Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου

Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗ ΟΡΕΙΝΩΝ ΥΔΑΤΩΝ Ι

Κεφάλαιο 2ο

Φ. Π. Μάρης
Αναπλ. Καθηγητής

Το νερό στο χώρο των ρευμάτων

Προβλήματα από την ανώμαλη δίαιτα του ύδατος

Λειψυδρία: Χαρακτηρίζεται κάθε μακροχρόνια έλλειψη ύδατος που οφείλεται σε ξηρό κλίμα (Δημιουργείται και έμμεσα, με την αύξηση της ζήτησης σε νερό, η οποία οδηγεί σε χαμηλή κατά κεφαλή διάθεση ύδατος).

Ξηρασία: Εννοείται κάθε περίοδος με βροχοπτώσεις (κατακρημνίσματα) σαφώς χαμηλότερες ως προς τα φυσιολογικά επίπεδα ή και με παντελή έλλειψη βροχοπτώσεων.

Πλημμύρα: Χαρακτηρίζεται η υπερχείλιση του απορρέοντος ύδατος από τις κοίτες των ρευμάτων και η κατάκλυση των παρόχθιων ή παρακείμενων περιοχών κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων (Προϋπόθεση για την εκδήλωση έντονων πλημμυρικών φαινόμενων αποτελούν οι έντονες βροχοπτώσεις στις λεκάνες απορροής ποταμών και χειμάρρων. Στην πλημμυρογένεση συμβάλλει και η απόθεση εντός των κοιτών, φερτών υλών, οι οποίες περιορίζουν τις διατομές των κοιτών, με αποτέλεσμα να μειώνεται η παροχετευτικότητα τους).

Επιφανειακή απορροή του νερού

Απορροή: Εννοείται η κίνηση των όμβριων υδάτων με μορφή λεπτού στρώματος στην επιφάνεια των ορεινών λεκανών προς τις χαμηλές περιοχές, μετά την αφαίρεση απ' αυτά διαφόρων απωλειών (διείσδυση, εξάτμιση). Το μέγεθος της εκφράζεται σε όγκο νερού (m^3), ή σε ύψος απορρέοντος στρώματος (mm). Όταν η ποσότητα της απορροής ανάγεται και στη μονάδα της επιφάνειας (m^3/km^2), παρέχει την ειδική απορροή.

Ανάλογα με την περίοδο αναφοράς, η απορροή χαρακτηρίζεται ως ετήσια, μηνιαία, εβδομαδιαία, ημερήσια, ωριαία ή στιγμιαία.

Συντελεστής απορροής ορίζεται η σχέση μεταξύ της βροχής και της αντίστοιχης απορροής. Εκφράζει το εκατοστιαίο ποσοστό του ύψους βροχής, που απορρέει επί της γήινης επιφάνειας μετά την αφαίρεση των απωλειών λόγω διείσδυσης και εξάτμισης.

Παροχή: Ορίζεται η ποσότητα του νερού που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου από συγκεκριμένη διατομή της κοίτης ενός ρεύματος. Συχνά το μέγεθος της παροχής χρησιμοποιείται ως δείκτης για την εκτίμηση της αντίστοιχης απορροής.

Μέγιστη παροχή (Q_{max}): είναι η παροχή με τη μέγιστη τιμή, που μπορεί να εμφανισθεί σε συγκεκριμένη διατομή χειμαρρικού ρεύματος. Στην υδρονομική πράξη θεωρείται, ότι η παροχή με περίοδο επανάληψης 100 ετών (Q_{max100}) αποτελεί μέγεθος πρακτικά δυσυπέρβλητο, γι' αυτό και λαμβάνεται κατά κανόνα ως βάση για διάφορους υδραυλικούς και υδρολογικούς υπολογισμούς.

Μέγιστη παροχή ορισμένης περιόδου ($Q_{max,N}$): Είναι η μέγιστη τιμή παροχής, με ορισμένη περίοδο επανάληψης, κατά κανόνα μικρότερη των 50 ετών.

Μέση παροχή (Q_m): Είναι ο μέσος όρος των διαφόρων παροχών ορισμένου χρονικού διαστήματος (ημέρας, μήνα, εξαμήνου, έτους).

Ελάχιστη παροχή (Q_{min}): Είναι η μικρότερη τιμή παροχής, που μπορεί να εμφανισθεί σε χειμαρρικό ρεύμα. Στην Ελλάδα η παροχή πολλών χειμαρρικών ρευμάτων μηδενίζεται κατά τη διάρκεια του θέρους (ξηριάδες), οπότε δεν υφίσταται ελάχιστη παροχή.

Χαμηλά νερά: Είναι η συνήθης παροχή των χειμαρρικών ρευμάτων (βασική απορροή) μετά παρέλευση αρκετού χρονικού διαστήματος από την πλημμυρική παροχή.

Κύριο αίτιο δημιουργίας της υδατοπαροχής είναι οι βροχοπτώσεις καθώς και:

- Η απότομη τήξη χιονιού,
- Η καταστροφή φραγμάτων ταμίευσης ύδατος
- Η ρήξη υδροθυλάκων παγετώνων (Άλπεις και υψηλά όρη).

Απώλειες απορροής από εξάτμιση και διείσδυση (κατείσδυση)

Εξάτμιση: Ένα μέρος της βροχής μεταπίπτει από την υγρή στην αέρια κατάσταση, ενώ με τη διαπνοή αποβάλλεται το εδαφικό νερό ως υδρατμός διαμέσου των φυτών. Με τον τρόπο αυτό μια σημαντική ποσότητα βροχής επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ως εξατμισιδιαπνοή.

Διείσδυση (κατείσδυση): Ένα μέρος του όμβριου ύδατος που φθάνει στην επιφάνεια των λεκανών απορροής, διεισδύει στο έδαφος και διηθείται προς τα βαθύτερα στρώματα του. Το φαινόμενο της διείσδυσης ή κατείσδυσης οφείλεται στη διαπερατότητα του εδάφους. Εάν το νερό κατά την υπόγεια κίνησή του συναντήσει αδιαπέρατους ορίζοντες, συσσωρεύεται και σχηματίζει υπόγεια υδροφόρα στρώματα, τα οποία δημιουργούν πηγές στα σημεία επαφής τους με την επιφάνεια του γεωυποθέματος. Η βασική απορροή (ελάχιστη παροχή) των ρευμάτων οφείλεται αποκλειστικά σε τέτοια πηγαία νερά.

Παράγοντες που καθορίζουν την απορροή

Οι παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος της απορροής είναι οι εξής:

- **Κλιματικοί παράγοντες**
  - Μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων (mm),
  - Ραγδαιότητα βροχής (Μέγιστο ύψος βροχής 24ώρου),
  - Μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα και
  - Θερμοστατικό εύρος.
- **Εξατμισιδιαπνοή**
- **Διείσδυση (κατείσδυση)**

Κλιματικοί παράγοντες

Ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων

Αυξάνεται με την αύξηση του υπερθαλάσσιου ύψους μέχρι ενός ορισμένου ορίου (2000 ~ 2600m).

Περιοχή	Μέση αύξηση ετήσιου ύψους βροχής (mm/100m)
Πελοπόννησος	50
Στερεά Ελλάδα	65
Δυτική Θεσσαλία	112
Ανατολική Θεσσαλία	35
Μακεδονία	55
Θράκη	96
Δυτική Κρήτη	125

Μεταβολή συντελεστή χιονόπτωσης με το υπερθαλάσσιο ύψος (αναλογία % του ύψους της χιονόπτωσης προς το σύνολο των κατακρημνισμάτων ενός σταθμού).

Υπερθαλάσσιο Ύψος	**Συντελεστής Χιονόπτωσης**
(m)	(%)
500	10
1000	20
1500	34
2000	51
2500	68
3000	85

Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα από τους τοπικούς σταθμούς παρατήρησης, η μεταβολή του ετήσιου ύψους βροχής των κατακρημνισμάτων με το υψόμετρο εκτιμάται με τη βοήθεια εμπειρικών τύπων.

- **Τύπος του *Mathias***

$$N_H = \kappa \cdot H - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{H^2}{100} \right)$$

- **Τύπος του *Wussow***

$$N_H = 44 + \sqrt{44^2 + H^2 - 80 \cdot H}$$

Μέγιστο ύψος βροχής 24ώρου (δείκτης ραγδαιότητας)

Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν παρατηρήσεις, η εκτίμηση του μέγιστου αυτού ύψους βροχής στα διάφορα υψόμετρα της λεκάνης απορροής μπορεί να γίνει με τη βοήθεια της σχέσης (για την Ελλάδα):

$$N_{24} = 15{,}6 + 0{,}012 \cdot H \quad \text{(mm/24h)}$$

Θερμοκρασία αέρα

Μειώνεται με την αύξηση του υπερθαλάσσιου ύψους. Το μέγεθος της μέσης θερμοκρασίας αέρα σε μηνιαία και ετήσια βάση για τα διάφορα υπερθαλάσσια ύψη της χώρας μας δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις (Flocas et al., 1983):

$$T = \alpha - (\beta \cdot \varphi) - (\gamma \cdot \lambda) - (\delta \cdot H)$$

Όπου α,β,γ,δ τιμές συντελεστών που μεταβάλλονται κατά μήνα
φ, λ, γεωγραφικό μήκος και πλάτος, Η: υπερθαλάσσιο ύψος (m)

Σε περίπτωση που είναι γνωστή η μέση θερμοκρασία αέρα ενός σταθμού (συνήθως πεδινού), η θερμοκρασία που αναλογεί σε μια άλλη θέση με διαφορετικό υψόμετρο, δίνεται με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου:

$$\overline{T}_{\Delta H} = \overline{T}_o - \delta \cdot \Delta H \quad (^oC)$$

Όπου: $T_{\Delta H}$: θερμοκρασία σε υψομετρική διαφορά ΔΗ
T_o: θερμοκρασία στο σταθμό βάσης (^{o} C)
ΔΗ: η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο σταθμών

Ετήσιο θερμοστατικό εύρος

Αυξάνεται με την αύξηση του υπερθαλάσσιου ύψους. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν δεδομένα, το μέγεθος της μέσης ετήσιας τιμής του μπορεί να εκτιμηθεί για τη χώρα μας από την εξής γενική σχέση:

$$\overline{T}_E = 28,5 + 0,002 \cdot H$$

Αντίστοιχα, όταν υπάρχουν δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς σε πεδινές περιοχές, η σχέση παίρνει την μορφή:

$$T_{\Delta H,\,E} = T_{o,E} + 0,002 \cdot \Delta H$$

Προσδιορισμός της πραγματικής εξατμισιδιαπνοής

Ένα μέρος της βροχής μεταπίπτει από την υγρή στην αέρια κατάσταση, ενώ με τη διαπνοή αποβάλλεται το εδαφικό νερό ως υδρατμός διαμέσου των φυτών.

Ο προσδιορισμός της πραγματικής εξατμισιδιαπνοής γίνεται με την βοήθεια των ακόλουθων μεθόδων.

- **Μέθοδος *Turc***

$$ET_{\alpha} = \frac{N}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{N}{L}\right)^2}} \quad \text{(mm)}$$

Όπου:

N: Μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων (mm)

L: Συνάρτηση της θερμοκρασίας, που δίνεται από τη σχέση:

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^3 \quad \text{(mm)}$$

T: Ετήσια θερμοκρασία αέρα (^{o}C)

Μέθοδος *Coutagne*

$$ET_{\alpha} = N \cdot \left(1 - \frac{N}{I}\right) \quad (mm)$$

Όπου: N: Μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων (mm)

I: Συνάρτηση της θερμοκρασίας, που δίνεται από τη σχέση

$$I = 800 + 140 \cdot T \quad (mm)$$

T: Ετήσια θερμοκρασία αέρα (°C)

Προϋπόθεση για την εφαρμογή του τύπου είναι να ισχύει η σχέση:

$$\frac{I}{8} \leq N \leq \frac{I}{2}$$

Οπότε: εάν $N < I/8$, τότε $ET_{\alpha} \simeq$ N, δεν σχηματίζεται απορροή

εάν $N > I/2$, τότε $ET\alpha \simeq I/4 = 200 + 35 \cdot T$

(Η χρήση των εξισώσεων τόσο του Turc, όσο και του Coutagne προϋποθέτει την πτώση μεγάλου ύψους κατακρημνισμάτων, αλλιώς δεν παρέχουν σωστά αποτελέσματα).

Προσδιορισμός της διείσδυσης (κατείσδυσης)

Ο προσδιορισμός της διείσδυσης γίνεται κατόπιν ειδικών μετρήσεων για την εκτίμηση της υδατοπερατότητας των διαφόρων πετρολογικών σχηματισμών.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν τέτοιες μετρήσεις η εκτίμηση μπορεί να γίνει ως εξής:

Γεωϋπόθεμα	Μέσος συντελεστής ενεργού διείσδυσης (%)
Ασβεστολιθικό	20 ~ 25
Προσχωσιγενές	10 ~ 25
Οφιολιθικό	4 ~ 8
Φύσχης, Μάργες, Σχιστόλιθοι, φυλλίτες, κλπ.	3 ~ 8
Γρανίτες	5 ~ 12
Μολάσσες, ψαμμίτες, κλπ.	14 ~ 25
Ηφαιστειακά πετρώματα	3 ~ 8
Πρασινόλιθοι, Γνεύσιοι, Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι	3 ~ 7

Χαρακτηριστικά των ορεινών λεκανών και η απορροή

Τα χαρακτηριστικά των ορεινών λεκανών απορροής τα οποία ασκούν σημαντική επίδραση στην διαμόρφωση των απορροών τους είναι τα εξής:

- Η *θέση* των ορεινών λεκανών στο χώρο: Λεκάνες με διάταξη του άξονά τους κάθετη προς την πορεία των ομβροφόρων ανέμων δίνουν κατά κανόνα μικρότερη απορροή από εκείνες με άξονα παράλληλο.
- Η *έκταση* των ορεινών λεκανών: Λεκάνες με μεγάλη έκταση παρουσιάζουν μικρή σχετικά διακύμανση και πλημμυρική αιχμή με μεγάλη διάρκεια. Ορεινές λεκάνες μικρών χειμαρρικών ρευμάτων εμφανίζουν αιφνίδιες παροχές και αιχμή παροχής με πολύ μικρή διάρκεια.
- *Μορφολογία* των ορεινών λεκανών: Επιμήκεις λεκάνες εμφανίζουν μικρότερη ένταση απορροής από τις αντίστοιχες στρογγυλόμορφες με την ίδια έκταση. Επίσης η ύπαρξη ισχυρών κλίσεων στις λεκάνες απορροής προκαλεί μεγαλύτερη ταχύτητα ροής και επομένως αυξημένη παροχή.

- Το *φυτοκάλυμμα* και ιδίως το δάσος στο χώρο των ορεινών λεκανών: η δασική βλάστηση συγκρατεί μια σημαντική ποσότητα όμβριου νερού στην κομοστέγη της, αυξάνει την διαπερατότητα του εδάφους και αναγκάζει τα νερά που απορρέουν, να κινούνται προς τις χαμηλές περιοχές αργά και διαμέσου της φυλλάδας και του εδάφους. Επομένως μειώνονται οι απορροές.
- Τα *τεχνικά έργα*: Η ύπαρξη στραγγιστικών έργων στο χώρο των χειμαρρικών ρευμάτων επιταχύνει ενίοτε την απορροή, πράγμα, που οδηγεί σε επίταση των πλημμυρών. Συνήθως όμως προκαλεί μείωση της απορροής, επειδή αυξάνει την ταχύτητα διείσδυσης και διήθησης καθώς και τη συγκράτηση του νερού.

Σχηματισμός της απορροής

Για να αναπτυχθεί η διαδικασία της απορροής και να δημιουργηθεί παροχή σε ορεινή λεκάνη απορροής χειμαρρικού ρεύματος πρέπει να συμβεί βροχόπτωση με επαρκή διάρκεια.

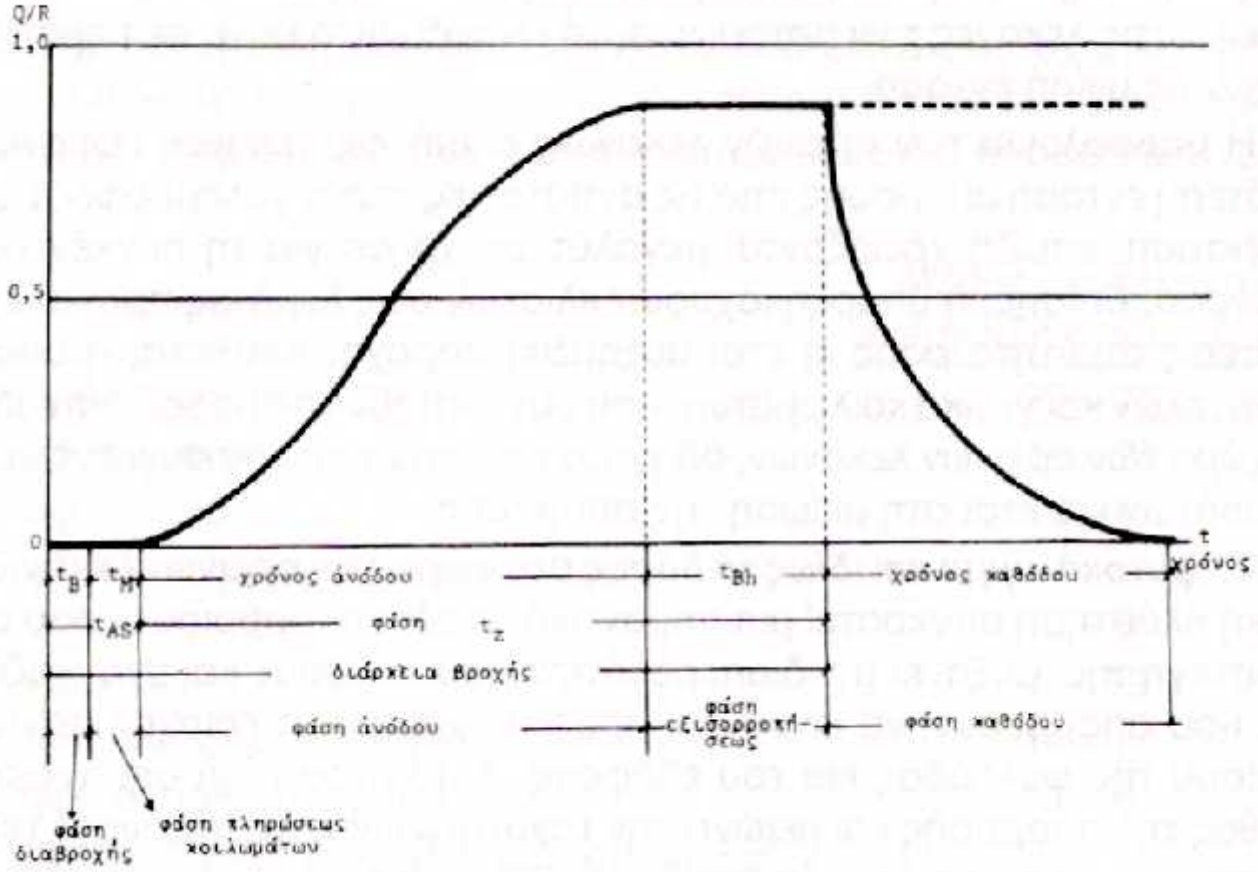
Η πορεία του φαινομένου της απορροής σε πλήρη ανάπτυξη για περίπτωση βροχής με σταθερή ένταση και μετά την αφαίρεση των απωλειών (εξάτμιση, διείσδυση), διακρίνεται σε τέσσερις επί μέρους φάσεις:

1. *Έναρξη της απορροής*: Δύο στάδια.
    1. *Στάδιο της διαβροχής*: Η βροχή διυγραίνει αρχικά την επιφάνεια της ορεινής λεκάνης, συγκολλάει τον επικείμενο κονιορτό και διαβρέχει το φύλλωμα της υπάρχουσας βλάστησης. Όσο διαρκεί η φάση αυτή (χρόνος διαβροχής tβ), όλο το ύψος της βροχόπτωσης κατακρατείται από την επιφάνεια του εδάφους και της βλάστησης, γι' αυτό δεν σχηματίζουν απορροή.
    2. *Στάδιο της πλήρωσης των κοιλωμάτων*: κατά τη διάρκεια του (χρόνος πλήρωσης t_M) πληρούνται όλες οι κοίλες θέσεις της ορεινής λεκάνης από τα όμβρια νερά. Έτσι, προετοιμάζεται η επιφάνεια της λεκάνης για τη δημιουργία της απορροής.

    Ο συνολικός χρόνος της διαβροχής και της πλήρωσης ($t_{AS} = t_B + t_M$) ονομάζεται χρόνος έναρξης ή εκκίνησης της απορροής.

2. *Άνοδος της απορροής*: Με την έναρξη της απορροής σχηματίζεται στην επιφάνεια της λεκάνης ένα λεπτό υδάτινο στρώμα, το οποίο κινείται προς την κατεύθυνση της μεγαλύτερης κλίσης και των μικρότερων εμποδίων και συγκεντρώνεται στους αγωγούς διαφόρου τάξεως. Με την πάροδο του χρόνου το στρώμα αυτό διογκώνεται προοδευτικά και οδηγεί στην αύξηση της μάζας του νερού που απορρέει. Η διάρκεια από τη δημιουργία του επιφανειακού υδροστρώματος μέχρι την επίτευξη μιας μέγιστης τιμής του αποτελεί τον χρόνο ανόδου της απορροής t_A.
3. *Εξισορρόπηση της απορροής*: Μετά την πάροδο του χρόνου έναρξης και ανόδου ($t = t_{AS} + t_A = t_B + t_M + t_A$), η απορροή έχει πλέον αποκτήσει μια μέγιστη τιμή γι ατη δεδομένη ένταση της βροχής, η δε ροή του νερού στις κοίτες γίνεται με σταθερή παροχή. Επειδή δε οι απώλειες της βροχής σε εξάτμιση και διείσδυση είναι πολύ μικρές στην περίπτωση των καταιγίδων, ώστε να θεωρούνται πρακτικά αμελητέες, η απορροή ταυτίζεται σχεδόν με την βροχόπτωση. Ο χρόνος εξισορρόπησης (T_{Bh}) αρχίζει με την επίτευξη της μέγιστης τιμής της παροχής και περατώνεται με την παύση της βροχής.

4. *Κάθοδος της απορροής*: Μετά την παύση της βροχής η παροχή μειώνεται προοδευτικά. Το χρονικό διάστημα από τη βροχόπτωση μέχρι το πέρας του πλημμυρικού κύματος, δηλαδή μέχρι την αρχική (βασική) απορροή, χαρακτηρίζεται ως χρόνος καθόδου της απορροής (t_{Ab})



Προσδιορισμός Απορροής και Παροχής στα χειμαρρικά ρεύματα

Υδρολογικές μέθοδοι προσδιορισμού παροχής

Καλύτερος τρόπος προσδιορισμού της παροχής είναι η μέτρησή της. Επειδή όμως αυτό δεν είναι πάντα εφικτό, αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι έμμεσης εκτίμησης των παροχών.

Οι γνωστές υδρολογικές μέθοδοι, προϋποθέτουν την ύπαρξη πυκνού δικτύου μετεωρολογικών σταθμών, πολυετείς παρατηρήσεις (περισσότερο από 30 έτη) κτλ, γι'αυτό και χρησιμοποιούνται με επιφυλάξεις στα μικρά χειμαρρικά ρεύματα.

Το μοναδιαίο υδρογράφημα και το συνθετικό υδρογράφημα δεν ανταποκρίνονται πολλές φορές στις ιδιαίτερες συνθήκες των μικρών χειμαρρικών ρευμάτων. Επίσης δεν παίρνουν υπόψη την επίδραση της έντονης μεταφοράς φερτών υλών (στερεομεταφορά, λαβαμεταφορά) από τα χειμαρρικά ρεύματα.

Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι προσδιορισμού της παροχής.

Μέτρηση της ελάχιστης παροχής

1. Μέτρηση με δοχείο

Το νερό του ρεύματος ή της πηγής συλλέγεται σε δοχείο. Ταυτόχρονα μετρείται και ο απαιτούμενος χρόνος για την πλήρωση του δοχείου. Η παροχή του ρεύματος (m^3/s) προκύπτει από τη διαίρεση του όγκου του δοχείου με το χρόνο πλήρωσης του.

2. Μέτρηση με εκροή από οπές

Χρησιμοποιείται δοχείο, στο οποίο ταυτόχρονα με την εισροή του νερού δημιουργείται και εκροή από οπή κοντά στον πυθμένα του, κατά τρόπο, ώστε η στάθμη του νερού εντός του δοχείου να παραμένει αμετάβλητη. Αποκαθίσταται έτσι η μόνιμη ροή, οπότε η παροχή Q (m^3/s) δίνεται από το γνωστό τύπο εκροής από οπές:

$$Q = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

μ: συντελεστής με τιμή 0,52 για κυκλική ή τετραγωνική διατομή και 0,61 για ορθογωνική

f: επιφάνεια οπής (m^2)

g: επιτάχυνση βαρύτητας

h: ύψος νερού υπεράνω της οπής (m)

Μέτρηση οποιασδήποτε παροχής

1. **Μέθοδος στάθμης και παροχών**

Σε ομαλό ευθύγραμμο κατά το δυνατό τμήμα της κοίτης με σταθερή διατομή τοποθετούνται υδρομετρικοί πήχεις, με τους οποίους παρακολουθείται η διακύμανση της στάθμης στο χειμαρρικό ρεύμα. Το βάθος της ροής μπορεί να μετρείται με την έμπηξη ακοντίου στην κοίτη ή ακόμη και να εκτιμάται από τυχόν ίχνη ροής. Με βάση το συγκεκριμένο βάθος ροής προσδιορίζεται το μέγεθος της αντίστοιχης παροχής και σχεδιάζεται η καμπύλη στάθμης και παροχής, η οποία παρέχει απευθείας την παροχή για δεδομένη στάθμη ύδατος.

2. Μέθοδος με τη μέτρηση της ταχύτητας του νερού

Επιλέγεται ευθύγραμμο τμήμα της κοίτης με σταθερή διατομή και τραχύτητα και με ομοιόμορφη, κατά το δυνατό, κλίση. Σ' αυτό μετρείται η ταχύτητα του νερού με τη βοήθεια κατάλληλων οργάνων. Ταυτόχρονα, αποτυπώνεται η κατά πλάτος διατομή της κοίτης του ρεύματος στο σημείο μέτρησης και σημειώνεται το βάθος ροής της παροχής, οπότε υπολογίζεται εύκολα η διαρρεόμενη επιφάνεια.

Με βάση τη μέση ταχύτητα του νερού και την επιφάνεια διαρροής η παροχή Q (m^3/s) δίνεται από τον τύπο:

$$Q = F \cdot u$$

F: επιφάνεια διαρρεόμενης διατομής (m^2), **u:** μέση ταχύτητα ροής του νερού (m/s)

3. Μέθοδος με φράγματα

Μη προσχωμένα φράγματα, που λειτουργούν ως εκχειλιστές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της παροχής. Για το σκοπό αυτό μετρείται το βάθος ροής στο διάρρου του φράγματος κατά το χρόνο διέλευσης της προς μέτρηση παροχής. Εάν η ταχύτητα προσέγγισης του νερού είναι μικρή (μικρότερη των 3 ~ 4 m/s) και συνεπώς αμελητέα, η παροχή δίνεται από τους εξής τύπους:

Για διάρρου ορθογωνικής διατομής:

$$Q = 1{,}90 \cdot b \cdot h^{3/2}$$

Για διάρρου τραπεζοειδούς διατομής:

$$Q = 1{,}90 \cdot b \cdot h^{3/2} \cdot \frac{3 \cdot b_0 + 2 \cdot b_u}{5}$$

Q: υδατοπαροχή (m^3/s)

b: βάση ορθογωνικού διάρρου (m)

b_o: άνω βάση τραπεζ. Διάρρου (m)

B_u: κάτω βάση τραπεζ. Διάρρου (m)

h: ύψος νερού στον διάρρου (m)

μ: συντελεστής συστολής με τιμή 0,60 ~ 0,65

4. Μέθοδος με τα ίχνη της παροχής

Μετά την πάροδο μιας πλημμυρικής παροχής ή μιας παροχής με σημαντικό βάθος ροής, της οποίας το μέγεθος πρέπει να προσδιορισθεί, αναζητούνται στα πρανή της κοίτης ίχνη της στάθμης του νερού, που απέρρευσε. Η αναζήτηση γίνεται σε ευθύγραμμα τμήματα με ομοιόμορφη διατομή, σταθερή κλίση και τραχύτητα. Με τη βοήθεια των ιχνών προσδιορίζεται το βάθος ροής, άρα η διαβρεχόμενη διατομή και η κλίση της στάθμης του νερού, που απέρρευσε. Η μέση ταχύτητα ροής δίνεται τότε από τον τύπο των *Manning – Strickler:*

$$u = k \cdot J^{1/2} \cdot R^{3/2}$$

u: μέση ταχύτητα ροής του νερού (m/s)

J: κλίση στάθμης πλημμυρικών υδάτων, ή κλίση της κοίτης

R: υδραυλική ακτίνα (m)

k: συντελεστής τραχύτητας

Η παροχή υπολογίζεται στη συνέχεια από τη σχέση:

$$Q = F \cdot u \quad \left(m^3/s\right)$$

4. Χημική μέθοδος

Η ταχύτητα ροής του νερού προσδιορίζεται με τη χρήση διαλύματος ενός άλατος. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο σε περίπτωση, που το ρεύμα δεν περιέχει άλατα του είδους αυτού:

Προσδιορισμός μέγιστης παροχής και παροχής με ορισμένη περίοδο επανάληψης

Ο προσδιορισμός του μεγέθους της μέγιστης υδατοπαροχής (Q_{max100}) καθώς και της παροχής ορισμένης περιόδου επανάληψης (Q_{maxN}) στις ορεινές λεκάνες απορροής αποτελεί πρόβλημα λόγω έλλειψης μετρήσεων.

Για τον λόγο αυτό ο προσδιορισμός βασίζεται σε τύπους ***έμμεσου προσδιορισμού (εμπειρικοί, αναλυτικοί)*** με τους οποίους γίνεται προσπάθεια να εκτιμηθεί η μέγιστη υδατοπαροχή έχοντας ως βάση δεδομένα τα οποία προέρχονται από τις ορεινές λεκάνες και είναι άμεσα μετρήσιμα (έκταση λεκάνης, ετήσιο ύψος βροχής, κλπ).

Εμπειρικοί (στοχαστικοί) τύποι

Οι εμπειρικοί (στοχαστικοί) τύποι χρησιμοποιούνται πάντα με επιφύλαξη.

Όπου **F:** Μέγεθος της λεκάνης απορροής (km^2)

q: Ειδική απορροή ($m^3/s, km^2$), $Q = q \cdot F$ (m^3/s)

- ***Αλεξόπουλος*** $Q_{max} = 14 \cdot \sqrt{F} \cdot \log_{10} F$ για λεκάνες έκτασης 5 ~ 200 km^2
- ***Freidrich*** $Q_{max} = 24{,}12 \cdot F^{0{,}516}$
- ***Klement – Wunderlich*** $Q_{max} = 5{,}5 \cdot F^{5/6}$ (ισχύει για έντονα ορεινές περιοχές)
- ***Wundt*** $Q_{max} = 13{,}8 \cdot F^{0{,}6}$
- ***Coutagne*** $Q_{max} = a \cdot F^{1/2}$ $(a = 0{,}6 \sim 2{,}0)$

F: Μέγεθος της λεκάνης απορροής (km^2)

q: Ειδική απορροή ($m^3/s, km^2$) , **$Q = q \cdot F$ (m^3/s)**

- ***Valentini*** $q_{max} = \frac{30}{F^{1/2}}$
- ***Kürsteirner*** $q_{max} = \frac{A}{F^{2/3}}$ για μεγάλες λεκάνες A = 9, για μικρές A = 12 ~ 15
- ***Henry Boot*** $Q_{max} = a \cdot F^{0,75}$ για ελλαδικά ρεύματα, a = 3,3 ~ 6,7
- ***Hoffbauer*** $q_{max} = a \cdot \frac{60}{F^{1/2}}$ προϋπόθεση $F > 10\ Km^2$
  για ημιορεινές περιοχές a = 0,35 ~ 0,50
  για ορεινές περιοχές a = 0,50 ~ 0,70
- ***Melli*** $q_{max} = a \cdot \frac{40}{(100 \cdot F)^{1/6}}$ ισχύει για $F < 150\ Km^2$, a = 0,4 (μέση τιμή)

F: Μέγεθος της λεκάνης απορροής (km^2)

q: Ειδική απορροή ($m^3/s, km^2$) , **$Q = q \cdot F$ (m^3/s)**

- ***Kresnik*** $$q_{max} = a \cdot \frac{32}{0{,}5 + F^{1/2}}$$ a = 0,6 ~ 2,0

- ***Müller*** $$q_{max} = y_m \cdot \frac{40}{F^{1/3}}, \qquad y_m = \frac{F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2}{F}$$

όπου F_1 δασοσκεπής έκταση
F_2 λιβαδική ή αγροτική έκταση
y_1, y_2 συντελεστές απορροής

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΚΛΙΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ		
		ΜΙΚΡΗ	ΜΕΣΗ	ΙΣΧΥΡΗ
Άνω των δασοορίων	Αγροί, λιβάδια	0,4	0,6	0,8
Μέσες περιοχές	Πυκνό δάσος	0,2	0,4	0,6
Χαμηλές περιοχές	Λιβάδια, καλλιέργειες	0,1	0,2	0,4

F: Μέγεθος της λεκάνης απορροής (km^2)

q: Ειδική απορροή ($m^3/s, km^2$) , **$Q = q \cdot F$ (m^3/s)**

- ***Meli – Müller***

$$Q_{max} = y \cdot 43 \cdot F^{2/3}$$

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ y
Βράχος	0,4 ~ 0,8
Κορήματα	0,05 ~ 0,4
Διαβρωσιγενείς επιφάνειες	0,3 ~ 0,6
Λειβάδια	0,2 ~ 0,5
Αγροί	0,1 ~ 0,5
Δάσος	0,05 ~ 0,4

Σε περίπτωση που υποδιαιρείται η ορεινή λεκάνη σε περισσότερα τμήματα ισχύει

$$y_m = \frac{\sum_i y_i \cdot \Delta F_i}{\sum_i \Delta F_i} \qquad Q_{max} = y_m \cdot 43 \cdot F^{2/3}$$

Όταν κλίση λεκάνης > 50 % y_m πολλαπλασιάζεται επί 1,1

Όταν κλίση λεκάνης < 20 % y_m πολλαπλασιάζεται επί 0,9

F: Μέγεθος της λεκάνης απορροής (km^2)

q: Ειδική απορροή ($m^3/s, km^2$) , **$Q = q \cdot F$ (m^3/s)**

- ***Iszkowski*** $q_{max} = ah \cdot m \cdot H$

όπου H: Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (σε μέτρα), Ο τύπος ισχύει για H > 1000 mm
ah: Συντελεστής διαμόρφωσης της λεκάνης
m: Συντελεστής

F:	1	10	20	50	100	500
m:	10	9,5	9,0	7,95	7,40	5,90

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	I	II	III	IV
Χαμηλές, πεδινές εκτάσεις, κοιλάδες	0,030	0,055		
Λοφώδεις, ημιορεινές περιοχές	0,035	0,050	0,125	
Ορεινές περιοχές	0,04 ~ 0,05	0,082 ~ 0,140	0,155 ~ 0,29	0,4 ~ 0,55
Πολύ ορεινές περιοχές	0,06 ~ 0,08	0,16 ~ 0,21	0,36 ~ 0,60	0,60 ~ 0,80

I: Πολύ διαπερατά εδάφη με κανονική βλάστηση ή ανάμικτα εδάφη
II: Εδάφη μέσης διαπερατότητας με κανονική βλάστηση
III: Λίγο διαπερατά εδάφη με κανονική βλάστηση σε απότομες θέσεις
IV: Αδιαπέρατα εδάφη με σποραδική βλάστηση και δυσμενείς γενικά μορφολογικές συνθήκες

F: Μέγεθος της λεκάνης απορροής (km^2)

q: Ειδική απορροή ($m^3/s, km^2$) , **$Q = q \cdot F$ (m^3/s)**

- ***Possenti***

$$Q_{max} = \frac{a \cdot I_N}{L} \cdot \left(E_H + \frac{E_N}{3} \right)$$

όπου a: 700 (Μέση τιμή)

L: Μήκος της διαδρομής του ρεύματος έως το απώτατο σημείο (Km)

E_N, E_H: Έκταση λεκάνης στην ορεινή και πεδινή περιοχή (km^2)

- ***Ορθολογική Μέθοδος***

$$Q_{max} = 0{,}278 \cdot c \cdot i \cdot F$$

όπου c: Συντελεστής Απορροής

i: ένταση της βροχής (mm/h)

F: Μέγεθος της λεκάνης απορροής (km^2)

q: Ειδική απορροή ($m^3/s, km^2$) , **$Q = q \cdot F$ (m^3/s)**

- ***Fuller***

$$\max Q_N = Q_1 \cdot (1 + \beta \cdot \log 10T) \cdot \left(1 + \frac{2,66}{F^{0,30}}\right)$$

Ο τύπος δίνει απ' ευθείας τη μέγιστη παροχή ορισμένης περιόδου επαναφοράς.

Q_1: Μέση παροχή των πλημμυρικών υδάτων με περίοδο επανάληψης ενός έτους (m^3), υπολογίζεται συνήθως από τη σχέση:

$$Q_1 = 1,80 \cdot F^{0,8}$$

β: 0,8

Τ: Η περίοδος επαναφοράς, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

Συχνότητα (έτη)	**1**	**5**	**10**	**20**
1+0,8λογΤ	1,00000	1,55920	1,80000	2,04080
	30	**40**	**50**	**100**
	2,18168	2,28168	2,35920	2,60000

Αναλυτικοί Τύποι

- ***Turazza***
- ***Giandotti***

Turazza

$$Q_{max(100)} = 11{,}57 \cdot a \cdot K \cdot F \cdot \frac{h_p}{t_p + t_c}$$

όπου, **a:** συντελεστής απορροής (εκτιμάται)

K: συντελεστής αιχμής, K=2

t_p: η διάρκεια της βροχής σε ημέρες. Θεωρείται ότι $t_p=t_c$

t_c: μέγιστος χρόνος συγκέντρωσης της απορροής (ημέρες)

$t_c = \frac{t'_c}{24}$, όπου t'_c ο χρόνος t_c εκφρασμένος σε ώρες

$$t'_c = \frac{4 \cdot \sqrt{F} + 1{,}5 \cdot L}{0{,}8 \cdot \sqrt{Z}} \text{ (ώρες)}$$

L: Μήκος κεντρικής κοίτης (Km)

Z: διαφορά μεταξύ μέσου και ελάχιστου υψομέτρου (m)

h_p: μέγιστο ύψος βροχής με διάρκεια ίση με t_p (m)

$$h_p = \frac{h'}{1000}$$

h': ύψος βροχής με διάρκεια t'_p (mm)

$$h' = \left[[a - (\frac{a}{72} t'_p)] \cdot \sqrt{t'_p} \right]$$

a: συντελεστής που προσδιορίζεται από τον τύπο

$$a = \frac{h}{3{,}27}$$

t'_p: ο χρόνος t_p σε ώρες

h: Μέγιστο ύψος βροχής 24/ώρου

όπου **P:** ύψος βροχής σε χρόνο **t'$_c$ (mm)**

Giandotti

$$Q_{max} = \frac{0,277 \cdot P \cdot F}{t'_c}$$

$$P = h \cdot \sqrt{\frac{t'_c}{24}}$$

h: μέγιστο ύψος βροχής 24/ώρου (mm)

t'$_c$: μέγιστος χρόνος συγκέντρωσης της απορροής

$$t'_c = \frac{4 \cdot \sqrt{F} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{Z}} \text{ (ώρες)}$$

L: μήκος κεντρικής κοίτης (Km)

Z: διαφορά μεταξύ μέσου και ελάχιστου υψομέτρου (m)

Η ροή του νερού στις κοίτες των χειμαρρικών ρευμάτων

Τα χειμαρρικά ρεύματα ως φυσικοί, ανοικτοί αγωγοί

Οι χειμαρρικές κοίτες λειτουργούν ως ***φυσικοί ανοικτοί αγωγοί*** ή ως ***φυσικοί αγωγοί ελεύθερης ροής***. Εάν πρόκειται για νέες ή διευθετημένες (τεχνητές) κοίτες, αυτές αποτελούν ***τεχνητούς ανοικτούς αγωγούς***.

Η ροή μέσα στις φυσικές ή στις τεχνητές κοίτες είναι κατά κανόνα τυρβώδης, επειδή παρουσιάζονται, εκτός της αξονικής κίνησης, τυχαίες κινήσεις προς όλες τις κατευθύνσεις.

Η παροχή των χειμαρρικών ρευμάτων μεταβάλλεται διαρκώς, γι' αυτό η ροή στις κοίτες είναι ασταθής. ***Για πρακτικούς λόγους όμως και για μικρά μόνο χρονικά διαστήματα μπορεί να θεωρηθεί ως σταθερή (Q = σταθερή)***.

Η δημιουργία ***ομοιόμορφης*** ή ***ομαλής ροής*** (Q = σταθερή) προϋποθέτει ότι η κλίση της γραμμής ενέργειας (J_e), της στάθμης του νερού (J_w) και του πυθμένα της κοίτης (J_s) είναι ίδια, δηλαδή $\mathbf{J_e = J_w = J_s}$.

Αυτό απαιτεί την ύπαρξη ευθύγραμμης κοίτης με σταθερή διατομή, όσο και κλίση του πυθμένα, καθώς και με ομοιόμορφη τραχύτητα πρανών.

Οι συνεχείς μεταβολές στην κλίση του πυθμένα, στις διαστάσεις και στην τραχύτητα των διατομών της κοίτης, η ύπαρξη πολλών στροφών, η ανώμαλη και ογκώδης συγκρότηση του πυθμένα και συχνή παρουσία τεχνικών έργων διευθέτησης προκαλούν σοβαρές διαταραχές στην ροή των υδάτων και οδηγούν στην δημιουργία της ***ανομοιόμορφης*** ή ***ακανόνιστης ροής***,

Υπερκρίσιμη (χειμαρρώδης) και υποκρίσιμη (ποτάμια) ροή

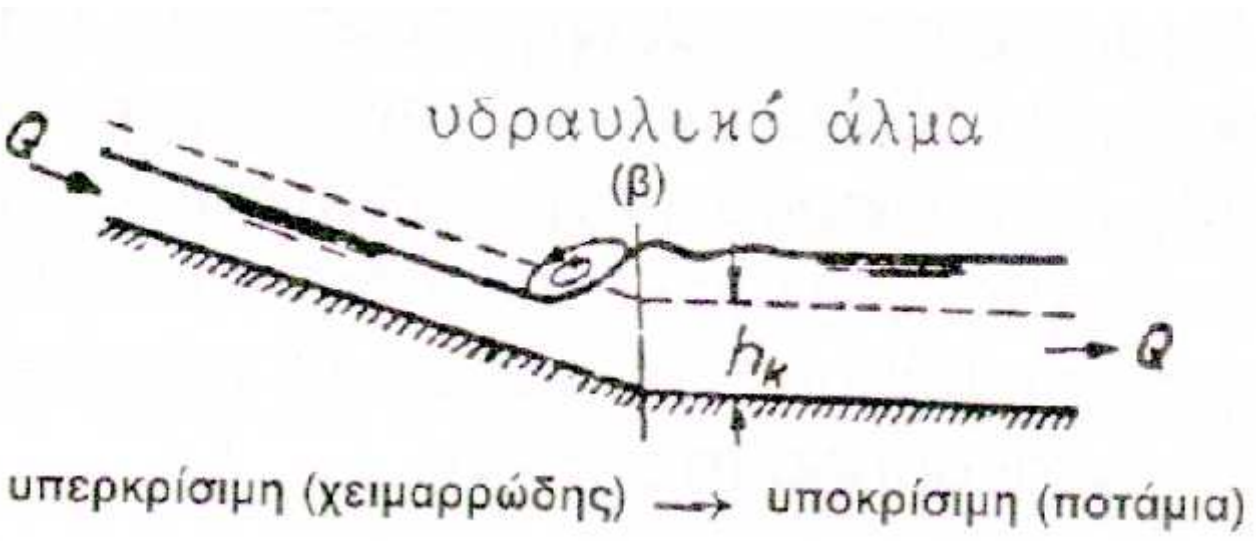
Συχνά γίνεται σύγχυση μεταξύ χειμάρρων και ποταμών, αφενός και χειμαρρώδους και ποτάμιας ροής αφετέρου. Επικρατεί η εσφαλμένη άποψη, ότι στα χειμαρρικά ρεύματα και ιδίως στους χειμάρρους εμφανίζεται μόνο η χειμαρρώδης και στους ποταμούς μόνον η ποτάμια ροή.

Στην υποκρίσιμη ροή το νερό κινείται με μικρότερη ταχύτητα και με μεγαλύτερο βάθος, ενώ στην χειμαρρώδη (υπερκρίσιμη), το νερό ρέει με μεγαλύτερη ταχύτητα και μικρότερο βάθος.

Η κρίσιμη ροή είναι μια ασταθής κατάσταση η οποία στην πράξη δεν διατηρείται, διότι μεταπίπτει διαρκώς στο ένα ή στο άλλο είδος ροής.

Η μετάβαση από την ποτάμια στην χειμαρρώδη ροή γίνεται ομαλά, με μια **μείωση του βάθους ροής** κάτω του κρίσιμου.

Η μετάβαση από την χειμαρρώδη στην ποτάμια ροή σημαίνει μείωση της ταχύτητας, δηλαδή μείωση της κινητικής ενέργειας, οπότε σχηματίζονται πολυπληθείς στρόβιλοι και ανώμαλες δίνες και δημιουργείται το γνωστό **υδραυλικό άλμα**.



Ταχύτητα ροής του νερού

Η ταχύτητα ροής του νερού στα χειμαρρικά ρεύματα μεταβάλλεται συνεχώς. Το μέγεθος της καθορίζεται από το μέγεθος της παροχής και από την κλίση, τη μορφή και την τραχύτητα της διατομής της κοίτης.

Η κατανομή της ταχύτητας των χειμαρρικών υδάτων στην διατομή της κοίτης δεν είναι ομοιόμορφη. Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας σημειώνεται στο κέντρο του αγωγού, λίγο πιο κάτω από την υδάτινη επιφάνεια, ενώ στον πυθμένα και στα πρανή της κοίτης μηδενίζεται. Όσο τραχύτερα είναι τα τοιχώματα και ο πυθμένας του χειμαρρικού ρεύματος, τόσο βαθύτερα βρίσκεται το μέγιστο της ταχύτητας. Στις τεχνητές και διευθετημένες κοίτες η κατανομή της ταχύτητας εμφανίζει μια κανονικότητα.

Μεγάλη σημασία από θεωρητική και από πρακτική άποψη έχει η μέση ταχύτητα ροής του νερού, η οποία στην περίπτωση των ανοικτών αγωγών δίνεται από τη σχέση:

$$u_m = \frac{Q}{U}$$

Όπου

Q: Παροχή (m^3/sec)

U: διαβρεχόμενη επιφάνεια (m^2)

Τύπος Manning - Strickler

$$u_m = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

Όπου

k: συντελεστής τραχύτητας (δίνεται από πίνακα)

R: Υδραυλική ακτίνα

J: κλίση του πυθμένα της κοίτης

Επίδραση της μεγάλης κλίσης και της έντονης τραχύτητας των χειμαρρικών κοιτών στη ροή του νερού

Η κλίση της κοίτης και η τραχύτητα της επιφάνειας του πυθμένα της παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές στα χειμαρρικά ρεύματα γεγονός που οφείλεται στις πολύ σημαντικές υψομετρικές διαφορές που αναπτύσσονται στις ορεινές λεκάνες απορροής, καθώς και στην ύπαρξη κινητών πυθμένων με ογκώδεις φερτές ύλες.

1. Όταν η κλίση της κοίτης είναι σημαντική ($\mathbf{J_s > 5 \sim 10\%}$), ο δε πυθμένας και τα πρανή της είναι σχετικά ομαλά (τραχύτητα περιορισμένη), το νερό ρέει με μεγάλη ταχύτητα, η ροή διαμορφώνεται υπερκρίσιμη (χειμαρρώδης), με αποτέλεσμα να προκαλείται εναέρωση της υδάτινης μάζας (εισαγωγή αέρα στο επιφανειακό στρώμα κυρίως).
2. Οι ανοικτοί αγωγοί με έντονη τραχύτητα στον πυθμένα και στα πρανή της κοίτης ονομάζονται τραχείς, ανεξάρτητα από το εάν ο πυθμένας τους είναι κινητός ή όχι.

Συνέπειες από μεταβολές στις συνθήκες ροής του νερού

Η ομοιόμορφη ροή του νερού διατηρείται, όταν παραμένουν σταθερές οι συνθήκες ροής στις κοίτες των ρευμάτων (γεγονός που συμβαίνει σπάνια).

- **Συνέπειες από μεταβολή της κλίσης της κοίτης**

Όταν σε κοίτη ρεύματος με ορισμένη διατομή, τραχύτητα και κλίση παραμένει σταθερή η παροχή του νερού, δημιουργείται ομοιόμορφη ροή ($\mathbf{J_e = J_w = J_s}$).

1. Εάν συμβεί αιφνίδια μεταβολή στην κλίση του πυθμένα, **χωρίς όμως να μεταβληθεί το είδος της ροής**, τότε:

Αύξηση της αρχικής κλίσης του πυθμένα οδηγεί σε επιτάχυνση της ροής με παράλληλη μείωση του βάθους ροής, μέχρι να αποκατασταθεί νέα ομαλή ροή.

Μείωση της αρχικής κλίσης του πυθμένα, οδηγεί σε επιβράδυνση της ροής με ταυτόχρονη αύξηση του βάθους ροής του νερού.

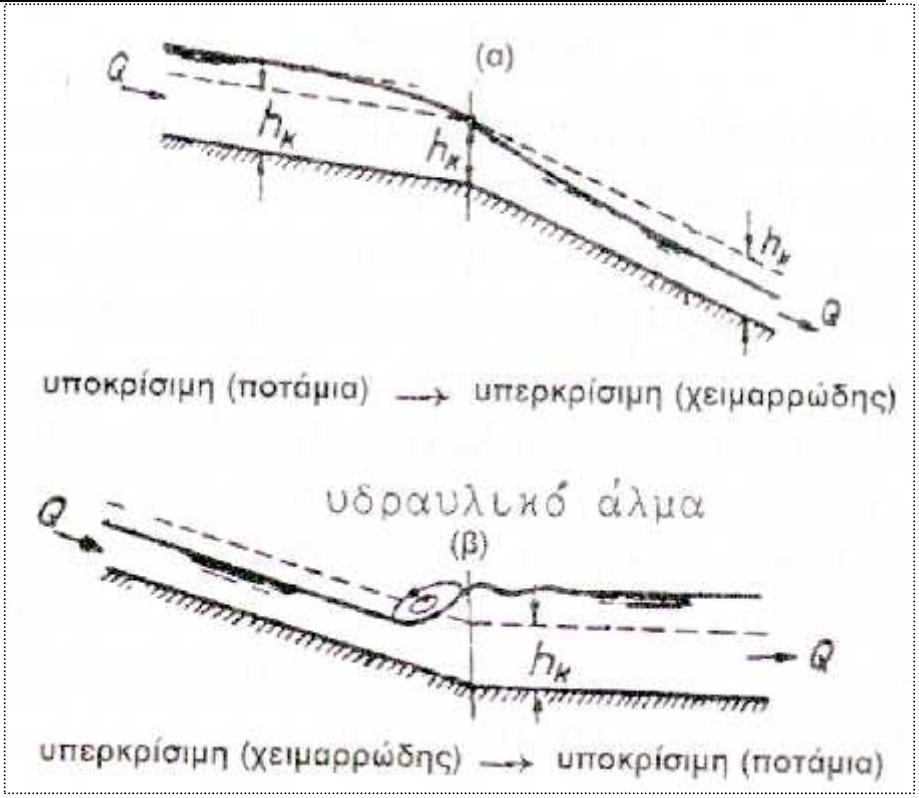
(α) υποκρίσιμη (ποτάμια) ροή

(β) υπερκρίσιμη (χειμαρρώδης) ροή

2. Όταν έχουμε μεταβολή του είδους ροής λόγω αλλαγής της κλίσης του πυθμένα, τότε:

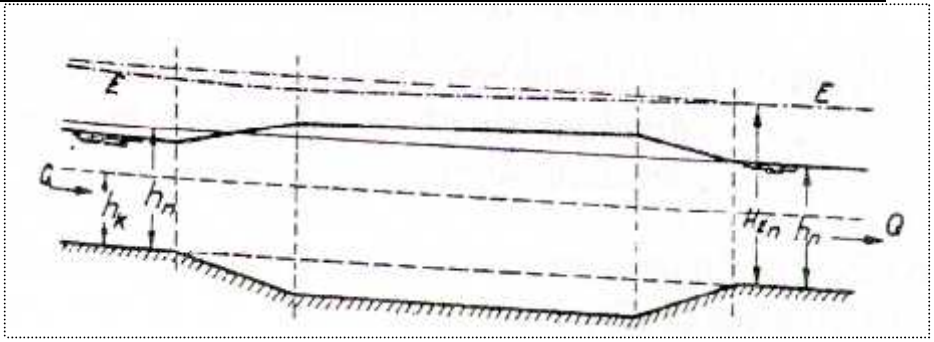
- Υποκρίσιμη (ποτάμια) ροή μετασχηματίζεται σε υπερκρίσιμη (χειμαρρώδη) με ομαλό τρόπο, το βάθος ροής γίνεται μικρότερο από το **κρίσιμο βάθος** (Κρίσιμο βάθος, είναι το βάθος ροής στο σημείο αλλαγής της κλίσης του πυθμένα).

- Υπερκρίσιμη σε υποκρίσιμη, με μείωση της αρχικής κλίσης του πυθμένα, σχηματίζεται το γνωστό **υδραυλικό άλμα**.

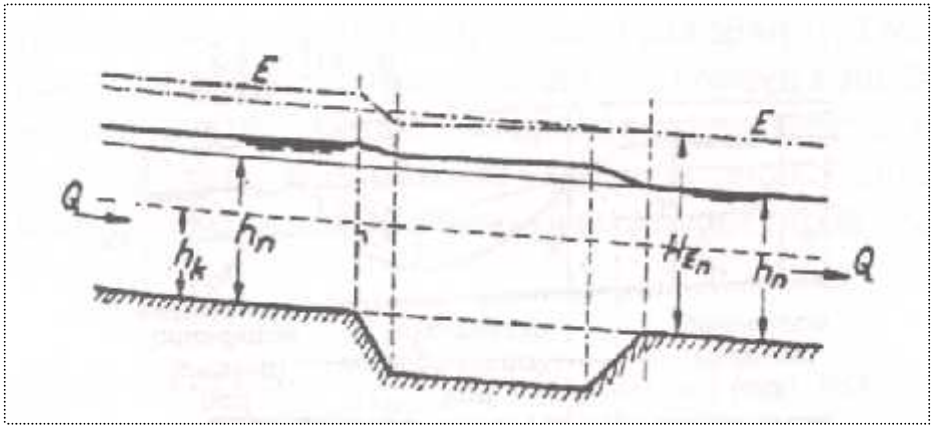


□ Συνέπειες από τοπική μεταβολή της διατομής της κοίτης

Σε περίπτωση υποκρίσιμης (ποτάμιας) ροής, τυχόν τοπική διεύρυνση ή αύξηση του βάθους της διατομής της κοίτης, η οποία επεκτείνεται σε μεγάλο μήκος, οδηγεί σε ανύψωση της στάθμης του νερού σ' όλο το διευρυμένο μήκος.



Αντίθετα διεύρυνση ή αύξηση του βάθους της διατομής σε μικρό μόνο μήκος, έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης πριν από αυτήν και τον υποβιβασμό της στο χώρο της διεύρυνσης ή διαβάθμισης.



Ροή του νερού σε διευθετημένες κοίτες χειμαρρικών ρευμάτων. Επίδραση εκχειλιστών

Στις διευθετημένες κοίτες η ροή του νερού επηρεάζεται σημαντικά από τα τεχνικά έργα που έχουν ιδρυθεί και ιδίως από τα φράγματα.

Ως **εκχειλιστής** χαρακτηρίζεται κάθε εγκάρσιος τεχνητός τοίχος (φράγμα) στην κοίτη χειμαρρικού ρεύματος, που ανυψώνει την ελεύθερη στάθμη του νερού στα ανάντη του και υπερπηδάται από τα ρέοντα ύδατα.

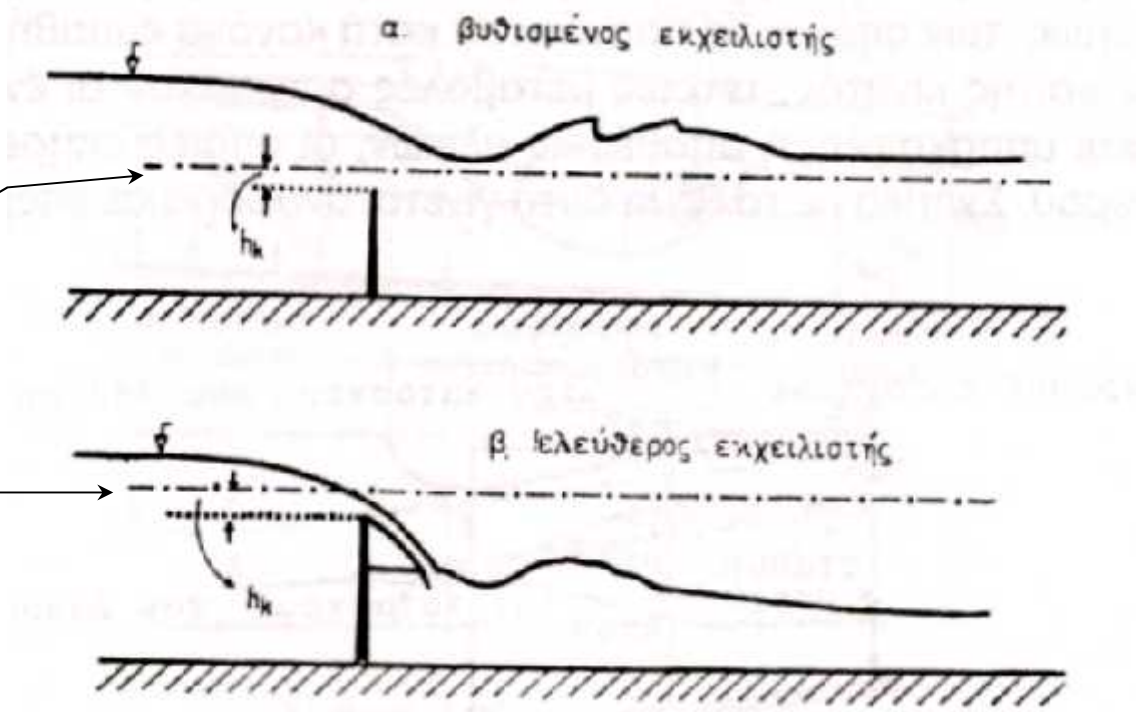
Οι εκχειλιστές διακρίνονται σε **βυθισμένους** και **ελεύθερους** ανάλογα με το εάν η στάθμη του νερού στα κατάντη τους βρίσκεται αντίστοιχα υψηλότερα ή χαμηλότερα από το εκεί κρίσιμο βάθος ροής h_k. Στην πράξη η διάκριση γίνεται με κριτήριο τη θέση της στάθμης του νερού στα κατάντη ως προς την στέψη του εκχειλιστή.

Εάν οι εκχειλιστές έχουν διαμορφωμένο διάρρου (με κατασκευή πλευρικών πτερυγίων) τότε ονομάζονται **μερικοί ή με πλευρική συστολή**. Αυτοί που δεν φέρουν πτερύγια, ονομάζονται καθολικοί ή χωρίς πλευρική συστολή.

Βυθισμένος Εκχειλιστής

h_k Κρίσιμο βάθος ροής

Ελεύθερος Εκχειλιστής



Ελεύθεροι εκχειλιστές

Στους ελεύθερους εκχειλιστές διαμορφώνεται συνήθως διάρρους ορθογωνικός, τραπεζοειδής ή τριγωνικός.

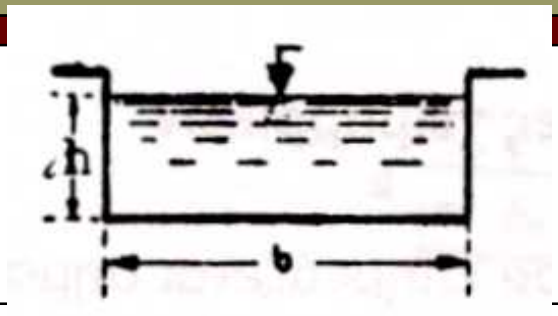
Ο υπολογισμός των διαστάσεων του διάρρου γίνεται με βάση την ταχύτητα προσέγγισης (προσπέλασης).

Ως ταχύτητα προσέγγισης εννοείται η ταχύτητα με την οποία τα χειμαρρικά ύδατα προσεγγίζουν τους εκχειλιστές.

Η εκτίμηση του μεγέθους της ταχύτητας γίνεται με την βοήθεια του τύπου της μέσης ταχύτητας ροής (Manning – Strickler).

$$u_m = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

Ορθογωνικός διάρρους (προσδιορισμός υδατοπαροχής)



Χρησιμοποιείται ο τύπος του *Weissbach*, ο οποίος συνυπολογίζει και την ταχύτητα προσέγγισης.

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu_o \cdot b\sqrt{2g}\left[\left(h + \frac{u^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(\frac{u^2}{2g}\right)^{3/2}\right]$$

Όπου

Q:	παροχή (m^3/sec)
b:	πλάτος διάρρου (m)
g:	επιτάχυνση της βαρύτητας (m^2/sec)
h:	ύψος διάρρου, δηλαδή ύψος νερού στα ανάντη της στέψης του εκχειλιστή (m)
u:	ταχύτητα προσέγγισης (m/s)
μ_o:	συντελεστής, ο οποίος εξαρτάται από τη μορφή, το είδος του εκχειλιστή και το είδος της υδατοβλέφας. Για χειμαρρικές συνθήκες ισχύει $\mu = 0{,}60 \sim 0{,}65$.

Σε περίπτωση που το μέγεθος της ταχύτητας προσέγγισης είναι μικρό ($u < 2,5 \sim 3,0$ m/s), αυτή παραλείπεται, οπότε προκύπτει ο απλοποιημένος τύπος του *Poleni*:

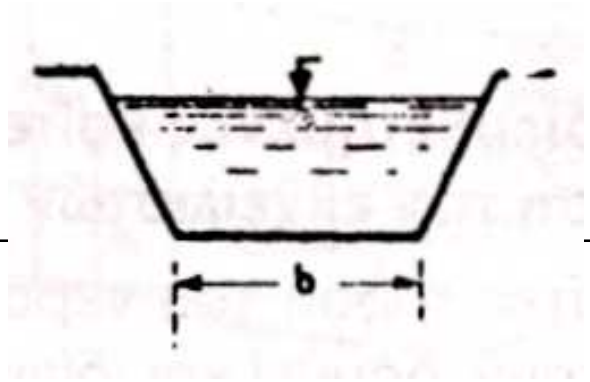
$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu_o \cdot b\sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

Στις περιπτώσεις φραγμάτων με ευρεία στέψη, όπως εκείνα που ιδρύονται κατά τις διευθετήσεις χειμάρρων και εφόσον δεχθούμε, ότι ο συντελεστής μ για χειμαρρικές συνθήκες έχει τιμές $\mu = 0,60 \sim 0,65$, ο τύπος του Poleni αποκτά την απλοποιημένη μορφή:

$$Q = 1,70 \cdot b \cdot h^{3/2}$$

Ο τύπος αυτός βρίσκει ευρύτατη εφαρμογή στην υδρονομική πράξη.

Τραπεζοειδής διάρρους (προσδιορισμός υδατοπαροχής)



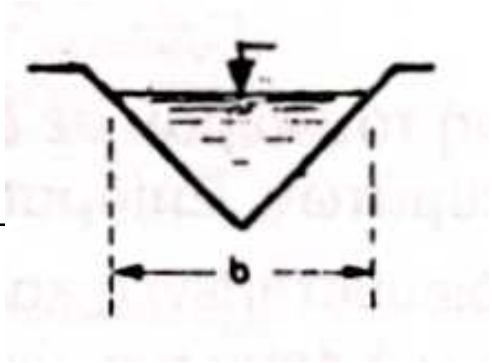
Χρησιμοποιείται πάλι ο τύπος του *Weissbach*.

$$Q = \frac{2}{3}\cdot\mu\cdot\sqrt{2g}\cdot\left[\left(b_u + \frac{b_o - b_u}{h}\cdot h\right)\cdot\left(H^{3/2} - h_o^{3/2}\right) - \frac{2}{5}\cdot\frac{b_o - b_u}{h}\cdot\left(H^{5/2} - h_o^{3/2}\right)\right]$$

Όπου

Q:	παροχή (m^3/sec)
b_u:	κάτω βάση τραπεζίου (m)
b_o:	άνω βάση τραπεζίου (m)
H:	ύψος ενέργειας $H = h + ho$ (m)
g:	επιτάχυνση της βαρύτητας (m^2/sec)
h:	ύψος διάρρου (m)
h_o:	ύψος ταχύτητας στα ανάντη του εκχειλιστή $h_o = u^2/2g$
u:	ταχύτητα προσέγγισης (m/s)
μ_o:	συντελεστής, $\mu = 0{,}60 \sim 0{,}65$.

Τριγωνικός διάρρους (Διάρρους Thomson)



Η υδατοπαροχή υπολογίζεται ως εξής:

$$Q = 0{,}553 \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot \varepsilon\varphi\alpha \cdot h^{5/2}$$

Όπου α: γωνία, που σχηματίζει η πλευρά του τριγώνου του διάρρου με το οριζόντιο επίπεδο. Συνεπώς, η γωνία μεταξύ των δύο πλευρών του τριγωνικού διάρρου ανέρχεται σε 2α

h: ύψος διάρρου (m)

Εάν α = 45º (συνηθέστερη περίπτωση) ο συντελεστής μ παίρνει τις εξής τιμές σε συνάρτηση προς το βάθος ροής h.

h:	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
μ:	0,597	0,590	0,586	0,584	0,582

Νομογράφημα για τον υπολογισμό της παροχής ανά τρέχον μέτρο πλάτους διάρρου σε ελεύθερους εκχειλιστές με τον τύπο:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot h^{3/2}$$

- ειδική παροχή

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

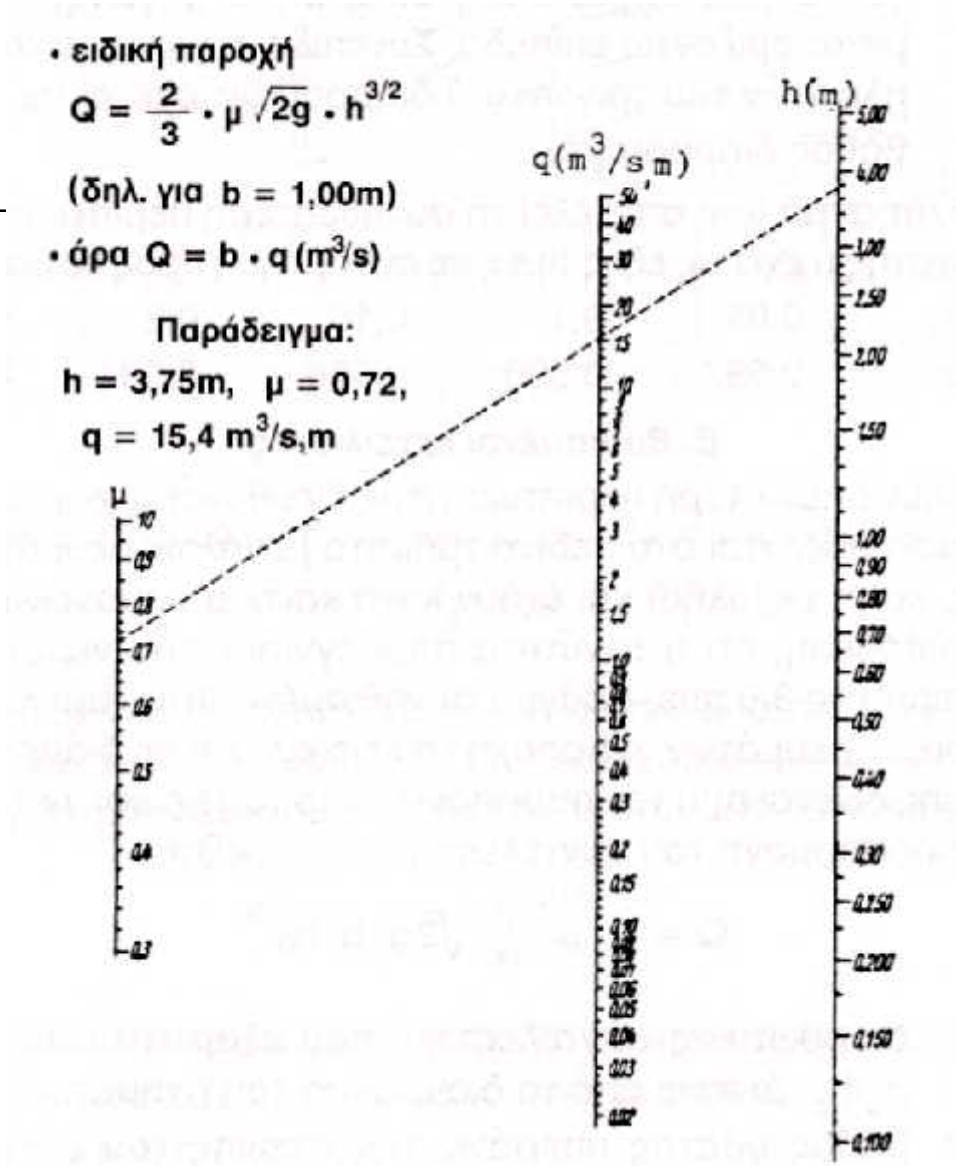
(δηλ. για b = 1,00m)

- άρα $Q = b \cdot q\ (m^3/s)$

Παράδειγμα:

h = 3,75m, μ = 0,72,

q = 15,4 $m^3/s,m$



Βυθισμένοι εκχειλιστές

Κατασκευάζονται στα πεδινά τμήματα μεγάλων ρευμάτων (κώνος πρόσχωσης, κοίτη εκβολής) και έχουν κατά κανόνα ορθογωνική διατομή.

Η παροχή δίνεται με τον τύπο του ***Poleni***, μετά από προσαρμογή του.

$$Q = c \cdot \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot h^{3/2}$$

Όπου c διορθωτικός συντελεστής που εξαρτάται από την σχέση του βάθους ύδατος πάνω από τη στέψη του εκχειλιστή στα κατάντη της ροής, προς το ύψος του διάρρου.

Υδάτινος κορμός που υπερπηδά ελεύθερο εκχειλιστή

Μετά την υπερπήδηση του διάρρου του ελεύθερου εκχειλιστή το νερό εκτινάσσεται προς τα εμπρός, διαγράφει παραβολική τροχιά και πέφτει στην κοίτη σε κάποια απόσταση από τον πόδα του. Έτσι σχηματίζεται ο υδάτινος κορμός ή η υδάτινη φλέβα.

Η απόσταση πτώσης του υδάτινου κορμού από την στέψη του φράγματος, καθώς και η τροχιά που διαγράφει αυτός στην περίπτωση **μη προσχωμένου** εκχειλιστή, δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$z = u \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

z: απόσταση πτώσης της φλέβας από τον εκχειλιστή (m)

u: μέση ταχύτητα ροής του νερού (m/sec)

g: επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/sec^2)

Υδατοχετοί

Συχνά στον κορμό των φραγμάτων – εκχειλιστών αφήνονται οπές για την εκροή του νερού, γνωστές και ως υδατοχετοί.

Οι οπές διακρίνονται σε **ελεύθερες**, όταν η εκροή του νερού γίνεται στον αέρα, σε **βυθισμένες**, όταν εκρέει μέσα στο νερό στα κατάντη του εκχειλιστή και σε **συνδυασμένες** όταν αυτό εκρέει ταυτόχρονα στον αέρα και στο νερό.

Ελεύθερες οπές

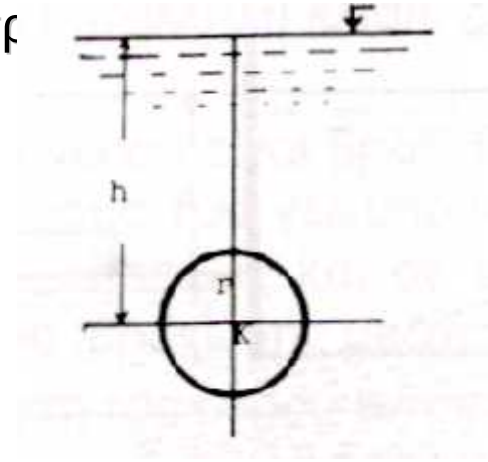
(κυκλική διατομή με προϋπόθεση ότι ακτίνα r πρ ς h είναι r/h > ¼)

$$Q = 13{,}9 \cdot \mu \cdot r^2 \cdot \sqrt{h}$$

r: ακτίνα οπής (m)

h: ύψος ελεύθερης επιφάνειας νερού υπεράνω του κέντρου της οπής (m)

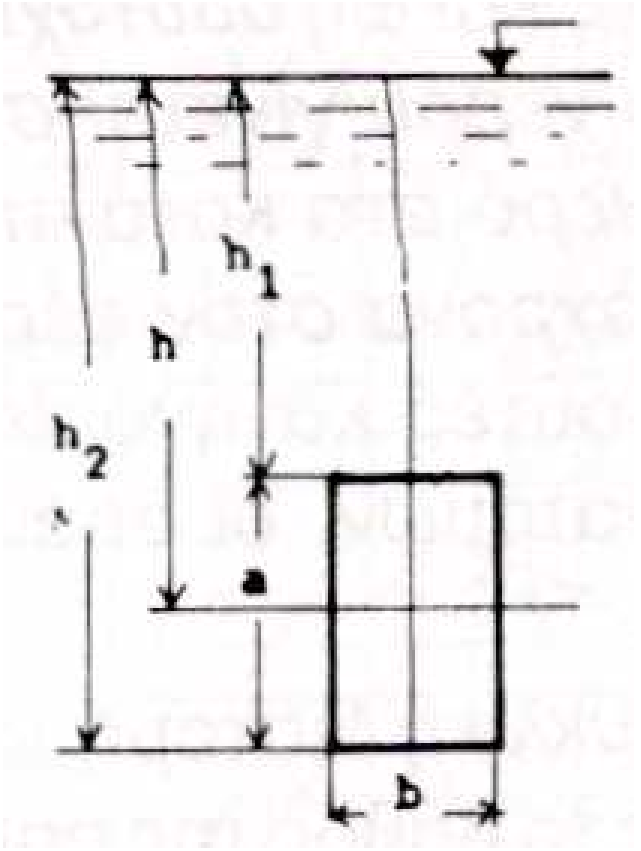
μ: συντελεστής εκροής



Ελεύθερη οπή

(ορθογωνική διατομή, προϋπόθεση ότι το πλάτος a προς το βάθος h της οπής είναι h > 2a)

$$Q = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2g \cdot h}$$



F: επιφάνεια διατομής της οπής (m^2)

h: ύψος ελεύθερης επιφάνειας νερού υπεράνω του κέντρου της οπής (m)

μ: συντελεστής εκροής

g: επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s^2)

Βυθισμένες οπές

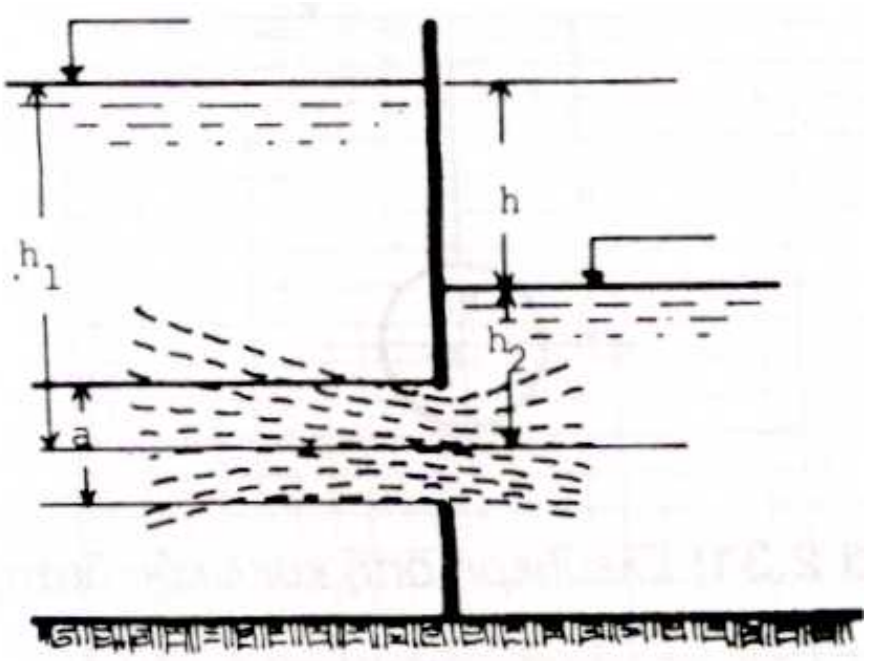
$$Q = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2g \cdot h}$$

F: επιφάνεια διατομής της οπής (m^2)

h: ύψος ελεύθερης επιφάνειας νερού υπεράνω του κέντρου της οπής (m)

μ: συντελεστής εκροής

g: επιτάχυνση της βαρύτητας ($9{,}81\ m/s^2$)



Υπόγεια ροή του νερού και οι πηγές στο χώρο των χειμαρρικών ρευμάτων

Υπόγεια υδροφόρα στρώματα

Το νερό των κατακρημνισμάτων που διεισδύει στο έδαφος διηθείται στα βαθύτερα στρώματα του. Αρχικά εμπλουτίζονται τα επιφανειακά εδαφικά στρώματα με νερό, ενώ στη συνέχεια κινείται προς τους βαθύτερους γεωλογικούς ορίζοντες.

Όταν συναντήσει αδιαπέρατες γεωμάζες, σχηματίζει τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα. Τα στρώματα αυτά παρουσιάζουν ενίοτε και ενδόγεια ροή, εάν υπάρχει η κατάλληλη κλίση, οπότε και δημιουργούνται τα υπόγεια ρεύματα.

Η ταχύτητα κίνησης του νερού εντός του εδάφους, η οποία εξαρτάται από το πορώδες του εδάφους, δίνεται από τον τύπο του Darcy:

$$u_f = k_f \cdot J$$

k_f: Συντελεστής διαπερατότητας (m/s)

J: κλίση της στάθμης του νερού

Παροχή υπόγειου υδροφόρου στρώματος

Ταχύτητα ροής εννοείται η ποσότητα του νερού ανά μονάδα επιφανείας, η οποία διέρχεται από τη μονάδα της εδαφικής επιφάνειας κάθετα προς τη διεύθυνση ροής.

$$Q = u_f \cdot f \qquad \text{ή} \qquad Q = k_f \cdot J \cdot F$$

F: επιφάνεια του εδάφους (m^2)

Ο συντελεστής διαπερατότητας k_f θεωρείται στην πράξη, ότι εξαρτάται μόνο από τη φύση του γεωλογικού υποθέματος. Δίνεται από πίνακα.

Είδος Εδάφους	k_f (cm/s)
Χονδρή άμμος	0,5 – 1,0
Λεπτή άμμος	0,1
Πολύ λεπτή άμμος	0,01 – 0,02
Ιλύς	$(0,1 – 1) \cdot 10^{-4}$
Άργιλος	$(0,2 – 20) \cdot 10^{-7}$

Πηγές

Όταν το συγκεντρωμένο νερό (στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα) έρθει σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους, εκρέει στην ατμόσφαιρα και ρέει προς τα κατάντη σχηματίζοντας τις **πηγές**.

Οι πηγές ασκούν ιδιαίτερη επίδραση στην διαμόρφωση της δίαιτας των ρευμάτων, διότι παρέχουν ροή κατά το χρόνο της ανομβρίας, δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο την ελάχιστη παροχή τους. Επίσης, εμποτίζουν με νερό τις γεωμάζες που διαρρέουν συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία ολισθήσεων, ιδίως σε ευολίσθητα γεωυποθέματα, όπως ο φλύσχης.

Είδη πηγών

Τα πλέον συνήθη είδη πηγών στην υδρονομική πράξη είναι τα εξής:

1. Πηγές επαφής ή στρωματογενείς
2. Πηγές υπερπλήρωσης
3. Αρτεσιανές πηγές