

Παρασιτικές εισροές ομβρίων στο υπό μελέτη δίκτυο ακαθάρτων του Δήμου Ελλομένου της Λευκάδας

Τεχνικό Υπόμνημα

Δημήτρης Κουτσογιάννης
Δρ. Μηχανικός – Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

1. Εισαγωγή - Ιστορικό

Ο Δρ. Η. Βασιλόπουλος, εκπρόσωπος της σύμπραξης γραφείων μελετών για τη «Μελέτη Αποχέτευσης – Βιολογικού Καθαρισμού Δήμου Ελλομένου Λευκάδας» έθεσε τα ακόλουθα ερωτήματα, τα οποία σχετίζονται με τις παρασιτικές εισροές ομβρίων στο υπό μελέτη δίκτυο ακαθάρτων:

1. Αν το υλικό των σωλήνων αποχέτευσης διαφοροποιεί τις παροχές των παρασιτικών εισροών σε περίπτωση που οι σωλήνες είναι βυθισμένοι σε υπόγεια νερά και συγκεκριμένα αν η χρήση αγωγών πολυαιθυλενίου μειώνει τις παρασιτικές εισροές στο επίπεδο του 10-15% της θερινής παροχής ακαθάρτων.
2. Αν οι βασικές παραδοχές της μελέτης σχετικά με την εκτίμηση των παρασιτικών εισροών και συγκεκριμένα η χρήση της έκφρασης για την εκτίμηση των διηθήσεων που προκύπτει από το σχετικό νομογράφημα της Metcalf and Eddy, όπως δίνεται σε αναλυτική μορφή από τον Κουτσογιάννη (1999, σ. 30) είναι ορθή και ποια από τις δύο εκφράσεις είναι η καταλληλότερη για την υπόψη περίπτωση, αυτή των νέων δικτύων ή αυτή των παλιών δικτύων με υψηλό υπόγειο ορίζοντα.

2. Γενικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη δικτύου ακαθάρτων του Δήμου Ελλομένου

Τα κύρια στοιχεία της μελέτης των γραφείων μελετών Υποδομή-Σύμβουλοι Μηχανικοί κ.ά. (2003) που αφορούν το παρόν υπόμνημα είναι τα ακόλουθα:

- Περίοδος σχεδιασμού: 40 έτη, 2002-2042.
- Πληθυσμός σχεδιασμού: Όπως στον Πίν. 1.
- Εξυπηρετούμενη έκταση: 210.5 ha.
- Μήκος δικτύου: Όπως στον Πίν. 2.
- Υδρογεωλογικές συνθήκες: Υψηλός φρεάτιος ορίζοντας, πάνω από τη στάθμη τοποθέτησης των αγωγών ακαθάρτων στο 96% της έκτασης (202 ha) και χαμηλός στο υπόλοιπο 4% (8.5 ha).
- Όμβρια καμπύλη της ευρύτερης περιοχής: $i = 26.08 T^{0.162} / d^{0.622}$ όπου i η ένταση βροχής σε mm/h, T η περίοδος επαναφοράς σε έτη και d η διάρκεια βροχής σε h.¹
- Παροχή αιχμής λυμάτων για το σύνολο της περιοχής: 117.96 L/s.
- Παροχή αιχμής παρασιτικών εισροών: 51.46 L/s.
- Παροχή σχεδιασμού: 169.42 L/s.

¹ Η όμβρια καμπύλη βασίστηκε σε δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του Ακτίου και προέρχεται από τη μελέτη του γραφείου μελετών Υποδομή-Σύμβουλοι Μηχανικοί (2002).

Πίν. 1 Συνολικός πληθυσμός την περίοδο αιχμής στο τέλος της περιόδου σχεδιασμού.

Κατηγορία	Πληθυσμός
Μόνιμοι κάτοικοι	4 400
Παραθεριστές	3 200
Κατασκηνωτές	2 400
Τουρίστες	10 000
Σύνολο	20 000

Πίν. 2 Συνολικό μήκος αγωγών δικτύου ακαθάρτων και κατανομή τους ανά διάμετρο.

Ονομαστική διάμετρος (mm)	Συνολικό μήκος (km)	Ποσοστό επί του συνολικού μήκους (%)
200	46.6	80
250	6.3	11
315	2.5	4
400	1.9	3
500	1.1	2
Σύνολο	58.4	100

3. Τάσεις στη διεθνή βιβλιογραφία

Γενική επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας για το ζήτημα των παρασιτικών εισροών παρέχεται στο βιβλίο του Κουτσογιάννη (1999). Από τη νεότερη βιβλιογραφία, σε ότι αφορά τις ΗΠΑ, αξίζει να αναφερθούμε στην εργασία των Heaney et al. (1999) που καλύπτει το θέμα των παρασιτικών εισροών με διεξοδικό τρόπο. Θα αναφερθούμε στα παρακάτω κεφάλαια διεξοδικότερα στη μελέτη αυτή, η οποία εντάσσεται σε ευρύτερη μελέτη της Αμερικανικής Environmental Protection Agency (EPA), ωστόσο θα πρέπει να σημειώσουμε ότι, αν και δίνει αρκετά ενδιαφέροντα στοιχεία από νεότερες έρευνες, κατά βάση στηρίζεται στα εγχειρίδια των ASCE/WPCF (1982, 1993), τα οποία με τη σειρά τους αποτελούν εν πολλοίς επανάληψη και επικαιροποίηση του κλασικού εγχειριδίου της ASCE/WPCF (1970-1976). Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από την ανάγνωση της εν λόγω μελέτης, από άλλες παρόμοιες μελέτες, καθώς και από στοιχεία που μπορούν να βρεθούν στο Διαδίκτυο, είναι ότι στις ΗΠΑ, ως αποτέλεσμα της χρήσης νέων τεχνολογιών και υλικών, η σημερινή τάση είναι η μείωση του μεγέθους των παρασιτικών εισροών κατά το σχεδιασμό νέων δικτύων, σε επίπεδα χαμηλότερα από αυτά της δεκαετίας του 1960.

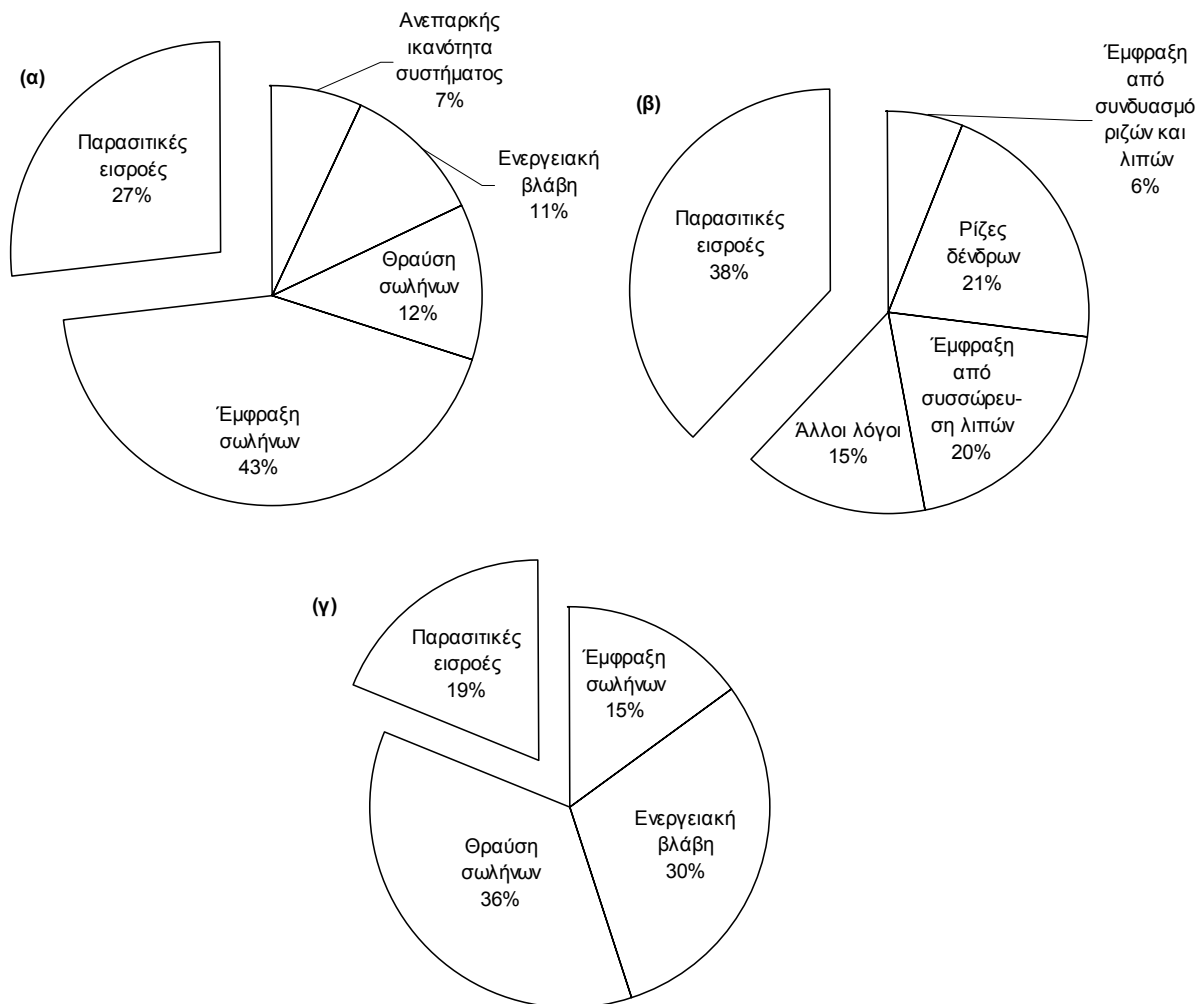
Η ευρωπαϊκή βιβλιογραφία είναι πολύ φτωχότερη από την αμερικανική γύρω από το θέμα των αποχετευτικών δικτύων και ιδιαίτερα των παρασιτικών εισροών. Στη Μεγάλη Βρετανία, αν και υπάρχουν ορισμένα αξιόλογα νέα συγγράμματα (π.χ. Butler and Davis, 2000), δεν περιλαμβάνουν νέα στοιχεία για τις παρασιτικές εισροές. Στη Γερμανία, η έρευνα στο Διαδίκτυο δείχνει ότι στο σχεδιασμό των δικτύων κατά κανόνα εξακολουθεί να χρησιμοποιείται η παραδοχή προσάυξης της παροχής ακαθάρτων κατά 100% για να ληφθούν υπόψη οι παρασιτικές εισροές (όπως περιγράφεται και στο γνωστό στην Ελλάδα βιβλίο του Martz, 1970).

4. Σημασία της εκτίμησης των παρασιτικών εισροών

Αν και τα δίκτυα ακαθάρτων δεν σχεδιάζονται για να μεταφέρουν όμβρια νερά ή υπόγεια νερά καθεαυτά, ωστόσο τα όμβρια, όπως και οι διηθήσεις από υπόγεια νερά αναπόφευκτα εισρέουν στα δίκτυα. Μάλιστα, οι ποσότητες αυτών των επιπρόσθετων, παρασιτικών, εισροών δεν είναι καθόλου αμελητέες, πράγμα που καθιστά το όλο ζήτημα σοβαρό και πολύπλοκο στις μελέτες των αποχετευτικών δικτύων. Όπως παρατηρούν οι Heaney et al. (1999):

- οι ποσότητες των παρασιτικών εισροών μπορεί να υπερβούν τις καθαρές ποσότητες λυμάτων·
- σε πολλές περιπτώσεις, οι παροχετευτικές ικανότητες των δικτύων αποχέτευσης καθίστανται ανεπαρκείς, λόγω των παρασιτικών εισροών, πολύ πριν το τέλος της περιόδου σχεδιασμού τους, οδηγώντας έτσι τα δίκτυα σε αστοχία λόγω υπερχειλίσεων λυμάτων και δημιουργώντας προβλήματα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

Από έρευνες στις ΗΠΑ, τα αποτελέσματα των οποίων συνοψίζονται παραστατικά στο Σχ. 1, οι παρασιτικές εισροές είναι υπεύθυνες για σημαντικό ποσοστό (19%-38%) των αστοχιών σε δίκτυα ακαθάρτων.



Σχ. 1 Κατανομή των αστοχιών των αποχετευτικών δικτύων ακαθάρτων που οδήγησαν σε υπερχειλίση λυμάτων, με βάση στοιχεία που αναφέρονται στις ΗΠΑ και δίνονται από τους Heaney et al. (1999). Ειδικότερα, τα δεδομένα προέκυψαν από τις μελέτες (α) της USEPA (1996) από δείγμα 6 αποχετευτικών δικτύων στις ΗΠΑ, (β) των Jurgens and Kelso (1996) από δείγμα 284 αστοχιών στα έτη 1991 και 1992 στο Fayetteville (Αριζόνα, ΗΠΑ), και (γ) των Clemente and Cardozo (1996) στο Miami (Φλόριδα, ΗΠΑ).

Τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν τη σοβαρότητα με την οποία πρέπει να αντιμετωπίζεται το θέμα των παρασιτικών εισροών. Το γεγονός, ωστόσο, ότι το μέγεθος αυτών των εισροών επηρεάζεται με πολύπλοκο τρόπο από πληθώρα παραγόντων, καθιστά ιδιαίζοντως αβέβαιο τον ακριβή προσδιορισμό τους στη φάση του σχεδιασμού. Αυτή η αβεβαιότητα μπορεί να αντιμετωπιστεί με υιοθέτηση σχετικά συντηρητικών παραδοχών για την εκτίμηση των παροχών των παρασιτικών εισροών.

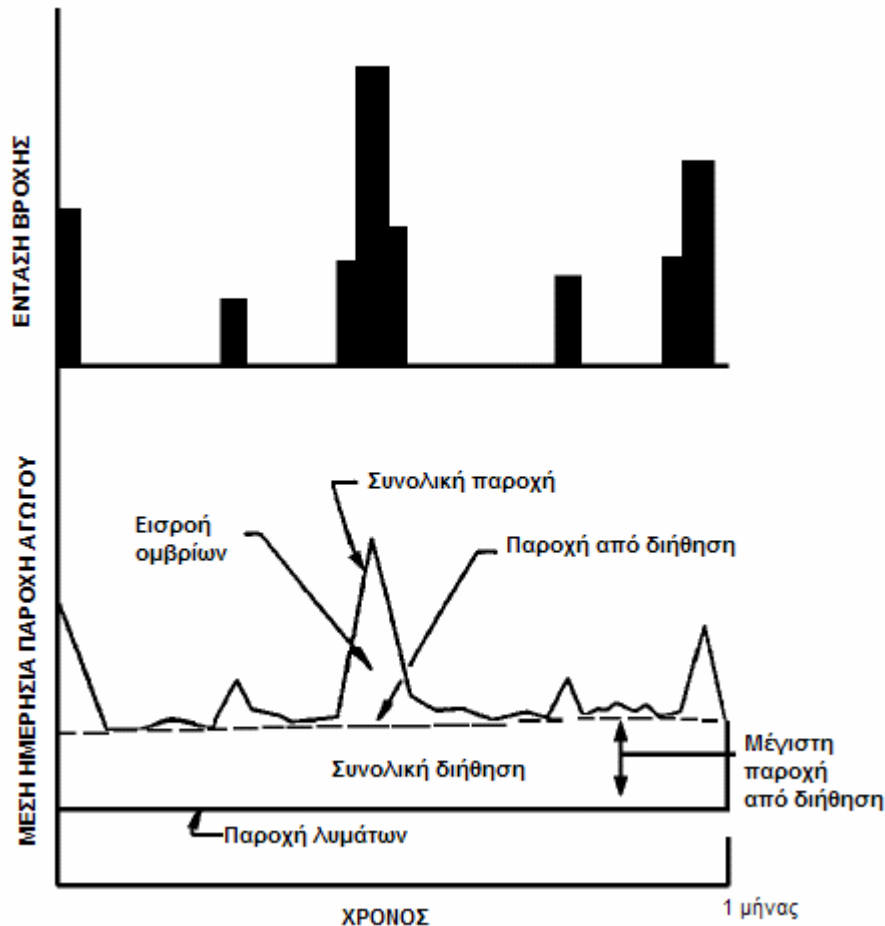
Είναι προφανές ότι οι συντηρητικές παραδοχές οδηγούν σε αύξηση του κόστους ενός έργου. Θα πρέπει ωστόσο να τονιστεί, ότι στην περίπτωση αποχετευτικών δικτύων μικρού έως μεσαίου μεγέθους, οι οικονομικές επιπτώσεις δεν είναι τόσο σημαντικές. Στην περίπτωση του Δήμου Ελλομένου, ο Πίν. 1 υποδηλώνει ότι το 80% των αγωγών θα κατασκευαστεί με την ελάχιστη αποδεκτή διάμετρο που είναι 200 mm. Είναι προφανές ότι τυχόν ευμενέστερη παραδοχή ως προς την ποσότητα των παρασιτικών εισροών (ακόμη και η ακραία υπόθεση του μηδενισμού τους) δεν θα έχει καμιά (ευνοϊκή οικονομική) επίπτωση στο 80% του μήκους δικτύου. Παρόλο που θα μειωθεί η συνολική παροχή, δεν μπορεί να μειωθεί η διάμετρος κάτω από το ελάχιστο επιτρεπτό όριο. Για το υπόλοιπο 20% του μήκους, σε κάποιο τμήμα αυτού επίσης δεν θα μειωθεί το κόστος, επειδή οι σωλήνες του εμπορίου έχουν συγκεκριμένες διακριτές διαμέτρους, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα αναμένεται να υπάρξει μείωση, κατά κανόνα με εφαρμογή της αμέσως μικρότερης διαμέτρου του εμπορίου. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι το οικονομικό όφελος από την υιοθέτηση μικρότερων ποσοτήτων παρασιτικών εισροών είναι μάλλον οριακό και πάντως αναντίστοιχο με τη συνεπαγόμενη αύξηση της διακινδύνευσης. Αυτή η σχέση οικονομικότητας-διακινδύνευσης στην περίπτωση των εισροών των δικτύων ακαθάρτων, στην Ελλάδα δεν έχει διερευνηθεί και κατανοηθεί επαρκώς, με αποτέλεσμα τις συχνές αντιπαραθέσεις των μερών που εμπλέκονται στις μελέτες αποχετεύσεων (μελετητών, δημόσιων φορέων, τοπικής αυτοδιοίκησης).

5. Κατηγορίες παρασιτικών εισροών

Όπως είναι γνωστό, οι παρασιτικές εισροές περιλαμβάνουν δύο κύριες κατηγορίες πρόσθετων εισροών στα δίκτυα ακαθάρτων, τις εισροές ομβρίων και τις διηθήσεις υπόγειων νερών. Οι δύο αυτές κατηγορίες παρουσιάζουν διαφορετική διάταξη, με τις πρώτες να παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις και να συσχετίζονται άμεσα τη χρονική εξέλιξη της βροχής, και τις δεύτερες να έχουν σχετικά σταθερή τιμή στο χρόνο. Η διάταξη αυτή χαρακτηριστικά απεικονίζεται στο Σχ. 2, το οποίο είναι αντιπροσωπευτικό κυρίως για αγωγούς τοποθετημένους κάτω από τη στάθμη του φρεατίου ορίζοντα.

Οι εισροές ομβρίων περιλαμβάνουν (ASCE/WPCF, 1976, σ. 29):

- Εισροές από καλύμματα φρεατίων. Οι ASCE/WPCF (1976) αναφέρουν αποτελέσματα μετρήσεων που δείχνουν εισροές 1.3-4.4 L/s ανά κάλυμμα φρεατίου, πάνω από το οποίο η ροή ομβρίων έχει βάθος 2.5 cm.
- Εισροές ομβρίων από οροφές, αυλές, υπόγεια και ελεύθερους χώρους. Πρόκειται ουσιαστικά για εισροές που εισέρχονται στο δίκτυο μέσω παράνομων συνδέσεων, αφού κανονικά τα όμβρια πρέπει να αποχετεύονται στο δίκτυο ομβρίων. Ωστόσο, η πλήρης εφαρμογή των κανονισμών από όλους τους κατοίκους είναι σπάνια ακόμη και στις ΗΠΑ, όπως παρατηρούν οι ASCE/WPCF (1976). Ας σημειωθεί ότι στις ΗΠΑ εφαρμόζονται τεχνικές εντοπισμού των παράνομων συνδέσεων με την εισαγωγή καπνού μέσα στις σωληνώσεις και την παρατήρηση τυχόν αναδύσεων του από οροφές, αυλές σπιτιών κτλ. Βεβαίως στην Ελλάδα λογικά περιμένει κανείς να υπάρχουν μεγαλύτερες ποσότητες εισροών ομβρίων από παράνομες συνδέσεις, ενώ το πρόβλημα αναμένεται να είναι πιο οξυμένο σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει δίκτυο ομβρίων.



Σχ. 2 Σχηματικό διάγραμμα της διαμόρφωσης της συνολικής παροχής των αγωγών ακαθάρτων από την παροχή λυμάτων, τη διήθηση και την εισροή ομβρίων (προσαρμογή από την εργασία της USEPA, 1991).

Οι διηθήσεις περιλαμβάνουν υπόγεια νερά (ASCE/WPCF, 1976) που εισέρχονται στο δίκτυο μέσω:

- αρμών, ρωγμών και οπών (π.χ. από τραυματισμούς ή από ρίζες δένδρων) στους αγωγούς του δημόσιου δικτύου·
- αντίστοιχων ατελειών στους αγωγούς των ιδιωτικών συνδέσεων καθώς και τις ενώσεις αυτών με τους αγωγούς του δημόσιου δικτύου·
- αντίστοιχων ατελειών στα φρεάτια του δικτύου και τις ενώσεις των αγωγών με τα φρεάτια.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι συχνά η δεύτερη κατηγορία οδών διείσδυσης υπόγειων νερών στο αποχετευτικό σύστημα αμελείται και η προσοχή δίνεται στην πρώτη κατηγορία. Ωστόσο, αυτό είναι λάθος, αφού η ποιότητα κατασκευής των ιδιωτικών συνδέσεων είναι σαφώς χαμηλότερη αυτής των αγωγών του δημόσιου δικτύου. Εξ άλλου, όπως παρατηρούν οι ASCE/WPCF (1976, σ. 30) οι αγωγοί ιδιωτικών συνδέσεων:

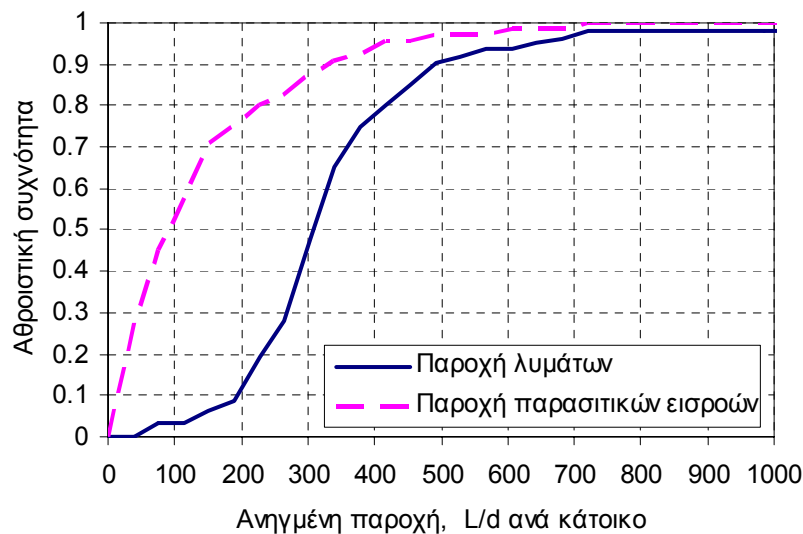
- συχνά έχουν μήκος μεγαλύτερο του μήκους του δημόσιου δικτύου·
- έχει βρεθεί ότι συμβάλλουν στη συνολική ποσότητα διηθήσεων σε ποσοστό 90%.

Υπάρχει και μια ακόμα πηγή παρασιτικών εισροών που λόγω της σταθερότητάς της ως προς τη χρονική εξέλιξη, αλλά και της προέλευσης του νερού, μπορεί να καταταγεί στην κατηγορία των διηθήσεων υπόγειων νερών, αν και οι ASCE/WPCF (1976, σ. 29) τη θεωρούν ως ξεχωρι-

στή τρίτη κατηγορία. Πρόκειται για τις εισροές από στραγγίσεις των θεμελιώσεων κτιρίων. Οι στραγγίσεις των θεμελιώσεων είναι απαραίτητες τόσο για την προστασία των θεμελιώσεων καθεαυτών, όσο και για την προστασία των κατώτερων τμημάτων του κτηρίου (ισογείων και κυρίως υπογείων, εφόσον υπάρχουν) από υγρασίες. Κανονικά οι στραγγίσεις αυτές θα πρέπει να διοχετεύονται στο δίκτυο ομβρίων ή, εφόσον δεν υπάρχει, στο ρείθρο του πεζοδρομίου. Επειδή αυτό απαιτεί κατά κανόνα άντληση, η εύκολη, αν και παράνομη, λύση της διοχέτευσης στο δίκτυο ακαθάρτων αξιοποιείται κατά κόρον. Παρόλο, λοιπόν, που οι εισροές αυτές προκύπτουν από παράνομες συνδέσεις, η παρουσία τους δεν μπορεί να αγνοηθεί ειδικά όταν ο φρεάτιος ορίζοντας είναι ψηλά και όταν δεν υπάρχει δίκτυο ομβρίων.

6. Ποσοτική εκτίμηση παρασιτικών εισροών

Η μεγάλη διασπορά του μεγέθους των παρασιτικών εισροών, οι πολύπλοκοι μηχανισμοί του φαινομένου και η εξάρτησή του από πολλές παραμέτρους, έχουν οδηγήσει αναγκαστικά σε μεγάλη ποικιλία τιμών σχεδιασμού των παρασιτικών εισροών. Η μεγάλη διασπορά των τιμών, που είναι ενδεικτική της μεγάλης αβεβαιότητας, απεικονίζεται χαρακτηριστικά στο Σχ. 3, το οποίο έχει κατασκευαστεί με βάση στοιχεία από 102 πόλεις των ΗΠΑ που δίνονται από την AMSA (1996). Το διάγραμμα δίνει επιπλέον στοιχεία για την αμιγή παροχή λυμάτων για τις ίδιες πόλεις. Και οι δύο κατηγορίες παροχών έχουν αναχθεί ανά κάτοικο. Τα στοιχεία δείχνουν ότι η μέση τιμή των παρασιτικών εισροών είναι 140 L/d/κάτοικο, έναντι 330 L/d/κάτοικο της παροχής λυμάτων. Ο συντελεστής μεταβλητότητας των παρασιτικών εισροών έχει τιμή κοντά στο 1 (για την ακρίβεια 0.91) και είναι διπλάσιος αυτού των αμιγών λυμάτων (0.45).



Σχ. 3 Κατανομή της αθροιστικής συχνότητας των μέσων ετήσιων παροχών λυμάτων και παρασιτικών εισροών ανηγμένων ανά κάτοικο, με βάση στοιχεία από 102 πόλεις των ΗΠΑ που δίνονται από την AMSA (1996).

Εδώ θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι οι παροχές των καθαρών λυμάτων που προκύπτουν από το Σχ. 3 δεν μπορεί να έχουν εφαρμογή στην Ελλάδα, αφού είναι γνωστό ότι οι οικιακές καταναλώσεις νερού στις ΗΠΑ είναι πολύ μεγαλύτερες και εν γένει υπάρχει σπάταλη διαχείριση του νερού. Ωστόσο, οι παροχές των παρασιτικών εισροών, που δεν εξαρτώνται από τις συνήθειες του πληθυσμού, μπορεί να είναι εφαρμόσιμες και στην Ελλάδα. Ενδεικτικά, λοιπόν, αναφέρεται ότι η εφαρμογή της παραπάνω μέσης τιμής (παρόλο που λόγοι ασφάλειας επιβάλλουν την υιοθέτηση τιμών αρκετά μεγαλύτερων της μέσης κατά το σχεδιασμό) στην περίπτωση του Δήμου Ελλομένου (για πληθυσμό 20 000 κατοίκων), θα έδινε την τιμή 32 L/s. Αυτή η τιμή αντιστοιχεί σε μέση ετήσια κλίμακα και επομένως θα πρέπει να προσαυξηθεί με κατάλληλο

συντελεστή αιχμής. Αν θεωρηθεί συντελεστής αιχμής 1.6 (Tchobanoglous, 1981, βλ. και Κουτσογιάννης, 1999), τότε οδηγούμαστε στο μέγεθος των 51.2 L/s.

Τα συμπεράσματα από μια άλλη μελέτη στις ΗΠΑ (Petroff, 1996) είναι ακόμη δυσμενέστερα, αφού έχει εκτιμηθεί ότι οι παρασιτικές εισροές που φτάνουν στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων αποτελούν σχεδόν το μισό των συνολικών ποσοτήτων. Αυτό το στοιχείο εναρμονίζεται με τη Γερμανική πρακτική που προαναφέρθηκε, σύμφωνα με την οποία, κατά το σχεδιασμό προσαυξάνεται κατά 100% το μέγεθος της παροχής ακαθάρτων. Στο ίδιο πνεύμα, οι Heaney et al. (1997, 1999) παρατηρούν ότι το μεγαλύτερο μέρος της παροχτετευτικής ικανότητας των δικτύων ακαθάρτων στις ΗΠΑ διατίθεται για την παροχέτευση των παρασιτικών εισροών (παρά για τα λύματα καθεαυτά).

Σε ότι αφορά τη διαχρονική εξέλιξη των τιμών σχεδιασμού των παρασιτικών εισροών στις ΗΠΑ, οι Heaney et al. (1997, 1999) παρατηρούν ότι πριν το 1960 αυτές ήταν 20-40 m³/d/ha, ενώ σήμερα γίνεται ευρέως δεκτή η τιμή των 10 m³/d/ha. Ωστόσο, η χρήση μιας ενιαίας τιμής σχεδιασμού, αδιακρίτως των ιδιαίτερων συνθηκών κάθε περίπτωσης, δεν θα πρέπει να θεωρηθεί ορθολογική.

Σχετικά καλύτερη προσέγγιση αποτελεί το νομογράφημα του Tchobanoglous (1981, σ. 74), γνωστό και ως νομογράφημα της Metcalf and Eddy, το οποίο ισοδυναμεί με τις ακόλουθες αναλυτικές εξισώσεις (Κουτσογιάννης, 1999) που δίνουν τις ειδικές διηθήσεις (q_i , L/s/ha) ως συνάρτηση της έκτασης (A , ha):

- Για νέα δίκτυα με στεγανά φρεάτια και ελαστικούς δακτυλίους στεγανοποίησης των αρμών

$$q_i = \min(0.5 / A^{0.3}, 0.16 \text{ L/s/ha})$$

- Για παλιά δίκτυα με υψηλό υπόγειο ορίζοντα

$$q_i = 1 / A^{0.25}$$

Στην περίπτωση του Δήμου Ελλομένου ($A = 210.5$ ha), οι δύο εξισώσεις δίνουν $q_i = 0.10$ και 0.25 L/s/ha, αντίστοιχα, και στο σύνολο της έκτασης 21.1 και 52.6 L/s, αντίστοιχα.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα παραπάνω μεγέθη αναφέρονται αποκλειστικά στις συνήθειες παροχές διηθήσεων. Για τις εισροές από στραγγίσεις θεμελιώσεων οι ASCE/WPCF (1976) αναφέρουν ως μέση τιμή σχεδιασμού (έχει χρησιμοποιηθεί στο Kansas City) την τιμή 0.08 L/s ανά κτίριο, η οποία π.χ. για 1000 κτήρια οδηγεί στο καθόλου ευκαταφρόνητο μέγεθος των 80 L/s. Για εισροές ομβρίων από καλύμματα φρεατίων, υιοθετώντας το κατώτατο όριο των τιμών που δίνουν οι ASCE/WPCF (1976), δηλαδή 1.3 L/s ανά κάλυμμα φρεατίου, και υποθέτοντας ένα μικρό αριθμό βυθισμένων φρεατίων, π.χ. 50, οδηγούμαστε στο επίσης όχι ευκαταφρόνητο μέγεθος των 65 L/s.

Για τις εισροές ομβρίων από παράνομες συνδέσεις, η βιβλιογραφία δεν δίνει κατευθύνσεις υπολογισμού (άλλωστε το ποσοστό των παράνομων συνδέσεων διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα, αλλά και από περιοχή σε περιοχή). Ενδεικτικά και μόνο, για να αποκτήσουμε μια εικόνα της τάξης μεγέθους της παροχής αυτών των εισροών, ας κάνουμε την υπόθεση εργασίας ότι οι παράνομες συνδέσεις αποχετεύουν στο δίκτυο ακαθάρτων το 1% της έκτασης στην οποία εκτείνεται το δίκτυο. Στην περίπτωση του Δήμου Ελλομένου (έκταση 210.5 ha), η όμβρια καμπύλη που σημειώνεται στο κεφάλαιο 2, για διάρκεια βροχής $d = 1$ h και περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη δίνει ένταση βροχής $i = 33.8$ mm/h. Υποθέτοντας συντελεστή απορροής 70% (τιμή μάλλον μικρή για στέγες, αυλές κτλ.), η συνολική ποσότητα απορροής ομβρίων στο σύνολο της περιοχής θα είναι $Q = 0.70 \times 33.8 \times 10^{-3} \text{ m} / (3600 \text{ s}) \times 210.5 \times 10^4 \text{ m}^2 = 13.9 \text{ m}^3/\text{s}$,

οπότε το 1% αυτής της ποσότητας φτάνει τα 139 L/s (μέγεθος μεγαλύτερο της παροχής αιχμής ακαθάρτων).

Οι παραπάνω ενδεικτικοί υπολογισμοί δείχνουν αφενός το μέγεθος της αβεβαιότητας και αφετέρου την αντίστοιχη διακινδύνευση σε περίπτωση υπεκτίμησης της παροχής των παρασιτικών εισροών.

Θα πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι οι εισροές των ομβρίων έχουν έντονη χρονική μεταβλητότητα και αυτό σημαίνει ότι, όταν εκτιμώνται παροχές αιχμής, όπως έγινε στους παραπάνω ενδεικτικούς υπολογισμούς, αυτές δεν θα πρέπει να προστίθενται στις παροχές αιχμής των λυμάτων, αφού η πιθανότητα να συμπέσουν χρονικά οι αιχμές των δύο συνιστωσών είναι πολύ μικρή. Το ερώτημα, ποιο ακριβώς μέγεθος παροχής ομβρίων θα πρέπει να προστεθεί στην παροχή ακαθάρτων, χρειάζεται προχωρημένη στατιστική διερεύνηση. Βεβαίως, μια τέτοια διερεύνηση έχει σαφή ερευνητικό χαρακτήρα και ξεφεύγει από τα όρια μιας εφαρμοσμένης τεχνολογικής μελέτης. Αντίθετα, με τις παροχές διηθήσεων τα πράγματα είναι απλούστερα, αφού η σχετική σταθερότητά τους στο χρόνο δικαιολογεί την πρόσθεσή τους στην αιχμή της παροχής ακαθάρτων.

7. Σχέση υλικού αγωγών και ποσότητας παρασιτικών εισροών

Αναμφίβολα, η χρήση των πλαστικών αγωγών, αρχικά από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και πιο πρόσφατα από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), καθώς και η πιο επιμελημένη κατασκευή των δικτύων συνέβαλαν σημαντικά στη μείωση των παρασιτικών εισροών. Αυτό το γεγονός αντανακλάται στις πιο σύγχρονες οδηγίες για το σχεδιασμό αποχετευτικών δικτύων, που όπως προαναφέρθηκε, συστήνουν χαμηλότερες τιμές από αυτές που ίσχυαν προ του 1960.

Ωστόσο, δεν θα πρέπει να θεωρηθεί ότι η χρήση των πλαστικών σωλήνων και ιδιαίτερα αυτών από πολυαιθυλένιο μπορεί να μηδενίσει τις εισροές. Ειδικότερα, οι πλαστικοί σωλήνες έχουν την τάση να αναπτύσσουν λεπτές (μη εμφανείς) ρωγμές, οι οποίες δημιουργούνται τόσο από κακούς χειρισμούς πριν την τοποθέτηση, όσο και κατά τη διάστρωση των αγωγών και την πλήρωση του σκάμματος. Με την πάροδο του χρόνου, οι ρωγμές διευρύνονται και οι παρασιτικές εισροές αυξάνονται. Ως προς τη γενικότερη συμπεριφορά τους στο χρόνο, οι πλαστικοί σωλήνες και ιδιαίτερα οι σωλήνες πολυαιθυλενίου, είναι σχετικά καινούργιοι και δεν έχουν δοκιμαστεί σε μεγάλες χρονικές διάρκειες: πάντως η γενική αίσθηση είναι ότι με το χρόνο οι σωλήνες υποβαθμίζονται.

Αν και γενικά υπάρχει η άποψη, κυρίως εξαιτίας της δυνατότητας συγκολλήσεων, ότι οι σωλήνες πολυαιθυλενίου συμπεριφέρονται καλύτερα σε ότι αφορά τις παρασιτικές εισροές, σε σχέση με τους αγωγούς από πολυβινυλοχλωρίδιο, στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν αναφορές που να τεκμηριώνουν ένα τέτοιο συμπέρασμα για συμβατικά αποχετευτικά δίκτυα βαρύτητας.

Γενικά, πάντως, δεν πρέπει να υπερτιμηθεί η σημασία του υλικού των αγωγών στο μέγεθος των απωλειών. Η ποιότητα κατασκευής, οι ιδιότητες του εδάφους, και κυρίως η στάθμη του φρεάτιου υδροφορέα και η αποτελεσματικότητα ελέγχου του δικτύου διαδραματίζουν σημαντικότερους ρόλους. Αυτό γίνεται πρόδηλο, αφού σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν:

- Οι διηθήσεις δεν γίνονται μόνο από τους σωλήνες του δικτύου, αλλά στο μεγαλύτερο μέρος τους προέρχονται από τις σωληνώσεις των ιδιωτικών συνδέσεων, οι οποίες αναμφίβολα δεν αναμένεται να είναι της ίδιας υψηλής ποιότητας κατασκευής και της ίδιας στεγανότητας με αυτές του δημόσιου δικτύου.
- Στις διηθήσεις συμμετέχουν ακόμη τα φρεάτια και οι συνδέσεις των αγωγών με αυτά.
- Οι στραγγίσεις θεμελιώσεων και οι εισροές ομβρίων είναι προφανώς ανεξάρτητες του υλικού των σωληνώσεων.

Στο σημείο αυτό, είναι χρήσιμο να αναφερθεί ένα φαινόμενο που έχει μελετηθεί στις ΗΠΑ, γνωστό ως «μετανάστευση υπόγειου νερού» (groundwater migration, USEPA, 1991). Συγκεκριμένα, σε δίκτυα που έγιναν εκτεταμένες επισκευές για την αποκατάσταση αποχετευτικών δικτύων με στόχο τη μείωση των παρασιτικών εισροών, παρατηρήθηκε ότι οι εισροές «μετανάστευσαν» σε άλλα σημεία, ανάντη ή κατόντη των θέσεων επισκευής. Αυτό το φαινόμενο οδήγησε στο απογοητευτικό συμπέρασμα ότι τα προγράμματα αποκατάστασης δεν είναι τόσο αποτελεσματικά και ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά ανάμεσα στην αναμενόμενη και την τελικά επιτυγχανόμενη μείωση των διαφορών. Το φαινόμενο αυτό καταδεικνύει αφενός την πολυπλοκότητα των φυσικών μηχανισμών της διήθησης και αφετέρου τη δυσκολία του περιορισμού των διαρροών με εκ των υστέρων επεμβάσεις.

Τέλος, για λόγους πληρότητας της ανάλυσης, θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια έχουν εφαρμοστεί σε μικρούς οικισμούς, στις ΗΠΑ και την Αυστραλία κυρίως, τα λεγόμενα εναλλακτικά συστήματα αποχέτευσης (Crites and Tchobanoglous, 1998), η υδραυλική λειτουργία των οποίων είναι διαφοροποιημένη (ροή είτε με πίεση είτε με υποπίεση). Σημαντικό μέλημα στα εναλλακτικά συστήματα είναι η δραστική μείωση των παρασιτικών εισροών, η οποία εξασφαλίζεται όχι μόνο από το υλικό των σωληνώσεων και την υδραυλική λειτουργία με πίεση (όπου εφαρμόζεται) αλλά και με άλλα μέτρα, και συγκεκριμένα:

- την πλήρη κατάργηση των φρεατίων και την αντικατάστασή τους με διόδους πλύσης ή διόδους καθαρισμού (κατακόρυφων σωληνωτών κατασκευών που προς τα πάνω καταλήγουν στο έδαφος ή το οδόστρωμα)·
- τη χρήση δικλείδων και ειδικών στεγανών πωμάτων για τις πιο πάνω διόδους·
- τον πλήρη έλεγχο της κατασκευής και λειτουργίας των ιδιωτικών συνδέσεων, ώστε όχι μόνο να μη γίνεται δυνατή η διοχέτευση ομβρίων στο δίκτυο, αλλά και τα ίδια τα λύματα να εισέρχονται με βελτιωμένες ιδιότητες (απομάκρυνση ή «άλεση» των στερεών υλικών μεγάλων διαστάσεων).

Έτσι, και το παράδειγμα των εναλλακτικών αποχετευτικών συστημάτων δείχνει ότι δεν αρκούν οι στεγανές σωληνώσεις για τη δραστική μείωση των παρασιτικών εισροών.

8. Σχέση στάθμης υπόγειου ορίζοντα και παρασιτικών εισροών

Αναμφίβολα, η στάθμη του φρεάτιου ορίζοντα σε σχέση με τη στάθμη τοποθέτησης των αγωγών αποτελεί τον πλέον καθοριστικό παράγοντα στην εκτίμηση των εισροών από διηθήσεις. Πέρα από το γεγονός ότι η υψηλή στάθμη φρεάτιου ορίζοντα αυξάνει την πιθανότητα και ποσότητα διηθήσεων, ευνοεί επίσης και τις επιπλέον εισροές από στραγγίσεις θεμελιώσεων.

Στο ερώτημα, ποιά από τις δύο παραπάνω εκφράσεις του κεφαλαίου 6 θα πρέπει να υιοθετείται στην περίπτωση δικτύων βυθισμένων κάτω από το φρεάτιο ορίζοντα, η απάντηση δεν είναι προφανής. Για μια ορθολογική απάντηση, θα πρέπει να παρατηρήσουμε τα εξής:

- Τυχόν υιοθέτηση της καμπύλης που αναφέρεται σε παλιά δίκτυα, θα αγνοούσε εντελώς το γεγονός ότι σε ένα σύγχρονο δίκτυο τα βελτιωμένα υλικά σωληνώσεων και η βελτιωμένη ποιότητα κατασκευής έχουν ευεργετικές επιδράσεις στην ποσότητα των παρασιτικών εισροών.
- Απ' την άλλη πλευρά, δεν θα πρέπει να αγνοηθεί το γεγονός ότι ένα υπό μελέτη δίκτυο δεν πρέπει να θεωρείται ως νέο αλλά ως παλιό, αφού οι παροχές εκτιμώνται για το τέλος της περιόδου σχεδιασμού του. Πάνω σε αυτό, οι ASCE/WPCF (1976, σ. 31) διευκρινίζουν ότι οι ανοχές σχεδιασμού (για τις παρασιτικές εισροές) κανονικά βασίζονται στις αναμενόμενες συνθήκες των αποχετευτικών αγωγών στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους.

- Εξ άλλου, τυχόν υιοθέτηση της καμπύλης που αναφέρεται σε νέα δίκτυα θα αγνοούσε εντελώς την επίδραση του υψηλού φρεάτιου ορίζοντα, η οποία δεν μπορεί παρά να είναι σημαντική.

Με βάση τα παραπάνω, θα μπορούσε κανείς να υιοθετήσει μια ενδιάμεση καμπύλη, ανάμεσα στις δύο οριακές καμπύλες. Ωστόσο, η τελική απάντηση στο ερώτημα που τέθηκε θα πρέπει να συνεκτιμήσει και τον τρόπο υπολογισμού των παρασιτικών εισροών ομβρίων, που όπως εκτέθηκε στο κεφάλαιο 6, μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Ας σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι ο Tchobanoglous (1981) που προτείνει το σχετικό νομογράφημα, διευκρινίζει ότι οι εισροές ομβρίων εκτιμώνται ξεχωριστά και θεωρεί ότι οι παράνομες συνδέσεις ομβρίων είναι απίθανο να εξαλειφθούν στο μέλλον. Με βάση όλα τα παραπάνω, καταλήγουμε στην ακόλουθη άποψη, ως απάντηση στο ερώτημα που τέθηκε:

- Σε περίπτωση που γίνεται ξεχωριστή εκτίμηση των εισροών ομβρίων, οι διηθήσεις μπορούν να εκτιμηθούν με βάση την καμπύλη που προτείνεται για νέα δίκτυα.
- Στην περίπτωση που δεν γίνεται πρόβλεψη για εισροές ομβρίων, είναι σκόπιμο να υιοθετηθεί η καμπύλη που προτείνεται για παλαιά δίκτυα, ώστε να υπάρχει μια ανοχή για τα όμβρια και τις στραγγίσεις θεμελιώσεων.

9. Συμπεράσματα

Οι αναλύσεις που προηγήθηκαν μας επιτρέπουν να διατυπώσουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Η πολυπλοκότητα του φαινομένου των παρασιτικών εισροών σε δίκτυα αποχέτευσης και η συνεπαγόμενη μεγάλη αβεβαιότητα, υπαγορεύει την υιοθέτηση συντηρητικών παραδοχών για την εκτίμησή τους.
2. Τα υπάρχοντα στοιχεία υποδεικνύουν ότι οι παρασιτικές εισροές αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους λόγους αστοχίας αποχετευτικών δικτύων ακαθάρτων. Κατά συνέπεια, η υιοθέτηση συντηρητικών παραδοχών μειώνει τη διακινδύνευση αστοχιών, χωρίς μάλιστα να αυξάνει σημαντικά το κόστος του δικτύου (αφού ούτως ή άλλως στο μεγαλύτερο μήκος τους τα δίκτυα ακαθάρτων αποτελούνται από σωληνώσεις με την ελάχιστη αποδεκτή διάμετρο, 200 mm).
3. Η εισαγωγή των σύγχρονων (και διαδεδομένων πλέον) υλικών στις σωληνώσεις των αποχετευτικών δικτύων, και συγκεκριμένα του πολυβινυλοχλωριδίου και πιο πρόσφατα του πολυαιθυλενίου, αναμφίβολα είχε ευεργετικές επιπτώσεις συμβάλλοντας στη μείωση των παρασιτικών εισροών. Ωστόσο, στην περίπτωση που οι αγωγοί βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του φρεάτιου ορίζοντα, η δραστική μείωση των παρασιτικών εισροών σε πολύ χαμηλά επίπεδα (π.χ. του 10-15% των θερινών παροχών λυμάτων) θα πρέπει να θεωρηθεί όχι πιθανή. Συγκεκριμένα, η χρήση του πολυαιθυλενίου δεν μπορεί να άρει τις διηθήσεις από φρεάτια και από ιδιωτικές συνδέσεις που έχει αποδειχτεί ότι είναι υπεύθυνες για το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος των συνολικών ποσοτήτων διηθήσεων. Εξ άλλου, το πρόβλημα των αποστραγγίσεων των θεμελιώσεων, το οποίο επιτείνεται σε περίπτωση υψηλού φρεάτιου ορίζοντα, δημιουργεί επιπρόσθετη είσοδο υπόγειων νερών, ενώ δεν μπορεί να αγνοηθούν και οι πολύ πιθανές εισροές ομβρίων στο δίκτυο.
4. Με αυτά τα δεδομένα, οι παροχές παρασιτικών εισροών που εκτιμήθηκαν στην υπόψη μελέτη, ακολουθώντας τη μεθοδολογία της Metcalf and Eddy με υιοθέτηση της καμπύλης που αναφέρεται στα παλιά δίκτυα με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα, θα πρέπει να θεωρηθούν ότι παρέχουν εύλογη προστασία του δικτύου έναντι του κινδύνου υπερχειλίσεων λυμάτων.

Αναφορές

- Κουτσογιάννης, Δ. (1999), *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης*, Έκδοση 3.1, 202 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Υποδομή-Σύμβουλοι Μηχανικοί (2002), *Διάθεση Ομβρίων Βιομηχανικής Περιοχής Πρέβεζας*, ΕΤΒΑ-ΒΠΠΕ, Αθήνα,.
- Υποδομή-Σύμβουλοι Μηχανικοί, Ν. Καράμπελας, Α. Σαπουνάκης, Δ. Κουτσοουρελάκης, Κ. Χανιώτης, Ν. Κωλέττης (2003), *Μελέτη Αποχέτευσης – Βιολογικού Καθαρισμού Δήμου Ελλομένου Λευκάδας*, Περιφέρεια Ιόνιων Νήσων.
- American Society of Civil Engineers (ASCE) and Water Pollution Control Federation (WPCF) (1982), *Gravity Sanitary Sewer Design and Construction*, ASCE No. 60, WPCF No. FD-5, ASCE, New York, NY, WPCF. Washington DC.
- American Society of Civil Engineers (ASCE) and Water Environment Federation (WEF) (1993), *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems*, ASCE No. 77, WEF No. FD-20, ASCE, New York, NY, WEF, Washington DC.
- American Society of Civil Engineers (ASCE) & Water Pollution Control Federation (WPCF) (1976), *Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers*, ASCE No 37, WPCF No 9, ASCE, New York, NY, WPCF. Washington DC.
- Association of Metropolitan Sewerage Agencies (AMSA) (1996), *The AMSA Financial Survey, 1996, A National Survey of Municipal Wastewater Management Financing Trends*, AMSA, Washington, DC.
- Butler D., Davis J., (2000), *Urban Drainage*, E & FN Spon, London.
- Clemente, A.J. and R.W Cardozo (1996), Dade county's mandated improvement program to reduce sanitary sewer overflows, in USEPA, *National Conference on Sanitary Sewer Overflows*, EPA/625/R-96/007, Office of Water, Washington, DC.
- Crites, R., and G. Tchobanoglous (1998), *Small & Decentralized Wastewater Management Systems*, McGraw-Hill, New York.
- Heaney, J., D. Sample and L. Wright (1997). *Class notes, EPA project meeting and modeling workshop*. March 24-26, 1997, Environmental Protection Agency, Edison, NJ.
- Heaney, J. P., L. Wright and D. Sample (1999), Collection Systems, Chapter 6, in *Innovative Urban Wet-Weather Flow Management Systems*, edited by J. P. Heaney, R. Pitt and R. Field, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-99/029, Cincinnati, Oh.,.
- Jurgens, D.E. and H.M. Kelso (1996). Sewer rehabilitation: the techniques of success, in USEPA. *National Conference on Sanitary Sewer Overflows*, EPA/625/R96/007. Office of Water. Washington, DC.
- Martz, G. (1970), *Υδραυλική των οικισμών, Μέρος 2, Αποχετεύσεις*, Μετάφραση στα Ελληνικά Γ. Χατζηθεοδώρου, Μ. Γκιούρδας, Αθήνα.
- Petroff, R.G. (1996). An analysis of the root causes of SSOs, in USEPA, *National Conference on Sanitary Sewer Overflows*, EPA/625/R-96/007, Office of Water, Washington, DC.
- Tchobanoglous, G. (1981), *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater*, Metcalf and Eddy, McGraw-Hill, New York, NY.
- US Environmental Protection Agency (USEPA) (1991), *Sewer System Infrastructure Analysis and Rehabilitation*, EPA/625/6-91/030, Office of Water, Washington DC.
- US Environmental Protection Agency (USEPA) (1996), *National Conference on Sanitary Sewer Overflows*, EPA/625/R96/007, Office of Water. Washington, DC.