Κεφάλαιο Δ1

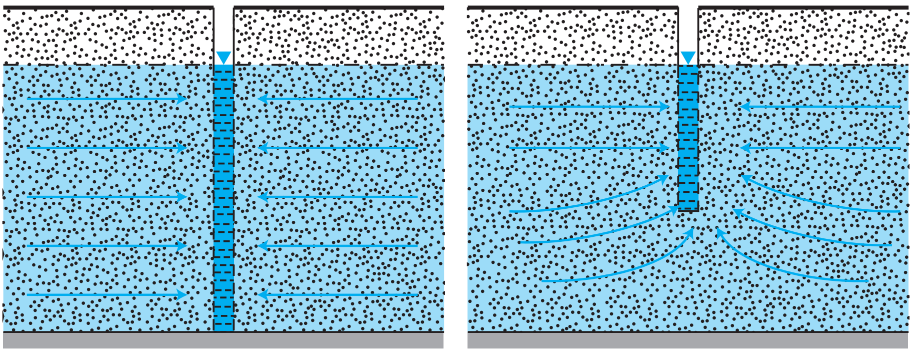
ΕΙΔΗ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΡΟΗΣ ΠΡΟΣ ΑΥΤΑ

α. Γενικά – Είδη Υδρομαστευτικών Έργων

Η έννοια και ο ορισμός της *«υδρομάστευσης»* και των *«υδρομαστευτικών έργων»*, όπως και οι διάφορες κατηγορίες τους και τα είδη τους ως προς την κατασκευή και τα τεχνικά χαρακτηριστικά δίνονται στο επόμενο (Ε) μέρος του παρόντος τόμου.

Αν εξετάσουμε εδώ τη σχέση των υδρομαστευτικών έργων ως προς τα υδροφόρα στρώματα θα διακρίνουμε δύο είδη:

- *Τα τέλεια ή πλήρη υδρομαστευτικά έργα.* Είναι εκείνα που φθάνουν μέχρι το αδιαπέρατο υπόβαθρο του μαστευόμενου υδροφορέα. Δηλ. είναι εκείνα που διαπερούν και μαστεύουν τον υδροφόρο σχηματισμό σε όλο του το πάχος, σχήμα Δ1.1(α)
- *Τα ατελή ή μη πλήρη υδρομαστευτικά έργα.* Είναι ακριβώς τα αντίθετα των προηγουμένων. Δηλ. εκείνα που δεν φθάνουν μέχρι το αδιαπέρατο υπόβαθρο του υδροφορέα και έτσι δεν μαστεύουν το υδροφόρο στρώμα σε όλο του το πάχος· επομένως δεν εκμεταλλεύονται όλες τις δυνατότητές



(α) (β)

Σχήμα Δ1.1 (α): τέλειο ή πλήρες υδρομαστευτικό έργο, (β): ατελές ή μη πλήρες υδρομαστευτικό έργο του, σχήμα Δ1.1(β)

Η έννοια του «τέλειου» ή του «ατελούς» δεν ανάγεται στην τεχνική αρτιότητα της κατασκευής του, αλλά αν διαπερνά ή όχι όλο το πάχος του υδρομαστευόμενου υδροφόρου στρώματος. Και αυτό έχει σημασία, γιατί διαφοροποιεί τη ροή προς το αντίστοιχο έργο, όπως φαίνεται στο σχήμα Δ1.1. Δηλ. καθορίζει αν με το έργο αυτό θα αντλούμε με μέγιστη παροχή που μπορεί να δώσει το υδροφόρο ή όχι.

Το είδος του έργου που θα προτιμηθεί για κάποια μάστευση επιβάλλεται κυρίως από τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υπό μάστευση υδροφορέα, αλλά σε συνδυασμό πάντως με τις επιθυμητές παροχές και με τη χρονική διάρκεια ή την εποχή κατά την οποία θέλουμε τις παροχές αυτές.

Έτσι π.χ. σε ένα υδροφορέα μικρού πάχους και ιδίως αν έχει μικρή περατότητα είναι αναγκαία η μάστευση με πλήρες (τέλειο) έργο.

Αντίθετα σε ένα πλούσιο και ιδίως παχύ υδροφόρο στρώμα με σχετικά καλή περατότητα μπορεί να κατασκευαστεί ατελές έργο.

β. Συνθήκες ροής του υπόγειου νερού προς τα υδρομαστευτικά έργα

Το υπόγειο νερό που ρέει προς τα υδρομαστευτικά έργα υπακούει φυσικά στους γενικούς νόμους της υπόγειας υδραυλικής που περιγράψαμε ήδη (βλ. τόμος πρώτος, μέρος Γ). Όμως για την περίπτωση μας εδώ, δηλ. για τη ροή του υπόγειου νερού προς τα υδρομαστευτικά έργα οι νόμοι αυτοί διερευνήθηκαν και εξειδικεύθηκαν, ώστε να εκφρασθούν κατά τρόπο περισσότερο συγκεκριμένο και ειδικό. Και ακόμα βρέθηκαν νόμοι, εκφραζόμενοι μάλιστα με μαθηματικούς τύπους, που υπό ορισμένες απλοποιητικές προτάσεις, ισχύουν ειδικά για τη ροή προς τα υδρομαστευτικά έργα. Μάλιστα δε σε μερικές περιπτώσεις, χρονολογικά οι ειδικοί αυτοί νόμοι της υδραυλικής των υδρομαστευτικών έργων, προηγήθηκαν των αντιστοίχων γενικών νόμων της υπόγειας υδραυλικής. Βασικό στοιχείο για την εύρεση αυτών των μαθηματικών τύπων, πέρα από τις κατά περίπτωση απλοποιητικές προτάσεις, είναι η γνώση του είδους της ροής.

Έτσι κατά τη ροή προς τα υδρομαστευτικά έργα μπορούμε να έχουμε:

— *κατάσταση ισορροπίας,* δηλ. την κατάσταση εκείνη κατά την οποία η πιεζομετρική επιφάνεια έχει σχήμα ισορροπίας που μένει σταθερό και αμετάβλητο με το χρόνο επειδή ακριβώς η ροή είναι μόνιμη και επομένως κανένα στοιχείο της (ταχύτητα, παροχή, πιεζομετρική επιφάνεια κ.λπ.) δεν μεταβάλλεται μέσα στο χρόνο.

— *κατάσταση μη ισορροπίας,* δηλ. την κατάσταση εκείνη που το σχήμα της πιεζομετρικής επιφάνειας μεταβάλλεται με το χρόνο επειδή ακριβώς η ροή είναι μη μόνιμη και όλα τα στοιχεία της (ταχύτητα, παροχή, πιεζομετρική επιφάνεια κ.λπ.) μπορούν και συνήθως μεταβάλλονται μέσα στο χρόνο.

Το είδος της ροής, σταθερή ή μη σταθερή, συνεπάγεται αντίστοιχα κατάσταση ισορροπίας ή κατάσταση μη ισορροπίας. Στην πρώτη περίπτωση, ενόσω αυτή διαρκεί, τίποτε δεν μεταβάλλεται με το χρόνο ενώ συμβαίνει το αντίθετο με τη δεύτερη περίπτωση. Στις διάφορες εξισώσεις που περιγράφουν τις ροές στην πρώτη περίπτωση δεν υπεισέρχεται ο χρόνος, ενώ αντίθετα υπεισέρχεται στη δεύτερη περίπτωση. Άρα οι ροές στις δύο αυτές περιπτώσεις περιγράφονται από διαφορετικές εξισώσεις (νόμους).

Όταν αρχίζει μία άντληση, συνηθέστατα η ροή είναι μη μόνιμη δηλ. έχουμε κατάσταση μη ισορροπίας. Είναι δυνατό όμως ύστερα από ορισμένο χρόνο η ροή να γίνει μόνιμη και να έχουμε άρα κατάσταση ισορροπίας. Από την αρχή λοιπόν της άντλησης μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας, λέμε ότι έχουμε το *μεταβατικό στάδιο ροής* που βασικά είναι συνώνυμο με την κατάσταση μη ισορροπίας.

Μερικές φορές, συνήθως ύστερα από μακρό χρόνο άντλησης και ενώ αυτή συνεχίζεται, τα στοιχεία της ροής μεταβάλλονται βραδύτατα ή ανεπαίσθητα μέσα στο χρόνο. Τότε έχουμε *κατάσταση αγχιισορροπίας.* Για περιορισμένο χρονικό διάστημα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η ροή αυτή είναι μόνιμη και έχουμε κατάσταση ισορροπίας. Το από πότε και πέρα μία κατάσταση, θεωρητικά μη ισορροπίας, μπορεί να χαρακτηρισθεί σαν κατάσταση αγχιισορροπίας και σε ποια χρονικά όρια η τελευταία μπορεί να θεωρηθεί σαν κατάσταση ισορροπίας είναι περίπου αυθαίρετο και υποκειμενικό. Αυτό θα το δούμε λεπτομερέστερα σε επόμενα κεφάλαια.

Η ροή προς τα υδρομαστευτικά έργα είναι γενικά μη μόνιμη ροή, δηλ. γίνεται υπό κατάσταση μη ισορροπίας. Οι καταστάσεις ισορροπίας δημιουργούνται υπό ορισμένες υδραυλικές και οριακές συνθήκες και σε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις. Παρ' όλα αυτά θεωρητικά μας ενδιαφέρουν εξ ίσου και οι πρώτες και οι δεύτερες. Έτσι στα επόμενα θα εξετασθεί η ροή του νερού προς τα υδρομαστευτικά έργα και για τις δύο αυτές καταστάσεις. Μάλιστα δε το μέγιστο μέρος θα αφιερωθεί στις γεωτρήσεις κατά κύριο λόγο και δευτερευόντως στα φρέατα. Και αυτό γιατί αφ' ενός τα σημειακά υδρομαστευτικά έργα είναι τα σημαντικότερα και αφ' ετέρου η μελέτη της ροής προς αυτά μας επιτρέπει να συμπεράνουμε ευκολότερα για την υδραυλική συμπεριφορά και το δυναμικό των υδροφορέων. Η ροή προς τα άλλα, τα εκτεταμένα, υδρομαστευτικά έργα θα εξετασθεί σε περιορισμένη σχετικά κλίμακα και παρεμπιπτόντως.

Ενδεικτική βιβλιογραφία για το Κεφάλαιο Δ1

BONNET, M. (1970): «Critique de la notion d’ essai de puits».
– Bull. B.R.G.M., section III, nº 1, p. 9-16.
CASTANY, G. (1982): «Principes et methodes en Hydrogéologie».
– Editions Dunod, Paris.
DE CAZENOVE, E. (1973): «Essais de reception des puits».
– T.S.M., L’ eau nº 4 et 5, p. 125-137.
DOWSON, K. – ISTOK, J. (1991): «Design and analysis of pumping and slag tests».
– Ed. Lewis Public., Michigan, 344 p.
FORKASIEWICZ, J. (1970): «Guide bibliographique méthodique sur l’ interprétation des données des pompages d’ essai».
– Bull. B.R.G.M., section III, nº 1, p. 67-72.
HANTUSH, M.S. (1964b): «Hydraulics of wells».
– Adv. Hydrosc., v.1, p.281-442.
LOHMAN, S.W. (1972): «Groundwater hydraulics».
– U.S. Geological Survey, prof. paper nº 708, 70 p.
NAHRANG, G. (1955): «Sur la théorie du puit parfait et du puit imparfait».
– Ed. Springer, Berlin, 43 p., (23 fig.).
ΤΕΡΖΙΔΗΣ, Γ. (1980): «Εκμετάλλευση υπόγειων υδροφορέων – Γενική Εισήγηση».
– Πρακτικά ΙΙ Πανελλήνιου Σεμιναρίου Υδρολογίας, Αθήνα 1980, σελ. 527-542.

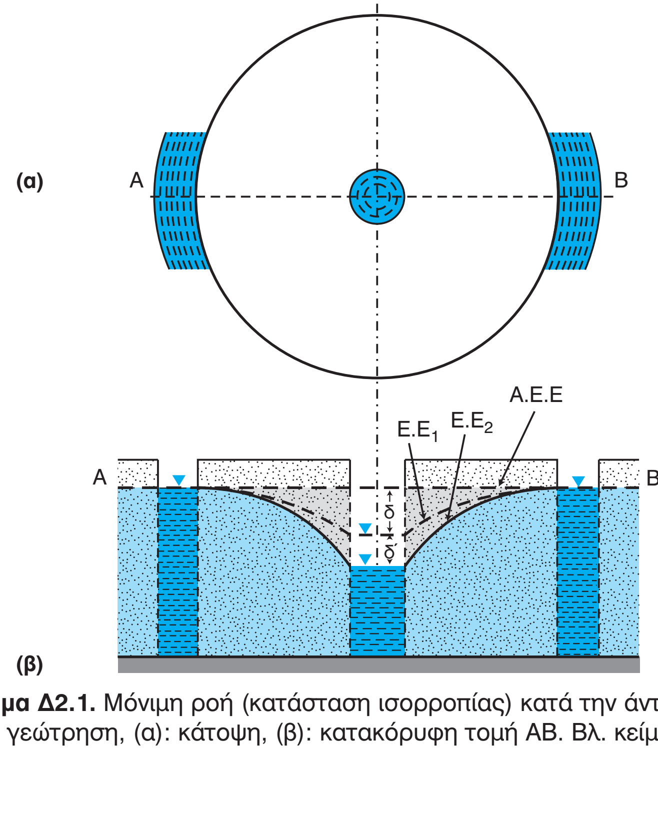
Κεφάλαιο Δ2

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΣΕ ΡΟΕΣ ΠΡΟΣ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΑ ΕΡΓΑ: ΠΡΟΤΥΠΟ ΚΑΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ DUPUIT

α. Γενικά

Ας υποθέσουμε ότι μία γεώτρηση ή ένα πηγάδι βρίσκεται στο κέντρο μιας κυκλικής τάφρου με κατακόρυφα τοιχώματα, σχήμα Δ2.1. Η αρχική στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα φαίνεται στο σχήμα Δ2.1(β).

Αν από αυτή τη γεώτρηση αντλήσουμε νερό με σταθερή παροχή q τότε η



Σχήμα Δ2.1. Μόνιμη ροή (κατάσταση ισορροπίας) κατά την άντληση σε γεώτρηση, (α): κάτοψη, (β): κατακόρυφη τομή ΑΒ. Βλ. κείμενο.

στάθμη θα παρουσιάσει μία *πτώση* η οποία, εφ' όσον συνεχίζουμε να αντλούμε με σταθερή παροχή θα σταθεροποιηθεί μετά από ορισμένο χρόνο, όπως φυσικά θα σταθεροποιηθεί και η θέση και το σχήμα της πιεζομετρικής επιφάνειας. Και αυτό γιατί θα έχουμε μόνιμη ροή, δηλ. όπως λέμε *κατάσταση ισορροπίας,* επειδή ακριβώς η τροφοδοσία από την κυκλική τάφρο αντικαθιστά ακριβώς την αντλούμενη παροχή. Έτσι για ορισμένη σταθερή παροχή q προκαλείται μέσα στη γεώτρηση ορισμένη πτώση στάθμης δ και η στάθμη παίρνει μέσα στον υδροφορέα ορισμένο σχήμα που θα μπορούσε να βρεθεί με την λύση της εξίσωσης του Laplace (βλ. τόμος πρώτος, κεφ. Γ4 και Γ6).

Αν αυξήσουμε την αντλούμενη παροχή q τότε η ισορροπία ανατρέπεται γιατί η τροφοδοσία από την τάφρο δεν καλύπτει την άντληση και έτσι προκαλείται βαθμιαία μία πρόσθετη πτώση στάθμης δ′. Μετά από ορισμένο διάστημα θα αποκατασταθεί πάλι κατάσταση ισορροπίας, αλλά με κάποια πρόσθετη πτώση στάθμης δ′.

Γενικά σε κάθε περίπτωση άντλησης από γεώτρηση ή πηγάδι προκαλείται γύρω από αυτά μία πτώση στάθμης. Τότε η πιεζομετρική επιφάνεια γύρω τους που τη λέμε και *δυναμική πιεζομετρική επιφάνεια* παίρνει ένα χαρακτηριστικό σχήμα ανεστραμμένου κώνου που λέγεται *κώνος πτώσης* (ή *υποχώρησης) στάθμης* και έχει άξονα συμμετρίας τον άξονα της αντλούμενης γεώτρησης (ή του πηγαδιού).

Η ροή στην περίπτωση αυτή είναι ακτινωτή και συγκλίνουσα (τριδιάστατη για τα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα και διδιάστατη για τα υπό πίεση).

Ανάλογα φαινόμενα παρατηρούνται και κατά την άντληση από τάφρους σε κατάσταση ισορροπίας· μόνο που εδώ η πτώση της στάθμης δεν σχηματίζει ανεστραμμένο κώνο, αλλά ποικίλα σχήματα ανάλογα με τη μορφή της αντλούμενης τάφρου και των μετώπων τροφοδοσίας.

β. Πρότυπο του Dupuit

Ο J. Dupuit μελετώντας τις ροές προς τα υδρομαστευτικά έργα και ειδικά τις ροές σε κατάσταση ισορροπίας κατά το 1863, δηλ. επτά μόλις χρόνια μετά την παρουσίαση του περίφημου νόμου του Darcy, δημοσίευσε τα αποτελέσματα των εργασιών του δίνοντας έτσι τους ομώνυμους τύπους.

Για να φθάσει στους τύπους του αυτούς ο Dupuit έκανε ένα αριθμό απλοποιητικών προτάσεων που απέχουν λίγο ή πολύ από την πραγματικότητα. Οι προτάσεις αυτές που σαν σύνολο δημιουργούν ένα πρότυπο (μοντέλο) ροής, το *πρότυπο του Dupuit,* αφορούν το υδροφόρο στρώμα, το υδρομαστευτικό έργο και τη ροή.

– Για τον υδροφορέα (υδροφόρο στρώμα):
  - είτε είναι πορώδης είτε ρωγμώδης, είναι ομογενής και ισότροπος.
    Η ομογένεια, όπως είδαμε (τόμος πρώτος, κεφ. Β5) τουλάχιστο για τα πορώδη μέσα πρακτικά υπάρχει. Όσο αφορά την ανισοτροπία αυτή σήμερα δεν είναι επιτακτική υπόθεση γιατί μπορούμε να κάνουμε υπολογισμούς με βάση ανισότροπο μέσο.
  - ο υδροφορέας, όπως και το νερό είναι πρακτικά ασυμπίεστα.
    Αυτό δεν είναι σχεδόν απόλυτο ούτε για τα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα, ούτε για τα υπό πίεση. Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται από τη μη ικανοποίηση αυτής της πρότασης είναι από αμελητέες μέχρι ελάχιστα σημαντικές. Αλλά για την κατάσταση ισορροπίας αποδεικνύεται (κεφ. Δ4) ότι δεν είναι επιτακτική αυτή η πρόταση.
  - Το αδιαπέρατο υπόβαθρο είναι πρακτικά οριζόντιο.
    Αυτό συμβαίνει συχνά· αλλά σε αντίθετη περίπτωση μπορεί η ανωμαλία του υποβάθρου να υπεισέλθει σαν οριακή συνθήκη και έτσι να την απαλείψουμε από τα τελικά αποτελέσματα.
  - Η αρχική επιφάνεια βρίσκεται σε ηρεμία, δηλ. δεν έχουμε αρχικά καμία ροή.
    Η προϋπόθεση αυτή συνήθως ικανοποιείται πρακτικά, με την έννοια ότι η υδραυλική κλίση είναι πολύ μικρή. Σε αντίθετη περίπτωση η ανωμαλία μπορεί να υπερπηδηθεί με την επαλληλία των ροών (βλ. μέρος Γ, κεφ. Γ6). Αυτή η προϋπόθεση σε συνδυασμό με την προηγούμενη συνεπάγεται ισοπαχές υδροφόρο στρώμα.
  - Το υδροφόρο στρώμα, κατά το χρονικό διάστημα που αντλείται, δεν επανατροφοδοτείται ούτε από άμεση κατείσδυση, ούτε από υπερκείμενο ή υποκείμενο υδροφόρο στρώμα.
    Αν υπάρχει τροφοδοσία με τον πρώτο τρόπο μπορούμε με υπολογισμούς να αντισταθμίσουμε τη διαφορά που προκύπτει· αν με το δεύτερο τότε έχουμε άλλα πρότυπα που απαντούν στο πρόβλημα (βλ. πρότυπα Hantuch και Boulton).

– Για το υδρομαστευτικό έργο:
  - Είναι τέλειο, δηλ. φθάνει μέχρι το αδιαπέρατο υπόβαθρο.
    Αλλά έχουμε λύσεις και όταν δεν ικανοποιείται αυτή η πρόταση. Υποτίθεται κατ' αρχή ότι το έργο είναι και τεχνικά άρτιο, ώστε να μην υπάρχουν γιαυτό το λόγο πρόσθετες απώλειες φορτίου.

– Για τη ροή:
  - Ο νόμος του Darcy είναι εφαρμόσιμος.
    Την ισχύ του νόμου του Darcy έχουμε ήδη δει (τόμος πρώτος, κεφ. Γ2).

Πάντως η πρόταση αυτή τουλάχιστο για τα πορώδη μέσα φαίνεται ότι ισχύει πρακτικά.

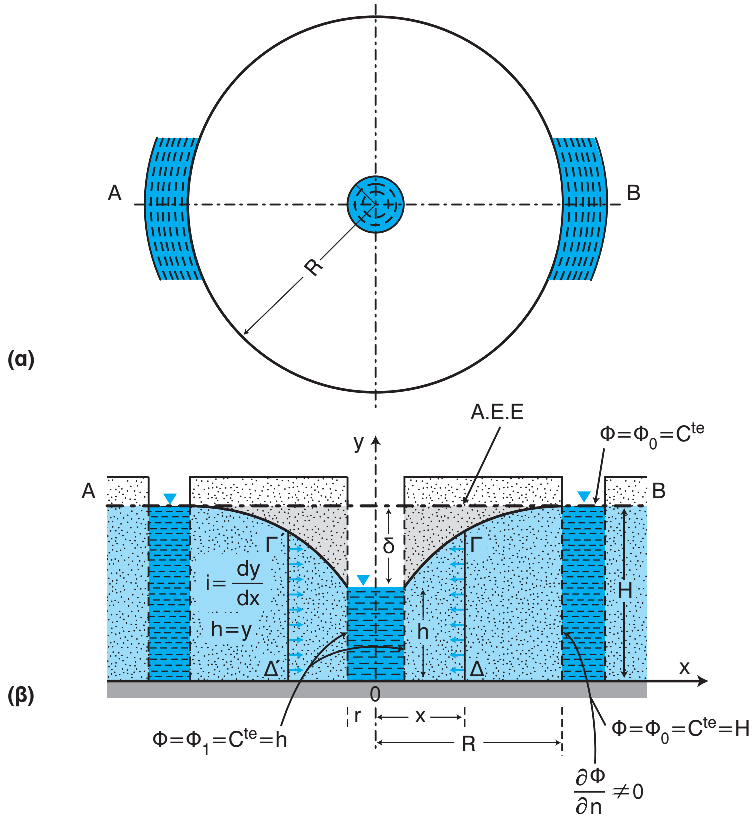
- Έχουμε κατάσταση ισορροπίας, δηλ. μόνιμη ροή με τα συνεπακόλουθα της (σταθερή πιεζομετρική επιφάνεια, σταθερή ακτίνα επίδρασης, σταθερές ταχύτητες ροής κ.λπ.).
  Μόνο σε μερικές συγκεκριμένες περιπτώσεις αυτό μπορεί να συμβεί κατά τρόπο απόλυτο. Στις άλλες μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι τύποι του Dupuit ισχύουν για ένα στοιχειώδες ή μικρό χρονικό διάστημα κατά το οποίο τα χαρακτηριστικά της ροής πρακτικά δεν μεταβάλλονται. Πάντως για μη μόνιμες ροές έχουμε άλλα πρότυπα (Theis, Jacob κ.λπ.).
- Υπάρχει συναρμογή της επιφάνειας πτώσης στάθμης (του κώνου πτώσης στάθμης) με τις εκατέρωθεν επιφάνειες του υπόγειου νερού και ειδικά με την επιφάνεια του νερού μέσα στο φρέαρ ή τη γεώτρηση.
  Η πρόταση αυτή, για τα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα έχει αποκλίσεις τόσο σημαντικότερες όσο μεγαλύτερες είναι οι παροχές του υδρομαστευτικού έργου. Οι αποκλίσεις αυτές πάντως δεν έχουν καμία συνέπεια στον υπολογισμό της παροχής, αλλά μόνο για την εύρεση της δυναμικής πιεζομετρικής επιφάνειας. Όσο αφορά τα υδροφόρα στρώματα υπό πίεση, η πρόταση φαίνεται ότι έχει καλή εφαρμογή.
- Η κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας ροής είναι ή μηδενική, ή αμελητέα σε σχέση με την οριζόντια και ακόμα ως συνέπεια του πιο πάνω, σε όλα τα σημεία της ίδιας κατακόρυφης η ταχύτητα είναι η ίδια.
  Στα υδροφόρα στρώματα υπό πίεση αυτό θεωρητικά τουλάχιστο ισχύει εφ' όσον αυτά είναι ισοπαχή και ομογενή. Στα ελεύθερα υπάρχουν αποκλίσεις που γίνονται τόσο σημαντικότερες, όσο πλησιάζουμε προς το υδρομαστευτικό έργο. Απόλυτη ισχύ αυτής της πρότασης σημαίνει οριζόντια, επίπεδη ροή. Συνήθως όμως για τα ελεύθερα στρώματα οι ροές είναι υποοριζόντιες για τα απομακρυσμένα σημεία από τη γεώτρηση και σημαντικά επικλινείς για τα γειτονικά της.

Το πρότυπο του Dupuit, όπως περιγράφεται από τις πιο πάνω προτάσεις μπορεί να πραγματοποιείται σε μία θεωρητική διάταξη όπως αυτήν του σχήματος Δ2.1. Ένα τέτοιο πρότυπο θεωρητικά θα το συνιστούσε ένα κυκλικό νησί με κατακόρυφες ακτές, κατασκευασμένο από σχηματισμό υδραυλικά ομογενή· το νησί αυτό θα είχε στο κέντρο του μία γεώτρηση ή ένα πηγάδι. Στις περιπτώσεις αυτές θα μπορούσαμε αντλώντας με σταθερή παροχή να φθάσουμε σε κατάσταση ισορροπίας, όπου θα ικανοποιούνταν το σύνολο σχεδόν των πιο πάνω προτάσεων.

Οι πιο πάνω προτάσεις φαίνονται μη υλοποιούμενες στην πράξη ή υλοποιούμενες υπό εξαιρετικές υδραυλικές συνθήκες. Παρ' όλα αυτά κατά μία άντληση εξετάζοντας τη ροή για περιορισμένα χρονικά διαστήματα μπορούμε να πούμε ότι το πρότυπο ισχύει και επομένως μπορούμε να μελετήσουμε με αυτό τα διάφορα υδροφόρα στρώματα και γενικά την υδραυλική των φρεάτων, των γεωτρήσεων όπως και των άλλων υδρομαστευτικών έργων.

γ. Τύποι του Dupuit για ροές προς γεωτρήσεις σε ελεύθερα υδροφόρα στρώματα

i. Έστω ένα ελεύθερο υδροφόρο στρώμα πάχους H που επικάθεται σε ένα οριζόντιο αδιαπέρατο υπόβαθρο. Υπάρχει σε αυτό μία γεώτρηση ή ένα πηγάδι στο κέντρο ακριβώς μιας κυκλικής τάφρου με κατακόρυφα τοιχώματα, σχήμα Δ2.2(α). Στο ίδιο αυτό σχήμα βλέπουμε τις οριακές συνθήκες πριν από την



Σχήμα Δ2.2. Μόνιμη ακτινωτή ροή προς γεώτρηση ή πηγάδι κατά το πρότυπο του Dupuit, σε ελεύθερο υδροφόρο στρώμα, (α): κάτοψη, (β): κατακόρυφη τομή AB. Επεξήγηση στο κείμενο.

άντληση και κατά την άντληση σε κατάσταση ισορροπίας, σχήμα Δ2.2(β). Κατά την άντληση με σταθερή παροχή q, αφού θα έχει αποκατασταθεί ισορροπία, θα δημιουργηθεί μία πτώση στάθμης δ και ένας κώνος πτώσης στάθμης όπως φαίνεται στο σχήμα Δ2.2(β). Η τομή αυτού του κώνου με οποιοδήποτε οριζόντιο επίπεδο θα είναι κύκλος, εφ' όσον το μέσο είναι ομογενές και ισότροπο.

Ο κύκλος αυτός θα αντιπροσωπεύει φυσικά μία ισοπιεζομετρική καμπύλη. Τα υδραυλικά στοιχεία λοιπόν μιας τέτοιας ροής θα είναι τα εξής:

– Οριακές συνθήκες:
  - Μέσα στην περιφερειακή τάφρο
    $$\Phi = \Phi_0 = H = C^{te} \qquad (\Delta 2.1)$$
    δηλ. η στάθμη παραμένει σταθερή.
  - Στο εσωτερικό τοίχωμα της τάφρου
    $$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = \alpha \neq 0 \qquad (\Delta 2.2)$$
    δηλ. διαρρέεται από σταθερή ροή.
  - Μέσα στη γεώτρηση
    $$\Phi = \Phi_1 = h \qquad (\Delta 2.3)$$
    δηλ. η στάθμη παραμένει σταθερή (άρα σταθερή πτώση στάθμης δ).
  - Στα τοιχώματα της γεώτρησης
    $$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = \alpha \neq 0 \qquad (\Delta 2.4)$$
    δηλ. διαρρέονται από σταθερή ροή.
  - Πάνω στην πιεζομετρική επιφάνεια
    $$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \qquad (\Delta 2.5)$$
    δηλ. η πιεζομετρική επιφάνεια έχει ρόλο αδιαπέρατης επιφάνειας γιατί είναι σταθερή και αμετάβλητη· επομένως είναι κάθετη προς τις ισοπιεζομετρικές επιφάνειες. Με βάση το σύστημα των ορθογωνίων συντεταγμένων του σχήματος Δ2.2(β) η υδραυλική κλίση i θα είναι:
    $$i = \frac{d\Phi}{dl} \approx \frac{dy}{dx} = \varepsilon\varphi\alpha \qquad (\Delta.2.6)$$
    όπου α, η γωνία της πιεζομετρικής επιφάνειας με το οριζόντιο επίπεδο υπό τον όρο ότι η γωνία α είναι μικρή. Όμως, όπως γνωρίζουμε (τόμος πρώτος, κεφ. Γ2) ο τύπος Δ2.6 εισάγει μερικά σφάλματα (βλ. πιο κάτω).

– Η απόσταση R από το κέντρο της γεώτρησης (ή του πηγαδιού) μέχρι την αρχή της τάφρου είναι η *ακτίνα επίδρασης* της γεώτρησης. Αυτή η ακτίνα δηλώνει ακριβώς το εξωτερικό όριο της ροής ή την ακτίνα τροφοδοσίας. Θα μπορούσαμε πάντως να ορίσουμε ως *ακτίνα επίδρασης ενός φρέατος (ή μιας γεώτρησης) την απόσταση εκείνη από αυτό πέρα της οποίας δεν επηρεάζεται με κανένα τρόπο η αρχική κατάσταση του υδροφόρου στρώματος* από την πραγματοποιούμενη άντληση. Βέβαια η *κατάσταση ισορροπίας* δηλ. *η μόνιμη ροή συνεπάγεται οπωσδήποτε* σταθερή *ακτίνα επίδρασης* κάτι που δεν συμβαίνει στη μεταβατική κατάσταση, δηλ, στην κατάσταση μη ισορροπίας. (Στο θέμα της ακτίνας επίδρασης θα επανέλθουμε και σε επόμενα κεφάλαια).

– Η πτώση στάθμης είναι προφανώς σταθερή

$$\delta = C^{te} \tag{Δ2.7}$$

γιατί ισοδυναμεί με τη διαφορά δύο σταθερών δυναμικών

$$\delta = \Phi_0 - \Phi_1 \tag{Δ2.8}$$

Αν θεωρήσουμε ως επίπεδο αναφοράς το οριζόντιο αδιαπέρατο υπόβαθρο τότε

$$\Phi_0 = H, \quad \Phi_1 = h, \quad \delta = \Phi_0 - \Phi_1 = H - h = C^{te} \tag{Δ2.9}$$

Σε οποιοδήποτε σημείο που απέχει απόσταση x από το κέντρο της γεώτρησης η αντίστοιχη πτώση στάθμης θα είναι:

$$\delta_x = H - y = H - h_y \tag{Δ2.10}$$

Θα διατηρηθούν εδώ οι συμβολισμοί H, h, $\delta = H - h$ γιατί είναι αυτοί που επικρατούν και γιατί βοηθούν στην πρακτική λύση των προβλημάτων, αλλά και γιατί έτσι πρωτοεισάχθηκαν, ενώ τα Φ_0, Φ_1, κ.λπ. της γενικής υδραυλικής δεν επικράτησαν προς το παρόν.

– Όπως φαίνεται και στο σχήμα Δ2.2(β) η ροή θα είναι, με την αυστηρή έννοια του όρου, τριδιάστατη. Θα ισχύουν όμως γιαυτήν οι προτάσεις που συνιστούν το πρότυπο του Dupuit όπως αυτές προαναφέρθηκαν.

ii. Μετά από αυτά τα κατατοπιστικά για τις συνθήκες ροής κατά το πρότυπο Dupuit για ροές προς γεωτρήσεις σε ελεύθερους υδροφόρους ορίζοντες, ας έλθουμε στην απόδειξη των σχετικών τύπων.

Ας θεωρήσουμε λοιπόν στο εξεταζόμενο στρώμα ένα κατακόρυφο κύλινδρο ακτίνας x, ομο-αξονικό με τη γεώτρηση που στην τομή του σχήματος Δ2.2(β) αντιπροσωπεύεται από την ΓΔ και την Γ′Δ′. Η ταχύτητα ροής V πάνω στην κατακόρυφη ΓΔ θα είναι:

$$V = \frac{q}{E} \tag{Δ2.11}$$

όπου:

q = η παροχή με την οποία αντλούμε που θα είναι ίδια για οποιαδήποτε ακτίνα του κυλίνδρου μεταξύ r και R, αφού η ροή είναι μόνιμη, και,

E = η πλευρική επιφάνεια του κυλίνδρου, δηλ.

$$E = 2\pi xy \qquad (\Delta 2.12)$$

(x = η ακτίνα του κυλίνδρου, y = το αντιστοιχούν πάχος του υδροφόρου στρώματος).

Ας σημειωθεί εδώ ότι μία από τις προτάσεις του πρότυπου του Dupuit, όπως πρωταρχικά αυτό περιγράφηκε, θεωρεί σταθερή την (οριζόντια) ταχύτητα πάνω στην ίδια κατακόρυφη. Αυτή η πρόταση που για τα σημεία τα γειτονικά της γεώτρησης μπορεί να έχει σημαντικές αποκλίσεις, φαίνεται ότι δεν είναι αναγκαία σήμερα, αφού εξ άλλου μπορούμε να λάβουμε υπ' όψη μας τη μέση ταχύτητα πάνω στην κατακόρυφη ΓΔ.

Η ταχύτητα λοιπόν αυτή είναι:

$$V = ki \approx k\,\frac{dy}{dx} \qquad (\Delta 2.13)$$

όπου k = ο συντελεστής περατότητας και i = η υδραυλική κλίση

$(i \approx \frac{dy}{dx})$.

Από τις (Δ2.11) και (Δ2.12) έχουμε:

$$q = 2\pi xyV \qquad (\Delta 2.14)$$

η τελευταία αυτή σχέση γίνεται:

$$q = 2\pi kxy\,\frac{dy}{dx} \qquad (\Delta 2.15)$$

ή

$$q\,\frac{dy}{x} = 2\pi kydy \qquad (\Delta 2.16)$$

ή

$$q\ln x = \pi kd(y^2) \qquad (\Delta 2.17)$$

Όμως η περατότητα k είναι σταθερή όπως εξ ορισμού και η παροχή q, οπότε με ολοκλήρωση έχουμε:

$$q\ln x = \pi ky^2 + C \qquad (\Delta 2.18)$$

όπου C = η σταθερή της ολοκλήρωσης.

Αν θεωρήσουμε ότι ο υποθετικός κύλινδρος τείνει να ταυτισθεί με το εσωτερικό τοίχωμα της γεώτρησης (ή του φρέατος), τότε:

$x = r \quad , \quad y = h$

οπότε η (Δ2.18) θα έχουμε:

$$q\ln r = \pi kh^2 + C \quad ή \quad C = q\ln r - \pi kh^2 \qquad (\Delta 2.19)$$

Και αν αντίθετα ο κύλινδρος αυτός τείνει να ταυτισθεί με το εσωτερικό τοίχωμα της τάφρου, οπότε x = R, y = H, τότε θα έχουμε επίσης:

$$qlnR = \pi kH^2 + C \quad ή \quad C = qlnR - \pi kH^2 \tag{Δ2.20}$$

Από τις δύο τελευταίες σχέσεις με απαλοιφή της σταθερής C έχουμε:

$$qlnr - \pi kh^2 = qlnR - \pi kH^2 \tag{Δ2.21}$$

$$ή \quad q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\ln \frac{R}{r}} \tag{Δ2.22}$$

$$ή \quad q = \frac{\Phi_0^2 - \Phi_1^2}{\ln \frac{R}{r}} \tag{Δ2.22$'$}$$

Η εξίσωση (Δ2.22) δίνει την παροχή σε συνάρτηση με την στάθμη h δηλ. ουσιαστικά με την πτώση στάθμης δ. Μπορούμε να αντικαταστήσουμε τους νεπέριους λογάριθμους με δεκαδικούς για να γίνει πιο εύχρηστη η (Δ2.22). Έτσι δεδομένου ότι loga = lna loge (e = η βάση των νεπερίων λογαρίθμων = 2,71, Ioge = 0,43429) ή loga = 0,43429 lna, και π = 3,14, η (Δ2.22) γίνεται:

$$q = 1{,}366k \frac{H^2 - h^2}{\log \frac{R}{r}} \tag{Δ2.23}$$

Εκτός από τον πιο πάνω τύπο του Dupuit, στον οποίο έχουμε ουσιαστικά μία σχέση μεταξύ παροχής q και πτώσης στάθμης δ, μπορούμε να έχουμε εξισώσεις για την πιεζομετρική καμπύλη του Dupuit. Πραγματικά από συνδυασμό των σχέσεων (Δ2.18) και (Δ2.19) παίρνουμε τη σχέση:

$$y^2 - h^2 = \frac{q}{\pi k} \ln \frac{x}{r} \tag{Δ2.24α}$$

από την οποία έχουμε τη μορφή της πιεζομετρικής επιφάνειας σε συνάρτηση με την παροχή q.

Ακόμα με απάλειψη της παροχής q θα έχουμε:

$$y^2 - h^2 = (H^2 - h^2) \frac{\ln \frac{x}{r}}{\ln \frac{R}{r}} \tag{Δ2.24β}$$

δ. Τύποι του Dupuit για ροές προς γεωτρήσεις σε υδροφόρα στρώματα υπό πίεση

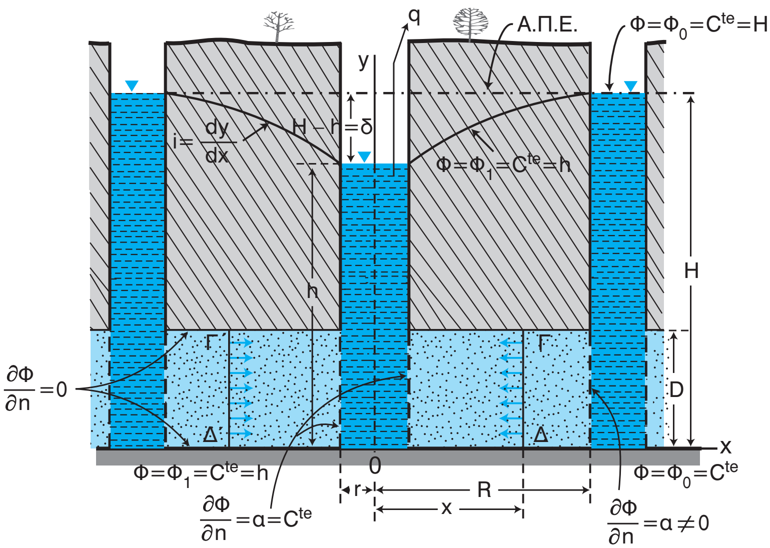
i. Η πραγματοποίηση μόνιμης ροής σε υδροφόρα στρώματα υπό πίεση υποθέτει συγκεκριμένες οριακές συνθήκες σπανιότατα συναντώμενες. Μπορούμε όμως να θεωρήσουμε ως μόνιμη ροή υπό πίεση τη ροή εκείνη που γίνεται προς μία γεώτρηση αφού έχει προηγηθεί πολύωρη άντληση με συνεχώς σταθερή παροχή.

Μία θεωρητική περίπτωση πραγματοποίησης μόνιμης ροής σε υδροφόρο στρώμα υπό πίεση έχουμε στο σχήμα Δ2.3. Το πάχος του υδροφόρου στρώματος είναι D. Η αρχική θέση της πιεζομετρικής επιφάνειας είναι σε ύψος H από το αδιαπέρατο υπόβαθρο. Οι οριακές συνθήκες είναι βασικά οι ίδιες με αυτές που έχουμε σε αντίστοιχες ροές σε ελεύθερα υδροφόρα στρώματα, σχήμα Δ2.2. Υπάρχει όμως μία ουσιώδης διαφορά: η παρουσία μιας αδιαπέρατης επιφάνειας πάνω ακριβώς από τον υδροφορέα· είναι δηλ. η επιφάνεια που αποτελεί τη βάση του υπερκείμενου αδιαπέρατου στρώματος. Πάνω στην επιφάνεια αυτή θα ισχύει η γνωστή οριακή συνθήκη του Neuman:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \tag{Δ2.5}$$

Η οριακή αυτή συνθήκη πέρα από τη δημιουργία πιεζομετρικής επιφάνειας πάνω από τον υδροφορέα έχει και ορισμένες άλλες σημαντικές συνέπειες:

– Εφ' όσον η δυναμική πιεζομετρική επιφάνεια βρίσκεται πάνω από την οροφή του υδροφορέα, εφ' όσον δηλ. $\delta = H–h < H–D$ και κατά συνέπεια, εφόσον δεν έχουμε «*μερική ελευθέρωση*» (βλ. επόμενα κεφάλαια) του υδροφόρου στρώματος, τότε σε όλα τα σημεία της ίδιας κατακόρυφης η ταχύτητα ροής θα είναι η ίδια και σε κάθε σημείο της ροής η κατακόρυφη



Σχήμα Δ2.3. Μόνιμη επίπεδη ακτινωτή ροή προς γεώτρηση ή πηγάδι κατά το πρότυπο του Dupuit σε υδροφόρο στρώμα υπό πίεση. Επεξήγηση στο κείμενο.