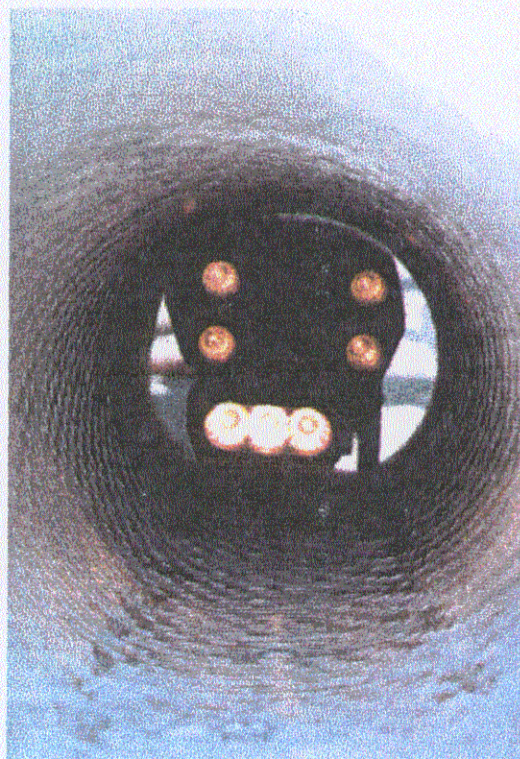


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ ΕΠΙΚ. ΚΑΘ.**



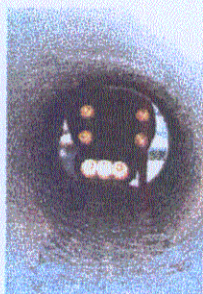
ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΝΟΜΩΝ

ΘΩΜΑΣ Δ. ΘΩΜΟΠΟΥΛΟΣ

ΝΙΚΟΣ Γ. ΛΕΦΑΝΤΖΗΣ

**ΙΟΥΛΙΟΣ 1999
ΑΘΗΝΑ**

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ & ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ ΕΠΙΚ. ΚΑΘ.**



Φωτογραφία εξωφύλλου : *Τηλεοπτική κάμερα για την επίβλεψη δικτύων υπονόμων.*

ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΦΕΡΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΝΟΜΩΝ

ΘΩΜΑΣ Δ. ΘΩΜΟΠΟΥΛΟΣ

ΝΙΚΟΣ Γ. ΛΕΦΑΝΤΖΗΣ

**ΙΟΥΛΙΟΣ 1999
ΑΘΗΝΑ**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|-----------------------|----------|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | 3 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

| | |
|-------------------------------------|---|
| 1.1. Εισαγωγή και Αντικείμενο | 4 |
| 1.2. Επιδράσεις των Αποθέσεων | 5 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΙΣΗ

| | |
|---|----|
| 2.1. Γενικές Εισαγωγικές Έννοιες | 6 |
| 2.2. Συστήματα Αποχέτευσεων | 7 |
| 2.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Δύο Συστημάτων Αποχέτευσης | 8 |
| 2.4. Κατάταξη των Αγωγών Αποχέτευσης σε Σχέση με το Μέγεθος τους | 9 |
| 2.5. Αιτίες για την Δημιουργία Φερτών Υλικών | 10 |
| 2.6. Εκτιμήσεις Μάζας Φερτών Υλικών | 12 |
| 2.7. Φυσικές Ιδιότητες Φερτών Υλικών | 15 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΡΦΕΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΠΟΝΟΜΩΝ - ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

| | |
|--------------------------------------|----|
| 3.1. Εισαγωγικές Έννοιες | 20 |
| 3.2. Συστήματα Στερεομεταφοράς | 20 |
| 3.3. Ροή με Ομογενή Αιώρηση | 22 |
| 3.4. Ροή με Ετερογενή Αιώρηση | 22 |
| 3.5. Ροή με Σύρση | 23 |
| 3.6. Ροή με Απόθεση | 28 |
| 3.7. Διάβρωση των Αποθέσεων | 30 |
| 3.8. Συμπεράσματα | 39 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΝΟΜΩΝ ΤΗΣ ΕΥΔΑΠ

| | |
|--|----|
| 4.1. Εισαγωγικές Έννοιες | 40 |
| 4.2. Περιγραφή Δειγματοληψίας Φερτών Υλικών από Αγωγούς Ομβρίων | 40 |
| 4.3. Καταγραφή των Μετρήσεων - Σύγκριση των Αποτελεσμάτων - Ανάλυση των Αιτιών Δημιουργίας των Αποθέσεων | 49 |
| 4.4. Γενικά Συμπεράσματα | 68 |
| 4.5. Επίσκεψη στο Παντοροϊκό Δίκτυο του Πειραιά | 70 |
| 4.6. Συμπεράσματα | 74 |
| 4.7. Υπερχειλιστές | 74 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΠΟΝΟΜΩΝ

| | |
|---|-----|
| 5.1. Γενικές Εισαγωγικές Έννοιες | 78 |
| 5.2. Υπάρχουσες Σχεδιαστικές Πρακτικές | 78 |
| 5.3. Σύγχρονες Αντιλήψεις στο Σχεδιασμό των Δικτύων | 81 |
| 5.4. Νέες Επιλογές για το Σχεδιασμό Υπονόμων | 90 |
| 5.5. Πρακτικές για την Ελαχιστοποίηση των Αποθέσεων σε Κατασκευασμένα Δίκτυα | 102 |
| 5.6. Διάσταση των Φερτών που Εισρέουν στο Δίκτυο Υπονόμων | 103 |
| 5.7. Επίδραση της Διατομής του Αγωγού | 104 |
| 5.8. Συμπεράσματα | 106 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΑΠΟ ΥΠΟΝΟΜΟΥΣ

| | |
|--|-----|
| 6.1. Έλεγχος και Συντήρηση | 107 |
| 6.2. Μέθοδοι Καθαρισμού των Αγωγών | 108 |
| 6.3. Βελτίωση της Προηγούμενης Μεθόδου Καθαρισμού | 113 |
| 6.4. Έλεγχος και Επίβλεψη του Δικτύου των Υπονόμων | 114 |
| 6.5. Συμπεράσματα | 120 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

| | |
|-------------------------|-----|
| 7.1. Συμπεράσματα | 121 |
| 7.2. Προτάσεις | 122 |

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

124

SUMMARY

At this dissertation, we examine the phenomena that are connected to coming materials, which they flow through the urban surfaces into sap crisscross creating placements, under suitable circumstances. These placements are created because of the inability of the crisscross to transfer all the incoming solids up to the exit of the crisscross, even if that has been studied and constructed based on speed and auto-cleaning principles. At the areas where these elements are applied, there are intensive spottiness of the flow, having negative consequences to the proper operation of the sap crisscross.

For the main inquiring part of this dissertation, the along kifissos sub-sink of effluence has been selected for the umber crisscross and after careful examination of the crisscross map, six spots have been selected having as criterion the intensive geometric alterations. At two of the spots that had been selected, a result comparison takes place, such of laboratorial analysis being compared with the results of previous dissertation. At those spots a direct visit took place, and several kinds of placements were found at the five spots, out of six.

From the analysis which followed after the samplings (grain measured curves) two main placement categories displayed, for the examined umber crisscross. The first category is the fat grained placements, which are fully solidificated and was impossible to draw away, but only with the help of mechanical means. The second category is the slim grained placements having their large amount to be made of alluvion and argil. From the grain measures curves, we observe a significant dispersion of the grain dimensions, because of the fortuity of those phenomena due to the large amount of the involving parameters but also because of epochal alterations of the time distance through which the two visitations took place. At the spots where the diachronic comparison of the results was done, no alteration displayed nor at the size, neither at substance of the placement.

In order to suggestively ascertain which were the exact positions with the placement problem, we created a program at Qbasic interpreter, according to types that resulted from new drawing criteria for sap systems, and accordingly we applied this program at some of the areas of the pantoroic crisscross that we visited.

Finally, we describe the overflowers which are situated along of Kifissos, as well as the operation way. We also refer to the new methods of canal cleaning, which are applied internationally, as well as the way under which the crisscross supervising of the spas should be done, mainly as far as the canal cleaning is concerned.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάγκη για βαθιά διερεύνηση του μηχανισμού απόθεσης φερτών υλικών σε δίκτυα αποχέτευσης έχει ξεχωριστή σημασία, για πολλούς λόγους. Το συγκεκριμένο πρόβλημα δεν έχει μελετηθεί αρκετά στον Ελλαδικό χώρο. Αν αυτό όμως αγνοηθεί ή δε ληφθεί υπόψη στη κατασκευή ενός νέου ή στη συντήρηση ενός παλαιότερου δικτύου, μπορεί να δημιουργήσει αρκετά και σοβαρά προβλήματα με απρόβλεπτες συνέπειες.

Την ιδέα, για την ανάληψη Διπλωματικής Εργασίας με αντικείμενο τη μελέτη του συγκεκριμένου προβλήματος, μας την έδωσε ο Επίκουρος Καθηγητής Κος Δ. Κουτσογιάννης. Τέτοιου είδους μελέτη είχε εκπονηθεί, πριν τρία περίπου χρόνια, από το Μεταπτυχιακό σπουδαστή Δ. Ζαρρή. Με βάση τα αποτελέσματα της δικιάς του Διπλωματικής Εργασίας δείξαμε περισσότερο ενδιαφέρον στην διαχρονική μελέτη του προβλήματος αποθέσεων. Διότι το συγκεκριμένο πρόβλημα δεν είναι στατικό και για την πλήρη κατανόηση του χρειάζονται διαρκείς και τακτικές παρατηρήσεις μέσα στο χρόνο.

Οι λιγοστές έρευνες που γίνονται στην Ελλάδα αλλά και η έντονη «μεταβλητότητα» του προβλήματος μας κέντρισαν το ενδιαφέρον για να καταπιαστούμε με αυτό. Το πεδίο της έρευνας μας είναι το δίκτυο ομβρίων της Αθήνας, και το παντοροϊκό δίκτυο του Πειραιά.

Η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία θα ήταν αδύνατο να περατωθεί χωρίς τη συμπαράσταση την οποία μας έδειξαν ορισμένα πρόσωπα τα οποία θα θέλαμε από αυτή τη θέση να ευχαριστήσουμε για την πολύτιμη βοήθεια τους :

1. Τον Κο Κουτσογιάννη Δημήτριο, Επίκουρο Καθηγητή ΤΠΜ ΕΜΠ για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε προκειμένου να αναλάβουμε την ευθύνη της συγκεκριμένης εργασίας.
2. Τον Κο Ζαρρή Δημήτριο, Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ, υποψήφιο διδάκτορα ο οποίος με τις γνώσεις του, αλλά και την εμπειρία του πάνω στο θέμα, μας βοήθησε καθοριστικά στην εξέλιξη και την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας.
3. Από την ΕΥΔΑΠ θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά :
Τον Κο Γ. Ανδρεάδη πρόεδρο της εταιρίας που μας παραχώρησε ειδικευμένο συνεργείο για την επιθεώρηση του δικτύου, και την συλλογή δειγμάτων.
Τον Κο Γαλανό διευθυντή του δικτύου αποχέτευσης της ΕΥΔΑΠ, τον Κο Παπαδημητρίου, υπεύθυνο μηχανικό του εργοταξίου της ΕΥΔΑΠ στους Αγίους Αναργύρους, τον Κο Λεοντίση, υπεύθυνο μηχανικό του εργοταξίου της ΕΥΔΑΠ στο Ρέντη, καθώς και τα μέλη των συνεργείων που μας παραχωρήθηκαν, από τα δύο εργοτάξια για την συλλογή δειγμάτων.
Τον Κο Βουγιουκλάκη, διευθυντή του τμήματος βυτιοφόρων της ΕΥΔΑΠ στο Κερασίνη, που μας ανέλυσε τη μέθοδο καθαρισμού των αγωγών καθώς και το αντίστοιχο συνεργείο που μας την έδειξε πρακτικά.
4. Για το πειραματικό μέρος της εργασίας ευχαριστούμε επίσης τον Κο Τσακαλάκη, Επίκουρο καθηγητή του τμήματος Μεταλλειολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, που με την βοήθεια του πραγματοποιήσαμε τις κοκκομετρικές αναλύσεις.

Αθήνα 12 Ιουνίου 1999
Θωμάς Δ. Θωμόπουλος
Νίκος Γ. Λεφαντζής

1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

1.1. Εισαγωγή και αντικείμενο

Αντικειμενικός σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η κατανόηση και περιγραφή της μεταφοράς και απόθεσης φερτών υλικών, στο δίκτυο ομβρίων της Αθήνας και το παντοροϊκό του Πειραιά. Τα φερτά υλικά προέρχονται από την έντονη αστικοποίηση, την εκρηκτική αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, την βιομηχανοποίηση, το εμπόριο καθώς και τις άσχημες πρακτικές καθαρισμού των αστικών επιφανειών.

Ακόμη επισκοπούνται οι σύγχρονοι τρόποι για τον καθαρισμό των αγωγών από τις αποθέσεις φερτών, με ιδιαίτερη αναφορά στους τρόπους που χρησιμοποιεί αυτή την στιγμή η ΕΥΔΑΠ.

Για την πραγματοποίηση της διπλωματικής αυτής εργασίας έγιναν επί τόπου επισκέψεις στο δίκτυο ομβρίων μιας συγκεκριμένης υπολεκάνης απορροής της Αθήνας όπου επιλέχθηκαν συγκεκριμένα σημεία. Σε μερικά από αυτά έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων με παλαιότερη διπλωματική εργασία για να διαπιστωθούν αν υπήρξαν αλλαγές στο διάστημα αυτό. Ακόμη πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις και στο παντοροϊκό δίκτυο του Πειραιά. Από τις επισκέψεις στους αγωγούς ομβρίων και στο παντοροϊκό δίκτυο συλλέχθηκαν δείγματα από φερτά υλικά, τα οποία και αναλύθηκαν, με εξαίρεση αυτά του παντοροϊκού δικτύου που λόγω της σύστασης τους κρίθηκε αδύνατο να γίνει ανάλυση. Οι επισκέψεις πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια συνεργείων που μας παραχωρήθηκαν από την ΕΥΔΑΠ, ενώ διαπιστώθηκε πώς κυρίως στους αγωγούς ομβρίων υπήρχαν εκτεταμένες αποθέσεις. Στην συνέχεια αναφέρουμε τι θα συναντήσει ο αναγνώστης σε κάθε κεφάλαιο.

•**Κεφάλαιο 2:** Στο Κεφάλαιο αυτό αναφέρονται διάφορα βιβλιογραφικά στοιχεία για τα συστήματα αποχετεύσεων. Αναφέρονται οι κυριότερες αιτίες για την δημιουργία φερτών υλικών, καθώς ακόμα αναφέρονται οι φυσικές ιδιότητες των φερτών υλικών.

•**Κεφάλαιο 3:** Στο Κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι μορφές στερεομεταφοράς στα δίκτυα των υπονόμων, όπως είναι η στερεομεταφορά με αιώρηση και με σύρση, καθώς και οι παράγοντες που συμμετέχουν στην στερεομεταφορά. Στο κεφάλαιο αυτό ακόμα αναλύεται το φαινόμενο της διάβρωσης των φερτών υλικών, και οι παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται.

•**Κεφάλαιο 4:** Το Κεφάλαιο αυτό είναι το σημαντικότερο της διπλωματικής αυτής εργασίας. Περιγράφει την όλη ερευνητική διαδικασία που ακολουθήθηκε καθώς και τα αποτελέσματα της. Για κάθε δείγμα της απόθεσης παρατίθεται και αντίστοιχη κοκκομετρική καμπύλη, και τα διάφορα συμπεράσματα που εξάγονται, σχετικά με την μορφή και την σύσταση της απόθεσης, καθώς και πιθανές αιτίες για την δημιουργία τους. Σε δύο από τα σημεία που επιλέχθηκαν γίνεται διαχρονική σύγκριση των αποτελεσμάτων, με προηγούμενη διπλωματική εργασία που έγινε. Ακόμη στο κεφάλαιο αυτό περιγράφηκαν οι υπερχειλιστές (εκτροπές) που υπάρχουν κατά μήκος του Κηφισού, καθώς και ο τρόπος λειτουργίας τους.

•**Κεφάλαιο 5:** Στο Κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι σύγχρονες σχεδιαστικές αντιλήψεις που επικρατούν για την μελέτη δικτύων υπονόμων. Αυτές σαν στόχο έχουν όχι μόνο την οικονομικότητα του σχεδιασμού, αλλά και την ελαχιστοποίηση

των αποθέσεων. Τέλος παρουσιάζεται ένα πρόγραμμα σε υπολογιστή για την πρόβλεψη των αποθέσεων σύμφωνα με τα καινούργια σχεδιαστικά κριτήρια καθώς και εφαρμογή του, σε ορισμένα σημεία του δικτύου.

• **Κεφάλαιο 6:** Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι υπάρχουσες μέθοδοι για τον καθαρισμό και την συντήρηση των αγωγών από θεωρητική σκοπιά. Ακολουθεί αναλυτική παρουσίαση των μεθόδων που εφαρμόζει η ΕΥΔΑΠ και του τρόπου που αντιμετωπίζει το συγκεκριμένο πρόβλημα.

• **Κεφάλαιο 7:** Στο Κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται τα αποτελέσματα από την εργασία με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Ακολουθούν προτάσεις για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση του προβλήματος.

1.2. Επιδράσεις των Αποθέσεων

Η δημιουργία των αποθέσεων σε ορισμένα σημεία των δικτύων είναι φαινόμενο που επηρεάζει σημαντικά την λειτουργικότητα των δικτύων αποχέτευσης προκαλώντας κυρίως μείωση της παροχτευτικότητας του δικτύου. Αναλυτικότερα οι επιπτώσεις των αποθέσεων είναι οι παρακάτω :

1. Η αύξηση της υδραυλικής τραχύτητας και κατά κύριο λόγο η μείωση της επιφάνειας ροής προκαλούν μείωση της παροχτευτικότητας.

2. Ακόμα προκαλούν πτώση της ενέργειας ροής, οπότε μειώνουν την ικανότητα της ροής να απομακρύνει τα φερτά υλικά μέχρι τις εκβολές του δικτύου.

3. Δημιουργούν σε μερικές περιπτώσεις ροή υπό πίεση και αυτό δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στις ανάντη περιοχές, λόγω κινδύνου εκχείλησης των αγωγών.

4. Δεν θα πρέπει να ξεχνάμε την ύπαρξη οργανικού φορτίου στις αποθέσεις παντοροϊκών δικτύων. Παρατηρούνται όμως και σε αποθέσεις ομβρίων δικτύων εξαιτίας κυρίως παράνομων συνδέσεων. Έτσι λοιπόν, το οργανικό φορτίο δημιουργεί κάποιες επιπρόσθετες επιπτώσεις που είναι οι εξής :

- Αυξάνει τον ρυθμό διάβρωσης των αγωγών από σκυρόδεμα.
- Από τα φρεάτια υδροσυλλογής αναδύονται στην επιφάνεια δυσάρεστες οσμές.

- Με την απόπλυση των ρυπογόνων αποθέσεων, οι αποδέκτες των ομβρίων αλλά κυρίως των παντοροϊκών λυμάτων δέχονται μεγάλες ποσότητες ρυπαντικού φορτίου σε μικρό χρονικό διάστημα.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Γενικές Εισαγωγικές Έννοιες

Τα φερτά υλικά και η μελέτη αυτών σχετίζονται άμεσα με την αποχέτευση των αστικών περιοχών. Διεθνώς η μελέτη της μεταφοράς των φερτών υλικών έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές, έτσι ώστε ο διεθνής επιστημονικός κόσμος είναι πλέον πεπεισμένος ότι η σωστή λειτουργία των δικτύων αποχέτευσης χρειάζεται σωστό σχεδιασμό, για την ελαχιστοποίηση των προβλημάτων, από την είσοδο και την απόθεση των φερτών υλικών στο δίκτυο των υπονόμων. Η πολυπλοκότητα του φαινομένου και των πολλών παραμέτρων που απαιτούνται για την περιγραφή του, κάνει αδύνατη την αξιόπιστη μαθηματική περιγραφή του.

Αρχικά για την αποφυγή αποθέσεων σε υπονόμους έγινε προσπάθεια να εκτιμηθεί μια ελάχιστη ταχύτητα αυτοκαθαρισμού. Η ταχύτητα όμως αυτοκαθαρισμού, δεν είχε σχέση με τα χαρακτηριστικά και την συγκέντρωση των φερτών, ή και με τα γενικά χαρακτηριστικά των υπονόμων. Έτσι δεν μπορεί να παρουσιάσει ρεαλιστικά την ικανότητα των υπονόμων να μεταφέρουν φερτά υλικά. Πιο συγκεκριμένα μεγάλου μήκους υπόνομοι χρειάζονται μεγαλύτερη ταχύτητα ροής, ώστε να είναι ικανοί να μεταφέρουν φερτά υλικά σε σχέση με μικρότερου μήκους υπονόμους.

Πρόοδοι όμως πάνω στην έρευνα της μεταφοράς φερτών υλικών επέβαλαν την χρήση νέων παραμέτρων. Τέτοιες παράμετροι είναι το μέγεθος, και κυρίως η συγκέντρωση των φερτών, η τραχύτητα της επιφάνειας των αγωγών και το αποτιθέμενο στρώμα. Έτσι έγιναν προσπάθειες για την χρησιμοποίηση νέων τεχνικών, και να δημιουργία νέων οδηγιών. Αυτές έχουν όμως περιορισμένη επιτυχία καθώς η μοντελοποίηση όλων αυτών των παραμέτρων λόγω της αλληλεπίδρασης που παρουσιάζεται είναι πολύ δύσκολη. Αλλά αν υποθέσουμε ότι είχαμε όλα τα αναγκαία μέσα για την ανάπτυξη ενός ακριβούς μοντέλου, τότε για την ανάπτυξη του μοντέλου αλλά και για τη λειτουργία του ως υπολογιστικού πακέτου θα έπρεπε να συλλεχθούν τόσα πολλά στοιχεία από τις μετρήσεις πεδίου που θα ήταν δύσκολο και δαπανηρό. Ακόμα, και οι αποκλίσεις των μετρήσεων αυτών από τις πραγματικές συνθήκες, θα έθεταν σε αμφισβήτηση την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο παρατίθενται βιβλιογραφικά στοιχεία για την κατάταξη των συστημάτων αποχέτευσης, όπως και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του κάθε συστήματος αποχέτευσης. Γίνεται μια κατάταξη των αγωγών αποχέτευσης σε σχέση με το μέγεθος τους. Αναφέρονται οι αιτίες που οδηγούν στην δημιουργία φερτών υλικών, όπως και ο τρόπος που μπορεί να γίνει μια εκτίμηση της μάζας των φερτών υλικών. Ενώ τέλος αναφέρονται οι φυσικές ιδιότητες των φερτών υλικών.

2.2. Συστήματα Αποχετεύσεων

Τα σημερινά συστήματα αποχέτευσης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στο παντοροϊκό και στο χωριστικό σύστημα (Κουτσογιάννης 1993).

Το παντοροϊκό σύστημα είναι το σύστημα όπου τα λύματα (οικιακά απόβλητα) και τα νερά από κατακρημνίσεις αποχετεύονται σε κοινό αγωγό, μέχρι την εγκατάσταση επεξεργασίας, αν υπάρχει, ή στην φυσική εκβολή του παντοροϊκού δικτύου. Ένα τέτοιο δίκτυο πρέπει να διαστασιολογείται για την παροχή της βροχής δεδομένης περιόδου επαναφοράς, που μπορεί να πέφτει για λίγο χρόνο, αλλά να αποδώσει μεγάλη ποσότητα νερού. Η παροχή των ακαθάρτων παίζει λόγω του μικρού μεγέθους της δευτερεύοντα ρόλο. Επειδή τα μεγέθη των αγωγών του παντοροϊκού συστήματος μπορεί να γίνουν πολύ μεγάλα, και από την άλλη μεριά να φορτίζονται με υπερβολικές ποσότητες νερού οι εγκαταστάσεις καθαρισμού ή τα αντλιοστάσια, πρέπει να προβλέπονται έργα ανακούφισης του δικτύου. Μετά από αυτά τα έργα μπορούν πάλι να χρησιμοποιούνται μικρότερα μεγέθη αγωγών. Νερό περισσότερο ή λιγότερο ακάθαρμο φτάνει ωστόσο κατά περίπτωση απ' ευθείας στον τελικό αποδέκτη. Τα απαιτούμενα έργα πρέπει συνεπώς να προβλέπονται έτσι, που με την ανακούφιση του δικτύου να μην επιβαρύνεται υπερβολικά ο τελικός αποδέκτης. Το παντοροϊκό δίκτυο συναντάται στο παλαιότερο τμήμα του δικτύου αποχέτευσης της Αθήνας καθώς και του Πειραιά όπου πρόκειται για παλαιό δημοτικό δίκτυο με χρονολογία κατασκευής 1920 – 1930. Αυτή η κατηγορία δικτύου κυριαρχεί σε όλες σχεδόν τις χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης, όπου ο υγρός καιρός και κατά τη περίοδο του καλοκαιριού επιτρέπει την σχεδόν διαρκή αραίωση των οικιακών αποβλήτων και απαγορεύει την ανάδευση οσμών από τα φρεάτια υδροσυλλογής. Η ανάμιξη όμως φερτών υλικών από τις αστικές επιφάνειες με τα στερεά από τα οικιακά λύματα δημιουργεί σύμφωνα με τους μελετητές καλύτερες ιδιότητες απόθεσης στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Πλεονέκτημα που μάλλον αντισταθμίζεται από την μείωση της απόδοσης της εγκατάστασης επεξεργασίας καθαρισμού λυμάτων, ιδίως στις βροχερές περιόδους, αφού οι παροχές αυξάνονται απότομα. Αυτή η αρνητική κατάσταση μπορεί εν μέρει να αντισταθμισθεί με την κατασκευή δεξαμεμών κατακράτησης που θα συγκρατούν την ροή και θα την κατανέμουν κατόπιν στην εγκατάσταση επεξεργασίας σύμφωνα με ένα σχεδιασμένο και προκαθορισμένο υδρογράφημα (Ζαρρής 1995).

Το χωριστικό σύστημα είναι το σύστημα όπου τα λύματα και τα βρόχινα νερά αποχετεύονται σε ξεχωριστούς αγωγούς. Και οι δύο αγωγοί πρέπει να είναι υπόγειοι. Μόνο κατ' εξαίρεση θα μπορούσαν να αποχετευτούν τα βρόχινα νερά σε ανοικτές τάφρους και συγκεκριμένα σε περιοχές με μικρή ή καθόλου δόμηση. Ανακουφιστικά έργα κατά κανόνα περιτεύουν. Ο τελικός αποδέκτης δεν δέχεται, εφόσον υπάρχει εγκατάσταση καθαρισμού, ακάθαρτα νερά. Το χωριστικό σύστημα έχει επικρατήσει στη χώρα μας καθώς ακόμα στις Η.Π.Α. Στην περιοχή της Αθήνας οι αγωγοί ακαθάρτων καταλήγουν μέσω του *Κεντρικού Αποχετευτικού Αγωγού* (Κ.Α.Α.) στην εγκατάσταση επεξεργασίας της Ψυτάλλειας, ενώ οι αγωγοί ομβρίων καταλήγουν μέσω των φυσικών υδατορευμάτων της Αθήνας, όπως ο Κηφισός και ο Ιλισός, στον Σαρωνικό κόλπο ανεπεξέργαστα, παρόλο που και τα όμβρια ύδατα μεταφέρουν ρυπαντικό φορτίο.

2.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Δύο Συστημάτων Αποχέτευσης.

Τα **πλεονεκτήματα** του παντοροϊκού συστήματος είναι : (Martz, 1987)

- Καλύτερη εποπτεία : αφού υπάρχει μόνο ένα δίκτυο συνεπώς δεν μπορούν να γίνουν π.χ. λάθος συνδέσεις.
- Μικρότερη δαπάνη κατασκευής και λειτουργίας : οι υπόνομοι απαιτούν σημαντικές επενδύσεις πάγιου κεφαλαίου. Έτσι το κόστος παίζει σημαντικό ρόλο. Το παντοροϊκό σύστημα είναι συνήθως (χωρίς να αποκλείονται οι εξαιρέσεις) φθηνότερο από το χωριστικό σύστημα. Εξάλλου στην περίπτωση του παντοροϊκού επιτηρείται μόνο ένα δίκτυο.
- Μικρότερη χρήση της διατομής του δρόμου : η διατομή του δρόμου είναι ήδη αρκετά φορτωμένη με διάφορους αγωγούς και καλώδια. Έτσι, δεν είναι πάντα εύκολο να χωρέσει άλλους δύο αγωγούς.

Μειονέκτημα του παντοροϊκού συστήματος είναι πως όταν αυξηθεί η παροχή εξαιτίας μίας βροχόπτωσης μπορεί να έχουμε υπερχειλίση λυμάτων, ενώ αποπνέει οσμές τους καλοκαιρινούς μήνες.

Τα **πλεονεκτήματα** του χωριστικού συστήματος είναι :

- Εισροή στον τελικό αποδέκτη διαμέσου εγκαταστάσεων καθαρισμού : Τα λύματα φτάνουν στον τελικό αποδέκτη αφού περάσουν πρώτα από εγκατάσταση καθαρισμού. Στο παντοροϊκό φτάνουν κατά περίπτωση ακάθαρτα, αραιωμένα βέβαια, μέσω υπερχειλιστών στα επιφανειακά νερά. Τα βρόχινα όμως που εισάγονται κατευθείαν στο χωριστικό σύστημα, μπορούν να είναι πολύ βρόμικα, ιδίως στην αρχή της βροχής. Με την χρησιμοποίηση μίας δεξαμενής καθαρισμού των νερών της βροχής, επιτυγχάνεται ο καθαρισμός με μηχανικά μέσα.
- Καλύτερη δυνατότητα επεκτάσεων : οι αγωγοί ακαθάρτων έχουν γενικά αρκετά περιθώρια. Τα βρόχινα μπορούν συχνά να αποχετευτούν μετά από σύντομη διαδρομή. Στο παντοροϊκό μπορεί να συμβεί να μπορούν να αποχετευτούν τα λύματα νέων οικισμών, που συνδέονται στο δίκτυο, όχι όμως τα βρόχινα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα δαπανηρές επεκτάσεις, ενδεχομένως δε την κατασκευή πρόσθετων εγκαταστάσεων.
- Αποφυγή πλημμυρίσματος υπογείων : Τα πλημμυρίσματα των υπογείων σχεδόν αποκλείονται, επειδή το δίκτυο ομβρίων δεν έχει σύνδεση με τα υπόγεια. Βέβαια υπάρχει κίνδυνος να εμφανισθεί ανασχεση της ροής και στο δίκτυο ακαθάρτων λόγω ελλιπούς συντήρησης.
- Μικρότερα αντλιοστάσια : Αντλούνται μόνο τα λύματα. Τα βρόχινα νερά δεν χρειάζονται άντληση.
- Διαδρομή από τα όρια του οικισμού μέχρι την εγκατάσταση καθαρισμού : Ο συλλεκτήρας από τον οικισμό μέχρι την εγκατάσταση καθαρισμού μπορεί να έχει σημαντικά μικρότερο μέγεθος απ' ότι στο παντοροϊκό σύστημα.

Μειονέκτημα του χωριστικού συστήματος είναι το γεγονός ότι απαιτεί προσεκτική επιτήρηση, ώστε να αποφεύγονται εσφαλμένες ιδιωτικές συνδέσεις, που

δημιουργούν προβλήματα στη λειτουργία και των δύο δικτύων. Η σύνδεση των υδρορροών των κτιρίων με τους αγωγούς ακαθάρτων προκαλεί υπερφόρτωση των τελευταίων, κατά τη διάρκεια καταιγίδων, ενώ η σύνδεση των ακαθάρτων των σπιτιών με τους αγωγούς ομβρίων προκαλεί ρύπανση του αποδέκτη των ομβρίων.

2.4. Κατάταξη των Αγωγών Αποχέτευσης σε Σχέση με το Μέγεθος τους.

Όσο αφορά το μέγεθος τους και την έκταση της αστικής περιοχής που αποχετεύουν οι αγωγοί διακρίνονται στους πρωτεύοντες, στους δευτερεύοντες και στους τριτεύοντες. Η διάκριση αυτή έχει τυπικό χαρακτήρα και δεν υπάρχει συγκεκριμένο μέγεθος που να κατατάσσει τους αγωγούς στις προηγούμενες κατηγορίες. Γενικά προς τα ανάντη του δικτύου χρησιμοποιούνται μικρότερης διαμέτρου αγωγοί ενώ όσο πηγαίνουμε προς τα κατόντη τα μεγέθη αυξάνονται καθώς αυξάνονται και οι παροχές με το μέγιστο του μεγέθους να παρατηρούνται στις εκβολές των δικτύων.

Μια αρχική απόπειρα κατηγοριοποίησης των αγωγών από τη σκοπιά της δημιουργίας αποθέσεων έχει ως εξής :

1. **Δευτερεύοντες (Συλλεκτήριοι) Αγωγοί :** Μικρής διαμέτρου αγωγοί που έχουν πολύ μεγάλη διακύμανση παροχής και απαιτούνται συνήθως αρκετά μεγάλες βροχοπτώσεις ώστε να διατηρούνται οι αγωγοί αυτοί καθαροί από αποθέσεις.
2. **Κύριοι Αγωγοί :** Γενικά έχουν μεγαλύτερες κλίσεις από τους αγωγούς εκβολών των δικτύων και οι αποθέσεις που παρατηρούνται είναι στο μεγαλύτερο τους ποσοστό από ανόργανο και κοκκώδες υλικό σχετικά μεγάλου μεγέθους.
3. **Αγωγοί Εκβολών :** Έχουν τις μικρότερες κλίσεις και τη μεγαλύτερη διατομή, άρα το μεγαλύτερο κίνδυνο να δημιουργηθούν σ' αυτούς αποθέσεις.

Η σύνθεση των αποθέσεων που υπάρχουν εξαρτάται από το μέγεθος των αγωγών και από την επιφάνεια απορροής του δικτύου. Κριτήριο για τους ερευνητές (Ashley et al., 1992) τέθηκε το γινόμενο (Κλίση πυθμένα) [m/Km] * (Εμβαδόν διατομής) [m^2] * (Επιφάνεια απορροής) [ha]. Το γινόμενο αυτό είναι ο συντελεστής κατάταξης, έστω α .

$\alpha < 6 \Rightarrow$ Συλλεκτήριοι Αγωγοί

$6 < \alpha < 8000 \Rightarrow$ Κύριοι Αγωγοί

$\alpha > 8000 \Rightarrow$ Αγωγοί Εκβολών

Η κατάταξη αυτή όπως θα δούμε στα επόμενα κεφάλαια δεν είναι ακριβής, και αυτό γιατί το δυναμικό για την δημιουργία των αποθέσεων στα δίκτυα υπονόμων είναι συνισταμένη πολλών παραγόντων και όχι μόνο της κλίσης πυθμένα, της επιφάνειας απορροής και του εμβαδού διατομής του αγωγού. Ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει πολύ την ικανότητα στερεομεταφοράς της ροής στο δίκτυο, είναι η μορφή της διατομής του αγωγού (κυκλική, ωοειδής, ορθογωνική, σκουφοειδής κ.α.). Ακόμα η κατάταξη αυτή αφορά μια περιοχή, διαφορετική από αυτή της Αθήνας

2.5. Αιτίες για την Δημιουργία Φερτών Υλικών

Η δημιουργία των φερτών υλικών σε συστήματα υπονόμων ξεκινά από τις αστικές επιφάνειες. Τα φερτά εισρέουν στο δίκτυο υπονόμων μέσω των φρεατίων υδροσυλλογής. Σε αγωγούς ακαθάρτων του χωριστικού συστήματος, δημιουργούνται αποθέσεις ιδιαίτερα στο πρώτο τμήμα τους, όπου η παροχή είναι μικρή, και οι αποθέσεις δεν ξεπλένονται αυτόματα μιας και δεν υπάρχει παροχή ομβρίων υδάτων. Στα δίκτυα ομβρίων ο κακός καθαρισμός των αστικών επιφανειών, αλλά και των φρεατίων υδροσυλλογής μπορεί να οδηγήσει σε εισροή και καθίζηση φερτών υλικών, ειδικότερα αν υπάρχει μεγάλο διάστημα ξηρασίας, όπως παρατηρείται σε μεγάλο βαθμό στην Ελλάδα. Οι ανθρώπινες και μη δραστηριότητες, που προκαλούν μια αυξημένη παραγωγή φερτών υλικών είναι οι εξής :

- **Διάβρωση** : Η αποκόλληση των φερτών υλικών συμβαίνει στην επιφάνεια της γης υπό την επίδραση φυσικών συνθηκών. Εξαρτάται από την μορφή του εδάφους, τις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής και την φυτοκάλυψη. Για την δημιουργία όμως αποθέσεων στα δίκτυα υπονόμων, η φυσική διάβρωση δεν έχει τόσο μεγάλη συνεισφορά αφού οι διαπερατές επιφάνειες στις πόλεις είναι πλέον πολύ λίγες. Γενικότερα στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, υπάρχουν πολλά προβλήματα φερτών από τον ορεινό όγκο του Υμηττού στις περιοχές που βρίσκονται στους πρόποδες του βουνού, όπως και σε κάθε περίπτωση όπου υπάρχουν μεγάλες τοπογραφικές κλίσεις, και απουσία φυτοκάλυψης, παράγοντες που αυξάνουν (βλ. και παγκόσμια εξίσωση εδαφικής απώλειας) τη μάζα των φερτών υλικών που αποκολλώνται και παρασύρονται από την ροή των κατακρημνισμάτων.
- **Αστικοποίηση** : Οι αστικοποιημένες περιοχές, όταν έχουν διαμορφωθεί πλήρως παράγουν μικρές ποσότητες φερτών υλικών, γιατί ένα μεγάλο κομμάτι της γης προστατεύεται έναντι της διάβρωσης, λόγω των διαφόρων κατασκευών που έχουν δημιουργηθεί. Στην διάρκεια όμως της κατασκευής η παραγωγή των φερτών υλικών είναι πολύ μεγάλη. Αυτό είναι αποτέλεσμα της απομάκρυνσης των δένδρων και της υπόλοιπης βλάστησης καθώς και των εργασιών εκσκαφής και κατασκευής. Έτσι κατά την διάρκεια οδικών κατασκευών όταν η βλάστηση που υπάρχει αφαιρεθεί τα πρανή παραπλεύρως των δρόμων μένουν απροστάτευτα στην διάβρωση, ενώ η παραγωγή φερτών υλικών μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο δίκτυο κατάντη του σημείου της κατασκευής. Κατά τους Holeman and Geiger (1959), η αστικοποίηση συμπεριλαμβανομένης και της κατασκευής μεγάλων κτιριακών συγκροτημάτων και εμπορικών έργων έχει μεγάλη σημασία αφού σημαντικές εκτάσεις είναι εκτεθειμένες στην διάβρωση για 2 έως 3 χρόνια πριν πάρουν την τελική τους μορφή. Για την Ελλάδα ο χρόνος κατασκευής ενός έργου είναι μεγαλύτερος και έτσι πολύ μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών εισρέουν στο δίκτυο υπονόμων για ένα πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι ποσότητες των φερτών εξαρτώνται από τις πρακτικές διαχείρισης των υλικών εκσκαφής και κατασκευής. Μια ανεξέλεγκτη ή ελάχιστα ελεγχόμενη κατασκευή εκτιμάται ότι συνεισφέρει φορτίο φερτών της τάξης 35-45 τόνων ανά εκτάριο και ανά έτος. Οι ρυθμοί στερεοαπορροής από κατασκευαστικές επιφάνειες είναι περίπου 10 έως 20 φορές μεγαλύτερη από τις επιφάνειες των γεωργικών περιοχών και 1000 έως 2000 φορές μεγαλύτεροι από τις δασικές επιφάνειες. Γενικότερα θα μπορούσαμε να πούμε πως για μικρές χρονικές περιόδους, οι κατασκευαστικές επιφάνειες

συνεισφέρουν μεγαλύτερες ποσότητες φερτών υλικών από ότι οι ίδιες επιφάνειες για πολλές δεκαετίες (Ζαρής, 1995).

- **Μεταβολή Συνθηκών Στερεοαπορροής** : Η διαβρωτική επιρροή του νερού, εξαρτάται από τον όγκο απορροής, και την ταχύτητα του νερού. Αύξηση του όγκου απορροής, συνεπάγεται και αύξηση της διαβρωτικής ικανότητας του νερού. Έτσι με την αστικοποίηση αφενός μεν, μειώνουμε τις ποσότητες φερτών υλικών που εισρέουν στο δίκτυο υπονόμων, αφετέρου δε έχουμε αύξηση του συντελεστή απορροής που δημιουργεί αύξηση του όγκου απορροής, και άρα δημιουργείται ένα μεγάλο διαβρωτικό δυναμικό. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα φερτά υλικά είναι περισσότερο επικίνδυνα λόγω της ρύπανσης που τα περιβάλλει.
- **Άλλοι Δυνατοί Μηχανισμοί** : Αυτοί είναι η δράση του ανέμου καθώς και η τύρβη και οι δονήσεις που παράγονται από τα οχήματα. Οι Ellis and Hagtop (1984) ανέφεραν ότι ένα μεγάλο ποσοστό από την οργανική σκόνη προέρχεται από τον άνεμο. Οι Butler and Clark (1993), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι κακές πρακτικές καθαρισμού των οδικών επιφανειών παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο. Ακόμα στα δίκτυα αποχέτευσης μπορούν να βρεθούν φερτά υλικά που δεν προέρχονται από τις αστικές επιφάνειες. Ποσότητες φερτών μπορούν να δημιουργηθούν ή από τους ίδιους τους αγωγούς λόγω διάβρωσης αυτών εξαιτίας κακού υδραυλικού σχεδιασμού είτε από διάβρωση λόγω του οργανικού φορτίου των αποθέσεων. Αυτές δρουν με μεγάλη αποτελεσματικότητα κυρίως στους αγωγούς από σκυρόδεμα. Ακόμα οι παράνομες συνδέσεις μπορεί να εκβάλουν και βιομηχανικά απόβλητα σε ένα αγωγό. Αυτά έχουν μεγάλη οξειδωτική και διαβρωτική ικανότητα ώστε μπορούν να διαβρώσουν και να καταστρέψουν ολόκληρα τμήματα των αγωγών μεταφέροντας μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών προς τα κατάντη. Τέλος πρέπει να γίνεται συνεχής καταγραφή των παράνομων συνδέσεων, ειδικότερα αυτών που προέρχονται από βιομηχανίες με επικίνδυνα λύματα. Επίσης να υπάρχει συνεχής έλεγχος των δικτύων αποχέτευσης ώστε να αποφεύγονται τα πολύ δυσάρεστα αυτά φαινόμενα.

2.6. Εκτιμήσεις μάζας φερτών υλικών

Η μάζα των αποσπόμενων στερεών από την εδαφική επιφάνεια μπορεί να προκύψει από την Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (Universal Soil Loss Equation) (βλέπε Wischmeier and Smith 1978 και Kirkby and Morgan, 1980). Η διατύπωση της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας (Κουτσογιάννης, 1986) έχει ως εξής :

$$A = 0.224 \cdot R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

όπου:

A= Εδαφική απώλεια σε Kg/m^2 - αναφέρεται στο ίδιο διάστημα που αναφέρεται και το R.

R= Συντελεστής Διαβρωτικότητας Βροχής (Rainfall Erositivity Factor)

K= Συντελεστής Διαβρωσιμότητας Εδάφους (Soil Erositivity Factor)

L= Συντελεστής Μήκους Κλιτύος (Slope- Length Factor)

S= Συντελεστής Κλίσης Κλιτύος (Slope - Steepness Factor)

C= Συντελεστής Φυτοκάλυψης / Καλλιέργειας (Cover and Management Factor)

P= Συντελεστής Ελέγχου Διάβρωσης (Support Practice Factor)

2.6.1. Συντελεστής Διαβρωτικότητας Βροχής R

Ο συντελεστής αυτός είναι μέτρο της αποτελεσματικότητας της βροχής ως προς τη διάβρωση. Για να υπολογιστεί η μέση ετήσια τιμή του R πρέπει να υπολογιστεί η ακολουθία τιμών του συντελεστή για όλα τα επεισόδια βροχής μιας χρονικής περιόδου N ετών , να ληφθεί το άθροισμα και να διαιρεθεί με το N.

Λόγω της πολυπλοκότητας της διαδικασίας του υπολογισμού του συντελεστή, έχουν αναπτυχθεί εμπειρικές σχέσεις με απλούστερα υπολογιζόμενες παραμέτρους βροχής όπως το μέσο ετήσιο ύψος βροχής. Μια τέτοια σχέση είναι :

$$R_{ET} / P_{ET} = 0.50 \pm 0.05$$

όπου : R_{ET} : μέσος ετήσιος συντελεστής διαβρωτικότητας

P_{ET} : μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm)

2.6.2. Συντελεστής Διαβρωσιμότητας Εδάφους K:

Η σχέση που δίνει τον συντελεστή K είναι:

$$100K = 2.110^{-4} M^{1.14} (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)$$

$$M = P_s (100 - P_c)$$

όπου :

M= Παράμετρος Μεγέθους Κόκκων

a= Ποσοστό Οργανικού Εδαφικού Υλικού (%)

b= Κωδικός Εδαφικής Δομής

- c= Κωδικός Διαπερατότητας Εδάφους
 P_s = Ποσοστό Γλύος και πολύ Λεπτής Άμμου (%)
 P_c = Ποσοστό Αργίλου στο Έδαφος (%)

2.6.3. Τοπογραφικοί Συντελεστές L και S:

Οι τοπογραφικοί συντελεστές υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$L = (x/22.13)^m$$

$$S = 65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065$$

όπου x είναι το κεκλιμένο μήκος κλιτύος, δηλαδή η απόσταση από το σημείο που αρχίζει η περατή περιοχή μέχρι το σημείο που η απορροή απάγεται από το δίκτυο ομβρίων της περιοχής.

2.6.4. Εκτιμήσεις Ποσοτήτων Φερτών από τις Αδιαπέρατες Επιφάνειες:

Οι εκτιμήσεις του φορτίου φερτών από τις αστικές αδιαπέρατες επιφάνειες είναι εξαιρετικά δύσκολες λόγω της διάχυτης (μη - σημειακής) παραγωγής των φερτών υλικών. Επομένως δεν υπάρχει μια ντεντερμενιστική εξίσωση που να δίνει τα φορτία φερτών όπως η Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας. Εμπειρικά μοντέλα υπάρχουν με την προϋπόθεση της συλλογής πολλών μετρήσεων πεδίου. Για παράδειγμα η εξίσωση που δίνει τα μοναδιαία φορτία ρυπαντών (όπως τα αιωρούμενα στερεά) από αδιαπέρατες αστικές επιφάνειες (Sartot and Boyd, 1972) είναι:

$$P = L \cdot CD \cdot A \cdot r$$

όπου P= Φορτίο Αιωρούμενων Στερεών σε Υπονόμους

L= Συγκεντρωμένο Φορτίο στο ρεϊθρο των πεζοδρομίων κατά την διάρκεια της προηγούμενης ξηρής περιόδου, gr/m

CD= Πυκνότητα Ρεϊθρων Πεζοδρομίου για δεδομένη Επιφάνεια (m/ha)

A= Επιφάνεια Λεκάνης Απορροής (ha)

r = Συντελεστής Απορροής

Όπως εύκολα συμπεραίνει κανείς είναι ουσιαστικά αδύνατο να έχει κανείς ανά πάσα στιγμή τις μετρήσεις του συγκεκριμένου φορτίου στα ρεϊθρα των πεζοδρομίων για κάθε ξηρή περίοδο.

Άλλη μέθοδος που αναφέρεται στο σχεδιασμό των ομβρίων και παντοροϊκών αγωγών της Μεγάλης Βρετανίας (Butler and Clarc, 1993), αναφέρει ότι το αποτιθέμενο υλικό στις αστικές επιφάνειες είναι μια ασυμπτωτική συνάρτηση με μέγιστο την τιμή

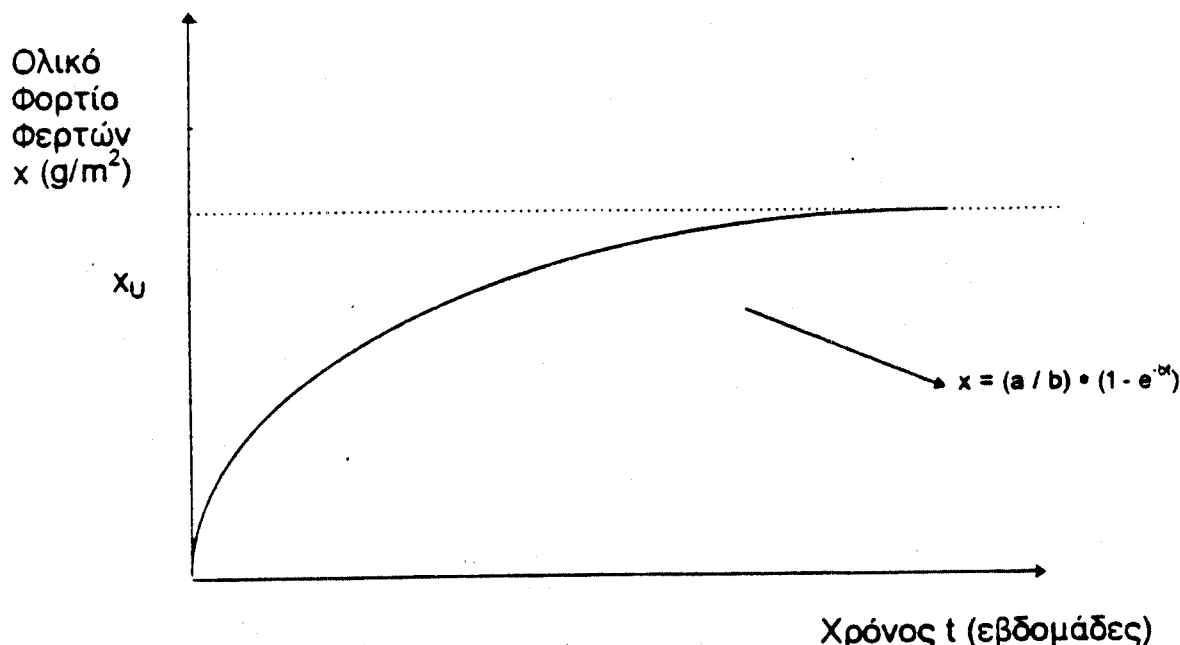
$$x_u = a/b$$

όπου x_u είναι το επιφανειακό φορτίο φερτών (surface sediment loading) με μονάδες (gr/m^2), a είναι ο ρυθμός απόθεσης φερτών στις αστικές επιφάνειες (sediment supply

rate) με μονάδες ($gr/m^2/week$) και b είναι μια σταθερά απομάκρυνσης (removal constant) που παριστάνει την αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση των φερτών λόγω της βροχόπτωσης και του καθαρισμού των αστικών επιφανειών. Το επιφανειακό φορτίο φερτών όπως έχουμε δείξει προηγουμένως, έχει άμεση σχέση με την άνυδρη χρονική περίοδο. Η νέα εξίσωση υπολογισμού του επιφανειακού φορτίου φερτών είναι :

$$x = (a/b)(1 - e^{-bt})$$

Στο διάγραμμα 2.1 φαίνεται η ασυμπτωτική σχέση του επιφανειακού φορτίου φερτών σε σχέση με τον χρόνο :



Διάγραμμα 2.1. : Μακράς Διαρκείας Σχηματισμός Επιφανειακών Αποθέσεων Φερτών (Butler and Clark, 1993)

Άρα αναζητείται μια εναλλακτική λύση με τιμές όμως όχι για κάθε πλημμυρικό επεισόδιο, αλλά ετήσιες τιμές που θα επιτρέπουν και πιο μακροχρόνιες προβλέψεις. Είναι φανερό ότι δεν θα εισέλθουν όλες οι υπολογισμένες ποσότητες που θα βγουν από την εξίσωση αυτή στο δίκτυο των υπονόμων, αφού διάφορες ποσότητες θα εναποτεθούν ξανά στις αστικές επιφάνειες, και ενδέχεται να αφαιρεθούν από τα συνεργεία καθαρισμού των δρόμων. Ακόμα άλλες ποσότητες θα κατακρατηθούν από τους αμμοσυλλέκτες των φρεατίων υδροσυλλογής (κυρίως το υλικό που μετακινείται ως συρτικό φορτίο). Αυτές οι ποσότητες που δεν βρίσκουν πρόσβαση στο δίκτυο ομβρίων εκτιμώνται με την χρήση του συντελεστή κατανομής DR (Delivery Ratio Factor). Η τιμή του συντελεστή κατανομής DR εξαρτάται από την σωστή λειτουργία των φρεατίων υδροσυλλογής, από την αποτελεσματικότητα των μεθόδων καθαρισμού και φυσικά από το πολιτισμικό επίπεδο των κατοίκων της περιοχής, που είναι και οι χρήστες του δικτύου. Επίσης, εξαρτάται από την συνολική μάζα των στερεών. Στη βιβλιογραφία έχουν εισαχθεί υπάρχουν συντελεστές που ονομάζονται

συντελεστές δυναμικού (Potency Factors), που συσχετίζουν κάθε διαφορετικό ρυπαντή με την ποσότητα των στερεών.

2.7. Φυσικές Ιδιότητες Φερτών Υλικών

Οι φυσικές ιδιότητες των φερτών υλικών στα δίκτυα των υπονόμων παίζουν αποφασιστικό ρόλο για την μελέτη της στερεομεταφοράς με τη υδάτινη ροή, το σχηματισμό των αποθέσεων και την επεξεργασία των φερτών υλικών στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Οι σημαντικότερες φυσικές ιδιότητες που βλέπουμε στην ενότητα αυτή, είναι το μέγεθος των σωματιδίων, η ταχύτητα καθίζησης, η ειδική μάζα και το οργανικό φορτίο όπως αναλύουμε παρακάτω.

1. Μέγεθος Σωματιδίων : Το συνολικό μέγεθος των σωματιδίων που συνήθως μεταφέρονται στα δίκτυα των υπονόμων είναι της τάξης των μερικών μm έως λίγων mm. Η μέθοδος της μέτρησης του μεγέθους των σωματιδίων είναι το υγρό κοσκίνισμα για τα μεγέθη μεγαλύτερα από 100 μm ενώ για ακόμα μικρότερες διαστάσεις χρησιμοποιείται ένα όργανο που ονομάζεται Laser Defraction Analyzer (CLASS HM850).

Στους πίνακες 2.1, 2.2 και 2.3 φαίνονται τα αποτελέσματα από έρευνες που έγιναν σε πόλεις της Γαλλίας (Chebbo and Bachoc, 1992). Η έρευνα αυτή περιλαμβάνει αγωγούς ομβρίων και παντοροϊκούς αγωγούς. Στον πίνακα 2.1 φαίνονται οι περιοχές που μελετήθηκαν. Ακόμα τα δείγματα πάρθηκαν κατά την διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων και αποτελούνται από αιωρούμενα στερεά και φορτία πυθμένα.

Πίνακας 2.1. : Χαρακτηριστικά Επιλεγμένων Περιοχών της Γαλλίας (Chebbo and Bachoc, 1992).

| Περιοχή | Τύπος Δικτύου | Επιφάνεια Απορροής | Συντελεστής Απορροής |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|
| 1 Δεξ. Κατακράτησης Bordeaux | Ομβρίων | 606 εκτάρια | 50 % |
| 2 Δεξ. Κατακράτησης Seine Saint Denis | Ομβρίων | 8310 εκτάρια | ~ 14 % |
| 3 Δεξ. Κατακράτησης La Molette Seine Saint Denis | Παντοροϊκός Υπερχειλιστής | ~ 8000 εκτάρια | ~30 % |
| 4 Κύριος Αγωγός No.13 Marseille | Παντοροϊκός Αγωγός | 134 εκτάρια | 87 % |

Η μελέτη των φερτών υλικών έγινε κατά την διάρκεια πολλών και με διαφορετικά χαρακτηριστικά βροχοπτώσεων, κι' αυτό για να έχουμε ένα όσο είναι δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα φερτών υλικών. Εύκολα μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι για μια επιτυχή ολοκλήρωση μιας τέτοιας εργασίας και τη συγκέντρωση δειγμάτων από όλους τους συνδυασμούς βροχοπτώσεων και προηγούμενων άνυδρων περιόδων, απαιτείται μια χρονική διάρκεια δύο έως τριών ετών. Τα υδρολογικά μεγέθη που απαιτούνται για την κατάλληλη περιγραφή και

αξιοποίηση των αποτελεσμάτων γενικά είναι ο αριθμός των πλημμυρικών γεγονότων κατά τη διάρκεια της μελέτης, το ύψος της μετρούμενης βροχόπτωσης (mm), η μέση ένταση βροχόπτωσης (mm/h), η μέση μέγιστη ένταση για διάρκεια 6 λεπτών (mm/h), καθώς και η προηγούμενη άνυδρη χρονική περίοδος σε ώρες.

Στον πίνακα 2.2 βλέπουμε τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων.

Πίνακας 2.2. : Χαρακτηριστικά των κόκκων για τα διαφορετικά δίκτυα του Πίνακα 2.1 (Chebbo and Bachoc, 1992).

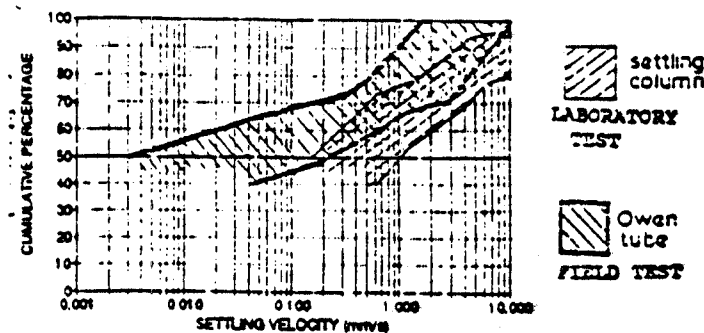
| Περιοχή | Τύπος Δικτύου | D_{10} (μm) | D_{50} (μm) | D_{90} (μm) | %<100 μm |
|--------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|----------|
| 1 | Ομβρίων | 7.4 – 8.6 | 29 - 38 | 265-1375 | 76 - 85 |
| 2 | Ομβρίων | 5.7 | 29 | 400 | 82 |
| 3 | Παντοροϊκό | 3.7 – 5.4 | 25 - 32 | 243-403 | 76 - 82 |
| 4 | Παντοροϊκό | 5 - 13 | 31 - 44 | 183-497 | 66 - 79 |
| Δίκτυα Ομβρίων Μέση τιμή | | | | | |
| | Τυπική απόκλιση | 7.4 | 32 | 617 | 81 |
| | | 1.1 | 3.5 | 442 | 3.3 |
| Παντοροϊκά Δίκτυα | | | | | |
| | Μέση τιμή | 6.8 | 34 | 331 | 75 |
| | Τυπική απόκλιση | 3.3 | 6.4 | 112 | 5.5 |
| Γενικός μέσος όρος | | 7.1 | 33 | 458 | 78 |
| Τυπική απόκλιση | | 2.5 | 5.4 | 338 | 5.4 |

Η έκφραση D_{10} σημαίνει ότι το 10 % της μάζας των στερεών θα περάσει το κόσκινο με μέγεθος οπής D_{10} . Έτσι ισχύει $D_{10} < D_{50} < D_{90}$. Μελετώντας τον παραπάνω πίνακα μπορούν να βγουν τα εξής συμπεράσματα: Υπάρχει μια ανομοιογένεια στα μεγέθη των σωματιδίων, με μια αυξημένη απόκλιση από το μέσο όρο για τις μεγάλες διαμέτρους. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη χονδροκόκκων σωματιδίων με αρκετά διαφορετικά μεγέθη. Ακόμα, το ποσοστό του πιο λεπτόκοκκου υλικού αυτού δηλαδή που η διάμετρος του είναι μικρότερη από 100 μm, είναι ελάχιστα μικρότερο στους παντοροϊκούς αγωγούς από ότι στους αγωγούς ομβρίων, κάτι που δεν έρχεται σε συμφωνία με την γενική διαπίστωση ότι το πιο λεπτόκοκκο υλικό αντιστοιχεί στο οργανικό υλικό. Πάντως τα στερεά υλικά των παντοροϊκών αγωγών εμφανίζουν μεγαλύτερη διασπορά στα μικρά μεγέθη ενώ το αντίθετο συμβαίνει στους αγωγούς ομβρίων.

Τα σωματίδια των οποίων το μέγεθος είναι μικρότερο των 100 μm συνήθως έχουν την ικανότητα να συσσωματώνονται και να κροκιδώνονται, σχηματίζοντας έτσι συσσωματώματα μεγαλύτερου μεγέθους. Αυτό φαίνεται και στον πίνακα 2.3 από την έρευνα στις πόλεις της Γαλλίας.

των άλλων, μετρήσεις ταχυτήτων καθίζησης για διαφορετικά δείγματα έδωσαν διαφορετικές τιμές για διαφορετικές χρονικές στιγμές στο ίδιο σημείο και για την ίδια πλημμύρα.

Επομένως η μέθοδος μέτρησης της ταχύτητας καθίζησης επηρεάζει και την τιμή της, όπως δείχνει και το διάγραμμα 2.2 (Ashley and Crabtree, 1992).



Διάγραμμα 2.2: Διαφορές στις μετρήσεις της ταχύτητας καθίζησης από διαφορετικές πειραματικές αναλύσεις (Ashley, 1992)

Οι κύριες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση των ταχυτήτων καθίζησης είναι : η στήλη καθίζησης, ο κώνος Imhoff και ο αγωγός του Owen.

Για τα σωματίδια με διαστάσεις μικρότερες των 50 μm η μέση ταχύτητα καθίζησης είναι :

- μεταξύ των 3 m/h έως 5.7 m/h, για τα φερτά υλικά των ομβρίων αγωγών.
- για τους παντοροϊκούς αγωγούς οι αποκλίσεις των ταχυτήτων καθίζησης είναι σημαντικές και για διαφορετικά πλημμυρικά γεγονότα, για διαφορετικά σημεία αλλά και για διαφορετικούς χρόνους μέσα στο ίδιο πλημμυρικό φαινόμενο. Οι διαφορές στις τιμές των V_{10} και V_{30} είναι σημαντικές μεταξύ των παντοροϊκών αγωγών και των ομβρίων αλλά οι διαφορές αυτές μειώνονται και εξομαλύνονται στις τιμές των V_{90} .

Από την ίδια μελέτη που έγινε στις διάφορες πόλεις της Γαλλίας (Chebbo and Bachoc, 1992), και τα αποτελέσματα αυτής φαίνεται με τον πλέον χαρακτηριστικό τρόπο η φύση των υλικών να συσσωματώνονται και να κροκιδώνονται, πιο έντονη αυτή η συσσωμάτωση φαίνεται στους παντοροϊκούς αγωγούς χωρίς να είναι έντονη αυτή η τάση. Η ύπαρξη πάντως του οργανικού φορτίου ευνοεί την συσσωμάτωση των σωματιδίων, με ένα μηχανισμό που μέχρι σήμερα δεν είναι ακόμη γνωστός.

3. Ειδική μάζα : Η μέτρηση της ειδικής μάζας μπορεί να μην είναι σημαντική για τον σχεδιασμό των δικτύων υπονόμων με σκοπό την αποφυγή των αποθέσεων αλλά είναι ένας καλός οδηγός για την κατάταξη των φερτών υλικών χωρίς πολύπλοκες εργαστηριακές μετρήσεις. Από την μελέτη στις διάφορες πόλεις της

Γαλλίας έχουμε τον παρακάτω πίνακα για τις ειδικές μάζες σωματιδίων σε δίκτυα ομβρίων και παντοροϊκά δίκτυα υπονόμων.

Πίνακας 2.3: *Ειδικές Μάζες Ομβρίων & Παντοροϊκών Σωματιδίων*
(*Chebbo and Bachoc, 1992*)

| Τύπος Δικτύου | | Ειδικές | Μάζες | Σωματιδίων |
|--------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------|
| | | <100 μm | >100 μm | Ολικά |
| Δίκτυα Ομβρίων Αγωγών | Μέση τιμή | 2.5 | 1.83 | 2.33 |
| | Τυπική απόκλιση | 0.084 | 0.45 | 0.15 |
| Παντοροϊκά Δίκτυα | Μέση τιμή | 2.09 | 1.74 | 2.00 |
| | Τυπική απόκλιση | 0.13 | 0.24 | 0.18 |

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι τα στερεά υλικά των ομβρίων υδάτων έχουν συγκριτικά μεγαλύτερες ειδικές μάζες σε σχέση μετά στερεά των παντοροϊκών αγωγών. Αυτό σημαίνει ότι τα στερεά σε αγωγούς ομβρίων είναι βαρύτερα οπότε παρουσιάζουν μεγαλύτερο δυναμικό για αποθέσεις. Ακόμα τα φερτά με μέγεθος μικρότερο των 100 μm , παρουσιάζουν μεγαλύτερες ειδικές μάζες σε σχέση με τα υλικά μεγαλύτερα των 100 μm . Αυτό συμβαίνει γιατί τα σωματίδια μεγαλύτερα των 100 μm , παρουσιάζουν οργανικό υλικό που είναι λιγότερο πυκνό.

3. ΜΟΡΦΕΣ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΠΟΝΟΜΩΝ - ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

3.1. Εισαγωγικές Έννοιες

Η μελέτη της στερεομεταφοράς στους κλειστούς αγωγούς καθυστέρησε πολύ να γίνει σε σχέση με την στερεομεταφορά σε ποταμούς και χείμαρρους. Η καθυστέρηση αυτή οφείλεται στο περιορισμένο ενδιαφέρον που έδειξαν για τα φερτά υλικά των δικτύων αποχέτευσης, οι επιστήμονες που μελετούσαν την πλημμυρική αποχέτευση αστικών περιοχών. Η μελέτη της στερεομεταφοράς στους ποταμούς μελετήθηκε λόγω της ανάγκης για εκτίμηση του νεκρού όγκου, λόγω αποθέσεων φερτών υλών, στους ταμειυτήρες φραγμάτων και της χαμηλότερης δυνατής στάθμης τοποθέτησης της υδροληψίας για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Η στερεομεταφορά στις δύο αυτές περιπτώσεις διαφέρουν σε πολλά σημεία αλλά οι βασικοί μηχανισμοί παραμένουν οι ίδιοι. Δύο είναι οι κύριες κατηγορίες στερεομεταφοράς :

1. Η στερεομεταφορά με αιώρηση (suspended load)
2. Η στερεομεταφορά με σύρση ή φορτίου πυθμένα (bed load sediments)

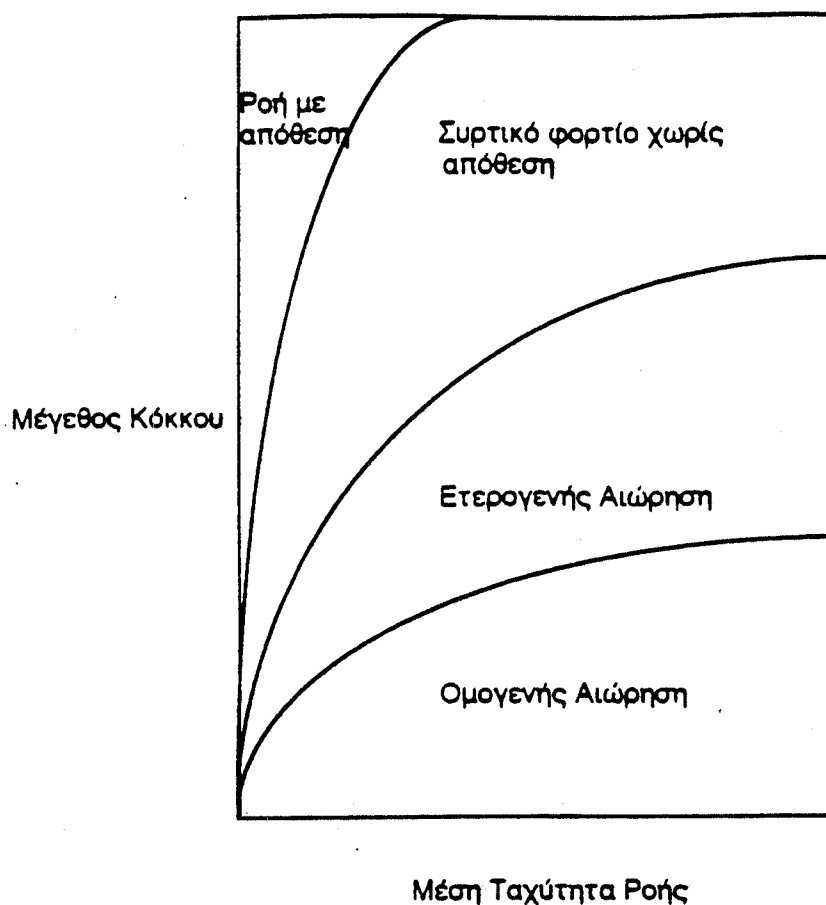
Οι τρόποι εκτίμησης για την στερεομεταφορά που δίνονται στα εγχειρίδια της American Society of Civil Engineers (A.S.C.E) για τους υπονόμους, προέρχονται από την εμπειρία των υδραυλικών μηχανικών από την ποτάμια υδραυλική. Οι μηχανισμοί στερεομεταφοράς στις δυο αυτές περιπτώσεις μπορεί να μοιάζουν μεταξύ τους, όμως υπάρχουν σημαντικές διαφορές που καθιστούν αδύνατη την κοινή τους μελέτη. Σκοπός του κεφαλαίου είναι η μελέτη των μηχανισμών στερεομεταφοράς και η καλύτερη κατανόηση των φαινομένων αυτών. Επίσης σε αυτό εξετάζεται η διάβρωση των ήδη σχηματισμένων αποθέσεων, καθώς και το θεωρητικό υπόβαθρο για την αρτιότερη και πιο αποτελεσματική πρακτική διαχείρισης των φερτών υλικών, ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα από τον σχηματισμό αποθέσεων.

3.2. Συστήματα Στερεομεταφοράς.

Ερευνητές (Vanoni, 1977), έχουν κατατάξει τα συστήματα στερεομεταφοράς στους υπονόμους σε τέσσερις κατηγορίες:

α) την ομογενή αιώρηση (homogeneous suspension), β) την ετερογενή αιώρηση (heterogeneous suspension), γ) την ροή με συρτικό φορτίο πυθμένα χωρίς απόθεση (flow with moving bed) και δ) την ροή με μόνιμες αποθέσεις (flow with stationary bed). Οι τέσσερις αυτοί τρόποι για δεδομένο υγρό ροής και μέγεθος σωλήνα μπορεί ποιοτικά να περιγραφεί από το διάγραμμα 3.1.

Από το διάγραμμα βλέπουμε αυτό που ήδη διαπιστώναμε από το πρώτο κεφάλαιο, ότι για ίδια διάσταση σωματιδίου, ανάλογα με τις υδραυλικές συνθήκες (π.χ. ταχύτητα ροής), μπορεί να παρουσιαστούν και οι τέσσερις μορφές στερεομεταφοράς. Σημειώνουμε εδώ όπως θα δείξουμε και σε επόμενο κεφάλαιο, η ταχύτητα ροής δεν είναι το κρίσιμο υδραυλικό μέγεθος για τον χαρακτηρισμό του συστήματος. Επίσης οι γραμμές διαχωρισμού είναι καθαρά ποιοτικές και δεν υπάρχει καθαρά ποσοτικό διάγραμμα αυτής της μορφής. Δηλαδή δεν μπορούμε να καθορίσουμε με καθαρά ποσοτικά κριτήρια τα όρια κάθε μορφής στερεομεταφοράς (Zarphs, 1995).



Διάγραμμα 3.1 : Ποιοτικό διάγραμμα μορφών στερεοαπορροής

Ένα σχεδιαστικό μέγεθος που λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των αγωγών είναι το ύψος κινητικής ενέργειας ροής (energy-head-flow). Οι απώλειες ενέργειας αυξάνονται με την αύξηση της συγκέντρωσης φερτών υλικών, C_v . Είναι επομένως αναμενόμενο ότι στην ομογενή αιώρηση θα έχουμε την ελάχιστη απώλεια ενέργειας ροής και η υδραυλική συμπεριφορά θα τείνει σε εκείνη της ροής χωρίς καθόλου στερεά. Στο επόμενο Διάγραμμα 3.2 φαίνεται η μεταβολή της κλίσης ενέργειας, i , σε συνάρτηση με την μέση ταχύτητα ροής του μείγματος νερού- φερτών, V , και τη μέση επί της εκατό συγκέντρωση φερτών υλικών, καθώς και η γραμμή που διαχωρίζει τις περιοχές καθιζησιμότητας και μη καθιζησιμότητας. Πάλι διαπιστώνουμε ότι το διάγραμμα είναι ποιοτικό και ότι για πολύ μεγάλες ταχύτητες ροής οι απώλειες ενέργειας μεταξύ της ροής με παρουσία φερτών υλικών και χωρίς την παρουσία φερτών εξομοιώνονται. Η παρατήρηση αυτή είναι πολύ σημαντική καθώς και το γεγονός ότι το όριο απόθεσης - μη απόθεσης είναι η περιοχή με τις μεγαλύτερες απώλειες ροής. Η κρίσιμη αυτή περιοχή δεν είναι ενιαία, όπως είναι εύκολα αντιληπτό, ούτε μπορεί να περιοριστεί επακριβώς. Η υδραυλική μελέτη πάντως των φαινομένων αυτών είναι πολύ δύσκολη λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας του φαινομένου.

την επιπλέον ενέργειας ώστε τα σωματίδια να παραμένουν σε αιώρηση.

$$h_L/L = fV^2/(2gD) + KC_V(w/V)(1+\delta) \quad (3.1)$$

όπου h_L είναι οι γραμμικές απώλειες σε m, f είναι ο συντελεστής τριβής του αγωγού κατά τον Darcy-Weisbach, w η ταχύτητα απόθεσης των σωματιδίων και V η ταχύτητα ροής σε m/sec. Ο συντελεστής δ μπορεί να πάρει θετικές αλλά και αρνητικές τιμές, δεδομένου ότι για εντελώς συγκεκριμένες υδραυλικές συνθήκες η παρουσία λεπτόκοκκων σωματιδίων μπορεί να μειώσει τις απώλειες ενέργειας σε επίπεδα λίγο μεγαλύτερα από εκείνα για υδάτινη ροή μόνο. Δηλαδή η τιμή του δ έχει τιμές πάντα μεγαλύτερες του -1.

Ο Newitt et al., (1955), χρησιμοποιώντας την ενεργειακή προσέγγιση όπως ο Wilson, κατέληξε στην ακόλουθη έκφραση της απώλειας ενέργειας για ετερογενή αιώρηση:

$$(i_m - i)/(C_V j) = 1.10(s-1)(gDw)/(V^2 v) \quad (3.2)$$

όπου i_m είναι η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής για τη ροή του μίγματος και i είναι το αντίστοιχο μόνο για το νερό, s είναι το πηλίκο των πυκνοτήτων των στερεών προς την πυκνότητα του νερού. Για την ομογενή αιώρηση ο συντελεστής της (3.2) είναι $0.6(s-1)$. Από την εξίσωση 3.2 διαπιστώνουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του αγωγού, και η πυκνότητα των φερτών υλικών, τόσο μεγαλύτερες θα είναι και οι απώλειες ενέργειας. Αντιθέτως, μεγάλες ταχύτητες ροής εμφανίζουν λιγότερες απώλειες ενέργειας.

Είναι εξαιρετικά δύσκολο να μπορέσει κάποιος να ορίσει ένα ποσοτικό κριτήριο για το διαχωρισμό μεταξύ της ομογενούς και της ετερογενούς αιώρησης. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα ροής, επομένως και η τύρβη, η κατακόρυφη κατανομή των συγκεντρώσεων φερτών υλών τείνει προς την ομοιομορφία. Οι Newitt et al. (1955) όρισε την κρίσιμη ταχύτητα διαχωρισμού από τις δύο μορφές αιώρησης. Η εξίσωση αυτή δίνει:

$$V_m = 1.80gDw \quad (3.3)$$

όπου w είναι η ταχύτητα απόθεσης των σωματιδίων. Ο συντελεστής 1.80 προέκυψε από την ανάλυση πειραμάτων με την ίδια διάμετρο κόκκου άμμου για ομογενή αιώρηση.

3.5. Ροή με Σύρση

Η ροή με σύρση ή με φορτίο πυθμένα (bed load transport) είναι και αυτή μια πολύ σημαντική διαδικασία στερεομεταφοράς, αφού είναι ιδιαίτερος κρίσιμη για την δημιουργία των αποθέσεων. Γενικά οι απώλειες ενέργειας για αγωγούς με σύρση είναι αρκετά μεγαλύτερες από την ετερογενή αιώρηση. Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα των Newitt et al, 1955 ισχύει η εξίσωση:

$$(i_m - i)/(C_V i) = 66(s-1)D/V^2 \quad (3.4)$$

όπου i_m είναι η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής για την ροή του μίγματος, i είναι το αντίστοιχο μόνο για το νερό, C_V είναι η συγκέντρωση στερεών, s είναι το πηλίκο των συχνοτήτων, D η διάμετρος του αγωγού και V η ταχύτητα ροής.

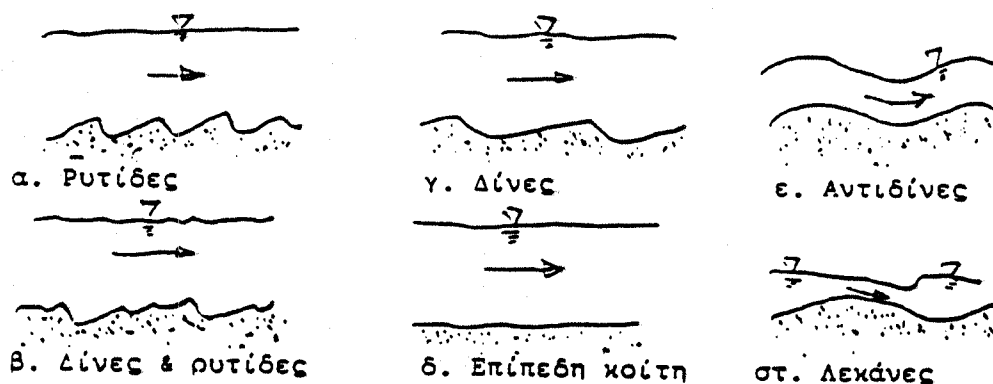
Όσο η ταχύτητα ροής μειώνεται, κάποια από τα αιωρούμενα σωματίδια (πρώτα τα πιο ευμεγέθη) αρχίζουν να αποτίθενται κατά μήκος του πυθμένα του αγωγού. Για ακόμα μικρότερες ταχύτητες ροής σχηματίζεται συρτική επιφάνεια, ενώ πριν τα σωματίδια κινούνταν ευδιάκριτα το ένα ανεξάρτητα από το άλλο. Η συρτική αυτή επιφάνεια

μετακινείται πολύ αργά προς τα κατάντη της ροής, ενώ περαιτέρω μείωση της ταχύτητας ροής οδηγεί στον πλήρη σχηματισμό της απόθεσης που ασκεί συρτική (διατμητική) αντίσταση στην ροή με συνέπεια την δημιουργία με τον καιρό μονίμου καθεστώτος ροής με απόθεση (Ζαρρής, 1995).

Ανάλογα με τις επικρατούσες υδραυλικές συνθήκες τη στιγμή της καθίζησης, το πάνω όριο της απόθεσης μπορεί να είναι εντελώς επίπεδο ή να παρουσιάζει κυματώσεις και διαταράξεις της επιφάνειας. Οι τυπικές μορφές της επιφάνειας των αποθέσεων που μπορούν να εμφανιστούν είναι οι εξής :

- Ρυτίδες (ripples) : Σχηματίζονται σε ροή με μικρή ταχύτητα ($F \ll 1$). Το μήκος κύματος είναι 10 - 30 cm, και το ύψος μικρότερο από 3 cm. Κινούνται προς τα κατάντη με ταχύτητες πολύ μικρές σε σχέση με την ταχύτητα ροής. Γενικά δεν παρατηρούνται όταν τα φερτά υλικά είναι χονδρότερα από 0.6 mm.
- Θίνες (dunes) : Σχηματίζονται σε πιο μεγάλες ταχύτητες ($F < 1$). Το μήκος και ύψος κύματος είναι μεγαλύτερο από των ρυτίδων. Μετακινούνται προς τα κατάντη. Πολλές φορές συνοδεύονται από ρυτίδες.
- Μεταβατική φάση (transition) : Σε πιο μεγάλες ταχύτητες ($F = 1$) εμφανίζεται κατά περιοχές ο πυθμένας επίπεδος, ενώ σε άλλες περιοχές εμφανίζονται ετερογενείς διατάξεις από ρυτίδες και θίνες.
- Επίπεδη κοίτη (flat bed) : Είναι δυνατό σε αρκετά μεγάλες ταχύτητες να εξαφανιστεί κάθε σχηματισμός και ο πυθμένας να επιπεδοποιηθεί. Όμως η μορφή αυτή είναι ασταθής.
- Αντιθίνες (antidunes) : Σχηματίζονται σε πιο μεγάλες ταχύτητες ($F > 1$). Το μήκος κύματος ισούτε με $\approx 2\pi v^2/g$. Το σχήμα τους είναι περίπου ημιτονοειδές. Συνοδεύονται από κύματα στην ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Συνήθως μετακινούνται προς τα ανάντη ή μπορεί και να παραμένουν στάσιμες.
- Λεκάνες (pools) : Σε πολύ μεγάλες ταχύτητες ($F \gg 1$), σχηματίζονται περιοχές μεγάλης υποσκαφής ακολουθούμενες από περιοχές με ογκώδεις αποθέσεις. Η ελεύθερη επιφάνεια παρουσιάζει έντονα μεταβαλλόμενη εικόνα.

Στο σχήμα 3.1 φαίνονται οι μορφές κοίτης. Επειδή όμως οι πληροφορίες αυτές προέρχονται από βιβλιογραφία της ποτάμιας στερεομεταφοράς (Ξανθόπουλος 1990), οι μορφές κοίτης στους υπονόμους δεν θα έχουν τόσο τυπικά χαρακτηριστικά λόγω της διαφορετικής κατανομής των συρτικών τάσεων πυθμένα.

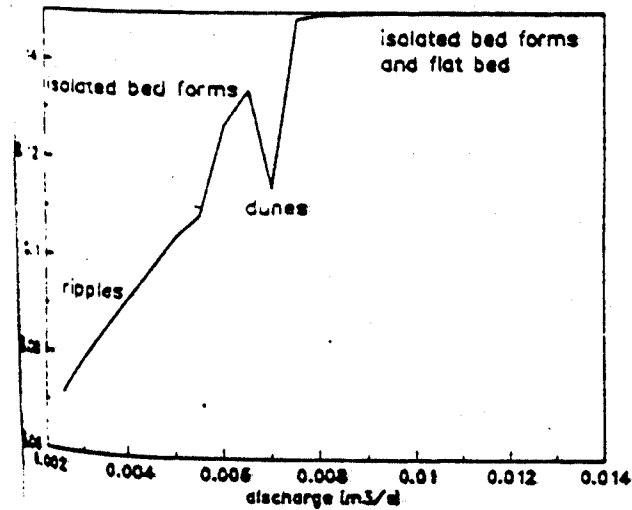


Σχήμα 3.1: Τυπικές μορφές επιφάνειας αποθέσεων (Ξανθόπουλος, 1990).

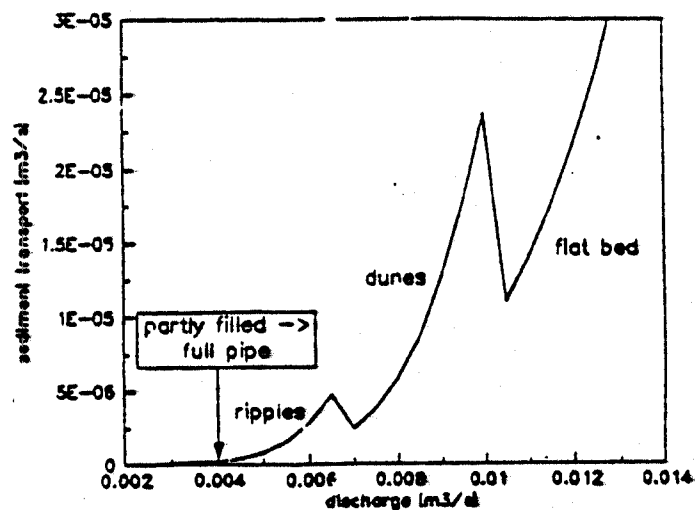
Αναλύσεις πειραμάτων που έχουν γίνει για την συμπεριφορά της υδάτινης ροής με την

παρουσία διαφόρων μορφών αποθέσεων, έχουν δείξει ότι γενικά το βάθος ροής (y_o), και η στερεοπαροχή (Q_s) δεν αυξάνονται υποχρεωτικά με την αύξηση της παροχής. Αυτό συμβαίνει για τους παρακάτω λόγους :

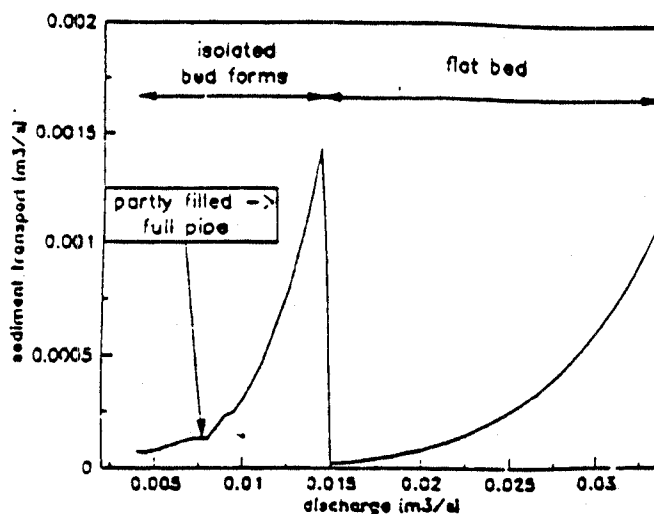
1. Οι αλλαγές στη μορφή των αποθέσεων, που προκαλούνται από μεταβολές στις υδραυλικές συνθήκες, εμφανίζονται να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά τραχύτητας. Αυτές οι μεταβολές εμφανίζονται υπεύθυνες για τη απότομη μεταβολή του βάθους ροής και της στερεοαπορροής.
2. Η μετάβαση από την ροή με ελεύθερη επιφάνεια στην ροή υπό πίεση, δημιουργεί πρόσθετες υδραυλικές μεταβολές.



Διάγραμμα 3.3: Βάθος ροής συναρτήσει της παροχής για χαρακτηριστικό ροής- φερτών $D_{50}=0.2$ mm, $l_b=0.002$, $Z_b/D=0.1$, $D=150$ mm. (Kleijwegt, 1992)



Διάγραμμα 3.4 : Στερεοπαροχή συναρτήσει παροχής για χαρακτηριστικό ροής - φερτών $D_{50}=0.2$ mm, $l_b=0.002$, $Z_b/D=0.3$, $D=150$ mm. (Kleijwegt, 1992)



Διάγραμμα 3.5 : Στερεοπαροχή συναρτήσει παροχής για χαρακτηριστικό ροής - φερτών
 $D_{50}=0.1 \text{ mm}$, t_b , $Z_b/D=0.1$, $D=150 \text{ mm}$ (Kleijwegt, 1992)

Η ποιότητα των φερτών υλικών, που τελικά αποτίθενται, είναι συνάρτηση της ποσότητας των φερτών υλικών που εισρέουν στο δίκτυο. Στη ροή με ελεύθερη επιφάνεια με παρουσία αποθέσεων η ποσότητα των φερτών προσπαθεί να προσαρμοστεί στις νέες συνθήκες.

Κριτήριο διαχωρισμού της ετερογενούς αιώρησης με την ροή με σύρση είναι η τιμή της ταχύτητας που αναφέρεται σαν κρίσιμη ταχύτητα. Η τιμή αυτή της κρίσιμης ταχύτητας δεν είναι ενιαία. Εξαρτάται αν η ταχύτητα ροής αυξάνεται ή μειώνεται περνώντας από την μια περιοχή στην άλλη. Η κρίσιμη ταχύτητα είναι μικρότερη όταν η ταχύτητα ροής μειώνεται ενώ είναι μεγαλύτερη όταν η ταχύτητα αυξάνεται (αποτέλεσμα της μη-μόνιμης ροής στον υπόνομο). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι μεγαλύτερες τάσεις για απόθεση εμφανίζονται όταν έχουμε κάθοδο του πλημμυρογραφήματος, δηλαδή όταν το πλημμυρικό γεγονός τελειώνει.

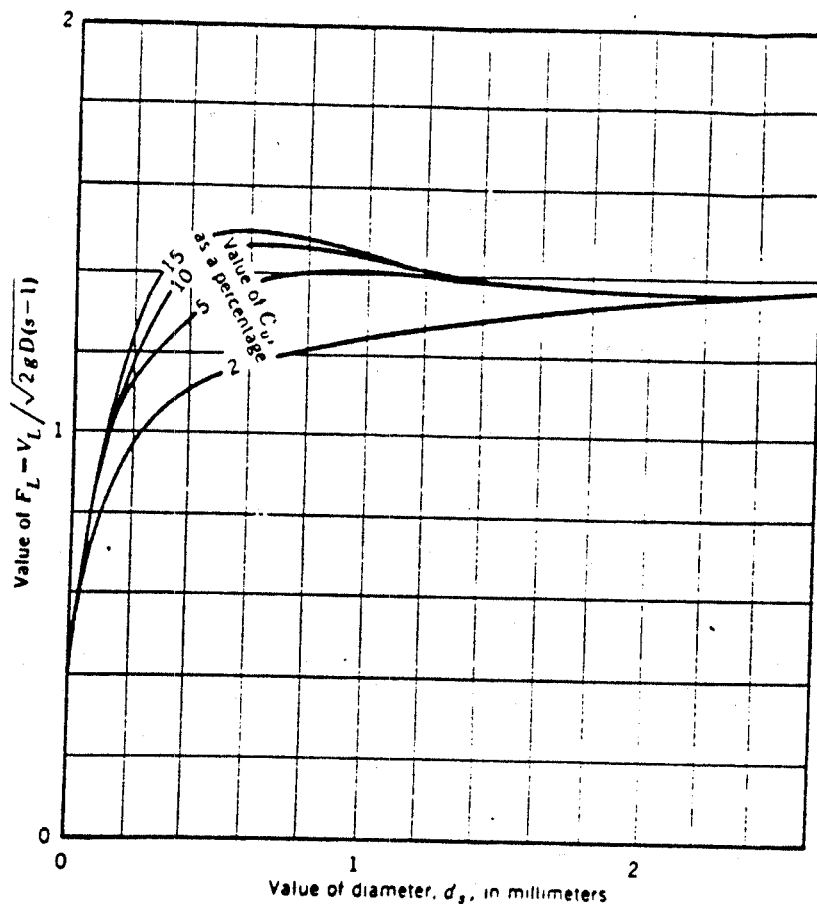
Ο Durand (1953) σχεδίασε την κλίση ενέργειας ως συνάρτηση της μέσης ταχύτητας ροής και συγκεκριμένων συγκεντρώσεων των φερτών υλικών που φαίνεται στο διάγραμμα 3.2. Η διακεκομμένη γραμμή διαχωρίζει τις ζώνες ροής με αποθέσεις και χωρίς αποθέσεις. Η ταχύτητα που αντιστοιχεί στο πέρασμα από την μια ζώνη στην άλλη ονομάστηκε από τον Durand ως οριακή ταχύτητα απόθεσης. Επίσης η οριακή ταχύτητα απόθεσης φαίνεται να λειτουργεί με την ελάχιστη ενέργεια, γεγονός που έχει μεγάλο ενδιαφέρον από οικονομική άποψη. Οι Newitt et al. (1955) εξίσωσαν την σχέση της απώλειας ενέργειας για ροή με συρτικό φορτίο και για ετερογενή αιώρηση και διαπίστωσαν ότι :

$$V_B = 17w \quad (3.5)$$

όπου V_B η μέση ταχύτητα ροής που διαχωρίζει τις δύο περιοχές. Οι ίδιοι μελετητές βρήκαν επίσης ότι οι ταχύτητες που προκύπτουν από το διάγραμμα 3.2 είναι εκείνες κάτω από τις οποίες δημιουργούνται μόνιμες αποθέσεις.

Τα επόμενα διαγράμματα δίνουν τις τιμές των οριακών ταχυτήτων καθίζησης για

ομοιόμορφο υλικό (Durand, 1953) και για διαβαθμισμένο υλικό (Durand and Condolios, 1952). Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3.6 για ομοιόμορφη άμμο (μέγεθος μεγαλύτερο του 1mm), η συγκέντρωση των φερτών υλικών και το μέγεθος των κόκκων δεν επηρεάζουν σημαντικά την τιμή της οριακής ταχύτητας απόθεσης, γεγονός που δεν επιβεβαιώνεται και για την διαβαθμισμένη άμμο.



Διάγραμμα 3.6 : Οριακή ταχύτητα καθίζησης για ομοιόμορφο υλικό (Durand, 1953)

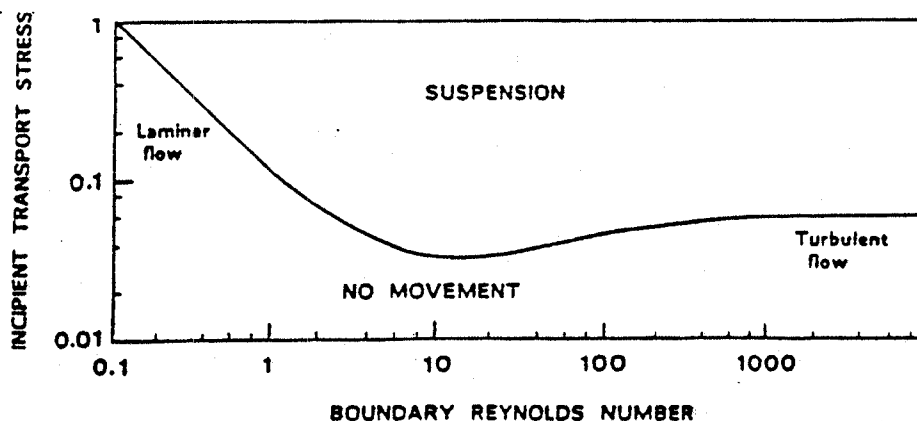
Διάγραμμα 3.7 : Οριακή ταχύτητα καθίζησης για διαβαθμισμένο υλικό (Durand and Condolios, 1952)

3.6. Ροή με απόθεση

Όταν μειωθεί επιπλέον η ταχύτητα ροής τότε και η κίνηση με σύρση επιβραδύνεται σημαντικά οπότε έχουμε τη δημιουργία στρώματος απόθεσης, που ανάλογα με τις υδραυλικές συνθήκες, μπορεί είτε να διαβρωθεί και τα σωματίδια που αποτελούν την απόθεση να μετακινούνται προς τα κατάντη, είτε να παραμείνει σαν απόθεση ασκώντας συρτική (διατμητική) αντίσταση. Στα σωματίδια των αποθέσεων εξασκούνται δύο μορφές δυνάμεων από την ροή : η υδροδυναμική άνωση και δυνάμεις λόγω σχήματος των σωματιδίων. Αν αυτές οι δύο συνδυασμένες δυνάμεις δεν ξεπεράσουν τις δυνάμεις των σωματιδίων λόγω του υπό άνωση βάρους τους, τις δυνάμεις συνοχής και συσσωμάτωσης, τότε τα στερεά σωματίδια παραμένουν ακίνητα. Αν όμως γίνουν μεγαλύτερες τότε τα σωματίδια κινούνται κατά μήκος του στερεού ορίου απόθεσης - ροής. Φυσικά δεν μετακινούνται όλα τα σωματίδια κατά την ίδια χρονική στιγμή, λόγω του γεγονότος ότι η ροή είναι τυρβώδης και οι ταχύτητες ροής υπόκεινται σε συνεχείς αυξομειώσεις. Η οριακή κατάσταση κατά την οποία η μετακίνηση στερεών είναι ασήμαντη, γνωστή και σαν όριο μετακίνησης ορίζεται συνήθως με τους όρους της κρίσιμης ταχύτητας ροής ή με την κρίσιμη συρτική τάση.

Πιο συγκεκριμένη εκτίμηση της διαδικασίας αποτελεί και το εξής : η απόθεση θα παραμείνει αν η συρτική τάση που εξασκεί η υδάτινη ροή είναι μικρότερη από την συρτική αντοχή της απόθεσης. Αν όμως η συρτική τάση ξεπεράσει την συρτική αντοχή τότε θα έχουμε τον πλήρη καθαρισμό της απόθεσης.

Το μεταβατικό στάδιο μεταξύ της πλήρους απόθεσης και της αρχικής μετακίνησης ορίζεται με βάση όχι την κρίσιμη ταχύτητα αλλά χρησιμοποιούμε την κρίσιμη συρτική τάση. Μέγιστη συνεισφορά σε αυτό το πρόβλημα αποτελεί το διάγραμμα του Shields. Το διάγραμμα 3.8, συσχετίζει την κρίσιμη συρτική τάση στην οποία έχουμε μετακίνηση των φερτών υλικών, με τον αριθμό Reynolds του στερεού ορίου.



Διάγραμμα 3.8 : Το διάγραμμα Shields προσαρμοσμένο σε υπονόμους (CIRIA, 1987)

Στο διάγραμμα αυτό στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται η αδιάστατη κρίσιμη συρτική τάση τ_s με τον αριθμό Reynolds του στερεού ορίου. Η σχέση της αδιάστατης κρίσιμης συρτικής τάσης είναι :

$$\tau_s = \tau / [g(\rho_s - \rho)d] \quad (3.6)$$

όπου $\tau = g\rho l$

Ο αριθμός Reynolds του στερεού ορίου που απεικονίζεται στον οριζόντιο άξονα προκύπτει από την σχέση :

$$R^* = u^* d v \quad (3.7)$$

όπου το μέγεθος u^* υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$u^* = \mu^* \rho \quad (3.8)$$

όπου το μέγεθος $\mu^* = (\tau / \rho)^{0.5}$ είναι η συρτική ταχύτητα και v η κινηματική συνεκτικότητα του νερού.

Το μέγεθος τ είναι η συρτική τάση πυθμένα που ασκεί η ροή στον πυθμένα, ρ_s και ρ είναι οι πυκνότητες των φερτών υλικών και του νερού αντίστοιχα, d είναι το μέγεθος του κόκκου σε mm, R είναι η υδραυλική ακτίνα της ροής και S είναι η κλίση της γραμμής ενεργείας που αν θεωρήσουμε την ροή ομοιόμορφη τότε η γραμμή ενεργείας είναι παράλληλη με τον πυθμένα του αγωγού.

Από μία απλή παρατήρηση του διαγράμματος του Shields συμπεραίνουμε ότι για μικρές ταχύτητες (μικρός αριθμός Reynolds \rightarrow στρωτή ροή), απαιτούνται μεγάλες τιμές των κρίσιμων συρτικών τάσεων για να επιτευχθεί το ξεκίνημα της μετακίνησης. Αντίθετα για αρκετά μεγαλύτερες ταχύτητες (τυρβώδης ροή), η κρίσιμη συρτική τάση είναι αρκετά μικρότερη, γεγονός που εξηγείται από το ότι η τύρβη είναι ο βασικός μηχανισμός για την διατήρηση των σωματιδίων σε αιώρηση.

Αριθμητικά η οριακή τιμή της κρίσιμης συρτικής τάσης από το διάγραμμα Shields (Κουτσογιάννης 1993), προκύπτει από την σχέση :

$$\tau_{mc} = \beta(\rho - \rho_s)gd_s \quad (3.9)$$

Για συνθήκες πλήρους τραχείας ροής στα συστήματα υπονόμων η χαρακτηριστική αδιάστατη παράμετρος του Shields β , που θεωρείται ότι αντιστοιχεί στο ξεκίνημα της απόπλυσης του πυθμένα του αγωγού χωρίς την δημιουργία απόθεσης έχει την τιμή $\beta=0.04$. Για την εξασφάλιση του πλήρους καθαρισμού του αγωγού που έχει δημιουργηθεί απόθεση η τιμή του β γίνεται είκοσι φορές μεγαλύτερη $\beta=0.8$. Παρατηρούμε ότι χρειάζεται είκοσι φορές μεγαλύτερη συρτική τάση για την απόπλυση του αγωγού, αν για κάποιο λόγο έχει ήδη δημιουργηθεί απόθεση.

Το διάγραμμα του Shields προέκυψε από την ανάλυση πειραμάτων που έγιναν σε εργαστηριακή διάωρυγα, με ομοιόμορφη και μόνιμη ροή και με υλικά που προσομοίωναν την μελέτη της ποτάμιας στερεοαπορροής. Έχει δειχθεί ότι το παραδοσιακό διάγραμμα του Shields μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει την κρίσιμη συρτική τάση για την αρχική μετακίνηση των στερεών στους υπονόμους με ακρίβεια αποδέκτη για πρακτικές εφαρμογές.

Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση μη-συσσωματώσιμων φερτών υλικών (πολύ μικρό ποσοστό οργανικού φορτίου), γενικά το διάγραμμα του Shields δίνει υπερεκτιμημένες τιμές της κρίσιμης συρτικής τάσης, αλλά σε ευρεία βάση είναι ένα αποδεκτό κριτήριο για τον υπολογισμό της κρίσιμης συρτικής τάσης για ομοιόμορφα, μη-συσσωματώσιμα στερεά και για επίπεδο πυθμένα. Οι συρτικές τάσεις στον πυθμένα των αγωγών υπόκεινται σε τυχαίες χρονικές μεταβολές. Οι μέγιστες συρτικές τάσεις που μπορούν να οδηγήσουν στον πλήρη καθαρισμό των αγωγών είναι περίπου διπλάσιες από την μέση συρτική τάση σε ένα ορθογώνιο αγωγό και ακόμα μεγαλύτερες σε ένα κυκλικό αγωγό, λόγω της πολυπλοκότητας

της ροής. Οπότε είναι προφανές ότι έχοντας ως οδηγό τη μέση συρτική τάση μπορεί να έχουμε λάθος εκτιμήσεις για την αρχική μετακίνηση αφού αυτή μπορεί να συμβεί και με χαμηλές τιμές της μέσης συρτικής τάσης. Τέλος για την αρχική μετακίνηση το διάγραμμα του Shields δίνει υπερεκτιμημένες τιμές και στην περίπτωση ροής με επίπεδη απόθεση σε κυκλικό αγωγό το διάγραμμα πρέπει να μεταβληθεί. Μελέτες (Kleijwegt 1990) έχουν δείξει ότι η κρίσιμη συρτική τάση είναι το 70 % από εκείνο του διαγράμματος Shields.

Για την περίπτωση των συσσωματώσιμων στερεών υλών, και των μερικώς συσσωματώσιμων στερεών, που παρατηρούνται στους παντορροικούς αγωγούς καθώς και στους αγωγούς ομβρίων αντίστοιχα η πραγματικότητα είναι διαφορετική από εκείνη του διαγράμματος του Shields. Η συσσωμάτωση και η κροκίδωση μπορεί να συμβεί με την παρουσία οργανικού υλικού στα φερτά υλικά που αποτελούν τις αποθέσεις. Η συσσωμάτωση προκύπτει από την συγκόλληση λόγω της πίσσας και των ελαίων που εναποτίθενται στις οδικές επιφάνειες, από την χημική τσιμεντοποίηση και από βιολογικές διαδικασίες μέσα στους αγωγούς, παρά από την ηλεκτροστατική συσσωμάτωση. Η σχετική βιβλιογραφία (Nalluri 1989) αναφέρει ότι για συσσωματωμένες αποθέσεις η κρίσιμη συρτική τάση δεν ξεπερνά τα $5-7 N/m^2$. Άλλες μελέτες (Ashley et. Al., 1990), από μετρήσεις πεδίου έχουν δείξει πολύ μεγαλύτερες κρίσιμες συρτικές τάσεις σε σχέση με τις εργαστηριακές μετρήσεις του Nalluri, που φθάνουν στις τιμές των $800 N/m^2$. Γίνεται ακόμα φανερό ότι για τον καθορισμό των κρίσιμων συρτικών τάσεων σπουδαίο ρόλο παίζουν και οι συγκεντρώσεις των φερτών σε όλο το βάθος της απόθεσης. Φανερό ακόμα είναι ότι τα επιφανειακά στρώματα θα επαναιωρούνται σε αρκετά μικρότερες συρτικές τάσεις σε σχέση με τα βαθύτερα στρώματα. Αυτό συμβαίνει λόγω της στερεοποίησης των βαθύτερων στρωμάτων λόγω του βάρους των υπερκείμενων στρωμάτων. Επίσης η χρονική διαβάθμιση στην συρτική αντοχή των αποθέσεων είναι σημαντική. Με το πέρασμα του χρόνου μία αδύνατη αρχικά απόθεση μπορεί να γίνει μόνιμη. Εξάλλου η τιμή της συρτικής τάσης της ροής που δίνεται για τον σχηματισμό απόθεσης κυμαίνεται γύρω στο $1.8 N/m^2$.

Οι μελέτες που έχουν γίνει έχουν δείξει ότι τα φαινόμενα της απόθεσης και της μετακίνησης είναι εξαιρετικά πολύπλοκα. Μια ολοκληρωμένη μελέτη πεδίου θα έπρεπε να συμπεριλαμβάνει υδραυλικές παραμέτρους όπως η τραχύτητα του στερεού ορίου της απόθεσης, η μη μόνιμη και ανομοιόμορφη ροή στους υπονόμους, η φύση των υλικών των αποθέσεων και η συγκέντρωση των φερτών υλών που μεταφέρονται με την υδάτινη ροή. Το τελευταίο είναι πολύ σημαντικό με την έννοια ότι δύο πλημμύρες με τα ίδια χαρακτηριστικά ροής (παροχή και ταχύτητα ροής) στον ίδιο αγωγό με την ίδια απόθεση αλλά με διαφορετικές συγκεντρώσεις φερτών υλικών μπορεί να προκαλέσουν διαφορετικά αποτελέσματα, δηλαδή η ροή με την μικρότερη συγκέντρωση φερτών υλικών παρουσιάζει περισσότερες πιθανότητες να προκαλέσει απόπλυση της απόθεσης σε σχέση με την ροή με μεγαλύτερη συγκέντρωση φερτών υλικών.

3.7. Διάβρωση των αποθέσεων

Η διάβρωση των υλικών των αποθέσεων, που περιέχουν συνεκτικά αλλά και μη συνεκτικά φερτά υλικά είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που από αυτόν εξαρτάται η συμπεριφορά των αποθέσεων. Για την εξήγηση, του φαινομένου αυτού έχουν γίνει μελέτες σε εργαστήρια με αγωγούς, κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής. Η διάβρωση των αποθέσεων, εξαρτάται από την σύνθεση του μείγματος (συνεκτικό υλικό που περιέχει), τον τύπο της συνεκτικής απόθεσης, καθώς και το σχήμα της διατομής. Όταν αυξάνεται το συνεκτικό υλικό που περιέχεται, η αντίσταση σε διάβρωση της απόθεσης επίσης αυξάνεται. Η μορφή της επιφάνειας των αποθέσεων, εξαιτίας της διάβρωσης αλλάζει από ρυτίδες (μη συνεκτικού υλικού), σε μία επιφάνεια με θίνες.

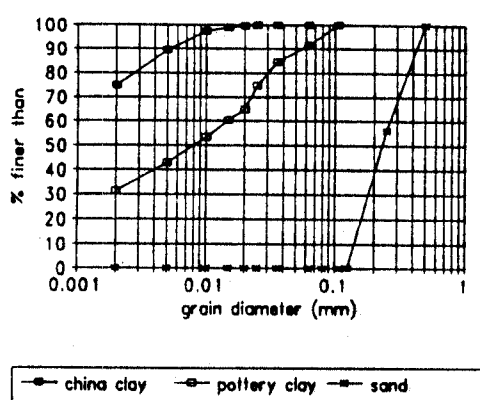
Η σύσταση των φερτών υλικών επηρεάζει την διαβρωτική συμπεριφορά των

συνεκτικών αποθέσεων. Όταν αποθεθεί έστω και λίγο συνεκτικό υλικό παρατηρείται αύξηση της κρίσιμης διατμητικής τάσης των αποθέσεων, και η συμπεριφορά τους, από μη συνεκτική γίνεται συνεκτική. Για την εξήγηση του φαινομένου της διάβρωσης, καθώς και για την μεταφορά των αποθέσεων σε δίκτυα υπονόμων, έγιναν εκτεταμένα πειράματα σε εργαστηριακούς αγωγούς των πανεπιστημίων Ghent and Leuven, για ομοιόμορφη ροή σε αγωγούς κυκλικής και ορθογωνικής διατομής, χρησιμοποιώντας μείγματα άμμου, αργίλου και νερού. Από τα πειράματα αυτά φάνηκε πως το σχήμα της διατομής έχει μεγάλη επιρροή στον τύπο της κοίτης των αποθέσεων (Torls, Huygens, Tito, 1994).

3.7.1. Πειραματικά αποτελέσματα

Τα πειράματα που αναφέρθηκαν παραπάνω έγιναν σ' ένα επικλινή αγωγό 9 μέτρων μήκους, χρησιμοποιώντας, ορθογωνική διατομή 0.40 m πλάτους, και 0.40 m ύψους, καθώς και σε κυκλική διατομή διαμέτρου 0.40 m.

Το μη συνεκτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα αυτό ήταν λεπτή άμμος με μέση διάμετρο κόκκου $d_{50} = 0.236\text{mm}$, και το συνεκτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν άργιλος (περισσότερο μοντμοριλονίτης) και καολινίτης (κινέζικη άργιλος). Η κατανομή του μεγέθους των κόκκων των δύο αργίλων και της άμμου που χρησιμοποιήθηκαν φαίνεται στο διάγραμμα 3.9.



Διάγραμμα 3.9: Κοκκομετρική ανάλυση των υλικών (Torls, Huygens, Tito, 1994).

Οι αποθέσεις των υπονόμων προσεγγίζονται με ανάμειξη διαφορετικών ποσοτήτων άμμου, αργίλου και νερού. Για να δημιουργηθεί ένα στρώμα φερτών υλικών, όπως σ' έναν υπόνομο, τοποθετήθηκε ένα στρώμα φερτών υλών στον αγωγό, με επίπεδη επιφάνεια (με την βοήθεια ενός βρεγμένου ατσάλινου ελάσματος). Στην συνέχεια αφήθηκε κάτω από το νερό για να σταθεροποιηθεί κατά την διάρκεια την νύχτας. Το πάχος αυτού του στρώματος είναι 4 και 8 εκατοστά για την ορθογωνική και την κυκλική διατομή αντίστοιχα. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του μείγματος της απόθεσης ήταν η σύνθεση του εκφρασμένη ως ποσοστό της άμμου (με διάμετρο μικρότερη των 60 μm), του νερού που περιέχει και την πυκνότητα του στρώματος της απόθεσης. Τα μείγματα που χρησιμοποιήθηκαν περιείχαν λεπτόκοκκο υλικό σε ποσοστό από 0 έως 30%, το ποσοστό του νερού ήταν από 20 έως 30%, και η πυκνότητα του στρώματος υπολογίστηκε ίση με 1.85 Kg/m^3 .

Σε κάθε πείραμα διάβρωσης η παροχή αυξανόταν κατά βήματα σε ωριαία διαστήματα. Κατά την διάρκεια κάθε βήματος καταγραφόταν το βάθος, η ταχύτητα του νερού, το συρτικό φορτίο ενώ τα δείγματα αιωρούμενων στερεών συλλέγονταν ανά διαστήματα 15 λεπτών. Από

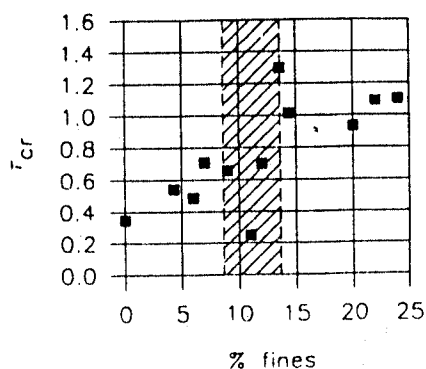
αυτά τα δεδομένα υπολογίστηκε η διατμητική αντοχή του στρώματος καθώς και ο ρυθμός διάβρωσης. Η διατμητική τάση υπολογίστηκε από τον παρακάτω τύπο :

$$\tau = \rho g R_h S_e \quad (3.10)$$

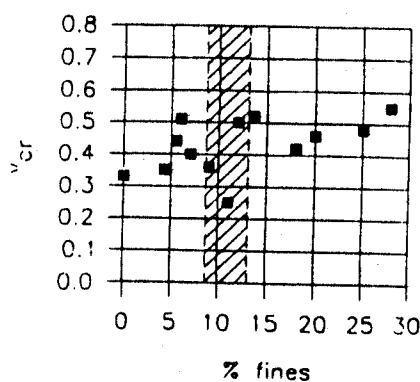
όπου R_h είναι η υδραυλική ακτίνα του στρώματος, διορθωμένη από την επίδραση των τοιχωμάτων, και S_e είναι η κλίση της γραμμής ενέργειας. Ο ρυθμός της διάβρωσης βρέθηκε από την κλίση της αθροιστικής καμπύλης του βάρους του διαβρωμένου υλικού σε συνάρτηση με τον χρόνο. Τυπικά τα πειράματα πρέπει να σταματάνε μετά από λίγα χρονικά βήματα, από την έναρξη της μεταφοράς των αποθέσεων για να αποφεύγεται η πλήρης καταστροφή του στρώματος αυτού.

3.7.2. Επιρροή της σύνθεσης της απόθεσης

Όταν στην απόθεση το συνεκτικό υλικό αυξάνει ενώ η συνολική πυκνότητα, το περιεχόμενο νερό και ο χρόνος σταθεροποίησης μένουν σταθερά, τότε η συμπεριφορά διάβρωσης της απόθεσης αλλάζει από μη συνεκτική σε συνεκτική αφού περάσει από μία μεταβατική κατάσταση. Αυτές οι αλλαγές καθορίστηκαν πλήρως σε πειράματα άμμου και αργίλου σε ορθογωνικό αγωγό. Η πρώτη ομάδα αποθέσεων (άμμος και άργιλος), χαρακτηρίστηκε από χαμηλό ποσοστό λεπτής άμμου 0 - 7 %. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων διάβρωσης αυτά τα υλικά συμπεριφέρθηκαν σαν μη συνεκτικά, ενώ σχημάτιζαν ρητίδες όταν η παροχή αυξανόταν. Όταν άρχισε η διάβρωση της απόθεσης, λεπτά μόρια της αργίλου ξεπλύθηκαν από την πάνω στρώση, και αυτό που έμεινε αποτελείται κυρίως από άμμο (fines). Αν μόρια κόκκων είναι ανάμεσα σε κόκκους άμμου, τότε χρειάζεται υψηλότερη διατμητική τάση για να αρχίσει η διάβρωση σ' αυτό το μείγμα. Η κρίσιμη διατμητική τάση, και η κρίσιμη μέση ταχύτητα αυξήθηκαν, με την αύξηση του περιοχομένου σε λεπτή άμμο, (Διάγραμμα 3.10 και 3.11). Οι σκιασμένες περιοχές σε αυτές τις ζώνες παριστάνουν μεταβατικές ζώνες.



Διάγραμμα 3.10: Κρίσιμη συρτική τάση συναρτήσει του ποσοστού λεπτόκοκκου υλικού (Torls, Huygens, Tito, 1994).



Διάγραμμα 3.11: Κρίσιμη μέση ταχύτητα

Τα δεδομένα για την μεταφορά αποθέσεων από όλα τα πειράματα, μοντελοποιήθηκαν με έναν τύπο για μεταφορά αποθέσεων, που αναπτύχθηκε για υλικά όμοια με την άμμο. Εξαιτίας της παρουσίας των τύπων κοίτης μόνο ένα μέρος της διάτμησης (T_b = κοκκώδης διατμητική τάση), που επιβάλλεται από την ροή χρησιμοποιείται για την μεταφορά των αποθέσεων. Το T_b υπολογίστηκε από την μέθοδο που προτάθηκε από τους Engenlund - Hansen (Pettusquia, 1991).

$$\phi = A(\theta_b - \theta_{cr})^n \quad (3.11)$$

$$\phi = \frac{q_s}{\sqrt{g(s-1)d_{50}^3}} \quad (3.12)$$

$$\theta_b = \frac{T_b}{pg(s-1)d_{50}} \quad (3.13)$$

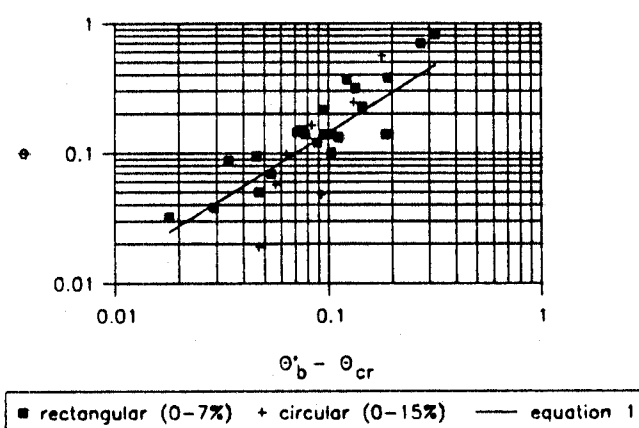
όπου ϕ είναι παράμετρος μεταφοράς, θ_b είναι αριθμός κινηματικότητας των κόκκων, θ_{cr} είναι ο κρίσιμος αριθμός κινητικότητας για την έναρξη της μεταφοράς των αποθέσεων, n είναι ένας δείκτης, q_s είναι μεταφορά φερτών υλικών ανά μονάδα πλάτους (m^2/s), και $s = \rho_s/\rho$ είναι ο λόγος πυκνότητας των αποθέσεων προς την πυκνότητα του νερού.

Οι συντελεστές της εξίσωσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Τρεις ομάδες συντελεστών δίνονται από τα πειράματα για ορθογωνική και κυκλική διατομή αντίστοιχα καθώς και συντελεστές που βρέθηκαν συλλέγοντας όλα τα δεδομένα στην αναγωγή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1. : Συντελεστές της εξίσωσης

| | A | n |
|----------------------|------|------|
| ορθογωνική | 1.97 | 1.07 |
| κυκλική | 1.46 | 0.96 |
| ορθογωνική + κυκλική | 1.54 | 1.03 |

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων καθώς και αυτά που υπολογίστηκαν από την εξίσωση για ορθογωνική και κυκλική διατομή δείχνονται στο διάγραμμα 3.12.



Διάγραμμα 3.12: Παράμετροι μεταφοράς ως συνάρτηση του βαθμού συνεκτικότητας για μείγματα με μικρή περιεκτικότητα σε κεραμική άργιλο (Torls, Huygens, Tito, 1994).

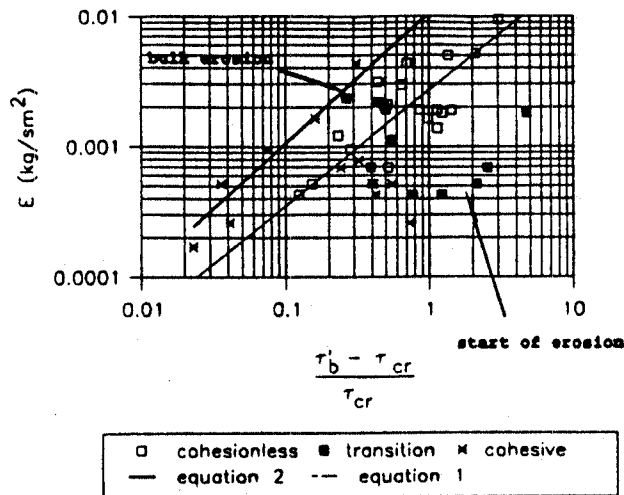
Για μεγαλύτερα ποσοστά αργίλου (μεγαλύτερα του 13%), το υλικό συμπεριφέρθηκε σαν συνεκτικό υλικό και το διαβρωμένο υλικό μεταφέρθηκε περισσότερο σαν φορτίο πυθμένα (beldoad), (Einsele et al., 1974) ενώ δεν παρατηρήθηκε κανένας τύπος στρώσης, και χρειαζόταν περισσότερη διατμητική τάση για να αρχίσει η διάβρωση, σε μερικά απομονωμένα σημεία. Ένα σχέδιο του ρυθμού διάβρωσης συναρτήσει της διατμητικής τάσης σε αδιάστατη μορφή φαίνεται στο διάγραμμα 3.13, και αποκαλύπτει μερικές ενδιαφέρουσες τάσεις. Μετά αφού επιβληθεί μία κατάλληλη διατμητική τάση για το υλικό της στρώσης (Mehta 1991), οι ρυθμοί διάβρωσης αυξάνονται γραμμικά με την αδιάστατη επιπλέον διατμητική τάση, σύμφωνα με την εξίσωση (3.14).

$$E = 0.0104 \left(\frac{T_b - T_{cr}}{T_{cr}} \right) \quad (3.14)$$

όπου E είναι ο ρυθμός διάβρωσης ($Kg/m^2 s$).

Στη φάση αυτή το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθεί ένα αυλάκι κοντά στην κεντρική γραμμή του καναλιού (Partheniades, 1995). Περαιτέρω αύξηση στις ταχύτητες ροής, έχουν σαν αποτέλεσμα την μαζική διάβρωση και την καταστροφή του στρώματος της απόθεσης, που οδηγεί σε ξαφνική μείωση των διατμητικών τάσεων που υπολογίστηκαν από τη κλίση της γραμμής ενέργειας S_e , αν και η παροχή αυξήθηκε.

Όταν το ποσοστό της περιεχόμενης αργίλου κυμαίνεται μεταξύ 7 και 13%, παρατηρήθηκε μία μετάβαση από μη συνεκτική σε συνεκτική συμπεριφορά της απόθεσης. Αν και καμία ρυτίδωση δεν εμφανίστηκε στο στρώμα της απόθεσης, όταν η παροχή αυξήθηκε, μερικοί μη αναμενόμενοι τύποι στρώσης εμφανίστηκαν και το υλικό της απόθεσης δεν έμοιαζε με συνεκτικό. Για την ίδια $\theta_b - \theta_{cr}$ παρατηρηθήσα μεταφορά αποθέσεων είναι μικρότερη από αυτή που υπολογίστηκε. Προφανώς το αυξημένο ποσοστό σε άργιλο, κάνει το υλικό της στρώσης πιο δύσκολο να διαβρωθεί. Αναφέροντας τα υλικά με άργιλο και χρησιμοποιώντας την ίδια ανάλυση όπως στα συνεκτικά υλικά, οι ρυθμοί διάβρωσης για μεταβατικές καταστάσεις απεικονίζονται σε σχέση με την αδιάστατη επιπλέον διατμητική τάση στο διάγραμμα 3.13. Τα απεικονιζόμενα δεδομένα δεν ακολουθούν τις τάσεις που παρουσιάστηκαν νωρίτερα για συνεκτικά υλικά.



Διάγραμμα 3.13: Βαθμός διάβρωσης σε συνάρτηση της αδιάστατης συρτικής τάσης σε ορθογωνικό αγωγό (Torls, Huygens, Tito, 1994).

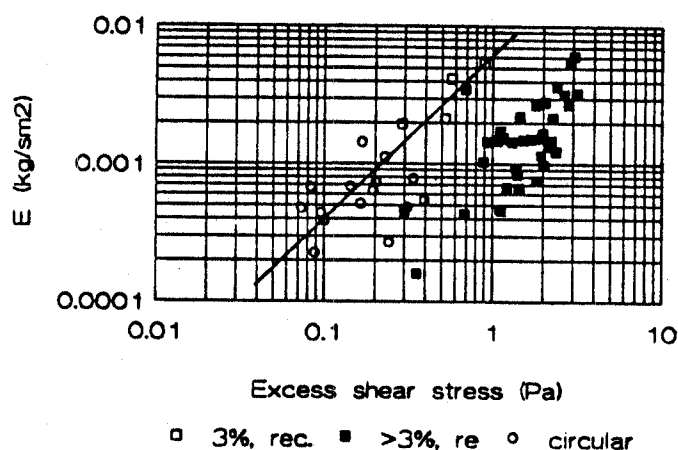
Επίσης απεικονίζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων για μη συνεκτικά υλικά σε ορθογωνικό αγωγό. Δημιουργήθηκε έτσι μία γραμμική σχέση μεταξύ των E και της αδιάστατης διατμητικής τάσης. Αυτό είναι φυσικό αφού και οι δύο είναι ανάλογες με το q και το θ αντιστοίχως. Έτσι τα δεδομένα στο διάγραμμα 3.13 δείχνει ότι υπάρχουν τρεις τύποι διάβρωσης. Μια συνολική εικόνα όλων των πειραμάτων που σχετίζονται και αφορούν την αρχή της κίνησης φαίνονται στα διαγράμματα 3.10 και 3.11. Γενικά η κρίσιμη διατμητική τάση για διάβρωση αυξάνεται πρακτικώς γραμμικά με το περιεχόμενο της αργίλου μέχρι την μέγιστη τιμή του 25%. Στην μεταβατική ζώνη που δείχνεται στην σκιασμένη περιοχή της εικόνας η διάβρωση είναι ακανόνιστη. Οι Alvarez - Hernandez (1990), έδειξαν ότι η μέγιστη

αντίσταση στη διάβρωση ($6-7 \text{ N/m}^2$), υπάρχει σε υψηλότερα ποσοστά αργίλου. Στην περίπτωση της άμμου (όχι άργιλος), $T_{cr} = 0.35\rho a$ και η τιμή που διαβάζεται από το διάγραμμα του Shields είναι $0.20 \rho a$ για $d_{50} = 0.24 \text{ mm}$.

Όταν εξετάζεται η μέση κρίσιμη ταχύτητα η μεταβατική (σκιασμένη), ζώνη παρουσιάζεται καθαρή. Ο υπολογισμός των κρίσιμων ταχυτήτων είναι πολύ περισσότερο ακριβής από τον υπολογισμό των κρίσιμων διατμητικών τάσεων. Όταν η διάβρωση έχει αρχίσει στο κάτω επίπεδο είναι δύσκολο να διακριθεί εξαιτίας της παρουσίας των τύπων στρώσεων, ακόμα μικρά λάθη στο βάθος του νερού μπορεί να παράγουν σημαντικά λάθη στην υπολογισμένη διατμητική τάση (Kabir et al 1992). Η κλίση της γραμμής της κρίσιμης ταχύτητας είναι αρκετά μικρότερη από εκείνη της κρίσιμης διατμητικής τάσης, ενώ τα λάθη της ταχύτητας είναι μικρότερα.

3.7.3. Επίδραση του τύπου του συνεκτικού υλικού

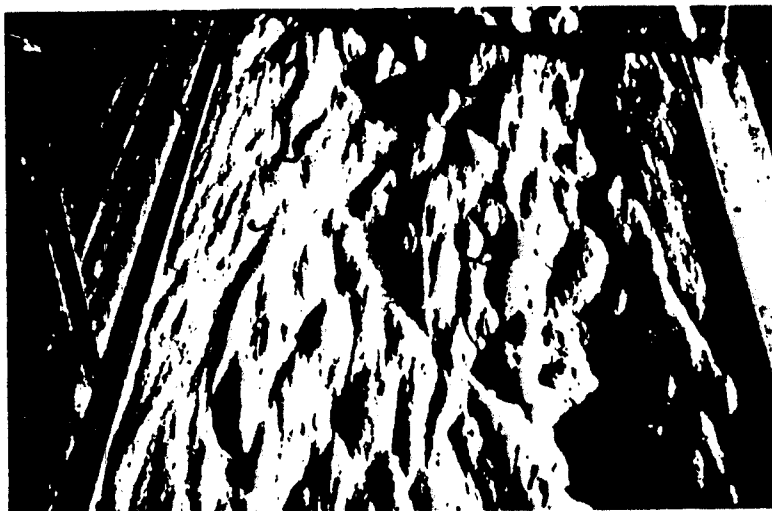
Για να υπολογιστεί η επιρροή του τύπου του συνεκτικού υλικού, έγιναν πειράματα με μείγματα άμμου και αργίλου (καολινίτη). Ο καολινίτης είναι πολύ λεπτότερος (εικόνα), και γι' αυτό περισσότερο συνεκτικός από την κεραμική άργιλο (pottery clay). Έτσι οι κλάσεις που είναι μικρότερες από $2 \mu\text{m}$, προκαλούν συνεκτικότητα και είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Τα δεδομένα από πειράματα με καολινίτη φαίνονται στο διάγραμμα 3.14. Η συνεκτική συμπεριφορά παρατηρήθηκε ακόμα και για χαμηλό ποσοστό αργίλου στο υλικό, μόνο το δείγμα με 3% αργίλου έδειξε ρυτίδωση (ripples and dunes), με αυξανόμενη παροχή και συσσώματωση κόκκων. Και οι μετρήσεις αυτών των πειραμάτων προσεγγίζονται καλά από την εξίσωση με όμοιο τρόπο όπως και με μη συνεκτικά υλικά με άργιλο (pottery clay).



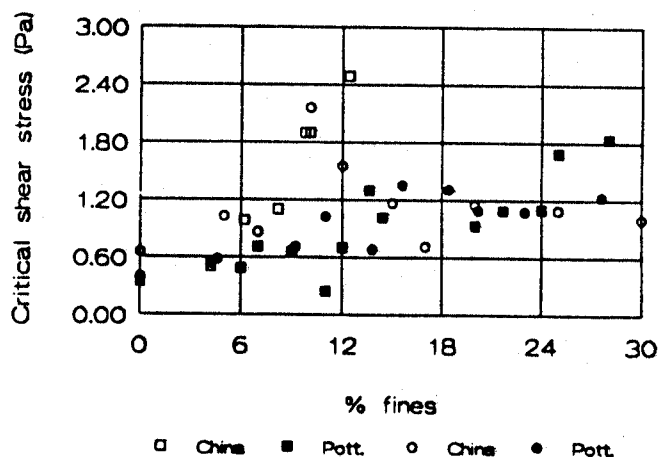
Διάγραμμα 3.14: Βαθμός διάβρωσης σε συνάρτηση της συρτικής τάσης για τον καολινίτη (Torls, Huygens, Tito, 1994).

Το πρότυπο διάβρωσης που παρατηρήθηκε στα πειράματα με καολινίτη διαφέρει από αυτό της αργίλου. Για τα μείγματα με άργιλο (καολινίτη), παρατηρήθηκε μια κυματοειδής επιφάνεια (εικόνα 3.2), ενώ για τα μείγματα με άργιλο βρέθηκε ένα κεντρικό αυλάκι. Τα μείγματα καολινίτη εμφανίζουν επιφανειακή διάβρωση αντί για μαζική. Οι ρυθμοί διάβρωσης προσεγγίστηκαν με έναν τύπο όμοιο με την εξίσωση 3.14, αλλά με διαφορετικούς συντελεστές.

$$E = 0.00097(T_b - T_{cr})^{0.93} \quad (3.15)$$



Εικόνα 3.2: Βαριά διαβρωμένη επιφάνεια δείγματος καολινίτη σε ορθογωνικό αγωγό (Torls, Huygens, Tito, 1994).



Διάγραμμα 3.15: Σύγκριση αρχικής μετακίνησης φερτών για τους δύο αγωγούς (Torls, Huygens, Tito, 1994).

Η κρίσιμη διατμητική τάση στα μείγματα καολινίτη και αργίλου αυξήθηκε με αυξανόμενο περιεχόμενο σε άργιλο (fines), και στα δύο μείγματα. Η κρίσιμη διατμητική τάση στα μείγματα καολινίτη είναι υψηλότερα από αυτά που αντιστοιχούν στα μείγματα με άργιλο, για το ίδιο περιεχόμενο σε άργιλο.

3.7.4. Επίδραση του σχήματος της διατομής του αγωγού

Το διάγραμμα 3.15, δίνει μία συνολική εικόνα των πειραματικών αποτελεσμάτων σχετικά με την αρχική μετακίνηση. Γενικά και στις δύο διατομές, η κρίσιμη διατμητική τάση που προκαλεί διάβρωση αυξήθηκε σχεδόν γραμμικά με το ποσοστό της αργίλου. Για την ορθογωνική διατομή αυτή η τάση 'κρύβεται' κάπως στην μεταβατική ζώνη όπου η διάβρωση είναι αφύσικη. Οπωσδήποτε δεν φαίνονται να υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην κρίσιμη διατμητική τάση μεταξύ της κυκλικής και της ορθογωνικής διατομής. Οι Alvarez - Hernandez (1990), βρήκαν ότι η επίδραση του σχήματος του αγωγού σε κρίσιμες συνθήκες είναι αξιοπρόσεκτες μόνο για βάθη ροής μεγαλύτερα του μισού της διαμέτρου του αγωγού, και υπέθεσε ότι η κρίσιμη διατμητική τάση δεν εξαρτάται από το πάχος της απόθεσης. Όταν άρχισε η διάβρωση η επίδραση της διατομής του αγωγού, έγινε περισσότερο εμφανής, αφού εξετάστηκαν οι ρυθμοί μεταφοράς των αποθέσεων, και οι τύποι των στρώσεων. Μερικά υλικά αποθέσεων που διαβρώθηκαν σε ορθογωνικό αγωγό σαν συνεκτικά υλικά με κυματοειδή επιφάνεια, έδειξαν ρυτιδωμένη επιφάνεια σε κυκλικό αγωγό. Τα δεδομένα στο διάγραμμα 3.11, επιδεικνύουν την μη συνεκτική συμπεριφορά των φερτών με άργιλο, στον κυκλικό αγωγό. Αυτά τα δεδομένα που αποκτήθηκαν σε έναν κυκλικό αγωγό (ποσοστό αργίλου έως 15%), ακολουθούν μία ευθεία γραμμή που μπορεί να περιγραφεί με μία εξίσωση όμοια με την εξίσωση 3.11.

Οι ρυθμοί διάβρωσης συναρτήσεως της περίσσειας διατμητικής τάσης για το δείγμα καολινίτη παρουσιάστηκαν στο διάγραμμα 3.14. Όλα τα πειραματικά δεδομένα για φερτά από καολινίτη σε κυκλικής διαμέτρου αγωγό ακολουθούν μία γραμμή προσαρμογής που αντιστοιχεί σε συνεκτική συμπεριφορά, ενώ παρατηρήθηκαν σχηματισμοί ρυτιδώσεων σε όλα τα πειράματα. Σε μία μελέτη για την μεταφορά συνεκτικών υλικών σε κυκλικό αγωγό οι Alvarez - Hernandez (1990), παρατήρησαν ότι τα συνεκτικά υλικά διαβρώθηκαν σε συσσωματώματα ποικίλου μεγέθους και αφού διαβρώθηκαν, τα συσσωματώματα συμπεριφέρθηκαν σαν μη συνεκτικά. Ο σχηματισμός αποθέσεων επηρεάζεται σημαντικά από το σχήμα της διατομής. Στην κυκλική διατομή τα στρώματα αλληλεπιδρούν με τα πλευρικά τοιχώματα, (εικόνα 3.3), γίνονται ακανόνιστα, και τοπικές τρύπες εμφανίζονται κατά μήκος του τοιχώματος. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την κατανομή της διατμητικής τάσης σε μία κυκλική διατομή. (Alvarez - Hernandez). Στον ορθογώνιο αγωγό η επιρροή των πλευρικών τοίχων στους τύπους στρώσεων, δεν είναι τόσο μεγάλη και σχηματίζονται ρυτίδες και θίνες (ripples-dunes).



Εικόνα 3.3: Διαβρωμένη επιφάνεια μετά από πείραμα καολινίτη σε κυκλικό αγωγό (Torls, Huygens, Tito, 1994).

3.8. Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των μορφών στερεομεταφοράς φαίνεται ότι τα κριτήρια διαχωρισμού στερεοαπορροής δεν μπορούν να ορισθούν σαφώς, και αυτό γιατί οι υδραυλικές συνθήκες ροής αλλάζουν διαρκώς. Σαν κρίσιμο υδραυλικό μέγεθος μπορούμε να πούμε πως είναι η συρτική τάση, αφού η ταχύτητα ροής δίνει μάλλον εσφαλμένα αποτελέσματα, και αυτό γιατί μικρές μεταβολές στην ταχύτητα ροής προκαλούν σημαντικές μεταβολές στις συρτικές τάσεις. Ακόμα δύο ταχύτητες ροής με το ίδιο μέγεθος μπορούν να προκαλέσουν διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα αν αντιστοιχούν στην άνοδο ή στην πτώση του πλημμυρογραφήματος. Ακόμα πολλές αποθέσεις μπορούν να καταστούν μόνιμες εξαιτίας της αδυναμίας της ροής να προκαλέσει διάβρωση αυτών. Το κριτήριο του Shields για την αρχική μετακίνηση των μη-συσσωματώσιμων στερεών δεν είναι εφαρμόσιμο σε κυκλικούς αγωγούς με επίπεδο στρώμα απόθεσης. Τα σωματίδια τείνουν να κινούνται με πολύ μικρότερες συρτικές τάσεις από εκείνες που φαίνονται από το διάγραμμα του Shields (περίπου 70%). Σε μεγαλύτερες συρτικές τάσεις κινούνται τα συσσωματώσιμα και μερικώς συσσωματώσιμα στερεά, ενώ το διάγραμμα του Shields εφαρμόζεται για καθαρά πρακτικούς λόγους.

Από τα πειράματα διάβρωσης φαίνεται πως η σύσταση των φερτών υλών επηρεάζει την διαβρωτική συμπεριφορά των αποθέσεων. Πρόσθεση έστω και λίγου συνεκτικού υλικού αυξάνει την κρίσιμη διατμητική τάση μίας απόθεσης, και μεταβάλλει την συμπεριφορά της από μη συνεκτική σε συνεκτική. Οποσδήποτε η διαβρωτική συμπεριφορά (όπως επιφανειακή διάβρωση και διάβρωση μάζας), των μειγμάτων που περιέχουν λεπτότερο και πιο συνεκτικό υλικό, χρειάζεται μεγαλύτερη τιμή της κρίσιμης διατμητικής τάσης για να αρχίσει η διάβρωση, όπως και για κάθε τύπο συνεκτικού υλικού. Η επιρροή του σχήματος της διατομής είναι σημαντική όταν εξετάζονται οι ρυθμοί διάβρωσης και οι μορφές κοίτης. Η παρουσία πλευρικών τοιχωμάτων σε έναν κυκλικό αγωγό συνεισφέρει στην δημιουργία μη κανονικών ρυτιδώσεων. Η κρίσιμη διατμητική τάση για όμοια δείγματα φερτών υλών είναι πάνω κάτω η ίδια, και για ορθογωνική και για κυκλική διατομή. Οποσδήποτε για όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν με ποσοστό άμμου 30%, τα οποία σε ορθογωνικούς αγωγούς μπορούν να θεωρηθούν σαν συνεκτικά, σε κυκλικές διατομές συμπεριφέρθηκαν σαν μη συνεκτικά, όπου και παρατηρήθηκαν και υψηλότεροι ρυθμοί διάβρωσης. Γι' αυτό και οι εξισώσεις μεταφοράς σε ορθογωνικούς αγωγούς δεν μπορεί να εφαρμοστούν σε κυκλικούς αγωγούς.

4. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΥΠΟΝΟΜΩΝ ΤΗΣ ΕΥΔΑΠ

4.1. Εισαγωγικές έννοιες

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει το πρακτικό μέρος της διπλωματικής αυτής εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η επιλογή των σημείων όπου επισκεφθήκαμε, τα συμπεράσματα που βγήκαν από τις επισκέψεις η συλλογή δειγμάτων φερτών υλικών, και η εργαστηριακή ανάλυση των συλλεχθέντων δειγμάτων. Βασικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας αποτελεί, η σύγκριση των αποτελεσμάτων σε ορισμένα σημεία των αγωγών ομβρίων με τα αποτελέσματα προηγούμενης διπλωματικής εργασίας (Ζαρρής, 1995). Ειδικότερα διερευνάται αν υπήρξαν αλλαγές ή όχι μέσα στο χρονικό διάστημα των τριών περίπου ετών που μεσολάβησαν, στην μορφή και την σύσταση των αποθέσεων. Αναφερόμαστε επίσης στις επισκέψεις που πραγματοποιήσαμε στο παντοροϊκό δίκτυο του Πειραιά, συλλέγοντας και από εκεί δείγματα. Δυστυχώς δεν ήταν δυνατόν για πρακτικούς λόγους να γίνει ανάλυση της μορφής και της σύστασης των δειγμάτων του παντοροϊκού δικτύου. Τέλος, στο κεφάλαιο περιγράφουμε τους υπερχειλιστές (εκτροπές όπως τους ονομάζουν οι μηχανικοί της ΕΥΔΑΠ), που υπάρχουν στο δίκτυο της ΕΥΔΑΠ, καθώς και στον τρόπο λειτουργίας τους.

4.2. Περιγραφή δειγματοληψίας φερτών υλικών από αγωγούς ομβρίων

Σαν υπολεκάνη απορροής του Κηφισού ποταμού, επιλέχθηκε η υπολεκάνη απορροής με τον κωδικό αριθμό K₂₇. Κριτήριο για την επιλογή αυτή ήταν οι χαμηλές κλίσεις του εδάφους και κατά συνέπεια και των αγωγών. Ακόμα οι μεικτές χρήσεις γης αφού συνυπάρχουν πολλές κατοικίες, βιομηχανικές ζώνες, μεγάλη εμπορική δραστηριότητα, και ένα οδικό δίκτυο με μεγάλες διακυμάνσεις. Έτσι οι μεικτές χρήσεις γης στην υπολεκάνη αυτή μας επιτρέπει, να έχουμε ένα πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα φερτών υλικών από όλες τις δραστηριότητες που μπορούν να αναπτυχθούν. Η συνολική επιφάνεια της υπολεκάνης αυτής απορροής είναι 920 εκτάρια και ο συντελεστής απορροής έχει εκτιμηθεί σε 0.70.

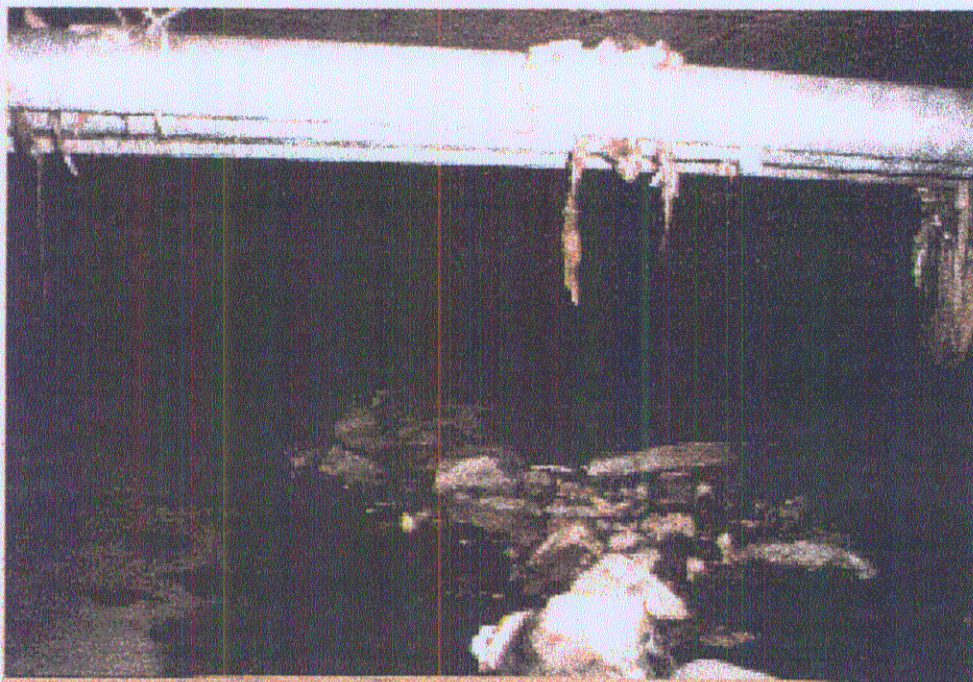
Πίνακας 4.1 : Χαρακτηριστικά Επιλεγμένης Λεκάνης Απορροής (στοιχεία ΕΥΔΑΠ)

| Λεκάνη Απορροής | Εκταση | Πληθυσμός | Συντ. Απορροής | Χρήσεις Γης |
|-----------------|-------------|-----------|----------------|-------------|
| K ₂₇ | 920 εκτάρια | ≈200000 | 0.70 | Μεικτές |

Η πρώτη αναγνωριστική δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε την Πέμπτη 5 Ιουνίου 1997. Οι καιρικές συνθήκες κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας ήταν πολύ καλές, νωρίτερα όμως και συγκεκριμένα την Τρίτη 3 Ιουνίου, υπήρξε ένα γεγονός βροχόπτωσης. Η δειγματοληψία έγινε με την βοήθεια ειδικευμένου συνεργείου, που μας διατέθηκε από την ΕΥΔΑΠ ειδικά για τον σκοπό αυτό. Τα δείγματα από τους αγωγούς, που παρατηρήθηκαν αποθέσεις τα τοποθετήσαμε σε

ειδικές πλαστικές σακούλες, ενώ κατά την πρώτη δειγματοληψία όπου κρίθηκε αναγκαίο συλλέχθηκαν περισσότερα του ενός δείγματα, από διαφορετικά σημεία της απόθεσης. Τέλος η δειγματοληψία ολοκληρώθηκε από μια επισκόπηση του αγωγού για την εξακρίβωση των στοιχείων της χαρτογράφησης, καθώς και με λήψη slides. Δύο σημεία από αυτά που επισκεφθήκαμε ήταν προεπιλεγμένα από παλαιότερη διπλωματική εργασία (Ζαρρής, 1995), και έτσι μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων και να διαπιστωθεί αν μέσα στα χρόνια αυτά που μεσολάβησαν υπήρξε αλλαγή στην μορφή και την σύσταση των αποθέσεων αυτών. Ένα άλλο σημείο που βρίσκεται κατάντη του υδατορέματος της Αγίας Λαύρας (σημείο που είχε επιλεγεί κατά την προηγούμενη διπλωματική εργασία), δεν μπορέσαμε να το επισκεφτούμε. Έτσι επιλέξαμε το σημείο στα κατάντη αυτού (Φιλικών και Αντιφάνους). Σκοπός μας ήταν να επισκεφτούμε και το σημείο που βρίσκεται στις εκβολές του δικτύου ομβρίων στον Κηφισό ποταμό, ώστε να γίνει και μία σύγκριση των αποτελεσμάτων, αλλά δεν ήταν δυνατόν λόγω των έργων που πραγματοποιούνταν εκεί. Πραγματοποιήθηκε και μία δεύτερη δειγματοληψία από τους γράφοντες στις 10 Δεκεμβρίου 1997. Στο διάστημα μεταξύ των δύο επισκέψεων, μεσολάβησε ένας αρκετά μεγάλος αριθμός βροχοπτώσεων. Έτσι μετά την κοκκομετρική ανάλυση που πραγματοποιήσαμε ελέγχουμε αν υπάρχουν μεταβολές στην σύσταση καθώς και στην μορφή κατά την δεύτερη επίσκεψη μας στα κατά τόπους σημεία των αποθέσεων. Πρέπει εδώ να επισημάνουμε πως κατά την επίσκεψη αυτή δεν κρίθηκε αναγκαίο να συλλεχτούν περισσότερα του ενός δείγματα. Η αναλυτικότερη περιγραφή της κάθε θέσεως έχει ως εξής :

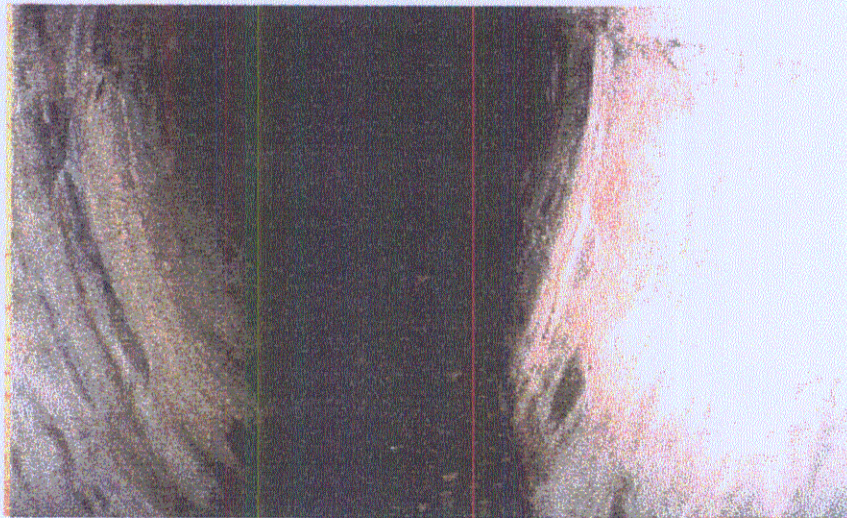
Οδός Φιλικών και Αντιφάνους : Ο αγωγός που διατρέχει κατά μήκος την οδό Φιλικών, βρίσκεται κατάντη του υδατορέματος της Αγίας Λαύρας. Η μορφή της διατομής του είναι ορθογωνική με διαστάσεις $3.9 * 1.27$ m ενώ η κλίση πυθμένα του αγωγού δεν κατέστη δυνατόν να βρεθεί, στις αρμόδιες υπηρεσίες της ΕΥΔΑΠ τμήμα προκατασκευασμένων αγωγών, Διεύθυνση αποχετεύσεων (τμήμα κατασκευασμένων αγωγών). Η είσοδος έγινε από το φρεάτιο επίσκεψης που βρίσκεται στην διασταύρωση των οδών Φιλικών-Αντιφάνους. Στην πρώτη επίσκεψη (5 Ιουνίου 1997), στον πυθμένα παρατηρήθηκε κατά τόπους χονδρόκοκκο και λεπτόκοκκο υλικό. Το εντυπωσιακότερο ήταν ότι βρέθηκαν μεγάλα κομμάτια τσιμέντου αλλά και βράχοι μεγάλης διαμέτρου, (Φωτογραφία 4.1). Η παρουσία τους μάλλον οφείλεται στην εισροή των φερτών αυτών υλικών από το υδατόρεμα της Αγίας Λαύρας που βρίσκεται στα ανάντη του σημείου αυτού (και ίσως από την εκτέλεση ορισμένων έργων, ή εξαιτίας ανθρώπινης αμέλειας). Στην δεύτερη επίσκεψη (10 Δεκεμβρίου 1997), στον αγωγό επικρατούσε ίδια κατάσταση από άποψη αποθέσεων. Η διαφορά ήταν ότι υπήρχαν λιγότεροι βράχοι μεγάλης διαμέτρου. Κάποιοι από αυτούς ίσως να έχουν μετακινηθεί σε κατάντη τμήματα του αγωγού, από το σημείο που βρισκόμαστε, εξαιτίας των έντονων και συχνών βροχοπτώσεων. Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε πως μέσα από τον αγωγό περνούν καλώδια (ΟΤΕ ή ΔΕΗ), τα οποία είναι καλυμμένα με μεταλλικό σωλήνα (Φωτογραφία 4.1), γεγονός που οφείλεται σε κατασκευαστική αμέλεια.



Φωτογραφία 4.1. : *Άποψη της απόθεσης επί της οδού Φιλικών*

Οδός Πτολεμαίδος και Πάρνηθος : Ο αγωγός που διατρέχει κατά μήκος την οδό Πτολεμαίδος, έχει διατομή ωσειδή. Είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα με διαστάσεις $1.30/1.95 \text{ m}^2$, και η κλίση του πυθμένα του είναι $i = 0.003$. Ο αγωγός που διατρέχει κατά μήκος την οδό Πάρνηθος έχει την ίδια μορφή και διαστάσεις, αλλά η κλίση του είναι $i = 0.0017$. Έχουμε μία κάθετη στροφή του αγωγού με ανάντη αγωγό αυτόν που διατρέχει κατά μήκος την Πτολεμαίδος και κατάντη αυτόν που διατρέχει κατά μήκος την Πάρνηθος. Από μία γρήγορη παρατήρηση βλέποντας τα χαρακτηριστικά των αγωγών διαφαίνεται πως θα υπάρχει πρόβλημα φερτών υλικών, αφού έχουμε την περίπτωση κάθετης στροφής του αγωγού, με μια σημαντική ελάττωση της κλίσης του πυθμένα περίπου στο μισό, ενώ η διάμετρος του αγωγού παραμένει η ίδια. Αυτή η άποψη ενισχύεται σημαντικά μετά την κάθοδο μας στον αγωγό, αφού προστίθενται νέες αιτίες που αιτιολογούν μια έντονη παρουσία αποθέσεων. Από μία πρώτη ματιά η απόθεση που παρατηρήθηκε, και στις δύο επισκέψεις μας είχε τα ίδια χαρακτηριστικά, ενώ υπήρχε και ροή νερού. Η τελευταία παρατήρηση μας οδηγεί στο γεγονός της ύπαρξης πολλών παρανόμων συνδέσεων ακαθάρτων. Η απόθεση που παρατηρήθηκε ήταν έντονη αφού εκτεινόταν σε μεγάλο μήκος (πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί) ενώ το βάθος της, είναι μεταβαλλόμενο ξεκινώντας στην στροφή στα 10 - 15 cm, με μία επιφύλαξη αφού οι αποθέσεις ήταν έντονα στερεοποιημένες. Δύο μέτρα πιο ανάντη το βάθος της, αυξανόταν περίπου κατά 5 cm. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι παρατηρείται μια σαφής τάση αύξησης του βάθους προς τα ανάντη. Αξιοσημείωτο είναι ότι όλη η απόθεση παρατηρήθηκε ακριβώς ανάντη από την θέση του φρεατίου επίσκεψης επί της οδού Πτολεμαίδος, ενώ αμέσως κατάντη επί της οδού Πάρνηθος ο αγωγός ήταν χωρίς αποθέσεις. Η σύσταση των αποθέσεων φαίνονταν χονδρόκοκκη, αλλά στο κάτω μέρος της ήταν λεπτόκοκκη, και η

επιφάνεια της επίπεδη. Μία άποψη της απόθεσης αυτής φαίνεται στην φωτογραφία 4.2.



Φωτογραφία 4.2. : Άποψη της απόθεσης της οδού Πτολεμαίδος

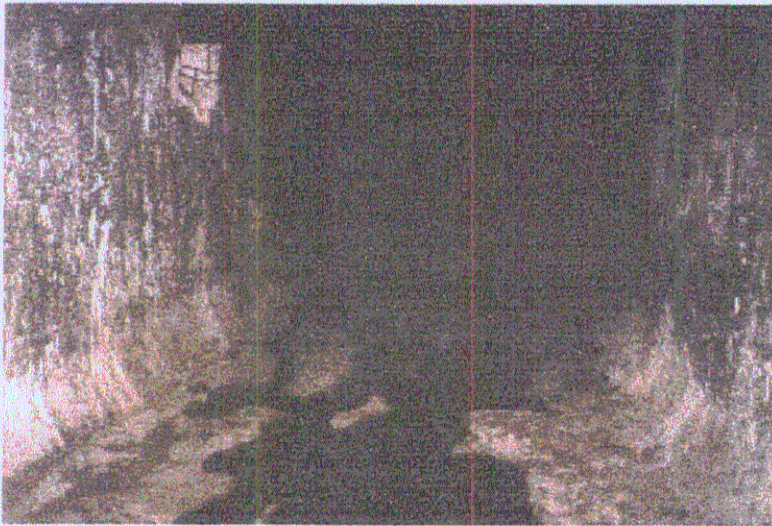
Κατά την πρώτη επίσκεψη πάρθηκαν δύο δείγματα ένα χονδρόκοκκο από το πάνω στρώμα και ένα λεπτόκοκκο από τα κατώτερα, ενώ στην δεύτερη επίσκεψη ένα δείγμα σε όλο το βάθος της απόθεσης. Στα δείγματα αυτά πραγματοποιήσαμε κοκκομετρική ανάλυση με την μέθοδο των υγρών κόσκινων, στο εργαστήριο των Μεταλλειολόγων Μηχανικών. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών παρατίθενται σε άλλη ενότητα αυτού του κεφαλαίου.

Στον αγωγό αυτό παρατηρούμε μία υποτυπώδη συναρμογή στην στροφή (Φωτογραφία 4.3), ενώ δεν υπάρχει και ευθυγράμμιση του αγωγού. Κατά την πορεία μας διαπιστώσαμε διάβρωση στον πυθμένα του αγωγού, καθώς και πρόχειρη επισκευή του. Γενικά πρόκειται για μία πρόχειρη κατασκευή, που σε ένα μεγάλο βαθμό ευθύνεται για τις τόσο εκτεταμένες αποθέσεις.



Φωτογραφία 4.3. : Άποψη συναρμογής επί Πτολεμαίδος

Οδός Δωδεκανήσου και Εθνικής Αντιστάσεως : Ο αγωγός που διατρέχει κατά μήκος την Εθνικής Αντιστάσεως, έχει ωσειδή διατομή από σπλισμένο σκυρόδεμα με διαστάσεις $\Omega = 0.8 / 1.25 \text{ m}^2$, ενώ η κλίση πυθμένα του αγωγού είναι $i = 0.015$. Συναντιέται με μορφή διχάλας με αγωγό που διατρέχει κατά μήκος την Δωδεκανήσου ο οποίος έχει σκουφοειδή μορφή διατομής με διαστάσεις $2.00 * 2.26 \text{ m}^2$. Ανάντη από το σημείο διασταύρωσης με τον ωσειδή αγωγό που διατρέχει την Εθνικής Αντιστάσεως έχει κλίση $i = 0.026$, ενώ μεν κατάντη έχει κλίση $i = 0.008$. Οι λόγοι που επιλέχθηκε αυτό το σημείο είναι αφενός μεν η ένωση αυτή των δύο αγωγών με την μορφή διχάλας αφετέρου δε το γεγονός ότι η διατομή του σκουφοειδούς αγωγού παραμένει ίδια ενώ η κλίση της, μειώνεται από ανάντη που είναι 0.026 σε κατάντη σε 0.008. Στο σημείο αυτό και στις δύο επισκέψεις που πραγματοποιήσαμε δεν παρουσιάστηκαν αποθέσεις, πιθανότατα λόγω των μεγάλων κλίσεων που παρατηρούνται, αν και έχουμε μείωση της κλίσης προς τα κατάντη. Ίσως και η μορφή της διατομής του σκουφοειδούς αγωγού να μην ευνοεί την δημιουργία αποθέσεων. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε πως κατά την δεύτερη επίσκεψη μας, στα τοιχώματα του φρεατίου επίσκεψης υπήρχε προσκολλημένο άσπρο χρώμα που υποδηλώνει παρουσία τοξικών αερίων, καθώς και μία έντονη οσμή. Άποψη του αγωγού αυτού έχουμε στην φωτογραφία 4.4.



Φωτογραφία 4.4. : Άποψη του σκουφοειδούς αγωγού επί της Δωδεκανήσου

Οδός Αρτοξίνου και Αμαρίου : Από το σημείο που επισκεφθήκαμε την συγκεκριμένη συμβολή αγωγών, ανάντη βρίσκεται ο αγωγός που διατρέχει κατά μήκος την Αρτοξίνου, και κατάντη αγωγός αυτός που διατρέχει κατά μήκος την Αμαρίου. Εδώ έχουμε την περίπτωση την περίπτωση στροφής με γωνία 90 μοιρών. Και οι δύο αγωγοί είναι ωσειδούς διατομής με διαστάσεις $\Omega = 0.6 / 0.8$ m. Η κλίση στον ανάντη αγωγό επί της Αρτοξίνου είναι $i = 0.010$, ενώ για τον κατάντη αγωγό επί της Αμαρίου η κλίση είναι λίγο μικρότερη $i = 0.009$. Κριτήριο για την επιλογή του σημείου αυτού υπήρξε η κάθετη αυτή στροφή του αγωγού. Και στις δύο επισκέψεις μας βρέθηκαν αποθέσεις στον ανάντη αγωγό επί της Αρτοξίνου ενώ ο κατάντη αγωγός επί της Αμαρίου ήταν καθαρός. Οι αποθέσεις ήταν πλήρως στερεοποιημένες με άγνωστο το βάθος τους . Τα δείγματα πάρθηκαν από την άκρη της απόθεσης καθώς από άλλο σημείο της ήταν αδύνατο να παρθεί, ενώ οι μικρές διαστάσεις του αγωγού δεν μας βοήθησαν να προσδιορίσουμε το μήκος των αποθέσεων, που εκτείνονταν σε όλη την ορατή έκταση. Ακόμα υπήρχε αποπνικτική οσμή βερνικιού, κάτι που δείχνει παράνομες συνδέσεις στον αγωγό αυτό. Η συναρμογή στην στροφή του αγωγού ήταν σχετικά καλή. Άποψη των αποθέσεων έχουμε στην φωτογραφία 4.5.



Φωτογραφία 4.5.: Άποψη της απόθεσης επί της Αρτοζίνου

Οδός Ιεράπετρας και Αριστομένων : Ο αγωγός διατρέχει σε ευθυγραμμία την οδό Ιεράπετρας, και το φρεάτιο επίσκεψης, βρίσκεται στην διασταύρωση των οδών Ιεράπετρας και Αριστομένων. Πρόκειται για ωσειδή αγωγό με διαστάσεις $\Omega = 0.6 / 0.9$ m. Ανάντη του φρεατίου επίσκεψης η κλίση του αγωγού είναι $i = 0.008$ ενώ κατάντη αυξάνεται σε $i = 0.026$. Το σημείο αυτό ανήκει στην περιοχή της Ανθούπολης, και βρίσκεται στις κατάντη περιοχές και όχι τόσο έντονα αστικοποιημένες, με μέτριο κυκλοφοριακό φόρτο. Και κατά τις δύο επισκέψεις μας, βρέθηκαν αποθέσεις στερεοποιημένες και το βάθος τους κοντά στο φρεάτιο επίσκεψης ήταν περίπου 15 cm, με σαφή τάση αύξησης του βάθους προς τα ανάντη. Οι αποθέσεις εκτεινόταν σε μήκος άνω των 30 μέτρων. Και στο σημείο αυτό όλη η απόθεση παρατηρήθηκε ακριβώς στα ανάντη του φρεατίου επίσκεψης, ενώ στα κατάντη ο αγωγός ήταν καθαρός. Μια παραστατική άποψη της απόθεσης αυτής έχουμε στην φωτογραφία 4.6.



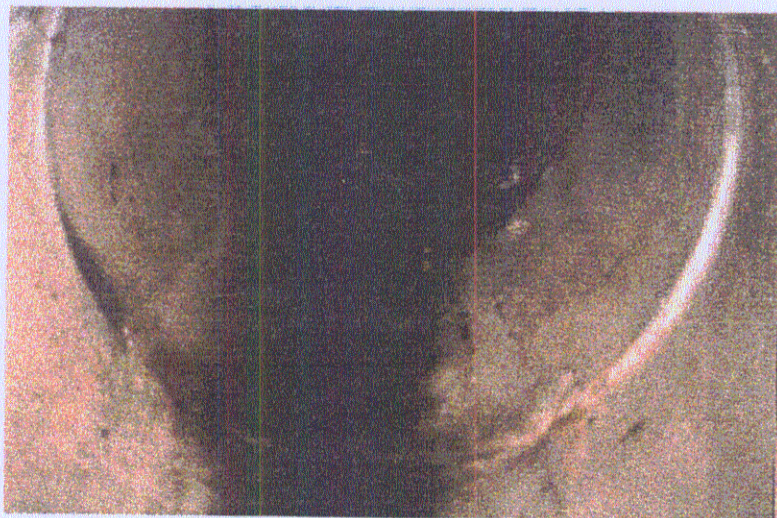
Φωτογραφία 4.6: Άποψη της απόθεσης επί της Ιεράπετρας

Οδός Λεβέντη και Λεβιδίου : Στο σημείο αυτό έχουμε την περίπτωση κάθετης στροφής του αγωγού. Ανάντη έχουμε τον αγωγό που διατρέχει κατά μήκος την οδό Λεβέντη, ο οποίος είναι κυκλικής διατομής με διάμετρο $D = 0.70$ m με κλίση $i = 0.004$, ενώ για τον κατάντη αγωγό που διατρέχει κατά μήκος την οδό Λεβιδίου η διάμετρος αυξάνει λίγο σε $D = 0.80$ m με την ίδια κλίση. Επομένως εδώ έχουμε την περίπτωση κάθετης στροφής του αγωγού με ίδια κλίση πυθμένα, αλλά αύξηση της διατομής από ανάντη προς τα κατάντη. Κατά την πρώτη μας δειγματοληψία (5 Ιουνίου 1997), βρέθηκε κατά τόπους πολύ μικρή ποσότητα λεπτόκοκκων αποθέσεων πάνω στην στροφή του αγωγού, ενώ στον αγωγό επί της οδού Λεβέντη (ανάντη), βρέθηκαν σε ορισμένα σημεία κατατόπους αποθέσεις. Στην δεύτερη δειγματοληψία μας (10 Δεκεμβρίου 1997), βρήκαμε μικρές ποσότητες φερτών υλικών στα ανάντη και στα κατάντη του αγωγού. Επίσης σε απόσταση περίπου 5 μέτρα στο εσωτερικό του αγωγού, στα ανάντη αλλά και στα κατάντη, υπήρχε ένα λεπτό στρώμα λεπτόκοκκων αποθέσεων. Τέλος, μέσα στον αγωγό υπήρχε μια έντονη οσμή αμμωνίας, επειδή η περιοχή αυτή ανήκει σε ελαφριάς μορφής βιομηχανική ζώνη, και σε αυτό τον αγωγό υπάρχουν παράνομες συνδέσεις με εργοστάσια. Στην φωτογραφία 4.7 βλέπουμε μια κάτοψη της συναρμογής του αγωγού, που είναι σε αρκετά καλή κατάσταση, αν και οι άντρες των δύο αγωγών δεν βρίσκονται σε περασιά.



Φωτογραφία 4.7. : Συναρμογή αγωγού Λεβέντη - Λεβιδίου

Στην φωτογραφία 4.8 που πάρθηκε κατά την δεύτερη μας επίσκεψη διακρίνεται στο βάθος το λεπτό στρώμα λεπτόκοκκων αποθέσεων.



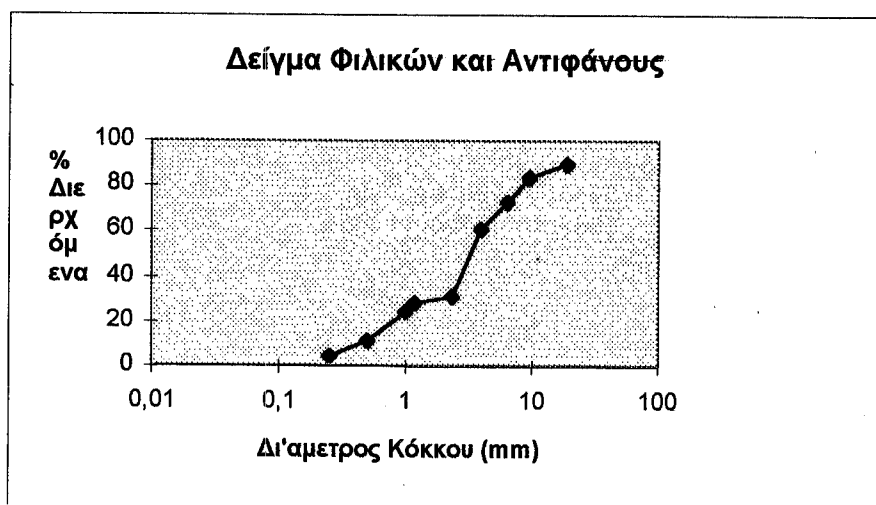
Φωτογραφία 4.8. : Αποψη της απόθεσης στην οδό Λεβέντη

4.3. Καταγραφή των μετρήσεων - σύγκριση των αποτελεσμάτων - ανάλυση των αιτιών δημιουργίας των αποθέσεων

Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια λεπτομερής καταγραφή των αποτελεσμάτων των μετρήσεων για κάθε περίπτωση σχηματισμού αποθέσεων, από αυτές που καταγράψαμε. Ακολουθεί μια σύγκριση των κοκκομετρικών καμπύλων και της σύνθεσης των υλικών της απόθεσης, για κάθε θέση σε σχέση με τις δύο επισκέψεις μας, στα σημεία αυτά. Ακόμη γίνεται μια διαχρονική σύγκριση ορισμένων κοινών σημείων που εξετάστηκαν σε προηγούμενη εργασία (Ζαρρής 1995), πριν δύο χρόνια.

Φιλικών και Αντιφάνους :

Στο δείγμα που συλλέξαμε κατά την πρώτη μας επίσκεψη στο σημείο αυτό πραγματοποιήσαμε στο εργαστήριο κοκκομετρική ανάλυση. Πρόκειται για μια χονδρόκοκκη απόθεση, με μέση τιμή διαμέτρου του σωματιδίου $D_{50} = 2,908$ mm. Οι υπόλοιπες χαρακτηριστικές τιμές μεγεθών είναι $D_{90} = 19,286$ mm, ενώ το μικρότερο ποσοστό υλικών είναι το $D_{10} = 0,469$ mm. Το μέγεθος D_{90} σημαίνει ότι το 10 % των σωματιδίων έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από την τιμή D_{90} . Αντίστοιχα D_{10} σημαίνει ότι μόνο το 10 % των σωματιδίων έχουν μέγεθος μικρότερο της τιμής του D_{10} . Η κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος της απόθεσης φαίνεται στο διάγραμμα 4.1.

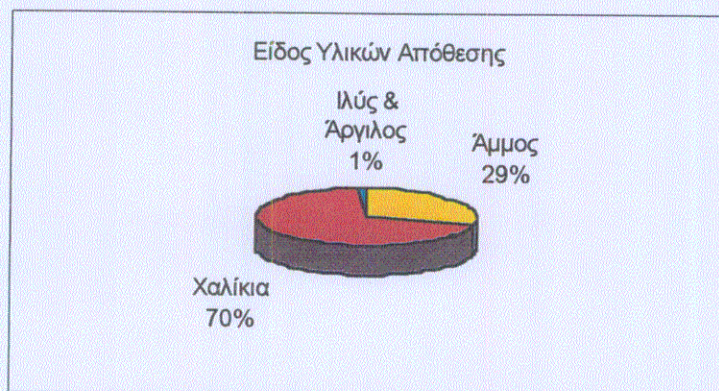


Διάγραμμα 4.1. : Κοκκομετρική Καμπύλη Δείγματος Απόθεσης Φιλικών και Αντιφάνους

Στο διάγραμμα 4.2. φαίνεται η σύσταση της απόθεσης σε χαλίκι, άμμο και ιλύ με άργιλο, σύμφωνα με τις κλάσεις της Αμερικανικής Γεωφυσικής Ένωσης - AGU, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.2 : Κλάσεις σύστασης υλικών σύμφωνα με την Αμερικανική Γεωφυσική Ένωση

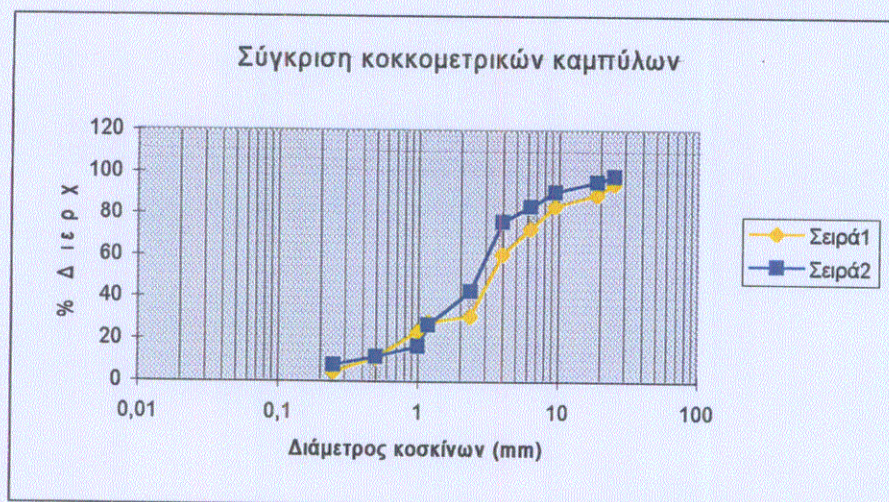
| Υγρό | Πύλ | Άμμος | Χαλίκια | Ογκώδη Κοκκία |
|----------------|--------------|-------------------|--------------|---------------|
| 0,24 - 4 μίκρα | 4 - 62 μίκρα | 62 μικρά - 0,2 cm | 0,2 - 6,4 cm | 6,4 - 400 cm |



Διάγραμμα 4.2. : Σύσταση Υλικών Απόθεσης Φιλικών και Αντιφάνους

Πρέπει εδώ να επισημάνουμε πάλι ότι υπήρχαν στον αγωγό αυτό και κομμάτια τσιμέντου μεγάλης διαμέτρου, όπως και διάφοροι ογκόλιθοι, που όπως είναι φυσικό δεν ήταν δυνατό να συλλεχθούν.

Από την ανάλυση της δεύτερης δειγματοληψίας παρατηρείται, μία μείωση της μέσης διαμέτρου των σωματιδίων της απόθεσης $D_{50} = 2.479$ mm ενώ οι υπόλοιπες χαρακτηριστικές τιμές των μεγεθών είναι $D_{90} = 14.22$ mm, και $D_{10} = 0.432$ mm. Η μείωση της μέσης διαμέτρου D_{50} ήταν αναμενόμενη και σε αυτό συνηγορεί το γεγονός ότι ο αριθμός των ογκόλιθων που υπήρχαν ήταν μικρότερος. Στο διάγραμμα 4.3 βλέπουμε τις κοκκομετρικές καμπύλες της απόθεσης αυτής σε σύγκριση με το δείγμα που συλλέχθηκε κατά την πρώτη επίσκεψη μας στο σημείο αυτό.



Διάγραμμα 4.3. : Σύγκριση κοκκομετρικών καμπυλών Φιλικών και Αντιφάνους

Γενικότερα δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις δύο αυτές καμπύλες, παρά μόνο πως οι αποθέσεις κατά την πρώτη δειγματοληψία είναι λίγο πιο χονδρόκοκκες. Κάτι που δείχνει ότι οι αποθέσεις αυτές δεν είναι έντονα στερεοποιημένες αλλά διαβρώνονται και μετακινούνται. Ακόμα, η ροή σε αυτό τον αγωγό είναι έντονη αφού παρουσιάστηκε μετακίνηση ογκόλιθων μεγάλης διαμέτρου και βάρους, ενώ ο βαθμός της πλήρωσης του ορθογωνικού αυτού αγωγού πρέπει να είναι υψηλός. Αυτό φαίνεται από τα υλικά που υπήρχαν γύρω από τον σωλήνα που βρίσκεται στην οροφή του αγωγού όπως αυτό περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα που δεν υπήρχαν κατά την δεύτερη επίσκεψη μας στο σημείο αυτό. Έτσι θα μπορούσαμε να πούμε εξαιτίας όλων αυτών των γεγονότων στο σημείο αυτό και γενικότερα κατά μήκος όλου αυτού του αγωγού εφαρμόζεται ο αυτοκαθαρισμός του αγωγού αν και λόγω των υδατορεμάτων που παρεμβάλλονται θα έχουμε έντονη την εισροή φερτών μέσα στον αγωγό.

Το σημείο αυτό όπως περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα, βρίσκεται στα κατάντη του υδατορέματος της Αγίας Λαύρας, στο οποίο στην προηγούμενη διπλωματική εργασία (Ζαρής, 1995), είχαν βρεθεί, στη άκρη του αγωγού πολύ εκτεταμένες λεπτόκοκκες αποθέσεις, που το 61.6% του δείγματος είχε διαστάσεις μικρότερες των 74 μικρών, ενώ και το οργανικό φορτίο της απόθεσης ήταν μικρό 7 %. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως τα φυσικά υδατορέματα και οι αγωγοί στους οποίους αυτά διοχετεύονται λόγω των μεγάλων παροχών, είναι σε θέση να παροχετεύουν μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών. Άρα οι λεπτόκοκκες αποθέσεις που δημιουργούνται στο σημείο συμβολής των αγωγών με το υδατόρεμα, δεν δημιουργούν μεγάλο πρόβλημα αποθέσεων στους κατάντη αγωγούς.

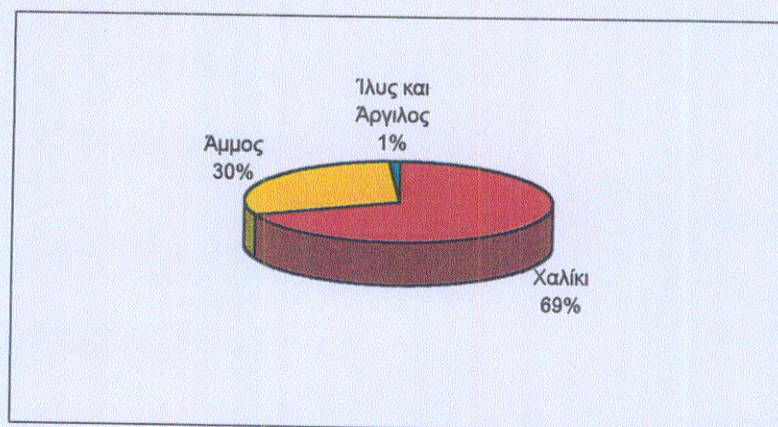
Πτολεμαΐδος και Πάρνηθος :

Η ανάλυση του δείγματος της πρώτης επίσκεψης από την απόθεση αυτή δείχνει ότι πρόκειται για μία χονδρόκοκκη απόθεση με μέση διάμετρο του σωματιδίου $D_{50} = 4.79$ mm ενώ οι υπόλοιπες χαρακτηριστικές τιμές μεγεθών είναι $D_{90} = 36.5$ mm, και $D_{10} = 0.63$ mm. Η κοκκομετρική καμπύλη της απόθεσης φαίνεται στο διάγραμμα 4.4.



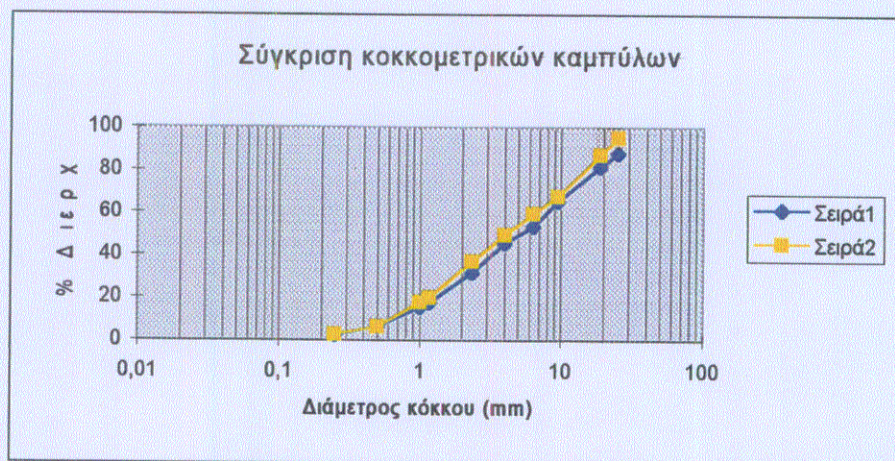
Διάγραμμα 4.4. : Κοκκομετρική Καμπύλη Δείγματος Απόθεσης Πτολεμαΐδος και Πάρνηθος

Στο Διάγραμμα 4.5 φαίνεται και η σύσταση της απόθεσης σε χαλίκι, άμμο και ιλύ με άργιλο.



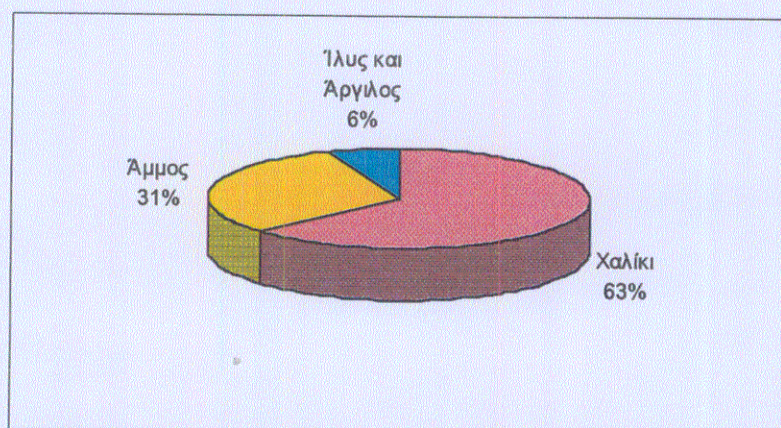
Διάγραμμα 4.5 : Σύνθεση Υλικών Απόθεσης Πτολεμαΐδος και Πάρνηθος

Στην δεύτερη δειγματοληψία διαπιστώνεται μία πολύ μικρή μείωση της μέσης διαμέτρου του σωματιδίου $D_{50} = 4.016$ mm, ενώ οι υπόλοιπες χαρακτηριστικές τιμές είναι $D_{90} = 22.631$ mm, και $D_{10} = 0.713$ mm. Στο διάγραμμα 4.6 φαίνεται η σύγκριση των κοκκομετρικών καμπύλων των δύο δειγματοληψιών.



Διάγραμμα 4.6. : Σύγκριση κοκκομετρικών καμπύλων Πτολεμαίδος και Πάρνηθος

Η σύσταση των υλικών της απόθεσης από το δείγμα που πάρθηκε κατά την δεύτερη δειγματοληψία, φαίνεται στο διάγραμμα 4.7 :

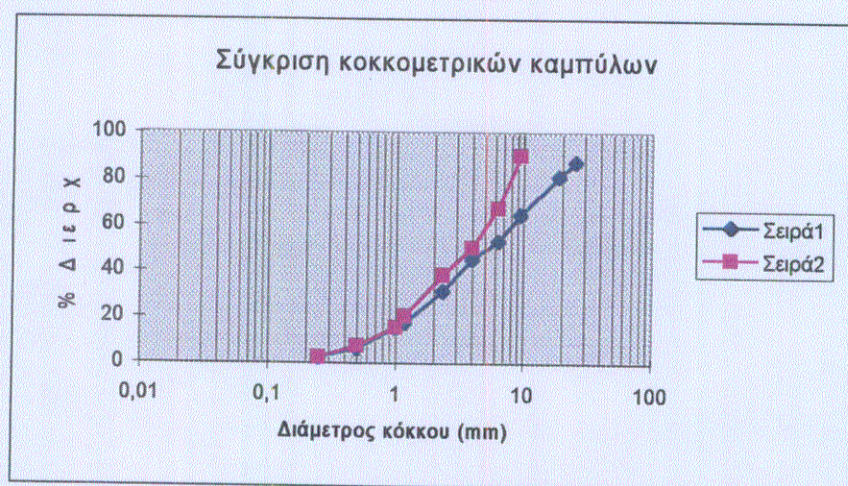


Διάγραμμα 4.7 : Σύνθεση Υλικών Απόθεσης Πτολεμαίδος και Πάρνηθος

Από τα δείγματα που συλλέχθηκαν κατά τις δύο επισκέψεις που πραγματοποιήσαμε στο σημείο αυτό, λόγω των έντονων πλημμυρικών γεγονότων που ανάμεσα σε αυτές μεσολάβησαν μπορούν να εξαχθούν σαφή συμπεράσματα. Το επιφανειακό στρώμα αποτελείται συνήθως από λεπτόκοκκο υλικό. Λόγω της μικρής συρτικής αντοχής, του επιφανειακού στρώματος, θα περίμενε κανείς φυσιολογικά μια αύξηση της μέσης διαμέτρου σωματιδίου. Επίσης θα περίμενε η σύσταση του δεύτερου δείγματος να αποτελείται από μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια. Από την ανάλυση όμως του δείγματος της δεύτερης δειγματοληψίας παρατηρούμε μία μικρή μείωση της μέσης διαμέτρου σωματιδίου, όπως φαίνεται και από την σύγκριση των δύο κοκκομετρικών καμπυλών που παρατίθενται στο διάγραμμα 4.6. Η καμπύλη που αντιστοιχεί στην δεύτερη δειγματοληψία βρίσκεται πιο ψηλά, από την καμπύλη της πρώτης δειγματοληψίας, δηλαδή το υλικό της είναι ελάχιστα πιο λεπτόκοκκο. Είναι φανερό και από την επί τόπου επίσκεψη ότι υπάρχει μία μόνιμη και πλήρως στερεοποιημένη απόθεση στον πυθμένα του αγωγού, που έχει σαν αποτέλεσμα να

μεγαλώνει την τραχύτητα του. Τα βαρύτερα υλικά (χονδρόκοκκα), καθιζάνουν πάνω σ' αυτή την επιφάνεια και δεν μπορούν να μετακινηθούν εύκολα λόγω της συρτικής αντοχής που αποκτούν αφού λεπτόκοκκα σωματίδια τα περιβάλλουν και δημιουργούν έτσι μεγάλης διαμέτρου συσσωματώματα.

Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προηγούμενη διπλωματική εργασία (Ζαρρή, 1995), διαχρονικά δεν υπάρχει βελτίωση από άποψη αποθέσεων. Στο σημείο αυτό, ο αγωγός δεν πληρεί τις προϋποθέσεις αυτοκαθαρισμού, καθώς η απόθεση και από άποψη μορφής αλλά και σύστασης έχει περίπου τα ίδια χαρακτηριστικά. Οι μικρές διαφορές στα αποτελέσματα οφείλονται μάλλον στις κλιματολογικές συνθήκες κατά την περίοδο στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι επισκέψεις. Οι αντίστοιχες κοκκομετρικές καμπύλες φαίνονται διαχρονικά στο διάγραμμα 4.8.



Διάγραμμα 4.8. : Σύγκριση κοκκομετρικών καμπυλών Πτολεμαίδος και Πάρνηθος

Βλέπουμε από την σύγκριση των δύο αυτών κοκκομετρικών καμπυλών (Ζαρρή η μωβ καμπύλη), πως οι αποθέσεις στο σημείο αυτό έχουν περίπου την ίδια σύσταση από άποψη μεγέθους κόκκων, με λίγο πιο χονδρόκοκκη αυτή κατά την δική μας πρώτη δειγματοληψία.

Κάτι άλλο που παρατηρήσαμε στην απόθεση σχετικά με μεταβολές συναρτήσει του βάθους είναι πως τα χονδρόκοκκα σωματίδια βρίσκονται κοντά στον πυθμένα αυτού του αγωγού, ενώ τα λεπτόκοκκα σωματίδια βρίσκονται και κοντά στον πυθμένα αλλά και κοντά στην επιφάνεια της απόθεσης. Αυτό είναι λογικό αφού οι ταχύτητες βαθμιαία μειώνονται προς τα κατάντη και καθιζάνουν πρώτα τα πιο βαρεια υλικά. Εξάλλου το πορώδες των χονδρόκοκκων υλικών επιτρέπει την εισχώρηση πιο λεπτόκοκκων σωματιδίων σε πιο μεγάλα βάθη τα οποία δεν μετακινούνται ακόμα και αν οι συρτικές τάσεις ξεπεράσουν την συρτική αντοχή των σωματιδίων αυτών. Αυτό συμβαίνει γιατί αποκτούν την συρτική αντοχή των χονδρόκοκκων σωματιδίων που τα περιβάλλουν με τις μεγαλύτερες διαστάσεις.

Σαν γενικότερο συμπέρασμα για την απόθεση αυτή είναι πως πρόκειται για μία πλήρως στερεοποιημένη απόθεση, που δεν ικανοποιεί σε καμία περίπτωση τις συνθήκες του αυτοκαθαρισμού. Αιτία γι' αυτό είναι η πολύ μικρή κλίση, που έχει ο

αγωγός μικρότερη του 5 m/Km, στα ανάντη του εξεταζομένου σημείου αλλά και στα κατάντη αυτού. Δηλαδή υπάρχει και μία μείωση της κλίσης του αγωγού στα κατάντη αυτού από 0.003 σε 0.0017. Ακόμα η κάθετη στροφή του αγωγού, ο οποίος δεν έχει καν την υποτυπώδη συναρμογή είναι ένας επιπρόσθετος λόγος για την εξήγηση του φαινομένου αυτού, καθώς και η παρουσία παράνομων συνδέσεων, κατά μήκος του αγωγού έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των ποσοτήτων οργανικού υλικού, που ευνοούν την ταχεία δημιουργία συσσωματώσεων μεταξύ των κόκκων του υλικού που αποτίθεται. Τέλος στον αγωγό αυτό υπάρχουν σημάδια διάβρωσης κυρίως στον πυθμένα του αγωγού, καθώς μεγάλα κομμάτια λείπουν απ' αυτόν, κάτι που δείχνει κακό υδραυλικό σχεδιασμό του αγωγού (δεν παρατηρείται ευθυγραμμία στον αγωγό αυτό). Μια άλλη πιθανή αιτία είναι η διάβρωση λόγω του οργανικού φορτίου των αποθέσεων, που δρα με μεγάλη αποτελεσματικότητα στους αγωγούς από σκυρόδεμα.

Προσπαθώντας να κάνουμε μία ανάλυση για τα αίτια που δημιούργησαν την απόθεση αυτή κάνουμε την παραδοχή ότι δεν δημιουργήθηκε κατά την διάρκεια ενός μόνο πλημμυρικού γεγονότος αλλά είναι ένα δυναμικό φαινόμενο που ο σχηματισμός της συνεχίζεται μετά από κάθε βροχόπτωση, ανάλογα με την ένταση και την διάρκεια της. Επειδή δεν έχουμε μετρήσεις της ροής σε κάθε περίπτωση, μελετούμε μία υποθετική ροή με ποσοστό πλήρωσης $y/H = 0.50$. Κάνουμε την υπόθεση ότι η ροή είναι μόνιμη και ομοιόμορφη, άρα ισχύουν οι σχέσεις της ομοιόμορφης ροής και πιο συγκεκριμένα ο τύπος του Manning. Εξαιτίας των παραδοχών οι υπολογισμοί που ακολουθούν δεν διακρίνονται για την ακρίβεια τους αλλά μας δίνουν μια προσέγγιση στις τιμές των μεγεθών .

Η διατομή που διατρέχει κατά μήκος και την Πτολεμαΐδος αλλά και την Πάρνηθος είναι ωοειδής διατομή με διαστάσεις $\Omega = 1.30/1.95 \text{ m}^2$, άρα έχουμε :

$$\text{Εμβαδόν διατομής } E = 4.8 \text{ m}^2$$

$$\text{Βρεχόμενη περίμετρος } \Pi = 8.5 \text{ m}$$

$$\text{Υδραυλική ακτίνα } R = E/\Pi \text{ άρα } R = 0.5647 \text{ m}$$

Αγωγός επί Πτολεμαΐδος :

Κλίση πυθμένα του αγωγού 3 m/Km

Από τον τύπο του Manning : $V_{01} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2}$

Αντικαθιστώντας έχουμε ότι η ταχύτητα ροής με ολική πλήρωση του αγωγού είναι :

$$V_{01} = 2.49 \text{ m/sec}$$

άρα και η παροχή ολικής πλήρωσης που προκύπτει από την σχέση :

$$Q_{01} = V_{01}E$$

άρα είναι

$$Q_{o1} = 11.95 \text{ m}^3/\text{sec}$$

για $y/H = 0.50$ έχουμε :

$$\frac{Q_\Sigma}{Q_o} = 0.43 \Rightarrow Q_\Sigma = 5.13 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\frac{V_1}{V_o} = 0.96 \Rightarrow V_1 = 2.4 \text{ m/sec}$$

ενώ το βάθος ροής είναι $y_1 = 1.625\text{m}$, το $H = 1.30 + 1.95 = 3.25 \text{ m}$

Αγωγός επί Πάρνηθος :

Κλίση πυθμένα του αγωγού 1.7 m/Km

Από τον τύπο του Manning έχουμε $V_{o2} = 1.88 \text{ m/sec}$, άρα η αντίστοιχη παροχή είναι $Q_{o2} = 9.024 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Αν υποθέσουμε ότι έχουμε την ίδια παροχή και στα δύο μέρη του αγωγού τότε θα προσπαθήσουμε να βρούμε το ομοιόμορφο βάθος ροής στο κατάντη τμήμα του αγωγού.

$$\frac{Q_\Sigma}{Q_{o2}} = \frac{5.13}{9.024} = 0.568$$

Άρα από τις καμπύλες ύψους ροής και παροχής έχουμε $y/H = 0.6$ δηλαδή το βάθος ροής κατάντη είναι :

$$y_2 = 1.95 \text{ m}$$

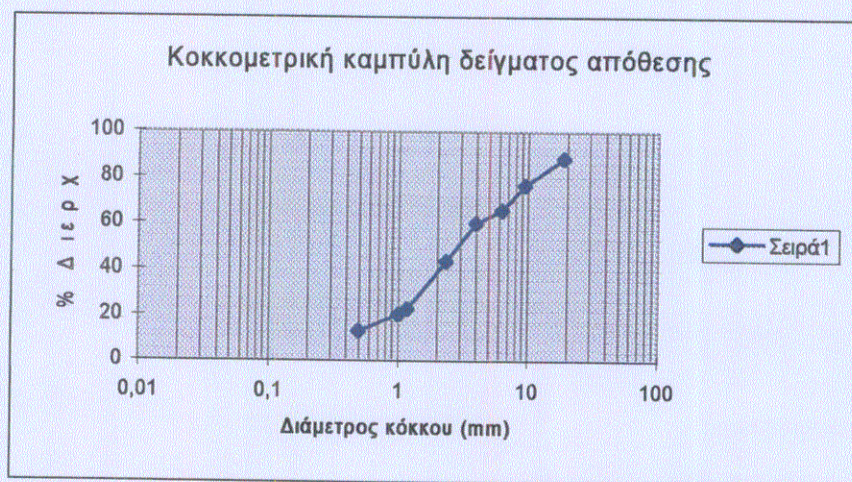
Η ομοιόμορφη ταχύτητα κατάντη υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο και ισούται με $V_2 = 1.92 \text{ m/sec}$.

Υδραυλικά λοιπόν έχουμε μία αύξηση του βάθους ροής από τα κατάντη προς τα ανάντη που από 1.625 μέτρα γίνεται 1.95 μέτρα, δηλαδή μία ποσοστιαία αύξηση του βάθους ροής κατά 20% . Αντίθετα η ταχύτητα ροής μειώνεται από τα ανάντη προς τα κατάντη από 2.4 m/sec , σε 1.92 m/sec δηλαδή έχουμε μια ποσοστιαία μείωση της ταχύτητας κατά 20% . Πλέον λοιπόν είναι προφανές πως δεν βρισκόμαστε σε κατάσταση ομοιόμορφης ροής αλλά έχουμε μια βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή. Η μείωση της ταχύτητας από τα ανάντη προς τα κατάντη είναι η αιτία που δημιουργήθηκαν αποθέσεις μόνο στο ανάντη τμήμα. Κατάντη οι ταχύτητες αυξάνονται και δεν υπάρχουν αποθέσεις.

Οδός Αρτοξίνου και Αμαρίου

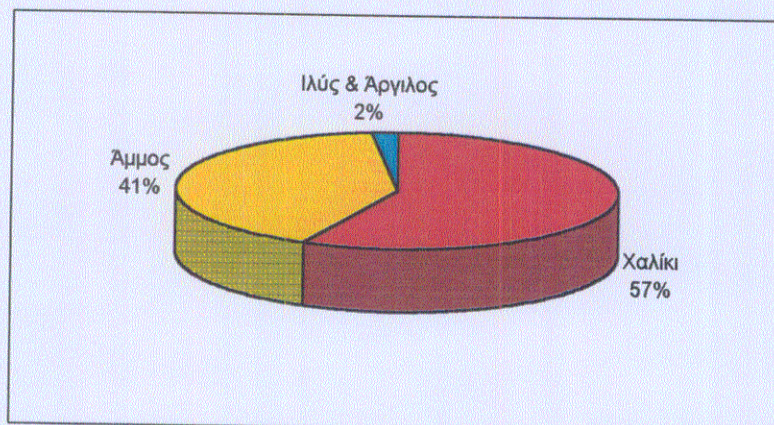
Κατά την πρώτη επίσκεψη στο σημείο αυτό συλλέχθηκαν δύο δείγματα, το ένα από ενδιάμεσο σημείο της απόθεσης και το δεύτερο από την άκρη της απόθεσης, έτσι ώστε να δούμε τις διαφορές που υπάρχουν στο μέγεθος και την σύσταση των υλικών ανάλογα με την θέση στην οποία βρίσκονται στην συνολική απόθεση.

Το δείγμα που συλλέχθηκε από την άκρη της απόθεσης αποτελείται από χονδρόκοκκο υλικό με μέση διάμετρο σωματιδίου $D_{50} = 3.219$ mm. Οι υπόλοιπες χαρακτηριστικές τιμές είναι $D_{90} = 19.98$ mm, και $D_{10} = 0.545$ mm. Η κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος φαίνεται στο διάγραμμα 4.9.



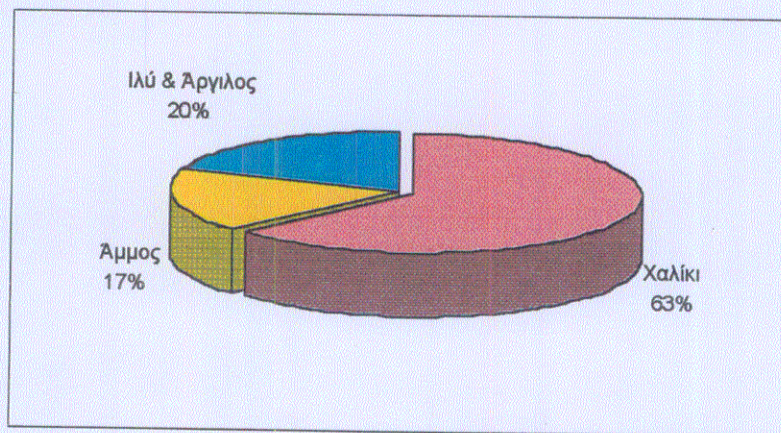
Διάγραμμα 4.9. : Κοκκομετρική Καμπύλη Δείγματος Απόθεσης Αρτοξίνου και Αμαρίου

Στο διάγραμμα 4.10 φαίνεται και η σύσταση της απόθεσης σε χαλίκι, άμμο και ιλύ με άργιλο :



Διάγραμμα 4.10. : Σύσταση Υλικών Απόθεσης Αρτοξίνου και Αμαρίου

Το ενδιάμεσο δείγμα που πάρθηκε είναι χονδρόκοκκο με μέση διάμετρο κόκκου $D_{50} = 4.677$ mm. Οι υπόλοιπες χαρακτηριστικές τιμές των μεγεθών είναι $D_{90} = 35.512$ mm και $D_{10} = 0.545$ mm. Συνεπώς το δείγμα που συλλέχθηκε από την άκρη της απόθεσης δεν είναι τόσο χονδρόκοκκο όσο αυτό που πάρθηκε από ένα ενδιάμεσο, με μία αρκετά σημαντική διαφορά της τάξεως του 1.5 mm, για το μέσο σωματίδιο. Αυτό ίσως να οφείλεται στις συνθήκες τυρβώδους ροής που παρατηρούνται στις αλλαγές διεύθυνσεως του αγωγού αφού έπεται στροφή στο σημείο αυτό. Αυτή έχει σαν συνέπεια να ρίχνει τη μεταφορική ικανότητα των σωματιδίων, δηλαδή υπάρχει απώλεια ενέργειας εξαιτίας των συνεχών στροβιλισμών. Έτσι τα λεπτότερα φερτά που βρίσκονται τότε σε αιώρηση να αποτίθενται. Στο διάγραμμα 4.11 βλέπουμε την σύσταση του ενδιάμεσου αυτού δείγματος :

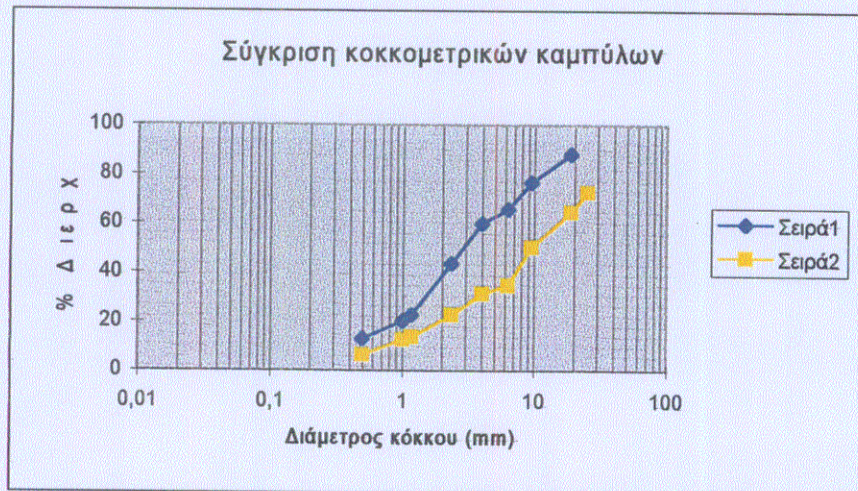


Διάγραμμα 4.11. : *Σύνθεση Υλικών Απόθεσης Αρτοζίνου και Αμαρίου (Ενδιάμεσο)*

Από την σύνθεση φαίνεται ότι στα υλικά που βρίσκονται στην άκρη της απόθεσης το ποσοστό της άμμου έχει υπερδιπλάσια τιμή 41%, σε σχέση με ενδιάμεσο σημείο που το ποσοστό της άμμου είναι 17%. Το ποσοστό ιλύος και αργίλου είναι πολύ μεγαλύτερο για το ενδιάμεσο δείγμα που η τιμή του επί τοις εκατό είναι 20%, ενώ για το ακριανό μείγμα είναι δέκα φορές μικρότερο με επί τοις εκατό τιμή 2%. Το ποσοστό των χαλικιών δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλη διαφορά με μεγαλύτερη την % αναλογία για το ενδιάμεσο υλικό όπως φαίνεται και στα παραπάνω διαγράμματα. Η ύπαρξη ιλύος και αργίλου σε ποσοστό τόσο μεγάλο για το ενδιάμεσο υλικό έχει ως αποτέλεσμα, κάτι που παρατηρήσαμε και στις δύο επισκέψεις μας, το ενδιάμεσο υλικό να είναι πιο στερεοποιημένο από ότι το ακριανό υλικό, και αυτό συμβαίνει γιατί η συσσωμάτωση είναι πιο έντονη για τα πιο λεπτόκοκκα υλικά, προσκολλούνται σε κόκκους άλλων σωματιδίων αυξάνεται το βάρος τους, και κατά συνέπεια και η ταχύτητα καθίζησης τους.

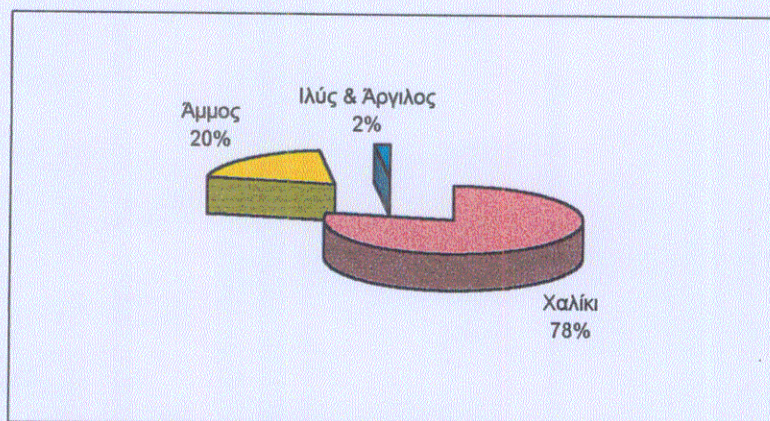
Κατά την δεύτερη μας επίσκεψη παρουσιάστηκε μία μεγάλη απόκλιση στα χαρακτηριστικά της απόθεσης. Το δείγμα αυτό πάρθηκε από ενδιάμεσο σημείο και για αυτό η σύγκριση θα γίνει με το αντίστοιχο δείγμα της πρώτης δειγματοληψίας. Πρόκειται για μία χονδρόκοκκη απόθεση με μέση τιμή της διαμέτρου του σωματιδίου $D_{50} = 10.746$ mm. Οι άλλες χαρακτηριστικές τιμές έχουν ως εξής

$D_{90} = 25,559$ mm, και $D_{10} = 0,805$ mm. Η συγκριτική κοκκομετρική καμπύλη δίνεται στο διάγραμμα 4.12.



Διάγραμμα 4.12. : Συγκριτικές Κοκκομετρικές Καμπύλες Αρτοζίνου και Αμαρίου

Η σύσταση της απόθεσης για το δείγμα από την δεύτερη επίσκεψη στο σημείο αυτό φαίνεται στο διάγραμμα 4.13.



Διάγραμμα 4.13. : Σύνθεση Υλικών Απόθεσης Αρτοζίνου και Αμαρίου

Η διαφορά στα αποτελέσματα μεταξύ των δύο δειγμάτων πρέπει να οφείλεται στο γεγονός ότι το πορώδες των πιο χονδρόκοκκων υλικών, τα οποία καθιζάνουν και πιο εύκολα λόγω του βάρους τους, συγκρατεί λεπτόκοκκα υλικά ή μικρά συσσωματώματα αυτών. Έτσι ακόμα και σε συνθήκες ελάχιστης ροής αυτά μπορεί να απομακρυνθούν, χωρίς αυτό να συμβαίνει και για τα χονδρόκοκκα υλικά, αφού τα τελευταία αναπτύσσουν μεγαλύτερη συρτική αντοχή. Αφού λοιπόν απομακρύνεται πιο εύκολα το λεπτόκοκκο υλικό, μεταβάλλεται η συνολική κατ' αναλογία σύσταση της απόθεσης στο ενδιάμεσο σημείο από το οποίο συλλέχθηκε το δείγμα.

Από υδραυλική άποψη κάνουμε τις παραδοχές που κάναμε και προηγουμένως, ενώ επειδή δεν έχουμε μετρήσεις ροής, εξετάζουμε μια υποθετική ροή με ποσοστό πλήρωσης $y/H = 0.50$.

Έχουμε ωσειδή διατομή με διαστάσεις $\Omega = 0.6/0.8 \text{ m}^2$, έτσι έχουμε :

$$\text{Εμβαδόν διατομής } E = 0.9 \text{ m}^2$$

$$\text{Βρεχόμενη περίμετρος } \Pi = 3.62 \text{ m}$$

$$\text{Υδραυλική ακτίνα } R = E/\Pi \text{ άρα } R = 0.2486 \text{ m}$$

Αγωγός επί της Αρτοξίνου :

Κλίση πυθμένα του αγωγού $i = 0.010$

Από τον τύπο του Manning έχουμε :

$$V_{01} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2}$$

Αντικαθιστώντας έχουμε ότι η ταχύτητα της ροής με ολική πλήρωση του αγωγού είναι $V_{01} = 2.64 \text{ m/sec}$, οπότε και η παροχή ολικής πλήρωσης είναι $Q_{01} = 2.38 \text{ m}^3 / \text{sec}$.

Από τις καμπύλες ύψους ροής παροχής (Κουτσογιάννης 1993), έχουμε για $y/H = 0.50$, όπου $H = 0.6 + 0.8 = 1.4 \text{ m}$.

$$\frac{Q_s}{Q_0} = 0.43 \Rightarrow Q_s = 0.43 * 2.38 = 1.023 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\frac{V_s}{V_0} = 0.96 \Rightarrow V_s = 0.96 * 2.64 = 2.534 \text{ m/sec}$$

ενώ το βάθος ροής $y_t = 0.7 \text{ m}$.

Αγωγός επί της Αμαρίου :

Κλίση πυθμένα του αγωγού 9 m/Km

Από τον τύπο του Manning έχουμε :

$$V_{02} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2} \Rightarrow V_{02} = 2.5 \text{ m/sec},$$

οπότε η αντίστοιχη παροχή πλήρωσης θα είναι $Q_{02} = 2.25 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Εστω ότι έχουμε την ίδια παροχή και στα δύο μέρη του αγωγού τότε ισχύει :

$$\frac{Q_{\Sigma}}{Q_{02}} = \frac{1.023}{2.25} = 0.455$$

οπότε από τις καμπύλες έχουμε $y/H = 0.54$, άρα το βάθος ροής κατάντη είναι $y_2 = 0.756$ m.

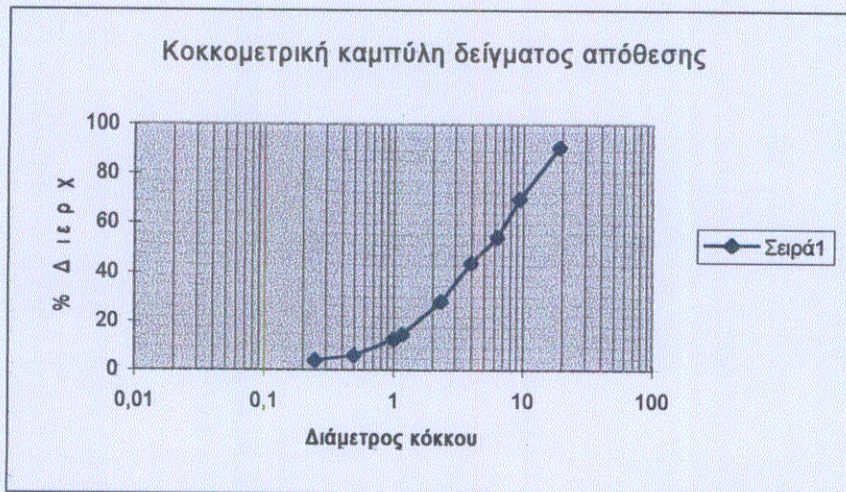
Η ομοιόμορφη ταχύτητα ροής με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και ισούται με $V_2 = 2.48$ m/sec.

Υδραυλικά λουπόν έχουμε μια αύξηση του βάθους ροής από τα ανάντη προς τα κατάντη από 0.7 μέτρα, σε 0.756 μέτρα της τάξεως του 8%, καθώς και μια πολύ μικρή μείωση της ταχύτητας από 2.534 m/sec σε 2.48 m/sec στα κατάντη. Άρα δεν βρισκόμαστε σε κατάσταση της ομοιόμορφης ροής, αλλά έχουμε μια βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή. Εδώ μπορούμε να πούμε πως η ταχύτητα της ροής δεν είναι το κρίσιμο μέγεθος για την δημιουργία των αποθέσεων, και αυτό γιατί η ταχύτητα ροής διατηρείται σχεδόν σταθερή αφού δεν παρουσιάζει αισθητή μεταβολή και παρόλα αυτά παρατηρούνται αποθέσεις μόνο στα ανάντη του επιλεχθέντος σημείου.

Οδός Ιεράπετρας και Αριστομένους

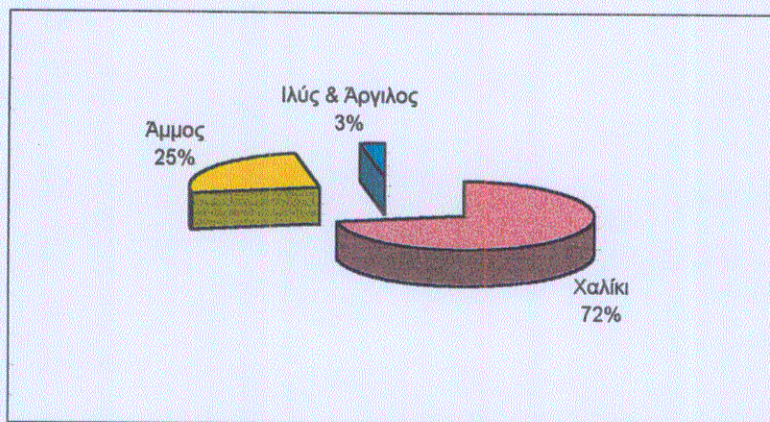
Τα δείγματα κατά την διάρκεια των δύο επισκέψεων συλλέχθηκαν από την άκρη της απόθεσης αφού ήταν αδύνατο να συλλεχθεί δείγμα από ένα ενδιάμεσο σημείο. Κατά την πρώτη δειγματοληψία μετά από εργαστηριακή ανάλυση η απόθεση που βρέθηκε έχει τα εξής χαρακτηριστικά : $D_{50} = 6.27$ mm , $D_{90} = 13.06$ mm και $D_{10} = 0.84$ mm. Άρα πρόκειται για μία χονδρόκοκκη απόθεση, που δημιουργήθηκε εξαιτίας των μικρών διαστάσεων αγωγού που έχει σαν συνέπεια μικρό ενεργό εμβαδόν πυθμένα. Άρα με τις σύγχρονες σχεδιαστικές αντιλήψεις ένας τέτοιος αγωγός ευνοεί την δημιουργία αποθέσεων. Επίσης η μείωση της κλίσης που παρατηρείται από ανάντη προς τα κατάντη, αφού από 0.026 στο ανάντη σημείο γίνεται 0.008 στο κατάντη τμήμα του αγωγού ο οποίος βρίσκεται σε ευθυγραμμία. Άλλος λόγος για την δημιουργία αυτής της απόθεσης, η οποία είναι έντονα στερεοποιημένη, είναι πως το σημείο αυτό βρίσκεται σε κατάντη περιοχή της εξεταζόμενης περιοχής, όχι ιδιαίτερα αστικοποιημένης, αναπτυσσόμενης τα τελευταία χρόνια. Έτσι εξαιτίας της γεωλογικής διάβρωσης, και των διαφόρων κατασκευών δημιουργούνται οι προυποθέσεις για παραγωγή φερτών υλικών με την εισροή τους στο δίκτυο.

Στο διάγραμμα 4.14 βλέπουμε την κοκκομετρική καμπύλη του πρώτου δείγματος από το σημείο που βρίσκεται στην διασταύρωση των οδών Ιεράπετρας και Αριστομένους :



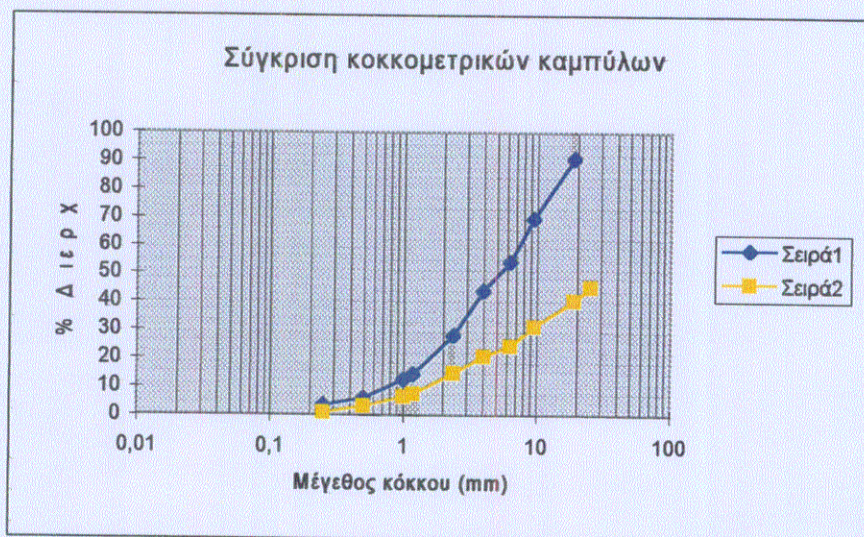
Διάγραμμα 4.14. : Κοκκομετρική Καμπύλη Δείγματος Απόθεσης Ιεράπετρας και Αριστομένων

Στο διάγραμμα 4.15. φαίνεται η σύνθεση της απόθεσης σε χαλίκι, άμμο και ιλύ και άργιλο.



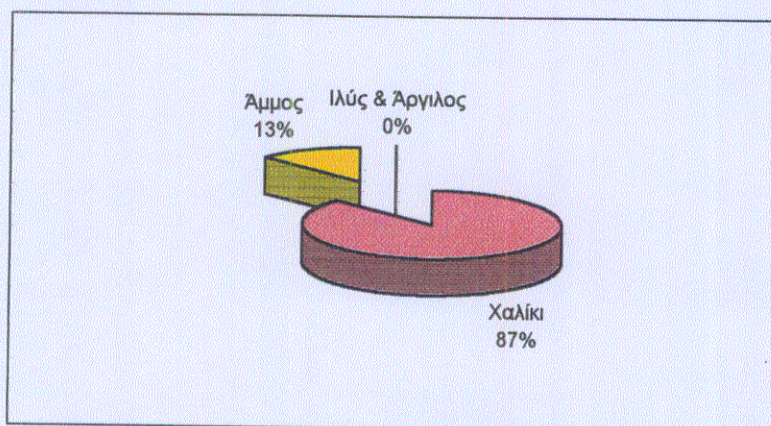
Διάγραμμα 4.15. : Σύνθεση Υλικών Απόθεσης Ιεράπετρας και Αριστομένων

Μετά την ανάλυση του δεύτερου δείγματος τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν παρουσιάζουν καμία λογική εξήγηση της χρονικής συνέχειας, της απόθεσης ιζημάτων στον υπό εξέταση αγωγό, ακόμα και αν μεσολάβησαν πολύ έντονες βροχοπτώσεις. Βρέθηκε μία ανεξήγητη αύξηση της μέσης τιμής της διαμέτρου σωματιδίου από $D_{50} = 6.27 \text{ mm}$ σε $D_{50} = 13 \text{ mm}$. Ακόμα η σύγκριση των κοκκομετρικών καμπύλων δεν παρουσιάζει καμία σχέση η μία με την άλλη όπως φαίνεται και στο παρακάτω συγκριτικό διάγραμμα 4.16.



Διάγραμμα 4.16. : Σύγκριση Κοκκομετρικών Καμπυλών Ιεράπετρας και Αριστομένους

Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα αυτό δεν υπάρχει καμία ομοιότητα, για τα δύο αυτά δείγματα καθώς είναι διαφορετική η σύνθεση της αποθέσεως αυτής από άποψη μεγέθους κόκκου, ενώ απόκλιση υπάρχει και στην σύσταση της απόθεσης σε χαλίκι, άμμο και ιλύ και άργιλο όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.17.



Διάγραμμα 4.17. : Σύσταση Υλικών Απόθεσης Ιεράπετρας και Αριστομένους

Ακολουθούμε τώρα την ίδια διαδικασία όπως προηγουμένως, ενώ θεωρούμε μια πλήρωση του αγωγού $\gamma/H = 0.50$.

Ο αγωγός είναι ωσειδής με $\Omega = 0.6/0.9 \text{ m}^2$, άρα έχουμε :

Εμβαδόν διατομής $E = 1 \text{ m}^2$

Βρεχόμενη περίμετρος $\Pi = 3.9 \text{ m}$

Υδραυλική ακτίνα $R = E/\Pi = 0.2564 \text{ m}$

Ανάτη αγωγός :

Κλίση πυθμένα $i = 0.008$

Από τον τύπο του Manning

$$V_{01} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2} \Rightarrow V_{01} = 2.40657 \text{ m/sec}$$

και η παροχή πλήρωσης είναι

$$Q_{01} = EV_{01} \Rightarrow Q_{01} = 2.40657 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Από τις καμπύλες βάθους ροής-παροχής, για σταθερό συντελεστή τραχύτητας έχουμε :

$$\frac{Q_{\Sigma}}{Q_{01}} = 0.43 \Rightarrow Q_{\Sigma} = 1.035 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\frac{V_1}{V_0} = 0.96 \Rightarrow V_1 = 2.31 \text{ m/sec}$$

Ενώ $y/H = 0.50$ άρα το βάθος ροής $y_1 = 0.75 \text{ m}$

Κατάτη αγωγός :

Υπάρχει μια αύξηση της κλίσης πυθμένα που γίνεται 26 m/Km , ενώ η διατομή παραμένει η ίδια έτσι έχουμε :

$$V_{02} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2} \Rightarrow V_{02} = 4.34 \text{ m/sec}$$

$$Q_{02} = V_{02}E \Rightarrow Q_{02} = 4.34 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Αν υποθέσουμε ότι έχουμε την ίδια παροχή και στα δύο μέρη του αγωγού τότε ισχύει

$$\frac{Q_{\Sigma}}{Q_{02}} = \frac{1.035}{4.34} = 0.24$$

Άρα από καμπύλες ύψους ροής παροχής για ωσειδή αγωγό είναι $y/H = 0.38$ άρα $y_2 = 0.57 \text{ m}$, και $\frac{V_2}{V_{02}} = 0.88 \Rightarrow V_2 = 3.82 \text{ m/sec}$.

Υδραυλικά λοιπόν στο σημείο αυτό έχουμε μια μείωση του βάθους ροής από 0.75 μέτρα σε 0.57 μέτρα, περίπου τις τάξεως του 30% . Ενώ ακόμα υπάρχει μια πολύ μεγάλη αύξηση της ταχύτητας ροής από το ανάτη προς το κατάτη σημείο που από 2.31 γίνεται 3.82 m/sec . Παρά την αύξηση της ταχύτητας έχουμε αποθέσεις μόνο στο

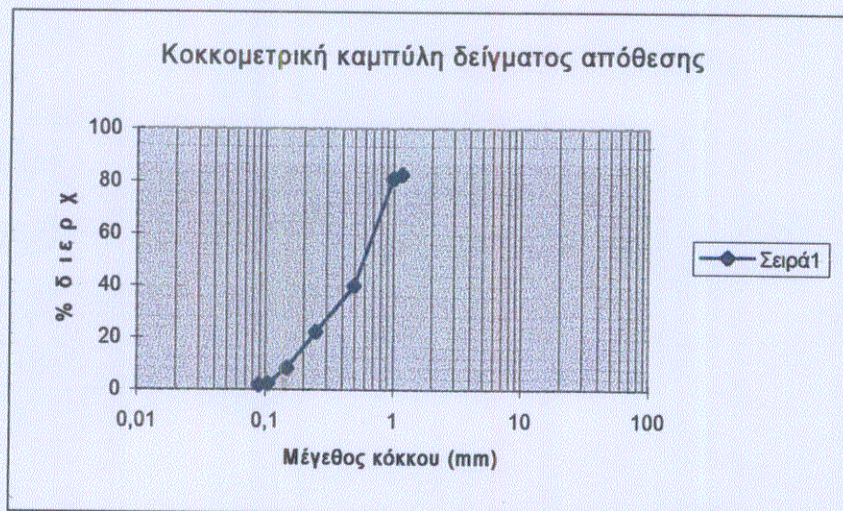
ανάντη αγωγό ενώ ο κατάντη παραμένει καθαρός. Συνεπώς στο σημείο αυτό η ταχύτητα ροής δεν είναι το κρίσιμο μέγεθος, για την δημιουργία των αποθέσεων.

Οδός Λεβέντη και Λεβιδίου

Στο σημείο αυτό θα κάνουμε μία σύγκριση των αποτελεσμάτων διαχρονικά των δειγμάτων των αποθέσεων σε σχέση με την εργασία του Δ. Ζαρρή (1995) καθώς και ανάμεσα στα δείγματα που συλλέχθηκαν από τις επισκέψεις μας. Κρίναμε όμως σκόπιμο να ξεκινήσουμε από μια θεωρητική εξήγηση της κατάστασης που επικρατεί στον αγωγό αυτό, με τα συμπεράσματα που βγήκαν κυρίως κατά την διάρκεια των επισκέψεων μας, από μία πρακτική σκοπιά.

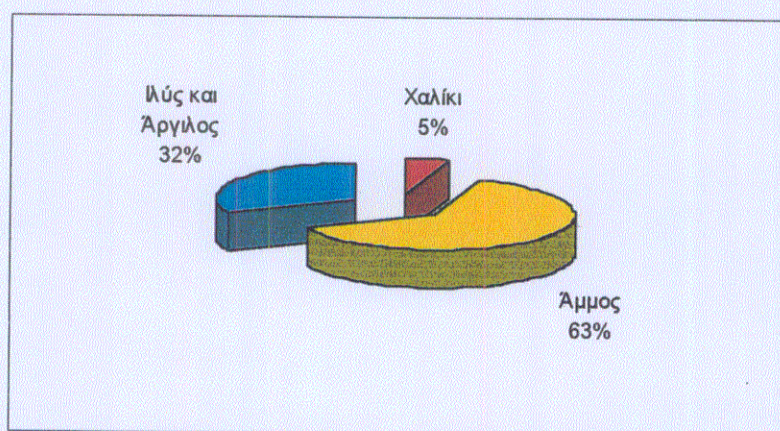
Κατά την επίσκεψη του Δ. Ζαρρή (1995), στον αγωγό αυτό παρατηρήθηκε απόθεση λασπώδους μορφής η οποία αναφέρεται στην διεθνή βιβλιογραφία ως επιφανειακό υγρό στρώμα. Το στρώμα αυτό αποτελείται από πολύ λεπτόκοκκα και οργανικά υλικά. Αυτά δημιουργούν απόθεση μετά το πέρας του πλημμυρικού γεγονότος όταν ελαχιστοποιείται η ταχύτητα ροής. Η μορφή της απόθεσης ήταν ακανόνιστη χωρίς καμιά συγκεκριμένη μορφή επιφάνειας, το βάθος της απόθεσης ήταν γύρω στα 5 με 8 εκατοστά, και το μήκος της απόθεσης ήταν γύρω στα 20 μέτρα. Στην πρώτη μας επίσκεψη (5 Ιουνίου 1997), υπήρχαν υπολείμματα αποθέσεων, στην στροφή αλλά και στα κατάντη του αγωγού μικρής έκτασης σε ορισμένα μόνο σημεία, ενώ δύο μέρες νωρίτερα υπήρξε ένα γεγονός βροχόπτωσης πολύ μικρής έντασης. Αυτό επαληθεύει την υπόθεση της προηγούμενης μελέτης, ότι δηλαδή το επιφανειακό υγρό στρώμα ως συγκεντρωμένο υλικό συνεχίζει να μετακινείται σαν ρεύμα σωματιδίων χωρίς να δημιουργεί απόθεση. Η βροχόπτωση που είχε προηγηθεί μπορεί να ήταν μικρής διάρκειας και έντασης, αλλά ήταν αρκετή να πετύχει σχεδόν την απόπλυση του αγωγού. Στην δεύτερη επίσκεψη η κατάσταση που επικρατούσε στον αγωγό ήταν διαφορετική από άποψη μορφής αφού βρέθηκαν πολύ λεπτόκοκκες αποθέσεις και στα ανάντη αλλά και στα κατάντη του αγωγού, σε ενδιάμεσο μέρος του αγωγού περίπου 5 μέτρα από την στροφή, αλλά λόγω των μικρών διαστάσεων του αγωγού δεν μπορούσαμε να συλλέξουμε δείγμα από αυτές. Έτσι το δείγμα που συλλέχθηκε ήταν από ένα μικρό στρώμα απόθεσης που υπήρχε λίγο πριν την στροφή επί της οδού Λεβέντη. Θα μπορούσαμε να πούμε μετά από όλα αυτά ότι ο αγωγός στην στροφή αυτή λειτουργεί με βάση το κριτήριο του αυτοκαθαρισμού, αφού ενώ κατά την πρώτη επίσκεψη μας υπήρχαν μηδαμινές αποθέσεις. Επίσης παρατηρούμε πως στην δεύτερη επίσκεψη μας, υπήρχε ένα λεπτόκοκκο στρώμα απόθεσης στα ανάντη και στα κατάντη, κάτι που οφείλεται στην μείωση της ταχύτητας ροής που παρατηρείται στο τέλος ενός πλυμμηρικού γεγονότος. Έτσι το συγκεκριμένο στρώμα απόθεσης με μορφή επιφανειακού υγρού στρώματος μένει στον αγωγό αφού δεν έχει την ανάλογη συρτική τάση για να μεταφερθεί. Η απόθεση αυτή μπορούμε να πούμε πως ταιριάζει στο κριτήριο που θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο της διάβρωσης συσσωματώσιμων αποθέσεων. Αυτό αναφέρεται στην συμπαράσυρση σωματιδίων από σχετικά λεπτόκοκκες αποθέσεις και οργανικές αποθέσεις που ενδεχομένως να έχουν αναπτύξει σε κάποιο βαθμό δυνάμεις συσσωμάτωσης.

Η κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος της απόθεσης φαίνεται στο διάγραμμα 4.18.



Διάγραμμα 4.18. : Κοκκομετρική Καμπύλη Δείγματος Απόθεσης Λεβιδίου-Λεβέντη

Ενώ η σύσταση της απόθεσης αυτής σε χαλίκι, άμμο και ίλυ και άργιλο είναι όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.19.



Διάγραμμα 4.19. : Κατηγορίες Υλικών Απόθεσης Λεβιδίου - Λεβέντη

Από την κοκκομετρική καμπύλη του δείγματος, καθώς και από την σύνθεση των υλικών της απόθεσης επιβεβαιώνουμε αυτό που αναφέρθηκε παραπάνω πως πρόκειται για μια λεπτόκοκκη απόθεση, ενώ οι χαρακτηριστικές τιμές του δείγματος αυτού είναι $D_{50} = 0.68 \text{ mm}$, $D_{90} = 1.19 \text{ mm}$ και $D_{10} = 0.16 \text{ mm}$.

Κατά την δεύτερη επίσκεψη, το δείγμα που συλλέχθηκε παρουσίασε τα ίδια χαρακτηριστικά με μικρότερες όμως τιμές του πιο λεπτόκοκκου υλικού κυρίως της άμμου. Αυτό οφείλεται στο οργανικό υλικό το οποίο βρισκόταν στην επιφάνεια της απόθεσης με συνέπεια να παρασυρθεί με την επίδραση συρτικών τάσεων πολύ μικρότερων σε μέγεθος από τις συρτικές τάσεις αντοχής της υπόλοιπης απόθεσης η οποία και παρέμεινε. Επομένως πρέπει οι ενδιάμεσες βροχοπτώσεις να προκάλεσαν

τέτοιες ροές μέσα στον αγωγό που να είχαν συρτικές τάσεις μεγαλύτερες από την συρτική αντοχή των οργανικών επιφανειακών υλικών και να προκάλεσαν την απόπλυση τους. Οι τιμές αυτές των συρτικών τάσεων έχουν μελετηθεί και στην διεθνή βιβλιογραφία και έχουν υπολογισθεί σε περίπου 2.5 N/m^2 (Nalluri and Alvarez), που φαίνεται να ισχύει για την συγκεκριμένη απόθεση. Το υπόλοιπο μέρος της απόθεσης με τις μεγαλύτερες διαστάσεις παρέμεινε. Οι πολύ μικρές παροχές κατά την διάρκεια του καλοκαιριού θα δημιουργήσουν νέο οργανικό επιφανειακό στρώμα και ο κύκλος θα συνεχίζεται.

Να δούμε τώρα από υδραυλική άποψη την αιτία από την οποία δημιουργήθηκαν οι αποθέσεις, κάνοντας τις ίδιες παραδοχές όπως και στα προηγούμενα σημεία και θεωρώντας μια πλήρωση του αγωγού $y/H = 0.60$.

Αγωγός επί Λεβέντη :

Είναι κυκλικής διατομής με διάμετρο 0.70 μέτρα, και κλίση πυθμένα του αγωγού 4 m/Km.

$$\text{Εμβαδόν διατομής } E = 0.384 \text{ m}^2$$

$$\text{Υδραυλική ακτίνα } R = D/4 \text{ άρα } R = 0.175 \text{ m}$$

Από τον τύπο του Manning :

$$V_{01} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2} \Rightarrow V_{01} = 1.32 \text{ m/sec}$$

Και η παροχή ολικής πλήρωσης του αγωγού είναι :

$$Q_{01} = V_{01}E \Rightarrow Q_{01} = 0.51 \text{ m}^3/\text{sec}$$

για $y/D = 0.60$ όπου $D = 0.70 \text{ m}$, έχουμε από τις καμπύλες ύψους ροής και παροχής για κυκλικούς αγωγούς :

$$\frac{V_1}{V_{01}} = 1.07 \Rightarrow V_1 = 1.41 \text{ m/sec}$$

$$\frac{Q_1}{Q_{01}} = 0.67 \Rightarrow Q_1 = 0.342 \text{ m}^3/\text{sec}$$

ενώ το βάθος ροής είναι $y_1 = 0.42 \text{ m}$.

Αγωγός επί Λεβιδίου :

Είναι κυκλικής διατομής με διάμετρο 0.80 μέτρα, και κλίση πυθμένα 4 m/Km.

$$\text{Εμβαδόν πλήρους διατομής } E = 0.502 \text{ m}^2$$

Υδραυλική ακτίνα $R = D/4 = 0.2 \text{ m}$

Ξανά από τον τύπο του Manning έχουμε :

$$V_{02} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2} \Rightarrow V_{02} = 1.44 \text{ m/sec, και}$$

$$Q_{02} = EV_{02} \Rightarrow Q_{02} = 0.72 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Αν υποθέσουμε ότι έχουμε την ίδια παροχή και στα δύο μέρη του αγωγού τότε θα προσπαθήσουμε να βρούμε το ομοιόμορφο βάθος ροής στο κατάντη τμήμα του αγωγού, έτσι έχουμε :

$$\frac{Q_2}{Q_{02}} = 0.473 \Rightarrow \frac{y_2}{D} = 0.48 \Rightarrow y_2 = 0.384 \text{ m}$$

Η ομοιόμορφη ταχύτητα κατάντη με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται και είναι $V_2 = 1.40 \text{ m/sec}$.

Από την παραπάνω ανάλυση διαπιστώνουμε μία μείωση του βάθους ροής από το ανάντη προς το κατάντη τμήμα. Αυτή δημιουργεί αυτό το πρόβλημα με τις αποθέσεις, οι οποίες δεν είναι ιδιαίτερα έντονες στο σημείο αυτό διότι ο αγωγός αυτοκαθαρίζεται.

4.4. Γενικά συμπεράσματα

Μετά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων μπορούμε να πούμε πως η στερεομεταφορά στο δίκτυο ομβρίων είναι πολύ πολύπλοκο φαινόμενο και έτσι δεν μπορούν εύκολα να εξακριβωθούν τα αίτια που οδηγούν στην δημιουργία των φερτών υλικών. Όπως είδαμε ούτε η κλίση πυθμένα του αγωγού αλλά ούτε και η ταχύτητα ροής δεν είναι το κρίσιμο υδραυλικό μέγεθος που οδηγεί στην δημιουργία των αποθέσεων. Εκτιμάται ότι ούτε η συρτική τάση μπορεί να εξηγήσει την ύπαρξη ή όχι αποθέσεων στα συγκεκριμένα σημεία που εξετάστηκαν. Κατά συνέπεια, φαίνεται ότι στην δημιουργία και διατήρηση ή όχι των αποθέσεων παίζει σημαντικό ρόλο το τρισδιάστατο πεδίο ροής μέσα στον αγωγό, το οποίο όμως δεν είναι δυνατό να περιγραφεί μαθηματικά με ακριβή τρόπο. Έτσι, οι παρατηρήσεις που κάναμε συνηγορούν στο γεγονός ότι αβεβαιότητα γύρω από τα θέματα φερτών υλικών στους αγωγούς αποχέτευσης είναι πολύ μεγάλη.

Κατά την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων φάνηκαν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των δειγμάτων διαφορετικών σημείων, αν και τα δείγματα προέρχονται από την ίδια υπολεκάνη απορροής. Ακόμα σε δείγματα φερτών που συλλέχθηκαν από την ίδια απόθεση αλλά από διαφορετικό μέρος αυτής, συχνά παρουσιάστηκε μια μεγάλη απόκλιση στην κοκκομετρική ανάλυση.

Γενικότερα όμως οι αποθέσεις που είδαμε, εκτός από αυτή που υπάρχει στην διασταύρωση των οδών Λεβέντη και Λεβιδίου, ήταν έντονα στερεοποιημένες, και η απομάκρυνση τους είναι δυνατόν να γίνει μόνο με μηχανικά μέσα, όπως θα περιγράψουμε στο επόμενο κεφάλαιο. Σε πολλές από αυτές, ακόμα και αν επιτευχθεί

ο καθαρισμός τους, παρουσιάζεται έντονα η τάση, λόγω των χαρακτηριστικών των αγωγών αυτών να ξαναδημιουργηθούν αποθέσεις (χαμηλές κλίσεις, άσχημη κατασκευή κ.τ.λ).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας μας, φαίνεται να υπάρχει μεγάλη πιθανότητα δημιουργίας αποθέσεων στις εξής θέσεις / συνθήκες :

1. Σε χαμηλές κλίσεις πυθμένα (μικρότερες των 4 m/Km).
2. Σε θέσεις που παρατηρείται μείωση της κλίσης από το ανάντη προς το κατόντη τμήμα.
3. Σε περιπτώσεις κακής κατασκευής και μεγάλης ηλικίας των αγωγών.
4. Σε περιπτώσεις κακής λειτουργίας ή απουσίας αμμοσυλλεκτών στα φρεάτια υδροσυλλογής.
5. Σε περιπτώσεις ύπαρξης παράνομων συνδέσεων
6. Όταν η κλίση του πυθμένα είναι αντίθετη στην ροή (λόγω διαφορικής καθίζησης του αγωγού με πολύ μικρή κλίση πυθμένα).
7. Σε αγωγούς μικρής διατομής που συνδυάζονται με μικρές ταχύτητες ροής.
8. Σε περιπτώσεις που υπάρχουν στοιβαγμένα υπολείμματα υλικών μετά το τέλος της κατασκευής.

Σχετικά με το είδος των αποθέσεων, δηλαδή την σύστασή τους, στις θέσεις που εξετάσαμε παρατηρούνται δύο είδη αποθέσεων.

• **Χονδρόκοκκες αποθέσεις** : Βρέθηκαν σχεδόν σε όλες τις θέσεις που επισκεφθήκαμε (εκτός της θέσης Λεβέντη και Λεβιδίου). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης είχαν μεγάλη μέση διάμετρο κόκκου. Είναι δύσκολο να απομακρυνθούν με το μηχανισμό αυτοκαθαρισμού. Βρέθηκαν σε αγωγούς ανεξαρτήτως του μεγέθους αυτών.

• **Λεπτόκοκκες αποθέσεις** : βρέθηκαν μόνο στην διασταύρωση των οδών Λεβέντη και Λεβιδίου, και έχουν την τάση να καθαριστούν μόνες τους, χωρίς την βοήθεια μηχανικών μέσων.

Στον πίνακα 4.2. παραθέτουμε τα κοκκομετρικά χαρακτηριστικά των αποθέσεων συγκεντρωτικά.

Πίνακας 4.2. : Συνοπτική παρουσίαση κοκκομετρικών μεγεθών αποθέσεων

| Αποθέσεις | Κοκκομετρία (χιλ) | | |
|---------------------------|----------------------|----------|----------|
| | D_{10} | D_{50} | D_{90} |
| Πτολεμαίδος & Πάρνηθος | 0,63 | 4,79 | 36,5 |
| Φιλικών & Αντιφάνους | 0,469 | 2,908 | 19,286 |
| Αρτοξίνου & Αμαρίου (1) | 0,545 | 3,219 | 19,98 |
| Αρτοξίνου & Αμαρίου (2) | 0,805 | 10,746 | 19,98 |
| Ιεράπετρας & Αριστομένους | 0,84 | 6,27 | 13,06 |
| Λεβέντη & Λεβιδίου | 0,16 | 0,68 | 1,19 |

4.5. Επίσκεψη στο παντοροϊκό δίκτυο του Πειραιά

Παντοροϊκό δίκτυο συναντάται στα παλαιότερα τμήματα των δικτύων αποχέτευσης της Αθήνας και του Πειραιά. Αυτός ο τύπος δικτύου επικρατεί σχεδόν χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης, όπου ο υγρός καιρός και κατά την περίοδο του καλοκαιριού επιτρέπει την σχεδόν διαρκή αραιώση των οικιακών αποβλήτων και απαγορεύει την ανάδυση οσμών από τα φρεάτια υδροσυλλογής.

Επιλέχθηκε το παντοροϊκό δίκτυο του Πειραιά, με κριτήριο τις πολύ χαμηλές κλίσεις που εμφανίζονται στο δίκτυο αυτό, καθώς και λόγω της υπερσυσώρευσης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που παρουσιάζονται σ' αυτή την περιοχή. Η επίσκεψη πραγματοποιήθηκε την Πέμπτη 19 Ιουνίου 1997. Η επιλογή των σημείων έγινε με κριτήριο την ευχέρεια επίσκεψης δυσμενών σημείων και την υπάρχουσα εμπειρία (ΕΥΔΑΠ). Έτσι τα σημεία μας τα υπέδειξαν οι αρμόδιοι της ΕΥΔΑΠ που ήξεραν πως σε αυτά υπάρχει πρόβλημα φερτών υλικών. Πράγματι στα τέσσερα σημεία από τα επτά που επισκεφθήκαμε βρήκαμε αποθέσεις. Όμως δεν κατέστη δυνατό για πρακτικούς λόγους να γίνει περαιτέρω ανάλυση αυτών για να εξαχθούν συμπεράσματα. Θα αρκεστούμε λοιπόν σε μία απλή περιγραφή της κάθε θέσης.

Το παντοροϊκό δίκτυο του Πειραιά κατασκευάστηκε γύρω στο 1920 έως και 1930. Τα φρεάτια επίσκεψης ήταν κατασκευασμένα κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών και δεν υπήρχαν βαθμίδες σε αυτά. Γι' αυτό το λόγο αλλά και εξαιτίας του μικρού μεγέθους των αγωγών, καθώς και της έλλειψης εξοπλισμού, η επίσκεψη μέσα στους αγωγούς ήταν αδύνατη. Έτσι τα δείγματα πάρθηκαν με ειδική κατασκευή πάνω από το φρεάτιο επίσκεψης, αφού οι αγωγοί δεν βρίσκονταν σε μεγάλο βάθος. Ακόμα έγινε λήψη φωτογραφιών και slides. Η αναλυτική παρουσίαση των σημείων έχει ως εξής :

Οδός Κωνσταντινουπόλεως (μεταξύ των οδών Ρετσίνας και Άλων) : Ο αγωγός που διατρέχει κατά μήκος την Κωνσταντινουπόλεως έχει ωσειδή διατομή με διαστάσεις $\Omega = 1.2 / 1.15 \text{ m}^2$, η κλίση του πυθμένα ανάντη του φρεατίου επίσκεψης είναι $i = 0.006$, ενώ κατόντη του φρεατίου επίσκεψης η κλίση του πυθμένα είναι $i = 0.0019$. Παρατηρούμε λοιπόν μια μεγάλη μείωση από τα ανάντη στα κατόντη του αγωγού αυτού, που δημιουργεί την υποψία για ύπαρξη αποθέσεων. Στον αγωγό

υπήρχαν στάσιμα νερά, και μέσα από αυτά στον πυθμένα του αγωγού συλλέχθηκε δείγμα φερτών υλικών.

Ας κάνουμε τις παραδοχές που έγιναν στους αγωγούς ομβρίων, και θεωρώντας μια υποθετική ροή με ποσοστό πλήρωσης $y/H = 0.50$ m.

Έχουμε στο σημείο αυτό ωοειδή διατομή με διαστάσεις $\Omega = 1.2 / 1.15 \text{ m}^2$ και ισχύει.

$$\text{Εμβαδόν διατομής } E = 2.48 \text{ m}^2$$

$$\text{Βρεχόμενη περίμετρος } \Pi = 6 \text{ m}$$

$$\text{Υδραυλική ακτίνα } R = E/\Pi = 0.41 \text{ m}$$

Ανάντη αγωγός :

Κλίση πυθμένα 6 m/Km

Από τον τύπο του Manning

$$V_{01} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2} \Rightarrow V_{01} = 2.85 \text{ m/sec}$$

$$Q_{01} = V_{01}E \Rightarrow Q_{01} = 7.07 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Από τις καμπύλες βάθους ροής - παροχής προκύπτει :

$$\frac{Q_{\Sigma}}{Q_{01}} = 0.43 \Rightarrow Q_{\Sigma} = 3.04 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\frac{V_1}{V_{01}} = 0.96 \Rightarrow V_1 = 2.74 \text{ m/sec}$$

Το βάθος ροής για $y/H = 0.50$ είναι $y_1 = 1.175$, με $H = 1.2 + 1.15 = 2.35$ m.

Κατάντη αγωγός:

Κλίση πυθμένα 1.9 m/Km

Ξανά από τον τύπο του Manning

$$V_{02} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2} \Rightarrow V_{02} = 1.6 \text{ m/sec}$$

$$Q_{02} = V_{02}E \Rightarrow Q_{02} = 3.98 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Με την υπόθεση ότι η παροχή είναι ίδια και στα δύο μέρη του αγωγού θα προσπαθήσουμε να βρούμε το ομοιόμορφο βάθος ροής στο κατάντη τμήμα του αγωγού.

$$\frac{Q_z}{Q_{0z}} = \frac{3.04}{3.98} = 0.764, \text{ οπότε από τις καμπύλες ύψους ροής - παροχής έχουμε :}$$

$$y/H = 0.75 \Rightarrow y_2 = 1.76 \text{ m και}$$

$$\frac{V_2}{V_{0z}} = 1.05 \Rightarrow V_2 = 1.68 \text{ m/sec}$$

Επομένως υδραυλικά έχουμε μια μεγάλη αύξηση του βάθους ροής από ανάντη σε κατάντη που από 1.175 m, γίνεται 1.76 m, δηλαδή μια ποσοστιαία αύξηση του βάθους ροής της τάξης του 50%. Αντίθετα η ταχύτητα ροής μειώνεται από τα ανάντη προς τα κατάντη και γίνεται από 2.74 σε 1.68 m/sec, δηλαδή παρουσιάζει μια μείωση της ταχύτητας ροής κατά 55% περίπου. Είναι προφανές ότι δεν βρισκόμαστε πλέον στην περιοχή της ομοιόμορφης ροής, αλλά έχουμε μια μεταβαλλόμενη ροή. Η μεγάλη αύξηση του βάθους ροής με ταυτόχρονη μείωση της ταχύτητας ροής είναι οι αιτίες για την δημιουργία των αποθέσεων στο σημείο αυτό.

Οδός Λουδοβίκου (μεταξύ Ναυαρίνου και ακτής Ποσειδώνος) : Ο αγωγός αυτός διατρέχει κατά μήκος την οδό Λουδοβίκου, και έχει κυκλική διατομή με διάμετρο $D = 0.5 \text{ m}$, και κατά μήκος κλίση πυθμένα $i = 0.001$. Ο αγωγός ήταν γεμάτος ακάθαρτο νερό και από τον πυθμένα αυτού συλλέχθηκε δείγμα φερτών υλικών, Η ύπαρξη φερτών δικαιολογείται από τη μικρή κλίση, και διάμετρο, που παρατηρούνται σε αυτό τον αγωγό (όπως είναι γνωστό συνθήκες αυτές ευνοούν τον σχηματισμό αποθέσεων).

Οδός Καποδιστρίου και Ναυαρίνου : Στο σημείο αυτό δεν βρέθηκαν στοιχεία από τους χάρτες του κατασκευασμένου δικτύου της ΕΥΔΑΠ. Πρόκειται για παλαιό δημοτικό δίκτυο, κατασκευασμένο για τις ανάγκες αποχέτευσης στις αρχές του αιώνα που όμως μέχρι και σήμερα χρησιμοποιείται. Λόγω της παλαιότητας ευνοούνται οι αποθέσεις φερτών υλών, και έτσι στο σημείο αυτό βρέθηκαν φερτά και συλλέχθηκε δείγμα από τον πυθμένα του αγωγού (υπήρχαν και στάσιμα νερά).

Οδός Μεραρχίας και Ακτής Μιαούλη : Πρόκειται για αγωγό κυκλικής διατομής με διάμετρο $D = 0.50 \text{ m}$, και κατά μήκος κλίση $i = 0.002$ κοινή στα ανάντη και στα κατάντη του φρεατίου επίσκεψης. Δεν βρέθηκε απόθεση παρά μόνο μία συνεχής ροή ακάθαρτου νερού.

Παραπλήσιος με τον αγωγό επί των οδών Μεραρχίας και Ακτής Μιαούλη : Στοιχεία για τον αγωγό αυτό δεν βρέθηκαν από τους χάρτες του κατασκευασμένου δικτύου της ΕΥΔΑΠ. Απόθεση δεν βρέθηκε παρά μόνο ροή ακάθαρτου νερού.

Οδός Μιαούλη (Μεταξύ Μεραρχίας και Μπουμπουλίνας) : Ο αγωγός είναι κυκλικής διατομής με διάμετρο $D = 0.20 \text{ m}$, ανάντη του φρεατίου επίσκεψης και διάμετρο $D = 0.25 \text{ m}$, στα κατάντη του φρεατίου επίσκεψης. Η κατά μήκος κλίση του πυθμένα του αγωγού δεν παρουσιάζει μεταβολή και ισούται με $i = 0.005$. Στο σημείο

αυτό παρατηρήσαμε την παρουσία στερεών έντονα οργανικών συσσωματώσεων που κινούνται πάνω στο επιφανειακό στρώμα του νερού που διατρέχει τον αγωγό.

Κάνουμε τις ίδιες παραδοχές όπως στα προηγούμενα σημεία, ενώ θεωρούμε μια πλήρωση του αγωγού $y/D = 0.60$.

Ανάντη αγωγός :

Αγωγός κυκλικής διατομής, με διάμετρο $D = 0.20$ m.

Κλίση πυθμένα 5 m/Km.

Εμβαδόν πλήρους διατομής $E = 0.03$ m²

Υδραυλική ακτίνα $R = D/4 = 0.05$ m.

Από τον τύπο του Manning, αφού θεωρήσαμε την ροή μόνιμη και ομοιόμορφη έχουμε :

$$V_{01} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2} \Rightarrow V_{01} = 0.64 \text{ m/sec}$$

$$Q_{01} = V_{01}E \Rightarrow Q_{01} = 0.0192 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Για $y/D = 0,60$

$$y_1 = 0.12 \text{ m}$$

οπότε από τις καμπύλες ύψους ροής - παροχής για κυκλικούς αγωγούς έχουμε :

$$\frac{V_1}{V_{01}} = 1.07 \Rightarrow V_1 = 0.6848 \text{ m/sec}$$

$$\frac{Q_1}{Q_{01}} = 0.67 \Rightarrow Q_1 = 0.013 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Κατάντη αγωγός :

Κυκλικής διατομής με διάμετρο $D = 0.25$ m.

Κλίση πυθμένα του αγωγού αυτού 5 m/Km.

Εμβαδόν πλήρους διατομής $E = 0.05$ m²

Υδραυλική ακτίνα $R = D/4 = 0.0625$ m

$$V_{02} = (1/n)R^{2/3}J^{1/2} \Rightarrow V_{02} = 0.74 \text{ m/sec}$$

$$Q_{02} = V_{02}E = 0.037 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{οπότε } \frac{Q_2}{Q_{02}} = 0.35 \Rightarrow \frac{y_2}{D} = 0.40 \Rightarrow y_2 = 0.1 \text{ m}$$

$$\frac{V_2}{V_{02}} = 0.9 \Rightarrow V_2 = 0.67 \text{ m/sec}$$

Από την ανάλυση διαπιστώνουμε ότι έχουμε μια μείωση του βάθους ροής προς τα κατάντη που από 0.12 γίνεται 0.1 μέτρα, (ποσοστιαία μείωση 20%). Η ταχύτητα ροής παρουσιάζει μια ανεπαίσθητη μείωση προς τα κατάντη.

Οδός Φλέσσα : Ο αγωγός που διατρέχει κατά μήκος των οδών Φλέσσα είναι ωοειδούς διατομής $\Omega = 0.6 / 0.9 \text{ m}^2$, και η κατά μήκος κλίση του πυθμένα του είναι $i = 0.0312$. Εξαιτίας της μεγάλης κατά μήκος κλίσεως στον αγωγό αυτό δεν παρατηρήθηκαν αποθέσεις παρά μόνο μικρή ροή νερού.

4.6. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την επίσκεψη μας στα σημεία αυτά είναι :

1. Λόγω των μικρών κλίσεων που παρατηρούνται στους αγωγούς αυτούς καθώς και εξαιτίας των μικρών διαμέτρων τους, παρουσιάζουν τάση για δημιουργία αποθέσεων.
2. Η παλαιότητα του δικτύου επιβαρύνει ακόμα περισσότερο το γεγονός αυτό. Εξαιτίας της γήρανσης αυτής του δικτύου και των υλικών που μεταφέρουν οι αγωγοί θα υπάρχει διάβρωση των τοιχωμάτων των αγωγών, καθώς και διαφορικές καθιζήσεις αυτών.

4.7. Υπερχειλιστές (Εκτροπές)

Οι υπερχειλιστές είναι εγκαταστάσεις, οι οποίες όταν η παροχή ξεπεράσει κάποιο όριο σε έναν αγωγό, την κατανέμουν με την βοήθεια κατάλληλων τεχνικών έργων σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Με αυτό τον τρόπο ανακουφίζουν έναν αγωγό, έτσι ώστε να μην αστοχήσει. Τέτοιες εγκαταστάσεις είναι υπερχειλιστές ομβρίων, τα έργα διακλαδώσεων και οι υπερχειλιστές για έκτακτα περιστατικά.

Η πιο συνηθισμένη κατηγορία είναι οι υπερχειλιστές ομβρίων. Αυτοί έχουν σαν σκοπό να ανακουφίζουν τους κατάντη αγωγούς ενός παντοροϊκού συστήματος, διοχετεύοντας την επιπλέον παροχή κατευθείαν στον τελικό αποδέκτη. Η παροχή αυτή συνήθως, προέρχεται από τα νερά των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων.

Στη μελέτη μας αυτή, η αιτία ύπαρξης των υπερχειλιστών (εκτροπές σύμφωνα με τους μηχανικούς της ΕΥΔΑΠ), είναι η προστασία από την μόλυνση του Κηφισού, καθώς και της θάλασσας όπου εκβάλλει αυτός κυρίως τους μήνες κατά τους οποίους

δεν υπάρχει έντονη ροή. Τότε με την βοήθεια των υπερχειλιστών η μικρή ροή του Κηφισού καταλήγει στον Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (Κ.Α.Α). Όταν έχουμε αύξηση της ροής (ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες από βροχοπτώσεις), για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αστοχίας του Κ.Α.Α με την βοήθεια μηχανικών μέσων, όπως περιγράφονται παρακάτω, τα νερά θα συνεχίσουν την κανονική πορεία τους μέχρι τις εκβολές του Κηφισού στην θάλασσα. Μάλιστα, ο σωστότερος όρος για τα παραπάνω έργα είναι εκτροπές και όχι υπερχειλιστές. Διότι ο κύριος στόχος των υπερχειλιστών είναι να διοχετεύουν ένα μέρος της παροχής ενός αγωγού κατευθείαν στον αποδέκτη, για να μην αστοχήσει ο αγωγός. Ενώ οι εκτροπές της μελέτης μας επιβαρύνουν έναν αγωγό (Κ.Α.Α), με ελάχιστη παροχή ανάλογα με το μέγεθος του και την παροχή του. Μόνο όταν έχουμε έντονες βροχοπτώσεις δηλαδή, μεγάλη αύξηση της ροής στον Κηφισό δεν έχουμε καμία επιβάρυνση του Κ.Α.Α. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι, η αρχή λειτουργίας υπερχειλιστών και εκτροπών είναι κάπως διαφορετική. Όμως και οι δύο επιτυγχάνουν αλλαγή κατεύθυνσης της ροής, και έχουν τελικά τον ίδιο σκοπό : να μην επιβαρυνθεί ένας αγωγός πολύ και αστοχήσει. Δηλαδή, από πρακτικής πλευράς δεν έχουν απολύτως καμία διαφορά. Άρα θεωρούμε ότι, οι εκτροπές ανήκουν μαζί με τους υπερχειλιστές στην ίδια κατηγορία ανακουφιστικών έργων.

Αναλυτικότερα ας εξετάσουμε τώρα με πιο τρόπο βοηθούν οι υπερχειλιστές στην ελαχιστοποίηση των αποθέσεων αντικείμενο που μας ενδιαφέρει πιο άμεσα, έκτος από την ρύπανση του Κηφισού. Ουσιαστικά ο σκοπός των υπερχειλιστών είναι διπλός. Αφενός, οι υπερχειλιστές βοηθάνε στην διόδευση των απορροών της ξηρής περιόδου στον Κ.Α.Α για περαιτέρω επεξεργασία και βιολογικό καθαρισμό στην Ψυτάλλεια. Μην ξεχνάμε ότι, οι θερινές παροχές είναι ρυπασμένες σε πολύ μεγάλο βαθμό. Εξάλλου οι μικρές ροές εξαιτίας των αποθέσεων και της βλάστησης που υπάρχει στον πυθμένα του Κηφισού δεν θα κατάφερναν ποτέ να φτάσουν μέχρι τις εκβολές του Κηφισού, δημιουργώντας στάσιμα νερά και αφήνοντας όλο το ρυπογόνο φορτίο τους στον Κηφισό. Αφετέρου, οι υπερχειλιστές βοηθάνε στην μεταφορά των λεπτόκοκκων, κατά βάση οργανικών, φερτών υλικών στον Κ.Α.Α. Αυτό συμβαίνει κυρίως για δύο λόγους :

1. Λόγω της οργανικής του σύστασης του φορτίου, αποτελούν σημαντικούς φορείς ρύπανσης και επομένως πρέπει να απομακρυνθούν, γιατί αλλιώς θα δημιουργήσουν περιβαντολλογικά προβλήματα και στους υδάτινους αποδέκτες.
2. Πιθανή απόθεση των συγκεντρωμένων φερτών υλικών, θα επιτρέψει την ανάπτυξη υδρόβιας βλάστησης, η οποία θα δημιουργήσει προβλήματα στην παροχευτικότητα του Κηφισού. Διότι με αυτό τον τρόπο θα έχουμε αύξηση τραχύτητας του πυθμένα του αγωγού, κατά συνέπεια μείωση της ταχύτητας. Σαν αποτέλεσμα θα είναι η αδυναμία μεταφοράς των μικρών ρυπογόνων ροών κατά τους θερινούς μήνες.

Ανακεφαλαιώνοντας, οι υπερχειλιστές διοχετεύοντας τις μικρές ροές, κατά τους θερινούς κυρίως μήνες, στον Κ.Α.Α ελαχιστοποιούν την ύπαρξη αποθέσεων στον Κηφισό. Αυτό έχει σαν συνέπεια την προστασία του Κηφισού από την ρύπανση. Αλλά τους χειμερινούς μήνες, εξαιτίας των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων οι ροές είναι ικανοποιητικές ώστε να μεταφέρουν μεγάλο μέρος των φερτών υλικών στην θάλασσα. Εξάλλου τότε, οι ροές δεν είναι ιδιαίτερα ρυπογόνες, λόγω αραιώσης των λυμάτων από το νερό των κατακρημνίσεων.

Παρακάτω θα γίνει μία παρουσίαση δύο υπερχειλιστών που επισκεφθήκαμε, καθώς και μια περιγραφή του τρόπου λειτουργίας τους.

Εκτροπή επί Κηφισού και Αγίας Άννης : Όταν δεν υπάρχει μεγάλη ροή στον Κηφισό ποταμό, τότε το θυρόφραγμα που υπάρχει στην βάση της παρειάς της όχθης του Κηφισού, με χειρωνακτικό τρόπο ανοίγει και τα νερά με την βοήθεια ενός αυλακιού που είναι κάθετο στην ροή του Κηφισού και ακριβώς μπροστά στο θυρόφραγμα, κατευθύνονται προς τον Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό, που περνά περίπου κάθετα στον Κηφισό ποταμό και η στάθμη του είναι χαμηλότερα από αυτών. Αν υπάρχει όμως πλημμυρικό γεγονός τότε το θυρόφραγμα κλείνεται γιατί υπάρχει μεγάλος κίνδυνος αστοχίας του Κ.Α.Α. Αξίζει να σημειωθεί ότι έχουμε συγκέντρωση φερτών υλικών (καθώς και απορριμμάτων), και στο στόμιο του θυροφράγματος. Έτσι χρειάζεται περιοδικά να γίνεται έλεγχος στον υπερχειλιστή για χειρωνακτικό καθαρισμό του από υπαλλήλους της ΕΥΔΑΠ. Άποψη της εκτροπής αυτής φαίνεται στην φωτογραφία 4.9.



Φωτογραφία 4.9. : Άποψη της εκτροπής επί Κηφισού και Αγίας Άννης

Εκτροπή του Προφήτη Δανιήλ : Το υδατόρεμα του Προφήτη Δανιήλ βρίσκεται περίπου παράλληλα στον Κηφισό ποταμό, και λίγο πιο κατάντη από την εκτροπή αυτή ενώνεται με αυτόν. Η αρχή της λειτουργίας του είναι ίδια με την προηγούμενη εκτροπή, μόνο που διαφέρει στον τρόπο κατασκευής. Όπως φαίνεται στην φωτογραφία 4.10 ένας τσιμεντότοιχος κλείνει κάθετα στο υδατόρεμα και παροχετεύει την ροή όταν αυτή είναι μικρή σε δύο δίδυμους αγωγούς όπως φαίνεται στη φωτογραφία 4.10 . Και εδώ χρειάζεται περιοδικό έλεγχο εξαιτίας κατακράτησης φερτών υλικών στο αυλάκι που οδηγεί στους δίδυμους αγωγούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι στο υδατόρεμα του Προφήτη Δανιήλ θα πρέπει να υπάρχει πρόβλημα με τις χονδρόκοκκες αποθέσεις που θα παρασύρονται δύσκολα ακόμα και σε συνθήκες αυξημένης ροής. Έτσι όταν κλείνουμε το στόμιο των διδύμων αγωγών, όταν έχουμε αυξημένες παροχές, τότε κλείνουμε ένα μικρό θυρόφραγμα που φαίνεται στο βάθος

της φωτογραφίας 4.10, αριστερά του τσιμεντότοιχου. Τότε αυτός, με την βοήθεια του θυροφράγματος λειτουργεί σαν αναβαθμός και κατακρατεί τις χονδρόκοκκες αποθέσεις, ώστε να ακολουθήσει μετά το τέλος της έντονης ροής χειρονακτικός καθαρισμός τους.



Φωτογραφία 4.10: Άποψη της εκτροπής στον Προφήτη Δανιήλ

5. ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΠΟΝΟΜΩΝ

5.1. Γενικές εισαγωγικές έννοιες

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται οι διεθνείς και οι Ελληνικοί κανονισμοί, και οι υπάρχουσες σχεδιαστικές πρακτικές για την διαστασιολόγηση των αγωγών, ώστε να εξασφαλίζεται μια επαρκής ταχύτητα αυτοκαθαρισμού. Έτσι σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς βασικό κριτήριο είναι η εφαρμογή ελαχίστων ταχυτήτων, οι οποίες οδηγούν ισοδύναμα στην υιοθέτηση ελαχίστων κλίσεων. Στους Αγγλικούς κανονισμούς κρίσιμο μέγεθος είναι η ελάχιστη ταχύτητα ροής. Επίσης αναφερόμαστε στις σύγχρονες σχεδιαστικές αντιλήψεις για το σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση των αγωγών.

5.2. Υπάρχουσες σχεδιαστικές πρακτικές

Θα εξετάσουμε τους σχεδιαστικούς κανονισμούς που ισχύουν στην Ελλάδα, στη Βρετανία καθώς και τις σύγχρονες αντιλήψεις στο σχεδιασμό των δικτύων.

5.2.1. Οι Ελληνικοί Κανονισμοί: Κατά τη διαστασιολόγηση των αγωγών αποχέτευσης για να μην παρουσιάζονται αποθέσεις, οι ελληνικές συνιστούν την εφαρμογή των ελάχιστων κλίσεων των αγωγών, οι οποίες εξασφαλίζουν επαρκή ταχύτητα αυτοκαθαρισμού (self-cleansing velocity). Αυτές καθορίζονται με τρόπο ώστε η ταχύτητα που αντιστοιχεί στο 10% της παροχτευτικότητας του αγωγού ($Q/Q_o = 0.10$) να υπερβαίνει τα 0.3 m/s, προκειμένου για αγωγούς ακαθάρτων ή τα 0.6 m/s για αγωγούς ομβρίων. Εύκολα μπορεί να βρεθεί για κυκλικούς αγωγούς ότι για $Q/Q_o = 0.10$ ισχύει $V/V_o = 0.54$, για μεταβλητό συντελεστή τραχύτητας (ή $V/V_o = 0.64$ για σταθερό συντελεστή τραχύτητας), οπότε οι πιο πάνω ελάχιστες ταχύτητες αντιστοιχούν σε ταχύτητες πλήρωσης $V_o = 0.56 \text{ m/s}$ για αγωγούς ακαθάρτων και $V_o = 1.11 \text{ m/s}$ για αγωγούς ομβρίων. Για κυκλικούς αγωγούς ισχύει η σχέση (Σχέση Manning):

$$V_o = (1/n_o)(D/4)^{2/3} J^{1/2} \quad (5.1)$$

Από την σχέση αυτή έχουμε τον πίνακα 5.1 των εφαρμοστέων ελάχιστων κλίσεων (Κουτσογιάννης, 1993). Θα πρέπει πάντως να τονιστεί ότι η εφαρμογή πολύ μικρών κλίσεων κάτω από 1m/Km θα πρέπει να αποφεύγεται, ακόμα και όταν αυτό επιτρέπεται από υδραυλική άποψη. Αλλιώς συναντώνται δυσκολίες στην υλοποίηση τέτοιων κλίσεων κατά την κατασκευή, ενώ αργότερα είναι δυνατό να υπάρξουν ακόμα μεγαλύτερα προβλήματα λόγω διαφορικών καθιζήσεων. Γι' αυτό το λόγο, στον Πίνακα 5.1 όπου προέκυψε κλίση μικρότερη από 1m/Km έχει τεθεί σε παρένθεση και η κλίση 1.0 m/Km και έχει υπολογιστεί και η αντίστοιχη παροχή για την κλίση αυτή.

Επίσης οι ελάχιστες κλίσεις είναι μεγαλύτερες (όπως και οι ελάχιστες ταχύτητες) στους αγωγούς ομβρίων σε σχέση με τους αγωγούς ακαθάρτων. Αυτό

συμβαίνει γιατί τα φερτά υλικά στους αγωγούς ομβρίων έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις και μεγαλύτερη πυκνότητα, οπότε θα χρειάζονται μεγαλύτερη ελάχιστη ταχύτητα για να διασφαλιστεί η μετακίνηση των φερτών υλικών.

Αγωγοί ομβρίων $V_o = 1.11$ m/sec και τραχύτητα $n_o = 0.015$

Αγωγοί ακαθάρτων $V_o = 0.56$ m/sec και τραχύτητα $n_o = 0.015$

Πίνακας 5.1: Εφαρμοστές ελάχιστες κλίσεις για αγωγούς ομβρίων και ακαθάρτων (Κουτσογιάννης, 1993).

| Διάμετρος (cm) | Ελάχιστη κλίση (m/Km) | Επιτρεπόμενη Πλήρωση (y/D) | Αντίστοιχη παροχή (l/sec) | Ελάχιστη κλίση (m/Km) | Επιτρεπόμενη Πλήρωση (y/D) | Αντίστοιχη παροχή (lt./sec) |
|----------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 20 | - | - | - | 3.8 | 0.5 | 7.0 |
| 25 | - | - | - | 2.8 | 0.5 | 10.9 |
| 30 | - | - | - | 2.2 | 0.5 | 15.7 |
| 35 | - | - | - | 1.8 | 0.5 | 21.5 |
| 40 | 6.0 | 0.7 | 99.0 | 1.5 | 0.5 | 28.0 |
| 50 | 4.4 | 0.7 | 155 | 1.1 | 0.6 | 59.8 |
| 60 | 3.5 | 0.7 | 225 | 0.89 (1) | 0.6 | 87.9 (93) |
| 70 | 2.8 | 0.7 | 303 | 0.72 (1) | 0.7 | 153 (180) |
| 80 | 2.4 | 0.7 | 396 | 0.60 (1) | 0.7 | 200 (257) |
| 90 | 2.0 | 0.7 | 501 | 0.52 (1) | 0.7 | 253 (352) |
| 100 | 1.8 | 0.7 | 619 | 0.45 (1) | 0.7 | 312 (467) |
| 110 | 1.6 | 0.7 | 749 | 0.39 (1) | 0.7 | 378 (602) |
| 120 | 1.4 | 0.7 | 891 | 0.35 (1) | 0.7 | 450 (759) |
| 130 | 1.2 | 0.7 | 1046 | 0.32 (1) | 0.7 | 528 (939) |
| 140 | 1.1 | 0.7 | 1213 | 0.29 (1) | 0.7 | 612 (1144) |
| 150 | 1.0 | 0.7 | 1393 | 0.26 (1) | 0.7 | 703 (1376) |
| 160 | 0.94 (1.0) | 0.7 | 1584 (1624) | 0.24 (1) | 0.7 | 799 (1634) |
| 180 | 0.80 (1.0) | 0.7 | 2005 (2237) | 0.20 (1) | 0.7 | 1012 (2237) |
| 200 | 0.70 (1.0) | 0.7 | 2476 (2962) | 0.18 (1) | 0.7 | 1249 (2962) |

Γενικά όπως φαίνεται οι ελληνικοί κανονισμοί δεν λαμβάνουν υπόψη πολλές κρίσιμες παραμέτρους όπως η σύσταση των φερτών υλικών, το μέγεθος τους και την πυκνότητα τους. Δεν καταλήγουν σε μαθηματικές σχέσεις για τον ορισμό της κρίσιμης συρτικής τάσης. Και δεν αναφέρουν τι γίνεται σε περιπτώσεις που σχηματιστούν αποθέσεις σε αγωγούς που κατασκευάστηκαν με το κριτήριο του αυτοκαθαρισμού.

5.2.2. Κρίσιμη Συρτική Τάση: Η εμφάνιση πολύ μικρών ταχυτήτων στους υπονόμους έχει ως αποτέλεσμα την απόθεση στερεών υλικών στον πυθμένα και την προοδευτική δημιουργία αποθέσεων. Σύμφωνα με τους Αγγλικούς Κανονισμούς για τον σχεδιασμό των αυτοκαθαριζόμενων αγωγών χρησιμοποιείται ευρύτατα η ελάχιστη ταχύτητα ροής (minimum flow velocity) V_m . Η ελάχιστη ταχύτητα ροής πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα που αντιστοιχεί στην έναρξη της μετακίνησης (threshold velocity) V_t . Στην ταχύτητα αυτή δεν υπάρχει καμία μετακίνηση φερτών σε αντίθεση με την ελάχιστη ταχύτητα ροής V_m , που η μετακίνηση των φερτών γίνεται χωρίς την δημιουργία απόθεσης. Οι έρευνες του Shields έδειξαν (Ξανθόπουλος 1990) ότι οι στερεοί κόκκοι δεν παραμένουν στον πυθμένα, εφόσον η συρτική τάση είναι μεγαλύτερη από την οριακή τιμή που δίνεται από την σχέση :

$$\tau_{mc} = \beta g(\rho_s - \rho)d_s \quad (5.2)$$

όπου d_s η χαρακτηριστική διάσταση κόκκου, ρ_s η πυκνότητα του υλικού, ρ η πυκνότητα του ρευστού, g η επιτάχυνση της βαρύτητας και β χαρακτηριστική αδιάστατη παράμετρος του Shields, με τιμή 0.06 για συνθήκες πλήρους τραχείας ροής. Σε προβλήματα ροής σε υπονόμους χρησιμοποιείται η τιμή $\beta=0.04$, που θεωρείται ότι αντιστοιχεί στο ξεκίνημα της απόπλυσης του πυθμένα του αγωγού, ενώ για την εξασφάλιση πλήρους καθαρισμού σε αγωγό που έχει δημιουργηθεί απόθεση χρησιμοποιείται μια τιμή 20 φορές μεγαλύτερη δηλαδή $\beta=0.8$ (Κουτσογιάννης 1993).

Για συνθήκες αυτοκαθαρισμού θα πρέπει να είναι $\tau_{mc} = \tau_m$, όπου η τελευταία τ_m , συρτική τάση η οποία προκύπτει από το νόμο του Manning που είναι :

$$\tau_m = \rho g R i \quad (5.3)$$

όπου R η υδραυλική ακτίνα των αποθέσεων, ρ η πυκνότητα του ρευστού και i η κλίση της γραμμής ενέργειας.

Με συνδυασμό των δύο εξισώσεων έχουμε :

$$Ri = \beta((\rho_s - \rho)/\rho)d_s \quad (5.4)$$

Σε συνδυασμό με την εξίσωση του Chezy δίνει την ελάχιστη ταχύτητα :

$$V = C \sqrt{Ri} \quad (5.5)$$

και αν χρησιμοποιήσουμε τον τύπο του Darcy - Weisbach, ο συντελεστής Chezy δίνεται από την σχέση $C = \sqrt{8g/f}$, οπότε και η τελική διαφοροποιημένη μορφή του νόμου του Shields είναι :

$$V_m = (8g\beta(s-1)d/f)^{1/2} \quad (5.6)$$

όπου f ο συντελεστής τριβής κατά Darcy - Weisbach.

Ο συντελεστής β είναι ίσος με 0.04 που αντιστοιχεί στην έναρξη της μετακίνησης και 0.8 που αντιστοιχεί στην ταχύτητα αυτοκαθαρισμού. Επομένως έχουμε ότι :

$$V_m = (0,8/0,04)^{1/2} V_i = 4,5V_i \quad (5.7)$$

Παρά τη σαφή βελτίωση των συνθηκών, μένουν χωρίς υπολογισμό και άλλες παράμετροι όπως η συγκέντρωση των φερτών και η διάμετρος του αγωγού.

Τέλος, ο τύπος του Shields για την ελάχιστη συρτική τάση τ_m , η οποία , προτιμάται ως σχεδιαστικό μέγεθος λόγω του ότι σχετίζεται πιο άμεσα σε αντίθεση με την ταχύτητα ροής με τις δυνάμεις που προκαλούν μετακίνηση των φερτών. Η μέση τιμή της συρτικής τάσης που ασκείται στην βρεχόμενη περίμετρο δίνεται από τη γνωστή σχέση :

$$\tau = \gamma Rj \quad (5.8)$$

Η σχέση αυτή είναι προτιμότερη για την μετακίνηση αιωρούμενων στερεών. Όμως για τη μεταφορά με σύρτικο φορτίο καταλληλότερη είναι η τιμή εκείνη που αντιστοιχεί στον πυθμένα του αγωγού δηλαδή η τ_b . Η διαφορά έγκειται στην υδραυλική ακτίνα που στην περίπτωση της συρτικής τάσης πυθμένα είναι αντίστοιχη της συρτικής επιφάνειας. Για μια δεδομένη ροή, η συρτική τάση πυθμένα μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την μέση συρτική τάση και η σχέση μεταξύ των δύο τάσεων εξαρτάται από το μέγεθος των στερεών και από το ποσοστό βρεχόμενης περιμέτρου που καταλαμβάνει το συρτικό φορτίο. Στην περίπτωση της ελάχιστης ταχύτητας ροής η μέση συρτική τάση θα πρέπει να ξεπερνά την κρίσιμη συρτική τάση και μάλιστα θα πρέπει να είναι αρκετά μεγαλύτερη ώστε να εξασφαλιστεί ο αυτοκαθαρισμός. Γενικά οι συρτικές τάσεις πυθμένα είναι πάντα μεγαλύτερες από τις μέσες συρτικές τάσεις , και οι συρτικές τάσεις αυτοκαθαρισμού δεν ξεπερνούν τα 4 Nt/m^2 .

Η ορθότερη σχέση είναι ο διαφοροποιημένος τύπος του Shields που δίνει την σχέση :

$$\tau_m = \gamma \beta (s-1)d \quad (5.9)$$

Για $\beta=0.80$ και για ειδική πυκνότητα $s=2.6$ η απαιτούμενη συρτική τάση θα είναι 1.26 Nt/m^2 για φερτά $100 \mu\text{m}$ ενώ θα είναι 12.6 Nt/m^2 φερτά διαστάσεων 1mm .

5.3. Σύγχρονες αντιλήψεις στο σχεδιασμό των δικτύων.

Οι σύγχρονες αντιλήψεις για το σχεδιασμό των δικτύων αποχέτευσης εμπεριέχουν και την έννοια της οικονομικότητας. Για παράδειγμα μπορεί να τοποθετήσουμε τους αγωγούς σε περιοχές με μικρή κλίση εδάφους αλλά με μεγάλη κλίση πυθμένα αγωγού ώστε πρακτικά να μην δημιουργούν αποθέσεις, επομένως ούτε έξοδα καθαρισμού των αγωγών, αλλά θα έχουμε αυξημένα έξοδα εξαιτίας του μεγάλου βάθους εκσκαφής αλλά και της ενδεχόμενης άντλησης των πλημμυρικών υδάτων στις εκβολές τους. Αντίθετα τοποθέτηση μικρής κλίσης θα δημιουργήσει προβλήματα αποθέσεων αλλά θα έχει μειωμένο κόστος λόγω του μικρού απαιτούμενου βάθους εκσκαφής.

Ένας ικανοποιητικά αυτοκαθαριζόμενος αγωγός είναι εκείνος ο οποίος έχει την στερεομεταφορική ικανότητα που είναι αρκετή για να συντηρήσει μια ισορροπία μεταξύ της απόθεσης και της επαναμετακίνησης με έναν συνδυασμό χρόνου και μέσου βάθους της απόθεσης που να ελαχιστοποιεί το συνδυασμένο κόστος της κατασκευής, λειτουργίας, και συντήρησης των δικτύων (CIRIA, 1994).

Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν δυο εναλλακτικές λύσεις όταν σχεδιάζουμε δίκτυα υπονόμων.

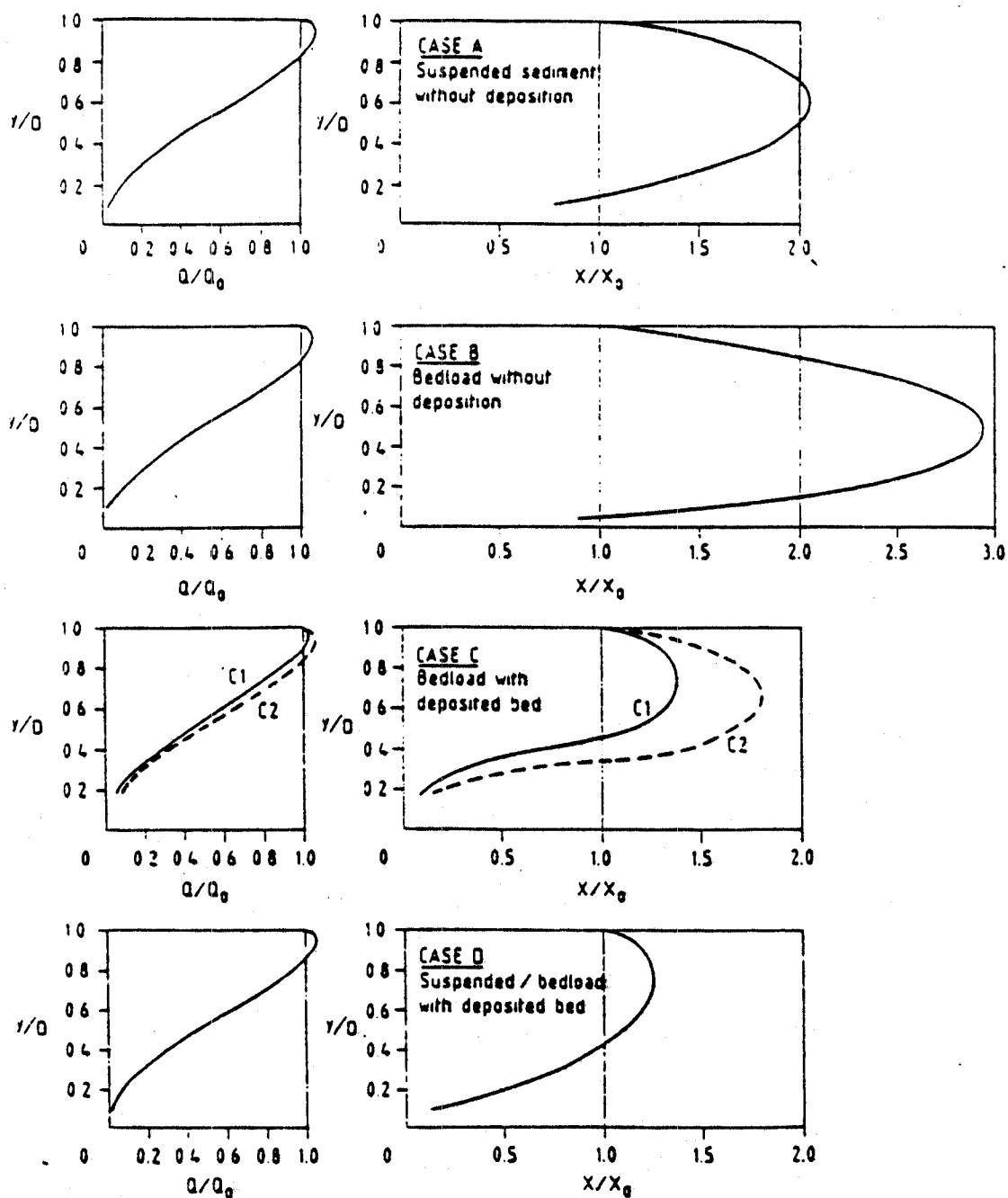
- Στερεομεταφορά χωρίς απόθεση
- Στερεομεταφορά με ένα προκαθορισμένο στρώμα απόθεσης

Η πρώτη προσέγγιση που ήδη χρησιμοποιείται είναι ότι δεν επιτρέπονται καθόλου αποθέσεις στον πυθμένα των αγωγών και ότι όλα τα φερτά υλικά θα μετακινούνται είτε ως αιωρούμενο φορτίο τα πιο λεπτόκοκκα είτε ως συρτικό φορτίο τα πιο χονδρόκοκκα. Οι ελάχιστες ταχύτητες ροής και συρτικές τάσεις θα υπολογιστούν από εξισώσεις που συσχετίζουν το ρυθμό στερεομεταφοράς με τις δεδομένες υδραυλικές συνθήκες στην οριακή στιγμή της απόθεσης. Η σχεδιαστική αυτή προσέγγιση ελαχιστοποιεί την απώλεια της επιφάνειας ροής και την αύξηση της τραχύτητας, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις οδηγεί σε αντιοικονομικές και καθόλου πρακτικές κλίσεις των αγωγών.

Η δεύτερη προσέγγιση επιτρέπει το σχηματισμό μιας συγκεκριμένης, προκαθορισμένης και περιορισμένης απόθεσης στον αγωγό, δεδομένου ότι το βάθος της απόθεσης θα παραμένει σταθερό και δεν θα υπερβεί ένα ανεκτό όριο. Η παρουσία της απόθεσης θα μειώσει κάπως την επιφάνεια ροής αλλά η αύξηση του πλάτους ροής στο πυθμένα μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της στερεομεταφορικής ικανότητας της ροής και επομένως σε μια πιο οικονομική σχεδίαση από ότι προκύπτει από την πρώτη εναλλακτική λύση. Όμως η παρουσία της απόθεσης μειώνει την ταχύτητα ροής οπότε είναι αδύνατο να οδηγήσει σε αύξηση της στερεομεταφορικής ικανότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί αύξηση του ενεργού πλάτους του πυθμένα προκαλεί μείωση της υδραυλικής ακτίνας και κατά συνέπεια της στερεομεταφοράς. Όπως είναι γνωστό οι ωοειδείς αγωγοί υπερισχύουν των κυκλικών γιατί είναι πιο στενοί στο κάτω μέρος, οπότε μπορούν να επιτύχουν για ίδια παροχή μεγαλύτερες ταχύτητες ροής. Η οικονομικότητα έχει να κάνει όχι με την απόλυτη στερεομεταφορική ικανότητα η οποία αναμφισβήτητα μειώνεται αλλά με την ανηγμένη στερεομεταφορική ικανότητα σε σχέση με την ελάχιστη ταχύτητα αυτοκαθαρισμού και την ελάχιστη κλίση του πυθμένα των αγωγών.

Το σημαντικό στοιχείο που εισάγει στη δεύτερη αυτή λύση είναι πως μπορούμε να επιτρέψουμε μια εκ των προτέρων γνωστή απόθεση που θα μειώσει την στερεοπαροχή, όμως και λύση θα είναι πιο οικονομική. Αυτό το συμπεραίνουμε και κατά τις επισκέψεις μας, σε ωοειδούς αγωγούς όπου και διαπιστώθηκαν αποθέσεις.

Στο Διάγραμμα 5.1 υπάρχουν οι αδιάστατες καμπύλες παροχής και στερεοπαροχής (CIRIA, 1994) σε κυκλικό αγωγό για τέσσερις μορφές στερεομεταφοράς :



Διάγραμμα 5.1: Αδιάστατες καμπύλες παροχής και στερεοπαροχής για διάφορες μορφές στερεομεταφοράς (CIRIA, 1994)

Από το Διάγραμμα 5.1 φαίνεται ότι η ύπαρξη αποθέσεων δημιουργεί μεγάλη μείωση της στερεομεταφορικής ικανότητας της ροής. Μεγαλύτερη στερεομεταφορική ικανότητα βλέπουμε ότι έχει η ροή με συρτικό φορτίο χωρίς απόθεση, ενώ η μικρότερη παρουσιάζεται στη σύγχρονη στερεομεταφορά συρτικού και αιωρούμενου φορτίου με την παρουσία αποθέσεων. Σε όλες τις περιπτώσεις μέγιστη στερεομεταφορική ικανότητα της ροής παρουσιάζεται σε αγωγούς με μερική πλήρωση. Άρα αν η διαστασιολόγηση γίνει υπό συνθήκες στερεομεταφοράς ολικής πλήρωσης τότε ο σχεδιασμός αυτός είναι υπέρ της ασφαλείας.

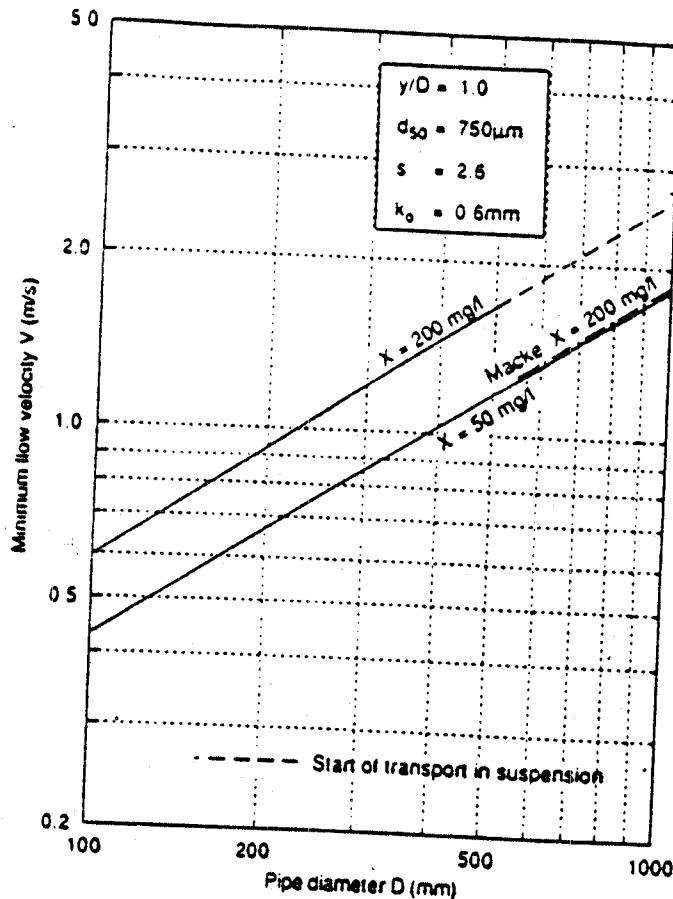
Υπάρχουν ορισμένα κριτήρια για τους αγωγούς όμβριων σε σχέση με το είδος των αγωγών και του υλικού που μετακινείται μέσα σ' αυτά, ώστε να είναι αυτοκαθαριζόμενοι αγωγοί που είναι :

1. Οι παροχές των ροών που μεταφέρουν ευμεγέθη κοκκώδη υλικά ως συρτικό φορτίο θα πρέπει να είναι ικανές ώστε να περιορίσουν το βάθος της απόθεσης σε ένα προκαθορισμένο ποσοστό της διαμέτρου των αγωγών.
2. Ροές με μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς T θα πρέπει να έχουν την ικανότητα να συμπαρασύρουν σωματίδια από ένα στρώμα απόθεσης που πιθανό να έχει αναπτύξει σε κάποιο βαθμό δυνάμεις συσσωμάτωσης.

5.3.1. Μεταφορά με Συρτικό Φορτίο (Κριτήριο 1)

Στερεομεταφορά χωρίς απόθεση

Τα επόμενα διαγράμματα δείχνουν την ελάχιστη ταχύτητα ροής και την ελάχιστη κλίση πυθμένα για ολική πλήρωση του αγωγού και για δύο πιθανές συγκεντρώσεις φερτών υλικών 50 και 200 mg/l. Από τη μορφή του Διαγράμματος 5.2 της ελάχιστης ταχύτητας ροής φαίνεται ότι όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του αγωγού τόσο μικρότερη είναι η ελάχιστη ταχύτητα. Ενώ ακόμα από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση των φερτών τόσο μεγαλύτερη είναι η απαιτούμενη ταχύτητα ροής ώστε να μπορεί να μεταφέρει την απαιτούμενη μάζα φερτών υλικών.

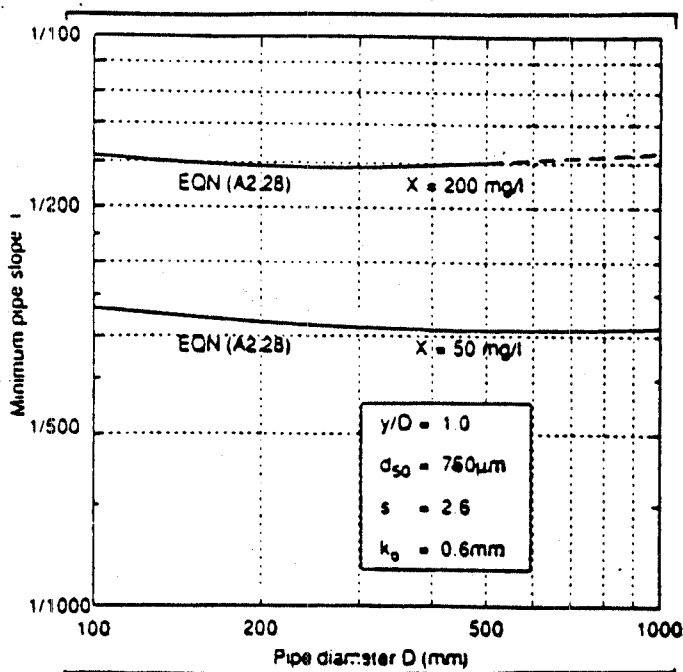


Διάγραμμα 5.2: Μεταβολές της ελάχιστης ταχύτητας ροής με τη συγκέντρωση των στερεών και την διάμετρο των αγωγών (CIRIA, 1994).

Για τη στερεομεταφορά χωρίς απόθεση η απαιτούμενη ταχύτητα ώστε να έχουμε έναρξη της μετακίνησης μπορεί να βρεθεί από την επίλυση της παρακάτω εξίσωσης που προέκυψε από πειραματικά δεδομένα :

$$V_t = 0.125(g(s-1)d)^{0.5} (y/D)^{0.47} \quad (5.10)$$

όπου y είναι το βάθος ροής στον αγωγό, g η επιτάχυνση της βαρύτητας, s η ειδική πυκνότητα φερτών, d η διάμετρος κόκκων, και D η διάμετρος αγωγού. Στο Διάγραμμα 5.3 βλέπουμε τις μεταβολές της ελάχιστης κλίσης πυθμένα σε σχέση με την συγκέντρωση των φερτών υλικών και τη διάμετρο του αγωγού. Ακόμα στο διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι η ελάχιστη κλίση πυθμένα που είναι αναγκαία για να μην δημιουργηθεί απόθεση δεν μειώνεται πέρα από ένα συγκεκριμένο σημείο. Έτσι για φερτά υλικά μέσης διάστασης $d_{50} = 750 \mu\text{m}$, η ελάχιστη κλίση πυθμένα είναι 1/390 για συγκέντρωση φερτών 50 mg/lt ενώ είναι 1/182 για φερτά 200 mg/lt. Επίσης παρατηρούμε ότι οι ελάχιστες κλίσεις αυξάνονται και πέρα των αγωγών με διάμετρο 500 χιλ. οπότε για αγωγούς πέρα των 500 χιλ. ο σχεδιασμός τους με την αρχή στερεομεταφοράς χωρίς απόθεση θα οδηγήσει σε ακριβές κατασκευές. Σε μια τέτοια περίπτωση προτιμάτε ένα περιορισμένο στρώμα απόθεσης.

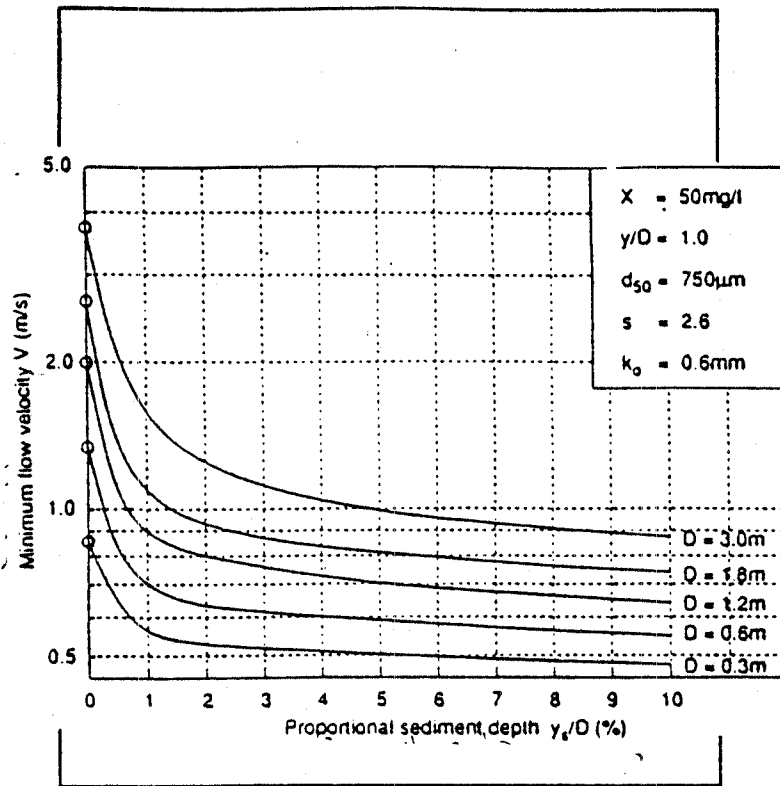


Διάγραμμα 5.3: Μεταβολή της ελάχιστης κλίσης πυθμένα με τη συγκέντρωση των φερτών και την διάμετρο των αγωγών (CIRIA, 1994).

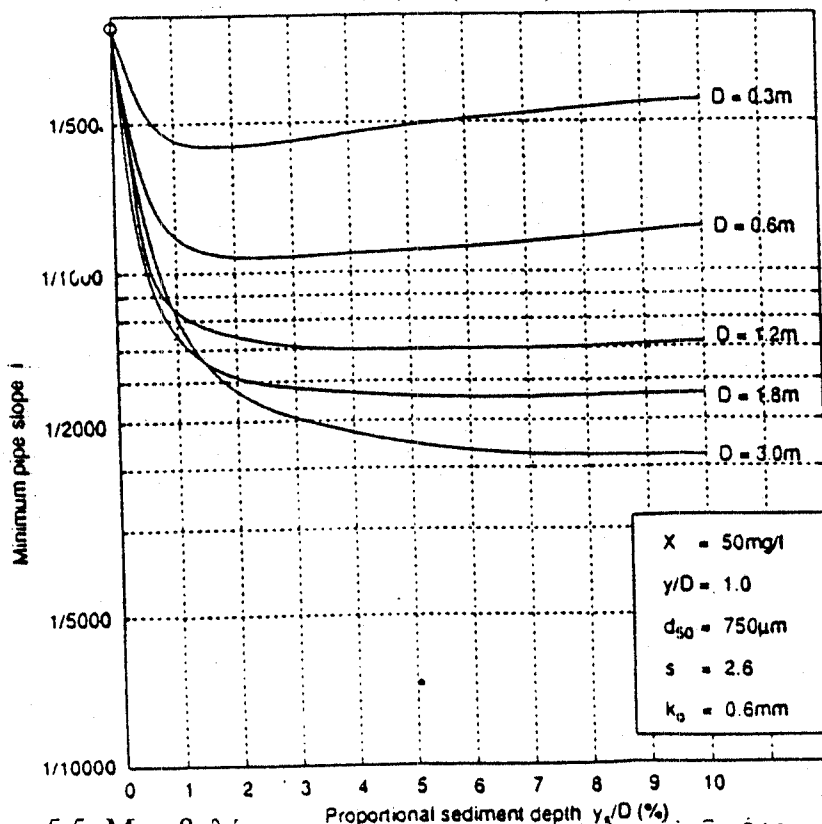
Στερεομεταφορά με στρώμα απόθεσης

Για την περίπτωση αυτή ενδεικτικά είναι τα διαγράμματα 5.4 και 5.5 τα οποία προέκυψαν ύστερα από πειράματα σε κυκλικούς αγωγούς ολικής πλήρωσης και δείχνουν τις μεταβολές της ελάχιστης ταχύτητας και της ελάχιστης κλίσης πυθμένα σε σχέση με την διάμετρο των αγωγών και του βάθους απόθεσης.

Από το Διάγραμμα 5.4 φαίνεται ότι όσο μεγαλώνει το βάθος της απόθεσης τόσο μειώνεται η ελάχιστη ταχύτητα ροής του αγωγού. Γενικότερα όσο το βάθος της απόθεσης αυξάνεται τόσο μειώνεται και ο ρυθμός μείωσης της ελάχιστης ταχύτητας και κυρίως για τους μικρότερους αγωγούς. Οι αντίστοιχες εξισώσεις του HR Wallingford (1994) για τη στερεομεταφορά με απόθεση προκύπτουν από εκτεταμένα πειράματα που έγιναν σε αγωγούς από σκυρόδεμα διαφόρων διαμέτρων $D=0.3, 0.6, 1.2, 1.8,$ και 3.0 m. Έτσι προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα τα οποία δίνουν τις ελάχιστες ταχύτητες και κλίσεις πυθμένα για δύο συγκεντρώσεις φερτών υλικών 50 και 200 mg/l.



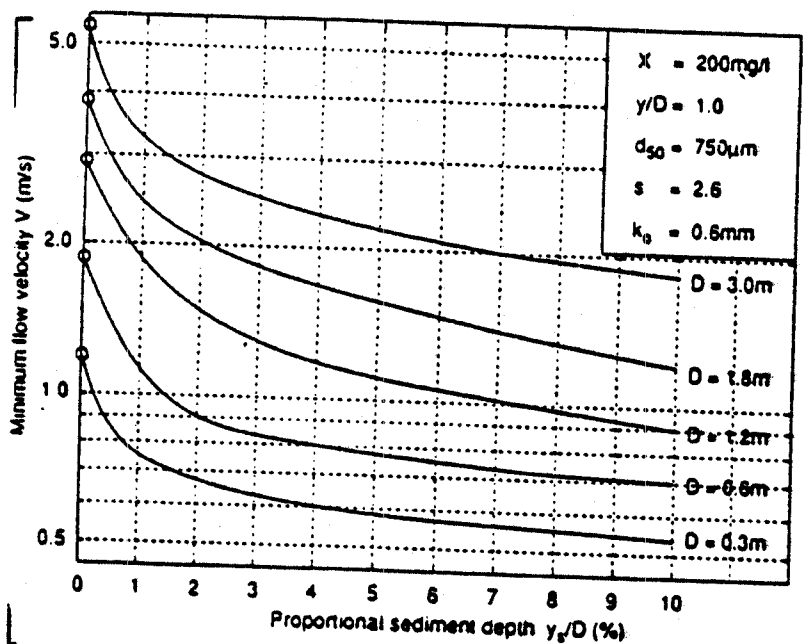
Διάγραμμα 5.4: Μεταβολή της ελάχιστης ταχύτητας με το βάθος της απόθεσης και την διάμετρο του αγωγού (CIRIA, 1994).



Διάγραμμα 5.5: Μεταβολή της ελάχιστης κλίσης πυθμένα με το βάθος της απόθεσης και την διάμετρο των αγωγών (CIRIA, 1994).

Εδώ παρατηρούμε (Διάγραμμα 5.5) την αύξηση της κλίσης του στρώματος της απόθεσης σε σχέση με την κλίση του πραγματικού πυθμένα. Η μείωση της απαιτούμενης ελάχιστης κλίσης είναι μεγάλη για ποσοστό της απόθεσης 1% ενώ μειώνεται για μεγαλύτερα βάθη απόθεσης. Έτσι η αποδοχή της σχεδιαστικής μεθόδου σύμφωνα με την οποία η επιτρεπόμενη απόθεση 1% της εσωτερικής διαμέτρου μπορεί να οδηγήσει σε πολύ καλά αποτελέσματα.

Από τα διαγράμματα αυτά μπορούμε να διαπιστώσουμε τις διαφορές μεταξύ των δύο σχεδιαστικών εναλλακτικών λύσεων. Όταν έχουμε στερεομεταφορά με επιτρεπόμενη απόθεση οι ελάχιστες ταχύτητες αυτοκαθαρισμού θα είναι μικρότερες σε σχέση με την στερεομεταφορά χωρίς απόθεση. Έχοντας λοιπόν την ίδια συγκέντρωση μεταφερόμενων φερτών υλικών οι αγωγοί με αποθέσεις θα δουλεύουν με μικρότερες ταχύτητες και με μικρότερες κλίσεις πυθμένα, κάτι που δείχνει ότι είναι πιο οικονομικοί σε σχέση με αγωγούς χωρίς αποθέσεις που απαιτούν μεγαλύτερες κλίσεις πυθμένα για να επιτευχθούν οι ελάχιστες ταχύτητες αυτοκαθαρισμού. Σε αυτή την περίπτωση η συγκέντρωση των μεταφερόμενων φερτών θα είναι μεγαλύτερη από εκείνη με τις αποδεκτές αποθέσεις. Άρα η οικονομικότητα είναι σχετική έννοια και προκύπτει από μια πλήρη τεχνική και οικονομική μελέτη.



Διάγραμμα 5.6: Μεταβολή της ελάχιστης ταχύτητας με διαφορετική συγκέντρωση φερτών στην ροή, σύγκριση με διάγραμμα 5.4 (CIRIA, 1994).

5.3.2. Διάβρωση Συσσωματώσιμων Αποθέσεων (Κριτήριο 2)

Όπως είναι γνωστό οι λεπτόκοκκες αποθέσεις παρουσιάζουν μεγάλες δυνάμεις συσσωμάτωσης οπότε μπορούν να ενταχθούν στο κριτήριο αυτό το οποίο αναφέρεται στην συμπαράσυρση σωματιδίων από σχετικά λεπτόκοκκες και οργανικές αποθέσεις που πιθανό να έχουν αναπτύξει σε κάποιο βαθμό δυνάμεις συσσωμάτωσης. Οι Nalluri and Alvarez (1992), έκαναν πειραματικές μελέτες χρησιμοποιώντας συνθετικά συσσωματώσιμα φερτά υλικά και έδειξαν ότι υπάρχουν δύο διαφορετικές τιμές των συρτικών αντοχών στις οποίες παρατηρείται απόπλυση των αποθέσεων. Για το επιφανειακό και πιο ασθενές στρώμα η συρτική αντοχή δεν ξεπερνά τα 2.5 N/m^2 ενώ το βαθύτερο στερεοποιημένο στρώμα έχει μεγαλύτερη συρτική αντοχή και φθάνει τις τιμές των $6-7 \text{ N/m}^2$.

Το κριτήριο αυτό όπως διατυπώνεται απαιτεί η συρτική τάση πυθμένα να μην είναι μικρότερη των 2 N/m^2 , θεωρώντας ότι έχουμε συσσωματώσιμα σωματίδια μεγέθους 1 mm και με σχετιζόμενη ελάχιστη τραχύτητα πυθμένα $K_b = 1.23 \text{ mm}$. Το κριτήριο καταλήγει στην ελάχιστη ταχύτητα ολικής πλήρωσης, η οποία είναι ανεξάρτητη από την τραχύτητα των τοιχωμάτων του αγωγού. Έτσι η ελάχιστη ταχύτητα αυτοκαθαρισμού δίνεται από την σχέση :

$$V_m = (8\tau_b / (pf_b))^{0.5} \quad (5.11)$$

όπου f_b ο αδιάστατος συντελεστής τριβής για τον πυθμένα της αποθέσεις που προκύπτει από την σχέση

$$f_b = 1/[4(\log_{10}(k_b / (3.7D)))^2] \quad (5.12)$$

Για μεγάλης διαμέτρου αγωγούς οι ελάχιστες ταχύτητες στην περίπτωση του δευτέρου κριτηρίου είναι μικρότερες απ' ότι σ' αυτές του πρώτου κριτηρίου ενώ συμβαίνει το αντίθετο για τους αγωγούς μικρότερης διαμέτρου. Έτσι αν έχουμε αγωγό διαμέτρου έστω 3000 mm και επιτύχουμε συνθήκες αυτοκαθαρισμού με το πρώτο κριτήριο τότε είναι σίγουρο ότι θα έχουμε συνθήκες αυτοκαθαρισμού και για το δεύτερο κριτήριο. Αυτό είναι λογικό γιατί στους μεγάλους αγωγούς το δυναμικό για αποθέσεις είναι πολύ μεγάλο (αφού τοποθετούνται πάντα με πολύ μικρές κλίσεις), επομένως διασφαλίζοντας τη μετακίνηση των χονδροκόκκων σωματιδίων έχουμε εξασφαλίσει την επαναιώρηση των λεπτόκοκκων αποθέσεων. Το αντίθετο συμβαίνει για ένα αγωγό μικρής διαμέτρου. Ακόμα υπάρχουν διαφορές και στην ταχύτητα: μεγαλύτερη ταχύτητα έχουμε για ροή χωρίς απόθεση ενώ αυτή ελαττώνεται για ροή με απόθεση. Οι διαφορές στις ταχύτητες των αγωγών είναι μικρές για μικρές διαμέτρους, όσο όμως αυξάνονται τόσο μεγαλύτερες είναι οι διαφορές (Zarrής, 1995).

5.4. Νέες Επιλογές για το σχεδιασμό υπονόμων

Παλιά αποχετευτικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί βασιζόμενα σε εμπειρικούς κανόνες που ελαχιστοποιούν προβλήματα αποθέσεων. Εμπειρικά αυτοί οι κανόνες σχεδιασμού εφαρμόζονται ακόμη. Σε άλλη περίπτωση η ελάχιστη ταχύτητα ή η ελάχιστη συρτική τάση, οι οποίες, μπορεί να μην επιτρέψουν καθόλου αποθέσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα, κυριαρχούν στις διαδικασίες σχεδιασμού. Στην τωρινή γενική κατεύθυνση, η 'συνθήκη μη απόθεσης' σε κάθε ξεχωριστό αγωγό διατηρείται, επιτρέποντας ορμητική ροή νερού να συμβαίνει σχετικά συχνά, και η ελάχιστη ταχύτητα να επιτευχθεί κάτω από συνθήκες ολικής ή μερικής πλήρωσης του αγωγού. Ο πίνακας (5.1) αναπαράγει μερικά από τα διαθέσιμα κριτήρια τα οποία δόθηκαν στο CIRIA (1987).

Πίνακας 5.1: Κριτήριο ελάχιστης ταχύτητας (Nalluri, Chani, 1996).

| Προέλευση | Χώρα | Τύπος Υπονόμου | Ελάχιστη Ταχύτητα (m/s) | Συνθήκες Αγωγού |
|------------------------------------|------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| American Society of Civil Engineer | ΗΠΑ | Ακαθάρτων Ομβρίων | 0.6 0.9 | πλήρης/ημιπλήρης πλήρης/ημιπλήρης |
| British Standard | Ηνωμένο Βασίλειο | Ομβρίων Παντοροϊκός | 0.75 1.0 | πλήρης πλήρης |
| Bielecki | Γερμανία | | 1.5 | πλήρης |

Πίνακας 5.2 : Κριτήριο ελάχιστης συρτικής τάσης (Nalluri, Chani, 1996).

| Προέλευση Πληροφορίας | Χώρα | Τύπος Υπονόμου | Ελάχιστη συρτική τάση (N/m^2) | Συνθήκες Αγωγού |
|-----------------------|----------|-------------------|-----------------------------------|------------------|
| Yao | ΗΠΑ | Ομβρίων Ακαθάρτων | 3.0 – 4.0 1.0 – 2.0 | |
| Maguire | Ην.Βασ. | | 6.2 | πλήρης/ημιπλήρης |
| Bischof | Γερμανία | | 2.5 | |

Ο Ghani (1993) παρουσίασε ένα καινούριο κριτήριο σχεδιασμού, ένα για αγωγούς χωρίς αποθέσεις, και ένα ακόμη για αγωγούς που έχουν χαλαρό αποτεθειμένο στρώμα απόθεσης. Ο πίνακας 5.3 δίνει καινούρια κριτήρια που στηρίζονται στις εξισώσεις 5.13 έως 5.16, οι οποίες έχουν εφαρμογή μόνο για ορμητικής ροής υπονόμους (με μη συνεκτικές αποθέσεις)

Πίνακας 5.3: Νέα σχεδιαστικά κριτήρια για συστήματα υπονόμων (Nalluri, Chani, 1996).

| Τρόπος μεταφοράς | Εξισώσεις |
|-------------------|--|
| Καθαρός αγωγός | $\frac{V}{\sqrt{gd(S_s - 1)}} = 3.08C_v^{0.21} D_{gr}^{-0.09} \left(\frac{R}{D}\right)^{0.53} \lambda_s^{-0.21} \quad (5.13)$ |
| | $\lambda_s = 1.13\lambda_o^{0.98} C_v^{0.02} D_{gr}^{0.01} \quad (5.14)$ |
| Αγωγοί με απόθεση | $\frac{V}{\sqrt{gd(S_s - 1)}} = 1.18C_v^{0.16} \left(\frac{W_b}{Y_o}\right)^{-0.18} \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.34} \lambda_s^{-0.31} \quad (5.15)$ |
| | $\lambda_s = 0.0014C_v^{-0.04} \left(\frac{W_b}{Y_o}\right)^{0.34} \left(\frac{R}{d}\right)^{0.24} D_{gr}^{0.54} \quad (5.16)$ |

όπου C_v Ογκομετρική συγκέντρωση αποθέσεων

d_{50} Μέγεθος στερεών υλικών

D Διάμετρος αγωγού

$D_{gr} = (d(S_s - 1)g/V^2)^{1/3}$

R Υδραυλική ακτίνα

S_s Σχετική πυκνότητα φερτών

V Ταχύτητα αυτοκαθαρίσμου

W_b Πλάτος των αποθέσεων

Y_o Βάθος ροής

λ_o Συντελεστής τριβής καθαρού νερού

λ_s Συντελεστής τριβής με αποθέσεις

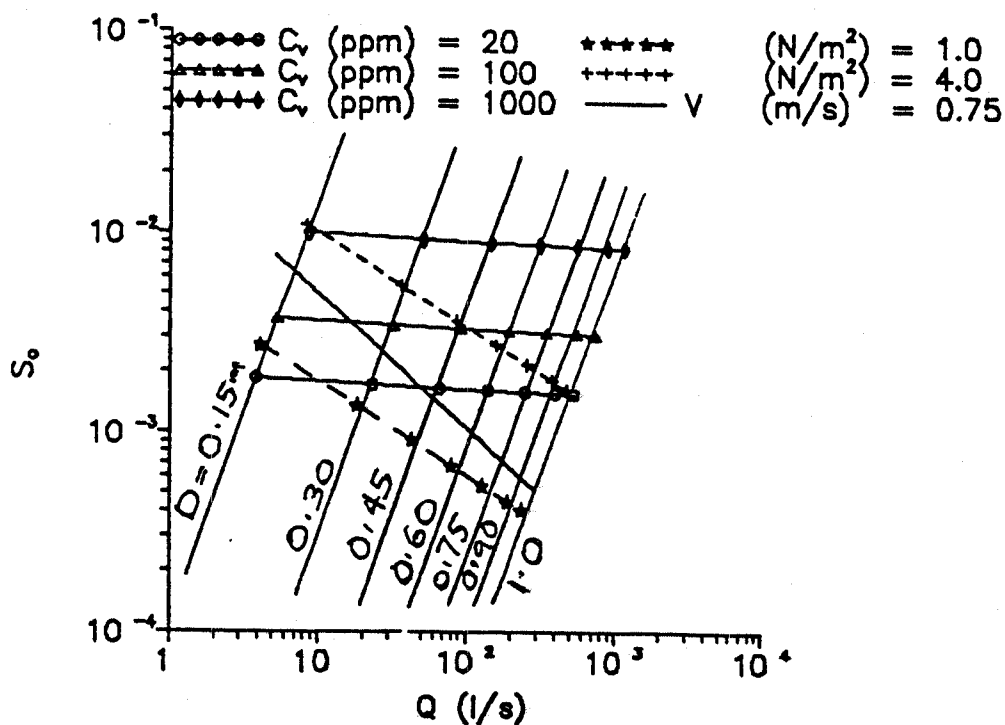
5.4.1. Εκτίμηση του κριτηρίου ελάχιστης ταχύτητας

Ο Ghani (1993) διερεύνησε το κριτήριο της 'ελάχιστης ταχύτητας' σε συνθήκες ημιπλήρωσης της ροής, ενώ ο αγωγός να παραμένει χωρίς αποθέσεις, και η ταχύτητα, είναι $V=0.75$ m/s, τιμή χρησιμοποιήθηκε από τους Ackers (1984) και Nalluri (1986). Σε γενικές γραμμές συμπεραίνεται και επιβεβαιώθηκε, ότι το κριτήριο της ελάχιστης ταχύτητας, υπερεκτιμά την κλίση για μικρές διαμέτρους αγωγού, και υποεκτιμά την κλίση για μεγάλης διαμέτρου αγωγούς.

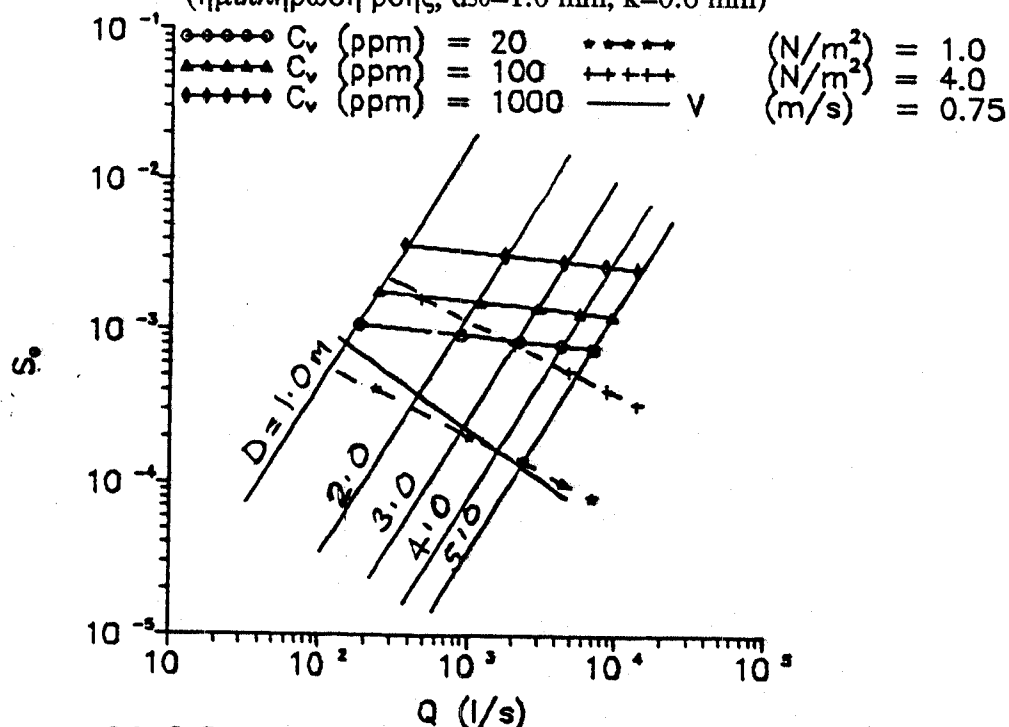
Συγκρίσεις των εξισώσεων Ghani (1993) (εξισώσεις 5.13 έως 5.16) και του κριτηρίου της 'ελάχιστης ταχύτητας' για ταχύτητα 0.75 m/s, για αγωγό με ημιπλήρωση ροής χωρίς αποθέσεις, επιβεβαιώνουν την ανεπάρκεια της τωρινής πρακτικής να ελαχιστοποιήσει τις αποθέσεις σε αγωγούς υπονόμων. Τα αποτελέσματα επίσης δείχνουν ότι η παρουσία ενός περιορισμένου βάθους απόθεσης του υλικού, ελαττώνει την αναγκαία κλίση για κάθε τιμή διαμέτρου του αγωγού. Προτάθηκε ότι οι υπόνομοι διαμέτρου 1m ή περισσότερο σχεδιάζονται καλύτερα με μερική απόθεση και ότι υπάρχει βέλτιστο βάθος απόθεσης, σε κάθε υπόνομο, για δεδομένη ροή και δεδομένες συνθήκες μεταφοράς.

5.4.2. Εκτιμήσεις κριτηρίου 'ελάχιστης συρτικής τάσης'

Τα διαγράμματα 5.7 και 5.8 δείχνουν τις γραφικές παραστάσεις Q-S₀-D χρησιμοποιώντας τα καινούρια κριτήρια (βλέπε πίνακα 5.2) για συγκρίσεις των μεθόδων με ελάχιστη συρτική τάση. Επίσης δείχνεται σ' αυτές τις εικόνες το κριτήριο της ελάχιστης ταχύτητας.



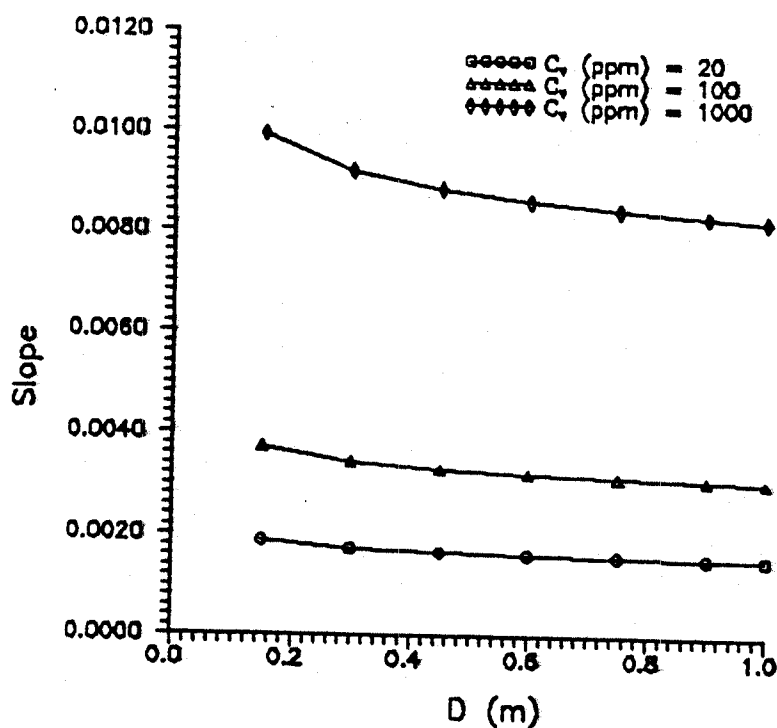
Διάγραμμα 5.7: Q-S₀-D, για σχεδιασμό αγωγού χωρίς αποθέσεις (Nalluri, Chani, 1996), (ημιπλήρωση ροής, d₅₀=1.0 mm, k=0.6 mm)



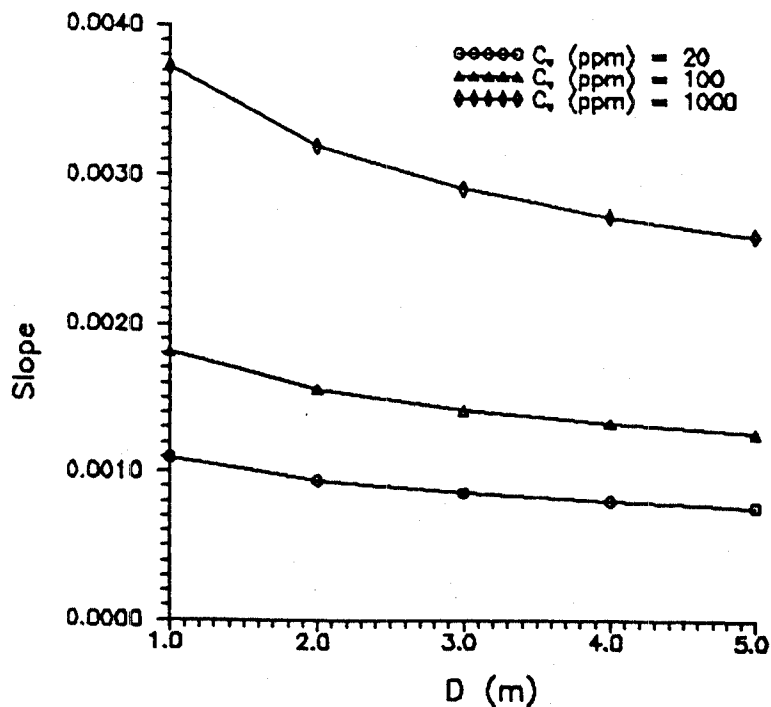
Διάγραμμα 5.8: Q-S₀-D, για σχεδιασμό με φερτά υλικά αποθέσεις (Nalluri, Chani, 1996) (ημιπλήρωση ροής, d₅₀=1.0 mm, y/D=15%)

Το Διάγραμμα 5.7 αποδεικνύει ότι για σταθερή συρτική τάση 4.0 N/m^2 , στην περίπτωση σχεδιασμού αγωγού χωρίς αποθέσεις (εξισώσεις 5.13 και 5.14), Το αποτέλεσμα θα είναι η υπερεκτίμηση της κλίσης, για την κατ'όγκον συγκέντρωση απόθεσης των 20 ppm και για όλες τις τιμές διαμέτρου μέχρι 1m. Όμως με την αύξηση συγκέντρωσης της απόθεσης, η μέθοδος της σταθερής συρτικής τάσης τείνει στην υποεκτίμηση της κλίσης ιδιαίτερα όταν $D > 500 \text{ mm}$. Όταν η συγκέντρωση της απόθεσης φτάσει τα 1000 ppm, η μέθοδος σταθερής συρτικής τάσης εκτιμά την κλίση για οποιαδήποτε διάμετρο αγωγού, και μπορεί να παρατηρηθεί ότι συρτική τάση 1 N/m^2 είναι τελείως ανεπαρκής για όλα τα μεγέθη αγωγών.

Το Διάγραμμα 5.8 δείχνει τις κλίσεις χρησιμοποιώντας τις μεθόδους σταθερής συρτικής τάσης, και τα καινούρια κριτήρια σχεδιασμού, με χαλαρές αποθέσεις (εξισώσεις 5.14 και 5.15), για μεγάλους αγωγούς ($D=1\text{m}-4\text{m}$). Για δεδομένο βάθος ροής, υπάρχει ένα βέλτιστο βάθος απόθεσης για ένα εύρος τιμών συγκέντρωσης φερτών υλικών (εικόνα 5.3). Αυτό είναι σύμφωνο με εμπειρικά αποτελέσματα των Ghani (1993), και May (1993). Σ' αυτά τα πειράματα, το στρώμα της απόθεσης κρατήθηκε σταθερό για ένα εύρος τιμών ταχύτητας, και σταθερό βάθος ροής. Το διάγραμμα 5.8 επίσης δείχνει ότι και με την παρουσία ενός βέλτιστου στρώματος οι κλίσεις παραμένουν μεγαλύτερες από αυτές που βρέθηκαν από την μέθοδο της σταθερής συρτικής τάσης. Τα διαγράμματα 5.7 και 5.8 δείχνουν την σπουδαιότητα του να ληφθεί υπόψη η συγκέντρωση της απόθεσης όταν σχεδιάζονται οι κλίσεις για τη μετακίνηση φερτών υλικών στους υπονόμους. Παραδείγματα διαγραμμάτων σχεδιασμού που συμπεριλαμβάνουν συγκέντρωση απόθεσης φαίνονται στις εικόνες 5.9 και 5.10.



Διάγραμμα 5.9: Σχεδιασμός για καθαρό αγωγό (Nalluri, Chani, 1996)
(ημιπλήρωση ροής, $D_{50}=1.0 \text{ mm}$, $K=0.6 \text{ mm}$)



Διάγραμμα 5.10: Σχεδιασμός με φερτά υλικά (Nalluri, Chani, 1996)
(ημιπλήρωση ροής, $D_{50}=1.0$ mm, $y/D=15\%$)

Βλέπουμε λοιπόν ότι η χρήση των κριτηρίων σχεδιασμού για την ελαχιστοποίηση αποθέσεων σε υπονόμους με μεγάλους αγωγούς ($D>500$ mm) είναι αμφίβολη. Ένα περιορισμένο βάθος στρώματος απόθεσης πρέπει να υπάρχει στους υπονόμους, για να αυξήσει τις ικανότητες μεταφοράς. Κατάλληλες τιμές βάθους απόθεσης μπορούν να καθοριστούν από τα καινούρια κριτήρια (Πίνακας 5.2). Έχει δειχθεί ότι το μέγεθος, και η συγκέντρωση της απόθεσης είναι σοβαροί παράγοντες και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα αποθέσεων φερτών υλικών.

5.4.3. Υπολογιστική Εφαρμογή των Νέων Σχεδιαστικών Κριτηρίων στο δίκτυο Μελέτης

Όπως παρατηρούμε νέα σχεδιαστικά κριτήρια (Πίνακας 5.4) λαμβάνουν υπόψη τους σημαντικές παραμέτρους, που σχετίζονται με τις συνθήκες ροής στον αγωγό αλλά και με τις φυσικές ιδιότητες των φερτών υλικών. Έτσι με την βοήθεια τους, μπορούμε να υπολογίσουμε μια πιο ρεαλιστική τιμή για την ελάχιστη ταχύτητα ροής στους αγωγούς από ό,τι με τα παλαιότερα κριτήρια ελάχιστης ταχύτητας και συρτικής τάσης, που ήταν εμπειρικά, και μπορεί οι τιμές που έδιναν να απείχαν από την πραγματικότητα.

Επειδή η σημασία των νέων κριτηρίων είναι μεγάλη, αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε ένα πρόγραμμα σε H/Y που να περιλαμβάνει τις εξισώσεις του Πίνακα 5.4. Χρησιμοποιήσαμε γλώσσα προγραμματισμού qbasic. (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι).

Μπορεί το πρόγραμμα να είναι απλό σαν ιδέα, αλλά διευκολύνει πολύ όταν η κλίση ενός αγωγού, που μελετάμε είναι άγνωστη. Διότι, ενώ με τα κριτήρια έχουμε υπολογίσει την ελάχιστη ταχύτητα ροής V με την βοήθεια της εμπειρικής σχέσης του Manning (σχέση 5.1) μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την κλίση J του υπό εξέταση αγωγού άρα και κατά επέκταση να προσδιορίσουμε ένα πιο οικονομικό κόστος κατασκευής. Αφ' ετέρου με αυτό το πρόγραμμα μπορούμε να έχουμε μια σύγκριση των νέων κριτηρίων σχεδιασμού με τα κριτήρια της ελάχιστης ταχύτητας αλλά και της ελάχιστης συρτικής τάσης με την βοήθεια της σχέσης: $\tau = \gamma R J$.

Για να εφαρμοστεί το πρόγραμμα, που δημιουργήσαμε, στους αγωγούς της μελέτης μας, έπρεπε να δεχτούμε κάποιες παραδοχές. Μέσα από την σύγκριση των κριτηρίων, θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε πόσο οι τιμές της ελάχιστης ταχύτητας ροής, αλλά και της συρτικής τάσης είναι, κατά κάποιο τρόπο «σύμφωνες» με την ύπαρξη ή μη αποθέσεων μέσα στους αγωγούς. Τα νέα σχεδιαστικά κριτήρια αφορούν μονό κυκλικούς, ευθύγραμμους αγωγούς. Γι' αυτό το λόγο εφαρμόζουμε το πρόγραμμα μόνο στους ευθύγραμμους αγωγούς της μελέτης μας. Δεν θα υπήρχε καμιά πρακτική αξία να εφαρμόσουμε το πρόγραμμα σε στροφές αγωγών ή σε κόμβους αγωγών, υπολογίζοντας την ταχύτητα ροής για κάθε ευθύγραμμο τμήμα αγωγού χωριστά. Διότι το κύριο αίτιο της απόθεσης φερτών υλικών, στα συγκεκριμένα σημεία, είναι η σχετικά ή πολύ απότομη αλλαγή κατεύθυνσης του αγωγού (κακή συναρμογή), οπότε εύκολα αντιλαμβανόμαστε ότι το φαινόμενο της απόθεσης σε κείνα είναι πολύπλοκότερο, όπως είδη έχουμε αναλύσει. Άρα τοποθετώντας κάποιες ενδεικτικές τιμές στα διάφορα μεγέθη των εξισώσεων δεν θα είμαστε σίγουροι αν εκτός από την αλλαγή κατεύθυνσης παίζουν κάποιο ενισχυτικό ρόλο στη δημιουργία αποθέσεων τα ευθύγραμμο τμήματα ενός αγωγού. Ένα άλλο σημείο των υπολογισμών που χρειάζεται διευκρίνιση είναι ότι το πρόγραμμα το εφαρμόζουμε και σε αγωγούς μη κυκλικής διατομής. Αυτό έγινε εφικτό, αντικαθιστώντας στις εξισώσεις του πίνακα 5.4 τη διάμετρο D των κυκλικών αγωγών με την ποσότητα $4R$ όταν πρόκειται για μη κυκλικούς αγωγούς, όπου R είναι η υδραυλική ακτίνα του μη κυκλικού αγωγού. Γιατί μην ξεχνάμε για ένα κυκλικό αγωγό ισχύει $D=4R/2=2R$, όπου $R/2$ η υδραυλική ακτίνα ενός κυκλικού αγωγού ακτίνας R . Ουσιαστικά δηλαδή αντικαθιστούμε έναν αγωγό μιας οποιαδήποτε διατομής με ένα «ισοδύναμο» κυκλικό αγωγό. Αυτή η αντικατάσταση, διαπιστώσαμε ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την ελάχιστη ταχύτητα ροής ώστε να έχουμε αυτοκαθαρισμό, παρά την μικρή απόκλιση που παρουσιάζει.

Παρακάτω σας δείχνουμε πόσο εκτιμήσαμε τις τιμές για όλα τα μεγέθη των εξισώσεων :

$$\begin{aligned} \text{Μέγεθος στερεών υλικών } d_{50} &= 1000 \mu\text{m} = 1000 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\ &= 750 \mu\text{m} = 750 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\ &= 300 \mu\text{m} = 300 \cdot 10^{-6} \text{ m} \end{aligned}$$

Σχετική πυκνότητα αποθέσεων $S_s = 2.6$ για αγωγούς ομβρίων και 2.1 για παντοροϊκούς αγωγούς.

$$\begin{aligned} \text{Ογκομετρική συγκέντρωση αποθέσεων } c_v &= 100 \text{ ppm} = 100 \cdot 10^6 \\ &= 50 \text{ ppm} = 50 \cdot 10^6 \\ &= 20 \text{ ppm} = 20 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

Συντελεστής τριβής καθαρού νερού $\lambda_0 = 0.032$.

$$\text{Ειδικό βάρος νερού } \gamma = \rho \cdot g = 1000 \text{ Kgr/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/sec}^2 = 9810 \text{ N/m}^3$$

Το πλάτος των αποθέσεων εκτιμήθηκε διαφορετικό για κάθε αγωγό. Αναλυτικά έχουμε :

$W_b = 1 \text{ m}$ και $W_b = 0.5 \text{ m}$ για τον αγωγό στις οδούς Φιλικών και Αντιφάνους,

$W_b = 0.5 \text{ m}$ για τον αγωγό στις οδούς Ιεράπετρας και Αριστομένους,

$W_b = 1 \text{ m}$ για τον παντοροϊκό αγωγό στην οδό Κωνσταντινουπόλεως,

$W_b = 0.3 \text{ m}$ για τον αγωγό στην οδό Λουδοβίκου,

$W_b = 0.3 \text{ m}$ για τον αγωγό στην οδό Μεραρχίας και Ακτής Μιαούλη,

$W_b = 0.1 \text{ m}$ για τον αγωγό στην οδό Μιαούλη και $W_b = 0.05 \text{ m}$ για τον αγωγό στην οδό Φλέσσα.

Στο πλάτος των αποθέσεων για τον αγωγό στις οδούς Φιλικών και Αντιφάνους δώσαμε δύο τιμές γιατί οι αποθέσεις εκεί δεν παρουσιάζουν μια κανονικότητα επειδή ίσως οφείλονται από την εκτέλεση ορισμένων έργων ανάντι του αγωγού ή από ανθρώπινη αμέλεια. Έτσι βάλαμε δύο τελείως υποθετικές τιμές για καλύτερη διερεύνηση των αποτελεσμάτων, που πήραμε. Στον αγωγό της οδού Φλέσσα δεν είχαμε βρει αποθέσεις φερτών υλικών, παρά μόνο μικρή ροή νερού, κατά την επίσκεψη μας σε αυτών. Γι' αυτό όταν κάναμε τον υπολογισμό της ελάχιστης ταχύτητας ροής αγωγού με αποθέσεις δώσαμε στο πλάτος των αποθέσεων μια πολύ μικρή τιμή σαν να μην έχει σχεδόν καθόλου αποθέσεις.

Αγωγοί χωρίς αποθέσεις
Πίνακας 5.5

ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΡΟΗΣ ΑΓΩΓΩΝ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ

| Όνομασία οδών που βρίσκονται οι αγωγοί | Ελάχιστες ταχύτητες (m/s) | | | | | | | | | | | | Ελάχιστη συρτική τάση | |
|--|---------------------------|----------|----------|-----------|-------------------------|----------|-----------|----------|--------------------------|-----------|----------|----------|-----------------------|-----------------------------|
| | d ₅₀ = 300μm | | | | d ₅₀ = 750μm | | | | d ₅₀ = 1000μm | | | | | |
| | Cv=100ppm | Cv=50ppm | Cv=20ppm | Cv=100ppm | Cv=50ppm | Cv=20ppm | Cv=100ppm | Cv=50ppm | Cv=20ppm | Cv=100ppm | Cv=50ppm | Cv=20ppm | | |
| Φιλικών και Αντιφάνους | 1.59 | 1.37 | 1.14 | 1.50 | 1.30 | 1.08 | 1.48 | 1.28 | 1.06 | 0.92 | 0.76 | 1.06 | 1.06 | 4.69 ⁽¹⁾ |
| Ιεράπετρας | 1.14 | 0.99 | 0.82 | 1.08 | 0.94 | 0.78 | 1.06 | 0.92 | 0.76 | 0.92 | 0.76 | 0.76 | 0.76 | 20.12 |
| Αριστομένους | 1.14 | 0.99 | 0.82 | 1.08 | 0.94 | 0.78 | 1.06 | 0.92 | 0.76 | 0.92 | 0.76 | 0.76 | 0.76 | 60.40 |
| Κωσταντινουπόλεως | 1.24 | 1.07 | 0.89 | 1.16 | 1.01 | 0.84 | 1.15 | 0.99 | 0.82 | 0.99 | 0.82 | 0.82 | 0.82 | 7.71 |
| Λουδοβίκου | 0.65 | 0.57 | 0.47 | 0.62 | 0.54 | 0.44 | 0.61 | 0.53 | 0.43 | 0.53 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 1.23 ^{(1),(2),(3)} |
| Μεραρχίας και Α. Μισούλη | 0.65 | 0.57 | 0.47 | 0.62 | 0.54 | 0.44 | 0.61 | 0.53 | 0.43 | 0.53 | 0.43 | 0.43 | 0.43 | 2.45 ^{(1),(2),(3)} |
| Μισούλη (ανάντι) | 0.40 | 0.35 | 0.29 | 0.38 | 0.33 | 0.27 | 0.37 | 0.32 | 0.26 | 0.32 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 2.45 ^{(1),(2),(3)} |
| Μισούλη (κατάντι) | 0.45 | 0.39 | 0.33 | 0.43 | 0.37 | 0.31 | 0.42 | 0.36 | 0.30 | 0.36 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 3.07 ^{(1),(3)} |
| Φλέσσα | 4.73 | 4.10 | 3.40 | 4.48 | 3.88 | 3.22 | 4.40 | 3.81 | 3.16 | 4.40 | 3.16 | 3.16 | 3.16 | 78.48 |

(1) Δεν επαρκεί η συρτική τάση για κριτήριο του U.K. (H.B).

(2) Δεν επαρκεί η συρτική τάση για κριτήριο της Γερμανίας.

(3) Δεν επαρκεί η συρτική τάση για κριτήριο στη USA.

ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΡΟΗΣ ΑΓΩΓΩΝ ΜΕ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ^{(1), (2), (4)}

Πίνακας 5.6

| Όνομασία οδών που βρίσκονται οι αγωγοί | Ελάχιστες ταχύτητες (m/s) | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------|----------|-------------------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| | d ₅₀ = 300μm | | | d ₅₀ = 750μm | | | d ₅₀ = 1000μm | | | | | |
| | Cv=100ppm | Cv=50ppm | Cv=20ppm | Cv=100ppm | Cv=50ppm | Cv=20ppm | Cv=100ppm | Cv=50ppm | Cv=20ppm | Cv=100ppm | Cv=50ppm | Cv=20ppm |
| Φιλικών και Αντιφάνους | 0.37 | 0.33 | 0.28 | 0.44 | 0.39 | 0.33 | 0.46 | 0.41 | 0.46 | 0.41 | 0.35 | |
| Ιεράπετρας και Αριστοτέλους | 0.37 | 0.33 | 0.28 | 0.43 | 0.38 | 0.33 | 0.46 | 0.41 | 0.46 | 0.41 | 0.34 | |
| Κωσταντινουπόλεως | 0.33 | 0.29 | 0.25 | 0.39 | 0.34 | 0.29 | 0.41 | 0.36 | 0.41 | 0.36 | 0.31 | |
| Λουδοβίκου | 0.22 | 0.19 | 0.17 | 0.26 | 0.23 | 0.20 | 0.27 | 0.24 | 0.27 | 0.24 | 0.21 | |
| Μεραρχίας και Α. Μισούλη | Ίδια αποτελέσματα με τον παραπάνω αγωγό | | | | | | | | | | | |
| Μισούλη (ανάντι) | 0.17 | 0.16 | 0.14 | 0.21 | 0.19 | 0.16 | 0.22 | 0.20 | 0.22 | 0.20 | 0.18 | |
| Μισούλη (κατάντι) | 0.20 | 0.18 | 0.15 | 0.23 | 0.21 | 0.18 | 0.24 | 0.22 | 0.24 | 0.22 | 0.21 | |
| Φλέσσα | 0.64 | 0.57 | 0.48 | 0.75 | 0.67 | 0.57 | 0.79 | 0.70 | 0.79 | 0.70 | 0.60 | |
| Φιλικών και ⁽³⁾ Αντιφάνους | 0.45 | 0.40 | 0.34 | 0.56 | 0.51 | 0.43 | 0.59 | 0.53 | 0.59 | 0.53 | 0.46 | |

(1) Οι αγωγοί θεωρούνται σε ημιπλήρωση.

(2) Το πλάτος W_b των αποθέσεων έχει εκτιμηθεί διαφορετικό για κάθε αγωγό.

(3) Υπολογισμός για διαφορετικό W_b.

(4) Εμπειρικά κριτήρια πιο αυστηρά από Κ.Ε.Τ

Πίνακας 5.7 ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΡΟΗΣ ΑΝΩΓΩΝ ΜΕ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ^{(1),(2)} και (3)

| Όνομασία οδών που βρίσκονται οι αγωγοί | Ελάχιστες ταχύτητες (m/s) | | | | | | | | | | | | ΚΡΙΤΗΡΙΟ 2 |
|--|---------------------------|----------|----------|-------------------------|----------|----------|--------------------------|--------------|----------|--|--|--|------------|
| | d ₅₀ = 300μm | | | d ₅₀ = 750μm | | | d ₅₀ = 1000μm | | | | | | |
| | Cv=100p ppm | Cv=50ppm | Cv=20ppm | Cv=100pp m | Cv=50ppm | Cv=20ppm | Cv=100p ppm | Cv=50pp m | Cv=20ppm | | | | |
| Φιλικών και Αντιφάνους | 0.45 | 0.40 | 0.34 | 0.53 | 0.47 | 0.40 | 0.56 | 0.50 | 0.42 | | | | 0.95 |
| Ιεράπετρας και Αριστομένους | 0.48 | 0.42 | 0.36 | 0.56 | 0.50 | 0.43 | 0.59 | 0.53 | 0.45 | | | | 0.88 |
| Κωσταντινουπόλεως | 0.42 | 0.37 | 0.31 | 0.49 | 0.44 | 0.38 | 0.52 | 0.46 | 0.40 | | | | 0.93 |
| Λουδοβίκου | 0.27 | 0.24 | 0.21 | 0.32 | 0.29 | 0.24 | 0.34 | 0.30 | 0.26 | | | | 0.88 |
| Μεραχίας και Α. Μισούλη | 0.27 | 0.24 | 0.21 | 0.32 | 0.29 | 0.24 | 0.34 | 0.30 | 0.26 | | | | 0.80 |
| Μισούλη (ανάντι) | 0.23 | 0.20 | 0.17 | 0.27 | 0.24 | 0.20 | 0.28 | 0.25 | 0.21 | | | | 0.70 |
| Μισούλη (κατάντι) | 0.26 | 0.23 | 0.20 | 0.31 | 0.27 | 0.23 | 0.32 | 0.29 | 0.24 | | | | 0.73 |
| Φλέσσα | 0.95 | 0.84 | 0.72 | 1.11 | 0.99 | 0.84 | 1.17 | 1.04 | 0.89 | | | | 0.88 |
| Φιλικών ⁽⁴⁾ και Αντιφάνους | 0.55 | 0.49 | 0.42 | 0.65 | 0.57 | 0.49 | 0.68 | 0.60 | 0.52 | | | | 0.95 |

(1) Οι αγωγοί θεωρούνται σε ολική πλήρωση.

(2) Το πλάτος W_b των αποθέσεων έχει εκτιμηθεί διαφορετικά για κάθε αγωγό.

(3) Εμπειρικά κριτήρια πιο αυστηρά από Κ.Ε.Τ

(4) Υπολογισμός για διαφορετικό W_b

Στους πίνακες 5.5, 5.6 και 5.7 που βρίσκονται στις προηγούμενες σελίδες παρατίθενται τα αποτελέσματα των υπολογισμών μας. Παρατηρώντας τα προσεκτικά μπορούμε να πούμε ότι οι υπολογισμοί κατά το μεγαλύτερο μέρος δίνουν πιο ελαστικά όρια ταχυτήτων αυτοκαθαρισμού, από τα διάφορα εμπειρικά κριτήρια.

Ξεκινώντας λοιπόν, στον Πίνακα 5.5 παρατηρούμε ότι για τους αγωγούς ομβρίων (στις οδούς Φιλικών και Αντιφάνους, στην οδό Ιεράπετρας), το νέο σχεδιαστικό κριτήριο ελάχιστης ταχύτητας είναι συγκριτικά πιο αυστηρό από τα διάφορα εμπειρικά κριτήρια, που ισχύουν σε διάφορες χώρες. Άρα στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, επαληθεύεται το συμπέρασμα ότι το κριτήριο ελάχιστης ταχύτητας δίνει πιο ρεαλιστικές τιμές για αυτήν επειδή λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες ροής των αγωγών, αλλά και τις φυσικές ιδιότητες των φερτών υλικών. Όμως όταν υπολογίζουμε την συρτική τάση, των δύο αυτών αγωγών, βλέπουμε ότι επαρκή αυτή σύμφωνα με το κριτήριο της ελάχιστης συρτικής τάσης. Δηλαδή παίρνουμε αντιφατικά αποτελέσματα μεταξύ των δύο αυτών κριτηρίων.

Αντίθετα, στους παντοροϊκούς αγωγούς, το κριτήριο ελάχιστης ταχύτητας είναι πιο ελαστικό σε σχέση με εμπειρικά κριτήρια Αγγλίας και Γερμανίας. Αυτό φαίνεται λογικό για αγωγούς που δεν παρουσιάζουν αποθέσεις όπως αυτοί που βρίσκονται στις οδούς Μεραρχίας και Ακτής Μιαούλη και στην οδό Φλέσσα. Όμως στους αγωγούς που βρίσκονται στις οδούς Λουδοβίκου, Κωνσταντινουπόλεως και Μιαούλη, οι οποίοι δεν παρουσιάζουν αποθέσεις το κριτήριο ελάχιστης ταχύτητας ροής δεν φαίνεται να μας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επίσης το κριτήριο της ελάχιστης συρτικής τάσης μας δίνει αναξιόπιστα αποτελέσματα. Για το παντοροϊκό αγωγό που δεν έχει αποθέσεις, που βρίσκεται στην οδό Μεραρχίας και Ακτής Μιαούλη, υπολογίσαμε ότι η συρτική του τάση δεν επαρκή για τον αυτοκαθαρισμό του. Αλλά ο αγωγός που βρίσκεται στην οδό Κωνσταντινουπόλεως φαίνεται ότι η συρτική του τάση επαρκεί αλλά αυτός παρουσιάζει αποθέσεις.

Αντίθετα, αν εξετάσουμε τους αγωγούς με αποθέσεις βλέπουμε ότι το νέο σχεδιαστικό κριτήριο που εκτιμά την ελάχιστη ταχύτητα ροής είναι λιγότερο αυστηρό σε σύγκριση με τα εμπειρικά κριτήρια για αγωγούς με ημιπλήρωση (πίνακας 5.6) αλλά και για αγωγούς με ολική πλήρωση (πίνακας 5.7). Τα αποτελέσματα επαληθεύονται, γιατί μην ξεχνάμε ότι στην δεύτερη επίσκεψη μας στους αγωγούς δεν είδαμε αύξηση της μάζας των αποθέσεων. Άρα πέρα από τις αρχικές αποθέσεις που αποτίθενται στους αγωγούς δεν υπάρχει περαιτέρω αύξηση τους, και έτσι απαιτείται μικρότερη ταχύτητα ροής. Με άλλα λόγια δηλαδή επαληθεύεται η ελαστικότητα των ορίων της ελάχιστης ταχύτητας ροής με το νέο σχεδιαστικό κριτήριο σε σχέση με τα εμπειρικά κριτήρια για τους αγωγούς με κάποια ανεκτή ποσότητα αποθέσεων.

Συνοψίζοντας, το συμπέρασμα που απορρέει από τους υπολογισμούς μας είναι ότι τόσο τα παλιότερα εμπειρικά κριτήρια όσο και τα νεότερα δεν μας δίνουν μια σαφή και ακριβή εικόνα για την δημιουργία των αποθέσεων σε πραγματικές συνθήκες. Πολλές φορές τα κριτήρια αυτά δίνουν αντιφατικά αποτελέσματα για την ύπαρξη ή μη αποθέσεων, σε αγωγούς, και απέχουν από τη πραγματικότητα.

Ας εξετάσουμε τώρα πως εξαρτάται η ταχύτητα ροής σε σχέση με τις συνθήκες ροής αλλά και τα χαρακτηριστικά των φερτών υλικών, σύμφωνα με τους υπολογισμούς μας από τους πίνακες 5.5, 5.6, 5.7 μπορούμε να δούμε ότι :

1. Η ταχύτητα ροής αυξάνεται όσο αυξάνεται η πλήρωση του αγωγού. Βλέπουμε δηλαδή όταν η διατομή ενός αγωγού είναι σε κατάσταση ολικής πλήρωσης χρειάζεται μεγαλύτερη ταχύτητα αυτοκαθαρισμού. Αυτό συμβαίνει γιατί η στερεομεταφορά είναι μεγαλύτερη για αγωγούς με μερική πλήρωση, διότι η

υδραυλική ακτίνα μειώνεται από ένα ποσοστό πλήρωσης πάνω από το 70 % της πλήρους διατομής.

2. Το όριο της ταχύτητας ροής για ένα αγωγό είναι μεγαλύτερη όταν έχουμε ροή χωρίς απόθεση, ενώ μειώνεται όταν επιτρέπουμε ροή με απόθεση.

3. Όταν έχουμε ροή χωρίς απόθεση όσο αυξάνει το μέγεθος των στερεών υλικών d_{50} τόσο μειώνεται η ταχύτητα αυτοκαθαρισμού. Αυτό φαίνεται κατ' αρχήν παράδοξο, ίσως γιατί όταν έχουμε υλικό αποθέσεως μικρού μεγέθους τότε δημιουργούνται συσσωματώματα εξαιτίας οργανικού φορτίου άρα για πλήρη αυτοκαθαρισμό να απαιτούνται και μεγαλύτερες ταχύτητες ροής.

4. Αντίθετα με την προηγούμενη παρατήρηση, όταν έχουμε αγωγούς με αποθέσεις τότε για μεγαλύτερο μέγεθος στερεού υλικού παίρνουμε και μεγαλύτερες ταχύτητες αυτοκαθαρισμού επειδή είναι ανεκτό και κάποιο ποσοστό αποθέσεων.

5. Επίσης, όταν αυξάνεται η απαιτούμενη ικανότητα στερεομεταφοράς C_v , αυξάνεται το όριο της ταχύτητας ροής πράγμα αυτονόητο αφού για περισσότερη συγκέντρωση στερεών υλικών απαιτείται και μεγαλύτερη ταχύτητα αυτοκαθαρισμού.

6. Ακόμα, όταν έχουμε σε έναν αγωγό ροή με αποθέσεις τότε η ταχύτητα αυτοκαθαρισμού είναι μεγαλύτερη για μικρό πλάτος απόθεσης, ενώ όταν αυξάνεται το πλάτος αυτή μειώνεται. Αυτό συμβαίνει γιατί αν έχουμε νέες αποθέσεις σε έναν αγωγό αυξάνεται το ενεργό πλάτος του πυθμένα και έτσι μειώνεται η υδραυλική ακτίνα με συνέπεια να μειώνεται η στερεομεταφορά, διότι μειώνεται η ταχύτητα ροής.

7. Τέλος, βλέπουμε στον πίνακα 5.6 το 2ο κριτήριο να μας δίνει μικρότερες ταχύτητες ροής τόσο σε σχέση με το εμπειρικό κριτήριο ελάχιστης ταχύτητας όσο και σε σχέση με τα νέα σχεδιαστικά κριτήρια. Αυτό συμβαίνει διότι λαμβάνουμε τελειώς εμπειρικά σαν ελάχιστη συρτική τάση πυθμένα 2 Nt/m^2 ενώ τα ανάλογα κριτήρια ελάχιστης συρτικής τάσης θεωρούν ως όριο απόθεσης μεγαλύτερες τιμές ελαχίστων συρτικών τάσεων.

5.4.4. Συμπεράσματα

Από όλα τα παραπάνω μπορούμε να καταλάβουμε εύκολα γιατί υπερτερούν τα νέα σχεδιαστικά κριτήρια σε σύγκριση με άλλα παλαιότερα (εμπειρικά ή με εμπειρικές παραδοχές) κριτήρια όπως π.χ. το 2ο κριτήριο που απαιτεί την χρήση της εμπειρικής τιμής 2 Nt/m^2 για την ελάχιστη απαιτούμενη συρτική τάση πυθμένα. Αντίθετα τα νέα σχεδιαστικά λαμβάνουν υπόψη τις συνθήκες ροής στον αγωγό αλλά και τα χαρακτηριστικά των αποθέσεων, αποφεύγοντας έτσι εμπειρικές παραδοχές. Κανένα κριτήριο όμως δεν προσδιορίζει πως θα γίνει εγκατάσταση της προυποτιθέμενης απόθεσης στην αρχή λειτουργίας του δικτύου.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των νέων σχεδιαστικών κριτηρίων είναι, ότι δεν αγνοούν την παράμετρο της οικονομικότητας, στοιχείο σημαντικό για ένα έργο. Χάρη σε αυτή την παράμετρο, η λειτουργία των δικτύων αποκτά ανεκτικότητα και μπορούν αυτά να λειτουργήσουν ικανοποιητικά κάτω από διαφορετικές συνθήκες ροής άσχετα αν θα προκαλέσουν αποθέσεις ή όχι. Έτσι δεν είναι αναγκαίο πλέον αγωγοί μικρής διαμέτρου να τοποθετούνται με μεγάλη κλίση ώστε να μην αντιμετωπίζουν καθόλου προβλήματα αποθέσεων, ενώ αγωγοί μεγάλης διαμέτρου που τοποθετούνται αναγκαστικά με μικρή κλίση θα αντιμετωπίζουν λιγότερα

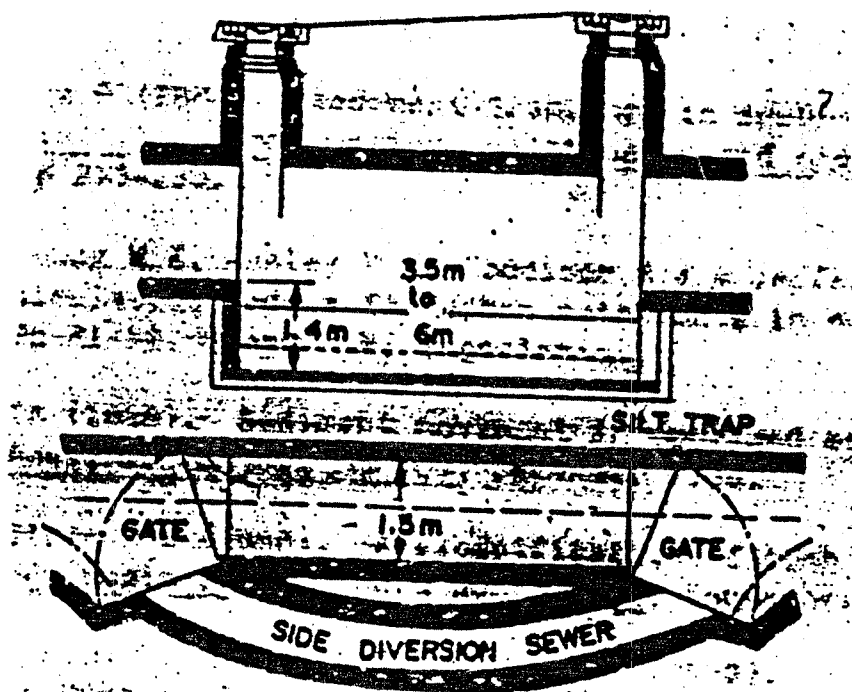
προβλήματα αποθέσεων. Τα παραπάνω συνεπάγονται λιγότερες εκσκαφές για την εγκατάσταση αγωγών, αλλά και ευκολότερο καθαρισμό των αγωγών, ελατώνοντας τις οικονομικές απαιτήσεις για εγκατάσταση και συντήριση του δικτύου.

5.5. Πρακτικές για την Ελαχιστοποίηση των Αποθέσεων σε Κατασκευασμένα Δίκτυα

1. Διακοπή της διαδικασίας της απόθεσης σε συγκεκριμένα σημεία του δικτύου.

Είναι γνωστό ότι η στερεομεταφορά με συρτικό φορτίο είναι αποκλειστικά υπεύθυνη για το σχηματισμό των αποθέσεων. Άρα μια καλή λύση είναι η συλλογή του συρτικού φορτίου λίγο ανάντη από τα ευαίσθητα σημεία του δικτύου που σχηματίζονται αποθέσεις. Τα αιωρούμενα στερεά είναι άσκοπο να συλλέγονται αφού δεν συμμετέχουν στο σχηματισμό των αποθέσεων. Οι κατασκευές είναι ειδικά ορύγματα που δημιουργούνται στον πυθμένα των αγωγών και είναι από τις λεγόμενες 'παγίδες φερτών'.

Μια τέτοια παγίδα φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 5.1. Η διάταξη αυτή είναι πιο χρήσιμη στους παντοροικούς αγωγούς υπό συνεχή ροή.

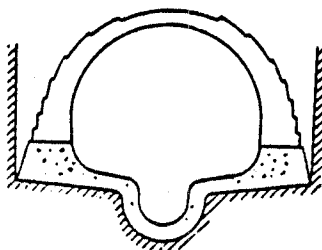


Σχήμα 5.1: Παγίδα φερτών υλικών

Όταν η παγίδα είναι άδεια τότε ανοίγουμε το θυρόφραγμα της κατασκευής οπότε η παγίδα γεμίζει με φερτά υλικά με βάθος 1.4 m. Όταν γεμίσει η παγίδα τότε κλείνουμε το θυρόφραγμα ανοίγουμε τον αγωγό εκβολής για να συνεχιστεί η ροή. Ο καθαρισμός της παγίδας γίνεται με χειρονακτικά μέσα κάτι που δεν είναι σωστό από άποψη ασφάλειας και υγιεινής, κυρίως στους παντοροικούς αγωγούς.

2. Δημιουργία αυλακιού στον πυθμένα του αγωγού.

Μια άλλη λύση είναι και η δημιουργία αυλακιού στον πυθμένα του αγωγού. Πρόκειται για μια πρόχειρη υπερδιαστασιολόγηση του υπάρχοντος αγωγού ώστε να συγκεντρώνει το συρτικό φορτίο χωρίς μείωση της πραγματικής επιφάνειας ροής. Μια τέτοια κατασκευή φαίνεται στο σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2: Αγωγός με αυλάκι.

5.6. Διάσταση των Φερτών που Εισρέουν στο Δίκτυο Υπονόμων.

Η διάσταση των φερτών που εισέρχονται σε ένα δίκτυο υπονόμων εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες :

1. Την αποτελεσματική πρακτική καθαρισμού των αστικών επιφανειών.
2. Την σωστή και αποτελεσματική λειτουργία των αμμοσυλλεκτών στα φρεάτια υδροσυλλογής.

Ο πρώτος παράγοντας όπως είναι γνωστό η αστική απορροή είναι ρυπασμένη από κάθε μορφής ρυπαντές. Από αιωρούμενα σωματίδια και BOD μέχρι βαριά μέταλλα και πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Η ρύπανση προέρχεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες είναι ρυπογόνες. Έτσι η αστικοποίηση, η εκρηκτική αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, η βιομηχανοποίηση, το εμπόριο είναι μερικές από τις αιτίες απόθεσης των φερτών υλικών στις αστικές επιφάνειες. Αν δεν μεσολαβήσει περίοδος βροχοπτώσεων τότε η συγκέντρωση των υλικών αυτών γίνεται ολοένα μεγαλύτερη. Χρειάζεται λοιπόν μια αποτελεσματική πρακτική καθαρισμού των αστικών επιφανειών για την συγκέντρωση όσο είναι δυνατών των υλικών αυτών που εκτός των άλλων είναι μεγάλος παράγοντας μόλυνσης για το δίκτυο υπονόμων κυρίως για το δίκτυο όμβριων.

Η σωστή λειτουργία των αμμοσυλλεκτών στα φρεάτια υδροσυλλογής είναι ο δεύτερος παράγοντας από τον οποίον εξαρτάται η ποσότητα και η διάσταση των

φερτών που εισρέουν στο δίκτυο. Οι αμμοσυλλέκτες των φρεατίων υδροσυλλογής είναι από τα πιο χρήσιμα έργα κεφαλής των δικτύων αστικής αποχέτευσης. Η σωστή λειτουργία και ο περιοδικός καθαρισμός των φρεατίων θα έχει ως αποτέλεσμα την όσο το δυνατόν περισσότερη κατακράτηση των πιο χονδρόκοκκων υλικών. Αυτά λειτουργούν ως μικρές δεξαμενές κατακράτησης των φερτών πριν την είσοδο τους στο δίκτυο υπονόμων.

Στην περιοχή της Αθήνας τα φρεάτια υδροσυλλογής χρησιμοποιούνται ευρύτατα αλλά όμως με πολύ μικρή συχνότητα καθαρισμού. Διατάσσονται στα κράσπεδα σε διασταυρώσεις, συμβολές και στροφές των δρόμων. Πρέπει να τοποθετούνται έτσι που ν' αφήνουν στεγνές διαβάσεις για τους πεζούς. Κάθε φρεάτιο πρέπει να εξυπηρετεί επιφάνεια 200 μέχρι 400 m². Στους δρόμους ανάλογα με το πλάτος τους, προβλέπονται φρεάτια κάθε 20 έως 50 m. Τα φρεάτια υδροσυλλογής που υπάρχουν στην Αθήνα είναι δύο τύπων με επίπεδη σχάρα ή με την σχισμή στο ρείθρο του πεζοδρομίου ώστε να συνδυάζει την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εισροή όμβριων και την αποτελεσματική κατακράτηση των πιο χονδρόκοκκων υλικών και στην σχάρα αλλά και στον αμμοσυλλέκτη. Τα παλαιότερα φρεάτια μόνο με την σχισμή στο ρείθρο του πεζοδρομίου δεν αποτελούν ικανοποιητική λύση στην κατακράτηση των φερτών υλικών αλλά και ο καθαρισμός των φρεατίων αυτών είναι εξαιρετικά δύσκολος και γίνεται μόνο με χειρωνακτικό τρόπο. Αντιθέτως στα νέου τύπου φρεάτια ο καθαρισμός του φρεατίου γίνεται με εφαρμογή μηχανικών μέσων. Ο νέος τύπος φρεατίων υδροσυλλογής έχει την κωδική ονομασία τύπου Α για τους αγωγούς ομβρίων και τύπου Β για τους παντορροικούς αγωγούς. Στους παντορροικούς αγωγούς στο φρεάτιο είναι προσαρμοσμένος ένας σιφωνοειδής αγωγός ο οποίος ακόμα και στις άνυδρες περιόδους είναι γεμάτος με νερό από την τελευταία βροχόπτωση και δεν επιτρέπει στις οσμές να αναδυθούν στην επιφάνεια.

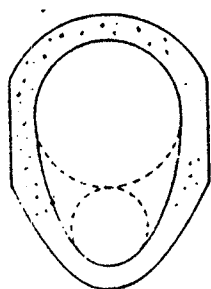
Μελέτες που έχουν γίνει έχουν δείξει ότι η ικανότητα κατακράτησης φερτών υλικών των φρεατίων υδροσυλλογής μειώνεται σημαντικά με την μείωση των διαστάσεων των εισρεόντων φερτών. Αυτό σημαίνει ότι είναι αποτελεσματικά στην κατακράτηση στερεών συρτικού φορτίου αλλά αναποτελεσματικά στην κατακράτηση λεπτόκοκκων σωματιδίων. Άρα είναι μια πολύ καλή λύση στην μείωση του συρτικού φορτίου στους αγωγούς αλλά δεν κατακρατούν τα ρυπαντικά σωματίδια από την είσοδο τους στο δίκτυο. Την κατακράτηση των λεπτόκοκκων σωματιδίων αναλαμβάνουν οι δεξαμενές κατακράτησης / καθίζησης.

Τα φρεάτια υδροσυλλογής να καθαρίζονται τακτικά ώστε όσα κατακρατούνται να μην φθάνουν μέχρι το τέλος του υπερχειλιστή του αμμοσυλλέκτη. Σε αντίθετη περίπτωση τα επόμενα φερτά θα καταλήγουν κατευθείαν στο δίκτυο. Πάντως σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη η κατακράτηση των φερτών είναι σχεδόν η ίδια άσχετα από το βάθος των κατακρατούμενων φερτών στον αμμοσυλλέκτη. Θα μπορούσε έτσι να φτιαχτεί ένα οικονομικό χρονοδιάγραμμα εργασίας ώστε τα φρεάτια να καθαρίζονται όταν το βάθος των παγιδευμένων φερτών φθάσει κοντά στο χείλος του αμμοσυλλέκτη.

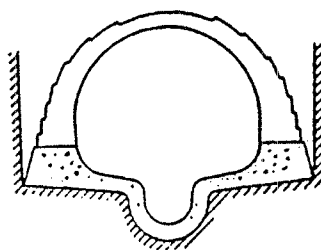
5.7. Επίδραση της Διατομής του Αγωγού

Η μορφή της διατομής των αγωγών έχει μεγάλη σημασία από άποψη στερεομεταφοράς, και ταχύτητας ροής ενός συστήματος υπονόμων. Σύμφωνα με την Υδραυλική το βέλτιστο σχήμα ενός αγωγού είναι το ημικυκλικό με ελεύθερη επιφάνεια κι' αυτό γιατί έχει το μεγαλύτερο πηλίκο του εμβαδού ροής και της βρεχόμενης επιφάνειας (αυτό συμβαίνει όταν δεν έχουμε φερτά υλικά). Από άποψη

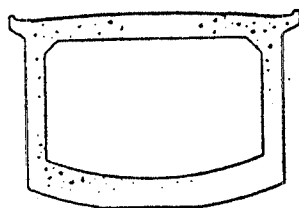
στερεομεταφοράς η βέλτιστη μορφή είναι η ορθογωνική διατομή και γι' αυτό χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εκβολές αγωγών. Οι ορθογωνικοί αγωγοί χρησιμοποιούνται σε αγωγούς ομβρίων με μεγάλες παροχές γιατί οι υδραυλικές ιδιότητες είναι αρκετά καλές και ότι η κατασκευή τους, είναι σχετικά εύκολη. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η τιμή της υδραυλικής ακτίνας στους ορθογώνιους αγωγούς μειώνεται κατά περίπου 30 % όταν η ροή φθάνει στο μέγιστο της πλήρωσης γιατί η βρεχόμενη περίμετρος αυξάνει σημαντικά με την είσοδο και της οροφής του αγωγού. Οι ωοειδείς αγωγοί χρησιμοποιούνται κυρίως για τους παντορροικούς αγωγούς. Για τους παντορροικούς αγωγούς επίσης χρησιμοποιείται και ο κυκλικός αγωγός με ένα κατάλληλα διαμορφωμένο αυλάκι στο πυθμένα του αγωγού για να παροχετεύει τα οικιακά λύματα. Οι ωοειδείς αγωγοί υπερέχουν των κυκλικών γιατί δίνουν καλύτερες ταχύτητες ροής οπότε και η στερεοπαροχετευτικότητα τους θα είναι μεγαλύτερη. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ωοειδείς αγωγοί είναι πιο στενοί στο κάτω μέρος κι' έτσι εξασφαλίζουν και μεγαλύτερες ταχύτητες ροής. Επίσης οι ωοειδείς αγωγοί προσφέρονται για έντονα μεταβαλλόμενη παροχή ($\max Q \gg \min Q$). Επειδή η περιοχή του πυθμένα είναι στενότερη σημαίνει ότι το βάθος ροής θα είναι μεγαλύτερο και οι συρτικές τάσεις πυθμένα θα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τους κυκλικούς αγωγούς. Αντίθετα οι ωοειδείς αγωγοί εμφανίζουν το μειονέκτημα ότι έχουν χειρότερα στατικά χαρακτηριστικά από τους κυκλικούς αγωγούς και η κατασκευή τους είναι δύσκολη. Επίσης για την ίδια παροχετευτικότητα σε σχέση με έναν αντίστοιχο κυκλικό αγωγό, ο ωοειδής αγωγός έχει μεγαλύτερο ύψος. Άλλες μορφές διατομών που χρησιμοποιούνται είναι η στοματοειδής διατομή, η υπερυψωμένη στοματοειδής, η σκουφοειδής διατομή και άλλες. Μερικές φαίνονται παρακάτω :



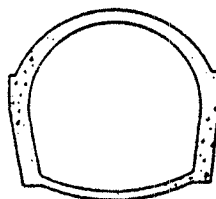
a. Egg-shaped
or oval



b. Semicircular section
with cunette



c. Rectangular section



d. Horseshoe section

5.8. Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στο σχεδιασμό δικτύων αγωγών, με βάση κάποια εμπειρικά ή μη κριτήρια. Αναφέρεται όμως και σε νεότερες σχεδιαστικές αντιλήψεις που βοηθούν στο οικονομικό σχεδιασμό των δικτύων που λειτουργούν ανεκτά κάτω από μεγάλο φάσμα υδραυλικών συνθηκών ροής.

Επίσης σε αυτό το κεφάλαιο βλέπουμε ποιες παράμετροι και πως ακριβώς επηρεάζουν την ροή σε έναν αγωγό ώστε να εμφανίζει αποθέσεις ή όχι.

Τέλος παρουσιάζεται ένα ένα πρόγραμμα πρόβλεψης αποθέσεων για ευθύγραμμους αγωγούς, που στηρίζεται στα νέα σχεδιαστικά κριτήρια. Ακολουθεί εφαρμογή του μόνο σε ευθύγραμμους αγωγούς ομβρίων, αλλά και παντοροϊκούς αγωγούς που επισκεφθήκαμε. Κατόπιν παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα που πήραμε.

6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΑΠΟ ΥΠΟΝΟΜΟΥΣ

6.1. Έλεγχος και συντήρηση (Γενικές προσεγγίσεις)

Οι εγκαταστάσεις αποχέτευσης πρέπει, μετά την ολοκλήρωση των εργασιών κατασκευής, να εκπληρούν την αποστολή τους χωρίς προβλήματα για αρκετές δεκαετίες. Αυτό για να γίνει απαιτείται ο έλεγχος του δικτύου, και ο καθαρισμός του, δηλαδή η απομάκρυνση από τους σωλήνες των αποθέσεων που θα διαπιστωθούν. Επί πλέον πρέπει να διεξάγονται εργασίες συντήρησης όπως π.χ. άμεσες μικροεπισκευές, αντικατάσταση τμημάτων του μηχανολογικού εξοπλισμού και άλλα.

Μία φορά το χρόνο πρέπει να γίνεται επιθεώρηση του δικτύου. Αυτό όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν γενικό κριτήριο, διότι η εν λόγω συχνότητα μπορεί να διαφέρει σημαντικά, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες το είδος των λυμάτων, την διάμετρο και την διατομή του αγωγού κ.λπ.

Τμήματα του δικτύου που έχουν υποστεί ζημιές, πρέπει κατά κανόνα να ελέγχονται συχνότερα. Από τον μελετητή πρέπει να γίνει επίμονα η υπόδειξη των συχνών επιθεωρήσεων, αν θέλει να πετύχει. Πρέπει να συντάσσονται επίσης οδηγίες λειτουργίας. Αντλιοστάσια, ανακουφιστικά έργα, καθώς και άλλα τεχνικά έργα πρέπει να ελέγχονται κάθε μήνα. Και φυσικά η αποκατάσταση των ζημιών στο δίκτυο κρύβει κίνδυνο να αποτελέσει ένα σημαντικό παράγοντα απόθεσης φερτών υλικών. Αυτό συμβαίνει κυρίως για δύο λόγους. Πρώτος λόγος είναι, ότι εξαρχής σε κάποια σημεία του δικτύου υπάρχουν κακοτεχνίες, οι οποίες είτε είναι δύσκολο ή αδύνατο να αποκατασταθούν, είτε διαφεύγει η επισήμανση τους από τους ελέγχους και τις επιθεωρήσεις του δικτύου. Ο δεύτερος λόγος αφορά την ελλιπή ή πρόχειρη αποκατάσταση των ζημιών και τελικά έχει αποτέλεσμα όχι την ανακούφιση των αγωγών από τις αποθέσεις αλλά την παραμονή ή την διόγκωση του προβλήματος όπως παρατηρήσαμε και από τις επισκέψεις μας στους αγωγούς.

Στις σχετικά μεγάλες κοινότητες και τις πόλεις, ο τακτικός καθαρισμός του δικτύου είναι συνήθως ρουτίνα. Προβληματικότερος είναι σε μικρούς οικισμούς, όπου συχνά θεωρείται αγγαρεία και μάλιστα δαπανηρή. Γι' αυτό εδώ συμβαίνουν συχνά ανωμαλίες από έλλειψη επιτήρησης.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι καθαρισμού, με τις οποίες μπορεί να γίνει άψογος καθαρισμός, ακόμα και όταν οι αποθέσεις είναι πολλές ή φράζουν τελείως τον αγωγό.

Ο απλούστερος τρόπος είναι η έκπλυση των αγωγών με νερό για να βελτιώνεται η δύναμη καθαρισμού. Οι αποθέσεις πρέπει κατ' αρχήν να αποκολληθούν από τον αγωγό και μετά να απομακρυνθούν. Ως επί το πλείστον η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε αγωγούς μικρών διαμέτρων.

Ο μηχανικός καθαρισμός γίνεται με κατάλληλους αποξέστες, βούρτσες και άλλα ειδικά εξαρτήματα, τα οποία σύρονται μέσα στο δίκτυο με κατάλληλα υπέργεια συρματόσχοινα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για αγωγούς μεγάλων διαμέτρων. Η χρήση της έχει μειωθεί σημαντικά, λόγω της εμφάνισης νεότερων μεθόδων

Σήμερα προτιμάται η μέθοδος έκπλυσης υπό υψηλή πίεση. Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, εκτοξεύεται μέσα στον αγωγό και αντίθετα στην κατεύθυνση της ροής, νερό με πίεση 100 bar από κατάλληλα ακροφύσια. Το μειονέκτημα της μεγάλης κατανάλωσης νερού, ειδικά στην περίπτωση μεγάλων διαμέτρων, αντισταθμίζεται από το πλεονέκτημα, ότι δεν χρειάζεται η κάθοδος στον αγωγό για τον καθαρισμό του.

Βέβαια η τυχόν εξαιρετικά υψηλή πίεση μπορεί να προκαλέσει ζημιές στα τοιχώματα του αγωγού.

Δοκιμές καθαρισμού που έγιναν με σφαίρες από λαμαρίνα και βούρτσες από καουτσούκ, οι οποίες διατρέχουν τον αγωγό αντίθετα στην κατεύθυνση της ροής, έδωσαν πολύ καλά αποτελέσματα. Για τον καθαρισμό αγωγών μικρών διαμέτρων χρησιμοποιούνται εύκαμπτα σπινάλ. Επί πλέον υπάρχουν κατάλληλοι μηχανισμοί αναρρόφησης της ιλύος, όπου χρησιμοποιούνται και συνδυασμοί μεθόδων (έκπλυση υπό υψηλή πίεση / αναρρόφηση).

Το κίνητρο για τον καθαρισμό του δικτύου είναι η προσπάθεια εξασφάλισης της συνεχούς λειτουργίας του. Ο καθαρισμός πρέπει να γίνεται τουλάχιστον μια φορά το χρόνο. Ωστόσο δίκτυα με προδιάθεση για αποθέσεις θα πρέπει να καθαρίζονται συχνότερα. Αναμφισβήτητα, ο συχνός καθαρισμός είναι πιο εύκολος και πιο οικονομικός.

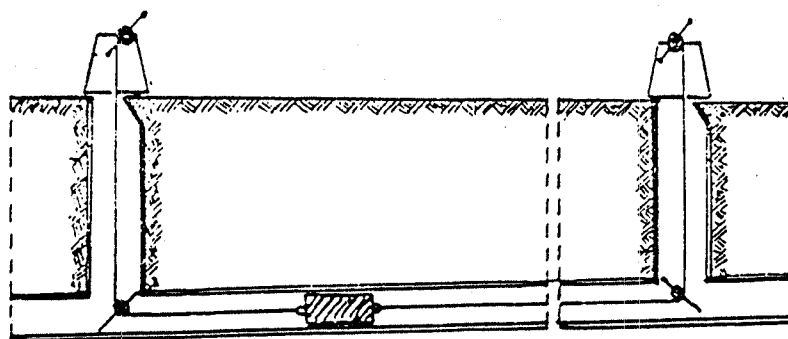
Προσοχή πρέπει να δίνεται και στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου. Κατάλληλη εννοούμε βέβαια την μέθοδο που έχει την μεγαλύτερη αποδοτικότητα στον καθαρισμό των αγωγών λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη, και το κόστος που απαιτείται για την κάθε μέθοδο.

Για την λειτουργία του δικτύου ισχύουν οι κανονισμοί πρόληψης ατυχημάτων σχετικά με εγκαταστάσεις αποχέτευσεων. Για εργασίες κατά την διάρκεια της ημέρας πρέπει να δίνεται προσοχή στην ένδυση με κατάλληλη φόρμα εργασίας και στην χρήση κατάλληλων φανών και συσκευών εντοπισμού αερίων, φιαλών οξυγόνου, ενδοσυνεννοήσεων, που είναι αναγκαίος εξοπλισμός ειδικότερα αν πραγματοποιείται κάθοδος εργαζομένων στους παντοροικούς αγωγούς αλλά και σε αγωγούς ακαθάρτων. Στους αγωγούς ακαθάρτων οι κάθοδοι εργαζομένων θα πρέπει να αποφεύγονται εκτός από περιπτώσεις μεγάλης ανάγκης. Όμως θα πρέπει να υπάρχει και άρτια εκπαίδευση των εργαζομένων πάνω στην σωστή λειτουργία σε όλες τις προαναφερόμενες συσκευές ασφαλείας.

6.2. Μέθοδοι Καθαρισμού των Αγωγών.

Παρουσιάζουμε τώρα αναλυτικά τις κυριότερες μεθόδους που χρησιμοποιούνται διεθνώς για τον καθαρισμό των αγωγών αποχέτευσης.

6.2.1. Καθαρισμός με την Χρήση Τροχαλιών: Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου καθαρισμού με την βοήθεια τροχαλιών φαίνεται ενδεικτικά στο παρακάτω σχήμα. Μεταξύ δύο φρεατίων επίσκεψης προσαρμόζονται οι δύο τροχαλίες με ένα καλώδιο που σέρνει τη συσκευή καθαρισμού. Η συσκευή καθαρισμού μπορεί να είναι οτιδήποτε από μια μορφή κουβά έως τις συσκευές που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση της ιλύος στις δεξαμενές καθίζησης. Συνήθως όμως οι συσκευές αυτές μοιάζουν πολύ με την κλασική μορφή του γεωργικού άροτρου.

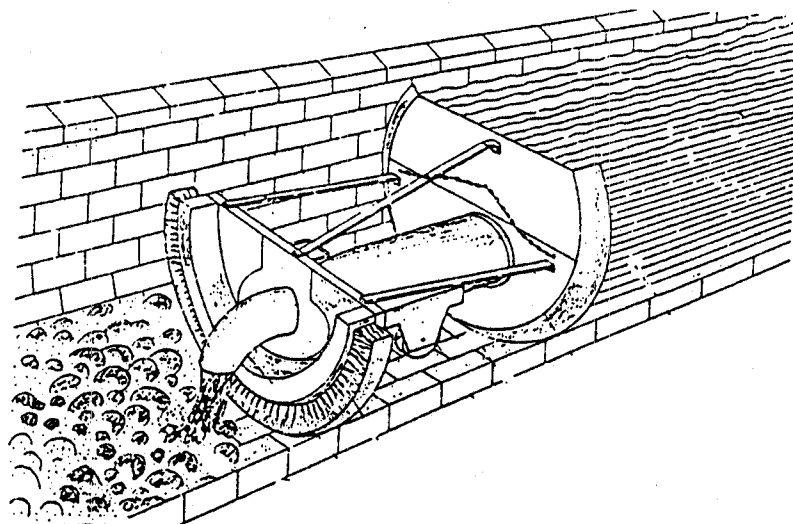


Σχήμα 6.1 : Καθαρισμός με την μέθοδο των τροχαλιών (Dinkelacker, 1992)

Το μέγεθος της καθαριστικής συσκευής λαμβάνεται αντίστοιχο με την διατομή αγωγού και το βάθος των αποθέσεων στον πυθμένα. Οι τροχαλίες κινούνται με χειρονακτικό τρόπο αν ο αγωγός είναι μικρός ή με κατάλληλο μηχανισμό, αν ο αγωγός είναι μεγαλύτερος. Έτσι θέτουν σε κίνηση τη συσκευή από το ένα φρεάτιο στο άλλο. Με την κίνηση της αυτή η συσκευή συμπαρασύρει τις αποθέσεις όπου στο επόμενο φρεάτιο επίσκεψης αντλούνται συνήθως με ειδικό φορτηγό αυτοκίνητο. Η μέθοδος αυτή δεν έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα για τους παντοροικούς αγωγούς και για τους αγωγούς ακαθάρτων, αν και οι διαστάσεις και η ειδικά πυκνότητα των φερτών των αποθέσεων είναι μικρότερες. Στους αγωγούς ομβρίων πάλι δεν έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα, είναι όμως καλύτερα σε σχέση με άλλες μεθόδους. Σε ερώτηση μας αν χρησιμοποιείται σήμερα η συγκεκριμένη μέθοδος, ο προϊστάμενος της αρμόδιας υπηρεσίας για τον καθαρισμό αγωγών της ΕΥΔΑΠ μας απάντησε ότι η μέθοδος αυτή έχει εγκαταλειφθεί προ πολλού αφού είναι χρονοβόρα, και πολύ μικρής αποδοτικότητας. Πρόβλημα είναι ότι κατά τις περιόδους καθαρισμού, χρειάζεται κατάληψη τμήματος του οδοστρώματος, από το συνεργείο καθαρισμού, με παρεμπόδιση της συγκοινωνίας που μπορεί να διαρκέσει δύο με τρεις εβδομάδες. Τέλος ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ότι κανείς δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι η συσκευή θα εφάπτεται εντελώς στον πυθμένα του αγωγού, ώστε να έχουμε πλήρη καθαρισμό του αγωγού. Ακόμα σε κυκλικούς ή ωοειδείς αγωγούς με κατασκευαστικές ατέλειες, η συσκευή θα βρίσκει εμπόδια στο δρόμο της και θα σταματάει συνέχεια, οπότε κάθε φορά το συνεργείο θα πρέπει να φροντίζει να κατεβαίνει στον αγωγό, για να αποκολλά την συσκευή.

6.2.2. Καθαρισμός με Εκτόξευση Φλέβας Χαμηλής Πίεσης : Κατά την μέθοδο αυτή τοποθετείται μια συσκευή σαν θυρόφραγμα που προκαλεί ανάσχεση της ανάντη ροής και την δημιουργία μιας μορφής ταμιευτήρα προς τα ανάντη. Από το θυρόφραγμα ξεκινάει μια συσκευή που καταλήγει σε ένα ακροφύσιο που εκτοξεύει το νερό της ροής με κάποια πίεση. Με την πτώση του νερού πάνω στις αποθέσεις (υποτίθεται) ότι θα προκαλέσει την απόπλυση τους. Μετά η συσκευή μεταφέρεται σιγά - σιγά προς τα κατάντη. Το κύριο πλεονέκτημα της διαδικασίας είναι η οικονομικότητα της που είναι ελκυστική. Τα μειονεκτήματα είναι : Πρώτον η τοποθέτηση της κατασκευής στο αρχικό σημείο απαιτεί δύσκολη εργασία του συνεργείου μέσα στον αγωγό που είναι εξαιρετικά επικίνδυνο. Δεύτερον η ανάσχεση πίσω από τη συσκευή δημιουργεί νέες αποθέσεις, γεγονός που αποτελεί και το σημαντικότερο μειονέκτημα. Τρίτο, μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι ο χρόνος

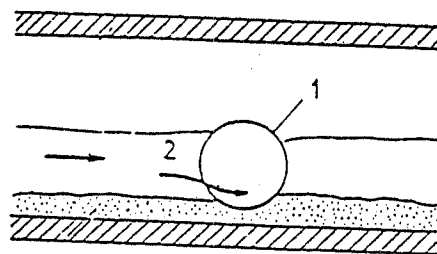
απόσυρσης της συσκευής από τον αγωγό είναι αρκετά μεγάλος. Επομένως σε περίπτωση ξαφνικής βροχόπτωσης η συσκευή ενδεχομένως να προκαλέσει σοβαρή ανάσχεση της πλημμύρας με άσχημα αποτελέσματα. Επειδή το διαθέσιμο νερό κατά την μέθοδο αυτή παίρνεται από την ίδια την ροή, η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για παντοροικούς αγωγούς. Παράσταση της λειτουργίας της μεθόδου αυτής φαίνεται στο σχήμα 6.2.



Σχήμα 6.2 : Καθαρισμός με φλέβα χαμηλής πίεσης (Dinkelacker, 1992)

6.2.3. Πρόληψη Δημιουργίας Αποθέσεων Χρησιμοποιώντας Μεταλλικές Σφαίρες:

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε για τον καθαρισμό των υπονόμων της πόλης Αννόβερου στη Γερμανία. Η μέθοδος συνίσταται στην είσοδο στη ροή των υπονόμων σφαιρών με συγκεκριμένο ρυθμό (π.χ. μία σφαίρα ανά ημέρα). Οι σφαίρες αυτές έχουν διάμετρο μικρότερη της διαμέτρου του αγωγού (συνήθως το ένα Τρίτο). Οι σφαίρες τοποθετούνται στη ροή του υπονόμου που τις μεταφέρει στην έξοδο του συστήματος όπου συλλέγονται και αποθηκεύονται για μελλοντική χρήση. Η λειτουργία των σφαιρών αυτών συνίσταται στο γεγονός ότι μετακινούμενες προς τα κατάντη δημιουργούν ένα είδος εμποδίου και εξαναγκάζουν τη ροή να το προσπεράσει αυξάνοντας την ταχύτητα της. Επίσης ο στροβιλισμός της σφαίρας δημιουργεί φαινόμενα τύρβης που προκαλούν αιώρηση των σωματιδίων. Η αρχή λειτουργίας των μεταλλικών σφαιρών φαίνεται στο σχήμα. 6.3.



Σχήμα 6.3 : Αρχή της λειτουργίας μεταλλικών σφαιρών (Dinkelacker, 1992)
(1 = σφαίρα καθαρισμού, 2 = ροή γύρω από την σφαίρα)

Τα αρχικά πειράματα έγιναν με λείες σφαίρες. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν ήταν καθόλου ικανοποιητικά. Αιτία ήταν ο πολύ χαμηλός συντελεστής τριβής της διεπιφάνειας της σφαίρας και της ροής, οπότε η κίνηση της σφαίρας δεν ήταν αυτή που έπρεπε ώστε να απαγορεύσει την δημιουργία των αποθέσεων. Επομένως αναπτύχθηκαν σφαίρες με αυξημένο συντελεστή τριβής. Το πιο κατάλληλο σχήμα ήταν το σχήμα S με χορδές τέτοιου σχήματος σε όλη την επιφάνεια της σφαίρας. Οι χορδές αυτές επιτρέπουν στην ροή να περνάει με αρκετά μεγαλύτερες ταχύτητες κάτω από την σφαίρα δημιουργώντας συνθήκες αιώρησης. Τέλος το σχήμα της επιφάνειας επιτρέπει στη σφαίρα να μην μετακινείται μόνο προς μια κατεύθυνση αλλά να αλλάζει φορά συνεχώς καλύπτοντας όσο περισσότερο κομμάτι του πυθμένα του αγωγού. Με το νέο σχήμα τα αποτελέσματα ήταν πολύ καλύτερα. Αυτή η πρακτική καθαρισμού είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο.

Για τις περισσότερες αποθέσεις της μελέτης μας δεν φαίνεται τρόπος ότι η μέθοδος των σφαιρών θα ήταν κατάλληλη. Κι' αυτό γιατί η συνεκτικότητα που έχουν αναπτύξει οι αποθέσεις είναι μεγάλη. Εξ άλλου οι κακοτεχνίες στις αλλαγές κατεύθυνσης των αγωγών (στροφές) αλλά και το φράξιμο του αγωγού από αποθέσεις φερτών μεγάλης συνεκτικότητας θα ακινητοποιούσαν την σφαίρα μέσα στον αγωγό. Έτσι θα ήταν δύσκολο σε πολλές περιπτώσεις να εντοπίσουμε σε πιο σημείο ήταν ακριβώς η σφαίρα, ειδικότερα σε αγωγούς μικρής διαμέτρου, αλλά θα απαιτούσε ίσως και μερική καταστροφή του αγωγού (και εν συνέχεια αποκατάσταση) στο συγκεκριμένο σημείο για το απεγκλωβισμό της σφαίρας.

6.2.5. Επίσκεψη στην Υπηρεσία Βυτιοφόρων της ΕΥΔΑΠ

Στις 12 και 13 Νοεμβρίου 1997, επισκεφτήκαμε τις εγκαταστάσεις της Υπηρεσίας Βυτιοφόρων της ΕΥΔΑΠ, που έχει σαν κύρια αρμοδιότητα τον καθαρισμό του δικτύου των υπονόμων από τις αποθέσεις. Έτσι βλέπουμε με ποιο τρόπο αντιμετωπίζεται πρακτικά, το πρόβλημα των αποθέσεων από φερτά υλικά στους αγωγούς των υπονόμων, στην Αθήνα και στον Πειραιά αλλά και κατ' επέκταση σε ολόκληρη την Ελλάδα.

Εκτός από τον καθαρισμό των αγωγών των υπονόμων σκοπός της υπηρεσίας είναι επίσης και ο καθαρισμός των αντλιοστασίων, των φρεατίων υδροσυλλογής καθώς και ο έλεγχος των αγωγών μετά ο καθαρισμός τους με μια κάμερα, ώστε να βλέπουν οι εργαζόμενοι αν έχει αντιμετωπιστεί το πρόβλημα που υπήρχε στον αγωγό ή αν υπάρχει κάποιο κατασκευαστικό λάθος στον αγωγό που λόγω αυτού δημιουργούνται αποθέσεις. Επίσης η υπηρεσία αντιμετωπίζει τα περιοδικά προβλήματα που εμφανίζονται στο δίκτυο, αλλιώς Σήματα Άμεσης Επέμβασης (Σ.Α.Ε). Αρχικά το τελευταίο ήταν πρωταρχικός σκοπός της υπηρεσίας, αλλά μετά οι αρμοδιότητες της επεκτάθηκαν, στον ευρύτερο καθαρισμό του δικτύου των υπονόμων.

Περνώντας στην ουσία, αναφέρουμε, τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται από την ΕΥΔΑΠ για τον καθαρισμό των αγωγών από τις αποθέσεις :

Καθαρισμός με Εκτόξευση Φλέβας Νερού : Γίνεται χωρίς την ανάγκη επίσκεψης του συνεργείου μέσα στον αγωγό επομένως είναι η καλύτερη λύση για τον καθαρισμό παντοροικών και ακαθάρτων αγωγών. Η συσκευή που εκτοξεύει φλέβα νερού με μεγάλη πίεση έχει την μορφή που εμφανίζεται στο επόμενο σχήμα και το νερό εκτοξεύεται από μικρές οπές (ακροφύσια) που είναι κατάλληλα προσαρμοσμένα στη συσκευή. Το νερό παροχετεύεται με πίεση 60 bar από ειδικό βυτιοφόρο και μεταφέρεται με λάστιχο που στην άκρη του είναι προσαρμοσμένη η συσκευή εκτόξευσης του νερού. Οι τύποι των οχημάτων κατά την μέθοδο αυτή που χρησιμοποιούνται από την ΕΥΔΑΠ είναι οι εξής :

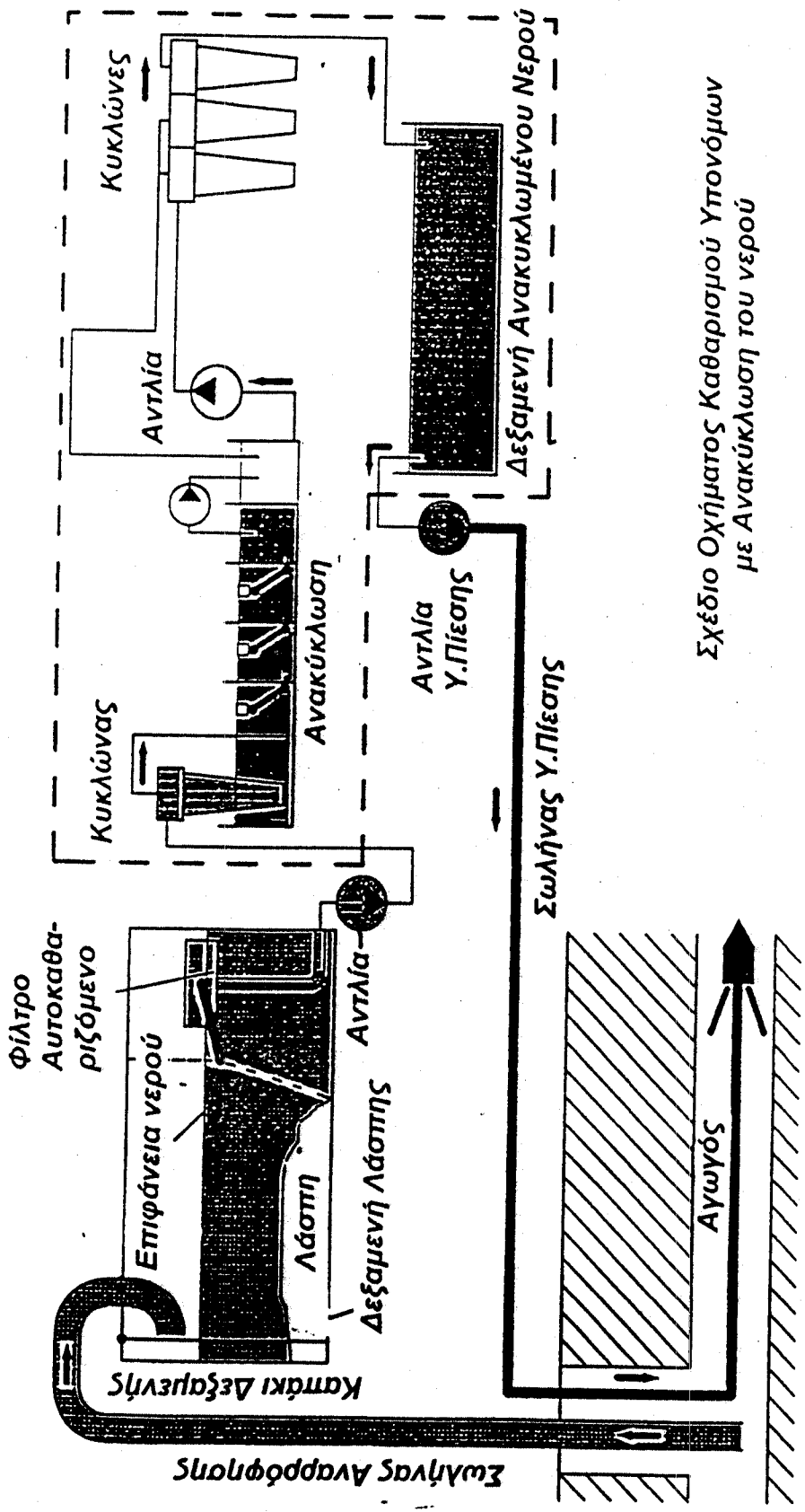
1. **Πιεστικό όχημα :** Αυτό με την βοήθεια μιας αντλίας εκτοξεύει το νερό από το βυτίο του οχήματος στον αγωγό με τα κατάλληλα ακροφύσια, στο τύμπανο του οχήματος από το λάστιχο υψηλής πίεσης
2. **Όχημα αναρρόφησης :** Αυτό βοηθάει στην αναρρόφηση των φερτών υλικών που θα συσσωρευτούν στο φρεάτιο μετά την απόπλυση του αγωγού.
3. **Μεικτό όχημα :** Αυτός ο τύπος του οχήματος μπορεί να πραγματοποιήσει και τις δύο διαδικασίες, που κάνουν οι δύο παραπάνω τύποι οχημάτων, δηλαδή και να εκτοξεύει νερό με υψηλή πίεση, αλλά και να κάνει αναρρόφηση. Το βυτίο του είναι χωρισμένο σε δύο μέρη. Το ένα μέρος έχει χωρητικότητα $3.5 m^3$ και περιέχει νερό για πίεση, ενώ το άλλο μέρος έχει χωρητικότητα $1.5 m^3$ όπου καταλήγουν τα φερτά μετά την αναρρόφηση. Είναι παλιάς τεχνολογίας όχημα, και με μικρή εμβέλεια. Παρόλο που μπορεί να κάνει και τις δύο διαδικασίες, έχει σχετικά πολύ μικρή χωρητικότητα το κάθε μέρος του, το νερό αδειάζει πολύ γρήγορα, στο ένα μέρος και γεμίζει γρήγορα με φερτά το άλλο μέρος (Στοιχεία ΕΥΔΑΠ).

Η διαδικασία καθαρισμού κατά την μέθοδο αυτή αναλυτικότερα έχει ως εξής : Το νερό παροχετεύεται με μεγάλη πίεση και μεταφέρεται με λάστιχο που στην άκρη του είναι προσαρμοσμένη η συσκευή εκτόξευσης του νερού. Χρησιμοποιούμε δύο γειτονικά φρεάτια επίσκεψης. Από το ανάντη φρεάτιο τοποθετούμε την συσκευή με τέτοιο τρόπο που οι φλέβες του νερού να έχουν κατεύθυνση το κατάντη φρεάτιο. Εκεί βρίσκεται, το όχημα αναρρόφησης που με αντλία θα αντλήσει τα φερτά που καταλήγουν μετά από την απόπλυση του φρεατίου. Το λάστιχο μαζεύεται προς το κατάντη φρεάτιο και η συσκευή παρασύρει τα φερτά προς τα κατάντη αποπλύνοντας τις αποθέσεις. Το φυσικό νόημα είναι προφανώς ότι οι φλέβες νερού ασκούν στις αποθέσεις τις κατάλληλες συρτικές τάσεις για την απόπλυση των αποθέσεων. Η μέθοδος αυτή είναι η πιο αποτελεσματική αλλά έχει και αρκετά μειονεκτήματα. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιείται σε όλες τις μορφές διατομών αλλά όχι σε όλα τα μεγέθη. Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου συνιστάται σε αγωγούς με διάμετρο μικρότερης των 1.30 μέτρων και για μήκος αγωγού μικρότερου των 100 μέτρων. Αυτό συμβαίνει γιατί οι παρασυρόμενες αποθέσεις συγκεντρώνονται πάνω στις επόμενες δημιουργώντας καινούργιες αποθέσεις που είναι πλέον δύσκολο να παρασύρει με την ίδια πίεση νερού. Άλλο πρόβλημα μεγάλο της μεθόδου αυτής είναι πως άμα τελειώσει το νερό από το βυτίο πρέπει να σταματήσει η διαδικασία του καθαρισμού αφού είναι πολύ δύσκολο και χρονοβόρο να βρεθεί κρουνός ώστε να ξαναγεμίσει το βυτίο, συνεπώς έχουμε μεγάλο κόστος. Εξάλλου εκφράζονται φόβοι μήπως η συνδυασμένη πίεση από το εκτοξευμένο νερό αλλά και από τα στερεά που μετακινούνται δημιουργήσουν τοπικές διαβρώσεις των αγωγών. Σήμερα στην Ελλάδα η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των σημάτων έκτακτης ανάγκης (Σ.Ε.Α.), καθώς και για τον καθαρισμό των φρεατίων υδροσυλλογής.

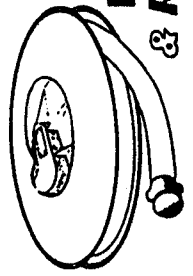
6.3. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Η σημερινή μέθοδος που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα για τον καθαρισμό των αγωγών από τις αποθέσεις έχει σαν βάση της λειτουργίας της την μέθοδο καθαρισμού με εκτόξευση φλέβας νερού, με μια όμως αρκετά πιο εξελιγμένη μορφή που σχεδόν μηδενίζει όλα τα μειονεκτήματα των προηγούμενων μεθόδων καθαρισμού που θα αναλύσουμε εκτενέστερα παρακάτω.

Σήμερα για τον καθαρισμό των αγωγών χρησιμοποιείται το όχημα Super 2000, όπως και τα προηγούμενα οχήματα, μάρκας Mercedes. Είναι ένα ιδιαίτερα εξελιγμένο όχημα, και βασικό προτέρημα έχει ότι μπορεί να κάνει ανακύκλωση του νερού πίεσης που εκτοξεύεται μέσα στον αγωγό για την απόπλυση του, απεριόριστες φορές. Απλοποιητικά η αρχή της λειτουργίας του οχήματος αυτού βασίζεται στο εξής γεγονός : Το νερό που εκτοξεύεται υπό πίεση στον αγωγό και τον καθαρίζει με τη διαδικασία της αναρρόφησης που ακολουθεί επιστρέφει πάλι στο όχημα και χρησιμοποιείται ξανά για τον επόμενο καθαρισμό του αγωγού, δηλαδή ξαναχρησιμοποιείται πάλι κατά τον ίδιο τρόπο υπό πίεση για το καθαρισμό άλλου τμήματος του αγωγού, μετά ξανααρροφάται κ.ο.κ. Σχηματικά το σύστημα ανακύκλωσης, που μας δείχνει ποια διαδρομή ακολουθεί το νερό, μέσα από το όχημα φαίνεται στην ακολουθη σχηματική παράσταση. Το μόνο που μένει να σημειώσουμε πάνω σ' αυτή τη σχηματική παράσταση είναι ότι οι κυκλώνες βοηθούν σημαντικά στον καθαρισμό του νερού, και στην επαναχρησιμοποίηση του ως νερού πίεσης.



Σχέδιο Οχήματος Καθαρισμού Υπνοδύμων με Ανακύκλωση του νερού



WIEDEMANN & REICHHARDT
 Maschinen- und Fahrzeugbau GmbH

Διαδρομή του νερού

Χάρη σε αυτούς το νερό απαλλάσσεται από την άμμο και άλλα σωματίδια, εξ αιτίας των φυγοκεντρικών δυνάμεων, που αναπτύσσονται κατά την περιστροφή τους. Στις επόμενες σελίδες ακολουθεί μηχανολογικό σχέδιο αυτού του συστήματος, καθώς και πίνακας με την ονοματολογία των μερών του.

Το Super 2000 έχει δεξαμενή για τα φερτά υλικά, χωρητικότητας 7000 L και δεξαμενή νερού 6000 L. Τα πλεονεκτήματα του οχήματος αυτού, και γενικότερα της μεθόδου αυτής του καθαρισμού είναι τα εξής : Υπάρχει μια άνοδος της παραγωγικότητας στον καθαρισμό των αγωγών αλλά και στην ποιότητα του καθαρισμού. Επίσης με αυτό το όχημα επιτυγχάνεται μεγάλη πτώση του κόστους. Η παραγωγικότητα ανεβαίνει γιατί μπορεί να εργάζεται περισσότερη ώρα πάνω από το κάθε φρεάτιο, ενώ η οικονομία επιτυγχάνεται διότι κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής χρησιμοποιείται ένα όχημα αντί για δύο οχημάτων που χρειάζονταν κατά την εφαρμογή της παλαιότερας μεθόδου. Αυτονόητο είναι ότι ενώ 1 όχημα χρειάζεται 1 οδηγό και 2 εργάτες, με την προηγούμενη μέθοδο χρησιμοποιούνταν 2 οχήματα τα οποία χρειάζονταν και διπλάσιο προσωπικό. Σαν συνέπεια όλων των προηγουμένων έχουμε ότι με την νέα μέθοδο καθαρίζουμε μεγαλύτερο μήκος αγωγών, εξοικονομώντας υπαλλήλους, χρόνο, καύσιμα οχημάτων αλλά και νερό σαν συνέπεια της ανακύκλωσης που του γίνεται (Στοιχεία ΕΥΔΑΠ).

Η απόσταση που μπορεί να καλύψει το μπεκ ενός τέτοιου οχήματος από φρεάτιο σε φρεάτιο είναι περίπου 120 μέτρα. Αυτό χρησιμοποιείται για αγωγούς διαμέτρων 0.80 m έως 1.10 m, και για κάθε είδους αγωγούς (παντορορικούς, ομβρίων, ακαθάρτων). Ο καθαρισμός των αγωγών γίνεται μετά από συνεννόηση της υπηρεσίας βυτιοφόρων με τους τομείς που είναι χωρισμένη η ΕΥΔΑΠ και βασίζεται πάνω στον προγραμματισμό του κάθε τομέα ή από ένα επείγον σήμα προς την υπηρεσία βυτιοφόρων.

Στις 13 Νοεμβρίου 1997, δηλαδή μια μέρα μετά από την επίσκεψη των γραφόντων στις εγκαταστάσεις της υπηρεσίας βυτιοφόρων, οι γράφοντες παρακολούθησαν πως λειτουργεί στην πράξη το όχημα Super 2000. Μαζί με το τεχνικό προσωπικό του οχήματος πήγαμε να παρακολουθήσουμε πως ακριβώς θα καθαριστεί ο αγωγός που βρίσκεται στην οδό Διδυμοτείχου στην Νίκαια. Πρόκειται για αγωγό ακαθάρτων που είχε φράξει εξαιτίας των φερτών υλικών. Όπως φαίνεται στην φωτογραφία 6.1. από το άσπρο στόμιο, στα αριστερά του οχήματος, ο σωλήνας που βρίσκεται συνδεδεμένος με αυτό το στόμιο συνδέεται και με το πυροσβεστικό κρουνό για να γεμίσουν με νερό οι δεξαμενές του οχήματος. Πρώτα γεμίζουν οι τέσσερις δεξαμενές καθίζησης, και στην συνέχεια γεμίζει η δεξαμενή ανακύκλωσης νερού.



Φωτογραφία 6.1 : Αποψη του νέου οχήματος καθαρισμού υπονόμων

Στο μεγάλο τύμπανο που βλέπουμε στην κορυφή του οχήματος είναι τυλιγμένο ένα μικρής διαμέτρου λάστιχο, που είναι το λάστιχο υψηλής πίεσης απ' όπου το νερό φεύγει με υψηλή πίεση προς τον αγωγό. Αυτό το στόμιο καταλήγει στο ακροφύσιο από εκεί το νερό φεύγει με πολύ μεγάλη πίεση γύρω στα 110 bar. Το σιδερένιο κάλυμμα, που βρίσκεται πάνω από το ακροφύσιο το προστατεύει από την φθορά. Πληροφοριακά αναφέρουμε ότι χρησιμοποιείται ακροφύσιο με μεγάλες οπές για τους μεγαλύτερης διαμέτρου αγωγούς, ενώ για τους μικρότερης διαμέτρου αγωγούς υπάρχει ακροφύσιο με μικρές οπές. Από τα παραπάνω μπορούμε να καταλάβουμε μια νέα βελτίωση του Super 2000, σε σχέση με τα παλαιότερα οχήματα καθαρισμού των αγωγών, είναι η μεγάλη αύξηση της πίεσης εκτόξευσης νερού απόπλυσης μέσα στον αγωγό. Στο Super 2000 είναι 110 bar, ενώ στα παλιά οχήματα είναι περίπου στο μισό. Ακόμα υπάρχουν και ριζοκοπτικά ακροφύσια τα οποία όπως φαίνεται και από την ονομασία τους κόβουν τις ρίζες που έχουν εισχωρήσει από τα φυτά μέσα στα τοιχώματα των αγωγών. Επίσης υπάρχει ο ριζοκόπτης ένα απλό μηχάνημα που κόβει τις ρίζες αυτές με απλό μηχανικό τρόπο.

Το όχημα αυτό έχει δύο πάνελ χειρισμών. Στο πρώτο πάνελ χειρισμών καθορίζεται η ταχύτητα περιστροφής του τύμπανου, η κίνηση του, οι στροφές λειτουργίας της αντλίας, η πίεση του ακροφύσιου, ενώ υπάρχει και ένα κόκκινο κουμπί με την ένδειξη STOP που σε περίπτωση κινδύνου σταματά όλες τις λειτουργίες του οχήματος. Δεξιότερα μπορούμε να διακρίνουμε ένα δεύτερο πάνελ χειρισμών. Από αυτό μπορούμε να εκλέξουμε την πίεση απόπλυσης του ακροφύσιου, την πίεση αναρρόφησης και να χειριστούμε το τύμπανο με το λάστιχο υψηλής πίεσης αλλά και το χειροκίνητο τύμπανο στα δεξιά του οχήματος.

Στην φωτογραφία 6.2. βλέπουμε πως το προσωπικό του οχήματος ρίχνει μέσα στον αγωγό το λάστιχο υψηλής πίεσης (απόφραξης) για τον καθαρισμό του αγωγού, ενώ στην διπλανή φωτογραφία φαίνεται τι συμβαίνει μέσα στον αγωγό κατά την απόπλυση του.



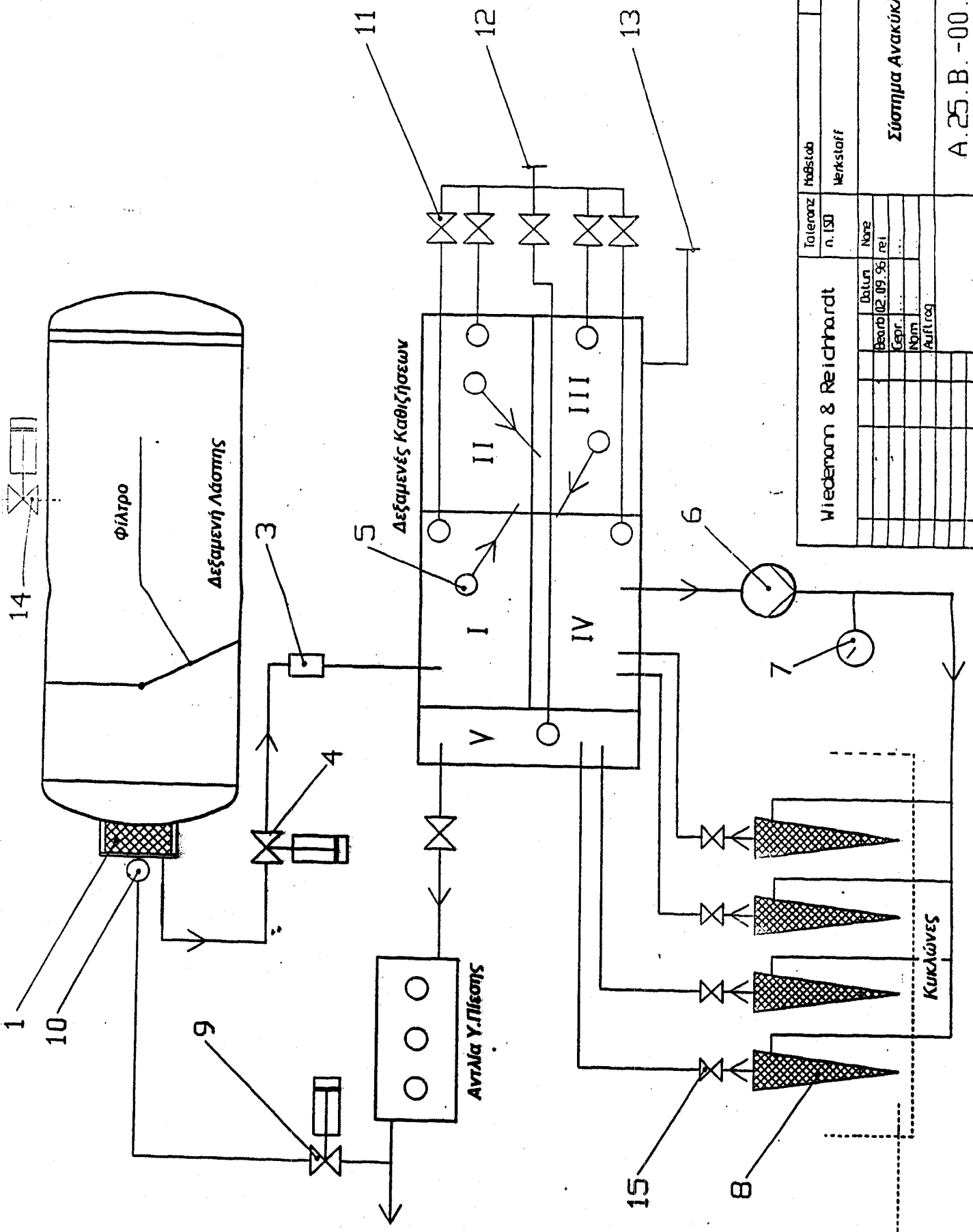
Φωτογραφία 6.2. : Εισαγωγή του μπεκ στον αγωγό

Το σχοινί που βλέπουμε να είναι συνδεδεμένο με το κάλυμμα του ακροφυσίου βοηθάει να κατευθύνουμε το ακροφύσιο μέσα στον αγωγό. Αλλά εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι το ακροφύσιο είναι αδύνατο να το κατευθύνουμε μέσα στις διακλαδώσεις των αγωγών. Μετά βγαίνει το λάστιχο υψηλής πίεσης και τοποθετείται το λάστιχο αναρρόφησης που είναι μεγάλης διαμέτρου, και βρίσκεται πάνω από το μεγάλο τύμπανο του οχήματος.



Φωτογραφία 6.3 : Εισαγωγή σωλήνα αναρρόφησης

Μετά γίνεται η αναρρόφηση, με πίεση 90 bar. Στο κάτω δεξί άκρο του οχήματος διακρίνεται ένα πράσινο χειροκίνητο τύμπανο, που έχει τυλιγμένο έναν μικρής διαμέτρου σωλήνα. Όταν γίνεται αναρρόφηση του νερού με αυτό τον λεπτό σωλήνα ρίχνουμε νερό χωρίς πίεση, ταυτόχρονα με την λειτουργία του σωλήνα αναρρόφησης. Αυτό μας βοηθάει στην καλύτερη πλύση του αγωγού. Στο δευτερεύον δίκτυο αυτός ο σωλήνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν σωλήνας απόφραξης ή αλλιώς υψηλής πίεσης. Το νερό μετά την αναρρόφηση φτάνει στην κεντρική δεξαμενή του οχήματος, (αλλιώς βαρέλα) και μετά γίνεται ανακύκλωση του. Περνάει μέσα από ένα φίλτρο και



| | | | |
|----------------------------|----------|---------------------|-----------|
| Wiedemann & Reichhardt | | Toleranz n. ISO | Maßstab |
| | | Bearb. 02.09.96 rel | Werkstoff |
| | | Zeich. Name Auftrag | |
| Zusl. | Änderung | Datum | Norm |
| | | | |
| Σύστημα Ανακύκλωσης | | | |
| A.25.B.-00.00 | | | Blatt 1 |
| | | | I. Bl. |

Χαρακτηρισμός επί μέρους στοιχείων Συστήματος Κενού

1. Αντλία κενού
2. Κλαπέτο
3. 4-οδή βάνα
7. Ασφαλιστικό υπερπίεσης
8. Βάνα εκκένωσης
9. Σιγαστήρας
10. Σιγαστήρας - Ελαιοδιαχωριστήρας
11. Κρουνός εκκένωσης
12. Βάνα αναρρόφησης αέρα
13. Κρουνός εκκένωσης

μετά οδηγείται στις δεξαμενές καθίζησης όπως φαίνεται στην σχηματική παράσταση “διαδρομή του νερού”. Όταν γεμίσει η βαρέλα του οχήματος με φερτά υλικά, αυτά αδειάζονται στον κεντρικό αποχετευτικό αγωγό (Κ.Α.Α.), απ’ όπου οι φερτές ύλες κατευθύνονται προς τις εγκαταστάσεις της Ψυτάλλειας όπου θα πραγματοποιηθεί και ο βιολογικός καθαρισμός τους. Πριν τον βιολογικό καθαρισμό έχουμε μια πρώτη φάση καθαρισμού όπου τα φερτά θα περάσουν πάνω από μεταφορικές ταινίες και θα πραγματοποιηθεί μια απαλλαγή των φερτών από χονδρόκοκκες αποθέσεις, που είχε συλλέξει το όχημα. Η κεντρική δεξαμενή του Super 2000 που εκεί καταλήγουν οι φερτές ύλες μπορεί να ανασηκωθεί όπως τα ανατρεπόμενα φορτηγά και να πάρει κλίση μέχρι και 50 μοίρες για να αφήσει τα φερτά υλικά που περιέχει μέσα στον Κ.Α.Α.

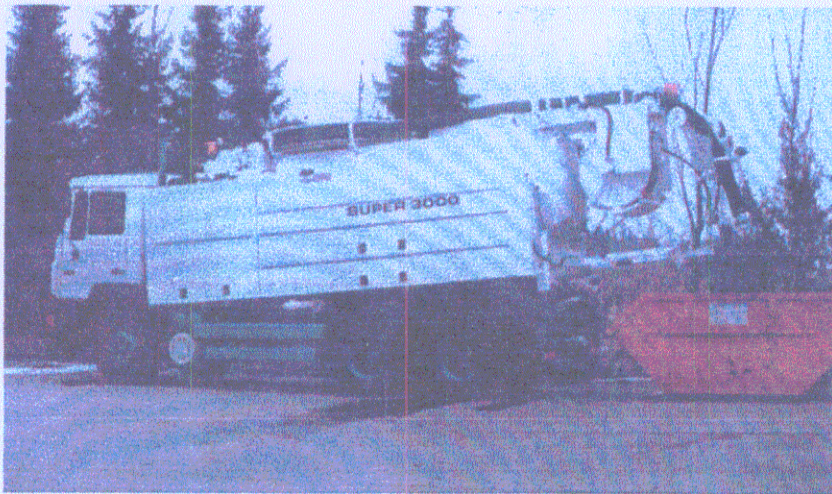
Ένα άλλο πλεονέκτημα που πρέπει να αναφέρουμε για το Super 2000 είναι η εύκολη συντήρηση του. Οι αντλίες που χρησιμοποιεί κατά τον μηχανισμό της ανακύκλωσης δεν θέλουν καθόλου συντήρηση, δηλαδή λάδι για την αποφυγή των τριβών. Τα ακάθαρτα νερά που διαρρέουν μέσα από αυτές είναι αρκετά ώστε να τις συντηρούν. Ακόμα πρέπει να αναφέρουμε πως όταν ένα φρεάτιο είναι γεμάτο με υψηλής συνεκτικότητας φερτές ύλες, τότε η απόπλυση του αγωγού δεν ξεκινά αμέσως, με την εκτόξευση φλέβας νερού με υψηλή πίεση, αλλά πρώτα γίνεται αναρρόφηση. Αμέσως μετά εκτοξεύεται νερό με υψηλή πίεση στον αγωγό για να διευκολυνθεί η απόπλυση του. Δηλαδή από ένα σημείο και μετά το όχημα μπορεί να κάνει ταυτόχρονα δύο λειτουργίες : εκτόξευση νερού και αναρρόφηση αυτού. Καμιά φορά συμβαίνει και το εξής απρόοπτο. Να έχουν αδειάσει οι δεξαμενές καθίζησης κατά την λειτουργία της απόπλυσης του αγωγού και να συνεχίζεται η αναρρόφηση νερού στην βαρέλα. Σε αυτή την περίπτωση διακόπτεται η λειτουργία του οχήματος, για να γίνει ανακύκλωση του νερού, που έχει συγκεντρωθεί στη βαρέλα.

Αξίζει ακόμα να αναφερθούν στοιχεία σχετικά με το πόσο χρόνο μπορεί να λειτουργεί συνεχώς και αδιαλείπτως το Super 2000, πάνω από τα φρεάτια για την απόπλυση των αγωγών από τις αποθέσεις. Το όχημα αυτό ξεκινάει την εργασία του, έχοντας γεμάτες με νερό τις 4 δεξαμενές καθίζησης του, καθώς και την δεξαμενή του ανακυκλωμένου νερού, ενώ η βαρέλα του είναι άδεια. Στην διαδικασία απόπλυσης, αναρρόφησης και ανακύκλωσης η βαρέλα γεμίζει με φερτά υλικά και νερό, ενώ αντιθέτως οι δεξαμενές καθίζησης και ανακυκλωμένου νερού έχουν λιγότερο νερό αφού έχει χρησιμοποιηθεί κατά την απόπλυση του αγωγού. Στο τέλος θα έχουμε φτάσει στο σημείο η βαρέλα να είναι γεμάτη με φερτές ύλες ενώ οι δεξαμενές να συνεχίζουν να περιέχουν νερό παρότι έχουν χρησιμοποιήσει πολύ μεγάλες ποσότητες για την απόπλυση των αγωγών και αυτό γιατί με την ανακύκλωση νέες ποσότητες νερού πηγαίνουν στις δεξαμενές του οχήματος. Τότε τερματίζεται η λειτουργία του. Από την πράσινη κεντρική οπή αδειάζεται όση ποσότητα νερού έχουν οι δεξαμενές για να μην είναι παραφορτωμένο το όχημα και στην συνέχεια το όχημα κατευθύνεται προς τον Κ.Α.Α.

Σήμερα στον Ελλαδικό χώρο υπάρχουν 32 συνολικά οχήματα τέτοιου τύπου, τέσσερα από αυτά ανήκουν στην ΕΥΔΑΠ. Άλλοι Δήμοι που χρησιμοποιούν αυτά τα οχήματα είναι : Χανίων, Ρεθύμνου, Αγίου Νικολάου, Λάρισας, Θεσσαλονίκης κ.τ.λ.

Όμως η τεχνολογία έχει προχωρήσει και έχουν κατασκευαστεί και νέου τύπου οχήματα τα οποία δεν υπάρχουν αυτή την στιγμή στην Ελλάδα (τα Super 3000). Το κύριο πλεονέκτημα που τα χαρακτηρίζει είναι ότι μπορούν να λειτουργούν συνεχώς πάνω από τα φρεάτια των αγωγών, και αυτό γιατί στο πίσω μέρος της βαρέλας τους έχουν ειδικό μπράτσο από το οποίο εξέρχονται τα φερτά υλικά τα οποία φορτώνονται επιτόπου σε ειδικά containers. Άξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η βαρέλα παίρνει

ανάποδη κλίση όπως φαίνεται και στην φωτογραφία 6.4. ώστε να μην χύνεται το νερό από τις δεξαμενές και να μπορεί να γίνει η ανακύκλωση.



Φωτογραφία 6.4 : Νέο όχημα καθαρισμού υπονόμων

Ας δούμε μερικά από τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του νέου αυτού και εξελιγμένου οχήματος καθαρισμού των υπονόμων, αυτό το όχημα ανταποκρίνεται στις παρακάτω λειτουργίες :

- 1. Κάνει διαχωρισμό των στερεών υλικών του υπονόμου, και παρακράτηση αυτών εντός του οχήματος, καθώς και επιστροφή των οργανικών υλών ξανά μέσα στον υπόνομο (προϊόντα διαχωρισμού ρευστής μορφής).
- 2. Κάνει απόθεση των στερεών ανόργανων υλών (που έχουν παρακρατηθεί στο όχημα μετά τον διαχωρισμό) σε κοινό κάδο (container), μέσω ενός κοχλία μεταφοράς που βρίσκεται κατάλληλα τοποθετημένος κατά μήκος του πυθμένα της δεξαμενής του οχήματος.
- Δηλαδή τα αναρροφόμενα υλικά από τον υπόνομο διαχωρίζονται μέσω του συστήματος σε ανόργανα (χαλίκια - άμμος κλπ.) και οργανικά. Τα οργανικά υλικά μπορούν να επιστραφούν στον υπόνομο από τον σωλήνα αναρρόφησης για την τελική επεξεργασία στον βιολογικό καθαρισμό ή να αυτοκαθαριστούν από το σύστημα ανακύκλωσης του οχήματος και να ξαναχρησιμοποιηθούν για το πλύσιμο του αγωγού με υψηλή πίεση.

Τα ανόργανα υλικά που παραμένουν στο όχημα (χαλίκια - άμμος κλπ.) εξάγονται μέσω κατάλληλου κοχλία μεταφοράς του οχήματος και αποθέτονται σε ένα συνηθισμένο κοντέινερ (χωρίς να ρυπαίνεται το περιβάλλον και το προσωπικό από τα εκτινασόμενα υγρά κατά την ώρα της εκκένωσης της δεξαμενής).

Τα πλεονεκτήματα του Super 3000 είναι :

1. Σημαντική μείωση του κόστους επεξεργασίας των αποτιθέμενων υλικών λόγω μείωσης του όγκου αυτών.
2. Μείωση του όγκου λόγω αφύγρανσης της λάσπης.

Σαν αποτελέσματα των πλεονεκτημάτων αυτών είναι :

1. Λιγότερα απόβλητα.
2. Το όχημα μπορεί να λειτουργεί αδιαλείπτως πάνω από τον υπόνομο παράγοντας συνεχώς έργο.
3. Μηδενίζονται οι διαδρομές για την απόθεση των υλικών.

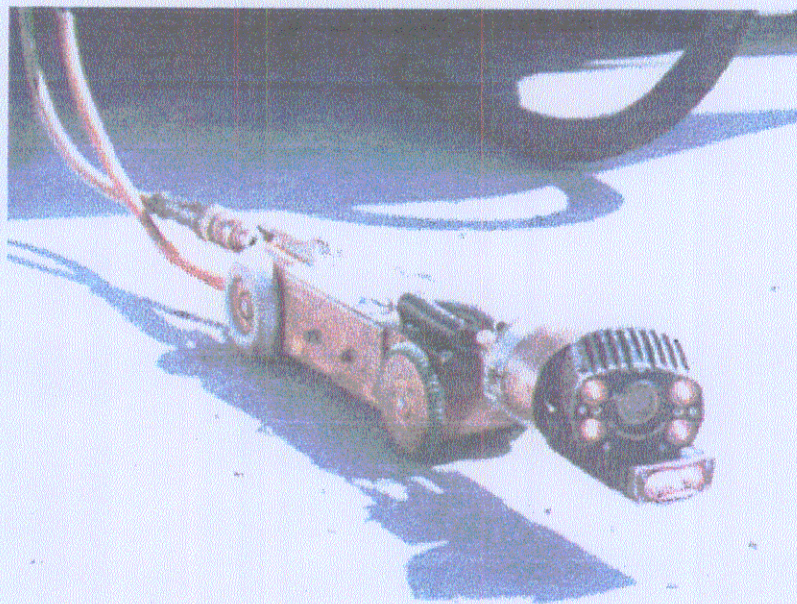
Ας δούμε στο τέλος τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξελιγμένου αυτού οχήματος καθαρισμού των υπονόμων :

- Δεξαμενή λάσπης 10000 L
 - Δεξαμενή νερού 5000 L
 - Πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα ανακύκλωσης.
 - Τύμπανο αναρρόφησης
 - Τύμπανο υψηλής πίεσης τοποθετημένο επάνω στον τηλεσκοπικό βραχίονα αναρρόφησης.
- Σύστημα κενού : Αντλία κενού με δακτυλίδι νερού kW 3000, για πολύ μεγάλη αναρροφητική ικανότητα και χαμηλό ύψος θορύβου.
- Σύστημα υψηλής πίεσης : 400 l/min - 140 Bar.
 - SIMATIC : Έλεγχος μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή όλων των λειτουργιών του οχήματος ώστε να αποφεύγεται και η ελάχιστη πιθανότητα ζημιάς του οχήματος από λανθασμένο χειρισμό.

6.4. Έλεγχος και Επίβλεψη του Δικτύου των Υπονόμων

Ο έλεγχος και η επίβλεψη του δικτύου των υπονόμων μετά από τον καθαρισμό του με την χρήση μιας από τις προηγούμενες μεθόδους γίνεται με την χρήση μιας ειδικής τηλεοπτικής κάμερας. Χρησιμοποιεί οχήματα τύπου Mercedes. Αυτό είναι χωρισμένο σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος βλέπουμε να υπάρχουν διάφορα εργαλεία όπως Βίντσι που στην μια άκρη του συνδέεται η κάμερα, πάνελ χειρισμού και στο κάτω μέρος μια βαλίτσα που είναι πάνω της η κεφαλή της κάμερας. Η πράσινη μπουκάλια που διακρίνεται στην φωτογραφία 6.5, είναι γεμάτη με άζωτο χάρη στο οποίο προστατεύεται η κάμερα από το νερό. Στο δεύτερο μέρος βρίσκεται ο χώρος εργασίας του προσωπικού του οχήματος. Περιλαμβάνει έναν υπολογιστή, ένα βίντεο εκτυπωτή, πάνελ χειρισμών με το οποίο ελέγχουμε τον φωτισμό και την ταχύτητα της κάμερας. Επίσης μπορούμε να έχουμε και ενδοεπικοινωνία με το πρώτο μέρος του οχήματος.

Η τηλεοπτική κάμερα κινείται με την βοήθεια ενός πλαισίου εφοδιασμένου με ηλεκτροκινητήρα. Σε αυτή διακρίνουμε το πλαίσιο στο οποίο είναι στερεωμένη η κάμερα, που επιτρέπει τη στροφή της κεφαλής της στα δεξιά ή αριστερά. Εκτός από τον έλεγχο του καθαρισμού του αγωγού η κάμερα μπορεί να διαπιστώσει και διάφορες κακοτεχνίες στην κλίση του και στην προσαρμογή του. Έχει την ικανότητα ακόμα να μετράει την κλίση των αγωγών καθώς και πόσα μέτρα κινήθηκε μέσα στον αγωγό.



Φωτογραφία 6.5 : Τηλεοπτική κάμερα για την επίβλεψη του δικτύου

Πάντως πρέπει να επισημάνουμε την δυσκολία, που έχει η κάμερα κατά την κίνηση της, στις στροφές και διακλαδώσεις των αγωγών όπου υπάρχει κακιά προσαρμογή των αγωγών. Έτσι επινοήθηκε μία χειρολαβή ώστε να κατεβαίνει μαζί της ένας εργάτης για την καταγραφή των στοιχείων.

6.5. Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια εκτενή αναφορά στις μεθόδους καθαρισμού αποθέσεων στα δίκτυα αγωγών. Περιγράφουμε την αρχή λειτουργίας της κάθε μεθόδου και αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μίας από αυτές. Όλες σχεδόν έχουν εγκαταληφθεί και η μέθοδος που έχει επικρατήσει είναι ο καθαρισμός με εκτόξευση φλέβας νερού. Με αυτή την μέθοδο κυρίως γίνεται και ο καθαρισμός των υπονόμων από την υπηρεσία βυτιοφόρων της ΕΥΔΑΠ, με υπερσύγχρονα οχήματα. Αυτά ανεβάζουν κατακόρυφα την απόδοση καθαρισμού των υπονόμων τόσο και από πλευράς όγκου φερτών που απομακρύνεται, όσο και από πλευράς χρόνου. Έτσι μπορούμε να έχουμε θεαματικές βελτιώσεις στην λειτουργικότητα ενός δικτύου.

Εκτός όμως από τον καθαρισμό ενός αγωγού για την βελτίωση των συνθηκών ροής πρέπει να γίνεται τακτικός έλεγχος και επίβλεψη ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητα προβλήματα. Αυτά γίνονται με την βοήθεια τηλεοπτικής κάμερας που μας δίνει ακριβή στοιχεία για την κατάσταση ενός αγωγού ώστε να γνωρίζουμε σε ποιά σημεία του μπορούν να παρουσιάσουν προβλήματα, πριν αυτά εκδηλωθούν. Με διάγνωση λοιπόν αντιμετωπίζουμε τα προβλήματα των δικτύων αποτελεσματικότερα.

Βλέπουμε λοιπόν ότι ο έλεγχος, η συντήρηση και ο καθαρισμός ενός δικτύου υπονόμου πρέπει να είναι διαρκής χωρίς εφυσήχασμό για να υπερκαλυφθούν τα μειονεκτήματα ενός δικτύου που προέρχονται είτε από κατασκευστικά λάθη, ανθρώπινη αμέλεια ή από γήρανση του.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1. Συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εξετάζει την μεταφορά φερτών υλικών μέσα σε δίκτυα υπονόμων, που σαν συνέπεια έχει την δημιουργία αποθέσεων στους αγωγούς. Αυτή αποτελεί συνέχεια παλαιότερης διπλωματικής εργασίας (Ζαρής 1995), και έχει σαν στόχο την εξαγωγή κάποιων συγκριτικών συμπερασμάτων για το αν βελτιώθηκε ή όχι η κατάσταση του προβλήματος, κατά το χρονικό διάστημα των δύο ετών που μεσολάβησε στην εκπόνηση των δύο διπλωματικών εργασιών.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι διαχρονικά δεν υπάρχει καμία μεταβολή από άποψη αποθέσεων στα σημεία του δικτύου που εξετάστηκαν και στις δύο μελέτες. Παρατηρήθηκαν κάποιες τυχαίες μικροδιαφορές στην μορφή και την σύσταση των αποθέσεων που μάλλον οφείλονται στις κλιματολογικές συνθήκες, κατά τις οποίες έγιναν οι επισκέψεις. Αλλά και σε άλλα σημεία του δικτύου, το πρόβλημα ήταν έντονο. Δεν θα πρέπει βέβαια να παραλείψουμε και την ανεπάρκεια των Ελληνικών κανονισμών που αγνοούν τελείως την σύσταση, το μέγεθος και την πυκνότητα των φερτών υλικών για τον υπολογισμό της ελάχιστης επιτρεπόμενης κλίσης ενός αγωγού. Το πρόβλημα των αποθέσεων είναι γενικά πολύ σοβαρό και δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι η λειτουργικότητα ενός δικτύου εξαρτάται πολύ από την ύπαρξη αποθέσεων. Το πρόβλημα μπορεί να πάρει μεγάλες διαστάσεις γι' αυτό, χρειάζεται έγκαιρη αντιμετώπιση του, τόσο κατά την κατασκευή ενός νέου δικτύου, όσο και στην περιοδική, σε τακτά χρονικά διαστήματα συντήρηση ενός δικτύου που είναι ήδη σε λειτουργία.

Πρέπει να επισημάνουμε επίσης ότι η μεταφορά των φερτών υλικών σε δίκτυα υπονόμων δημιουργεί διάφορα πολύπλοκα φαινόμενα. Αυτά πολλές φορές έχουν αντίθετα αποτελέσματα μεταξύ τους έτσι, δεν μπορούμε να εξάγουμε ακριβή και ασφαλή συμπεράσματα για τον ρόλο τους στην δημιουργία αποθέσεων. Όπως για παράδειγμα οι αποθέσεις αυξάνουν την τραχύτητα της ροής αλλά συγχρόνως αυξάνουν και την υδραυλική ακτίνα κυκλικών ή ωοειδών αγωγών (για μικρά πάχη αποθέσεων), που έχει σαν συνέπεια την αύξηση των ταχυτήτων ροής.

Οι θέσεις που παρατηρήσαμε αποθέσεις κυρίως μέσα στο δίκτυο είναι ο κάθετες στροφές με ταυτόχρονη μείωση της κλίσης προς τα κατάντη. Επίσης παρατηρούνται αποθέσεις σε αγωγούς που διακλαδίζονται ή μετατρέπονται σε δίδυμους προς τα κατάντη καθώς επίσης και σε φυσικά υδατορέματα, επηρεάζοντας την λειτουργία ανακουφιστικών έργων που έχουν σαν στόχο την προστασία από την μόλυνση των υδατορευμάτων. Ακόμα η χαμηλή κλίση πυθμένα μαζί με μία από της παραπάνω αιτίες εντείνει στην ύπαρξη του προβλήματος των αποθέσεων.

Οι κοκκομετρικές αναλύσεις των δειγμάτων των αποθέσεων μας έδωσαν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα. Οι λεπτόκοκκες αποθέσεις δημιουργούνται στα κατάντη τμήματα του δικτύου. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν μικρές διατμητικές αντοχές. Έτσι αυτές απομακρύνονται εύκολα από τα ανάντη τμήματα ενός δικτύου, ακόμα και κατά την διάρκεια ασθενών πλημμυρικών γεγονότων, όχι όμως και από τα κατάντη τμήματα. Το οργανικό υλικό δημιουργεί συνήθως προβλήματα ρύπανσης στους τελικούς αποδέκτες, όσο και στα φυσικά υδατορέματα. Το οργανικό φορτίο είναι πιο έντονο σε ένα παντοροϊκό σύστημα παρά σε ένα σύστημα ομβρίων (χωριστικό σύστημα). Τα χονδρόκοκκα υλικά έχουν μεγάλες διατμητικές αντοχές, απομακρύνονται δυσκολότερα, και τα συναντάμε στα ανάντη τμήματα του δικτύου.

Εύκολα μπορούμε να καταλάβουμε ότι η γεωμετρία του δικτύου παίζει σημαντικό ρόλο στην ύπαρξη του συγκεκριμένου προβλήματος. Αυτή προκαλεί ανομοιομορφία στην ροή, που βοηθάει στην δημιουργία αποθέσεων. Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας είναι η γήρανση του δικτύου που σαν συνέπεια έχει την διάβρωση των τοιχωμάτων και την διαφορική καθίζηση του.

Τέλος δεν θα πρέπει να ξεχνάμε την ανθρώπινη αμέλεια που εντείνει το πρόβλημα είτε με κατασκευαστικά λάθη ή διευκολύνοντας την πρόσβαση φερτών υλικών στο δίκτυο από διάφορα έργα που εκτελούνται στις ανάντη περιοχές.

7.2. Προτάσεις

Τα φαινόμενα δημιουργίας αποθέσεων εξαιτίας της πολυπλοκότητας τους απαιτούν μακροπρόθεσμη επιστημονική έρευνα, σημείο που ήθελε να θίξει κυρίως η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Μόνο μέσα από μακροπρόθεσμες παρατηρήσεις θα μπορούν να εξαχθούν ασφαλή και χρήσιμα συμπεράσματα. Όλες οι υδραυλικές κατασκευές (αγωγοί, ανακουφιστικά έργα, εκβολές υδατορεμάτων) χρειάζονται διαρκή έλεγχο και επίβλεψη, ώστε να μπορεί να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά το πρόβλημα των αποθέσεων πριν διογκωθεί ακόμα περισσότερο και καταστήσει προβληματική τη λειτουργία ενός δικτύου. Γι' αυτό, τα τελευταία χρόνια η ΕΥΔΑΠ έχει εκσυγχρονίσει τα οχήματα της, για την αντιμετώπιση τέτοιων περιστατικών. Έτσι η απόδοση καθαρισμού των αγωγών έχει αυξηθεί κατακόρυφα τόσο από πλευράς μάζας φερτών που απομακρύνονται, όσο και από πλευράς χρόνου.

Ακόμα, θα πρέπει να μελετηθούν οι επιδράσεις των σημαντικών βροχοπτώσεων. Δεν είναι πλήρως γνωστό αν οι ισχυρές βροχοπτώσεις απομακρύνουν τα φερτά υλικά ή αν οδηγούν στην αύξηση των αποθέσεων.

Αναγκαία επίσης είναι η αναδιάρθρωση των Ελληνικών κανονισμών. Πρέπει να αναπτυχθούν νέοι κανονισμοί που να έχουν σαν ουσιώδη παράμετρο τα φερτά υλικά και να κωδικοποιηθούν σε υπολογιστικά προγράμματα πρόβλεψης αποθέσεων, ώστε να είναι εύκολη και γρήγορη η εφαρμογή τους, στην μελέτη και κατασκευή των αγωγών ενός δικτύου.

Τέλος, δεν θα πρέπει να μας απασχολεί μόνο η απροβλημάτιστη λειτουργία ενός δικτύου που μπορεί να επιτευχθεί με τον τακτικό έλεγχο και καθαρισμό του, αλλά και πως θα μειωθούν οι συνολικές ποσότητες φερτών που βρίσκουν πρόσβαση σε αυτά, εξαιτίας και ανθρώπινων δραστηριοτήτων αλλά και αμελειών.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΦΟΡΩΝ

- Ashley R.M., Crabtree R.W. (1992). Sediments origins, deposition and built-up in combined sewer systems. *Wat. Sci. Tech.* **25**, 1-12
- Ashley R.M. et al. (1992). The deposition and erosion of sediments in sewers. *Wat. Sci. Tech.* **26**, 1283-1293
- Ashley R.M., Wotherspoon D. J.J., Coghlan B.P., MrGregor I. (1992). The erosion and movement of sediments and associated pollutants in combined sewers *Wat Sci Teck* **25**, 114-122.
- Ashley R.M (1995) International Conference on Sewers Solids, University of Abertay Dundee, Dundee, 5-8 September 1995.
- Bachoc A. (1992). Location and general characteristics of sediment deposits into man-entry combined sewers. *Wat. Sci. Tech* **25**, 47-55
- CIRIA (1994). Design of sewers to control sediments problems.
- Chebbo G., Bachoc A. (1992). Characterization of suspended solids in urban wet weather discharges. *Wat. Sci. Tech* **25**, 171-179
- Dinkelacker A. (1992). Cleaning of sewers. *Wat. Sci. Tech* **25**, 37-46
- Ζαρρής Δ. (1995) Φερτά Υλικά σε Υπονόμεους. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.
- Goodison M.J., Ashley R.M. (1990). Sediment movement in combined sewers in Dundee. *Wat. Sci. Tech* **22**, 283-286
- Kleijwegt R.A. (1992). Sewer sediment models and basic knowledge. *Wat. Sci. Tech* **25**, 123-130.
- Κουτσογιάννης Δ. (1993). Σχεδιασμός αστικών δικτύων αποχέτευσης. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- Κουτσογιάννης Δ. (1986). Υδρολογία και ποσοτικές εκτιμήσεις φετών υλικών. Σεμινάριο Έργων Εγγείων Βελτιώσεων. Π.Σ.Δ.Α.Τ.Π.Μ., Αθήνα
- Martz G. (1987). Υδραυλική των οικισμών : Αποχετεύσεις. Εκδόσεις Γκιούρδας, Αθήνα
- May R.W.P. Ackers J, Butler D, John S (1996) Development of desing methodology for self-cleansing sewers. *Wat. Sci. Tech* **33**, 195-205
- Nalluri C., Alvarez E.M. (1992). The influence of cohesion on sediment behaviour. *Wat. Sci. Tech* **25**, 151-164
- Nalluri C, Ghani A. AB. El Laemey AKS (1994) Sediment transport over deposited Beds in sewers. *Wat. Sci. Tech* **29**, 125-133
- Nalluri C, Ghani A.AB (1996) Desingn options for self-cleansing storm sewers. *Wat. Sci. Tech* **33**, 215-220
- Ξανθόπουλος Θ. (1990). Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα
- Perrsquia G.S. (1992), An experimental study on the transport of sediment in sewer pipes with permanent deposit. *Wat. Sci. Tech* **25**, 115-122
- Torfs H., Huggens M., Tito L. (1994) Influence of the cross section on the erosion criteria for partly cohesive sediments. *Wat. Sci. Tech* **29**, 103-111
- Verbanck M. (1992). Field investigations on sediment occurrence and behavior in Brussels combined sewerw.
- Xanthopoulos C., Augustin A. (1992). Input and characterization of sediments in urban sewer systems.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

```
CLS
I = 10
J = 20
LOCATE I, J
PRINT "1. FOR CLEAN PIPES"
LOCATE I + 1, J
PRINT "2. FOR PIPES WITH DEPOSITED LOOSE BEDS"
LOCATE I + 2, 20
INPUT "MAKE A SELECTION"; CHOISE
CLS
I = 10
J = 20
LOCATE I, J
PRINT "1. KYKLIKOS AGOGOS"
LOCATE I + 1, J
PRINT "2. ORTHOGONIKOS AGOGOS"
LOCATE I + 2, J
PRINT "3. OOEIDHS AGOGOS"
LOCATE I + 4, J
INPUT "SELECT TYPE OF SEWER"; TYPOS

G = 9.81
CLS
I = 5
IF CHOISE = 1 THEN
  LOCATE I, J
  PRINT "INPUT INFORMATION FOR CLEAN PIPES"
ELSE
  LOCATE I, J
  PRINT "INPUT INFORMATION FOR PIPES WITH DEPOSITED LOOSE BEDS"
END IF
IF TYPOS = 1 THEN
  LOCATE I + 3, J
  INPUT "PIPE DIAMETER 'D' ", PD
  R = PD / 4
ELSEIF TYPOS = 2 THEN
  LOCATE I + 3, J
  INPUT "DIMENSION 'A' ", A
  LOCATE I + 4, J
  INPUT "DIMENSION 'B' ", B
  R = (A * B) / (2 * A + 2 * B)
ELSE
  LOCATE I + 3, J
  INPUT "EMBADON 'E' ", E
  LOCATE I + 4, J
  INPUT "PERIMETROS 'P' ", P
  R = E / P
END IF
LOCATE I + 5, J
INPUT "MEAN SEDIMENT SIZE 'd' ", MSD
LOCATE I + 6, J
INPUT "RELATIVE DENSITY OF SEDIMENT 'ss' ", SS
LOCATE I + 7, J
INPUT "VOLUMETRIC SEDIMENT CONCENTRATION 'cv' ", CV
LOCATE I + 8, J
INPUT "CLEAR WATER FRICTION FACTOR 'Lo' ", L0

REM ASSIGNING VALUE FOR NU=1.1 X 10^(-6)
NU = .0000011

REM CALCULATING DIMENSIONLESS SEDIMENT SIZE
DGR = ((MSD * (SS - 1) * G) / NU ^ 2) ^ (.1 / .3)

REM YPOLOGISMOS PARANOMASTH EXISIS
DEN = SQR(G * MSD * (SS - 1))

IF CHOISE = 1 THEN
  REM CALCULATION OF FRICTION FACTOR WITH SEDIMENT (LS)
  LS = 1.13 * L0 ^ (.98) * CV ^ (.02) * DGR ^ (.01)

  INTERM = 3.08 * CV ^ (.21) * DGR ^ (-.09) * (R / MSD) ^ (.53)
```

```

V = DEN * INTERM * LS ^ (-.21)
ELSE
  LOCATE I + 9, J
  INPUT "WIDTH OF SEDIMENT DEPTH 'Wb' ", WB
  LOCATE I + 10, J
  INPUT "MEAN FLOW 'Yo' ", YO
  LS = .0014 * CV ^ (-.04) * (WB / YO) ^ (.34) * (R / MSD) ^ (.24) * DGR ^ (.54)
  INTERM = 1.18 * CV ^ (.16) * (WB / YO) ^ (-.18) * (MSD / (4 * R)) ^ (-.34)
  V = DEN * INTERM * LS ^ (-.31)
END IF
LOCATE I + 11, J
INPUT "GAMMA ", GAMMA
LOCATE I + 12, J
INPUT "SLOPE ", SLOPE
IF SLOPE = 0 THEN
  LOCATE I + 13, J
  INPUT "HTTA ", HTTA
  SLOPE = (V * HTTA / R ^ (2! / 3!)) ^ 2
END IF
SSTRESS = GAMMA * R * SLOPE
CLS
I = 1
J = 10
LOCATE I, J + 10
IF CHOISE = 1 THEN
  PRINT "CLEAN PIPES"
ELSE
  PRINT "PIPES WITH DEPOSITED LOOSE BEDS"
END IF
LOCATE I + 1, J + 10
PRINT "THE SLOPE IS: "; SLOPE
LOCATE I + 2, J
PRINT "VELOCITY IS: "; V
LOCATE I + 4, J
PRINT "COUNTRY      SEWER TYPE      MIN VELOCITY      PIPE CONDITIONS"
LOCATE I + 5, J
PRINT "-----"
LOCATE I + 6, J
PRINT "USA          FOUL          0.6          FULL/HALF FULL"
LOCATE I + 7, J
PRINT "USA          STORM         0.9          FULL/HALF FULL"
LOCATE I + 8, J
PRINT "UK           STORM         0.75         FULL"
LOCATE I + 9, J
PRINT "UK           COMBINED      1.00         FULL"
LOCATE I + 10, J
PRINT "GERMANY          1.5          FULL"
LOCATE I + 12, J
PRINT "STRESS= "; SSTRESS
LOCATE I + 14, J
PRINT "COUNTRY      SEWER TYPE      SHEAR STRESS      PIPE CONDITIONS"
LOCATE I + 15, J
PRINT "-----"
LOCATE I + 16, J
PRINT "USA          FOUL          1-2          FULL/HALF FULL"
LOCATE I + 17, J
PRINT "USA          STORM         3-4          FULL/HALF FULL"
LOCATE I + 18, J
PRINT "UK           STORM         6.2          FULL"
LOCATE I + 19, J
PRINT "UK           COMBINED      6.2          FULL"
LOCATE I + 20, J
PRINT "GERMANY          2.5          FULL"

```

END