

ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΟΜΒΡΙΩΝ (Απορροών Καταιγίδων)

Γιατί συγκράτηση; Επιπτώσεις της αστικοποίησης

Τα συστήματα διαχείρισης αστικών ομβρίων περιλαμβάνουν:

- ◆ εγκαταστάσεις συγκράτησης (detention) και
- ◆ εγκαταστάσεις διατήρησης (retention)

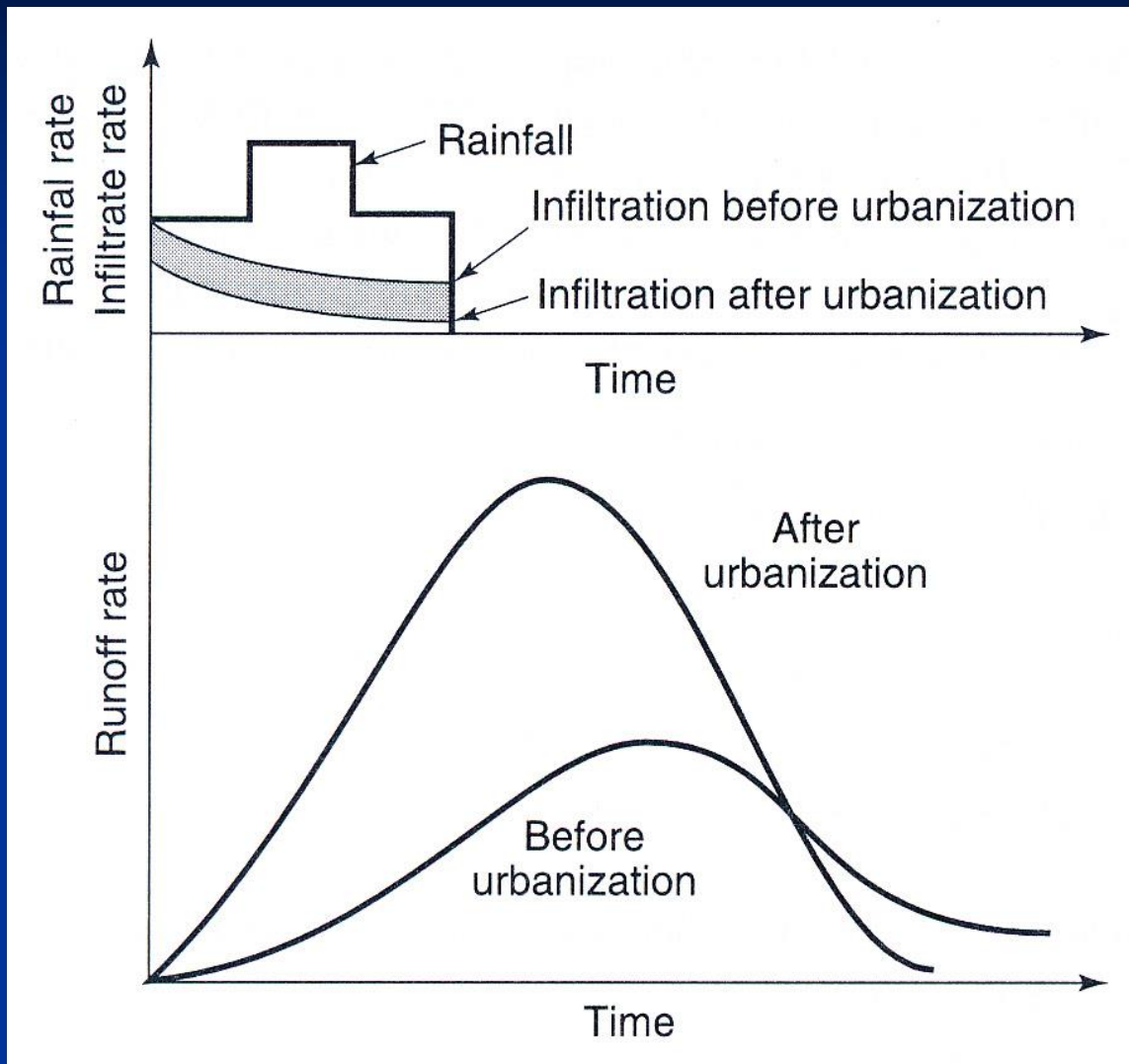
για το μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων της αστικοποίησης στην αποχέτευση ομβρίων

Τα αποτελέσματα της αστικοποίησης στην απορροή ομβρίων περιλαμβάνουν αυξημένους συνολικούς όγκους απορροής και ρυθμούς ροών αιχμής, (σχήμα 1)

Σε γενικές γραμμές, οι σημαντικές αλλαγές στους ρυθμούς ροής αστικών υδρολογικών λεκανών είναι το αποτέλεσμα (Chow et al, 1988.):

- ◆ του αυξημένου όγκου νερού που διατίθεται για απορροή, λόγω του αυξημένου **αδιαπέραστου καλύμματος** που παρέχεται από χώρους στάθμευσης, δρόμους και στέγες, που μειώνουν την ποσότητα που κατεισδύει

- ◆ Αλλαγές στην **υδραυλική απόδοση** που συνδέονται με τεχνητά κανάλια, κράσπεδα, υδρορροές, και συστήματα συλλογής απορροής ομβρίων, τα οποία αυξάνουν την ταχύτητα ροής και το μέγεθος των πλημμυρών αιχμής



Σχήμα 1 Επίδραση της αστικοποίησης στην απορροή ομβρίων.

Οι Stahre και Urbonas (1990) παρουσιάζουν (σχήμα 2) την ταξινόμηση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης

Η κύρια ταξινόμηση είναι ο *έλεγχος στην πηγή* ή ο *κατάντη έλεγχος*

Ο *έλεγχος στην πηγή* περιλαμβάνει τη χρήση μικρότερων εγκαταστάσεων που βρίσκονται κοντά στην πηγή, με την καλύτερη χρησιμοποίηση του κατάντη εντοπιζόμενου συστήματος μεταφοράς

Ο *κατάντη έλεγχος* χρησιμοποιεί εγκαταστάσεις αποθήκευσης που είναι μεγαλύτερες και συνεπώς σε λιγότερες τοποθεσίες, όπως στις εξόδους των λεκανών απορροής

ο *έλεγχος στην πηγή* αποτελείται από:

1. την *τοπική διάθεση*,
2. τον *έλεγχο εισόδου* και
3. τη *συγκράτηση επί τόπου*

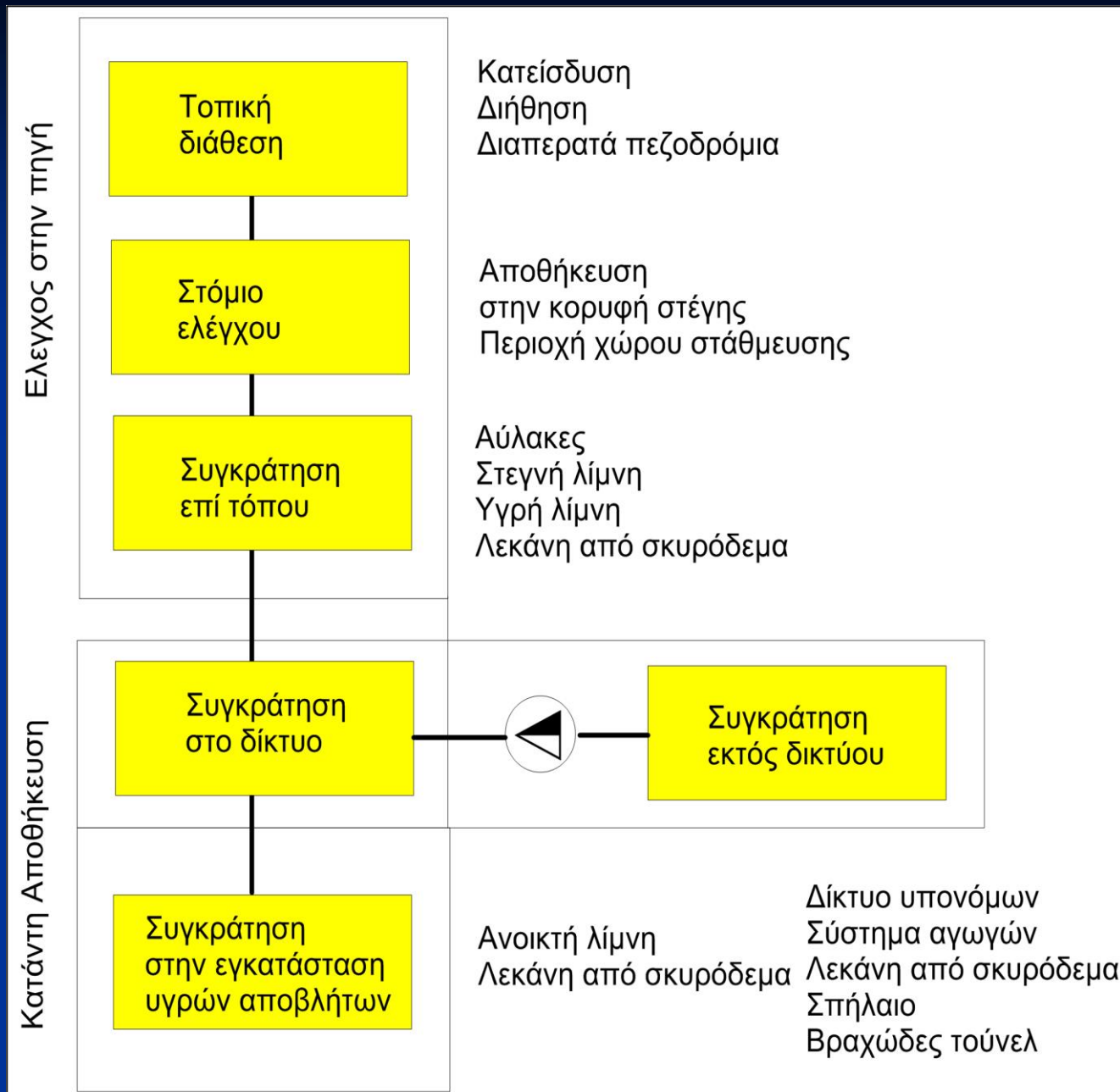
Η *τοπική διάθεση* περιλαμβάνει τη *χρήση κατείσδυσης* ή *διήθησης*

Ο *έλεγχος εισόδου* συνεπάγεται την *συγκράτηση των ομβρίων εκεί όπου λαμβάνει χώρα η βροχόπτωση* (όπως στις στέγες και στους χώρους στάθμευσης)

Η *επί τόπου συγκράτηση* κατά κανόνα αναφέρεται σε συγκράτηση όμβριων από μεγαλύτερες περιοχές σε σχέση με τις δύο προηγούμενες και περιλαμβάνει:

- Swales (βυθίσματα κατά μήκος ισοϋψών),
- αύλακες,
- ξηρές ή υγρές λίμνες,
- λεκάνες από σκυρόδεμα (που είναι συνήθως υπόγειες), και
- υπόγειες σωληνώσεις

Οι υγρές λίμνες έχουν μόνιμα λιμνάζον νερό, σε αντίθεση με τις ξηρές λίμνες



Σχήμα 2 Ταξινόμηση εγκαταστάσεων αποθήκευσης (Stahre and Urbonas, 1990)

Η κατάντη αποθήκευση περιλαμβάνει:

- ◆ συγκράτηση στο δίκτυο,
- ◆ συγκράτηση εκτός δικτύου και
- ◆ συγκράτηση σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων

Η συγκράτηση στο δίκτυο αναφέρεται σε:

- ◆ αποθήκευση συγκράτησης σε σήραγγες αποχετευτικών αγωγών,
- ◆ αποθήκευση σε υπόγειους θαλάμους (vaults),
- ◆ αγωγούς,
- ◆ επιφανειακές λίμνες, ή
- ◆ άλλες εγκαταστάσεις που είναι συνδεδεμένες εν σειρά με ένα δίκτυο αποχέτευσης ομβρίων

Οι εκτός δικτύου εγκαταστάσεις αποθήκευσης δεν είναι συνδεδεμένες εν σειρά με το σύστημα αποχέτευσης ομβρίων

Η συγκράτηση περιλαμβάνει δύο κύριους τύπους:

1. υπόγεια ή υποεπιφανειακά συστήματα και
2. επιφανειακά συστήματα

Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ενότητας συζητά την επιφανειακή συγκράτηση:

Η παράγραφος 3 περιγράφει διάφορες μεθόδους διαστασιολόγησης λιμνών συγκράτησης,

Η παράγραφος 4 συζητά διάφορους τύπους συγκράτησης.

Η παράγραφος 5 συζητά μεθόδους κατείσδυσης και

η παράγραφος 6 συζητά πτυχές της ποιότητας του νερού

Στις συμπληρωματικές αναφορές για τη διαχείριση των ομβρίων περιλαμβάνονται:
Overton and Meadows (1974),
Meadows (1976),
Stahre and Urbonas (1990),
Loganathan et al. (1996), and
whipple et al. (1983)

2 Τύποι επιφανειακής συγκράτησης

Η επιφανειακή συγκράτηση αναφέρεται:

- ◆ στις εκτεταμένες λεκάνες συγκράτησης (ή ξηρές λεκάνες συγκράτησης) και
- ◆ στις λίμνες διατήρησης (ή υγρές λίμνες συγκράτησης)

Οι **ξηρές** (στεγνές) **λίμνες** συγκράτησης αδειάζουν μετά από μια καταιγίδα

Οι **λίμνες διατήρησης** διατηρούν το νερό για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε μια μόνιμη λιμνούλα νερού

Η στεγνή συγκράτηση είναι **η πιο ευρέως διαδεδομένη τεχνική** στις ΗΠΑ και σε πολλές άλλες χώρες

Το **Σχήμα 3** απεικονίζει μια εκτεταμένη λεκάνη συγκράτησης.

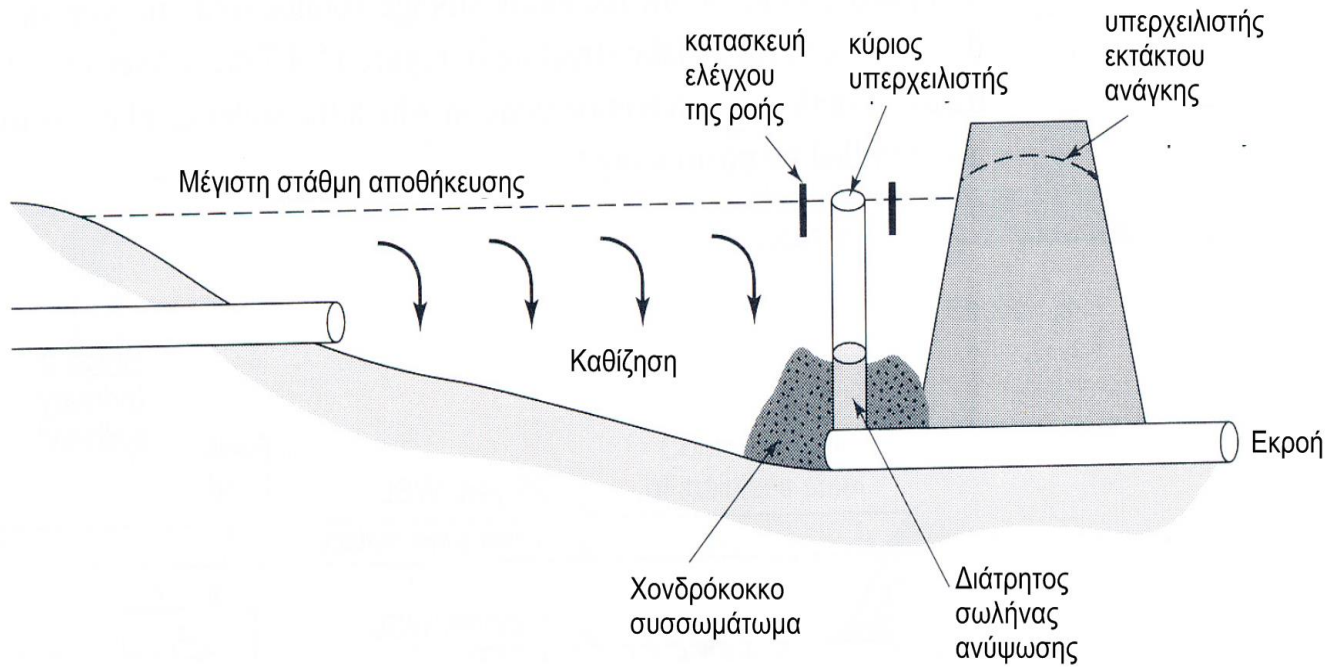
Νερό εισρέει στην λεκάνη, παγιδεύεται πίσω από το ανάχωμα, και εκρέει αργά μέσω μιας διάτρητης μετώπης βαθμίδας (riser) εκροής

Τα χονδρόκοκκα αδρανή γύρω από τον διάτρητη μετώπη βαθμίδας ελαχιστοποιούν την απόφραξη από συνάγματα.

Συνήθως, **άπαξ και ο απαιτούμενος όγκος νερού** δεδομένης ποιότητας διασφαλίζεται, ο **υπόλοιπος όγκος που εισρέει** εκτρέπεται γύρω από τη λεκάνη ή τη λίμνη και υπερχειλίζει μέσω ενός κύριου υπερχειλιστή

Ένα μεγάλο μέρος των ιζημάτων των ομβρίων **καθιζάνει** στη λεκάνη

(Loganathan et al. (1996), Loganathan et al. (1985; 1989), Segaua and Loganathan (1992), and Wanielista and Yousef (1993).



Σχήμα 3 Σχεδιασμός μιας εκτενούς λεκάνης συγκράτησης (Urbonas and Roesner , 1993)

- ◆ Αποδοτικότητα: Κακή για χρόνους συγκράτησης μικρότερους των 12 ωρών
Καλές για χρόνους συγκράτησης μεγαλύτερους των 24 ωρών
- ◆ Λειτουργία: Παγίδευση ρύπων, Οι διαλυτοί ρύποι περνούν
- ◆ Η συντήρηση είναι μέτρια, αν σχεδιαστεί σωστά
- ◆ Ο ακατάλληλος σχεδιασμός μπορεί να κάνει αντιαισθητικές τις εγκαταστάσεις και τόπους αναπαραγωγής κουνουπιών
- ◆ Οι νεότεροι σχεδιασμοί ενσωματώνουν ένα ρηχό βάλτο γύρω από την εκροή
Αποτέλεσμα: Καλύτερη απόδοση απομάκρυνσης και καμία ενόχληση κουνουπιών
- ◆ Περιφερειακές εγκαταστάσεις συγκράτησης που εξυπηρετούν 400-800 στρέμματα μπορούν να αναπτυχθούν αισθητικά
Αποτέλεσμα: Χαμηλότερο κόστος συντήρησης

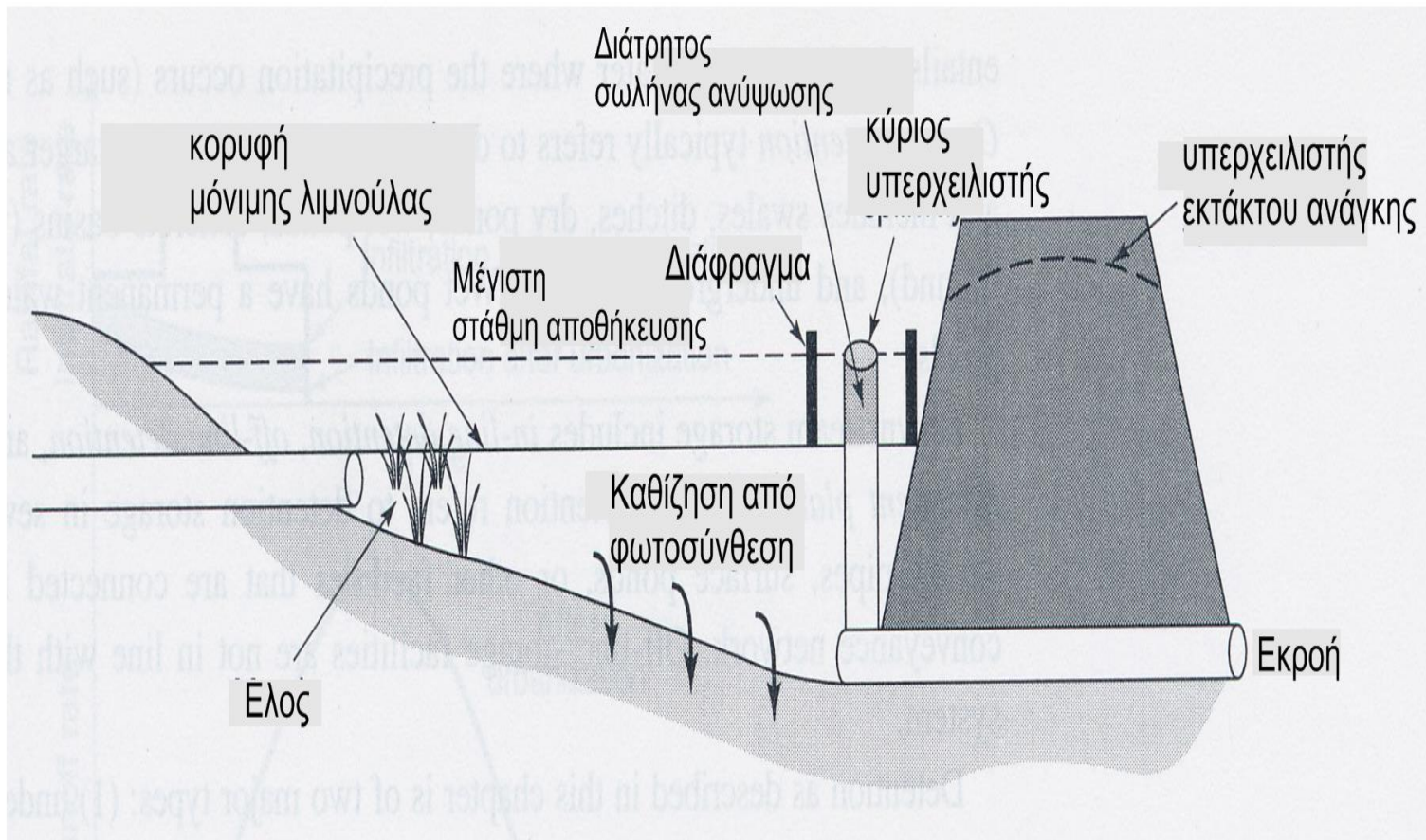
Το **Σχήμα 4** απεικονίζει μια λίμνη διατήρησης, η οποία είναι κατά βάση μια λίμνη που μπορεί να σχεδιαστεί για την απομάκρυνση των ρύπων

Το σχήμα παρουσιάζει τις βασικές διαδικασίες επεξεργασίας που λαμβάνουν χώρα στη λίμνη διατήρησης

Οι ρύποι αφαιρούνται με καθίζηση.

Τα θρεπτικά συστατικά απομακρύνονται από την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού στη στήλη του νερού και από ρηχά ελώδη φυτά γύρω από την περίμετρο της λίμνης

- ◆ Αποδοτικότητα: Εξαιρετική αν σχεδιαστούν σωστά.
- ◆ Μπορεί να είναι κακή, αν ο πυθμένας καταστεί ανοξικός
- ◆ Λειτουργία: Αφαιρεί ρύπους μέσω βιοχημικής καθίζησης διαλυμένων
- ◆ Συντήρηση: Σχετικά μη αναγκαία μετά το πρώτο έτος, με εξαίρεση τον κύριο καθαρισμό σε περίπου 10 χρόνια
- ◆ Ο αισθητικός σχεδιασμός μπορεί να καταστήσει μια λίμνη ένα προτέρημα για την κοινότητα. Εξαιρετική ως μια περιφερειακή μονάδα

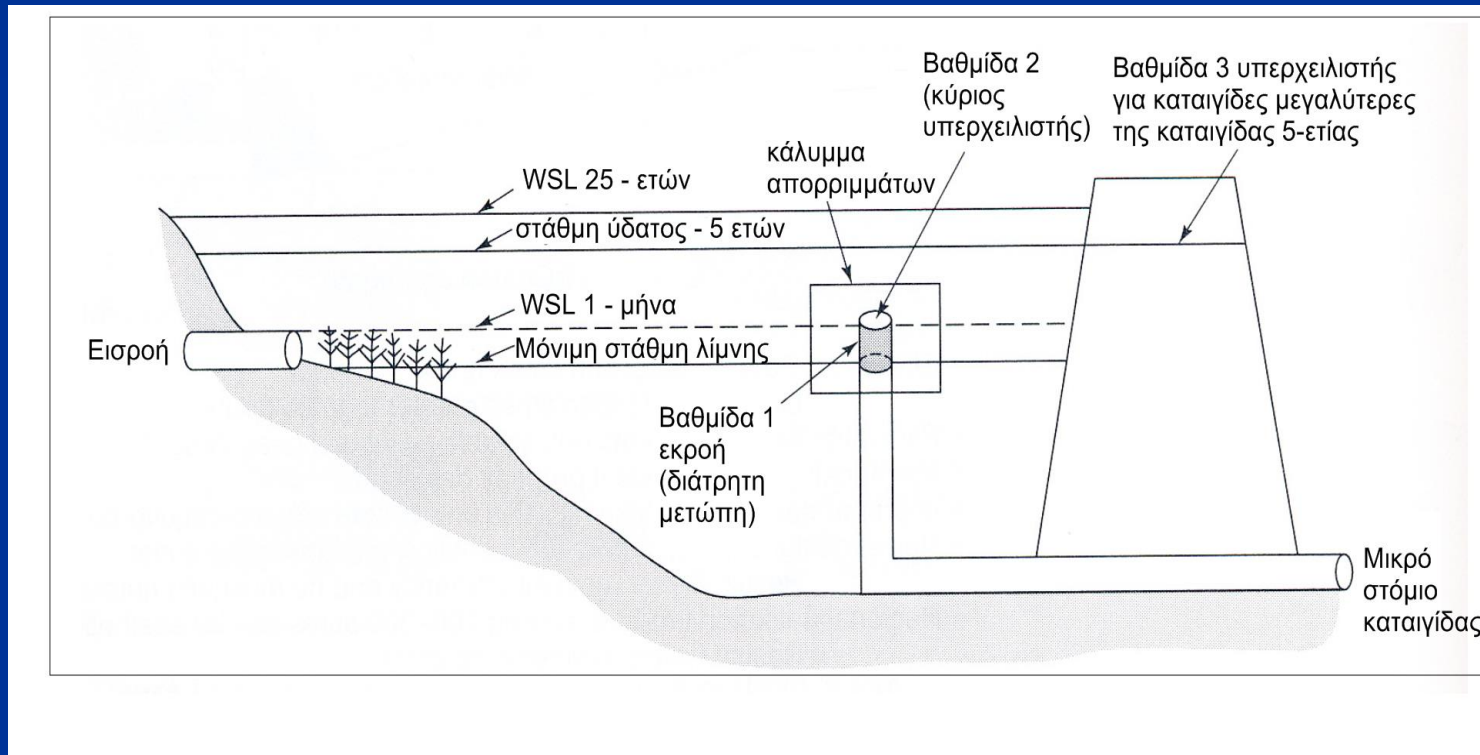


Σχήμα 4 Σχεδιασμός μιας λίμνης διατήρησης (Από Urbonas and Roesner, 1993)

Μια πολλαπλών σκοπών λεκάνη συγκράτησης για ποσότητα και ποιότητα φαίνεται στο Σχήμα 5

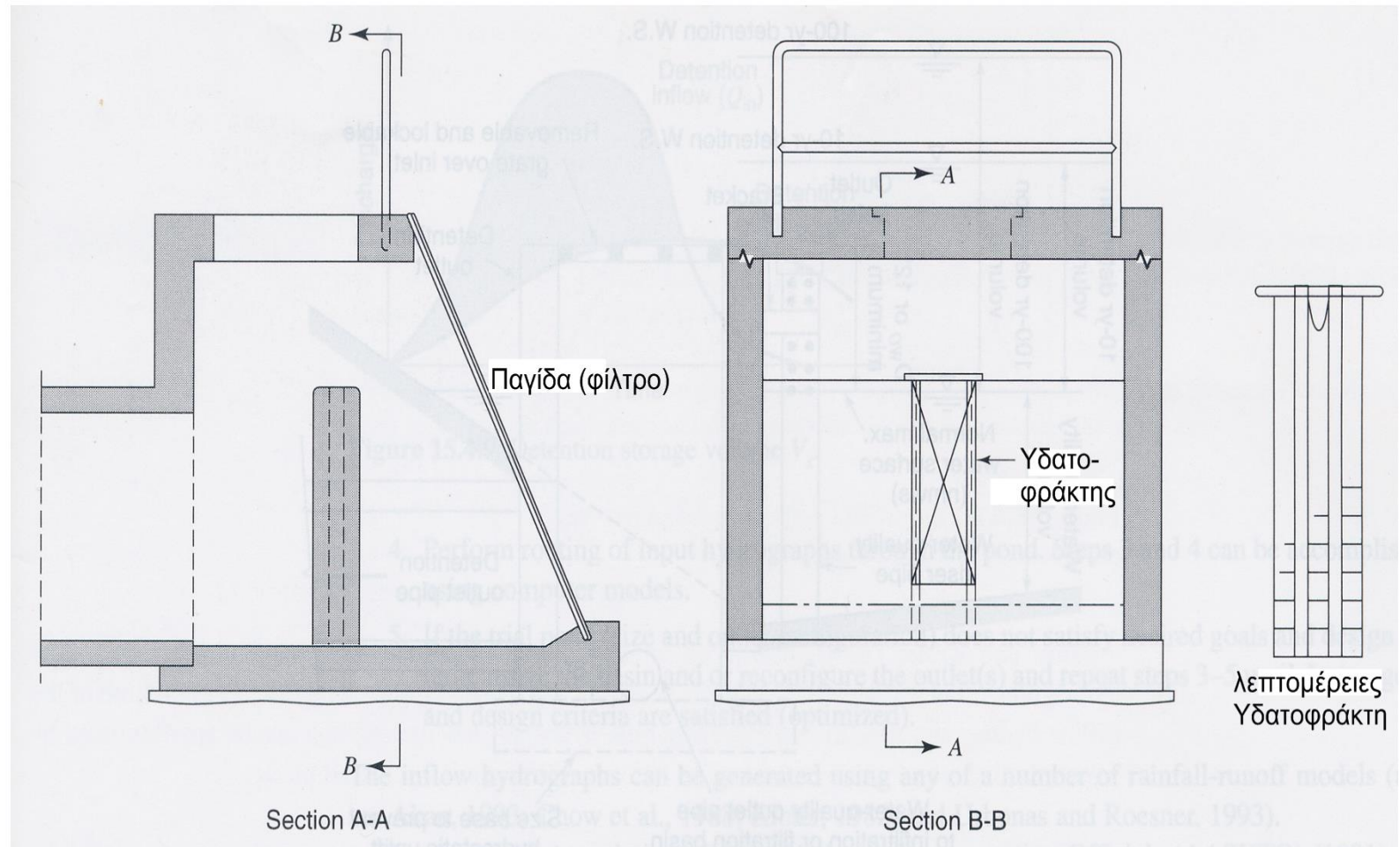
Τα έργα εκροής διατάσσονται ανάλογα με τη στάθμη έτσι ώστε ο σχεδιασθείς όγκος νερού δεδομένης ποιότητας να απελευθερώνεται πολύ αργά

Οι άλλες στάθμες (βλέπε σχήμα) παρέχουν αποθήκευση και εκροή παροχών αιχμής για τον έλεγχο της διάβρωσης και των πλημμυρών

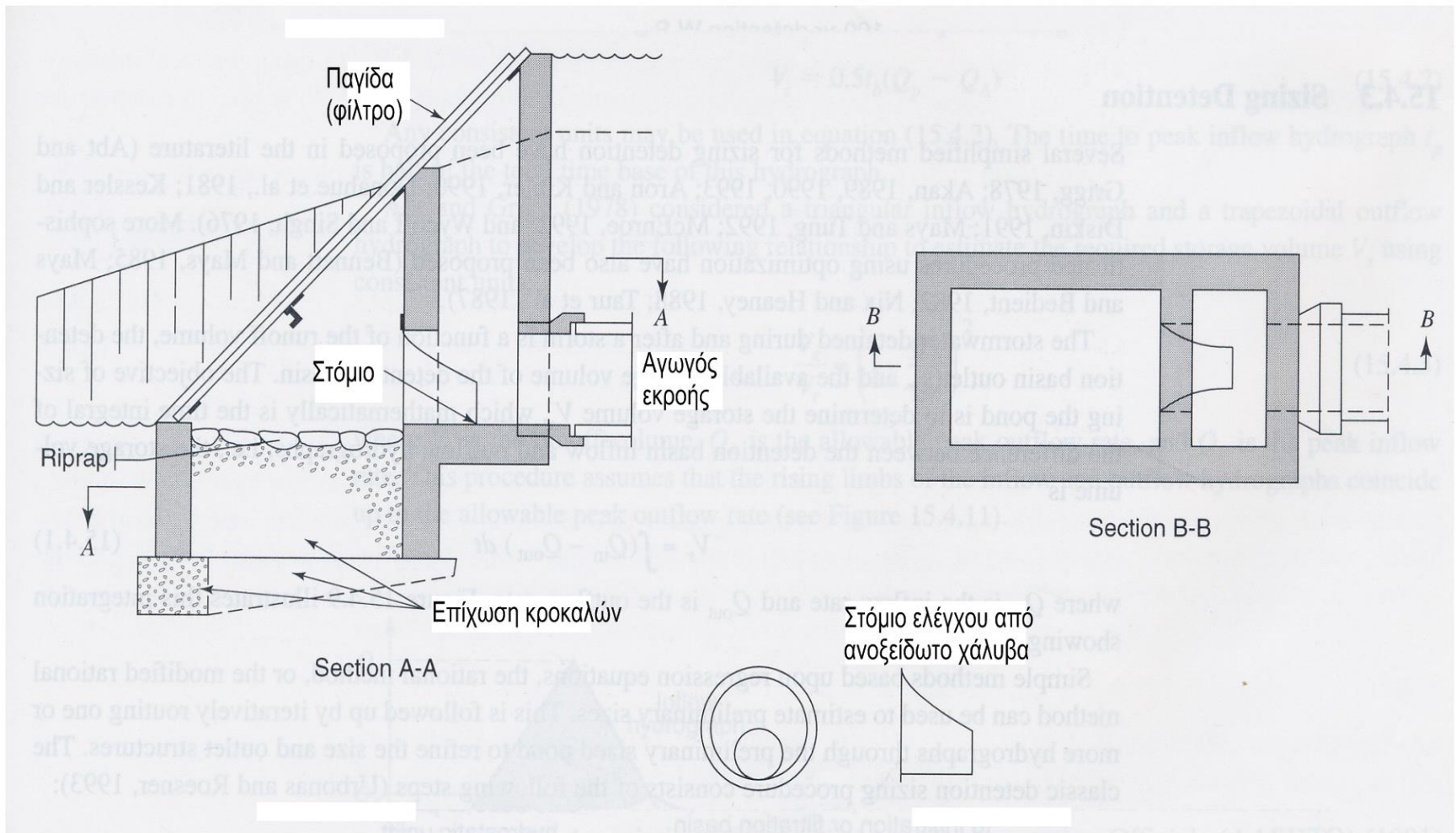


Σχήμα 5 Εννοιολογικός σχεδιασμός μιας λίμνης πολλαπλών στόχων (Από Urbonas and Roesner, 1993)).

Τα σχήματα 6 και 7 απεικονίζουν έργα εκροής για ξηρές (παρατεταμένες) λίμνες συγκράτησης, οι οποίες επιτρέπουν την αποχέτευση του συνόλου του αποθηκευμένου όγκου. Η δομή του σχήματος 6 έχει έναν σταθερό υδατοφράκτη ελέγχου



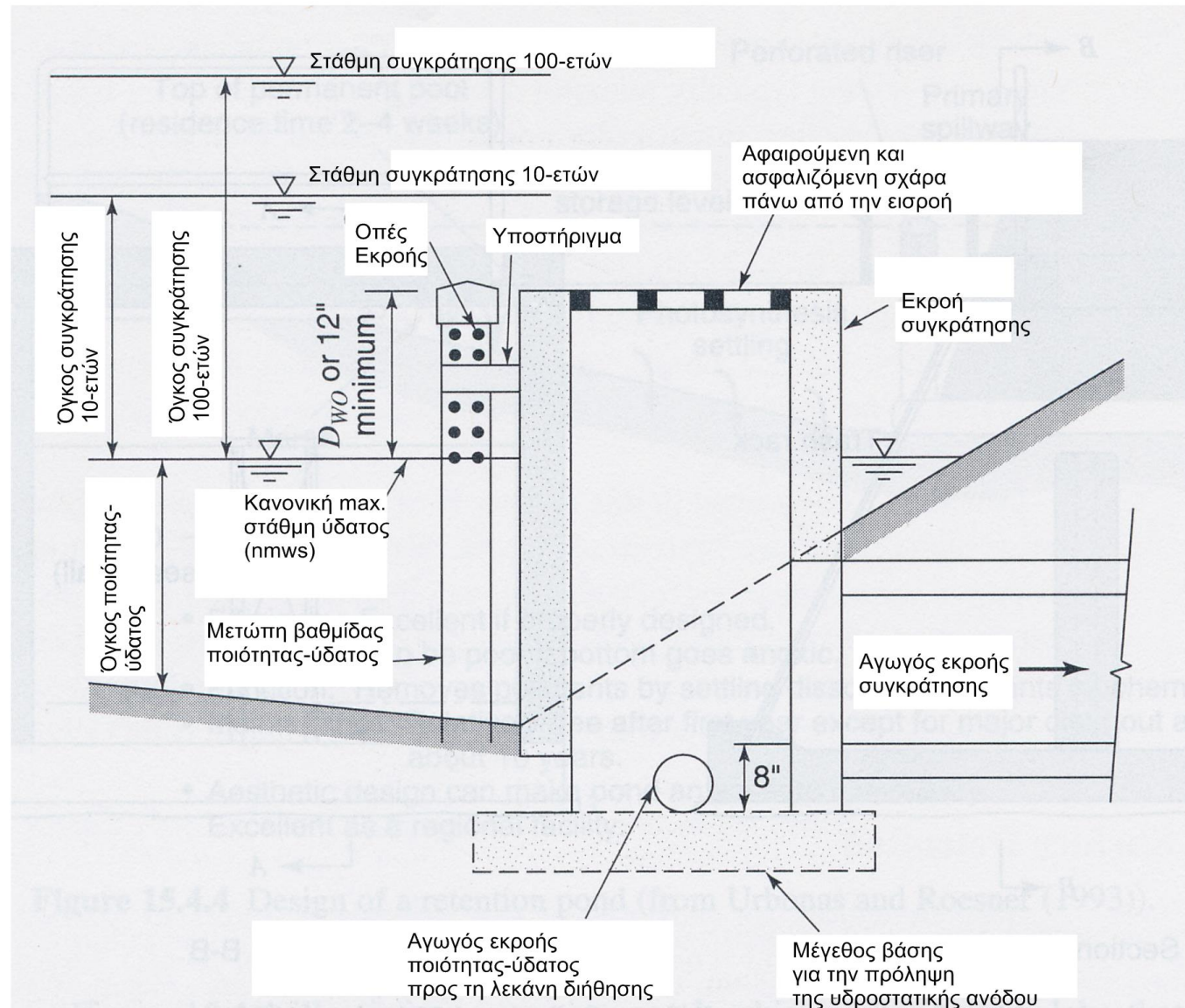
Σχήμα 6 Κατασκευή εκροής με σταθερό υδατοφράκτη ελέγχου (Από Urbonas and Roesner) (1993)).



Σχήμα 7 Κατασκευή εκροής με σταθερό στόμιο ελέγχου (Από Urbonas and Roesner) (1993).

Έργα εκροής για λίμνες παρατεταμένης συγκράτησης και διατήρησης διαφέρουν λόγω των διαφορετικών λειτουργιών χειρισμού της κάθε μίας

Το Σχήμα 8 απεικονίζει μια εκροή για μια λίμνη διατήρησης στην οποία η στάθμη του νερού υποχωρεί σε ένα μόνιμο επίπεδο της λίμνης που ελέγχεται από την τοποθέτηση των ανοιγμάτων.



Σχήμα 8 Εκροή μετώπης βαθμίδας για μια μόνιμη λίμνη (Urbonas and Roesner, 1993)

Διαστασιολόγηση Συγκράτησης

Αρκετές απλουστευμένες μέθοδοι διαστασιολόγησης της συγκράτησης έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία (Abt και Grigg, 1978; Akan, 1989, 1990, 1993; Aron και Kibler, 1990; Donahue et al. 1981; Kessler και Diskin, 1991; Mays και Tung, 1992; McEnroe, 1992; και Wycoff και Singh, 1976).

Πιο εξελιγμένες διαδικασίες που χρησιμοποιούν βελτιστοποίηση έχουν επίσης προταθεί (Bennett και Mays, 1985; Mays και Bedient, 1982; Nix και Heaney, 1988; Taur et al. 1987)

Τα συγκρατούμενα όμβρια κατά τη διάρκεια και μετά από μια καταιγίδα είναι συνάρτηση:

- ♦ του όγκου απορροής,
- ♦ της εκροής (outlets) της λεκάνης συγκράτησης και
- ♦ του διαθέσιμου όγκου αποθήκευσης της λεκάνης συγκράτησης

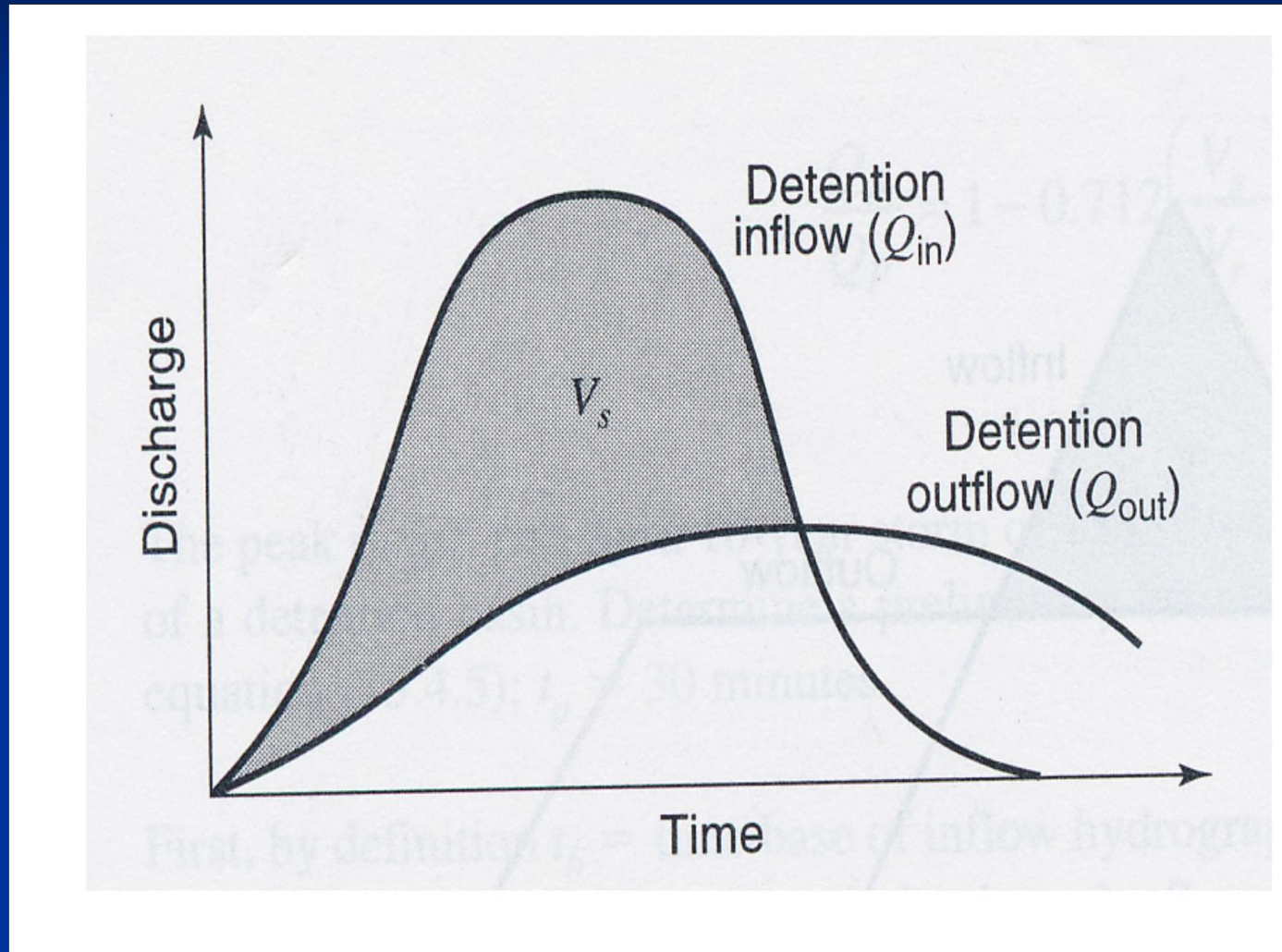
Ο σκοπός της διαστασιολόγησης της λίμνης είναι να προσδιοριστεί ο όγκος της αποθήκευσης V_s ο οποίος μαθηματικά είναι το ολοκλήρωμα χρόνου της διαφοράς των υδρογραφημάτων των εισροών και των εκροών στη λεκάνη συγκράτησης:

Δηλαδή, ο όγκος αποθήκευσης είναι:

$$V_s = \int (Q_{in} - Q_{out}) dt$$

όπου Q_{in} είναι ο ρυθμός εισροής και Q_{out} είναι ο ρυθμός εκροής.

Το Σχήμα 9 απεικονίζει την ολοκλήρωση δείχνοντας τον V_{\max} .



Σχήμα 9 Ογκος αποθήκευσης συγκράτησης

Απλές μέθοδοι που βασίζονται σε εξισώσεις παλινδρόμησης,

- ◆ η ορθολογική μέθοδος, ή
- ◆ η τροποποιημένη ορθολογική μέθοδος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθούν τα προκαταρκτικά μεγέθη

Αυτό ακολουθείται από επαναληπτική δρομολόγηση (routing) (ενός ή περισσότερων υδρογραφημάτων) μέσω της προκαταρκτικά διαστασιολογημένης λίμνης για να τελειοποιηθεί το μέγεθος και οι δομές εκροής

Η κλασική διαδικασία διαστασιολόγησης αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα (Urbanas και Roesner, 1993):

- ◆ Εκτίμηση του προκαταρκτικού όγκου αποθήκευσης V_s χρησιμοποιώντας μια απλοποιημένη διαδικασία (1)
- ◆ Χρησιμοποίηση της τοπογραφίας της θέσης για την προετοιμασία μιας προκαταρκτικής διάταξης μιας λεκάνης συγκράτησης που θα έχει την επιθυμητή διαμόρφωση όγκου και εκροής (2)
- ◆ Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της στάθμης, της αποθήκευσης του δοκιμαστικού μεγέθους της λίμνης (3)
- ◆ Πραγματοποίηση της δρομολόγησης των υδρογραφημάτων εισροής μέσω της λίμνης, (4)
τα βήματα 3 και 4 μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας υπολογιστικά μοντέλα

- ✦ Αν η δοκιμαστική λίμνη (διαμόρφωση μεγέθους και εκροής) δεν ικανοποιεί τους επιθυμητούς στόχους και τα κριτήρια του σχεδιασμού, αλλάζουμε το μέγεθος της λεκάνης και/ή το πρότυπο εκροής (5) και επαναλαμβάνουμε τα βήματα 3-5 μέχρι οι στόχοι και τα κριτήρια του σχεδιασμού να ικανοποιηθούν (βελτιστοποιηθούν)

Τα υδρογραφήματα εισροής μπορεί να παραχθούν χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε από έναν αριθμό μοντέλων βροχόπτωσης-απορροής (βλ. Akan, 1993; Chow et al. 1988; Kibler, 1982? Και Urbonas και Roesner, 1993).

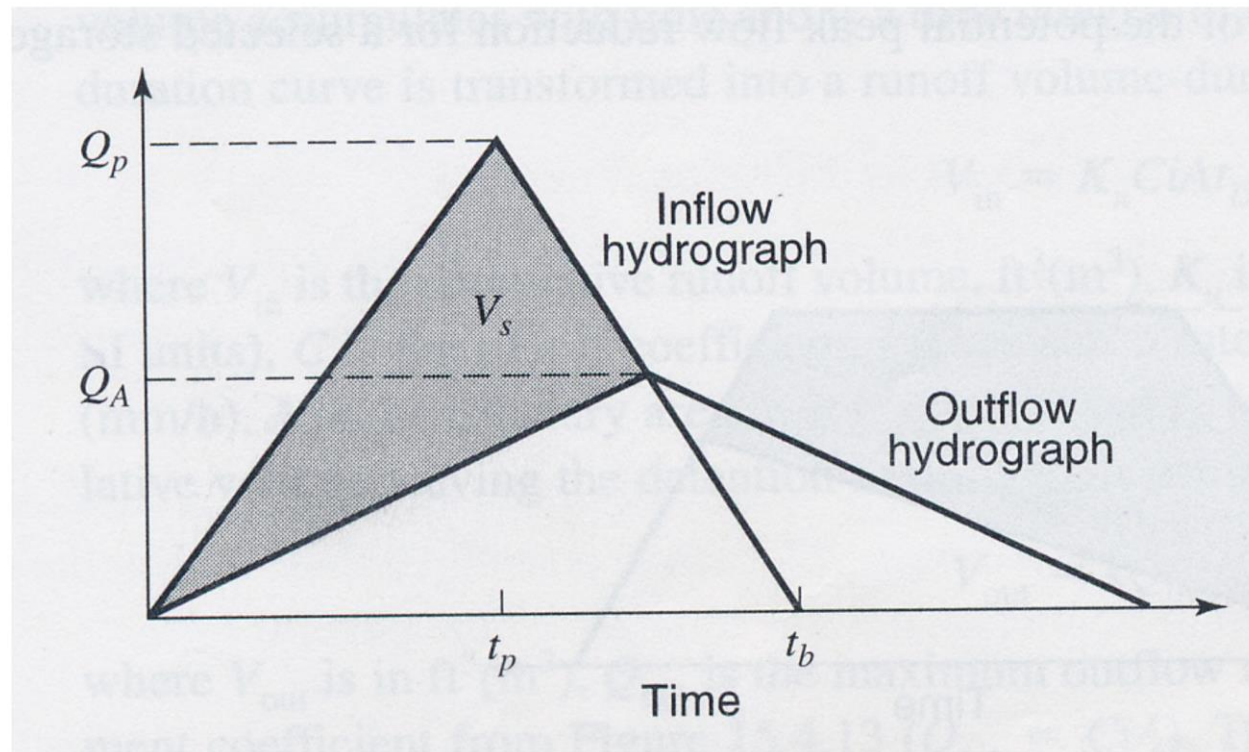
Η *American Association of State Highway Transportation officials* (AASHTO) (1991) συνιστά τη χρήση τριγωνικού σχήματος υδρογραφημάτων εισροής και εκροής (Σχήμα 10) για τον προσδιορισμό προκαταρκτικών εκτιμήσεων του όγκου αποθήκευσης V_s .

Ο απαιτούμενος όγκος αποθήκευσης είναι απλά η γραμμοσκιασμένη περιοχή που φαίνεται στο Σχήμα 10, ο οποίος υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$V_s = 0.5t_b(Q_p - Q_A)$$

Οποιοσδήποτε κατάλληλες μονάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εξίσωση. Ο χρόνος μέχρι την εισροή του υδρογραφήματος αιχμής t_p , είναι το ήμισυ του συνολικού χρόνου βάσης αυτού του υδρογραφήματος

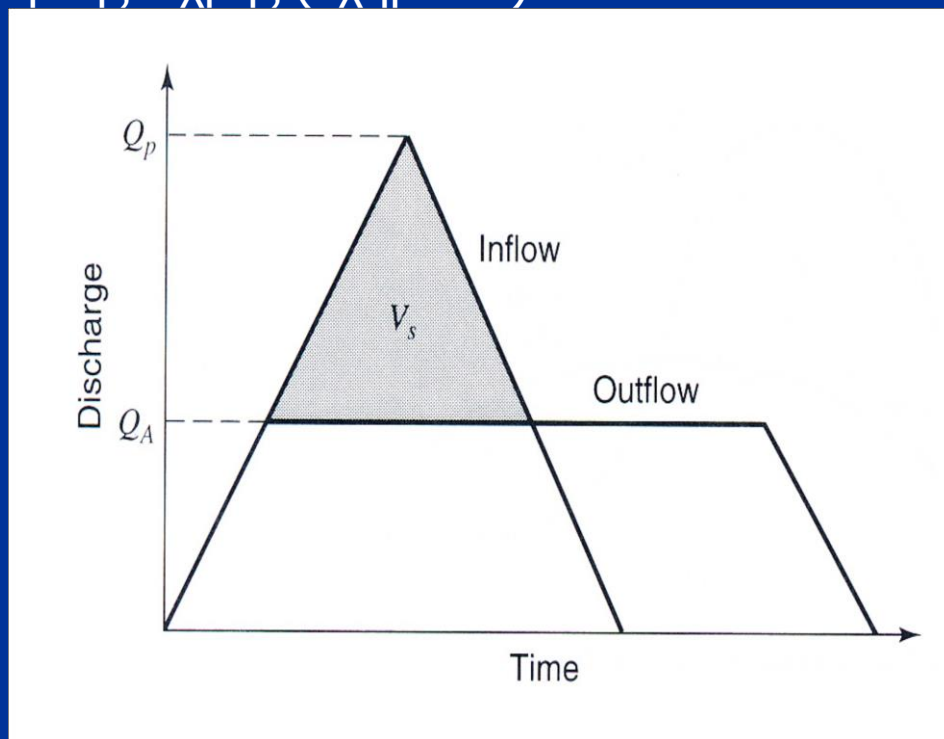
Σχήμα 10 Υδρογραφήματα εισροής και εκροής για τη διαδικασία AASHTO (1991).



Οι Abt και Grigg (1978) εξέτασαν ένα τριγωνικό υδρογράφημα εισροής και ένα τραπεζοειδές υδρογράφημα εκροής για να αναπτύξουν την ακόλουθη σχέση υπολογισμού του απαιτούμενου όγκου V_s χρησιμοποιώντας κατάλληλες (consistent) μονάδες:

$$\frac{V_s}{V_r} = \left(1 - \frac{Q_A}{Q_P}\right)^2$$

όπου V_r είναι ο όγκος απορροής, Q_A είναι ο επιτρεπόμενος ρυθμός εκροής αιχμής και Q_P είναι ο ρυθμός εισροής αιχμής. Η διαδικασία αυτή προϋποθέτει ότι η αύξηση των άκρων των υδρογραφημάτων εισροής και εκροής συμπίπτουν μέχρι το επιτρεπόμενο ποσοστό εκροής αιχμής (Σχήμα 11).



Σχήμα 11 Υδρογραφήματα εισροής και εκροής για τη διαδικασία των Abt και Grigg (1978).

Οι Aron και Kibler (1990) ανέπτυξαν μία κατά προσέγγιση μέθοδο θεωρώντας τραπεζοειδή υδρογραφήματα εισροών. Αυτοί υπέθεσαν:

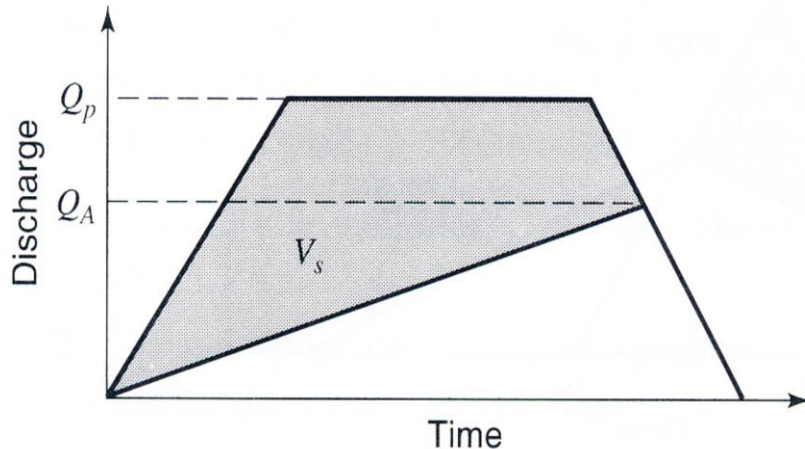
(1) ότι το υδρογράφημα εκροής αιχμής πέφτει στο σκέλος της στείρευσης του υδρογραφήματος εισροών και

(2) ότι το αυξανόμενο σκέλος του υδρογραφήματος εκροών μπορεί να προσεγγιστεί από μια ευθεία γραμμή (Σχήμα 12). Ο όγκος της αποθήκευσης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας:

$$V_s = Q_p t_D - Q_A \left(\frac{t_D + t_C}{2} \right)$$

όπου t_D είναι η σχεδιασμένη (design) διάρκεια της καταιγίδας και t_C είναι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης. Η σχεδιασμένη διάρκεια καταιγίδας είναι αυτή που μεγιστοποιεί τον όγκο αποθήκευσης της συγκράτησης, V_s , για μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς.

Η μέθοδος χρησιμοποιεί μια διαδικασία δοκιμής και σφάλματος για να βρει τη διάρκεια της καταιγίδας χρησιμοποιώντας τις τοπικές σχέσεις έντασης-διάρκειας-συχνότητας (IDF) και την ορθολογική εξίσωση ($Q_p = CiA$) για τον υπολογισμό του ρυθμού εισροής αιχμής Q_p



Σχήμα 12 Υδρογραφήματα εισροών και εκροών (διαδικασία Aron and Kibler, 1990)

i =ρυθμός βροχόπτωσης για την επιλεγείσα περίοδο επαναφοράς και διάρκειας καταιγίδας

C =συντελεστής απορροής

A =εμβαδόν λεκάνης απορροής

Η AASHTO (1991) συνιστά μια εναλλακτική εκτίμηση του όγκου αποθήκευσης χρησιμοποιώντας την εξίσωση παλινδρόμησης που αναπτύχθηκε από τους Wycoff και Singh (1986) ως εξής:

$$\frac{V_s}{V_r} = \frac{1.29 \left(1 - \frac{Q_A}{Q_P} \right)^{0.153}}{\left(t_b / t_P \right)^{0.411}}$$

V_s και V_r είναι ο όγκος της αποθήκευσης και ο όγκος της απορροής αντίστοιχα σε ίντσες, Q_A είναι η εκροή αιχμής σε cfs, Q_p είναι η εισροή αιχμής σε cfs, t_b είναι η βάση χρόνου του υδρογραφήματος εισροής σε ώρες (που καθορίζεται ως ο χρόνος από την έναρξη της αύξησης μέχρι ένα σημείο του σκέλους της καμπύλης στείρευσης, όπου η ροή είναι 5 τοις εκατό της αιχμής) και t_p είναι ο χρόνος μέχρι την αιχμή του υδρογραφήματος εισροής σε ώρες. Μια προκαταρκτική εκτίμηση της πιθανής μείωσης της ροής αιχμής για ένα επιλεγμένο όγκο αποθήκευσης είναι

$$\frac{Q_A}{Q_P} = 1 - 0.712 \left(\frac{V_s}{V_r} \right)^{1.328} \left(\frac{t_b}{t_P} \right)^{0.546}$$



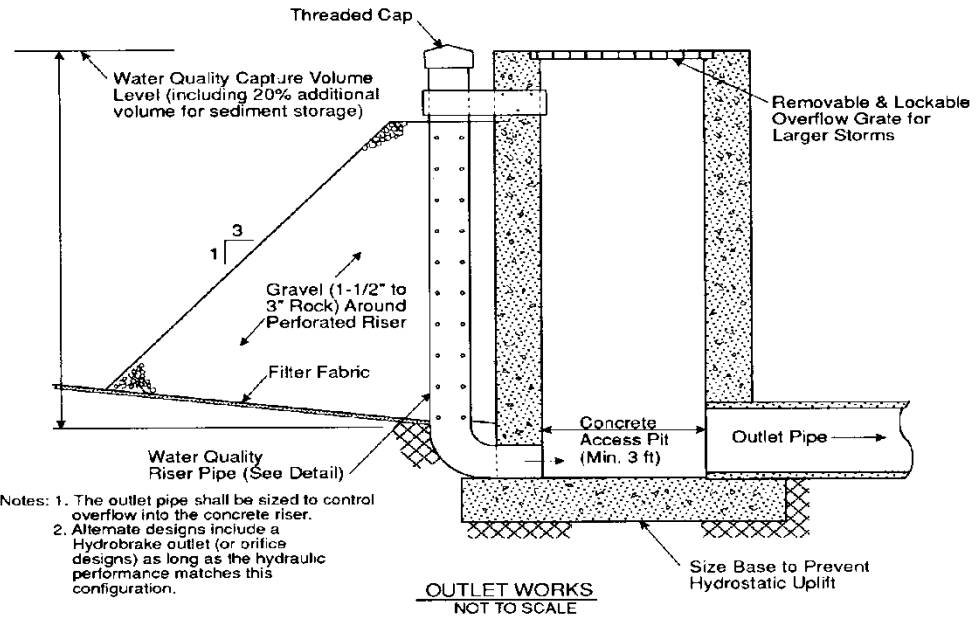




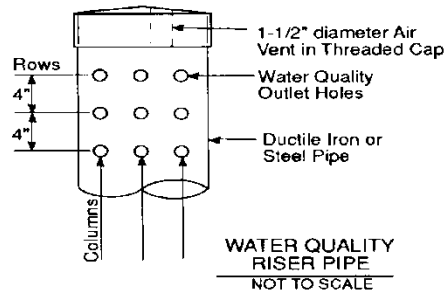


Extended Detention (cont)





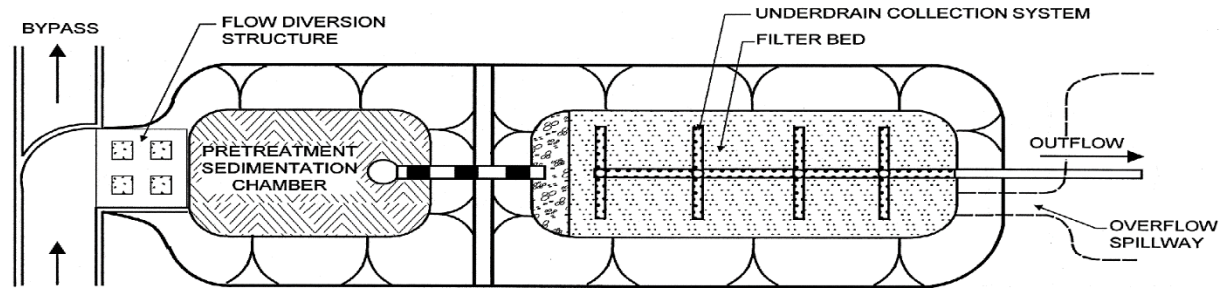
- Notes: 1. Minimum number of holes = 8
2. Minimum hole diameter = 1/8" dia.



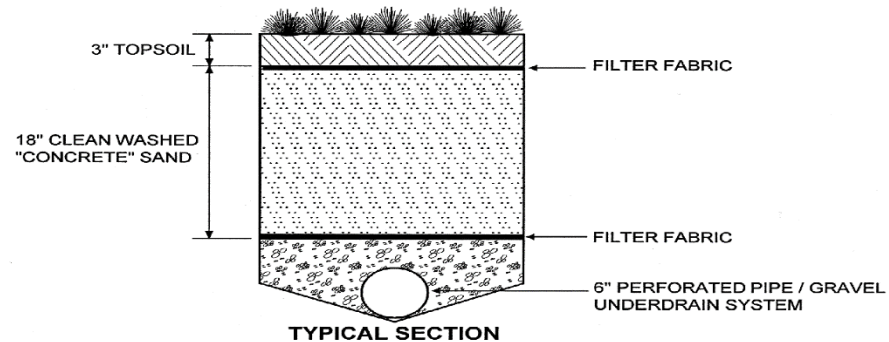
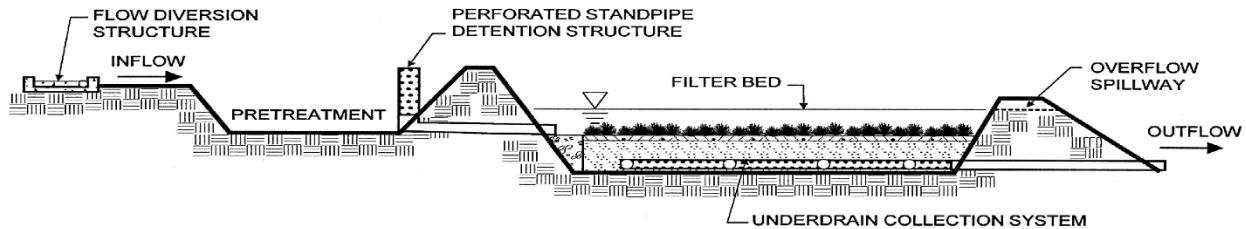
| Riser Diameter (in.) | Maximum Number of Perforated Columns | | | |
|----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------|----|
| | Hole Diameter, in. | | | |
| | 1/4" | 1/2" | 3/4" | 1" |
| 4 | 8 | 8 | -- | -- |
| 6 | 12 | 12 | 9 | -- |
| 8 | 16 | 16 | 12 | 8 |
| 10 | 20 | 20 | 14 | 10 |
| 12 | 24 | 24 | 18 | 12 |
| Hole Diameter (in.) | | Area of Hole (in. ²) | | |
| 1/8 | | 0.013 | | |
| 1/4 | | 0.049 | | |
| 3/8 | | 0.110 | | |
| 1/2 | | 0.196 | | |
| 5/8 | | 0.307 | | |
| 3/4 | | 0.442 | | |
| 7/8 | | 0.601 | | |
| 1 | | 0.785 | | |

FIGURE 5-2. WATER QUALITY OUTLET FOR A DRY EXTENDED DETENTION BASIN

Detention with Filtration



PLAN VIEW



PROFILE

Detention with Filtration

Classic Application

