



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΡΕΜΑ ΑΧΑΡΝΩΝ (ΚΑΝΑΠΙΤΣΑ)



Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΜΙΧΑΗΛ ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ
Μηχανικός Αεροπορικών Εγκαταστάσεων
(Σχολή Ικάρων – Τμήμα Μηχανικών)

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Επιβλέπων : **ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Ι. ΣΤΑΜΟΥ,**
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΡΕΜΑ ΑΧΑΡΝΩΝ (ΚΑΝΑΠΙΤΣΑ)

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΜΙΧΑΗΛ ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ
Μηχανικός Αεροπορικών Εγκαταστάσεων
(Σχολή Ικάρων – Τμήμα Μηχανικών)

Επιβλέπων : ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ Ι. ΣΤΑΜΟΥ
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις / 03 / 2023

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Αναστάσιος Στάμου, Καθηγητής ΕΜΠ
Συμεών-Αλέξανδρος Μαλαμής, Επ.Καθηγητής ΕΜΠ
Ευάγγελος Μπαλτάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην υλοποίηση της εργασίας αυτής, τόσο άμεσα όσο και έμμεσα.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Αναστάσιο Στάμου, ο οποίος από το ξεκίνημα της διπλωματικής εργασίας με εμπιστεύτηκε και με καθοδήγησε με γνώσεις και συμβουλευτικές προτάσεις, δίνοντάς μου τη δυνατότητα να εργαστώ πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο και να υλοποιήσω την εργασία αυτή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Υδραυλικής στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.) και συγκεκριμένα, το Γεώργιο Μητσόπουλο (υποψήφιο διδάκτορα) για την πολύτιμη βοήθειά του σε όλα τα στάδια της διπλωματικής εργασίας. Η συμβολή του ήταν καθοριστική και, αν και πολλές φορές καταχράστηκα την υπομονή του και το χρόνο του, ποτέ δεν αρνήθηκε τη συμβουλή, την καθοδήγηση και την επίλυση προβλημάτων που ανέκυπταν σε όλα τα στάδια της μελέτης.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.) και την επιστημονική ομάδα του Καθηγητή κ. Ευάγγελου Μπαλτά, ιδιαίτερα δε τον Απόλλωνα Μπουρνά (υποψήφιο διδάκτορα), για την πολύτιμη βοήθειά του στη διερεύνηση των υδρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής της μελέτης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην εταιρεία Z & A Π. Αντωναρόπουλος και Συνεργάτες ΑΜΕ, στην οποία και εργάζομαι, τόσο προς τη συνάδελφο Ειρήνη Σακελλάρη για την παροχή τεχνικών στοιχείων που αφορούν στα υπό κατασκευή αντιπλημμυρικά έργα του ρέματος της Καναπίτσας, όσο και τον κ. Αντωναρόπουλο για την υπομονή του και τη διευκόλυνση που μου παρείχε με άδειες καθ' όλη τη διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος. Ειλικρινά, χωρίς αυτή τη στήριξη δεν θα είχα καταφέρει να ολοκληρώσω το πρόγραμμα σπουδών και την παρούσα διπλωματική εργασία.

Τέλος, αισθάνομαι ολόψυχα την υποχρέωση να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Βάσω και το γιο μου Αλέξη, που στάθηκαν δίπλα μου σε αυτήν την πορεία, για την αγάπη και τη στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και για την υπομονή τους έως ότου πετύχω τους στόχους μου.

Ειλικρινά σας ευχαριστώ πολύ όλους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	ix
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	xi
ABSTRACT	1
EXTENDED ABSTRACT	3
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Αντικείμενο και στόχος της εργασίας	9
1.2 Διάρθρωση της εργασίας	10
1.3 Πλημμύρες	10
1.4 Σχέδια Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας.....	12
2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	17
2.1 Το υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS	17
2.1.1 Συνιστώσες του προγράμματος.....	17
2.1.3 Γεωχωρικά δεδομένα για τον καθορισμό της λεκάνης	18
2.1.4 Δημιουργία του Υδρολογικού Μοντέλου HEC-HMS	19
2.1.5 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	25
2.2 Το υδροδυναμικό μοντέλο HEC-RAS	25
2.2.1 Εισαγωγή - Γενικά χαρακτηριστικά.....	25
2.2.2 Οι εξισώσεις του μοντέλου	26
(i) Εξισώσεις μονοδιάστατης (1D) ροής	26
(ii) Εξισώσεις δισδιάστατης (2D) ροής.....	28
2.2.3 Δεδομένα εισόδου του μοντέλου	30
2.2.4 Οριακές και αρχικές συνθήκες του μοντέλου	30
2.2.5 Μοντελοποίηση τεχνικών έργων.....	30
3 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΑΧΑΡΝΩΝ	33
3.2 Ιστορικό πλημμυρών	35
3.3 Υφιστάμενη κατάσταση ρέματος.....	35
3.3.1 Τμήμα ανάντη Λεωφόρου Δεκελείας	35
3.3.2 Τμήμα κατάντη Λεωφόρου Δεκελείας έως Κηφισό.....	36
4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ	41
4.1 Γενικά.....	41
4.2 Αναλυτική παρουσίαση νέων έργων	41
5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	51
5.1 Δεδομένα υδρολογικών υπολογισμών	51
5.1.1 Λεκάνη απορροής ρέματος Αχαρνών	51
5.1.2 Όμβριες καμπύλες	53

5.1.3	Υετογροφρήματα.....	56
5.2	Δεδομένα υδραυλικών υπολογισμών.....	58
5.2.1	Τοπογροφικά δεδομένα.....	58
5.2.2	Γεωμετρικά δεδομένα διατομών.....	59
5.2.3	Λοιπές παράμετροι του μοντέλου HEC RAS.....	59
6	ΔΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	61
6.1	Γενικά.....	61
6.2	Υδρολογικό Μοντέλο.....	61
6.2.1	Μοντέλο Λεκάνης Απορροής (Basin Model).....	61
6.2.2	Μετεωρολογικό Μοντέλο (Meteorologic Models).....	62
6.2.3	Αρχείο Ελέγχου (Control Specifications).....	63
6.2.4	Αρχείο Προσομοίωσης (Simulation Run).....	64
6.3	Υδρολογικοί υπολογισμοί – αποτελέσματα.....	65
7	ΔΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	73
7.1	Εισαγωγή του άξονα ρέματος.....	73
7.2	Εισαγωγή διατομών ελέγχου.....	73
7.3	Τεχνικά έργα και οχετοί.....	77
8	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	79
8.1	Εισαγωγή.....	79
8.2	Υδραυλικοί υπολογισμοί και σχολιασμός τους.....	79
8.2.1	Σενάριο Α' για $T = 50$ έτη.....	79
8.2.2	Σενάριο Β' για $T = 100$ έτη.....	82
8.2.3	Σενάριο Γ' για $T = 250$ έτη.....	86
8.2.4	Σενάριο Δ' για $T = 500$ έτη.....	89
8.2.5	Σενάριο Ε' για $T = 1000$ έτη.....	93
8.3	Σύγκριση επάρκειας παροχετευτικότητας των 5 σεναρίων.....	97
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	101
9.1	Συμπεράσματα.....	101
9.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	102
10	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	103
10.1	Διεθνής Βιβλιογροφία.....	103
10.2	Ελληνική βιβλιογροφία.....	104

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1-1: Βασικά μορφολογικά στοιχεία της λεκάνης απορροής του ρέματος Αχαρνών.....	51
Πίνακας 5.1-2: Σταθμισμένο CN της ενιαίας λεκάνης απορροής του ρέματος Αχαρνών.....	52
Πίνακας 5.1-3: Παράμετροι όμβριας καμπύλης για τους 3 πλησιέστερους βροχομετρικούς σταθμούς.....	53
Πίνακας 5.1-4: Χρονοσειρές εντάσεων βροχής διάρκειας 12h για περιόδους επαναφοράς 50, 100, 250, 500 και 1.000 έτη.....	57
Πίνακας 6.3-1: Αποτελέσματα προσομοίωσης για 12ωρη βροχή περιόδου επαναφοράς T=50 έτη.....	66
Πίνακας 6.3-2: Αποτελέσματα προσομοίωσης για 12ωρη βροχή περιόδου επαναφοράς T=100 έτη.....	67
Πίνακας 6.3-3: Αποτελέσματα προσομοίωσης για 12ωρη βροχή περιόδου επαναφοράς T=250 έτη.....	68
Πίνακας 6.3-4: Αποτελέσματα προσομοίωσης για 12ωρη βροχή περιόδου επαναφοράς T=500 έτη.....	69
Πίνακας 6.3-5: Αποτελέσματα προσομοίωσης για 12ωρη βροχή περιόδου επαναφοράς T=1000 έτη.....	70
Πίνακας 7.3-1: Προσομοίωση τεχνικών έργων του μοντέλου HEC-RAS 1D.....	77
Πίνακας 8.2-1: Χαρακτηριστικά μεγέθη ροής (T=50Y).....	81
Πίνακας 8.2-2: Χαρακτηριστικά μεγέθη ροής (T=100Y).....	84
Πίνακας 8.2-3: Χαρακτηριστικά μεγέθη ροής (T=250Y).....	88
Πίνακας 8.2-4: Χαρακτηριστικά μεγέθη ροής (T=500Y).....	91
Πίνακας 8.2-5: Χαρακτηριστικά μεγέθη ροής (T=1000Y).....	95
Πίνακας 8.3-1: Συγκριτική απεικόνιση επάρκειας των διαφόρων σεναρίων.....	97

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 5.1-1: Σύγκριση εμπειρικής όμβριας καμπύλης Ε.Λ.Ε.Σ.Σ. με όμβρια καμπύλη 5 παραμέτρων βροχομετρικού σταθμού Άνω Λιοσίων για T= 100 έτη.....	54
Διάγραμμα 5.1-2: Σύγκριση εμπειρικής όμβριας καμπύλης Ε.Λ.Ε.Σ.Σ. με όμβρια καμπύλη 5 παραμέτρων βροχομετρικού σταθμού Μενιδίου για T= 100 έτη.....	55
Διάγραμμα 5.1-3: Σύγκριση εμπειρικής όμβριας καμπύλης Ε.Λ.Ε.Σ.Σ. με όμβρια καμπύλη 5 παραμέτρων βροχομετρικού σταθμού Τατοΐου για T= 100 έτη.....	55
Διάγραμμα 5.1-4: Υετογραφήματα για βροχή διάρκειας 12h και περιόδους επαναφοράς 50, 100, 250, 500 και 1.000 έτη.....	57
Διάγραμμα 6.3-1: Πλημμυρογραφήματα για βροχή διάρκειας 12h και περιόδους επαναφοράς 50, 100, 250, 500 και 1.000 έτη.....	71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.6-1 Κατανομή πλημμυρών στον ελληνικό χώρο.....	15
Σχήμα 2.1-1 Βασικές Διεργασίες Βροχής - Απορροής στο HEC HMS.....	18
Σχήμα 2.1-2 Διασύνδεση μεταξύ GIS, HEC-GeoHMS και HEC-HMS.....	18
Σχήμα 2.2-1 Τοποθεσίες διατομών σε μία γέφυρα ή Culvert στο HEC-RAS.....	31
Σχήμα 3.1-1 Το ρέμα Αχαρνών (Καναπίτσα) πάνω σε υπόβαθρο Google Earth.....	33
Σχήμα 3.1-2 Το ρέμα Αχαρνών σε σχέση με το υδρογραφικό δίκτυο του λεκανοπεδίου Αττικής.....	34
Σχήμα 3.1-3 Βιομηχανική και Οικιστική ανάπτυξη εκατέρωθεν ρέματος Αχαρνών.....	34
Σχήμα 3.1-4 Χάρτης χρήσεων γης Corine (2018) για το λεκανοπέδιο Αττικής.....	35
Σχήμα 4.2-1 Διατομή από σκυρόδεμα - Χ.Θ. 0+500 έως Χ.Θ. 0+750.....	42
Σχήμα 4.2-2 Διατομή από συρματοκιβώτια - Χ.Θ. 0+750 έως Χ.Θ. 1+647.....	42
Σχήμα 4.2-3 Διατηρούμενη γέφυρα οδού Φιλαδελφείας στη Χ.Θ. 0+871.73.....	43
Σχήμα 4.2-4 Νέο προβλεπόμενο τεχνικό οδού 25ης Μαρτίου στη Χ.Θ. 1+357.00.....	43
Σχήμα 4.2-5 Νέο έργο συναρμογής κατάντη Ατ. Οδού Χ.Θ. 1+646.70 έως 1+696.70.....	44
Σχήμα 4.2-6 Νέο έργο συναρμογής ανάντη Ατ. Οδού Χ.Θ. 2+580.27 έως 2+610.27.....	44
Σχήμα 4.2-7 Τυπικές διατομές διευθέτησης ανοικτής κοίτης με συρματοκιβώτια.....	45
Σχήμα 4.2-8 Νέο προβλεπόμενο τεχνικό Λεωφ. Ιωνίας στη Χ.Θ. 2+722.00.....	46
Σχήμα 4.2-9 Νέο προβλεπόμενο τεχνικό οδού Παλαιολόγου στη Χ.Θ. 2+820.00.....	47
Σχήμα 4.2-10 Νέο προβλεπόμενο τεχνικό οδού Αγ. Φανουρίου στη Χ.Θ. 3+745.00.....	47
Σχήμα 4.2-11 Νέος προβλεπόμενος σχετός για τη γεφύρωση της οδ. Σπ. Βρεττού, των Σιδηροδρομικών Γραμμών ΟΣΕ και της οδ. Αγ. Κωνσταντίνου από Χ.Θ. 4+129.90 έως Χ.Θ. 4+196.00.....	48
Σχήμα 5.2-1 Ενδεικτική διατομή με τοπογραφικά στοιχεία.....	58
Σχήμα 5.2-2 Απόσπασμα μηκοτομής ρέματος Αχαρνών.....	59
Σχήμα 7.1-1 Απόσπασμα τοπογραφικού σχεδίου ρέματος Αχαρνών.....	73

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3.3-1	Κοίτη ρέματος Αχαρνών κατάντη της Χ.Θ. 4+500.....	36
Εικόνα 3.3-2	Πάρκο μεταξύ ιρλανδικής διάβασης Αγ. Κωνσταντίνου και θολωτού τεχνικού γραμμών ΟΣΕ, Χ.Θ.4+164.....	37
Εικόνα 3.3-3	Θολωτό τεχνικό γραμμών ΟΣΕ, λήψη από την οδό Σπ. Βρεττού.....	37
Εικόνα 3.3-4	Τεχνικό Σπ. Βρεττού, Χ.Θ. 4+135.20, λήψη από αριστερή κατάντη όχθη.....	37
Εικόνα 3.3-5	Τεχνικό Αγ. Φανουρίου, Χ.Θ. 3+745.30.....	38
Εικόνα 3.3-6	Λήψη από τη δεξιά όχθη προς τα ανάντη, Χ.Θ. 3+240.....	38
Εικόνα 3.3-7	Τεχνικό οδ. Παλαιολόγου, λήψη από αριστερή κατάντη όχθη.....	38
Εικόνα 3.3-8	Παραρεμμάτια οδός Καναπίτσα, αριστερή όχθη, Χ.Θ. 2+960.....	38
Εικόνα 3.3-9	Μάντρες κτισμάτων στην κοίτη, αμέσως ανάντη οδ. Παλαιολόγου.....	38
Εικόνα 3.3-10	Δίδυμος σωληνωτός οχετός Λ. Ιωνίας, Χ.Θ. 2+774.10.....	38
Εικόνα 3.3-11	Τρίδυμη ανοικτή ορθογωνική διατομή Αττικής οδού.....	39
Εικόνα 3.3-12	Ανοικτή ορθογωνική διατομή κατάντη Αττικής Οδού.....	39
Εικόνα 3.3-13	Ρέμα Αχαρνών κατάντη οδ. 25ης Μαρτίου, Χ.Θ. 1+355.80.....	39
Εικόνα 3.3-14	Κατοικία στην αριστερή όχθη κατάντη οδ. 25ης Μαρτίου.....	39
Εικόνα 3.3-15	Κοίτη ρέματος ανάντη οδού Φιλαδελφείας.....	40
Εικόνα 3.3-16	Εκβολή σωληνωτού οχετού D2000mm, Χ.Θ. 0+557.....	40
Εικόνα 3.3-17	Φρεάτιο εισόδου στον κιβωτοειδή οχετό οδού Σκρα, Χ.Θ. 0+500.....	40
Εικόνα 3.3-18	Εκβολή ρ. Αχαρνών στον ποταμό Κηφισό, Χ.Θ. 0+010.....	40
Εικόνα 6.2-1	Δημιουργία μοντέλου λεκάνης απορροής στο HEC-HMS.....	61
Εικόνα 6.2-2	Επιλογές Curve Number και Lag Time λεκάνης απορροής στο HEC-HMS.....	62
Εικόνα 6.2-3	Διαδοχικά στάδια δημιουργίας μετεωρολογικού μοντέλου στο HEC-HMS.....	63
Εικόνα 6.2-4	Δημιουργία αρχείου ελέγχου στο HEC-HMS.....	64
Εικόνα 6.2-5	Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης στο HEC-HMS.....	65
Εικόνα 7.2-1	Γραμμή άξονα και διατομές του ρέματος Αχαρνών στο HEC RAS.....	74
Εικόνα 7.2-2	Χιλιομετρική θέση διατομής.....	75
Εικόνα 7.2-3	Συντεταγμένες διατομής.....	75
Εικόνα 7.2-4	Επιπλέον χαρακτηριστικά δεδομένα διατομής.....	76
Εικόνα 7.2-5	Τελική μορφή διατομής.....	76
Εικόνα 7.3-1	Η μηκοτομή του ρέματος στο μοντέλο HEC-RAS.....	78
Εικόνα 8.2-1	Προφίλ μέγιστου βάθους ροής κατά μήκος του ρέματος (T=50Y).....	79
Εικόνα 8.2-2	Διατομές τεχνικών, γεφυρών και οχετών (T=50Y).....	80
Εικόνα 8.2-3	Προφίλ μέγιστου βάθους ροής κατά μήκος του ρέματος (T=100Y).....	83
Εικόνα 8.2-4	Διατομές τεχνικών, γεφυρών και οχετών (T=100Y).....	84
Εικόνα 8.2-5	Προφίλ μέγιστου βάθους ροής κατά μήκος του ρέματος (T=250Y).....	86
Εικόνα 8.2-6	Διατομές τεχνικών, γεφυρών και οχετών (T=250Y).....	88
Εικόνα 8.2-7	Προφίλ μέγιστου βάθους ροής κατά μήκος του ρέματος (T=500Y).....	90
Εικόνα 8.2-8	Διατομές τεχνικών, γεφυρών και οχετών (T=500Y).....	91
Εικόνα 8.2-9	Προφίλ μέγιστου βάθους ροής κατά μήκος του ρέματος (T=1000Y).....	94
Εικόνα 8.2-10	Διατομές τεχνικών, γεφυρών και οχετών (T=1000Y).....	95

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Ι.Γ.Μ.Ε.	ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ και ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ
HEC-HMS	HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER – HYDROLOGIC MODELING SYSTEM
HEC-RAS	HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER – RIVER ANALYSIS SYSTEM
DEM	DIGITAL ELEVATION MODEL
DSM	DIGITAL SURFACE MODEL
GIS	GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM
CN	CURVE NUMBER
S.C.S.	SOIL CONSERVATION SERVICE
Ε.Λ.Ε.Σ.Σ.	ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΛΕΩΦΟΡΟΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ ΣΤΑΥΡΟΥ ΣΠΑΤΩΝ (ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟΣ)
Σ.Κ.Α.	ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΑΧΑΡΝΩΝ
ΣΔΛΑΠ	ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο λεκανοπέδιο Αττικής, όπου βρίσκεται συγκεντρωμένος σχεδόν ο μισός πληθυσμός του Ελληνικού κράτους, εκδηλώνονται σχεδόν κάθε χρόνο αστικές πλημμύρες, οι οποίες οφείλονται σε ξαφνικές και έντονες καταιγίδες. Οι πλημμύρες αυτές αφήνουν πίσω τους μεγάλες καταστροφές σε περιουσίες ανθρώπων, αλλά και δημόσιες υποδομές, ενώ συχνά προκαλούν και απώλειες σε ανθρώπινες ζωές.

Η Πολιτεία και οι Τοπικές Αρχές προσπαθούν με διάφορα αντιπλημμυρικά έργα να περιορίσουν το φαινόμενο, δυστυχώς όμως μια ολοκληρωμένη επίλυση είναι πολύ δύσκολη λόγω μεγάλων οικονομικών πόρων που απαιτούνται, δυσκολίες συντονισμού των εμπλεκόμενων φορέων, καθώς και γραφειοκρατικών εμποδίων κατά την υλοποίηση.

Στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, εξετάζεται και διερευνάται η ανθεκτικότητα ενός από τα πρόσφατα και σχετικώς ολοκληρωμένο αντιπλημμυρικό έργο που υλοποιείται στην παρούσα χρονική περίοδο και αφορά στο ρέμα Αχαρνών (Καναπίτσα). Το ρέμα αυτό, μαζί με το παρακείμενο ρέμα της Εσχατιάς, αποτελούν μόνιμο πρόβλημα δημιουργίας πλημμυρών για τις περιοχές Αχαρνών, Θρακομακεδόνων, Ανω Λιοσίων και Ιλίου. Το έργο αυτό περιλαμβάνει διεύρυνση και διευθέτηση με συρματοκιβώτια της ανοικτής κοίτης του ρέματος, καθώς και την κατασκευή νέων τεχνικών έργων και κλειστών οχετών για τη διέλευση οδών και σιδηροδρομικών γραμμών. Η σχεδίαση στηρίχθηκε σε καταιγίδα σχεδιασμού διάρκειας 12 ωρών και περιόδου επαναφοράς $T=50$ ετών.

Για τη διερεύνηση των ορίων ανθεκτικότητας των νέων αντιπλημμυρικών έργων έγιναν τα παρακάτω:

- Αρχικώς μοντελοποιήθηκε η λεκάνη απορροής του ρέματος με λογισμικό HEC-HMS και παρήχθησαν πλημμυρογραφήματα για βροχές διάρκειας 12 ωρών διαφόρων περιόδων επαναφοράς, από $T=50$ (όπως αυτή του σχεδιασμού) έως και $T=1000$ (ως ακραία περίπτωση).
- Στη συνέχεια δημιουργήθηκε υδροδυναμική μοντελοποίηση του ρέματος, για το τμήμα από Λεωφ. Δεκελείας έως και την εκβολή του στον ποταμό Κηφισό, όπου ενσωματώθηκαν όλα τα νέα, υπό κατασκευή έργα, σε λογισμικό HEC-RAS 1D.
- Τέλος, εκτελέστηκαν προσομοιώσεις για κάθε ένα από τα σενάρια βροχόπτωσης (πλημμυρογραφήματα) που είχαν παραχθεί, και εξετάστηκε η ροή του νερού κατά μήκος της διαμορφωμένης κοίτης και κατ' επέκταση η επάρκεια παροχέτευσης για την κάθε περίπτωση.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ενδιαφέροντα ευρήματα, καθώς η ανθεκτικότητα των νέων έργων σε συνθήκες αυξημένης βροχόπτωσης (παροχές μεγαλύτερες αυτής του σχεδιασμού) δεν είναι αναλογική σε όλο το μήκος του ρέματος, αλλά υπάρχουν σημεία περισσότερο "ευαίσθητα" και άλλα περισσότερο "ανθεκτικά".

Αυτή η γνώση θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη στις αρμόδιες αρχές, καθώς δημιουργεί μια, έστω και προσεγγιστική, εκτίμηση για τη μελλοντική συμπεριφορά του ρέματος σε συνθήκες περισσότερο ακραίων φαινομένων, τα οποία πιθανώς να μην είναι και τόσο σπάνια στα ερχόμενα χρόνια, λόγω της παρατηρούμενης κλιματικής αλλαγής.

Λέξεις – Κλειδιά : Μοντέλο HEC-RAS 1D, Ρέμα Αχαρνών (Καναπίτσα), Υδροδυναμική Μοντελοποίηση, Αντιπλημμυρικά έργα

ABSTRACT

The greater area of Attica, where almost half of the population of the Greece lives there, suffers every year by urban floods which are caused by sudden and intense storms. These floods leave behind great damages both to people's property and to public infrastructure, while they often cause loss of human lives.

Both state and local authorities are trying with various flood-preventing projects to mitigate or eliminate the problem, but unfortunately a comprehensive solution is very difficult due to the large financial resources required, difficulties in coordinating between the authorities involved, as well as bureaucratic obstacles during implementation.

Through this Master's Thesis, the Acharnon Stream (Kanapitsa) was examined as per the resilience of the flood-protective works which were designed and currently are under construction there. This stream, together with the neighboring stream of Eschatia, create a continuous problem by giving floods for the regions of Acharnae, Thracomakedon, Ano Liosia and Ilion. This new project includes widening and arranging of the open bed of the stream using gabions and mattresses, as well as the construction of new culverts for the crossing of roads and railway lines. The new structures were designed taking into account of a storm of 12 hours duration and a return period of $T=50$ years.

To investigate the adequacy of the new flood protection project, the following steps were followed:

- Initially, the stream's catchment area was modeled through HEC-HMS software and hydrographs were produced for 12-hour rain events of various return periods, from $T=50$ (as per design) to $T=1000$ (as an extreme case).
- After this, an hydrodynamic model of the stream was created, covering the part of the stream from Dekelias Avenue up to the confluence with Kifissos River. All the new works, under construction, were integrated into the stream model through HEC-RAS 1D program.
- Finally, simulations were performed for each of the rainfall scenarios (hydrographs) which had been produced, and the flow of water along the formed bed was examined as about the adequacy of drainage for each case.

The results of the simulations expressed interesting findings, as the adequacy of the new projects in conditions of increased rainfall (water flow greater than the design) is not the same along the entire length of the stream, but there are points more "sensitive" and other more "resistant".

This knowledge could be useful to the responsible authorities, as it gives an estimation, even if approximate, for the future behavior of the stream in conditions of more extreme phenomena, which probably will not be so rare in the coming years, due to the observed climate change.

Keywords: *Model HEC-RAS 1D, Acharnon Stream (Kanapitsa), Hydrodynamic Modelling, Flood Protection Works*

EXTENDED ABSTRACT

In this Master's Thesis, one of the streams of Western Athens, the Acharnon stream or Kanapitsa, is examined. This stream starts from the foothills of Mount Parnitha in the area of Thracomakedonae, pass through the entire Municipality of Acharnon and joins the Kifisos river, having a total length of more than 12 kilometers. This stream floods almost every year causing great damage, while in the floods of October 2015 it caused also human casualties. Recently, a project including a more comprehensive settlement of the open bed and replacement of existing culverts was designed and is currently under construction. The project aims to deliver a permanent solution to the problem of flooding that occurs in this area.

The scope of this Master's Thesis is to model the stream, incorporating the new flood-protective works and perform simulation of different scenarios of rain events with various return periods (from T=50 years up to T=1000 years), in order to investigate the adequacy limits of the new works.

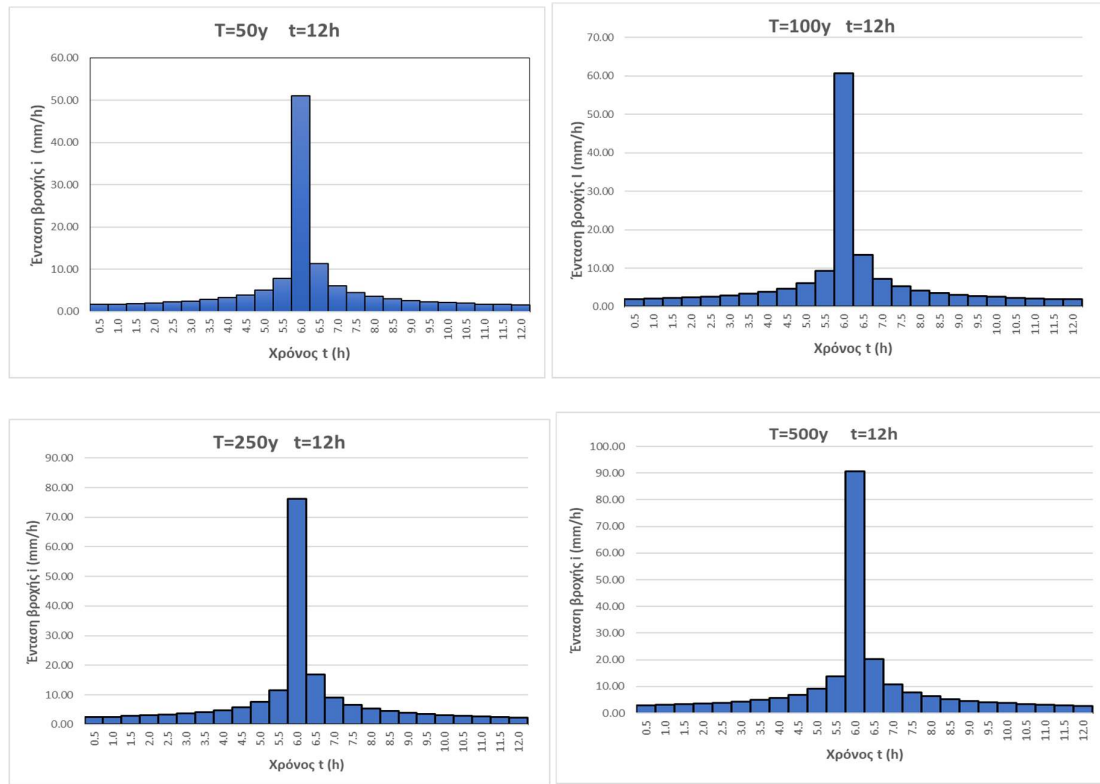
First, the stream catchment area was simulated through HEC-HMS program to produce alternative hydrographs for 12-hour rain events with different return periods T=50, 100, 250, 500 and 1000 years.

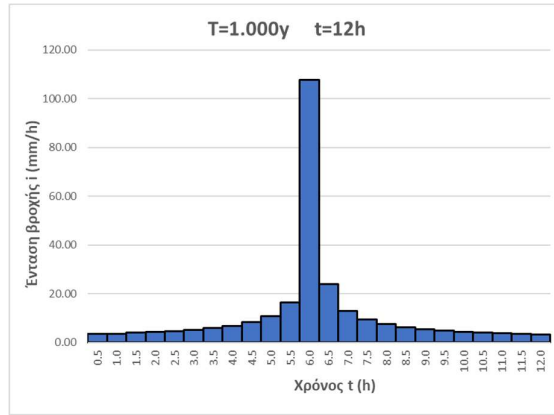
All the data used for modeling of the basin were taken from the actual project's implementation design. Specifically, the area of it is **A = 20,08 km²**, the runoff coefficient CN was calculated as **CN = 72,0765**, as well as the lag time which was calculated as **T_{lag} = 2,157 h**.

To calculate the rain intensity of each scenario for the respective return period, the following rainfall IDF (Intensity-Duration-Frequency) curve of the area was used:

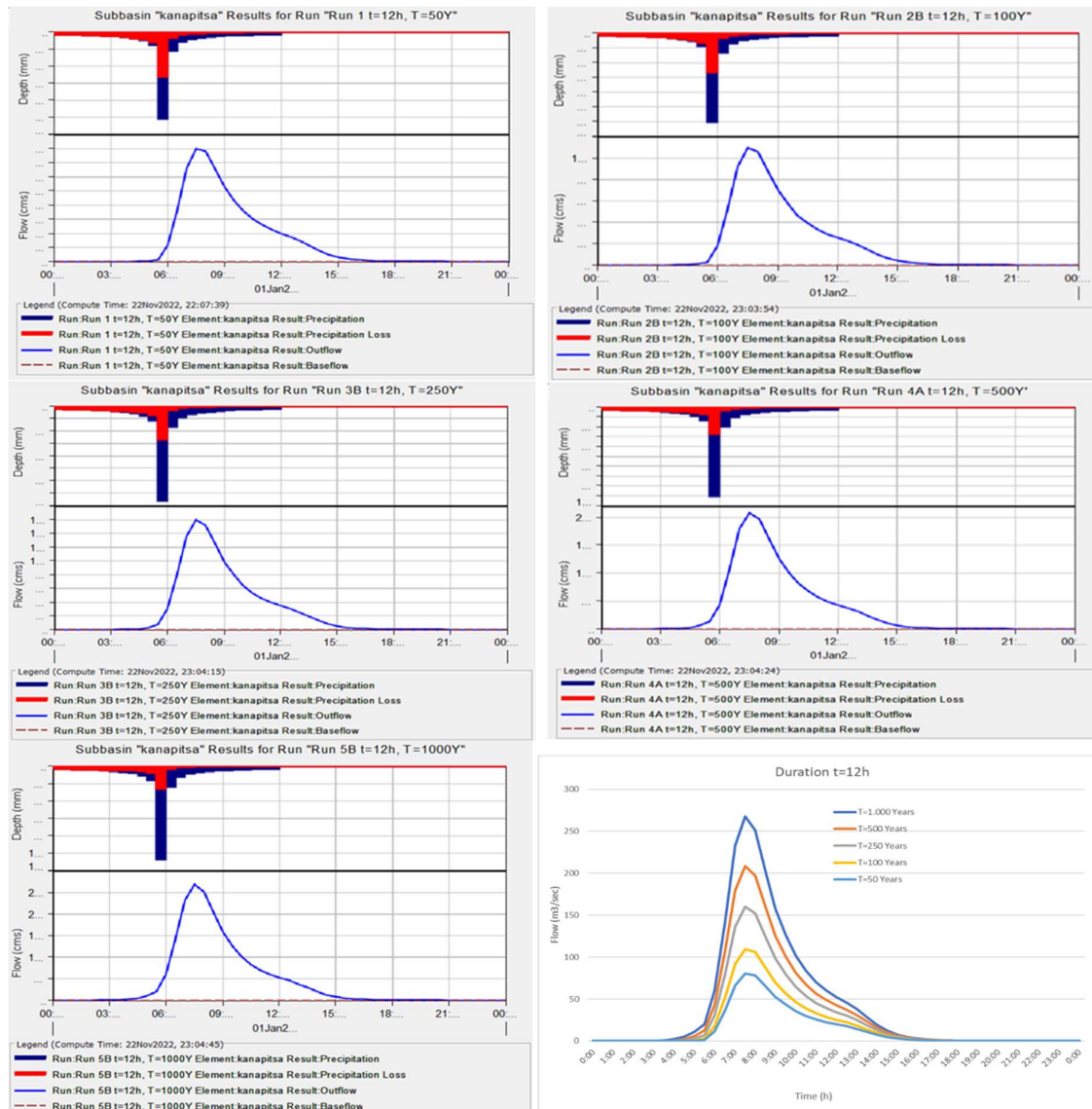
$$i = 23.45 * (T^{0.25}) / (t)^{0.71}$$

For developing the design storm from a rainfall event with 12hours duration, the alternating block method was applied. The resulting hyetographs are presented in the images below:





Based on the above, the corresponding storm simulation scenarios were created in the HEC-HMS model and the respective Hydrographs were produced. Below are the Hydrographs of the 5 alternative scenarios:



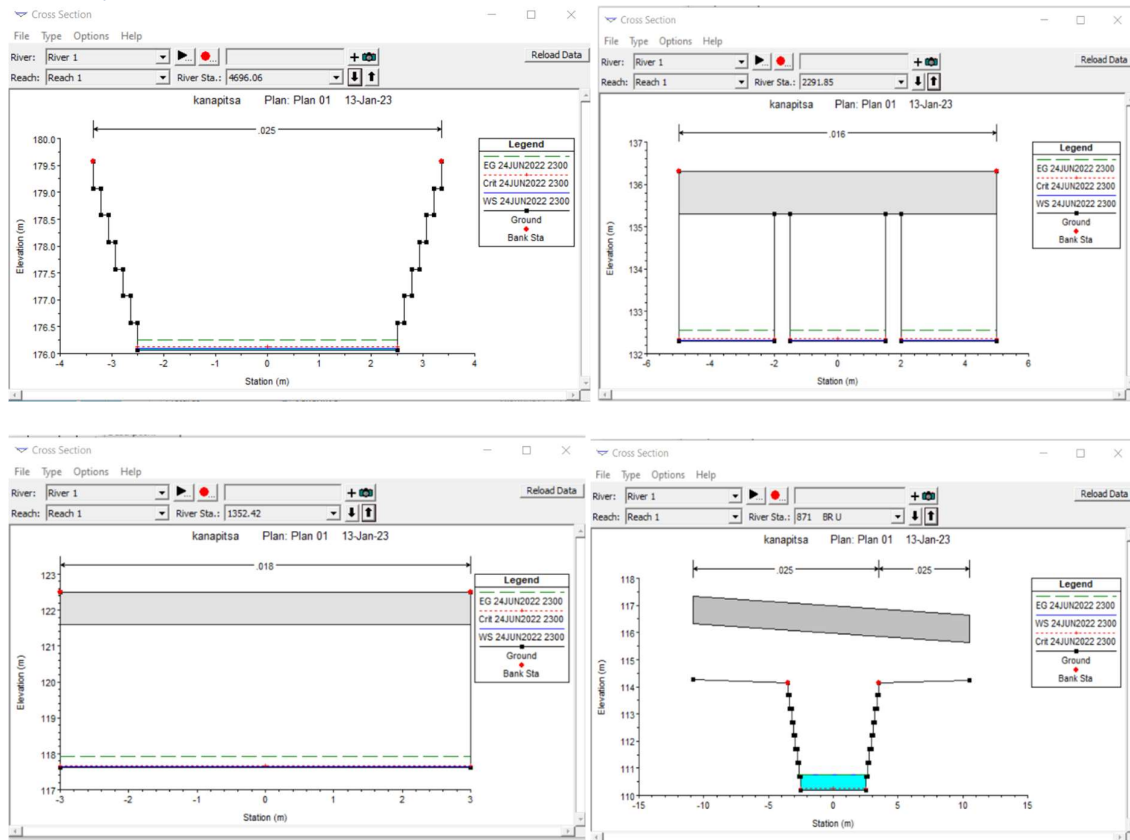
The discharge peak of each scenario is shown in the following table:

T=50	T=100	T=250	T=500	T=1000
Q≈80 m ³ /sec	Q≈110 m ³ /sec	Q≈160 m ³ /sec	Q≈208 m ³ /sec	Q≈265 m ³ /sec

Then, the model of the stream was created through HEC-RAS 1D program where the stream’s formation and shape were depicted in the final form which will have after the completion of the flood-protective works. The part of the stream which was modelled was a section of 4.75 kilometers from Dekelias Avenue up to the confluence with Kifisos River.

The stream was modeled at its actual elevations and location, based on the topographical and construction drawings of the new implementation design of the flood-protective works. All the new planned culverts and bridges were integrated into the model, as well as those of the existing culverts which are planned to be preserved and incorporated with the new ones. In addition, 120 control cross-sections were defined at characteristic locations to control the flow during the simulation run.

Indicative images of some control cross-sections showing the visualization of the new projects in HEC-RAS are presented below:



After the completion of the model, 1D simulations of 24-hour channel flood routings were performed, in unsteady flow, using as upstream boundary condition the Hydrograph of each scenario (total 5 simulations).

To evaluate the simulation results, the stream was divided into sections where the bed is open and of similar configuration, while all culverts were examined individually. In each section, the flow rate and depth were checked, as it emerged from the corresponding results of the HEC-RAS simulation, and the

adequacy or not for the drainage of the passing water was checked, based on the geometry of the cross-section.

The table below summarizes the adequacy assessment results (by section) for all the scenarios examined:

SECTION (km)		DESCRIPTION	T=50	T=100	T=250	T=500	T=1000
from	to		<i>Q≈80 m³/sec</i>	<i>Q≈110 m³/sec</i>	<i>Q≈160 m³/sec</i>	<i>Q≈208 m³/sec</i>	<i>Q≈265 m³/sec</i>
4,749.00	4,196.00	Open bed - Gabions Crown height 3.50 m	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate	Inadequate
4,196.00	4,129.90	Rectangular culvert Railway crossing Opening 6.00 X 4.00 m	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate
4,129.90	3,748.10	Open bed - Gabions Crown height 3.50 m	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate	Inadequate
3,748.10	3,742.60	Rectangular culvert Ag. Fanouriou Str. crossing Opening 6.00 X 4.00 m	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate
3,742.60	2,825.39	Open bed - Gabions Crown height (min) 3.50 m	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate	Inadequate
2,825.39	2,820.39	Rectangular culvert Palaeologou Str. crossing Opening 6.00 X 4.00 m	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate
2,820.39	2,778.93	Open bed - Gabions Crown height (min) 4.50 m	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate
2,778.93	2,768.83	Rectangular culvert Ionias Ave. crossing Opening 6.00 X 4.00 m	Adequate	Adequate	Marginal	Inadequate	Inadequate
2,768.83	2,610.27	Open bed - Gabions Crown height (min) 3.50 m	Adequate	Adequate	Marginal	Inadequate	Inadequate
2,610.27	2,580.27	Open bed – Concrete (rectangular) Opening 9.40 X 3.50 m	Adequate	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate
2,580.27	2,299.68	Open bed – Concrete (rectangular-triple) Opening (3 X 3.00) X 4.00 m	Adequate	Adequate	Adequate	Marginal	Inadequate
2,299.68	1,996.68	Rectangular culvert (triple) Attiki Odos crossing Opening (3 X 3.00) X 3.00 m	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate
1,996.68	1,956.68	Rectangular culvert (single) Attiki Odos crossing Opening 10.00 X 4.50 m	Adequate	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate
1,956.68	1,766.80	Rectangular culvert (single) Attiki Odos crossing Opening 10.00 X 3.00 m	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate
1,766.80	1,646.70	Open bed – Concrete (rectangular-single) Opening 10.00 X 4.50 m	Adequate	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate

1,646.70	1,360.87	Open bed - Gabions Crown height 4.00 m	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate
1,360.87	1,351.52	Rectangular culvert 25th Martiou Str. crossing Opening 6.00 X 4.00 m	Adequate	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate
1,351.52	877.15	Open bed - Gabions Crown height 4.00 m	Adequate	Adequate	Inadequate	Inadequate	Inadequate
877.15	864.80	Open bed – Gabions Philadelphias Str. Bridge Crown height 4.00 m	Adequate	Marginal	Inadequate	Inadequate	Inadequate
864.80	749.00	Open bed - Gabions Crown height 4.00 m	Adequate	Marginal	Inadequate	Inadequate	Inadequate
749.00	494.00	Open bed – Concrete (rectangular-single) Opening 5.25 X 4.00 m	Adequate	Adequate	Marginal	Inadequate	Inadequate
494.00	0.00	Rectangular culvert Under Skra Str. Opening 5.25 X 4.00 m	Adequate	Adequate	Marginal	Inadequate	Inadequate

The following conclusions emerge from the evaluation of the results:

1. All of the works, both new as also existing and maintained, behave very satisfactorily for the T=50 years return period rainfall scenario, for which the planning has been done. In this case, water flow of 80 m³/sec is sufficiently drained.
2. In the case where the design storm refers to a return period of T=100 years, the discharge peak reaches 110 m³/sec. In this scenario the closed sections of road crossings (box culverts) behave very satisfactorily, draining the total flow almost easily. But, at the open bed sections where the bed is arranged by gabions, the situation is marginal. In the most upstream sections, where the crown height on the banks is 3.5 m, the water level reaches up to 3.4 m, while in the most downstream areas, where the crown height on the banks is 4.0 m, the water level reaches up to 4.0 – 4.1 m and overflows slightly in the area just downstream of Philadelphias Str. This part is the most "sensitive" where the first failure is expected to occur.
3. In the case where the design storm refers to a return period of T=250 years, the discharge peak reaches 160 m³/sec. In this scenario the closed sections of road crossings (box culverts) still behave quite satisfactorily as they manage, even marginally at the time of the discharge peak, to drain the entire flow. A small doubt remains about the box culvert of Ionias Ave., where (for a very short time during the peak phase) it is possible that it will not be able to drain all the water. However, in most of the open sections there is significant overflow, confirming that the open bed sections are in no case able to drain water flow of this size.
4. In the cases of even greater rainfall (design storms of T=500 and T=1000 years) the discharge peak reaches respectively 208 m³/sec and 265 m³/sec. In these scenarios the situation is completely disappointing. No one part (either open sections, or closed culverts) is sufficient to drain the expected water flow.
5. From the behavior in the various scenarios, the following findings are recorded:
 - The existing (and maintained) crossing culverts of Attiki Odos are pretty sufficient and respond even to flow of 160 m³/sec (T=250 years), while some parts of them remain sufficient even to flow of 208 m³/sec (T=500 years).
 - The new box culverts for the crossing of the other roads, as well as the Railway crossing, can also respond (although marginally) to flows up to 160 m³/sec (T=250 years).

- The open arranged sections (by gabions) very marginally respond to flows up to 105 – 110 m³/sec (T=100 years).
- 6. Greater risk of flooding occurs in the areas downstream of Attiki Odos up to Philadelphias Str., than in the sections upstream of Attiki Odos up to Dekelias Ave.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην Ελλάδα, μια από τις πιο σημαντικές κατηγορίες φυσικών καταστροφών, τόσο από οικονομικής πλευράς όσο και από πλευράς ανθρώπινων απωλειών είναι οι πλημμύρες που προκαλούνται από ξαφνικές και έντονες βροχοπτώσεις, κυρίως σε αστικές περιοχές. Σε επίπεδο συχνότητας εμφάνισης, οι πλημμύρες αποτελούν διαχρονικά τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, μετά τις δασικές πυρκαγιές.

Καταστροφικά πλημμυρικά γεγονότα όπου, εκτός των υλικών ζημιών, συμπεριλαμβάνονται και ανθρώπινες απώλειες, σημειώνονται ιστορικά σε όλη την Ελληνική Επικράτεια, με αυξημένη συχνότητα όμως στις παράκτιες και στις πεδινές περιοχές και πλησίον των πόλεων, όπως την Θεσσαλονίκη, την Αθήνα, την Λάρισα, Τρίκαλα, Μεσσηνία, Λακωνία και την Πάτρα (Μ. Diakakis, 2016; Michalis Diakakis et al., 2012).

Ιδιαίτερα στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, αλλά και την ευρύτερη περιοχή της Αττικής, οι αριθμοί είναι ιδιαίτερα ανησυχητικοί. Από το 1880 μέχρι και σήμερα 187 άνθρωποι έχουν χάσει τη ζωή τους από πλημμύρες στην Αττική.

Το Λεκανοπέδιο της Αττικής δεν διαθέτει μέχρι και σήμερα ένα ολοκληρωμένο και επικαιροποιημένο επιστημονικά σχεδιασμό αντιπλημμυρικής προστασίας. Τα αντιπλημμυρικά έργα τα οποία μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν διαχρονικά, δεν υλοποιήθηκαν βάσει κάποιου Γενικού Σχεδιασμού αλλά αποσπασματικά από διάφορους φορείς, υπηρεσίες και μελετητές, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες.

1.1 Αντικείμενο και στόχος της εργασίας

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάζεται ένα από τα χαρακτηριστικά ρέματα της Δυτικής Αθήνας, το �έμα Αχαρνών ή Καναπίτσας. Το �έμα αυτό ξεκινά από τους πρόποδες της Πάρνηθας στην περιοχή Θρακομακεδόνων, διατρέχει όλο το Δήμο Αχαρνών και εκβάλλει στον π. Κηφισό στο ύψος του Κόκκινου Μύλου, καλύπτοντας μια συνολική διαδρομή πλέον των 12 χιλιομέτρων. Στο �έμα αυτό, που πλημμυρίζει σχεδόν κάθε χρόνο προκαλώντας μεγάλες ζημιές αλλά και πρόσφατα, στις πλημμύρες του Οκτωβρίου 2015, προκάλεσε ανθρώπινες απώλειες, έχουν κατά καιρούς εκτελεσθεί αποσπασματικά έργα (είτε διευθέτησης κοίτης, είτε τεχνικά και κλειστοί οχετοί για διαβάσεις οδών). Πρόσφατα δημοπρατήθηκε, από την Περιφέρεια Αττικής, ένα έργο συνολικότερης διευθέτησης ανοικτής κοίτης και αντικατάστασης υφισταμένων τεχνικών έργων., το οποίο (σε συνδυασμό με τα υφιστάμενα και διατηρούμενα έργα) φιλοδοξεί να λύσει οριστικά το πρόβλημα των πλημμυρών που εκδηλώνονται στη συγκεκριμένη περιοχή.

Αντικείμενο της μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η μοντελοποίηση του τμήματος του ρέματος Καναπίτσας από το σημείο κατάντη της Λεωφόρου Δεκελείας και έως την εκβολή του στον ποταμό Κηφισό, με ενσωμάτωση όλων των υφιστάμενων (διατηρούμενων) αλλά και των νέων προς κατασκευή έργων, δηλαδή την τελική μορφή που θα έχει μελλοντικά το �έμα μετά την ολοκλήρωση των παρεμβάσεων. Στη συνέχεια, θα δοκιμασθούν διάφορα σενάρια βροχοπτώσεων ώστε να ελεγχθεί και αξιολογηθεί η επάρκεια και τα όρια ανθεκτικότητας των αντιπλημμυρικών έργων. Η μοντελοποίηση και οι δοκιμές θα γίνουν με χρήση του υδροδυναμικού μοντέλου HEC-RAS.

Ο στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η αξιοποίηση των δυνατοτήτων ενός μοντέλου HEC-RAS για την αξιολόγηση και εκτίμηση αποτελεσματικότητας, τόσο υφισταμένων αντιπλημμυρικών έργων, όσο και σχεδιαζόμενων μελλοντικών, για διάφορες περιοχές υψηλού κινδύνου εντός αστικών περιοχών.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται σε 9 Κεφάλαια, τα οποία περιγράφονται εν συντομία στη συνέχεια.

- ✓ Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται αναφορά στο αντικείμενο και τον σκοπό της μεταπτυχιακής εργασίας, καθώς και τη διάρθρωση αυτής. Επιπρόσθετα, παρατίθενται πληροφορίες για τις πλημμύρες, τον πλημμυρικό κίνδυνο, καθώς και τα μέτρα για την αντιμετώπιση του κινδύνου αυτού. Τέλος, παρουσιάζονται αντίστοιχες πληροφορίες επικεντρωμένες ειδικά για την περιοχή της Αττικής.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφονται τα δύο μαθηματικά μοντέλα HEC-HMS και HEC-RAS. Το πρώτο χρησιμοποιήθηκε για την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής, προκειμένου να παραχθούν τα πλημμυρογραφήματα των διαφόρων σεναρίων που εξετάστηκαν. Το δεύτερο χρησιμοποιήθηκε για την υδραυλική προσομοίωση της ροής του νερού εντός του ρέματος της Καναπίτσας, σε κάθε σενάριο αντίστοιχα. Για κάθε ένα από τα μοντέλα, περιγράφεται το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιείται, οι αρχές, εξισώσεις και λοιπές μέθοδοι προσέγγισης που εφαρμόζονται.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφεται η περιοχή μελέτης και γίνεται αναλυτική παρουσίαση της υφιστάμενης κατάστασης του ρέματος Αχαρνών (Καναπίτσα).
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα νέα έργα (διευθετήσεις κοίτης, τεχνικά κλπ.) που έχουν σχεδιαστεί και βρίσκονται υπό κατασκευή στην παρούσα φάση.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 5** περιλαμβάνονται τα απαραίτητα δεδομένα συλλογής και επεξεργασίας για τους υδρολογικούς και τους υδραυλικούς υπολογισμούς.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 6** περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δόμηση του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS της λεκάνης απορροής του ρέματος, καθώς και η εκτέλεση των σχετικών υπολογισμών για την παραγωγή των πλημμυρογραφήματων των διαφόρων σεναρίων προς εξέταση. Τα πλημμυρογραφήματα αυτά χρησιμοποιούνται στη συνέχεια ως δεδομένα εισόδου για το υδροδυναμικό μοντέλο HEC-RAS.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 7** περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δόμηση του υδροδυναμικού μοντέλου HEC-RAS.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 8** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υδραυλικών υπολογισμών και γίνεται ο σχολιασμός τους.
- ✓ Στο **Κεφάλαιο 9** δίνονται τα συμπεράσματα της διερεύνησης, καθώς και προτάσεις για πιθανή μελλοντική έρευνα.

1.3 Πλημμύρες

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/ΕΚ «Για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας», ως “πλημμύρα” ορίζεται η προσωρινή κατάκλυση από νερό, μέρους του εδάφους το οποίο, υπό κανονικές συνθήκες, δεν είναι καλυμμένο από νερό.

Η έννοια αυτή περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χειμάρρους και υδατορεύματα εφήμερης ροής, υπερχειλίσσεις λιμνών, πλημμύρες από υπόγεια ύδατα, πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, καθώς και πλημμύρες που προκαλούνται από θαλάσσια κύματα βαρύτητας (τσουνάμι). Επιπλέον, περιλαμβάνει πλημμύρες από καταστροφές μεγάλων υδραυλικών έργων, όπως θραύσεις αναχωμάτων και φραγμάτων.

Μια πλημμύρα μπορεί να συμβεί για διάφορους λόγους, συνηθέστερα όμως εξαιτίας ραγδαίων βροχοπτώσεων και ισχυρών καταιγίδων, είτε από το ανέβασμα της στάθμης των ποταμών ή από το λιώσιμο χιονιού. Συμβαίνει επίσης από υποχώρηση φραγμάτων και στην περίπτωση αυτή οι συνέπειες είναι πολύ μεγάλες.

Η πλημμύρα από φυσικά αίτια είτε παρουσιάζει βραδεία εξέλιξη είτε ανήκει στην κατηγορία της ξαφνικής πλημμύρας (flash flood), που είναι και το πιο συνηθισμένο φαινόμενο στην Ελλάδα. Στον Ελληνικό χώρο οι πλημμύρες οφείλονται σε καταρρακτώδεις βροχές, που συνοδεύουν τη διέλευση υφέσεων.

Η ξαφνική πλημμύρα είναι το αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών διαταραχών, που συνοδεύονται από ραγδαίες βροχοπτώσεις, με μεγάλα ποσά βροχής σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι ξαφνικές πλημμύρες προκαλούνται από καταιγίδες που κινούνται αργά ή κινούνται πάνω από την ίδια περιοχή.

Πολλοί παράγοντες συνηγορούν σε μία ξαφνική πλημμύρα, όπως: η ένταση της βροχής και η διάρκεια της, η τοπογραφία, οι συνθήκες του εδάφους, η φυτοκάλυψη, η καταστροφή των δασών καθώς και η αστικοποίηση.

Οι ξαφνικές πλημμύρες εμφανίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα λίγων ωρών ή λιγότερο και έχουν σαν αποτέλεσμα ταχεία ανύψωση νερού, το οποίο στο πέρασμα του μπορεί να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές σε κατασκευές, όπως κτίρια, γέφυρες κλπ, να παρασύρει αυτοκίνητα, να ξεριζώσει δέντρα κ.α. Ο χρόνος προειδοποίησης για αυτά τα φαινόμενα είναι ιδιαίτερα μικρός λόγω του αιφνιδίου χαρακτήρα τους, 6-12 ώρες ή λιγότερο, όπως αντίστοιχα είναι μικρή και η διάρκεια του πλημμυρικού φαινομένου παρά το γεγονός ότι διαχρονικά έχουν συνδεθεί με μεγάλες καταστροφές τόσο υλικές όσο, και κυρίως, ανθρώπινες απώλειες. Τα περισσότερα θύματα εξαιτίας πλημμυρών προέρχονται από αυτού του τύπου τις ξαφνικές πλημμύρες.

Οι πλημμύρες, που έχουν σαν αίτιο τις βροχοπτώσεις, μπορεί επιπρόσθετα να προκαλέσουν καταστροφικές κατολισθήσεις εδαφών (λασποροές-mud slides).

Οι ξαφνικές ή αιφνίδιες πλημμύρες, με κύριο χαρακτηριστικό την ραγδαία εξέλιξή τους, είναι το πιο συνηθισμένο είδος πλημμύρας στην Ελλάδα λόγω της γεωμορφολογίας της χώρας μας, η οποία συμβάλλει στην ανάπτυξη μεγάλου αριθμού ρεμάτων με μικρές σχετικά λεκάνες απορροής, στις οποίες κυριαρχούν οι έντονες κλίσεις που συντελούν στη γρήγορη αποστράγγισή τους. Οι ξαφνικές πλημμύρες ή αιφνίδιες πλημμύρες έχουν προκαλέσει κατά το παρελθόν μεγάλες καταστροφές σε υποδομές (οδικό δίκτυο, κλπ), αγροτικές εκμεταλλεύσεις, κατοικίες κλπ. και έχουν θέσει σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές (παράσυρση πεζών και οχημάτων, κλπ).

Αν και η ένταση, η διάρκεια και η χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων αποτελεί σημαντική αιτία πρόκλησης πλημμυρικών φαινομένων, η εμφάνιση ενός πλημμυρικού φαινομένου εξαρτάται και από ένα πλήθος άλλων παραγόντων οι οποίοι μπορούν να δράσουν είτε αποτρεπτικά, είτε ενισχυτικά. Τέτοιοι παράγοντες που μπορούν να καθορίσουν την εμφάνιση ή όχι ενός πλημμυρικού φαινομένου είναι:

- η ικανότητα του υδρογραφικού δικτύου να παροχετεύσει αποτελεσματικά την επιφανειακή απορροή
- η γεωλογία, το μέγεθος και η γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής
- ο κορεσμός του επιφανειακού εδάφους από προηγηθείσες βροχοπτώσεις
- η φυτοκάλυψη του εδάφους
- οι χρήσεις γης, κλπ.

Στις αστικές περιοχές παρουσιάζονται ιδιαίτερα έντονες επιφανειακές απορροές λόγω της εκτεταμένης κάλυψης του εδάφους, γεγονός που περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τη δυνατότητα απορρόφησης των ομβρίων υδάτων. Προκειμένου να αποφευχθούν οι καταστροφικές συνέπειες των αστραπιαίων πλημμυρών σε ένα τέτοιο περιβάλλον, απαιτούνται τεχνητά αποστραγγιστικά δίκτυα ομβρίων ικανά να απορροφήσουν τις αυξημένες ροές. Λόγω της ιδιαιτερότητας του αστικού τοπίου αλλά και του γεγονότος ότι στις αστικές περιοχές ο αριθμός των ανθρώπων που εκτίθενται στον

πλημμυρικό κίνδυνο είναι ιδιαίτερα υψηλός (μεγάλη πληθυσμιακή συγκέντρωση), έχει οριστεί και μελετάται ξεχωριστά ένα νέο είδος πλημμύρας, η Αστική Πλημμύρα.

1.4 Σχέδια Διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας

Στην Οδηγία 2007/60/ΕΚ ως “κίνδυνος πλημμύρας” ορίζεται ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα μια πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται μ’ αυτή την πλημμύρα. Σύμφωνα με την Οδηγία, η ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των πλημμυρών περιλαμβάνει τρεις άξονες: την αρχική αξιολόγηση κινδύνου πλημμύρας για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού, την κατάρτιση χαρτών για την επικινδυνότητα και τον κίνδυνο πλημμύρας της λεκάνης απορροής και, τέλος, την κατάρτιση σχεδίων για τη διαχείριση των κινδύνων αυτών.

Ουσιαστικά, ο “πλημμυρικός κίνδυνος” προκύπτει σαν το γινόμενο της “επικινδυνότητας” μιας πιθανής πλημμύρας σε μια περιοχή επί την “τρωτότητα” αυτής της περιοχής.

Η αποτίμηση της επικινδυνότητας της πλημμύρας, δηλαδή της έντασης του φαινομένου, γίνεται συναρτήσει του βάθους και της ταχύτητας ροής του νερού. Τα μεγέθη αυτά αποτελούν τα βασικά χαρακτηριστικά μιας πλημμύρας και εκτιμώνται από τα αποτελέσματα της υδραυλικής ανάλυσης, εξαρτώνται δε από τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, καθώς και από τη γεωμορφολογία αυτής.

Η αποτίμηση της τρωτότητας μιας περιοχής υπολογίζεται σύμφωνα με τη σοβαρότητα των επιπτώσεων που μπορεί να έχει μια πλημμύρα στις υφιστάμενες κατά περίπτωση χρήσεις γης (οικιστική, βιομηχανική, αγροτική κλπ.). Οι συνέπειες αυτές θα μπορούσαν να είναι: (i) επιπτώσεις στην ασφάλεια και υγεία των πολιτών, (ii) κοινωνικές επιπτώσεις όπως ζημιές στη λειτουργία κοινωφελών υποδομών (σχολεία, νοσοκομεία κ.ά.), (iii) οικονομικές επιπτώσεις στην αξία ακινήτων και κινητών περιουσιών ή σε εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες και σε υποδομές μεταφορών, (iv) περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον και σε οικότοπους, (v) πολιτιστικές επιπτώσεις σε μνημεία και αρχαιολογικούς χώρους κλπ. Είναι φανερό ότι η αύξηση της αστικοποίησης σε μια περιοχή και η συνεπαγόμενη αυξανόμενη ανθρωπογενής δραστηριότητα, συντελούν αναπόφευκτα στην αύξηση της τρωτότητας μιας περιοχής, γεγονός που εξηγεί και τις ιδιαίτερα καταστροφικές συνέπειες των πλημμυρών σε αστικά περιβάλλοντα.

Ένα ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας καλύπτει όλο το φάσμα των δράσεων, από τη πρόληψη μέχρι την αντιμετώπιση. Στο σχέδιο συμπεριλαμβάνονται μεταξύ άλλων δράσεις όπως η ενημέρωση και η εκπαίδευση των κατοίκων, η προώθηση βιώσιμων πρακτικών χρήσης γης, η εγκατάσταση μετεωρολογικών συστημάτων πρόβλεψης πλημμυρών, η εγκατάσταση συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, η στελέχωση υπηρεσιών όπως η Πυροσβεστική Υπηρεσία και άλλες υπηρεσίες διάσωσης σε περίπτωση φυσικής καταστροφής, η κατασκευή και η συντήρηση τεχνικών έργων συγκράτησης υδάτων, οι δενδροφυτεύσεις, οι δομές για την ελεγχόμενη κατάκλυση περιοχών σε περίπτωση πλημμύρας.

Ο κίνδυνος της πλημμύρας είναι μια υπόθεση σύνθετη και η αντιμετώπισή της συνιστά, αντίστοιχα, σύνθετο πρόβλημα με λύση πολυσήμαντη, καθώς αποτελεί συνάρτηση πολλών παραγόντων με διαφορετικές προτεραιότητες. Τα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως το κόστος των τεχνικών έργων, τα προσδοκώμενα οικονομικά οφέλη, τα φυσικά πεδία κατάκλυσης, τις οδούς και περιοχές αποστράγγισης, τις δυνατότητες συγκράτησης όγκου νερού, την απορροφητικότητα του εδάφους και τα σημεία που παρατηρείται μεγάλη διάβρωση του εδάφους με στόχο να προστατευτούν οι κάτοικοι, να γίνει σωστός χωροταξικός σχεδιασμός, να καθοριστούν οι χρήσεις γης, αλλά και να διαφυλαχτεί η χλωρίδα και η πανίδα της περιοχής.

1.5 Μέτρα για την αντιμετώπιση του Πλημμυρικού Κινδύνου

Η αντιμετώπιση των πλημμυρών είναι ένα δύσκολο εγχείρημα που απαιτεί πολύπλευρο σχεδιασμό και συνέργεια πολλών και διαφορετικών παραγόντων. Οι παρεμβάσεις που γίνονται για να προστατευτεί μια περιοχή διακρίνονται σε κατασκευαστικές και μη κατασκευαστικές, ενώ τα μέτρα που εφαρμόζονται διακρίνονται σε μέτρα προστασίας, πρόληψης, ετοιμότητας, αντιμετώπισης και, εν τέλει, αποκατάστασης. Δεδομένου ότι οι αποδέκτες του πλημμυρικού κινδύνου αποτελούν συνήθως ένα ευρύτερο και μη ομογενές σύνολο, τα διάφορα μέτρα μπορούν να εστιάζουν σε διαφορετικές υπο-ομάδες αυτού του συνόλου. (Στάμου, 2018).

Τα μέτρα προστασίας είναι ως επί το πλείστον δομικού χαρακτήρα (κατασκευαστικά). Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα πάσης φύσεως αντιπλημμυρικά έργα (π.χ. κατασκευή φραγμάτων ή αναχωμάτων), καθώς και τα έργα διαχείρισης όμβριων υδάτων (π.χ. διευθετήσεις ανοιχτής κοίτης ρεμάτων, κατασκευή υπόγειου δικτύου αποστράγγισης ομβρίων υδάτων). Επίσης, στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνεται ακόμα και η καθαίρεση παράνομων κατασκευών που βρίσκονται χτισμένες σε κοίτες ρεμάτων, ή η τροποποίηση ήδη υπαρχόντων κτιρίων για να αποτελέσουν ασφαλή καταφύγιο σε περίπτωση πλημμύρας. Σε κάθε περίπτωση, τα τεχνικά έργα που κατασκευάζονται, αποσκοπούν είτε να διαφοροποιήσουν την πλημμύρα, είτε να μειώσουν την ευπάθεια από την επίδραση της πλημμύρας, είτε στην αποθήκευση του νερού και την αύξηση της ικανότητας της μεταφοράς του, και περιλαμβάνουν έργα τα οποία αποβλέπουν είτε στην προστασία συγκεκριμένων μικρών περιοχών (τοπικά μέτρα) ή ευρύτερων γεωγραφικά περιοχών (Διακάκης, 2017; Ε. Λέκκας, 2000; Μαμάσης, 2007).

Τα μέτρα πρόληψης είναι κατά κύριο λόγο μη δομικά (μη κατασκευαστικά). Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι μελέτες εκτίμησης τρωτότητας και επικινδυνότητας, οι οποίες, μέσω της ακριβούς αποτύπωσης της κατάστασης μιας περιοχής, στοχεύουν στην ενημέρωση των αποδεκτών του πλημμυρικού κινδύνου. Επίσης, περιλαμβάνονται άλλα μέτρα όπως η μετεγκατάσταση ή η απαγόρευση εγκατάστασης νέων χρήσεων ή δραστηριοτήτων, που επιδιώκουν την έμμεση μείωση του πλημμυρικού κινδύνου μέσω της μείωσης του αριθμού των δυνητικών αποδεκτών με την απομάκρυνσή τους από την περιοχή κινδύνου. Στα πλαίσια αυτής της προσέγγισης εντάσσεται, επίσης, και η θέσπιση πολιτικών για τη χρήση γης, αφού στην ουσία επιδιώκεται να περιοριστεί η έκθεση κάποιου αριθμού αποδεκτών στον πλημμυρικό κίνδυνο.

Τα μέτρα ετοιμότητας περιλαμβάνουν κυρίως δραστηριότητες του κρατικού μηχανισμού και των διαφόρων εμπλεκόμενων υπηρεσιών. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα διάφορα συστήματα μετεωρολογικής πρόγνωσης και έγκαιρης προειδοποίησης, καθώς επίσης και τα σχέδια επιχειρησιακής ετοιμότητας των διαφόρων υπηρεσιών, που σκοπεύουν στην ταχεία και αποτελεσματική ανταπόκριση των υπηρεσιών αυτών σε περίπτωση έκτακτου πλημμυρικού γεγονότος. Σχέδια ετοιμότητας εκπονούνται τόσο σε τοπικό, όσο και σε κρατικό επίπεδο, αλλά σε κάθε περίπτωση είναι απαραίτητη και η ανάλογη ενημέρωση και εκπαίδευση του πληθυσμού πάνω στην εφαρμογή των σχεδίων ώστε να αυξάνεται και η ετοιμότητα των ατόμων και της κοινότητας που βρίσκεται σε κίνδυνο. Στα πλαίσια της ενημέρωσης του πληθυσμού αναπτύσσονται δράσεις όπως εκδηλώσεις ενημέρωσης κι ευαισθητοποίησης των πολιτών, δημιουργία και υποστήριξη ομάδων εθελοντών, εκτέλεση ασκήσεων ετοιμότητας, κλπ. (Καραμούστου και Στάμου, 2019).

Τα μέτρα αντιμετώπισης καλύπτουν όλες τις παραπάνω κατηγορίες και μπορούν να είναι είτε δομικού (κατασκευαστικού) χαρακτήρα είτε μη δομικού. Επίσης, θα μπορούσαν να διακριθούν σε ατομικά και συλλογικά. Ενδεικτικά μέτρα δομικού (κατασκευαστικού) χαρακτήρα είναι: η δημιουργία ή επισκευή αναχωμάτων και προστατευτικών τοίχων, οι εκτροπές ποταμών, η αύξηση της παροχетеυτικότητας ενός ποταμού ή ρέματος με καθαρισμό, εκβάθυνση και διευθέτηση των πρηνών της όχθης με σκοπό τη διεύρυνση των διατομών. Ενδεικτικά μέτρα μη δομικού (μη κατασκευαστικού) χαρακτήρα είναι: η διατήρηση και επέκταση των δασών σε ορεινές περιοχές, η διατήρηση των πλημμυρικών πεδίων, ο έλεγχος και η συντήρηση των αποχετευτικών συστημάτων εντός των οικισμών, η ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, η οργάνωση των διάορων φορέων.

Όσον αφορά σε ατομικά μέτρα αντιμετώπισης που θα πρέπει να αναπτύσσονται για τη μείωση του κινδύνου από πλημμύρα των κατοικιών, θα μπορούσαν ενδεικτικά να αναφερθούν η ανύψωση των κατασκευών από το έδαφος, η κατασκευή προστατευτικών τοίχων γύρω από τη κατοικία, κ.ά.). (Μπαλτάς & Φελώνη, χ.χ.)

Τέλος, στα μέτρα αποκατάστασης θα μπορούσαν να αναφερθούν: ο καθαρισμός της πληγείσας περιοχής από φερτά, οι αντλήσεις υδάτων από υπόγεια,, η επισκευή κτιρίων και κρίσιμων υποδομών, όπως είναι οι γέφυρες, οι δρόμοι αλλά και το ηλεκτρικό δίκτυο, και τέλος, η οικονομική, ιατρική, φαρμακευτική και ψυχολογική υποστήριξη των πληγέντων. Σημαντικά είναι και τα περιβαλλοντικά μέτρα αποκατάστασης, στα οποία συγκαταλέγονται η αποκατάσταση της ποιότητας των υδάτων και η σφράγιση διαρροών επικίνδυνων ουσιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση της Φουκουσίμα στην Ιαπωνία, όπου η πληγείσα από το τσουνάμι περιοχή χρειάστηκε μέχρι και αντιμετώπιση της ραδιενέργειας που απελευθερώθηκε από το πυρηνικό εργοστάσιο που λειτουργούσε εκεί και υπέστη ζημιές από το κύμα.

1.6 Πλημμυρικό καθεστώς του λεκανοπεδίου Αττικής

Η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, έκτασης 534 χλμ², είναι η πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή της Ελλάδας, δεδομένου μάλιστα ότι το 68% της λεκάνης της (Μ. Diakakis, 2013) κατοικείται από περίπου το 40% (περίπου 4 εκατομμύρια) του ελληνικού πληθυσμού (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2014).

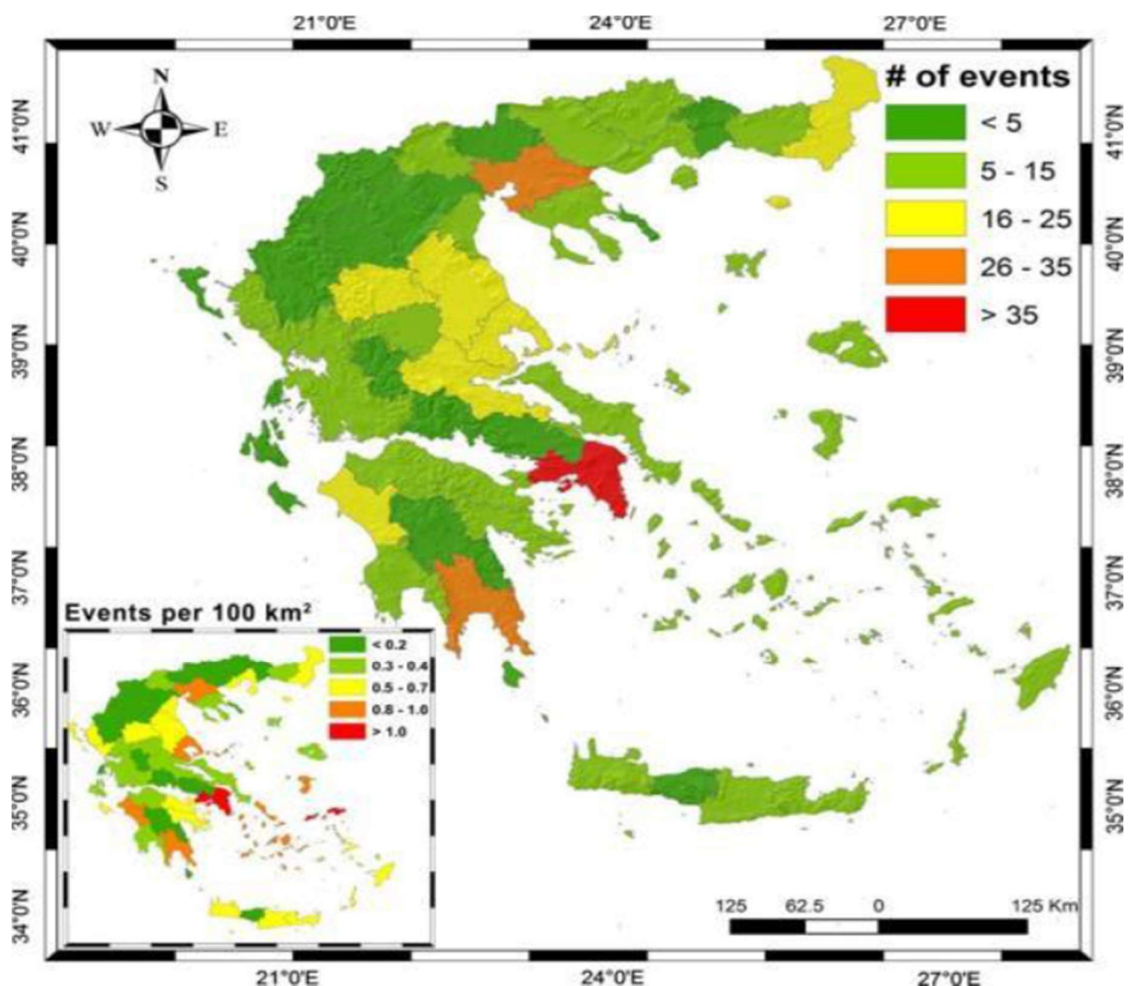
Η ραγδαία αύξηση της αστικοποίησης και του πληθυσμού στην Αθήνα, είχαν σημαντικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον με την αποδάσωση, την διάβρωση του εδάφους και την δραστική μείωση πρασίνου, καθώς τα τελευταία 70 χρόνια η πρωτεύουσα γνώρισε μία πρωτοφανή, υπέρμετρη και ανεξέλεγκτη οικιστική ανάπτυξη, με αποτέλεσμα τη δραματική μεταβολή των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της. Έτσι, πέρα από την αποψίλωση των ορεινών όγκων της Αττικής (Πάρνηθα, Αιγάλεω, Υμηττός κ.λπ.) και τη δόμηση του μεγαλύτερου τμήματος της επιφάνειας του εδάφους, παρατηρείται και δραματική απομείωση του αριθμού των ρεμάτων, λόγω της κάλυψής τους για σκοπούς δόμησης και κατασκευής δρόμων. Δυστυχώς, κατά την ταχύτατη ανάπτυξη της πόλης δεν δόθηκε προτεραιότητα ούτε σε αντιπλημμυρικά έργα ούτε σε δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων υδάτων.

Με βάση επίσημα στοιχεία, στα τέλη του 19ου αιώνα 700 χείμαρροι, ποτάμια και ρυάκια διέσχιζαν το λεκανοπέδιο. Το 1999 ο αριθμός τους ήταν μικρότερος των 70 (κάτω, δηλαδή και από το 10%) και σήμερα, δεν υπερβαίνουν τα 50.

Σύμφωνα με μελέτη του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) τα ανοιχτά ρέματα το 1945 είχαν μήκος 1.280 χιλιόμετρα και σήμερα μόλις 434 χιλιόμετρα. Μειώθηκαν, δηλαδή, σε ποσοστό 66,4%. Όλα τα υπόλοιπα, καλύφθηκαν, εξαφανίστηκαν και μετατράπηκαν σε δρόμους. Όπως, δε, προκύπτει από μελέτη του ΙΓΜΕ, πριν από μερικά χρόνια, το 80% των νερών της βροχής το απορροφούσε το έδαφος και μόλις το 20% έπεφτε στην θάλασσα, ενώ σήμερα το ποσοστό αυτό έχει αλλάξει δραματικά. Αμέσως μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, οι δομημένες επιφάνειες στην Αθήνα κάλυπταν το 25% του λεκανοπεδίου, ενώ μετά το 1975, το 75% καλύφθηκε από δομημένες επιφάνειες και οδικά δίκτυα, με τους ελεύθερους χώρους να αποτελούν πλέον μόλις το 4%.

Επακόλουθο της κατάστασης αυτής είναι η ιδιαίτερα αυξημένη συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών γεγονότων, καθώς και η αυξημένη καταστροφικότητα των πλημμυρών στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής. Χαρακτηριστικά, ο αριθμός των πλημμυρών και των θυμάτων στην Αττική ήταν ο μεγαλύτερος σε όλη την επικράτεια κατά την περίοδο 1880-2010, παρόλο που οι πλημμυρογενείς βροχοπτώσεις ήταν το ίδιο υψηλές όσο και σε άλλα μέρη της χώρας.

Η εικόνα αυτή αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στο χάρτη που ακολουθεί:



Σχήμα 1.6-1 Κατανομή πλημμυρών στον ελληνικό χώρο - Αριθμός γεγονότων ανά περιφερειακή ενότητα για την περίοδο 1880-2010, όπου καταδεικνύεται η υπεροχή του Ν. Αττικής.
Πηγή: (Michalis Diakakis et al., 2012)

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται υψηλή πλημμυρική συχνότητα στο δυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου, και συγκεκριμένα στις περιοχές Μενίδι (Δήμος Αχαρνών) και Άνω Λιόσια, καθώς και στο Ζεφύρι (Δήμος Φυλής), στο Καματερό και το Ίλιον.

Οι καταστροφικές πλημμύρες στις περιοχές αυτές ήταν αναπόφευκτη συνέπεια του τρόπου δόμησης της Δυτικής Αθήνας και της αντιμετώπισης των ρεμάτων τόσο από τους πολίτες όσο και από το επίσημο κράτος. Οι πλημμύρες που καταγράφονται στις συγκεκριμένες περιοχές τα τελευταία χρόνια είναι πολύ σημαντικές όσον αφορά τις επιπτώσεις τους, οι οποίες περιλαμβάνουν δυστυχώς και αρκετά ανθρώπινα θύματα.

Οι πλημμύρες αυτές οφείλονται άλλοτε σε αστοχίες ή στην έλλειψη δικτύου αποστράγγισης ομβρίων και άλλοτε στο ίδιο το υδρογραφικό δίκτυο. Ορισμένοι ακόμη σημαντικοί παράγοντες που συντελούν στο πλημμυρικό καθεστώς της περιοχής είναι η οικιστική πίεση, η άναρχη και ταχεία δόμηση, καθώς και ο φτωχός σχεδιασμός των χρήσεων γης. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα τη γειτνίαση των κατασκευών με το υδρογραφικό δίκτυο και την κατ' επέκταση αύξηση της τρωτότητας της περιοχής λόγω της μείωσης της παροχρητευτικότητας των ρεμάτων (Ευθύμης Λέκκας et al., 2010).

2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

2.1 Το υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS

2.1.1 Εισαγωγή - Γενικά χαρακτηριστικά

Το HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) είναι ένα πρόγραμμα μοντελοποίησης σχεδιασμένο να προσομοιάζει την διαδικασία βροχόπτωσης – απορροής σε δενδριτικές λεκάνες απορροής. Το μοντέλο αναπτύχθηκε από το Κέντρο Τεχνικής Υδρολογίας του Ινστιτούτου Υδατικών Πόρων που ανήκει στο Σώμα Μηχανικού του Αμερικανικού Στρατού (US Army Corps of Engineers).

Είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο εύρος γεωγραφικών περιοχών και να λύνει ένα μεγάλο εύρος από προβλήματα. Σε αυτά περιλαμβάνονται από υδρολογία πλημμυρών προκαλούμενη από ποταμούς μεγάλης παροχής έως ακόμα και τις μικρές αστικές ή φυσικές απορροές. Τα υδρογραφήματα που προκύπτουν από το πρόγραμμα χρησιμοποιούνται άμεσα ή σε συνδυασμό με άλλα λογισμικά για τις μελέτες της διαθεσιμότητας ύδατος, της αστικής απορροής υδάτων, της πρόγνωσης της ροής, των επιπτώσεων μελλοντικής αστικοποίησης, το σχεδιασμό υπερχειλιστών σε ταμιευτήρες, της μείωσης πλημμυρικών επιπτώσεων, της διευθέτησης πλημμυρικών πεδίων, της διαχείρισης συστημάτων και γενικά για την εκπόνηση υδρολογικών ή υδραυλικών μελετών, μελετών αποχέτευσης, καθώς και σε μελέτες φραγμάτων.

Το πρόγραμμα είναι ένα γενικευμένο σύστημα μοντελοποίησης, ικανό να προσομοιάσει πολλές διαφορετικές λεκάνες απορροής. Ένα μοντέλο της λεκάνης απορροής κατασκευάζεται χωρίζοντας τον υδρολογικό κύκλο σε τμήματα (συνιστώσες) που να μπορούν εύκολα να διαχειριστούν και θέτοντας τις οριακές συνθήκες γύρω από την λεκάνη ενδιαφέροντος. Οποιαδήποτε ροή μάζας ή ενέργειας στον κύκλο μπορεί έπειτα να αντιπροσωπευθεί με ένα μαθηματικό μοντέλο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, διάφορες επιλογές μοντέλων είναι διαθέσιμες για την προσομοίωση κάθε ροής. Κάθε μαθηματικό μοντέλο που περιλαμβάνεται στο πρόγραμμα είναι κατάλληλο για χρήση σε διαφορετικά περιβάλλοντα και κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Η σωστή επιλογή των μοντέλων απαιτεί τη γνώση της λεκάνης απορροής, των στόχων της υδρολογικής μελέτης, καθώς και κρίση και εμπειρία από πλευράς του μηχανικού.

Το πρόγραμμα είναι ένα ολοκληρωμένο μοντέλο που αποτελείται από μια βάση δεδομένων, εργαλεία εισαγωγής δεδομένων, το μηχανισμό υπολογισμών, και τα εργαλεία παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Το γραφικό περιβάλλον του προγράμματος επιτρέπει την εύκολη περιήγηση του χρήστη μεταξύ των διαφορετικών μερών του προγράμματος. Το πρόγραμμα έχει μια εκτενή σειρά ικανοτήτων υδρολογικής προσομοίωσης. Οι περισσότερες από τις γνωστές μεθόδους υδρολογικής μηχανικής συμπεριλαμβάνονται στο πρόγραμμα, με τρόπο που το κάνει εύκολο στη χρήση.

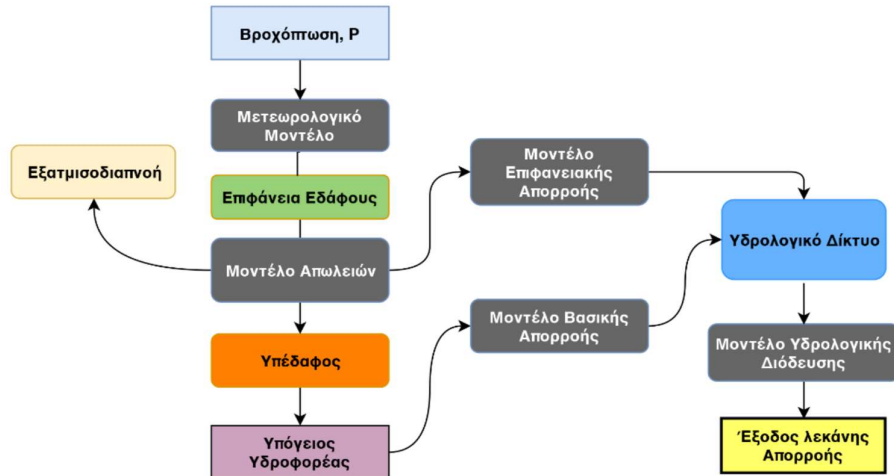
2.1.2 Συνιστώσες του προγράμματος

Όπως προαναφέρθηκε, το μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης απορροής HEC-HMS, κατασκευάζεται με το διαχωρισμό του υδρολογικού κύκλου σε συνιστώσες και με ορισμό οριακών συνθηκών σε αυτή. Κάθε συνιστώσα του προγράμματος είναι, στην ουσία, ένα ανεξάρτητο μαθηματικό μοντέλο.

Οι συνιστώσες (components) του HEC HMS είναι:

Μοντέλο Λεκάνης	→ Basin Model
Μετεωρολογικό Μοντέλο	→ Meteorological Model
Μοντέλο Απωλειών	→ Loss Method
Μοντέλο Επιφανειακής Απορροής	→ Transform Method
Μοντέλο Βασικής Απορροής	→ Baseflow Method
Μοντέλο Υδρολογικής Διόδευσης	→ Routing Method

Ο τρόπος που οι συνιστώσες αυτές διασυνδέονται μεταξύ τους και προσομοιάζουν τις διεργασίες του υδρολογικού κύκλου, απεικονίζεται παραστατικά στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.1-1 Βασικές Διεργασίες Βροχής - Απορροής στο HEC HMS (Μπαλάτσ, Μπουρνάς κλπ)

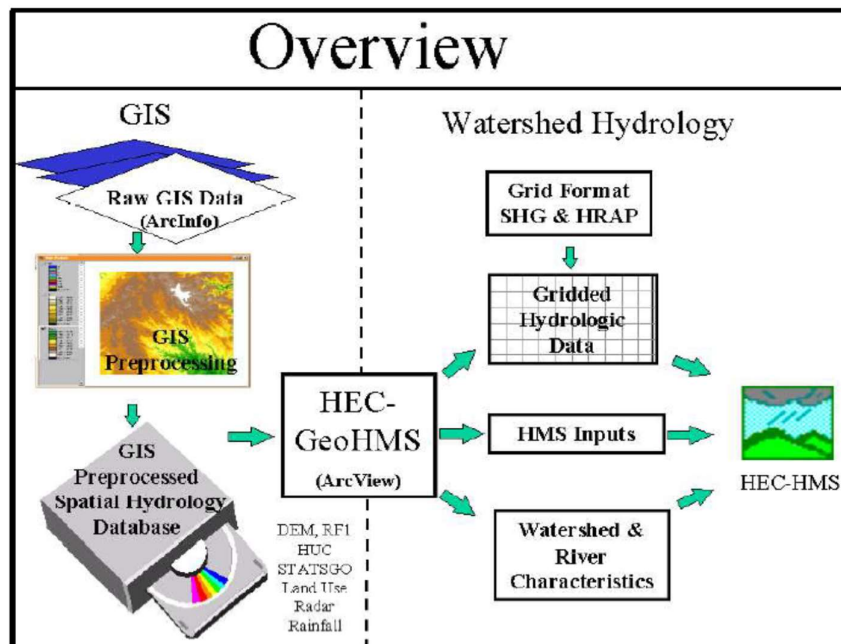
2.1.3 Γεωχωρικά δεδομένα για τον καθορισμό της λεκάνης

Το πρώτο στάδιο για τη δημιουργία του μοντέλου (πριν από τον καθορισμό μοντέλων υπολογισμού για τις διάφορες διεργασίες του υδρολογικού κύκλου) είναι η “απεικόνιση” της λεκάνης απορροής με τις οριακές της συνθήκες.

Το μοντέλο HEC-HMS, μπορεί να προσομοιάσει πάρα πολλά υδρολογικά στοιχεία, ακόμα και σε μία μικρή λεκάνη απορροής. Για τον λόγο αυτό, ένα μεγάλο κομμάτι του στησίματος του μοντέλου, στο αρχικό στάδιο, γίνεται με το πρόγραμμα HEC-GeoHMS, που αποτελεί extension του λογισμικού.

Το HEC-GeoHMS είναι ένα σύνολο εργαλείων ArcGIS ειδικά σχεδιασμένα για επεξεργασία γεωχωρικών δεδομένων και δημιουργία αρχείων εισόδου για το HEC-HMS. Περιλαμβάνει ολοκληρωμένη διαχείριση δεδομένων, μέσω εργαλειοθήκης γραφικών απεικονίσεων (Graphic User Interface-GUI). Μέσω του GUI, το οποίο αποτελείται από μενού, εργαλεία και κουμπιά, ο χρήστης μπορεί να αναλύσει τις πληροφορίες του εδάφους, να οριοθετήσει τις υπολεκένες και τα ρέματα και τέλος, να προετοιμάσει τα υδρολογικά δεδομένα (αρχεία) εισόδου για το HEC-HMS.

Η σχέση μεταξύ GIS, HEC-GeoHMS και HEC-HMS απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα, με την κάθετη διακεκομμένη γραμμή να διαχωρίζει τους ρόλους του GIS και της υδρολογίας της λεκάνης απορροής.



Σχήμα 2.1-2 Διασύνδεση μεταξύ GIS, HEC-GeoHMS και HEC-HMS (Μπαλάτσ, Μπουρνάς κλπ)

Το HEC-GeoHMS παρέχει τη σύνδεση για “μετάφραση” των γεωχωρικών πληροφοριών GIS σε αρχεία μοντέλων για HEC-HMS. Οι δυνατότητες του GIS αξιοποιούνται για μορφοποίηση, επεξεργασία και μετασχηματισμό συντεταγμένων. Το τελικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας του GIS είναι μια βάση δεδομένων χωρικής υδρολογίας που αποτελείται από το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων (DEM), τους τύπους εδάφους, πληροφορίες για τις χρήσεις γης, σενάρια βροχοπτώσεων κ.λπ.

Συγχρόνως το HEC- GeoHMS χρησιμοποιεί το DEM για να δημιουργήσει υπολεκάνες εντός της κύριας λεκάνης απορροής όπως ορίζονται από το χρήστη και για να προετοιμάσει διάφορες υδρολογικές παραμέτρους. Το HEC-HMS δέχεται αυτές τις υδρολογικές παραμέτρους ως αφετηρία για την προσομοίωση της υδρολογικής λεκάνης.

Τα ακόλουθα βήματα περιγράφουν διαδοχικά όλα τα διαδοχικά στάδια της γεωμορφολογικής ανάλυσης μέσω του HEC-GeoHMS:

- ✓ Διόρθωση Βυθισμάτων DEM (Fill DEM)
- ✓ Κάνναβος διευθύνσεων ροής (Flow Direction)
- ✓ Κάνναβος συγκεντρωτικής ροής (Flow Accumulation)
- ✓ Κατώφλι ορισμού ρέματος
- ✓ Διανυσματικό υδρογραφικό δίκτυο
- ✓ Χάραξη υπολεκανών απορροής
- ✓ Καθορισμός θέσης Προσομοίωσης
- ✓ Ορισμός υπολεκανών μελέτης
- ✓ Υπολογισμός τοπογραφικών χαρακτηριστικών

Μετά από τα παραπάνω, δημιουργείται το Αρχείο Λεκάνης Απορροής (Basin Model), το οποίο περιλαμβάνει τα εξής: τοπολογία υπολεκανών, εμβαδά υπολεκανών, μέγιστες υδάτινες διαδρομές, κέντρα βάρους υπολεκανών, μέγιστες κεντροβαρικές υδάτινες διαδρομές, απλοποιημένο μοντέλο κόμβων διαύλων.

Στα πλαίσια δημιουργίας του Αρχείου Λεκάνης Απορροής (Basin Model), χρησιμοποιούνται κάποια υδρολογικά στοιχεία (elements) που διαθέτει το HEC-HMS, κάθε ένα εκ των οποίων αναπαριστά μια υδρολογική οντότητα ή διεργασία για την οποία επιλέγονται μια σειρά μοντέλων για την μοντελοποίηση των υδρολογικών συνιστωσών. Τα “στοιχεία” αυτά (με την αντίστοιχη απεικόνισή τους στο πρόγραμμα) είναι τα εξής:



2.1.4 Δημιουργία του Υδρολογικού Μοντέλου HEC-HMS

Το προϊόν της γεωμορφολογικής ανάλυσης που περιγράφηκε παραπάνω, δηλαδή το **Αρχείο Λεκάνης Απορροής (Basin Model)**, αποτελεί δεδομένο εισόδου κατά τη δημιουργία του υδρολογικού μοντέλου στο HEC-HMS.

Για την ολοκλήρωσή του όμως, πέρα από τα γεωχωρικά δεδομένα και τα αρχεία που δημιουργούνται από την ανάλυση του HEC- GeoHMS, απαιτούνται να δημιουργηθούν επιπλέον:

- ✓ **το Μοντέλο Απωλειών Βροχής (Loss Method)**, για τη δημιουργία του οποίου προαπαιτείται γνώση των χρήσεων γης και των γεωλογικών χαρακτηριστικών της περιοχής της μελέτης. Οι επιλογές που διατίθενται στο χρήστη από το πρόγραμμα είναι:

1) None: καμία απώλεια

2) Deficit and Constant: Η μέθοδος υπολογίζει τις συνεχόμενες αλλαγές της κατάστασης υγρασίας του εδάφους. Θα πρέπει να επιλέγεται σε συνδυασμό με κάποια μέθοδο σχετική με τη φυτοκάλυψη της λεκάνης απορροής, ώστε μεταξύ των επεισοδίων βροχής, να είναι δυνατή η απώλεια υγρασίας του εδάφους και ο υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά την εφαρμογή του μετεωρολογικού μοντέλου.

3) Exponential: Πρόκειται για εμπειρική μέθοδο η οποία δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται χωρίς βαθμονόμηση. Θεωρείται ότι το ποσό της σταδιακά αυξανόμενης διήθησης μειώνεται λογαριθμικά συναρτήσει του ήδη συσσωρευμένου ποσού διήθησης.

4) Green and Ampt: Το μοντέλο διήθησης Green και Ampt είναι ένα εννοιολογικό μοντέλο διήθησης των κατακρημνίσεων σε μια λεκάνη απορροής. Η μεταφορά των βροχοπτώσεων μέσω του εδάφους και η ικανότητα διήθησης του εδάφους προσδιορίζεται από την εξίσωση Richards, η οποία εξάγεται συνδυάζοντας μια μη κεκορεσμένη μορφή ροής του νόμου Darcy με τις απαιτήσεις της διατήρησης της μάζας.

5) SCS Curve Number: Στη μέθοδο αυτή, ο υπολογισμός γίνεται από δεδομένη βροχή με τη βοήθεια του ύψους βροχής, της αρχικής κατάστασης υγρασίας του εδάφους και των υδρολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης, ήτοι: γεωμορφολογία-λιθολογία-βλάστηση, τα οποία συμπεριλαμβάνονται σε κάποιο δείκτη που ονομάζεται αριθμός καμπύλης απορροής CN (CurveNumber). Ο CN προσδιορίζεται με τη βοήθεια πινάκων ως συνάρτηση των χρήσεων γης, της υδρολογικής ομάδας εδάφους και των συνθηκών εδαφικής υγρασίας ($0 < CN < 100$).

6) Soil Moisture Accounting: Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, το έδαφος χωρίζεται σε επιμέρους στρώσεις. Η κάτω στρώση είναι το τμήμα του εδάφους, το οποίο χάνει νερό σε εξατμισοδιαπνοή και διήθηση, ενώ η πάνω στρώση αποτελεί το τμήμα που χάνει νερό μόνο σε εξατμισοδιαπνοή. Το νερό που συγκρατείται στην πάνω στρώση του εδάφους, αναπαριστά το νερό που βρίσκεται στα κενά του εδάφους, ενώ η κάτω στρώση αναπαριστά το νερό που βρίσκεται προσκολλημένο στους κόκκους του εδάφους. Το νερό διηθείται στο πάνω υπόγειο στρώμα από το έδαφος και από εκεί στο κατώτερο υπόγειο στρώμα, μέσω του οποίου βγαίνει εκτός συστήματος. Το νερό που βρίσκεται αποθηκευμένο σε ένα υπόγειο στρώμα, μπορεί να περάσει πλευρικά έξω από το σύστημα.

7) Gridded Deficit Constant

8) Gridded SCS Curve Number

9) Gridded Soil Moisture Accounting : Οι μέθοδοι 7-9 είναι ίδιες με τις προαναφερθείσες, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούν ένα πλέγμα κελιών (κάνναβος). Οι παράμετροι ορίζονται χωριστά για κάθε κελί.

10) Initialand Constant: Πρόκειται για μια απλή μέθοδο, η οποία είναι κατάλληλη για λεκάνες απορροής για τις οποίες υπάρχει έλλειψη εδαφικών πληροφοριών. Οι αρχικές απώλειες εκφράζουν το ποσό της κατακρήμνισης που διηθείται ή αποθηκεύεται στη λεκάνη απορροής πριν την έναρξη της επιφανειακής απορροής. Το ποσοστό των σταθερών απωλειών καθορίζει το ποσό της διήθησης το οποίο εμφανίζεται εφόσον έχουν υπολογιστεί οι αρχικές απώλειες και είναι σταθερό καθόλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Τέλος καθορίζεται το ποσοστό των αδιαπέρατων εδαφών. Για τις περιοχές αυτές δεν υπολογίζονται απώλειες καθώς όλη η ποσότητα της κατακρήμνισης μετατρέπεται σε άμεση απορροή.

11) Smith Parlange: Η μέθοδος χρησιμοποιεί την εξίσωση του Richards η οποία υπολογίζει τη διήθηση στο έδαφος θεωρώντας ότι το μέτωπο διαβροχής μπορεί να αναπαρασταθεί με εκθετική κλίμακωση της κορεσμένης αγωγιμότητας. Με αυτήν τη γραμμική προσέγγιση, υπολογίζεται με γρήγορο τρόπο η διήθηση ενώ συγχρόνως επιτυγχάνεται μια καλή προσέγγιση του μετώπου διαβροχής. Προαιρετικά η μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί με δεδομένα θερμοκρασίας του νερού για την προσαρμογή της πυκνότητας του νερού, καθώς

και του ιξώδους. Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθούν στοιχεία θερμοκρασίας, τότε λαμβάνεται θερμοκρασία ίση με 25°C.

- ✓ **το Μοντέλο Επιφανειακής Απορροής (Transform Method).** Οι επιλογές που διατίθενται στο χρήστη από το πρόγραμμα είναι:

1) None: Χωρίς μέθοδο υπολογισμού

2) Clark Unit Hydrograph: Στο μοντέλο Clark παρουσιάζονται δύο κρίσιμες διαδικασίες που σχετίζονται με το μετασχηματισμό της ενεργού βροχόπτωσης σε απορροή:

- Μετατροπή της βροχόπτωσης σε απορροή στο σημείο εξόδου της λεκάνης απορροής.
- Μείωση του μεγέθους της απορροής δεδομένου ότι μέρος της βροχόπτωσης αποθηκεύεται στη λεκάνη απορροής (χρησιμοποιείται η μέθοδος των γραμμικών ταμιευτήρων).

3) Kinematic Wave: Αρχικά η μέθοδος σχεδιάστηκε για την προσομοίωση αστικών περιοχών, αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις μη ανεπτυγμένων περιοχών. Περιλαμβάνει δύο «λωρίδες ροής» και ένα κανάλι. Η μία «λωρίδα ροής» αντιπροσωπεύει τις διαπερατές εδαφικές επιφάνειες, ενώ η δεύτερη τις αδιαπέρατες. Για κάθε μία λωρίδα ορίζεται διαφορετική μέθοδος για τον υπολογισμό των απωλειών. Η μέθοδος χρησιμοποιεί την εξίσωση συνέχειας και την εξίσωση ορμής για να μετασχηματίσει την κατακρήμνιση σε απορροή. Ο υπολογισμός ξεκινάει από τις «λωρίδες» όπου αναπτύσσεται υδρογράφημα στην καθεμιά. Στη συνέχεια συνδυάζεται και διανέμεται κατά μήκος του καναλιού συλλογής ως πλευρική εισροή. Στη συνέχεια συμπληρώνονται και οι υπόλοιπες καρτέλες (μέθοδος απωλειών, βασική απορροή, στοιχεία συλλεκτών). Η μέθοδος απωλειών συμπληρώνεται ξεχωριστά για κάθε «λωρίδα ροής».

4) SCS Unit Hydrograph: Το αδιάστατο υδρογράφημα της S.C.S. είναι ένα συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα, στο οποίο η παροχή εκφράζεται ως λόγος της παροχής προς την παροχή αιχμής Q_p και ο χρόνος ως λόγος του χρόνου προς το χρόνο ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος T_p . Με δεδομένα την παροχή αιχμής και τη χρονική επιβράδυνση για συγκεκριμένη διάρκεια ενεργού βροχόπτωσης, το μοναδιαίο υδρογράφημα μπορεί να εκτιμηθεί από το συνθετικό αδιάστατο υδρογράφημα για μια δεδομένη λεκάνη.

5) Snyder Unit Hydrograph: Χρησιμοποιείται όταν υπάρχει έλλειψη στοιχείων σε μια λεκάνη. Τα στοιχεία που προσδιορίζονται είναι η χρονική βάση, η παροχή αιχμής και τέσσερα σημεία του υδρογραφήματος συναρτήσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της λεκάνης. Η μέθοδος περιλαμβάνει τρεις διαφορετικές υπομεθόδους. Οι δύο από αυτές έχουν αναπτυχθεί από τον Αμερικανικό Στρατό και αφορούν σε συγκεκριμένες περιοχές των Η.Π.Α.

6) Mod Clark: Πρόκειται για γραμμική μέθοδο η οποία βασίζεται στις έννοιες του μοναδιαίου υδρογραφήματος του Clark. Η κάθε περιοχή της λεκάνης απορροής αντιστοιχεί σε κάποιο κελί καννάβου. Η μέθοδος Clark χρησιμοποιώντας μια καμπύλη χρόνου –εμβადού καθώς και το χρόνο συγκέντρωσης δημιουργεί ένα υδρογράφημα που μεταδίδεται στο χώρο και στο χρόνο. Η μέθοδος Mod Clark χρησιμοποιεί για κάθε κελί διαφορετικό χρόνο μετάδοσης του πλημμυρικού κύματος. Όλα τα κελιά του καννάβου έχουν τον ίδιο συντελεστή αποθήκευσης.

7) Users-Specified S-Graph

8) Users-Specified Unit Hydrograph: Οι μέθοδοι 7-8 χρησιμοποιούνται στην περίπτωση όπου ο χρήστης επιθυμεί να καθορίσει ο ίδιος τη σχέση μεταξύ της βροχόπτωσης και της απορροής

- ✓ **το Μοντέλο Βασικής Απορροής (Baseflow Method),** που αφορά στη μόνιμη ροή του ποταμού ή ρέματος της περιοχής μελέτης. Οι επιλογές που διατίθενται στο χρήστη από το πρόγραμμα είναι:

1) None: Χωρίς μέθοδο υπολογισμού

2) Recession: Η μέθοδος έχει σχεδιαστεί για την προσέγγιση της παρατηρημένης συμπεριφοράς σε μια λεκάνη απορροής, όπου η ροή σε ένα ρέμα μειώνεται εκθετικά μετά το τέλος του πλημμυρικού γεγονότος. Για αυτό το λόγο είναι κατάλληλη κυρίως για προσομοίωση μεμονωμένων πλημμυρικών γεγονότων στο μετεωρολογικό μοντέλο. Για την εφαρμογή της απαιτείται επιλογή για την αρχική παροχή (παροχή μετρημένη σε m^3/sec ή παροχή ανά επιφάνεια $m^3/sec/km^2$).

3) Bounded Recession: Η μέθοδος είναι σχεδιασμένη κυρίως για real time προσομοίωση λεκάνης απορροής. Έχει αρκετά κοινά σημεία με την μέθοδο Recession. Η βασική διαφορά των δύο μεθόδων είναι ότι στην Bounded Recession ορίζονται όρια για την τιμή της βασικής απορροής για κάθε μήνα του έτους.

4) Constant Monthly: Η μέθοδος της σταθερής μηνιαίας βασικής απορροής, θεωρεί κάποια σταθερή τιμή απορροής για κάθε μήνα του έτους. Σχεδιάστηκε αρχικά για προσομοίωση συνεχών μοντέλων, όπου η τιμή της βασικής απορροής προσεγγίζεται από μία σταθερή τιμή ροής για κάθε μήνα.

5) Linear Reservoir: Η μέθοδος υπολογίζει την μείωση της βασικής απορροής μετά από κάποιο πλημμυρικό γεγονός χρησιμοποιώντας τη μέθοδο γραμμικών ταμιευτήρων. Η υπολογισμένη διήθηση της loss method χρησιμοποιείται ως εισροή στον ταμιευτήρα. Για τη μέθοδο soil moisture accounting η διήθηση συνδέεται με την εκροή των υπόγειων νερών. Για όλες τις άλλες μεθόδους η διήθηση διαχωρίζεται ισόποσα σε εκροή υπόγειων νερών αλλά και υπεδάφιας απορροής.

6) Non linear Boussinesq Baseflow: Η μέθοδος είναι παρόμοια με τη μέθοδο Recession με τη διαφορά ότι θεωρείται ότι υπάρχει απεριόριστη διάθεση υπόγειων νερών όπου με εφαρμογή του θεωρήματος Boussinesq είναι δυνατή η παραμετροποίηση της μεθόδου χρησιμοποιώντας μετρήσιμα δεδομένα πεδίου. Χρησιμοποιείται κυρίως για μεμονωμένα πλημμυρικά γεγονότα.

- ✓ **το Μοντέλο Υδρολογικής Διόδευσης (Routing Method)**, που αφορά στη μέθοδο που θα επιλεγεί για τον υπολογισμό της διόδευσης του πλημμυρικού κύματος μέσα στην περιοχή της μελέτης. Οι επιλογές που διατίθενται στο χρήστη από το πρόγραμμα είναι:

1) None: Χωρίς μέθοδο υπολογισμού

2) Lag: Η απλούστερη μέθοδος κατά την οποία υπολογίζεται ο χρόνος που χρειάζεται το νερό για να διανύσει τον αγωγό. Επομένως είναι κατάλληλη μέθοδος κυρίως για μικρά ρέματα.

3) Muskingum: Σύμφωνα με την υδρολογική μέθοδο Muskingum εκφράζεται η σχέση αποθήκευσης-εισροής με μια γραμμική σχέση της μορφής: $S = K(X + (1-X)Q)$ Όπου: X: βάρος συμμετοχής της εισροής και 1-X βάρος συμμετοχής της εκροής στην αποθήκευση του τμήματος του Ποταμού, K: μέσος χρόνος διαδρομής της αιχμής της πλημμύρας διά μέσου του τμήματος (travelling time). Για τον υπολογισμό των X και K χρησιμοποιούνται υδρογραφήματα εισροής και εκροής του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού. Για διάφορες τιμές της παραμέτρου X σχηματίζονται τα διαγράμματα ZA έναντι S2. Τα διαγράμματα αυτά είναι εν γένει αναδιπλούμενες καμπύλες. Η ζητούμενη τιμή του X είναι η τιμή για την οποία το ανιόν μέρος της καμπύλης συμπίπτει κατά το δυνατόν με το κατιόν. Ταυτόχρονα προσδιορίζεται και η τιμή του K που είναι η κλίση της καμπύλης αυτής.

4) Muskingum-Cunge: Το μοντέλο παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με τις γραμμικές εξισώσεις διόδευσης κινηματικού κύματος, και δεν περιλαμβάνει φυσικές παραμέτρους οι οποίες είναι εύκολο να υπολογιστούν. Το μοντέλο είναι βασισμένο στη λύση της εξίσωσης συνέχειας και της εξίσωσης διάχυσης. Η μείωση των πλημμυρικών κυμάτων οφείλεται στην αριθμητική διάχυση αυτού του μοντέλου. Η εξίσωση κινηματικού κύματος διακριτοποιείται στο επίπεδο x-t, με έναν τρόπο που μοιάζει με τη μέθοδο Muskingum και με τη βοήθεια ενός συντελεστή βάρους X. Οι παράμετροι της μεθόδου καθορίζονται με βάση τα χαρακτηριστικά της ροής και των αγωγών, σε αντίθεση με τη μέθοδο Muskingum που βασίζεται στις παροχές των υδατορρευμάτων. Ο υπολογισμός των παραμέτρων X και K βασίζεται στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του αγωγού-ρέματος. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη η μη γραμμικότητα των πλημμυρικών κυμάτων. Μια επίσης σημαντική διαφορά είναι ότι η μέθοδος Muskingum μελετά τμήματα και βασίζεται στις μέσες τιμές του κάθε τμήματος, ενώ στη Muskingum-Cunge (κινηματικής φύσης) οι παράμετροι υπολογίζονται από τις διατομές των τμημάτων. Τέλος, η μέθοδος Muskingum-Cunge μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις ασταθών ροών σε φυσικά ρεύματα, όπου δεν παρουσιάζεται σημαντική αποθήκευση.

5) Kinematic Wave: Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η ροή θεωρείται σε κάθε χρονικό βήμα σταθερή και ομοιόμορφη και περιγράφεται είτε από την εξίσωση Manning, είτε από την

εξίσωση Chezy. Ο αγωγός θεωρείται ότι είναι μεγάλου πλάτους. Τα πλημμυρικά κύματα, τα οποία προσεγγίζουν τα κινηματικά, ταξιδεύουν με ταχύτητα κινηματικού κύματος ($c = \beta V$) και υπόκεινται σε ελάχιστη ή και καμία εξασθένηση. Πρακτικά, τα πλημμυρικά κύματα είναι κινηματικά, αν είναι μακράς διάρκειας ή ταξιδεύουν σε απότομες κλίσεις. Κινηματικά κύματα ονομάζονται αυτά, για τα οποία η αδράνεια και η βαθμίδα πίεσης (βάθους ροής) έχουν παραλειφθεί.

6) Modified Plus: Η μέθοδος Modified Plus, είναι γνωστή ως «διόδευση αποθήκευσης» και είναι βασισμένη σε μια προσέγγιση της εξίσωσης συνέχειας σε συνδυασμό με μια εμπειρική προσέγγιση της εξίσωσης ορμής. Οι απαραίτητες παράμετροι είναι η καμπύλη αποθήκευσης-εκροής, ο αριθμός των subreaches (υποαγωγών), και μια αρχική συνθήκη (πχ. εισροή=εκροή). Η καμπύλη αποθήκευσης-εκροής διαιρείται με τον αριθμό των subreaches και χρησιμοποιείται με την αρχική συνθήκη για όλους.

7) Straddle Stagger: Η μέθοδος Straddle Stagger υπολογίζει την εκροή άμεσα από τα δεδομένα εισόδου. Οι απαραίτητες παράμετροι είναι η μέθοδος αποθήκευσης, η αρχική συνθήκη, και η καμπύλη αποθήκευσης-εκροής H.

Στο ολοκληρωμένο, πλέον, **Αρχείο Λεκάνης Απορροής (Basin Model)** έρχεται να προστεθεί και το **Μετεωρολογικό Μοντέλο (Meteorological Model)** που περιγράφει τα διάφορα σενάρια κατακρήμνισης για τα οποία θα εκτελεστεί η προσομοίωση. Μετεωρολογικές παράμετροι που θα πρέπει να προσδιορισθούν είναι Unit System, Shortwave, Longwave, Precipitation, Temperature, Windspeed, Pressure, Dew Point, Evapotranspiration, Snowmelt, Replace missing. Από όλες αυτές τις παραμέτρους οι πλέον σημαντικοί και απαραίτητοι είναι το Unit System (σύστημα μονάδων μέτρησης) και το Precipitation (βροχόπτωση). Οι υπόλοιπες μπορούν και να αγνοηθούν (επιλογή – none--). Ο Υπολογισμός της Βροχόπτωσης (Precipitation Method) αφορά στη βροχόπτωση ή τη χιονόπτωση στη λεκάνη απορροής, ο καθορισμός της οποίας γίνεται κατά την επιλογή για την τήξη του χιονιού (snow melt method). Οι επιλογές μεθόδου υπολογισμού της βροχόπτωσης που διατίθενται στο χρήστη από το πρόγραμμα είναι:

1) Frequency Storm: Η μέθοδος έχει ως σκοπό να παραγάγει μια τεχνητή καταιγίδα από στατιστικά στοιχεία κατακρήμνισης. Τα στοιχεία αυτά δίνονται υπό μορφή χαρτών, όπου σε κάθε χάρτη παρουσιάζεται το αναμενόμενο ποσοστό κατακρήμνισης για μια καταιγίδα με συγκεκριμένη διάρκεια και πιθανότητα υπέρβασης. Τα στοιχεία συλλέγονται από τους χάρτες μαζί με άλλες πληροφορίες ώστε να υπολογιστεί ένα υετόγραμμα για κάθε υπολεκάνη. Για όλες τις υπολεκάνες χρησιμοποιούνται οι ίδιες παράμετροι. Κάθε καταιγίδα έχει μια ενιαία πιθανότητα υπέρβασης (διάρκειας) που επιλέγεται από τον κατάλογο διαθέσιμων επιλογών. Οι επιλογές κυμαίνονται από 0,2% έως 50%. Συνήθως η διάρκεια πρέπει να τεθεί ίση με το χρονικό βήμα της προσομοίωσης το οποίο πρέπει να είναι μικρότερο από τη συνολική διάρκεια καταιγίδας. Εάν η διάρκεια προσομοίωσης είναι μεγαλύτερη από τη διάρκεια της καταιγίδας, όλα τα χρονικά διαστήματα μετά από τη διάρκεια καταιγίδας θα έχουν μηδενικές τιμές κατακρήμνισης.

2) Gage Weights (λογική Thiessen): Στη μέθοδο αυτή θεωρείται ότι κάθε σταθμός έχει μια ιδιαίτερη βαρύτητα σε σχέση με το συνολικό βάρος του επεισοδίου. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει οποιαδήποτε μέθοδο για να αναπτύξει τα βάρη που αντιστοιχούν σε κάθε σταθμό για τον υπολογισμό του υετογράμματος για κάθε υπολεκάνη. Το συνολικό βάρος της καταιγίδας ορίζεται χωριστά για κάθε υπολεκάνη.

3) Gridded Precipitation: Πρόκειται για μέθοδο η οποία χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κάποιο πρόσθετο λειτουργικό, το οποίο λαμβάνει τιμές από Radar, ώστε σε κάθε σημείο του καννάβου προκύπτουν οι αντίστοιχες τιμές με τις οποίες υπολογίζονται τα υετογράμματα κάθε υπολεκάνης. Συνήθως η μέθοδος συνδυάζεται με την μέθοδο Mod Clark Gridded transform.

4) HMR 52 Storm: Η μέθοδος αυτή αποτελεί μια προσέγγιση του υπολογισμού της μέγιστης πιθανής κατακρήμνισης σε μια λεκάνη απορροής σύμφωνα με το Hydrometeorological Report 52 (Hansen, Schreiner, Miller, 1982). Με τη μέθοδο αυτή, δημιουργούνται ομόκεντρες

ισοϋέτιες ελλείψεις όπου η κάθε μία αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο ύψος κατακρήμνισης. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτούνται αρκετές παράμετροι για την περιγραφή της περιοχής, του προσανατολισμού και της χρονικής κατανομής της κατακρήμνισης. Η καταίγιδα της HMR 52 έχει διάρκεια 72ώρες.

5) Inverse Distance: Η μέθοδος αντίστροφης απόστασης σχεδιάστηκε αρχικά για εφαρμογή σε real time συστήματα πρόβλεψης. Μπορεί να χρησιμοποιήσει δεδομένα σταθμών διάστηματος συγκεκριμένου χρονικού βήματος ή και ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα. Ο real time σχεδιασμός, δίνει τη δυνατότητα χρήσης δεδομένα από κοντινούς ή μακρινούς σταθμούς στη λεκάνη απορροής, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των στοιχείων τους. Το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος των σταθμών χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν πόσο κοντά ή μακριά βρίσκονται οι σταθμοί από έναν ή περισσότερους κόμβους που ορίζονται σε κάθε υπολεκάνη.

6) SCS Storm: Η καταίγιδα της Soil Conservation Service αναπτύχθηκε αρχικά για μη αστικές, αγροτικές περιοχές. Σκοπός της ήταν ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων αποθήκευσης ύδατος (υδατοδεξαμενές) για τις αγροτικές χρήσεις. Πλέον, η μέθοδος εφαρμόζεται σε πληθώρα περιπτώσεων. Η διάρκεια της κατακρήμνισης θεωρείται 24 ώρες, ενώ ο χρήστης συμπληρώνει το ύψος της κατακρήμνισης, καθώς και τον τύπο της κατανομής του ύψους στη διάρκεια της καταίγιδας.

7) Specified Hyetograph: Η μέθοδος του υετογράμματος επιτρέπει στον χρήστη να συμπληρώσει για κάθε υπολεκάνη συγκεκριμένο υετόγραμμα με τη μορφή χρονοσειράς. Η μέθοδος είναι χρήσιμη όταν διατίθενται στοιχεία κατακρήμνισης τα οποία θα εισαχθούν στο πρόγραμμα χωρίς κάποια τροποποίηση. Η μέθοδος είναι επίσης χρήσιμη όταν τα στοιχεία κάθε υπολεκάνης προέρχονται από έναν σταθμό. Το υετόγραμμα, θα πρέπει αρχικά να αποθηκευτεί ως σταθμός (precipitation gage) ώστε να χρησιμοποιηθεί στο μετεωρολογικό μοντέλο και μπορεί να προέρχεται από δεδομένα ενός βροχομετρικού σταθμού ή να είναι αποτέλεσμα υπολογισμών. Το κάθε υετόγραμμα μπορεί να αντιστοιχηθεί σε μία ή περισσότερες υπολεκάνες.

8) Standard Project Storm: Τυποποιημένη μέθοδος, παρόμοια με την SCS Storm, από το εγχειρίδιο μηχανικής EM1110-21411 (Corps1965). Η μέθοδος αν και δεν χρησιμοποιείται πλέον ευρέως, συμπεριλαμβάνεται στο πρόγραμμα για μελέτες στις οποίες μπορεί να φανεί ακόμη χρήσιμη

Μετά από την ολοκλήρωση της υδρολογικής ανάλυσης, δημιουργείται το **Αρχείο Προσομοιώσεων (Control Specifications)** στο οποίο προσδιορίζονται τα χρονικά δεδομένα της προσομοίωσης. Τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να συμπληρωθούν είναι η *Ημερομηνία έναρξης και λήξης* του συμβάντος. Η ημερομηνία συμπληρώνεται με το format που ορίζεται στην καρτέλα επεξεργασίας του αρχείου ελέγχου και η *Ωρα έναρξης και λήξης* του συμβάντος. Ακόμα εδώ καθορίζεται το *Χρονικό Βήμα*, η εκτέλεση του οποίου (Simulation Run) οδηγεί στην παραγωγή των πλημμυρογραφήματων που είναι και το ζητούμενο της μοντελοποίησης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται είτε σε μορφή πίνακα (Summary Table), είτε σε μορφή γραφήματος (Graph), και σε κάθε περίπτωση περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- ✓ Παροχή αιχμής (Peak Discharge)
- ✓ Ύψος Βροχής (Precipitation Volume)
- ✓ Ύψος Απωλειών βροχής (Loss Volume)
- ✓ Ενεργός Βροχόπτωση (Excess Volume)
- ✓ Χρονική στιγμή αιχμής
- ✓ Όγκος Άμεσης Απορροής (Direct Runoff)
- ✓ Όγκος Βασικής Απορροής (Baseflow)
- ✓ Συνολική Απορροή (Discharge Volume)

2.1.5 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Επειδή οι υπολογισμοί που εκτελούνται επηρεάζονται από πλήθος παραγόντων, είναι πάντοτε απαραίτητη η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν, προτού αυτά χρησιμοποιηθούν.

Στην περίπτωση που διατίθενται πραγματικά (παρατηρημένα) δεδομένα, η αξιολόγηση γίνεται με:

- ✓ Αξιολόγηση αντιπαράθεσης του πλημμυρογραφήματος με πραγματικές, μετρημένες τιμές (Observed Flow).
- ✓ Χρήση δεικτών αξιολόγησης και βαθμονόμηση των παραμέτρων του μοντέλου. (Μεταβολή των τιμών των παραμέτρων του μοντέλου, ώστε οι δείκτες αξιολόγησης να είναι οι βέλτιστοι δυνατοί).
- ✓ Εκτέλεση βαθμονόμησης για ένα υποσύνολο των δεδομένων και εκτέλεση επαλήθευσης για το υπόλοιπο υποσύνολο.

Στην περίπτωση που δεν διατίθενται πραγματικά (παρατηρημένα) δεδομένα, η αξιολόγηση γίνεται με χειροκίνητη βαθμονόμηση:

- ✓ Ελέγχεται η τάξη μεγέθους της παροχής αιχμής.
- ✓ Ελέγχεται η τάξη μεγέθους των απωλειών βροχής.
- ✓ Γίνεται ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων
- ✓ Επιλύεται το ίδιο πρόβλημα με διαφορετικές μεθόδους/μοντέλα
- ✓ Διορθώνονται τυχόν εσφαλμένες τιμές βροχής ή των παραμέτρων των μοντέλων.

Στην βροχή-απορροή επεισοδίων βροχής (Event based), οι σημαντικές ποσότητες που ελέγχονται είναι:

- ✓ Παροχή αιχμής
- ✓ Χρόνος αιχμής

Τα υδρολογικά μοντέλα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις απώλειες βροχής, καθώς επηρεάζουν σημαντικά το αποτέλεσμα. Ως εκ τούτου, η Βαθμονόμηση της Παραμέτρου Μοντέλων Απωλειών είναι ιδιαίτερα σημαντική και θα πρέπει να γίνεται με:

- ✓ Μεταβολή των παραμέτρων του μοντέλου απωλειών
- ✓ Μεταβολή των αρχικών συνθηκών
- ✓ Μεταβολή του ρυθμού μείωσης των απωλειών
- ✓ Αλλαγή μοντέλου απωλειών.

2.2 Το υδροδυναμικό μοντέλο HEC-RAS

2.2.1 Εισαγωγή - Γενικά χαρακτηριστικά

Το υδραυλικό μοντέλο HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's - River Analysis System) είναι ένα λογισμικό που σχεδιάστηκε, επίσης, από το Κέντρο Τεχνικής Υδρολογίας του Ινστιτούτου Υδατικών Πόρων του Σώματος Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (US Army Corps of Engineer). Επιτρέπει στο χρήστη να πραγματοποιήσει μονοδιάστατη (1D) ανάλυση και προσομοίωση φυσικών υδατορεμάτων, μονοδιάστατους ή δισδιάστατους υπολογισμούς ροής, μετακίνηση ιζήματος, και μοντελοποίηση της ποιότητας των υδάτων. Πρόκειται για ένα σύνολο μοντέλων με τέσσερις συνιστώσες ανάλυσης: Μονοδιάστατοι (1D) υπολογισμοί του προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας σε συνθήκες μόνιμης ροής, Μονοδιάστατοι ή δισδιάστατοι (2D) υπολογισμοί σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, Υπολογισμοί απόθεσης φερτών υλών, και Υπολογισμοί σχετικά με τη θερμοκρασία του νερού και γενικότερα με την προσομοίωση της ποιότητας των υδάτων (τύχη και μεταφορά θρεπτικών ουσιών). Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο έχει τη δυνατότητα υπολογισμού της στάθμης του νερού για βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή σε δίκτυο τεχνητών αγωγών, σε σύστημα υδατορρευμάτων με τεχνικά έργα ή φυσικές κοίτες σε συνθήκες υποκρίσιμης ή υπερκρίσιμης ροής. Επίσης, δύναται να υπολογίσει υδραυλικά άλματα, υδραυλικές συνθήκες σε γέφυρες, οχετούς, υπερχειλιστές (με ή χωρίς θυροφράγματα), στενώσεις, καθώς και τη διάβρωση της κοίτης στις γέφυρες.

Το υδραυλικό μοντέλο HEC-RAS 1D/2D είναι ένα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία για την μοντελοποίηση ενός πλημμυρικού γεγονότος. Το μοντέλο αυτό συνδυάζει περιοχές που είναι εφικτό να μοντελοποιηθούν σε μία διάσταση (π.χ. κύρια κοίτη του ποταμού) και άλλες περιοχές σε δύο διαστάσεις (παράπλευρες περιοχές του ποταμού). Ο αλγόριθμος προσομοίωσης 2D ροής έχει την ικανότητα εκτέλεσης ενιαίας 1D/2D μοντελοποίησης στο πλαίσιο της ίδιας μη μόνιμης ροής. Κατά την ανάπτυξη του μοντέλου αυτού τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου ταυτίζονται με αυτά που απαιτούνται για την ανάπτυξη ενός μοντέλου 2D. Μια επιπλέον δυνατότητα της ενιαίας 1D/2D HEC-RAS μοντελοποίησης είναι ο αλγόριθμος ενιαίας 1D/2D λύσης. Οι αλγόριθμοι λύσεων 1D και 2D είναι στενά συνδεδεμένοι χρονικό βήμα προς χρονικό βήμα, με την επιλογή της επανάληψης μεταξύ 1D και 2D μεταφορών ροής μέσα σε ένα χρονικό βήμα. Αυτό επιτρέπει την άμεση ανατροφοδότηση σε κάθε χρονικό βήμα μεταξύ των 1D και 2D στοιχείων ροής.

Για την ρύθμιση της γεωμετρίας του μοντέλου χρειάζεται ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Elevation Model, DEM) συμπληρωμένο με μετρήσεις απεικόνισης της κοίτης του ποταμού (προφίλ κοίτης κάτω από την επιφάνεια του νερού). Σε περίπτωση αστικών και γενικά δομημένων περιοχών, καλό είναι το ψηφιακό μοντέλο εδάφους να έχει εμπλουτιστεί και με απεικόνιση όλων των κατασκευών που υπάρχουν στην περιοχή, παράγοντας με τον τρόπο αυτό ένα Τρισδιάστατο Μοντέλο Επιφανείας (DSM) το οποίο αποδίδει και περιγράφει τόσο το ανάγλυφο του εδάφους όσο και τα κτίρια και τις κατασκευές κάθε είδους.

Για την ρύθμιση των οριακών συνθηκών απαιτούνται δεδομένα ροής και στάθμης του νερού. Η μοντελοποίηση του HEC-RAS 1D/2D μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους:

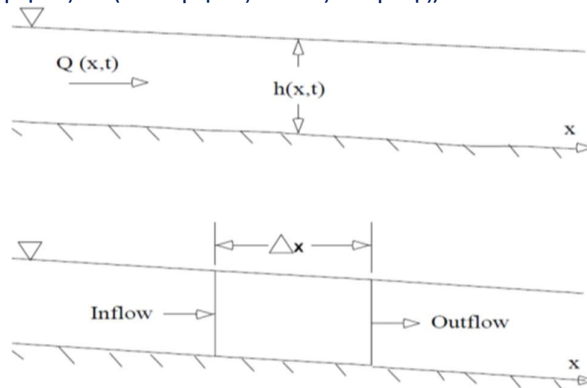
- ο πρώτος, δημιουργώντας μια πλευρική σύνδεση όπου βρίσκονται οι περιοχές 2D σε συνδυασμό με διατομές 1D, με την χρήση πλευρικών δομών (lateral structures) και
- ο δεύτερος, με μοντελοποίηση ανάντη ή κατάντη του ποταμού μόνο σε 1D και σύνδεση του με 2D περιοχή που βρίσκεται πιο ανάντη ή κατάντη αντίστοιχα (Betscholtz et al., 2017)

2.2.2 Οι εξισώσεις του μοντέλου

(i) Εξισώσεις μονοδιάστατης (1D) ροής

Οι φυσικοί νόμοι που διέπουν τη ροή του νερού σε ένα υδατόρεμα είναι: (1) η αρχή διατήρησης της μάζας (συνέχεια) και (2) η αρχή της διατήρησης της ορμής. Αυτοί οι νόμοι εκφράζονται μαθηματικά με τη μορφή μερικών διαφορικών εξισώσεων, οι οποίες αναφέρονται ως εξισώσεις συνέχειας και ορμής.

Η αρχή διατήρησης μάζας για ένα στοιχειώδη όγκο ελέγχου (βλέπε κατωτέρω σχήμα) δηλώνει ότι ο καθαρός ρυθμός ροής στον όγκο είναι ίσος με το ρυθμό μεταβολής της αποθήκευσης στον όγκο αυτόν. Ο στοιχειώδης όγκος ελέγχου προκύπτει από τη συνολική επιφάνεια ροής A (εγκάρσια στη διεύθυνση ροής) επί το μήκος Δx (κατά μήκος του άξονα ροής).



Ο ρυθμός εισόδου (inflow) στον όγκο ελέγχου είναι: $Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \Delta x$

Ενώ ο ρυθμός εξόδου (outflow) είναι αντίστοιχα: $Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}$

Και ο ρυθμός μεταβολής της αποθήκευσης είναι: $\frac{\partial A}{\partial t} \Delta x$

Υποθέτοντας ότι το Δx είναι πολύ μικρό, η μεταβολή της μάζας στον όγκο ελέγχου είναι ίση με:

$$\rho \frac{\partial A}{\partial t} \Delta x = \rho \left[\left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) + Q_i \right]$$

Όπου Q_i είναι η πλευρική ροή που εισέρχεται στον όγκο ελέγχου και ρ είναι η πυκνότητα του ρευστού.

Απλοποιώντας και διαιρώντας με $\rho \Delta x$, προκύπτει η τελική μορφή της εξίσωσης συνέχειας:

όπου q_i είναι η πλευρική εισροή ανά μονάδα μήκους (m^3/s).

Η αρχή διατήρησης ορμής προκύπτει από το 2^ο νόμο του Newton που εκφράζεται ως:

$$\sum F_x = \frac{dM}{dt}$$

Όταν εξετάζουμε έναν στοιχειώδη όγκο ελέγχου, η αρχή διατήρησης της ορμής δηλώνει ότι ο καθαρός ρυθμός ορμής που εισέρχεται στον όγκο συν το άθροισμα των εξωτερικών δυνάμεων που δρουν στον όγκο είναι ίσα με το ρυθμό συσσώρευσης της ορμής.

Αν θεωρήσουμε ως ρυθμό εισόδου ορμής στον όγκο ελέγχου το: $\rho \left[QV - \frac{\partial(QV)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right]$

Και, αντίστοιχα, ως ρυθμό εξόδου ορμής το: $\rho \left[QV + \frac{\partial(QV)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right]$

Προκύπτει ότι ο καθαρός ρυθμός ορμής που εισέρχεται στον όγκο είναι: $-\rho \frac{\partial(QV)}{\partial x} \Delta x$

Παράλληλα, οι εξωτερικές δυνάμεις που δρουν πάνω στον όγκο ελέγχου είναι συνολικά τρεις (3):

Οι δυνάμεις πίεσης, οι δυνάμεις βαρύτητας και οι δυνάμεις τριβής, οι οποίες εκφράζονται με τις ακόλουθες, αντίστοιχα, σχέσεις:

$$F_{pn} = -\rho g A \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x \quad \frac{\partial A_T}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_i = 0 \quad \text{και} \quad F_f = -\rho g A S_f \Delta x$$

$$F_g = -\rho g A \frac{\partial z_0}{\partial x} \Delta x$$

Όπου A η συνολική επιφάνεια ροής (εγκάρσια στη διεύθυνση ροής), Δx το μήκος του όγκου ελέγχου (κατά μήκος του άξονα ροής), z_0 η κλίση του πυθμένα και S_f ο ρυθμός απωλειών τριβής που υπολογίζεται από την εξίσωση του Manning.

Η τελική μορφή της εξίσωσης διατήρησης της ορμής είναι:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(QV)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z_s}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

Όπου:

- Q = η συνολική ροή συναρτήσει απόστασης x και χρόνου t (m^3/s)
- V = ο όγκος ελέγχου (m^3)
- g = η επιτάχυνση της βαρύτητας (m^2/s)
- A = η συνολική επιφάνεια ροής (m^2)
- $\partial z/\partial x$ = η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού
- S_f = ο ρυθμός απωλειών τριβής (USACE, 2016c)

(ii) Εξισώσεις δισδιάστατης (2D) ροής

Το HEC-RAS έχει δύο σύνολα εξισώσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση της ροής που μετακινείται πάνω στο υπολογιστικό πλέγμα:

(I) τις εξισώσεις Saint Venant ή “πλήρους ορμής” (Full Momentum Equations), οι οποίες συχνά αναφέρονται και ως εξισώσεις ρηχών υδάτων, και

(II) τις εξισώσεις Διάχυσης Κύματος (Diffusion Wave Equations).

Για μη μόνιμη ροή, και θεωρώντας ότι η ροή είναι ασυμπίεστη, ομοιόμορφης πυκνότητας και υδροστατικής πίεσης, η 2D μορφή της διαφορικής εξίσωσης ρηχών υδάτων (Saint Venant) διατήρησης μάζας (συνέχειας) δίδεται ως:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0$$

όπου:

$H(x, y, t)$ [m] το υψόμετρο της στάθμης του νερού

$h(x, y, t)$ [m] το βάθος νερού

u, v [m/s] οι συνιστώσες ταχύτητας στην x - και y - διεύθυνση

q [m^3/s] η εισερχόμενη ροή (USACE, 2016c)

Αντίστοιχα, οι 2D εξισώσεις ορμής ρηχών υδάτων (Saint Venant), για τη x και y διεύθυνση, δίδονται ως εξής:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f_v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f_u$$

Όπου:

u, v [m/s] οι συνιστώσες ταχύτητας στην x και y διεύθυνση

g [m/s^2] η επιτάχυνση της βαρύτητας

$H(x, y, t)$ [m] το υψόμετρο της στάθμης του νερού

v_t [m^2/s] ο συντελεστής οριζόντιου κινηματικού ιξώδους

c_f [s^{-1}] ο συντελεστής τριβής στον πυθμένα

f [s^{-1}] η παράμετρος Coriolis (USACE, 2016c)

Για τις 2D εξισώσεις ορμής Διάχυσης Κύματος χρησιμοποιούνται οι 2D εξισώσεις πλήρους ορμής (Saint Venant), στις οποίες κυριαρχούν οι όροι της επιτάχυνσης της βαρύτητας και του συντελεστή τριβής στον πυθμένα, ενώ το ιξώδες, η παράμετρος Coriolis, η μεταγωγική επιτάχυνση και η τοπική επιτάχυνση μπορούν να απαλειφθούν. (USACE, 2016c)

Οπότε, οι 2D εξισώσεις Διάχυσης Κύματος (Diffusion Wave) παίρνουν τελικά την μορφή:

$$-g \frac{\partial H}{\partial x} = c_f u$$

$$-g \frac{\partial H}{\partial y} = c_f v$$

Η παραπάνω μορφή της εξίσωσης της ορμής περιέχει μόνο βαρύτητα, τριβή και δυνάμεις υδροστατικών πιέσεων. Αυτό την καθιστά ευκολότερη ως προς την επίλυση, πιο σταθερή για ένα ευρύ φάσμα προβλημάτων και πολύ λιγότερο απαιτητική σε υπολογιστικό χρόνο. Ωστόσο, χωρίς τους όρους συσχέτισης στις εξισώσεις, η εξίσωση διάχυσης κύματος είναι λιγότερο ακριβής από τις εξισώσεις πλήρους ορμής (Saint Venant), και είναι πιο δύσκολο να εφαρμοστεί σε διάφορα πιο σύνθετα προβλήματα. Έτσι, σε γενικές γραμμές, οι 2D εξισώσεις Διάχυσης Κύματος επιτρέπουν στο λογισμικό να τρέχει γρηγορότερα και με μεγαλύτερη σταθερότητα, σε αντίθεση με τις εξισώσεις πλήρους ορμής οι οποίες είναι ικανές να επιλύσουν ένα ευρύτερο φάσμα προβλημάτων.

Όσον αφορά στην επιλογή του χρονικού βήματος ισχύουν τα εξής: στις εξισώσεις Διάχυσης Κύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερο χρονικό βήμα από ότι μπορεί να επιλεγεί στις εξισώσεις Saint Venant, ενώ ταυτόχρονα οι παραγόμενες λύσεις να παραμένουν αριθμητικά σταθερές και ακριβείς. Για την επιλογή ενός υπολογιστικού διαστήματος για τις εξισώσεις Saint Venant και τις εξισώσεις Διάχυσης Κύματος, ακολουθούνται τα παρακάτω: (USACE, 2016b)

Εξισώσεις Saint Venant (πλήρους ορμής):

$$C = \frac{V \cdot \Delta T}{\Delta X} \leq 1.0 \quad (\text{με μέγιστο } C=3.0) \quad \text{ή}$$

$$\Delta T \leq \frac{\Delta X}{V} \quad (\text{με } C=1.0)$$

Όπου:

C = ο αριθμός Courant

V = η ταχύτητα του κύματος (m/s)

ΔT = το υπολογιστικό χρονικό βήμα (s)

Δx = το μέσο μέγεθος κελιού (m)

Εξισώσεις Διάχυσης Κύματος (Diffusion Wave):

$$C = \frac{V \cdot \Delta T}{\Delta X} \leq 2.0 \quad (\text{με μέγιστο } C=5.0) \quad \text{ή}$$

$$\Delta T \leq \frac{2\Delta X}{V} \quad (\text{με } C=1.0)$$

2.2.3 Δεδομένα εισόδου του μοντέλου

Τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για την έναρξη του μοντέλου HEC-RAS 1D/2D είναι:

- Στοιχεία διατομών ή ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) για τη γεωμετρία του εδάφους
- Δεδομένα εισόδου προσομοίωσης, όπως είναι το Πλημμυρογράφημα
- Συντελεστές η Manning για τις χρήσεις γης (Land Cover)
- Τεχνικά έργα κατά μήκος του ρέματος

2.2.4 Οριακές και αρχικές συνθήκες του μοντέλου

➤ Οριακές συνθήκες μοντέλου (Boundary conditions)

Το μοντέλο HEC-RAS 1D/2D δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να προσθέσει διαφορετικούς τύπους οριακών συνθηκών (USACE, 2016a). Οι οριακές συνθήκες είναι οι εξής:

- **Flow Hydrograph** (υδρογράφημα ροής), το οποίο χρησιμοποιείται συνήθως ως ανάντη όριο αλλά και ως κατάντη οριακή συνθήκη.
- **Stage Hydrograph** (υδρογράφημα στάθμης ελεύθερης επιφάνειας), το οποίο χρησιμοποιείται είτε ως ανάντη είτε ως κατάντη όριο.
- Συνδυασμός **Stage and Flow Hydrograph**, όπου ανάντη πρόκειται για μία μικτή οριακή συνθήκη στην οποία το ανάντη όριο είναι το Stage Hydrograph μέχρι να ολοκληρωθεί το τρέξιμο. Σε αυτό το σημείο το πρόγραμμα αυτόματα μετατρέπει ως οριακή συνθήκη το υδρογράφημα ροής. Αυτός ο τύπος οριακής συνθήκης χρησιμοποιείται κυρίως για μοντέλα πρόβλεψης συνδυάζοντας τα δύο παραπάνω.
- **Rating Curve** (καμπύλη στάθμης παροχής), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κατάντη οριακή συνθήκη. Σε αυτήν την κατηγορία, για κάθε μία τιμή παροχής αντιστοιχεί μία τιμή ελεύθερης επιφάνειας. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα για τις ροές με ήπιες κλίσεις επιφάνειας νερού, διότι δεν είναι αρκετά απότομη ώστε να αμβλύνει τα σφάλματα σε σχετικά μικρή απόσταση. Για αυτό τον λόγο ο χρήστης θα πρέπει να βεβαιωθεί κατά τη χρήση αυτού του τύπου οριακής συνθήκης να υπάρχει και επαρκής απόσταση κατάντη από την περιοχή μελέτης.
- **Normal Depth** (ομοιόμορφο βάθος), το οποίο χρησιμοποιείται μόνο ως κατάντη οριακή συνθήκη. Αυτή η επιλογή χρησιμοποιεί την εξίσωση του Manning για την εκτίμηση ενός σταδίου για κάθε υπολογισμένη ροή, ενώ από το χρήστη απαιτείται να εισάγει τη κλίση γραμμής ενέργειας (friction slope), για την προσέγγιση κοντά στο όριο. Για την εκτίμηση της κλίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κλίση της επιφάνειας του νερού, ωστόσο αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί εκ των προτέρων. Για αυτό τον λόγο γίνεται χρήση της μέσης κλίσης του πυθμένα. Τέλος, για την επιλογή αυτού του τύπου οριακής συνθήκης, θα πρέπει η εφαρμογή του να γίνεται αρκετά μακριά κατάντη της περιοχής μελέτης, ώστε οποιαδήποτε σφάλματα προκύψουν να μη επηρεάσουν τα αποτελέσματα της μελέτης.

➤ Αρχικές συνθήκες μοντέλου (Initial Conditions)

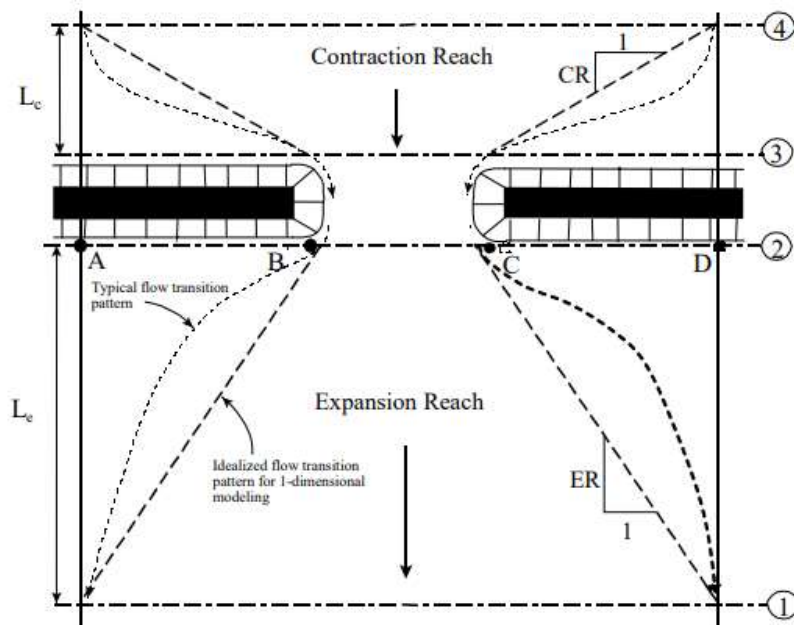
Εκτός από τις οριακές συνθήκες στο μοντέλο πρέπει να προστεθούν και οι αρχικές συνθήκες στην αρχή της προσομοίωσης στην περίπτωση ασταθούς ροή (unsteady flow) (USACE, 2016). Οι αρχικές συνθήκες αποτελούνται από πληροφορίες της ροής και της στάθμης παροχής για κάθε μία από τις διατομές.

2.2.5 Μοντελοποίηση τεχνικών έργων

Για την μοντελοποίηση των τεχνικών έργων ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προσθέσει γέφυρες και οχετούς (Bridges & Culverts) που παρατηρούνται στη περιοχή μελέτης, ώστε το μοντέλο HEC-RAS 1D/2D να υπολογίσει τις απώλειες ενέργειας που προκαλούνται από τις ύπαρξη των κατασκευών αυτών. Ένα μέρος αποτελείται από απώλειες που συμβαίνουν στο πεδίο πρόσβασης ανάντη του τεχνικού, λόγω της συστολής της ροής για να περάσει από το άνοιγμά. Το δεύτερο μέρος είναι οι

απώλειες που συμβαίνουν στην ίδια την κατασκευή (λόγω της μορφής και της παροχευτικότητάς της). Το τρίτο μέρος αποτελείται από απώλειες που συμβαίνουν στο αμέσως κατάντη σημείο από την κατασκευή, λόγω της διαστολής της ροής. Γενικά, οι απώλειες κατηγοριοποιούνται σε απώλειες συστολής και διαστολής (Contraction and Expansion Losses), οι οποίες περιγράφονται ως απόλυτη τιμή τη μεταβολής του ύψους κινητικής ενέργειας μεταξύ παρακείμενων διατομών. Όταν ανάντη του τεχνικού η κεφαλή ταχύτητας αυξάνεται χρησιμοποιείται ο συντελεστής συστολής, ενώ όταν μειώνεται κατάντη χρησιμοποιείται ο συντελεστής διαστολής.

Για την απεικόνιση, στο μοντέλο, των σημείων του υδατορέματος πάνω στο οποίο λαμβάνουν χώρα αυτές οι μεταβολές, απαιτείται η εισαγωγή τουλάχιστον τεσσάρων (4) χαρακτηριστικών διατομών, οποίες και απεικονίζονται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 2.2-1: Τοποθεσίες διατομών σε μία γέφυρα ή Culvert στο HEC-RAS

Συγκεκριμένα:

- Η διατομή 1, **Cross Section 1**, βρίσκεται αρκετά κατάντη του τεχνικού ώστε η ροή να μην επηρεάζεται από το αυτό, δηλαδή να είναι πλήρως ανεπτυγμένη. Αυτή η απόσταση επέκτασης ποικίλει ανάλογα το βαθμό στένωσης, το σχήμα της στένωσης, το μέγεθος κι την ταχύτητα ροής. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν λεπτομερείς πληροφορίες μία συνηθισμένη εκτίμηση του λόγου διαστολής που λαμβάνεται είναι 2:1, ως μία πρώτη εκτίμηση του μήκους συστολής. Όταν επιλεγεί από κατάλληλο πίνακα ο λόγος επέκτασης, η απόσταση L_e (απόσταση στο κατάντη άκρο της εμβέλειας επέκτασης) υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό του λόγου διαστολής με το μέσο μήκος απόφραξης (είναι το μισό της συνολικής μείωσης πλάτους πλημμυρικού χώρου που προκαλείται από τα αναχώματα δύο γεφυρών, δηλαδή ο μέσος όρος αποστάσεων A μέχρι B και Γ μέχρι Δ).
- Η διατομή 2, **Cross section 2**, βρίσκεται σε κοντινή απόσταση κατάντη του τεχνικού η οποία πρέπει να αντιπροσωπεύει το φυσικό έδαφος (κύριο κανάλι και πλημμύρα) κατάντη της γέφυρας ή του οχετού. Η διατομή αυτή συνήθως βρίσκεται στο δάχτυλο του ποδιού κατάντη στο ανάχωμα του δρόμου. Στην περίπτωση που μία γέφυρα δεν έχει ανάχωμα η διατομή πρέπει να τοποθετηθεί αρκετά μακριά κατάντη αυτής, ώστε να επιτρέψει την επέκταση της ροής σε μεγάλη απόσταση. Για την μοντελοποίηση των οχετών η διατομή 2 πρέπει να βρίσκεται αρκετά μακριά κατάντη του οχετού για να συλλάβει την άμεση επέκταση της εξερχόμενης ροής κατά την οποία προκύπτουν απώλειες. Η απόσταση αυτή εξαρτάται από το μέγεθος του ανοίγματος της γέφυρας ή του οχετού.

- Η διατομή 3, **Cross section 3**, πρέπει να βρίσκεται σε μικρή απόσταση ανάντη του τεχνικού η οποία απόσταση αντικατοπτρίζει μόνο το απαιτούμενο μήκος για την απότομη επιτάχυνση και τη συστολή της ροής στην περιοχή ανοίγματος. Η διατομή 3 αντιπροσωπεύει το φυσικό έδαφος του καναλιού και της παρόχθια ζώνη (overbank area) ακριβώς ανάντη του οδικού αναχώματος κοντά στο δάχτυλο του ποδιού. Αντιθέτως, η διατομή αυτή δεν πρέπει να τοποθετηθεί αμέσως πριν από το άνοιγμα του κατάστρωμα της γέφυρας ή του οχετού. Ενδιάμεσα των διατομών 2 και 3 η διόδευση του νερού στα τεχνικά αντιπροσωπεύουν τις απώλειες συστολής ανάντη αυτών, για αυτό τον λόγο η διατομή 3 πρέπει να τοποθετηθεί ακριβώς ανάντη της περιοχής όπου γίνεται απότομη συστολή της ροής ώστε να εισέλθει στο άνοιγμα του τεχνικού, σε μία απόσταση που εξαρτάται από αυτό μέγεθος του ανοίγματος αυτού. Και στις δύο διατομές θα υπάρχουν ineffective areas, στις οποίες ο όγκος νερού με την ταχύτητα θα είναι ίσο με μηδέν.
- Η διατομή 4, **Cross section 4**, βρίσκεται ανάντη του τεχνικού στο σημείο που οι γραμμές ροής είναι παράλληλες. Η απόσταση μεταξύ των διατομών 3 και 4 (δηλαδή το μήκος επίτευξης συστολής, L_c) θα πρέπει να καθορίζεται ανά πεδίο έρευνας κατά τη διάρκεια υψηλών ροών. Ως λόγος συστολής συνηθίζεται να επιλέγεται ίσο με 1:1, δηλαδή ο εντοπισμός της ανάντη διατομής να γίνεται σε απόσταση ίση με το μέσο μήκος της πλευρικής συστολής που προκαλείται από τα στηρίγματα του τεχνικού, ένας λογικός λόγος συστολής όταν δεν υπάρχουν άλλες λεπτομερείς πληροφορίες ή δεδομένα του πεδίου. Η απόσταση της συστολής ποικίλλει ανάλογα με το βαθμό και το σχήμα της στένωσης καθώς και με το μέγεθος και την ταχύτητα ροής.

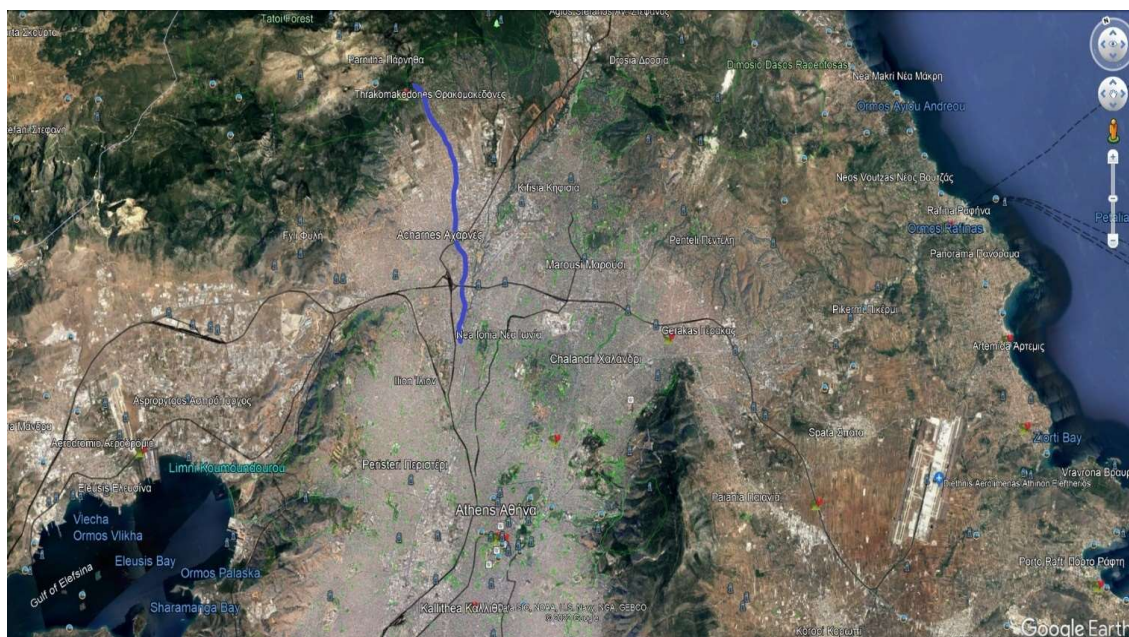
3 Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΑΧΑΡΝΩΝ

3.1 Γενικά

Το ρέμα Αχαρνών ή Καναπίτσα πηγάζει από τις νότιες πλαγιές της Πάρνηθας και διασχίζοντας τις περιοχές Αχαρνών και Θρακομακεδόνων, κινούμενο δυτικά του ποταμού Κηφισού και σχεδόν παράλληλα με αυτόν, καταλήγει εκβάλλοντας στον Κηφισό στο σημείο κατάντη του νεκροταφείου του Κόκκινου Μύλου.

Το συνολικό του μήκος είναι περίπου 15,5 Km από το σημείο όπου πρωτοεμφανίζεται διαμορφωμένη κοίτη έως την εκβολή του στον Κηφισό. Στο αρχικό άνω τμήμα του (περίπου 2-3 Km) κινείται εντός ορεινής ζώνης με σχετικά μεγαλύτερες κλίσεις και έντονη φυτοκάλυψη. Στη συνέχεια εισέρχεται εντός του αστικού ιστού, ενώ σταδιακά οι κλίσεις ομαλοποιούνται.

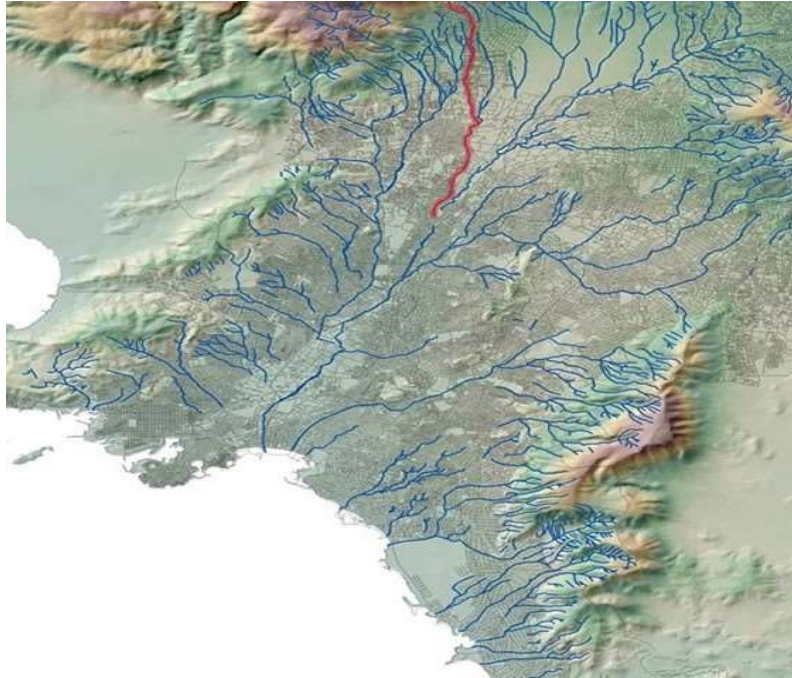
Στην παρακάτω εικόνα το ρέμα Αχαρνών απεικονίζεται με μπλε γραμμή πάνω σε υπόβαθρο Google Earth.



Σχήμα 3.1-1 Το ρέμα Αχαρνών (Καναπίτσα) πάνω σε υπόβαθρο Google Earth

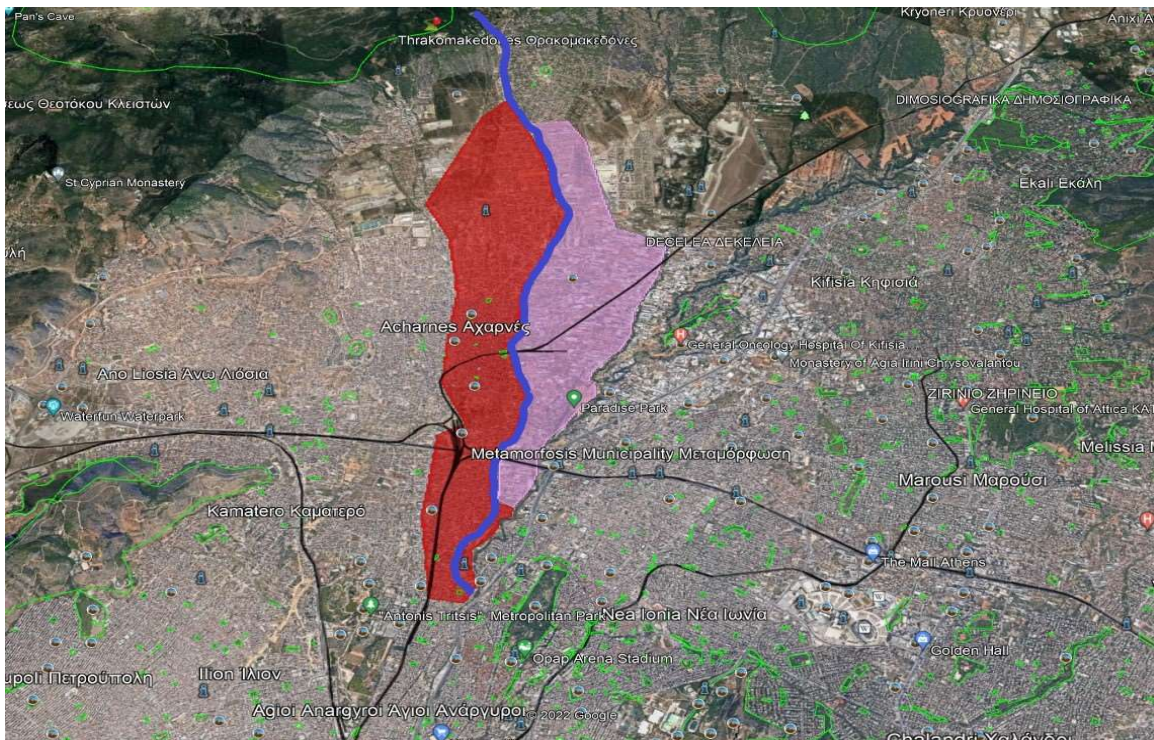
Το ρέμα βρίσκεται ανάμεσα σε ρέμα Βαρυμπόμπης και ποταμό Κηφισό, προς τα ανατολικά, καθώς και στο ρέμα της Εσχατιάς (προς τα δυτικά). Για το λόγο αυτό η λεκάνη απορροής του είναι σχετικά μικρή και έχει στενόμακρο σχήμα, αφού περιορίζεται εκατέρωθεν από τις λεκάνες απορροής, αντίστοιχα, των ρεμάτων Εσχατιάς και Βαρυμπόμπης, που είναι και σαφώς μεγαλύτερα.

Η θέση του ρεματος Αχαρνών σε σχέση με το υπόλοιπο υδρογραφικό δίκτυο του λεκανοπεδίου Αττικής, παρουσιάζεται στον ακόλουθο χάρτη:



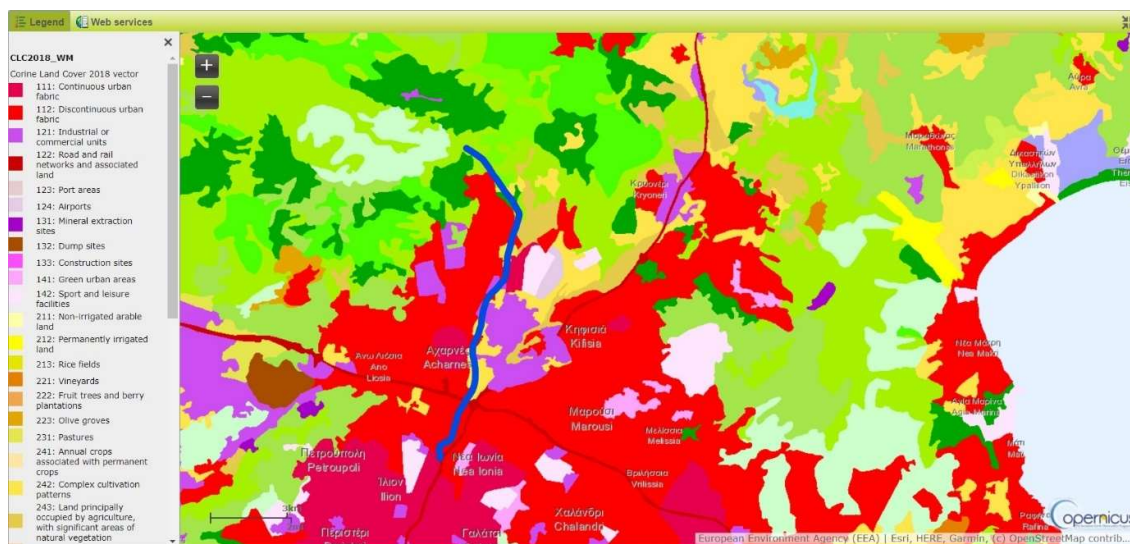
Σχήμα 3.1-2 Το ρέμα Αχαρνών σε σχέση με το υδρογραφικό δίκτυο του λεκανοπεδίου Αττικής

Σε ότι αφορά τις χρήσεις γης, προς τα δυτικά το ρέμα Αχαρνών, σε όλο το μήκος του, εφάπτεται με αστική περιοχή οικιστικής δόμησης, ενώ προς τα ανατολικά εφάπτεται με περιοχή βιομηχανικής ανάπτυξης (εργοστάσια, αποθήκες κλπ.). Στο σχήμα που ακολουθεί και απεικονίζει το ρέμα σε υπόβαθρο Google Earth, με μωβ χρώμα καλύπτονται οι περιοχές βιομηχανικής ανάπτυξης ενώ με κόκκινο αντίστοιχα, οι περιοχές οικιστικής δόμησης.



Σχήμα 3.1-3 Βιομηχανική και Οικιστική ανάπτυξη εκατέρωθεν του ρέματος Αχαρνών

Ανάλογη, περίπου, εικόνα παρουσιάζεται και στους χάρτες χρήσεων γης Corine (2018):



Σχήμα 3.1-4 Χάρτης χρήσεων γης Corine (2018) για το λεκανοπέδιο Αττικής

3.2 Ιστορικό πλημμυρών

Τα τελευταία 20 χρόνια στην ευρύτερη περιοχή Αχαρνών παρατηρούνται πλημμυρικά φαινόμενα σχεδόν κάθε χρόνο. Τα δύο ρέματα που αποτελούν την κύρια αιτία των πλημμυρών είναι το �έμα της Εσχατιάς και το �έμα της Καναπιτίσας. Λόγω της εγγύτητας μεταξύ τους αλλά και της κατά τόπους αλληλοκάλυψης των λεκανών απορροής τους (εξαιτίας της δόμησης αλλά και τοπικών έργων συλλογής ομβρίων) συχνά οι παρατηρούμενες πλημμύρες οφείλονται και στα δύο ρέματα μαζί.

Πάντως, θα μπορούσαμε να ξεχωρίσουμε από τα τελευταία χρόνια ως πιο χαρακτηριστικές τις πλημμύρες του Δεκεμβρίου 2005 και του Οκτωβρίου 2014 με τεράστιες υλικές ζημιές, του Οκτωβρίου 2015, επίσης με πολλές υλικές ζημιές αλλά και έναν 41χρονο άνδρα νεκρό, καθώς και του Ιανουαρίου 2021, με εκατοντάδες σπίτια και καταστήματα να έχουν υποστεί ζημιές.

3.3 Υφιστάμενη κατάσταση ρέματος

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, το �έμα διαχωρίστηκε σε δύο τμήματα:

- Το τμήμα από τις πηγές στην Πάρνηθα έως τη Λεωφ. Δεκελείας, μήκους περίπου 9,8 Km
- Το τμήμα από τη Λεωφ. Δεκελείας έως την εκβολή του στον ποταμό Κηφισό, μήκους 4,75 Km

Το πρώτο τμήμα, λόγω των μεγαλύτερων κλίσεων, αλλά και των μικρότερων συγκεντρωμένων παροχών ύδατος εμφανίζει σχετικά καλύτερη παροχετευτικότητα άρα και μικρότερο πλημμυρικό κίνδυνο. Για το λόγο αυτό δεν θα επεκταθούμε σε αναλυτική μελέτη του τμήματος αυτού, ούτε και σε μοντελοποίηση και προσομοίωση.

Το δεύτερο τμήμα, λόγω της μικρής κλίσης του, αλλά και των αυξημένων (λόγω συρροής) παροχών, είναι και το τμήμα ενδιαφέροντος στο οποίο και θα γίνει εκτενέστερη μελέτη, μοντελοποίηση και προσομοίωση σεναρίων βροχόπτωσης.

3.3.1 Τμήμα ανάντη Λεωφόρου Δεκελείας

Το ανώτερο (ορεινό) τμήμα, από τα όρια του Δρυμού Πάρνηθας μέχρι την οδό Θρακομακεδόνων, παρουσιάζει σαφή κοίτη με μικρό πλάτος πυθμένα και μεγάλα βάθη και επομένως μεγάλη παροχετευτικότητα. Κατά τμήματα υπάρχει φύτευση στις όχθες και στα ανάντη τμήματα έχουν

κατασκευασθεί μικρά φράγματα από συρματοκιβώτια για συγκράτηση φερτών και περιορισμό της ταχύτητας ροής.

Στο επόμενο τμήμα, από την οδό Θρακομακεδόνων μέχρι την οδό Ξενοδοχοϋπαλλήλων υπάρχει φυσική κοίτη. Στο μεγαλύτερο, όμως, τμήμα του το ρέμα διέρχεται σε οικοδομικά τετράγωνα του σχεδίου πόλης (με χαρακτηρισμό Κοινόχρηστου χώρου) και οι υπάρχουσες κατοικίες και οι αυλές τους έχουν περιορίσει δραστικά την διατομή του, με πλήρη αδυναμία παροχетеυτικότητας. Σε ορισμένα σημεία, μάλιστα, εμφανίζεται πλάτος ρέματος μικρότερο και από ένα μέτρο ανάμεσα σε συμπαγείς μάνδρες. Στα τμήματα όπου δεν υπάρχει περιορισμός κοίτης λόγω δόμησης, η εικόνα είναι μικτή. Σε κάποια σημεία, η διατομή του ρέματος παρουσιάζει μικρό πλάτος πυθμένα και μέσο βάθος, ενώ σε άλλα υπάρχει, μεν, κοίτη του ρέματος αλλά με πολύ χαμηλές (έως και ανύπαρκτες) όχθες και επομένως σχεδόν μηδενική παροχетеυτικότητα.

Στο τμήμα από την οδό Ξενοδοχοϋπαλλήλων μέχρι την Λεωφ. Δεκελείας, η φυσική διαδρομή του ρέματος έχει εξαφανισθεί εντελώς. Είναι χαρακτηριστικό μάλιστα ότι δεν υπάρχουν όρια ιδιοκτησιών που να δημιουργούν την εικόνα μιας συνέχειας της ροής. Επισημαίνεται ότι στο τμήμα αυτό δεν εμφανίζεται κοίτη ρέματος ούτε και σε χάρτες του 1920. Κοίτη ρέματος, αλλά με μικρό πλάτος πυθμένα και ανύπαρκτη όχθη (γράννα) επανεμφανίζεται σε απόσταση 150 m βόρεια της Λεωφ. Δεκελείας.

3.3.2 Τμήμα κατάντη Λεωφόρου Δεκελείας έως Κηφισό

Το ρέμα Αχαρνών κατάντη της Λεωφόρου Δεκελείας εκτείνεται σε μήκος περί τα 4.75 km, εμφανίζοντας κύρια κοίτη τραπεζοειδούς διατομής, με περιορισμένο πλάτος πυθμένα και μεταβλητό βάθος. Στις όχθες εναλλάσσονται κυρίως καλλιεργημένες και χέρσες εκτάσεις, ενώ υπάρχουν και παρόχθιες ιδιοκτησίες που σε ορισμένες περιπτώσεις καταλαμβάνουν, κυρίως με υπερυψωμένες αυλές και μαντρότοιχους, σημαντικό μέρος της φυσικής διατομής.

Στο τμήμα αυτό κυριαρχούν δύο διευθετημένα υποτμήματα, το τεχνικό γεφύρωσης της Αττικής Οδού, συνολικού μήκους 885 m περίπου, και το τεχνικό εκβολής στον ποταμό Κηφισό, με μήκος 500m περίπου, το οποίο είναι κλειστός οχετός κάτω από την οδό Σκρα.

Παράλληλα, το ρέμα γεφυρώνεται από τις γραμμές του ΟΣΕ (διπλή Σιδηροδρομική Γραμμή και διπλή βοηθητική γραμμή), καθώς και από οκτώ εγκάρσιες οδούς, με τεχνικά διαφορετικών διατομών.

Η εξυπηρέτηση ορισμένων παραρεμμάτων ιδιοκτησιών γίνεται διαμέσου της κοίτης, με ιρλανδικές διαβάσεις, ή πάνω από αυτή, με μεταλλικές πεζογέφυρες.

Πιο αναλυτικά, το ρέμα Αχαρνών εμφανίζεται με ανοικτή κοίτη κατάντη της οδού Κ. Κατάρρα (περίπου 45m νότια της Λ. Δεκελείας) και ρέει προς τα νότια ανάμεσα από καλλιεργήσιμες εκτάσεις και θερμοκήπια στην αριστερή όχθη και εναλλασσόμενα χέρσα οικόπεδα και κτίρια στη δεξιά. Η αριστερή όχθη είναι σημαντικά χαμηλότερη της δεξιάς μεταξύ των Χ.Θ. 4+500 έως 4+650. Περί τη Χ.Θ. 4+326 υπάρχει ιρλανδική διάβαση, για την εξυπηρέτηση παραρεμμάτων ιδιοκτησίας της αριστερής όχθης. Κατάντη της Χ.Θ. 4+320 περίπου, αναπτύσσεται στη δεξιά όχθη του ρέματος σειρά ιδιοκτησιών, με συνεχείς μαντρότοιχους, και η διατομή του ρέματος περιορίζεται τόσο σε εύρος κατάληψης, όσο και σε βάθος. Στο τμήμα αυτό η αβαθής κοίτη χρησιμοποιείται από τους περίοικους ως χώρος στάθμευσης, ενώ έχουν κατασκευαστεί και υπερυψωμένες θέσεις στάθμευσης πάνω από την κοίτη, στηριζόμενες σε μεταλλικούς προβόλους.



Εικόνα 3.3-1: Κοίτη ρέματος Αχαρνών κατάντη της Χ.Θ. 4+500 (λήψη προς τα κατάντη).

Η αριστερή όχθη είναι σημαντικά χαμηλότερη της δεξιάς.

Στη Χ.Θ. 4+190 περίπου το ρ. Αχαρνών γεφυρώνεται από την οδό Αγ. Κωνσταντίνου, επίσης με ιρλανδική διάβαση. Μεταξύ της οδού Αγ. Κωνσταντίνου και του τεχνικού των γραμμών του ΟΣΕ μεσολαβεί πάρκο με πεύκα, στο οποίο το ρέμα γεφυρώνεται με μικρή πεζογέφυρα από σκυρόδεμα. Στη Χ.Θ. 4+164, βρίσκεται το τεχνικό των γραμμών του ΟΣΕ που είναι ένας θολωτός οχετός πλάτους 2.3 και ύψους 3.75 μέτρων.



Εικόνα 3.3-2: Πάρκο μεταξύ ιρλανδικής διάβασης Αγ. Κωνσταντίνου και θολωτού τεχνικού γραμμών ΟΣΕ, Χ.Θ.4+164. Το ρ. Αχαρνών γεφυρώνεται με πεζογέφυρα.



Εικόνα 3.3-3: Θολωτό τεχνικό γραμμών ΟΣΕ, λήψη από την οδό Σπ. Βρεττού, κατάντη των γραμμών.

Περί τα 30m κατάντη της σιδηροδρομικής γραμμής (Χ.Θ. 4+135.20) το ρέμα γεφυρώνεται από το τεχνικό της οδού Σπ. Βρεττού, το οποίο είναι ορθογωνικός οχετός πλάτους 3.5 και ύψους 3.3 μέτρων.



Εικόνα 3.3-4: Τεχνικό Σπ. Βρεττού, Χ.Θ. 4+135.20, λήψη από την αριστερή κατάντη όχθη. Διακρίνονται σωλήνες δικτύων ΟΚΩ αναρτημένοι από την κορωνίδα.

Κατάντη της οδού Σπ. Βρεττού η τραπεζοειδής διατομή του ρέματος εμφανίζει μέσο βάθος που υπερβαίνει κατά κανόνα τα 2.0 – 2.5m. Εκατέρωθεν τον όχθων εναλλάσσονται κτίρια, καλλιεργήσιμες και χέρσες εκτάσεις, με τις μάντρες των κτιρίων να βρίσκονται συχνά εντός της φυσικής κοίτης. Υπάρχουν τρία κατασκευασμένα τεχνικά διάβασης οδών, της οδού Αγ. Φανουρίου (Χ.Θ. 3+745.30, ορθογωνικός οχετός $W \times H = 5.3 \times 3.5$ m), της οδού Παλαιολόγου (Χ.Θ. 2+822.70, ανεπαρκής ορθογωνική διατομή $W \times H = 1.3 \times 0.4$ m) και της λεωφόρου Ιωνίας (Χ.Θ. 2+774.10, δίδυμος σωληνωτός οχετός διαμέτρου 2x900mm). Η διάβαση της οδού Ταξιαρχών, Χ.Θ. 3+142.40, εξυπηρετεί τη διέλευση πεζών στις εκατέρωθεν όχθες. Στην αριστερή όχθη, από τη Χ.Θ. 3+080 περίπου και μέχρι την Αττική Οδό υπάρχει κατά τμήματα παραρρημμάτια οδός (οδός Καναπίτσα), ενώ οι οδοί Φολεγάνδρου, Χαριλάου, Αλέπου και Πηγαδά καταλήγουν στην όχθη του ρέματος, χωρίς να το γεφυρώνουν. Περί τη Χ.Θ. 3+300 υπάρχουν τεχνητές αποθέσεις (μπάζα) σημαντικού ύψους, περίπου 3.5m, στην δεξιά όχθη.



Εικόνα 3.3-5: Τεχνικό Αγ. Φανουρίου, Χ.Θ. 3+745.30, λήψη από την ανάντη δεξιά όχθη. Σωλήνες ΟΚΩ είναι αναρτημένοι από τον οχετό.



Εικόνα 3.3-6: Λήψη από τη δεξιά όχθη προς τα ανάντη, Χ.Θ. 3+240. Διακρίνονται ελαιόδεντρα στη δεξιά όχθη



Εικόνα 3.3-7: Τεχνικό οδού Παλαιολόγου, λήψη από την αριστερή κατάντη όχθη προς τα ανάντη.



Εικόνα 3.3-8: Παραρεμμάτια οδός Καναπίτσα, αριστερή όχθη, λήψη περί τη Χ.Θ. 2+960.



Εικόνα 3.3-9: Μάντρες κτισμάτων στην κοίτη, αμέσως ανάντη της οδού Παλαιολόγου.



Εικόνα 3.3-10: Δίδυμος σωληνωτός οχετός Λ. Ιωνίας, Χ.Θ. 2+774.10, λήψη από την ανάντη κοίτη.

Μεταξύ των Χ.Θ. 2+592 και Χ.Θ. 1+672.6 το ρέμα Αχαρνών διέρχεται από τα έργα διέλευσης της Αττικής Οδού, που έχουν συνολικό μήκος 900 m περίπου και αποτελούνται, από ανάντη προς

κατάντη, από τις ακόλουθες διατομές, σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια της Αττικής Οδού και τις επιτόπου αποτυπώσεις των ανοικτών τμημάτων:

- Ανοικτή τρίδυμη ορθογωνική διατομή, διαστάσεων $W / H = 3 \times 3.00 / 4.00$ m, μήκους 290 m
- Τρίδυμη κιβωτοειδή διατομή $W \times H = 3 \times 3.00 \times 3.00$ m κάτω από το συγκοινωνιακό έργο και την οδό Κυπαρισσίας, μήκους 303 m
- Κιβωτοειδή διατομή $W \times H = 10.00 \times 4.50$ m, μήκους 40 m, στην οποία εκβάλλει κιβωτοειδής οχετός $W \times H = 3.50 \times 3.50$ m μέσω του οποίου απορρέει το Σιδηροδρομικό Κέντρο Αχαρνών
- Κιβωτοειδή διατομή $W \times H = 10.00 \times 3.00$ m, μήκους 190 m
- Ανοικτή ορθογωνική διατομή διαστάσεων $W / H = 10.00 / 4.50$ m, μήκους 70 m
- Διατομή συναρμογής στη φυσική κοίτη, μεταβλητού πλάτους $W = 10.00 \div 8.00$ m και ύψους $H = 4.50 \div 2,80$ m με μήκος 24.00 m.



Εικόνα 3.3-11: Τρίδυμη ανοικτή ορθογωνική διατομή Αττικής οδού. Λήψη από την περιήφραξη της αριστερής όχθης.



Εικόνα 3.3-12: Ανοικτή ορθογωνική διατομή κατάντη Αττικής Οδού. Λήψη από την αριστερή όχθη, Χ.Θ. 1+720.

Κατάντη της Αττικής Οδού οι όχθες του ρέματος εμφανίζουν ασυνεχή δόμηση, με τα κτίσματα να βρίσκονται τοπικά σε μεγάλη εγγύτητα με την κοίτη. Ειδικότερα, αμέσως κατάντη της οδού 25ης Μαρτίου, υπάρχει σειρά από συμπαγείς μαντρότοιχους εντός του ρέματος, για μήκος που υπερβαίνει τα 50m. Στο συγκεκριμένο τμήμα υπάρχουν δύο κατασκευασμένα τεχνικά διάβασης οδών, της οδού Φιλαδελφείας (Χ.Θ. 0+872.20, γέφυρα ανοίγματος 19 m και καθαρού ύψους 4.5 m) και της οδού 25ης Μαρτίου (Χ.Θ. 1+356.80, ορθογωνικός οχετός πλάτους 5.7 m και ύψους 2.7 m). Στην αριστερή όχθη, μεταξύ των Χ.Θ. 1+522 και 1+117 κινείται παράλληλα με το ρέμα η οδός Κλεισούρας. Υπάρχουν επίσης πέντε πεζογέφυρες, με τις τρεις να εξυπηρετούν την επικοινωνία μεταξύ των όχθων και τις δύο να εξασφαλίζουν πρόσβαση πεζών από την αριστερή όχθη στα σπίτια κατάντη της 25ης Μαρτίου.

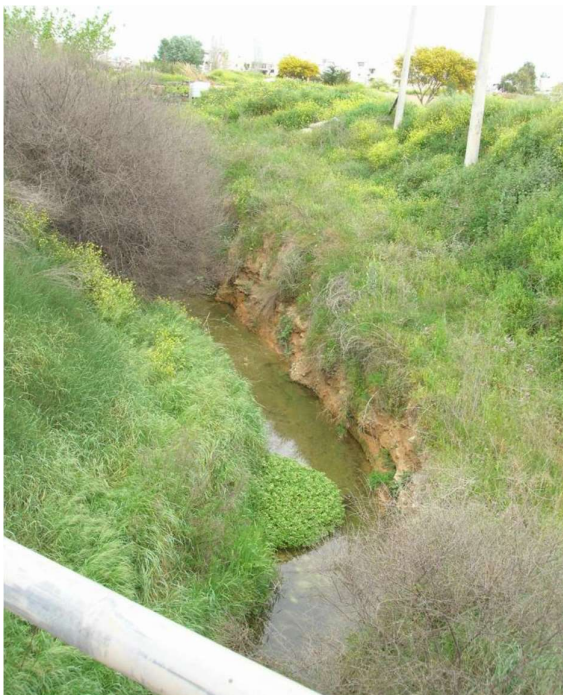


Εικόνα 3.3-13: Ρέμα Αχαρνών κατάντη οδού 25ης Μαρτίου, Χ.Θ. 1+355.80.

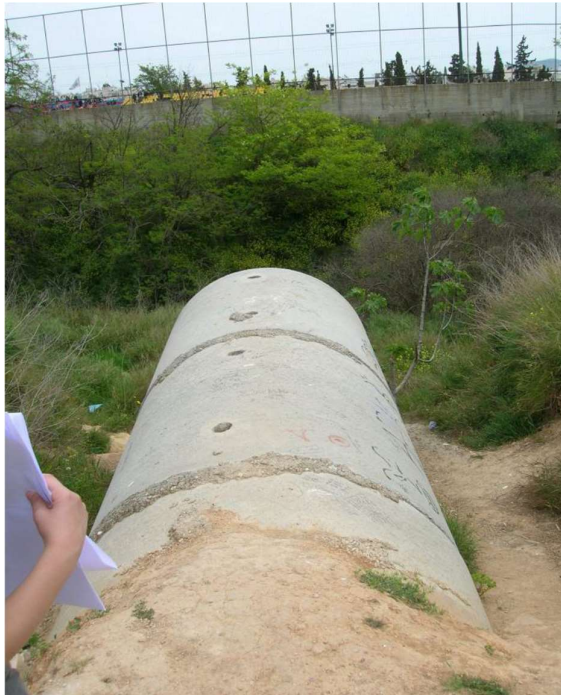


Εικόνα 3.3-14: Κατοικία στην αριστερή όχθη κατάντη 25ης Μαρτίου. Λήψη από τη δεξιά όχθη.

Μεταξύ της λεωφόρου Φιλαδελφείας και της εκβολής στον Κηφισό, το ρέμα Καναπίτσας εμφανίζει μεγάλο βάθος και υψηλή παροχτευτικότητα. Στην αριστερή όχθη, η οποία είναι τοπικά ακόμη και 5m υψηλότερη της δεξιάς, υπάρχει κατασκευασμένο γήπεδο ποδοσφαίρου. Στη δεξιά όχθη, ιδίως μεταξύ των Χ.Θ. 0+740 και 0+600, υπάρχουν χαμηλά κτίσματα εντός των πρανών της κοίτης. Περί τη Χ.Θ. 0+557 εκβάλλει στο ρέμα σωληνωτός οχετός από σκυρόδεμα, διαμέτρου D2000mm.



Εικόνα 3.3-15: Κοίτη ρέματος ανάντη οδού Φιλαδελφείας, λήψη από το κατάστρωμα της γέφυρας.



Εικόνα 3.3-16: Εκβολή σωληνωτού οχετού D2000mm, Χ.Θ.0+557. Στη δεξιά όχθη διακρίνεται η περίφραξη του γηπέδου ποδοσφαίρου.

Τέλος, το έργο εκβολής στον ποταμό Κηφισό είναι κλειστό τεχνικό, μήκους 480.00m περίπου, κιβωτοειδούς διατομής $W \times H = 5.25 \times 4.00$ m, κάτω από τις οδούς Σκρα και Νοταρά. Η είσοδος της απορροής του ρέματος σε αυτό γίνεται με φρεάτιο πτώσης (καταβόθρα) ύψους 4.0 m.



Εικόνα 3.3-17: Φρεάτιο εισόδου (καταβόθρα) στον κιβωτοειδή οχετό της οδού Σκρα, Χ.Θ. 0+500.



Εικόνα 3.3-18: Εκβολή ρ. Αχαρνών (αριστερά) στον ποταμό Κηφισό (δεξιά), Χ.Θ. 0+010.

4 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ

4.1 Γενικά

Η μελέτη που εκπονήθηκε για το σχεδιασμό των νέων έργων διευθέτησης του ρέματος Αχαρνών, κινήθηκε στο πνεύμα της συνολικής αντιμετώπισης του ρέματος, ως ενιαίο υδρολογικό στοιχείο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς είναι η πρώτη φορά που η συγκεκριμένη περιοχή αντιμετωπίζεται με αυτή την προσέγγιση. Κατά το παρελθόν είχαν γίνει, πολλές φορές, παρεμβάσεις τοπικού χαρακτήρα (π.χ. τεχνικά διέλευσης οδών, διευθετήσεις πρηνών σε περιορισμένο μήκος κλπ.) από διάφορους φορείς, κυρίως της τοπικής αυτοδιοίκησης, και για την αντιμετώπιση κάθε φορά συγκεκριμένων τοπικών προβλημάτων με περιορισμένο προϋπολογισμό. Επίσης είχαν γίνει παρεμβάσεις και κατασκευές στα πλαίσια άλλων έργων, όπως για παράδειγμα το τεχνικό έργο για τη διέλευση της Αττικής Οδού.

Στα πλαίσια του σχεδιασμού αυτού έγιναν τα εξής:

- Ελέγχθηκε η υδραυλική επάρκεια όλων των υφισταμένων τεχνικών έργων ώστε, όσα κριθούν επαρκή να διατηρηθούν και να ενσωματωθούν στα νέα ενώ όσα κριθούν ανεπαρκή να καθαιρεθούν και αντικατασταθούν από νέα επαρκή, στις αντιστοιχες θέσεις
- Σχεδιάστηκαν νέα επαρκή τεχνικά στις θέσεις διέλευσης οδών
- Σχεδιάστηκε η διευθέτηση των ανοικτών τμημάτων με πρηνή από κλιμακωτά συρματοκιβώτια επαρκούς ύψους. Για την περίπτωση αυτή, ελέγχθηκε η στατική επάρκεια των πρηνών ώστε, όπου απαιτήθηκε πρόσθετη στήριξη, σχεδιάστηκαν πασσαλότοιχοι μεταξύ πρηνούς και συρματοκιβωτίων.

Παρόλο που νέα έργα διευθέτησης έχουν προβλεφθεί σε όλο το μήκος περίπου 12.5 Km του ρέματος, από την εκβολή στον Κηφισό έως το άνω τμήμα στην περιοχή Θρακομακεδόνων, η αναλυτική παρουσίαση που ακολουθεί αφορά μόνο στο τμήμα κατάντη της Λεωφ. Δεκελείας έως την εκβολή στον Κηφισό. Άλλωστε, σε επίπεδο υδραυλικής προσομοίωσης μόνο αυτό το τμήμα εξετάζεται.

4.2 Αναλυτική παρουσίαση νέων έργων

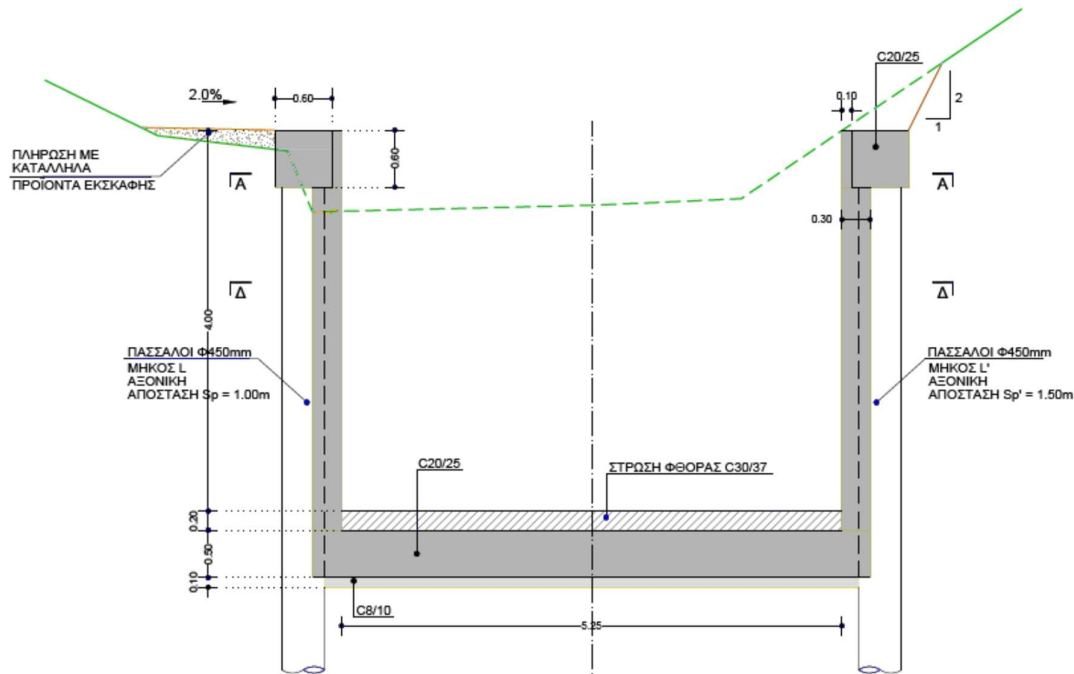
Η παρουσίαση γίνεται ξεκινώντας από την εκβολή στον Κηφισό (Χ.Θ. 0+000) και κινούμενοι προς τα ανάντη, αντίθετα από τη φορά ροής του νερού, έως την κατάντη έξοδο του τεχνικού διέλευσης της Λεωφ. Δεκελείας (Χ.Θ. 4+750).

Από τη Χ.Θ. 0+000 έως τη Χ.Θ. 0+500 υπάρχει κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα, διαστάσεων $W \times H = 5.25 \times 4.00$ m, ο οποίος διέρχεται κάτω από τις οδούς Σκρα και Νοταρά. Στην ανάντη πλευρά αυτού, η είσοδος της απορροής του ρέματος γίνεται με φρεάτιο πτώσης (καταβόθρα) ύψους 4.0 m. Το καθαρό μήκος του κιβωτοειδούς οχετού (εξαιρουμένων των έργων εξόδου και φρεατίου εισόδου) είναι περίπου 480.00 m. Το εν λόγω έργο διατηρείται και ενσωματώνεται στη νέα διευθέτηση, καθώς η παροχευευστικότητά του κρίθηκε επαρκής.

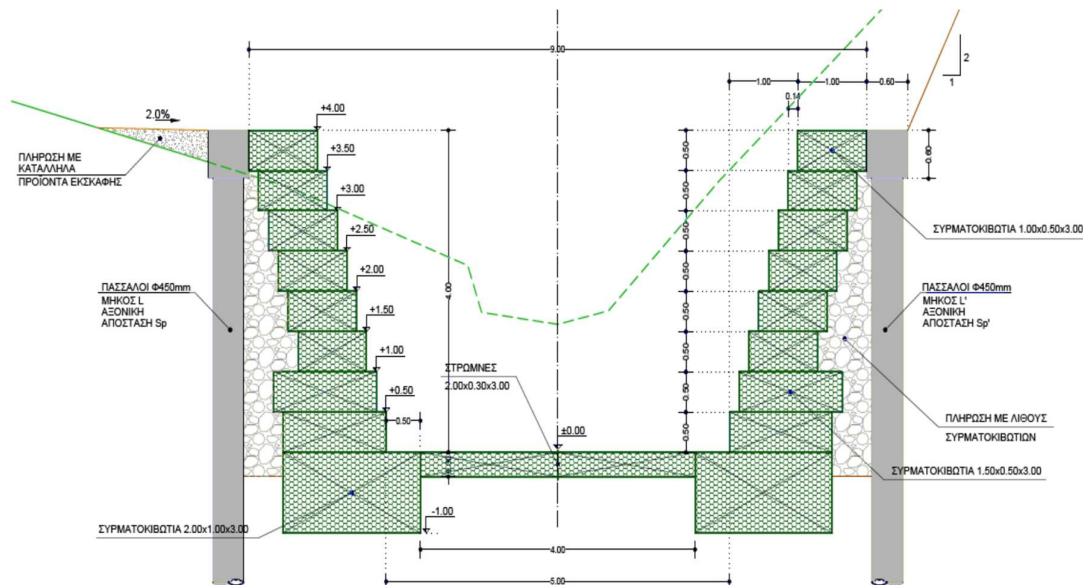
Από τη Χ.Θ. 0+500 έως τη Χ.Θ. 1+697, όπου βρίσκεται το κατάντη όριο του έργου διέλευσης της Αττικής Οδού, το �έμα προβλέπεται να έχει ανοικτή διατομή. Στο μεγαλύτερο τμήμα του προβλέπεται και η τοποθέτηση πασσάλων εξωτερικά της κατασκευαζόμενης διατομής, για τη σταθεροποίηση και μορφοποίηση της όχθης.

Σε αυτό το ανοικτό τμήμα, η διατομή για τα πρώτα 250 m (από Χ.Θ. 0+500 έως Χ.Θ. 0+750) είναι ορθογωνική, διαστάσεων $W \times H = 5.25 \times 4.00$ m, κατασκευασμένη από σκυρόδεμα, ενώ για το υπόλοιπο τμήμα, από Χ.Θ. 0+750 έως Χ.Θ. 1+647, η διατομή είναι τραπεζοειδούς σχήματος από βαθμίδες συρματοκιβωτίων, με πλάτος πυθμένα 5.00 m, ύψος στέψης 4.00 m και κλίση πρηνών 1 : 3.5. Μεταξύ των Χ.Θ. 0+740 έως Χ.Θ. 0+750, η ορθογωνική διατομή από σκυρόδεμα έχει μεταβαλλόμενη κλίση για να προσαρμοστεί στην τραπεζοειδή διατομή των συρματοκιβωτίων (συναρμογή).

Σχέδια τυπικών διατομών για τα δύο αυτά τμήματα ανοικτής διατομής παρουσιάζονται παρακάτω:



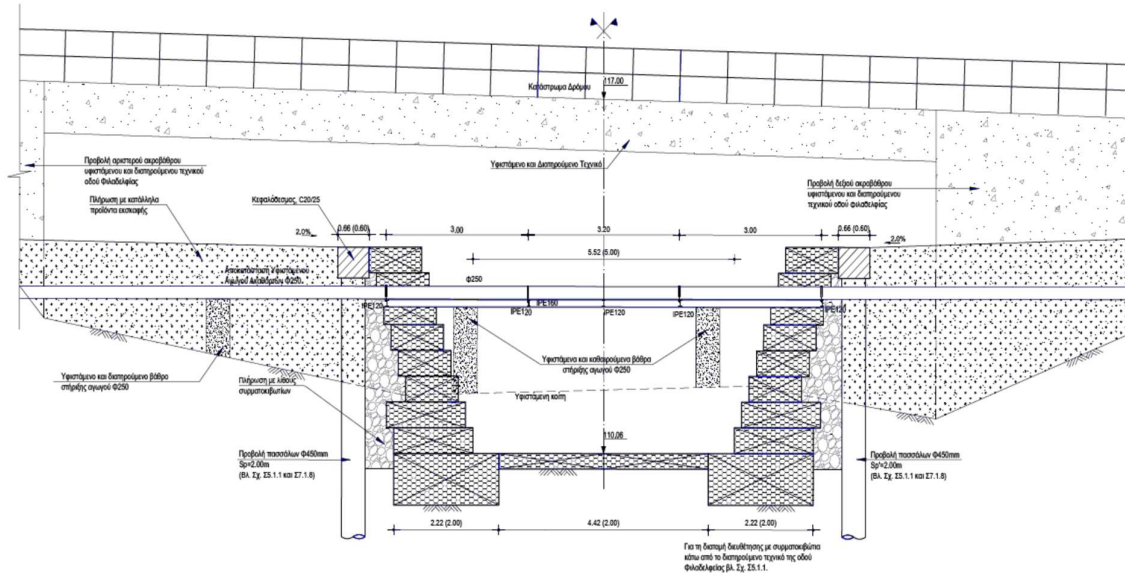
Σχήμα 4.2-1: Διατομή από σκυρόδεμα - Χ.Θ. 0+500 έως Χ.Θ. 0+750



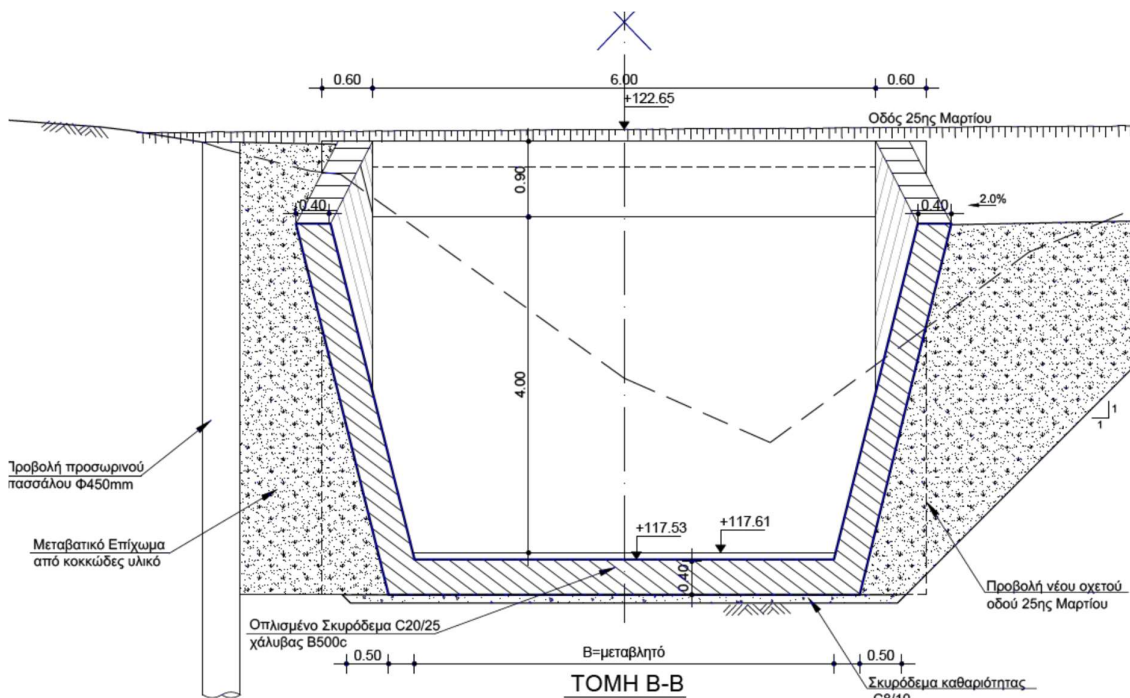
Σχήμα 4.2-2: Διατομή από συρματοκιβώτια - Χ.Θ. 0+750 έως Χ.Θ. 1+647

Στο τμήμα αυτό προβλέπεται η διατήρηση του τεχνικού για τη διέλευση της οδού Φιλαδελφείας, στη Χ.Θ. 0+871.73, καθώς και η καθαίρεση του υφισταμένου και κατασκευή ενός νέου τεχνικού, για τη διέλευση της οδού 25ης Μαρτίου, στη Χ.Θ. 1+357.00. Εδώ έχει προβλεφθεί η κατασκευή κιβωτοειδούς οχετού διαστάσεων $W \times H = 6.00 \times 4.00$ m και μήκος περίπου 9.50 m στον άξονα της διατομής. Ανάντη και κατάντη του οχετού προβλέπονται μεταβλητές διατομές από σκυρόδεμα, μήκους 5.00m, για τη συναρμογή στην τραπεζοειδή διατομή.

Η μορφή που θα έχουν τα τεχνικά αυτά στην τελική διαμόρφωση, παρουσιάζεται στα σχήματα που ακολουθούν:



Σχήμα 4.2-3: Διατηρούμενη γέφυρα διέλευσης οδού Φιλαδέφειας στη Χ.Θ. 0+871.73



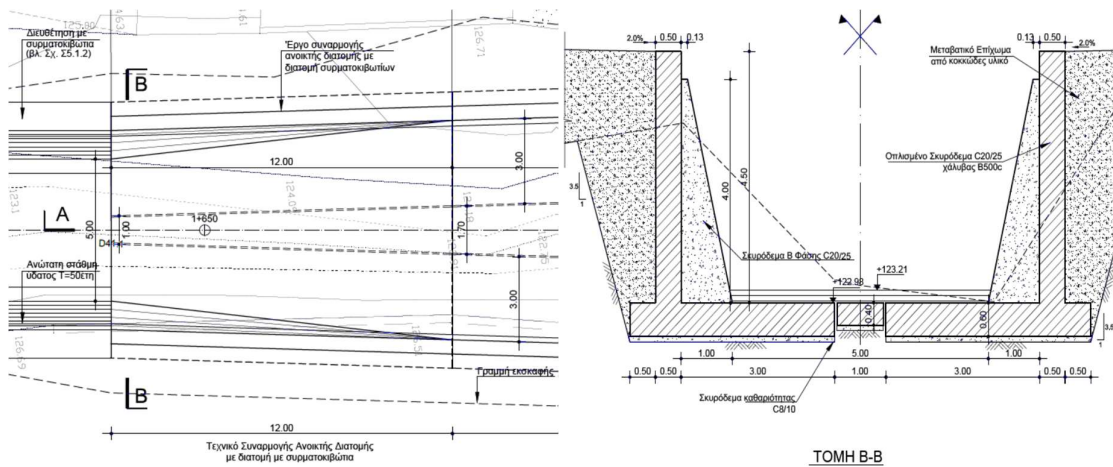
Σχήμα 4.2-4: – Νέο προβλεπόμενο τεχνικό διέλευσης οδού 25ης Μαρτίου στη Χ.Θ. 1+357.00

Τα έργα διέλευσης της Αττικής Οδού, που βρίσκονται μεταξύ της Χ.Θ. 1+672.6 και της Χ.Θ. 2+592 (με συνολικό μήκος 900 m περίπου) διατηρούνται στο σύνολό τους και ενσωματώνονται, με μικρές τροποποιήσεις, στα νέα έργα διευθέτησης καθώς η παροχευτικότητα τους κρίθηκε επαρκής κατά τον έλεγχο που έγινε. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, το έργο διέλευσης Αττικής Οδού απαρτίζεται από τα εξής υποτμήματα:

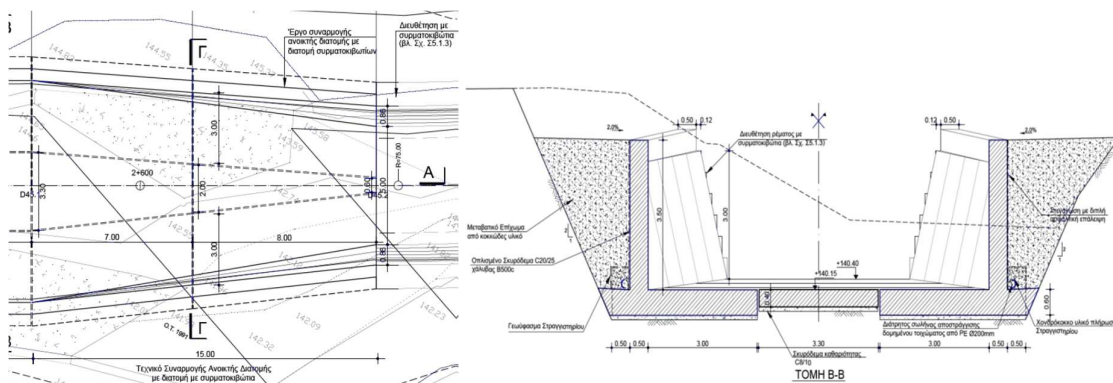
- Διατομή συναρμογής στη φυσική κίτη, μεταβλητού πλάτους $W = 10.00 \div 8.00$ m και ύψους $H = 4.50 \div 2,80$ m με μήκος περίπου 24.00 m (από Χ.Θ. 1+672.46 έως Χ.Θ. 1+696.70)

- Ανοικτή ορθογωνική διατομή διαστάσεων $W / H = 10.00 / 4.50$ m, μήκους περίπου 70 m (από Χ.Θ. 1+696.70 έως Χ.Θ. 1+766.80)
- Κιβωτοειδή διατομή $W \times H = 10.00 \times 3.00$ m, μήκους περίπου 190 m (από Χ.Θ. 1+766.80 έως Χ.Θ. 1+956.68)
- Κιβωτοειδή διατομή $W \times H = 10.00 \times 4.50$ m, μήκους 40 m, στην οποία εκβάλλει εγκάρσια κιβωτοειδής οχετός διαστάσεων $W \times H = 3.50 \times 3.50$ m μέσω του οποίου απορρέει το Σιδηροδρομικό Κέντρο Αχαρνών - ΣΚΑ (από Χ.Θ. 1+956.68 έως Χ.Θ. 1+996.68)
- Τρίδυμη κιβωτοειδή διατομή $W \times H = 3 \times 3.00 \times 3.00$ m κάτω από το συγκοινωνιακό έργο και την οδό Κυπαρισσίας, μήκους 303 m (από Χ.Θ. 1+996.68 έως Χ.Θ. 2+299.68)
- Ανοικτή τρίδυμη ορθογωνική διατομή, διαστάσεων $W / H = 3 \times 3.00 / 4.00$ m, μήκους περίπου 292 m (από Χ.Θ. 2+299.68 έως Χ.Θ. 2+592.02)

Οι μόνες τροποποιήσεις που σχεδιάστηκε να γίνουν, αφορούν στην καθαίρεση των υφιστάμενων έργων συναρμογής ανάντη και κατόντη του έργου διέλευσης με την ανοικτή κοίτη των συρματοκιβωτίων. Παρακάτω παρατίθενται τα αντίστοιχα σχέδια των νέων συναρμογών.



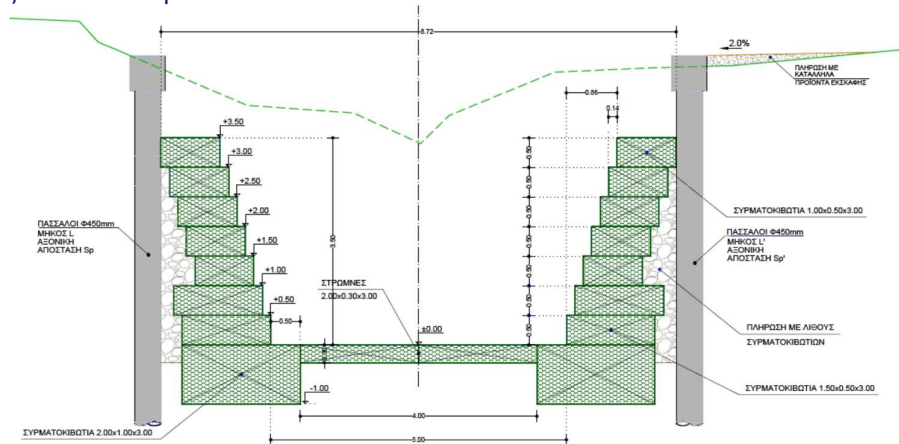
Σχήμα 4.2-5: Νέο έργο συναρμογής κατόντη Αττικής Οδού - Χ.Θ. 1+646.70 έως Χ.Θ. 1+696.70



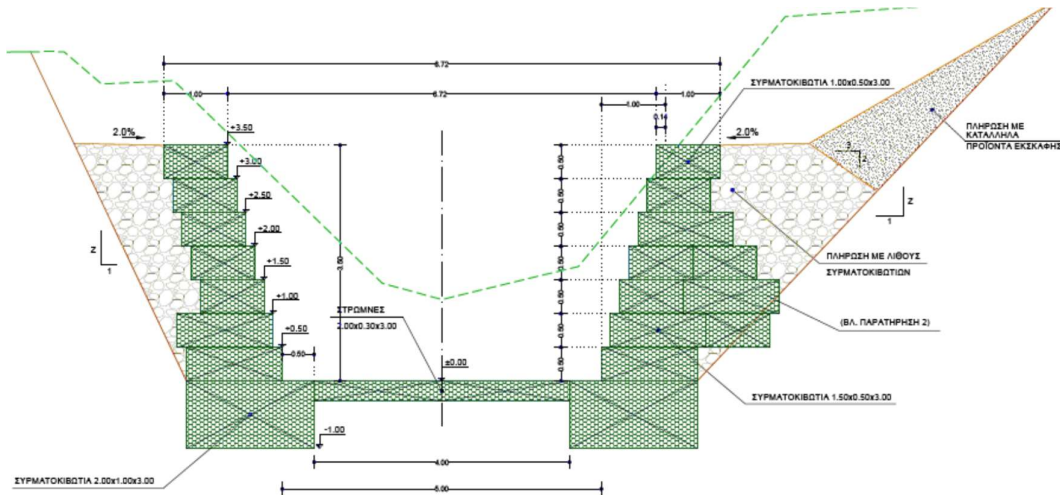
Σχήμα 4.2-6: Νέο έργο συναρμογής ανάντη Αττικής Οδού - Χ.Θ. 2+580.27 έως Χ.Θ. 2+610.27

Από τη Χ.Θ. 2+610.27 έως τη Χ.Θ. 4+124.90, το ρέμα προβλέπεται να έχει και πάλι ανοικτή διατομή, τραπεζοειδούς σχήματος από βαθμίδες συρματοκιβωτίων, με πλάτος πυθμένα 5.00 m και ύψος στέψης 3.50 m. Υπάρχουν διάφορες τυπικές διατομές που εφαρμόζονται ανάλογα με τη μορφή της αδιαμόρφωτης κοίτης (π.χ. αν απαιτείται τοποθέτηση πασσάλων, αν απαιτείται να γίνει εκσκαφή ή

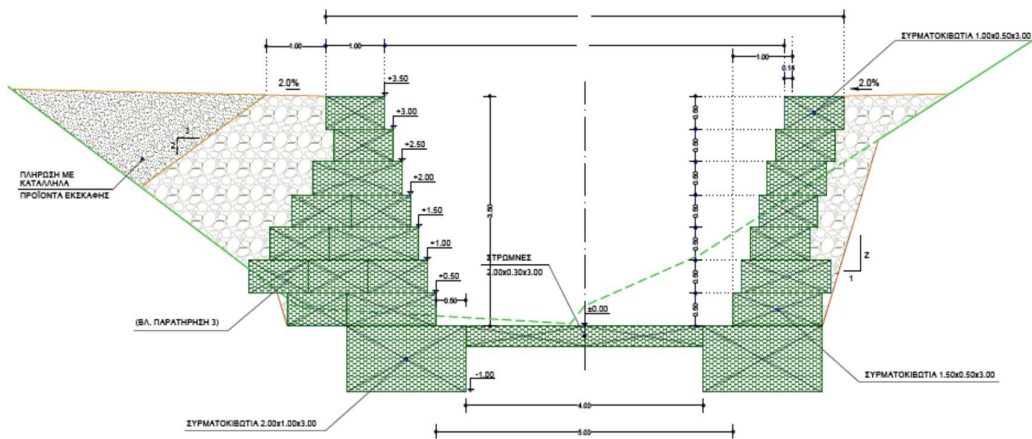
επίχωση στο πρηνές της όχθης) . Οι διάφορες εφαρμοζόμενες τυπικές διατομές στο τμήμα αυτό, παρουσιάζονται κατωτέρω:



ΤΥΠΟΣ Π03
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΥΨΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ 3.50m



ΤΥΠΟΣ Σ03
ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΕ ΕΚΣΚΑΦΗ
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΥΨΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ 3.50m



ΤΥΠΟΣ Σ04
ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΕ ΕΠΙΧΩΣΗ
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΥΨΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ 3.50m

Σχήμα 4.2-7: Τυπικές διατομές διευθέτησης ανοικτής κόιτης με συρματοκιβώτια

Η τοποθέτηση πλευρικών πασσαλότοιχων προβλέπεται για θέσεις όπου δε μπορεί να γίνει κατασκευή των προτεινόμενων έργων με συμβατική εκσκαφή χωρίς να θιγούν υφιστάμενα έργα ή ιδιοκτησίες. Στις περιπτώσεις αυτές εφαρμόζεται ο τύπος διατομής Π03. Οι θέσεις αυτές συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Από Χ.Θ. 2+673.90 έως Χ.Θ. 2+761.90 πάσσαλοι δεξιά.
- Από Χ.Θ. 2+820.40 έως Χ.Θ. 2+844.40, πάσσαλοι δεξιά, και από Χ.Θ. 2+825.40 έως Χ.Θ. 2+883.40 πάσσαλοι αριστερά.
- Από Χ.Θ. 3+058.10 έως Χ.Θ. 3+073.10, πάσσαλοι δεξιά.

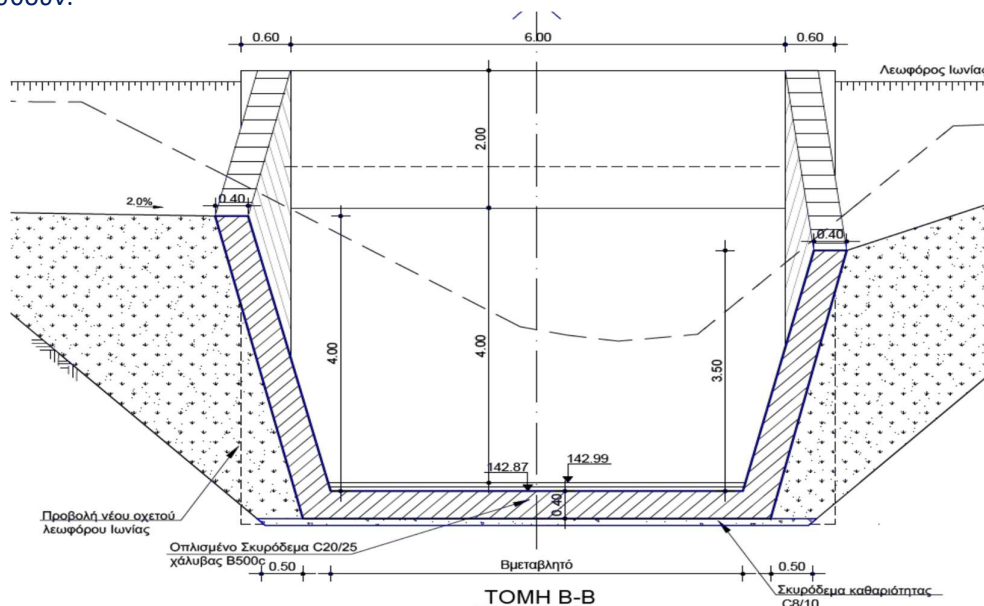
Εκτός των θέσεων κατασκευής με πασσάλους εφαρμόζονται κλίσεις πρανών εκσκαφής που κυμαίνονται από $\pi:u = 1:2$ έως $\pi:u = 1:1$. Οι τύποι εφαρμοστέων διατομών είναι δύο, ο Σ03 σε εκσκαφή και, τοπικά, ο Σ04 σε επίχωση. Οι όχθες του ρέματος στο τμήμα αυτό είναι σημαντικά υψηλότερες της στέψης της προβλεπόμενης διατομής. Για το λόγο αυτό, και προκειμένου να εξομαλυνθεί η επιρροή των έργων στην υψομετρία των όχθων και να ελαχιστοποιηθεί το εύρος επέμβασης στις εκατέρωθεν εκτάσεις, προβλέφθηκε τοπικά η τοποθέτηση περισσότερων συρματοκιβωτίων και η διαμόρφωση τοιχωμάτων μέγιστου ύψους 5.00m.

Αναλυτικά, οι θέσεις όπου διαφοροποιείται το ύψος διατομής (από το γενικό 3.50 m) είναι οι ακόλουθες:

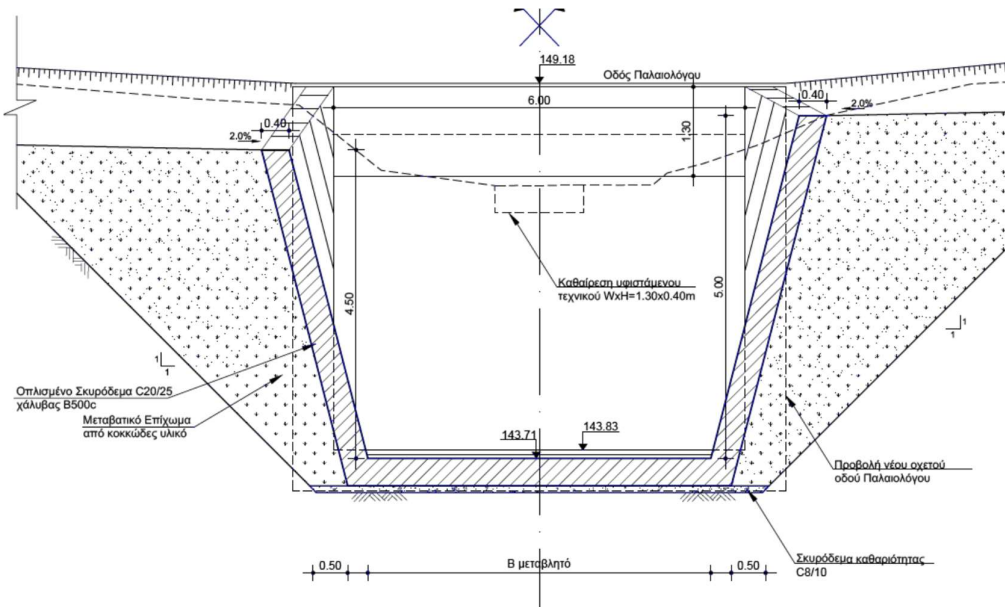
- Χ.Θ. 2+695.91 μέχρι Χ.Θ. 2+761.91: Ύψος διατομής αριστερά $H = 4.00$ m
- Χ.Θ. 2+783.61 μέχρι Χ.Θ. 2+813.39: Ύψος διατομής αριστερά $H = 4.50$ m, δεξιά $H' = 5.00$ m
- Χ.Θ. 2+886.90 μέχρι Χ.Θ. 2+916.90: Ύψος διατομής αριστερά $H = 4.50$ m, δεξιά $H' = 4.00$ m
- Χ.Θ. 3+036.90 μέχρι Χ.Θ. 3+096.90: Ύψος διατομής αριστερά $H = 4.00$ m
- Χ.Θ. 3+096.90 μέχρι Χ.Θ. 3+131.90: Ύψος διατομής αριστερά $H = 4.50$ m
- Χ.Θ. 3+151.90 μέχρι Χ.Θ. 3+196.90: Ύψος διατομής αριστερά $H = 4.50$ m
- Χ.Θ. 3+196.90 μέχρι Χ.Θ. 3+226.90: Ύψος διατομής δεξιά $H' = 4.00$ m
- Χ.Θ. 3+226.90 μέχρι Χ.Θ. 3+286.90: Ύψος διατομής $H = H' = 4.00$ m
- Χ.Θ. 3+286.90 μέχρι Χ.Θ. 3+316.90: Ύψος διατομής δεξιά $H' = 4.00$ m.

Στο τμήμα αυτό προβλέπεται η καθαίρεση δύο υφιστάμενων με αντίστοιχη κατασκευή δύο νέων τεχνικών, ένα για τη διέλευση της Λεωφόρου Ιωνίας, στη Χ.Θ. 2+722.00, και ένα για τη διέλευση της οδού Παλαιολόγου στη Χ.Θ. 2+820.00.

Η μορφή που θα έχουν τα τεχνικά αυτά στην τελική διαμόρφωση, παρουσιάζεται στα σχήματα που ακολουθούν:



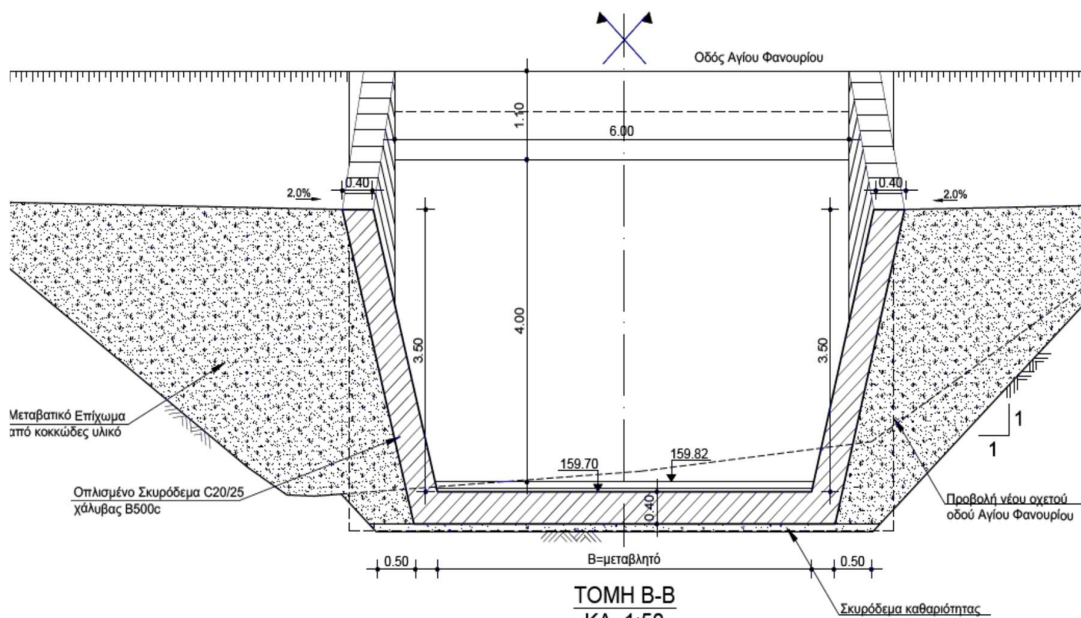
Σχήμα 4.2-8: Νέο προβλεπόμενο τεχνικό διέλευσης Λεωφόρου Ιωνίας στη Χ.Θ. 2+722.00



Σχήμα 4.2-9: Νέο προβλεπόμενο τεχνικό διέλευσης οδού Παλαιολόγου στη Χ.Θ. 2+820.00

Επίσης, στο ίδιο τμήμα, προβλέπεται η αποξήλωση του υφιστάμενου και ανεπαρκούς τεχνικού της οδού Αγίου Φανουρίου, περί τη Χ.Θ. 3+745.00, και η αντικατάστασή του από κλειστό οχετό από σκυρόδεμα, ορθογωνικής διατομής, διαστάσεων $W \times H = 6.00 \times 4.00$ m

Η μορφή που θα έχει το τεχνικό αυτό στην τελική διαμόρφωση, παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα:

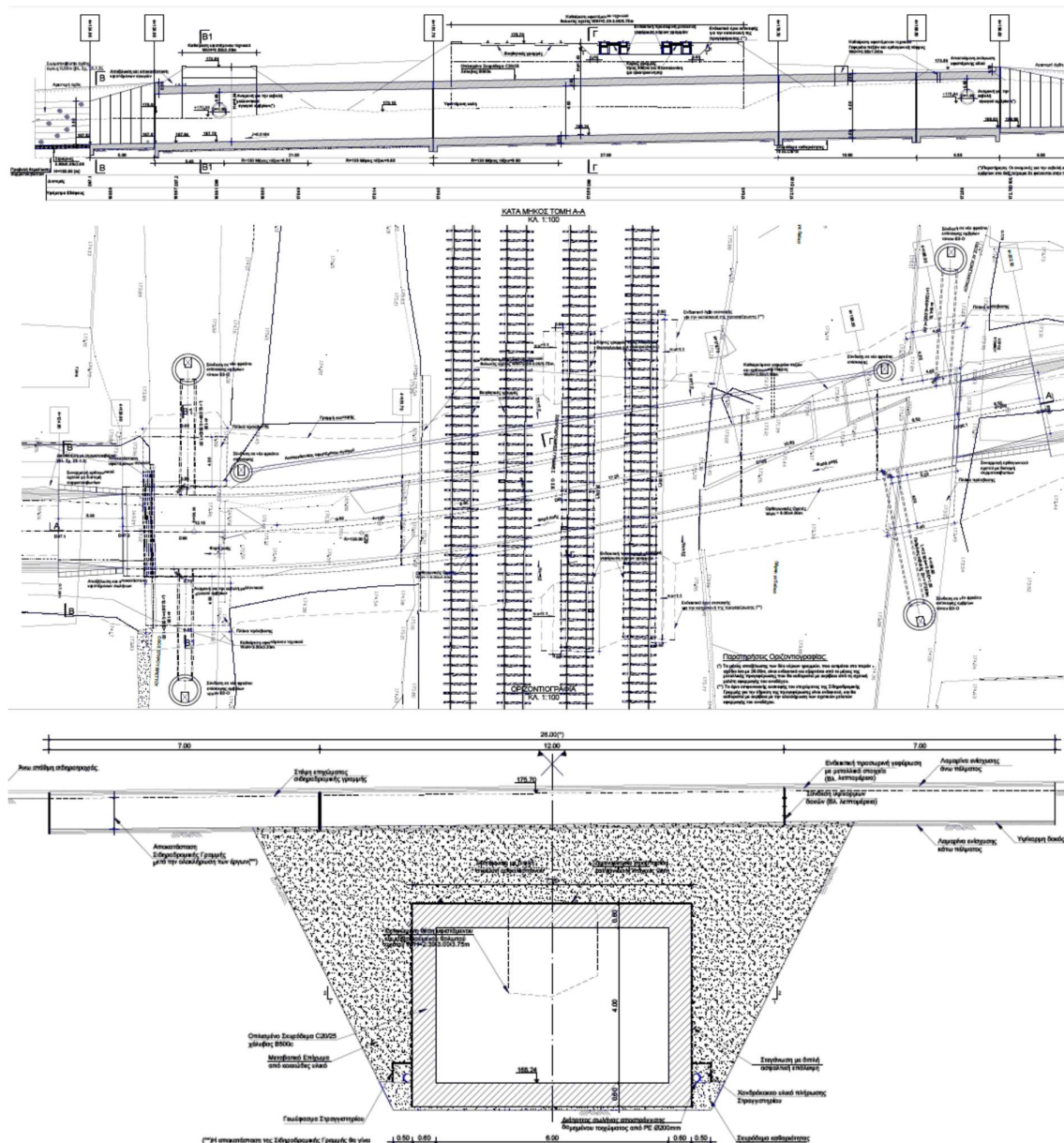


Σχήμα 4.2-10: Νέο προβλεπόμενο τεχνικό διέλευσης οδού Αγίου Φανουρίου στη Χ.Θ. 3+745.00

Από τη Χ.Θ. 4+129.90 μέχρι τη Χ.Θ. 4+196.00 προβλέπεται η κατασκευή ενός μεγάλου κλειστού οχετού ο οποίος θα εξυπηρετεί, συνεχόμενα, τη γεφύρωση της οδού Σπύρου Βρετού, των Σιδηροδρομικών Γραμμών του ΟΣΕ και της αμέσως ανάντη οδού Αγίου Κωνσταντίνου, στην οποία σήμερα υπάρχει ιρλανδική διάβαση, σε υψόμετρο πυθμένα κατά 3.00m υψηλότερο από αυτό της διευθετούμενης κοίτης.

Το συνολικό μήκος του νέου οχετού είναι 66.10m, Η οδός Σπύρου Βρεττού και οι Σιδηροδρομικές Γραμμές θα αποκατασταθούν στη σημερινή στάθμη κυκλοφορίας, ενώ η Αγίου Κωνσταντίνου θα υπερυψωθεί τοπικά στη θέση γεφύρωσης. Μεταξύ της Αγ. Κωνσταντίνου και του ΟΣΕ η διατομή προβλέπεται κλειστή, σε αντικατάσταση της σημερινής ανοικτής τάφρου, προκειμένου να δημιουργηθεί συνεχής χώρος πρασίνου. Ανάντη και κατάντη του οχετού προβλέπονται διατομές μεταβλητών διαστάσεων από σκυρόδεμα, μήκους 5.00m, για την ομαλή συναρμογή στην τραπεζοειδή διατομή διευθέτησης.

Η μορφή που θα έχει ο οχετός αυτός μετά την τελική διαμόρφωση, παρουσιάζεται στα ακόλουθα σχήματα:



Σχήμα 4.2-11: Νέος προβλεπόμενος οχετός για τη γεφύρωση της οδού Σπύρου Βρεττού, των Σιδηροδρομικών Γραμμών του ΟΣΕ και της οδού Αγίου Κωνσταντίνου από τη Χ.Θ. 4+129.90 έως τη Χ.Θ. 4+196.00

Τέλος, από τη Χ.Θ. 4+196.00 έως τη Χ.Θ. 4+749.06 στην οποία τερματίζεται η περιοχή της μελέτης μας (κατάντη συναρμογή με το τεχνικό διέλευσης της Λεωφ. Δεκελείας) προβλέπεται, ξανά

διευθέτηση με ανοικτή κοίτη τραπεζοειδούς σχήματος από βαθμίδες συρματοκιβωτίων, με πλάτος πυθμένα 5.00 m και ύψος στέψης 3.50 m.

Η διευθέτηση του ρέματος προβλέπεται να γίνει με εφαρμογή των τυπικών διατομών Σ03 και Σ04, σύμφωνα με τα ισχύοντα και στα προηγούμενα τμήματα. Το ύψος της διατομής θα είναι $H = 3.50\text{m}$ καθ' όλο το μήκος της διευθέτησης, και η εφαρμοζόμενη κλίση πρανών εκσκαφής είναι ενιαία, ίση με $\pi:υ = 1:2$. Δεν απαιτείται η εφαρμογή πρόσθετων συρματοκιβωτίων πίσω από την υδραυλική διατομή. Μεταξύ των Χ.Θ. 4+500.00 και 4+600.00, περίπου, η δεξιά όχθη είναι χαμηλή και για την αποκατάσταση της απορροής της προς το ρέμα απαιτείται επιφανειακή διαμόρφωση σε εκτεταμένη επιφάνεια, με περιορισμένο ύψος επανεπίχωσης (1.50 m κατά μέγιστο, και σημαντικά μικρότερο στις περισσότερες θέσεις).

5 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

5.1 Δεδομένα υδρολογικών υπολογισμών

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται τα απαραίτητα δεδομένα και αρχεία εισόδου, που χρειάζονται για τη δημιουργία και την επιτυχημένη λειτουργία του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS για την παραγωγή πλημμυρογραφήμάτων στη λεκάνη απορροής της μελέτης μας. Όλα τα δεδομένα και πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν για τους υδρολογικούς υπολογισμούς έχουν συλλεχθεί από παλαιότερες μελέτες διαφόρων υπηρεσιών.

5.1.1 Λεκάνη απορροής ρέματος Αχαρνών

Η λεκάνη απορροής του ρέματος Αχαρνών εμφανίζει ορισμένες ιδιαιτερότητες, οι οποίες δεν επιτρέπουν τον προσδιορισμό της μέσω ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων ή εδάφους (DEM ή DSM). Το μεγαλύτερο μέρος της περιλαμβάνει αστικές περιοχές με πυκνή δόμηση, όπου έχουν ήδη πραγματοποιηθεί έργα παροχέτευσης ομβρίων ή σχεδιάζονται άλλα μελλοντικά.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται η περίπτωση του ρέματος Αγ. Γεωργίου που βρίσκεται ανατολικά του ρέματος Αχαρνών και συμβάλλει σε αυτό κοντά στη Λεωφ. Δεκελείας. Η υπολεκάνη αυτού θα έπρεπε θεωρητικά να περιλαμβάνεται στο σύνολο της λεκάνης απορροής Θρακομακεδόνων του ρέματος Αχαρνών. Όμως, στα πλαίσια κατασκευής του Ολυμπιακού Χωριού, κατασκευάστηκε κάτω από τη Λεωφ. Κύμης αγωγός ομβρίων ο οποίος αποκόπτει το ορεινό τμήμα της λεκάνης απορροής του ρέματος Αγ. Γεωργίου και εκβάλλει στο ρέμα Κόντιτα, το οποίο με τη σειρά του εκβάλλει στον π. Κηφισό ανάντη της εκβολής του ρέματος Αχαρνών.

Επίσης, κατά το σχεδιασμό των αντιπλημμυρικών έργων του ρέματος Εσχατιάς (το οποίο βρίσκεται δυτικά του ρέματος Αχαρνών), έχει μελετηθεί όπως ένα τμήμα της ορεινής λεκάνης απορροής αυτού, θα αποκόπτεται και θα παροχετεύεται μέσω σχεδιαζόμενου αγωγού, στο ρέμα Αχαρνών προς “ανακούφιση” του ρέματος Εσχατιάς. Η έκταση του τμήματος αυτού υπολογίζεται σε 6,27 Km².

Όλες αυτές οι διαφοροποιήσεις λαμβάνονταν υπόψη κατά τις διάφορες προηγούμενες μελέτες, έτσι ώστε η έκταση της λεκάνης απορροής εμφανίζεται σχετικώς διαφοροποιημένη κατά περίπτωση.

Επειδή, για τους υδρολογικούς υπολογισμούς στην παρούσα εργασία επιδιώχθηκε να εισαχθεί στο υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS μια ενιαία λεκάνη απορροής, η έκτασή της υπολογίστηκε από τα δεδομένα της σχετικά πιο πρόσφατης εγκεκριμένης μελέτης «Μελέτη Διευθέτησης του ρέματος Αχαρνών (Καναπίτσα) από τη Χ.Θ. 0+000 (εκβολή στον π. Κηφισό) έως Χ.Θ. 12+000», που εκπονήθηκε από τα συμπράττοντα γραφεία μελετών Ζ & Α Π. ΑΝΤΩΝΑΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε. και Δ. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε.

Στη μελέτη αυτή η λεκάνη απορροής του ρέματος μέχρι την εκβολή στον Κηφισό, έχει ληφθεί ως συνολικής έκτασης 20,081km² και έχει χωριστεί σε 38 υπολεκάνες, 7 υπεραστικές (ορεινές) συνολικής έκτασης 5,545km² και 31 αστικές συνολικής έκτασης 14,536km².

Συνοπτικά, τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (σύμφωνα με την εν λόγω μελέτη) παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 5.1-1: Βασικά μορφολογικά στοιχεία της λεκάνης απορροής του ρέματος Αχαρνών

	ΕΚΤΑΣΗ Α (km ²)	ΜΗΚΟΣ ΜΙΣΓΑΓΚΕΙΑΣ L (km)	ΥΨΟΜΕΤΡΑ			ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ Υ (%)	ΜΕΣΗ ΚΛΙΣΗ ΜΙΣΓΑΓΚΕΙΑΣ S (%)	CN
			H _{min} (m)	H _{mid} (m)	H _{max} (m)			
ΣΥΝΟΛΙΚΗ	20,081	15,58	103,46	237,24	1400,00	19,42	7,40	71,37
ΟΡΕΙΝΗ	5,545	4,50	440,00	1037,59	1400,00	54,80	21,40	50,35
ΑΣΤΙΚΗ	14,536	11,08	103,46	200,85	440,00	4,86	3,00	80,50

Επειδή στη μελέτη αυτή παρατίθενται αναλυτικά στοιχεία έκτασης και συντελεστή απορροής **CN** για κάθε μια από τις 38 υπολεκάνες, υπολογίσαμε το σταθμισμένο ενιαίο **CN** με τη μέθοδο των βαρών (κατ' αντιστοιχία με τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen) προς επιβεβαίωση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 5.1-2: Σταθμισμένο CN της ενιαίας λεκάνης απορροής του ρέματος Αχαρνών

A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ A (Km ²)	CN	A(i) * CN(i)
1	Ο2	0.679	52.40	35.58
2	Ο1	1.089	49.90	54.34
3	Ξ2	0.863	60.71	52.39
4	Ξ1	0.531	59.20	31.44
5	N1	1.362	40.70	55.43
6	M1	0.617	43.15	26.62
7	Λ1	0.404	57.88	23.38
8	K1	0.329	69.68	22.92
9	K3	0.189	75.00	14.18
10	K2	1.056	75.02	79.22
11	I1	0.606	75.00	45.45
12	I3	0.339	75.00	25.43
13	I2	0.547	75.00	41.03
14	Θ1	0.672	75.54	50.76
15	Θ3.3	0.222	74.78	16.60
16	Θ3.2	0.315	75.00	23.63
17	Θ3.1	0.620	75.00	46.50
18	Θ3	0.534	76.17	40.67
19	Θ2	0.276	75.18	20.75
20	H1	0.104	94.13	9.79
21	H2	0.692	93.07	64.40
22	Z1	0.464	77.83	36.11
23	Z2.2	0.671	75.51	50.67
24	Z2.1	1.017	75.94	77.23
25	ΣΤ1	0.418	83.08	34.73
26	ΣΤ3	0.418	94.91	39.67
27	ΣΤ2	0.415	75.64	31.39
28	E1	0.509	84.84	43.18
29	E2	0.378	76.00	28.73
30	Δ1	0.303	82.95	25.13
31	Δ2	0.196	78.95	15.47
32	Γ1	0.586	84.42	49.47
33	Γ2	0.788	83.96	66.16
34	B1	0.345	95.00	32.78
35	A1	0.201	95.00	19.10
36	A2	0.312	95.00	29.64
37	Ο2	0.932	86.35	80.48
38	Ο1	0.081	84.42	6.84
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ (Km²)		20.080		1,447.30
$\sum(A_{(i)} * CN_{(i)}) / \sum A_{(i)} =$		ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ CN		72.0765

Τα αποτελέσματα είναι παρεμφερή, οπότε στα δεδομένα του μοντέλου HEC-HMS δημιουργήσαμε μια ενιαία λεκάνη απορροής, με έκταση **A = 20,08 Km²** και ενιαίο **CN = 72,0765**.

Για τους υπολογισμούς και την προσομοίωση στο HEC-HMS επιλέξαμε (από τις διαθέσιμες επιλογές του προγράμματος) να ακολουθήσουμε τη μέθοδο της Soil Conservation Service (SCS), λόγω της αξιοπιστίας που παρέχει, αλλά και των διαθέσιμων από την πλευρά μας δεδομένων και στοιχείων. Για την περίπτωση αυτή, τα απαιτούμενα δεδομένα του προγράμματος είναι: (i) η έκταση **A** της λεκάνης, (ii) ο συντελεστής **CN** και (iii) ο χρόνος υστέρησης **T_{lag}** της λεκάνης.

Για τον υπολογισμό του χρόνου υστέρησης **T_{lag}** προαπαιτείται ο υπολογισμός του χρόνου συρροής **T_c** της λεκάνης, καθώς **T_{lag} = 0,60 * T_c**

Ο χρόνος συρροής, για τη λεκάνη της μελέτης μας, υπολογίστηκε από τη σχέση

$$T_c = 0,057 \times L^{0,80} \times [(1000 / CN) - 9]^{0,7} / Y^{0,5}$$

Όπου

L: το μήκος της μισγάγκειας μέχρι τον υδροκρίτη σε km (15,58)

Y: η μέση κλίση της λεκάνης απορροής (0,1942)

Σύμφωνα με την παραπάνω προσέγγιση και με βάση τα δεδομένα της λεκάνης απορροής της μελέτης μας ο χρόνος υστέρησης **T_{lag}** υπολογίστηκε σε **2,157 h** ή ισοδύναμα σε **129,44 min**.

5.1.2 Όμβριες καμπύλες

Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμού (ΣΔΛΑΠ) για το υδατικό διαμέρισμα Αττικής (ΕΛ06), η όμβρια καμπύλη είναι της μορφής

$$i = \frac{\lambda' (T^{\kappa} - \psi')}{(1 + d / \theta)^{\eta}}$$

Όπου

i : Ένταση βροχόπτωσης (mm/h)

T : Περίοδος επαναφοράς (έτη),

d : Διάρκεια βροχόπτωσης (h)

λ', κ, ψ', θ, η : Παράμετροι

Από τις 5 παραμέτρους τις όμβριας καμπύλης, οι (θ) και (η) λαμβάνουν τιμές που είναι σταθερές σε όλο το υδατικό διαμέρισμα Αττικής και πιο συγκεκριμένα είναι θ=0,124 και η=0,622.

Η παράμετρος σχήματος (κ) μεταβάλλεται σε τρεις μεγάλες ζώνες, ενώ οι παράμετροι κλίμακας (λ') και θέσης (ψ') έχουν πολύ μεγάλη χωρική μεταβλητότητα και διαφέρουν σημαντικά σε κάθε βροχομετρικό σταθμό.

Οι πλησιέστεροι βροχομετρικοί σταθμοί για την περιοχή της μελέτης μας είναι του Μενιδίου, των Άνω Λιοσίων και του Τατοΐου. Οι παράμετροι των ομβρίων καμπυλών για τους σταθμούς αυτούς, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.1-3: Παράμετροι όμβριας καμπύλης για τους 3 πλησιέστερους βροχομετρικούς σταθμούς

ΣΤΑΘΜΟΣ	κ	λ'	ψ'	θ	η
ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ	0,125	229,8	0,678	0,124	0,622
ΜΕΝΙΔΙ	0,097	334,6	0,711	0,124	0,622
ΤΑΤΟΪ	0,097	289,7	0,792	0,124	0,622

Είναι φανερό ότι εμφανίζονται σημαντικές διαφορές στην όμβρια καμπύλη, ανάλογα με το βροχομετρικό σταθμό που θα ληφθεί υπόψη.

Εκτός από την τυπική μορφή της όμβριας καμπύλης 5 παραμέτρων, σε προηγούμενες μελέτες για το σχεδιασμό άλλων έργων στην περιοχή αυτή, έχει χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εμπειρική όμβρια καμπύλη περιοχής Λιοσίων-Αχαρνών (Σ. Δάλλας):

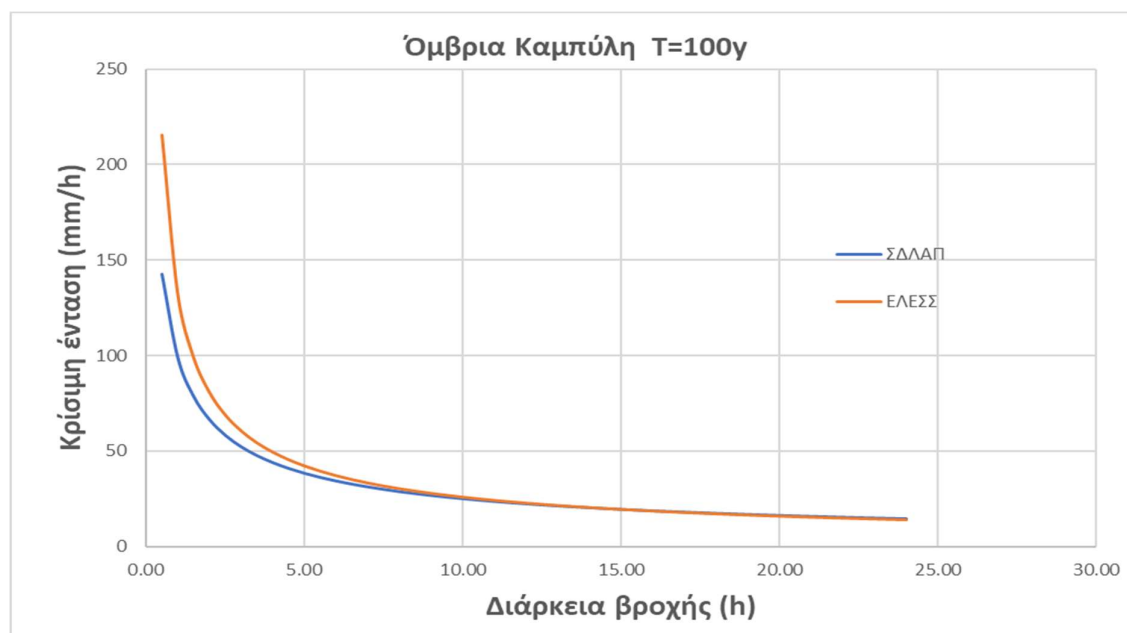
$$i = \min \left\{ 30.76 * (T^{0.28}) / (0.30+t)^{0.57}, \quad i = 23.45 * (T^{0.25}) / (t)^{0.71} \right\}$$

Από σύγκριση των εντάσεων που προκύπτουν για διάφορες διάρκειες βροχόπτωσης, δεδομένης κάθε φορά της περιόδου επαναφοράς, προκύπτει ότι η πρώτη σχέση εφαρμόζεται για βροχές διάρκειας έως μισή ώρα, ενώ για βροχές διάρκειας πάνω από μισή ώρα έχει εφαρμογή η δεύτερη σχέση.

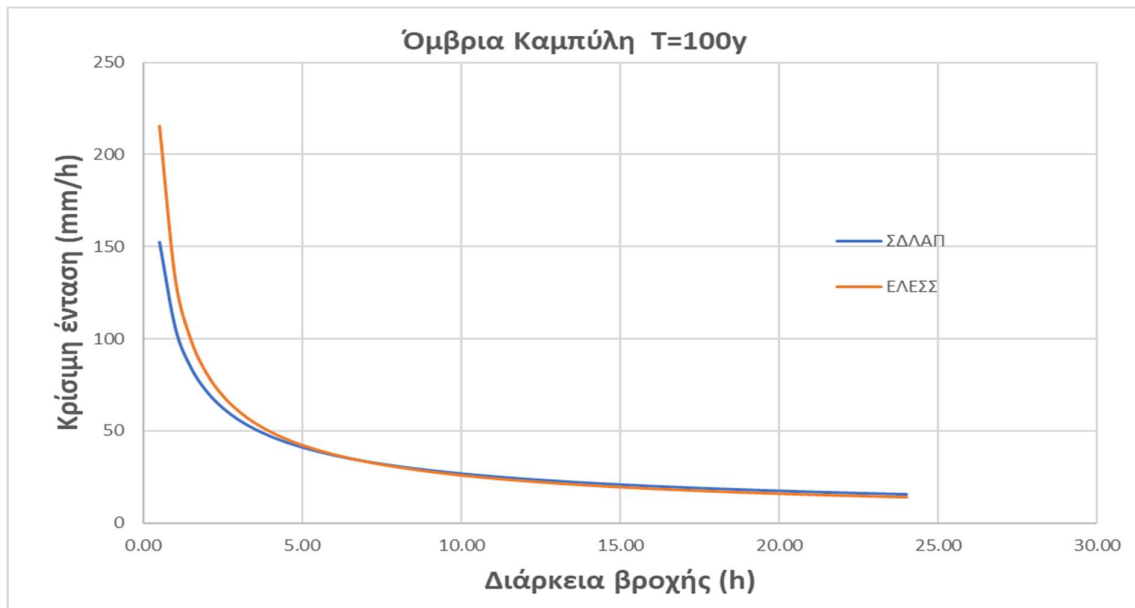
Η εν λόγω όμβρια καμπύλη έχει χρησιμοποιηθεί στις κάτωθι μελέτες:

- Μελέτες για την Αττική Οδό που εκπονήθηκαν από τα μελετητικά γραφεία ΓΡΑΦΕΙΟ ΜΑΧΑΙΡΑ Α.Ε. και ΥΔΡΟΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ Λ. ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ & ΣΙΑ Ε.Ε. και πιο συγκεκριμένα
 - «Οριστική Μελέτη Αγωγού Ρέματος Αχαρνών κατάντη Ε.Λ.Ε.Σ.Σ.», Α08/ΥΔ06/Α, Ιανουάριος 2001
 - «Οριστική Μελέτη Ρέματος Αχαρνών ανάντη και κάτω από την Ε.Λ.Ε.Σ.Σ.», Α08/ΥΔ02/Β, Φεβρουάριος 2002
- «Οριστική Μελέτη Έργων Αποχέτευσης ευρείας περιοχής Σ.Κ.Α.», Δεκέμβριος 2004, που εκπονήθηκε από το γραφείο μελετών Δ. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΑΜΕ για λογαριασμό της ΕΡΓΟΣΕ Α.Ε.
- «Μελέτη Διευθέτησης του ρέματος Αχαρνών (Καναπίτσα) από τη Χ.Θ. 0+000 (εκβολή στον π. Κηφισό) έως Χ.Θ. 12+000», Ιανουάριος 2011, που εκπονήθηκε από τα συμπράττοντα γραφεία μελετών Ζ & Α Π. ΑΝΤΩΝΑΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε. και Δ. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε. για λογαριασμό του ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΥΠΟΔΟΜΩΝ, ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

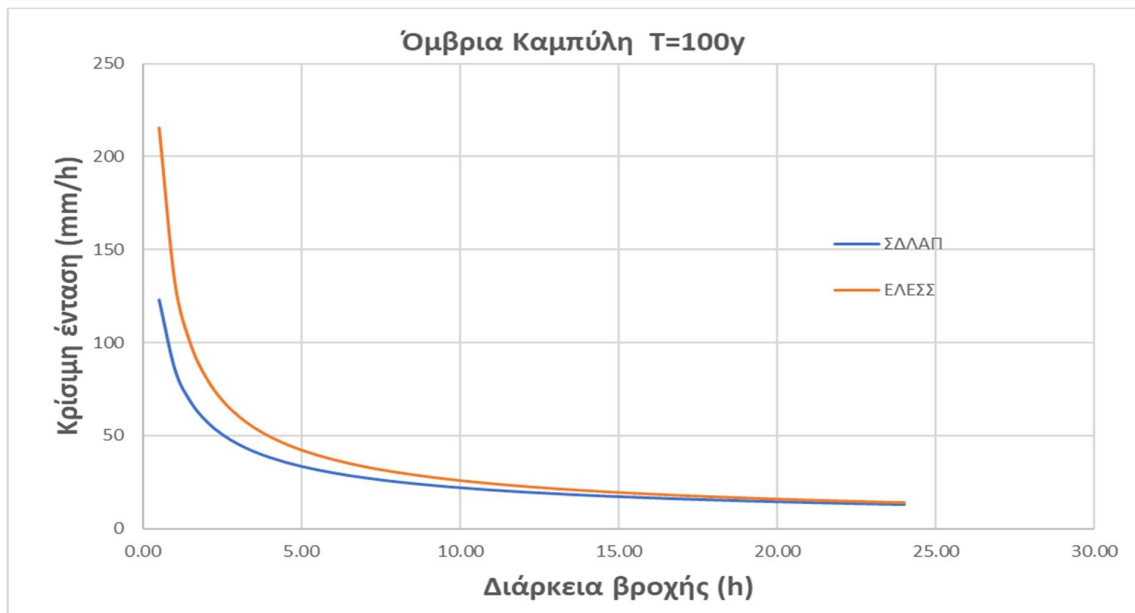
Η σύγκριση μεταξύ της εμπειρικής καμπύλης που χρησιμοποιήθηκε στο σχεδιασμό των έργων της Αττικής Οδού (Ε.Λ.Ε.Σ.Σ.) με την καμπύλη του ΣΔΛΑΠ για τους τρεις κοντινότερους βροχομετρικούς σταθμούς έδειξε ότι γενικώς δίνουν πολύ κοντινά αποτελέσματα. Ειδικότερα, για περιόδους επαναφοράς 100 ετών και κάτω, είναι ελαφρώς δυσμενέστερη η καμπύλη του ΣΔΛΑΠ, ενώ για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς γίνεται ελαφρώς δυσμενέστερη η καμπύλη της Ε.Λ.Ε.Σ.Σ. Επίσης, για διάρκειες βροχόπτωσης μεγαλύτερες των 5 ωρών οι καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται σε κάθε περίπτωση. Παρατίθενται στη συνέχεια συγκριτικά διαγράμματα ομβρίων καμπυλών της Ε.Λ.Ε.Σ.Σ. και του ΣΔΛΑΠ (για κάθε βροχομετρικό σταθμό) για ενδεικτική περίοδο επαναφοράς 100 ετών.



Διάγραμμα 5.1-1: Σύγκριση εμπειρικής όμβριας καμπύλης Ε.Λ.Ε.Σ.Σ. με όμβρια καμπύλη 5 παραμέτρων βροχομετρικού σταθμού Άνω Λιοσίων για T= 100 έτη



Διάγραμμα 5.1-2: Σύγκριση εμπειρικής όμβριας καμπύλης Ε.Λ.Ε.Σ.Σ. με όμβρια καμπύλη 5 παραμέτρων βροχομετρικού σταθμού Μενιδίου για T= 100 έτη



Διάγραμμα 5.1-3: Σύγκριση εμπειρικής όμβριας καμπύλης Ε.Λ.Ε.Σ.Σ. με όμβρια καμπύλη 5 παραμέτρων βροχομετρικού σταθμού Τατοίου για T= 100 έτη

Κατόπιν της συγκριτικής διερεύνησης που προαναφέρθηκε, επιλέχθηκε για να χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η εμπειρική όμβρια καμπύλη Σ. Δάλλα που είχε χρησιμοποιηθεί και στις προγενέστερες μελέτες.

Πιο συγκεκριμένα, η σχέση

$$i = 23.45 * (T^{0.25}) / (t)^{0.71}$$

καθόσον η διάρκεια βροχόπτωσης που θα εξεταστεί σε όλα τα σενάρια, υπερβαίνει κατά πολύ τη μισή ώρα.

5.1.3 Υετογραφήματα

Για την παραγωγή του υδρογραφήματος χρησιμοποιήθηκε η κατανομή βροχόπτωσης εναλλασσόμενων μπλοκ (alternating blocks method), η οποία αποτελεί παραλλαγή της μεθόδου δυσμενέστερης διάταξης (worst profile method). Η συγκεκριμένη κατανομή αναπαριστά ένα γεγονός βροχής για το οποίο τα ύψη βροχής για διάφορα χρονικά βήματα μικρότερα της διάρκειας βροχόπτωσης έχουν συγκεκριμένη πιθανότητα υπέρβασης. Η μέθοδος βασίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα που σχετίζονται με την περιοχή μελέτης (όμβριες καμπύλες) και οδηγεί σε ένα μοναδικό υετογράφημα σχεδιασμού, χωρίς να απαιτείται κάποια πρόσθετη παραδοχή. Το παραγόμενο υετογράφημα αποτελείται από n διαδοχικά διαστήματα βροχόπτωσης διάρκειας Δt , για συνολική διάρκεια βροχόπτωσης $n * \Delta t$.

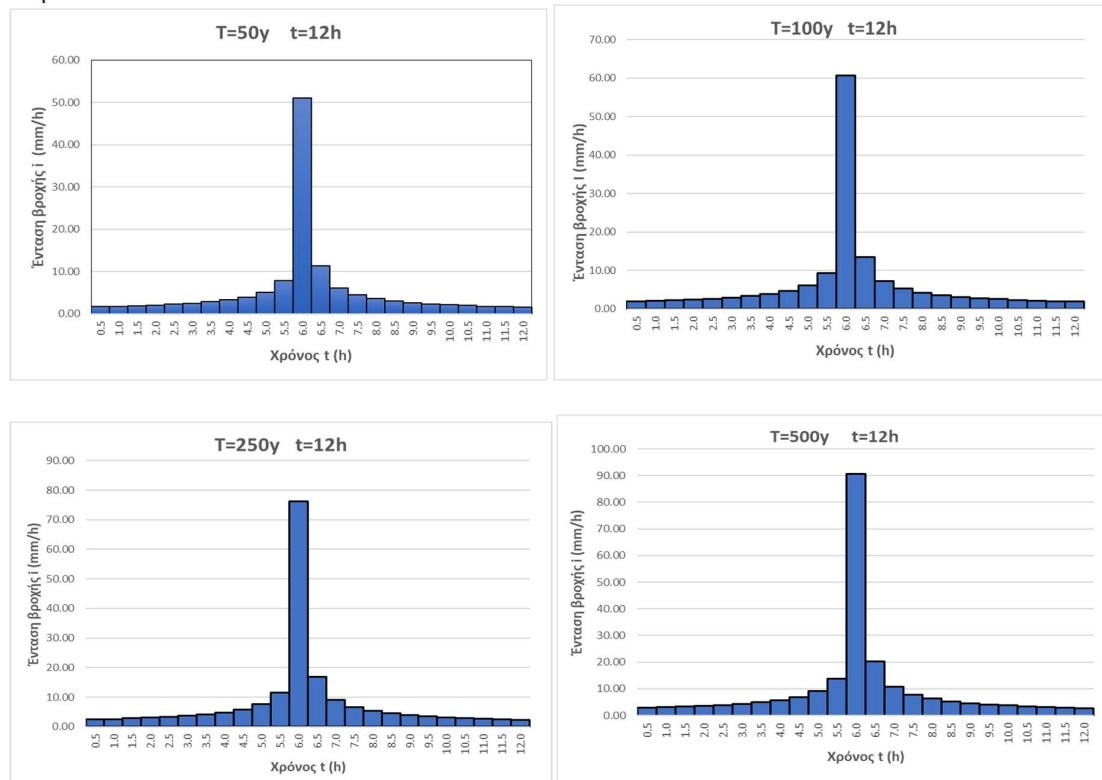
Η βασική παραδοχή της μεθόδου είναι ότι σε κάθε επιμέρους διάρκεια το ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής. Τα τμηματικά ύψη βροχής που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του συνθετικού υδρογραφήματος διατάσσονται κατά το δυνατόν συμμετρικά, και σε φθίνουσα σειρά, γύρω από την κεντρική τιμή, η οποία συμπίπτει με το μέγιστο τμηματικό ύψος βροχής. Για τη χρήση της μεθόδου θεωρείται ότι η συνολική διάρκεια βροχής είναι σημαντικό πολλαπλάσιο (αρκετά μεγαλύτερο του διπλάσιου) του χρόνου υστέρησης της λεκάνης.

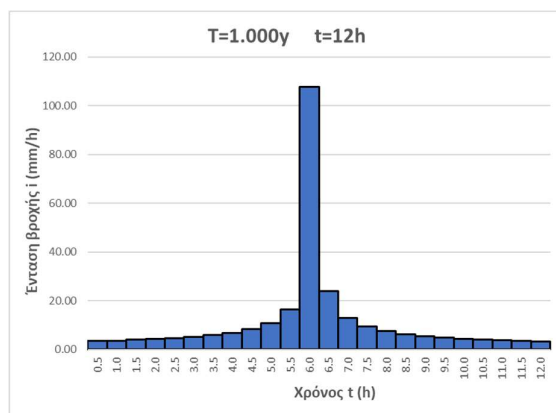
Για την περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε η όμβρια καμπύλη που προαναφέρθηκε και διερευνήθηκαν σενάρια βροχόπτωσης διάρκειας 12 ωρών, για περιόδους επαναφοράς T ίσες με 50, 100, 250, 500 και 1.000 έτη.

Η διάρκεια των 12 ωρών επιλέχθηκε διότι στις προηγούμενες εγκεκριμένες μελέτες (διευθέτηση ρέματος) αναφερόταν ότι, λόγω του σχήματος και του χρόνου συρροής της υπόψιν λεκάνης απορροής, η μέγιστη πλημμυρική αιχμή για κρίσιμη ένταση περιόδου επαναφοράς 50 ετών που είχε διερευνηθεί, εμφανιζόταν στη 12ωρη διάρκεια και επίσης, ότι όσο και να μεγάλωνε η περίοδος επαναφοράς, πάντα η μέγιστη αιχμή θα εμφανιζόταν στο 12ωρο σενάριο.

Επιπρόσθετα, το βήμα υπολογισμού τέθηκε σε 0,5 h.

Τα υετογραφήματα που προέκυψαν για τα διάφορα σενάρια βροχόπτωσης, παρουσιάζονται παρακάτω:





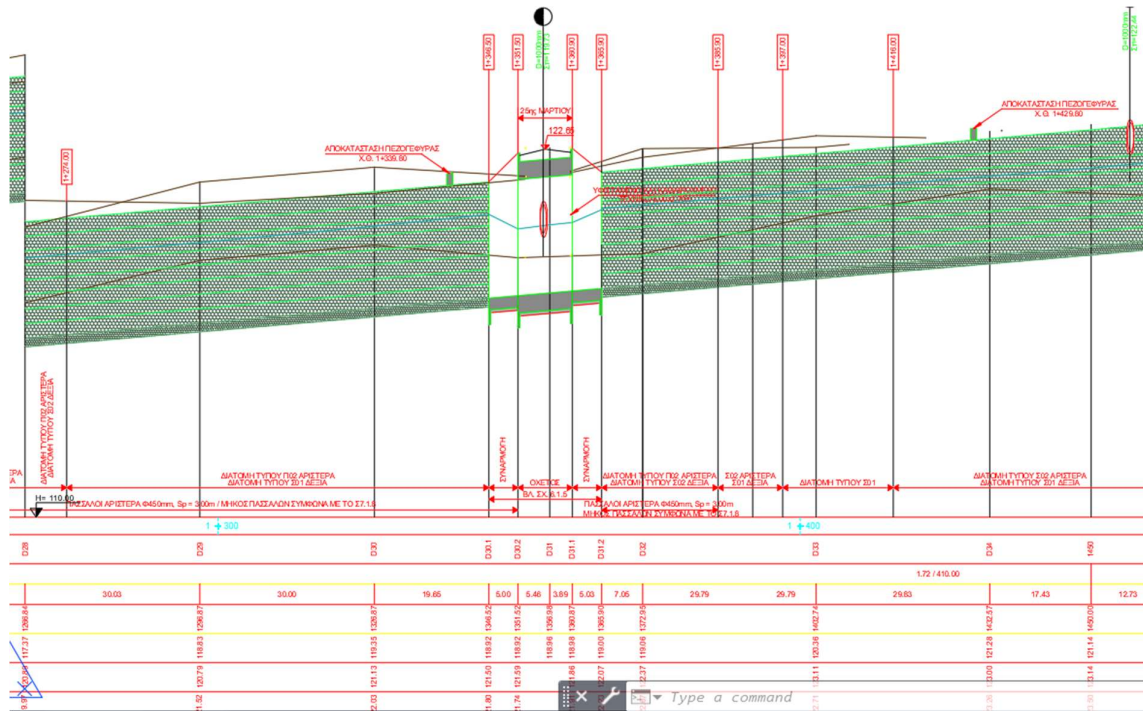
Διάγραμμα 5.1-4: Υετογραφήματα για βροχή διάρκειας 12h και περιόδους επαναφοράς 50, 100, 250, 500 και 1.000 έτη

Οι αντίστοιχες χρονοσειρές εντάσεων βροχής όπου θα εισαχθούν στο Μετεωρολογικό Μοντέλο του HEC-HMS (*Specified Hyetograph*), παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 5.1-4: Χρονοσειρές εντάσεων βροχής διάρκειας 12h για περιόδους επαναφοράς 50, 100, 250, 500 και 1.000 έτη

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΒΡΟΧΗΣ (h)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (YEARS)				
	50	100	250	500	1.000
0.5	1.62	1.93	2.43	2.88	3.43
1.0	1.73	2.06	2.59	3.08	3.66
1.5	1.90	2.26	2.84	3.38	4.02
2.0	2.02	2.40	3.02	3.59	4.27
2.5	2.22	2.63	3.31	3.94	4.69
3.0	2.46	2.93	3.68	4.38	5.21
3.5	2.79	3.31	4.17	4.96	5.89
4.0	3.24	3.85	4.84	5.76	6.85
4.5	3.92	4.66	5.86	6.97	8.29
5.0	5.10	6.06	7.62	9.06	10.78
5.5	7.78	9.25	11.63	13.84	16.45
6.0	51.00	60.65	76.27	90.70	107.86
6.5	11.36	13.50	16.98	20.19	24.01
7.0	6.10	7.26	9.13	10.85	12.91
7.5	4.42	5.25	6.60	7.85	9.34
8.0	3.54	4.21	5.29	6.30	7.49
8.5	2.99	3.56	4.47	5.32	6.33
9.0	2.61	3.11	3.91	4.65	5.52
9.5	2.33	2.77	3.49	4.15	4.93
10.0	2.11	2.51	3.16	3.76	4.47
10.5	1.94	2.31	2.90	3.45	4.10
11.0	1.76	2.09	2.63	3.13	3.72
11.5	1.67	1.99	2.50	2.98	3.54
12.0	1.57	1.87	2.35	2.80	3.33

Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το σχέδιο της μηκοτομής που συμπεριλαμβάνεται στην εν λόγω μελέτη, από το οποίο αντλήθηκαν χρήσιμες πληροφορίες, για τις θέσεις των διατομών, τα υψόμετρα, τα ακριβή όρια των τεχνικών και των συναρμογών, κλπ. Ενδεικτικό απόσπασμα από το σχέδιο της μηκοτομής, παρουσιάζεται κατωτέρω:



Σχήμα 5.2-2: Απόσπασμα μηκοτομής ρέματος Αχαρνών (από τη μελέτη εφαρμογής των νέων αντιπλημμυρικών έργων)

5.2.2 Γεωμετρικά δεδομένα διατομών

Τα ακριβή γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατομών ελήφθησαν από τα σχέδια των 120 χαρακτηριστικών διατομών, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο.

Σε ότι αφορά στα προς κατασκευή νέα τεχνικά έργα (διαβάσεις, οχετοί κλπ.), οι πληροφορίες για αυτά ελήφθησαν από τα κατασκευαστικά τους σχέδια. Κάποια από αυτά τα σχέδια παρουσιάστηκαν και στο προηγούμενο Κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, στην παράγραφο **4.2 Αναλυτική Παρουσίαση Νέων Έργων**.

5.2.3 Λοιπές παράμετροι του μοντέλου HEC RAS

Για τις υπόλοιπες παραμέτρους που θα πρέπει να καθοριστούν για τη δημιουργία του μοντέλου, όλα τα στοιχεία ελήφθησαν επίσης από τη συγκεκριμένη μελέτη.

Πιο συγκεκριμένα,

- Οι συντελεστές τραχύτητας (Manning) ελήφθησαν ως ακολούθως :

Ανεπένδυτος γαιώδης πυθμένας :	n = 0.050
Πυθμένας διατομών σκυροδέματος :	n = 0.018
Πυθμένας επενδεδυμένος με συρματοκιβώτια :	n = 0.025
Πυθμένας με επίστρωση από κολυμβητούς λίθους :	n = 0.035
Γαιώδεις όχθες με θάμνους :	n = 0.075
Γαιώδεις όχθες με δέντρα :	n = 0.100
Τοιχώματα διατομών σκυροδέματος :	n = 0.014
Πρανή επενδεδυμένα με συρματοκιβώτια :	n = 0.025
Υφιστάμενα έργα από σκυρόδεμα :	n = 0.018

➤ Για τις απώλειες λόγω στενώσεων ή διευρύνσεων των διατομών, ο συντελεστής στένωσης ή διεύρυνσης καθορίστηκε ως ακολούθως:

<u>Περίπτωση</u>	<u>Συντελεστής Στένωσης</u>	<u>Συντελεστής Διεύρυνσης</u>
Διατομές χωρίς τοπικές απώλειες	0.001	0.001
Σταδιακή συναρμογή	0.1	0.3
Οχετοί με πτερυγότοιχους	0.3	0.5
Απότομη μεταβολή (και οι περισσότερες περιπτώσεις οχετών)	0.6	0.8

6 ΔΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

6.1 Γενικά

Για τη δόμηση του υδρολογικού μοντέλου στο HEC-HMS δεν χρησιμοποιήθηκαν γεωχωρικά δεδομένα (GIS) αλλά δημιουργήθηκε ένα απλό μοντέλο με μια λεκάνη απορροής και μια έξοδο. Όλες οι πληροφορίες που απαιτεί το πρόγραμμα εισήχθησαν χειροκίνητα, βάσει των δεδομένων που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η επιλεχθείσα μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν της Soil Conservation Service (SCS).

6.2 Υδρολογικό Μοντέλο

6.2.1 Μοντέλο Λεκάνης Απορροής (Basin Model)

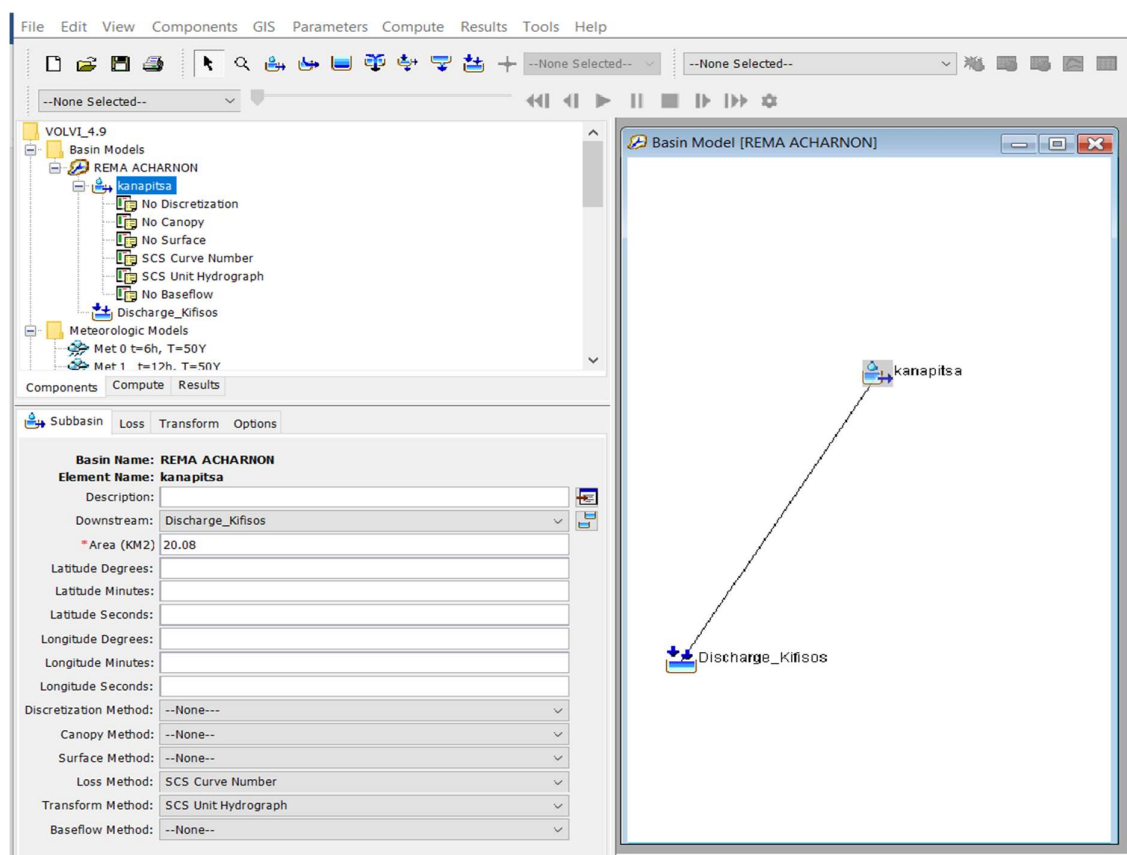
Αρχικά δημιουργήθηκε το νέο μοντέλο λεκάνης με την ονομασία REMA ACHARNON, το οποίο απαρτίζεται από τα εξής υδρολογικά στοιχεία:



Subbasin – Υπολεκάνη, που ονομάστηκε Kanapitsa



Sink – Έξοδος, που ονομάστηκε Discharge Kifisos



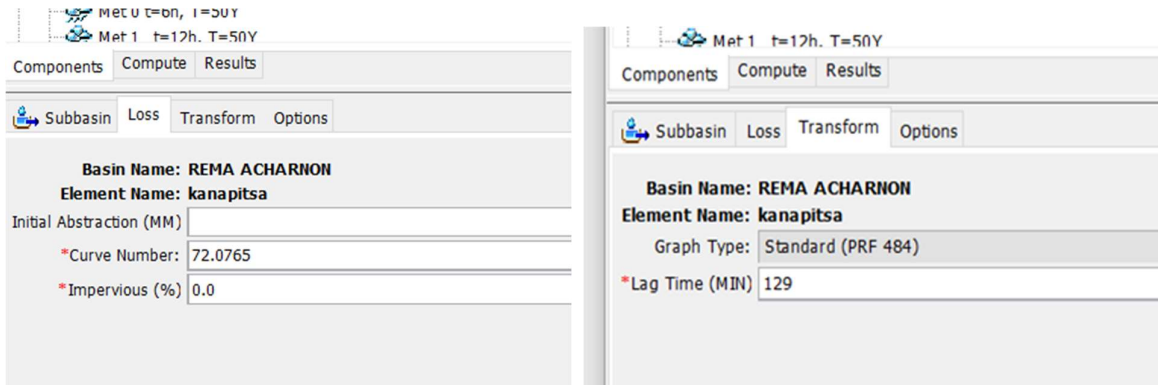
Εικόνα 6.2-1: Δημιουργία μοντέλου λεκάνης απορροής στο HEC-HMS

Προσδιορίστηκε η έκταση (Area) ως 20.08 Km² και επιλέχθηκε Loss Method → SCS Curve Number και Transform Method → SCS Unit Hydrograph. Για τις υπόλοιπες παραμέτρους δεν επιλέχθηκε τίποτα

(None). Ιδιαίτερα για τη βασική απορροή του ρέματος (Baseflow Method), αυτή ορίσθηκε ως μηδενική, λόγω της χειμαρικής διαίτας του ρέματος Αχαρνών.

Στις αντίστοιχες επιλογές Loss και Transform, εισήχθησαν αντίστοιχα οι τιμές του Curve Number **CN=72,0765** (καθώς και 0% αδιαπέρατη επιφάνεια-αφού αυτό έχει ήδη συμπεριληφθεί στην τιμή του CN) και ο χρόνος υστέρησης **T_{lag} = 129 min**.

Η μορφή των επιλογών αυτών φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες:

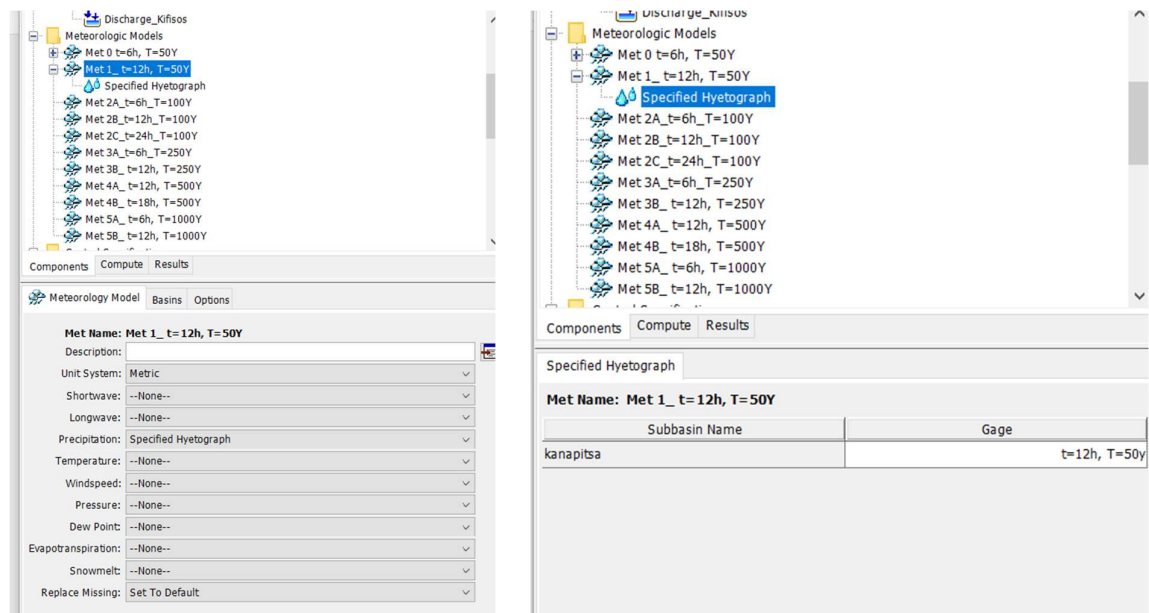


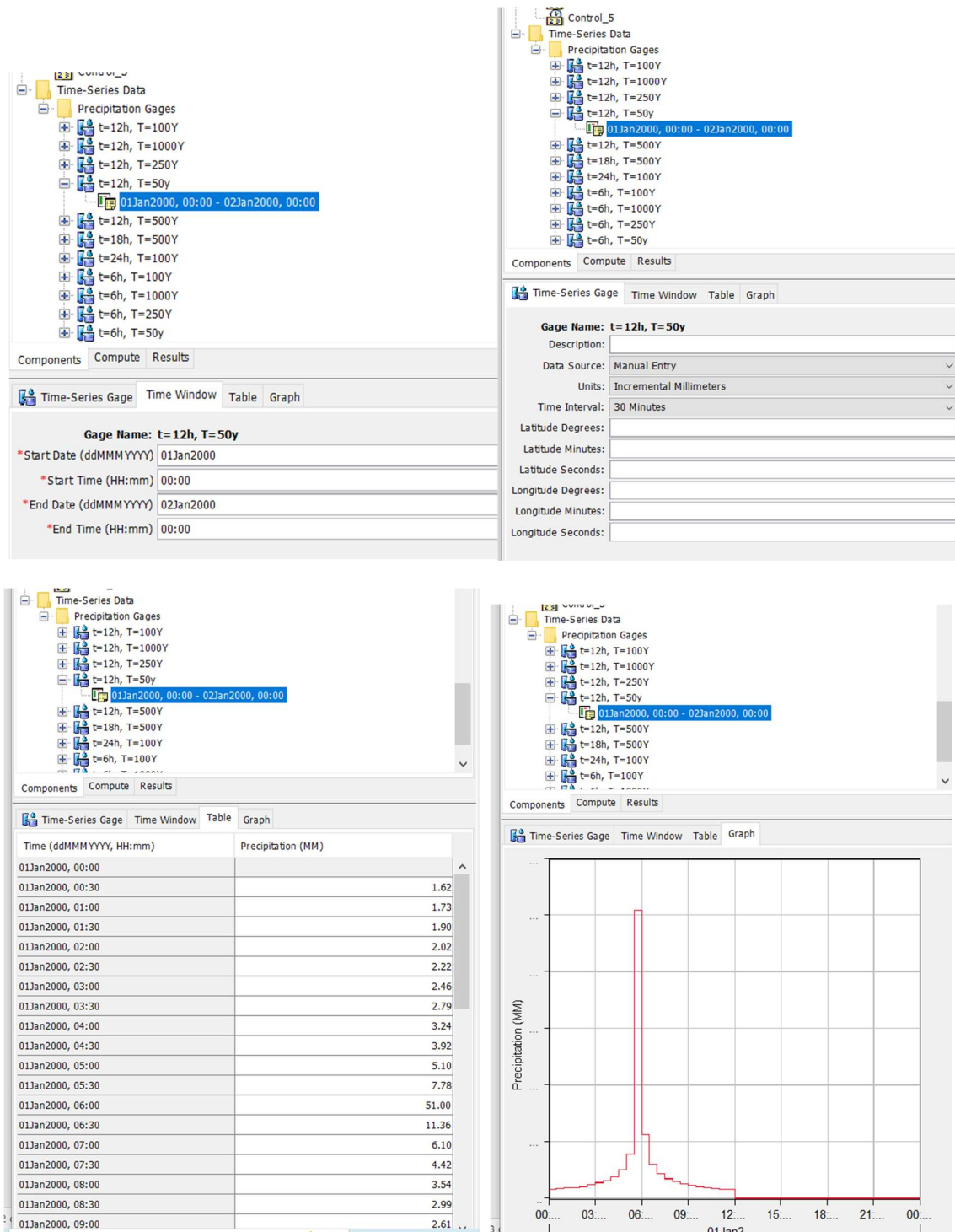
Εικόνα 6.2-2: Επιλογές Curve Number και Lag Time για τη λεκάνη απορροής στο HEC-HMS

6.2.2 Μετεωρολογικό Μοντέλο (Meteorologic Models)

Για κάθε ένα σενάριο βροχόπτωσης, από αυτά που καταρτίσαμε για διάφορες περιόδους επαναφοράς, δημιουργήσαμε το αντίστοιχο μετεωρολογικό μοντέλο. Στην επιλογή βροχόπτωσης (precipitation) επιλέχθηκε η χρήση υετογραφήματος (specified Hyetograph) και για κάθε σενάριο εισήχθηκε το αντίστοιχο υετογράφημα που είχε δημιουργηθεί, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η εισαγωγή του υετογραφήματος γίνεται από την επιλογή χρονοσειρών βροχόπτωσης (Time Series Data – Precipitation Gages), όπου παράλληλα γίνεται καθορισμός ώρας έναρξης και λήξης, καθώς και το χρονικό βήμα όπου η ένταση βροχής είναι σταθερή. Για την περίπτωση μας, επιλέξαμε η βροχόπτωση (υετογράφημα) να διαρκεί 24 ώρες, καθώς επίσης και το χρονικό βήμα να είναι 30 min (μικρότερο του 29% του χρόνου υστέρησης της λεκάνης).

Η μορφή των επιλογών αυτών φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες (ενδεικτικές ενός από τα σενάρια):





Εικόνα 6.2-3: Διαδοχικά στάδια δημιουργίας μετεωρολογικού μοντέλου στο HEC-HMS

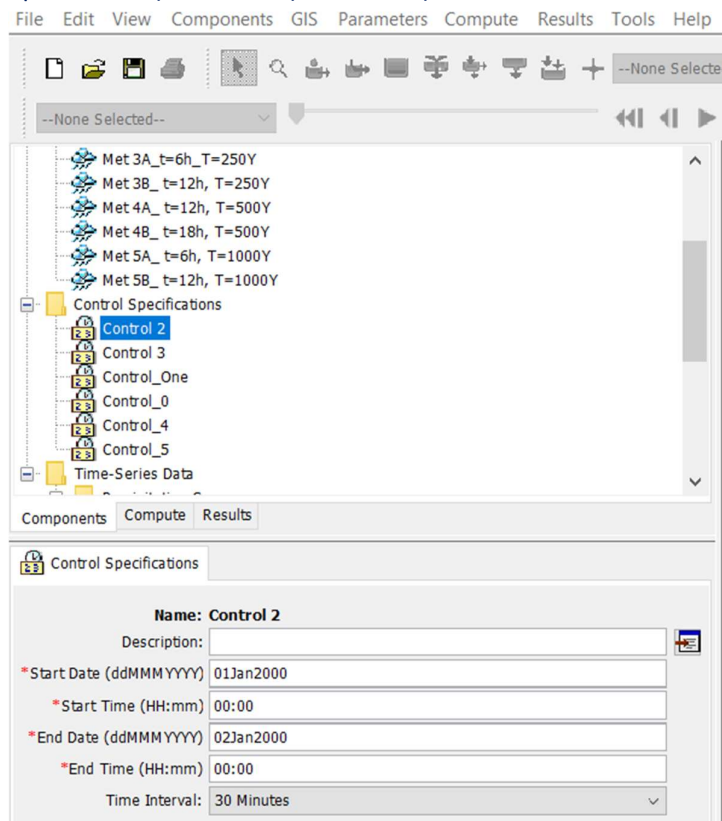
6.2.3 Αρχείο Ελέγχου (Control Specifications)

Για την εκτέλεση των προσομοιώσεων απαιτείται η δημιουργία αντίστοιχων αρχείων ελέγχου (Control Specifications) για κάθε σενάριο. Τα αρχεία αυτά απαιτούν το χρόνο έναρξης και λήξης της προσομοίωσης, καθώς και το χρονικό βήμα εκτέλεσης των υπολογισμών.

Στην περίπτωση μας, δημιουργήσαμε αντίστοιχα αρχεία όσα και τα σενάρια βροχόπτωσης που θα εξετάζαμε και θέσαμε ως χρόνο έναρξης και λήξης τους αντίστοιχους χρόνους των υετογραφημάτων

μας, καθώς επίσης ως χρονικό βήμα υπολογισμού τέθηκαν τα 30 min (χρόνος μικρότερος του 29% του χρόνου υστέρησης της λεκάνης).

Η μορφή των επιλογών αυτών φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 6.2-4: Δημιουργία αρχείου ελέγχου στο HEC-HMS

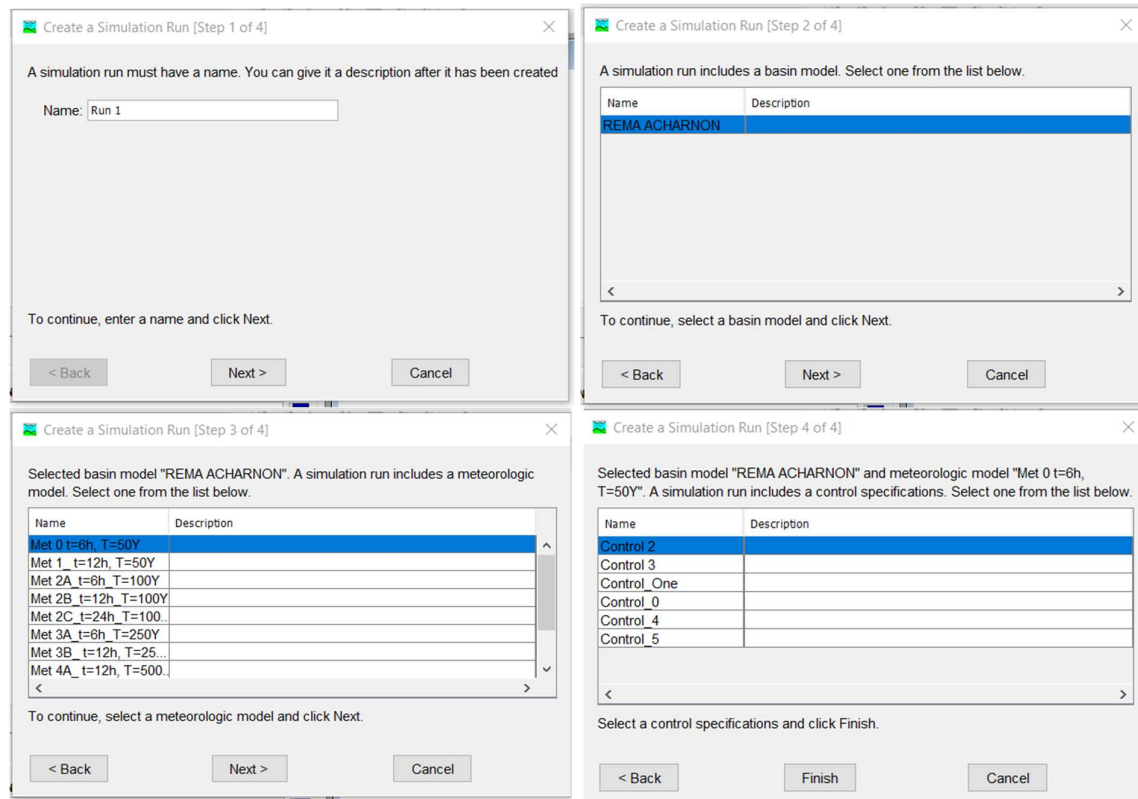
6.2.4 Αρχείο Προσομοίωσης (Simulation Run)

Τέλος, δημιουργούνται τα αρχεία προσομοίωσης για την εκτέλεση των υπολογισμών του κάθε σεναρίου. Αυτά δημιουργούνται από την επιλογή Compute → Create Compute → Simulation Run.

Η δημιουργία αυτών των αρχείων γίνεται σε 4 βήματα:

- Όνομα αρχείου
- Επιλογή μοντέλου λεκάνης
- Επιλογή μετεωρολογικού μοντέλου
- Επιλογή αρχείου ελέγχου

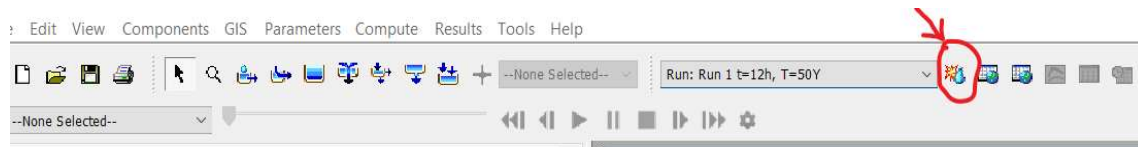
Τα βήματα αυτά παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 6.2-5: Δημιουργία αρχείου προσομοίωσης στο HEC-HMS

6.3 Υδρολογικοί υπολογισμοί – αποτελέσματα

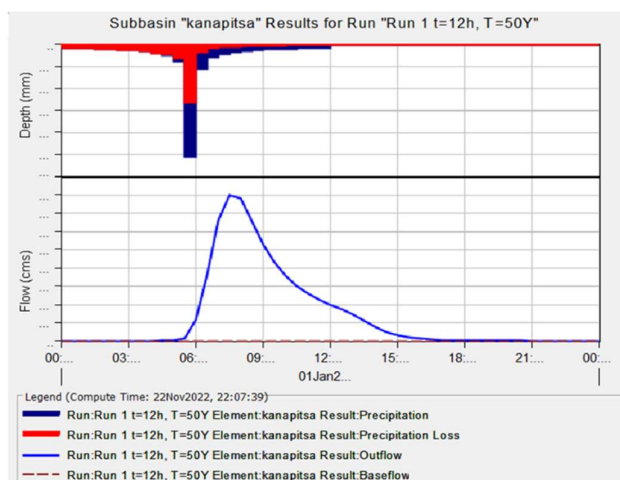
Μετά την ολοκλήρωση της δόμησης του υδρολογικού μοντέλου, όπως περιγράφηκε παραπάνω, εκτελέστηκε η προσομοίωση (υπολογισμοί) για κάθε σενάριο. Η εκτέλεση της προσομοίωσης γίνεται με την επιλογή του αντίστοιχου αρχείου προσομοίωσης και την εντολή “Compute All Elements” από το αντίστοιχο εικονίδιο, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Τα αποτελέσματα της κάθε προσομοίωσης είναι πλημμυρογραφήματα στο σημείο ελέγχου που έχει καθορισθεί (έξοδος λεκάνης απορροής). Τα πλημμυρογραφήματα παρουσιάζονται τόσο με μορφή χρονοσειράς (πίνακας) παροχών σε m^3/sec , όσο και σε μορφή γραφήματος.

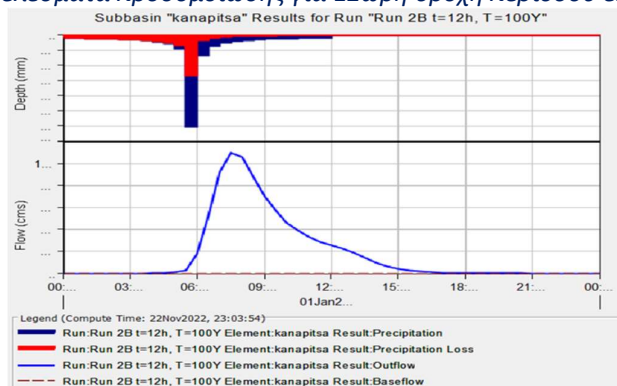
Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τα εξεταζόμενα σενάρια της εργασίας μας, παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 6.3-1: Αποτελέσματα προσομοίωσης για 12ωρη βροχή περιόδου επαναφοράς T=50 έτη



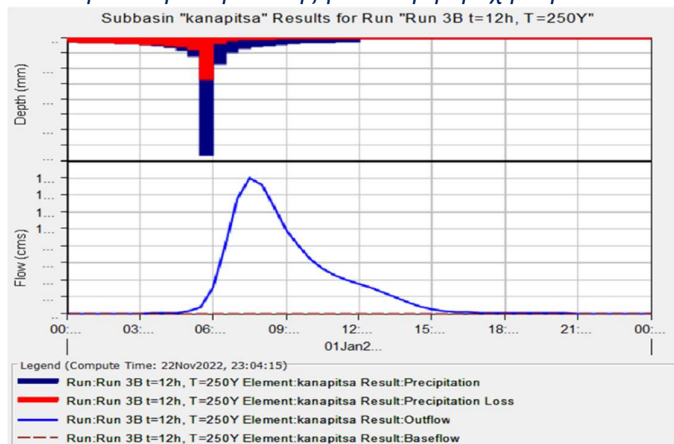
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct Flow m3/sec	Base Flow m3/sec	Total Flow m3/sec
0:00				0	0	0
0:30	1.62	1.62	0	0	0	0
1:00	1.73	1.73	0	0	0	0
1:30	1.9	1.9	0	0	0	0
2:00	2.02	2.02	0	0	0	0
2:30	2.22	2.22	0	0	0	0
3:00	2.46	2.46	0	0	0	0
3:30	2.79	2.79	0	0	0	0
4:00	3.24	3.24	0	0	0	0
4:30	3.92	3.87	0.05	0	0	0
5:00	5.1	4.64	0.46	0.2	0	0.2
5:30	7.78	6.28	1.5	1.2	0	1.2
6:00	51	26.45	24.55	11.6	0	11.6
6:30	11.36	3.8	7.56	36.5	0	36.5
7:00	6.1	1.85	4.25	66.2	0	66.2
7:30	4.42	1.26	3.16	80.2	0	80.2
8:00	3.54	0.97	2.57	78.4	0	78.4
8:30	2.99	0.79	2.2	65.8	0	65.8
9:00	2.61	0.67	1.94	52.8	0	52.8
9:30	2.33	0.58	1.75	43.2	0	43.2
10:00	2.11	0.52	1.59	35.7	0	35.7
10:30	1.94	0.47	1.47	30.1	0	30.1
11:00	1.76	0.41	1.35	25.8	0	25.8
11:30	1.67	0.39	1.28	22.5	0	22.5
12:00	1.57	0.36	1.21	20	0	20
12:30	0	0	0	17.6	0	17.6
13:00	0	0	0	14.7	0	14.7
13:30	0	0	0	11.1	0	11.1
14:00	0	0	0	7.7	0	7.7
14:30	0	0	0	4.9	0	4.9
15:00	0	0	0	3.1	0	3.1
15:30	0	0	0	2	0	2
16:00	0	0	0	1.2	0	1.2
16:30	0	0	0	0.8	0	0.8
17:00	0	0	0	0.5	0	0.5
17:30	0	0	0	0.3	0	0.3
18:00	0	0	0	0.2	0	0.2
18:30	0	0	0	0.1	0	0.1
19:00	0	0	0	0.1	0	0.1
19:30	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0
21:30	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0
22:30	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0
23:30	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 6.3-2: Αποτελέσματα προσομοίωσης για 12ωρη βροχή περιόδου επαναφοράς T=100 έτη



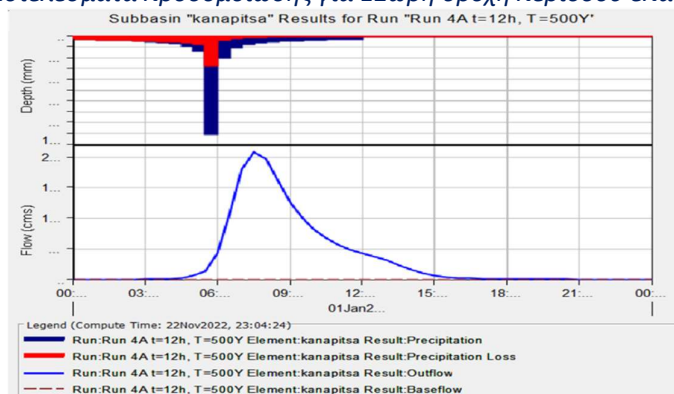
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct Flow m3/sec	Base Flow m3/sec	Total Flow m3/sec
0:00				0	0	0
0:30	1.93	1.93	0	0	0	0
1:00	2.06	2.06	0	0	0	0
1:30	2.26	2.26	0	0	0	0
2:00	2.4	2.4	0	0	0	0
2:30	2.63	2.63	0	0	0	0
3:00	2.93	2.93	0	0	0	0
3:30	3.31	3.31	0	0	0	0
4:00	3.85	3.82	0.03	0	0	0
4:30	4.66	4.3	0.36	0.2	0	0.2
5:00	6.06	5.06	1	0.8	0	0.8
5:30	9.25	6.73	2.52	2.9	0	2.9
6:00	60.65	27.07	33.58	17.9	0	17.9
6:30	13.5	3.72	9.78	52.1	0	52.1
7:00	7.26	1.8	5.46	91.8	0	91.8
7:30	5.25	1.22	4.03	109.6	0	109.6
8:00	4.21	0.93	3.28	105.8	0	105.8
8:30	3.56	0.76	2.8	87.8	0	87.8
9:00	3.11	0.65	2.46	69.9	0	69.9
9:30	2.77	0.56	2.21	56.7	0	56.7
10:00	2.51	0.49	2.02	46.5	0	46.5
10:30	2.31	0.45	1.86	39	0	39
11:00	2.09	0.4	1.69	33.2	0	33.2
11:30	1.99	0.37	1.62	28.9	0	28.9
12:00	1.87	0.34	1.53	25.5	0	25.5
12:30	0	0	0	22.4	0	22.4
13:00	0	0	0	18.6	0	18.6
13:30	0	0	0	14.1	0	14.1
14:00	0	0	0	9.8	0	9.8
14:30	0	0	0	6.2	0	6.2
15:00	0	0	0	3.9	0	3.9
15:30	0	0	0	2.5	0	2.5
16:00	0	0	0	1.6	0	1.6
16:30	0	0	0	1	0	1
17:00	0	0	0	0.6	0	0.6
17:30	0	0	0	0.4	0	0.4
18:00	0	0	0	0.2	0	0.2
18:30	0	0	0	0.1	0	0.1
19:00	0	0	0	0.1	0	0.1
19:30	0	0	0	0	0	0
20:00	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0
21:30	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0
22:30	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0
23:30	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 6.3-3: Αποτελέσματα προσομοίωσης για 12ωρη βροχή περιόδου επαναφοράς T=250 έτη



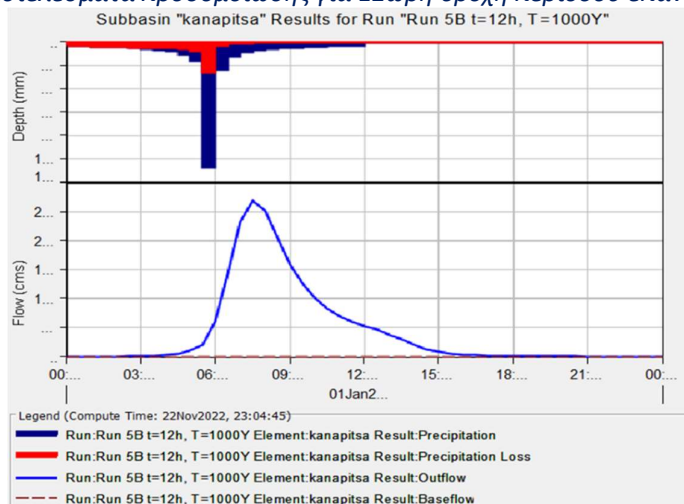
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct Flow m3/sec	Base Flow m3/sec	Total Flow m3/sec
0:00				0	0	0
0:30	2.43	2.43	0	0	0	0
1:00	2.59	2.59	0	0	0	0
1:30	2.84	2.84	0	0	0	0
2:00	3.02	3.02	0	0	0	0
2:30	3.31	3.31	0	0	0	0
3:00	3.68	3.68	0	0	0	0
3:30	4.17	4.11	0.06	0	0	0
4:00	4.84	4.4	0.44	0.2	0	0.2
4:30	5.86	4.82	1.04	1	0	1
5:00	7.62	5.56	2.06	3	0	3
5:30	11.63	7.23	4.4	7.3	0	7.3
6:00	76.27	27.3	48.97	30.2	0	30.2
6:30	16.98	3.55	13.43	80	0	80
7:00	9.13	1.69	7.44	136.4	0	136.4
7:30	6.6	1.14	5.46	160	0	160
8:00	5.29	0.87	4.42	152.4	0	152.4
8:30	4.47	0.71	3.76	125	0	125
9:00	3.91	0.6	3.31	98.5	0	98.5
9:30	3.49	0.52	2.97	79.2	0	79.2
10:00	3.16	0.46	2.7	64.5	0	64.5
10:30	2.9	0.41	2.49	53.7	0	53.7
11:00	2.63	0.36	2.27	45.4	0	45.4
11:30	2.5	0.34	2.16	39.3	0	39.3
12:00	2.35	0.31	2.04	34.5	0	34.5
12:30	0	0	0	30.2	0	30.2
13:00	0	0	0	25.1	0	25.1
13:30	0	0	0	18.9	0	18.9
14:00	0	0	0	13.1	0	13.1
14:30	0	0	0	8.3	0	8.3
15:00	0	0	0	5.2	0	5.2
15:30	0	0	0	3.3	0	3.3
16:00	0	0	0	2.1	0	2.1
16:30	0	0	0	1.3	0	1.3
17:00	0	0	0	0.8	0	0.8
17:30	0	0	0	0.5	0	0.5
18:00	0	0	0	0.3	0	0.3
18:30	0	0	0	0.2	0	0.2
19:00	0	0	0	0.1	0	0.1
19:30	0	0	0	0.1	0	0.1
20:00	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0
21:30	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0
22:30	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0
23:30	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 6.3-4: Αποτελέσματα προσομοίωσης για 12ωρη βροχή περιόδου επαναφοράς T=500 έτη



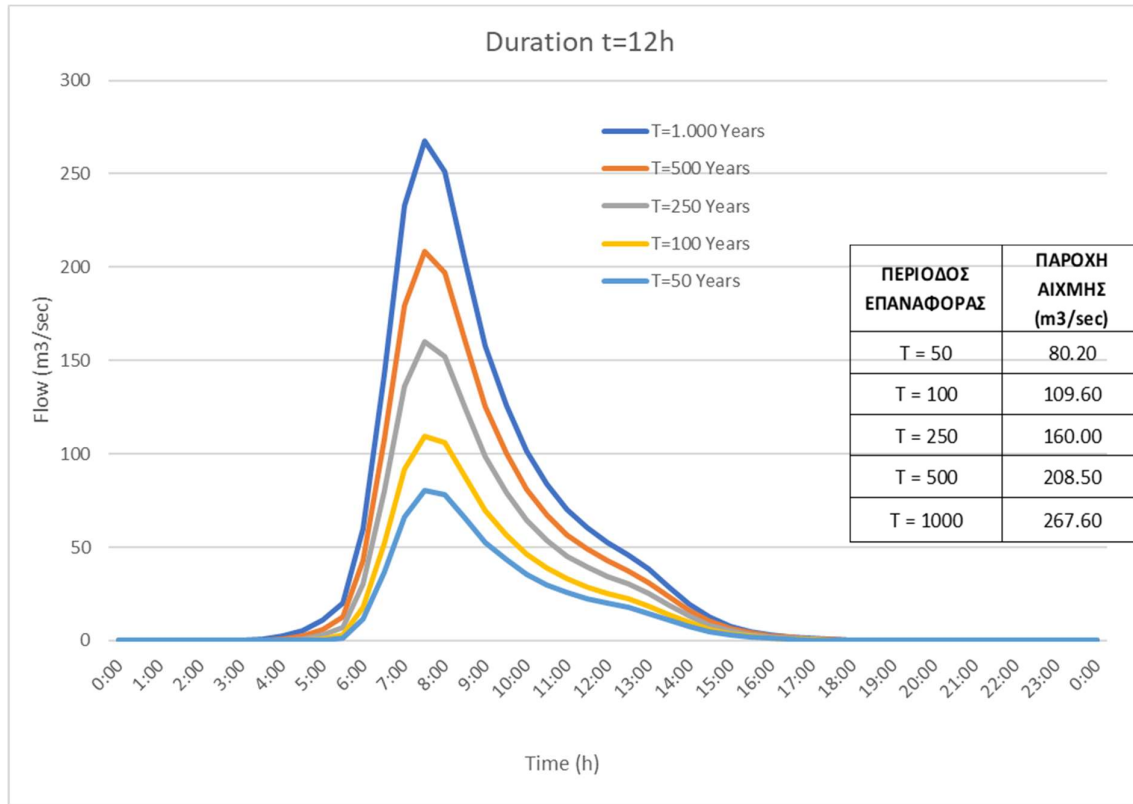
Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct Flow m3/sec	Base Flow m3/sec	Total Flow m3/sec
0:00				0	0	0
0:30	2.88	2.88	0	0	0	0
1:00	3.08	3.08	0	0	0	0
1:30	3.38	3.38	0	0	0	0
2:00	3.59	3.59	0	0	0	0
2:30	3.94	3.94	0	0	0	0
3:00	4.38	4.36	0.02	0	0	0
3:30	4.96	4.58	0.38	0.2	0	0.2
4:00	5.76	4.8	0.96	0.9	0	0.9
4:30	6.97	5.18	1.79	2.6	0	2.6
5:00	9.06	5.88	3.18	6.2	0	6.2
5:30	13.84	7.52	6.32	12.7	0	12.7
6:00	90.7	27.02	63.68	43.1	0	43.1
6:30	20.19	3.36	16.83	107.7	0	107.7
7:00	10.85	1.59	9.26	179.7	0	179.7
7:30	7.85	1.07	6.78	208.5	0	208.5
8:00	6.3	0.82	5.48	197	0	197
8:30	5.32	0.66	4.66	160.4	0	160.4
9:00	4.65	0.56	4.09	125.5	0	125.5
9:30	4.15	0.48	3.67	100.5	0	100.5
10:00	3.76	0.43	3.33	81.3	0	81.3
10:30	3.45	0.38	3.07	67.4	0	67.4
11:00	3.13	0.34	2.79	56.8	0	56.8
11:30	2.98	0.32	2.66	48.9	0	48.9
12:00	2.8	0.29	2.51	42.9	0	42.9
12:30	0	0	0	37.4	0	37.4
13:00	0	0	0	31	0	31
13:30	0	0	0	23.4	0	23.4
14:00	0	0	0	16.2	0	16.2
14:30	0	0	0	10.3	0	10.3
15:00	0	0	0	6.4	0	6.4
15:30	0	0	0	4.1	0	4.1
16:00	0	0	0	2.6	0	2.6
16:30	0	0	0	1.7	0	1.7
17:00	0	0	0	1	0	1
17:30	0	0	0	0.7	0	0.7
18:00	0	0	0	0.4	0	0.4
18:30	0	0	0	0.2	0	0.2
19:00	0	0	0	0.1	0	0.1
19:30	0	0	0	0.1	0	0.1
20:00	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0
21:30	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0
22:30	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0
23:30	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 6.3-5: Αποτελέσματα προσομοίωσης για 12ωρη βροχή περιόδου επαναφοράς T=1000 έτη



Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct Flow m3/sec	Base Flow m3/sec	Total Flow m3/sec
0:00				0	0	0
0:30	3.43	3.43	0	0	0	0
1:00	3.66	3.66	0	0	0	0
1:30	4.02	4.02	0	0	0	0
2:00	4.27	4.27	0	0	0	0
2:30	4.69	4.69	0	0	0	0
3:00	5.21	4.91	0.3	0.1	0	0.1
3:30	5.89	4.99	0.9	0.7	0	0.7
4:00	6.85	5.17	1.68	2.3	0	2.3
4:30	8.29	5.5	2.79	5.6	0	5.6
5:00	10.78	6.15	4.63	11.1	0	11.1
5:30	16.45	7.7	8.75	20.3	0	20.3
6:00	107.86	26.37	81.49	59.9	0	59.9
6:30	24.01	3.15	20.86	142.2	0	142.2
7:00	12.91	1.48	11.43	232.8	0	232.8
7:30	9.34	0.99	8.35	267.6	0	267.6
8:00	7.49	0.75	6.74	251	0	251
8:30	6.33	0.61	5.72	203.1	0	203.1
9:00	5.52	0.51	5.01	158	0	158
9:30	4.93	0.44	4.49	125.9	0	125.9
10:00	4.47	0.39	4.08	101.5	0	101.5
10:30	4.1	0.35	3.75	83.8	0	83.8
11:00	3.72	0.31	3.41	70.3	0	70.3
11:30	3.54	0.29	3.25	60.4	0	60.4
12:00	3.33	0.27	3.06	52.8	0	52.8
12:30	0	0	0	46	0	46
13:00	0	0	0	38.1	0	38.1
13:30	0	0	0	28.7	0	28.7
14:00	0	0	0	19.8	0	19.8
14:30	0	0	0	12.6	0	12.6
15:00	0	0	0	7.8	0	7.8
15:30	0	0	0	5	0	5
16:00	0	0	0	3.2	0	3.2
16:30	0	0	0	2	0	2
17:00	0	0	0	1.3	0	1.3
17:30	0	0	0	0.8	0	0.8
18:00	0	0	0	0.5	0	0.5
18:30	0	0	0	0.3	0	0.3
19:00	0	0	0	0.2	0	0.2
19:30	0	0	0	0.1	0	0.1
20:00	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0
21:30	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0
22:30	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0
23:30	0	0	0	0	0	0
0:00	0	0	0	0	0	0

Συγκριτικά τα πλημμυρογραφήματα των 5 εξεταζομένων σεναρίων, με τις αντίστοιχες παροχές αιχμής, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 6.3-1: Πλημμυρογραφήματα για βροχή διάρκειας 12h και περιόδους επαναφοράς 50, 100, 250, 500 και 1.000 έτη

7 ΔΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Τα βήματα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την προσομοίωση της διόδευσης των πλημμυρογραφημάτων στο HEC-RAS, για το τμήμα του ρέματος Αχαρνών (Καναπίτσα) από τη Λεωφ. Δεκελείας έως την εκβολή στον ποταμό Κηφισό, είναι τα ακόλουθα.

7.1 Εισαγωγή του άξονα ρέματος

Από το τοπογραφικό σχέδιο του ρέματος (που αποτελεί μέρος της μελέτης των νέων έργων διευθέτησης) απομονώθηκε ο άξονας του ρέματος και έγινε εξαγωγή αυτού σε αρχείο shape file (.shp). Το αρχείο αυτό φορτώθηκε στο νέο project που δημιουργήσαμε στο HEC RAS. Επιπρόσθετα, φορτώθηκε υπόβαθρο Google Earth για να ελεγχθεί και η προσαρμογή του άξονα, αλλά και των διατομών που θα δημιουργούνταν στη συνέχεια, ως προς την πραγματική εικόνα στο έδαφος.

Απόσπασμα του τοπογραφικού σχεδίου, που χρησιμοποιήθηκε για την απομόνωση του άξονα του ρέματος, παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:

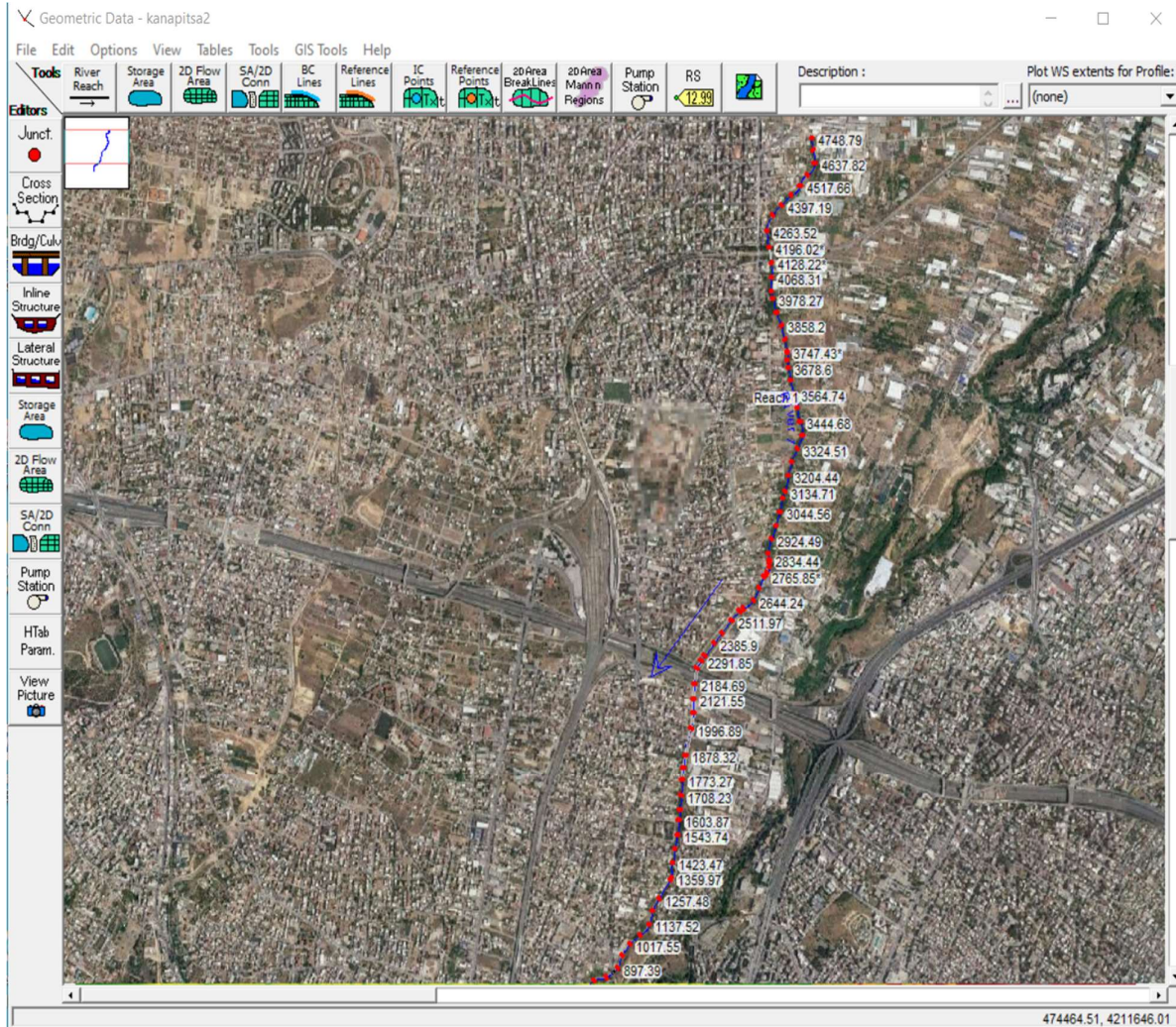


Σχήμα 7.1-1: Απόσπασμα τοπογραφικού σχεδίου ρέματος Αχαρνών (από τη μελέτη εφαρμογής των νέων αντιπλημμυρικών έργων)

7.2 Εισαγωγή διατομών ελέγχου

Μετά τη σχεδίαση του άξονα του ρέματος, έγινε εισαγωγή των διατομών ελέγχου στο μοντέλο HEC RAS. Η εισαγωγή των διατομών έγινε χειροκίνητα στο Cross Section Editor, μέσω της εντολής Options → Add a new Cross Section. Επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος δημιουργίας διατομών δεδομένου ότι για κάθε διατομή ελέγχου χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα των υπαρχόντων διατομών στα σχέδια της μελέτης, οπότε υπήρχαν ως δεδομένα τόσο η ακριβής χιλιομετρική θέση αυτής όσο και τα ακριβή

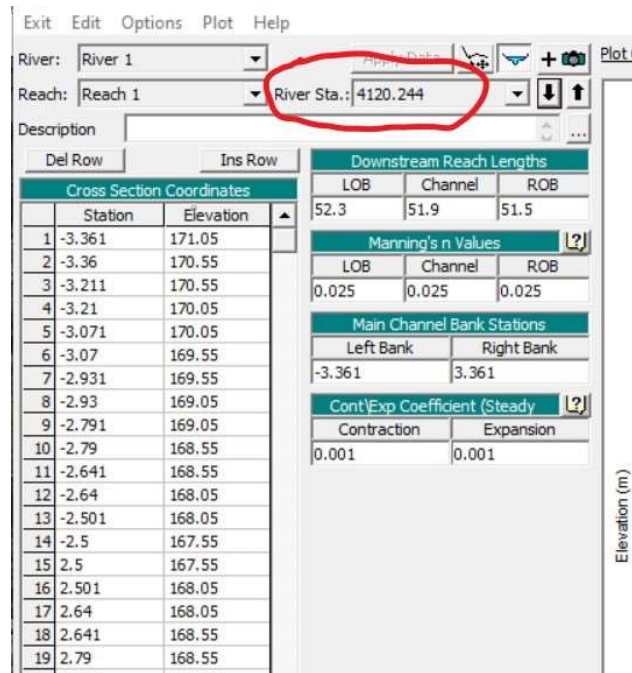
γεωμετρικά και τοπογραφικά δεδομένα αυτής ώστε να σχεδιαστεί στην τελική της θέση (μετά την ολοκλήρωση των έργων). Αντιθέτως, εάν χρησιμοποιούσαμε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, αυτό θα μας έδινε την τωρινή κατάσταση (προ διευθετήσεως) καθόσον τα έργα δεν έχουν ακόμη εκτελεσθεί. Η τελική οριζοντιογραφική εικόνα, μετά την εισαγωγή του άξονα και των διατομών στο μοντέλο, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 7.2-1: Γραμμή άξονα και διατομές του ρέματος Αχαρνών στο HEC RAS (υπόβαθρο Google Earth)

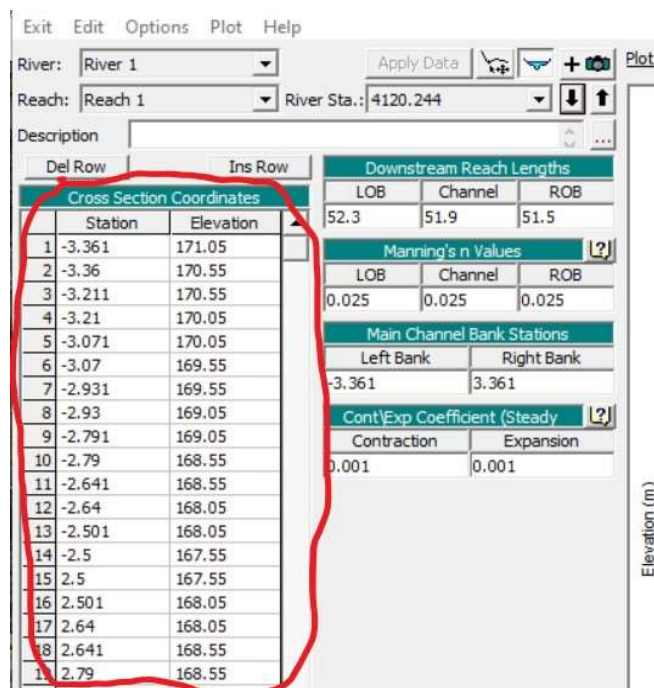
Οι διατομές, κατά τη δημιουργία και εισαγωγή τους στο μοντέλο απαιτούν την εισαγωγή των παρακάτω στοιχείων:

- Χιλιομετρική θέση (River Station). Είναι η απόσταση σε m της διατομής από το τελευταίο κατάντη σημείο της κοίτης στο μοντέλο



Εικόνα 7.2-2: Χιλιομετρική θέση διατομής

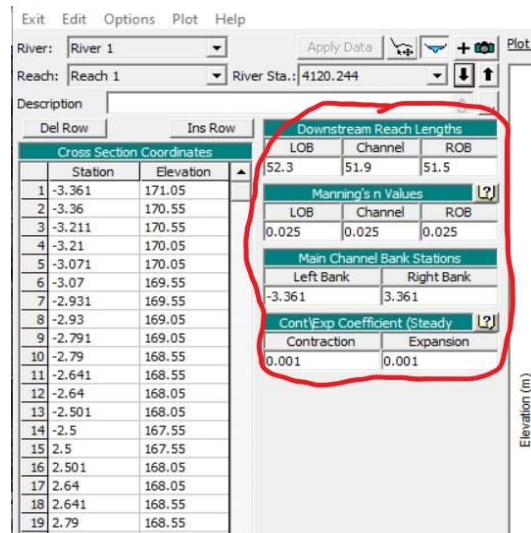
- *Συντεταγμένες (Cross Section Coordinates)*. Είναι η σχετική θέση του κάθε σημείου ως προς τον άξονα (station) και το απόλυτο υψόμετρο του σημείου αυτού (elevation)



Εικόνα 7.2-3: Συντεταγμένες διατομής

- *Πρόσθετα στοιχεία όπως:*
 - Απόσταση από την επόμενη κατάντη διατομή (Downstream Reach Length) τόσο στον άξονα όσο και στις όχθες αριστερά και δεξιά (LOB, Channel, ROB)
 - Αντίστοιχες τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning (Manning's Values)
 - Σχετικές θέσεις των άνω ορίων της διατομής στις όχθες (Main Channel Bank Stations)

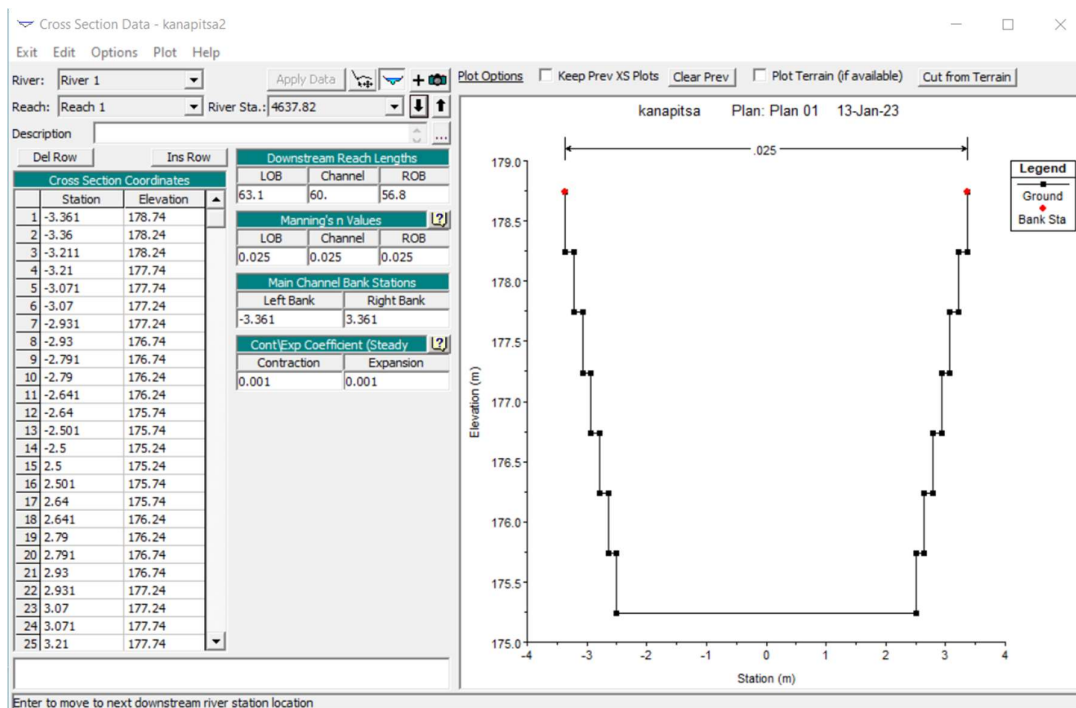
iv) Συντελεστές στένωσης και διεύρυνσης (Contraction/Expansion Coefficient)



Εικόνα 7.2-4: Επιπλέον χαρακτηριστικά δεδομένα διατομής

Όλες οι παραπάνω απαιτούμενες πληροφορίες ελήφθησαν, σε ό,τι αφορά σε συντεταγμένες και γεωμετρικά στοιχεία, από τα σχέδια (τοπογραφικών και διατομών) της μελέτης εφαρμογής, ενώ σε ό,τι αφορά σε λοιπές παραμέτρους του μοντέλου (συντελεστές Manning, στένωσης & διεύρυνσης) χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από τα αρχεία μελετών του γραφείου Z & A Π. ΑΝΤΩΝΑΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε. όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 5.

Η τελική εικόνα μιας διατομής (ενδεικτικά για μια διατομή σε περιοχή διευθέτησης με επένδυση συρματοκιβωτίων) μετά τη δημιουργία της μέσω της ανωτέρω περιγραφείσας διαδικασίας, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



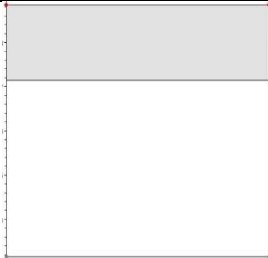
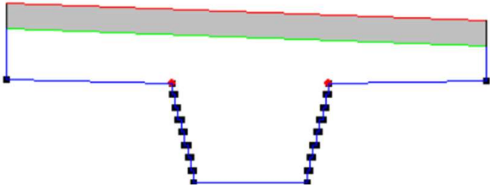


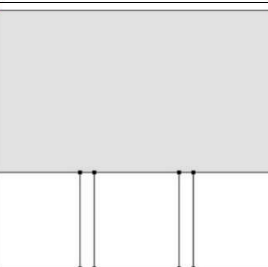
Εικόνα 7.2-5: Τελική μορφή διατομής





7.3 Τεχνικά έργα και οχετοί

Όσα τμήματα του ρέματος είναι κλειστά (κλειστοί οχετοί όπου πάνω από αυτούς διέρχονται δρόμοι) ή και όπου αλλού πρόκειται να κατασκευαστεί τεχνικό για τη διέλευση κάποιας οδού, αυτά τα σημεία και τμήματα προσομοιώθηκαν αντίστοιχα, με βάση τις διαστάσεις τους από τα κατασκευαστικά σχέδια, αλλά και τα τοπογραφικά δεδομένα ως προς τη στάθμη εδάφους άνωθεν αυτών.

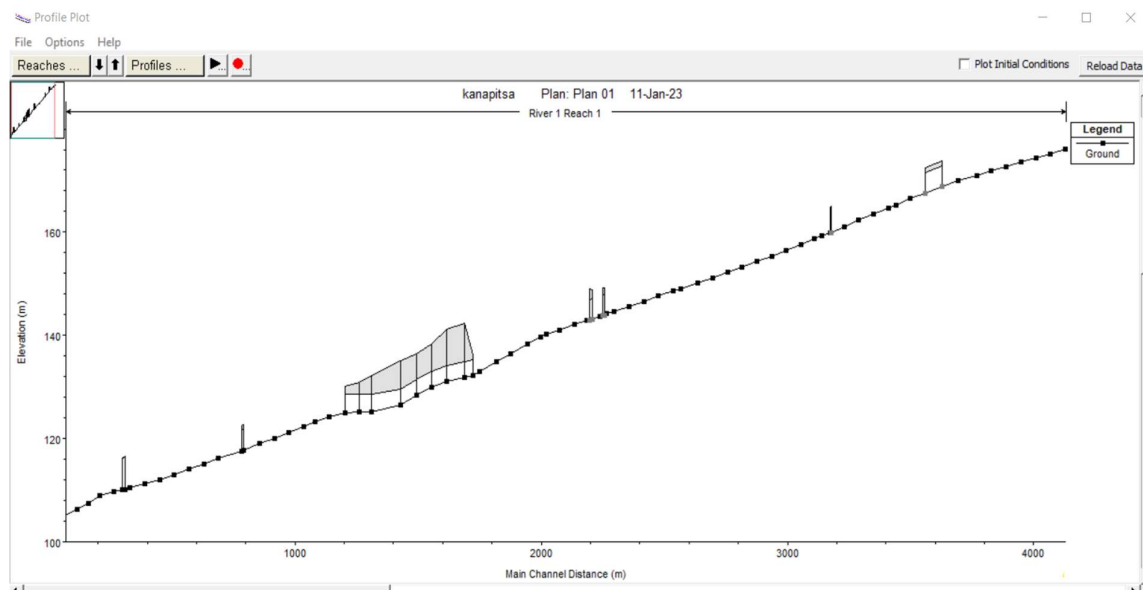
Μετά την ολοκλήρωση της μοντελοποίησης των οχετών και τεχνικών διαβάσεων, προέκυψαν οι διατομές που φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 7.3-1: Προσομοίωση τεχνικών έργων του μοντέλου HEC-RAS 1D

Τοποθεσία	Προσομοίωση τεχνικού (HEC-RAS 1D/2D)
Κλειστός ορθογωνικός οχετός κάτω από οδό Σκρα και Λέσβου (Χ.Θ από 00.00 έως 494.00)	
Γέφυρα Οδού Φιλαδελφείας (Χ.Θ από 866.40 έως 878.10)	
Τεχνικό για διέλευση Οδού 25ης Μαρτίου (Χ.Θ από 1351.50 έως 1360.90)	
Κατάντη κλειστό τμήμα διέλευσης Αττικής Οδού (απλό ορθογωνικό) (Χ.Θ από 1766.80 έως 1996.70)	
Ανάτη κλειστό τμήμα διέλευσης Αττικής Οδού (τρίδυμο ορθογωνικό) (Χ.Θ από 1996.70 έως 2299.70)	

<p>Τεχνικό για διέλευση Λεωφ. Ιωνίας (Χ.Θ από 2768.80 έως 2778.90)</p>		
<p>Τεχνικό για διέλευση Οδού Παλαιολόγου (Χ.Θ από 2820.40 έως 2825.40)</p>		
<p>Τεχνικό για διέλευση Οδού Αγίου Φανουρίου (Χ.Θ από 3742.60 έως 3748.10)</p>		
<p>Κλειστός ορθογωνικός οχετός για τη διέλευση των οδών Σπ. Βρεττού – Γραμμών Ο.Σ.Ε. – Αγ. Κωνσταντίνου (Χ.Θ από 4129.90 έως 4196.00)</p>		

Μετά την ολοκλήρωση του μοντέλου με την εισαγωγή των τεχνικών έργων και κλειστών οχετών, η μηκοτομή του ρέματος στο μοντέλο HEC-RAS εμφανίζει την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 7.3-1: Η μηκοτομή του ρέματος στο μοντέλο HEC-RAS

8 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

8.1 Εισαγωγή

Η εκτέλεση των υδραυλικών υπολογισμών είναι ένα σενάριο προσομοίωσης, όπου στο δεδομένο γεωμετρικό μοντέλο του ρέματος εφαρμόζεται ένα συγκεκριμένο σενάριο υδατοπαροχής (παροχή νερού, διάρκεια, οριακές συνθήκες) και ελέγχεται η κίνηση του νερού εντός του ρέματος, δηλαδή αν παροχετεύεται εντός ή εάν πλημμυρίζει και σε τέτοια περίπτωση διερευνάται η θέση και η έκταση της πλημμύρας. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εξετάστηκαν πέντε (5) διαφορετικά σενάρια τα οποία αφορούσαν μη μόνιμη ροή (unsteady flow) με διάρκεια προσομοίωσης 24 ώρες. Σε όλα τέθηκαν ως οριακές συνθήκες για ανάντη Υδρογράφημα (Flow Hydrograph) και για κατάντη Ομοιόμορφο Βάθος (Normal Depth). Αυτό που διαφοροποιούνταν σε κάθε ένα σενάριο ήταν το υδρογράφημα εισόδου, όπου χρησιμοποιήθηκαν τα υδρογραφήματα που είχαν παραχθεί από την υδρολογική προσομοίωση (βλέπε Κεφάλαιο 6.3 Υδρολογικοί υπολογισμοί – αποτελέσματα) για περιόδους επαναφοράς $T = 50, 100, 250, 500$ και 1.000 έτη.

8.2 Υδραυλικοί υπολογισμοί και σχολιασμός τους

8.2.1 Σενάριο Α' για $T = 50$ έτη

Στο σενάριο αυτό η παροχή του νερού, στις διάφορες διατομές κατά μήκος της κοίτης του ρέματος, κυμάνθηκε περί τα $80 \text{ m}^3/\text{sec}$.

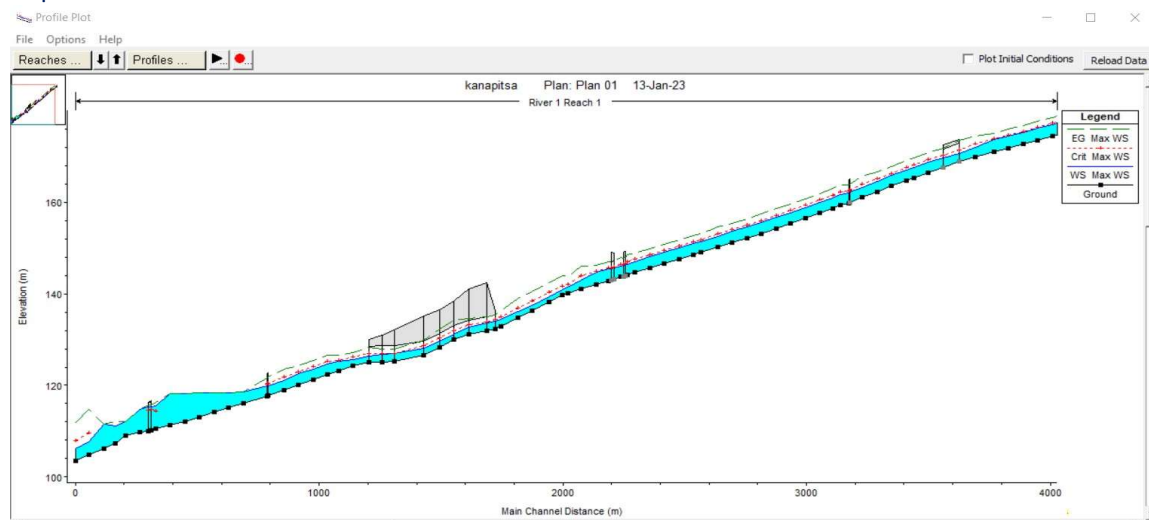
Αντίστοιχα, οι ταχύτητες ροής που εμφανίστηκαν, κυμαίνονταν από $4,35 \text{ m/sec}$ έως $7,83 \text{ m/sec}$.

Οι χαμηλότερες ταχύτητες εμφανίστηκαν στο τμήμα από Χ.Θ. 1840 έως Χ.Θ. 1890 περίπου, το οποίο βρίσκεται στο τελευταίο κλειστό τμήμα (κιβωτοειδές ορθογωνικής διατομής) του τεχνικού διέλευσης της Αττικής Οδού. Το τμήμα αυτό έχει και τη μικρότερη κλίση σε όλη την κοίτη του ρέματος.

Οι υψηλότερες ταχύτητες εμφανίστηκαν στο τμήμα από Χ.Θ. 2500 έως Χ.Θ. 2640 περίπου, το οποίο είναι το τελευταίο ανοικτό τμήμα ανάντη της εισόδου στο τεχνικό διέλευσης της Αττικής Οδού.

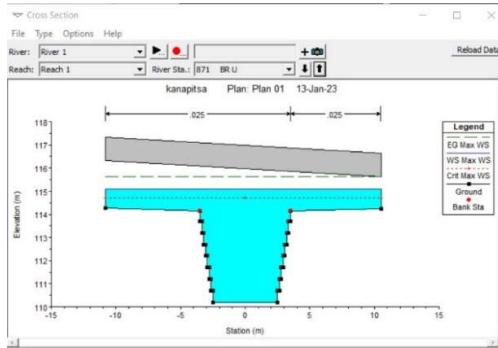
Το βάθος ροής σε όλα τα τμήματα ανοικτής διατομής δεν ξεπέρασε πουθενά τα $3,30 \text{ m}$ και έτσι το σύνολο του νερού παροχετεύτηκε ικανοποιητικά σε όλο το μήκος της ανοικτής και διευθετημένης με συρματοκιβώτια κοίτης, αφού το ύψος στέψης αυτών κυμαίνεται από $3,50 \text{ m}$ έως $4,00 \text{ m}$.

Η εικόνα της μηκοτομής κατά το χρόνο παρατήρησης του μέγιστου βάθους ροής παρουσιάζεται παρακάτω:

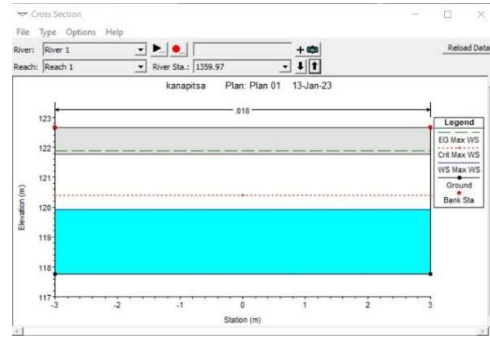


Εικόνα 8.2-1: Προφίλ μέγιστου βάθους ροής κατά μήκος του ρέματος ($T=50Y$)

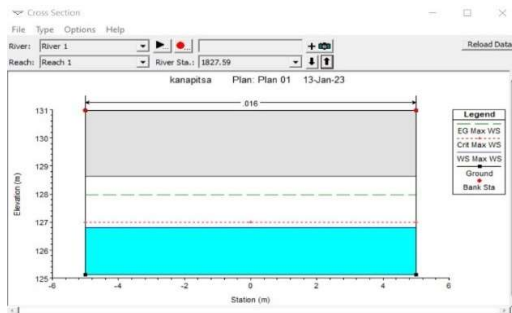
Επίσης, σε όλες τις γέφυρες, τα τεχνικά και τα τμήματα κλειστών οχετών, το σύνολο του νερού παροχετεύτηκε πολύ ικανοποιητικά, όπως μπορεί να φανεί από τις προσομοιωμένες διατομές στα σημεία εκείνα, όπου απεικονίζεται το μέγιστο παρατηρηθέν βάθος ροής.



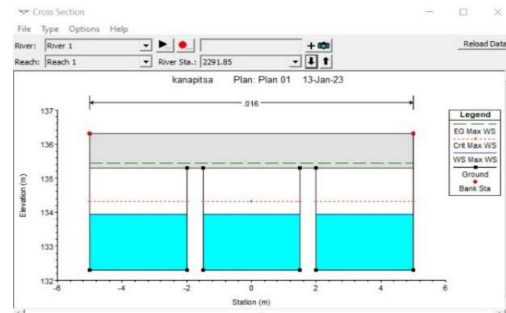
Οδός Φιλαδελφείας



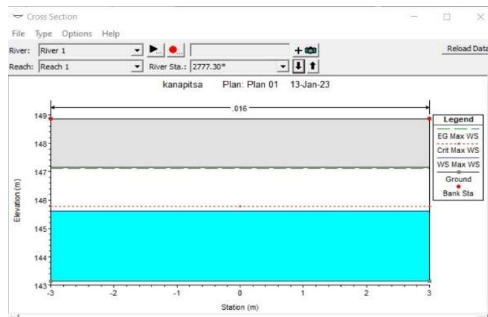
Οδός 25ης Μαρτίου



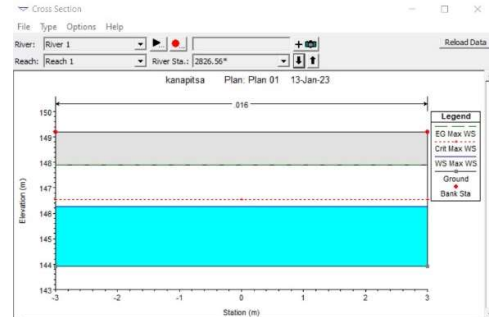
Αττική Οδός (κάτω)



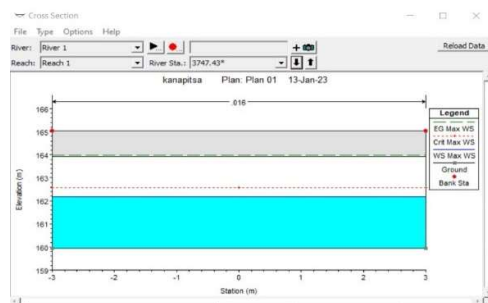
Αττική Οδός (άνω)



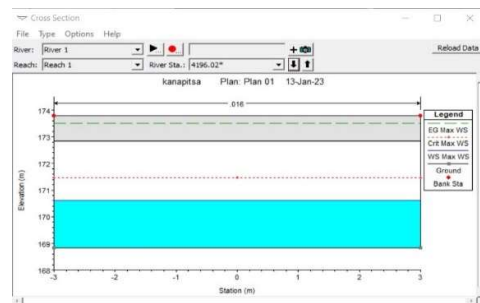
Λεωφόρος Ιωνίας



Οδός Παλαιολόγου



Οδός Αγίου Φανουρίου



Οχετός Σπ. Βρεττού - γραμμών ΟΣΕ – Αγ. Κωνσταντίνου

Εικόνα 8.2-2: Διατομές τεχνικών, γεφυρών και οχετών (T=50Y)

Πιο αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ροής σε κάθε επί μέρους τμήμα του ρέματος, καθώς και η αντίστοιχη κατά περίπτωση επάρκεια παροχέτευσης, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 8.2-1: Χαρακτηριστικά μεγέθη ροής (T=50Y)

ΤΜΗΜΑ (Χ.Θ.)		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /sec)		ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ (m)		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Από	Έως		min	max	min	max	
4,749.00	4,196.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	80.13	80.18	2.07	2.63	Επαρκές
4,196.00	4,129.90	Κλειστός κιβωτοειδής οχετός Διέλευση γραμμών ΟΣΕ Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	80.13	80.14	1.77	2.06	Επαρκές
4,129.90	3,748.10	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	80.12	80.13	2.06	2.31	Επαρκές
3,748.10	3,742.60	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Αγ. Φανουρίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	80.12	80.12	2.24	2.29	Επαρκές
3,742.60	2,825.39	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	80.09	80.12	2.29	2.46	Επαρκές
2,825.39	2,820.39	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Παλαιολόγου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	80.09	80.09	2.37	2.39	Επαρκές
2,820.39	2,778.93	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 4.50 m	80.09	80.09	2.40	2.46	Επαρκές
2,778.93	2,768.83	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση Λεωφ. Ιωνίας Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	80.08	80.08	2.46	2.54	Επαρκές
2,768.83	2,610.27	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	80.08	80.08	1.89	2.54	Επαρκές
2,610.27	2,580.27	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 9.40 X 3.50 m	80.08	80.08	1.25	1.89	Επαρκές
2,580.27	2,299.68	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα (τρίδυμη) Άνοιγμα (3 X 3.00) X 4.00 m	80.08	80.08	1.14	1.43	Επαρκές
2,299.68	1,996.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα (τρίδυμος) Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα (3 X 3.00) X 3.00 m	80.07	80.08	1.16	1.65	Επαρκές
1,996.68	1,956.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	80.07	80.07	1.56	1.84	Επαρκές

1,956.68	1,766.80	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 3.00 m	80.06	80.07	1.69	1.84	Επαρκές
1,766.80	1,646.70	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	80.06	80.06	1.45	2.08	Επαρκές
1,646.70	1,360.87	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	80.06	80.06	2.08	2.38	Επαρκές
1,360.87	1,351.52	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδ. 25ης Μαρτίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	80.05	80.05	2.13	2.21	Επαρκές
1,351.52	877.15	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	80.05	80.19	2.21	3.34	Επαρκές
877.15	864.80	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Γέφυρα οδού Φιλαδελφείας Ύψος στέψης 4.00 m	80.19	80.55	3.02	3.40	Επαρκές
864.80	749.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	80.41	80.77	3.22	3.45	Επαρκές
749.00	494.00	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	80.56	80.77	2.96	3.27	Επαρκές
494.00	0.00	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Κάτωθεν οδού Σκρα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	80.60	80.77	3.04	3.27	Επαρκές

8.2.2 Σενάριο Β' για T = 100 έτη

Στο σενάριο αυτό η παροχή του νερού, στις διάφορες διατομές κατά μήκος της κοίτης του ρέματος, κυμάνθηκε λίγο κάτω από τα 110 m³/sec.

Αντίστοιχα, οι ταχύτητες ροής που εμφανίστηκαν, κυμαίνονταν από 4,96 m/sec έως 8,65 m/sec.

Οι χαμηλότερες ταχύτητες εμφανίστηκαν, ξανά, στο τμήμα από Χ.Θ. 1840 έως Χ.Θ. 1890 περίπου, το οποίο βρίσκεται στο τελευταίο κλειστό τμήμα (κιβωτοειδές ορθογωνικής διατομής) του τεχνικού διέλευσης της Αττικής Οδού.

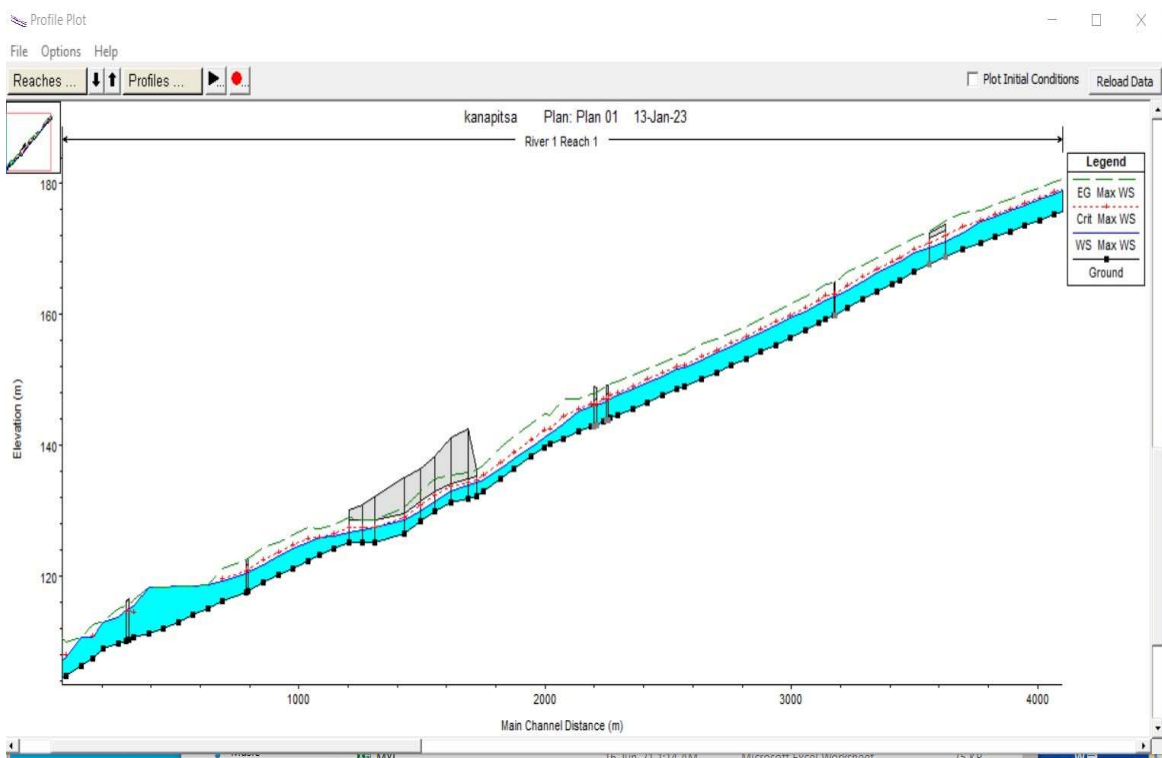
Οι υψηλότερες ταχύτητες εμφανίστηκαν και πάλι στο τμήμα από Χ.Θ. 2500 έως Χ.Θ. 2640 περίπου, το οποίο είναι το τελευταίο ανοικτό τμήμα ανάντη της εισόδου στο τεχνικό διέλευσης της Αττικής Οδού.

Το βάθος ροής στα τμήματα ανοικτής διατομής (διευθετημένης με συρματοκιβώτια) που έχουν ύψος στέψης 3,50 m δεν ξεπέρασε πουθενά τα 3,40 m και έτσι το σύνολο του νερού παροχετεύτηκε σχετικώς ικανοποιητικά σε όλο το μήκος του τμήματος αυτού.

Όμως, παρατηρήθηκαν βάθη ροής 4,00 – 4,10 m στο τμήμα από Χ.Θ. 773 έως Χ.Θ. 871, που σημαίνει ότι εκεί το νερό υπερχειλίζει οριακά τα συρματοκιβώτια (στο τμήμα αυτό το ύψος των συρματοκιβωτίων είναι 4,00 m). Το τμήμα αυτό βρίσκεται αμέσως κατάντη της γέφυρας της οδού Φιλαδελφείας και η περιοχή εκατέρωθεν αυτού είναι σχετικώς αδόμητη (χέρσα οικόπεδα). Εξωτερικά από το όριο της στέψης των συρματοκιβωτίων και έως τη γραμμή οριοθέτησης, το φυσικό έδαφος υπερυψώνεται σημαντικά οπότε εκτιμάται ότι το νερό που θα υπερπηδήσει τη στέψη θα κρατηθεί

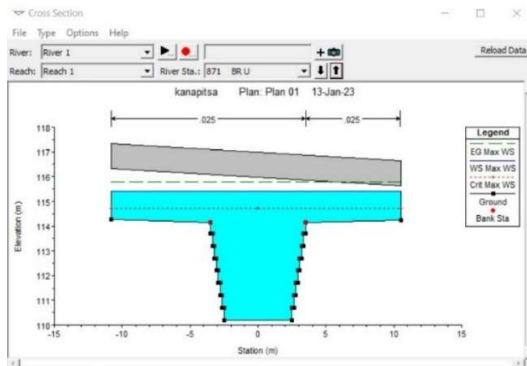
εντός της “διευρυμένης” κοίτης και δεν θα δημιουργήσει πλημμυρική ροή προς την αστική περιοχή, άρα ο δυνητικός πλημμυρικός κίνδυνος, σε ένα τέτοιο σενάριο, εκτιμάται ως πάρα πολύ μικρός.

Η εικόνα της μηκοτομής κατά το χρόνο παρατήρησης του μέγιστου βάθους ροής παρουσιάζεται παρακάτω:

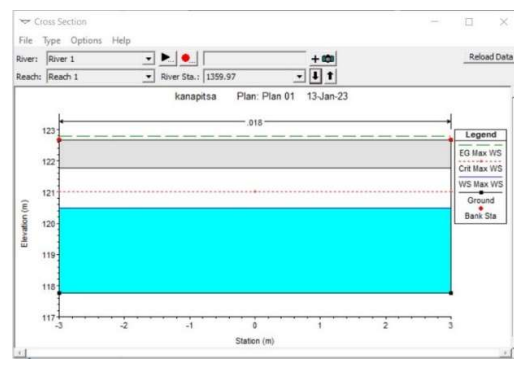


Εικόνα 8.2-3: Προφίλ μέγιστου βάθους ροής κατά μήκος του ρέματος ($T=100Y$)

Επίσης, σε όλες τις γέφυρες, τα τεχνικά και τα τμήματα κλειστών οχετών, το σύνολο του νερού παροχετεύτηκε ικανοποιητικά, όπως μπορεί να φανεί από τις προσομοιωμένες διατομές στα σημεία εκείνα, όπου απεικονίζεται το μέγιστο παρατηρηθέν βάθος ροής.

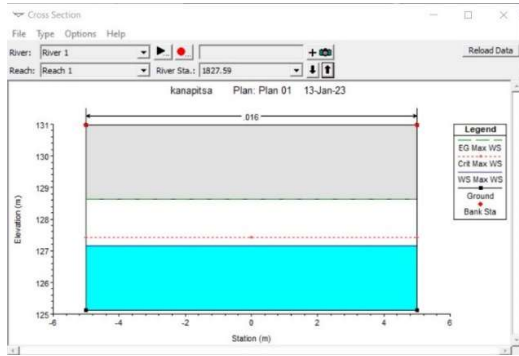


Οδός Φιλαδελφείας

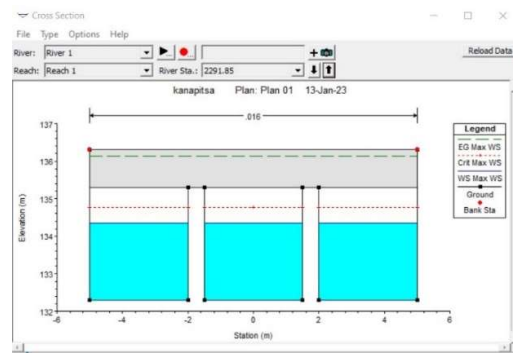


Οδός 25ης Μαρτίου

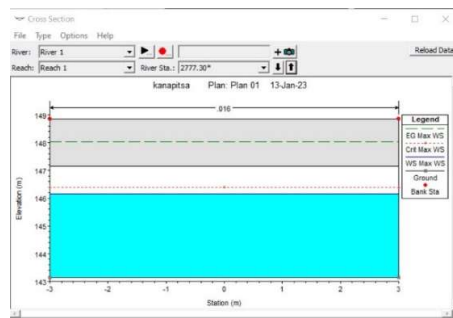
ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΡΕΜΑ ΑΧΑΡΝΩΝ



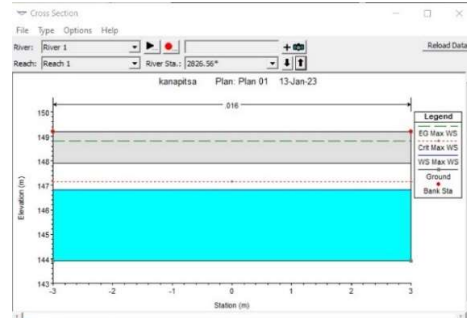
Αττική Οδός (κάτω)



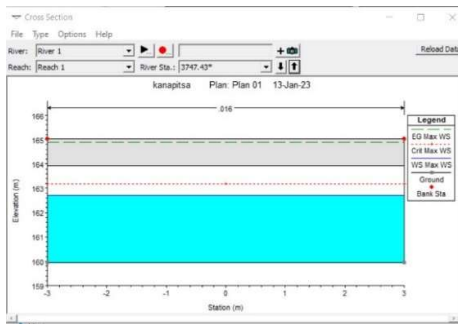
Αττική Οδός (άνω)



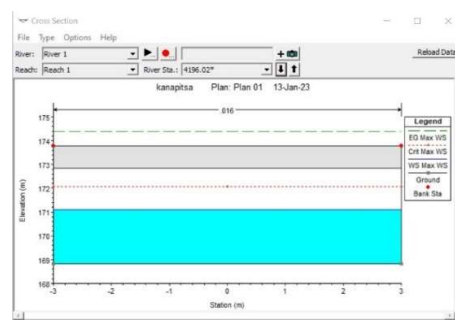
Λεωφόρος Ιωνίας



Οδός Παλαιόλογου



Οδός Αγίου Φανουρίου



Οχετός Σπ. Βρεττού - γραμμών ΟΣΕ - Αγ. Κωνσταντίνου

Εικόνα 8.2-4: Διατομές τεχνικών, γεφυρών και οχετών ($T=100Y$)

Πιο αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ροής σε κάθε επί μέρους τμήμα του ρέματος, καθώς και η αντίστοιχη κατά περίπτωση επάρκεια παροχέτευσης, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 8.2-2: Χαρακτηριστικά μεγέθη ροής ($T=100Y$)

ΤΜΗΜΑ (Χ.Θ.)		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /sec)		ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ (m)		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Από	Έως		min	max	min	max	
4,749.00	4,196.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	109.49	109.57	2.55	3.18	Επαρκές
4,196.00	4,129.90	Κλειστός κιβωτοειδής οχετός Διέλευση γραμμών ΟΣΕ Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	109.48	109.48	2.28	2.60	Επαρκές

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΡΕΜΑ ΑΧΑΡΝΩΝ

4,129.90	3,748.10	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	109.46	109.47	2.64	2.82	Επαρκές
3,748.10	3,742.60	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Αγ. Φανουρίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	109.45	109.45	2.79	2.84	Επαρκές
3,742.60	2,825.39	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	109.39	109.45	2.79	3.02	Επαρκές
2,825.39	2,820.39	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Παλαιολόγου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	109.39	109.39	2.91	2.93	Επαρκές
2,820.39	2,778.93	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 4.50 m	109.39	109.39	2.94	3.01	Επαρκές
2,778.93	2,768.83	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση Λεωφ. Ιωνίας Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	109.39	109.39	3.01	3.08	Επαρκές
2,768.83	2,610.27	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	109.39	109.39	3.06	3.08	Επαρκές
2,610.27	2,580.27	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 9.40 X 3.50 m	109.39	109.39	1.54	2.29	Επαρκές
2,580.27	2,299.68	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα (τρίδυμη) Άνοιγμα (3 X 3.00) X 4.00 m	109.38	109.39	1.44	1.84	Επαρκές
2,299.68	1,996.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα (τρίδυμος) Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα (3 X 3.00) X 3.00 m	109.37	109.38	1.48	2.06	Επαρκές
1,996.68	1,956.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	109.36	109.37	2.04	2.84	Επαρκές
1,956.68	1,766.80	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 3.00 m	109.35	109.36	1.68	2.04	Επαρκές
1,766.80	1,646.70	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	109.34	109.35	1.92	2.63	Επαρκές
1,646.70	1,360.87	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	109.34	109.34	2.66	2.89	Επαρκές
1,360.87	1,351.52	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού 25ης Μαρτίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	109.33	109.34	2.72	2.79	Επαρκές
1,351.52	877.15	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	109.33	109.33	3.03	3.84	Επαρκές

877.15	864.80	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Γέφυρα οδού Φιλαδελφείας Ύψος στέψης 4.00 m	109.34	109.34	3.95	4.02	Οριακό
864.80	749.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	109.34	109.84	3.82	4.10	Οριακό
749.00	494.00	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	109.65	109.84	3.37	3.55	Επαρκές
494.00	0.00	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Κάτωθεν οδού Σκρα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	109.72	109.86	3.42	3.55	Επαρκές

8.2.3 Σενάριο Γ' για T = 250 έτη

Στο σενάριο αυτό η παροχή του νερού, στις διάφορες διατομές κατά μήκος της κοίτης του ρέματος, κυμάνθηκε λίγο κάτω από τα 160 m³/sec.

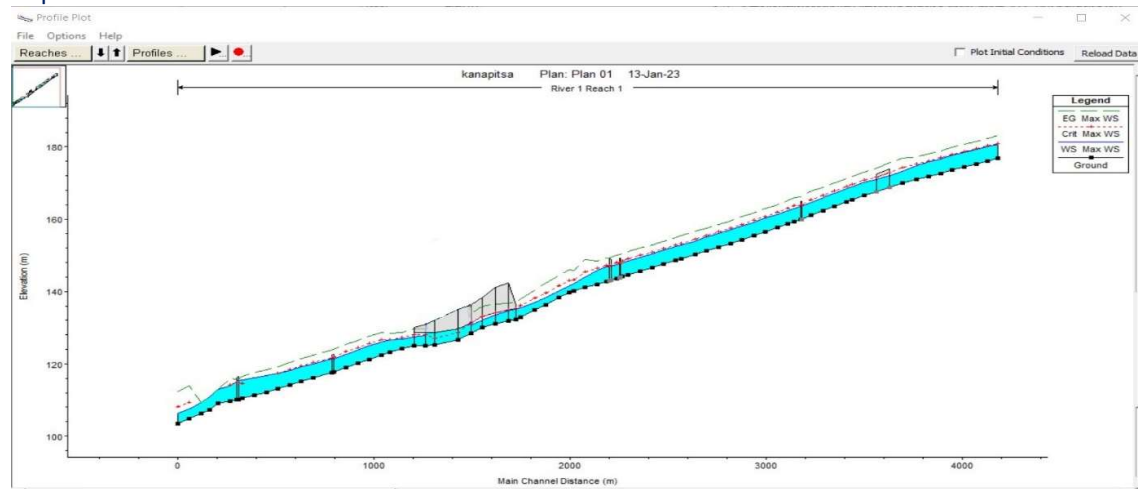
Αντίστοιχα, οι ταχύτητες ροής που εμφανίστηκαν, κυμαίνονταν από 5,60 m/sec έως 9,70 m/sec.

Οι χαμηλότερες ταχύτητες εμφανίστηκαν, και πάλι, στο τμήμα γύρω από τη Χ.Θ. 1840 έως Χ.Θ. 1890 περίπου, ενώ οι υψηλότερες ταχύτητες εμφανίστηκαν ξανά στο τμήμα από Χ.Θ. 2500 έως Χ.Θ. 2640 περίπου.

Το βάθος ροής στα περισσότερα τμήματα ανοικτής διατομής (διευθετημένης με συρματοκιβώτια) ξεπέρασε το αντίστοιχο ύψος στέψης και έτσι εμφανίστηκαν σημαντικές υπερχειλίσεις. Πιο συγκεκριμένα, υπερχειλίζουν τα κάτωθι τμήματα:

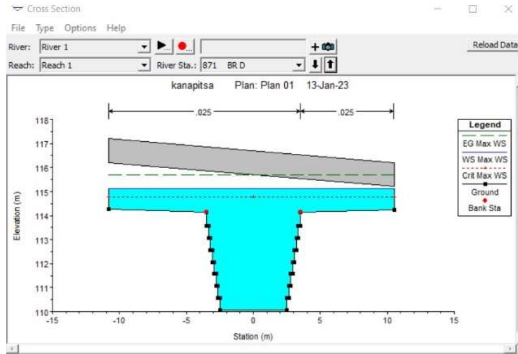
- Από Χ.Θ. 4750 έως Χ.Θ. 4340 – τμήμα κατάντη Λεωφ, Δεκελείας
- Από Χ.Θ. 4125 έως Χ.Θ. 3754 – τμήμα από κατάντη του κλειστού οχετού διέλευσης Σπ. Βρεττού-γραμμών ΟΣΕ-Αγ. Κωνσταντίνου έως το τεχνικό διέλευσης της Οδού Αγίου Φανουρίου
- Από Χ.Θ. 3680 έως Χ.Θ. 3200 – το τμήμα αυτό διέρχεται, στο μεγαλύτερο μέρος του, μέσα από αδόμητες περιοχές (χέρσα οικόπεδα), ενώ περί τη Χ.Θ. 3500 προβλέπεται μελλοντικά η κατασκευή γέφυρας που θα συνδέσει τις εκατέρωθεν περιοχές.
- Από Χ.Θ. 1137 έως Χ.Θ. 871 – τμήμα ανάντη της γέφυρας της οδού Φιλαδελφείας

Η εικόνα της μηκοτομής κατά το χρόνο παρατήρησης του μέγιστου βάθους ροής παρουσιάζεται παρακάτω:

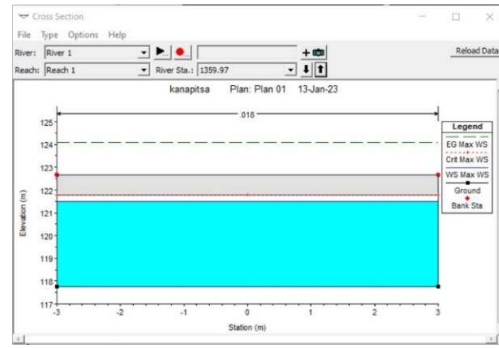


Εικόνα 8.2-5: Προφίλ μέγιστου βάθους ροής κατά μήκος του ρέματος (T=250Y)

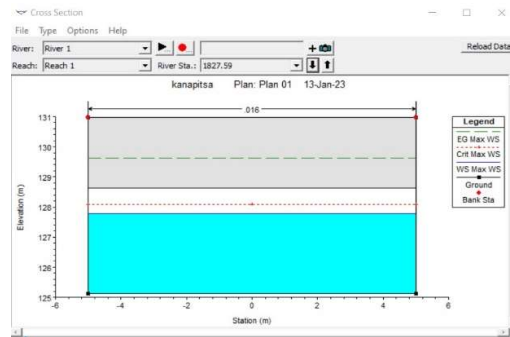
Επίσης, σε όλες τις γέφυρες, τα τεχνικά και τα τμήματα κλειστών οχετών, το σύνολο του νερού παροχετεύτηκε αλλά όμως πολύ οριακά, όπως μπορεί να φανεί από τις προσομοιωμένες διατομές στα σημεία εκείνα, όπου απεικονίζεται το μέγιστο παρατηρηθέν βάθος ροής. Δυσμενέστερη περίπτωση αποτελεί το τεχνικό διέλευσης της Λεωφόρου Ιωνίας.



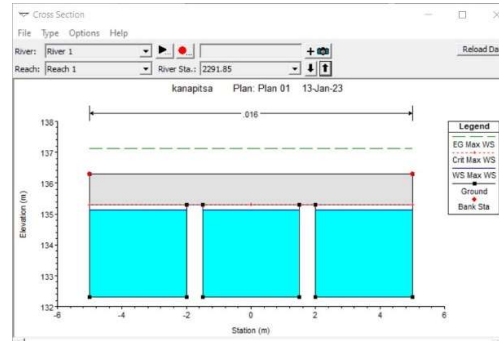
Οδός Φιλαδελφίας



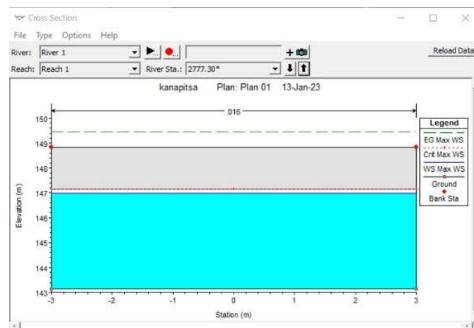
Οδός 25ης Μαρτίου



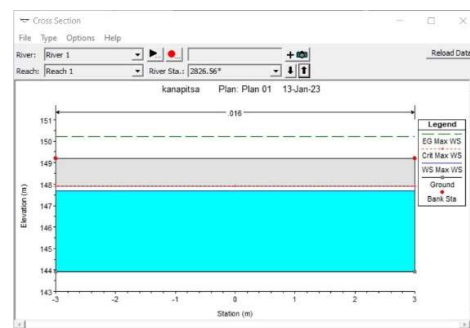
Αττική Οδός (κάτω)



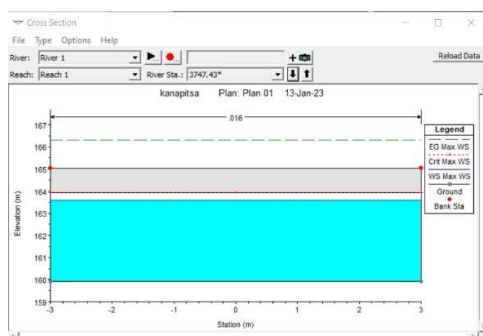
Αττική Οδός (άνω)



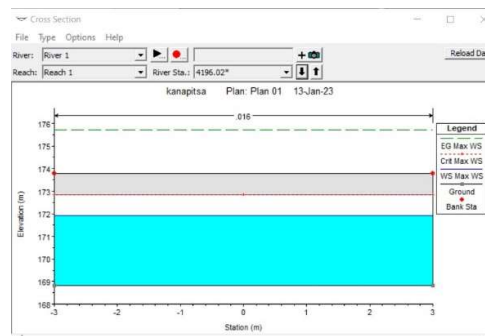
Λεωφόρος Ιωνίας



Οδός Παλαιολόγου



Οδός Αγίου Φανουρίου



Οχετός Σπ. Βρεττού-γραμμών ΟΣΕ-Αγ. Κωνσταντίνου

Εικόνα 8.2-6: Διατομές τεχνικών, γεφυρών και οχετών (T=250Y)

Πιο αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ροής σε κάθε επί μέρους τμήμα του ρέματος, καθώς και η αντίστοιχη κατά περίπτωση επάρκεια παροχέτευσης, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 8.2-3: Χαρακτηριστικά μεγέθη ροής (T=250Y)

ΤΜΗΜΑ (Χ.Θ.)		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /sec)		ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ (m)		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Από	Έως		min	max	min	max	
4,749.00	4,196.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	159.80	159.95	3.30	4.04	Ανεπαρκές
4,196.00	4,129.90	Κλειστός κιβωτοειδής οχετός Διέλευση γραμμών ΟΣΕ Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	159.79	159.79	3.09	3.43	Επαρκές
4,129.90	3,748.10	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	159.75	159.78	3.46	3.61	Ανεπαρκές
3,748.10	3,742.60	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδ. Αγ. Φανουρίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	159.74	159.74	3.65	3.70	Επαρκές
3,742.60	2,825.39	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	159.65	159.74	3.62	3.86	Ανεπαρκές
2,825.39	2,820.39	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Παλαιολόγου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	159.65	159.65	3.77	3.78	Επαρκές
2,820.39	2,778.93	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 4.50 m	159.64	159.64	3.78	3.78	Επαρκές
2,778.93	2,768.83	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση Λεωφ. Ιωνίας Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	159.64	159.64	3.85	3.89	Οριακό
2,768.83	2,610.27	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	159.64	159.64	2.89	3.73	Οριακό
2,610.27	2,580.27	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα	159.64	159.64	1.94	2.02	Επαρκές

		Άνοιγμα 9.40 X 3.50 m					
2,580.27	2,299.68	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα (τρίδυμη) Άνοιγμα (3 X 3.00) X 4.00 m	159.59	159.64	1.94	2.60	Επαρκές
2,299.68	1,996.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα (τρίδυμος) Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα (3 X 3.00) X 3.00 m	159.56	159.59	2.03	2.72	Επαρκές
1,996.68	1,956.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	159.51	159.51	2.60	2.70	Επαρκές
1,956.68	1,766.80	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 3.00 m	159.50	159.50	2.36	2.65	Επαρκές
1,766.80	1,646.70	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	159.49	159.49	2.68	3.47	Επαρκές
1,646.70	1,360.87	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	159.47	159.49	3.59	3.72	Επαρκές
1,360.87	1,351.52	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδ. 25ης Μαρτίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	159.47	159.47	3.72	3.78	Επαρκές
1,351.52	877.15	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	159.46	159.47	3.91	4.81	Ανεπαρκές
877.15	864.80	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Γέφυρα οδού Φιλαδελφείας Ύψος στέψης 4.00 m	159.46	159.46	3.98	4.17	Ανεπαρκές
864.80	749.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	159.46	159.85	3.97	4.17	Ανεπαρκές
749.00	494.00	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	159.72	159.85	3.57	3.95	Οριακό
494.00	0.00	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Κάτωθεν οδού Σκρα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	159.79	159.85	3.62	3.93	Οριακό

8.2.4 Σενάριο Δ' για T = 500 έτη

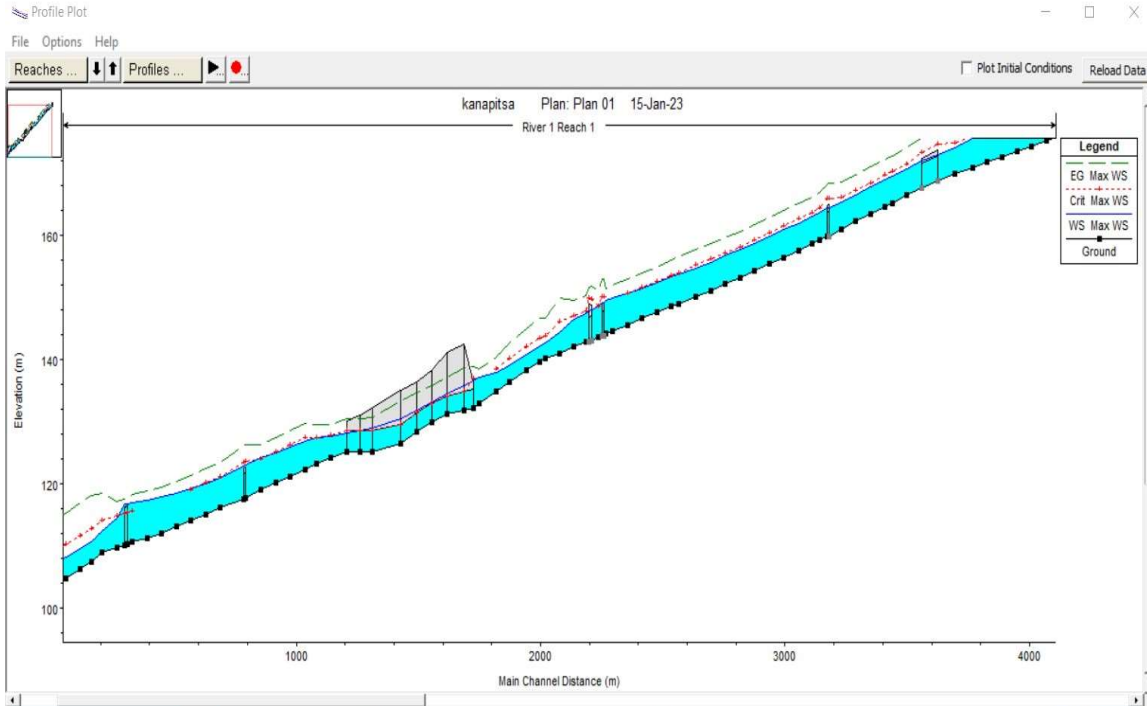
Στο σενάριο αυτό η παροχή του νερού, στις διάφορες διατομές κατά μήκος της κοίτης του ρέματος, κυμάνθηκε περί τα 208 m³/sec.

Αντίστοιχα, οι ταχύτητες ροής που εμφανίστηκαν, κυμαίνονταν από 5,90 m/sec έως 10,37 m/sec.

Το βάθος ροής σε όλο το μήκος της κοίτης εμφανίζεται να υπερβαίνει (σε κάποια σημεία σημαντικά) τα 4 m και υπερχειλίζει παντού στα τμήματα ανοικτής διατομής.

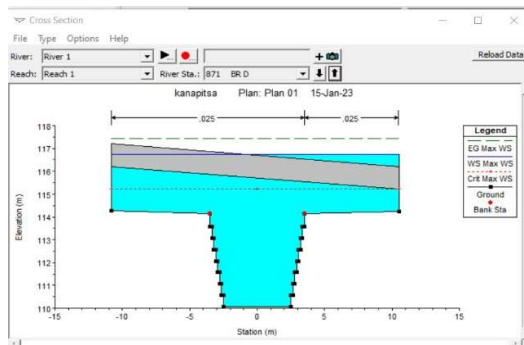
Παρόλα αυτά, το τεχνικό έργο διέλευσης της Αττικής Οδού εμφανίζεται, περισσότερο ανθεκτικό από όλα τα υπόλοιπα έργα, καθώς κατά τμήματα είναι ίσως ικανό να παροχετεύσει οριακά τις παροχές (εκτός ίσως των μεγίστων τιμών αιχμής).

Η εικόνα της μηκοτομής κατά το χρόνο παρατήρησης του μέγιστου βάθους ροής παρουσιάζεται παρακάτω:

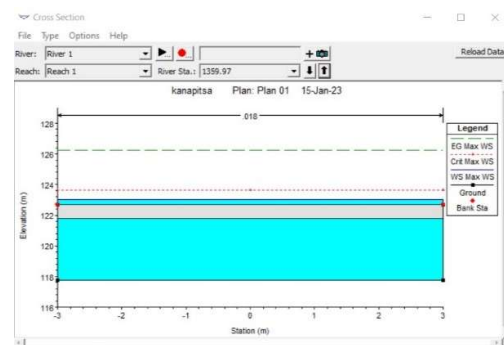


Εικόνα 8.2-7: Προφίλ μέγιστου βάθους ροής κατά μήκος του ρέματος (T=500Y)

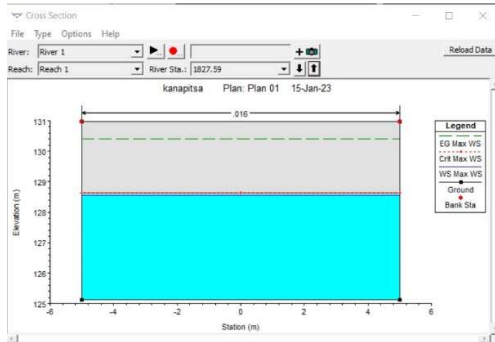
Επίσης, σε όλες τις γέφυρες, τα τεχνικά και τα τμήματα κλειστών οχετών, αδυνατεί να παροχετευτεί, όπως μπορεί να φανεί από τις προσομοιωμένες διατομές στα σημεία εκείνα, όπου απεικονίζεται το μέγιστο παρατηρηθέν βάθος ροής.



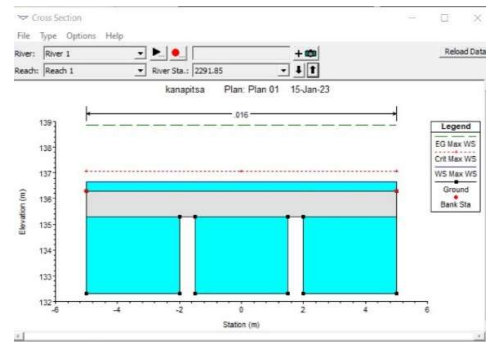
Οδός Φιλαδέλφειας



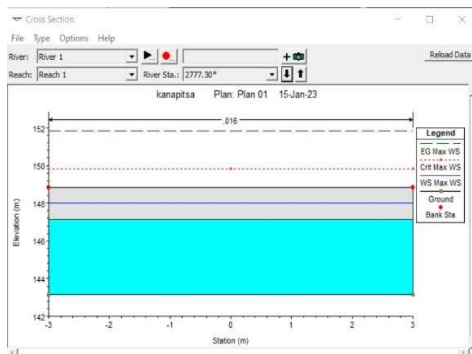
Οδός 25ης Μαρτίου



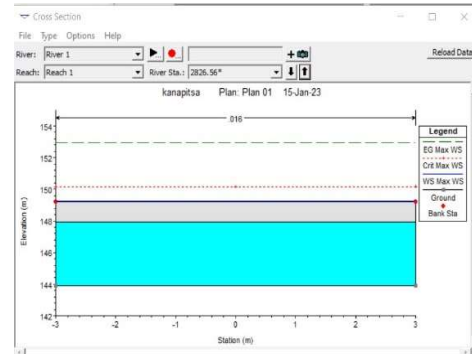
Αττική Οδός (κάτω)



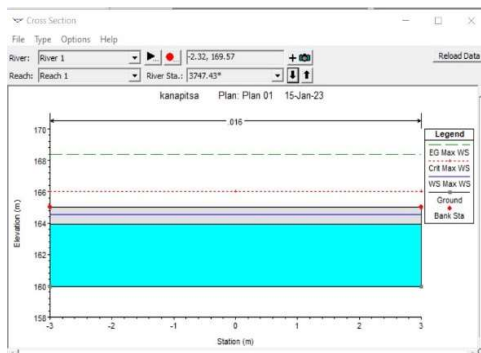
Αττική Οδός (άνω)



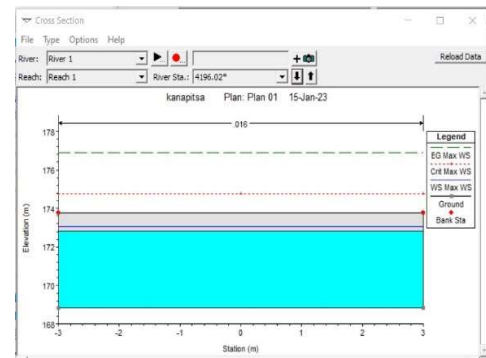
Λεωφόρος Ιωνίας



Οδός Παλαιολόγου



Οδός Αγίου Φανουρίου



Οχετός Σπ. Βρεττού – γραμμών ΟΣΕ – Αγ. Κωνσταντίνου

Εικόνα 8.2-8: Διατομές τεχνικών, γεφυρών και οχετών (T=500Υ)

Πιο αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ροής σε κάθε επί μέρους τμήμα του ρέματος, καθώς και η αντίστοιχη κατά περίπτωση επάρκεια παροχέτευσης, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 8.2-4: Χαρακτηριστικά μεγέθη ροής (T=500Υ)

ΤΜΗΜΑ (Χ.Θ.)		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /sec)		ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ (m)		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Από	Έως		min	max	min	max	
4,749.00	4,196.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	208.14	208.42	4.36	4.83	Ανεπαρκές
4,196.00	4,129.90	Κλειστός κιβωτοειδής οχετός Διέλευση γραμμών ΟΣΕ Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	208.13	208.14	4.22	4.41	Ανεπαρκές

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΡΕΜΑ ΑΧΑΡΝΩΝ

4,129.90	3,748.10	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	208.04	208.12	4.33	4.39	Ανεπαρκές
3,748.10	3,742.60	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Αγ. Φανουρίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	208.03	208.03	4.60	4.64	Ανεπαρκές
3,742.60	2,825.39	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	207.74	208.03	4.41	5.38	Ανεπαρκές
2,825.39	2,820.39	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Παλαιολόγου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	207.74	207.74	5.33	5.37	Ανεπαρκές
2,820.39	2,778.93	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 4.50 m	207.74	207.74	4.92	4.92	Ανεπαρκές
2,778.93	2,768.83	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση Λεωφ. Ιωνίας Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	207.74	207.74	4.86	4.87	Ανεπαρκές
2,768.83	2,610.27	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	207.74	207.74	3.63	4.86	Ανεπαρκές
2,610.27	2,580.27	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 9.40 X 3.50 m	207.72	207.72	2.49	2.49	Επαρκές
2,580.27	2,299.68	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα (τρίδυμη) Άνοιγμα (3 X 3.00) X 4.00 m	201.21	207.71	2.49	4.16	Οριακό
2,299.68	1,996.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα (τρίδυμος) Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα (3 X 3.00) X 3.00 m	199.56	200.45	3.14	4.16	Ανεπαρκές
1,996.68	1,956.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	207.30	207.30	3.70	3.70	Επαρκές
1,956.68	1,766.80	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 3.00 m	207.24	207.26	3.09	3.43	Ανεπαρκές
1,766.80	1,646.70	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	207.19	207.21	3.46	4.25	Επαρκές
1,646.70	1,360.87	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	207.12	207.17	4.56	5.13	Ανεπαρκές
1,360.87	1,351.52	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού 25ης Μαρτίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	207.12	207.12	5.24	5.26	Ανεπαρκές
1,351.52	877.15	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια	207.07	207.11	4.76	6.39	Ανεπαρκές

		Ύψος στέψης 4.00 m					
877.15	864.80	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Γέφυρα οδού Φιλαδέλφειας Ύψος στέψης 4.00 m	207.07	207.07	5.80	6.05	Ανεπαρκές
864.80	749.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	207.07	207.07	3.97	4.17	Ανεπαρκές
749.00	494.00	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	207.07	207.07	4.17	4.71	Ανεπαρκές
494.00	0.00	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Κάτωθεν οδού Σκρα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	207.07	207.07	4.17	4.17	Ανεπαρκές

8.2.5 Σενάριο Ε' για $T = 1000$ έτη

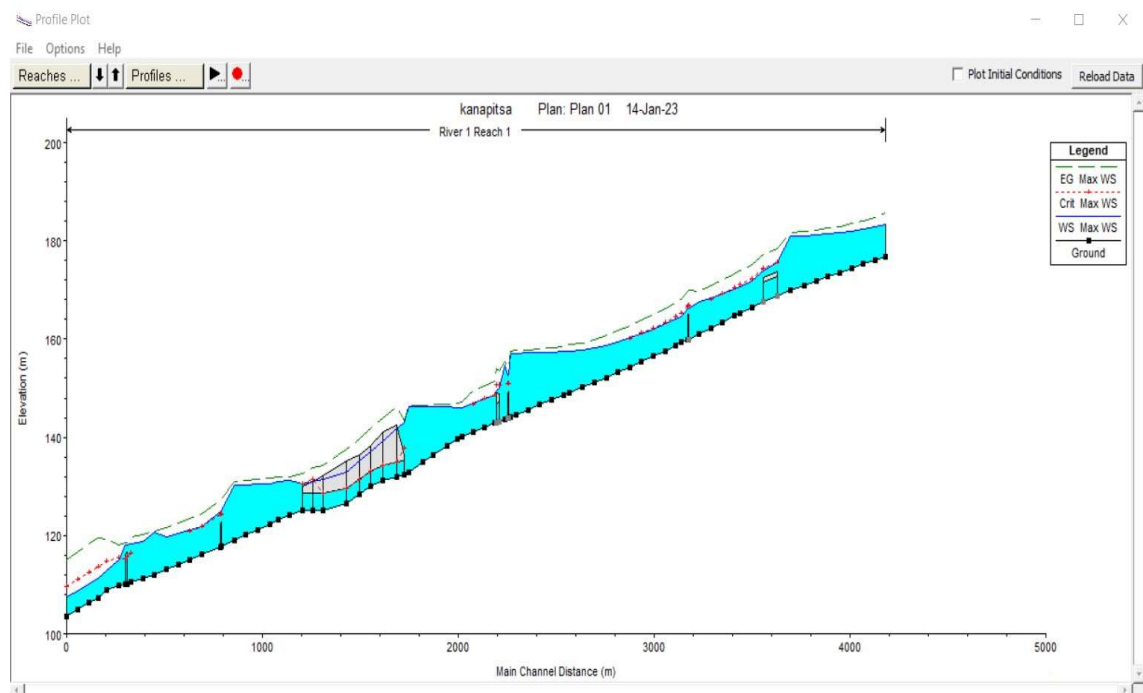
Στο σενάριο αυτό η παροχή του νερού, στις διάφορες διατομές κατά μήκος της κοίτης του ρέματος, κυμάνθηκε από 257 έως 264 m³/sec.

Οι ταχύτητες ροής που εμφανίστηκαν, παρουσιάζουν μεγάλο εύρος διακύμανσης από 4,30 m/sec έως 12,50 m/sec.

Όσον αφορά το βάθος ροής, εμφανίζεται υπερβολικά μεγάλο, έως και 12,5 m, το οποίο όμως δεν μπορεί να θεωρηθεί σωστό, καθώς στην 1D προσομοίωση που εκτελέσαμε, το σύνολο της παροχής διατηρείται εντός της κοίτης (με τη νοητή προέκτασή της στα όρια κάθε όχθης) ενώ στην πραγματικότητα μια μεγάλη ποσότητα νερού θα είχε διαφύγει πλευρικά προκαλώντας αντίστοιχη πλημμύρα στις παρακείμενες περιοχές. Έτσι το βάθος ροής εντός κοίτης δεν θα υπερέβαινε τόσο πολύ τα όρια των πλευρικών στέψεων.

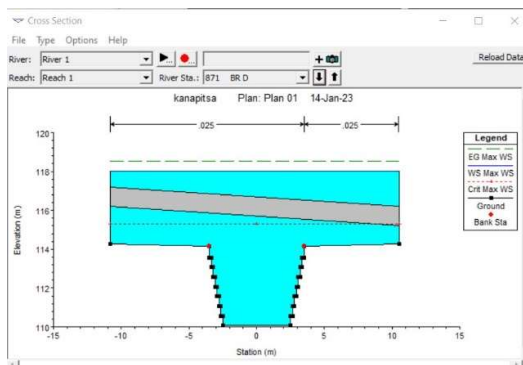
Σε κάθε περίπτωση, πάντως, είναι εμφανές ότι υπάρχει πλήρης αδυναμία παροχέτευσης του νερού στο σενάριο αυτό.

Η εικόνα της μηκοτομής κατά το χρόνο παρατήρησης του μέγιστου βάθους ροής παρουσιάζεται παρακάτω:

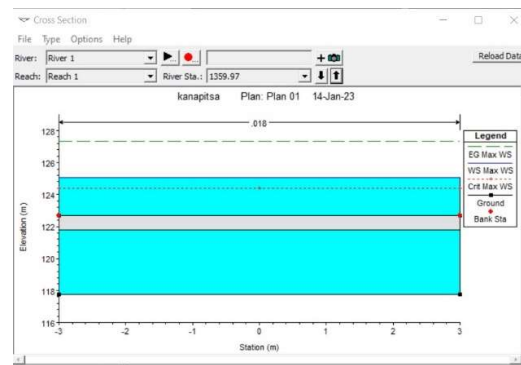


Εικόνα 8.2-9: Προφίλ μέγιστου βάθους ροής κατά μήκος του ρέματος ($T=1000Y$)

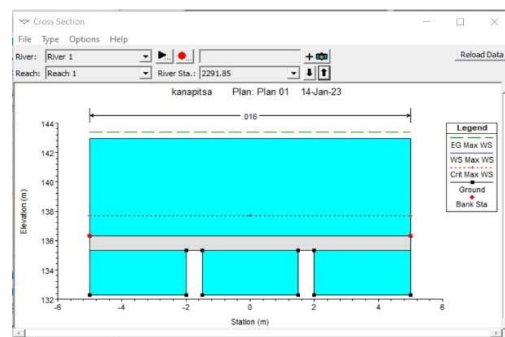
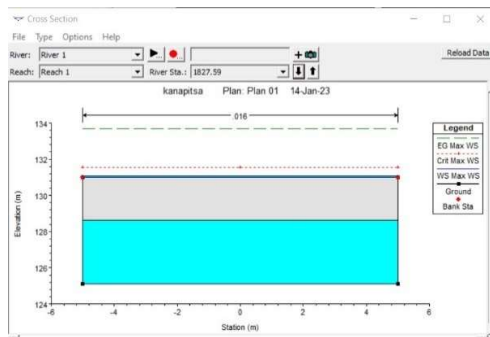
Επίσης, η εικόνα παντελούς αδυναμίας παροχέτευσης του νερού σε όλες τις γέφυρες, τα τεχνικά και τα τμήματα κλειστών οχετών, μπορεί να φανεί από τις προσομοιωμένες διατομές στα σημεία εκείνα, όπου απεικονίζεται το μέγιστο παρατηρηθέν βάθος ροής.



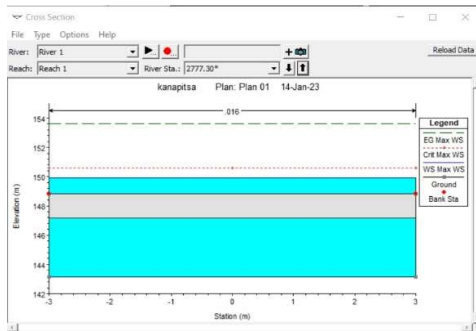
Οδός Φιλαδέλφειας



Οδός 25ης Μαρτίου

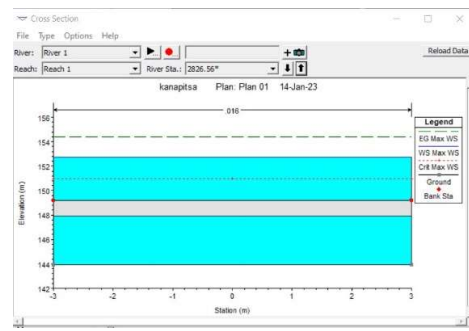


Αττική Οδός (κάτω)

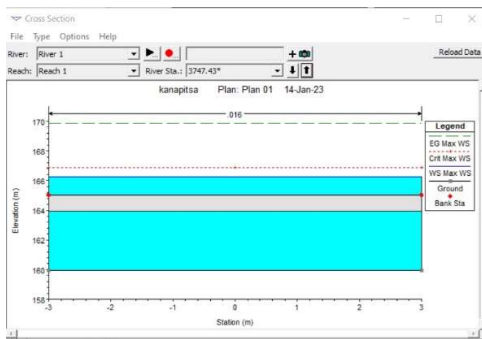


Λεωφόρος Ιωνίας

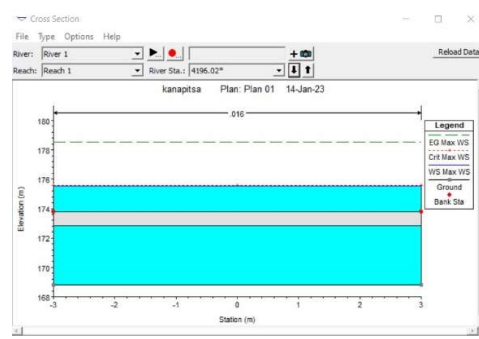
Αττική Οδός (άνω)



Οδός Παλαιολόγου



Οδός Αγίου Φανουρίου



Οχετός Σπ. Βρεττού – γραμμών ΟΣΕ – Αγ. Κωνσταντίνου

Εικόνα 8.2-10: Διατομές τεχνικών, γεφυρών και οχετών ($T=1000Y$)

Πιο αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ροής σε κάθε επί μέρους τμήμα του ρέματος, καθώς και η αντίστοιχη κατά περίπτωση επάρκεια παροχέτευσης, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 8.2-5: Χαρακτηριστικά μεγέθη ροής ($T=1000Y$)

ΤΜΗΜΑ (Χ.Θ.)		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /sec)		ΒΑΘΟΣ ΡΟΗΣ (m)		ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Από	Έως		min	max	min	max	
4,749.00	4,196.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	264.21	264.83	6.55	11.03	Ανεπαρκές
4,196.00	4,129.90	Κλειστός κιβωτοειδής οχετός Διέλευση γραμμών ΟΣΕ Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	264.22	264.23	6.28	6.71	Ανεπαρκές
4,129.90	3,748.10	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	263.89	264.16	5.28	6.44	Ανεπαρκές
3,748.10	3,742.60	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Αγ. Φανουρίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	263.82	263.82	6.29	6.30	Ανεπαρκές
3,742.60	2,825.39	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	259.55	263.56	5.29	11.53	Ανεπαρκές

2,825.39	2,820.39	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Παλαιολόγου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	258.98	259.00	8.70	8.81	Ανεπαρκές
2,820.39	2,778.93	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 4.50 m	259.23	259.23	10.9 6	10.96	Ανεπαρκές
2,778.93	2,768.83	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση Λεωφ. Ιωνίας Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	258.39	258.45	6.65	6.75	Ανεπαρκές
2,768.83	2,610.27	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	257.74	258.11	5.63	6.65	Ανεπαρκές
2,610.27	2,580.27	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 9.40 X 3.50 m	257.64	257.64	5.94	5.94	Ανεπαρκές
2,580.27	2,299.68	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα (τρίδυμη) Άνοιγμα (3 X 3.00) X 4.00 m	257.62	257.65	6.40	13.39	Ανεπαρκές
2,299.68	1,996.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα (τρίδυμος) Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα (3 X 3.00) X 3.00 m	257.53	257.64	6.31	10.68	Ανεπαρκές
1,996.68	1,956.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	257.48	257.48	6.39	6.39	Ανεπαρκές
1,956.68	1,766.80	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 3.00 m	257.42	257.46	5.47	5.95	Ανεπαρκές
1,766.80	1,646.70	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	257.44	257.44	7.00	7.71	Ανεπαρκές
1,646.70	1,360.87	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	257.44	257.44	8.24	11.32	Ανεπαρκές
1,360.87	1,351.52	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού 25ης Μαρτίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	257.44	257.44	7.23	7.29	Ανεπαρκές
1,351.52	877.15	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	257.43	257.44	5.70	8.67	Ανεπαρκές
877.15	864.80	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Γέφυρα οδού Φιλαδελφείας Ύψος στέψης 4.00 m	257.43	257.43	7.82	7.82	Ανεπαρκές
864.80	749.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	257.43	257.43	5.23	5.23	Ανεπαρκές

749.00	494.00	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	257.43	257.43	5.23	5.43	Ανεπαρκές
494.00	0.00	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Κάτωθεν οδού Σκρα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	257.43	257.43	5.21	5.36	Ανεπαρκές

8.3 Σύγκριση επάρκειας παροχεταιυκότητας των 5 σεναρίων

Όπως φάνηκε από τα αποτελέσματα των υπολογισμών σε κάθε ένα από τα σενάρια προσομοίωσης, η επάρκεια ή μη για παροχέτευση των παροχών αιχμής δεν είναι ίδια σε κάθε τμήμα ή τεχνικό έργο κατά μήκος του ρέματος.

Διαπιστώνεται ότι το πλέον "ευάλωτο" τμήμα είναι η ανοικτή κοίτη διευθετημένη με συρματοκιβώτια στην περιοχή της γέφυρας της Οδού Φιλαδελφείας και λίγο κατάντη αυτής (Χ.Θ. από 877.0 έως 750.0) Παροχές λίγο πάνω από τα 100 m³/sec αρχίζουν να δημιουργούν πρόβλημα εκεί, ενώ στο υπόλοιπο ρέμα φαίνεται να παροχετεύονται ικανοποιητικά.

Ακολουθούν οι άνω περιοχές, από τη Λεωφ. Δεκελείας έως την οδό Παλαιολόγου, όπου τα ανοικτά διευθετημένα τμήματα αρχίζουν να γίνονται ανεπαρκή για παροχές της τάξης των 160 m³/sec και τελευταία γίνονται ανεπαρκή τα ανοικτά διευθετημένα τμήματα κατάντη της οδού Παλαιολόγου έως την Αττική Οδό, για παροχές άνω των 200 m³/sec.

Σημαντική επάρκεια εμφανίζουν, επίσης, όλα τα νέα κατασκευαζόμενα τεχνικά έργα διέλευσης οδών και οι κλειστοί οχετοί, τα οποία γίνονται ανεπαρκή για παροχές άνω των 200 m³/sec. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν τα έργα διέλευσης της Αττικής Οδού, όπου κάποια τμήματα εμφανίζουν επάρκεια ακόμα και σε παροχές της τάξεως των 208 m³/sec.

Η συγκριτική αυτή απεικόνιση παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8.3-1: Συγκριτική απεικόνιση επάρκειας (ανά τμήμα) των διαφόρων σεναρίων

ΤΜΗΜΑ (Χ.Θ.)		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ	T=50	T=100	T=250	T=500	T=1000
Από	Έως		Q≈80 m ³ /sec	Q≈110 m ³ /sec	Q≈160 m ³ /sec	Q≈208 m ³ /sec	Q≈265 m ³ /sec
4,749.00	4,196.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
4,196.00	4,129.90	Κλειστός κιβωτοειδής οχετός Διέλευση γραμμών ΟΣΕ Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
4,129.90	3,748.10	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 3.50 m	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
3,748.10	3,742.60	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Αγ. Φανουρίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
3,742.60	2,825.39	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΡΕΜΑ ΑΧΑΡΝΩΝ

2,825.39	2,820.39	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού Παλαιολόγου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
2,820.39	2,778.93	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 4.50 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
2,778.93	2,768.83	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση Λεωφ. Ιωνίας Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Οριακό	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
2,768.83	2,610.27	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης (min) 3.50 m	Επαρκές	Επαρκές	Οριακό	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
2,610.27	2,580.27	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 9.40 X 3.50 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές
2,580.27	2,299.68	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα (τρίδυμη) Άνοιγμα (3 X 3.00) X 4.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Οριακό	Ανεπαρκές
2,299.68	1,996.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα (τρίδυμος) Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα (3 X 3.00) X 3.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
1,996.68	1,956.68	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές
1,956.68	1,766.80	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Διέλευση Αττικής Οδού Άνοιγμα 10.00 X 3.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
1,766.80	1,646.70	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 10.00 X 4.50 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές
1,646.70	1,360.87	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
1,360.87	1,351.52	Ορθογωνικό τεχνικό Διέλευση οδού 25ης Μαρτίου Άνοιγμα 6.00 X 4.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
1,351.52	877.15	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
877.15	864.80	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Γέφυρα οδού Φιλαδελφείας Ύψος στέψης 4.00 m	Επαρκές	Οριακό	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
864.80	749.00	Ανοικτή κοίτη - Διευθέτηση με συρματοκιβώτια Ύψος στέψης 4.00 m	Επαρκές	Οριακό	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές

ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΡΕΜΑ ΑΧΑΡΝΩΝ

749.00	494.00	Ανοικτή ορθογωνική κοίτη από σκυρόδεμα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Οριακό	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές
494.00	0.00	Κλειστός ορθογωνικός οχετός από σκυρόδεμα Κάτωθεν οδού Σκρα Άνοιγμα 5.25 X 4.00 m	Επαρκές	Επαρκές	Οριακό	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές

9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

9.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε υδροδυναμική προσομοίωση των νέων έργων αντιπλημμυρικής προστασίας του ρέματος Αχαρνών (Καναλίτσα) και στη συνέχεια, με εφαρμογή διαφόρων εναλλακτικών σεναρίων βροχόπτωσης, έγινε διερεύνηση των ορίων ανθεκτικότητας αυτών. Μια τέτοια διερεύνηση έχει ενδιαφέρον καθώς, με βάση το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο, ο σχεδιασμός τέτοιου είδους αντιπλημμυρικών έργων γίνεται με βάση επεισόδια βροχής περιόδου επαναφοράς $T=50$ ετών. Συνεκτιμώντας όμως τις μεταβολές, προς το δυσμενέστερο, των καιρικών φαινομένων που παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια, ως συνέπεια της εμφανούς πλέον κλιματικής αλλαγής, ενδέχεται μια τέτοια σχεδίαση να μην είναι επαρκής στο άμεσο μέλλον. Καλό θα είναι λοιπόν, να διερευνώνται τα όρια ανθεκτικότητας τέτοιων έργων, με χρήση μοντέλων προσομοίωσης, ώστε να υπάρχει εκ των προτέρων κάποια εκτίμηση για την ενδεχόμενη μελλοντική αστοχία τους. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να οδηγήσει τις αρμόδιες υπηρεσίες και στην οργάνωση περισσότερο ρεαλιστικών σχεδίων αντιμετώπισης πλημμύρας, αλλά και σε ενδεχόμενο προγραμματισμό συμπληρωματικών δράσεων για περαιτέρω μελλοντική βελτίωση.

Από τα αποτελέσματα της διερεύνησης προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Το σύνολο των έργων, τόσο των νέων όσο και των υφιστάμενων και διατηρούμενων, συμπεριφέρεται πολύ ικανοποιητικά για το σενάριο βροχής περιόδου επαναφοράς $T=50$ έτη, για το οποίο άλλωστε έχει γίνει ο σχεδιασμός. Στην περίπτωση αυτή, παροχετεύονται, σχετικά εύκολα, παροχές νερού της τάξεως των $80 \text{ m}^3/\text{sec}$.
2. Στην περίπτωση όπου η βροχή σχεδιασμού αναφέρεται σε περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη, η μέγιστη παροχή φτάνει τα $110 \text{ m}^3/\text{sec}$. Σε αυτό το σενάριο τα κλειστά τμήματα διέλευσης οδών (τεχνικά, γέφυρες, κιβωτοειδείς οχετοί) συμπεριφέρονται πολύ ικανοποιητικά, παροχετεύοντας το σύνολο της παροχής σχετικά εύκολα. Όμως, η κατάσταση στα ανοικτά τμήματα, όπου η κοίτη είναι διευθετημένη με συρματοκιβώτια, είναι οριακή. Στα πιο ανάντη τμήματα, όπου το ύψος στέψης στις όχθες είναι $3,5 \text{ m}$, η στάθμη του νερού φτάνει έως $3,4 \text{ m}$, ενώ στα πιο κατάντη, όπου το ύψος στέψης στις όχθες είναι $4,0 \text{ m}$, η στάθμη του νερού φτάνει έως $4,0 - 4,1 \text{ m}$ και υπερχειλίζει ελαφρώς στην περιοχή κατάντη της οδού Φιλαδελφείας. Αυτό το τμήμα δηλαδή, είναι και το πιο "ευαίσθητο" όπου αναμένεται να εκδηλωθεί η πρώτη αστοχία.
3. Στην περίπτωση όπου η βροχή σχεδιασμού αναφέρεται σε περίοδο επαναφοράς $T=250$ έτη, η μέγιστη παροχή φτάνει τα $160 \text{ m}^3/\text{sec}$. Σε αυτό το σενάριο τα κλειστά τμήματα διέλευσης οδών (τεχνικά, γέφυρες, κιβωτοειδείς οχετοί) συμπεριφέρονται αρκετά ικανοποιητικά, αφού καταφέρνουν, έστω και οριακά κατά το χρόνο της αιχμής του πλημμυρικού κύματος, να παροχετεύσουν το σύνολο της παροχής. Μικρή επιφύλαξη δημιουργείται για το τεχνικό διάβασης της Λεωφόρου Ιωνίας, όπου για πολύ λίγο κατά την φάση αιχμής, είναι πιθανό να μην καταφέρει να παροχετεύσει το σύνολο του νερού. Δυστυχώς όμως, στο μεγαλύτερο μέρος των ανοικτών τμημάτων εμφανίζεται σημαντική υπερχειλίση, δηλαδή οι ανοικτές διευθετημένες διατομές σε καμία περίπτωση δεν επαρκούν για να παροχετεύσουν παροχές τέτοιου μεγέθους.
4. Στις περιπτώσεις ακόμα μεγαλύτερων βροχοπτώσεων ($T=500$ και $T=1000$ έτη) οι μέγιστες παροχές φτάνουν αντίστοιχα τα $208 \text{ m}^3/\text{sec}$ και $265 \text{ m}^3/\text{sec}$. Σε αυτά τα σενάρια η κατάσταση είναι παντελώς ανεπαρκής. Κανένα σημείο (είτε ανοικτά τμήματα, είτε κλειστοί οχετοί) δεν επαρκεί.
5. Από τη συμπεριφορά στα διάφορα σενάρια, καταγράφονται οι εξής διαπιστώσεις:

- Τα υφιστάμενα (και διατηρούμενα) τεχνικά έργα διέλευσης της Αττικής Οδού είναι αρκούτως υπερδιαστασιολογημένα και ανταποκρίνονται ακόμα και σε παροχές της τάξεως των $160 \text{ m}^3/\text{sec}$ ($T=250$ έτη), ενώ ορισμένα τμήματα αυτών παραμένουν επαρκή ακόμα και σε παροχές της τάξεως των $208 \text{ m}^3/\text{sec}$ ($T=500$ έτη).
 - Τα νέα τεχνικά έργα διέλευσης για τους λοιπούς δρόμους, καθώς και τις γραμμές του ΟΣΕ, επίσης μπορούν να ανταποκριθούν (έστω και οριακά) σε παροχές της τάξεως των $160 \text{ m}^3/\text{sec}$ ($T=250$ έτη).
 - Τα ανοικτά διευθετημένα τμήματα πολύ οριακά ανταποκρίνονται σε παροχές $105 - 110 \text{ m}^3/\text{sec}$ ($T=100$ έτη).
6. Μεγαλύτερος κίνδυνος υπερχειλίσης εμφανίζεται στις περιοχές κατάντη της Αττικής Οδού μέχρι και την Οδό Φιλαδελφείας, παρά στα τμήματα ανάντη της Αττικής Οδού μέχρι και τη Λεωφόρο Δεκελείας.
7. Μια σχετικά θετική διαπίστωση είναι ότι στο μεγαλύτερο τμήμα ανοικτής κοίτης, διευθετημένης με συρματοκιβώτια, η περιοχή εξωτερικά από το όριο της στέψης των συρματοκιβωτίων και έως τη γραμμή οριοθέτησης, είναι υπερυψωμένη σημαντικά οπότε το νερό που ενδεχομένως υπερπηδήσει τη στέψη εκτιμάται ότι θα κρατηθεί εντός της “διευρυμένης” κοίτης και δεν θα δημιουργήσει διάχυτη πλευρική πλημμυρική ροή. Κάτι τέτοιο μειώνει αισθητά το δυνητικό πλημμυρικό κίνδυνο, ακόμη και στα σενάρια ανεπάρκειας παροχτευτικότητας της κοίτης.

9.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Από τα παραπάνω συμπεράσματα προκύπτουν οι εξής προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

1. Να προσομοιωθεί το ρέμα Αχαρνών σε μοντέλο 1D/2D, συμπεριλαμβάνοντας και τις παράπλευρες περιοχές, ώστε να διερευνηθεί η πορεία του πλημμυρικού κύματος στα σενάρια υπερχειλίσης της κεντρικής κοίτης. Στη συνέχεια να αξιολογηθεί ο πλημμυρικός κίνδυνος για τις περιοχές αυτές με βάση την αντίστοιχη δόμηση και τις χρήσεις γης. Για υπολογισμούς μεγαλύτερης ακρίβειας, λόγω της δόμησης της περιοχής, καλό θα είναι να ληφθούν υπόψη και τα κτίρια και οι δρόμοι δηλαδή προκρίνεται η χρήση ψηφιακού μοντέλου επιφανείας (DSM) αντί ψηφιακού μοντέλου υψομέτρων (DEM) για την 2D περιοχή.
2. Να διερευνηθεί η δυνατότητα εκτέλεσης στο μέλλον, κάποιων στοχευμένων παρεμβάσεων στα ανοικτά διευθετημένα τμήματα (π.χ. προσθήκη συρματοκιβωτίων για ανύψωση της στέψης, διαμόρφωση του εδάφους εκτός στέψης κλπ.) ώστε να αυξηθεί η παροχτευτικότητα αυτών και να αποτραπεί ο κίνδυνος ανεξέλεγκτης διάχυσης του πλεονάζοντος νερού σε περίπτωση υπερχειλίσης. Κάτι τέτοιο, σε συνδυασμό με τη σχετική υπερ-διαστασιολόγηση των κλειστών τμημάτων, θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά τη συνολική ικανότητα παροχέτευσης του ρέματος, χωρίς μεγάλο κόστος.

10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

10.1 Διεθνής Βιβλιογραφία

1. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), HEC-HMS User's Manual Version 4.10
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.10>
2. U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, CPD-74B, Davis, CA
[https://ponce.sdsu.edu/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_\(CPD-74B\).pdf](https://ponce.sdsu.edu/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD-74B).pdf)
3. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), HEC-RAS User's Manual Version 6.0
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasum/6.0>
4. U.S. Army Corps of Engineers (USACE), HEC-RAS-6.0-Hydraulic-Reference-Manual (2020)
<https://rashms.com/wp-content/uploads/2021/05/HEC-RAS-6.0-Hydraulic-Reference-Manual.pdf>
5. U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (1994). Flood-Runoff Analysis: Engineer Manual, Engineering and Design, Washington, DC.
https://www.publications.usace.army.mil/portals/76/publications/engineermanuals/em_1110-2-1417.pdf
6. Chow, Ven Te (1973). Open-channel hydraulics. International edition. Civil Engineering Series. Singapore: McGraw-Hill Book Company. ISBN 10: 007085906X/ ISBN 13: 9780070859067
7. Betsholtz, A. & Nordlöf, B. (2017). Potentials and limitations of 1D, 2D and coupled 1D-2D flood modelling in HEC-RAS. Master Thesis, Lund University, Sweden. TVVR17/5003.
8. Bodhaine, G.L., 1968, Measurement of peak discharge at culverts by indirect methods: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 3, chap. A3, 60 p. (Also available at <https://pubs.usgs.gov/twri/twri3-a3/>.)
9. Anastasios I Stamou. The Disastrous Flash Flood of Mandra in Attica-Greece and now What? Civil Eng. Res J. 2018; 6(1): 555677. DOI: 10.19080/CERJ.2018.06.555677.
10. Michalis Diakakis, Spyridon Mavroulis, Giorgos Deligiannakis. Floods in Greece, a statistical and spatial approach. Article in Natural Hazards · June 2012
https://www.researchgate.net/publication/256717979_Floods_in_Greece_a_statistical_and_spatial_approach/link/0deec523ae3303c3b6000000/download
11. Claudia C. Hoefft, Runoff Curve Number Hydrology Development, Status, and Updates. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service
https://acwi.gov/hydrology/minutes/nrcs_cn_method.pdf

10.2 Ελληνική βιβλιογραφία

1. Μιμίκου, Μ., & Μπαλτάς, Ε. Τεχνική Υδρολογία, 6η Έκδοση 2018. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, ISBN: 9789604911257
2. Νάνου, Α. (2018). Σημειώσεις Υδραυλικής και Υδραυλικών Έργων: Ροή με Ελεύθερη Επιφάνεια, 101. Αθήνα: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος ΕΜΠ.
<https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1917/>
3. Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999 <http://itia.ntua.gr/el/docinfo/115/>
4. Κουτσογιάννης, Δ., Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης, Έκδοση 3.1, 202 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999 <http://itia.ntua.gr/el/docinfo/123/>
5. Μαμάσης Ν. και Κουτσογιάννης Δ. (1999). Προχωρημένη Υδρολογία - Γεωμορφολογία και απορροή, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τομέας Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
<https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/199/2/documents/1999AdvHydroRunoff.pdf>
6. Θ. Ξανθόπουλος, Δ. Χριστούλας, Μ. Μιμίκου, Μ. Αφτιάς και Δ. Κουτσογιάννης (1995). Το πρόβλημα των πλημμυρών της Αθήνας: Στρατηγική αντιμετώπισης. Τομέας Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/95/>
7. Νικολόπουλος, ΤΕΕ. (2007). Αντιπλημμυρικός σχεδιασμός / Διαχείριση κινδύνου πλημμυρών: υφιστάμενη κατάσταση - νέα δεδομένα. Γενικές κατευθύνσεις και προτάσεις για το σχεδιασμό έργων αντιπλημμυρικής προστασίας και διαχείρισης πλημμυρών. Αθήνα.
http://library.tee.gr/digital/m2291/m2291_nikolopoulos.pdf
8. Καραμούστου, Π. και Στάμου, Α. (2019). Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης ξαφνικών πλημμυρών και η τοπική κοινωνία – Η περίπτωση της Μάνδρας Αττικής. Πρακτικά 14ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ε.Υ.Ε., Βόλος
9. Λέκκας, Ε., Φουμέλης, Μ., Διακάκης, Μ., Γουλιώτης, Λ., Κώτσης, Ε., & Δελακουρίδης, Ι. (2010). Επιχειρησιακή Οργάνωση των Δήμων του Αναπτυξιακού Συνδέσμου Δυτικής Αθήνας (ΑΣΔΑ) για την Πολιτική Προστασία & Αντιμετώπιση Φυσικών & Περιβαλλοντικών Κινδύνων.
http://home.asda.gr/PdfFiles/Publications/FysikoiKindynoi/01_Drasis_Meiosis_plimirikou_kindinou_2010.pdf
10. ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής - ΣΤΑΔΙΟ Ι 1η ΦΑΣΗ – ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ
https://floods.ypeka.gr/egyfloods/gr06/report/I_1_P01_EL06.pdf
11. ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΟΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΤΑΔΙΟ Ι – 1η ΦΑΣΗ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ 2: ΟΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ https://floods.ypeka.gr/egyFloods/gr06/report/I_1_P02_EL06.pdf
12. Οδηγία 2007/60/ΕΚ (2007). Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. L 288/27.
13. Εξάρχου- Νικολόπουλος- Μπενσασσών. (2010). Υδρολογική μελέτη ισχυρών βροχοπτώσεων στη λεκάνη του Κηφισού. Μελέτη διαχείρισης Κηφισού, Ανάθεση: Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων – ΥΠΕΧΩΔΕ, Ανάδοχοι: Εξάρχου Νικολόπουλος Μπενσασσών, Denco, Γ. Καραβοκύρης, κ.ά. <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/970/>

14. Βαχαβιώλος Θ. (2011). Μεθοδολογία προσδιορισμού ευάλωτων περιοχών σε πλημμύρες σύμφωνα με την οδηγία 2007/60. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
15. Μπαριάμης, Γ. (2013). Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS και εφαρμογή στη λεκάνη του ρέματος Ραφήνας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
16. Μαυρογεώργος, Κ. (2019). Διερεύνηση της επίδρασης του πλημμυρογραφήματος εισροής στην υδραυλική συμπεριφορά πλημμυρών με το μοντέλο TELEMAC – Η περίπτωση της Μάνδρας Αττικής. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
17. Ζέρβα, Ι. (2019). Επίδραση των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας στον πλημμυρικό κίνδυνο της περιοχής της Μάνδρας Αττικής. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
18. Τσοκάνης, Κ. (2021). Εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου με υδροδυναμικούς υπολογισμούς μεγάλης ακρίβειας του μοντέλου HEC-RAS 1D/2D – Η περίπτωση της πλημμύρας στη Μάνδρα το Νοέμβριο του 2017. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.
19. Τιτόνη, Φ. (2018.) Ανάλυση των πλημμυρικών φαινομένων και των ανθρώπινων παρεμβάσεων του ρέματος της Εσχατιάς στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Αθήνας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.
<https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2775650/theFile>
20. Διεύθυνση Υδραυλικών Έργων Περιφέρειας Αττικής (Δ10) του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. "Μελέτη Διευθέτησης Ρέματος Αχαρνών (Καναπίτσα) Ν. Αττικής από Χ.Θ. 0+000 (Εκβολή Στον Π. Κηφισό) έως Χ.Θ. 12+000". Εκπόνηση από συμπράττοντα γραφεία μελετών: "Δ. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε." "Ζ & Α – Π. ΑΝΤΩΝΑΡΟΠΟΥΛΟΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε.", "ΜΑΡΟΥΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ", "ΡΙΤΣΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ", "ΚΑΪΜΑΚΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ – ΣΤΥΛΙΑΝΗ" και "ΚΑΨΑΛΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ"
 - Τεύχος Υδρολογικής Μελέτης (Ιανουάριος 2011)
 - Τεύχος Οριστικής Υδραυλικής Μελέτης (Νοέμβριος 2016)
 - Τεύχος Μελέτης Οριοθέτησης (Νοέμβριος 2016)
21. Διεύθυνση Υδραυλικών Έργων Περιφέρειας Αττικής (Δ10) του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. "Οριστική Μελέτη κυρίων συλλεκτών αγωγών αποχέτευσης ομβρίων ευρύτερης περιοχής παλαιού οικισμού Αχαρνών". Εκπόνηση από συμπράττοντα γραφεία μελετών: "Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.", "Ζ & Α Π. ΑΝΤΩΝΑΡΟΠΟΥΛΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε.", "Δ. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Μ.Ε." και "ΜΑΡΟΥΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ" (2007)