

Αστικά Υδραυλικά Έργα – Αποχετευτικά Έργα



Αστικά δίκτυα αποχέτευσης ομβρίων

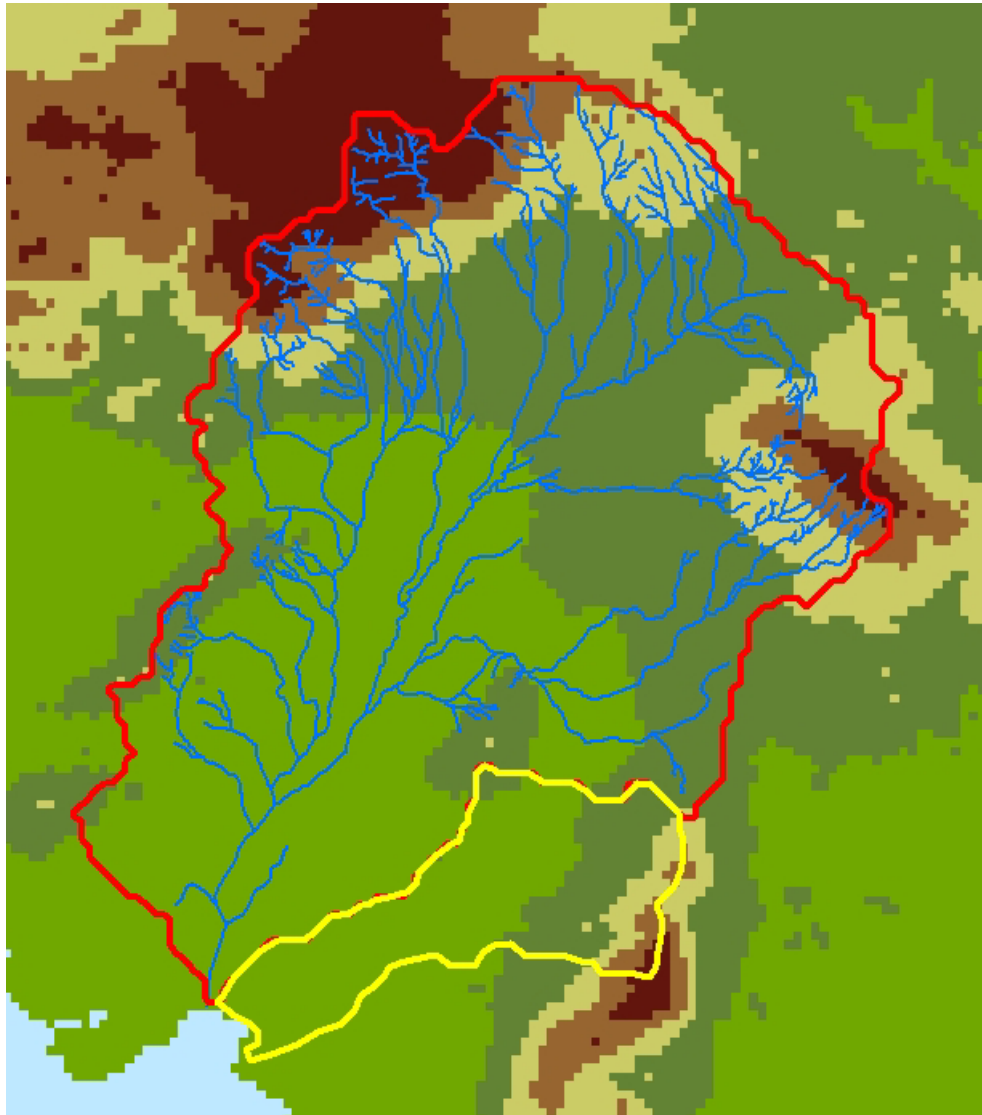
Ανδρέας Ευστρατιάδης & Δημήτρης Κουτσογιάννης

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ακαδημαϊκό έτος 2013-14

Αποστράγγιση λεκάνης απορροής σε φυσικές συνθήκες και μετά την αστικοποίηση

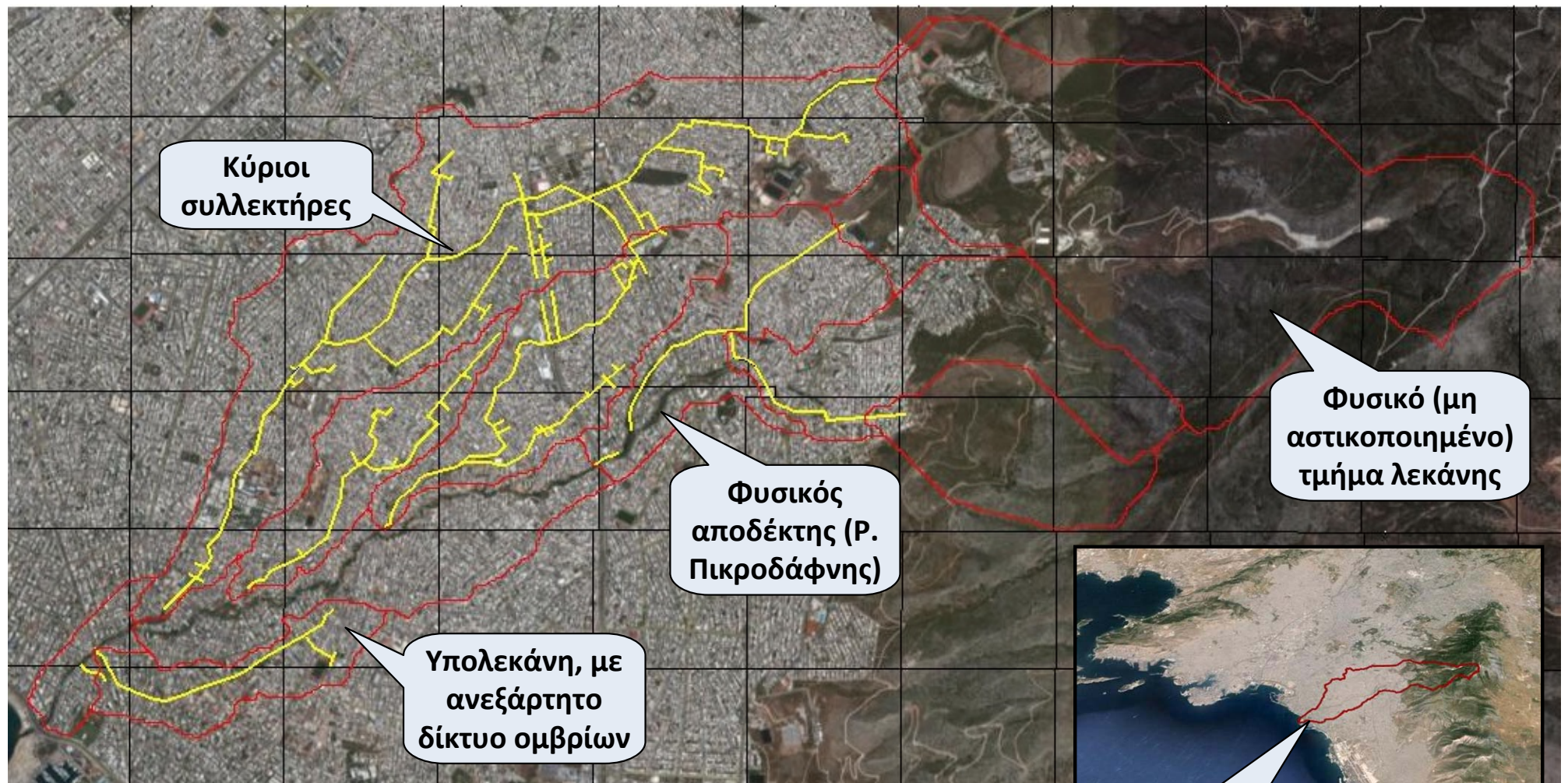


Υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής Κηφισού
(Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά., 2010)

- **Αποστράγγιση λεκάνης απορροής σε φυσικές συνθήκες:** υδρογραφικό δίκτυο, που περιλαμβάνει το κύριο υδατόρευμα και πληθώρα από συμβάλλοντα ρέματα και μισγάγκειες, πλημμυρικής αποκλειστικά ροής
- **Αποχέτευση αστικής λεκάνης:** διατήρηση του κύριου υδατορεύματος ως φυσικού αποδέκτη, αντικατάσταση λοιπού υδρογραφικού δικτύου από αγωγούς ομβρίων

Παρατήρηση: Η κατασκευή δικτύου ομβρίων σε μια αστική περιοχή οδηγεί στη μείωση του χρόνου απορροής των ομβρίων και κατά συνέπεια στην αύξηση της παροχής στον τελικό αποδέκτη.

Γενική διάταξη δικτύων αποχέτευσης ομβρίων



Ρέμα Πικροδάφνης και ανάπτυξη κύριων αγωγών αποχέτευσης ομβρίων εντός της λεκάνης απορροής του (Πηγή: Μαμάσης κ.ά., 2013)

Γενικές αρχές σχεδιασμού δικτύων ομβρίων

- ❑ Η **αστική υδρολογική λεκάνη**, στο σύνολό της, και το **ανάντη μη αστικοποιημένο** τμήμα της μελετώνται ως ενιαίο σύστημα.
- ❑ Σε αντίθεση με το δίκτυο ακαθάρτων, που είναι συγκεντρωτικό (ώστε όλα τα ακάθαρτα να καταλήγουν στη μονάδα επεξεργασίας), η χάραξη του δικτύου ομβρίων είναι **αποκεντρωτική**.
- ❑ Κατά τη χάραξη διαμορφώνονται **επιμέρους δίκτυα**, καθένα από τα οποία εκβάλλει σε φυσικό αποδέκτη (π.χ., αστικό υδατόρευμα) ή στη θάλασσα.
- ❑ Το συνολικό δίκτυο ομβρίων καλύπτει **τμήμα του οδικού δικτύου** (30 ως 40%).
- ❑ Οι εισροές των ομβρίων γίνονται μέσω **φρεατίων υδροσυλλογής** καθώς και **ιδιωτικών συνδέσεων**, που υλοποιούνται (υποχρεωτικά) κατά μήκος των αγωγών.
- ❑ Αποφεύγεται η χρήση **αντλιοστασίων** σε αστικές περιοχές.
- ❑ Αποφεύγεται η κατασκευή αγωγών αποχέτευσης ομβρίων σε δρόμους **μεγάλης κλίσης**, ώστε να μην επιταχύνεται περαιτέρω η ροή.
- ❑ Όταν το δίκτυο κατασκευάζεται σταδιακά, η κατασκευή του δικτύου ξεκινά από τα **κατάντη**, ώστε να προστατεύονται κατά προτεραιότητα οι χαμηλές περιοχές, λαμβάνοντας ωστόσο υπόψη την απορροή που παράγεται στο σύνολο της λεκάνης.
- ❑ Ο βαθμός προστασίας που παρέχει το δίκτυο ομβρίων περιγράφεται από την **περίοδο επαναφοράς του επεισοδίου βροχής** που μπορεί να παροχετεύσει.

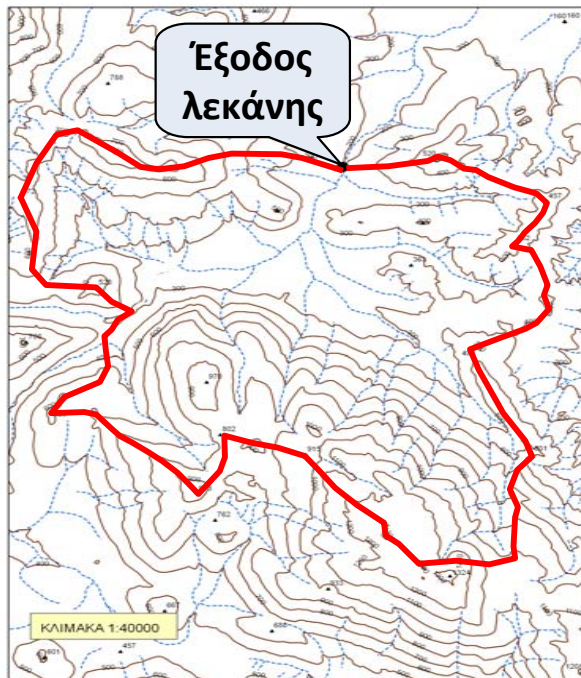
Περίοδοι επαναφοράς έργων αστικών αποχετεύσεων

- Η περίοδος επαναφοράς αποτελεί βασικό μέγεθος του **υδρολογικού σχεδιασμού**, η επιλογή του οποίου εξαρτάται από τη **σημασία** του έργου. Τυπικές τιμές εφαρμογής:
 - για αγωγούς σε οικιστικές περιοχές $T = 2-15$ έτη (τυπικές τιμές $T = 5$ ή 10 έτη)
 - για αγωγούς σε εμπορικές περιοχές και κεντρικούς συλλεκτήρες $T = 10-50$ έτη
 - για διευθετήσεις υδατορευμάτων $T \geq 50$ έτη (πλέον συστήνεται $T \geq 100$ έτη)
- Παρατηρήσεις σχετικά με την επιλογή της περιόδου επαναφοράς:
 - Ο έλεγχος επάρκειας **υφιστάμενων αγωγών** γίνεται για μικρότερη περίοδο επαναφοράς σε σχέση με τον σχεδιασμό, σε αντίθεση με τους **αποδέκτες** που ελέγχονται για πολύ μεγαλύτερη T .
 - **Κεντρικοί συλλεκτήρες**, καθώς και αγωγοί που τοποθετούνται κάτω από **κύριες οδικές αρτηρίες και κόμβους** (ιδιαίτερα αν αυτά τοποθετούνται σε **όρυγμα**) σχεδιάζονται με μεγαλύτερη T σε σχέση με δευτερεύοντες αγωγούς.
 - Σε **παντοροϊκά δίκτυα** επιλέγονται μεγαλύτερες T σε σχέση με χωριστικά.
 - **Μεγάλα αντιπλημμυρικά έργα** σε αστικές περιοχές (π.χ. διευθετήσεις ποταμών), των οποίων η αστοχία μπορεί να προκαλέσει θύματα και εκτενείς υλικές ζημιές, σχεδιάζονται με $T \geq 1000$ έτη.

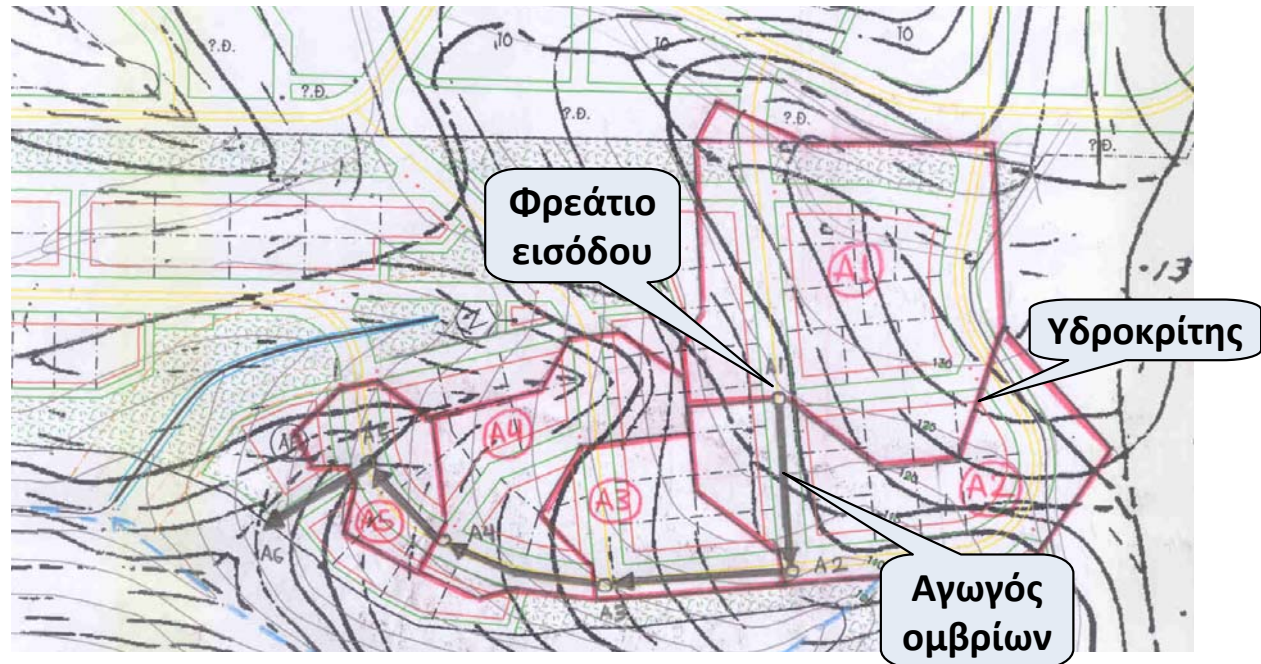
Παρατήρηση: Υδρολογική αστοχία του δικτύου ομβρίων έχει ως συνέπεια την ανεπαρκή παροχέτευση του συνόλου της πλημμυρικής απορροής, όχι την καταστροφή του έργου.

Χάραξη λεκάνης απορροής

- Μη αστικές λεκάνες:
 - Χάραξη υδροκρίτη με βάση την τοπογραφία (ισοϋψείς καμπύλες)
- Υδροκρίτες αστικών λεκανών:
 - Χαράσσονται οι διχοτόμοι των γωνιών των οικοδομικών τετραγώνων (υπόθεση: τα όμβρια αποχετεύονται από κάθε εσωτερικό σημείο του Ο.Τ. προς το πλησιέστερο ρείθρο ή αγωγό ομβρίων της οδού)
 - Στην τελική χάραξη λαμβάνονται υπόψη οι κλίσεις των οδών και οι θέσεις των φρεατίων εισόδου (υδροσυλλογής)



Φυσική λεκάνη



Αστική λεκάνη

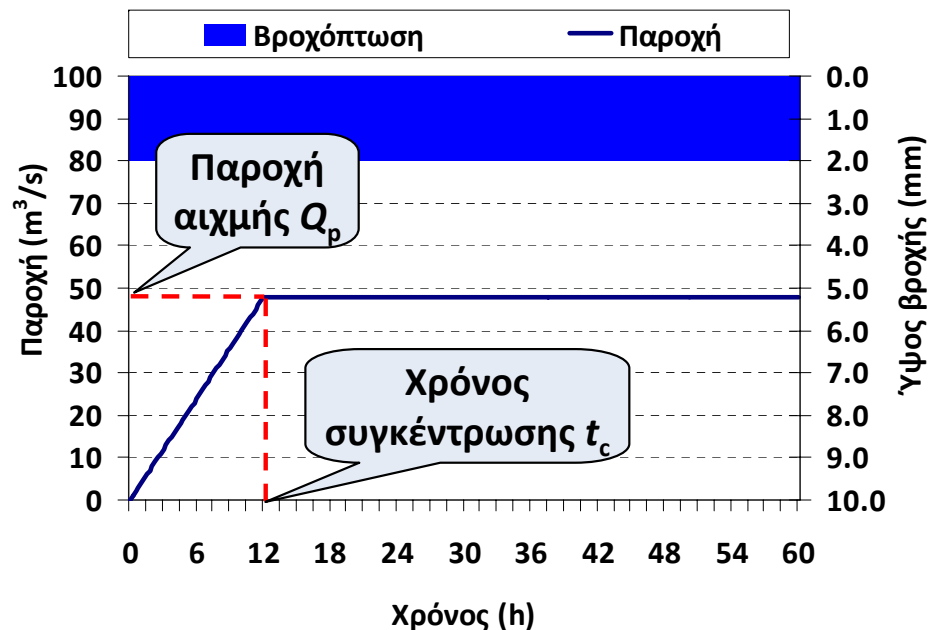
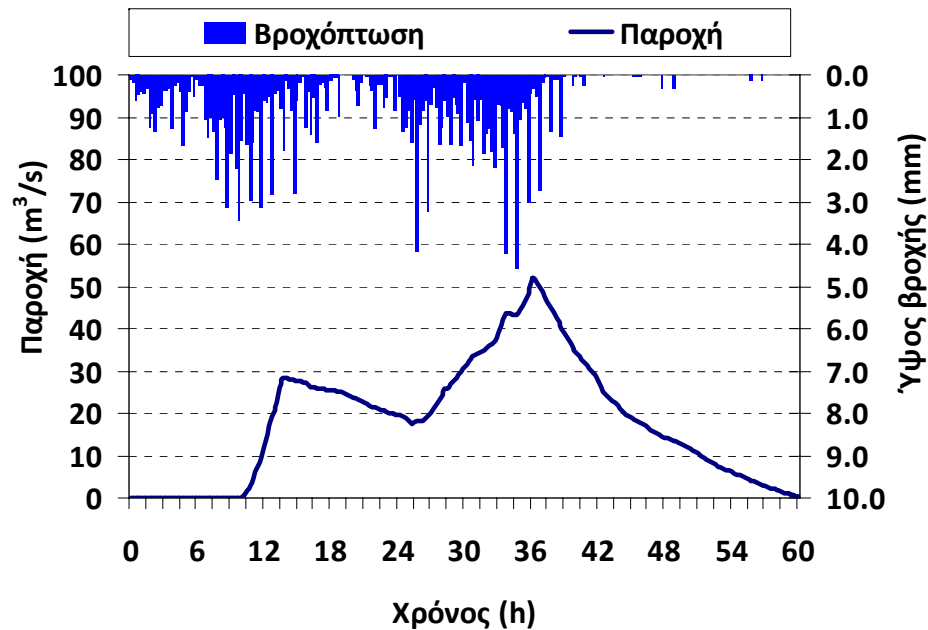
Εκτίμηση παροχής σχεδιασμού: ορθολογική μέθοδος

- Στις αστικές περιοχές και για **μικρές περιόδους επαναφοράς**, εφαρμόζεται, γενικά, η **ορθολογική μέθοδος**, που εκτιμά την **παροχή αιχμής** μέσω της σχέσης:

$$Q_p = c i A$$

- Δεδομένα εισόδου της μεθόδου είναι:
 - η **περίοδος επαναφοράς** T , που επιλέγεται με κριτήριο τη σημασία του έργου
 - η αποχετευόμενη **επιφάνεια** A .
 - ο **συντελεστής απορροής** c , που εξαρτάται από τα τοπογραφικά, φυσιογραφικά και πολεοδομικά χαρακτηριστικά της αποχετευόμενης έκτασης
 - ο **χρόνος συγκέντρωσης** t_c , που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της αποχετευόμενης έκτασης και του ανάντη δικτύου ομβρίων
 - η **κρίσιμη ένταση** της βροχόπτωσης i , που είναι στατιστικό μέγεθος εξαρτώμενο από την περίοδο επαναφοράς T , τη διάρκεια της βροχής d , και την επιφάνεια A
- Βασικές παραδοχές για την εφαρμογή της μεθόδου:
 - Η **περίοδος επαναφοράς** της παροχής αιχμής είναι **ίση** με την αυτήν της βροχής.
 - Η **διάρκεια** της βροχής είναι ίση με τον **χρόνο συγκέντρωσης** της λεκάνης.
 - Η **ένταση** της βροχής είναι **χρονικά και χωρικά σταθερή**.
 - Η **μέγιστη παροχή** εμφανίζεται όταν στην έξοδό της καταφθάσει η επιφανειακή απορροή από όλα τα σημεία της.

Ερμηνεία και παραδοχές ορθολογικής μεθόδου



- Πραγματικό επεισόδιο πλημμύρας:
 - Χρονικά και χωρικά μεταβαλλόμενη ένταση βροχής
 - Ενεργός βροχόπτωση ακανόνιστου σχήματος
 - Υδρογράφημα ακανόνιστου σχήματος

- Υποθετικό επεισόδιο πλημμύρας, που παράγεται με την ορθολογική μέθοδο:
 - Χρονικά και χωρικά σταθερή ένταση βροχής i , διάρκειας τουλάχιστον ίσης με τον **χρόνο συγκέντρωσης** t_c
 - Ενεργός βροχόπτωση $i_e = c i$
 - Εξίσωση υδρογραφήματος, για παροχή αιχμής Q_p :

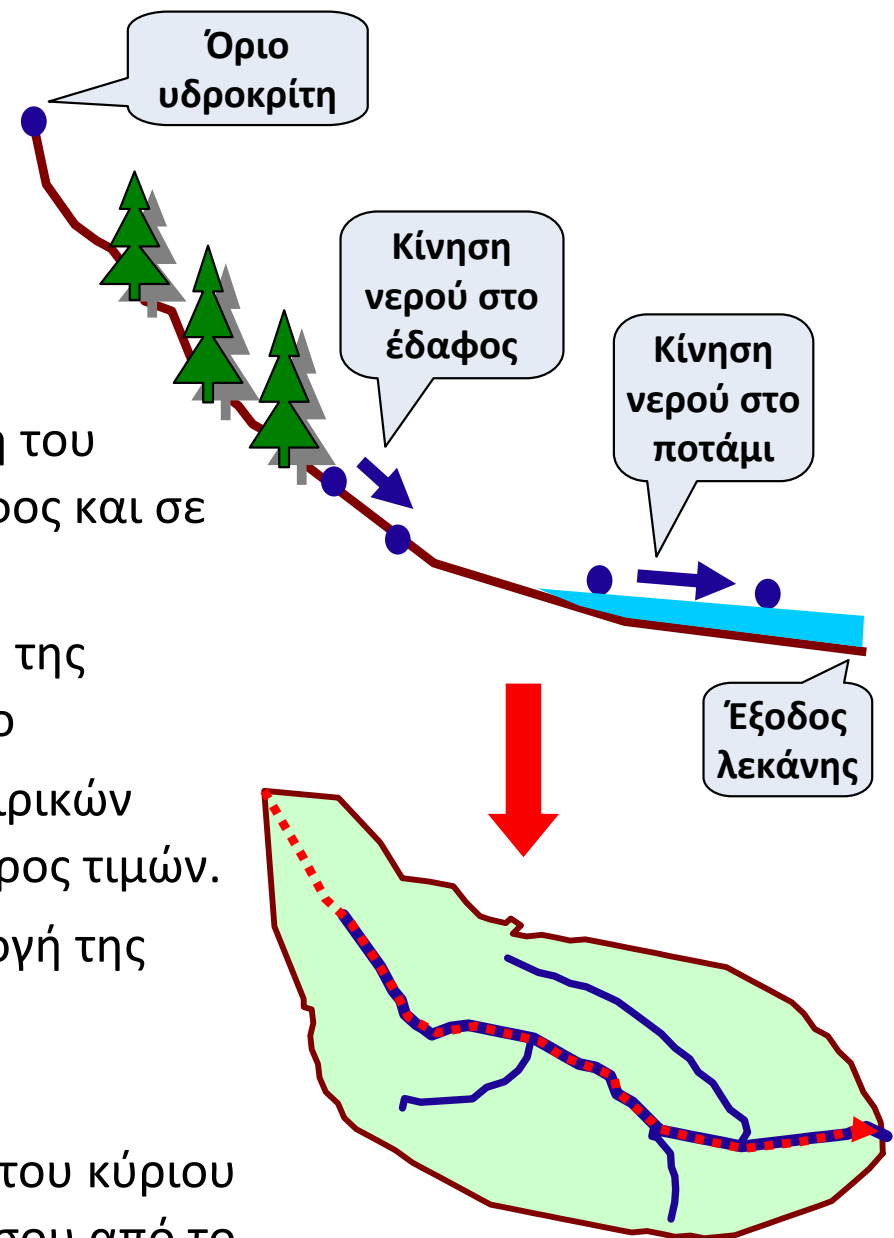
$$Q(t) = \begin{cases} Q_p t / t_c & t \leq t_c \\ Q_p & t > t_c \end{cases}$$

Χρόνος συγκέντρωσης: μη αστικές λεκάνες

- Ο χρόνος συγκέντρωσης (ή χρόνος συρροής) ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει το νερό που απορρέει επιφανειακά από το υδραυλικά **πιο απομακρυσμένο σημείο** της λεκάνης μέχρι τη **διατομή εξόδου**.
- Περιλαμβάνει δύο συνιστώσες:
 - τον χρόνο που απαιτείται για την διαδρομή του νερού, ως επιφανειακή απορροή, στο έδαφος και σε μη διαμορφωμένες μισγάγκειες
 - τον χρόνο που απαιτείται για την διόδευση της πλημμυρικής ροής στο υδρογραφικό δίκτυο
- Για την εκτίμησή του διατίθεται πληθώρα εμπειρικών σχέσεων στη βιβλιογραφία, με πολύ μεγάλο εύρος τιμών.
- Για τις Ελληνικές λεκάνες, συστήνεται η εφαρμογή της **σχέσης Giandotti**, που εκτιμά το χρόνο t_c σε h:

$$t_c = (4 A^{0.5} + 1.5 L) / (0.8 \Delta H^{0.5})$$

όπου A η έκταση της λεκάνης (km^2), L το μήκος του κύριου υδατορεύματος (km), και ΔH η διαφορά του μέσου από το υψόμετρο εξόδου της λεκάνης (m).



Χρόνος συγκέντρωσης: αστικές λεκάνες

- Στις αστικές λεκάνες ο χρόνος συγκέντρωσης t_c αναλύεται:
 - στον **χρόνο εισόδου** t_ϵ , δηλαδή τον χρόνο που απαιτείται ώστε να οδηγηθεί η απορροή στο δίκτυο ομβρίων, μέσω των φρεατίων υδροσυλλογής
 - στον **χρόνο ροής** t_ρ κατά μήκος του δικτύου ομβρίων μέχρι την διατομή ελέγχου
- Ο χρόνος εισόδου εξαρτάται από την κλίση του εδάφους, την πυκνότητα των φρεατίων, τις πολεοδομικές συνθήκες, την ένταση της βροχόπτωσης, κτλ. Τυπικές τιμές:
 - Ελληνικές προδιαγραφές, γενικά: $t_\epsilon = 10$ min
 - Πυκνοδομημένες περιοχές, με άμεσες ιδιωτικές συνδέσεις: $t_\epsilon = 5$ min
 - Ανεπτυγμένες περιοχές με ήπιες κλίσεις: $t_\epsilon = 10-15$ min
 - Περιοχές με ήπιες κλίσεις και διεσπαρμένα φρεάτια υδροσυλλογής: $t_\epsilon = 20-30$ min
 - Εξωαστικές λεκάνες: εκτίμηση t_ϵ με τη σχέση Giandotti

- Ο χρόνος ροής εκτιμάται κατά τον **υδραυλικό υπολογισμό** των αγωγών, ήτοι:

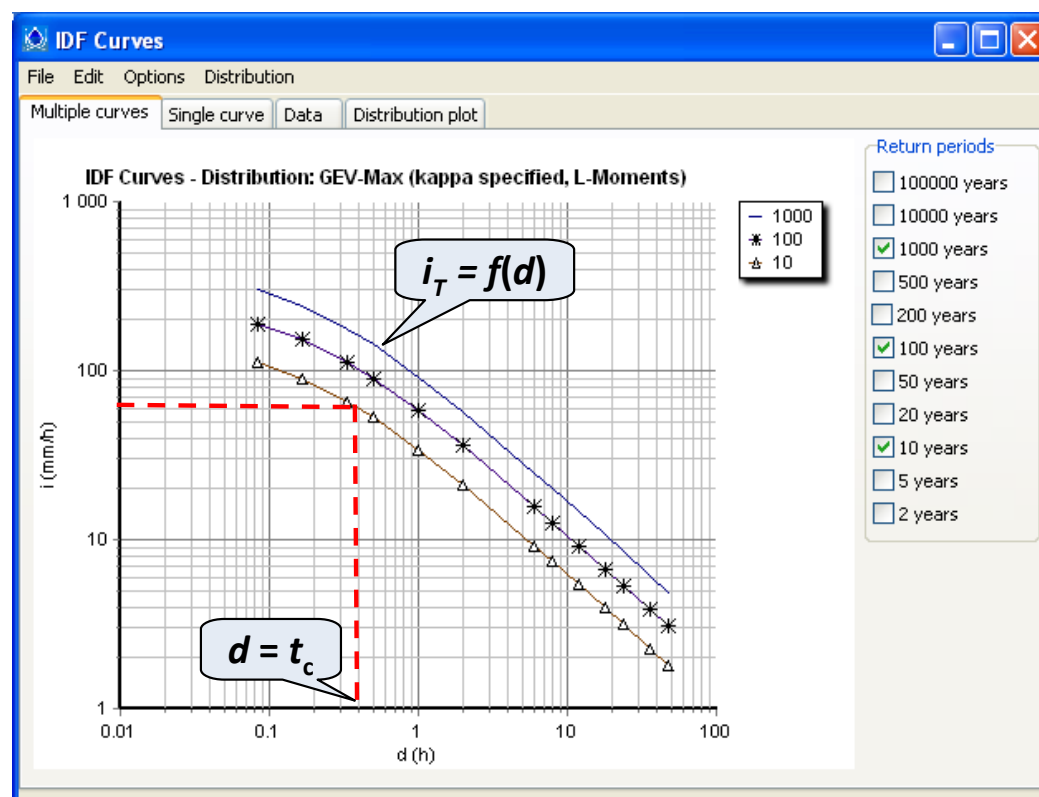
$$t_\rho = \sum L_i / V_i$$

όπου L_i τα μήκη των διαδοχικών τμημάτων κατά μήκος μιας διαδρομής του δίκτυο ομβρίων, μέχρι τη διατομή ελέγχου, και V_i οι αντίστοιχες ταχύτητες ροής (όπως υπολογίζονται κατά τον υδραυλικό σχεδιασμό κάθε αγωγού).

- Αν μέχρι τη διατομή ελέγχου υπάρχουν **εναλλακτικές διαδρομές**, επιλέγεται αυτή που μεγιστοποιεί τον χρόνο συγκέντρωσης.

Εκτίμηση κρίσιμης έντασης βροχής – Όμβριες καμπύλες

- Η κρίσιμη ένταση βροχής είναι πιθανοτικό μέγεθος, που εκτιμάται μέσω της σχέσης έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς (**όμβρια καμπύλη**) της περιοχής μελέτης.
- Η όμβρια καμπύλη διατυπώνεται με δύο τρόπους:
 - ως σύνολο εξισώσεων $i_T = f(d)$ της διάρκειας d (ακριβέστερα, χρονικής κλίμακας) της βροχόπτωσης σχεδιασμού, κάθε μία από τις οποίες αναφέρεται σε δεδομένη περίοδο επαναφοράς, T
 - ως ενιαία έκφραση $i = f(d, T)$, που περιέχει και την περίοδο επαναφοράς ως μεταβλητή
- Γενική συναρτησιακή σχέση:
$$i(d, T) = \lambda (T - \beta)^\kappa / (d + \vartheta)^\eta$$
όπου $\lambda, \kappa, \beta, \vartheta, \eta$ παράμετροι που εκτιμώνται μέσω στατιστικής ανάλυσης των δειγμάτων μέγιστων εντάσεων βροχής της περιοχής.
- Στα πλαίσια της **ορθολογικής μεθόδου**, λαμβάνεται διάρκεια d ίση με τον χρόνο συγκέντρωσης t_c .

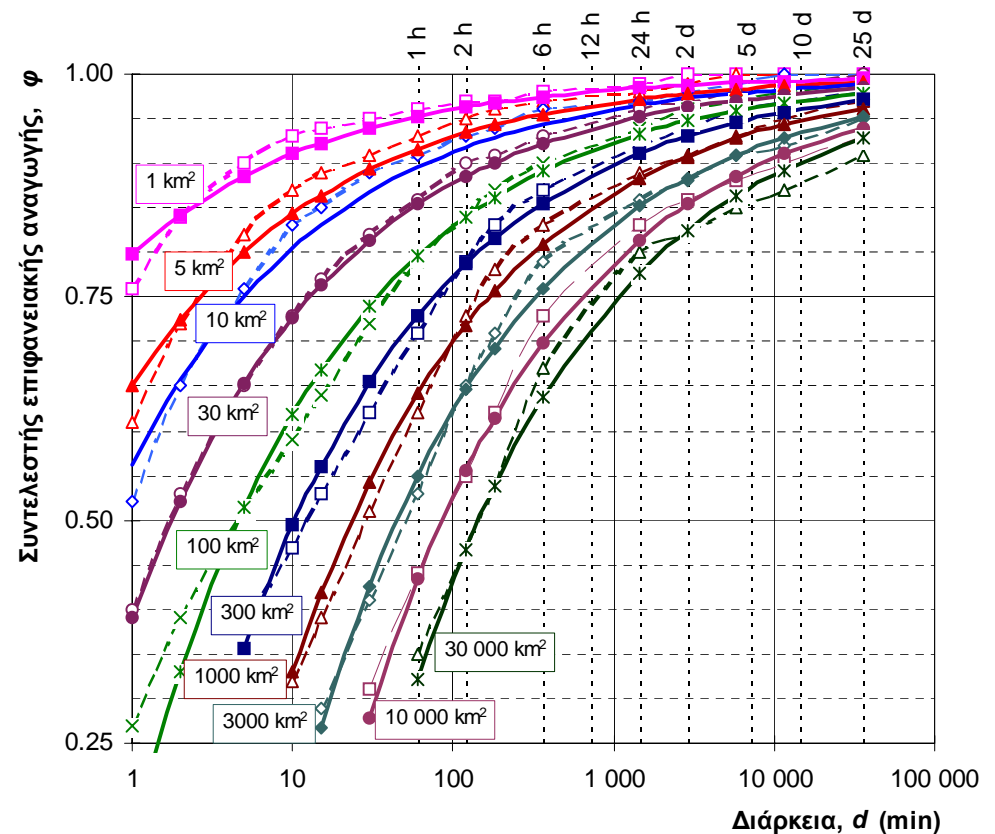


Απεικόνιση όμβριων καμπυλών στο γραφικό περιβάλλον του λογισμικού Υδρογνώμων (<http://hydrognomon.org/>)

Επιφανειακή αναγωγή βροχόπτωσης σχεδιασμού

- ❑ Οι βροχοπτώσεις χαρακτηρίζονται από έντονη **μεταβλητότητα**, που είναι συνάρτηση τόσο της **χωρικής** όσο και της **χρονικής κλίμακας**, ήτοι της έκτασης της επιφάνειας αναφοράς (λεκάνη απορροής) και της διάρκειας του επεισοδίου.
- ❑ Κατά κανόνα, οι όμβριες καμπύλες αναφέρονται σε σημείο (π.χ. στη θέση του βροχομετρικού σταθμού, απ' όπου έχει ληφθεί το αντίστοιχο δείγμα).
- ❑ Προκειμένου να γίνει **αναγωγή της σημειακής εκτίμησης** της έντασης βροχής στην επιφάνεια της λεκάνης, η ένταση που εκτιμάται από την όμβρια καμπύλη πολλαπλασιάζεται με κατάλληλο **συντελεστή επιφανειακής απομείωσης**, που είναι φθίνουσα συνάρτηση της έκτασης και αύξουσα συνάρτηση της διάρκειας.
- ❑ Προτείνεται η ακόλουθη σχέση, που βασίζεται σε πινακοποιημένα αποτελέσματα του UK-NERC (1975):

$$\varphi = \left(1 - \frac{0.048 A^{0.36 - 0.01 \ln A}}{d^{0.35}}, 0.25 \right)$$



Μεταβολή συντελεστή επιφανειακής αναγωγής συναρτήσει της έκτασης και της διάρκειας βροχής

Συντελεστής απορροής: Ορισμός και φυσική ερμηνεία

- **Γενικός ορισμός:** Λόγος απορροής προς βροχόπτωση (εξαρτάται από τη χωρική και χρονική κλίμακα).
- Στα πλαίσια της **ορθολογικής μεθόδου** η ποσότητα $\varphi = 1 - c$ εκφράζει, ως σταθερό ποσοστό, το σύνολο των υδρολογικών ελλειμμάτων στη διάρκεια του πλημμυρικού επεισοδίου, στα οποία περιλαμβάνονται:
 - οι απώλειες κατακράτησης από τη χλωρίδα
 - οι απώλειες επιφανειακής παγίδευσης στις κοιλότητες του εδάφους
 - οι απώλειες διήθησης στο έδαφος
 - οι απώλειες εξατμοδιαπνοής (αμελητέες στην χρονική κλίμακα των πλημμυρικών επεισοδίων).
- Αν και γενικά αντιμετωπίζεται ως σταθερά (παράμετρος), στην πραγματικότητα πρόκειται για **μεταβλητή**, η οποία επίσης εξαρτάται από:
 - την ένταση της βροχής (συνακόλουθα, την περίοδο επαναφοράς)
 - τη χρονική κατανομή της βροχής
 - την απόσταση από το προηγούμενο επεισόδιο
 - τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους κατά την έναρξη της βροχής.

Συντελεστές απορροής μη αστικών λεκανών

- **Ελληνικές προδιαγραφές αποχετεύσεων (ΠΔ 696/74):**
 - Ορεινό ανάγλυφο: $c = 0.60$
 - Λοφώδες ανάγλυφο: $c = 0.50$
 - Πεδινό ανάγλυφο: $c = 0.30$
- **Προδιαγραφές μελετών οδικών έργων (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002):**
 - Για $T = 5-10$ έτη, ο συντελεστής απορροής εκτιμάται ως άθροισμα τεσσάρων επιμέρους συντελεστών, που εξαρτώνται από:
 - το ανάγλυφο της επιφάνειας της λεκάνης (c_1)
 - τη διηθητικότητα του εδάφους (c_2)
 - την έκταση και την πυκνότητα της φυτοκάλυψης (c_3)
 - την αποθηκευτικότητα και αποστραγγιστική ικανότητα της λεκάνης (c_4)
 - Ο τελικός συντελεστής απορροής προσαυξάνεται κατά 10% για $T = 25$ έτη, κατά 20% για $T = 50$ έτη και κατά 25% για $T = 100$ έτη.
- Για λεκάνες με σημαντική ετερογένεια ως προς τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά, λαμβάνεται ένας **σταθμισμένος συντελεστής απορροής**, σύμφωνα με τη σχέση:

$$c = \sum c_i A_i / \sum A_i$$

Εκτίμηση επιμέρους συντελεστών απορροής κατά ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ (2002)

C₁	0.28–0.35 Επικλινές ανάγλυφο, ανώμαλες επιφάνειες μέσες κλίσεις >30%	0.20–0.28 Λοφώδες ανάγλυφο, μέσες κλίσεις 10-30%	0.14–0.20 Κυματώδες ανάγλυφο, μέσες κλίσεις 5-10%	0.08–0.14 Σχετικά επίπεδο ανάγλυφο, μέσες κλίσεις 0-5%
C₂	0.12–0.16 Μη επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες είτε μανδύας λεπτόκκοκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	0.08–0.12 Βραδεία διηθητικότητα, άργιλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	0.06–0.08 Κανονική διηθητικότητα, καλά απόστραγγιζόμενα μικρής ή μεσαίας μακρο-ϋφής εδάφη, αμμώδη παχιά εδάφη, ίλυες και ιλυώδη εδάφη	0.04–0.06 Υψηλή διηθητικότητα, βαθιά άμμος ή άλλο έδαφος που απορροφά νερό, πολύ ελαφριά και καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη
C₃	0.12–0.16 Βλάστηση που δεν επηρεάζει την απορροή, γυμνό έδαφος ή πολύ αραιά κάλυψη	0.08–0.12 Πτωχή ως μέτρια βλάστηση, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης, <20% επιφάνειας με καλή κάλυψη	0.06–0.08 Μέτρια ως καλή βλάστηση, ~50% επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, <50% είναι καλλιέργειες	0.04–0.06 Καλή ως άριστη βλάστηση, ~90% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
C₄	0.10–0.12 Αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς, μικροί διάδρομοι αποστράγγισης, καθόλου τέλματα	0.08–0.10 Χαμηλή αποθηκευτικότητα, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων απόστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα	0.06–0.08 Κανονική αποθηκευτικότητα, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα	0.04–0.06 Υψηλή αποθηκευτικότητα, όχι καλά οριζόμενο σύστημα αποστράγγισης, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών ή τελμάτων

Εκτίμηση συντελεστή απορροής σε αστικές λεκάνες

Μέσοι συντελεστές απορροής για αστικές περιοχές με βάση τα χαρακτηριστικά τους, σύμφωνα με τις Αμερικανικές ενώσεις WPCF & ASCE (1976)

Περιγραφή περιοχής	Συντελεστής απορροής
Εμπορική, κέντρο	0.70-0.95
Εμπορική, περιφέρεια	0.50-0.70
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
Βιομηχανική (βαριά)	0.60-0.90
Μη ανεπτυγμένη περιοχή	0.10-0.30
Πάρκα, νεκροταφεία	0.10-0.25
Γήπεδα	0.20-0.35

Συντελεστές απορροής για συγκεκριμένους τύπους επιφανειών, κατά WPCF & ASCE (1976)

Περιγραφή περιοχής	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

Παροχές σχεδιασμού αγωγών ομβρίων σε σειρά

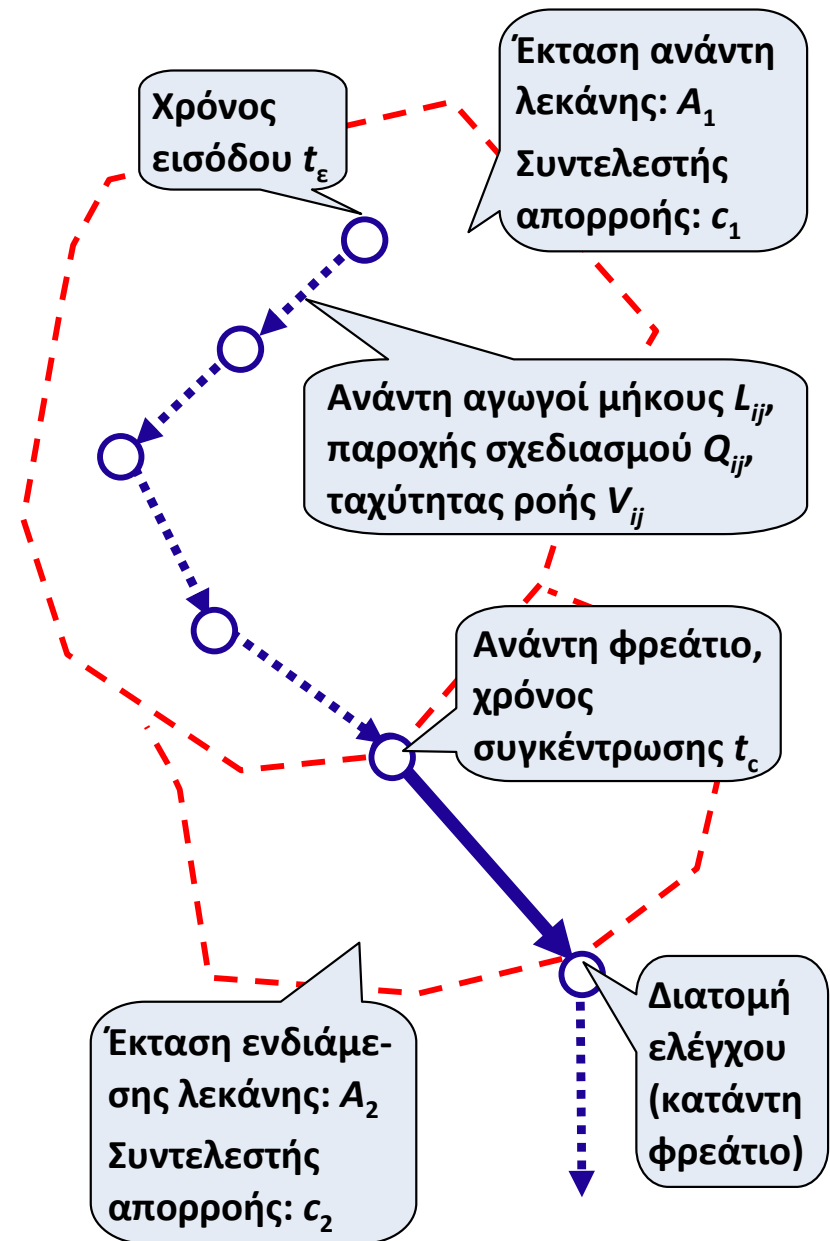
- Ως **αγωγός** νοείται κάθε τμήμα ενιαίας διαμέτρου και κλίσης, που ορίζεται μεταξύ δύο φρεατίων.
- Οι υπολογισμοί των παροχών σχεδιασμού γίνονται από ανάντη προς κατόντη, θεωρώντας ως **διατομή ελέγχου** το **κατόντη** φρεάτιο (δεν ισχύουν οι εξισώσεις συνέχειας στους κόμβους).
- Για την εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου, θεωρείται η **συνολική επιφάνεια** ανάντη του φρεατίου ελέγχου, ήτοι $A = A_1 + A_2$, και ο **σταθμισμένος συντελεστής απορροής**, ήτοι:

$$c = (c_1 A_1 + c_2 A_2) / A$$

- Αντίθετα, για την εκτίμηση του **χρόνου συγκέντρωσης** (και, συνακόλουθα, της κρίσιμης έντασης βροχής) θεωρείται ο χρόνος διαδρομής της ροής μέχρι το **ανάντη** φρεάτιο, ήτοι:

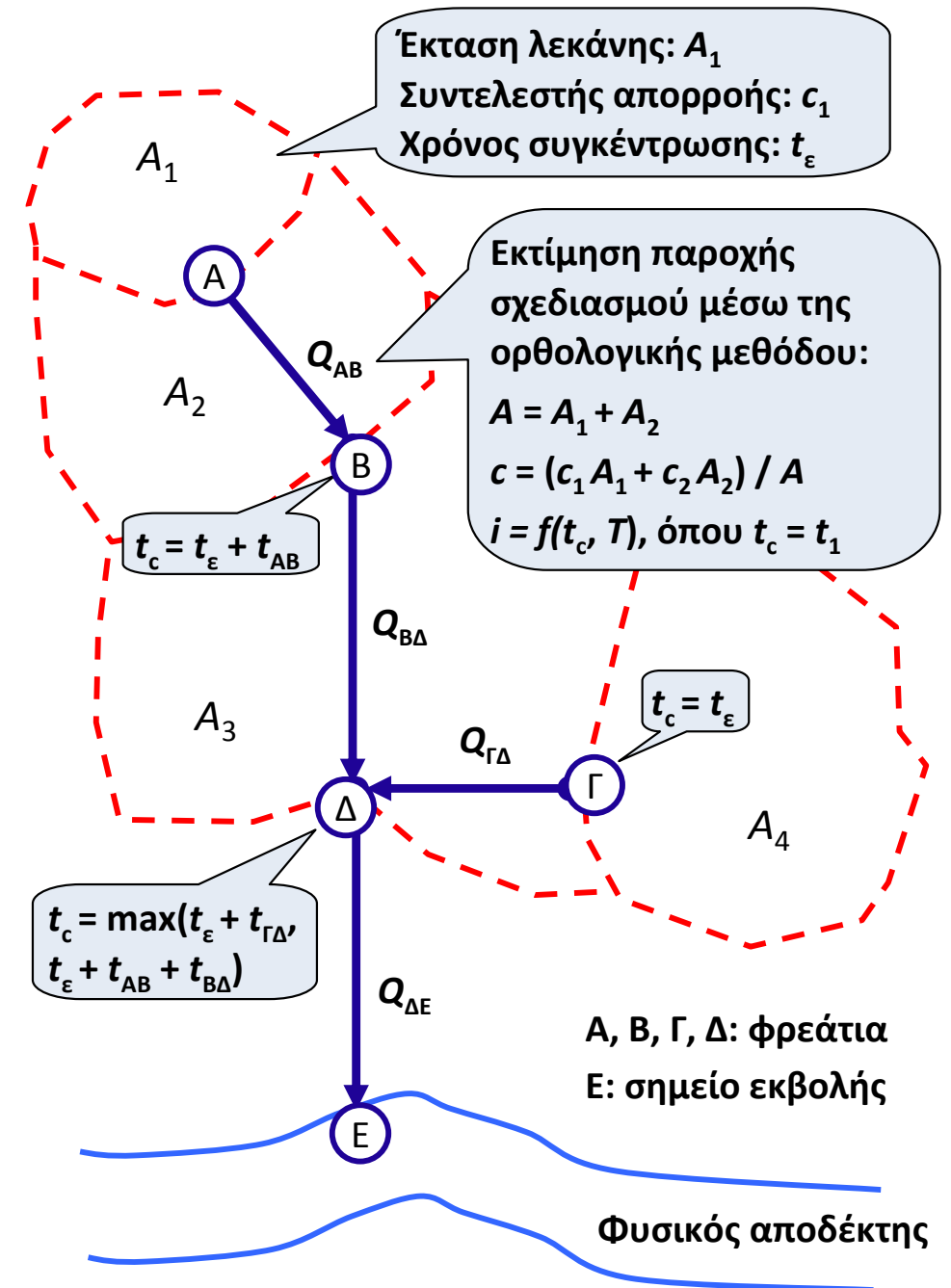
$$t_c = t_\varepsilon + \sum L_{ij} / V_{ij}$$

- Για απλούστευση, οι **ταχύτητες ροής κατά μήκος του ανάντη δικτύου** εκτιμώνται με βάση τις παροχές σχεδιασμού των αντίστοιχων αγωγών.



Παροχές σχεδιασμού δικτύων τυχαίας τοπολογίας

- Χαράσσονται και εμβαδομετρούνται οι λεκάνες ανάντη των **διατομών ελέγχου**.
- Εκτιμάται ο **συντελεστής απορροής** κάθε υπολεκάνης (ενιαίος ή σταθμισμένος).
- Εκτιμάται ο **χρόνος εισόδου** των ανάντη λεκανών.
- Εντοπίζεται η **κρίσιμη διαδρομή** ανάντη κάθε διατομής ελέγχου, και εκτιμάται ο αντίστοιχος (μεγιστοποιημένος) χρόνος συγκέντρωσης t_c , ως άθροισμα του **χρόνου εισόδου** και του συνολικού **χρόνου ροής** κατά μήκος των εναλλακτικών διαδρομών.
- Εκτιμάται, μέσω της όμβριας καμπύλης, η **κρίσιμη ένταση βροχής**, για διάρκεια ίση με t_c , και περίοδο επαναφοράς T .
- Εκτιμάται, μέσω της ορθολογικής μεθόδου, η **παροχή αιχμής** της συνολικής λεκάνης ανάντη κάθε φρεατίου ελέγχου.



Υδραυλικοί υπολογισμοί κυκλικών αγωγών ομβρίων

- **Θεμελιώδεις υποθέσεις:**
 - Θεωρούνται συνθήκες μόνιμης ομοιόμορφης ροής
 - Εφαρμόζεται η σχέση του Manning για μεταβλητή τραχύτητα, με $n_0 = 0.015$
- **Περιορισμοί διαμέτρου:**
 - Ελάχιστη διάμετρος: $D \geq 400$ mm (έναντι 200 mm για αγωγούς ακαθάρτων)
 - $D \geq D_{\text{ανάντη}}$
- **Μέγιστο ποσοστό πλήρωσης:**
 - Νέοι αγωγοί ομβρίων: $y/D \leq 0.70$
 - Παλαιοί αγωγοί, των οποίων ελέγχεται η παροχетеυτικότητα: $y/D \leq 0.80$
- **Μέγιστη ταχύτητα:**
 - $V \leq 6.0$ m/s (έναντι 3.0 m/s για αγωγούς ακαθάρτων)
- **«Ελάχιστη» ταχύτητα (αναφέρεται στο 10% της παροχетеυτικότητας του αγωγού):**
 - $V_{\min} \geq 0.6$ m/s (έναντι 0.3 m/s για αγωγούς ακαθάρτων)
 - $V_0 \geq 1.11$ m/s (ισοδύναμη έκφραση, που αναφέρεται στην ταχύτητα πλήρωσης)
- **Ελάχιστη κλίση (προκύπτει με εφαρμογή του περιορισμού ελάχιστης ταχύτητας):**
 - $J_{\min} = 1.0$ έως 6.0 m/km (το κάτω όριο αναφέρεται σε αγωγούς $D \geq 1500$ mm και το άνω όριο σε αγωγούς $D = 400$ mm)

Διαστασιολόγηση δικτύου ομβρίων

- **Κριτήρια σχεδιασμού:**
 - Κόστος (διάμετροι αγωγών, εκσκαφές)
 - Περιορισμοί (υδραυλικοί, υδρολογικοί – κατάντη συνθήκη, κατασκευαστικοί)
- **Δεδομένα προβλήματος:**
 - Παροχή σχεδιασμού
 - Κλίση εδάφους
 - Ανάντη διάμετρος
 - Ελάχιστο/μέγιστο βάθος τοποθέτησης ανάντη/κατάντη
- **Γενικές αρχές σχεδιασμού:**
 - Εφόσον είναι εφικτό, επιλέγεται κοινή διάμετρος με τον ανάντη αγωγό και κλίση αγωγού ίση με την κλίση του εδάφους J_ε (ή την ελάχιστη, αν $J_\varepsilon > J_{\min}$).
 - Οι άντυγες των αγωγών ανάντη και κατάντη τοποθετούνται σε περασιά.
 - Όταν πρέπει να μειωθεί η κλίση του αγωγού προκειμένου να ικανοποιηθεί ο περιορισμός μέγιστης ταχύτητας, αυτό απαιτεί αύξηση της διαμέτρου και, κατά περίπτωση, βαθμιδωτή χάραξη του αγωγού (κατασκευή φρεατίων πτώσης).
 - Για τη βελτιστοποίηση όλων των κριτηρίων απαιτείται συνδυαστικός σχεδιασμός του συνολικού δικτύου ομβρίων ή ευρύτερων τμημάτων του.

Σύνοψη μελέτης δικτύου ομβρίων

- Χάραξη λεκάνης και εκτίμηση χαρακτηριστικών μεγεθών
 - Γεωμετρικά χαρακτηριστικά (π.χ., έκταση)
 - Υδρολογικά χαρακτηριστικά (π.χ., χρόνος συγκέντρωσης)
- Υδρολογικός σχεδιασμός αγωγών
 - Επιλογή περιόδου επαναφοράς
 - Εκτίμηση χρόνου συγκέντρωσης (ο χρόνος ροής μέσω υδραυλικών υπολογισμών)
 - Εκτίμηση κρίσιμης έντασης βροχόπτωσης σχεδιασμού (όμβριες καμπύλες)
 - Εκτίμηση συντελεστή απορροής (σταθμισμένος, για ανομοιογενείς λεκάνες)
 - Εκτίμηση παροχής αιχμής (ορθολογική μέθοδος)
- Υδραυλικός σχεδιασμός αγωγών
 - Επιλογή διαμέτρων
 - Επιλογή βάθους τοποθέτησης ανάντη και κατόντη (λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς ταχυτήτων/κλίσεων καθώς και κατασκευαστικά κριτήρια)
- Υδραυλικοί έλεγχοι
 - Ποσοστό πλήρωσης
 - Έλεγχος ταχυτήτων
- Τελική χάραξη αγωγών σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή

Τελικές παρατηρήσεις

- ❑ Το πεδίο εφαρμογής της ορθολογικής μεθόδου περιορίζεται στα μικρής κλίμακας έργα, όπως είναι οι αγωγοί ομβρίων, που σχεδιάζονται με βάση την **παροχή αιχμής**.
- ❑ Για τον σχεδιασμό των μεγάλων αντιπλημμυρικών έργων σε αστικές λεκάνες εφαρμόζονται πιο εξειδικευμένες μέθοδοι (υδρολογικά μοντέλα), που εκτιμούν το συνολικό **πλημμυρογράφημα** που παράγεται από την καταιγίδα σχεδιασμού.
- ❑ Οι **παρασιτικές εισροές** στα δίκτυα ομβρίων δεν λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό, καθώς η επίδρασή τους στην παροχή αιχμής είναι αμελητέα.
- ❑ Αντίθετα, η ύπαρξη τυχόν παράνομων συνδέσεων είναι εξαιρετικά επιβαρυντική για την **ποιότητα των όμβριων υδάτων** και δημιουργούν έντονα περιβαλλοντική όχληση.
- ❑ Ο σύγχρονος πολεοδομικός σχεδιασμός οφείλει να δίνει έμφαση στις πρακτικές **ελέγχου της απορροής στην πηγή**, που περιλαμβάνουν:
 - την κατασκευή **ήπιων έργων ορεινής υδρονομίας** για την ανάσχεση των πλημμυρών στο ανάντη, μη αστικοποιημένο, τμήμα της λεκάνης
 - την κατασκευή μόνιμων ή περιστασιακών **λεκανών ανάσχεσης** και την **ενίσχυση της κατείσδυσης** (π.χ. με κατασκευή ημιπερατών πεζοδρομίων) στον αστικό ιστό
 - την εφαρμογή μεθόδων τοπικής αποθήκευσης και ανάσχεσης των ομβρίων σε **επίπεδο οικοδομής** (με επιπρόσθετο πλεονέκτημα την **αξιοποίηση των ομβρίων υδάτων** για οικιακή χρήση, πότισμα κήπων, κτλ.)

Αναφορές – Βιβλιογραφία

- Ευστρατιάδης, Α., Δ. Κουτσογιάννης, Ν. Μαμάσης, Π. Δημητριάδης, και Α. Μαχαίρας, Βιβλιογραφική επισκόπηση υδρολογίας πλημμυρών και συναφών εργαλείων, *ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ – Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων*, 115 σ., ΕΜΠ-ΤΥΠΠΕΡ, Οκτώβριος 2012.
- Κουτσογιάννης, Δ., *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης*, Έκδοση 4, 180 σ., ΕΜΠ, Αθήνα, 2011.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ι. Μαρκόνης, Α. Κουκουβίνος, Σ.Μ. Παπαλεξίου, Ν. Μαμάσης, και Π. Δημητριάδης, Υδρολογική μελέτη ισχυρών βροχοπτώσεων στη λεκάνη του Κηφισού, *Μελέτη διαχείρισης Κηφισού*, Εργοδότης: Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων – ΥΠΕΧΩΔΕ, Ανάδοχοι: Εξάρχου Νικολόπουλος Μπενσασσών, Denco, Γ. Καραβοκύρης, κ.ά., 154 σ., Αθήνα, 2010.
- Μαμάσης, Ν., Κ. Πιπυλή, και Δ. Κουτσογιάννης, Υδρολογική μελέτη πλημμυρών, *Αποτίμηση της οικολογικής κατάστασης του ρέματος Πικροδάφνης και προτάσεις αποκατάστασης, ανάδειξης και διαχείρισης του*, 43 σ., Ανάθεση: Ινστιτούτο Θαλάσσιας Βιολογίας και Γενετικής & Εσωτερικών Υδάτων - ΕΛΚΕΘΕ, Αθήνα, Ιούλιος 2013.
- Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, *Τεύχος 8: Αποχέτευση-Στράγγιση-Υδραυλικά Έργα Οδών*, ΥΠΕΧΩΔΕ, 2002.
- Π.Δ. 696/1974, *Περί αμοιβών μηχανικών δια σύνταξιν μελετών επίβλεψιν, παραλαβή κλπ. συγκοινωνιακών, υδραυλικών και κτιριακών έργων, ως και τοπογραφικών, κτηματογραφικών και χαρτογραφικών εργασιών, και των σχετικών τεχνικών προδιαγραφών μελετών.*
- Efstratiadis, A., A. D. Koussis, D. Koutsoyiannis, and N. Mamassis, Flood design recipes vs. reality: can predictions for ungauged basins be trusted?, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 1417–1428, doi:10.5194/nhess-14-1417-2014, 2014.
- Koutsoyiannis, D., D. Kozonis, and A. Manetas, A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships, *Journal of Hydrology*, 206(1-2), 118–135, 1998.
- U.K. National Environmental Research Council, *Flood Studies Report*, Institute of Hydrology, Wallingford, 1975.
- Water Pollution Control Federation & American Society of Civil Engineers, *Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers*, WPCF Manual of Practice No 9, ASCE Manual of Engineering Practice No 37, 1976.