

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Δημήτρης Χατζηχρήστος, Δημήτρης Κουτσογιάννης και Αντώνης Κουκουβίνος

Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Περίληψη

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε με βασικό στόχο τη διερεύνηση του ρόλου που μπορεί να έχει ένα Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας στην συνολική αξιολόγηση ενός υπάρχοντος δικτύου αποχέτευσης ομβρίων αλλά και τις πιθανές επεμβάσεις βελτίωσης. Η συνολική μελέτη περιλαμβάνει τρία βασικά τμήματα: Το πρώτο τμήμα αναφέρεται στην εισαγωγή της απαραίτητης πληροφορίας. Το δεύτερο τμήμα στην ανάλυση της επιφάνειας και τον προσδιορισμό της έκτασης που απορρέει σε κάθε φρεάτιο του δικτύου. Το τρίτο αφορά στην κατασκευή ενός ενιαίου θεματικού επιπέδου που περιλαμβάνει τους υπάρχοντες αγωγούς αλλά και τις ιδεατές γραμμές επιφανειακής ροής στους άξονες των δρόμων. Τα συμπεράσματα είναι ότι τα συστήματα αυτά αυτοδύναμα παρέχουν μια ικανοποιητική δυνατότητα ελέγχου της παροχετευτικότητας των δικτύων. Αν συνδυαστούν με εξειδικευμένα εξωτερικά προγράμματα υδραυλικών υπολογισμών μπορούν να επιτύχουν ακριβέστερη προσομοίωση.

1. Εισαγωγή

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να διερευνηθούν οι δυνατότητες ενός συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας ως προς τον έλεγχο ενός υπάρχοντος δικτύου ομβρίων. Η διερεύνηση εφαρμόστηκε στη περιοχή της Αργυρούπολης Αττικής και περιλαμβάνει αφενός τον ακριβή ποσοτικό προσδιορισμό της λεκάνης απορροής κάθε φρεατίου και την προσομοίωση της ροής στην επιφάνεια των οδών και αφετέρου τον έλεγχο της επάρκειας των υπαρχόντων διατομών των αγωγών μέσω ακριβών υδραυλικών υπολογισμών. Επισημαίνονται έτσι οι περιοχές με μεγάλη επικινδυνότητα πλημμύρας.

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται γενικά από ήπια τοπογραφία χωρίς απότομες εξάρσεις ή κοιλάτες του εδάφους και χωρίς αξιόλογα φυσικά ρέματα. Οι χρήσεις γης είναι κυρίως οικιστικές με μικρομεσαίες επιχειρήσεις χωρίς σημαντική βιομηχανική δραστηριότητα ενώ οι δρόμοι είναι όλοι ασφαλτοστρωμένοι (πλάτος οδοστρώματος από έξι έως δέκα μέτρα).

Το δίκτυο αποχέτευσης είναι στην πλειονότητα του χωριστικό. Αποτελείται από τους αγωγούς ακαθάρτων (συνήθως κυκλικής διατομής) και τους αγωγούς ομβρίων (ωοειδούς διατομής στις μεγάλες διαμέτρους και κυκλικής στις μικρές).

2. Βασικές αρχές της ανάλυσης

Το δίκτυο ομβρίων κατασκευάζεται ώστε να παροχετεύει την ποσότητα των βροχοπτώσεων που απορρέει επιφανειακά κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας και λίγο μετά από αυτή. Η απορροή των ομβρίων αποτελεί ένα υδρολογικό μέγεθος, που ο ποσοτικός προσδιορισμός του όπως αυτός εκφράζεται μέσα από την παροχή, ενέχει έναν έντονο πιθανοτικό χαρακτή-

ρα. Ο πιθανοτικός αυτός χαρακτήρας αντιπροσωπεύεται από την περίοδο επαναφοράς η οποία εισέρχεται σαν παράμετρος στην εξίσωση της όμβριας καμπύλης.

Στην παρούσα εργασία που έχει καθαρά διερευνητικό χαρακτήρα και αναφέρεται στον έλεγχο επάρκειας διατομών και όχι στη λειτουργική προσομοίωση του δικτύου, χρησιμοποιήθηκε η ορθολογική μέθοδος για την εκτίμηση της παροχής ομβρίων. Η μέθοδος αυτή δίνει τον απλούστερο δυνατό μετασχηματισμό βροχής σε απορροή που προσδιορίζει τελικά την παροχή που αναμένεται να πραγματοποιηθεί για δεδομένη περίοδο επαναφοράς. Για αποτελέσματα υψηλότερης ακριβείας ή για την παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης της παροχής των ομβρίων, η ορθολογική μέθοδος είναι ακατάλληλη. Το κενό αυτό καλύπτουν άλλες πιο σύγχρονες μέθοδοι, κατάλληλες όχι μόνο για την εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού, αλλά και για τη προσομοίωση της λειτουργίας του δικτύου κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες βροχόπτωσης. Η προσομοίωση αυτή μπορεί να δώσει την πλήρη εικόνα της ροής σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου, τόσο κατά τη μελέτη της οριακής συμπεριφοράς του (σενάρια) όσο και κατά τη μελέτη κάτω από πραγματικές συνθήκες. Στόχος είναι η βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου μέσω κατάλληλων χειρισμών στα αντλιοστάσια και τις συσκευές ελέγχου (Κουτσογιάννης, 1993)

Παρ' όλο τον προσεγγιστικό χαρακτήρα της ορθολογικής μεθόδου, η έκταση της λεκάνης απορροής που αντιστοιχεί σε κάθε φρεάτιο του δικτύου προσδιορίζεται με ακρίβεια. Για τον προσδιορισμό του υδροκρίτη του κάθε αγωγού λαμβάνεται υπόψη το φυσικό ανάγλυφο της περιοχής αλλά και το ρυμοτομικό σχέδιο μιας και εξ αιτίας της δόμησης τροποποιείται η φυσική υδρολογική δίαυτα της περιοχής. Γενικά ισχύει η αρχή ότι τα όμβρια που απορρέουν από κάθε εσωτερικό σημείο ενός οικοδομικού τετραγώνου αποχετεύονται προς την πλησιέστερη στο σημείο οδό (ρείθρο ή αγωγό ομβρίων της οδού).

Οι οδοί επομένως, πέρα από τη ποσότητα της βροχής που αναλογεί στην επιφάνειά τους συλλέγουν και την απορροή από τα οικοδομικά τετράγωνα, αποτελώντας έτσι και τους «ιδεατούς αγωγούς» που ανάλογα με τη κλίση τους κατευθύνουν τα όμβρια ύδατα προς τα φρεάτια υδροσυλλογής. Στη συνέχεια η ροή χάνει τον επιφανειακό της χαρακτήρα και πραγματοποιείται μέσω των αγωγών προς το πλησιέστερο σημείο εξόδου.

3. Εισαγωγή δεδομένων

Τα διαθέσιμα δεδομένα προήλθαν από φύλλα χάρτη της ΕΥΔΑΠ σε κλίμακα 1:500 που περιέχουν πληροφορίες για τη ρυμοτομία της περιοχής (οικοδομικά τετράγωνα) τη χάραξη των αγωγών ομβρίων και υδραυλικές πληροφορίες για τους αγωγούς και τα φρεάτια σύνδεσης. Οι υδραυλικές αυτές πληροφορίες είναι το μήκος των αγωγών, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής τους και οι κλίσεις τους. Αντίστοιχα για τα φρεάτια συμβολής οι χάρτες δίνουν το υψόμετρο τόσο του εδάφους όσο και των σημείων συμβολής των αντύγων. Η συλλογή και αξιολόγηση αυτών των δεδομένων είχε γίνει σε παλιότερο ερευνητικό πρόγραμμα του ΕΜΠ (επιστημονικός υπεύθυνος Μ. Αφτιάς). Η συνολική περιοχή μελέτης είναι περίπου ορθογωνικής μορφής με διαστάσεις 900 m x 1200 m και απεικονίζεται σε οκτώ φύλλα χάρτη. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και το γενικό ρυμοτομικό σχέδιο της Αργυρούπολης σε κλίμακα 1: 5000 από το οποίο προέκυψαν με ψηφιοποίηση οι ισούψεις της περιοχής.

Η εισαγωγή των γεωγραφικών δεδομένων έγινε με ψηφιοποίηση. Δημιουργήθηκαν τρία θεματικά επίπεδα (οικοδομικά τετράγωνα, αγωγοί ομβρίων, ισοϋψείς) τα οποία συμπληρώθηκαν με τις απαραίτητες περιγραφικές πινακοποιημένες πληροφορίες.

4. Ανάλυση των επιφανειακών στοιχείων

Η ανάλυση των επιφανειακών στοιχείων έγινε σε 5 στάδια τα οποία και αναλύονται παρακάτω. Για τις διαδικασίες του συστήματος ARC/INFO που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε ένα από αυτά γίνεται απλή αναφορά χωρίς αναλυτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας τους. Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται για πλήρη περιγραφή παραπέμπεται στα εγχειρίδια ESRI 1991b,c και d.

Στάδιο 1: Κατασκευή μοντέλου εδάφους.

Για την κατασκευή του μοντέλου εδάφους χρησιμοποιήθηκε ψηφιακός χάρτης ισοϋψών της περιοχής σε κλίμακα 1:5000 και ισοδιάσταση πέντε μέτρων. Ο χάρτης του γενικού ρυμοτομικού σχεδίου της Αργυρούπολης είναι το μόνο διαθέσιμο στοιχείο με υψομετρική πληροφορία επιτρέποντας αρχικά την κατασκευή ακανόνιστου τριγωνομετρικού δικτύου-TIN, ως ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας. Στη συνέχεια κατασκευάστηκε σημειακός κανάβος (lattice) που μετατράπηκε σε ακέριο κατηγορικό (grid) ανάλυσης 2 μέτρων, με τιμές υψομέτρου από 45 ως 115 μέτρα.

Στάδιο 2: Προσαρμογή της συνάρτησης eucallocation στις παραδοχές της ανάλυσης για την έξοδο των ομβρίων από τα οικοδομικά τετράγωνα.

Μια βασικότερη απαίτηση από την αναλυτική διαδικασία είναι τα όμβρια που προέρχονται από κάθε εσωτερικό σημείο ενός οικοδομικού τετραγώνου να αποχετεύονται προς την πλησιέστερη στο σημείο οδό (ρείθρο ή αγωγό ομβρίων της οδού), ανεξάρτητα από την κλίση του εδάφους στο εσωτερικό του οικοδομικού τετραγώνου. Μετά την κατασκευή του μοντέλου εδάφους το πρόβλημα ανάγεται στην εύρεση κατάλληλης μεθόδου υπολογισμού της ελάχιστης απόστασης από κάθε εσωτερικό κύτταρο (cell) οικοδομικού τετραγώνου, προς το πλησιέστερο εξωτερικό στην επιφάνεια της οδού. Το περιβάλλον grid υποστηρίζει μια ειδική κατηγορία συναρτήσεων, καθολικής επιρροής (global functions), που βασίζονται στην πραγματική Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ κυττάρων. Η περισσότερο κατάλληλη για τις απαιτήσεις την ανάλυσης συνάρτηση κρίθηκε η eucallocation. Η συνάρτηση λαμβάνει ως όρισμα ένα ακέριο grid με τις τιμές των κυττάρων εκείνων που θα χρησιμοποιηθούν ως «εστίες» (source cells) και όπου επιμερίζονται όλα τα υπόλοιπα κύτταρα που βρίσκονται στο ίδιο κανάβο και έχουν την τιμή nodata. Ο επιμερισμός γίνεται με βάση την ελάχιστη Ευκλείδεια απόσταση.

Στάδιο 3: Προετοιμασία δεδομένων για τη συνάρτηση eucallocation.

Αρχικά κατασκευάστηκε ένα grid που έχει στις θέσεις των οικοδομικών τετραγώνων τιμή NODATA και πάνω στους δρόμους τιμή ίση με το υψόμετρο του εδάφους. Σε αυτό δοκιμάστηκε η συνάρτηση eucallocation, ώστε να προσδιοριστούν οι επιφάνειες που απορρέουν σε κάθε αγωγό. Τα αποτελέσματα δεν προσεγγίζουν ικανοποιητικά τον κανόνα των διχοτόμων οπότε κατασκευάστηκε ένα ξεχωριστό δίκτυο ιδεατών αγωγών με μορφή grid, που

τοποθετούνται εκεί που δεν υπάρχουν αγωγοί ομβρίων και διατρέχουν τη μεσοπαράλληλο μεταξύ οικοδομικών τετραγώνων προσομοιάζοντας τον άξονα κάθε οδού. Τα αποτελέσματα από την συνάρτηση επιμερισμού χρησιμοποιώντας ως όρισμα το νέο αυτό `grid` είναι πολύ ρεαλιστικά. Επομένως σε πρώτη φάση πρέπει να μετατραπεί ο κানাβος των δρόμων σε διανυσματική μορφή. Η δυνατότητα αυτή δίνεται από τη συνάρτηση `gridline` με βασικότερες παραμέτρους που επηρεάζουν το αποτέλεσμα τις `thin`, `filter`, `sharp` και `thickness`. Κρισιμότερη στην όλη διαδικασία είναι η τιμή της `thickness`. Η τελική τιμή (6 m) προέκυψε ύστερα από πολλές δοκιμές, ως η μικρότερη οριακά τιμή στην οποία τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά. Η επιλογή αυτή μπορεί να εξηγηθεί και λογικά ως το μέσο πλάτος των οδών στις οποίες δεν υπάρχει δίκτυο αγωγών.

Σε επόμενη φάση, γίνεται η συνένωση των γραμμικών διανυσματικών στοιχείων του θεματικού επιπέδου των ιδεατών αγωγών με αυτό των πραγματικών αγωγών αποχέτευσης σε ένα ενιαίο θεματικό επίπεδο με γραμμική τοπολογία στο οποίο όμως απαιτείται επεξεργασία (`editing`). Παράλληλα ελέγχεται η επιρροή των κοιλοτήτων της επιφάνειας των δρόμων στον προσανατολισμό των τόξων του ιδεατού δικτύου αγωγών. Γενικά η συνάρτηση `gridline` προσανατολίζει τα παράγωγα γραμμικά στοιχεία από τα μεγαλύτερα υψόμετρα (τιμές κυττάρων κανάβου με μεγάλες τιμές) προς τα χαμηλότερα. Δεν λαμβάνει υπόψη όμως τις τοπικές ανωμαλίες πάνω στην επιφάνεια των οδών μεταξύ των διασταυρώσεων που μπορούν όχι μόνο να επηρεάζουν αλλά και να μεταβάλουν την κατεύθυνση της επιφανειακής ροής. Έτσι, αρχικά καθορίστηκαν τα σημεία που παρουσιάζεται έντονη κυρτότητα ή κοιλότητα και αποτελούν τοπικά μέγιστα και ελάχιστα της επιφάνειας (`highlow`). Για το λόγο αυτό έγιναν μηκοτομές πάνω στους άξονες των δρόμων και όπου απαιτήθηκε, στα σημεία τοπικού μέγιστου, διαχωρίστηκε κάθε τόξο σε δύο με αντίθετες φορές.

Στάδιο 4: Εφαρμογή της συνάρτησης `eucallocation`.

Σε επόμενη φάση εφαρμόστηκε η συνάρτηση `eucallocation`. Το αποτέλεσμα είναι η κατασκευή επιφανειών επιρροής, ψηφιδωτής μορφής, του κάθε αγωγού (ιδεατού ή πραγματικού). Βάση την απόσταση κάθε «κύτταρο εστίας» που ανήκει σε αγωγό έλκει κύτταρα με αρχική τιμή `nodata` και τους αναθέτει την τιμή που χαρακτηρίζει κάθε αγωγό.

Στάδιο 5: Βαθμονόμηση αποτελεσμάτων.

Αρχικά έγινε διανυσματοποίηση των επιφανειών καταμερισμού που προέκυψαν από το προηγούμενο στάδιο, σε ένα νέο θεματικό επίπεδο με πολυγωνική τοπολογία και μονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ πολυγωνικών επιφανειών επιρροής και των αντίστοιχων αγωγών. Τα πολύγωνα μορφοποιούνται από παρακείμενα κύτταρα του `grid` με την ίδια τιμή και έχουν διακριτά σύνορα. Ας σημειωθεί ότι οι τιμές των κυττάρων στις επιφάνειες επιρροής που προέκυψαν από τη συνάρτηση επιμερισμού ταυτίζονται με τις αντίστοιχες των κυττάρων που απαρτίζουν κάθε αγωγό στο `grid` ορίσματος. Αντίστοιχα οι τιμές των κυττάρων των αγωγών προέκυψαν από τον κωδικό αριθμό χρήστη στο αρχικό γραμμικό θεματικό επίπεδο. Σημειώνεται ότι για να είναι επιτυχής ο επιμερισμός απαιτείται μοναδικός κωδικός αριθμός χρήστη (`user-id`) για κάθε αγωγό.

Οι λεκάνες απορροής για κάθε αγωγό προσεγγίζουν ικανοποιητικά τον κανόνα των διχοτόμων και έχουν έκταση που κυμαίνεται από μερικές δεκάδες ως χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα.

Είναι προφανές ότι οι λεκάνες με έκταση μικρότερη από κάποιο συγκεκριμένο όριο από υδραυλικής απόψεως δεν έχουν ενδιαφέρον, μιας και η συμβολή τους στην ανάντη παροχή σχεδιασμού είναι αμελητέα. Επομένως συγχωνεύονται (eliminate) με τις αμέσως γειτονικές κρατώντας ως ελάχιστο όριο τα 800 τετραγωνικά μέτρα.

5. Ανάλυση με γραμμικά στοιχεία

5.1 Η ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Μετά και το τέλος της ανάλυσης με επιφανειακά στοιχεία έχει παραχθεί ένα ενιαίο γραμμικό θεματικό επίπεδο στο οποίο συνυπάρχουν το πραγματικό δίκτυο αγωγών όμβριων και το ιδεατό προσομοιώνοντας έτσι τις τροχιές της επιφανειακής ροής. Με βάση το θεματικό αυτό επίπεδο αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες ανάλυσης δικτύων μέσα από το περιβάλλον network.

Προηγουμένως όμως το θεματικό επίπεδο προσαρμόστηκε στις παρακάτω απαιτήσεις. Κάθε σύνδεσμος (*link*) του δικτύου πρέπει να ορίζεται μονοσήμαντα και επομένως κάθε τόξο του επιπέδου πρέπει να έχει διαφορετικό κωδικό χρήστη (*user-id*). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη γραμμικής και κομβικής τοπολογίας όπως και των αντίστοιχων πινάκων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων (.AAT, .NAT). Οι σημαντικότερες πληροφορίες που εισήχθησαν σε αυτούς είναι η αντίσταση στην κίνηση (*link impedance*) κάθε συνδέσμου και η αντίσταση που παρουσιάζεται σε κάθε στροφή (*turn impedance*). Η διαδικασία προσαρμογής χωρίστηκε σε τέσσερα στάδια στα οποία διαδοχικά διορθώθηκε ο κωδικός χρήστη κάθε αγωγού, προσανατολίστηκαν οι σύνδεσμοι από μεγαλύτερα προς μικρότερα υψόμετρα και υπολογίστηκαν οι αντιστάσεις κίνησης και στροφής. Η αναλυτική σύνταξη των εντολών δίνονται στα εγχειρίδια ESRI 1991b και c.

Στάδιο 1: *Μονοσήμαντος κωδικός χρήστη σε κάθε αγωγό δικτύου.*

Κατά το τελευταίο στάδιο της ανάλυσης με επιφανειακά στοιχεία συγχωνεύτηκαν οι λεκάνες επιρροής αγωγών με έκταση μικρότερη από 800 m² με τις γειτονικές τους. Έτσι χάθηκε η μονοσήμαντη αντιστοιχία που είχε προκύψει μεταξύ αγωγού και λεκάνης επιρροής του μέσω της συνάρτησης *eucallocation*.

Η διόρθωση του κωδικού χρήστη επιτεύχθηκε δίνοντας χαρακτηριστικές τιμές στους αγωγούς χωρίς μονοσήμαντη αντιστοιχία με λεκάνη επιρροής. Έτσι δημιουργήθηκε πάλι η μονοσήμαντη αντιστοιχία.

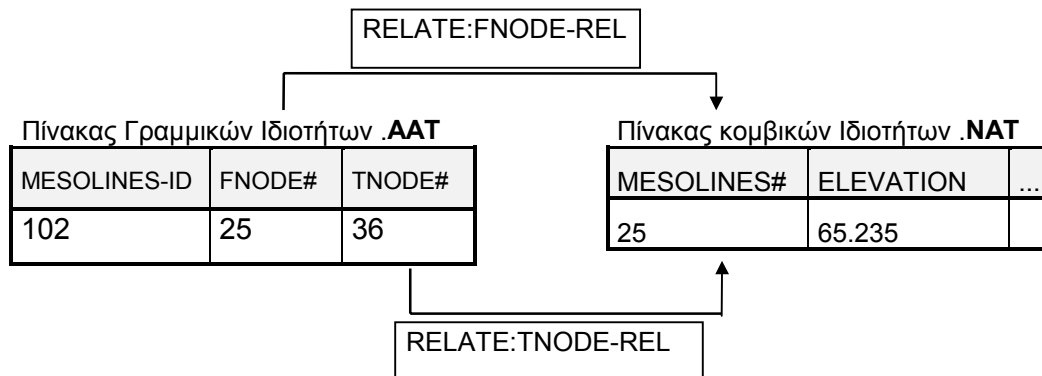
Στάδιο 2: *Επαναπροσδιορισμός της κατεύθυνσης με βάση το υψόμετρο.*

Μια από τις βασικότερες προϋποθέσεις για να είναι σωστό το μοντέλο της ροής του νερού στην επιφάνεια των δρόμων είναι οι ιδεατοί αγωγοί-σύνδεσμοι να έχουν φορά από μεγαλύτερα προς μικρότερα υψόμετρα. Επομένως απαιτείται ο προσδιορισμός του υψόμετρου σε κάθε κόμβο του δικτύου.

Σε πρώτη φάση κατασκευάστηκε ένα νέο θεματικό επίπεδο με τοπολογία σημείου με βάση τους κόμβους των αγωγών (*nodepoint*). Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν τα υψόμετρα του εδάφους στο σύνολο των σημείων του νέου αυτού θεματικού επιπέδου (*tinspot*) και τελικά μεταφέρθηκαν ως ιδιότητα των κόμβων του δικτύου των αγωγών.

Σε δεύτερη φάση εγκαθίσταται συσχέτιση (relate) μεταξύ των πινάκων .AAT και .NAT του θεματικού επιπέδου των αγωγών. Η σχεσιακή αυτή σύνδεση που απεικονίζεται σχηματικά στη συνέχεια φυλάσσεται σε ένα πίνακα info (Σχήμα 1).

Έχοντας για κάθε ένα από τους συνδέσμους γνωστό το υψόμετρο των κόμβων αρχής και τέλους σαρώνεται ο πίνακας .AAT (cursor processing) ώστε να διακριθούν οι αγωγοί όπου ο κόμβος αρχής έχει μικρότερο υψόμετρο από τον κόμβο τέλους. Σε επόμενο στάδιο αντιστρέφεται (flip) η φορά προσανατολισμού αυτών των συνδέσμων με αποτέλεσμα το δίκτυο να είναι τελικά προσανατολισμένο σύμφωνα με τη κατεύθυνση ροής.



Σχήμα1: Χρησιμοποιώντας τη συσχέτιση μεταξύ των εσωτερικών κωδικών των πεδίων FNODE# και TNODE# του πίνακα .AAT, και του πεδίων εσωτερικού κωδικού, MESOLINES# του πίνακα NAT αποδόθηκε μια σημειακή πληροφορία (elevation) σε γραμμικό στοιχείο.

Στάδιο 3: Απόδοση της αντίστασης κίνησης στους συνδέσμους του δικτύου.

Σε ένα δίκτυο προσομοίωσης της επιφανειακής ροής στην επιφάνεια των δρόμων, η αντίσταση που συνεπάγεται η μετακίνηση μέσω των αγωγών βασίζεται στην υψομετρική διαφορά μεταξύ αρχής και προορισμού. Όσο εντονότερη είναι η μεταβολή του υψομέτρου ανά μονάδα μήκους τόσο ευκολότερα κινείται το νερό.

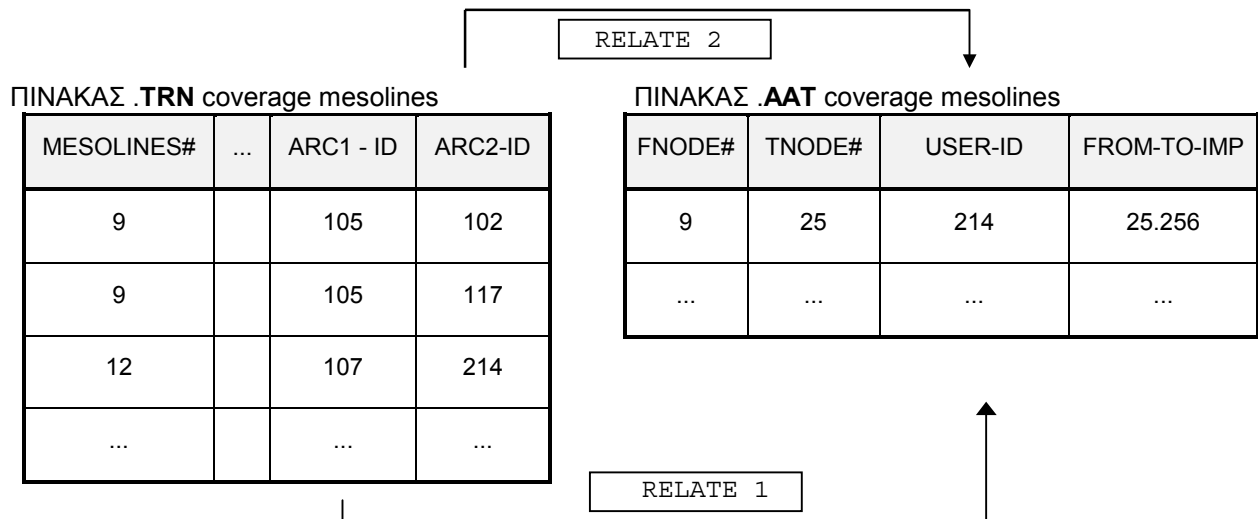
Επομένως ο ποσοτικός προσδιορισμός της αντίστασης καθορίστηκε με βάση τις κλίσεις του εδάφους στον άξονα των οδών. Από τη συσχέτιση που αναφέρθηκε στο προηγούμενο στάδιο (Σχήμα 1) υπολογίστηκε η τιμή ενός νέου πεδίου (κλίση) ως υψομετρική διαφορά κόμβου αρχής με κόμβο τέλους προς το μήκος του αντίστοιχου συνδέσμου. Υπολογίστηκε ακόμη η τιμή του πεδίου *from-to-impedance* σαν το αντίστροφο της κλίσης. Παράλληλα δόθηκε η αρνητική τιμή -1 σε όλες τις καταχωρήσεις του πίνακα .AAT για τη παράμετρο *to-from-impedance* καθιστώντας έτσι απαγορευτική τη διέλευση συνδέσμου με φορά προς τον κόμβο αρχής. Σημειώνεται ότι στους αγωγούς που ανήκουν στο υπαρκτό δίκτυο υδροσυλλογής δίνονται αντίστοιχα τιμές παραμέτρων αντίστασης 0 και -1 .

Στάδιο 4: Απόδοση της αντίστασης κίνησης στα σημεία διασταυρώσεων(turns) συνδέσμων.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την καταχώρηση κάποιας αντίστασης στο σημείο στροφής είναι η ύπαρξη του πίνακα στροφών (TRN). Στον πίνακα αυτό και για κάθε σημείο αλλαγής κατεύθυνσης καταγράφονται τα πεδία του κωδικού χρήστη για τον σύνδεσμο αρχής (ARC1-

ID) και τον σύνδεσμο προορισμού(ARC2-ID) όπως επίσης και η αντίσταση που συναντάται στη συγκεκριμένη στροφή. Χαρακτηριστικό είναι ότι αναγράφονται όλες οι δυνατές περιπτώσεις κατευθύνσεων στροφών σε κάθε διασταύρωση ανεξάρτητα αν οι τιμές αντιστάσεως στους συνδέσμους που συντρέχουν είναι απαγορευτικές.

Μια βασική αρχή για το προσδιορισμό των λεκανών απορροής σε κάθε φρεάτιο του δικτύου είναι η μονοσήμαντη αντιστοιχία μεταξύ ιδεατών αγωγών και φρεατίων. Το κριτήριο με το οποίο γίνεται η αντιστοιχία είναι η ανάντη απορροή να ακολουθεί σε κάθε σημείο διασταυρώσεως τον άξονα της οδού με τη μέγιστη κλίση.



Σχήμα 2: Χρησιμοποιώντας συσχέτιση μεταξύ των πεδίων ARC1-ID και ARC2-ID του πίνακα TRN και του πεδίου του χρήστη αγωγού (user-id) του πίνακα AAT τα τόξα του πίνακα TRN συσχετίζονται με την αντίσταση κίνησης (from-to-imp.) που είναι καταχωρημένη στον AAT.

Επομένως η απαίτηση για τον πίνακα .TRN είναι να περιέχει ένα πεδίο (*turn-impedance*) στο οποίο καταγράφονται οι τιμές αντίστασης σε κάθε στροφή ώστε τελικά με βάση απαγορευτικές τιμές προς τη κατάλληλη κατεύθυνση η ανάντη απορροή να οδηγείται προς τη μέγιστη κλίση. Παρουσιάζεται επομένως η ανάγκη σε κάθε καταχώρηση του πίνακα TRN, που αντιστοιχεί τελικά σε διασταύρωση να είναι διαθέσιμη η τιμή της αντιστάσεως κίνησης, *from-to-impedance*, των συμβαλλόντων συνδέσμων (Σχήμα 2).

Στη συνέχεια αξιολογούνται οι τιμές αντιστάσεων στους συνδέσμους που συντρέχουν στους κόμβους ελέγχου και τελικά δίνονται απαγορευτικές τιμές σε όλες τις αντιστάσεις στροφών (*turn-imp*) εκτός από την κατεύθυνση της μέγιστης κλίσης που δέχεται μηδενική αντίσταση στροφής.

5.2 ΧΑΡΑΞΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΚΡΙΤΗ ΚΑΘΕ ΦΡΕΑΤΙΟΥ

Το NETWORK επιτρέπει τον επιμερισμό τμημάτων του δικτύου που θα εξυπηρετηθούν από μια τοποθεσία με βάση προκαθορισμένα κριτήρια. Ο προσδιορισμός του υδροκρίτη κάθε φρεατίου ισοδυναμεί με τον καταμερισμό των αγωγών, ιδεατών και πραγματικών, στα φρεάτια χρησιμοποιώντας τις διαδρομές ελάχιστης αντίστασης (μέγιστες κλίσεις). Η διαδικασία διακρίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά σε κάθε αγωγό του δικτύου αντιστοιχίζεται ένα εμβα-

δόν και στη συνέχεια προσαρμόζονται οι παράμετροι της *allocate* στις απαιτήσεις της εφαρμογής σύμφωνα με τα ακόλουθα βήματα:

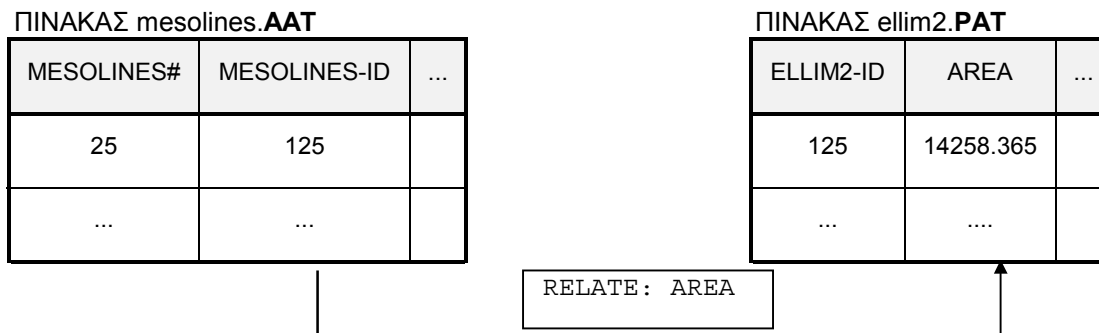
Στάδιο 1: Αποκατάσταση της «ζήτησης» σε κάθε αγωγό του δικτύου.

Η σύνδεση των συνδέσμων του δικτύου με το εμβαδόν επιρροής τους επιτυγχάνεται με συσχέτιση του πίνακα χαρακτηριστικών γραμμικών ιδιοτήτων του δικτύου και του πίνακα επιφανειών επιρροής κάθε αγωγού (Σχήμα 3). Η σύνδεση βασίζεται στην ανάθεση κοινού κωδικού χρήστη σε κάθε πολύγωνο που περιβάλλει τον αντίστοιχο αγωγό από τον οποίο προέκυψε.

Στάδιο 2: Βαθμονόμηση της διαδικασίας *allocate* στις απαιτήσεις της εφαρμογής .

Ως «κέντρα» όπου θα γίνει ο επιμερισμός θεωρούνται τα φρεάτια υδροσυλλογής του υπαρκτού δικτύου αλλά και τα σημεία διασταυρώσεων του «ιδεατού» δικτύου των αξόνων των οδών. Με την παράμετρο *IN* της *allocate* επιτυγχάνεται ο υπολογισμός διαδρομών ελάχιστου αντίστασης χρησιμοποιώντας μόνο την ανάντη του φρεατίου συμβολή αγωγών.

Προκειμένου να υπολογίζεται η μέγιστη ανάντη συνεισφορά, είναι απαραίτητο κάθε φορά που τρέχει η διαδικασία επιμερισμού να επεξεργάζεται ένα και μόνο «κέντρο». Αυτό επιτυγχάνεται με την κατασκευή μιας υπολογιστικής διαδικασίας (*aml*) που εξασφαλίζει την σειριακή σάρωση, του πίνακα που περιέχει όλα τα σημεία ελέγχου για τον επιμερισμό, έχοντας ενεργό κάθε φορά μόνο ένα. Ας σημειωθεί ότι παρ' όλο που το λογισμικό του συστήματος διαθέτει κάποια αντίστοιχη επιλογή τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της, ειδικά για διαδοχικά φρεάτια υδροσυλλογής, απέχουν από την πραγματικότητα. Μετά το τέλος της διαδοχικής σάρωσης όλων των κέντρων ελέγχου έχει υπολογιστεί για κάθε ένα το εμβαδόν της λεκάνης απορροής και τα αποτελέσματα καταχωρούνται σε πίνακα *info*.

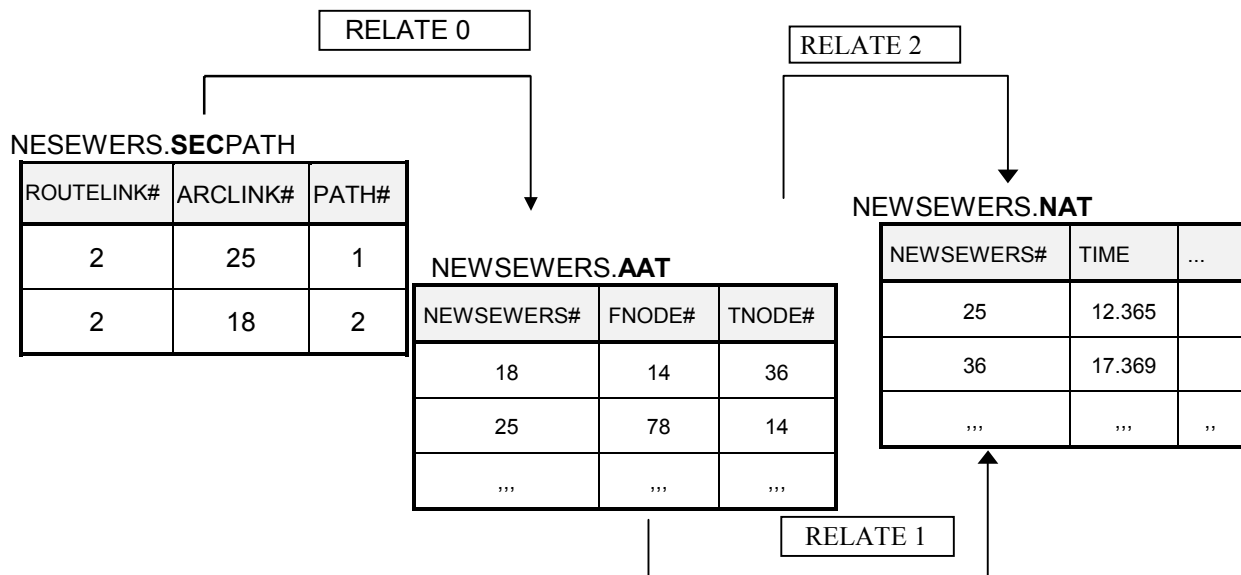


Σχήμα 3: Με χρήση συσχέτισης μεταξύ των πεδίων του κωδικού χρήστη αγωγών *mesolines-id* του πίνακα και το κωδικού χρήστη πολυγώνων *ellim2-id* του *.PAT* επιτυγχάνεται η μεταφορά του εμβαδού (*AREA*) κάθε πολυγώνου στο αντίστοιχο γραμμικό στοιχείο.

5.3 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Παρ' όλο που το σύστημα *ARC/INFO* διαθέτει δυνατότητες επικοινωνίας με εξωτερικά προγράμματα γραμμένα σε διάφορες γλώσσες (*C++*, *FORTRAN*, κ.ά.) για τον έλεγχο της υδραυλικής επάρκειας δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιο τέτοιο. Προτιμήθηκε η λύση της κατασκευής ενός προγράμματος υδραυλικών υπολογισμών με την γλώσσα *aml* του λογισμικού του συστήματος που διαθέτει και μαθηματικές υπολογιστικές ιδιότητες. Ένας σημαντικός λό-

γος που δικαιολογεί την επιλογή αυτή είναι και η δυνατότητα οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τους υπολογισμούς. Έτσι επιλέχθηκε η κατασκευή ενός προγράμματος που δεν θα αυτοματοποιεί πλήρως το σύνολο των υδραυλικών υπολογισμών για όλο το δίκτυο ταυτόχρονα αλλά ενός συστήματος που ο χρήστης με αλληλεπιδραστική (interactive) διαδικασία θα επιλέγει κάθε φορά τη θέση ελέγχου.



Σχήμα 4: Η σειρά των αγωγών στην διαδρομή ελέγχου φυλάσσεται στο πεδίο path# του πίνακα newsewrs.secpath. Με το relate 0 με πεδία κοινών τιμών τα arclink# και newsewrs#, διαβάζονται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των αγωγών (διάμετρος, κλίση και μήκος) αλλά και η έκταση απορροής του ανάντη φρεατίου που έχει τελικά καταχωρηθεί στον πίνακα .AAT του δικτύου. Με τα relate 1 και 2 με πεδία κοινών τιμών τους εσωτερικούς κωδικούς αρίθμησης των κόμβων(FNODE#,TNODE#,NEWSEWERS#) διαβάζεται για κάθε αγωγό που υπολογίζεται ο χρόνος συρροής του ανάντη του φρεατίου που είναι καταχωρημένος στον πίνακα .NAT.

Καίριο σημείο στην όλη διαδικασία των υπολογισμών είναι η αξιοποίηση των δυνατοτήτων των εννοιών της dynamic-segmentation (route-sections), βάσει των οποίων τελικά επιτυγχάνεται η σάρωση αυτόματα και σειριακά (cursor processing) της διαδρομής ελέγχου, διατάσσοντας τους αγωγούς από τον πιο ανάντη στον πιο κατάντη. Παράλληλα με την βοήθεια των επάλληλων συσχετίσεων (stacked relates) που φαίνονται παραστατικά στο Σχήμα 4 διαβάζονται οι υδραυλικές παράμετροι (διάμετροι, κλίσεις, χρόνοι συρροής,...) που θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό του κάθε αγωγού. Του υδραυλικού ελέγχου προηγείται η υδρολογική διαδικασία εκτίμησης της έντασης βροχής για την οποία χρησιμοποιείται όμβρια καμπύλη της περιοχής Αθηνών (Mimikou & Koutsoyannis, 1995). Οι υδραυλικοί υπολογισμοί γίνονται με τη παραδοχή μόνιμης και ομοιόμορφης ροής με ελεύθερη επιφάνεια βάσει των τύπων του Manning και αποσκοπούν στον προσδιορισμό του ομοιόμορφου βάθους ροής στους αγωγούς και τον έλεγχό του σε σχέση με τις διαστάσεις της διατομής. Παράλληλα ελέγχονται τα κριτήρια της ταχύτητας τόσο της μέγιστης όσο και της ελάχιστης όπως αυτά κωδικοποιούνται στις Ελληνικές προδιαγραφές (Κουτσογιάννης, 1993). Τα αποτελέσματα των υδραυλικών υπολογισμών, παροχών και ταχυτήτων, καταγράφονται στον πίνακα .AAT

του θεματικού επιπέδου του δικτύου ενώ τα υδρολογικά (χρόνοι συρροής ανά φρεάτιο) στον πίνακα .NAT.

Εφ' όσον τα αποτελέσματα καταγράφονται στους πίνακες χαρακτηριστικών ιδιοτήτων, ανάλογα με την περίοδο επαναφοράς που εξετάζεται, εύκολα μπορεί να γίνει η χαρτογραφική παρουσίαση των ελέγχων επάρκειας των διατομών καταδεικνύοντας έτσι γρήγορα τις περιοχές εκείνες που έχουν υψηλή πιθανότητα αστοχίας δικτύου.

6. Αυτοματοποίηση - Διαμόρφωση περιβάλλοντος χρήστη

Για τη διευκόλυνση του χρήστη στην εκτέλεση των παραπάνω διαδικασιών αλλά και για τη παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης κατασκευάστηκε ένα menu που χρησιμοποιείται στον άμεσο καθορισμό της λεκάνης απορροής σε κάθε σημείο διασταύρωσης αγωγών του δικτύου τόσο υπαρκτών όσο και ιδεατών. Με την επιλογή ενός κόμβου από την οθόνη εμφανίζεται η ανάντη συμβολή αξόνων δρόμων ως διαδρομή (*route*) που αντιστοιχεί σε αυτόν. Η χαρτογραφική απεικόνιση γίνεται με σύμβολο που προεπιλέγει ο χρήστης από το ίδιο menu και παράλληλα υπάρχει επιλογή να εμφανίζεται η ανάντη περιοχή που απορρέει στο σημείο αυτό.

Μια δεύτερη φόρμα ελέγχει τις διαδικασίες υδραυλικών υπολογισμών. Ο χρήστης έχει οπτική εποπτεία του δικτύου υπαρκτών αγωγών ομβρίων και στη συνέχεια επιλέγει από την οθόνη το φρεάτιο αρχής και τέλους της διαδρομής που θέλει να μελετήσει. Έτσι για κάθε πιθανή διαδρομή μελέτης, διατάσσονται οι αγωγοί με σειρά από τους ανάντη προς τους κατόντη και εκτελούνται οι υδρολογικοί και υδραυλικοί υπολογισμοί. Σε δεύτερη φάση απεικονίζονται με διαφορετικό χρώμα οι αγωγοί εκείνοι που έχουν μεγαλύτερο του επιτρεπόμενου ποσοστό πληρώσεως.

7. Συμπεράσματα

Ο σκοπός της μελέτης αυτής είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων του συγκεκριμένου Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας και όχι η κατασκευή κάποιου αυτόνομου υπολογιστικού πακέτου για τον έλεγχο ενός δικτύου αποχέτευσης (Χατζηχρήστος, 1995). Από τα αποτελέσματα της εργασίας συνάγονται τα εξής συμπεράσματα με σειρά σπουδαιότητας:

1. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε για τον ορισμό των περιοχών επιρροής των αγωγών προσεγγίζει με καλή ακρίβεια τον διαχωρισμό των οικοδομικών τετραγώνων σύμφωνα με τον κανόνα των διχοτόμων.

2. Με την εγκατάσταση ενός «ιδεατού» δικτύου που διατρέχει τους άξονες των οδών υπολογίζεται με ακρίβεια η έκταση που απορρέει σε κάθε διασταύρωση οδών. Αυτό διευκολύνει ουσιαστικά τη μελέτη εναλλακτικών τοπολογιών του δικτύου όπως για παράδειγμα την επέκταση αγωγών.

3. Το περιβάλλον relate συνδέει εύκολα και ευέλικτα πεδία πινάκων της βάσης δεδομένων info ή κάποιας εξωτερικής, έχοντας τουλάχιστον μια κοινή αριθμητική ιδιότητα. Σε συνδυασμό με τις έννοιες του cursor processing καθιστούν το σύστημα μια ολοκληρωμένη σχεσιακή βάση δεδομένων.

Το πακέτο NETWORK διαθέτει μια πλήρη σειρά ειδικευμένων εντολών που συνδυάζονται πλήρως με τα υπόλοιπα περιβάλλοντα του συστήματος επιτρέποντας την ικανοποιητική προσομοίωση δικτύων αποχέτευσης ομβρίων. Παρ' όλα αυτά ο σχετικά μεγάλος χρόνος που απαιτείται για τον υπολογισμό επαναληπτικών ρουτινών κάνει την γλώσσα προγραμματισμού *aml* δύσχρηστη για πολύπλοκους μαθηματικούς αλγόριθμους. Για πιο σύνθετα μοντέλα δίνεται η δυνατότητα επικοινωνίας των δεδομένων με εξωτερικά προγράμματα.

Αναφορές

Κουτσογιάννης Δ., Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης, Αθήνα 1993.

Mimikou M. and Koutsoyiannis D., Extreme floods in Greece;The case of 1994, Proc. U.S.- Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts and Management of Extreme Floods , Perugia, Italy, 1995.

Χατζηχρήστος, Δ., Διερεύνηση του ρόλου Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας σε δίκτυα αποχέτευσης ομβρίων, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1995.

ESRI, Arcedit Command References, 1991a.

ESRI, Arc Command References, 1991b.

ESRI, Arcplot Command References, 1991c.

ESRI, Grid Command References, 1991d.

ESRI, Aml User's Guide, 1991e.

ESRI, Arc/Info User's Guide Map Display And Query, 1991f.