ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ

Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ)

Τεύχος 8: Αποχέτευση - Στράγγιση Υδραυλικά Εργα Οδών (ΟΜΟΕ - ΑΣΥΕΟ)

Νοέμβριος 2002

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια επεξεργασίας θεμάτων Διευρωπαϊκού Δικτύου, με την Απόφαση Δ1β/ο/7/4/25-1-2002 Υφυπουργού ΠΕΧΩΔΕ, ορίστηκε Ομάδα Εργασίας για την επεξεργασία (αναθεώρηση, επικαιροποίηση, συμπλήρωση) των οδηγιών αποχέτευσης-στράγγισης οδών, με στόχο την ενιαία και ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των σχετικών θεμάτων στο Διευρωπαϊκό Δίκτυο Αυτοκινητοδρόμων της χώρας μας.

Οι εγκαταστάσεις αποχέτευσης για σύγχρονες οδούς και σιδηροδρομικές γραμμές αντιστοιχούν σε ένα υψηλό ποσοστό της δαπάνης κατασκευής αυτών των συγκοινωνιακών έργων. Αυτές επηρεάζουν σημαντικά το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη συντήρηση και την ικανότητα να αντιμετωπίζονται οι συγκοινωνιακές ανάγκες με όλες τις καιρικές συνθήκες. Επιπλέον οι εγκαταστάσεις αποχέτευσης επηρεάζουν το ίδιο το συγκοινωνιακό έργο, αφού μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής κατασκευής του έργου. Στόχος του παρόντος τεύχους είναι να επιτευχθεί μια ενιαία προσέγγιση στο σχεδιασμό των συγκοινωνιακών έργων. Κάτω από αυτό το πρίσμα έγινε προσπάθεια να συγκεντρωθεί η πληροφορία για όλο το διαθέσιμο χρήσιμο υλικό που αφενός αποσπασματικά αναπτύχθηκε από διαφορετικούς φορείς του ΥΠΕΧΩΔΕ και αφετέρου συστηματικά έχει αναπτυχθεί σε άλλες χώρες (βλ. Βιβλιογραφία στο τέλος του τεύχους).

Από αυτό το διαθέσιμο υλικό που έχει αναπτυχθεί στη χώρα, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως τα τεύχη:

(1) ΟΜΟΕ-ΑΣΚΟ που καλύπτει ένα ελάχιστο μέρος του αντικειμένου, αφού αυτό το τεύχος είχε ως κύριο σκοπό την περιγραφή και σχεδίαση μόνο διατάξεων αποχέτευσης του καταστρώματος των οδών.

(2) ΟΣΜΕΟ, Κεφάλαιο 8 της «ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΑΕ» που καλύπτει γενικώς όλο το φάσμα των θεωρήσεων οι οποίες απαιτούνται κατά τη μελέτη ενός οδικού έργου ως προς τα θέματα αποχέτευσης-αποστράγγισης. Στο κεφάλαιο αυτό συνυπάρχουν στοιχεία από τους διάφορους ΚΜΕ που συμπεριλαμβάνονται στα τεύχη δημοπράτησης των οδικών έργων.

(3) Τα Πρότυπα Κατασκευής Έργων της «ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΑΕ», που αποτελούν επίσης συστηματική υποδειγματική παρουσίαση κατασκευαστικών λεπτομερειών των διατάξεων οι οποίες είναι απαραίτητες, αφενός για την ενιαία αντιμετώπιση των κατασκευαστικών αναγκών των οδικών έργων και αφετέρου για τη δημιουργία προϋποθέσεων τυποποίησης με στόχο τη βιομηχανοποίηση της προκατασκευής.

Η ολοκλήρωση ενός οδικού έργου, απαιτεί το σχεδιασμό επιμέρους πολυσχιδών έργων όπως είναι τα χωματουργικά έργα, τα έργα οδοστρωμάτων, τα τεχνικά έργα (γέφυρες, τοίχοι αντιστήριξης, κτλ.), τα υδραυλικά έργα αποχέτευσης-στράγγισης της οδού και του περιβάλλοντος χώρου, τα έργα οδοφωτισμού, έργα άρδευσης, έργα ασφάλισης, περίφραξης, τα έργα σήμανσης, κτλ. Για αυτά τα έργα η αντίστοιχη επιμέρους μελέτη συνήθως συναρτάται με δεσμεύσεις και περιορισμούς που προκαλούνται στα υπόλοιπα επιμέρους έργα. Κάτω από αυτή τη δημιουργούμενη αναγκαστική αλληλεξάρτηση των μελετών ανά ειδικότητα, προκύπτει ως απαραίτητος ο ενιαίος συντονισμός του σχεδιασμού όλων των επιμέρους έργων που θα ολοκληρώνουν το συνολικό οδικό έργο. Γι' αυτό, πρέπει να τηρείται ο βασικός κανόνας **«κανένα στάδιο επιμέρους μελέτης δε**

θα ολοκληρώνεται όταν αυτό δημιουργεί δεσμεύσεις, είτε για τη χωροθέτηση, είτε για τη διαστασιολόγηση των άλλων επιμέρους έργων». Δηλαδή απαιτείται η παράλληλη και σε ορισμένο βαθμό εκπόνηση του σχεδιασμού των επιμέρους έργων. Ως μερικά παραδείγματα σε σχέση με τα προαναφερόμενα αναφέρονται τα εξής:

Η τελική χάραξη (οριζοντιογραφικά και υψομετρικά) μιας οδού αποφασίζεται μόνο αφού θα έχουν ελεγχθεί οι δυνατότητες που αφήνονται στο σχεδιασμό:

– Του καταστρώματος γεφυρών χωρίς την ανάγκη κατασκευής δαπανηρού δικτύου αποχέτευσης του, ή επιβαρυντικού σκυροδέματος μόρφωσης επικλίσεων.

– Των απαιτούμενων οχετών με τις βέλτιστες υδραυλικά και οικονομικά διαστάσεις.

– Της αποκατάστασης της διακοπτόμενης από την οδό ροής φυσικών ρεμάτων χωρίς δυσμενείς συνθήκες από υδραυλική άποψη.

– Των παρόδιων τάφρων με την οικονομικότερη διατομή και με τη συντομότερη διαδρομή προς φυσικούς αποδέκτες.

– Των έργων εισόδου και εξόδου οχετών, χωρίς δαπανηρά έργα θραύσης της ενέργειας της ροής, αλλά αντιθέτως με προσαρμογή της ροής στις ταχύτητες που επιτρέπονται από τη φυσική κατάσταση των κατάντη της οδού αποδεκτών.

– Της πρόσβασης των παρόδιων χρήσεων γης, όταν αυτή μπορεί να εμποδίζεται από απαιτούμενη αποχετευτική τάφρο.

Γενικότερα θα πρέπει να προλαμβάνονται οι συγκρούσεις που μπορεί να δημιουργούνται όταν αμελούνται κατά το σχεδιασμό ενός οδικού έργου ο συνδυασμός των απαιτήσεων από τα ζεύγη παραμέτρων σχεδιασμού που ακολουθούν:

- χάραξη οδού - αποκατάσταση διακοπτόμενης ροής (εγκάρσια ή παράπλευρα της οδού),
- διατομή της οδού - διαμήκης συλλεκτήριος ανοικτός ή κλειστός αγωγός,
- διαμόρφωση βροχοπαγίδας - διαμήκης ανοικτός ή κλειστός αγωγός,
- έργα υδροσυλλογής επί της οδού - εγκαταστάσεις αγωγών και ιστών οδοφωτισμού,
- παρόδιες τάφροι - διατάξεις παθητικής ασφάλειας (στηθαία),
- αποκατάσταση προσβάσεων παρόδιων χρήσεων γης σε παράπλευρη στον αυτοκινητόδρομο οδό εξυπηρέτησης - ανάγκη συνέχειας συλλεκτήριας αποχετευτικής τάφρου,
- τοίχοι αντιστήριξης πρανών ορυγμάτων - συλλεκτήριο σύστημα απορροής επιφανειών ανάντη της στέψης των τοίχων,
- μόρφωση των κλίσεων των πρανών ορυγμάτων όταν απαιτούνται αναβαθμοί (ύψος >6 m) - συλλεκτήρια συστήματα της απορροής σε κάθε αναβαθμό,
- διαμόρφωση χώρου μεταξύ δυο παράλληλων οδών - έργα υδροσυλλογής ομβρίων στο μεταξύ αυτών διάστημα,
- υψομετρική θέση της οδού και προστασία των πρανών της από διάβρωση – εμπλοκή με την ευρεία κοίτη χειμάρρου ή ποταμού,

- κατασκευή οδού σε όρυγμα στη θέση μισγάγγειας - έργα αποκατάστασης της συνέχειας της ροής στη μισγάγγεια,
- πλάτος κατάληψης της οδού - διευθέτηση ρέματος ή ποταμού που επηρεάζεται από τα επιχώματα της οδού.

Είναι πολύ σημαντικό να επισημανθεί ότι θα πρέπει να φυλάσσεται η τεκμηρίωση που καθορίζει τη διαστασιολόγηση των υδραυλικών κατασκευών, για το σύνολο των εγκαταστάσεων αποχέτευσης των οδικών έργων και ιδιαιτέρως τα υδρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα η αρχειοθέτηση των σχεδίων και των υδραυλικών υπολογισμών, με βάση τα οποία υλοποιήθηκαν τα έργα, διασφαλίζει ότι θα υπάρχει επαρκής πραγματική πληροφορία στην περίπτωση που θα απαιτηθεί η τεκμηρίωση στο μέλλον από την τυχόν μη ανταπόκριση των έργων σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Η εν λόγω τεκμηρίωση, όσον αφορά το υδρολογικό μέρος των υδραυλικών μελετών πρέπει να περιλαμβάνει όλη την απαιτούμενη πληροφορία με βάση την οποία λήφθηκαν οι αποφάσεις για το σχεδιασμό, αλλά και για τη διαστασιολόγηση των επιμέρους αντιπλημμυρικών έργων. Έτσι θα μπορεί να αποδεικνύεται ότι αυτές οι αποφάσεις ήταν εύλογες με τα διαθέσιμα υδρολογικά δεδομένα.

Επισημαίνεται ότι το παρόν τεύχος ενώ καλύπτει σημαντικό μέρος του αντικειμένου που ενδιαφέρει στη μελέτη αποχέτευσης-αποστράγγισης και των υδραυλικών έργων των οδών, εντούτοις υπάρχει ανάγκη συμπληρώσεων σε αρκετά κεφάλαια. Είναι ευχή να βρεθούν επιπλέον χρόνος, ανθρώπινοι και οικονομικοί πόροι για την πληρέστερη κάλυψη όλων των θεμάτων και ιδιαιτέρως να συμπεριληφθούν πραγματικά και αριθμητικά παραδείγματα από την πρακτική εφαρμογή σε έργα. Επίσης υπάρχει ανάγκη εκσυγχρονισμού και εξειδίκευσης των προδιαγραφών εκπόνησης των σχετικών μελετών, ως προς τα στάδια και τα παραδοτέα τεύχη και σχέδια, για κάθε περίπτωση σύμφωνα με τις δυνατότητες της σύγχρονης ηλεκτρονικής τεχνολογίας.

Η ομάδα εργασίας:

1.	Ι. Παναγιωτόπουλος	Πολ.Μηχανικός	ΕΥΔΕ/ΜΕΔΕ	Πρόεδρος
3.	Ι. Εμμανουηλίδης	Πολ.Μηχανικός	ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΑΕ	Μέλος
4.	Α. Καλαβάσης	Πολ.Μηχανικός	ΕΥΔΕ/ΠΑΘΕ	Μέλος
5.	Α. Μαρούδας	Πολ.Μηχανικός	ΔΜΕΟ	Μέλος
2.	Ε. Παπαδόπουλος	Πολ.Μηχανικός	ΕΥΔΕ/ΕΣΕΑ	Μέλος
6.	Γ. Σοϊλεμέζογλου	Τοπ. Μηχανικός	ΝΑΜΑ ΑΕ	Μέλος

ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ

Τα τεύχη Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων που έχουν συνταχθεί μέχρι σήμερα παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα.

Πίνακας Χ-1 : Τεύχη Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων

Α/Α Τεύχους	Τίτλος		Έκδοση
1	Λειτουργική Κατάταξη Οδικού Δικτύου	(ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ)	2001
2	Διατομές	(ΟΜΟΕ - Δ)	2001
3	Χαράξεις	(ΟΜΟΕ - Χ)	2001
4	Κύριες Αστικές Οδοί	(ΟΜΟΕ - ΚΑΟ)	2001
5	Πρόσθετες Λωρίδες Κυκλοφορίας (μετάφραση Γερμανικών Οδηγιών)	(ΟΜΟΕ - ΠΛΚ)	2001
6	Προδιαγραφές και Οδηγίες Κατακόρυφης Σήμανσης Αυτοκινητοδρόμων	(ΟΜΟΕ - ΚΣΑ)	2002
7	Προδιαγραφές και Οδηγίες Σήμανσης Εκτελούμενων Εργων σε οδούς	(ΟΜΟΕ - ΣΕΕ)	2002
8	Αποχέτευση- Στράγγιση – Υδραυλικά Εργα Οδών	(ΟΜΟΕ - ΑΣΥΕΟ)	2002

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... 1-1 έως 1-7
2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΓΙΑ ΜΙΚΡΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ..... 2-1 έως 2-36
3. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ..... 3-1 έως 3-10
4. ΡΟΗ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ..... 4-1 έως 4-8
5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΙΑ ΡΟΗ ΣΕ ΑΝΟΙΧΤΕΣ ΤΑΦΡΟΥΣ..... 5-1 έως 5-19
6. ΡΟΗ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ..... 6-1 έως 6-8
7. ΟΔΙΚΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ..... 7-1 έως 7-19
8. ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ..... 8-1 έως 8-9
9. ΟΧΕΤΟΙ..... 9-1 έως 9-15
10. ΕΡΓΑ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΕΩΝ..... 10-1 έως 10-28
11. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ..... 11-1 έως 11-7
12. ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΤΑΦΡΟΥΣ..... 12-1 έως 12-3
13. ΣΗΡΑΓΓΕΣ..... 13-1 έως 13-22
14. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 14-1 έως 14-1
15. ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ..... 15-1 έως 15-41

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Βοηθητικά διαγράμματα υπολογισμού απορροφητικότητας στομίων υδροσυλλογή ΠΑ-1 έως ΠΑ-19

Επιμέλεια παρουσίασης τεύχους σε ψηφιακή μορφή:	ΝΑΜΑ ΑΕ Α. Χατζηβασιλείου

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Οι υδραυλικές κατασκευές των οδικών έργων επιτελούν τη ζωτική λειτουργία της μεταφοράς, της εκτροπής, ή της απομάκρυνσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών από το οδόστρωμα και γενικότερα από τη ζώνη του οδικού έργου. Αυτές θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι ισόμετρες ως προς την εκτιμώμενη επικινδυνότητα, το κόστος κατασκευής, τη σημασία της οδού, την οικονομία της συντήρησης καθώς και τις νομικές δεσμεύσεις. Είναι σπάνιο να παρέχεται η πλέον ικανοποιητική αποχέτευση σε όλα τα τμήματα μιας οδού με ένα και μόνο είδος εγκαταστάσεων αποχέτευσης. Ως εκ τούτου ο Μελετητής θα πρέπει να γνωρίζει και να αντιλαμβάνεται πως διαφορετικές εγκαταστάσεις αποχέτευσης μπορεί να αλληλοσυμπληρώνονται ώστε η απαιτούμενη λειτουργία της αποχέτευσης να είναι πλήρως ελεγχόμενη.

Η μελέτη αποχέτευσης καλύπτει πολλές ειδικότητες δύο εκ των οποίων είναι η υδρολογία και η υδραυλική. Ο προσδιορισμός της ποσότητας και της συχνότητας της απορροής, των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, είναι ένα υδρολογικό πρόβλημα. Η μελέτη κατασκευών με την κατάλληλη ικανότητα να εκτρέπουν και να απομακρύνουν τα νερά από το διάδρομο της οδού αλλά και να μεταφέρουν, τα συλλεγόμενα νερά κάτω από την οδό είναι ένα υδραυλικό πρόβλημα.

Στο παρόν τεύχος αναφέρονται συνοπτικά υδρολογικές τεχνικές με έμφαση σε μεθόδους κατάλληλες για την αποχέτευση μικρών επιφανειών, επειδή πολλά στοιχεία της αποχέτευσης της οδού (π.χ. υπόνομοι, παρόδιοι τάφροι, κτλ.) εξυπηρετούν κυρίως μικρές αποχετευόμενες επιφάνειες. Επίσης συνοπτικά αναφέρονται οι θεμελιώδεις υδραυλικές έννοιες, μαζί με κανόνες για τη ροή σε ανοιχτούς αγωγούς, καθώς και εφαρμογές σχεδιασμού ροής ανοιχτών αγωγών για την αποχέτευση των οδών. Παραλλήλως παρουσιάζονται έννοιες που αφορούν κλειστούς αγωγούς και αντίστοιχες εφαρμογές στην αποχέτευση των οδών. Σε κάθε περίπτωση λεπτομερή κριτήρια και πρότυπα σχεδιασμού παρέχονται με παραπομπές, επειδή ο στόχος του παρόντος είναι να παρουσιαστεί μια ευρεία επισκόπηση όλων των στοιχείων της αποχέτευσης των οδών και να προσφέρεται κυρίως ως μια «εισαγωγή στην υδραυλική των οδικών έργων»

1.2 Αρχές και Έννοιες για το Σχεδιασμό Αποχέτευσης Οδών

1.2.1 Κριτήρια Οδικής Ασφάλειας

Κατά τη μελέτη και αντιστοίχως τη σχεδίαση των έργων, που καλύπτουν τις προσδιοριζόμενες ανάγκες αποχέτευσης του καταστρώματος αλλά και του άμεσου περιβάλλοντος χώρου της οδού, έχουν προτεραιότητα τα κριτήρια που αφορούν την οδική ασφάλεια:

α. <u>Η ταχεία απομάκρυνση των ομβρίων</u> από τις επιφάνειες κυκλοφορίας οχημάτων στις υπεραστικές αλλά και ειδικώς πεζών στις αστικές οδούς. Η αποφυγή της συσσώρευσης νερών στην κυκλοφορούμενη επιφάνεια της οδού έχει σκοπό τη διασφάλιση έναντι του φαινομένου της υδροολίσθησης και της απρόσκοπτης κίνησης για τα οχήματα και της βατότητας για τους πεζούς.

β. Η αποκατάσταση της ομαλής συνέχειας των επιφανειών γύρω από το κατάστρωμα της οδού οι οποίες συνθέτουν το σώμα της οδού όπως είναι τα πρανή και οι διαχωριστικές νησίδες, αλλά και των επιφανειών του διατηρούμενου φυσικού εδάφους στον παρόδιο χώρο. Πρέπει οπωσδήποτε να αποφεύγεται η απότομη διακοπή της ομαλότητας αυτών των επιφανειών, ή αν αυτό είναι αδύνατο τεχνικά ή οικονομικά ασύμφορο, μόνο τότε να υιοθετείται η εφαρμογή μέσων παθητικής ασφάλειας που είναι τα στηθαία.

Επισημαίνεται ότι η έννοια οικονομικά ασύμφορο πρέπει να εξετάζεται ως προς τις συνέπειες από ατυχήματα αλλά και του κόστους συντήρησης στον κύκλο ζωής του οδικού έργου.

γ. Οι διατάξεις των αποχετευτικών έργων να διατηρούν «συγχωρετικό» περιβάλλον στην οδό. Δηλαδή όταν ένα όχημα εκτρέπεται από την επιφάνεια κυκλοφορίας εκτός της οδού, οι συνέπειες τουλάχιστον ως προς την ακεραιότητα των επιβατών του πρέπει να είναι οι ελάχιστες.

δ. Η προτεραιότητα της οδικής ασφάλειας κατά τη συντήρηση, καθορίζει το σχεδιασμό των αποχετευτικών έργων. Το είδος της κατασκευής των αποχετευτικών διατάξεων πρέπει να αποφασίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες κυκλοφορίας που θα δημιουργούνται κατά τις περιόδους της συντήρησης αυτών των διατάξεων.

1.2.2 Βασικοί κανόνες

Η διάταξη των αποχετευτικών έργων πρέπει να ακολουθεί κανόνες που εξασφαλίζουν το σώμα της οδού από φθορές όταν τα μεγέθη της σχηματιζόμενης ροής υπερβαίνουν τα προβλεπόμενα από τη μελέτη:

α. Η φυσική ή διευθετούμενη κοίτη ρέματος ή τάφρου πρέπει να βρίσκεται στα κατάντη της οδού, ώστε ακόμη και σε περίπτωση υπερχείλισης της διατομής του ρέματος να προστατεύεται το σώμα της οδού από τη διάβρωση, που μπορεί να προκαλεί η ροή των νερών, αλλά και από τυχόν διηθήσεις που μπορεί να επιφέρουν αποσταθεροποίηση και στη συνέχεια κατάρρευση των πρανών της οδού.

β. Η σχεδίαση της γεφύρωσης ρεμάτων για τη διέλευση της οδού πρέπει αφενός να διασφαλίζει τις υφιστάμενες φυσικές συνθήκες της ροής και αφετέρου την υδραυλική επάρκεια αλλά και τη δομική αντοχή των έργων υποδοχής της ροής. Η σχεδίαση των έργων πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα δυνατά μέτρα που εξασφαλίζουν την αποφυγή συνθηκών διαβρωτικής ενέργειας, για τα ίδια τα έργα αλλά και για το φυσικό περιβάλλον. **Η μελέτη πρέπει να εκτείνεται σε όσο μήκος απαιτηθεί προκειμένου να ελέγχεται η επάρκεια του φυσικού αποδέκτη για την υποδοχή των εκτονούμενων προς αυτόν ροών από το οδικό έργο**.

γ. Η σχεδίαση των αποχετευτικών έργων σε υπεραστικές οδούς, δηλαδή εκτός του δομημένου περιβάλλοντος, ακολουθεί γενικά άλλες προτεραιότητες από εκείνες που εφαρμόζονται σε αστικές οδούς. Σε συνθήκες ακραίων καιρικών καταστάσεων ή ακόμη και σε εκείνες που υπερβαίνουν την περίοδο επαναφοράς του σχεδιασμού, προέχει η προστασία του οδικού έργου από τη διάβρωση, ενώ γίνεται αποδεκτός ο περιορισμός του πλάτους της επιφάνειας κυκλοφορίας της οδού.

Η κατάκλιση από ροή των νερών της ακραίας αριστερής λωρίδας της κάθε κατεύθυνσης ενός αυτοκινητοδρόμου μέχρι και 1,00 m από το πλάτος της είναι αποδεκτή

για την προκαθορισμένη περίοδο επαναφοράς του σχεδιασμού, όταν η ένταση της βροχής υπερβαίνει τα 100 mm/h. Αυτή η παραδοχή εξηγείται από το γεγονός ότι με τέτοια ένταση συμβαίνει είναι βέβαιο ότι η κυκλοφορία περιορίζεται και σε όγκο αλλά και σε ταχύτητες λόγω φυσικής αδυναμίας του οδηγού (έλλειψη επαρκούς ορατότητας, αυτοπεριορισμός της ελευθερίας κινήσεων). Αυτή η συνθήκη πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ώστε να αποφεύγεται ο υπερσχεδιασμός των αποχετευτικών διατάξεων που οδηγεί σε δαπάνες για λειτουργία την οποία κανείς δεν χρειάζεται.

1.2.3 Βασικές αρχές και έννοιες

Είναι χρήσιμο να διατυπωθούν εδώ, ορισμένες βασικές αρχές και έννοιες της αποχέτευσης ομβρίων σε οδικά έργα:

α. Το νερό ρέει προς τα κατάντη.

β. Η λειτουργία της αποχέτευσης με τη βαρύτητα είναι ασφαλέστερη και οικονομικότερη από ότι με την άντληση.

γ. Τα προβλήματα από τη διάβρωση μπορεί ευκολότερα να εμποδιστούν (προληπτικά μέτρα στο σχεδιασμό) παρά να αποκατασταθούν (επουλωτικά μέτρα από βλάβες).

δ. Το μέγεθος της διάβρωσης που λαμβάνει χώρα εξαρτάται από:

- την ταχύτητα του νερού,
- τον τύπο του εδάφους ή του υλικού πάνω στο οποίο ρέει το νερό,
- τη φυτική κάλυψη.

Η σχέση μεταξύ της ταχύτητας του νερού και της διάβρωσης είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας. Ο διπλασιασμός της ταχύτητας του νερού αυξάνει : τη διαβρωτική του ενέργεια κατά τέσσερις φορές, το μέγεθος των σωματιδίων των υλικών που μπορεί να μεταφέρονται κατά 64 φορές, και τη μάζα του εδάφους που μπορεί να μεταφέρεται κατά 32 φορές (Israelson, 1980).

ε. Η ταχύτητα της ροής του νερού στις τάφρους επηρεάζεται από :

- την τραχύτητα των βρεχόμενων επιφανειών - η περισσότερο λεία επιφάνεια βοηθά στην ταχύτερη ροή,
- το βάθος ροής - το μεγαλύτερο βάθος βοηθά την ταχύτερη ροή,
- το σχήμα των τάφρων - όσο μικρότερη είναι η βρεχόμενη επιφάνεια των τάφρων τόσο ταχύτερη είναι η ροή,
- την ποσότητα της ροής - η μεγαλύτερη ποσότητα βοηθά την ταχύτερη ροή.

Από τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά προκύπτει ο πρώτος κανόνας για την αντιμετώπιση της διάβρωσης. "**Δεν επιτρέπεται το νερό να δημιουργεί συγκεντρώσεις, πρέπει να διασκορπάται οπουδήποτε και οποτεδήποτε είναι δυνατό. Η διαβρωσιμότητα ενός πρανούς χωματουργικών επίσης εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους αλλά και τη φυτική κάλυψη**".

Η πλέον κρίσιμη χρονική περίοδος για διάβρωση των πρανών των χωματουργικών είναι μετά την έναρξη των εκσκαφών ή την κατασκευή των επιχωμάτων. Η επιφάνεια των πρανών είναι ευδιάβρωτη αφού είναι εκτεθειμένη στη βροχή όταν δεν έχει αναπτυχθεί φυτική

κάλυψη. Μια σταγόνα βροχής πέφτει με ταχύτητα περίπου 30 km/h, και όταν κτυπά την επιφάνεια εδάφους, εκτινάζει τα απροστάτευτα σωματίδια του εδάφους το οποίο αρχίζει να εκπλένεται κατά τη μεταφορά των σωματιδίων προς τα κατάντη. Τα κύρια μέτρα προστασίας, έναντι αυτής της διαβρωτικής ενέργειας, είναι :

- Η παρεμπόδιση εισόδου εξαιρετικών ποσοτήτων νερού από τον περιβάλλοντα χώρο της κατασκευής, ιδιαίτερα στα πρανή των ορυγμάτων. Το μέτρο αυτό επιτυγχάνεται με τις τάφρους οφρύος. Η διαμόρφωση τους πρέπει να γίνεται με σχετική μελέτη και στη συνέχεια η εφαρμογή της με την κατάλληλη επιμέλεια, επειδή συνήθως αυτές καταλήγουν να έχουν μεγάλες κλίσεις.
- Η κατασκευή των πρανών με όσο είναι δυνατό ηπιότερη κλίση.
- Η εξασφάλιση ότι το νερό προσέρχεται και ρέει επάνω στα πρανή με μορφή λεπτού υμένα, που πρέπει να διατηρείται σε όλο το εύρος των επιφανειών. Τελικώς το νερό πρέπει να συγκεντρώνεται σε τάφρους ή φυσικούς αποδέκτες κατά προτίμηση, με ελεγχόμενες συνθήκες.
- Η φύτευση των πρανών να γίνεται το ταχύτερο δυνατό, μετά τη διάνοιξη τους, με πυκνό χλοοτάπητα και άλλα φυτά.

1.2.4 Βασικές οδηγίες σε σχέση με τη μελέτη οδοποιίας

Η ροή των ομβρίων που δημιουργείται, από τη διαμόρφωση της μηκοτομής και των επικλίσεων, επάνω στην επιφάνεια των κύριων λωρίδων (διαμπερείς) κυκλοφορίας της οδού δεν επιτρέπεται να προέρχεται από άλλες επιφάνειες, είτε εξωτερικές λεκάνες είτε βοηθητικές επιφάνειες κυκλοφορίας (παρόδιος χώρος στάθμευσης, οδόστρωμα εγκάρσιων οδών σε θέσεις ισόπεδων κόμβων ή άλλων προσβάσεων) παρά μόνο από τη βροχή που προσπίπτει στην επιφάνεια αυτών. Επομένως κατά τη μελέτη οδοποιίας, η γεωμετρική σχεδίαση της οδού πρέπει να αποτρέπει ανεπιθύμητες συνθήκες.

Ειδικά σε αυτοκινητοδρόμους δεν επιτρέπεται η μεταφορά της επιφανειακής ροής από τα οδοστρώματα των κλάδων και των επιφανειών αποκλεισμού επάνω στις επιφάνειες των κύριων λωρίδων κυκλοφορίας. Η εξασφάλιση αυτής της συνθήκης πρέπει κατ' αρχή να διασφαλίζεται κατά τη μελέτη της οδοποιίας. Όμως όταν η μελέτη της οδοποιίας είναι ανεπαρκής ως προς αυτή την απαίτηση πρέπει να εξετάζεται πρώτα η δυνατότητα τροποποίησης της με κάθε τρόπο και μόνο όταν αυτή κρίνεται και δικαιολογείται ως αδύνατη, τότε να σχεδιάζονται τα κατάλληλα μέτρα με τα οποία θα εμποδίζεται η επιβάρυνση των κύριων λωρίδων κυκλοφορίας με απορροή από άλλες επιφάνειες.

Στην περίπτωση που δημιουργούνται προϋποθέσεις απορροής από το ένα οδόστρωμα στο άλλο του αυτοκινητοδρόμου όπως π.χ. σε θέσεις διακοπής της κεντρικής νησίδας (ανοίγματα για την εκτροπή της κυκλοφορίας, μπροστά από στόμια σηράγγων), επιβάλλεται η εφαρμογή αποχετευτικών διατάξεων οι οποίες θα διακόπτουν, συλλέγουν και μεταφέρουν τα όμβρια καταλλήλως. Όπου αυτά τα στοιχεία υδροσυλλογής πρέπει να είναι βατά από οχήματα συνιστάται να αποφεύγονται διατάξεις με σχάρες (ως επικίνδυνες για την κυκλοφορία) και να προτιμάται η διάταξη σχισμής με εσωτερικό κοίλο ρείθρο[1]. Όμως πριν

[1] Συνιστάται από Design Guidelines, NCHR, 1999 No 243 για τη μείωση του πάχους της απορροής επί του οδοστρώματος προκειμένου να αυξάνεται η ταχύτητα που μπορεί να συμβεί η υδροολίσθηση.

από τη μελέτη προς εφαρμογή των προαναφερομένων μέτρων επιβάλλεται η επανεξέταση και τροποποίηση της μελέτης οδοποιίας, ώστε να εξαλειφθούν τα αίτια του σχεδιασμού από τα οποία προκύπτει το πρόβλημα.

Από τα προηγούμενα αλλά και ιδιαίτερα από την πείρα που έχει αποκτηθεί στη χώρα προκύπτουν ως βασικές αρχές τα εξής:

- Όταν ένας αυτοκινητόδρομος έχει χάραξη με συνεχείς αλλεπάλληλες οριζόντιες καμπύλες πρέπει να εξετάζεται αν είναι οικονομικότερη (στον κύκλο ζωής του έργου) λύση η εφαρμογή τυπικής διατομής με κεντρική ταπεινωμένη χωμάτινη νησίδα που θα καταργεί την ανάγκη υπονόμων, αντί της ψευδεπίγραφης οικονομικής λύσης με ασφαλτοστρωμένη κεντρική νησίδα και με αμφίπλευρο στηθαίο μεταλλικό ή τύπου NJ. Εδώ σημειώνεται πως δεν επιτρέπεται να υποτιμάται το γεγονός ότι η απαίτηση για ορατότητα στάσης σε ορεινές χαράξεις (με κατά μήκος κλίσεις >2%) επιβάλλει υποχρεωτικώς σημαντικές διαπλατύνσεις στην πλευρά της κεντρικής νησίδας (βλ. ΟΜΟΕ-Χ). Το τελευταίο ουσιαστικώς οδηγεί στην ανάγκη κατασκευής κεντρικής νησίδας πλάτους από 3,6 έως 6,5 m άρα εκείνο που επιπλέον απαιτείται (εφόσον η νησίδα είναι χωμάτινη ταπεινωμένη), για τη συλλογή των ομβρίων τα οποία προσέρχονται στην κεντρική νησίδα σχεδόν ή περίπου σε όλο το μήκος της, είναι η κατασκευή κατά κανόνα μόνο κατάλληλων στομίων υδροσυλλογής (βλ. Κεφ. Τυπικά Έργα) για τη διοχέτευση της παροχής σε εγκάρσιους οχετούς.
- Όταν προβλέπεται από τη χωροθέτηση των ανισόπεδων κόμβων ως θέση ενός κόμβου σημείο όπου η χάραξη του αυτοκινητόδρομου βρίσκεται σε οριζόντια καμπύλη ακτίνας R<6000 m, πρέπει να επανεξετάζεται είτε η θέση του κόμβου είτε η τροποποίηση της χάραξης, ώστε τα σημεία εισόδου-εξόδου των κλάδων να τοποθετούνται πάντα στην κοίλη πλευρά της οριζόντιας καμπύλης. Όταν τα εν λόγω πρακτικά μέτρα, απαλοιφής των προβλημάτων αποχέτευσης, δεν είναι δυνατά τότε πρέπει να εξετάζεται η μετάθεση των σημείων εισόδου-εξόδου, έστω με επιμήκυνση των κλάδων, σε καταλληλότερη θέση όπου υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής επίκλισης, επί της λωρίδας μεταβολής ταχύτητας (λωρίδα επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης), αντίρροπης ως προς εκείνη των διερχόμενων κύριων λωρίδων κυκλοφορίας του αυτοκινητοδρόμου (βλ. ΟΜΟΕ-Χ).

  Συγκεντρώσεις διαχεόμενης ροής επάνω στο οδόστρωμα πρέπει να αποφεύγεται. Ως γενικός κανόνας ορίζεται ότι περισσότερη από 0,003 m^3/s [(2)] ροή δεν επιτρέπεται να συγκεντρώνεται και να διασχίζει το οδόστρωμα. Γι΄ αυτό ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται στα σημεία αλλαγής της επίκλισης όπου η ροή επί του οδοστρώματος οδηγείται από τα εξωτερικά ερείσματα της οδού προς τις εσωτερικές επιφάνειες της οδού. Το ίδιο επικίνδυνες συνθήκες συμβαίνουν όταν π.χ. στα σημεία εξόδου-εισόδου των κόμβων δημιουργείται συγκέντρωση ροής, λόγω αλλαγής στις επικλίσεις, η οποία διασχίζει τις κύριες λωρίδες κυκλοφορίας.

1.3 Είδη Εγκαταστάσεων Αποχέτευσης

Οι εγκαταστάσεις αποχέτευσης μπορεί να ταξινομηθούν με βάση το είδος της κατασκευής σε δυο κύριες κατηγορίες:

---

(2) Caltrans 831.4

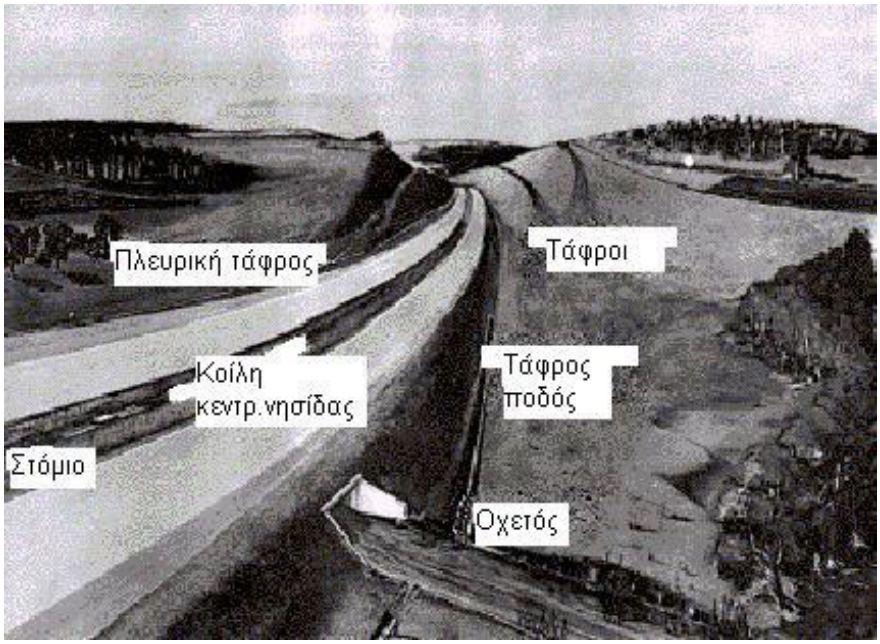
α. Ανοιχτοί αγωγοί

Οι εγκαταστάσεις ανοιχτών αγωγών περιλαμβάνουν τις παρόδιες (πλευρικές) τάφρους, την κοίλη διαμόρφωση των κεντρικών ή διαχωριστικών νησίδων, τα ρείθρα κτλ.

β. Εγκαταστάσεις κλειστών αγωγών

Οι εγκαταστάσεις κλειστών αγωγών περιλαμβάνουν τους οχετούς και τα συστήματα υπονόμων.

Ένας τυπικός αυτοκινητόδρομος με κεντρική νησίδα παρουσιάζει την ανάγκη μιας ποικιλίας από ανοιχτούς και κλειστούς αγωγούς (βλ. εικόνα στο Σχήμα 1.3-1). Όπως παρουσιάζεται στην εικόνα, στο ακρότατο εξωτερικό άκρο της ζώνης κατάληψης της οδού, βρίσκονται συλλεκτήριοι τάφροι είτε στο φρύδι του ορύγματος είτε στις ενδιάμεσες βαθμίδες των πρανών ορυγμάτων και επιχωμάτων οι οποίες διακόπτουν και συλλέγουν τη ροή των νερών από τον περιβάλλοντα χώρο. Σε ερημικές περιοχές συλλεκτήριες τάφροι ή αναχώματα μπορεί επίσης να χρησιμοποιούνται σε μεγάλες αποστάσεις κατά μήκος της οδού για να συλλαμβάνουν την απορροή των επιφανειών που βρίσκονται εκατέρωθεν της οδού, εφόσον αυτές αποτελούν μεγάλες λεκάνες στα ανάντη της οδού. Δίπλα από την οδό είναι οι πλευρικές τάφροι που κατασκευάζονται μεταξύ των πρανών ορυγμάτων και των ερεισμάτων της οδού και οι τάφροι στο πόδι των επιχωμάτων οι οποίες παραλαμβάνουν την παροχή των πλευρικών τάφρων και τη μεταφέρουν κατά μήκος ή/και κοντά στο πόδι του επιχώματος μέχρι σε ένα σημείο όπου βρίσκεται ένας φυσικός αποδέκτης. Η ροή που σχηματίζεται σε μια αβαθή ταπείνωση της κεντρικής νησίδας (εφόσον αυτή δεν κατασκευάζεται υπερυψωμένη μεταξύ στηθαίων τύπου NJ) αποχετεύεται μέσω φρεατίων υδροσυλλογής με τα οποία τα νερά μεταφέρονται σε οχετούς. Οι οχετοί παρέχουν την αποχέτευση εγκαρσίως της οδού σχετικά μεγάλων ρεμάτων ή μισγαγγειών.



Σχήμα 1.3-1: Τυπικά έργα αποχέτευσης αυτοκινητοδρόμου

1.4 Φιλοσοφία Σχεδιασμού

Ο κύριος σκοπός των εγκαταστάσεων αποχέτευσης της οδού είναι να εμποδίζεται η επί του εδάφους επιφανειακή απορροή των νερών να φθάσει στην οδό και παραλλήλως να απομακρύνονται αποτελεσματικά τα όμβρια από το κατάστρωμα της οδού. Ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων αποχέτευσης για την επίτευξη αυτού του σκοπού απαιτεί την εξισορρόπηση της επικινδυνότητας των μελλοντικών φθορών, από τα συμβάντα πλημμυρικών απορροών (των οποίων η επανάληψη, σε χρόνο και μέγεθος, δεν μπορεί να προβλέπεται με ακρίβεια), έναντι του αρχικού κόστους κατασκευής. Επειδή αυτό δεν είναι εύκολο, έχει καθιερωθεί να επιλέγεται μια συγκεκριμένη συχνότητα επανάληψης πλημμυρικών απορροών (ονομαζόμενη περίοδος επαναφοράς), η οποία ανάλογα με την κατηγορία της οδού καθορίζει την παροχή σχεδιασμού για τη διαστασιολόγηση των εγκαταστάσεων αποχέτευσης. Αυτή η περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού αναπροσαρμόζεται με βάση την αξιολόγηση μιας ελεγχόμενης πλημμύρας ώστε να αντιμετωπίζεται καλύτερα η επικινδυνότητα που αυτή συνεπάγεται λαμβάνοντας υπόψη τις κυκλοφοριακές συνθήκες, τη διαστασιολόγηση της κατασκευής, καθώς και την αξία των παρόδιων χρήσεων γης.

Για δαπανηρές ή υψηλής επικινδυνότητας εγκαταστάσεις, ένα πεδίο τιμών πλημμυρικών παροχών μαζί με ένα πεδίο περιόδων επαναφοράς χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθούν οι εγκαταστάσεις αποχέτευσης. Ως βασική περίοδος επαναφοράς ορίζεται εκείνη που έχει 1% πιθανότητα να συμβαίνει ή να υπερβαίνεται μέσα σε ένα οποιοδήποτε έτος. Αυτή η περίοδος επαναφοράς αναφέρεται ως η 100-ετής πλημμύρα, που σημαίνει ότι στη διάρκεια μιας απεριόριστης χρονικής διάρκειας θα συμβεί αυτή η πλημμύρα ή θα συμβεί υπέρβαση της κατά μέσο όρο μια φορά κάθε εκατό χρόνια.

Ένα πεδίο περιόδων επαναφοράς τυπικά αποτελεί τις παραδοχές για την αξιολόγηση του σχεδιασμού αποχέτευσης του οδοστρώματος. Η αποχέτευση του οδοστρώματος συνήθως σχεδιάζεται για περίοδο επαναφοράς 10-ετή, εκτός από τις θέσεις των κοίλων καμπυλών της μηκοτομής όπου το νερό δε μπορεί να διαφύγει παρά μόνο μέσα από υπόνομο. Σε αυτές τις θέσεις χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό η περίοδος επαναφοράς 50-ετίας, ώστε να εμποδίζεται ο σχηματισμός λιμναζόντων νερών βάθους όπου μπορεί να πνιγούν άνθρωποι οι οποίοι θα πρέπει να περάσουν μέσα από αυτά. Η έκταση που καλύπτουν τα νερά επί του οδοστρώματος κατά τη διάρκεια πλημμύρων 50-ετίας θα πρέπει να αξιολογείται με κριτήριο τη διατήρηση τουλάχιστον μιας λωρίδας ανοιχτής σε κυκλοφορία.

Ένας τρόπος επιλογής της περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού γίνεται μέσα από την έννοια της οικονομίας με προσδιορισμό του αναμενόμενου ελάχιστου συνολικού κόστους της κατασκευής. Με αυτή την έννοια λαμβάνονται υπόψη το αρχικό κόστος κατασκευής, το κόστος συντήρησης, καθώς και το κόστος των βλαβών από τις πλημμύρες που μπορεί να συμβούν λόγω φθορών από ένα πεδίο τιμών πλημμυρικής παροχής των περιόδων επαναφοράς. Η περίοδος επαναφοράς που παράγει το ελάχιστο αναμενόμενο κόστος στον κύκλο ζωής του έργου θα πρέπει να είναι εκείνη που επιλέγεται για το σχεδιασμό της κάθε είδους κατασκευής.

2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΓΙΑ ΜΙΚΡΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ

2.1 Γενικά

Το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό των εγκαταστάσεων μιας αποχέτευσης είναι ο προσδιορισμός της ποσότητας του νερού που πρέπει να μεταφέρει η εγκατάσταση. Η απαιτούμενη υδρολογική ανάλυση για να εκτιμηθεί η απαιτούμενη παροχετευτικότητα μπορεί να είναι ένα κύριο στοιχείο της συνολικής προσπάθειας σχεδιασμού. Το επίπεδο της απαιτούμενης προσπάθειας εξαρτάται από τα διαθέσιμα δεδομένα και από την εμπειρικότητα της αναλυτικής τεχνικής που επιλέγεται. Ανεξάρτητα από την αναλυτική τεχνική που χρησιμοποιείται η υδρολογική ανάλυση πάντα εμπλέκεται με την κρίση του μηχανικού λόγω της πολυπλοκότητας και των πιθανοτήτων που ενυπάρχουν στη φύση της ίδιας της διαδικασίας της απορροής. Η ποσοτικοποίηση της απορροής δε στηρίζεται σε μια επιστήμη ακριβείας.

Για συνήθη προβλήματα μελέτης, ιδιαίτερα με αυτά που αφορούν μικρές αποχετευόμενες επιφάνειες, δεν είναι πρακτικό και δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται εξεζητημένες αναλυτικές μέθοδοι οι οποίες απαιτούν εκτεταμένο χρόνο και εργασία. Ευτυχώς υπάρχει ένας αριθμός ικανοποιητικών αποδεκτών μεθόδων για την υδρολογική ανάλυση, κατά τις οποίες χρησιμοποιούνται υπάρχοντα δεδομένα ή στην περίπτωση απουσίας δεδομένων υπάρχουν συνθετικές μέθοδοι για την ανάπτυξη των απαιτούμενων παραμέτρων σχεδιασμού.

Η μελέτη αποχέτευσης για εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν μικρές επιφάνειες μπορεί τυπικά να βασίζεται σε συνθήκες μέγιστης ροής. Η γνώση του πλήρους υδρογραφήματος σπάνια είναι απαραίτητη για μικρές εγκαταστάσεις αποχέτευσης. Για παράδειγμα ο σχεδιασμός των εγκαταστάσεων αποχέτευσης της κεντρικής νησίδας, ή ενός συστήματος υπονόμου και στομίων υδροσυλλογής για την προστασία ενός πρανούς επιχώματος, ή ενός οχετού που αποχετεύει μια μικρή επιφάνεια η οποία απομονώνεται από το επίχωμα της οδού, μπορεί να γίνεται με βάση τις συνθήκες μέγιστης ροής και μόνο.

Οι μέθοδοι για την εκτίμηση της μέγιστης ροής μπορεί να διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

α. για περιοχές με δεδομένα μετρήσεων ροής ρεμάτων

β. για περιοχές χωρίς δεδομένα μετρήσεων

Όταν υπάρχουν επαρκή δεδομένα μετρήσεων σε βάθος χρόνου και είναι αξιόπιστα τότε μπορεί να χρησιμοποιείται η στατιστική ανάλυση για να εκτιμηθεί η μέγιστη πλημμύρα σε διάφορες περιόδους επαναφοράς.

Όταν δεν υπάρχουν δεδομένα μετρήσεων οι εκτιμήσεις γίνονται με εμπειρικές εξισώσεις (π.χ. η ορθολογική μέθοδος) ή με τοπικές εξισώσεις παλινδρόμησης. Οι τοπικές εξισώσεις παλινδρόμησης είναι κατάλληλες για μεγάλες επιφάνειες αποχέτευσης, ενώ άλλες μέθοδοι όπως είναι η ορθολογική μέθοδος συνήθως χρησιμοποιούνται για μικρότερες επιφάνειες μέχρι περίπου 0,8 km^2. Για μεγαλύτερες επιφάνειες συνιστώνται οι εξισώσεις παλινδρόμησης που έχουν αναπτυχθεί από τοπικά δεδομένα. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει σαφής προσδιορισμός του ορίου μέχρι το οποίο η μια μέθοδος παύει να έχει εφαρμογή και θα πρέπει να χρησιμοποιείται η άλλη μέθοδος. Οι μέθοδοι, μερικές φορές, δίνουν αποτελέσματα για την ίδια επιφάνεια που συμφωνούν μεταξύ τους αρκετά καλά, ενώ σε άλλες

περιπτώσεις, αυτές μπορεί να διαφέρουν στα αποτελέσματα ακόμη και περισσότερο από 50%. Όταν συμβαίνουν μεγάλες διαφορές η εφαρμοσιμότητα της κάθε μεθόδου θα πρέπει να αξιολογείται και τότε απαιτείται μια ουσιαστική κρίση του μηχανικού για την απόφαση των λογικών τιμών σχεδιασμού.

Τόσο ο υπερσχεδιασμός όσο και ο υποσχεδιασμός συνεπάγεται υπερβολικό κόστος σε μακροπρόθεσμη βάση. Μια τάφρος σχεδιασμένη για να φέρει την πλημμυρική παροχή 1 έτους θα έχει προφανώς ένα χαμηλό αρχικό κόστος, αλλά το κόστος συντήρησης θα είναι υψηλό επειδή η τάφρος και η οδός μπορεί να υπόκεινται σε φθορές από την απορροή σχεδόν κάθε χρόνο. Όμως μια τάφρος σχεδιασμένη για να εξυπηρετεί την πλημμύρα 100-ετίας θα έχει υψηλό αρχικό κόστος, αλλά χαμηλό κόστος συντήρησης. Κάπου ανάμεσα σ΄ αυτά τα δυο όρια βρίσκεται η περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού η οποία θα εξισορροπεί κατά το βέλτιστο τρόπο το κόστος κατασκευής, το ετήσιο κόστος συντήρησης, καθώς και την επικινδυνότητα φθορών από την πλημμύρα.

2.2 Απορροή Ομβρίων

Η βροχή που πέφτει στο έδαφος και στις υδάτινες επιφάνειες παράγει την απορροή των λεκανών. Ένα μικρό μέρος της βροχής εξατμίζεται καθώς πέφτει και κάποιο μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση. Από τα όμβρια που φθάνουν στο έδαφος ένα μέρος διηθείται σε αυτό, ένα μέρος γεμίζει τις κοιλότητες της επιφάνειας του εδάφους και το υπόλοιπο ρέει επιφανειακά και φθάνει στις βαθιές γραμμές της επιφάνειας του εδάφους. Η επιφανειακή απορροή συχνά επιβαρύνεται από την υπόγεια ροή που ρέει ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και η οποία φθάνει συγχρόνως στις βαθιές γραμμές συνιστώντας και αυτή ένα μέρος της συνολικής απορροής ομβρίων.

Η βροχή που διηθείται στο έδαφος συμποσούται με την υγρασία του εδάφους και προστίθεται στον υπόγειο ορίζοντα. Μέρος από τον υπόγειο ορίζοντα φθάνει στα ρέματα μετά από μακρό χρονικό διάστημα από τη χρονική στιγμή που έχει περάσει η επιφανειακή απορροή των ομβρίων και κάποιο μέρος απολήπτεται από τη βλάστηση ή/και από τις ανθρώπινες χρήσεις.

Η απορροή των ομβρίων η οποία πρέπει να μεταφέρεται από τις εγκαταστάσεις αποχέτευσης της οδού είναι το υπόλοιπο της βροχόπτωσης μετά τις απώλειες που προαναφέρονται. Η τιμή των απωλειών στην απορροή εξαρτάται από την ποσότητα της βροχής και το ρυθμό με τον οποίο αυτή πέφτει (ένταση, θερμοκρασία, χαρακτηριστικά του εδάφους) η τιμή της απορροής ποικίλει ανάλογα με την υδροπερατότητα της επιφάνειας του εδάφους και τη φυτική κάλυψη αλλά και ανάλογα με το χρόνο για την ίδια επιφάνεια σε σχέση με τις υφιστάμενες εκείνη τη χρονική στιγμή συνθήκες αυτής, όπως είναι η υγρασία του εδάφους κτλ.

2.3 Ανάλυση Δεδομένων Μετρήσεων

Η στατιστική ανάλυση δεδομένων, από υπηρεσίες που τα διαθέτουν, επιτρέπει μια εκτίμηση της μέγιστης παροχής σε σχέση με την πιθανότητα και τη συχνότητα που αυτή συμβαίνει σε μια δεδομένη θέση.

2.4 Ένταση-Διάρκεια-Περίοδος Επαναφοράς Βροχόπτωσης

Η ένταση της βροχόπτωσης είναι ο ρυθμός με τον οποίο πέφτει η βροχή. Η ένταση εκφράζεται σε [mm/h] ανεξάρτητα από τη διάρκεια της βροχόπτωσης, αν και μπορεί να εκ-

φράζεται ως συνολική βροχόπτωση σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (π.χ. διάρκεια). Η συχνότητα (περίοδος επαναφοράς) μπορεί να εκφράζεται ως η πιθανότητα να συμβεί ή να γίνει υπέρβαση μιας δεδομένης έντασης βροχόπτωσης, ή μπορεί να εκφραστεί ως όρος του μέσου χρονικού διαστήματος (περίοδος επαναφοράς) μεταξύ εντάσεων βροχόπτωσης μιας δεδομένης ή μεγαλύτερης ποσότητας. Η συχνότητα έντασης βροχόπτωσης δε μπορεί να εκφράζεται χωρίς να δηλώνεται η διάρκεια της βροχόπτωσης επειδή η ένταση βροχόπτωσης ποικίλει ανάλογα με τη διάρκεια βροχόπτωσης.

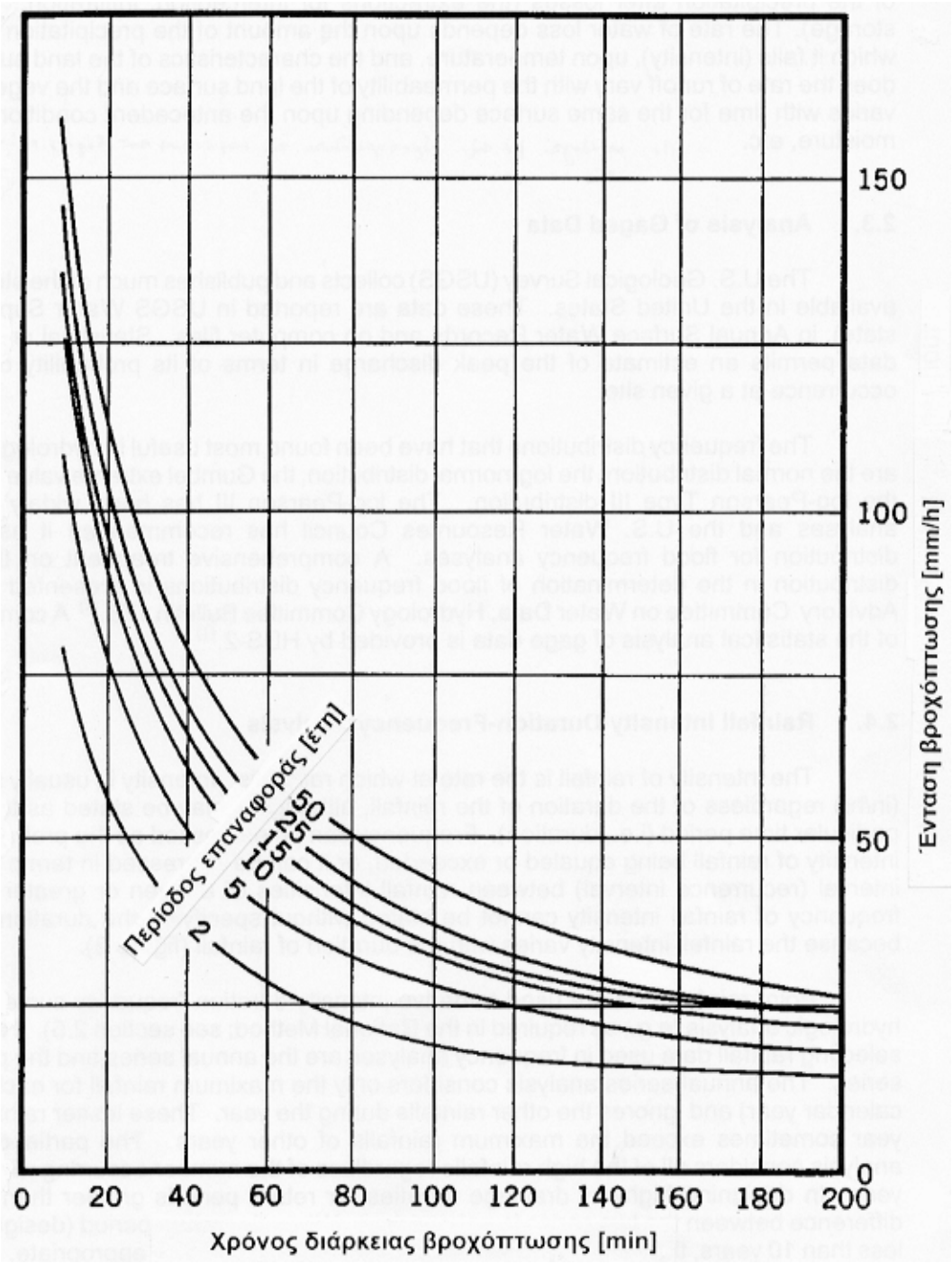
Δεδομένα βροχόπτωσης ενός σημείου χρησιμοποιούνται για την κατασκευή καμπυλών «έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς» που είναι απαραίτητες για την υδρολογική ανάλυση (βλ. παράδειγμα Σχήμα 2.4-1). Δυο μέθοδοι για την επιλογή δεδομένων βροχόπτωσης χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις περιόδου επαναφοράς που είναι οι ετήσιες σειρές και οι σειρές μερικής-διάρκειας. Οι ετήσιες σειρές ανάλυσης λαμβάνουν υπόψη μόνο τη μέγιστη βροχόπτωση κάθε έτους (συνήθως ημερολογιακού έτους) και αγνοούν τις άλλες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτές οι μικρότερες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια ενός έτους συχνά υπερβαίνουν τις μέγιστες βροχοπτώσεις άλλων ετών. Η ανάλυση των σειρών μερικής-διάρκειας λαμβάνει υπόψη όλες τις υψηλές βροχοπτώσεις ανεξάρτητα από τον αριθμό που συμβαίνουν μέσα σε ένα συγκεκριμένο έτος. Κατά το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων αποχέτευσης μιας οδού για περίοδο επαναφοράς μεγαλύτερης από 10 έτη η διαφορά μεταξύ δυο σειρών δεν είναι σημαντική. Όταν η περίοδος επαναφοράς είναι μικρότερη από 10 έτη, οι σειρές μερικής-διάρκειας πιστεύεται ότι είναι περισσότερο κατάλληλες. Για τη μετατροπή των καμπυλών περιόδου επαναφοράς που βασίζονται στις ετήσιες σειρές, σε εκείνες που βασίζονται στις σειρές μερικής-διάρκειας μπορεί να γίνεται με πολλαπλασιασμό των τιμών των ετήσιων σειρών με τους ακόλουθους συντελεστές:

Περίοδος επαναφοράς	2-ετίας	5-ετίας	10-ετίας	20-ετίας
Συντελεστής σχέσης	1,14	1,04	1,01	1,00

2.4.1 Κριτήρια Σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός των συστημάτων αποχέτευσης αρχίζει με την επιλογή της περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού. Παράλληλα με αυτή την επιλογή γίνεται και η επιλογή του ελεύθερου ύψους πάνω από την ανωτάτη στάθμη του ύδατος (ΑΣΥ) που πρέπει να είναι διαθέσιμη για την ασφαλή λειτουργία των τεχνικών έργων (γέφυρες, οχετοί, τάφροι κτλ).

Τα γενικά κριτήρια σχεδιασμού που αφορούν γέφυρες, οχετούς, αντιδιαβρωτικά έργα, τοίχους αντιστήριξης, τάφρους και μικρά κανάλια υφισταμένων διωρύγων, δικτύων στραγγιστικών-αρδευτικών τάφρων και αντιπλημμυρικών έργων, αναφέρονται στον επόμενο Πίνακα 2.4-1. Τα γενικά κριτήρια σχεδιασμού που αφορούν οδούς μικρής κυκλοφορίας αναφέρονται στον Πίνακα 2.4-2. Για το σχεδιασμό των έργων η επιλογή του συνδυασμού «Περίοδος-Επαναφοράς-Έκταση Κατακλυζόμενη» οδοστρώματος συνιστάται να γίνεται με τις υποδείξεις που αναφέρονται στους Πίνακες 2.4-4 και 2.4-5, λαμβάνοντας υπόψη και συνεκτιμώντας την κινδυνότητα που αναλαμβάνεται (βλ. Πίνακα 2.4-3).



Σχήμα 2.4.1-1: Τυπικές καμπύλες «έντασης-περίοδος επαναφοράς» βροχόπτωσης (Το παρόν είναι μόνο υπόδειγμα)

Πίνακας 2.4-1: Γενικά κριτήρια σχεδιασμού

Είδος τεχνικού έργου	Ελεγχόμενα υδραυλικά χαρακτηριστικά	Ελάχιστη περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού [έτη]	Ελάχιστο ελεύθερο ύψος πάνω από ΑΣΥ (1) [m]
1	2	3	4
Γέφυρες	ΑΣΥ* Διάβρωση	50 500 (7)	- Συνήθως 0,60 - για ροές προερχόμενες από δάση 1,00-1,50 (2)
Οχετοί	ΑΣΥ & διάβρωση	βλ. Πίνακα 2.4-2	0,30 (3)
Αντιδιαβρωτικά μέτρα (σε χείμαρρους και υδατορέματα)	ΑΣΥ & διάβρωση	βλ. Πίνακα 2.4-2	0,30 (4)
Τοίχοι αντιστήριξης (5) ύψους <3,00 m	ΑΣΥ & διάβρωση (8)	βλ. Πίνακα 2.4-2	0,30 (4)
Τοίχοι αντιστήριξης ύψους ≥3,00 m	ΑΣΥ Διάβρωση (8)	50 50 έως 500 (6)	0,30 (4)
Τάφροι & μικρά κανάλια (Q<1,5 m^3/s)	ΑΣΥ & διάβρωση	- ΕΜΗΚ<400 βλ. Πίνακα 2.4-2 - ΕΜΗΚ≥400 εφαρμόζεται 10	0,30, ή μέχρι τη στάθμη των ασφαλτικών του οδοστρώματος

* ΑΣΥ: Ανωτάτη Στάθμη Υδάτων

(1) Λαμβάνονται υπόψη η σπουδαιότητα του τεχνικού έργου (π.χ. όταν εξυπηρετεί οδό διαφυγής σε έκτακτες συνθήκες), όπως επίσης οι τυχόν οικολογικές ανάγκες (π.χ. διέλευση πανίδας) και άλλες γεωλογικές ή γεωμορφολογικές συνθήκες.

(2) Ελεύθερο ύψος είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της ανωτάτης επιφάνειας του νερού (κατά την πλημμύρα σχεδιασμού) και της κατώτερης στάθμης του φορέα της γέφυρας. Άλλα συγκεκριμένα μεγαλύτερα ελεύθερα ύψη επιβάλλονται για τη διέλευση σκαφών κάτω από γέφυρες.

(3) Ελεύθερο ύψος είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της ανωτάτης επιφάνειας του νερού (κατά την πλημμύρα σχεδιασμού) και της επιφάνειας του οδοστρώματος.

(4) Ελεύθερο ύψος είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της ανωτάτης επιφάνειας του νερού (κατά την πλημμύρα σχεδιασμού) και της κατώτερης στάθμης του οδοστρώματος (σκάφης της οδού).

(5) Για τοίχους αντιστήριξης τοποθετούμενους κατά μήκος της όχθης ρεμάτων ή της ευρύτερης κοίτης ποταμών.

(6) Όσο το κόστος του τοίχου αντιστήριξης προσεγγίζει το κόστος μίας γέφυρας αντίστοιχου μήκους, τόσο η ελάχιστη περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού για την προστασία από διάβρωση θα πρέπει να προσεγγίζει αντιστοίχως την επιλογή της περιόδου επαναφοράς που εφαρμόζεται για γέφυρες.

(7) Όταν η πλημμυρική παροχή για 500 έτη είναι άγνωστη χρησιμοποιείται η πολλαπλάσια τιμή κατά 1,7 φορές της 100-ετίας.

(8) Η θεμελίωση των τοίχων πρέπει να εδράζεται επί του βραχώδους υποβάθρου ή να γίνεται τόσο βαθιά ώστε να εμποδίζεται η υποσκαφή. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε η θεμελίωση θα πρέπει να προστατεύεται με επένδυση λιθορριπής ή να διαθέτει ελάχιστο συντελεστή ασφαλείας 1,0 για την ελάχιστη πλημμυρική παροχή σχεδιασμού. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί η αντιδιαβρωτική προστασία να παραλείπεται, όπως μπορεί να συμβαίνει όταν υπάρχουν ευνοϊκές μορφολογικές συνθήκες στην περιοχή του ρέματος και συνθήκες φυσικής βλάστησης αλλά και ευνοϊκή οικονομική επικινδυνότητα (π.χ. ο τοίχος είναι μικρού κόστους και υπάρχει μια πολύ μικρή πιθανότητα διάβρωσης) από την καταστροφή του έργου.

Πίνακας 2.4-2: ΕΜΗΚ – Ελάχιστη περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού

Προβλεπόμενη ΕΜΗΚ (1) [ΜΕΑ] (2)	Ελάχιστη περίοδος επαναφοράς [έτη]
0 έως 10	2
11 έως 49	5
50 έως 399	10
400 έως 1499	25
1500 και άνω	25 (50)(3)

(1) Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία

(2) Μονάδες Επιβατηγών Αυτοκινήτων

(3) Εφαρμόζεται σε χαμηλά σημεία της οδού και οπωσδήποτε σε θέσεις όπου προβλέπεται εγκατάσταση αντλιοστασίου

Συνιστάται να λαμβάνεται ως ελάχιστος χρόνος συγκέντρωσης 10 min για την εκτίμηση της βροχόπτωσης σε μέτριες κλίσεις και επιστρωμένες επιφάνειες, ενώ σε επιφάνειες που δε διαθέτουν το χαρακτηριστικό της αποθηκευτικότητας και έχουν κλίσεις μεγαλύτερες από 10% να λαμβάνεται ως ελάχιστη τιμή ίση με 5 min.

Για τον προσδιορισμό του πλέον οικονομικού σχεδιασμού σε γεφυρώσεις ρεμάτων, σε ασυνήθως πολύπλοκες περιπτώσεις, όπως όταν υπάρχει αμφιβολία ως προς τη βέλτιστη περίοδο-επαναφοράς σχεδιασμού, ή όταν φαίνεται ότι το τεχνικό που πρόκειται να κατασκευασθεί αφορά μια μικρής σπουδαιότητας οδό, θα πρέπει να γίνεται μια οικονομική ανάλυση (ονομαζόμενη και ως ανάλυση κόστους-οφέλους ή οφέλους-κινδυνότητας). Μια οικονομική ανάλυση επιτρέπει τη θεώρηση ποικιλίας συνδυασμών της περιόδου-επαναφοράς, της διαστασιολόγησης του τεχνικού, του ύψους του επιχώματος και των συνεπακόλουθων δαπανών από ζημιές κατά τις πλημμύρες που αντιστοίχως προκύπτουν.

Εκτός από την περίπτωση που εκπονείται μια οικονομική ανάλυση, η απόφαση για κάθε γεφύρωση ποταμού ή ρέματος σε συνάρτηση με την περίοδο επαναφοράς σχεδιασμού, θα πρέπει να λαμβάνεται με βάση την υπολογιζόμενη κινδυνότητα. Δηλαδή πρέπει να αξιολογείται η κινδυνότητα που συνεπάγεται η αποδοχή ίσης ή μεγαλύτερης πλημμυρικής παροχής σχεδιασμού η οποία θα συμβαίνει κατά τη διάρκεια της ζωής του τεχνικού. Αυτή η κινδυνότητα εκφράζεται από τη σχέση:

$$p = 1 - (1 - 1/F)^N \qquad (2.4\text{-}1)$$

όπου:

F [έτη] : περίοδος επαναφοράς

N [έτη] : χρόνος ζωής του τεχνικού

p [-] : πιθανότητα υπέρβασης της πλημμυρικής παροχής στη διάρκεια ζωής του τεχνικού

Ένα παράδειγμα, από τον επόμενο Πίνακα 2.4-3 δείχνει ότι υπάρχει πιθανότητα π.χ. 99% κινδυνότητας υπέρβασης της πλημμυρικής παροχής για 10-ετή περίοδο επαναφοράς, μια φορά κατά τη διάρκεια των 50 ετών ζωής ενός οχετού, ή π.χ. πιθανότητα 39% κινδυνότητας υπέρβασης της πλημμυρικής παροχής για 100-ετή περίοδο επαναφοράς, για τον ίδιο

χρόνο ζωής του τεχνικού. Έτσι, ένας οχετός σχεδιασμένος για 10-ετή περίοδο επαναφοράς θα είναι πολύ ευάλωτος για να καταστραφεί κατά τη διάρκεια της ζωής του εκτός εάν, είτε αυτός είναι κλειστού τύπου (κιβωτοειδής) είτε είναι δυνατή, χωρίς καταστροφικές συνέπειες, η υπερπήδηση της οδού από τη ροή κατά τη διάρκεια μεγάλων πλημμύρων.

Πίνακας 2.4-3: Πιθανότητα "p" υπέρβασης της περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού

#	Μέση περίοδος επαναφοράς [έτη]	Πιθανότητα "p" υπέρβασης της περιόδου επαναφοράς μέσα στα "N" έτη ζωής του τεχνικού έργου					
		N=2,33	N=5	N=10	N=25	N=50	N=100
1	2	3	4	5	6	7	8
1	2,33	73%	94%	100%	100%	100%	100%
2	5	41%	67%	89%	100%	100%	100%
3	10	22%	41%	65%	93%	99%	100%
4	25	9%	18%	34%	64%	87%	98%
5	50	5%	10%	18%	42%	64%	87%
6	100	2%	5%	10%	22%	39%	63%
7	1000	<1%	<1%	1%	2%	5%	10%

Οταν στη θέση οχετού σε βαθιές μισγάγγειες, το επίχωμα της οδού είναι υψηλό και το βάθος νερού, για επεισόδιο πλημμύρας 100ετίας, υπερβαίνει τα 6 έως 8 m, τότε το επίχωμα θα λειτουργήσει ως εμπόδιο, επομένως θα πρέπει να διερευνηθεί και εκτιμηθεί ο κίνδυνος στην περίπτωση μιας μεγαλύτερης πλημμύρας ή μιας έμφραξης του οχετού από φερτά. Σε μερικές περιπτώσεις θα πρέπει να εξετάζεται ως εναλλακτικός σχεδιασμός, αντί της κατασκευής μεγάλων τεχνικών έργων ή αλλαγής της μηκοτομής της οδού, η λήψη μέτρων διάφορων ανακουφιστικών μέτρων, με πρόσθετους αγωγούς πάνω από τη στέψη του απαιτούμενου τεχνικού του οποίου οι διαστάσεις έχουν υπολογισθεί με την παροχή σχεδιασμού.

Για σημαντικά τεχνικά έργα, ανεξαρτήτως της χρησιμοποιούμενης περιόδου επαναφοράς για το σχεδιασμό (βλ. Πίνακα 2.4-5), πρέπει να ελέγχονται οι επιπτώσεις, στον περιβάλλοντα χώρο της οδού από τη στάθμη πλημμύρας για μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς. Αυτές οι επιπτώσεις πρέπει να αξιολογούνται στα αρχικά στάδια της μελέτης και να συνεκτιμώνται στην τεχνοοικονομική θεώρηση του έργου.

Πίνακας 2.4-4: Κανόνες επιλογής «Περιόδου Επαναφοράς – Έκτασης Κατακλυζόμενης» για το σχεδιασμό αποχέτευσης οδοστρωμάτων

Λειτουργικά χαρακτηριστικά οδών (βλ. ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ, Πιν. 2-4)			**Περίοδος επαναφ. [έτη]**			**Επιτρεπόμενη έκταση κατακλυσμένη** (3)		
Ομάδα οδών	Κατηγορία οδού / Χαρακτηρισμός οδού		50	25	10	Ερείσματα, ΛΕΑ, ή λωρίδα στάθμευσης	½ Εξωτερικής λωρίδας	Τοπική απόφαση
1	2		3	4	5	6	7	8
A οδοί που διατρέχουν περιοχές εκτός σχεδίου (υπεραστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην εξυπηρέτηση παρόδιων ιδιοκτησιών Σημείωση : Η κατηγορία AI αφορά οδούς σύνδεσης ευρύτερων περιοχών και οι οποίες δεν παρέχουν άμεση εξυπηρέτηση στις παρόδιες ιδιοκτησίες	A I	Αυτοκινητόδρομος (1) Οδός ταχείας κυκλοφορίας (1)	-	√	-	√	-	-
	A II	Οδός μεταξύ νομών/επαρχιών (1)	-	√	-	√	-	-
	A III	Οδός μεταξύ επαρχιών/οικισμών (1)	-	√	-	√	-	-
	A IV	Οδός μεταξύ μικρών οικισμών Συλλεκτήρια οδός (2)	- -	- -	√ √	√ -	- -	- -
	A V	Δευτερεύουσα οδός Αγροτική οδός	- -	- -	√ -	- -	√ -	- √
	AVI	Τριτεύουσα οδός Δασική οδός	- -	- -	√ -	- -	√ -	- √
B οδοί που διατρέχουν περιοχές εντός σχεδίου (ημιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην εξυπηρέτηση των παρόδιων ιδιοκτησιών Σημείωση : Οι οδοί κατηγορίας BI και BII δεν παρέχουν άμεση εξυπηρέτηση στις παρόδιες ιδιοκτησίες	B I	Αστικός αυτοκινητόδρομος (1)	-	√	-	√	-	-
	B II	Αστική οδός ταχείας κυκλοφορίας (1)	-	√	-	√	-	-
	B III	Αστική αρτηρία	-	√	-	√	-	-
	B IV	Κύρια συλλεκτήρια οδός	-	√	-	√	-	-
Γ οδοί που διατρέχουν περιοχές εκτός ή εντός σχεδίου (περιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με δυνατότητα εξυπηρέτησης των παρόδιων ιδιοκτησιών	Γ III	Αστική αρτηρία	-	√	-	√	-	-
	Γ IV	Κύρια συλλεκτήρια οδός	-	√	-	√	-	-
Δ οδοί σε περιοχές εντός σχεδίου (αστικές) με βασική λειτουργία την πρόσβαση	Δ IV	Συλλεκτήρια οδός	-	√	-	√	-	-
	Δ V	Τοπική οδός	-	√	-	-	√	-
E οδοί σε περιοχές εντός σχεδίου (αστικές) με βασική λειτουργία την παραμονή	E V	Τοπική οδός	-	√	-	-	-	√
	E VI	Τοπική οδός κατοικιών	-	√	-	-	-	√
Γενική παρατήρηση: Σε όλες τις οδούς με χαμηλά σημεία όπου απαιτείται αντλιοστάσιο			√	-	-	ότι και στα συνεχόμενα τμήματα της ίδιας οδού		

(1) περιλαμβάνονται συνδετήριοι κλάδοι και άλλοι κύριοι κλάδοι κόμβων

(2) περιλαμβάνονται δευτερεύουσας σημασίας κλάδοι κόμβων

(3) βλ. και κεφάλαιο 10, “αποχέτευση καταστρώματος γεφυρών”

Πίνακας 2.4-5 : Κανόνες επιλογής τυπικής περιόδου επαναφοράς για διαστασιολόγιση οχετών και γεφυρών

Λειτουργικά χαρακτηριστικά οδών			Περίοδος επαναφοράς [έτη]	
Ομάδα οδών	Κατηγορία οδού / Χαρακτηρισμός οδού		Οχετός με συνολικό άνοιγμα ≤6 m	Γέφυρες και οχετοί με συνολικό άνοιγμα >6 m
1	2		3	4
A	οδοί που διατρέχουν περιοχές εκτός σχεδίου (υπεραστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην εξυπηρέτηση παρόδιων ιδιοκτησιών Σημείωση : Η κατηγορία AI αφορά οδούς σύνδεσης ευρύτερων περιοχών και οι οποίες δεν παρέχουν άμεση εξυπηρέτηση στις παρόδιες ιδιοκτησίες	A I	Αυτοκινητόδρομος	50	100
			Οδός ταχείας κυκλοφορίας		
		A II	Οδός μεταξύ νομών/επαρχιών		
		A III	Οδός μεταξύ επαρχιών/οικισμών	25	50
		A IV	Οδός μεταξύ μικρών οικισμών. Συλλεκτήρια οδός		
		A V	Δευτερεύουσα οδός. Αγροτική οδός	10	25
		AVI	Τριτεύουσα οδός. Δασική οδός		
B	οδοί που διατρέχουν περιοχές εντός σχεδίου (ημιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην εξυπηρέτηση των παρόδιων ιδιοκτησιών Σημείωση : Οι οδοί κατηγορίας BI και BII δεν παρέχουν άμεση εξυπηρέτηση στις παρόδιες ιδιοκτησίες	B I	Αστικός αυτοκινητόδρομος	50	100
		B II	Αστική οδός ταχείας κυκλοφορίας		
		B III	Αστική αρτηρία		
		B IV	Κύρια συλλεκτήρια οδός		
Γ	οδοί που διατρέχουν περιοχές εκτός ή εντός σχεδίου (περιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με δυνατότητα εξυπηρέτησης των παρόδιων ιδιοκτησιών	Γ III	Αστική αρτηρία	25	50
		Γ IV	Κύρια συλλεκτήρια οδός		
Δ	οδοί σε περιοχές εντός σχεδίου (αστικές) με βασική λειτουργία την πρόσβαση	Δ IV	Συλλεκτήρια οδός		
		Δ V	Τοπική οδός		
E	οδοί σε περιοχές εντός σχεδίου (αστικές) με βασική λειτουργία την παραμονή	E V	Τοπική οδός		
		E VI	Τοπική οδός κατοικιών		

Σημειώσεις

Συνολικό άνοιγμα ορίζεται το άθροισμα των επιμέρους ανοιγμάτων διαμέτρων αντιστοίχως για γέφυρες πολλαπλών ανοιγμάτων ή πολύξιμων οχετών είτε ορθογωνικής είτε κυκλικής ή άλλου σχήματος διατομής.

Οι αναγραφόμενες περίοδοι επαναφοράς θα πρέπει να αναπροσαρμόζονται ανάλογα με τα κριτήρια:

α. οι συνέπειες από πλημμύρες στη γειτονική περιοχή είναι ασυνήθως σοβαρές (π.χ. να εξετάζονται οι συνέπειες για περίοδο επαναφοράς 100ετίας σε οχετούς και γέφυρες),

β. η κατηγορία της οδού πρόκειται να αναβαθμισθεί ή υποβαθμισθεί μετά την κατασκευή,

γ. η οδός εξυπηρετεί εξαιρετικά μικρούς κυκλοφοριακούς φόρτους.

2.4.2 Σχέση έντασης βροχόπτωσης με ορατότητα

Με πειραματικές έρευνες που έγιναν αποδείχθηκε ότι βροχόπτωση με λιγότερη από 50 mm/h η ορατότητα του οδηγού περιορίζεται στα 450-1800 m. Η εξίσωση που συσχετίζει την ένταση βροχόπτωσης με την ορατότητα του οδηγού και την ταχύτητα του οχήματος (Ivey, et al., 1975) είναι:

$$S_V=352\ 000/(i^{0,68}\ V) \qquad (2.4.2\text{-}1)$$

όπου:

S_V [m] : η ορατότητα οδηγού

i [mm/h] : η ένταση βροχόπτωσης

V [km/h] : η ταχύτητα οχήματος

Με την εν λόγω εξίσωση μπορεί να υπολογίζεται η ένταση βροχόπτωσης η οποία αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο μήκος ορατότητας. Δηλαδή αντικαθιστώντας το S_V με το ελάχιστο μήκος ορατότητας για κάθε ταχύτητα διαπιστώνεται εάν ο οδηγός υπό συγκεκριμένη ένταση βροχής μπορεί να οδηγεί με τη συγκεκριμένη ταχύτητα. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι περιττή πολυτέλεια η αποφυγή του κατακλυσμού μέρους των κυκλοφορούμενων λωρίδων υπό συνθήκες μεγάλης έντασης βροχόπτωσης (≥100 mm/h). Οι τιμές της έντασης που είναι κρίσιμες για κάθε ταχύτητα οχήματος περιλαμβάνονται στον επόμενο Πίνακα 2.4.2-1.

Πίνακας 2.4.2-1: Κρίσιμες τιμές έντασης βροχόπτωσης - Ταχύτητας οχήματος

Ταχύτητα οχήματος V [km/h]	Απαιτούμενο μήκος ορατότητας στάσης* S_V [m]	Μέγιστη ένταση βροχόπτωσης** i [mm/h]
1	2	3
120	243	≤184
110	205	≤154
100	170	≤127
90	138	≤103

* μήκος ορατότητας σε κατά μήκος κλίση 0% (βλ. ΟΜΟΕ-Χ)

** αυτή εξασφαλίζει το ελάχιστο μήκος ορατότητας για την ταχύτητα οχημάτων της στήλης (1)

Οταν λοιπόν συντρέχουν τέτοια δεδομένα, δηλαδή η παροχή σχεδιασμού προκύπτει με ένταση βροχόπτωσης i≥100 mm/h, θα πρέπει να συμφωνείται μεταξύ Μελετητή και Υπηρεσίας, ποιο είναι το αποδεκτό πλάτος κατακλυσμού (μέρος λωρίδας κυκλοφορίας ή ολόκληρη). Σε αυτοκινητόδρομο π.χ. ανάλογα με τον αριθμό λωρίδων κυκλοφορίας για την εξεταζόμενη κατεύθυνση:

- Κατεύθυνση με 3 λωρίδες
  Επιτρέπεται ο κατακλυσμός, είτε ολόκληρης της εσωτερικής (πλευρά της κεντρικής νησίδας) λωρίδας, είτε μέρους της εξωτερικής λωρίδας πλάτους μέχρις 1 m.
- Κατεύθυνση με 2 λωρίδες

Επιτρέπεται ο κατακλυσμός πλάτους μέχρις 1 m, είτε της εξωτερικής, είτε της εσωτερικής λωρίδας, ή ακόμη και ολόκληρης της εσωτερικής λωρίδας όταν η «στάθμη εξυπηρέτησης» (LOS) της κυκλοφορίας δεν υποβαθμίζεται κάτω από τη στάθμη D για φόρτο ίσο με το 8% της ΕΜΗΚ (Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία).

Για όλες αυτές τις αποφάσεις πρέπει να επιβεβαιώνεται ότι στη μελέτη οδοποιίας έχει γίνει ο απαιτούμενος έλεγχος ορατότητας για στάση και ότι με βάση αυτόν έχει προσδιορισθεί το πλάτος του σταθεροποιημένου ερείσματος στην πλευρά της κεντρικής νησίδας (όταν αυτή υλοποιείται με στηθαία NJ).

2.4.3 Σχέση έντασης βροχόπτωσης με συνθήκες υδροολίσθησης

Η πρόληψη της υδρολίσθησης βασίζεται σε κριτήρια που αφορούν στο σχεδιασμό του οδοστρώματος και της γεωμετρίας της χάραξης για την ελαχιστοποίηση του φαινομένου. Μια εμπειρική εξίσωση για την ταχύτητα του οχήματος που προκαλεί την έναρξη της υδρολίσθησης είναι (Gallaway, et al., 1979):

$$V_a = SD^{0,04} P_t^{0,3} (TD+1)^{0,06} A_T \qquad (2.4.3\text{-}1)$$

όπου:

A_T : μια εμπειρική καμπύλη που προσομοιάζει στη μεγαλύτερη από τις δυο τιμές:

$$A_{T1} = \frac{10,409}{d^{0,06}} + 3,507, \quad ή \quad A_{T2} = \left[\frac{28,952}{d^{0,06}} - 7,817\right] TXD^{0,14} \qquad (2.4.3\text{-}2)$$

όπου (η εξίσωση είναι γραμμένη σε αγγλοσαξωνικές μονάδες):

V	[mi/h]	:	η ταχύτητα του οχήματος
TD	[1/32 in]	:	το βάθος πέλματος ελαστικού
TXD	[in]	:	το βάθος της υφής της επιφάνειας κυκλοφορίας
d	[in]	:	το πάχος του υμένα του νερού
P_t	[psi]	:	η πίεση του ελαστικού
SD	[-]	:	ποσοστό «σπιναρίσματος», η υδροολίσθηση θεωρείται ότι αρχίζει στο 10% του σπιναρίσματος. Αυτό συμβαίνει όταν ο τροχός περιστρέφεται 1,1 φορές του μήκους της περιφέρειας του προκειμένου να προχωρήσει σε μήκος όσο είναι το μήκος της περιφέρειας του τροχού.

Πρακτικώς υπολογίζεται η ένταση της βροχόπτωσης στην οποία συμβαίνει η υδροολίσθηση όπως περιγράφεται στην §7.3.1.

2.5 Ορθολογική Μέθοδος

2.5.1 Εξίσωση και παραδοχές

Μια από τις πλέον συνήθεις εξισώσεις για την εκτίμηση της μέγιστης ροής είναι η εξίσωση της ορθολογικής μεθόδου:

$$Q = CiA/3,6 \qquad (2.5.1\text{-}1)$$

όπου:

Q [m^3/s]	:	Μέγιστη τιμή ποσότητας απορροής
C [-]	:	Συντελεστής απορροής που εξαρτάται από την κάλυψη της λεκάνης απορροής
i [mm/h]	:	Μέση ένταση βροχόπτωσης, για επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια ίση προς το χρόνο συγκέντρωσης
A [km^2]	:	Επιφάνεια λεκάνης, που συνεισφέρει την απορροή της στο σημείο υπό μελέτη

Η ορθολογική εξίσωση προϋποθέτει ότι εάν μια ομοιόμορφη βροχόπτωση έντασης "i" πέφτει επάνω σε μια έκταση μεγέθους "A", η μέγιστη τιμή απορροής στο σημείο εξόδου της αποχετευόμενης έκτασης θα συμβαίνει όταν όλα τα μέρη της έκτασης συνεισφέρουν στην απορροή, οπότε ο ρυθμός απορροής γίνεται σταθερός. Ο απαιτούμενος χρόνος για να φθάσει η απορροή από το πλέον απομακρυσμένο (υδραυλικώς) σημείο (από το οποίο ο χρόνος ροής είναι ο μέγιστος) της αποχετευόμενης έκτασης στο σημείο εξόδου της ή στο εξεταζόμενο σημείο, ονομάζεται χρόνος συγκέντρωσης "t_c".

Στην πραγματικότητα η απορροή είναι περισσότερο σύνθετη από ότι δείχνεται με την ορθολογική εξίσωση. Η ένταση της βροχόπτωσης σπανίως είναι η ίδια στην έκταση μιας μεγάλης επιφάνειας ή ακόμη σε όλη τη χρονική διάρκεια μιας βροχόπτωσης. Ακόμη και αν συμβαίνει μια βροχόπτωση ομοιόμορφης έντασης με διάρκεια ίση με το χρόνο συγκέντρωσης σε όλα τα μέρη της αποχετευόμενης λεκάνης απορροής, η τιμή της απορροής θα ποικίλει στα διάφορα μέρη της λεκάνης, επειδή υπάρχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους και μη ομοιόμορφες προηγούμενες συνθήκες (π.χ. μπορεί σε μέρος της λεκάνης το έδαφος να είναι ήδη κορεσμένο σε σχέση με τα άλλα μέρη αυτής).

Κάτω από ορισμένες συνθήκες η μέγιστη τιμή της απορροής συμβαίνει προτού όλα τα μέρη της λεκάνης να συνεισφέρουν τα νερά τους. Η προσωρινή αποθήκευση των ομβρίων στη διαδρομή τους προς καθορισμένες τάφρους αλλά και μέσα σε αυτές τις ίδιες, συνεπάγεται μια αξιοσημείωτη μείωση στη μέγιστη παροχή της ροής, εκτός αν η λεκάνη είναι πολύ μικρής έκτασης. Το σφάλμα στην εκτίμηση της απορροής αυξάνεται καθώς το μέγεθος της λεκάνης αυξάνεται. Για αυτούς τους λόγους, η ορθολογική μέθοδος θα πρέπει να ακολουθείται προκειμένου να προσδιορίζεται η τιμή της απορροής από μεγάλες λεκάνες απορροής. Για το σχεδιασμό των έργων αποχέτευσης της οδού, η χρήση της ορθολογικής μεθόδου θα πρέπει να περιορίζεται για λεκάνες έκτασης μέχρι 0,8 km^2.

Η χρήση της ορθολογικής μεθόδου προϋποθέτει τις παραδοχές που συνοπτικά είναι:

(1) Η μέγιστη ροή (αιχμή πλημμύρας) συμβαίνει όταν όλη η λεκάνη συνεισφέρει τα νερά της στο εξεταζόμενο σημείο.

(2) Η ένταση βροχόπτωσης είναι ομοιόμορφη στη διάρκεια χρόνου ίσου με το χρόνο συγκέντρωσης, ο οποίος είναι ο απαιτούμενος χρόνος για το νερό να ταξιδεύσει από το πλέον υδραυλικώς απομακρυσμένο σημείο στο σημείο εξόδου ή στο σημείο που ενδιαφέρει. Σημειώνεται ότι το πλέον υδραυλικώς απομακρυσμένο σημείο προσδιορίζεται από το χρόνο ροής και όχι απαραιτήτως από την απόσταση του από την εξεταζόμενη θέση.

(3) Η συχνότητα της υπολογιζόμενης αιχμής πλημμύρας είναι ίση με τη συχνότητα της έντασης της βροχόπτωσης. Με άλλα λόγια, η 10-ετής ένταση βροχόπτωσης θεωρείται ότι παράγει τη 10-ετή πλημμύρα.

(4) Ο ρυθμός της απορροής που προκύπτει από οποιαδήποτε ένταση βροχής είναι μέγιστος όταν αυτή η βροχή διαρκεί τόσο ή περισσότερο από τον χρόνο συγκέντρωσης.

(5) Η μέγιστη απορροή προκύπτει από μια ένταση βροχόπτωσης με μια διάρκεια ίση ή μεγαλύτερη από το χρόνο συγκέντρωσης, δηλαδή είναι απόσπασμα μιας τέτοιου μεγέθους έντασης βροχόπτωσης, εφόσον υποτίθεται ότι η παροχή είναι ανάλογη της έντασης και ότι Q=0 όταν i=0.

(6) Η συχνότητα των αιχμών παροχής είναι ή ίδια με την συχνότητα της έντασης βροχόπτωσης για το δεδομένο χρόνο συγκέντρωσης.

(7) Η σχέση μεταξύ των αιχμών παροχής και του μεγέθους της επιφάνειας αποχέτευσης είναι ίδια όπως και η σχέση μεταξύ της διάρκειας και της έντασης βροχόπτωσης.

(8) Ο συντελεστής απορροής είναι ίδιος για καταιγίδες με διαφορετικές εντάσεις.

(9) Ο συντελεστής απορροής είναι ίδιος για όλες τις βροχοπτώσεις σε μια δεδομένη λεκάνη απορροής».

Η ορθολογική μέθοδος συνιστάται υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις και εφόσον υπάρχουν τα δεδομένα που απαιτούνται.

Προϋποθέσεις	**Απαιτούμενα δεδομένα**
• μικρή λεκάνη επιφάνειας $\leq$0,8 (max1,3) km^2 (για αστικές λεκάνες επιφάνεια $\leq$2 km^2)	• μέγεθος επιφάνειας λεκάνης
• χρόνος συγκέντρωσης t<1 ώρα	• χρόνος συγκέντρωσης
• διάρκεια βροχόπτωσης $\geq$t	
• βροχόπτωση ομοιομόρφως κατανεμημένη στο χρόνο και στο χώρο	• ένταση βροχόπτωσης
• απορροή περιλαμβάνει κυρίως διάχυτη επιφανειακή ροή	• συντελεστής απορροής
• αμελητέα αποθηκευτικότητα σε τάφρους	

2.5.2 Συντελεστής απορροής

Ο συντελεστής απορροής "*C*" στην ορθολογική εξίσωση αντιπροσωπεύει το ποσοστό των νερών που θα διασχίσουν την επιφάνεια της αποχετευόμενης λεκάνης, κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης, και θα φτάσουν στο εξεταζόμενο σημείο συγκέντρωσης της ροής. Το υπολειπόμενο ποσοστό της βροχόπτωσης που δε φτάνει (χάνεται) στο σημείο συγκέντρωσης συντίθεται από τα μέρη των νερών που διηθούνται στο έδαφος, απορροφούνται από τη βλάστηση, εξατμίζονται και κατακρατούνται στις επιφανειακές κοιλότητες ή γενικά στα χαμηλά σημεία της επιφάνειας του εδάφους.

Σε περιοχές εκτός ανάπτυξης (οδοί υπεραστικές-Ομάδα Οδών Α, οδοί περιαστικές-Ομάδα Οδών Γ, βλ. ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ), το πεδίο των τιμών του συντελεστή απορροής "*C*", καθορίζεται με βάση τα τέσσερα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους που είναι:

- το ανάγλυφο,
- η διηθητικότητα,
- η φυτική κάλυψη και
- η αποθηκευτική ικανότητα σε χαμηλά σημεία της επιφάνειας του εδάφους.

Ο συντελεστής απορροής υπολογίζεται ως το άθροισμα των επιμέρους συντελεστών C_r, C_i, C_v, C_s που λαμβάνονται από τον Πίνακα 2.5.2-2 και αντιστοιχούν στα προαναφερόμενα τέσσερα χαρακτηριστικά της επιφάνειας εδάφους της εξεταζόμενης λεκάνης.

Σε περιοχές αναπτυγμένες ο συντελεστής απορροής λαμβάνεται από τον επόμενο Πίνακα 2.5.2-3.

Παρατήρηση:

Οι συντελεστές των εν λόγω πινάκων έχουν εφαρμογή σε υπολογισμούς για περιόδους επαναφοράς 5-10 έτη. Για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς δηλαδή, υψηλότερες εντάσεις βροχόπτωσης, συνήθως απαιτείται διόρθωση των τιμών των πινάκων επειδή η διηθητικότητα καθώς και τα άλλα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της αποχετευόμενης λεκάνης τα οποία απομειώνουν την απορροή έχουν μια αναλογικά μικρότερη επίδραση στο συνολικό όγκο της απορροής. Η διόρθωση της εξίσωσης της ορθολογικής μεθόδου επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας τον υπολογιζόμενο συντελεστή "C" με το συντελεστή C_f (βλ. Πίνακα 2.5.2-1) διατηρώντας όμως σε κάθε περίπτωση ως μέγιστη τιμή του αποτελέσματος του πολλαπλασιασμού C x C_f = 1,0.

Πίνακας 2.5.2-1: Συντελεστής διόρθωσης αναλόγως με περίοδο επαναφοράς

Περίοδος επαναφοράς	25	50	100
Συντελεστής διόρθωσης C_f	1,10	1,20	1,25

Παράδειγμα

Δεδομένα:	Λύση:	
α. Λοφώδες έδαφος με κλίσεις ~5%	Ανάγλυφο	C_r=0,14
β. αργιλικό έδαφος	Διηθητικότητα	C_i=0,08
γ. καλή χοοκάλυψη	Φυτική κάλυψη	C_v=0,04
δ. συνήθεις ταπεινώσεις επιφάνειας	Αποθηκευτικότητα	C_s=0,06
Για περίοδο επαναφοράς 10-ετη	Συντελεστής	
		"C"=0,32

Πίνακας 2.5.2-2: Συντελεστές απορροής σε λεκάνες εκτός αναπτυγμένων περιοχών

Χαρακτηριστικά επιφάνειας εδάφους		Τιμές συντελεστή απορροής			
		ακραίες	υψηλές	συνήθεις	χαμηλές
#	1	2	3	4	5
1	C_r Ανάγλυφο εδάφους	0,28 - 0,35 επικλινές, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις >30%	0,20 - 0,28 λοφώδες, με μέσες κλίσεις 10-30%	0,14 - 0,20 κυματώδες με μέσες κλίσεις 5-10%	0,08 - 0,14 σχετικά επίπεδο, με μέσες κλίσεις 0-5%
2	C_i Διηθητικότητα εδάφους	0,12 - 0,16 μη επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες είτε μανδύας λεπτόκκοκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	0,08 - 0,12 βραδείας διηθητικότητας, άργυλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	0,06 - 0,08 κανονικής διηθητικότητας καλά αποστραγγιζόμενο μικρής ή μεσαίας μακροϋφής εδάφη, αμμώδη παχιά εδάφη, ιλύες και ιλυώδη εδάφη	0,04 - 0,06 υψηλής διηθητικότητας βαθιά άμμος ή άλλο έδαφος που απορροφά το νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη
3	C_v Φυτική κάλυψη εδάφους	0,12-0,16 βλάστηση που δεν επηρεάζει, γυμνό ή πολύ αραιά κάλυψη	0,08-0,12 πτωχή έως μέτρια, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης, λιγότερο από 20% της αποχετευόμενης επιφάνειας με καλή κάλυψη	0,06-0,08 μέτρια έως καλή, περίπου 50% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, λιγότερο από 50% επιφάνειας είναι καλλιέργειες	0,04-0,06 καλή έως άριστη, περίπου 90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
4	C_s Αποθηκευτικότητα επιφάνειας εδάφους	0,10-0,12 αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς, διάδρομοι αποστράγγισης επικλινείς και μικροί, καθόλου τέλματα	0,08-0,10 χαμηλή, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα	0,06-0,08 κανονική, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα	0,04-0,06 υψηλή, αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών ή τελμάτων

Σημείωση:

Για περίοδο επαναφοράς >10-ετη εφαρμόζεται στις προαναφερόμενες τιμές διόρθωση πολλαπλασιάζοντας αυτές με το συντελεστή C_f, όμως σε κάθε περίπτωση ως μέγιστη τιμή του αποτελέσματος του πολλαπλασιασμού λαμβάνεται C x C_f = 1,0 (βλ. Πίνακα 2.5.2-1).

Πίνακας 2.5.2-3: Συντελεστής απορροής λεκανών αναπτυγμένων περιοχών

Είδος επιφάνειας εδάφους		Τιμές συντελεστή "C"
#	1	2
1	Περιοχή επιχειρήσεων:	
	α. κέντρο πόλης	0,70 – 0,95
	β. έκταση γειτονίας	0,50 – 0,70
2	Περιοχή κατοικίας:	
	α. μονοκατοικίες	0,30 – 0,50
	β. πολυκατοικίες πανταχόθεν ελεύθερες	0,40 – 0,50
	γ. πολυκατοικίες συνεχούς συστήματος	0,60 – 0,75
3	Περιοχή βιομηχανίας:	
	α. ελαφριάς	0,50 – 0,80
	β. βαριάς	0,60 – 0,90
4	Πάρκα, Κοιμητήρια:	0,10 – 0,25
5	Αθλοπαιδιές:	0,20 – 0,40
6	Υπαίθριοι χώροι σιδηροδρομικών σταθμών:	0,20 – 0,40
7	Αδιαμόρφωτες επιφάνειες:	0,10 – 0,30
8	Επιφάνειες γκαζόν:	
	α. αμμώδες έδαφος, επίπεδων κλίσεων <2%	0,05 – 0,10
	β. αμμώδες έδαφος, μέσων κλίσεων 2-7%	0,10 – 0,15
	γ. αμμώδες έδαφος, εντόνων κλίσεων >7%	0,15 – 0,20
	δ. σύνηθες έδαφος, επίπεδων κλίσεων <2%	0,13 – 0,17
	ε. σύνηθες έδαφος, μέσων κλίσεων 2-7%	0,18 – 0,25
	ζ. σύνηθες έδαφος, εντόνων κλίσεων >7%	0,25 – 0,35
9	Επιφάνειες οδοστρώματος Οδών:	
	α. Οδόστρωμα ασφαλτικό	0,70 – 0,95
	β. Οδόστρωμα σκυροδέματος	0,80 – 0,95
	γ. Οδόστρωμα πλακολίθων	0,70 – 0,85
	δ. Οδόστρωμα αμμοχαλίκου	0,75 – 0,85
10	Σκεπές κτισμάτων:	0,75 – 0,95

Σημείωση:

Για περίοδο επαναφοράς >10-ετη εφαρμόζεται στις προαναφερόμενες τιμές διόρθωση πολλαπλασιάζοντας αυτές με το συντελεστή C_f, όμως σε κάθε περίπτωση ως μέγιστη τιμή του αποτελέσματος του πολλαπλασιασμού λαμβάνεται C x C_f = 1,0 (βλ. Πίνακα 2.5.2-1).

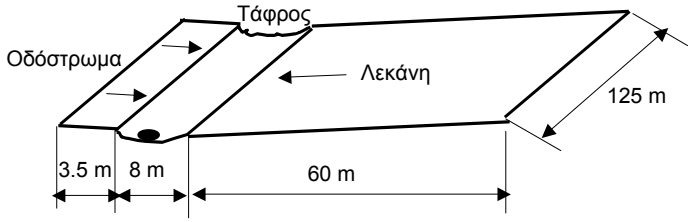
Όπου η λεκάνη απορροής συντίθεται από διαφορετικά είδη εδάφους, ο συντελεστής απορροής υπολογίζεται ως ο μέσος συντελεστής των διαφορετικών τμημάτων της λεκάνης (βλ. παράδειγμα πρόβλημα 2.1 που ακολουθεί). Εντούτοις η ακρίβεια της ορθολογικής μεθόδου είναι καλύτερη όταν η χρήση γης είναι ενιαία σε όλη την έκταση της λεκάνης. Συνθήκες ουσιαστικής διαφοράς χρήσεων γης μπορεί να οδηγήσουν σε ασυνεπείς εκτιμήσεις του χρόνου συγκέντρωσης και ως εκ τούτου της έντασης, καθώς και σε σφάλματα στον προσδιορισμό του πλέον κατάλληλου “C”.

2.5.3 Χρόνος συγκέντρωσης

Ο χρόνος συγκέντρωσης, όπως ορίζεται προηγουμένως, ποικίλει αναλόγως με το μέγεθος και το σχήμα της λεκάνης απορροής, την κλίση του εδάφους, το είδος της επιφάνειας, την ένταση της βροχόπτωσης, καθώς και το εάν η ροή διαχέεται σε όλη την επιφάνεια ή γίνεται μέσα σε τάφρους. Ο χρόνος συγκέντρωσης μπορεί να θεωρείται ως το άθροισμα του χρόνου της ροής επάνω στην επιφάνεια του εδάφους και των χρόνων της ροής μέσα σε ρείθρα τάφρους, υπονόμους, κτλ.

Πρακτικώς, ο χρόνος συγκέντρωσης είναι ο χρόνος που ταξιδεύει ένα κύμα, καθώς ανθίσταται στην ταχύτητα του νερού, από το πλέον υδραυλικώς απομακρυσμένο σημείο μέχρι τη θέση που εξετάζεται. Εντούτοις, οι αβεβαιότητες για την πραγματική διαδρομή της ροής στην επιφάνεια του εδάφους, η τραχύτητα, η κλίση και οι μεταβολές της βροχόπτωσης (χρονικά και χωρικά) εμποδίζουν τόσο για τη διάκριση όσο και για την ακρίβεια οποιουδήποτε υπολογισμού. Η εξαιρετική ακρίβεια δεν μπορεί να είναι εγγυημένη κατά τον προσδιορισμό του χρόνου συγκέντρωσης, ειδικά για την μελέτη εγκαταστάσεων αποχέτευσης μικρών επιφανειών. Εντούτοις, επειδή η παροχή αιχμής είναι γενικά ευαίσθητη ως προς το χρόνο συγκέντρωσης, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή εάν από τον υπολογισμό αυτό αποκτάται η καταλληλότερη τιμή.

Παράδειγμα πρόβλημα 2.1



Δεδομένα: Μια τάφρος ποδός συλλέγει την απορροή από το οδόστρωμα και μια πλευρική λεκάνη απορροής. Η συνεισφέρουσα έκταση έχει μια ομοιόμορφη διατομή ως εξής:

3,50 m	ασφαλτικού οδοστρώματος
8,00 m	συνολικό πλάτος επιφάνειας αμμοχάλικου που είναι το έρεισμα και η τάφρος με τα πρανή της
60,00 m	δασωμένη εξωτερική λεκάνη
125,00 m	συνολικό μήκος της επιφάνειας

Ζητούμενα: Ο συντελεστής απορροής C

Λύση:

Είδος επιφάνειας	C [-]	Επιφάνεια E [m^2]	Ανηγμένη Επιφάνεια C x E [m^2]
Ασφαλτικό οδόστρωμα	0,9	438	394
Έρεισμα, τάφρος και τα πρανή της	0,5	1 000	500
Δασωμένη λεκάνη απορροής	0,3	7 500	2 250
Άθροισμα		8 938	3 144

Μέσος σταθμισμένος συντελεστής C=3 144/8 938=0,35

Για την εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης υπάρχει ένα πλήθος από εμπειρικές εξισώσεις. Όταν η αποχετευόμενη επιφάνεια περιλαμβάνει διαφορετικές διαδρομές ροής, ο χρόνος συγκέντρωσης είναι το άθροισμα των επιμέρους χρόνων που υπολογίζονται για κάθε διαδρομή του νερού. Ο χρόνος διαδρομής στο ρείθρο στον υπόνομο και στην τάφρο τυπικώς εκτιμάται από τη βασική υδραυλική εξίσωση t=απόσταση/ταχύτητα. Η ταχύτητα σε αβαθείς συγκεντρώσεις ροής μπορεί να εκτιμάται από το διάγραμμα του Σχήματος 2.5.3-1.

Η εξίσωση της κινηματικής των κυμάτων

Για ροή διάχυτη επάνω στην επιφάνεια του εδάφους, η πλέον ορθή προσέγγιση υπολογισμού βασίζεται στη θεωρεία της κινηματικής των κυμάτων:

$$t = 6{,}92 \frac{n^{0,6}\, L^{0,6}}{i^{0,4}\, S^{0,3}} \qquad (2.5.3\text{-}1)$$

όπου:

- t [min] : ο χρόνος συγκέντρωσης
- L [m] : το μήκος επιφανειακής ροής, η λεκάνη πρέπει να έχει μήκος <91 m, προσφάτως η έρευνα υποδεικνύει μικρότερα μήκη ~30 m,
- n [$s/m^{1/3}$] : ο συντελεστής τραχύτητας του Manning, για επιστρωμένες επιφάνειες η τιμή “n” συνήθως λαμβάνεται όπως για λείες επιφάνειες (π.χ. 0,016)
- i [mm/h] : η ένταση βροχόπτωσης
- S [m/m] : η μέση κλίση της επιφάνειας απορροής

Η επίλυση αυτής της εξίσωσης γίνεται με παλινδρομική διαδικασία επειδή τόσο ο χρόνος συγκέντρωσης όσο και ο χρόνος βροχόπτωσης είναι άγνωστοι. Όταν εφαρμόζεται η εξίσωση σε ροή επιφάνειας με χλόη η τιμή του “*n*” είναι πολύ μεγάλη (π.χ. 0,5). Αυτό είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη για μεγάλες σχετικά τιμές τραχύτητας που προκύπτουν από το γεγονός ότι η ροή γίνεται ανάμεσα στη χλόη και όχι επάνω σε αυτή όπως είναι η περίπτωση της ροής μέσα σε τάφρους με χλόη.

Προκειμένου να αποφεύγεται η διαδικασία της παλινδρόμησης για την επίλυση της προαναφερόμενης εξίσωσης επιτρέπεται να χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$t_c = \frac{5{,}48 \times n^{0,8} \times L^{0,8}}{P_2^{0,5} \times S^{1,3}} \qquad (2.5.3\text{-}2)$$

όπου:

P_2 [mm] : το ύψος βροχόπτωσης 24ωρου για 2-ετή περίοδο επαναφοράς

Οι λοιπές παράμετροι όπως ορίζονται προηγουμένως

Η εξίσωση αυτή δεν είναι πάντα προφανής όταν συμβαίνουν αλλαγές στη ροή δηλαδή περιλαμβάνεται ροή επάνω στην επιφάνεια αλλά και ροή σε αβαθείς συγκεντρώσεις. Εάν μια μικρή τάφρος ή άλλη συγκεντρωμένη ροή δεν είναι προφανής ότι συμβαίνει, τότε είναι λογικό να υποτεθεί μια μέγιστη επιφανειακή ροή επί μήκους 130 m. Ως γενικός κανόνας, εάν ο συνολικός χρόνος συγκέντρωσης είναι μικρότερος από 5 λεπτά, μια ελάχιστη τιμή των 5 λεπτών θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού.

Πίνακα 2.5.3-1: Συντελεστές τραχύτητας "n" Manning για διάχυτη επιφανειακή ροή

#	**Επιστρωμένες επιφάνειες**	"n"
1	Ομαλή άσφαλτος	0,011
2	Ομαλό σκυρόδεμα	0,012
3	Επένδυση σκυροδέματος	0,013
4	Καλή ξύλινη επιφάνεια	0,014
5	Πλακόστρωτα με τσιμεντοκονίαμα	0,014
6	Ραβδωτό σκυρόδεμα	0,024
7	Χέρσο έδαφος	0,050

#	**Καλλιεργούμενα εδάφη**	"n"
8	Υπόλοιπο κάλυψης ≤20%	0,06
9	Υπόλοιπο κάλυψης >20%	0,17
10	Φυσική κάλυψη	0,13
#	**Χλοοκάλυψη**	
11	Λιβάδια ελάχιστου ύψους χλόης	0,15
12	Πυκνή	0,24
13	Γκαζόν	0,41
#	**Δασικές εκτάσεις**	
14	Αραιών θάμνων	0,40
15	Πυκνών θάμνων	0,80

Η εξίσωση Kirpich

Συνδυασμένος χρόνος συγκέντρωσης από επιφανειακή και εντός μισγαγγειών ροή. Μια χονδρική προσέγγιση του συνολικού χρόνου συγκέντρωσης για μια αποχετευόμενη λεκάνη απιδοειδούς σχήματος μπορεί να υπολογίζεται με την εφαρμογή της εξίσωσης Kirpich:

$$t_c = 3{,}97\ (L^3/H)^{0,385} \qquad (2.5.3\text{-}3)$$

όπου:

t_c [min] : χρόνος συγκέντρωσης

L [m] : η οριζόντια προβολή του μήκους της λεκάνης

H [m] : η υψομετρική διαφορά μεταξύ του απώτατου σημείου και του εξεταζόμενου σημείου όπου τα νερά διανύουν το μήκος L

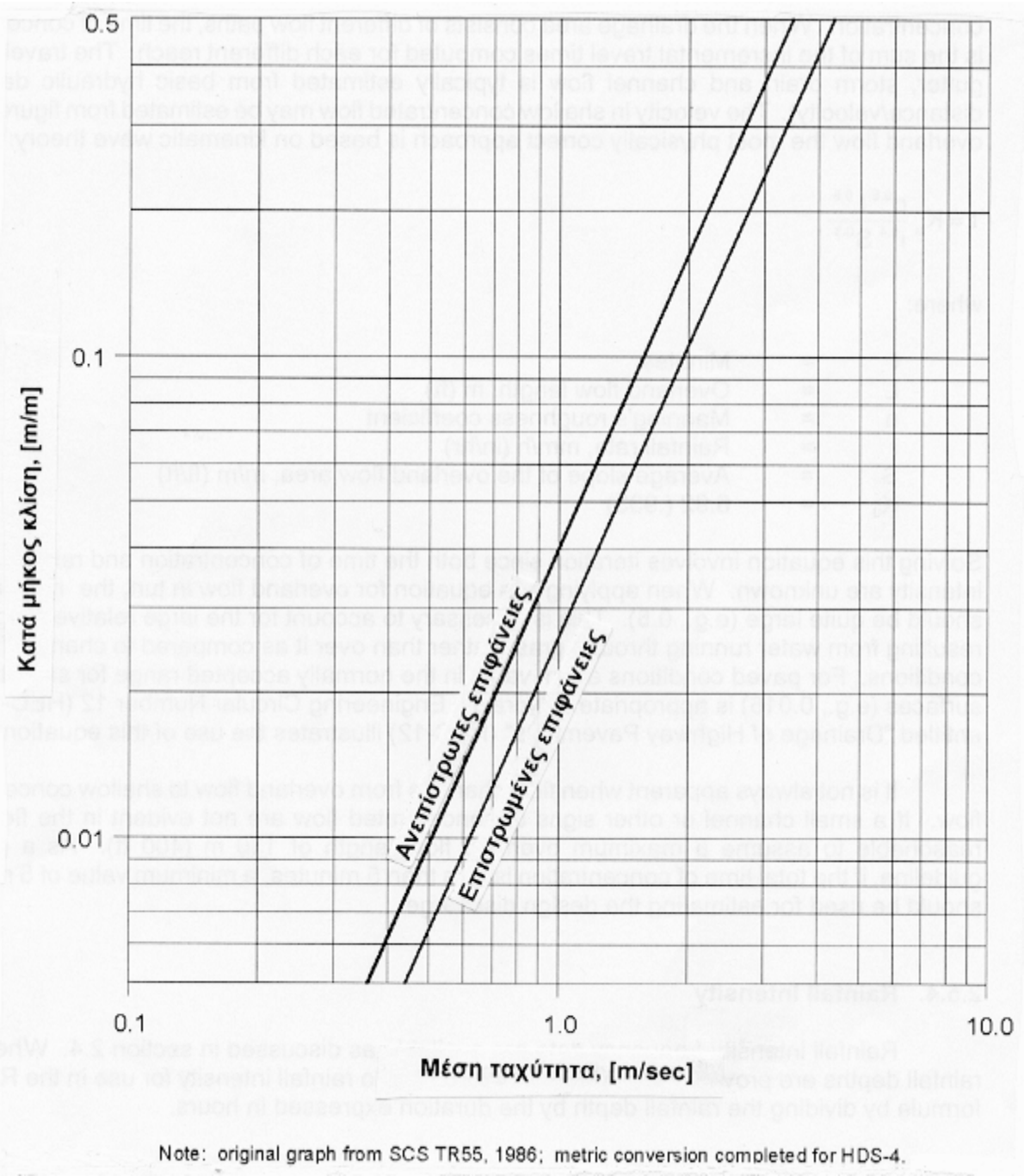
Υπολογισμός χρόνου συγκέντρωσης σε επιφάνεια οδοστρώματος

Ο υπολογισμός του χρόνου συγκέντρωσης για ροή επάνω σε αβαθή τάφρο ή ρείθρο (Gutter) οδοστρώματος μπορεί να γίνεται από την εξίσωση που προκύπτει από το συνδυασμό της εξίσωσης Manning και της ορθολογικής εξίσωσης:

$$t_g = 0{,}58 \frac{S_x T^2}{Ci\, W_p} \qquad (2.5.3\text{-}4)$$

όπου:

t_g	[min]	:
S_x	[m/m]	: η κλίση
T	[m]	: πλάτος νερού
C	[-]	: συντελεστής απορροής
i	[m/h]	: ένταση
W_p	[m]	: πλάτος οδοστρώματος που συνεισφέρει στη ροή



Σχήμα 2.5.3-1: Μέσες ταχύτητες για τον υπολογισμό του χρόνου διαδρομής σε αβαθείς συγκεντρώσεις ροής

2.5.4 Ένταση Βροχόπτωσης

Τα δεδομένα έντασης βροχόπτωσης – περιόδου επαναφοράς προαναφέρονται στην § 2.4. Όταν παρέχονται τα συνολικά ύψη βροχόπτωσης αυτές οι τιμές μετατρέπονται σε ένταση βροχόπτωσης, για χρήση στην ορθολογική εξίσωση, διαιρώντας το ύψος βροχόπτωσης με τη διάρκεια εκφρασμένη σε ώρες.

2.5.5 Αποχετευόμενη Επιφάνεια

Η αποχετευόμενη επιφάνεια που συνεισφέρει στη ροή μέχρι την εξεταζόμενη θέση, μπορεί να μετρηθεί από τοπογραφικό χάρτη ή ακόμη και στο πεδίο. Τα απαιτούμενα δεδομένα για τον προσδιορισμό του χρόνου συγκέντρωσης και του συντελεστή απορροής θα πρέπει να σημειώνονται κατά την προκαταρκτική έρευνα πεδίου.

Υπολογισμός μέσης κλίσης λεκάνης

Μία μέθοδος μέτρησης της μέσης κλίσης της επιφάνειας μιας λεκάνης αναπτύχθηκε από τον Horton (1926). Αυτή περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός καννάβου επάνω στο χάρτη ισοϋψών καμπυλών της λεκάνης και τη μέτρηση του μήκους κάθε γραμμή του καννάβου μέσα στα όρια της λεκάνης. Μετράται ο αριθμός των σημείων τομής με τις ισοϋψείς. Κατόπιν η κλίση της επιφάνειας υπολογίζεται από τον τύπο:

$S = N \cdot h \cdot \sec\theta / L$

όπου:

- N [-] : ο αριθμός των σημείων τομής των ισοϋψών με τις γραμμές του καννάβου
- θ [r] : η γωνία μεταξύ της πλευράς του καννάβου και της καθέτου στην ισοϋψή στο σημείο τομής (βλ. λεπτομέρεια στο Σχήμα 2.5.5-1)
- L [m] : συνολικό μήκος των οριζόντιων και κάθετων τμημάτων του καννάβου που αποτέμνονται ανάμεσα στα όρια της λεκάνης
- h [m] : η υψομετρική διαφορά μεταξύ των ισοϋψών καμπυλών

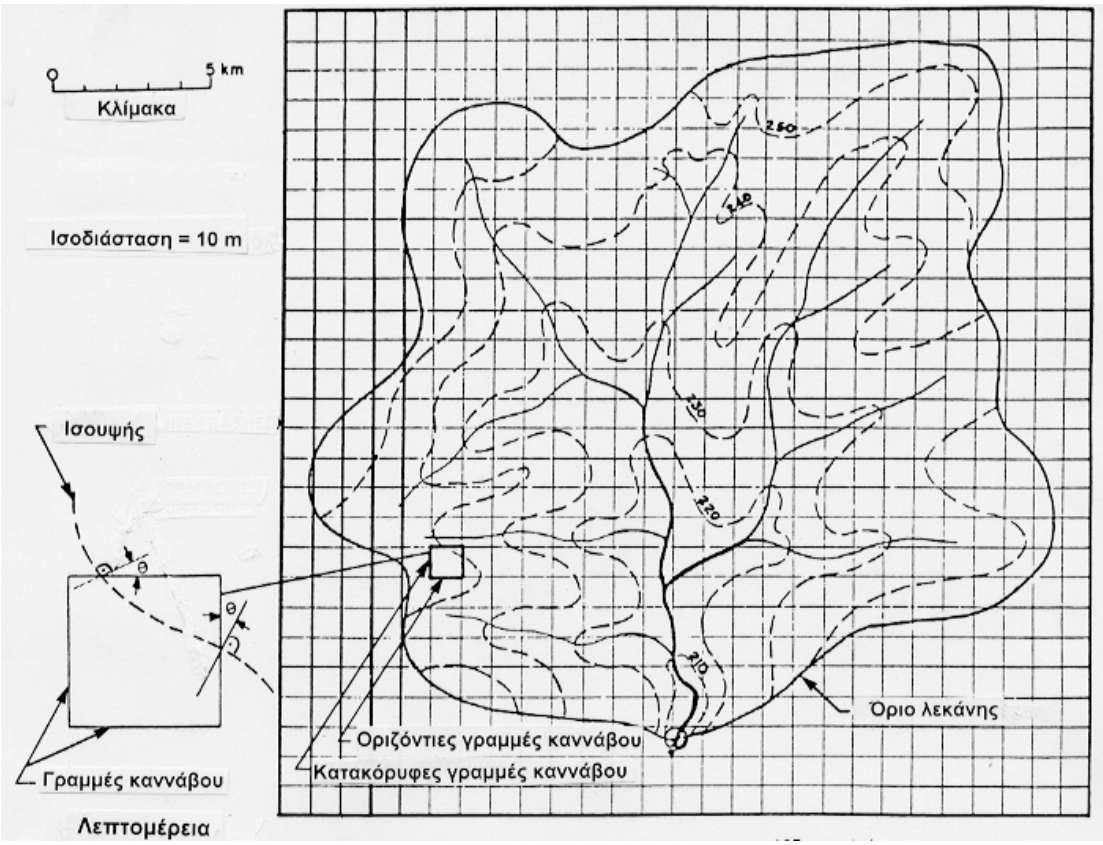
Επειδή η μέτρηση των γωνιών είναι εξαιρετικά χρονοβόρα συνήθως παραλείπεται, οπότε τα αποτεμνόμενα τμήματα από τις οριζόντιες και κατακόρυφες γραμμές του καννάβου μετρώνται χωριστά και από το μέσο όρο αυτών υπολογίζεται η κλίση της επιφάνειας. Η εν λόγω απλοποιημένη μέθοδος δείχνεται στο επόμενο παράδειγμα με βάση το Σχήμα 2.5.5-1.

Η όλη διαδικασία πρέπει να γίνεται ηλεκτρονικά δηλαδή:

α. γίνεται ηλεκτρονική σάρωση χάρτη 1:5 000 της ΓΥΣ ή και άλλης κλίμακας εφόσον δεν υπάρχει τέτοιος,

β. σχεδιάζονται τα όρια της λεκάνης και αυτή εμβαδομετρείται ηλεκτρονικά,

γ. γίνονται οι μετρήσεις που προαναφέρονται για τον υπολογισμό της μέσης κλίσης.



Σχήμα 2.5.5-1: Παράδειγμα προσδιορισμού της μέσης κλίσης της λεκάνης με κατάλληλη μέθοδο

Ισοδιάσταση ισοϋψών 10 m

Πλήθος τομών ισοϋψών με τις κατακόρυφες γραμμές καννάβου N_V = 137

Πλήθος τομών ισοϋψών με τις οριζόντιες γραμμές καννάβου N_H = 138

Συνολικό μήκος αποτεμνόμενων κατακόρυφων γραμμών L_V = 81 000 m

Συνολικό μήκος αποτεμνόμενων οριζόντιων γραμμών L_H = 79 000 m

$$S_V = \frac{137 \times 10}{81000} = 0{,}0169\,\text{m/m} \quad S_H = \frac{138 \times 10}{79000} = 0{,}0175\,\text{m/m}$$

Μέση κλίση επιφάνειας S= (0,0169+0,0175)/2=0,0172 m/m

2.5.6 Υπολογισμός Παροχής Σχεδιασμού Σύνθετων Αποχετευόμενων Επιφανειών

Η ορθολογική μέθοδος για μια απλή αποχετευόμενη επιφάνεια παρουσιάζεται στο παράδειγμα πρόβλημα 2.2 που ακολουθεί. Για άλλα σημεία κατά μήκος μιας τάφρου η παροχή σχεδιασμού υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το υδραυλικώς μακρύτερο χρόνο διαδρομής μέχρι το σημείο όπου πρόκειται να προσδιορισθεί η παροχή.

Σε μερικούς συνδυασμούς αποχετευομένων επιφανειών, είναι δυνατόν η μέγιστη τιμή της απορροής να συμβεί για την υψηλότερη ένταση βροχόπτωσης σε χρονικό διάστημα μικρότερο από το χρόνο συγκέντρωσης που αφορά τη συνολική επιφάνεια, όταν ακόμα μόνο μέρος της αποχετευόμενης επιφάνειας συνεισφέρει. Αυτό μπορεί να συμβεί όταν ένα μέρος της αποχετευόμενης επιφάνειας έχει πολύ μεγάλη αδιαπερατότητα και η συνεισφορά του δίνεται σε ένα μικρό χρόνο συγκέντρωσης, ενώ ένα άλλο μέρος που είναι διαπερατό συνεισφέρει σε πολύ περισσότερο χρόνο συγκέντρωσης. Εκτός από τις περιπτώσεις που οι επιφάνειες ή οι χρόνοι συγκέντρωσης είναι ουσιαστικώς εκτός ισομετρίας, η ακρίβεια της μεθόδου δεν εγγυάται τον έλεγχο της αιχμής της ροής από ένα μόνο μέρος της αποχετευόμενης επιφάνειας. Ειδικώς αυτό είναι αληθές για σχετικώς μικρές αποχετευόμενες επιφάνειες που έχουν σχέση με εγκαταστάσεις αποχέτευσης οδοστρώματος οδών.

Παράδειγμα πρόβλημα 2.2

Δεδομένα: Η συνεισφέρουσα επιφάνεια όπως περιγράφεται στο παράδειγμα πρόβλημα 2.1 (βλ. §2.5.1)

Ο σταθμισμένος συντελεστής είναι C=0,35 και η τάφρος έχει μήκος 125 m με κλίση 0,5%.

Ζητούμενα: Η παροχή για μια 10-ετή περίοδο επαναφοράς στη θέση στομίου υδροσυλλογής κοντά στο χαμηλότερο σημείο της παρόδιας τάφρου.

Λύση: Ο χρόνος διαδρομής στην επιφάνεια λαμβάνεται από την εξίσωση (2.5.3-1). Το μήκος της επιφανειακής ροής είναι 60 m, η τιμή n=0,5 και η κλίση S=0,005 m/m. Η ένταση βροχόπτωσης αρχικά υποτίθεται ότι είναι 55 mm/h.

$$t = 6{,}92 \frac{0{,}5^{0,6}\, 60^{0,6}}{55^{0,4}\, 0{,}005^{0,3}} = 53\,\text{min}$$

Από τις καμπύλες του Σχήματος 2.4-1 η ένταση βροχόπτωσης για διάρκεια 53 min και 10-ετή περίοδο επαναφοράς είναι περίπου 50 mm/h, η οποία είναι ίση περίπου με την αρχικώς υποτεθείσα ένταση i=55 mm/h για τον υπολογισμό του t. Για την τάφρο μήκους 125 m ο χρόνος διαδρομής θα εκτιμηθεί με βάση τη μέση ταχύτητα και τη διανυόμενη απόσταση. Από το Σχήμα 2.5.3-1 η μέση ταχύτητα για μια ανεπίστρωτη επιφάνεια με αβαθή συγκεντρωμένη ροή είναι περίπου 0,35 m/s για μια κλίση 0,005 m/m. Για την τάφρο των 125 m ο χρόνος διαδρομής είναι:

t_{ch} = 125/0,35 = 357s = 6 min

Ο συνολικός χρόνος συγκέντρωσης είναι:

t_c = 6 + 53 = 59 min

Από τις καμπύλες του Σχήματος 2.4-1 η ένταση της βροχόπτωσης για 10-ετή περίοδο επαναφοράς και για χρόνο συγκέντρωσης 59 min είναι περίπου 47 mm/h.

Η υπολογιζόμενη παροχή (από όλη την επιφάνεια 8 938 m^2=8 938 · 10^{-6} km^2) στο σημείο εξόδου της τάφρου είναι:

$Q = 0,35 \cdot 47 \cdot 8\,938 \cdot 10^{-6}/3,6 = 0,041\ m^3/s$

2.6 Μέθοδοι Παλινδρόμησης

2.6.1 Επισκόπηση μεθόδων παλινδρόμησης

Τοπικές εξισώσεις παλινδρόμησης συνήθως χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της αιχμής ροών σε περιοχές άνευ δεδομένων μετρήσεων ή σε περιοχές με ανεπαρκή δεδομένα. Οι τοπικές εξισώσεις παλινδρόμησης συσχετίζουν την αιχμή ροής για μια συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς με τα φυσιογραφικά, υδρολογικά και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Οι σχέσεις παλινδρόμησης στηρίζονται κυρίως σε δεδομένα μετρήσεων, αλλά μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν αναλυτικά προβλεπόμενες εκτιμήσεις παροχών οι οποίες είναι μέρος μιας βάσης δεδομένων και χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη μιας δεδομένης εξίσωσης.

2.6.2 Τοπικές εξισώσεις παλινδρόμησης

Εξισώσεις υπολογισμού της έντασης βροχόπτωσης σε σχέση με το χρόνο διάρκειας έχουν αναπτυχθεί για τις ανάγκες τοπικών έργων είτε αστικών περιοχών είτε τμημάτων αυτοκινητοδρόμων, μέχρι σήμερα για αρκετές περιοχές της χώρας. Βεβαίως δεν έχει γίνει κάποια συνολική επεξεργασία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτών των εργασιών από αρμόδιο κεντρικό φορέα. Ως εκ τούτου προκύπτει ότι είναι στη διακριτική ευχέρεια της ενδιαφερόμενης Υπηρεσίας να υιοθετεί ή να εντέλλεται την ανάθεση σχετικών υδρολογικών μελετών. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια των εξισώσεων μπορεί να είναι συζητήσιμη επειδή επιπλέον σε ορισμένες περιπτώσεις τα βροχομετρικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται δεν είναι πάντα τα απαιτούμενα κυρίως σε βάθος χρόνου αλλά και θέσεων των σταθμών μετρήσεων.

2.6.3 Εξισώσεις παλινδρόμησης αστικών περιοχών

Η εκτίμηση της παροχής αιχμής σε αστικές περιοχές γίνεται με εξισώσεις για διάφορες περιόδους επαναφοράς. Οι εξισώσεις αυτές πρέπει να αναπτύσσονται για περίοδο επαναφοράς 2-, 5-, 25-, 50-, 100- και 500-ετή.

2.7 Λογισμικό Ανάλυσης - Σχεδιασμού

Για την ανάλυση και σχεδιασμό της αποχέτευσης οδών μπορεί να χρησιμοποιείται λογισμικό που έχει αναπτυχθεί από τη FHWA. Το λογισμικό αυτό είναι ελεύθερης χρήσης και θεωρείται ως το πλέον καταλληλότερο για την ολοκλήρωση των ποικίλων υδρολογικών και υδραυλικών αναλύσεων. Όμως στη διεθνή αγορά κυκλοφορούν και άλλα λογισμικά εξίσου ή και καλύτερα ως προς τη χρήση τους. Έτσι σήμερα επιβάλλεται η μελέτη αποχέτευσης να εκπονείται με τη βοήθεια αποδεδειγμένως αξιόπιστων προγραμμάτων Η/Υ.

2.8 Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα

2.8.1 Εισαγωγή

Το υδρογράφημα (hydrograph) είναι η συνεχής γραφική παράσταση της παροχής, *"Q"*, ενός υδατορεύματος σε μια συγκεκριμένη διατομή στη διάρκεια του χρόνου, *"t"*. Το υδρο-

γράφημα μπορεί να προκύψει από την απευθείας μετατροπή της στάθμης του υδατορέματος (που στη διάρκεια ενός πλημμυρικού επεισοδίου καταγράφεται σε συνεχή χρόνο από ένα αυτόματο καταγραφικό όργανο της στάθμης που ονομάζεται σταθμηγράφος) σε παροχή βάσει των καμπυλών στάθμης - παροχής (stage - discharge curves). Αυτές οι καμπύλες προκύπτουν από τις υδρομετρήσεις, δηλαδή τις περιοδικές αλλά ταυτόχρονες μετρήσεις στάθμης και παροχής και την προσαρμογή τους σε μια εξίσωση της μορφής:

$Q=a(H-H_o)^b$

Οπου, *a* και *b* είναι οι παράμετροι που προκύπτουν από την προσαρμογή της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων στους φυσικούς λογάριθμους της παροχής *"Q"* και της στάθμης *"H"*. Η στάθμη *"H_o"* αναφέρεται στη στάθμη αναφοράς για την οποία $Q = 0$.

Σε υδατορέματα για τα οποία δεν υπάρχουν καθόλου μετρήσεις της παροχής ούτε συνεχείς καταγραφές της στάθμης, η μετατροπή της βροχής σε απορροή μπορεί να γίνει είτε μέσω κατάλληλα προσαρμοσμένων μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης της απορροής είτε μέσω της διόδευσης του πλημμυρικού κύματος στην υπόψη διατομή σε περίπτωση που στο ίδιο υδατόρεμα αλλά σε άλλη θέση υπάρχει εγκατάσταση μέτρησης της στάθμης.

Σε περιπτώσεις κατασκευής τεχνικών έργων κοντά στην κοίτη ενός υδατορέματος (π.χ. υπολογισμός ύψους γέφυρας, σχεδιασμός αντιπλημμυρικής τάφρου αυτοκινητόδρομου) ενδιαφέρει άμεσα το υδρογράφημα της πλημμύρας σχεδιασμού ή πλημμυρογράφημα σχεδιασμού (design hydrograph) του τεχνικού έργου που συνδέεται άμεσα με την βροχόπτωση σχεδιασμού (design storm). Ως βροχόπτωση σχεδιασμού (αντιστοίχως: πλημμύρα σχεδιασμού) αναφέρεται συνήθως η βροχόπτωση (αντιστοίχως: παροχή) εκείνη της οποίας το συνολικό ύψος (αντιστοίχως: αιχμή παροχής[1]) έχει μια συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς, *"T"*. Αυτό σημαίνει ότι θα παρουσιαστεί ύψος βροχόπτωσης μεγαλύτερο από εκείνο της βροχόπτωσης σχεδιασμού κατά μέσο όρο μία φορά στα *"T"* χρόνια της ζωής του έργου. Αντίστοιχα η πιθανότητα υπέρβασης, *p*, του ύψους της βροχόπτωσης σχεδιασμού σε ένα δεδομένο έτος θα είναι ίση με $1/T$. Για παράδειγμα, αν γίνει η εκτίμηση της βροχόπτωσης σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς $T = 20$ έτη, δηλαδή θα έχουμε υπέρβαση κατά μέσο όρο μία φορά στα 20 έτη, τότε η πιθανότητα υπέρβασης για κάθε δεδομένο έτος θα είναι $p = 1/20 = 0.05$. Θα πρέπει να κατανοηθεί ότι το μέγεθος της περιόδου επαναφοράς είναι μόνο στατιστικό. Για παράδειγμα, δεν σημαίνει ότι θα γίνει υπέρβαση της βροχόπτωσης σχεδιασμού μόνο μια φορά στα 20 έτη, αλλά μπορεί να συμβαίνει και κάθε χρόνο καθώς η αντίστοιχη πιθανότητα είναι ίση με 5%.

Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι η περίοδος επαναφοράς της βροχόπτωσης σχεδιασμού δεν είναι ίση με την περίοδο επαναφοράς της πλημμύρας σχεδιασμού (π.χ. πλημμυρική αιχμή) κυρίως λόγω της επίδρασης των υδρολογικών απωλειών (κατακράτηση, διήθηση) που γενικά είναι διαφορετικές σε κάθε πλημμυρικό επεισόδιο. Σημειώνεται ότι η υιοθέτηση της περιόδου επαναφοράς της βροχόπτωσης σχεδιασμού είναι προτιμότερη από τον απευθείας υπολογισμό της περιόδου επαναφοράς της πλημμυρικής αιχμής δεδομένου ότι τα δεδομένα βροχόπτωσης αποτελούν στατιστικό δείγμα με μεγαλύτερη χρονική

(1) Για το σχεδιασμό αντιπλημμυρικών έργων χρησιμοποιείται ως μέγεθος αναφοράς η πλημμυρική αιχμή ενώ για κάποιους άλλους λόγους θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ο όγκος της απορροής (π.χ. σχεδιασμός δεξαμενών κατακράτησης).

διάρκεια και πληρότητα καταγραφών ακόμα και στην περίπτωση εκείνη που υπάρχει θέση μέτρησης των παροχών στο υπόψη υδατόρεμα.

Η μετατροπή της βροχόπτωσης σχεδιασμού σε πλημμυρογράφημα σχεδιασμού μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, στην περίπτωση που υπάρχουν μετρήσεις της απορροής στην υπόψη θέση του υδατορέματος ή όχι. Στην περίπτωση ύπαρξης μετρήσεων της απορροής ιστορικών πλημμυρικών επεισοδίων (γεγονός όχι και τόσο διαδεδομένο στην Ελλάδα), η μετατροπή της βροχόπτωσης σχεδιασμού σε πλημμύρα σχεδιασμού μπορεί να γίνει με την κατασκευή και την εφαρμογή του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος "ΜΥ" (unit hydrograph) που προκύπτει από την ανάλυση αρκετών ιστορικών καταιγίδων και πλημμυρών της ανάντη λεκάνης απορροής για την υπόψη θέση. Σε υδατορέματα που δεν υπάρχουν μετρήσεις της παροχής, το μοναδιαίο υδρογράφημα κατασκευάζεται με βάση παραμέτρους που αφορούν σε γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Οι παράμετροι αυτοί έχουν προκύψει από την ανάλυση λεπτομερών καταγραφών βροχόπτωσης της ανάντη υδρολογικής λεκάνης και πλημμυρικής απορροής σε διάφορες λεκάνες άλλων χωρών κυρίως των ΗΠΑ. Το "ΜΥ" της μορφής αυτής ονομάζεται συνθετικό "ΜΥ" (synthetic unit hydrograph).

Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα "ΜΥ" είναι το απλούστερο εμπειρικό υδρολογικό μοντέλο μετατροπής της βροχόπτωσης σε απορροή. Αναπαριστά την απορροή που προκύπτει από καθαρή (ή ενεργή ή ωφέλιμη) βροχόπτωση μοναδιαίου ύψους μέσα σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Η χρήση και η εφαρμογή του "ΜΥ" στη σύνθεση των πλημμυρογραφημάτων μιας λεκάνης απορροής έμμεσα προϋποθέτει τις παραδοχές:

α. Η ωφέλιμη βροχόπτωση κατανέμεται ομοιόμορφα στη λεκάνη απορροής και η ένταση είναι σταθερή στο χρονικό διάστημα *"Δt"*.

β. Το ΜΥ αποτελεί ένα γραμμικό μοντέλο. Με άλλα λόγια, διπλασιασμός του όγκου της ωφέλιμης βροχόπτωσης προκαλεί επίσης διπλασιασμό των τιμών του υδρογραφήματος.

γ. Το υδρογράφημα που προκύπτει από ένα συγκεκριμένο τμήμα της ωφέλιμης βροχόπτωσης είναι ανεξάρτητο από τη διάρκεια της βροχόπτωσης όσο και από την προηγούμενη βροχόπτωση.

δ. Ωφέλιμη βροχόπτωση ίδιας διάρκειας θα προκαλέσει υδρογραφήματα με ίδιους χρόνους βάσης ανεξάρτητα από την ένταση της βροχόπτωσης.

Η σύνθεση του πλημμυρογραφήματος από το "ΜΥ" και το ενεργό υετογράφημα γίνεται βάσει της εξίσωσης:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \le M} P_m \, U_{n-m+1} \qquad (2.8.1\text{-}1)$$

όπου:

Q_n : η τεταγμένη του πλημμυρογραφήματος στο χρόνο *"ηΔt"*

P_m : η καθαρή βροχόπτωση στο χρονικό διάστημα από $m\Delta t$ έως $(m+1)\Delta t$,

M : ο συνολικός αριθμός των τμηματικών βροχοπτώσεων

U_{n-m+1} : η τεταγμένη του "ΜΥ" στο χρόνο *(n-m+1)Δt*.

Το Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Λόγω της γενικότερης απουσίας μετρήσεων των πλημμυρικών απορροών στην Ελλάδα (γεγονός που απαγορεύει την απευθείας κατασκευή του "ΜΥ"), χρησιμοποιούνται τα συνθετικά "ΜΥ" της λεκάνης απορροής. Το συνθετικό "ΜΥ" χρησιμοποιείται σε λεκάνες απορροής χωρίς μετρήσεις και συσχετίζει τις παραμέτρους του "ΜΥ" με κάποια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής. Το πιο γνωστό συνθετικό "ΜΥ" είναι εκείνο που αναπτύχθηκε από τη Soil Conservation Service (SCS) των ΗΠΑ και οι παράμετροί του δίνονται σε αδιάστατη μορφή ως ποσοστά του χρόνου ανόδου και της παροχής αιχμής (*Chow et al.*, 1988). Πλήρης περιγραφή του συνθετικού "ΜΥ" της SCS δίνεται στην Παράγραφο 2.8.2.4.

2.8.2 Εκτίμηση πλημμύρας σχεδιασμού

2.8.2.1 Γενική μεθοδολογία

Για την κατάρτιση των πλημμυρογραφημάτων σχεδιασμού ακολουθούνται τα εξής 4 στάδια:

α. Με βάση την τιμή του ύψους της βροχόπτωσης σχεδιασμού καταρτίζεται το υετογράφημα σχεδιασμού,

β. Καταρτίζεται το ωφέλιμο (καθαρό) υετογράφημα σχεδιασμού και υπολογίζονται οι υδρολογικές απώλειες κατά τη μετατροπή της βροχής σε απορροή,

γ. Καταρτίζεται το (συνθετικό) μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης απορροής του τεχνικού έργου,

δ. Υπολογίζεται το πλημμυρογράφημα σχεδιασμού και η τιμή της αιχμής της πλημμύρας σχεδιασμού.

2.8.2.2 Υπολογισμός βροχόπτωσης σχεδιασμού

Γενικά

Σε περιπτώσεις αντιπλημμυρικής προστασίας των τεχνικών έργων είναι απαραίτητη η προϋπόθεση της καταγραφής της επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής σε μικρό χρονικό βήμα της τάξης των 5 min έως της 1 h ανάλογα με την περίπτωση. Σε μια τέτοια περίπτωση είναι ιδιαιτέρως χρήσιμη η κατασκευή των όμβριων καμπυλών ή καμπυλών έντασης - διάρκειας βροχόπτωσης (intensity-duration-frequency curves) για διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς. Η κατασκευή των όμβριων καμπυλών γίνεται από στατιστική ανάλυση των μεγίστων τιμών βροχόπτωσης για διάφορες διάρκειες με βάση το διατιθέμενο δείγμα μετρήσεων και την προσαρμογή μιας στατιστικής κατανομής ακροτάτων (π.χ. κατανομή Gumbel, κατανομή Pareto). Στην Ελλάδα έχουν εξαχθεί οι όμβριες καμπύλες για ένα σημαντικό ποσοστό των βροχομετρικών σταθμών με δεδομένα βροχογράφου και θα είναι διαθέσιμες από την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ) όταν αυτή θα λειτουργήσει σε επιχειρησιακή μορφή.

Ύψος βροχόπτωσης

Το συνολικό ύψος της βροχόπτωσης σχεδιασμού προκύπτει από τις όμβριες καμπύλες αφού πρώτα έχουν αποφασιστεί οι τιμές της διάρκειας της βροχόπτωσης και της περιόδου επαναφοράς. Η τιμή της περιόδου επαναφοράς αποφασίζεται με βάση τη σπουδαιότητα

του έργου και των ενδεχόμενων καταστροφών από μια πιθανή αστοχία. Γενικά οι τιμές της κυμαίνονται από 5 έτη (κατασκευή τάφρων αυτοκινητόδρομων) έως 10000[(2)] έτη για τον σχεδιασμό υπερχειλιστών φραγμάτων.

Διάρκεια βροχόπτωσης

Η επιλογή της διάρκειας βροχόπτωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική. Γενικά η διάρκεια της βροχόπτωσης σχεδιασμού πρέπει να είναι τουλάχιστο ίση με το χρόνο συρροής της λεκάνης ώστε να «πιάνουμε» την πλημμυρική αιχμή. Συνήθως λαμβάνεται ως πολλαπλάσια τιμή των 3h ή των 6h. Χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα οι *Levy and McCuen* (1999) απέδειξαν ότι οι 24ωρες βροχοπτώσεις είναι μια ικανοποιητική διάρκεια για λεκάνες απορροής στο Maryland των ΗΠΑ επιφάνειας από 5 σε 130 km^2. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι 24ωρες βροχοπτώσεις είναι μια λογική επιλογή για λεκάνες απορροής στις οποίες οι διάρκειες βροχόπτωσης είναι υψηλότερες από τους χρόνους συρροής.

Υετογράφημα σχεδιασμού

Έχουν δημοσιευτεί πολλές μελέτες στις οποίες αποδεικνύεται ότι η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης είναι σημαντική για το παραγόμενο πλημμυρογράφημα. Πράγματι, δύο βροχοπτώσεις με ίδιο ύψος αλλά με διαφορετική κατανομή στην ίδια διάρκεια δίνουν διαφορετικά πλημμυρογραφήματα. Η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης σχεδιασμού γίνεται με βάση δύο μεθόδους: τις καταιγίδες σχεδιασμού και τις όμβριες καμπύλες.

Οι καταιγίδες σχεδιασμού είναι παραμετρικά υετογραφήματα με βάση ιστορικά παρατηρημένες βροχοπτώσεις σε περιοχές με εντελώς διαφορετικό υδρολογικό καθεστώς από εκείνο της Ελλάδας. Τέτοιες καταιγίδες σχεδιασμού είναι οι καμπύλες του Huff, η βροχόπτωση κατά SCS και άλλες (Chow et al., 1988). Αντίθετα τα υετογραφήματα που προκύπτουν από τις όμβριες καμπύλες υπερτερούν σε σχέση με τις τυποποιημένες βροχοπτώσεις σχεδιασμού γιατί χρησιμοποιούνται αποκλειστικά δεδομένα της περιοχής μελέτης και όχι δεδομένα που έχουν προκύψει για άλλες λεκάνες με διαφορετικό υδρολογικό και μετεωρολογικό καθεστώς.

Παρακάτω προτείνεται η εξής μέθοδος κατάρτισης του υετογραφήματος της βροχόπτωσης σχεδιασμού:

Υπολογίζονται τα τμηματικά ύψη βροχόπτωσης Pi που δίνονται από τη σχέση:

$$P_i = h(i\Delta) - h((i-1)\Delta) \text{ με } i = 2,...,M \qquad (2.8.2.2\text{-}1)$$

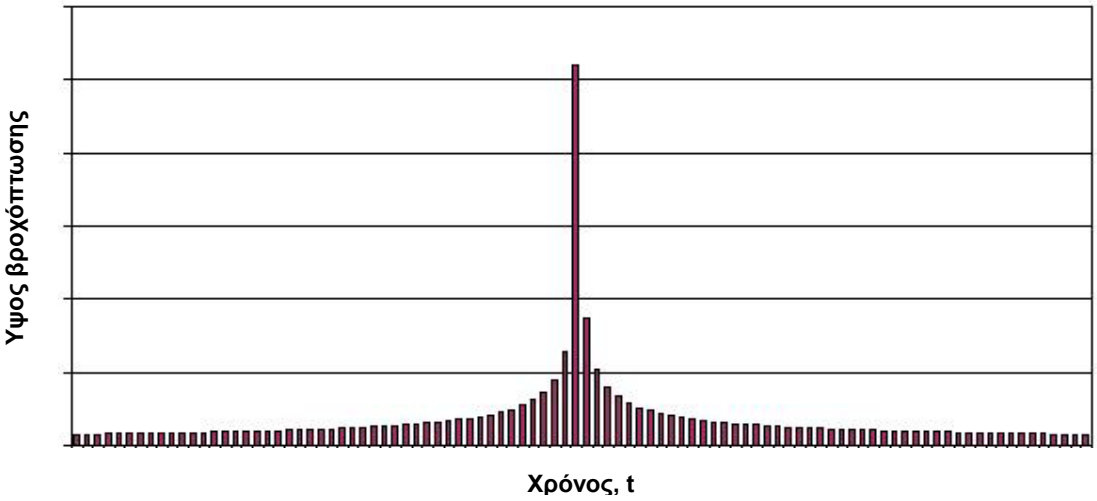
όπου:

- $h(d)$: το ύψος βροχόπτωσης για διάρκεια d όπως προκύπτει από την όμβρια καμπύλη,
- Δ : το χρονικό βήμα, και
- M : D/Δ
- D : η διάρκεια της βροχόπτωσης σχεδιασμού.

(2) Σε μερικές περιπτώσεις λαμβάνεται η Πιθανή Μέγιστη Βροχόπτωση (ΠΜΒ).

Τα τμηματικά ύψη διατάσσονται στο χρόνο με τη μέθοδο του alternating block (*Chow et al.*, 1988). Η μέθοδος αυτή έχει αποδειχθεί ότι δίνει ελαφρά υψηλότερες τιμές της αιχμής της πλημμυρικής απορροής σε σχέση με τις τυποποιημένες καταιγίδες σχεδιασμού (*Zarris et al.*, 1998), για αυτό και προτείνεται τελικά επειδή λειτουργεί υπέρ της ασφαλείας. Με το κατάλληλο χρονικό βήμα υπολογίζουμε την ένταση της βροχόπτωσης για κάθε μία από τις διάρκειες *Δ*, 2*Δ*,3*Δ*,..., *ΜΔ*, ενώ η αντίστοιχη βροχόπτωση βρίσκεται από το γινόμενο της έντασης και της διάρκειας. Λαμβάνοντας τις διαφορές μεταξύ διαδοχικών υψών βροχόπτωσης υπολογίζεται το ύψος της βροχόπτωσης που προστίθεται για κάθε χρονικό βήμα *"Δ"*. Τελικά τοποθετούμε τη μεγαλύτερη τμηματική βροχόπτωση στο μέσον του υετογραφήματος και τις υπόλοιπες τιμές κατά φθίνουσα σειρά εναλλάξ δεξιά και αριστερά της μέγιστης τιμής μέχρι να ολοκληρωθούν όλες οι επιμέρους διάρκειες. Ένα παράδειγμα υετογραφήματος βροχόπτωσης σχεδιασμού με τη μέθοδο του alternating block παρουσιάζεται στο

Σχήμα **2.8.2.2-1**.



Σχήμα 2.8.2.2-1: Σχηματική γραφική παράσταση υετογραφήματος με τη μέθοδο alternating block.

Το χρονικό βήμα του υετογραφήματος σχεδιασμού δεν θα πρέπει να είναι γενικά μεγαλύτερο από το 20% του χρόνου συρροής κυρίως για το τμήμα της ισχυρής έντασης της βροχόπτωσης, για το οποίο είναι αναγκαία η λεπτομερής καταγραφή των εντάσεων. Οι προτεινόμενες τιμές του *"Δ"* σύμφωνα με τη *Roads and Transport Association of Canada,* 1982, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.8.2.2-1.

Πίνακας 2.8.2.2-1: Προτεινόμενο χρονικό βήμα σύμφωνα με την RTAC, 1982.

Χρόνος συρροής, t_c (h)	<6	6 - 12	12 – 18	18 - 24
Χρονικό βήμα, *Δ* (h)	0.5	1.0	2.0	3.0

Με δεδομένη τη σημερινή δυνατότητα των Η/Υ να χειρίζονται με ευκολία ένα τεράστιο όγκο πληροφοριών μειώνοντας σημαντικά το δαπανώμενο υπολογιστικό χρόνο, προτείνεται η υιοθέτηση του όσο το δυνατόν μικρότερου χρονικού βήματος. Η απαίτηση για όσο το δυνατόν λεπτομερές χρονικό βήμα είναι αναγκαία στην περίπτωση των αστικών λεκανών

όπου η απόκριση της λεκάνης είναι ραγδαία και επομένως απαιτείται πιο λεπτομερές πλημμυρογράφημα. Το ακριβές χρονικό βήμα είναι τελικά συνάρτηση πολλών παραμέτρων χωρίς να υπάρχει συγκεκριμένος κανόνας που να ισχύει σε κάθε περίπτωση.

2.8.2.3 Υπολογισμός ωφέλιμης βροχόπτωσης

Από τις διαφορετικές μεθόδους εκτίμησης των υδρολογικών ελλειμμάτων και υπολογισμού της ενεργού (καθαρής) βροχόπτωσης εξετάζεται ως η πιο ρεαλιστική και σύγχρονη η μέθοδος της Soil Conservation Service των ΗΠΑ (*SCS*, 1972). Για την βροχόπτωση ως σύνολο, το ύψος της ενεργού βροχόπτωσης, "h_e", είναι πάντοτε μικρότερο από το συνολικό ύψος βροχόπτωσης, "h", και επομένως αφού ξεκινήσει η απορροή το επιπλέον ύψος βροχόπτωσης που κατακρατείται στη λεκάνη απορροής, "F_a", είναι μικρότερο ή ίσο με τη μέγιστη πιθανή κατακράτηση, "S". Για το αρχικό ύψος βροχόπτωσης, "h_{ao}", δεν υπάρχει απορροή και επομένως η δυνητική απορροή είναι $h - h_{ao}$. Η υπόθεση της μεθόδου SCS είναι ότι οι λόγοι των δύο πραγματικών με των δύο δυνητικών ποσοτήτων είναι ίσοι, δηλαδή

$$\frac{F_a}{S} = \frac{h_e}{h - h_{ao}} \qquad (2.8.2.3\text{-}1)$$

Με βάση την αρχή διατήρησης της μάζας ισχύει ότι:

$$h = h_e + h_{ao} + F_a \qquad (2.8.2.3\text{-}2)$$

Από παρατηρημένα δεδομένα ισχύει ότι:

$$h_{ao} = 0{,}2\ S \qquad (2.8.2.3\text{-}3)$$

οπότε η μέθοδος χρησιμοποιεί μόνο μια παράμετρο "S". Επομένως η εξίσωση (2.8.2.3-1) γράφεται απλοποιημένα:

$$he = \frac{(h - 0{,}2S)^2}{h + 0{,}8S} \qquad (2.8.2.3\text{-}4)$$

Σε περιπτώσεις που υπάρχουν μετρήσεις απορροής τότε η παράμετρος S μπορεί να υπολογιστεί απευθείας. Εκεί όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις ακολουθείται μια εμπειρική μεθοδολογία εκτίμησης της S. Συγκεκριμένα η παράμετρος "S" [mm] συνδέεται με μια άλλη χαρακτηριστική παράμετρο, τη CN, η οποία είναι γνωστή ως *αριθμός καμπύλης απορροής* (runoff curve number), με τη σχέση:

$$S = 254\left(\frac{100}{CN} - 1\right) \qquad (2.8.2.3\text{-}5)$$

Η SCS έχει δώσει σε πινακοποιημένη μορφή αντιπροσωπευτικές τιμές της παραμέτρου CN ανάλογα με:

α. Τον τύπο του εδάφους και τη διαπερατότητά του (τύποι A, B, C και D με μειούμενη διαπερατότητα), (βλ. Πίνακα 2.8.2.3-1).

β. Τον τύπο των προηγηθεισών συνθηκών υγρασίας (antecedent soil moisture) (τύποι I, II και III με αυξανόμενη δυνατότητα παραγωγής απορροής), (βλ. Πίνακα 2.8.2.3-2).

γ. Τον τύπο της χρήσης γης, (βλ. Πίνακα 2.8.2.3-3).

Οι τιμές του Πίνακα 2.8.2.3-3 που έχει δημοσιεύσει η SCS αντιστοιχούν σε μέσες συνθήκες υγρασίας (τύπος ΙΙ). Γενικά επιλέγεται τύπος εδάφους C και τύπος προηγούμενων συνθηκών υγρασίας ΙΙΙ (συνδυασμός που δίνει και τη μέγιστη απορροή). Για συνθήκες αυξημένης υγρασίας, η παράμετρος *CN*(ΙΙ) μετασχηματίζεται στην παράμετρο *CN*(ΙΙΙ) σύμφωνα με τη σχέση

$$CN(III) = \frac{2.3CN(II)}{1 + 0.013CN(II)} \qquad (2.8.2.3\text{-}6)$$

Πίνακας 2.8.2.3-1: Τύποι εδαφών κατά SCS ανάλογα με τη διαπερατότητά τους (από *Κουτσογιάννη*, 1993).

Τύπος Εδαφών	Περιγραφή
Τύπος A	Εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης π.χ. αμμώδη και χαλικώδη με πολύ μικρό ποσοστό ιλύος και αργίλου
Τύπος B	Εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης, π.χ. αμμώδης πηλός
Τύπος C	Εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη από αργιλοπηλό, εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου, εδάφη φτωχά σε οργανικό υλικό.
Τύπος D	Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη που διογκώνονται σημαντικά όταν διαβραχούν, πλαστικές άργιλοι. Εδάφη μικρού βάθους με σχεδόν αδιαπέρατους υπό-ορίζοντες κοντά στην επιφάνεια.

Πίνακας 2.8.2.3-2: Τύποι προηγηθεισών συνθηκών υγρασίας κατά SCS (από *Κουτσογιάννη*, 1993).

Τύπος	Περιγραφή
I	Ξηρές συνθήκες (εδάφη ξηρά αλλά πάνω από το σημείο μαρασμού). Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των 5 προηγούμενων ημερών είναι μικρότερη από 13 mm.
II	Μέσες συνθήκες. Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των 5 προηγούμενων ημερών είναι μεταξύ 13 και 38 mm.
III	Υγρές συνθήκες (εδάφη σχεδόν κορεσμένα). Αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των 5 προηγούμενων ημερών είναι μεγαλύτερη από 38 mm.

Πίνακας 2.8.2.3-3: Τυπικοί αριθμοί καμπύλης απορροής (CN) κατά SCS για προηγηθείσες συνθήκες υγρασίας τύπου ΙΙ (από *Κουτσογιάννη*, 1993).

Χρήσεις γης		Υδρολογικός τύπος εδάφους			
		A	B	C	D
Καλλιεργούμενες εκτάσεις		62-72	71-81	78-88	81-91
Λιβάδια, βοσκότοποι		30-68	58-79	71-86	78-89
Δάση		25-45	55-66	70-77	77-83
Ανοιχτοί χώροι, πάρκα, κοιμητήρια κτλ.					
Με κάλυψη πράσινου πάνω από 75% της έκτασης		39	61	74	80
Με κάλυψη πράσινου λιγότερο από 75% της έκτασης		49	69	79	84
Εμπορικές περιοχές		89	92	94	95
Βιομηχανικές περιοχές		81	88	91	93
Οικιστικές περιοχές					
Μέσο μέγεθος οικοπέδου [στρ.]	Αδιαπέρατη επιφάνεια				
≤0,5	65%	77	85	90	92
≤1,0	38%	61	75	83	87
≤1,5	30%	57	72	81	86
≤2,0	25%	54	70	80	85
≤4,0	20%	51	68	79	84
Οδοί					
με οδόστρωμα και αγωγούς ομβρίων		98	98	98	98
χαλικόστρωτοι		76	85	89	91
χωματόδρομοι		72	82	87	89

2.8.2.4 Μεθοδολογία κατάρτισης συνθετικού “ΜΥ”

Για την πλήρη μορφή του συνθετικού “ΜΥ”, υιοθετείται το “ΜΥ” της Soil Conservation Service (SCS) που δίνεται σε αδιάστατη μορφή σε ποσοστά του χρόνου ανόδου και της παροχής αιχμής (*Chow et al.*, 1988). Ο χρόνος ανόδου (T_p) ως την αιχμή του “ΜΥ” δίνεται από τη σχέση:

$$Tp = \frac{tr}{2} + tp \qquad (2.8.2.4\text{-}1)$$

όπου:

T_p [h] : ο χρόνος ανόδου,

t_p [h] : ο χρόνος υστέρησης της λεκάνης,

t_r [h] : η διάρκεια της μοναδιαίας βροχόπτωσης.

Ο χρόνος υστέρησης της λεκάνης (ο χρόνος από το κέντρο βάρους του ωφέλιμου υετογραφήματος έως το χρόνο εμφάνισης της πλημμυρικής αιχμής) συνδέεται με τον αντίστοιχο χρόνο συρροής με την ακόλουθη σχέση:

$$t_p=0,6t_c \qquad (2.8.2.4\text{-}2)$$

Αντίστοιχα ο χρόνος συρροής δίνεται από τη σχέση

$$t_c = 0,057L^{0,8}\frac{\left(\frac{1000}{CN^{-9}}\right)^{0,7}}{S^{0,5}} \qquad (2.8.2.4\text{-}3)$$

όπου:

L [km] : το μήκος του κύριου υδατορεύματος στη λεκάνη απορροής,

S [m] : η μέση κλίση της λεκάνης απορροής.

Η παροχή αιχμής Q_p του συνθετικού “ΜΥ” κατά SCS δίνεται από τη σχέση:

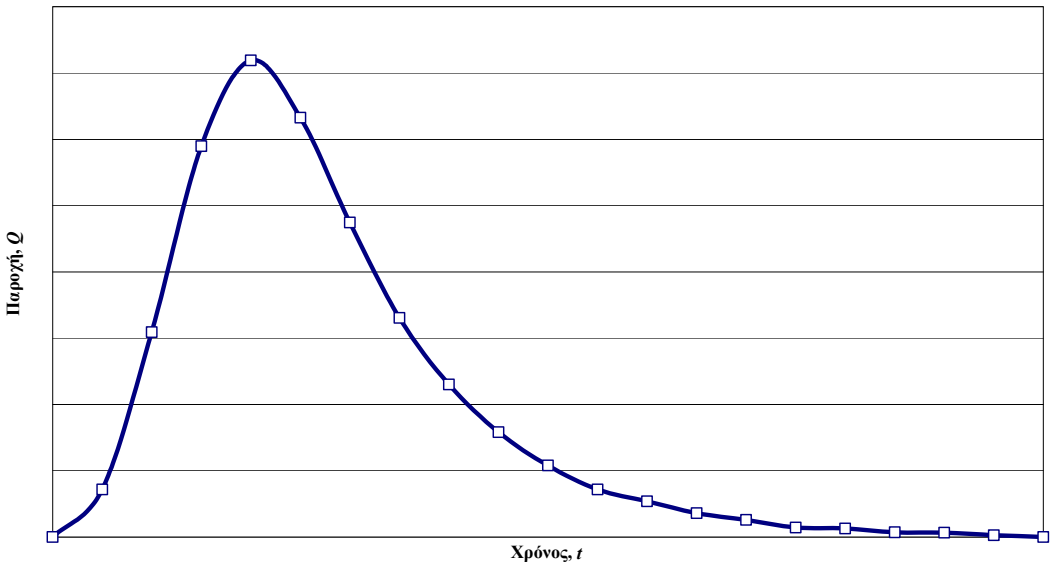
$$Qp = \frac{2,08A}{Tp} \qquad (2.8.2.4\text{-}4)$$

όπου:

Q_p [m^3/s] : η παροχή αιχμής για μοναδιαία βροχόπτωση ύψους 1 cm

A [km^2] : η έκταση της λεκάνης απορροής.

Ένα παράδειγμα ενός “ΜΥ” 15min κατά SCS παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.8.2.4-1.



Σχήμα 2.8.2.4-1: Γραφική παράσταση του ΜΥ 15 λεπτών κατά SCS

2.8.2.5 Κατάρτιση πλημμύρας σχεδιασμού

Η σύνθεση του πλημμυρογραφήματος από το ΜΥ και το καθαρό υετογράφημα γίνεται βάσει της εξίσωσης:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \le M} P_m U_{n-m+1} \qquad (2.8.2.5\text{-}1)$$

όπου:

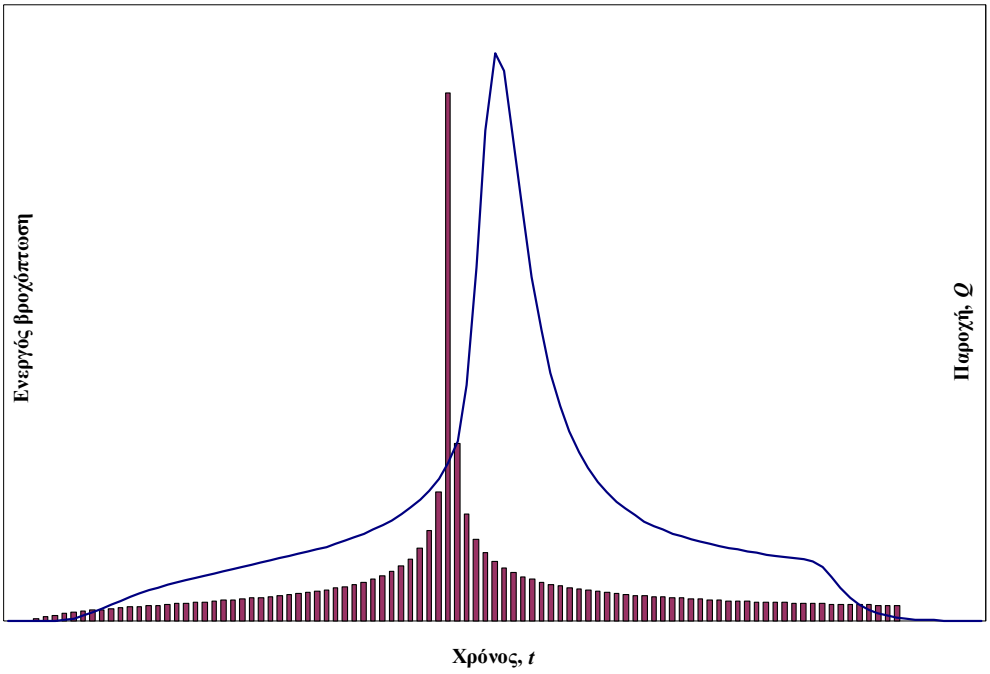
Q_n : η τεταγμένη του πλημμυρογραφήματος στο χρόνο $\eta\Delta t$,

P_m : είναι η καθαρή βροχή στο χρονικό διάστημα από $m\Delta t$ έως $(m+1)\Delta t$,

M : είναι ο συνολικός αριθμός των τμηματικών βροχοπτώσεων,

U_{n-m+1} : είναι η τεταγμένη του ΜΥ στο χρόνο $(n-m+1)\Delta t$.

Μια σχηματική γραφική παράσταση του ενεργού υετογραφήματος και του αντίστοιχου πλημμυρογραφήματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.8.2.5-1.



Σχήμα 2.8.2.5-1: Γραφική παράσταση υετογραφήματος της ενεργής βροχόπτωσης και του αντίστοιχου πλημμυρογραφήματος σχεδιασμού.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ:

Κουτσογιάννης, Δ., *Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης*, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σ. 201, 1993.

Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1988.

Levy, B. and R. McGuen, Assessment of storm duration for hydrologic design, *Journal of Hydrologic Engineering, 4*(3), ASCE, pp. 209-213, 1999.

Roads and Transport Association of Canada, *Drainage manual*, RTAC, 1982.

Soil Conservation Service, Hydrology, sec. 4 of *National Engineering Handbook*, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, 1972.

Zarris, D., D. Koutsoyiannis and G. Karavokyros, A simple stochastic rainfall disaggregation scheme for urban drainage modelling, *Proceedings of the Fourth International Conference on Developments in Urban Drainage Modelling*, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, U.K, 1998.

3. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

3.1 Γενικά

Ο σχεδιασμός των υδραυλικών κατασκευών απαιτεί τη χρήση των εξισώσεων συνέχειας, ενέργειας και ορμής. Από αυτές τις θεμελιώδεις εξισώσεις παράγονται άλλες εξισώσεις με το συνδυασμό των μαθηματικών, των εργαστηριακών πειραμάτων και των μελετών πεδίου. Αυτές οι εξισώσεις χρησιμοποιούνται διαφοροτρόπως για την ανάλυση της ροής σε ανοιχτούς αγωγούς και κλειστούς αγωγούς με 100% πληρότητα. Ένας κλειστός αγωγός με μερική πλήρωση συνιστά ροή ανοιχτού αγωγού. Σε σύγκριση με τους κλειστούς αγωγούς με 100% πληρότητα, η ροή σε ανοιχτούς αγωγούς έχει την πολυπλοκότητα της ελεύθερης επιφάνειας όπου η πίεση είναι η ατμοσφαιρική και αυτή η ελεύθερη επιφάνεια ελέγχεται μόνο από τους νόμους της μηχανικής των υγρών. Μια άλλη πολυπλοκότητα της ροής ανοιχτών αγωγών προκύπτει όταν η κοίτη του ρέματος ή του αγωγού συντίθεται από φυσικά υλικά όπως άμμος, χαλίκια, κροκάλες ή βράχους που είναι μετακινούμενα.

Οι μορφές της ροής μπορεί να ταξινομηθούν ως εξής:

α. ομοιόμορφη ή ανομοιόμορφη

β. μόνιμη ή μη μόνιμη

γ. στρωτή ή τυρβώδης

δ. υποκρίσιμη (ήρεμη) ή υπερκρίσιμη (ταχεία)

Στην ομοιόμορφη ροή, η παροχή και η ταχύτητα παραμένουν σταθερές κατά μήκος της ροής. Στη μόνιμη ροή δε συμβαίνει αλλαγή στη διάρκεια του χρόνου σε μια δεδομένη θέση. Στη στρωτή ροή, το πεδίο ροής χαρακτηρίζεται από επάλληλες στρώσεις του υγρού, οι οποίες δεν αναμειγνύονται μεταξύ τους. Η τυρβώδης ροή χαρακτηρίζεται από την τυχαία κίνηση του υγρού. Η στρωτή ροή διακρίνεται από την τυρβώδη με τη χρήση ενός αδιάστατου αριθμού που ονομάζεται Αριθμός Reynolds. Η υποκρίσιμη ροή διακρίνεται από την υπερκρίσιμη με τη χρήση ενός αδιάστατου αριθμού που ονομάζεται Αριθμός Froude “Fr”. Εάν $Fr<1$ τότε η ροή είναι υποκρίσιμη, εάν $Fr>1$ τότε η ροή είναι υπερκρίσιμη και εάν $Fr=1$ τότε η ροή καλείται κρίσιμη.

3.2 Ορισμοί

Οι ορισμοί που χρησιμοποιούνται στα επόμενα και η έννοια τους πρέπει να ορισθεί είναι:

Παροχή:	Η ποσότητα του κινούμενου νερού που περνάει ένα δεδομένο επίπεδο (διατομή) κάθετο στο άνυσμα της ταχύτητας σε μια δεδομένη μονάδα χρόνου.
Ταχύτητα:	Η απόστασης της μετακίνησης στη μονάδα χρόνου, ενός σωματιδίου νερού από ένα σημείο σε ένα άλλο.
Γραμμή ροής:	Μια φανταστική γραμμή μέσα στη ροή η οποία είναι διαρκώς εφαπτόμενη στο άνυσμα της ταχύτητας.
Επιτάχυνση:	Η τιμή μεταβολής, στο χρόνο, του μεγέθους ή/και της κατεύθυνσης του ανύσματος της ταχύτητας.

Τοπική επιτάχυνση:	Είναι η μεταβολή της ταχύτητας (του μεγέθους ή/και της κατεύθυνσης) μέσα στο χρόνο σε ένα δεδομένο σημείο ή διατομή.
Ομοιόμορφη ροή:	Οταν η ταχύτητα της ροής δε μεταβάλλεται με την απόσταση. Οι συνθήκες ομοιόμορφης ροής σπάνια συμβαίνουν σε ανοιχτούς αγωγούς, αλλά το σφάλμα παραδοχής της ροής, ως ομοιόμορφης, σε μια τάφρο με σταθερή κλίση και διατομή είναι πολύ μικρό σε σχέση με το σφάλμα που προκύπτει στον υπολογισμό της παροχής.
Ανομοιόμορφη ροή:	Οταν η ταχύτητα της ροής μεταβάλλεται σε μέγεθος ή και κατεύθυνση με την απόσταση.
Μόνιμη ροή:	Οταν η ταχύτητα σε ένα σημείο ή διατομή δε μεταβάλλεται με το χρόνο. Η τοπική επιτάχυνση είναι μηδέν.
Μη μόνιμη ροή:	Οταν η ταχύτητα σε ένα σημείο η διατομή μεταβάλλεται με το χρόνο. Η τοπική επιτάχυνση δεν είναι μηδέν.
Στρωτή ροή:	Οταν στη ροή οι δυνάμεις συνεκτικότητας (ιξώδες) υπερισχύουν σε μεγάλο βαθμό των δυνάμεων αδρανείας της ροής.
Τυρβώδης ροή:	Οταν οι δυνάμεις αδράνειας της ροής υπερισχύουν των δυνάμεων συνεκτικότητας (ιξώδες) του υγρού.
Ροή ανοιχτών αγωγών:	Η ροή με ελεύθερη επιφάνεια. Αυτή μπορεί να συμβαίνει και σε κλειστούς αγωγούς όπως είναι και οι οχετοί εφόσον η ροή δε γίνεται με πληρότητα 100%, οπότε διατηρείται ελεύθερη επιφάνεια.
Αριθμός Froude:	Είναι ο λόγος των αδρανειακών δυνάμεων προς τις δυνάμεις βαρύτητας $F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}}$
Υποκρίσιμη ροή:	Η ανταπόκριση της ροής ανοιχτών αγωγών στις μεταβολές της γεωμετρίας του αγωγού η οποία εξαρτάται από το βάθος και την ταχύτητα της ροής.
Υπερκρίσιμη ροή:	Αυτή συμβαίνει σε ήπιες κλίσεις όπου η ροή έχει βάθος με μικρή ταχύτητα και έχει αριθμό Froude<1.
Κρίσιμη ροή:	Συμβαίνει όταν ο αριθμός Froude=1 και οι διαταραχές της επιφάνειας παραμένουν στάσιμες στη ροή.
Ροή υπό πίεση:	Οταν οι αγωγοί λειτουργούν με πληρότητα 100% δηλαδή το νερό είναι σε πλήρη επαφή με όλα τα τοιχώματα του αγωγού και υπό πίεση.
Ροή κλειστού αγωγού:	Η ροή που περιβάλλεται από όλες τις πλευρές με ένα σταθερό τοίχωμα.

Ροή σε αλλουβιακή τάφρο:	Οταν η ροή γίνεται σε κοίτη που συνίσταται από υλικά τα οποία έχουν προέλθει από αποθέσεις που φέρει η ροή.
Υδραυλική ακτίνα:	Είναι ο λόγος της επιφάνειας της διατομής της ροής προς τη βρεχόμενη περίμετρο του αγωγού.
Μονοδιάστατη ροή:	Μια μέθοδος ανάλυσης όπου η μεταβολή των μεταβλητών της ροής (ταχύτητα, βάθος κτλ.) συμβαίνει κυρίως στην κατά μήκος κατεύθυνση. Η μεταβολή στις άλλες δυο κατευθύνσεις είναι μικρή και αμελητέα.
Δισδιάστατη ροή:	Μια μέθοδος ανάλυσης όπου οι επιταχύνσεις μπορεί να συμβαίνουν σε δυο κατευθύνσεις (κατά μήκος και εγκαρσίως της ροής).
Τρισδιάστατη ροή:	Οι μεταβλητές της ροής μπορεί να μεταβάλλονται και στις τρεις διαστάσεις κατά μήκος εγκαρσίως και κατακορύφως της ροής.

3.3 Βασικές Αρχές

3.3.1 Εισαγωγή

Οι βασικές εξισώσεις της ροής αφορούν τη συνέχεια, την ενέργεια και την ορμή (Momentum). Αυτές προκύπτουν από τους νόμους: (1) της διατήρησης της μάζας, (2) της διατήρηση της ενέργειας και (3) της διατήρησης της γραμμικής ορμής, αντιστοίχως. Η διατήρηση της μάζας είναι ένας άλλος τρόπος με τον οποίο δηλώνεται ότι (εκτός από την περίπτωση ανταλλαγής μάζας-ενέργειας) η ύλη ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται. Η αρχή της διατήρησης της ενέργειας βασίζεται στον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής ο οποίος δηλώνει ότι η ενέργεια πρέπει να διατηρείται σε κάθε περίπτωση. Η αρχή της διατήρησης της γραμμικής ορμής βασίζεται στο δεύτερο νόμο του Newton της κίνησης ο οποίος δηλώνει ότι η μάζα (του υγρού) επιταχύνεται κατά την κατεύθυνση και κατ΄ αναλογία των δυνάμεων που επιδρούν πάνω σ' αυτή.

Η ανάλυση των προβλημάτων της ροής απλοποιείται πολύ όταν δεν υπάρχει επιτάχυνση της ροής ή αν η επιτάχυνση είναι κυρίως κατά μια κατεύθυνση (μονοδιάστατη ροή), οι επιταχύνσεις ως προς άλλες κατευθύνσεις θεωρείται ότι είναι αμελητέες. Εντούτοις μια πολύ ανακριβής ανάλυση μπορεί να συμβεί όταν κάποιος προϋποθέτει επιταχύνσεις μικρές ή μηδενικές ενώ στην πραγματικότητα αυτές δεν υπάρχουν. Για τις υδραυλικές μελέτες που αφορούν τα οδικά έργα τίθεται ως παραδοχή ότι, η ροή είναι μονοδιάστατη.

3.3.2 Εξίσωση του νόμου της συνέχειας

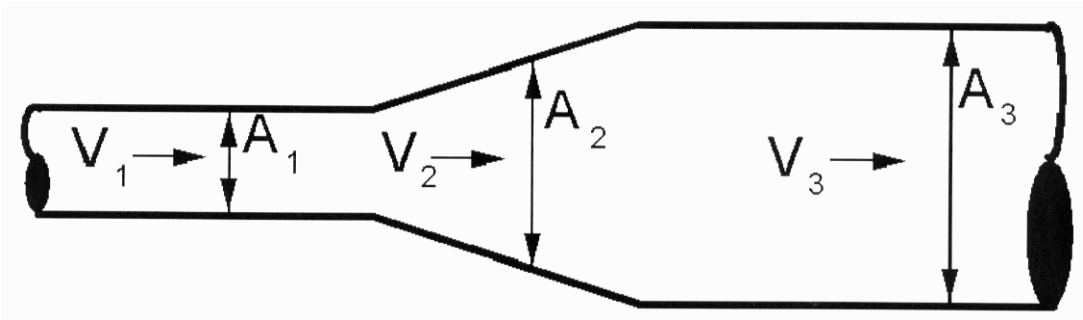
Η εξίσωση της συνεχείας βασίζεται στο νόμο της διατήρησης της μάζας. Για μόνιμη ροή ασυμπίεστων υγρών αυτή είναι:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = Q = VA \qquad (3.3.2\text{-}1)$$

όπου:

- V [m/s] : η μέση ταχύτητα στην κατακόρυφη διατομή με επιφάνεια A,
- A [m^2] : η επιφάνεια κάθετη προς τη διεύθυνση της ταχύτητας διατομής της ροής,
- Q [m^3/s] : ο όγκος ροής ή αλλιώς παροχή.

Η εξίσωση (3.3.2-1) είναι εφαρμόσιμη όταν η ένταση της ροής είναι σταθερή, η ροή είναι μόνιμη, δεν υπάρχει ουσιαστική πλευρική εισροή ή απώλεια (ή αυτές δε λαμβάνονται υπόψη) και η διεύθυνση της ταχύτητας είναι κάθετη προς την επιφάνεια (βλέπε Σχήμα 3.3.2-1).



Σχήμα 3.3.2-1: Σχηματική αναπαράσταση του νόμου της συνέχειας

3.3.3 Εξίσωση ενέργειας

Η εξίσωση της ενέργειας βασίζεται στον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής ο οποίος δηλώνει ότι η ενέργεια πρέπει να διατηρείται σε κάθε περίπτωση. Για μόνιμη ροή ασυμπίεστου υγρού είναι:

$$\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + Z_1 = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + h_L \qquad (3.3.3\text{-}1)$$

όπου:

- α [-] : ο συντελεστής διόρθωσης κινητικής ενέργειας,
- V [m/s] : η μέση ταχύτητα στη διατομή,
- g [m/s^2] : η επιτάχυνση της βαρύτητας,
- p [N/m^2] : η πίεση,
- γ [N/m^3] : το ειδικό βάρος νερού,
- Z [m] : το απόλυτο υψόμετρο του κατώτερου σημείου της κοίτης,
- h_L [m] : η απώλεια ενεργειακού ύψους λόγω τριβής και σχήματος,
- A [m^2] : η επιφάνεια της διατομής

Ο συντελεστής διόρθωσης κινητικής ενέργειας “α” είναι για να διορθώνεται η κατανομή της ταχύτητας στην έκταση της ροής. Αυτός επιτρέπει τη χρήση της μέσης ταχύτητας “V” μάλλον παρά τη σημειακή ταχύτητα “v”. Ο συντελεστής υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\alpha = \frac{1}{V^3 A} {}_A v^3 dA \qquad (3.3.3\text{-}2)$$

όπου:

- v [m/s] : η ταχύτητα στο σημείο ή η μέση ταχύτητα στο κατακόρυφο επίπεδο
- A [m^2] : η επιφάνεια της διατομής

Σημειώνεται ότι ακόμη και σε μια πολύ ανομοιόμορφη κατανομή ταχυτήτων στην έκταση μιας διατομής η διόρθωση είναι μόνο 10%. Συνεπώς ο συντελεστής διόρθωσης της κινητικής ενέργειας κανονικά έχει τιμή ίση με 1,00.

Η γραμμή ενέργειας (EGL, energy grade line) αναπαριστά τη συνολική ενέργεια σε μια δεδομένη διατομή οριζόμενη ως το άθροισμα των τριών συνιστωσών της ενέργειας που αντιπροσωπεύεται σε κάθε πλευρά της εξίσωσης (3.3.3-1). Αυτές οι συνιστώσες της ενέργειας συχνά αναφέρονται ως ύψος της γραμμής ενέργειας (velocity head), ύψος πίεσης (pressure head) και ύψος στάθμης (elevation head). Η γραμμή της υδραυλικής κλίσης (HGL, hydraulic grade line) είναι κάτω από την EGL κατά το ποσόν του ύψους της γραμμής ενέργειας, ή αυτή είναι το άθροισμα του ύψους της πίεσης και του υψομέτρου. Η εφαρμογή της εξίσωσης ενέργειας σε ανοιχτούς αγωγούς και σε ροή υπό πίεση αναπαριστάνεται στα Σχήματα 3.3.3-2 και 3.3.3-3 αντιστοίχως.

Η εξίσωση της ενέργειας χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αλλαγής της στάθμης της επιφάνειας του νερού μεταξύ δυο σχετικώς όμοιων διατομών. Μια απλοποιημένη μορφή της εξίσωσης είναι:

$$V_1^2/2g + d_1 + Z_1 = V_2^2/2g + d_2 + Z_2 + h_L \qquad (3.3.3\text{-}3)$$

όπου:

V	[m/s]	:	η μέση ταχύτητα στη διατομή,
g	[m/s^2]	:	η επιτάχυνση της βαρύτητας,
d	[m]	:	το βάθος νερού στη διατομή,
Z	[m]	:	το ελάχιστο απόλυτο υψόμετρο της κοίτης στη διατομή,
h_L	[m]	:	η απώλεια ενεργειακού ύψους λόγω τριβής και σχήματος μεταξύ των δυο διατομών.

Ο δείκτης 1 σε κάθε μεταβλητή της εξίσωσης υποδεικνύει ότι αυτή αφορά στη διατομή στα ανάντη της ροής και αντιστοίχως ο δείκτης 2 ότι αυτή αφορά στη διατομή στα κατάντη της ροής.

Η απλοποιημένη εξίσωση είναι εφαρμόσιμή όταν οι υδραυλικές συνθήκες μεταξύ των δυο διατομών είναι σχετικά όμοιες (βαθμιαία μεταβολή ροής) και η κλίση της τάφρου είναι μικρή (μικρότερη από 18%).

Η απώλεια του ενεργειακού φορτίου μεταξύ των δυο διατομών συμβαίνει λόγω της τραχύτητας των τοιχωμάτων της τάφρου και άλλους παράγοντες. Αυτές οι τραχύτητες μπορεί να αντιπροσωπεύονται από το συντελεστή τραχύτητας του Manning "n" και τότε οι ενεργειακές απώλειες μπορεί να υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Manning:

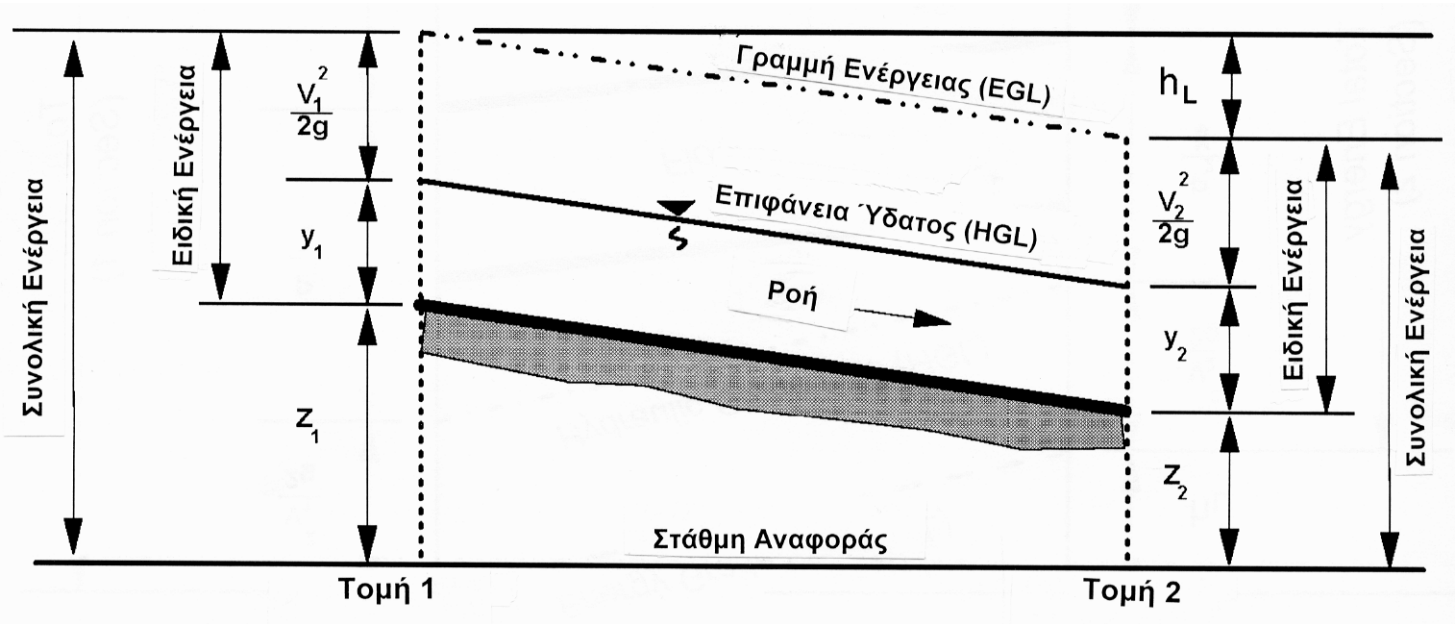
$$h_L = L\,(Qn/AR^{2/3})^2 \qquad (3.3.3\text{-}4)$$

όπου:

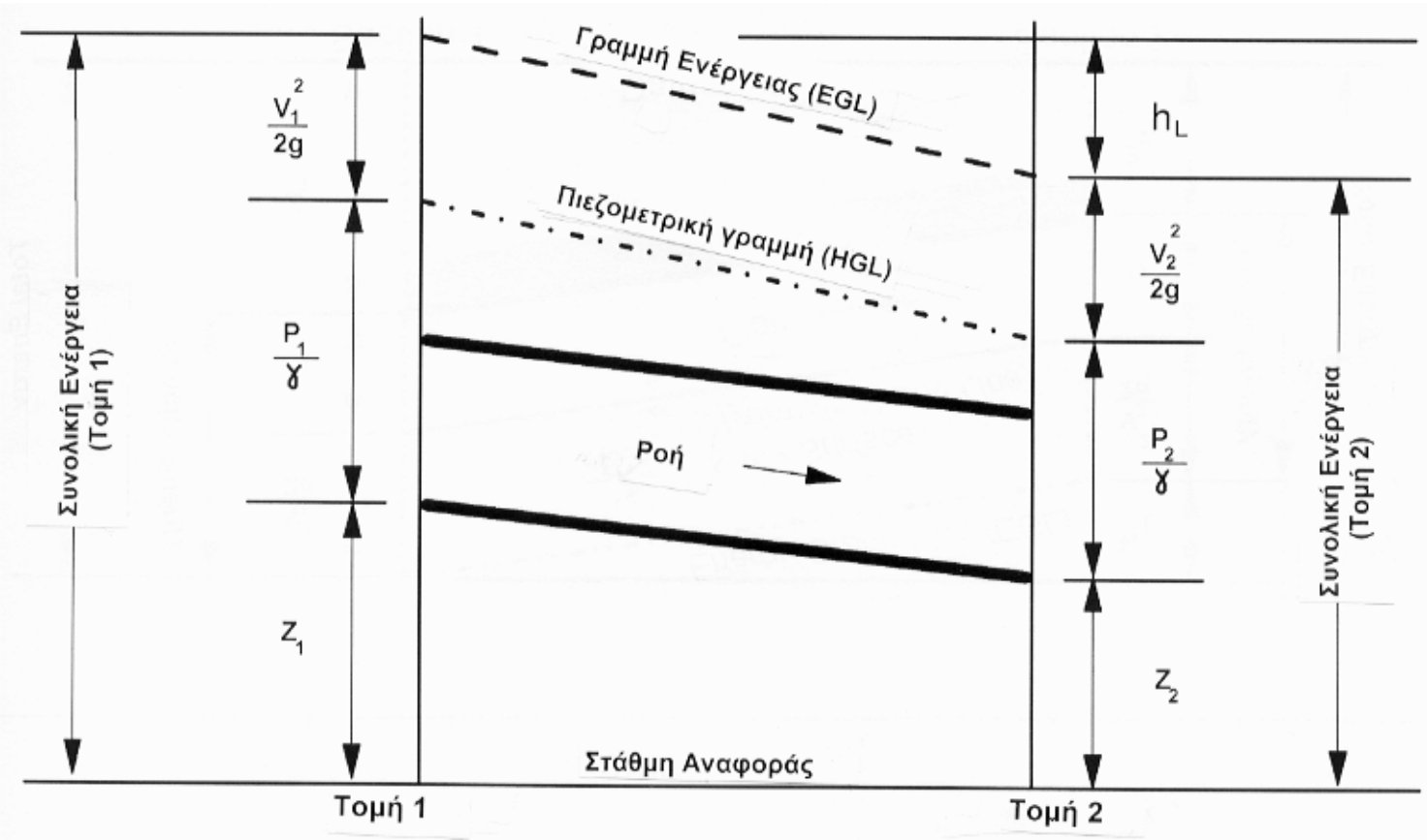
L	[m]	:	η απόσταση μεταξύ των διατομών,
Q	[m^3/s]	:	η παροχή,
n	[s/m$^{1/3}$]	:	ο συντελεστής τραχύτητας Manning,

A [m^2] : η επιφάνεια διατομής,

R [m] : η υδραυλική ακτίνα.



Σχήμα 3.3.3-2: Σκαρίφημα της εξίσωσης της ενέργειας



Σχήμα 3.3.3-3:Σκαρίφημα της εξίσωσης της ροής υπό πίεση

3.3.4 Εξίσωση της ορμής

Η εξίσωση της ορμής προκύπτει από το δεύτερο νόμο του Newton της κίνησης ο οποίος δηλώνει ότι το αλγεβρικό άθροισμα όλων των εξωτερικών δυνάμεων επί ενός συστήματος ισούται με τη μεταβολή της ορμής. Στην κατεύθυνση “x” μιας μόνιμης ροής με σταθερή πυκνότητα είναι:

$$F_x = \rho Q(\beta_2 V_{x2} - \beta_1 V_{x1}) \qquad (3.3.4\text{-}1)$$

όπου:

F_x	[N]	: οι δυνάμεις κατά την κατεύθυνση x,
ρ	[1000kg/m^3]	: η ένταση,
β	[-]	: ο συντελεστής ορμής,
Q	[m^3/s]	: ο όγκος ροής ή αλλιώς παροχή,
V	[m/s]	: η ταχύτητα κατά την κατεύθυνση “x”.

Ο συντελεστής ορμής διορθώνει την κατανομή της ταχύτητας στην έκταση μιας διατομής της ροής. Αυτός επιτρέπει τη χρήση της ταχύτητας “*V*” παρά τη σημειακή ταχύτητα “*v*”. Αυτός υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\beta = \frac{1}{V^2 A} A v^2 dA \qquad (3.3.4\text{-}2)$$

Ο συντελεστής ορμής συνήθως υποτίθεται ότι έχει τιμή ίση με 1,00 επειδή η κατανομή, στην έκταση μιας διατομής, μιας πολύ ανομοιόμορφης ταχύτητας θα πρέπει να απαιτεί μια διόρθωση μικρότερη από 10%. Η εξίσωση της ορμής είναι μια ανυσματική εξίσωση και παρόμοιες εξισώσεις χρησιμοποιούνται για τις άλλες δύο κατευθύνσεις y και z.

3.3.5 Υδροστατική

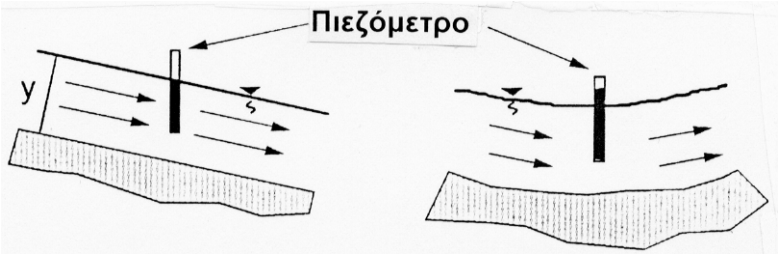
Όταν οι δυνάμεις που επενεργούν επί του υγρού, είναι η πίεση και το βάρος του υγρού η διαφορική εξίσωση της κίνησης σε μια τυχαία κατεύθυνση “x” είναι:

$$\frac{\partial\left(p/\gamma + Z\right)}{\partial x} = \frac{a_x}{g} \qquad (3.3.5\text{-}1)$$

Σε μόνιμη ομοιόμορφη ροή (και για μηδενική ροή), η επιτάχυνση είναι μηδενική και η εξίσωση γίνεται:

$$\frac{p}{\gamma} + Z = \text{σταθερή} \qquad (3.3.5\text{-}2)$$

Εντούτοις, όταν υπάρχει επιτάχυνση ο όρος του πιεζομετρικού ύψους *p/γ+Z* μεταβάλλεται στο πεδίο της ροής. Δηλαδή το πιεζομετρικό ύψος δεν είναι σταθερό στη ροή (βλ. Σχήμα 3.3.5-1). Στο σχήμα 3.3.5-1(α) η πίεση στον πυθμένα είναι υδροστατική και ισούται με γy_o, ενώ στην καμπυλοειδή ροή (βλ. Σχήμα 3.3.5-1 (β) η πίεση είναι μεγαλύτερη από γy_o από την προκύπτουσα επιτάχυνση λόγω της αλλαγής της κατεύθυνσης της ροής.



(α) Μόνιμη ομοιόμορφη ροή με κατανεμημένη υδροστατική πίεση

(β) Μόνιμη ανομοιόμορφη ροή με μη κατανεμημένη υδροστατική πίεση

Σχήμα 3.3.5-1: Κατανομή πίεσης σε μόνιμη ροή ομοιόμορφη και ανομοιόμορφη

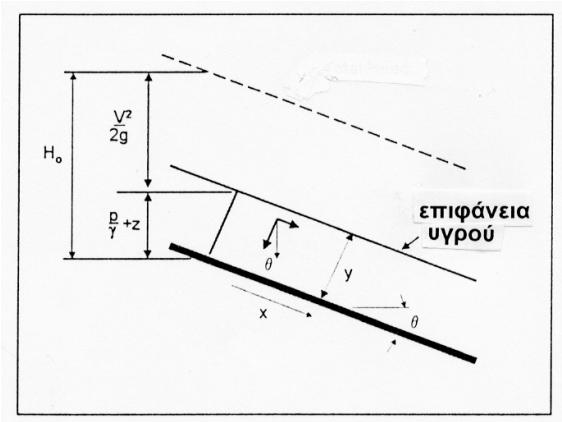
Γενικώς, όταν η επιτάχυνση του υγρού είναι μικρή (όπως στη βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή) η κατανομή της πίεσης θεωρείται ως υδροστατική. Εντούτοις, για ταχέως μεταβαλλόμενη ροή όπου οι γραμμές του ρεύματος ροής συγκλίνουν, αποκλίνουν ή έχουν ουσιαστική καμπύλωση (καμπυλοειδής ροή), οι επιταχύνσεις του υγρού δεν είναι μικρές και η κατανομή της πίεσης δεν είναι υδροστατική.

Στην εξίσωση (3.3.4-5) η σταθερή είναι ίση με μηδέν για μετρούμενη πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια ενός υγρού, και για ροή με υδροστατική πίεση σε όλο το υγρό (μόνιμη, ομοιόμορφη ροή ή βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή) συνεπάγεται ότι το ύψος πίεσης p/γ είναι ίσο με την κατακόρυφη απόσταση κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια. Σε κανάλια με κλίση και μόνιμη ροή, το ύψος πίεσης p/γ σε βάθος y κάτω από την επιφάνεια (βλ. Σχήμα 3.3.5-2) είναι:

$$p/\gamma = y \cos\theta \qquad (3.3.4\text{-}6)$$

όπου:

- y [m] : το βάθος μέχρι το εξεταζόμενο σημείο (κάθετη απόσταση μεταξύ πυθμένα και επιφάνειας)
- θ [rad] : η γωνία μεταξύ του πυθμένα και του οριζόντιου επιπέδου, που συνήθως είναι μικρή και επομένως $\cos\theta \cong 1$ για κλίσεις <10%



Σχήμα 3.3.5-2: Κατανομή πίεσης σε μόνιμη ομοιόμορφη ροή σε έντονες κλίσεις.

4. ΡΟΗ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Η ροή σε ανοικτούς αγωγούς είναι πλέον σύνθετη από τη ροή σε κλειστούς αγωγούς με πληρότητα 100%, επειδή η επιφάνεια του νερού προσδιορίζει την κινηματική μηχανική. Επιπροσθέτως, όταν τα όρια του πυθμένα είναι μετακινούμενα (αλλουβιακά τοιχώματα) μια ακόμη συνθετότητα εισάγεται. Όταν η τάφρος είναι μετακινούμενη, η αντίσταση στη ροή αποτελεί μια λειτουργία της ροής. Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται οι βασικές απόψεις σχεδιασμού και οι εξισώσεις για τις απλούστερες συνθήκες ροής (σταθερή, ομοιόμορφη ροή), καθώς επίσης οι συνθήκες που συμβαίνουν σε μια αλλουβιακή τάφρο. Η μονοδιάστατη μέθοδος χρησιμοποιείται εδώ στην περιγραφή των εξισώσεων.

4.2 Ροή Αλουβιακών Τάφρων

4.2.1 Αλλουβιακές τάφροι

Αυτές οι τάφροι σχηματίζονται σε εδαφικά υλικά τα οποία έχουν μετακινηθεί ή μπορεί να μετακινηθούν από τη ροή. Συνήθως η κοίτη της τάφρου προέρχεται από υλικά μεγέθους άμμου, χαλικιών, καθώς και κροκαλών. Η σημασία αυτών των υλικών είναι ουσιαστική επειδή αυτά είναι τα πλέον συχνά συναντώμενα και επηρεάζουν το μέγεθος της αντίστασης στη ροή και στη διάβρωση. Τάφροι και οχετοί από σκυρόδεμα μπορεί να έχουν τοιχώματα αλλουβιακά λόγω αποθέσεων στην κοίτη τους.

4.2.2 Τάφροι με αμμώδη κοίτη

Τα υλικά που επικρατούν σε ρέματα με αμμώδη κοίτη κυμαίνονται μεταξύ χονδρόκοκκης ιλύος έως άμμου. Μπορεί να είναι υλικά λεπτόκοκκα ή χονδρόκοκκα στην κοίτη αλλά το επικρατέστερο μέγεθος θα είναι άμμος (50% ή και περισσότερο). Σε τάφρους αμμώδους κοίτης επιφέρεται εύκολα η διάβρωση ενώ συμβαίνει συνεχής μετακίνηση και αλλαγή του σχήματος από τη ροή. Η διάδραση μεταξύ της ροής από νερό με περιεκτικότητα σε φερτά και της αμμώδους κοίτης δημιουργεί διάφορους σχηματισμούς από κοίτες οι οποίες μεταβάλλουν την αντίσταση στη ροή, την ταχύτητα και τη στάθμη της επιφάνειας του νερού, καθώς και τις ποσότητες των μεταφερόμενων φερτών. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητο να κατανοηθεί ο μηχανισμός σχηματισμού κοιτών έτσι ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί η αντίσταση στη ροή αλλά και τα στάδια πλημμύρας, τα βάθη ροής, καθώς και να υπολογισθεί η μηκοτομή της επιφάνειας του νερού, προκειμένου να γίνει ο σχεδιασμός (διαστασιολόγιση κτλ.) των τάφρων αποχέτευσης.

4.2.3 Δίαιτας ροής

Η ροή σε αλλουβιακές τάφρους υποδιαιρείται σε δυο χαρακτηριστικές δίαιτες που διαχωρίζονται από μια μεταβατική ζώνη. Τύπος ανωμαλιών της κοίτης σε αμμώδεις τάφρους δείχνονται στο Σχήμα 4.2.3-1. Οι δίαιτες ροής διακρίνονται σε τρεις χαρακτηριστικές φορφές:

- Η δίαιτα αβαθούς ροής, όπου η αντίσταση στη ροή είναι μεγάλη και η μεταφορά φερτών μικρή. Ο σχηματισμός της κοίτης περιλαμβάνει κυμματοειδείς επιφάνειες, ή αμμοθύνες, ή κάποιο συνδυασμό και των δυο. Ο κυματισμός της επιφάνειας του νερού δε συγχρονίζεται με το κυμματισμό της επιφάνειας της κοίτης και υπάρχει μια

σχετικά μεγάλη ζώνη διαχωρισμού στα κατάντη της ροής από τις υβώσεις της κοίτης. Η ταχύτητα της προς τα κατάντη μετακίνησης των κυμματισμών της επιφάνειας της κοίτης ή των αποθέσεων αμμοθυνών εξαρτάται από το ύψος αυτών και την ταχύτητα των μετακινούμενων κόκκων των υλικών πάνω από τις υβώσεις που αυτά τα ίδια σχηματίζουν.

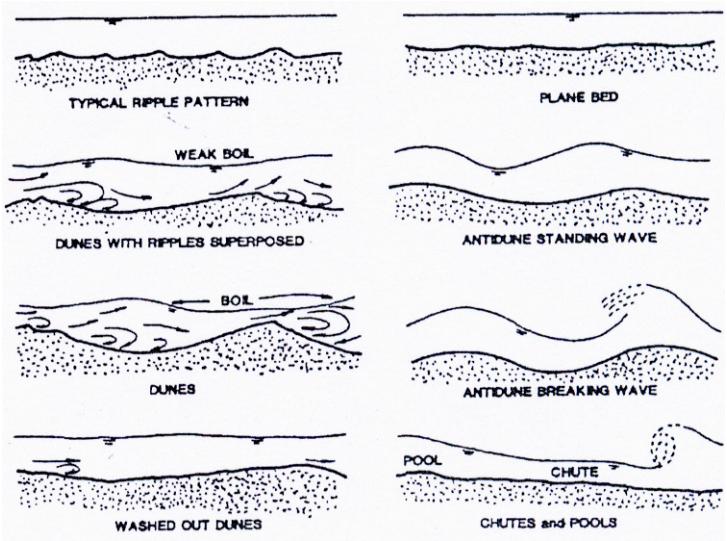
- Η μεταβατική ζώνη, όπου η μορφή της κοίτης μπορεί να κυμαίνεται, από εκείνη της τυπικής δίαιτας αβαθούς ροής έως εκείνη της δίαιτας της ροής με την ανώτατη στάθμη επιφάνειας νερού, σε συνάρτηση κυρίως με τις συνθήκες του προηγούμενου (ανάντη) τμήματος της τάφρου. Εάν ο σχηματισμός της κοίτης του προηγούμενου τμήματος αποτελείται από αμμοθύνες, το βάθος ή η κλίση μπορεί να αυξάνεται σε τιμές περισσότερο συγκείμενες με εκείνες της δίαιτας ροής με την ανώτατη στάθμη νερού χωρίς να επέρχεται μεταβολή του σχηματισμού της κοίτης, ή αντιστρόφως, αν η κοίτη στο προηγούμενο τμήμα είναι επίπεδη, το βάθος και η κλίση μπορεί να μειώνονται σε τιμές περισσότερο συγκείμενες με εκείνες της δίαιτας αβαθούς ροής χωρίς να μεταβάλλεται ο σχηματισμός της κοίτης.

  Η αντίσταση στη ροή και η μεταφορά φερτών επίσης παρουσιάζει την ίδια μεταβλητότητα όπως η μορφή της κοίτης στη μεταβατική ζώνη. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εξηγείται από τις μεταβολές της αντίστασης στη ροή και συνεπώς, τις μεταβολές στο βάθος και στην κλίση καθώς μεταβάλλεται η μορφή της κοίτης.

- Η δίαιτα της ροής με ανώτατη στάθμη νερού, όπου η αντίσταση στη ροή είναι μικρή και ο μεταφερόμενος όγκος φερτών μεγάλος. Οι συνήθεις μορφές κοίτης είναι επίπεδες ή αντιαμμοθύνες. Ο κυματισμός της επιφάνειας του νερού παρακολουθεί στην ίδια φάση τον κυματισμό του πυθμένα, εκτός όταν μια αντιαμμοθύνα θραύεται και συνήθως το υγρό δεν αποχωρίζεται από τα τοιχώματα.

Η αντίσταση ροής για διαφορετικές μορφές κοίτης και περισσότερο χονδρόκοκκα υλικά κοίτης δίνεται στα επόμενα. Για ενημέρωση επί της μεταφοράς φερτών και πρόσθετη πληροφόρηση για τις μορφές κοίτης ο αναγνώστης παραπέμπεται στο τεύχος Report No FHWA-HI-90-016.

Σε ροές με βάθος, τα περισσότερα ρέματα με αμμώδη κοίτη μεταπηδούν από μια κοίτη με αμμοθύνες σε μια μεταβατική κατάσταση ή σε μορφή επίπεδης κοίτης. Εάν η κλίση είναι μεγάλη μπορεί να συμβαίνει ροή με αντιαμμοθύνες. Τότε η αντίσταση στη ροή μειώνεται στο ήμισυ έως στο ένα τρίτο εκείνης της προηγούμενης αλλαγής της μορφής της κοίτης. Η αύξηση στην ταχύτητα και την αντίστοιχη μείωση στο βάθος μπορεί να αυξάνουν τη διάβρωση και τη φθορά γύρω από βάθρα γεφυρών, να αυξάνουν το απαιτούμενο μέγεθος λιθορριπών και να μειώνουν το απαιτούμενο μέγεθος της τάφρου. Εντούτοις, το μέγεθος της τάφρου μπορεί να πρέπει να αυξάνεται ώστε να περικλείει τα κύματα που συμβαίνουν όταν η ροή μεταβάλλεται σε ροή αντιαμμοθύνας.



Σχήμα 4.2.3-1: Μορφές ανωμαλιών κοίτης σε αμμώδεις τάφρους

4.2.4 Χονδρόκοκκα υλικά κοίτης

Σε αβαθή ροή, μπορεί τα χονδρόκοκκα αλλουβιακά υλικά να μη μετακινούνται, παρά μόνο όταν συμβαίνει μέση ή μεγάλη ροή. Με τη μετακίνηση των χονδρόκοκκων υλικών της κοίτης, μπορεί να σχηματίζονται μεγάλες ραβδώσεις στην κοίτη οι οποίες αποτελούν υπολείμματα σε αβαθή ροή. Αυτές οι ραβδώσεις μπορεί να αλλάζουν την κατεύθυνση της ροής και να προκαλούν διάβρωση στις όχθες, οπές από διάβρωση, καθώς και εμφράξεις των τάφρων. Η αντίσταση στη ροή από τα χονδρόκοκκα υλικά της κοίτης προκαλείται από την αδρότητα των κόκκων των υλικών και την απώλεια της μορφής της κοίτης από τις ραβδώσεις. Εντούτοις, τα χονδρόκοκκα υλικά της κοίτης σε αποχετευτικές τάφρους μπορεί να έχουν ένα ωφέλιμο αποτέλεσμα επειδή ελαττώνουν τη διάβρωση με τη θωράκιση της κοίτης που τα ίδια δημιουργούν. Ενημέρωση για τη θωράκιση μπορεί ο αναγνώστης να βρει στα τεύχη HEC-18, HEC-20 της FHWA.

4.3 Σταθερή Ομοιόμορφη Ροή

Σε σταθερή, ομοιόμορφη ροή ανοικτών αγωγών, δεν συμβαίνουν επιταχύνσεις, οι γραμμές του ρέματος είναι ευθύγραμμες και παράλληλες και η κατανομή της πίεσης είναι υδροστατική. Η κλίση της επιφάνειας του νερού S_W, της επιφάνειας της κοίτης S_O και η κλίση της γραμμής ενέργειας S_f είναι ίσες (βλ. Σχήμα 3.3.3-2). Οι συνθήκες που επικρατούν σ΄ αυτή τη ροή είναι οι απλούστερες ως προς την ανάλυσή τους. Η σταθερή ομοιόμορφη ροή είναι μια ιδανική περίπτωση για ροή σε ανοιχτούς αγωγούς και είναι δύσκολο να επιτευχθεί ακόμη και σε εργαστηριακές προσομοιώσεις. Για πολλές εφαρμογές, η ροή είναι βασικά σταθερή και οι μεταβολές στο πλάτος, το βάθος ή την κατεύθυνση (που προκύπτει από μη ομοιόμορφη ροή) είναι τόσο μικρές που μπορεί η ροή να θεωρείται ως ομοιόμορφη. Σε άλλες περιπτώσεις, οι μεταβολές συμβαίνουν σε τόσο μήκος της ροής όσο αυτή είναι βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή.

Το βάθος σε σταθερή ομοιόμορφη ροή ονομάζεται κανονικό βάθος και συμβολίζεται ως Y_0. Η ταχύτητα συμβολίζεται με V_0. Άλλες μεταβλητές που ενδιαφέρουν για τη σταθερή ομοιόμορφη ροή είναι η παροχετευτικότητα Q, η κατανομή της ταχύτητας κατά την

κατακόρυφη έννοια v_y , η απώλεια ενέργειας H_L, καθώς και η διατμητική τάση, τόσο τοπικά τόσο και στην κοίτη τ_0. Όλες αυτές οι μεταβλητές συνδέονται με σχέσεις οι οποίες δίνονται στα επόμενα.

4.3.1 Εξίσωση Manning για μέση ταχύτητα

Το νερό ρέει σε μια κεκλιμένη αποχετευτική τάφρο λόγω βαρύτητας. Στη ροή προκαλείται αντίσταση από την τριβή μεταξύ του νερού και της βρεχόμενης επιφάνειας της τάφρου. Η ποσότητα του νερού που ρέει (Q), το βάθος της ροής (y), καθώς και η ταχύτητα της ροής (V) εξαρτώνται από το σχήμα της τάφρου, την τραχύτητα (n) και την κλίση S_0. Μια χρήσιμη εξίσωση είναι αυτή που ονομάστηκε προς τιμή του Robert Manning, έναν Ιρλανδό μηχανικό.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad (4.3.1\text{-}1)$$

όπου:

V	[m/s]	:	η μέση ταχύτητα
n	[$m^{-1/3} \cdot s$]	:	ο συντελεστής τραχύτητας του Manning
R	[m]	:	η υδραυλική ακτίνα
S	[m/m]	:	η κλίση της ενέργειας (για σταθερή ομοιόμορφη ροή $S=S_0$)

Ένας σύντομος κατάλογος συντελεστών τραχύτητας του Manning δίνεται στους Πίνακες 4.3.1-1 και 4.3.1-2.

Πίνακας 4.3.1-1: Τιμές συντελεστή τραχύτητας της εξίσωσης Manning σε τεχνητές εγκαταστάσεις αποχέτευσης

Έργο	Ιδιότητες τοιχωμάτων	Συντελεστής **n** ($m^{-1/3}\cdot s$)
Ταπεινωμένη τάφρος νησίδας	α. Γαιώδη (χωρίς φυτική κάλυψη) β. Γαιώδη (με φυτική κάλυψη) γ. Χαλικόστρωτα	0,040 0,050 0,055
Επενδεδυμένες τάφροι (αποχέτευσης, συνέχειας, οφρύος, κτλ.), έγχυτοι ορθογωνικοί αγωγοί	Παλαιό σκυρόδεμα με καθαρές επιφάνειες	0,016
"Αβαθείς Πλευρικές τάφροι" επενδεδυμένες (τριγωνικές, τραπεζοειδείς), ρείθρα οδών	Παλαιό σκυρόδεμα, ασφαλτικό οδόστρωμα (επιφάνειες με κατακάθιση φερτών)	0,018
Αγωγοί με διαμόρφωση πυθμένα με κολυμβητούς λίθους σε σκυρόδεμα	Χονδρή λιθοδομή	0,020
Οχετοί υπεραστικών οδών και συλλεκτήρες αποχέτευσης ομβρίων αστικών περιοχών	Επιφάνεια σκυροδέματος : Για έλεγχο πληρότητας (ανώτατη στάθμη νερού) Για έλεγχο μέγιστης ταχύτητας	 0,018 0,012
Τσιμεντοσωλήνες	Επιφάνεια παλαιού σκυροδέματος, καθαρές επιφάνειες	0,016
Ανεπένδυτοι τάφροι σε έδαφος Γαιοημιβραχώδες	Γαιοημιβραχώδης πυθμένας με αποθέσεις Ανώμαλος βραχώδης πυθμένας	0,025 0,030
Ανεπένδυτοι τάφροι σε βραχώδες έδαφος		
Επενδεδυμένες τάφροι με συρματοκιβώτια ή με λιθορριπή (Rip-Rap)	Λίθοι με ομαλές επιφάνειες	0,025
Σωληνωτοί αγωγοί ακαθάρτων (για ροή λυμάτων με βαρύτητα)	α. Πλαστικοί β. Αμιαντοτσιμεντοσωλήνες γ. Τσιμεντοσωλήνες	0,014 0,015 0,016
Χαλυβδοσωλήνες Ελατός Χάλυβας	 Γαλβανισμένες επιφάνειες Μαύρες επιφάνειες	 0,013-0,017 0,012-0,015
Ελατοί Χυτοσιδηροί αγωγοί	Επενδεδυμένες επιφάνειες Ανεπένδυτες επιφάνειες	0,011-0,014 0,012-0,016
Κύρια κοίτη χειμάρρων-ρεμάτων	Χόρτα- χαμηλή βλάστηση	0,025-0,060
Κοίτη πλημμύρας χειμάρρων	Βλάστηση και δένδρα	0,050-0,150

Πίνακας 4.3.1-2: Τιμές συντελεστή τραχύτητας Manning "n" σε φυσικά ρέματα

1.	**Άκαμπτα τοιχώματα**	
1.1	Επένδυση με εκτοξευμένο σκυρόδεμα, γαιώδη σε καλή κατάσταση	0,017
1.2	Ευθύγραμμες κοίτες γαιώδεις σε καλή κατάσταση	0,020
1.3	Ορεινά ρέματα με βραχώδη κοίτη	0,040-0,050
2.	**Μικρά ρέματα σε πεδιάδες (πλάτος πλημμυρικής επιφάνειας <30 m)**	
2.1	Καθαρά, ευθύγραμμα, πλήρη, χωρίς ρήγματα ή σχηματιζόμενες λίμνες μικρού βάθους	0,025-0,033
2.2	Όπως (2.1), αλλά με περισσότερους λίθους και χόρτα	0,030-0,040
2.3	Καθαρά, ελικοειδή, με μερικές λίμνες και τέλματα	0,033-0,045
2.4	Όπως (2.3), αλλά με λίγα χόρτα και λίθους	0,035-0,050
2.5	Όπως (2.4), χαμηλότερη πληρότητα, περισσότερες μη ενεργές κλίσεις και τμήματα	0,040-0,055
2.6	Όπως (2.5), αλλά με περισσότερους λίθους	0,045-0,060
2.7	Βραδείας κίνησης, χορταριασμένα, βαθιές λίμνες	0,050-0,080
2.8	Πολύ χορταριασμένα, βαθιές λίμνες, ή πλημμυριζόμενης διαδρομής με πάρα πολλά εμπόδια από κλαδιά και θάμνους	0,075-0,150
3.	**Ορεινά ρέματα, χωρίς βλάστηση, όχθες απότομες, δένδρα και θάμνοι κατά μήκος των όχθεων που πλημμυρίζονται**	
3.1	Κοίτη: χαλίκια, κροκάλες και λίγοι ογκόλιθοι	0,030-0,050
3.2	Κοίτη: κροκάλες με μεγάλους ογκόλιθους	0,040-0,070
4.	**Μεγάλα ρέματα (πλάτος πλημμυρικής επιφάνειας >30 m)**	
	Η τιμή "n" είναι μικρότερη από εκείνες των μικρών ρεμάτων με παρόμοια περιγραφή, επειδή οι όχθες προσφέρουν λιγότερη αποτελεσματική αντίσταση στη ροή.	
4.1	Κανονική διατομή χωρίς ογκόλιθους ή θάμνους	0,025-0,060
4.2	Ακανόνιστη διατομή και τραχέα τμήματα	0,035-0,100
5.	**Αλουβιακές τάφροι με αμμώδη κοίτη χωρίς βλάστηση**	
5.1	Ήρεμη ροή, Fr<1	
5.1.1	Επίπεδη κοίτη	0,014-0,020
5.1.2	Πτυχωτή κοίτη	0,018-0,030
5.1.3	Αμμοθύνες	0,020-0,040
5.1.4	Ξεπλυμένες αμμοθύνες ή σε μεταβατική κατάσταση	0,014-0,025
5.2	Ταχεία ροή, Fr>1	
5.2.1	Στάσιμοι κυματισμοί	0,010-0,015
5.2.2	Antidunnes	0,012-0,020

4.3.3 Διατμητική ένταση

Η διατμητική ένταση είναι η δύναμη που εξασκεί το νερό επί της κοίτης και των πλευρών μιας τάφρου καθώς αυτό ρέει επάνω στις επιφάνειες αυτών. Αυτές οι διατμητικές δυνάμεις υπολογίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις.

α. Η πρώτη εξίσωση είναι μια ακριβής εξίσωση που δίνει τη διατμητική ένταση επί της βρεχόμενης περιμέτρου:

$$\tau_0 = \gamma\, R\, S_0 \qquad (4.3.3\text{-}1)$$

όπου:

τ_0	[N/m^2]	: μέση διατμητική ένταση επί της βρεχόμενης περιμέτρου
γ	[N/m^3]	: ειδικό βάρος του νερού
R	[m]	: υδραυλική ακτίνα
S_0	[m/m]	: κατά μήκος της τάφρου, σε βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή η κλίση είναι αυτή της γραμμής της ενέργειας, $S_0 = S_f$

β. Οι δύο επόμενες εξισώσεις είναι ημι-εμπειρικές και προέρχονται από την επίλυση της εξίσωσης της ταχύτητας των Karman-Prandtl:

$$\tau_0 = \frac{\rho (v_1 - v_2)^2}{\left[5{,}75 \log\left(\frac{y_1}{y_2}\right)\right]^2} \qquad (4.3.3\text{-}2)$$

$$\tau_0 = \frac{\rho V^2}{\left[5{,}75 \log\left(12{,}27 \frac{y_0}{k_s}\right)\right]^2} \qquad (4.3.3\text{-}3)$$

όπου:

τ_0	[N/m^2]	: η διατμητική ένταση σε ένα σημείο της ροής
v	[m/s]	: οι σημειακές ταχύτητες σε κατακόρυφο επίπεδο
V	[m/s]	: η μέση ταχύτητα σε κατακόρυφο επίπεδο σε βάθος y_0
ρ	[kg/m3]	: πυκνότητα νερού
k_s	[m]	: μέτρο του ύψους τραχύτητας, μεταβάλλεται από το μέγεθος D_{84} για κοίτη τάφρου καθαρής άμμου, έως 3,5 D_{84} για κοίτη ρέμματος χονδρόκοκκου υλικού για πρακτικούς λόγους εφαρμόζεται η τιμή 3,5 D_{84}.

Παράδειγμα

Προσδιορίστε τη διατμητική ένταση κατά μήκος της βρεχόμενης περιμέτρου μιας τραπεζοειδούς τάφρου. Επίσης προσδιορίστε τη διατμητική ένταση επί ενός σωματιδίου κατά μήκος της κοίτης της ίδιας τάφρου.

Δεδομένα:

Πλάτος κοίτης 5 m, βάθος νερού 1,25 m και κλίση πρανών υ:β=1:3 και κατά μήκος κλίση 0,5% και διάσταση λίθων D_{84}=0,15 m.

Ζητούμενα:

(1) η διατμητική ένταση: "τ_0" κατά μήκος της βρεχόμενης περιμέτρου

(2) η διατμητική ένταση: "τ_0" κατά μήκος της κοίτης

Λύση: (1) η διατμητική ένταση κατά μήκος της βρεχόμενης περιμέτρου υπολογίζεται από την εξίσωση

τ_0 : γ R S

A : 5 x 1,25 + 3 x $1,25^2$ = 10,94 m^2 (επιφάνεια διατομής)

P : 5 + 2 x 1,25 x $10^{0,5}$ = 12,91 m (βρεχόμενη περίμετρος διατομής)

R : 10,94/12,91 = 0,85 m (υδραυλική ακτίνα)

τ_0 : 9 800 x 0,85 x 0,005 = 41,6 N/m^2

(2) η διατμητική ένταση κατά μήκος της κοίτης σε ένα σημείο υπολογίζεται από την εξίσωση

$$\tau_0 = \frac{\rho V^2}{\left[5,75 log\left(12,27 \times Y_0/k_s\right)\right]^2}$$

$$\tau_0 = \frac{1000 \times 1,8^2}{\left[5,75 log\left(\frac{12,27 \times 1,25}{3,5 \times 0,15}\right)\right]^2} = 45,6\ N/m^2$$

Πίνακας 4.3.3-1: Επιτρεπόμενη διατμητική ένταση ανάλογα υλικού επένδυσης

Διαστάσεις λίθων [mm]	Επιτρεπόμενη διατμητική ένταση [Pa]
25	15,8
50	32,1
150	95,8
300	191,5

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΙΑ ΡΟΗ ΣΕ ΑΝΟΙΧΤΕΣ ΤΑΦΡΟΥΣ

5.1 Γενικές Αρχές Σχεδιασμού

Η παροχετευτικότητα μιας αποχετευτικής τάφρου εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθος, την κλίση και την τραχύτητα των τοιχωμάτων της. Για μια τάφρο με δεδομένη διατομή η παροχετευτικότητα γίνεται μεγαλύτερη όταν η κλίση ή το βάθος ροής αυξάνεται. Η παροχετευτικότητα της τάφρου ελαττώνεται όταν η επιφάνεια των τοιχωμάτων της τάφρου αποκτά μεγαλύτερη τραχύτητα. Για παράδειγμα, η επένδυση μιας τάφρου με λιθορριπή προσφέρει περίπου τη μισή παροχετευτικότητα από ότι η επένδυση με σκυρόδεμα, για τάφρους με την ίδια διατομή και κλίση, λόγω της διαφοράς στην τραχύτητα. Μια τάφρος με μεγάλη τραχύτητα μερικές φορές αποτελεί πλεονέκτημα σε ισχυρές κλίσεις όπου είναι επιθυμητό να εμποδίζεται η ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων.

Το πλέον αποτελεσματικό σχήμα τάφρου είναι αυτό που έχει διατομή ημικυκλική, όμως η υδραυλική αποτελεσματικότητα δεν είναι το μόνο κριτήριο. Επιπλέον των υδραυλικών επιδόσεων της λειτουργίας μιας τάφρου, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η οικονομικότητα της κατασκευής που συνδυάζεται με τη διασφάλιση της ελάχιστης συντήρησης κατά τη διάρκεια της ζωής μιας οδού. Ακόμη πέραν από το σχεδιασμό που διασφαλίζει έναντι ατυχημάτων, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι βλάβες σε παρόδιες χρήσεις γης που μπορεί να προκαλούνται κατά την εκτόνωση της συλλεγόμενης απορροής. Οι περισσότερες από αυτές τις πρόσθετες απαιτήσεις κατά κανόνα ελαττώνουν την υδραυλική ικανότητα μιας τάφρου. Κατά συνέπεια, ο βέλτιστος σχεδιασμός, για ένα συγκεκριμένο τμήμα οδού, συνδυάζεται με το συμβιβασμό των ποικίλων απαιτήσεων, οι οποίες πολλές φορές έχουν η κάθε μια διαφορετική επιρροή στο σχεδιασμό.

Συνήθως το πλάτος της ζώνης απαλλοτρίωσης επιτρέπει ελάχιστες εναλλακτικές επιλογές για τη χάραξη ή την κλίση μιας τάφρου, όμως όσο είναι πρακτικά δυνατό, απότομες αλλαγές στη χάραξη ή την κλίση θα πρέπει να αποφεύγονται. Μια απότομη αλλαγή στη χάραξη δημιουργεί, σημεία επίθεσης της ροής και οι απότομες αλλαγές στην κλίση είτε προκαλούν αποθέσεις από φερτά υλικά στις περιοχές όπου η κλίση οριζοντιώνεται, είτε διάβρωση όταν η κλίση γίνεται πιο ισχυρή.

Δεν είναι απαραίτητο να τυποποιείται ο σχεδιασμός των παρόδιων τάφρων σε οποιοδήποτε μήκος της οδού. Οχι μόνο το βάθος και το πλάτος της τάφρου μπορεί να μεταβάλλεται με αντίστοιχη μεταβολή της παροχετευτικότητας, της κλίσης της τάφρου καθώς και της απόστασης μεταξύ των πλευρικών σημείων εκτόνωσης, αλλά και οι διαστάσεις της τάφρου μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με το είδος της επένδυσης των τοιχωμάτων της.

Η συστηματική συντήρηση είναι βασικός παράγοντας για κάθε αποχετευτική τάφρο. Χωρίς την κατάλληλη συντήρηση μια καλοσχεδιασμένη τάφρος μπορεί να γίνει ένα αποκρουστικό θέαμα. Οι μέθοδοι συντήρησης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό έτσι ώστε οι διατομές των τάφρων να είναι κατάλληλες για τις μεθόδους και τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιείται.

5.2 Σχεδιασμός Επενδυμένων Τάφρων

5.2.1 Βασικές αρχές

Οι παρόδιες τάφροι συνήθως χρησιμοποιούνται σε οδούς χωρίς κράσπεδα για να παραλαμβάνουν και μεταφέρουν την απορροή του καταστρώματος της οδού αλλά και την απορροή που προσέρχεται από επιφάνειες γύρω από την οδό. Τμήμα μιας τάφρου μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται σε τμήματα οδών με κράσπεδα για να διακόπτει την εκτός του καταστρώματος απορροή έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι αποθέσεις φερτών επί της οδού, καθώς και να ελαττώνουν την ποσότητα του νερού που πρέπει να μεταφέρεται από το ρείθρο της οδού. Ακόμη και σε σχετικά ήπιες κατά μήκος κλίσεις της οδού, συνθήκες έντονης διαβρωσιμότητας μπορεί να συμβαίνουν στις παρόδιες τάφρους. Κατά συνέπεια, ο σχεδιασμός επενδεδυμένης τάφρου γίνεται κρίσιμος παράγοντας στο σχεδιασμό των παρόδιων τάφρων.

Η ανάγκη για την πρόβλεψη της διάβρωσης δεν περιορίζεται στις παρόδιες τάφρους, αλλά εκτείνεται σε όλο το εύρος της ζώνης απαλλοτρίωσης και είναι ουσιαστικής σημασίας ο επαρκής σχεδιασμός της αποχέτευσης. Η διάβρωση και συντήρηση ελαχιστοποιούνται με τη χρήση των πολύ ήπιας κλίσης πρανών και την προσαρμογή τους με τη φυσική επιφάνεια εδάφους, τον σχεδιασμό αποχετευτικών τάφρων με την οφειλόμενη θεώρηση της θέσης, του πλάτους, του βάθους, των κλίσεων των πρανών, της χάραξης και των μέτρων προστασίας, των κατάλληλων μέτρων για τη διακοπή του υπόγειου ορίζοντα, των αναχωμάτων, των αναβαθμών, καθώς και άλλων μέτρων προστασίας όπως φύτευση πρασίνου.

Το είδος της επένδυσης των τάφρων θα πρέπει να συμβαδίζει με τον απαιτούμενο βαθμό προστασίας, το συνολικό κόστος, τις απαιτήσεις της οδικής ασφάλειας, καθώς και την αισθητική θεώρηση.

5.2.2 Υλικά επένδυσης

Τα υλικά επένδυσης μπορεί να ταξινομούνται ως εύκαμπτα ή άκαμπτα. Οι εύκαμπτες επενδύσεις είναι ικανές να προσαρμόζονται στις αλλαγές του σχήματος της τάφρου και μπορούν να διατηρούν τέτοιες αλλαγές, ενώ παράλληλα να υποστηρίζουν και τη συνολική ακεραιότητα της τάφρου. Αντιθέτως, οι άκαμπτες επενδύσεις δε μπορούν να αλλάζουν σχήμα και τείνουν να καταρρέουν όταν ένα τμήμα της επένδυσης καταστρέφεται. Το σχήμα της τάφρου μπορεί να αλλάζει λόγω της διόγκωσης του υποκείμενου εδάφους από παγετό, από κατεισδίοντα νερά κτλ. Τυπικά υλικά επένδυσης είναι οι χλοοτάπητες, οι λιθορριπές και συρματοκλωβοί (συρματοκιβώτια ή συρματοστρώματα), ενώ μια τυπική άκαμπτη επένδυση είναι το σκυρόδεμα.

Οι εύκαμπτες επενδύσεις γενικά είναι μικρότερου κόστους, προσφέρουν περισσότερο φυσική εμφάνιση, και είναι τυπικά περισσότερο αποδεκτές περιβαλλοντικά. Εντούτοις, οι εύκαμπτες επενδύσεις έχουν περιορισμένη αντοχή στις διαβρωτικές δυνάμεις, στις οποίες δεν αντιστέκονται χωρίς να υφίστανται φθορές. Μια άκαμπτη επένδυση μπορεί τυπικά να παρέχει μεγαλύτερη ικανότητα και αντίσταση στη διάβρωση και σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να αποτελεί τη μόνη εφικτή εναλλακτική λύση.

Οι άκαμπτες επενδύσεις μπορεί να είναι μόνιμες ή προσωρινές. Οι προσωρινές συνήθως χρησιμοποιούνται για να παρέχουν προστασία από διάβρωση μέχρις ότου μια μόνιμη επένδυση, όπως ο χλοοτάπητας, αναπτυχθεί επαρκώς. Οι προσωρινές εύκαμπτες επενδύσεις είναι τυπικά ένα δίχτυ ή στρώμα από φυσικές ή συνθετικές ίνες που

επιστρώνονται επί της τάφρου μετά από τις διαδικασίες σποράς του μόνιμου χλοοτάπητα, και στερεώνεται με κατάλληλες αγκυρώσεις. Οι μόνιμες εύκαμπτες επενδύσεις περιλαμβάνουν φύτευση και βραχώδης λιθορριπές. Οι λιθορριπές εκφορτώνονται επάνω σε φίλτρο κοκκώδες ή γαιοϋφάσματος, σε προετοιμασμένα πρανή και έτσι ώστε αυτές να σχηματίσουν μια καλά διαμορφωμένη μάζα με ελάχιστα κενά. Τα βραχώδη προϊόντα που χρησιμοποιούνται στις λιθορριπές πρέπει να είναι σκληρά, ανθεκτικά, κατά προτίμηση γωνιώδους σχήματος και καθαρά από επιστρώσεις αργιλικού και οργανικού υλικού. Η αντίσταση στην αποδιοργάνωση, λόγω της διάβρωσης που δημιουργεί η λειτουργία της τάφρου, πρέπει να προσδιορίζεται με προδιαγραφόμενες δοκιμές επιτόπου και εργαστηριακά.

Η κατασκευή άκαμπτης επένδυσης σκυροδέματος απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και δαπανηρά υλικά. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι ότι η άκαμπτη επένδυση είναι υψηλού κόστους. Οι προκατασκευασμένες επενδύσεις μπορεί να είναι μικρότερου κόστους αν οι αποστάσεις μεταφοράς δεν είναι πολύ μεγάλες. Τυπικά προκατασκευασμένα στοιχεία επένδυσης είναι τα διασυνδεόμενα τεμάχια σκυροδέματος π.χ. οι κυβόλιθοι.

Γενικά όταν απαιτείται μια επένδυση, θα πρέπει να επιλέγεται αυτή που έχει το χαμηλότερο κόστος και παρέχει επαρκή προστασία από τη διάβρωση. Σε περιοχές με υγρασία συνήθως η επένδυση με φυτοκάλυψη είναι καταλληλότερη, ή/και ο συνδυασμός αυτής με άλλα είδη επένδυσης. Ως εκ τούτου μια τάφρος μπορεί να επενδύεται με χλοοτάπητα στα τμήματα με πολύ μικρές κλίσεις και με περισσότερο ανθεκτικά υλικά σε τμήματα με ισχυρές κλίσεις. Κατά την έννοια της διατομής μια τάφρος μπορεί να επενδύεται με υψηλής αντοχής υλικό μέχρι το βάθος που απαιτείται για τις συνήθεις συνθήκες πλημμύρας ενώ το υπόλοιπο τμήμα (καθ΄ ύψος) μπορεί να επενδύεται με χλοοτάπητα για την προστασία από τις σπάνιες πλημμύρες. Ως παράδειγμα αναφέρεται η κατασκευή μέρους του πλάτους μιας αβαθούς τάφρου κυκλικής διατομής με σκυρόδεμα ενώ το υπόλοιπο με χλοοτάπητα. Το πλάτος σκυροδέματος σε αυτή την τάφρο υπολογίζεται με βάση την κατανομή των ταχυτήτων που αναπτύσσονται μέσα στο εύρος της διατομής.

5.2.3 Σχεδιασμός σταθεροποιημένων τάφρων

Ο σχεδιασμός σταθεροποιημένης τάφρου μπορεί να στηρίζεται στις παραδοχές στατικής ή δυναμικής ισορροπίας. Η στατική ισορροπία υπάρχει όταν τα τοιχώματα της τάφρου είναι ουσιαστικά άκαμπτα και τα υλικά που σχηματίζουν τα τοιχώματα αντιστέκονται στις διαβρωτικές δυνάμεις της ροής. Κάτω από τέτοιες συνθήκες η τάφρος παραμένει ουσιαστικά αμετάβλητη κατά τη διάρκεια της ροής σχεδιασμού και οι αρχές της υδραυλικής για άκαμπτα τοιχώματα μπορεί να εφαρμόζονται. Η δυναμική ισορροπία υπάρχει όταν τα τοιχώματα της τάφρου είναι κινούμενα και οι μικρές αλλαγές στην κοίτη και στις πλευρές της τάφρου συμβαίνουν. Ενα δυναμικό σύστημα θεωρείται σταθερό όσο το δίκτυο των αλλαγών δεν υπερβαίνει αποδεκτά επίπεδα. Ο σχεδιασμός σταθεροποιημένης τάφρου κάτω από συνθήκες δυναμικής ισορροπίας πρέπει να στηρίζεται στις παραδοχές μεταφοράς φερτών. Στις περισσότερες περιπτώσεις παρόδιων τάφρων η αστάθεια της κοίτης και των πλευρών και/ή πιθανή πλευρική κίνηση των υλικών δε μπορεί να αντιμετωπισθεί και ο σχεδιασμός πρέπει να στηρίζεται στις παραδοχές της στατικής ισορροπίας, με τη χρήση υλικών επένδυσης εάν είναι απαραίτητο για να επιτυγχάνεται η συνθήκη άκαμπτων τοιχωμάτων.

Εχουν αναπτυχθεί δυο μέθοδοι και συνήθως εφαρμόζονται για το σχεδιασμό με συνθήκες στατικής ισορροπίας: την επιτρεπόμενη ταχύτητα και την επιτρεπόμενη συρτική δύναμη. Με την προσέγγιση της επιτρεπόμενης ταχύτητας η τάφρος θεωρείται σταθεροποιημένη αν η υιοθετούμενη μέση ταχύτητα είναι μικρότερη από τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα για δεδομένες συνθήκες τοιχωμάτων της τάφρου. Ομοίως, η προσέγγιση της συρτικής δύναμης απαιτεί ότι η διατμητιική ένταση επί της κοίτης και των όχθεων της τάφρου δεν υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα μεγέθη για δεδομένα τοιχώματα τάφρου.

Ο ορισμός και η εξίσωση υπολογισμού της συρτικής δύναμης παρέχεται στο κεφάλαιο 4, εξίσωση (4.3.3-1). Αυτή η εξίσωση ορίζει τη μέση συρτική δύναμη στην τάφρο. Η μέγιστη διατμητκή ένταση κατά μήκος της κοίτης της τάφρου μπορεί να εκτιμάται αντικαθιστώντας το βάθος ροής, y, για την υδραυλική ακτίνα, R στην εξίσωση. Η επιτρεπόμενη συρτική δύναμη για διάφορα υλικά επένδυσης δίνεται στον επόμενο Πίνακα 5.2.3-1. Εάν η υπολογιζόμενη συρτική δύναμη είναι μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη για ένα συγκεκριμένο υλικό επένδυσης η τάφρος δε θα είναι σταθεροποιημένη. Ο υπολογισμός των υδραυλικών γεωμετρικών συνθηκών μπορεί να βασίζεται σε συνθήκες κανονικού βάθους ροής. Οι τιμές του συντελεστή “n” του Manning για εύκαμπτες επενδύσεις χωρίς βλάστηση δίνονται στον επόμενο Πίνακα 5.2.3-2. Οι τιμές του “n” θα ποικίλουν ανάλογα με το βάθος με μεγαλύτερη τραχύτητα στα μικρά βάθη και λιγότερη τραχύτητα στα μεγάλη βάθη ροής. Στην εγκύκλιο HEC-15 της FHWA περιγράφονται η διαδικασία μελέτης της συρτικής δύναμης σε σταθεροποιημένες τάφρους, όπου αναφέρονται και ειδικές θεωρήσεις για το σχεδιασμό λιθορριπών με ισχυρές κλίσεις καθώς και σύνθετων επενδύσεων.

Πίνακας 5.2.3-1: Επιτρεπόμενες διατμητικές εντάσεις σε υλικά επένδυσης τάφρων

Κατηγορία επένδυσης	Τύπος επένδυσης	Διατμητική ένταση [Pa]
Προσωρινή *	Πλεκτά δίχτυα	7,2
	Δίχτυα ιούτας (Jute)	21,6
	Αχυρα με δίχτυα	69,4
	Στρώματα με ροκανίδια	74,2
	Συνθετικά στρώματα	95,8
Χλοοτάπητας	Ανάλογα με την ποιότητα και το ύψος του	177,2 έως 16,8
Λιθορριπή	25 mm	15,8
	50 mm	32,1
	150 mm	95,8
	300 mm	191,5
Γυμνά εδάφη	Μη συνεκτικά	Βλ. HEC-15
	Συνεκτικά	

* Μερικές «προσωρινές» επενδύσεις γίνονται μόνιμες όταν επικαλύπτονται.

Πίνακας 5.2.3-2: Συντελεστές "n" τραχύτητας Manning

Κατηγορία επένδυσης	Τύπος επένδυσης	Τιμή "n"		
		Πεδίο βάθους y [cm]		
		y≤15	15<y≤60	60<y
Ακαμπτη	Σκυρόδεμα	0,015	0,013	0,013
	Λιθόδεμα	0,040	0,030	0,028
	Λιθοδομή	0,042	0,032	0,030
	Εδαφος με τσιμέντο	0,025	0,022	0,020
	Ασφαλτική επίστρωση	0,018	0,016	0,016
Χωρίς επένδυση	Γυμνό έδαφος	0,023	0,020	0,020
	Βραχώδες όρυγμα	0,045	0,035	0,025
Προσωρινή *	Πλεκτά δίχτυα	0,016	0,015	0,015
	Δίχτυα ιούτας (Jute)	0,028	0,022	0,019
	Αχυρα με δίχτυα	0,065	0,033	0,025
	Στρώματα με ροκανίδια	0,066	0,035	0,028
	Συνθετικά στρώματα	0,036	0,025	0,021
Λιθορριπή	25 mm D_{50}	0,044	0,033	0,030
	50 mm D_{50}	0,066	0,041	0,034
	150 mm D_{50}	0,104	0,069	0,035
	300 mm D_{50}	-	0,078	0,040

* Μερικές «προσωρινές» επενδύσεις γίνονται μόνιμες όταν επικαλύπτονται.

Σημείωση:

Οι αναγραφόμενες τιμές "n" του Πίνακα είναι αντιπροσωπευτικές για τα αντίστοιχα πεδία βάθους.

Οι συντελεστές "n" τραχύτητας Manning μεταβάλλονται ανάλογα με το βάθος ροής

5.3 Αποχέτευση Οδοστρώματος

5.3.1 Βασικές αρχές

Η μελέτη αποχέτευσης οδοστρώματος παρέχει την αποτελεσματική απομάκρυνση των ομβρίων από την επιφάνεια κυκλοφορίας. Η αποχέτευση οδοστρώματος σε παράπλευρο ρείθρο ή αβαθή επιφάνεια παραπλεύρως της οδού είναι μια άλλη περίπτωση ροής ανοικτού αγωγού.

Το νερό επί του οδοστρώματος επιβραδύνει την κυκλοφορία των οχημάτων και συνεισφέρει σε ατυχήματα, λόγω υδροολίσθησης και απώλειας της ορατότητας από την εκτίναξη των σταγονιδίων νερού. Η μελέτη αποχέτευσης οδοστρώματος τυπικά βασίζεται σε παραδοχές για το επιτρεπόμενο κατακλυζόμενο πλάτος της διατομής των οδών. Το εύρος κατάκλυσης μπορεί να γίνεται αποδεκτό ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο και την ταχύτητα σε κάθε οδό. Σε οδούς υψηλών ταχυτήτων και με μεγάλους φόρτους όπως είναι οι αυτοκινητόδρομοι, η μελέτη πρέπει να στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του εύρους κατάκλυσης των λωρίδων κυκλοφορίας για το επεισόδιο βροχόπτωσης που τίθεται ως στόχος σχεδιασμού.

Τα πρότυπα της γεωμετρικής μελέτης των στοιχείων της οδού επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό αποχέτευσης του οδοστρώματος. Τέτοια στοιχεία είναι τα κράσπεδα, τα ρείθρα, οι κατά μήκος και εγκάρσιες κλίσεις της οδού, τα ερείσματα και οι πρόσθετες λωρίδες.

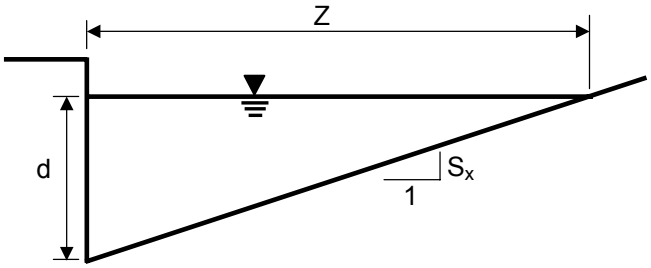
Η κατά μήκος κλίση της οδού επηρεάζει το εύρος κατάκλυσης του οδοστρώματος. Σε οδοστρώματα με κράσπεδα, τυπικά απαιτείται μια ελάχιστη κλίση 0,3% που υποβοηθά την αποχέτευση. Οι ελάχιστες κλίσεις μπορεί να επιτυγχάνονται στις περιπτώσεις οδών σε επίπεδα εδάφη με κατάλληλο σχεδιασμό της μηκοτομής και των επικλίσεων, ώστε να επιτυγχάνεται επαρκής κατά μήκος κλίση στα ρείθρα της οδού. Επαρκής επίκλιση ελαττώνει το αναπτυσσόμενο βάθος νερού επί του οδοστρώματος και ως εκ τούτου προσφέρει μια σημαντική δυνατότητα στην εφαρμογή μέτρων έναντι της υδροολίσθησης.

Σε περιοχές όπου η φυτική κάλυψη δε μπορεί χρησιμοποιηθεί για την πρόληψη ζημιών από διάβρωση υψηλών επιχωμάτων στα ερείσματα της οδού πρέπει να εφαρμόζεται κατάλληλη διάταξη η οποία θα παραλαμβάνει την απορροή του οδοστρώματος και θα την καθοδηγεί στον πόδα του πρανούς.

5.3.2 Ροή σε αβαθείς πλευρικές τάφρους

Σε υπεραστικές οδούς κατηγορίας “ΑΙ” έως “ΑΙV” και σε αστικές οδούς κατηγορίας “ΒΙ” (βλ. ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ) η αποχέτευση του οδοστρώματος, όπου απαιτείται, επιτυγχάνεται με την κατασκευή αβαθών τάφρων (gutters) που τοποθετούνται παράπλευρα της οδού και σε συνέχεια με το οδόστρωμα.

Το πλάτος της επιφάνειας “Ζ” του πρίσματος της ροής (βλ. Σχήμα 5.3.2-1) που δημιουργείται μέσα στην αβαθή τάφρο θα πρέπει να περιορίζεται στο πλάτος του ερείσματος και ενδεχομένως επιπλέον σε μέρος του πλάτους της συνεχόμενης λωρίδας κυκλοφορίας (βλ. Πίνακες 2.4-3 και 2.4-4). Το βάθος ροής σε αυτές τις τάφρους δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 35 cm. Σε καμία περίπτωση δε θα πρέπει η ταχύτητα της ροής να είναι τόσο μεγάλη ώστε να προκαλείται υπερβολική διάβρωση ή να παρουσιάζεται κίνδυνος από άποψη οδικής ασφάλειας.



Σχήμα 5.3.2-1: Τυπική διατομή αβαθούς τριγωνικής τάφρου (Gutter)

Η εξίσωση υπολογισμού της παροχετευτικότητας της ροής σε αβαθή τάφρο είναι μια τροποποιημένη έκδοση της εξίσωσης του Manning. Αυτή βασίζεται σε μια τιμή τραχύτητας n=0,015 s/m$^{1/3}$. Συνήθως η παροχή, η κατά μήκος και εγκάρσια κλίση είναι γνωστές και απαιτείται ο προσδιορισμός του βάθους και του πλάτους της ροής. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό είναι:

$$Q = \frac{0,376}{n} S_x^{5/3} S^{1/2} Z^{8/3} \qquad (5.3.2\text{-}1)$$

και εξ αυτής με βάση τη σχέση $Z = \frac{d}{S_x}$ προκύπτουν οι εξισώσεις:

$$d = \left[\frac{QS_x}{25S^{0.5}}\right]^{3/8} \qquad (5.3.2\text{-}2)$$

$$Z = S_x^{-5/8}\left(\frac{Q}{25S^{0.5}}\right)^{3/8} \qquad (5.3.2\text{-}3)$$

όπου:

- d [mm] : το βάθος ροής στην όψη του κρασπέδου
- Q [m^3/s] : η παροχετευτικότητα της τάφρου με βάθος ροής d
- S [m/m] : η κατά μήκος κλίση της τάφρου
- S_x [m/m] : η εγκάρσια κλίση της τάφρου
- Z [m] : το πλάτος της επιφάνειας του πρίσματος της ροής.

Οι συνιστώμενες τιμές του συντελεστή “n” δίνονται στον επόμενο Πίνακα 5.3.2-1.

Πίνακας 5.3.2-1: Τιμές συντελεστή "n" τραχύτητας Manning σε ρείθρα

Είδος επιφάνειας ρείθρου ή οδοστρώματος	Συντελεστής "n"
Σκυρόδεμα μυστρομένο	0,012
Ασφαλτική:	
Λεία υφή	0,013
Αδρή υφή	0,016
Ρείθρο σκυροδέματος με οδόστρωμα ασφαλτικό:	
Λείο	0,013
Αδρό	0,015
Οδόστρωμα σκυροδέματος:	
Λεία επιφάνεια (επεξεργασία με ελικοπτεράκι)	0,014
Επιφάνεια επεξεργασμένη με βούρτσα	0,016
Σε ρείθρα με μικρή κατά μήκος κλίση, όπου αναμένεται συσσώρευση φερτών προσαυξάνονται οι προηγούμενες τιμές κατά	+ 0,002

Σημείωση: Εκτιμώμενες τιμές από FHWA

5.3.3 Συστήματα αποχέτευσης με υπόνομο και στόμια υδροσυλλογής σχισμής

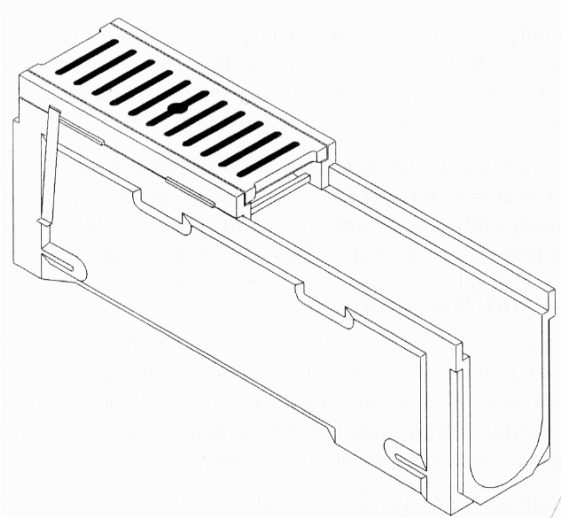
Είναι γεγονός ότι, οι συνθήκες που προϋποθέτουν τη χρήση συστήματος αποχέτευσης με υπόνομο και στόμια υδροσυλλογής σχισμής μπορεί στην πραγματικότητα να εμποδίζουν την αποδοτικότητα του. Τα στόμια υδροσυλλογής με σχισμή συνήθως τοποθετούνται σε τμήματα με ελάχιστη κατά μήκος κλίση και επίκλιση για μεγαλύτερη απόδοση στην απορρόφηση της διάχυτης επί του οδοστρώματος απορροής. Όμως επειδή η κλίση του πυθμένα του υπονόμου κατασκευάζεται παράλληλη με την επιφάνεια του οδοστρώματος, ως συνέπεια προκύπτει ότι η ροή εντός του υπονόμου γίνεται με πολύ μικρές ταχύτητες οι οποίες δεν εμποδίζουν την κατακάθιση λεπτόκοκκων υλικών.

Ένα σχετικώς πρόσφατο (τελευταία 5-7 έτη) είδος αποχετευτικού συστήματος επονομαζόμενο «σχαρωτός αγωγός» (βλ. Σχήμα 5.2-1) αποτελείται από προκατασκευασμένα τεμάχια μήκους 1 m με αφαιρετή σχάρα και πυθμένα είτε στο ίδιο βάθος από αυτή είτε με κλίση 0,5% ως προς αυτή. Οι εσωτερικές παρειές του συστήματος είναι στρογγυλευμένες λείες ώστε να εξασφαλίζεται η βελτιωμένη ροή και να ελαχιστοποιείται η κατακάθιση φερτών.

Αυτά τα συστήματα «σχαρωτών αγωγών» με τη συνεχή σχάρα είναι τα καταλληλότερα για τη διακοπή και συλλογή της διάχυτης απορροής σε επιφάνειες περίπου επίπεδες, όπως συμβαίνει σε οδοστρώματα με μικρή ή και καθόλου κατά μήκος κλίση. Ένας περιοριστικός παράγοντας στη χρήση τους είναι ότι αυτά δεν έχουν την ικανότητα να παροχετεύουν ροές >0,14 m^3/s σε μεγάλο μήκος επειδή, με τα προκατασκευασμένα τεμάχια που διατίθενται στο εμπόριο, μπορεί να υλοποιηθεί μεταβολή βάθους από περίπου 125 mm έως 300 mm σε μήκος 90 m (συνήθως κυκλοφορούν τεμάχια με κλίση πυθμένα 0,5% που υλοποιούν τουλάχιστον συνολικό μήκος 20 m).

Ως προς τις άλλες παραμέτρους όπως είναι η κατασκευασιμότητα και η συντήρηση τα εν λόγω συστήματα είναι συγκρίσιμα με τα συνήθη συστήματα «υπόνομος-φρεάτια υδροσυλλογής». Το υψηλότερο κόστος αγοράς αυτών των προκατασκευασμένων συστημάτων αντισταθμίζεται από το μικρότερο κόστος των εργασιών τοποθέτησης, επειδή δε χρειάζονται βαριά μηχανήματα.

Τα υπόψη συστήματα κατασκευάζονται από ελαφρύ σκυρόδεμα πολυμερών, αν και διατίθενται στη διεθνή αγορά και από άλλα υλικά. Οι σχάρες κατασκευάζονται από ποικιλία υλικών, ανάλογα με τη θέση εφαρμογής τους, όπως είναι τα υλικά “fiberglass”, ανοξείδωτος και γαλβανισμένος χάλυβας, ορύχαλκος, συνθετικές ρυτίνες, καθώς και ελατός χυτοσίδηρος.



Σχήμα 5.3.3-1: Σχαρωτός αγωγός

5.3.4 Αποχέτευση νησίδων, πλευράς οδού με πρανή επιχωμάτων

Ο διαχωρισμός μεταξύ των οδοστρωμάτων των δυο αντιθέτων κατευθύνσεων κυκλοφορίας σε αυτοκινητοδρόμους ή μεταξύ αυτοκινητοδρόμου και παράπλευρης οδού γίνεται με διάταξη κεντρικής ή διαχωριστικής νησίδας αντιστοίχως. Σ΄ αυτές τις νησίδες συνήθως οδηγείται η απορροή από την επιφάνεια των οδοστρωμάτων λόγω των επικλίσεων που εφαρμόζονται. Αναλόγως με τη διαμόρφωση των νησίδων η παραλαβή της απορροής από τα οδοστρώματα μπορεί να γίνεται είτε με υπόνομους (περίπτωση νησίδας με στηθαία τύπου NJ ή ασφαλτοστρωμένης νησίδας) είτε με τη διαμόρφωση αβαθούς τάφρου (σε όλο το πλάτος της χωμάτινης νησίδας) πίσω από μεταλλικά στηθαία. Στην τελευταία περίπτωση χρειάζεται η κατασκευή ανά διαστήματα κατάλληλων φρεατίων υδροσυλλογής για τη σύλληψη και καθοδήγηση της ροής σε εγκάρσιους αγωγούς (υπονόμους ή οχετούς) και στη συνέχεια σε κατάλληλους τεχνητούς ή φυσικούς αποδέκτες.

Υπό ορισμένες συνθήκες απαιτούνται πρόσθετα μέτρα για την προστασία των πρανών επιχωμάτων της οδού από την προσερχόμενη απορροή σε αυτά από το οδόστρωμα. Συνήθως αυτά τα μέτρα αφορούν, την κατασκευή αβαθούς τάφρου στη συνέχεια του οδοστρώματος ή άλλης μορφής τάφρου πίσω από τα απαιτούμενα στηθαία, και τις εγκαρσίως της οδού διατάξεις για την κατά διαστήματα εκτόνωση της τάφρου. Η εκτόνωση

γίνεται είτε με φρεάτια υδροσυλλογής και αγωγούς τοποθετούμενους μέσα στο σώμα του επιχώματος, κατά μήκος ή και εγκαρσίως της οδού, είτε με βαθμιδωτά ρείθρα (τοποθετούνται εγκαρσίως) επί των πρανών που τερματίζουν στο πόδι του επιχώματος.

Υποδείγματα διατάξεων κατάλληλων για τις προαναφερόμενες λειτουργίες παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 16 «Πρότυπα Κατασκευής».

Όταν συντρέχει μια από τις τρεις επόμενες συνθήκες επιβάλλεται η συγκέντρωση της απορροής σε τάφρους, όπως προαναφέρεται, στην πλευρά των πρανών επιχωμάτων:

α. το πλάτος του οδοστρώματος που συνεισφέρει απορροή είναι $\geq$13 m,

β. το μέσο ύψος των πρανών (ΔΗ, πόδι-στέψη) είναι $3 \leq H < 6$ m και η κατά μήκος κλίση της οδού $\geq$2%,

γ. το μέσο ύψος των πρανών $H \geq 6$ m ανεξαρτήτως της κατά μήκος κλίσης της οδού.

Προϋπόθεση για την ασφαλή διάχυση της απορροής σε μορφή λεπτού πάχους υμένα είναι και η κατασκευή των φυτικών ερεισμάτων με εγκάρσια κλίση 12% αλλά και η συντήρηση της ανάπτυξης χλοοτάπητα επί των πρανών.

5.4 Στόμια Υδροσυλλογής

5.4.1 Γενικά

Η απορροφητικότητα (interception capacity) ενός στομίου υδροσυλλογής ορίζεται ως το ποσοστό της συνολικής ροής που το στόμιο απορροφά κάτω από ορισμένο σύνολο συνθηκών. Η ικανότητα απορρόφησης του στομίου μεταβάλλεται με την αλλαγή της εγκάρσιας (ως προς αυτό) κλίσης της κοίτης (του ρείθρου) ροής, της κατά μήκος κλίσης, της συνολικής ροής, καθώς και, σε μικρότερο βαθμό, με την τραχύτητα της κοίτης της ροής.

Η ποσότητα απορρόφησης οποιουδήποτε είδους διάταξης στομίου, αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας ροής, ενώ η αποδοτικότητα γενικώς μειώνεται με την αύξηση της ποσότητας ροής. Το βάθος νερού στην πλευρά του στομίου είναι ο σπουδαιότερος παράγοντας για την απορροφούμενη ποσότητα από στόμια που βρίσκονται τόσο επί του ρείθρου όσο και στα πλευρά της ροής (π.χ. στη όψη του κρασπέδου). Η απορροφούμενη ποσότητα από ένα στόμιο με σχάρα εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που ρέει επάνω στη σχάρα, το μέγεθος και τη μορφή της σχάρας και την ταχύτητα ροής. Η αποδοτικότητα μιας σχάρας εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες και τη συνολική ροή στο ρείθρο.

Η αποδοτικότητα ενός στομίου στην όψη του κρασπέδου κατά το μεγαλύτερο μέρος εξαρτάται από το βάθος νερού στην πλευρά του κράσπεδου και το μήκος του στομίου. Το αποτελεσματικό βάθος ροής και κατά συνέπεια η απορροφητικότητα και αποδοτικότητα ενός πλευρικού στομίου, αυξάνεται με την υλοποίηση ταπείνωσης (βάθεμα) είτε τοπικά, (περιοχή στομίου) είτε σε όλο το μήκος του ρείθρου (σε σχέση με το οδόστρωμα της οδού), ώστε να αυξάνεται το βάθος του μέρους εκείνου, από το συνολικό πλάτος της ροής, που βρίσκεται στην πλευρά του στομίου. Στην περίπτωση που το μήκος στομίου επιβάλλει την κατασκευή ενδιάμεσων στοιχείων στήριξης της πλάκας του φρεατίου υδροσυλλογής, τότε αυτά τα στοιχεία πρέπει να τοποθετούνται με υποχώρηση μερικών εκατοστών του μέτρου, ως προς την όψη του στομίου. Στοιχεία στήριξης που κατασκευάζονται σε “περασιά” με την όψη του στομίου, έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν κατά

50% την απορροφητικότητα ή και επιφέρουν μηδενισμό αυτής όταν συμβαίνει να συγκρατούν φερτά υλικά.

Η λειτουργία στομίων σχισμής είναι βασικά όμοια με εκείνη των πλευρικών στομίων, δηλαδή λειτουργούν ως υπερχειλιστές με τη ροή εισερχόμενη πλευρικά. Η απορροφητικότητα εξαρτάται από το βάθος ροής και το μήκος του στομίου. Η αποδοτικότητα εξαρτάται από το βάθος ροής, το μήκος του στομίου και τη συνολική ροή του ρείθρου.

Η απορροφητικότητα ενός συνθέτου στομίου, αποτελούμενου από μία σχάρα τοποθετούμενη μπροστά από το πλευρικό (π.χ. στην όψη κρασπέδου) στόμιο, δεν διαφέρει ουσιαστικά από εκείνη που προσφέρει μόνο η σχάρα. Η απορροφητικότητα και η αποδοτικότητα εξαρτώνται από τους ίδιους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν αντιστοίχως το στόμιο με σχάρα. Ένα σύνθετο στόμιο αποτελούμενο από ένα πλευρικό στόμιο τοποθετούμενο στα ανάντη της ροής ως προς τη σχάρα έχει μια αθροιστική ικανότητα που προκύπτει από τις δύο χωριστές απορροφητικότητες, λαμβάνοντας όμως υπόψη την ελάττωση του πλάτους και βάθους ροής επάνω στη σχάρα που οφείλεται στην απορρόφηση η οποία συντελείται από το προηγούμενο στα ανάντη της ροής πλευρικό στόμιο. Αυτό το σύνθετο στόμιο υδροσυλλογής έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της παρεμπόδισης της έμφραξης της σχάρας από φερτά, επειδή αυτά εισέρχονται στο πλευρικό στόμιο.

Ένα σύνθετο στόμιο αποτελούμενο από ένα στόμιο σχισμής στα ανάντη (ως προς τη ροή) και μιας σχάρας μπορεί να παρουσιάζεται ότι έχει το πλεονέκτημα της απορρόφησης κατά 100% της ροής όταν υπάρχει τέτοια ανάγκη. Εντούτοις, οι σχάρες απορροφούν λίγο περισσότερο από τη μετωπική ροή και συνήθως απαιτείται να έχουν πλάτος μεγαλύτερο από 90 cm για να συνεισφέρουν σημαντικά στην απορροφητικότητα.

5.4.2 Απορροφητικότητα Στομίων Υδροσυλλογής με Σχάρα

Στην περίπτωση στομίων υδροσυλλογής με σχάρα, που τοποθετούνται είτε μπροστά από κράσπεδο αστικών οδών είτε σε τριγωνικά ρείθρα (Gutters) υπεραστικών οδών και αυτοκινητοδρόμων, η ικανότητα απορρόφησης υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση :

$$Q_i = Q\ [R_f\, E_o + R_s\, (1-E_o)] \qquad (5.4.2\text{-}1)$$

όπου :

Q [L/s] : η παροχή που ρέει επί του ρείθρου όπου τοποθετείται το στόμιο.

Q_i [L/s] : η παροχή που απορροφάται από τη σχάρα του στομίου.

Οι συντελεστές “R_f”, “R_s” και το μέγεθος “E_0” προκύπτουν από τα διαγράμματα στα Σχήματα 5.4.2-1, 5.4.2-2 και 5.4.2-3 που παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α. Στα διαγράμματα αυτά τα υδραυλικά μεγέθη που συμμετέχουν είναι :

V [m/s] : η ταχύτητα ροής κατά μήκος του ρείθρου όπου τοποθετείται το στόμιο υδροσυλλογής,

V_o [m/s] : η τιμή της ταχύτητας ροής πάνω από την οποία δημιουργείται υπερπήδηση της σχάρας του στομίου υδροσυλλογής και που αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος για κάθε τύπο σχάρας.

L [m] : το μήκος της σχάρας

S_x [m/m] : η εγκάρσια κλίση του ρείθρου, στη θέση του στομίου υδροσυλλογής

Στη σχέση (5.4.2-1) το μέγεθος "E_o" παριστάνει το λόγο της παροχής "Q_w" που προσπερνά πάνω από τη σχάρα, προς τη συνολική παροχή "Q" του ρείθρου, και προκύπτει από το διάγραμμα στο Σχήμα 5.4.2-3, (βλ. Παράρτημα Α)

όπου :

W [m] : το πλάτος της σχάρας ή της ταπείνωσης του πυθμένα του ρείθρου στην είσοδο του στομίου υδροσυλλογής, για την τοποθέτηση της σχάρας (λαμβάνεται το μεγαλύτερο από τα δύο).

T [m] : το πλάτος της ελεύθερης επιφάνειας ροής κατά μήκος του ρείθρου στην θέση του στομίου υδροσυλλογής.

Όταν τα στόμια υδροσυλλογής τοποθετούνται στον πυθμένα τάφρου πρισματικής διατομής (τριγωνική, ορθογωνική ή τραπεζοειδής) τότε το υδραυλικό μέγεθος "E_o" της σχέσης (5.4.2-1) προκύπτει από το διάγραμμα στο Σχήμα 5.4.2-3, (βλ. Παράρτημα Α),

όπου :

B [m] : το πλάτος του πυθμένα της τάφρου πρισματικής διατομής,

Z [-] : ο λόγος των διαστάσεων των παρειών της τάφρου, (Z = β : υ)

d [m] : το βάθος ροής, εντός της τάφρου υπεράνω της επιφάνειας της σχάρας.

Στην περίπτωση αυτή, η απορροφητικότητα των στομίων υδροσυλλογής προκύπτει πάλι από τη σχέση (5.4.2-1) και οι συντελεστές "R_f" και "R_s" από τα διαγράμματα στα Σχήματα 5.4.2-1 και 5.4.2-2, (βλ. Παράρτημα Α).

Στην περίπτωση στομίων υδροσυλλογής με σχάρα, που τοποθετούνται σε θέσεις κρασπέδου αστικών οδών ή τριγωνικών ρείθρων (Gutters) υπεραστικών οδών και αυτο-κινητοδρόμων, όπου υπάρχει συσσώρευση ποσοτήτων νερού λόγω μηδενικών κατά μήκος κλίσεων, τα στόμια υδροσυλλογής λειτουργούν είτε σαν «υπερχειλιστές» είτε σαν «οπές» αντιστοίχως για μικρά ή μεγάλα βάθη ροής. Στην περίπτωση αυτή η ικανότητα απορρόφησης του στομίου, υπολογίζεται από τα διαγράμματα στα Σχήματα 5.4.2-4α και 5.4.2-4β (βλ.Παράρτημα Α). Στα διαγράμματα αυτά τα υδραυλικά μεγέθη που συμμετέχουν είναι:

Q_i [*L*/s] : η απορροφητικότητα, του στομίου υδροσυλλογής.

d [m] : το βάθος του συσσωρευμένου νερού στη θέση του στομίου υδροσυλλογής.

A [m^2] : η καθαρή επιφάνεια των κενών της σχάρας.

P [m] : η περίμετρος της σχάρας σε m, που ισούται είτε με (2W+L) όταν στην μία πλευρά της σχάρας υπάρχει κατακόρυφο μέτωπο, είτε με 2(W+L) όταν δεν υπάρχει τέτοιο (πανταχόθεν ελεύθερη).

Στις συνήθεις περιπτώσεις, η ωφέλιμη επιφάνεια των σχαρών υδροσυλλογής κυμαίνεται μεταξύ 60% και 80% της συνολικής τους επιφάνειας.

5.4.3 Απορροφητικότητα Στομίων Υδροσυλλογής με Πλευρικό Άνοιγμα

Η απορροφητικότητα πλευρικών στομίων υπολογίζεται από τις εξισώσεις:

α. Για λειτουργία υπερχειλιστή (χωρίς τοπική ταπείνωση του ρείθρου στη θέση του στομίου

$$Q_i = 1,60\ L\ d^{1,5} \qquad (5.4.3\text{-}1)$$

β. Για λειτουργία οπής (χωρίς τοπική ταπείνωση ρείθρου)

$$Q_i = 2,97\ A_g\ (d_i\text{-}h/2)^{0,5} \qquad (5.4.3\text{-}2)$$

όπου:

Q_i	[m^3/s]	: η απορροφούμενη παροχή
L	[m]	: το μήκος του στομίου
D	[m]	: το βάθος του νερού στην όψη του στομίου
A_g	[m^2]	: η επιφάνεια του ανοίγματος (οπής)
d_i	[m]	: το βάθος του κάτω χείλους του ανοίγματος από την επιφάνεια του νερού
h	[m]	: το ύψος του στομίου, που υποτίθεται για κατακόρυφο μέτωπο του ανοίγματος. Άλλες διαμορφώσεις μπορεί να αλλάζουν σημαντικά τη λειτουργία της οπής.

Η ικανότητα απορρόφησης των εν λόγω στομίων, σε συνδυασμό με την κατά μήκος και την εγκάρσια κλίση του ρείθρου, υπολογίζεται από τα διαγράμματα στα Σχήματα σειράς 5.4.3-1.

Στα διαγράμματα αυτά τα υδραυλικά μεγέθη που συμμετέχουν είναι :

Q_i	[L/s]	:	η παροχή που απορροφάται από τη σχισμή του στομίου υδροσυλλογής.
Q	[L/s]	:	η παροχή που ρέει κατά μήκος του ρείθρου στο οποίο τοποθετείται το στόμιο υδροσυλλογής.
n	[s/$m^{1/3}$]:		συντελεστής τραχύτητας κατά Manning, του πυθμένα ροής του ρείθρου όπου τοποθετείται το στόμιο υδροσυλλογής.
S	[m/m]	:	η κατά μήκος κλίση του πυθμένα του ρείθρου όπου τοποθετείται το στόμιο υδροσυλλογής.
S_x	[m/m]	:	η εγκάρσια κλίση του ρείθρου στη θέση του στομίου υδροσυλλογής.
L	[m]	:	το μήκος του στομίου υδροσυλλογής

Στην περίπτωση στομίων υδροσυλλογής με πλευρικό άνοιγμα, που τοποθετούνται σε θέσεις κρασπέδου αστικών οδών ή τριγωνικών ρείθρων υπεραστικών οδών ή αυτοκινητοδρόμων, όπου υπάρχει συσσώρευση ποσοτήτων νερού λόγω μηδενικών κατά μήκος κλίσεων, τα στόμια υδροσυλλογής λειτουργούν είτε ως «υπερχειλιστές» όταν το βάθος νερού στην είσοδο του στομίου είναι μικρότερο από το ύψος του ανοίγματος είτε ως «οπές» όταν το βάθος νερού στην είσοδο του στομίου είναι μεγαλύτερο τουλάχιστον κατά 40% από το ύψος του ανοίγματος του στομίου υδροσυλλογής. Στις περιπτώσεις ενδιάμεσου βάθους ροής στην είσοδο του στομίου, λαμβάνεται ο μέσος όρος της απορροφητικότητας του στομίου για λειτουργία είτε ως «υπερχειλιστής» είτε ως «οπή».

Στην προηγούμενη περίπτωση η απορροφητικότητα των στομίων υδροσυλλογής τύπου πλευρικού ανοίγματος, υπολογίζεται αντιστοίχως για τις δύο προηγούνενες περιπτώσεις συνθηκών ροής, από τα διαγράμματα στα Σχήματα 5.4.3-2 και 5.4.3-3 (βλ. Παράρτημα Α).

Τα υπόψη διαγράμματα κυρίως αποτελούν βοήθημα για τον έλεγχο του σχεδιασμού των φρεατίων υδροσυλλογής. Ο μελετητής μπορεί να χρησιμοποιεί κατάλληλο λογισμικό που υπάρχει στο εμπόριο ή να συνθέσει δικό του λογισμικό κατ΄ ελάχιστο με τη χρήση του Microsoft Excel.

Σ' αυτά τα διαγράμματα τα υδραυλικά μεγέθη που συμμετέχουν είναι :

Q_i [*L*/s] : η απορροφητικότητα του στομίου υδροσυλλογής.

d [m] : το βάθος του συσσωρευμένου νερού στην θέση εισόδου του στομίου υδροσυλλογής.

h [m] : το ύψος του πλευρικού ανοίγματος του στομίου.

L [m] : το μήκος ανοίγματος του πλευρικού στομίου.

d_o [m] : η διαφορά ύψους μεταξύ της ανώτατης στάθμης του νερού και του μέσου του ύψους του πλευρικού ανοίγματος, στην είσοδο του στομίου υδροσυλλογής

d_i [m] : η διαφορά ύψους μεταξύ της ανώτατης στάθμης του νερού και του κάτω χείλους του πλευρικού ανοίγματος, στην είσοδο του στομίου υδροσυλλογής.

5.4.4 Απορροφητικότητα Στομίων Υδροσυλλογής με Σχάρα και Πλευρικό Άνοιγμα

Η απορροφητικότητα σύνθετων στομίων υδροσυλλογής, που είναι συνδυασμός σχάρας και πλευρικού ανοίγματος τα οποία κατασκευάζονται στην ίδια θέση, όταν αυτά λειτουργούν με συνθήκες «υπερχείλισης» στην είσοδό τους, είναι ίση με την απορροφητικότητα μόνο της σχάρας τους, ενώ το πλευρικό άνοιγμα δεν προσθέτει τίποτα για την αύξηση αυτής. Αντίθετα όταν λειτουργούν με συνθήκες «οπής», τότε η απορροφητικότητά τους είναι το άθροισμα της απορροφητικότητας του πλευρικού ανοίγματος και της σχάρας.

5.4.5 Απορροφητικότητα Στομίων Υδροσυλλογής με Επιμήκη Σχισμή (π.χ. κοίλο ρείθρο)

Τα στόμια οριζόντιας σχισμής σε θέσεις χαμηλών σημείων (κοίλα μηκοτομής) λειτουργούν ως υπερχειλιστές για βάθος νερού περίπου 6 cm, σε συνάρτηση με το πλάτος της σχισμής. Για βάθη μεγαλύτερα από 12 cm λειτουργούν ως οπές. Μεταξύ αυτών των βαθών η ροή βρίσκεται σε μεταβατική κατάσταση. Η απορροφητικότητα των στομίων σχισμής μπορεί να υπολογίζεται από τις εξισώσεις:

α. με λειτουργία υπερχειλιστή

$$Q_i = C_w\, L\, d^{1,5} \qquad (5.4.5\text{-}1)$$

β. με λειτουργία οπής

$$Q_i = 3{,}54\, W\, d^{0,5} \qquad (5.4.5\text{-}2)$$

για το σύνηθες πλάτος οπής 4 cm η εξίσωση γίνεται:

$$Q_i = 0{,}14\, L\, d^{0,5} \qquad (5.4.5\text{-}3)$$

όπου:

C_w [-] : συντελεστής υπερχειλιστή, παίρνει ποικίλες τιμές αναλόγως του βάθους της ροής και του μήκους της σχισμής, η τυπική τιμή είναι 1,4

L [m] : το μήκος της σχισμής

d [m] : το βάθος νερού στην όψη του κρασπέδου μετρούμενο από την κανονική εγκάρσια κλίση για την περίπτωση λειτουργίας υπερχειλιστή και για βάθος νερού πάνω από τη σχισμή $d \leq 12$ cm στην περίπτωση λειτουργίας οπής.

Η εφαρμογή στομίων σχισμής σε χαμηλά σημεία της μηκοτομής επιτρέπεται με την προϋπόθεση ότι ο υποδοχέας αγωγός κάτω από το στόμιο κατασκευάζεται με ελάχιστη κατά μήκος κλίση 0,5%. Αυτή η κατασκευή είναι δυνατή με προκατασκευασμένα τεμάχια (υπάρχουν στο εμπόριο από βιομηχανική παραγωγή) μεταβλητού βάθους που επιτυγχάνουν κλίση 0,5% επί μήκους τουλάχιστον 20 m.

Τα εν λόγω στόμια υδροσυλλογής όταν τοποθετούνται σε συνεχή κατά μήκος κλίση και με βάθος ροής $d \leq 0{,}12$ m υπεράνω του στομίου, τότε η απορροφητικότητα τους σε συνδυασμό με την κατά μήκος και την εγκάρσια κλίση του ρείθρου, προκύπτει με βάση τα διαγράμματα στα Σχήματα σειράς 5.4.5-1 (βλ. Παράρτημα Α). Σ' αυτά τα διαγράμματα τα υδραυλικά μεγέθη που συμμετέχουν είναι :

Q_i [L/s] : η απορροφητικότητα του στομίου υδροσυλλογής.

d [m] : βάθος νερού υπεράνω της σχισμής του στομίου υδροσυλλογής.

L [m] : το μήκος της σχισμής.

W [m] : το πλάτος της σχισμής του στομίου υδροσυλλογής.

Όταν τα στόμια υδροσυλλογής τύπου επιμήκους σχισμής τοποθετούνται σε σημεία ρείθρων όπου υπάρχει κοίλωμα ερυθράς και συμβαίνει βάθος ροής $d > 0{,}12$m, τότε η απορροφητικότητα του στομίου υπολογίζεται από το διάγραμμα στο Σχήμα 5.4.5-2. Από το υπόψη διάγραμμα υπολογίζεται η παροχετευτικότητα επιμήκους στομίου με σχισμή πλάτους W=1cm. Για οποιοδήποτε άλλο πλάτος σχισμής W′, η απορροφητικότητα που προκύπτει από το διάγραμμα στο Σχήμα 5.4.5-2 πολλαπλασιάζεται με το λόγο (W′/W).

5.4.6 Απορροφητικότητα Στομίων Υδροσυλλογής σε Γέφυρες

Η απορροφητικότητα στομίων υδροσυλλογής, είτε τύπου σχάρας είτε πλευρικού ανοίγματος, τα οποία τοποθετούνται σε γέφυρες, υπολογίζεται σύμφωνα με τα όσα αναπτύσσονται στις προηγούμενες παραγράφους 5.4.1 έως 5.4.5. Επισημαίνεται ότι η απορροφητικότητα τους δεν μπορεί να υπερβαίνει την ικανότητα απαγωγής της οπής εκτόνωσης των στομίων προς τα οριζόντια και κατακόρυφα τμήματα των στηλών αποχέτευσης των γεφυρών, η οποία συνήθως συνίσταται από σωλήνα διαμέτρου 100 ή 150 mm.

Στα διαγράμματα των Σχημάτων 5.4.6-1 και 5.4.6-2 παρουσιάζεται η ικανότητα απαγωγής από οπή στομίου υδροσυλλογής γέφυρας διαμέτρου 100 mm, για διάφορες κατά μήκος κλίσεις "S" της ακμής του πέρατος του οδοστρώματος κατά μήκος του κρασπέδου της γέφυρας, για εγκάρσια κλίση "S_x" στην είσοδο του στομίου υδροσυλλογής ίση με 3%, και

για βάθος ροής “d” στη θέση της εισόδου του στομίου υδροσυλλογής. Το διάγραμμα στο Σχήμα 5.4.6-1 έχει εφαρμογή σε συνεχή κατά μήκος κλίση της ροής επί της γέφυρας ενώ το διάγραμμα στο Σχήμα 5.4.6-2 σε κοίλα σημεία της ερυθράς της ροής επί της γέφυρας και με συνθήκες λιμνάσματος των προς αποχέτευση νερών.

5.4.7 Απορροφητικότητα στομίων υδροσυλλογής σε συνεχή κατωφέρεια

Η απορροφητικότητα ενός στομίου υδροσυλλογής σε συνεχή κατωφέρεια μπορεί να υπολογίζεται προσδιορίζοντας την παροχή του μέρους του ρείθρου που είναι αμέσως μετά το πλάτος του στομίου. Από την έρευνα και την πείρα έχει βρεθεί ότι αυτή αποδίδει πολύ λογικά την παροχή που προσπερνά το στόμιο για τις συνήθεις εφαρμογές σε οδούς. Αυτή η μέθοδος υπολογισμού είναι ελαφρώς συντηρητική για πολύ ήπιες κατά μήκος κλίσεις, καθώς η διακοπή της παράπλευρης ροής αγνοείται, ενώ είναι μη συντηρητική για πολύ ισχυρές κλίσεις όπου συμβαίνει εκτίναξη των νερών. Αυτή η μέθοδος είναι η πλέον ακριβής όταν οι ταχύτητες βρίσκονται μεταξύ 1 έως 1,5 m/s σε κατά μήκος κλίση από 2 έως 3% (περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται στην εγκύκλιο No 12 της FHWA).

Η ροή που προσπερνά το πρώτο στόμιο θα πρέπει να υπολογίζεται και να προστίθεται στη ροή που φθάνει στο επόμενο κατάντη στόμιο. Αυτή η διαδικασία της συνεχούς μεταφοράς των ποσοτήτων που προσπερνούν το κάθε στόμιο υδροσυλλογής πρέπει να συνεχίζεται μέχρι το τέλος της κατωφέρειας ή το τελευταίο στόμιο υδροσυλλογής του συστήματος. Από το τελευταίο στόμιο ενός συστήματος επιτρέπεται να προσπερνά ποσότητα 0,003 m^3/s για τη μέγιστη ένταση βροχόπτωσης 10ετίας χωρίς να προβλέπεται τίποτε επιπλέον.

Η ποσότητα της ροής που προσπερνά το στόμιο σε μια συνεχή κατωφέρεια υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{BP} = Q\left[\frac{(Z_d)-(GW)}{(Z_d)}\right]^{8/3}$$

όπου:

Q_{BP}	[m^3/s]	:	το μέρος της ροής έξω από το πλάτος της σχάρας
Q	[m^3/s]	:	η ποσότητα ροής του ρείθρου πριν από το στόμιο υδροσυλλογής
Z_d	[m]	:	το πλάτος της επιφάνειας του πρίσματος της ροής
GW	[m]	:	το συνολικό πλάτος της σχάρας που μετράται καθέτως προς τη ροή

5.4.8 Απορροφητικότητα σε χαμηλά σημεία (κοίλες καμπύλες μηκοτομής οδού)

Η λειτουργία των στομίων σε θέσεις χαμηλών σημείων της μηκοτομής είναι διαφορετική από εκείνων που βρίσκονται σε συνεχή κατωφέρεια. Εξ ορισμού ένα χαμηλό σημείο σε οποιοδήποτε τμήμα της οδού συμβαίνει όπου η κατά μήκος κλίση αλλάζει από αρνητική σε θετική (από κατωφέρεια σε ανωφέρεια).

Τα μέτρα αντιμετώπισης της αποχέτευσης σε μια θέση χαμηλού σημείου έχουν ιδιαίτερη προτεραιότητα όταν μάλιστα η κατακλυζόμενη επιφάνεια καλύπτει περισσότερο από το μισό πλάτος της όμορης (ως προς την κατά μήκος ροή) λωρίδας κυκλοφορίας, λόγω της έμφραξης όλων των στομίων υδροσυλλογής από φερτά υλικά. Η δημιουργούμενη λίμνη

των νερών συνήθως περιορίζεται από ένα κράσπεδο, ένα στηθαίο ασφαλείας NJ, ένα τοίχο αντιστήριξης, ή άλλο εμπόδιο που εμποδίζουν την απομάκρυνση της απορροής από την όμορη λωρίδα κυκλοφορίας.

Η αντιμετώπιση της αποχέτευσης σε χαμηλά σημεία όπου είναι δυνατή η υπερπήδηση του κρασπέδου και η απομάκρυνση της απορροής από το κυκλοφορούμενο πλάτος της οδού έχει δευτερεύουσα σημασία, επειδή το συσσωρευόμενο νερό συνήθως εκτείνεται σε πλάτος λιγότερο από το ήμισυ της όμορης λωρίδας κυκλοφορίας. Με αυτή τη συνθήκη υπάρχει μικρός κίνδυνος για την οδική ασφάλεια ακόμη και όταν τα στόμια υδροσυλλογής δε λειτουργούν όπως έχουν σχεδιαστεί.

Θεωρητικώς, τα στόμια υδροσυλλογής που τοποθετούνται σε χαμηλά σημεία της μηκοτομής μπορεί να λειτουργούν με δυο τρόπους. Στα μικρά βάθη συγκέντρωσης νερών το στόμιο θα λειτουργεί ως υπερχειλιστής, ενώ στα μεγαλύτερα βάθη νερού το στόμιο λειτουργεί ως οπή. Είναι πολύ σπάνιο σε θέσεις όπου λιμνάζουν νερά επί της οδού να επιτρέπεται η αύξηση του βάθους τους, προκειμένου τα στόμια να λειτουργήσουν ως οπές. Ως αποτέλεσμα προκύπτει πως μπορεί να θεωρείται ασφαλώς ότι το στόμιο λειτουργεί ως υπερχειλιστής με τη ροή να υπερχειλίζει εντός αυτού και από τις τρεις πλευρές του στομίου που είναι εκτεθειμένες στη ροή η οποία συγκεντρώνεται.

Η παροχετευτικότητα ενός στομίου που λειτουργεί ως υπερχειλιστής υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Q = 1{,}66\ P\ d^{3/2} \qquad (5.4.8\text{-}1)$$

όπου:

- Q [m^3/s] : η παροχετευτικότητα του στομίου
- P [m] : η περίμετρος της σχάρας
- d [m] : το βάθος του λιμνάζοντος νερού

Για τον υπολογισμό του βάθους όταν η παροχή “Q” είναι γνωστή χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$d = \left[\frac{Q}{1{,}66P}\right]^{2/3} \qquad (5.4.8\text{-}2)$$

Οποιοδήποτε τμήμα της οδού βρίσκεται σε κοίλη καμπύλη μηκοτομής θα πρέπει να σχεδιάζεται με τέσσερα κριτήρια:

α. Ένα στόμιο θα πρέπει να τοποθετείται στη χαμηλότερη στάθμη της κοίλης διαμόρφωσης. Σε αυτή τη θέση θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένα συνδυασμένο στόμιο (σχάρα και πλευρικό άνοιγμα) για να παρέχει συνεχή απορρόφηση της ροής, όταν η σχάρα εμφράσσεται από φερτά. Για τον προσδιορισμό αυτού του χαμηλού σημείου πρέπει να ελέγχεται η κατά μήκος τομή της τάφρου και όχι η μηκοτομή της οδού. Το βάθος του λιμνάζοντος νερού πάνω από αυτό το στόμιο ονομάζεται “d_B”.

β. Δυο πρόσθετα παράπλευρα στόμια θα πρέπει να τοποθετούνται εκατέρωθεν του στομίου που προαναφέρεται στο πρώτο κριτήριο. Αυτά τα στόμια μπορεί να είναι κανονικά στόμια μόνο με σχάρα, και θα πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε το

λιμνάζον νερό να έχει βάθος $d=0,5\ d_B$, πάνω από αυτά τα στόμια όταν το ήμισυ της όμορης λωρίδας κυκλοφορίας καλύπτεται από το λιμνάζον νερό.

γ. Η ένταση της βροχόπτωσης για 50-ετή περίοδο επαναφοράς θα πρέπει να χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό των προαναφερόμενων τριών στομίων.

δ. Ως προϋπόθεση για το σχεδιασμό λαμβάνεται ότι τα τρία στόμια βρίσκονται υπό έμφραξη κατά 50%. Αυτό σημαίνει ότι κατά τους υπολογισμούς η συνολική διαθέσιμη περίμετρος θα πρέπει να μειώνεται κατά το ήμισυ. Αυτή η διόρθωση είναι επιπρόσθετη από τη μείωση της περιμέτρου που γίνεται για να ληφθεί υπόψη το εμπόδιο που προκαλούν οι ράβδοι της σχάρας.

Πίνακας 5.4.8-1: Υπολογισμός αποστάσεων μεταξύ στομίων υδροσυλλογής

Οδός: ..... Τμήμα: ΧΘ..... -																		
Στόμιο υδροσυλλογής		Υπολογιζόμενη παροχή ρείθρου Περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού:					Παροχή ρείθρου Επιτρεπόμενο πλάτος επιφάνειας ροής								Απορρόφηση στομίου			Παρατηρήσεις
Αριθμός	Θέση	Εισφέρουσα επιφάνεια "A"	Συντελεστής απορροής "C"	Χρόνος συγκέντρωσης "t_c"	Ένταση βροχόπτωσης "i"	$Q=CiA/(3,6\cdot10^6)$ "a"	Κατά μήκος κλίση "S"	Εγκάρσια κλίση "S_x"	Προηγούμενη προστερνούσα ροή "Qb-1"	Συνολική ροή Gutter "Q_G"	Βάθος ροής "d"	Πλάτος σχάρας ή ρείθρου "W"	Πλάτος κατακλυζόμενο "T"	Λόγος "W/T"	Τύπος στομίου	Απορροφούμενη παροχή (ροή) "Q_i"	Προστερνούσα παροχή (ροή) "Q_b"	
No	ΧΘ	[m^2]	[-]	[min]	[mm/h]	[m^3/s]	[m/m]	[m/m]	[m^3/s]	[m^3/s]	[m]	[m]	[m]	[-]	-	[m^3/s]	[m^3/s]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

6. ΡΟΗ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

6.1 Τύποι Ροής σε Κλειστούς Αγωγούς

Οι συνθήκες ροής σε κλειστούς αγωγούς μπορεί να είναι όπως σε ανοικτούς αγωγούς, δηλαδή ροή υπό βαρύτητα και πλήρη αγωγό ή ροή υπό πίεση. Η ροή σε ανοικτούς αγωγούς έχει επιφάνεια νερού εκτεθειμένη στην ατμόσφαιρα, συνθήκη που μπορεί να συμβαίνει και σε κλειστό αγωγό με μερική πληρότητα. Όλες οι αρχές και κανόνες που ισχύουν για τη ροή σε ανοικτούς αγωγούς έχουν εφαρμογή και σε κλειστούς, όταν η ροή γίνεται με μερική πληρότητα. Η ροή με βαρύτητα και με πλήρη αγωγό συμβαίνει όταν ο αγωγός είναι πλήρης αλλά η ροή δε βρίσκεται ακόμη υπό πίεση. Η ροή υπό πίεση συμβαίνει όταν ο αγωγός είναι πλήρης αλλά και υπό πίεση.

Επειδή σε ροή κλειστού αγωγού με πληρότητα 100% αλλά υπό συνθήκες βαρύτητας, η βρεχόμενη περίμετρος και η τριβή είναι μεγαλύτερες, η μεταφερόμενη παροχή είναι μικρότερη από εκείνη με πληρότητα του αγωγού <100%. Για ένα αγωγό κυκλικής διαμέτρου η μέγιστη ροή συμβαίνει όταν το βάθος ροής είναι ίσο με το 93% της διαμέτρου του αγωγού. Η μέση ταχύτητα με βάθος ροής 50% της διαμέτρου του αγωγού είναι ίση με εκείνη της ροής υπό βαρύτητα και πλήρη αγωγό. Η συνθήκη ροής υπό βαρύτητα με πλήρη διατομή συνήθως αποτελεί προϋπόθεση για τους σκοπούς της μελέτης αποχέτευσης ομβρίων. Η εξίσωση Manning συνδυαζόμενη με την εξίσωση συνέχειας σε αγωγό κυκλικής διατομής με πληρότητα 100% μπορεί να γράφεται ως:

$$Q = \frac{0,312}{n} D^{8/3} S^{1/2} \qquad (6.1\text{-}1)$$

όπου:

Q	[m^3/s]	:	παροχή
n	[m$^{-1/3}$ · s]	:	συντελεστής Manning
S	[m/m]	:	κλίση αγωγού

Αυτή η εξίσωση επιτρέπει τον απευθείας υπολογισμό της απαιτούμενης διαμέτρου σωλήνα. Σημειώνεται ότι η υπολογιζόμενη διάμετρος πρέπει να προσαυξάνεται ώστε να λαμβάνεται τουλάχιστον ο αμέσως μεγαλύτερης διαμέτρου σωλήνας από τον Πίνακα 6.1-1 και ώστε το υπολογιζόμενο βάθος ροής y_{max} για την επιλεγόμενη διάμετρο του σωλήνα, να είναι:

Διάμετρος σωλήνα	[mm]	D≤400	400<D≤600	600<D
Βάθος ροής	y_{max}	≤0,50D	≤0,60D	≤0,70D

Πίνακας 6.1-1: Ονομαστικές διάμετροι σωλήνων σκυροδέματος

Διάμετροι σωλήνων [mm]						
200	400	600	800	1000	1200	1400
1600	1800	2000	2200	2400	*	

* για μεγαλύτερες διαμέτρους συνήθως ο σωλήνας αντικαθίσταται με ορθογωνική διατομή

6.2 Εξίσωση Ενέργειας

Η εξίσωση ενέργειας αναφέρεται στο προηγούμενο κεφάλαιο 3. Με απλά λόγια η εξίσωση δηλώνει ότι το φορτίο ενέργειας σε κάθε διατομή πρέπει να ισούται με εκείνο σε κάθε διατομή στα κατάντη της ροής συν τις ενδιάμεσες απώλειες. Το φορτίο ενέργειας απαρτίζεται από τρεις συνιστώσες: το φορτίο ταχύτητας, το φορτίο πίεσης και το υψόμετρο της στάθμης της επιφάνειας του νερού από το επίπεδο αναφοράς. Η γραμμή ενέργειας αναπαριστά τη συνολική ενέργεια σε κάθε διατομή του αγωγού. Οι απώλειες της ενέργειας ταξινομούνται ως απώλειες τριβής και απώλειες σχήματος (βλ. επόμενα).

Η πιεζομετρική γραμμή υπολείπεται της γραμμής ενέργειας κατά το ποσό του φορτίου ταχύτητας. Σε ροή ανοικτών αγωγών η πιεζομετρική γραμμή ταυτίζεται με τη στάθμη της επιφάνειας του νερού εντός του αγωγού, ενώ σε ροή υπό πίεση η πιεζομετρική γραμμή αντιπροσωπεύει τη στάθμη της επιφάνειας του νερού στην οποία θα φθάσει εντός ενός κατακόρυφου σωλήνα που συνδέεται επί του αγωγού. Για παράδειγμα, σε ένα δίκτυο ομβρίων υπό πίεση η πιεζομετρική γραμμή θα πρέπει να είναι χαμηλότερη από τη στάθμη κυκλοφορίας μιας οδού ή αλλιώς το εντός του δικτύου νερό θα ανέβει από τα στόμια υδροσυλλογής και θα πλημμυρίσει την οδό. Ομοίως, εάν η συνθήκη ροής σε ανοικτό αγωγό είναι υπερκρίσιμη, θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα που θα διασφαλίζουν ότι δε θα συμβαίνει υδραυλικό άλμα, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει ροή υπό πίεση, οπότε η πιεζομετρική γραμμή θα ανέβει πάνω από τη στάθμη της οδού.

6.3 Απώλειες Ενέργειας

Οταν χρησιμοποιείται η εξίσωση ενέργειας θα πρέπει να συνυπολογίζονται όλες οι απώλειες ενέργειας που ταξινομούνται ως απώλειες τριβής ή απώλειες σχήματος. Οι απώλειες τριβής οφείλονται στις δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ του υγρού και των τοιχωμάτων του κλειστού αγωγού, ενώ οι απώλειες σχήματος είναι αποτέλεσμα των ποικίλων υδραυλικών κατασκευών κατά μήκος του κλειστού αγωγού. Αυτές οι κατασκευές, όπως είναι τα φρεάτια επίσκεψης, τα καμπύλα τμήματα του αγωγού, τα τμήματα μεταβατικής διατομής, προκαλούν η καθεμία απώλειες στο φορτίο ταχύτητας και πιθανώς μείζονες αλλαγές στη γραμμή ενέργειας καθώς και στην πιεζομετρική γραμμή κατά μήκος της περιλαμβανόμενης κατασκευής. Αν και οι απώλειες σχήματος συνηθίζεται να αποκαλούνται «ελάσσονες απώλειες» εντούτοις αυτές μπορεί να είναι σημαντικές σε σύγκριση με τις απώλειες τριβής.

6.3.1 Υπολογισμός απωλειών τριβής

Οι απώλειες τριβής υπολογίζονται ως:

$$h_f = L\ S_f \qquad (6.3.1\text{-}1)$$

όπου:

L	[m]	:	μήκος αγωγού
S_f	[m/m]	:	κλίση τριβής (κλίση γραμμής ενέργειας)

Τυπικά προϋποτίθεται ότι οι συνθήκες είναι ομοιόμορφης ροής, έτσι η κλίση τριβής μπορεί να υπολογίζεται από, είτε την εξίσωση Manning, είτε την εξίσωση Darcy-Weisbach.

Επιλύοντας την εξίσωση Manning ως προς S_f:

$$S_f = \left(\frac{Qn}{0{,}312\ AR^{2/3}} \right)^2 \qquad (6.3.1\text{-}2)$$

Αντιστοίχως η εξίσωση Darcy-Weisbach για ροή σε ανοικτούς αγωγούς είναι:

$$S_f = \frac{f}{4R} \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad (6.3.1\text{-}3)$$

και για ροή υπό πίεση σε κυκλικό αγωγό:

$$h_f = \frac{fL}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \qquad (6.3.1\text{-}4)$$

Για τον υπολογισμό των απωλειών συνήθως χρησιμοποιείται η εξίσωση Manning, αν και η εξίσωση Darcy-Weisbach θεωρητικά είναι καλύτερη επειδή είναι σωστή από άποψη διαστάσεων και έχει εφαρμογή για κάθε υγρό σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών. Εντούτοις, οι πιθανότητες για μεγαλύτερη ακρίβεια με την εξίσωση Darcy-Weisbach περιορίζονται από τον προσδιορισμό του f και γενικώς τη μεγαλύτερη πολυπλοκότητα της εφαρμογής σε σχέση με την εξίσωση Manning. Οι τυπικές τιμές του συντελεστή τραχύτητας "n" της εξίσωσης Manning αναφέρονται στον προηγούμενο Πίνακα 4.3.1-1.

Ανεξαρτήτως της χρησιμοποιούμενης εξίσωσης, απαιτείται κριτική εκτίμηση στην επιλογή των συντελεστών τραχύτητας "n". Ο συντελεστής τραχύτητας κυρίως ορίζεται από το είδος του υλικού του σωλήνα. Εντούτοις, πολλοί άλλοι παράγοντες μπορεί να επιβάλλουν αναπροσαρμογή της τιμής που έχει ορισθεί για ένα συγκεκριμένο υλικό. Τέτοιοι παράγοντες είναι: η ποιότητα των αρμών μεταξύ των σωλήνων, η κακή χάραξη και κλίση του αγωγού που προκαλούν κατακάθιση ή πλευρικές κινήσεις εδαφικού υλικού, αποθέσεις φερτών. Αλλοι παράγοντες είναι η ροή από πλευρικές εισροές που διαταράσσουν την κύρια ροή.

6.3.2 Υπολογισμός απωλειών σχήματος

Απώλειες σχήματος συμβαίνουν όταν η ροή διέρχεται από κατασκευές όπως φρεάτια επίσκεψης, συμβολές, καμπύλες, τμήματα μεταβαλλόμενης διατομής. Αυτές οι κατασκευές επιφέρουν σημαντικές απώλειες τόσο στη γραμμή ενέργειας όσο και στην πιεζομετρική γραμμή κατά μήκος του αγωγού, και εάν αυτές δεν υπολογίζονται στο σχεδιασμό, η πραγματική παροχετευτικότητα του αγωγού μπορεί να είναι περιορισμένη.

Οι απώλειες σχήματος μπορεί να υπολογίζονται με διάφορες μεθόδους. Η απλούστερη μέθοδος βασίζεται σε ένα συντελεστή πολλαπλάσιο του φορτίου ταχύτητας. Αυτός ο συντελεστής λαμβάνει διάφορες τιμές αντιστοίχως με το είδος της κατασκευής που δημιουργεί τις απώλειες, φρεάτια επίσκεψης, καμπύλες, στόμια υδροσυλλογής, κτλ.). Η γενική μορφή της εξίσωσης είναι:

$$h_L = K\frac{V^2}{2g} \qquad (6.3.2\text{-}1)$$

Μια εναλλακτική μέθοδος βασίζεται στο άθροισμα των τεσσάρων μεμονωμένων απωλειών που ορίζονται ως συνάρτηση της ταχύτητας: απώλειες εισόδου/εξόδου, απώλεια διόρθωσης ταχύτητας, απώλεια καμπύλης και απώλεια συμβολής. Ισως η πλέον εξεζητημένη προσέγγιση βασίζεται σε παραδοχές που έχουν σχέση με την πίεση και την ορμή, ειδικότερα στο ότι το άθροισμα όλων των πιέσεων που επενεργούν σε μια συμβολή πρέπει να είναι ίσο με το άθροισμα όλων των ορμών.

6.3.2.1 Απώλειες λόγω παρεμβολής φρεατίων επίσκεψης

Ειδικά λογισμικά όπως το HYDRA χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους για τον υπολογισμό των απωλειών σχήματος π.χ. οι απώλειες σε φρεάτιο επίσκεψης υπολογίζονται ως ένας συντελεστής που είναι πολλαπλάσιος του φορτίου ταχύτητας. Ο συντελεστής K έχει προσδιορισθεί πειραματικά ως:

$$K = K_0 \cdot C_D \cdot C_d \cdot C_Q \cdot C_p \cdot C_B \qquad (6.3.2.1\text{-}1)$$

όπου:

- K : ο προσαρμοσμένος συντελεστής απώλειας φορτίου
- K_0 : ο συντελεστής αρχικής απώλειας φορτίου με βάση το σχετικό μέγεθος του φρεατίου επίσκεψης
- C_D : ο συντελεστής διόρθωσης λόγω αλλαγής διαμέτρου σωλήνα
- C_d : ο συντελεστής διόρθωσης λόγω βάθους ροής
- C_Q : ο συντελεστής διόρθωσης λόγω συμβολής πλευρικής ροής
- C_p : ο συντελεστής διόρθωσης λόγω υψομετρικής πτώσης της ροής
- C_B : ο συντελεστής διόρθωσης λόγω καμπύλης

Ο συντελεστής αρχικής απώλειας φορτίου K_0 υπολογίζεται ως συνάρτηση του σχετικού μεγέθους του φρεατίου και της γωνίας μεταξύ των σωλήνων εισροής και εκροής.

$$K_o = 0{,}1 \cdot \frac{b}{D_o} \cdot (1 - \sin\theta) + 1{,}4 \cdot \left(\frac{b}{D_o}\right)^{0{,}15} \cdot \sin\theta \qquad (6.3.2.1\text{-}2)$$

όπου:

- K_o : ο συντελεστής αρχικής απώλειας φορτίου βασιζόμενος στο σχετικό μέγεθος του φρεατίου επίσκεψης
- θ : η γωνία που σχηματίζουν μεταξύ τους οι δυο σωλήνες εισροής και εκροής
- b : η διάμετρος του φρεατίου
- D_o : η διάμετρος του σωλήνα εκροής

Έχει αποδειχθεί ότι υπάρχουν μόνο μικρές διαφορές στο συντελεστή απώλειας φορτίου μεταξύ φρεατίων κυκλικής και ορθογωνικής διατομής. Ως εκ τούτου το σχήμα του φρεατίου μπορεί να αγνοείται όταν υπολογίζονται οι απώλειες φορτίου για τους σκοπούς της μελέτης.

Ο συντελεστής διόρθωσης C_D λόγω αλλαγής διαμέτρου σωλήνα μεταξύ δυο διαδοχικών σωλήνων υπολογίζεται ως:

$$C_D = \left(\frac{D_o}{D_i}\right)^3 \qquad (6.3.2.1\text{-}3)$$

όπου:

C_D : ο συντελεστής διόρθωσης λόγω αλλαγής διαμέτρου σωλήνα

D_i : η διάμετρος του προσαγωγού σωλήνα

D_o : η διάμετρος του απαγωγού σωλήνα

Μια αλλαγή στην απώλεια φορτίου λόγω διαφορών στις διαμέτρους των σωλήνων έχει αποδειχθεί ότι είναι σημαντική μόνο υπό συνθήκες πίεσης, όταν ο λόγος του βάθους του νερού στο φρεάτιο επίσκεψης προς τη διάμετρο του απαγωγού σωλήνα, είναι $d/D_0>3,2$. Ως εκ τούτου γίνεται εφαρμογή μόνο σε τέτοιες περιπτώσεις.

Ο συντελεστής διόρθωσης λόγω βάθους ροής, C_d, υπολογίζεται ως:

$$C_d = 0,5 \cdot \left(\frac{d}{D_o}\right)^{3/5} \qquad (6.3.2.1\text{-}4)$$

όπου:

C_d : ο συντελεστής διόρθωσης λόγω βάθους ροής

d : το βάθος νερού στο φρεάτιο επίσκεψης πάνω από τη στέψη του απαγωγού σωλήνα

D_o : η διάμετρος του απαγωγού σωλήνα

Αυτός ο συντελεστής διόρθωσης έχει βρεθεί ότι είναι σημαντικός μόνο στις περιπτώσεις ροής με ελεύθερη επιφάνεια ή υπό μικρή πίεση, όταν ο λόγος $d/D_0<3,2$, και εφαρμόζεται μόνο σε τέτοιες περιπτώσεις. Το βάθος νερού στο φρεάτιο επίσκεψης προσομοιάζεται με τη στάθμη της πιεζομετρικής γραμμής στο ανάντη άκρο του απαγωγού σωλήνα.

Ο συντελεστής διόρθωσης λόγω συμβολής πλευρικής ροής, C_Q, υπολογίζεται ως:

$$C_Q = (1 - 2 \cdot \sin\theta) \cdot \left(1 - \frac{Q_i}{Q_o}\right)^{3/4} + 1 \qquad (6.3.2.1\text{-}5)$$

όπου:

C_o : ο συντελεστής διόρθωσης λόγω συμβολής πλευρικής ροής

θ : η γωνία που σχηματίζουν μεταξύ τους οι δυο σωλήνες εισροής και εκροής

Q_i : η ποσότητα ροής στον προσαγωγό σωλήνα

Q_o : η ποσότητα ροής στον απαγωγό σωλήνα

Ο συντελεστής C_Q είναι μια συνάρτηση της γωνίας της προσερχόμενης ροής όπως επίσης του ποσοστού της προσερχόμενης ροής δια του σωλήνα που ενδιαφέρει και αντιστρόφως ανάλογος της ροής των άλλων προσερχόμενων σωλήνων. Το γεγονός αυτό καταδεικνύε-

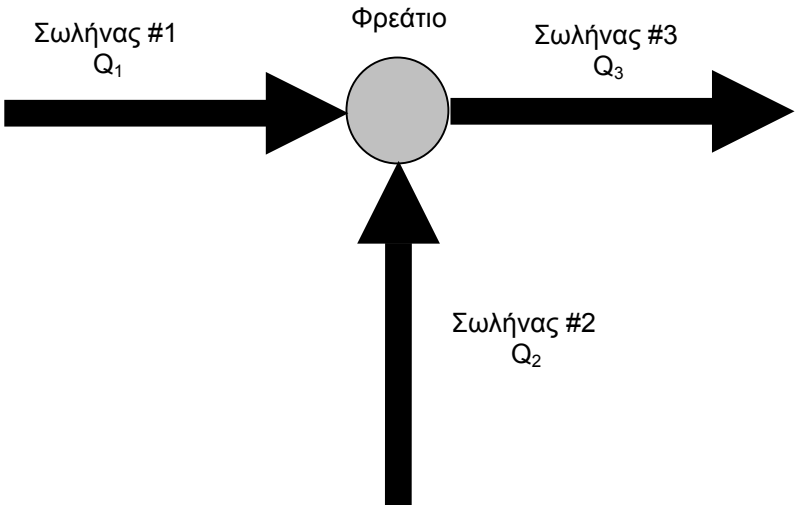
ται με τη βοήθεια του σχήματος 6.3.2.1-1 όπου δίνονται οι παραδοχές: Q_1=3 m^3/s, Q_2=1 m^3/s και Q_3=4 m^3/s. Επιλύοντας το συντελεστή διόρθωσης για τη σχετική ροή κατά την πορεία από το σωλήνα #3 προς ένα από τους προσερχόμενους σωλήνες π.χ. το σωλήνα #2:

$$C_{Q3\to 2} = \left(1 - 2 \cdot \sin 90^\circ\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right)^{3/4} + 1 = 0{,}19 \qquad (6.3.2.1\text{-}6)$$

Για ένα δεύτερο παράδειγμα με τις παραδοχές: Q_1=1 m^3/s, Q_2=3 m^3/s και Q_3=4 m^3/s. Υπολογίζοντας το συντελεστή Q_0 σε αυτή την περίπτωση είναι:

$$C_{Q3\to 2} = \left(1 - 2 \cdot \sin 90^\circ\right) \cdot \left(1 - \frac{3}{4}\right)^{3/4} + 1 = 0{,}65 \qquad (6.3.2.1\text{-}7)$$

Και στις δυο περιπτώσεις η προσερχόμενη ροή δια του σωλήνα #2 έχει να κάνει πορεία με γωνία 90° για να πάει στο σωλήνα #3. Στην περίπτωση 1 η μεγαλύτερη ροή διανύει ευθύγραμμη πορεία μέσα από το φρεάτιο, από το σωλήνα #1 προς το σωλήνα #3, υποβοηθώντας τη ροή από το σωλήνα #2 για να κάνει τη στροφή. Στην περίπτωση 2, η κύρια ροή προσέρχεται δια του σωλήνα #2. Η υποβοήθηση από την ευθύγραμμη διερχόμενη ροή, της ροής του σωλήνα #2 προς το σωλήνα #3, είναι μικρότερη. Ως αποτέλεσμα το συντελεστής διόρθωσης για τη σχετική ροή στην περίπτωση 1 έχει τιμή 0,19 δηλαδή είναι πολύ μικρότερος από το συντελεστή διόρθωσης της περίπτωσης 2 όπου αυτός έχει τιμή 0,65.



Σχήμα 6.3.2.1-1: Παράδειγμα συμβολής ροής

Ο συντελεστής διόρθωσης λόγω υψομετρικής πτώσης της ροής, C_p , υπολογίζεται ως:

$$C_p = 1 + 0{,}2 \cdot \frac{h}{D_o} \cdot \frac{h-d}{D_o} \qquad (6.3.2.1\text{-}8)$$

όπου:

C_p : ο συντελεστής διόρθωσης λόγω υψομετρικής πτώσης της ροής

h : το κατακόρυφο ύψος της πτώσης της ροής από τη στέψη του προσαγωγού σωλήνα μέχρι το κέντρο του απαγωγού σωλήνα

D_o : η διάμετρος του απαγωγού σωλήνα

d : το βάθος νερού εντός του φρεατίου

Αυτός ο συντελεστής διόρθωσης αντιστοιχεί με την επιρροή της συμβολής πλευρικού σωλήνα, που πέφτει μέσα στο φρεάτιο, επί της ροής του προσαγωγού σωλήνα για την οποία γίνεται ο υπολογισμός της απώλειας φορτίου. Χρησιμοποιώντας τους συμβολισμούς του προηγούμενου σχήματος, για παράδειγμα ο συντελεστής C_p υπολογίζεται για το σωλήνα #2, όταν ο σωλήνας #1 παροχετεύει ροή με πτώση. Η ροή που προκύπτει από την πτώση και προέρχεται από την προσαγόμενη ροή διαμέσου της οπής επί του φρεατίου, λαμβάνεται υπόψη κατά τον ίδιο τρόπο. Ο συντελεστής διόρθωσης εφαρμόζεται μόνο όταν h>d.

Ο τελικός συντελεστής διόρθωσης πολλαπλασιαζόμενος επί το συντελεστή K_o προκειμένου να γίνει η διόρθωση του συντελεστή απώλειας φορτίου K είναι η διόρθωση C_B, λόγω καμπύλης μέσα στο φρεάτιο. Η καμπύλη κατασκευή εντός του φρεατίου έχει σκοπό να κατευθύνει τις ροές μέσα από το φρεάτιο, με αποτέλεσμα την ελάττωση των απωλειών φορτίου. Οι συντελεστές διόρθωσης λόγω καμπύλης, C_B, παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα 6.3.2.1-1.

Πίνακας 6.3.2.1-1: Συντελεστές διόρθωσης, C_B, λόγω καμπύλης

Τύπος καμπύλης (Διαμόρφωση πυθμένα φρεατίου)	Συντελεστές διόρθωσης C_B	
	Υπό βύθιση *	Χωρίς βύθιση **
Επίπεδος πυθμένας	1,00	1,00
Πεζοδρόμια ύψους y = 0,5D	0,95	0,15
Πεζοδρόμια ύψους y = D	0,75	0,07
Επιπλέον βελτίωση	0,40	0,02
* Ροή υπό πίεση, d/D_o>3,2	** Ελεύθερη επιφάνεια ροής d/D_o>1,0	

6.3.2.2 Απώλειες λόγω μεταβολόμενης διατομής

Αυτή υπολογίζεται ως:

$$h_t = K_t \cdot \left| \frac{V_u^2 - V_d^2}{2g} \right| \qquad (6.3.2.2\text{-}1)$$

όπου:

$\left| \frac{V_u^2 - V_d^2}{2g} \right|$: η απόλυτη τιμή της διαφοράς του φορτίου ταχύτητας μεταξύ ανάντη και κατάντη

K_t : λαμβάνεται 0,1 για αυξανόμενη και 0,2 για ελαττούμενη ταχύτητα

Για ροή υπό πίεση που διέρχεται από τμήμα μεταβαλόμενης διατομής εφαρμόζεται η εξίσώση:

Μεταβολή αυξανόμενης διατομής

$$h_{et} = K_e \cdot \frac{(V_u - V_d)^2}{2g} \qquad (6.3.2.2\text{-}2)$$

όπου:

K_e : λαμβάνεται 1,0 για απότομη αύξηση διατομής

K_e : λαμβάνεται 0,2 στην περίπτωση σχεδιασμένης μεταβολής

6.3.2.3 Απώλειες λόγω καμπύλης

Μετρίσιμη απώλεια λόγω καμπύλης συμβαίνει όταν ένας αγωγός παρουσιάζει αλλαγή κατεύθυνσης >15°. Ο υπολογισμός αυτής της απώλειας εκφράζεται ως:

$$h_b = K_b \frac{V^2}{2g} \qquad (6.3.2.3\text{-}1)$$

όπου:

V : η ταχύτητα ροής μέσα στο σωλήνα

K_b : $0{,}25 \cdot \sqrt{\frac{\varphi}{90}}$

φ : η επίκεντρη γωνία της καμπύλης σε μοίρες

7. ΟΔΙΚΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

7.1 Εισαγωγή

Τα υδραυλικά προβλήματα που εμφανίζονται στις θέσεις τεχνικών έργων των οδών αντιμετωπίζονται με τις υδραυλικές μελέτες οι οποίες αφορούν:

α. την αποχέτευση-αποστράγγιση του καταστρώματος των γεφυρών με σκοπό τη διασφάλιση της ομαλής κυκλοφορίας, την προστασία της ίδιας της κατασκευής και του περιβάλλοντα χώρου,

β. την προστασία των γεφυρών από τη ροή των νερών ποταμών ή ρεμάτων με τα κατάλληλα έργα διευθέτησης της ροής αυτών (βλέπε κεφάλαιο 10).

Κατά το στάδιο της μελέτης ο σχεδιασμός των διατάξεων που αντιμετωπίζουν τα υδραυλικά προβλήματα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και το βασικό στατικό σχεδιασμό των τεχνικών έργων (βλ. ΟΜΟΕ-Τεχνικά Εργα Οδών).

7.2 Αποχέτευση Καταστρώματος Γεφυρών

Το σύστημα αποχέτευσης γέφυρας συνίσταται από τις διατάξεις υδροσυλλογής επί του καταστρώματος και στα άκρα της γέφυρας. Στα επόμενα περιγράφεται ο τρόπος προσέγγισης της μελέτης του συστήματος αποχέτευσης γεφυρών που θα πρέπει να εφαρμόζεται με συνέπεια στο σχεδιασμό γεφυρών.

7.2.1 Διαδικασία μελέτης

Για τη μελέτη αποχέτευσης μιας γέφυρας εφαρμόζεται η ακόλουθη διαδικασία.

(1) Προσδιορίζεται εάν υπάρχει ανάγκη τοποθέτησης διατάξεων αποχέτευσης του καταστρώματος της γέφυρας.

(2) Εφόσον τέτοιες χρειάζονται, προσδιορίζεται το μέγεθος και η απόσταση μεταξύ των στομίων υδροσυλλογής.

(3) Ερευνώνται εκείνες οι συνθήκες όπου ο κίνδυνος υδροολίσθησης των οχημάτων θα πρέπει να αντιμετωπισθεί.

(4) Αξιολογείται η ορατότητα του οδηγού για τις συνθήκες βροχόπτωσης.

(5) Αξιολογείται και προβλέπεται η αποχέτευση στις περιοχές ακροβάθρων της γέφυρας, όπως αρμόζει.

Για την υλοποίηση αυτής της διαδικασίας χρειάζεται μόνο η πληροφορία για:

- Την κατά μήκος διάταξη του καταστρώματος (μήκος γέφυρας και πλακών πρόσβασης).
- Την κατά πλάτος διάταξη του καταστρώματος (πλάτος γέφυρας, κατάστρωμα και πεζοδρόμια, στηθαία).
- Τις κατά μήκος και εγκάρσιες κλίσεις του καταστρώματος.
- Την ταχύτητα μελέτης της οδού.

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται προσδιορίζουν την έκταση στην οποία η γέφυρα χρειάζεται αποχετευτικά στοιχεία.

Η άρτια μελέτη αποχέτευσης απαιτεί να προϋπάρχει γνώση για τον τρόπο ροής των ομβρίων επί της οδού και μεταξύ αυτής και της κατασκευής της γέφυρας. Σημειωτέον ότι ενώ μπορεί να μη είναι αναγκαία η αποχέτευση του καταστρώματος, η αποχέτευση στα ακρόβαθρα της γέφυρας είναι πάντα απαραίτητη. Η πλήρης εκτόνωση της απορροής, που προσέρχεται από τα ανάντη (ως προς τη γέφυρα), πρόσβαση της οδού, χρειάζεται ώστε αυτή να μη εισρέει στο κατάστρωμα της γέφυρας. Αντιστοίχως στα κατάντη η διάταξη αποχέτευσης στη θέση του ακροβάθρου της γέφυρας θα πρέπει να έχει επαρκή παροχετευτικότητα, για την πλήρη απομάκρυνση κάθε ροής που προέρχεται από το κατάστρωμα της γέφυρας ώστε να μη δημιουργείται κίνδυνος για τις ευπαθείς περιοχές γύρω από τα ακρόβαθρα.

Στην περιγραφόμενη εδώ διαδικασία αναμένεται αλλά και ενθαρρύνεται η χρήση της κρίσης του μηχανικού. Εντούτοις, εφόσον ο μελετητής αποφασίζει να παρεκκλίνει από τις περιγραφόμενες διαδικασίες, τότε οι λόγοι της παρέκκλισης πρέπει να δηλώνονται με πλήρη σαφήνεια και να αποφασίζονται πριν από την εκπόνηση της οριστικής μελέτης της γέφυρας.

7.2.2 Ορισμοί

W	[m]	:	Το πλάτος της αποχετευόμενης επιφάνειας. Τυπικά είναι το 1/2 του πλάτους της οδού σε αμφικλινή επιφάνεια καταστρώματος της γέφυρας ή ολόκληρο το πλάτος σε μονοκλινή επιφάνεια καταστρώματος της γέφυρας.
T	[m]	:	Το πλάτος κατακλυσμού της μελέτης. Είναι το μέγιστο αποδεκτό κατακλυζόμενο από νερά πλάτος ροής ρείθρου. Για ταχύτητες μελέτης ≥80 km/h το T εξισώνεται με το πλάτος του ρείθρου και δεν επιτρέπεται κατακλυσμός καθόλου των λωρίδων κυκλοφορίας. Για ταχύτητες μελέτης <80 km/h μπορεί να επιτρέπεται ο κατακλυσμός πλάτους που φτάνει μέχρι το αναμενόμενο ίχνος των εξωτερικών τροχών των οχημάτων, δηλαδή περίπου 90 cm μέσα στην κυκλοφορούμενη λωρίδα. Ο σκοπός των συστημάτων αποχέτευσης καταστρώματος γεφυρών είναι η απομάκρυνση των ομβρίων (η δημιουργούμενη ροή) από το κατάστρωμα της γέφυρας πριν αυτά κατακλύσουν το κυκλοφορούμενο πλάτος πέραν από το όριο που ορίζεται ως επιτρεπόμενο πλάτος κατακλυσμού της μελέτης “T”.
n	[$s/m^{1/3}$]	:	Ο συντελεστής Manning. Λαμβάνεται η τιμή n=0,018 για τα συνήθη καταστρώματα γεφυρών.
C	[-]	:	Ο συντελεστής απορροής. Λαμβάνεται η τιμή C=0,90 (max 0,95) επειδή αναγνωρίζεται ότι μέρος της απορροής παγιδεύεται και αποθηκεύεται στα κενά και τις ατέλειες του καταστρώματος της γέφυρας.
i	[mm/h]	:	Η ένταση της βροχόπτωσης.
L_s	[m]	:	Το μέγιστο μήκος καταστρώματος χωρίς στόμια υδροσυλλογής.
L_b	[m]	:	Το πραγματικό μήκος της αποχετευόμενης επιφάνειας καταστρώματος.

L	[m]	:	Το μήκος από το ψηλό σημείο της γέφυρας μέχρι το χαμηλό.
L_v	[m]	:	Το μήκος από το προηγούμενο μέχρι το "**v**"$_{στο}$ στόμιο υδροσυλλογής.
ω	[m]	:	Το πλάτος του ορθογώνιου στομίου υδροσυλλογής.
S	[m/m]	:	Η κατά μήκος κλίση του καταστρώματος της γέφυρας. Αυτή η παράμετρος μεταβάλλεται όταν το κατάστρωμα εμπεριέχεται σε κατακόρυφη καμπύλη της χάραξης. Για τον υπολογισμό του μήκους L_s για τα απαιτούμενα στόμια υδροσυλλογής, χρησιμοποιείται η κλίση "S" στην περιοχή του χαμηλότερου σημείου της γέφυρας και για τον υπολογισμό της θέσης του στομίου χρησιμοποιείται η κλίση "S" στην υπόψη θέση.
S_x	[m/m]	:	Η εγκάρσια κλίση του καταστρώματος. Χρησιμοποιείται η μέση εγκάρσια κλίση, εκτός όταν υπολογίζονται οι θέσεις των στομίων, οπότε χρησιμοποιείται η κλίση "S_x" σε εκείνη τη θέση.

7.3 Μελέτη

7.3.1 Επιλογή Βροχόπτωσης Σχεδιασμού - Εφαρμογή

(1) Επιλέγεται η εξίσωση υπολογισμού της βροχόπτωσης που έχει εφαρμογή στην περιοχή μελέτης. Υπολογίζεται η ένταση για περίοδο επαναφοράς 5-ετή και για χρόνο συγκέντρωσης 10 min.

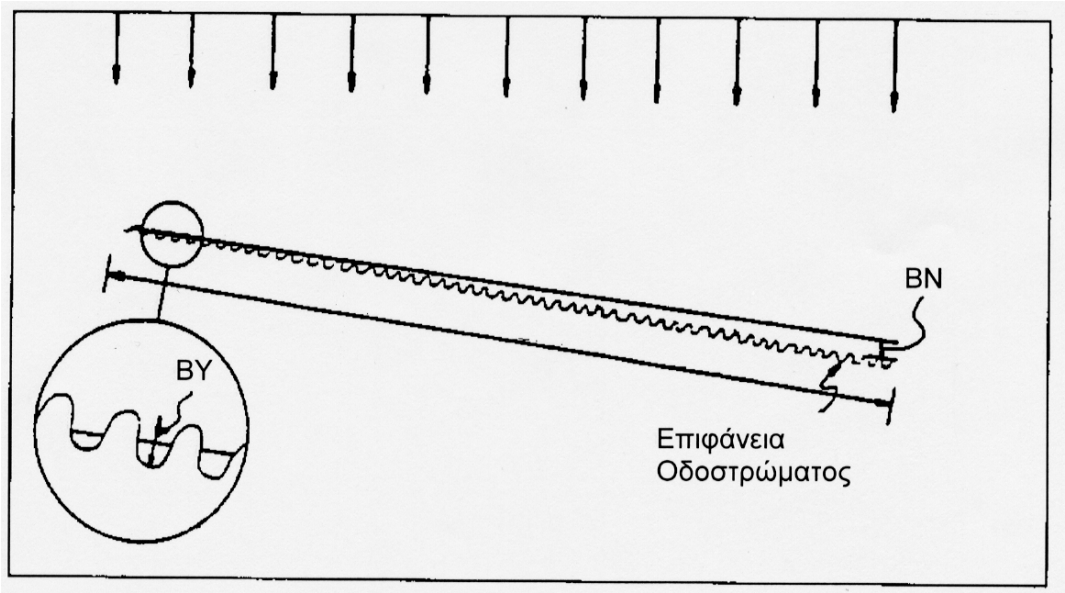
(2) Υπολογίζεται το πάχος μεμβράνης νερού στην επιφάνεια οδοστρώματος (βλ. Σχήμα 7.3.1-1). Υπολογίζεται η συνισταμένη κλίση "S_r" της διαδρομής της ροής επί της επιφάνειας οδοστρώματος (βλ. Σχήμα 7.3.1-2).

$$S_r = \left(S_x^2 + S^2\right)^{0,5} \qquad (7.3.1\text{-}1)$$

Υπολογίζεται το μήκος της υπόψη διαδρομής $L_f = W\left[1 + (S/S_x)^2\right]^{0,5}$ (7.3.1-2)

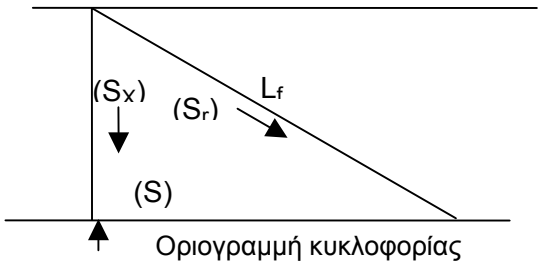
όπου :

S_r	[mm]	:	Η συνισταμένη κλίση
L_f	[m]	:	Το μήκος διαδρομής της ροής



BY : Βάθος Υφής οδοστρώματος, BN : Βάθος Νερού

Σχήμα 7.3.1-1: Σχηματισμός πάχους νερού στην επιφάνεια οδοστρώματος



Σχήμα 7.3.1-2: Συνισταμένη πορεία της ροής στο οδόστρωμα

Οι παράγοντες που επηρεάζουν και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του βάθους νερού "BN" επί της επιφάνειας οδοστρώματος είναι: το μήκος της διαδρομής ροής (L_f), το βάθος υφής της επιφάνειας κυκλοφορίας "*BY*", η συνισταμένη κλίση "S_r" και η ένταση βροχόπτωσης "*i*". Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται το βάθος νερού αναπτύχθηκε από το GALLAWAY (βλ. Highway Drainage Guidelines AASHTO 1999) και είναι :

$$(BN) = 0{,}01485\left(BY^{0{,}11}\, L_f^{0{,}43}\, i^{0{,}59}\, S_r^{-0{,}42}\right) - BY \qquad (7.3.1\text{-}3)$$

όπου :

BN	[mm]	:	το βάθος νερού πάνω από την ανώτατη επιφάνεια του οδοστρώματος (δεν περιλαμβάνεται το βάθος της υφής)
L_f	[m]	:	μήκος ροής
BY	[mm]	:	το μέσο βάθος της υφής

i	[mm/h]	:	ένταση βροχόπτωσης
S_r	[m/m]	:	συνισταμένη των κλίσεων εγκαρσίως και κατά μήκος

Το βάθος νερού σε σχέση με τις παραμέτρους "S" και "S_x" για συγκεκριμένη ένταση βροχόπτωσης παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.3.1-1.

Διεθνώς από πειραματικά δεδομένα έχει συμφωνηθεί ένα πεδίο τιμών του βάθους νερού που χρειάζεται για να παραχθεί το «σπινάρισμα» του τροχού οχήματος με απώλεια της επαφής του ελαστικού με το οδόστρωμα. Αυτό το κατά προσέγγιση επικίνδυνο βάθος είναι της τάξης των 1,5 έως 5 mm.

Με βάση την προηγούμενη εξίσωση, ανάλογα με τις συνθήκες της επιφάνειας του οδοστρώματος και της έντασης βροχόπτωσης (για 10-ετή περίοδο επαναφοράς) για μια ώρα, όταν προκύπτει βάθος νερού μεγαλύτερο από 1,5 – 5 mm τότε πρέπει να λαμβάνονται μέτρα πρόληψης της υδροολίσθησης ή/και μείωσης της σοβαρότητας των συνεπειών από τις αναμενόμενες εκτροπές οχημάτων.

Εφόσον η υδροολίσθηση αποτελεί αντικείμενο αντιμετώπισης, τα απαιτούμενα μέτρα κρίνονται από την άποψη της ασφάλειας του οδηγού. Για τον προσδιορισμό της ανάγκης υλοποίησης ή μη διορθωτικών μέτρων, συνεκτιμάται η «συγχωρετικότητα» της επιφάνειας επί και γύρω από τη γέφυρα. Λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως: το μήκος της γέφυρας, το πλάτος ερεισμάτων, η θέση των στηθαίων, η κλίση πρανών όταν είναι μεγαλύτερη από υ:β=1:3, τα παρόδια ακλόνητα εμπόδια σε απόσταση μικρότερη των 9 m από την οριογραμμή κυκλοφορίας της οδού και το μήκος ευθυγραμμίας της χάραξης.

Τα διορθωτικά μέτρα που λαμβάνονται είναι : η εφαρμογή αντιολισθηρών στρώσεων ή αντιμετώπιση με άλλες μεθόδους για την αύξηση του βάθους υφής (αδρότητας) της επιφάνειας κυκλοφορίας. Αυτά τα μέτρα πρέπει να εφαρμόζονται έτσι ώστε να μην επιφέρονται αρνητικές συνέπειες στα χαρακτηριστικά της ροής του ρείθρου.

Μερικές από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την υδροολίσθηση γίνονται περισσότερο αντιληπτές με τα εξής :

Η κατά 1% αύξηση της αδρότητας του οδοστρώματος αυξάνει το αποδεκτό μέγιστο βάθος νερού, όπου δεν αναμένεται υδροολίσθηση, κατά 1,6%. Η κατά 1% αύξηση του βάθους του πέλματος των ελαστικών αυξάνει το μέγιστο αποδεκτό βάθος νερού, όπου δεν αναμένεται υδροολίσθηση, κατά 0,8%. Η κατά 1% αύξηση της πίεσης των ελαστικών αυξάνει το αποδεκτό μέγιστο βάθος, όπου δεν αναμένεται υδροολίσθηση, κατά 2,4%.

Σε συνθήκες μέσης κατάστασης επιφάνειας κυκλοφορίας και ελαστικών οχήματος, η ταχύτητα V=90 km/h είναι εκείνη που ενδιαφέρει πρακτικά τον έλεγχο για υδροολίσθηση. Για μικρότερες ταχύτητες, η κατά 1% μείωση της ταχύτητας, αυξάνει το αποδεκτό μέγιστο βάθος νερού, όπου δεν αναμένεται υδροολίσθηση, κατά 25%. Σε μικρότερες ταχύτητες, η έντονη βροχόπτωση από μόνη της γενικά δεν επαρκεί για να δημιουργηθεί αιτία υδροολίσθησης. Για ταχύτητες μεγαλύτερες από 90 km/h, η κατά 1% αύξηση της ταχύτητας μειώνει το αποδεκτό μέγιστο βάθος, όπου δεν αναμένεται υδροολίσθηση, κατά 25%. Το τελευταίο σημαίνει ότι για ταχύτητες μεγαλύτερες από 90 km/h η υδροολίσθηση μπορεί να συμβεί σε εξαιρετικά λεπτές μεμβράνες νερού σε συνδυασμό με πολύ ασθενείς βροχοπτώσεις της τάξης των 25 mm/h και λιγότε-

ρο, οι οποίες συνήθως είναι μικρότερες από εκείνες που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό των ρείθρων, των στομίων υδροσυλλογής και των αγωγών ομβρίων. Οι προαναφερόμενες σχέσεις μεταβολής των παραμέτρων που επηρεάζουν την ανάπτυξη του κρίσιμου βάθους υδροολίσθησης συνοψίζονται στον επόμενο Πίνακα.

Πίνακας 7.3.1-1: Σχέση χαρακτηριστικών παραμέτρων - βάθους νερού

#	Παράμετρος		Βάθος νερού υδροολίσθησης
	Ιδιότητα	Μεταβολή μεγέθους	Μεταβολή μεγέθους
1	Αδρότητα οδοστρώματος	+1%	+1,6%
2	Βάθος πέλματος ελαστικού	+1%	+0,8%
3	Πίεση ελαστικών	+1%	+2,4%
4	Ταχύτητα <90km/h	-1%	+25,0%
5	Ταχύτητα >90km/h	+1%	-25,0%

(3) Ένταση βροχόπτωσης σε σχέση με την ορατότητα του Οδηγού.

Η ένταση βροχόπτωσης i =100 mm/h είναι η στάθμη βροχόπτωσης πάνω από την οποία η ορατότητα φτάνει σε επίπεδα που δεν συνδράμουν την οδήγηση. Από την άποψη της ασφάλειας του οδηγού η τιμή της έντασης i =100 mm/h αποτελεί το άνω αποδεκτό όριο μελέτης. **Ο έλεγχος της αποχέτευσης του οδοστρώματος για εντάσεις μεγαλύτερες από 100mm/h έχει αμελητέα αξία από την άποψη της ασφάλειας του οδηγού. Κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων με i>100mm/h οι οδηγοί απομακρύνονται από τις λωρίδες κυκλοφορίας ενώ εκείνοι οι οδηγοί που παραμένουν, αναγκαστικά περιορίζονται σε πολύ χαμηλές ταχύτητες.**

Όταν το κατάστρωμα της γέφυρας βρίσκεται σε κοίλη κατακόρυφη καμπύλη της μηκοτομής, τότε η πιθανότητα για σχηματισμό λιμνών νερού πρέπει να αναλύεται για περίοδο επανάληψης 50 ή 100 έτη. Σε αυτή την περίπτωση οι αντίστοιχες υψηλές τιμές της “i” γίνονται αποδεκτές για τα μέτρα αποχέτευσης.

(4) Επιλέγεται η ένταση βροχόπτωσης “i” μελέτης.

Η ένταση βροχόπτωσης δίνεται από εξισώσεις που έχουν καθορισθεί για κάθε συγκεκριμένη περιοχή.

7.3.2 Απαίτηση για στόμια υδροσυλλογής

Το επιτρεπόμενο μήκος “L_s” χωρίς στόμια προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$L_s = \left(\frac{1,35 \cdot 10^6}{Cn}\right)\left(\frac{1}{iW}\right)\left(S_x^{1,67}\, S^{0,5}\, T^{2,67}\right) \qquad (7.3.2\text{-}1)$$

Χρησιμοποιώντας τις τιμές C=0,9 και n=0,018 η εξίσωση γίνεται:

$$L_s = \frac{84 \cdot 10^6}{iW} S_x^{1,67}\, S^{0,5}\, T^{2,67} \qquad (7.3.2\text{-}2)$$

Σημειώνεται ότι πρέπει να χρησιμοποιείται ως τιμή κατά μήκος κλίσης “*S*” η κλίση που επικρατεί στο χαμηλότερο άκρο της γέφυρας.

7.3.3 Τοποθέτηση των στομίων υδροσυλλογής

Πριν από τον υπολογισμό των αποστάσεων για τις θέσεις των στομίων υδροσυλλογής συνοψίζονται τα στοιχεία που καθορίζουν τις παραδοχές για σωστή αποχέτευση.

Τα συστήματα αποχέτευσης καταστρώματος γεφυρών δημιουργούν το πρόβλημα για συνεχή συντήρηση. Η μόνη ασφαλής μέθοδος για την αποφυγή της συντήρησης είναι η κατάργηση των στομίων υδροσυλλογής όταν αυτά δεν είναι απαραίτητα.

Όταν είναι εφικτό πρέπει να χρησιμοποιείται η ελεύθερη πτώση των νερών σε σχέση βέβαια με τις χρήσεις του χώρου κάτω από τη γέφυρα. Συστήματα ελεύθερης πτώσης θα πρέπει να επεκτείνονται ώστε τα σημεία εκροής να βρίσκονται κάτω από την ανωδομή και να τοποθετούνται μακριά από τα βάθρα ώστε να αποφεύγεται η διαβροχή των μελών της γέφυρας με την επιρροή των ανέμων. Τα χημικά συστατικά της απορροής θα προκαλούν διάβρωση και καταστροφή, γιαυτό πρέπει η αποχέτευση να καθοδηγείται πάντα μακριά από τα μέλη της γέφυρας. Επίσης τέτοια συστήματα θα πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε η πτώση του νερού να μη προκαλεί βλάβη σε οτιδήποτε είναι κάτω από τη γέφυρα. Μια ελεύθερη πτώση που υπερβαίνει σε ύψος τα 7,5 m θα διασπείρει επαρκώς το νερό έτσι ώστε να μη συμβαίνει καμία βλάβη από διάβρωση στις επιφάνειες του εδάφους κάτω από τη γέφυρα. Για ύψος <7,5 m στη θέση της πτώσης του νερού μπορεί να χρειάζεται η τοποθέτηση τεχνικών ή φυσικών ογκολίθων ή λιθορριπής επάνω σε γαιοϋφασμα. Η απορροή δεν πρέπει να πέφτει επάνω σε οδούς, σιδηροδρομικές γραμμές, πεζοδρόμους κτλ.

7.3.4 Στόμια υδροσυλλογής και σωλήνες εκτόνωσης

Εφόσον μια εκτόνωση με σωλήνα είναι απαραίτητη για τη μεταφορά της ροής σε συλεκτήρια τάφρο ή άλλο αγωγό κάτω από τη γέφυρα τότε τα στόμια υδροσυλλογής θα πρέπει να τοποθετούνται κοντά στα βάθρα. Έτσι θα δίνεται η δυνατότητα για τη στήριξη κατακόρυφης σωλήνωσης και για να αποφεύγεται η μεγάλη διαδρομή του σωλήνα εκτόνωσης η οποία θα χρειάζεται ειδικά στοιχεία στήριξης κτλ.

Γενικά οι θεωρητικές θέσεις τοποθέτησης που προσδιορίζονται με την παρούσα μεθοδολογία είναι προσεγγιστικές. Εναπόκειται στο μελετητή, επιπρόσθετα από τις τιμές που θα προκύψουν με τους υδραυλικούς υπολογισμούς, να λαμβάνει υπόψη και άλλα στοιχεία, όπως η υποχρεωτική τοποθέτηση των στομίων υδροσυλλογής στα στα ανάντη των αρμών των γεφυρών κτλ.

Οι βλάβες που έχουν σχέση με διάβρωση συνήθως παρατηρούνται κοντά σε αρμούς και ελαττωματικά αποχετευτικά στοιχεία, όπου συμβαίνει διαρροή. Αυτές οι βλάβες συμβαίνουν όταν προκαλείται διάβρωση των τενόντων προέντασης, των χαλύβδινων πλακών αγκύρωσης και του συνήθους σιδηρού οπλισμού. Είναι σημαντικό να συνεκτιμάται ο κίνδυνος από τα αντιπαγετικά άλατα που χρησιμοποιούνται κατά τη χειμερινή περίοδο, τα οποία επιταχύνουν τα αποτελέσματα της διάβρωσης.

Για να αποφεύγεται ο διπλασιασμός της πιθανότητας διάβρωσης σε μια θέση, συνιστάται τα στόμια υδροσυλλογής να τοποθετούνται σε απόσταση 2-3 m από τους αρμούς και στα ανάντη αυτών.

Όλες οι σχάρες στα στόμια υδροσυλλογής θα πρέπει να είναι ανοιγόμενες και θα πρέπει να έχουν επαρκές μέγεθος με διαστάσεις από 20x20 έως 60x50 cm. Επίσης οι σχάρες θα

πρέπει να παρέχουν κάποιο στοιχείο προστασίας από βανδαλισμούς. Ένα τέτοιο στοιχείο είναι η τοποθέτηση κοχλία τύπου alen.

7.3.5 Προσδιορισμός της θέσης στομίων υδροσυλλογής

Υπολογίζεται η απόσταση L, από το υψηλό σημείο μέχρι το πρώτο σημείο υδροσυλλογής.

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση Manning, για ροή σε τριγωνικό ρείθρο υπολογίζεται η παροχή σε [m^3/s] :

$$Q_t = \frac{0,376}{n} S_x^{1,67} S^{0,5} T^{2,67} \qquad (7.3.5\text{-}1)$$

και χρησιμοποιώντας n=0,018 η εξίσωση γίνεται

$$Q_t = 21 S_x^{1,67} S^{0,5} T^{2,67} \qquad (7.3.5\text{-}2)$$

Η απορροή σε [m^3/s] για επιφάνεια A σε [m^2] με την εξίσωση της ορθολογικής μεθόδου είναι :

$$Q=CiA/(3,6\cdot 10^6) \qquad (7.3.5\text{-}3)$$

Συνδυάζοντας την εξίσωση Manning με την ορθολογική μέθοδο και λύνοντας ως προς L προκύπτει από την επόμενη εξίσωση η απαιτούμενη απόσταση των σημείων υδροσυλλογής σε [m].

$$L = \left(\frac{1,35 \cdot 10^6}{CniW}\right) S_x^{1,67} S^{0,5} T^{2,67} \qquad (7.3.5\text{-}4)$$

Χρησιμοποιώντας τις τιμές C=0,9, n=0,018 η εξίσωση γίνεται

$$L = \frac{84 \cdot 10^6}{iW} S_x^{1,67} S^{0,5} T^{2,67} \qquad (7.3.5\text{-}5)$$

Σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό της θέσης του στομίου υδροσυλλογής χρησιμοποιείται η κλίση "*S*" που υπάρχει στο σημείο της γέφυρας όπου αναμένεται να τοποθετηθεί το στόμιο υδροσυλλογής.

Σε μια κατακόρυφη καμπύλη η κλίση μεταβάλλεται γραμμικά. Ως εκ τούτου λαμβάνεται κλίση S=0 στο υψηλό και χαμηλό σημείο και μεταβαλλόμενη προς τα άκρα της κατακόρυφης καμπύλης σε συνάρτηση με την απόσταση.

Όταν η τιμή της κλίσης "*S*" μεταβάλλεται τότε υπολογίζεται η απόσταση "*L*" με τη μέθοδο παλινδρόμησης η οποία απαιτεί μια αρχική υπόθεση. Όταν η κλίση "*S*" είναι σταθερή προφανώς η διαδικασία υπολογισμού με παλινδρόμηση περιττεύει. Για αυτόν τον τρόπο υπολογισμού της τιμής "*L*" συνιστάται να συντάσσεται ένας πίνακας όπως :

Αρχική υποθετική τιμή απόστασης	Κατά μήκος κλίση που υπολογίζεται μεταξύ των άκρων της απόστασης Lv	Υπολογιζόμενη απαιτούμενη απόσταση L στομίου για την

		κλίση Sv
Lv	Sv	L

Όταν η υπολογιζόμενη “L” είναι μεγαλύτερη από την υποθετική, αυξάνεται η υποθετική “Lv” και γίνεται επαναϋπολογισμός. Εάν η υπολογιζόμενη “L” είναι μικρότερη από την υποθετική “Lv”, μειώνεται η υποτιθέμενη “Lv” και γίνεται επαναυπολογισμός. Όταν η υπολογιζόμενη “L” εξισώνεται με την υποθετική “L” τότε αυτή είναι η τιμή εφαρμογής.

Οι αποστάσεις L μπορούν να αναθεωρούνται και να μετακινούνται προς τα ανάντη προκειμένου να διευκολυνθεί η τοποθέτηση των στομίων. Για παράδειγμα, η απόσταση “L” μπορεί να ελαττώνεται έτσι ώστε να βρίσκεται ένα στόμιο 2-3 μέτρα ανάντη από έναν αρμό και για να είναι κοντά σε ένα βάθρο που θα διευκολύνει τη στερέωση του κατακόρυφου σωλήνα εκτόνωσης.

ω [m] : Πλάτος στομίου. Επιλέγεται το πλάτος. Υποτίθεται ότι οι μικρές ορθογώνιες σχάρες έχουν πλάτος από 20 έως 50 cm. Συνιστάται να χρησιμοποιείται πλάτος μεγαλύτερο από 30 cm για καταστρώματα όπου η διαδρομή της ροής είναι μεγαλύτερη από 240 m.

E [-] : Παροχετευτικότητα στομίου. Αυτή είναι το κλάσμα της τριγωνικής διατομής ροής που προσέρχεται και απορροφάται από το στόμιο που βρίσκεται δίπλα στο στηθαίο ή κράσπεδο.

$$E = 1 - \left[1 - \frac{\omega}{T}\right]^{2,67} \qquad (7.3.5\text{-}6)$$

Υπολογίζεται η παροχή Q_{R1} της ροής στο πρώτο στόμιο.

$Q_{R1} = 278CiWL$

Τότε λαμβάνοντας C=0,9

Q_{R1} = 250 iWL

Υπολογίζεται η απορροφώμενη ροή “q_1” στο πρώτο στόμιο

$q_1 = E\ Q_{R1}$

Υπολογίζεται η απόσταση μέχρι το δεύτερο στόμιο l_1. Επιλέγεται η απόσταση l_1 με την διαδικασία παλινδρόμησης όπως ακριβώς για την εύρεση της L, (αυτή καθορίζει την κλίση “S_2” στο μήκος L + l_1) .

Υπολογίζεται η ροή στο δεύτερο στόμιο αφαιρούμενης της απορροφώμενης ροής “q_1” .

Q_{R2} =250 iW (L+l_1)- q_1

Τίθεται $Q_{R2} = Q_{T2}$ και λύνεται η εξίσωση για t, το οποίο είναι το πραγματικό πλάτος που κατακλύζεται.

$Q_{t2} = 21\, S_x^{1,67}\ S^{0,5}\ t^{2,67}$

Εάν το πραγματικό πλάτος που κατακλύζεται t είναι ίσο με το αποδεκτό πλάτος κατακλυσμού της μελέτης T τότε οι αποστάσεις των στομίων είναι σωστές.

Εάν t<T αυξάνεται η l_1

Εάν t>T μειώνεται η l_1

Πάλι, αναθεωρείται η θεωρητική απόσταση l_1 (l_2, l_3 κτλ.) στα ανάντη για πρακτικούς λόγους.

Σημειώνεται, ότι σε τμήματα ευθυγραμμίας, η απόσταση l_1 είναι σταθερή και ισούται με τη μέγιστη απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των στομίων.

Προσδιορίζεται η απορροφώμενη ροή q_2 στο δεύτερο στόμιο

$q_2 = E\ Q_{R2}$

Με $Q_{R2,}$ που υπολογίζεται στη θέση $L+l_1$ βρίσκεται η απόσταση l_2 μέχρι το τρίτο στόμιο. Αυτή η θέση έχει κλίση S_3.

(1) Επιλέγεται η l_2 (αυτή καθορίζει την S_3 ως την κλίση στο μήκος $L+l_1 + l_2$)

(2) $Q_{R2} = 0{,}250\ iW\ (L+l_1+l_2) - q_1 - q_2$

(3) Βρίσκεται το πλάτος κατακλυσμού t χρησιμοποιώντας την εξίσωση $Q_{R3} = 21\ S_x^{1,67}\ S^{0,5}\ t^{2,67}$

(4) Εάν t=T η απόσταση είναι σωστή.

Εάν t<T αυξάνεται η l_2

Εάν t>T μειώνεται η l_2

Συνεχίζεται το ίδιο για τις αποστάσεις l_3 , l_4 ... l_v , μέχρις ότου η L συν το άθροισμα των αποστάσεων γίνει ίση με το μήκος της γέφυρας.

Ο αριθμός των στομίων είναι “v”. Εφόσον η τελευταία υπολογιζόμενη απόσταση l_v ορίζει θέση στομίου εκτός της γέφυρας (πέραν του άκρου αυτής) τότε αυτό δεν κατασκευάζεται και η λειτουργία του υποκαθίσταται από μια κατάλληλη διάταξη με φρεάτιο υδροσυλλογής που παραλαμβάνει όλη την απορροή από τη γέφυρα.

7.4 Αποχέτευση στα Ακρα Γέφυρας

7.4.1 Γενικά

(1) Η αποχέτευση στο άκρο της γέφυρας συνήθως συνιστάται από ένα τύπο στομίου που τοποθετείται σε απόσταση περίπου 10 m όπου η εγκάρσια κλίση του ερείσματος περιστρέφεται βαθμιαία ώστε η ροή να καθοδηγείται στο φρεάτιο αποχέτευσης να μη απορρέει προς πρανή. Από το φρεάτιο τα όμβρια οδηγούνται στο πόδι των πρανών, όπου κατά περίπτωση προβλέπεται κατασκευή διάταξης π.χ. από λιθορριπή επάνω σε γαιοΰφασμα (εφόσον αυτό είναι απαραίτητο), ή σε φυσικό αποδέκτη.

Εάν το άκρο της γέφυρας βρίσκεται σε κοίλη κατακόρυφη καμπύλη τότε θα πρέπει να εγκαθίσταται ένα σύστημα υπονόμων όπως αναφέρεται στα επόμενα.

(2) Για την απομάκρυνση της απορροής που συγκεντρώνεται στο ακρόβαθρο της γέφυρας πρέπει να διασφαλίζεται μια υδραυλικώς κατάλληλη διαδρομή μέχρι το σημείο απόρριψης. Αυτή η διαδρομή συνήθως υλοποιείται με ανοικτό αγωγό ή με υπόνομο.

Εάν δεν υπάρχει υδραυλικώς αποδεκτή φυσική διαδρομή τότε αυτή θα πρέπει να διαμορφώνεται.

Σε κάθε περίπτωση τα νερά της απορροής πρέπει να καθοδηγούνται μακριά από όλα τα δομικά στοιχεία της γέφυρας και κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μη δημιουργούνται προϋποθέσεις για διάβρωση.

(3) Απορροή επί των πρανών μακριά από τη γέφυρα.

Πρέπει να μελετούνται και τοποθετούνται διατάξεις υδροσυλλογής στα ανάντη της γέφυρας με τις οποίες να απορροφάται κατά 100% η προσρέουσα ροή, από την οδό, χρησιμοποιώντας ως περίοδο επανάληψης εκείνη που επιλέγεται για το σύστημα αποχέτευσης της οδού. Αυτές οι διατάξεις θα πρέπει να τοποθετούνται και στις δυο πλευρές της οδού εκτός εάν οι επικλίσεις αποκλείουν τη ροή στη μια πλευρά της οδού. Αυτά τα στόμια θα πρέπει να τοποθετούνται πριν (στα ανάντη) από τους αρμούς, τις πλάκες πρόσβασης, και τους πτερυγότοιχους.

Η ομαλή βαθμιαία αλλαγή στη χάραξη του ρείθρου, σε απόσταση 10 m και στα ανάντη του στομίου, αποτελούν σημαντικά στοιχεία για την καθοδήγηση όλης της ροής μέσα στο στόμιο.

Η απορροή του καταστρώματος της γέφυρας μέχρι το χαμηλότερο άκρο της γέφυρας θα πρέπει να παραλαμβάνεται κατά 100% (ακόμη και αν υποτεθεί ότι μπορεί κάποια από τα στόμια του καταστρώματος να εμφραχθούν) χρησιμοποιώντας την ένταση βροχόπτωσης που επιλέγεται για τη μελέτη αποχέτευσης της οδού.

(4) Αποχέτευση σε κοίλες κατακόρυφες καμπύλες.

Εάν το χαμηλό σημείο κοίλης καμπύλης συμβαίνει μετά το άκρο της γέφυρας (εκτός του καταστρώματος αυτής) πρέπει σε εκείνο το σημείο να τοποθετούνται αποχετευτικά στόμια. Εκατέρωθεν του χαμηλού σημείου συνιστάται να τοποθετούνται ανακουφιστικά αποχετευτικά στόμια επειδή μπορεί στο χαμηλό σημείο να συμβεί έμφραξη.

7.5 Καθοδήγηση της Απορροής στα Κατάντη της Γέφυρας

7.5.1 Γενικά

Η καθοδήγηση της απορροής στα κατάντη της γέφυρας είναι η λειτουργία της μεταφοράς της ροής που έχει απορροφηθεί από το τελευταίο ακραίο στόμιο στα κατάντη του πρανούς επιχώματος και σε κατάλληλο σημείο εκβολής. Τα βαθμιδωτά ρείθρα δεν συνιστώνται για αυτή την καθοδήγηση στα κατάντη, επειδή αυτά παρουσιάζουν δυσκολίες στη συντήρηση αλλά και στην πλήρη σύλληψη και στη συνέχεια καθοδήγηση της ροής. Τα βαθμιδωτά ρείθρα επίσης παρουσιάζουν σημαντικό κίνδυνο για το προσωπικό συντήρησης και επιθεώρησης όταν αυτά καλύπτονται από χιόνι.

7.5.2 Παροχετευτικότητα

Επειδή η κλίση στα στοιχεία των διατάξεων καθοδήγησης της ροής στα κατάντη είναι συνήθως πολύ μεγάλη, η παροχετευτικότητα τους περιορίζεται μόνο από το στόμιο υδρο-

συλλογής προς το σωλήνα. Το άνοιγμα στην είσοδο του σωλήνα λειτουργεί ως υπερχειλιστής απλός ή φορτίου στέψης σε συνάρτηση με το βάθος νερού επάνω στο φρεάτιο υδροσυλλογής. Ένας σωλήνας διαμέτρου τουλάχιστον 40 cm είναι συνήθως επαρκής για τέτοιες περιπτώσεις.

7.5.3 Σημείο εκβολής

Ο αγωγός καθοδήγησης στα κατάντη από το άκρο της γέφυρας εκτονώνεται μέσα σε ανοικτό αγωγό ή υπόνομο. Και στις δυο περιπτώσεις η έξοδος του σωλήνα θα πρέπει να διατηρείται καθαρή. Επειδή στο σημείο εκβολής η ταχύτητα της ροής είναι μεγάλη λόγω των ισχυρών κλίσεων μπορεί να χρειάζεται προστασία από διάβρωση (όπως κατασκευή λιθορριπής) στην περίπτωση εξόδου σε ανεπένδυτες τάφρους.

7.5.4 Υλικά

Η διάταξη για την καθοδήγηση στα κατάντη της γέφυρας (μέσα από τα πρανή του επιχώματος) συνιστάται να είναι από ελαφρά υλικά όπως πλαστικοί ή χαλύβδινοι σωλήνες. Βαρύτεροι σωλήνες ή βαθμιδωτά ρείθρα σκυροδέματος επί των πρανών είναι δύσκολο να στηρίζονται και επειδή τείνουν να ολισθήσουν επάνω στα πρανή με μεγάλη κλίση δε συνιστώνται εγγύς των ακροβάθρων των γεφυρών που θεωρούνται ευαίσθητες θέσεις.

Οι αγωγοί (σωλήνες) οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο τμήμα του δικτύου αποχέτευσης που παραμένει εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα συνιστάται να είναι από ελατό χυτοσίδηρο.

7.6 Πιθανά Προβλήματα

7.6.1 Συντονισμός

Η έλλειψη συντονισμού μεταξύ των μελών της ομάδας μελέτης αποτελεί συνήθως σημαντικό πρόβλημα. Εάν ο σχεδιασμός αποχέτευσης στα άκρα γεφυρών δεν επισκοπείται από όλα τα μέλη της ομάδας μελέτης, μπορεί να συμβούν ανεπιθύμητες αντισυγκρουόμενες κατασκευές μεταξύ της γέφυρας και της οδού. Για παράδειγμα μπορεί οι ορθοστάτες των μεταλλικών στηθαίων να τοποθετηθούν μπροστά από στοιχεία αποχέτευσης του άκρου της γέφυρας ή άλλοι ιστοί (πινακίδων σήμανσης, οδοφωτισμού κλπ) μπορεί να τοποθετούνται έτσι που να παρεμβάλλονται στη ροή.

7.6.2 Προβλήματα από καιρικές συνθήκες

Ο παγετός δημιουργεί εμφράξεις στα στόμια, στα φρεάτια και στις εξόδους των σωλήνων. Κατά τη διαδικασία εκχιονισμού του καταστρώματος των γεφυρών τα στόμια υδροσυλλογής καλύπτονται ή/και εμφράσσονται. Συστήματα (βλ.10.6.2-1) που λειτουργούν επιτυχώς έναντι αυτών των προβλημάτων συνίστανται από ένα μήκος σωλήνα με σχισμή επί του καταστρώματος ο οποίος εκτείνεται κατά μήκος του οδοστρώματος πέρα από το πλάτος όπου στοιβάζεται το χιόνι κατά τον εκχιονισμό. Έτσι η ροή από το χιόνι που λιώνει και ρέει πέρα από το κατάστρωμα μπορεί να συλλέγεται στο άκρο της γέφυρας.

Είναι απαραίτητο να γνωρίζει ο μελετητής τον τρόπο συντήρησης κατά τον εκχιονισμό ώστε να προβλέπει την κατάλληλη θέση του σωλήνα με σχισμή στο άκρο της γέφυρας.

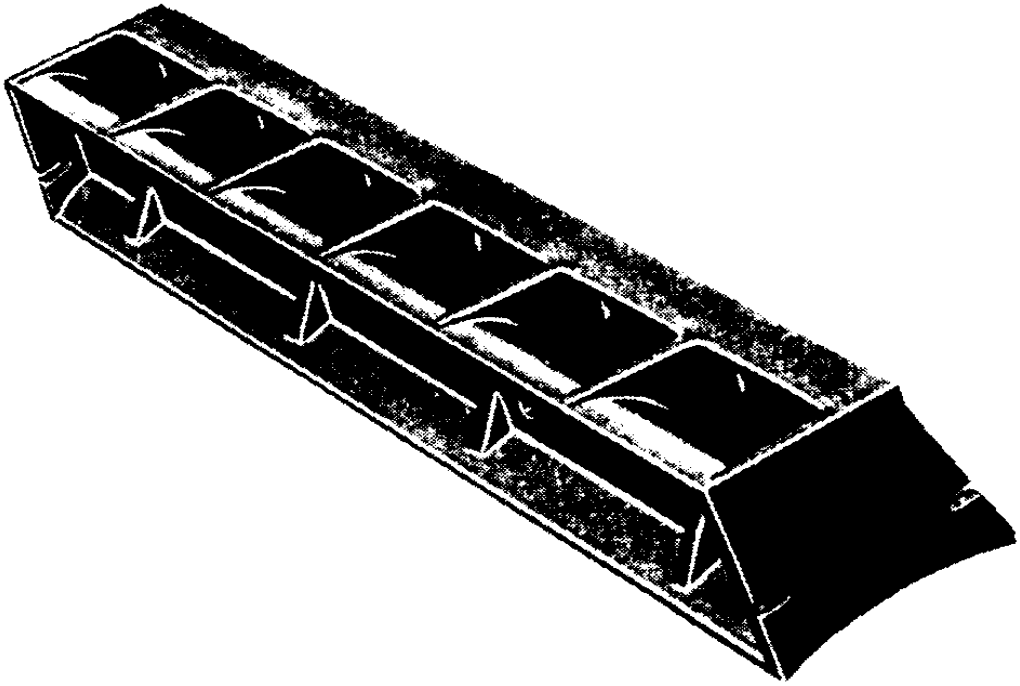
7.6.3 Δομικές θεωρήσεις

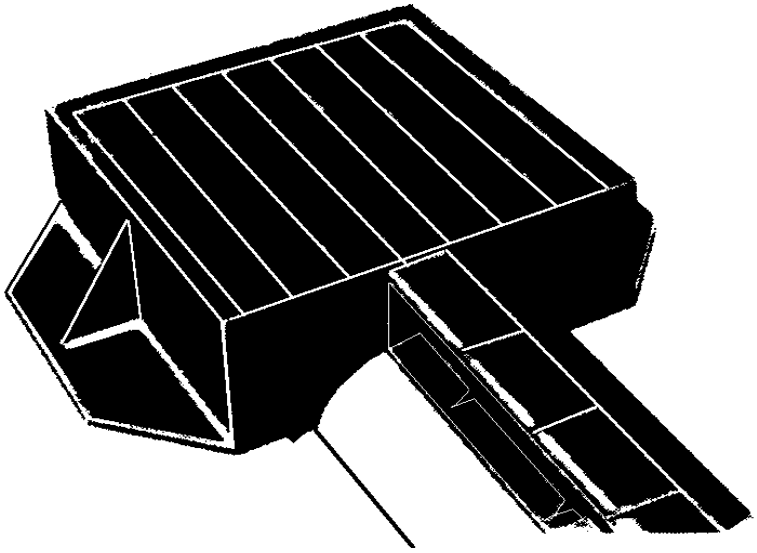
Θα πρέπει να τηρείται ελάχιστη κατά μήκος κλίση 2% σε όλο το μήκος των γεφυρών που υπερβαίνουν τα 50 m ώστε να εμποδίζεται ο σχηματισμός λιμνών ακόμη και αν αυτό απαιτεί κυρτώσεις με αλλεπάλληλες κατακόρυφες καμπύλες στη μηκοτομή.

Οι εγκάρσιες κλίσεις των ερεισμάτων (σε αυτοκινητόδρομους περιλαμβάνεται και η ΛΕΑ) θα πρέπει να τηρούνται κατ΄ελάχιστον 3% (εφόσον αυτή η κλίση προσφέρει λύση σημαντικής μείωσης του αριθμού των στομίων υδροσυλλογής επί της γέφυρας) επάνω σε κοιλαδογέφυρες όταν η κατά μήκος κλίση είναι μικρότερη από 2%. Η διαφοροποίηση της επίκλισης μεταξύ λωρίδων κυκλοφορίας και ερείσματος (+ ΛΕΑ) μπορεί να υλοποιείται είτε με κατασκευή μόνο με μεταβλητό πάχος της ανωτάτης ασφαλτικής στρώσης είτε με πρόσθετο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25. Ο έλεγχος της ροής εγκαρσίως του καταστρώματος όταν συμβαίνουν αλλαγές επικλίσεων επί της γέφυρας, συνήθως δεν μπορεί να επιτυγχάνεται με το σωστό τρόπο και δημιουργούνται επικίνδυνες συνθήκες για την οδική ασφάλεια (υδροολίσθηση). Συνιστάται τοποθέτηση επί πλέον στομίων υδροσυλλογής μέσα σε 15 m στα ανάντη του σημείου αλλαγής της επίκλισης.

Η μεταβολή επίκλισης επάνω σε γέφυρα πρέπει να θεωρείται ως απορριπτέα σχεδίαση και η διατήρηση της πρέπει να δικαιολογείται επαρκώς από τη μελέτη της χάραξης. Έτσι π.χ. στην περίπτωση που έστω μέρος της γέφυρας βρίσκεται σε οριζόντια καμπύλη της χάραξης και δεν είναι δυνατή αλλαγή της χάραξης τότε πρέπει να διατηρείται η μέγιστη επίκλιση καθ΄όλο το μήκος της γέφυρας ακόμη και σε τμήμα ευθυγραμμίας. Εφαρμόζοντας σταθερή επίκλιση επί των γεφυρών με χωριστά καταστρώματα ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας, εκτός από την υποστήριξη προς το σωστό σχεδιασμό της αποχέτευσης, επιτυγχάνεται και η μη επιβάρυνση του φορέα της γέφυρας με πρόσθετα φορτία από σκυρόδεμα μόρφωσης επικλίσεων.

Στο σχεδιασμό της αποχέτευσης γεφυρών πρέπει να λαμβάνονται, υπόψη και οι δυνατότητες που προσφέρουν κατασκευαστικές καινοτομίες των τελευταίων ετών. Συγκεκριμένα στη διεθνή αγορά προσφέρονται έτοιμα κιβώτια από πολυεστερικό υλικό που υποκαθιστούν μέρος του πεζοδρομίου των γεφυρών και ταυτόχρονα το εσωτερικό τους αποτελεί αγωγό αποχέτευσης ο οποίος τροφοδοτείται με πλευρικά ανοίγματα κατά μήκος της πλευράς η οποία αποτελεί το κράσπεδο του πεζοδρομίου. Το πολυεστερικό υλικό αυτών των κιβωτίων έχει μεγάλο χρόνο ζωής και ταυτόχρονα αντέχει επαρκώς στα φορτία των φορτηγών οχημάτων.





Σχήμα 7.6.2-1: Πρόσθετη Διάταξη υδροσυλλογής

7.7 Στράγγιση των Κατεισδύοντων Νερών από το Κατάστρωμα Γεφυρών

7.7.1 Εισαγωγή

Η διασφάλιση της καλής αποχέτευσης της επιφάνειας του οδοστρώματος επί των γεφυρών, με την υιοθέτηση ελάχιστης εγκάρσιας κλίσης 2,5% και κατά μήκος κλίσεις 1 έως 2%, συνεισφέρουν και στη μείωση των επιπτώσεων της διαβρωτικής ενέργειας των χρησιμοποιούμενων αντιπαγετικών αλάτων επί του σιδηρού οπλισμού του φορέα των γεφυρών. Ομως τα εν λόγω μέτρα δεν επαρκούν για την επιθυμητή προστασία από διάβρωση, που δημιουργείται τόσο στο ίδιο το σκυρόδεμα (αντίδραση μεταξύ των υλικών του σκυροδέματος και των χλωριδίων των αντιπαγετικών αλάτων) όσο και στο σιδηρό οπλισμό.

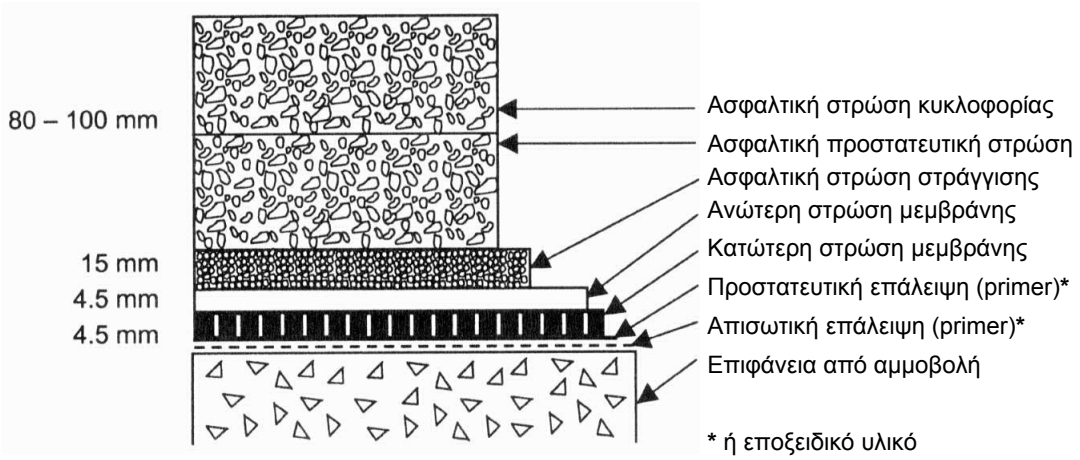
Η υδροστεγάνωση του φορέα των γεφυρών επιτυγχάνει τη μακροζωία της κατασκευής τουλάχιστον μέχρις 100 χρόνια. Αυτή επιτυγχάνεται με την εφαρμογή επί της επιφάνειας του φορέα διπλής στεγανωτικής μεμβράνης και κατάλληλης αντοχής ασφαλτικών στρώσεων.

Η ελλιπής προστασία του σκυροδέματος του φορέα γεφυρών έναντι της κατείσδυσης (διαμέσου του οδοστρώματος) των νερών και των αντιπαγετικών αλάτων μπορεί να οδηγήσει, στη μείωση της αντοχής του σκυροδέματος με φαινόμενα έκπλυσης που συμβαίνουν και στον κίνδυνο ζημιών από παγετό.

Οι κύριες λειτουργικές απαιτήσεις για το ρόλο της υδροστεγάνωσης και του ασφαλτικού οδοστρώματος επί των φορέων των γεφυρών είναι:

- Η υδροστεγάνωση πρέπει να διατηρεί τη στεγανότητα με όλες τις συνθήκες.
- Η υδροστεγάνωση και οι ασφαλτικές στρώσεις πρέπει να έχουν μηχανική σταθερότητα και αντοχή για να αντιστέκονται στα φορτία της κυκλοφορίας, καθώς και στις θλιπτικές και διατμητικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στις καμπύλες της χάραξης αλλά και κατά τη διάρκεια τροχοπέδησης και επιτάχυνσης των οχημάτων.
- Οι υδροστεγάνωση και οι ασφαλτικές στρώσεις πρέπει να αντιστέκονται στη ρωγμάτωση και στο διαχωρισμό των στρώσεων υπό την επιρροή των θερμοκρασιακών μεταβολών και των φορτίων της κυκλοφορίας.
- Η υδροστεγάνωση και οι ασφαλτικές στρώσεις πρέπει να διατηρούν την αντοχή τους σε μηχανικές καταπονήσεις από συνήθη φορτία, καθώς και σε διαβρωτικές καθώς και τις αντιπαγετικές χημικές ουσίες.

Τα διαθέσιμα υλικά για την υδροστεγάνωση διασφαλίζουν την απαιτούμενη προστατευτική λειτουργία για 50 χρόνια ενώ αντίστοιχα για την ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας προσφέρεται δυνατότητα ζωής μέχρι και 25 χρόνια. Δηλαδή στον τυπικό χρόνο ζωής μιας γέφυρας μπορεί να απαιτηθεί αλλαγή της στεγάνωσης μαζί με τις ασφαλτικές στρώσεις μια φορά ενώ για τη στρώση κυκλοφορίας επιπλέον δύο φορές (βλ. Σχήμα 7.7.1-1)



Σχήμα 7.7.1-1: Κατασκευαστική τομή στρώσεων στεγάνωσης

7.7.2 Μεμβράνες υδροστεγάνωσης

Η επιφάνεια του σκυροδέματος επί της οποίας εφαρμόζεται η υδροστεγάνωση θα πρέπει να έχει κατά μήκος κλίση S≥1%, η οποία διασφαλίζει τη λειτουργία ροής μέσα στη στραγγιστική στρώση που ενσωματώνεται επί της επιφάνειας του ασφαλτικού σκυροδέματος. Η κατά μήκος κλίση αποτελεί σημαντικό παράγοντα, αφού η έλλειψή της έχει επιδείξει κατά τη διεθνή εμπειρία ποικίλες βλάβες σε γέφυρες σκυροδέματος λόγω της αναπόφευκτης διείσδυσης του νερού.

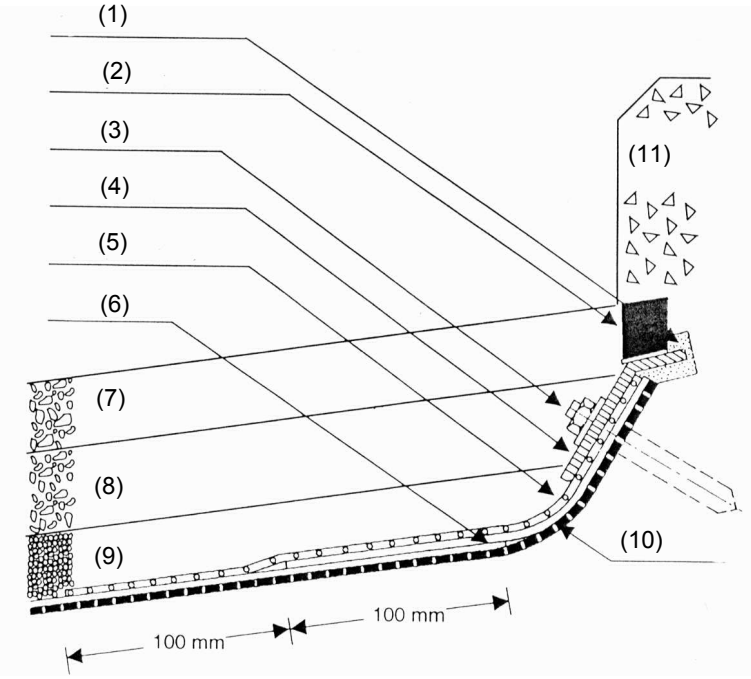
Οταν το σκυρόδεμα του φορέα της γέφυρας σκληρυνθεί και αποκτήσει επαρκή αντοχή, τότε καθαρίζεται, με υδροβολή ή καλύτερα με αμμοβολή, όλη η επιφάνεια ώστε να αποκτήσει υφή (βάθος υφής 0,4 - 1,3 mm, αυτό πρέπει να ελέγχεται με τη μέθοδο της άμμου), η οποία διασφαλίζει την καλή σύνδεση της πρώτης απισωτικής επάλειψης (primer), που εφαρμόζεται αμέσως ώστε να αποκατασταθεί πλήρης ομαλότητα, καλύπτοντας τα κενά στην επιφάνεια του σκυροδέματος του φορέα. Η απάλειψη γίνεται με καθαρή και ξηρή την επιφάνεια και έχει σκοπό να ελαχιστοποιήσει τον κίνδυνο σχηματισμού πτυχώσεων ή φουσκωμάτων μεταξύ της επιφάνειας του σκυροδέματος και των στεγανωτικών μεμβρανών. Η σφράγιση της επιφάνειας του σκυροδέματος με δυο στρώσεις εποξειδικού υλικού που περιέχει διάσπαρτη άμμο, χρησιμοποιείται όταν είναι επιθυμητή η πλήρης διασφάλιση έναντι του σχηματισμού πτυχώσεων. Το εποξειδικό υλικό πρέπει να έχει εγγύηση αντοχής στην επαφή του με τη φλόγα της συσκευής που χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση των δυο φύλλων των στεγανωτικών μεμβρανών.

Μετά την απεισωτική επάλειψη (primer) της επιφάνειας του σκυροδέματος, οι δυο μεμβράνες πολυμερούς με τροποποιημένο ασφαλτικό (ΠΤΑ) συγκολλούνται πλήρως με φλόγα επί της επιφάνειας του φορέα. Σε γέφυρες με μικρή μέση ημερήσια κυκλοφορία (ΕΜΗΚ<2 000), που δεν θεωρούνται σημαντικές για την τοπική ή υπερτοπική κυκλοφορία, δεν εξυπηρετούν βαριά κυκλοφορία ή δεν υφίστανται καταπονήσεις από πεδήσεις ή στρέφουσα κυκλοφορία, επαρκεί η τοποθέτηση μόνο μιας μεμβράνης (της ανώτερης).

Οι μεμβράνες ΠΤΑ συντίθενται από εντοπισμένο μη υφαντό πλέγμα οπλισμού πολυεστέρα καλυπτόμενο από πολυμερές τροποποιημένου ασφαλτικού και στις δυο όψεις. Το πάχος της μεμβράνης είναι 4,5 mm, η κατώτερη μεμβράνη φέρει πολυμερές πάχους 1 mm στην άνω όψη του πλέγματος οπλισμού και αντίστοιχα 2,5 mm στην κάτω όψη. Η ανώτε-

ρη μεμβράνη στην άνω όψη του πλέγματος οπλισμού καλύπτεται με πολυμερές πάχους μόνο 0,1 – 0,2 mm, ενώ η κάτω όψη καλύπτεται αντίστοιχα από πολυμερές πάχους 3,3 – 3,4 mm. Είναι σημαντικό να υπάρχει ελάχιστο πάχος πολυμερούς στην άνω όψη της ανώτερης μεμβράνης επειδή το πολύ ασφαλτικό μπορεί να δημιουργήσει κίνδυνο έμφραξης της στραγγιστικής στρώσης που τοποθετείται πάνω από την ανώτερη μεμβράνη. Οι μεμβράνες συνήθως έχουν πλάτος 1 m και μήκος 10 m. Οι μεμβράνες κανονικά συνδέονται συγκολλούμενες με φλόγα. Στην κατά μήκος ένωση τους οι μεμβράνες τοποθετούνται με επικάλυψη 100 mm (το μήκος των φύλλων των μεμβρανών συμπίπτει με το μήκος της γέφυρας), ενώ εγκαρσίως τηρείται επικάλυψη τουλάχιστον 150 mm. Οι επικαλύψεις γίνονται έτσι ώστε το κάθε φύλλο της μεμβράνης προς τα ανάντη της κλίσης να επικαλύπτει το φύλλο προς τα κατάντη. Οι λοιπές λεπτομέρειες για τον τρόπο τοποθέτησης και τις επιτρεπόμενες συνθήκες κατά τη διάρκεια των εργασιών ορίζονται από τον κατασκευαστή των μεμβρανών.

Στις πλευρές των γεφυρών όπου συγκεντρώνονται τα στραγγίδια νερά, η μορφή του τελειώματος της κατασκευής επίστρωσης των μεμβρανών είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη στεγάνωση χωρίς προβλήματα. Στις πλευρές των γεφυρών (κατά την έννοια του μήκους) εφαρμόζεται περίπου 10 cm ψηλότερα από την επιφάνεια του φορέα όπως δείχνεται στο Σχήμα 7.7.2-1. Η σύσφιξη των περικοχλίων των αγκυρίων γίνεται δυο φορές, η πρώτη κατά την τοποθέτησή τους και η τελευταία πριν από την επίστρωση των ασφαλτικών ταπήτων. Με αυτό τον τρόπο ρυθμίζεται η πίεση που επιφέρεται από τα αγκύρια μέσω της διατομής του ανοξείδωτου χάλυβα που δείχνεται στο σχήμα.



Υπόμνημα:

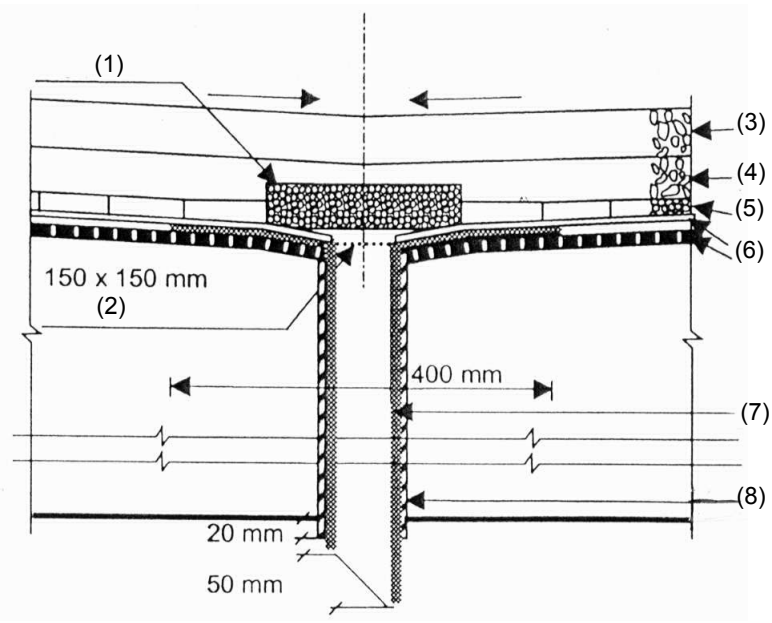
(1) Σφράγιση αρμού
(2) Σφραγιστικό αρμού 20x20 mm
(3) Αγκύριο με κοχλίωση (ανοξείδωτο)
(4) Διατομή ανοξείδωτου χάλυβα
(5) Φύλλο συνθετικού ελαστικού
(6) Ανώτερο φύλλο μεμβράνης
(7) Ασφαλτική στρώση κυκλοφορίας
(8) Ασφαλτική προστατευτική στρώση
(9) Ασφαλτική στραγγιστική στρώση
(10) Κατώτερο φύλλο μεμβράνης
(11) Σκυρόδεμα

Σχήμα 7.7.2-1: Τελείωμα στερέωσης των μεμβρανών στις πλευρές του φορέα

7.7.3 Στραγγιστική στρώση

Εχει ιδιαίτερη σημασία η ανακούφιση της στεγάνωσης από κάθε πίεση νερού. Αυτό επιτυγχάνεται με στράγγιση της άνω επιφάνειας των μεμβρανών μέσω στραγγιστικής στρώσης και καθοδήγησης των στραγγιδίων σε αποχετευτικά στόμια ή κατακόρυφους σωλήνες, με τη βοήθεια της κατά μήκος αλλά και της εγκάρσιας κλίσης του φορέα.

Η στράγγιση της στεγάνωσης παρέχεται από τη στραγγιστική ασφαλτική στρώση που είναι ανοικτής διαβάθμισης και με πάχος 15 – 20 mm. Ο σκοπός αυτής της στρώσης είναι η απορροή οποιασδήποτε εισροής, από τον υπερκείμενο ασφαλτικό τάπητα προς τα αποχετευτικά στόμια μέσω στραγγιστικών καναλιών που διαμορφώνονται (βλ. Σχήμα 7.7.3-1).



Υπόμνημα

(1) Στραγγιστικό κανάλι
(2) Ανοξείδωτο χαλύβδικο πλέγμα
(3) Στρώση κυκλοφορίας
(4) Προστατευτική στρώση
(5) Στραγγιστική στρώση
(6) Μεμβράνες στεγάνωσης
(7) Ανοξείδωτος στραγγιστικός σωλήνας
(8) Σωλήνας Ø 63 mm

Σχήμα 7.7.3-1: Αποστραγγιστικά κανάλια και σωλήνες

Η ανοικτής διαβάθμισης στραγγιστική ασφαλτική στρώση πρέπει να διατηρεί περιεκτικότητα σε κενά το 20% του όγκου της, όταν συμπυκνώνεται κατά την κατασκευή της, αλλά και μετά από τη συμπύκνωση στην οποία υπόκειται από την κυκλοφορία. Επιπλέον η σταθερότητα της στρώσης πρέπει να επαρκεί για τη λειτουργία της ως στρώσης βάσης του οδοστρώματος.

Το ανοικτής διαβάθμισης ασφαλτικό σκυρόδεμα της στρώσης συντίθεται από πολύ σκληρό θραυστό αδρανές υλικό και 4 – 5% του βάρους της από ασφαλτικό. Το ποσοστό του βάρους του υλικού που διέρχεται από κόσκινο 8 mm πρέπει να είναι 100%, ενώ από κόσκινο 2 mm το αντίστοιχο ποσοστό πρέπει να είναι λιγότερο από 25%. Μετά την τοποθέτηση του υλικού της στρώσης αυτή συμπυκνώνεται αμέσως.

Τα στραγγιστικά κανάλια υλοποιούνται στις βαθιές γραμμές που προβλέπονται κατά μήκος των πλευρών του φορέα (κατά μήκος της γέφυρας). Τα στραγγιστικά κανάλια δημιουργούνται με τοποθέτηση λωρίδας εποξειδικού ασφαλτικού σκυροδέματος πολύ ανοικτής διαβάθμισης, με διατομή διαστάσεων τουλάχιστον 25 mm πάχους και 100 έως

150 mm πλάτους. Κάτω από τα στραγγιστικά κανάλια τοποθετούνται κατακόρυφοι σωλήνες απορροής από υλικό με υψηλή αντοχή σε διάβρωση. Ο κάθε σωλήνας έχει εσωτερική διάμετρο Ø≥50 mm και καλύπτει περίπου 100 m^2 καταστρώματος γέφυρας. Ολοι οι σωλήνες πρέπει να τοποθετούνται μακριά από την κυρίως κυκλοφορούμενη επιφάνεια, ώστε να είναι προσβάσιμοι στην περίπτωση που το νερό παγώσει μέσα σε αυτούς. Το άνω μέρος των σωλήνων τοποθετείται κάτω από τη στεγάνωση, με κατάλληλη διαμόρφωση χοάνης (βάθους 10 – 20 mm) στην επιφάνεια του σκυροδέματος του φορέα.

7.7.4 Ασφαλτικές στρώσεις προστασίας και κυκλοφορίας

Επάνω στην στραγγιστική στρώση κατασκευάζεται το ασφαλτικό οδόστρωμα πάχους 80 έως 100 mm. Το οδόστρωμα αποτελείται από την προστατευτική στρώση και την κυκλοφοριακή στρώση. Η προστατευτική στρώση στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να είναι ασφαλτικό σκυρόδεμα, τροποποιημένο σε σχέση με το παραδοσιακό ασφαλτικό σκυρόδεμα της οδού, με υψηλή περιεκτικότητα σκύρων διαστάσεων μεγαλύτερων από 4 mm και με χαμηλή περιεκτικότητα κενών (<4% του όγκου). Η χρησιμοποιούμενη άσφαλτος είναι σκληρής διαβάθμισης (penetration, 100 g, 5 seconds, 25°C, είναι μεταξύ 50 και 70 1/10 mm) και πλούσια σε περιεκτικότητα σφραγιστικού υλικού.

Η προστατευτική στρώση είναι σταθερή και πυκνή σφραγιστική ασφαλτική στρώση, της οποίας η λειτουργία περιλαμβάνει και την προστασία της στεγάνωσης από βλάβες λόγω μηχανικών καταπονήσεων, ενώ εμποδίζει την κατείσδυση του επιφανειακού νερού. Για την απαιτούμενη σταθερότητα του οδοστρώματος, αλλά και για χάρη της προστασίας των στεγανωτικών μεμβρανών από την επιρροή της θερμότητας, επιβάλλεται πάχος προστατευτικής στρώσης ≥50 mm.

Σε μικρές γέφυρες το υλικό της στρώσης κυκλοφορίας είναι το ίδιο με του εκατέρωθεν της γέφυρας οδικού τμήματος. Σε μεγάλες γέφυρες συνιστάται το υλικό Stone Mastic Asphalt. Η στρώση κυκλοφορίας επίσης κατασκευάζεται με σκληρή άσφαλτο ή πολυμερές τροποποιημένου ασφαλτικού.

Η κατασκευή των ασφαλτικών οδοστρωμάτων επί γεφυρών βασίζεται στις προδιαγραφές που εφαρμόζονται και στα εκατέρωθεν οδικά τμήματα, αλλά με περισσότερη αυστηρότητα στην τήρηση των απαιτήσεων για υλικά μεγαλύτερης αντοχής και έλεγχο των επιδόσεων, μαζί με περιεκτικές επιθεωρήσεις κατά την διάρκεια της κατασκευής. Ο έλεγχος εξειδικεύεται κυρίως με τη λήψη δοκιμίων από το οδόστρωμα και εκτέλεση των απαιτούμενων εργαστηριακών δοκιμών.

8. ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ

8.1 Γενικά

8.1.1 Εισαγωγή

Μια κύρια αιτία πρόωρης αστοχίας του οδοστρώματος είναι ο κορεσμός με υγρασία των υλικών της δομικής διατομής ή των υποκείμενων στρώσεων αυτού. Επιπροσθέτως η κατάσταση κορεσμού μπορεί να οδηγεί σε ανεπιθύμητη διήθηση στο σύστημα αποστράγγισης και κάτω από την επίδραση των σεισμικών δυνάμεων ορισμένα είδη εδάφους μπορεί να υποστούν το φαινόμενο της ρευστοποίησης.

Συχνά απαιτούνται λύσεις σε προβλήματα υπόγειας αποστράγγισης για τις οποίες χρειάζεται η γνώση της γεωλογίας και της εφαρμοσμένης εδαφομηχανικής. Τέτοιες περιπτώσεις συμβαίνουν σε βαθιά ορύγματα που κατέρχονται σε βάθος κάτω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Με αυτή τη θεώρηση γίνεται αντιληπτό ότι έχει ιδιαίτερη σημασία ο προσδιορισμός της μεταβολής της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα π.χ. κατά τις υγρές περιόδους που συμβαίνουν μετά από μακροχρόνια ξηρασία. Αυτά τα θέματα πρέπει αν απασχολούν ιδιαιτέρως το μελετητή στις θέσεις σηράγγων, βάθρων γεφυρών κτλ.

Η βάση για τη μελέτη της υπόγειας αποστράγγισης είναι η γεωλογική/γεωτεχνική έρευνα και οι συστάσεις που απ΄ αυτήν προκύπτουν.

Υπάρχουν πολλές παράμετροι και αβεβαιότητες ως προς τις πραγματικές εδαφικές συνθήκες. Γενικώς, όσο περισσότερο προφανή μπορεί να είναι, κατά το στάδιο της μελέτης, τα προβλήματα υπόγειας αποστράγγισης που αναμένονται, τόσο λιγότερο προφανή συχνά είναι τα προβλήματα που ανακαλύπτονται κατά την κατασκευή. Μπορεί να απαιτείται εκτεταμένο πρόγραμμα ερευνών και αναδρομή στη βιβλιογραφία για τον προσδιορισμό των παραμέτρων με εύλογη ακρίβεια.

8.1.2 Παροχή υπόγειου ορίζοντα

Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, που διαφέρει από το νερό του φαινομένου των τριχοειδών, είναι ελεύθερο νερό που συναντάται σε μια κορεσμένη ζώνη κάτω από την έδαφική επιφάνεια. Η υπόγεια παροχή, ο ρυθμός με τον οποίο ο υδροφόρος ορίζοντας και τα διηθούμενα νερά μπορεί να απομακρύνονται εξαρτώνται από το ενεργό υδραυλικό ύψος και την υδροπερατότητα, το βάθος, την κλίση, το πάχος και την έκταση του υδροφόρου σχηματισμού. Αυτή η παροχή μπορεί να προσδιοριστεί με αναλυτικές μεθόδους. Όμως τέτοιες μέθοδοι συχνά αποδεικνύονται πολύ κοπιώδεις και μη ικανοποιητικές, ενώ οι έρευνες πεδίου παράγουν καλύτερα αποτελέσματα.

8.1.3 Προκαταρκτικές έρευνες

Οι έρευνες πεδίου μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Μελέτες γεωλογικές και γεωφυσικές.
- Γεωτρήσεις, σκάμματα, ή τάφρους για την εύρεση της στάθμης, του βάθους και της έκτασης του υδροφόρου στρώματος.
- Επιθεώρηση των γειτονικών πρανών υφισταμένων ορυγμάτων.

- Μέτρηση της παροχής του υπόγειου ορίζοντα.

Οι προκαταρκτικές έρευνες θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό ακριβείς και πλήρεις, αναγνωρίζοντας ότι περαιτέρω πληροφορία μερικές φορές αποκαλύπτεται κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Όπου μια υφιστάμενη οδός αποτελεί μέρος του προς εκτέλεση έργου, η παρουσία και προέλευση του υδροφόρου ορίζοντα, συχνά είναι γνωστές και εύκολα ανιχνεύσιμες. Για τα θέματα ευστάθειας των πρανών και άλλων προβλημάτων ίσης σημασίας, απαιτείται μια εκτεταμένη γνώση των συνθηκών του υπεδάφους.

8.1.4 Επισημάνσεις για τις έρευνες

Γενικώς, οι έρευνες θα πρέπει να εκτελούνται στη διάρκεια της εποχής των βροχών ή μετά από τη τήξη των χιονιών σε περιοχές που είναι γνωστό ότι δέχονται συχνά χιονοπτώσεις. Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση όπου οι εκροές νερών προέρχονται από την άρδευση.

Οι δυσκολίες για το υπόγειο ορίζοντα συχνά προκύπτουν από τα νερά που εγκλωβίζονται σε αδιαπέραστα στρώματα σε αρκετή απόσταση πάνω από τον πραγματικό υπόγειο ορίζοντα. Τα προβλήματα εγκλωβισμένων νερών συχνά μπορεί να επιλύονται με οριζόντια στραγγιστήρια.

Τα πηγάδια άντλησης νερού συχνά δίνουν αναξιόπιστες ενδείξεις για τον υπόγειο ορίζοντα και αυτές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή.

8.1.5 Κατηγορίες συστήματος

Σε συνάρτηση με το σκοπό και την πολυπλοκότητα του προβλήματος μια κατάλληλη λύση μπορεί να απαιτεί την εγκατάσταση ενός συνδυασμού διαφορετικών ειδών συστημάτων στράγγισης. Συνήθως το είδος του συστήματος στράγγισης αρχικώς θεωρείται ότι είναι το υπόγειο στραγγιστήριο.

Το στραγγιστήριο αποτελείται από διάτρητο σωλήνα τοποθετούμενο κοντά στον πυθμένα στενού σκάμματος μέσα σε υδροπερατό υλικό το οποίο περιβάλλεται με γαιοΰφασμα το οποίο επιτρέπει τη διήθηση.

Τα «γαλλικά στραγγιστήρια» έχουν αποδειχθεί ως αναξιόπιστα. Το γαλλικό στραγγιστήριο αποτελείται από ένα σκάμμα που διανοίγεται και επανεπιχώνεται με βραχώδες υλικό. Αυτά δε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται μια μόνιμη λύση. Εξαίρεση μπορεί να αποτελούν οι περιπτώσεις κατά τις οποίες το βάθος του στραγγιστηρίου και οι εδαφικές συνθήκες συγκρούονται με κανονισμούς ασφαλείας. Κάτω από τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιείται η επανεπίχωση με υδροπερατό υλικό που περιβάλλεται με γαιοΰφασμα, χωρίς διάτρητο σωλήνα.

Επιπλέον από τα υπόγεια στραγγιστήρια, οι ακόλουθες ειδικές κατηγορίες στραγγιστηρίων χρησιμοποιούνται για να διακόπτουν, συλλέγουν και αποχετεύουν το υπόγειο νερό.

- **Πλευρικά στραγγιστήρια σε οδοστρώματα**. Τέτοια στραγγιστήρια συστήματα κυρίως σχεδιάζονται για την ταχεία απομάκρυνση των διηθούμενων νερών δια των στρώσεων της οδοστρωσίας. Αυτά συντίθεται από διάτρητους σωλήνες εγκιβωτισμένους σε υδροπερατό υλικό που περιβάλλεται με γαιοΰφασμα (βλ.§8.3)
- **Οριζόντια στραγγιστήρια**. Τα οριζόντια στραγγιστήρια είναι σωλήνες με οπές ή σχισμές διαμέτρου 40 cm που τοποθετούνται σε διανοιγμένες οπές εντός του υδροφόρου σχηματισμού. Αυτά εγκαθίστανται σε πρανή ορυγμάτων και κάτω από επιχώματα με σκοπό να προφυλάσσουν περισσότερο την κατασκευή από θραύση,

ανακουφίζοντας την υδροστατική πίεση, παρά να εμποδίζουν τον κορεσμό των εδαφικών στρώσεων κάτω από το οδόστρωμα. Αυτά μπορεί να χρησιμοποιούνται σε ποικίλα μήκη μέχρι 300 m σε κλίσεις που κυμαίνονται από 0 έως 25%. Γενικώς επίσης απαιτείται ένα σύστημα συλλεκτήρων για να απομακρύνουν το στραγγιζόμενο νερό από την περιοχή.

- **Έτοιμα γαιοσυνθετικά στραγγιστήρια.** Αυτά διατίθενται σε φύλλα ή ρολά και παρέχουν μια οικονομικά αποτελεσματική λύση για την υπόγεια στράγγιση πίσω από βάθρα γεφυρών, πτερυγότοιχους και τοίχους αντιστήριξης. Αυτά τα στραγγιστήρια αποτελούνται από ένα πλαστικό πυρήνα στράγγισης που καλύπτεται από τη μία ή από τις δυο πλευρές με διηθητικό γαιοΰφασμα.

- **Σκάμματα σταθεροποίησης**. Αυτή η κατηγορία συστημάτων υπόγειας στράγγισης κατασκευάζεται σε αβαθείς συγκεντρώσεις νερών, ρέματα και κάτω από τις πλευρές επιχωμάτων για να σταθεροποιήσουν θεμελιώσεις. Αυτά τα σκάμματα μπορεί να είναι μόνο τόσο μικρού πλάτους όσο ο κάδος του εκσκαφέα ή μπορεί να είναι αρκετά πλατιά για τη μετακίνηση των γαιών από μεγάλους εκσκαφείς. Συνήθως χρησιμοποιείται μια κλίση 1:1 στα πρανή.

  Τα σκάμματα περιλαμβανομένων και των παρειών τους καλύπτονται με μια παχιά στρώση από υδροπερατό υλικό. Ένας ή περισσότεροι διάτρητοι σωλήνες, συνήθως διαμέτρου 200 έως 300 mm, τοποθετούνται στον πυθμένα του σκάμματος ανάλογα με την ποσότητα του υπόγειου νερού, το είδος του υλικού, καθώς και την επιφάνεια προς σταθεροποίηση.

  Η χάραξη των σκαμμάτων και των συλλεκτήριων σωλήνων συνήθως είναι παράλληλη με τη χάραξη της οδού. Για καλύτερο σχεδιασμό, υπό ορισμένες συνθήκες, η χάραξη των σκαμμάτων μπορεί να είναι υπό κλίση ως προς τη χάραξη της οδού ή τα σκάμματα να σχηματίζουν διάταξη ψαροκόκαλου.

  Συνιστάται η επένδυση των σκαμμάτων με διηθητικά γαιοϋφάσματα. Το σύνηθες πάχος ενός μέτρου ή περισσότερο του υδροπερατού υλικού μπορεί να μειώνεται και μια ολιγότερο δαπανηρή διαβάθμιση μπορεί να προδιαγράφεται εφόσον χρησιμοποιείται ένα διηθητικό γαιοΰφασμα.

- **Φρεάτια στράγγισης.** Τα φρεάτια στράγγισης αποτελούνται από μια ή πολλές σειρές πηγαδιών διαμέτρου 900 έως 1200 mm, που τοποθετούνται σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους, οι οποίες διανοίγονται με γεωτρύπανα μέχρι το απαιτούμενο βάθος για τη διακοπή του υδροφόρου ορίζοντα. Αυτές αποτελούν μια εναλλακτική των σκαμμάτων σταθεροποίησης και μπορεί να προσφέρουν μια πιο αποτελεσματική οικονομικώς λύση υπό ορισμένες συνθήκες. Τα φρεάτια στράγγισης είναι μια επιλέξιμη λύση όπου το βάθος του υπόγειου ορίζοντα υπερβαίνει τα οικονομικά ή πρακτικά όρια για ανοικτή εκσκαφή. Επειδή υπάρχει πιθανότητα ύπαρξης έγκοιλων ή κατολισθήσεων η διάνοιξη σκαμμάτων μπορεί να μην είναι πρακτική. Ο πυθμένας των διατρηόμενων πηγαδιών θα πρέπει να διασυνδέεται και ένας κατάλληλος συλλεκτήρας και σύστημα εκτόνωσης θα πρέπει να κατασκευάζεται.

  Τα πηγάδια επανεπιχώνονται με υδροπερατό υλικό. Η γεωτεχνική μελέτη θα πρέπει να προσδιορίζει τις συνιστώμενες αποστάσεις μεταξύ των πηγαδιών και το βάθος αυτών.

8.2 Σωληνωτά Στραγγιστήρια

8.2.1 Γενικά

Για τα στραγγιστήρια χρησιμοποιούνται διάτρητοι σωλήνες. Αυτά τα συστήματα αποτελούνται από διάτρητους σωλήνες διαμέτρου 150 έως 200 mm που τοποθετούνται στη βάση στενού σκάμματος. Τα τοιχώματα του σκάμματος συνήθως περιβάλλονται με γαιοΰφασμα και το σκάμμα επανεπιχώνεται με υδροπερατό υλικό γύρω από το σωλήνα.

8.2.2 Μονοσωλήνιες εγκαταστάσεις σταγγιστηρίων

Σταγγιστήρια με ένα μόνο σωλήνα συνήθως χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις:

- Κατά μήκος του ποδός πρανούς ορύγματος προκειμένου να διακόπτονται τα αναβλύσματα νερών όταν δεν αποτελεί πρόβλημα η ευστάθεια του πρανούς.
- Κατά μήκος του ποδός επιχώματος που βρίσκεται στην πλευρά της προέλευσης του υπόγειου ορίζοντα.
- Εγκαρσίως της οδού στην κατεύθυνση της κατωφέρειας όπου η κατασκευή της από όρυγμα γίνεται επίχωμα.

8.2.3 Πολυσωλήνιες εγκαταστάσεις σταγγιστηρίων

Πολυσωλήνια συστήματα στραγγιστηρίων μπορεί να χρησιμοποιούνται σε σχήμα ψαροκόκαλου ή σε άλλα αποτελεσματικά σχήματα σε περιπτώσεις όπως είναι:

- Κάτω από την κατασκευή της οδού όταν απαιτείται στρώση στράγγισης.
- Η σταθεροποίηση περιοχών έδρασης των επιχωμάτων.

Το βάθος και τα διαστήματα τοποθέτησης πολυσωλήνιων στραγγιστηρίων επιλέγονται από τον Πίνακα 8.2.3-1.

Πίνακας 8.2.3-1: Συνιστώμενα βάθη και αποστάσεις σωλήνων στραγγιστηρίων.

#	Κατηγορία εδάφους	Σύνθεση εδάφους			Αποστάσεις σωλήνων [m]			
		Ποσοστό %			Βάθος [m]			
		άμμος	ιλύς	Άργιλος	1,00	1,25	1,50	1,75
1	Καθαρή άμμος	80-100	0-20	0-20	35-45	45-60	-	-
2	Αμμώδες έδαφος	50-80	0-50	0-20	15-30	30-45	-	-
3	Γαιώδη οργανικά	30-50	30-50	0-20	9-18	12-24	15-30	18-36
4	Αργιλώδες έδαφος	20-50	20-50	20-30	6-12	8-15	9-18	12-24
5	Αμμοάργιλοι	50-70	0-20	30-50	4-9	6-12	8-15	9-18
6	Αργιλοιλυώδη	0-20	50-70	30-50	3-8	4-9	6-12	8-15
7	Άργιλοι	0-50	0-50	30-100	4(max)	6(max)	8(max)	12(max)

8.2.4 Κριτήρια σχεδιασμού

- **Μέγεθος και μήκος.** Για μήκος σωλήνων 150 m ή λιγότερο χρησιμοποιούνται σωλήνες διαμέτρου 150 mm. Στα περισσότερα εδάφη, ως κανόνας εφαρμόζεται

αυτή η διάμετρος για συλλεκτήριες και πλευρικά στραγγιστήρια. Για μήκη μεγαλύτερα από 150 m εφαρμόζεται ως ελάχιστη διάμετρος 200 mm.

- **Επιφανειακή απορροή.** Θα πρέπει να εμποδίζεται η επιβάρυνση των υπογείων συστημάτων στραγγιστηρίων με την επιφανειακή απορροή.
- **Έξοδοι.** Οι έξοδοι των στραγγιστηρίων θα πρέπει να τοποθετούνται ανά αποστάσεις ≤300 m. Τα συστήματα στραγγιστηρίων θα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να εκτονώνονται κατευθείαν σε υπονόμους ή οχετούς εφόσον το στόμιο εξόδου δεν υπόκειται σε υδροστατικές πιέσεις που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημία από την ανάστροφη ροή.
- **Σημεία καθαρισμού**. Στόμια καθαρισμού είναι τμήματα σωλήνων που φθάνουν έξω από την επιφάνεια του εδάφους και θα πρέπει να τοποθετούνται στο ανάντη άκρο του σωλήνα στραγγιστηρίων. Ενδιάμεσα στόμια καθαρισμού μπορεί να τοποθετούνται ανά διαστήματα των 150 m και σε θέσεις αλλαγής κατεύθυνσης με γωνία μεγαλύτερη από 10°. Η διάμετρος των στομίων καθαρισμού θα πρέπει να είναι ίδια με του στραγγιστηρίου.
- **Κλίση**. Οι σωλήνες στραγγιστηρίων, κατά το δυνατόν πρέπει να τοποθετούνται σε κλίσεις μεγαλύτερες από 0,5%. Ως ελάχιστη κλίση για τα πλευρικά στραγγιστήρια είναι αποδεκτή η τιμή 0,2%, ενώ αντιστοίχως για τους κύριους αγωγούς στραγγιστηρίων η τιμή 0,25%.
- **Βάθος και Αποστάσεις**. Το βάθος των στραγγιστηρίων εξαρτάται από την υδροπερατότητα του εδάφους, τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, καθώς και το μέγεθος της ταπείνωσης του ορίζοντα που απαιτείται για τη διασφάλιση της ευστάθειας. Όπου είναι πρακτικό, ο σωλήνας στραγγιστηρίου θα πρέπει να τοποθετείται απάνω στην αδιάβροχη ζώνη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Επιπροσθέτως θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το βάθος και η εγγύτητα με το σύστημα υπονόμων. Τυπικά, το σύστημα στραγγιστηρίων θα πρέπει να τοποθετείται σε επαρκές βάθος ώστε να διατηρείται το σύστημα υπονόμων πάνω από τον υπόγειο ορίζοντα. Τα συνιστώμενα βάθη και αποστάσεις μεταξύ των στραγγιστηρίων σωλήνων δίνονται στον επόμενο Πίνακα 8.2.3-1. Αυτός ο Πίνακας πρέπει να εκλαμβάνεται μόνο ως οδηγός και όχι ότι μπορεί να υποκαταστήσει τις παρατηρήσεις που γίνονται στο πεδίο ή την τοπική εμπειρία.

8.2.5 Είδη σωλήνων στραγγιστηρίων

Ο σκοπός κάθε εγκατάστασης στραγγιστηρίων είναι η μακροχρόνια αποτελεσματικότητα. Αυτός ο σκοπός συνδέεται με την ικανότητα του φίλτρου, τη στερεότητα, τη αντοχή, καθώς και το κόστος του αγωγού, κυρίως με αυτή τη σειρά τάξης. Κατά την επιλογή μεταξύ των διαφορετικών ειδών σωλήνων, το κύριο μέλημα είναι η ικανότητα της διηθητικότητας και η στερεότητα. Το κόστος του σωλήνα υποτίθεται ως δευτερεύουσας σημασίας επειδή αυτό είναι ένα ελάσσων μέρος της συνολικής επένδυσης.

Οι σωλήνες στραγγιστηρίων είναι διάτρητοι και μπορεί να είναι από χάλυβα, αλουμίνιο, PVC, ή πολυαιθυλένιο, όλοι με αυλακωτή ή λεία επιφάνεια τοιχωμάτων. Όλα τα είδη είναι αποδεκτά για συνθήκες είτε μικρού είτε μεγάλου βάθους.

8.2.6 Χρόνος ζωής σχεδιασμού

Η πείρα με τα στραγγιστήρια έχει δείξει ότι αυτά δεν υπόκεινται σε οξειδωτική διάβρωση μέσα σε ένα περιβάλλον όπου ελλείπει επαρκής ποσότητα αέρος και οξυγόνου εντός του νερού. Τα επιφανειακά νερά που τείνουν να γίνονται χημικώς οξειδωτικά συμπεριφέρονται αντιθέτως όσο αυτά δεν εκτίθενται στο οξυγόνο. Εντούτοις, το υπόγειο νερό μπορεί να γίνει οξειδωτικό μετά από την έκθεση του στην επιφάνεια και στο οξυγόνο. Ακόμη, είναι αποδεδειγμένο ότι υπάρχει πολύ λίγο οξυγόνο στα μεγάλα μήκη σωλήνων μικρής διαμέτρου που συνήθως χρησιμοποιούνται στα υπόγεια συστήματα στραγγιστηρίων.

Αν και οι δοκιμές μπορεί να υποδεικνύουν την παρουσία οξειδωτικών αλάτων σε εδαφικά διαλύματα, η οξείδωση δε θα προχωρήσει χωρίς την παρουσία οξυγόνου. Ως εκ τούτου, όταν αναμένεται ότι τα στραγγιστήρια θα τοποθετούνται για να διακόπτουν τον υπόγειο ορίζοντα, κάτω από τις προαναφερόμενες συνθήκες, δεν είναι απαραίτητο να προβλέπεται επιτρέπεται η οξείδωση των μεταλλικών σωλήνων.

Όταν οι προαναφερόμενες συνθήκες δεν επικρατούν, ο χρόνος ζωής λειτουργίας ενός μεταλλικού σωλήνα προσδιορίζεται από το PH.

8.2.7 Επιλογή σχεδιασμού

Στις περιπτώσεις που περισσότερα του ενός υλικού καλύπτουν τις προβλεπόμενες απαιτήσεις οι εναλλακτικές λύσεις θα πρέπει να προδιαγράφονται με δυνατότητα επιλογής του κατασκευαστή. Η επιλογή ενός μόνο είδους στραγγιστηρίου μπορεί να είναι καταλληλότερη λόγω άλλων σχετικών παραγόντων. Η επιλογή του υλικού θα πρέπει να υποστηρίζεται από πλήρη ανάλυση όλων των παραγόντων.

8.3 Αποστράγγιση Καταστρώματος Οδών

Η προστασία του οδοστρώματος (ασφαλτικά, βάση, υπόβαση), έναντι της κατείσδυσης εντός αυτού ομβρίων από την επιφάνεια του ή της ανάδυσης εντός αυτού νερών του υψηλού υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, επιβάλλει την κατασκευή “στρώσης στράγγισης”. Αυτή η στρώση συντίθεται από καταλλήλως διαβαθμισμένο κοκκώδες υλικό, που εξυπηρετεί είτε την απαγωγή των “στραγγισμάτων” προς τα άκρα του καταστρώματος και την εκροή αυτών ελευθέρως στα πρανή επιχωμάτων, ή την παραλαβή τους με αγωγούς στραγγιστηρίων. Αγωγοί στραγγιστηρίων τοποθετούνται σε οδούς με διαχωρισμένα οδοστρώματα:

α. σε όλες τις χωμάτινες κεντρικές νησίδες μικρού πλάτους (≤6 m),

β. στα ερείσματα στην πλευρά ορυγμάτων στην οποία (και γενικώς στις θέσεις που) καταλήγουν στραγγίσματα από τη ζώνη στράγγισης, όταν δεν υπάρχει ελεύθερη διέξοδος γι΄ αυτά προς το εξωτερικό του σώματος της οδού.

Σε άλλες κατηγορίες οδών και κλάδους κόμβων (με πλάτος <12 m), η “στρώση στράγγισης” κατασκευάζεται μόνο στην περίπτωση που διαπιστώνεται υψηλός υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας.

Η κάτω επιφάνεια της “στρώσης στράγγισης”, εφόσον δεν υπάρχει υπόγειος ορίζοντας κατασκευάζεται με ελάχιστη εγκάρσια κλίση 2,5% (ή όταν τέτοιος υπάρχει με 4%) ή την όποια μεγαλύτερη κλίση έχει η επίκλιση του οδοστρώματος. Στην πλευρά της κεντρικής νησίδας ή στις εξωτερικές πλευρές της οδού σε θέσεις, είτε ορυγμάτων, είτε επιχωμάτων και σε απόσταση 1,00 m (προς την πλευρά της νησίδας), από την ακμή του πέρατος της

τελικής ασφαλτικής στρώσης του οδοστρώματος, η "στρώση στράγγισης" κατασκευάζεται με εγκάρσια κλίση 4% και καταλήγει είτε στα διαμήκη στραγγιστήρια της οδού, είτε στη φυτική επένδυση των πρανών των επιχωμάτων. (βλ. σχέδια τυπικών διατομών στο Κεφ.12)

Η ανώτερη επιφάνεια του σκάμματος του στραγγιστηρίου τοποθετείται κάτω από την κατώτερη επιφάνεια της "στρώσης στράγγγισης" του οδοστρώματος, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία της στράγγισης.

Σε θέσεις ορυγμάτων το ελάχιστο πάχος της "στρώσης στράγγισης" σε οποιοδήποτε σημείο της είναι 0,20 m (ή μέχρι 0,10 m με την έγκριση της Υπηρεσίας). Σε περίπτωση υψηλού υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα λαμβάνονται πρόσθετα μέτρα (αύξηση του πάχους της στρώσης στράγγισης, ταπείνωση της στάθμης των στραγγιστηρίων κτλ. συμφώνως με τους Γερμανικούς Κανονισμούς (Entwasserung RAS - Ew, 1987).

Υπολογισμός πάχους στραγγιστικής στρώσης σε θέσεις επιχωμάτων

Η ποσότητα νερών που διηθείται σε επιφάνεια 1 m^2 ασφαλτικών στρώσεων υπολογίζεται με την εξίσωση:

$$q = ci \qquad (8.3\text{-}1)$$

όπου:

q	[m^3/24h/m^2]	:	η τιμή της διηθητικότητας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας
c	[-]	:	ο συντελεστής διηθητικότητας (εξαρτάται από τον τύπο του ασφαλτικού) ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 1/3 και 1/2, συνήθως λαμβάνεται η μέση τιμή δηλαδή 5/6
i	[mm/h]	:	η ένταση της βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς 2-ετή για διάστημα 1-ώρα

Η διηθητικότητα των στρώσεων βάσης της οδοστρωσίας χαρακτηρίζεται από το ποσοστό "P_{200}" του αδρανούς υλικού που διέρχεται από το κόσκινο #200, τη διάσταση των αδρανών "D_{10}" και το πορώδες "N" του υλικού της βάσης και υπολογίζεται με την εμπειρική εξίσωση:

$$k = \frac{6{,}214 \cdot 10^5 D_{10}^{1{,}478} N^{6{,}654}}{P_{200}^{0{,}597}} \qquad (8.3\text{-}2)$$

όπου:

D	[mm]	:	η διάσταση των κόκκων των αδρανών
N	[-]	:	το πορώδες της στρώσης που υπολογίζεται ως N=1 – (φαινόμενο βάρος)/(ειδικό βάρος)
P_{200}	[-]	:	το ποσοστό των αδρανών που διέρχεται από το κόσκινο #200

Παράδειγμα εφαρμογής των προηγούμενων εξισώσεων:

- Διηθητικότητα σε ασφαλτικές στρώσεις

με i = 40mm/h

$$q = ci = \left(\frac{\frac{1}{3} + \frac{1}{2}}{2} \right) \times 40{,}0 = 16{,}67 \frac{mm}{h} \qquad (8.3\text{-}3)$$

ή 16,67 x 24/1000 = 0,400m^3/24h/m^2

- Διηθητικότητα σε βάση οδοστρωσίας

$$k = \frac{6{,}214 \cdot 10^5 D_{10}^{1{,}478} N^{6{,}654}}{P_{200}^{0{,}597}} \qquad (8.3\text{-}4)$$

με μέγεθος αδρανών D_{10}=0,075 mm,

φαινόμενο βάρους =2355 kg/m^3 και

ειδικό βάρος αδρανών =2680 kg/m^3

υπολογίζεται ο συντελεστής υδροπερατότητας (πορώδες) “N”

N = 1-2355/2680=0,12

Χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες τιμές στην εξίσωση 8.3-4 προκύπτει

k = 8,2 · 10^{-4} m/ημέρα

Το πάχος της στρώσης στράγγισης μπορεί πρακτικά να υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$d = \frac{100Q}{kS_x} \qquad (8.3\text{-}5)$$

όπου:

d	[cm]	:	το πάχος της στρώσης
Q	[m^3/s]	:	η ποσότητα διηθούμενου νερού
k	[m/s]	:	η διηθητικότητα του υλικού της στρώσης στράγγισης, δηλαδή η ταχύτητα κατείσδυσης όπως υπολογίζεται από τις προηγούμενες εξισώσεις
S_x	[m/m]	:	η επίκλιση της κατώτερης επιφάνειας της στρώσης στράγγισης

Το υπολογιζόμενο πάχος προσαυξάνεται κατά 2,5 cm για την αντιστάθμιση της πιθανής εισβολής άλλων υλικών κατά την κατασκευή και τελικά αυτό στρογγυλεύεται στα πλησιέστερα 1,5 cm.

Η κατασκευή της στρώσης στράγγισης γίνεται με την τεχνική των φίλτρων ώστε να εξασφαλίζεται έναντι της έμφραξης από λεπτόκοκκα υλικά που προέρχονται τόσο από τις υποκείμενες όσο και από τις υπερκείμενες φυσικές ή τεχνητές στρώσεις.

Τυπική διατομή του στραγγιστηρίου

Αποτελείται από γαιοΰφασμα, πληρούμενο με χάλικες (μέγιστης διάστασης D=19 mm), μέσα στο οποίο εγκιβωτίζεται διάτρητος τσιμεντοσωλήνας ή πλαστικός σωλήνας διαμέτρου 0,20 m.

Η χρήση αγωγών μικρότερης διαμέτρου της Φ200 δε συνιστάται. Σε περιπτώσεις όπου διασφαλίζεται ότι δεν υπάρχει υπόγειος ορίζοντας σε βάθος λιγότερο από 1,00 m και ότι η εκτόνωση του στραγγιστηρίου σωλήνα επιτυγχάνεται σε μήκος λιγότερο από 50 m τότε επιτρέπεται η χρήση διάτρητου σωλήνα διαμέτρου D=10 cm και ειδικά στην κεντρική νησίδα σε θέσεις επιχωμάτων. Τέτοια περίπτωση συμβαίνει όταν παράλληλα με το σωλήνα στραγγιστηρίου τοποθετείται και υπόνομος οπότε η εκτόνωση γίνεται περίπου κάθε 50 m όπου υπάρχουν τα φρεάτια επίσκεψης του υπονόμου. Μεγαλύτερες διάμετροι στραγγιστηρίων απαιτείται να χρησιμοποιηθούν μόνο μετά από ειδική μελέτη η οποία τεκμηριώνει την επιλεγόμενη διάμετρο του σωλήνα.

Για το υπόγειο δίκτυο των στραγγιστηρίων αγωγών, προβλέπεται κατασκευή προκατασκευασμένων φρεατίων επίσκεψης σε αποστάσεις 100 m χωρίς λεκάνη αμμοσυλλογής.

Σε θέσεις όπου κατά μήκος της οδού, κατασκευάζεται υπόνομος και στραγγιστήριο, οι δυο αγωγοί τοποθετούνται στο ίδιο σκάμμα με κοινά φρεάτια επίσκεψης. Στις περιπτώσεις αυτές, το γαιοΰφασμα του στραγγιστηρίου καλύπτει όλο το πλάτος του σκάμματος του υπονόμου, και ο διάτρητος σωλήνας εδράζεται στο σκυρόδεμα εγκιβωτισμού του υπονόμου (βλ. τυπικά σχέδια, Κεφ.12).

9. ΟΧΕΤΟΙ

Ως οχετοί χαρακτηρίζονται τα τεχνικά έργα γεφυρώσεων συνολικού ανοίγματος $L_T \leq 6,00$ m.

Ενώ γενικώς οι οχετοί είναι απλές κατασκευές με ένα στόμιο εισόδου και ένα εξόδου, από υδραυλική άποψη χρειάζεται να ανταποκρίνονται σε πολυσύνθετη λειτουργία.

Για τις συνήθεις κατασκευές οχετών χρησιμοποιούνται:

- προκατασκευσμένοι τσιμεντοσωλήνες κυκλικής διαμέτρου άοπλου ή οπλισμένου σκυροδέματος αναλόγως με το μέγεθος της διαμέτρου και τα φορτία που θα φέρουν, τοποθετούμενοι απλοί ή πολλαπλοί κατά παράθεση (σε παραλληλία),
- κλειστοί κιβωτοειδείς οχετοί οπλισμένου σκυροδέματος είτε με επιτόπου σκυροδέτηση είτε με προκατασκευασμένα τεμάχια, τοποθετούμενοι με ένα άνοιγμα ή πολλαπλά ανοίγματα,
- άλλου είδους υλικών, όπως π.χ. από γαλβανισμένη χαλύβδινη αυλακωτή λαμαρίνα , σε σχήματα καμπυλών διατομών. Αυτά τα είδη δε συνιστώνται για τις συνθήκες που επικρατούν στη χώρα, από άποψη οικονομίας και κατασκευαστικών αναγκών.

Ο σχεδιασμός των οχετών περιλαμβάνει τον καθορισμό των εξής στοιχείων:

- τη χάραξη, την κλίση, το μήκος της κοίτης,
- τη διαστασιολόγηση, το είδος, τη διαμόρφωση στα στόμια, το ύψος νερού, την ταχύτητα του νερού στην έξοδο,
- το ύψος της κάλυψης και το είδος της,
- την ανάγκη διέλευσης πανίδας,
- την ανάγκη ειδικών διαμορφώσεων των στομίων.
- τη γενικότερη αρχιτεκτονική διαμόρφωση της μορφής της κατασκευής ώστε να ενσωματώνεται στο φυσικό περιβάλλον ανάλογα με την αισθητική του σημαντικότητα.

Ακόμη για το σχεδιασμό επιβάλλεται να ελέγχονται οι συνέπειες που μπορεί να δημιουργεί η κατασκευή ενός οχετού όπως είναι:

- οι ενδεχόμενες ζημίες σε χρήσεις γης και σε κάθε φύσης δίκτυα λόγω του περιορισμού της ελεύθερης ροής που προξενεί υπερύψωση της στάθμης της ροής προς τα ανάντη, ή προς τα κατάντη εξαιτίας της αύξησης της ταχύτητας, της εκτροπής της ροής σε άλλη κατεύθυνση ή τη συγκέντρωση των επιφανειακώς κατανεμημένων ή διάσπαρτων ροών σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, μέσα σε περιοχή όπου κατάντη της οδού δεν υπάρχει φυσική διαμορφωμένη κοίτη.
- η βλάβη στον ίδιο τον οχετό αλλά και στην οδό,
- η διακοπή της κυκλοφορίας εφόσον κατασκευάζεται σε υφιστάμενη οδό,
- ο κίνδυνος για ανθρώπινες ζωές, κατά τη διάρκεια της κατασκευής, αλλά και κατά την επιθεώρηση, τη συντήρηση και τη λειτουργία υπό πλημμυρική παροχή,

- η διαφοροποίηση του ελεύθερου ύψους πάνω από την ανώτατη στάθμη του νερού, μέσα στην υπάρχουσα ή τεχνητά διαμορφωμένη κοίτη,
- το ύψος της επιφάνειας της κυκλοφορίας της οδού πάνω από τον οχετό ή πάνω από την ανώτατη στάθμη ύδατος για την παροχή μελέτης,
- η στάθμη με την οποία το νερό θα ρέει προς τον επόμενο γειτονικό οχετό,
- η ενδεχόμενη διαταραχή στις χρήσεις του νερού στην περιοχή της κοίτης, η ύπαρξη έργων υδροληψίας (πηγών κτλ.), αρδευτικών και στραγγιστικών δικτύων ή αποχετευτικών διατάξεων ομβρίων και αντιπλημμυρικών έργων.
- η επιλογή μεταξύ κυκλικών ή ορθογωνικών οχετών θα γίνεται με κριτήρια που έχουν σχέση με: τη θέση του οχετού, αστικό ή υπεραστικό περιβάλλον, το μήκος του οχετού, την επισκεψημότητα, το διαθέσιμο ύψος κάτω από το οδόστρωμα της οδού μέχρι τη στάθμη του πυθμένα της ροής, το ελεύθερο ύψος πάνω από την ανωτάτη στάθμη της επιφάνειας της ροής, την αναπτυσσόμενη ταχύτητα της ροής και τις λοιπές τοπικές συνθήκες. Η επιλογή της διαμέτρου κυκλικών οχετών μπορεί να γίνεται από τον προηγούμενο Πίνακα 6.1-1.

9.1 Βασικές Αρχές και Κανόνες Σχεδιασμού Οχετών

α. Πρέπει να αποφεύγονται κατά το δυνατόν υδραυλικώς επικίνδυνες ταπεινώσεις του προς διασταύρωση υδατορέματος. Ομοίως να αποφεύγονται οι τροποποιήσεις των υδραυλικών χαρακτηριστικών της ροής (βάθος και ταχύτητα) στο υδατόρεμα.

β. Δεν πρέπει να προκύπτει υπερύψωση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στα ανάντη του οχετού. Η διατομή του οχετού να εξασφαλίζει ελεύθερη ροή με ελεύθερο περιθώριο (freeboard) για την παροχή σχεδιασμού σύμφωνα με τον Πίνακα 2.4-1.

γ. Κατ' εξαίρεση είναι δυνατόν σε δυσχερείς θέσεις να περιορίζεται ή/και να μηδενίζεται το ελεύθερο περιθώριο μετά από τεκμηριωμένη επιλογή λόγω αδυναμίας εύρεσης διαφορετικής και τεχνικώς εφικτής λύσης.

δ. Η σχεδίαση της κατασκευής των κιβωτοειδών οχετών θα τυποποιείται με ελεύθερα ανοίγματα “L_W” ανά 1,00 m (δηλαδή “L_W” = 1,00, 2,00, 3,00, 4,00, 5,00 και 6,00[1] m). Για τα ελεύθερα ύψη “L_h” , εφόσον αυτά τηρούνται σταθερά, θα εφαρμόζεται τυποποίηση ανά βαθμίδες 0,50 m. Σε περιπτώσεις που υπάρχουν περιορισμοί για την εκλογή του κατάλληλου τυποποιημένου ελεύθερου ύψους επιτρέπεται η επιλογή ενδιάμεσων υψών.

(1) Τα τεχνικά έργα με Lw≥6,00 κατατάσσονται στην κατηγορία των γεφυρών.

Πίνακας 9.1-1: Τυποποιημένες διαστάσεις κιβωτοειδών οχετών (υχβ)

	Άνοιγμα οχετού					
Ελεύθερο ύψος οχετού	[m]	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
	4,00			4x4	4x5	4x6
	3,50			3,5x4	3,5x5	3,5x6
	3,00		3x3	3x4	3x5	3x6
	2,50		2,5x3	2,5x4	2,5x5	2,5x6
	2,00	2x2	2x3	2x4	2x5	2x6
	1,50	1,5x2	1,5x3	1,5x4	1,5x5	1,5x6
	1,00	1x2				

ε. Οι άξονες εισόδου και εξόδου των οχετών πρέπει πάντοτε να ευρίσκονται στον άξονα της ροής του ρέματος.

στ. Γενικώς είναι επιθυμητό οι οχετοί να σχεδιάζονται για κατασκευή με ευθύγραμμη χάραξη και όχι με γωνίες ή καμπύλες. Επιτρέπεται ο σχεδιασμός καμπύλων οχετών με ελάχιστη ακτίνα οριζοντιογραφικής καμπύλης ίση προς το δεκαπλάσιο του καθαρού ανοίγματος του οχετού. Σε δυσχερείς περιπτώσεις επιτρέπεται η κατασκευή οριζοντίων καμπυλών μικρότερης ακτίνας, ύστερα από λεπτομερή υπολογισμό και κατάλληλη προσομοίωση και μετά από σύμφωνη γνώμη της Υπηρεσίας, στην οποία θα υποβάλλονται οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματά τους.

Μετά από υπολογιστικό έλεγχο που θα συνοδεύει τη μελέτη για τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στα τοιχώματα από τις απότομες αλλαγές της κατεύθυνσης ροής, επιτρέπεται οι οριζόντιες καμπύλες να υποκαθίστανται με διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα. Όμως, πάντα θα τεκμηριώνεται με υπολογισμούς κάθε τέτοια διαμόρφωση.

Είναι επίσης δυνατό να επιτραπεί ο σχεδιασμός οχετών με τεθλασμένη χάραξη του άξονα (αντί καμπυλών) όταν οι σχηματιζόμενες γωνίες “θ” περιορίζονται από 160° έως 200°. Επίσης είναι δυνατό να επιτραπεί ο σχεδιασμός οχετών με συνεχόμενες αντίρροπες γωνιές του άξονα εφόσον:

- η παροχή είναι $\leq 20\ m^3/sec$,
- η ταχύτητα είναι ≤ 4 m/sec,
- οι διαδοχικές αντίρροπες γωνίες είναι $170^o < \theta < 190^o$,
- η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών αντίρροπων γωνιών είναι δεκαπλάσια του πλάτους του οχετού,
- το πλάτος του οχετού είναι $\geq 2,50$ m.

ζ. Ο σχεδιασμός του οχετού και των συνοδών έργων προστασίας έναντι διάβρωσης, πρέπει να διασφαλίζει ότι δε θα αναπτύσσονται ταχύτητες υψηλότερες από εκείνες που αντέχει η κοίτη του φυσικού αποδέκτη κατάντη του οχετού. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζει ο μελετητής τα αναφερόμενα στην §1.2.3.

Ο διπλασιασμός της ταχύτητας του νερού αυξάνει : τη διαβρωτική του ενέργεια κατά τέσσερις φορές, το μέγεθος των σωματιδίων των υλικών που μπορεί να μεταφέρονται κατά 64 φορές, και τη μάζα του εδάφους που μπορεί να μεταφέρεται κατά 32 φορές (Israelson, 1980)**.**

Τα αποτελέσματα της μελέτης, των White & Bayaillian που συσχετίζει το μέγεθος των υλικών της κοίτης φυσικού υδατορέματος με το μέγεθος της ταχύτητας που μπορεί να μεταφέρει αυτά, άρα να προκαλείται διάβρωση, παρατίθενται στον επόμενο Πίνακα 9.1.1-2.

Πίνακας 9.1.1-2: Επιτρεπόμενες ταχύτητες ροής ανάλογα με το μέγεθος υλικών της φυσικής κοίτης ρέματος

Κατηγορία υλικών κοίτης		Διάμετρος υλικού	Μέση ταχύτητα
Γενική	Κατά Lehansky	[mm]	[cm/s]
Ιλύς	Ιλύς	0,005	15
Αμμος	Λεπτόκοκκη	0,05	20
	Μέσης διαβάθμισης	0,025	30
	Χονδρόκοκκη	1,0	55
Χάλικες	Λεπτόκοκκοι	2,5	65
	Μέσης διαβάθμισης	5,0	80
	Χονδρόκοκκοι	10,0	100
	Λεπτά βότσαλα	15,0	120
	Μέσου μεγέθους βότσαλα	25,0	140
	Χονδρές κροκάλες	40,0	180
Πλακοειδή βότσαλα	Μεγάλα	75,0	240
		100,0	270
		150,0	330
Ογκόλιθοι		200,0	390

η. Η υδραυλική μελέτη μεμονωμένων οχετών θα πρέπει να εκπονείται κατά προτίμηση μόνο με τη χρήση αξιόπιστου λογισμικού π.χ. το “Culvert Master”.

θ. Πρέπει να εξετάζεται η δυνατότητα εξυπηρέτησης των χρήσεων γης, παράλληλα με την αποχετευτική λειτουργία του οχετού. Τα κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι:

- κατά τη διάρκεια επιλεγόμενου μεγέθους πλημμύρας ο οχετός προσωρινά δεν είναι διελεύσιμος από πεζούς και οχήματα, όμως κατά τη διάρκεια μικρότερου μεγέθους πλημμύρας μπορεί να προσφέρει την εξυπηρέτηση διέλευσης,
- η κατασκευή οχετού με περισσότερα του ενός ανοίγματα, μπορεί να προσφέρει εξυπηρέτηση διέλευσης από το ένα εκ των ανοιγμάτων το οποίο τοποθετείται υψομετρικά κατάλληλα ώστε να παραμένει εκτός της ροής κατά τη διάρκεια του επιλεγόμενου μεγέθους πλημμύρας. Το ίδιο μπορεί να επιτυγχάνεται με

διαμόρφωση της κοίτης οχετού ενός ανοίγματος σε δυο επίπεδα με κατάλληλο ελεύθερο πλάτος στο καθένα.

9.2 Παραδοχές Υδραυλικών Υπολογισμών

Ο υδραυλικός υπολογισμός των οχετών θα γίνεται για ανομοιόμορφη ροή, συνεκτιμώμενης της υπερύψωσης στις καμπύλες, αλλά και της εισρόφησης αέρα για ταχύτητες μεγαλύτερες των 6 m/s.

Ο υδραυλικός υπολογισμός με ανομοιόμορφη ροή γίνεται:

- αναλυτικώς με χρήση αποδεκτών μεθόδων (π.χ. Standard step method ή Direct step method) με επίλυση προς στα ανάντη όταν η ροή είναι υποκρίσιμη ή στα κατάντη όταν η ροή είναι υπερκρίσιμη,
- με τη χρήση ευρύτατα αποδεκτών προγραμμάτων Η/Υ.

Για την ακρίβεια των υπολογισμών θα πρέπει να καθορίζονται στα δεδομένα οι αρχικές συνθήκες ροής (βάθος-ταχύτητα) και στα αποτελέσματα οι τελικές συνθήκες ροής (βάθος-ταχύτητα).

Ομοίως θα πρέπει να υπεισέρχονται στους υπολογισμούς οι τοπικές συνθήκες με την επιλογή κατάλληλων συντελεστών τραχύτητας (Manning) και απωλειών ενέργειας στα έργα εισόδου και εξόδου.

Όλοι οι υπολογισμοί θα πρέπει να αναφέρονται σε συγκεκριμένες διατομές, κοινές για κάθε επίλυση και διαμόρφωση, οι οποίες θα είναι σε χαρακτηριστικά σημεία της φυσικής κοίτης και της κατασκευής, ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση των υδραυλικών μεγεθών, δηλαδή της στάθμης ροής και της ταχύτητας, πριν και μετά την κατασκευή των έργων.

Στους υπολογισμούς πρέπει να προσομοιώνονται επίσης και τα έργα εισόδου και εξόδου από τον οχετό ώστε να καθορίζεται η μηκοτομή της επιφάνειας του νερού κατά τη διαδρομή του, διαδοχικά από την φυσική κοίτη προς τον οχετό μέσω του έργου εισόδου και στη συνέχεια προς τη φυσική κοίτη μέσω του έργου εξόδου. Ασυνέχειες στη ροή που μπορεί να δημιουργούνται από πτώσεις ή υδραυλικά άλματα στα τμήματα εκτός του οχετού πρέπει να προσδιορίζονται και να προσομοιώνονται καταλλήλως.

Ειδικά για οχετούς με παροχές μικρότερες των 5 m^3/s και για κατά μήκος κλίσεις μικρότερες από 5%, ο αναλυτικός υπολογισμός μπορεί να αντικαθίσταται με απλούς ελέγχους οι οποίοι θα εξασφαλίζουν ότι:

- εντός του οχετού και των έργων εισόδου-εξόδου δε συμβαίνουν υδραυλικά άλματα,
- η μεταβαλλόμενη ροή περιορίζεται μέσα στον οχετό,
- ο οχετός θα λειτουργεί χωρίς υπερπλήρωση και συνεπώς δεν θα λειτουργεί υπό πίεση,
- θα είναι γνωστές οι ταχύτητες εισόδου και εξόδου αντιστοίχως στην είσοδο και έξοδο του οχετού.

Για αυτό το λόγο ανάλογα με την κατάσταση της εισερχόμενης ροής πρέπει:

α. Όταν η ροή από το υδατόρεμα έρχεται σε υποκρίσιμη κατάσταση

- Για υποκρίσιμη ροή από την είσοδο μέχρι και την έξοδο να ισχύουν οι περιορισμοί:

  $H < H^*$

  $Y_t > Y_c$

- Για υποκρίσιμη ροή από την είσοδο και μέσω του οχετού αλλά με υπερκρίσιμη στην έξοδο (έλεγχος στην είσοδο) να ισχύουν οι περιορισμοί:

  $H < H^*$

  $Y_t > Y_c$

- Για υπερκρίσιμη ροή από την είσοδο και μέσω του οχετού αλλά με υποκρίσιμη στην έξοδο (έλεγχος στην έξοδο) να ισχύουν οι περιορισμοί:

  $H < H^*$

  $Y_t > Y_c$

  όπου:

H	[m]	:	το βάθος ροής ανάντη
H*	[m]	:	1,5 x d (d είναι το ύψος του οχετού)
Y_t	[m]	:	το βάθος ροής κατάντη
Y_c	[m]	:	το κρίσιμο βάθος ροής για την υφιστάμενη κλίση του οχετού

β. Όταν η ροή από το υδατόρεμα έρχεται σε κρίσιμη ή υπερκρίσιμη κατάσταση τότε θα πρέπει να διατηρείται σε όλες τις θέσεις ελέγχου η κατάσταση αυτή ώστε να μη συμβαίνει υδραυλικό άλμα μέσα στον οχετό ή γενικώς στην περιοχή των έργων. Στην περίπτωση αυτή είναι σημαντικό οι ταχύτητες να κυμαίνονται εντός των επιτρεπομένων ορίων και η ροή να έχει την απαραίτητη ενέργεια για να διέλθει από τον οχετό.

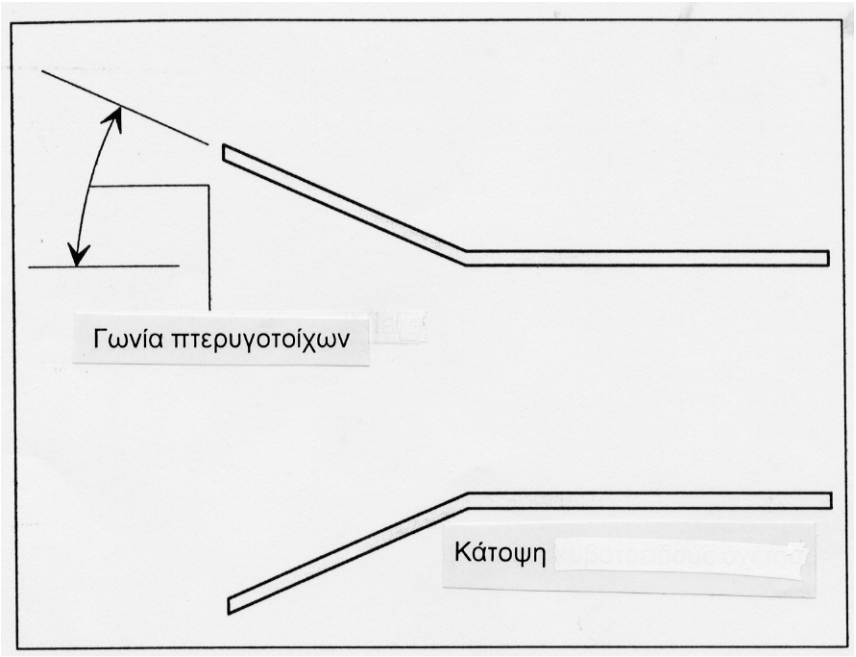
- στις διατομές εισόδου πρέπει να γίνεται έλεγχος της ενέργειας με τη σχέση:

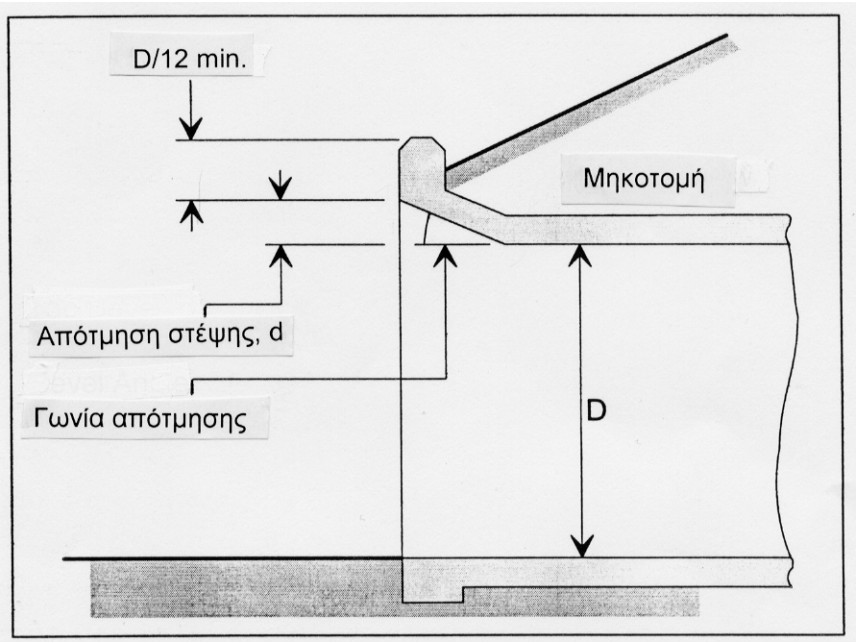
$$E = Y + Z + K_e \frac{V^2}{2g} \qquad (9.2\text{-}1)$$

  όπου:

E	[m]	:	το ύψος της γραμμής ενέργειας
Y	[m]	:	το βάθος ροής
Z	[m]	:	το απόλυτο υψόμετρο της κοίτης
V	[m/s]	:	η ταχύτητα ροής
g	[m/s2]	:	η επιτάχυνση της βαρύτητας

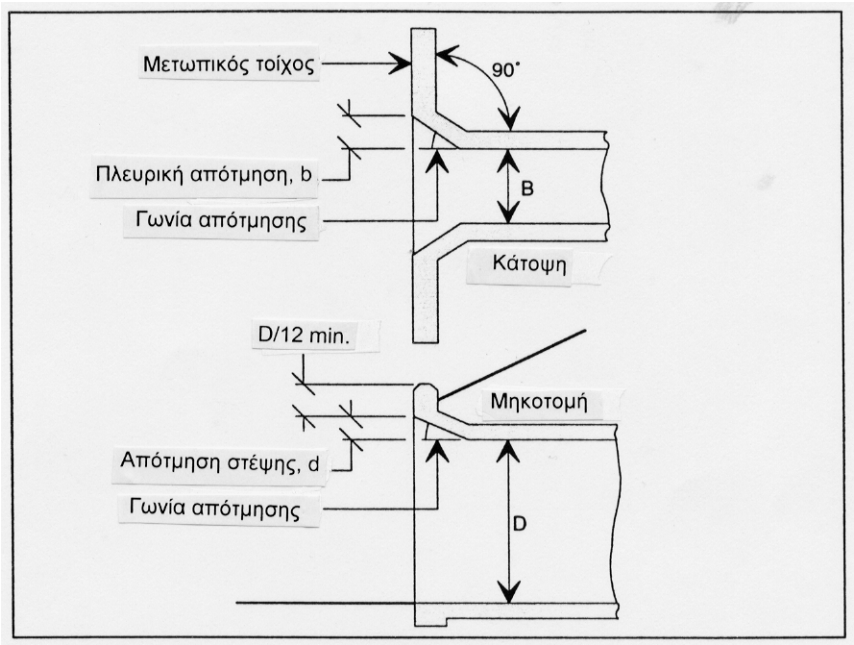
K_e [-] : ο συντελεστής τοπικών απωλειών εισόδου ο οποίος λαμβάνει τιμή Ke=1 όταν ο οχετός λειτουργεί με ελεύθερη επιφάνεια και τιμές Ke<1 σύμφωνα με τα επόμενα σχήματα όταν λειτουργεί υπό πίεση.





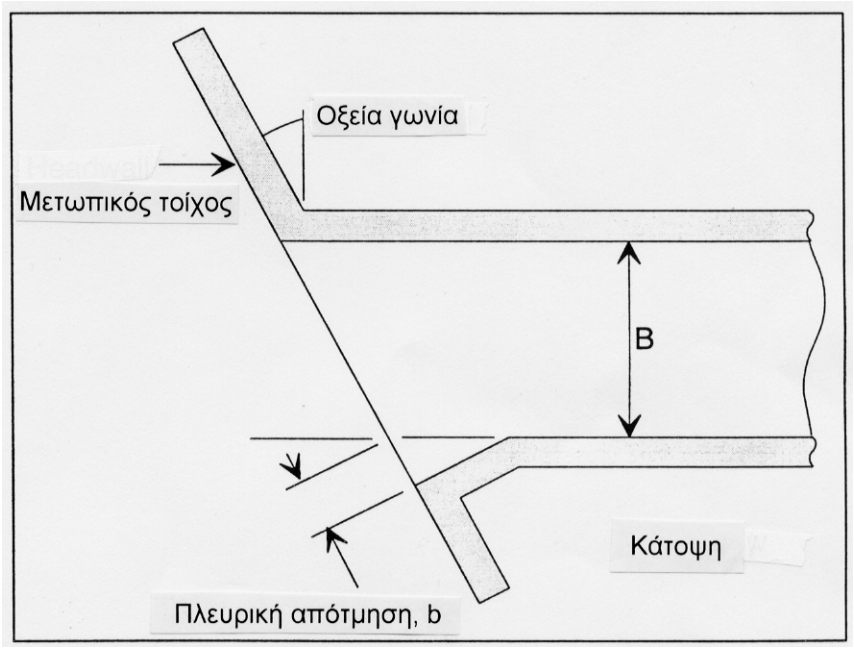
Σχήμα 9.2-1: Διαμορφώσεις στομίου εισόδου κιβωτοειδούς οχετού με γωνία πτερυγότοιχων 10°≤θ≤25°

- με απότμηση της στέψης, **Ke=0,20**
- χωρίς απότμηση, **Ke=0,50**



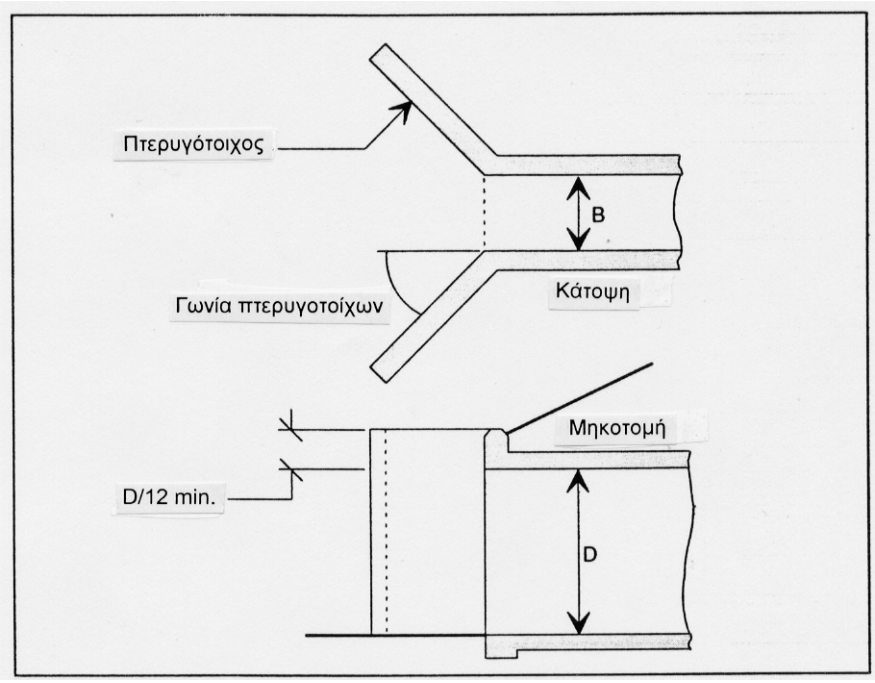
α. με λοξότητα πτερυγότοιχων 90°

- με αποτμήσεις στις κατακόρυφες ακμές και στη στέψη, **Ke=0,20**
- με αποτμήσεις μόνο στις κατακόρυφες ακμές, **Ke=0,50**

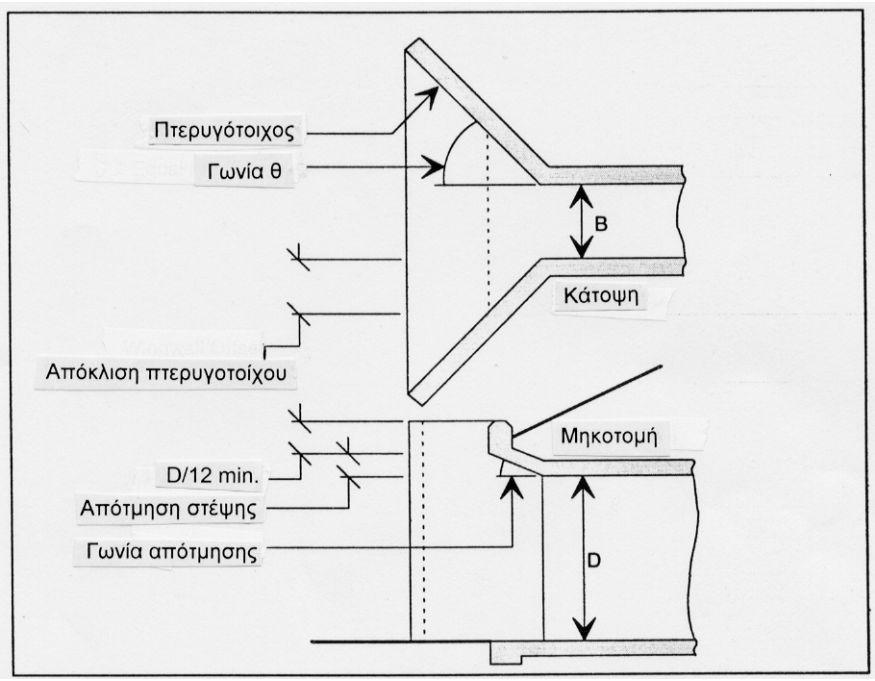


β. με λοξότητα πτερυγότοιχων <90° και απότμηση μόνο στη μια κατακόρυφη ακμή και στη στέψη **Ke=0,50**

Σχήμα 9.2-2: Διαμορφώσεις στομίου εισόδου κιβωτοειδούς οχετού με μετωπικούς πτερυγότοιχους (παράλληλοι της οδού).



α. χωρίς απότμηση στη στέψη, **Ke=0,40**



β. με απότμηση στη στέψη, **Ke=0,20**

Σχήμα 9.2-3: Διαμορφώσεις στομίου εισόδου κιβωτοειδούς οχετού με λοξούς πτερυγότοιχους υπό γωνία 30°≤θ≤75°. Οι κατακόρυφες ακμές του στομίου στην ίδια θέση με τη θλάση που γίνεται στη στέψη.

Σημείωση: Οταν θ≤30° τότε **Ke=0,06**

- Στις διατομές εξόδου ο έλεγχος θα γίνεται με την εξίσωση:

$$E = \varepsilon \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \qquad (9.2\text{-}2)$$

όπου:

ε	[-]	:	ο συντελεστής απωλειών εξόδου και
V_1	[m/s]	:	η ταχύτητα ροής στα ανάντη
V_2	[m/s]	:	η ταχύτητα ροής στα κατάντη
g	[m/s2]	:	η επιτάχυνση της βαρύτητας

Ο συντελεστής τοπικών απωλειών εξόδου μπορεί να προσδιοριστεί από κάθε πρόσφορη πηγή ή απουσία αυτής από τον ακόλουθο πίνακα και με κατάλληλη παρεμβολή τιμών για ενδιάμεσες γωνίες πτερυγοτοίχων.

Οχετός με έξοδο χωρίς πτερυγότοιχους	ε=0,82
Οχετός με πτερυγότοιχους εξόδου υπό γωνία θ = 45° (1/1)	ε=0,87
Οχετός με πτερυγότοιχους εξόδου υπό γωνία θ = 26° (1/2)	ε=0,68
Οχετός με πτερυγότοιχους εξόδου υπό γωνία θ = 18° (1/3)	ε=0,41
Οχετός με πτερυγότοιχους εξόδου υπό γωνία θ = 14° (1/4)	ε=0,27

Συνιστάται η γωνία θ των πτερυγότοιχων να σχεδιάζεται με τη σχέση:

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{1}{2Fr}\right) \qquad (9.2\text{-}3)$$

όπου:

Fr	[-]	:	ο αριθμός Froude στο στόμιο του οχετού

γ. Στις προηγούμενες περιπτώσεις (α και β) για το σχεδιασμό των έργων εισόδου και εξόδου και τον καθορισμό του μήκους της μεταβαλλόμενης ροής θα πρέπει να γίνεται χρήση των εξισώσεων:

$$\Delta x = \Delta E / (S_o - S_f) \qquad (9.2\text{-}4)$$

$$S_f = n^2 \; V^2 / R^{2/3} \qquad (9.2\text{-}5)$$

όπου:

Δx	[m]	:	το μήκος μεταξύ των ελεγχομένων διατομών
ΔE	[m]	:	η διαφορά στις στάθμες της γραμμής ενέργειας
S_o	[m/m]	:	η κλίση του πυθμένα
S_f	[m/m]	:	η κλίση από τις απώλειες τριβής
n	[s/m $^{1/3}$]	:	ο συντελεστής Manning
V	[m/s]	:	η ταχύτητα ροής

R [m] : η υδραυλική ακτίνα

δ. Όταν η κατά μήκος κλίση του οχετού υπερβαίνει την τιμή 10% τότε θα πρέπει να διατάσσονται αναβαθμοί σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 5 m, με μέγιστο ύψος 0,50 m ώστε να διατηρείται η ταχύτητα στα επιτρεπόμενα όρια.

Εάν δεν είναι δυνατός ο έλεγχος της ροής με την διάταξη αναβαθμών τότε ο σχεδιασμός του οχετού θα γίνεται με την διάταξη συνεχών βαθμίδων (cascades) αλλά με μηδενική κλίση πατημάτων σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στο τεύχος "The hydraulic design of stepped spillways" CIRIA REPORT 33.

Η κατασκευή της κοίτης του οχετού με αναβαθμούς θα πρέπει να είναι η εναλλακτική λύση τελευταίας επιλογής. Δηλαδή θα πρέπει να εξαντλείται η διερεύνηση άλλων λύσεων π.χ. το στόμιο εξόδου να τοποθετείται ψηλότερα από το έδαφος της φυσικής κοίτης του ρέματος και να κατασκευάζεται κατάλληλη λεκάνη με λιθορριπή για την υποδοχή της πτώσης της ροής, ή/και να εκβαθύνεται η θέση του στομίου εισόδου. Τέτοιες εναλλακτικές λύσεις βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε μικρού ανοίγματος οχετούς, όπου συνήθως τα απαιτούμενα μέτρα είναι δόκιμα, χωρίς να δημιουργούνται κίνδυνοι για το σώμα της οδού, από τη διαβρωτική ενέργεια της ροής. Κάθε εναλλακτική λύση πρέπει να αξιολογείται από την εφικτότητα της, τις δυνατότητες ή τα εμπόδια που δημιουργεί στη συντήρηση του οχετού (καθορισμός από φερτά) και τους κινδύνους στους οποίους εκτίθεται το σώμα της οδού και του οχετού. Ακόμη πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι ο κίνδυνος φθοράς στην κοίτη ενός οχετού είναι μεγαλύτερος από την πτώση (στις θέσεις αναβαθμών) των φερτών υλικών και μικρότερος από υψηλές ταχύτητες του νερού. Επομένως πρέπει να συνεκτιμώνται τα όποια μέτρα σε σχέση με τα μεγέθη των φερτών υλικών που μεταφέρει η ροή και αντιστοίχως να σχεδιάζονται πρόσθετα μέτρα π.χ. λεκάνες κατακράτησης στερεοπαροχής.

ε. Για την περίπτωση που η κλίση υπερβαίνει την τιμή 12% και οι αναπτυσσόμενες ταχύτητες είναι >7 m/s θα πρέπει να ελέγχεται εάν η ροή είναι εντός των παραδοχών ισχύος της γραμμικής κατανομής των πιέσεων στη διατομή της ροής (μημόνιμη ροή).

στ. Επίσης θα πρέπει σε οποιοδήποτε βήμα των υπολογισμών ή έλεγχο να υπολογίζεται ο αριθμός Froude και να εμφανίζεται στους πίνακες υπολογισμών ώστε να φαίνεται η κατάσταση της ροής.

Ειδική περίπτωση έργου εισόδου αποτελούν τα προωθημένα φρεάτια πτώσης. Τα φρεάτια αυτά δεν πρέπει να έχουν κατακόρυφα πλευρικά τοιχία μεγάλου ύψους και το μέγιστο ύψος αυτών θα πρέπει να είναι ίσο τουλάχιστον με 1,5 φορά το ύψος του οχετού και το πολύ ≤3 m. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να σχεδιάζονται ειδικές διατάξεις προστασίας από πτώση ατόμων ή μεγάλων ζώων ή να σχεδιάζονται τα τοιχία βαθμιδωτά ή με κλίση υ:β=1:2 οπότε εγκαθίσταται και διάταξη κλίμακας πλάτους 80 cm.

Κατά τους υδραυλικούς υπολογισμούς οχετών σε περιοχές με περιβαλλοντικά προβλήματα και για παροχές μεγαλύτερες των 50 m^3/s επιβάλλεται να γίνεται συνεκτίμηση του όγκου της στερεοπαροχής αλλά και η επίλυση του προβλήματος από τη στερεοπαροχή με αποδεκτές μεθόδους (π.χ. σχέση Φ=f(ψ), Einstain).

Σε περίπτωση οχετών ανοίγματος L_W > 2 m συνιστάται να γίνεται διαμόρφωση του οχετού με αμετάβλητη τη μέση υγρά διατομή.

Διεύρυνση της διατομής της ροής στη θέση του οχετού σε σχέση με τη διατομή του υδατορέματος πρέπει να αποφεύγεται γιατί παρουσιάζονται κίνδυνοι αποθέσεων.

Ο πυθμένας των σωληνωτών οχετών πρέπει να ευρίσκεται κάτω από τον πυθμένα του υδατορέματος κατά το 1/10 του ονομαστικού ανοίγματος ή τουλάχιστον 10 cm Συμφώνως με το DIN 19661, blatt 1.

Τα στόμια των οχετών πρέπει να προστατεύονται με κατάλληλο τρόπο π.χ. με λιθορριπές, λιθοστρώσεις και ενδεχομένως με στρώση σκυροδέματος κατάλληλα αγκυρωμένη με *"χαλινούς"*.

9.3 Διαμόρφωση Εργων Εξόδου

Τα έργα εξόδου των οχετών σχεδιάζονται έτσι ώστε να σταθεροποιούν και προστατεύουν την κοίτη από τη διάβρωση. Αυτό σημαίνει ότι η ροή μετά τη διέλευση της από το έργο εξόδου θα αποκτήσει χαρακτηριστικά ίδια με αυτά που είχε πριν από την κατασκευή του οχετού. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να σχεδιαστούν έργα θραύσης της ενέργειας όπως λεκάνες ηρεμίας, αναβαθμοί (πτώσεις), και λιθορριπές. Σε περίπτωση κατασκευής πολλών οχετών σε μια περιοχή, τα έργα εξόδου θα πρέπει να ομαδοποιηθούν ώστε η κατασκευή να αντιμετωπίσει αυτά τα έργα με ενιαία τυποποίηση με σκοπό τη βελτιστοποίηση του κόστους.

Σε περίπτωση οχετών με περισσότερα ανοίγματα (δίδυμοι, τρίδυμοι κτλ.) θα πρέπει να γίνεται ο σχεδιασμός του μεσοτοιχείου με στρογγύλευση των ακμών του ώστε να μην παρουσιάζει σημαντική αντίσταση στη ροή.

Η κλίση των πρανών του έργου, με βάση την οποία γίνεται η διαμόρφωση των πτερυγοτοίχων στα στόμια των οχετών, θα είναι πάντα $u:\beta \leq 1:1,5$. Είναι επιθυμητό σε ύψος τουλάχιστον 1 m πάνω από τον οχετό να εφαρμόζεται κλίση πρανών $u:\beta=1:2$.

9.4 Σύνδεση Αποχετευτικών Συστημάτων με Οχετούς

Οι συλλεκτήριοι αγωγοί (σωληνωτοί ή τάφροι) των ομβρίων επιτρέπεται να εκβάλουν **μόνο** μέσω φρεατίου στο σώμα οχετού επειδή:

- η διαφορετική ακαμψία μεταξύ αγωγών και οχετού ενδεχομένως να προκαλέσει θραύση στην ένωσή τους και να διηθείται το νερό προς το επίχωμα,
- η εκβολή αγωγού εντός οχετού ενδεχομένως δημιουργεί προϋπόθεση κατά την πλημμυρική παροχή να αντιστραφεί η κατεύθυνση ροής εντός του αγωγού,
- η ελεύθερη πτώση των νερών από τον αγωγό εντός του οχετού δημιουργεί κίνδυνο διάβρωσης του πυθμένα του οχετού,
- σε περίπτωση ανάγκης λήψης μέτρων για τον έλεγχο ρύπανσης δεν είναι δυνατός ο περιορισμός της εισόδου των νερών του αγωγού μέσα στον οχετό,

9.5 Ιρλανδικές Γέφυρες (διαβάσεις οδών επί της κοίτης υδατορεμάτων)

Γενικώς δεν επιτρέπεται η χωρίς αιτιολόγηση κατασκευή διάβασης οδού σε υδατόρεμα με διαμόρφωση του οδοστρώματος ως βαθιάς γραμμής υπό μορφή *"Ιρλανδικών γεφυρών"*.

Κατ' εξαίρεση σε εντελώς περιορισμένης σημασίας οδούς είναι δυνατόν να υοθετηθούν στη μελέτη *"Ιρλανδικές γέφυρες"*, με πλήρη αιτιολόγηση.

Στην περίπτωση αυτή ο σχεδιασμός πρέπει να εξασφαλίζει ότι:

- το μέγιστο βάθος ροής για παροχή 5ετίας πάνω από την ερυθρά της οδού, σε οποιοδήποτε σημείο της δε θα υπερβαίνει τα 25 cm,
- η ταχύτητα ροής του υδατορέματος πάνω στην οδό θα είναι ≤2 m/s,
- οι διαβρώσεις σε εξέλιξη στα ανάντη ή κατάντη της διάβασης που οδηγούν προοδευτικά σε υποσκαφές, δε θα προξενήσουν κατάρρευση του οδοστρώματος κατά τη διάρκεια της ροής ή και μετά από αυτή. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να διατάσσονται ισχυροί χαλινοί στα εκατέρωθεν άκρα της διάβασης. Η ακαμψία των χαλινών θα εξασφαλίζεται με την ισχυρή πάκτωσή τους στις όχθες και με εγκάρσιες συνδετήριες δοκούς σε αποστάσεις διπλάσιες του πλάτους της διάβασης αλλά ≤15 m.

9.6 Ανεστραμμένοι Σίφωνες

Είναι τεχνικά έργα που οδηγούν υπό πίεση ένα υδατόρεμα κάτω από την οδό που βρίσκεται σε όρυγμα ή κάτω από ένα εμπόδιο που βρίσκεται σε κάποιο βάθος. Γενικώς δεν προβλέπεται η δυνατότητα κατασκευής ανεστραμμένων σιφώνων ομβρίων. Στην περίπτωση που γίνουν δεκτοί ανεστραμμένοι σιφώνες, ύστερα από σύμφωνη γνώμη της Υπηρεσίας, θα πρέπει αυτοί να σχεδιασθούν καταλλήλως με πρόβλεψη όλων των αναγκαίων μέτρων για τη σωστή λειτουργία τους. Στην είσοδο του σίφωνα σχεδιάζεται η τοποθέτηση πλέγματος συγκράτησης φερτών, η κατασκευή φρεατίου συγκράτησης με παγίδα ιλύος και ενδεχομένως εγκατάσταση αναρροφητικής αντλίας στο βαθύτερο σημείο του ανερχόμενου τμήματος εκροής. Η προσαγωγός τάφρος σχεδιάζεται με κλίση υ:β=1:3 και η απαγωγός με κλίση υ:β=1:5. Ο συντελεστής απώλειας φορτίου εισόδου λαμβάνεται ίσος με Ke=0,5.

9.7 Προστασία Κοίτης Οχετού Εναντι Διάβρωσης Λόγω Ταχύτητας Ροής

Η προστασία της κοίτης οχετών με υψηλές ταχύτητες ροής επιβάλλει την κατασκευή από αντίστοιχης κατηγορίας ποιότητα σκυροδέματος που μπορεί να αντιστέκεται στη διάβρωση ανάλογα με την αναμενόμενη μέγιστη ταχύτητα ροής (βλ. Πίνακα 9.7-1).

Πίνακας 9.7-1: Κατηγορίες ποιότητας σκυροδέματος για μέγιστες ταχύτητες ροής

Ταχύτητα [m/s]	V≤5	5<V≤6	6<V≤8	8<V≤9,5	9,5<V≤11
Κατηγορία σκυροδέματος	C8/10	C12/15	C20/25	C30/37	C35/45

9.8 Κριτήρια Ελέγχου Επιπτώσεων Αποχετευτικού Συστήματος Οδών σε Παρόδιες Χρήσης Γης

Οι κίνδυνοι που δημιουργούνται από τη συγκεντρωμένη ροή του αποχετευτικού συστήματος οδών (κυρίως των αυτοκινητοδρόμων), σε μη φυσικούς ή σε ανεπαρκούς παροχετευτικής ικανότητας φυσικούς αποδέκτες, πρέπει να αντιμετωπίζεται κατά τη μελέτη. Για αυτό το σκοπό παρατίθεται ένας κατάλογος ερωτημάτων που υποβοηθά στον έλεγχο για την αντιμετώπιση των υπόψη κινδύνων (βλ. Πίνακα 9.8-1).

Πίνακας 9.8-1: Κριτήρια ελέγχου κινδύνων από το σχεδιασμό αποχετευτικού δικτύου

#	Κριτήρια	Ναι	Όχι	Παρατηρήσεις
1	Εχουν τοποθετηθεί οχετοί σε όλες τις μισγάγγειες;			
2	Εγινε αποκοπή και/ή εκτροπή της ροής σε άλλη θέση χωρίς έλεγχο και κατάλληλα έργα;			
3	Η διαστασιολόγηση των οχετών έχει προκύψει από μελέτη που διασφαλίζει πλήρως τη διέλευση παροχής σχεδιασμού;			
4	Εχει ελεγχθεί τι θα συμβεί σε πολύ μεγάλο πλημμυρικό επεισόδιο π.χ. 100ετίας, μήπως θα προκληθεί εκτροπή με σημαντικές ζημίες στο περιβάλλον της οδού;			
5	Η στατική κατασκευή των οχετών είναι επαρκής ώστε αυτοί να αντέχουν σε αναπτυσσόμενες υδραυλικές δυνάμεις;			
6	Η οδός έχει περιορίσει την υφιστάμενη κοίτη ρέματος και έχει γίνει στην περίπτωση αυτή έλεγχος επάρκειας στη νέα διαμόρφωση;			
7	Η υφιστάμενη πριν το έργο δίαιτα ροής είναι σταθερή ή δεν έχει επικρατήσει ακόμη ισορροπία και συνεπώς η κοίτη μεταβάλλεται οριζοντιογραφικά και/ή υψομετρικά; Ο σχεδιασμός των οχετών θα μεταβάλλει τη δίαιτα της ροής με συνέπεια να επιταχυνθεί ή να αποσταθεροποιηθεί ο φυσικός ρυθμός μεταβολής της κοίτης υψομετρικά και οριζοντιογραφικά;			
8	Εχει ελεγχθεί η περιβαλλοντική αποδοχή τυχόν υπερβολικά εκτεταμένων έργων που δημιουργούν σημαντική διαταραχή σε φυσικές κοίτες;			

10. ΕΡΓΑ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΕΩΝ

10.1 Γενικά

Τα έργα διευθέτησης των υδατορεμάτων, που ενδιαφέρουν τον σχεδιασμό της οδοποιίας, αποβλέπουν στον περιορισμό και έλεγχο των κινδύνων που προκύπτουν για μια οδό που βρίσκεται στην ευρεία πλημμυρική κοίτη ενός υδατορέματος ή διασταυρώνει αυτό. Οι κίνδυνοι αυτοί είναι:

- η διαβρωτική δράση που πιθανό να υποσκάψει τις θεμελιώσεις των έργων,
- η επιφόρτιση των έργων με δυνάμεις απρόβλεπτες που ασκούνται τόσο από τα υπόγεια όσο και από τα επιφανειακά νερά,
- η μεταφορική δραστηριότητα των νερών κατά την οποία μεταφέρονται στην περιοχή των έργων υλικά που δυσχεραίνουν τη λειτουργία τους και επιβαρύνουν τη συντήρηση,
- η φυσικοχημική δραστηριότητα των επιφανειακών και υπόγειων νερών που προξενεί βλάβες στα έργα όπως ο παγετός, η χημική διάβρωση του σκυροδέματος, η οξείδωση των οπλισμών και άλλων σιδηρών εξαρτημάτων, η εναπόθεση αλάτων σε στραγγιστικούς αγωγούς κτλ.

Αυτά τα έργα πιθανό να συμπεριλαμβάνουν και επεμβάσεις, που εντάσσονται στο γενικότερο σχεδιασμό της διαχείρισης των υδάτινων πόρων και της προστασίας του περιβάλλοντος, δεν παύουν όμως να περιορίζονται κατά το δυνατό τοπικά και να εντοπίζονται κυρίως στη ζώνη απαλλοτρίωσης της οδού.

Η θέση της χάραξης μιας οδού μπορεί να απαιτεί την κατάλληλη διευθέτηση φυσικών ρεμάτων που τέμνουν ή βρίσκονται παραλλήλως με αυτήν. Τέτοιες εργασίες συνήθως απαιτούνται για:

- τη ρύθμιση της ροής, στα ανάντη ή κατάντη των οχετών ή γεφυρών ρεμάτων,
- τη σταθεροποίηση των υφιστάμενων ρεμάτων που οδεύουν παράλληλα με την οδό,
- την προστασία από διάβρωση κατά τη διάρκεια πλημμυρικών επεισοδίων σε ρέματα, που βρίσκονται κοντά σε πρανή επιχωμάτων της οδού,
- την προσωρινή ή μόνιμη εκτροπή της κοίτης ρεμάτων για την κατασκευή της οδού.
- την περιβαλλοντική αποκατάσταση σύμφωνα με τα μέτρα που επιβάλλονται από τις μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τις ισχύουσες διατάξεις για τη διαχείριση των νερών.

Για αυτούς τους λόγους σχεδιάζονται μεμονωμένα ή και σε συνεργασία έργα όπως είναι:

- ο τοπικός καθαρισμός και διαμόρφωση της κοίτης, η ισοπέδωση του πυθμένα, η διαπλάτυνση της κοίτης, η τοπική ευθυγράμμιση, οι ρηχές εκβαθύνσεις, η κατασκευή και συντήρηση αναχωμάτων και άλλες απλές χωματουργικές επεμβάσεις,

- οι επενδύσεις της κοίτης, του πυθμένα ή/και των πρανών, με εύκαμπτα υλικά όπως είναι: οι φυτεύσεις, οι λιθορριπές, οι λιθοπλήρωτοι συρματοκλωβοί (συρματοστρώματα, συρματοκιβώτια),
- οι ρυθμίσεις της ροής με οριζοντιογραφικές και μηκοτομικές αλλαγές του άξονα της ροής με αναβαθμούς, προβόλους,
- οι ρυθμίσεις της ενέργειας της ροής με διατάξεις θραύσης ενέργειας, λεκάνες ηρεμίας ή υπερχειλιστές,
- η ρύθμιση της στερεομεταφοράς ανάντη των έργων της οδού με φράγματα συγκράτησης φερτών, με λεκάνες συγκράτησης φερτών και κατάντη της οδού με αναρρυθμιστικές δεξαμενές,
- τα έργα συμβολής των τάφρων της οδούς στα υδατορέματα,
- τα έργα προσωρινής ή μόνιμης εκτροπής της ροής υδατορεμάτων σε θέσεις που δεν επηρεάζουν την οδό.

Ο σχεδιασμός τέτοιων έργων λαμβάνοντας υπόψη και τα αναφερόμενα στις §1.2.2.β και 2.4.1 πρέπει να διασφαλίζει:

- την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στις όμορες εκτάσεις και χρήσεις γης,
- την αποφυγή προβλημάτων από πλημμύρα στα ανάντη των προς εκτέλεση εργασιών,
- τη διατήρηση των φυσικών συνθηκών στα κατάντη των προς εκτέλεση εργασιών,
- την αποφυγή μακροπρόθεσμων προβλημάτων από τη δημιουργία αποθέσεων φερτών ή συνθηκών διάβρωσης και γενικώς προβλημάτων που επηρεάζουν την απόδοση του τεχνικού ή θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα της οδού,
- τον έλεγχο της αλληλεπίδρασης σε γειτονικά τεχνητά ή φυσικά σχετικά δίκτυα και ιδιαίτερα σε παρακείμενες περιοχές οικισμών, ανθρωπογενών χρήσεων γης ή περιβαλλοντικής ευαισθησίας,
- τον προσδιορισμό των απαιτούμενων συμπληρωματικών έργων ελέγχου της προαναφερόμενης αλληλεπίδρασης,
- την τεκμηρίωση των απαιτούμενων παρεμβάσεων με βάση επαρκή δεδομένα και ορθολογικές παραδοχές.

Σκοπός του παρόντος δεν είναι να παραθέσει και να αναλύσει μεθόδους υπολογιστικής προσέγγισης του σχεδιασμού των προαναφερόμενων έργων. Όπου όμως απαιτείται, στα επόμενα, δίνονται ενδεικτικά διάφορες εξισώσεις, των οποίων η εφαρμογή πρέπει να διερευνάται εάν αρμόζει για το συγκεκριμένο σχεδιασμό του εξεταζόμενου έργου.

10.2 Υποστηρικτικές Τοπογραφικές Εργασίες

Ακρίβεια (ως προς την οδό)

Για την υδραυλική μελέτη κάθε είδους έργων υποδοχής και μεταφοράς της ροής ομβρίων εξωτερικών λεκανών, το επίπεδο ακρίβειας της αποτύπωσης πρέπει να είναι τέτοιο ώστε

να επιτρέπει τον πλήρη σχεδιασμό και λεπτομερή προσομοίωση όλων των απαραίτητων υδραυλικών μεγεθών και των ενδεχόμενων μέτρων προστασίας από διάβρωση.

Αποτυπώσεις για τεχνικά έργα διάβασης ρεμάτων.

Στην περίπτωση ρεμάτων που τέμνουν τη χάραξη της οδού και θα διέρχονται μέσω τεχνικών έργων, η τοπογραφική αποτύπωση θα εκτείνεται τουλάχιστο 200 m ανάντη και 200 m κατάντη από τον άξονα της οδού, ώστε να καθορίζονται οι διατομές και η κατά μήκος τομή της τάφρου των ρεμάτων προκειμένου να τεκμηριώνεται ο σχεδιασμός των προβλεπόμενων έργων με υδραυλικούς υπολογισμούς.

Το μήκος της αποτύπωσης θα πρέπει να εκτείνεται και πέραν των προαναφερόμενων ορίων μέχρι τις θέσεις όπου επιβεβαιώνεται ότι διατηρούνται ασφαλείς φυσικές συνθήκες. Εφόσον εγγύς των προβλεπόμενων έργων υπάρχουν άλλα τεχνικά έργα που μπορεί να επηρεάζονται ή να επηρεάζουν τις συνθήκες ροής τότε η αποτύπωση θα εκτείνεται μέχρις αυτά ώστε κατά την υδραυλική ανάλυση να γίνεται πλήρης τεκμηρίωση των επιλογών.

Αποτυπώσεις για έργα διευθέτησης κοίτης και εκτροπής ποταμού

Στην περίπτωση ποταμών που ρέουν κατά μήκος της χάραξης της οδού, η αποτύπωση πρέπει να εκτείνεται εγκάρσια του ποταμού και σε μία απόσταση τουλάχιστον 200 m ανάντη και κατάντη των θέσεων στις οποίες η οδός προσεγγίζει την ευρύτερη κοίτη του ποταμού.

Η ζώνη αποτύπωσης πρέπει να εκτείνεται τόσο όσο χρειάζεται ώστε να συμπεριλαμβάνονται οι θέσεις για τους απαιτούμενους υδραυλικούς ελέγχους, τα αποτελέσματα των οποίων θα επιβεβαιώνουν τη λήψη ή μη σχετικών μέτρων.

Από την αποτύπωση θα σχεδιάζονται διατομές, μηκοτομή και λαμβάνονται άλλες λεπτομέρειες μορφολογίας της κοίτης, όπως ορίζεται στο ΠΔ696/74, άρθρο 133(α).

Το πλάτος της ζώνης τοπογραφικής αποτύπωσης (εγκαρσίως του ρέματος) ορίζεται αναλόγως με το πλάτος της κοίτης:

Πλάτος κοίτης [m]	≤ 10	> 10	Ακανόνιστο
Πλάτος ζώνης εκατέρωθεν της στέψης της όχθης ή του τυχόν αναχώματος [m]	10	20	≥ 30

Σε κάθε περίπτωση, η ζώνη τοπογραφικής αποτύπωσης πρέπει να περιλαμβάνει όλη την έκταση που καλύπτει η ανώτατη στάθμη της παροχής σχεδιασμού.

10.3 Υδραυλική ανάλυση

Οι υπολογισμοί θα συνοδεύονται με τον καθορισμό των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη από τη μελέτη.

Η υδραυλική μελέτη των έργων διευθέτησης πρέπει να βασίζεται σε μία αξιοποιήσιμη αναπαράσταση των υδραυλικών συνθηκών κατά τη διάρκεια του πλημμυρικού επεισοδίου σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, η ανάλυση του βάθους ροής και της ταχύτητας μέσα σε ένα τεχνικό, εντός των ορίων του διευθετούμενου τμήματος της κοίτης και στα ανάντη των έργων μπορεί να επηρεάζονται λόγω ανυψούμενης στάθμης από κάποια εγκατάσταση υδραυλικού ελέγχου που ενδεχομένως βρίσκεται στα κατάντη σε αρκετή απόσταση, όπως

π.χ. από υπερχειλιστή ή από στένωση που προκύπτει από μια υποδιαστασιολογημένο τεχνικό γεφύρωσης του ρέματος.

Σε περιπτώσεις κοίτης σημαντικού πλάτους, όπου οι εκτάσεις γης της γύρω περιοχής ή ο ίδιος ο αυτοκινητόδρομος μπορεί να επηρεάζονται, πρέπει να γίνεται πλήρης ανάλυση. Αυτή θα απαιτήσει ανάλυση της ανομοιόμορφης μόνιμης ροής του ρέματος που επηρεάζεται, για να εξακριβωθεί η υφιστάμενη κατάσταση πριν και μετά την εκτέλεση των εργασιών.

Ενδεχομένως ο Μελετητής με το διαθέσιμο λογισμικό επίλυσης της ανομοιόμορφης ροής μιας κοίτης να μη μπορεί να επιλύσει τις τοπικές «ανωμαλίες» της ροής στην είσοδο και έξοδο ενός τεχνικού λόγω αδυναμίας (του λογισμικού) χρήσης των σωστών υδραυλικών σχέσεων. Σε αυτή την περίπτωση επιβάλλεται ο υπολογισμός των συνθηκών ροής στο τεχνικό με κάποια άλλη αναλυτική μέθοδο αλλά και η συνεκτίμηση των αποτελεσμάτων της στην ανομοιόμορφη ροή της ευρύτερης κοίτης. Υπάρχουν σύγχρονα λογισμικά πακέτα επίλυσης ανομοιόμορφης ροής (π.χ. BOSS RIVERCAD), τα οποία έχουν δυνατότητα ενσωμάτωσης των υδραυλικών σχέσεων επίλυσης ροής εντός τεχνικών έργων (αναβαθμοί, οχετοί, κτλ.) και τα οποία είναι καταλληλότερα για τον υπολογισμό της ροής εντός φυσικών ή διευθετημένων κοιτών και τα οποία συνιστάται να χρησιμοποιούνται.

Στη μελέτη, μαζί με τα στοιχεία που δίνονται από την υδραυλική ανάλυση θα περιλαμβάνονται:

(1) Η περιγραφή των εργασιών χρήσης μοντέλων που εκπονήθηκαν καθώς και τη διατύπωση με σαφήνεια των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

(2) Ο τοπογραφικός χάρτης σε κατάλληλη κλίμακα όπου θα εμφανίζονται οι θέσεις τμημάτων του ποταμού που προσομοιώνονται, η κάθε μία με σαφή ένδειξη, οι προτεινόμενες εργασίες και ο κύριες υψομετρικές καμπύλες.

(3) Συνοπτικώς τα στοιχεία που καθορίζουν το τμήμα του ποταμού, (συμπεριλαμβανομένης της γεωμετρίας), το συντελεστή “n” του Manning που χρησιμοποιήθηκε και οι τυχόν συμπληρωματικές παράμετροι, όπως οι συντελεστές διαστολής και συστολής.

(4) Συνοπτικώς οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των τεχνικών, όπως γέφυρες και οχετοί, συμπεριλαμβανομένων των τυχόν εναλλακτικών αναλύσεων που υιοθετήθηκαν.

(5) Οι οριακές συνθήκες για την ανάλυση (στάθμη νερού στα ανάντη και στα κατάντη) και άλλες παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της μεθόδου υπολογισμού και ανάλυσης (υποκρίσιμη ροή, υπερκρίσιμη ροή ή μεικτή ροή).

(6) Οι διατομές του ρέματος όπου εμφανίζονται η στάθμη της κοίτης και η στάθμη νερού στις περιπτώσεις για τις οποίες γίνεται η εκτίμηση.

(7) Η κατά μήκος τομή του ποταμού, όπου θα εμφανίζεται η στάθμη της κοίτης και η στάθμη του νερού στις περιπτώσεις για τις οποίες γίνεται η εκτίμηση, και θα φαίνεται η άνοδος της στάθμης του νερού λόγω της κατασκευής των έργων.

(8) Ο πίνακας σύνοψης της υδραυλικής ανάλυσης, με την ονομασία του τμήματος, τις ΧΘ της στάθμης της κοίτης, της στάθμης του νερού, της ταχύτητας, του κινηματικού φορτίου, της γραμμής φορτίου και του αριθμού Froude.

(9) Οι διατομές και οι κατά μήκος τομές των προβλεπόμενων έργων.

(10) Συνοπτικός πίνακας της υδραυλικής ανάλυσης για κάθε ένα υφιστάμενο και προτεινόμενο τεχνικό που συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο.

(11) Ο τοπογραφικός χάρτης όπου εμφανίζεται η έκταση της πλημμύρας για την παροχή σχεδιασμού πριν και μετά την εκτέλεση των έργων.

Στις περιπτώσεις όπου η στάθμη του νερού στα ανάντη ανυψούται σε υπερβολικό βαθμό και με αποτέλεσμα να προκαλείται πλημμύρα, η οποία σε αντίθετη περίπτωση δεν θα είχε προκληθεί, ή όταν οι ταχύτητες ροής σε τμήμα έργων διευθέτησης θεωρούνται πολύ υψηλές, απαιτείται επιπλέον προσπάθεια έως ότου επιτευχθούν αποδεκτές συνθήκες κατά την παροχή σχεδιασμού.

Τα πλήρη αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην υδραυλική ανάλυση παραδίνονται σε CD.

10.4 Σχεδιασμός των Εργων και Λοιπών Επεμβάσεων

Στόχος είναι το κόστος μιας επέμβασης να μειωθεί σημαντικά με έργα περιβαλλοντικά αποδεκτά, τα οποία η φύση μπορεί να τα αφομοιώσει στις διεργασίες της. Γι αυτό ο σχεδιασμός των επεμβάσεων πρέπει να συνεκτιμά σε βάθος όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν τα υδραυλικά έργα μακροχρόνια στη διάρκεια της ζωής τους.

Οι αρχές σχεδιασμού των έργων διευθέτησης που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στις σχετικές μελέτες είναι:

(1) Ο τοπικός καθαρισμός και η διαμόρφωση της κοίτης, η ισοπέδωση του πυθμένα, η διαπλάτυνση της κοίτης, η τοπική ευθυγράμμιση, οι ρηχές εκβαθύνσεις, η κατασκευή και η συντήρηση αναχωμάτων και άλλες απλές χωματουργικές επεμβάσεις.

Τα έργα καθαρισμού κατά κανόνα εφαρμόζονται όταν η κοίτη περιορίζεται από εκτεταμένη ανάπτυξη βλάστησης, συσσώρευση φερτών και πάσης φύσης θραυσμάτων βράχων, ή φράζεται από πλαγιασμένα δένδρα ή από δένδρα που έχουν απλωμένες επιφανειακά ρίζες και μόνο όταν απαιτείται μια ελαφρά αύξηση της υδραυλικής παροχετευτικότητας η οποία μπορεί να επιτευχθεί μέσα από μια μείωση της τραχύτητας της κοίτης. Αυτά τα έργα περιλαμβάνουν απομάκρυνση ογκωδών αποθέσεων, θάμνων, δένδρων κτλ., που εμποδίζουν τη ροή. Γενικά όμως συνιστάται να αποφεύγεται η όχληση ή η απομάκρυνση μεγάλων σταθερών δέντρων που βρίσκονται στις όχθες (διαμέτρου κορμού $\geq$35 έως 40 cm) καθώς και ειδών που έχουν περιβαλλοντική αξία. Επειδή ο καθαρισμός μειώνει την τραχύτητα και σε κάποιες περιπτώσεις αυξάνει τη διατομή της ροής, μειώνει δυνητικά τον κίνδυνο έμφραξης της κοίτης σε περίπτωση πλημμύρας. Στη μελέτη λειτουργίας και χρήσης πρέπει να εκτιμάται η δυνατότητα επανεμφάνισης της κακής κατάστασης (ανάπτυξη βλάστησης κτλ.) και να προτείνεται περιοδικός καθαρισμός ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική λειτουργία μακροχρόνια.

Ο γενικός καθαρισμός και οι λοιπές σχετικές επεμβάσεις περιλαμβάνουν απομάκρυνση ενός συγκεκριμένου πάχους υλικού από την κοίτη (συνήθως 0,30 έως 1,00 m) γύρω από τη βρεχόμενη περίμετρο της διατομής. Επειδή αυτό μπορεί βαθμιαία να αυξήσει τις διαβρώσεις και τον κίνδυνο αστάθειας της δίαιτας, τα έργα αυτά πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερης έκτασης και να εφαρμόζονται όταν είναι επιθυμητή μια μικρή μόνο επαύξηση της παροχετευτικότητας.

Τα έργα διαπλάτυνσης της κοίτης κατά κανόνα εφαρμόζονται όταν πρέπει να αυξηθεί σημαντικά η παροχετευτικότητα της κοίτης. Αυτά τα έργα συνήθως εκτός από την αύξηση του πλάτους του πυθμένα, περιλαμβάνουν μείωση της κλίσης των πρανών, εκβάθυνση, πλευρικές διαμορφώσεις αναβαθμών ή και συνδυασμό όλων αυτών ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες.

Η έκταση της διαπλάτυνσης καθορίζεται από την επιθυμητή μείωση της ανώτατης στάθμης της πλημμύρας σχεδιασμού, σε συνδυασμό με τις αναγκαίες απαιτήσεις για το περιβάλλον και τις χρήσεις γης.

Ο σχεδιασμός των διαπλατύνσεων πρέπει απαραίτητα να ενσωματώνει και να ισορροπεί τις αντιμαχόμενες φυσικές δραστηριότητες που συσχετίζονται με τις διαβρωτικές δράσεις του νερού, δηλαδή τους μαιανδρισμούς σε υπερβολικά διαπλατυσμένες κοίτες και με τις αποθέσεις φερτών όταν οι ταχύτητες ροής μειώνονται σημαντικά. Μια προσέγγιση για τον ορθό σχεδιασμό, όταν από την ανάλυση φαίνεται ότι δε θα επικρατήσει ισορροπία από την επέμβαση, είναι να διαμορφωθεί η κοίτη με αναβαθμούς για τη ρύθμιση της σχέσης ταχύτητας-παροχής.

Τα έργα κατασκευής αναχωμάτων που συνήθως προτείνονται για την προστασία παρακείμενων της κοίτης ιδιοκτησιών μπορεί να προτείνονται και για την προστασία της οδού όταν αυτή προσεγγίζει την περιοχή της κοίτης, αλλά και ως καθοδηγητικές διατάξεις που θα κατευθύνουν τη ροή προς τα τεχνικά της οδού (γέφυρες, οχετούς).

Οταν η απόσταση των αναχωμάτων από τις όχθες είναι εξαιρετικά μικρή μπορεί να δημιουργείται υπερβολική ανύψωση της στάθμης σε περιπτώσεις πλημμυρών πέραν από την πλημμύρα σχεδιασμού. Αυτό αυξάνει τον κίνδυνο κατάρρευσης των αναχωμάτων εξαιτίας των δυνάμεων που μπορεί να αναπτύσσονται κατά τη ροή και της συνεπαγόμενης διάβρωσης. Ακόμη τα αναχώματα μπορεί να εμποδίζουν την εισροή στην κοίτη πλάγιων ροών από την περιοχή της πλημμύρας, και τέλος μπορεί να αυξάνουν την τάση απόθεσης φερτών υλικών, όταν η δίαιτα του νερού στην περιοχή είχε τέτοια τάση στη γύρω από την κοίτη περιοχή.

Η προσέγγιση συνεπώς του σχεδιασμού των προαναφερόμενων έργων δεν μπορεί να θεωρείται ολοκληρωμένη παρά μόνο όταν η επίλυση γίνεται για διάφορες παροχές με διαφορετικές χρονικές περιόδους επαναφοράς.

Επίσης εκτός της διάταξης των έργων, θα πρέπει να συνεκτιμώνται οι τάσεις απόθεσης – διάβρωσης στη δίαιτα της ροής με κατάλληλες μεθόδους (π.χ. ανάλυση Shields).

Τέλος ο υδραυλικός σχεδιασμός πρέπει να συνοδεύεται και από γεωτεχνικούς ελέγχους της ευστάθειας των πάσης φύσης πρανών (όχθεων-αναχωμάτων) που δημιουργούνται με τις επεμβάσεις αυτές μέσα από μια βήμα προς βήμα προσέγγιση που θα περιλαμβάνει:

α. την περιγραφή των χαρακτηριστικών της περιοχής που συνεισφέρει ή επηρεάζεται από τα έργα στην κοίτη,

β. τον προσδιορισμό και την προσέγγιση των υπαρχόντων ασταθειών-κατολισθήσεων,

γ. την ανάλυση των παραμέτρων ευστάθειας για την υπάρχουσα κοίτη,

δ. την εκτίμηση και ανάλυση προβλημάτων της δυνητικής αστάθειας στο έργο και τη θεώρηση όλων των δυνατών μέτρων για τον περιορισμό της,

ε. τη σύνοψη των συμπερασμάτων και τις προτάσεις.

(2) Οι επενδύσεις της κοίτης, του πυθμένα ή/και των πρανών, με εύκαμπτα υλικά όπως είναι: οι φυτεύσεις, οι λιθορριπές, οι λιθοπλήρωτοι συρματοκλωβοί (συρματοστρώματα, συρματοκιβώτια).

Οι λεπτομέρειες για τον υπολογισμό αυτών των έργων που παρουσιάζονται στα επόμενα περιλαμβάνουν τις αρχές σχεδιασμού των έργων. Εντούτοις ο μελετητής μπορεί να χρειαστεί να συμβουλεύεται και άλλα διάφορα έγκριτα συγγράμματα για τα σχετικά θέματα σχεδιασμού.

Λιθορριπές

Η επιλογή του μεγέθους και της διαβάθμισης των λίθων εξαρτάται από τις συνθήκες της ροής η οποία δημιουργεί τις προϋποθέσεις παράσυρσής τους. Γι΄ αυτό το λόγο θα πρέπει στο σχεδιασμό καταρχήν να τηρούνται τα εξής:

- η επιλογή του μεγέθους των λίθων γίνεται με κριτήριο την ασφάλεια της λιθεπένδυσης και απαιτείται το ατομικό βάρος των λίθων να είναι τέτοιο ώστε να μην παρασύρονται από τη ροή, δηλαδή η λιθορριπή να συνιστά «σταθερό πυθμένα». Το ελάχιστο βάρος των λίθων προκύπτει με βάση τον προσεγγιστικό τύπο (HYDRAULIC STRUCTURES, P. Novak,1990):

$$D_{50} = A \cdot \left[\frac{0{,}040^2}{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot C_s} \right]^{1{,}50} \cdot \frac{V^3}{\sqrt{h}} \quad \text{και} \quad W_{50} = \frac{\pi \cdot D_{50}^3}{6} \cdot \gamma_s \qquad (10.4\text{-}1)$$

όπου :

D_{50}	[m]	=	ελάχιστη θεωρητική διάμετρος λίθων που δεν παρασύρεται από τη ροή
γ_s	[t/m^3]	=	ειδικό βάρος λιθορριπής ίσο με 2,65
γ_w	[t/m^3]	=	ειδικό βάρος νερού ίσο με 1,00
V	[m/sec]	=	ταχύτητα ροής στη θέση της λιθεπένδυσης
h	[m]	=	βάθος ροής στη θέση της λιθεπένδυσης
C_s	[-]	=	σταθερά Sields που κυμαίνεται μεταξύ 0,040 και 0,060
A	[-]	=	συντελεστής ασφαλείας που λαμβάνεται ίσος με 1,50 για συνθήκες έντονα μεταβαλλόμενης ανομοιόμορφης ροής
W_s	[t]	=	ελάχιστο ατομικό βάρος λίθων που συνιστούν “σταθερό πυθμένα”

Σύμφωνα με το MODEL DRAINAGE MANUAL by AASHTO, η κοκκομετρική διαβάθμιση των λιθεπενδύσεων κοίτης χειμάρρου πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Πίνακα 10.4-1:

Πίνακας 10.4-1: Κοκκομετρική διαβάθμιση λιθοεπένδυσης κοίτης χειμάρρου

Διάμετρος λίθων [cm]	Βάρος λίθων [Kg]	Απαιτούμενο ποσοστό λίθων μικρότερο από διαστάσεις στήλης (1)
1	2	3
$1,50*D_{50} \leq D\sim55cm \leq 1,70*D_{50}$	$3,00*W_{50} \leq W\sim230Kg \leq 5,00*W_{50}$	100%
$1,20*D_{50} \leq D=45cm \leq 1,40*D_{50}$	$2,00*W_{50} \leq W\sim125Kg \leq 2,75*W_{50}$	85%
$1,00*D_{50} \leq D=35cm \leq 1,15*D_{50}$	$1,00*W_{50} \leq W\sim60Kg \leq 1,50*W_{50}$	50%
$0,40*D_{50} \leq D=15cm \leq 0,60*D_{50}$	$0,10*W_{50} \leq W\sim5Kg \leq 0,20*W_{50}$	15%

- οι λίθοι πρέπει να έχουν έντονο γωνιώδες σχήμα,
- η διαβάθμιση των διαθέσιμων λίθων, δεν πρέπει να περιλαμβάνει ποσοστό >30% με σχέση διαμέτρων a/c >2,5,
- η διαβάθμιση των διαθέσιμων λίθων, δεν πρέπει να περιλαμβάνει ποσοστό >15% με σχέση διαμέτρων a/c >3,0,
- οι λίθοι πρέπει να έχουν σχέση διαμέτρων a/c ≤3,5.

Επειδή ο καθορισμός της διαβάθμισης έχει επίσης και οικονομικό σκέλος θα πρέπει να εξετάζονται:

- η ποιότητα των λίθων (συνοχή και σταθερότητα κάτω από τις συνθήκες λειτουργίας και συντήρησης),
- το κόστος παραγωγής και προμήθειας ανά τόνο βάρους λίθων στο λατομείο ή το δανειοθάλαμο (περιλαμβάνεται η δυνατότητα να παραχθούν στο λατομείο οι συγκεκριμένες διαστάσεις της διαβάθμισης),
- η ποσότητα (σε τόνους βάρους) των λίθων που απαιτούνται,
- η απόσταση μεταφοράς,
- το κόστος μεταφοράς των λίθων ανά kmt,
- το κόστος τοποθέτησης των λίθων ανά τόνο βάρους,
- η ανάγκη τοποθέτησης και το κόστος ενδιάμεσου υλικού απόθεσης (φίλτρο),
- ο έλεγχος ποιότητας κατά τη διάρκεια κατασκευής (είναι ευκολότερος ο έλεγχος και εξασφαλίζεται περισσότερο η ποιότητα της κατασκευής όταν η διαβάθμιση είναι στενότερη),
- ο αριθμός των διαφορετικών διαβαθμίσεων των στρώσεων που θα απαιτηθούν (συχνά προκύπτει σημαντική οικονομία όταν χρησιμοποιούνται λιγότερες διαβαθμίσεις).

Διαστάσεων λιθορριπής , ο σχεδιασμός των στρώσεων λιθορριπής πρέπει να αποβλέπει στη διευκόλυνση της κατασκευής. Οι λίθοι δεν πρέπει να προεξέχουν σημα-

ντικά της επιφάνειας της στρώσης, ώστε να παρέχουν μέγιστη αντίσταση στις διαβρωτικές δυνάμεις. Υπερμεγέθεις λίθοι, ακόμη και σε μεμονωμένες θέσεις, μπορεί να προξενήσουν κατάρρευση της λιθορριπής αφαιρώντας την υποστήριξη από τη συνολική κατασκευή και τη συνοχή από τους γειτονικούς λίθους. Δημιουργούνται έτσι μεγάλα κενά που διευκολύνουν την απόπλυση του υλικού έδρασης (φίλτρου) και την επιτάχυνση της αστοχίας της κατασκευής. Στη συνέχεια, προκειμένου να αποφεύγονται αυτά τα ενδεχόμενα, ο σχεδιασμός της λιθορριπής πρέπει να ακολουθεί τα εξής:

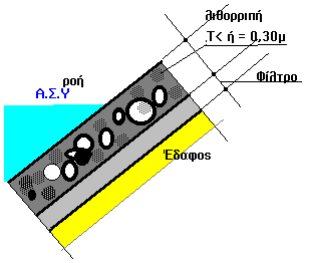
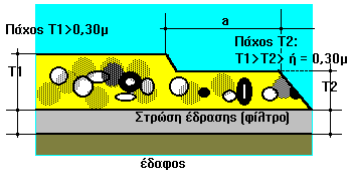
Πάχος λιθορριπής, Το πάχος της λιθορριπής δεν πρέπει να είναι μικρότερο από τη μέγιστη διάμετρο της διαβάθμισης (W_{100} ή D_{100}) ή μικρότερο από 1,5 φορές της μέγιστης μέσης διαμέτρου (W_{50} ή D_{50}), λαμβάνεται όποιο όριο είναι μεγαλύτερο.

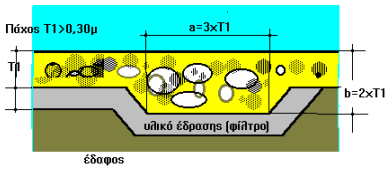
Το πάχος όπως προσδιορίζεται από τα προηγούμενα πρέπει να αυξάνεται κατά 50% όταν οι εργασίες τοποθέτησης της λιθορριπής θα γίνουν κάτω από το νερό, ώστε να καλύπτονται απρόβλεπτοι παράγοντες που συσχετίζονται με τον τύπο αυτής της εργασίας.

Η μέγιστη κλίση της επένδυνσης πρέπει να περιορίζεται στην τιμή υ:β=≤1:1,5. Είναι μάλιστα επιθυμητή η ανάλυση της ευστάθειας των πρανών.

Διαμόρφωση του ποδός και των άκρων της λιθορριπής,

- *Κορυφή της επένδυσης*, το ύψος της λιθορριπής πρέπει να καλύπτει το ελεύθερο περιθώριο της διατομής. Αυτό παρέχει προστασία από μη αναμενόμενες αυξήσεις της στάθμης της ροής, από κυματισμούς και από επιπλέοντα σώματα (π.χ. κορμοί).
- *Ανάντη και κατάντη άκρα της επένδυσης*, το πάχος (Τ) των άκρων της λιθορριπής πρέπει να αυξάνεται σύμφωνα με τον επόμενο Πίνακα.

	Οι στρώσεις λιθορριπής με πάχος ≤30 cm πρέπει να επεκτείνονται σε περιοχές όπου οι ταχύτητες ροής δε θα διαβρώσουν τις όχθες της κοίτης. Συνιστάται επέκταση σε μήκος ίσο με το ύψος της λιθορριπής
	Οι στρώσεις λιθορριπής που υπερβαίνουν το πάχος των 30 cm μπορεί να μειώνονται για μια απόσταση a στην οποία η ταχύτητα ροής θα είναι μειωμένες ώστε να μη διαβρώνεται η κοίτη.



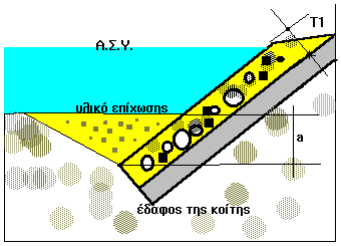
Κάθε φύσεως λιθορριπές που δεν περατώνονται σε περιοχές που οι ταχύτητες διαβρώνουν την φυσική κοίτη, τα ανάντη και κατάντη άκρα πρέπει να ενισχυθούν σύμφωνα με το σχήμα. Το πλάτος της ενίσχυσης πρέπει είναι 3 φορές το πάχος της λιθορριπής (Τ) και το πάχος της ενίσχυσης 2 φορές το πάχος της λιθορριπής (Τ)

Η απόφαση να τερματίζεται η λιθορριπή σε περιοχές όπου η ταχύτητα υπερβαίνει την ταχύτητα διάβρωσης της φυσικής κοίτης πρέπει να λαμβάνεται με προσοχή επειδή στην περιοχή του τερματισμού εξαιτίας της τύρβης που αναπτύσσεται από τη διαφοροποίηση της τραχύτητας είναι δυνατό να αναπτυχθούν εκτενείς διαβρώσεις και συνεπώς αστοχία της λιθορριπής.

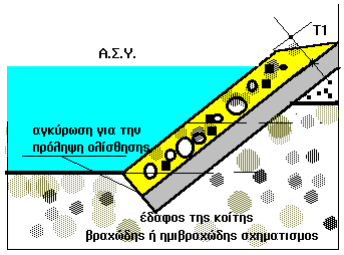
Προστασία του ποδός της λιθορριπής, η προστασία του ποδός της λιθορριπής γίνεται κυρίως με δύο τρόπους που είναι:

- η επέκταση της λιθορριπής μέχρι το μέγιστο αναμενόμενο βάθος διάβρωσης. Αυτό μπορεί να είναι εξαιρετικά δύσκολο όταν η λιθορριπή γίνεται σε ποταμούς συνεχούς ροής,
- η τοποθέτηση σωρών λίθων που μπορούν να ακολουθήσουν τις παραμορφώσεις εξαιτίας διαβρώσεων και ταπεινώσεων του πυθμένα της κοίτης. Αυτό μπορεί να προτείνεται σε όσες περιοχές αναμένονται ισχυρές διαβρώσεις. Ο σχεδιασμός αυτών των έργων έχει μεγαλύτερη επιτυχία σε αμμώδεις κοίτες παρά σε κοίτες με κροκάλες και χαλίκια.

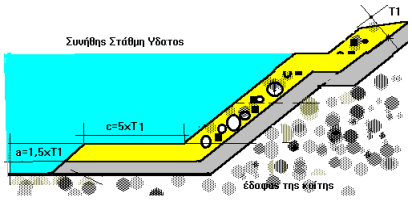
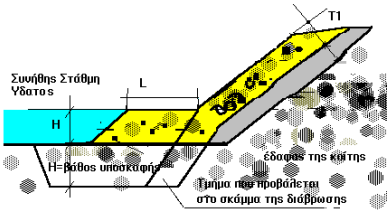
Η αντιμετώπιση της προστασίας του ποδός της λιθορριπής μπορεί να γίνεται με την επιλογή ενός από τους τρόπους που παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα.



(1) Όταν οι εκσκαφές της θεμελίωσης του ποδός μπορούν να γίνουν εν ξηρώ οι στρώσεις λιθορριπής μπορούν να επεκταθούν κάτω από την υπάρχουσα στάθμη του πυθμένα σε βάθος που θα υπερβαίνει το αναμενόμενο βάθος διάβρωσης και υποσκαφής. Εάν το βάθος και οι ποσότητες εργασιών είναι σημαντικές μπορεί να εφαρμοστεί η τέταρτη λύση που δεν απαιτεί εκσκαφές.



(2) Οταν ο πυθμένας της κοίτης είναι υλικό που δεν διαβρώνεται εύκολα η τυπική στρώση της λιθορριπής πρέπει να αγκυρώνεται στον σχηματισμό του υλικού για την πρόληψη της ολίσθησης

	(3) Όταν πρόκειται η λιθορριπή να τοποθετηθεί κάτω από το νερό και δεν αναμένεται σημαντική διάβρωση και υποσκαφή (όπως για παράδειγμα σε ροή ευθύγραμμης δίαιτας που δεν είναι κατάντη καμπύλων) ο πόδας μπορεί να διαμορφωθεί ως πρόβολος με την τοποθέτηση πάνω στον πυθμένα της κοίτης μιας στρώσης μήκους (c) ίσου με 5 φορές το πάχος (T1) και πάχους (a) ίσου με 1,5 φορές το πάχος (T1).
	(4) Όταν απαιτείται να διαστρωθεί λιθορριπή σε υγρά κοίτη και είναι επιθυμητή η οικονομία στην κατασκευή μπορεί να επιλεχθεί η λύση της συσσώρευσης λίθων στον πόδα, οι οποίοι αργότερα θα καταλάβουν και θα ενισχύσουν την περιοχή της υποσκαφής. Η μέθοδος αυτή έχει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά την συντήρηση διότι προλαμβάνει ξαφνικές καταρρεύσεις από διάβρωση. Η κατασκευή προσδιορίζεται από τις ακόλουθες αναλογίες κλίση προβολής ύψος:μήκος=1:2 βάθος υποσκαφής = υπάρχουσα στάθμη πυθμένα – μέγιστη στάθμη υποσκαφής Πάχος μετά την προβολή = 1,5 φορές του πάχους της επένδυσης της όχθης. Όγκος προβαλλόμενης λιθορριπής 3,35 x T1 (πάχος)

(3) Σχεδιασμός συμβολής τάφρων

Για σημαντικές παροχές, όταν ο πυθμένας της τάφρου της οδού δεν είναι σε υψηλότερη στάθμη από την ανώτατη στάθμη της ροής στο υδατόρεμα, τότε η συμβολή θα σχεδιάζεται με τα ακόλουθα κριτήρια :

- οι σχεδιαζόμενες ανώτατες στάθμες της ροής και στους δύο αποδέκτες (τάφρος και ρέμα) πρέπει κατά προσέγγιση να είναι ίσες στα ανάντη άκρα της συμβολής,
- η γωνία των τεμνόμενων αξόνων της ροής των αποδεκτών πρέπει να είναι το πολύ 12°,
- οι επιθυμητές συνθήκες ροής κατάντη της συμβολής μπορούν να επιτευχθούν με διαπλάτυνση της κοίτης του ρέματος σε μήκος ίσο με την μεταβατική ζώνη,
- τα βάθη υπερκρίσιμης ροής δεν πρέπει να ξεπερνούν το 90% του κρίσιμου βάθους (ο αριθμός Froude δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή 1,13) ώστε να διατηρείται η μόνιμη ροή.

Για την περίπτωση της συμβολής σε κατάσταση υποκρίσιμης ροής μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παραδοχές για την εφαρμογή της εξίσωσης της ορμής:

- η πλευρική τάφρος πρέπει να σχεδιαστεί με την ίδια μορφή της κύριας κοίτης του υδατορέματος,
- οι κλίσεις του πυθμένα στην περιοχή της συμβολής πρέπει να είναι ίδιες και για τους δύο αποδέκτες,
- οι ροές πρέπει να είναι παράλληλες με τοιχώματα στις όχθες στην περιοχή της συμβολής ανάντη και κατάντη,
- τα βάθη ροής πρέπει να είναι περίπου ίσα και στους δύο αποδέκτες στην περιοχή της συμβολής,
- η κατανομή της ταχύτητας είναι ομοιόμορφη στις αμέσως ανάντη διατομές της συμβολής.

10.5 Καταπάτηση Ευρείας Κοίτης Ποταμών-Χειμάρρων

Στα σημεία όπου η χάραξη της οδού διασχίζει την ευρεία κοίτη πλημμύρας ποταμού, θα πρέπει επιπλέον να εξετάζεται ότι:

- ο υδραυλικός σχεδιασμός της διασταύρωσης της οδού με τον ποταμό δε θα βασίζεται σε απλή ανάλυση ομοιόμορφης ροής στο τμήμα του ποταμού κάτω από τη γέφυρα που έχει διευθετηθεί. Οι συνέπειες υπερυψώσης από το άκρο του διευθετούμενου τμήματος θα ακύρωνε τις θεωρήσεις που συνεπάγεται η μελετητική αυτή προσέγγιση,
- επειδή η ροή δεν περιορίζεται στη φυσική τάφρο και υπάρχει σημαντική ροή εκτός των ορίων της κανονικής κοίτης, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του πλημμυρικού επεισοδίου σχεδιασμού. Η κατασκευή επιχώματος αναγκάζει το σύνολο της ροής αυτής να περνάει μέσα από το διευθετημένο τμήμα κάτω από το σημείο διασταύρωσης/συναρμογής με τη γέφυρα με κίνδυνο να αναπτύσσονται υψηλές ταχύτητες στο διευθετούμενο τμήμα ή υπερβολική άνοδος της στάθμης νερού στα ανάντη,
- όταν δημιουργούνται προβλήματα πλημμύρων από τη διέλευση της οδού προτείνονται μέτρα, τα οποία ελέγχονται με υδραυλικά υπολογιστικά μοντέλα ώστε να βελτιώνονται οι συνθήκες. Τα μέτρα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν επεμβάσεις που αυξάνουν την παροχετευτικότητα της κανονικής κοίτης των ποταμών-χειμάρρων.

10.6 Προστασία από τη Διάβρωση

Οπωσδήποτε ο σχεδιασμός των υδραυλικών έργων περιλαμβάνει μέτρα για την πρόληψη της διάβρωσης της φυσικής κοίτης στην έξοδο των οχετών, στα βάθρα γεφυρών ή στην κοίτη διευθετούμενων τμημάτων των ποταμών-χειμάρρων.

Απαραίτητο είναι να προσδιορίζεται η έκταση της πιθανής υποσκαφής στα διάφορα έργα ή μέρη των έργων. Για το λόγο αυτό ο μελετητής μπορεί να ανατρέχει σε σχετική βιβλιογραφία και να εφαρμόζει αποδεκτές μεθόδους (π.χ. Laurcen, CSU equation, Froelich equation, HIRE equation κτλ.) εκτός των αναφερομένων εδώ, ώστε να διαμορφωθεί ολοκληρωμένη άποψη για την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Η εκτίμηση θα γίνεται με τις εξισώσεις:

α. Βάθος υποσκαφής "D_s" κάτω από γέφυρες

εάν το μήκος της γέφυρας "L" είναι μικρότερο από το πλάτος "W" της δίαιτας της ροής τότε το βάθος υποσκαφής υπολογίζεται αναλόγως με τα ανοίγματα του τεχνικού:

Ανοίγματα γέφυρας	Χρησιμοποιούμενη εξίσωση	
Ένα	$D_s = 1,25\ D_n = 1,25\ R_s\ (W/L)^{0,61}$	(10.6-1)
Πολλαπλά	$D_s = 2,0\ D_n = 2,0\ R_s\ (W/L)^{0,61}$	(10.6-2)
Πολύ περιορισμένα	$D_s = R_s\ (W/L)^{1,56}$	(10.6-3)

όπου:

D_n [m] : κανονικό βάθος υποσκαφής

– όταν η διάβαση είναι ίσου ή μεγαλύτερου πλάτους από το πλάτος της κοίτης

$R_s=0,475\ (Q/f)^{1/3}$ (10.6-4)

– όταν ή διάβαση είναι στενότερη από το πλάτος της κοίτης

$R_s=1,350\ (q/f)^{1/3}$ (10.6-5)

όπου:

R_s [m] : υδραυλική ακτίνα της δίαιτας

Q [-] : μέγιστη πλημμυρική παροχή

q [m^3/s] : η παροχή πλάτους της κοίτης

f [-] : 1,75 $d^{0,5}$ (συντελεστής Lacey)

d [mm] : η μέση διάμετρος του υλικού της κοίτης

s [m] : το βάθος υποσκαφής

β. Βάθος υποσκαφής "D_s" γύρω από βάθρα γεφυρών

$D_s=4,2b'\ (y_o/b')^{0,78}\ Fr^{0,52}$ (Inglis) (10.6-6)

όπου:

b' [m] : πλάτος του βάθρου

y_o [m] : το βάθος ροής ανάντη

Fr [-] : ο αριθμός Froude

γ. Βάθος υποσκαφής στη θέση κοιτόστρωσης στα κατάντη (βάθος χαλινού)

$H=2,6\ (y_2-y_1)$ (10.6-7)

όπου:

y_1 [m] : το βάθος ομοιόμορφης ροής με τραχύτητα του επιφανειακού υλικού του πυθμένα στα ανάντη

y_2 [m] : το βάθος ομοιόμορφης ροής με τραχύτητα του λεπτόκκοκου υλικού που υπάρχει κάτω από την κοιτόστρωση.

δ. υποσκαφή στα κατάντη οχετών (Breusers & Raudkivi)

βάθος υποσκαφής από τη στάθμη του πυθμένα:

$$D_s=0,65H\ (V_o/V_c)^{1/3} \qquad (10.6\text{-}8)$$

πλάτος υποσκαφής:

$$B_s=7,50H\ Fr^{2/3} \qquad (10.6\text{-}9)$$

μήκος υποσκαφής:

$$L_s=15H\ Fr^{2/3} \qquad (10.6\text{-}10)$$

κρίσιμη διατμητική ταχύτητα:

$$V_c=(\tau_c/\rho)^{1/2} \qquad (10.6\text{-}11)$$

Διάτμηση:

$$\tau_c=0,04 \text{ έως } 0,06\ (\rho_s-\rho)g\ d_s \qquad (10.6\text{-}12)$$

όπου:

Fr	[-]	:	ο αριθμός Froude
H	[m]	:	το βάθος ροής στον οχετό
V_o	[m/s]	:	η ταχύτητα ροής
V_c	[m/s]	:	η κρίσιμη διατμητική ταχύτητα (Shields)
ρ_s	[kg/m^3]	:	το ειδικό βάρος του υλικού της κοίτης (η συνήθης τιμή είναι 2650 kg/m^3)
ρ	[kg/m^3]	:	το ειδικό βάρος του νερού
g	[m/s^2]	:	η επιτάχυνση της βαρύτητας
d_s	[mm]	:	η μέση διάσταση του υλικού της κοίτης

Η έκταση των έργων πρέπει να περιορίζεται ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επεμβάσεις στο περιβάλλον των ποταμών-χειμάρρων αλλά και οι έντονες επεμβάσεις στη δίαιτα της ροής τους. Τα έργα πρέπει κυρίως να αποβλέπουν στην προστασία της οδού, των οχετών, των γεφυρών και των συνοδών έργων.

Τα τοπικά έργα γύρω από τα βάθρα γεφυρών εκτείνονται σε:

- μήκος (κατά τον άξονα της ροής) [m] : L = 7b
- πλάτος (εγκάρσια στη ροή) [m] : W = 6b
- πάχος [m] : D=0,35b

όπου:

b [m] : το καθαρό άνοιγμα στην κοίτη αφαιρουμένου του πλάτους των μεσοβά-

θρων

Τα τοπικά έργα στα ανάντη και στα κατάντη γεφυρών εκτείνονται σε:

- μήκος προς τα ανάντη [m] : L=b'
- μήκος προς τα κατάντη [m] : L=2b' έως 4b'

όπου:

b' [m] : το συνολικό πλάτος των μεσοβάθρων που μειώνουν το φυσικό πλάτος της ροής

Το συνολικό φυσικό πλάτος της κοίτης (στην πλημμύρα σχεδιασμού) πρέπει να είναι B=b+b'

Στα ενδεχόμενα μέτρα προστασίας από τη διάβρωση, αναλόγως με τις επικρατούσες υδραυλικές και γεωλογικές συνθήκες περιλαμβάνονται:

- ο σχεδιασμός μεταβατικών έργων για την ελαχιστοποίηση της διαφοράς μεταξύ της ταχύτητας εξόδου και ταχύτητας στην κατάντη συνεχόμενη φυσική κοίτη,
- η επένδυση των πρανών (όχθεων) και της κοίτης με, εύκαμπτα κατά προτίμηση, υλικά όπως π.χ. λιθορριπές (rip-rap) ή λιθοπλήρωτα συρματοκιβώτια ή λιθοπλήρωτα συρματοστρώματα ή αλλιώς ονομαζόμενα στρώμνες (reno mattresses),
- τα τοπικά και περιορισμένα έργα κοιτοστρώσεων με σκυρόδεμα στις προσβάσεις (aprons),
- οι αναβαθμοί και οι δεξαμενές ηρεμίας για τη θραύση της ενέργειας.

Η επιλογή των υλικών των έργων γίνεται αναλόγως με τα αναμενόμενα όρια ταχυτήτων (βλ. Πίνακα 10.6-1).

Πίνακας 10.6-1: Επιτρεπόμενες ταχύτητες αναλόγως των έργων και της επένδυσης

Ταχύτητες [m/s]	Συνιστώμενα έργα
	απλές διαμορφώσεις-ισοπέδωση της κοίτης από υλικό:
<0,75	• λεπτή άμμος και αργιλοϊλείς
<1,00	• αργιλώδες έδαφος
<1,50	• λεπτά χαλίκια
<1,80	• στιφρή άργιλος
<2,00	• χαλίκια με άργιλο ή/και ιλύ
<2,70	• χαλίκι ή/και κροκάλες διαστάσεων >20 cm
<4,50	• βραχώδες έδαφος - απλές λιθορριπές
<5,50	ισχυρές λιθορριπές σε ευαίσθητα σημεία του έργου
<6,00	συρματοστρώματα και σε ευαίσθητα σημεία του έργου συρματοκιβώτια
<7,00	ισχυρούς συρματοκλωβούς (συρματοκιβώτια ή συρματοστρώματα)

<10,00	κοιτοστρώσεις με σκυρόδεμα
≥10,00	διατάξεις θραύσης ενέργειας

Όπου προτείνονται λιθορριπές για τον έλεγχο της διάβρωσης η διάμετρος και η κοκκομετρική διαβάθμιση των λίθων που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να καθορίζονται με τη χρήση αναγνωρισμένων μεθόδων κατάλληλων για:

α. την κλίση, τη μορφολογία και το υπάρχον υλικό της κοίτης,

β. τη ταχύτητα και το βάθος νερού σε σχέση με την προτεινόμενη διάμετρο των λίθων.

Πρέπει να παρουσιάζονται αναλυτικώς οι υπολογισμοί καθώς και η προδιαγραφή των υλικών που προτείνονται. Επίσης θα παραδίδονται σχέδια οριζοντιογραφίας, κατά μήκος τομής και διατομών της περιοχής της στρώσης λιθορριπής.

Για τη διαστασιολόγηση των λίθων προτείνονται οι σχέσεις:

Μέση διάσταση λίθων	$d=0,06-0,033V+0,04V^2$	(10.6-13)
Μέση κρίσιμη ταχύτητα V_s για τον έλεγχο της επιλεγείσας διάστασης των λίθων	$V_c=6d^{1/3}y_o^{5/3}$	(10.6-14)
Ελάχιστη διάσταση λίθων προστασίας πυθμένα	$d_{min}=0,25H\cdot Fr$	(10.6-15)
Μέσο μέγεθος λίθων:		
μέθοδος USGS	$D_{50}=0,01V_a^{2,44}$	(10.6-16)
μέθοδος USBR	$D_{50}=0,0122V_a^{2,08}$	(10.6-17)

όπου:

V	[m/s]	:	η ταχύτητα ροής
d	[m]	:	η μέγιστη διάσταση των λίθων
y_o	[m]	:	το κανονικό βάθος ροής στην ανάντη διατομή του έργου
H	[m]	:	το βάθος ροής στον οχετό
Fr	[-]	:	ο αριθμός Froude
D_{50}	[mm]	:	το μέσο μέγεθος λίθων
V_a	[m/s]	:	η μέση ταχύτητα ροής

Τα ειδικά βάρη των λίθων για τη χρήση των μεθόδων ASCE και Isbash δίνονται στον επόμενο Πίνακα 10.6-2.

Πίνακας 10.6-2: Ειδικά βάρη

Είδη πετρωμάτων	Ειδικό Βάρος [kg/m^3]
Χαλαζιακά και άστριοι	2 650
Σιδηρομαγνησιούχα	3 000 – 3 500
Γρανίτες	2 640 – 2 760

Συκνίτες	2 700 – 2 900
Διοριτικά	1 500 – 2 000
Περιδοτίτες-Γάβρος	3 000
Προφύρες	2 500 – 2 800
Βασάλτες	2 700 – 3 300
Τραχίτες	2 600
Ανδεσιτικά	2 500 – 2 850
Δολομίτες	2 660 –2 790
Ασβεστόλιθοι	2 700

Όταν προτείνονται έργα σε ομάδες οχετών θα πρέπει για λόγους ευκολίας της κατασκευής τα δεδομένα από την επίλυση να ομαδοποιούνται σε χαρακτηριστικά μεγέθη προς τη μεριά της ασφάλειας, ώστε να αποφεύγονται οι συγχύσεις και να είναι εύκολη η κατανόηση των έργων. Για παράδειγμα όταν από τους υπολογισμούς εξάγεται ότι πρέπει να γίνουν λιθορριπές στην έξοδο (έστω δέκα) οχετών με διαφορετικές μέσες διαμέτρους λίθων θα πρέπει να προδιαγράφονται για την κατασκευή μια ή δυο μόνο μέσες διάμετροι λίθων.

Όταν χρησιμοποιούνται λιθοπλήρωτοι συρματοκλωβοί, η μελέτη θα βασίζεται σε προδιαγραφές και συστάσεις που δίνονται σε κατασκευαστικές οδηγίες, (π.χ. Maccaferri):

“Flexible gabion and reno mattress structures in river and stream training works”.

Η μελέτη των αναβαθμών και λεκανών ηρεμίας για τη θραύση ενέργειας μπορεί να βασίζεται στην εγκύκλιο:

“Hydraulic design of energy dissipators for culverts and channels”, HEC 14. FHWA, US-DoT, 1975.

10.7 Μελέτη της Μεταφοράς Φερτών Υλικών

Για την αποκατάσταση της φυσικής δίαιτας των φερτών υλικών σε ένα υδατόρεμμα και για την άρση των επιπλοκών, απαιτείται μελέτη για να:

- καθοριστεί η διαχείριση της στερεομεταφοράς στον υδραυλικό σχεδιασμό,
- δοθεί κάποιο μέσο για τη διαστασιολόγηση εφικτών έργων ελέγχου της στερεομεταφοράς (διάβρωσης ή απόθεσης),
- καθοριστούν οι θέσεις όπου απαιτούνται τέτοια έργα,
- εκτιμηθούν ποσοτικά εφικτές δραστηριότητες συντήρησης.

Βασικές πληροφορίες μπορούν να συγκεντρωθούν με:

- επισκέψεις αυτοψίας στις θέσεις ενδιαφέροντος και ελέγχου του υλικού στον πυθμένα των ρεμάτων για την εκτίμηση της διαβρωσιμότητας της λεκάνης απορροής,
- επιθεώρηση της μορφής της κοίτης σε υπάρχουσες κατασκευές γεφυρών-οχετών για την απόκτηση αποδείξεων περί των αποθέσεων φερτών ή της διάβρωσης,
- πληροφορίες από τις αρμόδιες Δημόσιες Υπηρεσίες για τη διαχείριση των συγκεκρι-

μένων ρεμάτων,

- πληροφορίες από την εμπειρία των κατοίκων της περιοχής,
- συγκριτική αξιολόγηση αεροφωτογραφιών της περιοχής από φωτοληψίες, οι οποίες πρέπει να απέχουν μεταξύ τους τουλάχιστο 10 έτη.

σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί ο όγκος φερτών ενός ρέματος ώστε να διαστασιολογηθούν έργα ελέγχου των φερτών όπως δεξαμενές (παγίδες) συγκράτησης φερτών.

Ο όγκος φερτών (μέσος ετήσιος όγκος των υλικών που μεταφέρονται από ένα ρέμα) μπορεί να βρεθεί από:

α. προηγούμενες μελέτες έργων που έγιναν στην περιοχή ενδιαφέροντος,

β. αρχεία εργασιών ελέγχου φερτών υλικών που ανέλαβαν οι αρμόδιες Υπηρεσίες, για την διαχείριση των ποταμών,

γ. εφαρμογή εμπειρικών μεθόδων που βασίζονται στα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής όπως η “Universal Soil Loss Equation”. Αυτό απαιτεί την καταγραφή της χρήσης των εδαφών στις συνεισφέρουσες λεκάνες απορροής.

εκεί όπου βρεθεί ότι είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη στον υδραυλικό σχεδιασμό η διαχείριση των φερτών πρέπει να καθοριστούν και να εισαχθούν συνολικά στο υδραυλικό μοντέλο οι συσχετιζόμενες συνθήκες της κοίτης του ρέματος και των ανάντη ή κατάντη του αυτοκινητοδρόμου κατασκευών οχετών ή διευθετήσεων.

Η συμπεριφορά του ρέματος από αντίδραση στις επιβαλλόμενες κατασκευές μέσα σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα πρέπει να κατανοηθεί πλήρως στα σημεία των αναμενόμενων περιοχών της απόθεσης φερτών, της υποβάθμισης και διάβρωσης της κοίτης. Παραλλήλως πρέπει να γίνουν οι σχετικές εκτιμήσεις των απαιτήσεων συντήρησης όσον αφορά στην διαχείριση των φερτών.

Ο σχεδιασμός των έργων πρέπει να εξασφαλίζει τη μακροχρόνια σταθερότητα και να λαμβάνει υπόψη τα σχέδια και τις ενέργειες των άλλων Υπηρεσιών όπως της Γεωργίας και των Δασών των οποίων οι δραστηριότητες μέσα στη λεκάνη απορροής μπορεί να έχουν επιπτώσεις στα φορτία φερτών του ρέματος.

Η μελέτη θα πρέπει να περιλαμβάνει εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης και στρατηγικές διαχείρισης των φερτών υλικών, όπως για παράδειγμα κατασκευή στα ανάντη φραγμάτων ελέγχου από συρματοκιβώτια φθοράς, παγίδες φερτών στα ανάντη των κατασκευών, διατήρηση των υψηλών ταχυτήτων μέσω των κατασκευών κτλ.

Οι επιλογές και προτάσεις πρέπει να παρουσιάζονται στο αρχικό στάδιο της μελέτης για την προέγκριση τους πριν από την υποβολή της ολοκληρωμένης οριστικής μελέτης. Επίσης μπορεί να προτείνονται και μακροχρόνια προγράμματα για τη βελτίωση της κατάστασης. Όμως η μελέτη θα πρέπει να προσφέρει το σχεδιασμό ενός επαρκούς έργου το οποίο θα λειτουργεί και χωρίς την εφαρμογή τέτοιων προγραμμάτων.

10.8 Υδραυλικές Κατασκευές με Λιθοπλήρωτους Συρματόπλεκτους Κλωβούς

10.8.1 Γενικά

Τα υδραυλικά έργα που σχεδιάζονται να κατασκευαστούν με λιθοπλήρωτους συρματοκλωβούς (συρματοστρώματα και συρματοκιβώτια) πρέπει να φέρουν με ασφάλεια όλα τα αναμενόμενα φορτία που προέρχονται από τις δυνάμεις που ασκούνται από τη:

- ροή του νερού είτε στην επιφάνειά των συρματοκλωβών είτε όταν ρέει δια μέσου του όγκου των λίθων,
- το έδαφος που προστατεύεται και αντιστηρίζεται με τους συρματοκλωβούς,
- το ίδιο βάρος στην κατασκευή ή και τις ανωστικές δυνάμεις, όταν η κατασκευή βρίσκεται βυθισμένη στο νερό,
- τις μεγάλες παραμορφώσεις του συνόλου της κατασκευής, που οδηγούν σε διάρρηξη της συνοχής του έργου και κατάρρευση.

Για την εκτίμηση των δυνάμεων και τον τρόπο επίδρασής τους πάνω στην κατασκευή ο μελετητής πρέπει να ανατρέξει σε έγκριτα συγγράμματα ή ακόμη και σε τύπους που παρέχονται στις παρούσες οδηγίες.

Η εκτίμηση των υδροστατικών και υδροδυναμικών φορτίσεων είναι θέμα υδραυλικής προσέγγισης και συνεπώς με κατάλληλη προσομοίωση μπορεί να προσδιορίζονται τα υδραυλικά μεγέθη (π.χ. ταχύτητα) που συσχετίζονται με αυτές τις φορτίσεις σε κάθε τμήμα της κατασκευής.

Η εκτίμηση των ωθήσεων που μπορεί να ασκεί το έδαφος στους συρματοκλωβούς είναι θέμα εδαφομηχανικής και γεωτεχνικής προσέγγισης επομένως πρέπει να υπάρχει πλήρης γνώση των εδαφών, όπου πρόκειται να θεμελιωθούν οι κατασκευές, αλλά και των εδαφών που πρόκειται αυτές θα προστατεύουν και αντιστηρίζουν. Ετσι με τις συνήθεις μεθόδους της εδαφομηχανικής θα εκτιμώνται με ορθότητα οι συνθήκες ισορροπίας των εδαφών και των κατασκευών τόσο μετά την κατασκευή όσο και μετά από την εμφάνιση των αναμενόμενων παραμορφώσεων, καθιζήσεων και διαβρώσεων μακροχρονίως.

Η εκτίμηση των δυνάμεων που ασκούνται στην κατασκευή από το ίδιο βάρος της ή από την άνωση, στα τμήματα της κατασκευής που είναι βυθισμένα στο νερό, είναι από τις πλέον απλές προσεγγίσεις αφού βασίζεται σε απλούς τύπους. Είναι όμως εξαιρετικά μεγάλης σημασίας επειδή αυτές οι δυνάμεις υπεισέρχονται στις συνθήκες ισορροπίας της κατασκευής.

Τέλος η εκτίμηση των δυνάμεων που ασκούνται στην κατασκευή από τις αναμενόμενες παραμορφώσεις απαιτεί ιδιάζουσα προσέγγιση, επειδή πρέπει πρώτα να εκτιμηθούν με κατάλληλη μέθοδο οι παραμορφώσεις αυτές και στη συνέχεια να διαπιστωθεί εάν και σε τι βαθμό οι παραμορφώσεις αυτές θα επηρεάσουν καταστροφικά την κατασκευή.

Προκειμένου να εκτιμηθούν όλες οι δυνάμεις που ασκούνται στην κατασκευή παρατίθενται στη συνέχεια οι αρχές σχεδιασμού και διαστασιολόγησης αυτών των κατασκευών.

Ο σχεδιασμός και ο έλεγχος της ευστάθειας των έργων μπορεί να γίνεται είτε θεωρώντας ότι αυτές συμπεριφέρονται ως κατασκευές βαρύτητας, είτε θεωρώντας ότι μπορούν να λειτουργήσουν και ως κατασκευές ημιβαρύτητας. Η δεύτερη περίπτωση δηλαδή η θεώρηση

ότι μπορούν να φέρουν κάποια φορτία εντός των πλαισίων της μικρής τους ελαστικότητας, επιτρέπει το σχεδιασμό οικονομικότερων έργων.

Οι κατασκευές με λιθοπλήρωτους συρματοκλωβούς μπορούν να φέρουν θλιπτικές, εφελκυστικές και διατμητικές τάσεις. Οι εφελκυστικές τάσεις λαμβάνονται κυρίως από το δικτυωτό σύρμα που περιβάλει τους λίθους και για αυτό το λόγο θα πρέπει τα επιμέρους κιβώτια να δένονται ισχυρά μεταξύ τους για την επίτευξη της μέγιστης και ασφαλούς μεταβίβασης των εφελκυστικών τάσεων χωρίς τον κίνδυνο ολίσθησης μεταξύ τους.

Για τους υπολογισμούς που ακολουθούν απαιτείται πρώτα ο καθορισμός των ειδικών βαρών των λίθων κατασκευής.

Το βάρος ανά μονάδα όγκου του νερού είναι συνήθως 1 000 kg/m^3, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις εξαιρετικά τυρβώδους ροής που το νερό μεταφέρει εν αιώρηση λεπτόκοκκα φερτά, μπορεί να έχει την τιμή 1 500 kg/m^3. Ενδιάμεσες τιμές μπορούν να υιοθετούνται εκτιμώντας τις τοπικές συνθήκες ροής.

Τα βάρη των λίθων δίνονται στον πίνακα 10.5-2. Το βάρος ανά μονάδα όγκου των κατασκευασμένων λιθοπλήρωτων συρματοκλωβών εξαρτάται από το μέγεθος των κενών και το μέγεθος ή τη διαβάθμιση των λίθων που θα χρησιμοποιηθούν. Για την προσέγγιση του μεγέθους αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση:

$$\gamma_g = \gamma_s (1 - \varepsilon) \qquad (10.8\text{-}1)$$

όπου:

γ_g	[kN/m^3]	:	το βάρος ανά μονάδα όγκου του λιθοπλήρωτου συρματοκιβωτίου
γ_s	[kN/m^3]	:	το βάρος ανά μονάδα όγκου του λίθου
ε	[-]	:	ο λόγος των κενών, ο όγκος των οποίων πρέπει να κυμαίνεται από 30% έως 40% του όγκου του κλωβού. Επιτρέπεται το ποσοστό των κενών να λαμβάνεται ίσο με 20%, όταν αναμένεται ότι αυτά θα γεμίσουν με φερτά υλικά κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου.

Όταν το συρματοκιβώτιο είναι βυθισμένο, τα κενά γεμίζουν με νερό οπότε η εξίσωση γίνεται:

$$\gamma_{gu} = \left[\gamma_s (1 - \varepsilon) + \varepsilon \cdot u \cdot \gamma_w\right] \qquad (10.8\text{-}2)$$

όπου:

γ_{gu}	[kN/m^3]	:	το βάρος ανά μονάδα όγκου του συρματοκλωβού βυθισμένου
γ_s	[kN/m^3]	:	το βάρος ανά μονάδα όγκου του λίθου
γ_w	[kN/m^3]	:	το βάρος ανά μονάδα όγκου του νερού
u	[-]	:	το ποσοστό πλήρωσης των κενών με νερό (u=1 όταν ο συρματοκλωβός είναι πλήρως βυθισμένος)

Όταν ο συρματοκλωβός είναι πλήρως βυθισμένος, τότε ενεργούν πλήρως και οι ανωστικές δυνάμεις οπότε η εξίσωση γίνεται:

$$\gamma_{gw} = (\gamma_s - \gamma_w)(1 - \varepsilon) \qquad (10.8\text{-}3)$$

όπου:

γ_{gw} [kN/m^3] : το βάρος ανά μονάδα όγκου του συρματοκλωβού πλήρως βυθισμένου

γ_s [kN/m^3] : είναι το βάρος ανά μονάδα όγκου του λίθου

γ_w [kN/m^3] : είναι το βάρος ανά μονάδα όγκου του νερού

ε [-] : ο λόγος των κενών, ο όγκος των οποίων πρέπει να κυμαίνεται από 30% έως 40% του όγκου του κλωβού. Επιτρέπεται το ποσοστό των κενών να λαμβάνεται ίσο με 20%, όταν αναμένεται ότι αυτά θα γεμίσουν με φερτά υλικά κατά τη διάρκεια της ζωής του έργου.

Η επιτρεπόμενη θλιπτική τάση για τις κατασκευές λιθοπλήρωτων συρματοκλωβών είναι:

γ_s [t/m^3]	σ_{am} [kg/cm^2]
1,4	4,0
1,6	5,0
1,8	6,0
Για ενδιάμεσες τιμές μπορεί να γίνει γραμμική παρεμβολή με τον τύπο $\sigma_{am} = 5\gamma_s - 3$	

Η επιτρεπόμενη διατμητική τάση για τις κατασκευές λιθοπλήρωτων συρματοκλωβών είναι περίπου 20 kg/m^2 για κατασκευές με πάχος από 40 cm έως 100 cm.

Στην περίπτωση που οι κατασκευές είναι βυθισμένες σε νερό στον πυθμένα τότε ως επιτρεπόμενη διατμητική τάση θα λαμβάνεται το μέγεθος

$$\tau_c = C \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m \qquad (10.8\text{-}4)$$

όπου:

τ_c [kN/m^3] : η επιτρεπόμενη διατμητική τάση

C [-] : ο συντελεστής Shields (C= 0,10 για τα συρματοκιβώτια)

d_m [m] : η μέση διάμετρος.

Εάν οι κατασκευές βρίσκονται στις όχθες τότε ως επιτρεπόμενη τάση θα λαμβάνεται το μέγεθος

$$\tau_s = \tau_c \sqrt{1 - \frac{sen^2\theta}{sen^2 41^o}} \qquad (10.8\text{-}5)$$

όπου:

$sen^2\theta = \varepsilon\varphi^2\theta/(1+\varepsilon\varphi^2\theta)$

Η αναπτυσσόμενη διατμητική τάση από τη ροή στον πυθμένα είναι:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot y \cdot i \qquad (10.8\text{-}6)$$

όπου:

τ_b [kN/m^2] : η διατμητική τάση

γ_w [kN/m^3] : το ειδικό βάρος του νερού

y [m/m] : το βάθος του νερού

i [m/m] : η κλίση του πυθμένα

Η αναπτυσσόμενη διατμητική τάση από τη ροή στις όχθες είναι:

$$\tau_m = 0{,}75 \cdot \gamma_w \cdot y \cdot i \qquad (10.8\text{-}7)$$

όπου:

τ_m [kN/m^2] : η διατμητική τάση

10.8.2 Αρχές σχεδιασμού

Οι λιθοπλήρωτοι συρματοκλωβοί κατασκευάζονται ως μεμονωμένα κιβώτια παραλληλεπίπεδες έδρες ή ως διαδοχικοί κλωβοί με ενιαίες εξωτερικές επιφάνειες και εσωτερικά διαφράγματα.

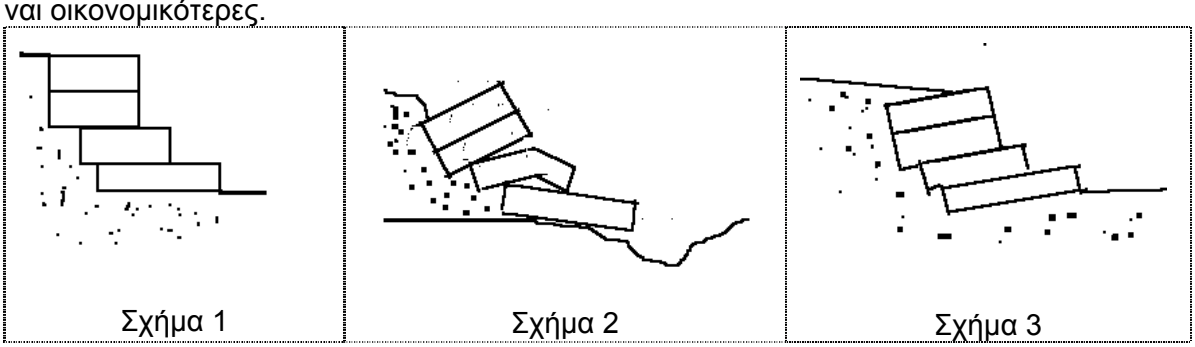
Οι διαστάσεις τους σχεδιάζονται έτσι ώστε τοποθετούμενα το ένα πάνω στο άλλο ή σε επαφή δίπλα το ένα στο άλλο, να σχηματίζουν με ικανοποιητική ακρίβεια τη διατομή του έργου προστασίας. Συνήθως οι διαστάσεις τους σχεδιάζονται έτσι ώστε τελικά να προκύπτει μικρότερη απώλεια (φύρα) σε επιφάνεια πλέγματος, επειδή κάποια κομμάτια του πλέγματος στο κόψιμο δεν μπορούν να αξιοποιηθούν στην κατασκευή. Οι διαστάσεις αυτές προσδιορίζονται από τις διαστάσεις της κουλούρας του πλέγματος που κυκλοφορεί στο εμπόριο, (συνήθεις διαστάσεις πλάτος/μήκος (3 έως 5) / (25 έως 35) m.

Οι διαστάσεις των κιβωτίων πρέπει να είναι πολλαπλάσιες των 50 cm, με βέλτιστες διαστάσεις 50x100x200 cm, ώστε τα κιβώτια να προκύπτουν με κοπή και δίπλωμα του πλέγματος και όχι μόνο με κοπή.

Αν και από πλευράς αντοχής της επένδυσης το πάχος των στρωμάτων μπορεί να είναι μέχρι και 15 cm στην περίπτωση συρματοστρώματος (στρώμνης). Εντούτοις επειδή η συμπεριφορά των χειμάρρων είναι απρόβλεπτη, με μεγάλες αυξήσεις στις ταχύτητες, δε θα πρέπει να επιλέγεται διάσταση πάχους μικρότερη από 50 cm. Ομοίως πάχος ή πλάτος συρματοκιβωτίου με διάσταση μεγαλύτερη από 100 cm πρέπει να αποφεύγεται. Για το λόγο αυτό τα συρματοκιβώτια με πλάτος >100 cm πρέπει να σχεδιάζονται με ενδιάμεσα διαφράγματα ώστε να περιορίζεται η παραμόρφωση τους από το ίδιο βάρος των λίθων.

Η τοποθέτηση των συρματοκιβωτίων καθ΄ ύψος (το ένα πάνω στο άλλο) πρέπει να γίνεται, με τρόπο που να ευνοεί την ευστάθεια προς την κατεύθυνση της μέγιστης φόρτισης. Αυτή η ευστάθεια εκφράζεται κυρίως με την εξασφάλιση του ότι το κέντρο βάρους της κατασκευής θα βρίσκεται πάντα εντός του πυρήνα της επιφάνειας θεμελίωσης, (π.χ. στο μεσαίο 1/3 του πλάτους της) ακόμη και σε συνθήκες υποσκαφής δηλαδή μείωσης της επιφάνειας θεμελίωσης. Για να εξασφαλιστεί αυτό θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε σε περιπτώσεις μεγάλων αναμενόμενων υποσκαφών, οι υποχωρήσεις της θεμελίωσης να προκαλούν μεταπτώσεις της κατασκευής σε σταθερότερες καταστάσεις ισορροπίας. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με προσχεδιασμένες αρνητικές εκκεντρότητες στην κατασκευή οι οποίες στην χειρότερη περίπτωση μηδενίζονται από τις παραμορφώσεις. Τέτοιος σχεδιασμός είναι αυτός που παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα 1, ο οποίος με περίπτωση υποσκαφής δημιουργεί πτώση της κατασκευής προς τα πίσω και όχι προς τη ροή (όπως

το επόμενο σχήμα 2). Μια καλύτερη προσέγγιση είναι αυτή του επόμενου σχήματος 3 που σε περίπτωση υποσκαφής η κατασκευή ολισθαίνει στο σύνολό της χωρίς να ανατραπεί. Λόγω αυτής της δυνατότητας σχεδιασμού η ανάγκη για προστασία με πλήρη κάλυψη της περιοχής όπου αναμένεται η υποσκαφή είναι μειωμένη και συνεπώς οι κατασκευές θα είναι οικονομικότερες.



Ακριβέστερη εκτίμηση του ελάχιστου πάχους της στρώσης της επένδυσης μπορεί να γίνει σε σχέση με την ταχύτητα ροής για διάσταση βρόχου του σύρματος 6x8 cm από τον Πίνακα 10.8-2.

Τύπος	Πάχος [cm]	Λίθοι πλήρωσης		Κρίσιμη ταχύτητα [m/s]	Μέγιστη ταχύτητα [m/s]
		Διάσταση [cm]	Μέση διάμετρος (d_{50}) [cm]		
Στρώματα	30	0,07-0,12	0,100	4,20	5,50
		0,12-0,15	0,125	5,00	6,40
Κιβώτια	50	0,10-0,20	0,150	5,80	7,60
		0,12-0,25	0,190	6,40	8,00

Οι τιμές του πάχους μπορεί να αυξηθούν προκειμένου να χρησιμοποιηθούν λίθοι με μεγαλύτερη διάσταση ώστε να αποκτήσει η κατασκευή μεγαλύτερο βάρος. Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει ο σχεδιασμός της διαβάθμισης των λίθων να μην περιέχει λίθους μεγαλύτερους από το 1/1,2 έως 1/1,5 της ελάχιστης διάστασης του συρματοκιβωτίου.

Η κάθε κατασκευή λιθοπλήρωτων συρματοκλωβών πρέπει να τοποθετείται πάνω σε σταθερό έδαφος είτε πρόκειται για ξηρά κοίτη ή όχθη, είτε πρόκειται για κοίτη με νερό. Η αντοχή του εδάφους θεμελίωσης σε κατακόρυφα φορτία θα καθορίζεται από τη γεωτεχνική μελέτη.

Όταν πρόκειται να εδραστεί η κατασκευή σε κοίτες ή όχθες με νερό τότε πρέπει να εξετάζεται η σταθερότητα των εδαφών σε διατμητική δύναμη εξαιτίας της ροής. Πριν και μετά την τοποθέτηση της επένδυσης. Εάν η επιτρεπόμενη διατμητική είναι μικρότερη από την αναπτυσσόμενη τότε θα απαιτηθεί είτε αύξηση του πάχους της επένδυσης είτε ενδιάμεση στρώση έδρασης (φίλτρο).

Ο μελετητής μπορεί να εφαρμόσει τα ακόλουθα για την εύρεση των διατμητικών τάσεων.

Η χρήση των εξισώσεων 10.8-6 και 10.8-7 δίνει τις αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις όταν το υλικό του εδάφους κοίτης/όχθης είναι αδρόκοκκο.

Όταν το υλικό του εδάφους είναι λεπτόκοκκο, η τροποποιημένη εξίσωση Manning δίνει τις αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις:

$$\tau_{b,c} = \left[\frac{n}{R^{1/6}}\right]^2 \gamma_u \cdot V^2 \qquad (10.8.2\text{-}1)$$

Η επιτρεπόμενη ταχύτητα "*V*" λαμβάνεται από τον επόμενο πίνακα:

Υλικό κοίτης (πυθμένας – όχθες)	Επιτρεπόμενη ταχύτητα [m/s]		Κατά προσέγγιση συνιστώμενες τιμές διατμητικών τάσεων [kg/m^2]
	ροή χωρίς φορτίο σε αιώρηση	ροή με φορτίο σε αιώρηση	
Λεπτόκοκκη άμμος	0,45	0,75	-
Χονδρή άμμος	0,75	1,05	0,05 έως 0,10
Χάλικες (από 1 έως10 cm)	1,20	1,85	0,10 έως 1,00
Στιφρή άργιλος	1,85	1,85	-

Τα λοιπά μεγέθη της εξίσωσης είναι όπως ακριβώς ορίζονται στην υδραυλική, δηλαδή:

η [m$^{-1/3}$·s] : ο συντελεστής τραχύτητας

R [m] : η υδραυλική ακτίνα

γ [kg/m^3] : το ειδικό βάρος του νερού

Η εκτίμηση της αναπτυσσόμενης ταχύτητας κάτω από την επένδυση για τον σχεδιασμό του φίλτρου μπορεί να γίνει σύμφωνα με τα επόμενα:

Η επιτρεπόμενη ταχύτητα *Ve* υπολογίζεται ανάλογα με τη συνεκτικότητα των εδαφών.

- Για συνεκτικά εδάφη από τον επόμενο πίνακα:

Υλικό κοίτης (πυθμένας – όχθες)	Λόγος κενών του υλικού της κοίτης (εξαρτάται από τη συμπύκνωση)	Επιτρεπόμενη ταχύτητα *Ve* [m/s]
Αργιλοαμμώδες με περιεκτικότητα σε άμμο <50%	0,2 έως 0,4	2,2 έως 1,3
	0,4 έως 0,7	1,3 έως 1,0
	0,7 έως 1,5	1,0 έως 0,6
	1,5 έως 2,0	0,6 έως 0,3
Αργιλώδες με μικρό ποσοστό αργίλου	0,2 έως 0,4	1,5 έως 1,1
	0,4 έως 0,7	1,1 έως 0,8
	0,7 έως 1,5	0,8 έως 0,5
	1,5 έως 2,0	0,5 έως 0,3

- Για τα χαλαρά εδάφη από την ακόλουθη εξίσωση :

$$V_e = 16{,}1 \cdot d^{1/2} \qquad (10.8.2\text{-}2)$$

Τέλος υπολογίζεται η απομένουσα ταχύτητα στον πυθμένα από την εξίσωση:

$$V_b = (1/n)[d_m/2]^{2/3} i \cdot V^{1/2} \qquad (10.8.2\text{-}3)$$

όπου:

η [$m^{-1/3}$·s] : ο συντελεστής τραχύτητας λαμβάνεται από 0,020 έως 0,030

V [m/s] : η ταχύτητα ροής στο υδατόρεμα,

Ελέγχεται εάν $2V_e < V < 4V_e$

Η ταχύτητα μέσα από τον όγκο των λίθων στο συρματοκλωβό εκτιμάται από την εξίσωση

$$V_v = \left(\frac{Q}{y}\right)\left(\frac{1+e}{e}\right) \qquad (10.8.2\text{-}4)$$

όπου:

Q [m^3/s] : η παροχή

y [m] : το βάθος

e [-] : ο λόγος των κενών

Ο σχεδιασμός της κλίσης των πρανών της όχθης που πρόκειται να επενδυνθεί μπορεί να έχει τις ελάχιστες τιμές του επόμενου Πίνακα:

Τύπος εδάφους	Κλίση πρανών – υ:β
Στιφρή άργιλος	1:1,00 έως 1:1,25
Αργιλοαμμώδες	1:1,25 έως 1:1,50

Σε χαλαρά εδάφη χωρίς συνοχή ή και με οργανικές προσμίξεις θα πρέπει οι κλίσεις να σχεδιάζονται ηπιότερες, με ελάχιστη τιμή υ:β=1:3 ενώ σε ημιβραχώδη και βραχώδη εδάφη οι κλίσεις μπορούν να αυξηθούν με μέγιστη τιμή 1:0,20 μετά όμως από διερεύνηση της ευστάθειας τους χωρίς επένδυση.

10.8.3 Ειδικοί έλεγχοι για το σχεδιασμό

Ο έλεγχος παραμόρφωσης από τη φόρτιση των διατμητικών τάσεων της ροής γίνεται όταν $\tau_b < 1{,}2\ \tau_c$

Υπολογίζεται αρχικά ο συντελεστής (ενεργός παράμετρος) Shields C από τις ακόλουθες εξισώσεις:

Για τον πυθμένα $C' = (\tau_b - \tau_c) / (\gamma_s - \gamma_w)\, d_m$ (10.8.3-1)

Για τις όχθες $C' = (\tau_m - \tau_c) / (\gamma_s - \gamma_m)\, d_m$ (10.8.3-2)

Με την προκύπτουσα τιμή του C' ευρίσκεται κατά προσέγγιση η παράμετρος παραμόρφωσης $\Delta z/dm$ από τον ακόλουθο πίνακα:

C'	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,001

$\Delta z/d_m$	1,65	1,61	1,55	1,50	1,35	1,18	0,90	0,02

Θα πρέπει να είναι πάντοτε $\Delta z/dm < 2\ (t/dm - 1)$, (10.8.3-3)

όπου:

t [m] : το πάχος της επένδυσης

Ο έλεγχος σε ολίσθηση θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$\Sigma H < \Sigma N \cdot \tan \varphi$ (10.8.3-4)

όπου ΣH είναι η συνισταμένη των οριζοντίων δυνάμεων οι οποίες ορίζονται ως ακολούθως:

Υδροστατικές πιέσεις $H = (1/2)\ \gamma_w\ h^2$ (10.8.3-5)

Ωθήσεις εδάφους $H = (1/2)\ \gamma_{tw}\ h^2\ K_\alpha$, (10.8.3-6)

όπου $K_\alpha = \tan^2(\pi/4 - \varphi/2)$

Υδροδυναμικές πιέσεις $H = f(Q,V,\rho)$ (10.8.3-7)

Ο συντελεστής ευστάθειας έναντι ολίσθησης εκφράζεται από τη σχέση:

$S_s = \Sigma N \cdot \tan \varphi / \Sigma H$ (10.8.3-8)

και πρέπει να είναι $S_s < 1,3$

<u>Έλεγχος σε άνωση</u>. Ο συντελεστής ευστάθειας σε άνωση πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$S_g = (\gamma_{gt}\ t + \gamma_w\ h) / p < 1,2$ (10.8.3-9)

Σε αυτή τη σχέση "p" είναι η υδροστατική πίεση στον πυθμένα της κατασκευής, "h" το βάθος του νερού και "t" το πάχος της επένδυσης.

<u>Έλεγχος ευστάθειας σε ανατροπή</u>. Ο έλεγχος ευστάθειας στις ροπές ανατροπής πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$\eta = M_{\varepsilon\upsilon\sigma\tau}/M_{\alpha\nu} > 1,2$ (10.8.3-10)

<u>Αναπτυσσόμενη τάση εφελκυσμού στο πλέγμα</u>. Σε σχέση με τις διαστάσεις του πλέγματος και της διαμέτρου του σύρματος η μέγιστη δύναμη που μπορεί να παραληφθεί ανά μέτρο πλάτους του πλέγματος (με εξαγωνικούς βρόχους) είναι:

$$F = 2\cos 45^o \cdot (f/k) \cdot (\pi/4) \cdot t^2 \quad (10.8.3\text{-}11)$$

όπου:

f [kN/m^2] : η επιτρεπόμενη τάση του σύρματος

k [m] : η διάσταση (άνοιγμα) των βρόγχων στην παράλληλη διεύθυνση με τη ροή

t [m] : η διάμετρος του σύρματος

10.8.4 Υλικά συρματόπλεκτων κλωβών

Οι κλωβοί θα κατασκευάζονται ως ορθογώνια παραλληλεπίπεδα με συρματόπλεγμα και θα πληρούνται με αργούς λίθους. Οι κλωβοί θα είναι δύο τύπων:

α. Μη αποπλεκώμενου πλέγματος διπλής περιστροφής, εξαγωνικού βρόχου, που θα αποτελείται από δύο σύρματα συνεστραμμένα με δύο στροφές 180º

β. Συγκολλητού πλέγματος – ηλεκτροσυγκολλημένο πλέγμα συρμάτων, σε σχήμα ορθογωνίων παραλληλεπιπέδων με σταθερή συγκόλληση σε κάθε διασταύρωση. Οι συγκολλήσεις θα πληρούν τις προδιαγραφές ASTM A 185, περιλαμβανομένου και του μικρότερου σύρματος με διάμετρο 3 mm. Επιπλέον οι συγκολλήσεις θα έχουν μέση διατμητική αντοχή στο 70% και ελάχιστη διατμητική αντοχή στο 60% της ελάχιστης εφελκυστικής αντοχής του σύρματος.

Οι συρματόπλεκτοι κλωβοί θα είναι μορφής κιβωτίων (συρματοκιβώτια) ή στρωμάτων (συρματοστρώματα), σύμφωνα με τα σχέδια της μελέτης. Τα συρματοκιβώτια θα έχουν ύψος ελάχιστο 30 cm και μέγιστο 100 cm. Τα συρματοστρώματα θα έχουν ύψος μέγιστο 30 cm και ελάχιστο 15 cm. Τα κιβώτια και τα στρώματα θα κατασκευάζονται με ανοχή στις διαστάσεις τους ± 5% εκτός από το ύψος των στρωμάτων όπου η ανοχή θα είναι ± 10%.

Οι συρματοκλωβοί θα συναρμολογούνται και εγκαθίστανται σύμφωνα με τις οδηγίες του βιομηχανικού κατασκευαστή.

Το σύρμα των συρματοκλωβών θα είναι γαλβανισμένο εν θερμώ. Το σύρμα θα έχει ελάχιστη εφελκυστική αντοχή 420 MPa. Το γαλβανσιμένο χαλύβδινο σύρμα θα συμμορφώνεται με ASTM A 641, Class 3, Soft Temper.

Οι σπειροειδείς συνδετήρες θα είναι πρότυποι σύνδεσμοι για ηλεκτροσυγκολλημένα κιβώτια και στρώματα και θα αποτελούνται από σύρμα της ίδιας ποιότητας και πάχους γαλβανίσματος, όπως οι κλωβοί. Εναλλακτικοί συνδετήρες, οι οποίοι μπορεί να χρησιμοποιούνται, όπως συνδετήρες τύπου δακτυλίου, θα κατασκευάζονται από σύρμα με τις ίδιες απαιτήσεις ποιότητας και γαλβανίσματος όπως τα κιβώτια και στρώματα. Στα κιβώτια ή στρώματα με επένδυση PVC, οι συνδετήρες τύπου δακτυλίου θα είναι από ανοξείδωτο χάλυβα ή από σπειροειδείς συνδετήρες με επένδυση PVC. Όλοι οι συνδετήρες θα υπακούουν στις απαιτήσεις του κατασκευαστή συρματοκλωβών.

Οι διαστάσεις του βρόχου και της διαμέτρου του σύρματος και ο αριθμός διαφραγμάτων προσδιορίζονται σύμφωνα με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του έργου που κατασκευάζεται και επιλέγονται κάθε φορά από τους καταλόγους προϊόντων του προμηθευτή.

Η ελάχιστη επένδυση με PVC θα είναι 0,5 mm και του γαλβανίσματος 3 g/cm^2.

Η επένδυση του σύρματος θα είναι χρώματος μαύρου, γκρι, πράσινου ή αργυρώδους και οι αρχικές ιδιότητες της επένδυσης PVC θα συμφωνούν με:

- ειδικό βάρος: μεταξύ 1,25 και 1,35 της ASTM D 792,
- αντοχή σε τριβή: το ποσοστό της απώλειας βάρους θα να μικρότερο από 12% όταν δοκιμάζεται σύμφωνα με ASTM D 1242, Μέθοδος B στους 200 κύκλους, CSI – Abrader Tape, 80 Grit,
- θερμοκρασία θρυμματισμού: Μικρότερη από 15oF σύμφωνα με ASTM D 746,
- αντοχή σε εφελκυσμό: Για την εξελασσόμενη επένδυση μεγαλύτερη από 21 MPa σύμφωνα με ASTM D 412. Για την επένδυση με σύντηξη μεγαλύτερη από 16 MPa (ASTM D 638),

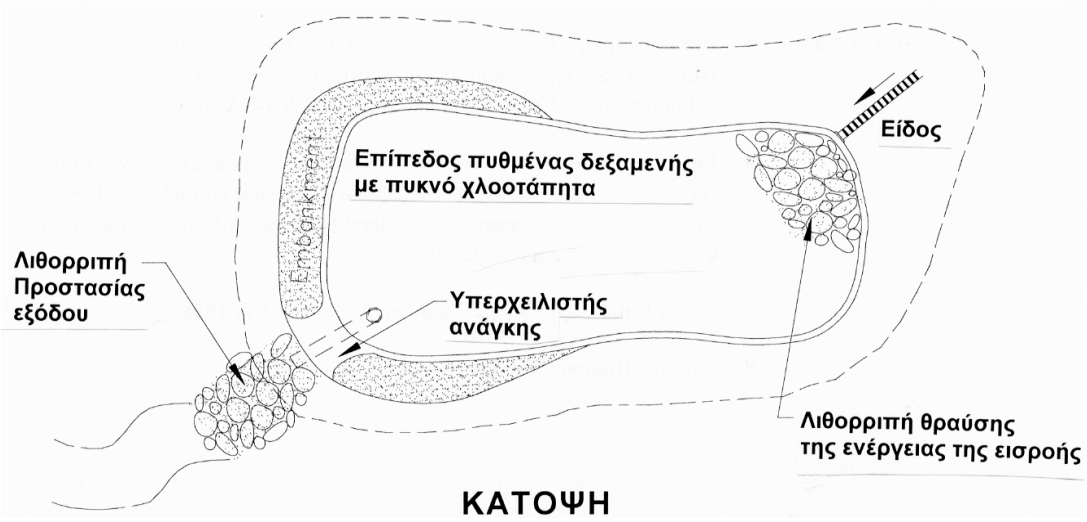
- μέτρο Ελαστικότητας: Για την εξελασσόμενη επένδυση μεγαλύτερο από 2 700 PSI στο 100% της φόρτισης. Για την επένδυση με σύντηξη μεγαλύτερο από 14 MPa στο 100% της φόρτισης,
- έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία: δοκιμαστική περίοδος μεγαλύτερη από 3 000 h, με χρήση συσκευής Τύπου Ε στους 63°C σύμφωνα με ASTM G 23,
- έλεγχος αντοχής σε άλατα: δοκιμαστική περίοδος μεγαλύτερη από 3 000 h σύμφωνα με ASTM B 117.

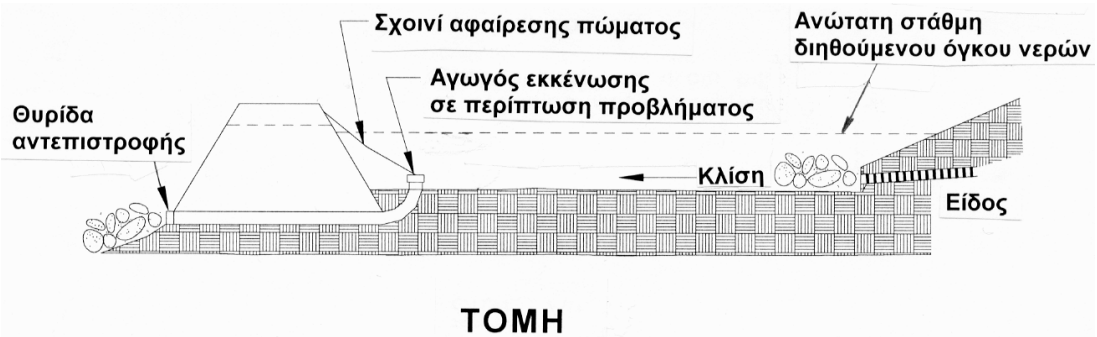
Οι διαστάσεις των χρησιμοποιούμενων λίθων θα ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του βιομηχανικού κατασκευαστή.

11. ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ

11.1 Ορισμός και Σκοπός

Μια δεξαμενή διήθησης σχεδιάζεται ως διάταξη που έχει σκοπό την απομάκρυνση ρύπων από τις επιφανειακές απορροές. Αυτό επιτυγχάνεται με τη σύλληψη του όγκου της απορροής την καθοδήγησή της σε θέση όπου με τη διαδικασία της διήθησης, η οποία πρέπει να ολοκληρώνεται πριν από το επόμενο συμβάν σημαντικής βροχόπτωσης, διαχωρίζονται από τα νερά και κατακρατούνται οι ρύποι. Οι κύριες λειτουργίες των δεξαμενών διήθησης είναι η απομάκρυνση των ρύπων από την απορροή των ομβρίων οι οποίες τοποθετούνται σε θέσεις όπου το έδαφος έχει τις κατάλληλες συνθήκες για την ανατροφοδότηση ή επαναπλήρωση του υπόγειου ορίζοντα. Επιπλέον οι δεξαμενές διήθησης μπορεί ουσιαστικά να απομειώνουν το συνολικό ετήσιο όγκο της επιφανειακής απορροής, η οποία μπορεί να ελαττώνει τη διάβρωση των πρανών των ρεμάτων και άλλες αντίξοες επιπτώσεις στο ποτάμιο οικοσύστημα από την απορροή ενός οδικού έργου.





Σχήμα 11-1: Σχηματική διάταξη δεξαμενής διήθησης

11.2 Καταλληλότητα Εφαρμογής

Οι δεξαμενές διήθησης πρέπει να χρησιμοποιούνται όταν:

- η απορροή από ένα οδικό έργο θα επιβαρύνει σημαντικές εκτάσεις υψηλής οικοσυστήματος πολιτιμότητας, το οποίο είναι διαπιστωμένο στον κατάλογο των προστατευομένων υδάτινων πόρων, και
- η απορροή από το οδικό έργο θα αποτελεί ένα σημαντικό μέρος (περισσότερο από 10%) της συνολικής ροής ενός τέτοιου οικοσυστήματος,

Η καταλληλότητα της χρήσης των δεξαμενών διήθησης προκύπτει σε σχέση με τα εξής:

- Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο όταν το υπέδαφος είναι υψηλής διαπερατότητας και το βάθος του υπόγειου ορίζοντα είναι επαρκές για να επιτρέπεται η διήθηση και όπου η ρύπανση του υπόγειου ορίζοντα δεν αναμένεται να έχει ενδιαφέρον.
- Είναι αποτελεσματικές όταν απαιτείται η απομάκρυνση ενός μεγάλου όγκου σωματιδίων και διαλυμένων ρυπαντών. Οι ρυπαντές απομακρύνονται με διήθηση δια της κατακράτησης από τον εδαφικό μανδύα. Εάν αυτές έχουν κατάλληλα σχεδιασθεί, τότε πολύ μικρό μέρος της ρύπανσης κατεισδύει σε βάθος περισσότερο από 500 mm κάτω από τον πυθμένα της δεξαμενής.
- Είναι συνήθως περισσότερο αποτελεσματικές για αποχετευόμενες επιφάνειες μικρότερες από 20 στρέμματα και όπου το έδαφος είναι πορώδες, εκτός αν χρησιμοποιούνται πολλαπλές δεξαμενές.
- Μπορεί να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με δεξαμενές κατακράτησης για τη διαχείριση της ροής της αιχμής. Αυτός ο τύπος των εγκαταστάσεων είναι χρήσιμος για να παρέχει τον έλεγχο αποθήκευσης της πλημμύρας και ουσιαστικά οφέλη για την ποιότητα του νερού με τη διήθηση του πρώτου όγκου της απορροής ο οποίος περιλαμβάνει και το μεγαλύτερο μέρος του ρυπαντικού φορτίου το οποίο είναι συγκεντρωμένο σε σχετικά μικρό μέρος του συνολικού όγκου της απορροής.
- Τυπική εφαρμογή σε οδικά έργα προσφέρεται να γίνεται: μέσα στις εκτάσεις μεγάλων ανισόπεδων κόμβων, σε επιμήκεις δεξαμενές παράλληλα με την οδό (συνιστάται να δημιουργούνται με σημαντική διαπλάτυνση της κεντρικής νησίδας), ή σε ειδικά προβλεπόμενες εκτάσεις μέσα στο εύρος απαλλοτρίωσης της οδού.

11.3 Περιορισμοί Εφαρμογής

- Η εφαρμογή δεξαμενών διήθησης υπόκειται σε ορισμένους περιορισμούς που προκύπτουν από τα εξής: μπορεί να χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά μόνο όπου το έδαφος είναι πορώδες και μπορεί να διηθεί την απαιτούμενη ποσότητα ομβρίων από συμβάντα βροχόπτωσης 24 έως 48 ωρών.
- Απαιτείται μια ελάχιστη στάθμη πυθμένα προκειμένου αυτός να βρίσκεται τουλάχιστον 1,2 m πάνω από τον υπόγειο ορίζοντα, λαμβάνοντας υπόψη την υψηλότερη πιθανή στάθμη του τελευταίου.

- Πολύ χονδρόκοκκα χαλικώδη εδάφη επιτρέπουν απομάκρυνση μικρού όγκου των διαλυμένων ρυπαντών, γεγονός που μπορεί να αυξάνει τον κίνδυνο ρύπανσης του υπόγειου ορίζοντα.
- Μπορεί να μην είναι η κατάλληλη λύση κοντά σε πηγάδια πόσιμου νερού, θεμελιώσεις, σηπτικούς βόθρους, αποστραγγιζόμενες εκτάσεις, ασταθή πρανή, ή επάνω σε εκτάσεις επιχωμάτων ή επιφάνειες ισχυρών κλίσεων, λόγω της πιθανότητας προβλημάτων από διαρροές.
- Μπορεί να μην είναι κατάλληλες όπου υπάρχει σημαντική πιθανότητα από διαρροή επικίνδυνων χημικών ουσιών.
- Συνήθως αποτυγχάνουν στη λειτουργία τους όταν δέχονται υψηλά φορτία φερτών υλικών. Ως εκ τούτου αυτές οι δεξαμενές θα πρέπει να μη χρησιμοποιούνται παρά μόνο σε σημεία όπου προηγείται η σταθεροποίηση της ανάντη παροχής.
- Οι ανάγκες συντήρησης των δεξαμενών είναι μεγάλες επειδή απαιτούνται συχνές επιθεωρήσεις.
- Απαιτείται ειδική φροντίδα κατά τη διάρκεια της κατασκευής προκειμένου να διατηρηθεί η διαπερατότητα του εδάφους. Βαρύς εξοπλισμός και μηχανήματα της κατασκευής προκαλούν συμπύκνωση του εδάφους και ελαττώνουν τη διαπερατότητα όταν αυτά διέρχονται πάνω από την επιφάνεια του χώρου της δεξαμενής.

11.4 Οδηγίες Σχεδιασμού

Η φυσική καταλληλότητα της έκτασης για την κατασκευή δεξαμενών διήθησης θα πρέπει να αξιολογείται ανάλογα με τα γενικά κριτήρια σχεδιασμού:

- Πρέπει να σχεδιάζονται για να συλλαμβάνεται, να αποθηκεύεται και να διηθείται ο όγκος των νερών κατά προτίμηση ως μια διάταξη εκτός γραμμής. Ο όγκος των νερών που πρέπει να δέχεται και να επεξεργάζεται η δεξαμενή πρέπει να είναι ισοδύναμος και κατ' ελάχιστο ίσος με την ποσότητα της απορροής σχεδιασμού. Μπορεί να απαιτείται επιπρόσθετος όγκος αποθήκευσης για θέσεις όπου η εκτός γραμμής τοποθέτηση της δεξαμενής είναι ανέφικτη λόγω φυσικών ή υδραυλικών περιορισμών
- Πρέπει να τοποθετούνται σε χαμηλότερο επίπεδο από τη στάθμη του οδοστρώματος για να αποφεύγεται η διήθηση προς τη δομική κατασκευή του οδοστρώματος και της έδρασης αυτού.
- Μπορεί να απαιτούνται διατάξεις απόσβεσης της ενέργειας της ροής για τη μείωση της πιθανότητας διαβρώσεων.
- Απαιτείται μια εκτεταμένη γεωτεχνική έρευνα για να προσδιορισθεί η στρωματογραφία και η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους έδρασης των δεξαμενών. Η έρευνα θα πρέπει να περιλαμβάνει επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας αντί των εργαστηριακών δοκιμών. Η παρουσία λεπτόκοκκων υλικών μπορεί να απομειώνει ουσιαστικά τη διαπερατότητα του εδάφους.
- Κατ΄ ελάχιστο απαιτείται μια δειγματοληψία εδάφους ανά 500 m^2 της επιφάνειας της δεξαμενής και σε καμιά περίπτωση λιγότερο από τρία δείγματα για κάθε δεξαμενή.

Κάθε εδαφικό δείγμα θα πρέπει να εκτείνεται τουλάχιστον σε βάθος 3 m κάτω από τη στάθμη του προβλεπόμενου πυθμένα δεξαμενής, ώστε να διασφαλίζεται ότι θα φτάνει κάτω από τη στάθμη του υπόγειου ορίζοντα. Παράλληλα θα πρέπει να συλλέγονται και αξιολογούνται στοιχεία από άλλες γεωτρήσεις και πηγάδια της περιοχής σχετικά με τις στάθμες του υπόγειου ορίζοντα.

- Καταλληλότητα του εδάφους: θα πρέπει να χρησιμοποιούνται χονδρόκοκκα εδάφη με μικρή αναλογία σε οργανικά υλικά. Εδάφη με περιεκτικότητα σε άργιλο ≥30% ή με περιεκτικότητα σε ιλίες/άργιλο ≥40% δε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Στις δεξαμενές διήθησης δε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται υλικά επιχώσεων ούτε αυτές να τοποθετούνται επάνω σε γαιώδη επιχώματα, όμως υλικά επιχωμάτων είναι αποδεκτά για την κατασκευή των αναβαθμών στην περίμετρο των δεξαμενών.
- Βάθος υπόγειου ορίζοντα: η στάθμη του πυθμένα των δεξαμενών διήθησης θα πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον 1,2 m πάνω από τη στάθμη του υψηλότερου εποχιακού ορίζοντα.
- Πρέπει να διατίθεται μια έξοδος με υπερχείλιση ώστε να περιορίζεται ο κίνδυνος της υπερπλήρωσης της δεξαμενής.
- Εγγύτητα με πηγάδια πόσιμου νερού, σηπτικούς βόθρους, αποστραγγιζόμενες εκτάσεις, θεμελιώσεις κτιρίων: η εγγύτητα των δεξαμενών με άλλες κατασκευές και εγκαταστάσεις θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη λόγω των συνεπειών από ενδεχόμενη διαβροχή τους και την πιθανή βλάβη:
  - Προβλέπεται μια ελάχιστη απόσταση 30 m μεταξύ δεξαμενών διήθησης και πηγαδιών, σηπτικών βόθρων, αποστραγγιζόμενων εκτάσεων και πηγών που χρησιμοποιούνται για δημόσια χρήση.
  - Οι δεξαμενές θα πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον 6 m κατάντη και 30 m ανάντη από θεμελιώσεις κτιρίων.
  - Θα πρέπει να ενημερώνονται τοπικές υπηρεσίες και να λαμβάνονται κατάλληλες υποδείξεις από γεωτεχνικό μηχανικό για επιπλέον απαιτήσεις.
- Κλίση επιφάνειας: Οι δεξαμενές θα πρέπει να τοποθετούνται σε επιφάνειες με κλίσεις μέχρι 15%. Η εγκατάσταση σε ισχυρότερες κλίσεις αυξάνει την πιθανότητα της διαρροής του νερού από το υπέδαφος της δεξαμενής προς χαμηλότερες περιοχές και ελαττώνει την ποσότητα του νερού η οποία στην πραγματικότητα διηθείται.
- Η διηθητικότητα του εδάφους πριν από την κατασκευή της δεξαμενής θα πρέπει να ελέγχεται και διαπιστώνεται ότι κυμαίνεται μεταξύ 7,6 mm/h και 100 mm/h.
- Το έδαφος της περιοχής εγκατάστασης των δεξαμενών θα πρέπει να έχει μέγιστη περιεκτικότητα σε άργιλο 30% και ελάχιστη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων 5 meq που θα πρέπει να προσδιορίζονται από γεωτεχνικό μηχανικό.
- Βραχώδης ή άλλη μη διαπερατή στρώση εδάφους δεν πρέπει να βρίσκεται πλησιέστερα από 1,2 m κάτω από τη στάθμη του πυθμένα της δεξαμενής.
- Μετά την ολοκλήρωση των αρχικών εκσκαφών, τα πρανή της δεξαμενής και των οποιωνδήποτε επιχωμάτων καθώς και οι έξοδοι στα κατάντη θα πρέπει να

σταθεροποιούνται για να εμποδίζεται η πρόσχωση της δεξαμενής. Όταν έχει διασφαλισθεί ότι επιτυγχάνεται η κατακράτηση των φερτών υλικών (με δεξαμενές κατακράτησης) από την απορροή όλων των επιφανειών που θα συνεισφέρουν στη δεξαμενή διήθησης, τότε θα πρέπει να ολοκληρώνεται η εκσκαφή της δεξαμενής στην τελική της στάθμη. Το στόμιο εισόδου στη δεξαμενή θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να εμποδίζεται η διάβρωση. Η διάβρωση θα πρέπει να ελέγχεται με την εγκατάσταση προστατευτικών διατάξεων θραύσης της ενέργειας της ροής.

- Θα πρέπει να εξετάζονται οι επιπτώσεις στον τοπικό υπόγειο ορίζοντα περιλαμβανομένης της πιθανότητας αναπλήρωσης και βελτίωσης της ποιότητας του νερού.
- Διαστασιολόγηση δεξαμενών διήθησης: Ο βαθμός της επεξεργασίας που επιτυγχάνεται σε μια δεξαμενή διήθησης είναι μια συνάρτηση του όγκου των ομβρίων που συλλαμβάνονται και διηθούνται στη διάρκεια του χρόνου.

  Προσδιορίζεται ο συλλαμβανόμενος όγκος σχεδιασμού. Χρησιμοποιώντας την τιμή διηθητικότητας του εδάφους με συνθήκες κορεσμού (όπως αυτή προσδιορίζεται από το γεωτεχνικό μηχανικό), προσδιορίζεται η επιφάνεια του πυθμένα της δεξαμενής για να διηθείται ο συλλαμβανόμενος όγκος 24ωρου π.χ.

  $A_R = V/(24\ I_{sat})$ (11.4-1)

  όπου:

A_R	[m^2]	:	απαιτούμενη επιφάνεια πυθμένα δεξαμενής
V	[m^3]	:	παροχή σχεδιασμού
I_{sat}	[m/h]	:	διηθητικότητα εδάφους κορεσμένου από υγρασία
24	[h]	:	απαιτούμενος χρόνος εκκένωσης της δεξαμενής με τη διαδικασία της διήθησης

- Η επιμήκυνση του χρόνου διήθησης πέραν των 48ωρων δεν θα πρέπει να επιτρέπεται προκειμένου να αποφεύγεται η ανάπτυξη ελών.
- Συνιστάται η ενσωμάτωση τάφρων περιπορείας ή διατάξεων υπερχειλιστού σε περίπτωση εξαιρετικών συμβάντων βροχοπτώσεων ή η κατασκευή αποθηκευτικού χώρου σε ανώτερη στάθμη πάνω από τη στέψη της δεξαμενής διήθησης.
- Χωρητικότητα: ο μέγιστος στόχος είναι η διαστασιολόγηση των δεξαμενών ώστε να συλλαμβάνουν τη συνολική απορροή από ένα συμβάν βροχόπτωσης σχεδιασμού.

Τα βασικά δεδομένα για τον αναλυτικό σχεδιασμό είναι:

- η προσερχόμενη ροή αιχμής και το υδρογράφημα
- η τιμή της διαθέσιμης διηθητικής ικανότητας
- η σχέση σταδιακής αποθήκευσης της δεξαμενής.

Η διαδικασία σχεδιασμού συντίθεται από τον καθορισμό της σχέσης εισροή/αποθήκευση/εκροή και την αναπροσαρμογή του όγκου αποθήκευσης και τα χαρακτηριστικά εκροής μέχρις ότου οι στόχοι σχεδιασμού επιτευχθούν. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η εκροή σταθεροποιείται από τις ανάντη συνθήκες, και η εκροή καθορίζεται

από τους στόχους σχεδιασμού. Τότε ο σκοπός της ανάλυσης είναι να προσδιοριστεί ο κατάλληλος τύπος δεξαμενής, ο όγκος αποθήκευσης και η διάταξη εκροής. Οι δεξαμενές διήθησης με χωρητικότητα μικρότερη από εκείνη η οποία μπορεί να αποθηκευθεί για την επεξεργασία του όγκου που προκύπτει από ένα συμβάν της βροχόπτωσης σχεδιασμού μπορεί να είναι αποδεκτές υπό της εξής συνθήκες:

α. δεν είναι διαθέσιμη στη ζώνη απαλλοτρίωσης επαρκής έκταση, ή δεν είναι εφικτή η απόκτηση της για την αποθήκευση του απαιτούμενου όγκου,

β. μετά από επιτόπου ανάλυση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Κάτω από τις προηγούμενες συνθήκες, η ελάχιστη χωρητικότητα που συνιστάται είναι εκείνη η οποία συλλαμβάνει τουλάχιστον ποσοστό 80% από την απορροή της συνολικής αποχετευόμενης επιφάνειας.

Άλλα μεγέθη χωρητικότητας τα οποία θα μπορεί να επιτρέπουν τη σύλληψη ποσότητας μεγαλύτερης από 80% της συνολικής απορροής μέχρις εκείνης που προβλέπεται προς επεξεργασία από ένα συμβάν της βροχόπτωσης σχεδιασμού, μπορεί να γίνονται αποδεκτά εφόσον στη διαθέσιμη ζώνη απαλλοτρίωσης υπάρχει κατάλληλος χώρος ή από επιτόπου ειδική ανάλυση δικαιολογείται η ικανότητα επεξεργασίας μεγαλύτερης ποσότητας.

- Για την είσοδο οχημάτων συντήρησης μέσα στη δεξαμενή πρέπει να υπάρχουν ειδικές προσβάσεις.
- Οι δεξαμενές μπορεί να επενδύονται με στρώση υλικού φίλτρου πάχους 150-300 mm όπως είναι η χονδρόκοκκη άμμος που εμποδίζει την έμφραξη στα διαπερατά στρώματα της επιφάνειας του φυσικού εδάφους. Για την αύξηση της διαπερατότητας αργιλωδών εδαφών, μπορεί να προδιαγράφεται η κατασκευή στρώσης χονδρόκοκκων οργανικών υλικών πάχους 150 mm, όμως η προσπάθεια αύξησης της διαπερατότητας δε συνιστάται.
- Όσο είναι δυνατό, τα περιμετρικά πρανή και ο πυθμένας της δεξαμενής θα πρέπει να σταθεροποιούνται. Η σταθεροποίηση με εφαρμογή μέτρων που περιλαμβάνουν φύτευση ή μη των πρανών της δεξαμενής ελαχιστοποιεί τη διάβρωση και ελέγχει τη δημιουργία κονιορτού. Όπου φυτεύεται ο πυθμένας της δεξαμενής επιτυγχάνεται παράλληλα η ελάττωση της τάσης για έμφραξη του από λεπτόκοκκα στερεά. Όπου είναι δυνατό θα πρέπει να χρησιμοποιείται γηγενής βλάστηση που απαιτεί λιγότερη εντατική συντήρηση και προσφέρει μικρότερη πιθανότητα να δημιουργούνται προβλήματα. Η σχεδίαση της φύτευσης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες συχνής πρόσβασης στα σημεία όπου διατάσσονται οι κατασκευές εισροής και εκροής. Επίσης, μια σταθεροποιημένη ζώνη πλάτους τουλάχιστον 6 m θα πρέπει να προβλέπεται γύρω από τη δεξαμενή για την προστασία από διάβρωση και κατάρρευση.

11.5 Ειδικά Κατασκευαστικά Θέματα

- Ειδικά προστατευτικά μέτρα πρέπει να λαμβάνονται για την αλληλουχία των εργασιών, των πρακτικών και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται προκειμένου να προστατεύεται η ικανότητα της φυσικής διηθητικότητας του εδάφους. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ελαφρύς εξοπλισμός και διαδικασίες κατασκευής οι οποίες ελαχιστοποιούν τη συμπύκνωση του εδάφους. Η δεξαμενή θα πρέπει να

οριοσημαίνεται ώστε να διασφαλίζεται ότι τα βαριά μηχανήματα δε θα προσεγγίζουν, τόσο κατά τη διάρκεια των εργασιών όσο και μετά κατά τις εργασίες συντήρησης.

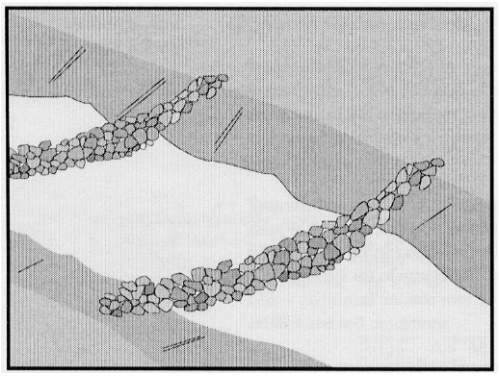
- Δε θα επιτρέπεται η είσοδος ομβρίων στη δεξαμενή έως ότου ολοκληρωθεί η κατασκευή της αλλά και σταθεροποιηθεί επαρκώς η συνεισφέρουσα σε αυτήν αποχετευόμενη επιφάνεια. Εάν σε ιδιαίτερες περιπτώσεις δεν είναι εφικτή η τήρηση των προαναφερομένων, τότε δεν πρέπει να γίνονται οι εκσκαφές για τη δεξαμενή μέχρι την τελική της στάθμη παρά μόνο μετά από την ολοκλήρωση των κατασκευών στα ανάντη της δεξαμενής.
- Εάν το φυσικό έδαφος είναι πολύ διαπερατό τότε θα πρέπει να ενσωματώνονται στην κατασκευή κατάλληλα υλικά ώστε να εμποδίζεται η δυνατότητα διαρροών.

11.6 Συντήρηση και Επιθεώρηση

Ο κύριος στόχος των δραστηριοτήτων της συντήρησης/επιθεώρησης είναι να διασφαλίζεται ότι η δεξαμενή θα συνεχίσει να λειτουργεί όπως σχεδιάσθηκε και ότι ουσιαστικά θα επιμηκύνεται το χρονικό διάστημα μεταξύ των απαιτούμενων σημαντικών ανακατασκευών.

- Τα πρανή της δεξαμενής θα πρέπει να συντηρούνται όπως απαιτείται ώστε να βελτιώνεται η κάλυψη τους με πυκνή βλάστηση με βαθύριζα φυτά, η οποία βελτιώνει τη διήθηση και στην επιφάνεια των πρανών, εμποδίζει τη διάβρωση και την κατά συνέπεια πρόσχωση του πυθμένα της δεξαμενής, αλλά και εμποδίζει την ανάπτυξη ακατάλληλων φυτών.

12. ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΤΑΦΡΟΥΣ



12.1 Ορισμός και Σκοπός

Τα φράγματα ανάσχεσης ταχύτητας ροής είναι μικρές κατασκευές από λίθους, αμμόσακκους ή κλαδοδέματα που τοποθετούνται εγκαρσίως σε ένα φυσικό ρέμα ή τεχνητό κανάλι ή αποχετευτική τάφρο. Σκοπός αυτών των φραγμάτων είναι να ελαττώνεται η διάβρωση με την υποβάθμιση της ταχύτητας ροής και την υποστήριξη της δημιουργίας αποθέσεων.

12.2 Καταλληλότητα Εφαρμογής

Τα υπόψη φράγματα επιτρέπεται να κατασκευάζονται στις εξής περιπτώσεις:

- σε μικρά κανάλια τα οποία αποστραγγίζουν επιφάνεια ≤40 στρ,
- σε κανάλια με ισχυρή κατά μήκος κλίση όπου οι ταχύτητες ροής υπερβαίνουν τα 1,5 m/s,
- κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης επένδυσης με χλοοτάπητα μέσα σε αποχετευτικές τάφρους ή κανάλια,
- σε προσωρινές τάφρους όπου, λόγω της μικρού χρόνου εξυπηρέτησης που θα προσφέρουν, δεν προβλέπεται η εγκατάσταση επένδυσης με αντίσταση στη διάβρωση.

Αυτά τα φράγματα επιτρέπεται να υλοποιούνται σε ένα έργο, σε συνδυασμό με άλλα φράγματα, όταν προσδιορίζεται η αναγκαιότητά και η εφικτότητά τους με τη σύμφωνη γνώμη της Υπηρεσίας.

12.3 Περιορισμοί Εφαρμογής

Τα φράγματα δε χρησιμοποιούνται στις εξής περιπτώσεις:

- σε ενεργά υδατορέματα,
- σε κανάλια που αποστραγγίζουν σε επιφάνειες μεγαλύτερες από 40 στρ,
- σε κανάλια στα οποία ήδη έχει τοποθετηθεί επένδυση με χλοοτάπητα, εκτός εάν αναμένεται διάβρωση που μπορεί να καταστρέψει τη φύτευση,

- όπου απαιτείται εκτεταμένη συντήρηση λόγω των υψηλών ταχυτήτων της ροής,
- όπου επιτείνεται η παγίδευση φερτών, τα οποία μπορεί να γίνονται αιωρήματα στο επόμενο επεισόδιο βροχόπτωσης, ή να καταστρέφουν το φράγμα,
- όπου δεν επαρκεί η κατασκευή από αχυρένιες μπάλες ή φράκτες ιλύος.

12.4 Οδηγίες σχεδιασμού

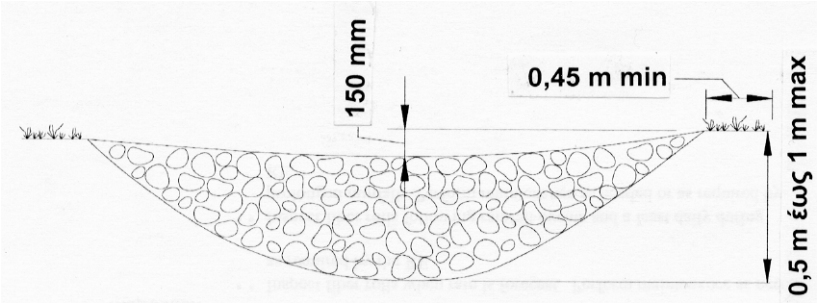
Αυτά τα φράγματα κατασκευάζονται με τις εξής προϋποθέσεις:

- ανά αποστάσεις και με ένα ύψος ώστε να επιτρέπεται ο σχηματισμός μικρών λιμνών στα ανάντη του φράγματος εντός της κοίτης της τάφρου,
- το πρώτο φράγμα εγκαθίσταται στα 5 m από το πρώτο σημείο συγκεντρωμένης εισροής και σε κανονικά διαστήματα τα οποία εξαρτώνται από την κατά μήκος κλίση και τον τύπο του εδάφους,
- η εγκατάσταση πολλαπλών φραγμάτων πρέπει να γίνεται έτσι ώστε ο λιμνάζον νερό μεταξύ αυτών να φθάνει μέχρι το πόδι του προηγούμενου στα ανάντη φράγματος,
- σε καταιγίδες 2ετίας ή μεγαλύτερες η ροή θα υπερπηδά με ασφάλεια το φράγμα χωρίς να αυξάνεται η έκταση της πλημμύρας στα ανάντη ή να καταστρέφεται το φράγμα,
- όπου χρησιμοποιείται επένδυση των τάφρων με χλοοτάπητες τα φράγματα θα πρέπει να απομακρύνονται όταν αυτοί αποκτήσουν την ικανότητα να προστατεύουν την τάφρο ή την επενδυμένη επιφάνεια,
- οι λίθοι θα πρέπει να τοποθετούνται είτε χειρονακτικά είτε με μηχανικές μεθόδους (όχι με απλή απόρριψη) ώστε να επιτυγχάνεται πλήρης κάλυψη της τάφρου ή της προς προστασία επιφάνειας.

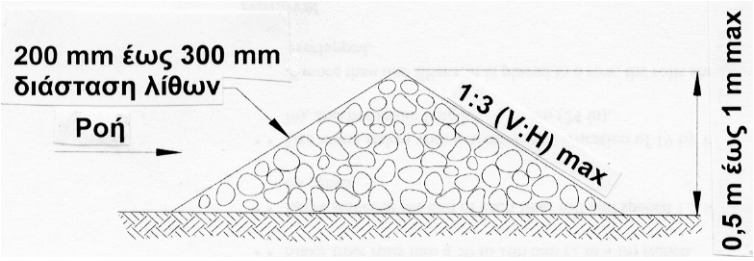
12.5 Συντήρηση και Επιθεώρηση

Η συντήρηση των φραγμάτων γίνεται ως εξής:

- επιθεώρηση του φράγματος μετά από κάθε σημαντικό επεισόδιο βροχόπτωσης. Επισκευή των φθορών όσο χρειάζεται και απαιτείται από την Υπηρεσία,
- απομάκρυνση των φερτών όταν το βάθος τους φτάνει στο 1/3 του ύψους του φράγματος,
- απομάκρυνση των συσσωρευμένων φερτών πριν από τη μόνιμη σπορά ή σταθεροποίηση του εδάφους της κοίτης,
- απομάκρυνση του φράγματος και των συσσωρευμένων φερτών όταν πλέον δε χρειάζεται αυτό ή μετά από οδηγίες της Υπηρεσίας,
- τα απομακρυνόμενα φερτά θα πρέπει να ενσωματώνονται στο έργο σε θέσεις που υποδεικνύονται από την Υπηρεσία, ή να απορρίπτονται εκτός της ζώνης απαλλοτρίωσης της οδού όπως θα ορίζεται στην ειδική συγγραφή του έργου.



ΤΥΠΙΚΗ ΟΨΗ



ΤΥΠΙΚΗ ΤΟΜΗ

Σχήμα 12-1: Φράγματα ανάσχεσης ταχύτητας (σκαρίφημα εκτός κλίμακας)

13. ΣΗΡΑΓΓΕΣ

13.1 Γενικά

Η μελέτη αποχέτευσης-αποστράγγισης των σηράγγων περιλαμβάνει:

- την απομάκρυνση της απορροής των ομβρίων νερών από την περιοχή των στομίων και των τυχόν αναβλυζόντων υπογείων νερών στα τοιχώματα της σήραγγας,
- την αποχέτευση των επιφανειακών ρυπαρών υδάτων (πλυσίματος, πυρόσβεσης, ατυχήματος) από το κατάστρωμα εντός της σήραγγας, προς τη Δεξαμενή Συγκράτησης Ρύπων ή άλλο σύστημα ελέγχου της ρύπανσης,
- την αποστράγγιση των υπόγειων υδάτων από το υλικό που βρίσκεται στην περίμετρο της σήραγγας.

Οι διατάξεις που επιτελούν τις απαιτούμενες λειτουργίες για την αποχέτευση και αποστράγγιση των σηράγγων είναι:

α. Οι τάφροι οφρύος και αποκοπής της επιφανειακής απορροής στην περιοχή των ανοιχτών εκσκαφών γύρω από τα στόμια της σήραγγας. Αυτές οι τάφροι συλλέγουν τα νερά από τις λεκάνες απορροής οι οποίες βρίσκονται ανάντη των μετώπων της σήραγγας και τα μεταφέρουν κατάλληλα σε αποδέκτες.

β. Το σύστημα των οπών αποστράγγισης στα μέτωπα των ανοιχτών εκσκαφών, τις οπές εκτόνωσης της πίεσης των νερών πίσω από την επένδυση και αντιστήριξη των πρανών της εκσκαφής και οι τάφροι συλλογής των εκροών των υπογείων νερών από αυτές τις οπές.

γ. Το σύστημα αποστράγγισης του εσωτερικού των σηράγγων που αποτελείται από τις οπές στράγγισης στην περίμετρο των τοιχωμάτων της σήραγγας, από την επιφάνεια (που αναπτύσσεται στο εξωτερικό του φορέα, κέλυφος, της σήραγγας) υδροσυλλογής των στραγγισμάτων (στεγάνωση), που προέρχονται από τις οπές στράγγισης – εκτόνωσης από τους διαμήκεις στραγγιστικούς αγωγούς Ø200, οι οποίοι συλλέγουν τις υπόγειες ροές από την επιφάνεια στράγγισης, τα φρεάτια ελέγχου των στραγγιστικών αγωγών (ΦΕΑ), τους συλλεκτήριους αγωγούς αποστράγγισης που συνδέουν τα φρεάτια ελέγχου με τα φρεάτια συντήρησης του συλλεκτήριου αγωγού αποστράγγισης, το συλλεκτήριο αγωγό αποστράγγισης Ø400 και τέλος τις διατάξεις εκροής των υπόγειων νερών στο περιβάλλον, τη στραγγιστική στρώση του εσωτερικού της σήραγγας επί της οποίας εδράζεται το οδόστρωμα.

δ. Το σύστημα αποχέτευσης των ρυπαρών νερών του καταστρώματος της σήραγγας, το οποίο αποτελείται από τα στόμια υδροσυλλογής (φρεάτια ή κοίλα ρείθρα), τις διατάξεις σιφωνισμού επί των ρείθρων υδροσυλλογής, που μπορεί να χρησιμοποιηθούν και ως φρεάτια συντήρησης των ρείθρων, τους συλλεκτήριους αγωγούς αποχέτευσης, που συνδέουν τα φρεάτια ελέγχου των αποχετευτικών αγωγών με τα φρεάτια συντήρησης του συλλεκτήριου αγωγού αποχέτευσης, τη Δεξαμενή Συγκράτησης Ρύπων και τέλος τις διατάξεις αναρρόφησης και υπερχείλισης στο περιβάλλον.

Σε ορισμένες περιπτώσεις σηράγγων μπορεί να προτείνονται επιπλέον έργα αποστράγγισης ειδικά μάλιστα όταν πρόκειται για σήραγγες εκσκαφής και επανεπίχωσης (C & C) ενδέχεται να διατάσσονται επί της οροφής γραμμικά στραγγιστήρια ή επιπλέον τάφροι επιφανειακής υδροσυλλογής στο επίχωμα.

Σε σήραγγες με συνολική επένδυση της διάτρησης χρειάζεται να διαφοροποιείται η στραγγιστική στρώση του οδοστρώματος από το λοιπό σύστημα αποχέτευσης - αποστράγγισης.

Σε κάθε περίπτωση οι διατάξεις αποχέτευσης και αποστράγγισης απαιτείται να είναι διαχωρισμένες λόγω της εξαιρετικά κακής ποιότητας των ρυπαρών νερών, που απορρέουν στο οδόστρωμα (νερά πλυσίματος, νερά πυρόσβεσης, υγροί ρύποι από ατυχήματα) και λόγω της υπερβολικής σκληρότητας των υπογείων νερών, που μπορεί να οδηγήσει σταδιακά σε αποθέσεις αλάτων και αποφράξεις των στραγγιστικών αγωγών.

Στη μελέτη του γενικού συστήματος αποχέτευσης-αποστράγγισης της οδού, στις προσβάσεις της σήραγγας, πρέπει ο σχεδιασμός να περιλαμβάνει διατάξεις που αποκλείουν ή περιορίζουν στο ελάχιστο την είσοδο απορροής από την οδό εντός της σήραγγας στην περιοχή των στομίων.

Χρειάζεται επαρκής συντονισμός της λειτουργίας των διατάξεων αποστράγγισης-αποχέτευσης, ανάμεσα στη σήραγγα και τα εκατέρωθεν αυτής τμήματα της οδού. Οι παράγραφοι που ακολουθούν ισχύουν για συνθήκες, όπου δεν απαιτούνται ειδικές προβλέψεις ελέγχου της ρύπανσης. Στις περιπτώσεις όπου οι Περιβαλλοντικοί Όροι απαιτούν εγκαταστάσεις ελέγχου ρύπανσης, θα πρέπει να εφαρμόζονται πρόσθετες διατάξεις.

Κατά τη μελέτη πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι απαιτείται ειδικός σχεδιασμός του συστήματος αποχέτευσης-αποστράγγισης στα μέρη της σήραγγας που είναι:

α. η περιοχή ανάντη των στομίων της σήραγγας

β. το εσωτερικό της σήραγγας

γ. η περιοχή κατάντη των στομίων της σήραγγας

Επιπλέον μπορεί ο σχεδιασμός να συμπεριλαμβάνει:

- την αντιμετώπιση συγκεντρωμένων απορροών από υδατορέματα τα οποία διέρχονται, είτε από τον ορεινό όγκο πάνω από τη σήραγγα, είτε από την περιοχή των στομίων, ή την εφαρμογή ειδικών μέτρων,
- την προστασία της περιοχής πάνω από σήραγγες κατασκευαζόμενες με εκσκαφή και επανεπίχωση (cut & cover).

Στην περιοχή του ανάντη στομίου της σήραγγας (δηλαδή εκείνου που είναι σε μεγαλύτερο υψόμετρο) και στο εγγύς τμήμα της οδού απαιτείται:

- Η αποκοπή, η συγκέντρωση και η διάθεση σε φυσικό αποδέκτη της επιφανειακής απορροής από την πλαγιά, πάνω από το στόμιο της σήραγγας και από τις πλαγιές εκατέρωθεν της οδού κοντά στο στόμιο, όταν αυτές συγκλίνουν προς την οδό.

  Γι΄ αυτό το σκοπό απαιτείται η κατασκευή στεγανών τάφρων οφρύος, οι οποίες διατάσσονται ημικυκλικά πάνω από το στόμιο με κλίση και προς τις δυο εκατέρωθεν πλευρές της σήραγγας, ή προς τη μια μόνο πλευρά, ανάλογα με τη θέση του τελικού αποδέκτη. Αυτές οι τάφροι πρέπει να οδηγούν εύκολα τις απορροές μακριά από τα στόμια.

Δεύτερη γραμμή αποκοπής των επιφανειακών νερών γίνεται με ειδική διαμόρφωση της μετώπης του στομίου υπό μορφή καναλιού μικρής χωρητικότητας, αλλά επαρκούς για την αναμενόμενη παροχή.

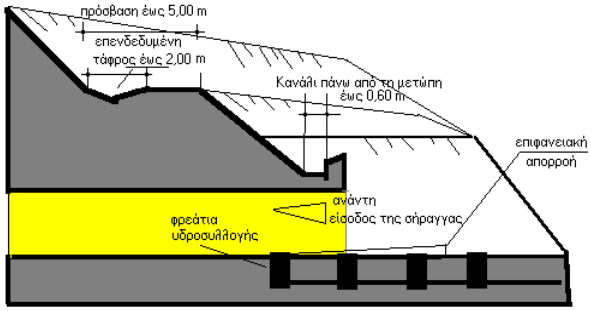
Εάν δεν είναι δυνατή η κατασκευή τάφρου οφρύος λόγω των απότομων κλίσεων της πλαγιάς, που βρίσκεται πάνω από το στόμιο, τότε διαμορφώνεται στη μετώπη κανάλι μεγαλυτέρων διαστάσεων. Αυτό το κανάλι εκβάλει σε φρεάτιο υδροσυλλογής ικανών διαστάσεων και μέσω τάφρου ή αγωγού οδηγούνται τα νερά σε κατάλληλο αποδέκτη.

- Η συγκέντρωση και απομάκρυνση της απορροής του οδοστρώματος της οδού στην περιοχή των στομίων, ώστε αυτή να μην εισέρχεται στη σήραγγα. Η συγκέντρωση αυτής της απορροής συνήθως γίνεται στις πλευρικές τάφρους του οδοστρώματος και μέσω φρεατίων οδηγείται σε υπόγειους αγωγούς. Γι΄ αυτό το λόγο απαιτείται, μέσα στη σήραγγα σε μήκος περίπου ίσο με το πλάτος του στομίου, να διατάσσονται φρεάτια, τα οποία επιστρέφουν με ασφάλεια τα επιφανειακά νερά έξω από το στόμιο. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό, επειδή οι κλίσεις και οι τοπικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την προς τα ανάντη απομάκρυνση των νερών τότε θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο σημαντικότερης δαπάνης αποχετευτικών έργων, ειδικά όταν το μήκος της σήραγγας είναι μεγαλύτερο από 200 m .
- Η αποστράγγιση των νερών που κατεισδύουν στην περιοχή των τεχνικών έργων αντιστήριξης του στομίου και των προσβάσεων, καθώς επίσης και στην περιοχή των ακάλυπτων επιφανειών ερεισμάτων και νησίδων. Για να επιτυγχάνεται αυτό σχεδιάζονται επί μέρους στραγγιστικά συστήματα (τοπικά) τα οποία θα λειτουργούν σε συνεργασία με το σύστημα αποχέτευσης ομβρίων.

Στην περιοχή του εσωτερικού των σηράγγων απαιτείται να αντιμετωπίζεται το πρόβλημα αποχέτευσης περιορισμένων ποσοτήτων νερών που θα ρέουν σποραδικά στο οδόστρωμα από το πλύσιμο κυρίως της σήραγγας και τυχαία από τις παροχές πυρόσβεσης ή τους υγρούς ρύπους ατυχημάτων. Επίσης απαιτείται να συλλέγονται τα υπόγεια νερά γύρω από τα τοιχώματα της σήραγγας:

- Για να επιτευχθεί η απομάκρυνση των επιφανειακών νερών προβλέπονται ρείθρα σχισμής στο κρασπεδόρειθρο της χαμηλής πλευράς τα οποία εκτονώνονται μέσω φρεατίων κάθε 50 έως 100 m σε συλλεκτήριο αγωγό διαμέτρου Ø400 mm (ή Ø600 mm όταν προβλέπεται η ροή να είναι συνεχής). Αυτά τα ρείθρα διακόπτονται τακτικά για να υπάρχει η δυνατότητα διέλευσης ηλεκτροφόρων αγωγών ή άλλων εγκαταστάσεων από τη μια άκρη της σήραγγας στην άλλη.

  Τα φρεάτια του συλλεκτήριου αγωγού και ο αγωγός διατάσσονται επίσης στην χαμηλότερη πλευρά της οδού, που προκύπτει από την επίκλιση και σε τέτοια θέση ώστε να μην οχλούν την κυκλοφορία.



Σχήμα 13.1-1: Διάταξη αποχέτευσης στην περιοχή του ανάντη στομίου

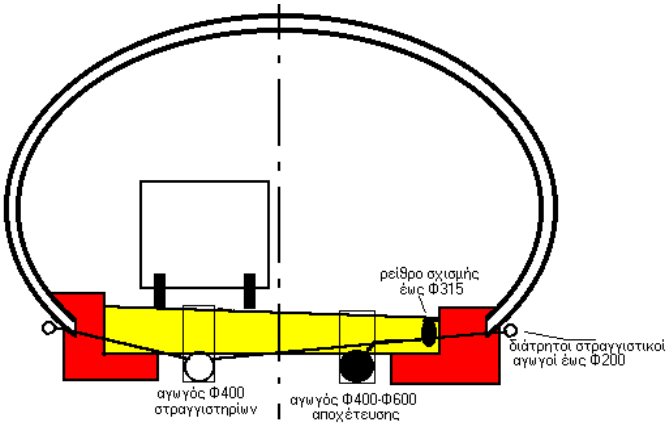
- Όμοια διάταξη ακολουθεί και το στραγγιστικό σύστημα αλλά με παράλληλη ευθυγραμμία η οποία οδεύει στην υψηλότερη πλευρά της οδού.

  Η διάμετρος του κεντρικού συλλεκτήριου αγωγού των στραγγιστηρίων είναι επίσης Ø400 mm.

  Η κλίση των αγωγών των συστημάτων αποχέτευσης και αποστράγγισης ακολουθεί την κατά μήκος κλίση της σήραγγας και το βάθος τους δεν πρέπει να ξεπερνά το βάθος εκσκαφής της σήραγγας.

Στην περιοχή του κατάντη στομίου της σήραγγας (δηλαδή στο χαμηλότερο υψόμετρο) και στο τμήμα της οδού εκτός της σήραγγας απαιτείται:

- Η αποκοπή, η συγκέντρωση και η διάθεση σε φυσικό αποδέκτη της επιφανειακής απορροής από την πλαγιά πάνω από το στόμιο της σήραγγας και από τις πλαγιές εκατέρωθεν της οδού κοντά στο στόμιο όταν αυτές συγκλίνουν προς την οδό.



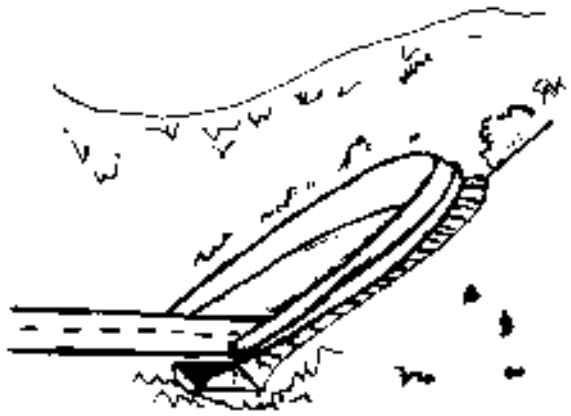
Σχήμα 13.1-2: Διάταξη αποχέτευσης στο εσωτερικό της σήραγγας

Για την επίτευξη αυτών απαιτείται η κατασκευή στεγανών τάφρων οφρύος οι οποίες διατάσσονται ημικυκλικά πάνω από το στόμιο με κλίση εκατέρωθεν ή μονόπλευρη ανάλογα με τη θέση του τελικού αποδέκτη. Αυτές οι τάφροι οδηγούν εύκολα τις απορροές μακριά από το κοίλο της εκσκαφής της εισόδου.

Δεύτερη γραμμή αποκοπής των επιφανειακών νερών γίνεται με ειδική διαμόρφωση

της μετώπης του στομίου υπό μορφή καναλιού μικρής χωρητικότητας και παροχής.

Εάν δεν είναι δυνατή η κατασκευή τάφρου οφρύος λόγω των απότομων κλίσεων της πλαγιάς που κείται πάνω από το στόμιο, τότε διαμορφώνεται στη μετώπη κανάλι μεγαλυτέρων διαστάσεων. Αυτό το κανάλι εκβάλει σε φρεάτιο υδροσυλλογής ικανών διαστάσεων και μέσω τάφρου ή αγωγού οδηγούνται τα νερά σε αποδέκτη.



Σχήμα 13.1-3: Διαμόρφωση τάφρου γύρω από το στόμιο (επενδεδυμένη τάφρος με πλάκες)

- Η απομάκρυνση των απορροών από το εσωτερικό της σήραγγας, και για το λόγο αυτό οι διαρρυθμίσεις των συστημάτων αποχέτευσης (φρεάτια, αλλαγές βάθος και κατεύθυνσης των σωληνώσεων κτλ.) απαιτούν χώρο μήκους τουλάχιστον 13 m. Το πρόβλημα της επάρκειας χώρου είναι ιδιαίτερα έντονο, όταν αμέσως μετά τη σήραγγα συμβαίνει να ακολουθεί κατασκευή γέφυρας.

  Η συγκέντρωση των νερών του οδοστρώματος της σήραγγας η οποία γίνεται σε υπόγειο αγωγό Ø400 έως Ø600 οδηγείται μέσω φρεατίου σε ειδική δεξαμενή συγκράτησης ρύπων, της οποίας τα χαρακτηριστικά προδιαγράφονται στα επόμενα. Η δεξαμενή υπερχειλίζει στο σύστημα αποχέτευσης της οδού ή σε φυσικό αποδέκτη. Εξετάζοντας διεξοδικά όλες τις παραμέτρους της μελέτης, ώστε η πιθανή υπερχείλιση να έχει ελάχιστες επιπτώσεις.

  Η συγκέντρωση των επιφανειακών νερών από το οδόστρωμα και τις λοιπές εσωτερικές λεκάνες των πρανών ορυγμάτων, οι οποίες δεν αποκόπτονται από τις τάφρους οφρύος γίνεται κυρίως στην περιοχή των πλευρικών τάφρων της οδού όπου και εισρέουν μέσω φρεατίων σε υπόγειους αγωγούς.

  Τα νερά που προέρχονται από το στραγγιστικό σύστημα της σήραγγας ενσωματώνονται στο στραγγιστικό σύστημα της οδού μέσω φρεατίου αναμονής. Αυτό το φρεάτιο πρέπει να προβλέπεται από τη μελέτη αποχέτευσης της οδού με το κατάλληλο βάθος και διαστάσεις, ώστε να είναι τεχνικά δυνατή μια λειτουργική σύνδεση.

- Η αποστράγγιση των νερών που κατεισδύουν στην περιοχή των τεχνικών έργων αντιστήριξης του στομίου και των προσβάσεων καθώς επίσης και στην περιοχή των ακάλυπτων επιφανειών ερεισμάτων και νησίδων.

Για να επιτευχθεί αυτό σχεδιάζονται επί μέρους στραγγιστικά συστήματα (τοπικά) τα οποία θα λειτουργούν σε συνεργασία με το σύστημα αποχέτευσης ομβρίων σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στο κεφάλαιο των στραγγίσεων.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στο σχεδιασμό στις περιοχές των στομίων. Η ύπαρξη οχετών και διευρυμένων νησίδων ή και γεφυρών μπροστά στα στόμια μπορεί να διαφοροποιήσει τόσο την υπόγεια όσο και την επιφανειακή αποχέτευση, γιατί μειώνεται ο διαθέσιμος χώρος για την ανάπτυξη ομαλά λειτουργούντων υδραυλικών συστημάτων. Αυτό το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα έντονο στις περιπτώσεις που οι δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας είναι σε ανισοσταθμία. Σ΄ αυτές τις περιοχές τα βάθη των αποχετευτικών – αποστραγγιστικών συστημάτων διαφοροποιούνται σημαντικά.

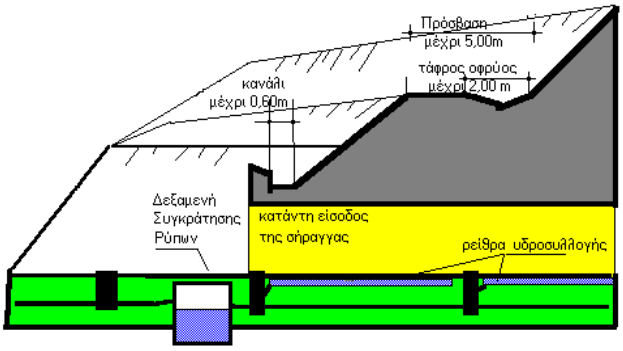
Η αντιμετώπιση συγκεντρωμένων απορροών από υδατορέματα τα οποία διέρχονται είτε από τον ορεινό όγκο πάνω από τη σήραγγα είτε από την περιοχή των εισόδων απαιτεί:

- Τη διέλευση των υδατορεμάτων με έργα διευθέτησης τα οποία για μικρές παροχές μπορεί να είναι απλές τάφροι. Αυτές είναι, αφενός επενδυμένες για να έχουν σταθερότητα στις απότομες κλίσεις των κλιτύων και αντοχή στις ταχύτητες ροής που αναπτύσσονται και αφετέρου στεγανές, για να περιορίζεται η κατείσδυση νερού στο υπέδαφος και η καταπόνηση του στραγγιστικού δικτύου της σήραγγας.

  Το πρόβλημα της εκβολής των νερών σε φυσικό αποδέκτη πρέπει να εξετάζεται από τα αρχικά στάδια του σχεδιασμού ώστε να προβλέπεται ο απαραίτητος χώρος για τις υδραυλικές κατασκευές στην περιοχή.

  Επειδή οι συγκεντρωμένες ροές των υδατορεμάτων θα εμποδίζουν τις εργασίες σε όλες τις φάσεις κατασκευής και λειτουργίας, οι εργασίες διευθέτησης πρέπει να μελετώνται και κατασκευάζονται κατά προτεραιότητα.

  Το πρόβλημα των υπογείων νερών που συνοδεύουν τη ροή των υδατορεμάτων στα ανάντη των περιοχών εκσκαφής των στομίων, πρέπει να αντιμετωπίζεται με σοβαρά έργα, ιδιαιτέρως όταν για τη σταθεροποίηση των πρανών των ορυγμάτων πάνω από τα στόμια προβλέπονται έργα που εμποδίζουν την εκτόνωση των υπογείων νερών (π.χ. εκτοξευμένο σκυρόδεμα).



Σχήμα 13.1-4: Διάταξη αποχέτευσης στην περιοχή του κατάντη στομίου σήραγγας

Η προστασία της περιοχής των σηράγγων εκσκαφής και επανεπίχωσης (cut & cover) απαιτεί έργα που διαρκούν η πρώτη στο χρόνο της κατασκευής και η δεύτερη στο χρόνο της λειτουργίας.

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Πρέπει να αποκόπτονται οι απορροές από τα πρανή της εκσκαφής με τάφρους οφρύος στην πλευρά του πρανούς, που είναι η συνέχεια των κλιτύων του ορεινού όγκου, με τάφρους επί των παταριών τα οποία διατάσσονται όταν τα πρανή της εκσκαφής έχουν πολύ μεγάλο ύψος και τάφρους ποδός ορύγματος όταν η απορροή δεν μπορεί να αποκοπεί σε υψηλότερες στάθμες. Επίσης πρέπει να συγκεντρώνονται όταν και όπου υπάρχουν υπόγειες ροές που εκτονώνονται στα πρανή των εκσκαφών.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Όταν ο σχεδιασμός του έργου προβλέπει ότι *δεν θα επανεπιχωθεί* η εκσκαφή και ότι δε θα αποκατασταθεί το αρχικό ανάγλυφο της επιφάνειας, πρέπει να αποκόπτονται οι απορροές από τα πρανή της εκσκαφής με τάφρους οφρύος. Στην περίπτωση αυτή διατηρούνται οι τάφροι που κατασκευάστηκαν για προστασία κατά τη διάρκεια της κατασκευής στην πλευρά του πρανούς, που είναι η συνέχεια των κλιτύων του ορεινού όγκου. Επίσης σχεδιάζονται τάφροι επί των παταριών τα οποία διατάσσονται, όταν τα πρανή της εκσκαφής έχουν πολύ μεγάλο ύψος και τέλος τάφροι ποδός ορύγματος, όταν οι απορροές δεν μπορούν να αποκοπούν σε υψηλότερες στάθμες.

Για την προστασία της σήραγγας από τα όμβρια μπορεί να διατάσσονται επενδεδυμένοι τάφροι σε κατάλληλες γραμμές (θέσεις) ανάλογα με την διαμόρφωση της κλίσης της επιφάνειας της επίχωσης,

Για την προστασία της σήραγγας από τα όμβρια που κατεισδύουν στον όγκο της επίχωσης πρέπει να διατάσσονται στραγγιστικοί αγωγοί Ø200 υπό μορφή δικτύου (ψαροκόκαλο), ώστε να διασφαλίζεται η συλλογή και η ταχεία απομάκρυνση. Οι στραγγιστικοί αγωγοί τοποθετούνται μέσα σε στραγγιστική στρώση πάχους το πολύ 35 cm.

Η ταράτσα της σήραγγας (cut & cover) όπου θα τοποθετηθούν οι στραγγιστικοί αγωγοί και η στραγγιστική στρώση, διαμορφώνεται με κλίσεις $\leq$3% και στις χαμηλές γραμμές τοποθετούνται οι στραγγιστικοί αγωγοί. Η στεγάνωση γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες κατασκευής των τεχνικών και των σηράγγων.

Το στραγγιστικό δίκτυο εκβάλει με κατακόρυφους αγωγούς στο αποχετευτικό σύστημα της οδού. Γ΄ αυτό το λόγο πρέπει να γίνεται ο έλεγχος της μελέτης αποχέτευσης της οδού, ώστε να εξασφαλίζεται η συμβατότητα των κατασκευών.

Όταν ο σχεδιασμός του έργου προβλέπει ότι *θα επανεπιχωθεί* η εκσκαφή στο σύνολο του όγκου της, και ότι θα αποκατασταθεί το αρχικό ανάγλυφο της επιφάνειας, πρέπει να αποκόπτονται οι απορροές από τα πρανή της εκσκαφής με τάφρους οφρύος. Σ΄ αυτή την περίπτωση διατηρούνται οι τάφροι που κατασκευάστηκαν για προστασία, κατά τη διάρκεια της κατασκευής, αλλά όμως επενδύονται και στεγανοποιούνται, ώστε να αποκλείεται κατείσδυση νερών στον όγκο του επιχώματος, στην πλευρά του πρανούς που είναι η συνέχεια των κλιτύων του ορεινού όγκου.

Ο αποκλεισμός της κατείσδυσης των επιφανειακών νερών στον όγκο του επιχώματος πρέπει να γίνεται κυρίως με επιφανειακά έργα, δηλαδή με στραγγιστικές και στεγανωτικές στρώσεις σύμφωνα με τα όσα εκθέτονται στην παράγραφο για την προστασία των αποθεσιοθαλάμων και διατάξεις ενδιάμεσων τάφρων συλλογής των επιφανειακών νερών, ώστε να μην είναι δυνατή η διάβρωση και απόπλυση των επιφανειακών εδαφικών στρώσε-

ων στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης των φυτών.

Σε περίπτωση που από τα πρανή εκτονώνονται υπόγεια νερά θα πρέπει να σχεδιάζονται πλάγιες στραγγιστικές στρώσεις για την συλλογή και απομάκρυνση των νερών και τη βελτίωση της ευστάθειας των πρανών.

Ειδική περίπτωση επίσης είναι η διέλευση υδατορεμάτων πάνω από τον χώρο της εκσκαφής και η οποία πρέπει να αντιμετωπίζεται σύμφωνα με τα προαναφερόμενα.

13.2 Αναλυτική Περιγραφή των Διατάξεων Αποχέτευσης και Αποστράγγισης

Οι επί μέρους κατασκευές περιλαμβάνουν τις διατάξεις που είναι:

α. Οι τάφροι οφρύος και αποκοπής της επιφανειακής απορροής στην περιοχή των ανοιχτών εκσκαφών στα στόμια της σήραγγας που συλλέγουν τα νερά των ανάντη της εκσκαφής λεκανών απορροής και τα μεταφέρουν σε παρακείμενους αποδέκτες, πρέπει να είναι επενδυμένοι και να έχουν ελάχιστο πλάτος πυθμένα 50 cm και βάθος 30 cm.

Για τη διευκόλυνση της κατασκευής τους και της μελλοντικής συντήρησης-καθαρισμού στη φάση της λειτουργίας, πρέπει να σχεδιάζεται σε επαφή οδός προσπέλασης μικρού πλάτους (2,50-3,00 m). Λόγω της θέσης τους όμως, στην περιοχή (οφρείς) των ανοιχτών εκσκαφών ενδέχεται αυτό να είναι αδύνατο, λόγω των υπερεκσκαφών που δημιουργούνται. Επίσης λόγω της διαμόρφωσης του ανάγλυφου του εδάφους, πάνω από τις ανοιχτές εκσκαφές είναι δυνατό να δημιουργούνται χαμηλά σημεία, αλλά και υπερβολικές εκσκαφές για την διατήρηση της μηκοτομής αυτών των τάφρων.

Σ΄ αυτές τις περιπτώσεις, στα χαμηλά σημεία δεν επιτρέπεται η κατασκευή της τάφρου πάνω σε επίχωμα, ενώ στα ορύγματα δεν επιτρέπεται η επένδυση όλης της εκσκαφής αλλά μόνο της υδραυλικά απαιτούμενης.

Η κατά μήκος κλίση των τάφρων πρέπει να σχεδιάζεται με γνώμονα την ευκολία της κατασκευής (εκσκαφής και σκυροδέτησης). Εξαιτίας της μορφής του ανάγλυφου του εδάφους στα τελευταία μέτρα της μηκοτομής, ενδέχεται η κατά μήκος κλίση να αυξάνει σημαντικά και συνεπώς να δημιουργούνται προβλήματα και στην κατασκευή, αλλά και στην ορθή υδραυλική λειτουργία των τάφρων. Επειδή η αναπτυσσόμενη ταχύτητα στις περιπτώσεις αυτές υπερβαίνει τα όρια που θέτουν οι κανονισμοί, μπορούν να σχεδιάζονται διατάξεις βαθμιδωτής πτώσης ή ακόμη και διατάξεις διασποράς της συγκεντρωμένης ροής, ώστε αυτή να μη δημιουργεί διαβρώσεις στη διαδρομή της, μέχρι τον αποδέκτη. Σε κλίσεις μεγαλύτερες από υ:β=3:1 δεν επιτρέπεται καμιά υδραυλική κατασκευή και συνεπώς πρέπει να προτείνονται μέτρα προστασίας έναντι της διάβρωσης, από τον δημιουργούμενο καταρράκτη.

β. Οι οπές αποστράγγισης των υπογείων νερών στα μέτωπα των ανοιχτών εκσκαφών και οι οπές εκτόνωσης της πίεσης πίσω από την επένδυση και αντιστήριξη των πρανών της εκσκαφής διατάσσονται επί της επιφανείας των πρανών της κάθε εκσκαφής αναλόγως με το μέγεθος της υδροφορίας των εδαφών. Αυτές οι οπές διαφέρουν από τα συνήθη σωληνωτά γραμμικά στραγγιστήρια επειδή τοποθετούνται με περιστροφική διάτρηση του εδάφους και όχι εκσκαφή και έχουν διάμετρο μικρότερη από 10 cm.

Σε περίπτωση που αυτά τα έργα προτείνονται και για μόνιμες κατασκευές ή όταν υπάρχει το ενδεχόμενο έμφραξης από το υλικό του εδαφικού σχηματισμού, τότε πρέπει να εισάγονται εντός των οπών διάτρητοι στραγγιστικοί αγωγοί με επένδυση γαιοϋφάσματος. Επειδή από τις οπές είναι δυνατό να μειώνεται η αντοχή των αγωγών πρέπει η διάμετρος των οπών να είναι ≤1/10 της διαμέτρου του αγωγού και να διατάσσονται σε αποστάσεις μεταξύ τους ≥3/10 της διαμέτρου του αγωγού. Επίσης προκειμένου να εξασφαλίζεται ότι η διέλευση των υπόγειων νερών θα γίνεται μέσω του αγωγού, θα πρέπει στα τελευταία 50 cm του αγωγού, πριν από την εκτόνωση στην περιοχή της επιφάνειας του εδάφους, να σφραγίζονται τα διάκενα μεταξύ του αγωγού και του εδάφους περιμετρικά.

Σε περίπτωση χρήσης αγωγών με σχισμή μπορεί να χρησιμοποιούνται για τις εκτιμήσεις της παροχής οι τιμές του επόμενου πίνακα:

Αριθμός σχισμών ανά μέτρο μήκους	Πλάτος σχισμής [mm]	Ελάχιστο άνοιγμα ανά μέτρο [mm^2]
72	1,25	2120
75	0,50	975
150	0,15	975

Οι οπές μπορεί να διατάσσονται σε εντοπιζόμενες θέσεις υδροφορίας. Εάν από τη φύση των εδαφών προκύπτει η ανάγκη για γενικότερη εφαρμογή αυτών των οπών, τότε θα πρέπει να διατάσσονται σχηματίζοντας ορισμένο τετραγωνικό κάναβο, και με τρόπο ώστε να μην εμπλέκονται με άλλα συστήματα που ενσωματώνονται στο έδαφος (π.χ. αγκυρώσεις). Η πυκνότητα των οπών εξαρτάται από τη φύση και την υδροφορία των εδαφών, όμως αυτές θα πρέπει να βρίσκονται σε αποστάσεις ≥1 m. Αυτό επιβάλλεται, αφενός λόγω της γειτονίας τους η οποία μειώνει την ικανότητα υδροσυλλογής και αφετέρου λόγω της αφαίρεσης του ύδατος των πόρων, που συνεπάγεται την ανακατανομή των τάσεων του εδάφους, αλλά και λόγω της μείωσης της συνοχής που είναι συνέπεια της διάτρησης, ώστε να εμποδίζεται να αρχίσει διαδικασία κατάρρευσης των πρανών.

Οι οπές μπορούν να σχεδιάζονται κεκλιμένες. Η κλίση (γωνία) των οπών θα σημειώνεται ως προς το οριζόντιο επίπεδο και όχι ως προς την επιφάνεια του εδάφους. Η κλίση πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 3% και 20% με προτιμότερη κλίση 10% (περίπου 6°). Επειδή λόγω αυτής της κλίσης ενδέχεται στα χαμηλά σημεία των πρανών της εκσκαφής να παρεμποδίζεται η διάτρηση, θα πρέπει οι οπές να σχεδιάζονται για εφαρμογή από το ύψος του 1,50 m και πάνω, μετρούμενο από τη στάθμη του εδάφους εργασίας. Επίσης, επειδή στα ακραία και υψηλά σημεία ενδέχεται να αντλείται νερό απευθείας από τα επιφανειακά στρώματα, θα πρέπει η διάτρηση να περιορίζεται κάτω από το βάθος των 2 m και οπωσδήποτε κάτω από τα επιφανειακά φυτικά στρώματα, για να αποφεύγεται η έμφραξη των αγωγών από τις ρίζες της βλάστησης.

Οι οπές σε οριζοντιογραφία μπορεί να διατάσσονται, είτε σε παραλληλία είτε ακτινωτά. Στην περίπτωση της διάταξης ακτινωτά, οι οπές δεν πρέπει να τέμνονται και η απόσταση στο τέλος των οπών πρέπει να είναι ≤7,50 έως 30 m.

Σε κατακόρυφη διάταξη τα επίπεδα των οπών πρέπει να απέχουν ≤5 m με ελάχιστη

απόσταση 1 m από ενδεχόμενο αδιαπέρατο υπόστρωμα.

Τέλος όσον αφορά στη διάτρηση μπορεί αυτή να σχεδιάζεται και με αρνητική κλίση ώστε οι οπές να λειτουργήσουν ως ανακουφιστικά φρέατα, εφόσον από την γεωλογική έρευνα διαπιστωθεί ότι στο βάθος υπάρχουν εδαφικά στρώματα μεγάλης διαπερατότητας.

Οι τάφροι συλλογής της εκροής υπογείων υδάτων, από τις στραγγιστικές οπές και τις οπές εκτόνωσης, σχεδιάζονται στον πόδα των πρανών εκσκαφής στο μέσα μέρος του αναβαθμού εργασίας και συνήθως δεν αποτελούν ιδιαίτερη διαμόρφωση καθόσον ακολουθούν την κλίση του επιπέδου εργασίας. Η κλίση αυτή είναι ≤5% προς τον πόδα του πρανούς, για να αποφεύγεται η ολίσθηση προς τα έξω και η ροή των νερών προς το παρακάτω τμήμα του ορύγματος. Αυτές οι τάφροι (τριγωνικές) πρέπει να επενδύονται κατά προτίμηση με σκυρόδεμα.

γ. Για την αποστράγγιση του εσωτερικού των σηράγγων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

Καλό είναι για λόγους ασφάλειας της εκσκαφής, η όρυξη της σήραγγας να έπεται της στράγγισης. Αυτό μπορεί να γίνεται με το ίδιο είδος οπών όπως και στα πρανή των ανοιχτών εκσκαφών στα στόμια. Όταν όμως η υδροφορία είναι συνεχής και σημαντική, τότε λαμβάνοντας όλα τα μέτρα έναντι τυχαίας κατάρρευσης του θόλου, μπορεί να γίνεται η όρυξη και εν συνεχεία η διάτρηση των οπών στράγγισης περιμετρικά ή και σε τμήμα του θόλου της σήραγγας. Η περιμετρική διάτρηση όμως στην κατακόρυφη (κάθετη) κατεύθυνση δημιουργεί κατακόρυφες ροές σαν βροχή που δεν ελέγχονται και ενοχλούν στη διάρκεια των εργασιών. Για αυτό το λόγο στο σχεδιασμό θα πρέπει να αποφεύγεται ο σχεδιασμός οπών στην άντυγα του θόλου, αλλά να διατάσσονται οπές δεξιά και αριστερά αυτής (από 10° μέχρι 85° το πολύ).

Κατά τη διάρκεια των εργασιών αυτά τα νερά όπως και τα νερά που αναβλύζουν από το έδαφος πρέπει να συλλέγονται σε πρόχειρες τάφρους και να απάγονται, είτε με άντληση, είτε με φυσική ροή. Δεν πρέπει αυτές οι τάφροι να σχεδιάζονται δίπλα σε εγκαταστάσεις ηλεκτρικού ρεύματος εργοταξιακής παροχής.

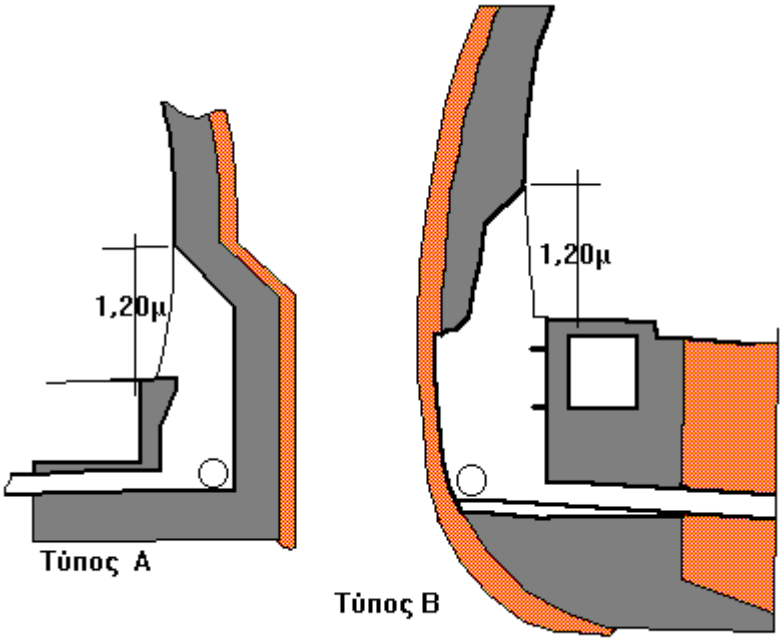
Η επιφάνεια υδροσυλλογής των στραγγισμάτων (στεγάνωση) που προέρχονται από τις οπές στράγγισης–εκτόνωσης αναπτύσσεται στο εξωτερικό του φέροντος κελύφους της σήραγγας με την τοποθέτηση (στερέωση επί της επιφάνειας του εξωτερικού μανδύα) γαιοϋφάσματος, ή άλλου περισσότερο διαπερατού υλικού. Η τοποθέτηση της στεγανωτικής μεμβράνης επί της επιφάνειας υδροσυλλογής εξαναγκάζει τη ροή στην περιμετρική διεύθυνση.

Για την επιλογή του υλικού της επιφάνειας υδροσυλλογής πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διαφοροποίηση του συντελεστή διαπερατότητας, κάτω από τις πιέσεις που υφίσταται η σήραγγα από το υπερκείμενο έδαφος. Όταν επιλέγονται διάφορα κυψελωτά διαπερατά προϊόντα, πρέπει να ελέγχεται η αντοχή τους να φέρουν με ασφάλεια τα υπερκείμενα φορτία. Τέλος θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι δεν θα γίνει έμφραξη των κενών της επιφάνειας υδροσυλλογής από τα άλατα των υπογείων νερών.

Οι διαμήκεις στραγγιστικοί αγωγοί Ø200 που συλλέγουν τις υπόγειες ροές, από την επιφάνεια στράγγισης, θα είναι κατά προτίμηση πλαστικοί (π.χ. PVC) και θα φέρουν περιμετρικά οπές διαμέτρου ≥5mm ή σχισμές. Θα περιβάλλονται με γαιοΰφασμα και θα αποφεύγεται η επαφή τους με χύδην ή εκτοξευόμενα συροδέματατα, ενώ δεν θα

εμποδίζεται η επαφή τους με το έδαφος και την επιφάνεια υδροσυλλογής. Αυτοί οι αγωγοί διατάσσονται παράλληλα με τη σήραγγα, η θέση τους όμως εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Γενικά προτιμάται να τοποθετούνται χαμηλότερα από την επιφάνεια της οδού, δεξιά και αριστερά της σήραγγας.

Τα φρεάτια ελέγχου των στραγγιστικών αγωγών (ΦΕΑ), ανάλογα με το μέγεθος της σήραγγας μπορεί να σχεδιάζονται είτε ενσωματωμένα στο φέρον κέλυφος (μόνιμη επένδυση) είτε να προεξέχουν αυτού. Η επιλογή είναι κυρίως στατικό θέμα και όχι υδραυλικό. Πρέπει να εξασφαλίζεται ότι τα φρεάτια σχεδιάστηκαν με τις απολύτως αναγκαίες διαστάσεις και όχι μεγαλύτερες ή μικρότερες, ότι δεν θα παραμένουν στάσιμα νερά εντός των φρεατίων και ότι κατά την συντήρηση, η εργασία εντός αυτών ή στην περιοχή τους είναι ασφαλής. Δύο ενδεικτικές διατάξεις ΦΕΑ σε τομή παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν.

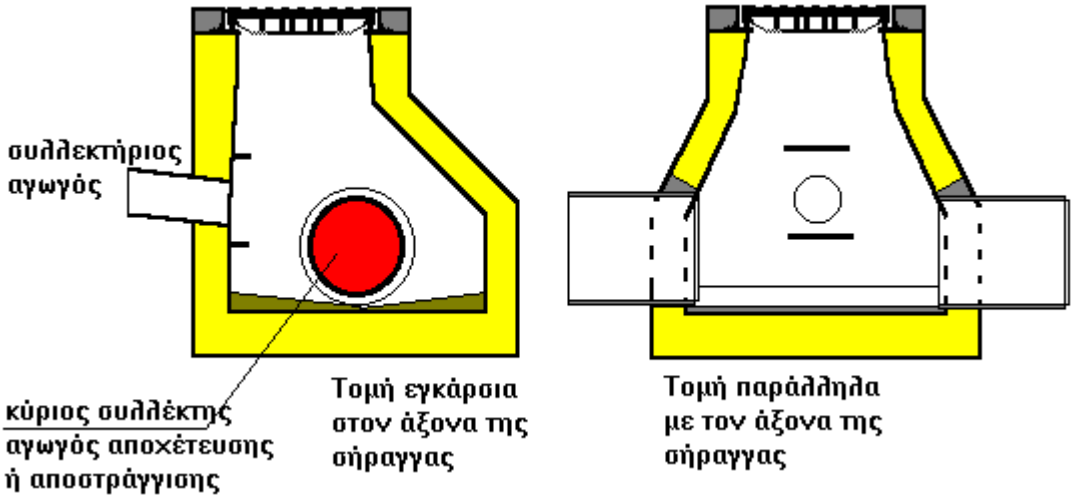


Οι συλλεκτήριοι αγωγοί αποστράγγισης που συνδέουν τα φρεάτια ελέγχου των στραγγιστικών αγωγών με τα φρεάτια συντήρησης του συλλεκτήριου αγωγού αποστράγγισης πρέπει να είναι στεγανοί αγωγοί της αυτής διαμέτρου με τους στραγγιστικούς αγωγούς. Πρέπει να είναι ευθύγραμμοι και να σχεδιάζονται με κλίση προς τα φρεάτια συντήρησης του συλλεκτήριου αγωγού αποστράγγισης. Ανάλογα με το βάθος τοποθέτησης τους και τη μέθοδο τοποθέτησης τους μπορεί να εγκιβωτίζονται.

Τα φρεάτια συντήρησης του συλλεκτήριου αγωγού αποστράγγισης πρέπει επίσης να είναι στεγανά. Αυτά τοποθετούνται ανά αποστάσεις 50 έως 100 m, σε θέσεις επί του οδοστρώματος, ώστε τα καλύμματά τους να βρίσκονται περίπου στο μέσον της λωρίδας κυκλοφορίας.

Οι διαστάσεις των φρεατίων πρέπει να εξασφαλίζουν την ευκολία στις εργασίες συντήρησης και στην πρόσβαση του διατιθέμενου μηχανικού εξοπλισμού. Η διατομή τους, ειδικά στις μικρές σήραγγες πρέπει να είναι ορθογωνική ώστε να μη δημιουρ-

γούνται πέριξ αυτών ζώνες, οι οποίες δεν μπορεί να συμπυκνωθούν εύκολα. Ενα φρεάτιο ενδεικτικό για αυτή την περίπτωση παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Ο συλλεκτήριος αγωγός αποστράγγισης Ø400 πρέπει να είναι στεγανός. Ειδικά όταν υπάρχει σημαντική υδροφορία στη περιοχή της στραγγιστικής στρώσης του οδοστρώματος είναι δυνατό, σε κάποια τμήματα της σήραγγας με πολύ μικρές κατά μήκος κλίσεις, αυτός να είναι διάτρητος, ώστε να συλλέγει επικουρικά και νερά από την στραγγιστική στρώση. Σ' αυτή την περίπτωση οι οπές θα πρέπει να διατάσσονται μόνο στο πάνω μέρος ώστε να αποκλείεται η τροφοδοσία νερών από τον συλλέκτη αγωγό προς τη στραγγιστική στρώση.

Οι διατάξεις εκροής των υπόγειων νερών μπορεί να συνεχίζονται στο στραγγιστικό σύστημα, ώστε να μεταφέρονται στην επιθυμητή θέση όπου θα μπορεί να αποτεθούν στο περιβάλλον. Ομως ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν τα νερά είναι πλούσια σε άλατα, οπότε θα υπάρχει κίνδυνος έμφραξης και του στραγγιστικού συστήματος της οδού.

Ο σχεδιασμός της στραγγιστικής στρώσης στο εσωτερικό της σήραγγας, επί της οποίας εδράζεται το οδόστρωμα, είναι θέμα που άπτεται του σχεδιασμού της οδού. Θα πρέπει στο τέλος της στρώσης, στην έξοδο της σήραγγας να διατάσσεται εγκάρσιος αγωγός συλλογής των στραγγισμάτων της στραγγιστικής στρώσης. Επίσης θα πρέπει να διαφοροποιείται ο σχεδιασμός όταν από τη στατική μελέτη προκύπτει η ανάγκη σύνδεσης των πελμάτων δεξιά και αριστερά του κελύφους της σήραγγας.

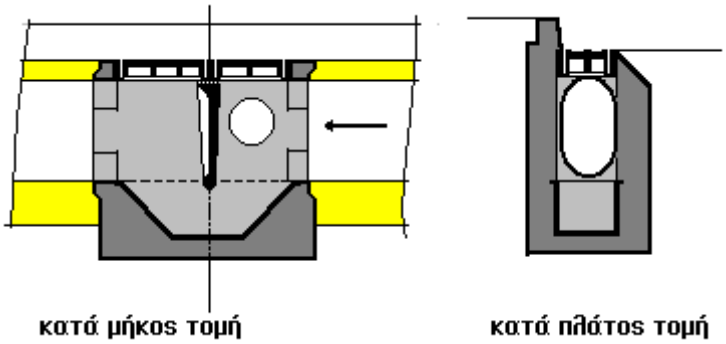
δ. Το σύστημα αποχέτευσης των ρυπαρών υδάτων του καταστρώματος διατάσσεται πάντα προς τη μεριά της χαμηλότερης πλευράς. Αυτό σημαίνει ότι ο συλλεκτήριος αγωγός του συστήματος αποστράγγισης και τα φρεάτια συντήρησής του διατάσσονται στην υψηλότερη πλευρά του καταστρώματος.

Τα νερά από το οδόστρωμα καταλήγουν στο κρασπεδόρειθρο εντός της σήραγγας. Εκεί συλλέγονται από τα στόμια υδροσυλλογής δηλαδή τα φρεάτια υδροσυλλογής, όταν σχεδιάζεται συμβατικό αποχετευτικό σύστημα ή ρείθρα (σχισμής) υδροσυλλογής, όταν είναι επιθυμητή η κατάργηση του συλλεκτήριου αγωγού αποχέτευσης.

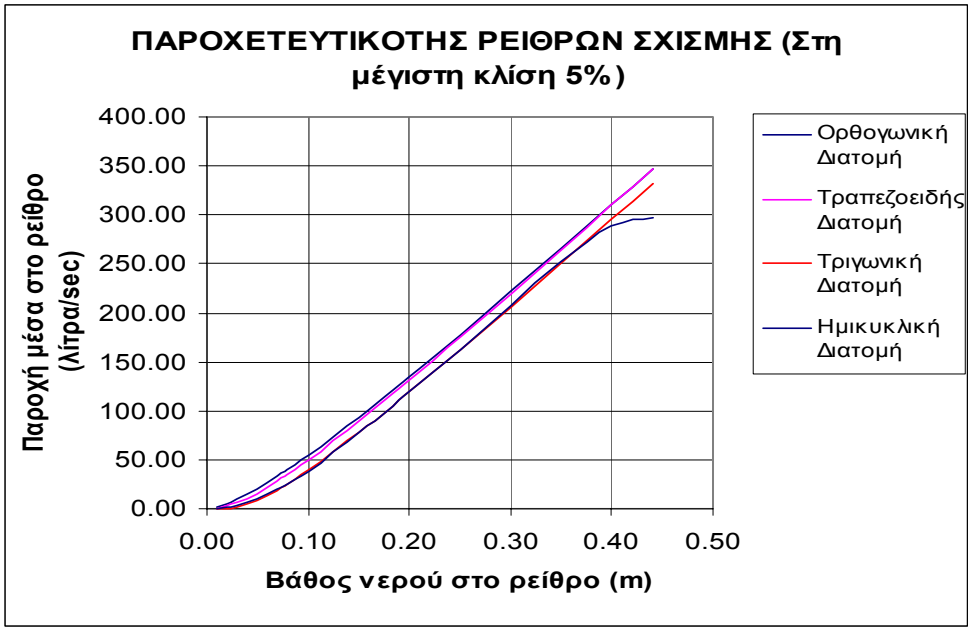
Τα φρεάτια υδροσυλλογής, αναλόγως με τις διαστάσεις της σήραγγας, μπορεί να εί-

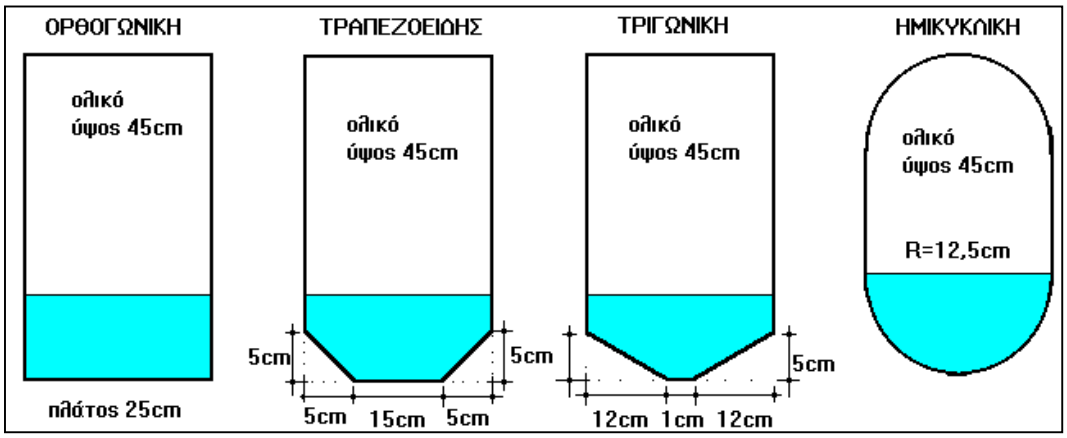
ναι, είτε με σχάρες, είτε με πλευρικό στόμιο, είτε συνδυασμός και των δυο. Θα πρέπει πάντοτε να βρίσκονται εκτός των λωρίδων κυκλοφορίας δηλαδή στο έρεισμα, ώστε να μη διακόπτουν την οριογραμμή κυκλοφορίας προκειμένου να τηρούνται οι κανόνες της οδικής ασφάλειας και εντός της σήραγγας.

Το ίδιο ισχύει όταν επιλέγεται για τοποθέτηση ρείθρο (σχισμής) υδροσυλλογής. Η διατομή του ρείθρου υδροσυλλογής και ο σχεδιασμός της διατομής του εξαρτώνται από την κατά μήκος κλίση και το διατιθέμενο πλάτος της σήραγγας. Μια τέτοια διάταξη παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα, στο οποίο επίσης φαίνονται και τα φρεάτια καθαρισμού και σιφωνισμού του ρείθρου.



Όσον αφορά στη διαμόρφωση του εσωτερικού αγωγού στο ρείθρο μπορεί να επιλέγεται διατομή είτε ορθογωνική είτε κυκλική είτε ημικυκλική (όπως στο προηγούμενο σχήμα). Η συμπεριφορά της υδραυλικής διατομής σε κάθε περίπτωση δείχνεται στο επόμενο διάγραμμα.





Σε πολύ μικρές κατά μήκος κλίσεις <2,5% ενδέχεται να μη είναι δυνατό το ρείθρο (σχισμής) υδροσυλλογής να παραλαμβάνει την παροχή σχεδιασμού, η οποία όπως αναφέρεται στα επόμενα είναι 200-240 L/s. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να τοποθετείται αναγκαστικά συλλεκτήριος αγωγός αποχέτευσης, στον οποίο ανά διαστήματα θα πρέπει να εκτονώνονται τα ρείθρα από τον πρώτο θάλαμο του φρεατίου καθαρισμού και σιφωνισμού. Στον πίνακα που ακολουθεί, ο οποίος αναφέρεται σε ρείθρο ημικυκλικής διατομής, δίνονται οι δυνατότητες παροχής του ρείθρου σε [L/s] ανάλογα με τις συνήθεις κατά μήκος κλίσεις της σήραγγας.

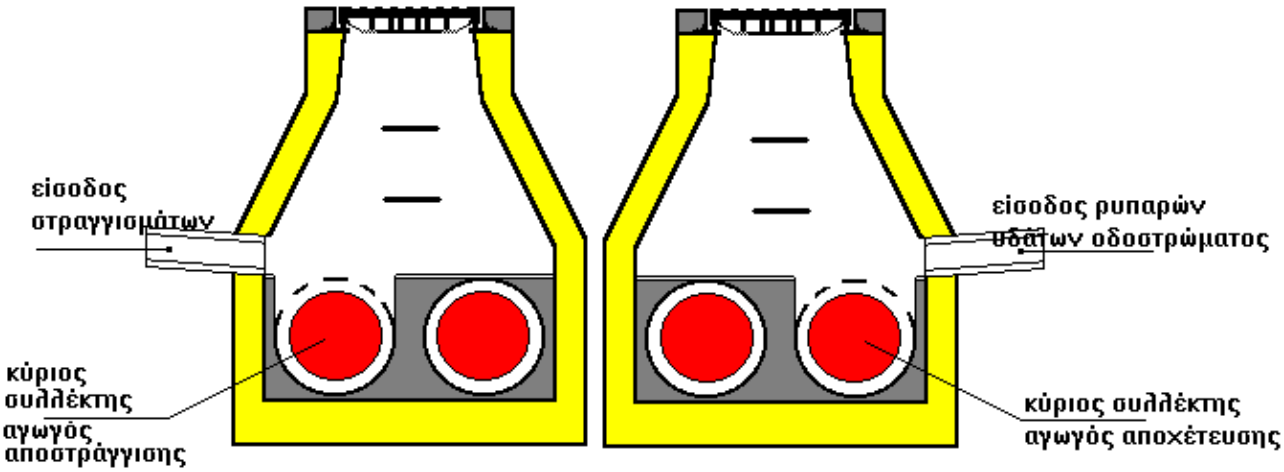
Y (Βάθος)	Εμβαδό Διατομής	Κλίσεις [%]									Ταχύτητα στη μέγιστη κλίση
[m]	[m^2]	0,1	0,2	0,05	1,0	1,5	2,0	2,5	4,0	5,0	[m/s]
0,010	0,0007	0,05	0,07	0,11	0,15	0,19	0,22	0,24	0,31	0,34	0,52
0,020	0,0018	0,21	0,30	0,48	0,67	0,82	0,95	1,06	1,34	1,50	0,82
0,030	0,0033	0,50	0,71	1,11	1,58	1,93	2,23	2,49	3,15	3,53	1,06
0,050	0,0070	1,43	2,02	3,19	4,51	5,53	6,38	7,14	9,03	10,09	1,44
0,070	0,0113	2,79	3,95	6,24	8,83	10,81	12,48	13,96	17,65	19,74	1,75
0,080	0,0135	3,61	5,11	8,08	11,43	14,00	16,17	18,07	22,86	25,56	1,89
0,100	0,0183	5,49	7,77	12,28	17,37	21,27	24,56	27,46	34,74	38,84	2,12
0,150	0,0308	10,98	15,53	24,56	34,73	42,53	49,11	54,91	69,46	77,65	2,52
0,175	0,0370	13,91	19,68	31,11	44,00	53,89	62,23	69,57	88,00	98,39	2,66
0,190	0,0408	15,71	22,22	35,13	49,67	60,84	70,25	78,54	99,35	111,08	2,72
0,200	0,0433	16,92	23,92	37,83	53,50	65,52	75,65	84,58	106,99	119,62	2,76
0,250	0,0558	23,06	32,62	51,57	72,94	89,33	103,15	115,32	145,87	163,09	2,92
0,300	0,0683	29,34	41,49	65,60	92,77	113,62	131,20	146,68	185,54	207,44	3,04
0,350	0,0807	35,64	50,41	79,70	112,72	138,05	159,40	178,22	225,43	252,04	3,12
0,400	0,0921	40,88	57,81	91,41	129,27	158,32	182,81	204,39	258,54	289,05	3,14
0,440	0,0984	41,91	59,27	93,71	132,53	162,31	187,42	209,54	265,05	296,34	3,01
0,450	0,0991	39,96	56,52	89,36	126,38	154,78	178,73	199,82	252,76	282,59	2,85

Οι διατάξεις σιφωνισμού επί των ρείθρων (σχισμής) υδροσυλλογής, μπορεί να χρησιμοποιούνται και ως φρεάτια καθαρισμού των ρείθρων. Σε κάθε περίπτωση όμως οι αγωγοί αποχέτευσης που συνδέουν τα φρεάτια υδροσυλλογής ή τα φρεάτια σιφωνισμού-καθαρισμού των ρείθρων (σχισμής) υδροσυλλογής με τα φρεάτια συντήρησης του συλλεκτήριου αγωγού αποχέτευσης πρέπει να φέρουν διάταξη σιφωνισμού και να είναι χυτοσιδηροί, ώστε να μη είναι εύφλεκτοι. Για τους ίδιους λόγους (πυρασφάλεια) τα ρείθρα υδροσυλλογής πρέπει δεξιά και αριστερά των διατάξεων σιφωνισμού να είναι στεγανά σε μήκος περίπου 10-15 m συνολικά ανάντη και κατάντη του φρεατίου.

Τα φρεάτια συντήρησης του κύριου συλλέκτη αγωγού αποχέτευσης αποστράγγισης πρέπει επίσης να είναι στεγανά. Αυτά τοποθετούνται ανά αποστάσεις 50 έως 150 m, σε θέσεις ώστε τα καλύμματα τους να βρίσκονται στο μέσο λωρίδων κυκλοφορίας.

Οι διαστάσεις τους πρέπει να εξασφαλίζουν την ευκολία στις εργασίες συντήρησης και στην πρόσβαση του διατιθέμενου μηχανικού εξοπλισμού. Η διατομή τους, ειδικά στις μικρές σήραγγες πρέπει να είναι ορθογωνική, ώστε να μη δημιουργούνται πέριξ αυτών ζώνες που δεν μπορεί να συμπυκνωθούν εύκολα. Τα φρεάτια αυτά ομοιάζουν με αυτά του συστήματος αποστράγγισης.

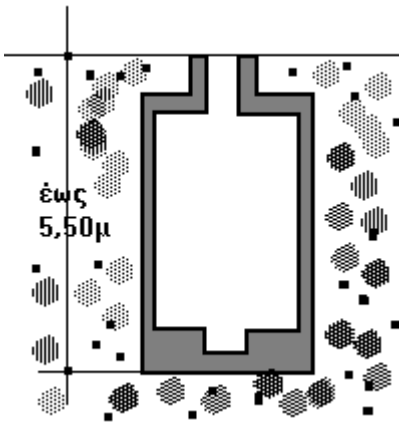
Είναι δυνατό, στις περιπτώσεις που η χάραξη των σηράγγων περιλαμβάνει διαδοχικές αντίρροπες καμπύλες να χρησιμοποιούνται διπλά φρεάτια, ώστε να αποφεύγεται η πλέξη των κυρίων αγωγών του συστήματος αποχέτευσης, βλέπε επόμενο σχήμα.



Διαδοχικά στο φρεάτιο αυτό εισέρχονται στον κατάλληλο αγωγό, είτε τα στραγγίσματα, είτε τα ρυπαρά νερά του οδοστρώματος.

Ο συλλεκτήριος αγωγός αποχέτευσης είναι αγωγός σκυροδέματος, στεγανός και εγκιβωτισμένος ανάλογα με το βάθος τοποθέτησης του και τις συνθήκες φόρτισης. Η διάμετρός του κυμαίνεται από 40 cm μέχρι 60 cm αναλόγως με την κλίση της σήραγγας ώστε να παροχετεύεται η παροχή σχεδιασμού (200-240 L/sec) με ποσοστό πλήρωσης μέχρις 75%. Είναι δυνατό μάλιστα σε εξαιρετικές περιπτώσεις μηδενικής κλίσης να συνυπολογίζεται η παροχετευτικότητα του ρείθρου ώστε ο αγωγός να παραμείνει με την ελάχιστη δυνατή διάμετρο.

Η δεξαμενή συγκράτησης ρύπων, η οποία περιλαμβάνει και τις διατάξεις αναρρόφησης και υπερχείλισης στο περιβάλλον, τοποθετείται στην περιοχή του χαμηλότερου στομίου της σήραγγας, επειδή όλο αποχετευτικό και αποστραγγιστικό σύστημα της σήραγγας λειτουργεί κυρίως με βαρύτητα. Ενδεικτικά παρατίθεται το ακόλουθο σχήμα με τη σημείωση ότι το μεγάλο βάθος προτείνεται κυρίως όταν απαιτείται να περιοριστούν οι λοιπές διαστάσεις της δεξαμενής ώστε να μην εμποδίζονται άλλα συστήματα και εγκαταστάσεις της σήραγγας.



Γενικά για το σχεδιασμό των προαναφερόμενων διατάξεων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

(1) Η εξασφάλιση παροχετευτικότητας για τις προδιαγραφόμενες παροχές σχεδιασμού

(2) Η εξασφάλιση επαρκούς ικανότητας υδροσυλλογής αντίστοιχης της παροχετευτιότητας για τον περιορισμό της επιφάνειας εξάπλωσης των ρύπων, πάνω στο οδόστρωμα και τη μείωση του μήκους υδροσυλλογής πάνω στο ρείθρο.

(3) Η μείωση του κόστους κατασκευής με χρήση προκατασκευής σε μεγάλο ποσοστό τμημάτων αλλά και μερών του συστήματος αποχέτευσης και ταυτόχρονα απλοποίηση της κατασκευής με την υιοθέτηση κατασκευαστικών διαδικασιών που είναι εύκολα κατανοητές και ασφαλείς.

(4) Η μείωση του αριθμού των πάσης φύσης φρεατίων ή και κατάργηση των συμβατικού τύπου φρεατίων υδροσυλλογής για την κατά το δυνατό μείωση της πολυπλοκότητας των κατασκευών εντός της σήραγγας.

(5) Η μείωση του θορύβου με την τοποθέτηση των φρεατίων επίσκεψης-συντήρησης του κύριου συλλέκτη αγωγού στο μέσον μιας των λωρίδων κυκλοφορίας.

(6) Ο περιορισμός του χώρου που καταλαμβάνεται από το τμήμα υδροσυλλογής επί του κρασπεδορείθρου στα 25 cm ώστε να μη περιορίζεται ο χώρος του καναλιού των καλωδίων και να μη διακόπτεται η συνέχεια της λευκής γραμμής οριζόντιας σήμανσης.

(7) Η εξασφάλιση επαρκούς αντοχής του τμήματος υδροσυλλογής υπόγεια και υπέργεια ώστε να εγκιβωτίζονται με ασφάλεια τα καλώδια και τα υλικά οδοστρωσίας.

(8) Η εξασφάλιση ελάχιστου πάχους τοιχωμάτων τμήματος υδροσυλλογής για την ασφαλή ανάρτηση καλωδίων στο κοινό τοίχωμα με το κανάλι καλωδίων.

(9) Η εξασφάλιση στεγανότητας ώστε να μην υπάρχει διαρροή ρευστών προς το κανάλι καλωδίων ή προς το όγκο των υλικών οδοστρωσίας.

(10) Ο περιορισμός της εξάπλωσης και διασποράς των ρύπων με την υιοθέτηση

υπόγειων υδραυλικά στεγανών αποχετευτικών διαμερισμάτων λειτουργούντων με σιφωνισμό.

(11) Η εξασφάλιση επαρκούς κάλυψης και προστασίας των υπόγειων αγωγών συλλογής και μεταφοράς.

(12) Ο πλήρης διαχωρισμός των αποχετευτικών συστημάτων στράγγισης υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και αποχέτευσης επιφανειακών ροών εσωτερικού των σηράγγων.

13.3 Συνήθεις Διατάξεις Αποχέτευσης-Αποστράγγισης

Γενικά, η μελέτη αποστράγγισης-αποχέτευσης της οδού και αυτή της σήραγγας θα πρέπει να αποτελούν δύο διαφορετικά και ανεξάρτητα συστήματα.

Σε γενικές γραμμές θα εξετάζονται:

α. Στα εκατέρωθεν της σήραγγας τμήματα της οδού η απορροή και η αποστράγγιση

β. Στις σήραγγες η αποχέτευση για την προστασία των περιοχών των στομίων και η εξωτερική αποστράγγιση του υλικού που βρίσκεται γύρω από τη σήραγγα.

Η απορροή που προκύπτει από την αποστράγγιση, που κατευθύνεται προς τη σήραγγα, θα διοχετεύεται σε φυσικό αποδέκτη και δεν θα παροχετεύεται μέσα από τη σήραγγα.

Η εξωτερική ροή της αποστράγγισης από τη σήραγγα θα διοχετεύεται σε φυσικό αποδέκτη.

Η απορροή από τη σήραγγα θα παροχετεύεται σε δεξαμενή συγκράτησης για την αποθήκευσή της και στη συνέχεια την απόρριψή της από βυτιοφόρο. Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, η ροή που προκύπτει από την αποχέτευση της σήραγγας δεν θα πρέπει να ρέει στο σύστημα αποστράγγισης-αποχέτευσης της οδού.

Για να εκτιμηθεί η παροχετευτικότητα του συστήματος επιφανειακής αποχέτευσης πρέπει να ληφθούν υπόψη οι παροχές:

- Παροχή πυρόσβεσης: 10 L/s κάθε 50 m σήραγγας.

  Το κριτήριο αυτό εφαρμόζεται για 4 μόνο κρουνούς, δηλαδή για συνολική απόσταση 150 m και για σήραγγες μήκος ≥500 m.

- Παροχή πλυσίματος σήραγγας: 30 L/s κάθε 500 m σήραγγας

- Παροχή ατυχήματος: 300 L/min, για κάθε 1 km σήραγγας

  Το κριτήριο αυτό εφαρμόζεται για σήραγγες ≥1000 m.

- Παροχή ατυχήματος: 200 L/s για το σύνολο της σήραγγας

Διάφορα σενάρια-συνδυασμοί των προηγούμενων πρέπει να ληφθούν υπόψη ώστε να σχεδιαστεί το σύστημα επιφανειακής αποχέτευσης για τη δυσμενέστερη περίπτωση. Αναφέρεται ότι η κατά μήκος κλίση των αποχετευτικών σωλήνων περιορίζεται από τα όρια της σήραγγας και πρέπει να δίνεται η βέλτιστη κλίση σε σχέση με τη διάμετρο του αγωγού.

Όσον αφορά την υδροσυλλογή είναι απαραίτητο να εξετάζεται η ικανότητα υδροσυλλογής και ο απαιτούμενος ελάχιστος χρόνος απορρόφησης της πιθανής κηλίδας κατά τη διάρκεια ενός ατυχήματος. Αναμένεται ότι ο συνολικός όγκος της κηλίδας δεν θα υπερβαίνει τα

15 m^3. Ο χρόνος απορρόφησης δε θα υπερβένει τα 10 λεπτά και ότι η ρυπασμένη επιφάνεια του αυτοκινητόδρομου (εξάπλωση) δεν θα υπερβεί τα 100 m. Προδιαγράφεται κατά μέσο όρο η απόσταση των 50 m μεταξύ διαδοχικών υδροσυλλογών, αλλά είναι απαραίτητο να αιτιολογηθεί η απόσταση σύμφωνα με υπολογισμούς που σχετίζονται με τα προηγούμενα.

Σε περίπτωση που δίνεται εντολή να διέλθει η αποχέτευση ομβρίων του ανάντη τμήματος της οδού μέσα από τη σήραγγα ή δίνεται εντολή να εκβάλει το σύστημα αποχέτευσης της σήραγγας σε Μονάδα Ελέγχου Ρύπανσης από κοινού με τις απορροές του κατάντη τμήματος της οδού τότε η διαστασιολόγηση των αποχετευτικών συστημάτων θα γίνεται με την δυσμενέστερη παροχή ενώ η επιλογή του μεγέθους της Μονάδας Ελέγχου Ρύπανσης θα γίνεται με το σύνολο των παροχών

Η κατασκευή δεξαμενής συγκράτησης προβλέπεται για την περισυλλογή:

- Υγρών που έχουν διαρρεύσει στην επιφάνεια της οδού εντός της σήραγγας.
- Βρώμικου ή ρυπαρού νερού που προκύπτει από εργασίες πλύσης εντός της σήραγγας και που προέρχεται από τα τοιχώματα ή την επιφάνεια της οδού.
- Νερού που προκύπτει από δραστηριότητες πυρόσβεσης μέσα στη σήραγγα.

Το μέγεθος της δεξαμενής συγκράτησης θα είναι τέτοιο ώστε να συγκρατεί όγκο νερού ίσο με 25 m^3. Προβλέπονται τα ακόλουθα για το σχεδιασμό αυτής της δεξαμενής:

α. Διάταξη υπερχείλισης η οποία θα εκρέει σε ασφαλή και επιτρεπόμενο χώρο-αποδέκτη

β. Διάταξη εκκένωσης (κατασκευαστική και όχι μηχανική) ώστε να είναι δυνατή η πλήρης και άμεση εκκένωση με ασφαλή τρόπο.

γ. Βατότητα οροφής (η πλάκα οροφής πρέπει να δέχεται φορτία μέχρι 12.000 kg)

δ. Μετά από αιτιολόγηση σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να προταθεί προθάλαμος για καθίζηση. Ο όγκος του προθαλάμου θα είναι μικρός κατά το δυνατό.

ε. Διατάξεις φυσικού αερισμού για την εκτόνωση σε αρκετό ύψος των αερίων ώστε να μην υπάρχει όχληση ή κίνδυνος αναθυμιάσεων.

στ. Θυρίδα επίσκεψης και επιθεώρησης-συντήρησης με κάλυμμα χυτοσιδηρό διαστάσεων τουλάχιστο 80x80 cm.

ζ. Ιδιαίτερο φρεάτιο ελέγχου και καθαρισμού του αποχετευτικού αγωγού Ø400 από τη σήραγγα πριν από την είσοδο στη δεξαμενή.

η. Εργονομική αναλογία διαστάσεων. Η επιλογή θα γίνεται κυρίως με κριτήριο τη διαθεσιμότητα του χώρου. Ο λόγος των διαστάσεων [μήκος:πλάτος] και [πλάτος:ύψος] δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή 1:2.

θ. Ελεύθερος χώρος 10% του όγκου των 25 m^3 προ της στάθμης υπερχείλισης και 20% πάνω από την στάθμη υπερχείλισης

ι. Δυνατότητα σύνδεσης με άλλες μονάδες ελέγχου ρύπανσης σε σχέση με τους γενικότερους περιβαλλοντικούς όρους της περιοχής.

Όπου είναι αδύνατη η απομάκρυνση της απορροής της οδού, ο σχετικός σχεδιασμός θα πρέπει να βασίζεται σε Πρότυπες Μονάδες Ελέγχου Ρύπανσης και θα περιλαμβάνει ιλυοπαγίδα και διαχωριστή ελαφρών υγρών. Θα περιλαμβάνει βαλβίδα εκτροπής η οποία θα κατευθύνει τη ροή των υδάτων, είτε στη δεξαμενή συγκράτησης, είτε στην ιλυοπαγίδα και το διαχωριστή ελαφρών υγρών.

Σε περίπτωση που η απορροή από τη σήραγγα δεν έχει τη δυνατότητα να φύγει δια της βαρύτητας και οι Δεξαμενές Συγκράτησης Ρύπων τοποθετούνται εντός αυτής, θα είναι εξοπλισμένες με:

α. Αισθητήρες παρακολούθησης της στάθμης του νερού / υγρού.

β. Στόμιο εισόδου αφρού αζώτου για πυροπροστασία.

γ. Ξηρό σημείο εισόδου για τη χρήση αφρού εξ αποστάσεως από την πυροσβεστική.

δ. Ηλεκτρικό εξοπλισμό με τέτοιο βαθμό προστασίας, ώστε να εξασφαλίζεται η αποφυγή πρόκλησης πυρκαγιάς ή εκρήξεων (BS 5345 Μέρος 1).

ε. Όπου εγκαθίσταται βαλβίδα εκτροπής, σύστημα ελέγχου εξ αποστάσεως και ενεργοποιητής.

στ. Σύστημα φυσικού εξαερισμού.

Στην περιοχή των στομίων της σήραγγας θα πρέπει να προβλέπονται για τη χωροθέτηση της δεξαμενής συγκράτησης τα εξής:

α. Η χωροθέτηση γενικά, της δεξαμενής συγκράτησης εκτός των ορίων της οδού, παρακείμενη στο συμπαγές έρεισμα και κοντά στο στόμιο της σήραγγας. Η διάταξη αυτή θα επιτρέπει τη στάση βυτιοφόρου στο έρεισμα και την πρόσβαση της δεξαμενής για την εκκένωσή της με αντλία.

β. Όπου δεν υπάρχει έρεισμα, η δεξαμενή θα πρέπει να χωροθετείται εκτός της οδού και να είναι παρακείμενη στην εσωτερική λωρίδα. Η διάταξη αυτή θα επιτρέπει τη στάση του βυτιοφόρου στη λωρίδα βραδείας κυκλοφορίας κατά την πρόσβαση της δεξαμενής συγκράτησης, με την προϋπόθεση ότι η λωρίδα διαθέτει την κατάλληλη σήμανση με κορίνες.

γ. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, η δεξαμενή μπορεί να τοποθετείται στην κεντρική νησίδα ανάμεσα στους δύο κλάδους της σήραγγας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, θα πρέπει να γίνει πρόβλεψη για περιοχή στάθμευσης του βυτιοφόρου εκτός της επιφάνειας της οδού κατά την πρόσβαση της δεξαμενής συγκράτησης.

13.4 Διατάξεις για Φρεάτια Αερισμού Σηράγγων

Τα φρεάτια αερισμού των σηράγγων θα πρέπει να φέρουν ειδικό στέγαστρο για την αποφυγή εισροής προς τη σήραγγα νερών της βροχής. Επίσης θα πρέπει η διάταξη της επένδυσής τους να εξέχει αρκετά από το έδαφος ώστε να εμποδίζονται νερά από την επιφάνεια του εδάφους να κατέρχονται στη σήραγγα.

Υπόγεια νερά που εκτονώνονται στην περίμετρο του φρεατίου αερισμού θα πρέπει, με διάταξη καναλιού υδροσυλλογής στην οροφή της σήραγγας, να συλλέγονται και να απομακρύνονται στο σύστημα αποχέτευσης και όχι αποστράγγισης, επειδή ενδέχεται να ρυπαίνονται από τα καυσαέρια. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να προβλέπεται οπωσδή-

ποτε διάταξη διαχωρισμού των ρύπων και υπερχείλιση στη δεξαμενή συγκράτησης ρύπων.

Η υγροποίηση επίσης των υδρατμών στο φρεάτιο είναι ένα μέγεθος που σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει να εξετάζεται.

13.5 Διατάξεις για Μικρές Σήραγγες

Σε περιπτώσεις μικρών σηράγγων, μήκος μέχρι 200 m μπορεί να ισχύουν τα ακόλουθα μετά από έγκριση της Υπηρεσίας:

Κάθε μικρή σήραγγα με μήκος κάτω από 50 m θεωρείται κατασκευή αντίστοιχη με κάτω διάβαση.

Ελάχιστα μεγαλύτερες σήραγγες μπορεί να συμπεριληφθούν στην προηγούμενη κατηγορία σύμφωνα με την κρίση της Υπηρεσίας. Κατά συνέπεια το σύστημα αποστράγγισης-αποχέτευσης της οδού δεν διακόπτεται κατά μήκος μιας μικρού μήκος σήραγγας.

Η απορροή της οδού μπορεί να ρέει μέσα από τη σήραγγα είτε μέσω επιφανειακής τάφρου, όπου υπάρχει διαθέσιμος χώρος για κάτι τέτοιο, ή, το πιο πιθανό, μέσω αγωγού μεταφοράς υδάτων.

Η ροή από την αποχέτευση της επιφάνειας της οδού εντός της σήραγγας μπορεί να διοχετεύεται κατευθείαν μέσα και να ενσωματώνεται στο σύστημα αποχέτευσης της οδού. Το σύστημα αποστράγγισης της οδού μπορεί να διέρχεται μέσα από τη σήραγγα. Η εξωτερική ροή από την αποστράγγιση της σήραγγας μπορεί να διοχετεύεται μέσα στο σύστημα αποστράγγισης της οδού.

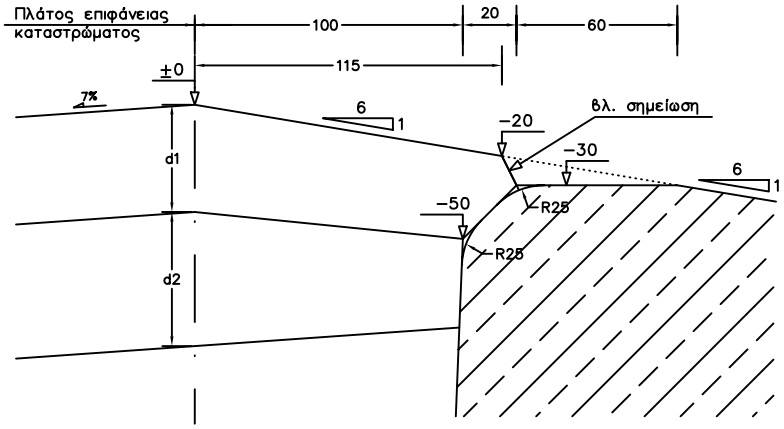
Στα πλαίσια όσων προαναφέρονται, δεν προβλέπεται η λήψη ειδικών μέτρων πυρόσβεσης εντός της σήραγγας κι επομένως δεν υπάρχει ανάγκη για πρόβλεψη ειδικής δεξαμενής συγκράτησης.

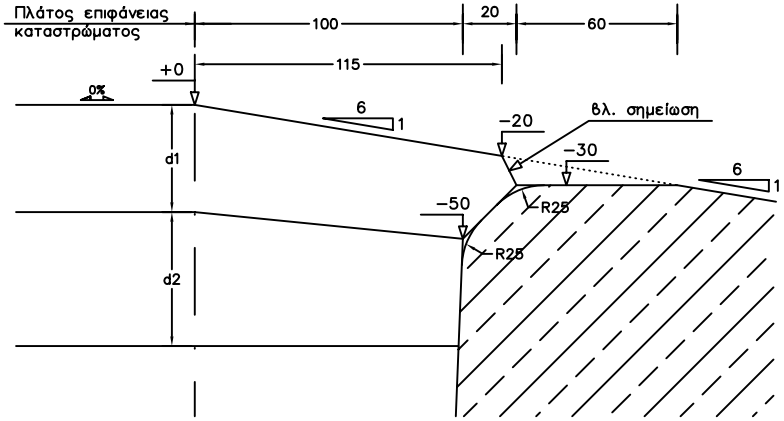
14. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

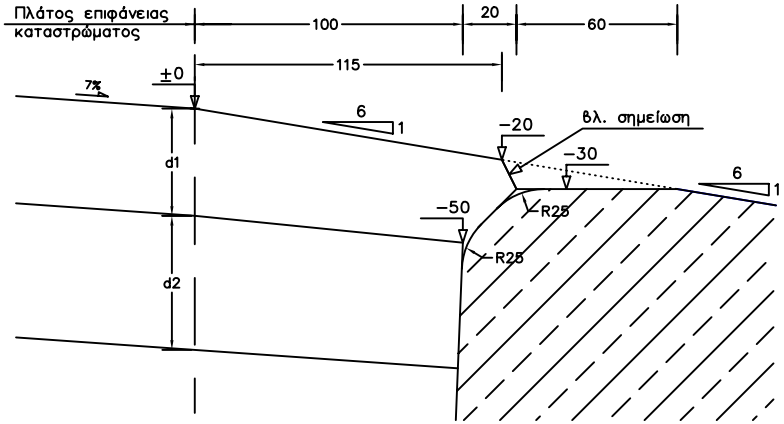
1. Roadside Design Guide, AASHTO, 1995
2. Highway Construction details, HMSO, 1987
3. Highway Drainage Guidelines, AASHTO, 1987
4. Drainage of Highway Pavements Hydraulic Engineering
   Circular No12 USA FHWA, 1984
5. Drainage Manual, RTA Canada, 1982
6. Merkblatt fur die Entwasserung von Strassen
   Forschungsgesellschaft fur das Strassen 1980
   Richtilinien fur die Anlage von Strassen,
7. Teil : Entwasserung, RAS-EW 1987
   Forschungsgesellschaft fur das Strassen 1980
8. Guidelines for water management 306/1993
   Aplication of geotextiles in hydraulic engineering
   Wirtschafts und Verlagsgesellschaft, Gas und Wasser mbH Bonn
9. Recomendation pour l' assainissement routirer LCPC, SETRA 1982
10. Hydraulique Appliquée, Tome 3,
    Protection des Ouvrages Routiers et Autoroutiers Contre les Eaux, M.Guyet
11. Dimensionement des buses et dalots, BCEOM
12. SN Norme Suisse
13. Highway Design Manual, Caltrans, USA, Chapter 800 Highway Drainage Design, May 2001
14. Model Drainage Manual, AASHTO 1999
15. Caltrans Storm Water Quality Handbooks, Infiltration Basin, Detention Basin, May 2000
16. Engineering and Design, Channel Stability Assessment for Flood Control Projects, US Army Corps of Engineers, Oct. 1994
17. Engineering and Design, River Hydraulics, US Army Corps of Engineers, Oct. 1993

15. ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Στις επόμενες σελίδες παρατίθενται σχέδια προτύπων κατασκευής επαναλαμβανόμενων στοιχείων των έργων αποχέτευσης.



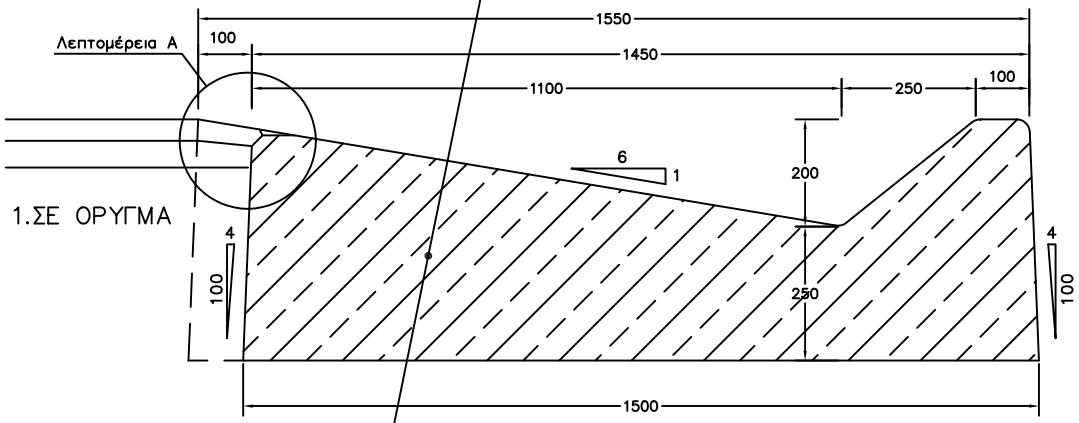




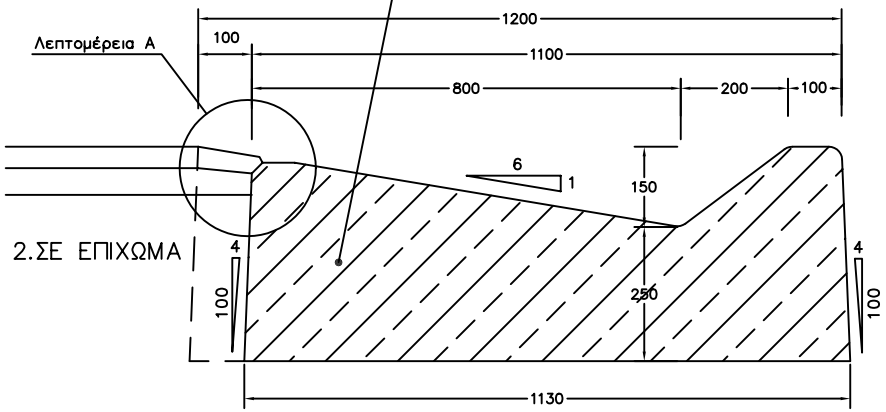
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ Α: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2

Το περιορισμένο πλάτος 1450 mm εφαρμόζεται όταν η οδός τίθεται σε κυκλοφορία πριν από την κατασκευή της στρώσης κυκλοφορίας (αντιολισθηρή στρώση)



1.ΣΕ ΟΡΥΓΜΑ



2.ΣΕ ΕΠΙΧΩΜΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10

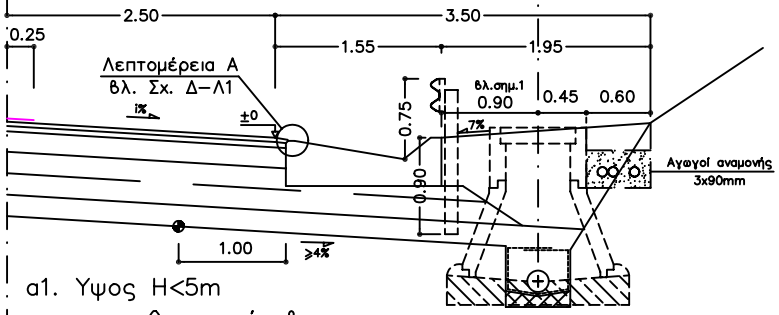
Σημείωση

1. Εφαρμόζεται σε όλες τις κατηγορίες οδών όταν η κατασκευή της ανώτερης στρώσης κυκλοφορίας υστερεί χρονικά και το έργο τίθεται σε κυκλοφορία πριν από την κατασκευή της στρώσης αυτής
2. Για κανένα λόγο η τελειωμένη επιφάνεια της τριγωνικής τάφρου δεν επιτρέπεται να υπόκειται της επιφάνειας κυκλοφορίας περισσότερο από 1cm
3. Ολες οι ακμές του σιδηροτύπου στρογγυλεύονται με R=25mm

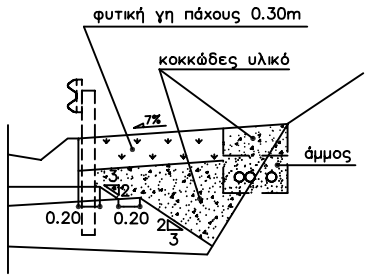
Διαστάσεις σε [mm]

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗΣ ΤΑΦΡΟΥ (υ:β=1:6)		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Δ-Λ1	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

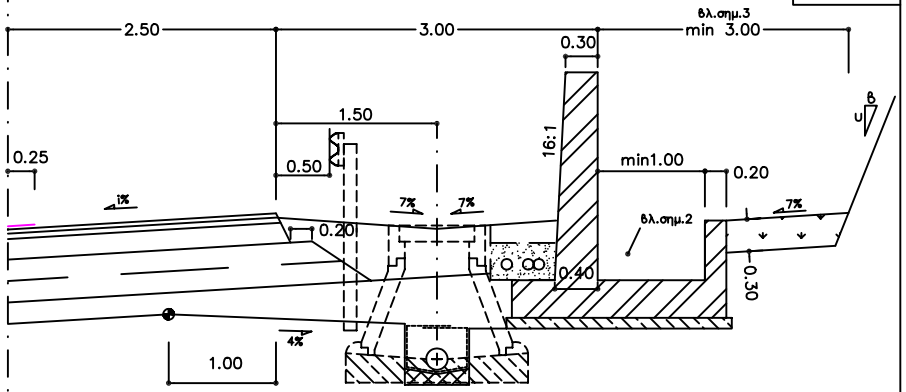
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



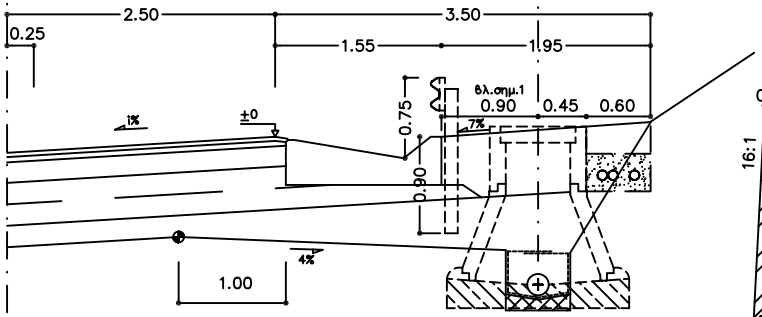
a1. Υψος H<5m
σε ευθυγραμμία &
στο εσωτερικό καμπύλης



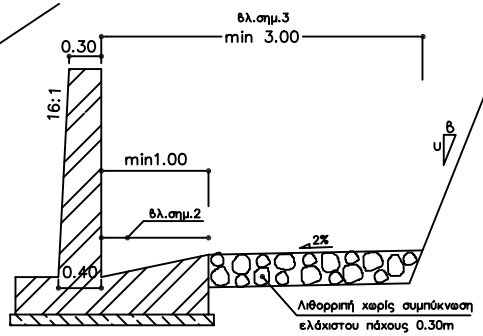
Υλικά φυτικού ερείσματος
(Γενικής εφαρμογής)



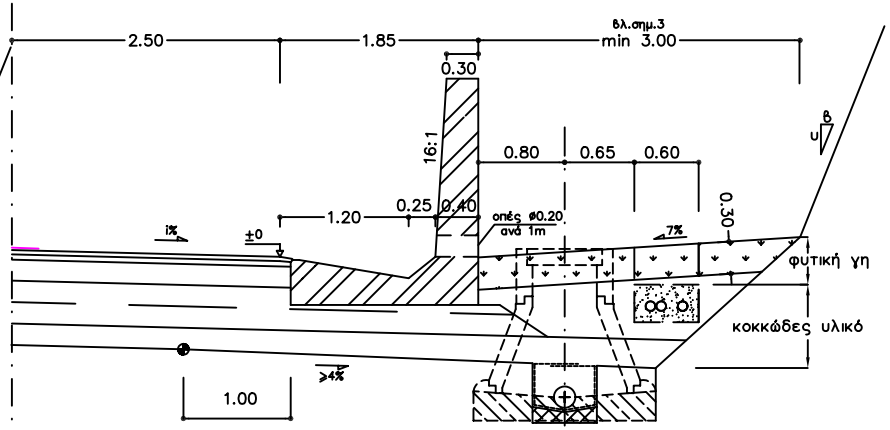
β2. Βραχώδες ύψος H>5m
στο εξωτερικό καμπύλης
(τριγ. τάφρος 1:6 δεν κατασκευάζεται
όταν στο πλάτος του φυτικού ερείσματος
δεν προσρέει εξωτερική απορροή)



a2. Υψος H<5m
στο εξωτερικό καμπύλης

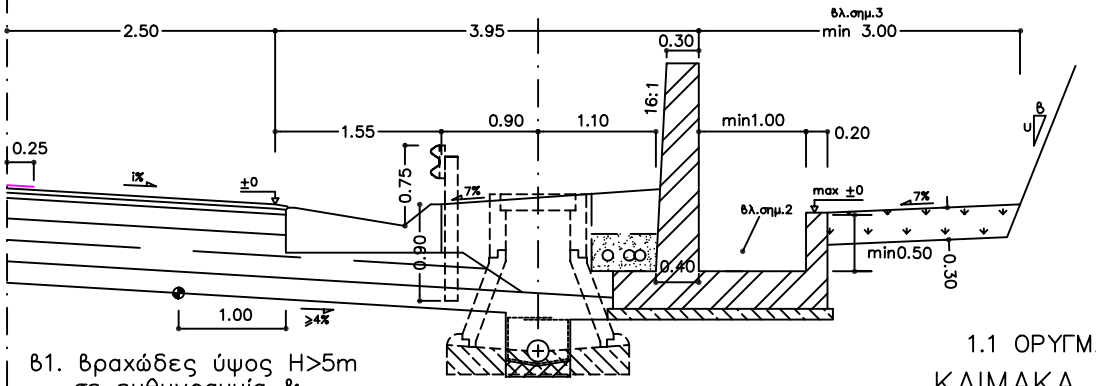


Προτιμητέα διάταξη
για τις περιπτώσεις β1 & β2



β3. Βραχώδες ύψος H>5m
με μικρή ποσότητα ομβρίων
από τα πρανή ορύγματος
(που μπορεί να παροχετεύεται από την τριγ. τάφρο 1:6)

Εφαρμόζεται μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις. Μη επιθυμητή διάταξη



β1. Βραχώδες ύψος H>5m
σε ευθυγραμμία &
στο εσωτερικό καμπύλης (με μεγάλη ποσότητα ομβρίων από τα πρανή ορύγματος)

1.1 ΟΡΥΓΜΑ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

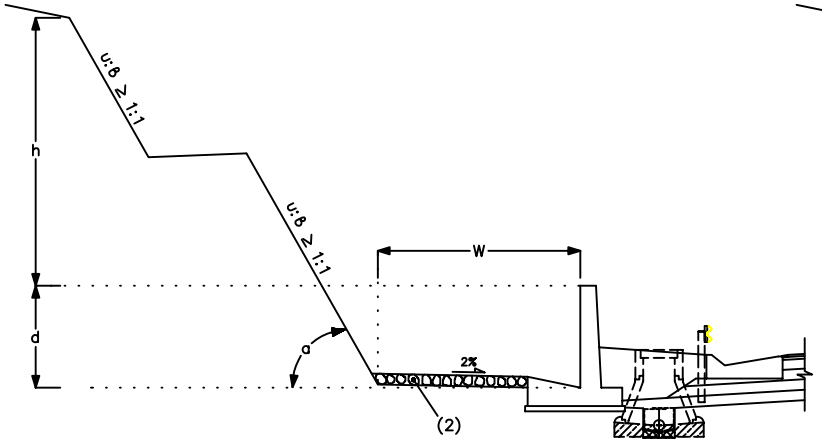
Σημείωση

1. Σε τμήματα με φρεάτια υδροσυλλογής πίσω από την τάφρο γίνεται 1.40m
2. Οι διαστάσεις καθορίζονται σε σχέση με την κατά μήκος κλίση και τις απαιτήσεις παροχετευτικότητας, η οποία πρέπει να ελέγχεται με υδραυλικούς υπολογισμούς
3. Ο τοίχος κατασκευάζεται όταν απαιτείται προστασία από καταπτώσεις, οπότε υπολογίζονται και οι απαιτούμενες διαστάσεις του (βλ. Σχ. Δ–Λ2.2)
4. Στα άκρα του τοιχείου βραχοπαγίδας, το ύψος του τοιχείου μεταβάλλεται με κλίση u:b=1:5 μέχρι μηδενισμού
5. Για τους τοίχους αναχαίτησης απαιτείται στατικός υπολογισμός

Διαστάσεις σε [m]

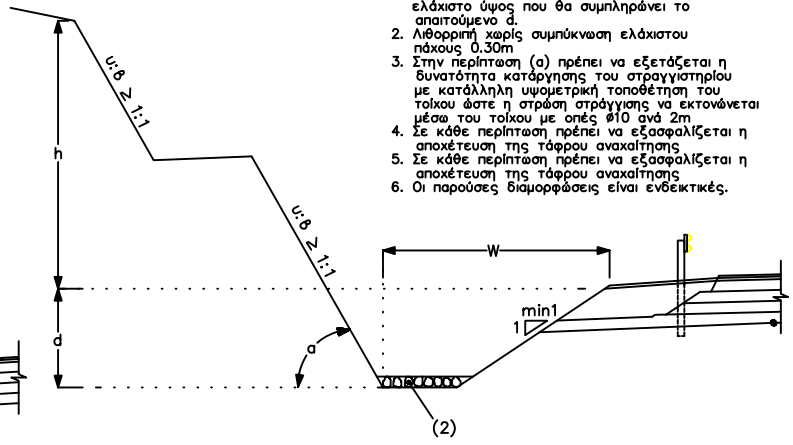
ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΑΥΤ/ΔΡΟΜΟΥ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Δ–Λ2.1	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 7	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



α. με τοίχο αναχαίτησης

Για λεπτομέρειες βλ. Σχ. Δ–Λ2.1



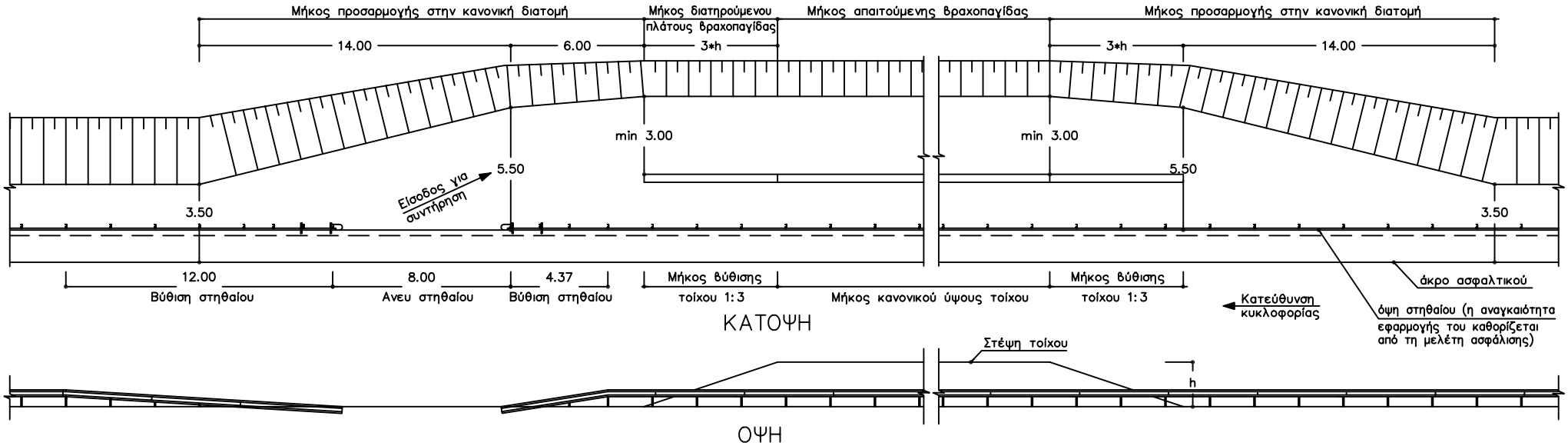
β. χωρίς τοίχο αναχαίτησης

Σημείωση

1. Επιτρέπεται η μείωση του βάθους της τάφρου σε 1.5m, εφόσον κατασκευασθεί τοίχος με ελάχιστο ύψος που θα συμπληρώνει το απαιτούμενο d.
2. Λιθορριπή χωρίς συμπύκνωση ελάχιστου πάχους 0.30m
3. Στην περίπτωση (α) πρέπει να εξετάζεται η δυνατότητα κατάργησης του στραγγιστηρίου με κατάλληλη υψομετρική τοποθέτηση του τοίχου ώστε η στρώση στράγγισης να εκτονώνεται μέσω του τοίχου με οπές Ø10 ανά 2m
4. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξασφαλίζεται η αποχέτευση της τάφρου αναχαίτησης
5. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να εξασφαλίζεται η αποχέτευση της τάφρου αναχαίτησης
6. Οι παρούσες διαμορφώσεις είναι ενδεικτικές.

Κλίση πρανούς ορύγματος υ:β (α°)	Ύψος ορύγματος h [m]	Πλάτος τάφρου αναχαίτησης W [m]	Βάθος τάφρου αναχαίτησης d [m]
≥ 5,7:1 (80°–90°)	5–10 10–20 > 20	3 5 6,5	1 1,5 1,5
3,7:1 (75°)	5–10 10–20 20–35 >35	3 5 6,5 8	1 1,5 2 (1) 2 (1)
2:1 (65°)	5–10 10–20 20–35 >35	3 5 6,5 8	1,5 2 2 (1) 3 (1)
1,4:1 (55°)	0–10 10–20 >35	3 5 5	1 1,5 2 (1)
1:1 (45°)	0–10 10–20 >20	3 3 5	1 1,5 2 (1)

1. ΤΑΦΡΟΣ ΑΝΑΧΑΙΤΗΣΗΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ



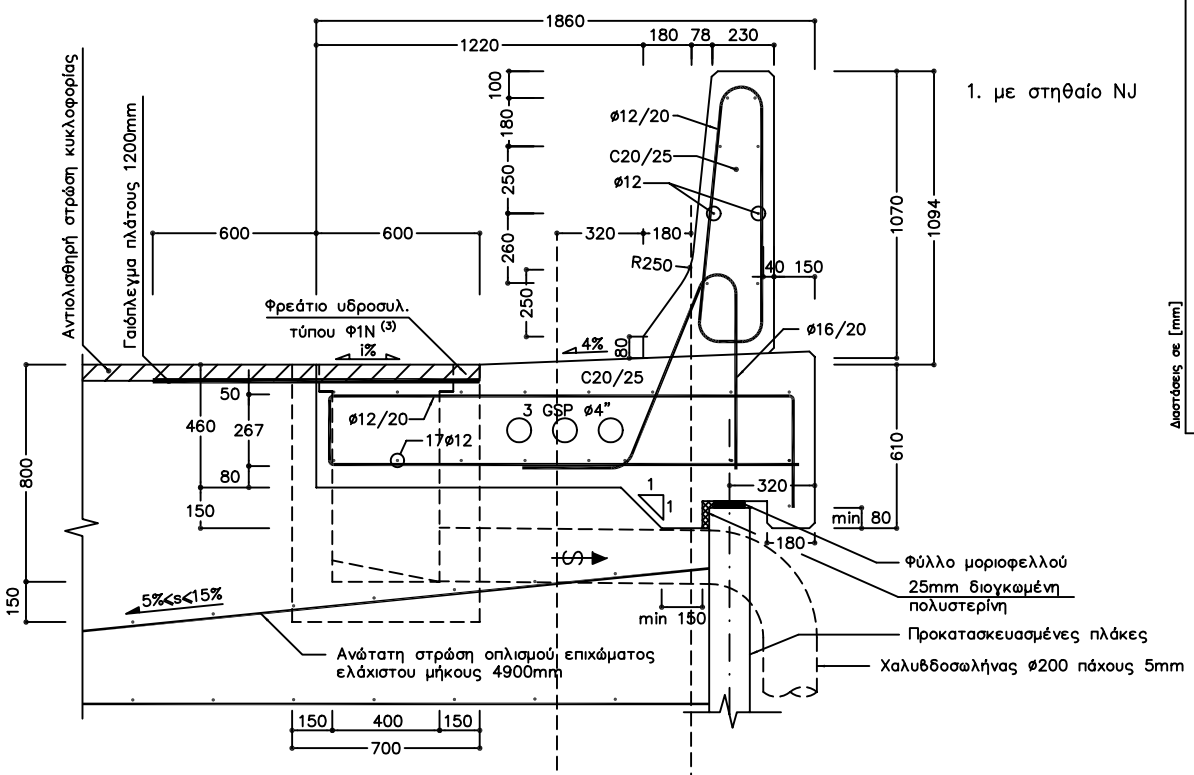
2. ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΑΧΑΙΤΗΣΗΣ

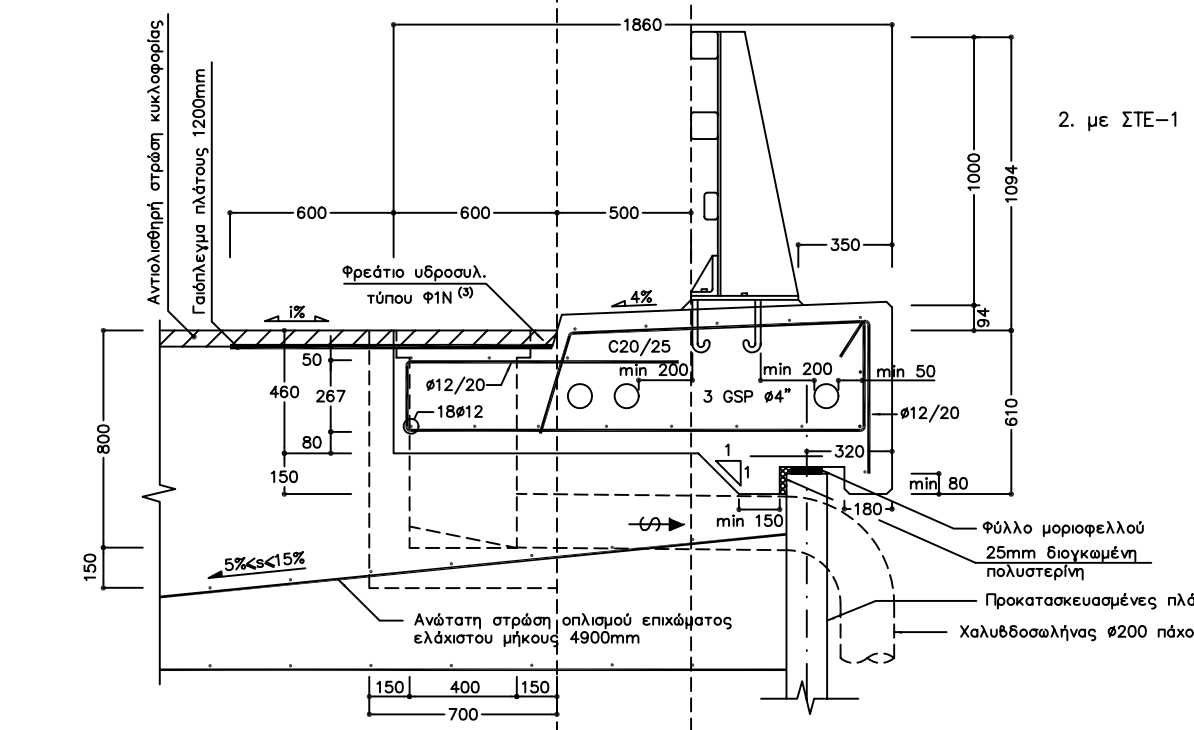
Διαστάσεις σε [m]

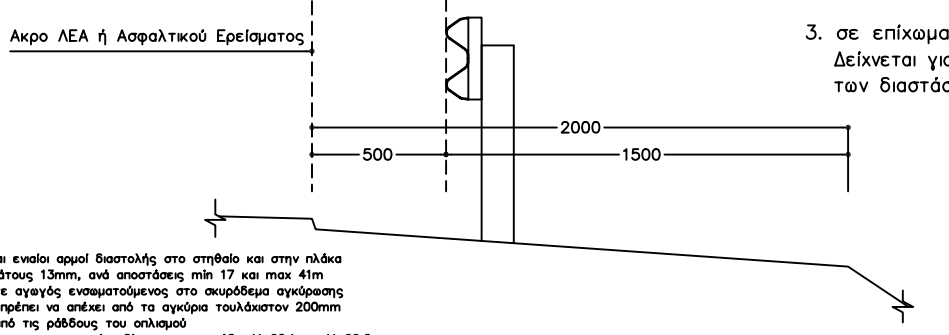
1.2 ΟΡΥΓΜΑ
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ

ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΑΥΤ/ΔΡΟΜΟΥ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Δ–Λ2.2	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 2 από 7	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας







Σημείωση

1. Προβλέπονται ενιαίοι αρμοί διαστολής στο στηθαίο και στην πλάκα έδρασης πλάτους 13mm, ανά αποστάσεις min 17 και max 41m
2. Οποιοσδήποτε αγωγός ενσωματούμενος στο σκυρόδεμα αγκύρωσης του ΣΤΕ−1, πρέπει να απέχει από τα αγκύρια τουλάχιστον 200mm και 50mm από τις ράβδους του οπλισμού
3. Οι λεπτομέρειες του φρεατίου δίνονται στα σχέδια Υ−02.1 και Υ−02.2
Σε περίπτωση που απαιτούνται φρεάτια σε αποστάσεις μικρότερες από 30m, κατασκευάζεται διαμήκης υπόνομος που συνδέει τα φρεάτια μεταξύ τους ώστε αυτά να εκτονώνονται τουλάχιστον κάθε 30m. Στον υπόνομο αυτό πρέπει να εξασφαλίζεται η στεγανότητα των συνδέσεων (π.χ. με εγκιβωτισμό)

4. ΣΕ ΤΟΙΧΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΓΗΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20

Διαστάσεις σε [mm]

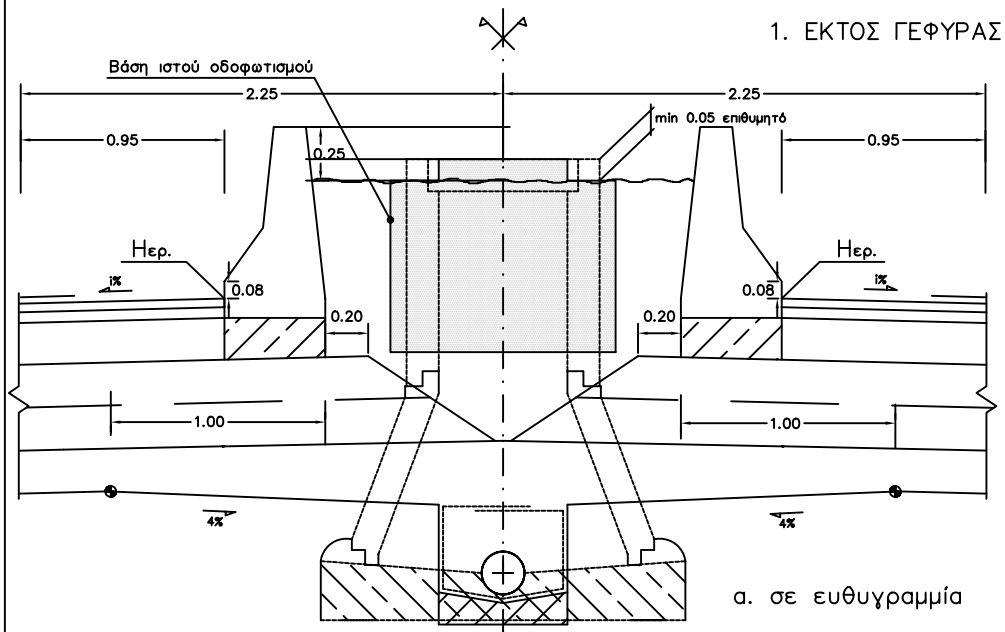
ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΑΥΤ/ΔΡΟΜΟΥ

ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ

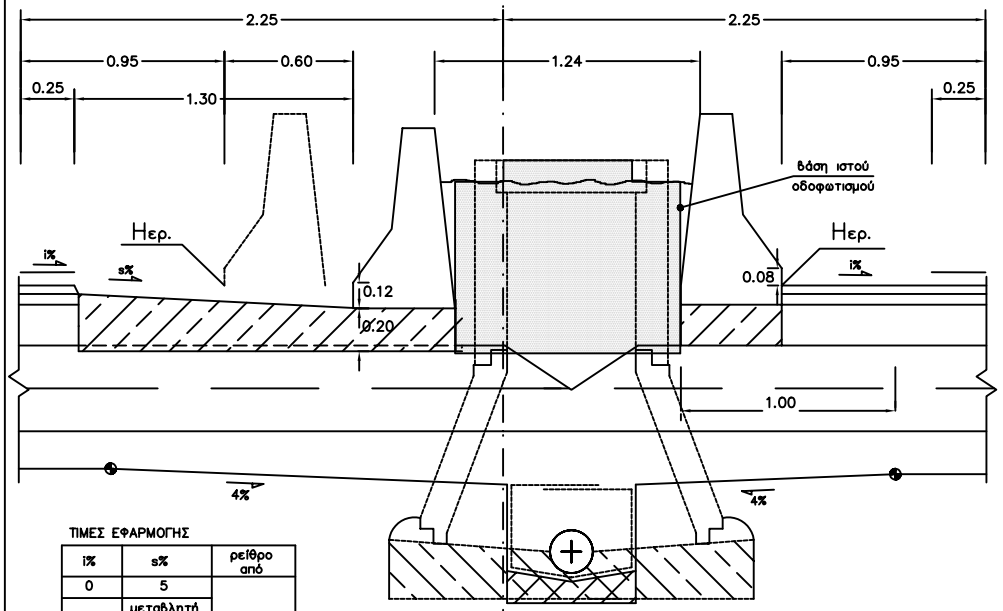
Ημερομηνία	Αναθεώρηση	#
02/11/02		

Κωδ. Σχεδίου Δ−Λ2.7 | Φύλλο 7 από 7

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



α. σε ευθυγραμμία

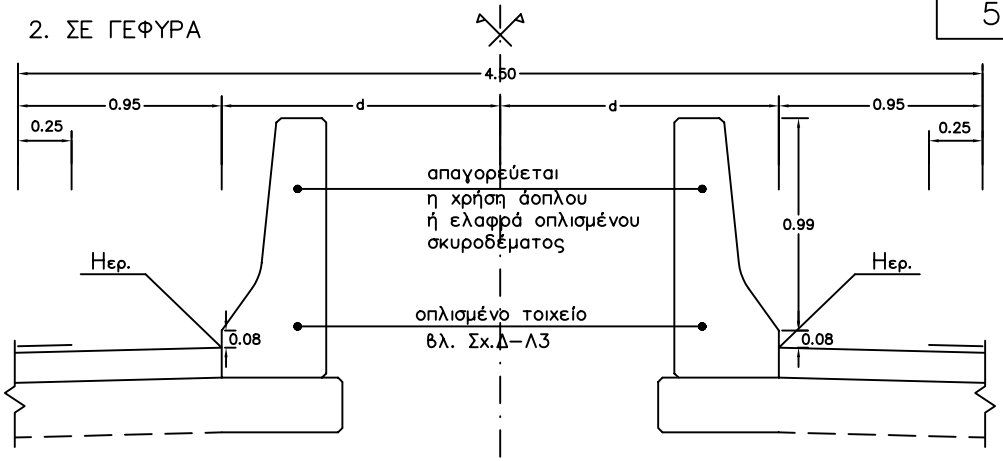


ΤΙΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

i%	s%	ρείθρο από
0	5	σκυρόδεμα
	μεταβλητή	
1.5	6.5	
	σταθερή	
6.5	6.5	οδόστρωμα
>6.5	i	

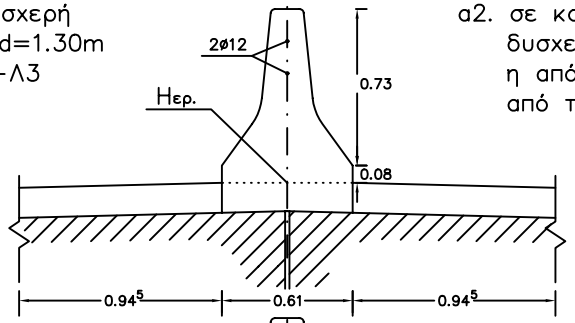
β. Δυνατότητα εφαρμογής σε καμπύλη
(μείωση πλάτους χωμάτινης νησίδας με μεγαλύτερο πλάτος ρείθρου)

2. ΣΕ ΓΕΦΥΡΑ

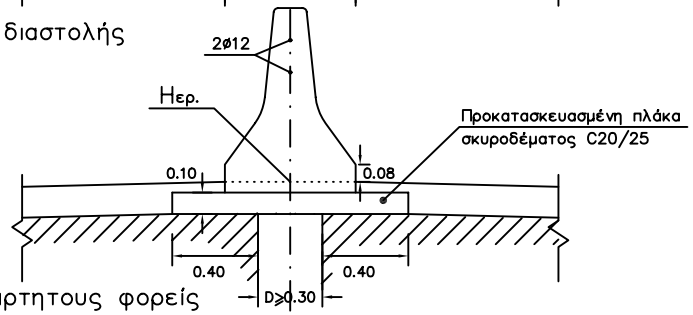


α1. σε μη δυσχερή τμήματα d=1.30m βλ.σχ. Δ-Λ3

α2. σε κοιλαδογέφυρες δυσχερών τμημάτων η απόσταση d ορίζεται από τη στατική μελέτη



β. με αρμό διαστολής



γ. με ανεξάρτητους φορείς σε μικρού ανοίγματος γέφυρες

Σημείωση

1. Το πλάτος του ασφαλτικού ερείσματος στην πλευρά της κεντρικής νησίδας (0.95m) διαπλατύνεται εφόσον απαιτείται από τον έλεγχο της ορατότητας για στάση (βάσει του διαγράμματος Σχ.10-1 των ΟΜΟΕ-Χ). Η διαπλάτυνση αυτή (πέραν των 0.95m) κατασκευάζεται (σε σχέση με την επίκλιση της οδού) με εγκάρσια κλίση s, που υπόκειται στον περιορισμό: s≥i-5% και οποσδήποτε s_{min}=1%

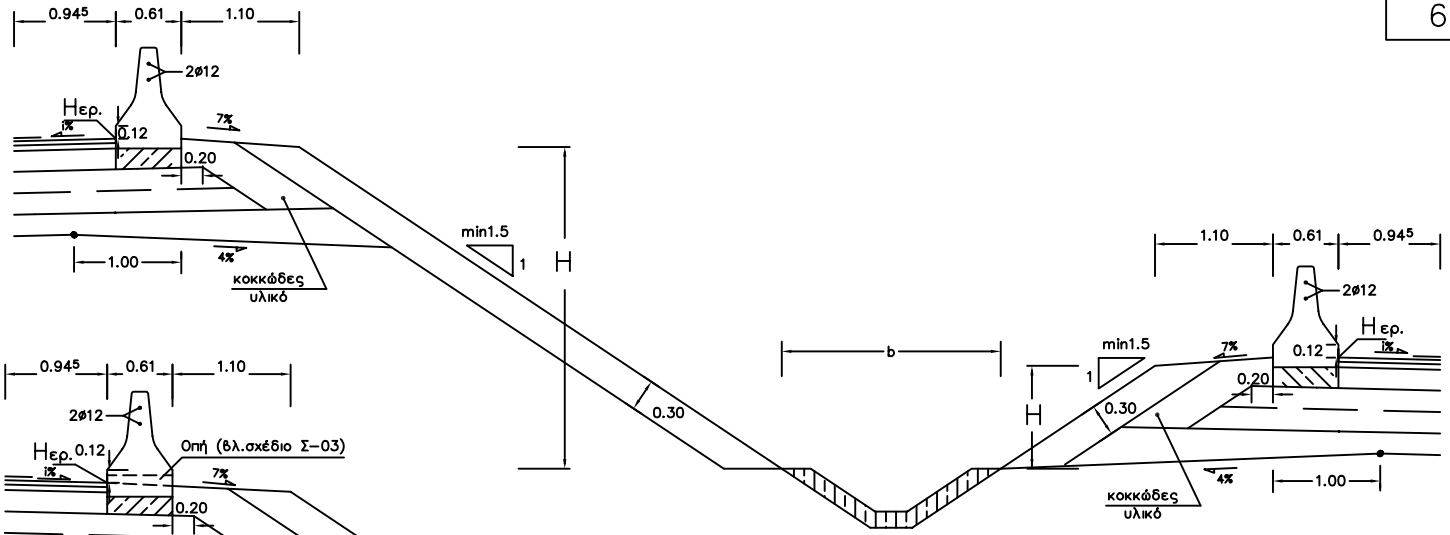
Διαστάσεις σε [m]

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ ΑΥΤ/ΔΡΟΜΟΥ ΣΕ ΙΣΟΣΤΑΘΜΙΑ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Δ-Λ4.1	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 2	Αναθεώρηση #

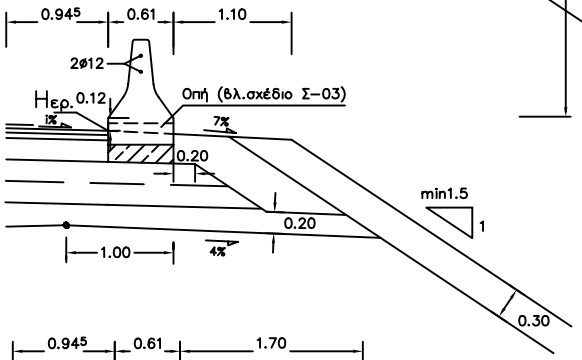
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

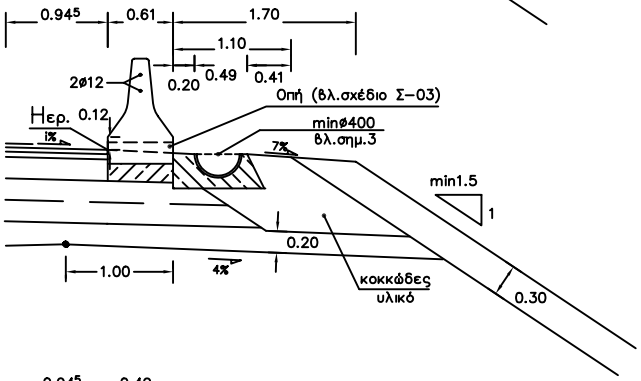
α. Διαμόρφωση σε ευθυγραμμία
(το στηθαίο μπορεί να κατασκευάζεται και επί τόπου)



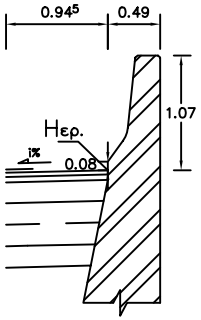
β. Διαμόρφωση με H<3.00
(προκατασκευασμένο στηθαίο με οπές μήκους 1.00m ανά 3.00m)



γ. Διαμόρφωση με H>3.00
(προκατασκευασμένο στηθαίο με οπές μήκους 1.00m ανά 3.00m)



δ. Διαμόρφωση με τοίχο



Σημείωση

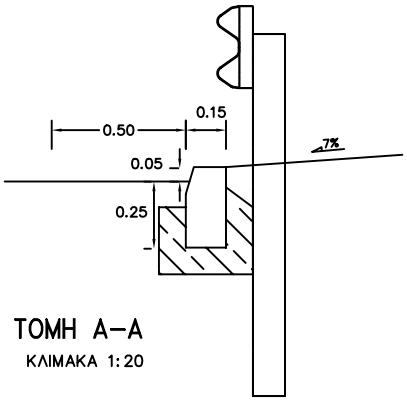
1. Το πλάτος b εξαρτάται από τις απαιτήσεις παροχετευτικότητας της τάφρου. Η υψομετρική τοποθέτηση της τάφρου και η διαμόρφωσή της πρέπει να διασφαλίζει την αποστράγγιση της στρώσης στράγγισης
2. Η στρώση στράγγισης πρέπει να βρίσκεται πάνω από τα χείλη της τάφρου
3. Η διάμετρος του ημισωλήνα ορίζεται από τις απαιτήσεις παροχετευτικότητας
4. Το στηθαίο ασφαλείας NJ του χαμηλού κλάδου επιτρέπεται ν' αντικατασταθεί με μεταλλικό, εφόσον διευκολύνεται η αποχέτευση του καταστρώματος, ανάλογα με το μήκος εφαρμογής διαχωρισμού των κλάδων, και μόνο μετά από έγκριση της Υπηρεσίας.

Διαστάσεις σε [m]

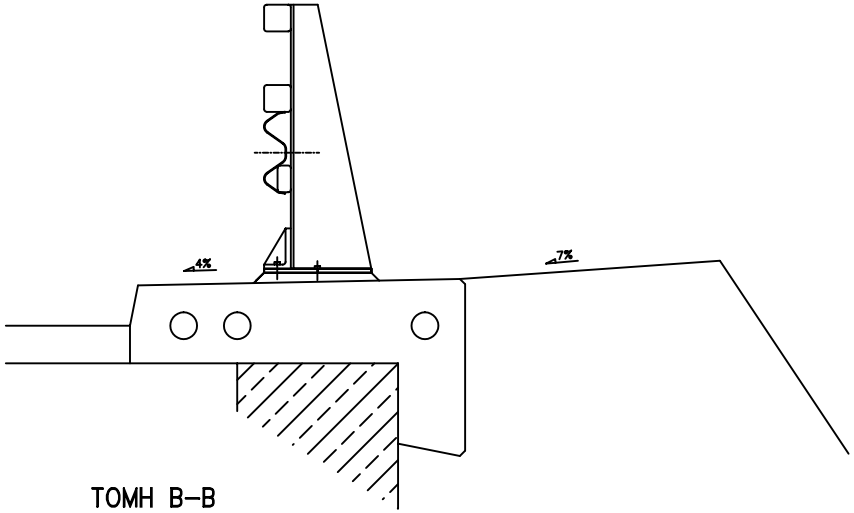
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

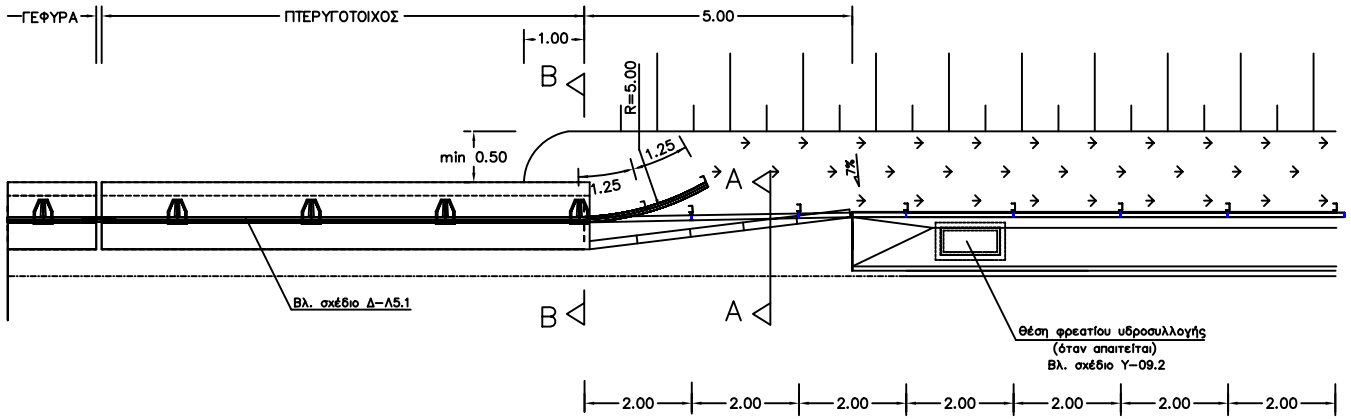
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ ΑΥΤ/ΔΡΟΜΟΥ ΣΕ ΑΝΙΣΟΣΤΑΘΜΙΑ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Δ-Λ4.2	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 2 από 2	Αναθεώρηση #



ΤΟΜΗ Α–Α
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20



ΤΟΜΗ Β–Β
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20



ΚΑΤΟΨΗ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100

Σημείωση

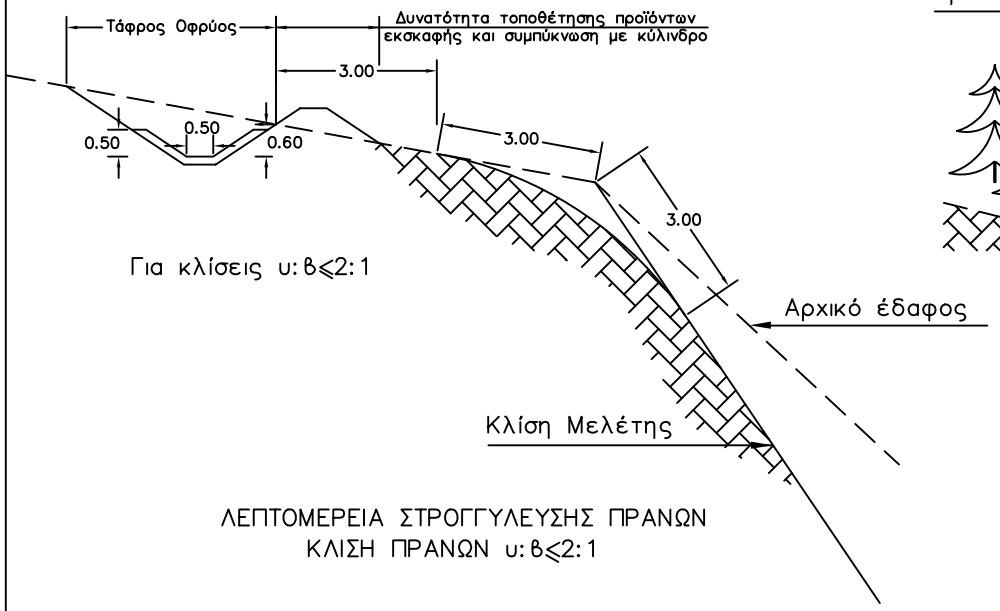
1. Η διάταξη στομίων υδροσυλλογής γεφυράν, υποδεικνύεται στο σχέδιο Γ–01

Διαστάσεις σε [m]

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΡΕΙΘΡΟ

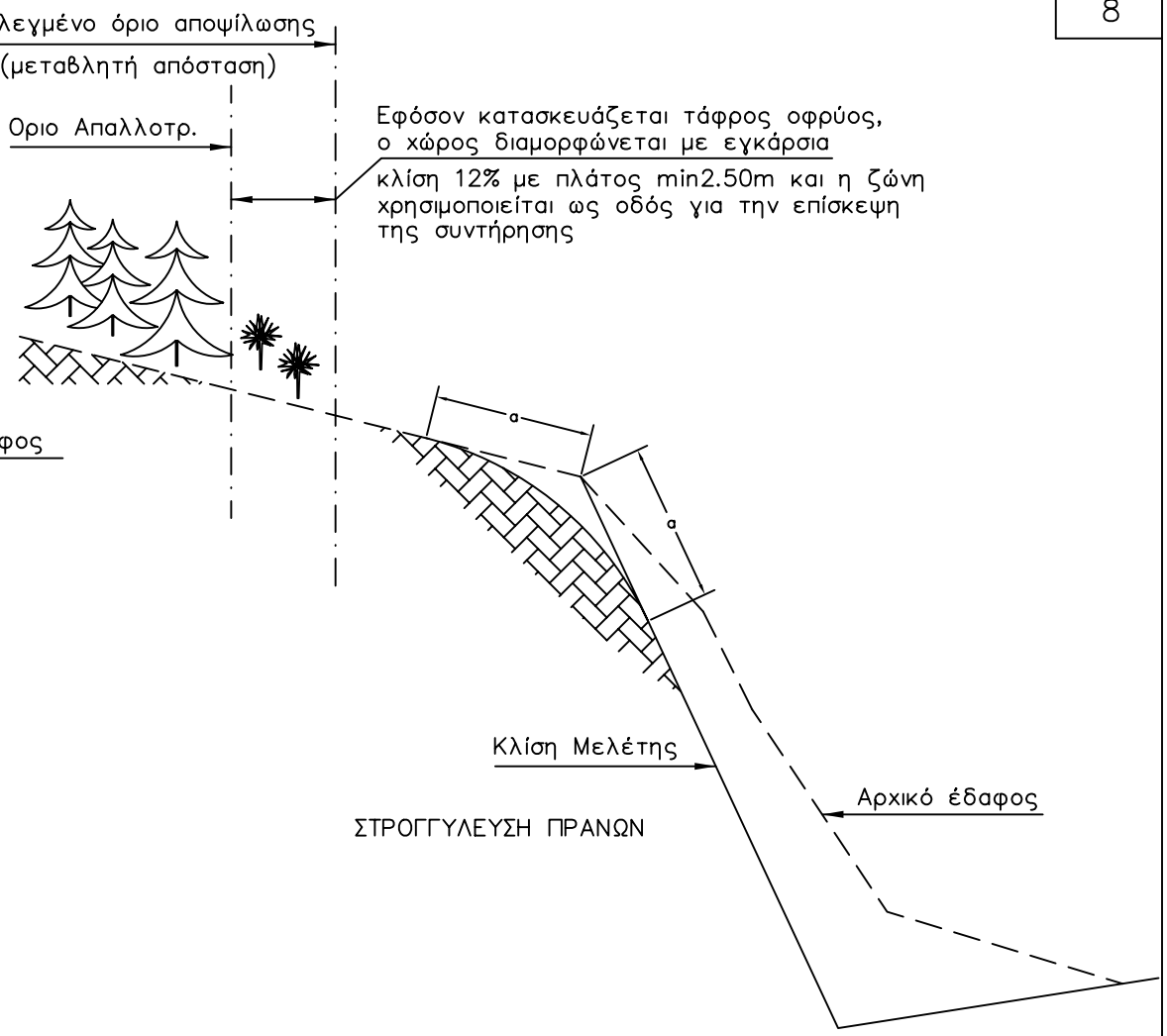
ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΓΕΦΥΡΑ ΣΕ ΕΠΙΧΩΜΑ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Δ–Λ5.3	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 3 από 3	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗΣ ΠΡΑΝΩΝ
ΚΛΙΣΗ ΠΡΑΝΩΝ υ:β≤2:1

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗΣ ΠΡΑΝΩΝ
ΚΛΙΣΗ ΠΡΑΝΩΝ υ:β>2:1



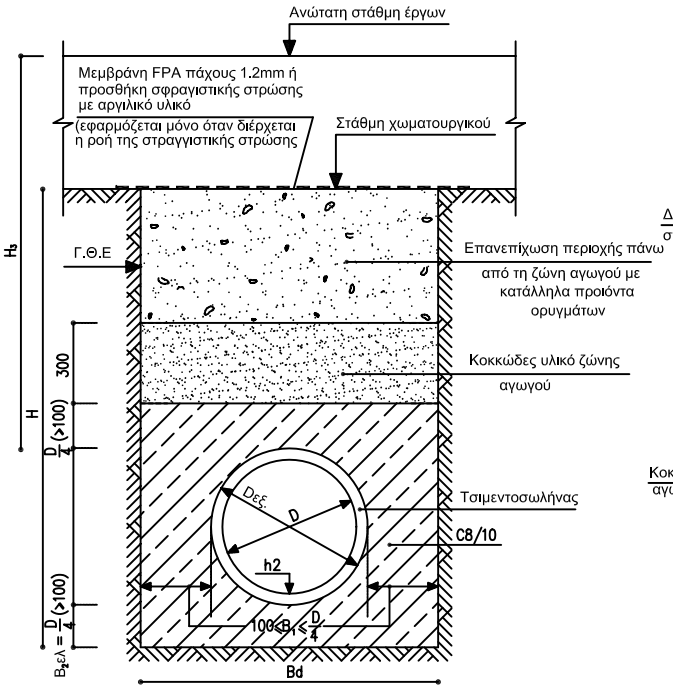
ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗ ΠΡΑΝΩΝ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100

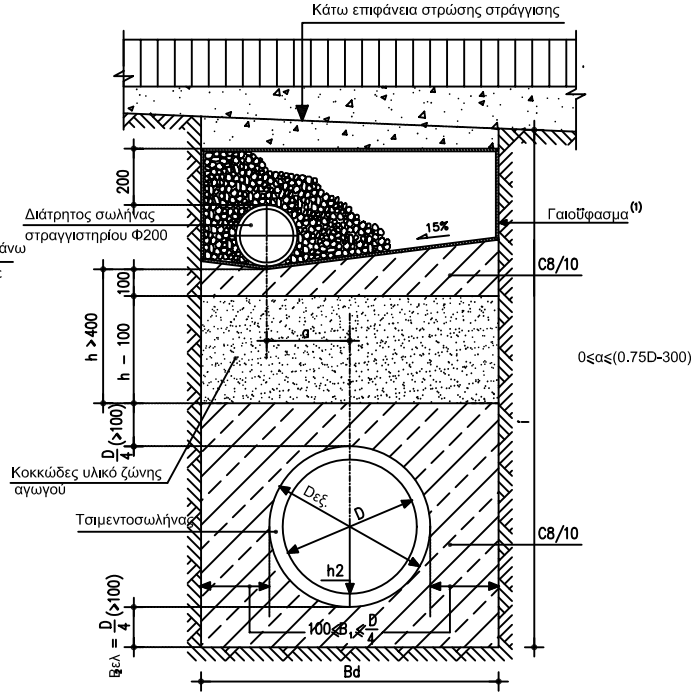
Διαστάσεις σε [m]

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗΣ ΠΡΑΝΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Δ–Λ7	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

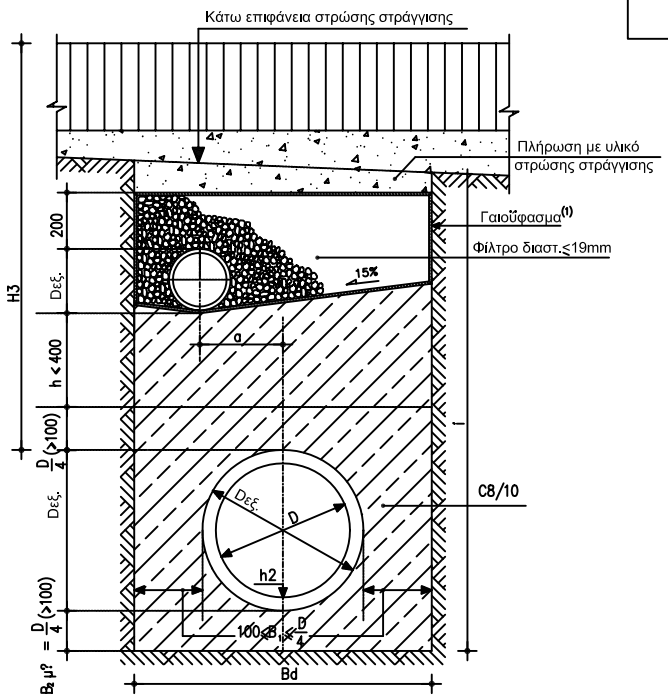
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



ΣΚΑΜΝΑ Σ1
ΥΠΟΝΟΜΟΥ & ΟΧΕΤΟΥ

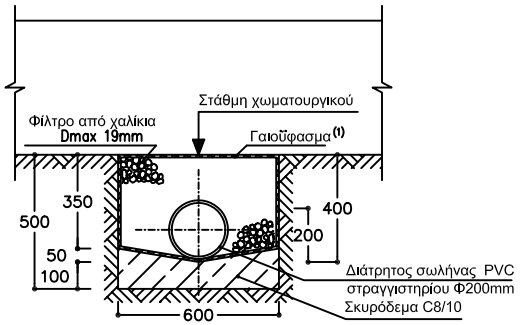


ΣΚΑΜΑ Σ2

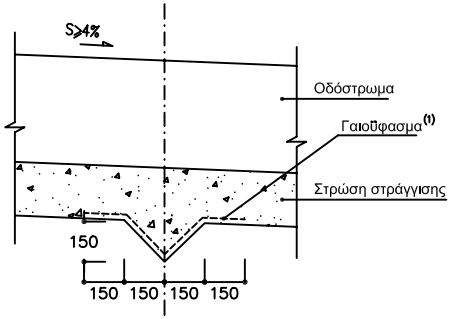


ΣΚΑΜΑ Σ3

ΥΠΟΝΟΜΟΥ & ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΟΥ



ΣΚΑΜΝΑ Σ4
ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΟΥ



ΤΑΦΡΟΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ
ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΗΣ ΟΔΟΥ(με κλίση 4%)

(Κατασκευάζεται κάθε 150m μόνο στα ορύγματα
όταν η κατά μήκος κλίση της οδού S≥4%

ΕΔΡΑΣΗ ΑΓΩΓΟΥ ΜΕ ΟΛΙΚΟ ΕΓΚΙΒΩΤΙΣΜΟ ΣΕ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ D (m)	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ Dεξ. (m)	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΑΦΡΟΥ Bd (m)	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΓΩΓΟΥ (m³)	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΟΚΚΩΔΕΣ ΥΛΙΚΟ "ΖΩΝΗΣ ΑΓΩΓΟΥ" (m³)	ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ H3 (m)	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΕΠΑΝΕΠΙΧΩΣΗΣ ΜΕ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ (m³)	ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ H x Bd (m³)
0.20	0.240	0.60					
0.30	0.352	0.81	0.35	0.24	>0.60	(I−086)*0.81	0.81H
0.40	0.464	0.93	0.45	0.28	>0.60	(I−098)*0.93	0.95H
0.50	0.584	1.10	0.65	0.33	>0.60	(I−1.15)*1.10	1.10H
0.60	0.708	1.27	0.89	0.38	>0.65	(I−1.32)*1.27	1.27H
0.70	0.832	1.44	1.16	0.43	>0.70	(I−1.49)*1.44	1.44H
0.80	0.948	1.61	1.47	0.48	>0.75	(I−1.66)*1.61	1.61H
0.90	1.064	1.68	1.65	0.50	>0.75	(I−1.83)*1.68	1.68H
1.00	1.180	1.95	2.18	0.59	>0.75	(I−2.00)*1.95	1.95H

Σημείωση

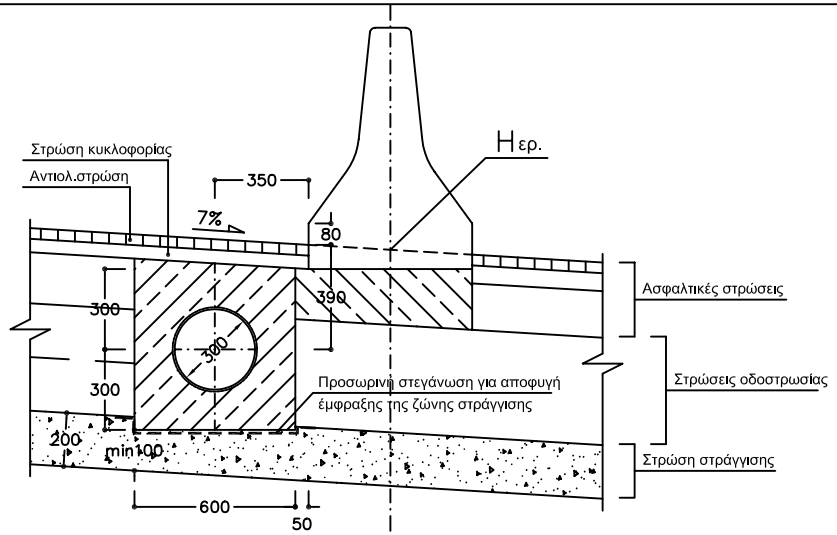
1. Μη υφαντό γαιούφασμα κατηγορίας 180gr/m2 (ανθεκτικότητας σε διάτρηση από δύναμη ≥1.5KN)σύμφωνα με τις προδιαγραφές:
   - διάτρησης, EN776
   - βάρους, EN965
   - πάχους, EN964

ΤΥΠΙΚΑ ΣΚΑΜΜΑΤΑ
ΥΠΟΝΟΜΟΥ & ΟΧΕΤΟΥ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟΣΩΛΗΝΑ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20

Διαστάσεις σε [mm]

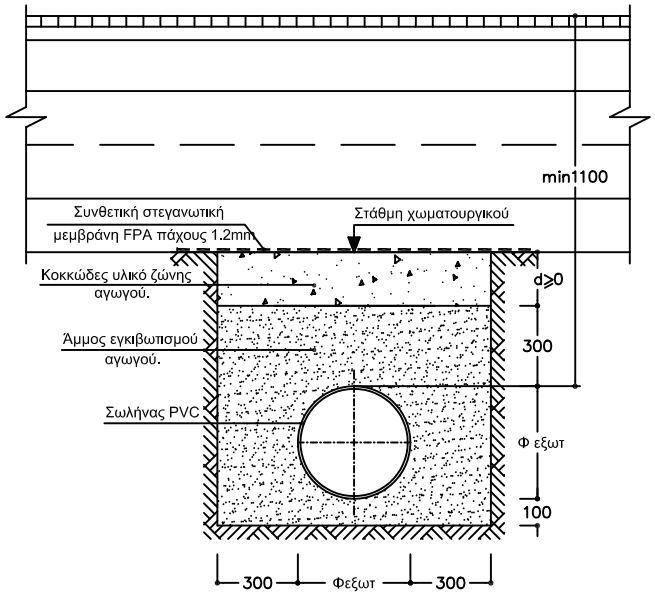
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

ΤΥΠΙΚΑ ΣΚΑΜΜΑΤΑ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ.Σχεδίου Y−01.1	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 2	Αναθεώρηση #



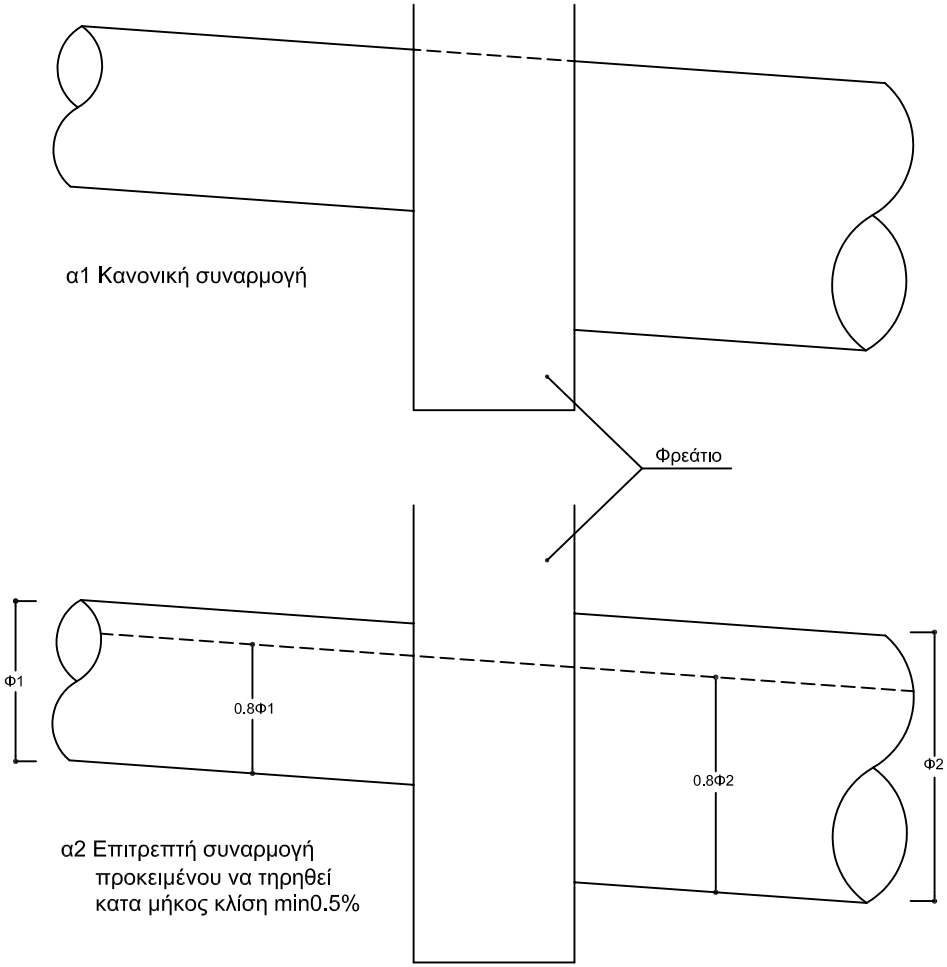
ΣΚΑΜΜΑ Σ5.1

ΥΠΟΝΟΜΟΣ PVC Φ315 (βλ.Σημείωση 1)
ΣΕ ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΥΣΧΕΡΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ
Τοποθέτηση μεταξύ φρεατίων υδροσυλλογής
στην πλευρά της κεντρκής νησίδας



ΣΚΑΜΜΑ Σ5.2

ΥΠΟΝΟΜΟΣ PVC
Τοποθέτηση εγκάρσια στο οδόστρωμα



ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΦΡΕΑΤΙΟ
ΥΠΟΝΟΜΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ
ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

ΤΥΠΙΚΑ ΣΚΑΜΜΑΤΑ
ΥΠΟΝΟΜΟΥ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ PVC

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20

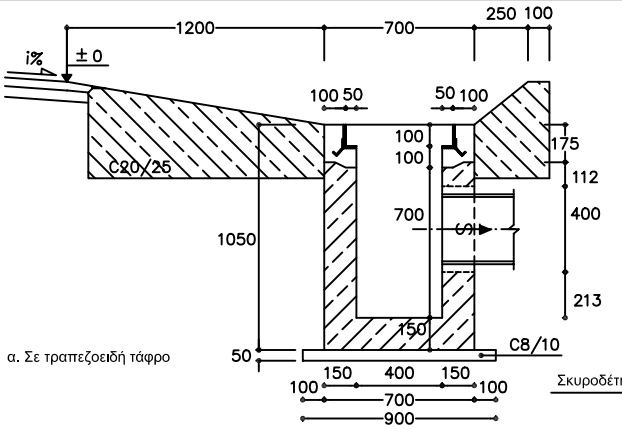
Σημείωση

1. Στην περίπτωση που ο σωλήνας PVC Φ315 δεν επαρκεί κατασκευάζεται υπόνομος στο φυτικό έρεισμα της οδού όπου κατά διαστήματα εκτονώνεται ο υπόνομος PVC

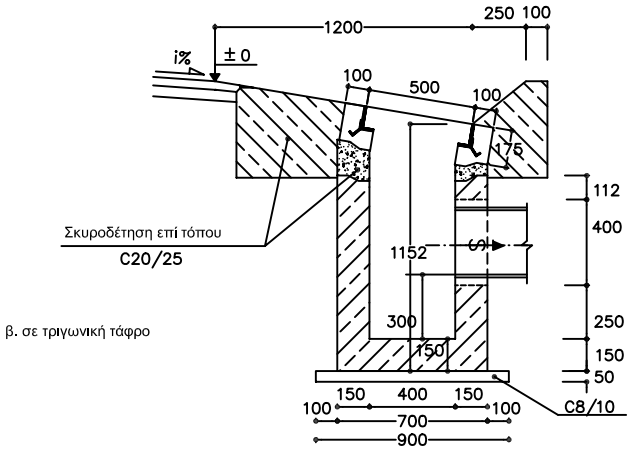
Διαστάσεις σε [mm]

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

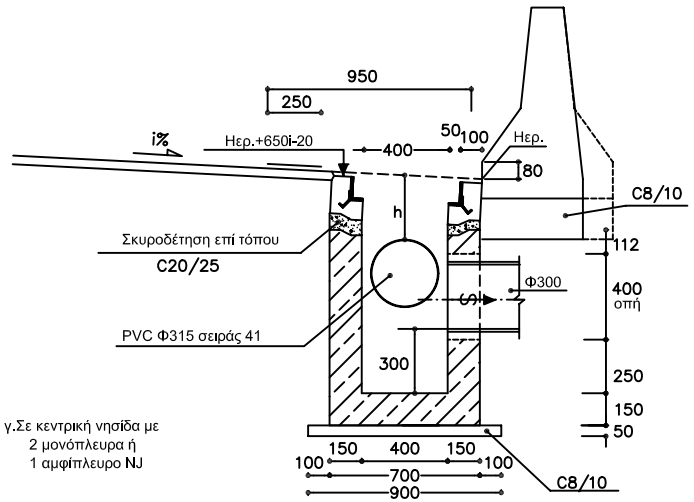
ΤΥΠΙΚΑ ΣΚΑΜΜΑΤΑ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Y-01.2	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 2 από 2	Αναθεώρηση #



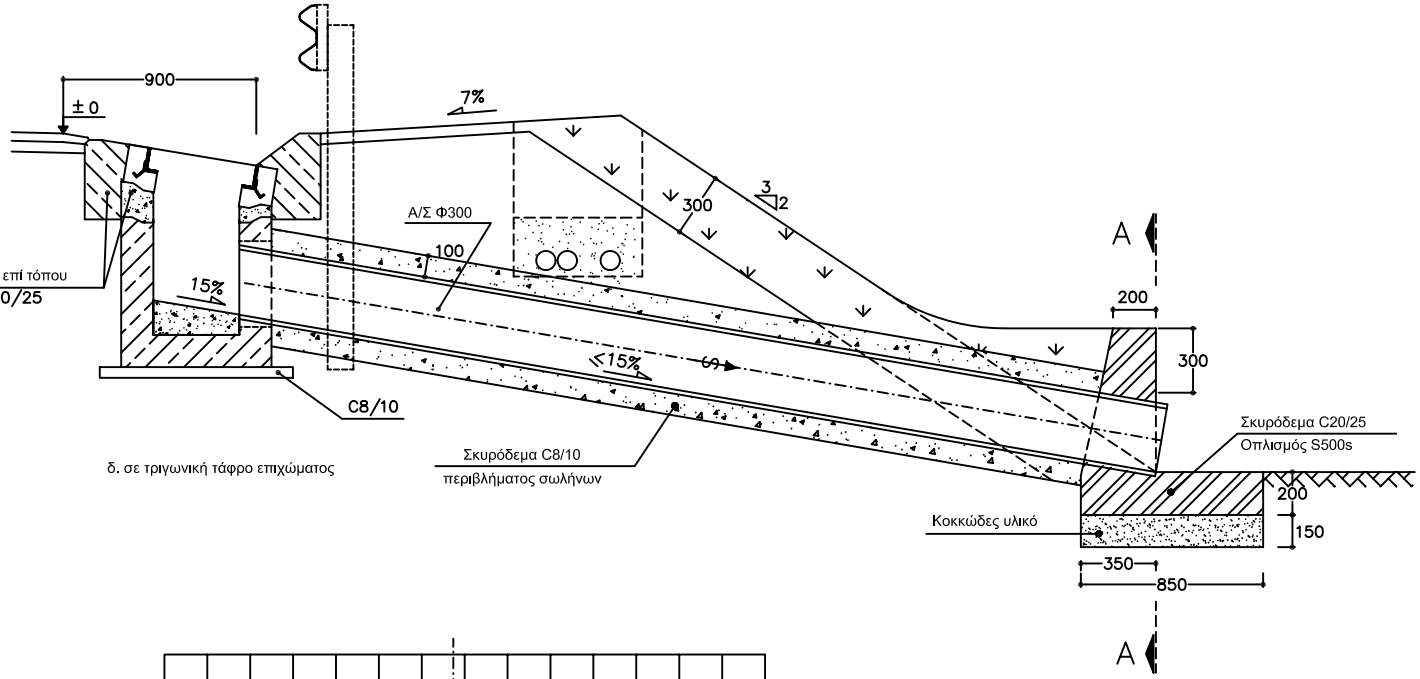
α. Σε τραπεζοειδή τάφρο



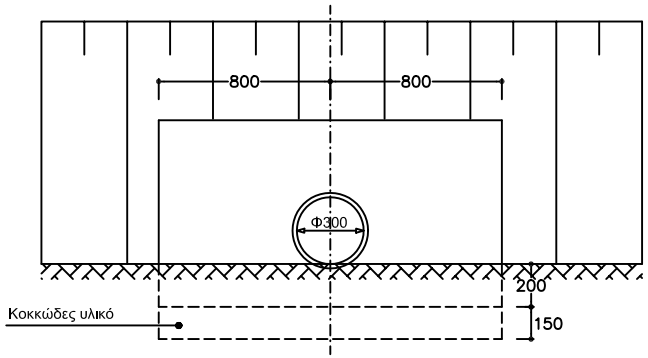
β. σε τριγωνική τάφρο



γ.Σε κεντρική νησίδα με
2 μονόπλευρα ή
1 αμφίπλευρο NJ



δ. σε τριγωνική τάφρο επιχώματος



ΤΟΜΗ Α-Α

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

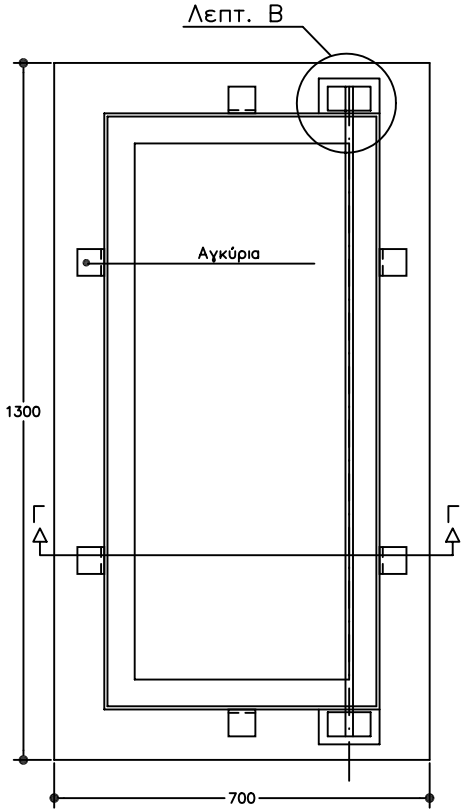
Σημείωση

1. Το φρεάτιο αποτελείται από δύο τεμάχια(σκυρόδεμα C20/25),τη βάση και τη στέψη, τα οποία προσαρμόζονται ανάλογα με τη θέση εφαρμογής
2. Το βάθος h καθορίζεται ώστε ο διαμήκης σωλήνας να μη διακόπτει τη στρώση στράγγισης.Επιτρέπεται h<300 με τοποθέτηση δομικού πλέγματος στο περίβλημα σκυροδέματος

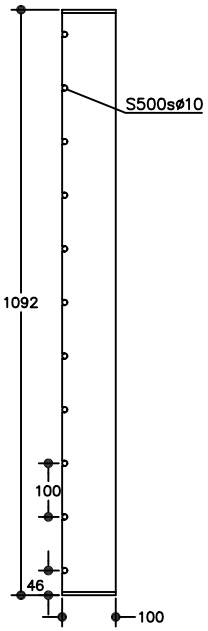
Διαστάσεις σε[mm]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΤΥΠΟΥ Φ1Ν		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Y-02.1	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 2	Αναθεώρηση #

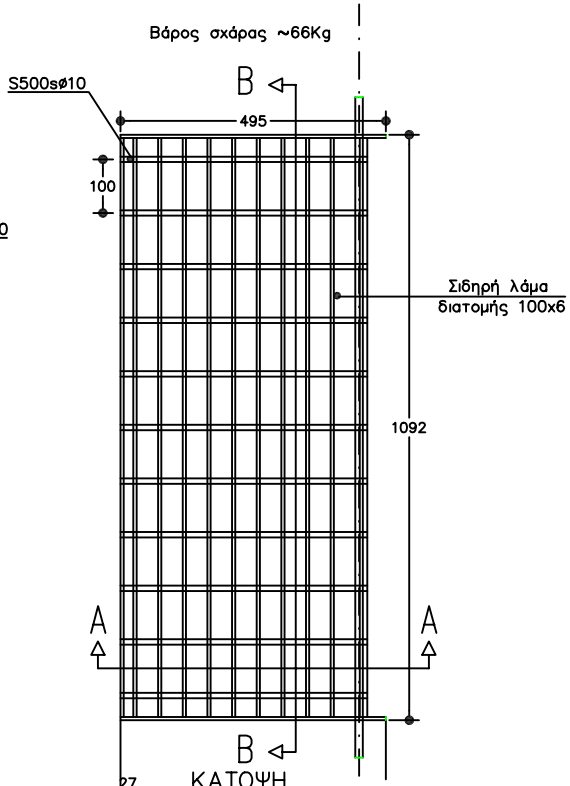
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



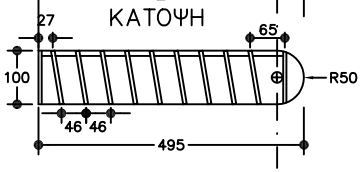
ΚΑΤΟΨΗ



ΤΟΜΗ Β–Β

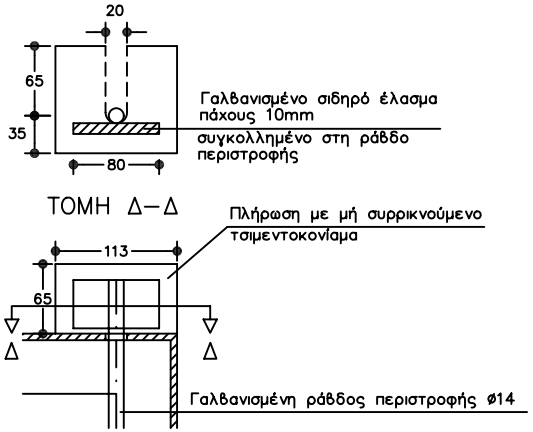


ΚΑΤΟΨΗ



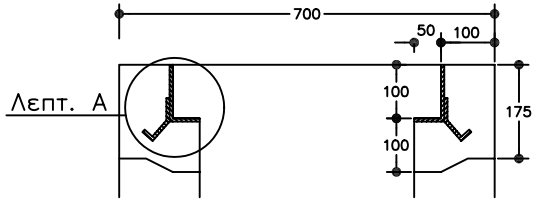
ΤΟΜΗ Α–Α

Σε τριγωνική τάφρο 1:6

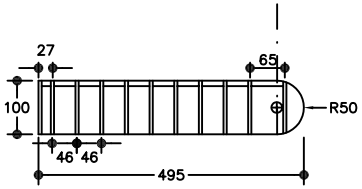


ΤΟΜΗ Δ–Δ

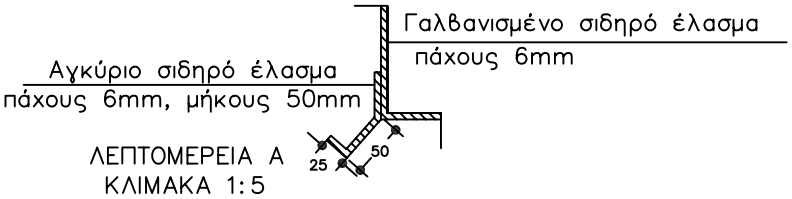
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ Β
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5



ΤΟΜΗ Γ–Γ



ΤΟΜΗ Α–Α
Σε τάφρο οριζόντιου
πυθμένα



ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ Α
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10

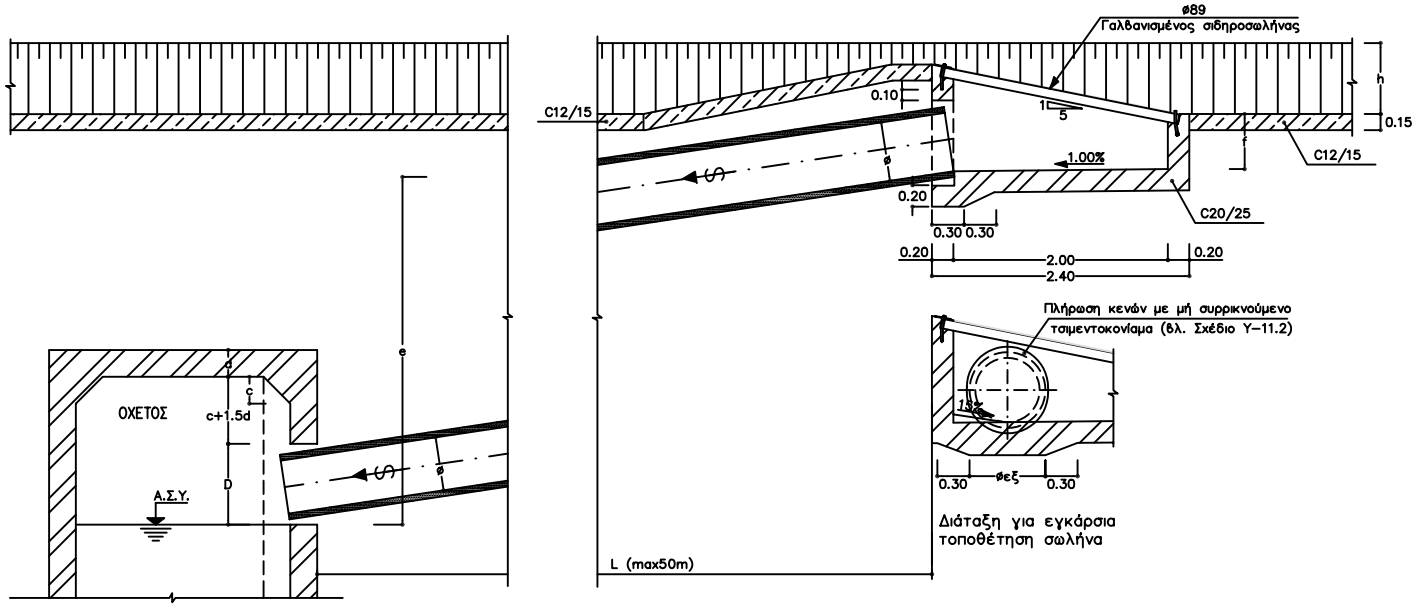
ΣΗΜΕΙΩΣΗ

1. Η σχάρα & το πλαίσιο θα γαλβανίζονται σύμφωνα με DIN 50976

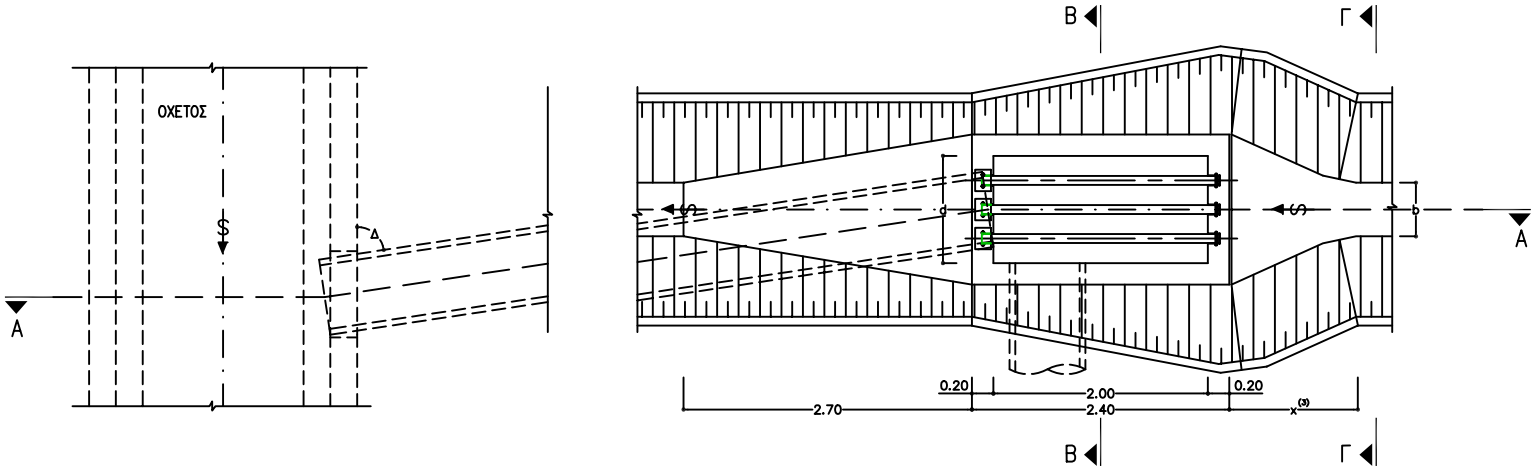
Διαστάσεις σε [mm]

ΣΧΑΡΑ ΦΡΕΑΤΙΟΥ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ Φ1Ν		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Y–02.2	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 2 από 2	Αναθεώρηση #

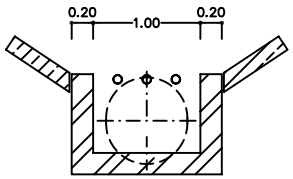
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



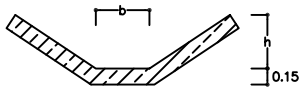
ΤΟΜΗ Α–Α



ΚΑΤΟΨΗ



ΤΟΜΗ Β–Β



ΤΟΜΗ Γ–Γ

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Η εκτόνωση αγωγού σε οχετό, πρέπει να γίνεται στα τοιχώματα του οχετού, όπως δείχνεται στο σχέδιο. Η συμβολή αυτή μπορεί να γίνεται είτε απευθείας σε οπή αντίστοιχης διατομής του αγωγού επί του τοιχώματος του οχετού, είτε μέσω φρεατίου πτώσης με υπερχείλιση. Το φρεάτιο πτώσης κατασκευάζεται εφαπτόμενο με το τοίχωμα του οχετού. Η διαστασιολόγηση του φρεατίου πτώσης και της αντίστοιχης οπής στο τοίχωμα του οχετού, προκύπτουν από υδραυλικούς υπολογισμούς.

Στο δάπεδο του οχετού κάτω από την οπή συμβολής του αγωγού, υποχρεωτικά κατασκευάζεται στρώση φθοράς, κατά προτίμηση με κολυμβητές κροκάλες.

Η ενσωμάτωση της στρώσης φθοράς στο δάπεδο του οχετού, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υδραυλικό αλλά και στατικό σχεδιασμό του οχετού.

Η επιφάνεια της στρώσης φθοράς καθορίζεται από τα εξής:

α. Στην περίπτωση σύνδεσης άνευ φρεατίου πτώσης, υπολογίζεται το βεληνεκές της φλέβας νερού και η στρώση φθοράς εκτείνεται κατά μήκος του οχετού σε μήκος 2xD (D: διάμετρος του αγωγού) και εγκάρσια του οχετού σε πλάτος όσο προκύπτει από το υπολογιζόμενο βεληνεκές. Στην περίπτωση που από το υπολογιζόμενο βεληνεκές προκύπτει ανάγκη προστασίας του απέναντι (της οπής) τοιχώματος, τότε εξετάζεται κατά προτίμηση, η συμβολή με κατασκευή φρεατίου πτώσης.

β. Στην περίπτωση σύνδεσης με φρεάτιο πτώσης, η στρώση φθοράς εκτείνεται κατά μήκος του οχετού σε μήκος 2xD (D: μήκος του στομίου) και εγκάρσια του οχετού σε πλάτος 0.50 έως 1.00m, ανάλογα με την αναμενόμενη παροχή.

Κατασκευαστικές διαστάσεις φρεατίου

ø	D	d(4)	πλήθος σωλήνων κάλυψης
0.60	0.80	1.00	3
0.80	1.05	1.25	3
1.00	1.30	1.50	4
1.20	1.55	1.75	5

Γενικής εφαρμογής διαστάσεις

	e	L	S	f(1)	Δ
min	0	0.50	1%	0.50	80°
max	7.50	50.00	15%	3.00	90°

(1) Το βάθος f γίνεται μεγαλύτερο από 0.50m και μέχρι 3.00m (>3.00m ανεπιθύμητο βάθος) προκειμένου να επιτευχθεί κλίση s≤15%. Δηλαδή η θέση του φρεατίου καθορίζεται έτσι ώστε να τηρείται s≤15%. Για τον ίδιο λόγο η οριζόντια γωνία Δ γίνεται <90° με στόχο την επίτευξη της συνθήκης 1%≤s≤15%

(2) Εφόσον b>1.00m κατασκευάζεται αντίστοιχο τμήμα προσαρμογής διατομής

(3) Το μήκος προσαρμογής x προκύπτει από τη σχέση x≥3F(d–b)/2 όπου F ο αριθμός Froude της ροής

(4) Το πλάτος d του φρεατίου επηρρεάζεται από τη διάμετρο ø του σωλήνα, μόνον όταν εκβάλλει από τη στενή πλευρά του φρεατίου. Σε αντίθετη περίπτωση, το πλάτος d του φρεατίου είναι 1.00m

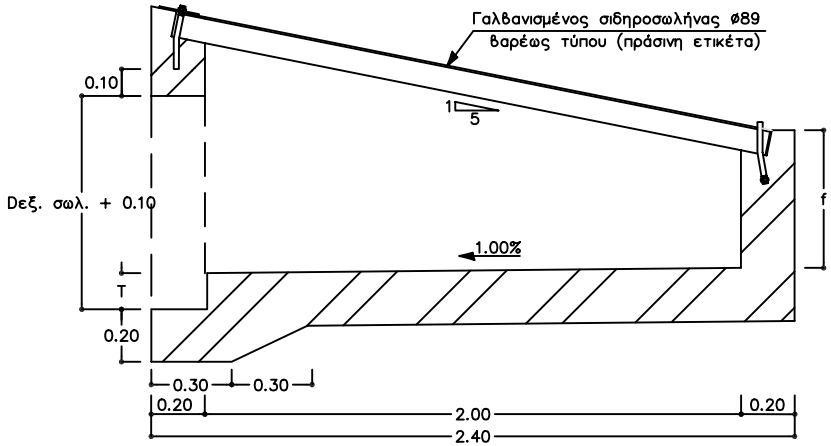
Διαστάσεις σε [m]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΡΑΝΩΝ

ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Υ–03.1	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 3	Αναθεώρηση #

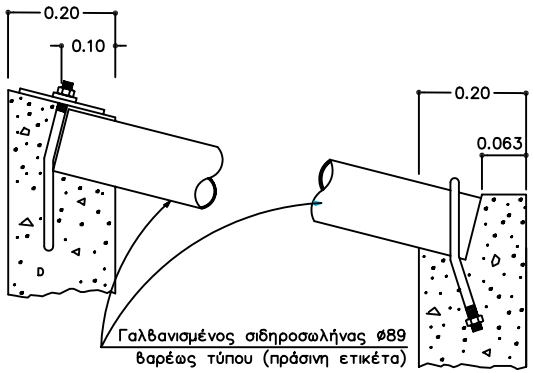
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

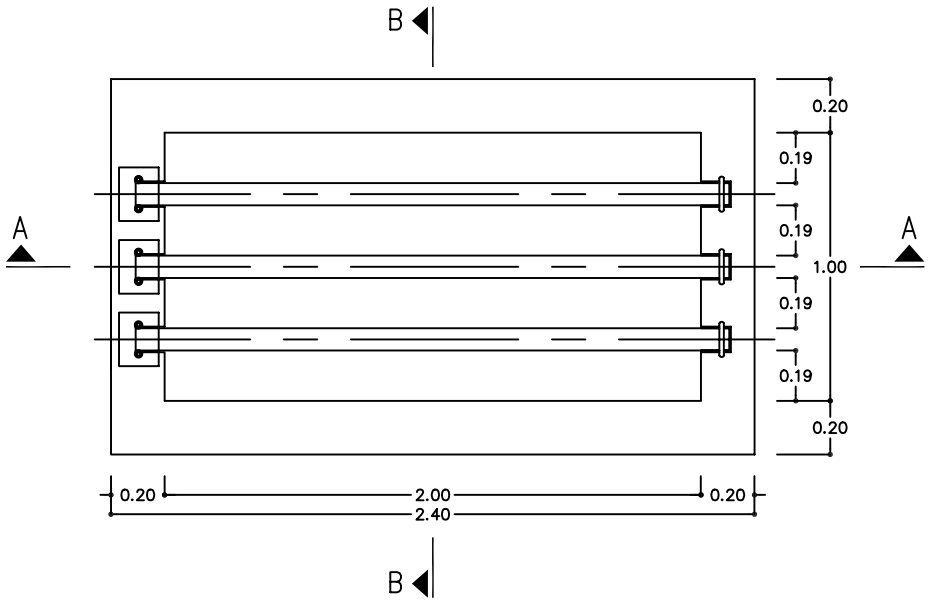


T: πάχος τοιχώματος σωλήνα + 0.05

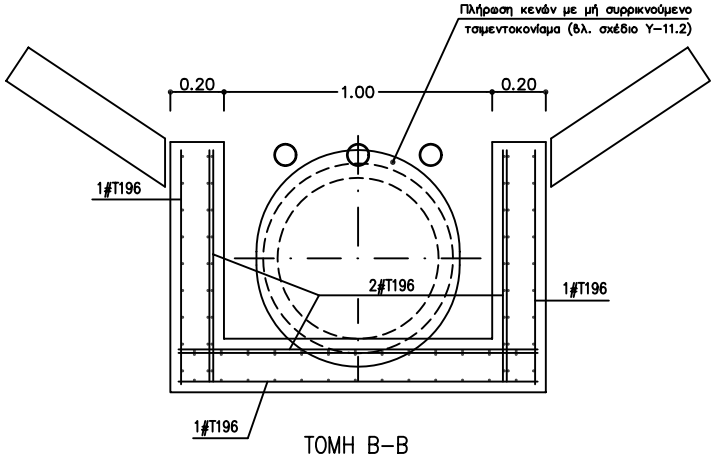
ΤΟΜΗ Α–Α



ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΑΠΟΛΗΞΕΩΝ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



ΚΑΤΟΨΗ



ΤΟΜΗ Β–Β

Σημείωση

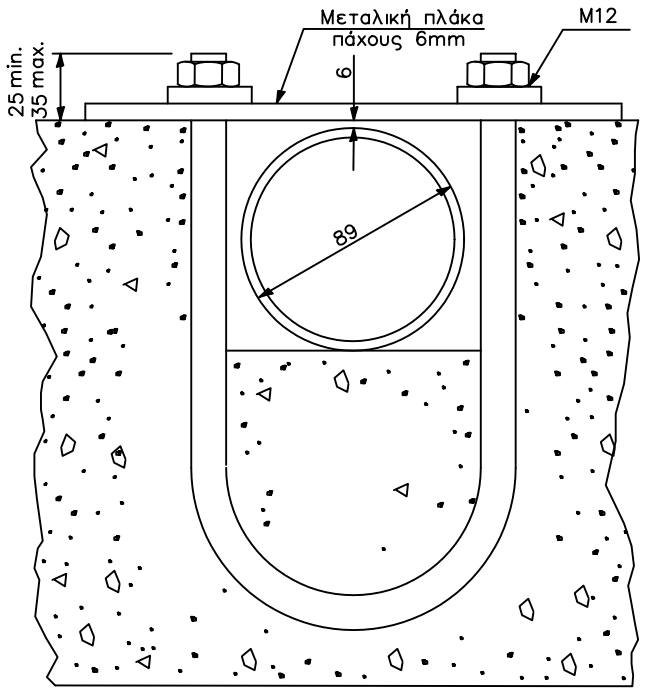
1. Ολα τα σιδηρά εξαρτήματα (σωλήνες, αγκύρια, πλάκες) θα γαλβανίζονται σύμφωνα με DIN 50976.

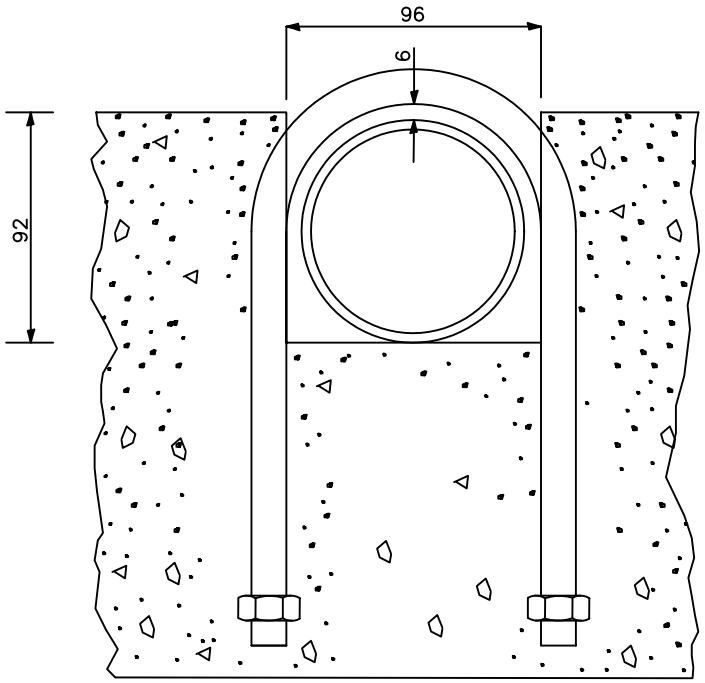
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20

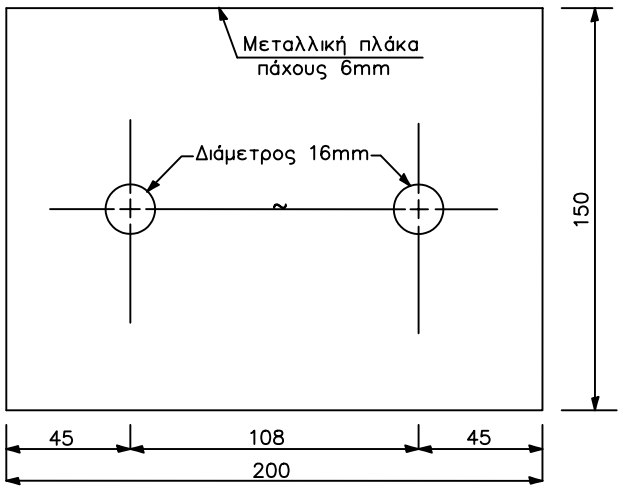
Διαστάσεις σε [m]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΡΑΝΩΝ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Υ–03.2	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 2 από 3	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

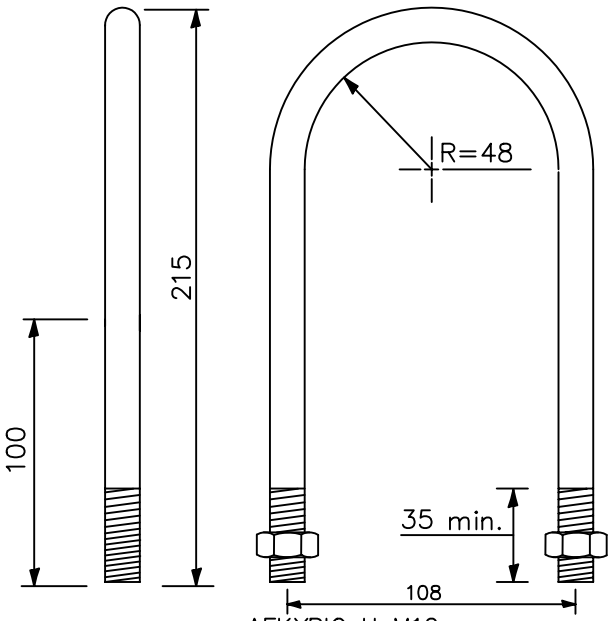






ΚΑΤΟΨΗ ΠΛΑΚΑΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

(1 Τεμάχιο/σωλήνα)



ΑΓΚΥΡΙΟ U M12

(2 Τεμάχιο/σωλήνα)

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2

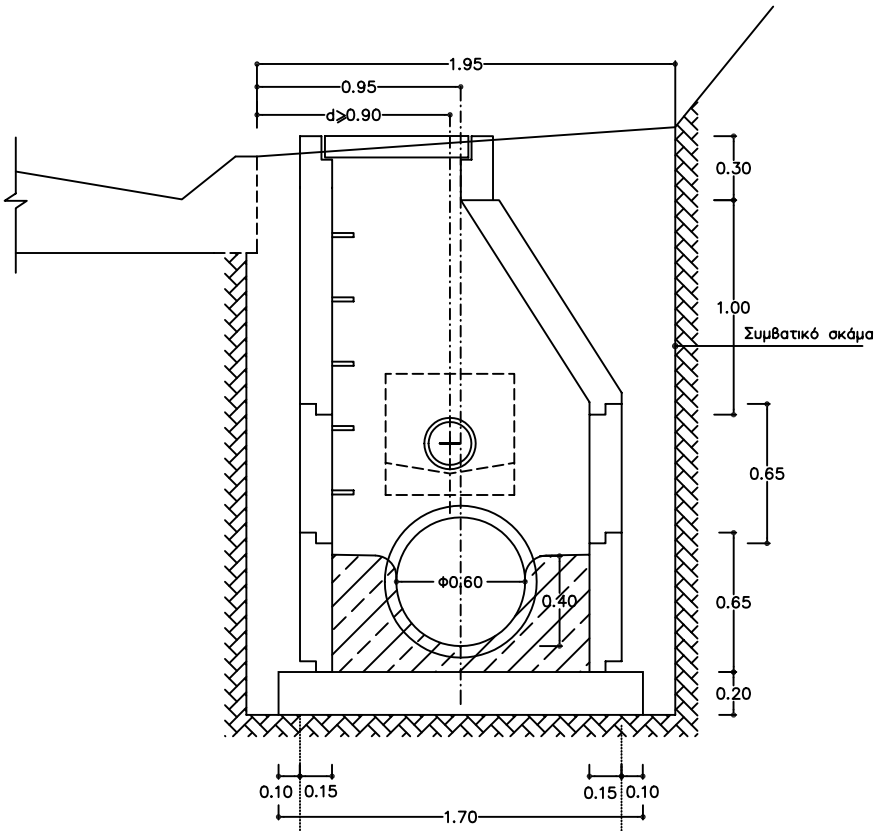
Σημείωση

1. Ολα τα σιδηρά εξαρτήματα (σωλήνες, αγκύρια, πλάκες) θα γαλβανίζονται σύμφωνα με DIN 50976.

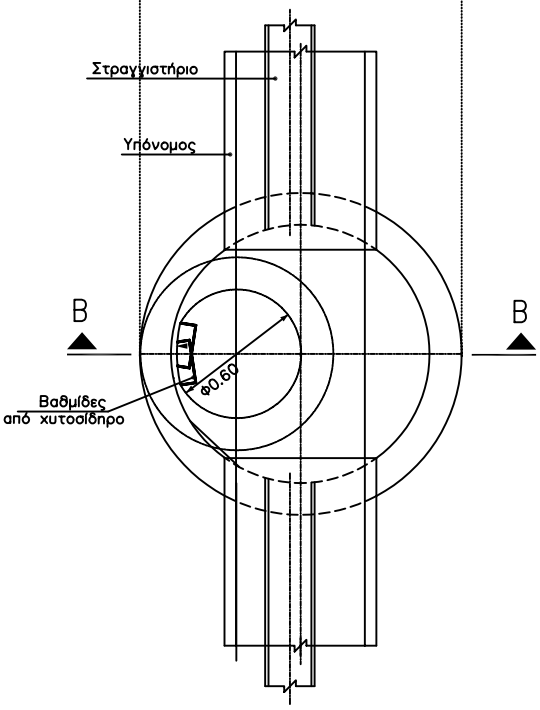
Διαστάσεις σε [mm]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΡΑΝΩΝ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Y-03.3	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 3 από 3	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας



ΤΟΜΗ Β–Β



ΚΑΤΟΨΗ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

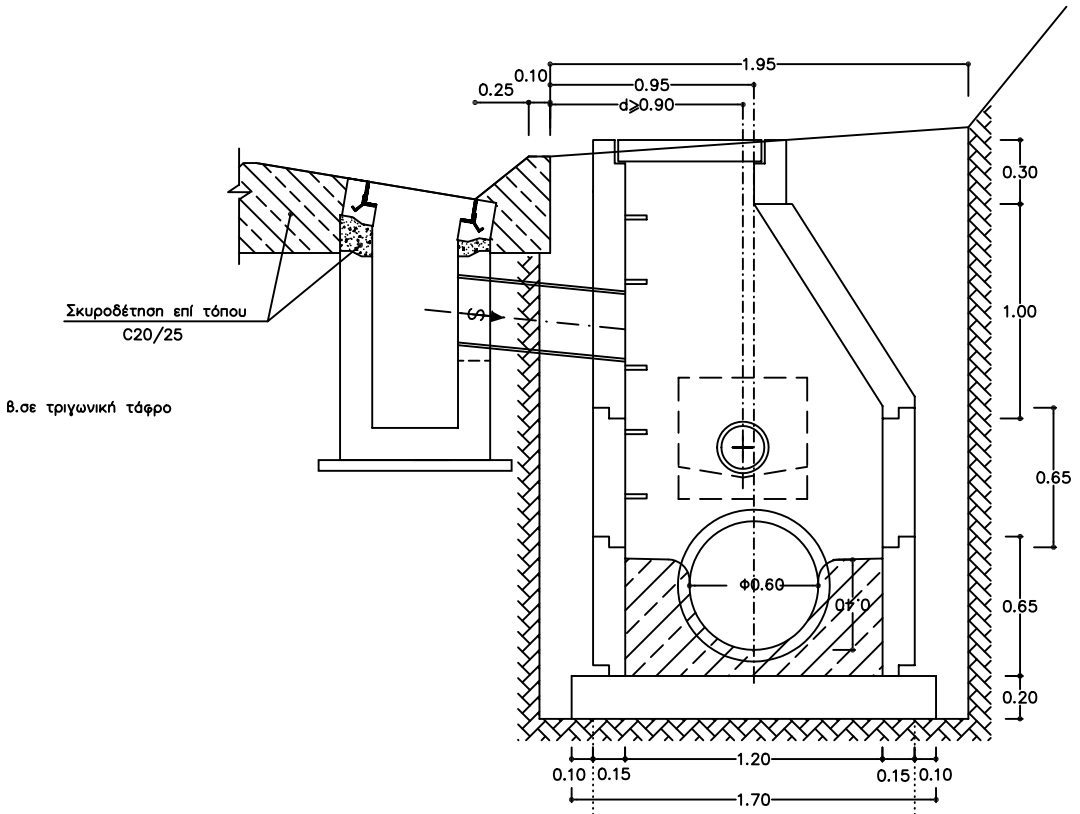
Διαστάσεις σε [m]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ
ΤΥΠΟΥ Φ10 (D=0.60 & D=0.40)

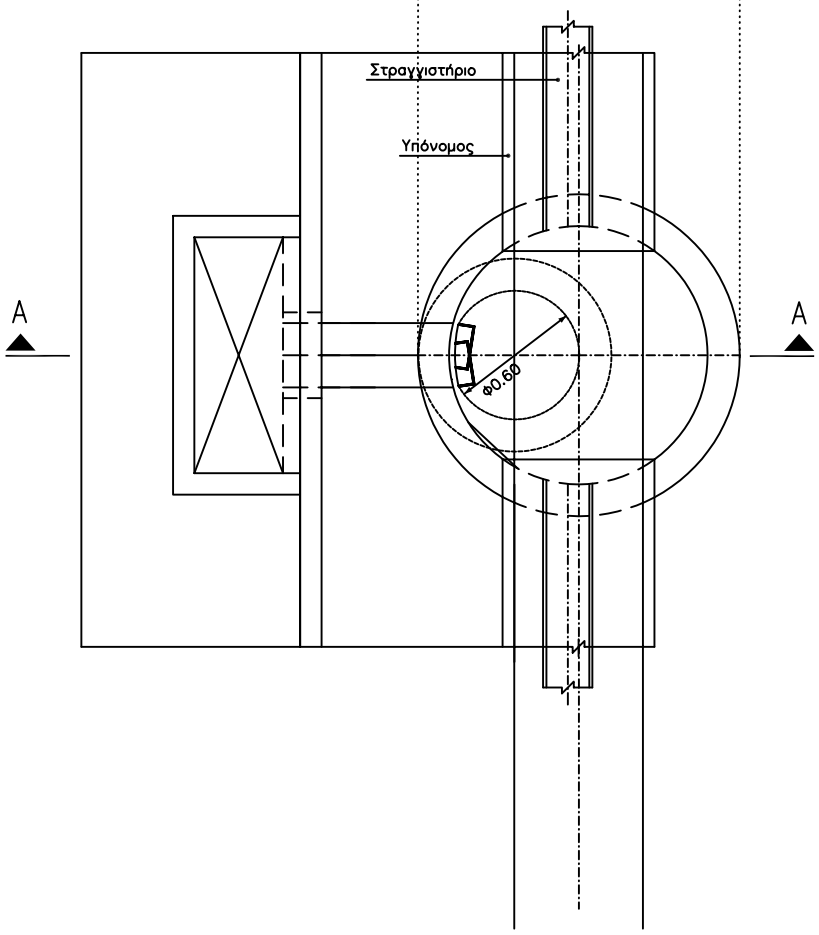
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ

Κωδ. Σχεδίου	Ημερομηνία
Y-04.1	02/11/02
Φύλλο	Αναθεώρηση
1 από 2	#

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



ΤΟΜΗ Α–Α



ΚΑΤΟΨΗ

ΣΕ ΘΕΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

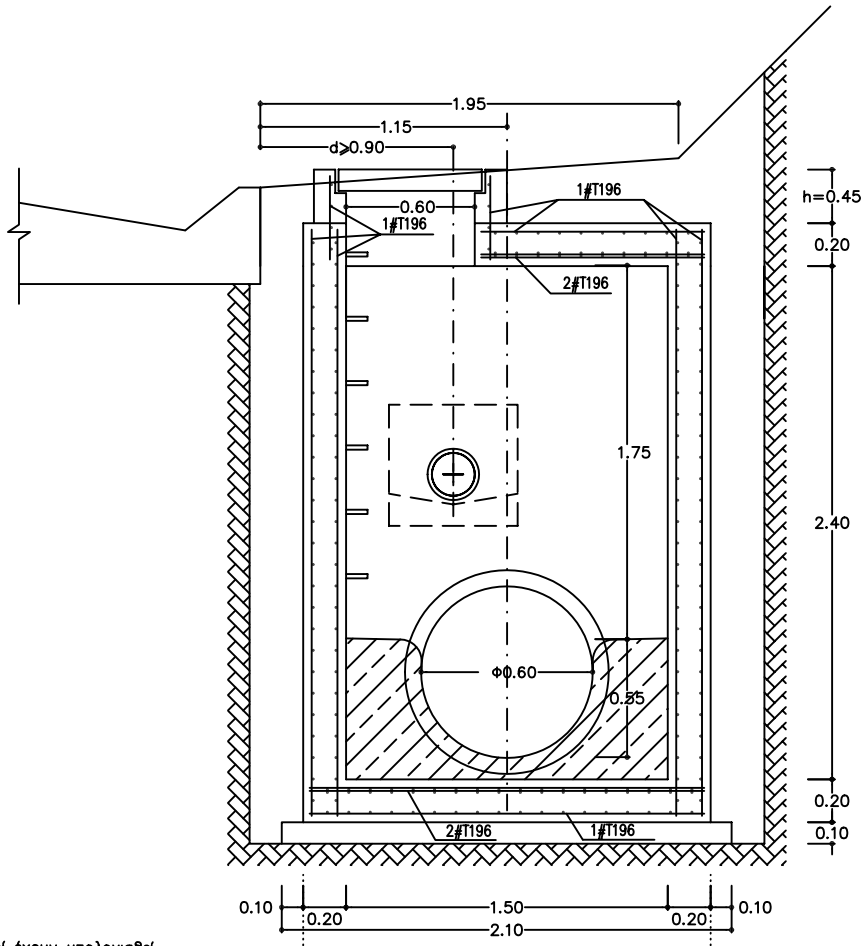
Διαστάσεις σε [m]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ
ΤΥΠΟΥ Φ10 (D=0.60 & D=0.40)

ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ

Κωδ. Σχεδίου	Ημερομηνία	#
Y–04.2	02/11/02	
Φύλλο	Αναθεώρηση	
2 από 2		

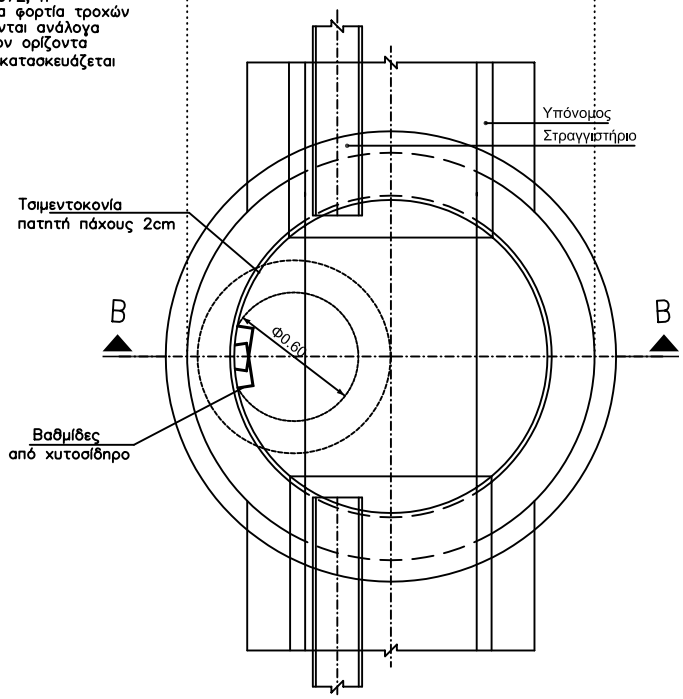
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



ΤΟΜΗ Β–Β

Σημείωση

1. Οι υποδεικνυόμενοι οπλισμοί έχουν υπολογισθεί με τις ακόλουθες παραδοχές φορτίσεων
   - Ύψος επίχωσης : min0.25m max3.50m
   - Ίδιο βάρος γαιών: 20kN/m³
   - Γωνία εσωτερικής τριβής υλικού επίχωσης: $\varphi=30°$
   - Συντελεστής ουδέτερης ώθησης γαιών $K_o=1-\sin\varphi=0.50$
   - Κινητό φορτίο επίχωσης για τον συνδυασμό στην οριακή κατάσταση αστοχίας: $q_1=5kN/m^2$
   - Κινητό φορτίο επί των γαιών για το συνδιασμό τυχηματικών δράσεων:
     i) $q_2=33kN/m^2$ ως ισοδύναμο κατανεμημένο φορτίο οχήματος 600kN σύμφωνα με DIN 1072, ή
     ii) $q_3=2x(1.4x100)kN$ ως συγκεντρωμένα φορτία τροχών
     Και τα δύο παραπάνω φορτία κατανέμονται ανάλογα με το βάθος υπό γωνία 60° ως προς τον ορίζοντα
2. Οταν ύψος λαιμού h≥1.00m τότε αυτός κατασκευάζεται με διάμετρο Φ1.00 και με βαθμίδες



ΚΑΤΟΨΗ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

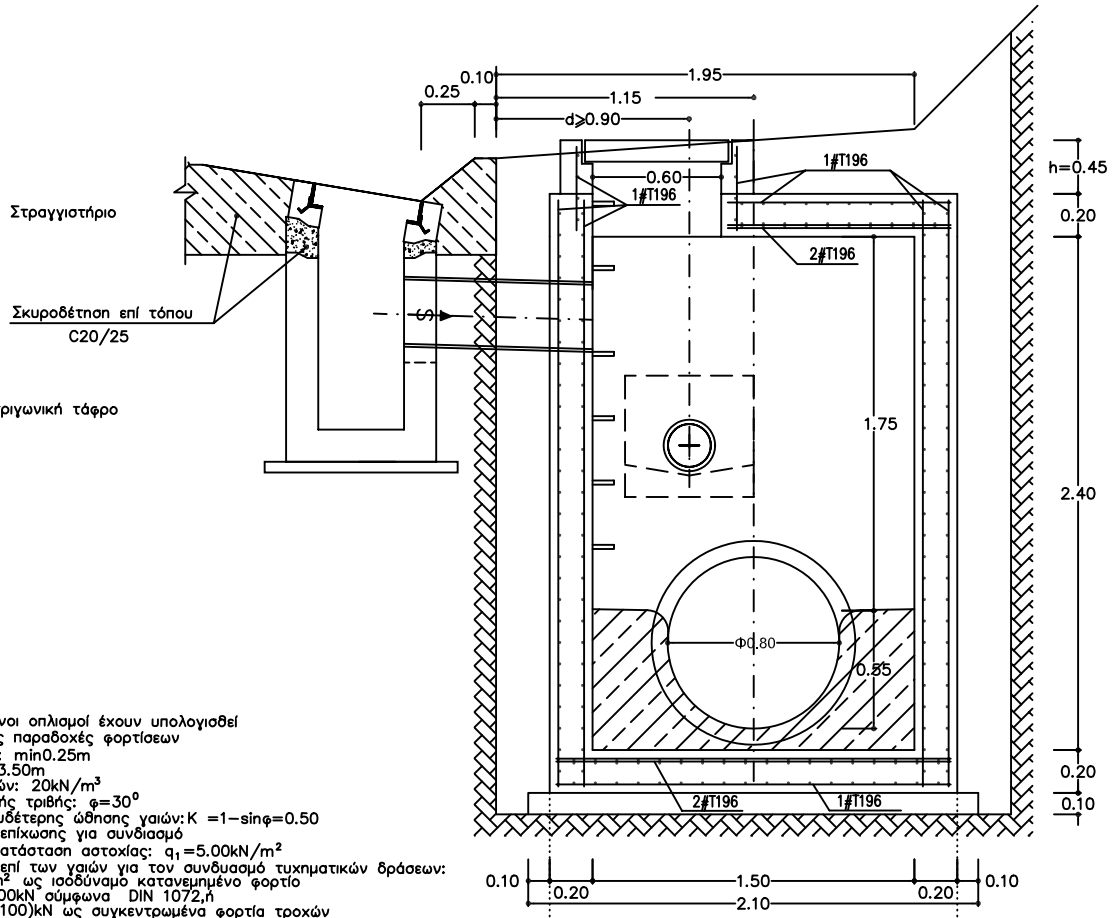
Διαστάσεις σε [m]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ ΤΥΠΟΥ Φ10 (D=0.80)

ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ

Κωδ. Σχεδίου	Ημερομηνία
Y-05.1	02/11/02
Φύλλο	Αναθεώρηση
1 από 2	#

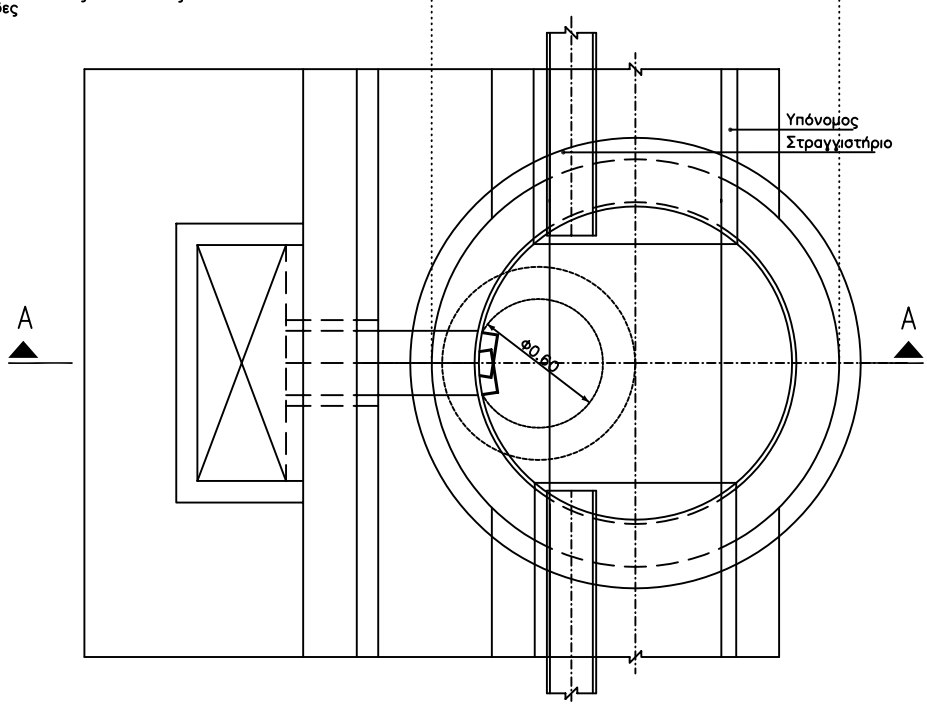
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



ΤΟΜΗ Α–Α

Σημείωση

1. Οι υποδεικνυόμενοι οπλισμοί έχουν υπολογισθεί με τις ακόλουθες παραδοχές φορτίσεων
   - Ύψος επίχωσης: min0.25m
     max3.50m
   - Ίδιο βάρος γαιών: 20kN/m³
   - Γωνία εσωτερικής τριβής: $\varphi=30^0$
   - Συντελεστής ουδέτερης ώθησης γαιών: $K=1-\sin\varphi=0.50$
   - Κινητό φορτίο επίχωσης για συνδιασμό στην οριακή κατάσταση αστοχίας: $q_1=5.00kN/m^2$
   - Κινητό φορτίο επί των γαιών για τον συνδυασμό τυχηματικών δράσεων:
     i) $q_2=33kN/m^2$ ως ισοδύναμο κατανεμημένο φορτίο οχήματος 600kN σύμφωνα DIN 1072,ή
     ii) $q_3=2x(1.4x100)kN$ ως συγκεντρωμένα φορτία τροχών
     Και τα δύο παραπάνω φορτία κατανέμονται ανάλογα με το βάθος υπό γωνία 60^0 ως προς τον ορίζοντα
2. Οταν ύψος λαιμού h≥1.00m τότε αυτός κατασκευάζεται με διάμετρο Φ1.00 και βαθμίδες



ΚΑΤΟΨΗ

ΣΕ ΘΕΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

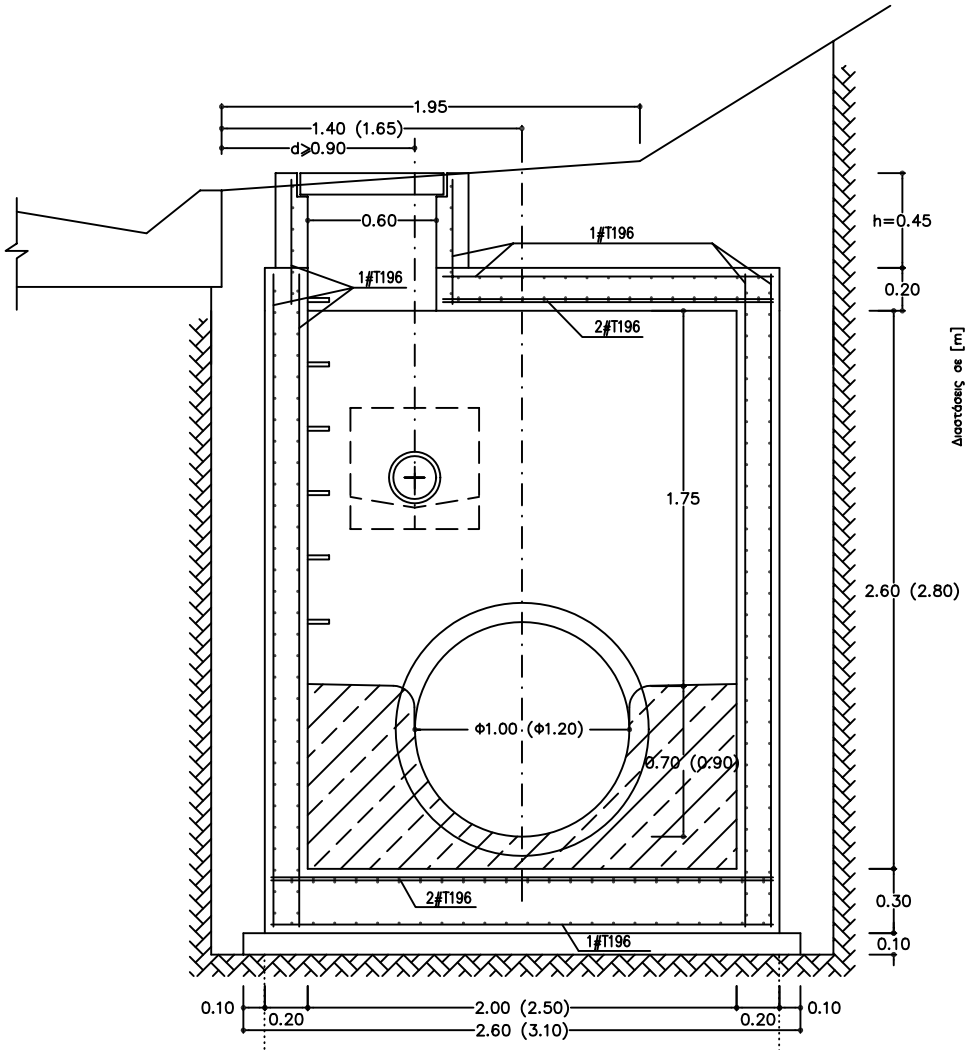
ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ
ΤΥΠΟΥ Φ10 D=0.80

ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ

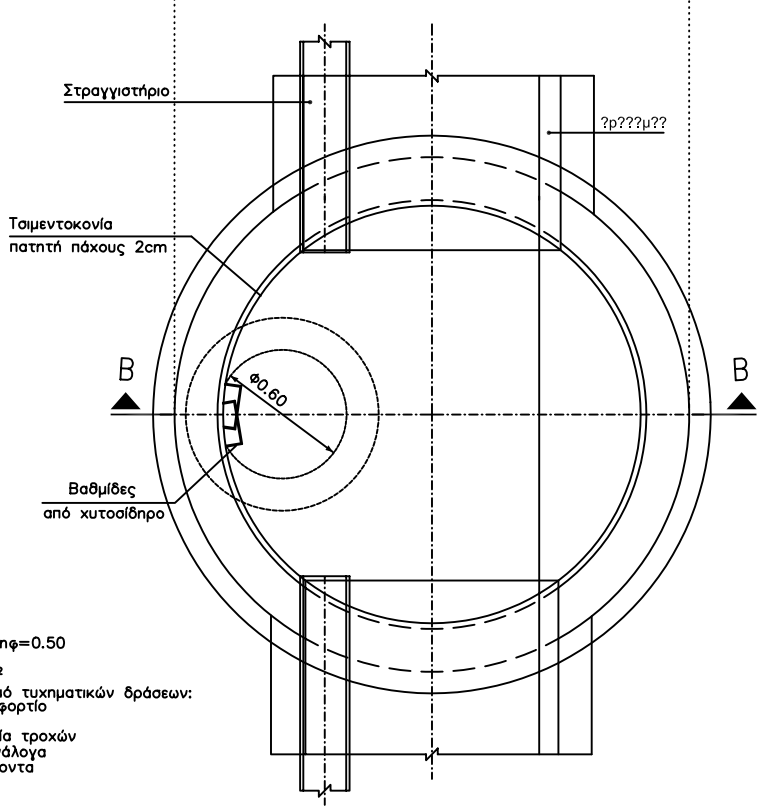
Κωδ. Σχεδίου	Ημερομηνία	Αναθεώρηση	#
Y-05.2	02/11/02		
Φύλλο			
2 από 2			

Διαστάσεις σε [m]

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



ΤΟΜΗ Β–Β



ΚΑΤΟΨΗ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

Σημείωση

1. Οι υποδεικνυόμενοι οπλισμοί έχουν υπολογισθεί με τις ακόλουθες παραδοχές φορτίσεων
   - Ύψος επίχωσης: min0.25m max3.50m
   - Ίδιο βάρος γαιών: 20kN/m³
   - Γωνία εσωτερικής τριβής: $\varphi=30^0$
   - Συντελεστής ουδέτερης ώθησης γαιών: $K=1-\sin\varphi=0.50$
   - Κινητό φορτίο επίχωσης για συνδιασμό στην οριακή κατάσταση αστοχίας: $q_1=5kN/m^2$
   - Κινητό φορτίο επί των γαιών για τον συνδυασμό τυχηματικών δράσεων:
     i) $q_2=33kN/m^2$ ως ισοδύναμο κατανεμημένο φορτίο οχήματος 600kN σύμφωνα DIN 1072,ή
     ii) $q_3=2x(1.4x100)kN$ ως συγκεντρωμένα φορτία τροχών
     Και τα δύο παραπάνω φορτία κατανέμονται ανάλογα με το βάθος υπό γωνία 60^0 ως προς τον ορίζοντα
2. Οι αποστάσεις σε παρένθεση αφορούν το φρεάτιο τύπου Φ12 (D=1.20)
3. Οταν ύψος λαιμού h≥1.00m τότε αυτός κατασκευάζεται με διάμετρο Φ1.00 και βαθμίδες

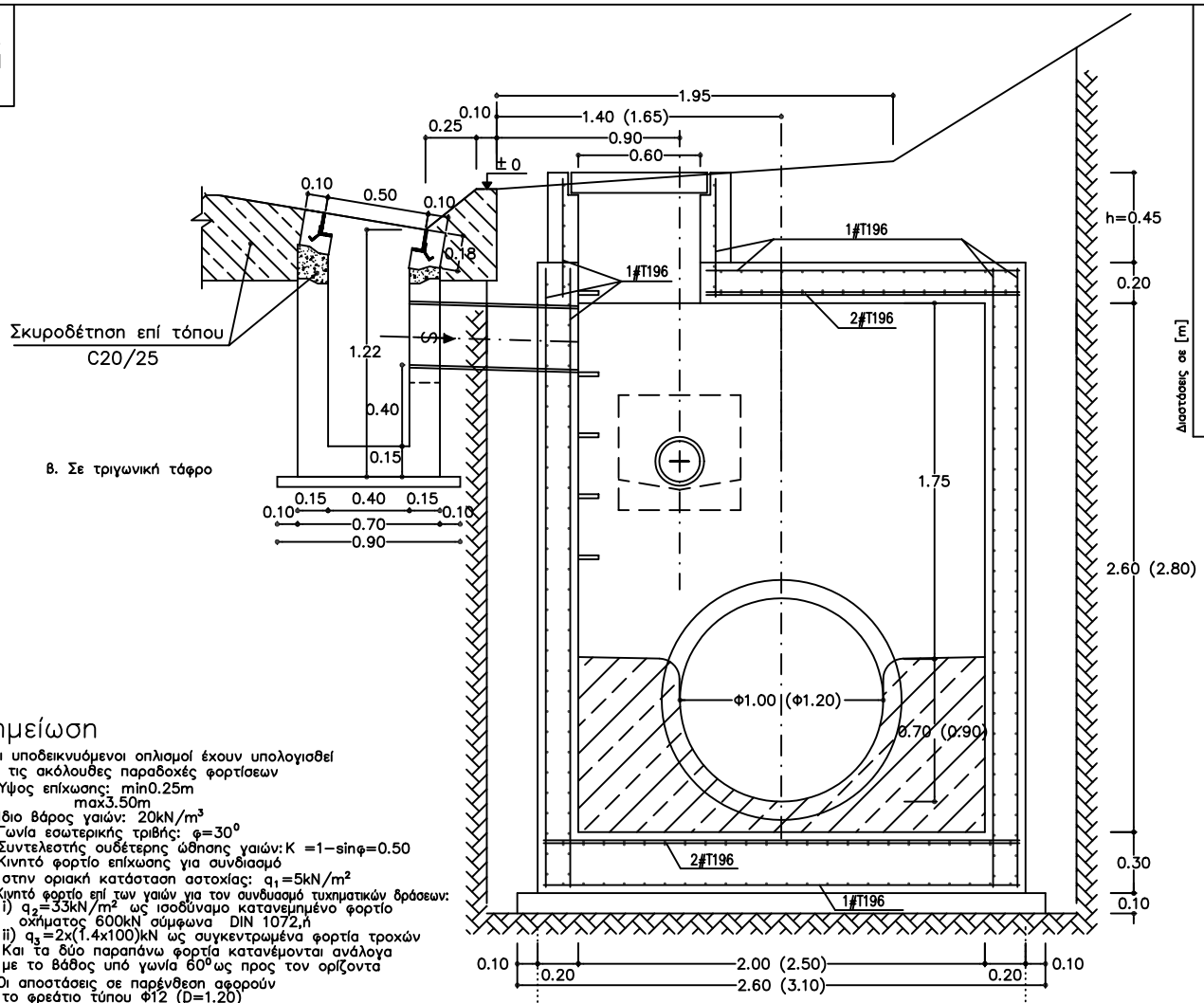
Διαστάσεις σε [m]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ ΤΥΠΟΥ Φ11 (D=1.00) & Φ12 (D=1.20)

ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ

Κωδ. Σχεδίου	Ημερομηνία
Y–06.1	02/11/02
Φύλλο	Αναθεώρηση
1 από 2	#

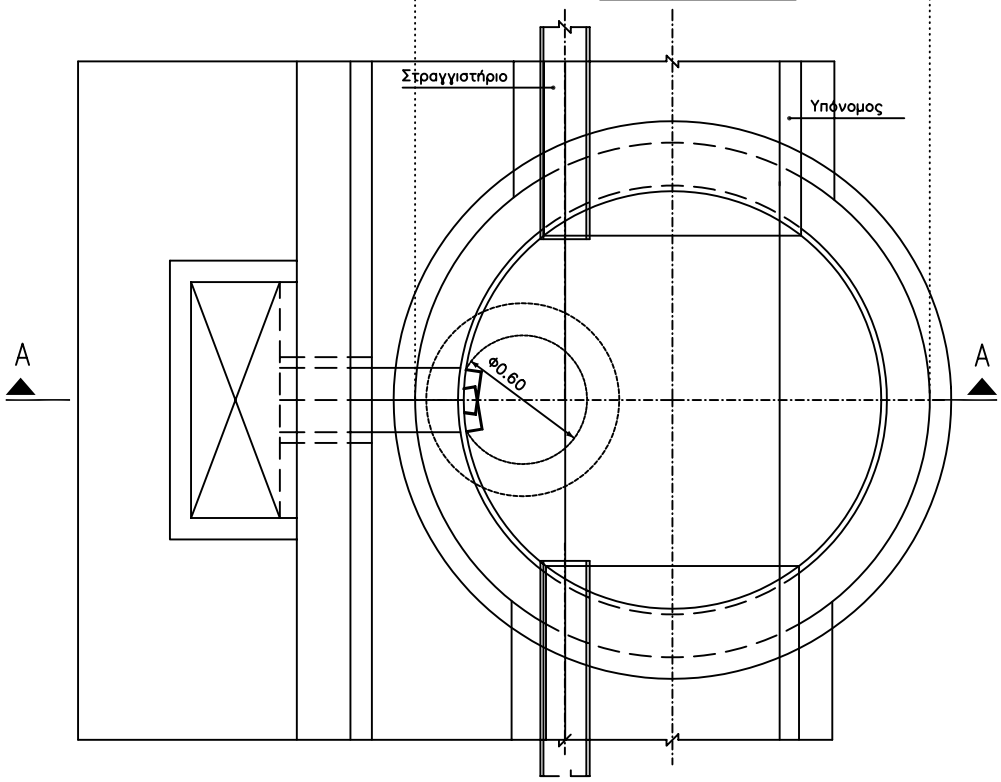
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



ΤΟΜΗ Α–Α

Σημείωση

1. Οι υποδεικνυόμενοι οπλισμοί έχουν υπολογισθεί με τις ακόλουθες παραδοχές φορτίσεων
   - Υψος επίχωσης: min0.25m max3.50m
   - Ιδιο βάρος γαιών: 20kN/m³
   - Γωνία εσωτερικής τριβής: $\varphi=30^0$
   - Συντελεστής ουδέτερης ώθησης γαιών: $K=1-\sin\varphi=0.50$
   - Κινητό φορτίο επίχωσης για συνδιασμό στην οριακή κατάσταση αστοχίας: $q_1=5kN/m^2$
   - Κινητό φορτίο επί των γαιών για τον συνδυασμό τυχηματικών δράσεων:
     i) $q_2=33kN/m^2$ ως ισοδύναμο κατανεμημένο φορτίο οχήματος 600kN σύμφωνα DIN 1072,ή
     ii) $q_3=2x(1.4x100)kN$ ως συγκεντρωμένα φορτία τροχών
     Και τα δύο παραπάνω φορτία κατανέμονται ανάλογα με το βάθος υπό γωνία 60^0 ως προς τον ορίζοντα
2. Οι αποστάσεις σε παρένθεση αφορούν το φρεάτιο τύπου Φ12 (D=1.20)
3. Οταν ύψος λαιμού h≥1.00m τότε αυτός κατασκευάζεται με διάμετρο Φ1.00 και βαθμίδες



ΚΑΤΟΨΗ

ΣΕ ΘΕΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

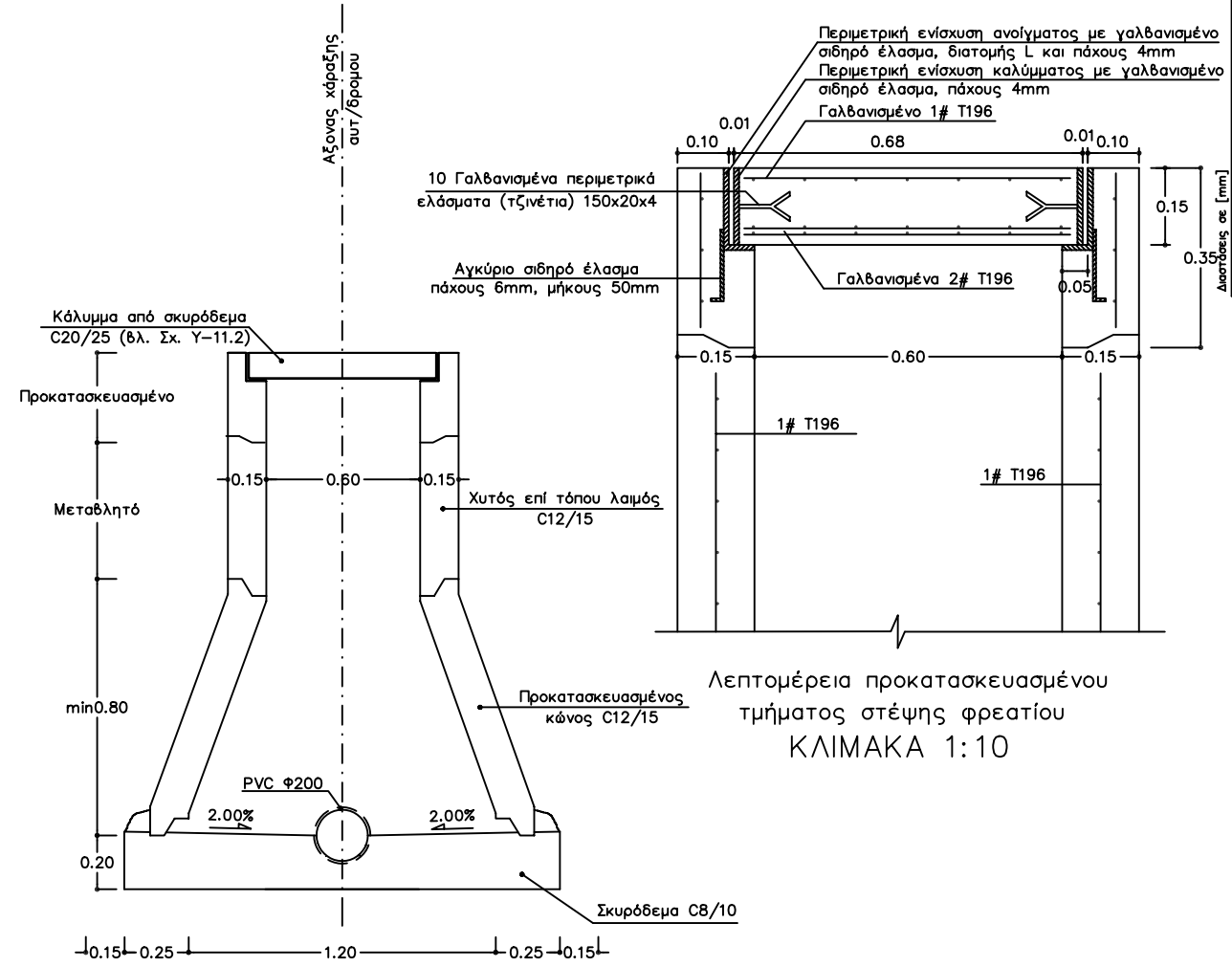
Διαστάσεις σε [m]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ
ΤΥΠΟΥ Φ11 (D=1.00) & Φ12 (D=1.20)

ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ

Κωδ. Σχεδίου	Ημερομηνία	Αναθεώρηση	#
Y-06.2	02/11/02		
Φύλλο			
2 από 2			

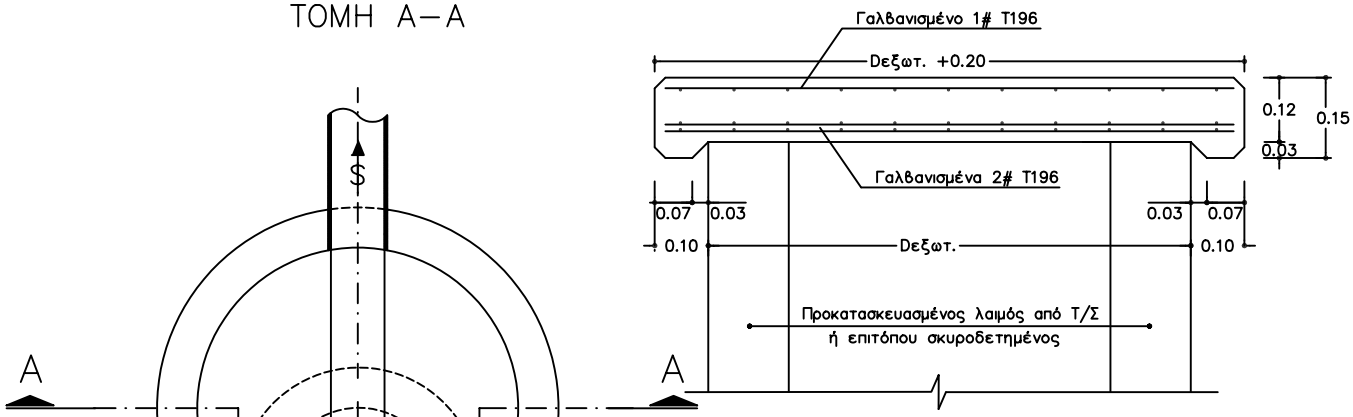
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



Λεπτομέρεια προκατασκευασμένου τμήματος στέψης φρεατίου

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10

ΤΟΜΗ Α-Α



Εναλλακτική κατασκευή προκατασκευασμένου καλύμματος

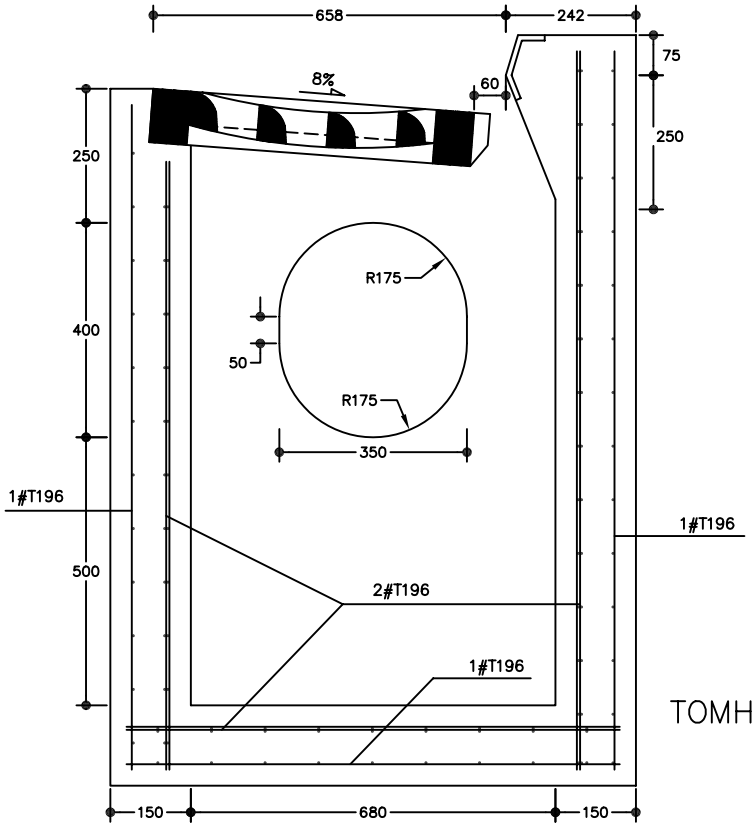
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10

ΚΑΤΟΨΗ ΦΡΕΑΤΙΟΥ

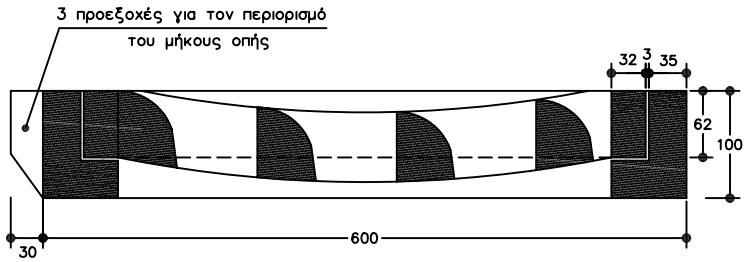
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20

ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΩΝ	Ημερομηνία 02/11/02	Αναθεώρηση	#
	Κωδ. Σχεδίου Υ-07	Φύλλο	1 από 1
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ			

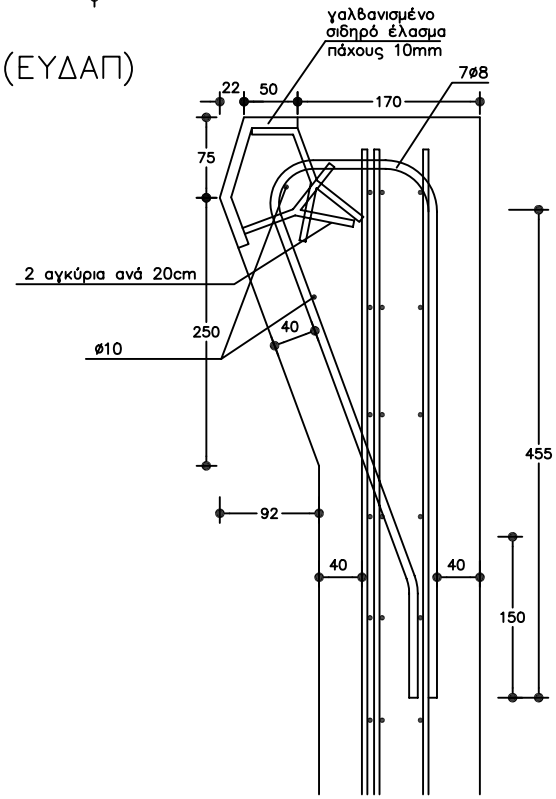
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



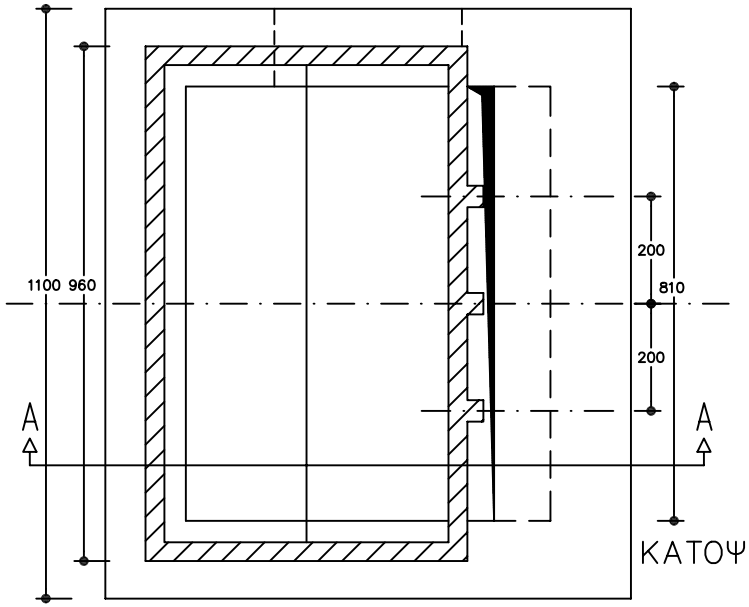
ΤΟΜΗ Α–Α



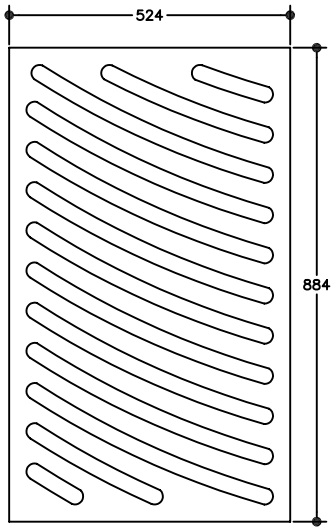
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΗΣ ΣΧΑΡΑΣ (ΕΥΔΑΠ)
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5



ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5



ΚΑΤΟΨΗ

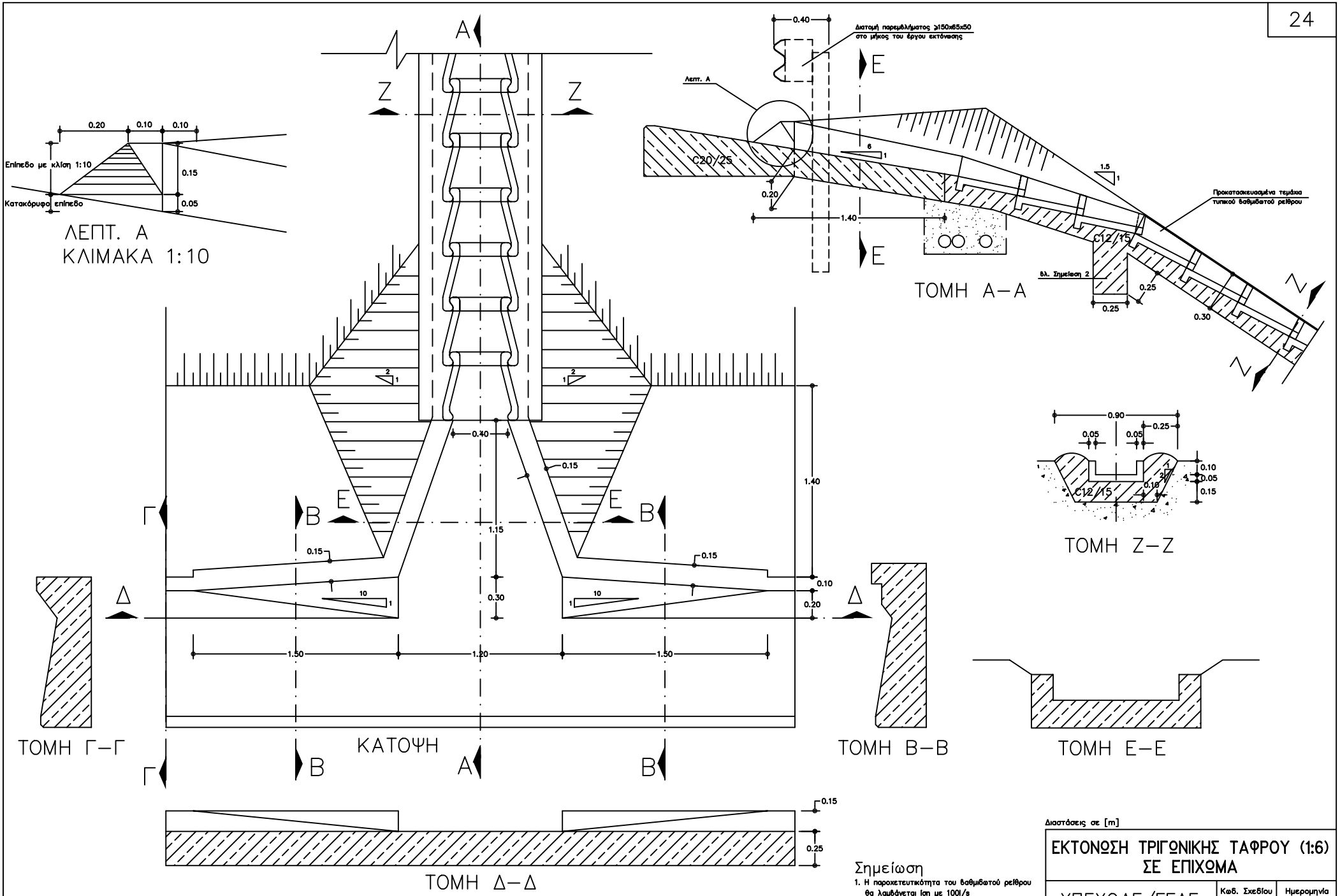


ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10

Διαστάσεις σε [mm]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΕ ΚΡΑΣΠΕΔΟ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Υ–08	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



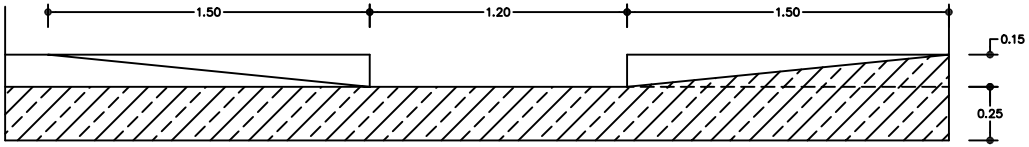
Διαστάσεις σε [m]

ΕΚΤΟΝΩΣΗ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗΣ ΤΑΦΡΟΥ (1:6) ΣΕ ΕΠΙΧΩΜΑ

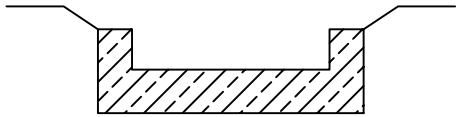
Σημείωση
1. Η παροχετευτικότητα του βαθμιδωτού ρείθρου θα λαμβάνεται ίση με 100l/s
2. Χαλινοί κατασκευάζονται στο πρανές ανά 6m κεκλιμένης απόστασης

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

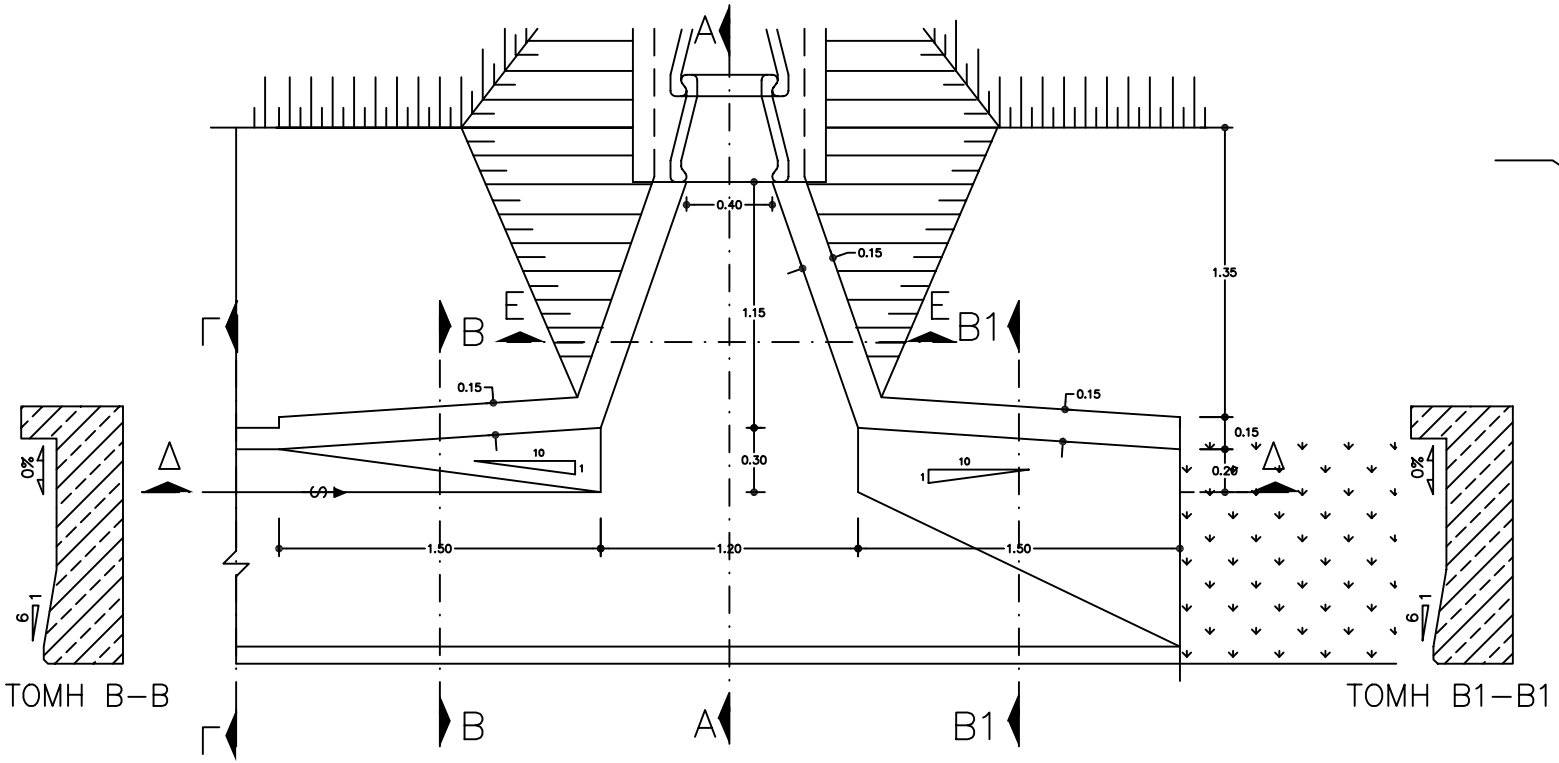
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Υ–09.1	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 2	Αναθεώρηση #



ΤΟΜΗ Δ–Δ



ΤΟΜΗ Ε–Ε

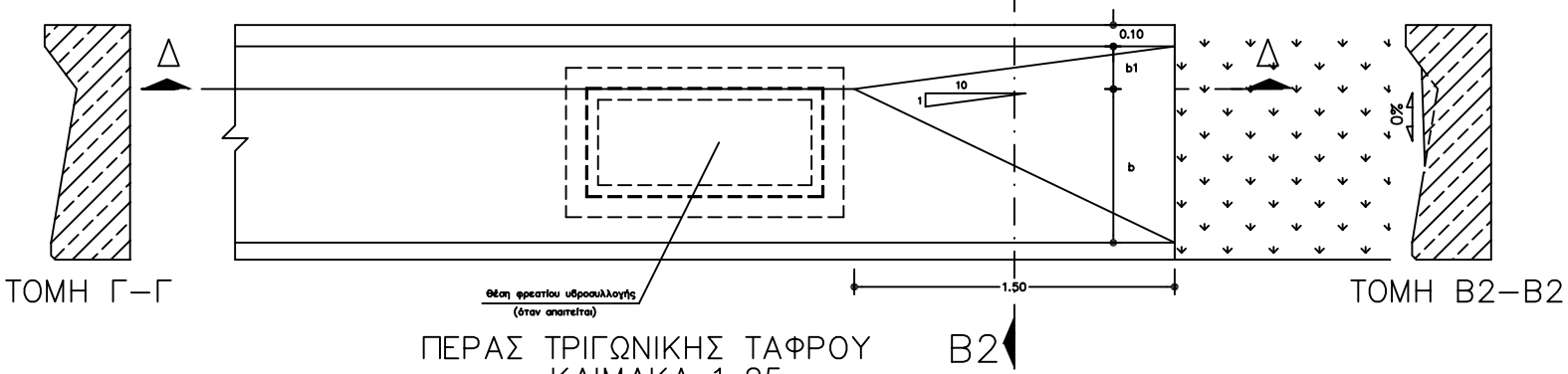


ΤΟΜΗ Β–Β

ΤΟΜΗ Β1–Β1

ΚΑΤΟΨΗ

α. Στο χαμηλό άκρο (κατάντι) της ροής
με βαθμιδωτά ρείθρα



ΤΟΜΗ Γ–Γ

ΤΟΜΗ Β2–Β2

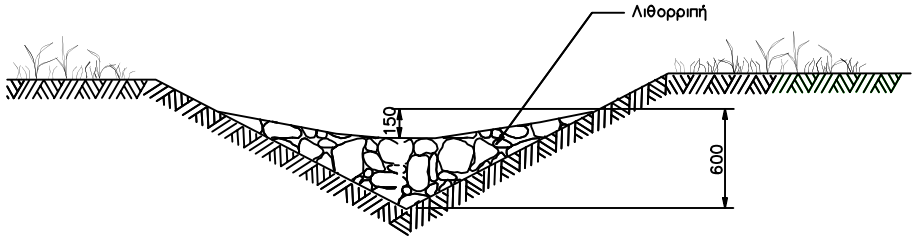
ΠΕΡΑΣ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗΣ ΤΑΦΡΟΥ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

β. Στο χαμηλό άκρο (κατάντι) της ροής
με φρεάτιο υδροσυλλογής
και στο υψηλό σημείο (ανάντι) της ροής
χωρίς εκτόνωση

Διαστάσεις σε [m]

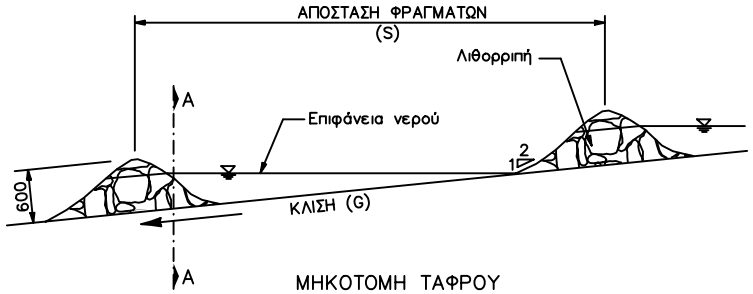
ΕΚΤΟΝΩΣΗ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗΣ ΤΑΦΡΟΥ (1:6) ΣΕ ΕΠΙΧΩΜΑ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Y–09.2	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 2 από 2	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



ΤΟΜΗ Α–Α

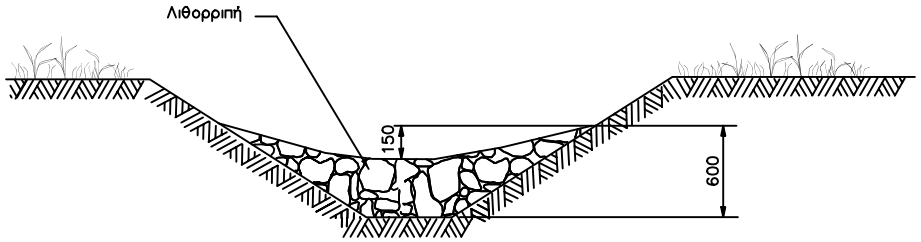
ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΤΑΦΡΟΣ



ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΤΑΦΡΟΥ

ΚΛΙΣΗ (G) *	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (S)
2%	23 m
3%	15 m
4%	12 m
5%	9 m
6%	7.5 m

* Να μη χρησιμοποιούνται φράγματα σε κλίσεις G<2% και G>6%



ΤΟΜΗ Α–Α

ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΗΣ ΤΑΦΡΟΣ

Διαβάθμιση Λιθορριπής

Ανοιγμα βροχίδας [mm]	Διερχόμενο % κατά βάρος Ελάχιστο	Μέγιστο
9.50	100	
4.75	95	100
2.36	68	86
1.18	47	65
0.60	27	42
0.30	9	20
0.15	0	7
0.075	0	2.5

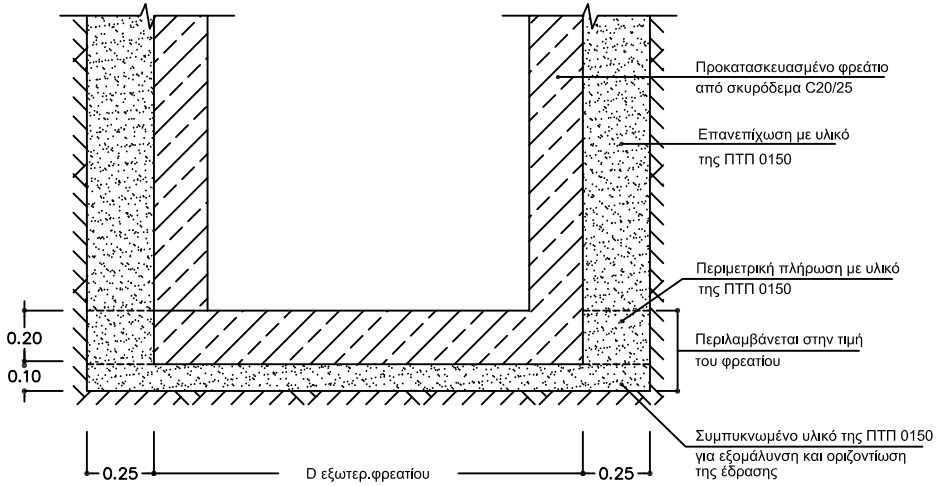
Διαστάσεις σε [mm]

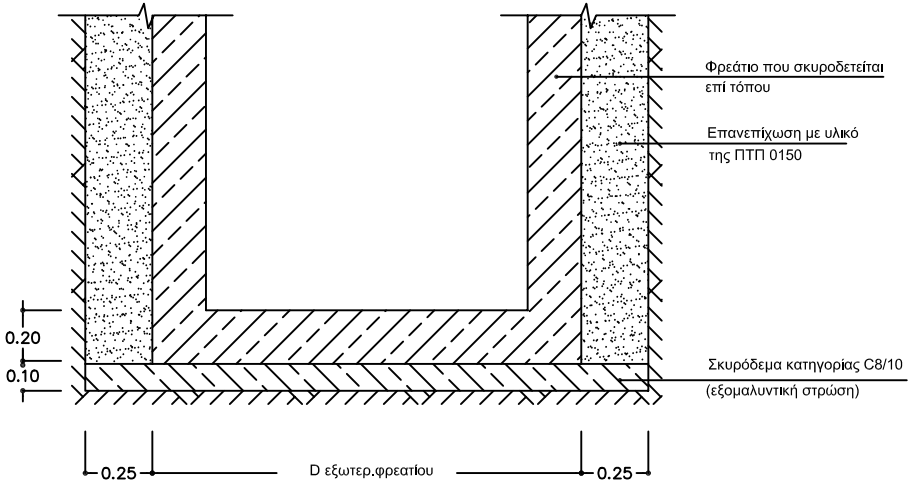
ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΑΝΕΠΕΝΔΥΤΕΣ ΤΑΦΡΟΥΣ

ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Υ–10	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

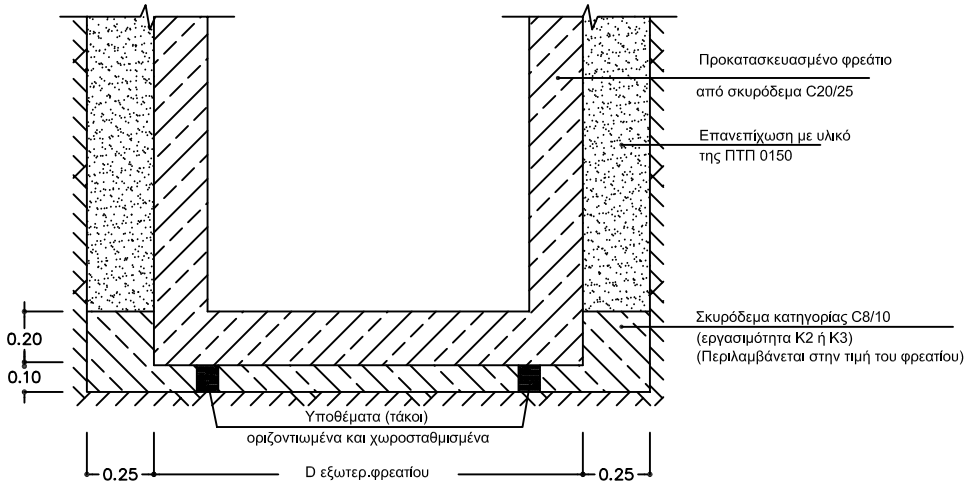
ΚΛΙΜΑΚΑ (ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ)

1ος τρόπος





2ος τρόπος



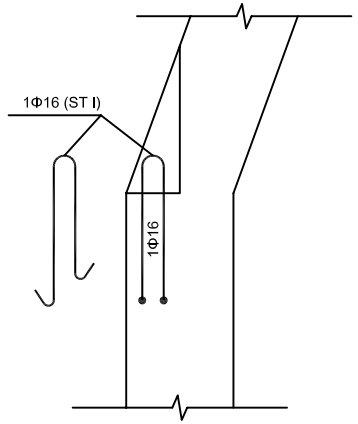
ΦΡΕΑΤΙΑ ΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΤΟΥΝΤΑΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20

Διαστάσεις σε [m]

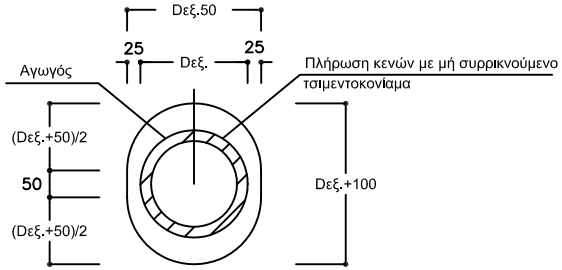
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

ΓΕΝΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΦΡΕΑΤΙΩΝ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ & ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ.Σχεδίου Y–11.1	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 2	Αναθεώρηση #



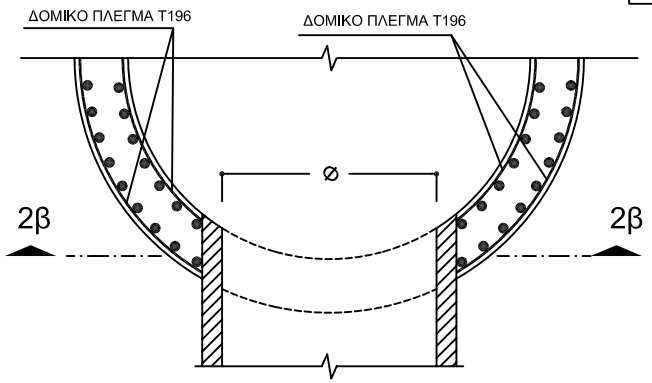
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΟΥ
ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΦΡΕΑΤΙΟΥ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



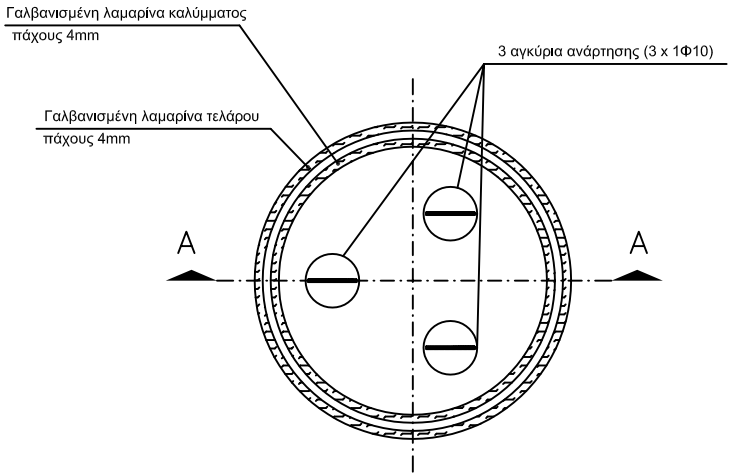
ΟΠΕΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΓΩΓΩΝ
ΣΤΑ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΦΡΕΑΤΙΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



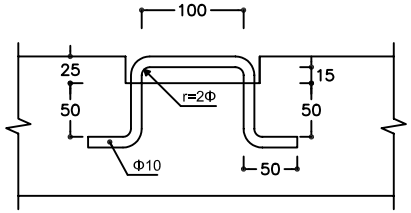
ΤΟΜΗ 1-1

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20



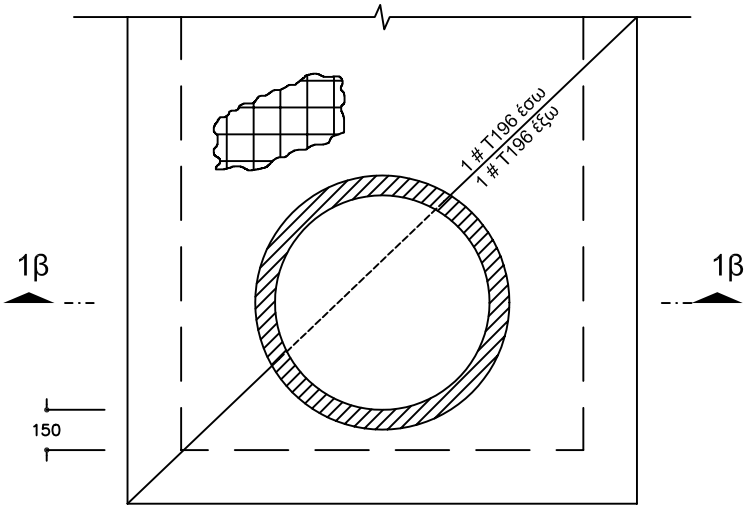
ΚΑΛΥΜΜΑ ΦΡΕΑΤΙΟΥ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



ΤΟΜΗ A-A

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



ΤΟΜΗ 2β-2β

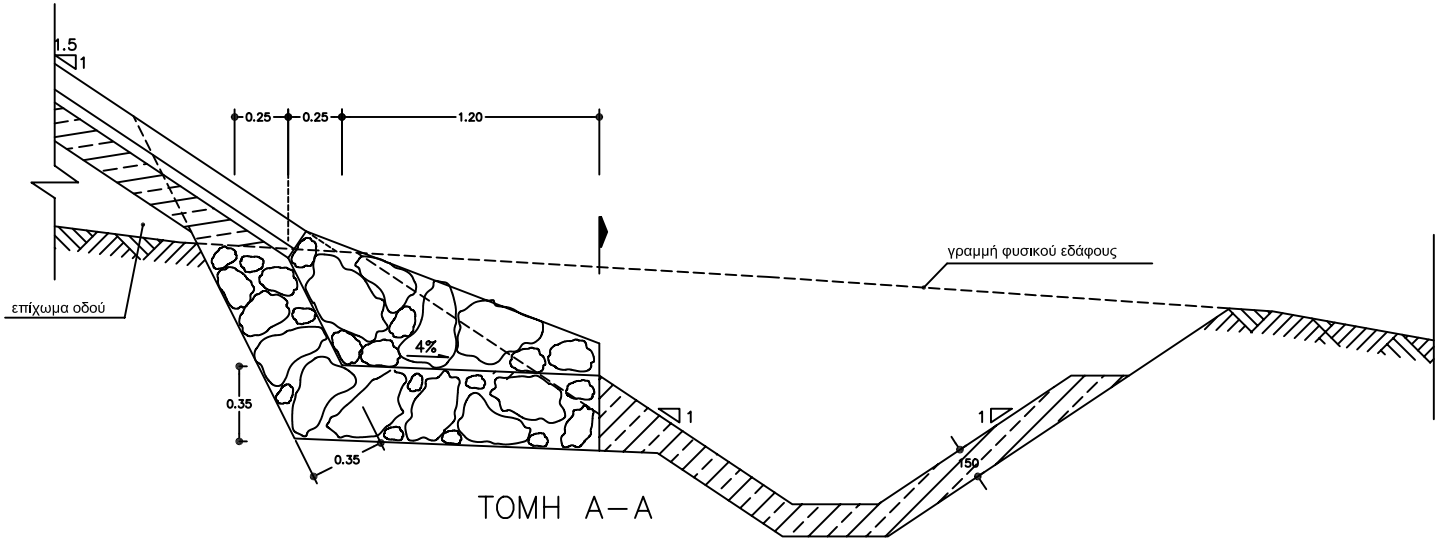
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20

- ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΚΑΛΛΥΜΑΤΩΝ & ΦΡΕΑΤΙΩΝ
- ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΦΡΕΑΤΙΩΝ

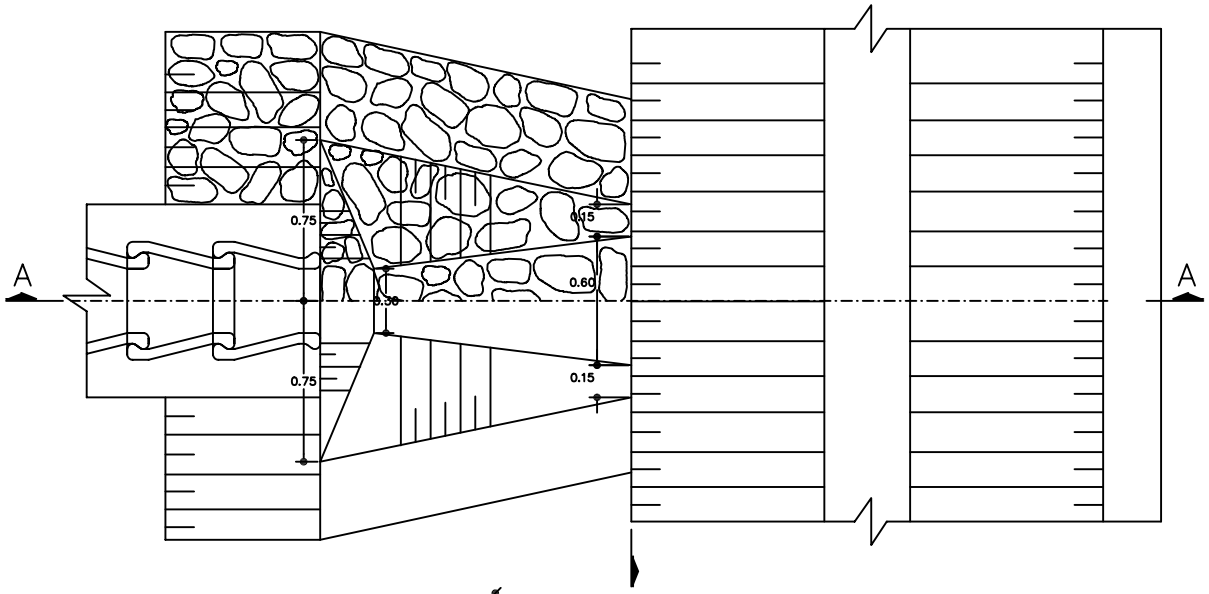
Διαστάσεις σε [mm]

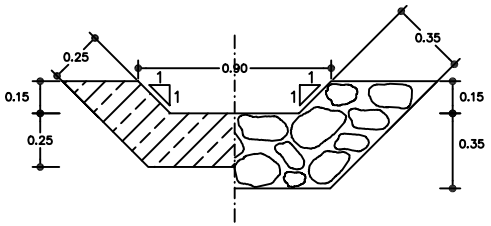
ΓΕΝΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΦΡΕΑΤΙΩΝ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ & ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ.Σχεδίου Y–11.2	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 2 από 2	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας

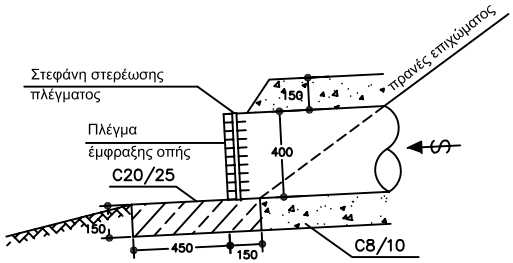


ΤΟΜΗ Α–Α

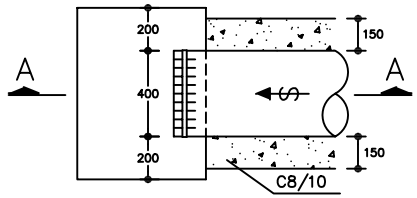




ΤΟΜΗ Β–Β



ΤΟΜΗ Α-Α



ΚΑΤΟΨΗ

ΕΡΓΟ ΕΞΟΔΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΟΥ
ΣΤΟ ΠΟΔΙ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

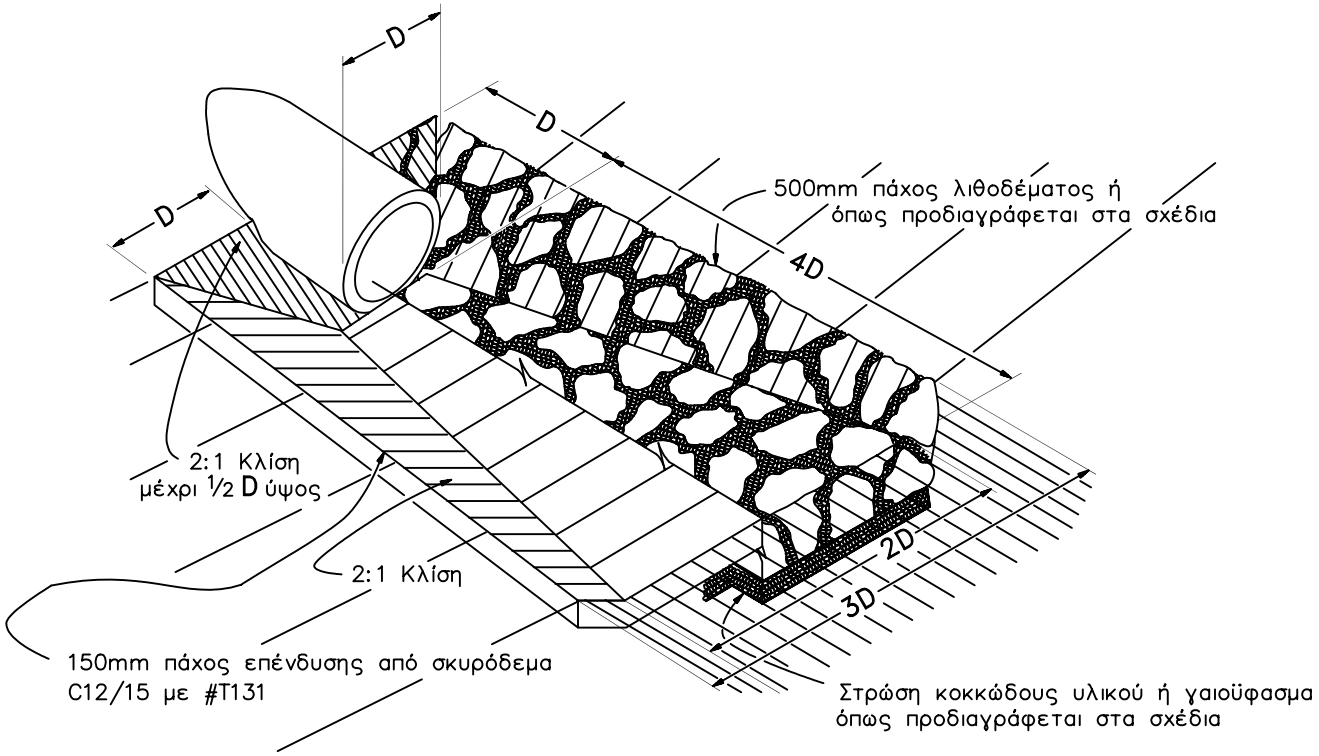
Διαστάσεις σε [m]

Σημείωση

1. Η κατασκευή γίνεται είτε από σκυρόδεμα C20/25 είτε από λιθόδεμα

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΕ ΕΞΟΔΟΥΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ.Σχεδίου Υ–12	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #



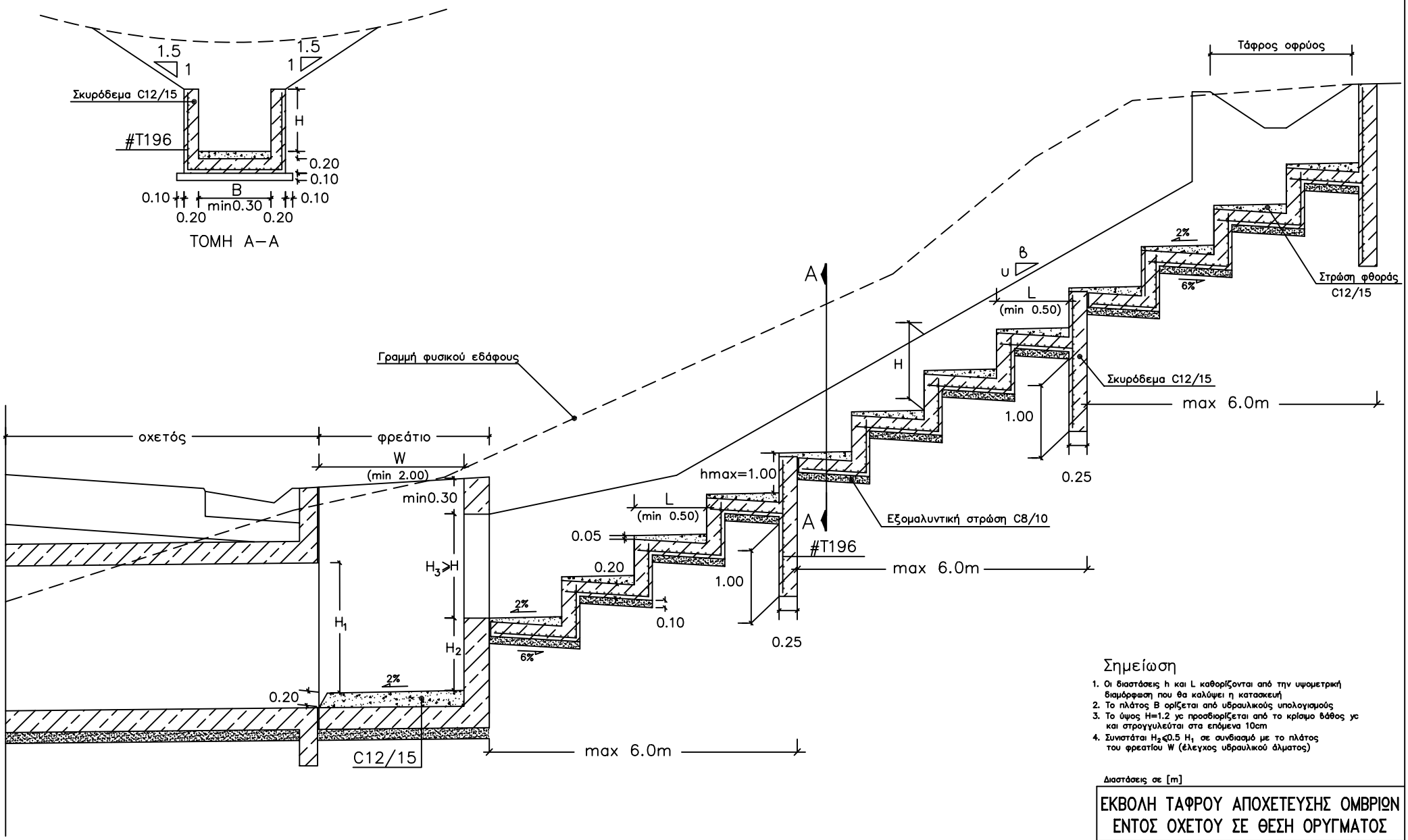
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ

Σημείωση

1. Η κατασκευή γίνεται είτε από σκυρόδεμα C20/25 είτε από λιθόδεμα

Διαστάσεις σε [mm]

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΣΩΛΗΝΩΤΟΥ ΟΧΕΤΟΥ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Y–13	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #



Σημείωση

1. Οι διαστάσεις h και L καθορίζονται από την υψομετρική διαμόρφωση που θα καλύψει η κατασκευή
2. Το πλάτος B ορίζεται από υδραυλικούς υπολογισμούς
3. Το ύψος H=1.2 yc προσδιορίζεται από το κρίσιμο βάθος yc και στρογγυλεύται στα επόμενα 10cm
4. Συνιστάται $H_2 \leq 0.5\ H_1$ σε συνδιασμό με το πλάτος του φρεατίου W (έλεγχος υδραυλικού άλματος)

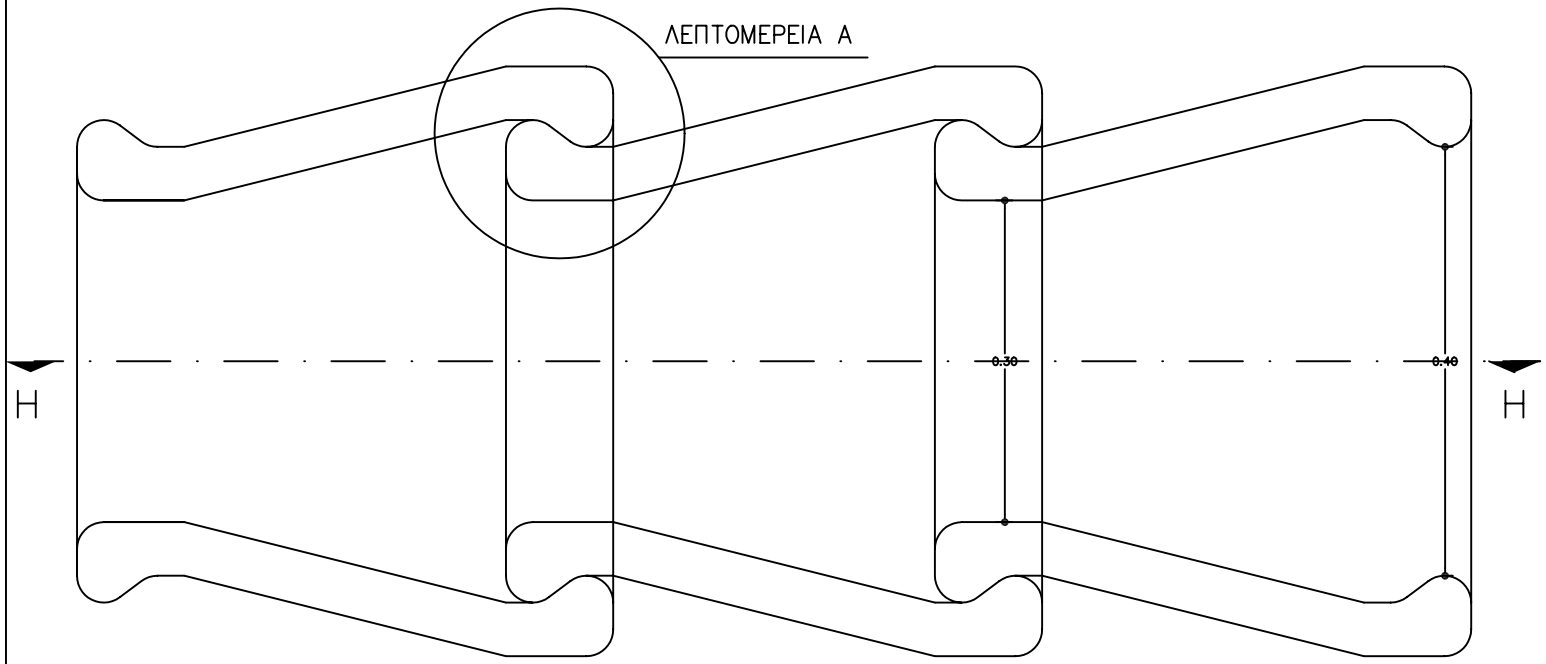
Διαστάσεις σε [m]

ΕΚΒΟΛΗ ΤΑΦΡΟΥ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΕΝΤΟΣ ΟΧΕΤΟΥ ΣΕ ΘΕΣΗ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ

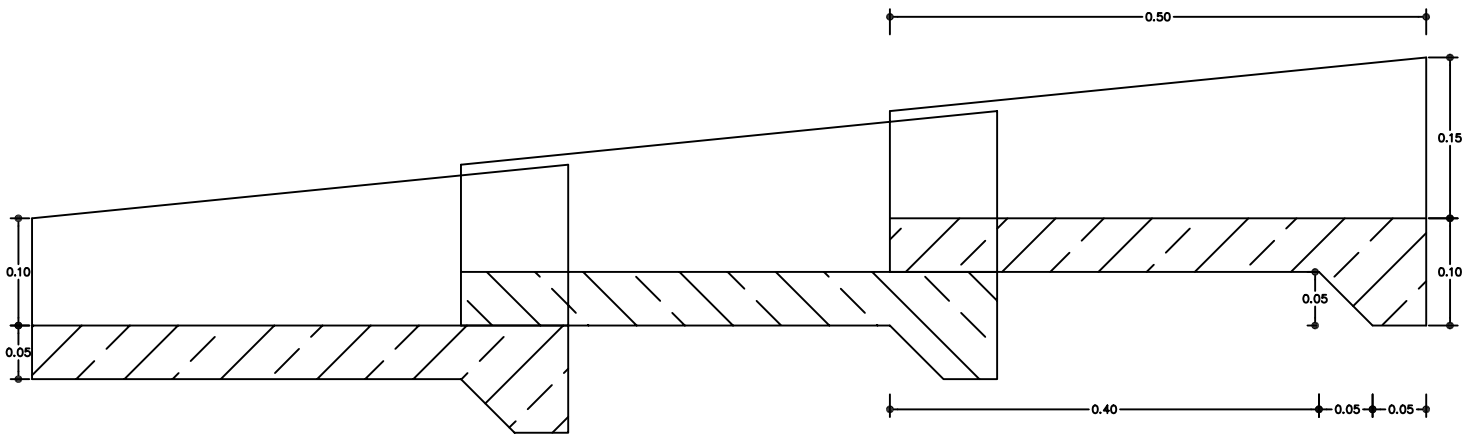
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου	Ημερομηνία
	Y–14	02/11/02
	Φύλλο	Αναθεώρηση
	1 από 1	#

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

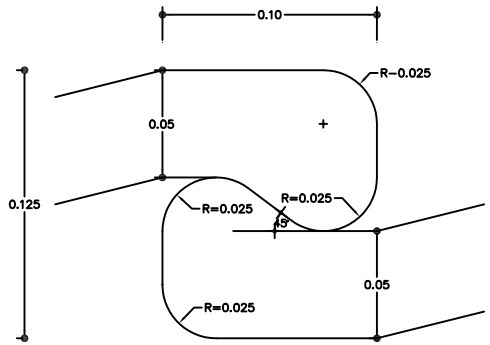
Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας



ΚΑΤΟΨΗ



ΤΟΜΗ Η–Η



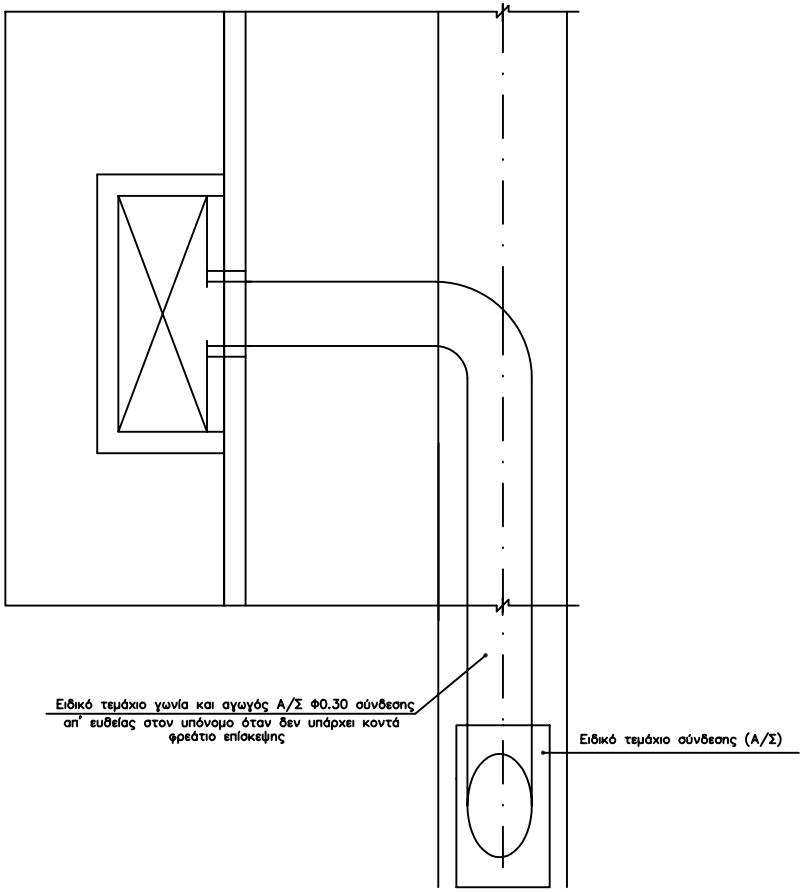
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ Α
Ενδεικτική διαμόρφωση
ΚΛ. 1:2.5

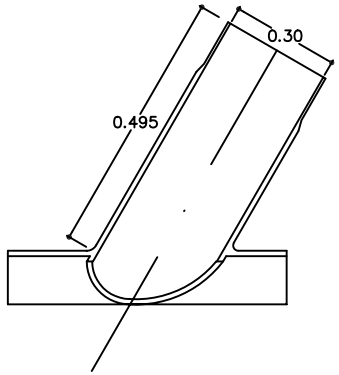
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5

Διαστάσεις σε [m]

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΒΑΘΜΙΔΩΤΟΥ ΡΕΙΘΡΟΥ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Υ–Λ1	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

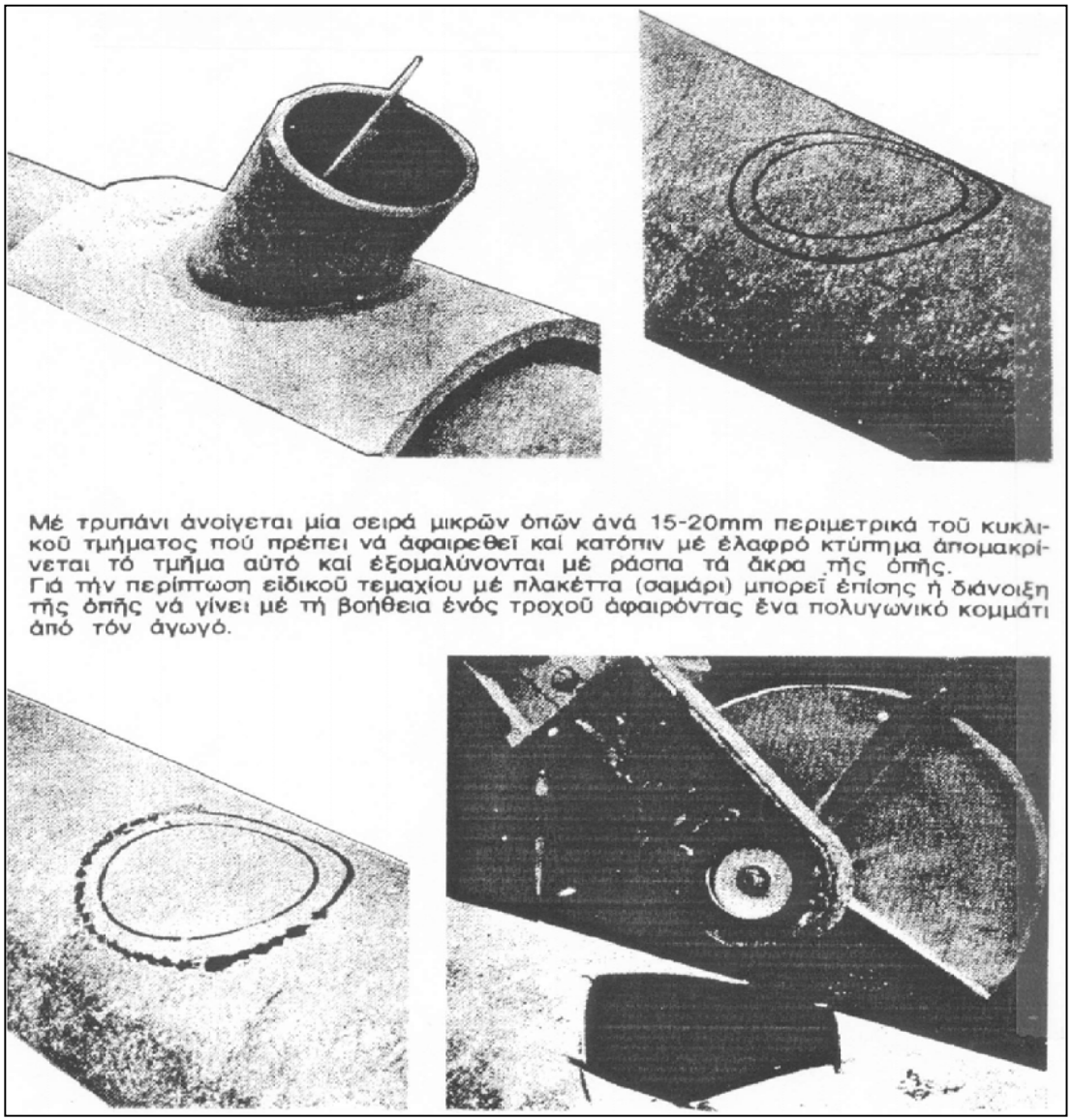
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας





ΕΙΔΙΚΟ ΤΕΜΑΧΙΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ
ΜΕ ΠΛΑΚΕΤΑ (ΣΑΜΑΡΙ)

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



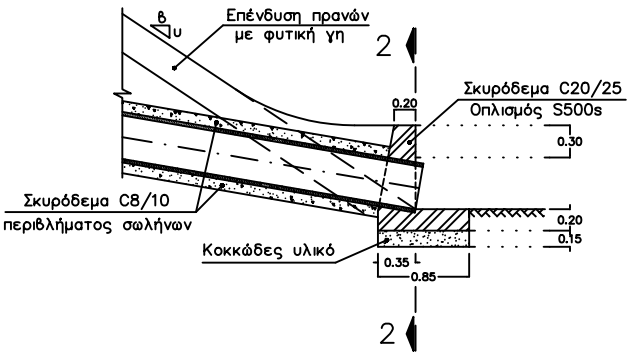
Σημείωση

1. Ο υποδεικνυόμενος τρόπος σύνδεσης απ' ευθείας στον υπόνομο εφαρμόζεται για κάθε διάμετρο υπονόμου με τα ειδικά τεμάχια σύνδεσης που υπάρχουν στο εμπόριο

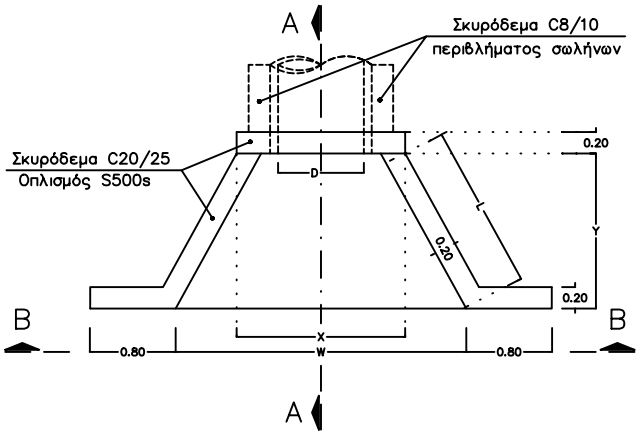
Διαστάσεις σε [m]

ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΓΩΓΟΥ ΑΠΟ ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΣΕ ΥΠΟΝΟΜΟ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Υ–Λ2	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

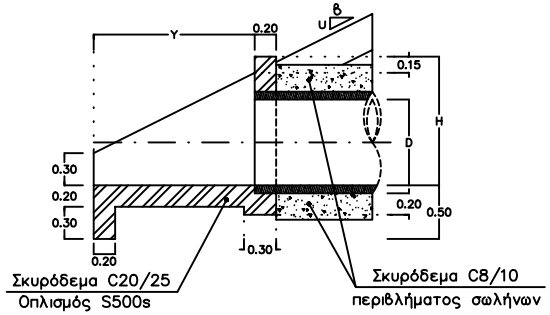
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



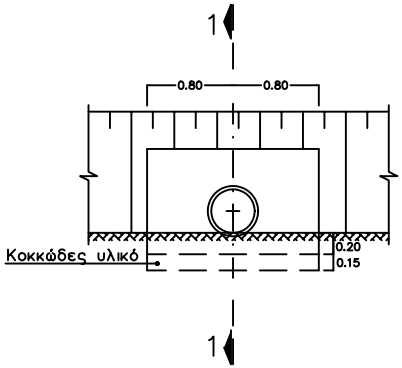
ΤΟΜΗ 1–1



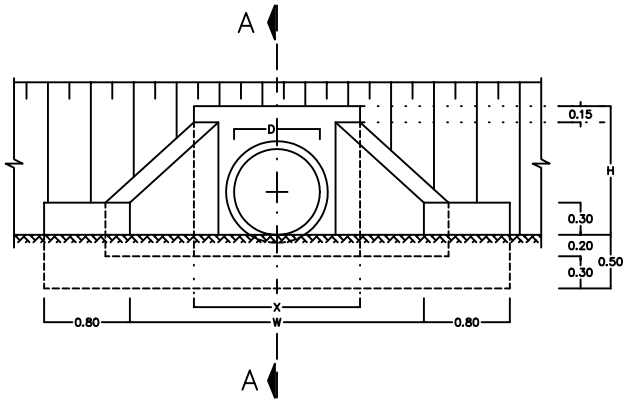
ΚΑΤΟΨΗ



ΤΟΜΗ A–A



ΟΨΗ 2–2



ΟΨΗ B–B

Πίνακας διαστάσεων

D	X	H	Y	W	L
0.60	1.20	0.90	0.90	1.80	0.95
0.80	1.55	1.20	1.50	2.75	1.60
1.00	1.70	1.35	1.80	3.20	1.95
1.20	1.90	1.60	2.10	3.70	2.30

A. ΕΡΓΟ ΕΚΒΟΛΗΣ ΥΠΟΝΟΜΩΝ
(ΣΩΛΗΝΕΣ PVC ή Τ/Σ D⩽0.40)

B. ΕΡΓΟ ΣΤΟΜΙΩΝ ΟΧΕΤΩΝ & ΥΠΟΝΟΜΩΝ
(ΤΣΙΜΕΝΤΟΣΩΛΗΝΕΣ D⩾0.60)

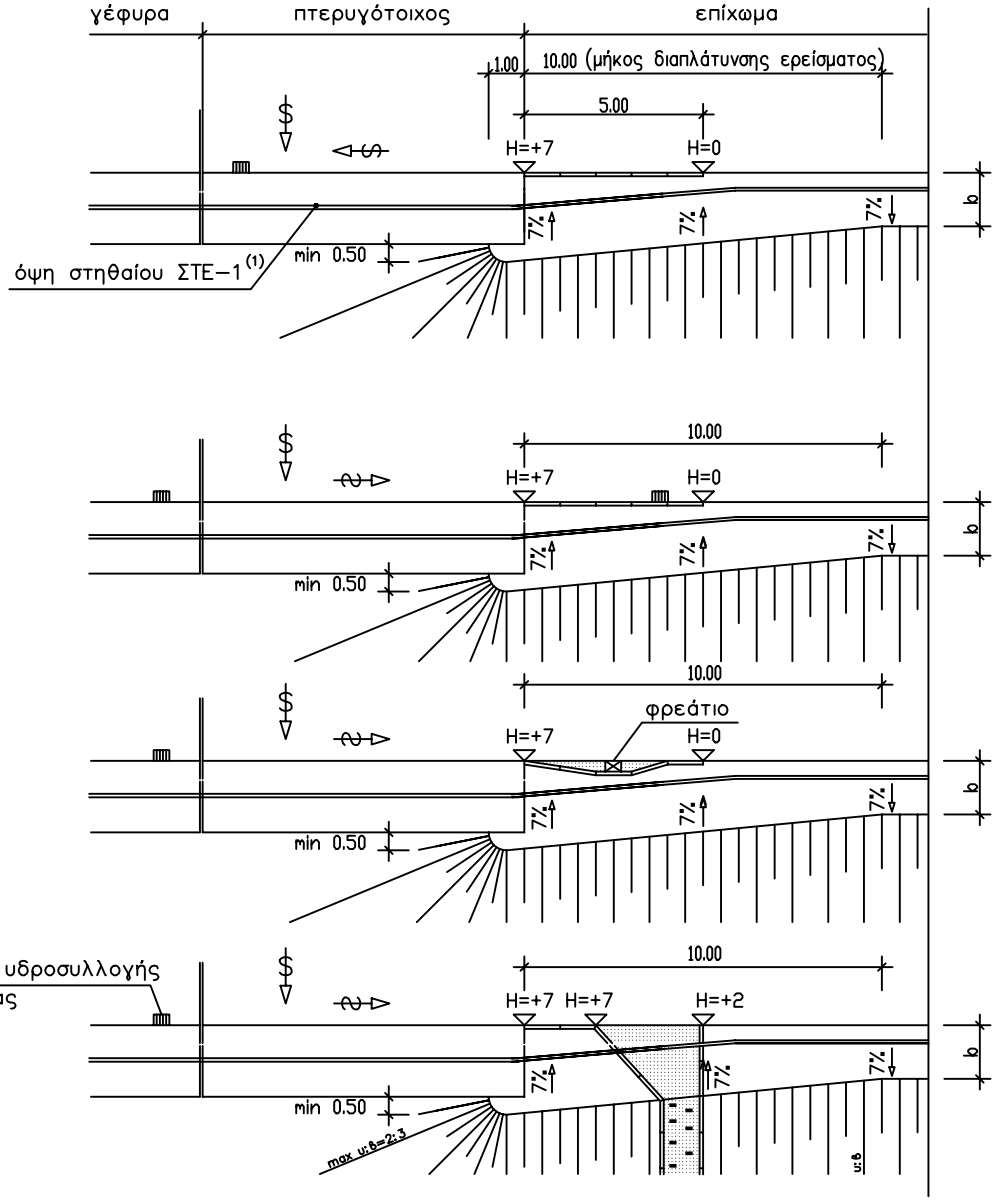
Σημείωση
1. Ολες οι εμφανείς ακμές κατασκευάζονται με απότμηση 2cm
2. Για τυπικά σκάμματα βλ. Σχέδιο Υ–01.1
3. Για τον οπλισμό απαιτείται στατική μελέτη

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

Διαστάσεις σε [m]

ΕΡΓΟ ΣΤΟΜΙΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Υ–15	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



α. Ροή πρός τη γέφυρα με κράσπεδο πριν από τον πτερυγότοιχο

β1. Ροή πρός το επίχωμα με στόμιο υδροσυλλογής (προηγούνται τόσα στόμια ώστε να μη συνεχίζεται η ροή προς το επίχωμα)

β2. Ροή πρός το επίχωμα με φρεάτιο υπονόμου (προηγούνται τόσα στόμια ώστε να μη συνεχίζεται η ροή προς το επίχωμα)

β3. Ροή πρός το επίχωμα με φρεάτιο βαθμιδωτού ρείθρου (μη επιθυμητή διάταξη)

ΚΑΤΟΨΗ

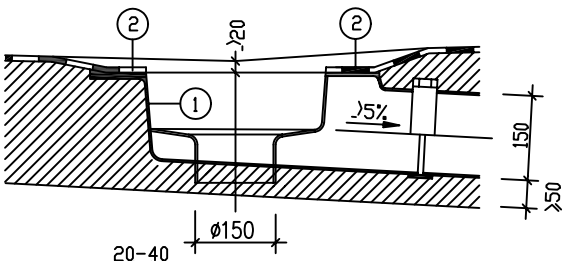
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:150

Σημείωση
1. Η διάταξη των στηθαίων ασφαλείας στο τμήμα μετάβασης από γέφυρα σε επίχωμα και αντίστροφα, δίνονται στα σχέδια Δ−Λ5.1, Δ−Λ5.2 & Δ−Λ5.3
2. Σε περίπτωση εφαρμογής gutter στο έρεισμα του επιχώματος, βλ. Σχέδιο Δ−Λ5.3

Διαστάσεις σε [m]

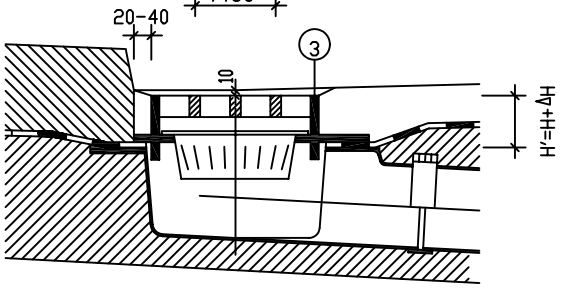
ΣΥΝΔΕΣΗ ΓΕΦΥΡΑΣ − ΟΔΟΥ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Γ−01	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

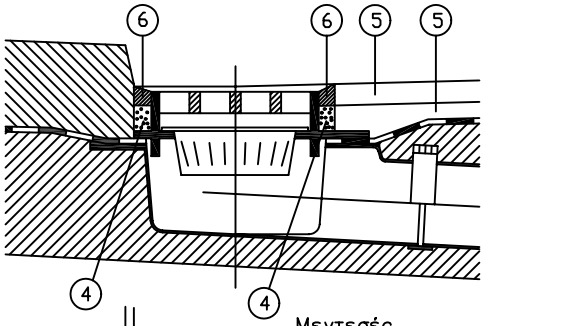


① Κάτω μέρος αποχετευτικού στομίου

② Υλικό στεγανοποίησης πλάτους 100mm



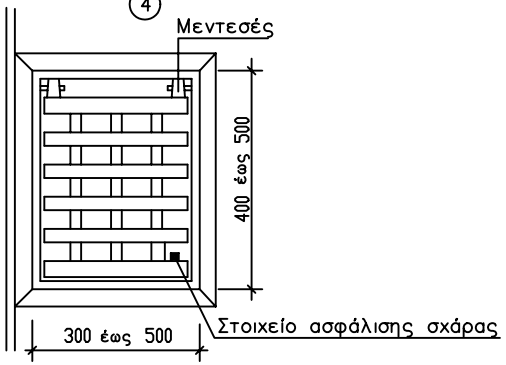
③ Ανω μέρος αποχετευτικού στομίου



④ Υλικό σφράγισης (Τσιμεντοκονίαμα) πάχους 20mm

⑤ Ασφαλτικές στρώσεις

⑥ Μαστίχα πλήρωσης διακένου

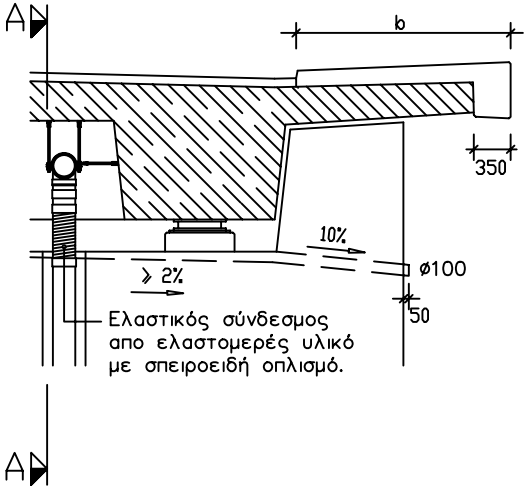


ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ

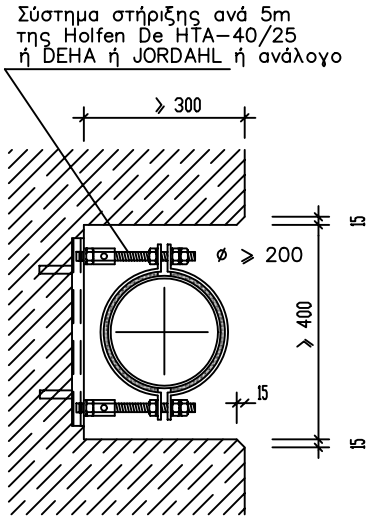
Διαστάσεις σε [mm]

ΣΤΟΜΙΑ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΕ ΓΕΦΥΡΕΣ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Γ-02	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

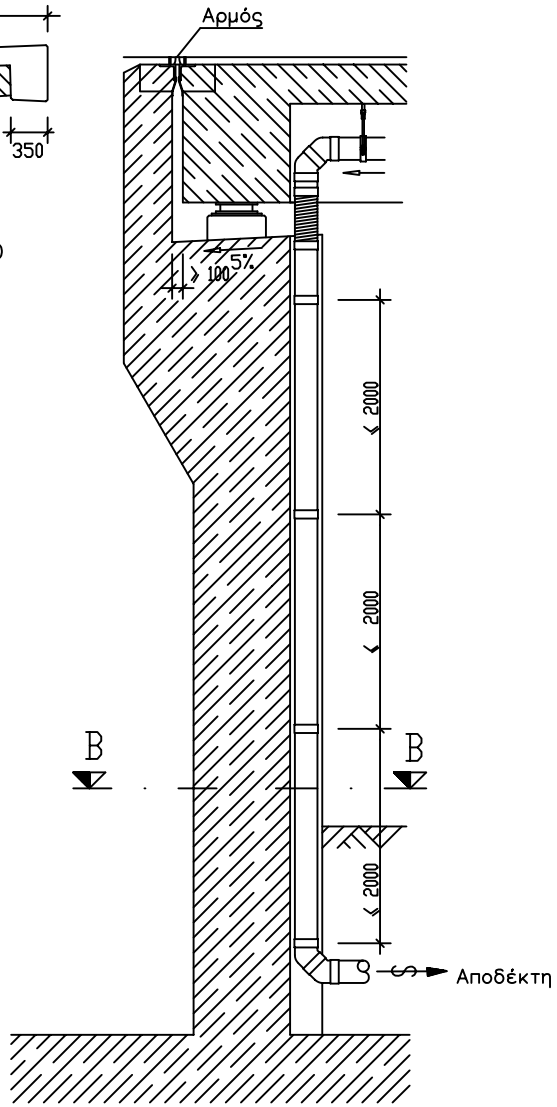


ΤΟΜΗ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

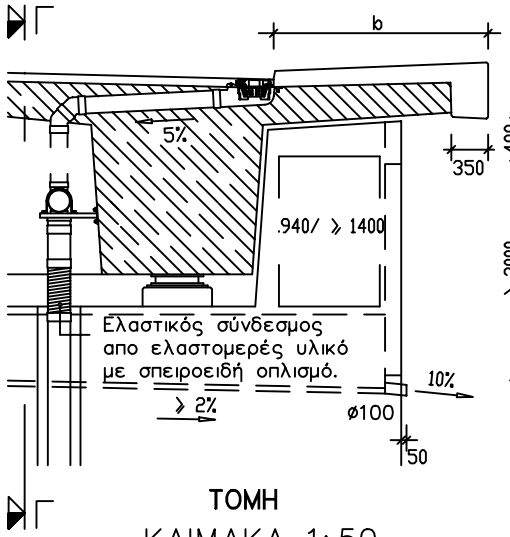


Σκοτία τοποθέτησης αποχετευτικού σωλήνα
(εφαρμόζεται και σε μεσόβαθρα)

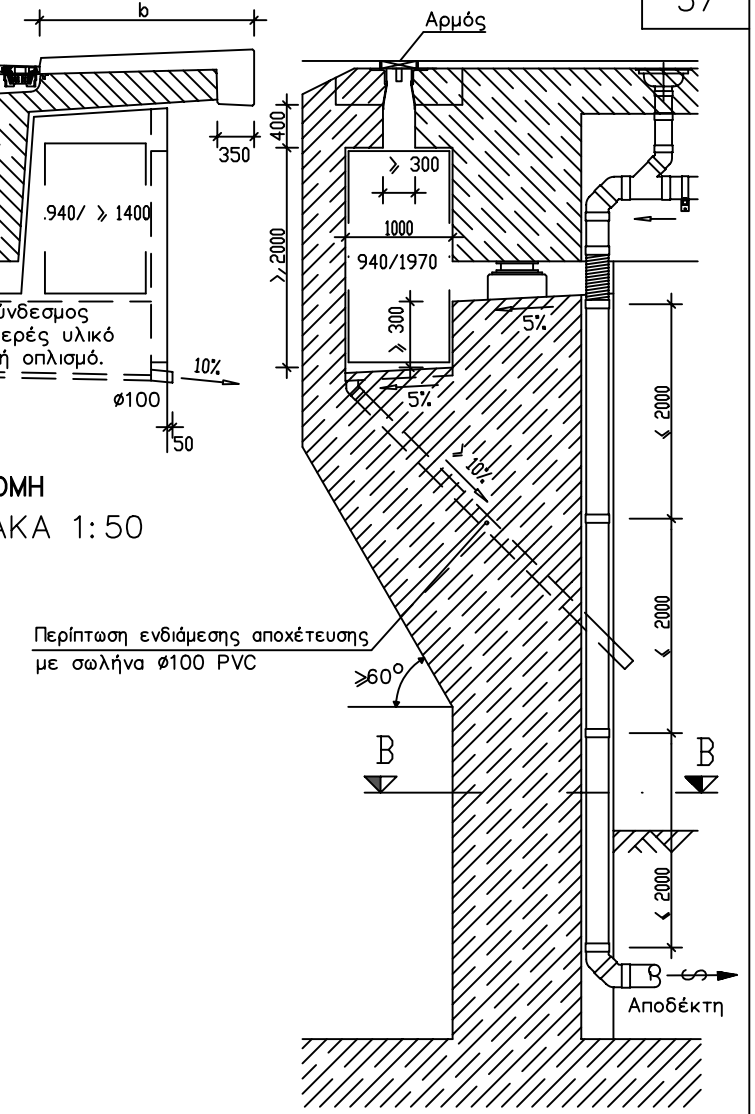
ΤΟΜΗ Β–Β
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



ΤΟΜΗ Α–Α
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50



ΤΟΜΗ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

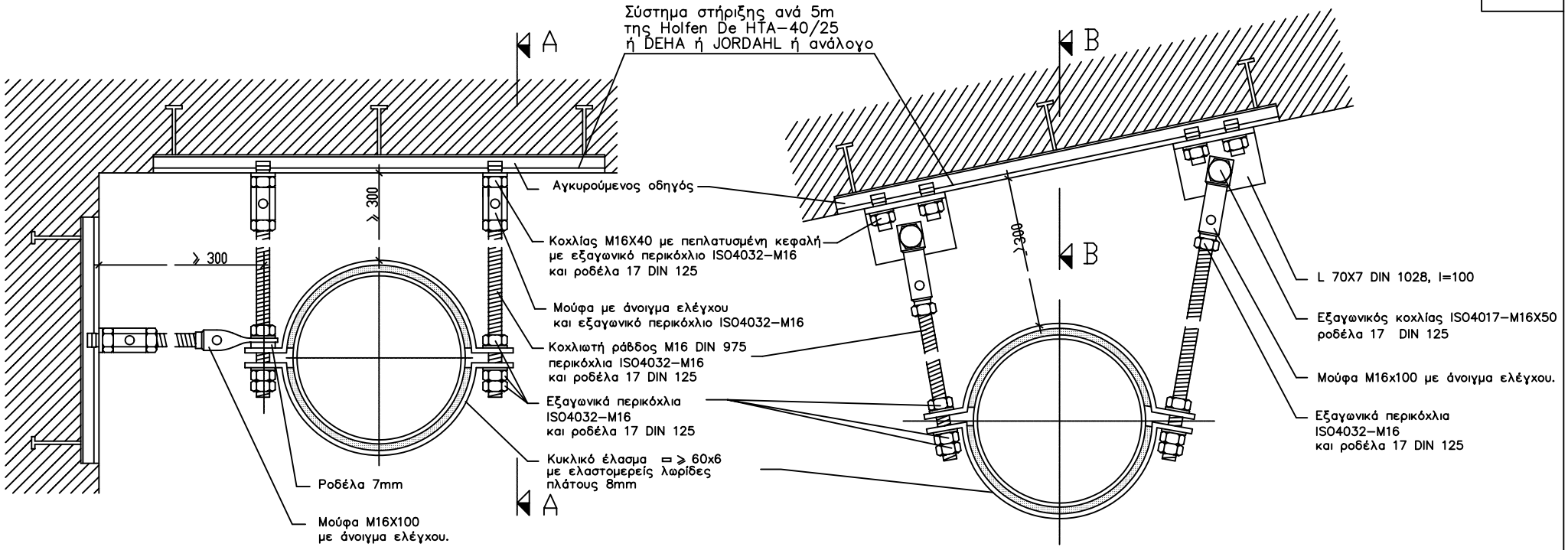


ΤΟΜΗ Γ–Γ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

Διαστάσεις σε [mm]

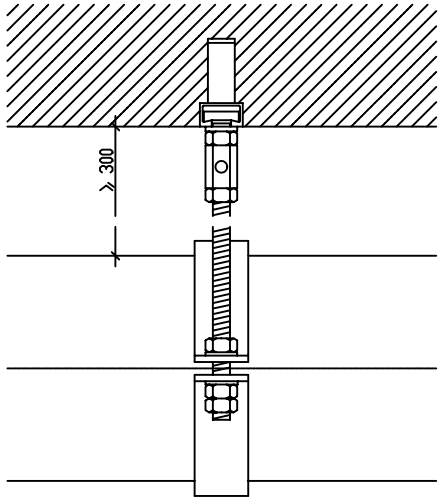
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΑΚΡΟΒΑΘΡΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου Γ–05	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

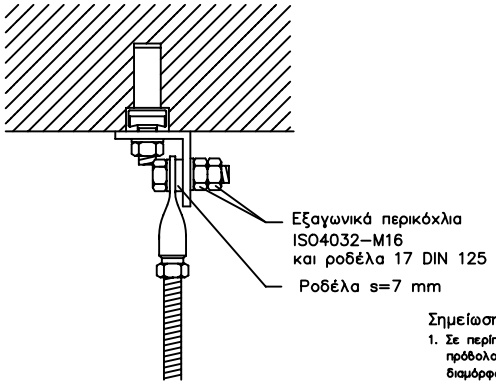


ΤΟΜΗ

ΤΟΜΗ



ΤΟΜΗ A–A



ΤΟΜΗ B–B

Σημείωση

1. Σε περίπτωση εφαρμογής της παρούσας διάταξης στον εξωτερικό πρόβολο του φορέα, θα πρέπει να καλύπτεται από κατάλληλη διαμόρφωση του πεζοδρομίου που θα εγκρίνει η Υπηρεσία

Διαστάσεις σε [mm]

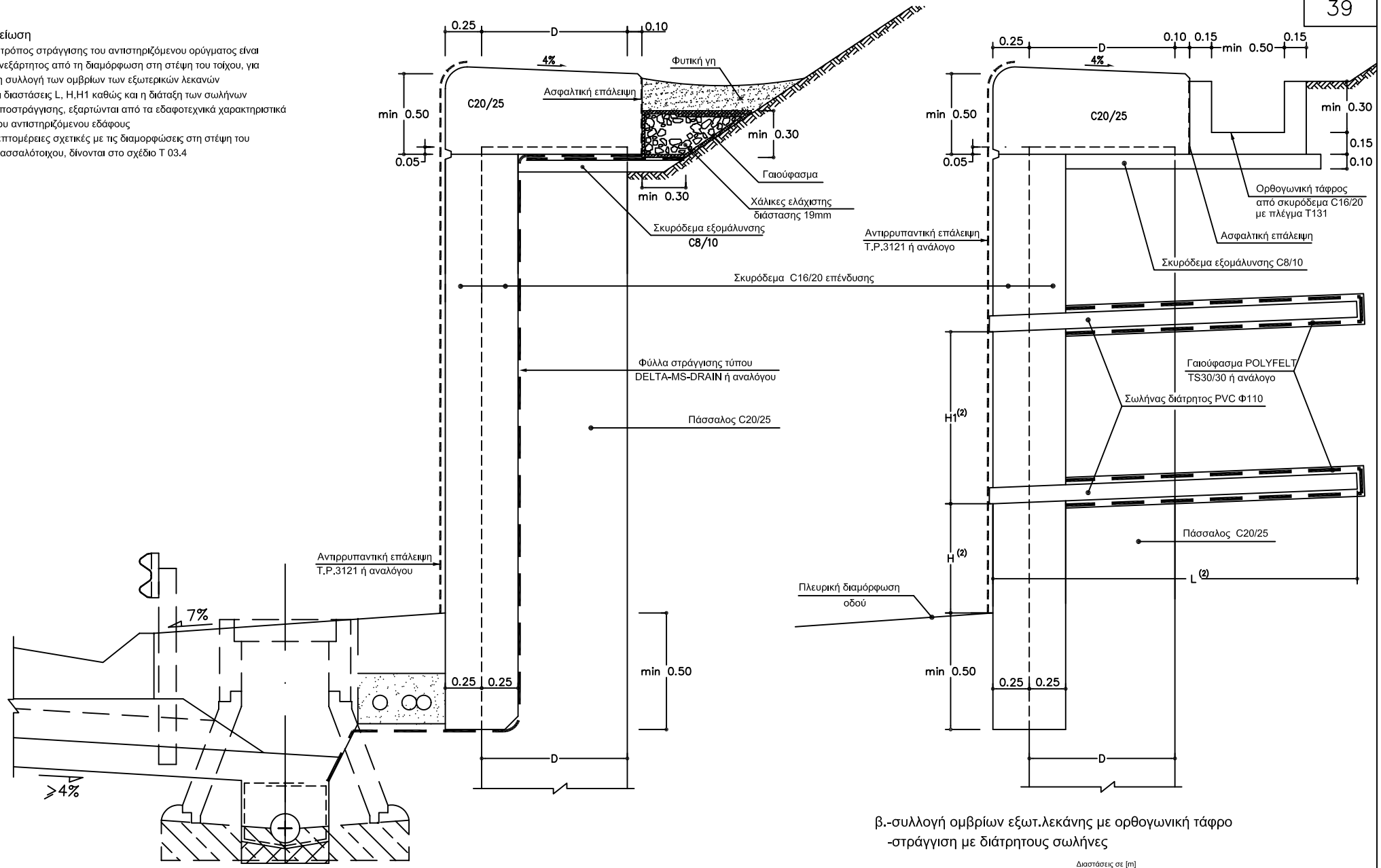
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ

(Παράδειγμα για ανάρτηση σωλήνα ø200)

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΩΛΗΝΩΝ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου T-02	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 1 από 1	Αναθεώρηση #

Σημείωση

1. Ο τρόπος στράγγισης του αντιστηριζόμενου ορύγματος είναι ανεξάρτητος από τη διαμόρφωση στη στέψη του τοίχου, για τη συλλογή των ομβρίων των εξωτερικών λεκανών
2. Οι διαστάσεις L, H,H1 καθώς και η διάταξη των σωλήνων αποστράγγισης, εξαρτώνται από τα εδαφοτεχνικά χαρακτηριστικά του αντιστηριζόμενου εδάφους
3. Λεπτομέρειες σχετικές με τις διαμορφώσεις στη στέψη του πασσαλότοιχου, δίνονται στο σχέδιο Τ 03.4



α. -συλλογή ομβρίων εξωτ.λεκάνης με τάφρο στράγγισης
-στράγγιση με φύλλα τύπου DELTA-MS-DRAIN ή αναλόγου

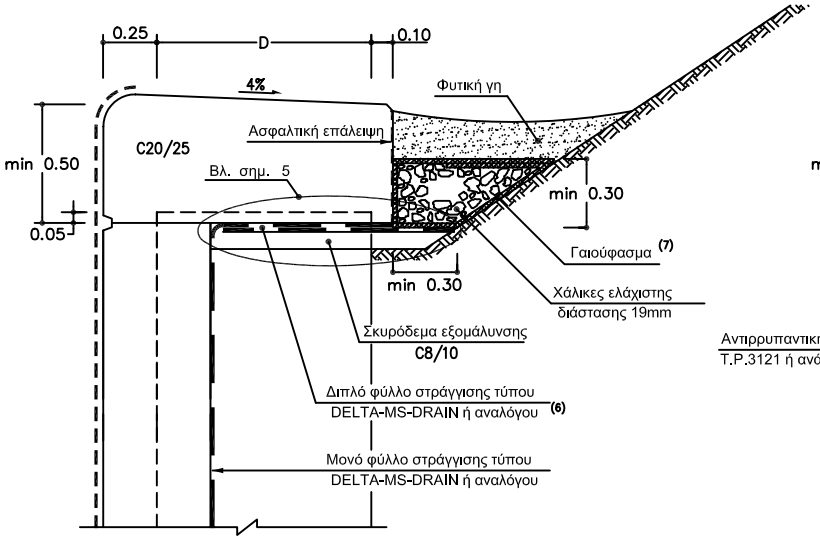
β.-συλλογή ομβρίων εξωτ.λεκάνης με ορθογωνική τάφρο
-στράγγιση με διάτρητους σωλήνες

ΤΟΜΗ ΠΑΣΣΑΛΟΤΟΙΧΟΥ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

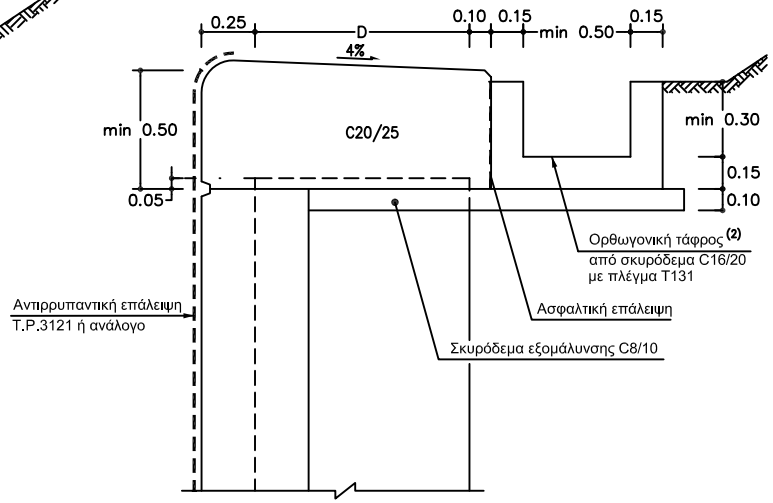
Διαστάσεις σε [m]

ΤΟΙΧΟΣ ΑΠΟ ΠΑΣΣΑΛΟΣΤΟΙΧΙΑ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ.Σχεδίου T–03.3	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 3 από 5	Αναθεώρηση #

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας



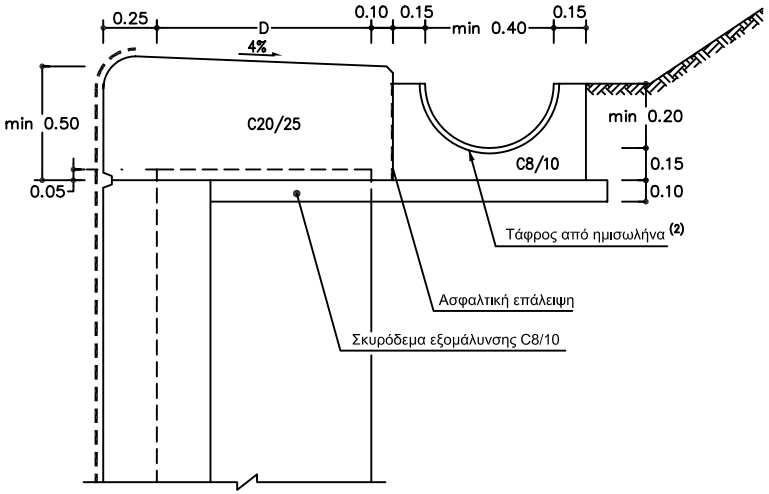
α. με στραγγιστική τάφρο



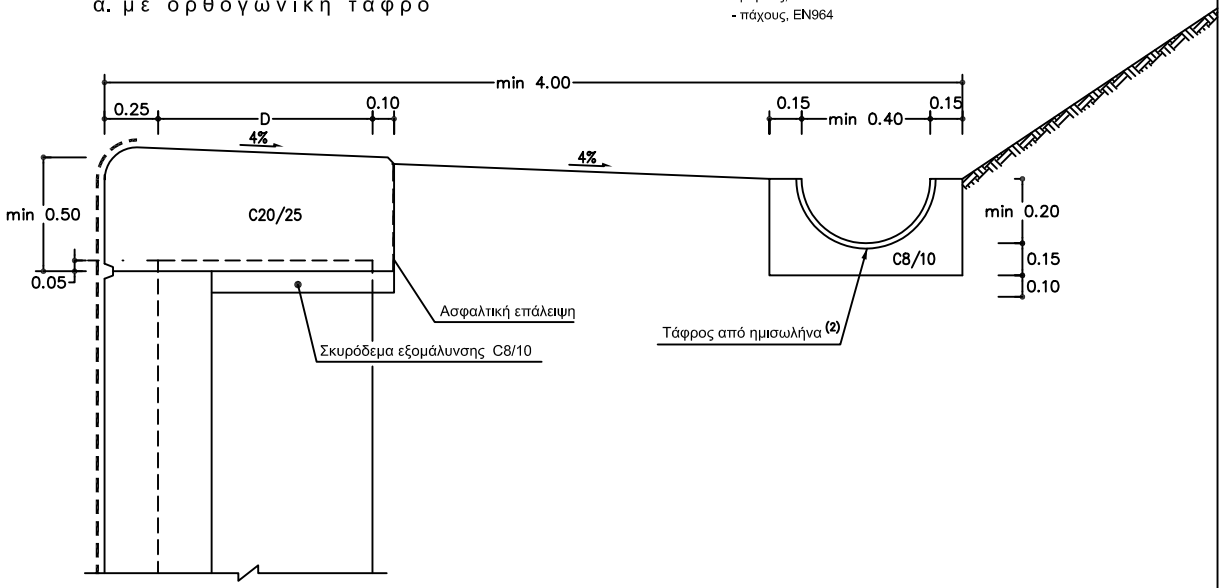
α. με ορθογωνική τάφρο

Σημείωση

1. Ο τρόπος αποστράγγισης του αντιστηριζόμενου ορύγματος είναι ανεξάρτητος από τη διαμόρφωση στη στέψη του τοίχου, για τη συλλογή των ομβρίων των εξωτερικών λεκανών
2. Οι διαστάσεις και η μορφή (ορθογωνική ή ημισωλήνα) της τάφρου στη στέψη του πασσαλότοιχου,καθορίζονται από τις υδαυλικές απαιτήσεις
3. Η στραγγιστική τάφρος εφαρμόζεται όταν συντρέχουν ταυτόχρονα:
   α.οι διαστάσεις της τάφρου επαρκούν για την παροχέτευση της εξωτερικής λεκάνης
   β. παροχετευτικότητα της στραγγιστικής μεμράνης επαρκεί
   γ.είναι αποδεκτή η κατάληξη της επιφανειακής απορροής στον πόδα της επένδυσης του πασσαλότοιχου
4. Οι ελάχιστες διαστάσεις στραγγιστικής τάφρου είναι 0.30«0.30 ενώ το περίγραμμά της πρέπει να έχει μήκος 2.00m,ώστε να είναι εφικτή η περικάλυψή της από ενιαίο ρολό γαιουφάσματος πλάτους 2.50m, με επικάλυψη πλάτους 0.30 - 0.50m
5. Προτιμάται η μη σύνδεση της στραγγιστικής μεμβράνης με τη στραγγιστική τάφρο
6. Το υποκείμενο στραγγιστικό φύλλο έχει τις οπές στράγγισης στην άνω επιφάνεια, για την αορροή της τάφρου
7. Μη υφαντό γαιούφασμα κατηγορίας 180gr/m2 (ανθεκτικότητας σε διάτρηση από δύναμη ≥1.5KN), σύμφωνα με τις προδιαγραφές:
   - διάτρησης, EN776
   - βάρους, EN965
   - πάχους, EN964



α. με τάφρο από ημισωλήνα



α.σε θέση με αναβαθμό

Διαστάσεις [m]

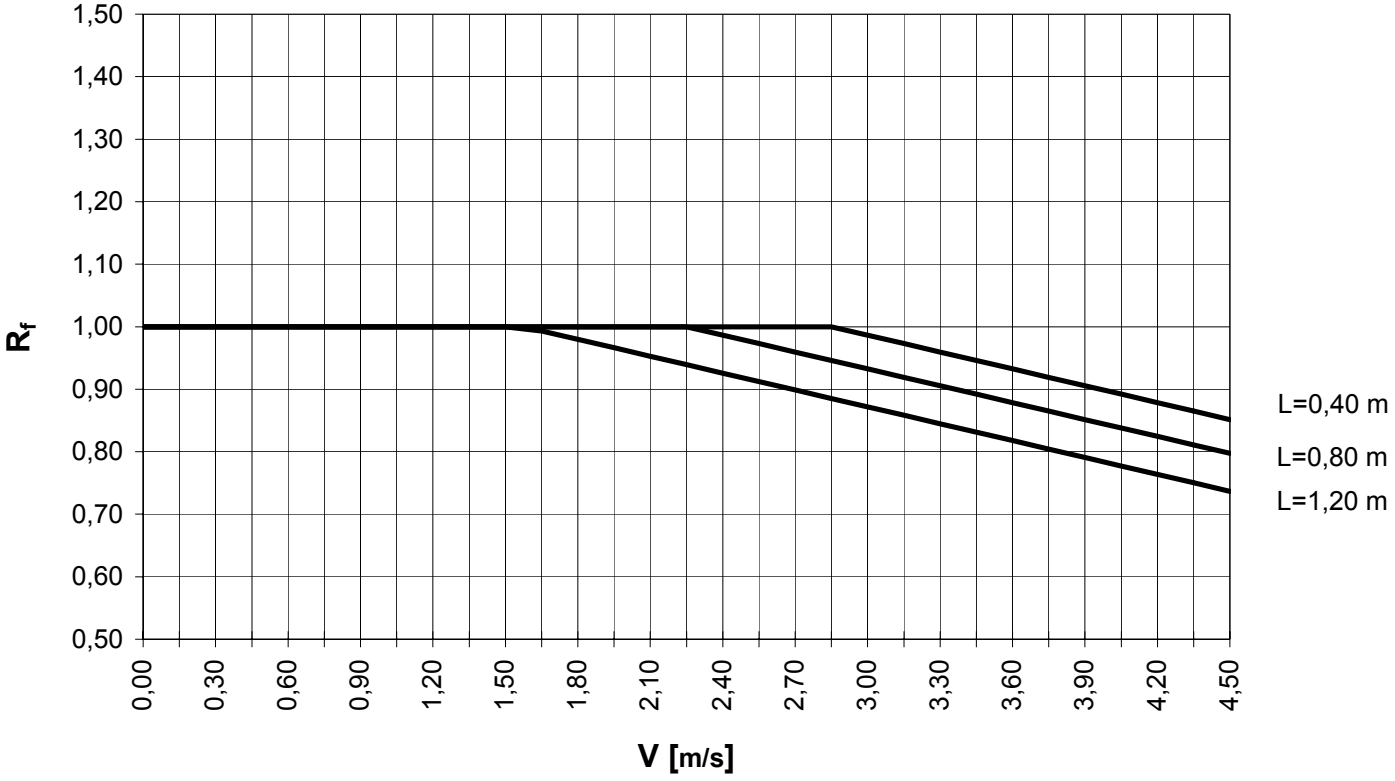
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΤΕΨΗΣ (ΤΟΜΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΑΣΣΑΛΩΝ)
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

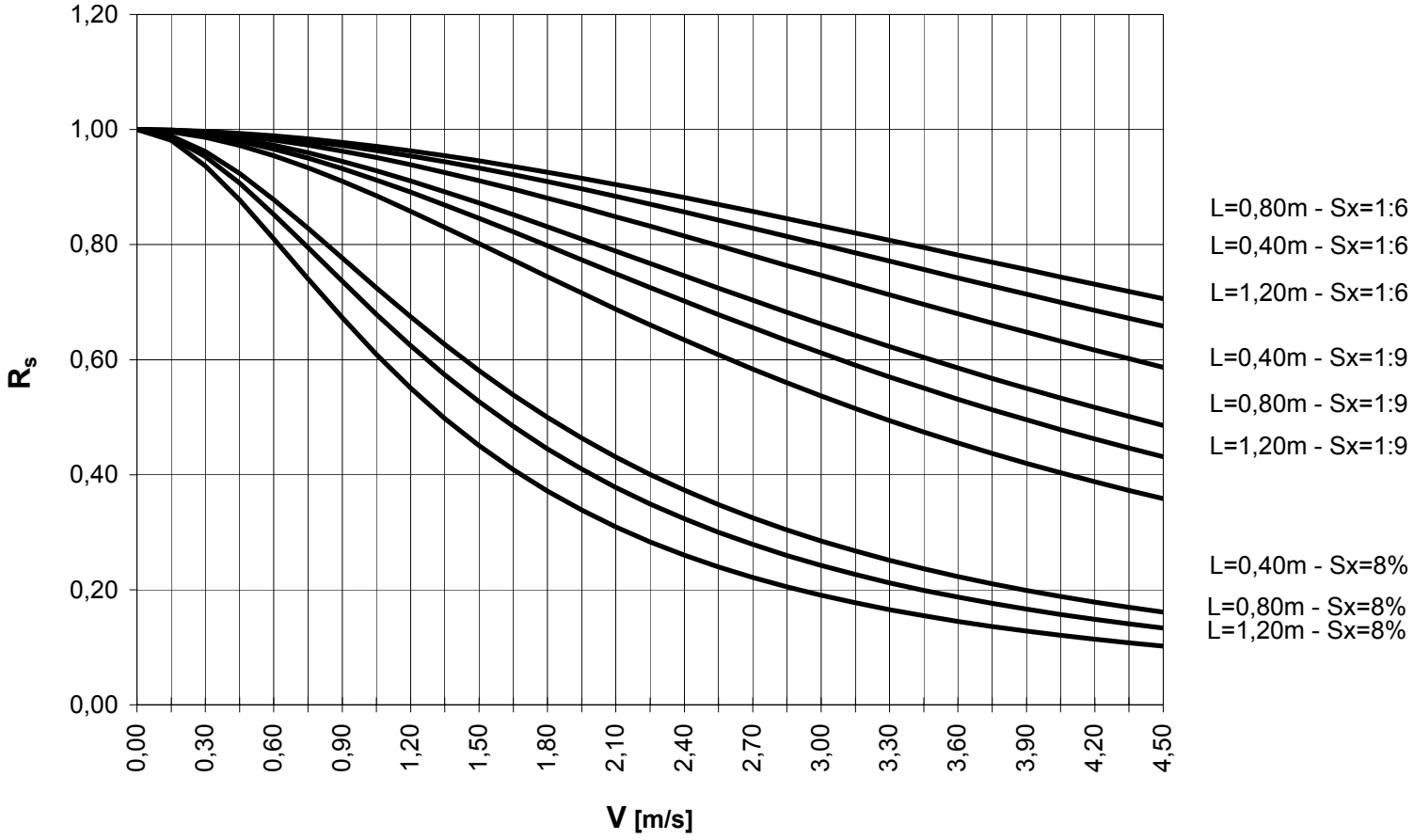
ΤΟΙΧΟΣ ΑΠΟ ΠΑΣΣΑΛΟΣΤΟΙΧΙΑ		
ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ	Κωδ. Σχεδίου T-03.4	Ημερομηνία 02/11/02
	Φύλλο 4 από 5	Αναθεώρηση #

Παράρτημα Α

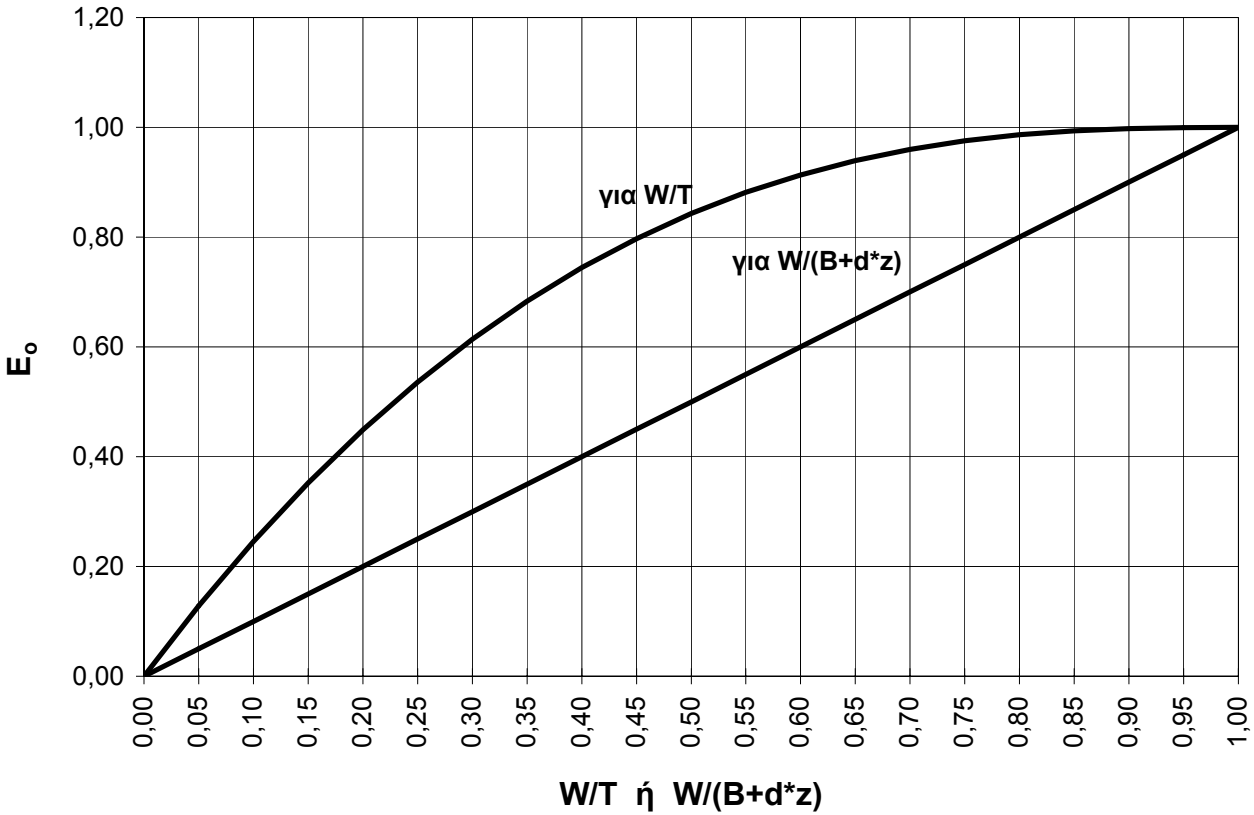
Βοηθητικά διαγράμματα υπολογισμού απορροφητικότητας στομίων υδροσυλλογής



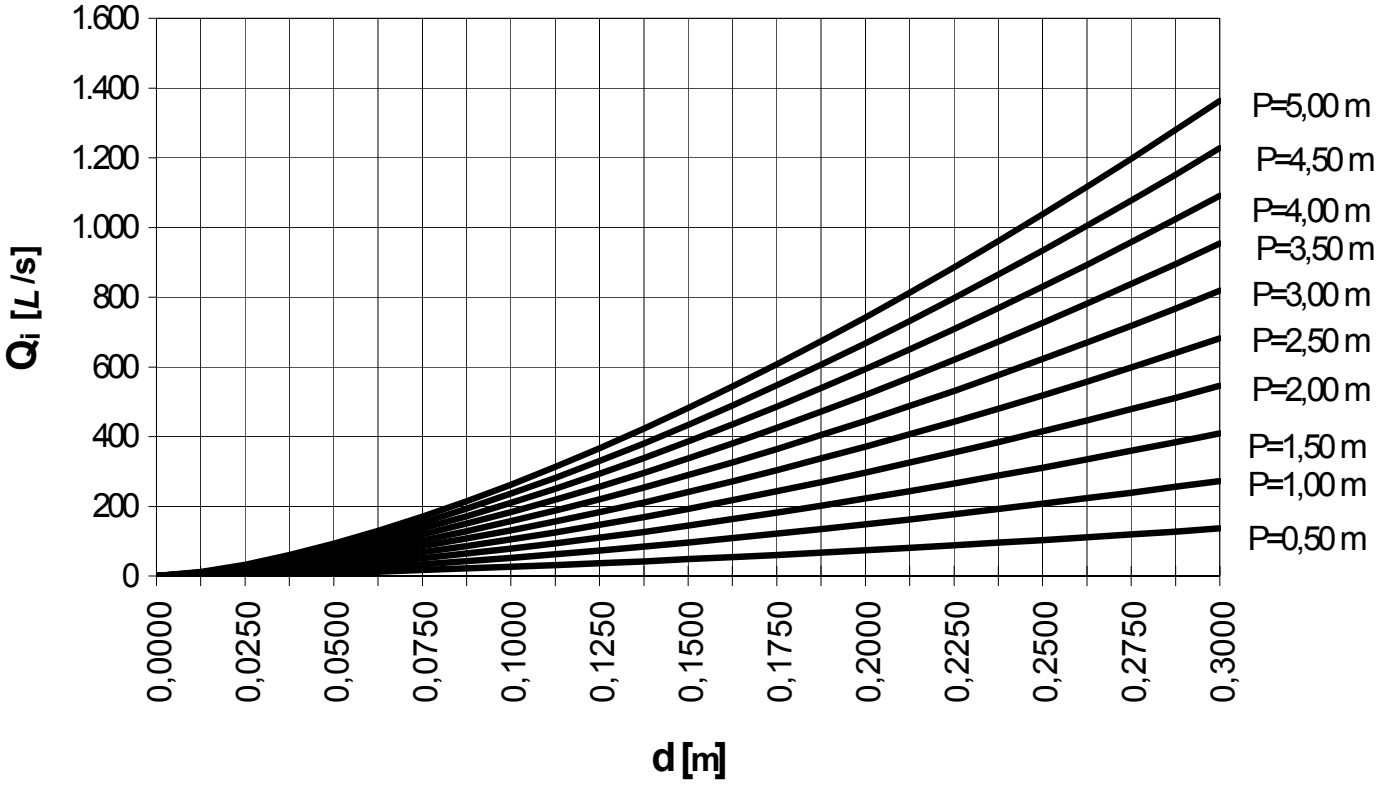
Σχήμα 5.4.2-1: Υπολογισμός συντελεστού "R_f" για στόμιο υδροσυλλογής με σχάρα (σχάρα με λάμες και στις δυο κατευθύνσεις)



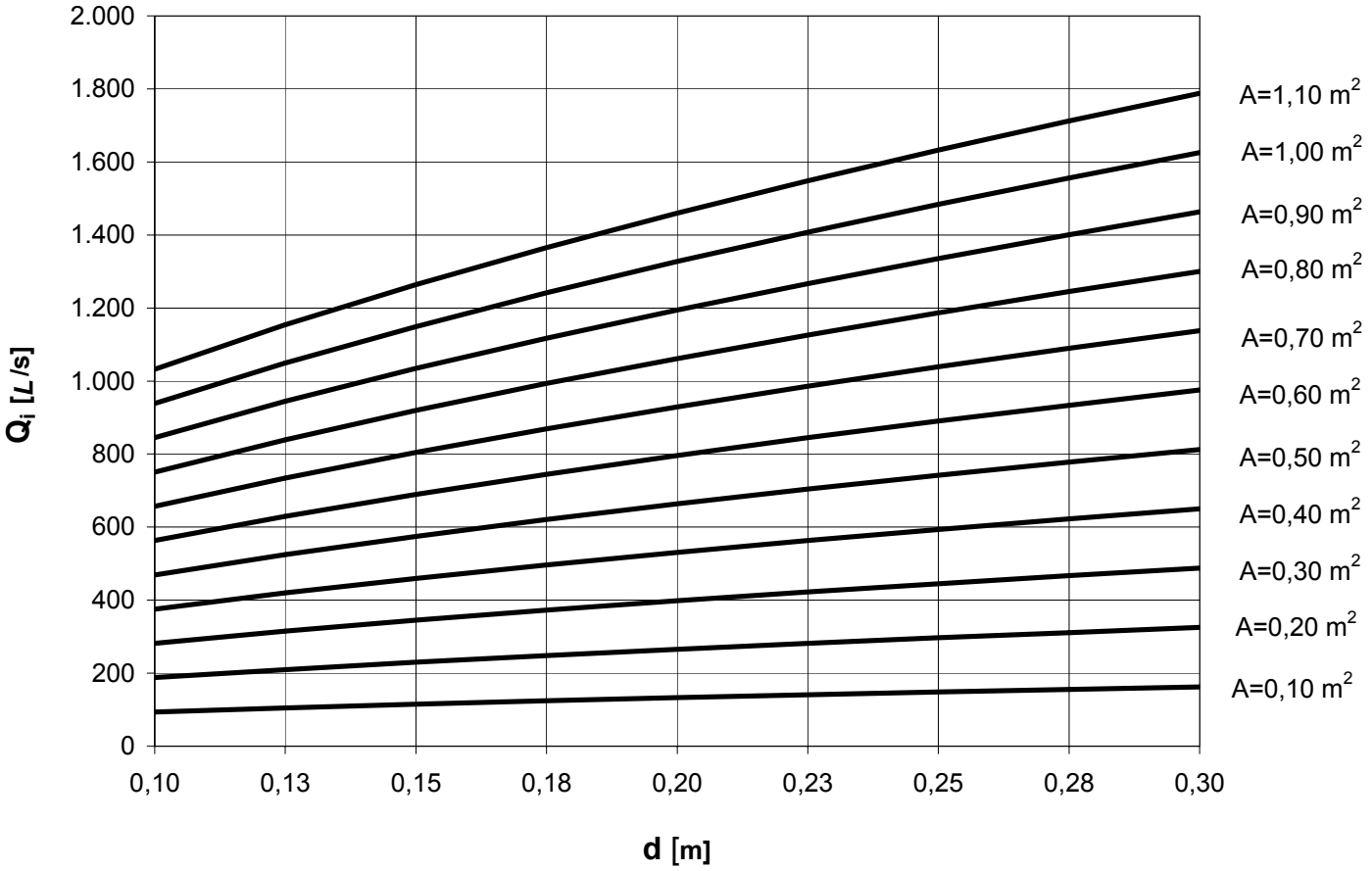
Σχήμα 5.4.2-2: Υπολογισμός συντελεστού "R_s" για στόμιο υδροσυλλογής με σχάρα (σχάρα με λάμες και στις δυο κατευθύνσεις)



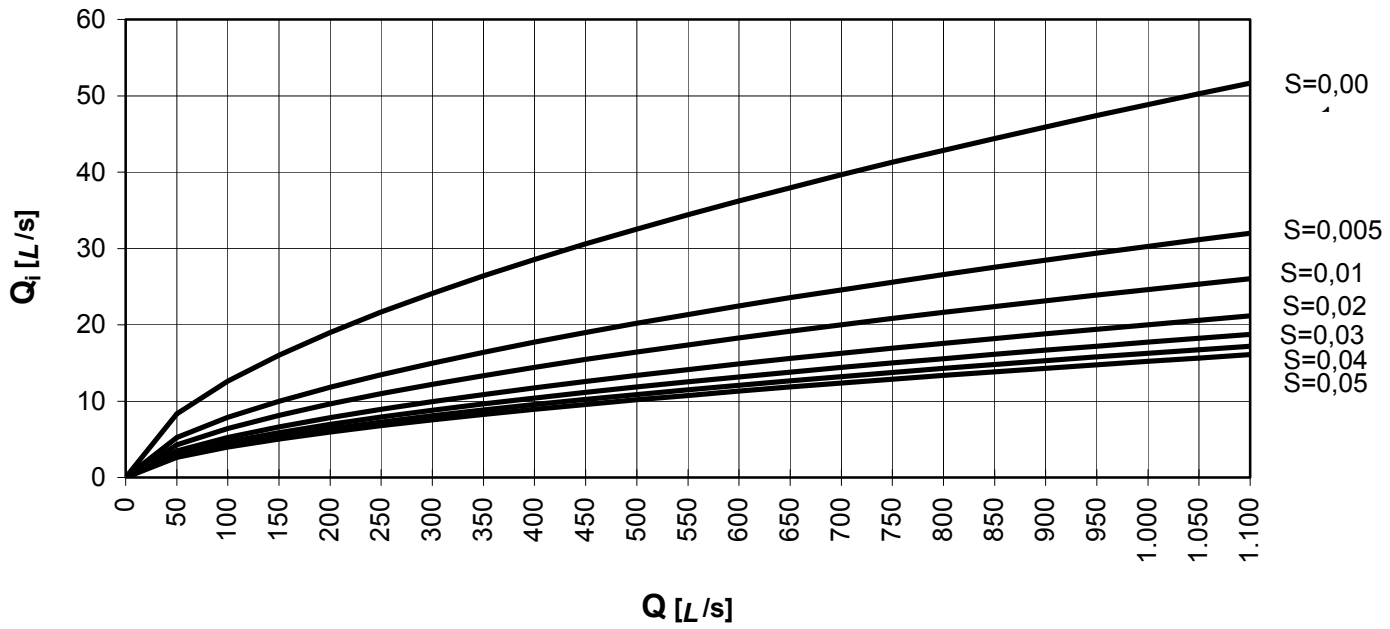
Σχήμα 5.4.2-3: Υπολογισμός συντελεστού "E_o" για στόμιο υδροσυλλογής με σχάρα (σχάρα με λάμες και στις δυο κατευθύνσεις)



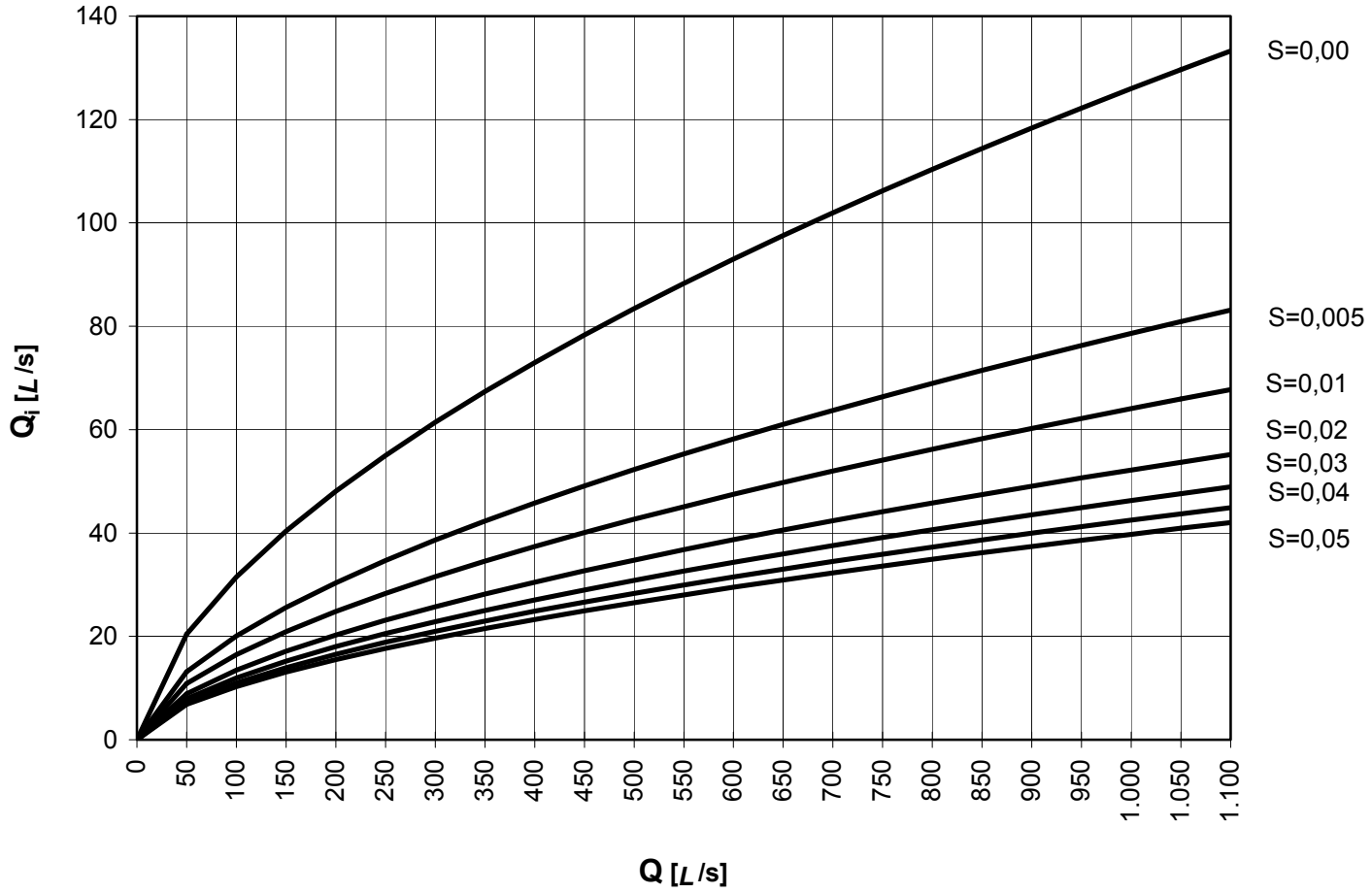
Σχήμα 5.4.2-4α: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής με σχάρα (καταληκτικά σημεία τάφρων ή ρείθρων μικρά βάθη ροής)



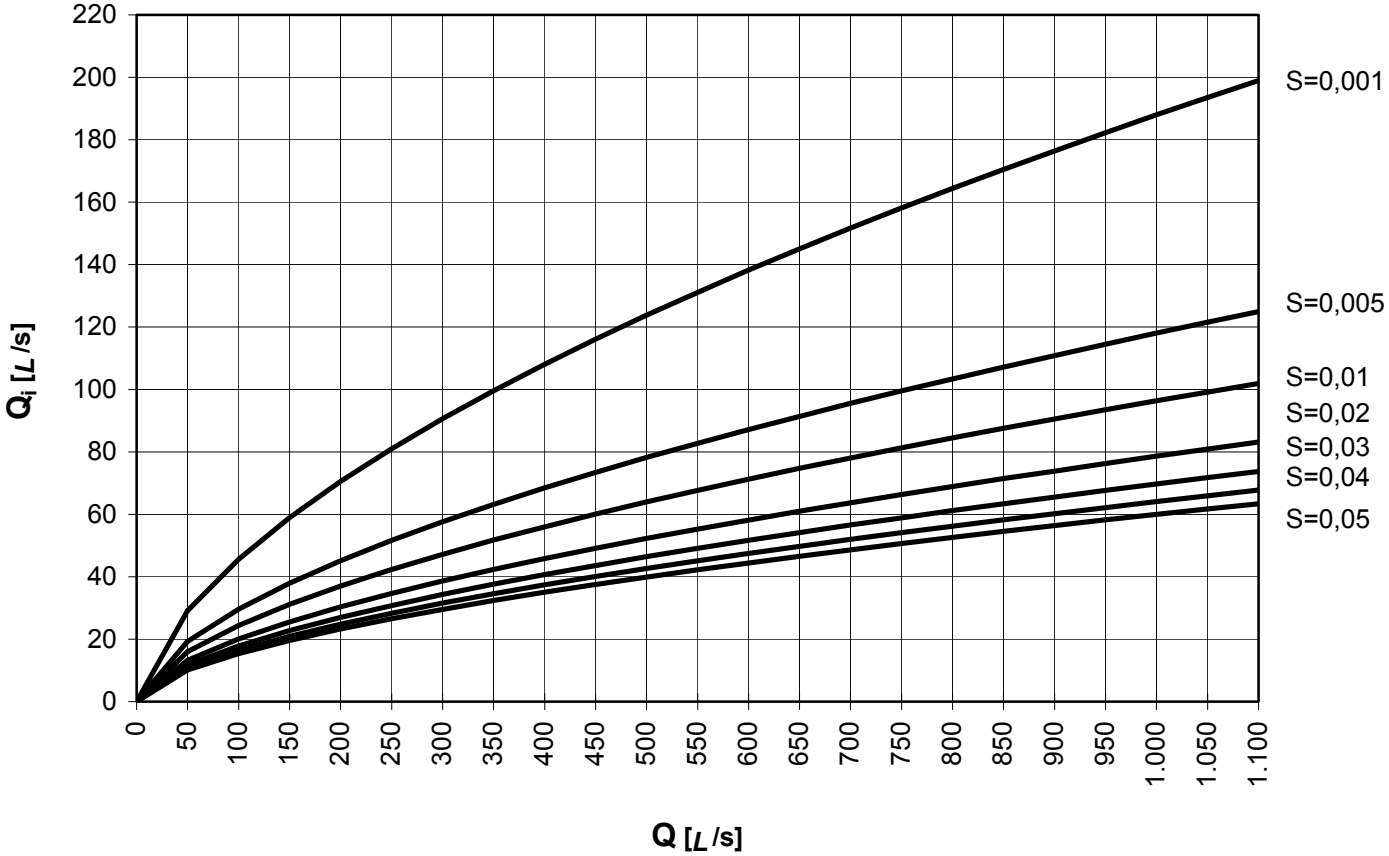
Σχήμα 5.4.2-4β: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής με σχάρα (καταληκτικά σημεία τάφρων ή ρείθρων μικρά βάθη ροής)



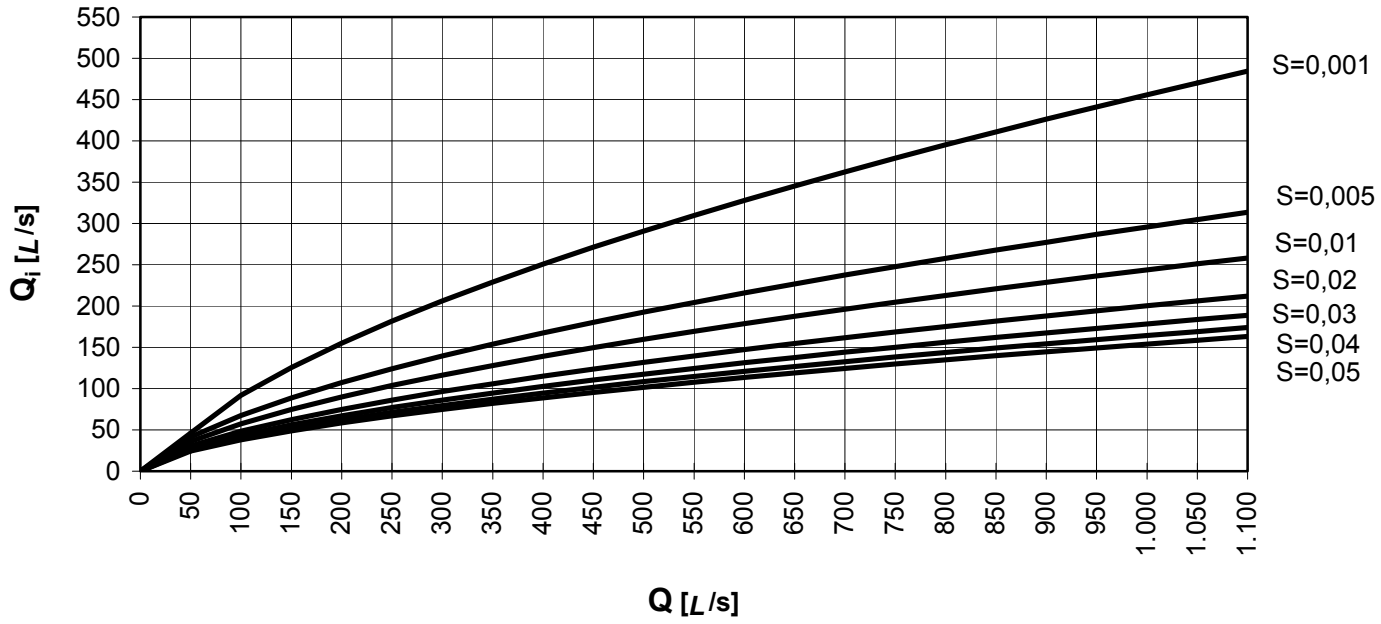
Σχήμα 5.4.3-1γ: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου πλευρικού ανοίγματος σε συνεχή κατά μήκος κλίση (nS_x=0,0001, L=1,20 m)



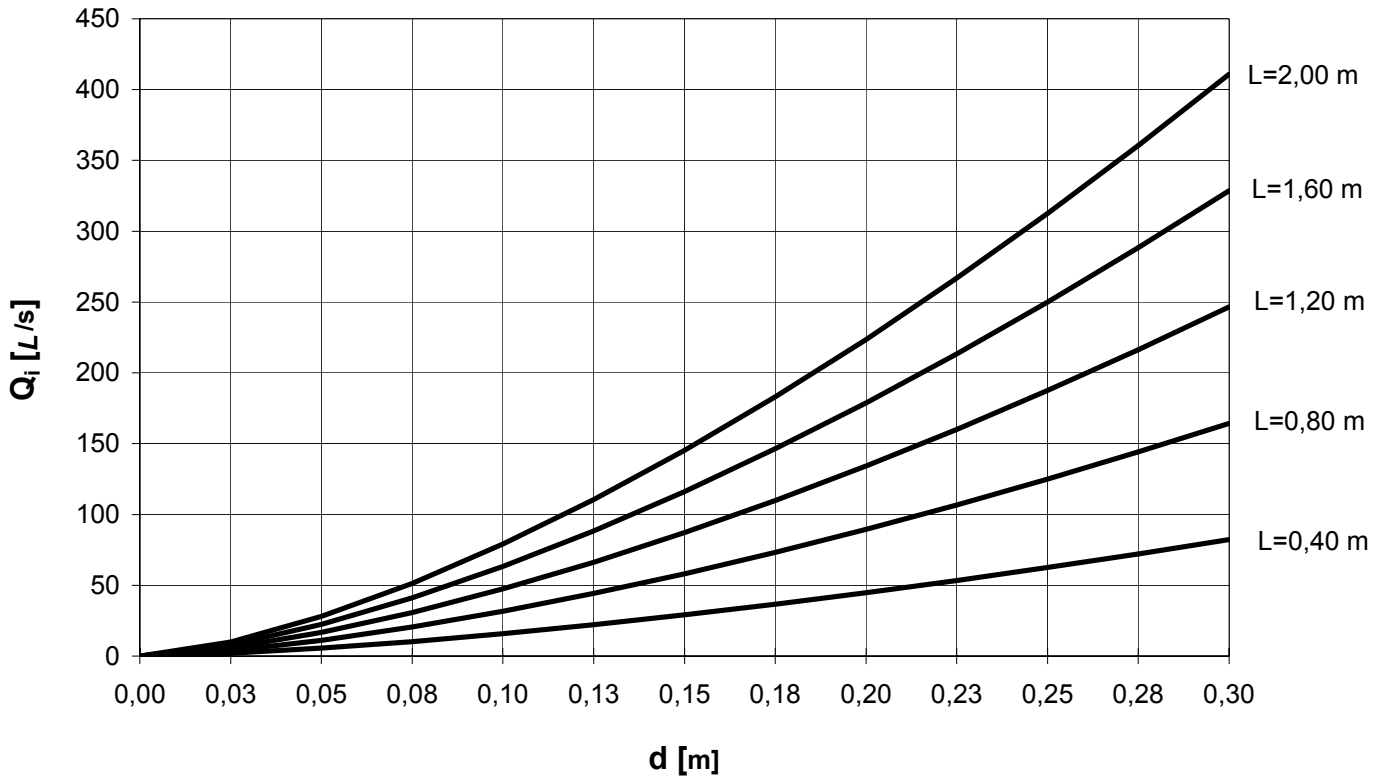
Σχήμα 5.4.3-1ζ: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου πλευρικού ανοίγματος σε συνεχή κατά μήκος κλίση (nS_x=0,0005, L=1,20 m**)**



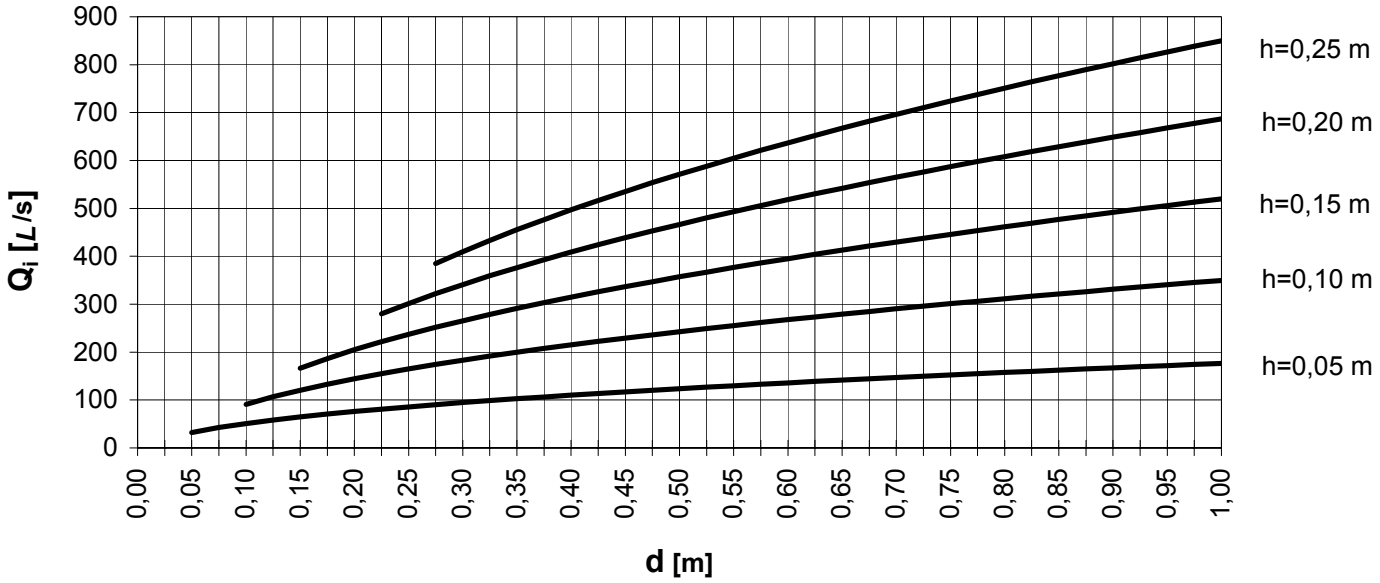
Σχήμα 5.4.3-1ι: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου πλευρικού ανοίγματος σε συνεχή κατά μήκος κλίση (nS_x=0,001, L=1,20 m)



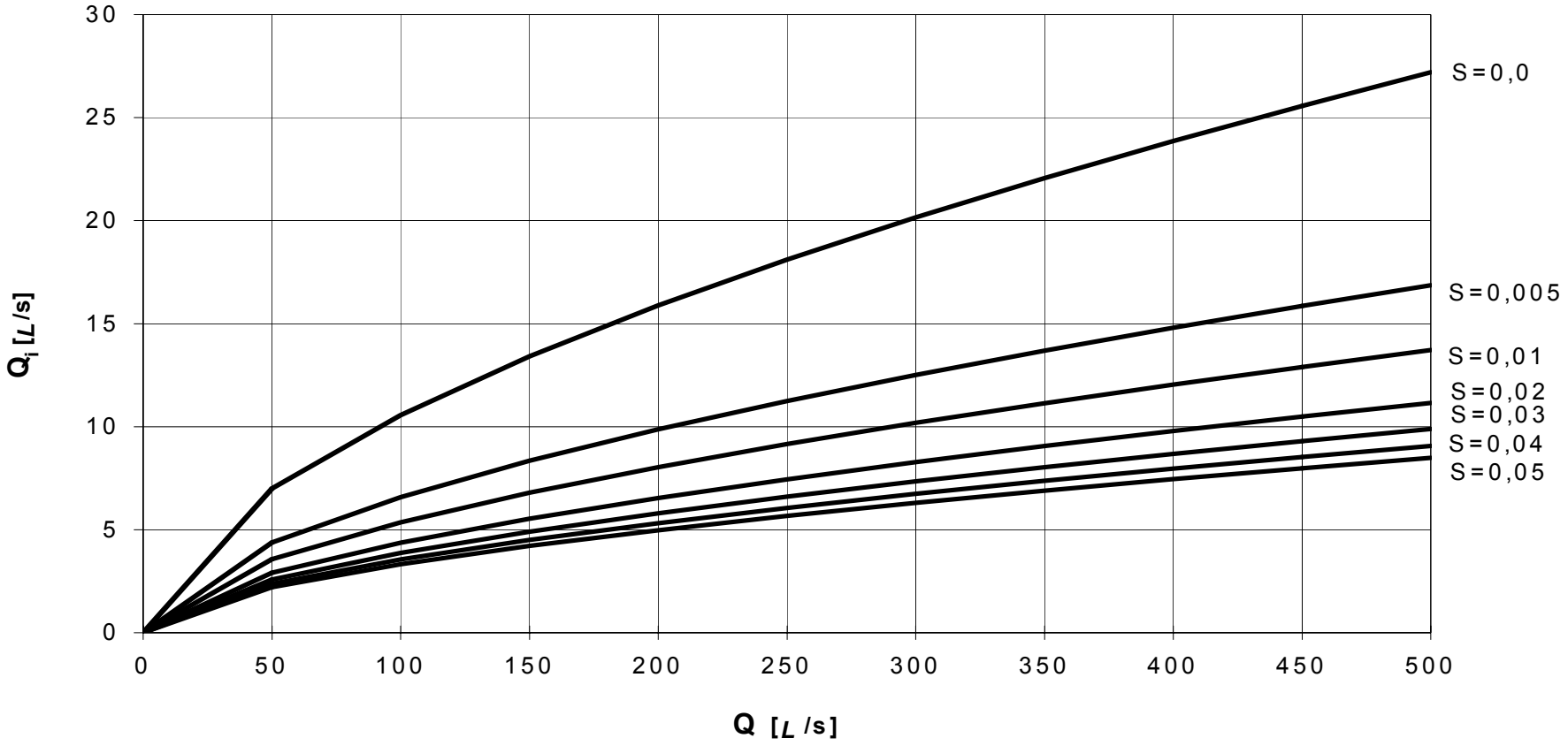
Σχήμα 5.4.3-1μ: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου πλευρικού ανοίγματος σε συνεχή κατά μήκος κλίση (nS_x=0,005, L=1,20 m)



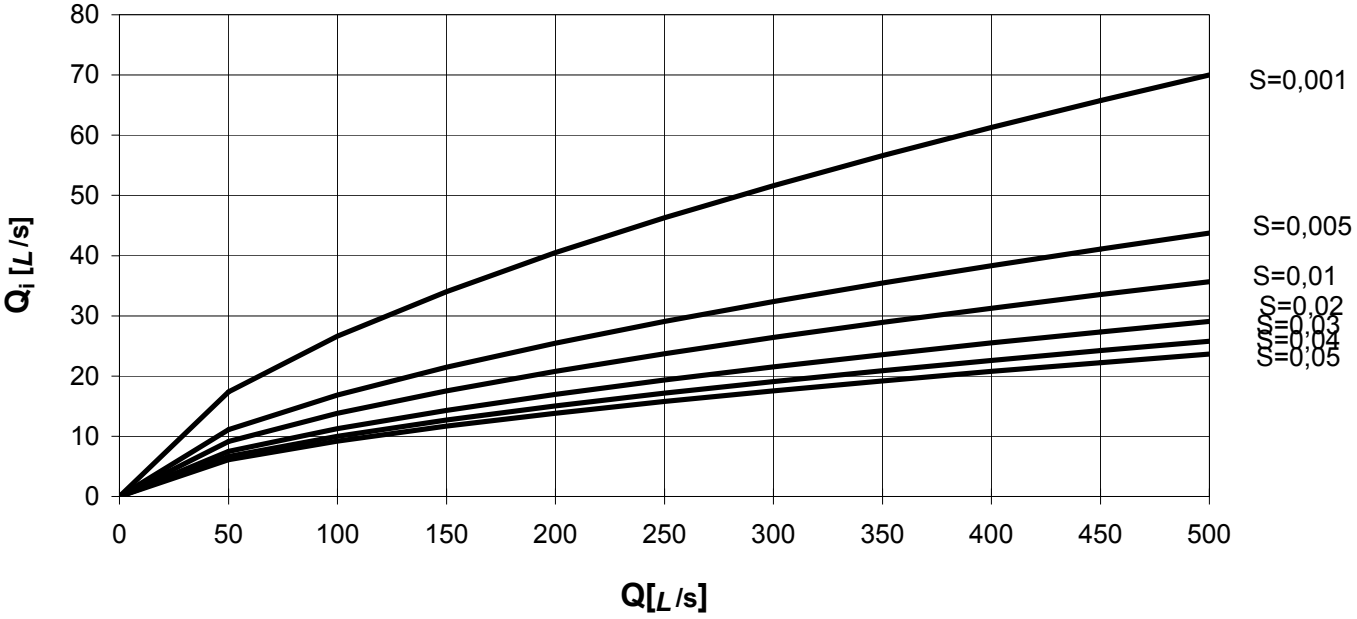
Σχήμα 5.4.3-2β: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου πλευρικού ανοίγματος σε κοίλωμα της ερυθράς της οδού
(καταληκτικά σημεία τάφρων ή ρείθρων d≤h)



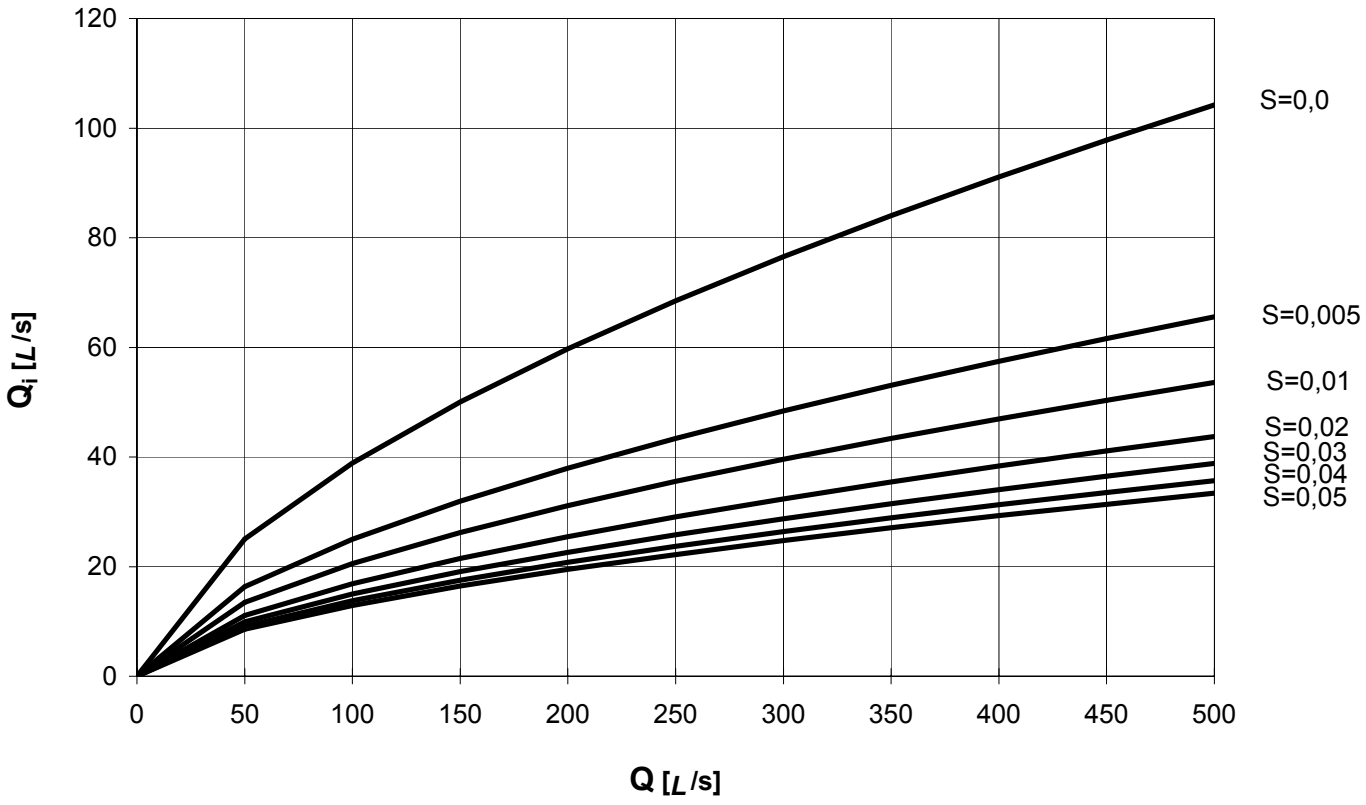
Σχήμα 5.4.3-3ζ: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου πλευρικού ανοίγματος μήκους L=1,20 m
(καταληκτικά σημεία τάφρων ή ρείθρων d>h)



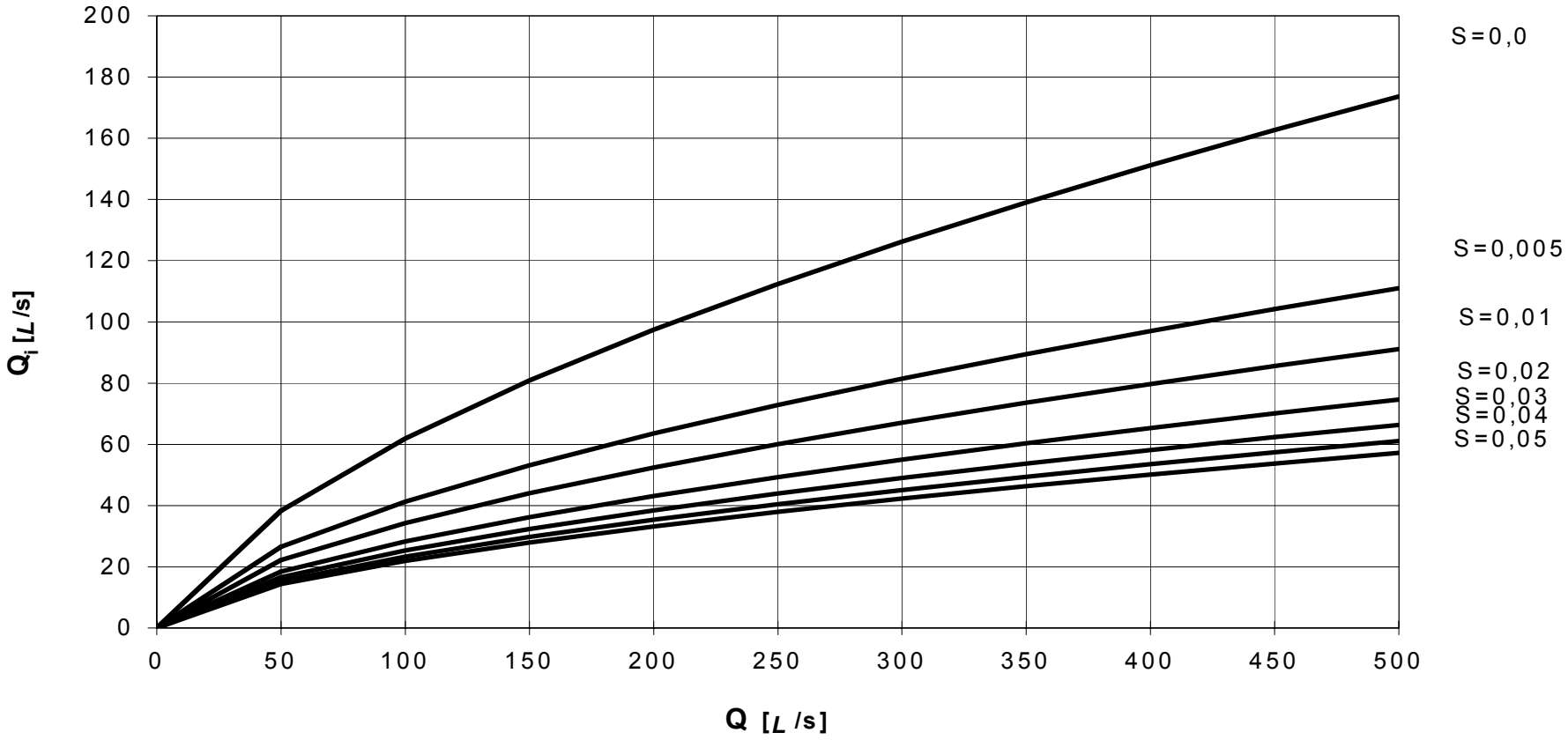
Σχήμα 5.4.5-1α: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου επιμήκους σχισμής



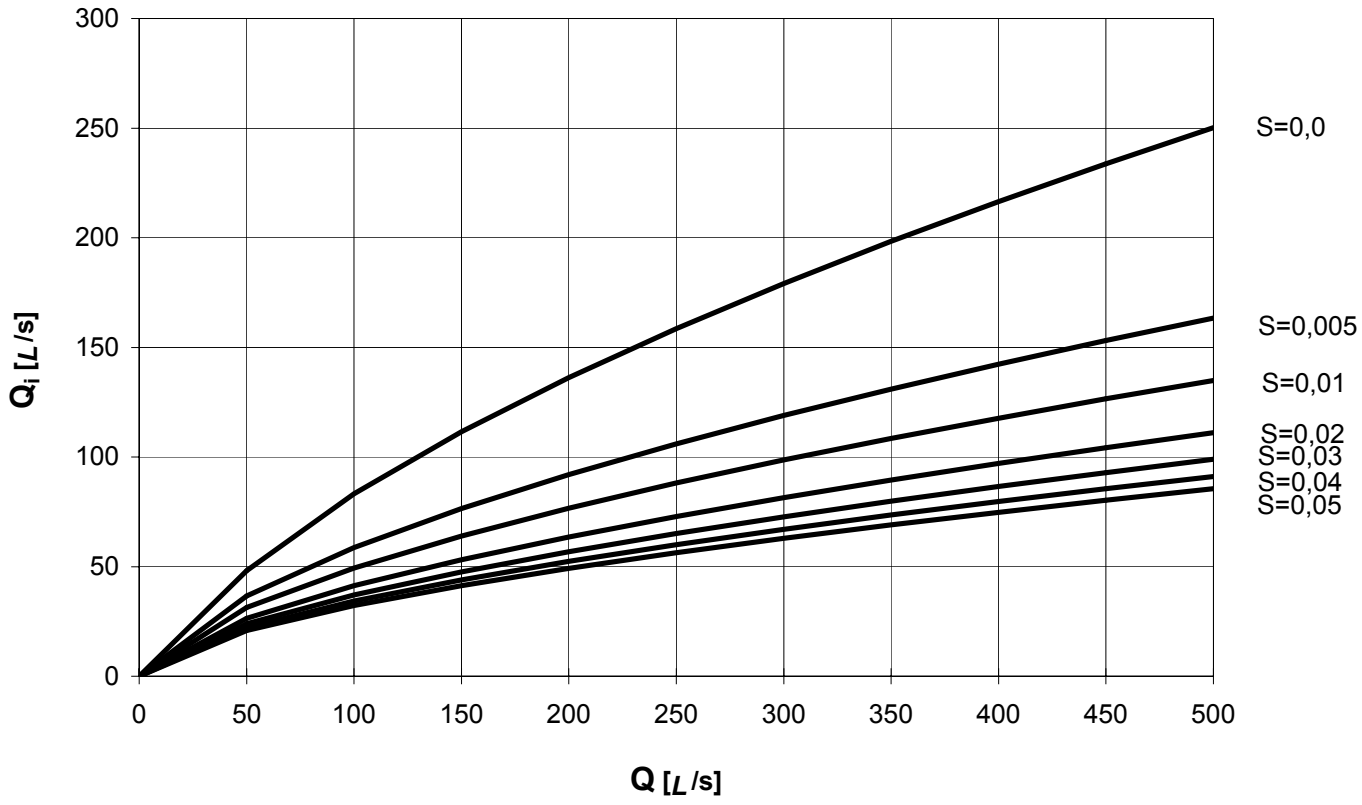
Σχήμα 5.4.5-1β: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου επιμήκους σχισμής
(nS_x=0,0005, L=1,00 m)



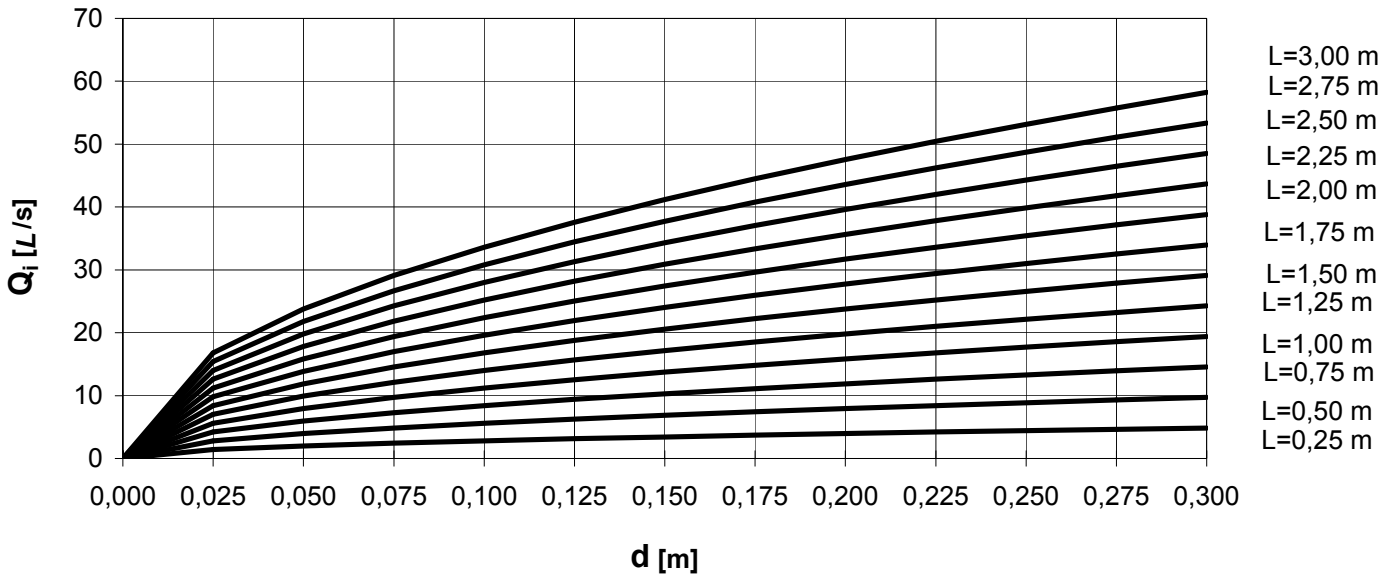
Σχήμα 5.4.5-1γ: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου επιμήκους σχισμής
(nS_x=0,001, L=1,00 m)



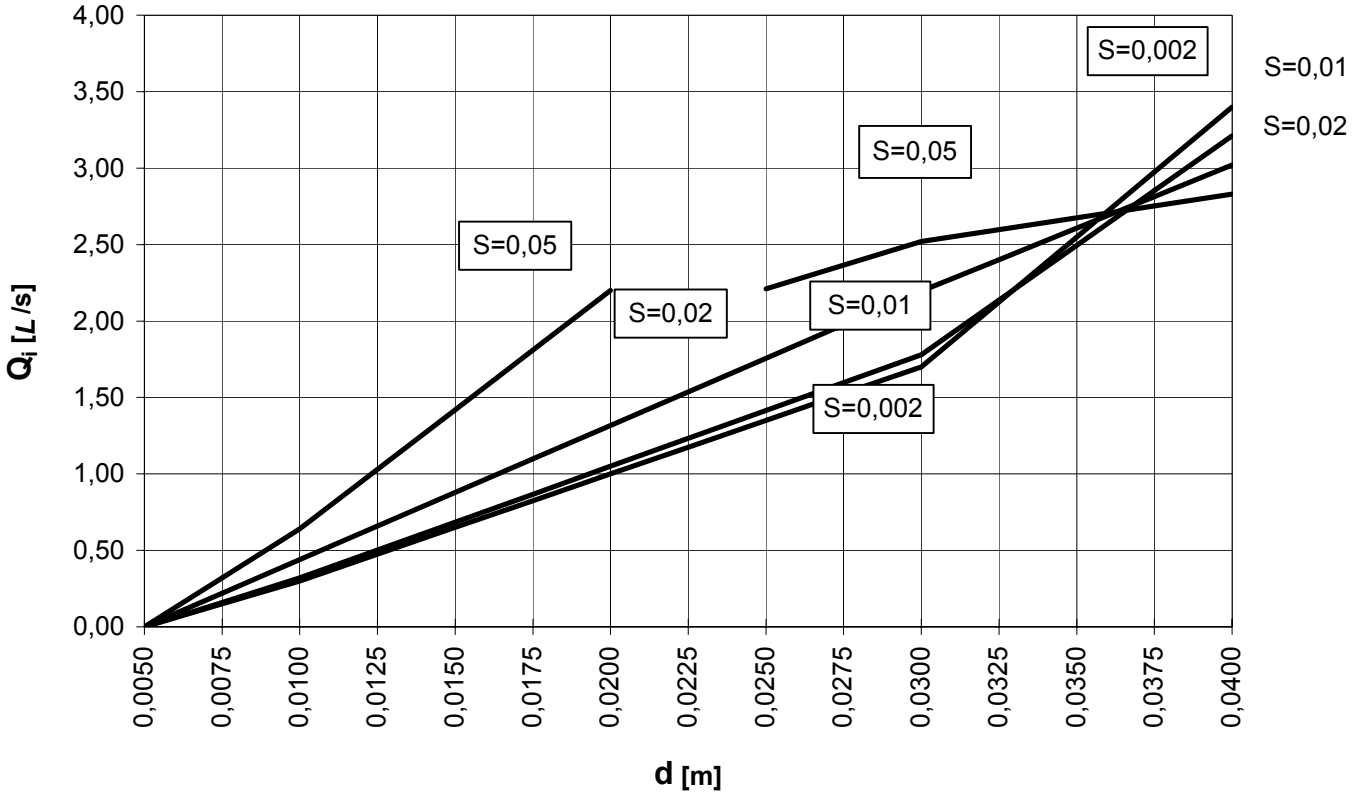
Σχήμα 5.4.5-1δ: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου επιμήκους σχισμής
(nS_x=0,0025, L=1,00 m)



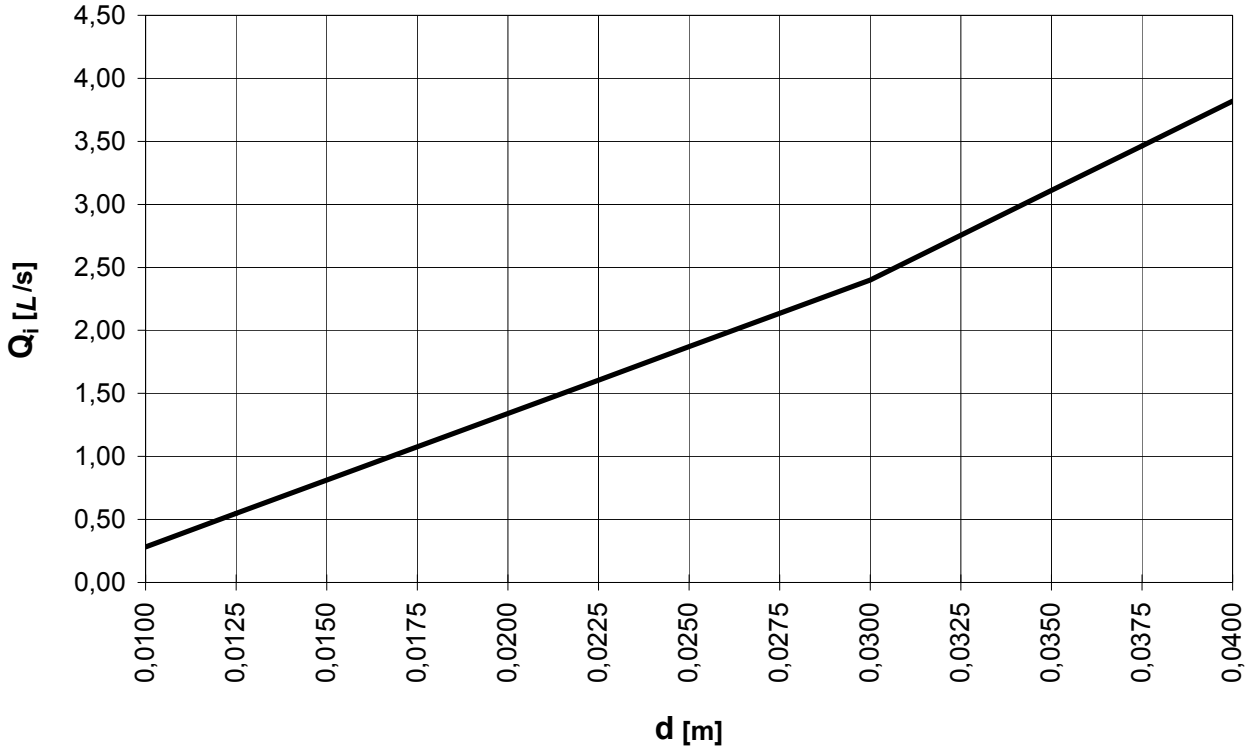
Σχήμα 5.4.5-1ε: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου επιμήκους σχισμής
(nS_x=0,005, L=1,00 m)



Σχήμα 5.4.5-2: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής τύπου επιμήκους σχισμής πλάτους W=1 cm
(καταληκτικά σημεία τάφρων ή ρείθρων d>0,12 m)



Σχήμα 5.4.6-1: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής γεφυρών τύπου «Οπής» σε συνεχή κατά μήκος κλίση της οδού (S_x=0,03)



Σχήμα 5.4.6-2: Υπολογισμός απορροφητικότητας στομίου υδροσυλλογής γεφυρών τύπου «Οπής» σε κοίλωμα της ερυθράς της οδού (S_x=0,03)