- Ε.Τ.ΜΕ – Αντωνίου Ι. και ΣΥΝ/ΤΕΣ Ε.Ε. (1987). *Οριστική μελέτη βελτιώσεως των υφιστάμενων υπερχειλιστών του κεντρικού παντοροϊκού συστήματος και των έργων εκτροπής παροχής ξηράς περιόδου των φυσικών ρεμάτων στον Κ.Α.Α (κόφτρες), 1^ο Μέρος Εισαγωγική Έκθεση*, Εταιρία Υδρεύσεως και Αποχετεύσεως Πρωτευούσης (Ε.ΥΔ.Α.Π.) Αθήνα, Δεκέμβριος.
- Εταιρία Υδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτευούσης (ΕΥΔΑΠ) (2013). *Ο κύκλος του νερού στην Αττική γη*.
- Καλαντζοπούλου Μ., Σαμαρίνης Π., Χατζηκωνσταντίνου Ε. (2011). *Πρόγραμμα Στρατηγικών Αναπλάσεων σε πυκνοδομημένες περιοχές κατοικίας / μικτών χρήσεων. Η περίπτωση της περιοχής από την πλατεία Βάθης έως τα Άνω και Κάτω Πατήσια: Μία «κατά προτε-*

- ραιότητα περιοχή ανάπλασης / αναβάθμισης», Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος Αθήνας.
- Κουμπάρης Σ.Γ. *Ιστορία έργων ύδρευσης αποχέτευσης περιοχής πρωτεύουσας*, Αρχείο ΕΥ-ΔΑΠ Α.Ε.
- Κουτσογιάννης Δ. (2011). *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης*, Έκδοση 4, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Λάζου Παναγιώτα. (2012). *Εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές λεκάνες απορροής: Η περίπτωση των λεκανών Νέου Ψυχικού – Χαλανδρίου*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Αθήνα.
- Μιμίκου Μ.Α. (2006). *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*, 3^η Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Μιμίκου Μ.Α. και Μπαλτάς Ε.Α (2012). *Τεχνική Υδρολογία*, 5^η Έκδοση, Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Μπαλτάς Ε.Α (2013). *Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία*, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Μπαριάμης Γ. Ε. (2013). *Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS και εφαρμογή στη λεκάνη του ρέματος Ραφήνας*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Διεπιστημονικό Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Αθήνα.
- Π.Δ 696/74 (1974). *Περί αμοιβών μηχανικών δια σύνταξιν μελετών, επίβλεψιν, παραλαβήν κ.λπ. Συγκοινωνιακών, Υδραυλικών και Κτιριακών Έργων, ως και Τοπογραφικών, Κτηματογραφικών και Χαρτογραφικών Εργασιών και των σχετικών τεχνικών προδιαγραφών μελετών.*
- Παπαθανασίου Κ. (2009). *Προσομοίωση δικτύου ομβρίων με το λογισμικό SWMM5 - Εφαρμογή στο Δήμο Συκεών Ν. Θεσσαλονίκης*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα: Γεωπληροφορική, Κατεύθυνση: Υδατικοί Πόροι.
- Πογιατζή Ε., Σπανού Ν., Κοντογιάννη Β., Παπαδόπουλος Κ., Κωνσταντοπούλου Γ., Στεφούλη Μ., ΙΓΜΕΜ (2013). *Περιγραφή Γεωκινδύνων για την Αθήνα*, Seventh Framework Programme Cooperation: Space Call 3, FP7-SPACE-2010-1, Version 1, Αύγουστος.

- Τσακίρης Γ. (2010). *Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός και Διαχείριση Τόμος I: Αστικά Υδραυλικά Έργα*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσακίρης Γ. και Βαγγέλης Χ. (2009). *Υδατικό Πόροι: II. Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσακίρης Γ.(1995). *Υδατικοί Πόροι: I. Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσεκούρα Χ. (2010). *Εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές λεκάνες απορροής: Η περίπτωση των λεκανών Ψυχικού – Φιλοθέης*, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Αθήνα.

Ξερόγλωσση Βιβλιογραφία

- American Society of Civil Engineers (ASCE) (1992). *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems*, American Society of Civil Engineers, New York, NY.
- Arthur R. S. (2010). *Stormwater Runoff Simulation Using SWMM: Evaluating Stormwater Management on the University of Virginia Grounds*, Bachelor thesis, School of Engineering and Applied Science, University of Virginia.
- ASCE (1970). *Design and Construction of Sanitary Sewers*, Manual of Practice No. 37.
- Barco J., Wong K. M., Stenstrom M. K. ASCE (2008). *Automatic calibration of the U.S. EPA SWMM model for a large urban catchment*, ASCE 0733-9429, 134:4 (466).
- Beling A. F., Garcia I. J., Paiva M. C. D. E., Bastos A. P. G., Paiva B.D. J. (2011). *Analysis of the SWMM Model Parameters for Runoff Evaluation in Periurban Basins from Southern Brazil*, Proceedings of the 12nd international conference on urban drainage, Porto Alegre/Brazil 2011, 11-16 September.
- Buahin C.A., Horsburgh J. S. (2015). *Evaluating the simulation times and mass balance errors of component-based models: An application of OpenMI 2.0 to an urban stormwater system*, Environmental Modelling and Software, Volume 72, pp. 92-109.
- Burger G., Sitzenfrei R., Kleidorfer M., Rauch W. (2014). *Parallel flow routing in SWMM 5*, Environmental Modelling & Software, Volume 53, pp. 27-34.
- Cambez M. J., Pinho J., David L.M. (2008). *Using SWMM in the continuous modelling of Stormwater hydraulics and quality*, Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.

- Camorani G., Castellarin A., Brath A. (2005). *Effects of land-use changes on the hydrologic response of reclamation systems*, Physics and Chemistry of the Earth, Volume 30, pp. 561-574.
- Carbone M., Mancuso A., Piro P. (2014). *Porous pavement quality modelling*, Procedia Engineering, Volume 89, pp. 758-76.
- Cho K., Ball J. E. (2002). *Parameter estimation for urban runoff modeling*, Urban Water, Volume 4, pp. 31-41.
- DiGiano F.A., Adrian D.D., Mangarella P.A. (1977). *Short Course Proceedings – Applications of Stormwater Management Models*. EPA-600/2-77-065 U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- Dingman S., L. (1994). *Physical Hydrology*, Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
- Doyle, H.W. and Miller J.E. (1980). *Calibration of a Distributed Routing-Runoff Model at Four Urban Sites Near Miami, Florida*, Water Resources Investigations 80-1, U.S. Geological Survey, NSTL Station, MS, February.
- E. Kuishling (1889). *The relation between rainfall and the discharge of sewers in populous districts*, Transactions ASCE, Volume 20, 1-56.
- El Sharif A., Hansen D. (2001). *Application of SWMM to the Flooding Problem in Truro, Nova Scotia*, Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques, 26:4, pp. 439-459.
- Elga S., Jan B., Okke B. (2015). *Hydrological modelling of urbanized catchments: A review and future directions*, Journal of Hydrology, Volume 529, pp. 62-81.
- Gaume E., Villeneuve J. P., Desborders M. (1998). *Uncertainty assessment and analysis of the calibrated parameter values of an urban storm water quality model*, Journal of Hydrology, Volume 210, pp. 38-50.
- Ghodsi S. H., Kerachian R., Estalaki S. M., Nikoo M. R., Zahmatkesh Z. (2016). *Developing a stochastic conflict resolution model for urban runoff quality management: Application of info-gap and bargaining theories*, Journal of Hydrology, Volume 533, pp. 200-212.
- Gironas J., Roesner A. L., Davis J. (2009). *Storm Water Management Model, Applications Manual*, EPA/600/R-09/000, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.

- Guay J.R. (1996). *Effects on increased urbanization from 1970's to 1990's on storm – runoff characteristics in Perris valley, California*, Water Resources Investigations, Report 95-4273, US Geological Survey, Sacramento, California.
- Guo C. Y. J. and Urbonas B. (2007). *Conversion of Natural Watershed to Kinematic Wave Cascading Plane*, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 14, No. 8, pp. 839-846.
- Houston E. B. (2006). *The Use of Stormwater Modeling for Design and Performance Evaluation of Best Management Practices at the Watershed Scale*, Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Civil and Environmental Engineering, Blacksburg.
- Hsu M. H., Chen S. H., Chang T. J. (2000). *Inundation simulation for urban drainage basin*
- Huber, W. C. and Dickinson, R.E., *Storm Water Management Model, Version 4: User's Manual*, EPA/600/3-88/001a, Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA, October 1992.
- Jacobson C.R. (2011). *Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review*. Journal of Environmental Management, 92(6), pp. 1438-1448.
- James W., Rossman L. A., James W. R. (2010). *User's Guide to SWMM5 13th Edition*, USA.
- Jang S., Cho M., Yoon J., Yoon Y., Kim S., Kim G., Kim L., Aksoy H. (2007). *Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment*. Desalination, 212(1), pp. 344-356.
- Krebs G., Kokkonen T., Valtanen M., Setala H., Koivusalo H. (2014). *Spatial resolution considerations for urban hydrological modeling*, Journal of Hydrology 512:482-497, May.
- Krebs G., Kokkonen, T., Valtanen M., Koivusalo H. and Setala H., (2013). *A high resolution application of a stormwater management model (SWMM) using genetic parameter optimization*, Urban Water Journal, 10 (6), pp. 1-17.
- Metcalf & Eddy, Inc., University of Florida, Water Resources Engineers, Inc. *Storm Water Management Model*, Volume I – Final Report, 11024DOC07/71, Water Quality Office, Environmental Protection Agency, Washington, DC, July 1971.
- Mitchell G. (2005). *Mapping hazard from urban non-point pollution: a screening model to support sustainable urban drainage planning*, Journal of Environmental Management 74, pp. 1-9.

- Ouyang W., Guo B., Hao F., Huang H., Li J., Gong Y. (2012). *Modeling urban storm rainfall runoff from diverse underlying surfaces and application for control design in Beijing*, Journal of Environmental Management, Volume 113, pp. 467-473.
- Palla A., Gnecco I. (2015). *Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale*, Journal of Hydrology, Volume 528, pp. 361-368.
- Pannel, D., J. (1997). *Sensitivity analysis of normative economic models: Theoretical framework and practical strategies*, Agricultural Economics, Volume 16, pp.139-152.
- Park S. Y., Lee K. W., Park I. H., Ha S. R. (2008). *Effect of the aggregation level of surface runoff fields and sewer network for a SWMM simulation*, Desalination, Volume 226, pp. 328-337.
- Peterson E. W., Wicks C. M. (2006). *Assessing the importance of conduit geometry and physical parameters in karst systems using the storm water management model (SWMM)*, Journal of Hydrology, Volume 329, pp. 294-305.
- Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. and B.P. Flannery (1992). *Numerical Recipes in C, The art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, New York, Second Edition.
- Rossman L. (2015). *Storm Water Management Model Reference Manual Volume I - Hydrology*, EPA/600/R-15/162, U.S Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- Rossman L. A., (2010). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0*, EPA/600/R-05/040, U.S Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.
- Salteli A., Ratto M., Andres T., Campolongo F., Cariboni J., Saisana M., Tarantola S. (2008). *Global sensitivity analysis*, The Primer, John Wiley and Sons.
- Selvalingam S., Liong S.Y., Manoharan P. C. (1987). *Use of RORB and SWMM models to an urban catchment in Singapore*, Adv. Water Resources, Volume 10, pp. 78-86.
- Sharifan R. A., Roshan A., Aflatoni M., Jahedi A., Zolghadr M. (2010). *Uncertainty and sensitivity analysis of SWMM model in computation of manhole water depth and subcatchment peak flood*, Procedia Social and Behavioral Sciences, Volume 2, pp. 7739-7740.
- Shen J., Zhang Q. (2014). *Parameter estimation method for SWMM under the condition of incomplete information based on GIS and RS*, EJGE, Volume 20, Bund. 14.
- Shinma T. A., Reis L. F. R. (2014). *Incorporating multi-event and multi-site data in the calibration of SWMM*, Procedia Engineering, Volume 70, pp. 75-84.

- Skotnicki M and Sowiński M (2009). *A Comparative Study of Approaches for Hydraulic Width Determination of Sub-Catchments in Urban Stormwater Model*, International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering Ohrid/Macedonia, 1-5 September 2009.
- Smith D, Li J., Banting D. (2005). *A PCSWMM/GIS-based water balance model for the Reesor Creek watershed*, Atmospheric Research Volume, 77, pp. 388-406.
- Sterren M., Rahman A., Ryan G. (2014). *Modeling of a lot scale rainwater tank system in XP-SWMM: A case study in Western Sydney, Australia*, Journal of Environmental Management, Volume 141, pp. 177-189.
- Talei A., Chua L. H. C., Quek C. (2010). *A novel application of a neuro-fuzzy computational technique in event-based rainfall-runoff modeling*, Expert Systems with Applications, Volume 37, pp. 7456-7468.
- Temprano J., Arango O., Cagiao J., Suarez J., Tejero I. (2006). *Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain*, Water SA, Volume 32 No.1, January.
- Tholin, A.L. and Keifer, C.J., (1960). *Hydrology of Urban Runoff, with discussions*, Transactions ASCE, Paper No. 3061, Vol. 125, 1960, pp. 1308-1355.
- Tikkanen H. (2013). *Hydrological modeling of a large urban catchment using a stormwater management model (SWMM)*, Master thesis, Aalto University, Transport and Environmental Engineering.
- Tromer J. T., Loper J. E., Hammett K. M., Bowman G. (1996). *Comparison of Estimated and Observed Stormwater Runoff for Fifteen Watersheds in West-central Florida, using Five Common Design Techniques*, Open-File Report 96-129, US Geological Survey, Tallahassee, Florida.
- Tsihrintzis V. A., Hamid R. (1998). *Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM*, Hydrological Processes, Volume 12, pp. 311-329.
- Tsihrintzis V. A., Hamid R., Fuentes H. R. (1995). *Calibration and verification of watershed quality model SWMM in sun-tropical watersheds*, Proceedings of the first International Conference on Water Resources Engineering, ASCE, San Antonio, Texas, August 14-18, pp. 373-378.
- Tsihrintzis V.A., Hamid R. (1997). *Modeling and management of urban Stormwater runoff quality: A review*, Water Resources Management, Volume 11, pp. 137-164

- Urban Drainage and Flood Control District (UDFCD) (2016). *Drainage Criteria Manual, Chapter 6 – Runoff*, Urban Drainage and Flood Control District, Denver, CO.
- Versini P. A., Ramier D., Berthier E., De Gouvello B. (2015). *Assessment of the hydrological impacts of green roof: From building scale to basin scale*, Journal of Hydrology, Volume 524, pp. 562-575.
- Walsh T. C., Pomeroy C. A., Burian S. J. (2014). *Hydrologic modeling analysis of a passive, residential rainwater harvesting program in an urbanized, semi-arid watershed*, Journal of Hydrology, Volume 508, pp. 240-253.
- Water Pollution Control Federation (WPCF). *Design and Construction of Sanitary Sewers Manual of Practice*, WPCF Manual of Practice No.9.
- Zaghloul N. (1983). *Sensitivity analysis of the SWMM Runoff-Transport parameters and the effects of catchment discretization*, Adv. Water Resources, Volume 6, December.
- Zaghloul N. A., Abu Kiefa M. A. (2001). *Neural network solution of inverse parameters used in the sensitivity-calibration analyses of the SWMM model simulations*, Advances in Engineering Software, Volume 32, pp. 587-595.
- Zarriello P.J. (2008). *A precipitation-runoff model for part of the Nimemile Creek watershed near Camillus, Onondaga County, New York*, Water Resources Investigations, Report 98-4201, US Geological Survey, Ithaca, New York.
- Zhu Z., Ober N., Morales V. M., Quijano J. C., Landry B. J. (2016). *Integrated urban hydrologic and hydraulic modelling in Chicago, Illinois*, Environmental Modelling & Software, Volume 77, pp. 63-70.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



Εικόνα Π-Α.1: Πινακίδα με στοιχεία παντοροϊκού δικτύου



Εικόνα Π-Α.1 (συνέχεια): Πινακίδα με στοιχεία παντοροϊκού δικτύου



Εικόνα Π-Α.1 (συνέχεια): Πινακίδα με στοιχεία παντοροϊκού δικτύου



Εικόνα Π-Α.1 (συνέχεια): Πινακίδα με στοιχεία παντοροϊκού δικτύου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Πίνακας Π-Β.1: Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_1		
	DROMOS_1	-4.70	0.16
	DROMOS_1	-3.50	0.15
	DROMOS_1	-3.50	0.00
	DROMOS_1	0.00	0.07
	DROMOS_1	3.50	0.00
	DROMOS_1	3.50	0.15
	DROMOS_1	4.70	0.16
	DROMOS_1		
	DROMOS_1		
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_2		
	DROMOS_2	-4.73	0.16
	DROMOS_2	-3.53	0.15
	DROMOS_2	-3.53	0.00
	DROMOS_2	0.00	0.07
	DROMOS_2	3.53	0.00
	DROMOS_2	3.53	0.15
	DROMOS_2	4.73	0.16
	DROMOS_2		
	DROMOS_2		
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_3		
	DROMOS_3	-4.63	0.16
	DROMOS_3	-3.43	0.15
	DROMOS_3	-3.43	0.00
	DROMOS_3	0.00	0.07
	DROMOS_3	3.43	0.00
	DROMOS_3	3.43	0.15
	DROMOS_3	4.63	0.16
	DROMOS_3	4.60	
	DROMOS_3		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_4		
	DROMOS_4	-4.60	0.16
	DROMOS_4	-3.40	0.15
	DROMOS_4	-3.40	0.00
	DROMOS_4	0.00	0.07
	DROMOS_4	3.40	0.00
	DROMOS_4	3.40	0.15
	DROMOS_4	4.60	0.16
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_5		
	DROMOS_5	-4.68	0.16
	DROMOS_5	-3.48	0.15
	DROMOS_5	-3.48	0.00
	DROMOS_5	0.00	0.07
	DROMOS_5	3.48	0.00
	DROMOS_5	3.48	0.15
	DROMOS_5	4.68	0.16
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_6	-4.74	0.16
	DROMOS_6	-3.54	0.15
	DROMOS_6	-3.54	0.00
	DROMOS_6	0.00	0.07
	DROMOS_6	3.54	0.00
	DROMOS_6	3.54	0.15
	DROMOS_6	4.74	0.16
	DROMOS_6	4.70	
DROMOS_6			
DROMOS_6			

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_7		
	DROMOS_7	-4.54	0.16
	DROMOS_7	-3.34	0.15
	DROMOS_7	-3.34	0.00
	DROMOS_7	0.00	0.07
	DROMOS_7	3.34	0.00
	DROMOS_7	3.34	0.15
	DROMOS_7	4.54	0.16
	DROMOS_7		
	DROMOS_7		
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_8	-4.60	
	DROMOS_8	-4.65	0.16
	DROMOS_8	-3.45	0.15
	DROMOS_8	-3.45	0.00
	DROMOS_8	0.00	0.07
	DROMOS_8	3.45	0.00
	DROMOS_8	3.45	0.15
	DROMOS_8	4.65	0.16
	DROMOS_8		
	DROMOS_8		
ΟΔΟΣ ΠΙΝΔΟΥ	DROMOS_9		
	DROMOS_9	-5.16	0.17
	DROMOS_9	-3.66	0.15
	DROMOS_9	-3.66	0.00
	DROMOS_9	0.00	0.07
	DROMOS_9	3.66	0.00
	DROMOS_9	3.66	0.15
	DROMOS_9	5.16	0.17
	DROMOS_9		
	DROMOS_9		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΠΙΝΔΟΥ	DROMOS_10		
	DROMOS_10	-4.93	0.17
	DROMOS_10	-3.43	0.15
	DROMOS_10	-3.43	0.00
	DROMOS_10	0.00	0.07
	DROMOS_10	3.43	0.00
	DROMOS_10	3.43	0.15
	DROMOS_10	4.93	0.17
	DROMOS_10		
	DROMOS_10		
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_11	-4.56	0.16
	DROMOS_11	-3.36	0.15
	DROMOS_11	-3.36	0.00
	DROMOS_11	0.00	0.07
	DROMOS_11	3.36	0.00
	DROMOS_11	3.36	0.15
	DROMOS_11	4.56	0.16
	DROMOS_11		
	DROMOS_11		
	DROMOS_11		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_12		
	DROMOS_12	-4.37	0.16
	DROMOS_12	-3.17	0.15
	DROMOS_12	-3.17	0.00
	DROMOS_12	0.00	0.06
	DROMOS_12	3.17	0.00
	DROMOS_12	3.17	0.15
	DROMOS_12	4.37	0.16
	DROMOS_12		
	DROMOS_12		
	DROMOS_13		
	DROMOS_13		
	DROMOS_13		
	DROMOS_13		
	DROMOS_13		
	DROMOS_13		
	DROMOS_13		
	DROMOS_13		
	DROMOS_13		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_14		
	DROMOS_14	-4.48	0.16
	DROMOS_14	-3.28	0.15
	DROMOS_14	-3.28	0.00
	DROMOS_14	0.00	0.07
	DROMOS_14	3.28	0.00
	DROMOS_14	3.28	0.15
	DROMOS_14	4.48	0.16
	DROMOS_14		
	DROMOS_14		
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_15		
	DROMOS_15		
	DROMOS_15	-4.68	0.16
	DROMOS_15	-3.48	0.15
	DROMOS_15	-3.48	0.00
	DROMOS_15	0.00	0.07
	DROMOS_15	3.48	0.00
	DROMOS_15	3.48	0.15
	DROMOS_15	4.68	0.16
DROMOS_15			
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_16		
	DROMOS_16	-4.31	0.16
	DROMOS_16	-3.11	0.15
	DROMOS_16	-3.11	0.00
	DROMOS_16	0.00	0.06
	DROMOS_16	3.11	0.00
	DROMOS_16	3.11	0.15
	DROMOS_16	4.31	0.16
	DROMOS_16		
DROMOS_16			

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_17		
	DROMOS_17	-4.63	0.16
	DROMOS_17	-3.43	0.15
	DROMOS_17	-3.43	0.00
	DROMOS_17	0.00	0.07
	DROMOS_17	3.43	0.00
	DROMOS_17	3.43	0.15
	DROMOS_17	4.63	0.16
	DROMOS_17		
	DROMOS_17		
	DROMOS_18		
	DROMOS_18		
	DROMOS_18		
	DROMOS_18		
	DROMOS_18		
	DROMOS_18		
	DROMOS_18		
	ΟΔΟΣ ΣΚΙΑΘΟΥ	DROMOS_19	
DROMOS_19		-4.52	0.16
DROMOS_19		-3.32	0.15
DROMOS_19		-3.32	0.00
DROMOS_19		0.00	0.07
DROMOS_19		3.32	0.00
DROMOS_19		3.32	0.15
DROMOS_19		4.52	0.16
DROMOS_19			

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΕΠΙΔΑΜΝΟΥ	DROMOS_20		
	DROMOS_20	-4.75	0.17
	DROMOS_20	-3.25	0.15
	DROMOS_20	-3.25	0.00
	DROMOS_20	0.00	0.07
	DROMOS_20	3.25	0.00
	DROMOS_20	3.25	0.15
	DROMOS_20	4.75	0.17
	DROMOS_20		
	DROMOS_20		
ΟΔΟΣ ΕΠΙΔΑΜΝΟΥ	DROMOS_21		
	DROMOS_21	-4.90	0.17
	DROMOS_21	-3.40	0.15
	DROMOS_21	-3.40	0.00
	DROMOS_21	0.00	0.07
	DROMOS_21	3.40	0.00
	DROMOS_21	3.40	0.15
	DROMOS_21	4.90	0.17
	DROMOS_21		
	DROMOS_21		
ΟΔΟΣ ΕΠΙΔΑΜΝΟΥ	DROMOS_22		
	DROMOS_22	-5.01	0.17
	DROMOS_22	-3.51	0.15
	DROMOS_22	-3.51	0.00
	DROMOS_22	0.00	0.07
	DROMOS_22	3.51	0.00
	DROMOS_22	3.51	0.15
	DROMOS_22	5.01	0.17
	DROMOS_22		
	DROMOS_22		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΠΑΤΗΣΙΩΝ	DROMOS_23		
	DROMOS_23	-10.52	0.19
	DROMOS_23	-7.02	0.15
	DROMOS_23	-7.02	0.00
	DROMOS_23	0.00	0.14
	DROMOS_23	7.02	0.00
	DROMOS_23	7.02	0.15
	DROMOS_23	10.52	0.19
	DROMOS_23		
	DROMOS_23		
	DROMOS_23		
	DROMOS_23		
	DROMOS_23		
	DROMOS_23		
	DROMOS_23		
	DROMOS_23		
	DROMOS_23		
	ΟΔΟΣ ΠΙΠΟΥΛΤΟΥ	DROMOS_24	
DROMOS_24		-5.50	0.17
DROMOS_24		-4.00	0.15
DROMOS_24		-4.00	0.00
DROMOS_24		0.00	0.08
DROMOS_24		4.00	0.00
DROMOS_24		4.00	0.15
DROMOS_24		5.50	0.17
DROMOS_24			
DROMOS_24			

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΠΑΤΗΣΙΩΝ	DROMOS_25		
	DROMOS_25	-10.31	0.19
	DROMOS_25	-6.81	0.15
	DROMOS_25	-6.81	0.00
	DROMOS_25	0.00	0.14
	DROMOS_25	6.81	0.00
	DROMOS_25	6.81	0.15
	DROMOS_25	10.31	0.19
	DROMOS_25		
	DROMOS_25		
	DROMOS_25		
	DROMOS_25		
	DROMOS_25		
	DROMOS_25		
	DROMOS_25		
	DROMOS_25		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΠΑΤΗΣΙΩΝ	DROMOS_26		
	DROMOS_26	-10.38	0.19
	DROMOS_26	-6.88	0.15
	DROMOS_26	-6.88	0.00
	DROMOS_26	0.00	0.14
	DROMOS_26	6.88	0.00
	DROMOS_26	6.88	0.15
	DROMOS_26	10.38	0.19
	DROMOS_26		
	DROMOS_26		
	DROMOS_26		
	DROMOS_26		
	DROMOS_26		
	DROMOS_26		
	DROMOS_26		
	DROMOS_26		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΚΥΘΝΟΥ	DROMOS_27		
	DROMOS_27	-5.81	0.17
	DROMOS_27	-3.81	0.15
	DROMOS_27	-3.81	0.00
	DROMOS_27	0.00	0.08
	DROMOS_27	3.81	0.00
	DROMOS_27	3.81	0.15
	DROMOS_27	5.81	0.17
	DROMOS_27	5.80	
	DROMOS_27		
ΟΔΟΣ ΣΙΦΝΟΥ	DROMOS_28	-7.00	2.17
	DROMOS_28	-6.96	0.17
	DROMOS_28	-5.46	0.15
	DROMOS_28	-5.46	0.00
	DROMOS_28	0.00	0.11
	DROMOS_28	5.46	0.00
	DROMOS_28	5.46	0.15
	DROMOS_28	6.96	0.17
	DROMOS_28	7.00	
DROMOS_28			
ΟΔΟΣ ΣΙΦΝΟΥ	DROMOS_29		
	DROMOS_29	-4.59	0.17
	DROMOS_29	-3.09	0.15
	DROMOS_29	-3.09	0.00
	DROMOS_29	0.00	0.06
	DROMOS_29	3.09	0.00
	DROMOS_29	3.09	0.15
	DROMOS_29	4.59	0.17
	DROMOS_29		
DROMOS_29			

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΣΙΦΝΟΥ	DROMOS_30		
	DROMOS_30	-5.09	0.17
	DROMOS_30	-3.59	0.15
	DROMOS_30	-3.59	0.00
	DROMOS_30	0.00	0.07
	DROMOS_30	3.59	0.00
	DROMOS_30	3.59	0.15
	DROMOS_30	5.09	0.17
	DROMOS_30		
	DROMOS_30		
ΟΔΟΣ ΣΙΦΝΟΥ	DROMOS_31		
	DROMOS_31	-5.33	0.17
	DROMOS_31	-3.83	0.15
	DROMOS_31	-3.83	0.00
	DROMOS_31	0.00	0.08
	DROMOS_31	3.83	0.00
	DROMOS_31	3.83	0.15
	DROMOS_31	5.33	0.17
	DROMOS_31		
DROMOS_31			
ΟΔΟΣ ΣΙΦΝΟΥ	DROMOS_33		
	DROMOS_32	-4.90	0.17
	DROMOS_32	-3.40	0.15
	DROMOS_32	-3.40	0.00
	DROMOS_32	0.00	0.07
	DROMOS_32	3.40	0.00
	DROMOS_32	3.40	0.15
	DROMOS_32	4.90	0.17
	DROMOS_32		
	DROMOS_32		
	DROMOS_32		
	DROMOS_32		
	DROMOS_32		
	DROMOS_32		
	DROMOS_32		
DROMOS_32			

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΣΙΦΝΟΥ	DROMOS_33		
	DROMOS_33	-5.25	0.17
	DROMOS_33	-3.75	0.15
	DROMOS_33	-3.75	0.00
	DROMOS_33	0.00	0.07
	DROMOS_33	3.75	0.00
	DROMOS_33	3.75	0.15
	DROMOS_33	5.25	0.17
	DROMOS_33		
	DROMOS_33		
	DROMOS_33		
ΟΔΟΣ ΕΠΙΔΑΜΝΟΥ	DROMOS_34		
	DROMOS_34	-5.03	0.17
	DROMOS_34	-3.53	0.15
	DROMOS_34	-3.53	0.00
	DROMOS_34	0.00	0.07
	DROMOS_34	3.53	0.00
	DROMOS_34	3.53	0.15
	DROMOS_34	5.03	0.17
	DROMOS_34		
DROMOS_34			
ΟΔΟΣ ΣΕΡΙΦΟΥ	DROMOS_38	-5.60	
	DROMOS_38	-5.59	0.17
	DROMOS_38	-3.39	0.15
	DROMOS_38	-3.39	0.00
	DROMOS_38	0.00	0.07
	DROMOS_38	3.39	0.00
	DROMOS_38	3.39	0.15
	DROMOS_38	5.59	0.17
	DROMOS_38	5.60	
	DROMOS_38		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΣΕΡΙΦΟΥ	DROMOS_40		
	DROMOS_40	-5.94	0.17
	DROMOS_40	-3.74	0.15
	DROMOS_40	-3.74	0.00
	DROMOS_40	0.00	0.07
	DROMOS_40	3.74	0.00
	DROMOS_40	3.74	0.15
	DROMOS_40	5.94	0.17
	DROMOS_40		
ΟΔΟΣ ΣΕΡΙΦΟΥ	DROMOS_41		
	DROMOS_41	-5.71	0.17
	DROMOS_41	-3.51	0.15
	DROMOS_41	-3.51	0.00
	DROMOS_41	0.00	0.07
	DROMOS_41	3.51	0.00
	DROMOS_41	3.51	0.15
	DROMOS_41	5.71	0.17
	DROMOS_41		
ΟΔΟΣ ΝΙΚΟΠΟΛΕΩΣ	DROMOS_42		
	DROMOS_42	-5.01	0.17
	DROMOS_42	-2.81	0.15
	DROMOS_42	-2.81	0.00
	DROMOS_42	0.00	0.06
	DROMOS_42	2.81	0.00
	DROMOS_42	2.81	0.15
	DROMOS_42	5.01	0.17
	DROMOS_42		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΚΑΛΟΜΟΙΡΗ	DROMOS_43	-3.80	
	DROMOS_43	-3.82	0.16
	DROMOS_43	-2.62	0.15
	DROMOS_43	-2.62	0.00
	DROMOS_43	0.00	0.05
	DROMOS_43	2.62	0.00
	DROMOS_43	2.62	0.15
	DROMOS_43	3.82	0.16
	DROMOS_43	3.80	
	DROMOS_43		
ΟΔΟΣ ΚΑΛΛΙΦΟΡΝΑ	DROMOS_45	-5.40	
	DROMOS_45	-5.36	0.17
	DROMOS_45	-3.36	0.15
	DROMOS_45	-3.36	0.00
	DROMOS_45	0.00	0.07
	DROMOS_45	3.36	0.00
	DROMOS_45	3.36	0.15
	DROMOS_45	5.36	0.17
	DROMOS_45	5.40	
	DROMOS_45		
	DROMOS_45		
	DROMOS_45		
	DROMOS_45		
	DROMOS_45		
DROMOS_45			
ΟΔΟΣ ΚΑΛΛΙΦΟΡΝΑ	DROMOS_46		
	DROMOS_46	-5.30	0.17
	DROMOS_46	-3.30	0.15
	DROMOS_46	-3.30	0.00
	DROMOS_46	0.00	0.07
	DROMOS_46	3.30	0.00
	DROMOS_46	3.30	0.15
	DROMOS_46	5.30	0.17
DROMOS_46			

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΚΑΛΛΙΦΟΡΝΑ	DROMOS_47		
	DROMOS_47	-5.56	0.17
	DROMOS_47	-3.56	0.15
	DROMOS_47	-3.56	0.00
	DROMOS_47	0.00	0.07
	DROMOS_47	3.56	0.00
	DROMOS_47	3.56	0.15
	DROMOS_47	5.56	0.17
	DROMOS_47		
	DROMOS_47		
ΟΔΟΣ ΚΑΛΛΙΦΟΡΝΑ	DROMOS_48		
	DROMOS_48	-5.48	0.17
	DROMOS_48	-3.48	0.15
	DROMOS_48	-3.48	0.00
	DROMOS_48	0.00	0.07
	DROMOS_48	3.48	0.00
	DROMOS_48	3.48	0.15
	DROMOS_48	5.48	0.17
	DROMOS_48		
	DROMOS_48		
ΟΔΟΣ ΚΑΛΛΙΦΟΡΝΑ	DROMOS_49		
	DROMOS_49	-9.14	0.17
	DROMOS_49	-7.14	0.15
	DROMOS_49	-7.14	0.00
	DROMOS_49	0.00	0.14
	DROMOS_49	7.14	0.00
	DROMOS_49	7.14	0.15
	DROMOS_49	9.14	0.17
	DROMOS_49		
	DROMOS_49		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΠΑΤΗΣΙΩΝ	DROMOS_51		
	DROMOS_51	-9.44	0.19
	DROMOS_51	-5.94	0.15
	DROMOS_51	-5.94	0.00
	DROMOS_51	0.00	0.12
	DROMOS_51	5.94	0.00
	DROMOS_51	5.94	0.15
	DROMOS_51	9.44	0.19
	DROMOS_51		
	DROMOS_51		
	DROMOS_51		
	DROMOS_51		
	DROMOS_51		
	DROMOS_51		
	DROMOS_51		
	DROMOS_51		
	DROMOS_51		
	ΟΔΟΣ ΛΕΣΒΟΥ	DROMOS_52	-4.90
DROMOS_52		-4.92	0.17
DROMOS_52		-3.42	0.15
DROMOS_52		-3.42	0.00
DROMOS_52		0.00	0.07
DROMOS_52		3.42	0.00
DROMOS_52		3.42	0.15
DROMOS_52		4.92	0.17
DROMOS_52		4.90	
DROMOS_52			

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΠΑΤΗΣΙΩΝ	DROMOS_55		
	DROMOS_55	-9.55	0.19
	DROMOS_55	-6.05	0.15
	DROMOS_55	-6.05	0.00
	DROMOS_55	0.00	0.12
	DROMOS_55	6.05	0.00
	DROMOS_55	6.05	0.15
	DROMOS_55	9.55	0.19
	DROMOS_55		
	DROMOS_55		
	DROMOS_55		
	DROMOS_55		
	DROMOS_55		
	DROMOS_55		
	DROMOS_55		
	DROMOS_55		
	DROMOS_55		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΝΑΞΟΥ	DROMOS_63		
	DROMOS_63	-5.55	0.17
	DROMOS_63	-3.55	0.15
	DROMOS_63	-3.55	0.00
	DROMOS_63	0.00	0.07
	DROMOS_63	3.55	0.00
	DROMOS_63	3.55	0.15
	DROMOS_63	5.55	0.17
	DROMOS_63		
	DROMOS_63		
ΟΔΟΣ ΑΣΤΥΠΑΛΛΙΑΣ	DROMOS_64&65	-5.50	
	DROMOS_64&65	-5.50	0.17
	DROMOS_64&65	-3.50	0.15
	DROMOS_64&65	-3.50	0.00
	DROMOS_64&65	0.00	0.07
	DROMOS_64&65	3.50	0.00
	DROMOS_64&65	3.50	0.15
	DROMOS_64&65	5.50	0.17
	DROMOS_64&65		
	DROMOS_64&65		
ΟΔΟΣ Ι.ΔΡΟΣΟΠΟΥΛΟΥ	DROMOS_66		
	DROMOS_66	-4.70	0.16
	DROMOS_66	-3.50	0.15
	DROMOS_66	-3.50	0.00
	DROMOS_66	0.00	0.07
	DROMOS_66	3.50	0.00
	DROMOS_66	3.50	0.15
	DROMOS_66	4.70	0.16
	DROMOS_66		
	DROMOS_66		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΑΝΑΦΗΣ	DROMOS_67		
	DROMOS_67	-4.92	0.17
	DROMOS_67	-3.42	0.15
	DROMOS_67	-3.42	0.00
	DROMOS_67	0.00	0.07
	DROMOS_67	3.42	0.00
	DROMOS_67	3.42	0.15
	DROMOS_67	4.92	0.17
	DROMOS_67		
	DROMOS_67		
ΟΔΟΣ ΠΑΤΗΣΙΩΝ	DROMOS_68		
	DROMOS_68	-11.36	0.19
	DROMOS_68	-7.86	0.15
	DROMOS_68	-7.86	0.00
	DROMOS_68	0.00	0.16
	DROMOS_68	7.86	0.00
	DROMOS_68	7.86	0.15
	DROMOS_68	11.36	0.19
	DROMOS_68		
	DROMOS_68		
ΟΔΟΣ ΑΜΟΡΓΟΥ	DROMOS_69&70		
	DROMOS_69&70	-4.83	0.17
	DROMOS_69&70	-3.33	0.15
	DROMOS_69&70	-3.33	0.00
	DROMOS_69&70	0.00	0.07
	DROMOS_69&70	3.33	0.00
	DROMOS_69&70	3.33	0.15
	DROMOS_69&70	4.83	0.17
	DROMOS_69&70		
	DROMOS_69&70		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΠΑΤΗΣΙΩΝ	DROMOS_71		
	DROMOS_71	-9.65	0.19
	DROMOS_71	-6.15	0.15
	DROMOS_71	-6.15	0.00
	DROMOS_71	0.00	0.12
	DROMOS_71	6.15	0.00
	DROMOS_71	6.15	0.15
	DROMOS_71	9.65	0.19
	DROMOS_71		
	DROMOS_71		
	DROMOS_71		
	DROMOS_71		
	DROMOS_71		
	DROMOS_71		
	DROMOS_71		
	DROMOS_71		
	DROMOS_71		
	ΟΔΟΣ ΚΝΩΣΟΥ	DROMOS_76_EWS_79	
DROMOS_76_EWS_79		-4.87	0.17
DROMOS_76_EWS_79		-3.37	0.15
DROMOS_76_EWS_79		-3.37	0.00
DROMOS_76_EWS_79		0.00	0.07
DROMOS_76_EWS_79		3.37	0.00
DROMOS_76_EWS_79		3.37	0.15
DROMOS_76_EWS_79		4.87	0.17
DROMOS_76_EWS_79			
DROMOS_76_EWS_79			

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΟΥΙΛΙΑΜ ΚΙΝΓΚ	DROMOS_72_EWS_75		
	DROMOS_72_EWS_75	-5.01	0.17
	DROMOS_72_EWS_75	-3.51	0.15
	DROMOS_72_EWS_75	-3.51	0.00
	DROMOS_72_EWS_75	0.00	0.07
	DROMOS_72_EWS_75	3.51	0.00
	DROMOS_72_EWS_75	3.51	0.15
	DROMOS_72_EWS_75	5.01	0.17
	DROMOS_72_EWS_75		
	DROMOS_72_EWS_75		
	DROMOS_72_EWS_75		
	DROMOS_72_EWS_75		
	DROMOS_72_EWS_75		
	DROMOS_72_EWS_75		
	DROMOS_72_EWS_75		
	DROMOS_72_EWS_75		
	DROMOS_72_EWS_75		
	ΟΔΟΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	DROMOS_82	
DROMOS_82		-5.40	0.17
DROMOS_82		-3.20	0.15
DROMOS_82		-3.20	0.00
DROMOS_82		0.00	0.06
DROMOS_82		3.20	0.00
DROMOS_82		3.20	0.15
DROMOS_82		5.40	0.17
DROMOS_82			
DROMOS_82			

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΜΙΧΑΗΛ ΝΟΜΙΚΟΥ	DROMOS_83&84		
	DROMOS_83&84	-3.82	0.17
	DROMOS_83&84	-2.32	0.15
	DROMOS_83&84	-2.32	0.00
	DROMOS_83&84	0.00	0.05
	DROMOS_83&84	2.32	0.00
	DROMOS_83&84	2.32	0.15
	DROMOS_83&84	3.82	0.17
	DROMOS_83&84		
	DROMOS_83&84		
ΟΔΟΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	DROMOS_89		
	DROMOS_89	-5.03	0.17
	DROMOS_89	-3.53	0.15
	DROMOS_89	-3.53	0.00
	DROMOS_89	0.00	0.07
	DROMOS_89	3.53	0.00
	DROMOS_89	3.53	0.15
	DROMOS_89	5.03	0.17
	DROMOS_89		
	DROMOS_89		
ΟΔΟΣ ΝΙΚΟΠΟΛΕΩΣ	DROMOS_90	-5.73	0.17
	DROMOS_90	-3.53	0.15
	DROMOS_90	-3.53	0.00
	DROMOS_90	0.00	0.07
	DROMOS_90	3.53	0.00
	DROMOS_90	3.53	0.15
	DROMOS_90	5.73	0.17
	DROMOS_90		
	DROMOS_90		

Πίνακας Π-Β.1 (συνέχεια): Διατομές επιφανειακών αγωγών

ΟΝΟΜΑ ΟΔΟΥ	NAME	ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΘΕΣΗ
1	2	3	4
ΟΔΟΣ ΝΙΚΟΠΟΛΕΩΣ	DROMOS_91		
	DROMOS_91	-5.74	0.17
	DROMOS_91	-3.54	0.15
	DROMOS_91	-3.54	0.00
	DROMOS_91	0.00	0.07
	DROMOS_91	3.54	0.00
	DROMOS_91	3.54	0.15
	DROMOS_91	5.74	0.17
	DROMOS_91		
	DROMOS_91		
ΟΔΟΣ ΑΧΑΡΝΩΝ	DROMOS_92		
	DROMOS_92	-11.69	0.19
	DROMOS_92	-8.19	0.15
	DROMOS_92	-8.19	0.00
	DROMOS_92	0.00	0.16
	DROMOS_92	8.19	0.00
	DROMOS_92	8.19	0.15
	DROMOS_92	11.69	0.19
	DROMOS_92	11.70	2.19
	DROMOS_92		
ΟΔΟΣ ΣΕΡΙΦΟΥ	DROMOS_93		
	DROMOS_93		
	DROMOS_93	-2.95	0.15
	DROMOS_93	-2.95	0.00
	DROMOS_93	0.00	0.06
	DROMOS_93	2.95	0.00
	DROMOS_93	2.95	0.15
	DROMOS_93		
	DROMOS_93		
	DROMOS_93		

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Πίνακας Π-Γ.1: Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού

NODE	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	SHAPE_Area	Έκταση (E)	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (P _v)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΜΕ-ΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (q)	REAcking FACTOR (F _i)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΥΠΟ-ΛΕΚΑΝΗΣ (Q _d ^{max})	μ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ Α-ΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _d ^{max})	ΑΥΞΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (P)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _h ^{max})
	(κάτοικοι/ha)	(m ²)	(ha)	(κάτοικοι)	(L/ημέρα*κάτοικο)		(L/s)		(L/s)		(L/s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D-51	170.43	6373.83	0.64	108.63	200	2	0.50	0.80	0.40	5.44	2.19
D-50	170.43	4389.63	0.44	74.81	200	2	0.35	0.80	0.28	6.25	1.73
D-49	170.43	4084.29	0.41	69.61	200	2	0.32	0.80	0.26	6.42	1.66
D-48	170.43	4414.21	0.44	75.23	200	2	0.35	0.80	0.28	6.24	1.74
D-47	170.43	33555.48	3.36	571.87	200	2	2.65	0.80	2.12	3.22	6.82
D-45	170.43	27112.85	2.71	462.07	200	2	2.14	0.80	1.71	3.41	5.84
D-46	170.43	5106.32	0.51	87.02	200	2	0.40	0.80	0.32	5.90	1.90
D-44	170.43	6959.15	0.70	118.60	200	2	0.55	0.80	0.44	5.27	2.32
D-45A	170.43	931.17	0.09	15.87	200	2	0.07	0.80	0.06	11.81	0.69
D-43	170.43	33921.38	3.39	578.11	200	2	2.68	0.80	2.14	3.21	6.87
D-26-3	170.43	7668.55	0.77	130.69	200	2	0.61	0.80	0.48	5.09	2.47
D-26-1	170.43	4878.85	0.49	83.15	200	2	0.38	0.80	0.31	6.01	1.85
D-26-2	170.43	2634.54	0.26	44.90	200	2	0.21	0.80	0.17	7.63	1.27
D-42	170.43	19723.72	1.97	336.14	200	2	1.56	0.80	1.24	3.74	4.66
D-40	170.43	6731.52	0.67	114.72	200	2	0.53	0.80	0.42	5.34	2.27

Πίνακας Π-Γ.1 (συνέχεια): Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού

NODE	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	Έκταση	Έκταση	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (P _v)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (q)	PEACKING FACTOR (F ₁)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ (Q _d ^{max})	μ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _d ^{max})	ΑΥΞΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (P)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _h ^{max})
	(κάτοικοι/ha)	(m ²)	(ha)	(κάτοικοι)	(L/ημέρα*κάτοικο)		(L/s)		(L/s)		(L/s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D-39	170.43	39070.41	3.91	665.86	200	2	3.08	0.80	2.47	3.09	7.63
D-38	170.43	19977.62	2.00	340.47	200	2	1.58	0.80	1.26	3.73	4.70
D-37A	170.43	1562.97	0.16	26.64	200	2	0.12	0.80	0.10	9.46	0.93
D-37	170.43	5919.51	0.59	100.88	200	2	0.47	0.80	0.37	5.59	2.09
D-36	170.43	21969.78	2.20	374.42	200	2	1.73	0.80	1.39	3.62	5.02
D-21-1	170.43	28321.69	2.83	482.67	200	2	2.23	0.80	1.79	3.37	6.02
D-35	170.43	6079.81	0.61	103.62	200	2	0.48	0.80	0.38	5.54	2.12
D-34	170.43	3804.57	0.38	64.84	200	2	0.30	0.80	0.24	6.60	1.59
D-20-1	170.43	2998.05	0.30	51.09	200	2	0.24	0.80	0.19	7.25	1.37
D-2	170.43	28493.26	2.85	485.60	200	2	2.25	0.80	1.80	3.36	6.05
ΚΑΑ-66_EΚΧ_D	170.43	11234.96	1.12	191.47	200	2	0.89	0.80	0.71	4.47	3.17
D-20	170.43	3270.65	0.33	55.74	200	2	0.26	0.80	0.21	7.00	1.45
D-21	170.43	6332.76	0.63	107.93	200	2	0.50	0.80	0.40	5.45	2.18
D-22	170.43	4804.95	0.48	81.89	200	2	0.38	0.80	0.30	6.04	1.83
D-23	170.43	6463.31	0.65	110.15	200	2	0.51	0.80	0.41	5.41	2.21

Πίνακας Π-Γ.1 (συνέχεια): Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού

NODE	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	SHAPE_Area	Έκταση (E)	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (P _v)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (q)	REAcking FACTOR (F _i)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ (Q _d ^{max})	μ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _d ^{max})	ΑΥΞΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (P)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _h ^{max})
	(κάτοικοι/ha)	(m ²)	(ha)	(κάτοικοι)	(L/ημέρα*κάτοικο)		(L/s)		(L/s)		(L/s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D-24	170.43	4798.90	0.48	81.79	200	2	0.38	0.80	0.30	6.04	1.83
D-24A	170.43	1575.04	0.16	26.84	200	2	0.12	0.80	0.10	9.43	0.94
D-26	170.43	5960.91	0.60	101.59	200	2	0.47	0.80	0.38	5.58	2.10
D-19	170.43	5931.93	0.59	101.10	200	2	0.47	0.80	0.37	5.59	2.09
D-1	170.43	10933.52	1.09	186.33	200	2	0.86	0.80	0.69	4.51	3.11
D-2PALIO	170.43	9970.03	1.00	169.91	200	2	0.79	0.80	0.63	4.65	2.93
D-3	170.43	6079.83	0.61	103.62	200	2	0.48	0.80	0.38	5.54	2.12
D-5	170.43	8409.80	0.84	143.32	200	2	0.66	0.80	0.53	4.93	2.62
D-6	170.43	942.04	0.09	16.05	200	2	0.07	0.80	0.06	11.75	0.70
D-3NEW	170.43	4522.21	0.45	77.07	200	2	0.36	0.80	0.29	6.18	1.76
D-5NEW	170.43	16116.20	1.61	274.66	200	2	1.27	0.80	1.02	3.98	4.05
D-4NEW	170.43	7258.56	0.73	123.70	200	2	0.57	0.80	0.46	5.19	2.38
D-5-1	170.43	12396.51	1.24	211.27	200	2	0.98	0.80	0.78	4.33	3.39
(6-3)	170.43	7520.31	0.75	128.17	200	2	0.59	0.80	0.47	5.13	2.43
(6-5)	170.43	3080.72	0.31	52.50	200	2	0.24	0.80	0.19	7.17	1.39

Πίνακας Π-Γ.1 (συνέχεια): Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού

NODE	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	SHAPE_Area	Έκταση (Ε)	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (P _v)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΜΕ-ΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (q)	PEACKING FACTOR (F _i)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ (Q _d ^{max})	μ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _d ^{max})	ΑΥΞΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (P)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _h ^{max})
	(κάτοικοι/ha)	(m ²)	(ha)	(κάτοικοι)	(L/ημέρα*κάτοικο)		(L/s)		(L/s)		(L/s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(6-6)	170.43	2186.07	0.22	37.26	200	2	0.17	0.80	0.14	8.23	1.14
D-9	170.43	4055.08	0.41	69.11	200	2	0.32	0.80	0.26	6.44	1.65
D-6NEW	170.43	12868.35	1.29	219.31	200	2	1.02	0.80	0.81	4.27	3.47
D-7NEW	170.43	5586.04	0.56	95.20	200	2	0.44	0.80	0.35	5.71	2.01
D-7-6	170.43	16113.81	1.61	274.62	200	2	1.27	0.80	1.02	3.98	4.05
D-7-3	170.43	22838.31	2.28	389.22	200	2	1.80	0.80	1.44	3.58	5.16
D-7-2	170.43	8236.24	0.82	140.37	200	2	0.65	0.80	0.52	4.97	2.58
D-7-1A	170.43	2710.99	0.27	46.20	200	2	0.21	0.80	0.17	7.54	1.29
D-7-1	170.43	3717.28	0.37	63.35	200	2	0.29	0.80	0.23	6.66	1.56
D-8	170.43	1484.23	0.15	25.30	200	2	0.12	0.80	0.09	9.67	0.91
D-12-55	170.43	3445.95	0.34	58.73	200	2	0.27	0.80	0.22	6.86	1.49
D-12-54	170.43	5208.01	0.52	88.76	200	2	0.41	0.80	0.33	5.86	1.93
D-12-53A	170.43	1320.19	0.13	22.50	200	2	0.10	0.80	0.08	10.16	0.85
D-12-53	170.43	3945.36	0.39	67.24	200	2	0.31	0.80	0.25	6.51	1.62
d-12-52	170.43	7497.92	0.75	127.78	200	2	0.59	0.80	0.47	5.13	2.43

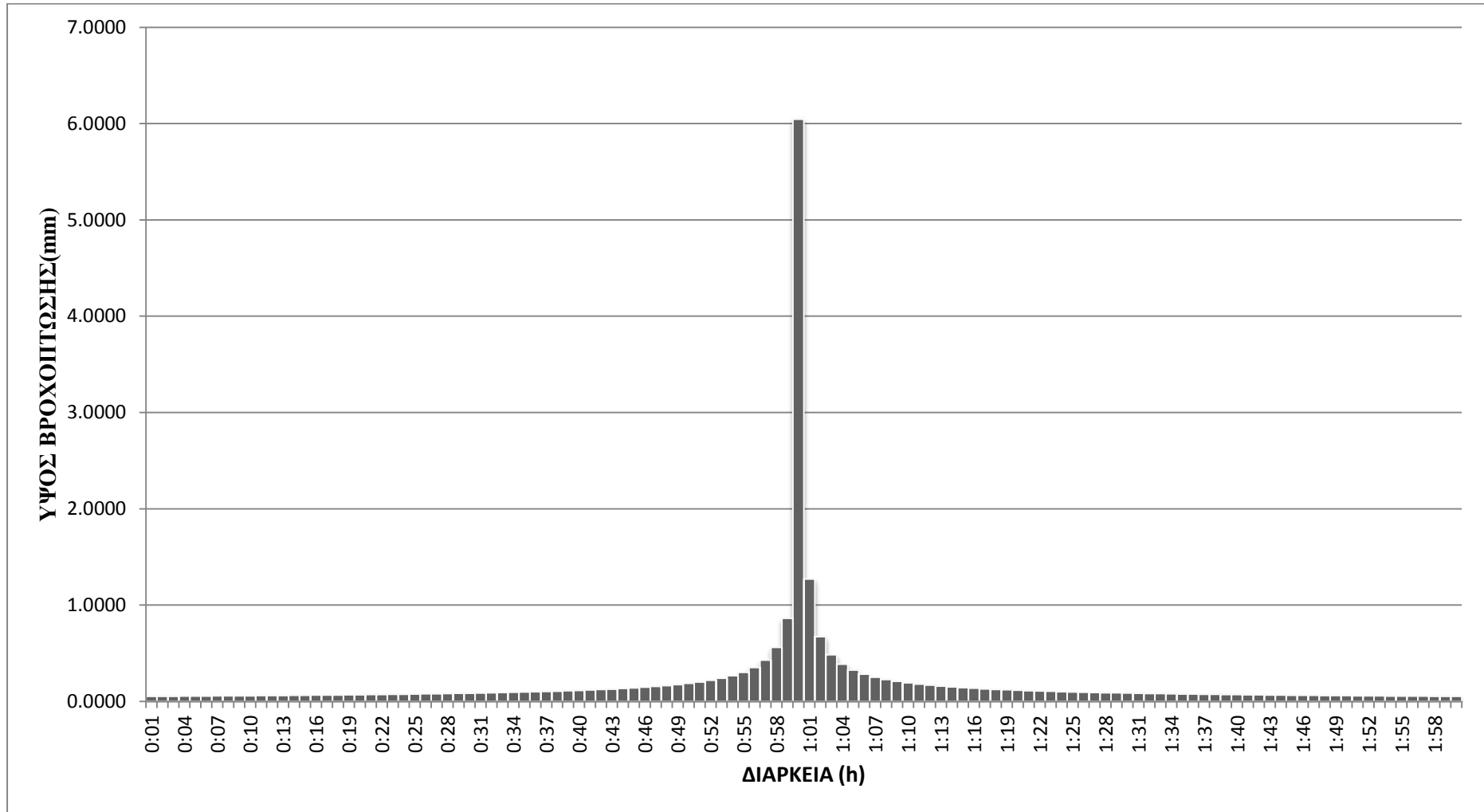
Πίνακας Π-Γ.1 (συνέχεια): Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού

NODE	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	SHAPE_Area	Έκταση (Ε)	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (P _v)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (q)	PEACKING FACTOR (F _i)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ (Q _d ^{max})	μ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _d ^{max})	ΑΥΞΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (P)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _h ^{max})
	(κάτοικοι/ha)	(m ²)	(ha)	(κάτοικοι)	(L/ημέρα*κάτοικο)		(L/s)		(L/s)		(L/s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D-12-51	170.43	3713.84	0.37	63.29	200	2	0.29	0.80	0.23	6.66	1.56
D-12	170.43	5929.39	0.59	101.05	200	2	0.47	0.80	0.37	5.59	2.09
D-10	170.43	2128.94	0.21	36.28	200	2	0.17	0.80	0.13	8.32	1.12
(6-7)	170.43	2040.02	0.20	34.77	200	2	0.16	0.80	0.13	8.47	1.09
D-12-1	170.43	7069.98	0.71	120.49	200	2	0.56	0.80	0.45	5.24	2.34
D-12-2B	170.43	2094.63	0.21	35.70	200	2	0.17	0.80	0.13	8.38	1.11
D-12-1B	170.43	23715.31	2.37	404.17	200	2	1.87	0.80	1.50	3.54	5.30
D-12-2	170.43	24327.80	2.43	414.61	200	2	1.92	0.80	1.54	3.52	5.40
D-13	170.43	4015.69	0.40	68.44	200	2	0.32	0.80	0.25	6.47	1.64
D-13-1	170.43	8029.64	0.80	136.85	200	2	0.63	0.80	0.51	5.01	2.54
D-15	170.43	4417.17	0.44	75.28	200	2	0.35	0.80	0.28	6.23	1.74
D-13-1B	170.43	176.48	0.02	3.01	200	2	0.01	0.80	0.01	25.19	0.28
D-13-2	170.43	47911.45	4.79	816.53	200	2	3.78	0.80	3.02	2.94	8.88
D-14	170.43	2733.02	0.27	46.58	200	2	0.22	0.80	0.17	7.52	1.30
D-12-52D	170.43	9827.95	0.98	167.49	200	2	0.78	0.80	0.62	4.67	2.90

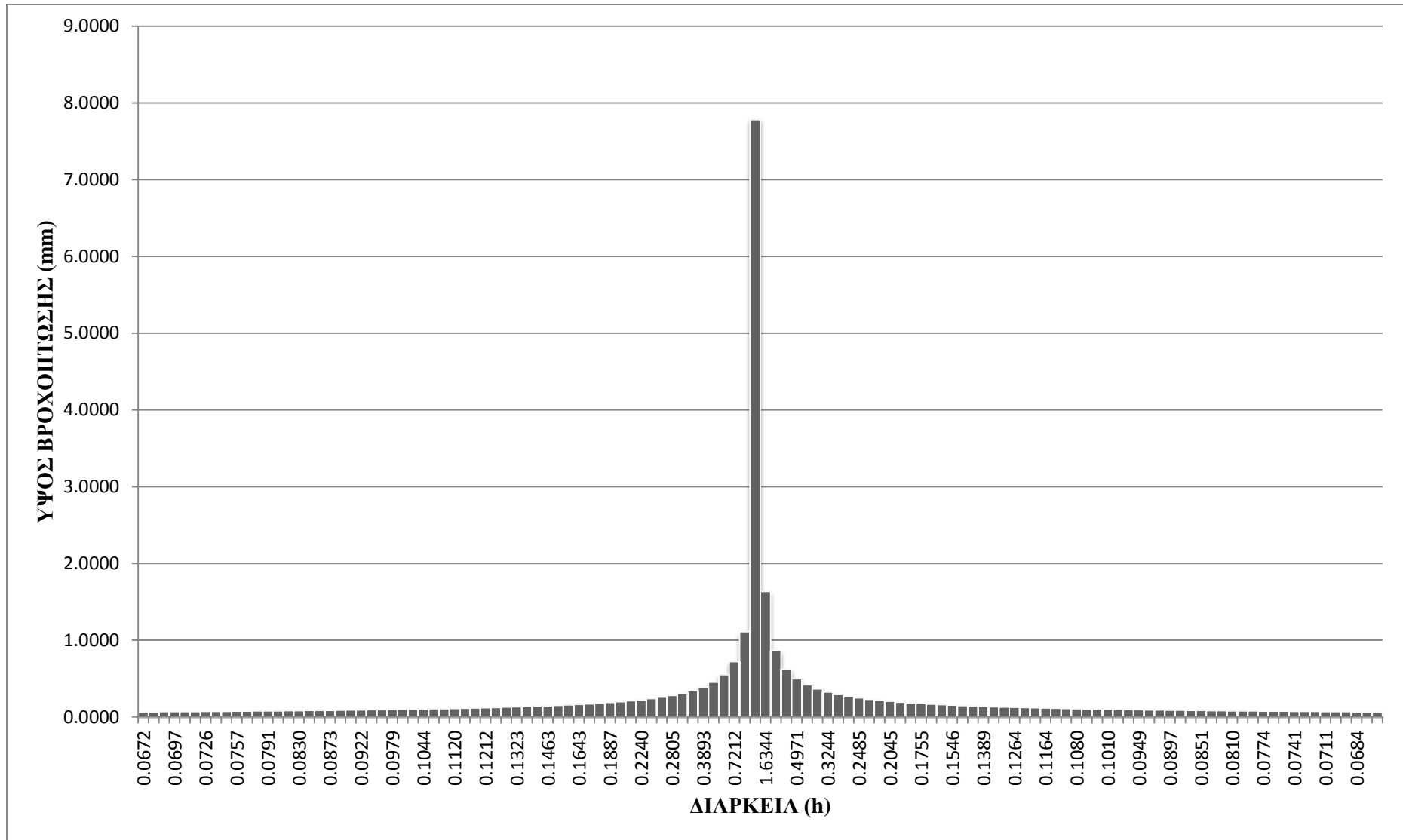
Πίνακας Π-Γ.1 (συνέχεια): Υπολογισμός απορροών ξηρού καιρού

NODE	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	SHAPE_Area	Έκταση (Ε)	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (P _v)	ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΜΕ-ΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (q)	PEACKING FACTOR (F _i)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ (Q _d ^{max})	μ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _d ^{max})	ΑΥΞΗΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ (P)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΡΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ (QA _h ^{max})
	(κάτοικοι/ha)	(m ²)	(ha)	(κάτοικοι)	(L/ημέρα*κάτοικο)		(L/s)		(L/s)		(L/s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D-15-1	170.43	3016.92	0.30	51.42	200	2	0.24	0.80	0.19	7.23	1.38
D-12-53C	170.43	13108.01	1.31	223.39	200	2	1.03	0.80	0.83	4.25	3.52
F-3	170.43	4631.62	0.46	78.93	200	2	0.37	0.80	0.29	6.12	1.79
D-12-56	170.43	976.42	0.10	16.64	200	2	0.08	0.80	0.06	11.57	0.71
F-4	170.43	4516.15	0.45	76.97	200	2	0.36	0.80	0.29	6.18	1.76
F-5	170.43	2844.06	0.28	48.47	200	2	0.22	0.80	0.18	7.40	1.33
F-6	170.43	8693.19	0.87	148.15	200	2	0.69	0.80	0.55	4.87	2.67
D-27	170.43	32217.86	3.22	549.07	200	2	2.54	0.80	2.03	3.25	6.62
D-7	170.43	66817.38	6.68	1138.74	200	2	5.27	0.80	4.22	2.72	11.46
D-45B	170.43	18665.26	1.87	318.10	200	2	1.47	0.80	1.18	3.80	4.48
D-52	170.43	17565.58	1.76	299.36	200	2	1.39	0.80	1.11	3.87	4.30
D-52	147.40	3640.53	0.36	53.66	200	2	0.25	0.80	0.20	7.11	1.41

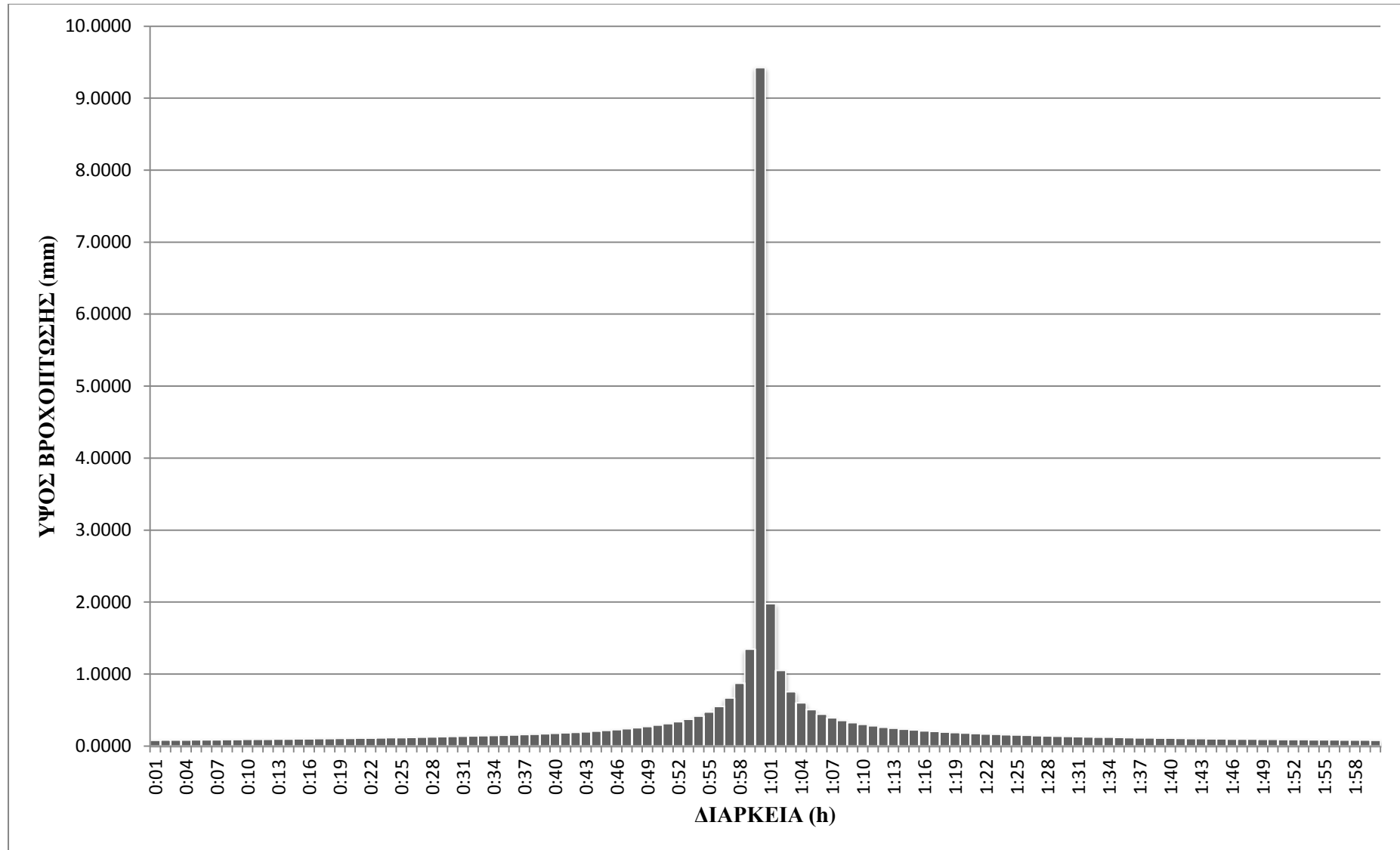
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ



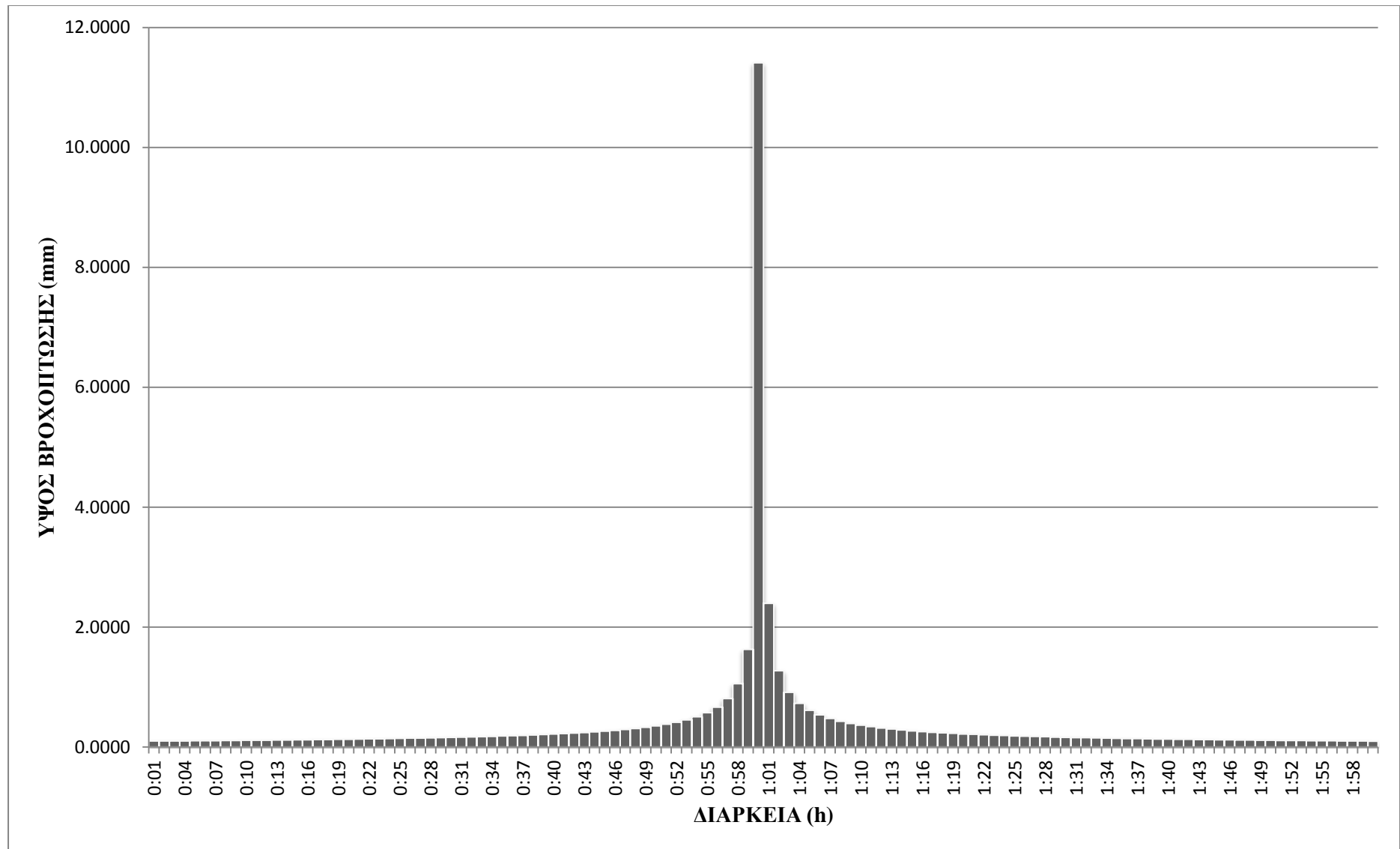
Εικόνα Π-Δ.1: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=2$ και $t=2h$



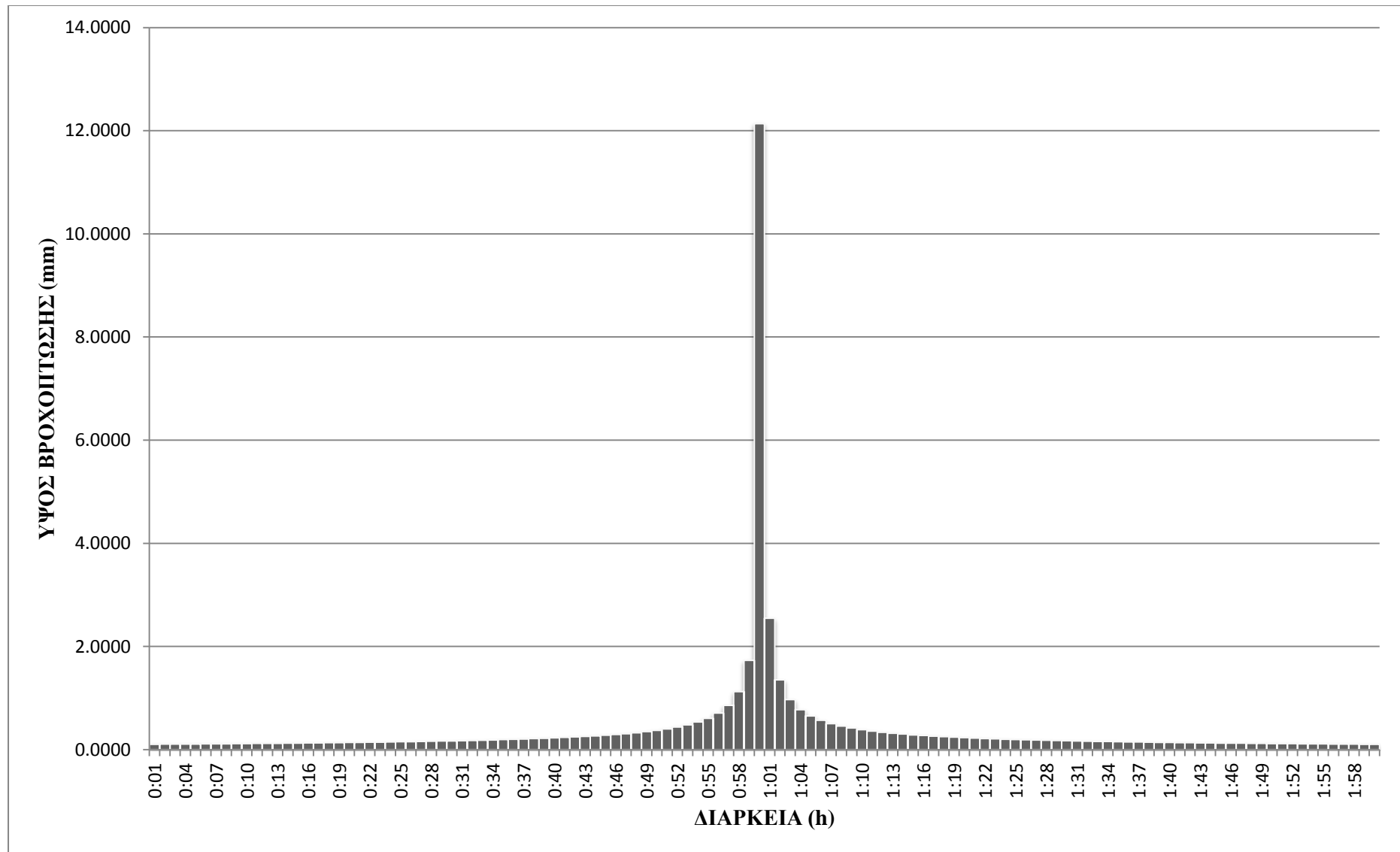
Εικόνα Π-Δ.2: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=2h



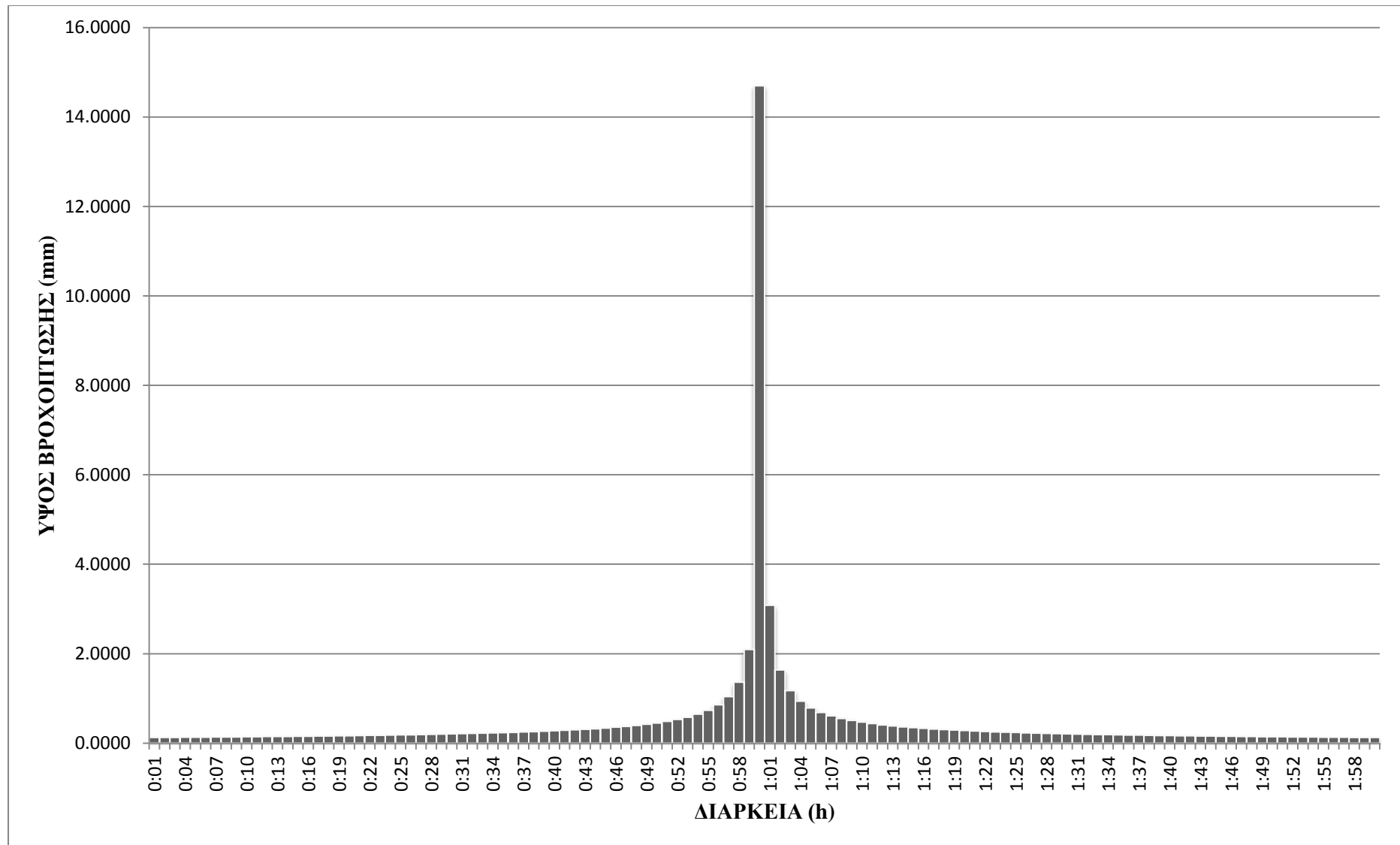
Εικόνα Π-Δ.3: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=2h



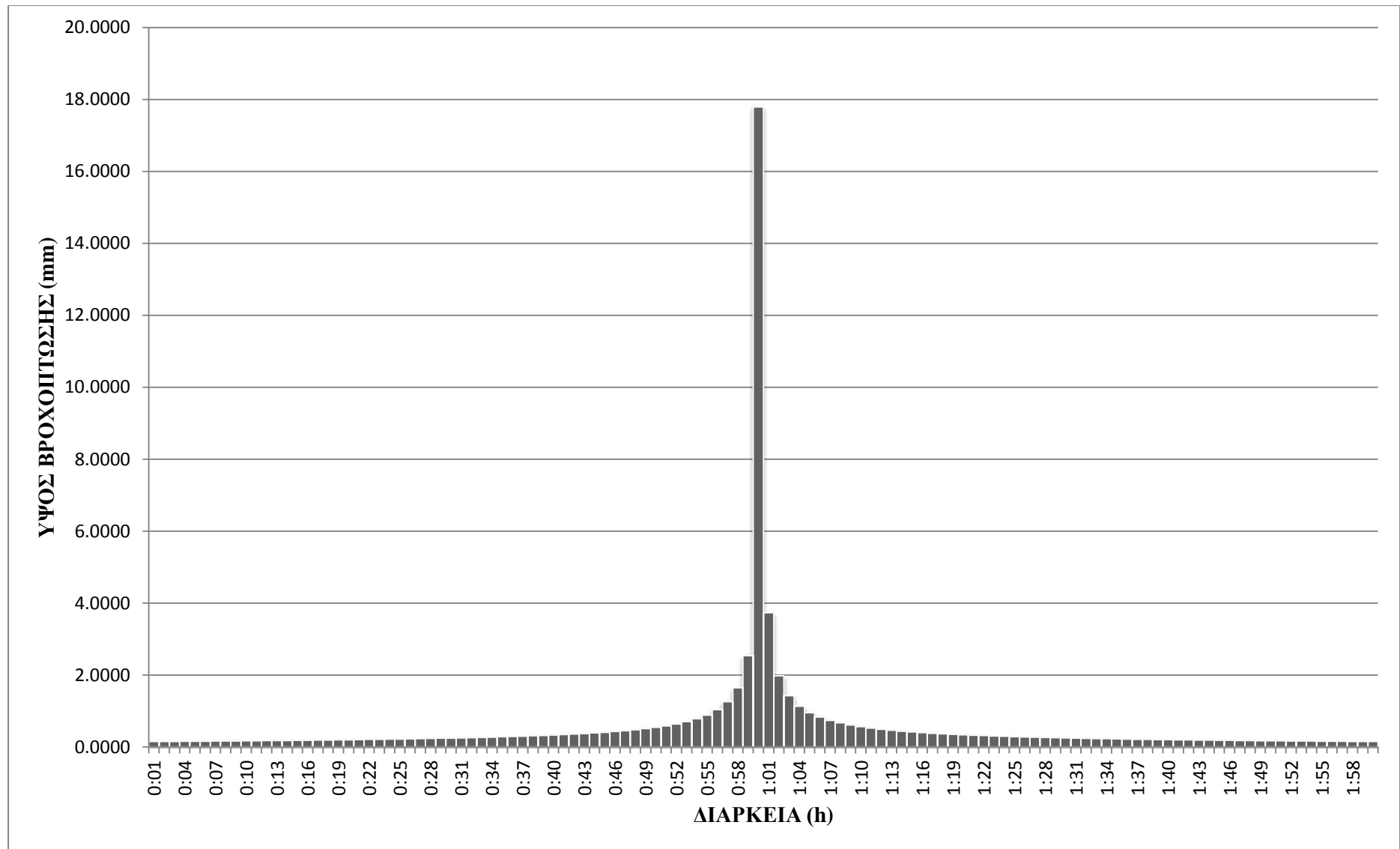
Εικόνα Π-Δ.4Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=2h



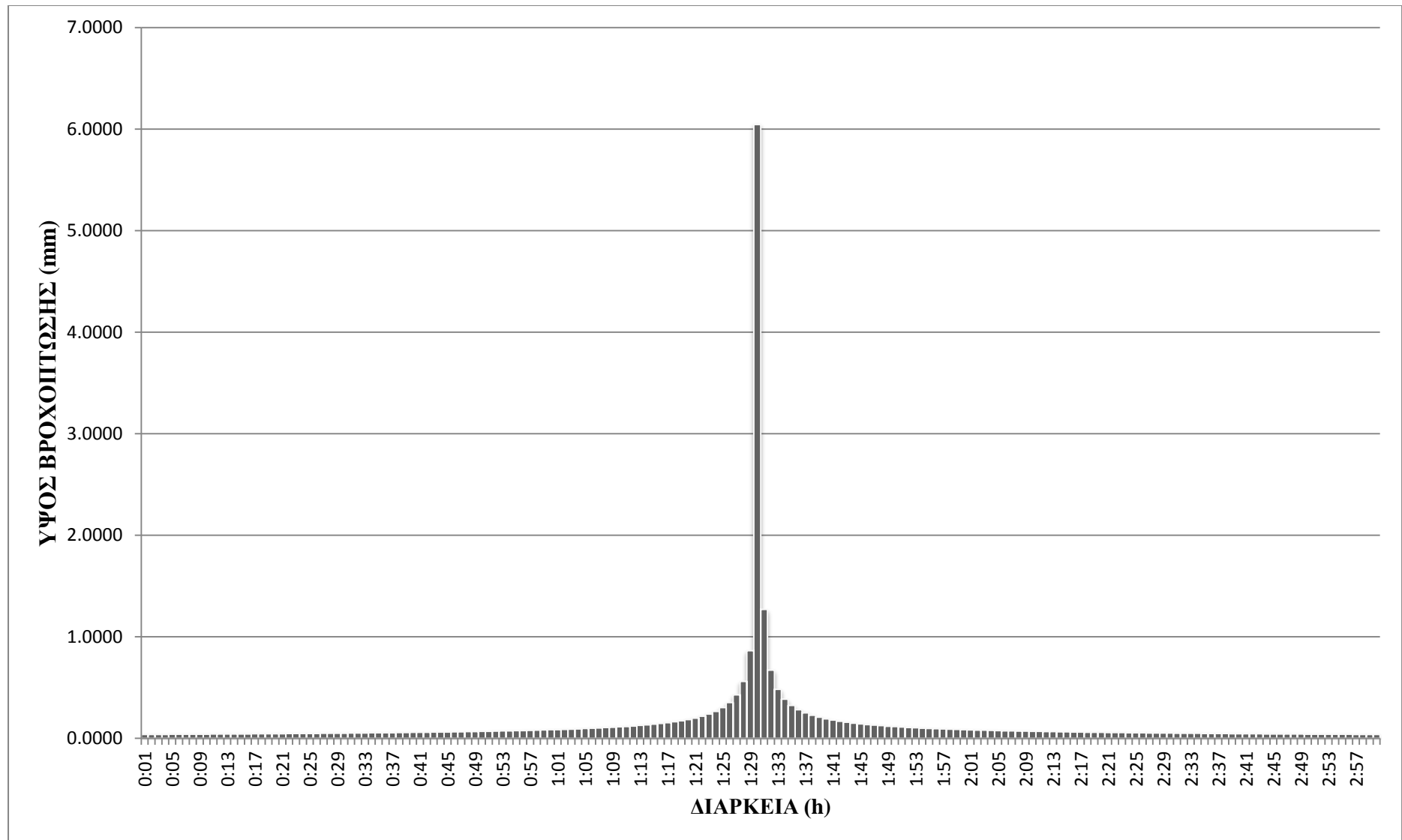
Εικόνα Π-Δ.5: Υετογράφημα T=25 και t=2h



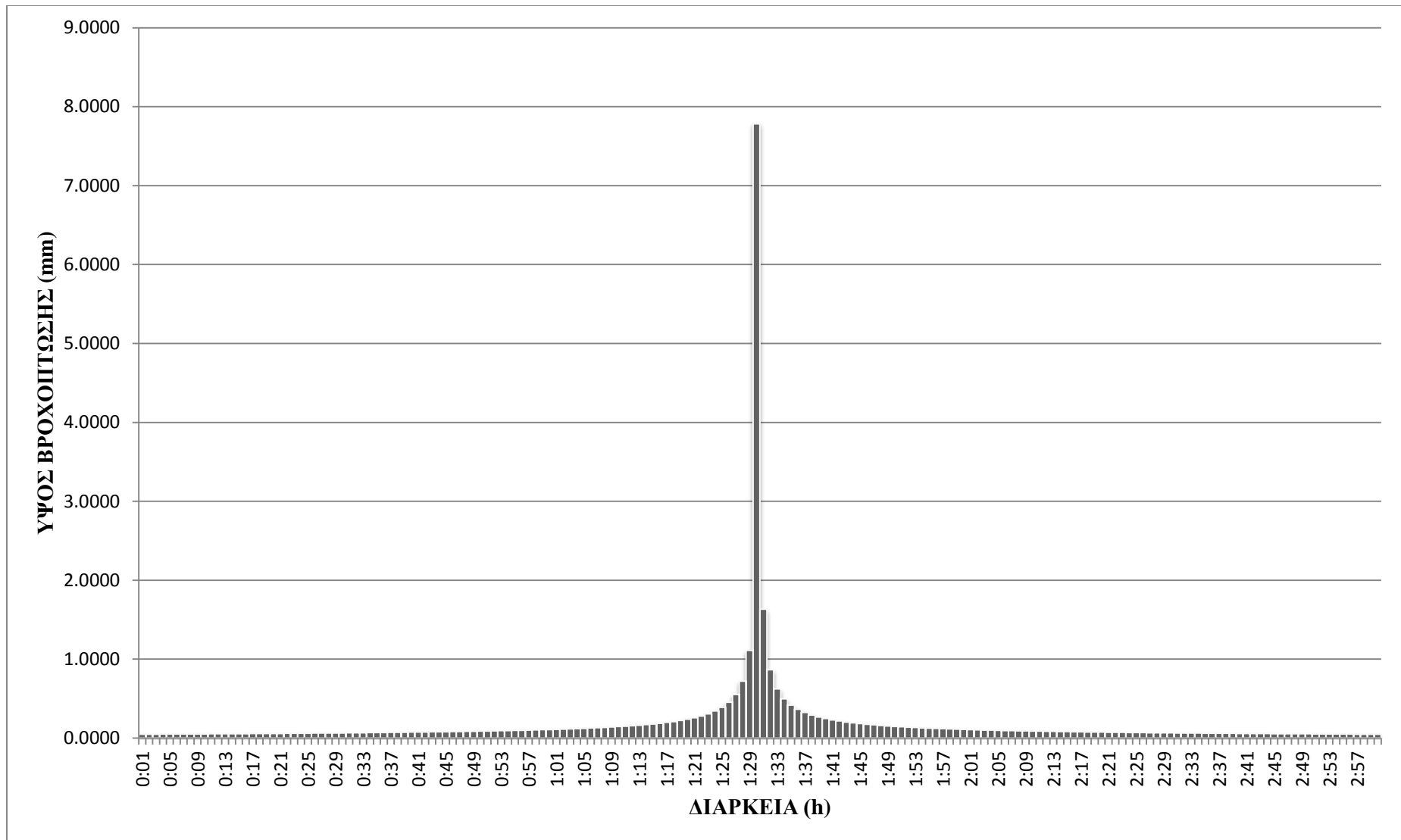
Εικόνα Π-Δ.6: Υετογράφημα T=50 και t=2h



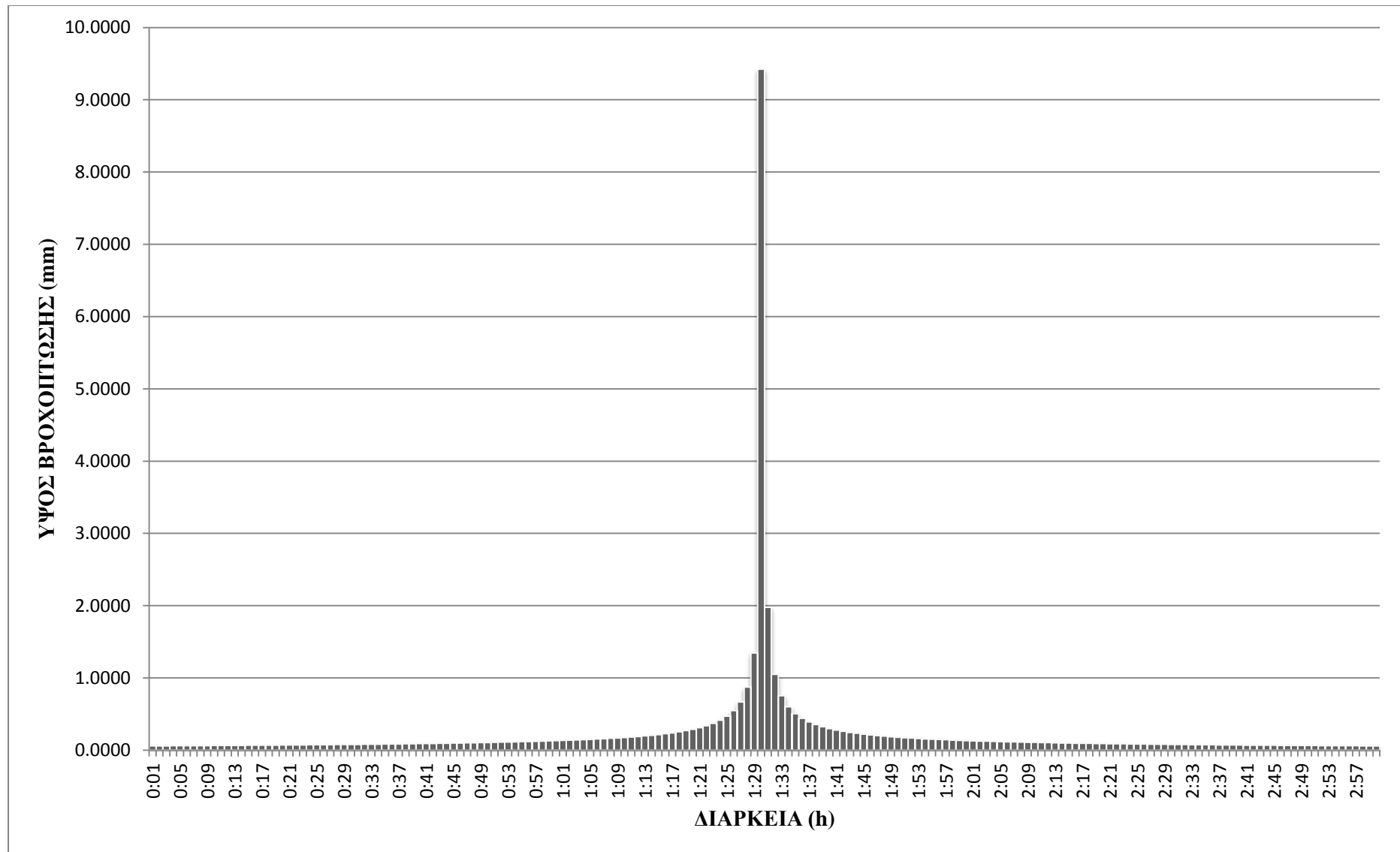
Εικόνα Π-Δ.7: Υετογράφημα σχεδιασμού T=100 και t=2h



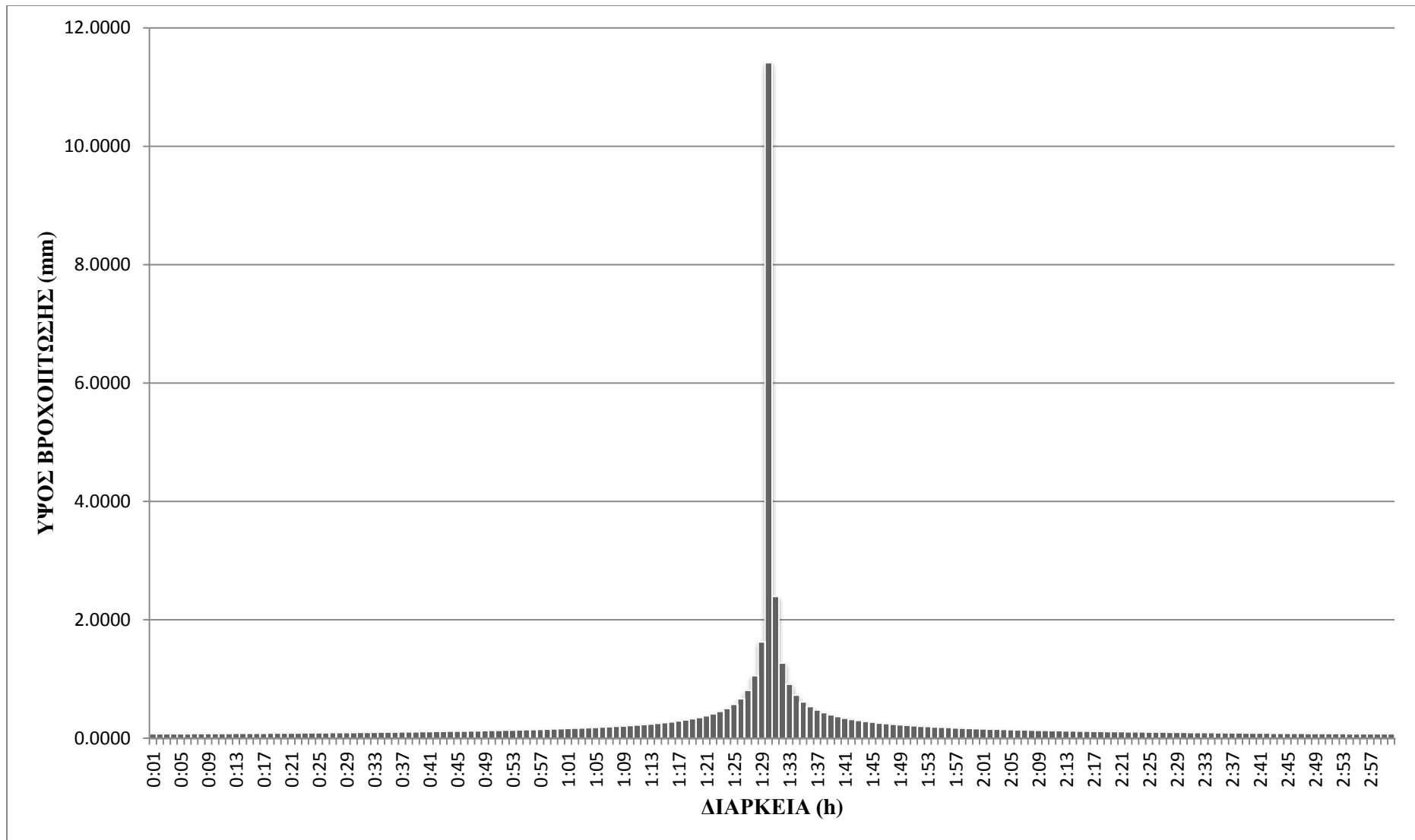
Εικόνα Π-Δ.8: Υετογράφημα σχεδιασμού T=2 και t=3h



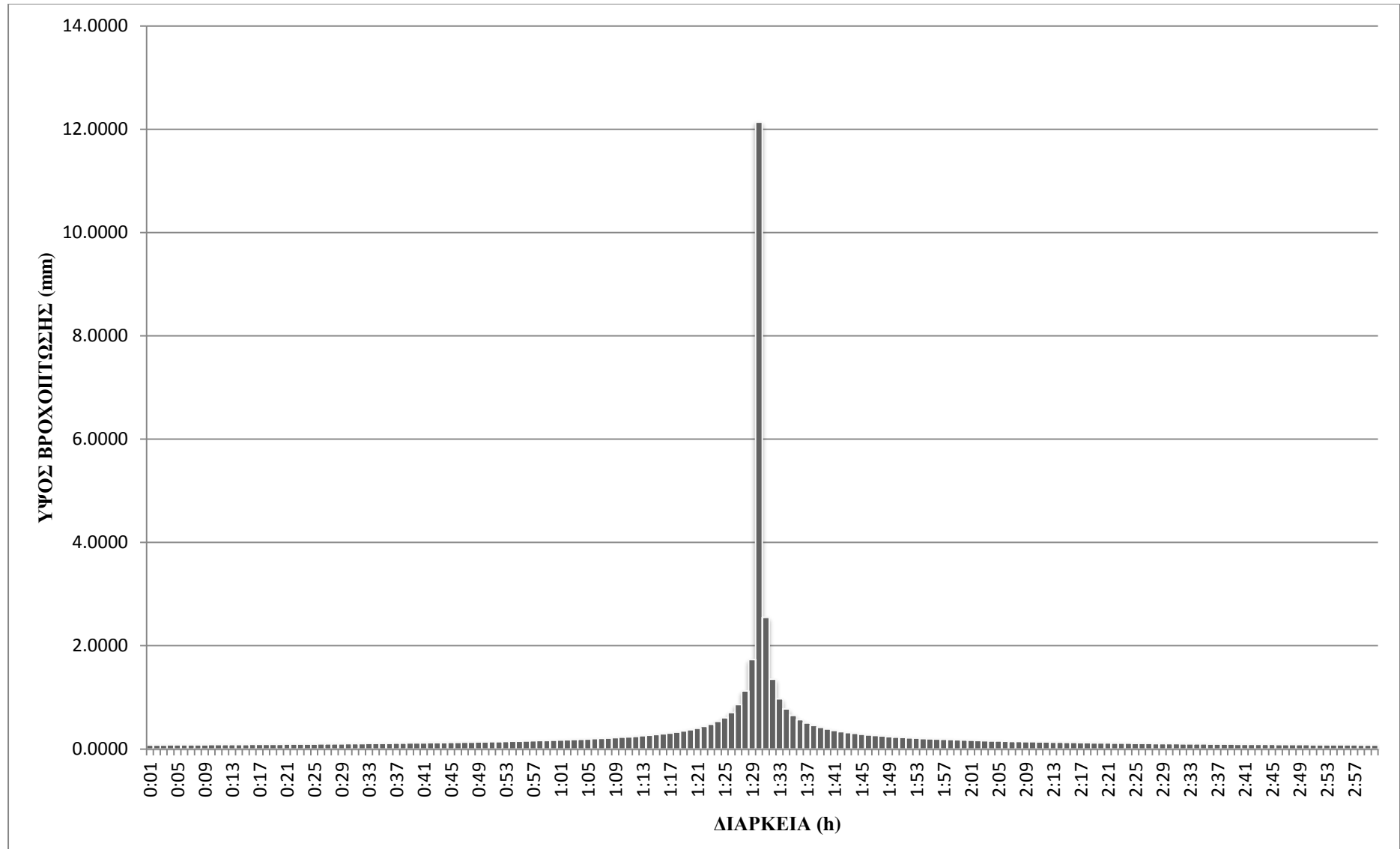
Εικόνα Π-Δ.9: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=3h



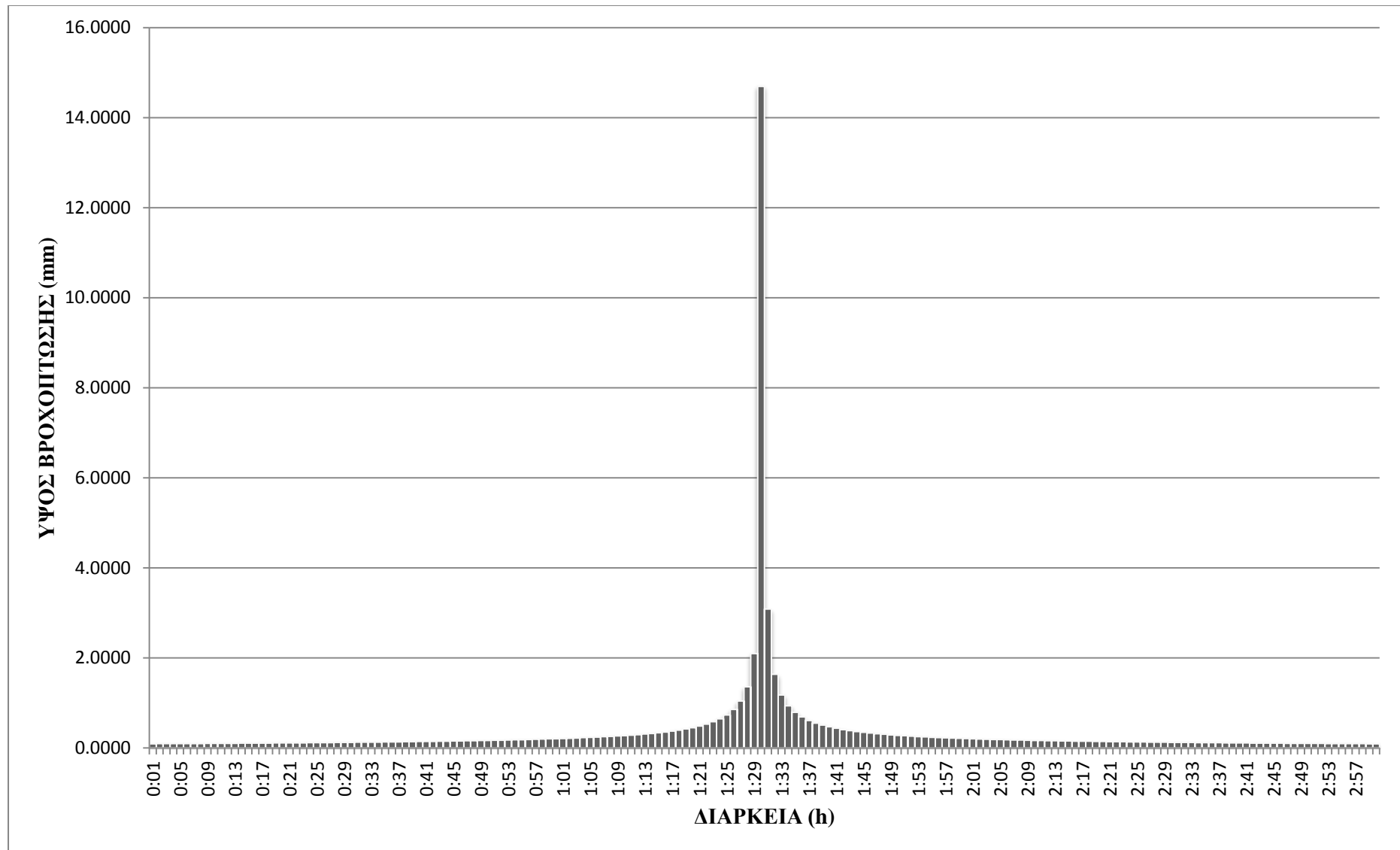
Εικόνα Π-Δ.10: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=10$ και $t=3h$



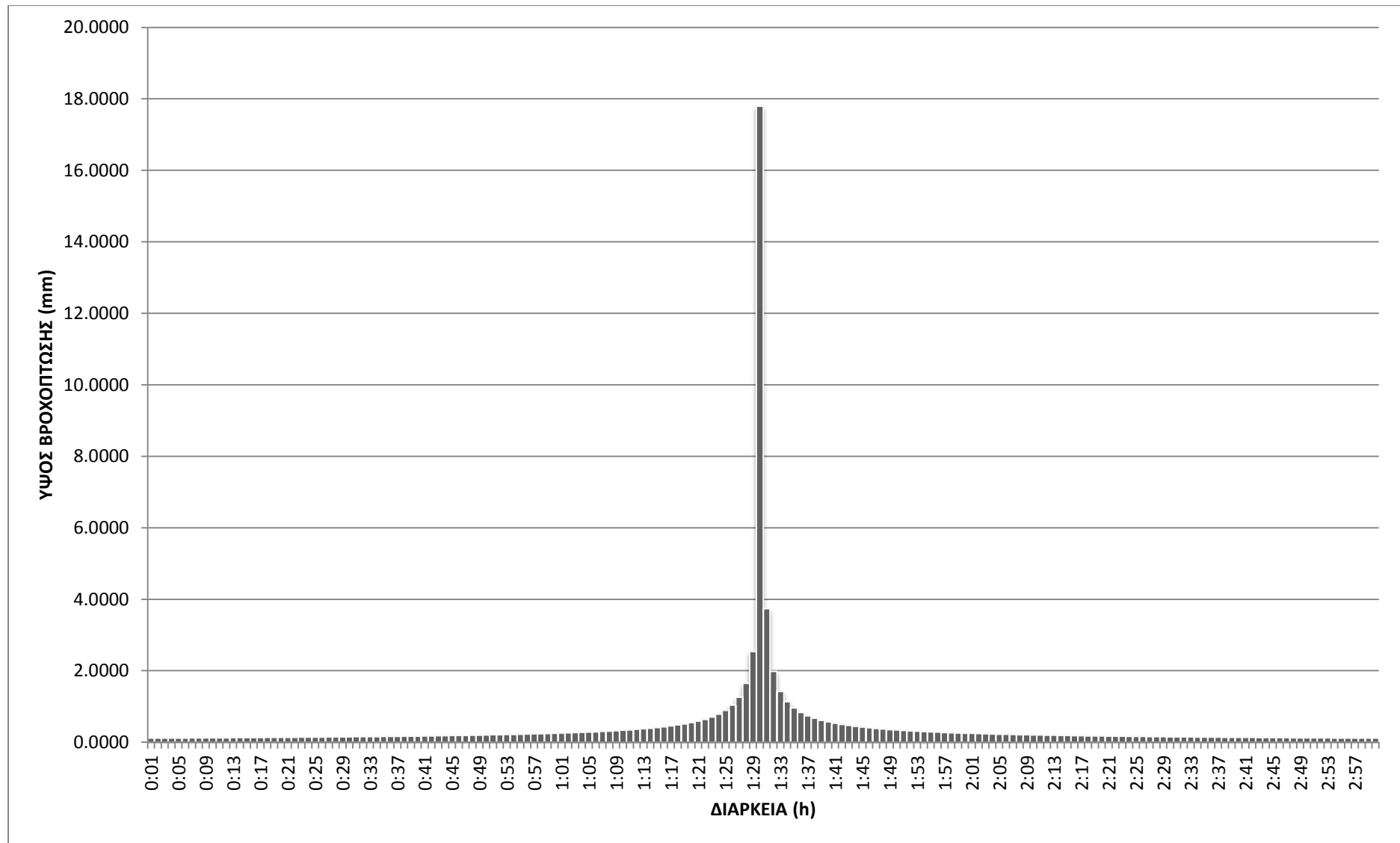
Εικόνα Π-Δ.11: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=20$ και $t=3h$



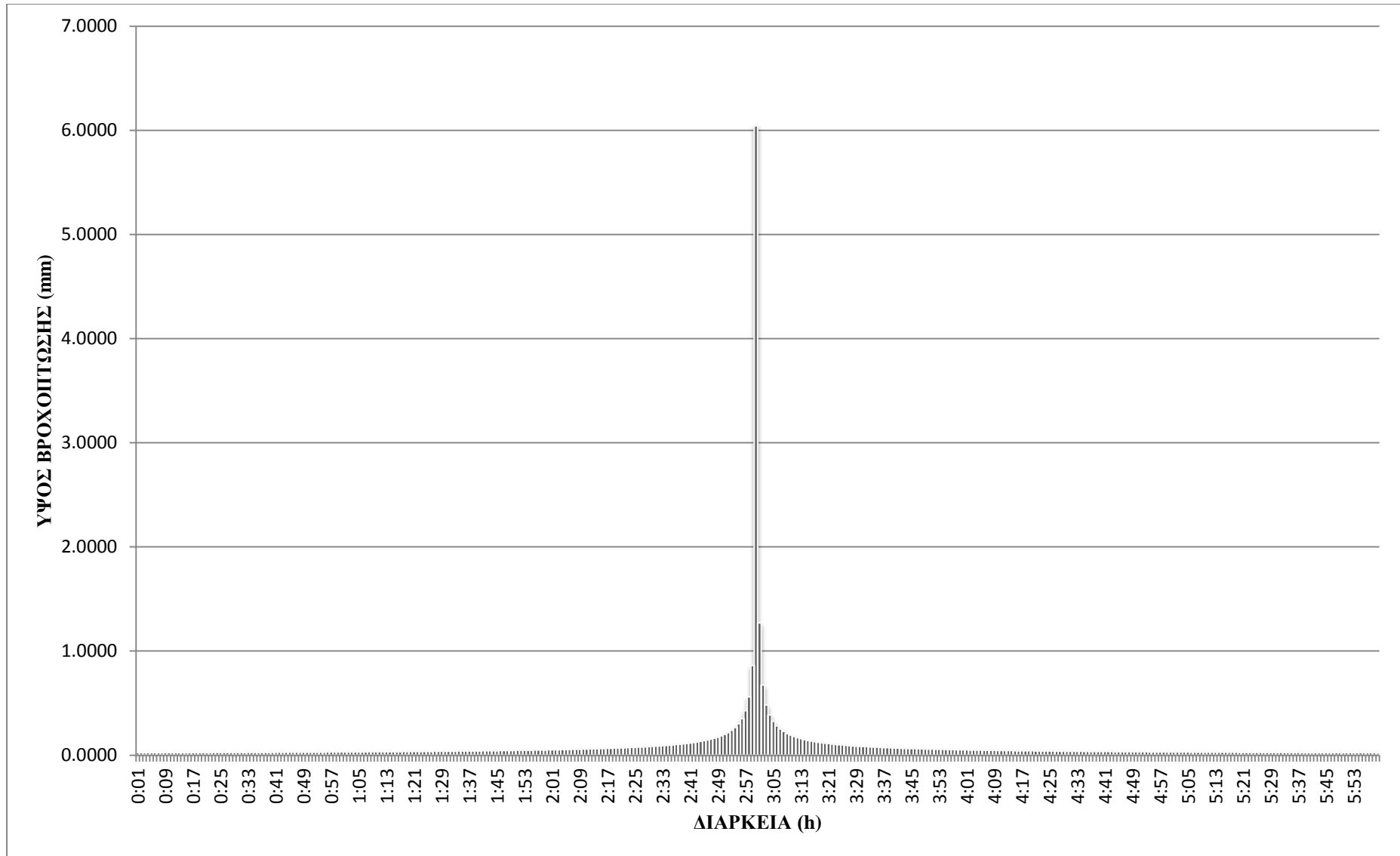
Εικόνα Π-Δ.12: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=25$ και $t=3h$



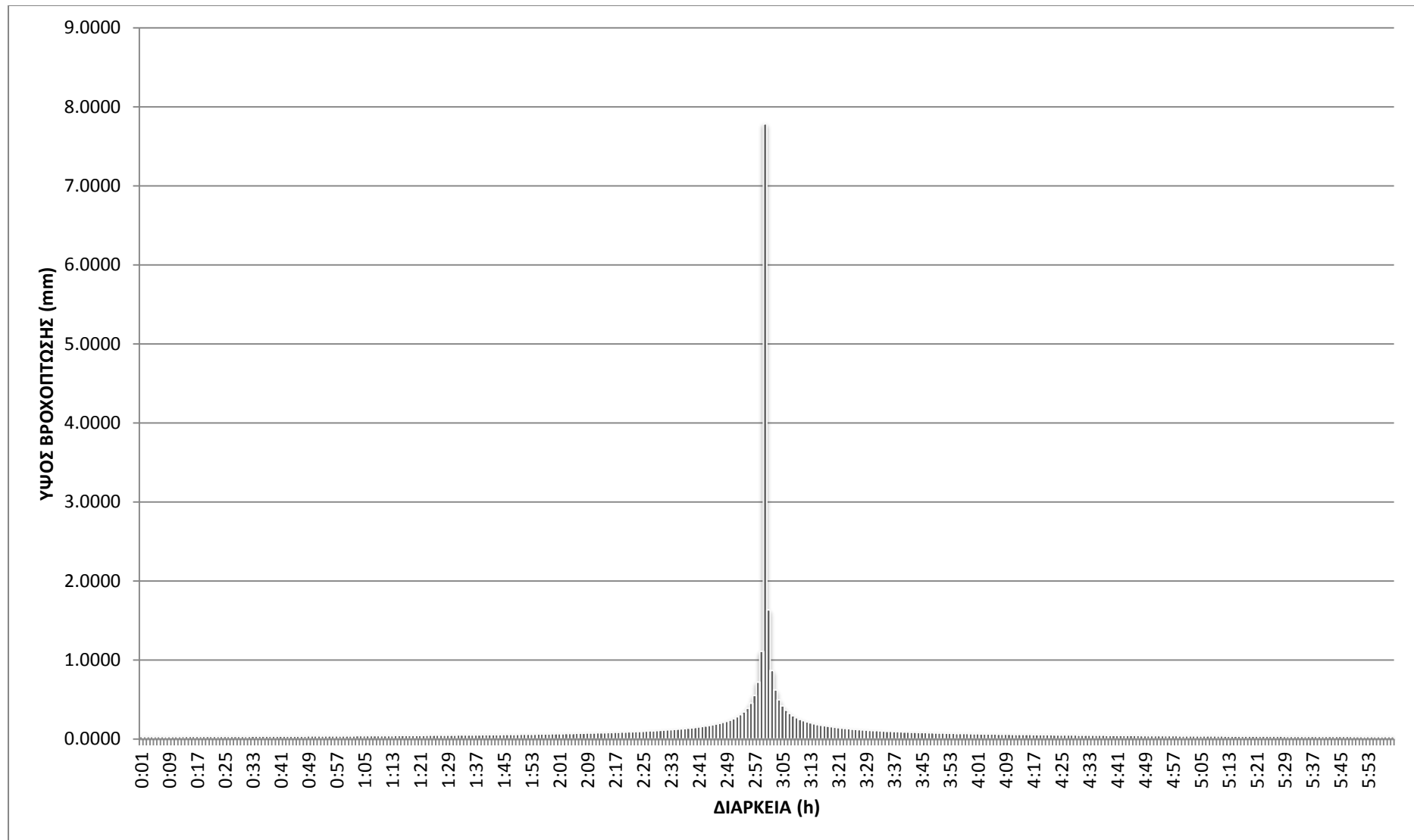
Εικόνα Π-Δ.13: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=50$ και $t=3h$



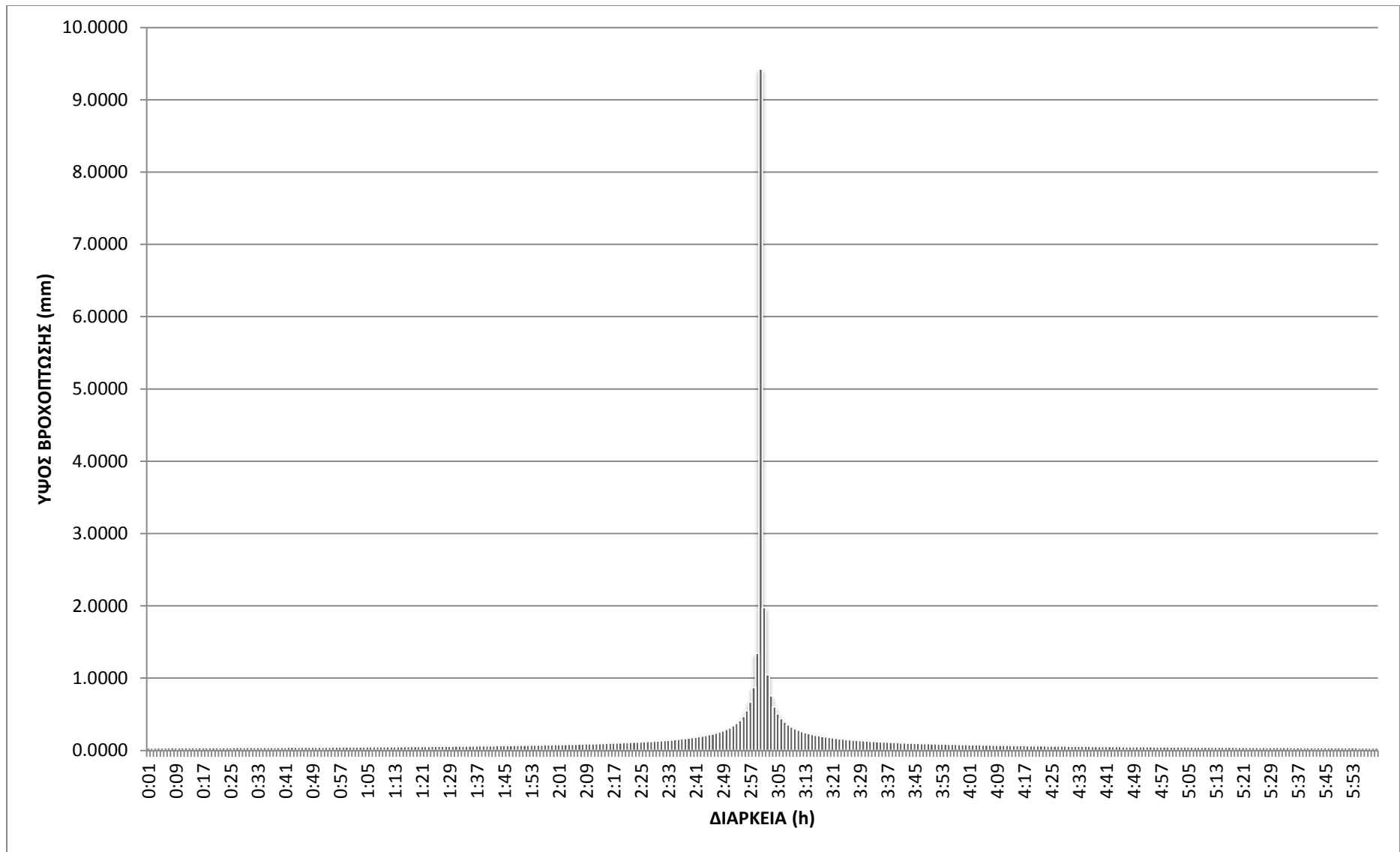
Εικόνα Π-Δ.14: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=100$ και $t=3h$



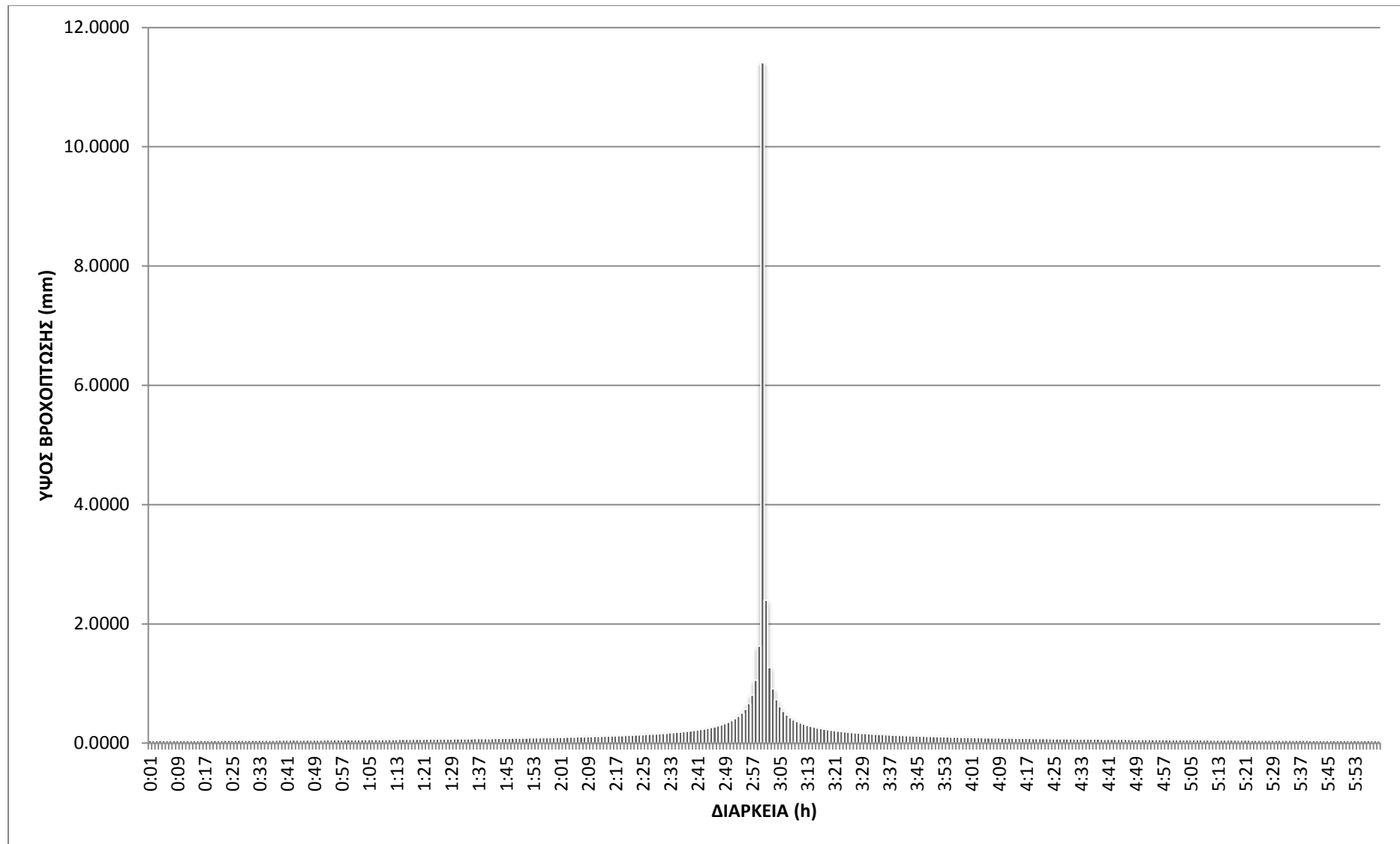
Εικόνα Π-Δ.15: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=2$ και $t=6h$



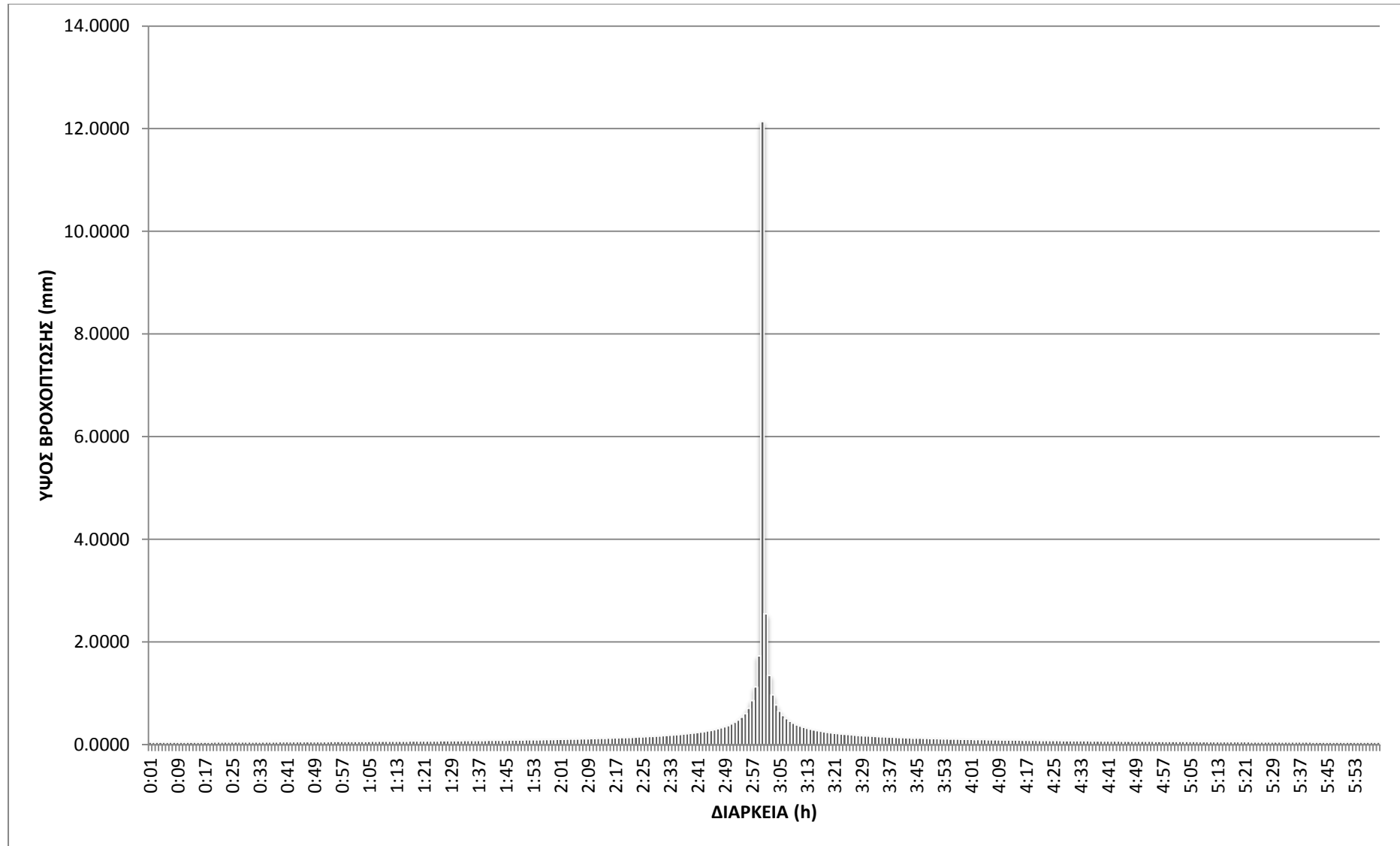
Εικόνα Π-Δ.16: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=5$ και $t=6h$



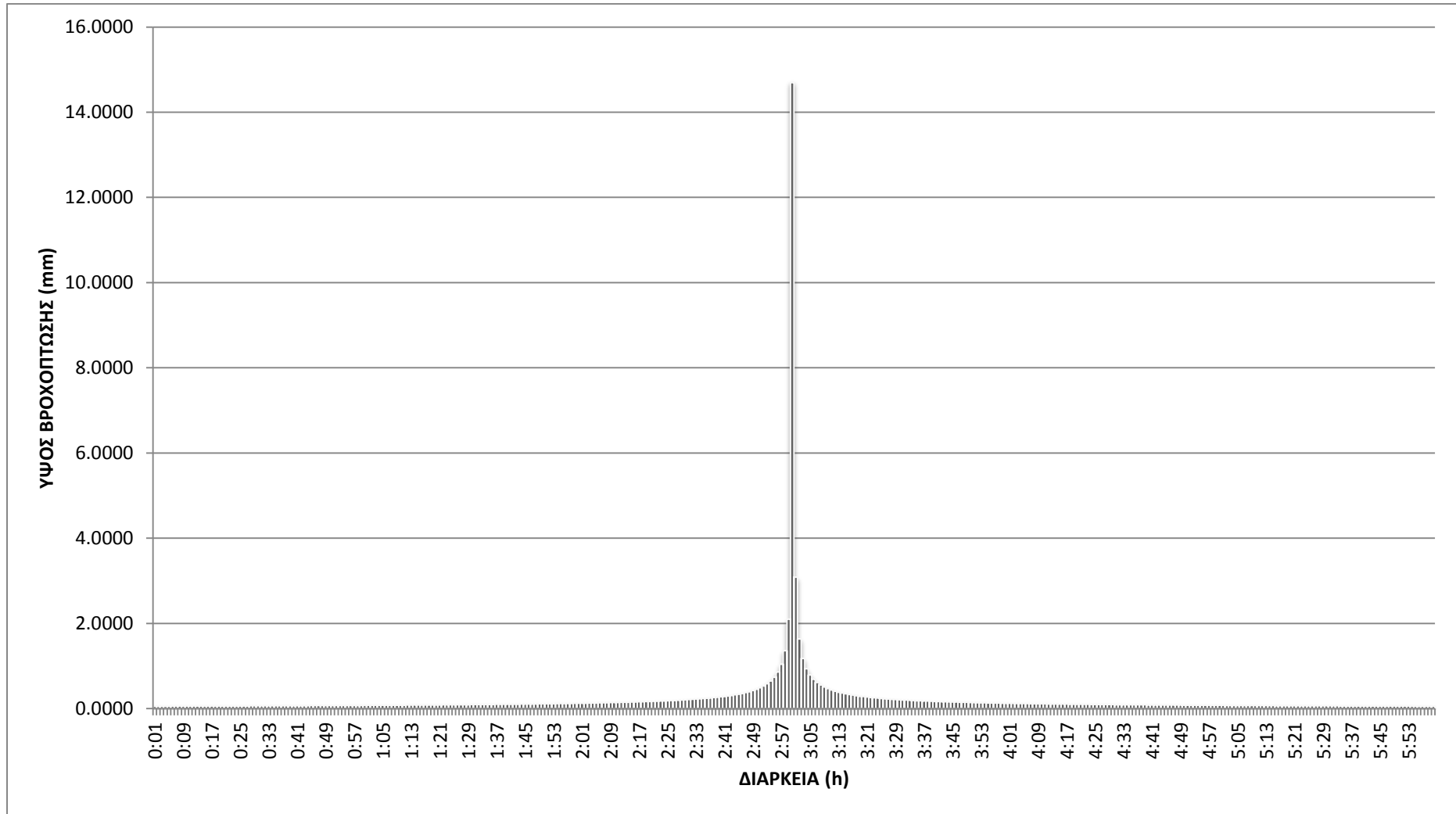
Εικόνα Π-Δ.17: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=10$ και $t=6h$



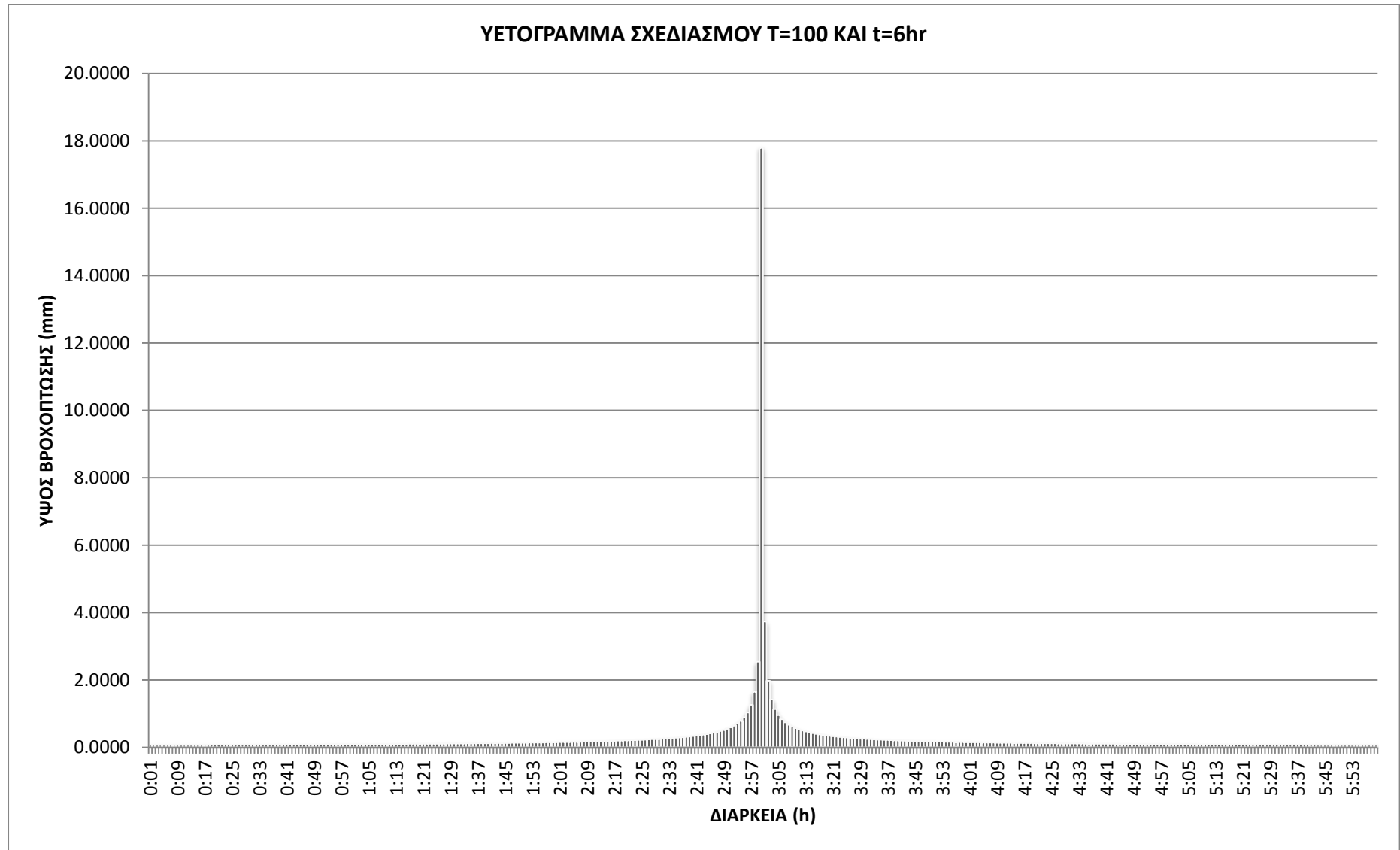
Εικόνα Π-Δ.18: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=20$ και $t=6h$



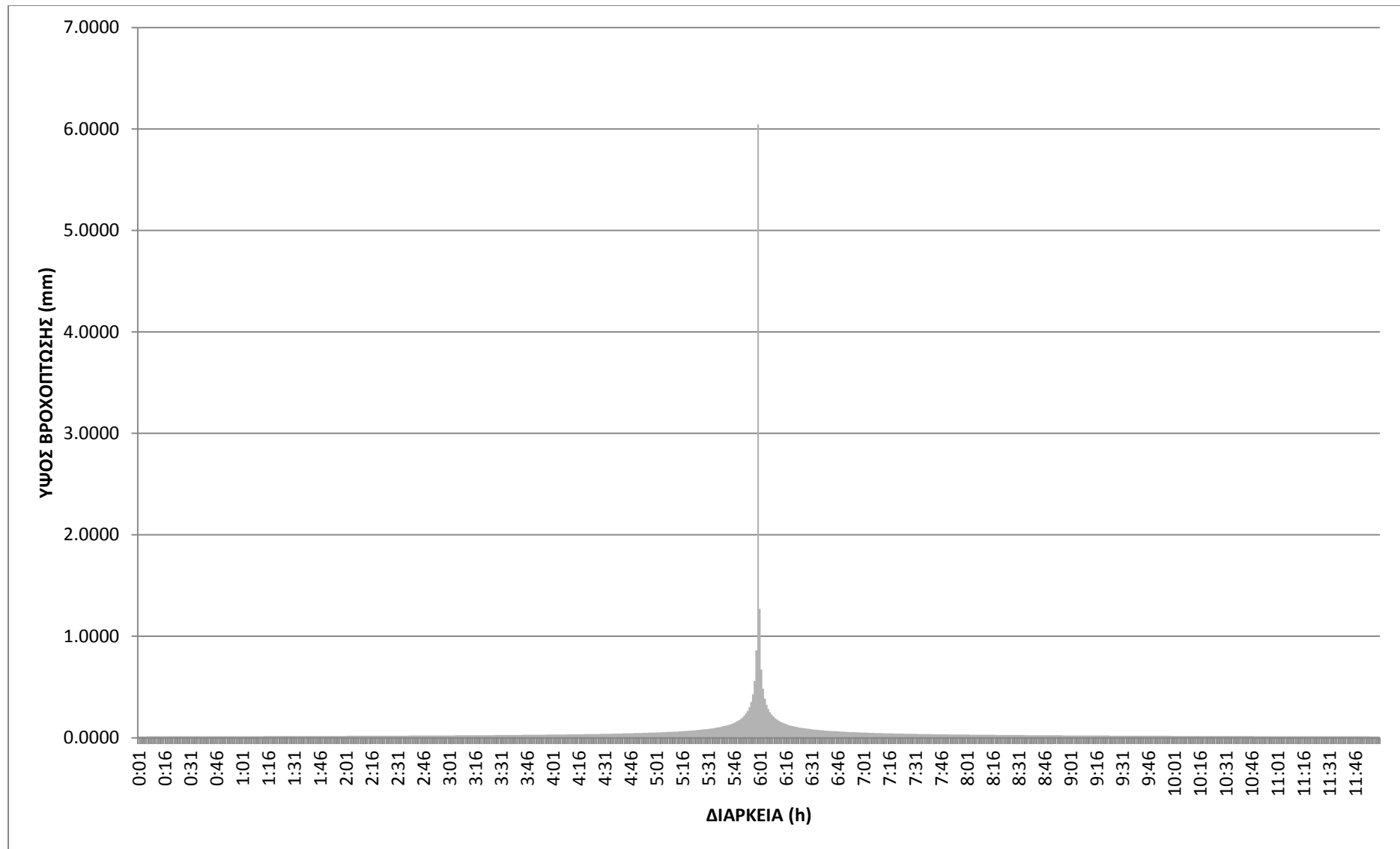
Εικόνα Π-Δ.19: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=25$ και $t=6h$



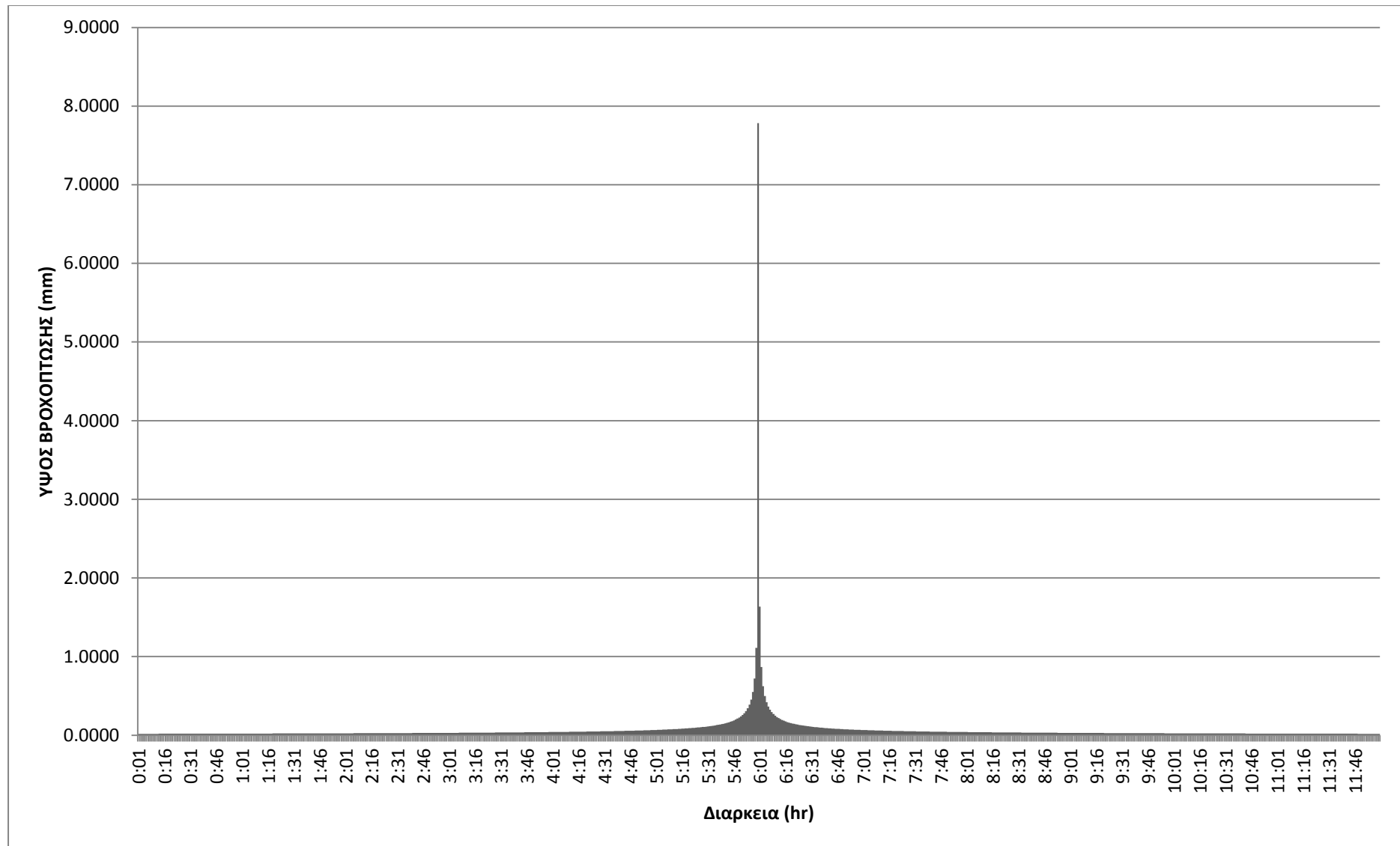
Εικόνα Π-Δ.20: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=50$ και $t=6h$



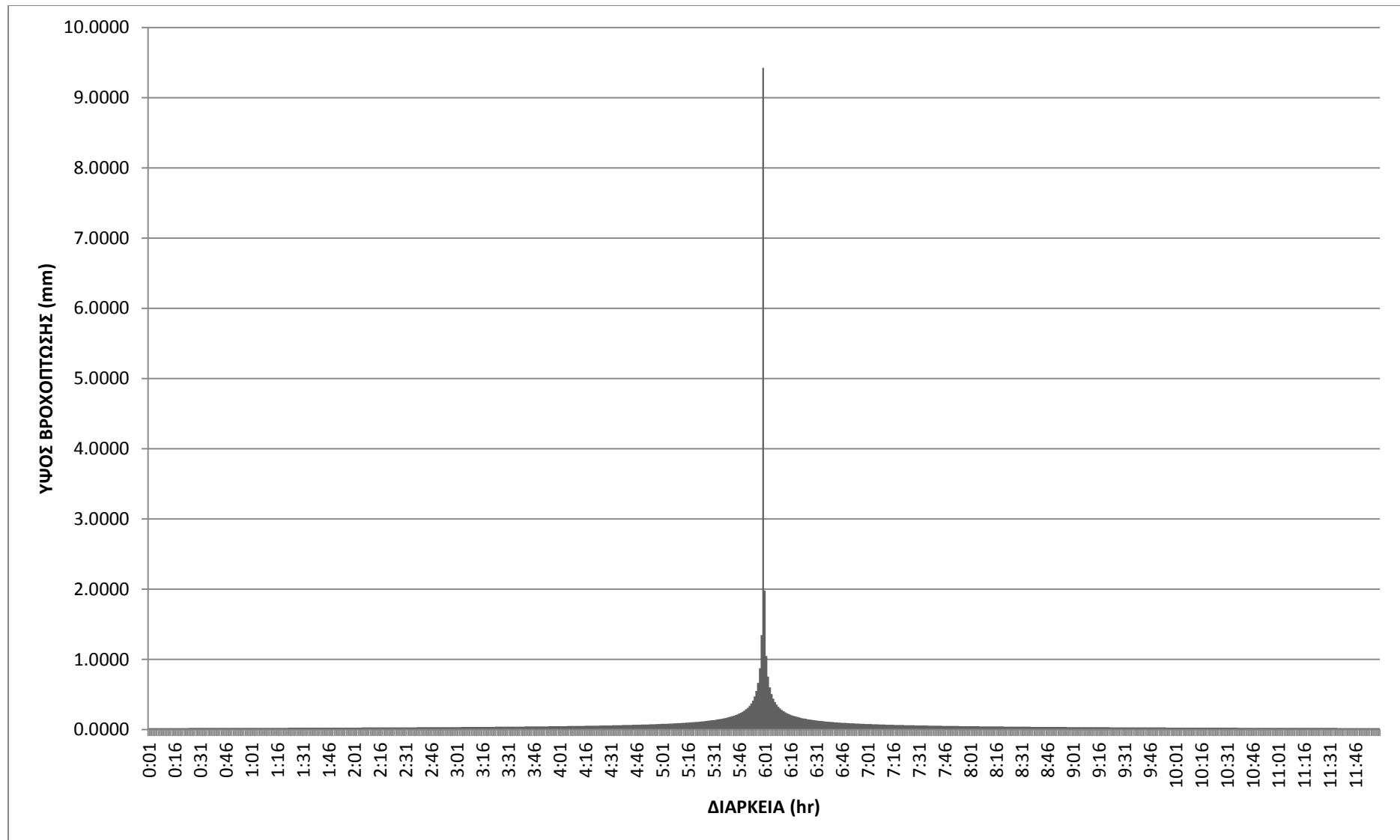
Εικόνα Π-Δ.21: Υετογράφημα σχεδιασμού T=100 και t=6h



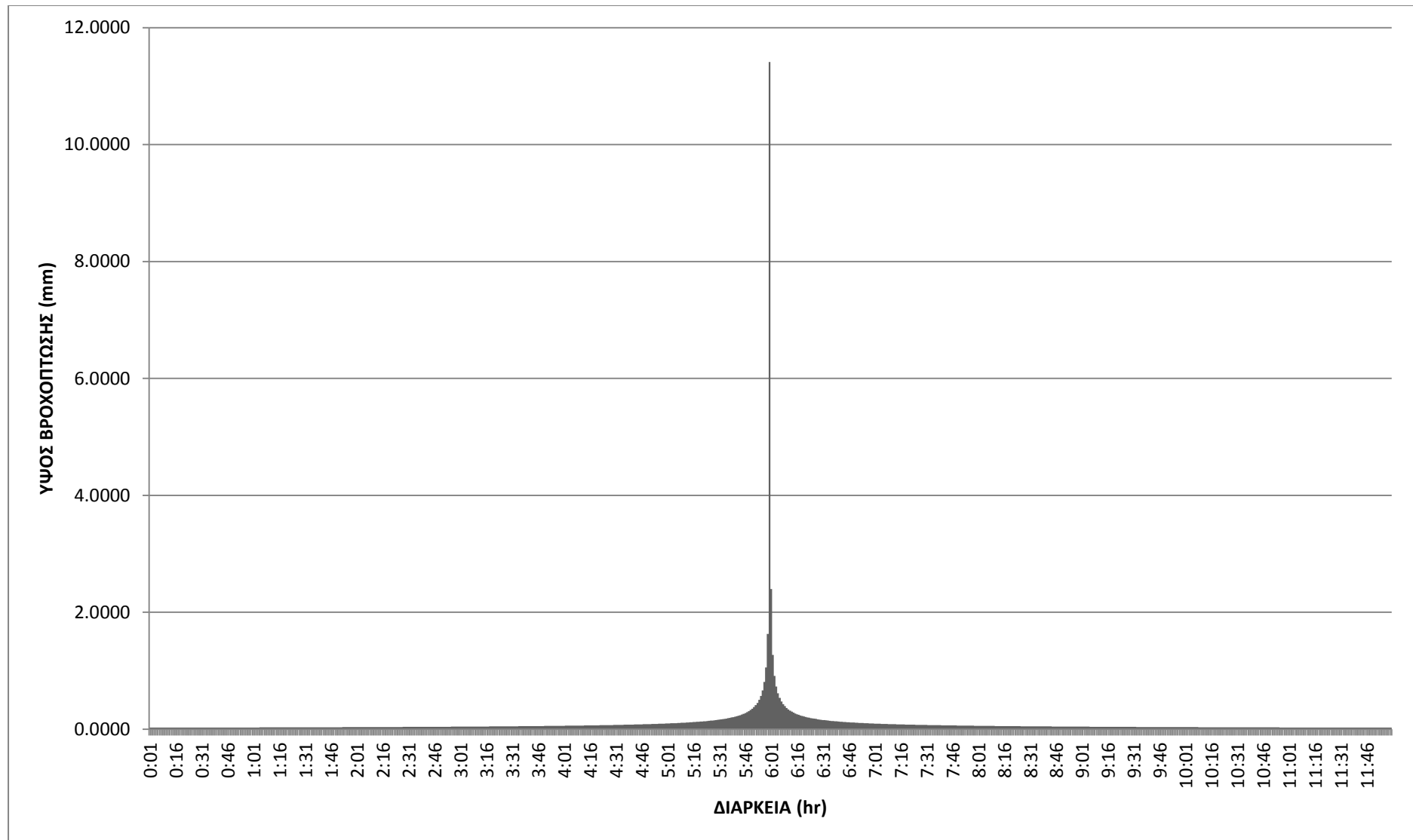
Εικόνα Π-Δ.22: Υετογράφημα σχεδιασμού T=2 και t=12h



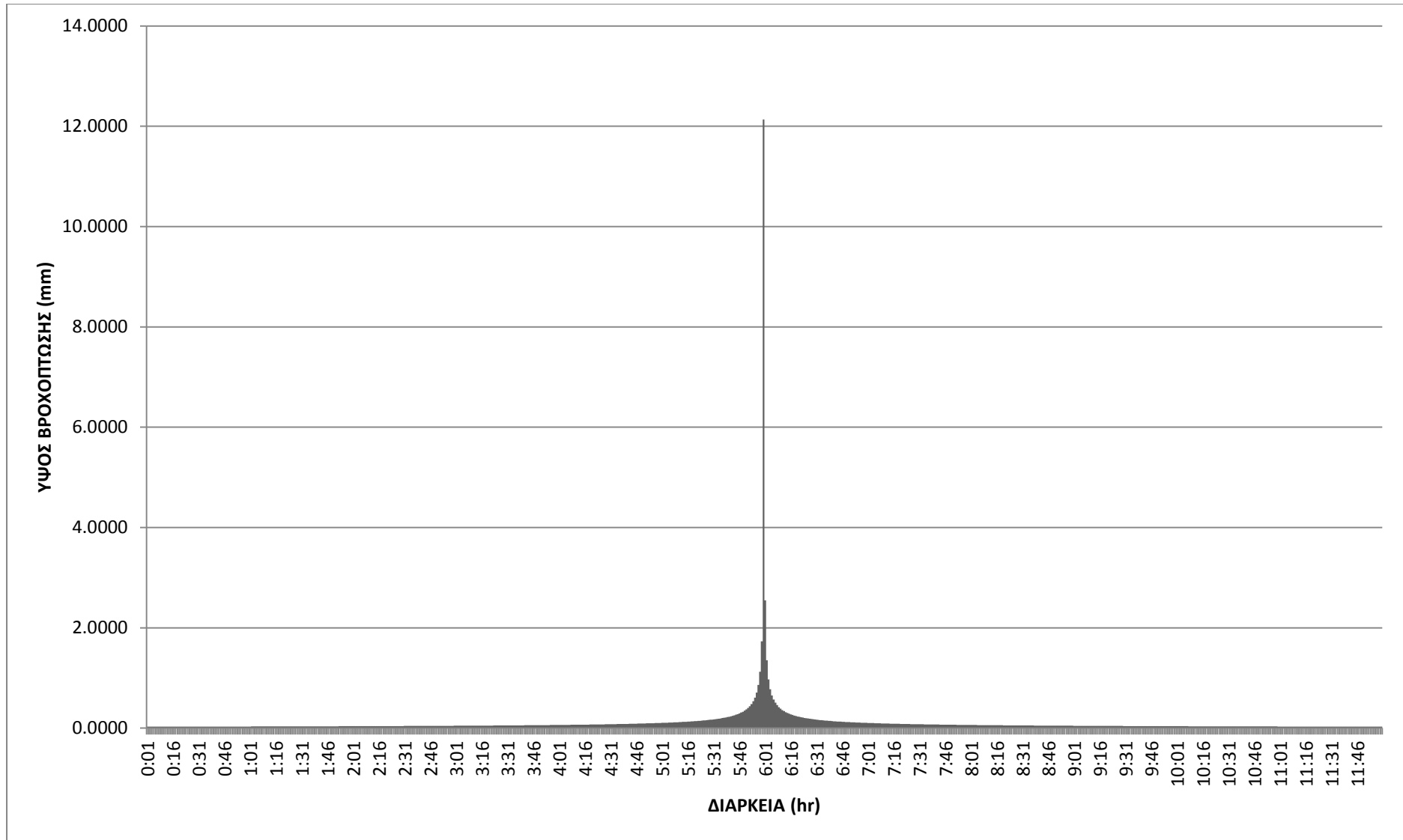
Εικόνα Π-Δ.23: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=12h



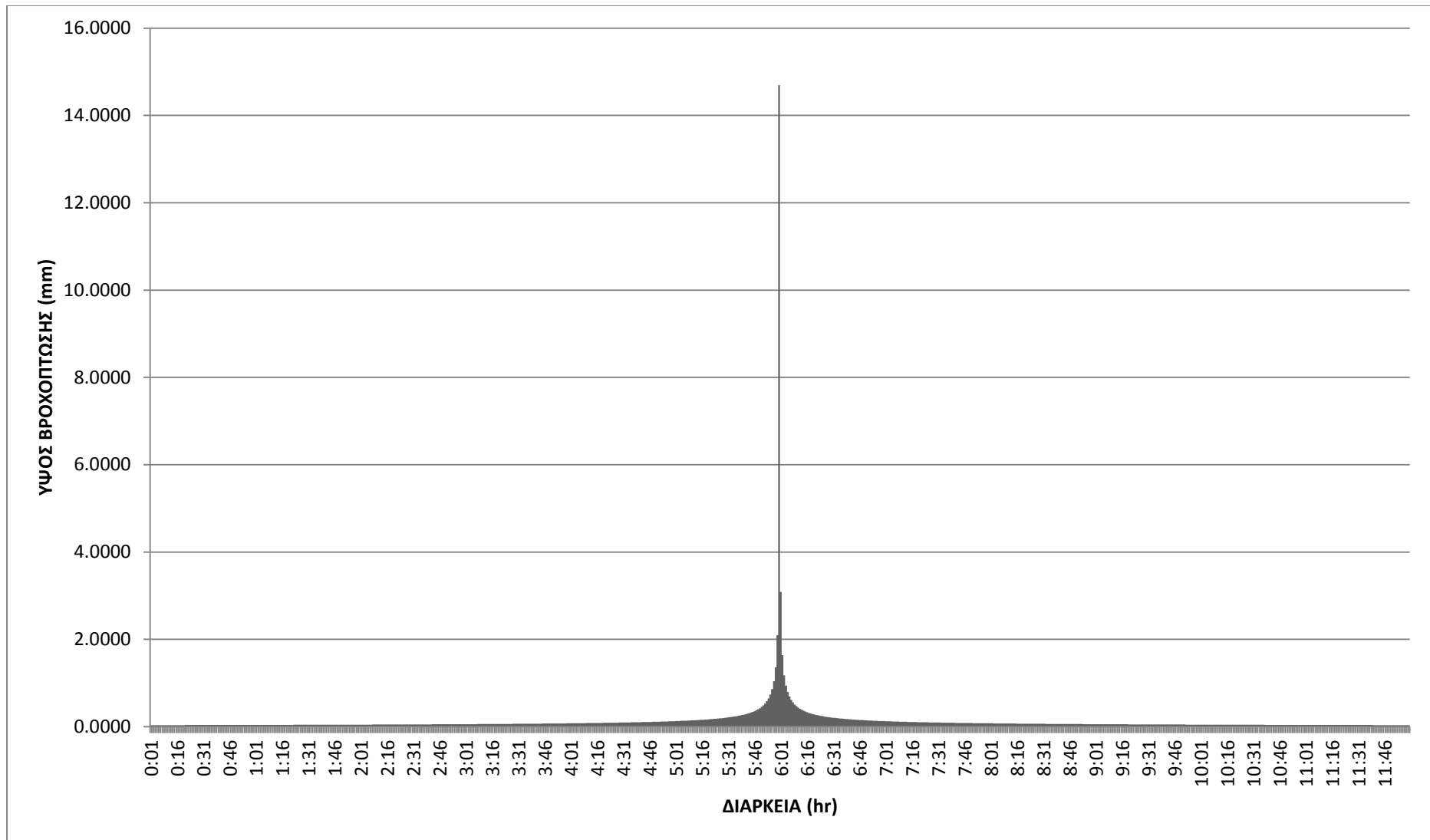
Εικόνα Π-Δ.24: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=12h



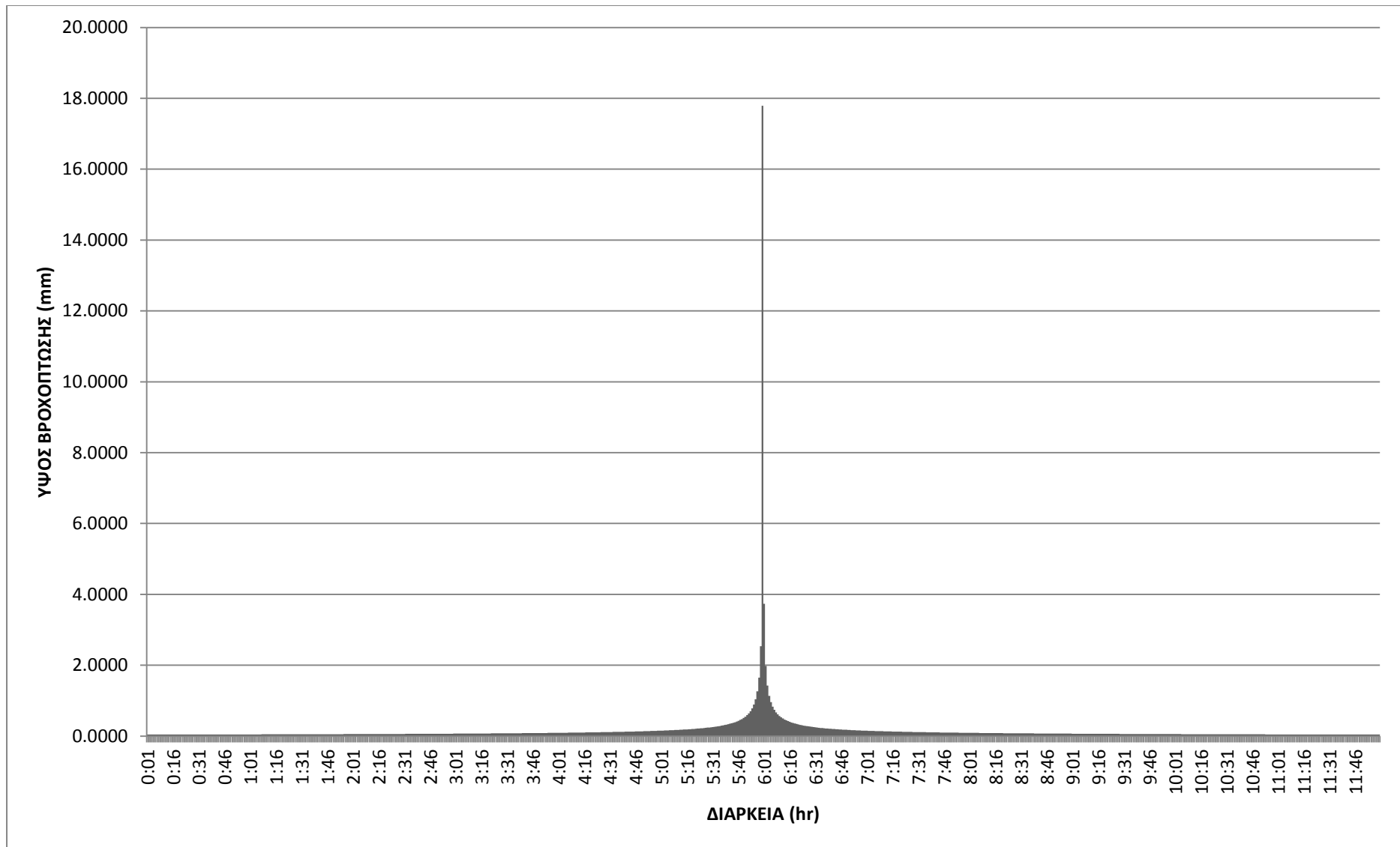
Εικόνα Π-Δ.25: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=20$ και $t=12h$



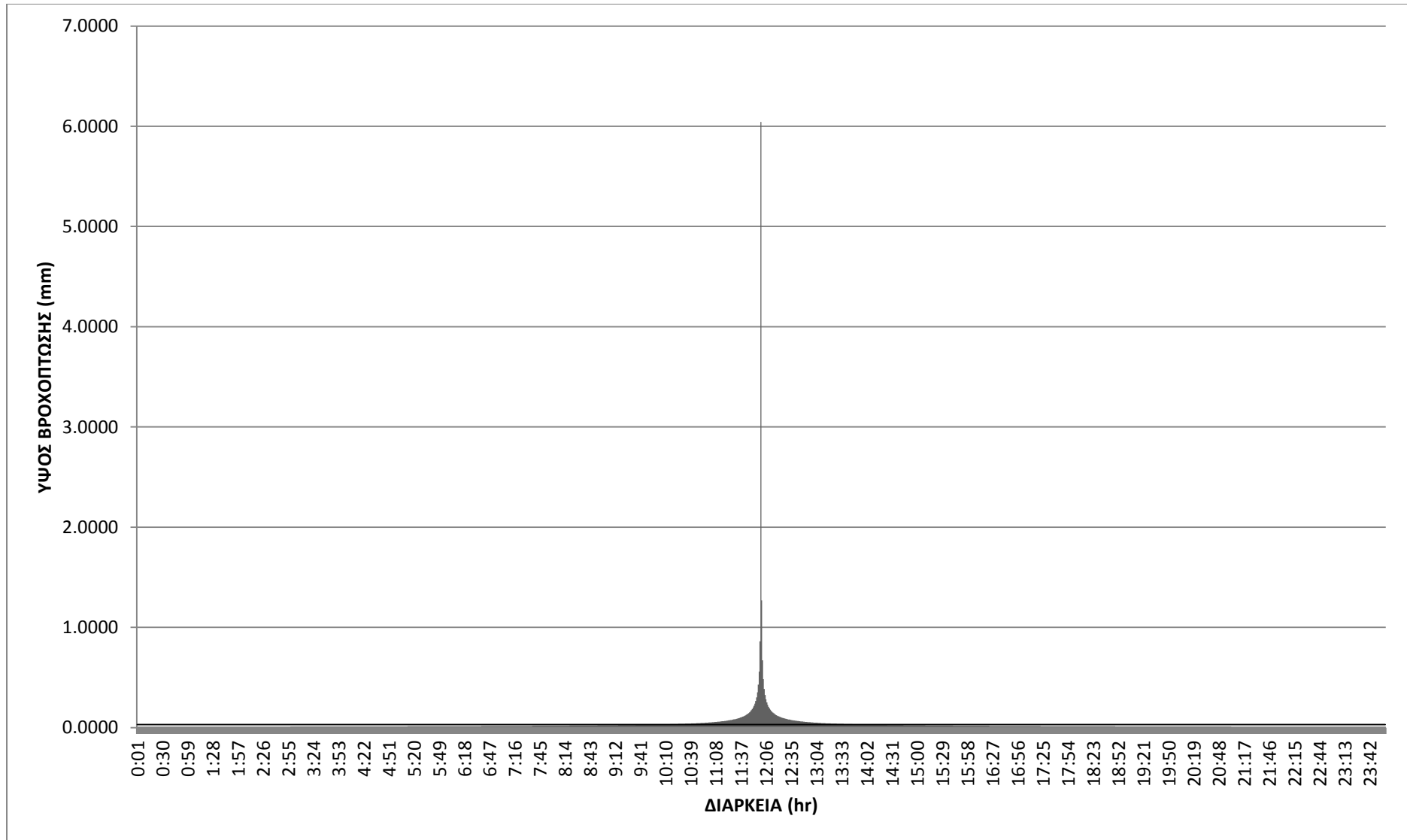
Εικόνα Π-Δ.26: Υετογράφημα σχεδιασμού $T=25$ και $t=12h$



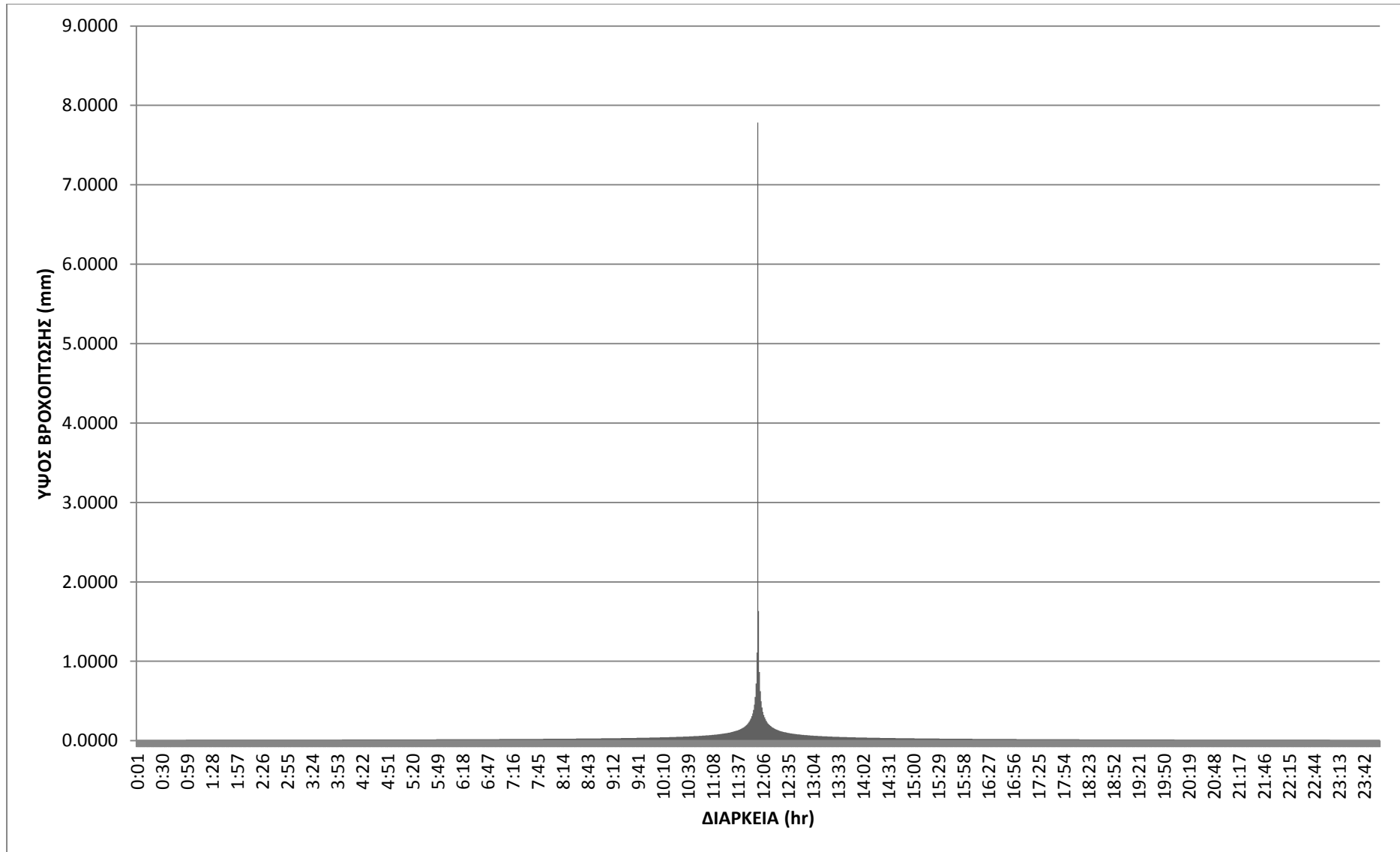
Εικόνα Π-Δ.27: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=12h



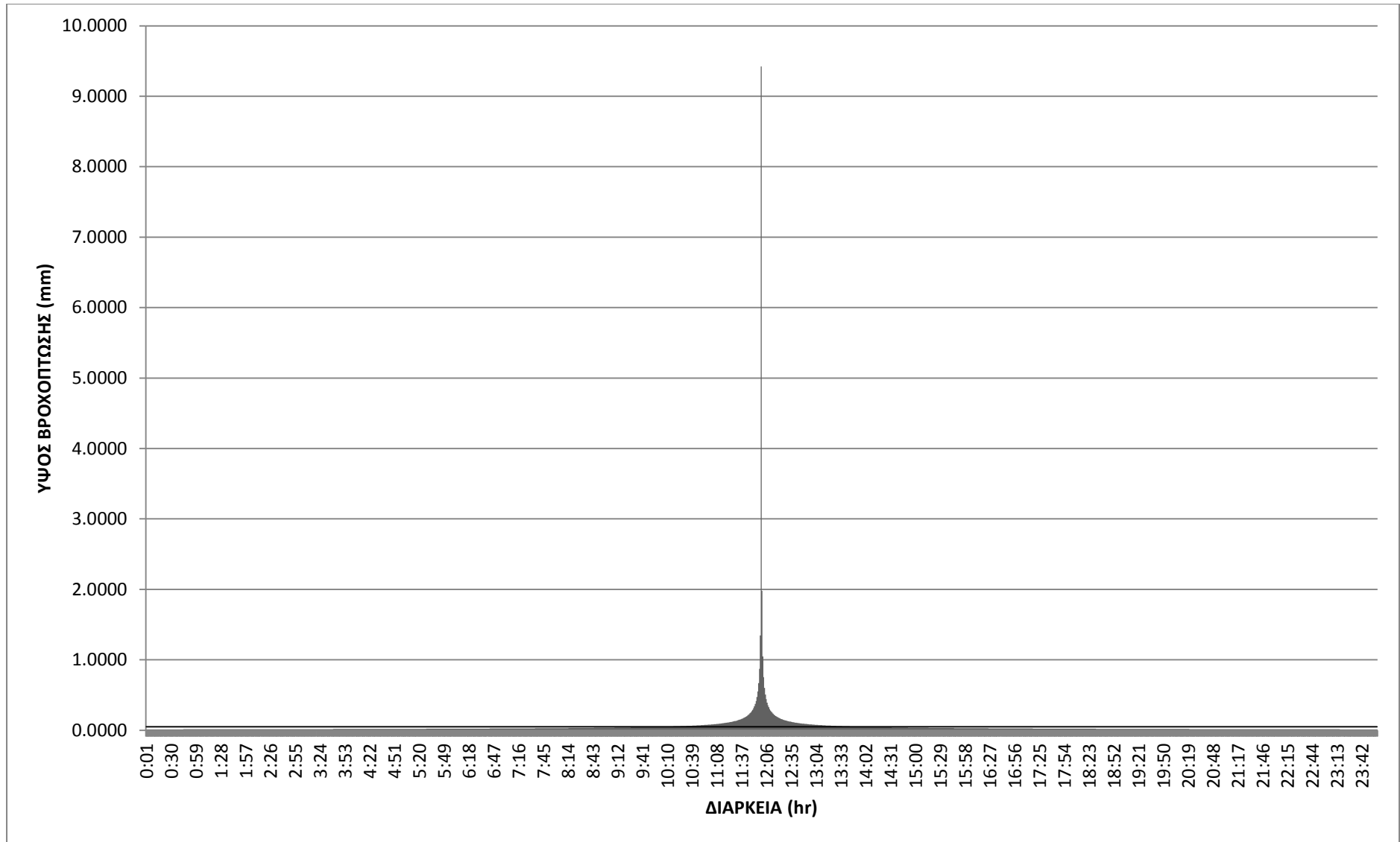
Εικόνα Π-Δ.28: Υετογράφημα σχεδιασμού T=100 και t=12h



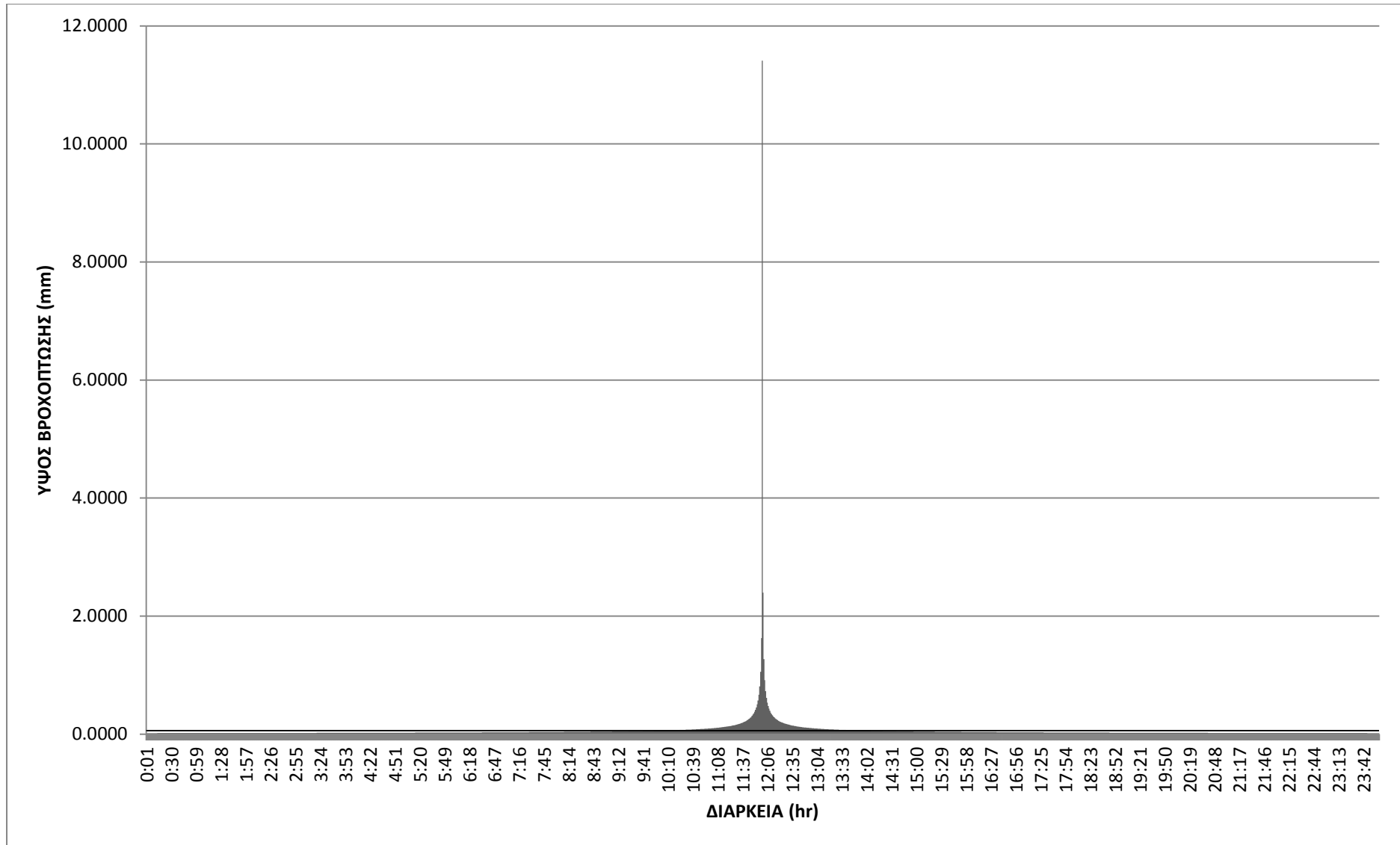
Εικόνα Π-Δ.29: Υετογράφημα σχεδιασμού T=2 και t=24h



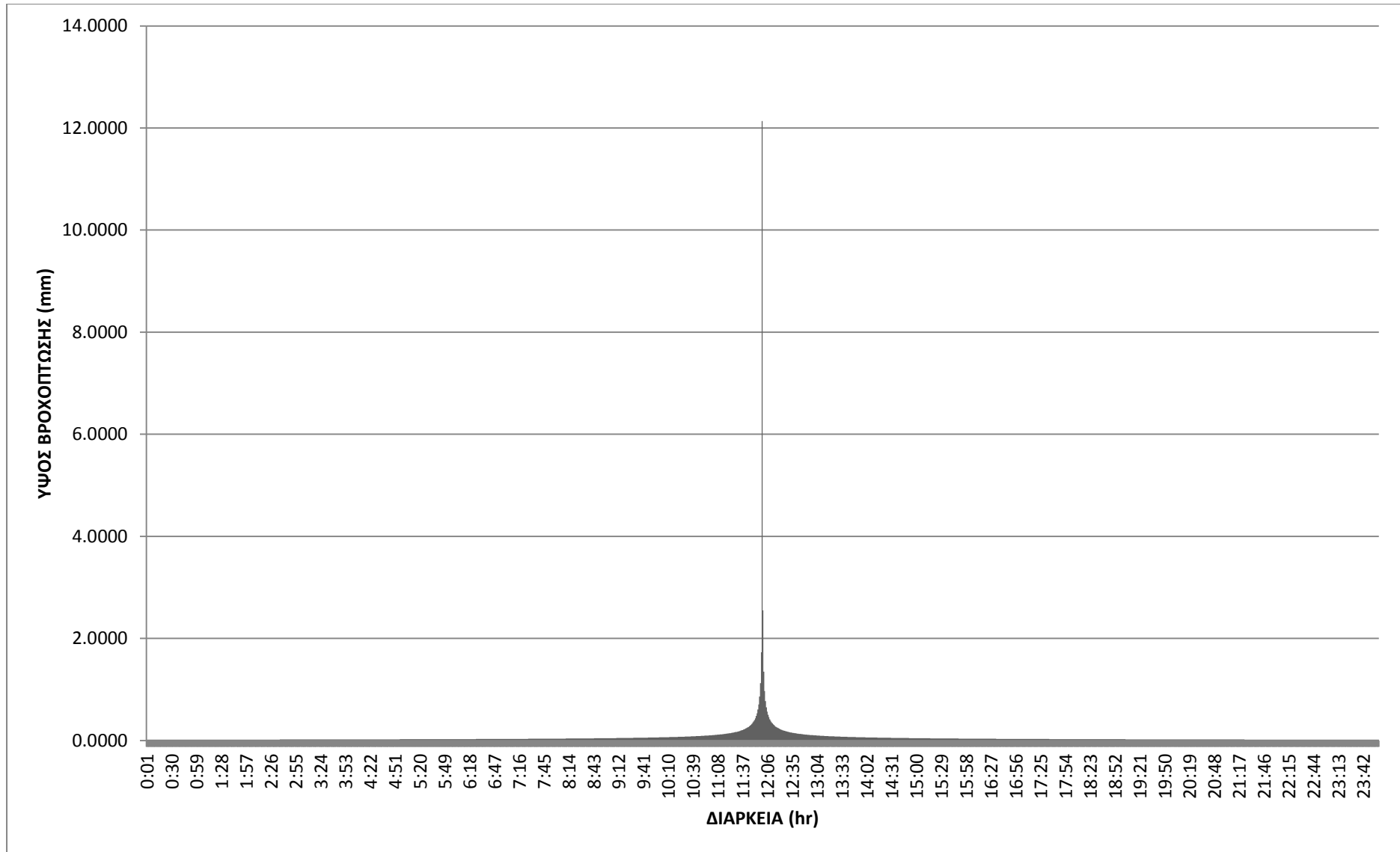
Εικόνα Π-Δ.30: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=24h



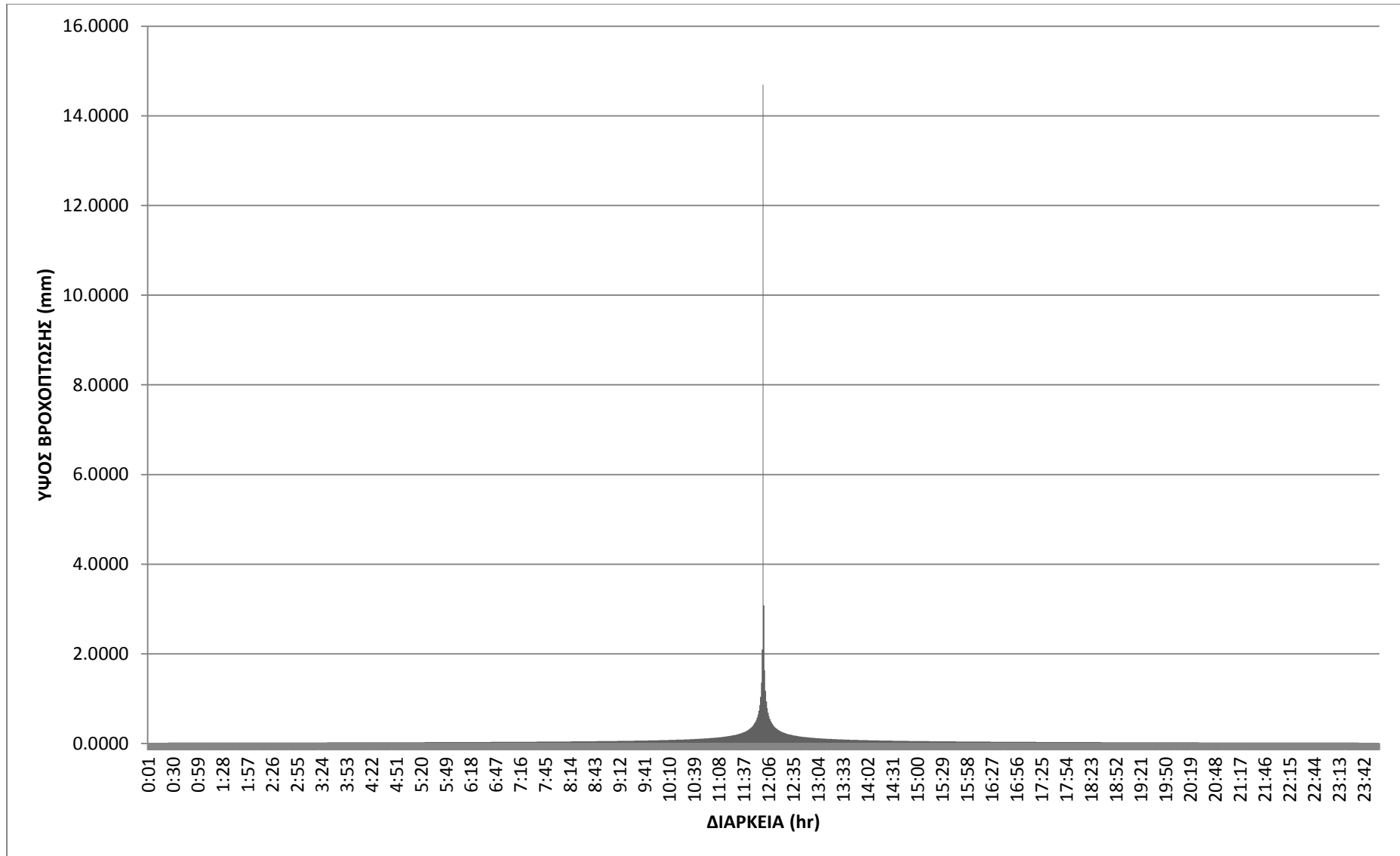
Εικόνα Π-Δ.31: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=24h



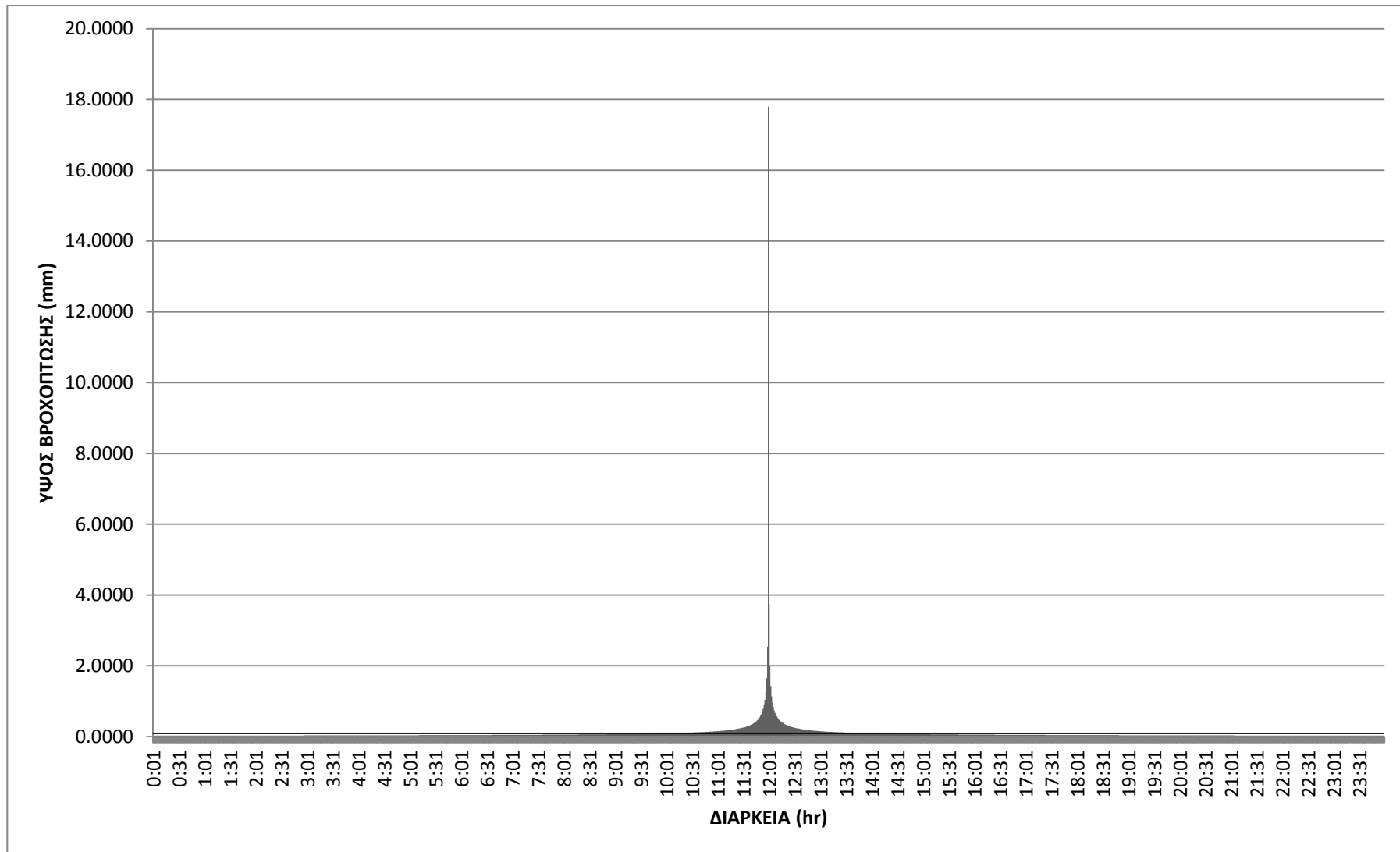
Εικόνα Π-Δ.32: Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=24h



Εικόνα Π-Δ.33: Υετογράφημα σχεδιασμού T=25 και t=24h



Εικόνα Π-Δ.34: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=24h



Εικόνα Π-Δ.35: Υετογράφημα $T=100$ και $t=24h$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

Πίνακας Π-Ε.1: Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V	
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min	
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
D-12-56->D-12-55	49.05	0.0976	0.950			4.22	164.45	42.37	0.0222	0.0130	0.2608	0.20	0.3	0.0917	0.2022	0.3710	1.770	0.46	
						Tc=	4.7												
D-12-55->D-12-54	50.30	0.4422	0.950		3.4	4.68	152.52	177.99	0.0089	0.0130	0.2608	0.41	0.3	0.6081	0.7204	0.3556	2.61	0.32	
F-6->F-5	63.50	0.8693	0.950			4.64	153.44	352.00	0.0942	0.0130	0.2608	0.34	0.4	0.1716	0.2588	0.5297	5.21	0.20	
						Tc1=	4.8												
						Tc2=	4.5												
F-5->F-4	43.65	1.1537	0.950			4.85	148.75	452.87	0.0300	0.0130	0.2608	0.47	0.4	0.3913	0.3763	0.8269	3.77	0.19	
						Tc1=	5.0												
						Tc2=	2.4												
F-4->F-3	44.00	1.6053	0.950			5.04	144.59	612.55	0.0307	0.0130	0.2608	0.52	0.4	0.5232	0.5857	0.5402	5.12	0.14	
						Tc1=	5.2												
						Tc2=	2.4												
F-3->D-12-54	87.25	2.0685	0.95			5.18	141.69	773.40	0.0403	0.0045	0.2608	0.36	0.5	0.1101	0.2181	0.4102	10.18	0.14	

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V	
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min	
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
						Tc1=	5.0												
						Tc2=	5.3												
						Tc3=	5.2												
D-12-54->D-12-53	71.66	3.0315	0.95			5.32	138.92	1111.35	0.0071	0.0092	0.2608	0.75	0.4	1.3970	1.9723	-1.3593	7.82	0.15	
D-1-53C->D-12-53	43.90	1.3108	0.95			5.51	135.44	468.50	0.0309	0.0119	0.2608	0.45	0.3	0.7864	1.0033	-0.0319	6.63	0.11	
						Tc1=	5.2												
						Tc2=	5.5												
						Tc3=	5.6												
						Tc4=	4.6												
D-12-53->D-12-52	80.79	4.8689	0.95			5.62	133.51	1715.40	0.0095	0.0083	0.2608	0.80	0.5	0.9275	1.2273	-0.3388	8.48	0.16	
D-12-52D->D-12-52	90.39	0.9828	0.95			2.28	256.55	665.37	0.0637	0.0037	0.2608	0.29	0.35	0.1604	0.2526	0.5086	13.53	0.11	

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Tc1= 5.3

Tc2= 5.6

Tc3= 5.8

Tc4= 2.4

Tc5= 5.6

D-12-52->D-12-51 43.32 6.6015 0.95 5.78 130.84 **2279.35** 0.0085 0.0130 0.2608 1.08 0.6 1.2550 1.7470 -1.0506 7.32 0.10

Tc1= 5.9

Tc2= 5.7

Tc3= 5.9

Tc4= 2.5

Tc5= 5.7

D-12-51->D-12 49.30 6.9729 0.95 5.88 129.25 **2378.23** 0.0071 0.0130 0.1335 1.46 1.05 0.3222 0.4121 0.9850 3.71 0.22

Tc= 7.5

D-13-2->D-13-1 98.79 4.8088 0.95 7.50 108.37 **1375.20** 0.0940 0.0072 0.1335 0.59 0.9 0.0428 0.1413 0.3384 10.77 0.15

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V	
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min	
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
						Tc1= 7.7													
						Tc2= 1.7													
D-13-1->D-13	83.60	5.6118	0.95			7.65	106.80	1581.51	0.0500	0.0064	0.1335	0.67	0.9	0.0599	0.1577	0.4091	9.51	0.15	
D-15-1->D-15	49.78	0.3017	0.95			2.36	250.83	199.70	0.0159	0.0053	0.1335	0.35	0.9	0.0111	0.0897	0.1613	4.44	0.19	
						Tc1= 2.5													
						Tc2= 3.8													
D-15->D-14	71.60	0.7434	0.95			3.82	176.64	346.52	0.0645	0.0096	0.1335	0.42	0.9	0.0174	0.1045	0.2058	5.47	0.22	
						Tc1= 2.8													
						Tc2= 1.7													
D-14->D-13	51.70	1.0167	0.95			2.76	223.60	599.90	0.0149	0.0130	0.1335	0.76	1.2	0.0393	0.1374	0.3228	2.82	0.31	

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V	
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min	
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
											0.1335								
						Tc1= 3.1					0.1335								
						Tc2= 7.8					0.1335								
						Tc3= 2.1					0.1335								
D-13->D-12	73.50	7.0330	0.95			7.80	105.34	1954.98	0.0615	0.0093	0.1335	0.80	1.35	0.0329	0.1296	0.2928	8.34	0.15	
D-12-1B->D-12-1	37.28	2.3715	0.95			4.77	150.41	941.27	0.0072	0.0130	0.2608	0.80	0.6	0.5631	0.6490	0.4535	3.48	0.18	
D-12-2->D-12-1	76.00	2.6422	0.95			4.54	156.01	1087.81	0.0341	0.0097	0.2608	0.57	0.6	0.2231	0.2831	0.6262	5.84	0.22	
						Tc1= 5.0													
						Tc2= 4.8													
						Tc3= 2.6													
D-12-1->D-12	89.10	5.7208	0.95			4.95	146.45	2210.92	0.0073	0.0130	0.1335	1.41	1.05	0.2954	0.3679	0.9611	3.49	0.43	

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{teliko}	$\frac{(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW})}{(Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})}$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

D-12-56 Tc1 5.6
 F-6 Tc2 6.0
 D-12-53C Tc3 6.1
 D-12-52D Tc4 2.7
 D-15-1 Tc5 3.2
 D-13-2 Tc6 7.9
 D-12-1B Tc7 5.4
 D-12-2 Tc8 5.2
 λεκάνη Tc9 5.4

D-12->D10 71.45 20.3196 0.95 7.95 103.92 **5572.37** 0.0401 0.0048 0.1335 1.00 1.35 0.0600 0.1577 0.4093 14.88 0.08

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικό}	$\frac{(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW})}{(Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})}$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

D-12-56 Tc1 5.5
 F-6 Tc2 6.0
 D-12-53C Tc3 6.2
 D-12-52D Tc4 2.8
 D-15-1 Tc5 3.3
 D-13-2 Tc6 8.0
 D-12-1B Tc7 5.5
 D-12-2 Tc8 5.3
 λεκάνη Tc9 2.3

D-10->D-9	76.95	20.5325	0.95			8.03	103.17	5589.98	0.0400	0.0130	0.1335	1.46	1.35	0.1632	0.2105	0.7587	6.65	0.19
---------------------	-------	---------	------	--	--	------	--------	----------------	--------	--------	--------	------	------	--------	--------	--------	------	------

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

D-12-56 Tc1 5.7
 F-6 Tc2 6.2
 D-12-53C Tc3 6.4
 D-12-52D Tc4 3.0
 D-15-1 Tc5 3.5
 D-13-2 Tc6 8.2
 D-12-1B Tc7 5.6
 D-12-2 Tc8 5.5
 λεκάνη Tc9 2.4

D-9->D-7NEW	154.47	20.9380	0.95			8.22	101.41	5603.09	0.0300	0.0076	0.1335	1.26	1.5	0.0834	0.1750	0.4947	9.34	0.28
D-7-6->D-7-3	101.99	1.6114	0.95			4.05	169.43	720.45	0.0301	0.0089	0.1335	0.62	0.9	0.0489	0.1477	0.3649	5.08	0.33

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Tc1= 4.4

Tc2= 5.7

D-7-3->D-7-2	51.76	3.8952	0.95			5.72	131.94	1356.25	0.0259	0.0043	0.1335	0.61	1.05	0.0318	0.1281	0.2874	9.82	0.09
------------------------	-------	--------	------	--	--	------	--------	----------------	--------	--------	--------	------	------	--------	--------	--------	------	------

Tc1 4.5

Tc2 4.0

D-7-2->D-7-1A	45.85	4.7188	0.95			4.47	157.66	1963.26	0.0064	0.0130	0.1335	1.39	1.2	0.1962	0.2451	0.8177	2.72	0.28
-------------------------	-------	--------	------	--	--	------	--------	----------------	--------	--------	--------	------	-----	--------	--------	--------	------	------

Tc1 4.8

Tc2 5.5

D-7-1A->D-7-1	57.30	4.9899	0.95			5.49	135.96	1790.24	0.0056	0.0130	0.1335	1.37	1.2	0.1913	0.2398	0.8092	2.51	0.38
-------------------------	-------	--------	------	--	--	------	--------	----------------	--------	--------	--------	------	-----	--------	--------	--------	------	------

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
						Tc1	5.1											
						Tc2	4.2											
D-7-1>D-7NEW	34.55	5.3617	0.95			5.13	142.66	2018.41	0.0058	0.0130	0.1335	1.43	1.35	0.1548	0.2018	0.7426	2.46	0.23
				D-12-56	Tc1	6.0												
				F-6	Tc2	6.5												
				D-12-53C	Tc3	6.7												
				D-12-52D	Tc4	3.3												
				D-15-1	Tc5	3.8												
				D-13-2	Tc6	8.5												
				D-12-1B	Tc7	5.9												
				D-12-2	Tc8	5.7												
				D-7-6	Tc9	5.4												
				λεκάνη	Tc10	5.2												
D-7NEW->D-6NEW	49.70	27.007	0.95			8.49	99.01	7056.34	0.0161	0.0130	0.1335	1.88	1.65	0.1902	0.2387	0.8073	5.24	0.16

Παράρτημα Ε

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

6-7->6-6	56.40	0.2040	0.95			3.00	210.57	113.36	0.0543	0.0130	0.2608	0.25	0.6	0.0247	0.1146	0.1891	3.01	0.31
----------	-------	--------	------	--	--	------	--------	---------------	--------	--------	--------	------	-----	--------	--------	--------	------	------

Tc1 3.3

Tc2 1.4

6-6->6-5	40.80	0.4226	0.95			3.31	195.98	218.56	0.0321	0.0130	0.2608	0.35	0.6	0.0619	0.1719	0.3022	3.03	0.22
----------	-------	--------	------	--	--	------	--------	---------------	--------	--------	--------	------	-----	--------	--------	--------	------	------

Tc1 3.5

Tc2 3.4

6-5->6-3	49.50	0.7307	0.95			3.54	186.88	360.35	0.0499	0.0130	0.2608	0.39	0.6	0.0819	0.1934	0.3497	4.09	0.20
----------	-------	--------	------	--	--	------	--------	---------------	--------	--------	--------	------	-----	--------	--------	--------	------	------

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{teliko}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Tc1 3.7

Tc2 3.9

6-3->D-6new 148.10 1.4830 0.95 3.86 175.55 **687.02** 0.0249 0.0070 0.2608 0.45 0.6 0.1190 0.2248 0.4282 5.93 0.42

D-12-56 Tc1 6.1

F-6 Tc2 6.7

D-12-53C Tc3 6.8

D-12-52D Tc4 3.4

D-15-1 Tc5 3.9

D-13-2 Tc6 8.7

D-12-1B Tc7 6.1

D-12-2 Tc8 5.9

D-7-6 Tc9 5.5

(6-7) Tc10 4.2

λεκάνη Tc11 5.1

D-6NEW->D-5NEW 115.02 29.776533 0.95 8.65 97.70 **7676.81** 0.016 0.013 0.1335 1.9466397 1.65 0.2075 0.2573 0.8367 5.4968624 0.3487444

Παράρτημα Ε

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

D-5-1->D-5NEW	93.60	1.2397	0.95			5.87	129.36	423.17	0.021	0.013	0.1335	0.6239384	1.05	0.0333	0.1301	0.2947	2.9565692	0.5276386
---------------	-------	--------	------	--	--	------	--------	--------	-------	-------	--------	-----------	------	--------	--------	--------	-----------	-----------

D-12-56	Tc1	6.47
F-6	Tc2	7.01
D-12-53C	Tc3	7.16
D-12-52D	Tc4	3.77
D-15-1	Tc5	4.27
D-13-2	Tc6	9.00
D-12-1B	Tc7	6.43
D-12-2	Tc8	6.24
D-7-6	Tc9	5.87
(6-7)	Tc10	4.50
D-5-1	Tc11	6.40
λεκάνη	Tc12	5.88

D-5NEW->D-4NEW	64.25	32.6278	0.95			9.00	94.94	8174.34	0.0159	0.013	0.1335	1.9953686	1.8	0.1758	0.2235	0.7819	5.2867155	0.2025517
----------------	-------	---------	------	--	--	------	-------	---------	--------	-------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D'^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D'^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

D-12-56 Tc1 6.7
 F-6 Tc2 7.2
 D-12-53C Tc3 7.4
 D-12-52D Tc4 4.0
 D-15-1 Tc5 4.5
 D-13-2 Tc6 9.2
 D-12-1B Tc7 6.6
 D-12-2 Tc8 6.4
 D-7-6 Tc9 6.1
 (6-7) Tc10 4.7
 D-5-1 Tc11 6.6
 λεκάνη Tc12 4.5

D-4NEW->D-3NEW	69.35	33.3537	0.95			9.20	93.42	8222.46	0.0159	0.013	0.1335	1.9997651	1.8	0.1768	0.2246	0.7837	5.3037436	0.2179278
----------------	-------	---------	------	--	--	------	-------	----------------	--------	-------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

Παράρτημα Ε

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

D-12-56 Tc1 6.9
 F-6 Tc2 7.4
 D-12-53C Tc3 7.6
 D-12-52D Tc4 4.2
 D-15-1 Tc5 4.7
 D-13-2 Tc6 9.4
 D-12-1B Tc7 6.9
 D-12-2 Tc8 6.7
 D-7-6 Tc9 6.3
 (6-7) Tc10 4.9
 D-5-1 Tc11 6.8
 λεκάνη Tc12 4.6

D-3NEW->D-2	120.00	33.8059	0.95			9.42	91.85	8193.74	0.012	0.013	0.1335	2.1053514	1.8	0.2028	0.2522	0.8288	4.977395	0.4018166
-----------------------	--------	---------	------	--	--	------	-------	----------------	-------	-------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	----------	-----------

D-52->D-51	31.80	2.1679	0.95			4.76	150.61	861.60	0.0292	0.013	0.1335	0.765765	0.9	0.0868	0.1771	0.5065	3.8646196	0.1371416
----------------------	-------	--------	------	--	--	------	--------	---------------	--------	-------	--------	----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

Παράρτημα Ε

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
				D-52	Tc1	4.9												
				λεκανη	Tc2	3.4												
D-51->D50	42.00	2.8053	0.95			4.90	147.54	1092.21	0.0271	0.013	0.1335	0.848785	0.9	0.1142	0.1921	0.5978	3.9302814	0.1781043
					Tc1	5.1												
					Tc2	3.1												
D-50->D-49	40.35	3.2443	0.95			5.08	143.77	1230.84	0.027	0.013	0.1335	0.8883	1.05	0.0855	0.1763	0.5020	4.1056413	0.163799
				D-52	Tc1	5.2												
				λεκανη	Tc2	3.1												
D-49->D-48	39.50	3.6527	0.95			5.24	140.50	1354.26	0.0268	0.013	0.1335	0.9219943	1.05	0.0944	0.1817	0.5324	4.1733807	0.1577458
				D-52	Tc1	5.4												
				λεκανη	Tc2	3.0												
D-48->D-47	50.10	4.0941	0.95			5.40	137.51	1485.64	0.0248	0.013	0.1335	0.9685526	1.05	0.1077	0.1889	0.5764	4.1198418	0.2026777

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικό}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V	
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min	
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
				D-52 λεκανη		Tc1 Tc2	5.6 5.5												
D-47->D-46	30.85	7.4497	0.95			5.60	133.88	2632.02	0.0671	0.013	0.1335	0.995894	1.05	0.1160	0.1930	0.6035	6.8734428	0.0748048	
				D-52 λεκανη		Tc1 Tc2	5.7 2.3												
D-46->D-45	59.60	7.9603	0.95			5.68	132.60	2785.51	0.0706	0.013	0.1335	1.0076364	1.05	0.1197	0.1947	0.6154	7.0918354	0.1400672	
D-45B->D-45	88.75	1.8665	0.95			7.89	104.45	514.45	0.0107	0.0101	0.1335	0.6930309	0.9	0.0665	0.1630	0.4340	2.8489191	0.5192028	

Παράρτημα Ε

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
				D-52	Tc1	5.8												
				D-45b	Tc2	8.4												
				λεκανη	Tc3	4.8												
D-45->D-44	64.45	12.6312	0.95			8.41	99.73	3324.25	0.0624	0.013	0.1335	1.1019287	1.05	0.1519	0.1988	0.7370	6.7624707	0.1588423
				D-52	Tc1	6.0												
				D-45b	Tc2	8.6												
				λεκανη	Tc3	2.1												
D-44->D-43	75.30	13.3271	0.95			8.57	98.39	3460.15	0.0365	0.013	0.1335	1.2369318	1.05	0.2067	0.2565	0.8353	6.1281774	0.2047917
				D-52	Tc1	6.2												
				D-45b	Tc2	8.8												
				λεκανη	Tc3	6.6												
D-43->D-42	77.00	16.7193	0.95			8.77	96.72	4267.16	0.0479	0.013	0.1335	1.2716112	1.05	0.2225	0.2740	0.8609	7.3363774	0.1749274

Παράρτημα Ε

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
			D-52	Tc1	6.4													
			D-45b	Tc2	8.9													
			λεκανη	Tc3	5.7													
D-42->D-40	43.68	18.6916	0.95			8.95	95.34	4702.76	0.0456	0.0054	0.1335	0.957438	1.2	0.0731	0.1680	0.4583	13.594248	0.0535521
			D-52	Tc1	6.4													
			D-45b	Tc2	9.0													
			λεκανη	Tc3	3.1													
D-40->D-39	67.32	19.3648	0.95			9.00	94.93	4851.09	0.0889	0.013	0.1335	1.1881906	1.35	0.0950	0.1820	0.5344	8.9985509	0.1246867
			D-52	Tc1	6.5													
			D-45b	Tc2	9.1													
			λεκανη	Tc3	4.9													
D-39->D-38	70.25	23.2718	0.95			9.13	93.99	5772.00	0.026	0.013	0.1335	1.597001	1.5	0.1578	0.2050	0.7485	5.6499529	0.2072289

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

D-52 Tc1 7.2
 D-45b Tc2 9.8
 λεκανη Tc3 8.4

D-36->D-35	76.03	28.2148	0.95			9.82	89.12	6635.68	0.0258	0.013	0.1335	1.68517	1.65	0.1413	0.1879	0.7159	5.6601189	0.2238763
----------------------	-------	---------	------	--	--	------	-------	----------------	--------	-------	--------	---------	------	--------	--------	--------	-----------	-----------

D-52 Tc1 7.5
 D-45b Tc2 10.0
 λεκανη Tc3 8.7

D-35->D-34	48.04	28.8228	0.95			10.05	87.68	6668.80	0.0139	0.013	0.1335	1.8959112	1.8	0.1534	0.2004	0.7399	4.5950253	0.1742464
----------------------	-------	---------	------	--	--	-------	-------	----------------	--------	-------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

Παράρτημα Ε

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

D-52 Tc1 7.6
D-45b Tc2 10.2
λεκανη Tc3 3.5

D-34->D-20-1	36.63	29.2033	0.95			10.22	86.59	6673.11	0.0137	0.013	0.1335	1.9015304	1.8	0.1546	0.2016	0.7423	4.5808312	0.1332728
------------------------	-------	---------	------	--	--	-------	-------	----------------	--------	-------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

D-52 Tc1 7.8
D-45b Tc2 10.4
λεκανη Tc3 3.4

D-20-1->D-20	46.50	29.5031	0.95			10.35	85.78	6678.58	0.0142	0.013	0.1335	1.8893739	1.8	0.1520	0.1989	0.7372	4.6219604	0.1676778
------------------------	-------	---------	------	--	--	-------	-------	----------------	--------	-------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

D-26-2->D-26-1	76.65	0.2635	0.95			6.08	126.21	87.75	0.0046	0.013	0.2608	0.3577307	0.3	0.4170	0.4171	0.7711	1.3052061	0.9787726
--------------------------	-------	--------	------	--	--	------	--------	--------------	--------	-------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

Παράρτημα Ε

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικό}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
D-26-3->D-26-1	61.74	0.7669	0.95			3.35	194.54	393.68	0.0274	0.013	0.2608	0.4494824	0.3	0.7666	0.9719	0.0112	5.5986245	0.1837951
			D-26-2	Tc1	7.1													
			D-26-3	Tc2	3.5													
			λεκάνη	Tc3	3.5													
D-26-1->D-26	76.94	1.5182	0.95			7.06	113.26	453.77	0.00145	0.0092	0.2608	0.7225392	0.5	0.6961	0.8601	0.1643	2.3580974	0.5438
D-27->D-26	75.80	3.2218	0.95			8.22	101.41	862.21	0.0406	0.013	0.1335	0.7200652	1.35	0.0250	0.1182	0.2515	4.5587071	0.2771254
			D-26-2	Tc1	7.6													
			D-26-3	Tc2	4.1													
			D-27	Tc3	8.5													
			λεκάνη	Tc4	4.0													
D-26->D-24A	43.00	5.3361	0.95			8.50	99.00	1394.11	0.0743	0.0074	0.1335	0.6232312	1.35	0.0170	0.1037	0.2035	9.9334865	0.0721465

Παράρτημα Ε

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{teliko}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
			D-26-2	Tc1	7.7													
			D-26-3	Tc2	4.1													
			D-27	Tc3	8.6													
			λεκάνη	Tc4	1.5													
D-24A->D-24	88.00	5.4936	0.95			8.57	98.40	1426.49	0.039	0.013	0.1335	0.876276	1.35	0.0422	0.1406	0.3358	5.0181279	0.2922737
			D-26-2	Tc1	8.0													
			D-26-3	Tc2	4.4													
			D-27	Tc3	8.9													
			λεκάνη	Tc4	3.0													
D-24->D-23	97.65	5.9735	0.95			8.86	96.03	1513.83	0.0339	0.013	0.1335	0.9198807	1.35	0.0480	0.1467	0.3610	4.8130201	0.3381453
			D-26-2	Tc1	8.3													
			D-26-3	Tc2	4.8													
			D-27	Tc3	9.2													
			λεκάνη	Tc4	2.9													
D-23->D-22	29.92	6.6198	0.95			9.20	93.46	1632.68	0.0338	0.013	0.1335	0.9468505	1.35	0.0519	0.1505	0.3769	4.8869081	0.1020413

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V	
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min	
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
			D-26-2	Tc1	8.4														
			D-26-3	Tc2	4.9														
			D-27	Tc3	9.3														
			λεκάνη	Tc4	2.8														
D-22->D-21	84.52	7.1003	0.95			9.30	92.72	1737.24	0.034	0.013	0.1335	0.9680776	1.35	0.0550	0.1534	0.3897	4.9645305	0.2837462	
D-21-1->D-21	85.90	2.8322	0.95			8.75	96.93	724.41	0.0158	0.013	0.1335	0.8051208	1.05	0.0658	0.1624	0.4313	2.9736854	0.4814452	
			D-26-2	Tc1	8.7														
			D-26-3	Tc2	5.2														
			D-27	Tc3	9.6														
			D-21-1	Tc4	9.2														
			λεκάνη	Tc5	2.8														
D-21->D-20	65.29	10.5657	0.95			9.58	90.72	2529.41	0.0316	0.013	0.1335	1.1299426	1.5	0.0627	0.1600	0.4198	5.2809884	0.2060536	

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

D-52 Tc1 7.9
 D-45b Tc2 10.5
 D-26-2 Tc3 8.9
 D-26-3 Tc4 5.4
 D-27 Tc5 9.8
 D-21-1 Tc6 9.4
 λεκανη Tc7 2.5

D-20->D-19	82.91	40.3959	0.95			10.52	84.79	9038.48	0.0211	0.013	0.1335	1.9649347	2.1	0.1119	0.1910	0.5901	6.0766599	0.2274001
----------------------	-------	---------	------	--	--	-------	-------	----------------	--------	-------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

D-7->D-5	106.20	6.6817	0.95			10.54	84.690595	1493.2954	0.04105	0.0089	0.2608	0.5959562	0.5	0.4165	0.4163	0.7722	7.9959738	0.2213614
--------------------	--------	--------	------	--	--	-------	-----------	------------------	---------	--------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

D-7 Tc1 10.8
 λεκάνη Tc2 3.0

D-5->D-3	53.80	7.6169	0.95			10.76	83.423659	1676.8331	0.04	0.013	0.2608	0.7209595	0.6	0.4256	0.4308	0.7524	6.2422156	0.1436456
--------------------	-------	--------	------	--	--	-------	-----------	------------------	------	-------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C		Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V	
	m	ha			min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
					D-7 λεκάνη	Tc1 Tc2	10.9 2.9											
D-3->D-2PALIO	69.70	8.2249	0.95			10.90	82.625313	1793.3502	0.04	0.013	0.2608	0.7393526	0.6	0.4552	0.4777	0.6881	6.6877612	0.1737004
					D-7 λεκάνη	Tc1 Tc2	11.1 3.1											
D-2PALIO->D-1	85.10	9.2219	0.95			11.08	81.683834	1987.8243	0.035	0.013	0.2608	0.7879387	0.6	0.5394	0.6113	0.5051	7.3738274	0.192347
					D-7 λεκάνη	Tc1 Tc2	11.3 3.1											
D-1->D-19	74.25	10.3153	0.95			11.27	80.670566	2195.9194	0.0225	0.0118	0.2608	0.8568649	0.6	0.6745	0.8258	0.2112	7.9596491	0.1554717

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

D-52 Tc1 8.2
 D-45b Tc2 10.7
 D-26-2 Tc3 9.1
 D-26-3 Tc4 5.6
 D-27 Tc5 10.0
 D-21-1 Tc6 9.7
 D-7 Tc7 11.4
 λεκάνη Tc8 3.4

D-19->D-2	85.55	51.3043	0.95			11.42	79.873105	10813.733	0.021	0.013	0.1335	2.1034881	2.1	0.1341	0.1806	0.7012	5.8399428	0.2441519
---------------------	-------	---------	------	--	--	-------	-----------	------------------	-------	-------	--------	-----------	-----	--------	--------	--------	-----------	-----------

Πίνακας Π-Ε.1 (συνέχεια): Επίλυση παντοροϊκού αποχετευτικού δικτύου Ζώνης Δ με την Ορθολογική Μέθοδο

ΤΜΗΜΑ	L	A	C			Tc	i	Q	S	n	$A * R^{2/3} / D^{8/3}$	D'	D _{τελικο}	$(A * R^{2/3} / D^{8/3}_{NEW}) = (Q * n) / (S^{1/2} * D^{8/3})$	R/D	y/D	V	L/V
	m	ha				min	mm/h	L/s				m	m				m/s	min
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
			D-12-56	Tc1	7.3													
			F-6	Tc2	7.8													
			D-12-53C	Tc3	8.0													
			D-12-52D	Tc4	4.6													
			D-15-1	Tc5	5.1													
			D-13-2	Tc6	9.8													
			D-12-1B	Tc7	7.3													
			D-12-2	Tc8	7.1													
			D-7-6	Tc9	6.7													
			(6-7)	Tc10	5.3													
			D-5-1	Tc11	7.2													
			D-52	Tc12	8.4													
			D-45b	Tc13	11.0													
			D-26-2	Tc14	9.4													
			D-26-3	Tc15	5.8													
			D-27	Tc16	10.3													
			D-21-1	Tc17	9.9													
			D-7	Tc18	11.7													
			λεκάνη	Tc19	6.0													
D-2->KAA-66_EKX_D	93.40	87.9595	0.95			11.67	78.657865	18257.704	0.012	0.0124	0.1335	2.7932867	2.4	0.2002	0.2493	0.8244	6.2735298	0.2481325

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ

Πίνακας Π-ΣΤ.1: Σύγκριση αποτελεσμάτων Ορολογικής Μεθόδου και προσομοιώσεων με το λογισμικό SWMM για τους αγωγούς του δικτύου αποχέτευσης από τον κόμβο D-12-56 έως τον κόμβο ΚΑΑ-66_EKX_D (έξοδος του συστήματος)

ΦΡΕΑΤΙΟ ΑΡΧΗΣ→ΦΡΕΑΤΙΟ ΠΕΡΑΤΟΣ	ΑΓΩΓΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=1h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=2h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=3h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=6h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=12h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=24h	Μέση παροχή αιχμής με το λογισμικό SWMM για βροχόπτωση T=5 και διάρκεια 1, 2, 3, 6, 12 και 24 h
		(m)	(m)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)
D-12-56->D-12-55	43	49.05	49.05	42.37	60.090	61.290	62.240	64.030	64.790	65.120	62.927
D-12-55->D-12-54	44	50.30	99.35	177.99	98.540	98.680	98.780	99.010	99.150	99.210	98.895
D-12-54->D-12-53	136	71.66	171.01	1111.35	471.680	471.350	471.260	471.120	470.670	470.590	471.112
D-12-53->D-12-52	53	80.79	251.80	1715.40	893.820	904.410	910.860	935.920	946.100	949.500	923.435
D-12-52->D-12-51	55	43.32	295.12	2279.35	1259.100	1273.990	1283.260	1301.400	1312.610	1317.380	1291.290
D-12-51->D-12	56	49.30	344.42	2378.23	1330.450	1348.280	1358.970	1379.340	1391.250	1396.370	1367.443
D-12->D10	105	71.45	415.87	5572.37	5334.550	5383.670	5410.410	5468.260	5512.440	5552.530	5443.643
D-10->D-9	106	76.95	492.82	5589.98	4953.730	5007.790	5038.230	5098.360	5145.340	5183.550	5071.167
D-9->D-7NEW	141	154.47	647.29	5603.09	5076.550	5132.880	5164.650	5226.630	5273.840	5311.850	5197.733
D-7NEW->D-6NEW	115	49.70	696.99	7056.34	6476.600	6502.500	6518.020	6552.920	6554.340	6546.080	6525.077
D-6NEW->D-5NEW	122	115.02	812.01	7676.81	6504.070	6512.000	6528.260	6541.680	6558.470	6563.100	6534.597
D-5NEW->D-4NEW	124	64.25	876.26	8174.34	7270.120	7268.630	7304.410	7275.330	7297.100	7311.690	7287.880
D-4NEW->D-3NEW	125	69.35	945.61	8222.46	7806.380	7812.990	7814.250	7833.150	7833.480	7835.510	7822.627
D-3NEW->D-2	126	120.00	1065.61	8193.74	6614.300	6639.430	6650.120	6670.720	6686.470	6699.880	6660.153
D-2->ΚΑΑ-66_EKX_D	127	93.40	1159.01	18257.70	16522.580	16736.310	16831.620	17007.140	17115.500	17153.730	16894.480

Πίνακας Π-ΣΤ.2: Σύγκριση αποτελεσμάτων Ορολογικής Μεθόδου και προσομοιώσεων με το λογισμικό SWMM για τους αγωγούς του δικτύου αποχέτευσης από τον κόμβο D-52 έως τον κόμβο ΚΑΑ-66_EKX_D (έξοδος του συστήματος)

ΦΡΕΑΤΙΟ ΑΡΧΗΣ→ΦΡΕΑΤΙΟ ΠΕΡΑΤΟΣ	ΑΓΩΓΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=1h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=2h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=3h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=6h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=12h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=24h	Μέση παροχή αιχμής με το λογισμικό SWMM για βροχόπτωση T=5 και διάρ- κεια 1, 2, 3, 6, 12 και 24 h
		(m)	(m)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)
D-52->D-51	1	31.80	31.80	861.60	639.630	652.510	661.090	682.560	709.450	726.810	678.675
D-51->D50	2	42.00	73.80	1092.21	867.930	885.610	897.280	925.340	957.100	975.740	918.167
D-50->D-49	3	40.35	114.15	1230.84	1063.160	1084.770	1099.270	1132.920	1167.990	1187.930	1122.673
D-49->D-48	4	39.50	153.65	1354.26	1241.600	1266.770	1283.900	1322.380	1360.060	1381.110	1309.303
D-48->D-47	5	50.10	203.75	1485.64	1424.470	1452.980	1472.580	1517.510	1559.500	1582.170	1501.535
D-47->D-46	6	30.85	234.60	2632.02	2568.630	2620.590	2653.140	2727.210	2792.950	2824.450	2697.828
D-46->D-45	7	59.60	294.20	2785.51	2800.530	2857.260	2892.980	2971.640	3040.390	3073.550	2939.392
D-45->D-44	10	64.45	358.65	3324.25	3450.190	3469.060	3477.480	3491.500	3501.110	3505.770	3482.518
D-44->D-43	11	75.30	433.95	3460.15	2996.300	3034.650	3038.880	3043.920	3046.610	3047.620	3034.663
D-43->D-42	12	77.00	510.95	4267.16	2834.920	2850.800	2857.880	2875.490	2893.830	2903.110	2869.338
D-42->D-40	13	43.80	554.75	4702.76	4058.740	4149.570	4190.070	4291.200	4397.510	4451.750	4256.473
D-40->D-39	14	67.32	622.07	4851.09	4209.270	4307.190	4348.810	4446.020	4551.660	4606.410	4411.560
D-39->D-38	15	70.25	692.32	5772.00	5011.540	5138.130	5193.310	5294.140	5396.970	5456.540	5248.438
D-38->D-37A	16	44.70	737.02	6166.31	5468.770	5672.600	5771.010	5929.500	6013.700	6051.710	5817.882
D-37A->D-37	17	40.90	777.92	6143.66	5499.160	5690.590	5771.120	5905.190	5998.160	6041.790	5817.668
D-37->D-36	18	79.75	857.67	6230.92	5600.270	5795.500	5878.450	6020.700	6120.220	6167.870	5930.502
D-36->D-35	19	76.03	933.70	6635.68	5999.000	6207.470	6294.460	6445.280	6556.310	6609.370	6351.982

Πίνακας Π-ΣΤ.2 (συνέχεια): Σύγκριση αποτελεσμάτων Ορολογικής Μεθόδου και προσομοιώσεων με το λογισμικό SWMM για τους αγωγούς του δικτύου αποχέτευσης από τον κόμβο D-52 έως τον κόμβο ΚΑΑ-66_EΚΧ_D (έξοδος του συστήματος)

ΦΡΕΑΤΙΟ ΑΡΧΗΣ→ΦΡΕΑΤΙΟ ΠΕΡΑΤΟΣ	ΑΓΩΓΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΜΗΚΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=1h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=2h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=3h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=6h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=12h	ΠΑΡΟΧΗ ΑΙΧΜΗΣ SWMM, t=24h	Μέση παροχή αιχμής με το λογισμικό SWMM για βροχόπτωση T=5 και διάρ- κεια 1, 2, 3, 6, 12 και 24 h
		(m)	(m)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)
D-35->D-34	20	48.04	981.74	6668.80	6119.220	6332.260	6420.960	6527.480	6542.220	6559.940	6417.013
D-34->D-20-1	21	36.63	1018.37	6673.11	6187.390	6442.950	6526.950	6608.610	6627.980	6641.520	6505.900
D-20-1->D-20	22	46.50	1064.87	6678.58	6247.410	6500.360	6586.260	6674.060	6695.170	6707.890	6568.525
D-20->D-19	35	82.91	1147.78	9038.48	8924.870	9122.240	9204.490	9357.140	9495.430	9563.670	9277.973
D-19->D-2	42	85.55	1233.33	10813.73	10184.130	10376.590	10504.090	10709.190	10798.880	10861.170	10572.342
D-2->ΚΑΑ-66_EΚΧ_D	127	93.40	1326.73	18257.70	16522.580	16736.310	16831.620	17007.140	17115.500	17153.730	16894.480

