

Ο Εκχειλιστής Τριγωνικής Κατατομής Crump

Ι. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Τ. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗΣ

Πολιτικός Μηχανικός

Δ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

Μηχανολόγος Μηχανικός

Περίληψη

Για τη μέτρηση της παροχής σε μεγάλους αγωγούς ροής με ελεύθερη επιφάνεια, π.χ. ποταμούς, χρησιμοποιείται συχνά στην πράξη ο εκχειλιστής τριγωνικής κατατομής Crump που είναι απλή και εύχρηστη υδραυλική κατασκευή. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται μεθοδικές μετρήσεις που αφορούν στη μορφή της ροής, το συντελεστή παροχής, το όριο ρύθμισης και την παροχή της βυθισμένης ροής, για περίπου οριζόντιο αγωγό. Οι μετρήσεις και η ανάλυση αυτών επεκτείνονται και σε κεκλιμένους αγωγούς, παρέχεται δε γενικότερη εξίσωση του συντελεστή παροχής για περίπου οριζόντιους αλλά και κεκλιμένους αγωγούς.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Ο εκχειλιστής τριγωνικής κατατομής, σχήμα 1, είναι υδραυλική κατασκευή, η οποία χρησιμοποιείται πολύ συχνά για τη μέτρηση της παροχής σε αγωγούς ελεύθερης επιφάνειας, π.χ. διευθετημένους ποταμούς. Πολλές φορές ονομάζεται και εκχειλιστής του E. S. Crump, που ήταν ο πρώτος που εισηγήθηκε τη μορφή του και έκανε τις πρώτες μετρήσεις [1], ενώ συχνά αναφέρεται και ως μετρητής κρίσιμου βάθους ή μετρητής στάσιμου κύματος.

Η κατατομή αυτού του εκχειλιστή στη διεύθυνση της ροής περιλαμβάνει ένα ανοδικό τμήμα με κλίση 1 (κατακόρυφα) προς 2 (οριζόντια) και ένα καθοδικό τμήμα με κλίση 1:5. Η τομή των δύο τμημάτων σχηματίζει οριζόντια στέψη κάθετη προς τη ροή. Το ύψος του εκχειλιστή είναι w , το μήκος του είναι $L=2w+5w=7w$, το μετρούμενο φορτίο ροής πριν από τον εκχειλιστή είναι $h=y_1-w$, το δε ολικό φορτίο είναι $H_e=h+(V_1^2/2g)$.

Η ροή πριν από τον εκχειλιστή είναι κατά κανόνα υποκρίσιμη, αν δε το ίδιο συμβαίνει και μετά τον εκχειλιστή, τότε, λόγω της μορφής του εκχειλιστή, ενδιάμεσα η ροή είναι υπερκρίσιμη με συνέπεια την εμφάνιση σταθερού στάσιμου κύματος. Το τελευταίο μπορεί να έχει βάθος ροής $y_2 < w$ ή βάθος ροής $y_2' > w$, οπότε θα είναι το μεν φορτίο $h'=(y_2'-w)$, το δε ολικό φορτίο $H_e'=h'+(V_2'^2/2g)$. Πιο ειδική είναι η περίπτωση υπερκρίσιμης ροής μετά τον εκχειλιστή, οπότε δεν σχηματίζεται στάσιμο κύμα.

Με τον τριγωνικό εκχειλιστή έχουν ασχοληθεί μέχρι τώρα το Hydraulics Research Station (HRS) στην Αγγλία το έτος 1967 [2], όπου μετρήθηκε ο συντελεστής παροχής σε ειδικότερο εκχειλιστή κλίσεων 1:2, 1:2, το British Standards Institution (BSI) το έτος 1969, πάλι για το συντελεστή παροχής [3], καθώς και εκ νέου το HRS, το έτος 1970 [4], εργασία στην οποία επανεξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά αυτού του εκχειλιστή.

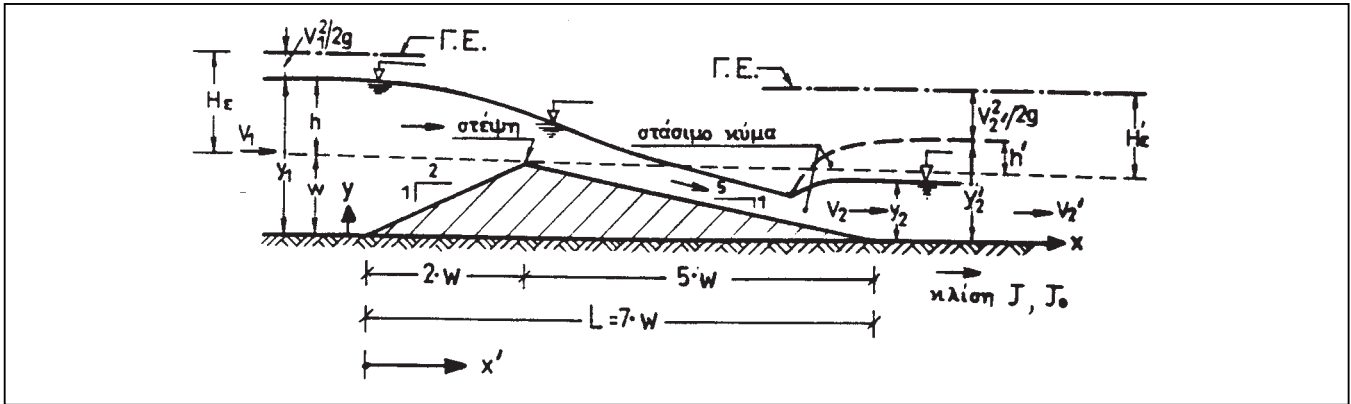
Με το ίδιο θέμα ασχολήθηκε το έτος 1970 στην Αγγλία το Water Resources Board [5], το οποίο ουσιαστικά εξέτασε τα χαρακτηριστικά της εξίσωσης παροχής καθώς και κατασκευαστικές λεπτομέρειες, ενώ οι P. Ackers et al. [10] ερεύνσαν γενικότερα τους εκχειλιστές και λιγότερο τον τριγωνικό εκχειλιστή, παρ' όλο που σε νεώτερη εργασία ο Ackers [6] ασχολήθηκε συστηματικά με τον τελευταίο. Ο W. White [7] μελέτησε την απόδοση των τριγωνικών εκχειλιστών, ενώ γενική αναφορά γίνεται και από το Delft Hydraulics Laboratory (DHL) [8]. Τέλος, γενική αναφορά στον τριγωνικό εκχειλιστή κάνει ο N. Rao [9], ενώ το International Standards Organization το έτος 1979 [11] αναφέρεται τόσο στο συντελεστή παροχής όσο και σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες.

Όλες οι προηγούμενες εργασίες αναφέρονται σε περίπου οριζόντιο αγωγό. Η παρούσα πειραματική εργασία ασχολείται μεθοδικά με τη μορφή της ροής, το συντελεστή παροχής (για διάφορες περιπτώσεις ροής) και το όριο ρύθμισης, δίνει εξίσωση για βυθισμένη ροή σε σημαντικό εύρος βαθών πριν και μετά τον εκχειλιστή, τέλος δε ασχολείται συστηματικά και σε έκταση με την επιρροή εκ της αλλαγής της κατά μήκος κλίσης του αγωγού (στον οποίο εγκαθίσταται ο εκχειλιστής) και δίνει σχετική εξίσωση του c_d για διάφορες κλίσεις.

1.2. Συμβολισμοί

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα σύμβολα, με τις αντίστοιχες μονάδες:

c_d	συντελεστής παροχής
c_t	συντελεστής ταχυτήτων
h	εγκάρσιο φορτίο ροής πριν από τον εκχειλιστή - υπέρ τη στέψη (m)



Σχήμα 1: Σχήμα ορισμών.
Figure 1: Definition sketch.

b	πλάτος ορθογωνικού αγωγού (m)
h'	εγκάρσιο φορτίο ροής μετά τον εκχειλιστή - υπέρ τη στέψη (m)
H _ε	ολικό φορτίο πριν από τον εκχειλιστή - υπέρ τη στέψη (m)
H _ε '	ολικό φορτίο μετά τον εκχειλιστή - υπέρ τη στέψη (m)
J, J ₀	κατά μήκος κλίση του αγωγού (και του εκχειλιστή) = ημθ
θ	γωνία κλίσης του αγωγού
L	μήκος του εκχειλιστή (m)
v	κινηματική συνεκτικότητα (m ² /s)
V ₁	ταχύτητα ροής πριν από τον εκχειλιστή (m/s)
V ₂ , V ₂ '	ταχύτητες ροής μετά τον εκχειλιστή (m/s)
x	κατεύθυνση ροής
x'	αποστάσεις κατά x από αρχή εκχειλιστή (m)
y	εγκάρσιες αποστάσεις μετρούμενες από τον πυθμένα του αγωγού (m)
y ₁	βάθος ροής πριν από τον εκχειλιστή (m)
y ₂ , y ₂ '	βάθη ροής μετά τον εκχειλιστή με y ₂ /w < 1 και y ₂ '/w > 1 αντίστοιχα
R ₁	υδραυλική ακτίνα στη διατομή 1
Re ₁ = V ₁ ·4·R ₁ / ν	αριθμός Reynolds στη διατομή 1
Fr ₁ = V ₁ (gy ₁) ^{-1/2}	αριθμός Froude στη διατομή 1
Q	παροχή ρυθμισμένη (m ³ /s)
Q _s	παροχή μη ρυθμισμένη (m ³ /s)

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι μετρήσεις έγιναν σε μικρό αγωγό ορθογωνικής διατομής με γυάλινα τοιχώματα και διάφορες κατά μήκος κλίσεις. Για τη μέτρηση της παροχής χρησιμοποιήθηκε μετρητής Venturi με προσαρμοσμένα διαφορικά μανόμετρα ακριβείας (νερού για μικρές παροχές, υδραργύρου για μεγαλύτερες παροχές).

Για πιο πολλές λεπτομέρειες για τη διάταξη βλ. [12].

Ο εκχειλιστής ήταν κατασκευασμένος από πλεξιγκλάς, είχε ύψος w=9,15 cm και ολικό μήκος L=64,05 cm. Τα βάθη ροής μετριόνταν με σταθμήμετρο ακριβείας (ακρίβεια ±0,1 mm), ενώ ο αγωγός είχε στο πέρας αυτού θυρόφραγμα κινούμενο κάθετα προς τον πυθμένα για την αυξομείωση των βαθών ροής. Όταν το θυρόφραγμα αποσυρόταν πλήρως, η ροή μετά τον εκχειλιστή ήταν υπερκρίσιμη. Τα φορτία h μετριόνταν πάντα σε σταθερή απόσταση 2·h_{max} πριν από τη στέψη, σε όλες δε τις μετρήσεις ήταν Fr₁ < 0,5.

Οι μετρήσεις χωρίστηκαν σε 4 ομάδες. Όλες οι ομάδες, πλην της τελευταίας, είχαν σταθερή κατά μήκος κλίση, J₀=0,001. Η ομάδα Α αφορούσε υπερκρίσιμες ροές υπεράνω και μετά τον εκχειλιστή με y₂/w < 1. Η ομάδα Β αφορούσε υποκρίσιμες ροές μετά τον εκχειλιστή με στάσιμο κύμα, y₂'/w > 1, H_ε'/H_ε < 0,75. Η ομάδα C αφορούσε υποκρίσιμες ροές μετά τον εκχειλιστή με στάσιμο κύμα και y₂'/w > 1, H_ε'/H_ε > 0,75. Η ομάδα D περιελάμβανε πλήθος σειρών μετρήσεων σε πέντε υποομάδες με διάφορες κατά μήκος κλίσεις J. Τα κυριότερα στοιχεία των διαφόρων μετρήσεων παρέχονται στον πίνακα 1.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζονται επιλεκτικά πρωτογενείς τυπικές μορφές της ελεύθερης επιφάνειας της ομάδας Α, στο σχήμα 3 της ομάδας Β και στο σχήμα 4 της ομάδας C, παρατηρείται δε η συστηματικότητα των ελεύθερων επιφανειών ανάλογα προς τον αριθμό Froude, Fr₁, και τις άλλες παραμέτρους αυτών.

3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

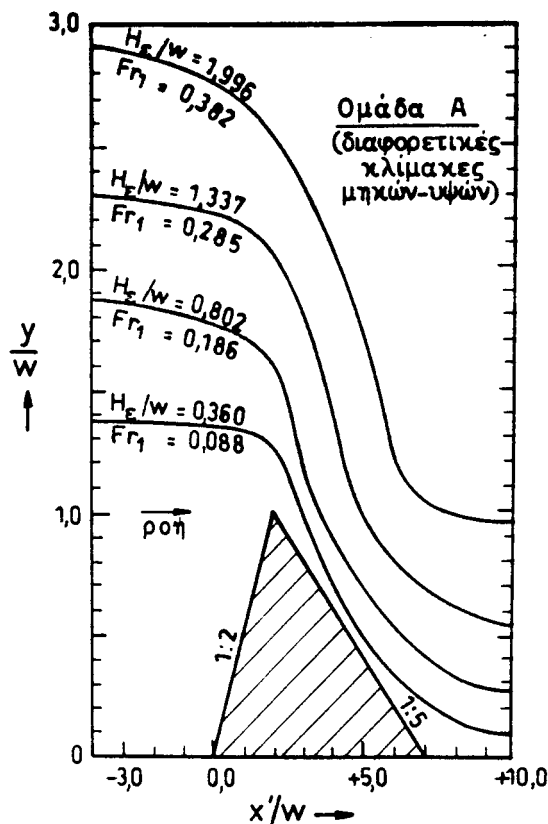
3.1. Θεωρητικές αναφορές

Η γενική εξίσωση της παροχής είναι η χρησιμοποιούμενη σε όλους τους εκχειλιστές μέσα σε ορθογωνικούς αγωγούς αβύθιστης ροής:

Πίνακας 1: Πειραματικά στοιχεία.

Table 1: Experimental data.

Σειρές No	Ομάδα	Re ₁	Fr ₁	Σύμβολο	Παρατηρήσεις
1 έως 27	A	Από 13.174 έως 96.415	Από 0,088 έως 0,384	ο	Υπερκρίσιμη ροή μετά τον εκχειλιστή $y_2/w < 1$
28 έως 39	B	Από 28.845 έως 55.484	Από 0,175 έως 0,279	+	Υποκρίσιμη ροή μετά τον εκχειλιστή $y_2'/w > 1$, $H_e'/H_e < 0,75$
40 έως 51	C	Από 28.319 έως 54.248	Από 0,165 έως 0,267	□	Υποκρίσιμη ροή μετά τον εκχειλιστή $y_2'/w > 1$, $H_e'/H_e > 0,75$
52 έως 109	D ₁ έως D ₅	Από 11.594 έως 84.625	Από 0,065 έως 0,415	▽	Μεταβολή κλίσεων: J=0,0025-0,009- -0,02197-0,0278- -0,0394 $H_e'/H_e < 0,75$

Σχήμα 2: Κατατομές ροών.
Figure 2: Flow profiles.

$$Q = (2/3)^{3/2} g^{1/2} c_d b H_e^{3/2} \quad (3.1)$$

όπου b το πλάτος του αγωγού και c_d κατάλληλος συντελεστής παροχής προσδιοριζόμενος πειραματικά.

Σημειώνεται ότι στην πράξη μετρίεται το φορτίο h (σχήμα 1), τίθεται δε ο αδιάστατος συντελεστής ταχύτητας:

$$c_t = (H_e/h)^{3/2}$$

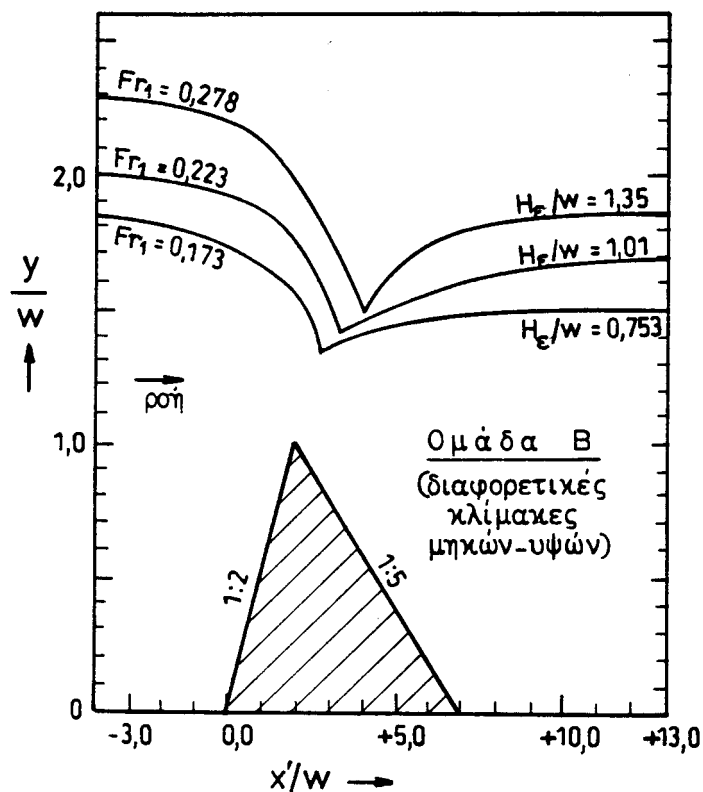
οπότε η εξίσωση (1) γίνεται:

$$Q = (2/3)^{3/2} g^{1/2} c_d b h^{3/2} \quad (3.2)$$

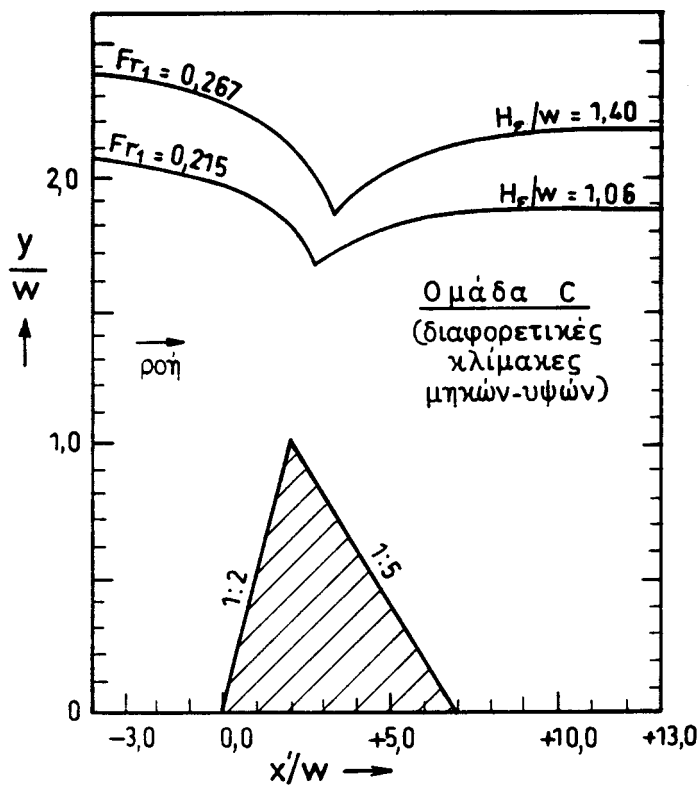
δηλαδή όταν είναι γνωστά τα c_d , c_t τότε με απευθείας ανάγνωση του h προκύπτει η παροχή. Η τιμή του c_t προκύπτει από πίνακες.

Το κυριότερο από τα πλεονεκτήματα του εκχειλιστή τριγωνικής κατατομής είναι ότι, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, η τιμή του c_d είναι σταθερή, όταν δε συμβαίνει αυτό, τότε λέγεται ότι ο εκχειλιστής είναι “ρυθμισμένος”, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ο εκχειλιστής είναι “μη ρυθμισμένος”. Η κυριότερη προϋπόθεση αναφέρεται στη μέγιστη τιμή, $(H_e'/H_e)_m$, που μπορεί να αποκτήσει ο λόγος (H_e'/H_e) , χωρίς να επηρεάζονται τα διάφορα μεγέθη, π.χ. η στάθμη πριν από τον εκχειλιστή και κυρίως η σταθερή τιμή του c_d . Όταν υπερβαίνεται ο λόγος $(H_e'/H_e)_m$, τότε ο εκχειλιστής είναι “βυθισμένος”, η δε παροχή (Q_s) είναι πλέον διαφορετική από την παροχή που δίνει η εξίσωση (3.1).

Άλλα πλεονεκτήματα αυτού του εκχειλιστή τριγωνικής κατατομής αναφέρονται στην απλή και εύκολη κατασκευή του, στο μικρό όγκο του σε σύγκριση προς άλλους ανάλογους εκχειλιστές (π.χ. τον εκχειλιστή ορθογωνικής κατατομής), καθώς και ότι οι κλίσεις των δύο τμημάτων του αφ'



Σχήμα 3: Κατατομές ροών.
Figure 3: Flow profiles.



Σχήμα 4: Κατατομές ροών.
Figure 4: Flow profiles.

ενός αποτρέπουν την απόθεση φερτών υλικών, αφ' ετέρου επιτρέπουν το σχηματισμό υπερκρίσιμης ροής και στάσιμου κύματος. Είναι γνωστό ότι στην περίπτωση αυτή και μόνο, η Q εξαρτιέται αποκλειστικά από το φορτίο πριν από τον εκχειλιστή (εξίσ. 3.1 ή 3.2).

3.2. Ανάλυση των μετρήσεων

Από τις γενόμενες μετρήσεις προέκυψαν για όλες τις παροχές όλες οι μορφές της ελεύθερης επιφάνειας, υπολογίστηκαν δε τα H_e , H_e' , H_e/w , H_e'/H_e και οι τιμές c_d με βάση κατ' αρχάς την εξίσωση (3.1).

Στο σχήμα 5 έχουν τεθεί, σε άξονες H_e/w και c_d , όλες οι εδώ μετρήσεις των ομάδων Α και Β. Όπως παρατηρείται, πράγματι η τιμή c_d είναι ανεξάρτητη του λόγου H_e/w , έχει δε σταθερή μέση τιμή $c_d \approx 1,14$, η οποία ισχύει στο πεδίο $0,2 < H_e/w < 2,0$.

Η προηγουμένως ευρεθείσα τιμή διαφέρει ελάχιστα από την τιμή 1,16, που δίνει ο Ackers [6], ή την τιμή 1,15, που δίνει το BSI [3], ή ανάλογη τιμή του DHL [8].

Σε βοηθητικό σχήμα όπως το σχήμα 5, ετέθησαν οι τιμές c_d και για την ομάδα C, προέκυψε όμως ότι οι τιμές δεν σχετίζονται προς τις αντίστοιχες των ομάδων Α και Β.

Για να βρεθεί το όριο βύθισης, $(H_e'/H_e)_m$, στο σχήμα 6 έχουν τεθεί σε άξονες H_e'/H_e και H_e/w οι κυριότερες μετρήσεις των ομάδων Β και C.

Όπως προκύπτει από το σχήμα 6, οι δύο καμπύλες (για $H_e'/H_e < 0,75$ και $H_e'/H_e > 0,75$) συγκλίνουν στο όριο $(H_e'/H_e)_m = 0,75$, τιμή που διασταυρώνεται ως ορθή και με τις προηγουμένως αναφερθείσες εργασίες, αποτελεί δε αυτή το όριο ρύθμισης (βύθισης).

Για $H_e'/H_e < 0,75$ προέκυψε πράγματι $c_d = \text{σταθ.}$ (ανεξάρτητος των H_e/w , H_e'/H_e), ισχύει δε η εξίσωση (1), ενώ για $H_e'/H_e > 0,75$ (ομάδα C) η παροχή δεν δίνεται από την εξίσωση (3.1).

Στο σχήμα 7 έχουν τεθεί αποκλειστικά για την ομάδα C οι λόγοι Q_S/Q , όπου Q_S μετρηθείσες παροχές και Q παροχές που προκύπτουν από την εξίσωση (3.1), και H_e'/H_e (για $H_e'/H_e > 0,75$).

Η προκύπτουσα καμπύλη έχει εξίσωση (ελάχιστα τετράγωνα):

$$Q_S / Q = 1 - 3,858 \left[\left(H_e' / H_e \right) - 0,75 \right]^{1,756} \quad (3.3)$$

είναι πολύ απλούστερη από δοθείσες παλαιότερα εξισώσεις [6], ισχύει δε για πολύ ευρύτερο πεδίο, $0,75 < H_e'/H_e < 0,97$.

Για $0,75 < H_e'/H_e < 0,97$ η παροχή Q_S εξαρτάται από την προηγουμένως ευρεθείσα παροχή Q (δηλαδή τα c_d , H_e) καθώς και από το λόγο H_e'/H_e . Η εξίσωση (3.3) δείχνει την επιρροή της κατάντη βύθισης της ροής στη διερχόμενη παροχή αλλά και την εξάρτηση της τελευταίας από περισσότερες πλέον παραμέτρους, αφού πρέπει να προσδιοριστούν τόσο το H_e όσο και ο λόγος H_e'/H_e (που στηρίζονται στη μέτρηση των h και h').

Ανάλογες -όπως οι προηγούμενες- επεξεργασίες έγιναν και για όλες τις ροές των υποομάδων D_1 έως D_5 (με $H_e'/H_e < 0,75$), κάθε μία εκ των οποίων είχε ιδιαίτερη κλίση J ($> J_0$), για κάθε δε κλίση προσδιορίστηκε η ιδιαίτερη-σταθερή τιμή του αντίστοιχου συντελεστή παροχής.

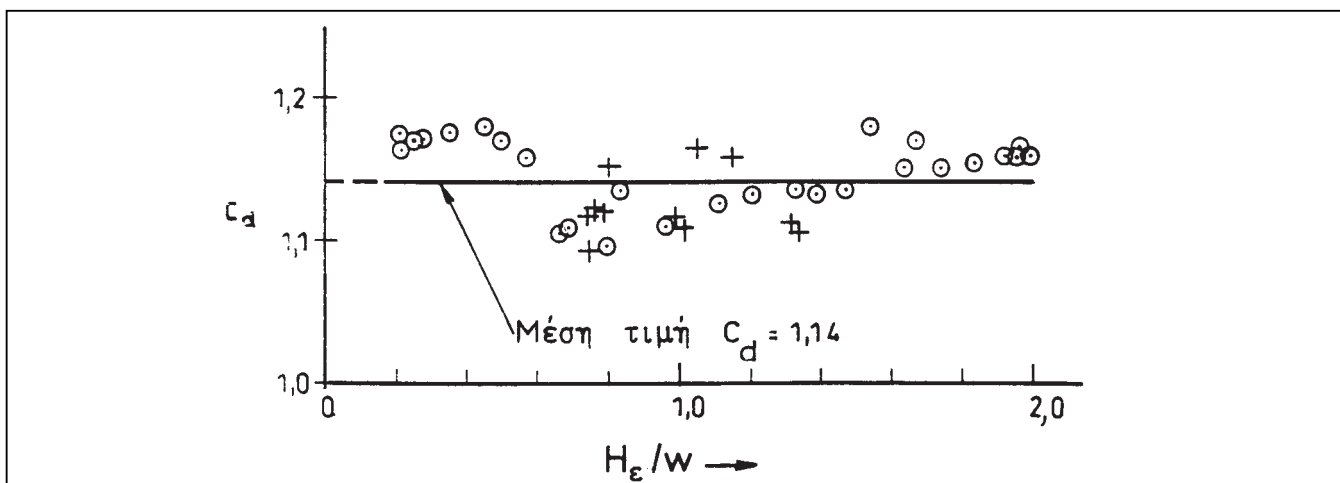
Στο σχήμα 8 παρουσιάζονται οι τιμές c_d , όπως μετρήθηκαν (και υπολογίστηκαν-εξίσ. 3.1) για πέντε κλίσεις αγωγού J . Αν ληφθεί υπόψη και η ήδη μετρηθείσα τιμή c_d για την κλίση J_0 , τότε προκύπτει η εξίσωση (ελάχιστα τετράγωνα):

$$c_d = 1,14 + 0,0407(1000 \cdot J - 1)^{0,59} \quad (3.4)$$

για τα διαστήματα:

$$0,001 < J < 0,04 \text{ και } H_e'/H_e < 0,75$$

όπου J η κλίση (σε δεκαδικό αριθμό).



Σχήμα 5: Η τιμή του c_d
Figure 5: c_d value.

Με βάση τις εξισώσεις (3.1) και (3.4), η εξίσωση παροχής σε εκχειλιστή τριγωνικής κατατομής επεκτείνεται σε κλίσεις αγωγών έως και $J=0,04$, ισχύει δε και για ενδιάμεσες τιμές κλίσεων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

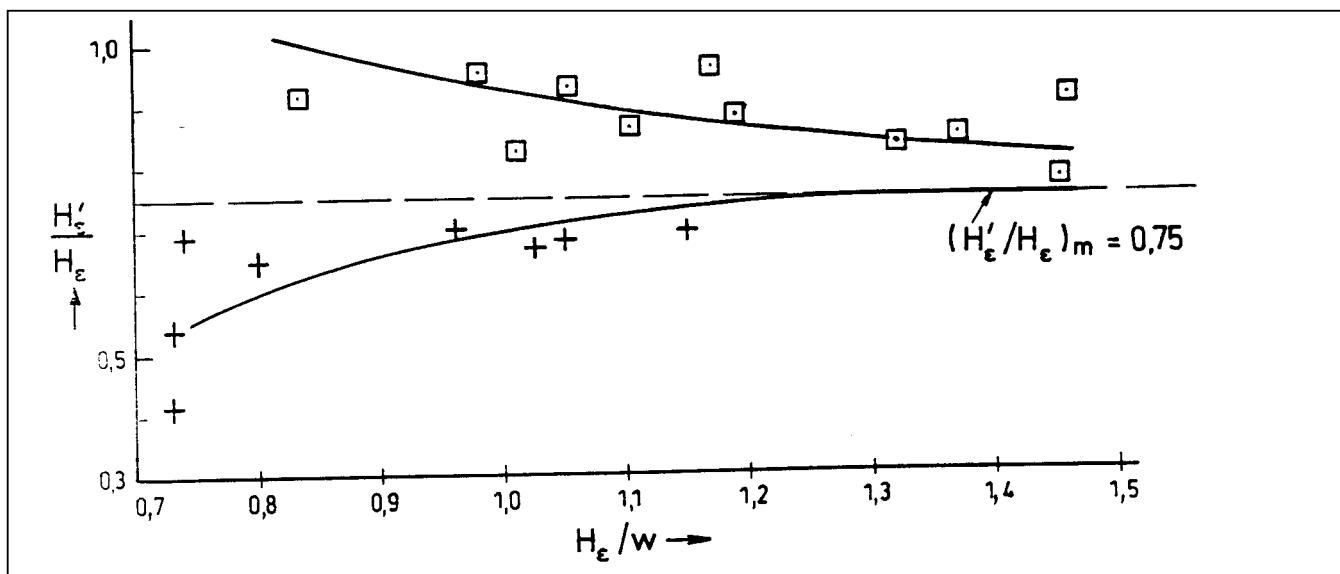
Στην εργασία αυτή έγιναν μεθοδικές μετρήσεις διαφόρων μεγεθών ροής, πάνω από εκχειλιστή τριγωνικής κατατομής μέσα σε ορθογωνικό αγωγό διαφόρων κατά μήκος κλίσεων.

Παρουσιάζονται διάφορες συστηματικές καμπύλες της μορφής της ροής, επεξεργασία των μετρήσεων προς προσδιορισμό του συντελεστή παροχής (για περίπου οριζόντιο αγωγό), ο οποίος προκύπτει σταθερός, προσδιορισμός του ορίου ρύθμισης (βύθισης) καθώς και απλή εξίσωση παροχής για βυθισμένη ροή.

Έγινε, επίσης, πλήθος μετρήσεων που αφορούσαν στη μορφή της ροής και το συντελεστή παροχής για διάφορες κατά μήκος κλίσεις του αγωγού. Με βάση αυτές τις μετρήσεις παρέχεται γενική εξίσωση υπολογισμού του συντελεστή παροχής για διάφορες κατά μήκος κλίσεις του αγωγού. Έτσι η εξίσωση παροχής αποκτά ευρύτερη ισχύ εφαρμογής για πλήθος κατά μήκος κλίσεων και σε αρκετά σημαντικό εύρος μεταβολής αυτών.

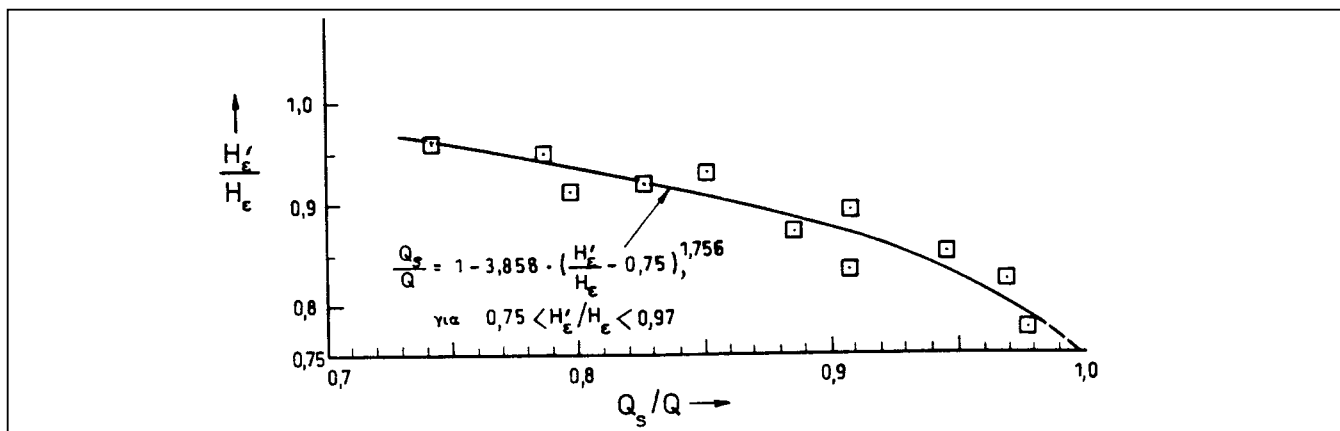
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Crump E.: **A new method of gauging Stream Flow with little afflux by means of a submerged weir of Triangular Profile**, Institution of Civil Engineers, 1952, pp. 223-242.
2. Hydraulics Research Station: **Triangular Profile weir with 1:2 upstream and downstream slopes**, Report INT 64, Wallingford, 1967, pp. 41-47.



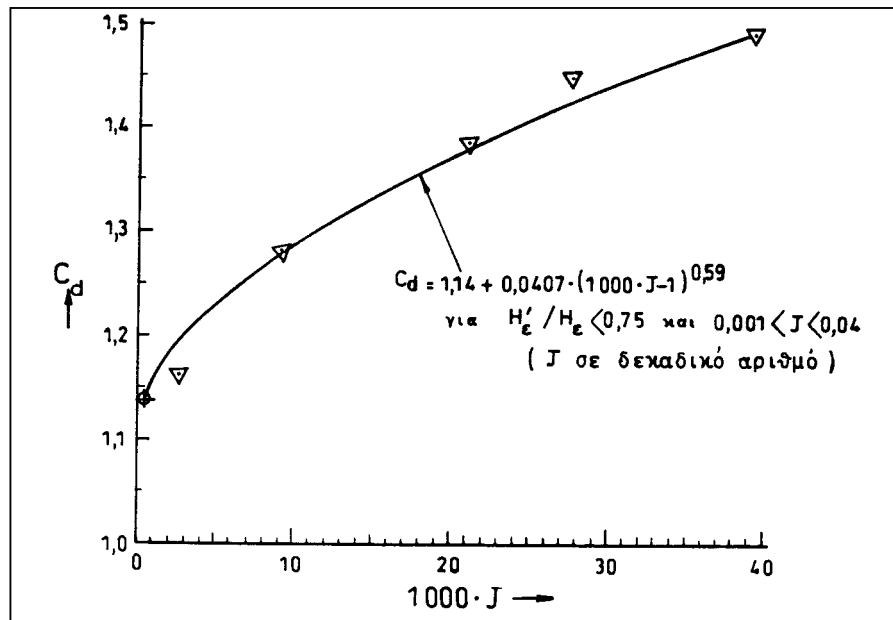
Σχήμα 6: Το όριο ρύθμισης.

Figure 6: The modular limit.



Σχήμα 7: Q_s/Q ως προς $H'_ε/H_ε$.

Figure 7: Q_s/Q versus $H'_ε/H_ε$.



Σχήμα 8: c_d για κεκλιμένους αγωγούς.
Figure 8: c_d values for inclined channels.

3 British Standards Institution: **Methods of measurement of liquid flow in open channels, Part 4, Weirs and Flumes (long-base weirs)**, BS 3680 (Part 4B), 1969, pp. 18-34.

4. Hydraulics Research Station: **The triangular profile crump weir (A re-examination of discharge characteristics)**, February 1970, Wallingford EX 477, pp. 1-11.

5. Water Resources Board: **Crump weir design**, February 1970, pp. 3-17.

6. Ackers P.: **Flow measurement by Weirs and Flumes**, Proceedings of Intern. Conference, England 1971, pp. 21-37.

7. White W.: **The performance of two-dimensional and flat-V triangular profile weirs**, Proc. Inst. Civil Engineers, paper 7350, 1971, pp. 48.

8. Delft Hydraulics Laboratory: **Discharge measurement structures**,

Publication No 161, 1976, pp. 191-197.

9. Rao N.: **Theory of weirs**, Advances in Hydrosience, vol. 10, Academic Press, 1975, pp. 333-334.

10. Ackers P. - White W. - Perkins J. - Harrison A.: **Weirs and flumes for flow measurement**, J. Wiley, 1978, pp. 86-109.

11. International Standard ISO 4360: **Liquid flow measurements in open channels by weirs and flumes - Triangular profile weirs**, 1979, pp. 1-9.

12. Demetriou J.: **Rounded broad crested weirs, Parts I-II**, NTU, Faculty of Civil Engineering, Scientific Papers, vol. 5, no 1-2, 1981, pp. 1-15 και 11-33.

Ι. Δημητρίου,

Πολιτικός μηχανικός, αναπληρωτής καθηγητής Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Υδραυλικής, οδός Ηρώων Πολυτεχνείου 6, Ζωγράφου, Αθήνα 157 80.

Τ. Παπαθανασιάδης,

Πολιτικός μηχανικός, βοηθός Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Υδραυλικής, οδός Ηρώων Πολυτεχνείου 6, Ζωγράφου, Αθήνα 157 80.

Δ. Δημητρίου,

Μηχανολόγος μηχανικός, οδός Α. Πολυκάρπου 12, Ν. Σμύρνη, Αθήνα 171 23.

Extended summary

The Crump Triangular Profile Weir

J. DEMETRIOU

Associate Professor N.T.U.A.

T. PAPATHANASSIADIS

Civil Engineer

D. DIMITRIOU

Mechanical Engineer

Abstract

In order to measure the discharge in open channels the triangular-profile weir or Crump weir is often used because it is a very simple structure. In this research paper some systematic measurements are presented concerning the free surface profiles, discharge coefficient, modular limit and various practical equations for an almost horizontal open channel. Measurements were extended to non horizontal open channels and a more general discharge equation is presented.

Figure 1 presents the flow geometry over the 1:2-1:5 sloped triangular profile weir of height w and length $7w$. The upstream head is h and total head is H_e . The downstream flow depth can be either y_2 ($<w$) or y_2' ($>w$) and a standing wave may or may not appear. When $y_2' > w$ the downstream head is $h' = y_2' - w$ and total head is H_e' .

The triangular profile has been extensively investigated in the past for open channels of very low longitudinal slope, by HRS [2], BSI [3], HRS [4] and WRB [5]. P. Ackers [6], P. Ackers et al. [10] have carried out a thorough research, W. White [7] has analysed the weir's efficiency, while DHL [8] and N. Rao [9] presented a rather general review. ISO [11] has dealt with the discharge coefficient and some structural details.

The experimental measurements of this work are presented in table 1. All measurements were performed in a small

channel: the perspex weir had a length of 64.05 cm, while discharges and depths were accurately measured with a Venturi flow meter and a level gauge respectively. Four groups of runs were organized, all with Froude numbers less than 0.5. Group A had $y_2/w < 1$, group B had $y_2'/w > 1$ and $H_e'/H_e < 0.75$, group C had $y_2'/w > 1$ and $H_e'/H_e > 0.75$, while group D comprised 57 runs with longitudinal slopes between 0.0025 and 0.04.

Some typical free surface profiles are presented in figures 2, 3, 4, for groups A, B, C, respectively.

The discharge for modular flow in almost horizontal channels is given by eq. 3.1, or by equivalent eq. 3.2, while figure 5 gives the discharge coefficient c_d versus H_e/w , with an average value $c_d \approx 1.14$. This value is very close to previous values. Figure 6 compares H_e'/H_e and H_e/w , and redetermines the modular limit $(H_e'/H_e)_m = 0.75$: For $H_e'/H_e < 0.75$ eq. 3.1 is holding, while for $H_e'/H_e > 0.75$ eq. 3.3 was determined from figure 7, where Q_s is the non modular discharge. Eq. 3.3 is more general and has a wider range than equations given by Ackers [6].

Finally, in figure 8 c_d values for modular flows in non horizontal channels are presented versus slopes J , with $0.001 < J < 0.04$. Eq. 3.4 is finally determined, giving c_d for horizontal and tilted open channels.

Submitted: July 15, 1997 Accepted: Oct. 11, 1999

J. Demetriou,

Civil engineer, associate professor, National Technical University of Athens, Dept. of Civil Engineers, Hydraulics Laboratory, 6 Iroon Polytechniou str., Zografou, Athens, 157 80.

T. Papathanassiadis,

Civil engineer, assistant, National Technical University of Athens, Dept. of Civil Engineers, Hydraulics Laboratory, 6 Iroon Polytechniou st., Zografou, Athens, 157 80.

D. Dimitriou,

Mechanical engineer, 12 Polykarpou str., N. Smyrni, Athens, 171 23.