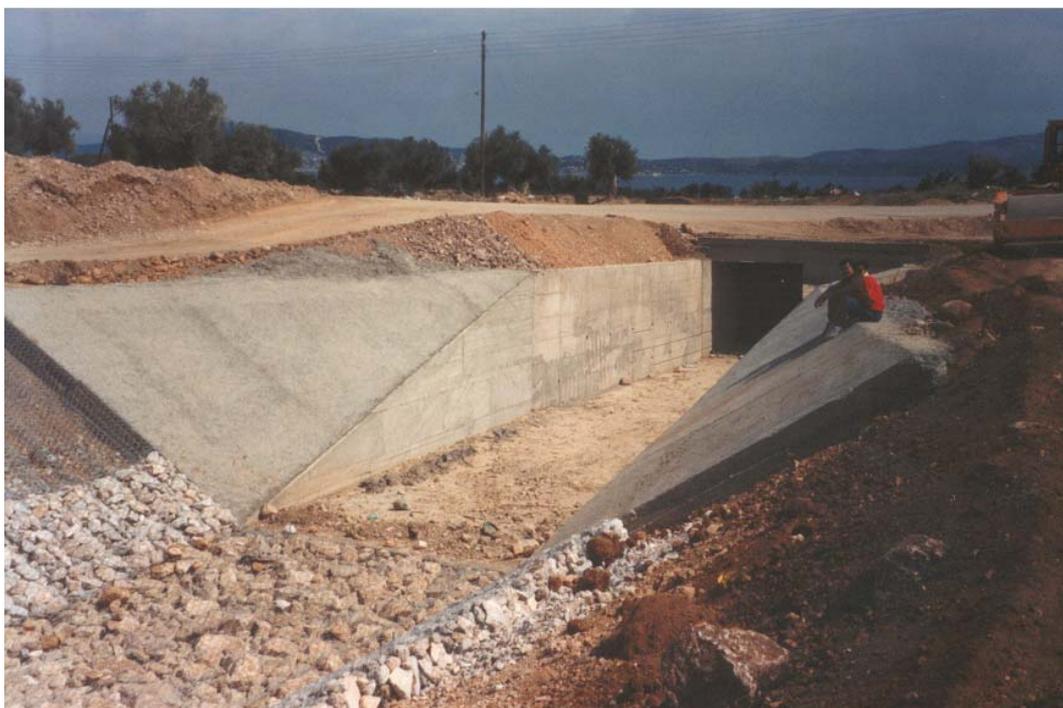


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ)

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



ΣΧΕΔΙΟ

Επικαιροποίηση Ιούλιος 2013 - Έκδοση 3

NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί & Μελετητές ΑΕ

0. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

0.1 Πρόλογος Παρούσας Έκδοσης

Το παρόν τεύχος στηρίχθηκε στην εμπειρία που αποκτήθηκε από τη χρήση της 1^{ης} Έκδοσης στη δεκαετία που πέρασε. Αν και η 1^η Έκδοση δεν είχε πάρει επίσημη έγκριση, εντούτοις χρησιμοποιείται ως κείμενο αναφοράς, προκειμένου να εκπονούνται μελέτες αποχέτευσης-αποστράγγισης στα οδικά έργα, στηριζόμενες σε ενιαίους και σταθερούς κανόνες και παραδοχές, που δεν υπάρχουν στις άλλες ΟΜΟΕ.

Η επικαιροποίηση, που επιχειρήθηκε με την παρούσα Έκδοση, αφορά σε ζητήματα, που είναι:

- Η λεπτομερειακή αναδιατύπωση σε πολλά σημεία του κειμένου, ώστε αυτή να προσδιορίζει μονοσήμαντες έννοιες χωρίς αμφιβολία στον αναγνώστη.
- Η διόρθωση του συντακτικού και ενδεχομένως της ορθογραφίας, καθώς και αβλεψιών που υπήρχαν σε σποραδικές θέσεις του κειμένου.
- Η ενσωμάτωση οδηγιών με βάση τις διεθνείς βέλτιστες πρακτικές δημοσιευμένες μετά το 2005, που στηρίζονται και σε προϊόντα της σύγχρονης τεχνολογίας. Σ' αυτό το πλαίσιο συντάχθηκε εκ νέου το κεφάλαιο 8 «Υπόγεια Αποστράγγιση», με οδηγίες και υποδείξεις που μπορεί πράγματι να προσφέρουν οικονομικά αποτελεσματικές τεχνικές λύσεις.
- Η μεγαλύτερη έμφαση στην οδική ασφάλεια σε σχέση με τα αποχετευτικά στοιχεία της οδού (βλ. και Παράρτημα Β).

0.2 Πρόλογος 1ης Έκδοσης (2002)

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:

- (2) 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.
- (3) 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.
- (4) 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 οδο φωτισμού, έργα άρδευσης, έργα ασφάλισης, περίφραξης, τα έργα σήμανσης, κτλ. Για αυτά τα έργα η αντίστοιχη επιμέρους μελέτη συνήθως συναρτάται με δεσμεύσεις και περιορισμούς που επιφέρονται 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 δεν επιτρέπεται να ολοκληρώνεται όταν αυτό δημιουργεί δεσμεύσεις, είτε για τη χωροθέτηση, είτε για τη διαστασιολόγηση των άλλων επιμέρους έργων».**

Δηλαδή, απαιτείται και σε ορισμένο βαθμό, η παράλληλη 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 στοιχείων όπως είναι:

- Το κατάστρωμα γεφυρών-χωρίς την ανάγκη κατασκευής δαπανηρού δικτύου αποχέτευσης του, ή επιβαρυντικού σκυροδέματος μόρφωσης επικλίσεων.
- Οι απαιτούμενοι οχετοί-με τις βέλτιστες υδραυλικά και οικονομικά αποτελεσματικές διαστάσεις.
- Η αποκατάσταση της διακοπτόμενης από την οδό ροής φυσικών ρεμάτων-χωρίς δημιουργία δυσμενών συνθηκών από υδραυλική άποψη.
- Οι παρόδιες τάφροι-με την οικονομικότερη διατομή και με τη συντομότερη διαδρομή προς φυσικούς αποδέκτες.

- Τα έργα 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 κατόπτη της οδού αποδεκτών.
- Η αποκατάσταση της πρόσβασης των παρόδιων χρήσεων γης-χωρίς να εμποδίζεται αυτή από την 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 στοιχείων 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 - συστήματα συγκράτησης οχημάτων (στηθαία)
- αποκατάσταση προσβάσεων παρόδιων χρήσεων γης σε παράπλευρη στον αυτοκινητόδρομο οδό εξυπηρέτησης - ανάγκη συνέχειας συλλεκτήριας αποχετευτικής τάφρου
- τοίχοι αντιστήριξης πρανών ορυγμάτων - συλλεκτήριο σύστημα απορροής όμβριων επιφανειών ανάντη της στέψης των τοίχων
- διαμόρφωση των κλίσεων των πρανών ορυγμάτων με αναβαθμούς (ύψος >6 m) - συλλεκτήρια συστήματα της απορροής σε κάθε αναβαθμό
- διαμόρφωση χώρου μεταξύ δυο παράλληλων οδών - έργα υδροσυλλογής όμβριων 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, η τεκμηρίωση που καθορίζει τη διαστασιολόγηση των υδραυλικών κατασκευών, θα πρέπει να φυλάσσεται για το σύνολο των εγκαταστάσεων αποχέτευσης των οδικών έργων και ιδιαιτέρως τα υδρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, η αρχαιοθέτηση 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 στο 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 έρ-

γων. Έτσι θα μπορεί να αποδεικνύεται ότι, αυτές οι αποφάσεις ήταν εύλογες με τα εκάστοτε διαθέσιμα υδρολογικά δεδομένα.

Επισημαίνεται ότι, το παρόν τεύχος ενώ καλύπτει σημαντικό μέρος του αντικειμένου που ενδιαφέρει στη μελέτη αποχέτευσης-αποστράγγισης και 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 ιδιαίτερος 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 που παρέχει η σύγχρονη ηλεκτρονική τεχνολογία.

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/ΕΣΣΕΑ | Μέλος |
| 6. | Γ. Σοϊλεμέζογλου | Τοπ. Μηχανικός | NAMA ΑΕ | Μέλος |

ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ

Τα τεύχη Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων που έχουν συνταχθεί μέχρι σήμερα (Νοέμβριος 2002) 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 Έργων σε οδούς | (ΟΜΟΕ - ΣΕΕ) 2002 |
| 8 | Αποχέτευση- Στράγγιση – Υδραυλικά Έργα Οδών | (ΟΜΟΕ - ΑΣΥΕ-Ο) 2002 |

Περιεχόμενα

| | |
|---|----------------|
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 1-1 έως 1-8 |
| 2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΓΙΑ ΜΙΚΡΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ..... | 2-1 έως 2-39 |
| 3. ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ..... | 3-1 έως 3-10 |
| 4. ΡΟΗ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ..... | 4-1 έως 4-11 |
| 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 8-12 |
| 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 13-21 |
| 14. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 14-1 έως 14-1 |
| 15. ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ..... | 15-1 έως 15-41 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:

Βοηθητικά διαγράμματα υπολογισμού απορροφητικότητας στομίων υδροσυλλογής

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:

Στοιχεία αποχέτευσης οδοστρώματος και οδική ασφάλεια

Επιμέλεια παρουσίασης: **Α. Χατζηβασιλείου (CSMA)**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Οι υδραυλικές κατασκευές των οδικών έργων επιτελούν τη ζωτική λειτουργία της μεταφοράς, της εκτροπής, ή εν γένει της απομάκρυνσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών από το οδόστρωμα και γενικότερα από τη ζώνη του οδικού έργου. Ο σχεδιασμός αυτών των κατασκευών πρέπει να ανταποκρίνεται ισόμετρα ως προς τα στοιχεία που είναι:

- η εκτιμώμενη επικινδυνότητα,
- το κόστος κατασκευής,
- η σημασία της οδού,
- η οικονομία της συντήρησης,
- οι 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 επηρεάζει το σχεδιασμό των έργων εμπλέκοντας πολλούς τομείς ειδικοτήτων, 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 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. Παράλληλα, παρουσιάζονται έννοιες που αφορούν σε κλειστούς αγωγούς και σε 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 αυτό να προσφέρεται κυρίως ως μια ικανοποιητική «εισαγωγή στην υδραυλική των οδικών έργων»

1.2 Αρχές και Έννοιες Σχεδιασμού Αποχέτευσης Οδών

1.2.1 Κριτήρια Οδικής Ασφάλειας

Κατά τη μελέτη και αντιστοίχως τη σχεδίαση των έργων, που καλύπτουν τις εκάστοτε προσδιοριζόμενες ανάγκες αποχέτευσης του καταστρώματος, αλλά και του άμεσου περι-

βάλλοντος χώρου της οδού, έχουν προτεραιότητα τα κριτήρια που αφορούν στην οδική ασφάλεια, που είναι:

- α. Η ταχεία απομάκρυνση των όμβριων, από τις επιφάνειες κυκλοφορίας οχημάτων στις υπεραστικές, αλλά και ειδικώς πεζών στις αστικές οδούς. Η αποτροπή της συσσώρευσης νερών στην κυκλοφορούμενη επιφάνεια της οδού έχει σκοπό τη διασφάλιση μέτρων, έναντι του φαινομένου της υδρωλίσθησης και της απρόσκοπτης κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών.
- β. Η αποκατάσταση της ομαλής συνέχειας των παράπλευρων της οδού επιφανειών, οι οποίες συνθέτουν το σώμα της οδού, όπως είναι τα πρηνή 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 (να διαμορφώνονται ως διελεύσιμες, βλ. ΟΜΟΕ-ΣΠΕΟ), ή αν αυτό είναι αδύνατο τεχνικά ή οικονομικά ασύμφορο, μόνο τότε επιτρέπεται η εφαρμογή συστημάτων συγκράτησης οχημάτων, που είναι τα στηθαία.
Επισημαίνεται ότι, η έννοια οικονομικά ασύμφορο πρέπει να εξετάζεται ως προς τις συνέπειες από ατυχήματα, σε συνδυασμό με το κόστος συντήρησης στον κύκλο ζωής του οδικού έργου.
- γ. Οι διατάξεις των αποχετευτικών έργων να διατηρούν «συγχωρητικό» περιβάλλον στην οδό. Δηλαδή, όταν ένα όχημα εκτρέπεται από την επιφάνεια κυκλοφορίας εκτός της οδού, οι επερχόμενες συνέπειες να περιορίζονται σε υλικές ζημιές.
- δ. Η προτεραιότητα της οδικής ασφάλειας κατά τη συντήρηση, πρέπει να 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. Τέτοιοι βασικοί κανόνες είναι οι ακόλουθοι.

- 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 πρηνών της οδού.
- β. Η σχεδίαση της γεφύρωσης ρεμάτων που διασταυρώνουν την οδό 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 αποτροπή συνθηκών διαβρωτικής δράσης, 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 (σε συγκεκριμένο βαθμό) του πλάτους της επιφάνειας κυκλοφορίας της οδού.

Ο κατακλυσμός από ροή των νερών, της ακραίας αριστερής λωρίδας της κάθε κατεύθυνσης ενός αυτοκινητοδρόμου μέχρι και 1,00 m από το πλάτος της, είναι αποδεκτός για την προκαθορισμένη περίοδο επαναφοράς του σχεδιασμού, όταν η ένταση της βροχής υπερβαίνει τα 100 mm/h. Αυτή η παραδοχή εξηγείται από το εξής γεγονός: «όταν η ένταση υπερβαίνει τα 100 km/h, τότε είναι βέβαιο ότι η κυκλοφορία περιορίζεται και σε όγκο, αλλά και σε ταχύτητες, λόγω φυσικής αδυναμίας των οδηγών (έλλειψη επαρκούς ορατότητας, αυτοπεριορισμός της ελευθερίας κινήσεων)». Αυτή η συνθήκη πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ώστε να αποφεύγεται ο υπερσχεδιασμός των αποχετευτικών κατασκευών, που οδηγεί σε δαπάνες για λειτουργία την οποία κανείς δεν έχει ανάγκη.

1.2.3 Βασικές αρχές και έννοιες

Είναι χρήσιμο να διατυπωθούν εδώ, ορισμένες βασικές αρχές και έννοιες της αποχέτευσης όμβριων 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 διαβρωτική δράση των όμβριων μπορεί ευκολότερα και οικονομικά αποτελεσματικά 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
- το υλικό της τεχνητής ή φυσικής επιφάνειας πάνω στην οποία ρέει το νερό
- τη φυτική κάλυψη της επιφάνειας που φέρει τη ροή

Η σχέση μεταξύ της ταχύτητας του νερού και της διάβρωσης είναι ο πλέον σημαντικός παράγοντας Israelson, 1980. 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
 - τη μάζα του εδάφους που μπορεί να μεταφέρεται κατά 32 φορές
- ε. Η ταχύτητα της ροής του νερού στις τάφρους επηρεάζεται από γεωμετρικά και ποσοτικά στοιχεία, που είναι:
 - η 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
- η ποσότητα της ροής - η μεγαλύτερη ποσότητα ροής δημιουργεί ταχύτερη ροή.

Από τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά προκύπτει ο πρώτος κανόνας για την αντιμετώπιση της διάβρωσης

«Δεν επιτρέπεται το νερό να δημιουργεί συγκεντρώσεις, πρέπει να διασκορπάζεται οπουδήποτε και οποτεδήποτε είναι δυνατό. Η διαβρωσιμότητα ενός πρανού φυσικού ή τεχνητού, επίσης εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους αλλά και τη φυτική κάλυψη, ή άλλη προστατευτική 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, εφόσον είναι εκτεθειμένη στη βροχή, ενόσω δεν έχει αναπτυχθεί φυτική κάλυψη. Μια σταγόνα βροχής πέφτει με ταχύτητα περίπου 30 km/h, και όταν κτυπά την επιφάνεια εδάφους, εκτινάξει τα απροστάτευτα σωματίδια του εδάφους, το οποίο αρχίζει να εκπλένεται με 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. Αυτό το μέτρο επιτυγχάνεται με τις τάφρους οφρύος, οι οποίες πρέπει να σχεδιάζονται με σχετική μελέτη και στη συνέχεια να εφαρμόζονται με την κατάλληλη επιμέλεια. Συνήθως αυτές καταλήγουν να διαμορφώνονται με μεγάλες κατά μήκος κλίσεις, οι οποίες προϋποθέτουν τη λήψη εφικτών μέτρων.
- 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. Τελικά, 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 όμβριων 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). Αυτή η ροή επιτρέπεται να σχηματίζεται μόνο από τη βροχή που προσπίπτει στην επιφάνεια του οδοστρώματος των κύριων λωρίδων. Επομένως, κατά τη μελέτη οδοποιίας η γεωμετρική σχεδίαση της οδού πρέπει να προλαμβάνει και αποτρέπει τις 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, που έχει

προηγηθεί, δεν είναι σωστή και αποδεικνύεται ανεπαρκής ως προς αυτή την απαίτηση, τότε πρέπει να εξετάζεται πρώτα η δυνατότητα τροποποίησης της με κάθε τρόπο, και μόνο όταν αυτή κρίνεται και δικαιολογείται ως αδύνατη, τότε θα 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 σε θέσεις διακοπής της κεντρικής νησίδας (αυτές προβλέπονται για την εκτροπή της κυκλοφορίας, π.χ. 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 από άποψη οδικής ασφάλειας) και να προτιμάται η διάταξη σχισμής με εσωτερικό κοίλο ρείθρο⁽¹⁾. Όμως πριν από τη μελέτη προς εφαρμογή των προαναφερομένων μέτρων επιβάλλεται η επανεξέταση και τροποποίηση της μελέτης οδοποιίας, ώστε να εξαλειφθούν τα αίτια του προβλήματος που προκύπτουν από το σχεδιασμό.

Από τα προηγούμενα αλλά και ιδιαίτερα από την πείρα που έχει αποκτηθεί στη χώρα προκύπτουν οι ακόλουθες κατευθυντήριες οδηγίες.

- Όταν ένας αυτοκινητόδρομος έχει χάραξη με συνεχείς αλληπάλληλες οριζόντιες καμπύλες, τότε 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 θεωρητικά οικονομικής λύσης με ασφαλτοστρωμένη κεντρική νησίδα και με αμφίπλευρο στηθαίο. Εδώ σημειώνεται ότι δεν επιτρέπεται να υποτιμάται η απαίτηση για ορατότητα στάσης σε ορεινές χαράξεις (με κατά μήκος κλίσεις >2%) που επιβάλλει, υποχρεωτικά σημαντικές διαπλατύνσεις στην πλευρά της κεντρικής νησίδας (βλ. ΟΜΟΕ-Χ). Το τελευταίο, ουσιαστικά 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 όμβριων τα οποία προσέρχονται στην κεντρική νησίδα σχεδόν ή περίπου σε όλο το μήκος της, είναι η κατασκευή κατά κανόνα μόνο κατάλληλων στομίων υδροσυλλογής (βλ. § Πρότυπα Κατασκευής) για τη διοχέτευση της παροχής σε εγκάρσιους οχετούς.
- Όταν συμπίπτει η θέση ενός ανισόπεδου κόμβου σε σημείο της χάραξης, που βρίσκεται σε οριζόντια καμπύλη ακτίνας $R < 6000$ m, τότε πρέπει να επανεξετάζεται, είτε η θέση του κόμβου, είτε η τροποποίηση της χάραξης, ώστε τα σημεία εισόδου-εξόδου των κλάδων να τοποθετούνται πάντα, είτε σε θέση ευθυγραμμίας, είτε στην κοίλη πλευρά της οριζόντιας καμπύλης. Όταν τα εν λόγω πρακτικά μέτρα απαλοιοφής 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 εγκάρσιας κλίσης, επί της λωρίδας μεταβολής ταχύτητας (λωρίδα επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης), αντίρροπης ως προς εκείνη των διερχόμενων κύριων λωρίδων κυκλοφορίας του αυτοκινητοδρόμου (βλ. ΟΜΟΕ-Χ).

⁽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 υδρωλίσηση.

Συγκεντρώσεις διαχεόμενης ροής επάνω στο οδόστρωμα δεν επιτρέπονται. Ως γενικός κανόνας ορίζεται ότι, ροή περισσότερη από $0,003 \text{ m}^3/\text{s}^{(2)}$ δεν επιτρέπεται να συγκεντρώνεται και να διασχίζει το οδόστρωμα. Γι' αυτό ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να λαμβάνεται στα σημεία αλλαγής της εγκάρσιας κλίσης του οδοστρώματος, 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. λόγω αλλαγής στις εγκάρσιες κλίσεις, στα σημεία εξόδου-εισόδου των κόμβων δημιουργείται συγκέντρωση ροής 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:

α. Ανοιχτοί αγωγοί

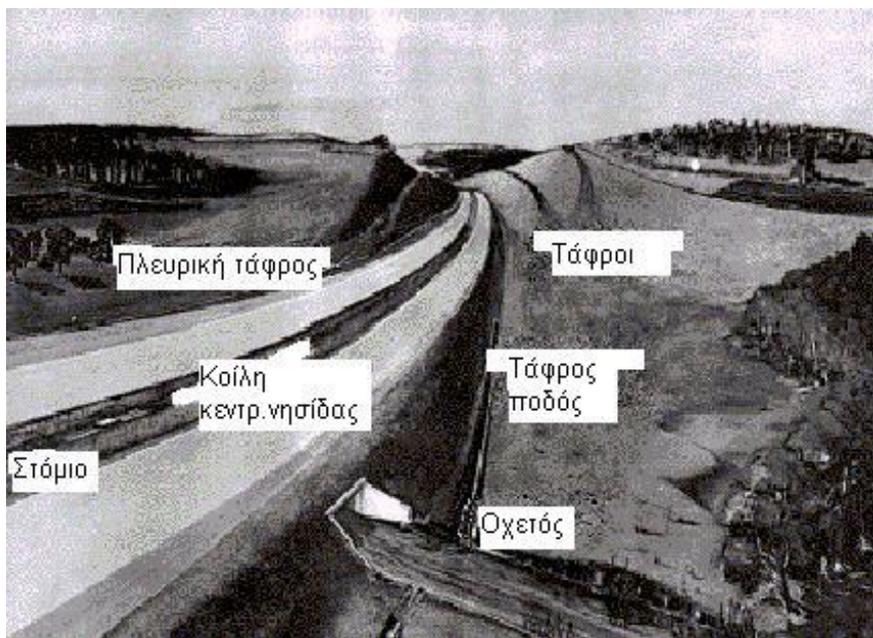
Οι εγκαταστάσεις ανοιχτών αγωγών περιλαμβάνουν τις παρόδιες (πλευρικές) τάφρους, την κοίλη διαμόρφωση των κεντρικών ή διαχωριστικών νησίδων, τα ρείθρα κτλ.

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 σκυροδέματος) αποχετεύεται μέσω φρεατίων υδροσυλλογής, με τα οποία τα νερά μεταφέρονται σε οχετούς. Οι οχετοί παρέχουν την αποχέτευση εγκάρσιως της οδού σχετικά μεγάλων ρεμάτων ή μισγαγγειών.

(2) Caltrans 831.4



Σχήμα 1.3-1: Τυπικά έργα αποχέτευσης αυτοκινητοδρόμου

1.4 Φιλοσοφία Σχεδιασμού

Ο κύριος σκοπός των εγκαταστάσεων αποχέτευσης της οδού είναι να εμποδίζεται η εισροή επί του οδοστρώματος της επιφανειακής απορροής του παρόδιου χώρου, ενώ παράλληλα πρέπει να απομακρύνεται αποτελεσματικά η απορροή από το κατάστρωμα της οδού. Ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων αποχέτευσης, για την επίτευξη αυτού του σκοπού, απαιτεί την εξισορρόπηση της επικινδυνότητας των μελλοντικών φθορών, από συμβάντα πλημμυρικών απορροών (των οποίων η επανάληψη, σε χρόνο και μέγεθος, δεν είναι δυνατόν 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. 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 αποχέτευσης, η αξιολόγηση τους γίνεται με χρήση ενός πεδίου τιμών πλημμυρικών παροχών και ενός πεδίου περιόδων επαναφοράς. 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 συνιστά 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 (χαμηλά σημεία οδού), όπου το νερό δεν είναι δυνατό να απομακρυνθεί 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 στο οποίο 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 πλημμύρας 50-ετίας μπορεί επίσης να αξιολογείται, με κριτήριο την υποχρεωτική 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 φθορών (από τις πλημμύρες), που μπορεί να συμβούν 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.

1.5 Σχεδιασμός Έργων Αποχέτευσης – Διαχείριση Κινδύνων

Λαμβάνοντας υπόψη τα αναφερόμενα στις προηγούμενες παραγράφους και στον πρόλογο του παρόντος, προκύπτει ως αναγκαία η εφαρμογή πολιτικής διαχείρισης κινδύνων, τουλάχιστον σε οδικά έργα σημαντικά από άποψη προσφερόμενης εξυπηρέτησης και κόστους, όπως π.χ. είναι οι αυτοκινητόδρομοι.

Σ' αυτό το πλαίσιο απαιτείται να εφαρμόζεται μεθοδολογία αναγνώρισης και καταγραφής των πιθανών κινδύνων στο μήκος μιας οδού από ζητήματα που έχουν σχέση με την αποχέτευση του καταστρώματος της οδού, καθώς και του περιβάλλοντος χώρου αυτής. Με την ετοιμασία ενός καταλόγου ελέγχων, μπορεί να εντοπίζονται τα αδύνατα σημεία του έργου και να παρέχεται η δυνατότητα αξιολόγησης της αξιοπιστίας του σχεδιασμού και επίγνωσης έναντι των πιθανών συνεπειών από εμφάνιση ακραίων καιρικών συνθηκών ή και αστοχιών του συστήματος αποχέτευσης.

Στο πλαίσιο διαχείρισης κινδύνων που μπορεί να επιφέρει, ειδικά στην οδική ασφάλεια, η αντίστοιχη διαχείριση στα ζητήματα συλλογής της απορροής των όμβριων από το κατάστρωμα της οδού, στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται σχετικά παραδείγματα και προτάσεις.

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 παροχетеυτικότητα, 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 δεν προκύπτει από μια επιστήμη ακριβείας.

Για συνήθη προβλήματα μελέτης, ιδιαίτερα με αυτά που αφορούν μικρές αποχетеυόμενες επιφάνειες, δεν είναι πρακτικό και δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται εξεζητημένες αναλυτικές μέθοδοι, οι οποίες απαιτούν εκτεταμένο χρόνο και εργασία. Υπάρχει ένας αριθμός ικανοποιητικά αποδεκτών μεθόδων υδρολογικής ανάλυσης για τα πλέον συνηθισμένα καθημερινά προβλήματα σχεδιασμού. Αυτές χρησιμοποιούν υπάρχοντα δεδομένα, ή στην περίπτωση απουσίας δεδομένων, συνθετικές μεθόδους για την ανάπτυξη των 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 πρανού επιχώματος, ή ενός οχετού που αποχетеύει 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, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα δεδομένων, που είναι:

- α. Περιοχές με δεδομένα μετρήσεων ροής ρεμάτων
- β. 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. ορθολογική μέθοδος) ή με τοπικής εφαρμογής εξισώσεις παλινδρόμησης. Οι εξισώσεις παλινδρόμησης είναι κατάλληλες για μεγάλες επιφάνειες αποχέτευσης, ενώ άλλες μέθοδοι, όπως είναι η ορθολογική μέθοδος, συνήθως χρησιμοποιούνται για μικρότερες επιφάνειες μέχρι περίπου $0,8 \text{ km}^2$. 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, οπότε απαιτείται μια ουσιαστική κρίση του μηχανικού για την απόφαση επιλογής των λογικών τιμών σχεδιασμού.

Η περίοδος επαναφοράς καθορίζει τη συχνότητα, που ένα δεδομένο συμβάν (π.χ. βροχόπτωσης ή απορροής) συμβαίνει με το ίδιο ή μεγαλύτερο μέγεθος κατά μέσο όρο, μια φορά σε μια περίοδο ετών. Για παράδειγμα, εάν η 25-ετής συχνότητα παροχής είναι $100 \text{ m}^3/\text{s}$, τότε ένα γεγονός απορροής αυτού του μεγέθους ή μεγαλύτερου θα πρέπει να αναμένεται να συμβεί κατά μέσο όρο κάθε 25 έτη. Για το εν λόγω παράδειγμα, μια παροχή ίση ή μεγαλύτερη από $100 \text{ m}^3/\text{s}$ θα πρέπει να έχει πιθανότητα 4% μέσα σε οποιοδήποτε έτος.

Τόσο ο υπερασχεδιασμός, όσο και ο υποσχεδιασμός συνεπάγεται υπερβολικό κόστος σε μακροπρόθεσμη βάση. Μια τάφρος σχεδιασμένη για να φέρει την πλημμυρική παροχή ενός 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, ενώ 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, ενώ 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 όμβριων, ενώ κάποιο μέρος απορροφάται από τη βλάστηση ή/και από τις ανθρωπογενείς χρήσεις.

Η απορροή των όμβριων, 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 την 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 των διαθέσιμων από Υπηρεσίες δεδομένων, 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 εκφράζεται 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 δεν επιτρέπεται 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 των ετήσιων σειρών και των σειρών μερικής-διάρκειας. Οι ετήσιες σειρές ανάλυσης λαμβάνουν υπόψη μόνο τη μέγιστη βροχόπτωση κάθε έτους (συνήθως ημερολογιακού έτους), ενώ αγνοούν τις άλλες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του έτους. 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:

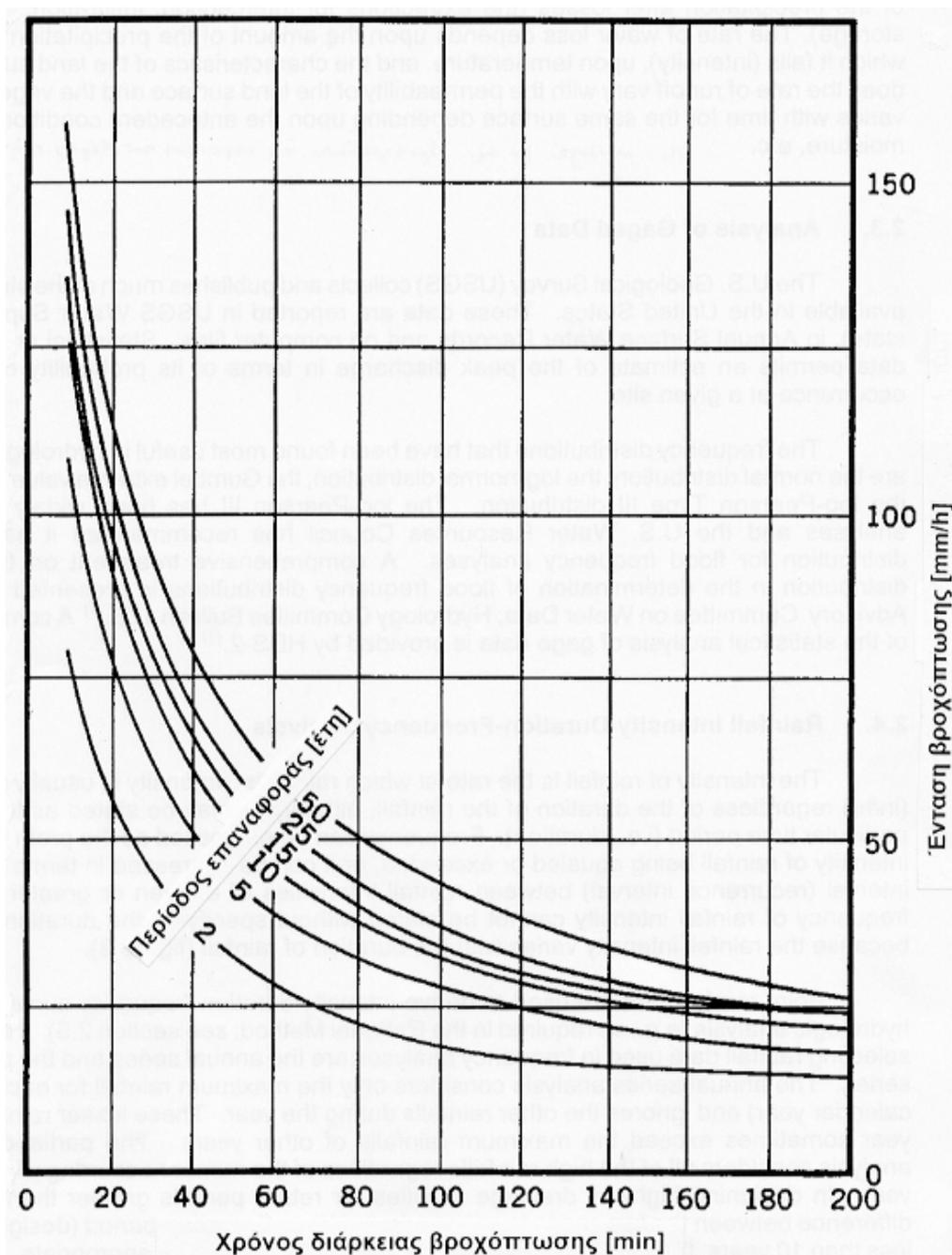
| Περίοδος επαναφοράς | 2-ετίας | 5-ετίας | 10-ετίας | 20-ετίας |
|---------------------|---------|---------|----------|----------|
| Συντελεστής σχέσης | 1,14 | 1,04 | 1,01 | 1,00 |

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 σε γέφυρες, οχετούς, αντιδιαβρωτικά έργα, τοίχους αντιστήριξης, τάφρους και μικρά κανάλια υφισταμένων διωρύγων, δικτύων στραγιστικών-αρδευτικών τάφρων και αντιπλημμυρικών έργων, αναφέρονται στον επόμενο Πίνακα 2.4-1. Τα γενικά κριτήρια σχεδιασμού, που αφορούν σε 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* | 50 | - Συνήθως 0,60 - Για ροές προερχόμενες από δάση 1,00-1,50 ⁽²⁾ |
| | Διάβρωση | 500 ⁽⁷⁾ | |
| 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), οι τυχόν οικολογικοί περιορισμοί (π.χ. διέλευση πανίδας) και άλλες γεωλογικές ή γεωμορφολογικές συνθήκες.
- (2) Ελεύθερο ύψος είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της ΑΣΥ (κατά την πλημμύρα σχεδιασμού) και της κατώτερης στάθμης του φορέα της γέφυρας. Άλλα συγκεκριμένα μεγαλύτερα ελεύθερα ύψη επιβάλλονται στην περίπτωση διέλευσης σκαφών κάτω από γέφυρες.
- (3) Ελεύθερο ύψος είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της ΑΣΥ (κατά την πλημμύρα σχεδιασμού) και της επιφάνειας του οδοστρώματος.
- (4) Ελεύθερο ύψος είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της ΑΣΥ (κατά την πλημμύρα σχεδιασμού) και της κατώτερης στάθμης του οδοστρώματος (σκάφη της οδού).
- (5) Για τοίχους αντιστήριξης 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 σε γέφυρες.
- (7) Όταν δεν είναι γνωστή η πλημμυρική παροχή για 500 έτη, τότε υπολογίζεται ως πολλαπλάσια κατά 1,7 φορές της πλημμυρικής παροχής 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 κινδυνότητα, από την καταστροφή του έργου, π.χ. ο τοίχος είναι μικρού κόστους και υπάρχει μια πολύ μικρή πιθανότητα διάβρωσης.

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) Η 50-ετία εφαρμόζεται σε χαμηλά σημεία της οδού και οπωσδήποτε σε θέσεις όπου προβλέπεται εγκατάσταση αντλιοστασίου

Συνιστάται να λαμβάνεται ως ελάχιστος χρόνος συγκέντρωσης τα 10 min, για την εκτίμηση της βροχόπτωσης σε μέτριες κλίσεις και επιστρωμένες επιφάνειες, ενώ σε επιφάνειες που δεν έχουν την ιδιότητα της αποθηκευτικότητας και έχουν κλίσεις μεγαλύτερες από 10% συνιστάται να λαμβάνεται ως ελάχιστη τιμή χρόνου συγκέντρωσης 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 σε μια μικρής σπουδαιότητας οδό, θα πρέπει να γίνεται μια οικονομική ανάλυση (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 προσδιοριζόμενη 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:

$$p = 1 - (1 - 1/F)^N \quad (2.4-1)$$

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 (ρ) υπέρβασης της περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού

| # | Μέση περίοδος επαναφοράς [έτη] | Πιθανότητα (ρ) 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% |

Όταν 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 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, ανεξάρτητα της χρησιμοποιούμενης περιόδου επαναφοράς σχεδιασμού (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 τεchnοοικονομική θεώρηση του έργου.

Πίνακας 2.4-4: Κανόνες επιλογής «Περίοδου 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 | 50 | 25 | 10 | Ερείσματα, ΛΕΑ, ή λωρίδα στάθμευσης | ½ Εξωτερικής λωρίδας | Τοπική απόφαση |
| | Χαρακτηρισμός οδού | | | | | | |
| A οδοί που διατρέχουν περιοχές εκτός σχεδίου (υπεραστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην εξυπηρέτηση παρόδιων ιδιοκτησιών <u>Σημείωση</u> : Η κατηγορία AI αφορά οδούς σύνδεσης ευρύτερων περιοχών, οι οποίες δεν παρέχουν άμεση πρόσβαση σε 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 Σχ. Πόλεως (ημιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην πρόσβαση παρόδιων ιδιοκτησιών <u>Σημείωση</u> : Οι οδοί κατηγορίας BI και BII δεν παρέχουν άμεση πρόσβαση σε 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 Σχ. Πόλεως (περιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και την άμεση πρόσβαση σε παρόδιες ιδιοκτησίες | Γ III Αστική αρτηρία | - | √ | - | √ | - | - |
| | Γ IV Κύρια συλλεκτήρια οδός | - | √ | - | √ | - | - |
| Δ οδοί που διατρέχουν περιοχές εκτός ή εντός Σχ. Πόλεως (περιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και την άμεση πρόσβαση σε παρόδιες ιδιοκτησίες | Δ IV Συλλεκτήρια οδός | - | √ | - | √ | - | - |
| | Δ V Τοπική οδός | - | √ | - | - | √ | - |
| Ε οδοί σε περιοχές εντός Σχ. Πόλεως (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 αντιστάθμιση | | √ | - | - | ότι και στα συνεχόμενα τμήματα της ίδιας οδού | | |

(1) περιλαμβάνονται συνδετήριοι κλάδοι και άλλοι κύριοι κλάδοι κόμβων

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

(2) περιλαμβάνονται δευτερεύουσας σημασίας κλάδοι κόμβων

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

| Λειτουργικά χαρακτηριστικά οδών | | Περίοδος επαναφοράς [έτη] | |
|--|--|---------------------------------|---|
| Ομάδα οδών | Κατηγορία 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 <u>Σημείωση :</u> Η κατηγορία ΑΙ αφορά οδούς σύνδεσης ευρύτερων περιοχών, οι οποίες δεν παρέχουν άμεση πρόσβαση σε παρόδιες ιδιοκτησίες | A I Αυτοκινητόδρομος | 50 | 100 |
| | Οδός ταχείας κυκλοφορίας | | |
| | A II Οδός μεταξύ νομών/επαρχιών | 25 | 50 |
| | A III Οδός μεταξύ επαρχιών/οικισμών | | |
| | A IV Οδός μεταξύ μικρών οικισμών. Συλλεκτήρια οδός | | |
| | A V Δευτερεύουσα οδός. Αγροτική οδός | | |
| | AVI Τριτεύουσα οδός. Δασική οδός | 10 | 25 |
| B οδοί που διατρέχουν περιοχές εντός Σχ. Πόλεως (ημιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην πρόσβαση παρόδιων ιδιοκτησιών <u>Σημείωση :</u> Οι οδοί κατηγορίας ΒΙ και ΒΙΙ δεν παρέχουν άμεση πρόσβαση σε 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 Σχ. Πόλεως (περιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και την άμεση πρόσβαση σε παρόδιες ιδιοκτησίες | Γ III Αστική αρτηρία | 25 | 50 |
| | Γ IV Κύρια συλλεκτήρια οδός | | |
| Δ οδοί σε περιοχές εντός Σχ. Πόλεως (αστικές) με βασική λειτουργία την πρόσβαση παρόδιων ιδιοκτησιών | Δ IV Συλλεκτήρια οδός | 25 | 50 |
| | Δ V Τοπική οδός | | |
| Ε οδοί σε περιοχές εντός Σχ. Πόλεως (αστικές) με βασική λειτουργία την παραμονή | E V Τοπική οδός | 25 | 50 |
| | E VI Τοπική οδός κατοικιών | | |

Σημειώσεις:

Συνολικό άνοιγμα ορίζεται το άθροισμα των επιμέρους ανοιγμάτων/διαμέτρων γεφυρών πολλαπλών ανοιγμάτων ή πολύιδιμων οχετών, με ορθογωνική, κυκλική ή άλλου σχήματος διατομή.

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

- οι συνέπειες από πλημμύρες στη γειτονική περιοχή είναι ασυνήθως σοβαρές, π.χ. να εξετάζονται οι συνέπειες για περίοδο επαναφοράς 100-ετίας σε οχετούς και γέφυρες
- η κατηγορία της οδού πρόκειται να αναβαθμισθεί ή υποβαθμισθεί μετά την κατασκευή
- η οδός εξυπηρετεί εξαιρετικά μικρούς κυκλοφοριακούς φόρτους

2.4.2 Σχέση έντασης βροχόπτωσης με ορατότητα

Από πειραματικές έρευνες, αποδείχθηκε ότι με 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:

$$S_V = 346 \cdot 432 / (i^{0,68} \cdot V) \quad (2.4.2-1)$$

όπου:

S_V [m] : η απόσταση ορατότητας του οδηγού

i [mm/h] : η ένταση βροχόπτωσης

V [km/h] : η ταχύτητα του 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 οδηγή με τη συγκεκριμένη ταχύτητα. Αυτό το γεγονός 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, ανάλογα με την ταχύτητα οχήματος, αναφέρονται 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 |
| 130 | 290 | ≤ 26 |
| 120 | 243 | ≤ 184 |
| 110 | 205 | ≤ 154 |
| 100 | 170 | ≤ 127 |
| 90 | 138 | ≤ 103 |
| 80 | 110 | ≤ 222 |
| 70 | 87 | ≤ 381 |

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

** αυτές οι τιμές διασφαλίζουν ότι προσφέρεται η δυνατότητα στον οδηγό να βλέπει στην ελάχιστη απόσταση ορατότητας που απαιτείται για τις ταχύτητες της στήλης (1)

Όταν συντρέχουν τέτοια δεδομένα, δηλαδή η παροχή σχεδιασμού προκύπτει με ένταση βροχόπτωσης $i \geq 100$ mm/h, θα πρέπει να συμφωνείται μεταξύ Μελετητή και Υπηρεσίας, ποιο είναι το αποδεκτό πλάτος κατακλυσμού (μέρος λωρίδας κυκλοφορίας ή ολόκληρη). Για παράδειγμα σε αυτοκινητόδρομο, ανάλογα με τον αριθμό λωρίδων κυκλοφορίας στην εξεταζόμενη κατεύθυνση επιτρέπεται πλάτος κατακλυζόμενο ως εξής:

- Κλάδος (μια κατεύθυνση) με 3 λωρίδες κυκλοφορίας:
Επιτρέπεται ο κατακλυσμός, είτε ολόκληρης της εσωτερικής (προς την πλευρά της κεντρικής νησίδας) λωρίδας, είτε μέρους της εξωτερικής λωρίδας πλάτους μέχρις 1,0 m.
- Κλάδος με 2 λωρίδες κυκλοφορίας:
Επιτρέπεται ο κατακλυσμός πλάτους μέχρις 1,0 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 της λωρίδας καθοδήγησης στην πλευρά της κεντρικής νησίδας.

2.4.3 Σχέση έντασης βροχόπτωσης με συνθήκες υδρωλίσθησης

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

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

όπου:

A_T : μια εμπειρική καμπύλη που προσομοιάζει στη μεγαλύτερη από τις ακόλουθες δυο τιμές (A_{T1} και A_{T2}):

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

όπου (η εξίσωση είναι γραμμένη σε αγγλοσαξωνικές μονάδες):

V [mi/h] : η ταχύτητα του οχήματος (1 km/h = 0,625 mi/h)

TD [1/32 in] : το βάθος πέλματος ελαστικού (λαμβάνεται ως ελάχιστη τιμή 0,79)

TXD [in] : το βάθος της υφής της επιφάνειας κυκλοφορίας (1 mm = 0,040 in)

d [in] : το πάχος του υμένα του νερού (1 mm = 0,040 in)

P_t [psi] : η πίεση του ελαστικού

SD [-] : το ποσοστό «σπιναρίσματος», η υδρωλίσθηση 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)

Πρακτικά υπολογίζεται η ένταση της βροχόπτωσης στην οποία συμβαίνει η υδρωλίσθηση, όπως περιγράφεται στην §7.3.1.

2.4.4 Συνθήκες φαινομένου υδρωλίσθησης

Το φαινόμενο της υδρωλίσθησης είναι μια λειτουργία στην οποία διεπιδρούν μεταξύ τους οι παράγοντες, που είναι:

- Η γεωμετρία της οδού εν γένει. Ειδικότερα, η εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος είναι κυρίαρχος παράγων για την ταχεία απομάκρυνση των νερών από την επιφάνεια κυκλοφορίας. Ως ελάχιστη εγκάρσια κλίση πρέπει να θεωρείται η τιμή 2,5%. Γι αυτό το λόγο, το τμήμα της οδού, όπου η εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος μεταβάλλεται από -2,5% έως +2,5%, πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο, όπως εξάλλου προβλέπεται στις ΟΜΟΕ-Χ.
- Η ταχύτητα του οχήματος.
- Το βάθος του πέλματος των ελαστικών των τροχών του οχήματος.
- Η πίεση των ελαστικών των τροχών του οχήματος
- Η τραχύτητα της επιφάνειας του οδοστρώματος. Ως βασικός κανόνας, πρέπει να θεωρείται ότι μια τοπική ταπείνωση στο οδόστρωμα, που υπερβαίνει το βάθος των 5 mm αποτελεί το κατώφλι ένδειξης της πιθανότητας για προβλήματα, λόγω ανεπαρκούς αποχέτευσης του οδοστρώματος. Ακόμη ότι, η πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου της υδρωλίσθησης είναι μεγαλύτερη από μια τροχαυλάκωση, παρά από μια ροή λεπτού υμένα νερού, ακόμη και σε οδοστρώματα πολλαπλών λωρίδων που έχουν μεγάλο πλάτος.
- Τα παράπλευρα ρείθρα στις οριογραμμές κυκλοφορίας δεν είναι δυνατόν να επιλύσουν πιθανά προβλήματα αποχέτευσης, που προκαλούνται από τη δημιουργία τροχαυλακώσεων.

Η μείωση της πιθανότητας να συμβεί υδρωλίσθηση μπορεί να επιτυγχάνεται με τα ακόλουθα μέτρα:

- Σχεδιασμός των κλίσεων (εγκάρσιων και κατά μήκος) της επιφάνειας κύλισης, ώστε η απορροή των όμβριων να οδηγείται με τη συντομότερη δυνατή διαδρομή εκτός των λωρίδων κυκλοφορίας.
- Αύξηση της τραχύτητας (υφής) του οδοστρώματος, προκειμένου να αυξάνεται η αποχετευτική ικανότητα αυτού, δηλαδή να εκδιώκεται η απορροή κάτω από το πέλμα των ελαστικών, ώστε να ελευθερώνονται οι αναπτυσσόμενες υδροδυναμικές πιέσεις και να μειώνεται η πιθανότητα της υδρωλίσθησης των ελαστικών.
- Χρήση αποχετευτικών κατασκευών κατά μήκος του οδοστρώματος για τη σύλληψη της απορροής από την επιφάνεια κύλισης, ώστε να μειώνεται το πάχος του σχηματιζόμενου υδάτινου υμένα, και να αποτρέπεται η εμφάνιση της υδρωλίσθησης.

Ως εκ τούτου, ο περιορισμός της απορροής των όμβριων στην επιφάνεια του οδοστρώματος είναι απαραίτητος, λόγω του κινδύνου εμφάνισης του φαινομένου της υδρωλίσθησης.

Το πάχος της ροής των νερών στην επιφάνεια του οδοστρώματος, υπεράνω των κορυφών της υφής αυτού, υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$d=0,046 (L_f \cdot i / S_f)^{1/2}$$

Εξίσωση [2.4.4-1]

όπου:

d [mm] : το βάθος της ροής στο πέρας της πορείας της ροής

L_f [m] : το μήκος της πορείας της ροής

i [mm/h]: η ένταση της βροχόπτωσης

S_f [m/m] : η κλίση κατά μήκος της πορείας της ροής

Σε ένα ευθύγραμμο οδικό τμήμα, η κλίση της πορείας της ροής υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$S_f = (S^2 - S_c^2)^{1/2} \quad \text{Εξίσωση [2.4.4-2]}$$

όπου:

S_f [m/m] : η κλίση κατά μήκος της πορείας της ροής

S [m/m] : η κατά μήκος κλίση της οδού

S_c [m/m] : η εγκάρσια κλίση στην επιφάνεια του οδοστρώματος

Το μήκος της πορείας της ροής υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$L_f = W \cdot S_f / S_c \quad \text{Εξίσωση [2.4.4-3]}$$

όπου:

W [m] : το πλάτος του οδοστρώματος που συνεισφέρει στη ροή

Η επιρροή της τραχύτητας (υψής) της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι αμελητέα για την υδραυλική συμπεριφορά της ροής των όμβριων. Εντούτοις, τραχύτερες επιφάνειες είναι επιθυμητές, επειδή μεγαλύτερη ποσότητα νερών μπορεί να λιμνάζει πριν να υπερχειλίσει το νερό πάνω από τις κοιλάτες της υψής του οδοστρώματος. Μια σημαντική ποσότητα νερού ρέει πάντα κάτω από τις κορυφές της υψής.

Το κρίσιμο βάθος για την εμφάνιση της υδρωλίσθησης είναι από 2,5 έως 10 mm εξαρτώμενο από τα ελαστικά των τροχών και την τραχύτητα της επιφάνειας.

Η φύση του εν λόγω προβλήματος απαιτεί, να λαμβάνεται ως περίοδος επαναφοράς τιμή μικρότερη εκείνης που χρησιμοποιείται στους απολογισμούς σχεδιασμού για το διαμήκες σύστημα αποχέτευσης. Μερικός κίνδυνος πρέπει να γίνεται αποδεκτός, καθώς οι συνθήκες που συνεισφέρουν στην υδρωλίσθηση συμβαίνουν μόνο για μικρό χρονικό διάστημα στο συνολικό κύκλο ζωής του οδοστρώματος.

Μια πλήρης πρόληψη του κινδύνου εμφάνισης της υδρωλίσθησης θα μπορούσε να εμπεριέχει αντίστοιχα, υπερβολικό χρόνο διερεύνησης και κόστος, καθώς οι σχετικοί παράγοντες είναι πολύ δύσκολοι ελέγξιμοι, ως προς τον περιορισμό του βάθους της ροής. Συνεπώς, μια περίοδος επαναφοράς 2-ετίας θεωρείται επαρκής παραδοχή. Επιπλέον, ένας ελάχιστος χρόνος συγκέντρωσης 5 λεπτών θα πρέπει να χρησιμοποιείται για να επιτρέπεται η συσσώρευση της ροής υπεράνω των κορυφών της υψής της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Η αύξηση της εγκάρσιας κλίσης του οδοστρώματος δεν έχει αξιοσημείωτη επιρροή στο βάθος της ροής. Η ελάχιστη εγκάρσια κλίση οδοστρώματος στις ευθυγραμμίες του 2,5% που έχει υιοθετηθεί από τις ΟΜΟΕ-Χ, θα ελαχιστοποιεί τη συγκέντρωση λιμναζόντων νερών στις παραμορφώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Εν τέλει, ο καλός σχεδιασμός της αποχέτευσης του καταστρώματος των οδών μπορεί να αξιολογείται με βάση τα μέγιστου ενδιαφέροντος κριτήρια, μερικά των οποίων είναι:

- Η ασφάλεια όλων των χρηστών των οδών
- Η άνεση στις συνθήκες της κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών
- Η ακεραιότητα της οδικής υποδομής
- Η αισθητική στις οδικές κατασκευές
- Η έκταση κατακλυσμού της επιφάνειας κυκλοφορίας και των παρόδιων χρήσεων γης
- Η κατείσδυση νερών στη σκάφη της οδού και τα μέτρα διαχείρισης αυτών
- Η πιθανότητα εμφάνισης επιπτώσεων από διάβρωση, ρύπανση και από άλλα περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος ζητήματα
- Η οικονομία στις κατασκευές έργου
- Η οικονομία στη συντήρηση

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:

$$Q = 0,278CiA \quad (2.5.1-1)$$

όπου:

Q [m^3/s] : η μέγιστη τιμή ποσότητας απορροής

C [-] : ο συντελεστής απορροής που εξαρτάται από το είδος κάλυψης της λεκάνης απορροής

i [mm/h] : η μέση ένταση βροχόπτωσης, για επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια ίση προς το χρόνο συγκέντρωσης

A [km^2] : η 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 (υδραυλικά) 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 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. Συγκεκριμένα, για το σχεδιασμό των έργων αποχέτευσης της οδού, η χρήση της ορθολογικής μεθόδου θα πρέπει να περιορίζεται σε λεκάνες έκτασης μέχρις $0,8 \text{ km}^2$.

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 που χρειάζεται το νερό να ταξιδεύσει από το πλέον υδραυλικά απομακρυσμένο σημείο μέχρι το σημείο εξόδου, ή το σημείο που ενδιαφέρει (το πλέον υδραυλικά απομακρυσμένο σημείο προσδιορίζεται από το χρόνο ροής και όχι απαραίτητως από τη γεωχωρική 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 ίδια με τη 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 |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • μικρή λεκάνη επιφάνειας $\leq 0,8$ (max 1,3) km^2 (για αστικές λεκάνες επιφάνεια $\leq 2 \text{ km}^2$) | <ul style="list-style-type: none"> • μέγεθος επιφάνειας λεκάνης |
| <ul style="list-style-type: none"> • χρόνος συγκέντρωσης $t < 1$ ώρα • διάρκεια βροχόπτωσης $\geq t$ | <ul style="list-style-type: none"> • χρόνος συγκέντρωσης |
| <ul style="list-style-type: none"> • βροχόπτωση ομοιομόρφως κατανεμημένη στο χρόνο και στο χώρο | <ul style="list-style-type: none"> • ένταση βροχόπτωσης |
| <ul style="list-style-type: none"> • απορροή περιλαμβάνει κυρίως διάχυτη επιφανειακή ροή • αμελητέα αποθηκευτικότητα σε τάφρους | <ul style="list-style-type: none"> • συντελεστής απορροής |

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 με ανθρωπογενή ανάπτυξη, 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 έως 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 το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού $C \times C_f = 1,0$.

Πίνακας 2.5.2-1: Συντελεστής διόρθωσης ανάλογα με περίοδο επαναφοράς

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

Παράδειγμα Δεδομένα:

- α. Λοφώδες έδαφος με κλίσεις ~5%
 - β. αργιλικό έδαφος
 - γ. καλή χλοοκάλυψη
 - δ. συνήθεις ταπεινώσεις επιφάνειας
- Για περίοδο επαναφοράς 10-ετη

Λύση:

- Ανάγλυφο $C_r=0,14$
- Διηθητικότητα $C_i=0,08$
- Φυτική κάλυψη $C_v=0,04$
- Αποθηκευτικότητα $C_s=0,06$
- Συντελεστής "C"=0,32

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

| Χαρακτηριστικά επιφάνειας εδάφους | | Τιμές συντελεστή απορροής | | | |
|-----------------------------------|---|--|--|--|--|
| # | 1 | ακραίες | υψηλές | συνήθεις | χαμηλές |
| | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | C _f Ανάγλυφο εδάφους | 0,28 - 0,35 επικλινές, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις >30% | 0,20 - 0,28 λοφώδεις, με μέσες κλίσεις 10 έως 30% | 0,14 - 0,20 κυματώδεις με μέσες κλίσεις 5 έως 10% | 0,08 - 0,14 σχετικά επίπεδο, με μέσες κλίσεις 0 έως 5% |
| 2 | C _i Διηθητικότητα εδάφους | 0,12 - 0,16 μη επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδεις, 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, ιλύδες 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 δασώδεις, λιγότερο από 50% επιφάνειας είναι καλλιέργειες | 0,04-0,06 καλή έως άριστη, περίπου 90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδεις 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 ή βάλτοι | 0,08-0,10 χαμηλή, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα, βάλτοι | 0,06-0,08 κανονική, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα ή βάλτοι | 0,04-0,06 υψηλή, αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών, ή τελμάτων, βάλτων |

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 λαμβάνεται το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού C x C_f = 1,0 (βλ. Πίνακα 2.5.2-1).

Πίνακας 2.5.2-3: Συντελεστής απορροής λεκανών αναπτυσσόμενων περιοχών

| Είδος επιφάνειας εδάφους | | Τιμές συντελεστή "C" |
|--------------------------|--|--|
| # | 1 | 2 |
| 1 | Περιοχή επιχειρήσεων: α. κέντρο πόλης β. έκταση γειτονιάς | 0,70 – 0,95 0,50 – 0,70 |
| 2 | Περιοχή κατοικίας: α. μονοκατοικίες β. πολυκατοικίες πανταχόθεν ελεύθερες γ. πολυκατοικίες συνεχούς συστήματος | 0,30 – 0,50 0,40 – 0,50 0,60 – 0,75 |
| 3 | Περιοχή βιομηχανίας: α. ελαφριάς β. βαριάς | 0,50 – 0,80 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 χλοοτάπητα: α. αμμώδες έδαφος, επίπεδων κλίσεων <2% β. αμμώδες έδαφος, μέσων κλίσεων 2-7% γ. αμμώδες έδαφος, εντόνων κλίσεων >7% δ. σύνηθες έδαφος, επίπεδων κλίσεων <2% ε. σύνηθες έδαφος, μέσων κλίσεων 2-7% ζ. σύνηθες έδαφος, εντόνων κλίσεων >7% | 0,05 – 0,10 0,10 – 0,15 0,15 – 0,20 0,13 – 0,17 0,18 – 0,25 0,25 – 0,35 |
| 9 | Επιφάνειες οδοστρώματος οδών: α. Οδόστρωμα ασφαλτικό β. Οδόστρωμα σκυροδέματος γ. Οδόστρωμα κυβόλιθων δ. Οδόστρωμα αμμοχάλικου | 0,70 – 0,95 0,80 – 0,95 0,70 – 0,85 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, λαμβάνεται το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού $C \times C_f = 1,0$ (βλ. Πίνακα 2.5.2-1).

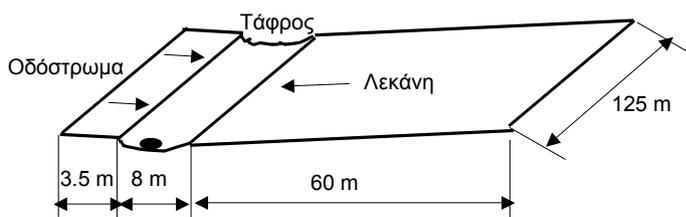
Όπου η λεκάνη απορροής συντίθεται από διαφορετικά είδη εδάφους, ο συντελεστής απορροής υπολογίζεται ως ο μέσος συντελεστής των διαφορετικών τμημάτων της λεκάνης (βλ. παράδειγμα §2.5.3). Εντούτοις, η ακρίβεια της ορθολογικής μεθόδου είναι καλύτερη, όταν η χρήση γης είναι ενιαία σε όλη την έκταση της λεκάνης. 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 ανάλογα 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 δημιουργείται 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.

Πρακτικά, ο χρόνος συγκέντρωσης είναι ο χρόνος που ταξιδεύει ένα κύμα, καθώς ανθίσταται στην ταχύτητα του νερού, από το πλέον υδραυλικά απομακρυσμένο σημείο μέχρι τη θέση που εξετάζεται. Εντούτοις, οι αβεβαιότητες για την πραγματική διαδρομή της ροής στην επιφάνεια του εδάφους, η τραχύτητα αυτής, 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



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

- 3,50 m πλάτος ασφαλτικού οδοστρώματος
- 8,00 m πλάτος συνολικής επιφάνειας αμμοχάλικου (έρεισμα και τάφος με τα πρανή της)
- 60,00 m πλάτος δασωμένη εξωτερική λεκάνη
- 125,00 m μήκος επιφάνειας

Ζητούμενα: Ο συντελεστής απορροής C

Λύση:

| Είδος επιφάνειας | Συντελ. C [-] | Επιφάνεια E [m ²] | Ανηγγμένη Επιφάνεια Eα=C x E [m ²] |
|---------------------------------|------------------|----------------------------------|---|
| Ασφαλτικό οδόστρωμα | 0,9 | 438 | 394 |
| Έρεισμα, τάφος και τα πρανή της | 0,5 | 1 000 | 500 |
| Δασωμένη λεκάνη απορροής | 0,3 | 7 500 | 2 250 |
| Αθροισμα | | 8 938 | 3 144 |

Μέσος σταθμισμένος συντελεστής C=Eα/E=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 θεωρία της κινηματικής των κυμάτων:

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

όπου:

- t [min] : ο χρόνος συγκέντρωσης
- L [m] : το μήκος επιφανειακής ροής, η λεκάνη πρέπει να έχει μήκος <91 m, προσαφάτως 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 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 προκύπτει 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:

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

όπου:

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

Λοιπές παράμετροι: όπως ορίζονται προηγουμένως στην εξίσωση 2.5.3-1

Αυτή η εξίσωση 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. Εάν ο συνολικός χρόνος συγκέντρωσης είναι μικρότερος από 5 λεπτά, τότε θα εφαρμόζεται ως γενικός κανόνας, μια ελάχιστη τιμή των 5 λεπτών για την εκτίμηση της παροχής σχεδιασμού.

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

| # | Επιστρωμένες επιφάνειες | (n) | # | Καλλιεργούμενα εδάφη | "n" |
|---|--------------------------------|-------|----|-------------------------------|------|
| 1 | Ομαλή άσφαλτος | 0,011 | 8 | Υπόλοιπο κάλυψης ≤20% | 0,06 |
| 2 | Ομαλό σκυρόδεμα | 0,012 | 9 | Υπόλοιπο κάλυψης >20% | 0,17 |
| 3 | Επένδυση σκυροδέματος | 0,013 | 10 | Φυσική κάλυψη | 0,13 |
| 4 | Καλή ξύλινη επιφάνεια | 0,014 | # | Φυτοκάλυψη | |
| 5 | Πλακόστρωτα με τσιμεντοκονίαμα | 0,014 | 11 | Λιβάδια ελάχιστου ύψους χλόης | 0,15 |
| 6 | Σκυρόδεμα ραβδωτής επιφάνειας | 0,024 | 12 | Πυκνή χλόη | 0,24 |
| 7 | Χέρσο έδαφος | 0,050 | 13 | Χλοοτάπητας | 0,41 |
| | | | # | Δασικές εκτάσεις | |
| | | | 14 | Αραιοί θάμνοι | 0,40 |
| | | | 15 | Πυκνοί θάμνοι | 0,80 |

Η εξίσωση Kirpich

Ο συνολικός συνδυασμένος χρόνος συγκέντρωσης από επιφανειακή και εντός μισγαγγειών ροή, με χονδρική προσέγγιση, για μια αποχετευόμενη λεκάνη απορροής σχήματος, μπορεί να υπολογίζεται με την εφαρμογή της εξίσωσης Kirpich:

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

όπου:

t_c [min] : ο χρόνος συγκέντρωσης

L [km] : 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

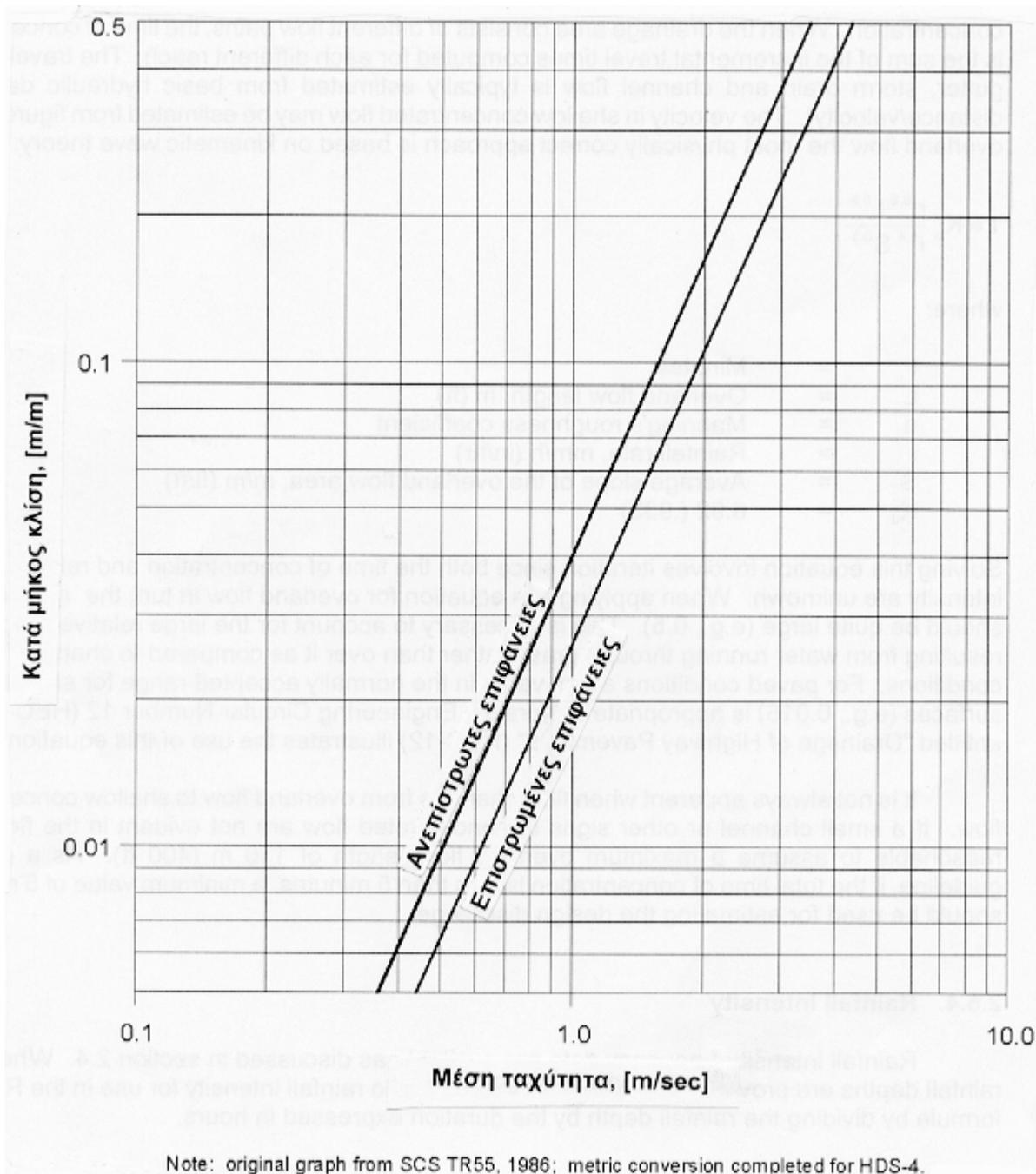
Υπολογισμός χρόνου συγκέντρωσης σε επιφάνεια οδοστρώματος

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

$$t_g = 0,58 \frac{S_x T^2}{C i W_p} \quad (2.5.3-4)$$

όπου:

- t_g [min] : ο χρόνος συγκέντρωσης
 S_x [m/m] : η κατά μήκος κλίση της επιφάνειας
 T [m] : το πλάτος νερού
 C [-] : ο συντελεστής απορροής
 i [m/h] : η ένταση
 W_p [m] : το 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)

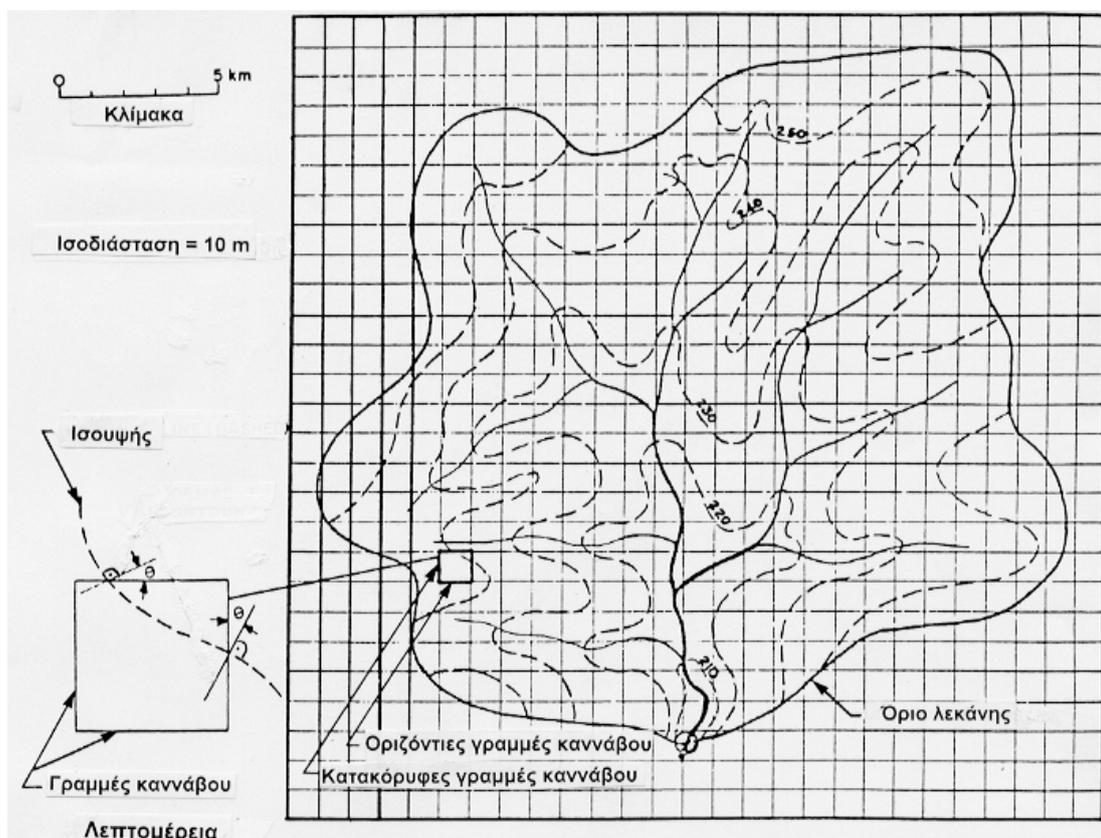
L [m] : το συνολικό μήκος των οριζόντιων και κάθετων τμημάτων του καννάβου που αποτέμνονται ανάμεσα στα όρια της λεκάνης

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 ισοψών 10 m

Πλήθος τομών ισοψών με τις κατακόρυφες γραμμές καννάβου $N_V = 137$

Πλήθος τομών ισοψών με τις οριζόντιες γραμμές καννάβου $N_H = 138$

Συνολικό μήκος αποτεμνόμενων κατακόρυφων γραμμών $L_V = 81\ 000\ \text{m}$

Συνολικό μήκος αποτεμνόμενων οριζόντιων γραμμών $L_H = 79\ 000\ \text{m}$

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

Μέση κλίση επιφάνειας : $S = (0,0169 + 0,0175) / 2 = 0,0172\ \text{m/m}$

2.5.6 Υπολογισμός Παροχής Σχεδιασμού Σύνθετων Αποχετευόμενων Επιφανειών

Η ορθολογική μέθοδος, για μια απλή αποχετευόμενη επιφάνεια, παρουσιάζεται στο παράδειγμα 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 αποχετευόμενων 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 στη 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 σχετικά μικρές αποχετευόμενες επιφάνειες, που έχουν σχέση με εγκαταστάσεις αποχέτευσης οδοστρώματος οδών.

Παράδειγμα

Αεδομένα: Η συνεισφέρουσα επιφάνεια όπως περιγράφεται στο παράδειγμα της §2.5.3

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 υποθεθείσα 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:

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

Ο συνολικός χρόνος συγκέντρωσης είναι:

$$t_c = 6 + 53 = 59 \text{ min}$$

Από τις καμπύλες του Σχήματος 2.4.1-1 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 $8938 \text{ m}^2=8938 \cdot 10^{-6} \text{ km}^2$) στο σημείο εξόδου της τάφρου είναι:

$$Q = 0,35 \cdot 47 \cdot 8938 \cdot 10^{-6} / 3,6 = 0,041 \text{ m}^3/\text{s}$$

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 λόγω των 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. Αυτές οι εξισώσεις 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 το λογισμικό που έχει αναπτυχθεί από τη FHWA. Αυτό το λογισμικό 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. Ως εκ τούτου, σήμερα επιβάλλεται η μελέτη αποχέτευσης να εκπονείται αποκλειστικά με τη βοήθεια αναγνωρισμένων 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 υδρογράφημα 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, το σταθμηγράφο) σε παροχή με βάση τις καμπύλες 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:

$$Q=a(H-H_0)^b$$

Όπου, 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_0) 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 παρουσιαστεί υπέρβαση κατά μέσο όρο μία φορά στα 20 έτη, οπότε η πιθανότητα υπέρβασης για κάθε δεδομένο έτος θα είναι $p = 1/20 = 5\%$. 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, επειδή τα δεδομένα βροχόπτωσης αποτελούν στατιστικό δείγμα με μεγαλύτερη χρονική διάρκεια και πληρότητα καταγραφών, ακόμα και στην περίπτωση εκείνη που υπάρχει θέση μέτρησης των παροχών στο υπόψη υδατόρεμα.

(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).

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 και όταν δεν υπάρχουν. Στην περίπτωση διαθέσιμων μετρήσεων της απορροής ιστορικών πλημμυρικών επεισοδίων (γεγονός όχι και τόσο διαδεδομένο στη χώρα), 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 καταγίδων και πλημμυρών της ανάντη λεκάνης απορροής για την υπόψη θέση. Σε υδατορέματα όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις της παροχής, το μοναδιαίο υδρογράφημα κατασκευάζεται με βάση παραμέτρους που αφορούν σε γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Αυτές οι παράμετροι 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) αυτής της μορφής 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 ακόλουθες παραδοχές:

- Η ωφέλιμη βροχόπτωση κατανέμεται ομοιόμορφα στη λεκάνη απορροής και η ένταση είναι σταθερή στο χρονικό διάστημα (Δt).
- Το ΜΥ αποτελεί ένα γραμμικό μοντέλο, δηλαδή ο διπλασιασμός του όγκου της ωφέλιμης βροχόπτωσης προκαλεί επίσης διπλασιασμό των τιμών του υδρογραφήματος.
- Το υδρογράφημα, που προκύπτει από ένα συγκεκριμένο τμήμα της ωφέλιμης βροχόπτωσης, είναι ανεξάρτητο από τη διάρκεια της βροχόπτωσης, όσο και από την προηγούμενη βροχόπτωση.
- 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 με βάση την εξίσωση:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \quad (2.8.1-1)$$

όπου:

- Q_n : η τεταγμένη του πλημμυρογραφήματος στο χρόνο ($n\Delta t$)
 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 $(n-m+1)\Delta t$.

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. 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 λεπτών έως της 1 ώρας, ανάλογα με την περίπτωση. Σε μια τέτοια περίπτωση, είναι ιδιαίτερως 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 μέγιστων 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, που μπορεί να αναζητηθούν από τις αρμόδιες Υπηρεσίες σε ΕΜΥ, ΥΠΕΚΑ, ΔΕΗ, Υπ. Ανάπτυξης & Τροφίμων, Αστεροσκοπείο. Όμως, οι εν λόγω Υπηρεσίες έχουν μόνο παλαιότερων ετών, ενώ δεδομένα βροχογράφου όλων των ετών είναι διαθέσιμα στην Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ).

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 10 000⁽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 km². 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.

Προτείνεται να εφαρμόζεται η ακόλουθη μέθοδος κατάρτισης του υετογραφήματος της βροχόπτωσης σχεδιασμού:

Υπολογίζονται τα τμηματικά ύψη βροχόπτωσης P_i , που δίνονται από την εξίσωση:

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

όπου:

$h(d)$: το ύψος βροχόπτωσης για διάρκεια d , όπως προκύπτει από την όμβρια καμπύλη,

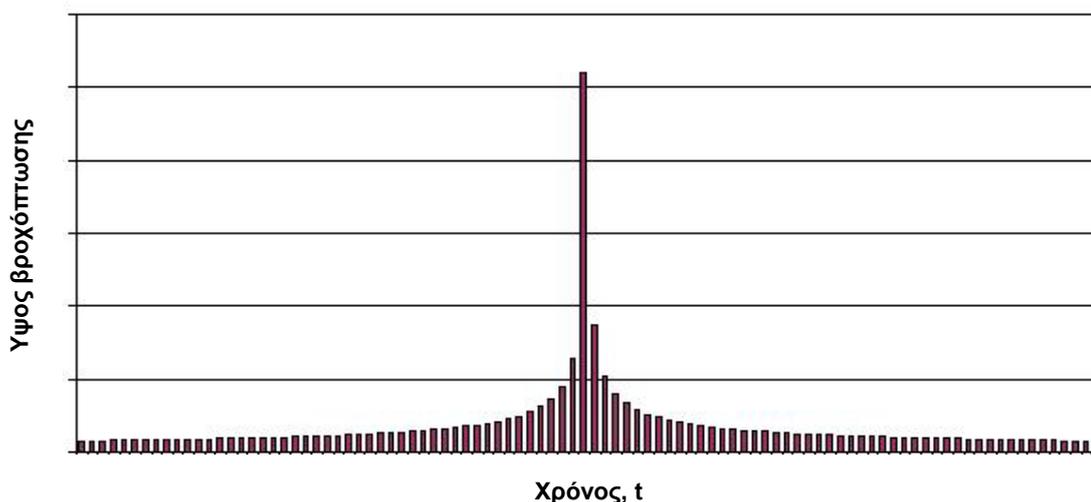
Δ : το χρονικό βήμα, και

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). Αυτή η μέθοδος έχει αποδειχθεί ότι δίνει ελαφρά υψηλότερες τιμές για την αιχμή της πλημμυρικής απορροής, σε σχέση με τις τυποποιημένες καταιγίδες σχεδιασμού (Zariris 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 , 2Δ , 3Δ , ..., $M\Delta$, 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 επιτρέπεται 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 (RTAC)*, 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_{a0}) δεν υπάρχει απορροή και επομένως η δυνητική απορροή είναι $h - h_{a0}$. Η υπόθεση της μεθόδου SCS είναι ότι οι λόγοι των δύο πραγματικών με τις δύο δυνητικές ποσότητες είναι ίσοι, δηλαδή:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{h_e}{h - h_{a0}} \quad (2.8.2.3-1)$$

Με βάση την αρχή διατήρησης της μάζας ισχύει ότι:

$$h = h_e + h_{a0} + F_a \quad (2.8.2.3-2)$$

Από παρατηρημένα δεδομένα ισχύει ότι:

$$h_{a0} = 0,2 S \quad (2.8.2.3-3)$$

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

$$h_e = \frac{(h - 0,2S)^2}{h + 0,8S} \quad (2.8.2.3-4)$$

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:

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

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 συνθηκών υγρασίας που προηγήθηκαν (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 II). Γενικά επιλέγεται υδρολογικός τύπος εδάφους C και τύπος προηγούμενων συνθηκών υγρασίας III (συνδυασμός που δίνει και τη μέγιστη απορροή). Για συνθήκες αυξημένης υγρασίας, η παράμετρος *CN*(II), μετασχηματίζεται στην παράμετρο *CN*(III) σύμφωνα με τη σχέση

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

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

| Υδρολογικός τύπος εδάφους | 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, όπως 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 κορεσμού). 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 II (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] | | | | | |
| % αδιαπέρατης επιφάνειας | | | | | |
| ≤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:

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (2.8.2.4-1)$$

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 υετο-γραφήματος έως το χρόνο εμφάνισης της πλημμυρικής αιχμής) συνδέεται με τον αντίστοιχο χρόνο συρροής με την ακόλουθη σχέση:

$$t_p = 0,6t_c \quad (2.8.2.4-2)$$

Αντίστοιχα, ο χρόνος συρροής δίνεται από τη σχέση:

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

όπου:

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

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

Η παροχή αιχμής Q_p του συνθετικού (ΜΥ) κατά SCS δίνεται από τη σχέση:

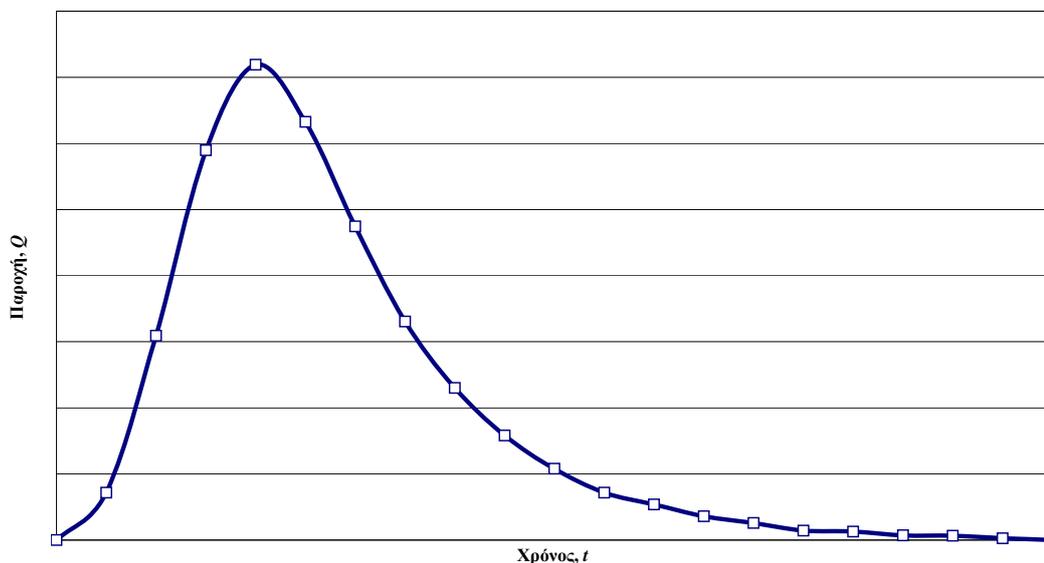
$$Q_p = \frac{2,08A}{T_p} \quad (2.8.2.4-4)$$

όπου:

Q_p [m³/s] : η παροχή αιχμής για μοναδιαία βροχόπτωση ύψους 1 cm

A [km²] : η έκταση της λεκάνης απορροής.

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



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

2.8.2.5 Κατάρτιση πλημμύρας σχεδιασμού

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

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \quad (2.8.2.5-1)$$

όπου:

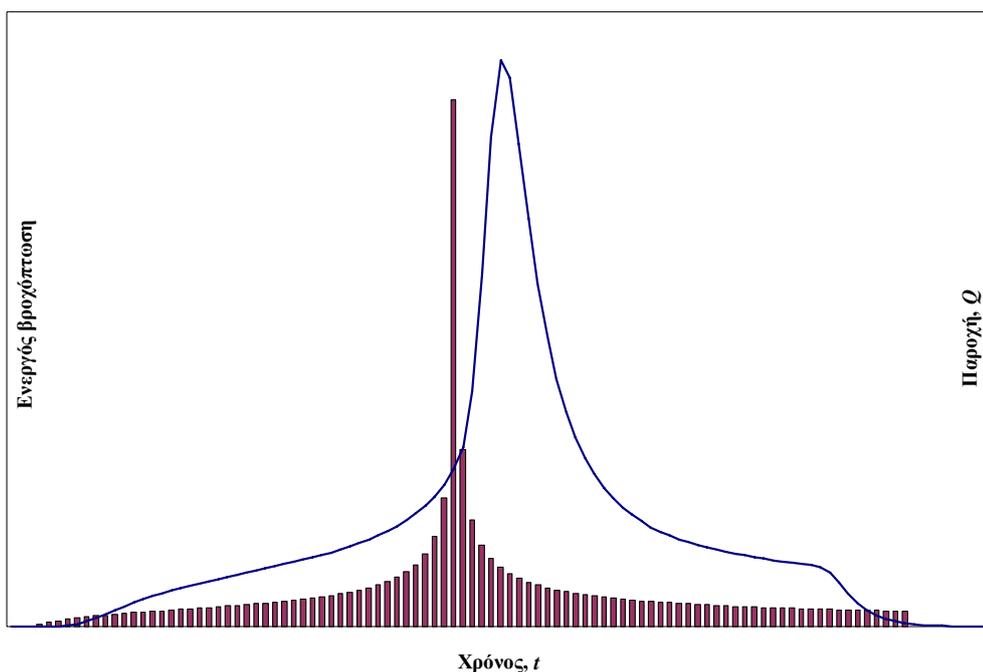
Q_n : η τεταγμένη του πλημμυρογραφήματος στο χρόνο $n\Delta t$,

P_m : η καθαρή βροχή 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 $(n-m+1)\Delta t$.

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.

Κείμενα Αναφοράς:

Κουτσογιάννης, Δ., *Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης*, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 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, US 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, UK, 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 διαφορετρόπως 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 η ελεύθερη επιφάνεια ελέγχεται μόνο από τους νόμους της μηχανικής των υγρών. Μια άλλη πολυπλοκότητα της ροής σε ανοιχτούς αγωγούς προκύπτει όταν η κοίτη του ρέματος, ή του αγωγού συντίθεται από φυσικά υλικά όπως άμμος, χαλίκια, κροκάλες ή βράχο-τεμάχια 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 δεν προκύπτει 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.

Ο αδιάστατος Αριθμός Froude, ανάλογα με το μέγεθος του, χαρακτηρίζει τη ροή ως εξής:

| Πεδίο τιμών | Ροή |
|-------------|-------------|
| $F_r < 1$ | υποκρίσιμη |
| $F_r = 1$ | κρίσιμη |
| $1 < F_r$ | υπερκρίσιμη |

3.2 Ορισμοί

Οι ορισμοί που χρησιμοποιούνται στα επόμενα και η έννοια τους ορίζονται ως εξής:

Παροχή:

Η ποσότητα του κινούμενου νερού, που περνάει ένα δεδομένο επίπεδο (διατομή) κάθετο στο άνωσμα της ταχύτητας σε μια δεδομένη μονάδα χρόνου

| | |
|----------------------|---|
| Ταχύτητα: | Η απόσταση 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: | Η μεταβολή της ταχύτητας (του μεγέθους, ή/και της κατεύθυνσης) μέσα στο χρόνο σε ένα δεδομένο σημείο, ή διατομή |
| Ομοιόμορφη ροή: | Όταν η Ροή με σταθερή ταχύτητα κατά μήκος αυτής, 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: | Όταν η Ροή με μεταβαλλόμενη ταχύτητα σε μέγεθος και κατεύθυνσης κατά μήκος αυτής |
| Μόνιμη ροή: | Ροή με ταχύτητα σταθερή στη μεταβολή του χρόνου στο ίδιο σημείο ή διατομή, η τοπική είναι μηδενική |
| Μη μόνιμη ροή: | Ροή με ταχύτητα μεταβαλλόμενη με το χρόνο στο ίδιο σημείο η διατομή, η τοπική μεταβολή ταχύτητας δεν είναι μηδενική |
| Στρωτή ροή: | Ροή όπου οι δυνάμεις συνεκτικότητας (ιξώδες) υπερισχύουν σε μεγάλο βαθμό των δυνάμεων αδρανείας της ροής |
| Τυρβώδης ροή: | Ροή όπου οι δυνάμεις αδρανείας υπερισχύουν των δυνάμεων συνεκτικότητας (ιξώδες) |
| Ροή ανοιχτών αγωγών: | Η ροή με ελεύθερη επιφάνεια, μπορεί να συμβαίνει και σε κλειστούς αγωγούς, όπως είναι και οι οχετοί, εφόσον η ροή δε γίνεται με πληρότητα 100% |
| Αριθμός Froude: | Ο λόγος των αδρανειακών δυνάμεων προς τις δυνάμεις βαρύτητας $F_r = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ |
| Υποκρίσιμη ροή: | Ροή σε ανοιχτούς αγωγούς, όπου λόγω μεταβολών της γεωμετρίας του αγωγού, μεταβάλλεται το βάθος και η ταχύτητα της ροής, αριθμός Froude<1 |
| Υπερκρίσιμη ροή: | Ροή με βάθος όπου λόγω ήπιων κλίσεων έχει μικρή ταχύτητα, αριθμός Froude<1 |
| Κρίσιμη ροή: | Ροή όπου και οι διαταραχές της επιφάνειας παραμένουν στάσιμες, αριθμός Froude=1 |

| | |
|--------------------------|---|
| Ροή υπό πίεση: | Ροή εντός αγωγών που λειτουργούν με πληρότητα 100%, δηλαδή το νερό είναι σε πλήρη επαφή με όλα τα τοιχώματα του αγωγού και υπό πίεση |
| Ροή κλειστού αγωγού: | Ροή που περιβάλλεται πανταχόθεν από σταθερό τοίχωμα |
| Ροή σε αλλουβιακή τάφρο: | Ροή σε κοίτη που συνίσταται από υλικά προϊόντων αποθέσεων που φέρει η ροή. |
| Υδραυλική ακτίνα: | Ο λόγος της επιφάνειας της διατομής της ροής προς τη βρεχόμενη περίμετρο του αγωγού |
| Μονοδιάστατη ροή: | Ροή όπου μεταβάλλονται η ταχύτητα, το βάθος κτλ., κυρίως στην κατά μήκος κατεύθυνση, οι μεταβολές στις άλλες δυο κατευθύνσεις είναι μικρές και αμελητέες. |
| Δισδιάστατη ροή: | Ροή με μεταβαλλόμενη ταχύτητα σε δυο κατευθύνσεις (κατά μήκος και εγκάρσιως της ροής) |
| Τρισδιάστατη ροή: | Ροή μεταβαλλόμενη και στις τρεις διαστάσεις, κατά μήκος εγκάρσιως και κατακορύφως της ροής |

3.3 Βασικές Αρχές

3.3.1 Εισαγωγή

Οι βασικές εξισώσεις της ροής αφορούν στη συνέχεια, στην ενέργεια και στην ορμή (Momentum). Αυτές προκύπτουν από τους νόμους: (1) της διατήρησης της μάζας, (2) της διατήρησης 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 της κινηματικής του Newton, ο οποίος δηλώνει ότι η μάζα (του υγρού) επιταχύνεται κατά την κατεύθυνση και κατ' αναλογία των δυνάμεων που επιδρούν σ' αυτή.

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

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = Q = VA \quad (3.3.2-1)$$

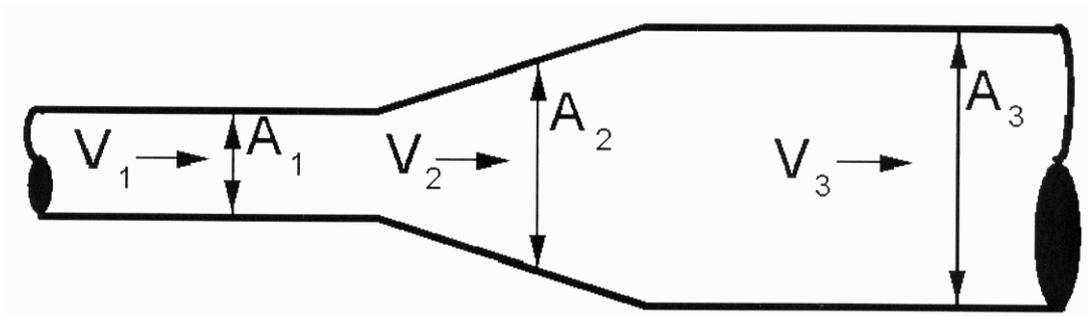
όπου:

V [m/s] : η μέση ταχύτητα στην κατακόρυφη διατομή με επιφάνεια A ,

A [m^2] : η επιφάνεια της διατομής της ροής που είναι κάθετη προς τη διεύθυνση του ανύσματος της ταχύτητας

Q [m^3/s] : ο όγκος ροής, ή αλλιώς η 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 (βλ. 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 διατηρείται σε κάθε περίπτωση. Για μόνιμη ροή ασυμπίεστου υγρού είναι:

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

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 ” διορθώνει την 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:

$$\alpha = \frac{1}{V^3 A} \int A v^3 dA \quad (3.3.3-2)$$

όπου:

v [m/s] : η ταχύτητα στο σημείο, ή η μέση ταχύτητα στο κατακόρυφο επίπεδο

A [m²] : 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:

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

όπου:

V [m/s] : η μέση ταχύτητα στη διατομή

g [m/s²] : 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, ενώ αντίστοιχα ο δείκτης 2 ότι αυτή αφορά στη διατομή στα κατόντη της ροής.

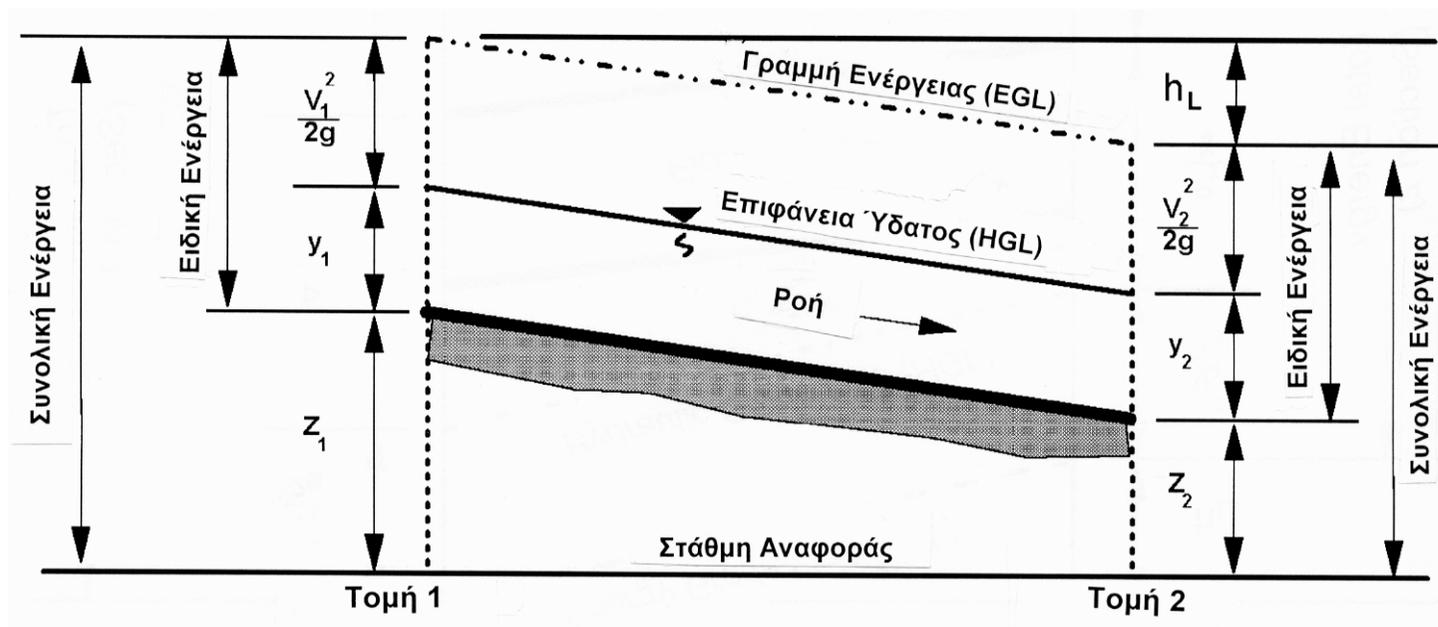
Η απλοποιημένη εξίσωση είναι εφαρμόσιμη όταν, οι υδραυλικές συνθήκες μεταξύ των δυο διατομών είναι σχετικά όμοιες (βαθμιαία μεταβολή ροής) και η κλίση της τάφρου είναι μικρή (μικρότερη από 18%).

Η απώλεια του ενεργειακού φορτίου μεταξύ των δυο διατομών συμβαίνει, λόγω της τραχύτητας των τοιχωμάτων της τάφρου και άλλων παραγόντων. 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:

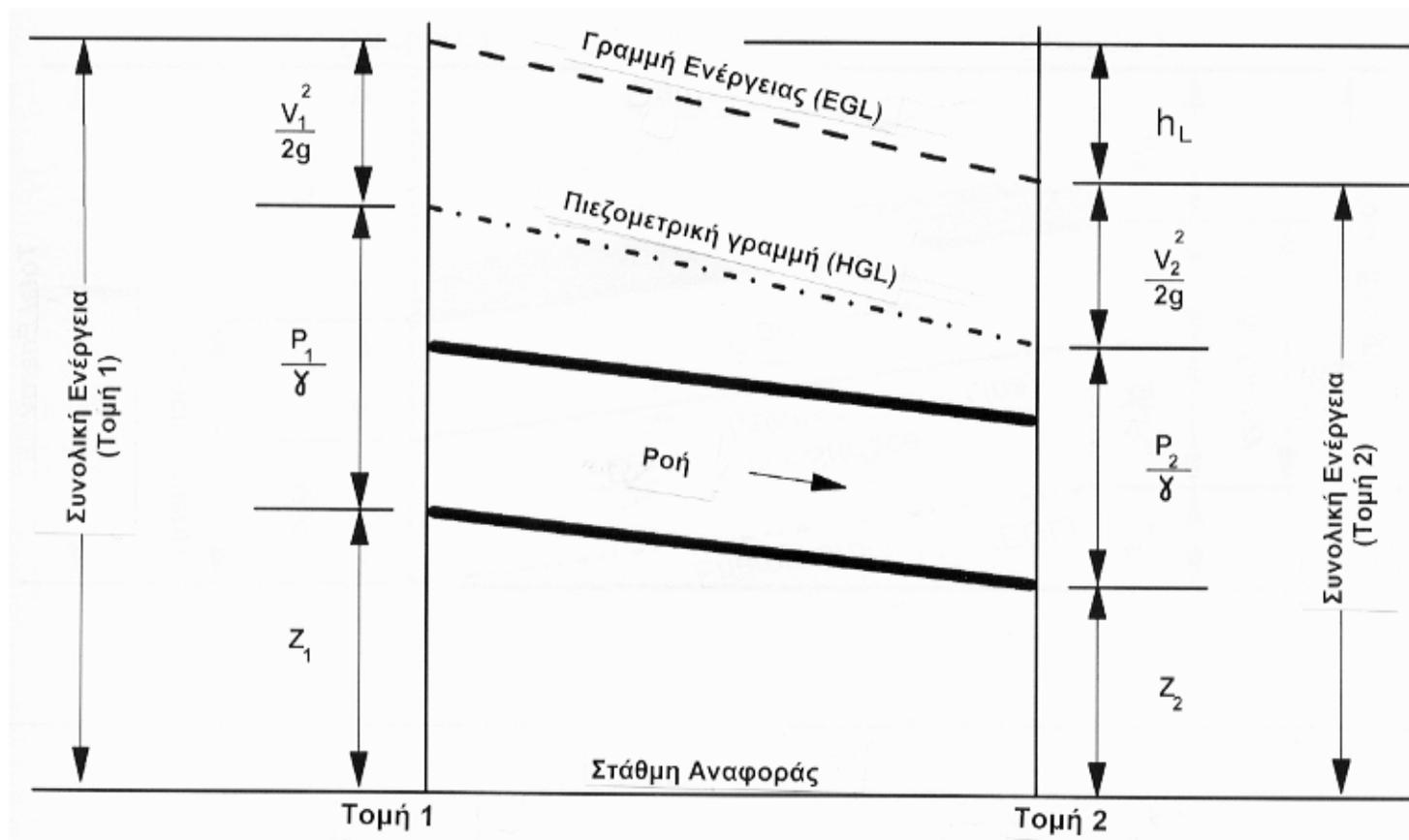
$$h_L = L (Qn/AR^{2/3})^2 \quad (3.3.3-4)$$

όπου:

- L [m] : η απόσταση μεταξύ των διατομών
 Q [m³/s] : η παροχή
 n [s/m^{1/3}] : ο συντελεστής τραχύτητας Manning
 A [m²] : 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 της κινηματικής του Newton, 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:

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

όπου:

F_x [N] : οι δυνάμεις κατά την κατεύθυνση x

ρ [1000 kg/m³] : η ένταση

β [-] : ο συντελεστής ορμής

Q [m³/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:

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

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

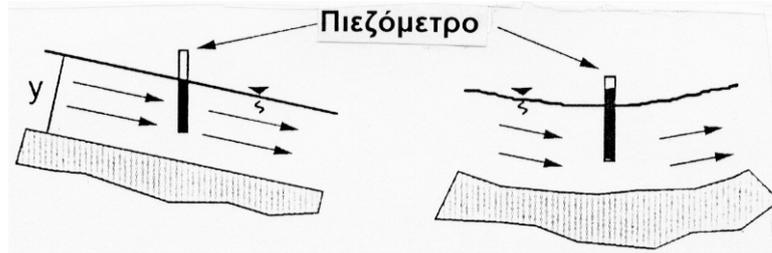
Όταν οι δυνάμεις που επενεργούν επί του υγρού, είναι η πίεση και το βάρος του υγρού, τότε η διαφορική εξίσωση της κίνησης σε μια τυχαία κατεύθυνση "x" είναι:

$$\frac{\partial(\rho/\gamma + Z)}{\partial x} = \frac{a_x}{g} \quad (3.3.5-1)$$

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

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

Εντούτοις, όταν υπάρχει επιτάχυνση, ο όρος του πιεζομετρικού ύψους $\rho/\gamma + Z$ 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_0 , ενώ στην καμπυλοειδή ροή, (βλ. Σχήμα 3.3.5-1 (β)), η πίεση είναι μεγαλύτερη από γy_0 , 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.

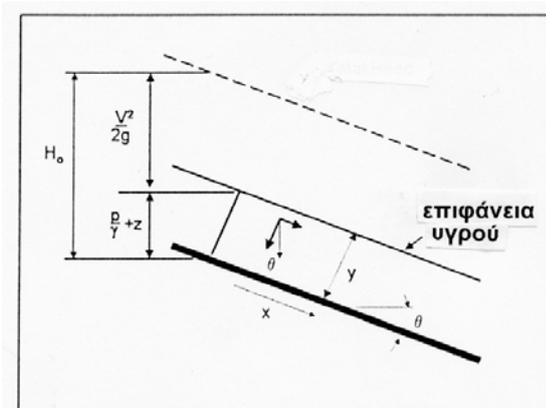
Στην εξίσωση (3.3.4-5) η σταθερή είναι ίση με μηδέν, για μετρούμενη πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια ενός υγρού, και για ροή με υδροστατική πίεση σε όλο το υγρό (μόνιμη, ομοιόμορφη ροή, ή βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή) συνεπάγεται ότι το ύψος πίεσης p/γ είναι ίσο με την κατακόρυφη απόσταση κάτω από την ελεύθερη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

$$p/\gamma = y \cos\theta \quad (3.3.4-6)$$

όπου:

y [m] : το βάθος μέχρι το εξεταζόμενο σημείο (κάθετη απόσταση μεταξύ πυθμένα και επιφάνειας)

θ [rad] : η γωνία μεταξύ του πυθμένα και του οριζώντιου επιπέδου, που συνήθως είναι μικρή και επομένως $\cos\theta \approx 1$ 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 Αλλουβιακών 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 (διαστασιολόγηση 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 μορφές:

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

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

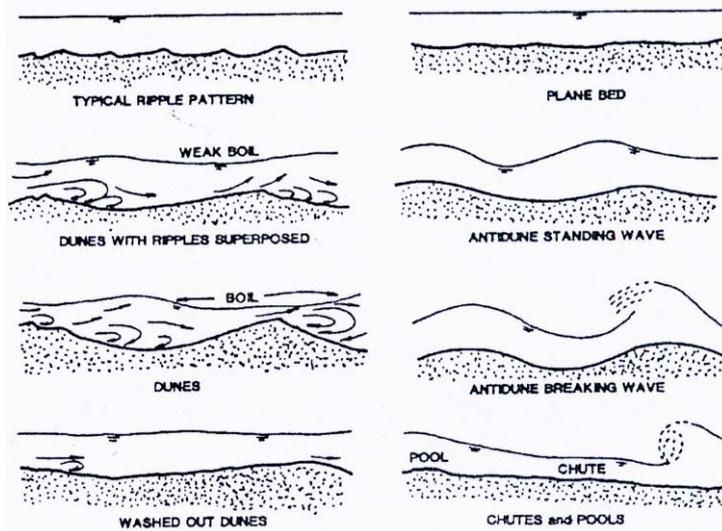
- Η μεταβατική ζώνη, όπου η μορφή της κοίτης μπορεί να κυμαίνεται, από εκείνη της τυπικής δίαιτας αβαθούς ροής έως εκείνη της δίαιτας της ροής με την ανώτατη στάθμη επιφάνειας νερού, σε συνάρτηση κυρίως με τις συνθήκες του προηγούμενου (ανάντη) τμήματος της τάφρου. Εάν ο σχηματισμός της κοίτης του προηγούμενου τμήματος αποτελείται από αμμοθίνες, 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 αντιαμμοθίνες. Ο κυματισμός της επιφάνειας του νερού παρακολουθεί στην ίδια φάση τον κυματισμό του πυθμένα, εκτός όταν μια αντιαμμοθίνα 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 πληροφορία 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 αμμοθίνες σε μια μεταβατική κατάσταση ή σε μορφή επίπεδης κοίτης. Εάν η κλίση είναι μεγάλη μπορεί να συμβαίνει ροή με αντιαμμοθίνες. 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 αντιαμμοθίνας.



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 τον τρόπο θωράκισης 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 κατα-

κόρυφη 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.

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

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

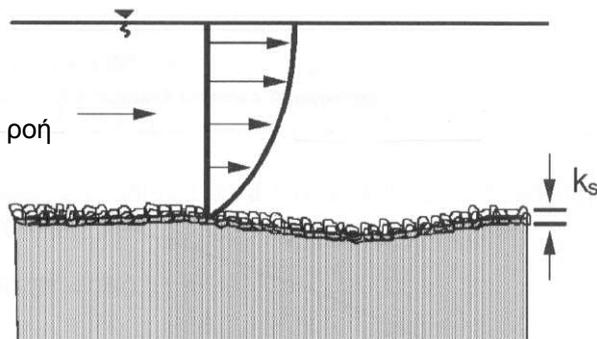
| Έργο | Ιδιότητες τοιχωμάτων | Συντελεστής n [m ^{-1/3} · s] |
|---|---|--|
| Ταπεινωμένη τάφος νησίδας | • Γαιώδη (χωρίς φυτική κάλυψη) | 0,040 |
| | • Γαιώδη (με φυτική κάλυψη) | 0,050 |
| | • Χαλικόστρωτα | 0,055 |
| Επενδεδυμένες τάφροι (αποχέτευσης, συνέχειας, οφρύος, κτλ.), έγχυτοι ορθογωνικοί αγωγοί | Παλαιό σκυρόδεμα με καθαρές επιφάνειες | 0,016 |
| "Αβαθείς Πλευρικές τάφροι" επενδεδυμένες (τριγωνικές, τραπεζοειδείς, ρείθρα οδών) | Παλαιό σκυρόδεμα, ασφαλτικό οδό- στρωμα (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 | • πυθμένας τάφρου με αποθέσεις | 0,025 |
| | • ανώμαλος βραχώδης | 0,030 |
| Ανεπένδυτοι τάφροι σε βραχώδες έδαφος | Ανώμαλη περίμετρος | 0,040 |
| Επενδεδυμένες τάφροι με συρματοκιβώτια ή με λιθορριπή (Rip-Rap) | Λίθοι με ομαλές επιφάνειες | 0,025 |
| Σωληνωτοί αγωγοί ακαθάρτων (για ροή λυμάτων με βαρύτητα) | • Πλαστικοί | 0,014 |
| | • Αμιαντοτσιμεντοσωλήνες | 0,015 |
| | • Τσιμεντοσωλήνες | 0,016 |
| Χαλυβδοσωλήνες Ελατός Χάλυβας | • Γαλβανισμένες επιφάνειες | 0,013-0,017 |
| | • Μαύρες επιφάνειες | 0,012-0,015 |
| Ελατοί Χυτοσιδηροί αγωγοί | • Επενδεδυμένες επιφάνειες | 0,011-0,014 |
| | • Ανεπένδυτες επιφάνειες | 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. Ακαμπτα 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 όχθων 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 | Antidunes | 0,012-0,020 |

4.3.2 Κατανομή ταχύτητας

Μερικές φορές σε οδικά έργα για το σχεδιασμό των αγωγών αποχέτευσης χρειάζεται η γνώση της καθ' ύψος κατανομής της ταχύτητας ροής (π.χ. μελέτη λιθορριπής και έλεγχος διάβρωσης). Ως αποτέλεσμα της τραχύτητας των παρειών του αγωγού, η ταχύτητα μεταβάλλεται καθ' ύψος (βλ. Σχήμα 4.3.2-1) από μια ελάχιστη στον πυθμένα σε μια μέγιστη κοντά στην επιφάνεια.



Σχήμα 4.3.2-1: Σχηματική αναπαράσταση κατανομής ταχύτητας

Αυτή η κατανομή για σταθερή ομοιόμορφη ροή προκύπτει από τις εξισώσεις:

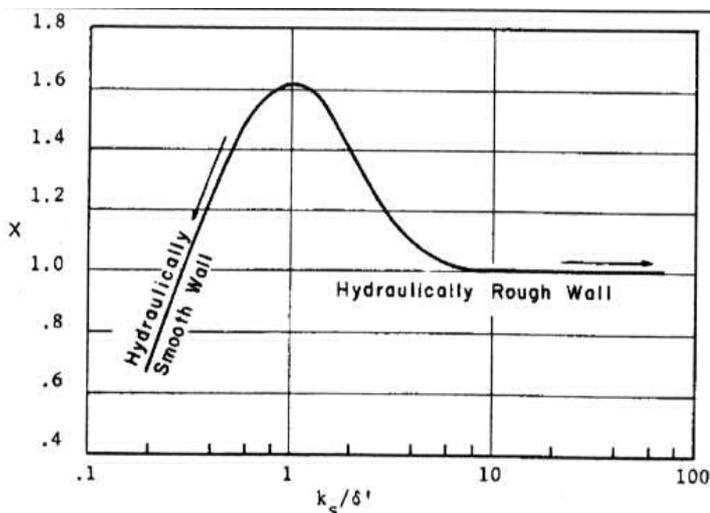
$$\frac{V}{V_*} = 5,75 \text{ Log } (30,2 Xy/Ks) \quad (4.3.2-1)$$

και

$$\frac{V}{V_*} = 5,75 \text{ Log } (12,27 Xy_0/Ks)$$

όπου:

- X [-] : Συντελεστής εξαγόμενος από το διάγραμμα του Σχήματος 4.3.2-2
- Ks [m] : Μέτρο της καθ' ύψος τραχύτητας, ποικίλει από το μέγεθος D_{84} για αύλακες με πυθμένα από σκέτη άμμο, έως 3,5 φορές D_{84} για πυθμένα με διαβαθμισμένο χονδρόκοκκο υλικό. Για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιείται η τιμή $3,5 D_{84}$
- y [m] : Βάθος σε συγκεκριμένη θέση
- v [m/s] : Τυπική μέση ταχύτητα στο βάθος y
- y_0 [m] : Βάθος ροής
- V [m/s] : Ταχύτητα στο μέσο βάθος
- V_* [m/s] : Διατμητική ταχύτητα $(\tau_0/\rho)^{1/2}$
- τ_0 [N/m²] : Διατμητική τάση στις πλευρές
- δ' [m] : Πάχος διατμητικής τάσης $11,6 \mu/V_*$
- μ [N-s/m²] : Δυναμικό ιξώδες νερού, Πίνακας 4.3.2-1
- ρ [kg/m³] : Πυκνότητα νερού



Σχήμα 4.3.2-2: Συντελεστής πολλαπλασιασμού X στις λογαριθμικές εξισώσεις ταχύτητας (Einstein 1950)

Πίνακας 4.3.2-1: Φυσικές ιδιότητες υπό ατμοσφαιρική πίεση

| Βαθμοί Κελσίου | Πυκνότητα (ρ) | Ειδικό βάρος | Δυναμικό ιξώδες (μ) | Κινηματικό ιξώδες | Πίεση ατμού | Επιφανειακή τάση | Μέτρο διόγκωσης |
|----------------|----------------------|--------------|---------------------------|-----------------------|-------------|------------------|-----------------|
| 0 | 1.000 | 9.810 | $1,79 \times 10^{-3}$ | $1,79 \times 10^{-6}$ | 611 | 0,0756 | 1,99 |
| 5 | 1.000 | 9.810 | $1,51 \times 10^{-3}$ | $1,51 \times 10^{-6}$ | 872 | 0,0749 | 2,05 |
| 10 | 1.000 | 9.810 | $1,31 \times 10^{-3}$ | $1,31 \times 10^{-6}$ | 1.230 | 0,0742 | 2,11 |
| 15 | 999 | 9.800 | $1,14 \times 10^{-3}$ | $1,44 \times 10^{-6}$ | 1.700 | 0,0735 | 2,16 |
| 20 | 998 | 9.790 | $1,00 \times 10^{-3}$ | $1,00 \times 10^{-6}$ | 2.340 | 0,0728 | 2,20 |
| 25 | 997 | 9.781 | $8,91 \times 10^{-4}$ | $8,94 \times 10^{-7}$ | 3.170 | 0,0720 | 2,23 |
| 30 | 996 | 9.771 | $7,97 \times 10^{-4}$ | $8,00 \times 10^{-7}$ | 4.250 | 0,0712 | 2,25 |
| 35 | 994 | 9.751 | $7,20 \times 10^{-4}$ | $7,24 \times 10^{-7}$ | 5.630 | 0,0704 | 2,27 |
| 40 | 992 | 9.732 | $6,32 \times 10^{-4}$ | $6,58 \times 10^{-7}$ | 7.380 | 0,0696 | 2,28 |
| 50 | 988 | 9.693 | $5,47 \times 10^{-4}$ | $5,53 \times 10^{-7}$ | 12.300 | 0,0679 | |
| 60 | 983 | 9.643 | $4,66 \times 10^{-4}$ | $4,74 \times 10^{-7}$ | 20.000 | 0,0662 | |
| 70 | 978 | 9.594 | $4,04 \times 10^{-4}$ | $4,13 \times 10^{-7}$ | 31.200 | 0,0644 | |
| 80 | 972 | 9.535 | $3,54 \times 10^{-4}$ | $3,64 \times 10^{-7}$ | 47.400 | 0,0626 | |
| 90 | 965 | 9.467 | $3,15 \times 10^{-4}$ | $3,26 \times 10^{-7}$ | 70.100 | 0,0607 | |
| 100 | 958 | 9.398 | $2,82 \times 10^{-4}$ | $2,97 \times 10^{-7}$ | 101.300 | 0,0589 | |

4.3.3 Διατμητική τάση

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

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

$$\tau_0 = \gamma R S_0 \quad (4.3.3-1)$$

όπου:

τ_0 [N/m²] : μέση διατμητική τάση επί της βρεχόμενης περιμέτρου

γ [N/m³] : ειδικό βάρος του νερού

R [m] : υδραυλική ακτίνα

S_0 [m/m] : κατά μήκος κλίση της τάφρου, (σε βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή χρησιμοποιείται η κλίση της γραμμής της ενέργειας δηλαδή, $S_0=S_f$)

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

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

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

όπου:

τ_0 [N/m²] : διατμητική τάση σε ένα σημείο της ροής

v_1 και v_2 [m/s] : σημειακές ταχύτητες αντίστοιχα σε βάθη Y_1 και Y_2

V [m/s] : μέση ταχύτητα καθ' ύψος

ρ [kg/m³] : πυκνότητα νερού

y_0 [m] : βάθος στο οποίο η ταχύτητα είναι ίση με τη μέση ταχύτητα καθ' ύψος

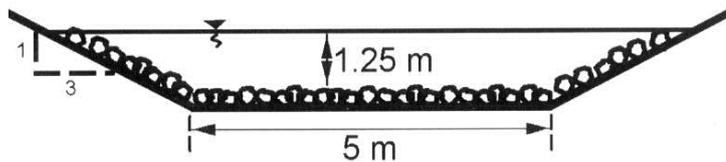
k_s [m] : μέτρο του ύψους τραχύτητας, μεταβάλλεται από το μέγεθος D_{84} για κοίτη τάφρου καθαρής άμμου, έως $3,5 D_{84}$ για κοίτη ρέματος χονδρόκοκκου υλικού για πρακτικούς λόγους εφαρμόζεται η τιμή $3,5 D_{84}$.

Παράδειγμα

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

Δεδομένα:

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



Ζητούμενα:

- (1) η διατμητική τάση: " τ_0 " κατά μήκος της βρεχόμενης περιμέτρου
- (2) η διατμητική τάση: " τ_0 " κατά μήκος της κοίτης
- (3) οι απαιτούμενες διαστάσεις της λιθορριπής

Λύση:

- (1) η διατμητική τάση κατά μήκος της βρεχόμενης περιμέτρου υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\tau_0 = \gamma R S$$

$$A = 5 \times 1,25 + 3 \times 1,25^2 = 10,94 \text{ m}^2 \text{ (επιφάνεια διατομής)}$$

$$P = 5 + 2 \times 1,25 \times 10^{0,5} = 12,91 \text{ m (βρεχόμενη περίμετρος)}$$

$$R = 10,94/12,91 = 0,85 \text{ m (υδραυλική ακτίνα)}$$

$$\tau_0 = 9\,800 \times 0,85 \times 0,005 = 41,7 \text{ N/m}^2$$

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

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

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

Επομένως από τον επόμενο πίνακα επιλέγονται οι απαιτούμενες διαστάσεις λίθων.

Πίνακας 4.3.3-1: Επιτρεπόμενη διατμητική τάση ανάλογα υλικού επένδυσης

| Διαστάσεις λίθων [mm] | Επιτρεπόμενη διατμητική τάση τ_0 [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 παροχетеυτικότητα μιας αποχетеυτικής τάφρου εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθος, την κλίση και την τραχύτητα των τοιχωμάτων της. Για μια τάφρο με δεδομένη διατομή η παροχетеυτικότητα γίνεται μεγαλύτερη όταν η κλίση ή το βάθος ροής αυξάνεται. Η παροχетеυτικότητα 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 παροχетеυτικότητα 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. Όχι μόνο το βάθος και το πλάτος της τάφρου μπορεί να μεταβάλλεται με αντίστοιχη μεταβολή της παροχетеυτικότητας, 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 αποχетеυτική 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 κατεισδίδοντα νερά κτλ. Τυπικά υλικά επένδυσης είναι οι χλοοτάπητες, οι λιθοριπές 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 στερεώννε-

ται με κατάλληλες αγκυρώσεις. Οι μόνιμες εύκαμπτες επενδύσεις περιλαμβάνουν φύτευση και βραχώδης λιθορριπές. Οι λιθορριπές εκφορτώνονται επάνω σε φίλτρο κοκκώδες ή γαιουφάσματος, 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 διασυνδεδεμένα 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 σκυροδέμα 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. Ένα 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 παρόδων 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.

Έχουν 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 διατμητική ένταση επί της κοίτης και των όχθων 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 διατμητική 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 τότε οι επιφάνειες της τάφρου δεν πρέπει να θεωρούνται σταθεροποιημένες. 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 μεγάλα 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 | Πάχος στρώσης 25 mm | 15,8 |
| | Πάχος στρώσης 50 mm | 32,1 |
| | Πάχος στρώσης 150 mm | 95,8 |
| | Πάχος στρώσης 300 mm | 191,5 |
| Γυμνά εδάφη | Μη συνεκτικά | Βλ. HEC-15** |
| | Συνεκτικά | |

* Μερικές «προσωρινές» επενδύσεις γίνονται μόνιμες όταν επικαλύπτονται.

** Εγκύκλιος της FHWA

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 |
| Άκαμπτη | 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 | Πάχος στρώσης 25 mm D ₅₀ | 0,044 | 0,033 | 0,030 |
| | Πάχος στρώσης 50 mm D ₅₀ | 0,066 | 0,041 | 0,034 |
| | Πάχος στρώσης 150 mm D ₅₀ | 0,104 | 0,069 | 0,035 |
| | Πάχος στρώσης 300 mm D ₅₀ | - | 0,078 | 0,040 |

* Μερικές «προσωρινές» επενδύσεις γίνονται μόνιμες όταν επικαλύπτονται από φερτά υλικά

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 παραπλευρώς της οδού είναι μια άλλη περίπτωση ροής ανοικτού αγωγού.

Το νερό επί του οδοστρώματος επιβραδύνει την κυκλοφορία των οχημάτων και συνεισφέρει σε ατυχήματα, λόγω υδρωλίσθησης 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.

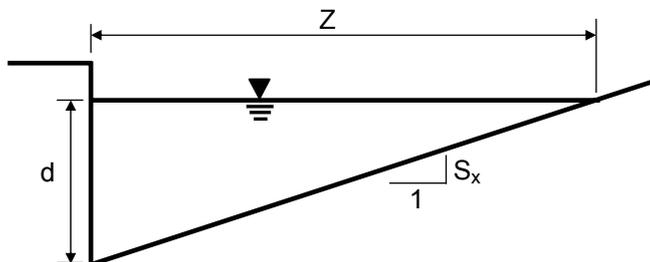
Η κατά μήκος κλίση της οδού επηρεάζει το εύρος κατάκλυσης του οδοστρώματος. Σε οδοστρώματα με κράσπεδα, τυπικά απαιτείται μια ελάχιστη κλίση 0,3% που υποβοηθά την αποχέτευση. Οι ελάχιστες κλίσεις μπορεί να επιτυγχάνονται στις περιπτώσεις οδών σε επίπεδα εδάφη με κατάλληλο σχεδιασμό της μηκοτομής και 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 υδρωλίσθησης.

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 (AI) έως (AIV) και σε αστικές οδούς κατηγορίας (BI) (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 (Z) 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 παροχетеυτικότητας της ροής σε αβαθή τάφρο είναι μια τροποποιημένη έκδοση της εξίσωσης του Manning. Αυτή βασίζεται σε μια τιμή τραχύτητας $n=0,015 \text{ s/m}^{1/3}$. 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:

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

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

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

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

όπου:

d [mm] : το βάθος ροής στην όψη του κρασπέδου

Q [m^3/s] : η παροχетеυτικότητα 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 προσ αυξάνονται οι προηγούμενες τιμές κατά | + 0,002 |

Σημείωση: Εκτιμώμενες τιμές από FHWA

5.3.3 Συστήματα αποχέτευσης με υπόνομο και στόμια υδροσυλλογής σχισμής

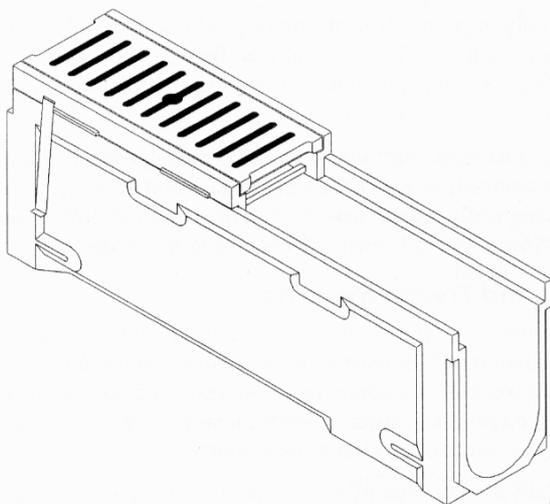
Είναι γεγονός ότι, οι συνθήκες που προϋποθέτουν τη χρήση συστήματος αποχέτευσης με υπόνομο και στόμια υδροσυλλογής σχισμής μπορεί στην πραγματικότητα να εμποδίζουν την αποδοτικότητα του. Τα στόμια υδροσυλλογής με σχισμή συνήθως τοποθετούνται σε τμήματα με ελάχιστη κατά μήκος κλίση και επίκλιση για μεγαλύτερη 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 στρογγυλεμένες 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 $>0,14 \text{ m}^3/\text{s}$ 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”, ανοξειδωτος 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 εγκάρσιες της οδού διατάξεις για την κατά διαστήματα εκτόνωση της τάφρου. Η εκτόνωση γίνεται είτε με φρεάτια υδροσυλλογής και αγωγούς τοποθετούμενους μέσα στο σώμα του επιχώμα-

τος, 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 ≥ 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 :

$$Q_i = Q [R_f E_o + R_s (1-E_o)] \quad (5.4.2-1)$$

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_o) 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, ($Z = \beta : u$)

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 αυτοκινητοδρόμων, 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 [m²] : 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

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

- β. Για λειτουργία οπής (χωρίς τοπική ταπείνωση ρείθρου)

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

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 προηγούμενες 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 στη 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 «οπή», 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 ρεΐθρο)

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

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

β. με λειτουργία οπής

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

για το σύνθητες πλάτος οπής 4 cm η εξίσωση γίνεται:

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

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 παροχευτικότητα επιμήκους στομίου με σχισμή πλάτους $W = 1$ cm. 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 Νο 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 m³/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} [m³/s] : το μέρος της ροής έξω από το πλάτος της σχάρας

Q [m³/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 παροχетеυτικότητα ενός στομίου που λειτουργεί ως υπερχειλιστής υπολογίζεται από την εξίσωση:

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

όπου:

Q [m³/s] : η παροχетеυτικότητα 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:

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

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 στομιών 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" | Ένταση βροχόπτωσης "i" | Q=CiA/(3,6·10 ⁶) "a" | Κατά μήκος κλίση "S _z " | Εγκάρσια κλίση "S _x " | Προηγούμενη προσπερούσα ροή "Q _{b-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 " | Προσπερούσα παροχή (ροή) "Q _b " | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | [m ²] | |
| No | ΧΘ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 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 δεν είναι 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 τομής, 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 όμβριων. Η εξίσωση Manning συνδυαζόμενη με την εξίσωση συνέχειας σε αγωγό κυκλικής διατομής, με πληρότητα 100% μπορεί να γράφεται ως:

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

όπου:

Q [m^3/s] : η παροχή

n [$m^{-1/3} \cdot s$] : ο συντελεστής Manning

S [m/m] : η 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] | $D \leq 400$ | $400 < D \leq 600$ | $600 < D$ |
| Βάθος ροής y_{max} | $\leq 0,50D$ | $\leq 0,60D$ | $\leq 0,70D$ |

Πίνακας 6.1-1: Ονομαστικές διαμέτροι 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 πλέον 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 όμβριων 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

Όταν 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:

$$h_f = L S_f \quad (6.3.1-1)$$

όπου:

h_f [m] : οι απώλειες τριβής

L [m] : το μήκος αγωγού

S_f [m/m] : η 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 :

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

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

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

και για ροή υπό πίεση σε κυκλικό αγωγό:

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

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 κατακάλυψη, ή πλευρικές κινήσεις εδαφικού υλικού, αποθέσεις φερτών. Άλλοι 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, ενώ όταν αυτές δεν υπολογίζονται στο σχεδιασμό, η πραγματική παροχτευτικότητα 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, αντίστοιχα με το είδος της κατασκευής που δημιουργεί

τις απώλειες, (φρεάτια επίσκεψης, καμπύλες, στόμια υδροσυλλογής, κτλ.). Η γενική μορφή της εξίσωσης είναι:

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

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. Ίσως 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:

$$K = K_0 \cdot C_D \cdot C_d \cdot C_Q \cdot C_p \cdot C_B \quad (6.3.2.1-1)$$

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, ως εξής:

$$K_0 = 0,1 \cdot \frac{b}{D_0} \cdot (1 - \sin \theta) + 1,4 \cdot \left(\frac{b}{D_0} \right)^{0,15} \cdot \sin \theta \quad (6.3.2.1-2)$$

όπου:

K_0 : 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_0 : 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:

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

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 $d/D_o > 3,2$. Ως εκ τούτου, γίνεται εφαρμογή μόνο σε τέτοιες περιπτώσεις.

Ο συντελεστής διόρθωσης λόγω βάθους ροής, C_d υπολογίζεται ως:

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

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 είναι $d/D_o < 3,2$ 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:

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

όπου:

C_Q : 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

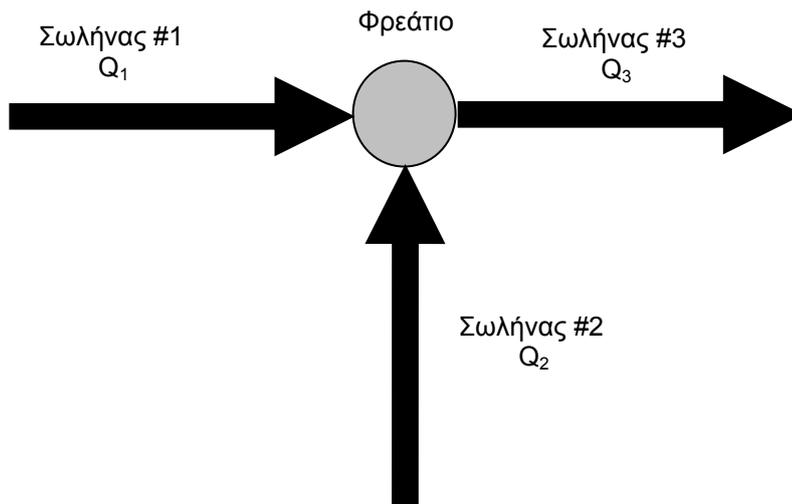
Ο συντελεστής C_Q είναι μια συνάρτηση της γωνίας της προσερχόμενης ροής, όπως επίσης του ποσοστού της προσερχόμενης ροής δια του σωλήνα που ενδιαφέρει και αντιστρόφως ανάλογος της ροής των άλλων προσερχόμενων σωλήνων. Αυτό το γεγονός καταδεικνύεται με τη βοήθεια του σχήματος 6.3.2.1-1, όπου δίνονται οι παραδοχές: $Q_1=3 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2=1 \text{ m}^3/\text{s}$ και $Q_3=4 \text{ m}^3/\text{s}$. 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:

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

Για ένα δεύτερο παράδειγμα με τις παραδοχές: $Q_1=1 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2=3 \text{ m}^3/\text{s}$ και $Q_3=4 \text{ m}^3/\text{s}$. Υπολογίζοντας το συντελεστή Q_o σε αυτή την περίπτωση προκύπτει:

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

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 ο 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:

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

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 μεταβαλλόμενης διατομής

Αυτές υπολογίζονται ως:

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

όπου:

$\left| \frac{V_u^2 - V_d^2}{2g} \right|$: η απόλυτη τιμή 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 μεταβαλλόμενης διατομής, εφαρμόζεται η εξίσωση:

Μεταβολή αυξανόμενης διατομής

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

όπου:

K_e : λαμβάνεται 1,0 για απότομη αύξηση διατομής ή 0,2 στην περίπτωση σχεδιασμένης μεταβολής

6.3.2.3 Απώλειες λόγω καμπύλης

Μετρήσιμη απώλεια λόγω καμπύλης συμβαίνει όταν ένας αγωγός παρουσιάζει αλλαγή κατεύθυνσης $>15^\circ$. Ο υπολογισμός αυτής της απώλειας εκφράζεται ως:

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

όπου:

V [m/s] : η ταχύτητα ροής μέσα στο σωλήνα

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

g [m/s²] : η επιτάχυνση της βαρύτητας

φ [μοίρες] : η επίκεντρη γωνία της καμπύλης

7. ΟΔΙΚΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ

7.1 Εισαγωγή

Τα υδραυλικά προβλήματα που εμφανίζονται στις θέσεις τεχνικών έργων των οδών αντιμετωπίζονται με τις υδραυλικές μελέτες, των οποίων το αντικείμενο είναι:

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

7.2 Αποχέτευση Καταστρώματος Γεφυρών

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

7.2.1 Διαδικασία μελέτης

Για τη μελέτη αποχέτευσης μιας γέφυρας εφαρμόζεται η ακόλουθη διαδικασία.

- (1) Προσδιορίζεται η ανάγκη τοποθέτησης διατάξεων αποχέτευσης του καταστρώματος της γέφυρας.
- (2) Εφόσον τέτοιες διατάξεις χρειάζονται, τότε προσδιορίζεται το μέγεθος και η απόσταση μεταξύ των στομιών υδροσυλλογής.
- (3) Ερευνώνται εκείνες οι συνθήκες όπου ο κίνδυνος υδρωλίσθησης των οχημάτων θα πρέπει να αντιμετωπισθεί.
- (4) Αξιολογείται η ορατότητα του οδηγού για τις συνθήκες βροχόπτωσης (βλ. §2.4.2).
- (5) Αξιολογείται και προβλέπεται η αποχέτευση στις περιοχές ακροβάθρων της γέφυρας, όπως αρμόζει.

Για την υλοποίηση αυτής της διαδικασίας χρειάζεται μόνο η πληροφορία για τα στοιχεία, που είναι:

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

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

Η άρτια μελέτη αποχέτευσης προϋποθέτει τη γνώση για του τρόπου ροής των όμβριων επί της οδού και μεταξύ αυτής και της κατασκευής της γέφυρας. Σημειώνεται ότι, ενώ μπορεί να μην είναι αναγκαία η αποχέτευση του καταστρώματος, η πρόνοια για την αποχέτευση στα ακρόβαθρα της γέφυρας είναι πάντα απαραίτητη. Η πλήρης εκτόνωση της απορροής, που προσέρχεται από την ανάντη (ως προς τη γέφυρα) πρόσβαση της οδού, χρειάζεται ώστε αυτή να μη εισρέει στο κατάστρωμα της γέφυρας. Αντιστοίχως, στην κατάντη πρόσβαση της οδού 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 εν λόγω διαδικασία αναμένεται, αλλά και ενθαρρύνεται, η αντιμετώπιση των ζητημάτων με την κρίση του μηχανικού. Εντούτοις, εφόσον ο μελετητής αποφασίζει να παρεκκλίνει από τις εν λόγω διαδικασίες, τότε οι λόγοι της παρέκκλισης πρέπει να δηλώνονται με πλήρη σαφήνεια και να αποφασίζονται εγγράφως πριν από την εκπόνηση της οριστικής μελέτης αποχέτευσης 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 επιτρεπόμενο 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 που ορίζεται από την οριογραμμή κυκλοφορίας μέχρι την όψη του κρασπέδου (αν υπάρχει), ή του ποδός του στηθαίου ασφαλείας. Δηλαδή, 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 όμβριων (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 είναι μεταβαλλόμενη όταν το κατάστρωμα εμπεριέχεται σε κατακόρυφη καμπύλη της χάραξης. Ο υπολογισμός του μήκους L_s για τα απαιτούμενα στόμια υδροσυλλογής, γίνεται με την 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 Αποχέτευσης Καταστρώματος Γέφυρας

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 υμένα νερού στην επιφάνεια οδοστρώματος (βλ. Σχήμα 7.3.1-1). Υπολογίζεται η συνισταμένη κλίση (S_f) της λοξής διαδρομής της ροής επί της επιφάνειας οδοστρώματος, που δημιουργείται από το συνδυασμό της κατά μήκος κλίσης και της εγκάρσιας κλίσης του καταστρώματος της οδού από την ακόλουθη εξίσωση.

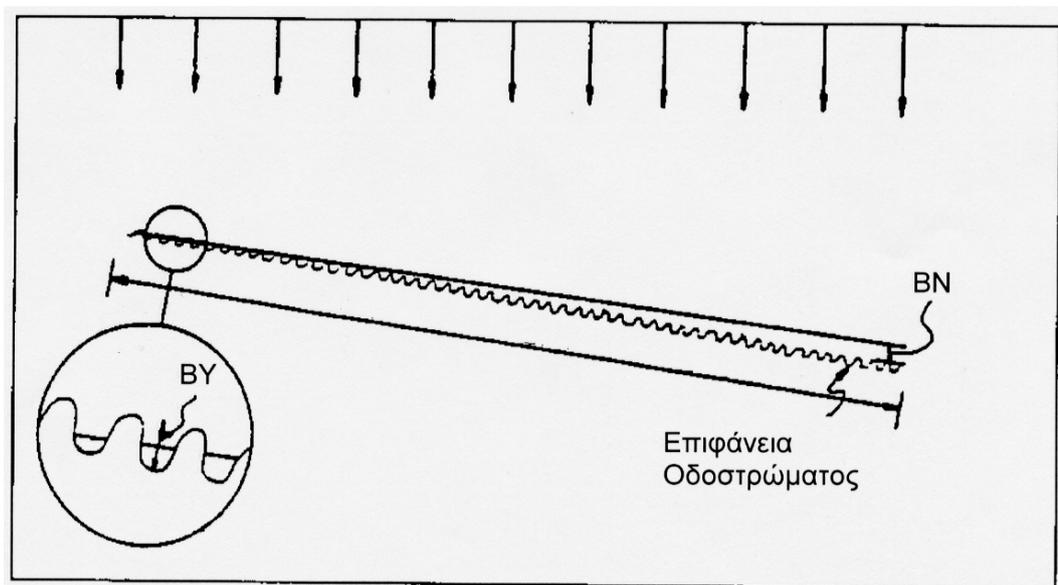
$$S_f = (S_x^2 + S^2)^{0,5} \quad (7.3.1-1)$$

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

όπου :

S_f [mm] : Η συνισταμένη κλίση

L_f [m] : Το μήκος διαδρομής της ροής



BY : Βάθος Υψής οδοστρώματος, το βάθος που ορίζει η απόσταση της μέσης στάθμης, μεταξύ των κορυφών και των κοιλάδων της μικροεπιφάνειας του οδοστρώματος, από τη μέση στάθμη των εν λόγω κοιλάδων

BN : Βάθος Νερού

Σχήμα 7.3.1-1: Σχηματισμός πάχους νερού στην επιφάνεια οδοστρώματος

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 υψής της επιφάνειας κυκλοφορίας (BY), η συνισταμένη (λοξή) κλίση (S_f) 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:

$$(BN) = 0,103 (BY^{0,11} L_f^{0,43} i^{0,59} / S_f^{0,42}) - BY \quad (7.3.1-3)$$

όπου:

- BN [mm] : το βάθος νερού πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος (δεν περιλαμβάνεται το βάθος της υψής)
- L_f [m] : μήκος ροής
- BY [mm] : το μέσο βάθος της υψής, σε κανονικές συνθήκες οδοστρώματος λαμβάνεται η τιμή 0,4 mm
- i [mm/h] : ένταση βροχόπτωσης, λαμβάνεται ως μέγιστη τιμή 50 mm/h
- S_f [m/m] : συνισταμένη των κλίσεων εγκαρσίως (S_x) και κατά μήκος (S)

Η μεταβολή του βάθους του 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, δη-

λαδή η 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), όταν προκύπτει βάθος νερού μεγαλύτερο από 1,5 έως 5 mm, τότε πρέπει να λαμβάνονται μέτρα πρόληψης της υδρωλίστεσης ή/και μείωσης της σοβαρότητας των συνεπειών από τις αναμενόμενες εκτροπές οχημάτων.

Εφόσον η υδρωλίστεση 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 «συγχωρητικότητα» της επιφάνειας επί και γύρω από τη γέφυρα. Λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως: το μήκος της γέφυρας, το πλάτος ερεισμάτων, η θέση των στηθαίων, ενώ επί της οδού λαμβάνονται υπόψη και οι τεχνητές ή φυσικές επιφάνειες εντός της ελεύθερης ζώνης της οδού (βλ. ΟΜΟΕ-ΣΠΕΟ), τα πρανή με κλίση $u:\beta \geq 1:3$, καθώς και η παρουσία ακλόνητων εμποδίων σε απόσταση μικρότερη των 9 m από την οριογραμμή κυκλοφορίας της οδού. Επίσης λαμβάνεται υπόψη το μήκος ευθυγραμμίας της χάραξης.

Τα διορθωτικά μέτρα που λαμβάνονται είναι: η αντιμετώπιση με εφαρμογή αντιολισθηρών στρώσεων ή με άλλες μεθόδους, π.χ. με αύξηση του βάθους υψής της επιφάνειας κυκλοφορίας, ή με άλλο πρόσφορο τρόπο περιορισμού της ποσότητας της απορροής. Αυτά τα μέτρα πρέπει να εφαρμόζονται έτσι ώστε να αποτρέπονται αρνητικές συνέπειες στα χαρακτηριστικά της ροής του ρείθρου.

Μερικές από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την υδρωλίστεση γίνονται περισσότερο αντιληπτές με τα ακόλουθα συγκριτικά στοιχεία.

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

Σε συνθήκες μέσης κατάστασης επιφάνειας κυκλοφορίας και ελαστικών οχήματος, η ταχύτητα $V=90$ km/h είναι εκείνη που ενδιαφέρει πρακτικά για τον έλεγχο της υδρωλίστεσης. Για μικρότερες ταχύτητες, η κατά 1% μείωση της ταχύτητας, αυξάνει το αποδεκτό μέγιστο βάθος νερού, όπου δεν αναμένεται υδρωλίστεση, κατά 25%. Σε μικρότερες ταχύτητες, η έντονη βροχόπτωση από μόνη της γενικά δεν επαρκεί για να δημιουργηθεί αιτία υδρωλίστεσης. Για ταχύτητες μεγαλύτερες από 90 km/h, η κατά 1% αύξηση της ταχύτητας μειώνει το αποδεκτό μέγιστο βάθος, όπου δεν αναμένεται υδρωλίστεση, κατά 25%. Το τελευταίο σημαίνει ότι για ταχύτητες μεγαλύτερες από 90 km/h η υδρωλίστεση μπορεί να συμβεί σε εξαιρετικά λεπτές μεμβράνες νερού σε συνδυασμό με πολύ ασθενείς βροχοπτώσεις της τάξης των 25 mm/h και λιγότερο, οι οποίες συνήθως είναι μικρότερες από εκείνες που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό των ρείθρων, των στομίων υδροσυλλογής και των αγωγών όμβριων. Οι προαναφερόμενες σχέσεις μεταβολής των παραμέτρων που επηρεάζουν την ανάπτυξη του κρίσιμου βάθους υδρωλίστεσης συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 7.3.1-1: Σχέση χαρακτηριστικών παραμέτρων - βάθους νερού

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

Ο βαθμός κινδύνου για να συμβεί υδρωλίσθηση μπορεί να αξιολογείται ανάλογα με την ταχύτητα του οχήματος και σε σχέση με τα βάθη του υμένα νερού (BN), σύμφωνα με τον επόμενο πίνακα.

| Ταχύτητα [km/h] | Βαθμός κινδύνου | | |
|--------------------|-----------------|------------|--------|
| | χαμηλός | μέσος | υψηλός |
| V<80 | 2,5<BN<4,0 | 4,0<BN<5,0 | 5,0<BN |
| 80<V | 2,5<BN<3,2 | 3,2<BN<4,0 | 4,0<BN |

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

Η ένταση βροχόπτωσης με τιμή $i = 100 \text{ mm/h}$ είναι η στάθμη βροχόπτωσης πάνω από την οποία η ορατότητα του οδηγού φτάνει σε επίπεδα που δεν συνδράμουν την οδήγηση. Από την άποψη της ασφάλειας του οδηγού η τιμή της έντασης $i = 100 \text{ mm/h}$ αποτελεί το άνω αποδεκτό όριο μελέτης. **Ο έλεγχος της αποχέτευσης του οδοστρώματος για εντάσεις μεγαλύτερες από 100 mm/h έχει αμελητέα αξία από την άποψη της ασφάλειας του οδηγού. Κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων με $i > 100 \text{ mm/h}$ 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 καμπύλη της μηκοτομής, τότε η πιθανότητα σχηματισμού λιμνάζοντος 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:

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

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

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

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 στομιών υδροσυλλογής

Πριν από τον υπολογισμό των αποστάσεων για τις θέσεις των στομιών 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 στομιών 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, προκειμένου να αποφεύγεται η διαβροχή των μελών της γέφυρας με την επιρροή των ανέμων. Τα χημικά συστατικά της απορροής θα προκαλούν διάβρωση και καταστροφή, γι αυτό 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 το έδαφος δεν είναι βραχώδες, τότε μπορεί να χρειάζεται η τοποθέτηση τεχνικών ή φυσικών ογκολίθων, ή λιθορριπής επάνω σε γαιούφασμα. Η απορροή δεν πρέπει να πέφτει επάνω σε οδούς, σιδηροδρομικές γραμμές, πεζοδρόμους και λοιπές ευαίσθητες επιφάνειες.

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 στομιών υδροσυλλογής στα ανάντη των αρμών των γεφυρών κτλ.

Οι βλάβες που έχουν σχέση με διάβρωση συνήθως παρατηρούνται κοντά σε αρμούς και ελαττωματικά αποχετευτικά στοιχεία, όπου και 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 έως 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 φέρουν κάποιο στοιχείο προστασίας από βανδαλισμούς. Ένα τέτοιο στοιχείο είναι η τοποθέτηση ειδικού κοχλία τύπου alien, ώστε να μην είναι εύκολα αφαιρούμενες.

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 ρεϊθρο υπολογίζεται η παροχή σε [m³/s] :

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

και χρησιμοποιώντας n=0,018 η εξίσωση γίνεται

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

Η απορροή σε [m³/s] για επιφάνεια A σε [m²] με την εξίσωση της ορθολογικής μεθόδου είναι :

$$Q = CiA / (3,6 \cdot 10^6) \quad (7.3.5-3)$$

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].

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

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

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

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 ο επόμενος:

| | | |
|------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Αρχική υποθετική | Κατά μήκος κλίση που υπολογίζεται | Υπολογιζόμενη απαιτούμενη |
|------------------|-----------------------------------|---------------------------|

| τιμή απόστασης | μεταξύ των άκρων της απόστασης L_v | απόσταση L στομίου για την κλίση S_v |
|----------------|--------------------------------------|--|
| L_v | S_v | L |

Όταν η υπολογιζόμενη (L) είναι μεγαλύτερη από την υποθετική, αυξάνεται η υποθετική (L_v) και γίνεται επανυπολογισμός. Εάν η υπολογιζόμενη (L) είναι μικρότερη από την υποθετική (L_v), μειώνεται η υποτιθέμενη (L_v) και γίνεται επανυπολογισμός. 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 στομιών. Για παράδειγμα, η απόσταση (L) μπορεί να ελαττώνεται έτσι, ώστε να βρίσκεται ένα στόμιο 2-3 m 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. |

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

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

$$Q_{R1} = 278C_iWL$$

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 I_1 . Επιλέγεται η απόσταση I_1 με την διαδικασία παλινδρόμησης όπως ακριβώς για την εύρεση της L , (αυτή καθορίζει την κλίση " S_2 " στο μήκος $L + I_1$).

Υπολογίζεται η ροή στο δεύτερο στόμιο αφαιρούμενης της απορροφώμενης ροής (q_1).

$$Q_{R2} = 250 iW (L + I_1) - q_1$$

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 στομιών είναι σωστές.

Εάν $t < T$ αυξάνεται η I_1

Εάν $t > T$ μειώνεται η I_1

Πάλι, αναθεωρείται η θεωρητική απόσταση I_1 (I_2 , I_3 κτλ.) στα ανάντη για πρακτικούς λόγους.

Σημειώνεται, ότι σε τμήματα ευθυγραμμίας, η απόσταση I_1 είναι σταθερή και ισούται με τη μέγιστη απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των στομιών.

Προσδιορίζεται η απορροφώμενη ροή q_2 στο δεύτερο στόμιο

$$q_2 = E Q_{R2}$$

Με Q_{R2} , που υπολογίζεται στη θέση $L + I_1$ βρίσκεται η απόσταση I_2 μέχρι το τρίτο στόμιο. Αυτή η θέση έχει κλίση S_3 .

(1) Επιλέγεται η I_2 (αυτή καθορίζει την S_3 ως την κλίση στο μήκος $L + I_1 + I_2$)

(2) $Q_{R2} = 0,250 iW (L + I_1 + I_2) - q_1 - q_2$

(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 I_2

Εάν $t > T$ μειώνεται η I_2

Συνεχίζεται το ίδιο για τις αποστάσεις I_3 , I_4 ... I_v , μέχρις ότου η L συν το άθροισμα των αποστάσεων γίνει ίση με το μήκος της γέφυρας.

Ο αριθμός των στομιών είναι (v). Εφόσον η τελευταία υπολογιζόμενη απόσταση I_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 Άκρα 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 πρηνή. Από το φρεάτιο τα όμβρια οδηγούνται στο πόδι των πρηνών, όπου κατά περίπτωση προβλέπεται κατασκευή διάταξης π.χ. από λιθορριπή επάνω σε γαιούφασμα (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 υδραυλικά κατάλληλη διαδρομή μέχρι το σημείο απόρριψης. Αυτή η διαδρομή συνήθως υλοποιείται με ανοικτό αγωγό, ή με υπόνομο.

Εάν δεν υπάρχει υδραυλικά 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 πρηνών μακριά από τη γέφυρα.

Πρέπει να μελετούνται και τοποθετούνται διατάξεις υδροσυλλογής στα ανάντη της γέφυρας με τις οποίες να απορροφάται κατά 100% η προσρέουσα από την οδό ροή, 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 υποθεθεί 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 Παροχευτικότητα

Επειδή η κλίση στα στοιχεία των διατάξεων καθοδήγησης της ροής στα κατάντη είναι συνήθως πολύ μεγάλη, η παροχευτικότητα τους περιορίζεται μόνο από το στόμιο υδροσυλλογής 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. Επειδή αυτά 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 (όλων των εμπλεκόμενων ειδικοτήτων) 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 υδροσυλλογής 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 πέραν από το πλάτος όπου στοιβάζεται το χιόνι κατά τον εκχιονισμό. Έτσι η ροή από το χιόνι που λιώνει και ρέει πέραν 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.

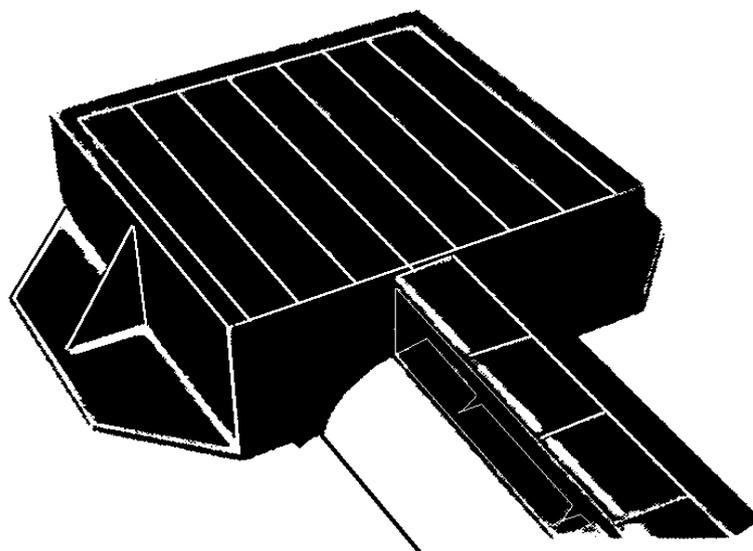
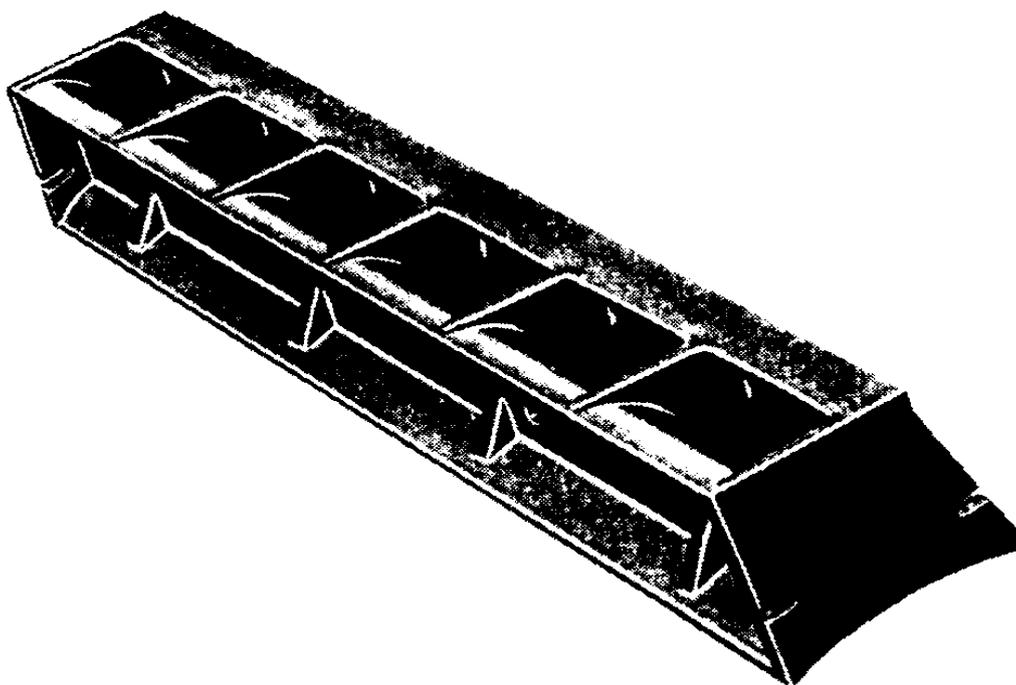
7.6.3 Δομικές θεωρήσεις

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 επιφανειών με λιμνάζοντα νερά, ακόμη και αν αυτό απαιτεί κατασκευή κυρτώσεων με αλληπάλληλες 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 στομιών 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 (υδρωλίσθηση). Συνιστάται τοποθέτηση επί πλέον στομιών 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 σπλισμού του φορέα των γεφυρών. Όμως τα εν λόγω μέτρα δεν επαρκούν για την επιθυμητή προστασία από διάβρωση, που δημιουργείται τόσο στο ίδιο το σκυροδέμα (αντίδραση μεταξύ των υλικών του σκυροδέματος και των χλωριδίων των αντιπαγετικών αλάτων) όσο και στο σιδηρό σπλισμό.

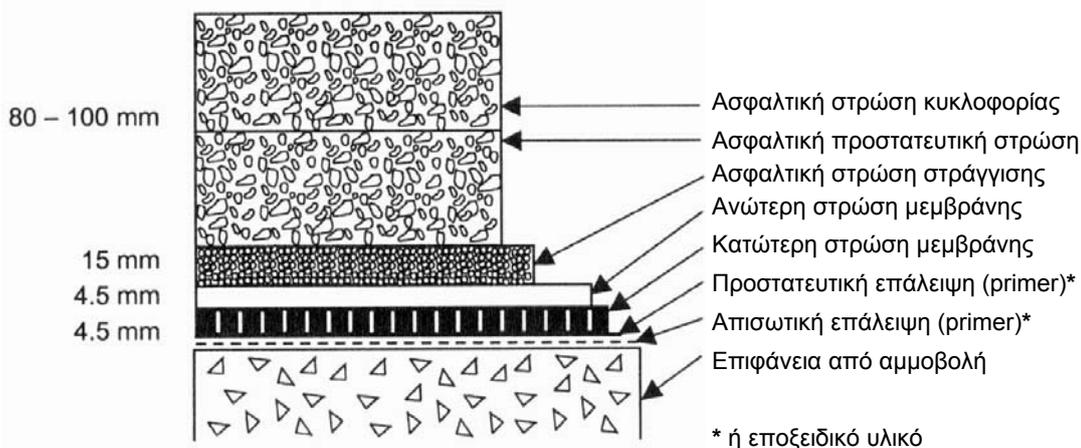
Η υδροστεγάνωση του φορέα των γεφυρών επιτυγχάνει τη μακροζωία της κατασκευής τουλάχιστον μέχρι 100 χρόνια. Αυτή επιτυγχάνεται με την εφαρμογή επί της επιφάνειας του φορέα διπλής στεγανωτικής μεμβράνης και κατάλληλης αντοχής ασφαλτικών στρώσεων.

Η ελλιπή 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 $S \geq 1\%$, 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 διεύθυνσης του νερού.

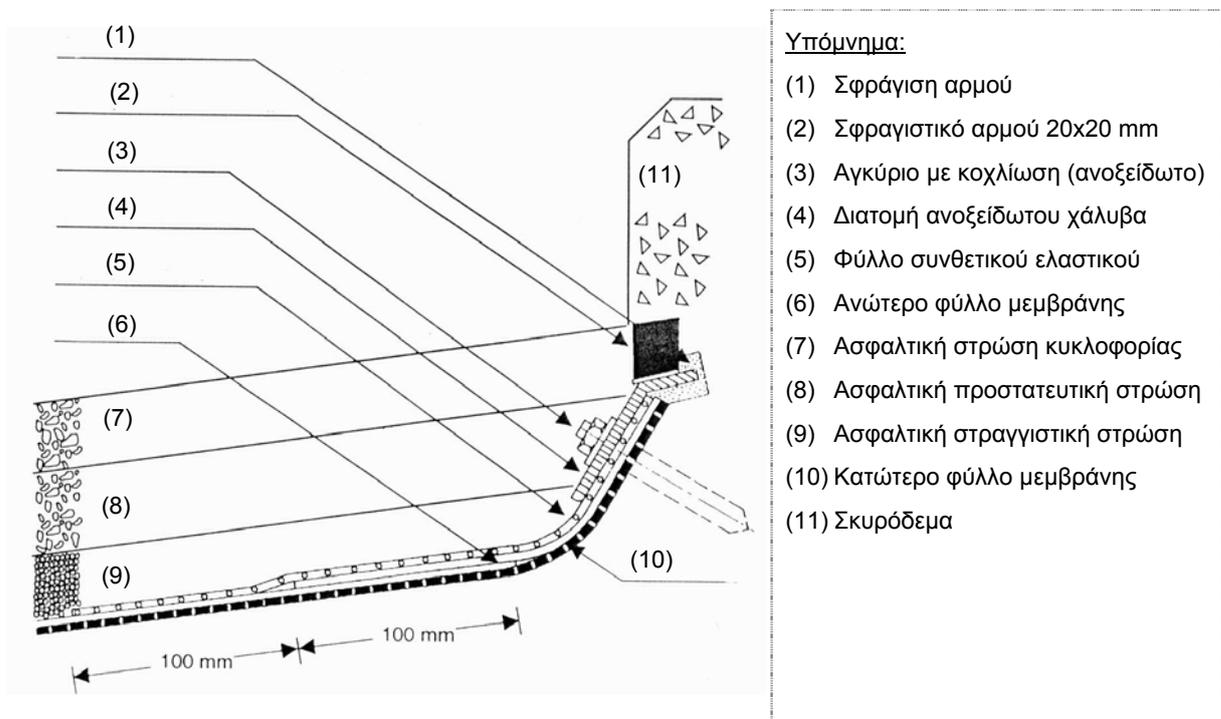
Όταν το σκυροδέμα του φορέα της γέφυρας σκληρυνθεί και αποκτήσει επαρκή αντοχή, τότε καθαρίζεται, με υδροβολή ή καλύτερα με αμμοβολή, όλη η επιφάνεια ώστε να αποκτήσει υφή (βάθος υφής 0,4 - 1,3 mm, αυτό πρέπει να ελέγχεται με τη μέθοδο της άμμου), η οποία διασφαλίζει την καλή σύνδεση της πρώτης απισωτικής 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 απισωτική 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 ($E-MHK < 2\ 000$), που δεν θεωρούνται σημαντικές για την τοπική ή υπερτοπική κυκλοφορία, δεν εξυπηρετούν βαριά κυκλοφορία ή δεν υφίστανται καταπονήσεις από πεδησεις 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 κατόντη. 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 ανοξειδωτου χάλυβα που δείχνεται στο σχήμα.

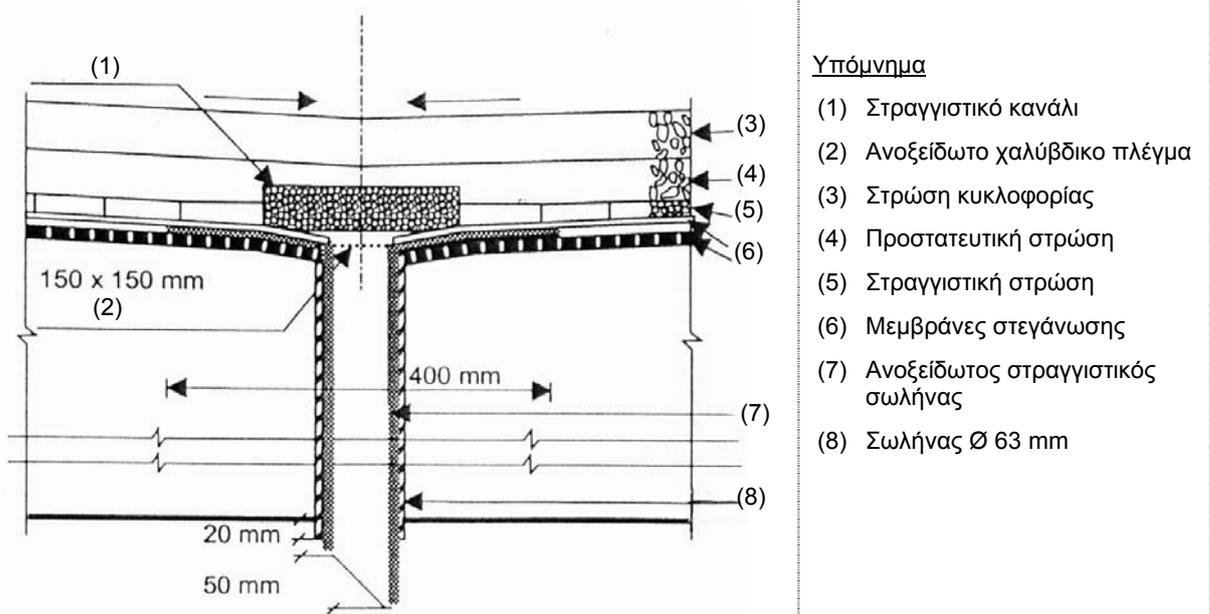


Σχήμα 7.7.2-1: Τελείωμα στερέωσης των μεμβρανών στις πλευρές του φορέα

7.7.3 Στραγγιστική στρώση

Έχει 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).



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 $\varnothing \geq 50$ mm και καλύπτει περίπου 100 m² καταστρώματος γέφυρας. Όλοι 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 Ασφαλικές στρώσεις προστασίας και κυκλοφορίας

Επάνω στην στραγγιστική στρώση κατασκευάζεται το ασφαλικό 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 ασφαλικό σκυρόδεμα, τροποποιημένο σε σχέση με το παραδοσιακό ασφαλικό 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 ασφαλική 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 ασφαλικού.

Η κατασκευή των ασφαλικών 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 δοκιμών από το οδόστρωμα και εκτέλεση των απαιτούμενων εργαστηριακών δοκιμών.

8. ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΟΔΟΥ

8.1 Γενικά

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

Συχνά απαιτούνται λύσεις σε προβλήματα υπόγειας αποστράγγισης για τις οποίες χρειάζεται επαρκής γνώση της γεωλογίας και της γεωτεχνικής συμπεριφοράς του υπεδάφους. 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 να απασχολούν ιδιαιτέρως το μελετητή στις θέσεις σηράγγων, βάθρων γεφυρών και λοιπών τεχνικών έργων, ώστε να ελέγχεται η ανάγκη αντιμετώπισης των υδροστατικών πιέσεων.

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

Τα στραγγιστήρια εγκαθίστανται για να ρυθμίσουν τρία συγκεκριμένα είδη υπόγειου νερού, που επηρεάζει την οδική υποδομή, τα οποία είναι:

- α. Υπόγειες ροές που αναβλύζουν σε φυσικές κλιτύες ή πρηνή ορυγμάτων, όταν αυτά διακόπτουν τη συνέχεια υδροφόρου στρώματος
- β. Υψηλοί υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες, που έρχονται σε επαφή με τη σκάφη της οδού
- γ. Νερά που συσσωρεύονται στη σκάφη της οδού, με κατείσδυση από την επιφάνεια του καταστρώματος

Συνήθως τα στραγγιστήρια επιτελούν πολλαπλές λειτουργίες. Υπάρχουν πολλές μεταβλητές και αβεβαιότητες που αφορούν στις πραγματικές υπόγειες συνθήκες. Εν γένει, τα πλέον προφανή προβλήματα υπόγειας αποστράγγισης μπορεί να αντιμετωπίζονται κατά τη μελέτη. Όμως, τα λιγότερο προφανή προβλήματα συχνά αποκαλύπτονται κατά το στάδιο της κατασκευής. Πολύ συχνά, ενδέχεται να χρειάζονται εκτεταμένες έρευνες για τη διαπίστωση των μεταβλητών που επηρεάζουν το σχεδιασμό με λογική ακρίβεια. Για αυτούς τους λόγους, συχνά οι μελέτες βασίζονται στην τοπική εμπειρία, καθώς και σε εμπειρικούς κανόνες, που έχουν δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

8.2 Παροχή Υπόγειου Υδροφόρου Ορίζοντα

Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, που διαφέρει από το νερό εκ του φαινομένου των τριχοειδών αγγείων, είναι ελεύθερο νερό που συναντάται σε μια κορεσμένη ζώνη κάτω από την εδαφική επιφάνεια. Η υπόγεια παροχή, ο ρυθμός με τον οποίο ο υδροφόρος ορίζο-

ντας 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 στρώματος. 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.

8.2.1 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 και αξιολόγηση των γειτονικών πρानών υφισταμένων ορυγμάτων
- Μέτρηση της παροχής του υπόγειου υδροφορέα

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

8.2.2 Επιστημάνσεις 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 με συχνές χιονοπτώσεις. Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση όπου οι εκροές νερών προέρχονται από την άρδευση της περιοχής.

Οι δυσκολίες για το υπόγειο ορίζοντα συχνά προκύπτουν από τα νερά που εγκλωβίζονται σε μη διαπερατά 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 στην περιοχή συχνά δίνουν αναξιόπιστες ενδείξεις για τον υπόγειο ορίζοντα, γι αυτό θα πρέπει αυτές να χρησιμοποιούνται με προσοχή.

8.3 Κατηγορίες Συστημάτων Στραγγιστηρίων

Σε συνάρτηση με το σκοπό και την πολυπλοκότητα του προβλήματος της στράγγισης του υπεδάφους, μια κατάλληλη λύση μπορεί να απαιτεί την εγκατάσταση ενός συνδυασμού διαφορετικών ειδών συστημάτων στράγγισης. Συνήθως, ως πρωταρχικό είδος συστήματος στράγγισης θεωρείται το υπόγειο στραγγιστήριο με διάτρητους σωλήνες. Αυτοί τοποθετούνται σε σκάμμα πληρούμενο με χαλίκια που περιβάλλονται με γαιούφασμα

Τα «γαλλικά στραγγιστήρια» έχουν αποδειχθεί ως αναξιόπιστα. Το γαλλικό στραγγιστήριο αποτελείται από ένα σκάμμα που διανοίγεται και επανεπιχώνεται με βραχώδες υλικό περιβαλλόμενο με κατάλληλο φίλτρο. Αυτά δεν 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.

Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιείται η επανεπίχωση με υδροπερατό υλικό, που περιβάλλεται με γαιούφασμα, χωρίς διάτρητο σωλήνα.

Άλλες ειδικές κατηγορίες στραγγιστηρίων, που χρησιμοποιούνται για να διακόπτουν, συλλέγουν και αποχετεύουν το υπόγειο νερό, είναι τα ακόλουθα.

8.3.1 Οριζόντια στραγγιστήρια

Αυτά αποτελούνται από διάτρητους σωλήνες Ø400 mm με οπές ή εγκοπές, που τοποθετούνται σε διανοιγμένες οπές εντός του υδροφόρου σχηματισμού. Αυτά εγκαθίστανται σε πρηνή ορυγμάτων και κάτω από επιχώματα με σκοπό να προφυλάσσουν περισσότερο την κατασκευή από θραύση, ανακουφίζοντας την υδροστατική πίεση, παρά να εμποδίζουν τον κορεσμό με υγρασία των εδαφικών στρώσεων κάτω από το οδόστρωμα. Αυτά μπορεί να χρησιμοποιούνται σε ποικίλα μήκη, μέχρι και 300 m, σε κλίσεις που κυμαίνονται από 0 έως 25%. Γενικά, επίσης απαιτείται ένα σύστημα συλλεκτήρων για να απομακρύνουν το στραγγιζόμενο νερό από την περιοχή.

8.3.2 Προδιαμορφωμένα γαιοσυνθετικά στραγγιστήρια

Αυτά διατίθενται σε φύλλα ή ρολά και παρέχουν μια οικονομικά αποτελεσματική λύση για την υπόγεια στράγγιση πίσω από βάρθρα γεφυρών, πτερυγότοιχους και τοίχους αντιστήριξης με επιφανειακή θεμελίωση ή με φρεατοπασσάλους. Αυτά τα στραγγιστήρια αποτελούνται από ένα πλαστικό πυρήνα στράγγισης, που καλύπτεται από τη μία ή και από τις δυο πλευρές με διηθητικό γαιούφασμα (διαχωρισμού-φίλτρου).

8.3.3 Σκάμματα σταθεροποίησης

Αυτή η κατηγορία συστημάτων υπόγειας στράγγισης είναι σκάμματα κατασκευαζόμενα σε αβαθείς συγκεντρώσεις νερών, ρέματα και κάτω από τις πλευρές επιχωμάτων για να σταθεροποιήσουν θεμελιώσεις. Αυτά τα σκάμματα μπορεί να είναι, τόσο μικρού πλάτους, όσο ο κάδος του εκσκαφέα, ή μπορεί να είναι αρκετά πλατιά για τη μετακίνηση των γαιών από μεγάλους εκσκαφείς. Συνήθως τα πρηνή των σκαμμάτων κατασκευάζονται με κλίση 1:1.

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 τοιχωμάτων των σκαμμάτων με διηθητικό γαιούφασμα. Το σύνηθες πάχος του 1,00 m ή περισσότερο του υδροπερατού υλικού μπορεί να μειώνεται και μια λιγότερο δαπανηρή διαβάθμιση μπορεί να προδιαγραφεί, εφόσον χρησιμοποιείται ένα διηθητικό γαιούφασμα (διαχωρισμού-φίλτρου).

8.3.4 Φρέατα στράγγισης

Τα φρέατα στράγγισης αποτελούνται από μια ή πολλές σειρές με διάμετρο 900 έως 1200 mm, που κατασκευάζονται σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους. Αυτά διανοίγονται με γεωτρύπανα μέχρι το απαιτούμενο βάθος για τη διακοπή του υδροφόρου ορίζοντα. Αυτά αποτελούν μια εναλλακτική των σκαμμάτων σταθεροποίησης και μπορεί να προσφέρουν

μια περισσότερο αποτελεσματική οικονομικά λύση, υπό ορισμένες συνθήκες. Τα φρέατα στράγγισης είναι μια επιλέξιμη λύση, όπου το βάθος του υπόγειου ορίζοντα υπερβαίνει τα οικονομικά ή πρακτικά όρια για ανοικτή εκσκαφή. Επειδή υπάρχει πιθανότητα παρουσίας έγκοιλων ή κατολισθήσεων, η διάνοιξη σκαμμάτων μπορεί να μην είναι πρακτική. Ο πυθμένας των διατρηόμενων φρεάτων θα πρέπει να διασυνδέεται και ένας κατάλληλος συλλεκτήρας και σύστημα εκτόνωσης θα πρέπει να κατασκευάζεται.

Τα φρέατα επανεπιχώνονται με υδροπερατό υλικό. Η γεωτεχνική μελέτη θα πρέπει να προσδιορίζει τις συνιστώμενες αποστάσεις μεταξύ των φρεάτων, καθώς και το βάθος αυτών.

8.3.5 Πολυσωλήνια συστήματα σταγιστηρίων

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

- Κάτω από το σώμα της οδού, όταν απαιτείται σημαντική στρώση στράγγισης
- Η σταθεροποίηση περιοχών έδρασης των επιχωμάτων

Το βάθος και τα διαστήματα τοποθέτησης πολυσωλήνιων σταγιστηρίων μπορεί να επιλέγονται από τον προηγούμενο Πίνακα 8.3-1, ανάλογα με το βάθος και την κατηγορία εδάφους.

8.4 Χωροθέτηση Στραγγιστηρίων

Τα στραγγιστήρια θα πρέπει να εγκαθίστανται εκεί που χρειάζονται, ως εξής:

- (1) Διακοπή υπόγειας Ροής στις παρόδιες κλιτύες ή πρηνή ορυγμάτων. Αυτή επιτυγχάνεται με κατασκευή μικρού σκάμματος στα πρηνή ορύγματος (ή της φυσικής κλιτύος). Στο σκάμμα τοποθετείται διάτρητος σωλήνας περιβαλλόμενος από χάλικες, ενώ το σύνολο περιβάλλεται με γαιούφασμα διαχωρισμού-φίλτρου (βλ. Σχήμα 8.5-3). Ο πυθμένας του σωλήνα θα πρέπει να είναι κάτω από το υδροφόρο στρώμα, αλλά σε βάθος μικρότερο από 1,85 m. Η στέψη του σκάμματος σε βάθος 150 mm θα πρέπει να σφραγίζεται με υλικά μη διαπερατά (υλικό αργιλικό ή εδαφικό σταθεροποιημένο με τσιμέντο).
- (2) Στραγγιστήρια Ταπείνωσης Υδροφόρου Ορίζοντα. Ο υδροφόρος ορίζοντας κάτω από το σώμα της οδού μπορεί εν γένει να χαμηλώσει τοποθετώντας διάτρητους σωλήνες σε σκάμματα στις εκατέρωθεν πλευρές της οδού (βλ. Σχήμα 8.5-3). Τα σκάμματα θα πρέπει να έχουν βάθος τουλάχιστον 1,25 m, προκειμένου να είναι αποτελεσματικά, αλλά το βάθος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1,85 m. Η στέψη του σκάμματος σε βάθος 150 mm θα πρέπει να επιστρώνεται με υλικά μη διαπερατά.
- (3) Αποστράγγιση Επιφανειακών Νερών. Για την αποστράγγιση της σκάφης ή της οδοστρωσίας (από το νερό που συνήθως συσσωρεύεται με κατείσδυση, από το κατάστρωμα της οδού) χρησιμοποιούνται διάτρητοι σωλήνες (βλ. Σχήμα 8.5-4), τοποθετούμενοι σε σκάμμα στις παρειές του οδοστρώματος και σε βάθος ίσο ή λίγο μεγαλύτερο από 10 έως 20 cm από τη στέψη χωματουργικού (έδραση της οδοστρωσίας). Ο σωλήνας περιβάλλεται από ζώνη πάχους 10 cm θραυστών χαλίκων (διαστάσεων 19 mm).

Το σκάμμα θα πρέπει να επιστρώνεται στη στέψη του με μη διαπερατό υλικό πάχους 150 mm. Εάν υπάρχει κρασπεδορείθρο, τότε το σκάμμα του στραγγιστηρίου τοποθετείται κάτω από αυτό. Εφόσον η οδοστρωσία (βάση και υπόβαση) εκτείνεται κάτω από το φυτικό έρεισμα μέχρι το εγγύς πρτανές της παράπλευρης τάφρου ή του επιχώματος, γεγονός που επιτρέπει την εκτόνωση του τυχόν κατεισδύοντος νερού στο πρτανές, τότε δεν απαιτείται εγκατάσταση στραγγιστηρίου.

- (4) Εγκάρσια Τμήματα Στραγγιστηρίων με Στόμια Εκτόνωσης. Αυτά αποτελούνται από μη διάτρητους σωλήνες, που τοποθετούνται στα χαμηλά σημεία των πρτανών, ανά αποστάσεις 60 έως 120 m σε τμήματα με μεγάλες κατά μήκος κλίσεις, για να παρέχουν εκτόνωση των διαμήκων στραγγιστηρίων. Αυτά συνδέονται με το σωλήνα στραγγιστηρίου με συνδέσεις σχήματος «γ». Το στόμιο πρέπει να διατηρείται καθαρό από βλάστηση και ρύπους, ενώ πρέπει να παραμένει πάντα πάνω από την ανώτατη στάθμη υδάτων της τυχόν παράπλευρης τάφρου. Το στόμιο πρέπει να φράσσεται με συρμάτινο πλέγμα για την αποτροπή εγκατάστασης τρωκτικών ή άλλων ζωοφίων.

8.5 Κριτήρια Σχεδιασμού

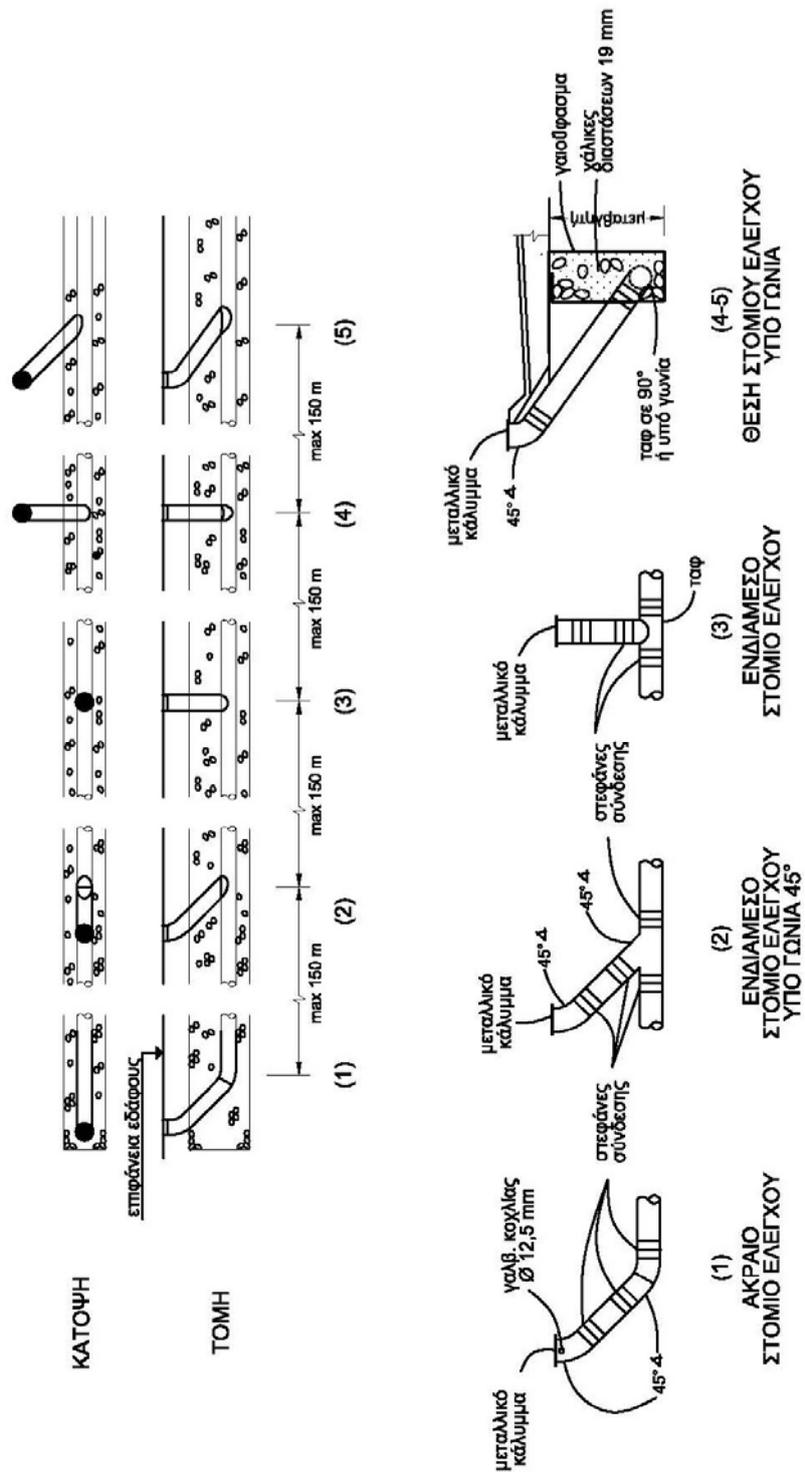
- (1) Απαιτήσεις Μεγέθους και Μήκους. Η ελάχιστη εσωτερική διάμετρος του σωλήνα στραγγιστηρίου θα είναι 150 mm, για μήκος (άνευ ενδιάμεσης εκτόνωσης) 150 m ή λιγότερο. Ως γενικός κανόνας, αυτό το μέγεθος της διαμέτρου θεωρείται επαρκές για τα περισσότερα είδη εδάφους. Για σωλήνες με σημεία εκτόνωσης σε αποστάσεις που υπερβαίνουν τα 150 m, η ελάχιστη διάμετρος αυξάνεται στα 200 mm.
- (2) Διαχωρισμός Αποχέτευσης- Στράγγισης. Η επιφανειακή απορροή δεν επιτρέπεται να εκτονώνεται στα στραγγιστήρια. Αντίθετα, επιτρέπεται η εκτόνωση των στραγγιστηρίων στο διαμήκες σύστημα αποχέτευσης της οδού ή σε οχετούς, εφόσον το στόμιο του στραγγιστηρίου δεν αναμένεται να βρεθεί υπό πίεση.
- (3) Στόμια Καθαρισμού. Ένα τερματικό στόμιο για τον καθαρισμό του στραγγιστηρίου σωλήνα απαιτείται στο υψηλότερο άκρο αυτού. Αυτό υλοποιείται συνήθως φέρνοντας, με κάμψη υπό γωνία 45°, το σωλήνα στην επιφάνεια του ερείσματος. Ενδιάμεσα σημεία ελέγχου χρειάζονται κάθε 150 m. Αυτά συνίστανται από ένα κατακόρυφο σωλήνα του οποίου το άνω άκρο βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους (συνήθως του ερείσματος) και καλύπτεται με ελαφρύ χυτοσιδηρό κάλυμμα. Η διάμετρος του κατακόρυφου σωλήνα είναι ίση ή μεγαλύτερη της διαμέτρου του στραγγιστηρίου (βλ. Σχήμα 8.3-2).
- (4) Απαιτήσεις Κλίσεων. Εν γένει, η κατά μήκος κλίση του στραγγιστηρίου σωλήνα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5%. Εάν αυτή η κλίση δεν επιτυγχάνεται, τότε κλίση 0,2% για τα εγκάρσια τμήματα εκτόνωσης και αντίστοιχα 0,25% για το στραγγιστήριο σωλήνα γίνονται αποδεκτές.
- (5) Βάθος και Πύκνωση. Το βάθος του στραγγιστηρίου εξαρτάται από τη διαπερατότητα του εδάφους, τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, καθώς και το μέγεθος επιθυμητής ταπείνωσης αυτού, που διασφαλίζει την ευστάθεια του σώματος της οδού. Με κάθε πρακτικό τρόπο, ένα στραγγιστήριο θα πρέπει να τοποθετείται μέσα στη μη διαπερατή ζώνη, κάτω από το υδροφόρο στρώμα. Τα συνιστώμενα βάθη και η πύκνωση εγκάρσια της οδού, δηλαδή οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών πολυσωλήνιων στραγγιστηρίων, ανάλογα με τα είδη εδάφους, παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.5-1.

Τα στοιχεία του εν λόγω πίνακα αποτελούν μόνο ένα οδηγό, ενώ δεν πρέπει να θεωρείται ότι υποκαθιστούν τις παρατηρήσεις πεδίου ή την τοπική εμπειρία.

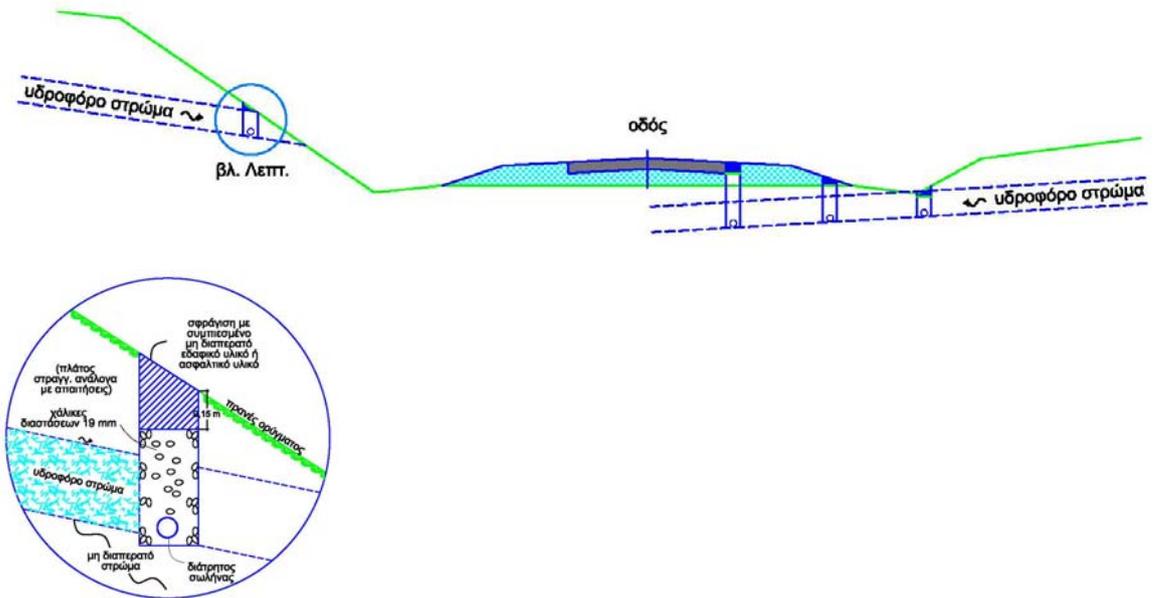
Πίνακας 8.5-1: Συνιστώμενα βάθη και αποστάσεις μεταξύ στραγγιστηρίων

| Κατηγορία εδάφους | Σύνθεση εδάφους [%] | | | Αποστάσεις μεταξύ στραγγιστηρίων [m] | | | |
|--------------------|---------------------|-------|---------|---|---------|-----------|----------|
| | | | | Βάθος τοποθέτησης σωλήνα στραγγιστηρίου [m] | | | |
| | άμμος | ιλύς | άργιλος | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,8 |
| Άμμος | 80-100 | 0-20 | 0-20 | 33-45 | 45-61 | - | - |
| Ιλυώδης άμμος | 50-80 | 0-50 | 0-20 | 15-30 | 30-45 | - | - |
| Αμμοιλύς | 30-50 | 30-50 | 0-20 | 9-18 | 12-24 | 15-30 | 18-36 |
| Αργιλώδης αμμοιλύς | 20-50 | 20-50 | 20-30 | 6-12 | 7-15 | 9-18 | 12-24 |
| Αμμώδης άργιλος | 50-70 | 0-20 | 30-50 | 4,5-9 | 6-12 | 7-15 | 9-18 |
| Ιλυώδης άργιλος* | 0-20 | 50-70 | 30-50 | 3-7 | 4,5-9 | 6-12 | 7-15 |
| Άργιλος* | 0-50 | 0-50 | 30-100 | 4,5 (max) | 6 (max) | 7,5 (max) | 12 (max) |

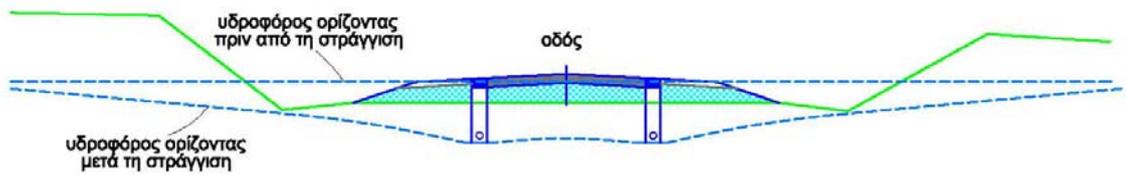
* Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να εξετάζεται η τοποθέτηση στραγγιστικών στρωμάτων ή σκαμμάτων σταθεροποίησης



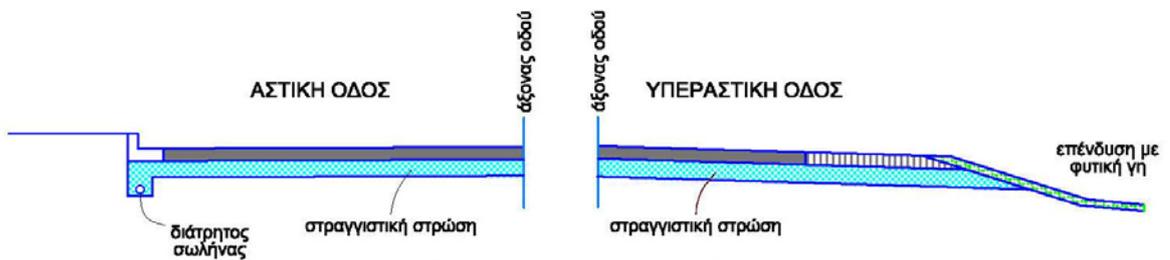
Σχήμα 8.5-2: Στόμια ελέγχου και καθαρισμού σωλήνων στραγγιστηρίου



Λεπτομέρεια στραγγιστηρίου



Σχήμα 8.5-3: Διατάξεις διακοπής ή ταπείνωσης υδροφόρου ορίζοντα



Σχήμα 8.5-4: Γενική μορφή στράγγισης οδοστρώματος

8.6 Αγωγός Στραγγιστηρίου

Ο στόχος κάθε εγκατάστασης στραγγιστηρίου είναι η αποτελεσματική λειτουργία της μακροπρόθεσμα. Αυτός ο στόχος συνδέεται με την ικανότητα φιλτραρίσματος, την ανθεκτικότητα υλικού και την αντοχή του αγωγού, καθώς και με το κόστος της κατασκευής του στραγγιστηρίου, κυρίως με αυτή τη σειρά. Για την επιλογή μεταξύ διαφορετικών ειδών σωλήνων, κυρίως λαμβάνονται υπόψη η ικανότητα φιλτραρίσματος και η ανθεκτικότητα του υλικού.

Τα είδη των στραγγιστηρίων σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του σωλήνα και τον αναμενόμενο χρόνο ζωής του περιγράφονται στα επόμενα.

8.6.1 Διάτρητοι σωλήνες σκυροδέματος

Αυτοί μπορεί να τοποθετούνται με ανοικτούς αρμούς, ενώ τα στραγγιστήρια είναι αποτελεσματικά στη συλλογή υπόγειων νερών, όταν μπορεί να ελέγχεται η είσοδος υπερβολικών ποσοτήτων στερεών. Δηλαδή, με εγκιβωτισμό των σωλήνων σε σκάμμα με χάλικες που περιβάλλονται με γαιοϋφασμα. Αυτοί οι σωλήνες δεν είναι κατάλληλοι για τοποθέτηση σε αβαθή σκάμματα ως υποκείμενοι σε καταστροφή από τα εργοταξιακά μηχανήματα. Επίσης, είναι ακατάλληλοι σε εδάφη ή υπόγεια νερά με συστατικά διαβρωτικά για το σκυρόδεμα.

8.6.2 Διάτρητοι σωλήνες HDPE

Είναι σωλήνες με δακτυλιοειδή εξωτερική επιφάνεια (εσωτερική λεία) και εγκάρσιες εγκοπές (κατά μήκος της περιμέτρου των δακτυλίων). Η εγκατάσταση αυτών είναι απλούστερη επειδή παράγονται σε μεγάλα μήκη. Λόγω του υλικού τους είναι εύκαμπτοι και ανθεκτικοί σε φορτία (βλ. προηγούμενο Σχήμα 8.5-1).

8.7 Υπολογισμός Πάχους Στραγγιστικής Στρώσης

Για τον υπολογισμό της στρώσης στράγγισης του οδοστρώματος, που δέχεται νερά μόνο από την κατείδυση όμβριων μέσω των ασφατικών ταπήτων, η ποσότητα νερών, που διηθείται σε επιφάνεια $1,00 \text{ m}^2$ ασφατικών στρώσεων, υπολογίζεται με την εξίσωση:

$$q = ci \quad (8.7-1)$$

όπου:

q [$\text{m}^3/24\text{h}/\text{m}^2$] : η ποσότητα νερού που μέσα σε ένα 24-ωρο διηθείται ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας

c [-] : ο συντελεστής διηθητικότητας (εξαρτάται από τον τύπο του ασφατικού), ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ $1/3$ και $1/2$, συνήθως λαμβάνεται μετά τη μέση τιμή, δηλαδή $5/6$

i [mm/h] : η ένταση της βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς 2-ετή για διάστημα 1-ώρας

Η διηθητικότητα (k) 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:

$$k = \frac{6,214 \cdot 10^5 D_{10}^{1,478} N^{6,654}}{P_{200}^{0,597}} \quad (8.7-2)$$

όπου:

k [m/ημέρα] : η διηθητικότητα

D₁₀ [mm] : η διάσταση των κόκκων των αδρανών

N [-] : το πορώδες της στρώσης που υπολογίζεται ως N=1 – (φαινόμενο βάρος)/(ειδικό βάρος)

P₂₀₀ [-] : το ποσοστό των αδρανών που διέρχεται από το κόσκινο #200

Παράδειγμα εφαρμογής των προηγούμενων εξισώσεων:

- Διηθητικότητα σε ασφαλτικές στρώσεις με ένταση βροχόπτωσης i = 40 mm/h

$$q = ci = \left(\frac{\frac{1}{3} + \frac{1}{2}}{2} \right) \times 40,0 = 16,67 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \quad (8.7-3)$$

$$\text{ή } 16,67 \times 24/1000 = 0,400 \text{ m}^3/24\text{h/m}^2$$

- Διηθητικότητα σε βάση οδοστρωσίας

$$k = \frac{6,214 \cdot 10^5 D_{10}^{1,478} N^{6,654}}{P_{200}^{0,597}} \quad (8.7-4)$$

με αδρανή:

- μεγέθους D₁₀=0,075 mm,
- φαινόμενου βάρους =2355 kg/m³ και
- ειδικού βάρους =2680 kg/m³

υπολογίζεται ο συντελεστής υδροπερατότητας (πορώδες) (N)

$$N = 1 - 2355/2680 = 0,12$$

Χρησιμοποιώντας τις προηγούμενες τιμές στην εξίσωση 8.7-4 προκύπτει

$$k = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ m/ημέρα}$$

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

$$d = \frac{100Q}{kS_x} \quad (8.7-5)$$

όπου:

d [cm] : το πάχος της στρώσης

Q [m³/s] : η ποσότητα διηθούμενου νερού

k [m/s] : η διηθητικότητα του υλικού της στρώσης στράγγισης, δηλαδή η ταχύτητα κατείδυσης 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. Για την ασφαλή λειτουργία του φίλτρου συνιστάται η χρήση γαιούφασματος διαχωρισμού-φίλτρου, αντί της δημιουργίας φίλτρου με κατάλληλα διαβαθμισμένα κοκκώδη υλικά.

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 εξόδο, από υδραυλική άποψη χρειάζεται να ανταποκρίνονται σε πολυσύνθετη λειτουργία.

Για τις συνήθεις κατασκευές οχετών χρησιμοποιούνται:

- Προκατασκευασμένοι τσιμεντοσωλήνες κυκλικής διαμέτρου άοπλου ή οπλισμένου σκυροδέματος ανάλογα με το μέγεθος της διαμέτρου και τα φορτία που θα φέρουν, τοποθετούμενοι απλοί ή πολλαπλοί κατά παράθεση (σε παραλληλία)
- Σωλήνες από HDPE, οι οποίοι προσφέρουν το πλεονέκτημα του ενιαίου μήκους (4 ή 6 m) ώστε να μην υπάρχουν οι δυσκολίες κατασκευής αρμών
- Κλειστοί κιβωτοειδείς οχετοί οπλισμένου σκυροδέματος, είτε με επιτόπου σκυροδέτηση, είτε με προκατασκευασμένα τεμάχια, τοποθετούμενοι με ένα άνοιγμα ή πολλαπλά ανοίγματα
- Οχετοί άλλου είδους υλικών, όπως π.χ. από γαλβανισμένη χαλύβδινη αυλακωτή λαμαρίνα, σε σχήματα καμπυλών διατομών. Αυτά τα είδη δεν προτείνονται για τις συνθήκες που επικρατούν στη χώρα, από άποψη οικονομίας και κατασκευαστικών αναγκών

Ο σχεδιασμός των οχετών προϋποθέτει τον καθορισμό στοιχείων, που είναι:

- Η χάραξη, η κλίση, το μήκος της κοίτης
- Η διαστασιολόγηση, το είδος, η διαμόρφωση στα στόμια, το ύψος νερού, η ταχύτητα του νερού στην έξοδο
- Το ύψος της επικάλυψης και το είδος της
- Η ανάγκη διέλευσης πανίδας
- Η ανάγκη ειδικής διαμόρφωσης των στομίων
- Η 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 κατόντη, 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 κατόντη 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 όμβριων 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 επισκεψιμότητα, το διαθέσιμο ύψος κάτω από το οδόστρωμα της οδού μέχρι τη στάθμη του πυθμένα της ροής, το ελεύθερο ύψος πάνω από την ανώτατη 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 υδραυλικά 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_n ", 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 $L_w \geq 6,00$ κατατάσσονται στην κατηγορία των γεφυρών.

Πίνακας 9.1-1: Τυποποιημένες διαστάσεις κιβωτοειδών οχετών (υκβ)

| | | Ανοιγμα οχετού L_w | | | | |
|----------------------------|------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| [m] | | 2,00 | 3,00 | 4,00 | 5,00 | 6,00 |
| Ελεύθερο ύψος οχετού L_h | 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 οι οποίες 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 στο εύρος από 160° έως 200° . Επίσης, είναι δυνατό να επιτραπεί ο σχεδιασμός οχετών με συνεχόμενες αντίρροπες γωνιές του άξονα εφόσον:

- η παροχή είναι $\leq 20 \text{ m}^3/\text{sec}$,
 - η ταχύτητα είναι $\leq 4 \text{ m/sec}$,
 - οι διαδοχικές αντίρροπες γωνιές είναι $170^\circ < \theta < 190^\circ$,
 - η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών αντίρροπων γωνιών είναι δεκαπλάσια του πλάτους του οχετού,
 - το πλάτος του οχετού είναι $> 2,50 \text{ m}$.
- 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 κατόπιν του οχετού. Είναι

πολύ σημαντικό να έχει εμπεδώσει ο μελετητής τις βασικές αρχές που αναφέρονται 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, η οποία 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 |
| Άμμος | Λεπτόκοκκη | 0,05 | 20 |
| | Μέσης διαβάθμισης | 0,025 | 30 |
| | Χονδροκόκκη | 1,0 | 55 |
| Χάλικες | Λεπτόκοκκοι | 2,5 | 65 |
| | Μέσης διαβάθμισης | 5,0 | 80 |
| | Χονδροκόκκοι | 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 μόνο με τη χρήση αξιόπιστου λογισμικού, π.χ. το "Culvert Master" ή ανάλογο.
- 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 πρέπει να γίνεται:

- αναλυτικά 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 κατόντη όταν η ροή είναι υπερκρίσιμη,
- με τη χρήση ευρύτατα αποδεκτών προγραμμάτων H/Y.

Για την ακρίβεια των υπολογισμών θα πρέπει να καθορίζονται στα δεδομένα οι αρχικές συνθήκες ροής (βάθος-ταχύτητα), ενώ 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 από 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 m³/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 δεν αναμένονται υδραυλικά άλματα
- η μεταβαλλόμενη ροή περιορίζεται μέσα στον οχετό
- ο οχετός θα λειτουργεί χωρίς υπερπλήρωση και συνεπώς δεν αναμένεται να λειτουργεί υπό πίεση

- οι ταχύτητες εισόδου και εξόδου αντιστοίχως στην είσοδο και έξοδο του οχετού θα είναι γνωστές

Για αυτό το λόγο ανάλογα με την κατάσταση της εισερχόμενης ροής πρέπει:

α. Όταν η ροή από το υδατόρεμα έρχεται σε κατάσταση

- υποκρίσιμη, από την είσοδο μέχρι και την έξοδο να ισχύουν οι περιορισμοί:

$$H < H^*$$

$$Y_t > Y_c$$

- υποκρίσιμη, από την είσοδο και μέσω του οχετού, αλλά με υπερκρίσιμη στην έξοδο (έλεγχος στην είσοδο) να ισχύουν οι περιορισμοί:

$$H < H^*$$

$$Y_t > Y_c$$

- υπερκρίσιμη, 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] : $1,5 \times d$ (d είναι το ύψος του οχετού)

Y_t [m] : το βάθος ροής κατόντη

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. Σε αυτή την περίπτωση είναι σημαντικό οι ταχύτητες να κυμαίνονται εντός των επιτρεπομένων ορίων, ενώ η ροή να έχει την απαραίτητη ενέργεια για να διέλθει από τον οχετό. Προς τούτο, πρέπει να γίνονται οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- Στις διατομές εισόδου θα γίνεται έλεγχος της ενέργειας με τη σχέση:

$$E = Y + Z + K_e \frac{V^2}{2g} \quad (9.2-1)$$

όπου:

E [m] : το ύψος της γραμμής ενέργειας

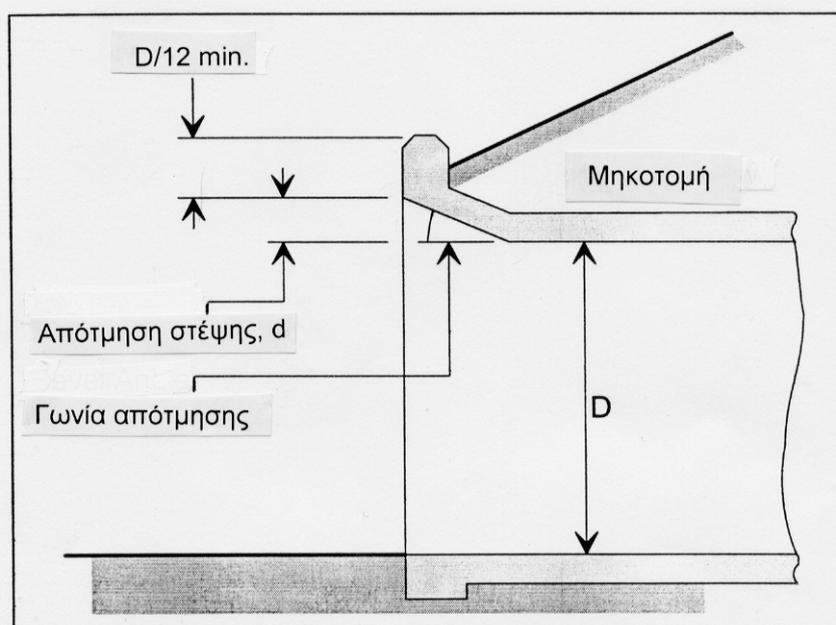
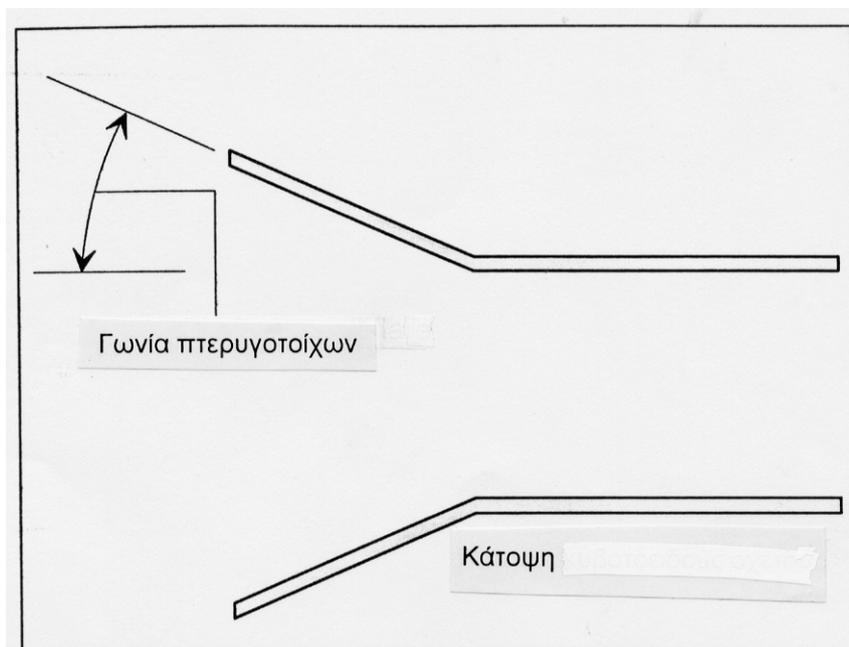
Y [m] : το βάθος ροής

Z [m] : το απόλυτο υψόμετρο της κοίτης

V [m/s] : η ταχύτητα ροής

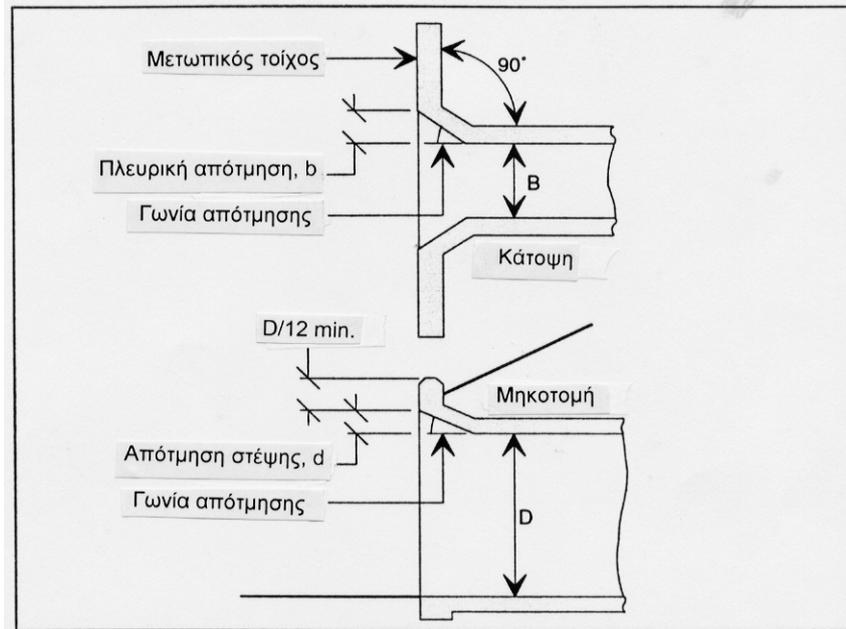
g [m/s²] : η επιτάχυνση της βαρύτητας

K_e [-] : ο συντελεστής τοπικών απωλειών εισόδου ο οποίος λαμβάνει τιμή $K_e=1$ όταν ο οχετός λειτουργεί με ελεύθερη επιφάνεια και τιμές $K_e<1$ σύμφωνα με τα επόμενα σχήματα όταν λειτουργεί υπό πίεση.

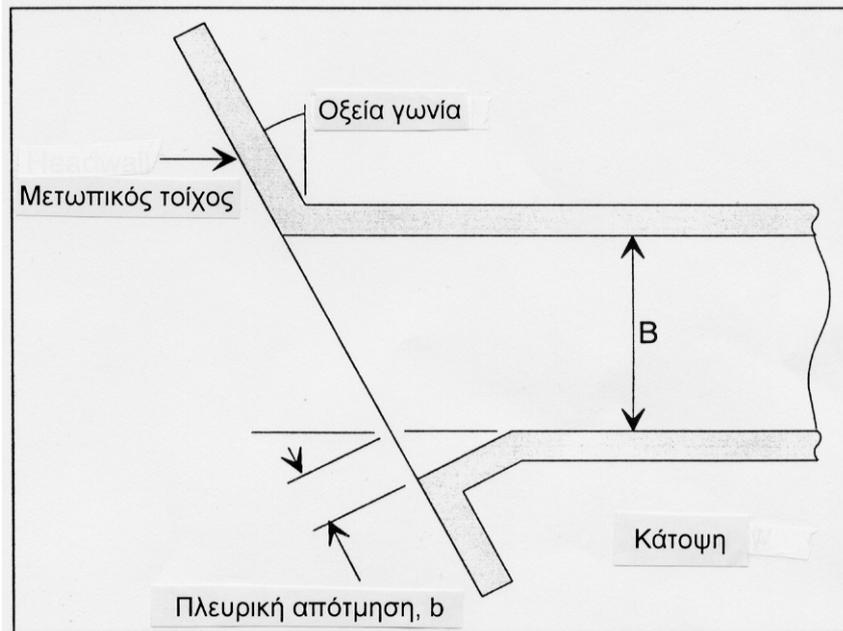


Σχήμα 9.2-1: Διαμορφώσεις στομίου εισόδου κιβωτοειδούς οχετού με γωνία πτερυγοτοιχών $10^\circ \leq \theta \leq 25^\circ$

- με απότμηση της στέψης, $K_e=0,20$
- χωρίς απότμηση, $K_e=0,50$

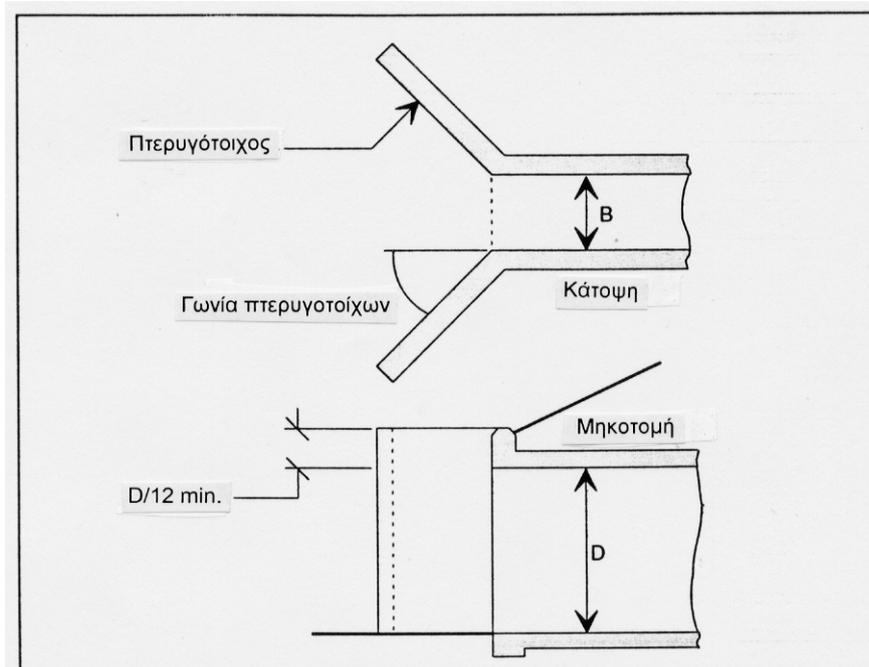


- α. με λοξότητα πτερυγότοιχων 90°
- με αποτμήσεις στις κατακόρυφες ακμές και στη στέψη, $K_e=0,20$
 - με αποτμήσεις μόνο στις κατακόρυφες ακμές, $K_e=0,50$

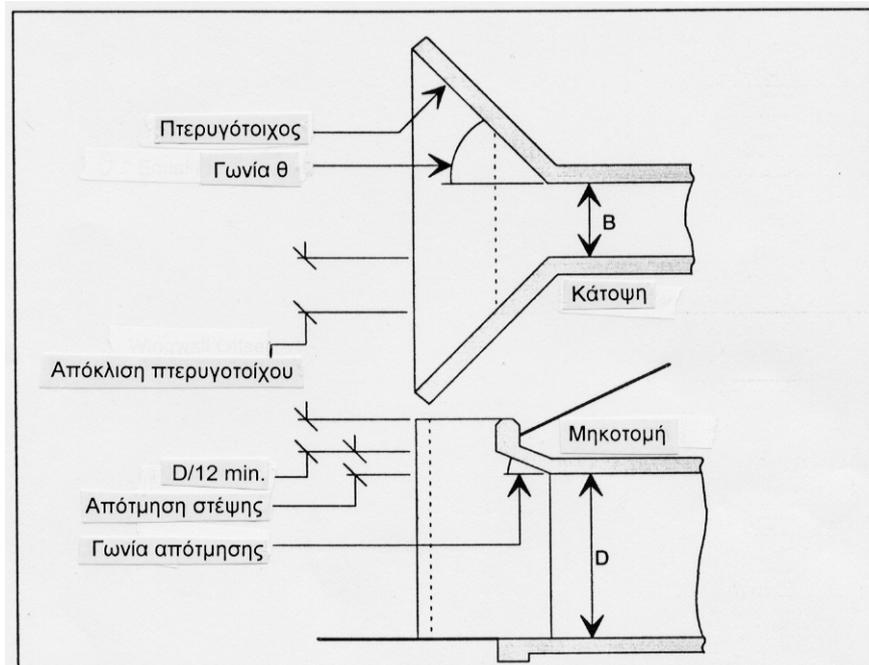


- β. με λοξότητα πτερυγότοιχων $<90^\circ$ και απότμηση μόνο στη μια κατακόρυφη ακμή και στη στέψη $K_e=0,50$

Σχήμα 9.2-2: Διαμορφώσεις στομίου εισόδου κιβωτοειδούς οχετού με μετωπικούς πτερυγότοιχους (παράλληλοι της οδού).



α. χωρίς απότμηση στη στέψη, $K_e=0,40$



β. με απότμηση στη στέψη, $K_e=0,20$

Σχήμα 9.2-3: Διαμορφώσεις στομίου εισόδου κιβωτοειδούς οχετού με λοξούς πτερυγότοιχους υπό γωνία $30^\circ \leq \theta \leq 75^\circ$. Οι κατακόρυφες ακμές του στομίου στην ίδια θέση με τη θλάση που γίνεται στη στέψη.

Σημείωση: Όταν $\theta \leq 30^\circ$ τότε $K_e=0,06$

- Στις διατομές εξόδου ο έλεγχος θα γίνεται με την εξίσωση:

$$E = \varepsilon \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \quad (9.2-2)$$

όπου:

E [m] : το ύψος της γραμμής ενέργειας

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 πτερυγοτόιχων.

| | |
|---|--------------------|
| Οχετός με έξοδο χωρίς πτερυγότοιχους | $\varepsilon=0,82$ |
| Οχετός με πτερυγότοιχους εξόδου υπό γωνία $\theta = 45^\circ$ (1/1) | $\varepsilon=0,87$ |
| Οχετός με πτερυγότοιχους εξόδου υπό γωνία $\theta = 26^\circ$ (1/2) | $\varepsilon=0,68$ |
| Οχετός με πτερυγότοιχους εξόδου υπό γωνία $\theta = 18^\circ$ (1/3) | $\varepsilon=0,41$ |
| Οχετός με πτερυγότοιχους εξόδου υπό γωνία $\theta = 14^\circ$ (1/4) | $\varepsilon=0,27$ |

Συνιστάται η γωνία θ των πτερυγότοιχων να σχεδιάζεται με τη σχέση:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{2Fr} \right) \quad (9.2-3)$$

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:

$$\Delta x = \Delta E / (S_o - S_f) \quad (9.2-4)$$

$$S_f = n^2 V^2 / R^{2/3} \quad (9.2-5)$$

όπου:

Δx [m] : το μήκος μεταξύ των ελεγχόμενων 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 (μη-μόνιμη 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. Αυτά δεν πρέπει να έχουν κατακόρυφα πλευρικά τοιχία μεγάλου ύψους, που να υπερβαίνει 1,5 φορά το ύψος του οχετού, και σε κάθε περίπτωση να είναι ≤ 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 $u:\beta=1:2$, οπότε θα εγκαθίσταται και διάταξη κλίμακας πλάτους 80 cm.

Κατά τους υδραυλικούς υπολογισμούς οχετών, σε περιοχές με περιβαλλοντικά προβλήματα και για παροχές μεγαλύτερες των $50 \text{ m}^3/\text{s}$, επιβάλλεται να γίνεται συνεκτίμηση του όγκου της στερεοπαροχής, αλλά και η επίλυση του προβλήματος από τη στερεοπαροχή με αποδεκτές μεθόδους (π.χ. σχέση $\Phi=f(\psi)$, Einstein).

Σε περίπτωση οχετών ανοίγματος $L_w > 2$ m συνιστάται να γίνεται διαμόρφωση του οχετού με αμετάβλητη τη μέση υγρή 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, σύμφωνα με 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 Έργων 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 των μεσοτοιχιών με στρογγύλευση των ακμών τους, 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 1,00 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 για τους ακόλουθους λόγους.

- Η διαφορετική ακαμψία μεταξύ αγωγών και οχετού ενδεχομένως να προκαλέσει θραύση στην ένωσή τους και να κατεισθύνει 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 υιοθετηθούν στη μελέτη "Ιρλανδικές γέφυρες", με πλήρη αιτιολόγηση.

Σε αυτή την περίπτωση ο σχεδιασμός πρέπει να εξασφαλίζει ότι:

- Το μέγιστο βάθος ροής για παροχή 5-ετίας πάνω από την ερυθρά της οδού, σε οποιοδήποτε σημείο της δεν πρόκειται να υπερβαίνει τα 25 cm
- Η ταχύτητα ροής του υδατορέματος πάνω στην οδό θα είναι ≤ 2 m/s
- Οι διαβρώσεις σε εξέλιξη στα ανάντη ή κατόντη της διάβασης, που οδηγούν προοδευτικά σε υποσκαφές, δεν πρόκειται να προξενήσουν κατάρρευση του οδοστρώματος, κατά τη διάρκεια της ροής ή και μετά από αυτή, οπότε θα πρέπει να διατάσσονται ισχυροί χαλινοί στα εκατέρωθεν άκρα της διάβασης, των οποίων η ακαμψία θα εξασφαλίζεται με την ισχυρή πάκτωση στις όχθες και με εγκάρσιες συνδετήριες δοκούς σε αποστάσεις διπλάσιες του πλάτους της διάβασης, αλλά ≤ 15 m.

9.6 Ανεστραμμένοι Σίφωνες

Είναι τεχνικά έργα τα οποία οδηγούν υπό πίεση ένα υδατόρεμα κάτω από την οδό, που βρίσκεται σε όρυγμα, ή κάτω από ένα εμπόδιο το οποίο βρίσκεται σε κάποιο βάθος. Γενικώς δεν προβλέπεται η δυνατότητα κατασκευής ανεστραμμένων σιφώνων αποχέτευσης όμβριων. Στην περίπτωση που γίνουν δεκτοί ανεστραμμένοι σίφωνες, 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 τάφος σχεδιάζεται με κλίση $u:\beta=1:3$ και η απαγωγός με κλίση $u:\beta=1:5$. Ο συντελεστής απώλειας φορτίου εισόδου λαμβάνεται ίσος με $K_e=0,5$.

9.7 Προστασία Κοίτης Οχετού Έναντι 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 V [m/s] | $V \leq 5$ | $5 < V \leq 6$ | $6 < V \leq 8$ | $8 < V \leq 9,5$ | $9,5 < V \leq 11$ |
|------------------------|------------|----------------|----------------|------------------|-------------------|
| 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 παροχευτικής ικανότητας φυσικούς αποδέκτες, πρέπει να αντιμετωπίζεται κατά τη μελέτη. Για αυτό το σκοπό παρατίθεται ένας κατάλογος ερωτημάτων που υποβοηθά στον έλεγχο της κατάλληλης αντιμετώπισης των υπόψη κινδύνων (βλ. Πίνακα 9.8-1).

Πίνακας 9.8-1: Κριτήρια 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 της παροχής σχεδιασμού; | | | |
| 4 | Εχει ελεγχθεί τι θα συμβεί σε πολύ μεγάλο πλημμυρικό επεισόδιο, π.χ. 100-ετίας, 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 σ' αυτή την περίπτωση έλεγχος επάρκειας με τη νέα διαμόρφωση; | | | |
| 7 | Η υφιστάμενη πριν από το έργο διάιτα 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 διάιτα 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 όταν η οδός βρίσκεται στην ευρεία πλημμυρική κοίτη ενός υδατορέματος ή διασταυρώνει αυτό. Οι κίνδυνοι αυτοί είναι:

- Διαβρωτική δράση που πιθανό να υποσκάψει τις θεμελιώσεις των έργων,
- Επιφόρτιση των έργων με δυνάμεις απρόβλεπτες που ασκούνται τόσο από τα υπόγεια όσο και από τα επιφανειακά νερά,
- Μεταφορική δραστηριότητα των νερών κατά την οποία μεταφέρονται στην περιοχή των έργων υλικά που δυσχεραίνουν τη λειτουργία τους και επιβαρύνουν τη συντήρηση,
- 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 παράλληλα με αυτήν. Τέτοιες εργασίες συνήθως απαιτούνται όταν χρειάζεται:

- Ρύθμιση της ροής, στα ανάντη ή κατόντη των οχετών ή γεφυρών ρεμάτων
- Σταθεροποίηση των υφιστάμενων ρεμάτων που οδεύουν παράλληλα με την οδό
- Προστασία από διάβρωση κατά τη διάρκεια πλημμυρικών επεισοδίων σε ρέματα, που βρίσκονται κοντά σε πρηνή επιχωμάτων της οδού
- Προσωρινή ή μόνιμη εκτροπή της κοίτης ρεμάτων για την κατασκευή της οδού
- 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 συνεργαζόμενα έργα όπως είναι:

- Τοπικός καθαρισμός και διαμόρφωση της κοίτης, ισοπέδωση του πυθμένα, διαπλάτυνση της κοίτης, τοπική ευθυγράμμιση, ρηχές εκβαθύνσεις, κατασκευή και συντήρηση αναχωμάτων, καθώς και άλλες απλές χωματοουργικές επεμβάσεις

- Επενδύσεις της κοίτης, του πυθμένα ή/και των πρανών, με εύκαμπτα υλικά, όπως είναι: οι φυτεύσεις, οι λιθορριπές, οι λιθοπλήρωτοι συρματοκλωβοί (συρματοστρώματα, συρματοκιβώτια)
- Ρυθμίσεις της ροής με οριζοντιογραφικές και μηκοτομικές αλλαγές του άξονα της ροής με αναβαθμούς, προβόλους
- Ρυθμίσεις της ενέργειας της ροής με διατάξεις θραύσης ενέργειας, λεκάνες ηρεμίας ή υπερχειλιστές
- Ρύθμιση της στερεομεταφοράς ανάντη των έργων της οδού με φράγματα συγκράτησης φερτών, με λεκάνες συγκράτησης φερτών και κατάντη της οδού με αναρυθμιστικές δεξαμενές
- Έργα συμβολής των τάφρων της οδού στα υδατορέματα
- Έργα προσωρινής ή μόνιμης εκτροπής της ροής υδατορεμάτων σε κατάλληλες θέσεις όπου 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 ότι επιτυγχάνονται τα ακόλουθα:

- Ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στις όμορες εκτάσεις και χρήσεις γης
- Αποτροπή εμφάνισης προβλημάτων από πλημμύρα στα ανάντη των προς εκτέλεση εργασιών
- Διατήρηση των φυσικών συνθηκών στα κατάντη των προς εκτέλεση εργασιών
- Αποτροπή εμφάνισης μακροπρόθεσμων προβλημάτων, λόγω δημιουργίας αποθέσεων φερτών ή συνθηκών διάβρωσης και γενικώς προβλημάτων που επηρεάζουν την απόδοση του τεχνικού ή θέτουν σε κίνδυνο την ακεραιότητα της οδού
- Έλεγχος της αλληλεπίδρασης σε γειτονικά τεχνητά ή φυσικά σχετικά δίκτυα και ιδιαίτερα σε παρακείμενες περιοχές οικισμών, ανθρωπογενών χρήσεων γης, ή περιβαλλοντικής ευαισθησίας
- Προσδιορισμός των απαιτούμενων συμπληρωματικών έργων ελέγχου της προαναφερόμενης αλληλεπίδρασης
- Τεκμηρίωση των απαιτούμενων επεμβάσεων 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. Σκοπός είναι 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 του ορίου των 200 m 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 ένα υποδιαστασιοποιημένο 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 επιβάλλεται 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 οι 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 κατόντη) 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, 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.

10.4 Σχεδιασμός Έργων και Λοιπών Επεμβάσεων

Στόχος είναι το κόστος μιας επέμβασης να μειωθεί σημαντικά με έργα περιβαλλοντικά αποδεκτά, τα οποία η φύση μπορεί να τα αφομοιώσει με τις διεργασίες της. Γι αυτό ο σχεδιασμός των επεμβάσεων πρέπει να συνεκτιμά σε βάθος όλες τις παραμέτρους που επηρεάζουν μακροχρόνια τα υδραυλικά έργα 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 χωματοουργικές επεμβάσεις.

Τα έργα καθαρισμού κατά κανόνα εφαρμόζονται όταν η κοίτη περιορίζεται από εκτεταμένη ανάπτυξη βλάστησης, συσσώρευση φερτών και πάσης φύσεως θραυσμάτων βράχων, ή εμφράζεται από πλαγιασμένα δένδρα, ή από δένδρα που έχουν απλωμένες επιφανειακά ρίζες. Ενώ μόνο όταν απαιτείται μια ελαφρά αύξηση της υδραυλικής παροχетеυτικότητας, αυτή 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 ≥ 40 cm), καθώς και ειδών με περιβαλλοντική αξία. Επειδή ο καθαρισμός μειώνει την τραχύτητα και σε κάποιες περιπτώσεις αυξάνει τη διατομή της ροής, αυτός 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 τη διάβρωση και τον κίνδυνο αστάθειας της διάιας, αυτά τα έργα πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερης έκτασης και να εφαρμόζονται όταν είναι επιθυμητή μια μικρή μόνο επαύξηση της παροχетеυτικότητας.

Τα έργα διαπλάτυνσης της κοίτης κατά κανόνα εφαρμόζονται όταν πρέπει να αυξηθεί σημαντικά η παροχетеυτικότητας 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 διαπλάτυσεων πρέπει απαραίτητα να ενσωματώνει και να ισορροπεί τις αντιμαχόμενες φυσικές δραστηριότητες, που συσχετίζονται με τη διαβρωτική 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).

Όταν η απόσταση των αναχωμάτων από τις όχθες είναι εξαιρετικά μικρή, τότε 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, ενώ τέλος μπορεί να αυξάνουν την τάση απόθεσης φερτών υλικών, όταν η δίαυτα του νερού στην περιοχή είχε τέτοια τάση στη γύρω από την κοίτη περιοχή.

Συνεπώς η προσέγγιση 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 δίαυτα της ροής με κατάλληλες μεθόδους (π.χ. ανάλυση Shields).

Τέλος, ο υδραυλικός σχεδιασμός πρέπει να συνοδεύεται και από γεωτεχνικούς ελέγχους της ευστάθειας των πάσης φύσεως πρανών (όχθων-αναχωμάτων), που δημιουργούνται με αυτές τις επεμβάσεις, μέσα από μια βήμα προς βήμα προσέγγιση στην οποία θα περιλαμβάνονται:

- α. Η περιγραφή των χαρακτηριστικών της περιοχής, που συνεισφέρει ή επηρεάζεται από τα έργα στην κοίτη
- β. Ο προσδιορισμός και η προσέγγιση των υπάρχοντων ασταθειών-κατολισθήσεων
- γ. Η ανάλυση των παραμέτρων ευστάθειας για την υπάρχουσα κοίτη
- δ. Η εκτίμηση και ανάλυση προβλημάτων της δυναμικής αστάθειας στο έργο και τη θεώρηση όλων των δυνατών μέτρων για τον περιορισμό της
- ε. Η σύνοψη των συμπερασμάτων και οι σχετικές 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 συμβουλευτεί και άλλα διάφορα έγκριτα εγχειρίδια 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):

$$D_{50} = A \cdot \left[\frac{0,040^2}{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot C_s} \right]^{1,50} \cdot \frac{V^3}{\sqrt{h}} \quad \text{και} \quad W_{50} = \frac{\pi \cdot D_{50}^3}{6} \cdot \gamma_s \quad (10.4-1)$$

όπου :

| | | |
|--------------------------------|---|---|
| D_{50} [m] | = | η ελάχιστη θεωρητική διάμετρος λίθων που δεν παρασύρεται από τη ροή |
| γ_s [t/m ³] | = | το ειδικό βάρος λιθορριπής ίσο με 2,65 |
| γ_w [t/m ³] | = | το ειδικό βάρος νερού ίσο με 1,00 |
| V [m/sec] | = | η ταχύτητα ροής στη θέση της λιθεπένδυσης |
| h [m] | = | το βάθος ροής στη θέση της λιθεπένδυσης |
| C_s [-] | = | η σταθερά Shields που κυμαίνεται μεταξύ 0,040 και 0,060 |
| A [-] | = | ο συντελεστής ασφαλείας που λαμβάνεται ίσος με 1,50 για συνθήκες έντονα μεταβαλλόμενης ανομοιόμορφης ροής |
| W_s [t] | = | το ελάχιστο ατομικό βάρος λίθων που συνιστούν "σταθερό πυθμένα" |

- 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 $a/c \leq 3,5$

Σύμφωνα με το MODEL DRAINAGE MANUAL by AASHTO, η κοκκομετρική διαβάθμιση των λιθεπένδυσων 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) |
|---|--|---|
| $1,50 \cdot D_{50} \leq D \sim 55 \text{cm} \leq 1,70 \cdot D_{50}$ | $3,00 \cdot W_{50} \leq W \sim 230 \text{Kg} \leq 5,00 \cdot W_{50}$ | 100% |
| $1,20 \cdot D_{50} \leq D = 45 \text{cm} \leq 1,40 \cdot D_{50}$ | $2,00 \cdot W_{50} \leq W \sim 125 \text{Kg} \leq 2,75 \cdot W_{50}$ | 85% |
| $1,00 \cdot D_{50} \leq D = 35 \text{cm} \leq 1,15 \cdot D_{50}$ | $1,00 \cdot W_{50} \leq W \sim 60 \text{Kg} \leq 1,50 \cdot W_{50}$ | 50% |
| $0,40 \cdot D_{50} \leq D = 15 \text{cm} \leq 0,60 \cdot D_{50}$ | $0,10 \cdot W_{50} \leq W \sim 5 \text{Kg} \leq 0,20 \cdot W_{50}$ | 15% |

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 tkm
- 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)

Διαστάσεις λιθορριπής. Ο σχεδιασμός των στρώσεων λιθορριπής πρέπει να αποβλέπει στη διευκόλυνση της κατασκευής. Οι λίθοι δεν πρέπει να προεξέχουν σημαντικά της επιφάνειας της στρώσης, προκειμένου 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. Εάν αυτό συμβεί τότε δημιουργούνται μεγάλα κενά, που διευκολύνουν την απόπλυση του υλι-

κού 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}). Εξ' αυτών 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 επένδυσης πρέπει να περιορίζεται στην τιμή $\mu:\beta \leq 1:1,5$. Επιβάλλεται μάλιστα η ανάλυση της ευστάθειας των πρηνών.

Διαμόρφωση του ποδός και των άκρων της λιθορριπής. Εφαρμόζονται τα εξής:

- **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 (T) των άκρων της λιθορριπής πρέπει να αυξάνεται σύμφωνα με τον επόμενο Πίνακα.

| | |
|--|---|
| | <p>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.</p> |
| | <p>Οι στρώσεις λιθορριπής, που υπερβαίνουν το πάχος των 30 cm, μπορεί να μειώνονται για μια απόσταση a στην οποία η ταχύτητα ροής θα είναι μειωμένη, ώστε να μη διαβρώνεται η κοίτη.</p> |
| | <p>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 (T) και το πάχος της ενίσχυσης 2</p> |

| | |
|--|-----------------------------------|
| | φορές το πάχος της λιθορριπής (T) |
|--|-----------------------------------|

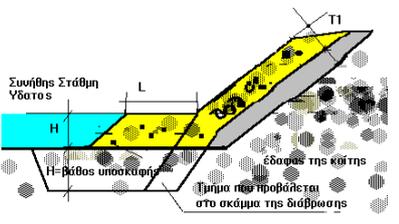
Η απόφαση να τερματίζεται η λιθορριπή σε περιοχές όπου η ταχύτητα υπερβαίνει την ταχύτητα διάβρωσης της φυσικής κοίτης πρέπει να λαμβάνεται με προσοχή επειδή στην περιοχή του τερματισμού εξαιτίας της τύρβης που αναπτύσσεται από τη διαφοροποίηση της τραχύτητας είναι δυνατό να αναπτυχθούν εκτενείς διαβρώσεις και συνεπώς αστοχία της λιθορριπής.

Προστασία του ποδός της λιθορριπής. Αυτή 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 χαλίγια

Η αντιμετώπιση της προστασίας του ποδός της λιθορριπής μπορεί να γίνεται με την επιλογή ενός από τους τρόπους που παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα.

| | |
|--|---|
| | <p>(1) Όταν οι εκσκαφές της θεμελίωσης του ποδός μπορεί να γίνουν εν ξηρώ, τότε οι στρώσεις λιθορριπής μπορεί 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, τότε μπορεί να εφαρμοστεί η τέταρτη λύση που δεν απαιτεί εκσκαφές.</p> |
| | <p>(2) Όταν ο πυθμένας της κοίτης είναι υλικό που δεν υπόκειται διαβρώνεται εύκολα σε διάβρωση, τότε η τυπική στρώση της λιθορριπής πρέπει να αγκυρώνεται στον σχηματισμό του υλικού για την πρόληψη της ολίσθησης.</p> |
| | <p>(3) Όταν πρόκειται η λιθορριπή να τοποθετηθεί κάτω από το νερό και δεν αναμένεται σημαντική διάβρωση και υποσκαφή (όπως για παράδειγμα σε ροή ευθύγραμμης διάιτας, που δεν είναι κατάντη καμπύλων), τότε ο ποδός μπορεί να διαμορφωθεί ως πρόβολος με την τοποθέτηση πάνω στον πυθμένα της</p> |

| | |
|---|---|
| | <p>κοίτης μιας στρώσης μήκους (c) ίσου με 5 φορές το πάχος (T1) και πάχους (a) ίσου με 1,5 φορές το πάχος (T1).</p> |
|  | <p>(4) Όταν απαιτείται να διαστρωθεί λιθορριπή σε υγρή κοίτη και είναι επιθυμητή η οικονομία στην κατασκευή, τότε μπορεί να επιλεγθεί η λύση της συσσώρευσης λίθων στον πόδα, οι οποίοι αργότερα θα καταλάβουν και θα ενισχύσουν την περιοχή της υποσκαφής. Αυτή η μέθοδος έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, όσον αφορά στην συντήρηση, επειδή προλαμβάνει αιφνίδιες καταρρεύσεις από διάβρωση. Η κατασκευή προσδιορίζεται από τις ακόλουθες αναλογίες:</p> <p>Κλίση προβολής, ύψος:μήκος=1:2</p> <p>Βάθος υποσκαφής = υπάρχουσα στάθμη πυθμένα – μέγιστη στάθμη υποσκαφής</p> <p>Πάχος μετά την προβολή = 1,5 φορές του πάχους της επένδυσης της όχθης</p> <p>Όγκος προβαλλόμενης λιθορριπής 3,35 x T1 (πάχος)</p> |

(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 μπορεί να εφαρμοζονται οι ακόλουθες απαιτήσεις για την εφαρμογή της εξίσωσης της ορμής:

- Η πλευρική τάφρος σχεδιάζεται με την ίδια μορφή της κύριας κοίτης του υδατορέματος

- Οι κλίσεις του πυθμένα στην περιοχή της συμβολής διατηρούνται ίδιες και για τους δύο αποδέκτες
- Οι ροές διατηρούνται παράλληλες με τα τοιχώματα στις όχθες, στην περιοχή της συμβολής ανάντη και κατάντη
- Τα βάθη ροής τηρούνται περίπου ίσα και στους δύο αποδέκτες στην περιοχή της συμβολής
- Η κατανομή της ταχύτητας είναι ομοιόμορφη στις αμέσως ανάντη διατομές της συμβολής

10.5 Κατάληψη 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 υπερύψωσης από το άκρο του διευθετούμενου τμήματος θα ακύρωνε τις θεωρήσεις που συνεπάγεται η μελετητική αυτή προσέγγιση
- 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, ενώ η κατασκευή επιχώματος αναγκάζει το σύνολο αυτής της ροής 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, τότε προτείνονται μέτρα που ελέγχονται με υδραυλικά υπολογιστικά μοντέλα, ώστε να βελτιώνονται οι συνθήκες και τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν επεμβάσεις που αυξάνουν την παροχетеυτικότητα της κανονικής κοίτης των ποταμών-χειμάρρων.

10.6 Προστασία από τη Διάβρωση

Όπωςδήποτε 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. Laursen, CSU equation, Froelich equation, HIRE equation κτλ.) ώστε να διαμορφωθεί ολοκληρωμένη άποψη για την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Η εκτίμηση θα γίνεται με τις ακόλουθες εξισώσεις.

- α. Βάθος υποσκαφής (D_s) κάτω από γέφυρες

εάν το μήκος της γέφυρας (L) είναι μικρότερο από το πλάτος (W) της δίαυσης 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

$$R_s = 0,475 (Q/f)^{1/3} \quad (10.6-4)$$

– όταν η διάβαση είναι στενότερη από το πλάτος της κοίτης

$$R_s = 1,350 (q/f)^{1/3} \quad (10.6-5)$$

όπου:

R_s [m] : υδραυλική ακτίνα της δίαυσης

Q [-] : μέγιστη πλημμυρική παροχή

q [m³/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

$$D_s = 4,2b' (y_o/b')^{0,78} Fr^{0,52} \quad (\text{Inglis}) \quad (10.6-6)$$

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)

$$H = 2,6 (y_2 - y_1) \quad (10.6-7)$$

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. Βάθος υποσκαφής από τη στάθμη του πυθμένα στα κατάντη οχετών (Breusers & Raudkivi):

$$D_s = 0,65H (V_o/V_c)^{1/3} \quad (10.6-8)$$

πλάτος υποσκαφής:

$$B_s = 7,50H Fr^{2/3} \quad (10.6-9)$$

μήκος υποσκαφής:

$$L_s = 15H Fr^{2/3} \quad (10.6-10)$$

κρίσιμη διατμητική ταχύτητα:

$$V_c = (\tau_c/\rho)^{1/2} \quad (10.6-11)$$

Διάτμηση:

$$\tau_c = 0,04 \text{ έως } 0,06 (\rho_s - \rho)g d_s \quad (10.6-12)$$

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/m³] : το ειδικό βάρος του υλικού της κοίτης (η συνήθης τιμή είναι 2650 kg/m³)

ρ [kg/m³] : το ειδικό βάρος του νερού

g [m/s²] : 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 διαίτα 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 μεσοβάθρων

Τα τοπικά έργα στα ανάντη και στα κατόντη γεφυρών εκτείνονται σε:

- μήκος προς τα ανάντη [m] : $L=b'$
- μήκος προς τα κατόντη [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, ανάλογα με τις επικρατούσες υδραυλικές και γεωλογικές συνθήκες περιλαμβάνονται:

- Ο σχεδιασμός μεταβατικών έργων για την ελαχιστοποίηση της διαφοράς μεταξύ της ταχύτητας εξόδου και ταχύτητας στην κατόντη συνεχόμενη φυσική κοίτη
- Η επένδυση των πρανών (όχθρων) 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 ανάλογα με τα αναμενόμενα όρια ταχυτήτων (βλ. Πίνακα 10.6-1).

Πίνακας 10.6-1: Επιτρεπόμενες ταχύτητες ανάλογα υλικών επένδυσης

| Ταχύτητες [m/s] | Συνιστώμενα υλικά έργων |
|-----------------|--|
| | Απλές διαμορφώσεις-ισοπέδωση της κοίτης από υλικό: |
| <0,75 | • λεπτή άμμος και αργιλοϊλύες |
| <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 | Ισχυροί συρματοκλωβοί (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:

- την κλίση, τη μορφολογία και το υπάρχον υλικό της κοίτης,
- 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 πετρωμάτων

| Πετρώματα | 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 κατασκευαστούν λιθορριπές στην έξοδο (έστω δέκα) οχετών με διαφορετικές μέσες διαμέτρους λίθων, τότε θα πρέπει να προδιαγράφονται για την κατασκευή μια ή δυο μόνο μέσες διαμέτροι λίθων.

Όταν χρησιμοποιούνται λιθοπλήρωτοι συρματοκλωβοί, η μελέτη θα βασίζεται σε προδιαγραφές και συστάσεις που δίνονται σε σχετικές οδηγίες του κατασκευαστή, (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 δίαυσης των φερτών υλικών σε ένα υδατόρεμμα και για την άρση των επιπλοκών, απαιτείται μελέτη με την οποία καθορίζονται:

- Η διαχείριση της στερεομεταφοράς στον υδραυλικό σχεδιασμό
- Κάποιο μέσο για τη διαστασιολόγηση εφικτών έργων ελέγχου της στερεομεταφοράς (διάβρωσης ή απόθεσης)
- Οι θέσεις όπου απαιτούνται τέτοια έργα
- Οι εκτιμώμενες ποσοτικά εφικτές δραστηριότητες συντήρησης

Βασικές πληροφορίες μπορεί 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 συγκεκριμένων ρεμάτων
- Πληροφορίες από την εμπειρία των κατοίκων της περιοχής
- Συγκριτική αξιολόγηση αεροφωτογραφιών της περιοχής από φωτοληψίες, οι οποίες πρέπει να απέχουν χρονικά 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 τη διαχείριση των ποταμών
- γ. Εφαρμογή εμπειρικών μεθόδων που βασίζονται στα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής, όπως η “Universal Soil Loss Equation”, οπότε απαιτείται η 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 κατόντη 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 υποσκαφής και διάβρωσης της κοίτης. Παράλληλα 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 της Δασικής, 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, καθώς και στρατηγικές διαχείρισης των φερτών υλικών, όπως για παράδειγμα κατασκευή στα ανάντη φραγμάτων ελέγχου από συρματοκιβώτια φθοράς, παγίδων 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 Λιθοπλήρωτοι Συρματοπλεκτοί Κλωβοί Υδραυλικών Κατασκευών

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 επιφάνεια των συρματοκλωβών, είτε όταν αυτό ρέει διαμέσου του όγκου των λίθων
- το έδαφος που προστατεύεται και αντιστηρίζεται με τους συρματοκλωβούς
- το ίδιο βάρος της κατασκευής 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. 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 να προστατεύουν και αντιστηρίζουν. Έτσι με τις συνήθεις μεθόδους της εδαφομηχανικής θα εκτιμώνται με ορθότητα οι συνθήκες ισορροπίας των εδα-

φών 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 ιδιαίτερη προσέγγιση, επειδή πρέπει πρώτα να εκτιμηθούν με κατάλληλη μέθοδο αυτές οι παραμορφώσεις. Στη συνέχεια μπορεί 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 μπορεί 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 μπορεί να φέρουν θλιπτικές, εφελκυστικές και διατμητικές τάσεις. Οι εφελκυστικές τάσεις λαμβάνονται κυρίως από το δικτυωτό σύρμα που περιβάλλει 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 $1\ 000\ \text{kg/m}^3$, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις εξαιρετικά τυρβώδους ροής, που το νερό μεταφέρει εν αιώρηση λεπτόκοκκα φερτά, μπορεί να έχει την τιμή $1\ 500\ \text{kg/m}^3$. Ενδιάμεσες τιμές μπορεί να υιοθετούνται εκτιμώντας τις τοπικές συνθήκες ροής.

Τα βάρη των λίθων δίνονται στον Πίνακα 10.6-2. 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 αυτού του μεγέθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση:

$$\gamma_g = \gamma_s(1 - \varepsilon) \quad (10.8-1)$$

όπου:

γ_g [kN/m^3] : το βάρος ανά μονάδα όγκου του λιθοπλήρωτου συρματοκλωβού

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 ο συρματοκλωβός είναι βυθισμένο, τα κενά γεμίζουν με νερό, οπότε η εξίσωση γίνεται:

$$\gamma_{gu} = [\gamma_s(1-\varepsilon) + \varepsilon \cdot u \cdot \gamma_w] \quad (10.8-2)$$

όπου:

γ_{gu} [kN/m³] : το βάρος ανά μονάδα όγκου του συρματοκλωβού βυθισμένου

γ_s [kN/m³] : το βάρος ανά μονάδα όγκου του λίθου

γ_w [kN/m³] : 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:

$$\gamma_{gw} = (\gamma_s - \gamma_w)(1-\varepsilon) \quad (10.8-3)$$

όπου:

γ_{gw} [kN/m³] : το βάρος ανά μονάδα όγκου του συρματοκλωβού πλήρως βυθισμένου

γ_s [kN/m³] : είναι το βάρος ανά μονάδα όγκου του λίθου

γ_w [kN/m³] : 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/m² για κατασκευές με πάχος από 40 έως 100 cm.

Στην περίπτωση που οι κατασκευές είναι βυθισμένες σε νερό στον πυθμένα, τότε ως επιτρεπόμενη διατμητική τάση θα λαμβάνεται το μέγεθος

$$\tau_c = C \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d_m \quad (10.8-4)$$

όπου:

τ_c [kN/m³] : η επιτρεπόμενη διατμητική τάση

C [-] : ο συντελεστής Shields ($C= 0,10$ για τους συρματοκλωβούς)

d_m [m] : η μέση διάμετρος

Εάν οι κατασκευές βρίσκονται στις όχθες, τότε ως επιτρεπόμενη τάση θα λαμβάνεται το μέγεθος

$$\tau_s = \tau_c \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 41^\circ}} \quad (10.8-5)$$

όπου:

$$(\sin \theta)^2 = (\tan \theta)^2 / (1 + (\tan \theta)^2)$$

Η αναπτυσσόμενη διατμητική τάση από τη ροή στον πυθμένα είναι:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot y \cdot i \quad (10.8-6)$$

όπου:

τ_b [kN/m²] : η διατμητική τάση

γ_w [kN/m³] : 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:

$$\tau_m = 0,75 \cdot \gamma_w \cdot y \cdot i \quad (10.8-7)$$

όπου:

τ_m [kN/m²] : η διατμητική τάση

10.8.2 Αρχές σχεδιασμού

Οι λιθοπλήρωτοι συρματοκλωβοί κατασκευάζονται ως μεμονωμένα κιβώτια με παραλληλεπίπεδες έδρες, ή ως διαδοχικοί κλωβοί με ενιαίες εξωτερικές επιφάνειες και εσωτερικά διαφράγματα.

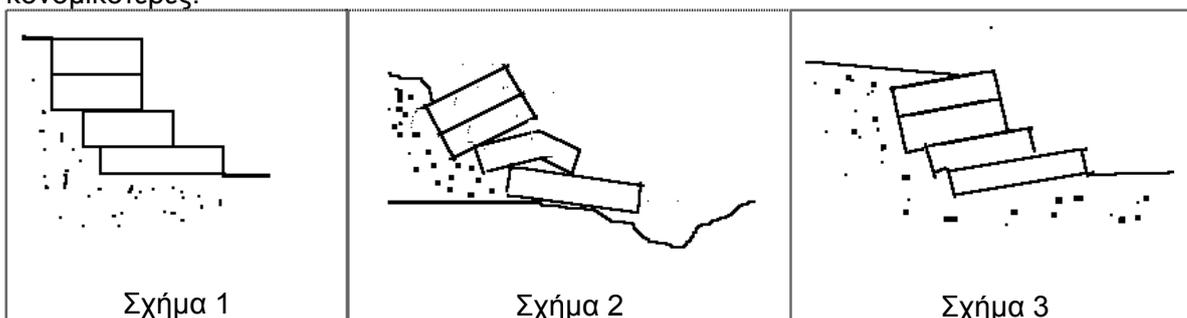
Οι διαστάσεις τους σχεδιάζονται έτσι ώστε τοποθετούμενα το ένα πάνω στο άλλο, ή σε επαφή δίπλα το ένα στο άλλο, να σχηματίζουν με ικανοποιητική ακρίβεια τη διατομή του έργου προστασίας. Συνήθως οι διαστάσεις τους σχεδιάζονται έτσι ώστε τελικά να προκύπτει μικρότερη απώλεια (φύρα) σε επιφάνεια πλέγματος, επειδή κάποια κομμάτια του πλέγματος κατά την κοπή δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν στην κατασκευή. Αυτές οι διαστάσεις προσδιορίζονται από τις διαστάσεις της κουλούρας του πλέγματος που κυκλοφορεί στο εμπόριο. Συνήθεις διαστάσεις είναι 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, θα πρέπει να μην επιλέγεται διάσταση πάχους μικρότερη από 50 cm. Ομοίως, πάχος ή πλάτος συρματοκιβωτίου με διάσταση μεγαλύτερη από 100 cm πρέπει να αποφεύγεται. Για

αυτό το λόγο 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 της θέσης του κέντρου βάρους της κατασκευής 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, 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. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, 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 από 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:

$$\tau_{b,c} = \left[\frac{n}{R^{1/6}} \right]^2 \gamma_u \cdot V^2 \quad (10.8.2-1)$$

όπου:

n [m^{-1/3}.s] : ο συντελεστής τραχύτητας

R [m] : η υδραυλική ακτίνα

γ_u [kg/m³] : το ειδικό βάρος του νερού

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 έως 10 cm) | 1,20 | 1,85 | 0,10 έως 1,00 |
| Στιφρή άργιλος | 1,85 | 1,85 | - |

Η εκτίμηση της αναπτυσσόμενης ταχύτητας κάτω από την επένδυση για τον σχεδιασμό του φίλτρου μπορεί να γίνει σύμφωνα με τα επόμενα:

Η επιτρεπόμενη ταχύτητα V_e 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) | Επιτρεπόμε. ταχύτητα V_e [m/s] |
|---|--|-------------------------------------|
| Αργιλοαμμώδες με περιεκτικότητα σε άμ- | 0,2 έως 0,4 | 2,2 έως 1,3 |
| | 0,4 έως 0,7 | 1,3 έως 1,0 |

| | | |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| μο <50% | 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 :

$$V_e = 16,1 \cdot d^{1/2} \quad (10.8.2-2)$$

Τέλος υπολογίζεται η απομένουσα ταχύτητα στον πυθμένα από την εξίσωση:

$$V_b = (1/n)[d_m / 2]^{2/3} i \cdot V^{1/2} \quad (10.8.2-3)$$

όπου:

V_b [m/s] : η ταχύτητα στον πυθμένα

η [$m^{-1/3} \cdot s$] : ο συντελεστής τραχύτητας λαμβάνεται από 0,020 έως 0,030

d_m [m] : η μέση διάμετρος των λίθων

i [m/m] : η κατά μήκος κλίση

V [m/s] : η ταχύτητα ροής στο υδατόρεμα

Ελέγχεται εάν $2V_e < V < 4V_e$

Η ταχύτητα μέσα από τον όγκο των λίθων του συρματοκλωβού εκτιμάται από την εξίσωση:

$$V_v = \left(\frac{Q}{y}\right) \left(\frac{1+e}{e}\right) \quad (10.8.2-4)$$

όπου:

V_v [m/s] : η ταχύτητα μέσα από τον όγκο των λίθων

Q [m^3/s] : η παροχή

y [m] : το βάθος ροής πάνω από το συρματοκλωβό

e [-] : ο λόγος των κενών

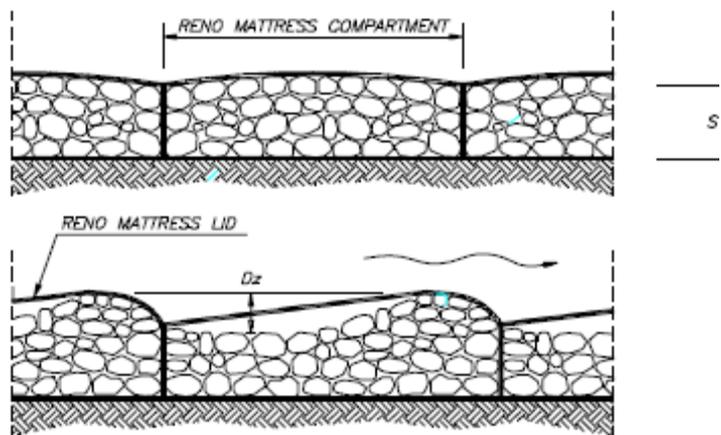
Ο σχεδιασμός της κλίσης των πρανών της όχθης που πρόκειται να επενδυθεί μπορεί να έχει τις εξής ελάχιστες τιμές:

| 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 μπορεί 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

Όταν οι διατμητικές τάσεις ανέρχονται στην κρίσιμη τιμή της συνθήκης «έναρξη μετακίνησης», μέρος των λίθων δέχεται κινήσεις προς τα κατάντη μέσα σε κάθε συρματοκλωβό. Προκειμένου να υπολογιστεί ο βαθμός της παραμόρφωσης χρησιμοποιείται η παράμετρος $\Delta z/d_m$, όπου Δz είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ της υψηλότερης και της κατώτερης στάθμης της επιφάνειας των λίθων εντός των συρματοκλωβών. Αυτή μπορεί να ορίζεται ως «ενεργός παράμετρος Shields»



Με βάση την εν λόγω ενεργό παράμετρο C' , προσδιορίζεται από τον επόμενο πίνακα η παράμετρος παραμόρφωσης.

| | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 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:

$$\Delta z/d_m < 2 (t/d_m - 1), \quad (10.8.3-3)$$

όπου:

t [m] : το πάχος της επένδυσης

Ο έλεγχος σε ολίσθηση θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$\Sigma H < \Sigma N \cdot \tan \varphi \quad (10.8.3-4)$$

όπου ΣH είναι η συνισταμένη των οριζοντίων δυνάμεων, οι οποίες ορίζονται ως ακολούθως:

$$\text{Υδροστατικές πιέσεις} \quad H = (1/2) \gamma_w h^2 \quad (10.8.3-5)$$

$$\text{Ωθήσεις εδάφους} \quad H = (1/2) \gamma_{tw} h^2 K_\alpha, \quad (10.8.3-6)$$

όπου:

$$K_\alpha = \tan^2(\pi/4 - \varphi/2)$$

$$\text{Υδροδυναμικές πιέσεις} \quad H = f(Q, V, \rho) \quad (10.8.3-7)$$

Ο συντελεστής ευστάθειας έναντι ολίσθησης εκφράζεται από τη σχέση:

$$S_s = \Sigma N \cdot \tan \varphi / \Sigma H \quad (10.8.3-8)$$

και πρέπει να είναι $S_s < 1,3$

Έλεγχος σε άνωση. Ο συντελεστής ευστάθειας σε άνωση πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$S_g = (\gamma_{gt} t + \gamma_w h) / \rho < 1,2 \quad (10.8.3-9)$$

Σε αυτή τη σχέση (ρ) είναι η υδροστατική πίεση στον πυθμένα της κατασκευής, (h) το βάθος του νερού και (t) το πάχος της επένδυσης.

Έλεγχος ευστάθειας σε ανατροπή. Ο έλεγχος ευστάθειας στις ροπές ανατροπής πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$\eta = M_{ευστ} / M_{αν} > 1,2 \quad (10.8.3-10)$$

Αναπτυσσόμενη τάση εφελκυσμού στο πλέγμα. 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:

$$F = 2 \cos 45^\circ \cdot (f / k) \cdot (\pi / 4) \cdot t^2 \quad (10.8.3-11)$$

όπου:

f [kN/m²] : 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 180°.
- 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 $\pm 5\%$ εκτός από το ύψος των στρωμάτων, όπου η ανοχή θα είναι $\pm 10\%$.

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 γαλβανισμένο 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/cm².

Η επένδυση του σύρματος θα είναι χρώματος μαύρου, γκρι, πράσινου ή αργυρώδους και οι αρχικές ιδιότητες της επένδυσης PVC θα συμφωνούν με τις ακόλουθες προδιαγραφές:

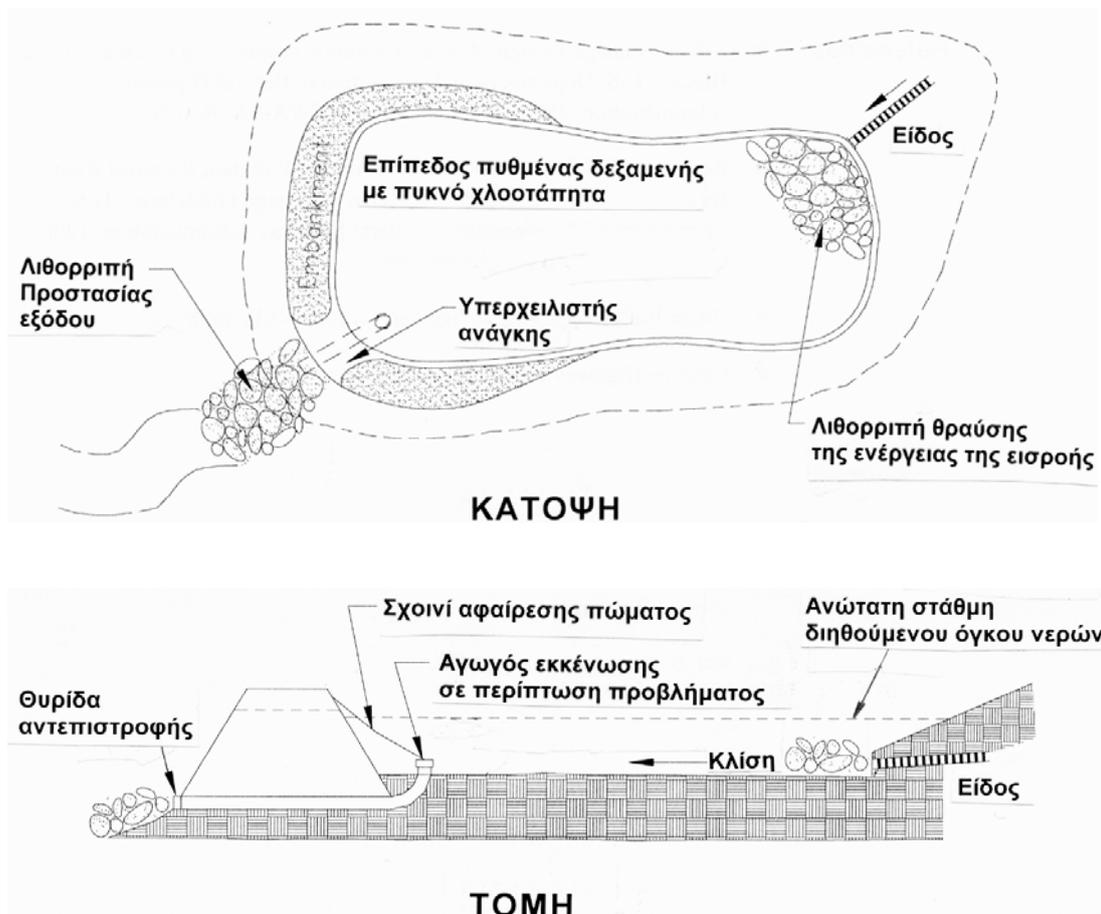
- Ειδικό βάρος: μεταξύ 1,25 και 1,35 της ASTM D 792
- Αντοχή σε τριβή: το ποσοστό της απώλειας βάρους θα είναι μικρότερο από 12%, όταν δοκιμάζεται σύμφωνα με ASTM D 1242, Μέθοδος B στους 200 κύκλους, CSI – Abrader Tape, 80 Grit
- Θερμοκρασία θρυμματισμού: Μικρότερη από 15°F σύμφωνα με ASTM D 746
- Αντοχή 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 E 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 (βλ. Σχήμα 11-1) 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 όμβριων. Αυτές 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 να επιφέρει άλλες αρνητικές 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 που 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

- (1) 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 όμβριων από συμβάντα βροχόπτωσης 24 έως 48 ωρών.
- (2) 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.
- (3) Πολύ χονδρόκοκκα χαλικώδη εδάφη επιτρέπουν απομάκρυνση μικρού όγκου των διαλυμένων ρυπαντών, γεγονός που μπορεί να αυξάνει τον κίνδυνο ρύπανσης του υπόγειου ορίζοντα.

- (4) 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 με ισχυρές κλίσεις, λόγω της πιθανότητας προβλημάτων από διαρροές.
- (5) Μπορεί να μην είναι κατάλληλες όπου υπάρχει σημαντική πιθανότητα από διαρροή επικίνδυνων χημικών ουσιών.
- (6) 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.
- (7) Οι ανάγκες συντήρησης των δεξαμενών είναι μεγάλες επειδή απαιτούνται συχνές επιθεωρήσεις.
- (8) 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 συλ-

λέγονται 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 $\geq 30\%$, ή με περιεκτικότητα σε ιλίες/άργιλο $\geq 40\%$ δεν επιτρέπεται 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 υπερχειλίση, 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, γιατί αυτές πρέπει:
 - να τοποθετούνται σε μια ελάχιστη απόσταση 30 m, από πηγάδια, σηπτικούς βόθρους, αποστραγγιζόμενες εκτάσεις και πηγές που χρησιμοποιούνται για δημόσια χρήση
 - να τοποθετούνται τουλάχιστον 6 m κατόντη και 30 m ανάντη από θεμελιώσεις κτιρίων
 - να ενημερώνονται οι 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 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 πρηνή της δεξαμενής και των οποιωνδήποτε επιχωμάτων, καθώς και οι έξοδοι στα κατόντη 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 συνάρτηση του όγκου των όμβριων, 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 από την εξίσωση:

$$A_R = V / (24 I_{sat}) \quad (11.4-1)$$

όπου:

A_R [m²] : απαιτούμενη επιφάνεια πυθμένα δεξαμενής

V [m³] : 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 επιτρέπεται, προκειμένου να αποφεύγεται η ανάπτυξη ελμών.
- Συνιστάται η ενσωμάτωση τάφρων περιπορείας, ή διατάξεων υπερχειλιστού σε περίπτωση εξαιρετικών συμβάντων βροχοπτώσεων, ή 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, καθώς 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 όση 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. όταν 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 το 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 έως 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 προδιαγραφεί η κατασκευή στρώσης χονδρόκοκκων οργανικών υλικών πάχους 150 mm, όμως η προσπάθεια αύξησης της διαπερατότητας δεν προτείνεται.

Τα περιμετρικά πρανή και ο πυθμένας της δεξαμενής θα πρέπει να σταθεροποιούνται όσο είναι δυνατό. 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 συμπίκνωση του εδάφους. Η δεξαμενή θα πρέπει να οριοσημαίνεται, ώστε να διασφαλίζεται η αποτροπή της προσέγγισης βαρέων μηχανημάτων, τόσο κατά τη διάρκεια των εργασιών, όσο και μετά κατά τις εργασίες συντήρησης.

Δεν επιτρέπεται η είσοδος όμβριων 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.

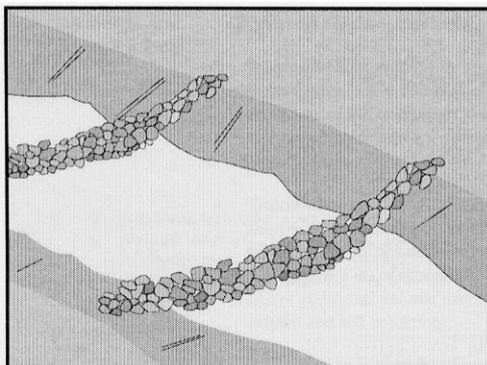
Εάν το φυσικό έδαφος είναι πολύ διαπερατό, τότε θα πρέπει να ενσωματώνονται στην κατασκευή κατάλληλα υλικά, ώστε να εμποδίζεται η δυνατότητα διαρροών.

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 πρηνή 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 πρηνών, 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 ανασχεσης ταχύτητας ροής είναι μικρές κατασκευές από λίθους, αμμόσακκους, ή κλαδοδέματα που τοποθετούνται εγκαρσίως σε ένα φυσικό ρέμα, 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 εν λόγω 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 δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται στις εξής περιπτώσεις:

- σε ενεργά υδατορέματα
- σε κανάλια που αποστραγγίζουν 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

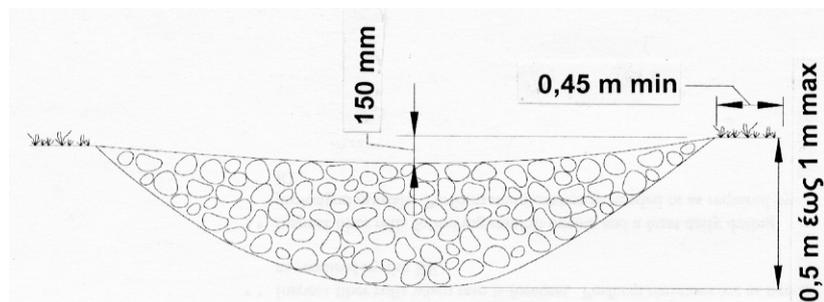
Αυτά τα φράγματα κατασκευάζονται με τις εξής προϋποθέσεις:

- ανά αποστάσεις και με ένα ύψος που θα επιτρέπει το σχηματισμό μικρών λιμνών στα ανάντη των φραγμάτων 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 2-ετίας, 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.

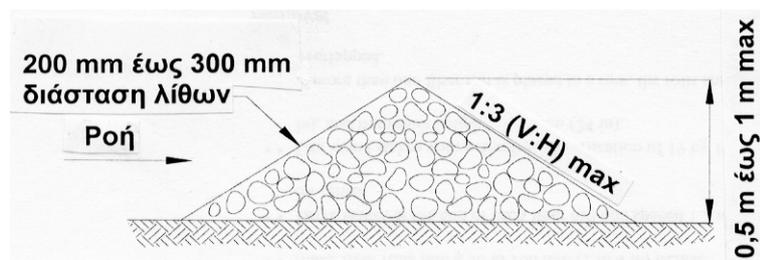
12.5 Συντήρηση και Επιθεώρηση

Η συντήρηση των φραγμάτων γίνεται ως εξής:

- Επιθεώρηση του φράγματος μετά από κάθε σημαντικό επεισόδιο βροχόπτωσης και 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 αυτό, δε χρειάζεται 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 στομιών και των τυχόν αναβλυζόντων υπογείων νερών στα τοιχώματα της σήραγγας,
- την αποχέτευση των επιφανειακών ρυπαρών υδάτων (πλουσίματος, 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 υπερχειλίσις στο περιβάλλον.

Σε ορισμένες περιπτώσεις σήραγγων 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 κατόντη 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.

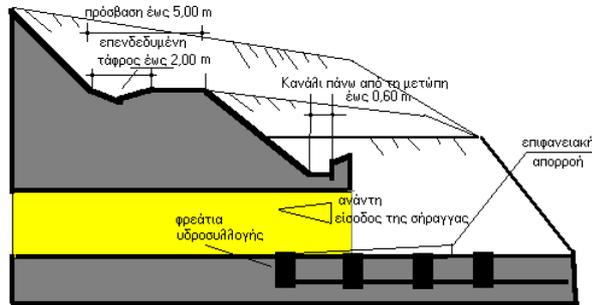
Εάν δεν είναι δυνατή η κατασκευή τάφρου οφρύος λόγω των απότομων κλίσεων της πλαγιάς, που βρίσκεται πάνω από το στόμιο, τότε διαμορφώνεται στη μετώπη κανάλι μεγαλύτερων διαστάσεων. Αυτό το κανάλι εκβάλλει σε φρεάτιο υδροσυλλογής ικανών διαστάσεων και μέσω τάφρου ή αγωγού οδηγούνται τα νερά σε κατάλληλο 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 κρασπεδορείθρο 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

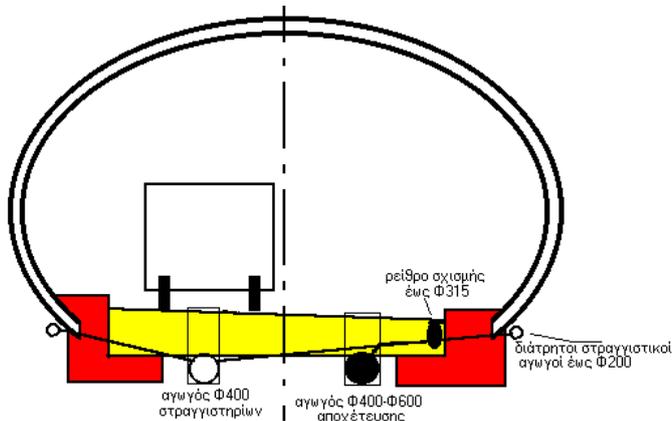
- Όμοια διάταξη ακολουθεί και το στραγγιστικό σύστημα αλλά με παράλληλη ευθυγραμμία η οποία οδεύει στην υψηλότερη πλευρά της οδού.

Η διάμετρος του κεντρικού συλλεκτήριου αγωγού των στραγγιστηρίων είναι επίσης $\varnothing 400$ 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.



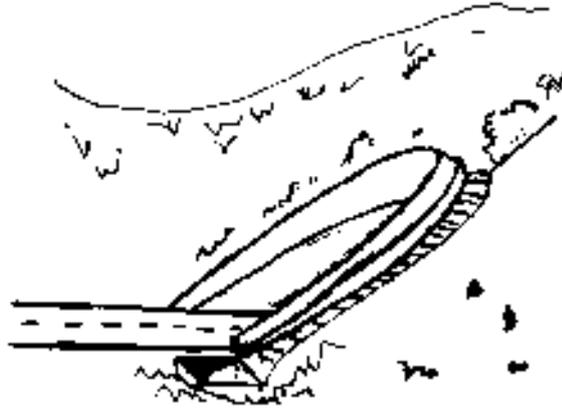
Σχήμα 13.1-2: Διάταξη αποχέτευσης στο εσωτερικό της σήραγγας

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 μεγαλύτερων διαστάσεων. Αυτό το κανάλι εκβάλλει 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. Για αυτό το λόγο 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 στομιών. 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.

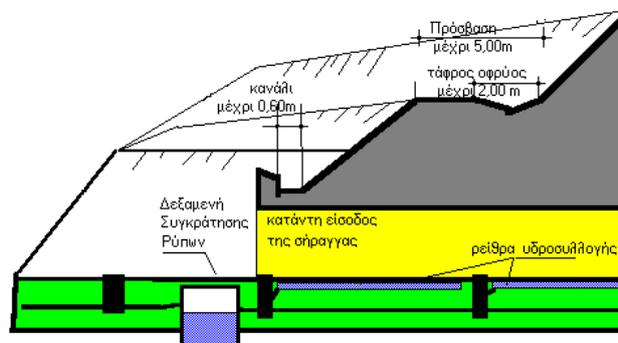
Η αντιμετώπιση συγκεντρωμένων απορροών από υδατορέματα τα οποία διέρχονται είτε από τον ορεινό όγκο πάνω από τη σήραγγα είτε από την περιοχή των εισόδων απαιτεί:

- 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 υπόδαφος 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 στομιών, πρέπει να αντιμετωπίζεται με σοβαρά έργα, ιδιαίτερως 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 πρηνή της εκσκαφής με τάφρους οφρύος στην πλευρά του πρηνούς, που είναι η συνέχεια των κλιτύων του ορεινού όγκου, με τάφρους επί των παταριών τα οποία διατάσσονται όταν τα πρηνή 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 πρηνή των εκσκαφών.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Όταν ο σχεδιασμός του έργου προβλέπει ότι δεν θα επανεπιχρωθεί η εκσκαφή και ότι δε θα αποκατασταθεί το αρχικό ανάγλυφο της επιφάνειας, πρέπει να αποκόπτονται οι απορροές από τα πρηνή της εκσκαφής με τάφρους οφρύος. Στην περίπτωση αυτή διατηρούνται οι τάφροι που κατασκευάστηκαν για προστασία κατά τη διάρκεια της κατασκευής στην πλευρά του πρηνούς, που είναι η συνέχεια των κλιτύων του ορεινού όγκου. Επίσης σχεδιάζονται τάφροι επί των παταριών τα οποία διατάσσονται, όταν τα πρηνή 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 εκβάλλει 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 επανεπιχρωθεί η εκσκαφή στο σύνολο του όγκου της, και ότι θα αποκατασταθεί το αρχικό ανάγλυφο της επιφάνειας, πρέπει να αποκόπτονται οι απορροές από τα πρηνή 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 πρηνούς 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 πρηνή εκτονώνονται υπόγεια νερά θα πρέπει να σχεδιάζονται πλάγιες στραγγιστικές στρώσεις για την συλλογή και απομάκρυνση των νερών και τη βελτίωση της ευστάθειας των πρηνών.

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 $u:\beta=3:1$ 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 πρηνών της εκσκαφής διατάσσονται επί της επιφανείας των πρηνών 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 γαιούφασματος. Επειδή από τις οπές είναι δυνατό να μειώνεται η αντοχή των αγωγών πρέπει η διάμετρος των οπών να είναι $\leq 1/10$ της διαμέτρου του αγωγού και να διατάσσονται σε αποστάσεις μεταξύ τους $\geq 3/10$ 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 πρηνών.

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 πρηνών 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 $\leq 7,50$ 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 πρηνών εκσκαφής στο μέσα μέρος του αναβαθμού εργασίας και συνήθως δεν αποτελούν ιδιαίτερη διαμόρφωση καθόσον ακολουθούν την κλίση του επιπέδου εργασίας. Η κλίση αυτή είναι $\leq 5\%$ προς τον πόδα του πρηνούς, 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 πρηνή 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.

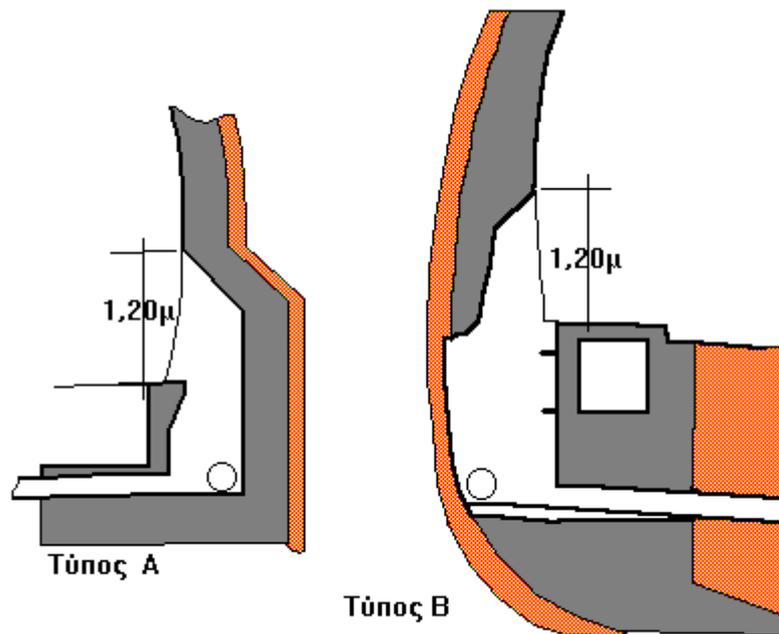
Η επιφάνεια υδροσυλλογής των στραγγισμάτων (στεγάνωση) που προέρχονται από τις οπές στράγγισης-εκτόνωσης αναπτύσσεται στο εξωτερικό του φέροντος κελύφους της σήραγγας με την τοποθέτηση (στερέωση επί της επιφάνειας του εξωτερικού μανδύα) γαιούφασματος, ή άλλου περισσότερο διαπερατού υλικού. Η τοποθέτηση 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 εμφραξη των κενών της επιφάνειας υδροσυλλογής από τα άλατα των υπογείων νερών.

Οι διαμήκεις στραγγιστικοί αγωγοί $\varnothing 200$ που συλλέγουν τις υπόγειες ροές, από την επιφάνεια στράγγισης, θα είναι κατά προτίμηση πλαστικοί (π.χ. PVC) και θα φέρουν περιμετρικά οπές διαμέτρου $\geq 5\text{mm}$ ή σχισμές. Θα περιβάλλονται με γαιούφασμα και θα αποφεύγεται η επαφή τους με χύδην ή εκτοξευόμενα συροδέματα, 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.

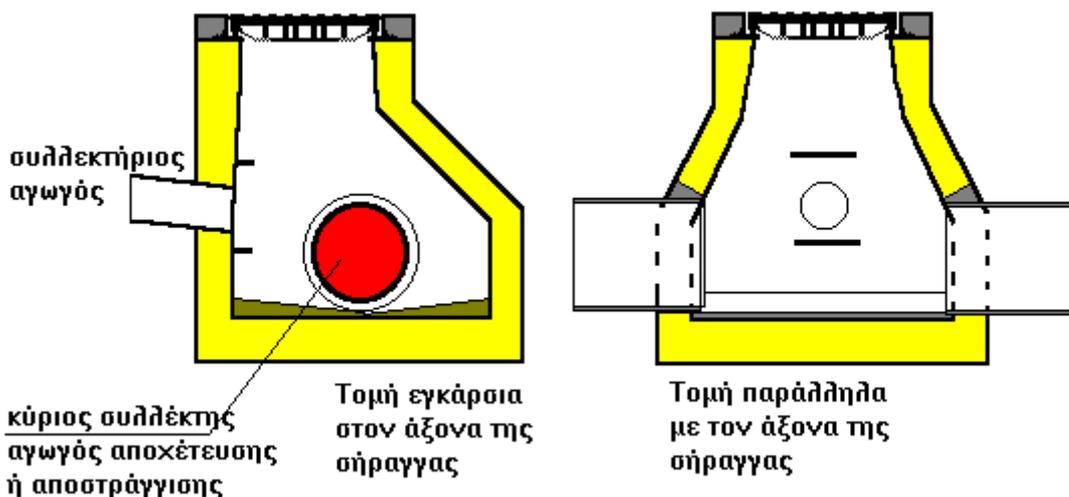


Οι συλλεκτήριοι αγωγοί αποστράγγισης που συνδέουν τα φρεάτια ελέγχου των στραγγιστικών αγωγών με τα φρεάτια συντήρησης του συλλεκτήριου αγωγού αποστράγγισης πρέπει να είναι στεγανοί αγωγοί της αυτής διαμέτρου με τους στραγγιστικούς αγωγούς. Πρέπει να είναι ευθύγραμμοι και να σχεδιάζονται με κλίση προς 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 δημιουργ-

γούνται περίξ αυτών ζώνες, οι οποίες δεν μπορεί να συμπυκνωθούν εύκολα. Ένα φρεάτιο ενδεικτικό για αυτή την περίπτωση παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Ο συλλεκτήριος αγωγός αποστράγγισης $\varnothing 400$ 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. Όμως 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.

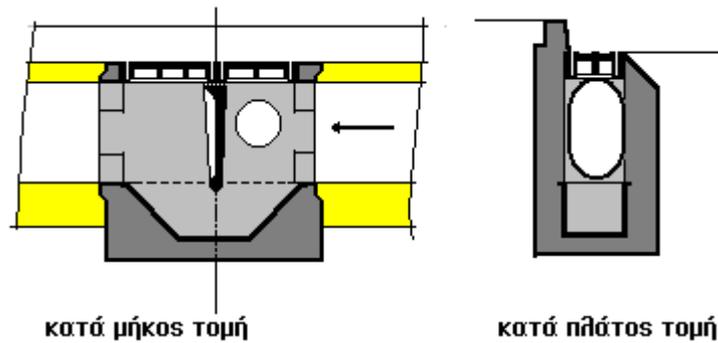
- δ. Το σύστημα αποχέτευσης των ρυπαρών υδάτων του καταστρώματος διατάσσεται πάντα προς τη μεριά της χαμηλότερης πλευράς. Αυτό σημαίνει ότι ο συλλεκτήριος αγωγός του συστήματος αποστράγγισης και τα φρεάτια συντήρησής του διατάσσονται στην υψηλότερη πλευρά του καταστρώματος.

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.

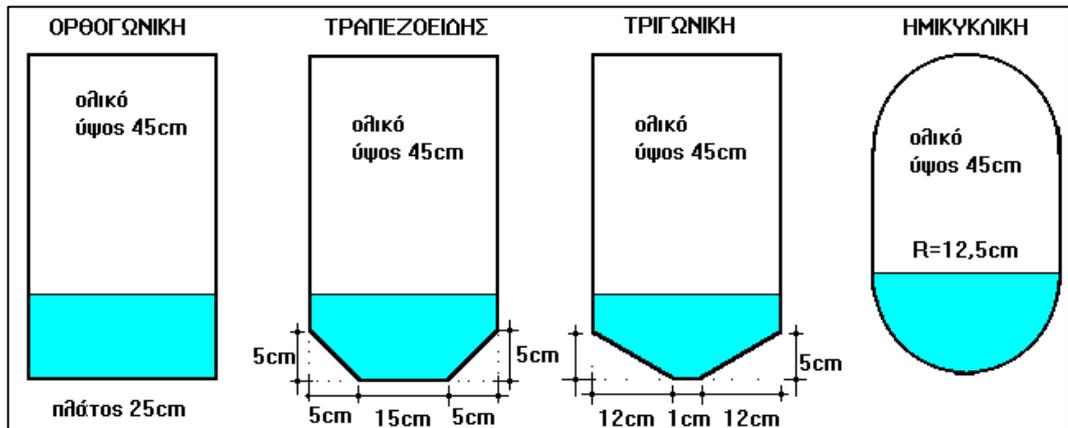
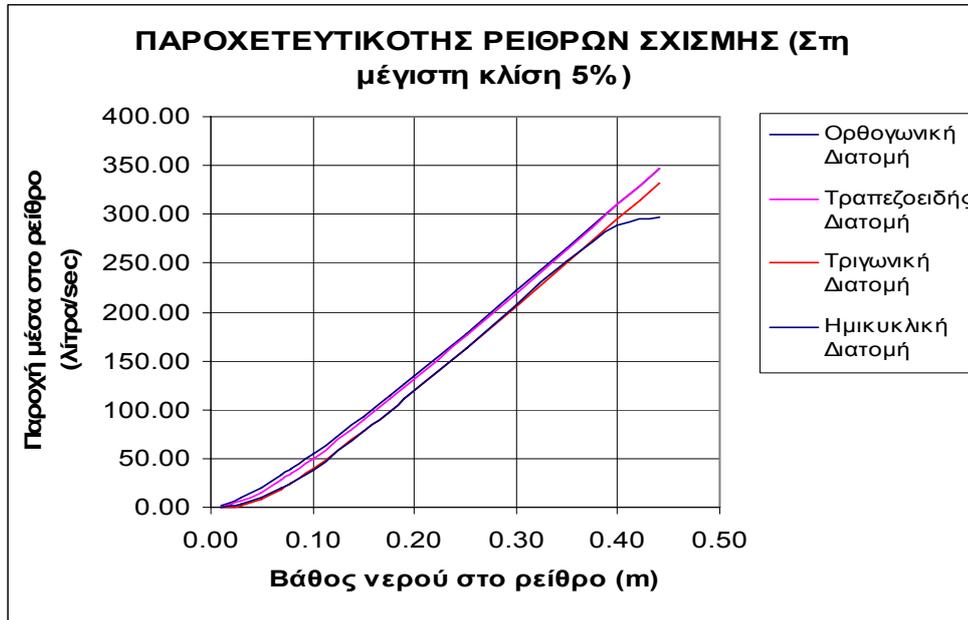
Τα φρεάτια υδροσυλλογής, αναλόγως με τις διαστάσεις της σήραγγας, μπορεί να εί-

ναί, 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.

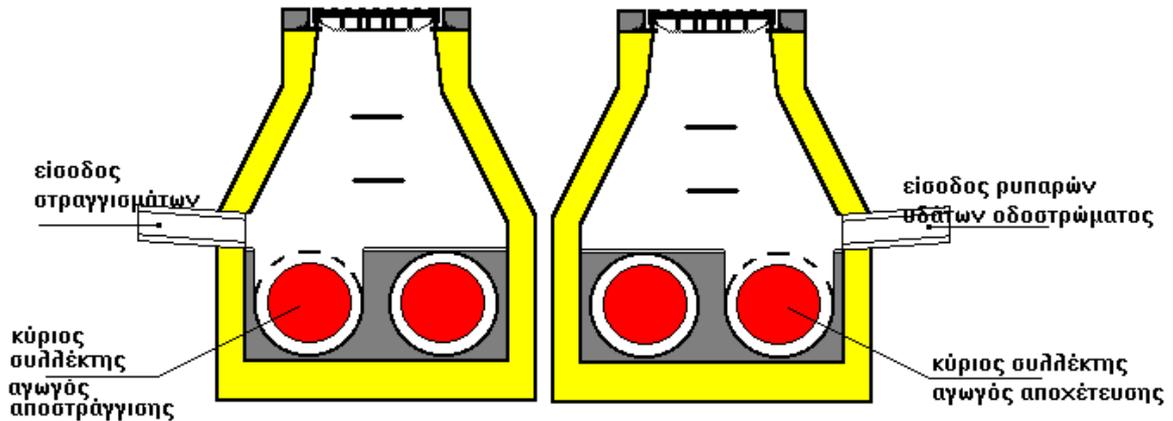
| Υ (Βάθος) [m] | Εμβαδό Διατομής [m ²] | Κλίσεις [%] | | | | | | | | | Ταχύτητα στη μέγιστη κλίση [m/s] |
|------------------|---|----------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | | 0,1 | 0,2 | 0,05 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 4,0 | 5,0 | |
| 0,010 | 0,0007 | 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.

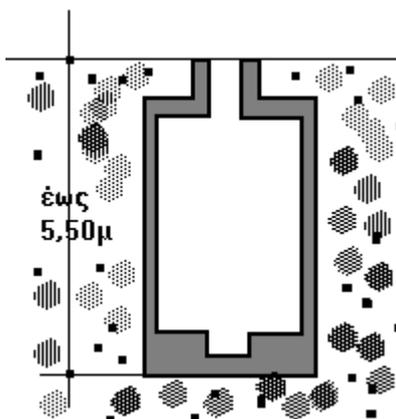
Είναι δυνατό, στις περιπτώσεις που η χάραξη των σήραγγων περιλαμβάνει διαδοχικές αντίρροπες καμπύλες να χρησιμοποιούνται διπλά φρεάτια, ώστε να αποφεύγεται η πλέξη των κυρίων αγωγών του συστήματος αποχέτευσης, βλέπε επόμενο σχήμα.



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 διάμετρος 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 παροχευτικότητα του ρείθρου ώστε ο αγωγός να παραμείνει με την ελάχιστη δυνατή διάμετρο.

Η δεξαμενή συγκράτησης ρύπων, η οποία περιλαμβάνει και τις διατάξεις αναρρόφησης και υπερχειλίσης 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 παροχетеυτικότητας για τις προδιαγραφόμενες παροχές σχεδιασμού
- (2) Η εξασφάλιση επαρκούς ικανότητας υδροσυλλογής αντίστοιχης της παροχетеυτικότητας 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 στομιών 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 κρουνοί, 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 m³. Ο χρόνος απορρόφησης δε θα υπερβεί 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 m³. Προβλέπονται τα ακόλουθα για το σχεδιασμό αυτής της δεξαμενής:

- α. Διάταξη υπερχειλίσης 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 m³ προ της στάθμης υπερχειλίσης και 20% πάνω από την στάθμη υπερχειλίσης
- 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 στομιών 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 σήραγγων, 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 Entwässerung von Strassen
Forschungsgesellschaft fur das Strassen 1980
Richtlinien fur die Anlage von Strassen,
7. Teil : Entwässerung, RAS-EW 1987
Forschungsgesellschaft fur das Strassen 1980
8. Guidelines for water management 306/1993
Application of geotextiles in hydraulic engineering
9. Wirtschafts und Verlagsgesellschaft, Gas und Wasser mbH Bonn
10. Recommendation pour l' assainissement routier LCPC, SETRA 1982
11. Hydraulique Appliquée, Tome 3,
Protection des Ouvrages Routiers et Autoroutiers Contre les Eaux, M.Guyet
12. Dimensionnement des buses et dalots, BCEOM
13. SN Norme Suisse
14. Highway Design Manual, Caltrans, USA, Chapter 800 Highway Drainage Design,
May 2001
15. Model Drainage Manual, AASHTO 1999
16. Caltrans Storm Water Quality Handbooks, Infiltration Basin, Detention Basin, May
2000
17. Engineering and Design, Channel Stability Assessment for Flood Control Projects,
US Army Corps of Engineers, Oct. 1994
18. Engineering and Design, River Hydraulics, US Army Corps of Engineers, Oct. 1993

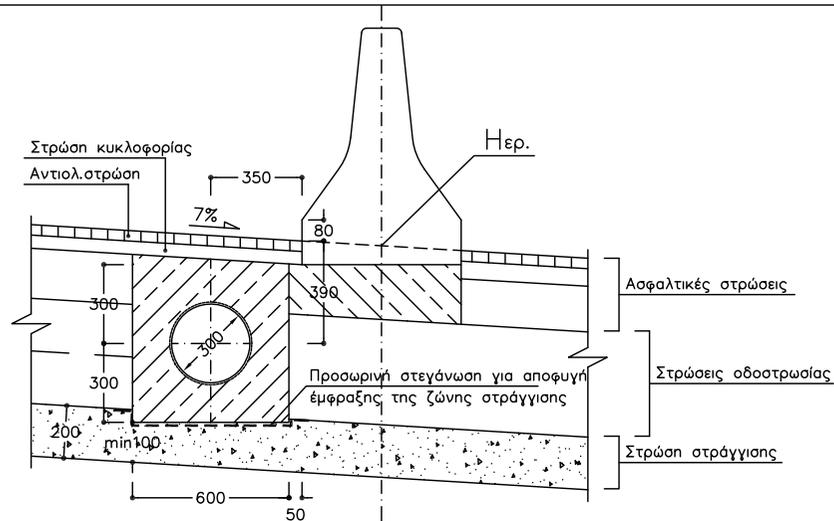
ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ ΠΡΟΣΦΑΤΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Design of Roadside Channels with Flexible Linings, HEC No 15, 3rd Edition, September 2005, Publication No FHWA-NHI-05-114,
2. Drainage Handbook Open Channel, November 2009, Florida State Department of Transportation
3. Highway Runoff, Manual, M 31-16.02, May 2010, Washington State Department of Transportation
4. Drainage Manual, April 2002, Virginia State Department of Transportation
5. Hydraulics Manuals, M 23-03.02, January 2010, Washington State Department of Transportation
6. Drainage Manual, March 2010, Florida State Department of Transportation
7. Urban Drainage Design Manual, HEC No 22, 3rd Edition, September 2009, Publication No FHWA-NHI-10-009
8. Drainage Handbook Storm Drains, January 2008, Florida State Department of Transportation
9. Drainage Handbook Exfiltration Systems, January 2007, Florida State Department of Transportation
10. Evaluation of the Effectiveness of Drainage Layers, Report No FHWA/MS-RD-07-189, December 31, 2007, Mississippi Transportation Research Center
11. Drainage Handbook Hydrology, January 2004, Florida State Department of Transportation
12. Drainage Handbook Culvert Design, January 2004, Florida State Department of Transportation
13. Gabion Mesh Corrosion, Field Study of Test Panels and Full-scale Facilities, November 2001, 2nd Edition, California State, Department of Transportation, Division of New Technology and Research

15. ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

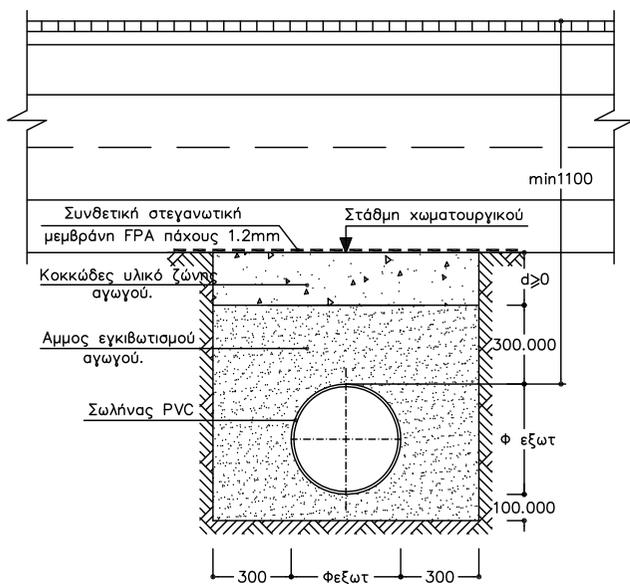
Στις επόμενες σελίδες παρατίθενται σχέδια προτύπων κατασκευής για στοιχεία που επαναλαμβάνονται στα έργα αποχέτευσης - αποστράγγισης.

Επιπλέον θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα τυπικά σχέδια του Παραρτήματος Ι των ΟΜΟΕ-Δ.



ΣΚΑΜΜΑ Σ5.1

ΥΠΟΝΟΜΟΣ PVC Φ315 (βλ.Σημείωση 1)
ΣΕ ΔΙΑΤΟΜΗ ΔΥΣΧΕΡΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ
Τοποθέτηση μεταξύ φρεατίων υδροσυλλογής
στην πλευρά της κεντρικής νησίδας

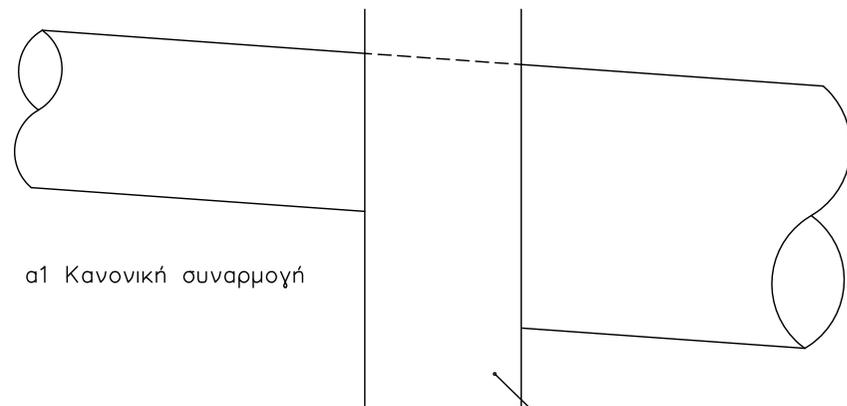


ΣΚΑΜΜΑ Σ5.2
ΥΠΟΝΟΜΟΣ PVC

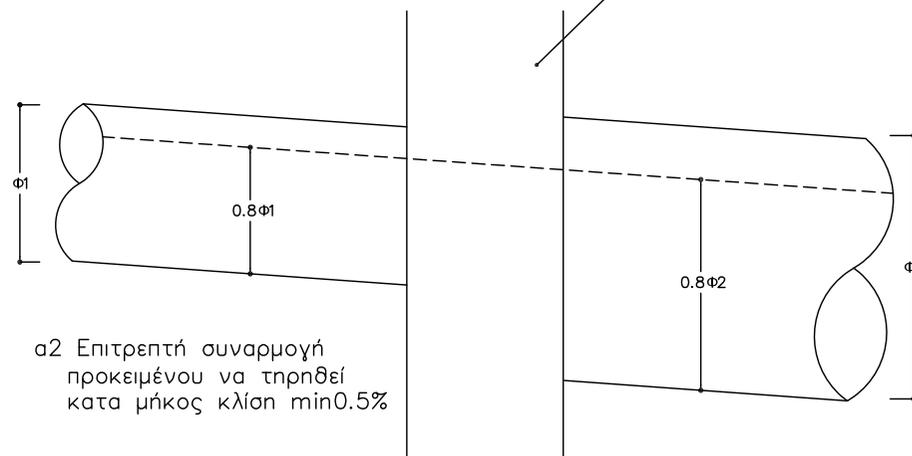
Τοποθέτηση εγκάρσια στο οδόστρωμα

ΤΥΠΙΚΑ ΣΚΑΜΜΑΤΑ
ΥΠΟΝΟΜΟΥ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ PVC

ΚΛΙΜΑΚΑ 1: 20



a1 Κανονική συναρμογή



a2 Επιτρεπτή συναρμογή
προκειμένου να τηρηθεί
κατά μήκος κλίση min 0.5%

ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΦΡΕΑΤΙΟ
ΥΠΟΝΟΜΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ
ΔΙΑΤΑΞΗ ΓΕΝΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

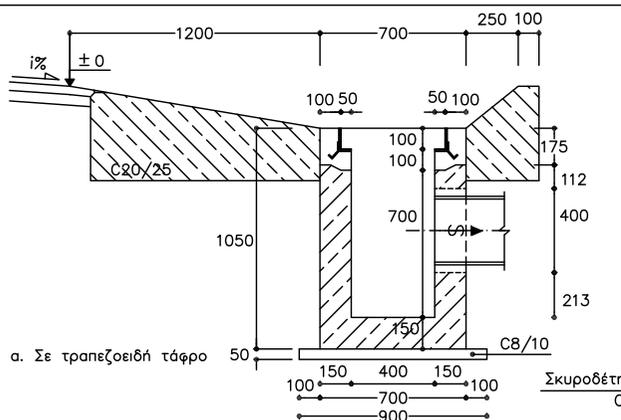
Σημείωση

1. Στην περίπτωση που ο σωλήνας PVCΦ315 δεν επαρκεί κατασκευάζεται υπόνομος στο φωτικό έρεισμα της οδού όπου κατά διαστήματα εκτονώνεται ο υπόνομος PVC

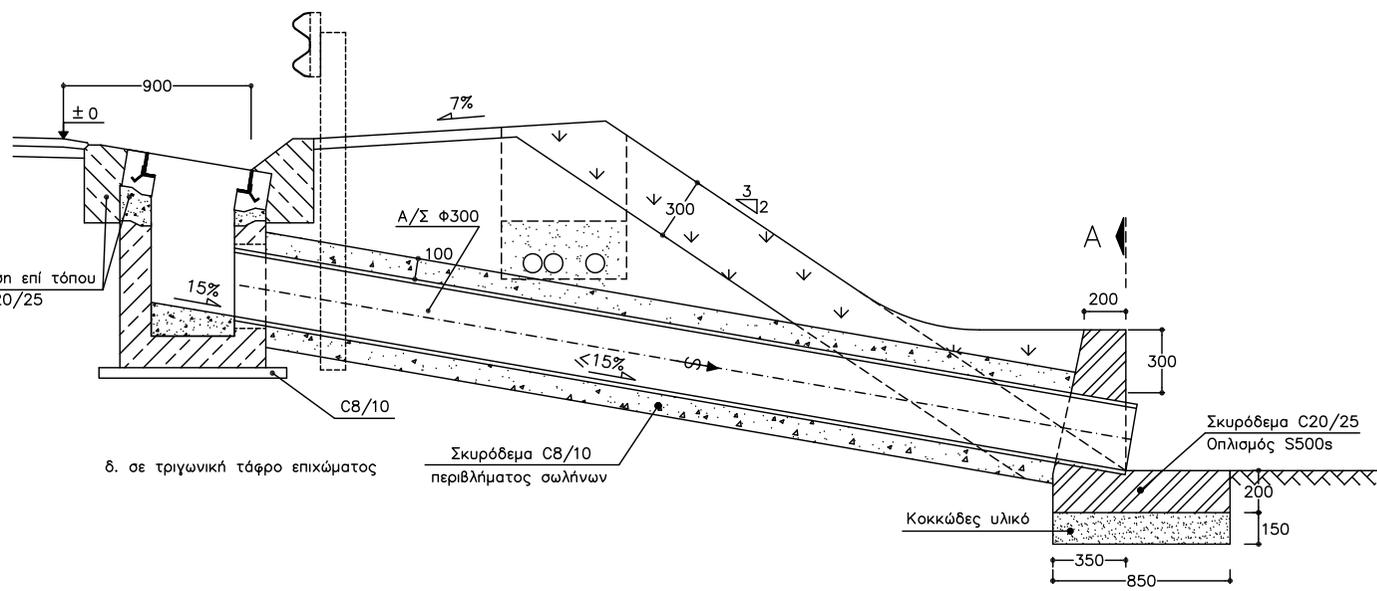
Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας

Διαστάσεις σε [mm]

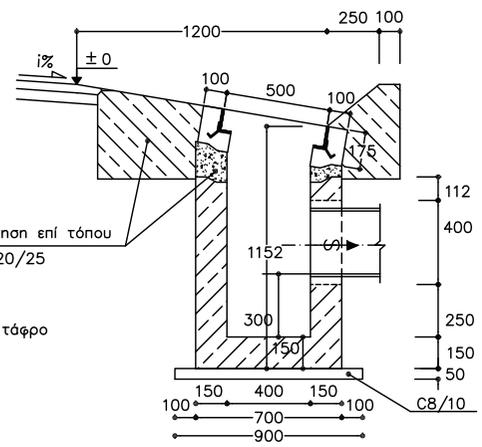
| ΤΥΠΙΚΑ ΣΚΑΜΜΑΤΑ | | |
|-----------------|------------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-01.2 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 2 από 2 | # |



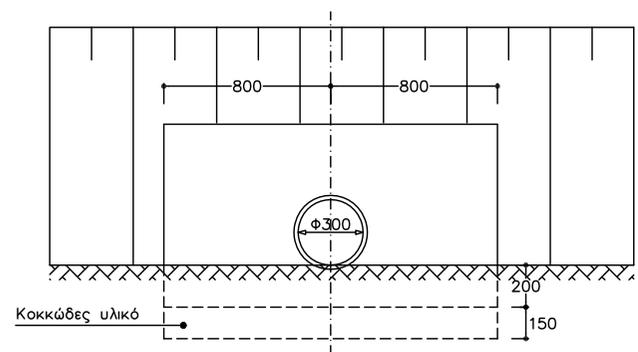
α. Σε τραπεζοειδή τάφρο



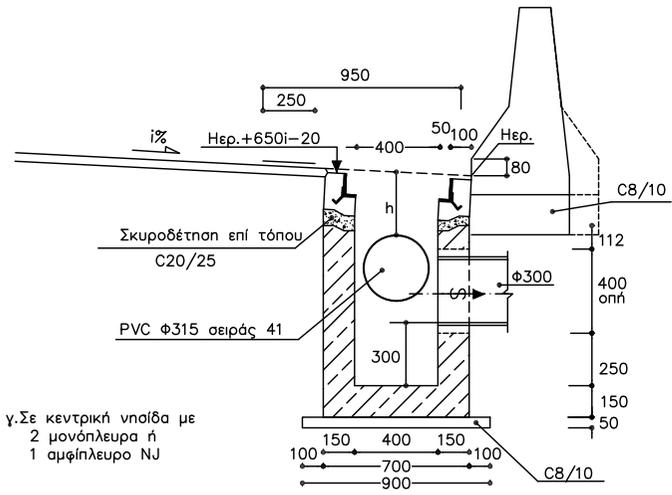
δ. σε τριγωνική τάφρο επικώματος



β. σε τριγωνική τάφρο



ΤΟΜΗ Α-Α



γ. Σε κεντρική νησίδα με 2 μονόπλευρα ή 1 αμφίπλευρο NJ

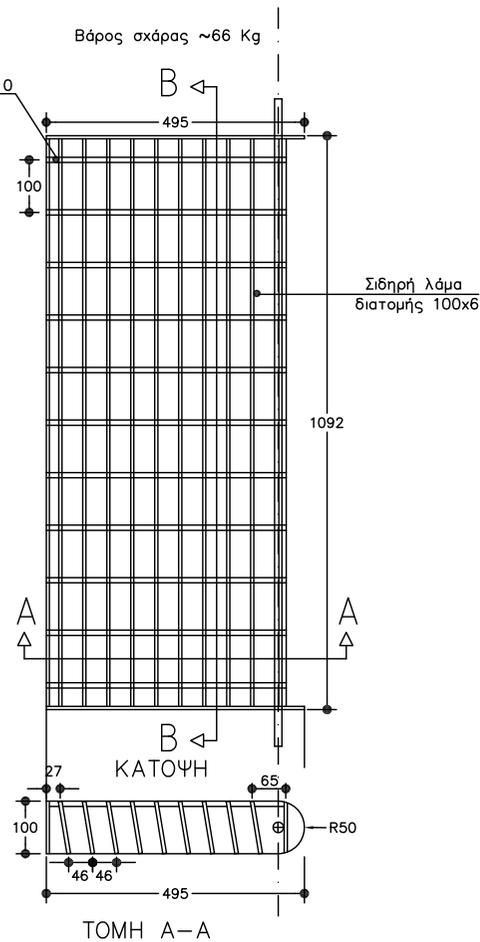
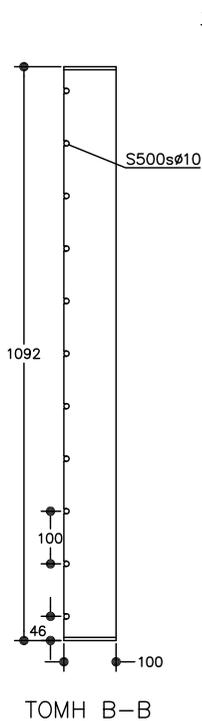
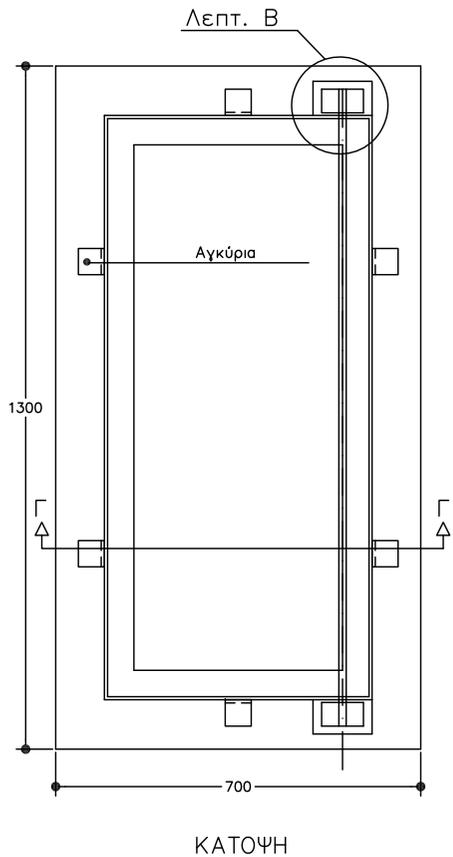
- Σημείωση**
1. Το φρεάτιο αποτελείται από δύο τεμάχια (ακυρόδεμα C20/25), τη βάση και τη στέψη, τα οποία προσαρμόζονται ανάλογα με τη θέση εφαρμογής
 2. Το βάθος η καθορίζεται ώστε ο διαμήκης σωλήνας να μη διακόπτει τη στρώση στράγγισης. Επιτρέπεται h<300 με τοποθέτηση δομικού πλέγματος στο περιβλήμα ακυρόδεματος

Διαστάσεις σε [mm]

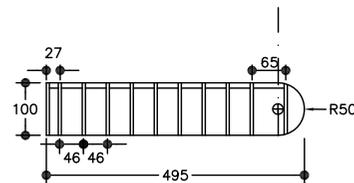
| ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΤΥΠΟΥ Φ1N | | |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΦΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-02.1 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 1 από 2 | # |

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας

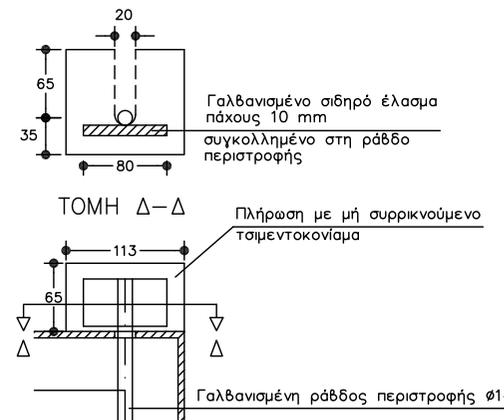


Σε τριγωνική τάφρο 1:6



ΤΟΜΗ Α-Α
Σε τάφρο οριζόντιου
πυθμένα

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



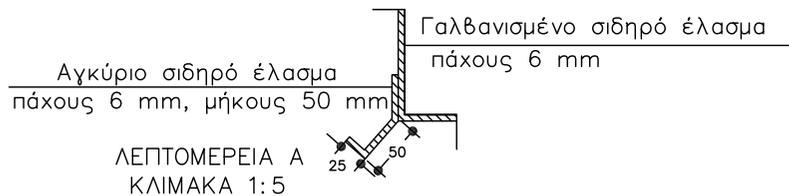
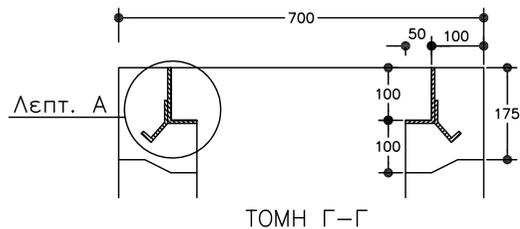
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ Β
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5

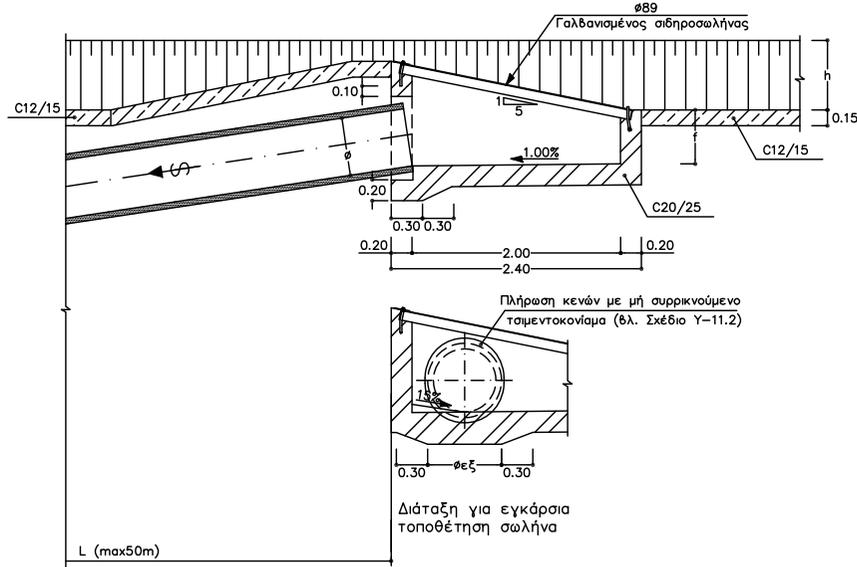
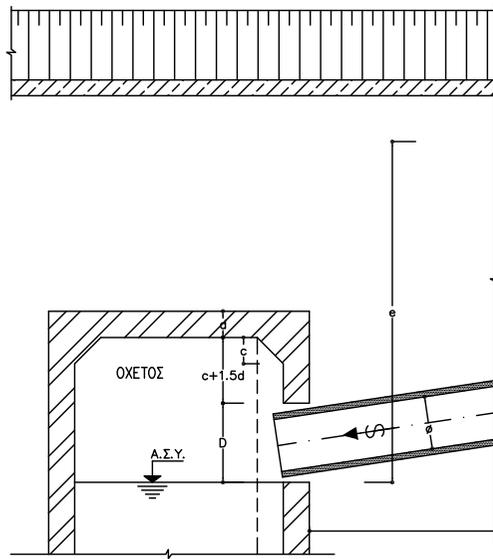
ΣΗΜΕΙΩΣΗ

1. Η σκάρα & το πλαίσιο θα γαλβανίζονται σύμφωνα με DIN 50976

Διαστάσεις σε [mm]

| | | |
|--|------------------------|------------------------|
| ΣΧΑΡΑ ΦΡΕΑΤΙΟΥ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ Φ1N | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-02.2 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 2 από 2 | Αναθεώρηση # |





ΤΟΜΗ Α-Α

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

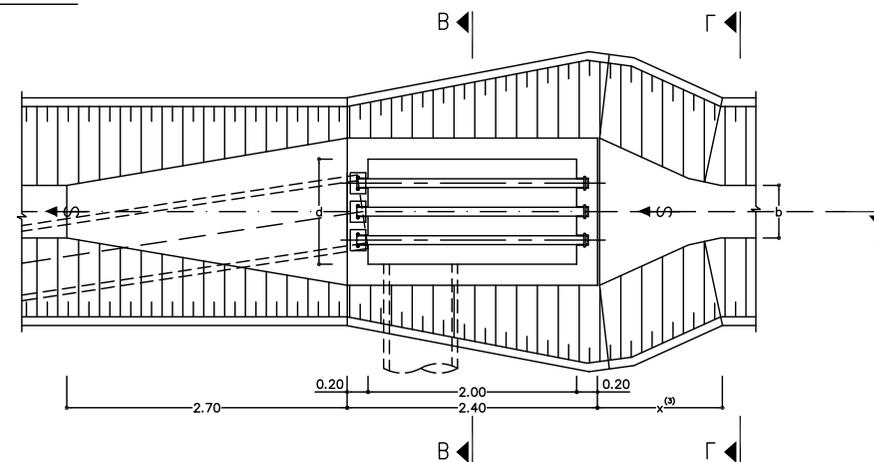
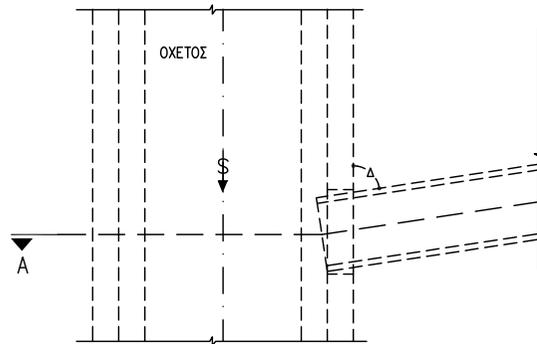
Η εκτόπιση αγωγού σε οκετό, πρέπει να γίνεται στα τοιχώματα του οκετού, όπως δείχνεται στο σχέδιο. Η συμβολή αυτή μπορεί να γίνεται είτε απευθείας σε οπή αντίστοιχης διατομής του αγωγού επί του τοιχώματος του οκετού, είτε μέσω φρεατίου πτώσης με υπερκλίση. Το φρεάτιο πτώσης κατασκευάζεται εραπτόμενο με το τοίχωμα του οκετού. Η διαστασιολόγηση του φρεατίου πτώσης και της αντίστοιχης οπής στο τοίχωμα του οκετού, προκύπτουν από υδραυλικούς υπολογισμούς.

Στο δάπεδο του οκετού κάτω από την οπή συμβολής του αγωγού, υποχρεωτικά κατασκευάζεται στρώση φθοράς, κατά προτίμηση με κολιμητές κροκάλιες.

Η ενσωμάτωση της στρώσης φθοράς στο δάπεδο του οκετού, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υδραυλικό αλλά και στατικό σχεδιασμό του οκετού.

Η επιφάνεια της στρώσης φθοράς καθορίζεται από τα εξής:

- Στην περίπτωση σύνδεσης άνευ φρεατίου πτώσης, υπολογίζεται το βεληγές της φλέδας νερού και η στρώση φθοράς εκτείνεται κατά μήκος του οκετού σε μήκος $2xD$ (D: διάμετρος του αγωγού) και εγκάρσια του οκετού σε πλάτος όσο προκύπτει από το υπολογιζόμενο βεληγές. Στην περίπτωση που από το υπολογιζόμενο βεληγές προκύπτει ανάγκη προστασίας του απέναντι (της οπής) τοιχώματος, τότε εξετάζεται κατά προτίμηση, η συμβολή με κατασκευή φρεατίου πτώσης.
- Στην περίπτωση σύνδεσης με φρεάτιο πτώσης, η στρώση φθοράς εκτείνεται κατά μήκος του οκετού σε μήκος $2xD$ (D: μήκος του στοιμίου) και εγκάρσια του οκετού σε πλάτος 0.50 έως 1.00m, ανάλογα με την αναμενόμενη παροχή.



ΚΑΤΟΨΗ

Κατασκευαστικές διαστάσεις φρεατίου

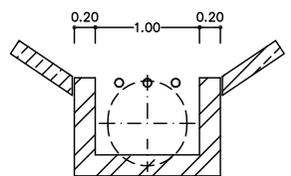
| φ | D | d ⁽¹⁾ | πλήθος σωλήνων κάλυψης |
|------|------|------------------|------------------------|
| 0.60 | 0.80 | 1.00 | 3 |
| 0.80 | 1.05 | 1.25 | 3 |
| 1.00 | 1.30 | 1.50 | 4 |
| 1.20 | 1.55 | 1.75 | 5 |

Γενικής εφαρμογής διαστάσεις

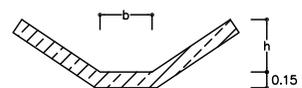
| | e | L | S | f ⁽¹⁾ | Δ |
|-----|------|-------|-----|------------------|-----|
| min | 0 | 0.50 | 1% | 0.50 | 80° |
| max | 7.50 | 50.00 | 15% | 3.00 | 90° |

- Το βάθος f γίνεται μεγαλύτερο από 0.50m και μέχρι 3.00m (>3.00m ανεπιθύμητο βάθος) προκειμένου να επιτευχθεί κλίση $\leq 15\%$. Δηλαδή η θέση του φρεατίου καθορίζεται έτσι ώστε να τηρείται $\leq 15\%$. Για τον ίδιο λόγο η οριζόντια γωνία Δ γίνεται $< 90^\circ$ με στόχο την επίτευξη της συνθήκης $1\% \leq 15\%$.
- Εφόσον $b > 1.00m$ κατασκευάζεται αντίστοιχο τμήμα προσαρμογής διατομής.
- Το μήκος προσαρμογής x προκύπτει από τη σχέση $x \geq 3F(d-b)/2$ όπου F ο αριθμός Froude της ροής.
- Το πλάτος d του φρεατίου επηρεάζεται από τη διάμετρο φ 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]



ΤΟΜΗ Β-Β

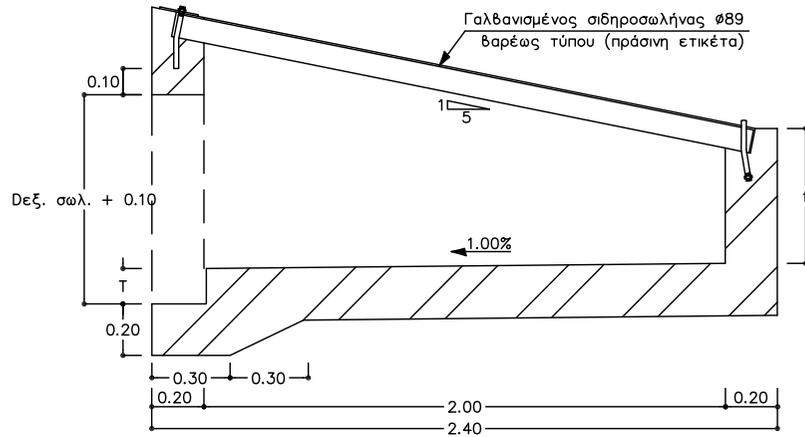


ΤΟΜΗ Γ-Γ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

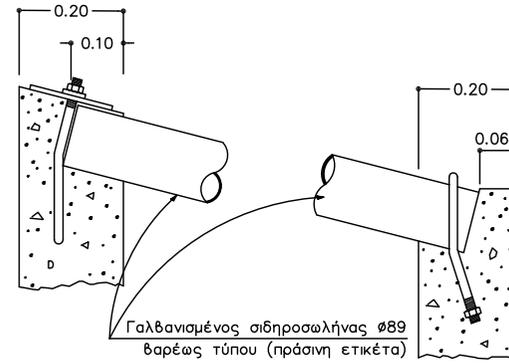
Η εκτόπιση σε A4 είναι εκτός κλίμακας

| ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΡΑΝΩΝ | | |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-03.1 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 1 από 3 | Αναθεώρηση # |

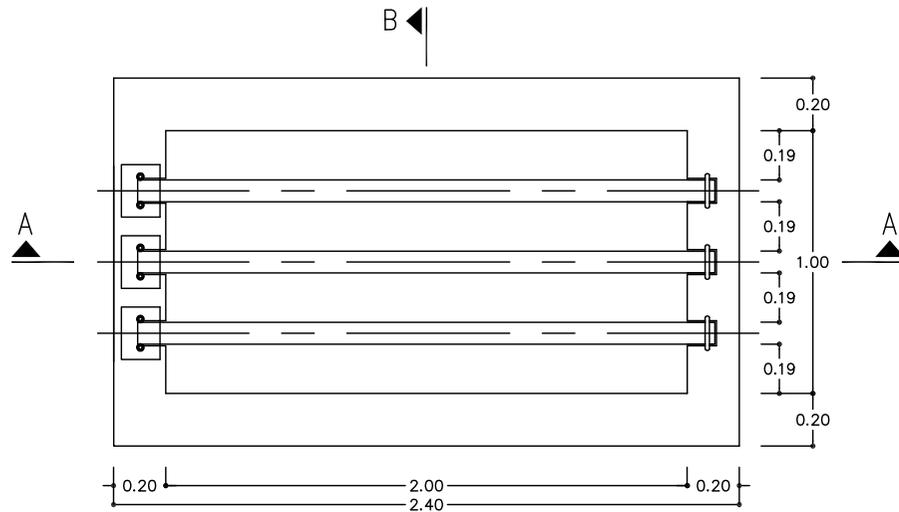


T: πάχος τοιχώματος σωλήνα + 0.05

ΤΟΜΗ Α-Α

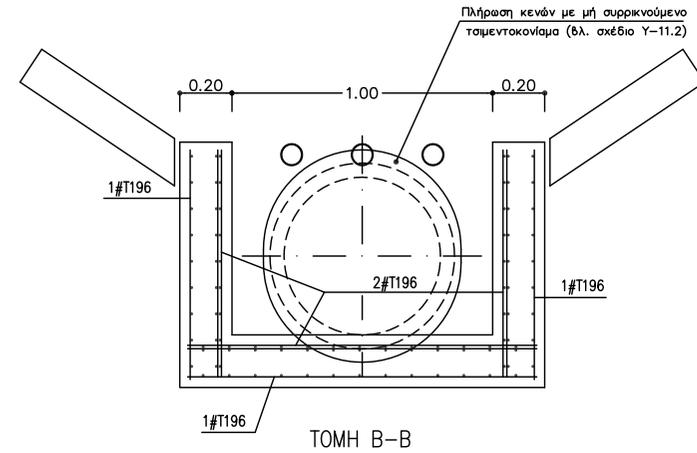


ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΑΠΟΛΗΞΕΩΝ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



ΚΑΤΟΨΗ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20



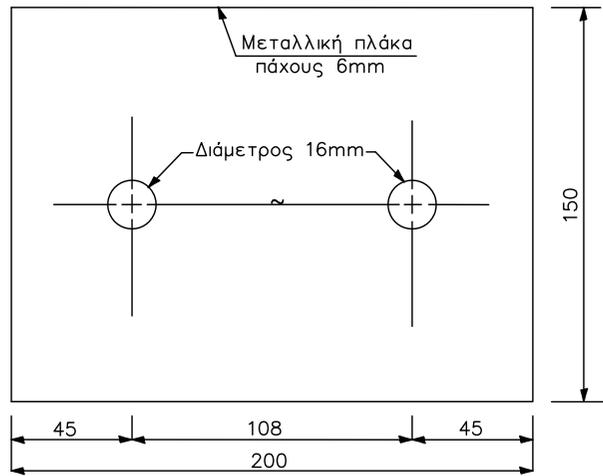
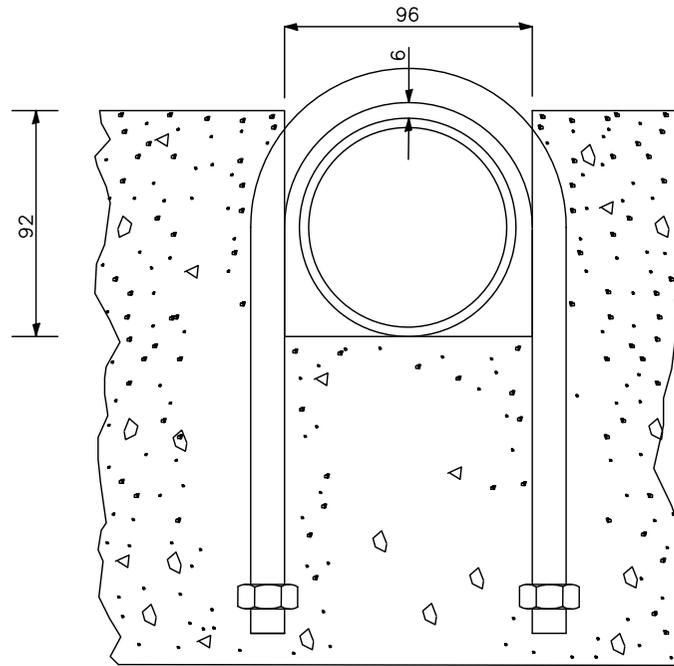
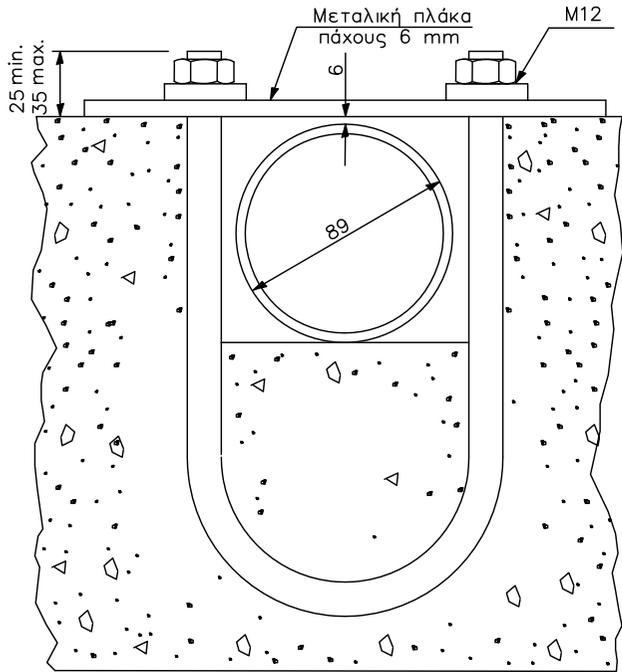
Σημείωση

1. Όλα τα σιδηρά εξαρτήματα (σωλήνες, αγκύρια, πλάκες) θα γαλβανίζονται σύμφωνα με DIN 50976.

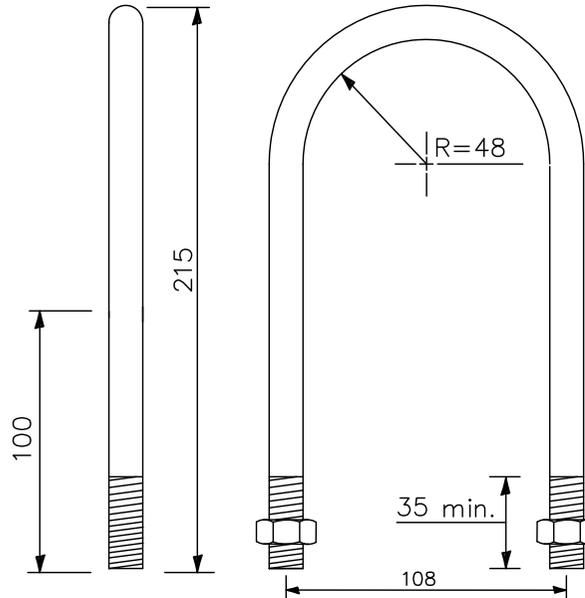
Διαστάσεις σε [m]

| | | |
|---|------------------------|------------------------|
| ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΡΑΝΩΝ | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-03.2 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 2 από 3 | Αναθεώρηση # |

Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας



ΚΑΤΟΨΗ ΠΛΑΚΑΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ
(1 Τεμάχιο/σωλήνα)



ΑΓΚΥΡΙΟ U Μ12
(2 Τεμάχιο/σωλήνα)

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ

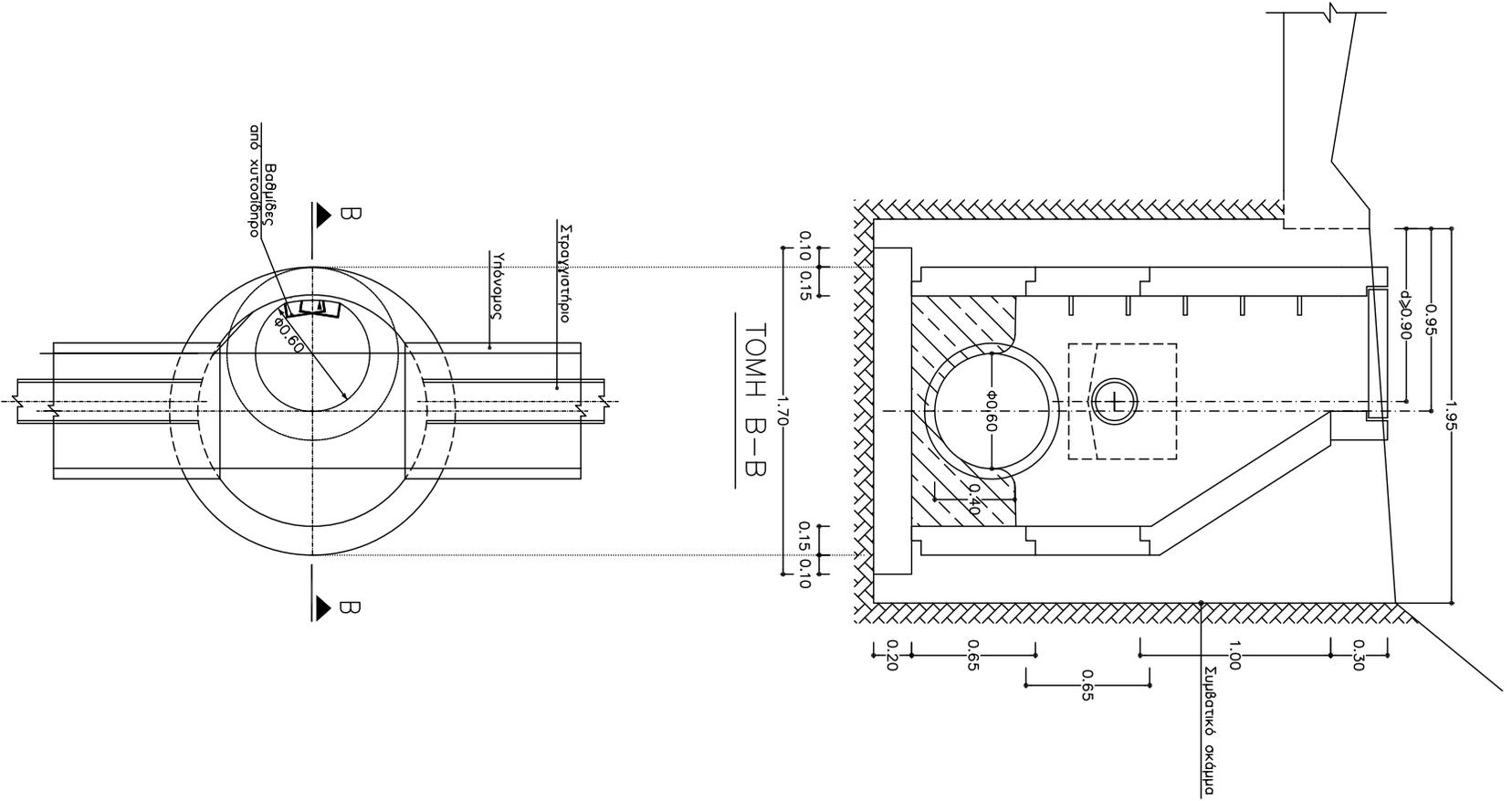
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2

Σημείωση

1. Όλα τα σιδηρά εξαρτήματα (σωλήνες, αγκύρια, πλάκες) θα γαλβανίζονται σύμφωνα με DIN 50976.

Διαστάσεις σε [mm]

| ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΡΑΝΩΝ | | |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-03.3 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 3 από 3 | # |



ΚΑΤΩΨΗ

ΤΟΜΗ Β-Β

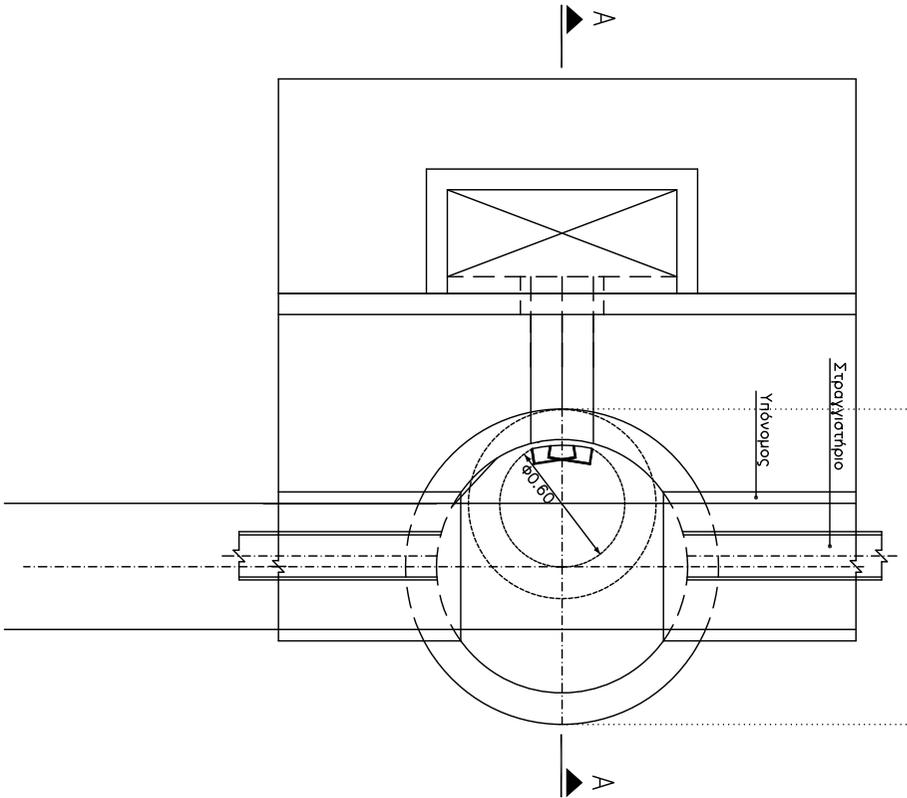
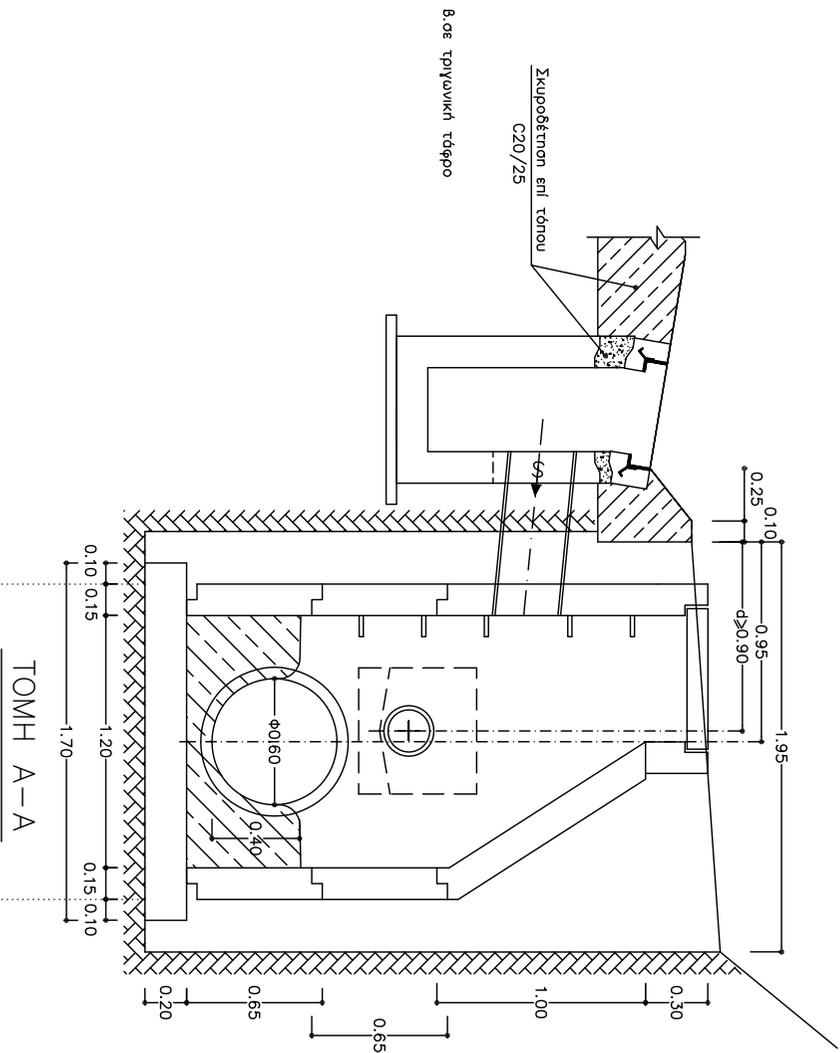
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

Διαστάσεις σε [m]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ
 ΤΥΠΟΥ Φ10 (D=0.60 & D=0.40)

| | | |
|--------------|-----------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ.Σχεδίου Υ-04.1 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 1 από 2 | Αναθεώρηση # |

Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας



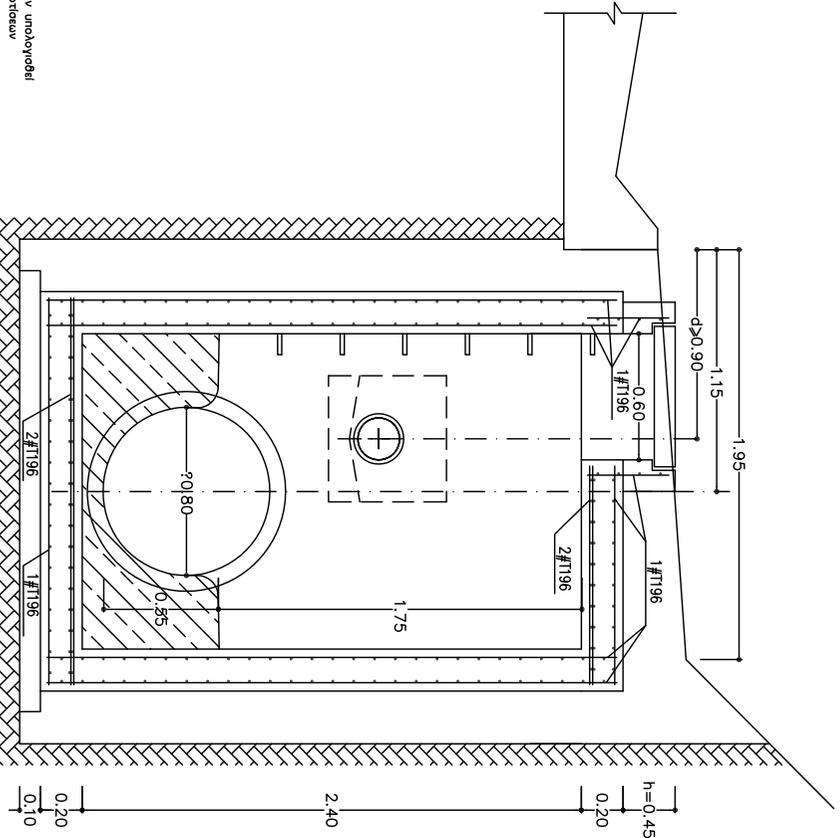
Διαστάσεις σε [m]

ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ ΤΥΠΟΥ Φ10 (D=0.60 & D=0.40)

| | | |
|--------------|-----------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ.Σχεδίου Υ-04.2 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 2 από 2 | Αναθεώρηση # |

Η επίλυση σε A4 είναι εκτός κλίμακας

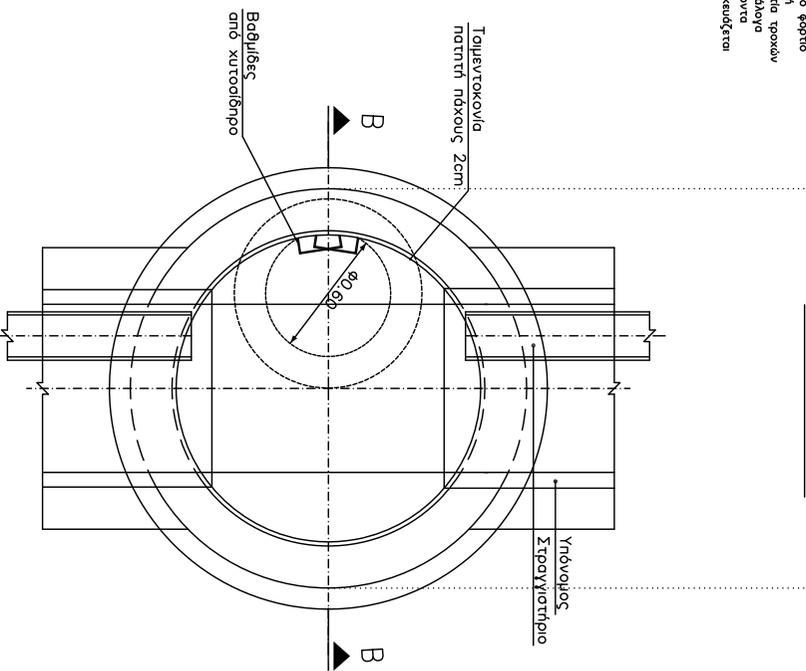
ΣΕ ΘΕΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25



Σημείωση

- Οι υποδεικνυόμενοι αριθμοί έχουν υπολογισθεί με τις ακόλουθες παραδοχές φορτίσεων:
 - Υψος επίκλισης : $\tan\theta = 0,25$ m
 - max 3,50 m
 - βάρος γαιών: 20,00 kN/m³
 - Γωνία εσωτερικής τριβής ολικού επίκλισης: $\phi = 30^\circ$
 - Συντελεστής ολίσθησης ολικής γαίας $K_0 = 1 - \sin\phi = 0,50$
 - κινητό φορτίο επίκλισης για τον αυθόρμητο στην οριζόντιο κατεύθυνση αστοχίας: $q_1 = 5,00$ kN/m²
 - Κινητό φορτίο επί των γαίων για το αυθόρμητο τυχαία κρούση: $q_2 = 33,00$ kN/m² ως ισοδύναμο καταμημένο φορτίο οκτώμοτος 600 kN σύμφωνα με DIN 1072, h
 - $q_3 = 2 \times 1,4 \times 100$ kN ως συγκεντρωμένο φορτίο τροχών και το όλο παραπάνω φορτίο καταβλήνεται ομοιόμορφα με το βάρος υπό γαίων 60^{ος} ως προς τον οριζόντιο
- Όταν ύψος κοιλού $h \geq 1,00$ m τότε αυτός κατασκευάζεται με διάμετρο $\phi 1,00$ και με βάθμιες

ΤΟΜΗ Β-Β



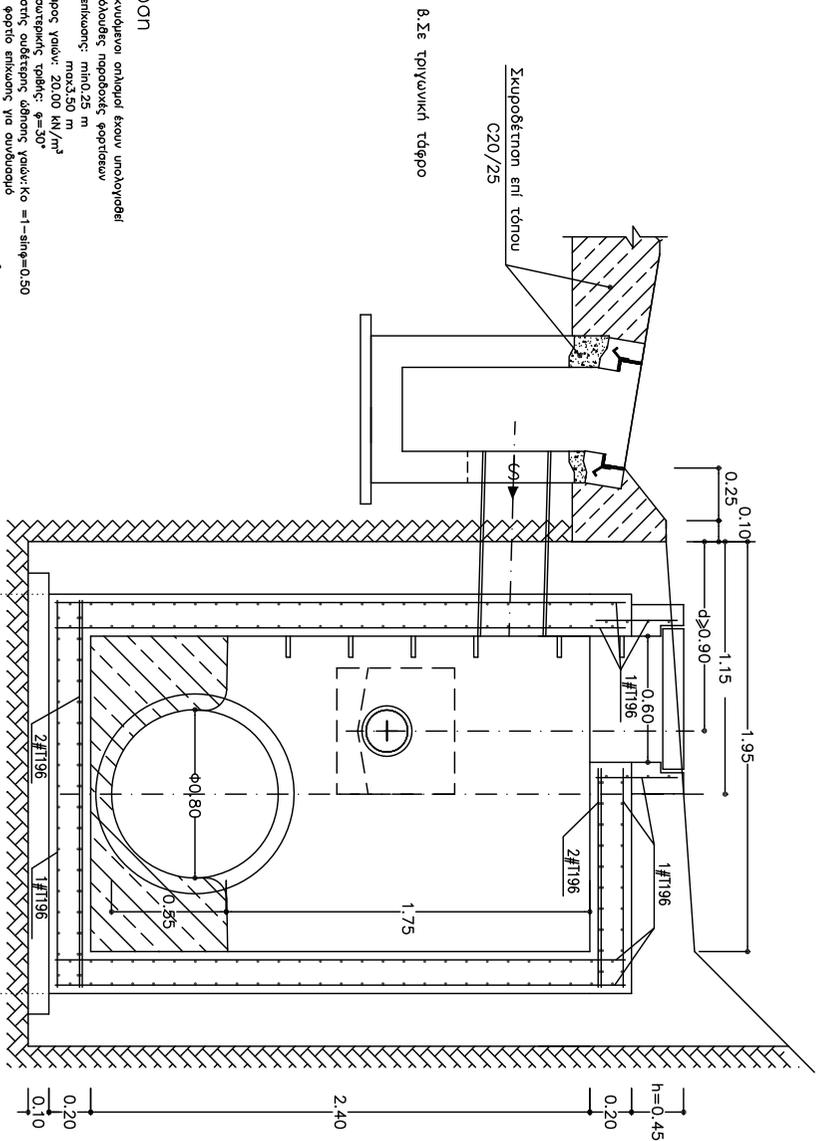
ΚΑΤΩΨΗ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

Διαστάσεις σε [m]

| | | |
|---|-----------------------|------------------------|
| ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ ΤΥΠΟΥ Φ10 (D=0.80) | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ.Σχεδίου Υ-05.1 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 1 από 2 | # |

Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας

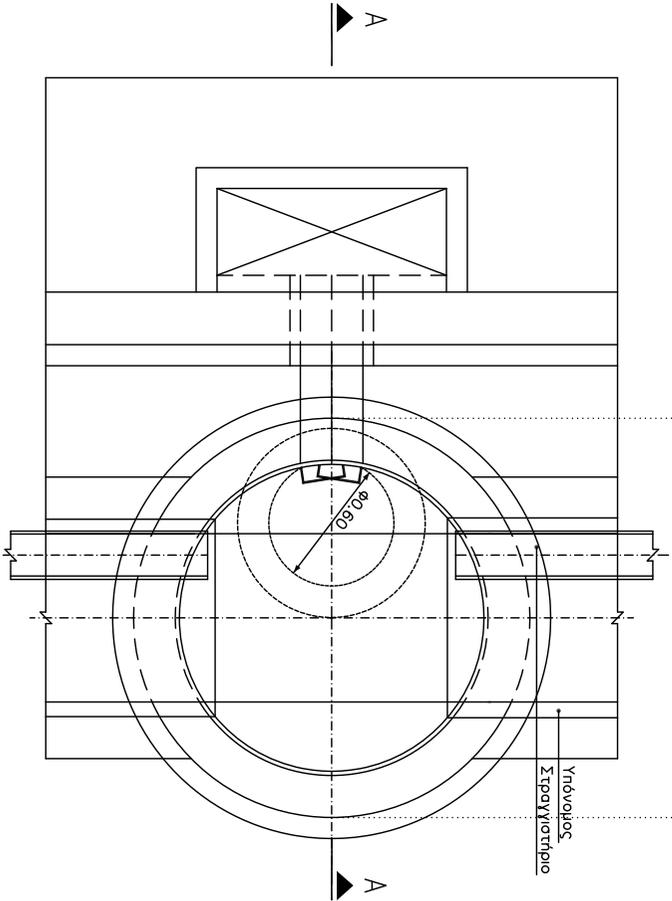


Διαστάσεις σε [m]

| | | |
|---------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ10 (D=0.80) | | |
| ΤΥΠΟΥ Φ10 (D=0.80) | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ.Σχεδίου Υ-05.2 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 2 από 2 | Αναθεώρηση # |

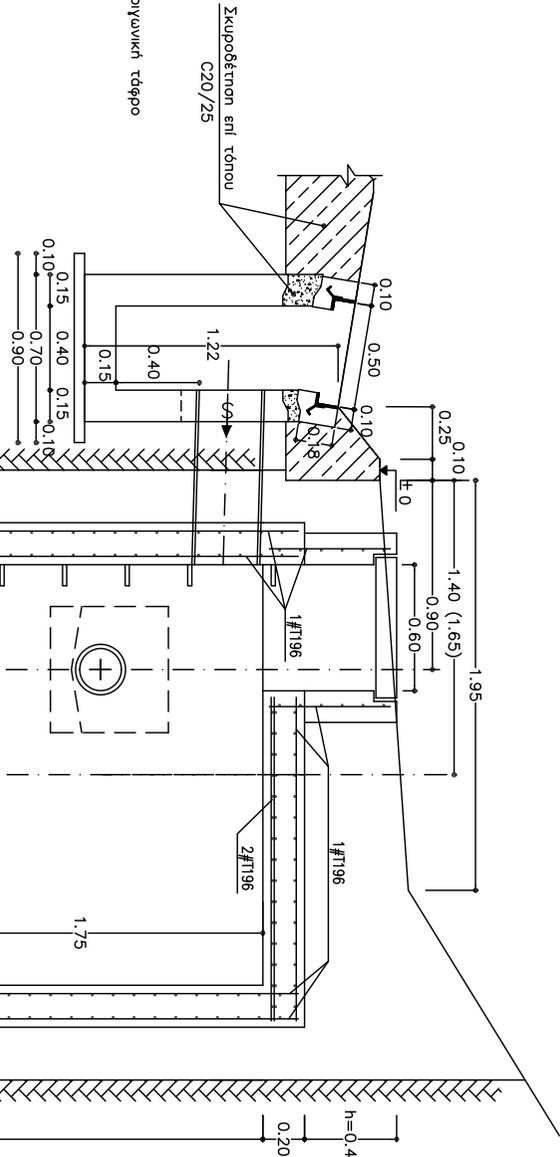
Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας

- Σημείωση**
- Οι υποδεικνυόμενοι οπλισμοί έχουν υπολογιστεί με τις ακόλουθες παραδοχές φορτίσεων:
 - Ύψος επίκλισης: min 0,25 m
 - Ισο βάρος γαιών: 20,00 kN/m²
 - Τάση εσωτερικής σπρίνης: φ=30°
 - Συντελεστής ούδεσης αέρας γαιών: ko =1-sinφ=0,50
 - Κινητό φορτίο επίκλισης για αμύδια:
 - στην οριζ. κατεύθυνση οριζ. δ1=5,00 kN/m²
 - κινητό φορτίο επί των γαιών για τον αμύδια: τυχηματικών φορτίων:
 - 1) q_κ=33,00 kN/m² ως ποδώνιο καταμετρημένο φορτίο οριζ. δ2=2x(1+κ100) kN ως συγκεντρωμένα φορτία τροχών
 - 2) q_κ=2x(1+κ100) kN ως συγκεντρωμένα φορτία τροχών
 - Και το βάρος υπό γαία 60 ως προς τον οριζ. άξονα
 - Όταν ύψος λαμού h>1,00 m τότε αυτός καταμετρείται με διάμετρο φ1,00 και βαθμίδες



ΚΑΤΩΨΗ

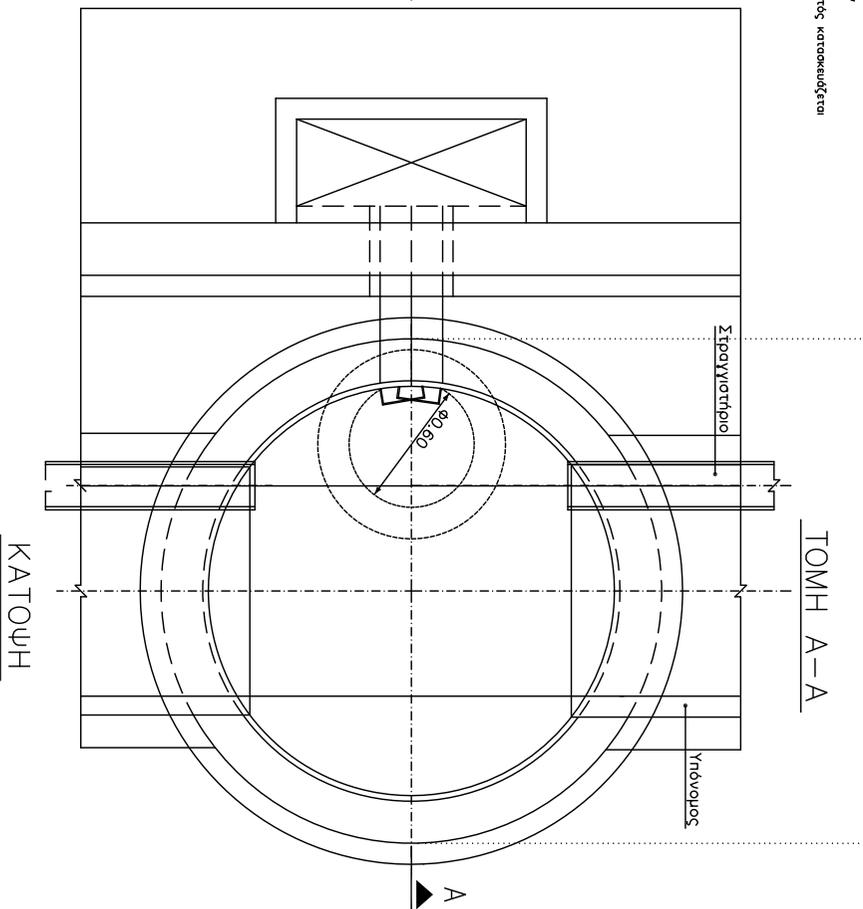
ΣΕ ΘΕΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25



Β. σε τριγωνική τάξη

Σημείωση

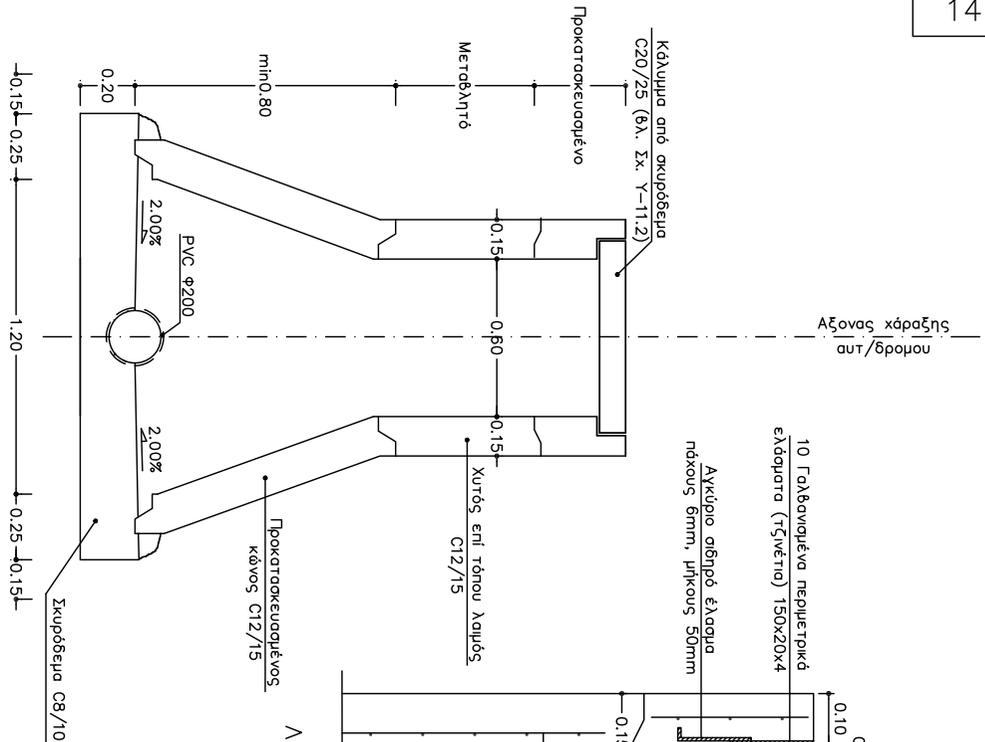
1. Οι υποδεικνυόμενα εν λόγω έχουν υπολογιστεί με τις ακόλουθες παραδοχές φορτίσεων
 - Υψος επιχώσεως: min 2,5 m
 - max 3,50 m για φρέατο διαμέτρου 2,00 m & max 1,00 m για φρέατο 2,50 m
 - Ισχύς βάρους γαιών: 20,00 kN/m³
 - Ένταση εκτατικής τάσης γαιών επιχώσεως: q=30'
 - Ζωονεκτικός δείκτης δάμησης γαιών: r₀ = 1 - sinφ = 0,50
 - Κλίση φορτίου επιχώσεως για το συνολικό φορτίο: φ = 30°
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁ = 5,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₂ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₃ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₄ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₅ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₆ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₇ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₈ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₉ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁₀ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁₁ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁₂ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁₃ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁₄ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁₅ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁₆ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁₇ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁₈ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₁₉ = 1,00 kN/m²
 - Ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο: q₂₀ = 1,00 kN/m²
2. Οι αποστάσεις σε παρέκλιση φρεοφώνου με το φρέατο τύπου φ12 (D=1,20)
3. Όταν υψός γαιών h>3,00 m τότε αυτές κατασκευάζονται με διάμετρο φ1,00 και με βελτιές



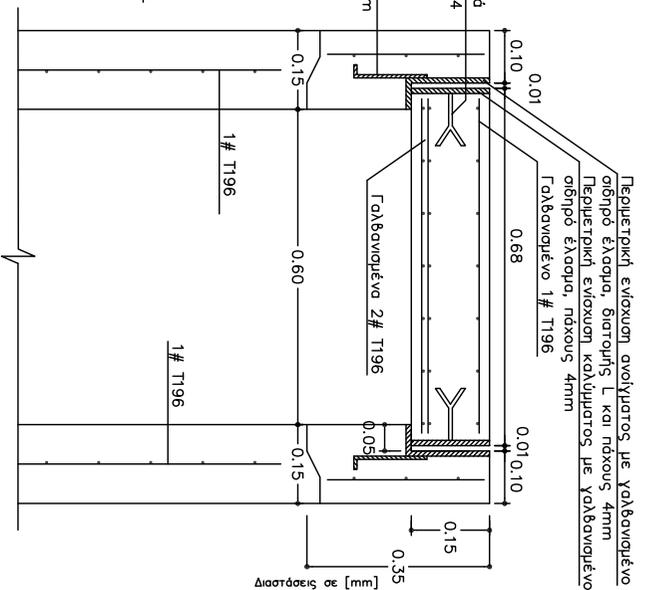
ΣΕ ΘΕΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΠΟΣΥΝΑΜΟΤΗΣ ΚΑΙΜΑΚΑ 1:25

| | | |
|--|------------------------|------------------------|
| ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΥΠΟΝΟΜΟΥ ΤΥΠΟΥ Φ11 (D=1.00) & Φ12 (D=1.20) | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-06.2 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 2 από 2 | Αναθεώρηση # |

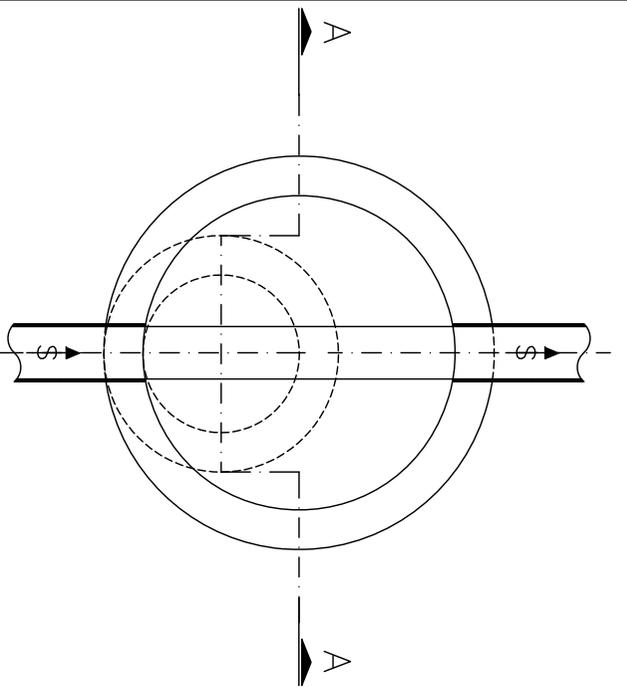
Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας



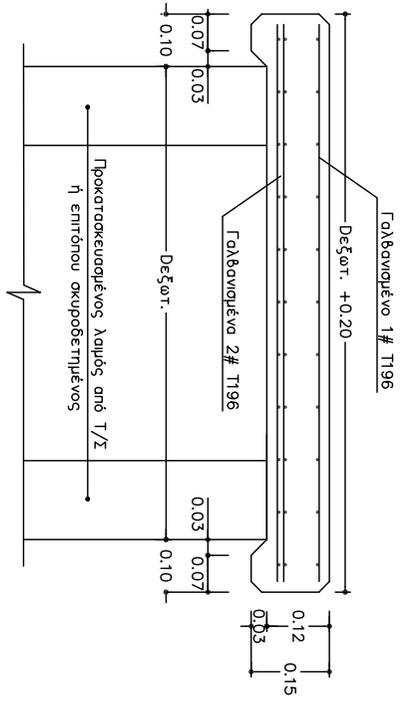
ΤΟΜΗ Α-Α



Λεπτομέρεια προκατασκευασμένου τμήματος στέψης φρεατίου
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



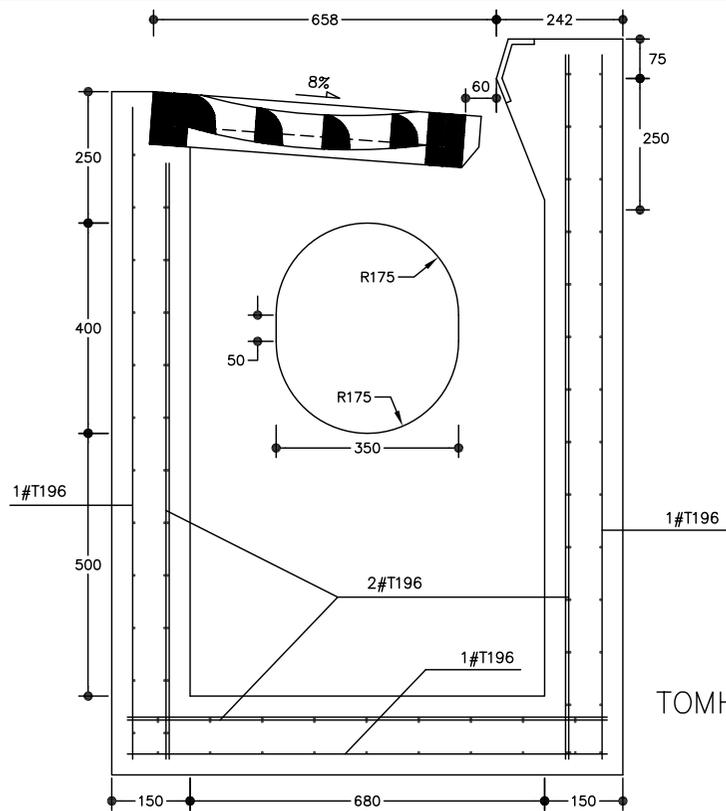
ΚΑΤΩΦΗ ΦΡΕΑΤΙΟΥ



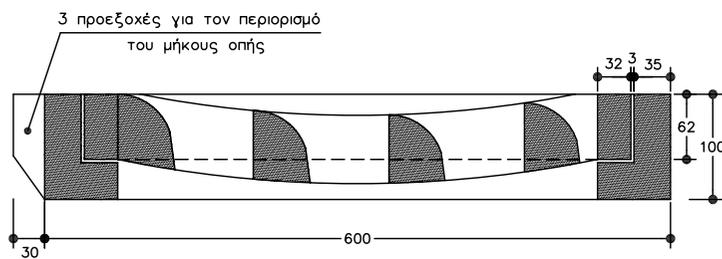
Εναλλακτική κατασκευή προκατασκευασμένου καλύμματος
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10

| ΦΡΕΑΤΙΟ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΟΝ | | |
|-------------------------------------|----------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΦΔ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-07 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 1 από 1 | # |

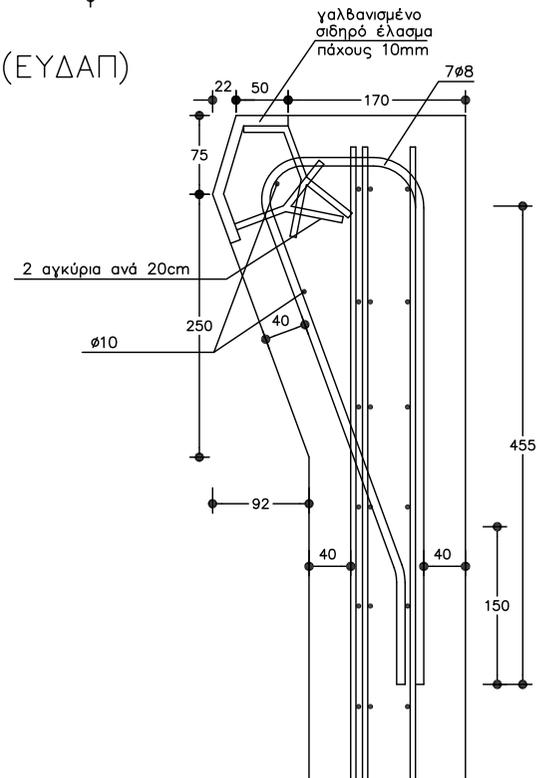
Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας



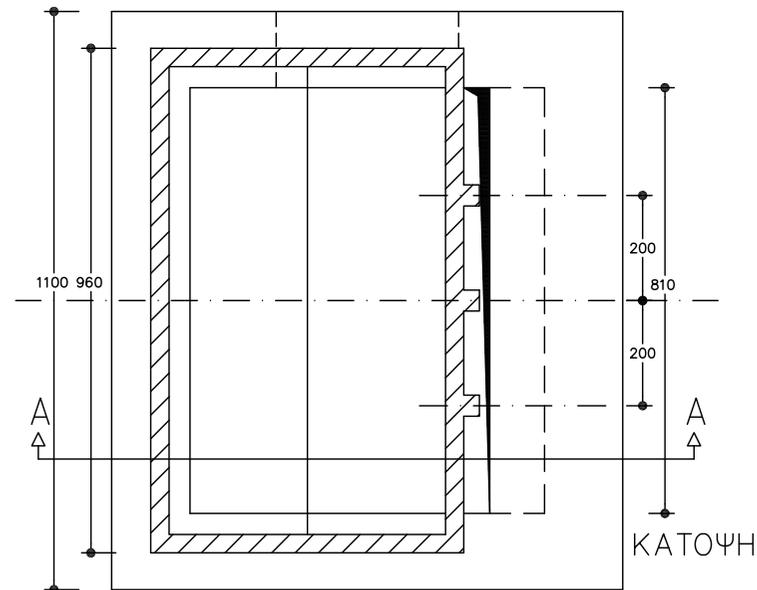
ΤΟΜΗ Α-Α



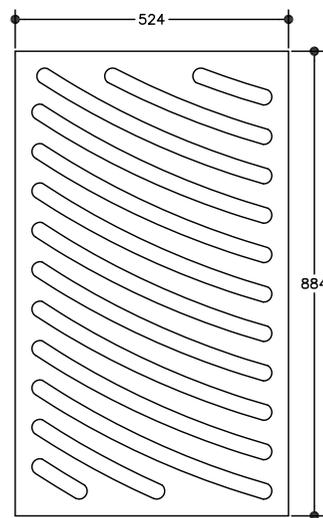
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΗΣ ΣΧΑΡΑΣ (ΕΥΔΑΠ)
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5



ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5



ΚΑΤΟΥΨΗ



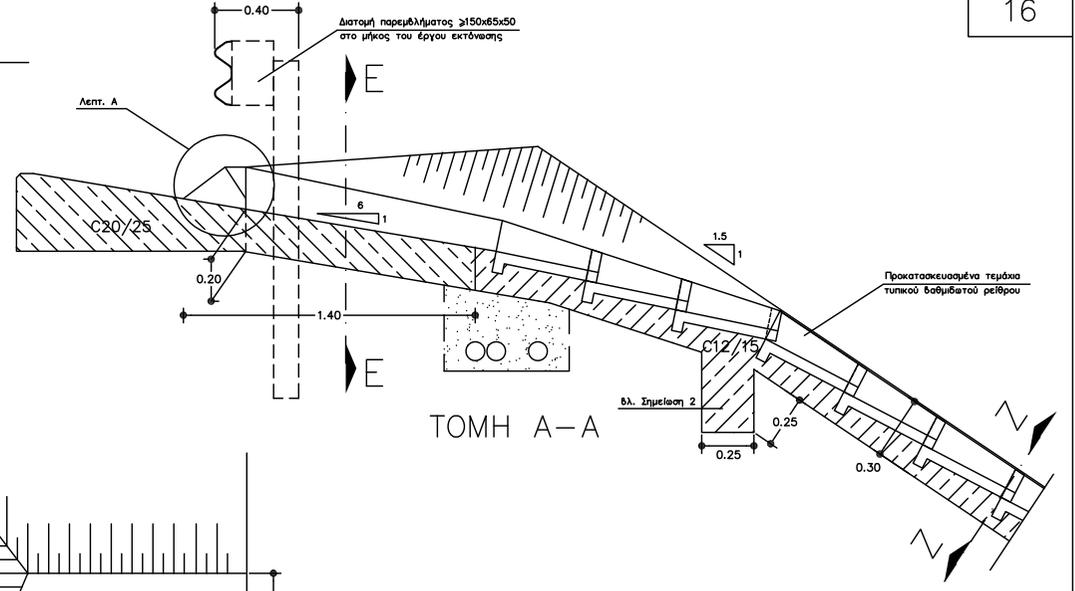
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10

Διαστάσεις σε [mm]

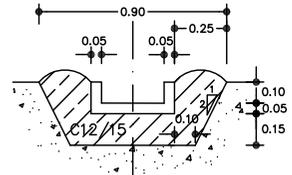
| | | |
|---|----------------------|------------------------|
| ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΕ ΚΡΑΣΠΕΔΟ | | |
| ΥΠΕΧΩΦΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-08 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 1 από 1 | Αναθεώρηση # |



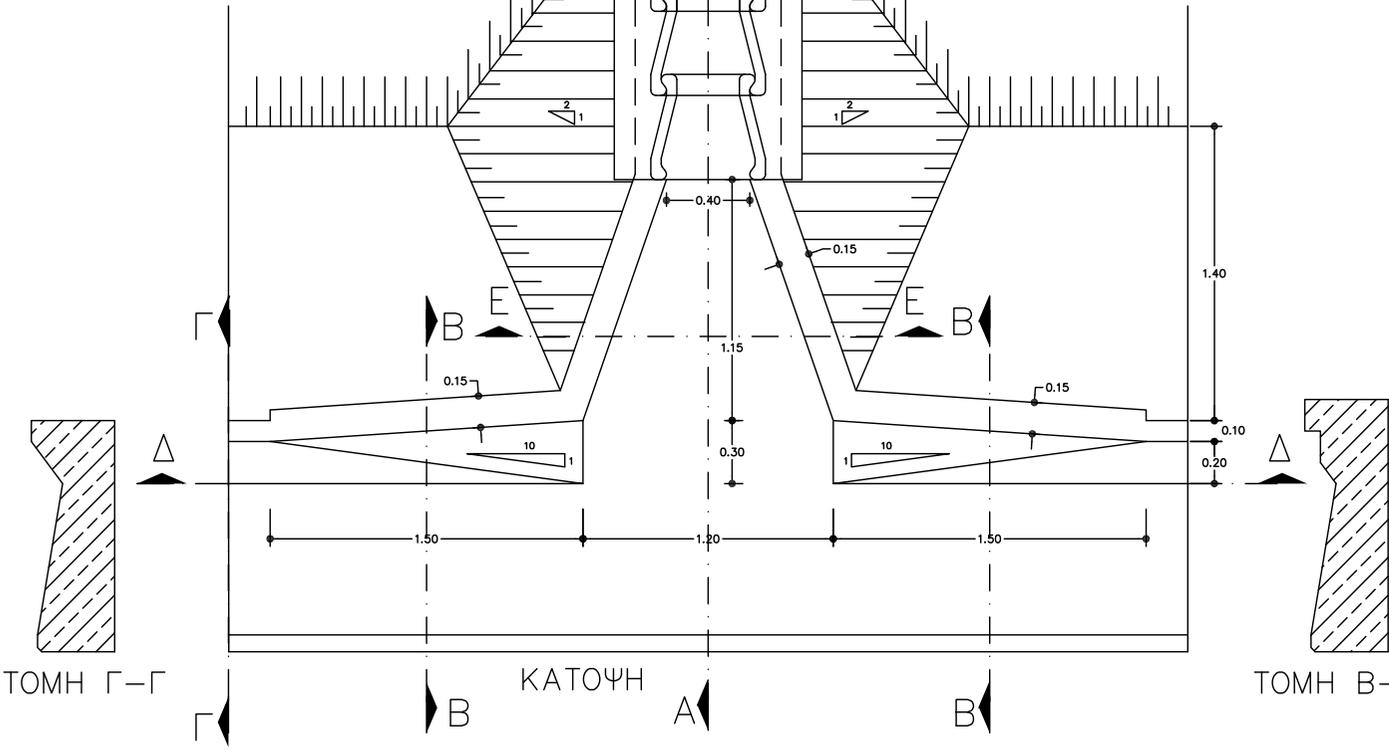
ΛΕΠΤ. Α
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



ΤΟΜΗ Α-Α



ΤΟΜΗ Ζ-Ζ



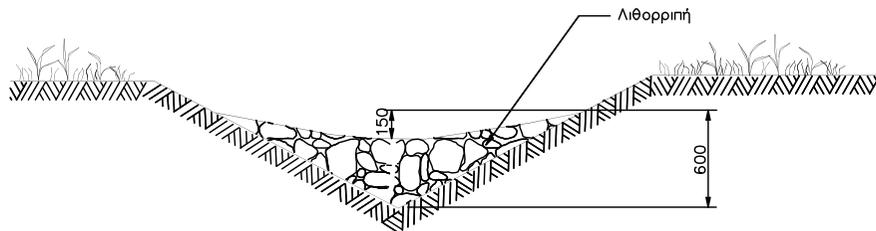
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:25

- Σημείωση
1. Η παρεχόμενη ποιότητα του βαθμιδατού ρείθρου θα λαμβάνεται ίση με 100l/s
 2. Χαλ νά κατασκευάζονται στο πρηνές ανά 6m κεκλιμένης απόστασης

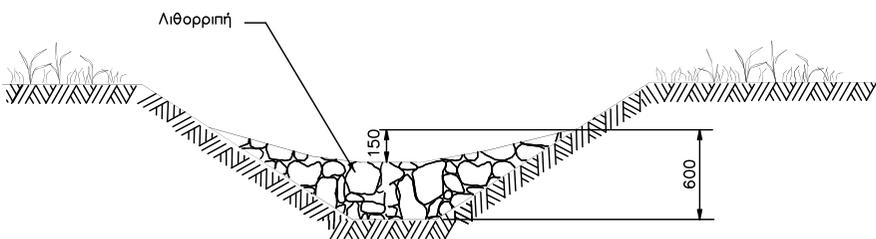
Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

Διαστάσεις σε [m]

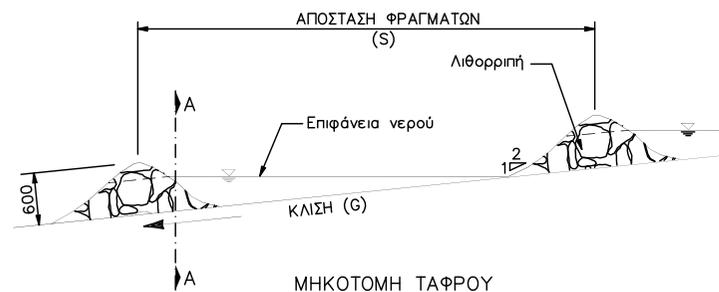
| | | |
|---|------------------------|------------------------|
| ΕΚΤΟΝΩΣΗ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗΣ ΤΑΦΡΟΥ (1:6) ΣΕ ΕΠΙΧΟΡΜΑ | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-09.1 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 1 από 2 | Αναθεώρηση # |



ΤΟΜΗ Α-Α
ΤΡΙΓΩΝΙΚΗ ΤΑΦΡΟΣ



ΤΟΜΗ Α-Α
ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΗΣ ΤΑΦΡΟΣ



| 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 $G > 6\%$

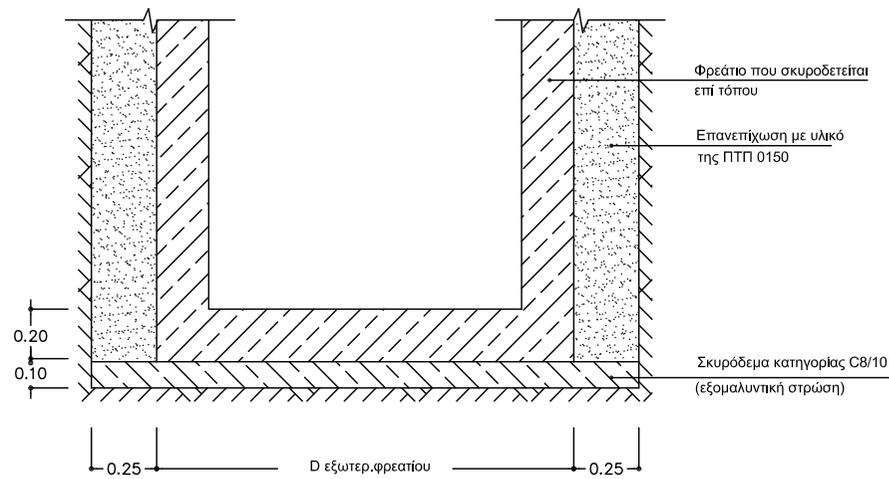
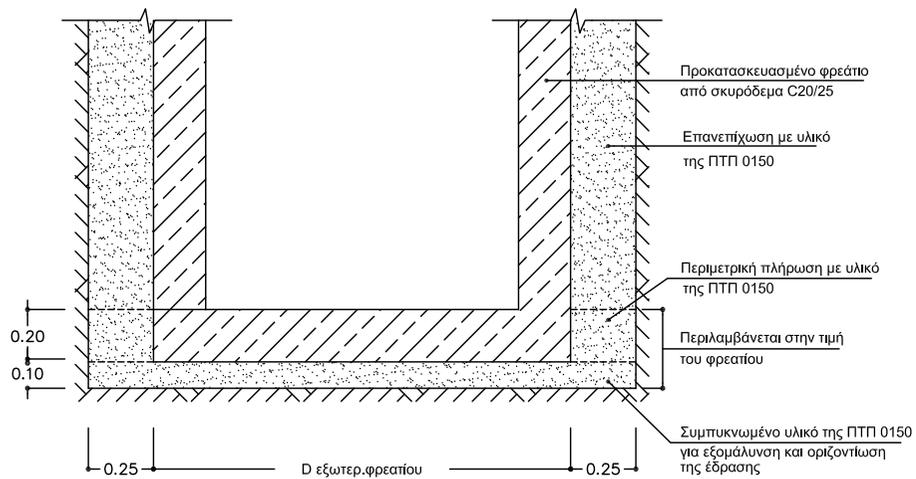
| Ανοιγμα βροχίδας [mm] | Διαβάθμιση Λιθορριπής | |
|-----------------------|-----------------------|---------|
| | Διερχόμενο % Ελάχιστο | Μέγιστο |
| 9.50 | 100 | |
| 4.75 | 95 | 100 |
| 2.36 | 68 | 86 |
| 1.18 | 47 | 65 |
| 0.60 | 27 | 42 |
| 0.30 | 9 | 20 |
| 0.15 | 0 | 7 |
| 0.075 | 0 | 2.5 |

Διαστάσεις σε [mm]

| ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ ΣΕ ΑΝΕΠΕΝΔΥΤΕΣ ΤΑΦΡΟΥΣ | | |
|--|----------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-10 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 1 από 1 | # |

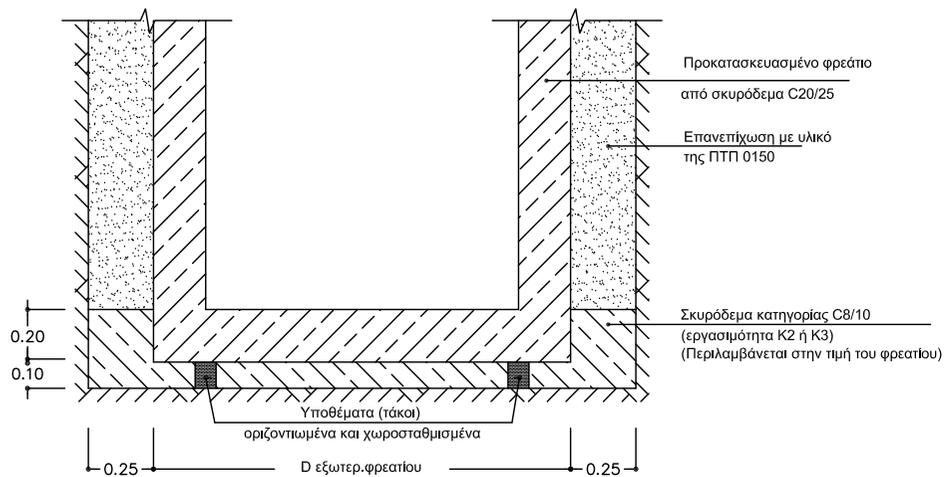
ΚΛΙΜΑΚΑ (ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ)

1ος τρόπος



ΦΡΕΑΤΙΑ ΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΤΟΥΝΤΑΙ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ

2ος τρόπος

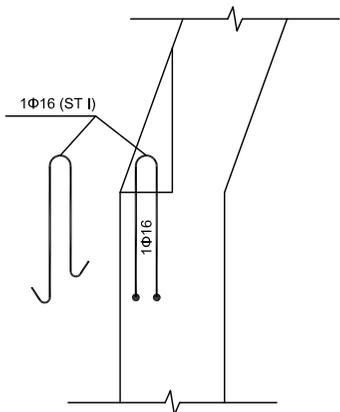


ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20

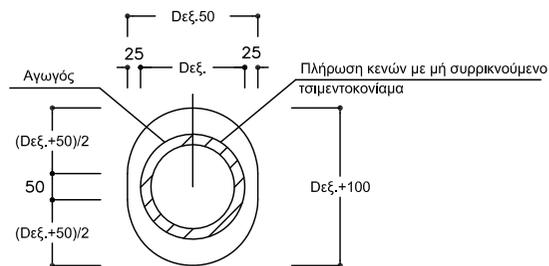
Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας

Διαστάσεις σε [m]

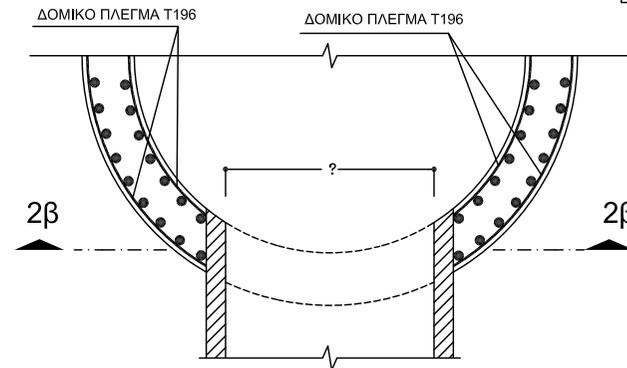
| | | |
|---|-----------------------|------------------------|
| ΓΕΝΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΦΡΕΑΤΙΩΝ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ & ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ.Σχεδίου Υ-11.1 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 1 από 2 | Αναθεώρηση # |



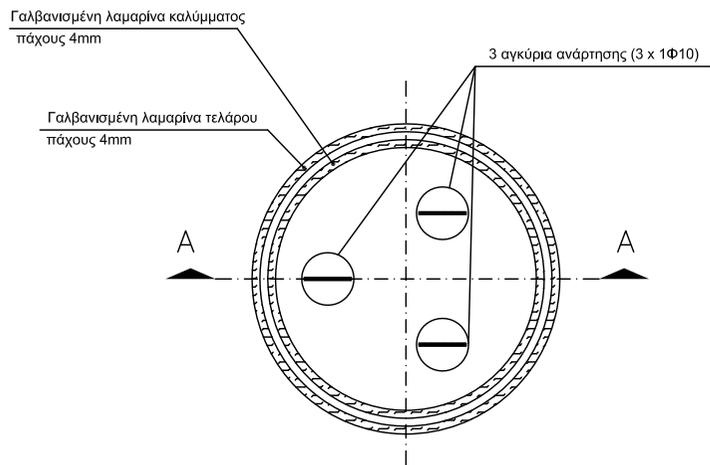
**ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΑΓΚΥΡΙΟΥ
ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΦΡΕΑΤΙΟΥ**
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



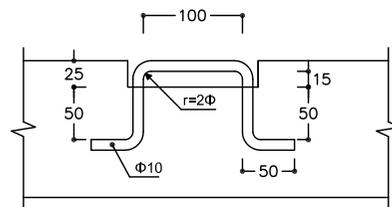
**ΟΠΕΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΓΩΓΩΝ
ΣΤΑ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΦΡΕΑΤΙΑ**
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



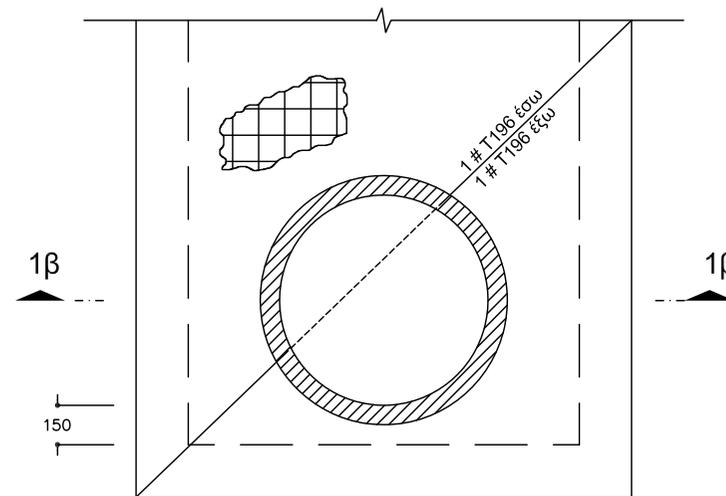
ΤΟΜΗ 1-1
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20



ΚΑΛΥΜΜΑ ΦΡΕΑΤΙΟΥ
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



ΤΟΜΗ Α-Α
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10

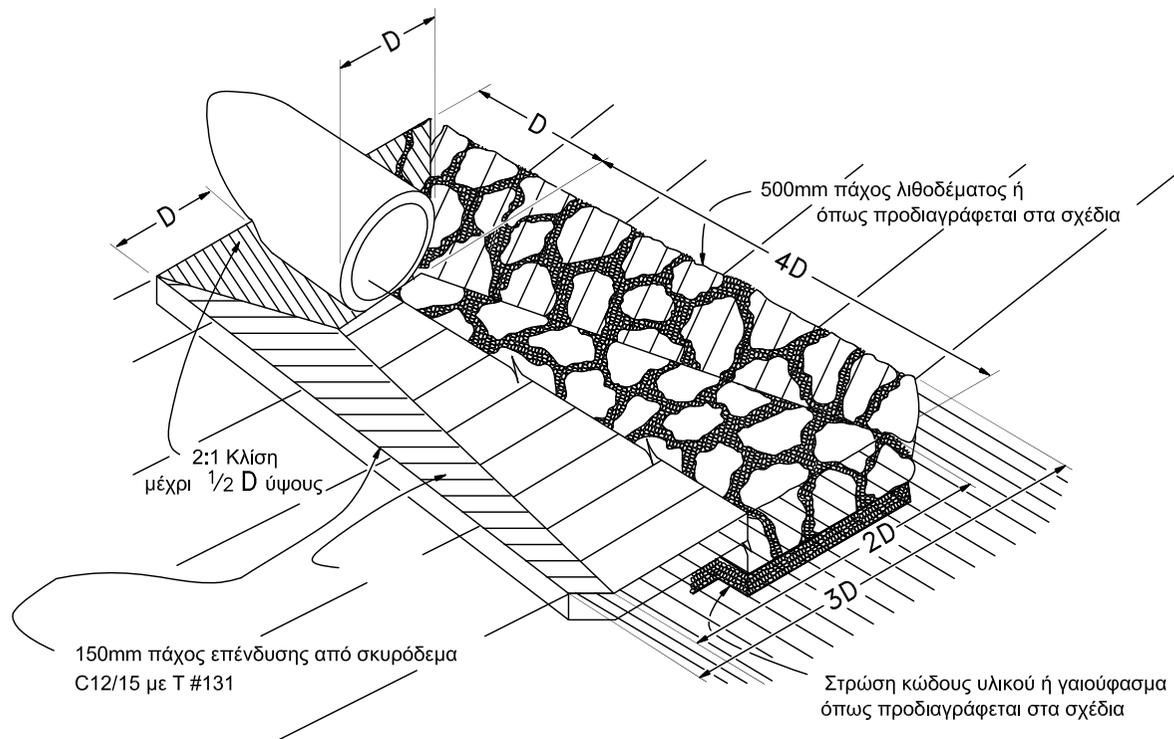


ΤΟΜΗ 2β-2β
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:20

Διαστάσεις σε [mm]

| ΓΕΝΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΦΡΕΑΤΙΩΝ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ & ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ | | |
|---|-----------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ.Σχεδίου Υ-11.2 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φορέας | Αναθεώρηση |
| | 2 από 2 | # |

- ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΚΑΛΥΜΑΤΩΝ & ΦΡΕΑΤΙΩΝ
- ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΚΥΚΛΙΚΩΝ ΦΡΕΑΤΙΩΝ



Σημείωση

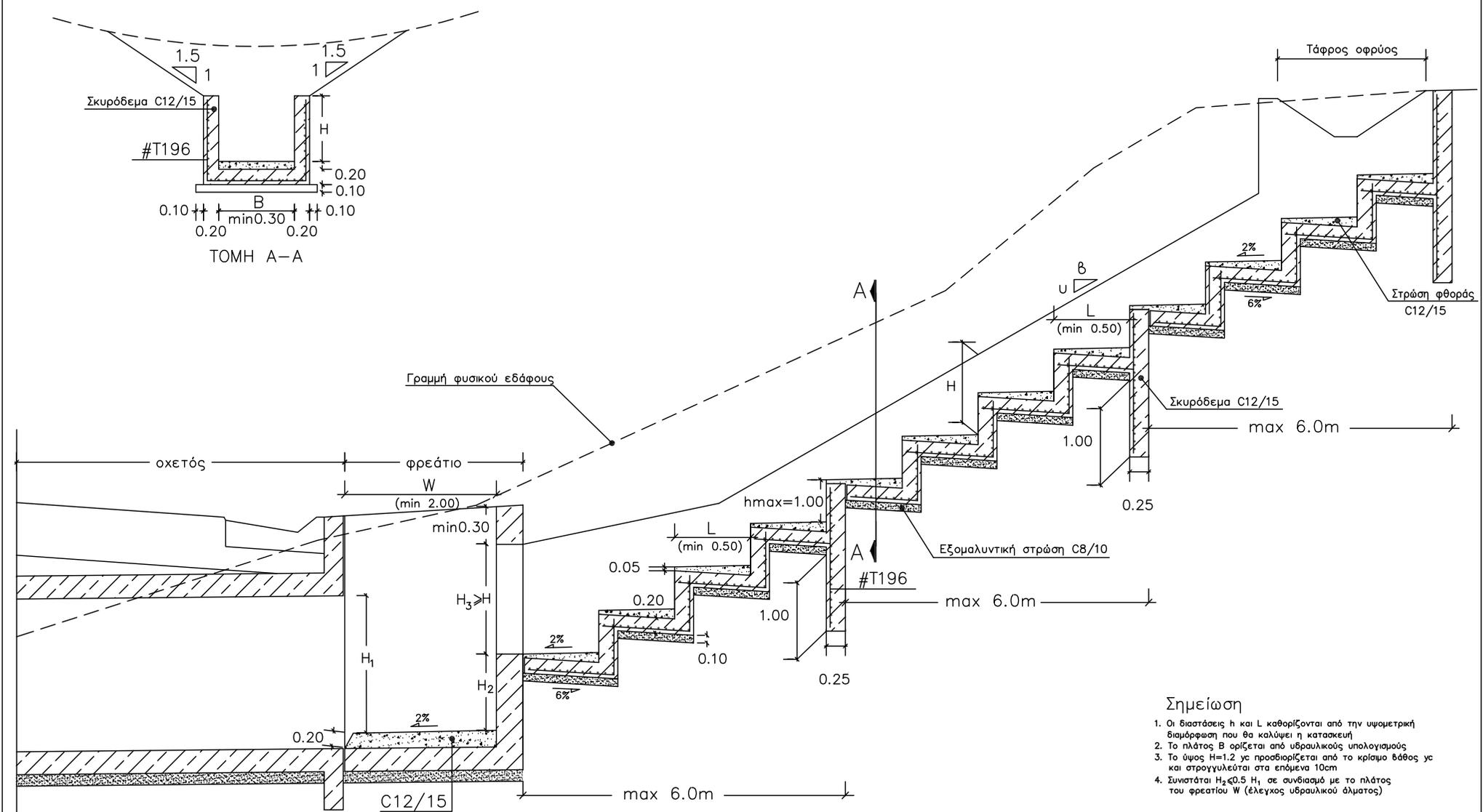
1. Η κατασκευή γίνεται είτε από σκυρόδεμα C20/25 είτε από λιθόδεμα

Διαστάσεις σε [mm]

| | | |
|---|---------------------|------------------------|
| ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΞΟΔΟΥ ΣΩΛΗΝΩΤΟΥ ΟΧΕΤΟΥ | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ.Σχεδίου Υ-13 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Ασθεύρηση |
| | 1 από 1 | # |

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ

Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας



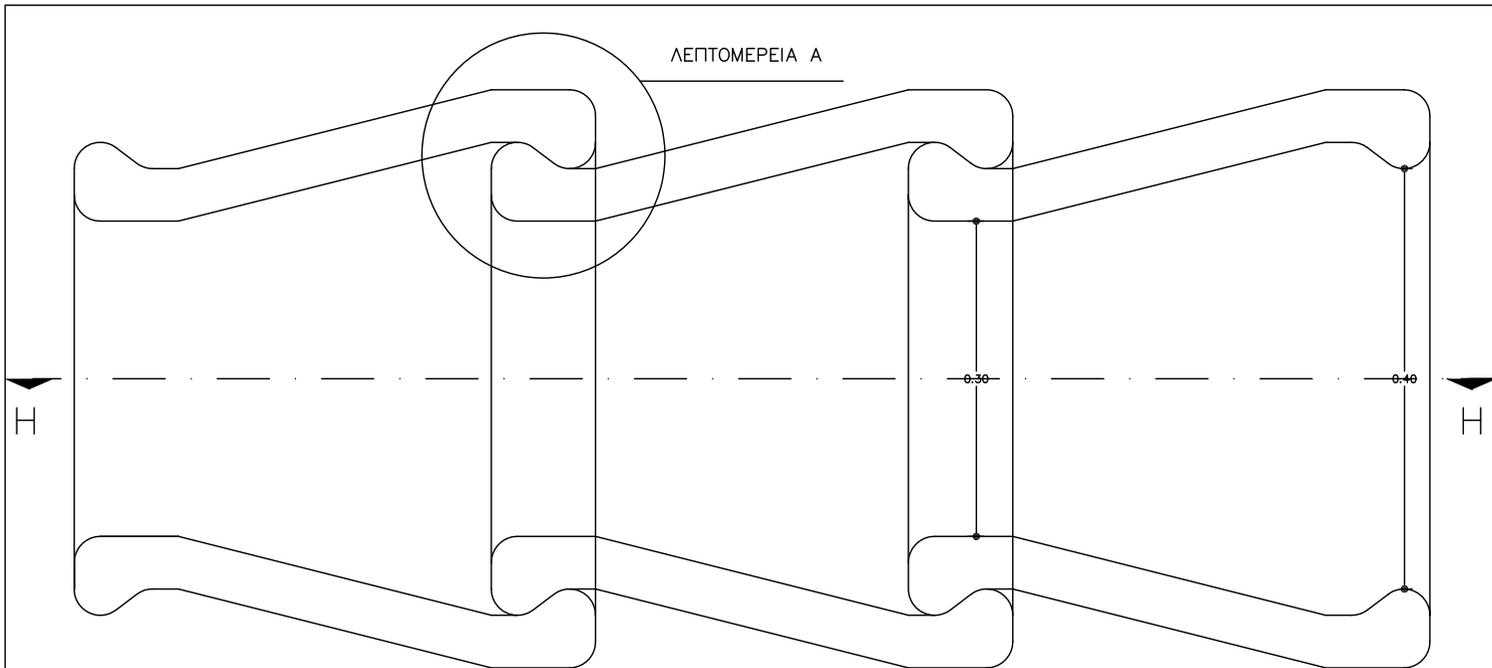
- Σημείωση**
1. Οι διαστάσεις h και L καθορίζονται από την υψομετρική διαμόρφωση που θα καλύψει η κατασκευή
 2. Το πλάτος B ορίζεται από υδραυλικούς υπολογισμούς
 3. Το ύψος $H=1.2$ γς προσαρμόζεται από το κρίσιμο βάθος γς και στρωγγυλεύεται στα επόμενα 10cm
 4. Συνιστάται $H_2 < 0.5 H_1$, σε συνδυασμό με το πλάτος του φρεατίου W (έλεγχος υδραυλικού άλματος)

Διαστάσεις σε [m]

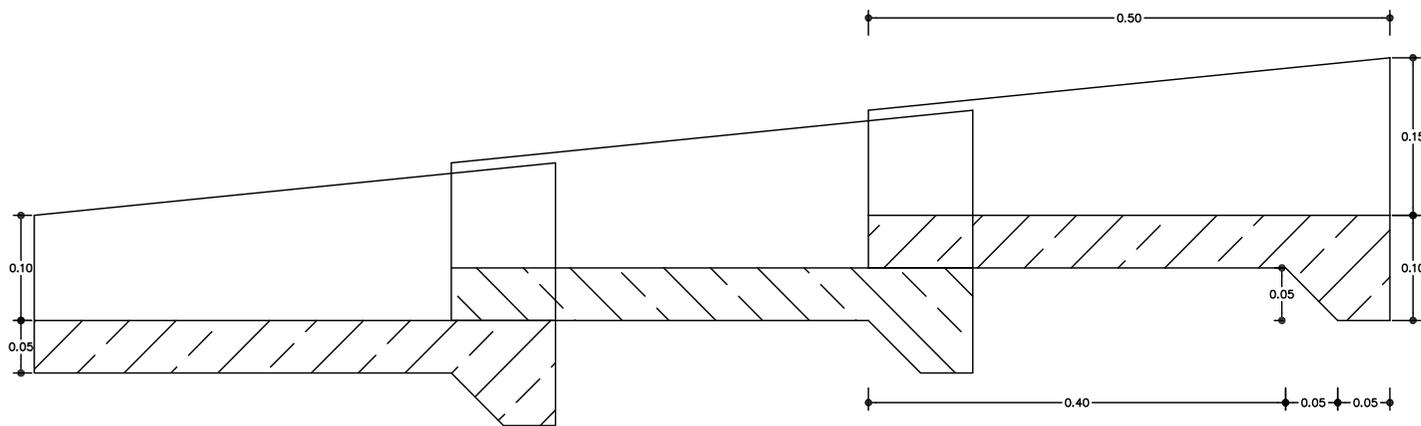
| | | |
|---|----------------------|------------------------|
| ΕΚΒΟΛΗ ΤΑΦΡΟΥ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΕΝΤΟΣ ΟΧΕΤΟΥ ΣΕ ΘΕΣΗ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-14 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 1 από 1 | # |

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας

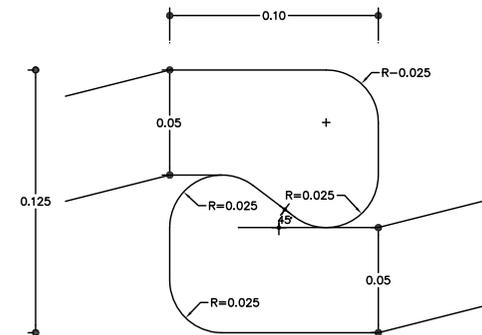


ΚΑΤΟΨΗ



ΤΟΜΗ Η-Η

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5

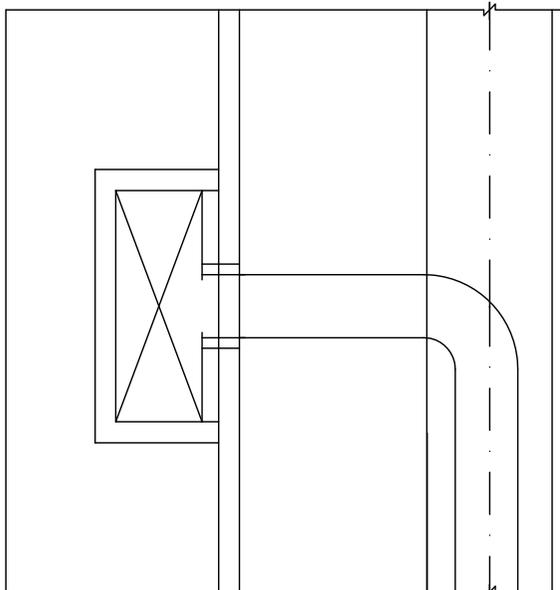


ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ Α
Ενδεικτική διαμόρφωση
ΚΛ. 1:2.5

Διαστάσεις σε [m]

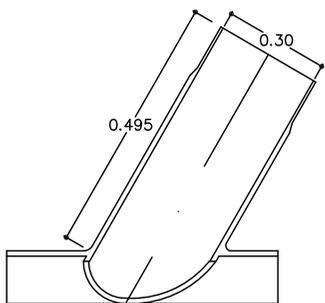
| ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΒΑΘΙΔΟΤΟΥ ΡΕΙΘΡΟΥ | | |
|-------------------------------|----------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-Λ1 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο 1 από 1 | Αναθεώρηση # |

Η εκτύπωση σε Α4 είναι εκτός κλίμακας

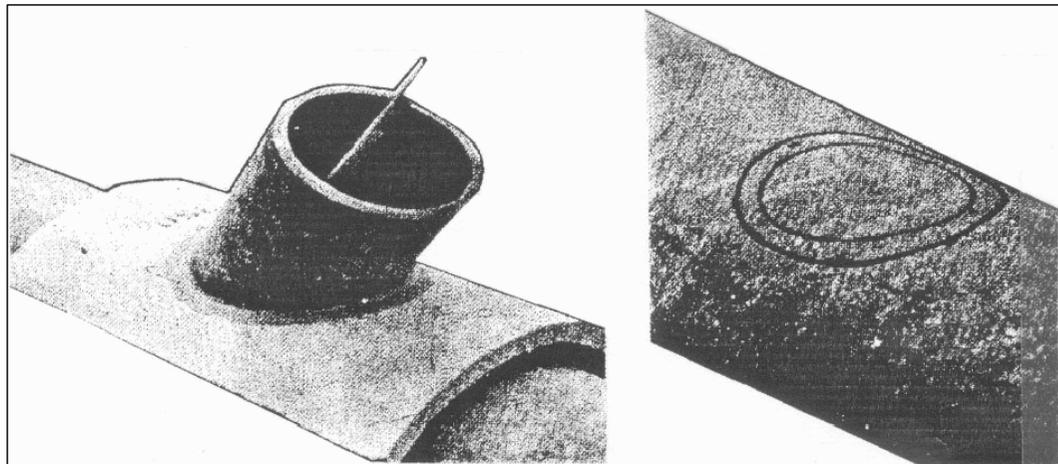


Ειδικό τεμάχιο γωνία και αγωγός Α/Σ Φ0,80 σύνδεσης απ' ευθείας στον υπόνομο όταν δεν υπάρχει κοντά φρεάτιο επίσκεψης

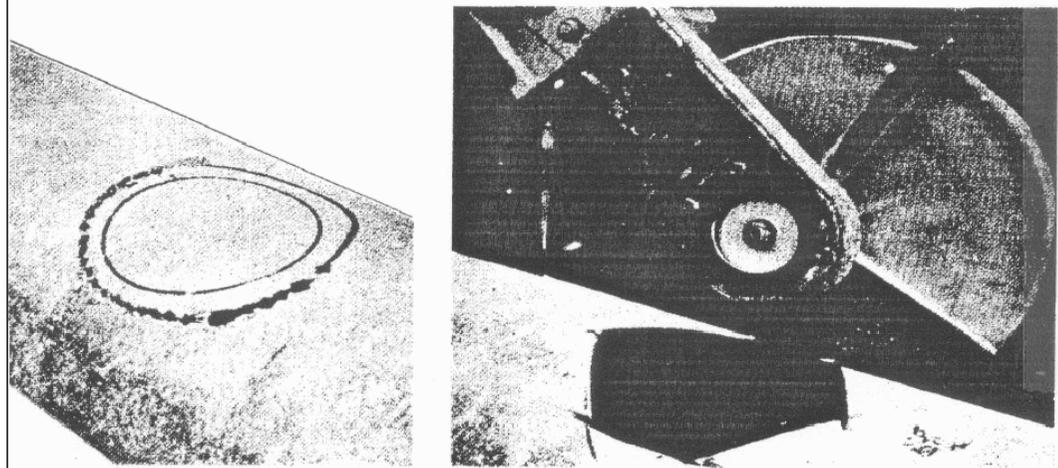
Ειδικό τεμάχιο σύνδεσης (Α/Σ)



ΕΙΔΙΚΟ ΤΕΜΑΧΙΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΠΛΑΚΕΤΤΑ (ΣΑΜΑΡΙ)
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10



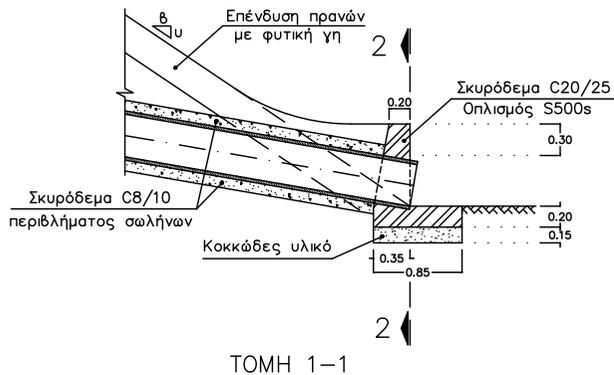
Με τρυπάνι ανοίγεται μία σειρά μικρών όπών ανά 15-20mm περιμετρικά του κυκλικού τμήματος που πρέπει να αφαιρεθεί και κατόπιν με ελαφρό κτύπημα απομακρύνεται τό τμήμα αυτό και εξομαλύνονται με ράσπα τὰ άκρα τής όπής. Για την περίπτωση ειδικού τεμαχίου με πλακέττα (σαμάρη) μπορεί επίσης ή διάνοιξη τής όπής νά γίνει με τή βοήθεια ενός τροχού αφαιρόντας ένα πολυγωνικό κομμάτι από τόν άγωγό.



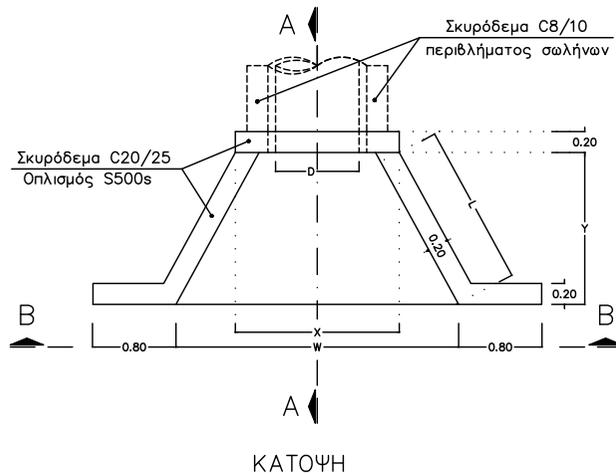
Σημείωση

1. Ο υποδεικνυόμενος τρόπος σύνδεσης απ' ευθείας στον υπόνομο εφαρμόζεται για κάθε διάμετρο οπανάγμο με τα ειδικά τεμάχια σύνδεσης που υπάρχουν στο εμπόριο.

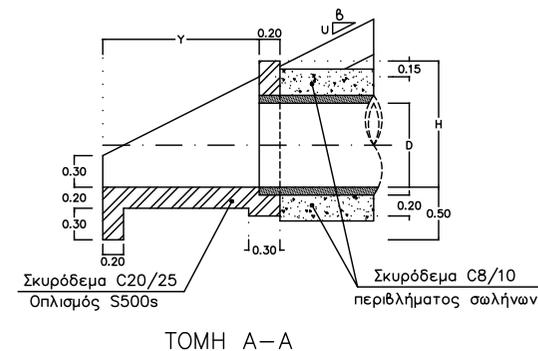
| | | |
|---|----------------------|-------------------------------|
| Διαστάσεις σε [m] | | |
| ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΓΩΓΟΥ ΑΠΟ ΦΡΕΑΤΙΟ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΣΕ ΥΠΟΝΟΜΟ | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-Λ2 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| 1 από 1 | | # |



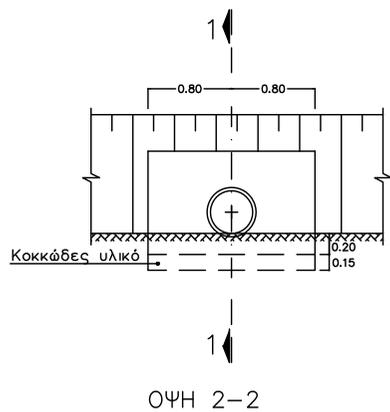
ΤΟΜΗ 1-1



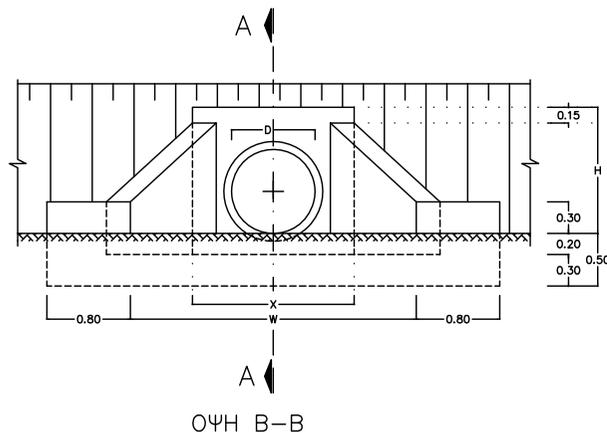
ΚΑΤΟΨΗ



ΤΟΜΗ Α-Α



ΟΨΗ 2-2



ΟΨΗ Β-Β

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 T/Σ D≤0.40)

B. ΕΡΓΟ ΣΤΟΜΙΩΝ ΟΧΕΤΩΝ & ΥΠΟΝΟΜΩΝ
(ΤΣΙΜΕΝΤΟΣΩΛΗΝΕΣ D≥0.60)

Σημείωση

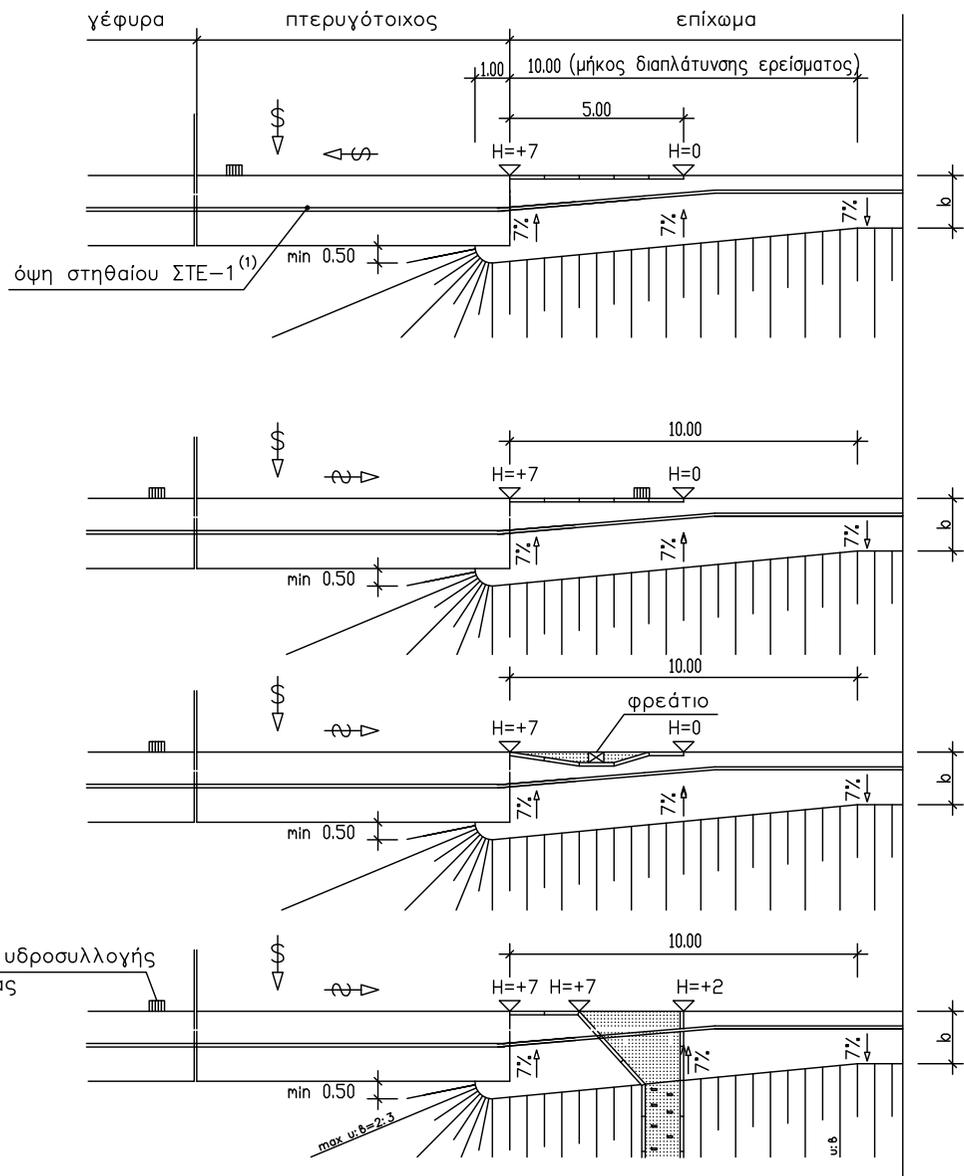
1. Όλες οι εμφανείς ακμές κατασκευάζονται με απότμηση 2 cm
2. Για τυπικά σκάμματα βλ. Σχέδιο Υ-01.1
3. Για τον οπλισμό απαιτείται στατική μελέτη

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

Η εκτύπωση σε A4 είναι εκτός κλίμακας

Διαστάσεις σε [m]

| ΕΡΓΟ ΣΤΟΜΙΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ | | |
|----------------------------------|----------------------|------------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Υ-15 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 1 από 1 | # |



α. Ροή προς τη γέφυρα με κράσπεδο πριν από τον πτερυγότοιχο

β1. Ροή προς το επίκωμα με στόμιο υδροσυλλογής (προηγούνται τόσα στόμια ώστε να μη συνεχίζεται η ροή προς το επίκωμα)

β2. Ροή προς το επίκωμα με φρεάτιο υπονόμου (προηγούνται τόσα στόμια ώστε να μη συνεχίζεται η ροή προς το επίκωμα)

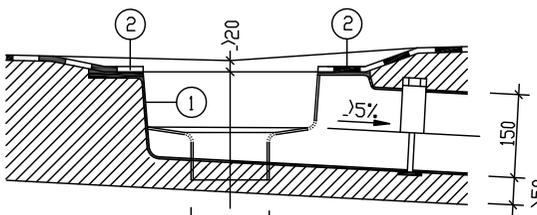
β3. Ροή προς το επίκωμα με φρεάτιο βαθμιδατού ρείθρου (μη επιθυμητή διάταξη)

ΚΑΤΟΨΗ

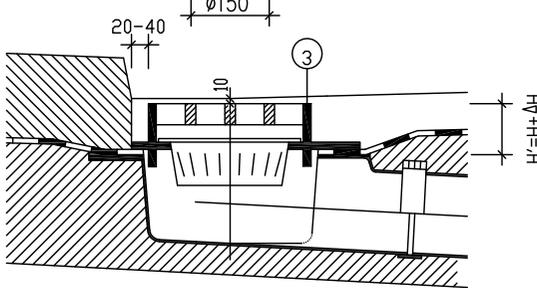
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:150

Διαστάσεις σε [m]

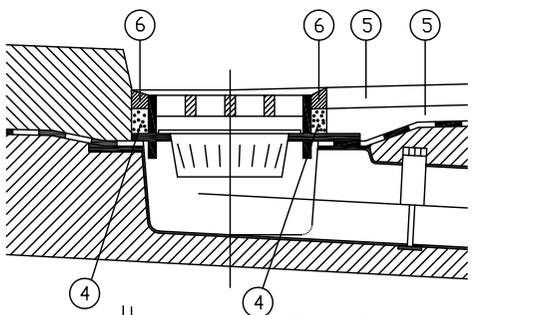
| | | |
|------------------------|----------------------|------------------------|
| ΣΥΝΔΕΣΗ ΓΕΦΥΡΑΣ – ΟΔΟΥ | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Γ-01 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 1 από 1 | # |



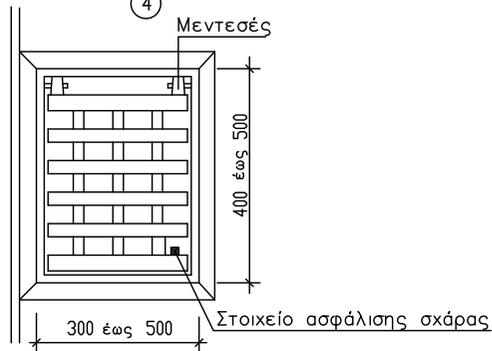
- ① Κάτω μέρος αποχετευτικού στομίου
- ② Υλικό στεγανοποίησης πλάτους 100mm



- ③ Ανω μέρος αποχετευτικού στομίου



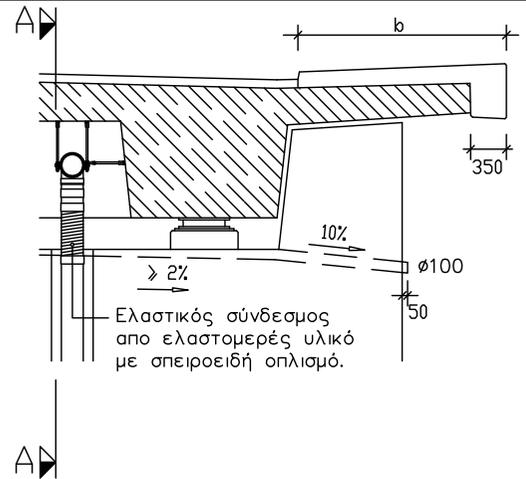
- ④ Υλικό σφράγισης (Τσιμεντοκονίαμα) πάχους 20mm
- ⑤ Ασφαλτικές στρώσεις
- ⑥ Μαστίχα πλήρωσης διακένου



ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ

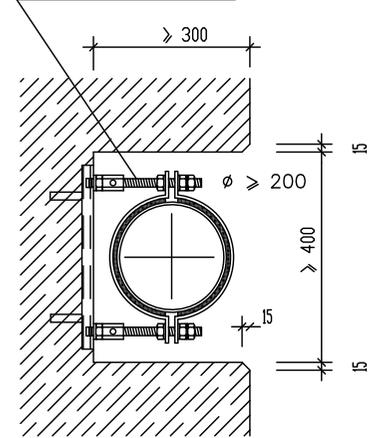
Διαστάσεις σε [mm]

| | | |
|---|----------------------|------------------------|
| ΣΤΟΜΙΑ ΥΔΡΟΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΕ ΓΕΦΥΡΕΣ | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Γ-02 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 1 από 1 | # |

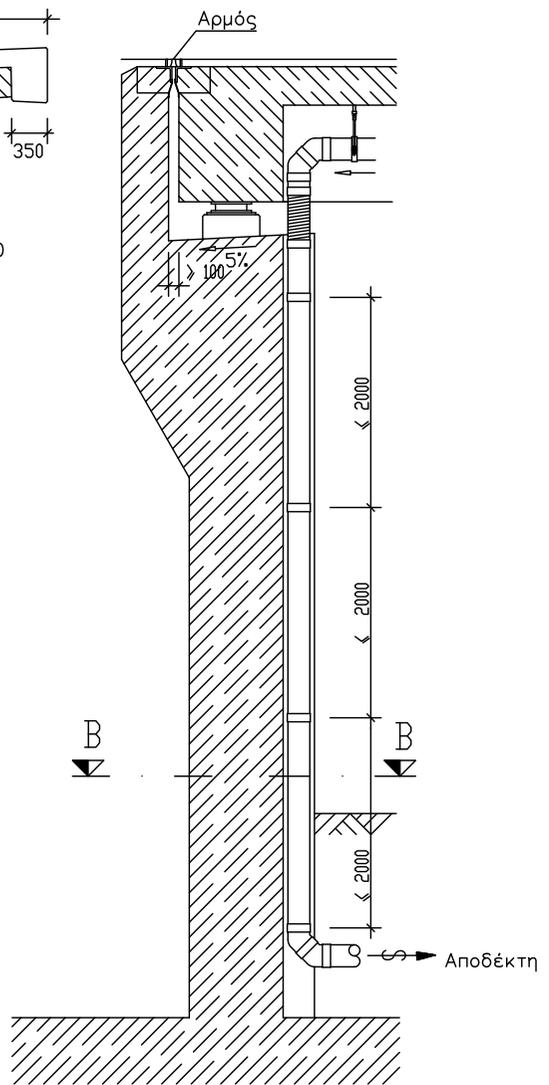


TOMH ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

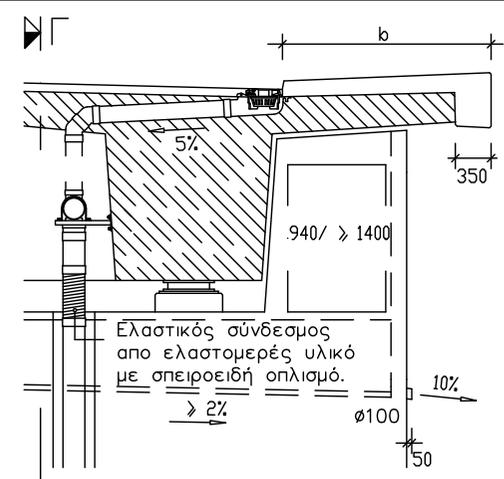
Σύστημα στήριξης ανά 5m της Holfen De HTA-40/25 ή DEHA ή JORDAHL ή ανάλογο



TOMH B-B ΚΛΙΜΑΚΑ 1:10

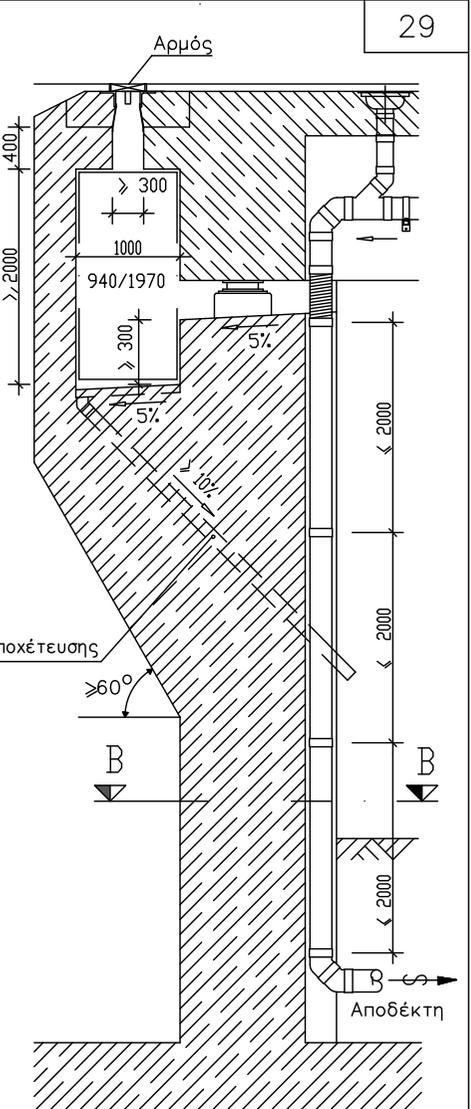


TOMH A-A ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50



TOMH ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

Περίπτωση ενδιάμεσης αποχέτευσης με σωλήνα Ø100 PVC

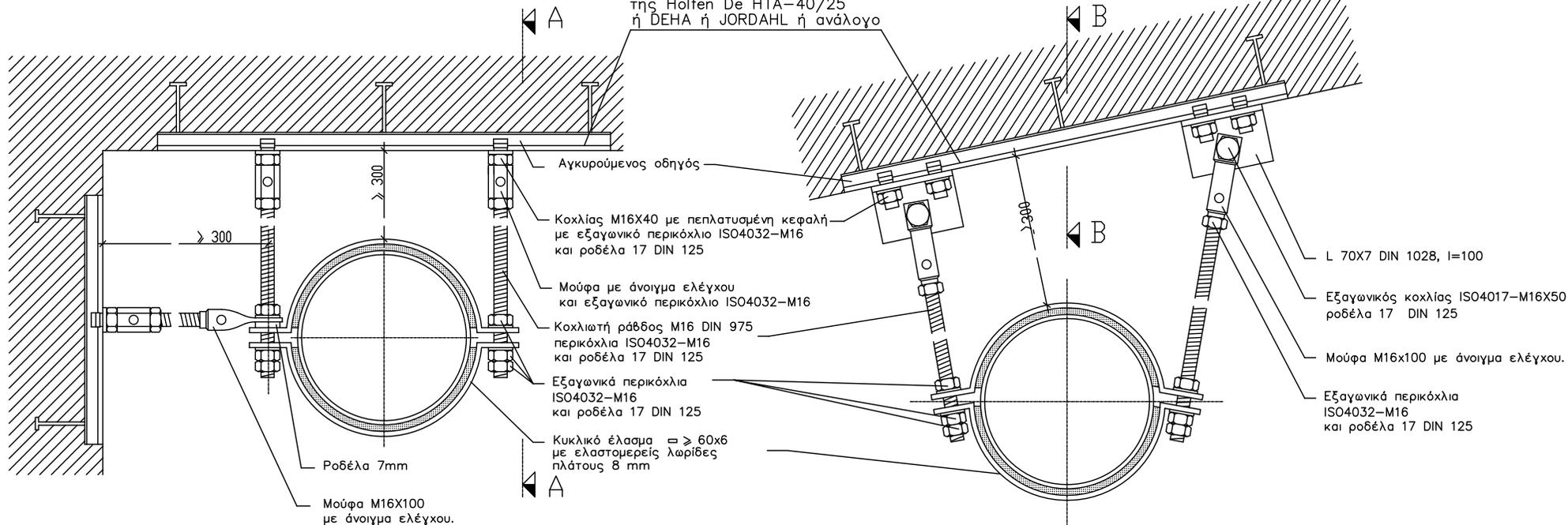


TOMH Γ-Γ ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50

Διαστάσεις σε [mm]

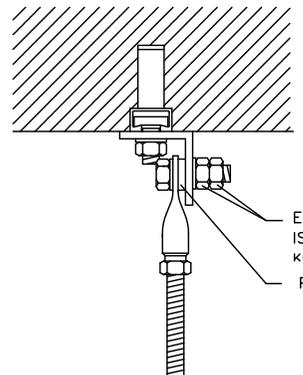
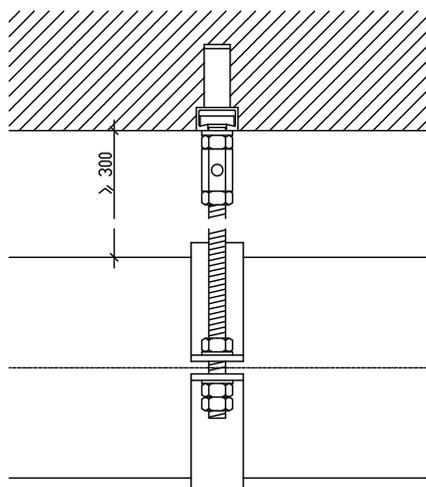
| ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΑΚΡΟΒΑΘΡΩΝ ΓΕΦΥΡΩΝ | | |
|---------------------------------|-------------------|---------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Γ-05 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 1 από 1 | # |

Σύστημα στήριξης ανά 5m
της Holfen De HTA-40/25
ή DEHA ή JORDAHL ή ανάλογο



TOMH

TOMH



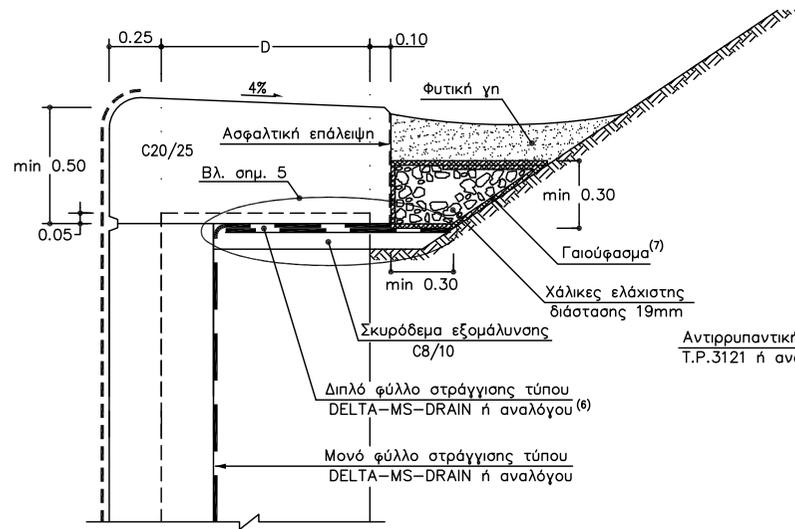
Σημείωση
1. Σε περίπτωση εφαρμογής της παρούσας διάταξης στον εξωτερικό πρόβολο του φορέα, θα πρέπει να καλύπτεται από κατάλληλη διαμόρφωση του πεζοδρομίου που θα εγκρίνει η Υπηρεσία

Διαστάσεις σε [mm]

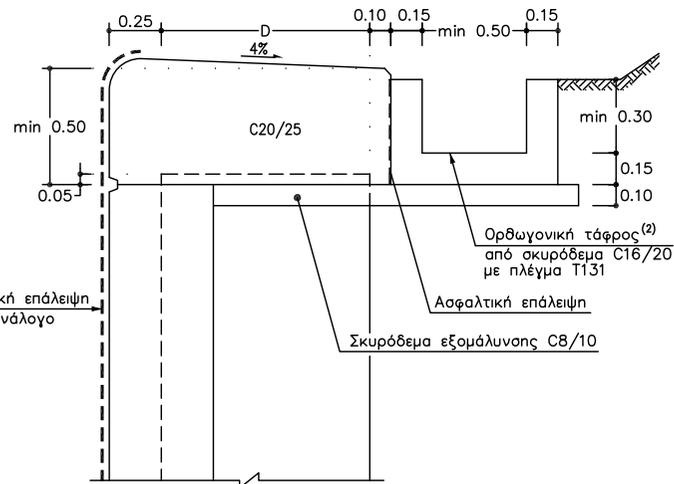
| ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΩΛΗΝΩΝ ΣΕ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ | | |
|---|-------------------|---------------------|
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου T-02 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 1 από 1 | # |

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ

(Παράδειγμα για ανάρτηση σωλήνα $\phi 200$)



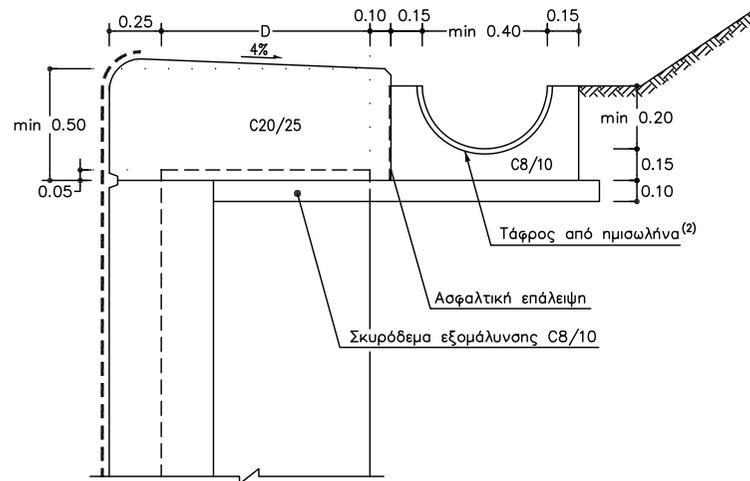
α. με στραγγιστική τάφρο



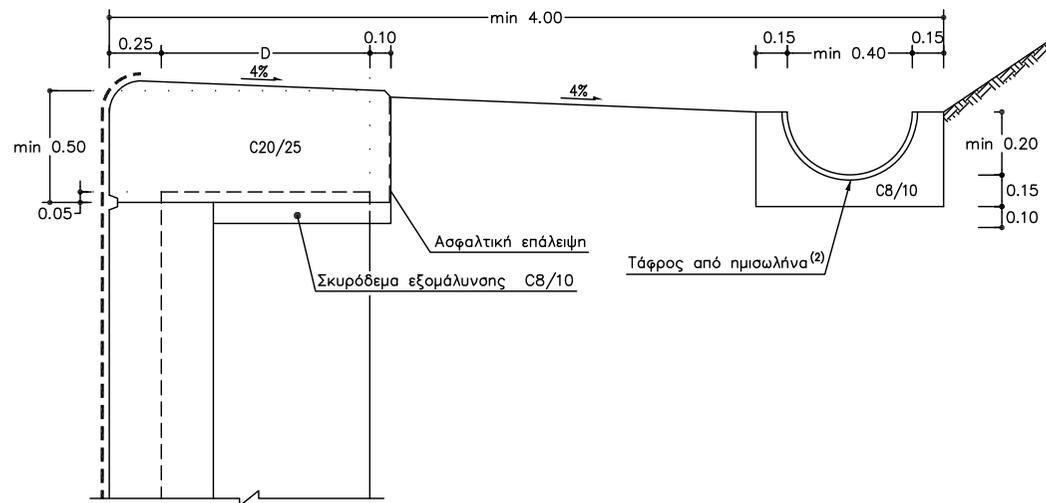
α. με ορθωγωνική τάφρο

Σημείωση

- Ο τρόπος αποστράγγισης του αντιστηριζόμενου ορύγματος είναι ανεξάρτητος από τη διαμόρφωση στη στέψη του τοίχου, για τη συλλογή των ομβρίων των εξωτερικών λεκανών
- Οι διαστάσεις και η μορφή (ορθωγωνική ή ημισωλήνα) της τάφρου στη στέψη του πασσαλότοιχου, καθορίζονται από τις υδραυλικές απαιτήσεις
- Η στραγγιστική τάφρος εφαρμόζεται όταν συντρέχουν ταυτόχρονα:
 - οι διαστάσεις της τάφρου επαρκούν για την παροχέτευση της εξωτερικής λεκάνης
 - παροχετευτικότητα της στραγγιστικής μεμβράνης επαρκεί γ.είναι αποδεκτή η κατάληξη της επιφανειακής απορροής στον πόδα της επένδυσης του πασσαλότοιχου
- Οι ελάχιστες διαστάσεις στραγγιστικής τάφρου είναι 0.30x0.30 ενώ το περίγραμμά της πρέπει να έχει μήκος 2.00m, ώστε να είναι εφικτή η περικάλυψη της από ενιαίο ρολό γαιούφασματος πλάτους 2.50m, με επικάλυψη πλάτους 0.30 – 0.50m
- Προτιμάται η μη σύνδεση της στραγγιστικής μεμβράνης με τη στραγγιστική τάφρο
- Το υποκείμενο στραγγιστικό φύλλο έχει τις σπές στράγγισης στην άνω επιφάνεια, για την απορροή της τάφρου
- 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

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΣΤΕΨΗΣ (ΤΟΜΕΣ ΜΕΤΑΙΣΥ ΠΑΣΣΑΛΩΝ)
ΚΛΙΜΑΚΑ 1: 25

| Διαστάσεις [m] | | |
|---------------------------|------------------------|------------------------|
| ΤΟΙΧΟΣ ΑΠΟ ΠΑΣΣΑΛΟΣΤΟΙΧΙΑ | | |
| ΥΠΕΧΩΔΕ/ΓΓΔΕ | Κωδ. Σχεδίου Τ-03.4 | Ημερομηνία 02/11/02 |
| | Φύλλο | Αναθεώρηση |
| | 4 από 5 | # |

**Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ)
Τεύχος 8:
Αποχέτευση - Στράγγιση
Υδραυλικά Έργα Οδών (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ)**

Επικαιροποίηση Ιούλιος 2013 - Έκδοση 3

Σύμβουλος: NAMA ΑΕ