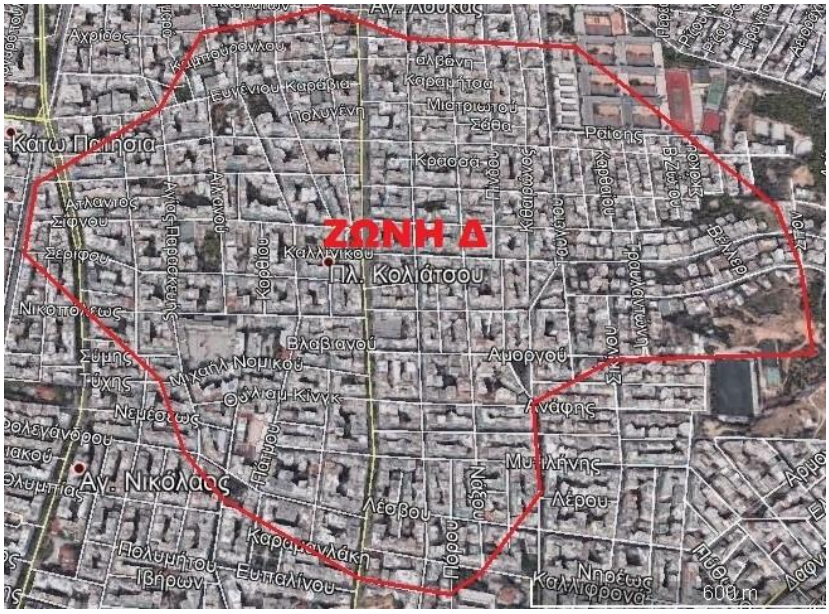
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υδρολογική Προσομοίωση Αστικής Λεκάνης με το Λογισμικό SWMM και Εκτίμηση της Επίδρασης της Διακριτοποίησης της Λεκάνης



ΤΖΙΜΑ ΜΑΡΙΑ-ΣΠΥΡΙΔΟΥΛΑ

Επιβλέπων : Τσιχριντζής Βασίλειος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους τους ανθρώπους που βοήθησαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου, κ. Βασίλειο Τσιχριντζή για την βοήθειά του στην αναζήτηση των δεδομένων της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές του και το άριστο κλίμα συνεργασίας καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης στον Ιωάννη Κούρτη, Υποψήφιο Διδάκτορα στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ για την καθοδήγηση και την καθοριστική συμβολή του στη διάρθρωση της εργασίας αλλά και το χρόνο και τις πληροφορίες που μου παρείχε.

Ολοκληρώνοντας, θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς τους γονείς μου και την αδερφή μου που με στήριξαν σε όλες τις δύσκολες στιγμές που πέρασα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς και τους φίλους μου για την κατανόηση και τη συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 15
ABSTRACT 17
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 19
1.1 Το νερό 19
1.2 Η σημασία των αποχετεύσεων 20
1.3 Σκοπός των δικτύων αποχετεύσεως 21
1.4 Δίκτυα Αποχέτευσης 22
1.4.1 Παντορροϊκό Δίκτυο 22
1.4.2 Χωριστικό Δίκτυο 23
1.4.3 Τα Εναλλακτικά Συστήματα Συλλογής και Αποχέτευσης Υγρών Απόβλητων 24
1.4.4 Επιλογή συστήματος αποχέτευσης 25
1.5 Ιστορικά Στοιχεία 25
1.6 Ιστορική Αναδρομή Αποχετεύσεων Αθηνών 28
1.6.1 Αρχαιότητα – 1840 28
1.6.2 Περίοδος 1840 – 1930 29
1.6.3 Περίοδος 1930 – 1950 29
1.6.4 Περίοδος 1950 – 1980 30
1.6.5 Περίοδος 1980 έως σήμερα 31
1.7 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας 32
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ 33
2.1 Παρουσίαση Λογισμικών 33
2.2 Το πρόγραμμα AutoCAD 33
2.3 Το πρόγραμμα ArcGIS 34
2.3.1 Το περιβάλλον του ArcMap 34
2.3.2 Το περιβάλλον του ArcCatalog 34
2.3.3 Το περιβάλλον του ArcToolbox 35
2.4 Το λογισμικό SWMM 36
2.4.1 Γενικά 36
2.4.2 Ιστορική Εξέλιξη του SWMM 36
2.4.3 Δυνατότητες του μοντέλου 38

2.4.4 Τυπικές εφαρμογές του SWMM 39
2.4.5 Εννοιολογική αντίληψη μοντέλου 39
2.4.6 Περιγραφή του SWMM 40
2.4.7 Αντικείμενα Προσομοίωσης 42
2.4.8 Υπολογιστικές Μέθοδοι 51
2.4.9 Επιφανειακή απορροή στο SWMM 53
2.5 Προσέγγιση άλλων μεθόδων εκτίμησης απορροής 62
2.6 Διήθηση 63
2.7 Πρόγραμμα Microsoft Excel 67
2.8 Βοηθητικά προγράμματα 68
2.8.1 Το πρόγραμμα InpPINS 68
2.8.2 Το πρόγραμμα Notepad++ 68
2.9 Προηγούμενες Μελέτες με το Λογισμικό SWMM 69
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ 83
3.1 Εκτίμηση Παροχής Ομβρίων 83
3.1.1 Γενικά 83
3.1.2 Η ορθολογική μέθοδος 83
3.2 Ελληνικές Προδιαγραφές Σχεδιασμού Δικτύων Αποχέτευσης 87
3.2.1 Δίκτυο Αποχέτευσης Ακαθάρτων 87
3.2.2 Δίκτυο Αποχέτευσης ομβρίων 88
3.3 Λογισμικά Προσομοίωσης 89
3.4 Σημαντικές υδρολογικές έννοιες 90
3.4.1 Περίοδος επαναφοράς 90
3.4.2 Ύψος βροχής 91
3.4.3 Διάρκεια βροχής 91
3.4.4 Υετογράφημα 91
3.4.5 Μέθοδος των εναλλασσόμενων υψών βροχής 92
4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ 95
4.1 Γενική Περιγραφή 95
4.2 Περιγραφή Ζώνης Δ 96
4.3 Πορεία Εργασιών 100
4.4 Σχεδιασμός των λεκανών απορροής 102
4.5 Χρήσεις γης 105
4.6 Υπολογισμός απαραίτητων δεδομένων για το SWMM 107

4.7 Δημιουργία Υετογραφημάτων 109
4.8 Δόμηση Σεναρίων 111
4.9 Εισαγωγή Δεδομένων στο SWMM 115
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 117
5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 117
5.1.1 Βροχή διάρκειας 1h 117
5.1.2 Βροχή διάρκειας 2h 145
5.1.3 Βροχή διάρκειας 6h 156
5.1.4 Βροχή διάρκειας 12h 178
5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 189
5.2.1 Γενικά 189
5.2.2 Συμπεράσματα ως προς τα τρία σενάρια 189
5.2.3 Συμπεράσματα ως προς τη διακριτοποίηση των λεκανών 190
5.2.4 Συμπεράσματα ως προς την ικανότητα του αποχετευτικού δικτύου . 190
5.2.5 Μέτρα αντιμετώπισης 191
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 193
..... 198
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 199

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1.1: Άγαλμα του θεού των υδάτων, Ποσειδώνα (www.Wikipedia.org) 19
Εικόνα 1.2: Πέτρινος αγωγός ομβρίων υδάτων στην Κνωσό. (Πηγή:www.sewerhistory.org) 26
Εικόνα 1.3: Εκροή του Cloaca Maxima στον ποταμό Τίβερη.(Πηγή:www.sewerhistory.org) 27
Εικόνα 1.4: Χάρτης αποχετευτικών έργων στο Λονδίνο, 1930 (Πηγή:www.sewerhistory.org) 28
Εικόνα 1.5: Συλλεκτήρας ακαθάρτων, Αθήνα 1939 (ΕΥΔΑΠ) 30
Εικόνα 1.6: Τοποθέτηση αγωγού εντός πόλεως (ΕΥΔΑΠ 2013) 31
Εικόνα 1.7: Μονάδα επεξεργασία νερού Γαλατσίου 2000 (ΕΥΔΑΠ) 32
Εικόνα 2.1: Η εργαλειοθήκη του ArcToolbo 35
Εικόνα 2.2: Παράδειγμα εγκάρσιας τομής φυσικού καναλιού (Rossman 2010) 50
Εικόνα 2.3: Ιδεατή αναπαραγωγή υπολεκάνης στο SWMM (Rossman 2015) 54
Εικόνα 2.4: Μη γραμμικό μοντέλο δεξαμενής μιας υπολεκάνης στο SWMM (Rossman 2015) 55
Εικόνα 2.5: Είδη υποπεριοχών σε μια υπολεκάνη στο SWMM (Rossman,2015) 57
Εικόνα 2.6: Ιδεατός διαχωρισμός υπολεκάνης (Rossman 2015) 57
Εικόνα 2.7: Ακανόνιστο σχήμα υπολεκάνης για τον υπολογισμό του πλάτους. 59

Εικόνα 2.8: Το περιβάλλον εργασίας του Notepad ++. (Πηγή: www.notepad-plus-plus.org) 69
Εικόνα 4.1: Απεικόνιση Ζωνών Παντορροϊκού Δικτύου (Κούρτης 2016) 96
Εικόνα 4.2: : Η Ζώνη Δ σε δορυφορική εικόνα (Google Earth) 98
Εικόνα 4.3: Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Δήμου Αθηναίων (1985) 99
Εικόνα 4.4: Υετογράφημα σχεδιασμού T= 5 χρόνια, t=1 ώρα 109
Εικόνα 4.5: Υετογράφημα σχεδιασμού T= 10 χρόνια, t=1 ώρα 110
Εικόνα 4.6: Υετογράφημα σχεδιασμού T= 20 χρόνια, t=1 ώρα 110
Εικόνα 4.7: Υετογράφημα σχεδιασμού T= 25 χρόνια, t=1 ώρα 111
Εικόνα 4.8: Υετογράφημα σχεδιασμού T= 50 χρόνια, t=1 ώρα 111
Εικόνα 4.9: Περιβάλλον Notepad++ για τα αρχεία SWMM. 116
Εικόνα 5.1: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για t=1h,T=5 έτη (Σενάριο1). 118
Εικόνα 5.2: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 1). 118
Εικόνα 5.3: Ολική εισροή στο φρεάτιο J75 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 1). 119
Εικόνα 5.4: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για t=1h,T=5 έτη (Σενάριο 2). 119
Εικόνα 5.5: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 2). 120
Εικόνα 5.6: Ολική εισροή στο φρεάτιο J75 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 2). 120
Εικόνα 5.7: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για t=1h,T=5 έτη (Σενάριο 3). 121
Εικόνα 5.8: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 3). 121
Εικόνα 5.9: Ολική εισροή στο φρεάτιο J75 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 3). 122
Εικόνα 5.10: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 0). 122
Εικόνα 5.11: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για t=1h,T=5 έτη (Σενάριο 0). 123
Εικόνα 5.12: Απορροή των υπολεκανών του δικτύου για την περίπτωση των 3 σεναρίων (t=1h,T=5έτη). 123
Εικόνα 5.13: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=5έτη). 124
Εικόνα 5.14: Απορροή της υπολεκάνης 26 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=5έτη). 124
Εικόνα 5.15: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=5έτη). 125
Εικόνα 5.16: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη (Σενάριο 1). 126
Εικόνα 5.17: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη (Σενάριο 2). 126

Εικόνα 5.18: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς Τ=10 έτη (Σενάριο 3). 127
Εικόνα 5.19: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς Τ=10 έτη (Σενάριο 0). 128
Εικόνα 5.20: Ροή του αγωγού 1 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=10έτη). .. 128
Εικόνα 5.21: Ροή του αγωγού 4 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=10έτη). .. 129
Εικόνα 5.22: Βάθος αγωγού J9 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=20έτη). ... 131
Εικόνα 5.23: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=20έτη). 131
Εικόνα 5.24: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=20έτη). 132
Εικόνα 5.25: Εμφάνιση πλημμυρισμένων φρεατίων τη χρονική στιγμή 00:35:00. .. 133
Εικόνα 5.26: Ολική εισροή στο φρεάτιο J71 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς Τ=25 έτη. 133
Εικόνα 5.27: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής. 134
Εικόνα 5.28: Εμφάνιση πλημμυρισμένων φρεατίων τη χρονική στιγμή 00:34:30 ... 135
Εικόνα 5.29: Προφίλ αγωγού την χρονική στιγμή αιχμής. 135
Εικόνα 5.30: Εμφάνιση πλημμυρισμένων φρεατίων τη χρονική στιγμή 00:35:00 (Σενάριο 3). 136
Εικόνα 5.31: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής (Σενάριο 3)..... 136
Εικόνα 5.32: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής (Σενάριο 3)..... 137
Εικόνα 5.33: Εμφάνιση πλημμυρισμένων φρεατίων τη χρονική στιγμή 00:33:00 (Σενάριο 0). 138
Εικόνα 5.34: Απορροή των υπολεκανών του δικτύου για την περίπτωση των 3 σεναρίων. 139
Εικόνα 5.35: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=25έτη). 139
Εικόνα 5.36: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=25έτη). 140
Εικόνα 5.37: Προφίλ αγωγού 32 την χρονική στιγμή αιχμής. 141
Εικόνα 5.38: Προφίλ αγωγού 73 την χρονική στιγμή αιχμής. 141
Εικόνα 5.39: Προφίλ αγωγού 32 την χρονική στιγμή αιχμής. 143
Εικόνα 5.40: Προφίλ αγωγού 73 την χρονική στιγμή αιχμής. 143
Εικόνα 5.41: Βάθος νερού στην περίπτωση των τριών σεναρίων (t=1h,T=50έτη). 144
Εικόνα 5.42: Βάθος νερού στην περίπτωση του Σεναρίου 0 (t=1h,T=50έτη)..... 145
Εικόνα 5.43: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής για το Σενάριο 1 (T=5,t=2). 146
Εικόνα 5.44: Υδρογράφημα φρεατίου εκβολής για το Σενάριο 1 (T=5,t=2)..... 146
Εικόνα 5.45: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής για το Σενάριο 2 (T=5,t=2). 147
Εικόνα 5.46: Υδρογράφημα φρεατίου εκβολής για το Σενάριο 2 (T=5,t=2)..... 147
Εικόνα 5.47: Υδρογράφημα φρεατίου εκβολής για το Σενάριο 3 (T=5,t=2)..... 148
Εικόνα 5.48: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής για το Σενάριο 3 (T=5,t=2). 148
Εικόνα 5.49: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=2h,T=5έτη). 149

Εικόνα 5.50: Απορροή της υπολεκάνης 26 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=2h,T=5έτη). 149
Εικόνα 5.51: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=2h,T=5έτη). 150
Εικόνα 5.52: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη. 151
Εικόνα 5.53: Ολική εισροή στο φρεάτιο J60για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη. 151
Εικόνα 5.54: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 1 (T=10,t=2). 151
Εικόνα 5.55: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη. 152
Εικόνα 5.56: Ολική εισροή στο φρεάτιο J60για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη. 152
Εικόνα 5.57: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής. 153
Εικόνα 5.58: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 3 (T=10,t=2). 153
Εικόνα 5.59: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη. 154
Εικόνα 5.60: Ολική εισροή στο φρεάτιο J60για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη. 154
Εικόνα 5.61: Βροχόπτωση ανά υπολεκάνη για τα τρία σενάρια προσομοίωσης (T=10,t=2). 155
Εικόνα 5.62: Βροχόπτωση ανά υπολεκάνη για το Σενάριο 0 (T=10,t=2). 156
Εικόνα 5.63: Ολική εισροή στο φρεάτιο εξόδου για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη για το Σενάριο 1. 157
Εικόνα 5.64: Ολική εισροή στο φρεάτιο εξόδου για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη για το Σενάριο 2. 158
Εικόνα 5.65: Ολική εισροή στο φρεάτιο εξόδου για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη για το Σενάριο 3. 158
Εικόνα 5.66: Ολική εισροή στο φρεάτιο εξόδου για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη για το Σενάριο 0. 159
Εικόνα 5.67: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=6h,T=5έτη). 160
Εικόνα 5.68: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη για το Σενάριο 1. 161
Εικόνα 5.69: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 1 (T=10,t=2). 161
Εικόνα 5.70: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη για το Σενάριο 2. 162
Εικόνα 5.71: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 2 (T=10,t=6). 162
Εικόνα 5.72: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη για το Σενάριο 3. 163
Εικόνα 5.73: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 3 (T=10, t=6). 163

Εικόνα 5.74: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 0 (T=10, t=6). 164
Εικόνα 5.75: Χωρητικότητα αγωγών για τα τρία σενάρια προσομοίωσης (T=10,t=6). 165
Εικόνα 5.76: Χωρητικότητα αγωγών για το Σενάριο προσομοίωσης 0 (T=10,t=6). 165
Εικόνα 5.77: Ολική εισροή στο φρεάτιο J151 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 1. 166
Εικόνα 5.78: Προφίλ αγωγού 70 τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 1 (T=20,t=6). 167
Εικόνα 5.79: Ολική εισροή στο φρεάτιο J151 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 2. 168
Εικόνα 5.80: Προφίλ αγωγού 70 τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 2 (T=20,t=6). 168
Εικόνα 5.81: Ολική εισροή στο φρεάτιο J151 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 3. 169
Εικόνα 5.82: Προφίλ αγωγού 70 τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 3 (T=20, t=6)..... 169
Εικόνα 5.83: Απορροή υπολεκανών για τα τρία σενάρια προσομοίωσης(t=6h,T=20έτη). 170
Εικόνα 5.84: Ροή του αγωγού 77 για το Σενάριο 1(T=25,t=6). 171
Εικόνα 5.85: Ροή του αγωγού 77 για το Σενάριο 2(T=25,t=6). 172
Εικόνα 5.86: Ροή του αγωγού 77 για το Σενάριο 3(T=25,t=6). 173
Εικόνα 5.87: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=6h,T=25έτη). 174
Εικόνα 5.88: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=6h,T=25έτη). 174
Εικόνα 5.89: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=50 έτη για το Σενάριο 1..... 175
Εικόνα 5.90: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=50 έτη για το Σενάριο 2..... 176
Εικόνα 5.91: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=50 έτη για το Σενάριο 3..... 177
Εικόνα 5.92: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=50 έτη για το Σενάριο 0..... 177
Εικόνα 5.93: Ροή στον αγωγό 1 για όλα τα σενάρια (T=50, t=6)..... 178
Εικόνα 5.94: Ροή στον αγωγό 4 για όλα τα σενάρια (T=50, t=6)..... 178
Εικόνα 5.95: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 1 (T=5, t=12). 179
Εικόνα 5.96: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 2 (T=5, t=12). 180
Εικόνα 5.97: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 3 (T=5, t=12). 180
Εικόνα 5.98: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=5έτη). 181
Εικόνα 5.99: Απορροή της υπολεκάνης 26 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=5έτη). 182

Εικόνα 5.100: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=5έτη). 182
Εικόνα 5.101: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 1..... 183
Εικόνα 5.102: Βάθος φρεατίων αγωγών τη στιγμή αιχμής για το Σενάριο 1 (T=20,t=12). 183
Εικόνα 5.103: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 2..... 184
Εικόνα 5.104: Βάθος φρεατίων αγωγών τη στιγμή αιχμής για το Σενάριο 2 (T=20,t=12). 185
Εικόνα 5.105: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 3..... 186
Εικόνα 5.106: Βάθος φρεατίων αγωγών τη στιγμή αιχμής για το Σενάριο 3 (T=20,t=12). 186
Εικόνα 5.107: Βάθος φρεατίων αγωγών τη στιγμή αιχμής για το Σενάριο 0 (T=20,t=12). 187
Εικόνα 5.108: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=20έτη). 188
Εικόνα 5.109: Απορροή της υπολεκάνης 26 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=20έτη). 188
Εικόνα 5.110: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=20έτη). 189
Εικόνα 5.111: Πλημμυρισμένα Φρεάτια για t=1h..... 191
Εικόνα 5.112: Πλημμυρισμένα Φρεάτια για t=6h..... 191

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 2.1: Ιστορική εξέλιξη του μοντέλου SWMM (Rossman, 2015) 37
Πίνακας 2.2: Διαθέσιμα σχήματα διατομών για αγωγούς στο SWMM (Rossman 2010) 49
Πίνακας 2.3: Αδιαπέρατη περιοχή ως ποσοστό της χρήσης γης..... 58
Πίνακας 2.4: Τιμές του Συντελεστή Manning για Αγωγούς και Κανάλια (Τσιχριντζής, 1999)..... 60
Πίνακας 2.5: Τιμές του Συντελεστή Manning για Αβαθή Διάχυτη Ροή ή Ροή σε Δρόμο (Τσιχριντζής 1999) 61
Πίνακας 2.6: Τιμές κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας διαφόρων τύπων εδαφών (Rossman 2015)..... 66
Πίνακας 2.7: Τιμές του συντελεστή CN για επιλεγμένες χρήσεις γης (Τσιχριντζής 1999, Rossman 2015)..... 66
Πίνακας 3.1: Τιμές του Συντελεστή Διόρθωσης της Περιόδου Επαναφοράς, Cf (Τσιχριντής 1999)..... 84
Πίνακας 3.2: Τιμές του συντελεστή απορροής για διάφορους τύπους χρήσης γης (Τσακίρης 2013, WPCF 1976, ASCE 1976). 85
Πίνακας 3.3: Τιμές του συντελεστή απορροής για διάφορους τύπους επιφάνειας (Τσακίρης 2013, WPCF 1976, ASCE 1976) 86

Πίνακας 3.4: Τιμές του συντελεστή απορροής για εξωαστικές λεκάνες σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74)..... 86
Πίνακας 3.5: Τιμές του χρόνου εισόδου σύμφωνα με τις αμερικανικές προδιαγραφές (Τσακίρης 2013, WPCF 1976, ASCE 1976) 87
Πίνακας 3.6: Μέγιστος επιτρεπόμενος λόγος πλήρωσης αγωγών ομβρίων σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74). 88
Πίνακας 3.7: Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών ομβρίων από σκυρόδεμα σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74) 89
Πίνακας 4.1: Τιμές επιφανειακής συγκράτησης (Rossman, 2010) 108
Πίνακας 4.2: Τιμή συντελεστή τραχύτητας N για τα 3 Σενάρια 112
Πίνακας 4.3: Τιμή επιφανειακής συγκράτησης για τα 3 Σενάρια 113
Πίνακας 4.4: Τιμή συντελεστή CN για τα 3 Σενάρια. 113
Πίνακας 4.5: Τιμή αδιαπέρατου τμήματος ως ποσοστό της χρήσης γης για τα 3 Σενάρια. 114
Πίνακας 4.6: Τιμές των παραμέτρων για το Σενάριο 0. 114
Πίνακας 5.1: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 117
Πίνακας 5.2: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 119
Πίνακας 5.3: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 120
Πίνακας 5.4: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 122
Πίνακας 5.5: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 125
Πίνακας 5.6: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 126
Πίνακας 5.7: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 127
Πίνακας 5.8: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 127
Πίνακας 5.9: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 129
Πίνακας 5.10: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 130
Πίνακας 5.11: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 130
Πίνακας 5.12: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 130
Πίνακας 5.13: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών 132
Πίνακας 5.14: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών 134
Πίνακας 5.15: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών 136

Πίνακας 5.16: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών 137
Πίνακας 5.17: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών 140
Πίνακας 5.18: Κρίσιμοι αγωγοί Σεναρίου 1 140
Πίνακας 5.19: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών 142
Πίνακας 5.20: Κρίσιμοι αγωγοί Σεναρίου 2 142
Πίνακας 5.21: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών 142
Πίνακας 5.22: Κρίσιμοι αγωγοί Σεναρίου 3 142
Πίνακας 5.23: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών 143
Πίνακας 5.24: Κρίσιμοι αγωγοί Σεναρίου 0 144
Πίνακας 5.25: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 146
Πίνακας 5.26: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 147
Πίνακας 5.27: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 148
Πίνακας 5.28: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 149
Πίνακας 5.29: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 150
Πίνακας 5.30: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 152
Πίνακας 5.31: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 153
Πίνακας 5.32: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 154
Πίνακας 5.33: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 156
Πίνακας 5.34: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 157
Πίνακας 5.35: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 158
Πίνακας 5.36: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 159
Πίνακας 5.37: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 160
Πίνακας 5.38: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 161
Πίνακας 5.39: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 162
Πίνακας 5.40: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών 163

Πίνακας 5.41: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 166
Πίνακας 5.42: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 167
Πίνακας 5.43: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 168
Πίνακας 5.44: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 170
Πίνακας 5.45: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών 171
Πίνακας 5.46: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών 172
Πίνακας 5.47: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών 172
Πίνακας 5.48: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών 173
Πίνακας 5.49: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών 175
Πίνακας 5.50: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών 175
Πίνακας 5.51: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών 176
Πίνακας 5.52: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών 177
Πίνακας 5.53: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 179
Πίνακας 5.54: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 179
Πίνακας 5.55: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 180
Πίνακας 5.56: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών 181
Πίνακας 5.57: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 183
Πίνακας 5.58: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 184
Πίνακας 5.59: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 185
Πίνακας 5.60: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών 186

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Γενική διάταξη έργων αποχετεύσεως (Πηγή: Γιαννόπουλος, 2002) 21

Σχήμα 1.2: Διάταξη παντορροϊκού συστήματος (Πηγή: Γιαννόπουλος, 2002)..... 22
Σχήμα 1.3: Διάταξη χωριστικού συστήματος (Πηγή: Γιαννόπουλος, 2002) 23
Σχήμα 2.1: Οι ενότητες του SWMM (Γιοβάννη, 2013)..... 41
Σχήμα 2.2: Κατηγορίες προσομοίωσης στο μοντέλο SWMM (Rossman and Huber, 2016)..... 43
Σχήμα 2.3: Παράδειγμα Μοναδιαίου Υδρογραφήματος 51

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα αποχέτευσης αποτελούν αναμφισβήτητα δίκτυα κοινής ωφέλειας ζωτικής σημασίας για τη δημόσια υγεία, το επίπεδο ζωής και το περιβάλλον. Η αξία τους έχει αναγνωριστεί από πολλούς αρχαίους πολιτισμούς και πλέον στις σύγχρονες κοινωνίες δίνεται μεγάλη βαρύτητα στα συγκεκριμένα έργα υποδομής. Παρόλα αυτά, παρατηρείται συχνά η παράλειψη της συντήρησης και επίβλεψης των αποχετευτικών δικτύων. Οι κυριότερες αιτίες υποβάθμισής τους αποτελούν οι ψυχολογικοί παράγοντες, που δημιουργούν απέχθεια προς τα έργα αυτά καθώς και το ότι δεν προσφέρονται για προβολή και πολιτική εκμετάλλευση.

Η μελέτη των ήδη υπαρχόντων αποχετευτικών συστημάτων κρίνεται επιτακτική γιατί στοχεύει στον εντοπισμό αδύναμων σημείων των δικτύων τα οποία δημιουργούν προβλήματα σε περιόδους βροχής, την πρόβλεψη μελλοντικού κινδύνου ενώ παράλληλα δίνει τη δυνατότητα διατύπωσης προτάσεων σχετικά με πιθανά μέτρα αντιμετώπισης.

Στα πλαίσια αυτά εκπονήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία αντικείμενο της οποίας αποτελεί η προσομοίωση και ανάλυση τμήματος του παντορροϊκού δικτύου της Αθήνας. Στόχος ήταν η διερεύνηση της υδραυλικής συμπεριφοράς του δικτύου για διάφορα γεγονότα βροχής, η επισήμανση ενδεχόμενου πλημμυρικού κινδύνου και η διατύπωση ορισμένων μέτρων αντιμετώπισης.

Η συγκεκριμένη μελέτη είχε ως βάση της την δόμηση τριών Σεναρίων, μικρών, μεσαίων και μεγάλων τιμών παραμέτρων. Τα Σενάρια αυτά αποσκοπούν στη μελέτη της επίδρασης της επιλογής τιμών στα τελικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Επιπλέον, η μεγάλη λεπτομέρεια που επιτεύχθηκε στην ανάλυση των χρήσεων γης αποτελεί σημαντικό στοιχείο της παρούσας εργασίας.

Περιοχή Μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε η Ζώνη Δ του παντορροϊκού δικτύου αποχέτευσης. Η συνολική έκταση της συγκεκριμένης λεκάνης ανέρχεται στα 87.80 ha. Η περιοχή αποτελεί τμήμα του Δήμου Αθηναίων και συγκεκριμένα βρίσκεται στα Πατήσια. Το παντορροϊκό δίκτυο της ζώνης Δ μελετήθηκε και σχεδιάστηκε το 1967 από την ΥΔΡΕΞ, Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Υπονόμων, σύμφωνα με την Ορθολογική Μέθοδο ενώ το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο του Δήμου Αθηναίων θεωρεί ως κύρια χρήση γης στην περιοχή την κατοικία.

Κατά κύριο λόγο, τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι το AutoCAD 2016 της Autodesk, το πρόγραμμα ArcGIS της ESRI καθώς και το SWMM 5 της EPA, με τη βοήθεια του οποίου πραγματοποιήθηκε η υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση του δικτύου με τη μέθοδο του δυναμικού κύματος. Η ολοκλήρωση της μελέτης καθιστά εφικτή την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά του δικτύου ενώ συγκρίνοντας τα αποτελέσματά της με άλλες διπλωματικές εργασίες καταλήγουμε στο εάν έχει νόημα η μεγάλη λεπτομέρεια στην ανάλυση των χρήσεων γης. Τέλος, επισημαίνονται ορισμένες προτάσεις για την εφαρμογή μέτρων αντιμετώπισης.

Λέξεις κλειδιά: Παντορροϊκό αποχετευτικό σύστημα, Λογισμικό SWMM, Προσομοίωση, Υπολεκάνη, Φρεάτιο, Αγωγός, Μέθοδος δυναμικού κύματος, Υετογράφημα

ABSTRACT

Combined sewer system is an undoubtedly utility network of vital importance to public health, the standard of living and the environment.Its value has been recognized by many ancient civilizations, and now in modern societies, particular emphasis is placed on specific infrastructure projects. Nonetheless, failure to maintain and supervise sewer network is often observed. The main causes of its downgrading are the psychological factors that create a repulsion of these projects and the fact that they are not suitable for promotion and political exploitation.

The study of already existing combined sewer system is imperative because it aims at identifying weak points in the networks that cause problems in rainfall periods, anticipating future risks and at the same time giving the opportunity to formulate proposals on possible response measures.

The present diploma thesis is drafted in this context, the subject of which is the simulation and analysis of a part of the Athens combined sewer system. The aim was to investigate the hydraulic behavior of the network in rainfall, to identify potential flood risks and to formulate some response measures.

This study was based on the construction of three scenarios including small, medium and large parameter values. These Scenarios are designed to study the effect of values selection on the final results of the simulations. In addition, the great detail achieved in the analysis of land uses is an important element of this work.

Study area of this diploma work was selected Zone D of the Combined sewer system. The total area of this subcatchment is 87.80 ha. The area is part of the Municipality of Athens and is located in Patisia. The sewerage network of zone D was studied and designed in 1967 by Hellenic Sewer Company, according to the "orthological Method", while the General Urban Plan of the Municipality of Athens considers the main land use in the area as residential area.

Primarily the software used was AutoCad 2016 of Autodesk,the ArcGIS software of ESRI as well as the SWMM software 5 of EPA with the help of which the hydrological and hydraulic simulation of the network was carried out using the Dynamic Wave Routing method.The completion of the study makes it possible to draw conclusions about the behavior of the network while comparing its results with other diplomatic work, we come to see if the great detail in the analysis of land uses makes sense. Finally, some proposals for the implementation of countermeasures are highlighted.

Keywords: Combined sewer system, SWMM Software, simulation, Subcatcment, junction, conduit, Dynamic Wave Routing, yetograph

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το νερό

Το νερό θεωρείται ως το πιο κοινό και απλό στοιχείο στον πλανήτη λόγω της αφθονίας του σε πολλές μορφές, από τη θάλασσα και τα ποτάμια, μέχρι τους παγετώνες και την ατμόσφαιρα. Η ζωτική του σημασία είναι αναμφισβήτητη και αποτελεί το πλέον οικονομικό, πολιτικό και κοινωνικό αγαθό. Εξαιτίας της άνισης κατανομής του στη Γη, η διαχείρισή του αποτελεί θέμα με ισχυρές γεωπολιτικές, γεωοικονομικές και γεωστρατηγικές προεκτάσεις.

Το νερό υπήρξε από τα προϊστορικά χρόνια σημείο πολιτισμικής αναφοράς. Οι πρώτοι ανθρώπινοι οικισμοί εντοπίζονται κοντά σε λίμνες, ενώ όλοι οι μεγάλοι πολιτισμοί της αρχαιότητας αναπτύχθηκαν σε γόνιμες περιοχές κοντά στο υδάτινο στοιχείο (ποτάμι, θάλασσα).

Η αξία του έχει αναγνωρισθεί από την αρχαιότητα και αυτό είναι εμφανές από την πληθώρα των μύθων που έχουν δημιουργηθεί γύρω από αυτό και την θεοποίηση του από όλους τους αρχαίους πολιτισμούς. Από τους Ινδιάνους και Ίνκας της Αμερικής, αρχαίους Έλληνες και Αιγυπτίους, μέχρι τους Σαμάνους και Βαβυλώνιους της Ασίας, υπήρξε κύριο στοιχείο λατρείας (www.watersave.gr).

Εικόνα 1.1: Άγαλμα του θεού των υδάτων, Ποσειδώνα (www.Wikipedia.org)

Για τον Θαλή, η πρώτη απόλυτη αρχή των πάντων ήταν το Ύδωρ, από το οποίο δημιουργήθηκαν τα πάντα. Ήταν η ζωτική αρχή του κόσμου, δηλαδή έδινε ζωή διεισδύοντας παντού, ακόμα και στο μικρότερο μόριο μιας πέτρας. Άλλη μια θέση του Θαλή που μας δείχνει την αντίληψη του για τη σημασία του νερού είναι πως η Γη επιπλέει πάνω στο νερό (www.foundalis.com).

Ακόμα και στις σημερινές υπάρχουσες θρησκείες η αλληλεπίδραση νερού-ανθρώπου είναι συνυφασμένη με αρκετά μυστήρια που εκτελούνται μέσα σε αυτές όπως βάπτιση, αγιασμός των υδάτων, τελετές σε ποτάμια, καθαρμούς σωμάτων καθώς και το ράντισμα των πιστών από αυτό, γεγονός που αποδεικνύει την αντίληψη της "μαγικής δύναμης" του, η οποία επιδρά πάνω στον άνθρωπο.

Σήμερα, η επιστήμη έχει αποδείξει ότι η ζωή ξεκίνησε από το νερό, καθώς οι πρώτοι έμβιοι οργανισμοί δημιουργήθηκαν στη θάλασσα. Το ίδιο το σώμα του ανθρώπου αποτελείται από νερό κατά 70%. Στη Γη το 97% του νερού είναι αλμυρό (θάλασσες, ωκεανοί) ενώ μόλις το 3% είναι γλυκό. Ο συνολικός όγκος του νερού στον πλανήτη μας ανέρχεται περίπου στα 1.338.000.000 km^3.

Η επιστήμη που ασχολείται με τη φυσική κίνηση του νερού στη γη είναι η υδρολογία. Σύμφωνα με τον ορισμό που καθιερώθηκε από την UNESCO, Υδρολογία (Hydrology) είναι η επιστήμη που ασχολείται με το νερό στη γη και περιλαμβάνει την εμφάνιση, την κυκλοφορία και την κατανομή του, τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες και τις αλληλεπιδράσεις του με το περιβάλλον, στο οποίο περιλαμβάνονται και οι ανθρώπινες δραστηριότητες (Γιαννόπουλος, 2002). Η εμφάνιση και η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών βρήκε μεγάλη ανταπόκριση σε εφαρμογές υδρολογίας και συνέβαλε στην ανάπτυξή της. Η χρήση υπολογιστών επέτρεψε την επίλυση δυσεπίλυτων, ως τότε, προβλημάτων, λόγω της πολυπλοκότητας τους και παράλληλα έθεσε τις βάσεις για την ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων των υδρολογικών διεργασιών. Το πρώτο πακέτο υδρολογικών εφαρμογών, το HEC-1, δημιουργήθηκε το 1965 από το Σώμα Μηχανικών του στρατού των Η.Π.Α. και έκτοτε ακολούθησαν πολλά λογισμικά με εφαρμογή στην υδρολογία και στη διαχείριση των υδατικών πόρων.

1.2 Η σημασία των αποχετεύσεων

Η ανάγκη για διαμόρφωση πολύπλοκων δικτύων κοινής ωφέλειας έγινε αναπόφευκτη λόγω της εκδήλωσης της έντονης αστικοποίησης κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα. Τα δίκτυα αποχέτευσης συγκαταλέγονται στα δίκτυα αυτά. Σκοπός των δικτύων αποχέτευσης είναι η συλλογή, η μεταφορά και η τελική επεξεργασία των ακαθάρτων και των ομβρίων υδάτων (Κουτσογιάννης, 1999).

Η ζωτική σημασία των δικτύων αποχέτευσης για τη δημόσια υγεία και το επίπεδο ζωής έχει αναγνωρισθεί από πολλούς αρχαίους πολιτισμούς. Πλέον στις σύγχρονες κοινωνίες δίνεται μεγάλη βαρύτητα σε τέτοια έργα υποδομής με κινητήριο μοχλό για τη σωστή συντήρηση και συνεχή επίβλεψή τους, τη δημόσια υγεία, η οποία σε αντίθετη περίπτωση διακυβεύεται λόγω της εμφάνισης νόσων ακόμα και θανατηφόρων ασθενειών.

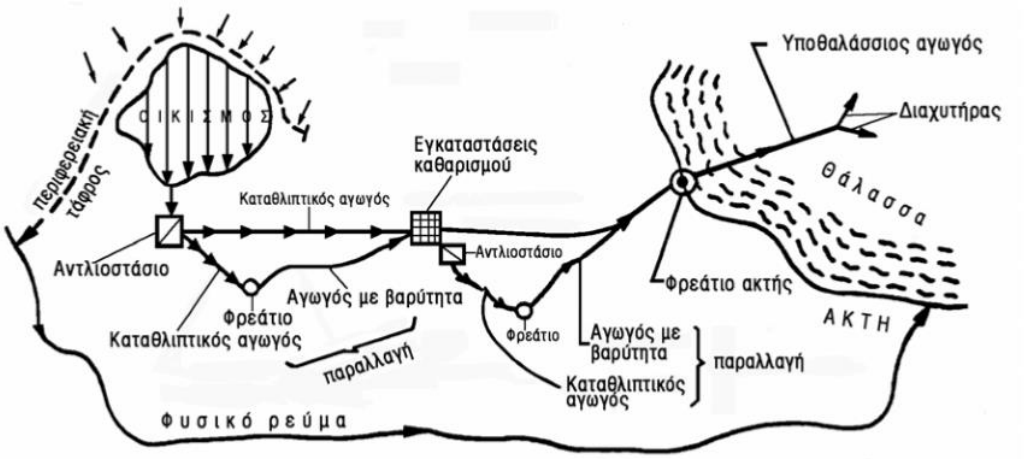
Το περιβάλλον είναι μια ακόμη μεταβλητή, η οποία απειλείται σε μεγάλο βαθμό από τις αποχετεύσεις. Σε περιοχές χωρίς δίκτυα αποχέτευσης λυμάτων παρατηρείται ρύπανση του εδάφους, των υπόγειων υδροφορέων και των επιφανειακών υδάτινων σωμάτων αλλά και εμφάνιση οσμών εξαιτίας των σηπτικών συνθηκών των βοθρολυμάτων. Αντίστοιχα, σε περιοχές που παρατηρείται ανεπάρκεια του δικτύου

αποχέτευσης ομβρίων, σε κάθε καταιγίδα οι δρόμοι μετατρέπονται σε ρέματα, παραλύει η κίνηση και η ζωή, πλημμυρίζουν σπίτια και αυτοκίνητα και πολλάκις χάνονται και ανθρώπινες ζωές (Martz, 1987).

Εντούτοις, η σημασία των δικτύων αποχέτευσης παραμελείται συχνά, καθώς είναι υπόγειες υποδομές και δεν προσφέρονται για προβολή και πολιτική εκμετάλλευση. Εξάλλου δεν έχουν άμεσα οικονομικά αποτελέσματα και η υπηρεσία που προσφέρουν δεν είναι εύκολο να τιμολογηθεί, όπως το νερό της ύδρευσης. Ακόμη, υπάρχουν και ψυχολογικοί λόγοι, που δημιουργούν απέχθεια προς τα έργα αυτά και υποβαθμίζουν τη βαρύτητά τους, επειδή συνδέονται με όχι τόσο άξιες προβολής στιγμές της ανθρώπινης ζωής (Κουτσογιάννης, 1999). Οι παράγοντες αυτοί συμβάλλουν στην καθυστέρηση της κατασκευής νέων έργων αποχέτευσης καθώς και τη συντήρηση ή ανανέωση των ήδη υφισταμένων, παρ' όλο που η ανάγκη για τη διενέργεια των παραπάνω διαδικασιών καθίσταται επιτακτική.

1.3 Σκοπός των δικτύων αποχετεύσεως

Σκοπός των αποχετευτικών συστημάτων είναι η γρήγορη και οικονομική συλλογή και απομάκρυνση των χρησιμοποιημένων υδάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται πλέον ως λύματα και αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία καθώς και για το περιβάλλον. Τα ακάθαρτα αυτά ύδατα παροχετεύονται μετά από επεξεργασία στον κοντινότερα αποδέκτη ή ακόμα είναι δυνατόν να επαναχρησιμοποιηθούν. Ταυτόχρονα με το αποχετευτικό σύστημα ακαθάρτων υλοποιείται και το δίκτυο ομβρίων υδάτων, το οποίο αποσκοπεί στην συγκέντρωση και απομάκρυνση των βρόχινων νερών (Γιαννόπουλος, 2002).



Σχήμα 1.1: Γενική διάταξη έργων αποχετεύσεως (Πηγή: Γιαννόπουλος, 2002)

Η σύσταση του συνολικού έργου αποχετεύσεως μιας πόλης αποτελείται από τις επιμέρους υποδομές:

1. Το δίκτυο υπόγειων αγωγών ή υπονόμων, το οποίο είναι εξοπλισμένο με κατάλληλα τεχνικά έργα, όπως είναι τα φρεάτια, οι σίφωνες, οι εκχειλιστές, τα αντλιοστάσια, οι ιδιωτικές παροχετεύσεις κ.λπ.
2. Τις εγκαταστάσεις καθαρισμού των ακαθάρτων υδάτων.

3. Τα έργα μεταφοράς και διαθέσεως στον τελικό αποδέκτη των καθαρισμένων ή όχι ακαθάρτων και των ομβρίων.
4. Τα έργα προστασίας (περιφερειακοί τάφροι που εκβάλλουν σε θάλασσα, ρέμα, ποτάμι κ.λπ.) του οικισμού από την εισροή ομβρίων υδάτων από γειτονικές λεκάνες απορροής.

1.4 Δίκτυα Αποχέτευσης

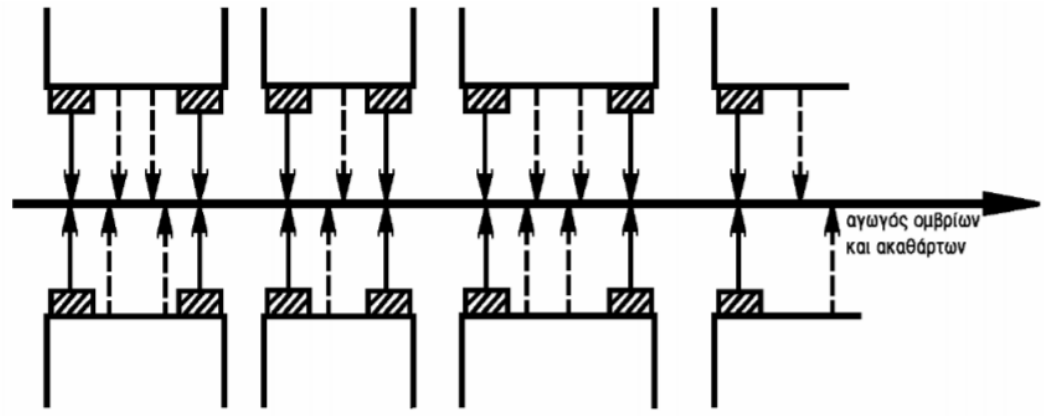
Ο οικονομικότερος τρόπος συγκέντρωσης και μεταφοράς των ακαθάρτων και ομβρίων υδάτων είναι η κατασκευή ενός σύγχρονου δικτύου αποχέτευσης (Γιαννόπουλος, 2002b). Δύο είναι τα βασικά συστήματα αποχέτευσης με τα οποία κατασκευάζονται σήμερα τα δίκτυα υπονόμων:

1. Το παντορροϊκό σύστημα
2. Το χωριστικό σύστημα.

Το παντορροϊκό σύστημα δέχεται τα λύματα μαζί με τα νερά της βροχής (όμβρια ύδατα) σε ένα κοινό σύστημα αγωγών. Αντιθέτως, το χωριστικό δίκτυο αποτελείται από δύο δίκτυα, το ένα εκ των οποίων κάνει συλλογή μόνο των λυμάτων και το άλλο μόνο των ομβρίων υδάτων

1.4.1 Παντορροϊκό Δίκτυο

Το παντορροϊκό δίκτυο είναι το σύστημα συλλογής ακαθάρτων και ομβρίων στον ίδιο αγωγό. Η χρήση τους προτιμάται όταν δεν απαιτείται επεξεργασία λυμάτων, δηλαδή τα λύματα (ακάθαρτα) και τα όμβρια διατίθενται χωρίς επεξεργασία απευθείας στον κεντρικό αποδέκτη. Αυτό συμβαίνει συνήθως σε μικρές κωμοπόλεις όπου τα φορτία λυμάτων δεν είναι μεγάλα.



Σχήμα 1.2: Διάταξη παντορροϊκού συστήματος (Πηγή: Γιαννόπουλος, 2002)

Τα μειονεκτήματα του παντορροϊκού δικτύου είναι πως απαιτούνται μεγάλες διατομές στους αγωγούς, ενώ το βάθος τοποθέτησης τους είναι μεγάλο, ανεβάζοντας έτσι το

κόστος των υλικών και των εκσκαφών. Σε περιόδους ξηρασίας όπου η παροχή είναι πάρα πολύ μικρή δημιουργούνται αποθέσεις στον πυθμένα των σωλήνων, με αποτέλεσμα να βγαίνουν δυσοσμίες δια μέσου των φρεατίων, δημιουργώντας δυσάρεστο περιβάλλον. Κατά τη διάρκεια καταιγίδων μπορεί να δημιουργηθούν υπερχειλίσεις από τα φρεάτια λόγω υπερφόρτωσης των αγωγών με βρόχινο νερό, γεγονός που αποτελεί κίνδυνο για τη δημόσια υγεία.

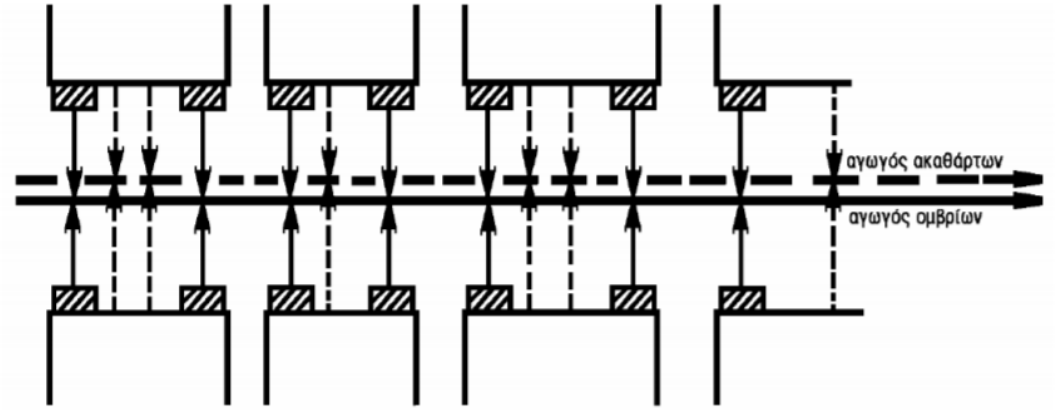
Η ένωση από τις κατοικίες των δύο αγωγών (ακαθάρτων και ομβρίων) γίνεται πριν από την ένωσή τους με το κεντρικό δίκτυο, για να μην γίνονται πολλές συνδέσεις στον παντορροϊκό αγωγό. (Τσόγκας, 1998)

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του παντορροϊκού δικτύου είναι η απλότητα του (ένας αγωγός σε κάθε δρόμο) που προσφέρει καλύτερη εποπτεία στο σύνολο του δίκτυο, και την μικρότερη απασχόληση της διατομής των δρόμων.

Εξαιτίας των παραπάνω μειονεκτημάτων η κατασκευή νέων παντορροϊκών δικτύων έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί, και οι νέες κατασκευές δικαιολογούνται μόνο σε επεκτάσεις παλιών παντορροϊκών δικτύων και σε οικισμούς με πολύ στενούς δρόμους που δεν επιτρέπουν την κατασκευή δυο παράλληλων αγωγών. (Κουτσογιάννης, 2011).

1.4.2 Χωριστικό Δίκτυο

Αντίστοιχα, το χωριστικό δίκτυο αποτελείται από δύο ξεχωριστά δίκτυα, ένα δίκτυο ακαθάρτων και ένα δίκτυο ομβρίων. Χρησιμοποιείται όταν υπάρχει πρόβλεψη εγκαταστάσεων καθαρισμού των λυμάτων, απαιτείται άντληση των παροχετευόμενων ποσοτήτων λόγο τοπογραφικής διαμόρφωσης του εδάφους και όταν για οικονομικούς λόγους απαιτείται η σταδιακή κατασκευή του δικτύου.



Σχήμα 1.3: Διάταξη χωριστικού συστήματος (Πηγή: Γιαννόπουλος, 2002)

Το δίκτυο ομβρίων κατασκευάζεται στις άκρες του δρόμου για πλάτος δρόμου μεγαλύτερο των 20μ, και στη μέση του δρόμου για πλάτος δρόμου μικρότερο των 20μ. Λόγω της σχετικά μικρής παροχής λυμάτων, οι αγωγοί στο δίκτυο ακαθάρτων έχουν μικρότερη διάμετρο (διατομή). Το βρόχινο νερό μπορεί να παροχετευτεί χωρίς

προβλήματα στον κοντινότερο αποδέκτη, αφού δεν περιέχει αστικά λύματα. Τα δύο είδη αγωγών, τοποθετούνται πιο εύκολα και όχι όσο βαθιά τοποθετείται ο μεικτός αγωγός του παντορροϊκού δικτύου. Το χωριστικό δίκτυο αποχέτευσης χαρακτηρίζεται πιο υγιεινό καθώς η ύπαρξη ξεχωριστού αγωγού ακαθάρτων μειώνει τον κίνδυνο μόλυνσης. Όλα τα παραπάνω αποτελούν πλεονεκτήματα του χωριστικού δικτύου σε σχέση με το παντορροϊκό, με τα μειονεκτήματα να περιορίζονται κυρίως στον συχνό καθαρισμό του δικτύου σε αγωγούς με μικρές κλίσεις λόγω στερεών που κατακάθονται στον πυθμένα των αγωγών, αλλά και στη δυσκολία της εποπτείας του δικτύου λόγω της πολυπλοκότητάς του.

Ο σχεδιασμός του δικτύου ακαθάρτων είναι συγκεντρωτικός στην περίπτωση του χωριστικού δικτύου, δηλαδή, όλα τα ακάθαρτα της πόλης συγκεντρώνονται σε έναν κύριο αγωγό (κύριος συλλεκτήρα), όπου οδηγεί τα ακάθαρτα στην εγκατάσταση καθαρισμού, για να καταλήξουν τελικά στον τελικό αποδέκτη. Παράλληλα, ο σχεδιασμός του δικτύου ομβρίων είναι αποκεντρωτικός. Συγκεκριμένα, κατασκευάζονται ανεξάρτητοι αγωγοί οι οποίοι καταλήγουν σε διαφορετικά σημεία του ίδιου αποδέκτη ή και σε διαφορετικούς αποδέκτες.

Το χωριστικό δίκτυο εφαρμόζεται κατά αποκλειστικότητα στην Ελλάδα, όπου υπήρξε μεγάλη καθυστέρηση σε αποχετευτικά έργα πριν από την επικράτηση διεθνώς του χωριστικού δικτύου.

1.4.3 Τα Εναλλακτικά Συστήματα Συλλογής και Αποχέτευσης Υγρών Απόβλητων

Σε αντίθεση με τα αποχετευτικά δίκτυα συμβατικής τεχνολογίας, τα εναλλακτικά αποχετευτικά συστήματα εμφανίζουν τις ακόλουθες κύριες διαφορές:

- Χρήση μικρών διαμέτρων.
- Τοποθέτηση αγωγών σε μικρά βάθη.
- Αποφυγή φρεατίων επίσκεψης.
- Συνθετότητα της υδραυλικής, αλλά και της βιοχημικής λειτουργίας.
- Μικρότερο αρχικό κόστος κατασκευής, αλλά μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος για το συλλογικό δίκτυο.
- Μεγαλύτερο αρχικό και κατά κανόνα μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος για τους χρήστες που συνδέονται στο σύστημα.

Τα βασικά εναλλακτικά συστήματα συλλογής υγρών αποβλήτων είναι:

1. Τα αποχετευτικά συστήματα μικρής διαμέτρου με βαρύτητα (small diameter gravity sewers, ή septic tank effluent gravity sewers – STEG), τα οποία είναι πλησιέστερα προς τα συμβατικά δίκτυα αποχέτευσης.
2. Τα αποχετευτικά συστήματα υπό πίεση, η σύνδεση στα οποία προϋποθέτει τη χρήση αντλιών από μέρους των χρηστών. Στον τύπο αυτό υπάρχουν δύο υποκατηγορίες, τα συστήματα άντλησης από βόθρο (septic tank effluent pump sewers – STEP) και τα συστήματα με αλεστικές αντλίες (pressure sewers with grinder pumps – GP).

3. Τα αποχετευτικά συστήματα κενού (vacuum sewers), το οποίο δημιουργείται με αντλίες κενού (vacuum pumps). (Κουτσογιάννης,1999).

1.4.4 Επιλογή συστήματος αποχέτευσης

Κριτήριο για την επιλογή του βέλτιστου τύπου αποχετευτικού συστήματος στην εκάστοτε περίπτωση είναι τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Ορισμένα, γενικά αποδεκτά, στοιχεία σύγκρισης είναι τα εξής:

- Σε μικρές πόλεις προτιμάται το παντορροϊκό σύστημα, γιατί το προσωπικό συντήρησης και επιτήρησης του δικτύου είναι περιορισμένο.
- Σε βιομηχανικές περιοχές συνιστάται το χωριστικό σύστημα, γιατί η ανάμιξη των επικίνδυνων βιομηχανικών αποβλήτων με τα νερά της βροχής είναι πιθανό να οδηγήσει στην πρόκληση βλαβών και προβλημάτων.
- Στα κέντρα των πόλεων, στις περιπτώσεις που υπάρχουν πολλοί στενοί δρόμοι, προτείνεται το παντορροϊκό σύστημα καθώς σε οδούς μικρού πλάτους η τοποθέτηση δύο ξεχωριστών αγωγών είναι δύσκολη.
- Στην περίπτωση πόλεων κτισμένων σε μικρή απόσταση από έναν υδάτινο αποδέκτη, η παροχέτευση των νερών της βροχής σε αυτόν μπορεί να γίνει με λίγους κεντρικούς αγωγούς. Για το λόγο αυτό το χωριστικό σύστημα είναι το πλέον οικονομικό.

Προτού ληφθεί η απόφαση επιλογής του συστήματος αποχέτευσης πρέπει να εκπονείται μία τεχνικοοικονομική μελέτη σύγκρισης των δύο συστημάτων, από τα αποτελέσματά της οποίας θα εξαρτηθεί η λήψη της τελικής απόφασης (Γιαννόπουλος, 2002a).

1.5 Ιστορικά Στοιχεία

Κάνοντας μία ιστορική αναδρομή στο θέμα των αποχετεύσεων, μπορεί κανείς να καταλάβει πως ο άνθρωπος από πολύ παλιά έχει αντιληφθεί την μείζονος σημασία των υποδομών αυτών. Καθώς πέρασε από τη νομαδική ζωή σε σταθερούς οικισμούς τον απασχόλησε η απομάκρυνση των λυμάτων με δίκτυο υπονόμων, περιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο τους κινδύνους που μπορεί να προκληθούν από αυτά.

Συγκεκριμένα, στο Mohenjorado, μια πόλη της πρώτης άνθισης του ινδικού πολιτισμού, που ιστορικά τοποθετείται περί το 5000 π.Χ. βρέθηκαν στις ανασκαφές πλινθόκτιστοι υπόνομοι που απομάκρυναν τα λύματα από τα σπίτια. Οι αυτοκρατορίες της Μεσοποταμίας, όπως ήταν η Ασσυρία και η Βαβυλωνία, είχαν κάνει σημαντικές προόδους στο θέμα των αποχετεύσεων. Για παράδειγμα, οι ανασκαφές στην Εσνούνα που βρίσκεται περίπου 50 μίλια νοτιοανατολικά της σημερινής Βαγδάτης, έφεραν στο φως αποχετεύσεις κατασκευασμένες από τούβλα, με πλευρικές συνδέσεις οι οποίες ξεκινούσαν από τα σπίτια (www.sewerhistory.org).

Στη Βαβυλώνα βρέθηκαν επίσης δίκτυα αποχέτευσης (Martz, 1970). Ενδείξεις για αποχετευτικό δίκτυο υπάρχουν και για τη Σουμερική πόλη Νιππούρ (τρίτη χιλιετηρίδα π.Χ.).

Στον Μινωικό πολιτισμό εξελίχθηκε σε μεγάλο βαθμό η γνώση της υδραυλικής. Συστήματα αποστράγγισης από σωλήνες terra-cotta και ανοιχτού τύπου κανάλια, που κατασκευάζονται από πέτρα μετέφεραν κυρίως τα νερά της καταιγίδας, αλλά και τα ανθρώπινα απόβλητα. Μερικοί από τους υπονόμους ήταν αρκετά μεγάλοι για να περπατήσουν οι άνθρωποι. Στην Κνωσό, επίσης, συναντάμε για πρώτη φορά τη χρήση σιφωνίου στην αποχέτευση. Στο Βασιλικό Παλάτι στην Κνωσό ανακαλύφθηκαν χώροι υγιεινής και δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων και ακαθάρτων. Στο ανάκτορο εντοπίστηκε επίσης η πρώτη τουαλέτα, ένα αποχωρητήριο στο ισόγειο με μια δεξαμενή νερού πάνω από τον τελευταίο όροφο, στην οποία γινόταν συλλογή των βρόχινων υδάτων. Η τουαλέτα συνίστατο από μια ξύλινη έδρα, πήλινα σκεύη και δεξαμενή στον τελευταίο όροφο ως πηγή νερού.

Εικόνα 1.2: Πέτρινος αγωγός ομβρίων υδάτων στην Κνωσό. (Πηγή:www.sewerhistory.org)

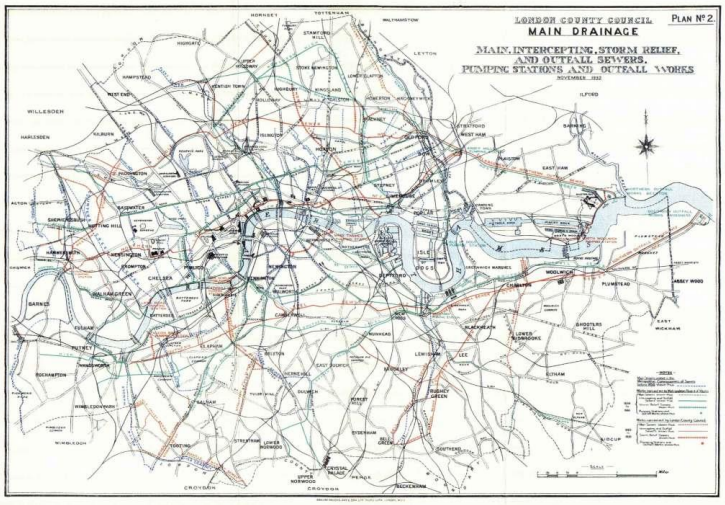
Κατά την Κλασική εποχή στην Ελλάδα, παρατηρείται εξάπλωση των αποχετεύσεων και των χώρων υγιεινής. Για παράδειγμα, οι αποχετευτικοί αγωγοί στην Αθήνα μετέφεραν τα νερά της βροχής και τα ανθρώπινα απόβλητα σε μια λεκάνη συλλογής έξω από την πόλη. Από τη λεκάνη απορροής, τα νερά και τα απόβλητα μεταφέρονταν μέσω αγωγών με επένδυση από τούβλα σε χωράφια για άρδευση.

Στην αρχαία Ρώμη εξελίχθηκαν περίπλοκα συστήματα αποστράγγισης και υπήρχαν δημόσια αποχωρητήρια και αγωγοί αποχέτευσης που απομάκρυναν τα λύματα (Martz, 1970). Το 510 π.Χ. κατασκευάστηκε ο Cloaca Maxima (κύριος υπόνομος), αρχικός σκοπός του οποίου ήταν η αποστράγγιση ενός βάλτου, πάνω από τον οποίο χτίστηκε ένα μεγάλο μέρος της Ρώμης. Ο υπόνομος αυτός λειτουργεί μέχρι και σήμερα.

Εικόνα 1.3: Εκροή του Cloaca Maxima στον ποταμό Τίβερη.(Πηγή:www.sewerhistory.org)

Κατά το Μεσαίωνα, στην Ευρώπη η τέχνη της αποχέτευσης όχι μόνο δεν προσέγγιζε το επίπεδο των προαναφερθέντων πολιτισμών, αλλά παραμελήθηκε λόγω της έντονης θρησκευτικής προσκόλλησης. Οι χώροι υγιεινής εγκαταλείφθηκαν ή υποβαθμίστηκαν, ενώ η κατανάλωση νερού για ανάγκες καθαριότητας περιορίστηκε στο ελάχιστο. Η ανάπτυξη αγροτικών κοινωνιών στη θέση των αστικών και η χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού οδήγησε στην επαναχρησιμοποίηση παραδοσιακών μεθόδων για τη διάθεση αποβλήτων (Παπαθανασίου και Πουρναρά, 2005). Αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι το Παρίσι του Μεσαίωνα, στο οποίο, παρόλο που υπήρξε η μητρόπολη της Ευρώπης, τα λύματα αφήνονταν να τρέχουν ελεύθερα στις αυλές και τους δρόμους.

Η κατάσταση αυτή συνεχίστηκε και στους νεότερους χρόνους αφού μέχρι τα μέσα περίπου του 19^{ου} αιώνα δε σημειώθηκε ουσιαστική πρόοδος στα θέματα της συλλογής και διάθεσης των αποβλήτων. Η πρώτη άνθιση άρχισε στο Αμβούργο (Γερμανία) το 1842, όταν καταστράφηκε το παλιό τμήμα της πόλης από πυρκαγιά και ανατέθηκε η μελέτη της ανοικοδόμησης στον Άγγλο μηχανικό W. Lindley, που σχεδίασε ένα εξαίρετο σύστημα συλλογής ακαθάρτων με πολλές από τις σημερινές αρχές. Στην Αγγλία, η επιδημία χολέρας που ξέσπασε το 1848, έγινε η αιτία κατασκευής αξιόλογου αποχετευτικού δικτύου στο Λονδίνο (Clarket al., 1977). Μετά από αυτήν παρατηρήθηκε συστηματική κατασκευή αγωγών αποχέτευσης, οι οποίοι όμως απλά μετέφεραν το πρόβλημα στους ποταμούς (Gray, 1940). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως στους νεότερους χρόνους η κατασκευή έργων αποχέτευσης κατά τους είχε σκοπό την απομάκρυνση των ομβρίων, παρά των οικιακών λυμάτων. Μάλιστα, σε αρκετές πόλεις που είχαν δίκτυο ομβρίων, για πολύ καιρό απαγορευόταν η παροχέτευση λυμάτων στους αγωγούς (Steel, 1960).



Εικόνα 1.4: Χάρτης αποχετευτικών έργων στο Λονδίνο, 1930 (Πηγή:www.sewerhistory.org)

Στην Ελλάδα, γενικά, υπήρξε καθυστέρηση στην κατασκευή σύγχρονων συστημάτων αποχέτευσης. Στην Αθήνα, που διαθέτει στο κέντρο της ένα από τα παλιότερα ελληνικά παντορροϊκά δίκτυα αποχέτευσης, και στην περιφέρεια της πιο σύγχρονα χωριστικά δίκτυα, ένα πολύ σημαντικό ποσοστό των σπιτιών εξυπηρετούνταν μέχρι πρόσφατα με βόθρους. Κομβικό σημείο της εξέλιξης των αθηναϊκών αποχετεύσεων αποτέλεσαν οι καταστροφικές πλημμύρες το 1883, αφού μετά από αυτές υλοποιήθηκε η πρώτη αποχετευτική μελέτη από τον Γάλλο μηχανικό Claye. Προοδευτικά, μεθοδικές εκπονήσεις μελετών ξεκίνησαν από τις αρχές του 20ου αιώνα ενώ η διαμόρφωση χωριστικών δικτύων ξεκίνησε το 1933. Μόλις το 1959 αποπερατώθηκε ο Κεντρικός Αποχετευτικός Αγωγός (ΚΑΑ) του χωριστικού δικτύου, που κατέληγε στον Ακροκέραμο Κερατσινίου, οδηγώντας τα λύματα στη θάλασσα χωρίς επεξεργασία και με επιφανειακή διάθεση (Κουτσογιάννης, 1999). Στη συνέχεια, ακολουθεί ιστορική αναδρομή των αποχετεύσεων των Αθηνών.

1.6 Ιστορική Αναδρομή Αποχετεύσεων Αθηνών

Στη συνέχεια σημειώνεται συνοπτικά το ιστορικό έργων αποχέτευσης της Αθήνας με χρονολογική σειρά. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά σε προβλήματα, κατασκευές και μελέτες που σχετίζονται με το αποχετευτικό σύστημα της πρωτεύουσας, σε διάφορες χρονικές περιόδους από την αρχαιότητα μέχρι και σήμερα.

1.6.1 Αρχαιότητα – 1840

Στην αρχαιότητα δεν υπήρχε οργανωμένο δίκτυο αποχέτευσης στην Αθήνα. Η εμφάνιση νόσων και θανατηφόρων ασθενειών, όπως η χολέρα και η πανώλη, ήταν αποτέλεσμα των ανοικτών συστημάτων αποχέτευσης λόγω της δημιουργίας παθογόνων εστιών σε λιμνάζοντα σημεία. Η πρακτική αυτή ακολουθήθηκε για 15 περίπου αιώνες και σταδιακά αντικαταστάθηκε από το σύστημα διοχέτευσης των λυμάτων σε σηπτικούς - απορροφητικούς βόθρους. Όταν επερχόταν κορεσμός στην απορροφητική ικανότητα των βόθρων, τότε ανοίγονταν άλλοι ή τα λύματα απορρίπτονταν με δοχεία σε χείμαρρους και ρέματα. Η εξάλειψη των κινδύνων για τους πολίτες και το περιβάλλον δεν ήταν εφικτή ούτε σε αυτή την περίπτωση.

1.6.2 Περίοδος 1840 – 1930

Το 1840 ξεκίνησε η προσπάθεια για την υλοποίηση συστήματος συλλογής και μεταφοράς ακαθάρτων και ομβρίων. Η πρώτη γαλλική Αποστολή Δημοσίων Έργων κατασκεύασε το 1860 τον παντορροϊκό αγωγό της Σταδίου, η επέκταση του οποίου υλοποιήθηκε το 1870.

Στη δεκαετία 1880-1890 καλύφθηκε το ανοιχτό ρέμα του Κυκλοβόρου με λιθόκτιστο αγωγό μεγάλης διαμέτρου (περίπου 3 μ.). Παρόλο που η ανάπτυξη της πόλης απαιτούσε αποχετευτικό δίκτυο μήκους 90 χλμ, μέχρι το 1893 το κατασκευασμένο δίκτυο αποχέτευσης είχε συνολικό μήκος 11.5 χλμ. Οι αποχετευτικές ανάγκες δηλαδή της πόλης ήταν περίπου οκταπλάσιες.

Το έντονο προσφυγικό ρεύμα, τα επόμενα χρόνια, που προκλήθηκε εξαιτίας της Μικρασιατικής καταστροφής το 1922, αύξησε τις ανάγκες της πρωτεύουσας σε αποχετευτικά δίκτυα. 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 Παιωνίου.

1.6.3 Περίοδος 1930 – 1950

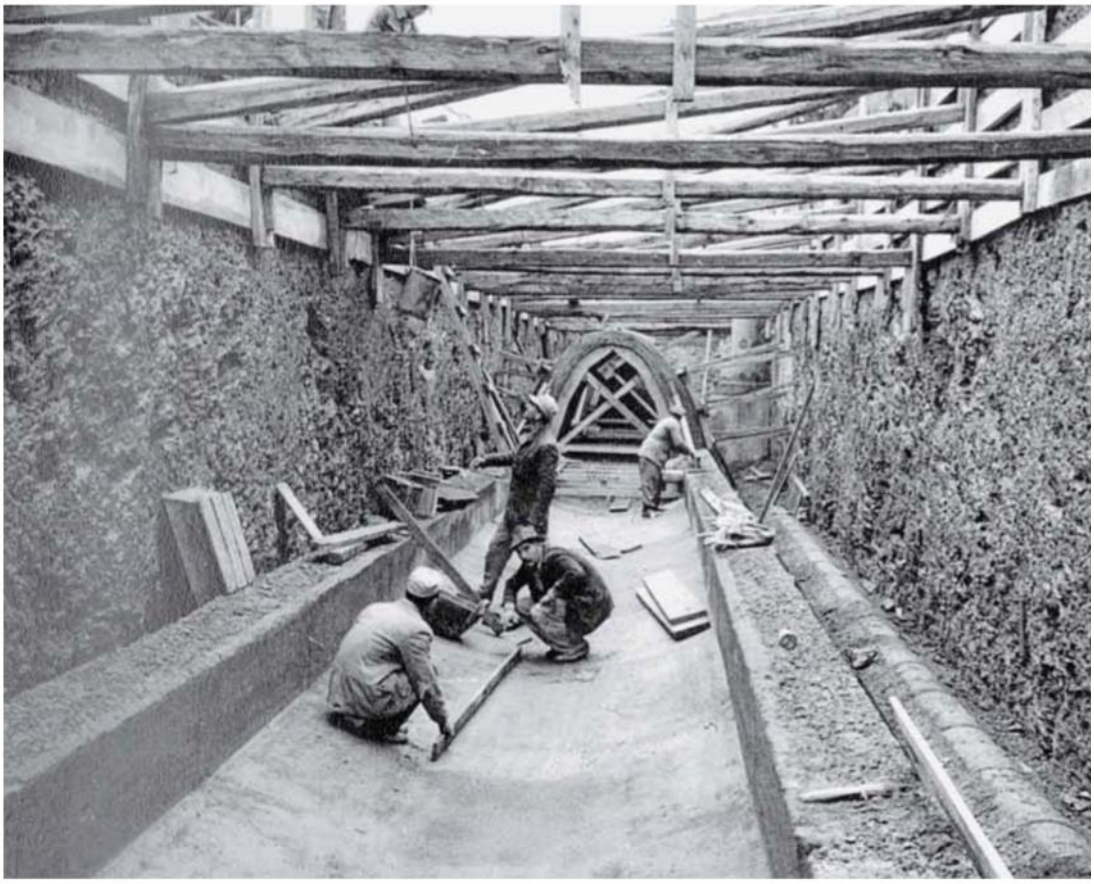
Το 1930 ολοκληρώθηκε η κατασκευή αγωγού ακαθάρτων του ρέματος Προφήτη Δανιήλ με αποδέκτη το Φαληρικό Δέλτα. Ήταν ένας αγωγός ωοειδής με χερσαίο μήκος περίπου 6,5 χλμ. και υποθαλάσσιο περίπου 700 μ.

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 Φαντόλι.

Παράλληλα, ο Δήμος Αθηναίων απαγόρευσε την κατασκευή απορροφητικών βόθρων σε όσους δρόμους είχε κατασκευαστεί δίκτυο 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.

Ταυτόχρονα με βάση την προμελέτη του καθηγητή Φαντόλι, 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.



Εικόνα 1.5: Συλλεκτήρας ακαθάρτων, Αθήνα 1939 (ΕΥΔΑΠ)

1.6.4 Περίοδος 1950 – 1980

Η ραγδαία πολεοδομική ανάπτυξη της πρωτεύουσας από το 1950 και μετά έκανε επιτακτική την ανάγκη για κατασκευή μεγάλων αποχετευτικών έργων. Απόρροια αυτής, ήταν η σύσταση του Οργανισμού Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΟΑΠ), ο οποίος 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.

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 χλμ. και ομβρίων μήκους 300 χλμ., μεταξύ των οποίων ο Παραλιακός Συλλεκτήρας της ακτής Σαρωνικού και ο Παρακηφίσιος Συλλεκτήρας.

Εικόνα 1.6: Τοποθέτηση αγωγού εντός πόλεως (ΕΥΔΑΠ 2013)

1.6.5 Περίοδος 1980 έως σήμερα

Οι αρμοδιότητες του ΟΑΠ (Οργανισμός Αποχέτευσης Πρωτευούσης) μεταβιβάστηκαν το 1980 στον ενιαίο φορέα διαχείρισης της ύδρευσης και αποχέτευσης της Αθήνας, την ΕΥΔΑΠ. Στον τομέα της αποχέτευσης ο νέος αυτός φορέας ανέλαβε την απορροή των λυμάτων και των βιομηχανικών αποβλήτων. Επίσης ανέλαβε τον έλεγχο της διαδικασίας καθαρισμού των λυμάτων και την τελική διάθεσή τους στη θάλασσα. Από τις υποχρεώσεις του τέως ΟΑΠ, η ΕΥΔΑΠ δεν ανέλαβε την κατασκευή των δευτερευόντων αγωγών ακαθάρτων και τη σύνδεση των ακινήτων με τα δίκτυα, που εκχωρήθηκαν στους ΟΤΑ.

Από αρχής λειτουργίας της ΕΥΔΑΠ, το αποχετευτικό δίκτυο των Αθηνών επεκτάθηκε και πύκνωσε με την κατασκευή πολλών χιλιομέτρων αγωγών, για να φτάσει σήμερα το συνολικό μήκος του δικτύου αποχέτευσης να αγγίζει τα 8.000 χλμ.

Εικόνα 1.7: Μονάδα επεξεργασία νερού Γαλατσίου 2000 (ΕΥΔΑΠ)

1.7 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία συγκροτείται από πέντε κεφάλαια, καθένα από τα οποία δομείται από επιμέρους ενότητες.

Το παρόν κεφάλαιο αφορά τη σημασία του νερού και των αποχετεύσεων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα σύντομο ιστορικό των αποχετεύσεων από την αρχαιότητα έως σήμερα και δίνονται βασικά στοιχεία για τα συστήματα αποχετεύσεων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται το θεωρητικό πλαίσιο πάνω στο οποίο βασίστηκε η μελέτη. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην εκτίμηση παροχής ομβρίων και στη θεωρία σχετικά με τα υετογραφήματα. Τέλος, αναφέρονται οι κανονισμοί οι οποίοι ισχύουν σήμερα στην Ελλάδα για το αποχετευτικό δίκτυο.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή των λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία και αναλύεται λεπτομερώς το λογισμικό SWMM, με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι προσομοιώσεις. Τέλος, παρουσιάζονται μελέτες οι οποίες έχουν εκπονηθεί με τη χρήση του λογισμικού SWMM και αποτέλεσαν το βιβλιογραφικό υπόβαθρο της παρούσας εργασίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και η υφιστάμενη κατάστασή της. Επιπλέον αναλύεται η πορεία των εργασιών και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν με την ολοκλήρωση της μελέτης καθώς και οι προτάσεις.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

2.1 Παρουσίαση Λογισμικών

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω λογισμικά:

- Το πρόγραμμα AutoCAD 2016 της Autodesk, με τη βοήθεια του οποίου σχεδιάστηκαν οι διχοτόμοι των οικοδομικών τετραγώνων.
- Το πρόγραμμα EXCEL της Microsoft Office, με το οποίο δημιουργήθηκαν υετογράμματα για διάφορες περιόδους επαναφοράς, με την μέθοδο των εναλλασσόμενων υψών βροχής και υπολογίστηκαν οι απαιτούμενοι συντελεστές και δείκτες για το μοντέλο.
- Το πρόγραμμα ArcGIS της ESRI, στο περιβάλλον του οποίου δομήθηκε το μοντέλο. Σχεδιάστηκαν, δηλαδή οι αστικές λεκάνες απορροής και προσδιορίστηκαν οι τιμές των απαιτούμενων παραμέτρων.
- Το πρόγραμμα SWMM 5 της EPA, με τη βοήθεια του οποίου πραγματοποιήθηκε η υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση του δικτύου.

2.2 Το πρόγραμμα AutoCAD

Η χρήση Η/Υ για τη δημιουργία σχεδίων αποτελεί σήμερα την πλέον διαδεδομένη τεχνική. Για το λόγο αυτό, προγράμματα που προσφέρουν τη δυνατότητα αυτή χρησιμοποιούνται κατά κόρον. Ένα από αυτά είναι και το AutoCAD. Η ιστορία του ξεκινά στις αρχές της δεκαετίας του 1980, με τις τεχνικές CAD που παρέχονται από το AutoCAD να ήταν προσβάσιμες μόνο σε ομάδα ανθρώπων που συνδέονται με τα γραφικά. Ωστόσο, η πρώτη έκδοση του AutoCAD επέτρεπε στους σχεδιαστές να χρησιμοποιούν ένα εργαλείο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε τυπικούς υπολογιστές.

Σήμερα, το πρόγραμμα AutoCAD, είναι ευρύτατα διαδεδομένο για σχεδίαση σε δύο ή σε τρεις διαστάσεις και κατασκευή σχημάτων στο χώρο. Λόγω της δυνατότητάς του να προγραμματίζεται και να επικοινωνεί με άλλα προγράμματα, χρησιμοποιείται και ως σχεδιαστικό περιβάλλον για την ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών.

Τα βασικά πλεονεκτήματά του είναι τα παρακάτω (www.educba.com):

- Με το AutoCAD, οι χρήστες μπορούν να συνδέσουν τα αρχεία τους σε πολλές πλατφόρμες και έχουν τη δυνατότητα να εισάγουν και να εξάγουν όλα τα είδη αρχείων.
- Οι χρήστες μπορούν να επεκτείνουν ακόμη και το βασικό πρόγραμμα μέσω προγραμματισμού, οπότε το AutoCAD είναι μια ευέλικτη εφαρμογή που έχει τυποποιηθεί.
- Το AutoCAD διαθέτει επίσης εργαλεία διαχείρισης έργων που επιτρέπουν στους χρήστες να ανταλλάσσουν πληροφορίες ταυτόχρονα και αποτελεσματικά.

2.3 Το πρόγραμμα ArcGIS

Το ArcGIS for Desktop είναι το πιο διαδεδομένο λογισμικό των Γεωπληροφοριακών Συστημάτων. Περιλαμβάνει ένα σύνολο από εφαρμογές, όπως ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox κ.λπ., και μπορεί να επιτελέσει τις βασικές λειτουργίες της εισαγωγής, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης γεωγραφικών δεδομένων.

Όσον αφορά στα δίκτυα αποχέτευσης, το ArcGIS επιτρέπει στο χρήστη να υπολογίσει τις τρισδιάστατες απεικονίσεις του εδάφους, να χαράζει και να σχεδιάζει το δίκτυο των ακαθάρτων και των ομβρίων και να αποδίδει τα παραπάνω στοιχεία στο λογισμικό Microsoft Excel και στο λογισμικό AutoCAD. (Παπαθανασίου, 2009).

Το ArcGIS είναι ένα μεγάλο σύστημα λογισμικού με κυριολεκτικά χιλιάδες λειτουργικές δυνατότητες και εκατομμύρια γραμμές κώδικα λογισμικού. Είναι αδύνατο, και σε κάθε περίπτωση άνευ αξίας, να περιγραφεί κάθε λειτουργικότητα εδώ. Αντ 'αυτού, η προσέγγιση θα είναι να παρουσιαστούν μερικές από τις βασικές θεμελιώδεις έννοιες και δυνατότητες

2.3.1 Το περιβάλλον του ArcMap

Το περιβάλλον του ArcMap αποτελεί την κεντρική εφαρμογή του λογισμικού, η οποία δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργεί χάρτες, συνθέτοντας επίπεδα χωρικής πληροφορίας και διεξάγοντας τις λειτουργίες διαχείρισης και ανάλυσης των γεωγραφικών δεδομένων, τις οποίες προβλέπει η εκάστοτε έκδοση του λογισμικού.

Το περιβάλλον εργασίας του ArcMap αποτελείται από:

- τον Πίνακα Περιεχομένων, στον οποίο περιέχονται τα επίπεδα που έχει προσθέσει ο χρήστης
- την Περιοχή Εμφάνισης Χάρτη, στην οποία παρουσιάζονται τα επίπεδα, ανάλογα με τη σειρά εμφάνισής τους και τον τρόπο συμβολισμού τους
- τις Εργαλειοθήκες, οι οποίες παρέχουν στον χρήστη διάφορα εργαλεία που ενεργοποιούνται εύκολα
- τη Ράβδο Μηνυμάτων, στην οποία εμφανίζονται διάφορα μηνύματα κατά την εκτέλεση των λειτουργιών, συντεταγμένες του χάρτη κ.λπ.

2.3.2 Το περιβάλλον του ArcCatalog

Το ArcCatalog αποτελεί μια εφαρμογή διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων. Εκτελεί λειτουργίες παρόμοιες με τον Windows Explorer , προσανατολισμένες βέβαια, στα γεωγραφικά δεδομένα.

Μέσω του ArcCatalog ο χρήστης μπορεί:

- Να δημιουργεί νέα δεδομένα
- Να μετακινεί τα γεωγραφικά δεδομένα (αντιγραφή-επικόλληση)
- Να διαγράφει γεωγραφικά δεδομένα
- Να διερευνά τα γεωγραφικά δεδομένα σε επίπεδο προεπισκόπησης (preview)

- Να συμπληρώνει τα μεταδεδομένα σύμφωνα με το επιλεγμένο πρότυπο κ.ά.

Το περιβάλλον εργασίας του αποτελείται από το Παράθυρο Πλοήγησης Αρχείων και το Παράθυρο Εμφάνισης Δεδομένων. Στο πρώτο ο χρήστης μπορεί να μεταβαίνει σε διαφορετικές τοποθεσίες του υπολογιστή και να διαχειρίζεται τα αρχεία και στο δεύτερο πραγματοποιείται η εμφάνιση γεωγραφικών δεδομένων που έχουν επιλεγεί στο πρώτο.

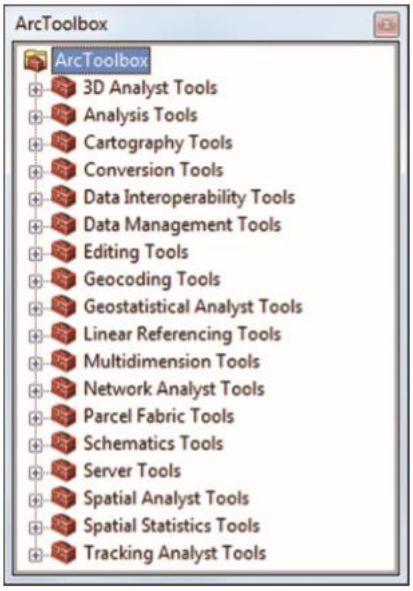
2.3.3 Το περιβάλλον του ArcToolbox

Το ArcToolbox αποτελείται από μια ολοκληρωμένη συλλογή εργαλείων και ενεργοποιείται μέσα από το περιβάλλον των εφαρμογών ArcCatalog και ArcMap .

Το ArcToolbox προσφέρει ένα περιβάλλον, μέσα από το οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει τις κατάλληλες παραμέτρους και επίπεδα πληροφορίας για την αποτελεσματική διεκπεραίωση της κάθε διαδικασίας, διαχείρισης ή ανάλυσης των δεδομένων. Για κάθε περιβάλλον εργασίας παρέχεται βοήθεια, ενώ σε περίπτωση λανθασμένης εισαγωγής επιπέδων ο χρήστης ενημερώνεται για τη φύση του προβλήματος και για τους τρόπους επίλυσης.

Τα εργαλεία του ArcToolbox διακρίνονται σε κατηγορίες και κάθε κατηγορία οργανώνεται σε υποσύνολα εργαλείων με βάση το είδος της λύσης που παρέχουν. Κάποιες από τις βασικές κατηγορίες εργαλείων και λειτουργιών που επιτελούνται είναι:

- Τα Data Management tools, δηλαδή εργαλεία διαχείρισης δεδομένων
- Τα Analysis Tools, τα οποία αποτελούν εργαλεία χωρικής ανάλυσης.
- Τα Conversion Tools, τα οποία είναι εργαλεία που βοηθούν στη μετατροπή αρχείων σε άλλες μορφές.



Εικόνα 2.1: Η εργαλειοθήκη του ArcToolbo

2.4 Το λογισμικό SWMM

2.4.1 Γενικά

Το Storm Water Management Model (συντόμως SWMM), είναι ένα δυναμικό μοντέλο προσομοίωσης βροχής-απορροής. Αναπτύχθηκε από τον Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α μεταξύ 1969 και 1971 και ήταν το πρώτο μοντέλο για την ανάλυση της αστικής απορροής. Η εφαρμογή του είναι κατάλληλη τόσο σε μεμονωμένα επεισόδια βροχής, όσο και σε συνεχή προσομοίωση της ποσότητας και ποιότητας της απορροής νερού κυρίως σε αστικές και περιαστικές περιοχές (Rossman, 2015). Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της διόδευσης της απορροής και των διαφόρων εισροών στα δίκτυα αποχέτευσης και ουσιαστικά δίνει τη δυνατότητα διαχείρισης των δικτύων αποχέτευσης ανεξάρτητα από το μέγεθός τους. Συνεχώς αναβαθμίζεται, εξελίσσεται και συμπληρώνεται με νέες λειτουργίες ώστε σήμερα να θεωρείται ένα από τα πιο πλήρη και εύχρηστα μοντέλα στην κατηγορία του.

Το SWMM λειτουργεί με διαίρεση της λεκάνης απορροής σε ένα σύνολο από υδραυλικά στοιχεία, δηλαδή από υπολεκάνες και αγωγούς. Καθένα από αυτά τα στοιχεία χαρακτηρίζεται από διάφορες υδραυλικές ιδιότητες όπως για παράδειγμα το μέγεθος, η κλίση, ο συντελεστής τραχύτητας κ.λπ. Το τμήμα της διόδευσης του SWMM μεταφέρει την απορροή μέσω ενός συστήματος αγωγών, αντλιών και συσκευών αποθήκευσης και επεξεργασίας.

Συνολικά το πρόγραμμα αυτό παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον της περιοχής μελέτης, για την εισαγωγή δεδομένων, την προσομοίωση των υδρολογικών και υδραυλικών διαδικασιών και της ποιότητας των απορροών και τέλος την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε διαφορετικές μορφές (γραφήματα, πίνακες χρονοσειρών, στατιστική ανάλυση συχνοτήτων κ.α.)

2.4.2 Ιστορική Εξέλιξη του SWMM

Το μοντέλο SWMM παρουσιάστηκε αρχικά το 1971 ως ένα υπολογιστικό εργαλείο για την ποσοτική και ποιοτική προσομοίωση της απορροής από καταιγίδες, κατά κύριο λόγο σε αστικές περιοχές. Μετά την 1^{η} έκδοση, έγιναν τέσσερις κύριες αναβαθμίσεις: 2^{η} έκδοση (1973-1975), 3^{η} έκδοση (1979-1981), 4^{η} έκδοση (1985-1988) και 5^{η} έκδοση (2001-2004). Στον Πίνακα 2.1 γίνεται αναφορά στις αναβαθμίσεις του μοντέλου ανά τα έτη.

Πίνακας 2.1: Ιστορική εξέλιξη του μοντέλου SWMM (Rossman, 2015)

ΕΚΔΟΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	ΕΤΟΣ	ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΙ	ΣΧΟΛΙΑ
SWMM 1	1971	Metcalf & Eddy, Inc Water Resources Engineers University of Florida	Η πρώτη έκδοση του SWMM. Μερικές μέθοδοι αυτής της έκδοσης βρίσκονται ακόμα σε χρήση.
SWMM 2	1975	University of Florida	Η πρώτη ευρέως χρησιμοποιούμενη έκδοση του SWMM.
SWMM 3	1981	University of Florida Camp Dresser & McKee	Προσθήκη μεθόδων όπως: η μέθοδος δυναμικού κύματος, η διήθηση κατά Green-Ampt και η συνεχής προσομοίωση.
SWMM 3.3	1983	US EPA	Η πρώτη έκδοση του SWMM για ηλεκτρονικούς υπολογιστές.
SWMM 4	1988	Oregon State University Camp Dresser & McKee	Υπόγεια νερά, RDII, διατομές καναλιών ακανόνιστου σχήματος καθώς και άλλες αναβαθμίσεις και προσθήκη εργαλείων.

SWMM 5	2005	US EPA CDM- Smith	Ολική αναδιατύπωση του μοντέλου σε γλώσσα προγραμματισμού C, βελτίωση αλγορίθμων και προσθήκη Γραφικής Διεπαφής Χρήση (GUI) και νέων χαρακτηριστικών.

2.4.3 Δυνατότητες του μοντέλου

Το προσομοιώνει διάφορες υδρολογικές διεργασίες που περιλαμβάνουν την επιφανειακή απορροή σε αστικές περιοχές. Τέτοιες διεργασίες είναι οι εξής:

- Βροχόπτωση
- Εξάτμιση επιφανειακού νερού
- Συσσώρευση και τήξη χιονιού
- Επιφανειακή αποθήκευση
- Διήθηση σε ακόρεστα στρώματα εδάφους
- Διείσδυση διηθούμενου νερού σε στρώματα υπογείων υδάτων
- Επιφανειακή απορροή
- Ταχεία υπεδάφια απορροή

Σε όλες αυτές τις διεργασίες είναι δυνατόν να επιτευχθεί χωρική μεταβλητότητα, χωρίζοντας την περιοχή μελέτης σε μικρότερες, ομογενείς λεκάνες κάθε μια από τις οποίες χωρίζεται αντίστοιχα σε διαπερατό και αδιαπέρατο μέρος. Η επιφανειακή απορροή μπορεί να διοδευθεί ανάμεσα στις υπολεκάνες, τις λεκάνες και των σημείων εισόδου ενός αποχετευτικού συστήματος. Εκτός από τις υδρολογικές διαδικασίες, το εμπεριέχει ένα σύνολο υδραυλικών δυνατοτήτων μοντελοποίησης. Αυτές οι δυνατότητες είναι οι εξής:

1. Χειρισμός δικτύων απεριόριστου μεγέθους.
2. Χρήση μεγάλης ποικιλίας προκαθορισμένων σχημάτων κλειστών και ανοιχτών αγωγών.
3. Μοντελοποίηση ειδικών στοιχείων όπως μονάδες αποθήκευσης και επεξεργασίας, αντλίες, υπερχειλιστές και στόμια.
4. Δυνατότητα εφαρμογής εξωτερικών εισροών λόγω επιφανειακής απορροής, ταχείας υπεδάφιας απορροής, διήθησης λόγω βροχόπτωσης καθώς και άλλων εισροών οριζόμενων από τον χρήστη.
5. Διόδευση σε συνθήκες ομοιόμορφης και ανομοιόμορφης ροής.
6. Μοντελοποίηση ακόμα και πολύπλοκων φαινομένων ροής όπως ανάστροφη ροή, υπερχείλιση κ.α.
7. Εφαρμογή δυναμικών κανόνων ελέγχου, οριζόμενων από τον χρήστη για την προσομοίωση της λειτουργίας των αντλιών, των διαφραγμάτων, των στομίων κ.α.

Το SWMM μπορεί επίσης να υπολογίσει τη δημιουργία των ρυπαντικών φορτίων που συνδέονται με συγκεκριμένη απορροή. Συγκεκριμένα, το SWMM έχει τη δυνατότητα

να προσομοιώσει μια σειρά από ποιοτικές παραμέτρους των απορροών που καθορίζονται από το χρήστη του προγράμματος, όπως είναι π.χ. (Rossman, 2010):

1. Οι ρύποι που δημιουργούνται κατά την άνομβρη περίοδο από διάφορες χρήσεις γης.
2. Οι ρύποι που μεταφέρονται με τις απορροές από συγκεκριμένες χρήσεις γης κατά τη διάρκεια των επεισοδίων βροχής.
3. Η άμεση συμβολή των βροχοπτώσεων στις εναποθέσεις φερτών υλικών.
4. Η μείωση του ρυπαντικού φορτίου κατά τις ξηρές περιόδους λόγω του καθαρισμού των οδών.
5. Η μείωση του φορτίου απόπλυσης δια μέσου των βέλτιστων συνθηκών διαχείρισης.
6. Οι παρασιτικές εισροές κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων στο δίκτυο ακαθάρτων και οι εισροές που καθορίζονται από το χρήστη σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου.
7. Η διόδευση των ποιοτικών συστατικών του νερού διαμέσου του συστήματος αποχέτευσης.
8. Η μείωση της συγκέντρωσης των διαφόρων συστατικών που περιέχονται στις απορροές ομβρίων μέσω της επεξεργασίας σε μονάδες αποθήκευσης ή με φυσικές διαδικασίες στους αγωγούς και στις τάφρους.

2.4.4 Τυπικές εφαρμογές του SWMM

Από την έναρξη του, το SWMM έχει χρησιμοποιηθεί σε χιλιάδες μελέτες δικτύων ακαθάρτων κα ομβρίων σε όλο τον κόσμο οι πιο τυπικές από τις οποίες είναι (Rossman, 2010):

- Σχεδίαση και διαστασιολόγηση τμημάτων αποχετευτικών συστημάτων για τον έλεγχο των πλημμυρών.
- Διαστασιολόγηση δεξαμενών αποθήκευσης και των συστατικών τους για τον έλεγχο των πλημμυρών και την προστασία της ποιότητας του νερού.
- Χαρτογράφηση της κοίτης πλημμυρών των φυσικών υδατορρεμάτων.
- Δημιουργία σεναρίων ελέγχου για την ελαχιστοποίηση των υπερχειλίσεων των αγωγών των παντορροϊκών δικτύων με αξιολόγηση των επιπτώσεων των εισροών και των διηθήσεων από τις υπερχειλίσεις των αγωγών ακαθάρτων.
- Δημιουργία ρυπαντικών φορτίων από μη σημειακές πηγές ρύπανσης για τις μελέτες κατανομής των φορτίων των αποβλήτων.
- Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των BMPs για τη μείωση των ρυπαντικών φορτίων κατά τις υγρές περιόδους

2.4.5 Εννοιολογική αντίληψη μοντέλου

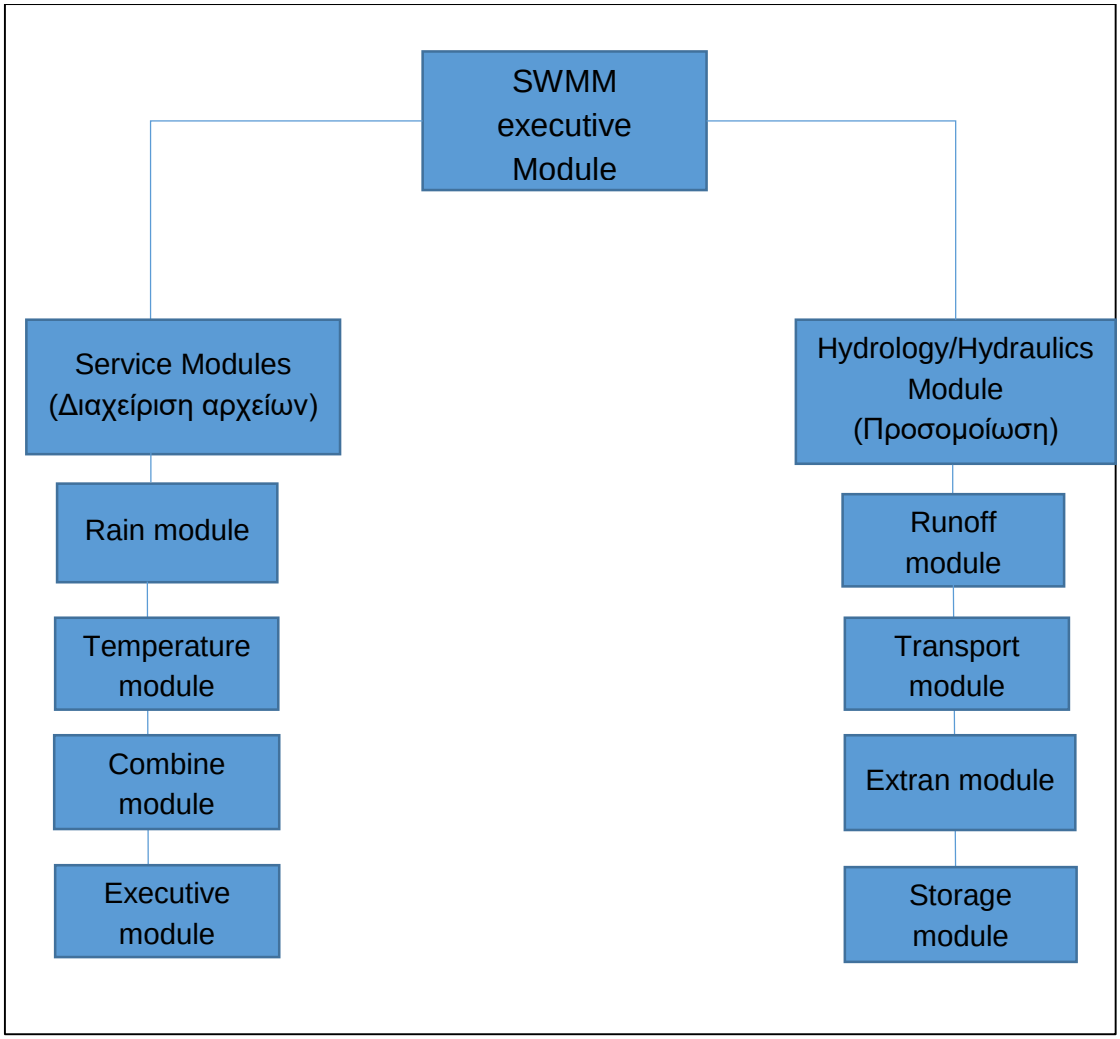
Το SWMM αντιλαμβάνεται το αποχετευτικό σύστημα ως μια σειρά από ροές νερού και άλλων υλικών που λαμβάνουν χώρα σε τέσσερα κύρια τμήματα του περιβάλλοντος. Τα τμήματα αυτά είναι (Rossman, 2010):

1. Το τμήμα της ατμόσφαιρας (Atmosphere compartment): στο τμήμα αυτό παράγεται η κατακρήμνιση και οι ρύποι, οι οποίοι εναποτίθενται στο τμήμα της γης. Το χρησιμοποιεί βροχογράφους ώστε να αναπαρίσταται η βροχόπτωση ως δεδομένο εισόδου στο σύστημα

2. Το τμήμα της επιφάνειας της γης (Land Surface compartment): αναπαρίσταται από μία ή περισσότερες λεκάνες απορροής και δέχεται την κατακρήμνιση από το τμήμα της ατμόσφαιρας είτε με την μορφή βροχής, είτε με τη μορφή χιονιού. Επιπλέον το τμήμα της επιφάνειας αποστέλλει την εκροή στο τμήμα του υπόγειου υδροφορέα με τη μορφή διήθησης, ενώ παράλληλα αποστέλλει την επιφανειακή απορροή και τα ρυπαντικά φορτία στο τμήμα μεταφοράς.
3. Το τμήμα των υπόγειων υδάτων (Groundwater compartment): αυτό δέχεται τη διήθηση και ένα μέρος το μεταφέρει ως εισροή στο τμήμα της μεταφοράς.
4. Το τμήμα της μεταφοράς (Transport compartment): αυτό περιλαμβάνει το δίκτυο μεταφοράς, αγωγούς, κανάλια, αντλίες, ρυθμιστές, δεξαμενές συγκράτησης και επεξεργασίας, το οποίο διαβιβάζει το νερό σε σημεία εκβολής ή σε μέρη επεξεργασίας. Σε αυτό εισέρχονται οι ροές λόγω επιφανειακής απορροής, υπόγειας απορροής αλλά και λόγω πρόσθετων εισροών οριζόμενων από τον χρήστη.

2.4.6 Περιγραφή του SWMM

Η δομή του συνίσταται στην ύπαρξη οκτώ ενοτήτων οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές ομάδες. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι ενότητες λειτουργιών (service modules) και η δεύτερη περιλαμβάνει ενότητες υδραυλικής- υδρολογίας (hydrology-hydraulics modules) (Παπαθανασίου, 2009). Η δομή αυτή αποδίδεται διαγραμματικά στο Σχήμα 2.1. Όλες αυτές οι ενότητες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους προκειμένου να ληφθούν όλες οι απαραίτητες παράμετροι για την προσομοίωση του δικτύου αποχέτευσης.



Σχήμα 2.1: Οι ενότητες του SWMM (Γιοβάννη, 2013)

Στη συνέχεια γίνεται συνοπτική περιγραφή των οκτώ αυτών ενοτήτων (Παπαθανασίου, 2009):

Module Rain: Η συνεχής προσομοίωση βασίζεται στην είσοδο βροχομετρικών δεδομένων, τα οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν να αναφέρονται σε μεγάλες χρονικές περιόδους.

Module Temperature: Προκειμένου να προσομοιωθεί η τήξη του χιονιού απαιτούνται δεδομένα θερμοκρασίας.

Combine module: Επιτρέπει τη διαχείριση των πολλαπλών αρχείων του προγράμματος, που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους προκειμένου να συναθροιστούν τα αποτελέσματα και με αυτόν τον τρόπο να καθίσταται δυνατή η προσομοίωση των επιμέρους τμημάτων μεγάλων και πολύπλοκων δικτύων αποχέτευσης.

Module Statistics: Τα αποτελέσματα μιας συνεχούς προσομοίωσης μπορούν να είναι σημαντικού πλήθους, εάν καταγράφονται για κάθε χρονικό βήμα αυτής. Η ενότητα

Statistics έχει τη δυνατότητα του διαχωρισμού και της αντιστοίχισης των αποτελεσμάτων σε διακριτά επεισόδια βροχής. Επίσης, η ενότητα αυτή επιτρέπει την κατάταξη των αποτελεσμάτων ανάλογα με το κριτήρια που έχουν τεθεί από το χρήστη και την παρουσίασή τους με τον τρόπο που αυτός επιθυμεί, τον καθορισμό εμπειρικών συχνοτήτων και περιόδων επαναφοράς στις παραμέτρους που σχετίζονται με την απορροή και το ρυπαντικό φορτίο αυτής. Τέλος, δίνει τη δυνατότητα παρουσίασης των αποτελεσμάτων σε μορφή πινάκων ή γραφημάτων.

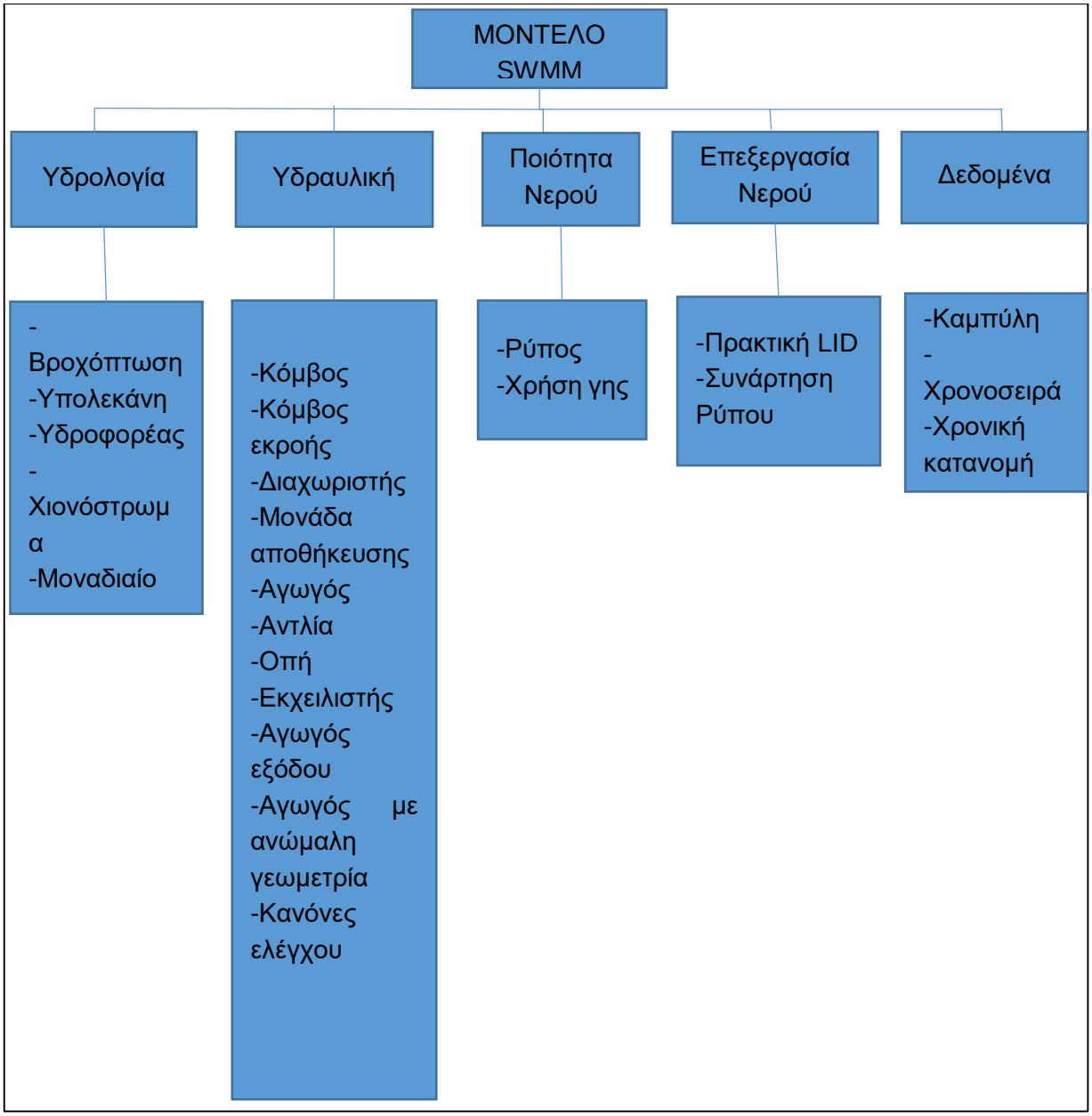
Module Runoff: η ενότητα αυτή αποσκοπεί στην προσομοίωση, τόσο της ποσότητας, όσο και της ποιότητας των υδάτων σε μια αποχετευόμενη λεκάνη απορροής, καθώς και τη διόδευση των απορροών στους αγωγούς αποχέτευσης. Η λεκάνη απορροής αναπαρίσταται ως ένα σύνολο ιδεατών υπολεκανών, που αποχετεύονται από τους αγωγούς του δικτύου. Το module αυτό δέχεται συνθετικά αλλά και αυθαίρετα υετογραφήματα και λαμβάνει υπόψη την τήξη του χιονιού, τις απώλειες λόγω διήθησης στις διαπερατές επιφάνειες, την επιφανειακή ροή, τη ροή στους αγωγούς και τη συγκέντρωση ρύπων. Έτσι, μπορεί να προκύψει ένας σημαντικός αριθμός υδρογραφημάτων και ρυπογραφημάτων.

Module Transport: προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διόδευση της απορροής και των ρύπων μέσω ενός δικτύου αποχέτευσης στο πρόγραμμα του SWMM, χρησιμοποιείται το module Transport. Το Transport έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης της ροής στο δίκτυο σε ξηρές περιόδους, υπολογισμού της ποσότητας των επιφανειακών υδάτων που διηθούνται, της διάβρωσης και της απόθεσης ιζημάτων, ενώ παράλληλα δε μπορεί να διαστασιολογήσει τους αγωγούς του δικτύου.

Module EXTRAN: Το μοντέλο EXTRAN είναι ένα υδραυλικό μοντέλο προσομοίωσης σε φυσικά κανάλια και δίκτυα κλειστών και ανοιχτών αγωγών. Τα δεδομένα εισόδου είναι οι θέσεις των κόμβων. Η συγκεκριμένη ενότητα πραγματοποιεί δυναμική διόδευση των ομβρίων υδάτων μέσω ενός αποχετευτικού δικτύου σε κάποιο τελικό αποδέκτη, προσομοιώνει δίκτυα ομβρίων ακτινωτά ή με βρόγχους, συνθήκες ανάντη υπερυψώσεως της στάθμης του νερού λόγω πλημμύρας και συνθήκες ανάστροφης ροής εντός του κυρίου υδατορέματος. Επίσης, μπορεί να προσομοιώσει ροή με ελεύθερη επιφάνεια ή υπό πίεση, μέσω εκχειλιστή, στομίου εκροής ή αντλίας και αποθήκευση σε ταμιευτήρα.

2.4.7 Αντικείμενα Προσομοίωσης

Το μοντέλο SWMM προσομοιώνει τις κατηγορίες που φαίνονται στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2: Κατηγορίες προσομοίωσης στο μοντέλο SWMM (Rossman and Huber, 2016).

Τα αντικείμενα που προσομοιώνονται από το μοντέλο SWMM ορίζονται συνοπτικά ως εξής (Rossman and Huber, 2016):

Βροχόμετρο: Πηγή δεδομένων βροχόπτωσης σε μία ή περισσότερες λεκάνες.

Υπολεκάνη: Ένα τμήμα γης που δέχεται κατακρήμνιση όπως ορίζεται από το αντίστοιχο βροχόμετρο. Η απορροή που προκύπτει καταλήγει σε κόμβο του συστήματος αποχέτευσης ή σε άλλη υπολεκάνη.

Υδροφορέας: Επιφάνεια υπό του εδάφους που δέχεται νερό μέσω διήθησης από την αντίστοιχη υπολεκάνη. Μία ποσότητα από το νερό αυτό μεταφέρεται ως υπόγεια εισροή σε κόμβο του δικτύου αποχέτευσης.

Χιονόστρωμα: Το συσσωρευμένο χιόνι που καλύπτει μία υπολεκάνη.

Μοναδιαίο υδρογράφημα: Η συνάρτηση απόκρισης που περιγράφει την ανά χρονικό βήμα απορροή η οποία προκύπτει για κάθε μονάδα ενεργού βροχόπτωσης που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλη την έκταση της υπολεκάνης και έχει ομοιόμορφη ένταση.

Κόμβος: Σημείο του δικτύου αποχέτευσης όπου δύο ή περισσότεροι αγωγοί συνδέονται. Οι κόμβοι θεωρείται ότι έχουν αμελητέα δυνατότητα συγκράτησης και αποθήκευσης λυμάτων.

Κόμβος εκροής: Το σημείο εξόδου του δικτύου αποχέτευσης όπου το νερό καταλήγει σε ένα υδάτινο σώμα (π.χ. θάλασσα) ή σε εγκατάσταση επεξεργασίας. Ο κόμβος εκροής έχει γνωστό υψόμετρο στάθμης.

Διαχωριστής: Σημείο στο δίκτυο αποχέτευσης όπου η ροή διαχωρίζεται σε δύο χωριστούς αγωγούς σύμφωνα με γνωστή σχέση.

Μονάδα αποθήκευσης: Μία λεκάνη κατακράτησης, μία τεχνητή λίμνη ή μία κοιλότητα όπου γίνεται αποθήκευση του νερού.

Αγωγός: Κανάλι ή σωλήνας από όπου διοχετεύεται το νερό ή τα λύματα μεταξύ των κόμβων του δικτύου.

Αντλία: Συσκευή που αυξάνει το υδραυλικό φορτίο του νερού ή των λυμάτων.

Οπή: Άνοιγμα που δημιουργείται σε σημεία του δικτύου για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής, μείωση της πίεσης ή περιορισμό της διερχόμενης παροχής.

Εκχειλιστής: Μικρή κατασκευή με στόχο την αύξηση της στάθμης της ροής στα ανάντη ή τον έλεγχο της παροχής στον αγωγό.

Αγωγός εξόδου: Ο αγωγός που συνδέεται με τον κόμβο εκροής.

Αγωγός με ανώμαλη γεωμετρία: Οι περισσότεροι αγωγοί έχουν ορθογωνικές, τραπεζοειδείς, κυκλικές διατομές. Στην περίπτωση ανώμαλης γεωμετρίας, ορίζεται κατάλληλα από το χρήστη η μεταβολή του βάθους σε σχέση με την απόσταση.

Κανόνες ελέγχου: Συνθήκες IF - THEN - ELSE που καθορίζουν πότε θα πραγματοποιηθούν συγκεκριμένες ενέργειες ελέγχου (π.χ. άνοιγμα ή κλείσιμο αντλίας ανάλογα με την τιμή του βάθους ροής σε έναν κόμβο).

Ρύπος: Ουσία που ενδεχομένως να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ή/και στο περιβάλλον. Ο ρύπος εισέρχεται στο δίκτυο απευθείας ή μέσω έκπλυσης από την επιφάνεια.

Χρήση γης: Οι δραστηριότητες και επεμβάσεις των ανθρώπων σε ένα τμήμα γης. Με βάση τις χρήσεις γης μελετάται η συσσώρευση των ρύπων και η έκπλυσή τους.

Πρακτική LID: Οι πρακτικές Low Impact Development εφαρμόζονται για τη μείωση της επιφανειακής απορροής μέσω υποβοηθούμενης διήθησης (π.χ. πορώδες οδόστρωμα, πράσινες στέγες κ.ά.).

Συνάρτηση ρύπου: Μία συνάρτηση που δίνεται από το χρήστη και περιγράφει τη μείωση των ρύπων σε σχέση με μεγέθη όπως η παροχή, το βάθος ροής κ.ά.

Καμπύλη: Μία πινακοποιημένη σχέση μεταξύ διάφορων ποσοτήτων (π.χ. καμπύλη παροχής και υδραυλικού φορτίου για μία αντλία).

Χρονοσειρά: Μία πινακοποιημένη σχέση που περιγράφει τη μεταβολή μίας ποσότητας με το χρόνο (π.χ. χρονοσειρά βροχόπτωσης).

Χρονική κατανομή: Συντελεστές που καθορίζουν τη χρονική κατανομή μίας ποσότητας σε ένα διάστημα (π.χ. μηνιαία/ημερήσια/ωριαία χρονική κατανομή)

Για την απλοποίηση των ενεργειών του χρήστη, δηλαδή το σχεδιασμό του δικτύου, την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων και τους υπολογισμούς που απαιτούνται για την προσομοίωση, τα αντικείμενα του SWMM 5 διακρίνονται σε οπτικά (visual objects) και μη οπτικά (non visual objects). Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά, τα βασικά οπτικά και μη οπτικά αντικείμενα του SWMM 5 (Rossman, 2006).

2.4.7.1 Οπτικά Αντικείμενα

Ως οπτικά χαρακτηρίζονται τα αντικείμενα που χρησιμοποιούνται για τη φυσική αναπαράσταση ενός δικτύου αποχέτευσης ομβρίων υδάτων. Τα αντικείμενα αυτά μπορούν να απεικονιστούν στην οθόνη του χρήστη.

α. Βροχομετρικός σταθμός (Rain gage)
Το αντικείμενο αυτό παρέχει τα δεδομένα βροχόπτωσης για την περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα μπορούν να καθοριστούν, είτε από το χρήστη, είτε να ληφθούν από κάποιο εξωτερικό αρχείο. Οι κυριότερες ιδιότητες που πρέπει να καθορίζονται σε αυτό το αντικείμενο είναι: α) Ο τύπος των δεδομένων βροχόπτωσης (ένταση, όγκος ή αθροιστικός όγκος της βροχόπτωσης, β) Το χρονικό διάστημα των δεδομένων αυτών (ωριαίο, ανά δεκάλεπτο κ.λπ.), γ) Η πηγή των δεδομένων της βροχόπτωσης (χρονοσειρά ή εξωτερικό αρχείο) και δ) Το όνομα του βροχομετρικού σταθμού.

β. Υπολεκάνες (Subcatchments)
Οι υπολεκάνες απορροής αντιπροσωπεύουν ιδεατές υπολεκάνες με ομοιόμορφη κλίση, σταθερές τιμές τραχύτητας, αποθήκευσης ύδατος και τιμές διήθησης. Οι υπολεκάνες καθορίζουν μέσω της τοπογραφίας τους τη θέση στην οποία θα διοχετευτεί η απορροή της βροχόπτωσης στο υπό προσομοίωση αποχετευτικό δίκτυο.

Η θέση αυτή μπορεί να είναι, είτε κάποιο φρεάτιο του δικτύου, είτε κάποια άλλη υπολεκάνη. Ο χρήστης από την πλευρά του είναι υπεύθυνος να δηλώσει στο πρόγραμμα τη θέση αυτή μέσα από τις ιδιότητες της υπολεκάνης.

Οι υπολεκάνες μπορούν να διαχωριστούν σε διαπερατές και αδιαπέρατες. Στις διαπερατές επιφάνειες τμήμα της επιφανειακής απορροής διηθείται στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους, κάτι που δε συμβαίνει στις αδιαπέρατες επιφάνειες όπου όλη η βροχόπτωση μετατρέπεται σε απορροή. Οι αδιαπέρατες επιφάνειες χωρίζονται με τη σειρά τους σε δύο επιμέρους τμήματα. Το τμήμα που περιέχει την επιφανειακή συγκράτηση και το τμήμα που δεν την περιέχει.

Οι βασικές ιδιότητες της υπολεκάνης που πρέπει να καθορίζονται είναι:

- η κλίση της
- το πλάτος της
- ο βροχογράφος
- το σημείο εξόδου της λεκάνης
- το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής
- ο συντελεστής του Manning n
- η αποθηκευμένη ποσότητα νερού τόσο στις διαπερατές όσο και στις αδιαπέραστες επιφάνειες.

γ. Διακλαδώσεις (Junction nodes)

Με τον όρο διακλαδώσεις θεωρούνται οι κόμβοι του συστήματος αποχέτευσης, που συνδέουν όλους τους αγωγούς μεταξύ τους. Από φυσικής απόψεως, μπορούν να παριστάνουν τη συμβολή των φυσικών υδατορρεμάτων, τα φρεάτια ενός συστήματος αποχέτευσης ή τις συνδέσεις αγωγών. Οι εξωτερικές εισροές μπορούν να εισαχθούν στο σύστημα αποχέτευσης μόνο στις διακλαδώσεις. Οι κύριες παράμετροι εισόδου για μια διασταύρωση είναι:

- Υψόμετρο πυθμένα αγωγού
- Ύψος στην επιφάνεια του εδάφους.
- Έκταση επιφάνειας όταν πλημμυρίζεται (προαιρετικά)
- Δεδομένα εξωτερικής εισροής (προαιρετικά).

δ. Κόμβοι των στομίων εκροής (Outfall nodes)

Οι κόμβοι των στομίων εκροής είναι τερματικοί κόμβοι του συστήματος αποχέτευσης, που χρησιμοποιούνται για να καθοριστούν τα κατάντη όρια κατά τη διόδευση της ροής με τη μέθοδο του δυναμικού κύματος (dynamic wave flow rating). Μόνο μια σύνδεση μπορεί να γίνει με έναν τέτοιο κόμβο.

Οι κύριοι παράμετροι κάθε κόμβου παρεμβολής είναι (Rossman 2010):

- Το υψόμετρο πυθμένα.
- Ο τύπος των συνθηκών οι οποίες προσδιορίζουν την ανώτατη στάθμη του νερού.
- Η παρουσία θυροφράγματος για την αντιμετώπιση φαινομένων ανάστροφης ροής

ε. Μονάδες αποθήκευσης

Οι μονάδες αποθήκευσης είναι κόμβοι συστήματος αποχέτευσης οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης όγκου νερού. Από φυσικής απόψεως, θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν εγκαταστάσεις αποθήκευσης τόσο μικρές όσο μια λεκάνη απορροής ή τόσο μεγάλες όσο μια λίμνη. Οι ογκομετρικές ιδιότητες μιας μονάδας αποθήκευσης περιγράφονται από μια συνάρτηση ή πίνακα επιφάνειας σε σχέση με το ύψος. Οι βασικές παράμετροι εισόδου για τις μονάδες αποθήκευσης περιλαμβάνουν (Rossman 2010) :

- Υψόμετρο πυθμένα.
- Μέγιστο βάθος.
- Δεδομένα βάθους-επιφάνειας.
- Δυναμικό εξάτμισης.
- Επιφάνεια κατάκλισης σε περίπτωση πλημμύρας (προαιρετικά).
- Δεδομένα εξωτερικής εισροής (προαιρετικά).

ζ. Αγωγοί (Conduits)

Οι αγωγοί είναι σωλήνες ή κανάλια που μεταφέρουν νερό από έναν κόμβο σε άλλο στο σύστημα μεταφοράς. Τα σχήματα διατομής τους μπορούν να επιλεγούν από μια ποικιλία τυποποιημένων ανοιχτών και κλειστών γεωμετριών όπως παρατίθενται στον Πίνακα 2.2. Τα περισσότερα ανοικτά κανάλια μπορούν να αναπαρασταθούν με ορθογώνιο, τραπεζοειδές ή καθορισμένο από το χρήστη σχήμα ακανόνιστης διατομής. Τα πιο κοινά σχήματα για νέους αγωγούς αποχέτευσης και αποχέτευσης είναι οι κυκλικοί, ελλειπτικοί και αψιδωτοί σωλήνες.

Το SWMM χρησιμοποιεί την εξίσωση Manning για να εκφράσει τη σχέση μεταξύ του ρυθμού ροής (Q), της επιφάνειας διατομής (A), της υδραυλικής ακτίνας (R) και της κλίσης (S) σε όλους τους αγωγούς. Η εξίσωση αυτή είναι:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \tag{2.1}$$

όπου:

Q = η παροχή των ομβρίων υδάτων (m^3 /s),

A = το εμβαδόν της υγρής διατομής (m^2),

R = η υδραυλική ακτίνα (m),

S = η κλίση του αγωγού (m/m)

Στην περίπτωση που η ροή στους αγωγούς γίνεται υπό πίεση, χρησιμοποιείται είτε η εξίσωση των Hazen-Williams (Παπαθανασίου 2009):

$$Q = 0.270 C D^{2.63} S^{0.54} \tag{2.2}$$

όπου:

Q = η παροχή των ομβρίων υδάτων (m^3 /s)

C = ο συντελεστής τριβής, με τιμές από 130 έως 55, ανάλογα με τη διάμετρο του αγωγού, το είδος του υλικού και την παλαιότητα του (-)
A = το εμβαδόν της υγρής διατομής (m^2)
R = η υδραυλική ακτίνα (m)
S = η κλίση της γραμμής ενέργειας (-)

είτε η εξίσωση Darcy-Weisbach (Παπαθανασίου 2009):

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}} A R^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}} \tag{2.3}$$

όπου:
Q = η παροχή των ομβρίων υδάτων (m^3/s)
g = η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s^2)
f = ο συντελεστής τριβών (-)
A = το εμβαδόν της υγρής διατομής (m^2)
R = η υδραυλική ακτίνα (m)
S = η κλίση της γραμμής ενέργειας (-)

Οι παράμετροι των αγωγών που πρέπει να καθορίζονται είναι τα φρεάτια εισόδου και εξόδου, καθώς και τα υψόμετρά τους, το μήκος, ο τύπος της διατομής και ο συντελεστής τραχύτητας του Manning n.

Πίνακας 2.2: Διαθέσιμα σχήματα διατομών για αγωγούς στο SWMM (Rossman 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	

2.4.7.2 Μη οπτικά Αντικείμενα

Εκτός από τα φυσικά αντικείμενα που μπορούν να εμφανιστούν στην οθόνη του χρήστη, το λογισμικό SWMM χρησιμοποιεί διάφορες κατηγορίες μη οπτικών δεδομένων ώστε να περιγράψει βέλτιστα, πρόσθετα χαρακτηριστικά και διεργασίες εντός της περιοχής μελέτης (Rossman 2010). Τα μη οπτικά αυτά αντικείμενα είναι τα εξής:

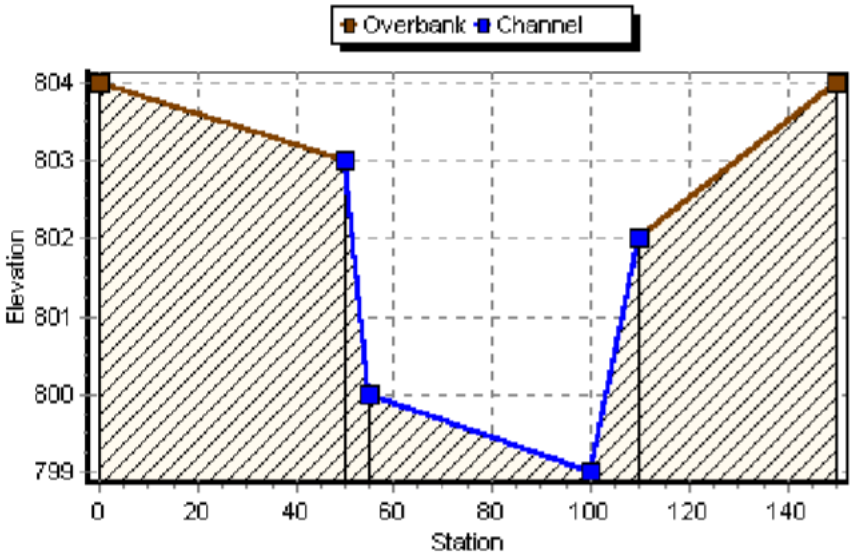
α) Χρονοσειρές

Οι χρονοσειρές χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη μεταβολή των ιδιοτήτων διαφόρων μεγεθών με το χρόνο. Ο χρόνος ορίζεται είτε με τη μορφή ωρών είτε με τη μορφή ημερομηνίας και ώρας της ημέρας από την αρχή της προσομοίωσης. Οι χρονοσειρές χρησιμοποιούνται κυρίως για να αποδοθούν:

- Δεδομένα βροχόπτωσης
- Δεδομένα εξάτμισης ή θερμοκρασίας
- Ύψος στάθμης στα σημεία εκβολής
- Υδρογραφήματα εξωτερικών εισροών στους κόμβους του συστήματος

β) Εγκάρσιες Τομές

Οι εγκάρσιες τομές παραπέμπουν στα γεωμετρικά δεδομένα τα οποία αναπαριστούν τον τρόπο με τον οποίο μεταβάλλεται η κατά μήκος κλίση του πυθμένα σε μια διατομή ενός φυσικού καναλιού ή μια διατομή αγωγού ακανόνιστου σχήματος (Rossman 2010). Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εγκάρσιας τομής για ένα φυσικό κανάλι. Σε κάθε διατομή πρέπει να δοθεί ένα μοναδικό όνομα και οι σωλήνες αναφέρονται στο όνομα αυτό για να αντιπροσωπεύουν το σχήμα τους. Ένας ειδικός επεξεργαστής διατομών ακανόνιστου σχήματος είναι διαθέσιμος στο λογισμικό του για την επεξεργασία των δεδομένων των σταθμών θέσης και των αντίστοιχων υψομέτρων. Το πρόγραμμα μετατρέπει τα δεδομένα αυτά στα αντίστοιχα υδραυλικά μεγέθη (υδραυλική ακτίνα, πλάτος στην ελεύθερη επιφάνεια, εμβαδό κ.α.).



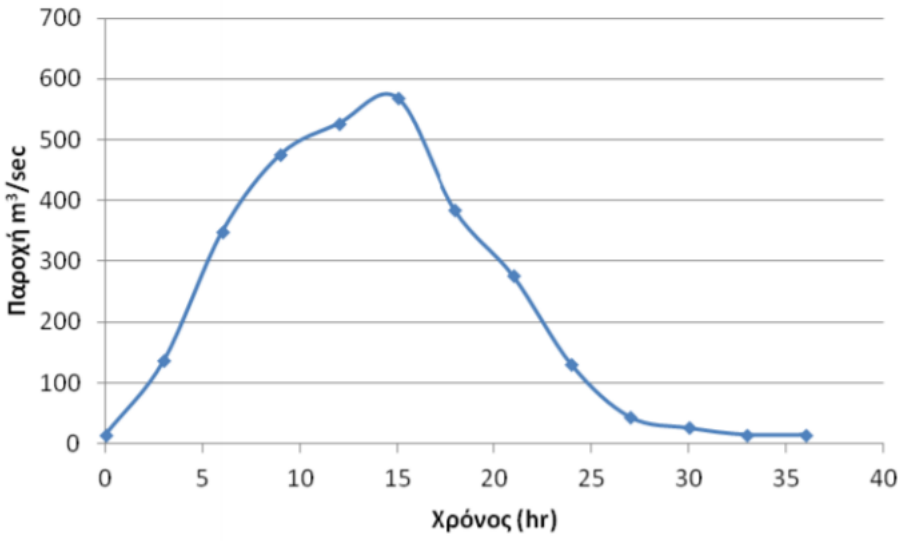
Εικόνα 2.2: Παράδειγμα εγκάρσιας τομής φυσικού καναλιού (Rossman 2010).

γ) Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Τα μοναδιαία υδρογραφήματα χρησιμοποιούνται από το SWMM 5 για τον υπολογισμό της άμεσης απορροής. Τα Μ.Υ εκτιμούν την εισροή /διήθηση, που εισέρχεται στο δίκτυο και η οποία εξαρτάται από τη βροχόπτωση (RDII- Rainfall Dependent Inflow / Infiltration). Ένα σύνολο μοναδιαίων υδρογραφημάτων περιέχει έως και τρεις τέτοιες υδρογραφήματα, ένα για βραχυπρόθεσμη απόκριση, ένα για ενδιάμεση απόκριση και ένα για μακροπρόθεσμη απάντηση. Μια ομάδα μοναδιαίων υδρογραφημάτων μπορεί να έχει έως και 12 σειρές από υδρογραφήματα, μία για κάθε μήνα του έτους. Κάθε ομάδα θεωρείται ως ξεχωριστό αντικείμενο από την SWMM και έχει το δικό της μοναδικό όνομα μαζί με το όνομα του βροχογράφου που παρέχει δεδομένα βροχής σε αυτό (Rossman 2010).

Κάθε Μ.Υ. καθορίζεται από τρεις παραμέτρους:

- το R, που είναι ο όγκος των βροχοπτώσεων που καταλήγει στο δίκτυο αποχέτευσης
- το T που είναι ο χρόνος αιχμής
- ο χρόνος που είναι ο χρόνος αποφόρτισης.



Σχήμα 2.3: Παράδειγμα Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

2.4.8 Υπολογιστικές Μέθοδοι

Το SWMM είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης διακριτού χρόνου. Εφαρμόζει τις αρχές διατήρησης της μάζας, της ενέργειας και της ορμής όποτε είναι απαραίτητο. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί η SWMM για να μοντελοποιήσει την ποσότητα και την ποιότητα απορροής των ομβρίων υδάτων μέσω των ακόλουθων φυσικών διεργασιών (Rossman 2010):

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

α) Επιφανειακή απορροή

Η εννοιολογική άποψη της επιφανειακής απορροής που χρησιμοποιείται από την SWMM απεικονίζεται στο Σχήμα 56. Κάθε επιφάνεια λεκάνης απορροής αντιμετωπίζεται ως μια μη γραμμική δεξαμενή. Η εισροή προέρχεται από την κατακρήμνιση και από την ανάντη υπολεκάνη. Υπάρχουν αρκετές εκροές, όπως η διήθηση, η εξάτμιση και η απορροή της επιφάνειας. Η χωρητικότητα της λεκάνης είναι η μέγιστη επιφανειακή αποθήκευση, η οποία προέρχεται από την επιφανειακή

λίμναση, την υγρασία του εδάφους και την υγρασία που προκύπτει από την φυτοκόμη (Rossman 2010). Το φαινόμενο της επιφανειακής απορροής εμφανίζεται όταν το βάθος νερού στη λεκάνη είναι μεγαλύτερο από τη μέγιστη επιφανειακή αποθήκευση. Η τιμή του ύψους του νερού, κατά μήκος ολόκληρης της λεκάνης συνεχώς ανανεώνεται με το χρόνο, επιλύοντας αριθμητικά μια εξίσωση ισοζυγίου του νερού κατά μήκος της λεκάνης.

β)Διήθηση

Διήθηση είναι η διεργασία κατά την οποία η βροχή διεισδύει από την επιφάνεια του εδάφους στο πάνω μέρος της ακόρεστης εδαφικής ζώνης των διαπερατών λεκανών. Το λογισμικό SWMM προσφέρει τρεις επιλογές για τη μοντελοποίηση της διήθησης:

- Εξίσωση του Horton: Αυτή η μέθοδος βασίζεται σε εμπειρικές παρατηρήσεις σύμφωνα με τις οποίες η διήθηση μειώνεται εκθετικά από ένα αρχικό μέγιστο ρυθμό σε κάποιο ελάχιστο ρυθμό κατά την εξέλιξη ενός επεισοδίου βροχής μεγάλης διάρκειας.
- Εξίσωση του Green-Ampt: Αυτή η μέθοδος για τη μοντελοποίηση της διείσδυσης υποθέτει ότι υπάρχει ένα έντονο μέτωπο διαβροχής στη στήλη του εδάφους, το οποίο χωρίζει το έδαφος που περιέχει κάποια αρχική περιεκτικότητα σε υγρασία και βρίσκεται από κάτω από το κορεσμένο έδαφος.
- Μέθοδος αριθμού καμπύλης (SCS): Η μέθοδος αυτή υποθέτει ότι η συνολική χωρητικότητα διήθησης ενός εδάφους μπορεί να βρεθεί από τον πίνακα αριθμού καμπύλης του εδάφους. Κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος βροχής η χωρητικότητα αυτή εξαντλείται συναρτήσει της σωρευτικής βροχόπτωσης και της υπόλοιπης χωρητικότητας.

γ)Διόδευση ομοιόμορφης ροής

Η διόδευση ομοιόμορφης ροής αντιπροσωπεύει τον απλούστερο τύπο διόδευσης, υποθέτοντας ότι σε κάθε υπολογιστική ροή του χρόνου η ροή είναι ομοιόμορφη και σταθερή. Έτσι απλά μετατοπίζει τα υδρογραφήματα εισροής στο ανάντη άκρο του αγωγού προς το κάτω άκρο, χωρίς καθυστέρηση ή αλλαγή σχήματος. Η εξίσωση κανονικής ροής χρησιμοποιείται για να συσχετίσει τον ρυθμό ροής με τη διατομής ροής (ή το βάθος). Όμως, αυτός ο τύπος διόδευσης δεν μπορεί να υπολογίσει την αποθήκευση καναλιών, τα φαινόμενα εκτροπής, τις απώλειες εισόδου / εξόδου, την αναστροφή ροής ή τη ροή υπό πίεση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε δενδριτικά δίκτυα μεταφοράς, όπου κάθε κόμβος έχει μόνο μία σύνδεση εκροής (εκτός αν ο κόμβος είναι διαχωριστής, οπότε απαιτούνται δύο συνδέσεις εκροής). Αυτή η μορφή διόδευσης δεν είναι ευαίσθητη στο χρησιμοποιούμενο χρονικό βήμα και είναι κατάλληλη μόνο για προκαταρκτική ανάλυση χρησιμοποιώντας μακροχρόνιες συνεχείς προσομοιώσεις (Rossman 2010).

δ)Διόδευση κινηματικού κύματος

Αυτή η μέθοδος διόδευσης επιλύει την εξίσωση συνέχειας μαζί με μια απλοποιημένη μορφή της εξίσωσης ορμής σε κάθε αγωγό. Για το λόγο αυτό απαιτείται η κλίση της επιφάνειας του νερού να είναι ίση με την κλίση του αγωγού. Η μέγιστη ροή που μπορεί να μεταφερθεί μέσω ενός αγωγού είναι η τιμή της πλήρους ομοιόμορφης ροής. Οποιαδήποτε ροή που υπερβαίνει αυτή την είσοδο στον κόμβο εισόδου, είτε χάνεται

από το σύστημα, είτε μπορεί να καταλήξει πάνω από τον κόμβο εισόδου και να εισαχθεί ξανά στον αγωγό εάν η χωρητικότητα το επιτρέπει. Η διόδευση κινηματικού κύματος επιτρέπει στη ροή να μεταβάλλεται χωρικά και χρονικά μέσα σε έναν αγωγό. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εξασθενημένα και καθυστερημένα υδρογραφήματα εκροής καθώς η εισροή διοχετεύεται μέσω του καναλιού. Ωστόσο, αυτή η μορφή δρομολόγησης δεν μπορεί να εξηγεί φαινόμενα οπισθοδρόμησης, απώλειες εισόδου / εξόδου, αναστροφή ροής ή ροή υπό πίεση και περιορίζεται επίσης σε διατάξεις δενδριτικών δικτύων (Rossman 2010).

ε)Διόδευση δυναμικού κύματος

Η διόδευση δυναμικού κύματος επιλύει όλες τις μονοδιάστατες εξισώσεις ροής Saint-Venant για μονοδιάστατη ροή και παράγει θεωρητικά τα πιο ακριβή αποτελέσματα. Αυτές οι εξισώσεις αποτελούνται από τις εξισώσεις συνέχειας και ορμής για τους αγωγούς και από μια εξίσωση συνέχειας όγκου στους κόμβους. Με αυτή τη μορφή διόδευσης είναι δυνατόν να αναπαρασταθεί η υπό πίεση ροή σε έναν κλειστό αγωγό όταν αυτός γεμίσει, έτσι ώστε οι ροές να μπορούν να υπερβούν την τιμή της πλήρως κανονικής ροής. Το φαινόμενο της πλημμύρας εμφανίζεται όταν το βάθος του νερού σε έναν κόμβο υπερβαίνει το μέγιστο δυνατό βάθος, και τότε, η περίσσεια ροή, είτε χάνεται από το σύστημα είτε μπορεί να λιμνάσει πάνω από τον κόμβο εισόδου και να επανέλθει στο σύστημα αποχέτευσης. Η διόδευση δυναμικού κύματος λαμβάνει υπόψιν την αποθήκευση των καναλιών, τα φαινόμενα επίδρασης εκ των κατάντη, τις απώλειες εισόδου / εξόδου, την ανάστροφη ροή και τη ροή υπό πίεση. Επειδή η συγκεκριμένη μέθοδος συνδυάζει τη λύση τόσο για τα επίπεδα νερού στους κόμβους όσο και για τη ροή σε αγωγούς, μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε γενική διάταξη δικτύου, ακόμη και εκείνες που περιέχουν πολλαπλές εκτροπές και βρόχους κατάντη. Πρόκειται για μια μέθοδο επιλογής που εφαρμόζεται σε συστήματα τα οποία υπόκεινται σε φαινόμενα επίδρασης εξαιτίας των κατάντη περιορισμών ροής καθώς και σε ρυθμίσεις ροής μέσω θυρίδων και στομίων. Τα χρονικά βήματα που χρησιμοποιούνται εξαιτίας αυτού είναι πολύ μικρότερα, της τάξης του ενός λεπτού ή λιγότερο (Rossman 2010).

ζ) Επιφανειακή λίμναση

Στη διόδευση ροής, όταν η ροή σε έναν κόμβο υπερβαίνει την ικανότητα του συστήματος να το μεταφέρει περαιτέρω κατάντη, ο περισσευούμενος όγκος υπερχειλίζει το σύστημα και χάνεται. Ωστόσο, υπάρχει η δυνατότητα να αποθηκευτεί (λιμνάσει) ο πλεονάζων όγκος πάνω από έναν κόμβο, κατά τρόπο που να επιτρέπει την επανεισαγωγή του στο σύστημα, αν το επιτρέψει η χωρητικότητα. Οπότε κατά την διόδευση δυναμικού κύματος, η οποία επηρεάζεται από τα βάθη νερού στους κόμβους, θεωρείται ότι η περίσσεια όγκου λιμνάζει πάνω από έναν κόμβο.

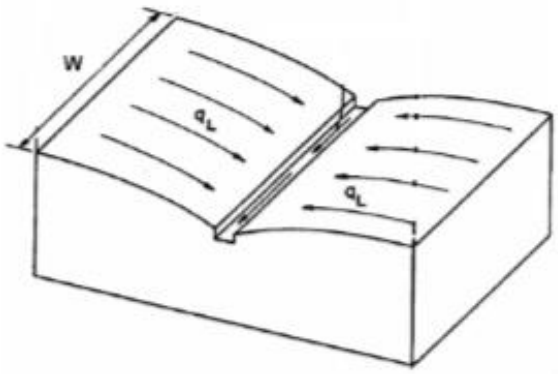
2.4.9 Επιφανειακή απορροή στο SWMM

Η κατακρήμνιση αποτελεί την κινητήρια δύναμη για την προσομοίωση της βροχής – απορροής- ποιότητας. Τα δεδομένα της κατακρήμνισης μετατρέπονται από το SWMM σε επιφανειακή απορροή.). Επειδή το SWMM είναι ένα κατανεμημένο δυναμικό

μοντέλο, επιτρέπει σε μια περιοχή μελέτης να υποδιαιρείται σε οποιεσδήποτε περιοχές ακανόνιστου σχήματος, ώστε να καταγράψει καλύτερα την επίδραση της χωρικής μεταβλητότητας στην τοπογραφία, τις οδούς αποστράγγισης, την κάλυψη της γης και τα χαρακτηριστικά του εδάφους στην παραγωγή απορροής. Συνεπώς, η παραγωγή απορροής προσδιορίζεται από υποπεριοχή σε υποπεριοχή (Rossman 2015).

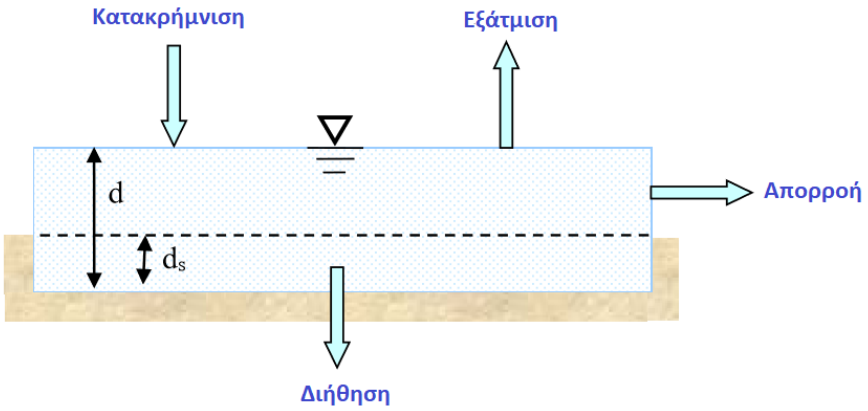
2.4.9.1 Βασικές εξισώσεις

Το SWMM διαχειρίζεται την κάθε υπολεκάνη ως ορθογώνια επιφάνεια, με ομοιόμορφη κλίση S και πλάτος W, που αποστραγγίζεται σε ένα μοναδικό κανάλι εξόδου όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3: Ιδεατή αναπαραγωγή υπολεκάνης στο SWMM (Rossman 2015)

Η επιφανειακή απορροή θεωρεί την λεκάνη ως μια μη γραμμική δεξαμενή. Σύμφωνα με τη μοντελοποίηση αυτή, εισροές στην υπολεκάνη θεωρούνται οι κατακρημνίσεις, ενώ η εξάτμιση και η διήθηση αποτελούν τις απώλειες. Η καθαρή περίσσεια λιμνάζει στην κορυφή της επιφάνειας της υπολεκάνης σε βάθος d. Το λιμνάζον νερό πάνω από το βάθος αποθήκευσης ds μπορεί να μετατραπεί σε απορροή q. Η επιφανειακή συγκράτηση αποθήκευση αντιπροσωπεύει τις αρχικές απορροφήσεις βροχοπτώσεων, όπως, υποκλοπή με επίπεδες στέγες και βλάστηση, επιφανειακή λίμναση κ.α. Παραστατικά αυτό περιγράφεται στην Εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4: Μη γραμμικό μοντέλο δεξαμενής μιας υπολεκάνης στο SWMM (Rossman 2015)

Από τη διατήρηση της μάζας, η καθαρή μεταβολή στο βάθος d ανά μονάδα χρόνου t είναι απλώς η διαφορά μεταξύ των ρυθμών εισροής και εκροής στην υπολεκάνη.

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q \tag{2.4}$$

Όπου:
i: ρυθμός βροχόπτωσης και χιονόπτωσης (m/s)
e: ρυθμός εξάτμισης (m/s)
f: ρυθμός διήθησης (m/s)
g: ρυθμός επιφανειακής απορροής (m/s)

Η παροχή Q σε m^3 /s στην υπολεκάνη, υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση του Manning:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \tag{2.5}$$

Όπου:
Q: η παροχή αιχμής (m^3/s)
S: κλίση του αγωγού
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-ds και επειδή το πλάτος θα είναι πάντα αρκετά μεγαλύτερο από το βάθος d προκύπτει η σχέση (Rossman 2015):

$$Q = \frac{1}{n} W S^{\frac{1}{2}} (d - d_s)^{\frac{5}{3}} \tag{2.6}$$

και ο ρυθμός απορροής q:

$$q = \frac{1}{A_n} W S^{\frac{1}{2}} (d - d_s)^{\frac{5}{3}} \tag{2.7}$$

Εφαρμόζοντας αυτήν την εξίσωση στην αρχική διατήρηση της μάζας προκύπτει:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - a(d - d_s)^{\frac{5}{3}} \tag{2.8}$$

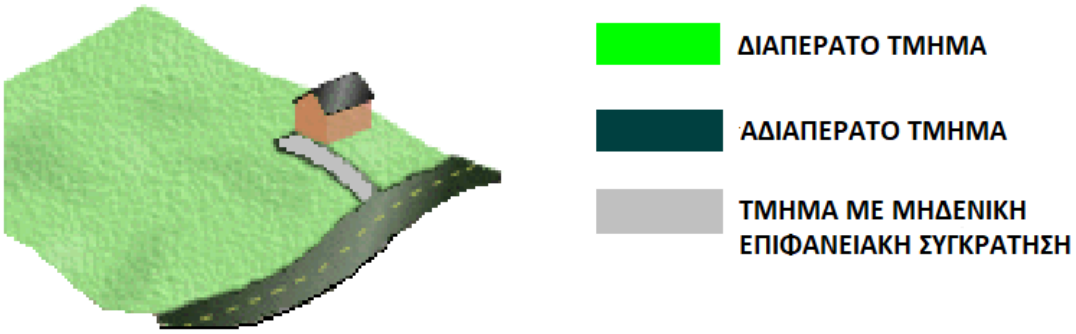
Όπου:

$$a = \frac{1}{A_n} W S^{\frac{1}{2}} \tag{2.9}$$

2.4.9.2 <u>Διαμερισμός Υπολεκανών</u>

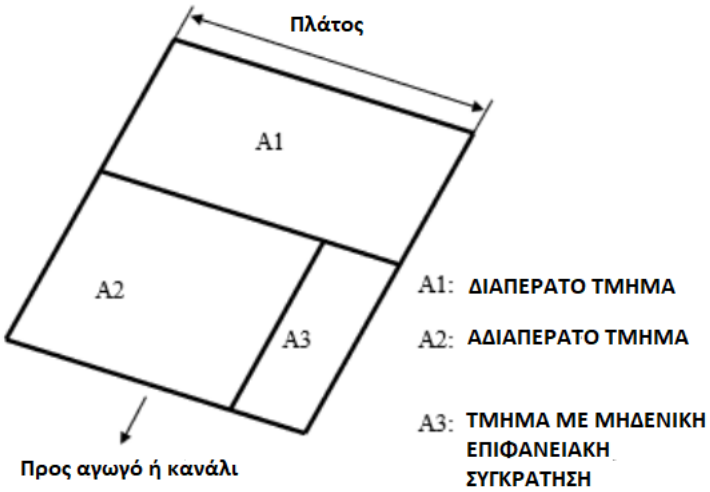
Οι αστικές λεκάνες είναι συνήθως μεγάλες σε έκταση και όχι ομοιόμορφες όσο αφορά τις χρήσεις γης. Δηλαδή οι αστικές περιοχές συνήθως περιέχουν ένα μείγμα τύπων επιφάνειας γης, το οποίο μπορεί εύκολα να χωριστεί σε δύο κύριες κατηγορίες: διαπερατές επιφάνειες (π.χ. χλοοτάπητες, αγρούς και δασικές εκτάσεις) που επιτρέπουν τη διείσδυση βροχοπτώσεων στο έδαφος και αδιαπέραστες επιφάνειες (π.χ. στέγες, , και χώροι στάθμευσης) πάνω από τους οποίους δεν υπάρχει διείσδυση. Τα μέρη αυτά μπορούν να διαχωριστούν από το SWMM και ο χρήστης καλείται μόνο να θέσει το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας σε κάθε υπολεκάνη, ενώ στη

συνέχεια με τη μεταβλητή %Zero-Imperv έχει τη δυνατότητα να καθορίσει την επιφανειακή συγκράτηση στο αδιαπέρατο μέρος. Στην Εικόνα 2.5 περιγράφονται παραστατικά οι τρεις πιθανοί τύποι υποπεριοχών στην κάθε υπολεκάνη (Rossman 2015).



Εικόνα 2.5: Είδη υποπεριοχών σε μια υπολεκάνη στο SWMM (Rossman,2015)

Εννοιολογικά, αυτές οι τρεις υποπεριοχές ενσωματώνονται στην ιδεατή υπολεκάνη όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.5. Βεβαίως στην πραγματικότητα οι περιοχές δεν θα ευθυγραμμιστούν με αυτόν τον τρόπο ούτε θα είναι αναγκαστικά συμπαγές και συνδεδεμένο. Η διάταξη που χρησιμοποιείται εδώ είναι απλώς μια ευκολία μοντελοποίησης. Τα σύμβολα A1, A2 και A3 αναφέρονται στην διαπερατή υποπεριοχή και σε δύο τύπους αδιαπέρατων υποπεριοχών, με και χωρίς αποθήκευση κατάθλιψης, αντίστοιχα και απομακρύνουν την απορροή τους ανεξάρτητα το ένα από το άλλο στην ίδια θέση εξόδου.



Εικόνα 2.6: Ιδεατός διαχωρισμός υπολεκάνης (Rossman 2015).

2.4.9.3 Σχηματοποίηση υπολεκανών

Οι περισσότερες περιοχές μελέτης θα απαιτήσουν κάποιο επίπεδο διακριτοποίησης σε πολλαπλές υπολεκάνες προκειμένου να χαρακτηριστεί σωστά η χωρική μεταβλητότητα στις οδούς αποστράγγισης, τις επιφανειακές ιδιότητες και τις συνδέσεις σε σωλήνες και κανάλια αποστράγγισης. Για τον σωστό προσδιορισμό των υπολεκανών, οι οποίες συμπίπτουν με τα όρια αποστράγγισης, είναι απαραίτητα, εκτός από τον τοπογραφικό χάρτη και τα σχέδια του αποχετευτικού συστήματος.

2.4.9.4 Εκτίμηση παραμέτρων υπολεκανών

α) Έκταση υπολεκάνης

Κατ 'αρχήν, η περιοχή της λεκάνης απορροής και της υποπεριοχής μπορεί να οριστεί με την κατασκευή χωρισμάτων αποστράγγισης σε τοπογραφικούς χάρτες. Στην πράξη, αυτό δεν μπορεί να είναι πάντα εύκολο εξαιτίας της έλλειψης λεπτομερών υψομετρικών πληροφοριών και της ύπαρξης άγνωστων εισροών και εκροών. Αυτό μπορεί να επισημανθεί ιδιαίτερα, όταν ο μετρημένος όγκος απορροής υπερβαίνει τον μετρημένο όγκο βροχόπτωσης. Ο όγκος βροχόπτωσης, σαφώς, σπάνια μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια σε όλα τις υποπεριοχές (Rossman 2015).

β) Αδιαπερατότητα

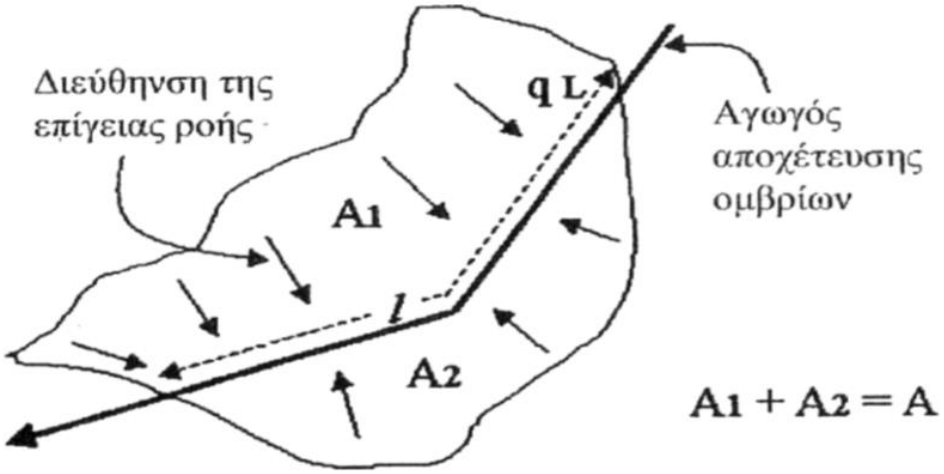
Η αδιαπερατότητα των λεκανών απορροής αποτελεί ίσως τον πιο σημαντικό παράγοντα, που χρήζει καθορισμού, προκειμένου να αποσαφηνιστεί η επίδραση της αστικοποίησης στην ποσότητα και την ποιότητα των απορροών. Το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής της υπολεκάνης είναι εφικτό να υπολογιστεί με σχετικά καλή ακρίβεια, από τη στιγμή που αναφερόμαστε σε ψηφιοποιημένες περιοχές με κάποιο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Μια προσέγγιση για την εκτίμηση της αδιαπέρατης έκτασης σε μεγάλες εκτάσεις με πολλαπλές χρήσεις γης είναι η σύνδεση του ποσοστού αδιαπέρατης περιοχής με κάθε κατηγορία χρήσης γης. Στη συνέχεια, γνωρίζοντας το ποσοστό κάθε χρήσης γης μέσα σε μια υπολεκάνη, είναι εφικτό να υπολογιστεί το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής. Ο Πίνακας 2.3 παραθέτει τις εκτιμήσεις του ποσοστού αδιαπέραστης έκτασης για διαφορετικές χρήσεις γης της ΕΡΑ.

Πίνακας 2.3: Αδιαπέρατη περιοχή ως ποσοστό της χρήσης γης

Χρήση Γης	Ποσοστό Αδιαπέρατης Περιοχής
Εμπορική	56
Βιομηχανική	76
Οικιστική υψηλής πυκνότητας	51
Οικιστική μεσαίας πυκνότητας	38
Οικιστική μικρής πυκνότητας	19
Δημόσια κτίρια	34
Αγροτική	2
Δασική	1.9
Ανοιχτή αστική γη	11

γ) Πλάτος και κλίση υπολεκάνης

Υποθέτοντας ότι η επίγεια ροή ρέει κατά μήκος της κλίσης μιας υποθετικής ορθογώνιας υπολεκάνης, τότε το πλάτος της υπολεκάνης είναι το πλάτος της επίγειας ροής. Αν το πλάτος της ροής πολλαπλασιαστεί με την πλευρική ροή ανά μονάδα πλάτους qL προκύπτει ο συνολικός όγκος ύδατος. Μια καλή εκτίμηση για το πλάτος, προκύπτει καθορίζοντας α το μέγιστο μήκος της επίγειας ροής και διαιρώντας το εμβαδόν της υπολεκάνης με το μήκος. Οι περισσότερες πραγματικές υπολεκάνες έχουν ακανόνιστη μορφή όπως στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.7: Ακανόνιστο σχήμα υπολεκάνης για τον υπολογισμό του πλάτους.

Ένας απλός υπολογισμός του πλάτους της υπολεκάνης της περίπτωσης της Εικόνας 2.6., μπορεί να γίνει από τον τύπο του DiGiano (1977). Συγκεκριμένα, υπολογίζεται ένας συντελεστής λοξότητας, Sk, όπου 0< Sk <1, ο οποίος δίνεται από την εξίσωση (Παπαθανασίου) :

$$S_k = \frac{A_2 - A_1}{A} \qquad 2.10$$

Όπου:

A1: το εμβαδόν της περιοχής στη μια πλευρά του αγωγού[m^2]

A2: το εμβαδόν της περιοχής στην άλλη πλευρά του αγωγού [m^2]

A: το εμβαδόν της συνολικής περιοχής= A1+ A2 [m^2]

Το πλάτος της υπολεκάνης, W, βρίσκεται μεταξύ δύο ορίων του l και του 2l και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$W = (2 - S_k)l \qquad 2.11$$

όπου:

l: το μήκος του κύριου αγωγού [m]

Η κλίση της υπολεκάνης πρέπει να αντιπροσωπεύει το μέσο όρο κατά μήκος της επίγειας ροής προς τις θέσεις των φρεατίων. Για απλό γεωμετρικό σχήμα υπολεκάνης ο υπολογισμός είναι η διαφορά υψομέτρου κατά μήκος της ροής. Για πιο σύνθετη γεωμετρία, διάφορες διαδρομές της επίγειας ροής μπορούν να σχεδιαστούν, να καθοριστούν οι κλίσεις τους και να υπολογισθεί μια κεντροβαρική μέση κλίση, σταθμισμένη ανάλογα με το μήκος της κάθε διαδρομής (Παπαθανασίου).

δ) Συντελεστής Τραχύτητας

Ο συντελεστής τραχύτητας χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής. Ο υπολογισμός του χρόνου συγκέντρωσης, ο καθορισμός της ταχύτητας ροής καθώς και η προσομοίωση με τη βοήθεια υδρογραφημάτων απορροής απαιτούν επίσης τη χρήση του συντελεστή τραχύτητας (Gilley and Finkner, 1991).

Καθώς ο προσδιορισμός του συντελεστή είναι μια πολύ δύσκολο και απρόσιτο, η προσθήκη μιας ομάδας δεδομένων που αφορούν την τραχύτητα σε ένα χάρτη χρήσεων γης με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών αποτελεί τη βέλτιστη λύση. Ο στόχος μια τέτοιας προσπάθειας είναι η χωρική διάκριση της τραχύτητας ανάλογα με τα τοπικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής. Στη βιβλιογραφία συναντώνται αρκετοί συντελεστές τραχύτητας όπως αυτός του Manning, των Darcy-Weisbach, του Chezy και των Colebrook-White. Το SWMM χρησιμοποιεί το συντελεστή τραχύτητας του Manning τόσο για τη ροή στους αγωγούς, όσο και για την επίγεια ροή σε διαπερατές και αδιαπέραστες επιφάνειες. Οι τιμές του συντελεστή τραχύτητας n, του Manning για την επίγεια ροή δεν είναι γνωστές με μεγάλη ακρίβεια λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας του εδάφους, της μετάβασης μεταξύ στρωτής και στροβιλώδους ροής. Οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί γύρω από τον υπολογισμό του Manning (n), έχουν δείξει πως αυτό μεταβάλλεται ανάλογα με το βάθος ροής, τον αριθμό Reynolds και την παροχή της ροής. Στη συνέχεια στους Πίνακες 2.4 και 2.5 θα παρατεθούν χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή Manning.

Στο λογισμικό SWMM είναι απαραίτητο να εισαχθούν τιμές του συντελεστή κατά την είσοδο αποχετευτικών αγωγών, καναλιών κ.λπ. και κατά την μοντελοποίηση των υπολεκανών. Στην περίπτωση αυτή ζητούνται δύο συντελεστές έναν για το διαπερατό και έναν για το αδιαπέρατο μέρος της υπολεκάνης.

Πίνακας 2.4: Τιμές του Συντελεστή Manning για Αγωγούς και Κανάλια (Τσιχριντζής, 1999)

Περιγραφή υλικού αγωγού	Τιμή N		
	Ελάχιστη	Κανονική	Μέγιστη
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	0.014	0.015
Σφυρήλατος σίδηρος, γαλβανισμένος	0.013	0.016	0.017
Μεταλλικός αυλακωτός, μικρές αυλακώσεις	0.020	0.022	0.025
Μεταλλικός αυλακωτός, μεγάλες αυλακώσεις	0.030	0.032	0.035
Λείος αυλακωτός από αλουμίνιο	0.010	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

Πίνακας 2.5: Τιμές του Συντελεστή Manning για Αβαθή Διάχυτη Ροή ή Ροή σε Δρόμο (Τσιχριντζής 1999)

Περιγραφή	**Τιμή N**		
	Ελάχιστη	**Κανονική**	**Μέγιστη**
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	0.63
Τεχνητό γρασίδι	0.39	0.45	0.20
Κοντό γρασίδι	0.10	0.15	0.30
Πυκνό γρασίδι	0.17	0.24	0.48
Δένδρα, δάση	0.30	0.45	--

ε) Επιφανειακή Συγκράτηση

Η επιφανειακή συγκράτηση είναι ένας όγκος που πρέπει να καλυφθεί πριν από την εμφάνιση της απορροής σε διαπερατές και αδιαπέραστες περιοχές. Αντιπροσωπεύει αρχικές απώλειες που προκαλούνται από φαινόμενα όπως η επιφανειακή λίμναση, η κατακράτηση από βλάστηση στέγες κ.λπ. και η εξάτμιση. Στον αλγόριθμο βροχής-

απορροής του SWMM, το νερό που αποθηκεύεται ως επιφανειακή συγκράτηση σε διαπερατές περιοχές υπόκειται σε διείσδυση (και εξάτμιση), έτσι ώστε η διαθέσιμη χωρητικότητα αποθήκευσης να ανανεώνεται συνεχώς και ταχέως. Σε αντιδιαστολή, το νερό που συμπληρώνει την επιφανειακή συγκράτηση σε αδιαπέραστες περιοχές, εξαντλείται μόνο με εξάτμιση και επομένως χρειάζεται πολύ περισσότερο χρόνο για να αποκατασταθεί πλήρως η αποθήκευση σε χωρητικότητα.

Για να προωθηθεί η άμεση απορροή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να θέση μηδενική την παράμετρο %Zero-Imperv. Μια άλλη επιλογή για να επιτευχθεί μηδενική επιφανειακή συγκράτηση σε αδιαπέρατες περιοχές (και επομένως άμεση απορροή) είναι η μηδενική ρύθμιση του %Zero-Imperv και η εισαγωγή μηδενικών τιμών για την επιφανειακή συγκράτηση για την αδιαπέρατη περιοχή κάθε υπολεκάνης.

2.5 Προσέγγιση άλλων μεθόδων εκτίμησης απορροής

Στο λογισμικό SWMM, είναι δυνατόν τα αποτελέσματα των υπολογισμών απορροής να προσεγγίσουν εκείνα που λαμβάνονται από άλλες γνωστές μεθόδους. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά οι μέθοδοι αυτοί.

α) Ορθολογική Μέθοδος

Για να εφαρμοστεί αυτή η προσέγγιση στο SWMM ο χρήστης μπορεί να ακολουθήσει τα εξής (Rossman 2015):

- Να ρυθμίσει το ποσοστό αδιαπερατότητας της υπολεκάνης σε 100C και την παράμετρο %Zero-Imperv ίση με 0.
- Να αναθέσει το ίδιο βάθος επιφανειακής συγκράτησης στις διαπερατές και στις αδιαπέραστες περιοχές.
- Να χρησιμοποιήσει οποιεσδήποτε τιμές για την κλίση και το πλάτος στις υπολεκάνες και την τιμή 0 για το συντελεστή Manning στις διαπερατές και αδιαπέρατες περιοχές.
- Να χρησιμοποιήσει την μέθοδο διήθησης Horton και να δώσει στο αρχικό και τελικό ποσοστό την ίδια τιμή διηθητικότητας.

β) Μέθοδο της SCS

Για να επιτευχθεί η προσέγγιση του υπολογισμού του συνολικού όγκου απορροής με τη μέθοδο της SCS ο χρήστης καλείται (Rossman 2015):

- Να θέσει το ποσοστό του αδιαπέρατου μέρους της υπολεκάνης μηδενικό.
- Να επιλέξει τη μέθοδο αριθμού καμπύλης για τον υπολογισμό διείσδυσης και να χρησιμοποιήσει τον ίδιο αριθμό καμπύλης που θα χρησιμοποιούσε με τη μέθοδο SCS.
- Να θέσει την επιφανειακή συγκράτηση διαπερατής περιοχής ίση με το αρχικό βάθος αφαίρεσης, αυτό που θα χρησιμοποιούσε με τη μέθοδο SCS.
- Να ρυθμίσει το συντελεστή τραχύτητας της διαπερατής περιοχής σε 0 για να αποτρέψει οποιαδήποτε καθυστέρηση στην απορροή.

γ) Μέθοδος του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

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

- Για κάθε υπολεκάνη, να ορίσει ένα μοναδιαίο τριγωνικό υδρογράφημα που να αντιπροσωπεύει την αντίδραση απορροής των υπολεκανών σε βροχοπτώσεις.
- Να καθορίσει την κατάλληλη επιφανειακή συγκράτηση ως μέρος της περιγραφής του μοναδιαίου υδρογραφήματος κάθε υπολεκάνης.
- Εάν το σύνολο δεδομένων SWMM είχε ήδη υπολεκάνες οριοθετημένες σε αυτό, είτε να τα διαγράψει είτε να δημιουργήσει έναν ανιχνευτή βροχογράφο, ο οποίος δεν θα έχει καμία βροχόπτωση που να σχετίζεται με αυτό και να αναθέσει αυτό το βροχογράφο σε όλες τις υπολεκάνες.
- Για κάθε κόμβο του συστήματος αποστράγγισης που είναι το σημείο εκροής μιας υπολεκάνης, να προσδιορίσει μια εξωτερική εισροή RDII που χρησιμοποιεί το μοναδιαίο υδρογράφημα της υπολεκάνης και την πλήρη έκτασή της ως την περιοχή που έχει αποστραγγιστεί και συμβάλλει στην RDII του κόμβου.

2.6 Διήθηση

Με τον όρο διήθηση νοείται η φυσική διεργασία εισχώρησης στο έδαφος ύδατος που προέρχεται από βροχόπτωση, τήξη χιονιού ή άρδευση (Rawls et.al, 1993). Η διαδικασία αυτή είναι άμεσα συνυφασμένη με τη ροή του νερού στο έδαφος. Συγκεκριμένα ο ρυθμός διήθησης εξαρτάται από την διαθεσιμότητα του νερού για διήθηση καθώς και από τις ιδιότητες του εδάφους ως προς τη δυνατότητα κίνησης νερού.

Ποσοτικά, ο ρυθμός διήθησης είναι προφανώς μεταβλητός όχι μόνο χωρικά αλλά και χρονικά. Εξαρτάται, κατά σειρά προτεραιότητας, από τους εξής παράγοντες: την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων, τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, την παρουσία ή όχι χλωρίδας, την περιεκτικότητα σε υγρασία του επιφανειακού εδάφους στην αρχή τη βροχής, τη θερμοκρασία, τη ποιότητα του βρόχινου νερού κ.λπ. Οι παράγοντες αυτοί, είναι δύσκολο να εκτιμηθούν (Παπαθανασίου).

Παρά την αρκετά πλήρη κατανόηση των μηχανισμών της διήθησης και της κίνησης του νερού στο έδαφος, και την πρόοδο στα μαθηματικά μοντέλα ακόρεστης ροής στο έδαφος, οι μεθοδολογίες ποσοτικής εκτίμησης της διήθησης ακόμη δεν προσφέρουν τον επιθυμητό συνδυασμό ακρίβειας και ευκολίας εφαρμογής. Το σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει κάθε μεθοδολογία ποσοτικής εκτίμησης της διήθησης είναι η ισχυρή ανομοιογένεια και ανισοτροπία των εδαφών (Κουτσογιάννης, 1999).

Στην διεθνή βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί αρκετά αλγεβρικά μοντέλα για την εκτίμηση της διήθησης. Το λογισμικό SWMM παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα επιλογής ανάμεσα από τρία μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά είναι:

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

Στη συνέχεια θα περιγραφεί συνοπτικά η μέθοδος SCS, καθώς αυτή χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Η μέθοδος της SCS

Το έτος 1957, η Soil Conservation Service (S.C.S.) των Η.Π.Α., παρουσίασε μια μέθοδο υπολογισμού του υδρογραφήματος απορροής, ύστερα από μελέτη μεγάλου αριθμού υδρογραφημάτων σε λεκάνες απορροής διαφορετικού μεγέθους σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές (Γιαννόπουλος, 2002α). Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της συνολικής άμεσης απορροής που προήλθε από βροχή συγκεκριμένης διάρκειας. Σύμφωνα με την SCS έγινε εκτίμηση και παραδοχή ότι οι αρχικές απώλειες συγκράτησης και εξάτμισης είναι 20% των συνολικών απωλειών, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ του ολικού ύψους βροχής (h_r) και περισσεύματος βροχής (h_R) , οπότε καταλήγει στην ακόλουθη σχέση:

$$h_R = \frac{(h_r - 0.2)^2}{(h_r + 0.8S)}, \gamma\iota\alpha\ h_r > 0.2S \qquad 2.12$$

$$h_R = 0, \gamma\iota\alpha\ h_r < 0.2S \qquad 2.13$$

όπου η παράμετρος S της μέγιστης δυνητικής κατακράτησης. Η παράμετρος S συνδέεται με μια άλλη χαρακτηριστική παράμετρο την CN (Curve Number – Αριθμός Καμπύλης) με την εξίσωση:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad 2.14$$

Η παράμετρος παίρνει τιμές από το 0 εως το 100 και εξαρτάται από τις συνθήκες εδάφους και τη χρήση γης στη λεκάνη απορροής αλλά και τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας οι οποίες συναρτώνται με τη χρονική απόσταση της υπό μελέτης καταιγίδας από τις προηγούμενες. Ανάλογα με την διαπερατότητά τους τα εδάφη χωρίζονται στις τέσσερις παρακάτω κατηγορίες (Τσιχριντζής 1999):

Κατηγορία Α: Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Πρόκειται συνήθως για αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη με πολύ μικρό ποσοστό ιλύος και αργίλου.

Κατηγορία Β: Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα που αποτελούνται από μέσης μέχρι ελαφράς σύστασης εδάφη.

Κατηγορία C: Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα. Περιλαμβάνει εδάφη μέσης μέχρι βαριάς σύστασης , όπως εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου, εδάφη φτωχά σε οργανικό υλικό.

Κατηγορία D: Εδάφη με πολύ μικρή διηθητικότητα. Περιλαμβάνει κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη που διογκώνονται όταν διαβραχούν, εδάφη με υψηλή στάθμη υπογείου νερού ή με αδιαπέρατο στρώμα.

Έπειτα, με βάση το συνολικό ύψος βροχής των πέντε προηγούμενων ημερών ορίζονται τρεις κατηγορίες οι οποίες χαρακτηρίζουν την αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους:

Κατηγορία I: Ξηρές συνθήκες (βροχή τις προηγούμενες ημέρες < 12.5mm).

Κατηγορία II: Μέσες συνθήκες (βροχή τις προηγούμενες ημέρες μεταξύ 12.5mm και 38mm).

Κατηγορία III: Υγρές συνθήκες (βροχή τις προηγούμενες ημέρες >38mm)

Για την εφαρμογή της Μεθόδου με το λογισμικό είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός δύο παραμέτρων:

1. Του αριθμού .
2. Του χρόνου ξήρανσης (ο χρόνος ο οποίος χρειάζεται ένα πλήρως κορεσμένο έδαφος να επανέλθει σε ξηρή κατάσταση).

Για τις συνθήκες υγρασίας τύπου II, υπάρχουν αναλυτικοί πίνακες με τιμές του CN για κάθε τύπο εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης. Στη συνέχεια επισυνάπτεται ο Πίνακας 2.7 για την εκτίμηση του αριθμού CN.

Για τους τύπους συνθηκών υγρασίας I και III, ο αριθμός καμπύλης προσδιορίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις με βάση τον αριθμό καμπύλης για εδάφη Τύπου I:

$$CN_i = \frac{4.2CN_{ii}}{10 - 0.058CN_{ii}} \qquad 2.15$$

$$CN_i = \frac{4.2CN_{ii}}{10 - 0.058CN_{ii}} \qquad (2.16)$$

$$CN_{iii} = \frac{23CN_{ii}}{10 - 0.13CN_{ii}} \qquad (2.17)$$

Ο χρόνος ξήρανσης δίνεται από τη σχέση:

$$T_{dry} = \frac{3.125}{\sqrt{K_s}} \qquad (2.18)$$

Όπου

K_s : παράμετρος, της οποίας οι τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.6

Πίνακας 2.6: Τιμές κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας διαφόρων 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 2.7: Τιμές του συντελεστή CN για επιλεγμένες χρήσεις γης (Τσιχριντζής 1999, Rossman 2015)

	Υδρολογική κατάσταση εδάφους			
Περιγραφή Χρήσεων 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 50-70%		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	**Αδιαπέρατο τμήμα**				
0.05	65	77	85	90	92
0.1	38	61	75	83	87
0.13	30	57	72	81	86
0.2	25	54	70	80	85
0.4	20	51	68	79	84
Στρωμένοι ανοιχτοί χώροι στάθμευσης, στέγες, ταράτσες κ.λπ.		98	98	98	98
Δρόμοι και οδικές αρτηρίες					
Στρωμένοι με κράσπεδα και υπονόμους ομβρίων		98	98	98	98
Χαλικόστρωτοι		76	85	89	91
Χωματόδρομοι		72	82	87	89

2.7 Πρόγραμμα Microsoft Excel

Το Microsoft Excel είναι πρόγραμμα λογιστικών φύλλων που αναπτύχθηκε από τη Microsoft για τα Microsoft Windows, macOS, Android και iOS. Διαθέτει υπολογισμούς, εργαλεία γραφημάτων, συγκεντρωτικούς πίνακες και μια γλώσσα προγραμματισμού macro με όνομα Visual Basic for Applications. Αποτελεί μέρος του Microsoft Office και είναι μια ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή. Το Excel έχει τα βασικά χαρακτηριστικά όλων των λογιστικών φύλλων, χρησιμοποιώντας ένα πλέγμα κελιών διατεταγμένων σε αριθμημένες σειρές και στήλες για να οργανωθούν χειρισμοί δεδομένων όπως αριθμητικές πράξεις. Παρέχει πολλές λειτουργίες και ανταποκρίνεται

σε στατιστικές, μηχανικές και οικονομικές ανάγκες. Επιπλέον έχει τη δυνατότητα να να εμφανίζει δεδομένα ως γραφικές παραστάσεις, ιστογράμματα και γραφήματα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το Excel αποτέλεσε βασικό εργαλείο καθώς χρησιμοποιήθηκε για τους απαραίτητους υπολογισμούς των υετογραφημάτων όπως τα ύψη βροχής και οι βροχοπτώσεις αλλά και για την κατασκευή των υετογραφημάτων με τη μορφή διαγράμματος. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς των τιμών των παραμέτρων που εισήχθησαν στο λογισμικό SWMM, οι οποίοι προέκυψαν με τη χρήση του σταθμισμένου μέσου όρου.

2.8 Βοηθητικά προγράμματα

Δύο επιπλέον προγράμματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση της μελέτης και έπαιξαν καταλυτικό ρόλο καθώς έδωσαν λύση σε σημαντικά προβλήματα είναι το InpPINS και το Notepad++.

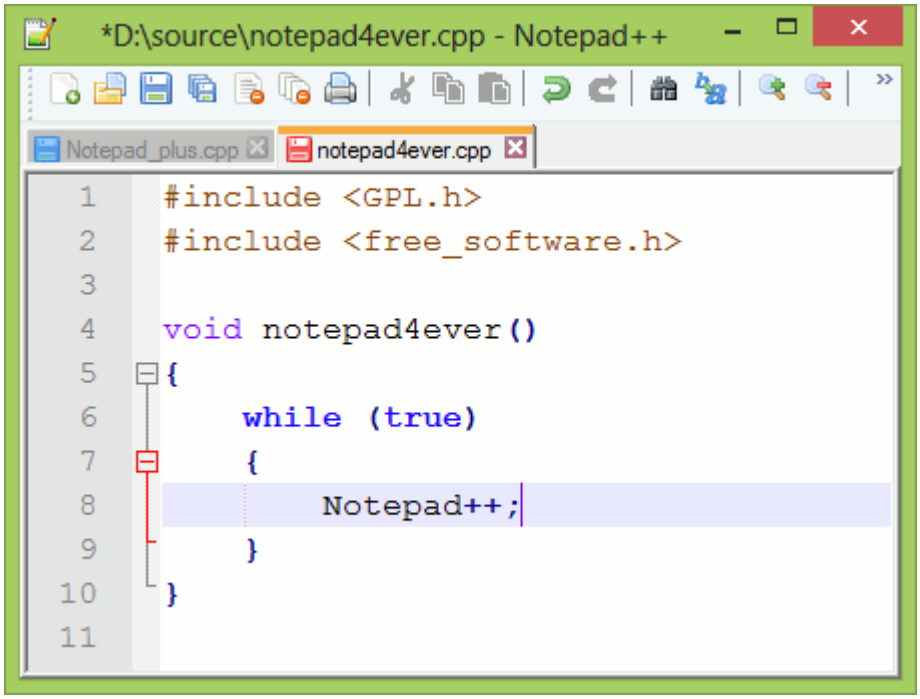
2.8.1 Το πρόγραμμα InpPINS

Το πρόγραμμα InpPINS στοχεύει στην ενσωμάτωση πληροφοριών του SWMM σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Δηλαδή το InpPINS παράγει αρχεία εισόδου (.inp) από δεδομένα GIS και μετατρέπει αποτελέσματα από αναλύσεις SWMM πλημμυρικών περιοχών σε GIS αρχεία.

Επομένως χρησιμοποιήθηκε στην μετατροπή των δεδομένων της περιοχής μελέτης (φρεάτια, αγωγοί, υπολεκάνες) από μορφή shapefiles σε inp.

2.8.2 Το πρόγραμμα Notepad++

Το Notepad++ είναι ένας προχωρημένος επεξεργαστής κειμένου. Αποτελεί ολοκληρωμένο επεξεργαστή πηγαίου κώδικα, διαθέτει ένα μεγάλο εύρος λειτουργιών ενώ παράλληλα παρέχει ένα σχετικά απλό και λειτουργικό περιβάλλον εργασίας. Στην Εικόνα 2.7 παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας του Notepad ++.



Εικόνα 2.8: Το περιβάλλον εργασίας του Notepad ++. (Πηγή: www.notepad-plus-plus.org)

Καθώς ήταν απαραίτητη η εισαγωγή μεγάλου αριθμού δεδομένων και χαρακτηριστικών στο SWMM, το Notepad++ αποτέλεσε χρήσιμο εργαλείο στη διαδικασία αυτή.

2.9 Προηγούμενες Μελέτες με το Λογισμικό SWMM

Το λογισμικό SWMM έχει ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε πολλές προπτυχιακές και διπλωματικές εργασίες, καθώς και σε διάφορες μελέτες στη διεθνή βιβλιογραφία. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν εν συντομία ορισμένες από αυτές τις εργασίες που θεωρήθηκαν ενδιαφέρουσες και καταδεικνύουν την εκτεταμένη χρήση του SWMM για τη μελέτη διαφόρων αντικειμένων.

Μεγάλο ενδιαφέρον για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης παρουσιάζει η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία του Κούρτη (2016), καθώς η περιοχή μελέτης των δύο εργασιών είναι η ίδια. Αντικείμενο της έρευνας του Κούρτη είναι η μελέτη, η αναπαράσταση, η προσομοίωση και η ανάλυση του παντορροϊκού αποχετευτικού δικτύου της Αθήνας, για τη διερεύνηση του μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε απορροή και την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου.

Το παντορροϊκό σύστημα της Αθήνας χωρίζεται στις υπολεκάνες Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ1, Ζ2, Η1, Η2 και Θ. Ως περιοχή μελέτης στην εργασία του Κούρτη (2016) επιλέχθηκε η Ζώνη Δ (Κάτω Πατήσια, Κυψέλη), με έκταση 87,88 ha (Κούρτης, 2016).

Αρχικά έγινε η επίλυση του υπό μελέτη δικτύου με βάση τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74), δηλαδή με την Ορθολογική Μέθοδο, και για περίοδο

επαναφοράς 5 ετών. Κατά την επίλυση του δικτύου δεν πραγματοποιήθηκε διαστασιολόγηση των αποχετευτικών αγωγών και το δίκτυο επιλύθηκε με τη σημερινή του μορφή (η γεωμετρία των αγωγών θεωρήθηκε ίδια με αυτή των πινακίδων 1:1500 της ΕΥΔΑΠ Α.Ε.). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν πως ορισμένοι αγωγοί είναι υπερδιαστασιολογημένοι, ενώ κάποιοι άλλοι είναι υποδιαστασιολογημένοι, καθώς και ότι το δίκτυο έχει διαστασιολογηθεί για περίοδο επαναφοράς 5 ετών αντί για 10 που προβλέπεται από τις Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74).

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας ορισμένων παραμέτρων του λογισμικού SWMM. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν είναι οι εξής: το αδιαπέρατο τμήμα της κάθε υπολεκάνης, ο συντελεστής τραχύτητας Manning για το αδιαπέρατο και το διαπερατό τμήμα της κάθε υπολεκάνης, η επιφανειακή συγκράτηση του αδιαπέρατου και του διαπερατού τμήματος, το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση, ο συντελεστής Manning των αγωγών του συστήματος, ο συντελεστής CN της μεθόδου SCS, η παράμετρος Routing Time, το πλάτος και η κλίση της κάθε υπολεκάνης του συστήματος. Τα αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν πως το μοντέλο είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στις παρακάτω παραμέτρους:

- Routing Time
- Συντελεστής Manning αγωγών
- Πλάτος υπολεκανών
- Κλίση υπολεκανών

Έπειτα πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση του παντορροϊκού δικτύου με τη χρήση του λογισμικού SWMM. Τα γεγονότα βροχόπτωσης εισήχθησαν στο μοντέλο με τη μορφή υετογραμμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν με τη 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 ώρες, με το χρονικό βήμα να επιλέγεται 1 min.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με το λογισμικό SWMM δείχνουν ότι για περίοδο επαναφοράς 5 ετών το αποχετευτικό δίκτυο ανταποκρίνεται επιτυχώς χωρίς να παρουσιάσει κάποιο πρόβλημα. Σε περίπτωση εμφάνισης βροχοπτώσεων υψηλότερης περιόδου επαναφοράς, παρατηρούνται φαινόμενα πλημμυρισμού φρεατίων, πλήρωσης των υπόγειων αγωγών, εμφάνισης ροής στο επιφανειακό δίκτυο και πλήρωσης των επιφανειακών αγωγών με αποτέλεσμα το ύψος του νερού να ξεπερνάει το ύψος του κρασπέδου.

Τέλος, ο Κούρτης (2016) στο πλαίσιο της διπλωματικής του εργασίας εξετάζει τρία κατασκευαστικά μέτρα με στόχο την αναβάθμιση του υπόγειου αποχετευτικού δικτύου ώστε να μην εμφανίζονται πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή μελέτης για περιόδους επαναφοράς έως 10 έτη. Τα μέτρα αυτά είναι:

- Αύξηση διαμέτρου παντορροϊκών αγωγών
- Κατασκευή δεξαμενών παράλληλα στους υπονόμους, για αποθήκευση της απορροής
- Κατασκευή δεξαμενής στην έξοδο του δικτύου με σκοπό την αποθήκευση της παροχής υπερχείλισης

Ο Παπαθανασίου (2009) στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής διπλωματικής του εργασίας ασχολήθηκε με την προσομοίωση ενός δικτύου ομβρίων υδάτων και με τον έλεγχο της λειτουργίας του σε ακραίες συνθήκες. Η περιοχή μελέτης είναι ο Δήμος Συκεών στη Θεσσαλονίκη, ο οποίος έχει έκταση 9.782 στρεμμάτων και πραγματικό πληθυσμό 41.726 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2001 (Παπαθανασίου, 2009).

Στα πρώτα στάδια της μελέτης έγινε ο προσδιορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του δικτύου. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν τα μήκη των αγωγών, τα εμβαδά των αποχετευόμενων επιφανειών και τα υψόμετρα του εδάφους στις θέσεις των φρεατίων. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η επίλυση του δικτύου σύμφωνα με τις ισχύουσες Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74) και υπολογίστηκαν οι διατομές των αγωγών του δικτύου. Έπειτα, με χρήση του λογισμικού SWMM πραγματοποιήθηκε η υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση του δικτύου.

Για την υδρολογική προσομοίωση του δικτύου χρησιμοποιήθηκαν οι όμβριες καμπύλες IDF της περιοχής μελέτης. Με τη βοήθεια των καμπύλων αυτών κατασκευάσθηκαν εννέα (9) συνθετικά υετογραφήματα, σύμφωνα με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων υψών για βροχές σχεδιασμού 6, 12 και 24 ωρών και περιόδους επαναφοράς T=2, 5 και 10 έτη. Τα υετογραφήματα αυτά εισήχθησαν στη συνέχεια στο λογισμικό SWMM και αποτέλεσαν τη βάση για την υδρολογική προσομοίωση.

Η προσομοίωση του δικτύου πραγματοποιήθηκε για τις εννέα (9) συνθετικές βροχοπτώσεις, που προαναφέρθηκαν. Για την προσομοίωση χρειάστηκε να γίνουν ορισμένες παραδοχές, οι οποίες συνοψίζονται παρακάτω:

- Μέση κλίση των υπολεκανών: 5%
- Συντελεστής τραχύτητας Manning για τις αδιαπέρατες περιοχές: 0,011
- Συντελεστής τραχύτητας Manning για τις διαπερατές περιοχές: 0,015
- Συντελεστής τραχύτητας Manning για τους αγωγούς: 0,015
- Βάθος αποθήκευσης ύδατος για τις αδιαπέρατες περιοχές: 2,54 mm
- Βάθος αποθήκευσης ύδατος για τις διαπερατές περιοχές: 5,08 mm
- Μέσο πλάτος υπολεκάνης απορροής: 60 m

Τα αποτελέσματα της μελέτης βρίσκονται μέσα στα επιτρεπόμενα όρια που καθορίζουν οι ισχύουσες Ελληνικές Τεχνικές Προδιαγραφές εκπόνησης μελετών δικτύων ομβρίων (Π.Δ. 696/74). Παρόλα αυτά, τα φρεάτια της Ε.Υ.Α.Θ. Α.Ε. στα οποία καταλήγουν οι παροχές των τριών ανεξάρτητων δικτύων του Δήμου Συκεών, υπερχείλισαν σε όλες τις προσομοιώσεις, γεγονός που κρούει τον κώδωνα του κινδύνου για την περιοχή που αποχετεύεται από το δίκτυο.

Η προσομοίωση του δικτύου με βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1hr και περίοδο επαναφοράς T = 5 έτη, έδειξε ότι το δίκτυο δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα και ανταποκρίνεται επιτυχώς. Αντίθετα, για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1hr και περίοδο επαναφοράς T = 10 έτη, τα αποτελέσματα κατέδειξαν υπερχείλιση δύο φρεατίων και μείωση της παροχετευτικής ικανότητας δύο αγωγών του δικτύου, οι οποίοι συμβάλλουν στα συγκεκριμένα φρεάτια. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι σε μια ενδεχόμενη σύντομη βροχόπτωση υψηλής έντασης, είναι πιθανό να παρουσιαστούν προβλήματα σε ορισμένα τμήματα του δικτύου, με αρνητικές συνέπειες για τη λειτουργία του δικτύου και την περιοχή που αυτό εξυπηρετεί.

Ο Παπαθανασίου (2009) πραγματοποίησε επίσης ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του λογισμικού SWMM. Πιο συγκεκριμένα οι παράμετροι που εξετάστηκαν είναι:

- Ο απορροϊκός συντελεστής Curve Number (CN),
- ο συντελεστής απορροής C,
- το μέσο πλάτος και η μέση κλίση των υπολεκανών,
- ο συντελεστής τραχύτητας Manning n

Τα αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν ότι το μοντέλο είναι ευαίσθητο στην επιλογή των κατάλληλων τιμών για το συντελεστή απορροής C και τον απορροϊκό συντελεστή CN, οπότε η σωστή εκτίμηση των παραμέτρων αυτών για τη δημιουργία ενός μοντέλου λειτουργίας και διαχείρισης δικτύου ομβρίων είναι μεγάλης σημασίας. Τέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η αύξηση του συντελεστή τραχύτητας δε δημιούργησε προβλήματα στη λειτουργία του δικτύου, αν και η παροχή του δικτύου αυξήθηκε και κατά συνέπεια αυξήθηκαν τα βάθη ροής στα φρεάτια.

Ο Tikkanen (2013) στη μεταπτυχιακή διπλωματική του εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας οριοθέτησης και παραμετροποίησης της λεκάνης απορροής που θα υποστηρίζει μία ευρείας κλίμακας εφαρμογή του λογισμικού SWMM σε αστικές περιοχές. Για τον σκοπό αυτό στο πλαίσιο της μελέτης επιχειρείται η υδρολογική προσομοίωση μιας μεγάλης αστικής λεκάνης με χρήση του λογισμικού SWMM.

Ο Tikkanen (2013) για τους σκοπούς της έρευνάς του χρησιμοποιεί χωρικά δεδομένα που διατίθενται ελεύθερα στο κοινό. Τα δεδομένα αυτά είναι:

- Ορθοφωτοχάρτες από τη National land survey (NLS) της Φιλανδίας με ανάλυση 0,5 μέτρο
- Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους από τη NLS (μέγεθος πλέγματος 2 μέτρα)
- Δεδομένα laser scanning από τη NLS (3 km x 3 Km)
- Τοπογραφικά δεδομένα από τη NLS
- Επίπεδο Υψηλής Ευκρίνειας για Αδιαπέρατες Περιοχές ('geoland2' High Resolution Imperviousness Layer 20 m) από τη Metria
- Διάταξη του συστήματος ομβρίων από την τοπική εταιρία ύδρευσης στην πόλη Lathi (Lahti Aqua Oy)
- Δεδομένα καιρού από το Finnish Meteorological Institute (FMI)

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στην πόλη Lathi στη Νότια Φιλανδία. Μία γενική οριοθέτηση της λεκάνης απορροής πραγματοποιήθηκε για μία έκταση 40 km^2, η οποία καλύπτει περίπου το 30% των εκτάσεων του δήμου Lathi. Επιπλέον, λεπτομερής οριοθέτηση πραγματοποιήθηκε με επιτυχία σε δύο αστικές λεκάνες συνολικής επιφάνειας 2,64 km^2, καταλήγοντας σε 32 υπολεκάνες με μέση έκταση 8,2 ha. Η διαδικασία περιλάμβανε αρκετή εργασία στο χέρι, μπορεί όμως πλέον να επιταχυνθεί μέσω τις προσέγγισης που προτείνεται στη συγκεκριμένη μελέτη. Ωστόσο, μια πλήρης αυτοματοποίηση της διαδικασίας θα ήταν αδύνατη λόγω των τυπικών σφαλμάτων στα δεδομένα εισόδου. Τα αποτελέσματα έδειξαν επαρκή χωρική ακρίβεια για την προβλεπόμενη χρήση. Γενικά, η οριοθέτηση λεκάνης απορροής και η υποδιαίρεση με σκοπό τη χρήση σε μοντέλα SWMM είναι δυνατόν να εκτελεστεί ακόμη και για μια μεγάλη αστική περιοχή χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση βασισμένη στο GIS.

Η παραμετροποίηση των ετερογενών υπολεκανών χαμηλής χωρικής ανάλυσης αποδείχθηκε απαιτητική και ανακριβής διαδικασία. Δεν υπάρχουν σαφείς διαδικασίες στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τον τρόπο επιλογής ορισμένων παραμετρικών τιμών σε μια συνολική προσέγγιση με τη χρήση του λογισμικού SWMM χωρίς βαθμονόμηση. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός μεθόδων GIS και τιμών που προήλθαν από τη βιβλιογραφία, αλλά τα αποτελέσματα αποδείχθηκαν εν μέρει ανακριβή σε σχέση με τις βαθμονομημένες τιμές. Για την αξιόπιστη χρήση των αποτελεσμάτων στη μοντελοποίηση, θα πρέπει είτε να γίνει βαθμονόμηση, είτε να αποδειχθεί μικρή η ευαισθησία του μοντέλου για τις πιο δύσκολες προς καθορισμό παραμέτρους όπως το πλάτος ροής.

Τα αποτελέσματα της μελέτης του Tikkanen (2013) έδειξαν επίσης ότι η προσπάθεια που απαιτείται για την παραμετροποίηση του δικτύου αποστράγγισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων εισόδου. Εάν τα δεδομένα των σωλήνων και των συνδέσμων έχουν πολλά κενά ή αποθηκεύτηκαν στη βάση

δεδομένων με δύσχρηστο τρόπο, τότε μπορεί εύκολα η λεπτομερής μοντελοποίηση μεγάλων συστημάτων να γίνει ανέφικτη.

Τέλος, τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης των δύο περιοχών με το λογισμικό SWMM παρουσίασαν μεγάλο σφάλμα συνέχειας στην επιφανειακή απορροή, γεγονός το οποίο ο Tikkanen (2013) αποδίδει στη συσσώρευση του χιονιού και στις διαδικασίες τήξης του χιονιού. Εν μέρει, το σφάλμα προκλήθηκε από μια γνωστή ατέλεια στον αλγόριθμο του μοντέλου, η οποία θα μπορούσε εύκολα να αντιμετωπιστεί με την αριθμητική μεταβολή των αποτελεσμάτων του υδατικού ισοζυγίου. Ωστόσο, για κάποιο λόγο η διόρθωση αυτή δεν εξάλειψε πλήρως το σφάλμα συνέχειας που σχετίζεται με το χιόνι.

Οι Selvalingam et al. (1987) στο πλαίσιο της μελέτης τους αξιολόγησαν τα μοντέλα RORB και SWMM με στόχο το σχεδιασμό και τη διαχείριση αποχετευτικών δικτύων σε μία αστική λεκάνη στη Σιγκαπούρη. Σημειώνεται ωστόσο ότι στην εργασία δεν έχουν χρησιμοποιηθεί οι πλήρεις δυνατότητες του μοντέλου SWMM.

Η περιοχή μελέτης είναι η λεκάνη Bukit Timah, η οποία βρίσκεται βόρεια της πόλης της Σιγκαπούρης στο νότιο κεντρικό τμήμα του νησιού, και έχει έκταση 27,4 km^2. Η ανάπτυξη της πόλης και του λιμανιού κατάντη της λεκάνης Bukit Timah, καθώς και η οικοδομική ανάπτυξη μέσα στην ίδια τη λεκάνη, έχουν οδηγήσει σε αυξημένα πλημμυρικά φαινόμενα. Οι κύριοι δρόμοι προσέγγισης προς την πόλη από τη Δυτική Μαλαισία είναι η οδός Bukit Timah και η οδός Dunnern, οι οποίες κινούνται παράλληλα με το κανάλι αποστράγγισης Bukit Timah. Η κυκλοφορία στους δύο δρόμους διακόπτεται κάθε φορά που πλημμυρίζει το κανάλι.

Από τα αποτελέσματα που προήλθαν από το λογισμικό RORB, διαπιστώθηκε ότι η κατάλληλη διαίρεση της περιοχής μελέτης σε υποπεριοχές και της καταιγίδας σε περιόδους μεγάλης έντασης ήταν απαραίτητες για την σωστή προσομοίωση της απορροής της λεκάνης με χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού. Η διαδικασία μη γραμμικής δρομολόγησης είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου και η προτεινόμενη τιμή της παραμέτρου m ίση με 0,8 βρέθηκε κατάλληλη στις διαδρομές «FIT». Στη συνέχεια προσδιορίστηκε η τιμή του εμπειρικού συντελεστή k_c ίση με 5,0 μέσω των διαδραστικών διαδικασιών δοκιμών και σφαλμάτων που παρέχονται από το μοντέλο, και ερευνήθηκε η ευαισθησία της προσομοιωμένης απορροής στην μεταβολή της τιμής του συντελεστή k_c (Selvalingam et al., 1987).

Για την προσομοίωση με χρήση του λογισμικού SWMM, το ποσοστό του αδιαπέρατου τμήματος στην υπολεκάνη θεωρήθηκε ότι ήταν 80%. Οι συντελεστές τραχύτητας του Manning που χρησιμοποιήθηκαν είναι 0,015 για τις αδιαπέρατες περιοχές και 0,03 για τις διαπερατές περιοχές. Η προσομοίωση με το λογισμικό SWMM είχε 19 υποπεριοχές, ενώ η προσομοίωση με το λογισμικό RORB είχε 11 υποπεριοχές. Τα αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν ότι το μοντέλο SWMM μπορεί να αντικαταστήσει επιτυχώς την Ορθολογική Μέθοδο που χρησιμοποιείται επί του παρόντος και μπορεί να ενσωματωθεί χωρίς μεγάλη δυσκολία στην προσομοίωση των αστικών δικτύων αποχέτευσης στη Σιγκαπούρη (Selvalingam et al., 1987).

Οι Chow et al. (2012) στην έρευνά τους ασχολούνται με τη μοντελοποίηση της ποσότητας και της ποιότητας της απορροής σε τροπικές αστικές λεκάνες χρησιμοποιώντας το λογισμικό SWMM. Η εφαρμογή του λογισμικού έχει πραγματοποιηθεί - στα πλαίσια διάφορων άλλων μελετών - σε πολλές αστικές λεκάνες σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες διεξήχθησαν στις εύκρατες περιοχές όπου οι καταιγίδες έχουν πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά από ότι οι τροπικές βροχοπτώσεις. Συγκεκριμένα, η ξηρή περίοδος ημέρας στις τροπικές περιοχές έχει σχετικά σύντομη διάρκεια, επομένως η συσσώρευση ρύπων μπορεί να περιοριστεί.

Η εργασία των Chow et al. (2012) παρουσιάζει τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης και επικύρωσης του SWMM για την μοντελοποίηση της ποσότητας και της ποιότητας της απορροής για τρεις τροπικές αστικές λεκάνες με διαφορετικές χρήσεις γης. Οι κυρίαρχες χρήσεις γης για κάθε λεκάνη είναι:

- Λεκάνη 1: Οικιστική (έκταση 34,2 ha)
- Λεκάνη 2: Εμπορική (έκταση 32,8 ha)
- Λεκάνη 3: Βιομηχανική (έκταση 4.4 ha)

Η παρακολούθηση των ομβρίων υδάτων διεξήχθη στο Skudai, που βρίσκεται στο νότιο Johor, στη χερσόνησο της Μαλαισίας, μεταξύ του Ιουνίου 2008 και του Μαρτίου 2010. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στο Skudai είναι μεταξύ 2.000 και 2.500 mm. Για κάθε λεκάνη απορροής, το μοντέλο βαθμονομήθηκε με 8-10 γεγονότα βροχόπτωσης και επικυρώθηκε χρησιμοποιώντας επτά νέα γεγονότα. Τα γεγονότα βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μικρού και μεσαίου μεγέθους, καθώς τέτοιου είδους φαινόμενα εμφανίζονται συχνότερα από ότι οι ισχυρές καταιγίδες.

- Οι στόχοι της μελέτης των Chow et al. (2012) είναι οι ακόλουθοι:
- η διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας των παραμέτρων του λογισμικού SWMM για τη μοντελοποίηση των ποσοτήτων απορροής
- η ανάπτυξη παραμέτρων εισόδου για την ποιοτική και ποσοτική μοντελοποίηση της απορροής με τη χρήση του λογισμικού SWMM

Τα αποτελέσματα της εργασίας καταδεικνύουν ότι το μοντέλο είναι ευαίσθητο στην επιλογή των κατάλληλων τιμών για το ποσοστό αδιαπέρατου τμήματος, τον συντελεστή επιφανειακής συγκράτησης, και τον συντελεστή τραχύτητας Manning για τις αδιαπέρατες περιοχές. Τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης και επικύρωσης έδειξαν καλή συμφωνία μεταξύ των προσομοιωμένων και των μετρημένων τιμών. Επίσης, σύμφωνα με την έρευνα, τα αποτελέσματα του λογισμικού SWMM για την πρόβλεψη της ποσότητας απορροής βελτιώθηκαν όταν λήφθηκε υπόψη η προγενέστερη κατάσταση υγρασίας στη λεκάνη απορροής (Chow et al., 2012).

Τέλος, οι συγγράφεις (Chow et al., 2012) προτείνουν ένα σύνολο παραμέτρων εισόδου που είναι κριτικής σημασίας για την εφαρμογή του λογισμικού SWMM σε τροπικές αστικές περιοχές, για τις οποίες τα δεδομένα έως τώρα είναι γενικά λιγοστά.

Η εργασία των Sun et al. (2014) εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο το επίπεδο της διακριτοποίησης της λεκάνης απορροής επηρεάζει την παραμετροποίηση του μοντέλου και την αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη χρήση του λογισμικού SWMM.

Η μελέτη των Sun et al. (2014) εστιάζει στην απάντηση των ακόλουθων ερωτήσεων:

- Πώς θα ανταποκριθούν τα αποτελέσματα του μοντέλου και οι παραμετρικές τιμές σε ενδεχόμενη μεταβολή της κλίμακας του μοντέλου;
- Υπάρχει κάποια εξάρτηση ανάμεσα στις παραμέτρους ελέγχου και την κλίμακα;
- Οι παράμετροι που έχουν βαθμονομηθεί με βάση μια καλύτερη οριοθέτηση της λεκάνης απορροής μπορεί να οδηγήσουν σε καλύτερη απόδοση του μοντέλου σε κάποια άλλη λεκάνη;

Ο απώτερος στόχος της μελέτης των Sun et al. (2014) είναι η διερεύνηση των τεχνικών προσομοίωσης αστικών απορροών και η παροχή καλύτερων εκτιμήσεων για τα υδρογραφήματα αποχετευτικών δικτύων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που δεν είναι διαθέσιμα τα δεδομένα απορροής. Επίσης, στο πλαίσιο της εργασίας επιχειρείται η τελειοποίηση των εξής παραμέτρων χερσαίας ροής:

- Ο συντελεστής τραχύτητας Manning n για το κάθε είδος εδαφοκάλυψης
- Η επιφανειακή συγκράτηση
- Ο συντελεστής για το πλάτος της υπολεκάνης (K_{Width})
- Ο συντελεστής Manning αγωγών

Για τους σκοπούς της έρευνας πραγματοποιήθηκαν οριοθετήσεις για δύο αστικές αποχετευόμενες λεκάνες στην πόλη Syracuse στη Νέα Υόρκη, ώστε να ελεγχθεί κατά πόσο επηρεάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου από το επίπεδο συσσωμάτωσης των δεδομένων εισόδου. Τα χαρακτηριστικά της κάθε λεκάνης περιγράφονται παρακάτω:

- Λεκάνη 1 – Έκταση 46.76 ha
    - 68,4% αδιαπέρατες επιφάνειες, 18% δασική χρήση, 13,6% γρασίδι

- Λεκάνη 2 – Έκταση 17,75 ha
    - 52,2% αδιαπέρατες επιφάνειες, 21,3% δασική χρήση, 26,5% γρασίδι

Η οριοθέτηση έγινε τόσο σε επίπεδο μακροκλίμακας (περιέχεται ένας ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός υπολεκανών ώστε να διατηρηθούν οι αρχικές ιδιότητες του αποχετευτικού δικτύου), όσο και σε επίπεδο μικροκλίμακας (κάθε υπολεκάνη προσδιορίζεται για ένα μοναδικό συνδυασμό εδάφους και χρήσης γης). Και για τις δύο κλίμακες, οι παράμετροι του μοντέλου βαθμονομήθηκαν και η αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων του μοντέλου ποσοτικοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία GLUE.

Τα αποτελέσματα της έρευνας των Sun et al. (2014) έδειξαν ότι το επίπεδο της διακριτοποίησης της λεκάνης είχε μεγάλη επίδραση τόσο στα αποτελέσματα παραμετροποίησης όσο και στα αποτελέσματα προσομοίωσης, και ότι η πλειοψηφία των παραμέτρων ήταν ευαίσθητες στις κλίμακες μοντελοποίησης. Οι μεταγενέστερες (posterior) παράμετροι που βαθμονομήθηκαν με βάση την οριοθέτηση σε επίπεδο μικροκλίμακας μείωσαν την αβεβαιότητα των προβλέψεων ροής σε μεγαλύτερο βαθμό σε σύγκριση με τις παραμέτρους που βαθμονομήθηκαν με βάση την οριοθέτηση σε επίπεδο μακροκλίμακας.

Επιπλέον, βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης Sun et al. (2014), μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι βαθμονομημένες παράμετροι που προήλθαν από την οριοθέτηση σε επίπεδο μακροκλίμακας είναι επαρκείς για τη δημιουργία αποδεχτών προσομοιώσεων για αυτήν την συγκεκριμένη τοποθεσία στην αντίστοιχη κλίμακα, αλλά δεν είναι αξιόπιστες για να χρησιμοποιηθούν στην προσομοίωση κάποιας άλλης τοποθεσίας που έχει μοναδικά χαρακτηριστικά. Αντίθετα, οι μεταγενέστερες παράμετροι που προήλθαν από την οριοθέτηση σε επίπεδο μικροκλίμακας θα μπορούσαν να παρέχουν υψηλότερο επίπεδο εμπιστοσύνης σχετικά με τη δυνατότητα μεταφοράς παραμέτρων για τη μοντελοποίηση άλλων τοποθεσιών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που δεν είναι διαθέσιμα τα δεδομένα απορροής.

Οι Aryal et al. (2016) στην εργασία τους χρησιμοποίησαν το λογισμικό SWMM για να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν μεθόδους, ώστε να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα της συλλογής ομβρίων υδάτων ως πρακτική διαχείρισης των υδρολογικών και οικολογικών επιπτώσεων της αστικοποίησης σε πραγματικές υδρολογικές λεκάνες. Αυτό περιλαμβάνει την εκπλήρωση δύο επιμέρους στόχων:

- να εκτιμηθεί ο τρόπος που η αδιαπερατότητα της αστικής περιοχής επηρεάζει την υδρολογική ροή σε διαφορετικούς τύπους λεκάνης απορροής

- να εκτιμηθεί ο τρόπος με τον οποίο η συλλογή των ομβρίων υδάτων στις αστικές λεκάνες απορροής μπορεί να συμβάλει στη διατήρηση ή στην αναπαραγωγή των χαρακτηριστικών ροής που επικρατούσαν πριν την ανάπτυξη της περιοχής

Οι Aryal et al. (2016) εξέτασαν οκτώ λεκάνες απορροής που βρίσκονται στο νοτιοανατολικό Queensland, νότια του Brisbane στην Αυστραλία, με συνολική έκταση 5.230 km_2. Η περιοχή μελέτης είναι υποτροπική και παρουσιάζει μέση ετήσια βροχόπτωση και πιθανή εξατμισοδιαπνοή 1150 mm και 1450 mm αντίστοιχα. Η βροχόπτωση είναι εποχιακή και εντονότερη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι υπό μελέτη λεκάνες απορροής περιλαμβάνουν ημι-αστικές και δασικές λεκάνες που κυμαίνονται σε έκταση από 46 εκτάρια έως 2.785 εκτάρια. Η συνολική αδιαπέραστη περιοχή (TIA) κυμαίνεται από 0 έως 38%.

Στα πρώτα στάδια της μελέτης πραγματοποιήθηκε η οριοθέτηση των λεκανών απορροής με βάση τις φυσικές γραμμές αποστράγγισης και τις κλίσεις του εδάφους που προσδιορίστηκαν από την τοπογραφία της λεκάνης απορροής χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ανάλυση 25 m). Ο αριθμός των υπολεκανών κυμάνθηκε από 3 έως 37 για τις οχτώ λεκάνες απορροής και η έκταση των υπολεκανών κυμάνθηκε από 10 έως 400 εκτάρια. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα της οριοθέτησης εισήχθησαν στο λογισμικό SWMM, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή μοντέλων βροχής-απορροής για κάθε μια από τις οκτώ λεκάνες απορροής. Το μοντέλο βαθμονομήθηκε και επικυρώθηκε χρησιμοποιώντας συνεχή ωριαία δεδομένα απορροής που συλλέχθηκαν από το 2009 έως το 2011. Από τα διαθέσιμα δεδομένα για τη βροχόπτωση και την απορροή, το 2009 ήταν ένα ξηρό έτος και επομένως τα πιο υγρά έτη 2010 και 2011 χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση του μοντέλου, ενώ η περίοδος ξηρασίας του 2009 χρησιμοποιήθηκε για επικύρωση.

Τα αποτελέσματα της εργασίας των Aryal et al. (2016) καταδεικνύουν ότι η επίδραση της αδιαπερατότητας στην απορροή ποικίλλει μεταξύ των διαφόρων λεκανών απορροής καθώς και μέσα στην ίδια τη λεκάνη, γεγονός που υποδηλώνει ότι η απόκριση ροής μπορεί να εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης και το χωρικό μοντέλο της αστικής ανάπτυξης.

Είναι σαφές ότι η αύξηση των αδιαπέρατων περιοχών μπορεί να έχει μια σειρά επιπτώσεων στις μεμονωμένες λεκάνες απορροής. Ανάλογα με το μέγεθος της λεκάνης απορροής και της τοπογραφίας της, οι επιπτώσεις της αδιαπερατότητας στην απορροή μπορεί να καθυστερήσουν λόγω του απαιτούμενου χρόνου προς την έξοδο της λεκάνης. Για μεγαλύτερες λεκάνες, η επίδραση των αδιαπέρατων περιοχών μπορεί να εξασθενίσει όταν οι αδιαπέρατες περιοχές βρίσκονται πιο μακριά από τα κύρια ρεύματα και την έξοδο της λεκάνης (Aryal et al., 2016).

Τέλος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Aryal et al. (2016), με τη χρήση της πρακτικής συλλογής ομβρίων υδάτων οι ωριαίες ροές στην περιοχή μελέτης μειώθηκαν κατά 60%, αλλά η μέγιστη ροή παρέμεινε αμετάβλητη. Έτσι, η πρακτική ήταν σε θέση να μειώσει, αλλά όχι να βελτιώσει εντελώς, τις αρνητικές υδρολογικές επιπτώσεις της αυξημένης αδιαπερατότητας.

Η έρευνα των Tsihrintzis and Hamid (1998) έχει στόχο τον έλεγχο της εφαρμογής του λογισμικού SWMM σε μικρές, αστικές, υποτροπικές λεκάνες απορροής και την παροχή στους ενδιαφερόμενους μελετητές ενός τρόπου επιλογής των κατάλληλων

παραμέτρων εισόδου για το πρόγραμμα. Το SWMM χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της ποσότητας και της ποιότητας των αστικών απορροών ομβρίων υδάτων σε τέσσερις σχετικά μικρές λεκάνες στη Νότια Φλόριντα.

Η κάθε λεκάνη είχε μία κυρίαρχη χρήση γης (χαμηλή πυκνότητα δόμησης, υψηλή πυκνότητα δόμησης, αυτοκινητόδρομος, εμπορική χρήση). Δεδομένα που συλλέχθηκαν από την Αμερικάνικη Γεωλογική Υπηρεσία (USGS) κατά τη διάρκεια 58 καταιγίδων χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση του μοντέλου.

Η έρευνα των Junaidi et al. (2018) πραγματεύεται την αξιολόγηση του πλημμυρικού κινδύνου στην ευρύτερη περιοχή του Sungai Sapih District Hospital του Padang (Ινδονησία). Οι αλλαγές στις χρήσεις γης στην περιοχή έχουν οδηγήσει σε αυξημένες παροχές και το υφιστάμενο σύστημα αποχέτευσης δεν μπορεί να ανταπεξέλθει στα νέα δεδομένα. Η μοντελοποίηση του συστήματος έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος SWMM. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα είναι χάρτες χρήσεων γης, δεδομένα βροχόπτωσης και οι διαστάσεις του καναλιού αποστράγγισης. Το μοντέλο ήταν σε θέση να υπολογίσει την ποσότητα και την ποιότητα της επιφανειακής απορροής από κάθε λεκάνη, την εκροή, καθώς και το βάθος ροής και την ποιότητα του νερού σε κάθε αγωγό κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για 4 σενάρια, βασισμένα στις τωρινές και πιθανές μελλοντικές χρήσεις γης, καθώς και στις αλλαγές στις διαστάσεις και στο σχήμα του καναλιού αποστράγγισης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης των Junaidi et al. (2018), το υφιστάμενο σύστημα αποχέτευσης στην περιοχή μελέτης είναι ανεπαρκές για να διαχειριστεί την αναμενόμενη απορροή τόσο για τις τωρινές όσο και για τις μελλοντικές χρήσεις γης. Επιπλέον, αν το υπάρχον δίκτυο αναβαθμιστεί σύμφωνα με τα σχέδια που δημιουργήθηκαν το 2013 (2013 Detailed Engineering Drainage), και πάλι δεν θα είναι ικανό να διαχειριστεί τα πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή.

Οι Wu et all (2017) στην μελέτη τους προσπάθησαν να προσομοιώσουν την υδρολογική απόκριση μιας τυπικής καρστικής πηγής με τη βοήθεια του προγράμματος SWMM. Η καρστική πηγή που μελετήθηκε είναι η πηγή Shuifang, η οποία βρίσκεται στο βουνό Jinfo στην Κίνα. Υδρογραφήματα του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα καθώς και δεδομένα σχετικά με το σύστημα των αγωγών και ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωσης της υδρολογική απόκρισης της πηγής σε πλημμυρικά γεγονότα. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν συντελεστές Nash–Sutcliffe (0,95 και 0.92) για να γίνει η σύγκριση της υπολογισμένης ροής με την πραγματική. Η σύγκριση κατέδειξε καλή λειτουργία του SWMM σε περιπτώσεις καρστικών πηγών.

Ο Lowe (2006) χρησιμοποιεί το SWMM για την ανάλυση και τον σχεδιασμό δικτύου ακαθάρτων σε ένα συγκρότημα κατοικιών στο Cass County του Μιζούρι. Παραδοσιακά τα δίκτυα ακαθάρτων σχεδιάζονται βάσει πινάκων, οι οποίοι περιέχουν όλη την απαραίτητη πληροφορία για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού. Η δημιουργία τέτοιων πινάκων είναι μία πολύ χρονοβόρος διαδικασία που εύκολα μπορεί να εμπεριέχει

σφάλματα, ενώ οι πίνακες είναι δύσχρηστοι ακόμα και για το σχεδιασμό συστημάτων μετρίου μεγέθους.

Ο Lowe εξετάζει στη μελέτη του τη δυνατότητα χρήσης του λογισμικού SWMM στη θέση των πινάκων. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι το SWMM μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό δικτύου ακαθάρτων με προϋπόθεση οι αντίστοιχες παράμετροι να έχουν ρυθμιστεί ανάλογα. Ο συγγραφέας (Lowe 2006) σημειώνει ότι το SWMM είναι πολύ πιο εύκολο στη χρήση του από τους πίνακες, καθώς είναι εύκολο να εγκατασταθεί και στη συνέχεια να τροποποιηθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού. Επίσης το λογισμικό παρέχει εξαιρετικά γραφικά που επιτρέπουν στο χρήστη να βλέπει το σύστημα δυναμικά.

Οι Di Matteo et all (2019) στην εργασία τους ασχολήθηκαν με το δίκτυο όμβριων υδάτων σε αστικές περιοχές. Στόχος τους ήταν να εξετάσουν κατά πόσο υπάρχουν τρόποι να αξιοποιηθούν οι οικιακές δεξαμενές αποθήκευσης νερού σε περιπτώσεις μεγάλων και ισχυρών γεγονότων βροχόπτωσης. Η μελέτη αυτή εισαγάγει μια καινοτόμο προσέγγιση "έξυπνων συστημάτων" στις δεξαμενές οι οποίες λειτουργούν ως συστήματα στα πλαίσια της εργασίας. Το άνοιγμα / κλείσιμο της δεξαμενής βελτιστοποιείται για να μειώσει τις παροχές αιχμής και να αποφευχθεί ο κίνδυνος πλημμύρας.

Το λογισμικό SWMM μαζί με ένα γενετικό αλγόριθμο πολλαπλών στόχων χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της νέας αυτής προσέγγισης. Τα αποτελέσματα για βροχή σχεδιασμού μίας ώρας και περιόδου επαναφοράς 100 ετών έδειξαν σταθερή μείωση στις παροχές αιχμής με τη χρήση των έξυπνων συστημάτων. Για παράδειγμα, ένα σύστημα από έξυπνες δεξαμενές 10kL συνέβαλλε σε μείωση των παροχών αιχμής κατά 39%-48% σε σχέση με τις απλές δεξαμενές αποθήκευσης του ίδιου μεγέθους.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία της Ψαρρού (2017), η οποία ασχολείται με την εύρεση κατάλληλων θέσεων σε δίκτυα λυμάτων, για τη χωροθέτηση μονάδων sewer mining (SM). Η τεχνολογία sewer mining είναι μία αποκεντρωμένη πρακτική που στοχεύει στην παραγωγή ανακυκλωμένου νερού και βασίζεται στην άντληση λυμάτων από ένα δίκτυο λυμάτων και στην επιτόπου επεξεργασία τους. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα αυτής της τεχνολογίας είναι η αύξηση στην παραγωγή υδρόθειου (H2S) εντός των αγωγών του δικτύου. Στο πλαίσιο της εργασίας της Ψαρρού (2017) παρουσιάζεται ένα εργαλείο για τη βέλτιστη χωροθέτηση μονάδων sewer mining σε ένα δίκτυο λυμάτων, με στόχο την ελαχιστοποίηση της παραγωγής υδρόθειου στους αγωγούς του δικτύου.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας έγινε σε τμήμα ενός δικτύου λυμάτων στην περιοχή Καλύβια Θορικού της Αττικής και εξετάσθηκαν διάφορα σενάρια φορτίσεων στο δίκτυο, προκειμένου να εξεταστούν οι αντίστοιχες συνθήκες παραγωγής υδρόθειου. Η κατάρτιση των σεναρίων αυτών προϋποθέτει τη γνώση βασικών χαρακτηριστικών των αγωγών του δικτύου (διάμετρος, τραχύτητα, κλίση κ.ά.) και της ροής (παροχή, φορτίο BOD5, συντελεστές χρονικών διακυμάνσεων), καθώς επίσης την επιλογή κατάλληλης μεθόδου διόδευσης στο μοντέλο προσομοίωσης που χρησιμοποιείται. Οι

απαιτούμενες προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του λογισμικού SWMM.

Η Γιοβάνη (2013) στη διπλωματική της εργασία χρησιμοποίησε το λογισμικό SWMM για να εκτιμήσει τον πλημμυρικό κίνδυνο στην αστική λεκάνη της Ραφήνας. Στο πλαίσιο της εργασίας έγινε μοντελοποίηση του συστήματος αποχέτευσης ομβρίων και στη συνέχεια μελετήθηκε η υδραυλική του συμπεριφορά για διάφορα γεγονότα βροχόπτωσης. Η προσομοίωση του συστήματος πραγματοποιήθηκε με την εισαγωγή των δεδομένων τοπολογίας και γεωμετρίας του δικτύου καθώς και με δεδομένα χρονικής εξέλιξης γεγονότων βροχόπτωσης. Η μοντελοποίηση της αστικής λεκάνης πραγματοποιήθηκε τόσο με απλό, όσο και με δυαδικό αποχετευτικό σύστημα.

Τα αποτελέσματα της μελέτης βάσει της προσομοίωσης του απλού αποχετευτικού συστήματος καταδεικνύουν ότι υπάρχει ικανότητα ασφαλούς παροχέτευσης μέχρι και για γεγονότα βροχόπτωσης με περίοδο επαναφοράς 25 ετών. Για γεγονότα βροχόπτωσης μεγαλύτερων περιόδων επαναφοράς, πολλοί αγωγοί του συστήματος ενδέχεται να πλημμυρίσουν. Το δυαδικό σύστημα ξεκινάει να λειτουργεί στα 1000 έτη, όταν υπερφορτίζονται οι υπόγειοι αγωγοί. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη πλημμυρική επικινδυνότητα εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, λίγο πριν την εκβολή στο ρέμα της Ραφήνας.

Στην διπλωματική εργασία της Τσεκούρα (2010) εκτιμήθηκε ο πλημμυρικός κίνδυνος σε αστικές λεκάνες της περιοχής Ψυχικού – Φιλοθέης. Έχοντας ως υπόβαθρο πρόσφατη υδραυλική μελέτη και με τη χρήση του λογισμικού SWMM, μοντελοποιήθηκε σύστημα αποχέτευσης ομβρίων και διερευνήθηκε η υδραυλική συμπεριφορά του κατά την εφαρμογή πλημμυρικών γεγονότων διαφόρων διαρκειών και περιόδων επαναφοράς. Η μοντελοποίηση της αστικής λεκάνης πραγματοποιήθηκε τόσο με απλό, όσο και με δυαδικό αποχετευτικό σύστημα.

Τα αποτελέσματα της μελέτης με βάση την προσομοίωση του απλού αποχετευτικού συστήματος δείχνουν ότι το σύστημα έχει την ικανότητα πραγματοποίησης ασφαλούς διοχέτευσης μέχρι και για γεγονότα βροχόπτωσης με περίοδο επαναφοράς 25 ετών. Με την εφαρμογή πλημμυρικών φαινομένων μεγαλύτερων περιόδων επαναφοράς πολλοί αγωγοί του δικτύου, αν όχι όλοι, προβλέπεται να υπερφορτιστούν και να πλημμυρίσουν. Το δυαδικό σύστημα αποχέτευσης στο τελευταίο τμήμα του βασικού συλλεκτήρα ξεκινάει να λειτουργεί για περίοδο επαναφοράς 100 χρόνια, παρόλο που κάποιοι αγωγοί γεμίζουν πλήρως για περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη πλημμυρική επικινδυνότητα εμφανίζεται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, λίγο πριν την εκβολή στο ρέμα Ποδονίφτη.

Το αντικείμενο της μεταπτυχιακής εργασίας της Λάζου (2012) είναι παρόμοιο με αυτό της Γιοβάνη (2013) και της Τσεκούρα (2010). Στόχος της μελέτης ήταν η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές λεκάνες της περιοχής του Νέου Ψυχικού – Χαλανδρίου με τη χρήση του λογισμικού SWMM.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 Εκτίμηση Παροχής Ομβρίων

3.1.1 Γενικά

Το δίκτυο ομβρίων παροχετεύει το τμήμα εκείνο της ποσότητας των βροχοπτώσεων που απορρέει επιφανειακά, κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας και λίγο μετά από αυτή. Η απορροή των ομβρίων αποτελεί υδρολογικό μέγεθος, και κατά συνέπεια η εκτίμησή της είναι αντικείμενο της τεχνικής υδρολογίας.

Ο κάθε αγωγός ενός συστήματος αποχέτευσης ομβρίων υδάτων σχεδιάζεται με σκοπό να παροχετεύσει μια μεγάλη τιμή της απορροής Q. Γενικά, για την εκτίμηση της παροχής, σύμφωνα με την Τεχνική Υδρολογία, συνίστανται οι παρακάτω μέθοδοι (Τσακίρης, 2013):

1. Ανάλυση συχνότητας ετήσιων μεγίστων παροχών ομβρίων που προέρχονται από μετρήσεις.
2. Ανάλυση συχνότητας του μεγέθους «μέγιστη ένταση βροχόπτωσης» για διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης, όπως το μέγεθος αυτό προκύπτει από μετρήσεις.

Στη φάση του σχεδιασμού ενός δικτύου η πρώτη μέθοδος είναι ανέφικτο να χρησιμοποιηθεί καθώς (Τσακίρης, 2013):

- Σπάνια υφίστανται μετρήσεις της απορροής στην περιοχή για διάστημα πριν κατασκευαστεί το δίκτυο.
- Ακόμα και αν υπήρχαν τα δεδομένα αυτά, δεν θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σχεδιασμό καθώς δεν αντιπροσωπεύουν τις μελλοντικές συνθήκες απορροής. Αυτό συμβαίνει γιατί το δίκτυο τροποποιεί τις συνθήκες ροής.

Ως εκ τούτου, η εφαρμογή της δεύτερης μεθόδου είναι υποχρεωτική. Η μέθοδος αυτή οδηγεί στην υιοθέτηση της ορθολογικής μεθόδου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ορθολογική μέθοδος είναι κατάλληλη μόνο για μικρές λεκάνες απορροής και μόνο για την εκτίμηση της μέγιστης παροχής που αναμένεται να πραγματοποιηθεί κάτω από πολύ συγκεκριμένες συνθήκες βροχόπτωσης, τις συνθήκες σχεδιασμού. Σαφώς, σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, όπως π.χ. για την παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης της παροχής ομβρίων, η μέθοδος είναι ακατάλληλη και γίνεται εφαρμογή πιο σύγχρονων επιλογών (Κουτσογιάννης 2011).

3.1.2 Η ορθολογική μέθοδος

Η συμβατική ορθολογική μέθοδος αποτελεί μια μέθοδο υδρολογικού σχεδιασμού, η οποία δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της παροχής αιχμής ενός υποθετικού πλημμυρικού γεγονότος για μια συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς. Βασίζεται στην

παραδοχή πως η χρονική εξέλιξη της πλημμύρας σχεδιασμού συμβαίνει σύμφωνα με τα παρακάτω (Τσακίρης, 2013):

1. Έστω ότι κατά τον χρόνο 0 αρχίζει ένα γεγονός ραγδαίας βροχόπτωσης το οποίο θεωρείται ως το γεγονός σχεδιασμού που αντιστοιχεί σε δεδομένη περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού. Η υδρολογική διαδικασία του γεγονότος αυτού ονομάζεται βροχόπτωση σχεδιασμού.
2. Την ίδια χρονική στιγμή αρχίζει να εμφανίζεται άμεση απορροή. Η τελευταία περιλαμβάνει την επιφανειακή και την ταχεία υπεδάφια απορροή. Η χρονική μεταβολή του ρυθμού εμφάνισης της άμεσης απορροής είναι το υδρογράφημα της πλημμύρας σχεδιασμού.
3. Στην αρχή του φαινομένου, για την άμεση απορροή στο στόμιο εξόδου της λεκάνης συμβάλλει μόνο ένα μέρος της λεκάνης.
4. Ο χρόνος συγκέντρωσης t_c είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το νερό από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης στο στόμιο εξόδου. Μετά την πάροδο του χρόνου συγκέντρωσης ξεκινά να συμβάλλει στην άμεση απορροή ολόκληρη η λεκάνη και η στιγμή εκείνη κάνει την εμφάνισή της η παροχή αιχμής του υδρογραφήματος της πλημμύρας σχεδιασμού

Εκτός από τις παραπάνω παραδοχές, η ορθολογική μέθοδος στηρίζεται και στις εξής:

1. Η βροχόπτωση σχεδιασμού έχει χρονικά σταθερή ένταση.
2. Η βροχόπτωση σχεδιασμού είναι ίσης διάρκειας με το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης.
3. Η παροχή αιχμής της πλημμύρας σχεδιασμού έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με τη βροχόπτωση σχεδιασμού.

Σύμφωνα με την ορθολογική μέθοδο, η παροχή θεωρείται ανάλογη της έντασης της βροχόπτωσης και βασίζεται στην ακόλουθη εξίσωση (Τσιχριντζής 1999):

$$Q = \frac{1}{360} C_f C_i A \tag{3.1}$$

Όπου:

Q: παροχή αιχμής του υδρογραφήματος (m^3/s ή L/s)

C: συντελεστής επιφανειακής απορροής

C_f : συντελεστής διόρθωσης του για την περίοδο επαναφοράς

i: ένταση βροχόπτωσης (mm/h)

A: εμβαδόν της λεκάνης απορροής (ha)

1/360 : συντελεστής μετατροπής μονάδων

Πίνακας 3.1: Τιμές του Συντελεστή Διόρθωσης της Περιόδου Επαναφοράς, Cf (Τσιχριντής 1999)

Περίοδος Επαναφοράς (έτη)	Cf
2-10	1
25	1.10
50	1.20
100	1.25

Ο συντελεστής επιφανειακής απορροής εξαρτάται από:

- την ένταση της βροχόπτωσης
- τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης λεκάνης
- τις χρήσεις γης
- την εδαφοκάλυψη
- τις συνθήκες εδαφικής υγρασίας στην λεκάνη

Ωστόσο γενικά θεωρείται πως ο συντελεστής απορροής επηρεάζεται από τις χρήσεις γης και την εδαφοκάλυψη στην εκάστοτε λεκάνη. Η Αμερικανική Ομοσπονδία Ελέγχου Ρύπανσης του Νερού (WPCF) δέχεται κάποιες χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή ρύπανσης για διάφορους τύπους χρήσης γης, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 3.2. Χαρακτηριστικές τιμές έχουν δοθεί επίσης, και από την Αμερικανική Ένωση Πολιτικών Μηχανικών (ASCE) για διάφορους τύπους επιφάνειας όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3. Οι τιμές που συστήνουν οι ελληνικές προδιαγραφές παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4. Σημειώνεται πως οι τιμές των τριών αυτών Πινάκων ισχύουν για περιόδους επαναφοράς 5 και 10 έτη, ενώ σε αντίθετη περίπτωση εφαρμόζεται ο διορθωτικός συντελεστής C_f.

Όταν η εξεταζόμενη επιφάνεια είναι σύνθετη με Κ τον αριθμό των επί μέρους επιφανειών, για τον προσδιορισμό του συντελεστή απορροής, χρησιμοποιείται ο σταθμισμένος μέσος όρος των συντελεστών απορροής αυτών των επιφανειών. Ως βάρη λαμβάνονται τα αντίστοιχα ποσοστά συμμετοχής των επί μέρους επιφανειών στη συνολική λεκάνη. Δηλαδή ο σταθμισμένος μέσος όρος δίνεται από την εξίσωση:

$$C_m = \frac{1}{\sum_{i=1}^{K} A_i} \sum_{i=1}^{K} A_i C_i \qquad (3.2)$$

Όπου:

C_m : σταθμισμένος μέσος όρος συντελεστών απορροής

A_i : η έκταση της επί μέρους επιφάνειας i

C_i : επί μέρους συντελεστές απορροής

K : πλήθος των επί μέρους επιφανειών

Πίνακας 3.2: Τιμές του συντελεστή απορροής για διάφορους τύπους χρήσης γης (Τσακίρης 2013, WPCF 1976, ASCE 1976).

Περιγραφή	Τιμή
Κατοικημένες περιοχές	
Μονοκατοικίες	0.30-0.50
Μεμονωμένο συγκρότημα κατοικιών	0.40-0.60
Περιαστική ζώνη	0.25-0.40
Πολυκατοικίες	0.50-0.75
Εμπορικά κέντρα	

Στο κέντρο της πόλης	0.70-0.95
Στα προάστεια	0.50-0.70
Βιομηχανικές περιοχές	
Ελαφράς βιομηχανίας	0.50-0.80
Βαριάς βιομηχανίας	0.60-0.90
Άλλες χρήσεις γης	
Πάρκα, κοιμητήρια	0.10-0.25
Ανοικτοί χώροι άθλησης	0.20-0.35

Πίνακας 3.3: Τιμές του συντελεστή απορροής για διάφορους τύπους επιφάνειας (Τσακίρης 2013, WPCF 1976, ASCE 1976)

Περιγραφή	Τιμή
Πεζοδρόμια	
Άσφαλτος και σκυρόδεμα	0.70-0.95
Πλίνθοι	0.70-0.85
Στέγες	0.75-0.95
Επιφάνεια με γρασίδι, έδαφος ελαφράς 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 3.4: Τιμές του συντελεστή απορροής για εξωαστικές λεκάνες σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74)

Περιγραφή περιοχής	Τιμή
Ορεινή (μέσο υψόμετρο > 300m)	0.60
Λοφώδης (Μέσο υψόμετρο μεταξύ 100 και 300m)	0.50
Πεδινή (Μέσο υψόμετρο < 100m)	0.30

Η σταθερή ένταση της βροχόπτωσης σχεδιασμού λαμβάνεται από την όμβρια καμπύλη της εξεταζόμενης λεκάνης (Τσακίρης 2013). Εναλλακτικός τρόπος, είναι η εύρεση της έντασης από διαγράμματα έντασης- διάρκειας- συχνότητας (Ε-Δ-Σ). Σαν διάρκεια σχεδιασμού, σε τέτοιου είδους διαγράμματα, χρησιμοποιείται ο χρόνος συγκέντρωσης, ο οποίος ισούται με το άθροισμα του χρόνου αβαθούς ή διάχυτης ροής και υπολογίζεται με τη χρήση εμπειρικών εξισώσεων (Τσιχριντζής 1999). Οι ελληνικές προδιαγραφές (Π.Δ. 696, 1974), σε μελέτες αποχέτευσης ομβρίων δέχονται μια σταθερή τιμή ίση με 10 min. Εν αντιθέσει, σύμφωνα με την WPCF και την ASCE, οι αμερικανικές προδιαγραφές για το χρόνο ροής θεωρούν διαφορετικές τιμές ανάλογα με τις πολεοδομικές συνθήκες (Πίνακας 3.5).

Πίνακας 3.5: Τιμές του χρόνου εισόδου σύμφωνα με τις αμερικανικές προδιαγραφές (Τσακίρης 2013, WPCF 1976, ASCE 1976)

Πολεοδομικές συνθήκες περιοχής	Τιμή
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 t_f χρησιμοποιείται η εξίσωση (Τσακίρης 2010):

$$t_f = \sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{V_i} \tag{3.3}$$

Όπου:
n: το πλήθος των αγωγών του δικτύου ανάντη της εξεταζόμενης θέσης, κατά μήκος της διαδρομής του νερού
L_i: το μήκος του αγωγού i
V_i: η μέση ταχύτητα διατομής του νερού στον αγωγό i

Όταν η ροή καταλήγει από πολλές εναλλακτικές διαδρομές, τότε ως χρόνος συγκέντρωσης λαμβάνεται η μέγιστη τιμή του χρόνου ροής στις διαδρομές αυτές.

3.2 Ελληνικές Προδιαγραφές Σχεδιασμού Δικτύων Αποχέτευσης

3.2.1 Δίκτυο Αποχέτευσης Ακαθάρτων

Για το σχεδιασμό ενός δικτύου αποχέτευσης ακαθάρτων κύρια διαδικασία είναι η χάραξη του δικτύου. Βασικό μέγεθος σχεδιασμού είναι η παροχή σχεδιασμού και σε όλο το δίκτυο πρέπει να ικανοποιούνται οι εξής αρχές (Τσακίρης 2010):

Αρχή I: Το δίκτυο ξεκινά από υψηλότερα υψόμετρα στους αρχικούς κόμβους και καταλήγει στο χαμηλότερο κόμβο, ο οποίος αποτελεί το σημείο συγκέντρωσης όλων των παροχών ακαθάρτων.

Αρχή II: Οι συνθήκες ροής σε ελεύθερη επιφάνεια επικρατούν σε όλο αποχετευτικό δίκτυο.

Αρχή III: Το δίκτυο είναι συνεχούς λειτουργίας.

Αρχή IV: Η παροχή του δικτύου είναι συνεχώς αυξανόμενη από τους αρχικούς στον κεντρικό κόμβο και κατά συνέπεια και οι διατομές των αγωγών.

Σύμφωνα με τους Ελληνικούς κανονισμούς (Π.Δ. 696/74) οι βασικοί περιορισμοί, οι οποίοι είναι απαραίτητο να ακολουθούνται είναι (Τσακίρης 2013):

- η ελάχιστη διάμετρος αγωγού είναι 20 cm.
- ο μέγιστος λόγος πλήρωσης y/D είναι 0.70. Για πολύ μικρές διατομές προτείνονται μικρότεροι λόγοι πλήρωσης και συγκεκριμένα 0.60 για διάμετρο 50-60 cm και 0.50 για διάμετρο 20-40 cm. Για ήδη κατασκευασμένα δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιούνται λόγοι πλήρωσης μέχρι 0.80.
- η μέγιστη ταχύτητα πρέπει να είναι μέχρι 3 m/s, ενώ η ελάχιστη ταχύτητα να μην είναι μικρότερη από 0.56 m/s. Η μέγιστη ταχύτητα περιορίζεται και από τις συνθήκες κρίσιμης ροής. Επιπλέον επιδιώκεται η να βρίσκεται μεταξύ ελάχιστης ταχύτητας και αυτής που προκύπτει για κρίσιμες συνθήκες για. Η ταχύτητα αυτή είναι μικρότερη της V_{max}.
- η ελάχιστη κλίση τοποθέτησης αγωγών προσδιορίζεται έτσι ώστε για Q/Q_0= 0.10 η αναπτυσσόμενη ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει 0.30 m/s. Η ταχύτητα αυτή αντιστοιχεί σε ταχύτητα πλήρους διατομής 0.56 m/s.

3.2.2 Δίκτυο Αποχέτευσης ομβρίων

Ο σχεδιασμός των δικτύων ομβρίων βάση των ελληνικών προδιαγραφών για αγωγούς ομβρίων (Π.Δ. 696/74), γίνεται ακολουθώντας τους παρακάτω περιορισμούς:

- Περιορισμός ελάχιστης απαιτούμενης διαμέτρου (εσωτερικής): η επιλεγείσα διάμετρος απαιτείται να είναι μεγαλύτερη από 400mm ώστε να περιορίζεται ο κίνδυνος έμφραξης.
- Περιορισμός μέγιστους λόγου πλήρωσης: ο μέγιστος επιτρεπόμενος λόγος πλήρωσης αγωγών ομβρίων, παρουσιάζεται στον Πίνακα 15.6. Είναι απαραίτητος για λόγους εξασφάλισης ροής με ελεύθερη επιφάνεια και επαρκή αερισμό στους αγωγούς.
- Περιορισμός μέγιστης ταχύτητας ροής: η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα ροής είναι 6.0 m/s. Επιβάλλεται για λόγους αποφυγής διαβρώσεων στους αγωγούς και μείωσης του κινδύνου εμφάνισης ασταθειών στη ροή.
- Περιορισμός ελάχιστης επιτρεπόμενης κλίσης: η ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών ομβρίων δίνεται στον Πίνακα 15.7. Προκύπτει από την απαίτηση τήρησης μια ελάχιστης ταχύτητας ροής ίσης με 0.6 m/s , για λόγους αυτοκαθαρισμού των αγωγών. Αυτό το όριο αντιστοιχεί σε συνθήκες ροής με Q/Q_0 ίσο με 0.10.

Πίνακας 3.6: Μέγιστος επιτρεπόμενος λόγος πλήρωσης αγωγών ομβρίων σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74).

Εξεταζόμενη περίπτωση	Τιμή μέγιστου επιτρεπόμενου λόγου διατομής
Νέος αγωγός	0.70
Υφιστάμενος αγωγός	0.80

Πίνακας 3.7: Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγών ομβρίων από σκυρόδεμα σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές (Π.Δ. 696/74)

Εσωτερική διάμετρος αγωγού (mm)	Ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση αγωγού
400	0.0060
500	0.0044
600	0.0035
700	0.0028
800	0.0024
900	0.0020
1000	0.0018
1100	0.0016
1200	0.0014
1300	0.0012
1400	0.0011
1500	0.0010
1600	0.0010
1800	0.0010
2000	0.0010

Τα τυπικά μεγέθη εσωτερικής διαμέτρου αγωγών ομβρίων που εμφανίζονται στην πρώτη στήλη Πίνακα 3.7, αποτελούν διαμέτρους προκατασκευασμένων αγωγών από σκυρόδεμα με τυποποιημένα μήκη 1.0 η 2.0 m. Διάμετροι μεγαλύτεροι των 1200 mm, απαιτούν την κατασκευή χυτών αγωγών επί τόπου του έργου.

3.3 Λογισμικά Προσομοίωσης

Η συμπεριφορά ενός υδρολογικού ή υδραυλικού δικτύου υπό την επίδραση ενός γεγονότος βροχής, αποδίδεται με τη βοήθεια πολύπλοκων μαθηματικών εξισώσεων, των οποίων η επίλυση είναι σχοινοτενείς και κοπιώδεις. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν υπολογιστικά μοντέλα τα οποία διευκολύνουν τη συγκεκριμένη διαδικασία και αποσκοπούν στην προσομοίωση των αποχετεύσεων.

Σκοπός της προσομοίωσης είναι ο ποσοτικός και ποιοτικός προσδιορισμός των υδραυλικών παραμέτρων και μεγεθών (παροχή, ταχύτητα και βάθος ροής, περιεκτικότητα σε ρύπους και φερτά υλικά κ.λπ.) σε κάθε σημείο του δικτύου, καθώς και η παρακολούθηση της διακύμανσης τους σε διακριτά χρονικά διαστήματα, έτσι ώστε να είναι δυνατός ο έλεγχος της λειτουργίας του δικτύου κάτω από διαφορετικές συνθήκες και ανά πάσα στιγμή. Επιπλέον, μέσω της προσομοίωσης, είναι εφικτή η δημιουργία σεναρίων, που να αφορούν στην απόκριση του συστήματος σε συγκεκριμένες συνθήκες και κυρίως δυσμενείς (ακραία καιρικά φαινόμενα, αστοχία τμημάτων του δικτύου κλπ.).

Τα σύγχρονα μοντέλα προσομοίωσης δικτύων αποχέτευσης εξυπηρετούν τους εξής σκοπούς (Κουτσογιάννης, 1999):

- Μη συμβατικό σχεδιασμό δικτύων, ο οποίος υποκαθιστά τον κλασικό σχεδιασμό (της ορθολογικής μεθόδου και του συντελεστή αιχμής), δίνοντας πιο

ρεαλιστικά αποτελέσματα, ιδιαίτερα σε μεγάλα δίκτυα, στα οποία ο όγκος αποθήκευσης νερού αποτελεί σημαντικό παράγοντα.

- Παρακολούθηση της συμπεριφοράς του δικτύου κάτω από συνθήκες υδραυλικής φόρτισης δυσμενέστερες (σπανιότερες) των συνθηκών σχεδιασμού.
- Έλεγχο της λειτουργίας των δικτύων κάτω από διάφορα σενάρια.
- Βελτιστοποίηση της λειτουργίας των δικτύων, σε περίπτωση που περιλαμβάνονται δεξαμενές ανάσχεσης ή αλλιώς λεκάνες ηρεμίας με θυροφράγματα, αντλιοστάσια, ή άλλες συσκευές ελέγχου.
- Προσομοίωση της μεταβολής των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ομβρίων όπως οι συγκεντρώσεις ρύπων κ.λπ.

Τα μοντέλα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τις διαδικασίες οι οποίες μοντελοποιούνται σε αυτά. Στην παρούσα εργασία, θα γίνει λόγος για τις διαδικασίες που αφορούν την συμπεριφορά υδρολογικών λεκανών απορροής και την συμπεριφορά δικτύων αγωγών υπό πίεση ή ελεύθερη επιφάνεια. Συγκεκριμένα μερικά από τα ευρέως γνωστά μοντέλα προσομοίωσης απορροής αστικών λεκανών είναι: HEC-1, HEC-2, HYDRA, SWAT,SWMM.

3.4 Σημαντικές υδρολογικές έννοιες

3.4.1 Περίοδος επαναφοράς

Η περίοδος επαναφοράς T αντιπροσωπεύει το χρονικό διάστημα σε έτη που χρειάζεται κατά μέσο όρο να παρέλθει, ώστε η μέση ένταση βροχής I διάρκειας t να υπερβεί την τιμή i. Σύμφωνα με τη θεωρία πιθανοτήτων, η συνάρτηση κατανομής της τυχαίας μεταβλητής I, ορίζεται:

$$F_I(i) = P(I \leq i) \tag{3.4}$$

Όπου με P(I≤i) συμβολίζεται η πιθανότητα να μην πραγματοποιηθεί η υπέρβαση της τιμής κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού ή ημερολογιακού έτους.

Η πιθανότητα υπέρβασης της τιμής κατά τη διάρκεια ενός έτους ορίζεται:

$$F_{1I}(i) = 1 - F_1(i) = P(I > i) \tag{3.5}$$

Έτσι η περίοδος επαναφοράς ορίζεται ως το αντίθετο της πιθανότητας υπέρβασης και ισχύει η ισότητα:

$$T = \frac{1}{F_{1I}(i)} = \frac{1}{P(I > i)} \tag{3.6}$$

Η επιλογή της περιόδου επαναφοράς εξαρτάται από το είδος του έργου καθώς και από την σημαντικότητά του. Για τα περισσότερα έργα (φράγμα, αγωγός κ.λ.π) υπάρχουν τεχνικές προδιαγραφές βάσει των οποίων καθορίζεται η περίοδος επαναφοράς.

3.4.2 Ύψος βροχής

Το ύψος βροχής h είναι ανάλογο της έντασης και συγκεκριμένα ισχύει η σχέση:

$$i = \frac{h}{t} \tag{3.7}$$

Η ένταση βροχής θεωρείται η πραγματοποίηση μιας τυχαίας μεταβλητής I που αντιπροσωπεύει τον πληθυσμό των ισχυρών βροχοπτώσεων, για τη συγκεκριμένη διάρκεια παρατήρησης T και κατά συνέπεια αντιπροσωπεύει τη μέση και όχι τη στιγμιαία ένταση βροχής (Μπέλλος, 2005).

3.4.3 Διάρκεια βροχής

Η διάρκεια βροχής t δεν αντιπροσωπεύει κάποια πραγματική ολική διάρκεια ισχυρής καταιγίδας, αλλά είναι μια δεδομένη διάρκεια που καθορίζει τη χρονική κλίμακα παρατήρησης του φαινομένου. Η επιλογή της γίνεται με βάση την εκάστοτε λεκάνη απορροής και κυρίως των χαρακτηριστικών της (μέγεθος, τύπος κ.λ.π).

Για παράδειγμα, σε μελέτη τους, οι Γιακουμάκης και Γεωργιάδου, στην οποία εξέτασαν τα πλημμυρικά μεγέθη λεκανών απορροής της Άνδρου χρησιμοποίησαν βροχή διάρκειας 12 hrs, ενώ ο Κουτσογιάννης στη μελέτη που πραγματοποίηση στο ρέμα Φιλοθέης χρησιμοποίησε διάρκεια βροχής 9 hrs.

3.4.4 Υετογράφημα

Ως υετογράφημα ορίζεται η γραφική παράσταση που απεικονίζει το ύψος της βροχής σε συνάρτηση με το χρόνο.

Σύμφωνα με τον Γιαννόπουλο (2002) δύο βροχοπτώσεις με το ίδιο ύψος βροχής αλλά με διαφορετική κατανομή στην ίδια διάρκεια έχουν ως αποτέλεσμα διαφορετικά υδρογραφήματα πλημμύρας. Είναι σαφές λοιπόν πόσο σημαντική είναι η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης.

Οι μέθοδοι χρονικής κατανομής των βροχοπτώσεων είναι:

- Η μέθοδος των όμβριων καμπυλών
- Η μέθοδος των καταιγίδων σχεδιασμού

Οι καταιγίδες σχεδιασμού είναι παραμετρικά υετογραφήματα με βάση ιστορικά παρατηρημένες βροχές. Τέτοιες καταιγίδες σχεδιασμού είναι οι καμπύλες Huff, η βροχόπτωση κατά SCS κ.λπ. Η μέθοδος των όμβριων καμπυλών υπερτερεί σε σχέση

με τις καταιγίδες σχεδιασμού καθώς στηρίζεται σε δεδομένα της περιοχής μελέτης και όχι άλλων περιοχών με διαφορετικό υδρολογικό καθεστώς (Κουτσογιάννης, 1999).

Σύμφωνα με τις όμβριες καμπύλες η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης μπορεί να γίνει με τις παρακάτω μεθόδους:

- Μέθοδος της .
- Μέθοδος του τριγωνικού υετογραφήματος.
- Μέθοδος εναλλασσόμενων υψών βροχής.
- Μέθοδος του δυσμενέστερου συνδυασμού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση της μεθόδου των εναλλασσόμενων υψών βροχής, η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά στη συνέχεια.

3.4.5 Μέθοδος των εναλλασσόμενων υψών βροχής

Σύμφωνα με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων υψών βροχής (Alternative Block Method), η βροχόπτωση διάρκειας t και περιόδου επαναφοράς T κατανέμεται ως εξής μέσα στη διάρκειά της:

Από τη σχέση έντασης- διάρκειας-περιόδου επαναφοράς της μορφής της σχέσης και γνωρίζοντας ότι το ύψος βροχής ισούται με το γινόμενο της έντασης επί τη διάρκειά της, για βροχοπτώσεις της ίδιας περιόδου επαναφοράς T, προκύπτει η σχέση:

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^m \tag{3.8}$$

Όπου:
h_1 =ύψος βροχής διάρκειας t_1
h_2=ύψος βροχής διάρκειας t_2
t_1= διάρκεια βροχής ύψους h_1
t_2= διάρκεια βροχής ύψους h_2
m= σταθερά που υπολογίζεται από τη σχέση έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς

Με βάση τη σχέση (3.3) υπολογίζονται τα ύψη βροχής κάθε επιμέρους διάρκειας (μέσα στη συνολική διάρκεια). Τα ύψη αυτά είναι αθροιστικά. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι διαφορές τους που είναι τα ύψη βροχής κάθε χρονικού διαστήματος και κατόπιν γίνεται η κατανομή τους ως εξής:

Το μεγαλύτερο ύψος τοποθετείται στο κεντρικό χρονικό διάστημα, το αμέσως μικρότερο στο επόμενο χρονικό διάστημα από δεξιά, το αμέσως μικρότερο στο επόμενο χρονικό διάστημα από αριστερά κ.ο.κ.

Η επιλογή του χρονικού βήματος είναι σημαντική καθώς πρέπει να μην είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να προσδιορίζονται ο ανερχόμενος κλάδος και η παροχή αιχμής αλλά

όχι πολύ μικρό γιατί αυτό θα είχε ως συνέπεια μεγάλο αριθμό επιπλέον υπολογισμών (U.S.A.G.E., 1982).

Το ΥΠΕΧΩΔΕ (2002) προτείνει το χρονικό βήμα σχεδιασμού να μην υπερβαίνει το 20% του χρόνου συγκέντρωσης κυρίως στο τμήμα της ισχυρής βροχόπτωσης για το οποίο είναι αναγκαία η λεπτομερής καταγραφή των εντάσεων βροχής.

4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

4.1 Γενική Περιγραφή

Το παντορροϊκό δίκτυο αποχέτευσης της Αθήνας είναι ένα σύνολο αγωγών και εγκαταστάσεων για την κοινή απορροή των ομβρίων και των ακαθάρτων υδάτων. Η συνολική του έκταση ισούται με περίπου 850 εκτάρια και εκτείνεται από την Αγία Βαρβάρα (Πατήσια) έως την περιοχή Πλάκας- Ζαππείου και από τις υπώρειες του Γκύζη μέχρι τον σταθμό Αττικής και την περιοχή του Κολωνού.

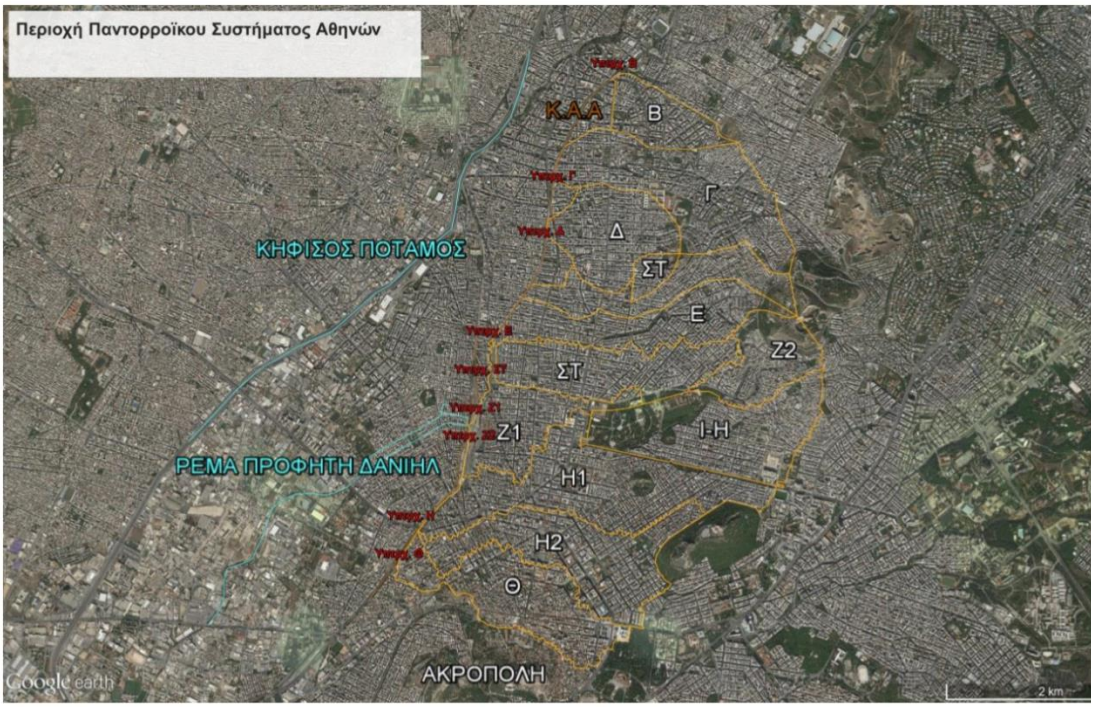
Η λεκάνη απορροής του κεντρικού παντορροϊκού συστήματος της Αθήνας, χωρίζεται στις εξής υπολεκάνες ή Ζώνες: Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ1, Ζ2, Η1, Η2 και Θ. Η έκταση της λεκάνης απορροής ομβρίων της περιοχής αυτής ανέρχεται στα 1310 εκτάρια και των ακαθάρτων υδάτων στα 1250 εκτάρια περίπου. Κορμός απορροής του όλου συστήματος είναι ο αγωγός Κ.Α.Α. (κεντρικός αγωγός αποχέτευσης των ακαθάρτων) στον οποίο εντάχθηκαν εννέα υπερχειλιστές (από τους οποίους δεν έχει κατασκευαστεί ο υπερχειλιστής Η).

Στα φρεάτια των υπερχειλιστών γίνεται ο διαχωρισμός απορροής των ακαθάρτων, που συνεχίζουν στον Κ.Α.Α., και των ομβρίων που παραλαμβάνονται μέσω υπερχείλισης και διοχετεύονται στους αντίστοιχους αγωγούς υπερχείλισης Β, Γ, Δ, Ε, ΣΤ, Ζ1 και Ζ2. Κατά τη διάρκεια γεγονότων βροχόπτωσης και όταν η απορροή των ομβρίων που μεταφέρεται από τους παντορροϊκούς συλλεκτήρες μαζί με τα λύματα της κάθε ζώνης, δεν ξεπερνά ένα όριο, το σύνολο της μικτής αυτής παροχής παροχετεύεται από τον Κ.Α.Α. που λειτουργεί και αυτός σαν παντορροϊκός συλλεκτήρας (οι διατομές του είναι πολύ μεγαλύτερες από τις απαιτούμενες για την παροχέτευση μόνο των λυμάτων).

Αποδέκτης των ομβρίων υδάτων είναι ο ποταμός Κηφισός, όπου εκβάλλουν οι αγωγοί υπερχείλισης των βόρειων ζωνών (από τους Υπερχειλιστές Β έως ΣΤ), και το ρέμα του Προφήτη Δανιήλ, για τις χαμηλές ζώνες (από Υπερχειλιστές Ζ1 έως Ζ2). Στο ρέμα αυτό προβλέπεται και η εκβολή του αγωγού υπερχείλισης Θ. Το ρέμα Προφήτη Δανιήλ εκβάλλει στον Κηφισό, μέσω έργου εκβολής κατάντη του κόμβου με την Π. Ράλλη. Δεν έχουν κατασκευασθεί οι αγωγοί υπερχείλισης Θ και Η καθώς και ο υπερχειλιστής Η (Δάρας 2004).

Οι υπερχειλιστές που έχουν κατασκευασθεί επί του Κ.Α.Α. είναι πλευρικού τύπου. Η στέψη τους έχει ύψος που επιτρέπει την παροχέτευση δια του Κ.Α.Α. παροχών ίσων συνήθως προς το 72% του Qπ (πλήρωση περίπου 67%) με ακραίες τιμές Q:Qπ=0,94 (πλήρωση 80% στον Υπερχειλιστή Γ). Όταν η μικτή παροχή του Κ.Α.Α. ξεπερνάει τα όρια αυτά, αρχίζουν να λειτουργούν οι υπερχειλιστές. Με την παραδοχή ότι οι υφιστάμενοι υπερχειλιστές αρχίζουν να λειτουργούν όταν η αραίωση των ακαθάρτων με όμβρια φθάνει τα 900 λτ/άτ.ημ. ο Κ.Α.Α. είναι επαρκής για την αποχέτευση των ακαθάρτων με περιθώριο ασφαλείας για αύξηση της μικτής απορροής με πλήρωση της διατομής του κατά 70%. Επί του ρέματος Προφήτη Δανιήλ λειτουργούν δύο Έργα Εκτροπής της παροχής ξηράς περιόδου (Ε1 και Ε2) και επί του ποταμού Κηφισού

τρία παρόμοια έργα (Ε3, Ε4 και Ε5), με σκοπό την αποφυγή ρύπανσης του θαλάσσιου αποδέκτη (Δάρας 2004).



Εικόνα 4.1: Απεικόνιση Ζωνών Παντορροϊκού Δικτύου (Κούρτης 2016)

4.2 Περιγραφή Ζώνης Δ

Περιοχή Μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε η Ζώνη Δ του παντορροϊκού δικτύου αποχέτευσης. Η συνολική έκταση της συγκεκριμένης λεκάνης ανέρχεται στα 87.80 ha. Η περιοχή αποτελεί τμήμα του Δήμου Αθηναίων και συγκεκριμένα βρίσκεται στα Πατήσια. Η ευρύτερη περιοχή μελέτης παρουσιάζεται παραστατικά στο Χάρτη 4.1. Χονδρικά περικλείεται από τις οδούς:

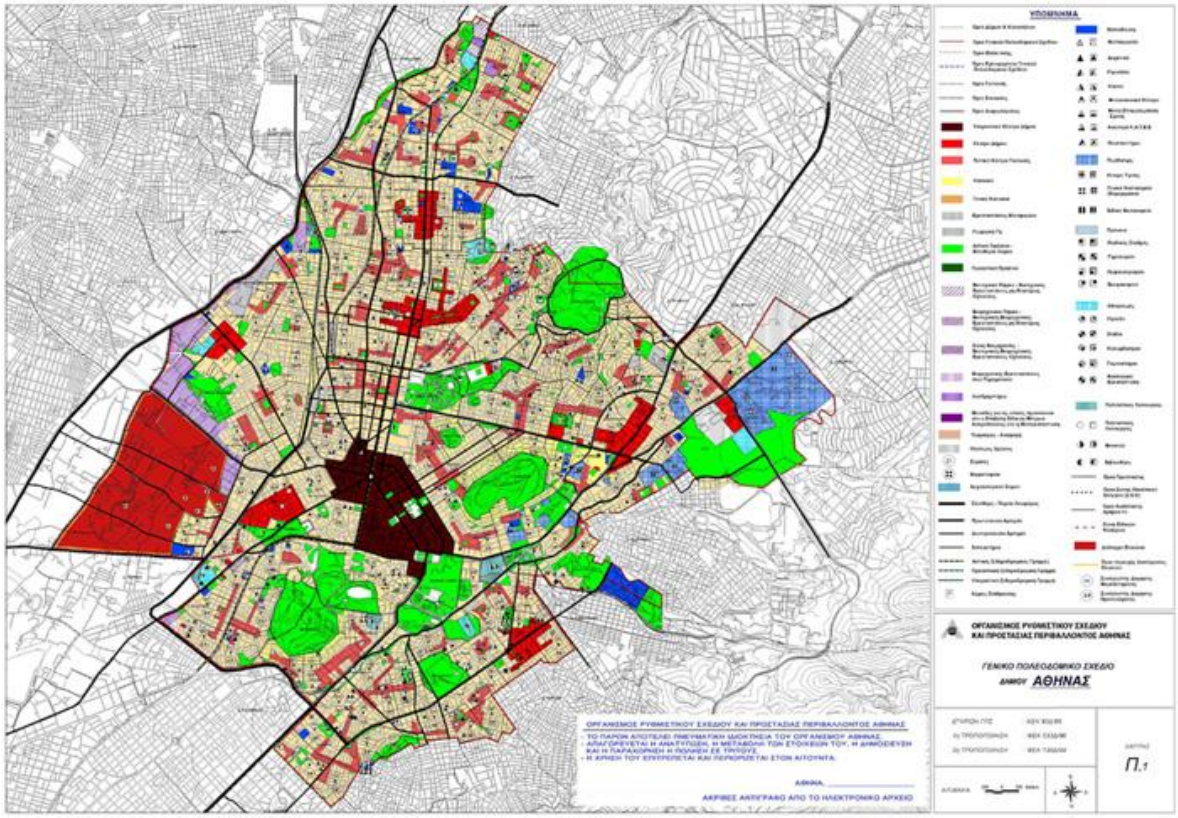
- Αγίου Μελετίου
- Φωκίωνος Νέγρη
- Πάρνηθος
- Ηπείρου
- Πασσωβ
- Λεωφόρος Γαλατσίου
- Καφταντζόγλου
- Λεωφόρος Ιωνίας

Χάρτης 4.1: Ευρύτερη Περιοχή Μελέτης

Εικόνα 4.2: : Η Ζώνη Δ σε δορυφορική εικόνα (Google Earth)

Σύμφωνα με το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο του Δήμου Αθηναίων που εκπονήθηκε το 1985 από το ΥΠΕΧΩΔΕ ως κύρια χρήση γης στην περιοχή μελέτης θεωρείται η κατοικία ενώ τα σημαντικότερα προβλήματα που εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή είναι:

- Έλλειψη πρασίνου, κοινόχρηστων χώρων και κοινωνικής υποδομής
- Λανθασμένη κατανομή σχολείων
- Πυκνοδόμηση
- Υψηλός φόρτος κυκλοφορίας, δυσκολία στην στάθμευση των αυτοκινήτων



Εικόνα 4.3: Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Δήμου Αθηναίων (1985)

Το παντορροϊκό δίκτυο της ζώνης Δ μελετήθηκε και σχεδιάστηκε το 1967 από την ΥΔΡΕΞ, Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Υπονόμων, σύμφωνα με την Ορθολογική Μέθοδο και με τις εξής προδιαγραφές (Κούρτης 2016, Ε.Τ.Μ.Ε 1987):

1. 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 βάσει της ζώνης. Οι ζώνες Α έως Η είχαν καθοριστεί με την απόφαση Δ32596/30.6.1964 (πρώην ΥΠ.Δ.Ε.) αναλόγως της πυκνότητας του πληθυσμού.
2. Χρόνος συρροής έως τα στόμια υδροσυλλογής 10 min.
3. Ένταση βροχόπτωσης
    - για ρέματα και παντορροϊκούς συλλεκτήρες, για T=10 έτη

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

    - για τους υπόλοιπους αγωγούς, για T=5 έτη

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

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

Στην ημερίδα «Αντιπλημμυρική Προστασία Αττικής», που πραγματοποιήθηκε από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, με εισηγητή τον κύριο Δάρα αναφέρθηκαν συμπεράσματα για τις Ζώνες του παντορροϊκού δικτύου Αθηνών, τα οποία βασίστηκαν στην εγκεκριμένη οριστική μελέτη «Βελτίωση των Υφιστάμενων Υπερχειλιστών του κεντρικού Παντορροϊκού Συστήματος της Αθήνας». Για την Ζώνη Δ τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για απαιτούμενα βελτιωτικά έργα είναι τα εξής:

- Ο παντορροϊκός συλλεκτήρας 240/200 να παραμείνει ως έχει.
- Ο αγωγός υπερχείλισης 230/192 να παραμείνει ως έχει.
- Για τον υπερχειλιστή Δ προτείνεται η ελάττωση του ύψους από 100 cm σε 70 cm και του μήκους από 18.40 m σε 35.00 m. Με αυτόν τον τρόπο η υπερχειλίζουσα παροχή ανέρχεται στα 21 m^3/s με πλήρωση του Κ.Α.Α κατά 90% και η έναρξη της υπερχείλισης επιτυγχάνεται για πλήρωση του Κ.Α.Α. κατά 46.70%.

4.3 Πορεία Εργασιών

Τα αρχικά δεδομένα δόθηκαν από το αρχείο του εργαστηρίου «Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων». Τα δεδομένα αυτά αποτελούνταν από χάρτες οι οποίοι ήταν σε ψηφιακή μορφή και συγκεκριμένα τα στοιχεία της περιοχής που ήταν ψηφιοποιημένα ήταν τα ακόλουθα:

- Οικοδομικά τετράγωνα
- Φρεάτια
- Αγωγοί

Χάρτης 4.2: Περιοχή Μελέτης

Επιπλέον δόθηκαν και πληροφορίες για τα στοιχεία αυτά όπως:

- Ονόματα φρεατίων
- Υψόμετρα στέψης φρεατίων
- Υψόμετρα πυθμένα φρεατίων
- Μήκος αγωγών
- Κλίσεις αγωγών
- Διάμετρος αγωγών κ.α.

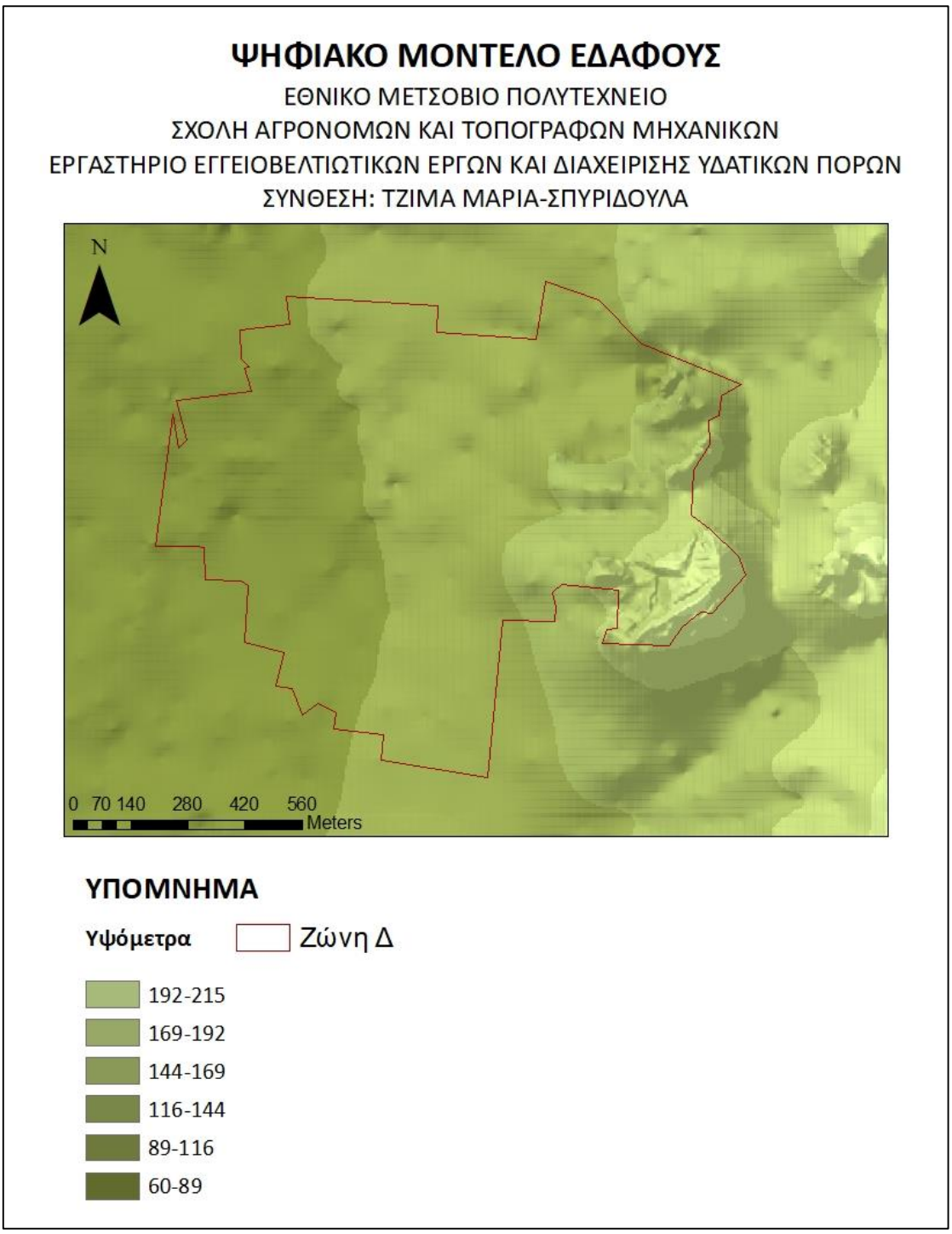
Σημειώνεται πως παραδόθηκε επίσης και το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της περιοχής μελέτης.

Προκειμένου να προσομοιωθεί το δίκτυο της Ζώνης Δ στο λογισμικό είναι απαραίτητο να ακολουθηθούν κάποιες διαδικασίες. Συνοπτικά η πορεία των εργασιών που ακολουθήθηκες είναι η εξής:

1. Εισαγωγή των στοιχείων στο ArcGIS και γεωαναφορά αυτών.
2. Σχεδιασμός των διχοτόμων των οικοδομικών τετραγώνων στο AutoCAD.
3. Εισαγωγή των διχοτομημένων οικοδομικών τετραγώνων στο ArcGIS και σχεδιασμός των λεκανών απορροής.
4. Εκτίμηση των απαραίτητων υδραυλικών και υδρολογικών παραμέτρων στο ArcGIS.
5. Μετατροπή των στοιχείων σε .inp μορφή μέσω του προγράμματος inp-PINS και εισαγωγή τους στο SWMM.
6. Υπολογισμός των βροχοπτώσεων και δημιουργία υετογραφημάτων.
7. Εισαγωγή των βροχοπτώσεων στο SWMM.
8. Εισαγωγή των απαραίτητων παραμέτρων στο μοντέλο.
9. Επιλογή του μοντέλου διήθησης και του μοντέλου προσομοίωσης.
10. Εκτέλεση της προσομοίωσης και εξαγωγή συμπερασμάτων.

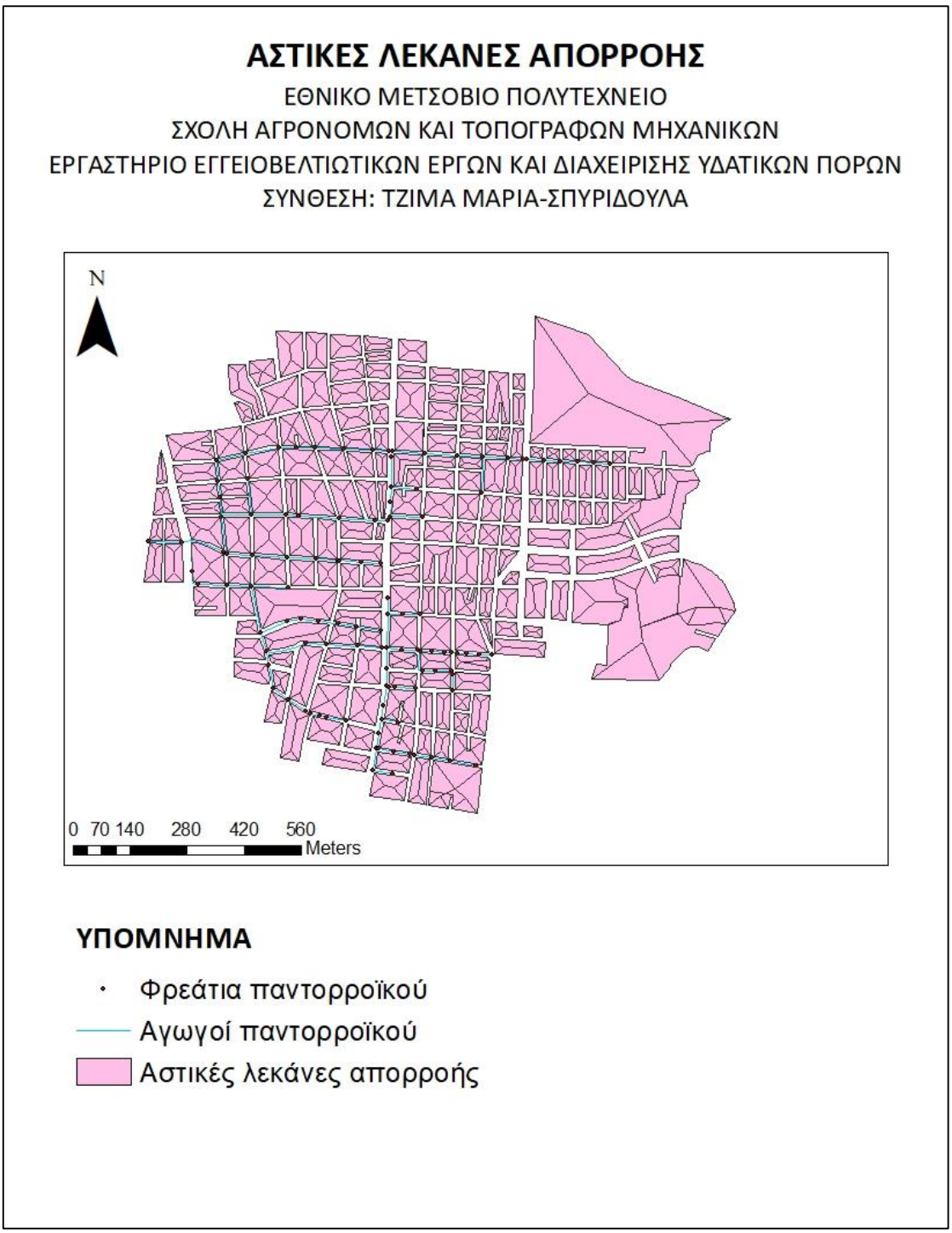
4.4 Σχεδιασμός των λεκανών απορροής

Για τη δημιουργία των λεκανών απορροής είναι απαραίτητο, σύμφωνα με τους κανόνες της αστικής υδρολογίας, να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά η τοπολογία της περιοχής μελέτης και το ρυμοτομικό της σχέδιο. Για το λόγο αυτό, το πρώτο βήμα της συγκεκριμένης διαδικασίας ήταν η χάραξη όλων των διχοτόμων των γωνιών των οικοδομικών τετραγώνων σε περιβάλλον AutoCAD. Στη συνέχεια έγινε η εισαγωγή των διχοτομημένων αυτών οικοδομικών τετραγώνων και του διαθέσιμου DEM στο ArcGIS.



Χάρτης 4.3: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Περιοχής Μελέτης

Με τα δεδομένα, αυτά και γνωρίζοντας πως τα όμβρια ύδατα αποχετεύονται από κάθε σημείο ενός οικοδομικού τετραγώνου προς τον πλησιέστερο δρόμο και αγωγό ομβρίων, σε συνδυασμό με τις κλίσεις και τις θέσεις των φρεατίων έγινε ο σχεδιασμός των υδροκριτών των λεκανών απορροής.



Χάρτης 4.4: Αστικές Λεκάνες Απορροής

Τέλος, για την χάραξη των υπολεκανών έγινε η σύνδεση της κάθε λεκάνης απορροής στο αντίστοιχο φρεάτιο στο οποίο αποχετεύεται. Με τον τρόπο αυτό ομαδοποιήθηκαν οι λεκάνες απορροής με γνώμονα τα φρεάτια του δικτύου και σχεδιάστηκαν οι υπολεκάνες της περιοχής μελέτης.

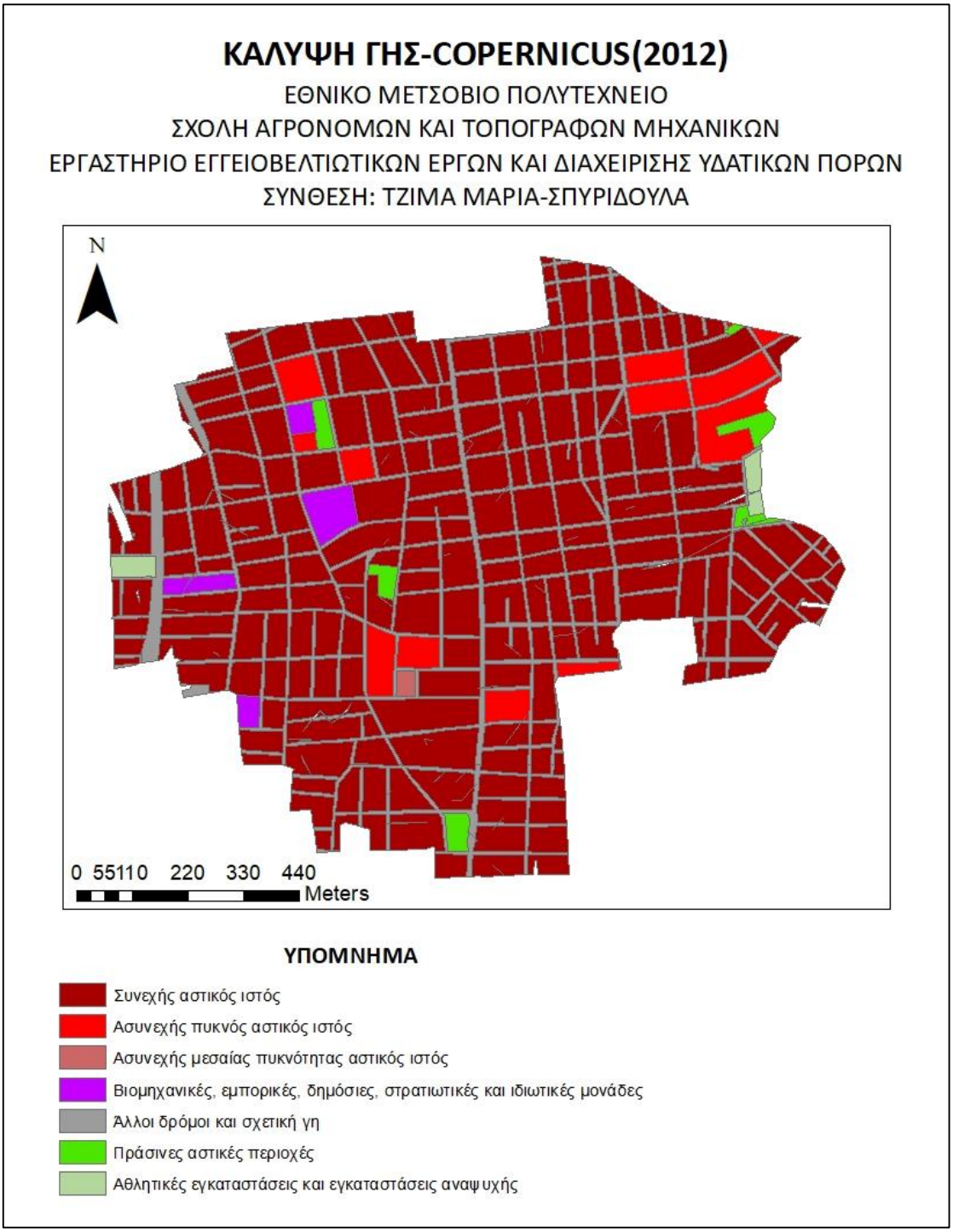
Χάρτης 4.5: Υπολεκάνες Περιοχής Μελέτης

4.5 Χρήσεις γης

Το είδος της κάλυψης της γης έχει ιδιαίτερη σημασία για την υδρολογική συμπεριφορά των αστικών λεκανών. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός των χρήσεων γης σε επίπεδο οικοδομικών τετραγώνων ώστε να γίνει ο υπολογισμός των αντίστοιχων μεταβλητών με μεγάλη ακρίβεια. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Copernicus, τα οποία παρέχουν τη ζητούμενη λεπτομέρεια.

Συγκεκριμένα οι χρήσεις γης που εντοπίστηκαν στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με το Copernicus είναι (Χάρτης 4.2):

- Συνεχής αστικός ιστός (Κωδικός: 11100)
- Άλλοι δρόμοι και σχετική γη (Κωδικός: 12220)
- Ασυνεχής πυκνός αστικός ιστός (Κωδικός: 11210)
- Πράσινες αστικές περιοχές (Κωδικός: 14100)
- Αθλητικές εγκαταστάσεις και εγκαταστάσεις αναψυχής (Κωδικός: 14200)
- Βιομηχανικές, εμπορικές, δημόσιες, στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες (Κωδικός: 12100)
- Ασυνεχής μεσαίας πυκνότητας αστικός ιστός (Κωδικός: 11220)



Χάρτης 4.6: Χρήσεις Γης Περιοχής Μελέτης

4.6 Υπολογισμός απαραίτητων δεδομένων για το SWMM

Επόμενο βήμα για την προσομοίωση του δικτύου ήταν ο καθορισμός κάποιων παραμέτρων που απαιτούνται κατά την εισαγωγή των στοιχείων στο λογισμικό SWMM. Οι απαραίτητες παράμετροι για τις υπολεκάνες είναι οι ακόλουθες:

Εμβαδόν λεκανών απορροής (Area): Τα εμβαδά των λεκανών απορροής συμπληρώθηκαν σύμφωνα με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS.

Πλάτος (Width): Το πλάτος (B) προκύπτει από τη διαίρεση του εμβαδού της υπολεκάνης με το χερσαίο μήκος επίγειας ροής. Το μήκος αυτό μπορεί να προσδιοριστεί μέσω του ArcGIS ή μέσω της εξίσωσης:

$$L = 209A^{0.6} \tag{4.1}$$

Όπου:
L =το χερσαίο μήκος επίγειας ροής(ft)

A =εμβαδόν της υπολεκάνης(ha)

Κλίση (Slope): Η κλίση της αστικής λεκάνης προέκυψε με τη βοήθεια του ArcGIS με επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Επειδή η λεκάνη είναι αστική οι κλίσεις λαμβάνονται από 2% έως και 15%. Η μέγιστη κλίση θεωρείται ότι είναι 15% καθώς αυτή είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη σε δρόμους με άσφαλτο.

Συντελεστής τραχύτητας (Roughness coefficient): Το λογισμικό SWMM χωρίζει την κάθε υπολεκάνη σε διαπερατά και αδιαπέρατα τμήματα. Για τον λόγο αυτό χρειάζεται να καθοριστούν δύο μεταβλητές του συντελεστή Manning το N-imperv και το N-perv. Οι τιμές αυτών των συντελεστών ορίστηκαν σύμφωνα με τον Πίνακα (Τσιχριντζής 1999) για κάθε χρήση γης και με σταθμισμένο μέσο όρο βάσει του εμβαδού υπολογίστηκαν οι συντελεστές για κάθε υπολεκάνη.

Ποσοστό αδιαπέρατου τμήματος (%Imperv): Το αδιαπέρατο τμήμα κάθε υπολεκάνης υπολογίστηκε ανάλογα με τις χρήσεις γης. Για την κάθε χρήση γης επιλέχθηκε το %Imp με τη βοήθεια του Πίνακα 2.3 και στη συνέχεια με σταθμισμένο μέσο όρο εκτιμήθηκε το %Imp κάθε υπολεκάνης.

Επιφανειακή συγκράτηση (Depression Storage): Χρειάζεται να καθοριστούν οι συντελεστές που αντιπροσωπεύουν την επιφανειακή συγκράτηση στο διαπερατό και αδιαπέρατο τμήμα κάθε λεκάνης. Οι συντελεστές αυτοί είναι το Dstore-Perv και το Dstore-Imperv. Οι τιμές επιλέχθηκαν βάσει του Πίνακα 4.1 και στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι τελικές τιμές των συντελεστών για κάθε υπολεκάνη.

Πίνακας 4.1: Τιμές επιφανειακής συγκράτησης (Rossman, 2010)

Χρήση γης	Επιφανειακή συγκράτηση(inches)
Αδιαπέρατες επιφάνειες	0.05-0.10
Γκαζόν/Πράσινο	0.10-0.20
Βοσκότοποι	0.20
Οργανικά απόβλητα Δάσους	0.30

Ποσοστό αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση (Percent of Impervious Area without Depression Storage): Το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής χωρίς επιφανειακή συγκράτηση θεωρήθηκε ίσο με 50%.

Μοντέλο Διήθησης: Ως μοντέλο διήθησης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SCS. Για τον προσδιορισμό του αριθμού καμπύλης CN λήφθηκε υπόψη ο Πίνακας 2.7 για υδρολογική κατάσταση του εδάφους C.

4.7 Δημιουργία Υετογραφημάτων

Για την εισαγωγή χρονοσειρών στο SWMM ήταν απαραίτητη η κατασκευή υετογραφημάτων. Τα υετογραφήματα αυτά δημιουργήθηκαν με τη χρήση της όμβριας καμπύλης

$$i = 15.39T^{0.276}d^{-0.725} \tag{4.2}$$

η οποία επιλέχθηκε βιβλιογραφικά σύμφωνα με τους Mimikou et al. (2000). Αρχικά, υπολογίστηκαν οι βροχοπτώσεις διάρκειας 1, 2, 6, 12 και 24 ωρών για περιόδους επαναφοράς 5, 10, 20, 25 και 50 ετών. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα ύψη βροχής και δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα υετογραφήματα. Όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3 η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία για την δημιουργία των υετογραφημάτων είναι η μέθοδος των Εναλλασσόμενων Υψών Βροχής (Alternative Block Method).

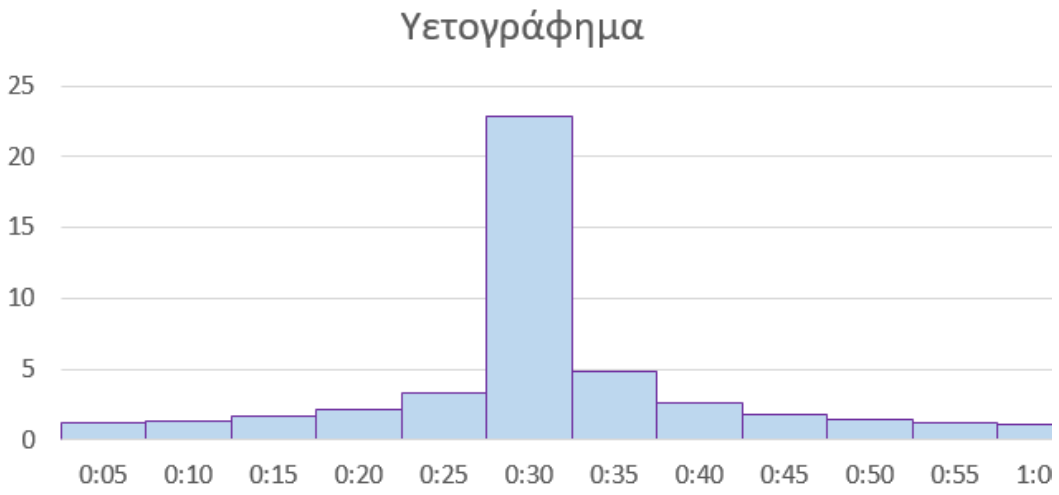
Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν 25 υετογραφήματα σχεδιασμού με χρονικό βήμα βροχόπτωσης 0.5 min, διάρκεια βροχόπτωσης 1, 2, 6, 12, 24 ωρών και περιόδου επαναφοράς 5, 10, 20, 25 και 50 χρόνια.

Εικόνα 4.4: Υετογράφημα σχεδιασμού T= 5 χρόνια, t=1 ώρα

Εικόνα 4.5: Υετογράφημα σχεδιασμού T= 10 χρόνια, t=1 ώρα

Εικόνα 4.6: Υετογράφημα σχεδιασμού T= 20 χρόνια, t=1 ώρα

Εικόνα 4.7: Υετογράφημα σχεδιασμού T= 25 χρόνια, t=1 ώρα



Εικόνα 4.8: Υετογράφημα σχεδιασμού T= 50 χρόνια, t=1 ώρα

4.8 Δόμηση Σεναρίων

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίστηκε πάνω στη δόμηση 3 σεναρίων για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων. Τα σενάρια αυτά διαφοροποιήθηκαν βάσει των παραμέτρων των υπολεκανών. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών έχουν ένα εύρος από το οποίο επιλέχθηκαν 3 τιμές. Συγκεκριμένα διαμορφώθηκε ένα σενάριο με τις χαμηλές, ένα με τις μεσαίες και ένα με τις υψηλές τιμές των παραμέτρων.

Σκοπός αυτών των σεναρίων είναι να εξεταστεί κατά πόσο η επιλογή των τιμών των παραμέτρων επηρεάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Οι πίνακες των

παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή των τριών τιμών έχουν επισημανθεί στο παρόν τεύχος.

Συγκεκριμένα, οι τιμές των παραμέτρων για τη δόμηση των τριών σεναρίων καθορίστηκαν με βάση τις χρήσεις γης. Καθώς σε κάθε υπολεκάνη είχαμε πληθώρα χρήσεων γης, στη συνέχεια, έγινε χρήση του σταθμισμένου μέσου όρου της μορφής:

$$m = \frac{m_1 A_1 + m_2 A_2 + \ldots + m_i A_i}{A_1 + A_2 + \ldots + A_i} \tag{4.3}$$

Όπου:
m: Η τελική τιμή της παραμέτρου για την υπολεκάνη.
m_1: Η τιμή της παραμέτρου για τη χρήση γης με έκταση A_1 στην υπολεκάνη.
A_1: Η έκταση που καταλαμβάνει στην υπολεκάνη η χρήση γης 1.

Με τον τρόπο αυτό υπολογίστηκαν οι τιμές των παραμέτρων των υπολεκανών και για τα τρία σενάρια. Οι παράμετροι που διαφοροποιήθηκαν είναι:

- N-Imperv
- N-Perv
- Dstore-Imp
- Dstore-Perv
- CN
- Imp%

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των παραμέτρων που επιλέχθηκαν για τα τρία σενάρια. Ως Σενάριο 1 ορίζουμε το σενάριο των ελάχιστων τιμών, ως Σενάριο 2 ορίζουμε των σενάριο των μεσαίων τιμών και ως Σενάριο 3 το σενάριο των μέγιστων τιμών.

Πίνακας 4.2: Τιμή συντελεστή τραχύτητας N για τα 3 Σενάρια

Χρήση Γης	Συντελεστής N		
	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Συνεχής αστικός ιστός	0.010	0.011	0.013
Δρόμοι και σχετική γη	0.010	0.012	0.015
Ασυνεχής πυκνός αστικός ιστός	0.010	0.011	0.013
Πράσινες αστικές περιοχές	0.010	0.015	0.030
Αθλητικές εγκαταστάσεις, Εγκαταστάσεις αναψυχής	0.012	0.012	0.030
Βιομηχανικές, εμπορικές και ιδιωτικές μονάδες	0.010	0.011	0.013

Ασυνεχής μεσαίας πυκνότητας αστικός ιστός	0.010	0.011	0.013

Πίνακας 4.3: Τιμή επιφανειακής συγκράτησης για τα 3 Σενάρια

Χρήση Γης	**Επιφανειακή Συγκράτηση**		
	Σενάριο 1	**Σενάριο 2**	**Σενάριο 3**
Αδιαπέρατες Επιφάνειες	0.05	0.08	0.10
Γκαζόν/Πράσινο	0.10	0.15	0.20
Βοσκοτόπια	0.20	0.20	0.20
Οργανικά απόβλητα δάσους	0.30	0.30	0.30

Πίνακας 4.4: Τιμή συντελεστή CN για τα 3 Σενάρια.

Χρήση Γης	**Συντελεστής CN**		
	Σενάριο 1	**Σενάριο 2**	**Σενάριο 3**
Συνεχής αστικός ιστός	98	98	98
Δρόμοι και σχετική γη	98	98	98
Ασυνεχής πυκνός αστικός ιστός	98	98	98
Πράσινες αστικές περιοχές	49	69	84
Αθλητικές εγκαταστάσεις, Εγκαταστάσεις αναψυχής	49	69	84
Βιομηχανικές, εμπορικές και ιδιωτικές μονάδες	81	88	95
Ασυνεχής μεσαίας πυκνότητας αστικός ιστός	98	98	98

Για το ποσοστό του αδιαπέρατου τμήματος (%Imperv) χρησιμοποιήθηκε ο Πίνακας 4.3 σύμφωνα με την EPA. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε δεν υπάρχει εύρος τιμών για τη συγκεκριμένη μεταβλητή. Για το λόγο αυτό οι τιμές του %Imperv για τα 3 Σενάρια διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5: Τιμή αδιαπέρατου τμήματος ως ποσοστό της χρήσης γης για τα 3 Σενάρια.

Χρήση Γης	Ποσοστό αδιαπέρατης περιοχής		
	Σενάριο 1	**Σενάριο 2**	**Σενάριο 3**
Συνεχής αστικός ιστός	51	51	51
Δρόμοι και σχετική γη	76	76	76
Ασυνεχής πυκνός αστικός ιστός	51	51	51
Πράσινες αστικές περιοχές	20	20	20
Αθλητικές εγκαταστάσεις, Εγκαταστάσεις αναψυχής	34	34	34
Βιομηχανικές, εμπορικές και ιδιωτικές μονάδες	66	66	66
Ασυνεχής μεσαίας πυκνότητας αστικός ιστός	38	38	38

Τέλος, γίνεται η σύγκριση των τριών αυτών σεναρίων με το Σενάριο 0, ένα αδρομερές σενάριο με ίδιες παραμετρικές τιμές σε όλες τις υπολεκάνες χωρίς διαφορές ανάλογα με τα ποσοστά χρήσεων γης (όπως τα προηγούμενα τρία σενάρια). Το Σενάριο 0, λοιπόν, είναι ένα σενάριο χωρίς λεπτομέρειες με το οποίο θα γίνει σύγκριση των υπολοίπων και θα εξαχθεί το συμπέρασμα εάν είχε νόημα η διακριτοποίηση των υπολεκανών βάσει των χρήσεων γης.

Κατά τη δόμηση του σεναρίου 0 επιλέχθηκαν χαρακτηριστικές τιμές για τις παραμέτρους των υπολεκανών και των αγωγών οι οποίες παρατίθενται στον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Τιμές των παραμέτρων για το Σενάριο 0.

Παράμετρος	**Τιμή Σεναρίου 0**
N-Imperv	0.015
N-Perv	0.2
Dstore-Imp	2.54
Dstore-Perv	6.51
%Imp	90
CN	98

N κυκλικών αγωγών	0.013
N ωοειδών αγωγών	0.014

4.9 Εισαγωγή Δεδομένων στο SWMM

Ο αριθμός των απαραίτητων δεδομένων και των χαρακτηριστικών τους είναι πολύ μεγάλος. Η εισαγωγή τους στο SWMM για τις περιπτώσεις των 3 Σεναρίων αποτελεί μια επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία ενώ παράλληλα η πιθανότητα λάθους είναι μεγάλη. Για το λόγο αυτό ήταν επιτακτική η ανάγκη εύρεσης λύσης, ώστε να μην γίνει η εισαγωγή των τιμών των παραμέτρων μεμονωμένα για κάθε υπολεκάνη, φρεάτιο και αγωγό. Για το λόγο αυτό συνδέσαμε το Microsoft Excel στο SWMM με τη μορφή εργαλείου. Έτσι δόθηκε η δυνατότητα εμφάνισης των δεδομένων και των παραμέτρων με τη μορφή πινάκων καθώς και η δυνατότητα αυτόματης και μαζικής εισαγωγής των αντίστοιχων τιμών.

Παρόλα αυτά παρουσιάστηκε πρόβλημα στην επεξεργασία των δεδομένων διότι η παλιά έκδοση του SWMM αδυνατούσε να συνεργαστεί σωστά με τη νέα έκδοση του Excel. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφική επίδραση του Excel στα αρχεία του SWMM, συγκεκριμένα τη διαγραφή απαραίτητων στοιχείων, η οποία καθιστούσε αδύνατη τη περαιτέρω επεξεργασία των αρχείων.

Το γεγονός αυτό μας οδήγησε στην αναζήτηση εναλλακτικών τρόπων επεξεργασίας των αρχείων inp. Τη λύση έδωσε το πρόγραμμα Notepad++, το οποίο αποτελεί προχωρημένο επεξεργαστή κειμένου και εμφανίζει μαζικά τα δεδομένα κάθε αρχείου με τη μορφή πινάκων χωρίς όμως κελιά όπως το Excel. Αυτό το καθιστά δύσκολο στη χρήση, όμως βοήθησε να επιτύχουμε την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων με ακρίβεια και ταχύτητα. Στη συνέχεια παρατίθεται εικόνα με το περιβάλλον εργασίας του Notepad++ για τα αρχεία SWMM (Εικόνα 4.9).

```
DRY_ONLY             NO

[RAINGAGES]
;;Name               Format      Interval    SCF         Source
;;---------------    ---------   ------  ------  ----------
1                    INTENSITY   0:05        1           TIMESERIES  T=25,t=1

[SUBCATCHMENTS]
;;Name               Rain Gage           Outlet              Area        %Imperv     Width       %Slope      CurbLen
;;---------------    ----------------    ----------------    --------    --------    --------    --------    -------
1                    1                   J15                 0.735462851 56          264.6937708 2.47        0
2                    1                   J9                  2.482957073 55          430.629548  6.26        0
3                    1                   J66                 0.602320695 48          244.3645561 3.47        0
4                    1                   J56                 0.129601782 54          132.1555902 4.16        0
5                    1                   Outlet              0.331436525 54          274.0966546 3.26        0
6                    1                   J8                  0.618017224 57          246.8802808 7.3         0
7                    1                   J7                  2.568918194 55          436.4913134 2.55        0
8                    1                   J5                  0.444596114 56          216.4105222 5.89        0
9                    1                   J4                  0.443564187 58          216.1957131 4.19        0
10                   1                   J3                  0.433966252 56          214.3313566 2.06        0
11                   1                   J2                  0.445173063 52          216.4582263 2.9         0
12                   1                   J6                  6.621884222 55          637.4360949 9.75        0
13                   1                   J150                1.870343487 57          384.4451041 13          0
14                   1                   J1                  5.138696973 51          575.9996608 15          0
15                   1                   J13                 2.194522184 55          409.8903458 2.81        0
16                   1                   J26                 0.762241668 56          268.4842336 5.17        0
17                   1                   J30                 3.23101316  56          478.4720907 7.42        0
18                   1                   J14                 0.017172407 51          58.88997309 0           0
19                   1                   J25                 0.609435503 55          245.4865266 4.64        0
20                   1                   J27                 0.253212873 58          172.7752592 4.16        0
21                   1                   J28                 0.481973941 54          223.520832  5.5         0
22                   1                   J151                2.818451602 59          453.031431  4.05        0
23                   1                   J21                 1.411168849 58          343.4920243 3.79        0
24                   1                   J108                1.948076585 57          390.7936529 3.86        0
25                   1                   1                   0.481973941 25          500         0.5         0
26                   1                   J20                 3.577321418 25          274.0966546 0.5         0
```

Εικόνα 4.9: Περιβάλλον Notepad++ για τα αρχεία SWMM.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο SWMM του δικτύου της Ζώνης Δ, για καθένα από τα τρία σενάρια των τιμών των παραμέτρων για διάφορες διάρκειες βροχοπτώσεων και περιόδων επαναφοράς. Επιπλέον, περιγράφονται τα αποτελέσματα του αδρομερούς σεναρίου, του Σεναρίου 0. Το SWMM 5 δίνει τη δυνατότητα της σχηματικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων για τα επιμέρους στοιχεία του δικτύου, όπως είναι οι αγωγοί και τα φρεάτια με τη βοήθεια γραφημάτων. Τέλος, γίνεται σχολιασμός καθώς και σύγκριση αυτών των σεναρίων.

5.1.1 Βροχή διάρκειας 1h

Στη συνέχεια περιγράφονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και για περιόδους επαναφοράς T=5, T=10, T=20, T=25, T=50 έτη.

5.1.1.1 Περίοδος επαναφοράς T=5 έτη

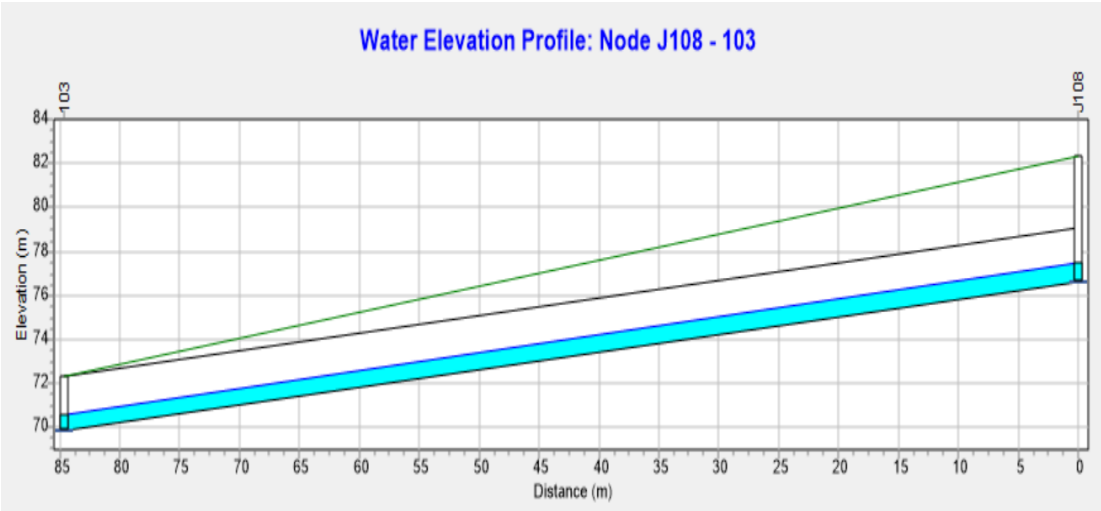
Σενάριο 1

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το σενάριο 1, δηλαδή το σενάριο χαμηλών τιμών παραμέτρων, φαίνονται στον Πίνακα 5.1. Η συγκεκριμένη προσομοίωση έδειξε πως κανένας κόμβος του δικτύου δεν υπερχειλίζει, άρα το δίκτυο είναι επαρκές.

Πίνακας 5.1: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

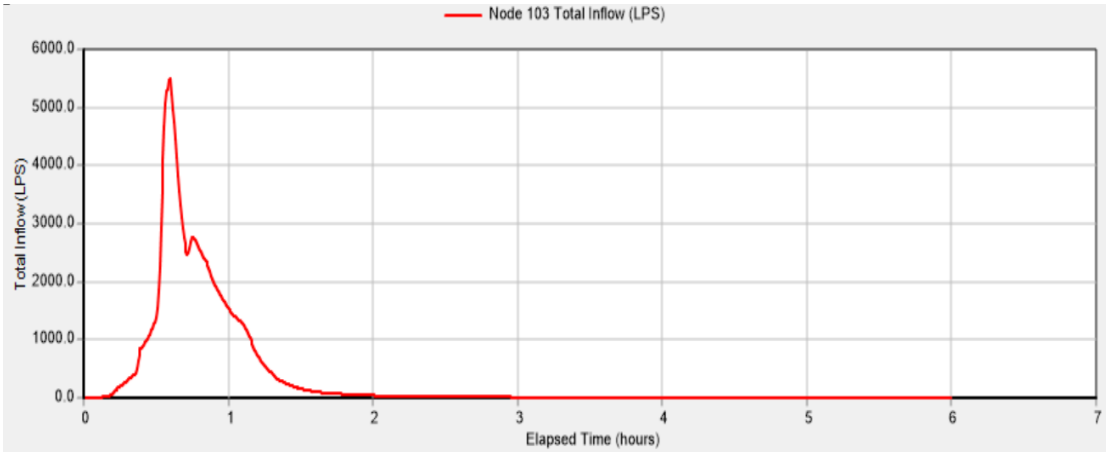
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	24.00 mm
Διήθηση	2.18mm
Χρόνος αιχμής	00:35:30

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ροή του αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή αιχμής.

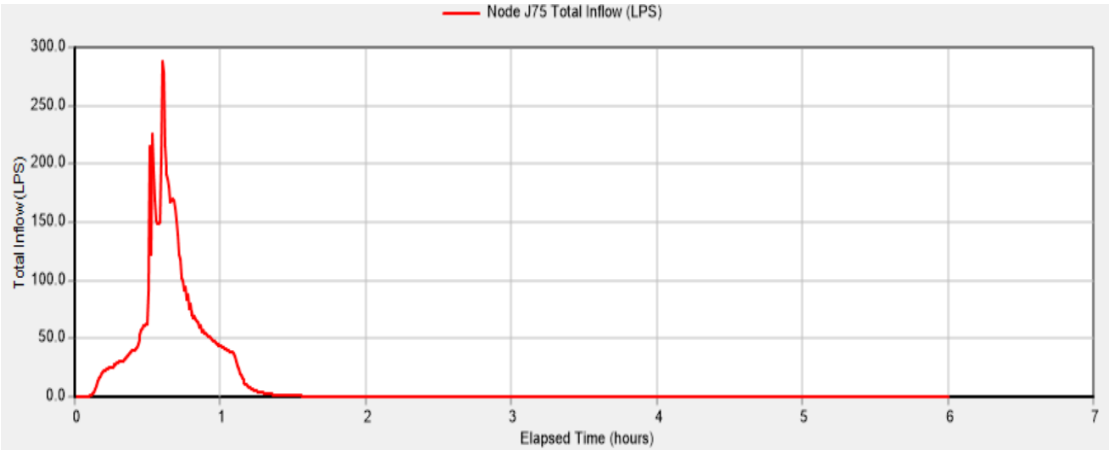


Εικόνα 5.1: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για t=1h,T=5 έτη (Σενάριο1).

Στις εικόνες 5.2 και 5.3 απεικονίζονται ενδεικτικά τα υδρογραφήματα που αντιστοιχούν στο φρεάτιο εκβολής (103) και το φρεάτιο J75.



Εικόνα 5.2: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 1).



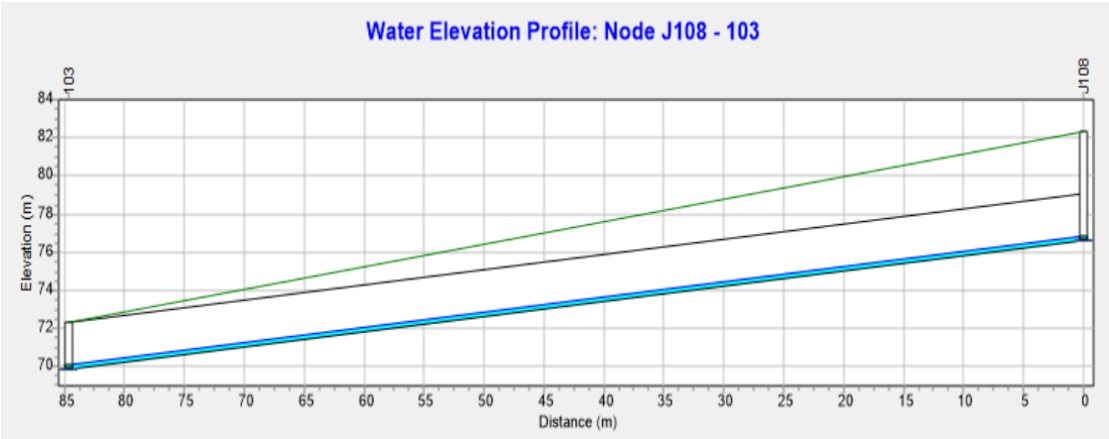
Εικόνα 5.3: Ολική εισροή στο φρεάτιο J75 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 1).

<u>Σενάριο 2</u>

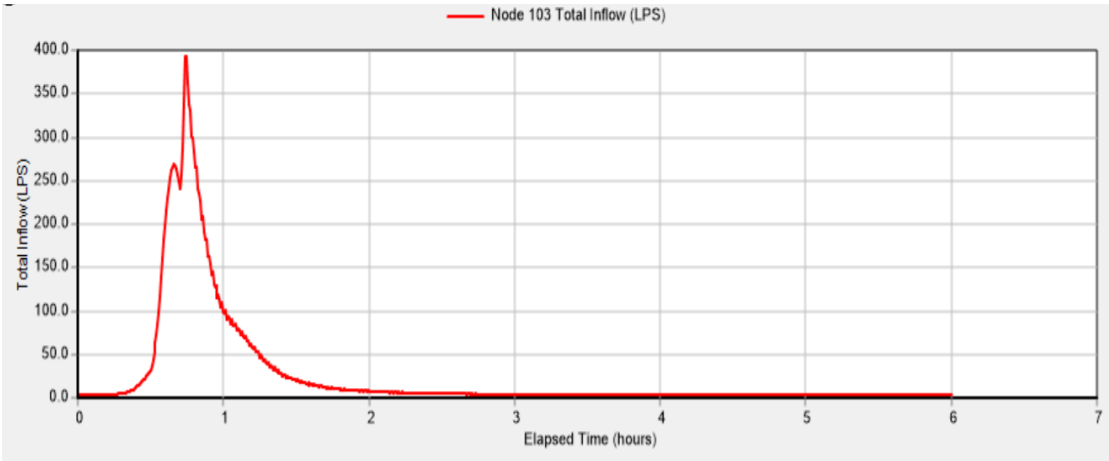
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σενάριο 2, δηλαδή το σενάριο μεσαίων τιμών παραμέτρων, φαίνονται στον Πίνακα 5.2. Και σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο επαρκεί.

Πίνακας 5.2: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

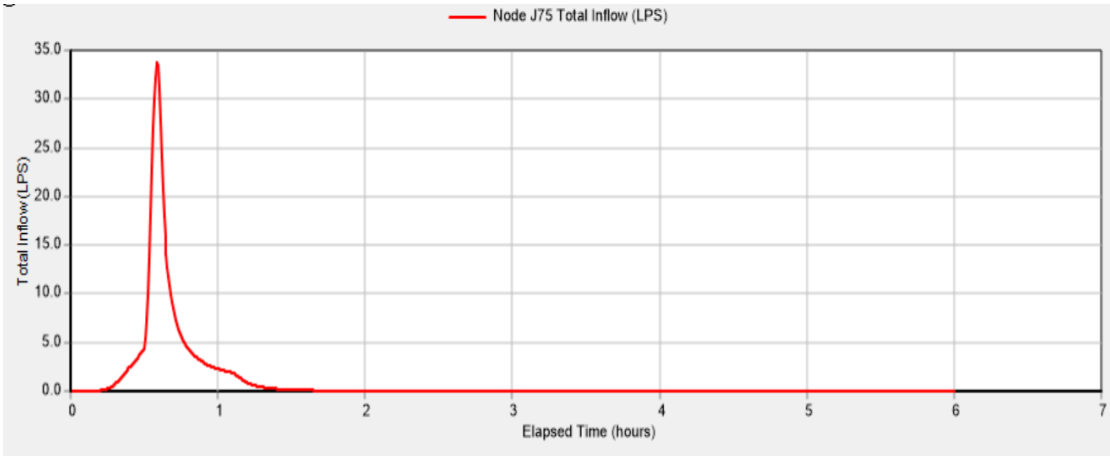
ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	20.00 mm
Διήθηση	1.08mm
Χρόνος αιχμής	00:45:30



Εικόνα 5.4: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για t=1h,T=5 έτη (Σενάριο 2).



Εικόνα 5.5: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 2).



Εικόνα 5.6: Ολική εισροή στο φρεάτιο J75 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 2).

<u>Σενάριο 3</u>

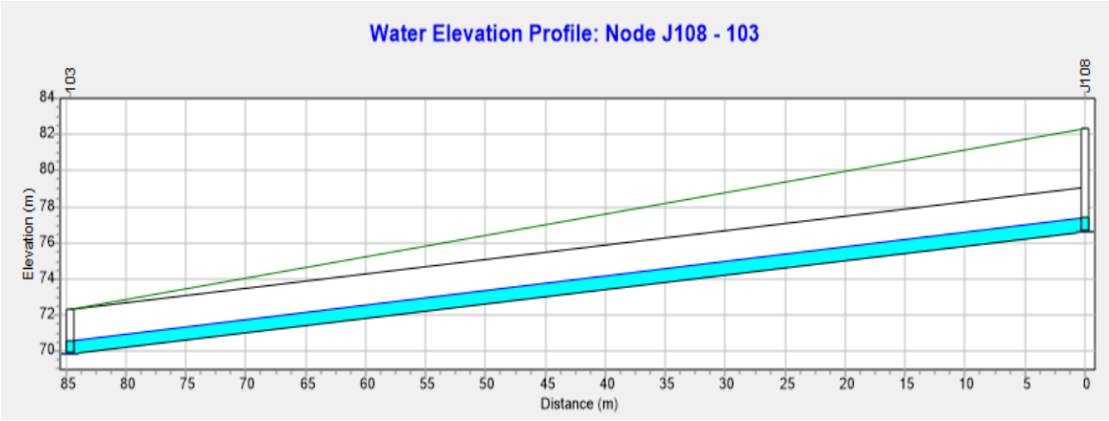
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το σενάριο 3, δηλαδή το σενάριο υψηλών τιμών παραμέτρων, φαίνονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

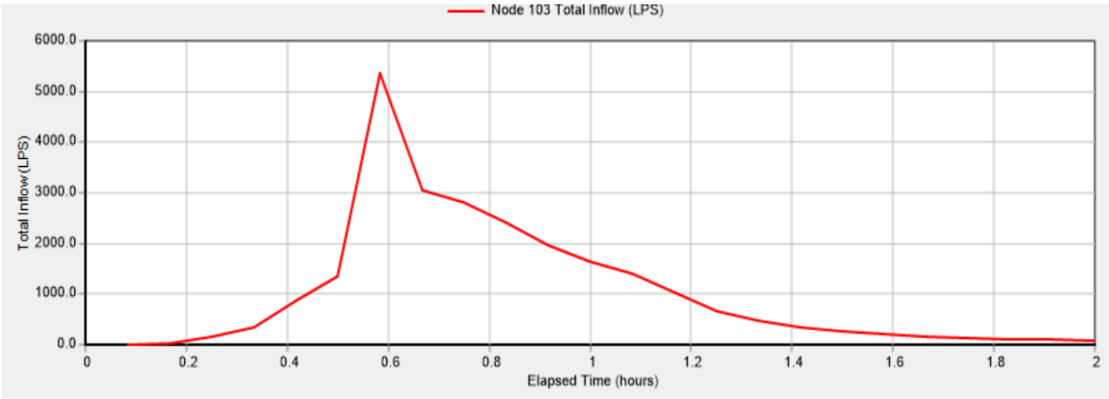
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	24.00 mm
Διήθηση	2.12mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00

Και στην περίπτωση αυτή το αποχετευτικό δίκτυο είναι επαρκές και αποχετεύει πλήρως την συγκεκριμένη απορροή. Επιπλέον κανένας κόμβος του δικτύου δεν

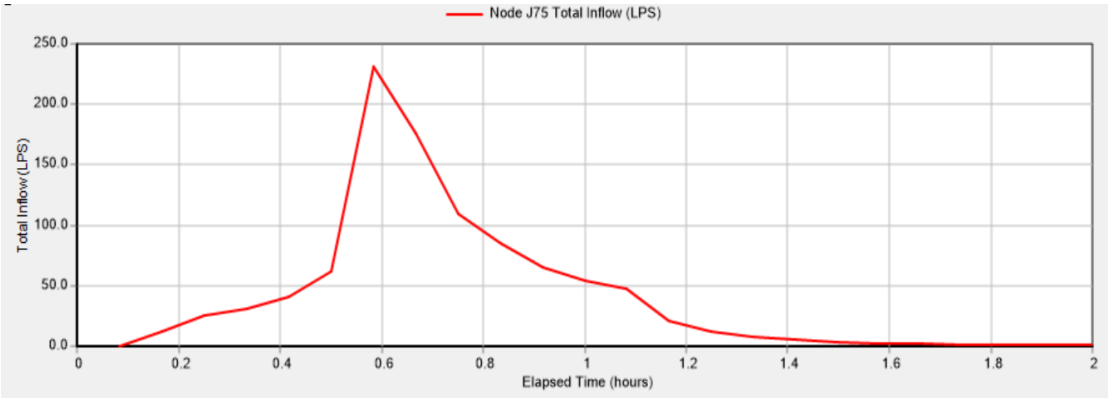
πλημμυρίζει. Στη συνέχεια παρατίθενται το προφίλ του αγωγού εκβολής καθώς και τα υδρογραφήματα του φρεατίου εκβολής και του φρεατίου J75.



Εικόνα 5.7: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για t=1h,T=5 έτη (Σενάριο 3).



Εικόνα 5.8: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 3).



Εικόνα 5.9: Ολική εισροή στο φρεάτιο J75 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 3).

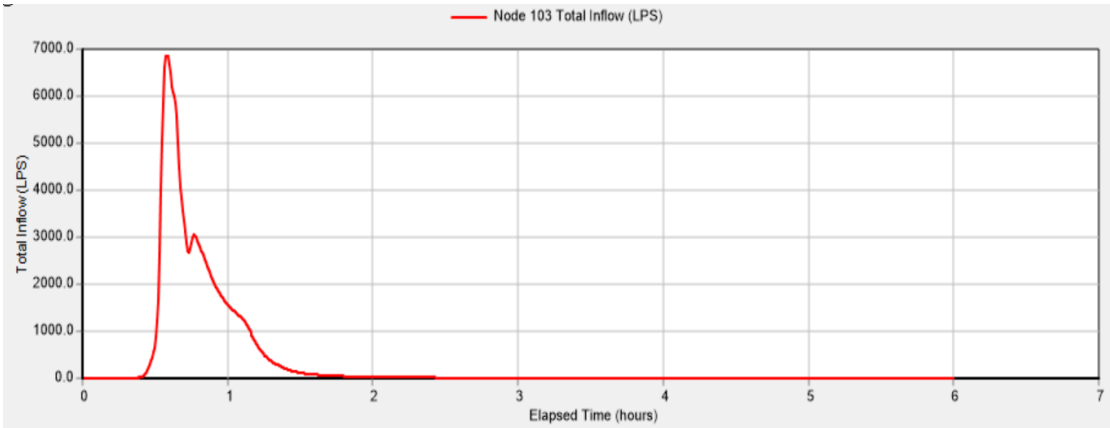
<u>Σενάριο 0</u>

Και σε αυτή την περίπτωση θα περιγραφούν γενικά στοιχεία του αποτελέσματος της προσομοίωσης μέσω του Πίνακα 5.4. Δεν υπάρχουν, φαινόμενα πλημμύρας άρα το δίκτυο είναι επαρκές και η περιοχή ασφαλής.

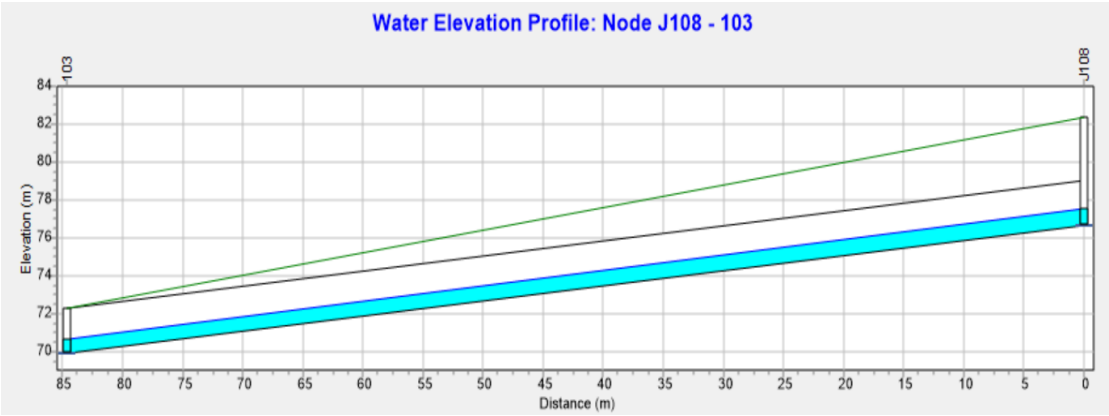
Πίνακας 5.4: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	24.00 mm
Διήθηση	0.52mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00

Στη συνέχεια παρατίθεται το υδρογράφημα του κόμβου εξόδου καθώς και το προφίλ του αγωγού εξόδου για το Σενάριο 0, και το χρόνο αιχμής.



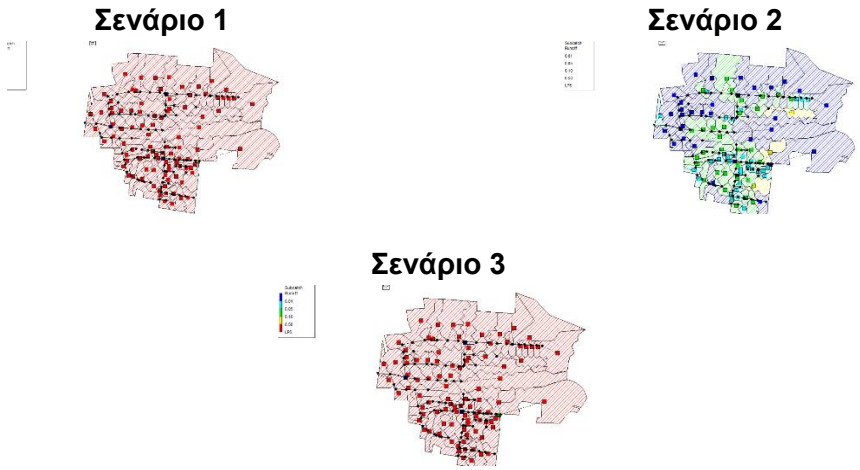
Εικόνα 5.10: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη (Σενάριο 0).



Εικόνα 5.11: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για t=1h,T=5 έτη (Σενάριο 0).

<u>Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=1h,T=5έτη)</u>

Από τους πίνακες είναι εμφανές πως παρουσιάζονται διαφορές μεταξύ των τριών σεναρίων για τη βροχόπτωση 1h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Αυτές εντοπίζονται στην παροχή αιχμής, στον χρόνο αιχμής ακόμα και στην διήθηση. Παρόλα αυτά, αφού σε καμία από τις τρεις περιπτώσεις δεν παρατηρείται πρόβλημα στο δίκτυο τα αποτελέσματα για την επάρκεια του δικτύου ταυτίζονται. Στην εικόνα 5.12 παρουσιάζεται η απορροή των υπολεκανών του δικτύου για την περίπτωση των 3 σεναρίων.

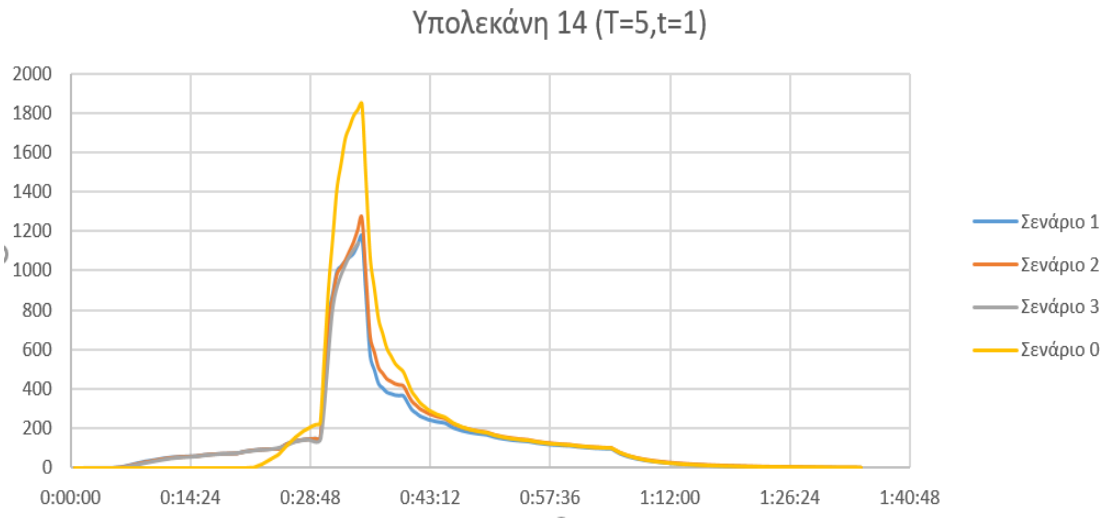


Εικόνα 5.12: Απορροή των υπολεκανών του δικτύου για την περίπτωση των 3 σεναρίων (t=1h,T=5έτη).

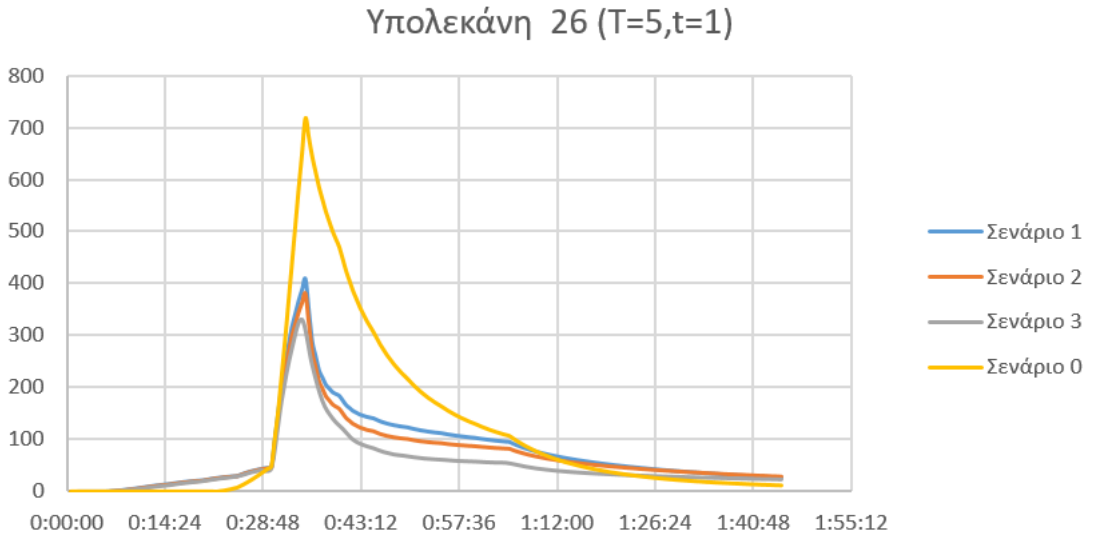
Για τη σύγκριση των 3 σεναρίων με το Σενάριο 0, επιλέχθηκαν 3 υπολεκάνες του δικτύου. Οι υπολεκάνες αυτές βρίσκονται:

- Υπολεκάνη 14: Βόρειο-ανατολικά της περιοχής μελέτης (Εικόνα 5.13).
- Υπολεκάνη 26: Βόρειο-δυτικά της περιοχής μελέτης (Εικόνα 5.14).

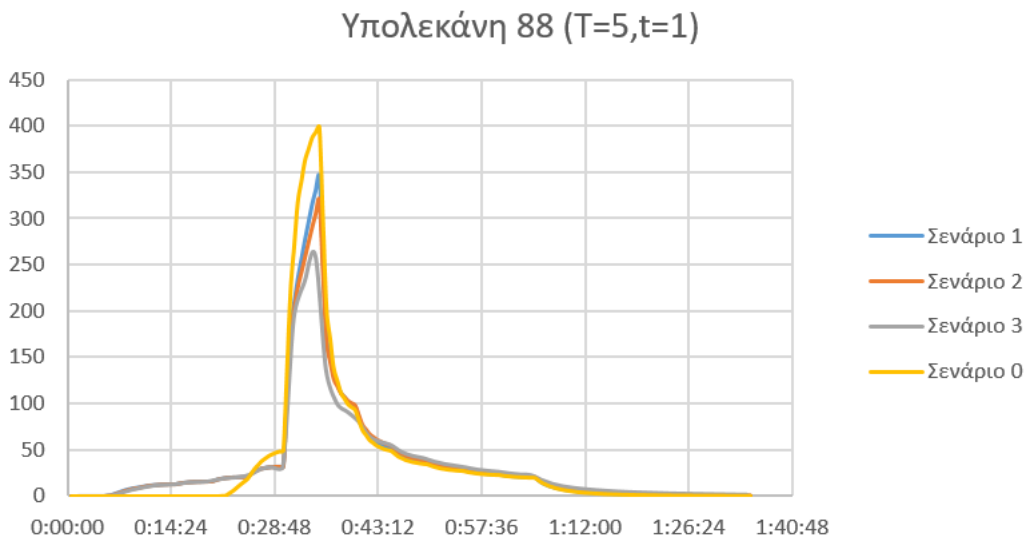
- Υπολεκάνη 88: Νότια και κεντρικά της περιοχής μελέτης (Εικόνα 5.15).



Εικόνα 5.13: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=5έτη).



Εικόνα 5.14: Απορροή της υπολεκάνης 26 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=5έτη).



Εικόνα 5.15: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=5έτη).

Συγκρίνοντας τις απορροές και για τις τρεις λεκάνες είναι φανερό πως ενώ τα αποτελέσματα των 3 σεναρίων συγκλίνουν το Σενάριο 0 εμφανίζει μεγαλύτερη απορροή. Αυτό ήταν αναμενόμενο λόγω της μικρότερης διήθησης που είχε παρατηρηθεί.

5.1.1.2 Περίοδος επαναφοράς T=10 έτη

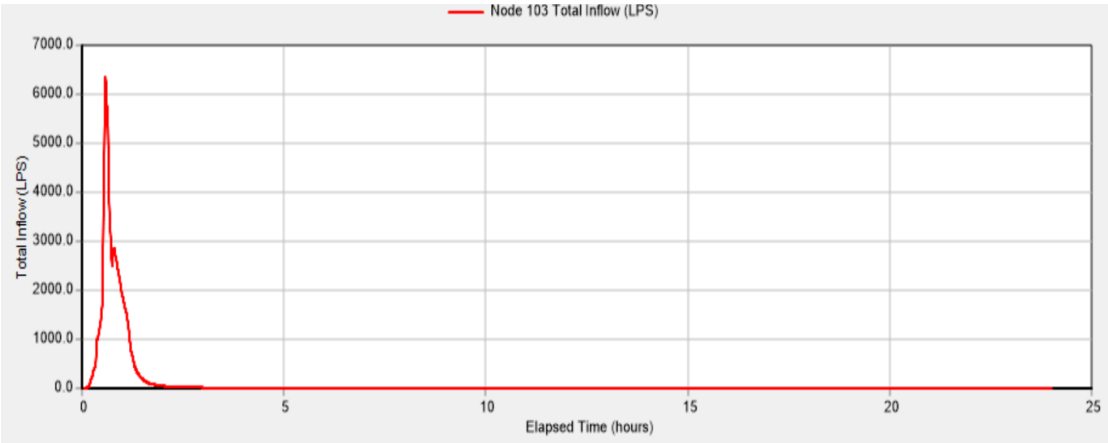
Σενάριο 1

Τα αποτελέσματα για διάρκεια βροχόπτωσης 1 και περίοδο επαναφοράς 10 ετών για το πρώτο σενάριο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.5, ο οποίος παρατίθεται στη συνέχεια. Στην περίπτωση αυτή τα πλημμυρισμένα φρεάτια είναι το J45 και το J151.

Πίνακας 5.5: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	29.06 mm
Διήθηση	2.3mm
Χρόνος αιχμής	00:35:50

Στην Εικόνα 5.16 φαίνεται το υδρογράφημα του κόμβου εξόδου.



Εικόνα 5.16: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη (Σενάριο 1).

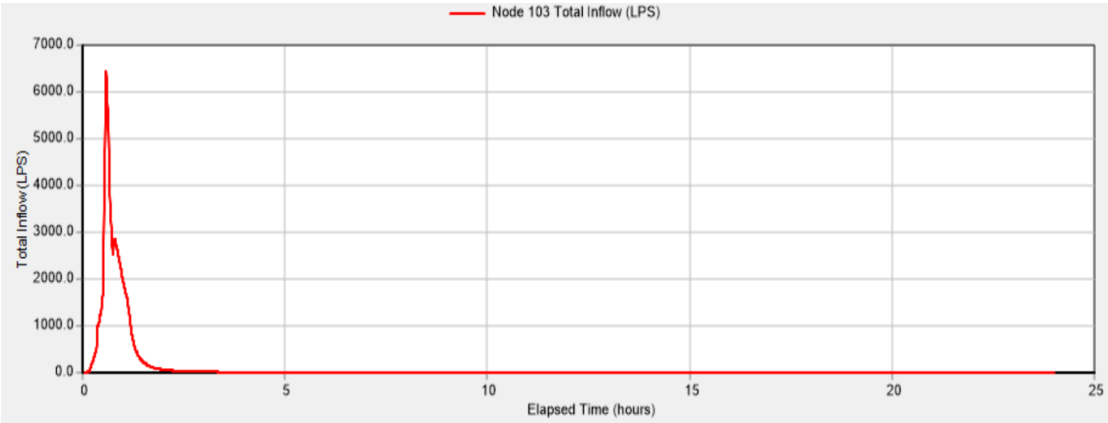
<u>Σενάριο 2</u>

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνεται στον Πίνακα 5.6. Και σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο κρίνεται ανεπαρκές με φαινόμενα πλημμύρας στα φρεάτια J45 και J151.

Πίνακας 5.6: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	29.06 mm
Διήθηση	2.28mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00

Στην Εικόνα 5.17 φαίνεται το υδρογράφημα του κόμβου εξόδου.



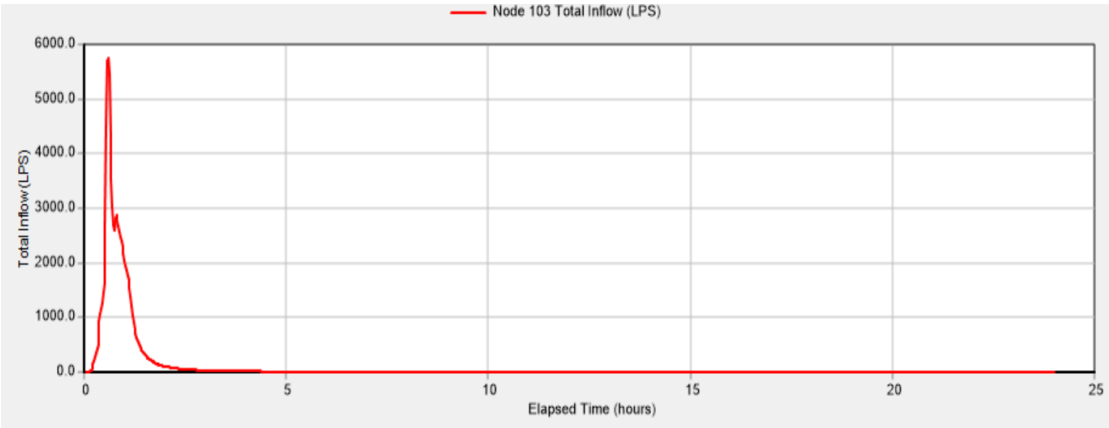
Εικόνα 5.17: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη (Σενάριο 2).

Σενάριο 3

Το δίκτυο κρίνεται ανεπαρκές και σε αυτήν την περίπτωση τα αποτελέσματα της οποίας δίνονται στον Πίνακα 5.7. Το υδρογράφημα του φρεατίου εξόδου φαίνεται στην Εικόνα 5.18.

Πίνακας 5.7: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	29.06 mm
Διήθηση	2.28mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00



Εικόνα 5.18: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη (Σενάριο 3).

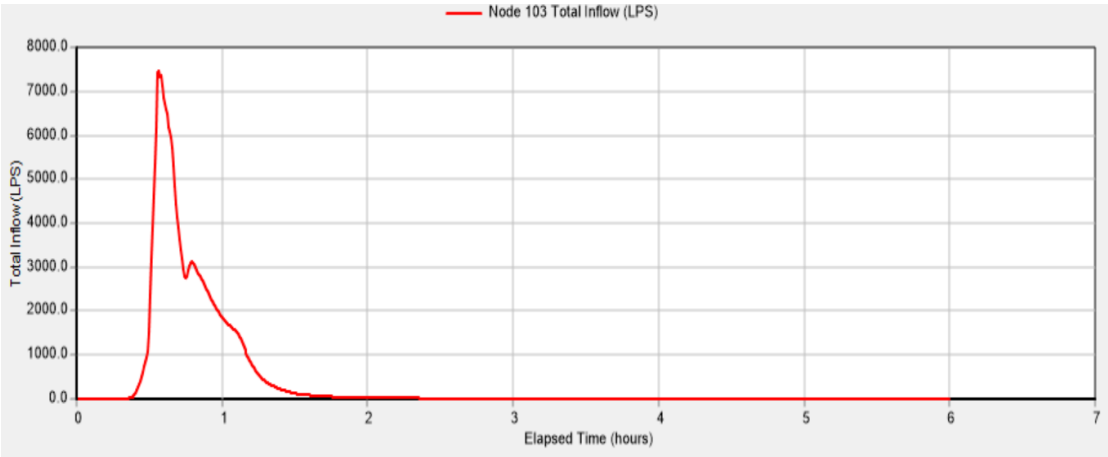
Σενάριο 0

Και σε αυτή την περίπτωση θα περιγραφούν γενικά στοιχεία του αποτελέσματος της προσομοίωσης μέσω του Πίνακα 5.8. Εντοπίζονται τα ίδια πλημμυρισμένα φρεάτια όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις.

Πίνακας 5.8: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	29.06 mm
Διήθηση	0.52mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00

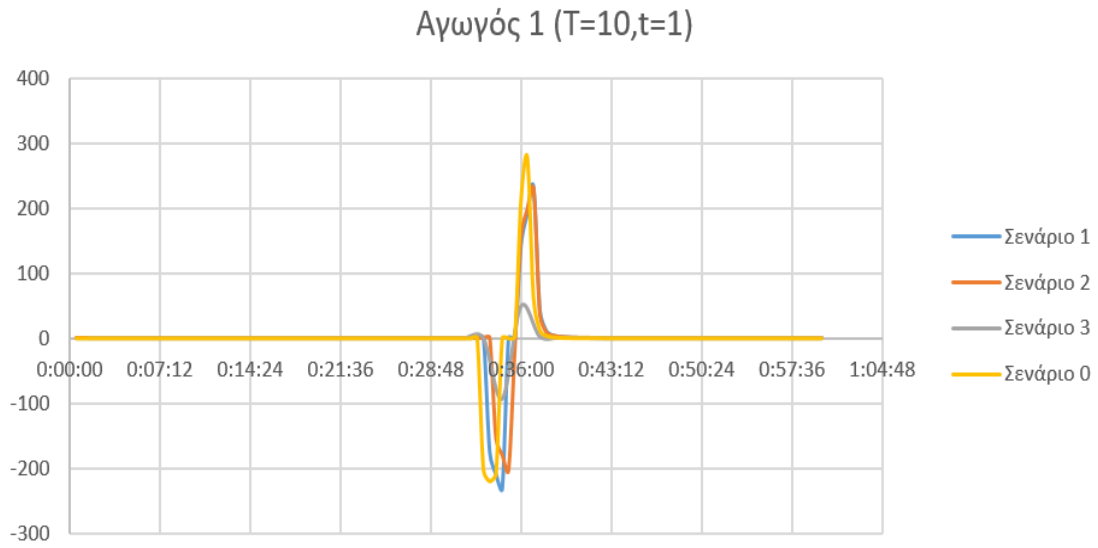
Στην Εικόνα 5.19 φαίνεται το υδρογράφημα στην έξοδο του δικτύου.



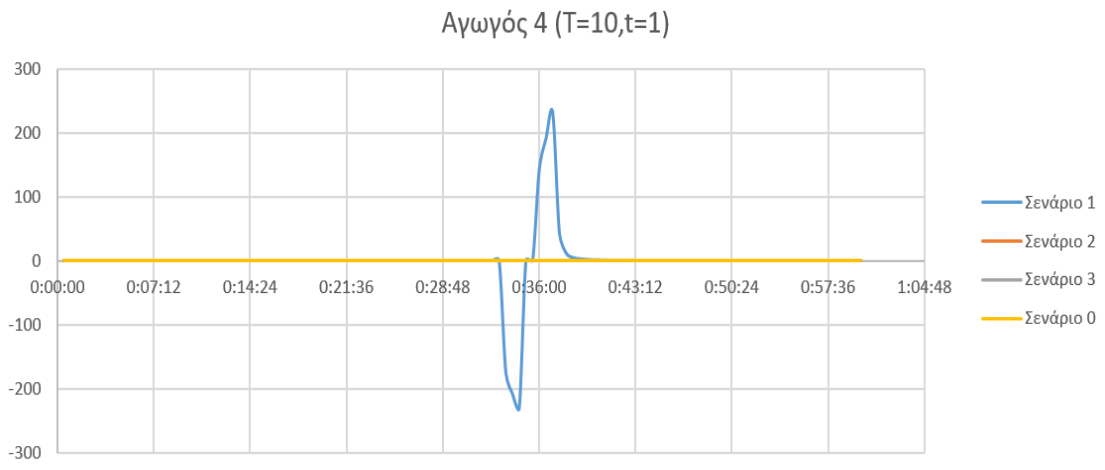
Εικόνα 5.19: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη (Σενάριο 0).

<u>Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=1h,T=10έτη)</u>

Για τη σύγκριση των σεναρίων, επιλέχθηκαν 2 αγωγοί του δικτύου ο αγωγός 1 και ο αγωγός 4. Στον αγωγό 1 η ροή γίνεται χωρίς ελεύθερη επιφάνεια για τα Σενάρια 1,2 και 0 και με ελεύθερη επιφάνεια για το Σενάριο 3. Η ροή στον αγωγό 4 γίνεται με ελεύθερη επιφάνεια για όλα τα σενάρια.



Εικόνα 5.20: Ροή του αγωγού 1 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=10έτη).



Εικόνα 5.21: Ροή του αγωγού 4 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=10έτη).

Στον αγωγό 1 υπάρχει μεγαλύτερος όγκος ροής για το Σενάριο 0. Στον αγωγό 4 ταυτίζεται η ροή των σεναρίων 1,2 και 0.

5.1.1.3 Περίοδος επαναφοράς T=20 έτη

Σενάριο 1

Τα αποτελέσματα για διάρκεια βροχόπτωσης 1 και περίοδο επαναφοράς 25 ετών για το πρώτο σενάριο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.9, ο οποίος παρατίθεται στη συνέχεια. Για τη συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς το δίκτυο δεν είναι επαρκές καθώς πολλά από τα φρεάτια του δικτύου πλημμυρίζουν.

Πίνακας 5.9: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	35.18 mm
Διήθηση	2.4mm
Χρόνος αιχμής	00:34:30

Τα φρεάτια του δικτύου που πλημμυρίζουν είναι: J73, J82,J72,J26,J86,J87,J88,J39,J81,J44,J89,J38,J42,J98,J83,J90,J79,J43,J104,J65,J78,J15,J50,J85,J40,J12,J74,J60,J19,J48,J34,J37,J16,J80,J18,J20,J17,J13,J36,J25,J49,J61,J27,J76,J62,J75,J69,J33,J14,J11,J66,J67,J1,J102,J68,J103,J106,J22,J21,J24,J55,J105,J23.

Σενάριο 2

Και στην περίπτωση αυτού του σεναρίου εντοπίζεται ανεπάρκεια του δικτύου. Συνοπτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στη συνέχεια στον Πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.10: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	35.18 mm
Διήθηση	2.4mm
Χρόνος αιχμής	00:34:30

Και σε αυτήν την περίπτωση τα πλημμυρισμένα φρεάτια είναι τα εξής: J73, J82,J72,J26,J86,J87,J88,J39,J81,J44,J89,J38,J42,J98,J83,J90,J79,J43,J104,J65,J78,J15,J50,J85,J40,J12,J74,J60,J19,J48,J34,J37,J16,J80,J18,J20,J17,J13,J36,J25,J49,J61,J27,J76,J62,J75,J69,J33,J14,J11,J66,J67,J1,J102,J68,J103,J106,J22,J21,J24,J55,J105,J23.

Σενάριο 3

Και σε αυτό το σενάριο εντοπίζεται ανεπάρκεια δικτύου. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5.11.

Πίνακας 5.11: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	35.18 mm
Διήθηση	2.4mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00

Τα πλημμυρισμένα φρεάτια για το Σενάριο 3 είναι: J73,J82,J72,J26,J86,J87,J88,J39,J44,J89,J38,J42,J83,J90,J43,J104,J65,J15,J85,J40,J74,J60,J19,J37,J16,J80,J18,J17,J36,J25,J49,J78,J27,J76,J62,J34,J75,J14,J33,J11,J66,J69,J67,J1,J68,J79,J61,J106,J22,J48,J21,J24,J55,J50,J105,J23.

Σενάριο 0

Και σε αυτό το σενάριο εντοπίζεται ανεπάρκεια δικτύου. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5.12.

Πίνακας 5.12: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

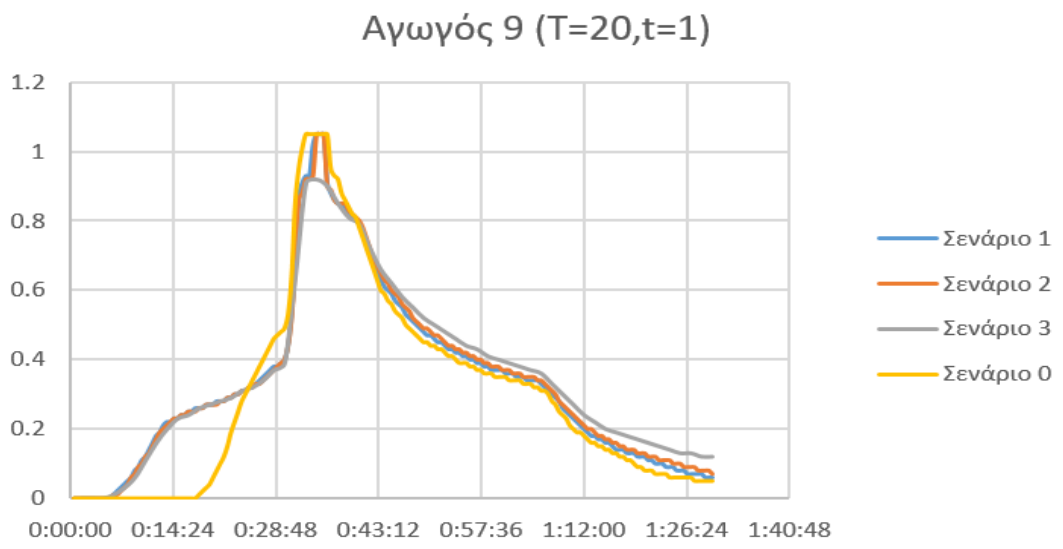
ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	35.18 mm
Διήθηση	0.52mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00

Τα πλημμυρισμένα φρεάτια για το Σενάριο 3 είναι: J73,J82,J72,J26,J86,J87,J88,J39,J90,J81,J44,J89,J51,J38,J42,J98,J83,J79,J43,J104,J65,J13,J78,J15,J50,J85,J40,J12,J74,J60,J34,J48,J19,J37,J16,J80,J20,J18,J17,J

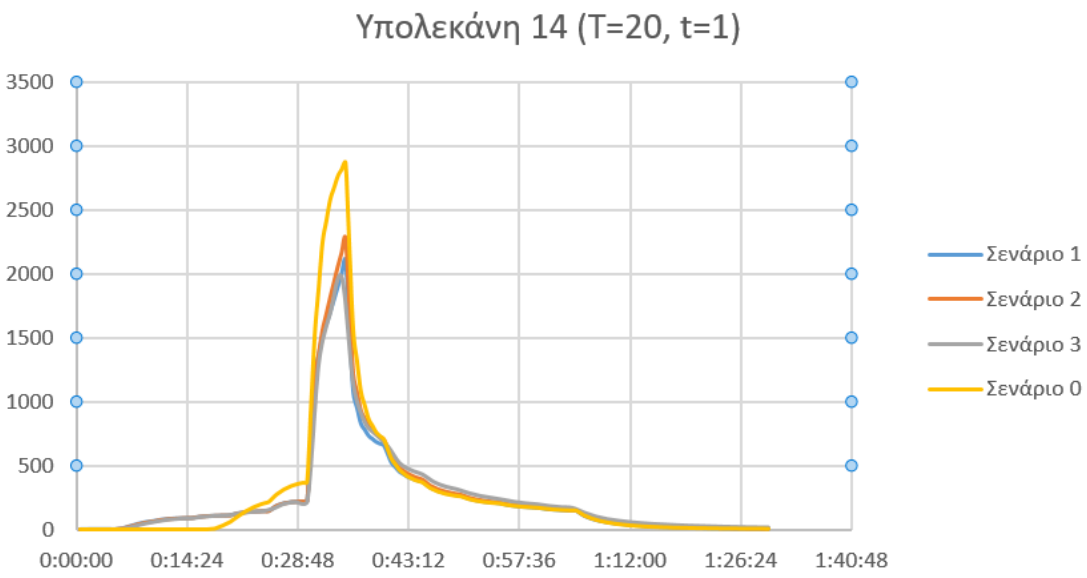
36,J25,J49,J61,J27,J76,J2,J62,J69,J75,J33,J14,J11,J66,J67,J1,J68,J106,J22,J21,J55,J24,J105,J23.

Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=1h,T=20έτη)

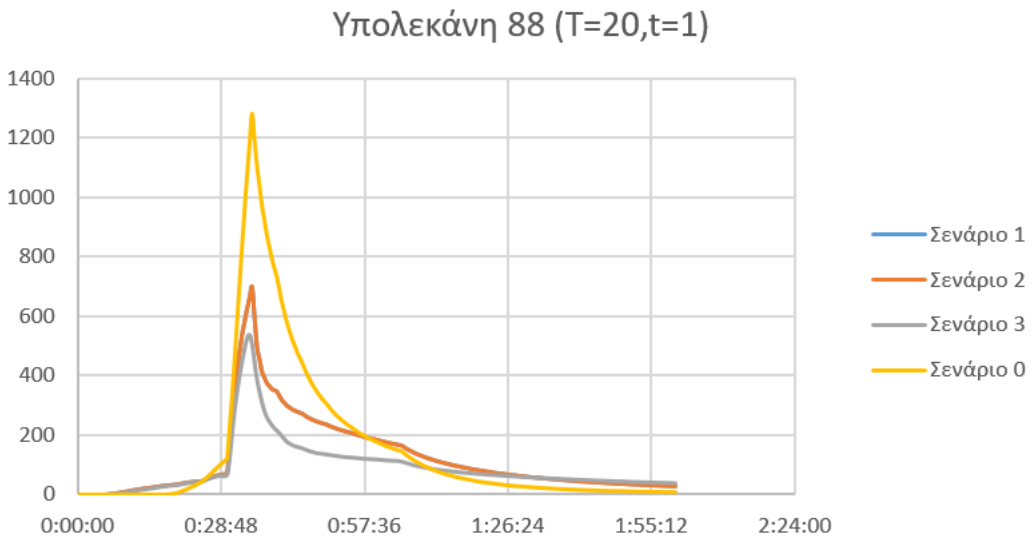
Για τη σύγκριση των σεναρίων για περίοδο επαναφοράς T=20 έτη και t=1h, επιλέχθηκαν 1 αγωγός του δικτύου και 2 υπολεκάνες.



Εικόνα 5.22: Βάθος αγωγού J9 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=20έτη).



Εικόνα 5.23: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=20έτη).



Εικόνα 5.24: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=20έτη).

Επισυνάπτονται, οι διαφορές οι οποίες εντοπίζονται κυρίως μεταξύ του Σεναρίου 0 και των υπολοίπων 3. Αυτές είναι εμφανείς στην απορροή των υπολεκανών 14 και 88 αλλά και στο βάθος του αγωγού J9 του δικτύου. Η απορροές του Σεναρίου 0 είναι μεγαλύτερες καθώς και το βάθος το αγωγού αυξάνεται απότομα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σε συνάρτηση με το χρόνο.

5.1.1.4 Περίοδος επαναφοράς T=25 έτη

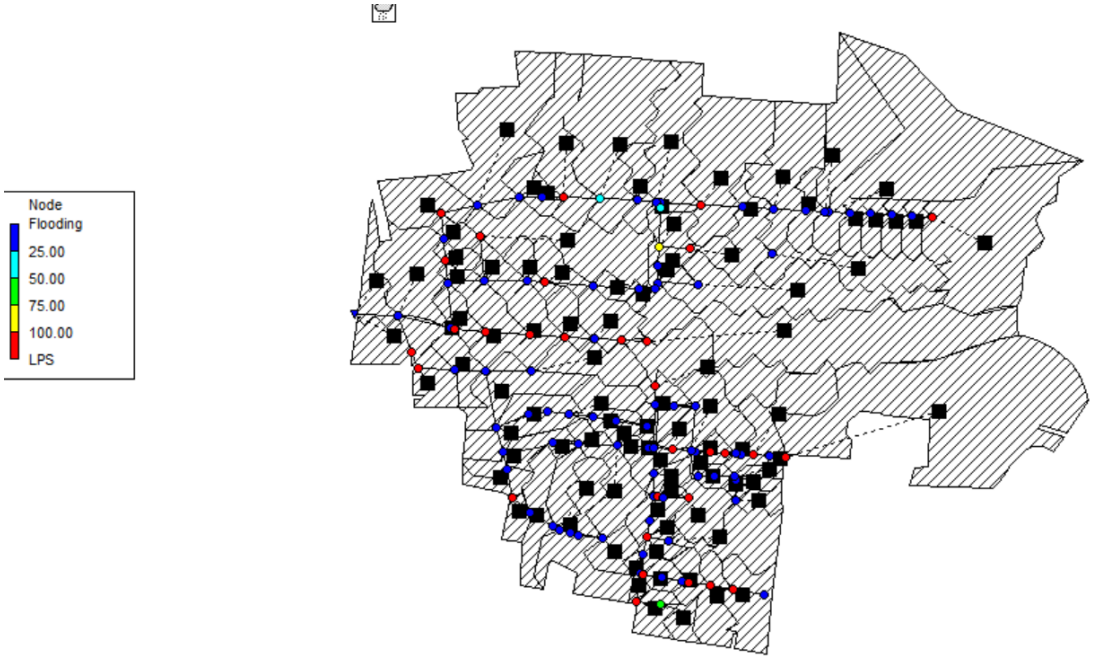
Σενάριο 1

Τα αποτελέσματα για διάρκεια βροχόπτωσης 1 και περίοδο επαναφοράς 25 ετών για το πρώτο σενάριο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.13, ο οποίος παρατίθεται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.13: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών

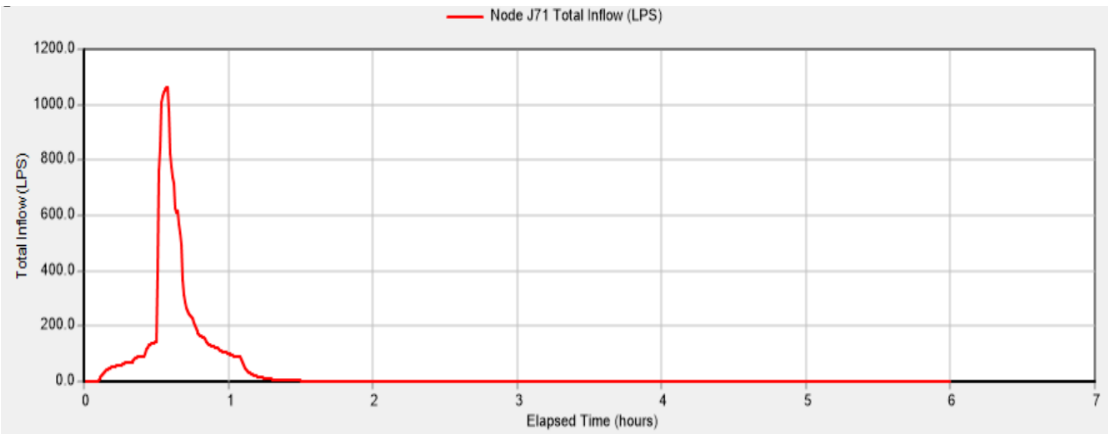
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	37.42 mm
Διήθηση	2.7mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00

Για τη συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς το δίκτυο δεν είναι επαρκές καθώς πολλά από τα φρεάτια του δικτύου πλημμυρίζουν. Αυτό είναι εμφανές στην αναπαράσταση των πλημμυρισμένων φρεατίων την χρονική στιγμή αιχμής στην εικόνα 5.25.

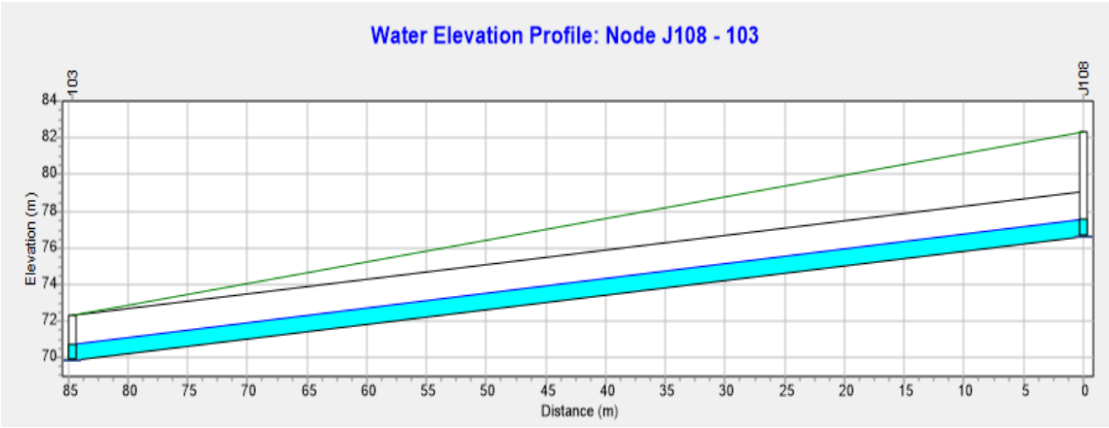


Εικόνα 5.25: Εμφάνιση πλημμυρισμένων φρεατίων τη χρονική στιγμή 00:35:00.

Τα φρεάτια με το κόκκινο χρώμα αντιμετωπίζουν το κυριότερο πρόβλημα λόγω του μεγάλου όγκου πλημμύρας. Στη συνέχεια παρατίθεται το υδρογράφημα ενός πλημμυρισμένου φρεατίου (Εικόνα 5.26) καθώς και το προφίλ του αγωγού εκβολής την στιγμή αιχμής του φρεατίου εκβολής ο οποίος δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα καθώς η ροή γίνεται σε ελεύθερη επιφάνεια (Εικόνα 5.27).



Εικόνα 5.26: Ολική εισροή στο φρεάτιο J71 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς T=25 έτη.



Εικόνα 5.27: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής.

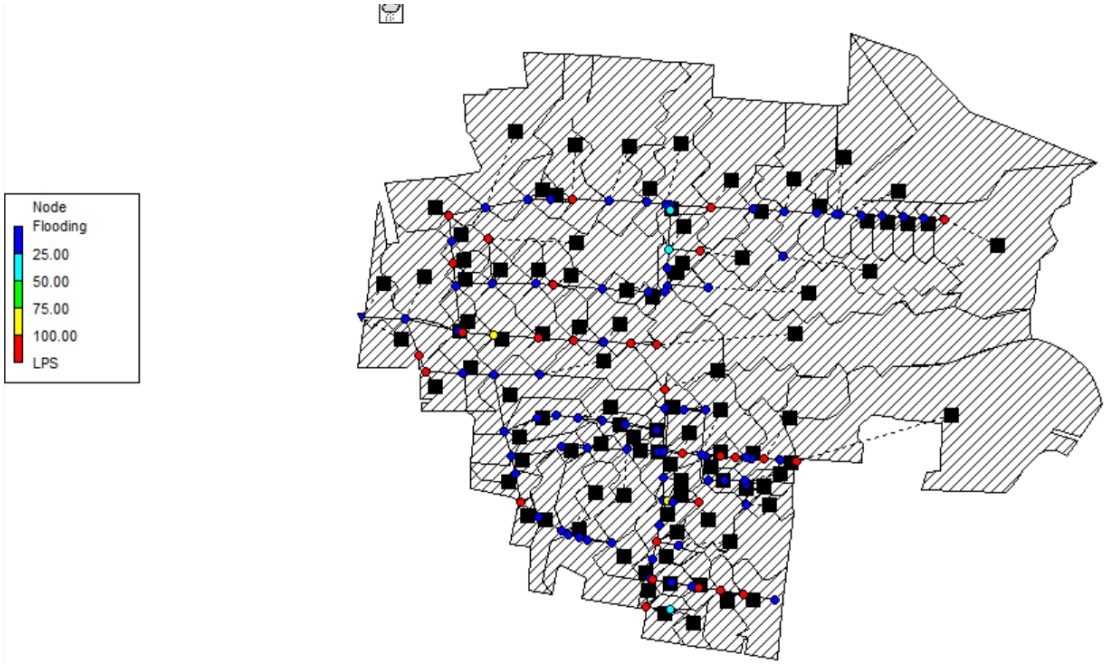
<u>Σενάριο 2</u>

Και στην περίπτωση αυτού του σεναρίου εντοπίζεται ανεπάρκεια του δικτύου. Συνοπτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στη συνέχεια.

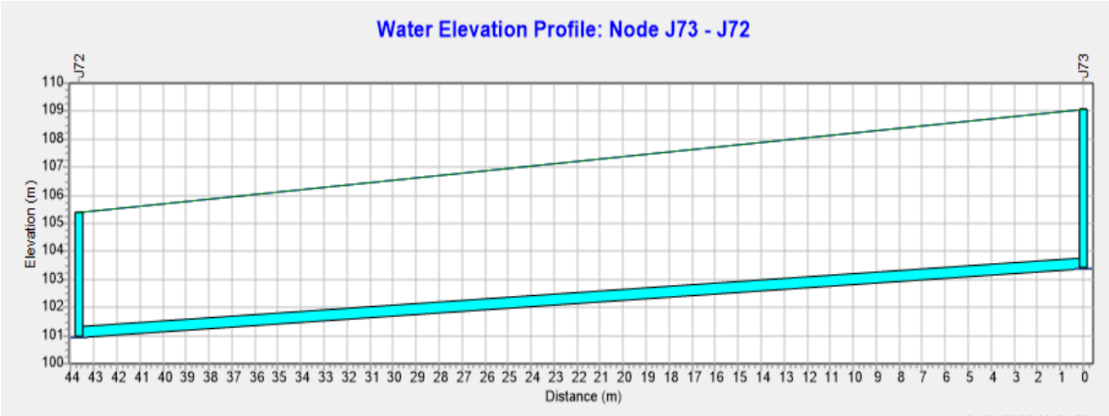
Πίνακας 5.14: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	37.42 mm
Διήθηση	2.86mm
Χρόνος αιχμής	00:34:30

Η κατανομή των πλημμυρισμένων φρεατίων τη στιγμή αιχμής φαίνεται παραστατικά στην Εικόνα 5.28. Επιπλέον στην εικόνα 5.29 φαίνεται το προφίλ αγωγού μεταξύ των πλημμυρισμένων φρεατίων J73 και J74.



Εικόνα 5.28: Εμφάνιση πλημμυρισμένων φρεατίων τη χρονική στιγμή 00:34:30



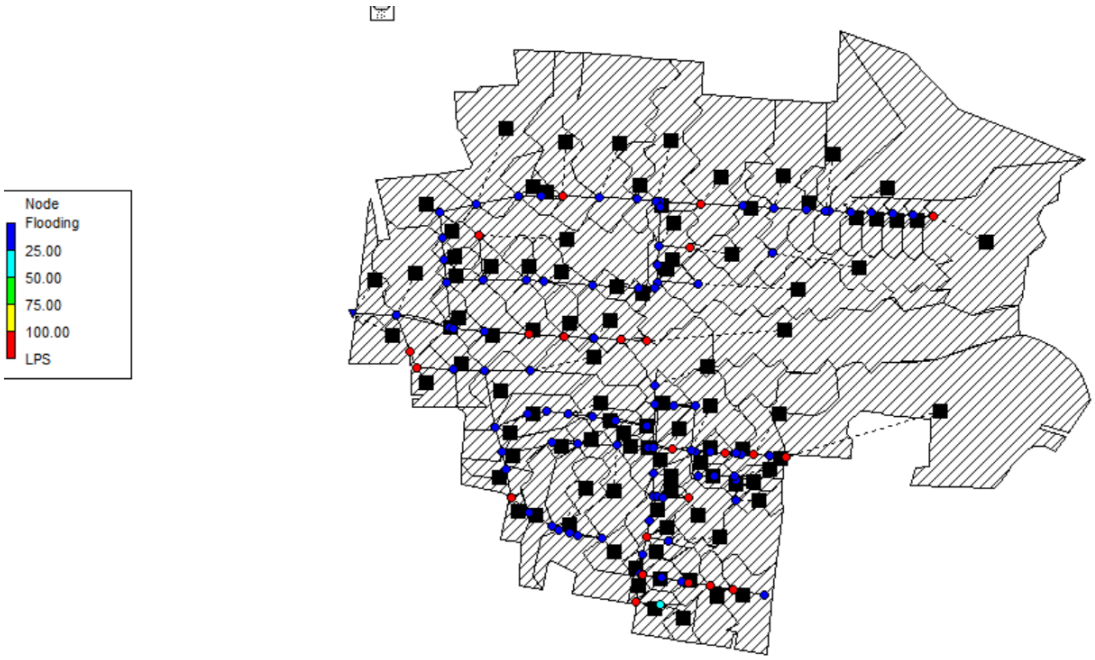
Εικόνα 5.29: Προφίλ αγωγού την χρονική στιγμή αιχμής.

<u>Σενάριο 3</u>

Το δίκτυο κρίνεται ανεπαρκές και σε αυτήν την περίπτωση τα αποτελέσματα της οποίας δίνονται στον Πίνακα 5.15. Ο αριθμός των γεγονότων πλημμύρας στην περίπτωση αυτή είναι μικρότερος και φαίνεται στην Εικόνα 5.30.

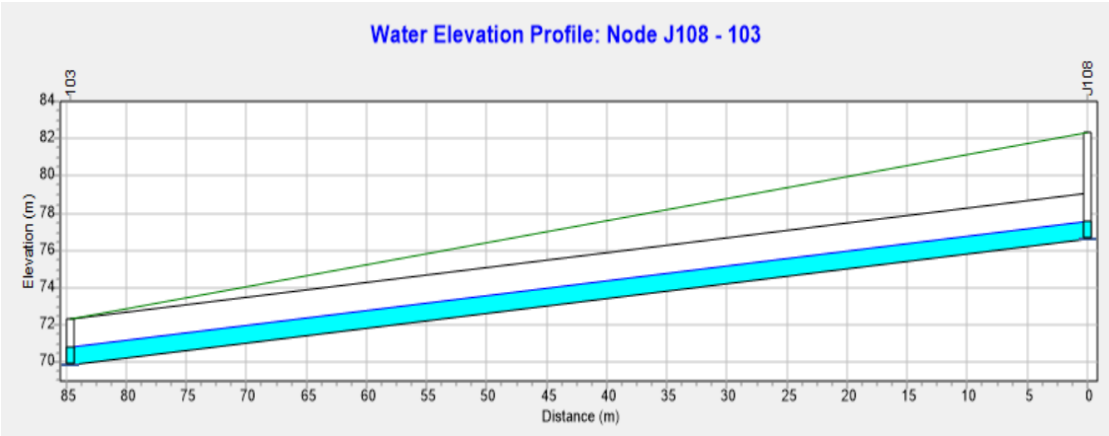
Πίνακας 5.15: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	37.42 mm
Διήθηση	2.90mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00



Εικόνα 5.30: Εμφάνιση πλημμυρισμένων φρεατίων τη χρονική στιγμή 00:35:00 (Σενάριο 3).

Στην Εικόνα 5.31 παρουσιάζεται το προφίλ του αγωγού εκβολής τη στιγμή αιχμής. Η παροχή είναι εμφανώς αυξημένη σε σχέση με τις υπόλοιπες περιπτώσεις.



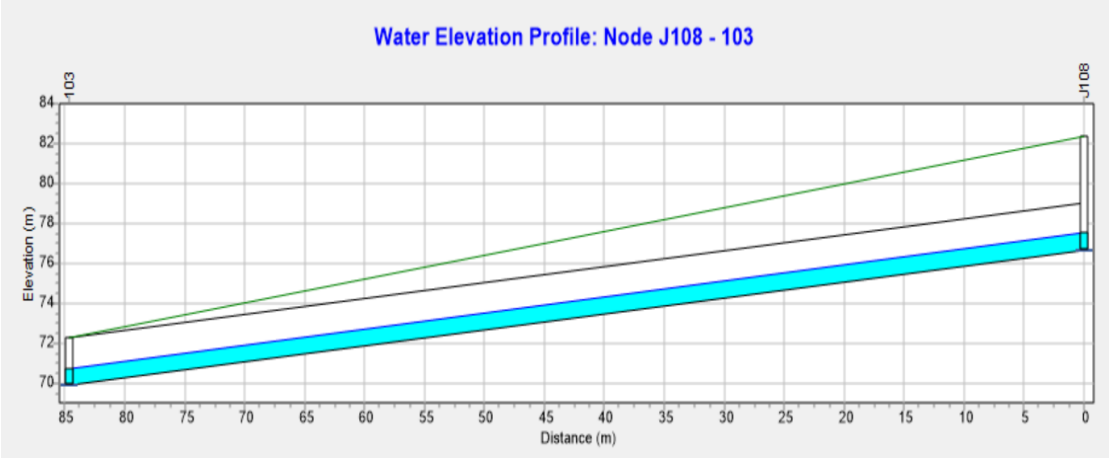
Εικόνα 5.31: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής (Σενάριο 3).

Σενάριο 0

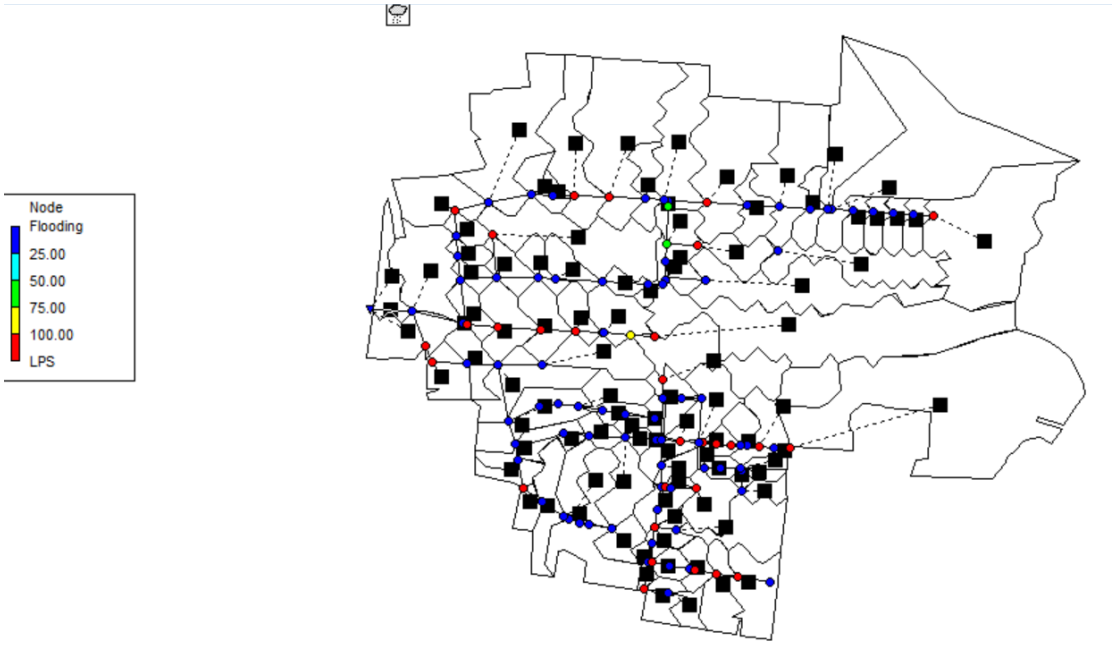
Το δίκτυο κρίνεται ανεπαρκές και σε αυτήν την περίπτωση τα αποτελέσματα της οποίας δίνονται στον Πίνακα 5.16. Ο αριθμός των γεγονότων πλημμύρας φαίνεται στην Εικόνα 5.33. Η Εικόνα 5.32 δείχνει το προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής.

Πίνακας 5.16: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	37.42 mm
Διήθηση	0.52mm
Χρόνος αιχμής	00:33:00



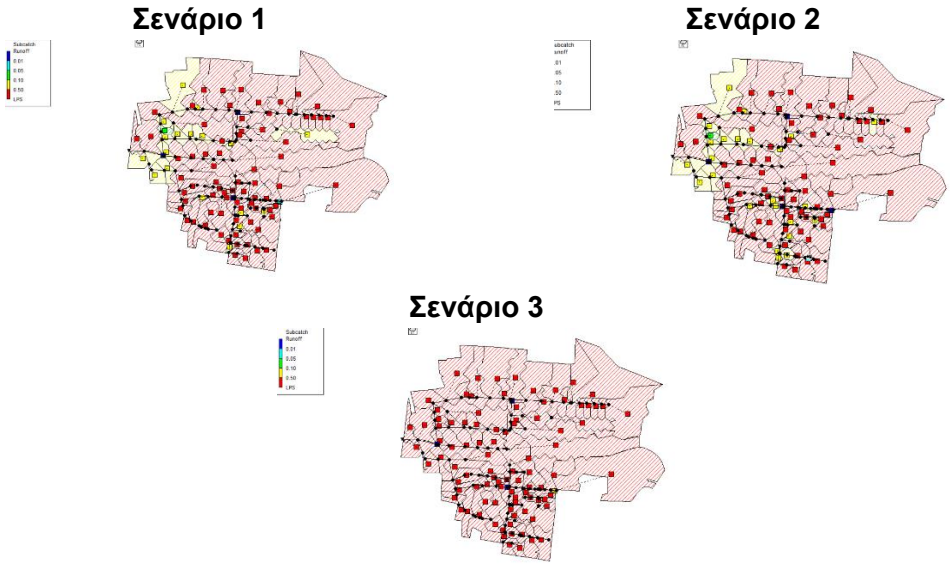
Εικόνα 5.32: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής (Σενάριο 3).



Εικόνα 5.33: Εμφάνιση πλημμυρισμένων φρεατίων τη χρονική στιγμή 00:33:00 (Σενάριο 0).

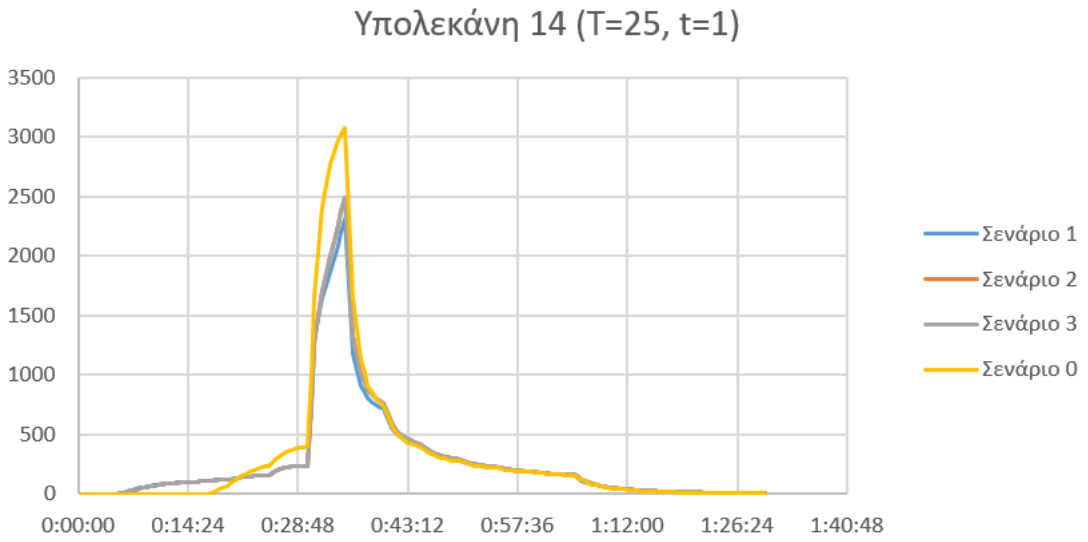
Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=1h,T=25έτη)

Στην περίπτωση βροχόπτωσης 1h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών σεναρίων. Παρότι, γενικά, και στις περιπτώσεις το δίκτυο κρίθηκε ανεπαρκές το πρώτο σενάριο, δηλαδή το σενάριο των χαμηλότερων τιμών, έδινε μεγαλύτερο αριθμό πλημμυρισμένων φρεατίων και αυτό προκύπτει από την σύγκριση των Εικόνων 5.11, 5.14, 5.16. Συγκρίνοντας το πρώτο με το τρίτο σενάριο η διαφορά στον αριθμό των πλημμυρισμένων φρεατίων είναι μεγάλη και συγκεκριμένα ανέρχεται στα 8 φρεάτια (J89, J60, J37, J79, J38, J25, J21, J18). Στην εικόνα 5.34 παρουσιάζονται οι απορροές των υπολεκανών για τα τρία σενάρια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

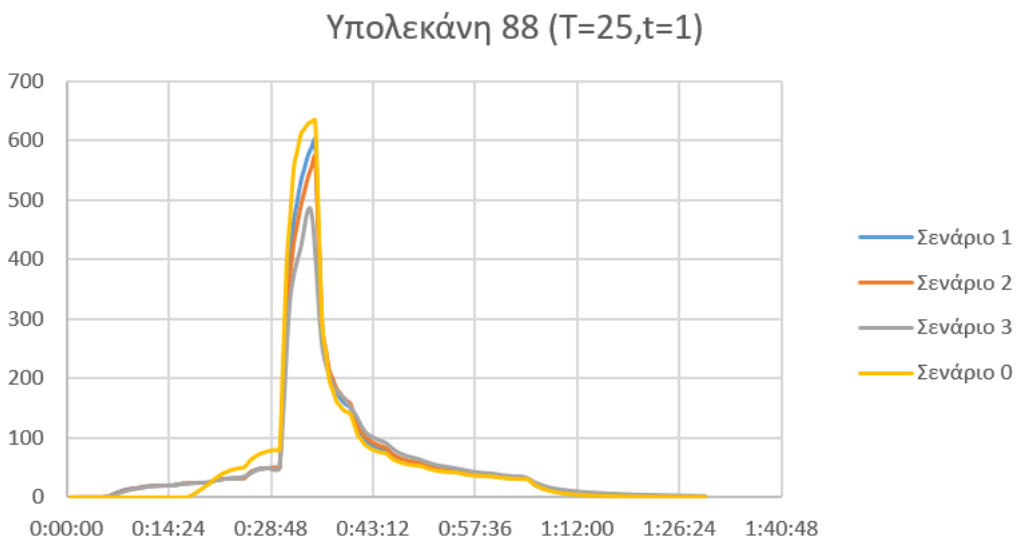


Εικόνα 5.34: Απορροή των υπολεκανών του δικτύου για την περίπτωση των 3 σεναρίων.

Συγκρίνοντας από τις προαναφερθείσες εικόνες το Σενάριο 0 με τα υπόλοιπα, διακρίνεται πως ο αριθμός των πλημμυρισμένων φρεατίων είναι πολύ μικρότερος. Επίσης, για την σύγκριση χρησιμοποιείται και η απορροή στις υπολεκάνες 14 και 88 σε συνδυαστικό διάγραμμα.



Εικόνα 5.35: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=25έτη).



Εικόνα 5.36: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=1h,T=25έτη).

5.1.1.5 Περίοδος επαναφοράς T=50 έτη

Σενάριο 1

Για διάρκεια βροχής μια ώρα και περίοδο επαναφοράς 50 ετών παρατηρείται πλήρωση του δικτύου. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 5.17.

Πίνακας 5.17: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών

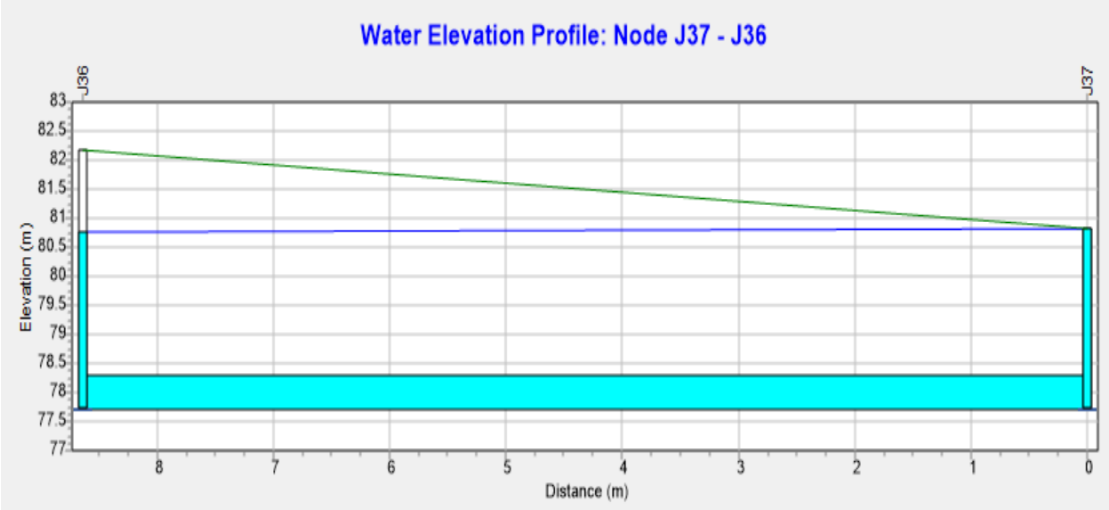
ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	45.32 mm
Διήθηση	2.60mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00

Σύμφωνα με τη φόρμα των αποτελεσμάτων (Status Report) του SWMM οι αγωγοί εμφανίζουν παροχή μεγαλύτερη από την πλήρη κανονική. Το γεγονός αυτό είναι περισσότερο έντονο στους αγωγούς που παρατίθενται στον Πίνακα 5.18.

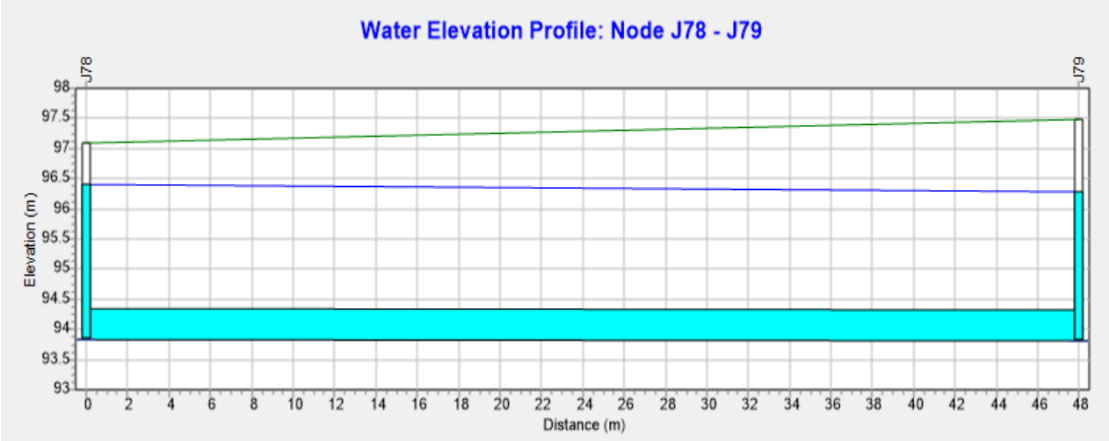
Πίνακας 5.18: Κρίσιμοι αγωγοί Σεναρίου 1

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Αγωγός	**Hours Above Normal Flow**
23	0.44
32	1.24
64	0.44
73	0.76

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το προφίλ των δύο από των τεσσάρων αυτών αγωγών (32,73) στις Εικόνες 5.37 και 5.38. Όπως είναι εμφανές και στις δύο περιπτώσεις οι αγωγοί είναι πλήρεις τη στιγμή αιχμής ενώ στην περίπτωση του αγωγού 32 το ανάντη φρεάτιο έχει πλημμυρίσει.



Εικόνα 5.37: Προφίλ αγωγού 32 την χρονική στιγμή αιχμής.



Εικόνα 5.38: Προφίλ αγωγού 73 την χρονική στιγμή αιχμής.

<u>Σενάριο 2</u>

Και στην προσομοίωση του δεύτερου σεναρίου προκύπτει πλήρωση των αγωγών του αποχετευτικού συστήματος της περιοχής μελέτης. Ο Πίνακας 5.19 δείχνει συνοπτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

Πίνακας 5.19: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	45.31 mm
Διήθηση	2.65mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00

Η αισθητή πλήρωση των αγωγών φαίνεται στον Πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.20: Κρίσιμοι αγωγοί Σεναρίου 2

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Αγωγός	**Hours Above Normal Flow**
23	0.45
32	1.26
64	0.46
73	0.77

Σενάριο 3

Για διάρκεια βροχής μια ώρα και περίοδο επαναφοράς 50 ετών παρατηρείται πλήρωση του δικτύου και σε αυτή την περίπτωση. Η στιγμή αιχμής εμφανίζεται 00:35:00 χωρίς όμως να υπάρχει πλήρωση του αγωγού εκβολής. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 5.21.

Πίνακας 5.21: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών

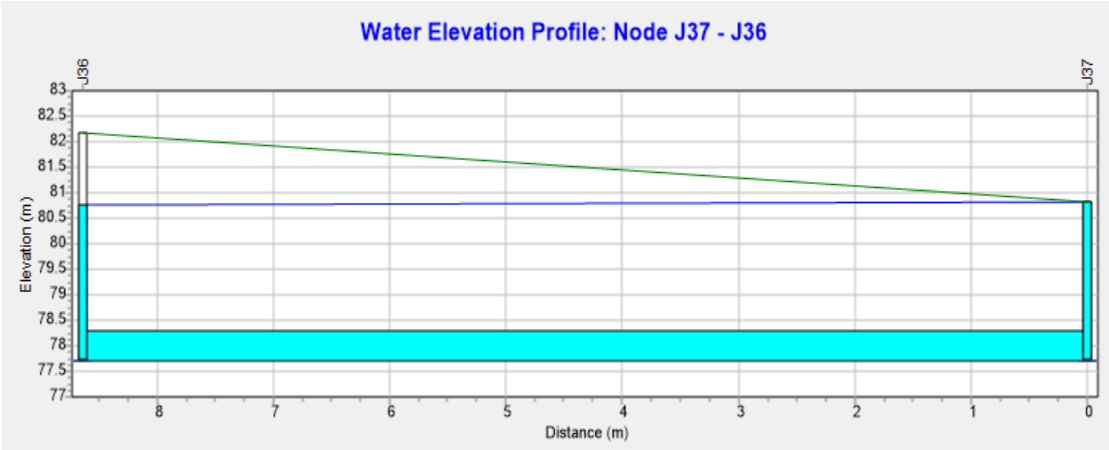
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	45.31 mm
Διήθηση	2.75mm
Χρόνος αιχμής	00:35:00

Και στην προσομοίωση του τρίτου σεναρίου για διάρκεια βροχόπτωσης 1h και περίοδο επαναφοράς 50 ετών έχουμε κατά κύριο λόγο πλήρωση των αγωγών. Το πρόβλημα εμφανίζεται στους ίδιους αγωγούς όπως στα προηγούμενα σενάρια με μεγαλύτερη διάρκεια εμφάνισης παροχής υψηλότερης από την πλήρη κανονική.

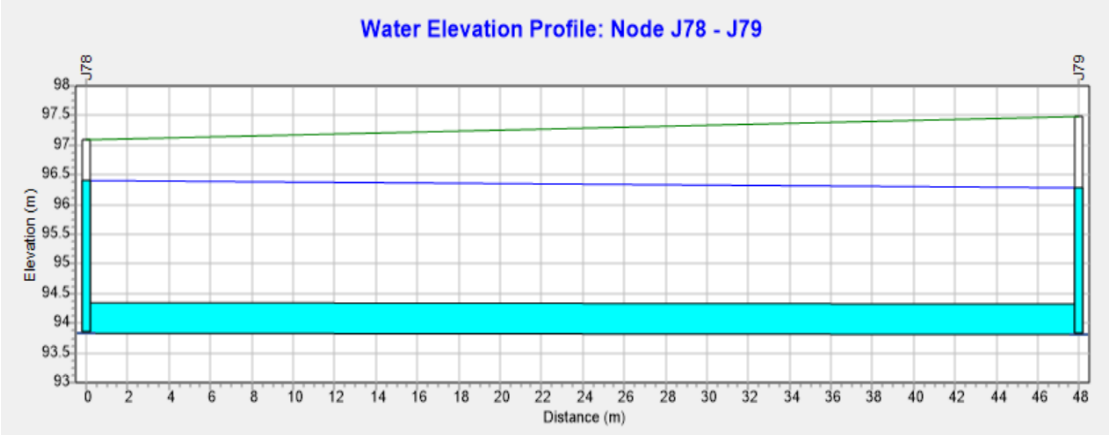
Πίνακας 5.22: Κρίσιμοι αγωγοί Σεναρίου 3

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Αγωγός	**Hours Above Normal Flow**
23	0.48
32	1.42
64	0.51
73	0.78

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το προφίλ των δύο από των τεσσάρων αυτών αγωγών (32,73) στις Εικόνες 5.39 και 5.40. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις μόνο το ανάντη φρεάτιο του αγωγού 32 έχει πλημμυρίσει.



Εικόνα 5.39: Προφίλ αγωγού 32 την χρονική στιγμή αιχμής.



Εικόνα 5.40: Προφίλ αγωγού 73 την χρονική στιγμή αιχμής.

<u>Σενάριο 0</u>

Για διάρκεια βροχής μια ώρα και περίοδο επαναφοράς 50 ετών παρατηρείται πλήρωση του δικτύου και στην περίπτωση του Σεναρίου 0. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 5.23.

Πίνακας 5.23: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 1h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	45.31 mm
Διήθηση	0:52mm
Χρόνος αιχμής	00:34:30

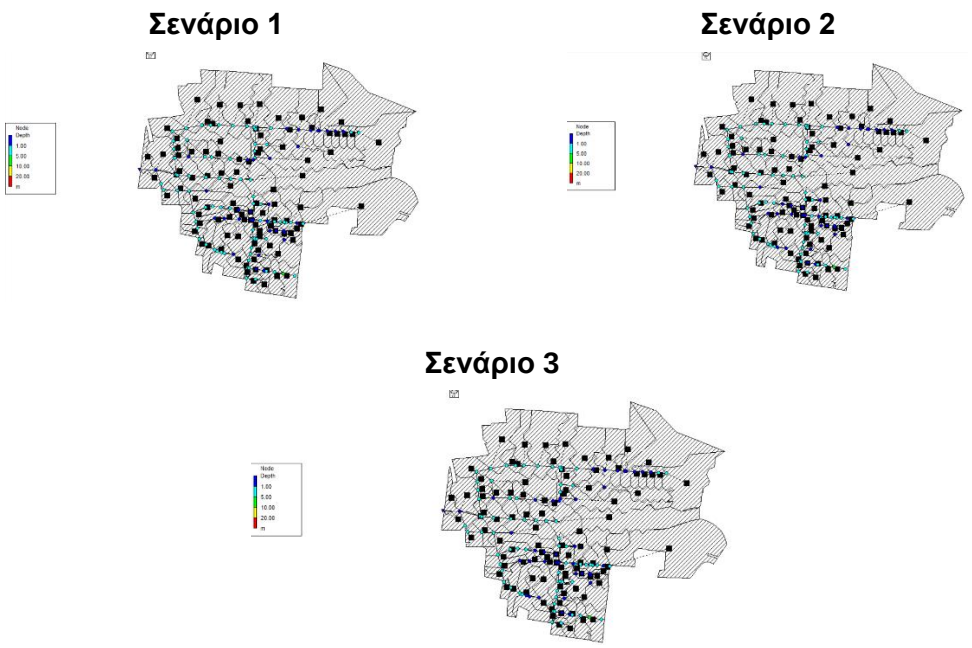
Οι κρίσιμοι αγωγοί του Σεναρίου 0 φαίνονται στον Πίνακα 5.24.

Πίνακας 5.24: Κρίσιμοι αγωγοί Σεναρίου 0

ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Αγωγός	**Hours Above Normal Flow**
23	0.48
32	1.05
64	0.51
73	0.77

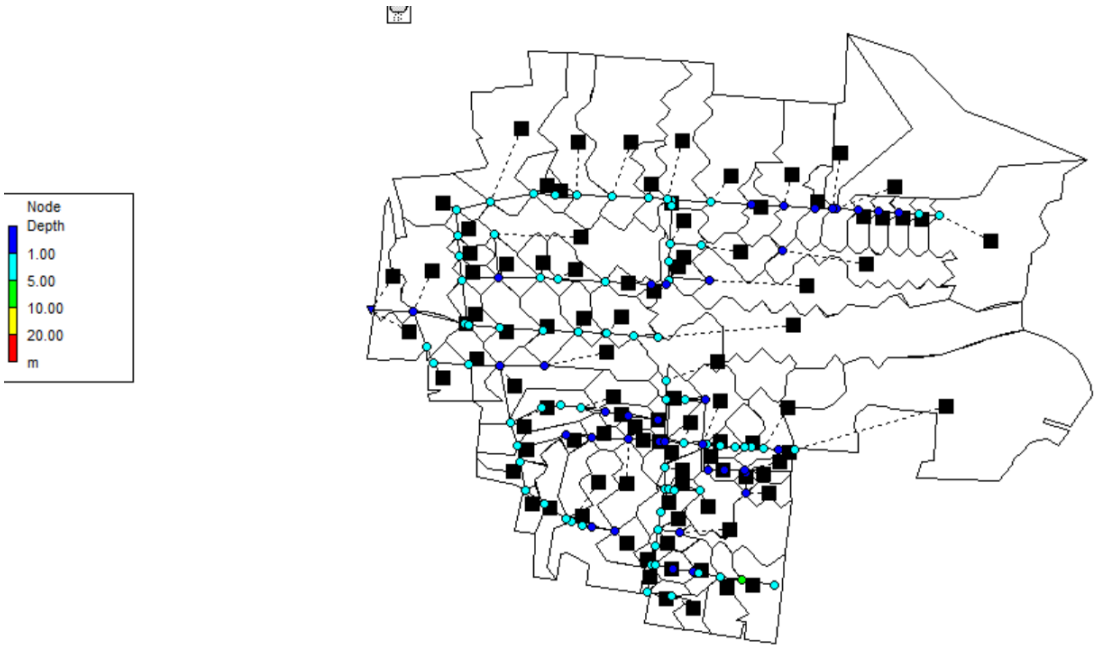
<u>Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=1h,T=50έτη)</u>

Στην περίπτωση βροχόπτωσης 1h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών σεναρίων. Το μεγαλύτερο πρόβλημα για τη συγκεκριμένη βροχόπτωση είναι η πλήρωση των αγωγών η οποία δημιούργει προβλήματα και καθιστά το δίκτυο ανεπαρκές στην περίπτωση και των τριών σεναρίων. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το βάθος νερού στα φρεάτια τη χρονική στιγμή αιχμής και για τα 3 σενάρια (Εικόνα 5.41). Όπως είναι εύκολο να παρατηρήσουμε δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες διαφορές.



Εικόνα 5.41: Βάθος νερού στην περίπτωση των τριών σεναρίων (t=1h,T=50έτη).

Στη συνέχεια παρατίθεται και η Εικόνα 5.42 με το βάθος νερού των φρεατίων του Σεναρίου 0. Οι διαφορές με το Σενάριο 3 φαίνονται ελάχιστες με το φρεάτιο J47 να έχει μικρότερο βάθος στο Σενάριο 0 και τα J101 και J81 στο Σενάριο 3. Με το Σενάριο 2, οι διαφορές εντοπίζονται στα φρεάτια J2 και J47 τα οποία έχουν μικρό βάθος στο Σενάριο 2 και 0, αντίστοιχα. Στις διαφορές με το Σενάριο 1 προστίθεται και το J100, το οποίο φαίνεται να έχει μεγαλύτερο βάθος στο 1ο Σενάριο.



Εικόνα 5.42: Βάθος νερού στην περίπτωση του Σεναρίου 0 (t=1h,T=50έτη).

5.1.2 Βροχή διάρκειας 2h

Στη συνέχεια περιγράφονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και για περιόδους επαναφοράς T=5 έτη και T=10 έτη για τα τρία σενάρια προσομοίωσης καθώς και το Σενάριο 0.

5.1.2.1 Περίοδος επαναφοράς T=5 έτη

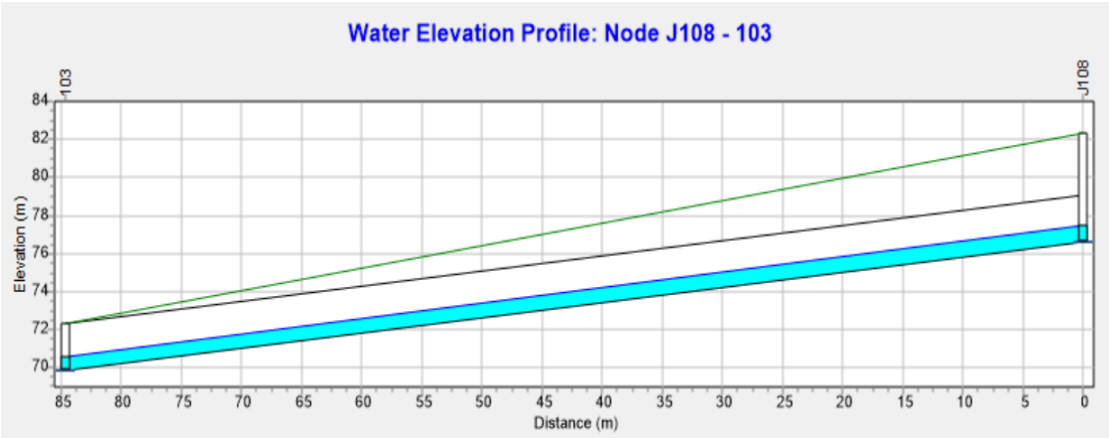
Σενάριο 1

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το σενάριο 1, δηλαδή το σενάριο χαμηλών τιμών παραμέτρων, φαίνονται στον Πίνακα 5.25. Το δίκτυο σε αυτή τη περίπτωση είναι επαρκές και παροχετεύει το σύνολο της απορροής του δικτύου.

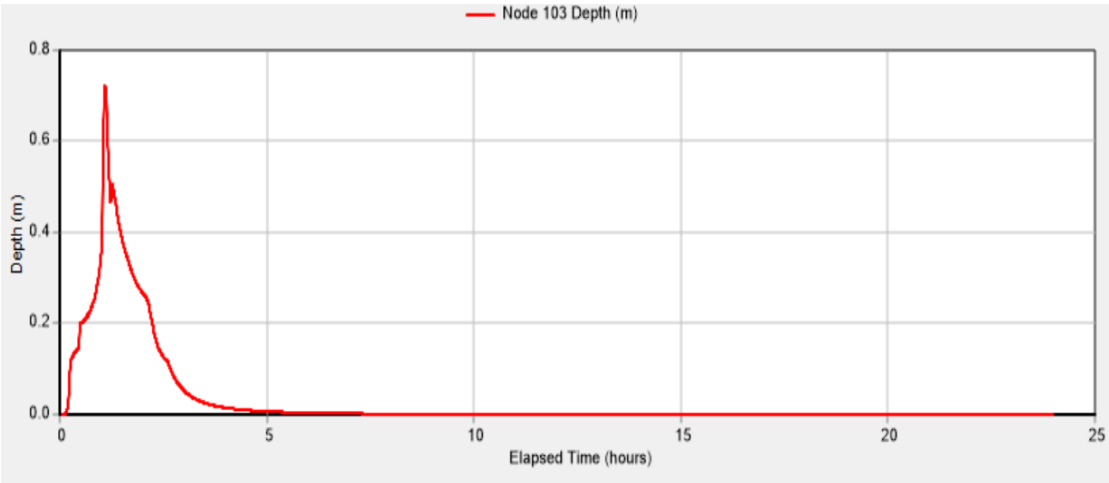
Πίνακας 5.25: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	29.04 mm
Διήθηση	2.2mm
Χρόνος αιχμής	01:05:30

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ροή του αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή αιχμής στην Εικόνα 5.43 και το υδρογράφημα του φρεατίου εκβολής στην Εικόνα 5.44.



Εικόνα 5.43: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής για το Σενάριο 1 (T=5,t=2).



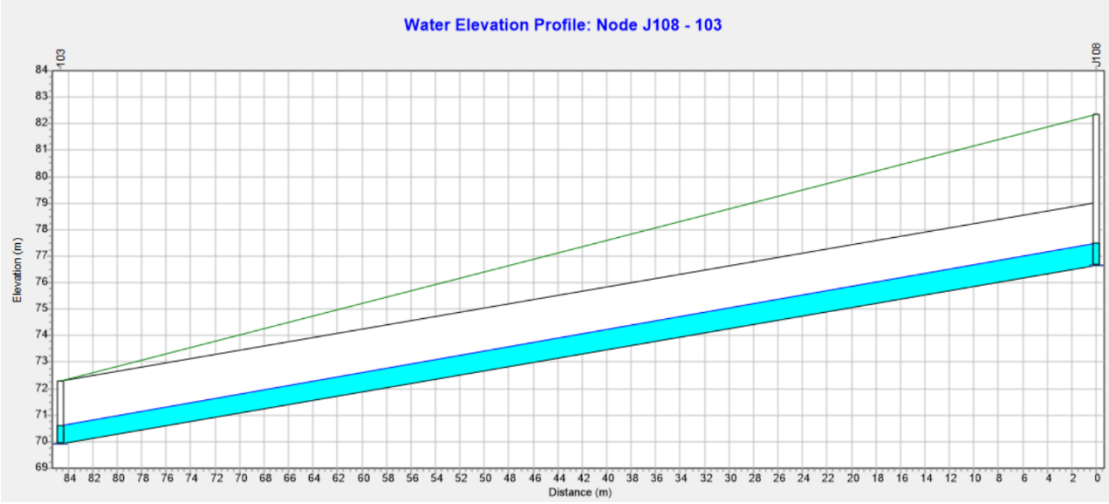
Εικόνα 5.44: Υδρογράφημα φρεατίου εκβολής για το Σενάριο 1 (T=5,t=2).

<u>Σενάριο 2</u>

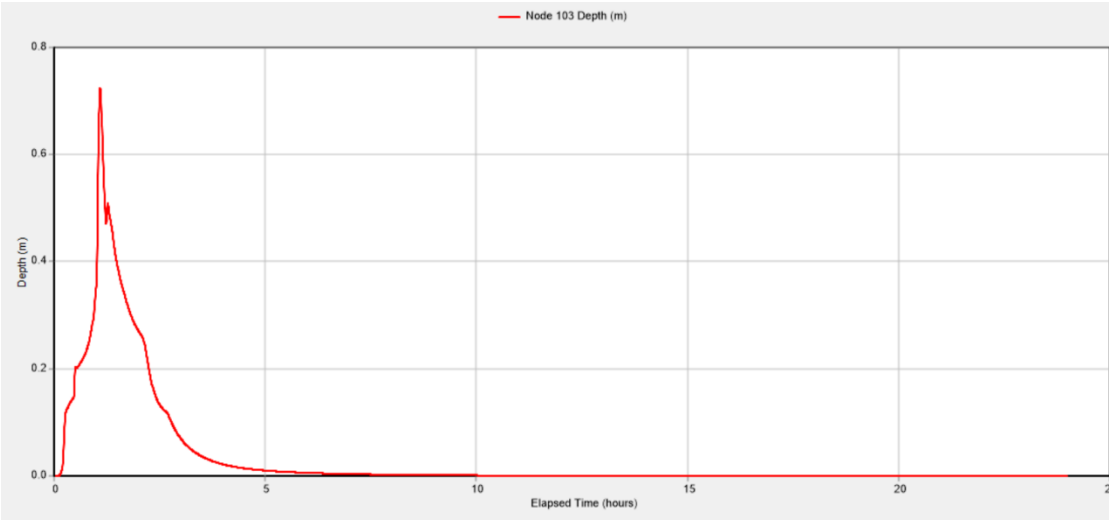
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σενάριο 2, φαίνονται στον Πίνακα 5.26. Το δίκτυο και σε αυτή τη περίπτωση είναι επαρκές και παροχετεύει το σύνολο της απορροής του δικτύου. Στη συνέχεια παρατίθεται η ροή του αγωγού εκβολής καθώς και το υδρογράφημα στο σημείο εκβολής (Εικόνες 5.45 και 5.46 αντίστοιχα).

Πίνακας 5.26: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	29.04 mm
Διήθηση	2.2mm
Χρόνος αιχμής	01:05:30



Εικόνα 5.45: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής για το Σενάριο 2 (T=5,t=2).



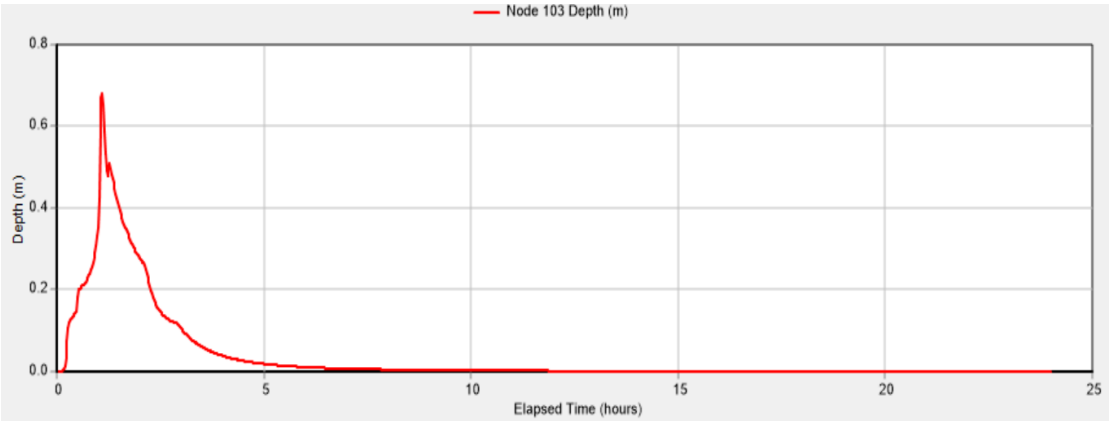
Εικόνα 5.46: Υδρογράφημα φρεατίου εκβολής για το Σενάριο 2 (T=5,t=2).

<u>Σενάριο 3</u>

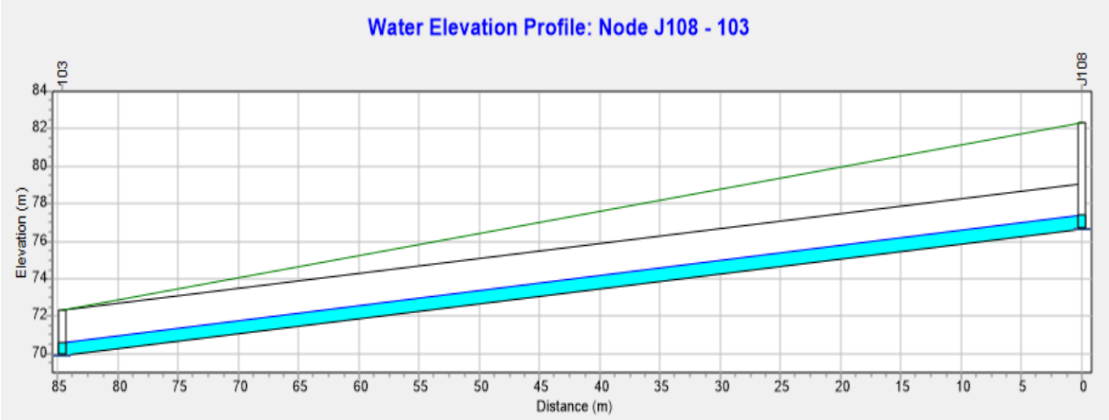
Και σε αυτή την περίπτωση δεν εμφανίζονται γεγονότα πλημμύρας. Στον Πίνακα 5.27 Φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, στην Εικόνα 5.47 το υδρογράφημα του κόμβου εκβολής και στην Εικόνα 5.48 το προφίλ του αγωγού εκβολής.

Πίνακας 5.27: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	29.04 mm
Διήθηση	2.2mm
Χρόνος αιχμής	01:05:00



Εικόνα 5.47: Υδρογράφημα φρεατίου εκβολής για το Σενάριο 3 (T=5,t=2).



Εικόνα 5.48: Προφίλ αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή αιχμής για το Σενάριο 3 (T=5,t=2).

<u>Σενάριο 0</u>

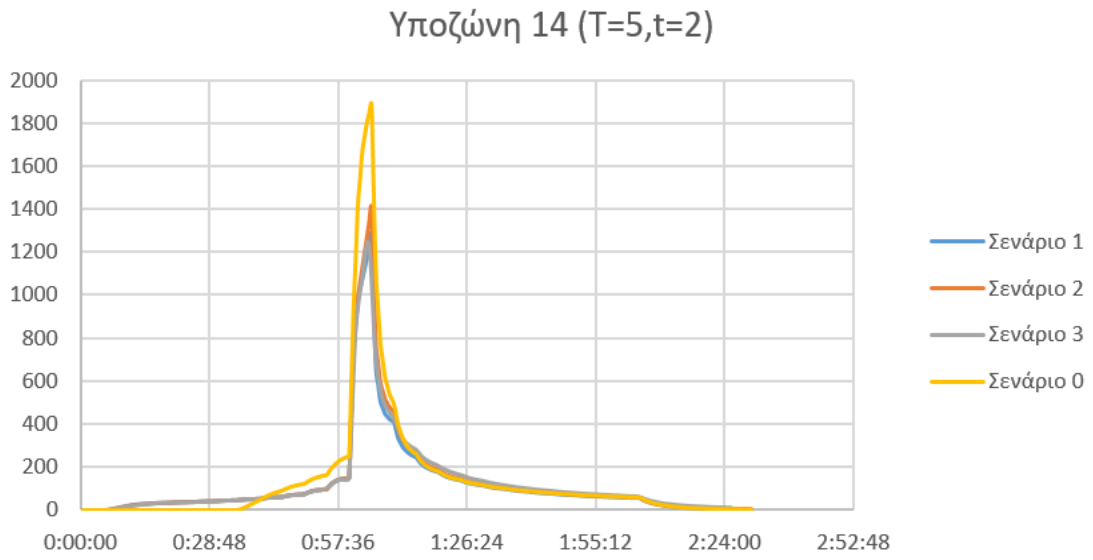
Και στην περίπτωση του αδρομερούς Σεναρίου 0, το σύστημα είναι επαρκές και χωρίς γεγονότα πλημμύρας. Συνοπτικά παρατίθενται τα αποτελέσματα στον Πίνακα 5.28.

Πίνακας 5.28: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

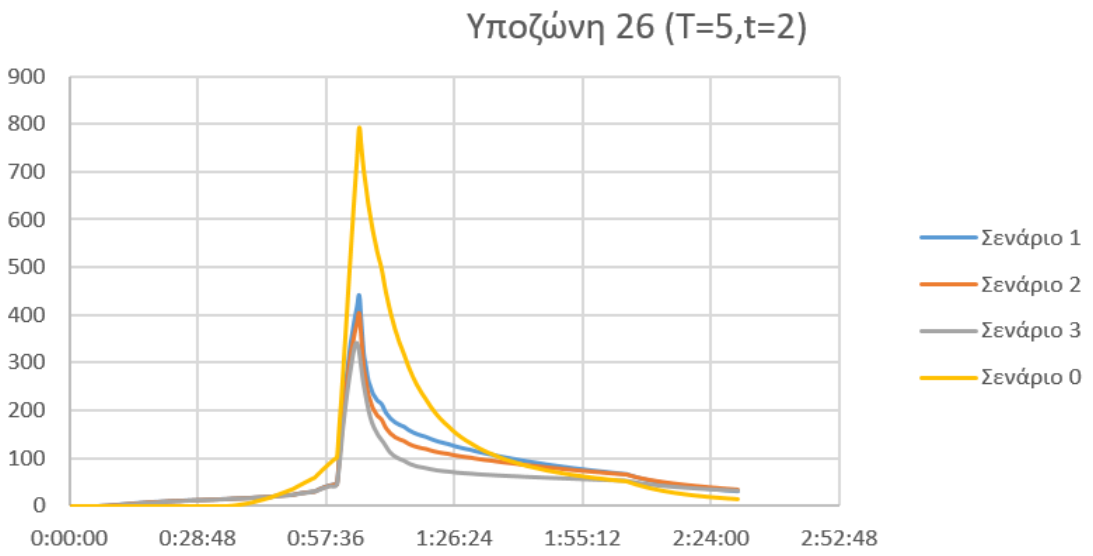
ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	29.04 mm
Διήθηση	20.48mm
Χρόνος αιχμής	01:05:00

Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=2h,T=5 έτη)

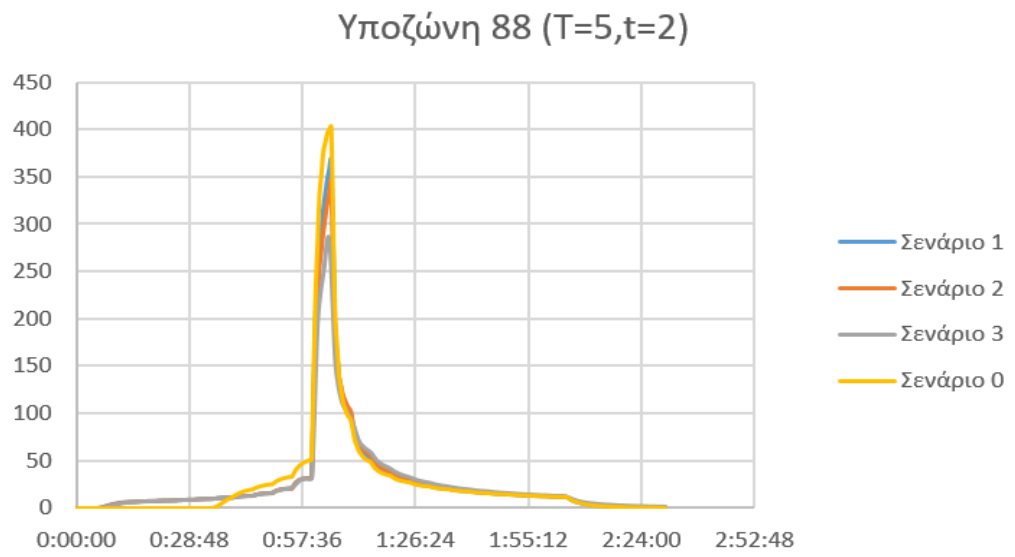
Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων των 4 σεναρίων θα χρησιμοποιηθούν οι υπολεκάνες 14,88 και 26 του συστήματος (Εικόνες 5.49, 5.50 και 5.51 αντίστοιχα).



Εικόνα 5.49: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=2h,T=5έτη).



Εικόνα 5.50: Απορροή της υπολεκάνης 26 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=2h,T=5έτη).



Εικόνα 5.51: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=2h,T=5έτη).

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα παρατηρείται μεγαλύτερος όγκος απορροής και για τις τρεις λεκάνες στο Σενάριο 0.

5.1.2.2 Περίοδος επαναφοράς T=10 έτη

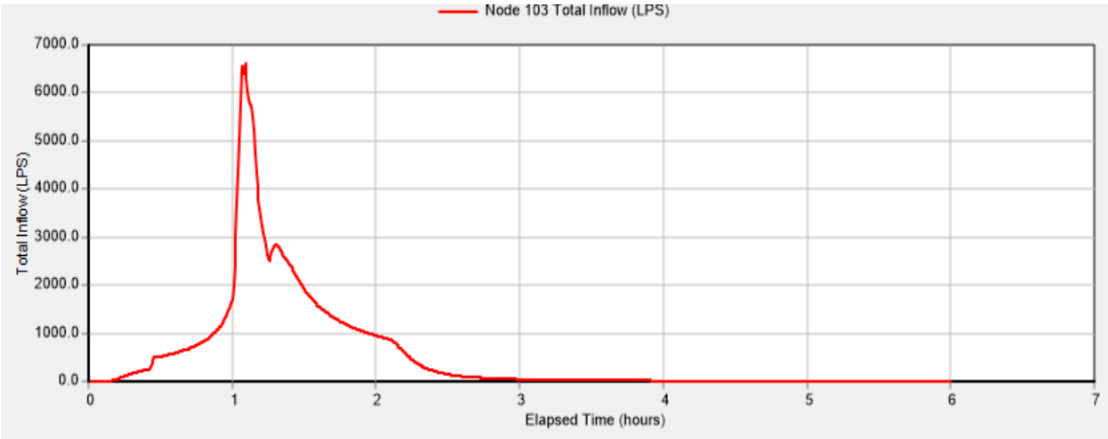
Σενάριο 1

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σενάριο 1, δηλαδή το σενάριο χαμηλών τιμών παραμέτρων, φαίνονται στον Πίνακα 5.29. Το δίκτυο σε αυτή τη περίπτωση είναι επαρκές.

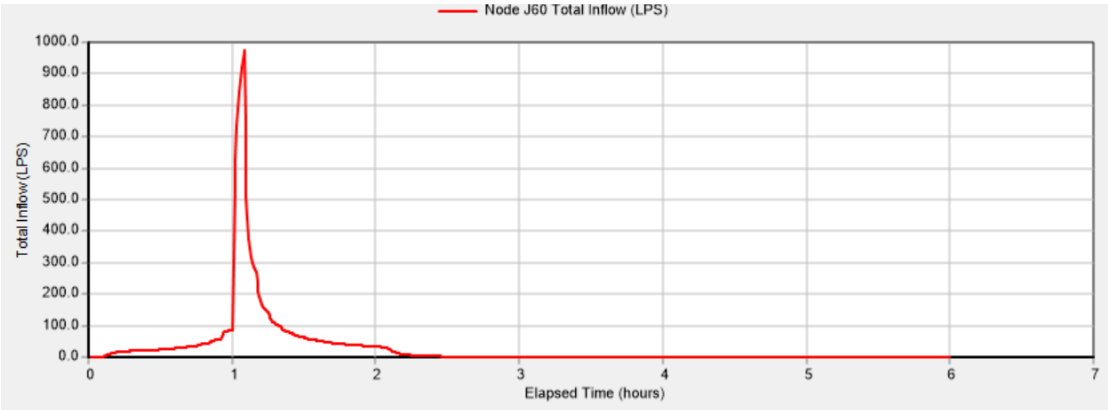
Πίνακας 5.29: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	35.16 mm
Διήθηση	2.4 mm
Χρόνος αιχμής	01:05:30

Στις Εικόνες 5.52 και 5.53 απεικονίζονται ενδεικτικά τα υδρογραφήματα που αντιστοιχούν στο φρεάτιο εκβολής (103) και το φρεάτιο J60.

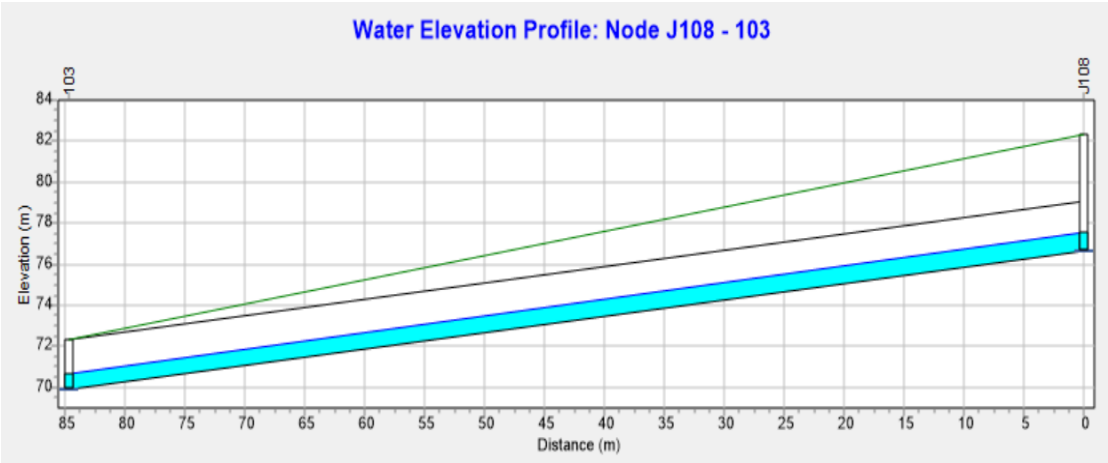


Εικόνα 5.52: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη.



Εικόνα 5.53: Ολική εισροή στο φρεάτιο J60για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ροή του αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή αιχμής (Εικόνα 5.54).



Εικόνα 5.54: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 1 (T=10,t=2).

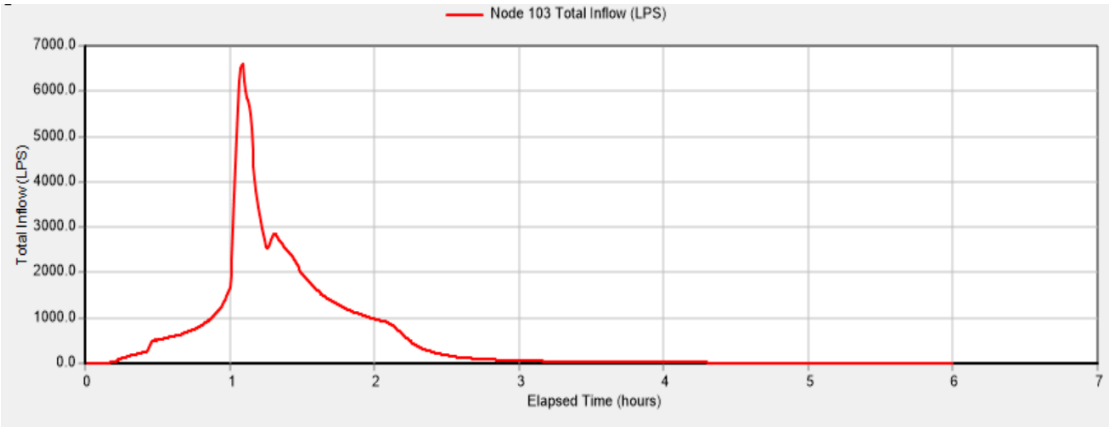
Σενάριο 2

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σενάριο 2, δηλαδή το σενάριο μεσαίων τιμών παραμέτρων, φαίνονται στον Πίνακα 5.30. Και σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο επαρκεί.

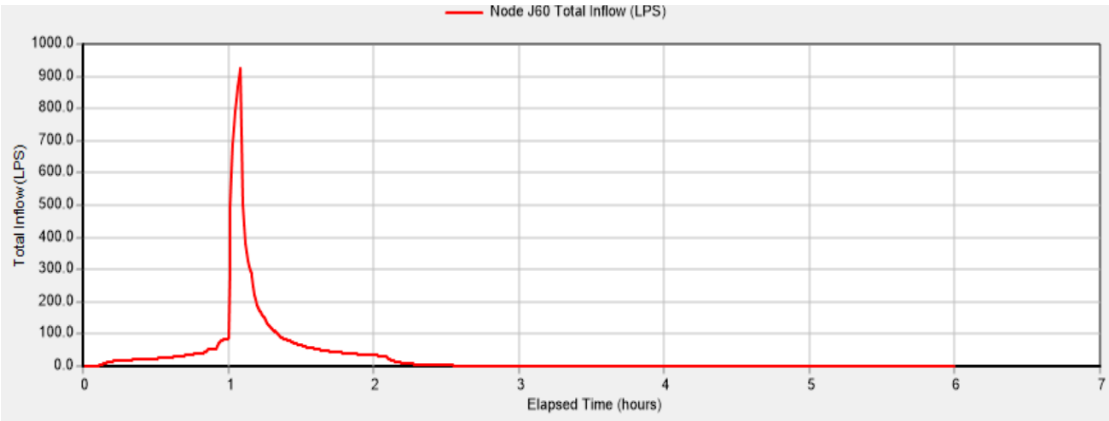
Πίνακας 5.30: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	35.16 mm
Διήθηση	2.6 mm
Χρόνος αιχμής	01:05:30

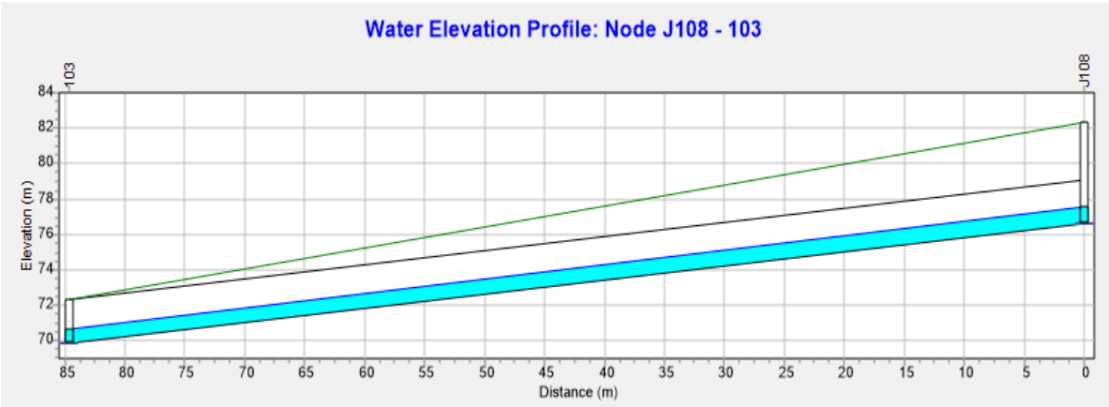
Το υδρογράφημα για το φρεάτιο εκβολής, το φρεάτιο J60 καθώς και το προφίλ του αγωγού εκβολής την χρονική στιγμή της αιχμής φαίνονται στη συνέχεια (Εικόνες 5.55, 5.56 και 5.57 αντίστοιχα).



Εικόνα 5.55: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη.



Εικόνα 5.56: Ολική εισροή στο φρεάτιο J60για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη.



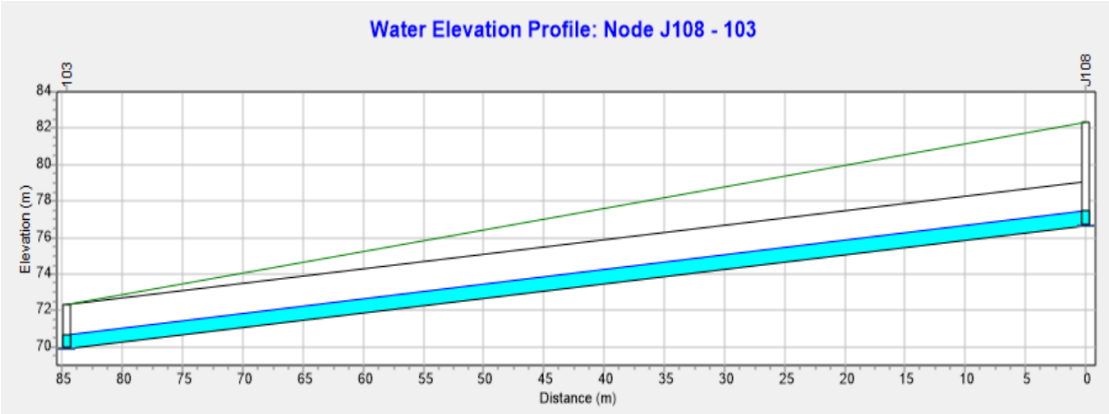
Εικόνα 5.57: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής.

<u>Σενάριο 3</u>

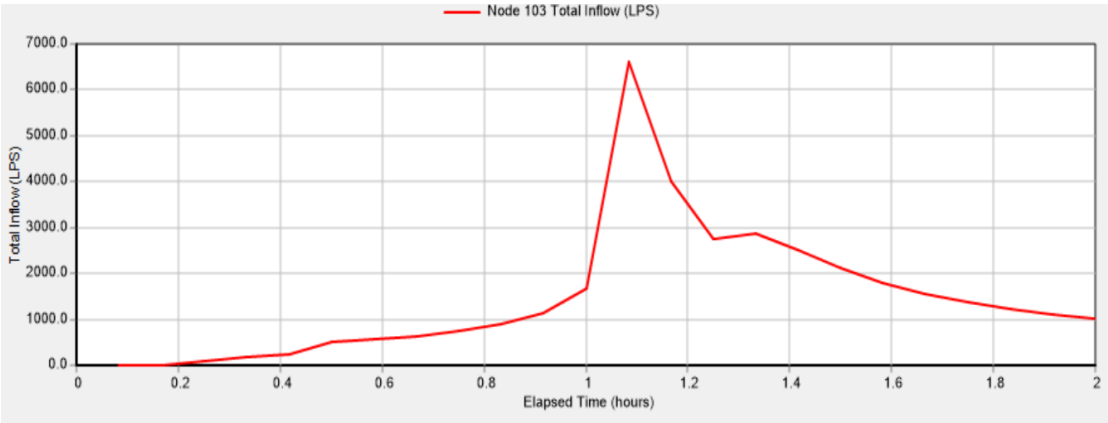
Και στην περίπτωση του Σεναρίου 3 το αποχετευτικό δίκτυο είναι επαρκές και αποχετεύει πλήρως την συγκεκριμένη απορροή. Επιπλέον κανένας κόμβος του δικτύου δεν πλημμυρίζει. Στη συνέχεια παρατίθενται τα συνοπτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης (Πίνακας 5.31), το προφίλ του αγωγού εκβολής (Εικόνα 5.58) καθώς και τα υδρογραφήματα του φρεατίου εκβολής (Εικόνα 5.59) και του φρεατίου J60 (Εικόνα 5.60).

Πίνακας 5.31: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

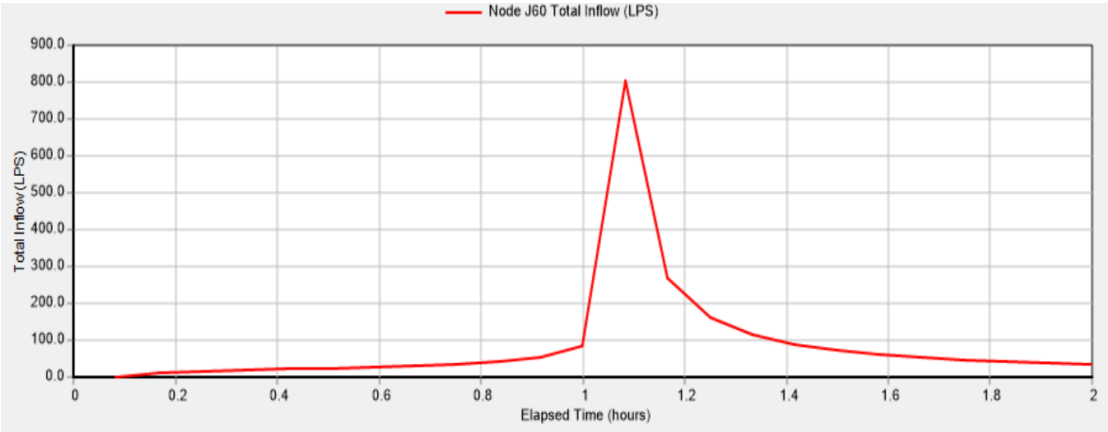
ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	34.75 mm
Διήθηση	2.4 mm
Χρόνος αιχμής	01:05:00



Εικόνα 5.58: Ροή αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 3 (T=10,t=2).



Εικόνα 5.59: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη.



Εικόνα 5.60: Ολική εισροή στο φρεάτιο J60για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη.

<u>Σενάριο 0</u>

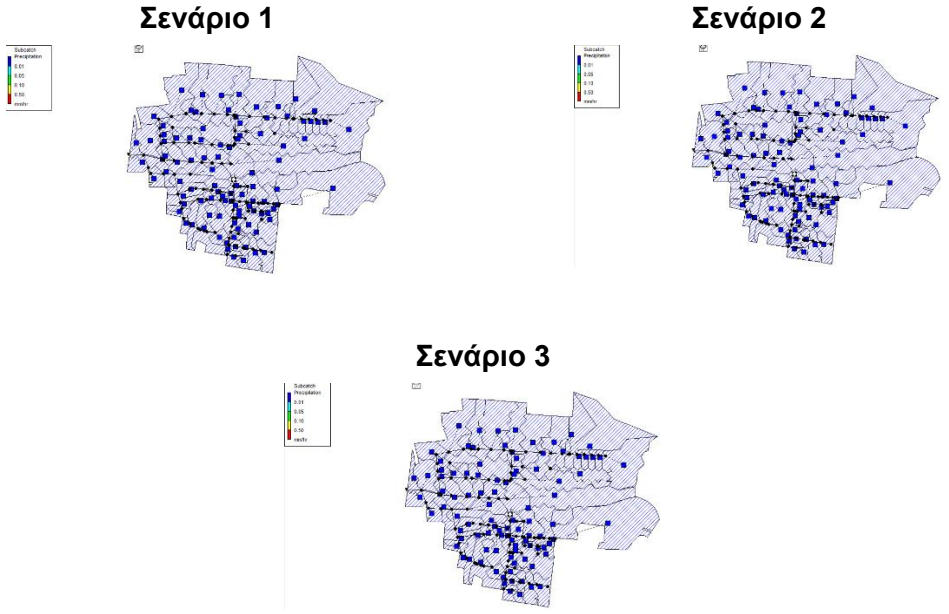
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σενάριο 0, δηλαδή το αδρομερές σενάριο, φαίνονται στον Πίνακα 5.32. Και σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο επαρκεί.

Πίνακας 5.32: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 2h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

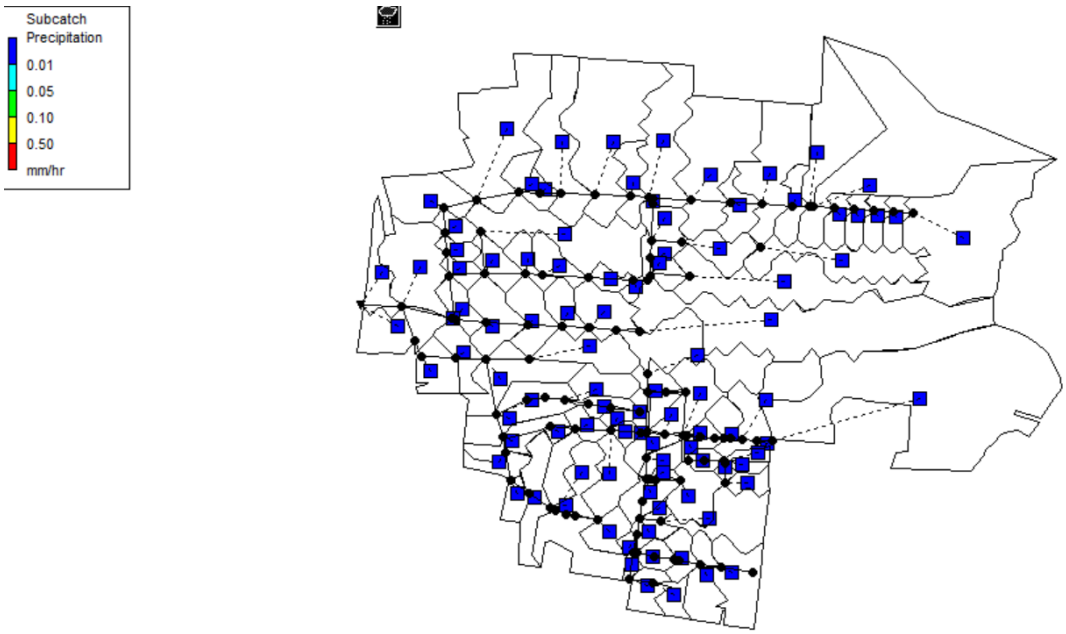
ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	35.16 mm
Διήθηση	0.48 mm
Χρόνος αιχμής	01:05:30

Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=2h,T=10έτη)

Από τους πίνακες είναι εμφανές πως και σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται μικρές διαφορές μεταξύ των τριών σεναρίων για τη βροχόπτωση 2h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών. Είναι γεγονός, πως σε καμία από τις τρεις περιπτώσεις δεν παρατηρείται πρόβλημα στο δίκτυο καθώς τα αποτελέσματα για την επάρκεια του δικτύου ταυτίζονται. Στην Εικόνα 5.61 παρουσιάζεται η βροχόπτωση ανά υπολεκάνη του δικτύου για την περίπτωση των 3 σεναρίων. Και σε αυτή την εικόνα παρατηρείται σύμπνοια των τριών σεναρίων προσομοίωσης. Τέλος, στην Εικόνα 5.62 παρατίθεται η βροχή για το Σενάριο 0 την ίδια χρονική στιγμή. Είναι εμφανής η σύγκλιση και με αυτό το Σενάριο.



Εικόνα 5.61: Βροχόπτωση ανά υπολεκάνη για τα τρία σενάρια προσομοίωσης (T=10,t=2).



Εικόνα 5.62: Βροχόπτωση ανά υπολεκάνη για το Σενάριο 0 (T=10,t=2).

5.1.3 Βροχή διάρκειας 6h

Στη παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και για περιόδους επαναφοράς T=5, T=10, T=20, T=25 και T=50 έτη.

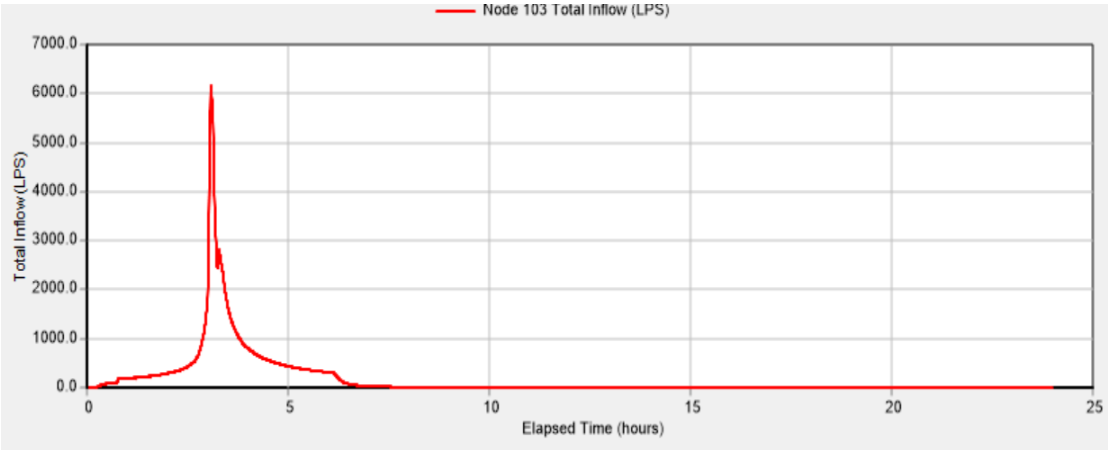
5.1.3.1 Περίοδος επαναφοράς T=5 έτη

Σενάριο 1

Η προσομοίωση του αποχετευτικού δικτύου με το λογισμικό SWMM, για βροχή σχεδιασμού 6 h και περίοδο επαναφοράς 5 ετών έδωσε τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.33. Το σύστημα και σε αυτήν την περίπτωση είναι επαρκές και αποχετεύει πλήρως την απορροή η οποία προκαλείται από τη συγκεκριμένη βροχόπτωση. Το υδρογράφημα στον κόμβο εξόδου φαίνεται στην Εικόνα 5.63.

Πίνακας 5.33: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	39.28 mm
Διήθηση	2.4 mm
Χρόνος αιχμής	03:05:25



Εικόνα 5.63: Ολική εισροή στο φρεάτιο εξόδου για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη για το Σενάριο 1.

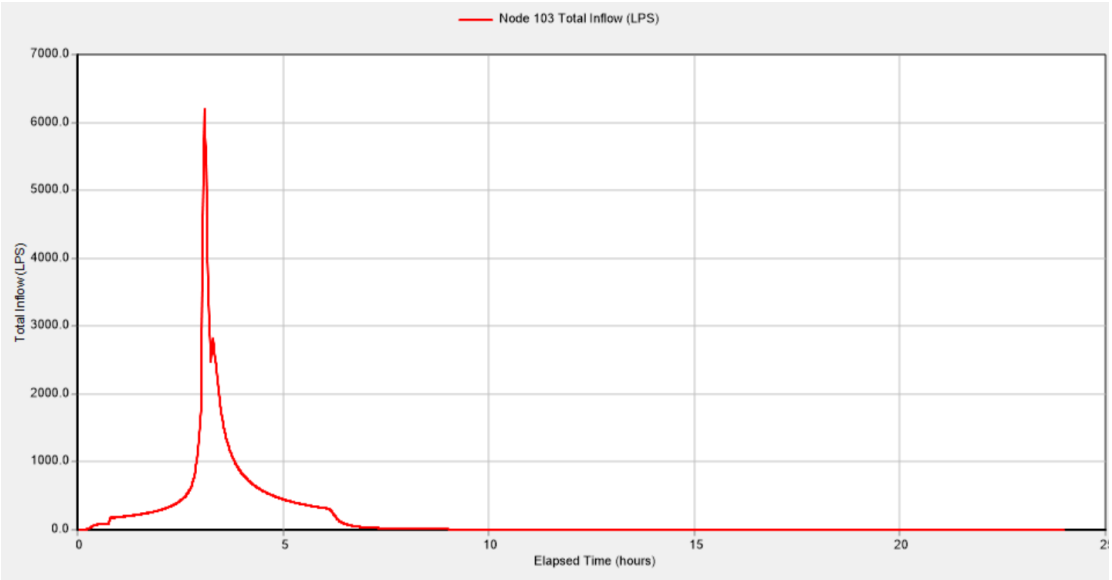
<u>Σενάριο 2</u>

Για μία ακόμη φορά τα αποτελέσματα των δύο σεναρίων μοιάζουν αισθητά. Και στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου παρατηρούνται φαινόμενα πλημμύρας και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρατίθενται στον Πίνακα 5.34 που ακολουθεί.

Πίνακας 5.34: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	39.28 mm
Διήθηση	2.4 mm
Χρόνος αιχμής	03:05:25

Στη συνέχεια επισυνάπτεται το υδρογράφημα του φρεατίου εκβολής (Εικόνα 5.64).



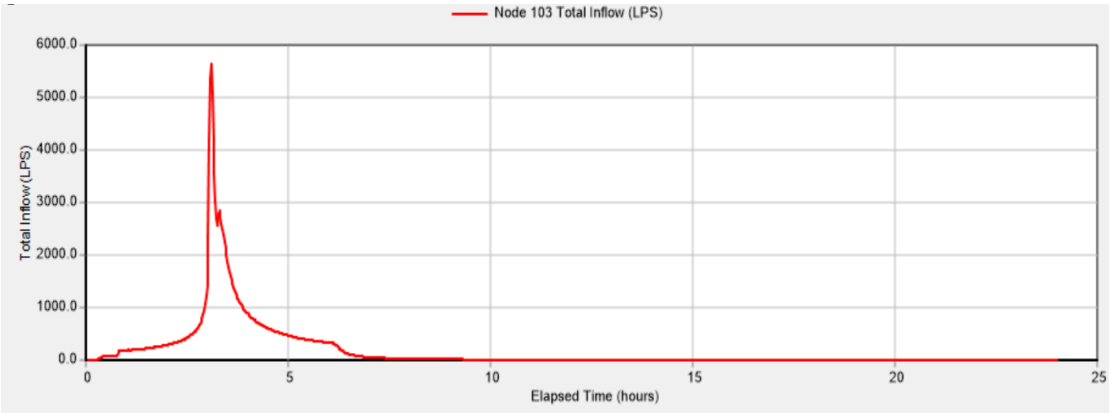
Εικόνα 5.64: Ολική εισροή στο φρεάτιο εξόδου για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς Τ=5 έτη για το Σενάριο 2.

<u>Σενάριο 3</u>

Το σύστημα είναι επαρκές και σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον Πίνακα 5.35 και το υδρογράφημα του κόμβου εκβολής στην Εικόνα 5.65.

Πίνακας 5.35: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	39.28 mm
Διήθηση	2.4 mm
Χρόνος αιχμής	03:05:00



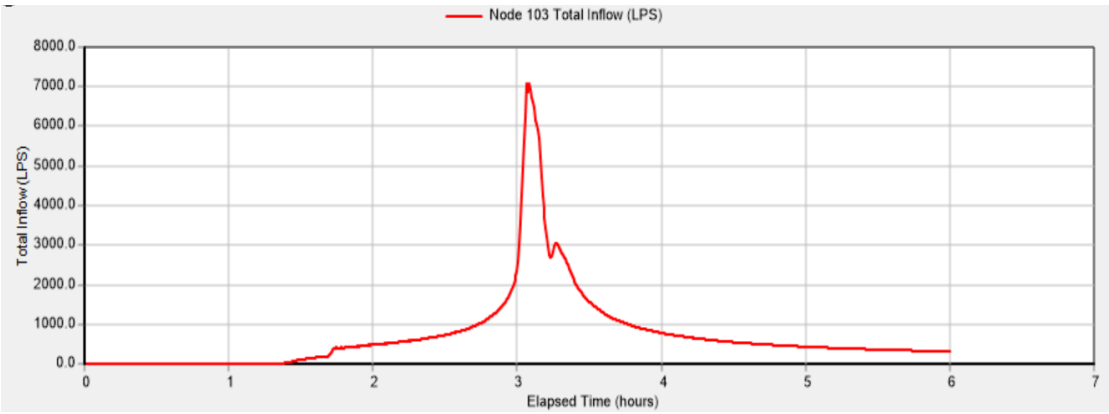
Εικόνα 5.65: Ολική εισροή στο φρεάτιο εξόδου για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς Τ=5 έτη για το Σενάριο 3.

Σενάριο 0

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σενάριο 0, δηλαδή το αδρομερές σενάριο, φαίνονται στον Πίνακα 5.36. Και σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο επαρκεί.

Πίνακας 5.36: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

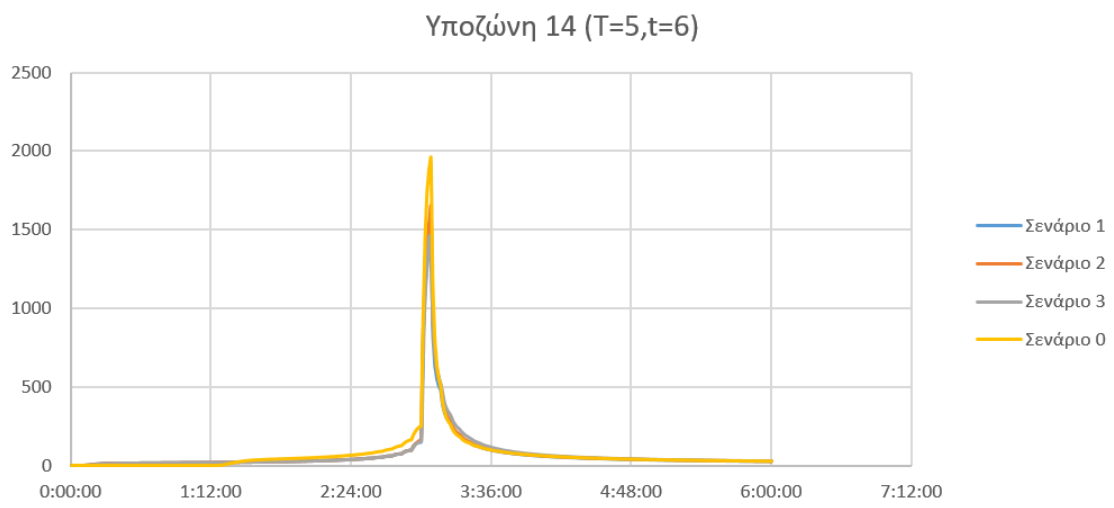
ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	39.28 mm
Διήθηση	0.46 mm
Χρόνος αιχμής	03:05:30



Εικόνα 5.66: Ολική εισροή στο φρεάτιο εξόδου για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=5 έτη για το Σενάριο 0.

Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=6h,T=5έτη)

Από τους πίνακες είναι εμφανές πως και σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται μικρές διαφορές μεταξύ των τριών σεναρίων για τη βροχόπτωση 6h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Είναι γεγονός, πως σε καμία από τις τρεις περιπτώσεις δεν παρατηρείται πρόβλημα στο δίκτυο καθώς τα αποτελέσματα για την επάρκεια του δικτύου ταυτίζονται. Για να γίνει παραστατικά η σύγκριση με το Σενάριο 0 χρησιμοποιείται η απορροή της υπολεκάνης 14 (Εικόνα 5.67). Στην Εικόνα αυτή παρατηρείται μια σύγκλιση των σεναρίων αλλά σίγουρα η απορροή στο Σενάριο 0 είναι εμφανώς μεγαλύτερη.



Εικόνα 5.67: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=6h,T=5έτη).

5.1.3.2 Περίοδος επαναφοράς T=10 έτη

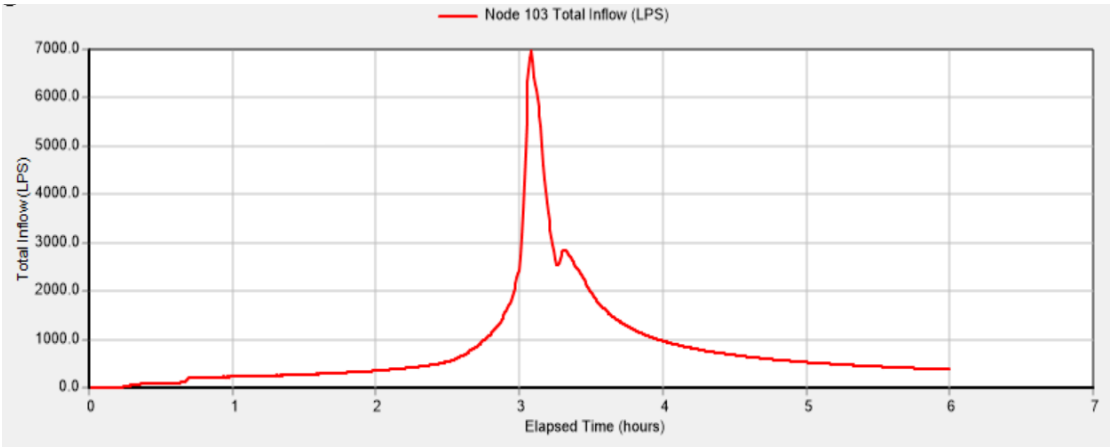
Σενάριο 1

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το σενάριο 1, δηλαδή το σενάριο χαμηλών τιμών παραμέτρων, φαίνονται στον Πίνακα 5.37. Το δίκτυο σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι επαρκές και δεν είναι ικανό να αποχετεύσει το σύνολο της απορροής. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ύπαρξη πλημμυρισμένων φρεατίων.

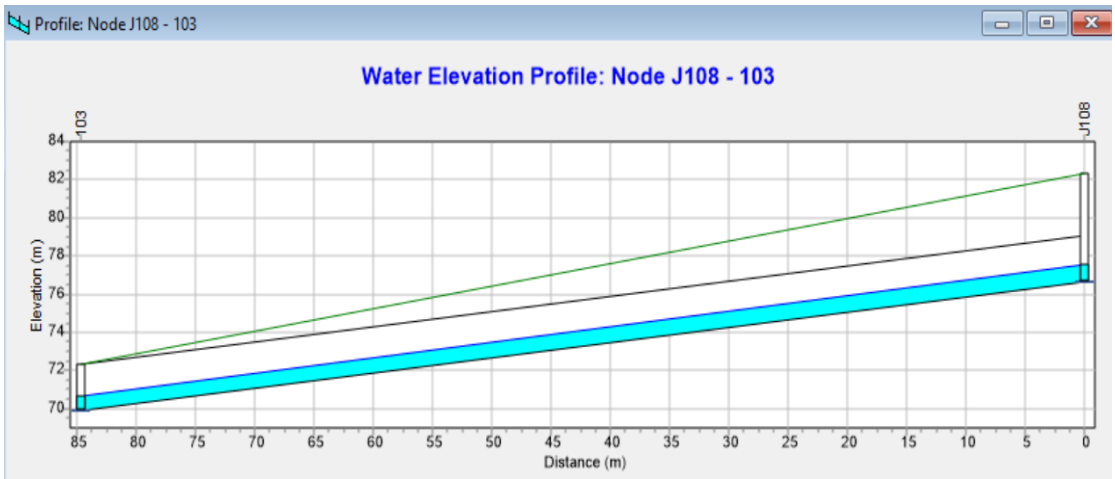
Πίνακας 5.37: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	47.38 mm
Διήθηση	2.5 mm
Χρόνος αιχμής	03:05:00

Στην Εικόνα 5.68 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής στην έξοδο του δικτύου και στην Εικόνα 5.69 το προφίλ του αγωγού εκβολής.



Εικόνα 5.68: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη για το Σενάριο 1.



Εικόνα 5.69: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 1 (T=10,t=2).

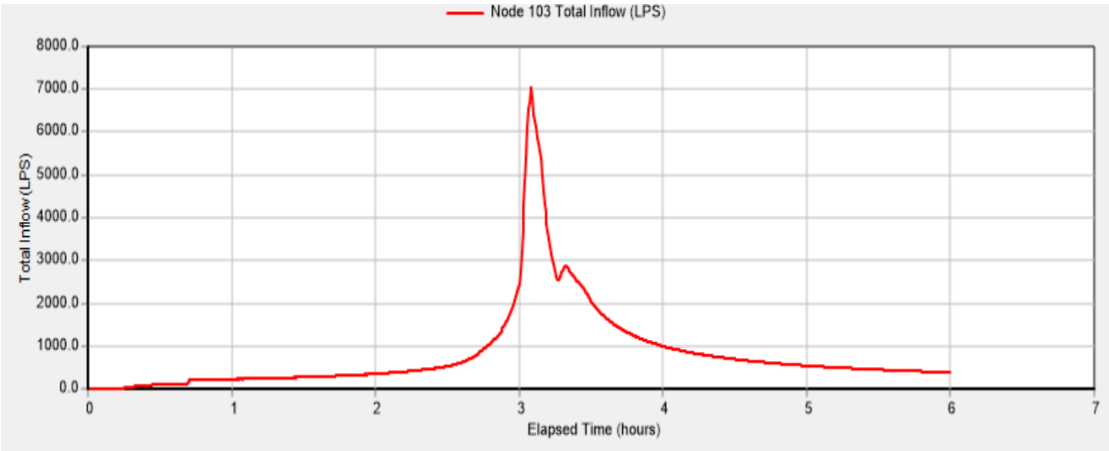
<u>Σενάριο 2</u>

Για μία ακόμη φορά τα αποτελέσματα των δύο σεναρίων μοιάζουν αισθητά. Και στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου παρατηρούνται φαινόμενα πλημμύρας και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρατίθενται στον Πίνακα 5.38 που ακολουθεί.

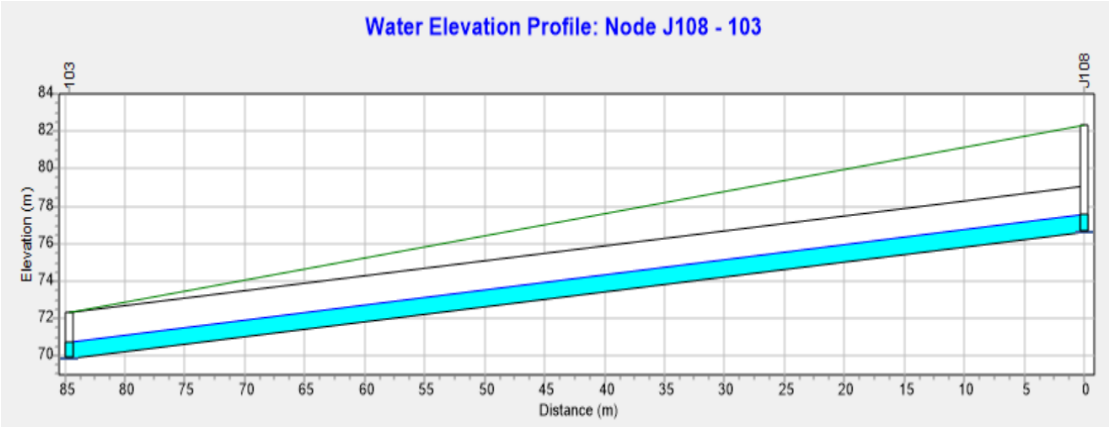
Πίνακας 5.38: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	47.38 mm
Διήθηση	2.5 mm
Χρόνος αιχμής	03:05:00

Στη συνέχεια επισυνάπτονται το υδρογράφημα του φρεατίου εκβολής καθώς και το προφίλ του αγωγού εκβολής του σεναρίου 2 για διάρκεια βροχόπτωσης 6h και περίοδο επαναφοράς 10 ετών (Εικόνες 5.70 και 5.71 αντίστοιχα).



Εικόνα 5.70: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη για το Σενάριο 2.



Εικόνα 5.71: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 2 (T=10,t=6).

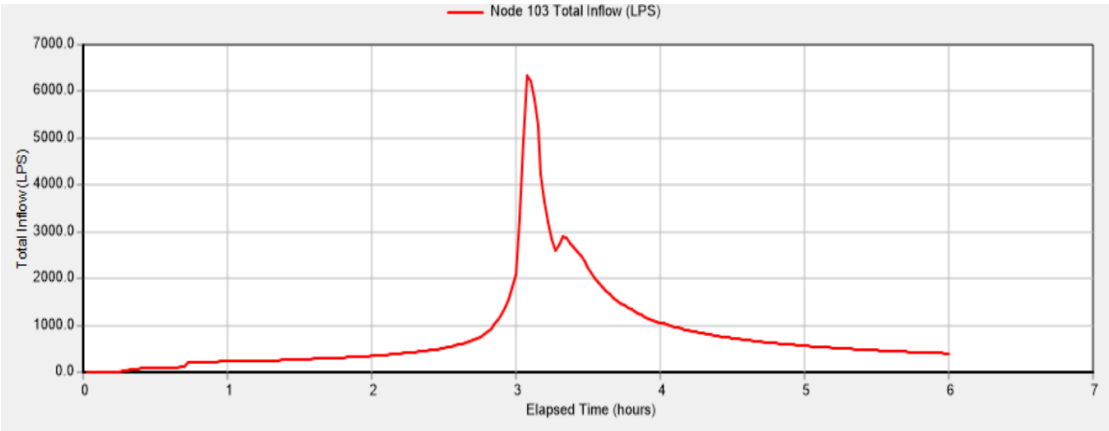
<u>Σενάριο 3</u>

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σενάριο 3, δηλαδή το σενάριο υψηλών τιμών παραμέτρων, φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.39.

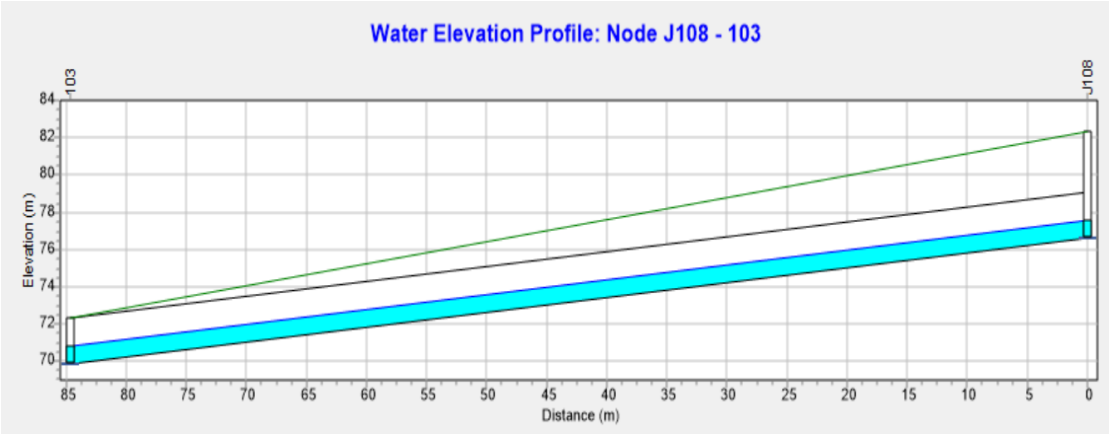
Πίνακας 5.39: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	47.10 mm
Διήθηση	2.92 mm
Χρόνος αιχμής	03:04:30

Το δίκτυο κρίνεται ανεπαρκές και σε αυτήν την περίπτωση με λιγότερα φαινόμενα πλημμύρας. Το υδρογράφημα του φρεατίου εκβολής καθώς και το προφίλ του αγωγού εκβολής του σεναρίου 3 για διάρκεια βροχόπτωσης 6h και περίοδο επαναφοράς 10 ετών φαίνονται στις Εικόνες 5.72 και 5.73.



Εικόνα 5.72: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=10 έτη για το Σενάριο 3.



Εικόνα 5.73: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 3 (T=10, t=6).

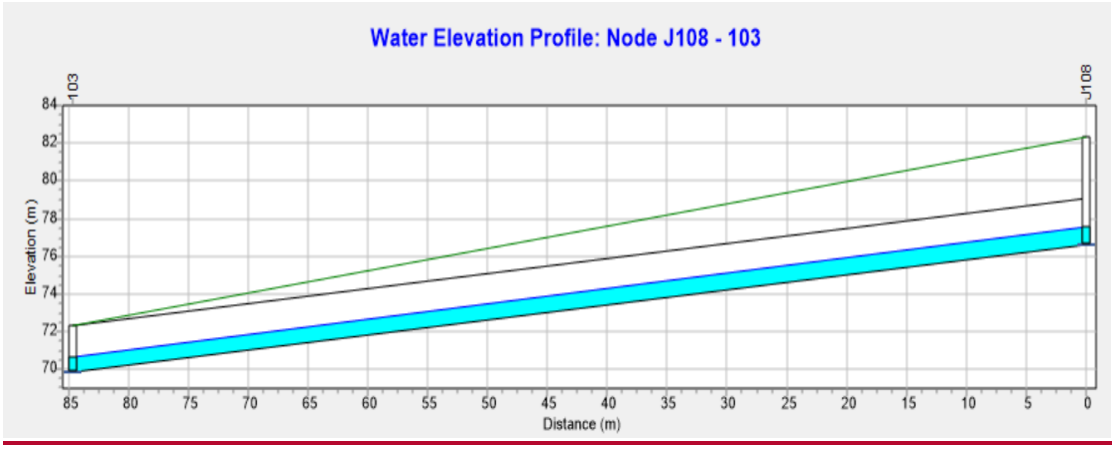
<u>Σενάριο 0</u>

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σενάριο 0, δηλαδή το αδρομερές σενάριο, φαίνονται στον Πίνακα 5.40. Και σε αυτήν την περίπτωση το δίκτυο επαρκεί. Το προφίλ του αγωγού εκβολής φαίνεται στην Εικόνα 5.74

Πίνακας 5.40: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 10 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	47.10 mm
Διήθηση	0.47 mm

Χρόνος αιχμής	03:05:30



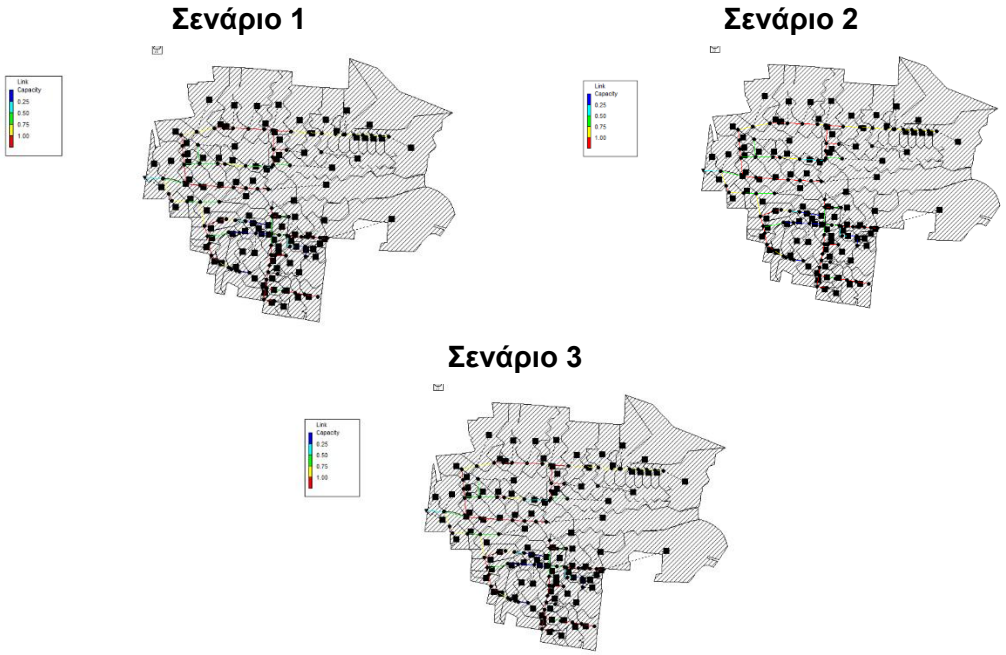
Εικόνα 5.74: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 0 (T=10, t=6).

<u>Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=6h,T=10έτη)</u>

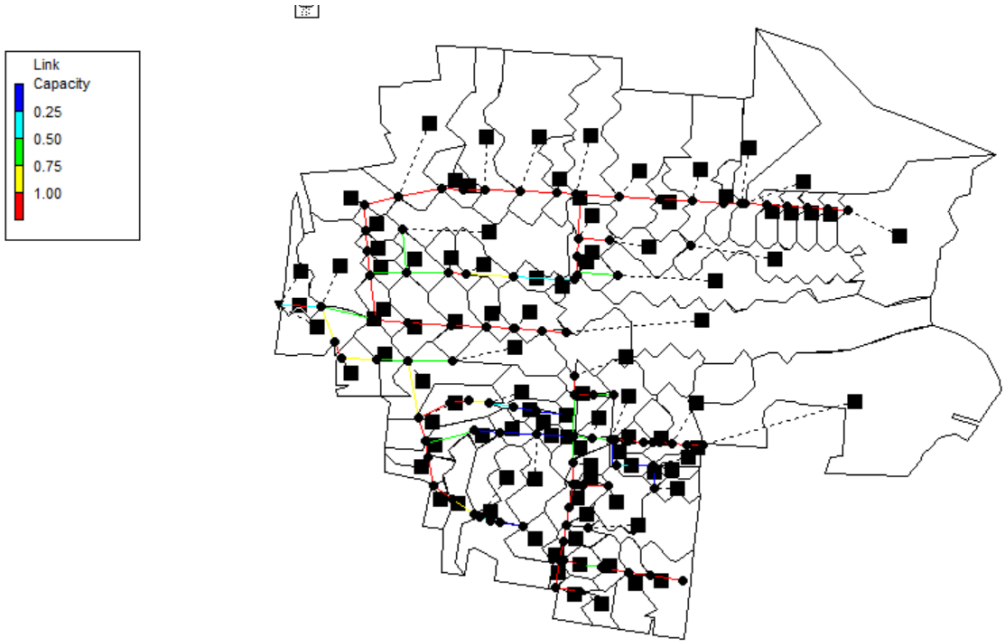
Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα αποτελέσματα όχι μόνο δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές αλλά τείνουν προς την ταύτιση. Αυτό είναι εμφανές από τους αντίστοιχους πίνακες των συνοπτικών αποτελεσμάτων αλλά κυρίως από τα υδρογραφήματα στο κόμβο εκβολής.

Σημαντικό ζήτημα είναι όμως πως και στις τρεις περιπτώσεις το αποχετευτικό σύστημα της Ζώνης Δ κρίνεται ανεπαρκές.

Στη συνέχεια δίνεται η χωρητικότητα των φρεατίων τη στιγμή αιχμής για τα τρία σενάρια προσομοιώσεων (Εικόνα 5.540). Οι μικρές διαφορές και σε αυτή την περίπτωση επιβεβαιώνουν τη σύγκλιση των τριών σεναρίων.



Εικόνα 5.75: Χωρητικότητα αγωγών για τα τρία σενάρια προσομοίωσης (T=10,t=6).



Εικόνα 5.76: Χωρητικότητα αγωγών για το Σενάριο προσομοίωσης 0 (T=10,t=6).

5.1.3.3 Περίοδος επαναφοράς T=20 έτη

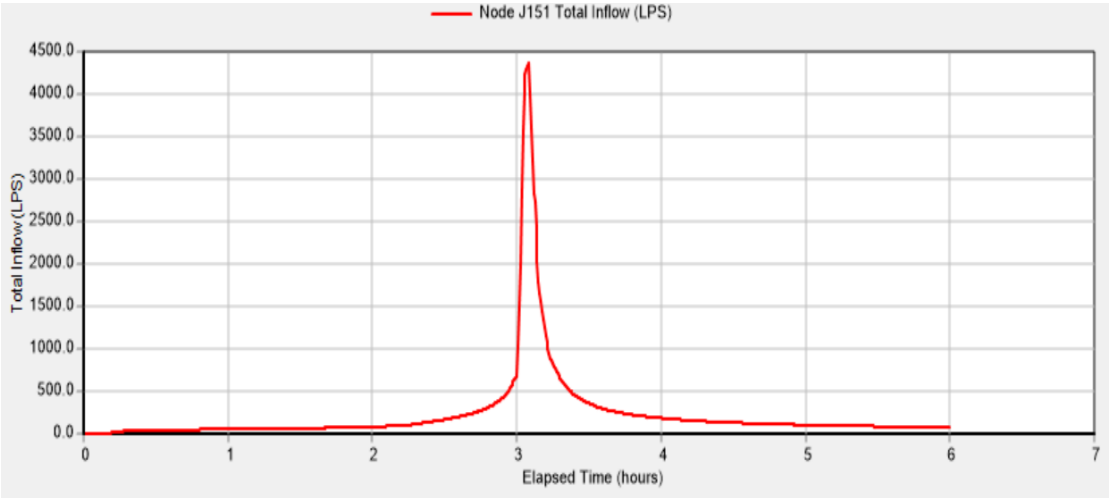
Σενάριο 1

Και σε αυτήν την περίπτωση το δίκτυο αδυνατεί να αποχετεύσει την απορροή με αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων πλημμύρας. Στον Πίνακα 5.119 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και στη συνέχεια

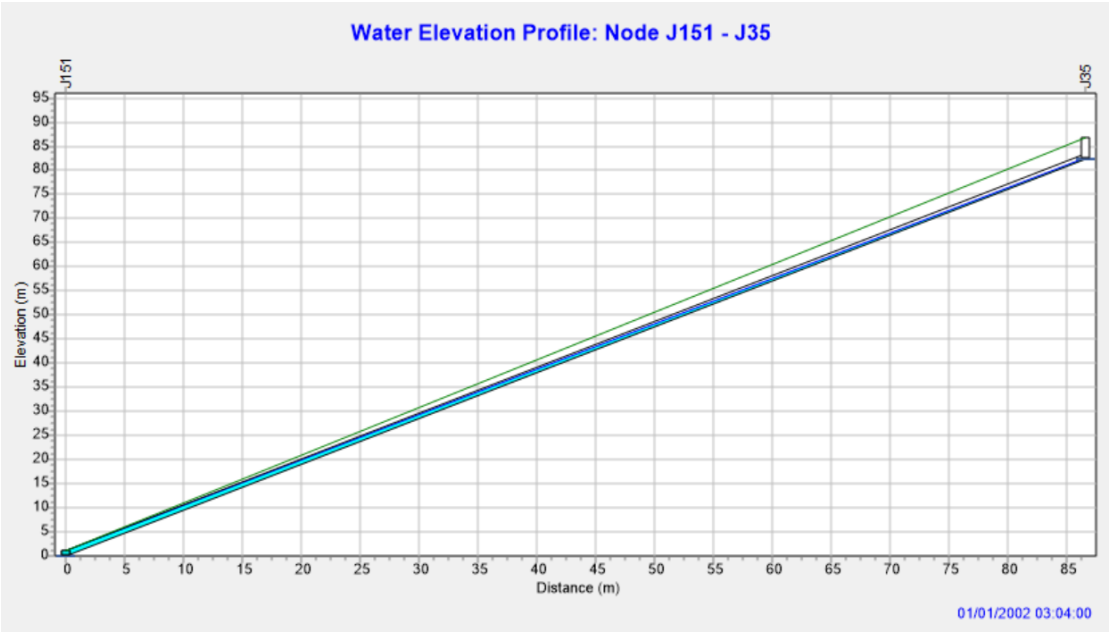
παρατίθεται το υδρογράφημα του φρεατίου J151 το οποίο πλημμυρίζει και η ροή στον αγωγό που συνδέεται με αυτό. Η ροή στον αγωγό αυτό φαίνεται να γίνεται υπό πίεση για τη μεγαλύτερη διάρκεια της βροχόπτωσης.

Πίνακας 5.41: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	57.360 mm
Διήθηση	2.6 mm
Χρόνος αιχμής	03:04:00



Εικόνα 5.77: Ολική εισροή στο φρεάτιο J151 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 1.



Εικόνα 5.78: Προφίλ αγωγού 70 τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 1 (T=20,t=6).

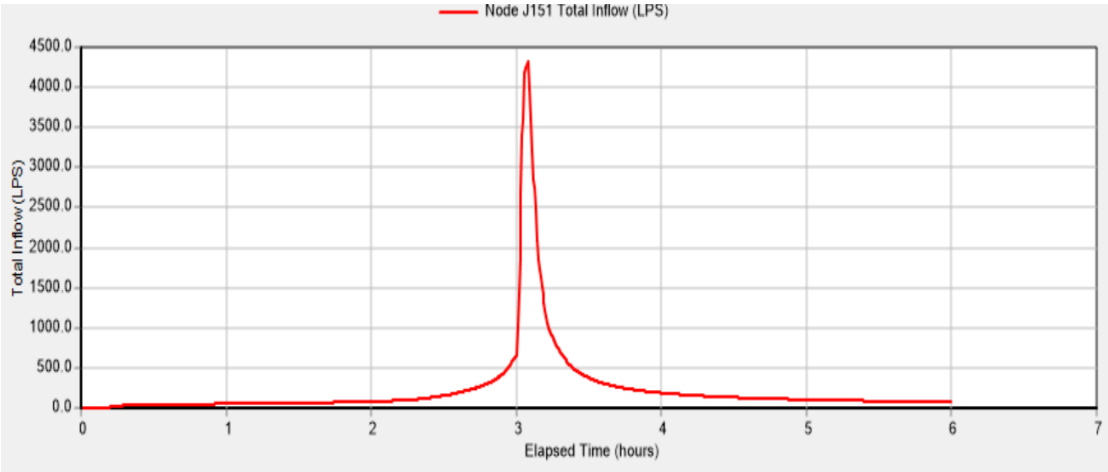
<u>Σενάριο 2</u>

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το σενάριο 2 φαίνονται στον Πίνακα 5.220.

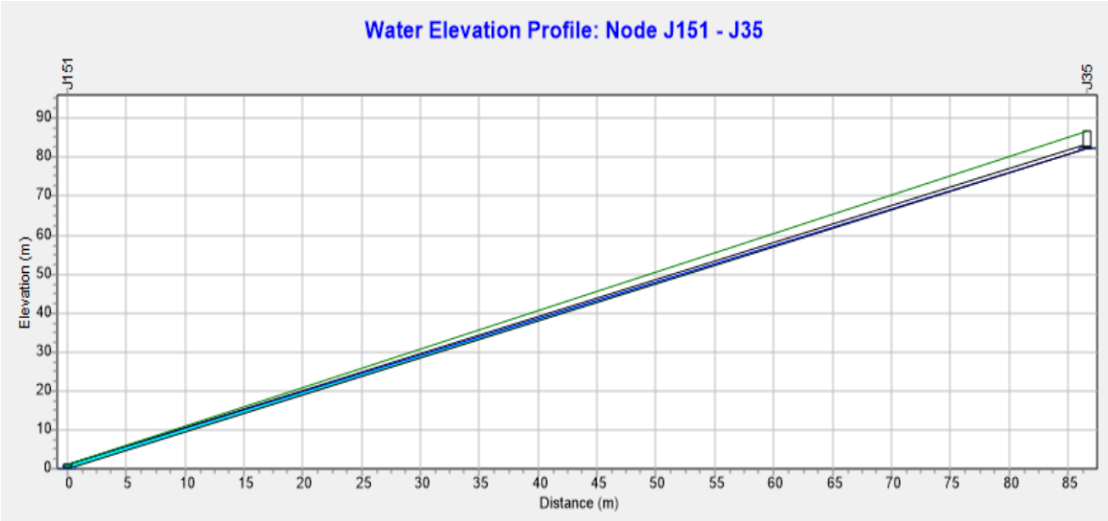
Πίνακας 5.42: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	57.360 mm
Διήθηση	2.6 mm
Χρόνος αιχμής	03:04:00

Για άλλη μια φορά το σύστημα κρίνεται ανεπαρκές. Στη συνέχεια επισυνάπτονται το υδρογράφημα του κόμβου J151 και το προφίλ του αγωγού 70. Μόνο το κατάντη φρεάτιο του αγωγού δηλαδή το J151 πλημμυρίζει.



Εικόνα 5.79: Ολική εισροή στο φρεάτιο J151 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 2.



Εικόνα 5.80: Προφίλ αγωγού 70 τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 2 (T=20,t=6).

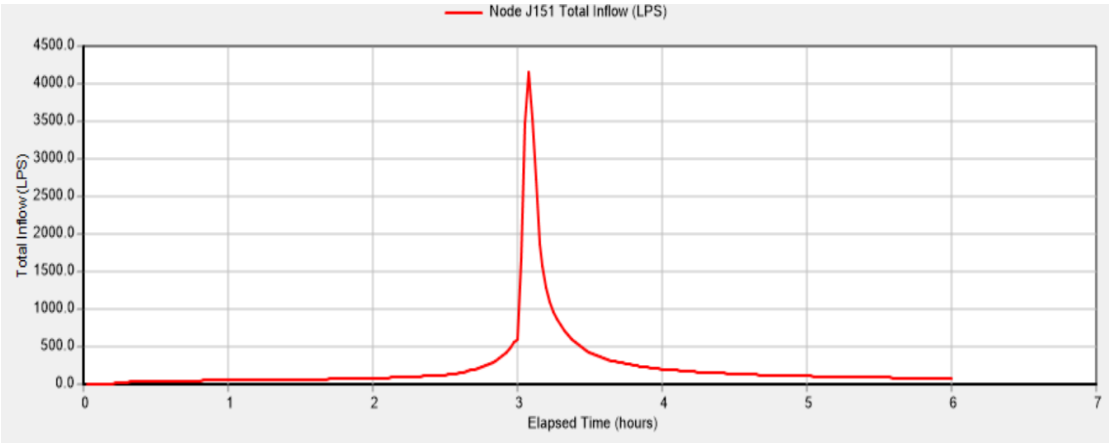
<u>Σενάριο 3</u>

Το δίκτυο κρίνεται ανεπαρκές και σε αυτήν την περίπτωση τα αποτελέσματα της οποίας δίνονται στον Πίνακα 5.43. Ο αριθμός των γεγονότων πλημμύρας kai στην περίπτωση αυτή είναι αυξημένος.

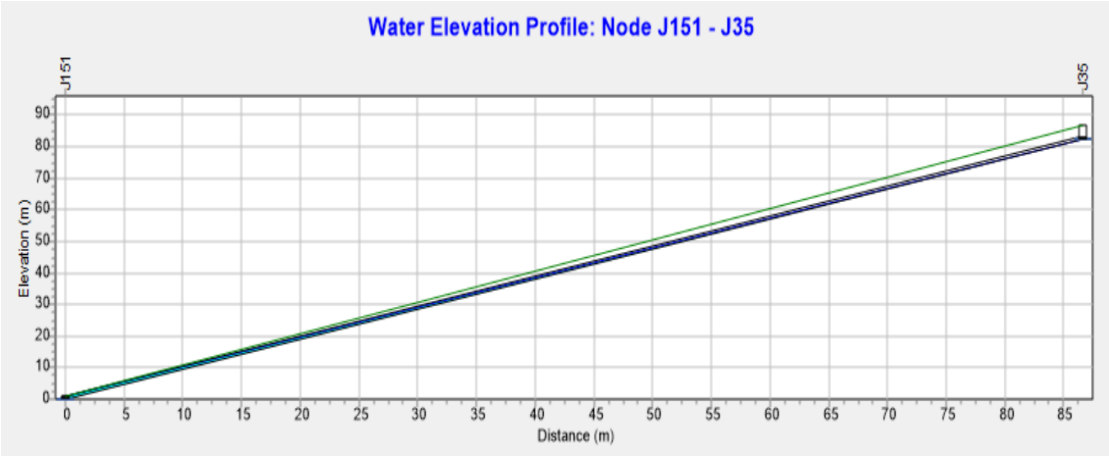
Πίνακας 5.43: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	57.360 mm
Διήθηση	2.6 mm
Χρόνος αιχμής	03:04:30

Στην Εικόνα 5.81 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής του φρεατίου 151 του δικτύου και στην Εικόνα 5.82 το προφίλ του αγωγού 70.



Εικόνα 5.81: Ολική εισροή στο φρεάτιο J151 για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 3.



Εικόνα 5.82: Προφίλ αγωγού 70 τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 3 (T=20, t=6).

<u>Σενάριο 0</u>

Για διάρκεια βροχής 6 ωρών και περίοδο επαναφοράς 20 ετών παρατηρείται πλήρωση του δικτύου και στην περίπτωση του Σεναρίου 0. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 5.44.

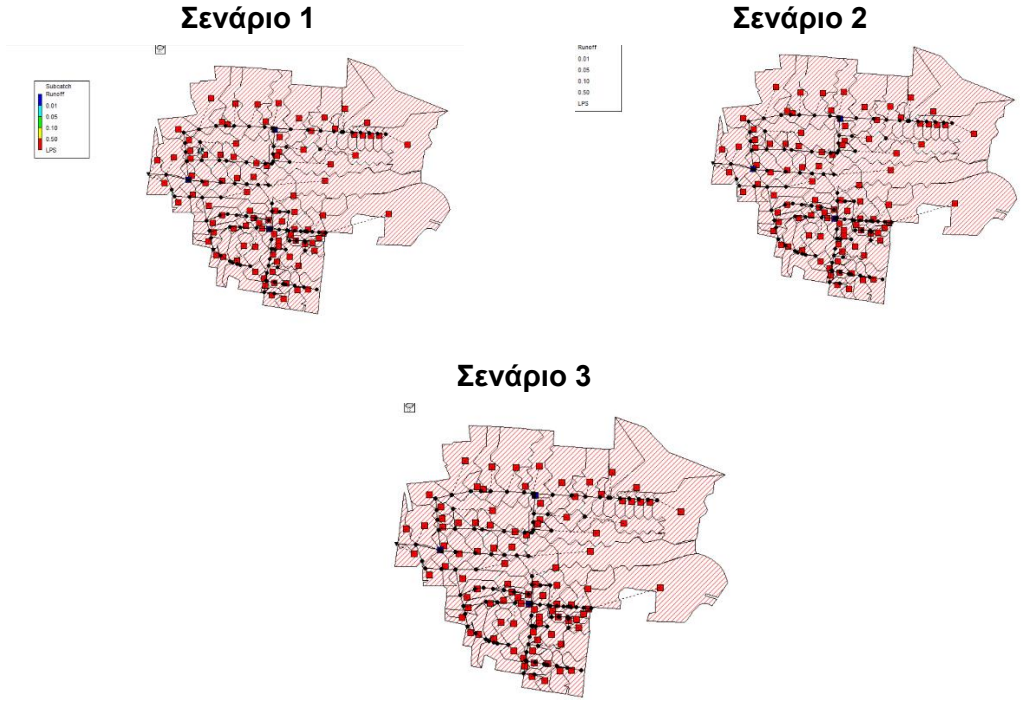
Πίνακας 5.44: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	57.360 mm
Διήθηση	0:48mm
Χρόνος αιχμής	00:34:30

Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=6h,T=10έτη)

Για άλλη τα αποτελέσματα των τριών σεναρίων παρουσιάζουν ταύτιση. Αυτό είναι εμφανές από τους αντίστοιχους πίνακες των συνοπτικών αποτελεσμάτων αλλά κυρίως από τα υδρογραφήματα στο φρεάτιο J171.

Στη συνέχεια συγκρίνονται οι απορροές στις υπολεκάνες τη χρονική στιγμή της αιχμής και στην περίπτωση των τριών σεναρίων. Εκτός από την αναμφισβήτητη ταύτιση προκύπτει πως και στα τρία σενάρια έχει φτάσει η απορροή τη μέγιστη τιμή. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 5.83.



Εικόνα 5.83: Απορροή υπολεκανών για τα τρία σενάρια προσομοίωσης(t=6h,T=20έτη).

5.1.3.4 Περίοδος επαναφοράς Τ=25 έτη

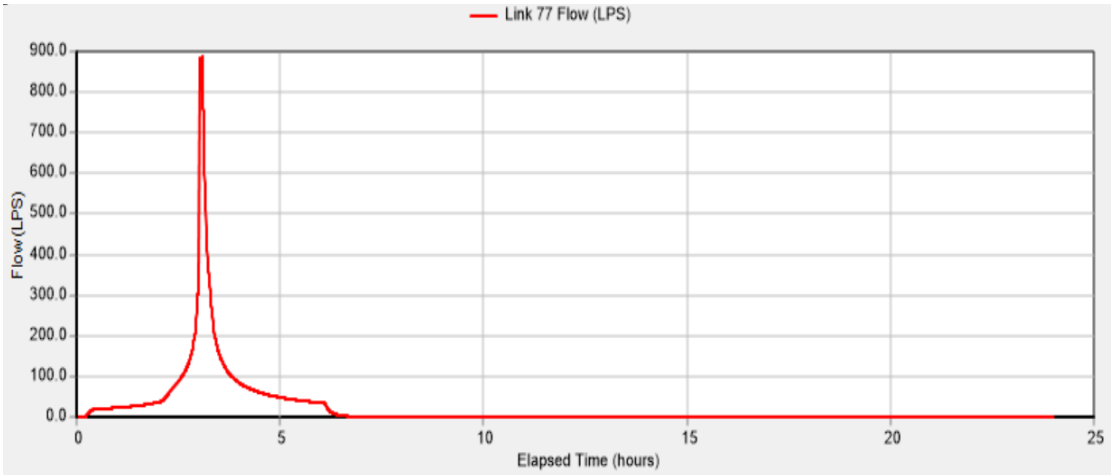
Σενάριο 1

Τα αποτελέσματα για διάρκεια βροχόπτωσης 6 ωρών και περίοδο επαναφοράς 25 ετών για το πρώτο σενάριο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.45, ο οποίος παρατίθεται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.45: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	61.24 mm
Διήθηση	2.7mm
Χρόνος αιχμής	03:05:00

Στη συνέχεια παρατίθεται η ροή στον αγωγό 77 (Εικόνα 5.84), η οποία γίνεται χωρίς ελεύθερη επιφάνεια καθώς ο αγωγός πληρώθηκε.



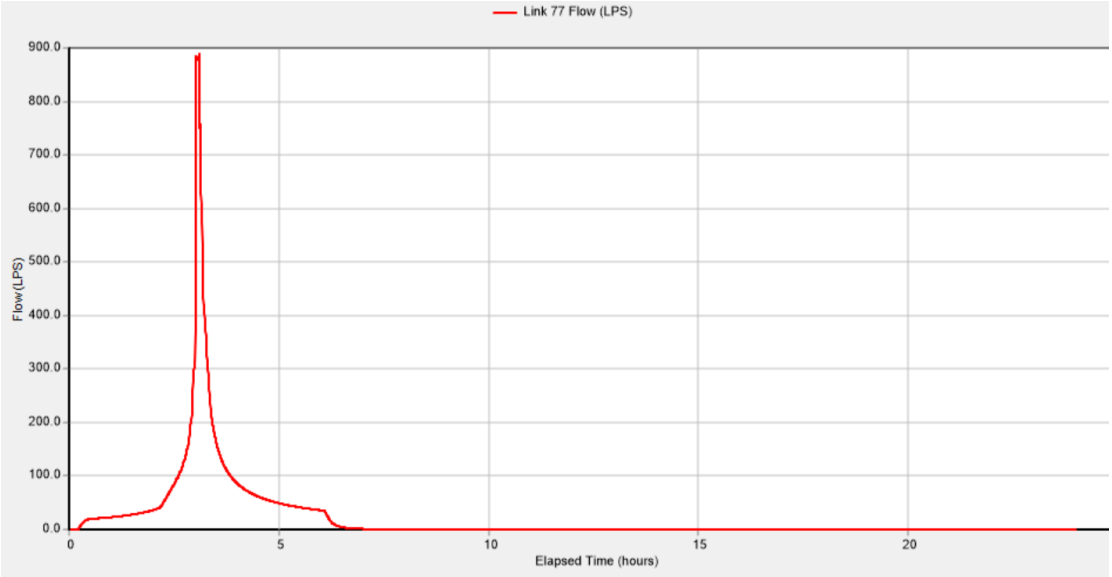
Εικόνα 5.84: Ροή του αγωγού 77 για το Σενάριο 1(T=25,t=6).

Σενάριο 2

Και στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπως είναι λογικό, οι αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκείς με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.46. Στην Εικόνα 5.85 φαίνεται η ροή του αγωγού 77.

Πίνακας 5.46: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	61.24 mm
Διήθηση	2.7mm
Χρόνος αιχμής	03:05:00



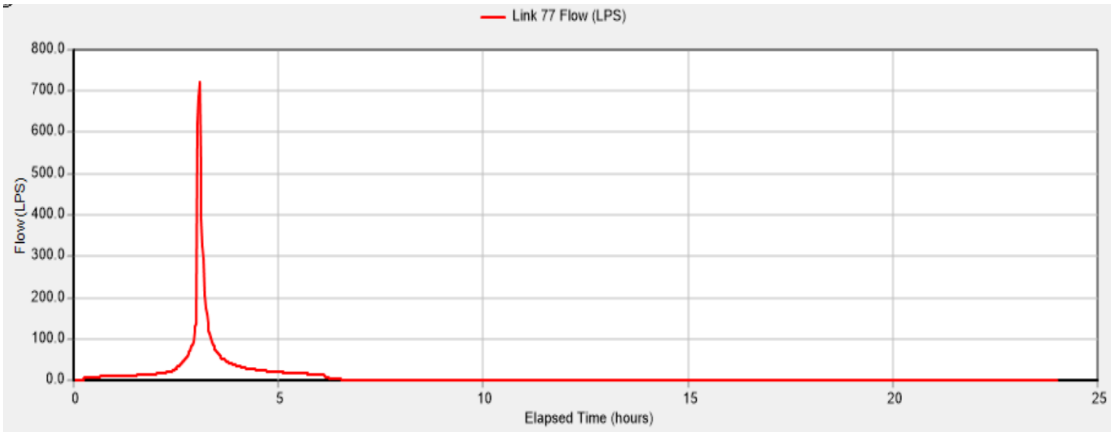
Εικόνα 5.85: Ροή του αγωγού 77 για το Σενάριο 2(T=25,t=6).

<u>Σενάριο 3</u>

Τα αποτελέσματα για διάρκεια βροχόπτωσης 6 ωρών και περίοδο επαναφοράς 25 ετών για το τρίτο σενάριο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.47, ο οποίος παρατίθεται στη συνέχεια. Στην Εικόνα 5.86 φαίνεται η ροή του αγωγού 77 για το Σενάριο 3.

Πίνακας 5.47: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	61.24 mm
Διήθηση	2.7mm
Χρόνος αιχμής	03:04:30



Εικόνα 5.86: Ροή του αγωγού 77 για το Σενάριο 3(T=25,t=6).

Σενάριο 0

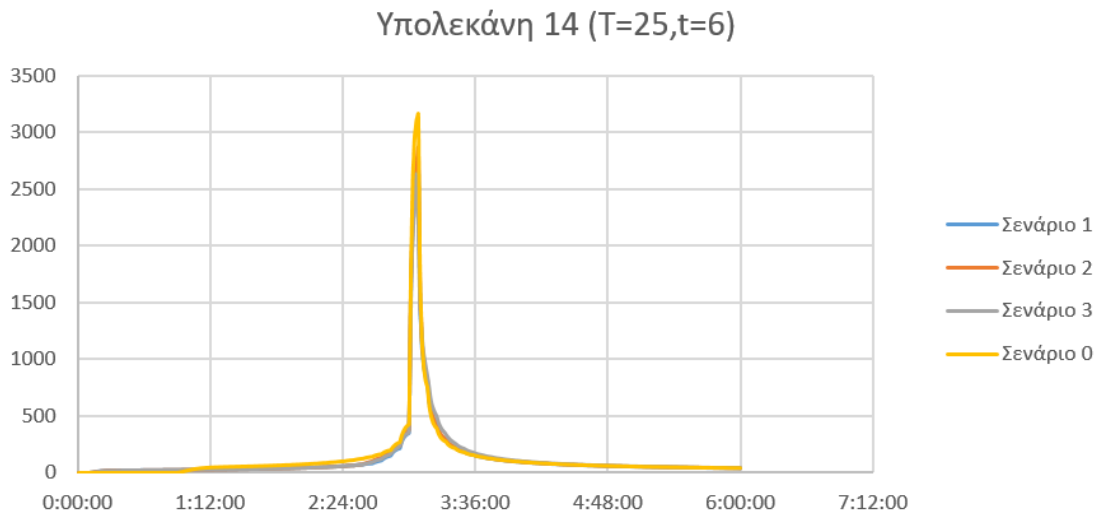
Τα αποτελέσματα για διάρκεια βροχόπτωσης 6 ωρών και περίοδο επαναφοράς 25 ετών για το τρίτο Σενάριο 0, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.48, ο οποίος παρατίθεται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.48: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 25 ετών

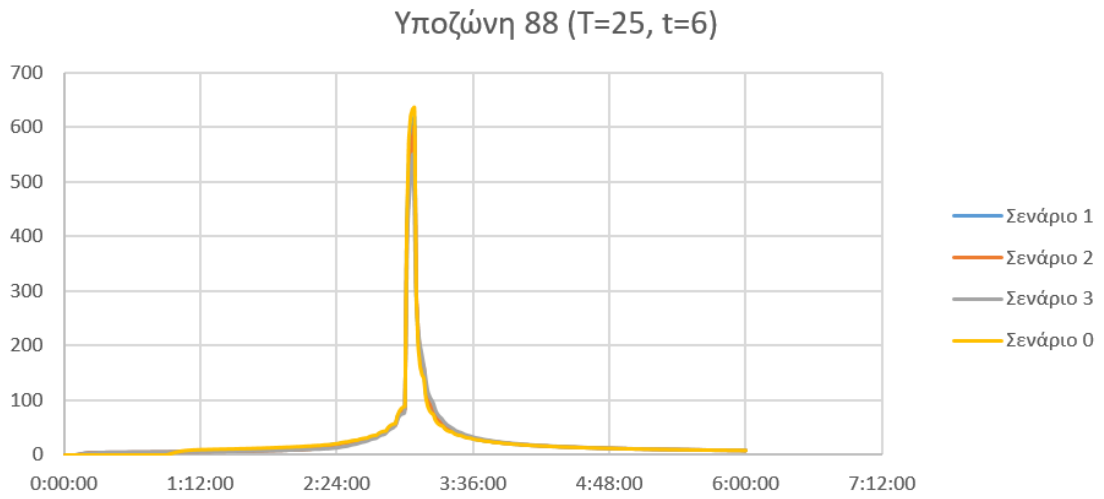
ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	61.01 mm
Διήθηση	0.48 mm
Χρόνος αιχμής	03:04:30

Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=6h,T=25έτη)

Για την σύγκριση των αποτελεσμάτων των τεσσάρων σεναρίων χρησιμοποιήθηκαν οι υπολεκάνες 14 και 88 (Εικόνα 5.87 και 5.88 αντίστοιχα).



Εικόνα 5.87: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=6h,T=25έτη).



Εικόνα 5.88: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=6h,T=25έτη).

Στα διαγράμματα αυτά φαίνεται να συγκλίνουν τα 4 σενάρια μεταξύ τους. Η απορροή παρόλα αυτά του Σεναρίου 0 είναι μεγαλύτερη.

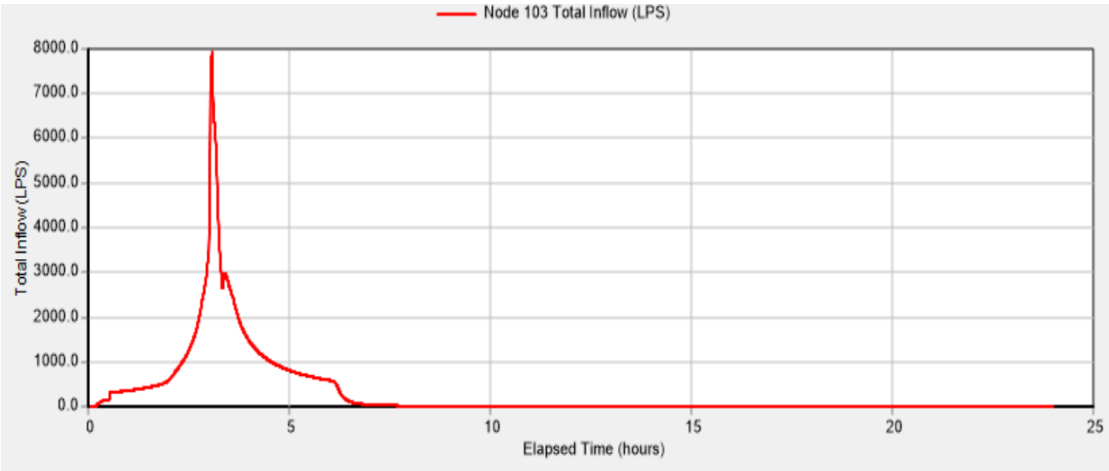
5.1.3.5 Περίοδος επαναφοράς T=50 έτη

Σενάριο 1

Κατά την προσομοίωση του δικτύου για βροχόπτωση σχεδιασμού περιόδου επαναφοράς 50 ετών διαπιστώθηκε πως μεγάλο μέρος του υπόγειου συστήματος αποχέτευσης πληρώνεται. Τα συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.49 ενώ στην Εικόνα 5.89 παρουσιάζεται το υδρογράφημα για περίοδο επαναφοράς 50 ετών, στην έξοδο του συστήματος.

Πίνακας 5.49: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	74.16 mm
Διήθηση	2.7 mm
Χρόνος αιχμής	03:03:30



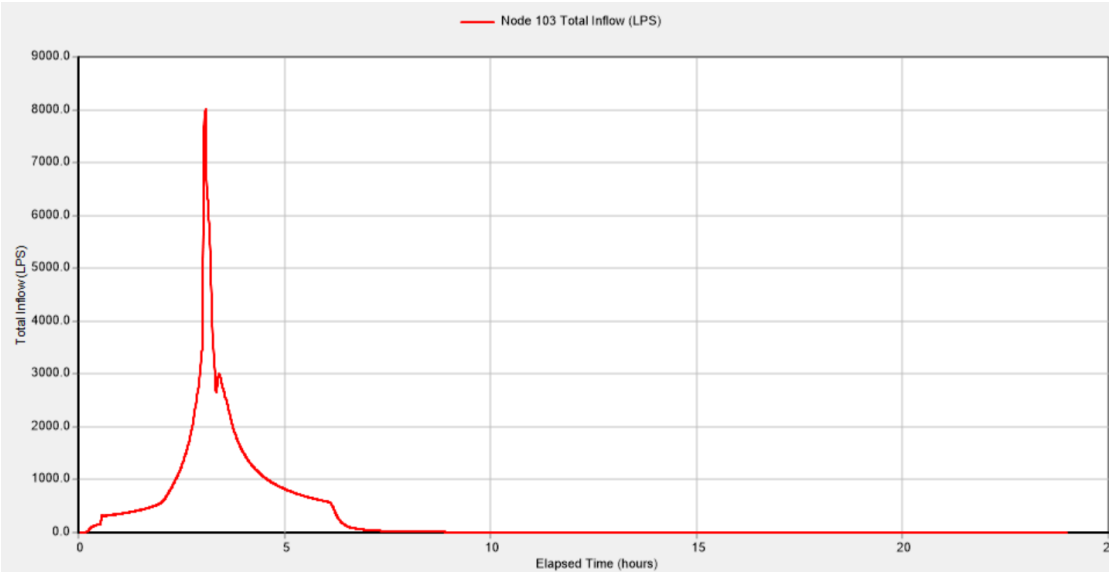
Εικόνα 5.89: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς T=50 έτη για το Σενάριο 1.

<u>Σενάριο 2</u>

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον Πίνακα 5.50. Στην Εικόνα 5.90 φαίνεται το υδρογράφημα στον κόμβο εξόδου.

Πίνακας 5.50: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	74.16 mm
Διήθηση	2.7 mm
Χρόνος αιχμής	03:03:30



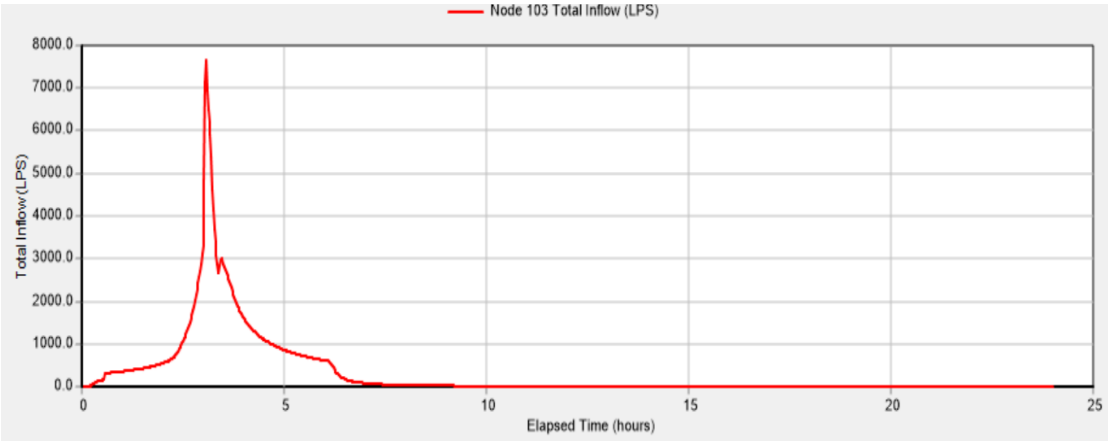
Εικόνα 5.90: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς Τ=50 έτη για το Σενάριο 2.

<u>Σενάριο 3</u>

Τα αποτελέσματα για διάρκεια βροχόπτωσης 6 ωρών και περίοδο επαναφοράς 50 ετών για το τρίτο σενάριο, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.51, ο οποίος παρατίθεται στη συνέχεια.

Πίνακας 5.51: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	74.16 mm
Διήθηση	2.6 mm
Χρόνος αιχμής	03:03:30



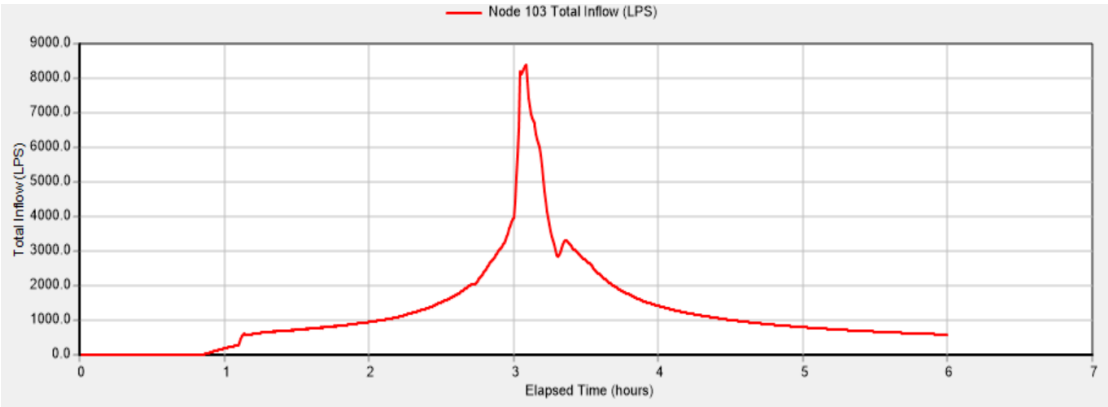
Εικόνα 5.91: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς Τ=50 έτη για το Σενάριο 3.

<u>Σενάριο 0</u>

Και σε αυτήν την περίπτωση το δίκτυο κρίνεται ανεπαρκές. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5.52.

Πίνακας 5.52: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς 50 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	74.16 mm
Διήθηση	0.48 mm
Χρόνος αιχμής	03:03:00

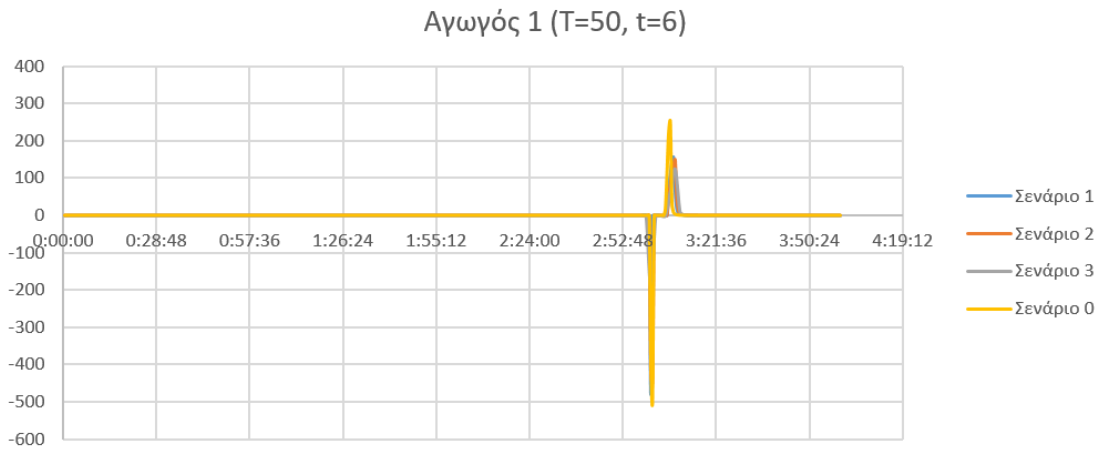


Εικόνα 5.92: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 6h και περιόδου επαναφοράς Τ=50 έτη για το Σενάριο 0.

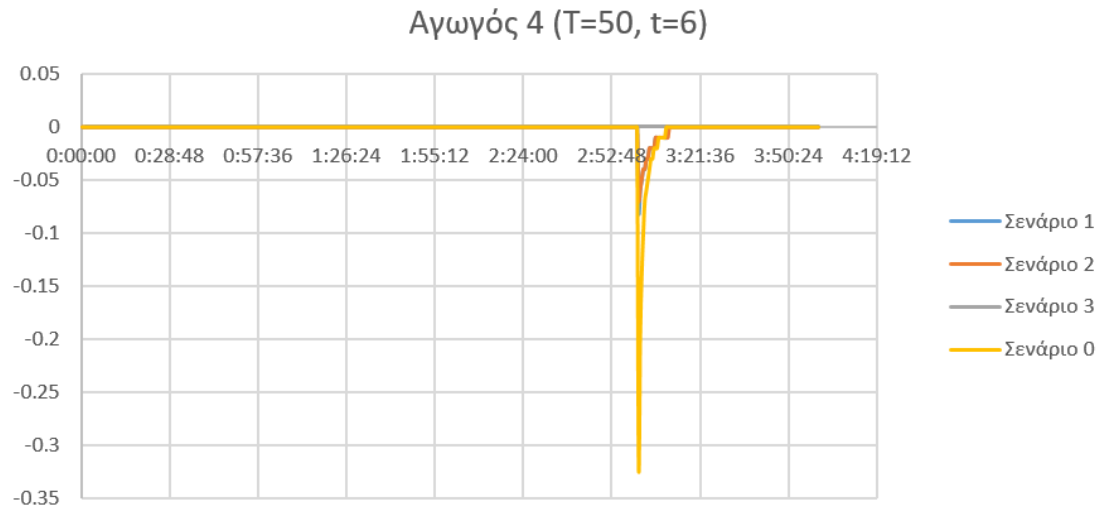
Σύγκριση Σεναρίων (t=6,T=50)

Και στη συγκεκριμένη βροχόπτωση υπήρχε σύγκλιση των τριών σεναρίων. Οι διαφορές που εντοπίζονται στις προηγούμενες εικόνες είναι ελάχιστες και συνδέονται κυρίων με τον χρόνο υπερχείλισης των φρεατίων και πλήρωσης των αγωγών.

Για την σύγκριση με το Σενάριο 0 χρησιμοποιούνται 2 αγωγοί του συστήματος.



Εικόνα 5.93: Ροή στον αγωγό 1 για όλα τα σενάρια (T=50, t=6)



Εικόνα 5.94: Ροή στον αγωγό 4 για όλα τα σενάρια (T=50, t=6)

5.1.4 Βροχή διάρκειας 12h

Στη παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από βροχή σχεδιασμού διάρκειας 12h και για περιόδους επαναφοράς T=5 και T=20 έτη.

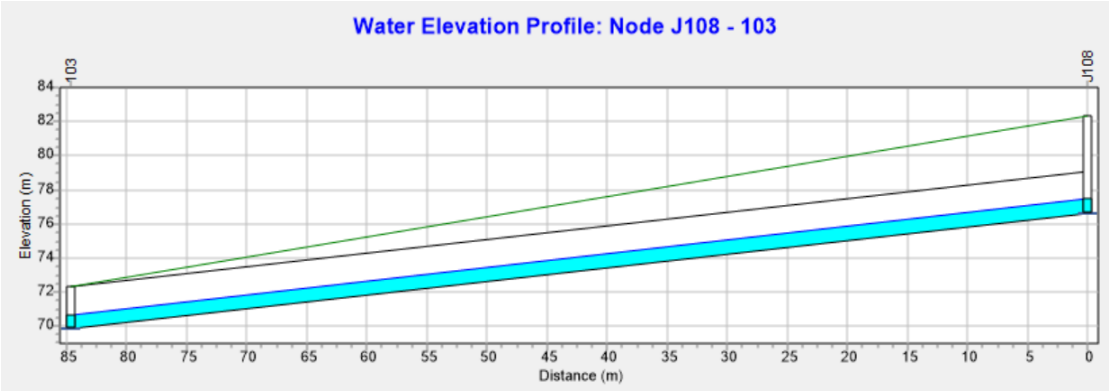
5.1.4.1 Περίοδος επαναφοράς Τ=5 έτη

Σενάριο 1

Στον Πίνακα 5.53 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Το δίκτυο σε αυτήν την περίπτωση είναι επαρκές και παροχετεύει το σύνολο της απορροής χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα πλημμυρισμού των κόμβων. Στην Εικόνα 5.95 παρουσιάζεται το προφίλ του αγωγού εξόδου.

Πίνακας 5.53: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	47.43 mm
Διήθηση	2.5 mm
Χρόνος αιχμής	06:06:00



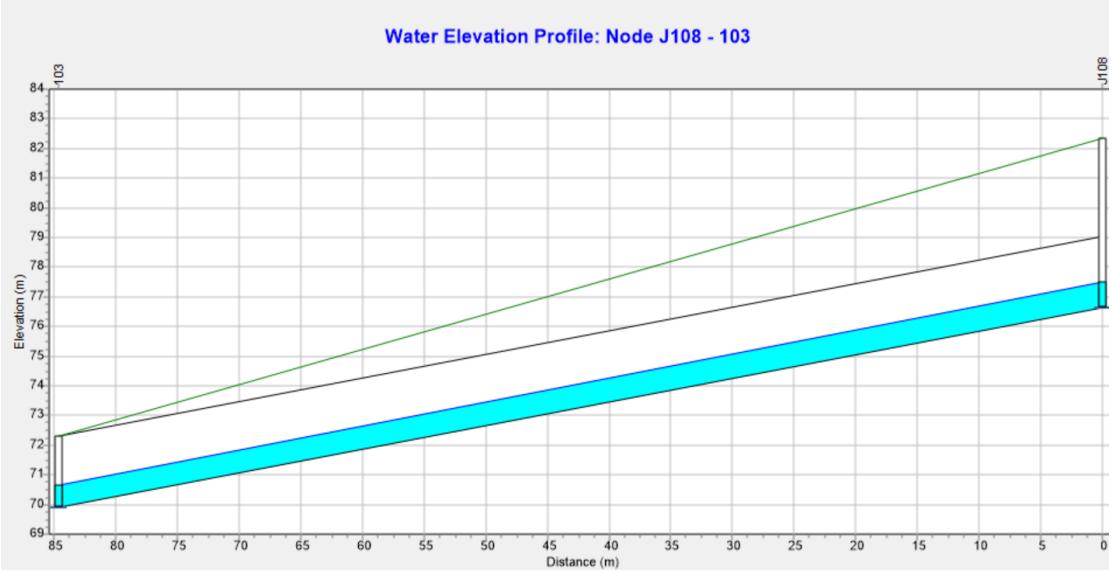
Εικόνα 5.95: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 1 (Τ=5, t=12).

Σενάριο 2

Η προσομοίωση του αποχετευτικού δικτύου με το λογισμικό SWMM για βροχή σχεδιασμού 12 ωρών και περίοδο επαναφοράς 5 έτη για το δεύτερο σενάριο έδωσε τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.54. Το αποχετευτικό δίκτυο είναι επαρκές. Η ροή στον αγωγό εξόδου φαίνεται στην Εικόνα 5.96.

Πίνακας 5.54: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	47.43 mm
Διήθηση	2.5 mm
Χρόνος αιχμής	06:06:00



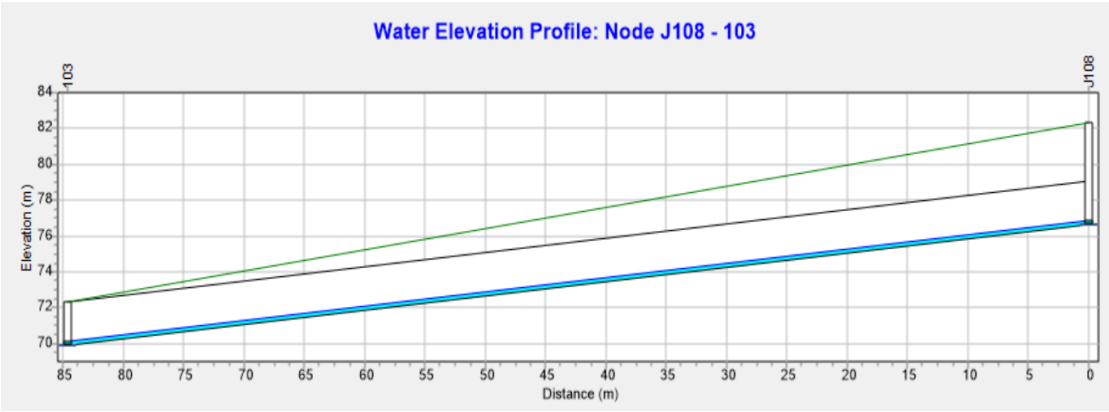
Εικόνα 5.96: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 2 (T=5, t=12).

<u>Σενάριο 3</u>

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του Σεναρίου 3 φαίνονται στον Πίνακα 5.55 και το προφίλ του αγωγού εκβολής στην Εικόνα 5.97.

Πίνακας 5.55: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	47.43 mm
Διήθηση	2.5 mm
Χρόνος αιχμής	06:06:00



Εικόνα 5.97: Προφίλ αγωγού εκβολής τη χρονική στιγμή της αιχμής για το Σενάριο 3 (T=5, t=12).

Σενάριο 0

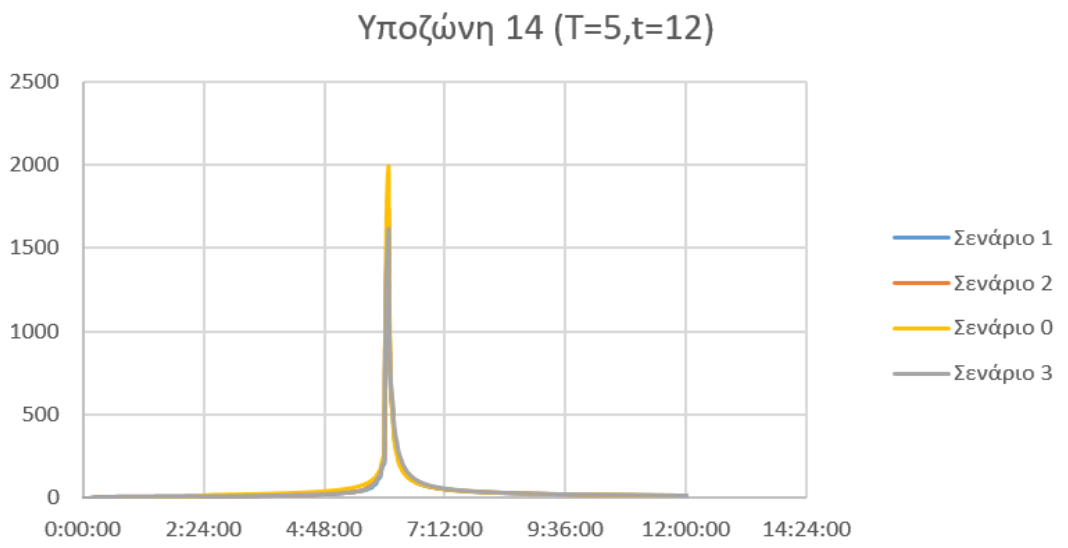
Η προσομοίωση του αδρομερούς σεναρίου 0 έδωσε τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον Πίνακα 5.56.

Πίνακας 5.56: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 5 ετών

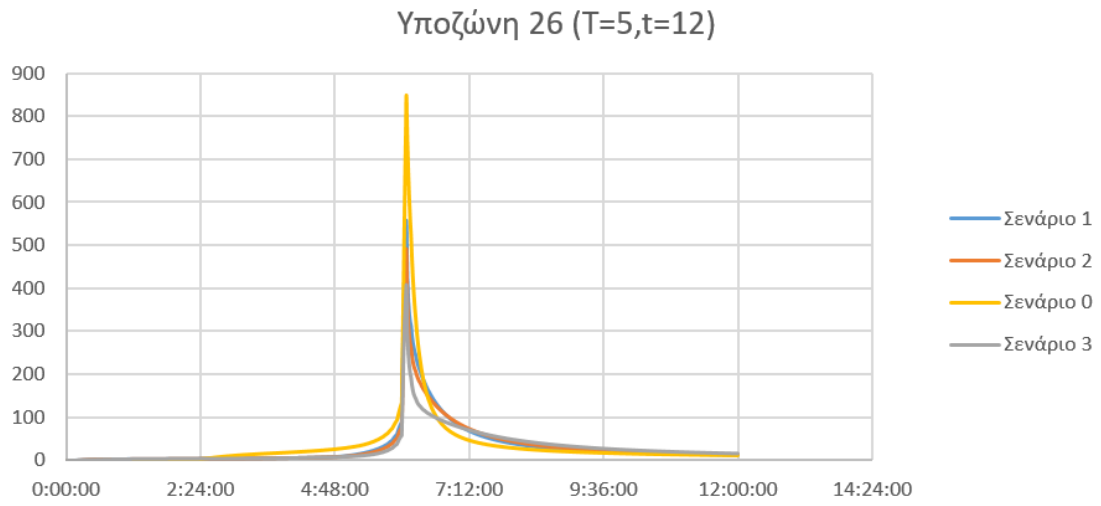
ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	47.43 mm
Διήθηση	0.47 mm
Χρόνος αιχμής	06:06:30

Σύγκριση Σεναρίων (t=12,T=5)

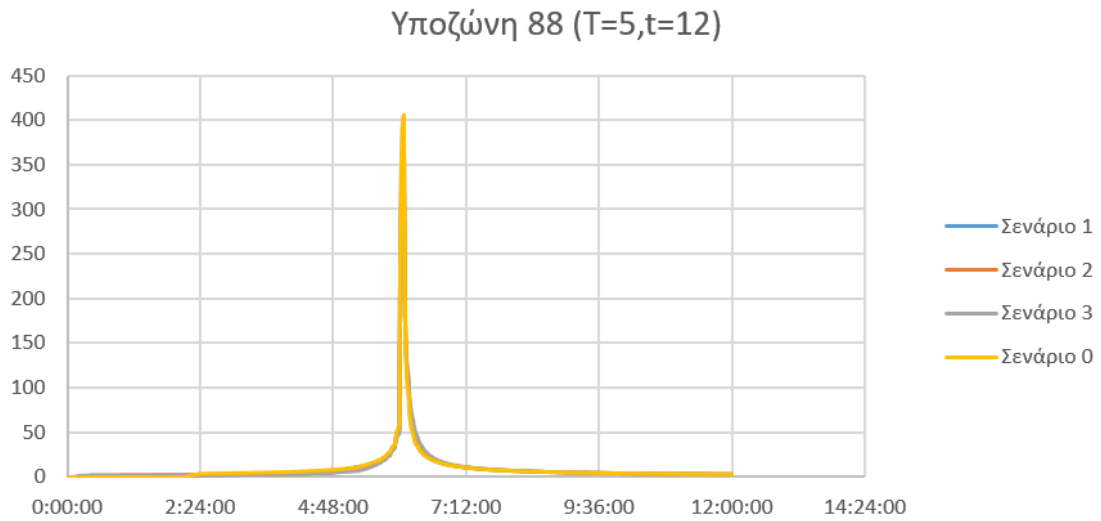
Για την σύγκριση των σεναρίων χρησιμοποιούνται οι υπολεκάνες 14,26 και 88 του δικτύου (Εικόνες 5.98, 5.99 και 5.100 αντίστοιχα).



Εικόνα 5.98: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=5έτη).



Εικόνα 5.99: Απορροή της υπολεκάνης 26 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=5έτη).



Εικόνα 5.100: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=5έτη).

Υπάρχει σύγκλιση των απορροών και κυρίως στην υπολεκάνη 88.

5.1.4.2 Περίοδος επαναφοράς T=20 έτη

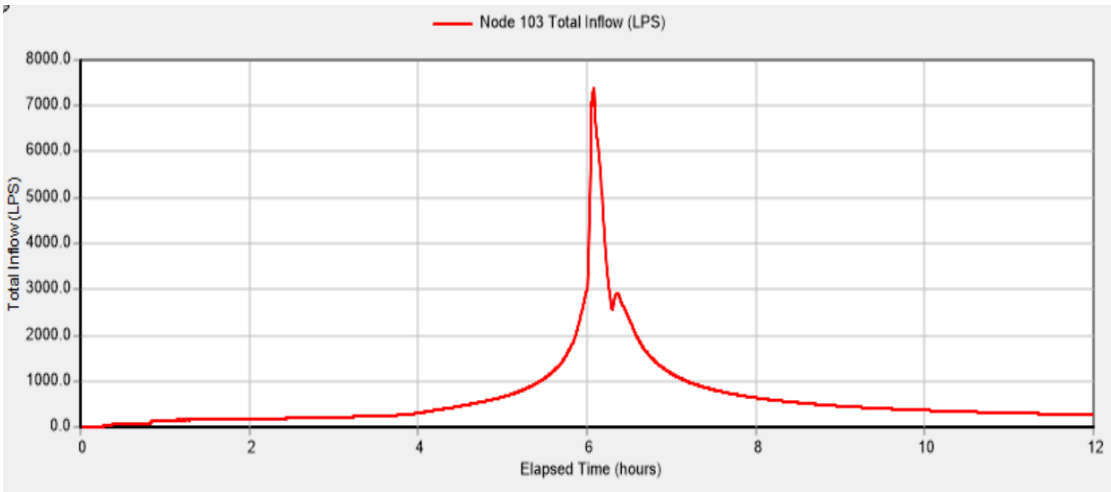
Σενάριο 1

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για το Σενάριο 1, δηλαδή το σενάριο χαμηλών τιμών παραμέτρων, φαίνονται στον Πίνακα 5.57. Όπως είναι αναμενόμενο το δίκτυο δεν επαρκεί για τη συγκεκριμένη βροχόπτωση με άμεσο αποτέλεσμα τα φρεάτια του δικτύου να πληρώνονται και να πλημμυρίζουν.

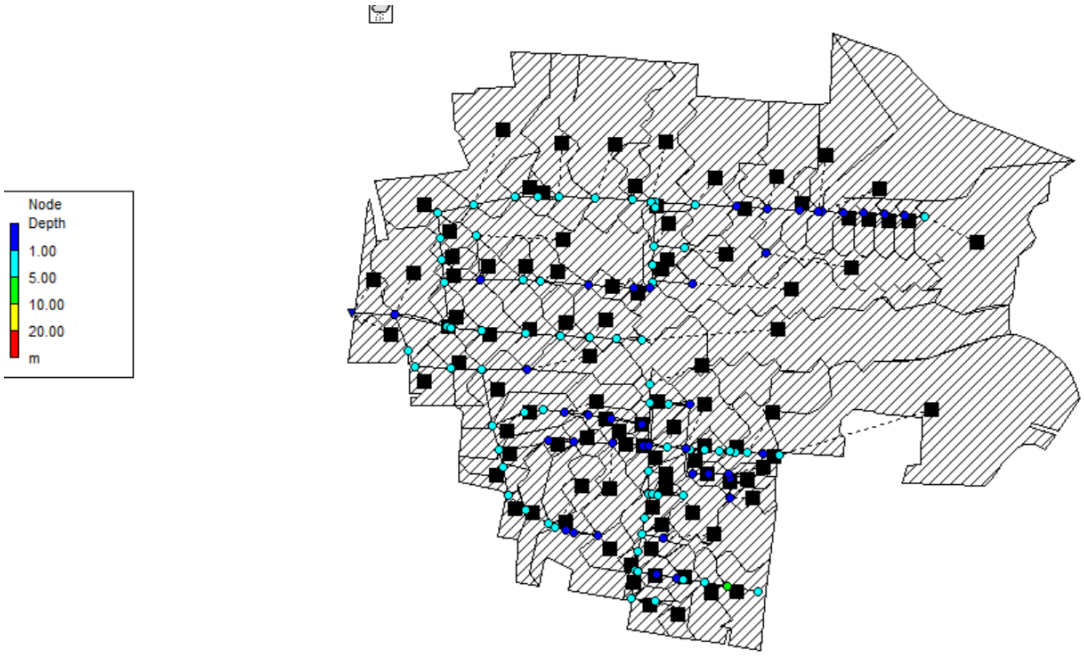
Πίνακας 5.57: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 1 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 1	
Βροχόπτωση	69.54 mm
Διήθηση	2.7 mm
Χρόνος αιχμής	06:04:00

Στην Εικόνα 5.101 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής του κόμβου εκβολής του δικτύου και στη συνέχεια επισυνάπτεται η Εικόνα 5.102 με το μέγιστο βάθος των φρεατίων την ώρα αιχμής.



Εικόνα 5.101: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 1.



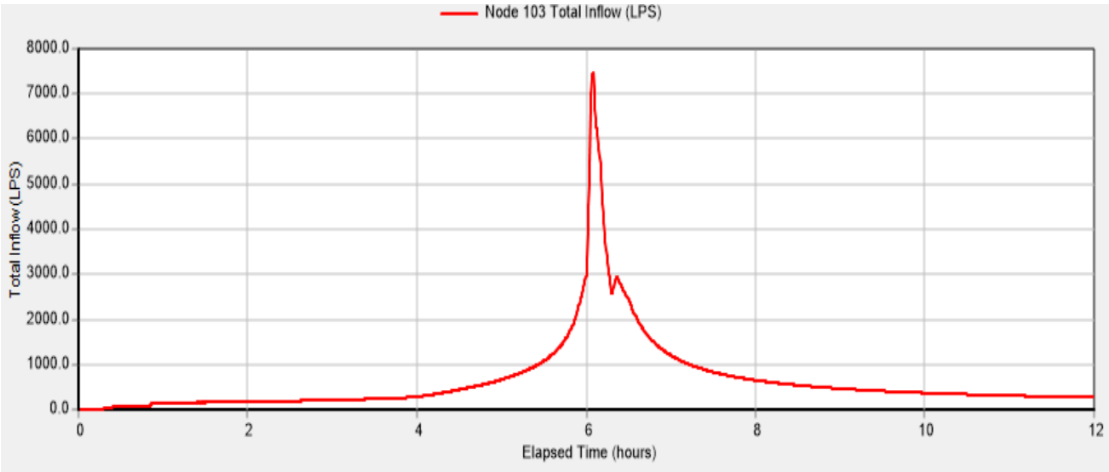
Εικόνα 5.102: Βάθος φρεατίων αγωγών τη στιγμή αιχμής για το Σενάριο 1 (T=20,t=12).

Σενάριο 2

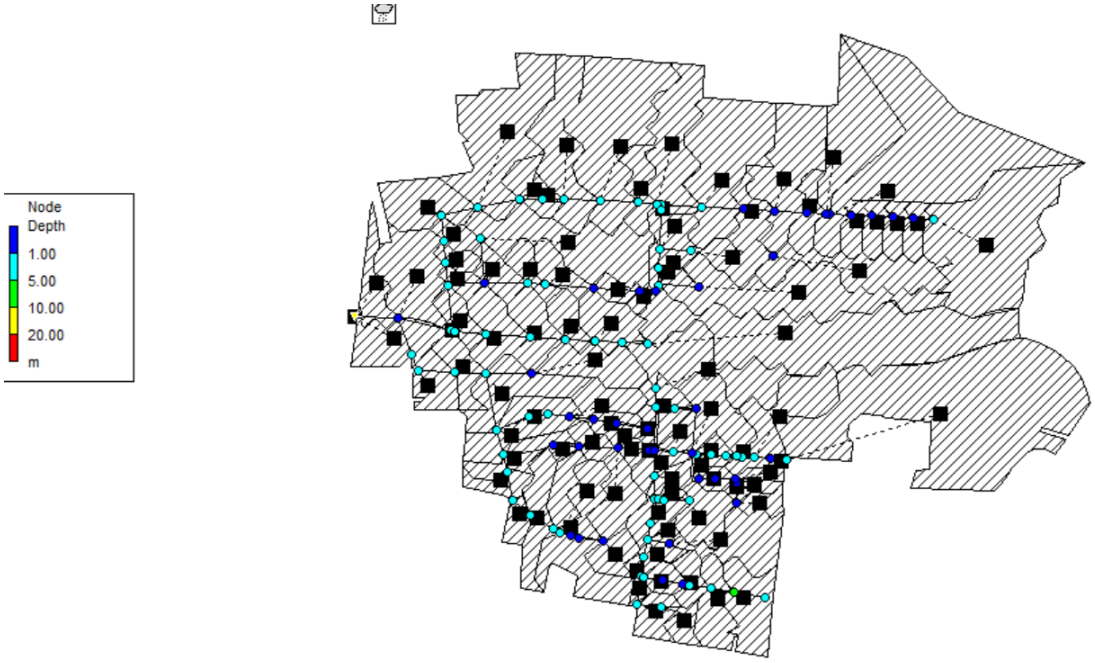
Και στην προσομοίωση του δεύτερου σεναρίου προκύπτει πλήρωση των αγωγών του αποχετευτικού συστήματος της περιοχής μελέτης και φαινόμενα πλημμύρας στο δίκτυο. Συνοπτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.58. Επίσης, στην Εικόνα 5.103 παρουσιάζεται το υδρογράφημα απορροής του κόμβου εξόδου του δικτύου και στην Εικόνα 5.104 το βάθος των φρεατίων του δικτύου τη στιγμή της αιχμής.

Πίνακας 5.58: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 2 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 2	
Βροχόπτωση	69.54 mm
Διήθηση	2.7 mm
Χρόνος αιχμής	06:04:00



Εικόνα 5.103: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς T=20 έτη για το Σενάριο 2



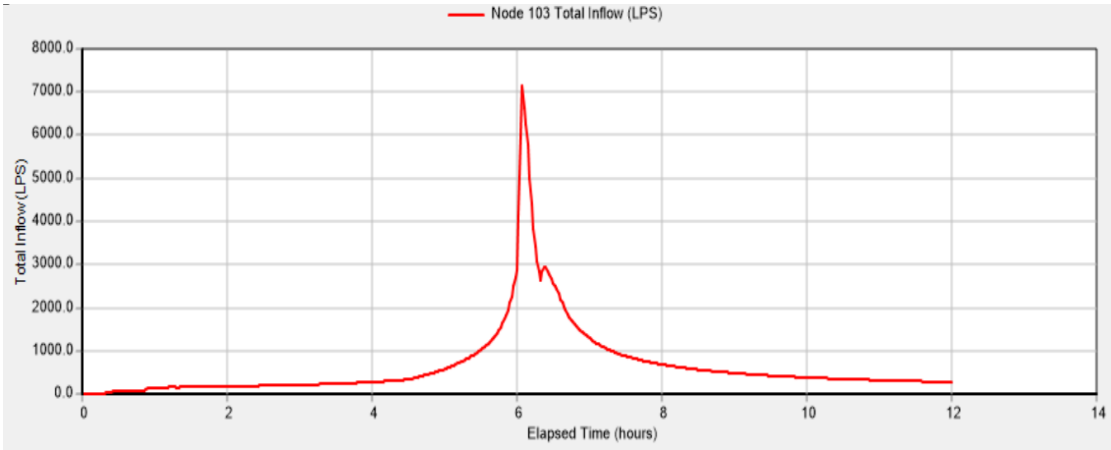
Εικόνα 5.104: Βάθος φρεατίων αγωγών τη στιγμή αιχμής για το Σενάριο 2 (T=20,t=12).

<u>Σενάριο 3</u>

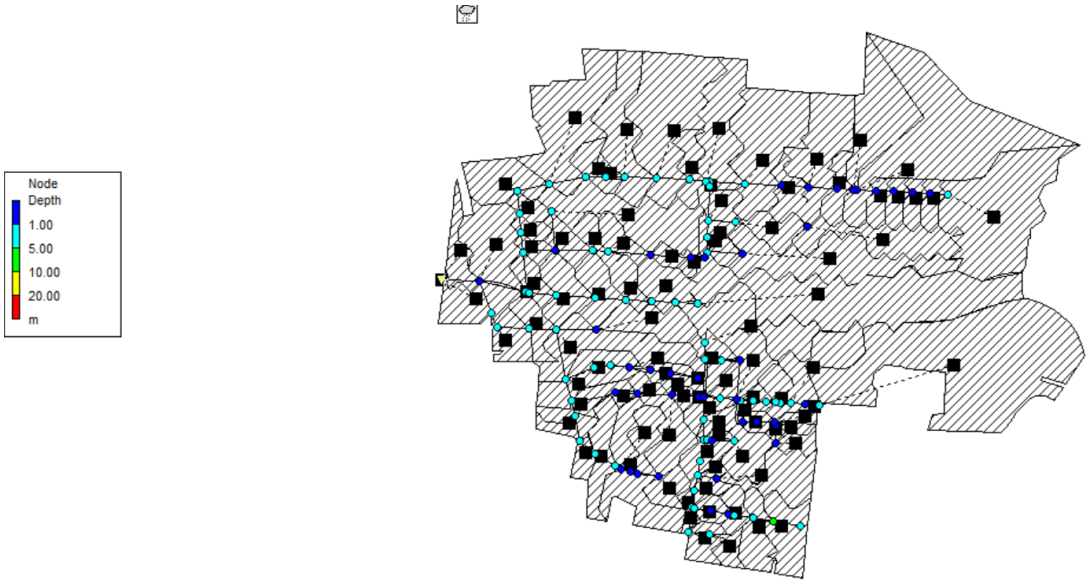
Και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι παντορροϊκοί αγωγοί του αποχετευτικού δικτύου δεν είναι επαρκείς με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται φαινόμενα πλημμύρας. Συνοπτικά αποτελέσματα για την προσομοίωση του δικτύου επισυνάπτονται στον Πίνακα 5.59 ενώ στην Εικόνα 5.105 φαίνεται στο υδρογράφημα στην έξοδο του συστήματος και στην Εικόνα 5.106 το βάθος των φρεατίων τη στιγμή της αιχμής.

Πίνακας 5.59: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 3 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 3	
Βροχόπτωση	69.54 mm
Διήθηση	2.7 mm
Χρόνος αιχμής	06:04:30



Εικόνα 5.105: Ολική εισροή στο φρεάτιο εκβολής για βροχή σχεδιασμού διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς Τ=20 έτη για το Σενάριο 3.



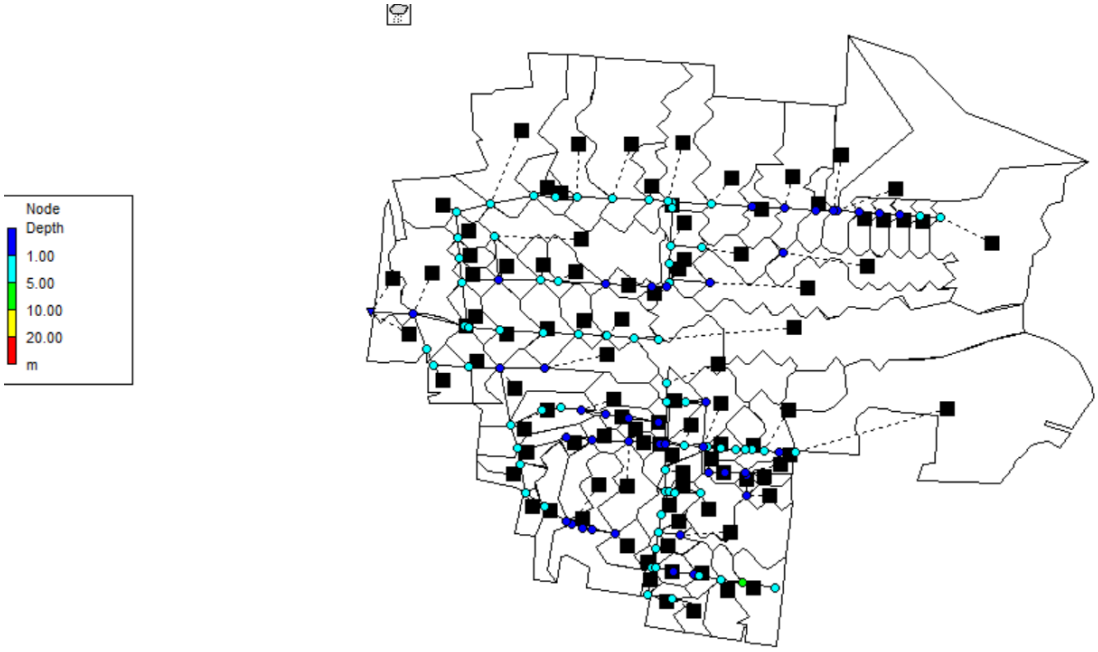
Εικόνα 5.106: Βάθος φρεατίων αγωγών τη στιγμή αιχμής για το Σενάριο 3 (Τ=20,t=12).

<u>Σενάριο 0</u>

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του Σεναρίου 0, για την συγκεκριμένη βροχόπτωση φαίνεται στον Πίνακα 5.60. Στην Εικόνα 5.107 φαίνεται το βάθος φρεατίων τη χρονική στιγμή της αιχμής.

Πίνακας 5.60: Συνοπτικά αποτελέσματα Σεναρίου 0 για βροχή διάρκειας 12h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών

ΣΕΝΑΡΙΟ 0	
Βροχόπτωση	69.54 mm
Διήθηση	0.48 mm
Χρόνος αιχμής	06:04:00



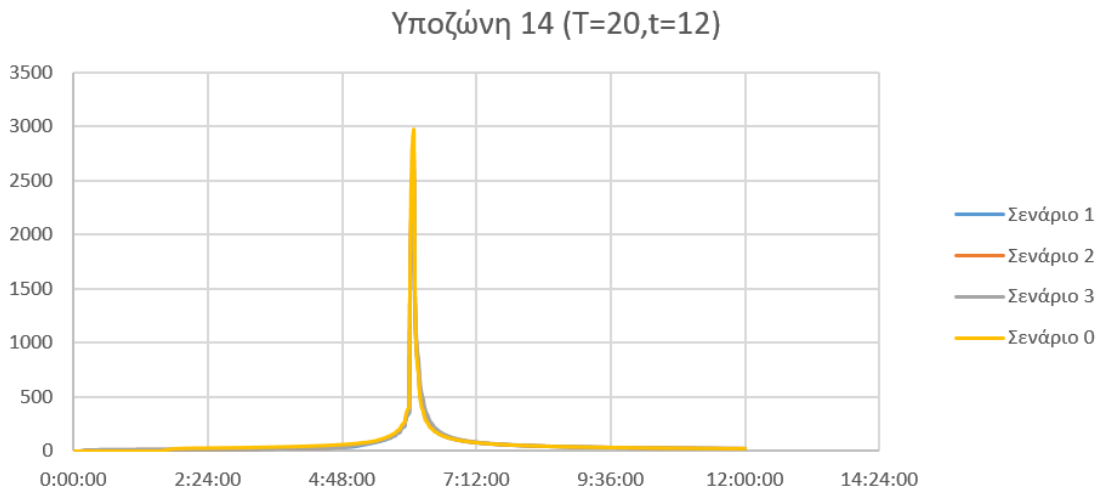
Εικόνα 5.107: Βάθος φρεατίων αγωγών τη στιγμή αιχμής για το Σενάριο 0 (T=20,t=12).

<u>Σύγκριση αποτελεσμάτων (t=12h,T=20έτη)</u>

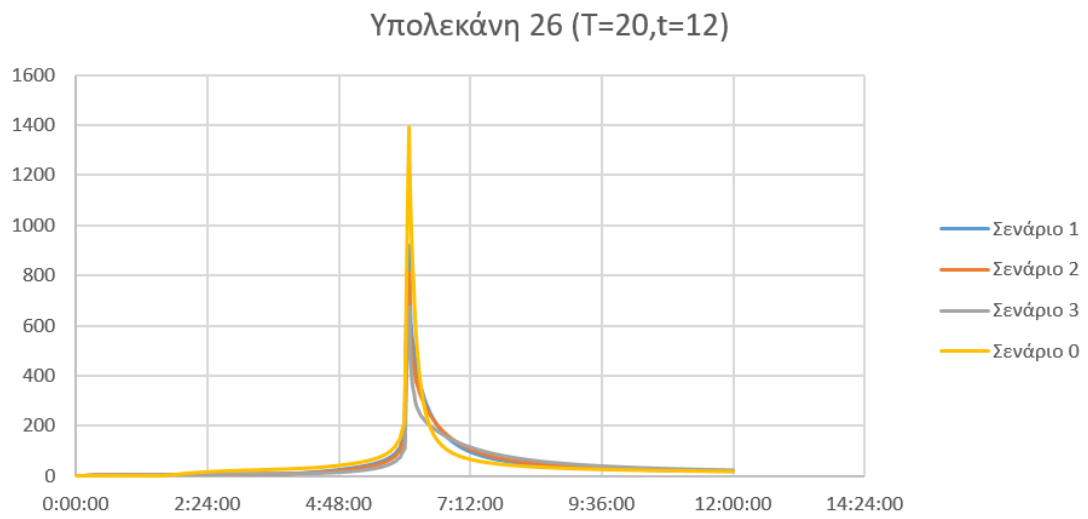
Από τους πίνακες είναι εμφανές πως και σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται μικρές διαφορές μεταξύ των τριών σεναρίων για τη βροχόπτωση 12h και περιόδου επαναφοράς 20 ετών.

Συγκρίνοντας προσεχτικά τις Εικόνες 5.102, 5.106 και 5.104 με το βάθος των φρεατίων την στιγμή της αιχμής βλέπουμε πως η έγκειται σε δύο φρεάτια του δικτύου. Τα φρεάτια αυτά είναι το J80 και το J102, των οποίων το βάθος μεγαλώνει αισθητά στο Σενάριο 3 σε σχέση με το Σενάριο 1.

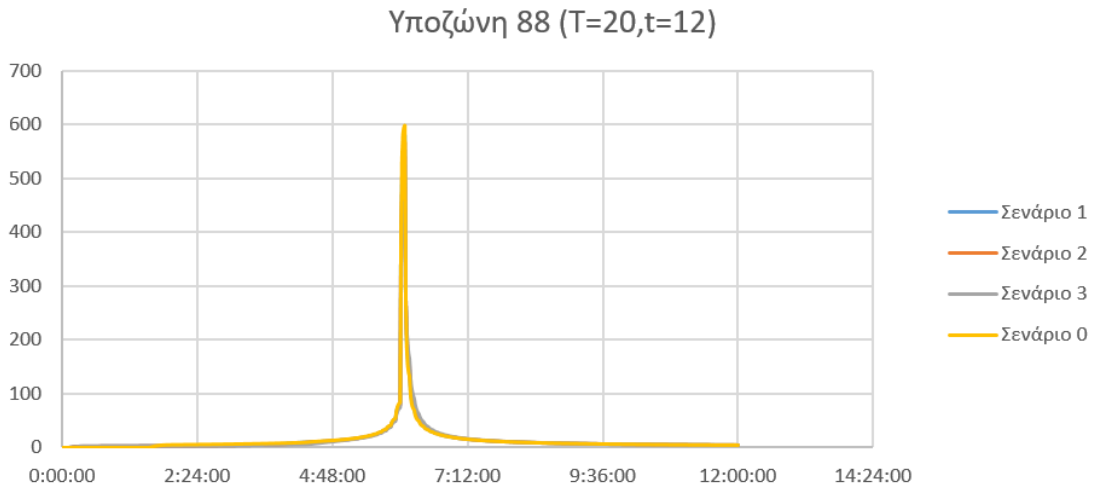
Για την σύγκριση με το Σενάριο 0 εξετάζονται οι υπολεκάνες 14,26 και 88.



Εικόνα 5.108: Απορροή της υπολεκάνης 14 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=20έτη).



Εικόνα 5.109: Απορροή της υπολεκάνης 26 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=20έτη).



Εικόνα 5.110: Απορροή της υπολεκάνης 88 του δικτύου για όλα τα σενάρια (t=12h,T=20έτη).

5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.2.1 Γενικά

Στην εργασία αυτή προσομοιώθηκε η λειτουργία του αποχετευτικού συστήματος της Ζώνης Δ, Αθηνών. Σκοπός της διαδικασίας αυτής ήταν η διερεύνηση της πιθανότητας εμφάνισης πλημμύρας στην περιοχή μελέτης με τη χρήση του λογισμικού SWMM. Επίσης, η δόμηση τριών σεναρίων, μικρών, μεσαίων και μεγάλων παραμετρικών τιμών, είχε ως στόχο την εύρεση των σημείων σύγκλισης και απόκλισης των σεναρίων και την εξαγωγή συμπεράσματος εάν αυτός ο τρόπος μελέτης έχει νόημα. Άλλη μία βάση της εργασίας ήταν η διακριτοποίηση των υπολεκανών ως προς τις χρήσεις γης, η επίδραση της οποίας φαίνεται σε σύγκριση με το αδρομερές Σενάριο 0.

5.2.2 Συμπεράσματα ως προς τα τρία σενάρια

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων τα οποία προέκυψαν από τις προσομοιώσεις των τριών σεναρίων κατέδειξαν πως σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις τα σενάρια συγκλίνουν. Οι μεγαλύτερες διαφορές προέκυψαν για διάρκεια βροχόπτωσης t=1h και περίοδο επαναφοράς T=5έτη. Στη συγκεκριμένη περίπτωση εντοπίστηκαν αξιοσημείωτες διαφορές στη διήθηση, τα υδρογραφήματα κόμβου εκβολής και φρεατίου J75 καθώς και στην απορροή των υπολεκανών του δικτύου για την περίπτωση των 3 σεναρίων.

Υπογραμμίζοντας, λοιπόν, τη σύμπνοια των σεναρίων ως προς την επάρκεια ή ανεπάρκεια του αποχετευτικού δικτύου συνήχθη το συμπέρασμα πως δεν υπάρχει λόγος δημιουργίας 3 σεναρίων. Ο κύριος λόγος για τη εξαγωγή της θέσης αυτής, είναι οι μικρές διαφορές που εντοπίστηκαν και αναλυθήκαν στο Κεφάλαιο αυτό.

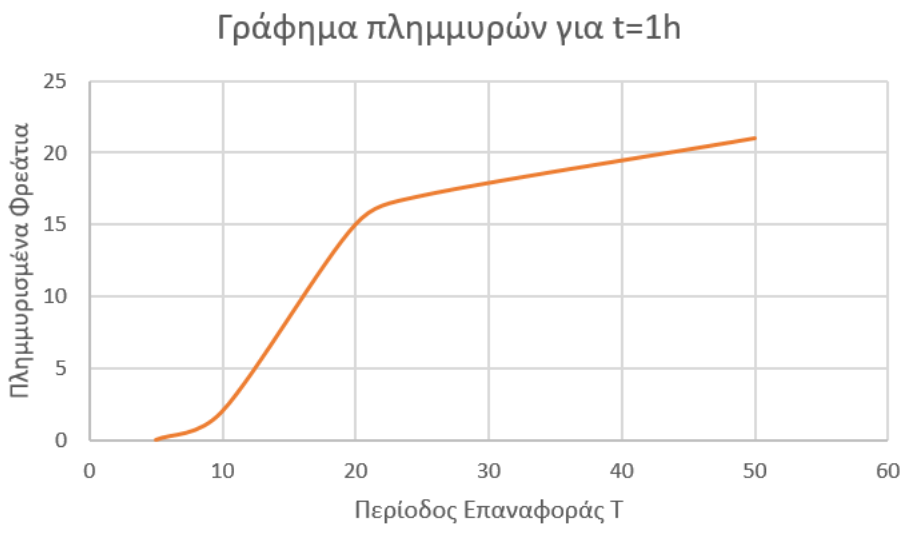
5.2.3 Συμπεράσματα ως προς τη διακριτοποίηση των λεκανών

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των 3 σεναρίων με το αδρομερές Σενάριο 0 δείχνει την επίδραση της διακριτοποίησης των λεκανών. Το Σενάριο 0, το οποίο δομήθηκε χωρίς λεπτομέρειες, όσον αφορά τις παραμετρικές τιμές, δεν εμπεριέχει την επιρροή των χρήσεων γης στα τελικά αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό δημιουργεί διαφοροποιήσεις. Οι διαφοροποιήσεις αυτές, όπως προκύπτει από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που αναφέρονται στους πίνακες (από τον Πίνακα 5.1 έως τον Πίνακα 5.59), εντοπίζονται κατά κύριο λόγο, στις διηθήσεις και στην εμφάνιση του χρόνου αιχμής. Επιπλέον, διαφορές παρατηρούνται στον αριθμό των πλημμυρισμένων φρεατίων, καθώς στο Σενάριο 0 εμφανίζονται περισσότερα. Τέλος, από την ανάλυση των επιλεχθεισών υπολεκανών διακρίνεται μεγαλύτερος όγκος απορροής στο Σενάριο 0 σε όλες τις περιπτώσεις.

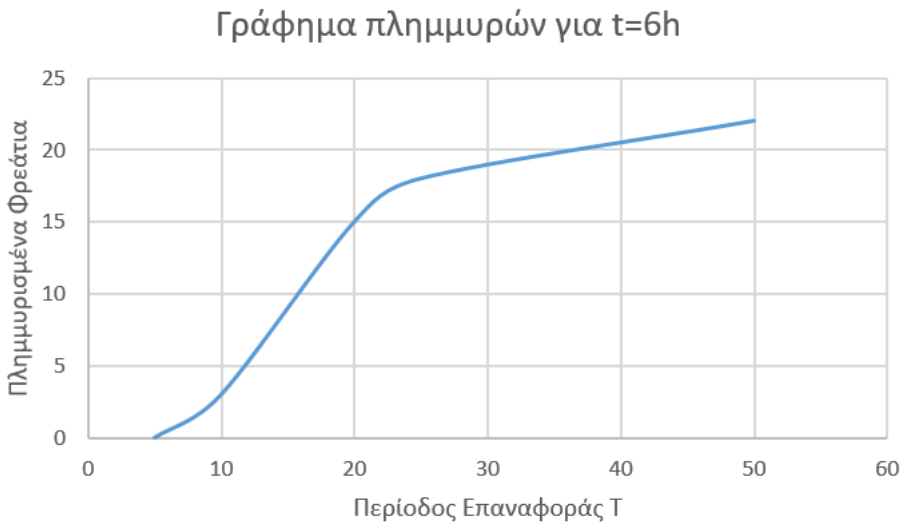
Παρόλα αυτά, οι διαφορές δεν είναι ικανές να αλλάξουν την γενική ικανότητα του δικτύου να αποχετεύσει ή όχι το σύνολο της απορροής. Δηλαδή, τα συμπεράσματα για την επάρκεια του δικτύου σε κάθε περίπτωση βροχόπτωσης, για το Σενάριο 0 και τα υπόλοιπα 3, συγκλίνουν.

5.2.4 Συμπεράσματα ως προς την ικανότητα του αποχετευτικού δικτύου

Η προσομοίωση του αποχετευτικού δικτύου της Ζώνης Δ, με το λογισμικό SWMM, εκτίμησε πως για περίοδο επαναφοράς 5 ετών το αποχετευτικό σύστημα είναι σε θέση να αποχετεύσει όλο τον όγκο νερού που απορρέεται σε αυτό. Όμως, για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς αδυνατεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις της περιοχής, καθώς εντοπίζονται πλημμυρικά γεγονότα φρεατίων, πλήρωση των αγωγών επομένως και επιφανειακή ροή. Το γεγονός αυτό, εμπεριέχει σοβαρούς κινδύνους για την περιοχή μελέτης οι οποίοι μπορεί να είναι δυσάρεστες οσμές και απώλεια περιουσίας μέχρι διακύβευση ανθρώπινων ζωών. Στις Εικόνες 5.111 και 5.112 φαίνεται ο αριθμός των πλημμυρισμένων φρεατίων σε συνάρτηση με την Περίοδο Επαναφοράς Τ.



Εικόνα 5.111: Πλημμυρισμένα Φρεάτια για t=1h



Εικόνα 5.112: Πλημμυρισμένα Φρεάτια για t=6h

5.2.5 Μέτρα αντιμετώπισης

Στην παράγραφο αυτή προτείνονται κάποια βασικά μέτρα αντιμετώπισης του ενδεχόμενου πλημμύρας στην περιοχή μελέτης.

Αρχικά, προτείνεται η μελέτη και κατασκευή σε συγκεκριμένες θέσεις φρεατίων υδροσυλλογής και πιθανόν κατασκευή νέων αγωγών ομβρίων με επαρκή διατομή. Φυσικά, η υλοποίηση έργων τέτοιου βεληνεκούς σε περιοχή με δίκτυο ηλικίας αρκετών δεκάδων χρόνων παρουσιάζει δυσκολίες τεράστιες και διαφόρων ειδών (κοινωνικές, οικονομικές, τεχνικές κ.λπ.). Επιπλέον, η αναβάθμιση του υπόγειου αποχετευτικού

συστήματος με την αύξηση των διαμέτρων αγωγών που φορτίζονται από την πλήρωση είναι μία ακόμα λύση. Η αντικατάσταση των αγωγών με νέους μεγαλύτερης διαμέτρου πρέπει να γίνει με σύνεση καθώς η επιλογή πολλής μεγάλης διαμέτρου αγωγών αποτελεί μια σύμφορη οικονομικά εναλλακτική. Τέλος, η συντήρηση και το καθάρισμα των φρεατίων υδροσυλλογής είναι η πλέον εύκολη υποχρέωση που έχουν οι αρμόδιες αρχές.

6. 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.

Γιαννόπουλος Σ., 2002. Μαθήματα Τεχνικής Υδρολογίας. Έκδοση της Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Γιαννόπουλος Σ., Παπαθανασίου Κ., Μυριούνης Χ. (2015). Προσομοίωση ομβρίων με το λογισμικό SWMM v.5 – Εφαρμογή στη Δ.Ε Συκεών Νομού Θεσσαλονίκης, Πρακτικά 3ου Κοινού Συνεδρίου ΕΥΕ – ΕΕΔΥΠ – ΕΥΣ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 10 -12 Δεκεμβρίου, Αθήνα.

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.

Δάρας Α. (2004). Ημερίδα: Αντιπλημμυρική προστασία Αττικής, Αθήνα 2 Νοεμβρίου.

Ε.Τ.ΜΕ (1987) Οριστική μελέτη βελτιώσεως των υφιστάμενων υπερχειλιστών του κεντρικού παντορροϊκού συστήματος και των έργων εκτροπής παροχής ξηράς περιόδου των φυσικών ρεμάτων στο Κ.Α.Α (κόφτρες), 1ο Μέρος Εισαγωγική Έκθεση, Εταιρία Υδρεύσεων και Αποχετεύσεως Πρωτευούσης (Ε.ΥΔ.Α.Π.) Αθήνα, Δεκέμβριος.

Εταιρία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτευούσης (ΕΥΔΑΠ) (2013). Ο κύκλος του νερού στην Αττική γη.

Κουμπαρέλης Σ.Γ. Ιστορία έργων ύδρευσης αποχέτευσης περιοχής πρωτευούσης, Αρχείο ΕΥΔΑΠ Α.Ε.

Κούρτης Μ. Ιωάννης (2016). Προσομοίωση Παντορροϊκού δικτύου με το λογισμικό και πρόταση μέτρων αντιμετώπισης πλημμυρικών φαινομένων. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό- Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων».

Κουτσογιάννης Δ. Στατιστική Υδρολογία. Εκπαιδευτικές σημειώσεις. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

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.

Martz G., 1987. Υδραυλική των οικισμών. Αποχετεύσεις (Μετάφραση: Μαρκουλίδης 1993). Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα.

Μιμίκου Μ.Α. (2006). Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, 3η Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Μιμίκου Μ.Α. και Μπαλτάς Ε.Α. (2012). Τεχνική υδρολογία, 5η Έκδοση , Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Μπέλλος Κ., 2005. Στοιχεία Τεχνικής υδρολογίας. Σημειώσεις προπτυχιακού προγράμματος σπουδών. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Δ.Π.Θ. Ξάνθη.

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 SWMM 5 – Εφαρμογή στο Δήμο Συκεών Ν. Θεσσαλονίκης, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα: Γεωπληροφορική, Κατεύθυνση: Υδατικοί Πόροι.

Τσακίρης Γ. (2010). Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός και Διαχείριση Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης Γ. και Βαγγέλης Χ. (2009). Υδατικοί Πόροι: ΙΙ. Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Τσακίρης Γ. (2013). Υδατικοί Πόροι: Ι. 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.

Τσόγκας Ερ. Χρήστος (1998), Δίκτυα Αποχέτευσης & Επεξεργασία Λυμάτων, Αθήνα, Εκδόσεις ΙΩΝ.

ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ). Τεύχος 8: Αποχέτευση-Στράγγιση. Υδραυλικά Έργα Οδών (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ). Αθήνα.

Ψαρρού Ελευθερία (2017). Βέλτιστη χωροθέτηση και προσομοίωση λειτουργίας μονάδων εξόρυξης και επεξεργασίας λυμάτων (sewer mining units) σε αστικά δίκτυα αποχέτευσης. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διεπιστημονικό-Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων».

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

American society of Civil Engineers (ASCE) (1992). Design and Conctruction of Urban Stormwater Management Systems, American Society of civil Engineers, New York, NY.

Aryal S.K., Ashbolt S., Mclntosh B. S., Petrone K. P., Maheepala S., Chowdhury R. K., Gardener T., Gardiner R. (2016). Assessing and Mitigation the Hydrological Impacts of Urbanization in Semi-Urban Catchments Using the Storm Water Management Model.

Clark, J. W., W. Viessman Jr. & M. J. Hammer (1977), Water Supply and Pollution Control, 3nd edition T. Y. Crowell, New York

Cho K., Ball J. E. (2002). Parameter estimation for urban runoff modeling. Urban water, Volume 4.

Chow M. F., Yusop Z., Toriman M. E. (2012). Modelling runoff quantity and quality in tropical urban catchments using Storm Water Management Model

Di Matteo M., Liang R., Maier h. R., Thyer M. A., Simpson a. R., Dandy G. C., Ernst B., Controlling rainwater storage as a system: An opportunity to reduce urban flood peaks for rare, long duration storms.

Gilley J. E., Finkner S.C. (1991). Hydraulic Roughness Coefficients as Aggected by Random Roughness. University of Nebraska.

Gray D.M., 1973. Handbook on the principles of hydrology. Water Information Centrer Inc., Port Washington. N.Y.

Gray F. Harold. (1940). Sewerage in ancient and mediaeval times, Sewage Works Journal, Volume 12, pp. 939-946.

Hsu M.H., Chen S. H., Chang T. J. (2000). Inundation simulation for urban drainage basin.

James W., Rossman L. A., James W. R. (2010). User's Guide to SWMM5 13th Edition, USA.

Junaidi, Lusi Marta Ermalizar and Ahmad Junaidi. (2018). Flood simulation using EPA SWMM 5.1 on small catchment urban drainage system.

Lowe A. Scott. (2006). Sanitary Sewer Design Using EPA Storm Water Management Model (SWMM). Manhattan College.

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.

Rawls, W. J., and D.L. Brakensiek, and N. Miller, Green- Ampt Infiltration Parameters from Soils Data, Journal of Hydraulic Engineering, 1983

Rossman L. (2015). Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – hydrology, EPA/600/R-05/040, 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.

Selvalingam S., Liong S. Y. and Manoharan P. C. (1987). Use of RORB and SWMM models to an urban catchment in Singapore

Steel, E.W. (1960), Water Supply and Sewerage, 4th edition, Mc Graw Hill.

Sun Ning, Myrna Hall, Bongghi Hong and LianJun Zhang. (2014). Impact of SWMM Catchment Discretization: Case Study in Syracuse, New York

Tikkanen H. (2013) Hydrological modeling of a large urban catchment using Stormwater management model (SWMM), Master thesis, Aalto Univeristy, Transport and Environmental Engineering.

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.

Tsihrintzis V.A., Hamid R. (1997). Modeling and management of urban Stormwater runoff quality: A review, Water Resources Management, Volume 11, pp. 137- 164.

U.S. Army Corps of Engineers (U.S.A.C.E.), 1982. Hydrologic Analysis of Ungauged Watersheds Using HEC -1. TD- 15.

Wu Yexia, Jiang Yongjun, Yuan Daoxian. (2007). Modeling hydrological responses of karst spring to storm events example of the Shuifang spring (Jinfo Mt., Chongquing, China).

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.

Ηλεκτρονική

www.educba.com

www.eydap.gr

www.foundalis.com

www.notepad-plus-plus.org

www.sewerhistory.org

www.watersave.gr

www.Wikipedia.org

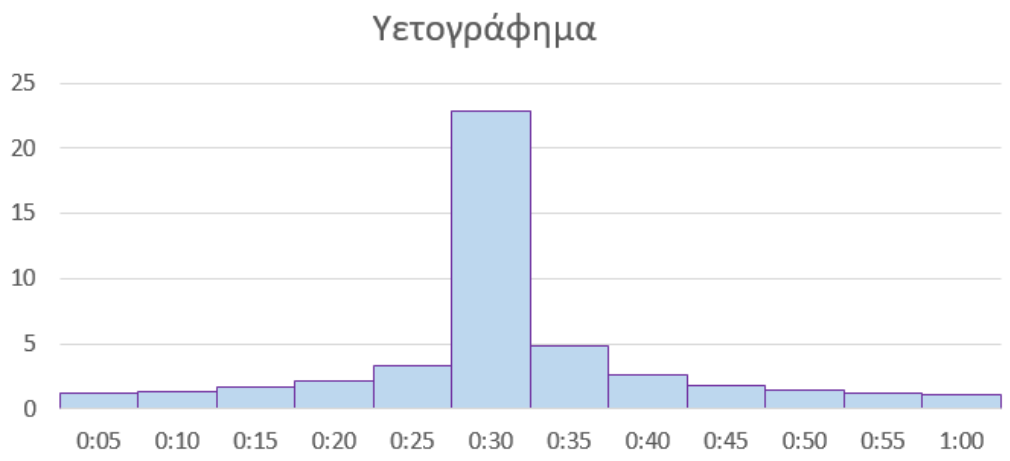
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εικόνα Π-1: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=1

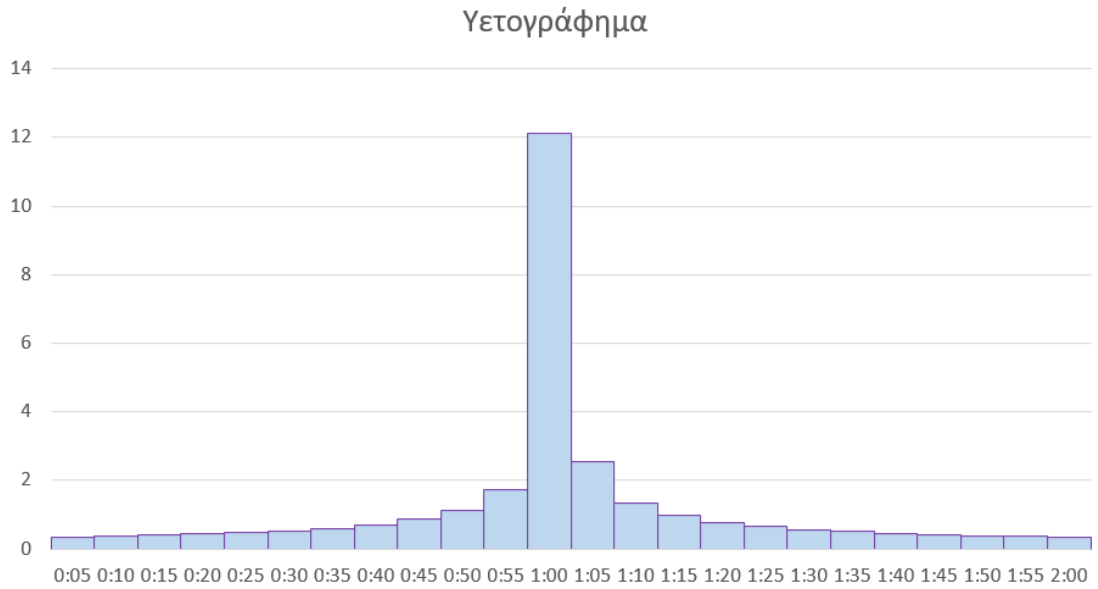
Εικόνα Π-2: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=1

Εικόνα Π-3: Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=1

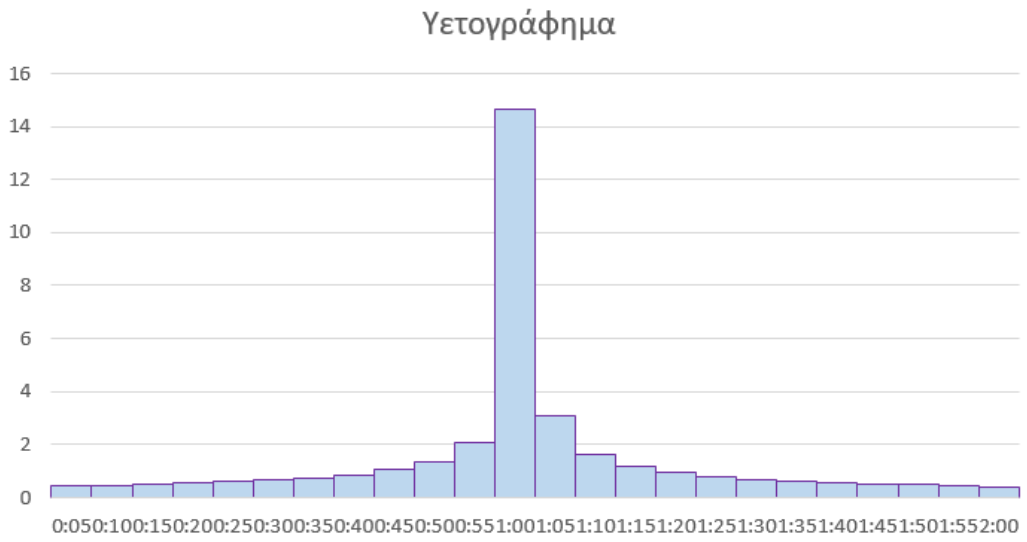
Εικόνα Π-4: Υετογράφημα σχεδιασμού T=25 και t=1



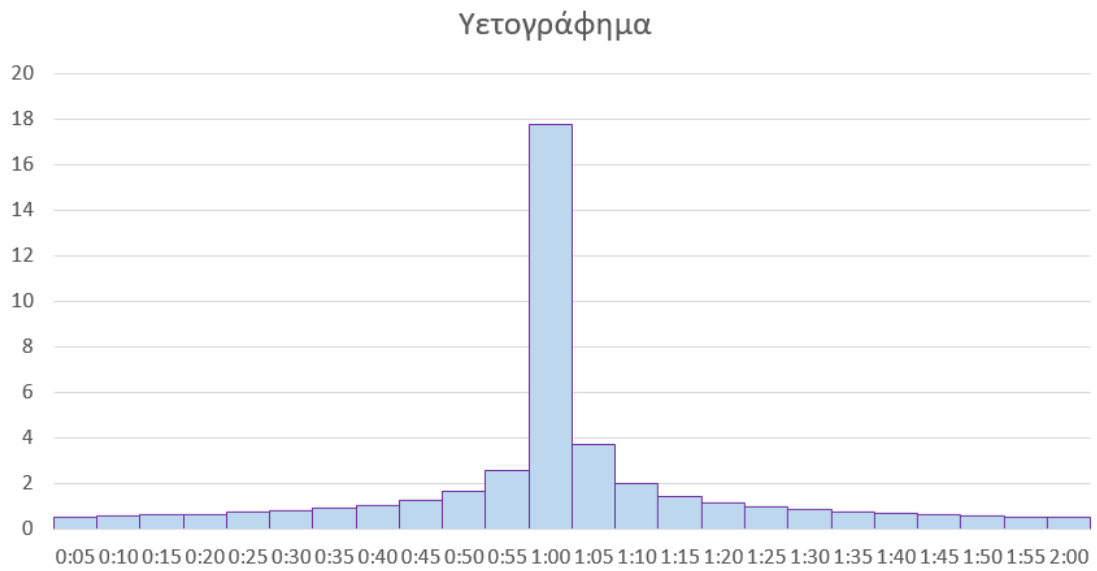
Εικόνα Π-5: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=1



Εικόνα Π-6: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=2

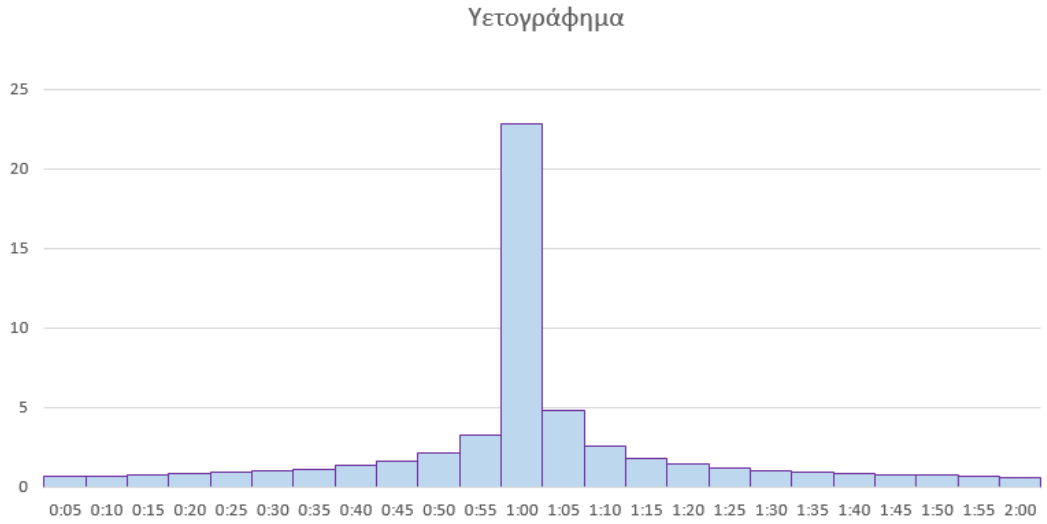


Εικόνα Π-7: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=2

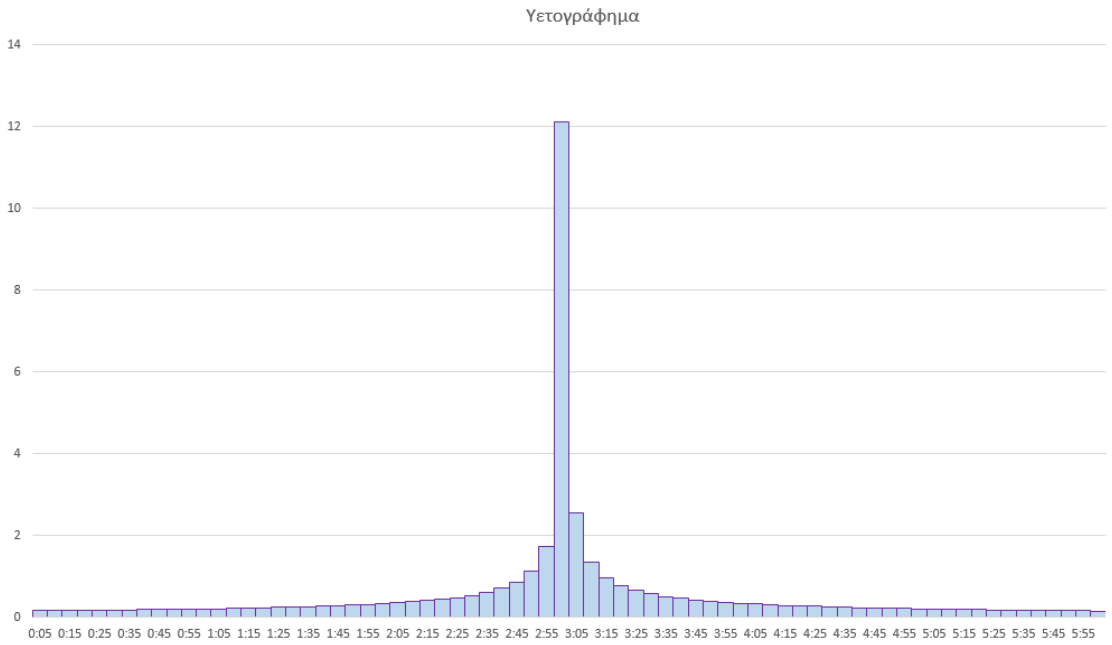


Εικόνα Π-8: Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=2

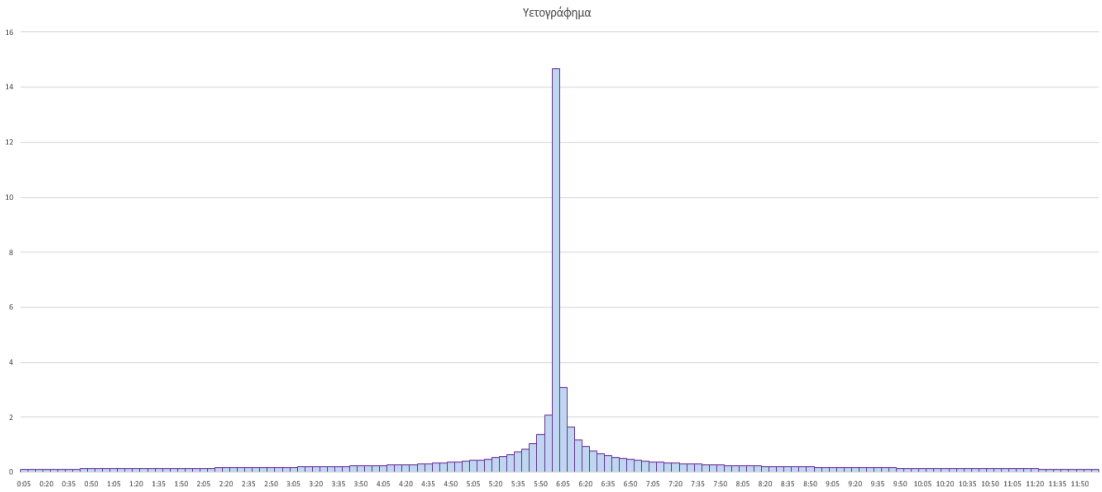
Εικόνα Π-9: Υετογράφημα σχεδιασμού T=25 και t=2



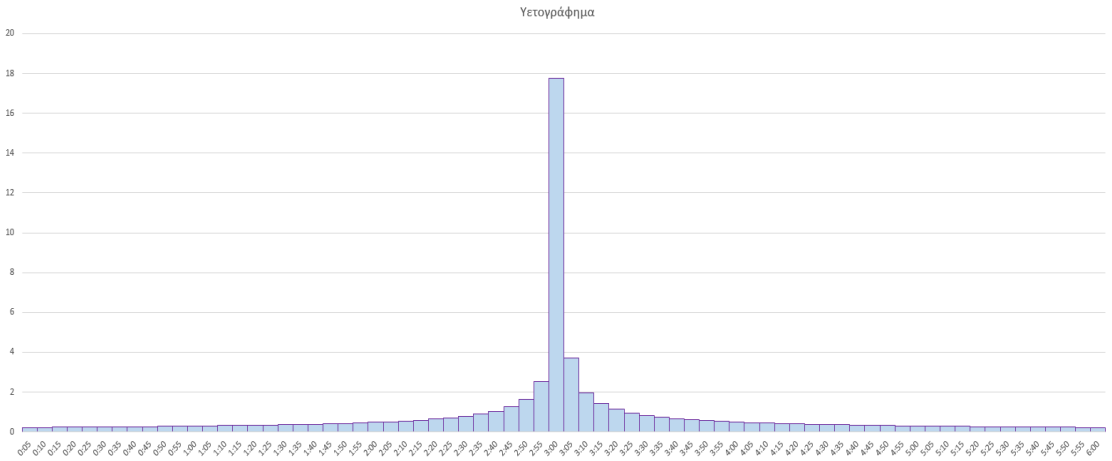
Εικόνα Π-10: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=2



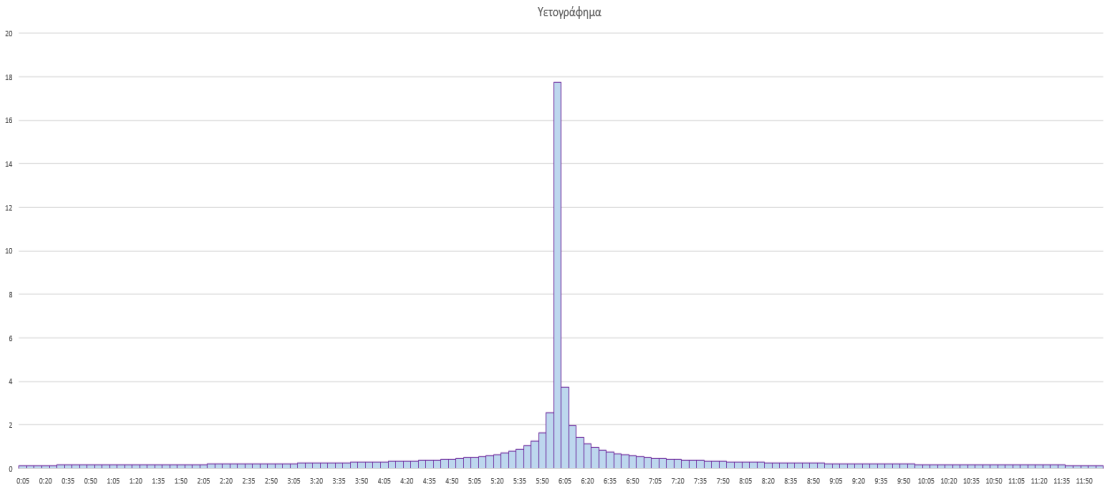
Εικόνα Π-11: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=6



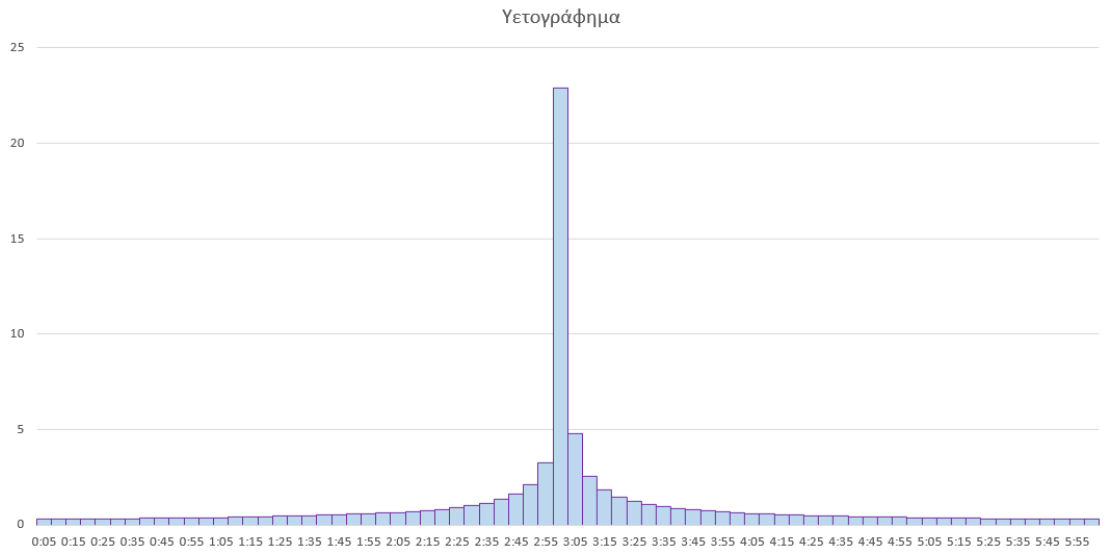
Εικόνα Π-12: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=6



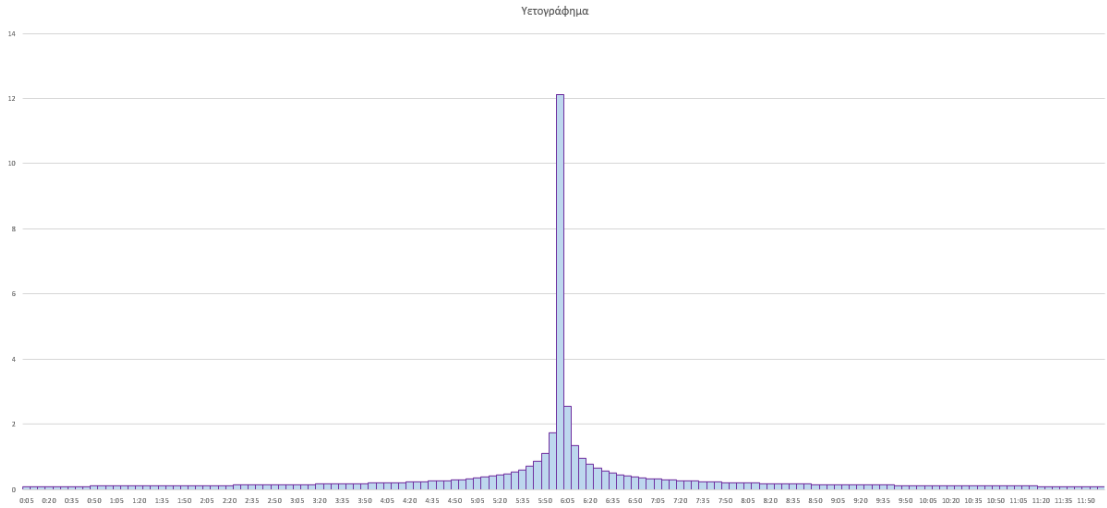
Εικόνα Π-13: Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=6



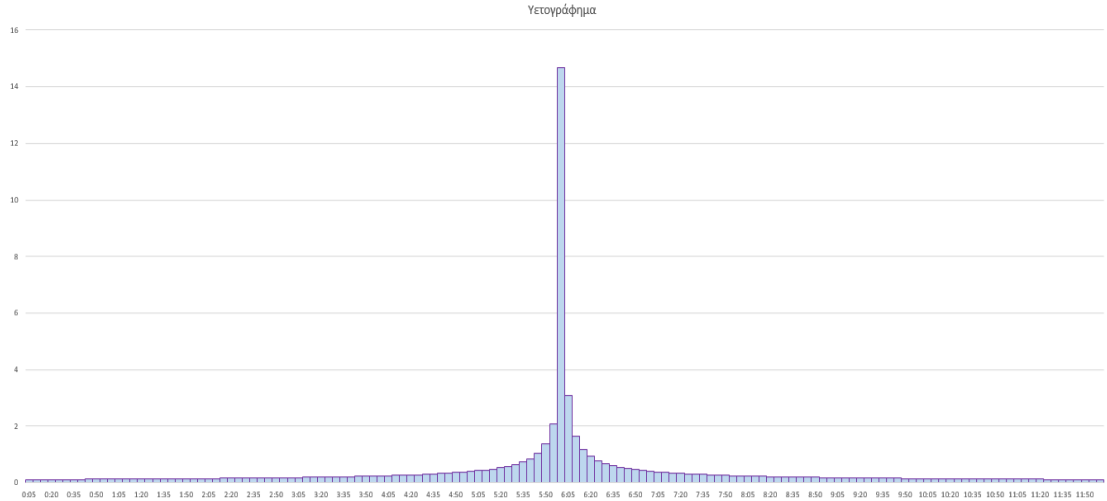
Εικόνα Π-14: Υετογράφημα σχεδιασμού T=25 και t=6



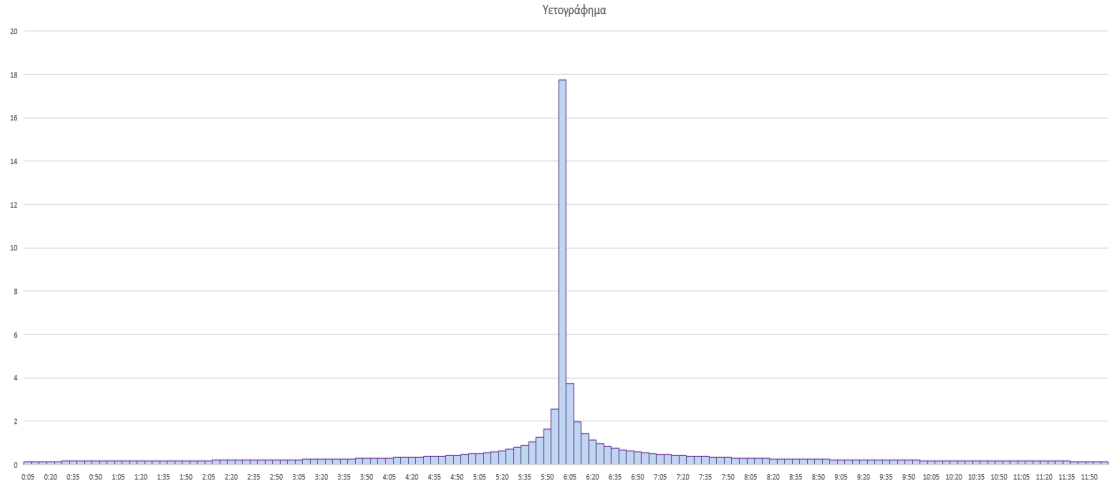
Εικόνα Π-15: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=6



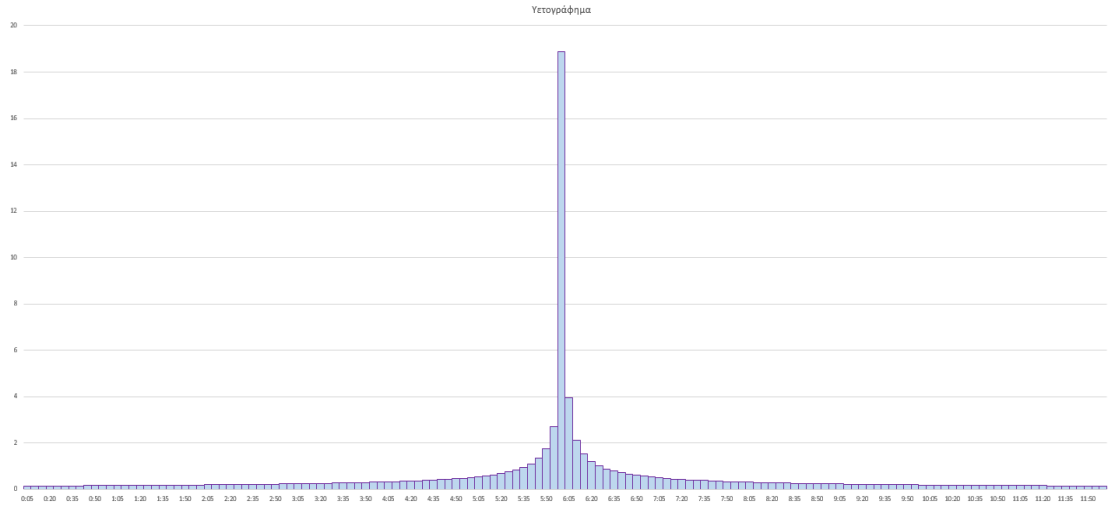
Εικόνα Π-16: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=12



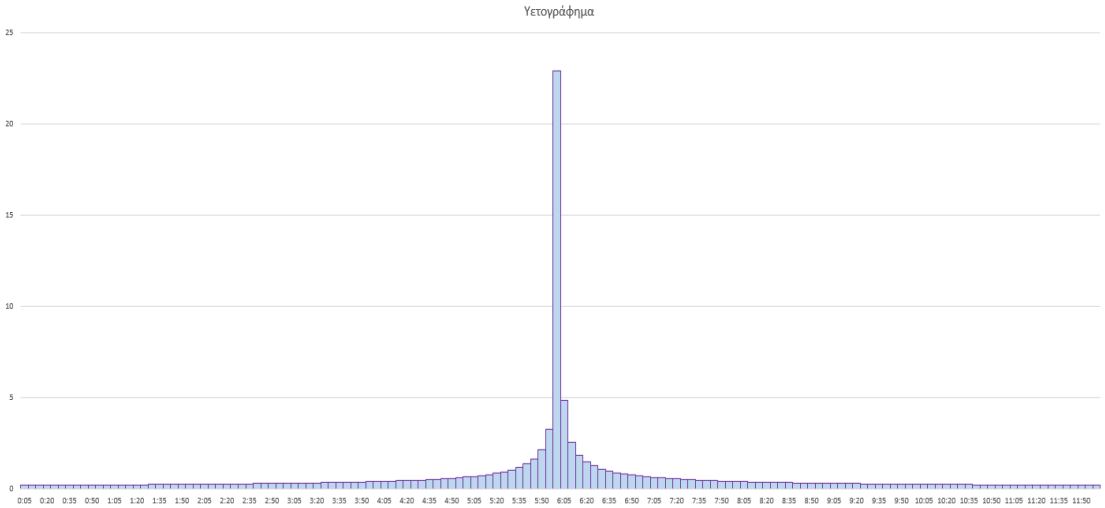
Εικόνα Π-17: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=12



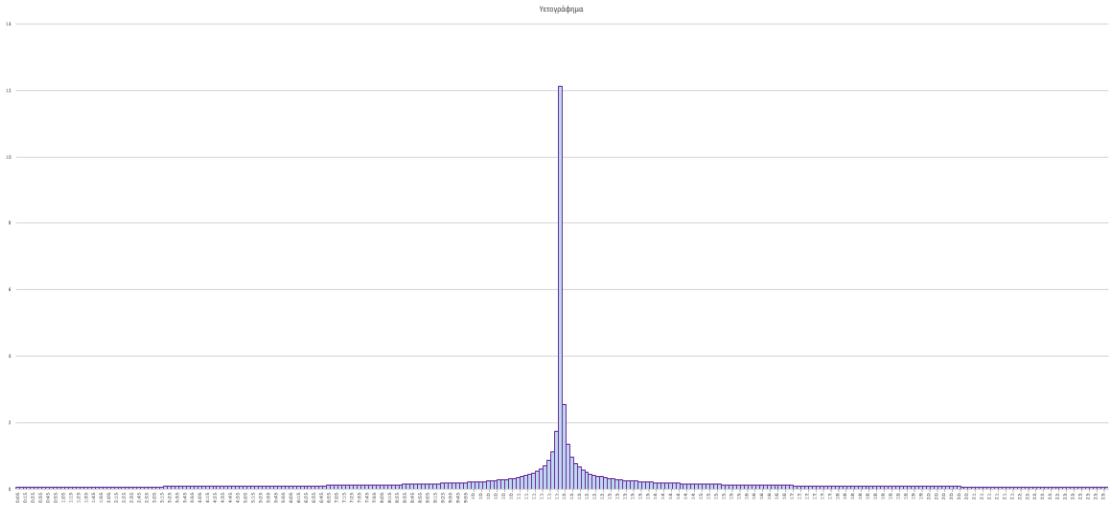
Εικόνα Π-18: Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=12



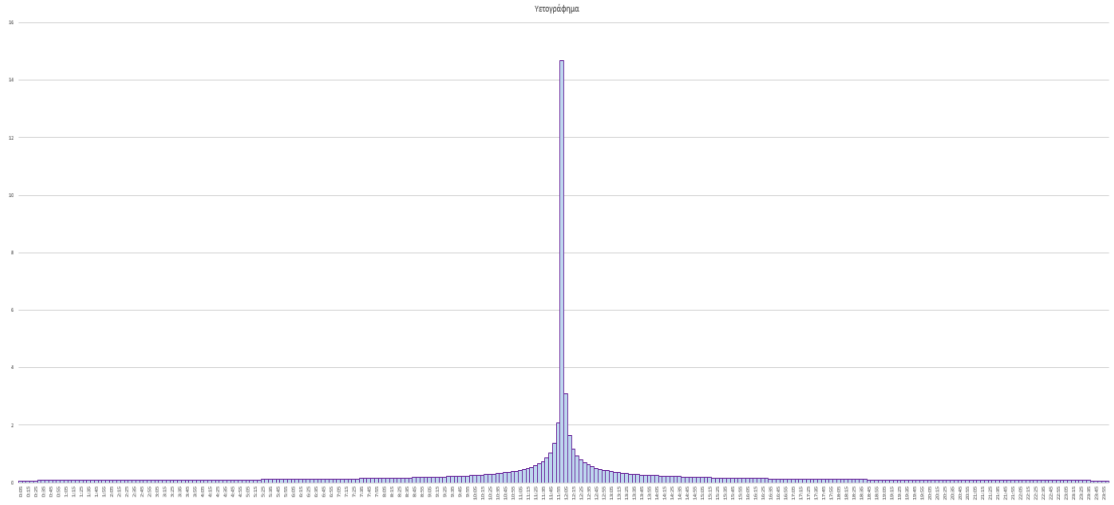
Εικόνα Π-19: Υετογράφημα σχεδιασμού T=25 και t=12



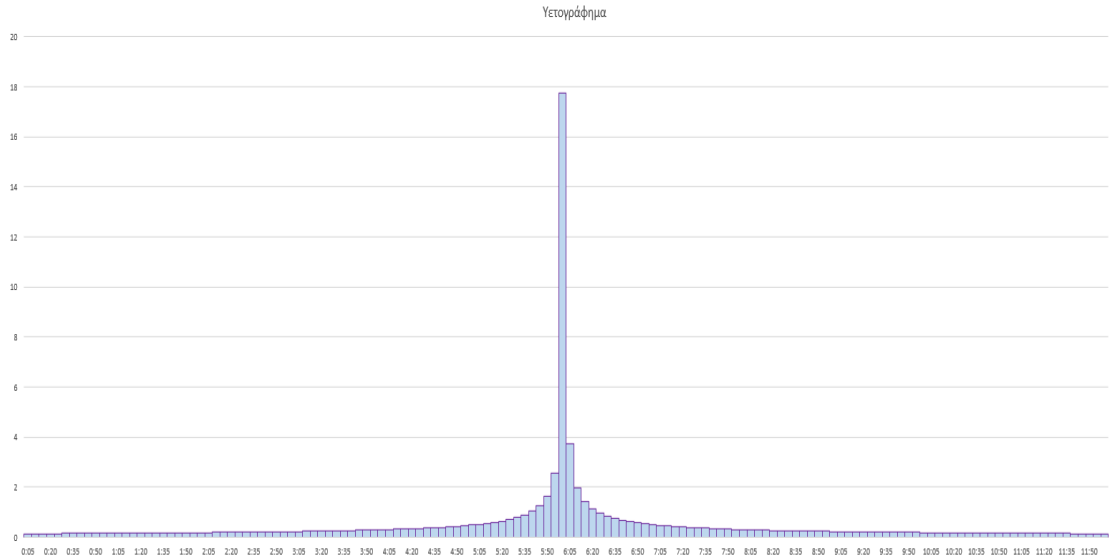
Εικόνα Π-20: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=12



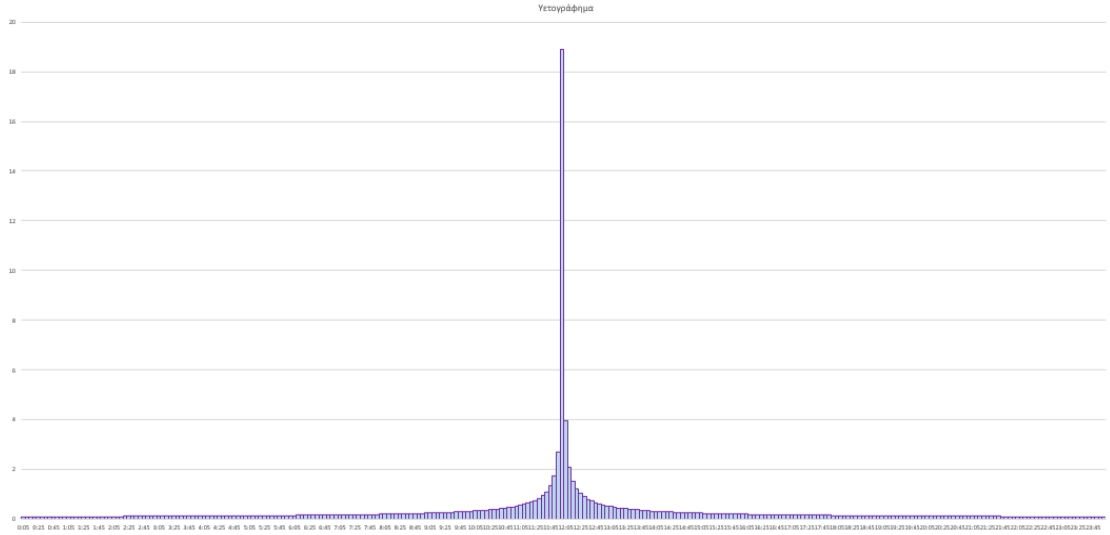
Εικόνα Π-21: Υετογράφημα σχεδιασμού T=5 και t=24



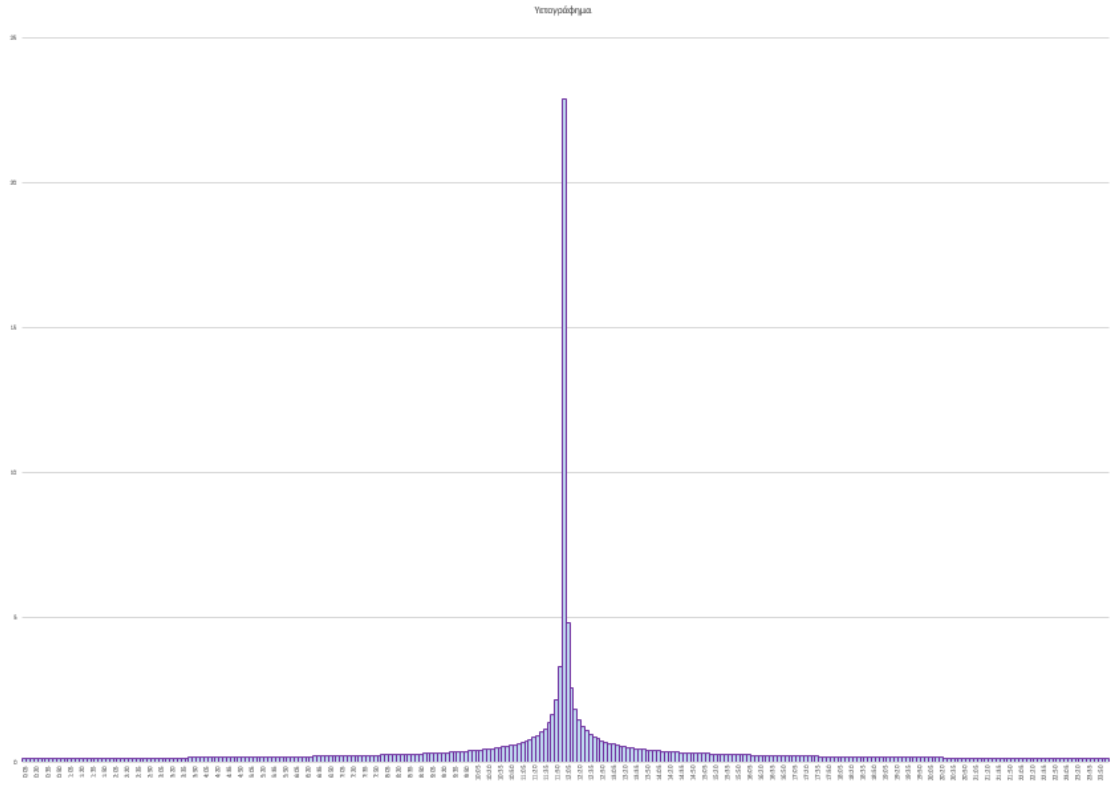
Εικόνα Π-22: Υετογράφημα σχεδιασμού T=10 και t=24



Εικόνα Π-23: Υετογράφημα σχεδιασμού T=20 και t=24



Εικόνα Π-24: Υετογράφημα σχεδιασμού T=25 και t=24



Εικόνα Π-25: Υετογράφημα σχεδιασμού T=50 και t=24