

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΠΡΟΓΡ. ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»

Έργα υποδομών αστικού περιβάλλοντος και
πλημμύρες [(δίκτυο αποχέτευσης, πλημμύρες και
απόβλητα)]

Αγγελίδης Π., Καθηγητής

ΔΙΚΤΥΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΙ ΛΥΜΑΤΩΝ

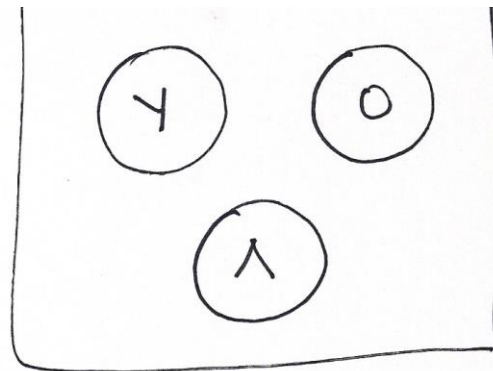
ΔΙΚΤΥΑ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

- **ΠΑΝΤΟΡΡΟΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ:** Λύματα και όμβρια σε κοινό αγωγό (κυρίως κατασκευάζονταν στο παρελθόν).

Η παροχή των ακαθάρτων είναι μικρή σε σχέση με των ομβρίων και συνεπώς παίζει δευτερεύοντα ρόλο.

Επειδή οι παροχές είναι ιδιαίτερα αυξημένες, στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων προβλέπονται διατάξεις ανακούφισης (bypass), όπου η πλεονάζουσα παροχή υπερχειλίζει στον τελικό αποδέκτη.

- **ΧΩΡΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ:** Λύματα και όμβρια αποχετεύονται με ξεχωριστά δίκτυα αγωγών.



ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

- β) Αστικά υγρά απόβλητα, ή λύματα, ή ακάθαρτα:** Πρόκειται για νερά αναμειγμένα με στερεά που αποβάλλονται με τη συνήθη χρήση υγιεινής από οικιστικές, βιομηχανικές και εμπορικές περιοχές.
- *Νωπά λύματα:* Χαρακτηριστικό των νωπών λυμάτων είναι η ύπαρξη διαλυμένου οξυγόνου σε αυτά, με ταυτόχρονη επικράτηση αερόβιων βιολογικών διεργασιών.
 - *Βοθρολύματα:* Χαρακτηριστικό των βοθρολυμάτων είναι η σχεδόν μηδενική συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, με ταυτόχρονη επικράτηση αναερόβιων βιολογικών διεργασιών (Βλέπε Ενότητα 7.4).
- γ) Ομβρία:** Βρόχινα νερά που απορρέουν από τα γεγονότα βροχής.
- (γ) Διηθήσεις:** Νερά που διεισδύουν στο αποχετευτικό δίκτυο από το έδαφος.
- *Μεμονωμένες:* Από την ακόρεστη ζώνη κατά τη διάρκεια γεγονότων βροχής (αγωγοί τοποθετημένοι πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα).
 - *Συνεχείς:* Από την κορεσμένη ζώνη (αγωγοί τοποθετημένοι κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

7.1.2 Πλεονεκτήματα του παντοροϊκού συστήματος

Αν και στις μέρες μας η σύγχρονη τακτική επιβάλλει κυρίως τη χρήση χωριστικών δικτύων αποχέτευσης, ωστόσο μπορεί να διακρίνει κανείς πλεονεκτήματα της χρήσης παντοροϊκών συστημάτων αποχέτευσης που κατά βάση αποτελούν υφιστάμενα συστήματα πολλών αστικών κέντρων.

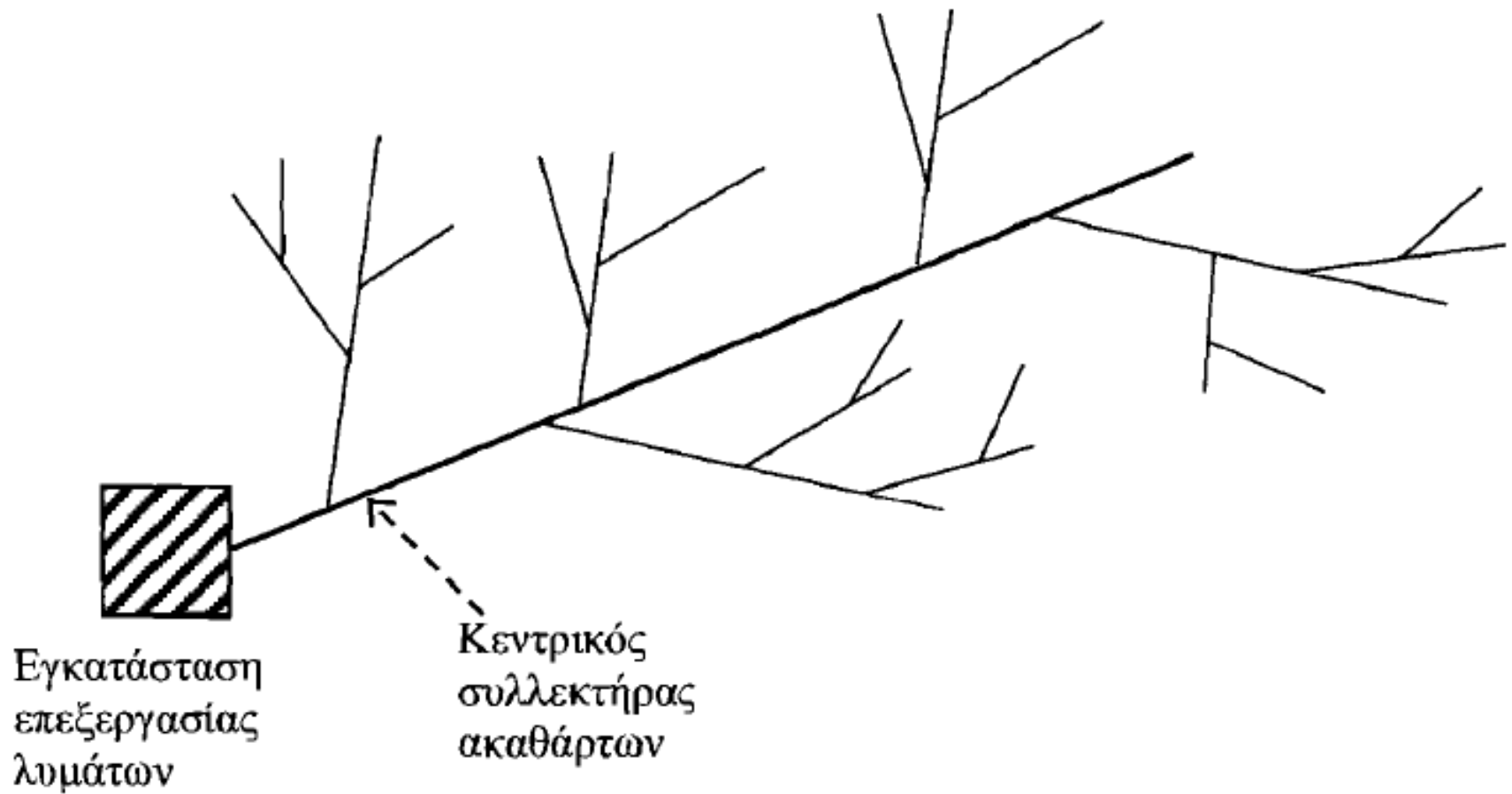
- **Καλύτερη εποπτεία:** Υπάρχει μόνον ένα δίκτυο, συνεπώς δεν μπορούν να γίνουν π.χ. λάθη στις συνδέσεις.
- **Μικρότερη δαπάνη κατασκευής και λειτουργίας:** Οι υπόνομοι απαιτούν σημαντικές επενδύσεις πάγιου κεφαλαίου. Έτσι, το κόστος παίζει σημαντικό ρόλο. Το παντοροϊκό δίκτυο είναι συνήθως φθηνότερο από το χωριστικό σύστημα. Εξ άλλου, στην περίπτωση του παντοροϊκού επιτηρείται μόνο ένα δίκτυο αποχέτευσης.
- **Μικρότερη ένταση χρήσης των διατομών των οδών:** Οι διατομές των οδών είναι ήδη αρκετά φορτωμένες με διάφορους αγωγούς και γραμμές καλωδίων. Έτσι, δεν είναι πάντα εύκολο να χωρέσουν άλλους δύο αγωγούς. Ταυτόχρονα, περιορίζονται τα βάθη εκσκαφής δεδομένου ότι το δίκτυο ακαθάρτων αναπτύσσεται σε βάθη μεγαλύτερα του δικτύου ομβρίων.

7.1.3 Πλεονεκτήματα του χωριστικού συστήματος

- **Κατά την εισροή στον τελικό αποδέκτη:** Τα λύματα φτάνουν στον τελικό αποδέκτη αφού περάσουν πρώτα από την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ). Στο παντοροϊκό σύστημα, τα αποχετευόμενα ύδατα φτάνουν στον τελικό αποδέκτη κατά περίπτωση ακάθαρτα (π.χ. κατά την διάρκεια εντόνων βροχοπτώσεων, όπου γίνεται υπέρβαση των παροχών σχεδιασμού των αντλιοστασίων και της ΕΕΛ), αραιωμένα βέβαια όσον αφορά την ένταση του αρχικού ρυπαντικού φορτίου που μεταφέρουν.
- **Μειωμένο κόστος κατασκευής και λειτουργίας των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ):** Οι παροχές των ομβρίων είναι κατά κανόνα πολύ μεγαλύτερες αυτών των ακαθάρτων. Συνεπώς, το κόστος των απαιτούμενων έργων και οι δαπάνες λειτουργίας μίας ΕΕΛ που εξυπηρετεί περιοχή με παντοροϊκό δίκτυο, είναι πολύ μεγαλύτερα από αυτά που θα απαιτούνταν αν τα ύδατα της περιοχής αποχετεύονταν μέσω χωριστικού δικτύου.
- **Καλύτερη δυνατότητα επεκτάσεων:** Το δίκτυο ακαθάρτων, λόγω μικρότερων διατομών, μπορεί να επεκταθεί γενικά εύκολα και με σχετικά μειωμένο κόστος (λόγω του μικρού μεγέθους των απαιτούμενων έργων), ακολουθώντας την χωρική και χρονική εξέλιξη του πληθυσμού της περιοχής. Αντιθέτως, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται παντοροϊκό σύστημα, οι επεκτάσεις γίνονται πολύ πιο δαπανηρές (π.χ. μπορεί να απαιτηθεί ακόμη και η κατασκευή συμπληρωματικής ΕΕΛ), ακολουθώντας τις παροχές και διαστάσεις των αγωγών του παντοροϊκού συστήματος, δίχως να γίνεται ουσιαστική αξιοποίηση των πραγματοποιούμενων έργων.
- **Αποφυγή πλημμυρίσματος υπογείων κατασκευών:** Το πλημμύρισμα των υπογείων κτηρίων ή βιομηχανικών χώρων σχεδόν αποκλείεται, επειδή το δίκτυο όμβριων δεν έχει σύνδεση με τα υπόγεια. Βέβαια, υφίσταται κίνδυνος να εμφανιστεί ανάσχεση της ροής (βούλωμα) στο δίκτυο ακαθάρτων λόγω επικαθήσεων από ελλιπή συντήρηση.
- **Μικρότερα αντλιοστάσια:** Αντλούνται μόνο τα λύματα. Σε καλά σχεδιασμένα δίκτυα ομβρίων, τα βρόχινα ύδατα διατίθενται στον/στους κοντινότερο/ρους αποδέκτη/ες αποφεύγοντας την δαπανηρή λύση της άντλησης.
- **Διαδρομή από τα όρια του οικισμού μέχρι την εγκατάσταση καθαρισμού:** Ο συλλεκτήρας από τον οικισμό

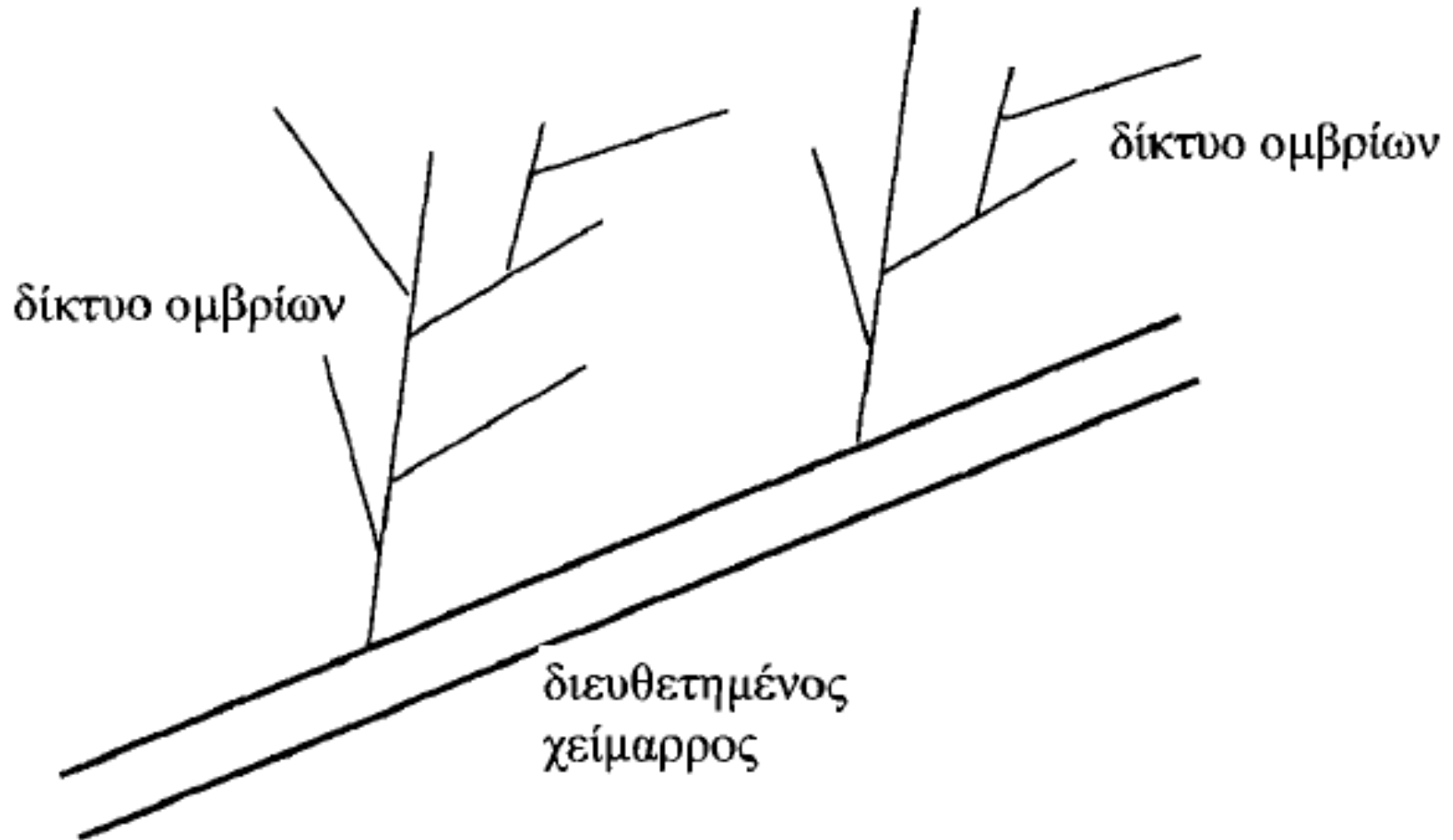
(πηγή: Λαγκούσης και Φουρνιώτης 2020)

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ



Σχήμα 7.1 Σχηματική απεικόνιση του τρόπου ανάπτυξης δικτύων ακαθάρτων.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

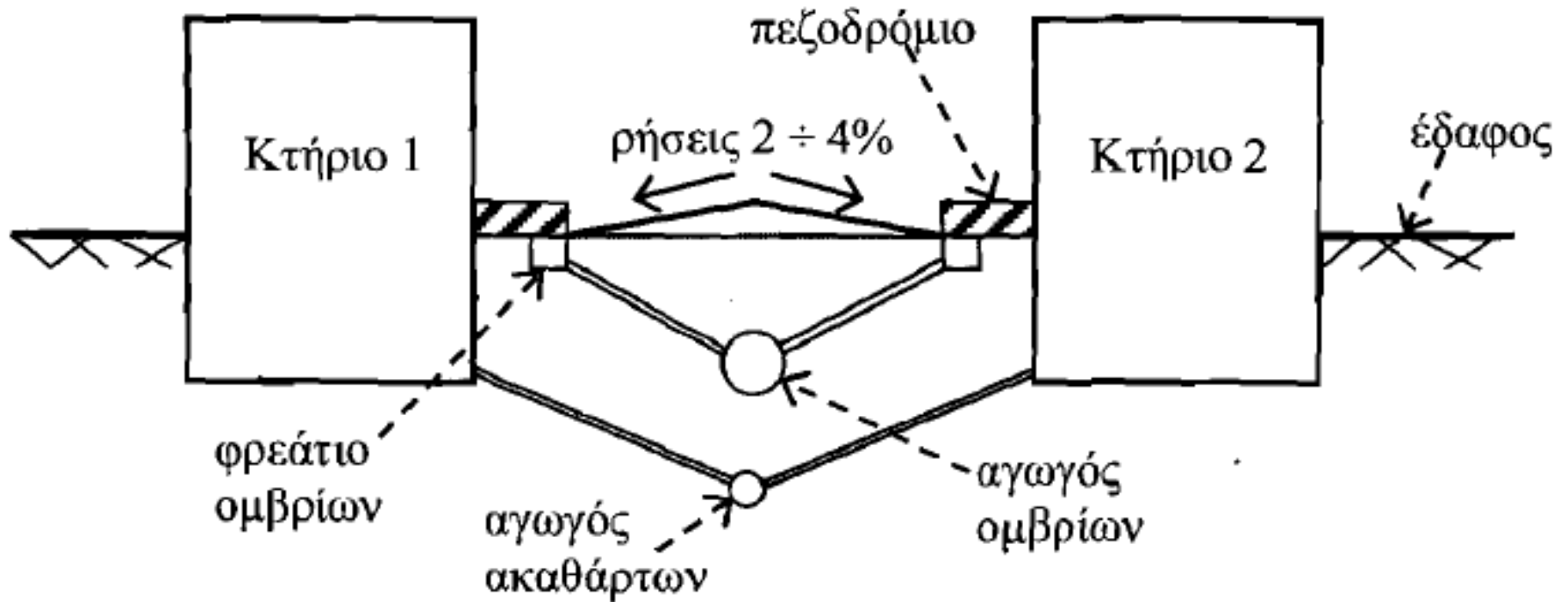


Σχήμα 7.2 Σχηματική απεικόνιση του τρόπου ανάπτυξης δικτύων ομβρίων.

(πηγή: Λαγκούσης και Φουρνιώτης 2020)

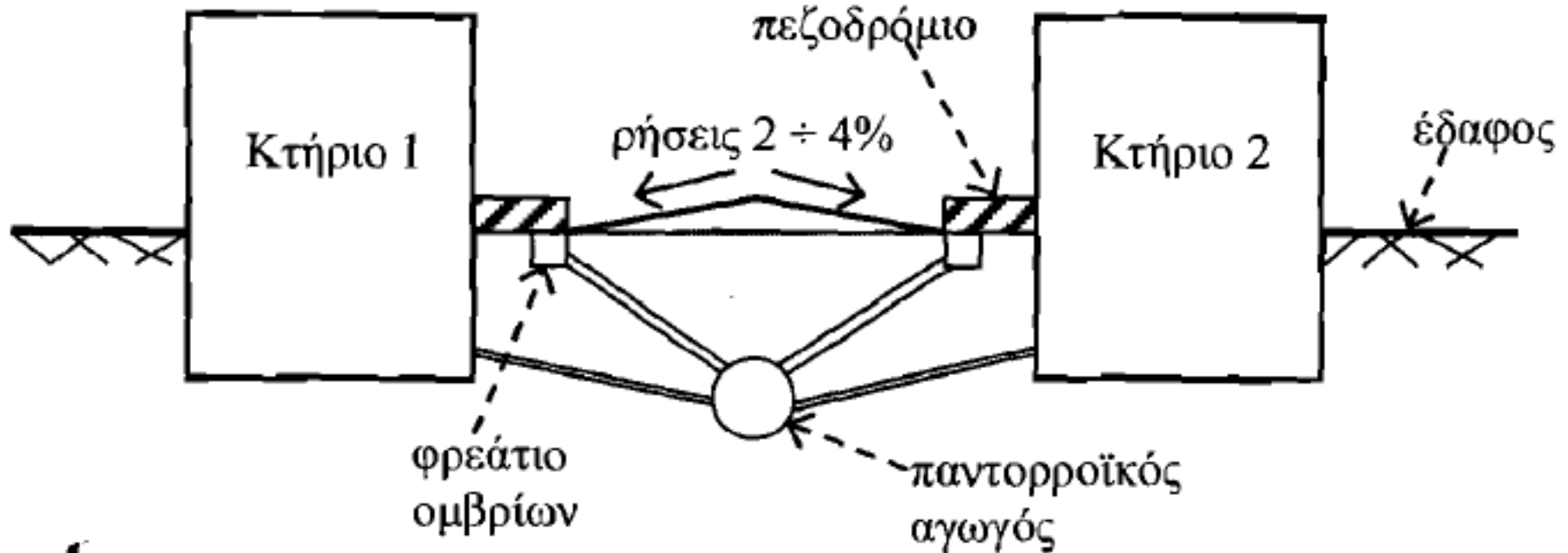
ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

Σχηματική τομή Α-Α: χωριστικό δίκτυο



ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΑΤΩΝ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

Σχηματική τομή Α-Α: παντορροϊκό δίκτυο



ΔΙΚΤΥΟ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΛΥΜΑΤΩΝ

ΔΙΚΤΥΑ ΛΥΜΑΤΩΝ

Το δίκτυο ακαθάρτων πρέπει να μελετηθεί για τις συνθήκες (πληθυσμού και κατανάλωσης νερού) 40ετίας – έτος στόχος (ΠΔ696/74).

1) Παροχή

$$Q_H = \lambda_H Q_E, \text{ όπου}$$

Q_H = Μέγιστη ημερήσια παροχή (l/κατ/ημέρα)

Q_E = Μέση ημερήσια παροχή (l/κατ/ημέρα)

λ_H = Συντελεστής ημερήσιας αιχμής, εύρος 1.1 έως **1.5**

Μέγιστη στιγμιαία παροχή $Q_p = P * Q_H$

όπου P είναι συντελεστής αιχμής, που με βάση το ΠΔ696/74 ισούται με (Q_H σε l/s):

$$P = \min \left(1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_H}}, 3 \right)$$

1) Παροχή

Παρασιτικές ροές – ξένα ανεπιθύμητα νερά

Οι παροχές των αγωγών ακαθάρτων αυξάνονται εξαιτίας των παρασιτικών εισροών υπόγειου νερού και ομβρίων.

Τα υπόγεια νερά εισέρχονται στο δίκτυο μέσω των αρμών και των κατασκευαστικών ατελειών των σωληνώσεων και των φρεατίων (διηθήσεις) ή ακόμη οδηγούνται σε αυτό από στραγγιστικούς αγωγούς θεμελιώσεων κτιρίων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των διηθήσεων οφείλεται σε κακής κατασκευής ιδιωτικούς αγωγούς αποχέτευσης και στις άτεχνες συνδέσεις τους με τους αγωγούς του δικτύου. Ο περιορισμός των διηθήσεων αυτών είναι πρακτικά και οικονομικά ασύμφορος.

Συνήθως λαμβάνονται σε ποσοστό περίπου 20% της παροχής των λυμάτων

**Συνολική παροχή = μέγιστη στιγμιαία παροχή +
ξένα ανεπιθ. νερά**

ΔΙΚΤΥΑ ΛΥΜΑΤΩΝ

2) Σωλήνες, ΣΕΙΡΑ 41,

ΣΩΛΗΝΑΣ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΑΠΟ PVC-u 100

ΚΑΤΑ ΕΛΟΤ-476 (ΣΕΙΡΑ 41), DIN 19534 ΚΑΙ ISO DIS 4435

ΚΩΔ. ΑΡ. 1.13.005. HELIDUR®-ED



ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ:

- Χρώμα: Κεραμιδί (RAL 8023)
- Προσφερόμενα μήκη: 6μ.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ:

- Χρησιμοποιούνται σε δίκτυα αποχέτευσης Δήμων, Κοινοτήτων, Οικισμών κ.λ.π.

ΚΩΔ. ΑΡ. 1.13.005. HELIDUR®-ED

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D mm	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ S mm	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D mm	ΒΑΡΟΣ - G Kg/m
110	3,0	104,0	1,53
125	3,1	118,8	1,82
160	3,9	152,2	2,88
200	4,9	190,2	4,50
250	6,1	237,8	7,02
315	7,7	299,6	11,07
355	8,7	337,6	14,06
400	9,8	380,4	17,83
500	12,2	475,6	27,80
630	15,4	599,2	44,07



Σωλήνες Υπονόμων

ΔΙΚΤΥΑ ΛΥΜΑΤΩΝ

ΣΩΛΗΝΑΣ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΑΠΟ PVC-u 100

ΚΑΤΑ ΕΛΟΤ-476 (ΣΕΙΡΑ 41), DIN 19534 ΚΑΙ ISO DIS 4435

ΚΩΔ. ΑΡ. 1.13.005. HELIDUR®-ED



ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ:

- Χρώμα: Κεραμιδί (RAL 8023)
- Προσφερόμενα μήκη: 6μ.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ:

- Χρησιμοποιούνται σε δίκτυα αποχέτευσης Δήμων, Κοινοτήτων, Οικισμών κ.λ.π.

ΚΩΔ. ΑΡ. 1.13.005. HELIDUR®-ED

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D	ΠΑΧΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ S	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D	ΒΑΡΟΣ - G
mm	mm	mm	Kg/m
110	3,0	104,0	1,53
125	3,1	118,8	1,82
160	3,9	152,2	2,88
200	4,9	190,2	4,50
250	6,1	237,8	7,02
315	7,7	299,6	11,07
355	8,7	337,6	14,06
400	9,8	380,4	17,83
500	12,2	475,6	27,80
630	15,4	599,2	44,07

2) Σωλήνας

- Επιλέγω ΣΕΙΡΑ 41, ξεκινάω από εξωτερική διάμετρο 200 mm και πάνω (στους υπολογισμούς χρησιμοποιώ εσωτερική διάμετρο).
- Για $D > 630$ mm, πηγαίνω ανά 100 mm, δηλαδή 700, 800, 900,... και την παίρνω κατευθείαν ως εσωτερική διάμετρο

3) Ποσοστό πλήρωσης

Στις διατομές ακαθάρτων προβλέπεται ελεύθερο ύψος πάνω από την ΑΣΥ, για την εξασφάλιση αερισμού

Όρίζονται προς τούτο τὰ κάτωθι μέγιστα ἐπιτρεπόμενα ποσοστά πληρώσεως τῶν διατομῶν ($h^π$ εἶναι τὸ ἐλεύθερον ὕψος τοῦ ἀγωγοῦ) :

αα) Διὰ κυκλικὰς διατομὰς διαμέτρου μέχρι 40 cm ποσοστὸν $\frac{h}{h^π} = 50\%$

αβ) Διὰ κυκλικὰς διατομὰς διαμ. 50 — 60 dm ποσοστὸν $\frac{h}{h^π} = 60\%$

αγ) Διὰ κυκλικὰς διατομὰς μεγαλυτέρας διαμέτρου καὶ τὰς λοιπὰς τυποποιημένας διατομὰς ποσοστὸν $\frac{h}{h^π} = 70\%$

αδ) Προκειμένου περὶ ὑφισταμένων ἀγωγῶν, τῶν ὁποίων ἐλέγχεται ἡ διοχετευτικότης ἐπιτρέπεται ποσοστὸν πληρώσεως $\frac{h}{h^π} = 80\%$

4) Ταχύτητα ροής (μέγιστη)

- Ο περιορισμός των ταχυτήτων κάτω από ορισμένα μέγιστα όρια έχει σκοπό την αποφυγή διαβρώσεων των πυθμένων των αγωγών αλλά και τον περιορισμό του εύρους διακύμανσης της ταχύτητας, με σκοπό την αποφυγή ασταθειών ροής σε περιπτώσεις απότομων αλλαγών της.
- Οι ελληνικές προδιαγραφές (ΠΔ 696, 1974) καθορίζουν ως μέγιστη την ταχύτητα των 6.0 m/s.
- Η μελετητική εμπειρία πάντως δείχνει ότι για τα δίκτυα ακαθάρτων στα οποία η ροή είναι συνεχής, θα πρέπει να τηρείται μέγιστη ταχύτητα **κάτω από 3.0 m/s**, πράγμα που συνήθως είναι επιτεύξιμο χωρίς απαίτηση ειδικών τεχνικών έργων (αναβαθμοί ή φρεάτια πτώσης).

4) Ταχύτητα ροής (ελάχιστη ΠΔ696/74)

στ) Αι ελάχισται ἐπιτρεπόμεναι κλίσεις τῶν ἀγωγῶν ἀκαθάρτων ὑδάτων δέον ὅπως καθορισθοῦν, λαμβανομένης πρὸς τοῦτο ὑπ' ὄψιν τῆς ἀπαιτουμένης ἐλαχίστης ταχύτητος αὐτοκαθαρισμοῦ π.χ. 0,30 m/sec διὰ παροχὴν ἴσην πρὸς τὸ 1/10 τῆς παροχετευτικότητος πλήρους διατομῆς. Ἐπιτρέπονται παρεκκλίσεις ἀπὸ τῶν κανόνων καθορισμοῦ τῆς ἐλαχίστης ἐπιτρεπομένης κλίσεως εἰς εἰδικὰς περιπτώσεις ὡς π.χ. ἐπὶ σκοπῶ ἀποφυγῆς ἀντλιοστασίων ἀνυψώσεως ἢ ἀντιμετωπίσεως θεμάτων ὑψηλῆς στάθμης ὑπογείων ὑδάτων.

$$0.3 \text{ m/s} < \text{ ταχύτητα ροής } < 3.0 \text{ m/s}$$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΑΓΩΓΩΝ ΛΥΜΑΤΩΝ (ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ) με το HS

Qτελ (l/sec)	ΚΛΙΣΗ (%)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ (%)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (m/sec)
22.2	3.5	200	49%	1.62
26.2	1.3	250	51%	1.16
38.0	0.5	355	48%	0.89
58.9	0.5	400	52%	0.99
92.0	0.5	500	55%	0.92
127.3	0.7	500	52%	1.369
193.3	0.7	630	46%	1.519
404.6	0.5	800	50%	1.612
404.6	0.2	800	67%	1.13

ΣΩΛΗΝΕΣ PVC - ΛΥΜΑΤΑ		
ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (ceem)
50%	200	19.02
	250	23.78
	315	29.96
	355	33.76
	400	38.04
60%	500	47.56
70%	630	59.92
	700	700
	800	800
	900	900
	1000	1000
	1100	1100
	1200	1200
	1300	1300
	1400	1400
	1500	1500
1600	1600	

0.3 m/s < ταχύτητα < 3.0 m/s

Πρέπει για το 1/10 της παροχής ταχύτητα > 0.3 m/s

ΣΩΛΗΝΕΣ PVC - ΛΥΜΑΤΑ				
ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ %	Q μερικής πληρώσεως (L/s)
50%	200	19.02	0.3	6.808
	250	23.78	0.215	10.46
	315	29.96	0.16	16.7
	355	33.76	0.135	21.09
	400	38.04	0.115	26.77
60%	500	47.56	0.085	56.09
70%	630	59.92	0.065	113.2
	700	700	0.051	151.8
	800	800	0.045	203.5
	900	900	0.038	256.1
	1000	1000	0.032	311.2
	1100	1100	0.028	375.3
	1200	1200	0.025	447.3
	1300	1300	0.023	531.1
	1400	1400	0.021	647.2
	1500	1500	0.019	707
	1600	1600	0.017	794.4

ΛΥΜΑΤΑ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

0.3 m/s < ταχύτητα < 3.0 m/s

Η ελάχιστη κλίση δίνει για το 1/10 της παροχής (πλήρους διατομής) ταχύτητα > 0.3 m/s (n=0.015)

Η Q μερικής πληρώσ.υπολογίσθηκε από ελάχιστη κλίση και μέγιστη επιτρ.πλήρωση

Κλίσεις < 0.1% δύσκολα υλοποιούνται κατασκευαστικά

ΔΙΚΤΥΟ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

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

Αναγκαστικά λοιπόν η υδρολογική πληροφορία που μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την εκτίμηση των παροχών ομβρίων, είναι η βροχομετρική. Πιο συγκεκριμένα, επειδή οι συνήθεις κρίσιμοι χρόνοι βροχής είναι της τάξης λίγων λεπτών, ενώ σπάνια υπερβαίνουν τη μία ώρα, είναι απαραίτητη η γνώση των εντάσεων βροχής πολύ μικρής διάρκειας, η οποία μπορεί να αποκτηθεί μόνο από δεδομένα βροχογράφων ή ψηφιακών αισθητήρων μικρής χρονικής κλίμακας.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Περίοδος Επαναφοράς

Ο βαθμός προστασίας που παρέχει ένα δίκτυο αποχέτευσης περιγράφεται από την περίοδο επαναφοράς του επεισοδίου βροχής που μπορεί το δίκτυο να παροχετεύσει χωρίς προβλήματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος επαναφοράς για την οποία έχει σχεδιαστεί το δίκτυο, τόσο μεγαλύτερη είναι η προστασία που αυτό παρέχει. Για παράδειγμα ένα δίκτυο που έχει σχεδιαστεί με περίοδο επαναφοράς $T = 5$ χρόνια αστοχεί κατά μέσο όρο μια φορά ανά 5 χρόνια, ενώ αν σχεδιαστεί με $T = 10$ χρόνια αστοχεί κατά μέσο όρο μια φορά στα 10 χρόνια. Επισημαίνεται ότι η αστοχία του δικτύου σημαίνει ανεπαρκή αποχέτευση του συνόλου της απορροής, και όχι καταστροφή του δικτύου.

Είναι προφανές ότι η αύξηση της περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού συνεπάγεται αύξηση του κόστους του δικτύου, με παράλληλη μείωση των καταστροφών που προκαλούνται σε περίπτωση αστοχίας, καθώς και της συχνότητας των καταστροφών αυτών. Έτσι, η επιλογή της εφαρμοστέας περιόδου επαναφοράς στην ουσία είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης του αθροίσματος του κόστους κατασκευής και του κόστους επανόρθωσης των ζημιών. Στην πράξη όμως είναι αρκετά δύσκολη η εκτίμηση του κόστους των ζημιών, και για το λόγο αυτό συνήθως υιοθετούνται κάποιες τυπικές τιμές που είναι προϊόντα μακροχρόνιας εμπειρίας των μελετητών. Οι τυπικές αυτές τιμές της περιόδου επαναφοράς είναι:

(πηγή: Κουτσογιάννης 2016)

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Περίοδος Επαναφοράς

- Σε κεντρικούς συλλεκτήρες υπάρχει η τάση να υιοθετούνται μεγαλύτερες περίοδοι επαναφοράς από τις αντίστοιχες των δευτερευόντων αγωγών. Για παράδειγμα σε μια περιοχή όπου υιοθετείται γενικά για το δίκτυο η τιμή $T = 5$ χρόνια, για τους συλλεκτήρες μπορεί να υιοθετηθεί η τιμή $T = 10$ χρόνια.
- Σε παντοροϊκά δίκτυα αποχέτευσης χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες περίοδοι επαναφοράς, παρά σε χωριστικά, δεδομένου ότι οι καταστροφές που θα προκληθούν σε περίπτωση αστοχίας των πρώτων είναι σαφώς μεγαλύτερες (π.χ. πλημμυρίσματα υπογείων).
- Σε αγωγούς που τοποθετούνται κάτω από κύριες οδικές αρτηρίες και κόμβους υιοθετούνται μεγαλύτερες τιμές της περιόδου επαναφοράς. Ιδιαίτερα όταν οι αρτηρίες ή οι κόμβοι τοποθετούνται σε όρυγμα, οπότε δημιουργούνται αυξημένοι κίνδυνοι για αυτούς που τις χρησιμοποιούν, υιοθετούνται περίοδοι επαναφοράς αρκετά μεγαλύτερες από τα παραπάνω όρια, ανάλογα με το βαθμό του κινδύνου.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Η ορθολογική μέθοδος

Η ορθολογική μέθοδος που έχει εισαχθεί το 1850, μετασχηματίζει τη βροχή σε απορροή με την απλή σχέση

$$Q = CiA \quad (3.1)$$

όπου Q η παροχή αιχμής της πλημμύρας, C ο αδιάστατος συντελεστής απορροής, i η μέση (χρονικά και χωρικά) ένταση βροχής και A η έκταση της λεκάνης απορροής ή της επιφάνειας που αποχετεύεται. Η εξίσωση (3.1) είναι διαστατικά ομογενής. Στην εφαρμογή της, όμως, πρέπει να δίνεται προσοχή στην κατάλληλη μετατροπή των μονάδων (π.χ. η ένταση βροχής που συνήθως εκφράζεται σε mm/h πρέπει να μετατρέπεται σε m/s).

Προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος για την εκτίμηση παροχών σχεδιασμού γίνονται οι εξής υποθέσεις:

1. Η περίοδος επαναφοράς της παροχής είναι ίση με την περίοδο επαναφοράς της βροχής.
2. Η χρονική κλίμακα για την οποία υπολογίζεται η ένταση βροχής θεωρείται ότι ταυτίζεται με τη διάρκεια της κρίσιμης βροχής και είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης (βλ. και εδάφιο 3.4.4).

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Η ορθολογική μέθοδος – Συντελεστής απορροής C

Από όλα τα μεγέθη της ορθολογικής μεθόδου ο συντελεστής απορροής παρουσιάζει την πιο μεγάλη αβεβαιότητα στην εκτίμησή του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ενσωματώνει όλες τις ασάφειες που προκύπτουν από τις υπεραπλουστεύσεις της μεθόδου.

Στην πραγματικότητα ο συντελεστής απορροής δεν είναι σταθερός, όπως υπονοεί η εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου, αλλά παρουσιάζει έντονες μεταβολές, ακόμα και στην ίδια λεκάνη απορροής, αφού επηρεάζεται από τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης, από τη χρονική απόσταση από την προηγούμενη βροχόπτωση αλλά και από άλλες μετεωρολογικές και φυσιολογικές παραμέτρους.

Υπενθυμίζεται ότι ο συντελεστής απορροής συνεκτιμά αδιακρίτως:

1. τις απώλειες κατακράτησης από τη χλωρίδα,
2. τις απώλειες επιφανειακής παγίδευσης στις μικροκοιλότητες του εδάφους που πρακτικά υπάρχουν σε όλες τις επιφάνειες,
3. τις απώλειες διήθησης σε υδροπερατά εδάφη, και
4. τις απώλειες εξατμοδιαπνοής οι οποίες πάντως είναι ασήμαντες στην χρονική κλίμακα των βροχοπτώσεων σχεδιασμού των αποχετεύσεων.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Η ορθολογική μέθοδος – Συντελεστής απορροής C

Πίνακας 3.2 Συντελεστής απορροής σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές αποχετεύσεων (ΠΔ 696, 1974)

Περιγραφή περιοχής	Συντελεστής απορροής
Ορεινή	0.60
Λοφώδης	0.50
Πεδινή	0.30

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Η ορθολογική μέθοδος – Συντελεστής απορροής C

Πίνακας 3.3 Μέσοι συντελεστές απορροής ανάλογα με τα γενικά χαρακτηριστικά της αστικής περιοχής, σύμφωνα με τις αμερικανικές ενώσεις WPCF & ASCE (1976).

Περιγραφή περιοχής	Συντελεστής απορροής
Εμπορική	
Κέντρο	0.70-0.95
Περιφέρεια	0.50-0.70
Οικιστική, αστική	
Μονοκατοικίες	0.30-0.50
Πολυκατοικίες σε πανταχόθεν ελεύθερο σύστημα	0.40-0.60
Πολυκατοικίες σε συνεχές σύστημα	0.60-0.75
Οικιστική, υποαστική	0.25-0.40
Βιομηχανική	
Ελαφρά	0.50-0.80
Βαριά	0.60-0.90
Μη ανεπτυγμένη	0.10-0.30
Πάρκα, νεκροταφεία	0.10-0.25
Γήπεδα	0.20-0.35

(πηγή: Κουτσογιάννης 2016)

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Η ορθολογική μέθοδος – Συντελεστής απορροής C

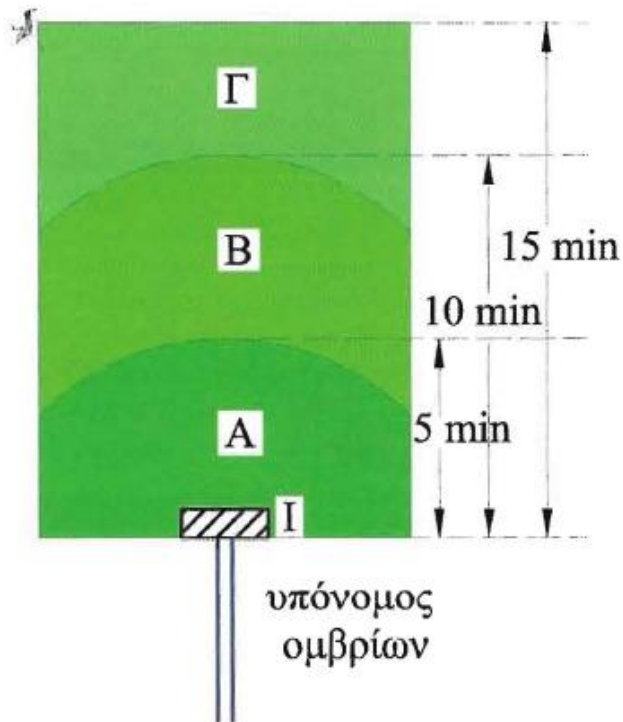
Πίνακας 3.4 Συντελεστής απορροής για συγκεκριμένες επιφάνειες, σύμφωνα με τις Αμερικανικές ενώσεις WPCF & ASCE (1990).

Τύπος επιφάνειας	Συντελεστής απορροής
Πεζοδρόμια δρόμοι	
Σκυρόδεμα - Ασφαλτοσκυρόδεμα	0.70-0.95
Πλίνθοι	0.70-0.85
Στέγες	0.75-0.95
Αγροί, αμμώδη εδάφη	
Ήπια κλίση, 2%	0.05-0.10
Μέση κλίση, 2% μέχρι 7%	0.10-0.15
Απότομη κλίση, 7%	0.15-0.20
Αγροί, βαριά εδάφη	
Ήπια κλίση, 2%	0.13-0.17
Μέση κλίση, 2% μέχρι 7%	0.18-0.22
Απότομη κλίση, 7%	0.25-0.35

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Η ορθολογική μέθοδος – Χρόνος συγκέντρωσης λεκάνης απορροής

Όταν βρέχει σε μία έκταση που «εξυπηρετείται» από ένα δίκτυο ομβρίων, η απορροή γίνεται από στέγες, αυλές και δρόμους προς τους παρόδιους αύλακες, και καταλήγει στα φρεάτια υδροσυλλογής που αποτελούν τις εισόδους στον υπόνομο. Αυτή η «διαδρομή» απαιτεί αρκετό χρόνο. Είναι κατανοητό ότι, οι επιφάνειες που βρίσκονται κοντά στις εισόδους του υπονόμου θα συμβάλλουν στην ροή (μέσα στον υπόνομο) γρήγορα, σε αντίθεση με τις πιο απομακρυσμένες επιφάνειες. Αν για παράδειγμα κανείς υποθέσει ότι απαιτούνται 15 λεπτά



Σκαρίφημα εξιδανικευμένης λεκάνης απορροής και χρόνων συγκέντρωσης για την είσοδο, I, στο δίκτυο

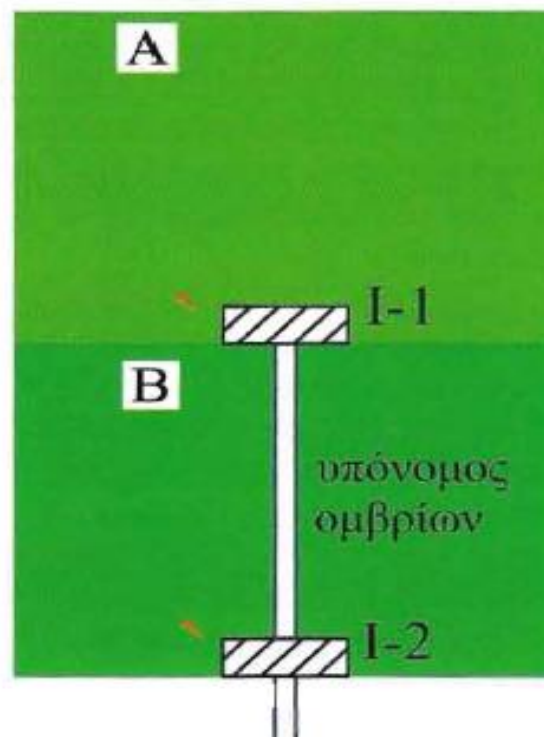
(πηγή: Λαγκούσης και Φουρνιώτης 2020)

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Η ορθολογική μέθοδος – Χρόνος συγκέντρωσης λεκάνης απορροής

(πηγή: Λαγκούσης και Φουρνιώτης 2020)

Η ίδια λογική μπορεί να εφαρμοστεί στην επιφάνεια απορροής του Σχήματος 7.7, το οποίο αναπαριστά κλάδο υπονόμου με δύο εισόδους, I_1 , I_2 , στις οποίες αποστραγγίζονται οι λεκάνες απορροής A, B, αντίστοιχα. Τα όμβρια από τη ζώνη A εισέρχονται στον υπονόμο στην είσοδο I_1 , και τα όμβρια από τη ζώνη B στην είσοδο I_2 . Ο χρόνος συγκέντρωσης στην είσοδο του υπονόμου I_2 είναι: ο χρόνος συγκέντρωσης της ζώνης B, ή ο χρόνος εισόδου στο I_1 (δηλ ο χρόνος συγκέντρωσης της ζώνης A) συν τον χρόνο ροής εντός του υπονόμου από το I_1 στο I_2 – επιλέγεται η μεγαλύτερη τιμή. Ο χρόνος εισόδου στο I_1 είναι ίσος με το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης A και εξαρτάται από την έκταση και την τοπογραφία αυτής, ενώ ο χρόνος ροής από το I_1 στο I_2 είναι συνάρτηση της ταχύτητας των ομβρίων και της απόστασης $I_1 - I_2$. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η έκταση της λεκάνης απορροής που αντιστοιχεί στο I_2 είναι το άθροισμα των εκτάσεων των λεκανών A και B.



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Η ορθολογική μέθοδος – Χρόνος συγκέντρωσης λεκάνης απορροής

Ο χρόνος συγκέντρωσης σε κάθε θέση ενός δικτύου ομβρίων καθορίζεται με παρόμοιο τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε θέση ενός υπονόμου, ο χρόνος συγκέντρωσης είναι το άθροισμα του μεγαλύτερου χρόνου συγκέντρωσης στο προηγούμενο σημείο εισόδου, συν το χρόνο ροής μέσα στον υπόνομο από το προηγούμενο σημείο εισόδου μέχρι το εξεταζόμενο σημείο. Σε συμβολές κλάδων υπονόμου, λαμβάνεται σαν βάση για τους επόμενους υπολογισμούς ο μεγαλύτερος μεταξύ των χρόνων συγκέντρωσης των συμβαλλόντων κλάδων. Ο χρόνος συγκέντρωσης εξαρτάται κατά πολύ από την κλίση της επιφάνειας του εδάφους και την προκύπτουσα κλίση των κλάδων του υπονόμου.

(πηγή: Λαγκούσης και Φουρνιώτης 2020)

Πίνακας 3.1 Τυπικές τιμές χρόνου εισόδου.

Περιγραφή περιοχής	Χρόνος εισόδου (min)
Ελληνικές προδιαγραφές, γενικά	10
Συστάσεις αμερικανικών ενώσεων WPCF & ASCE	
Πυκνοδομημένες περιοχές με άμεσες ιδιωτικές συνδέσεις στους αγωγούς	5
Ανεπτυγμένες περιοχές με ήπιες κλίσεις	10-15
Οικιστικές περιοχές με ήπιες κλίσεις και διεσπαρμένα φρεάτια υδροσυλλογής	20-30

(πηγή: Κουτσογιάννης 2016)

Η ορθολογική μέθοδος – Ένταση βροχόπτωσης – όμβριες καμπύλες

Η κρίσιμη ένταση βροχής υπολογίζεται από τις όμβριες καμπύλες αφού επιλεγεί η περίοδος επαναφοράς και καθοριστεί η διάρκεια βροχής. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στην εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου η χρονική κλίμακα υπολογισμού και η διάρκεια της βροχής θεωρούνται ότι ταυτίζονται και είναι ίσες με το χρόνο συγκέντρωσης (γνωστό και ως χρόνο συρροής) της λεκάνης μέχρι τη θέση της υπό έλεγχο διατομής. Ο χρόνος συγκέντρωσης είναι ίσος με τη διάρκεια που χρειάζεται για να φτάσει μια σταγόνα βροχής από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης στην υπό έλεγχο θέση. Η παραδοχή ισότητας της διάρκειας βροχής με το χρόνο συγκέντρωσης βασίζεται στους εξής απλούς (αλλά όχι αυστηρούς) συλλογισμούς: Για δεδομένη ένταση βροχόπτωσης, είναι προφανές ότι η απορροή φτάνει στο μέγιστο ρυθμό της, όταν η διάρκεια της βροχής είναι τουλάχιστον ίση με το χρόνο συγκέντρωσης, οπότε συμβάλλουν όλα τα τμήματα της λεκάνης. Όμως για δεδομένη περίοδο επαναφοράς, η ένταση της βροχής είναι φθίνουσα συνάρτηση της χρονικής κλίμακας (που, κατά παραδοχή, ταυτίζεται με τη διάρκεια βροχής). Κατά συνέπεια, αν θεωρηθεί μεγάλη διάρκεια βροχής, η έντασή της, άρα και η απορροή θα είναι μικρότερη. Έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι ο μέγιστος ρυθμός απορροής, για δεδομένη περίοδο επαναφοράς, πραγματοποιείται όταν η διάρκεια βροχής είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης.

(πηγή: Κουτσογιάννης 2016)

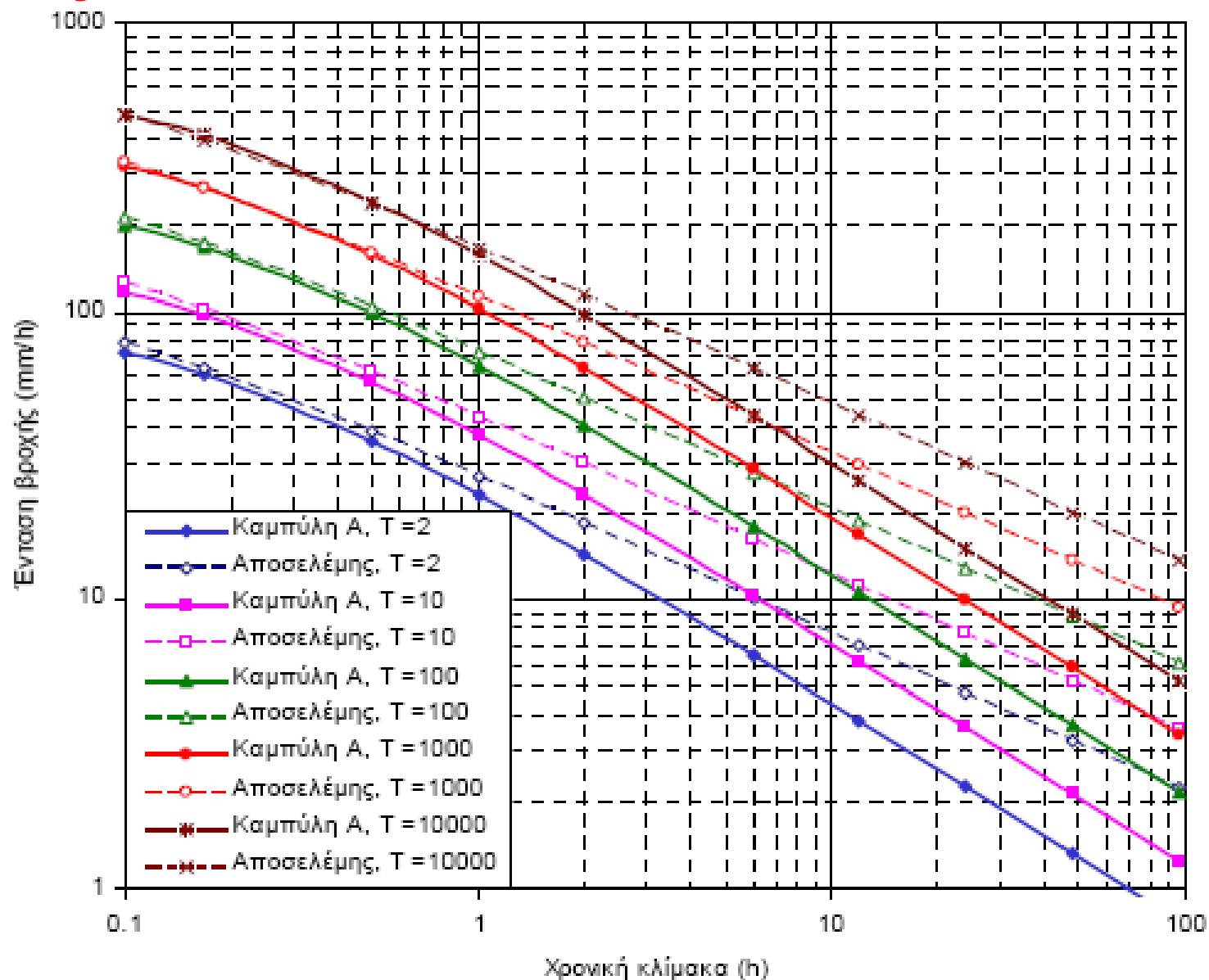
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Η ορθολογική μέθοδος – Ένταση βροχόπτωσης – όμβριες καμπύλες

Με τον όρο *όμβριες καμπύλες* χαρακτηρίζονται οι καμπύλες έντασης (i) – χρονικής κλίμακας (d)⁶ – περιόδου επαναφοράς (T) των βροχοπτώσεων. Η κατάρτιση των καμπυλών αυτών είναι ουσιαστική προϋπόθεση για την ορθολογική εκτίμηση των παροχών ομβρίων της περιοχής μελέτης. Η εργασία αυτή βασίζεται σε βροχογραφικά δεδομένα από σταθμούς της περιοχής ή γειτονικούς. Το μήκος του ιστορικού δείγματος, η ποιότητα και η ακρίβεια των μετρήσεων και η θέση των σταθμών επηρεάζουν σημαντικά την αξιοπιστία των όμβριων καμπυλών. Τονίζεται ότι δεν υπάρχουν καμπύλες γενικής εφαρμογής ανεξάρτητες των τοπικών συνθηκών.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Η ορθολογική μέθοδος – Ένταση βροχόπτωσης – όμβριες καμπύλες
(πηγή: Κουτσογιάννης 2016)



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Ανακεφαλαίωση – Παροχές σχεδιασμού

Η ορθολογική μέθοδος αντιπροσωπεύει την πιο απλή και πρακτική βάση για την εκτίμηση των παροχών σχεδιασμού ενός δικτύου ομβρίων. Τα αρχικά γενικά βήματα της εφαρμογής της μεθόδου είναι τα ακόλουθα:

1. Μετά από υδρολογική μελέτη των μέγιστων βροχοπτώσεων της περιοχής καταρτίζονται οι όμβριες καμπύλες.
2. Καθορίζεται η περίοδος επαναφοράς της καταιγίδας σχεδιασμού για τις διάφορες κατηγορίες των αγωγών ομβρίων.
3. Γίνεται διαχωρισμός της περιοχής μελέτης σε ζώνες, ανάλογα με τις πολεοδομικές και φυσιογραφικές συνθήκες, και για κάθε ζώνη γίνεται εκτίμηση του συντελεστή απορροής και του χρόνου εισόδου των ομβρίων στο δίκτυο.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Ανακεφαλαίωση – Παροχές σχεδιασμού

Η εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού σε μια συγκεκριμένη θέση ενός αγωγού περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα.

4. Χαράσσεται ο υδροκρίτης της περιοχής επιρροής του αγωγού και εμβαδομετρείται η επιφάνεια της.
5. Εάν η επιφάνεια επιρροής περιλαμβάνει ζώνες με διαφορετικούς συντελεστές απορροής, αυτές εμβαδομετρούνται ξεχωριστά, και υπολογίζεται ο μέσος συντελεστής απορροής με εφαρμογή της σχέσης (3.26).
6. Υπολογίζονται οι χρόνοι ροής των διάφορων διαδρομών, βάσει των μηκών και των ταχυτήτων των ανάντη τμημάτων. Ο ακριβής προσδιορισμός των ταχυτήτων προϋποθέτει λεπτομερείς υδραυλικούς υπολογισμούς.
7. Επιλέγεται η κρίσιμη διαδρομή και υπολογίζεται ο αντίστοιχος χρόνος συγκέντρωσης.
8. Εκτιμάται η κρίσιμη ένταση βροχής από την αντίστοιχη όμβρια καμπύλη, για διάρκεια βροχής ίση με το χρόνο συγκέντρωσης.
9. Εκτιμάται η παροχή σχεδιασμού από τη σχέση (3.1).

(πηγή: Κουτσογιάννης 2016)

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Ανακεφαλαίωση – Ειδικότερα στοιχεία συνθηκών ροής

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται επιμέρους παράμετροι που επηρεάζουν το σχεδιασμό των αγωγών αποχέτευσης, λόγω ιδιοτήτων της ροής σε αυτούς. Πιο συγκεκριμένα, τα λύματα, ήτοι το υγρό που ρέει εντός των αγωγών αποχέτευσης, εμπεριέχει μικρή ποσότητα στερεών (< 1%). Συνεπώς, παρόλο που οι φυσικές ιδιότητες του ρευστού ελάχιστα διαφέρουν από αυτές του καθαρού νερού και δεν επηρεάζουν τους υδραυλικούς υπολογισμούς (δηλ. εφαρμόζονται οι εκφράσεις και αρχές της κλασικής υδραυλικής), χαμηλές ταχύτητες ροής μπορούν να οδηγήσουν σε φαινόμενα αποθέσεων και, ταυτόχρονα, οι φυσικοχημικές ιδιότητες των λυμάτων καθίστανται σημαντικές όσον αφορά τις βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη ροή. Οι τελευταίες δύνανται να οδηγήσουν σε έντονα αναερόβιες συνθήκες, με επακόλουθη παραγωγή υδροθείου (H_2S), και εμφάνιση φαινομένων διάβρωσης των αγωγών (βλέπε επόμενη ενότητα).

Αναφορικά με τις συνθήκες ροής, σε αντίθεση με τα δίκτυα ύδρευσης, τα δίκτυα αποχέτευσης σχεδιάζονται για ροή με ελεύθερη επιφάνεια (βλέπε προηγούμενη ενότητα). Υπό αυτές τις συνθήκες, εξασφαλίζεται ο αερισμός των λυμάτων με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός παραγωγής υδροθείου και διάβρωσης των αγωγών. Επιπλέον, η αποφυγή συνθηκών ροής υπό πίεση μειώνει τον κίνδυνο εκτίναξης των λυμάτων από τα φρεάτια και τις τουαλέτες των υπογείων. Επισημαίνεται, ότι για την αποφυγή ροής υπό πίεση, το ποσοστό πληρώσεως y/D στους αγωγούς αποχέτευσης δεν θα πρέπει σε καμία περίπτωση να υπερβαίνει το 80% (δηλ. $\max y/D = 0,8$). Ο λόγος για αυτό πρέπει να αναζητηθεί στο **Σχήμα 7.16**, όπου γίνεται εμφανές ότι για κάθε τιμή του λό-

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Ανακεφαλαίωση – Ειδικότερα στοιχεία συνθηκών ροής

Στην πράξη η ροή στους αγωγούς αποχέτευσης είναι κατά κανόνα μη μόνιμη και ανομοιομόρφη. Για διευκόλυνση των υπολογισμών, ο μηχανικός καλείται να κάνει τις κατάλληλες παραδοχές (υπέρ της ασφαλείας), και να σχεδιάσει με επιμέλεια τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες του δικτύου αποχέτευσης, ώστε να είναι δυνατή η μελέτη της ροής ως μόνιμης και ομοιομόρφης. Για παράδειγμα, αναφέρεται η περίπτωση αλλαγής διαμέτρου σε δίκτυα αποχέτευσης, η οποία: α) πρέπει να είναι πάντα αυξητική⁶ κατά τη διεύθυνση της ροής, και 2) να γίνεται πάντα με ταύτιση άντυγας, ώστε να αποφευχθούν τοπικές αστάθειες στη ροή και φαινόμενα υπερπλήρωσης, που δύνανται να οδηγήσουν στην μείωση της παροχетеυτικότητας επιμέρους κλάδων του δικτύου. Στο σκαρίφημα που ακολουθεί, **Σχήμα 7.17**, απεικονίζεται σχηματικά ο τρόπος τοποθέτησης των αγωγών αποχέτευσης σε θέση αλλαγής διαμέτρου κατά τη διεύθυνση της ροής. Επιπλέον, χαράσσεται ποιοτικά το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας κατά μήκος του αγωγού. Όπως διαφαίνεται, στην περίπτωση που η αλλαγή διαμέτρου γίνεται με ταύτιση πυθμένα, η πιθανή αύξηση του βάθους ροής στα κατάντη (που προκαλείται από την συμβάλλουσα παροχή ή/και μείωση της κλίσεως του αγωγού), μπορεί να οδηγήσει σε τοπική υπερπλήρωση και μείωση της παροχетеυτικότητας του κλάδου.

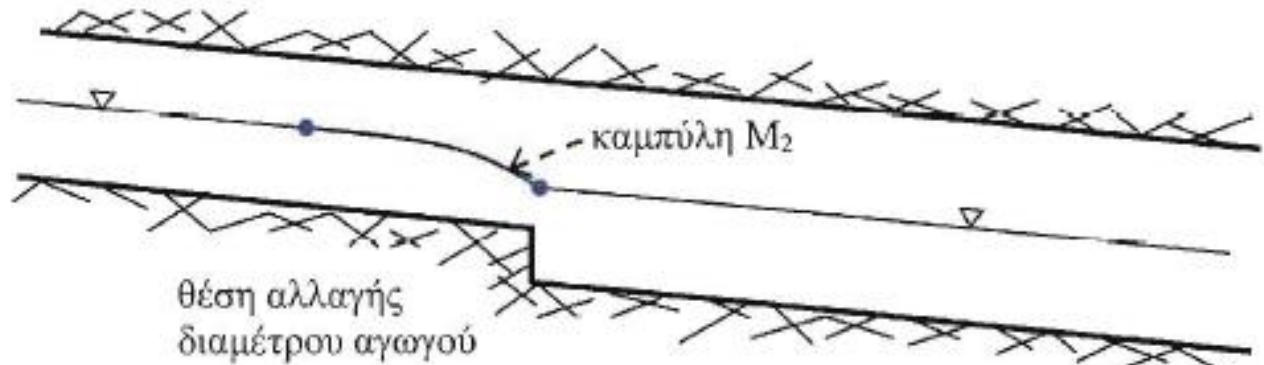
Μία συνιστώσα της παροχής των λυμάτων που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό αγωγών αποχέτευσης, είναι οι καλούμενες παρασιτικές εισροές (βλέπε Ενότητα 11.3). Οι τελευταίες περιλαμβάνουν: (α) είσοδο υπογείου νερού στο δίκτυο λυμάτων λόγω διηθήσεων, και (β) εισροή ομβρίων σε αγωγούς λυμάτων από παράνομες συνδέσεις⁷.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΑΡΟΧΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Ανακεφαλαίωση – Ειδικότερα στοιχεία συνθηκών ροής

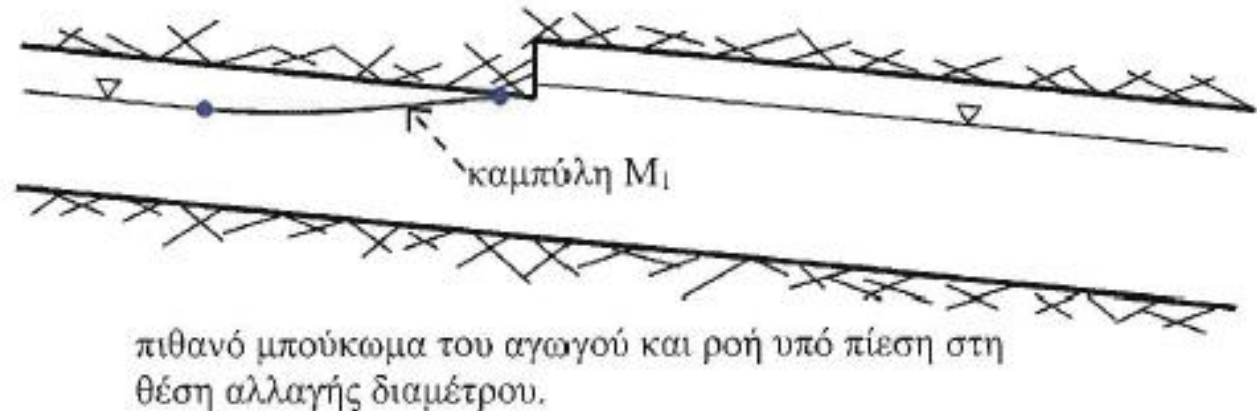
ΣΩΣΤΟ

(α) Αλλαγή διαμέτρου αγωγού με ταύτιση άντυγας



ΛΑΘΟΣ

(β) Αλλαγή διαμέτρου αγωγού με ταύτιση πυθμένα



Σχεδιασμός Δικτύων Ομβρίων με βάση τον Ελληνικό κανονισμό Π.Δ.696/1974

1) Παροχή

Ορθολογική μέθοδος (πηγή 1)

Η ορθολογική μέθοδος που έχει εισαχθεί το 1850, μετασχηματίζει τη βροχή σε απορροή με την απλή σχέση

$$Q = CiA \quad (3.1)$$

όπου Q η παροχή αιχμής της πλημμύρας, C ο αδιάστατος συντελεστής απορροής, i η μέση (χρονικά και χωρικά) ένταση βροχής και A η έκταση της λεκάνης απορροής ή της επιφάνειας που αποχετεύεται. Η εξίσωση (3.1) είναι διαστατικά ομογενής. Στην εφαρμογή της, όμως, πρέπει να δίνεται προσοχή στην κατάλληλη μετατροπή των μονάδων (π.χ. η ένταση βροχής που συνήθως εκφράζεται σε mm/h πρέπει να μετατρέπεται σε m/s).

ΔΙΚΤΥΑ ΟΜΒΡΙΩΝ

1) Παροχή

Ο συντελεστής απορροής C σχετίζεται με τη διαπερατότητα του εδάφους. Αν είναι τελείως αδιαπέρατο (τσιμέντο) τότε $C=1$, αλλιώς ανάλογα με τη διαπερατότητα $C < 1$.

Θέσεως. Οί συντελεσταί απορροής αιχμής πλημμύρας διά τας έκτος πόλεως λεκάνας εκτιμώνται ως εξής :

$$\text{Διά τας όρεινὰς λεκάνας} \quad C = 0,60$$

$$\text{Διά τας λοφώδεις εκτάσεις} \quad C = 0,50$$

$$\text{Διά τας πεδινὰς περιοχὰς} \quad C = 0,30$$

Οί συντελεσταί απορροής αιχμής πλημμύρας διά τήν έντός πολεοδομικού σχεδίου περιοχήν καθορίζονται κατά ζώνας επί τῆ βάσει τῆς πυκνότητος οικήσεως.

Οί συντελεσταί απορροής έξ εκτάσεων έντός πόλεως λαμβάνονται πάντοτε ως τούλάχιστον ίσοι πρός τούς καθοριζομένους διά τήν ίδιαν περιοχήν, εάν αύτη ἦτο έκτος πόλεως. Διά λεκάνας απορροής εκτεινομένας εἰς περισσοτέρας τῆς μιᾶς ζώνης, ὁ μέσος συντελεστής απορροής ὀρίζεται εκ τοῦ τύπου :

$$C = \frac{\sum CF}{\sum F}$$

1) Παροχή

i είναι η μέση ένταση βροχής διάρκειας ίσης με το χρόνο συγκέντρωσης.

και $i = \dot{h}$ μέση έντασις βροχής διάρκειας ίσης προς τὸν χρόνον, τὸν ἀπαιτούμενον διὰ νὰ συρρεύσουν τὰ ὕδατα ἐκ τοῦ ἀπωτάτου σημείου τῆς λεκάνης ἀπορροῆς F μέχρι τῆς ἐξεταζομένης θέσεως. Οἱ συντελεσταὶ ἀπορροῆς αἰνιτῆς πλημμύρας διὰ τὰς

Η ένταση βροχής i υπολογίζεται από τις όμβριες καμπύλες

$$i(d, T) = \frac{\lambda' T^{\kappa}}{d^{\eta}}$$

όπου, T = περίοδος επαναφοράς (5 έτη για δευτερεύοντες αγωγούς και 10 έτη για κύριους αγωγούς με βάση ΠΔ696/74)

d είναι ο χρόνος που απαιτείται τα νερά της βροχής να διασχίσουν την εξεταζόμενη επιφάνεια και να φτάσουν στον αγωγό

λ' , κ , η είναι συντελεστές που υπολογίζονται κατά περιοχή

1) Παροχή

$$Q = C \cdot i \cdot F$$

Η παραπάνω σχέση είναι διαστατικά ομογενής. Συνήθως χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$Q = 2.7777 \cdot C \cdot i \cdot F$$

όπου

Q σε $l/sec/ha$

i σε mm/h

F σε **εκτάρια** (ha). $1 ha = 10$ στρέμματα = $10,000 m^2$.

ΔΙΚΤΥΑ ΟΜΒΡΙΩΝ

2) Σωλήνες

Επιλέγω ΣΕΙΡΑ 41, από διάμετρο **400 mm** και πάνω και συνεχίζω αυξάνοντας κάθε φορά τη διάμετρο κατά 100 mm. **Στους υπολογισμούς τη χρησιμοποιώ ως εσωτερική διάμετρο (συνήθως σε cm).**

Πληρότητα
70%

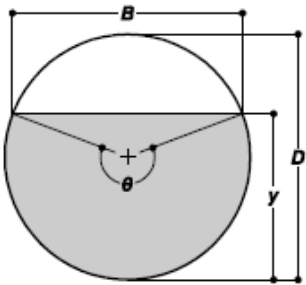
10. 'Επιλογή διατομῆς ἀγωγῶν ὀμβρίων ὑδάτων.

'Ως ἐλάχιστη διατομή ἀγωγῶν ὀμβρίων ὑδάτων ὀρίζεται ἡ κυκλική τοιαύτη, ἐσωτερικῆς διαμέτρου 0,40. Τὰ ὅρια χρήσεως τῶν ἀγωγῶν ἐξ ἀμιαντοσιμέντου καὶ σκυροδέματος, δέον ὅπως προσδιορίζονται κατόπιν τεχνικο—οικονομικῆς διερευνήσεως. Εἰς τοὺς κλειστοὺς ἀγωγούς, δέον ὅπως τηρῆται περιθώριον ἀσφαλείας, ἀνταποκρινόμενον εἰς μέγιστον ποσοστὸν πληρώσεως

$$\frac{h}{h_{\pi}} = 70\%$$

Τὸ περιθώριον τοῦτο ἀσφαλείας δὲν θὰ ὑπερβαίνη τὸ 1,00 m.

'Επὶ ἀνοικτῶν ἀγωγῶν, τὸ περιθώριον ἀσφαλείας ὀρίζεται κατὰ περίπτωσιν.



ΔΙΚΤΥΑ ΟΜΒΡΙΩΝ

2) Σωλήνες, ΣΕΙΡΑ 41,

ΣΩΛΗΝΑΣ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΥΠΟ

ΑΠΟ PVC-u 100

ΚΑΤΑ ΕΛΟΤ-476 (ΣΕΙΡΑ 41), DIN 1

ΚΩΔ. ΑΡ. 1.13.005. HELIDUR®-ED



ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ:

- Χρώμα: Κεραμιδί (RAL 8023)
- Προσφερόμενα μήκη: 6μ.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ:

- Χρησιμοποιούνται σε δίκτυα αποχέτευσης Δήμων, Κοινοτήτων, Οικισμών κ.λ.π.

Επιλέγω ΣΕΙΡΑ 41, από διάμετρο **400 mm και πάνω** και συνεχίζω αυξάνοντας κάθε φορά τη διάμετρο κατά 100 mm. **Στους υπολογισμούς τη χρησιμοποιώ ως εσωτερική διάμετρο (συνήθως σε cm).**



Σωλήνες Υπονόμων

3) Ταχύτητα ροής: $0.6 < \text{ταχύτητα ροής} < 6.0$ (m/sec)

Αί ελάχιστοι ἐπιτρεπόμενοι κλίσεις τῶν ἀγωγῶν ὀμβρίων δέον ὅπως καθορίζονται, λαμβανομένης πρὸς τοῦτο ὑπ' ὄψιν τῆς ἀπαιτούμενης ἐλαχίστης ταχύτητος διὰ τὸν αὐτοκαθαρισμὸν αὐτῶν π.χ. 0,60 m/sec διὰ παροχὴν ἴσην μὲ τὸ 1/10 τῆς παροχευευτικότητος πλήρους διατομῆς, ἐπιτρεπομένων παρεκκλίσεων ἀπὸ τοῦ κανόνος τούτου.

Ἡ μέγιστη ἐπιτρεπομένη ταχύτης ροῆς εἰς τοὺς ἀγωγούς ὀρίζεται, κατ' ἀρχὴν εἰς 6m/sec καὶ ἐπισημαίνεται ὅτι ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ εἴδους τοῦ ἀγωγοῦ, ἐκ τῆς στερεοπαροχῆς καὶ τῶν εἰδικῶν συνθηκῶν ὑπὸ τὰς ὁποίας τελεῖ οὗτος. Παρέκκλισις ἐκ τοῦ ὀρίου ταχύτητος ἐπιτρέπεται εἰς εἰδικὰς περιπτώσεις, κατόπιν αἰτιολογήσεως, ἐπὶ σκοπῶ π.χ. ἀποφυγῆς ἔργων πτώσεως. Ἐπὶ μεγάλων ἀγωγῶν καὶ δὴ ἐπὶ μεγάλων ταχυτήτων, δέον ὅπως λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν ἡ προκύπτουσα αὐξήσις τοῦ βάθους ροῆς, λόγῳ προσροφήσεως ἀέρος καὶ ἡ ὑπερύψωσις τοῦ ὕδατος εἰς τὰ καμπύλα τμήματα, ἐπιτρεπομένης προσαυξήσεως τοῦ ποσοστοῦ πληρώσεως (ἐπὶ κλειστῶν διατομῶν).

3) Ταχύτητα ροής: $0.6 < \text{ταχύτητα ροής} < 6.0$ (m/sec)

Στη διεθνή βιβλιογραφία ασφαλής θεωρείται η ταχύτητα των 3.0 m/s, που δεν προκαλεί διάβρωση σε συνήθη υλικά κατασκευής υπονόμων. Οι ελληνικές προδιαγραφές (ΠΔ 696, 1974) καθορίζουν ως μέγιστη την ταχύτητα των 6.0 m/s. Η μελετητική εμπειρία πάντως δείχνει ότι για τα δίκτυα ακαθάρτων στα οποία η ροή είναι συνεχής, θα πρέπει να τηρείται μέγιστη ταχύτητα κάτω από 3.0 m/s, πράγμα που συνήθως είναι επιτεύξιμο χωρίς απαίτηση ειδικών τεχνικών έργων (αναβαθμοί ή φρεάτια πτώσης). Για τα δίκτυα ομβρίων, στα οποία η ροή είναι έντονα διαλείπουσα, μπορεί να γίνει αποδεκτή μεγαλύτερη ταχύτητα, όπως αυτή των ελληνικών προδιαγραφών (6.0 m/s), γιατί θα ήταν πολύ αντισυμβαλλόμενη η τήρηση μικρότερων ταχυτήτων. Πάντως σε κάθε περίπτωση που η ταχύτητα υπερβαίνει τα 3.0 m/s χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στους υδραυλικούς υπολογισμούς, οι οποίοι πρέπει να γίνονται με κάθε λεπτομέρεια (βλ. ενότητες 4.16 και 4.17 και αντίστοιχες εφαρμογές)

Σημειώνεται ότι η ρύθμιση της ταχύτητας γίνεται με την επιλογή της κατάλληλης κλίσης του αγωγού.

4. Ελάχιστες κλίσεις για αγωγούς ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ και ΟΜΒΡΙΩΝ

Γενικά, οι αγωγοί αποχέτευσης τοποθετούνται ακολουθώντας την κλίση του εδάφους, εκτός από τις περιπτώσεις: α) μεγάλων κλίσεων εδάφους που αναμένεται να οδηγήσουν σε υπέρβαση της μέγιστης επιτρεπόμενης ταχύτητας V_{max} και β) μικρών κλίσεων εδάφους που αναμένεται να οδηγήσουν σε αποθέσεις στους αγωγούς. Ειδικότερα, οι ελληνικές προδιαγραφές ορίζουν ότι η ταχύτητα της ροής στα δίκτυα ακαθάρτων δεν μπορεί να υπολείπεται των 0,3 m/s (δηλ. $V \geq V_{min} = 0,3 \text{ m/s}$) για τιμές της παροχής ίσες με το 10% της παροχής πλήρωσης του αγωγού. Για τα δίκτυα ομβρίων, η ελάχιστη ταχύτητα ορίζεται σε $V_{min} = 0,6 \text{ m/s}$. Η διαφορά στις δύο τιμές οφείλεται στο ότι τα αιωρούμενα στερεά στα δίκτυα ακαθάρτων είναι κατά κανόνα οργανικά, και έχουν μικρότερο ειδικό βάρος από την ανόργανη ύλη που αιωρείται στα δίκτυα ομβρίων (π.χ. άμμος). Αναφέρεται ότι, οι παραπάνω ελάχιστες ταχύτητες αυτοκαθαρισμού, αφορούν το 10% της παροχетеυτικότητας του αγωγού (δηλ. $Q/Q_0 = 0,1$). Χρησιμοποιώντας το νομογράφημα του Σχήματος 7.16, στο Κεφάλαιο 7, για λόγο

(πηγή: Λαγκούσης και Φουρνιώτης 2020)

4. Ελάχιστες κλίσεις για αγωγούς ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ και ΟΜΒΡΙΩΝ

Κατά τη διαστασιολόγηση των αγωγών αποχέτευσης, κατά κανόνα ακολουθείται η κλίση του εδάφους, δηλαδή κάθε αγωγός τοποθετείται παράλληλα με τη μηκοτομή του οδοστρώματος. Αυτό όμως δεν είναι δυνατό σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως όταν οι δρόμοι έχουν πολύ μικρές κλίσεις ή είναι πρακτικά οριζόντιοι, και ακόμα σε ορισμένες περιπτώσεις η χάραξη ακολουθεί κατεύθυνση αντίθετη με αυτή που επιβάλλει η κλίση του δρόμου. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις οι αγωγοί τοποθετούνται με την ελάχιστη κλίση, η οποία εξασφαλίζει ικανοποιητική ταχύτητα για αυτοκαθαρισμό. Εξ άλλου σε περίπτωση που η φυσική κλίση είναι πολύ απότομη, για να αποφευχθούν μεγάλες ταχύτητες ακολουθείται βαθμιδωτή χάραξη των αγωγών, με κλίση μικρότερη αυτής του οδοστρώματος.

Θα πρέπει πάντως να τονιστεί ότι η εφαρμογή πολύ μικρών κλίσεων, π.χ. κάτω από 1 m/km θα πρέπει να αποφεύγεται, ακόμα και όταν αυτό επιτρέπεται από υδραυλική άποψη (π.χ. για αγωγούς ακαθάρτων με διαμέτρους μεγαλύτερες των 50 cm). Αλλιώς συναντώνται δυσκολίες στην υλοποίηση τέτοιων κλίσεων κατά την κατασκευή, ενώ αργότερα είναι δυνατό να υπάρξουν ακόμα μεγαλύτερα προβλήματα εξαιτίας διαφορετικών καθιζήσεων. Γι' αυτό το λόγο στον

4. Ελάχιστες κλίσεις για αγωγούς ΟΜΒΡΙΩΝ

0.6 m/s < ταχύτητα < 6.0 m/s

Η ελάχιστη κλίση δίνει για το 1/10 της παροχής (πλήρους διατομής) ταχύτητα > 0.6 m/s (n=0.015)

Η Q μερικής πληρώσεως υπολογίσθηκε από ελάχιστη κλίση και μέγιστη επιτρεπόμενη πλήρωση (70%)

Κλίσεις < 0.1% δύσκολα υλοποιούνται κατασκευαστικά

ΣΩΛΗΝΕΣ PVC - ΟΜΒΡΙΑ 0.6 m/s < ταχύτητα < 6.0			
ΠΛΗΡΩΣΗ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ %	Q μερικής πληρώσεως (L/s)
70%	400	0.4300	101
	500	0.3200	155
	600	0.2500	222
	700	0.2000	300
	800	0.1700	395
	900	0.1450	500
	1000	0.1250	615
	1100	0.1130	754
	1200	0.1000	894
	1300	0.0900	1051
	1400	0.0800	1207
	1500	0.0750	1405
	1600	0.0680	1589
	1700	0.0630	1798
	1800	0.0570	1991
	1900	0.0535	2228
	2000	0.0500	2470
	2100	0.0470	2728
	2200	0.0440	2988
	2300	0.0420	3286
2400	0.0400	3593	
2500	0.0370	3853	
2600	0.0360	4219	
2700	0.0340	4534	
2800	0.0320	4847	
2900	0.0310	5239	
3000	0.0290	5546	
3100	0.0280	5948	
3200	0.0265	6297	
3300	0.0260	6771	
3400	0.0250	7190	

4. Ελάχιστες κλίσεις για αγωγούς ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ και ΟΜΒΡΙΩΝ

(Κουτσογιάννης 2016)

Πίνακας 4.4 Εφαρμοστές ελάχιστες κλίσεις για αγωγούς ακαθάρτων και ομβρίων.

Διά- μετρος	Αγωγοί ακαθάρτων ($V_0 = 0.56 \text{ m/s}$ – μεταβλητή τραχύτητα με $n_0 = 0.015$)			Αγωγοί ομβρίων ($V_0 = 1.11 \text{ m/s}$ – μεταβλητή τραχύτητα με $n_0 = 0.015$)			Ελάχιστη κλίση αγω- γών ομβρ. & ακαθ. κατά τα πρότυπα των ΗΠΑ (για $V_0=0.6 \text{ m/s}$, $n_0=0.015$) (m/km)
	Ελάχιστη κλίση (cm)	Επιτρε- πόμενη πλήρωση (m/km)	Αντίστοιχη παροχή (L/s)	Ελάχιστη κλίση (cm)	Επιτρε- πόμενη πλήρωση (m/km)	Αντίστοιχη παροχή (L/s)	
20	3.8	0.5	7.0	–	–	–	4.4
25	2.8	0.5	10.9	–	–	–	3.3
30	2.2	0.5	15.7	–	–	–	2.6
35	1.8	0.5	21.5	–	–	–	2.0
40	1.5	0.5	28.0	6.0	0.7	99	1.8
50	1.1	0.6	59.8	4.4	0.7	155	1.3
60	0.89 (1.0)	0.6	87.9 (93)	3.5	0.7	225	1.0
70	0.72 (1.0)	0.7	153 (180)	2.8	0.7	303	0.83
80	0.60 (1.0)	0.7	200 (257)	2.4	0.7	396	0.69
90	0.52 (1.0)	0.7	253 (352)	2.0	0.7	501	0.59
100	0.45 (1.0)	0.7	312 (467)	1.8	0.7	619	0.51
110	0.39 (1.0)	0.7	378 (602)	1.6	0.7	749	0.45
120	0.35 (1.0)	0.7	450 (759)	1.4	0.7	891	0.40
130	0.32 (1.0)	0.7	528 (939)	1.2	0.7	1046	0.36
140	0.29 (1.0)	0.7	612 (1144)	1.1	0.7	1213	0.33
150	0.26 (1.0)	0.7	703 (1376)	1.0	0.7	1393	0.30
160	0.24 (1.0)	0.7	799 (1634)	0.94 (1.0)	0.7	1584 (1624)	0.27
180	0.20 (1.0)	0.7	1012 (2237)	0.80 (1.0)	0.7	2005 (2237)	0.23
200	0.18 (1.0)	0.7	1249 (2962)	0.70 (1.0)	0.7	2476 (2962)	0.20

ΠΑΝΤΟΡΡΟΪΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

ΠΑΝΤΟΡΡΟΪΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

1) Παροχή:

Είναι η συνολική παροχή λυμάτων και ομβρίων

$$\Sigma Q = Q_{\lambda\upsilon\mu} + Q_{\omicron\mu\beta}$$

Επειδή $Q_{\omicron\mu\beta} > Q_{\lambda\upsilon\mu}$ για τους υπολογισμούς ακολουθείται η διαδικασία επίλυσης ομβρίων

Για την επίλυση γίνεται κοινός πίνακας για λύματα και όμβρια ξεκινώντας από τα λύματα

Γίνεται ταξινόμηση των αγωγών, από τους δευτερεύοντες προς τους πρωτεύοντες

ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- Ελέγχεται το ποσοστό πλήρωσης και η ταχύτητα ροής.
- **Επιλέγεται πάντα διάμετρος είτε η προηγούμενη είτε μεγαλύτερη, ποτέ μικρότερη.**
- Αν η κλίση του εδάφους είναι ήπια (επίπεδο έδαφος) τότε μικραίνω την κλίση του αγωγού και όχι τη διάμετρο. Αν υπάρχει υπέρβαση ποσοστού πλήρωσης, τότε αυξάνουμε τη διάμετρο.
- **Όταν το έδαφος έχει πολύ μικρή κλίση, τότε βάζω τον αγωγό παράλληλα με το έδαφος και αν δεν πληρείται το ποσοστό πλήρωσης ή τα όρια ταχύτητας, τότε αυξάνω τη διάμετρο.**
- Όταν υπάρχει ανηφόρα πάντα επιλέγω την ελάχιστη κλίση

Συντελεστής τραχύτητας Manning

Τα αποτελέσματα ενός αριθμού πραγματικών μετρήσεων σε αγωγούς αποχέτευσης στις ΗΠΑ έδωσαν τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning n που κυμαίνονται από 0.011 μέχρι 0.016 για αγωγούς σε καλή κατάσταση, και φτάνουν μέχρι 0.020 για αγωγούς με κακή ευθυγράμμιση και αποθέσεις.

Οι Αμερικανικές ενώσεις WPCF & ASCE (1976) συνιστούν τιμές του n στα όρια 0.011 - 0.015 για τα συνήθη υλικά σωληνώσεων αποχέτευσης (σωλήνες από σκυρόδεμα, αμιαντοσιμέντο, πλαστικοί ή αργιλοπυριτικοί). Για την επιλογή της τελικής τιμής θα πρέπει να συνεκτιμώνται και οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την τραχύτητα, όπως αναφέρθηκαν στην αρχή της ενότητας.

Οι Greely et al. (1969) συνιστούν την τιμή $n = 0.015$ για κάλυψη όλων των υδραυλικών απωλειών στις σωληνώσεις, και την τιμή $n = 0.013$ εάν υπολογίζονται ξεχωριστά οι τοπικές απώλειες στα φρεάτια, τις καμπύλες και τους κόμβους.¹¹ Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν, σύμφωνα με τη σχέση (4.19), σε ισοδύναμη τραχύτητα $\varepsilon = 3.5$ και 1.5 mm αντίστοιχα.

Όπως θα φανεί παρακάτω (ενότητα 4.6) οι μετρήσεις σε κυκλικούς αγωγούς εξακρίβωσαν μια όχι αμελητέα μεταβολή του n με το βάθος ροής. Οι παραπάνω τιμές του n θεωρείται ότι αντιστοιχούν σε ολική πλήρωση του αγωγού.